

최종보고서



기상청

Korea Meteorological Administration

해양기후예측 서비스 추진전략 연구

2024. 12.

(주)트리마란



Future Value and Business Continuity

제출문

기상청장 귀하

본 보고서를 「해양기후 예측 서비스 추진전략 연구」의 최종보고서로 제출합니다.

2024년 12월

연구기관 : (주)트리마란
연구책임자 : 조해성 파트너
참여연구원 : 한상권 수석연구원
이하정 수석연구원
김용일 수석연구원
신용구 책임연구원
양연정 선임연구원

목 차

제 1 장 연구 개요	3
제 1 절 배경 및 목적	3
1. 연구 배경	3
2. 연구 목적	9
제 2 절 연구 범위 및 수행 체계	10
1. 연구 범위	10
2. 수행 체계 및 방법	10
제 2 장 현황 분석	19
제 1 절 해양기후 예측 정책 동향	19
1. 국내 동향	19
2. 해외 동향	27
제 2 절 국내외 기술 및 연구 현황	39
1. 국내외 기후예측시스템 현황	39
2. 국내외 기술 및 연구 개발 동향	48
제 3 절 해양기후 예측 서비스 현황	65
1. 해양기후 예측 서비스 현황 요약	65
2. 국가별 해양기후 예측 서비스 현황	68
제 4 절 해양기후 정보 활용 현황	84
제 5 절 요약 및 시사점	101
제 3 장 해양기후예측 서비스 추진전략	111
제 1 절 이슈 및 필요성·활용성 분석	111
1. 프레임워크 설계	111
2. 전문가 의견	114
3. 주요 이슈 분석	121
4. 필요성 및 이해관계자별 활용 방안 분석	137

제 2 절 해양기후 예측 서비스의 구체화 및 확장 방안	144
1. 예측 요소	144
2. 예측 기간 및 제공 주기	147
3. 예측 구역 및 대상 영역	149
4. 예측 구역 및 대상 영역	152
5. 종합 검토 결과	155
제 3 절 해양기후예측 서비스 비전 및 목표	156
1. 환경분석 및 문제해결 이슈 도출	156
2. 전략방향 도출	159
3. 비전 및 목표 수립	163
4. 중점 추진과제별 세부 실행방안 도출	164
제 4 절 해양기후예측 서비스 로드맵 및 이행 방안	167
1. 해양기후예측 서비스 로드맵	167
2. 중점 추진전략별 로드맵	167
3. 해양기후 예측 서비스 시행 업무체계 및 협력 방안	169
4. 활용 활성화 방안	174
5. 해양기후예측을 위한 선행인자 제안	175
제 5 절 기대효과 및 타당성 분석	177
1. 기대효과 및 활용 방안	177
2. 중복성 및 타당성 분석	179
3. 정책 제언	184
 참고문헌	 188
 부록1 해양기후예측 서비스 전략수립을 위한 전문가 설문조사	 196
 부록2 전문가 인터뷰	 215
 부록3 관계수요기관(기업)대상 설문조사	 225
 부록4 대국민 설문조사(기상청 제공)	 225

표 목 차

<표 1> 자문단 현황	12
<표 2> 전략 도출 경과	14
<표 3> 기획위원회 및 소위원회 활동 경과	15
<표 4> 제3차 국가 기후위기 적응 강화대책 정책방향 주요 내용	21
<표 5> 제4차 기상업무발전 기본계획(2023 ~ 2027) 전략별 주요 내용	24
<표 6> WMO Strategic Plan 2024 ~ 2027 주요 내용	28
<표 7> NOAA 2022 ~ 2026 Strategic Plan 주요 내용	30
<표 8> ECMWF Strategy 2021 ~ 2030 주요 내용	34
<표 9> Met Office Hadley Centre Climate Science Roadmap 2020 ~ 2030 주요 내용	35
<표 10> Research and Development Plan 2020 ~2030 주요 내용	36
<표 11> Vision for Meteorological Services in 2030 주요 내용	37
<표 12> 통합예측시스템(UFS) 관련 개발 및 시험중인 모델들	50
<표 13> 일본 2030 수치예보 기술개발 중점계획	53
<표 14> 원격상관패턴 - 해수면온도	58
<표 15> 기타 선행인자 - 해수면온도	59
<표 16> 원격상관패턴 - 해상풍	60
<표 17> 기타 선행인자 - 해상풍	61
<표 18> 원격상관패턴 - (유의)파고	61
<표 19> 기타 선행인자 - (유의)파고	62
<표 20> 원격상관패턴 - 해류	63
<표 21> 기타 선행인자 - 해류	63
<표 22> 주요국 해수면온도 예측 서비스 현황	66
<표 23> 극한파고 시뮬레이션 결과	94
<표 24> 해양산업의 해양열파(MHW) 예측	99
<표 25> 해양기후 예측 정책 동향 요약	101
<표 26> 해양기후 정보 활용 사례 요약	104

<표 27> 이슈 분석 및 전략 도출 경과	113
<표 28> 해양기후예측 서비스 기술분류	114
<표 29> 해양기후변수(ECVs) 예측·전망 필요성·가능성 분석(종합)	117
<표 30> 전문가 심층인터뷰 응답자 현황	119
<표 31> 주제 1-1 : 해양기후예측을 위한 모델 개발 기술	127
<표 32> 주제 1-2 : 대기-해양-파랑 결합을 위해 필요한 모델 개발 기술	127
<표 33> 주제 1-3 : 해양기후 예측 대상 구역 상세화를 위해 필요한 모델 개발	128
<표 34> 주제 1-4 : 해양기후예측의 성능 개선을 위한 자료동화 기술	128
<표 35> 주제 1-5 : 해양기후예측 모델 성능 평가 및 검증 기술	129
<표 36> 주제 1-6 : 해양기후예측을 위한 모델 관련 최신 기술 동향 및 개발 필요 기술	129
<표 37> 주제 2-1 : 해양기후 예측 서비스의 요소 및 시기의 적정성	130
<표 38> 주제 2-2 : 해양기후 예측요소별 특성과 변동성을 고려하였을 때 적절한 서비스 형태	131
<표 39> 주제 2-3 : 해양이상기후(극값) 예측 서비스 적합 요소 및 서비스 형태 제공 방식	132
<표 40> 주제 2-4 : 해양기후 예측 서비스 추진전략(안)의 대상 구역의 적합성	132
<표 41> 주제 2-5 : 향후 해양기후 예측 서비스 검토 요소	133
<표 42> 주제 2-6 : 해양기후예측 서비스 형태에 대한 기타 의견	134
<표 43> 주제 3-1 : 해양기후 감시를 강화하는 데 필요한 관측자료 활용 방안	135
<표 44> 주제 3-2 : 해양기후 예측과 연관된 기후감시요소의 발굴·예측을 위한 연구개발	135
<표 45> 주제 3-3 : 해양기후 예측을 위해 연구되어야 할 원격상관패턴	135
<표 46> 주제 3-4 : 해양기후 예측 1·3개월 전망 생산을 위한 선행예측인자 도출 방안	136
<표 47> 주제 3-5 : 예보관이 활용해야 할 분석 기술	136
<표 48> 이해관계자별의 활용 방안도출	143
<표 49> 이해관계자별의 활용 방안	143
<표 50> 예측 요소 구체화 방안	144
<표 51> 서비스 요소 확장에 대한 기술적 확장성	146
<표 52> 서비스 요소 확장에 대한 경제적 확장성	146
<표 53> 예측 기간 구체화 방안	147
<표 54> 해양기후예측 서비스의 정보생산 주기	147
<표 55> 서비스 기간 확장에 대한 기술적 확장성	148

<표 56> 서비스 기간 확장에 대한 경제적 확장성	149
<표 57> 예측 범위(영역)의 구체화 논의 요약	150
<표 58> 예측 방식의 구체화 방안	152
<표 59> 해양기후예측 정보별 서비스 시행 일정(안)	155
<표 60> 기상청, 국립기상과학원, APEC기후센터 역할 및 업무분담(안)	170
<표 61> 전문가 회의체 구성 후보(안) 특징 비교	172
<표 62> 원격상관패턴과 해양기후요소와의 관계 연구 현황	175
<표 65> 해수면온도 기타 선행인자	175
<표 66> 차별성 검토 결과	179
<표 67> 해양기후예측 서비스 기술분류	197
<표 68> 해양기후변수(ECVs) 예측·전망 필요성·가능성 분석(종합)	203
<표 69> 해양기후변수(ECVs) 예측·전망 우선순위 검토	205
<표 70> 전문가 심층인터뷰 응답자 현황	214
<표 71> 해양기후예측 서비스 활용 추가 의견	233
<표 72> 해양기후예측 정보 요소 추가 의견	234

그림 목 차

[그림 1] 높아지고 있는 극한 해양기후 현상의 발생 빈도	3
[그림 2] 981~2020년 연별 평균값 및 추세	4
[그림 3] 해수면온도 상승에 의한 양식장 피해	5
[그림 4] 기후위기 감시 및 예측 서비스 발굴을 위한 설문조사	7
[그림 5] 해양기후 예측정보 공백 구간	7
[그림 6] 해양기후 예측정보의 이슈 및 필요성	8
[그림 7] 연구수행 조직	11
[그림 8] 자문위원회 구성 및 운영 체계	11
[그림 9] 자문위원회 운영 방안	13
[그림 10] 과제 추진 경과	13
[그림 11] 제3차 국가 기후위기 적응 강화대책 비전체계도	20
[그림 12] 제4차 기상업무발전 기본계획(2023 ~ 2027) 비전체계도	23
[그림 13] WMO Strategic Plan 2024 ~ 2027 비전 체계도	27
[그림 14] Met Office Hadley Centre Climate Science Roadmap 2020 ~ 2030 주요 방향 및 과제 개념도	35
[그림 15] GloSea6 작동 체계	40
[그림 16] CFSv2 작동 체계	42
[그림 17] ACCESS-S2 작동 체계	46
[그림 18] MRI-CPS3의 앙상블 구성	48
[그림 19] 인공지능 기상예측기술 개발(국립기상과학원)	50
[그림 20] NCEP 해수면온도 어노말리 예측	71
[그림 21] ECMWF 해수면온도 3개월 예측	72
[그림 22] Met Office 해수면온도 6개월 예측(Nino 1+2 사례)	74
[그림 23] BoM 해수면온도 및 해수면온도 어노말리 6개월 예측 그래픽 예상도	76
[그림 24] 세부 지역 해수면온도 및 이상치 6개월 예측 시계열 그래프	77
[그림 25] 산호초 표백 위험	77
[그림 26] JMA 텍스트 예보-해수면온도 어노말리, 해류	78
[그림 27] JMA 해양건강진단 관측/예측 해역	79
[그림 28] JMA 그래픽 예상도-해수면온도	80
[그림 29] JMA 그래픽 예상도-해류	81
[그림 30] JMA 시계열 그래프-해수면온도	82
[그림 31] NIWA 해수면온도 어노말리 6개월 전망(좌), 뉴질랜드 Marine Heat Wave 조건(우)	83

[그림 32] 해양기후 정보 활용 현황 요약	84
[그림 33] 계절별 수온 변화와 연어 생산국가의 생산량	85
[그림 34] 미성숙 황다랑어 어획량과 해양학적 조건 분석	86
[그림 35] 동태평양 대형 오징어 서식지 적합성 지수 지도	87
[그림 36] 봄-여름-가을 해수면온도와 고등어 분포 상관관계	87
[그림 37] 7월-12월 줄무늬 청새치 분포 및 SST 등온선(1998~2012)	88
[그림 38] 산호초 백화 현상	89
[그림 39] NOAA 산호초 열 스트레스 모니터링 결과	89
[그림 40] 해수면온도와 해풍 영향 관계	90
[그림 41] 남아프리카공화국 림포포주의 말라리아 발생률	91
[그림 42] 해수면온도와 말라리아 영향 관계	92
[그림 43] 해양기상요인에 따른 FOC와 SOG의 변화율	93
[그림 44] 유의파고 세그먼트 피크(peak)의 전세계 분포도	94
[그림 45] 풍력발전소(좌)와 파력발전소(우)	95
[그림 46] 남태평양 진주조개 양식지	95
[그림 47] 기상 체제와 ENSO 단계에 대한 PD에서 표면 바람 어노말리(m/s)	96
[그림 48] 우리나라와 일본 주변 및 전지구 규모 해류도	97
[그림 49] 일본 쓰나미 쓰레기의 향후 5년 동안의 이동 경로 예측	97
[그림 50] 요약 및 시사점	106
[그림 51] 해양기후예측 정보 서비스 구체화 프레임워크	112
[그림 52] 해양기후예측 정보 품질에 미치는 영향(전문가 설문조사 결과)	115
[그림 53] 해양기후예측 서비스 기술 연구개발 평가·요구 분석(전문가 설문조사)	116
[그림 54] 해양기후 예측·전망 서비스의 필요성/가능성 분석(분야별)	117
[그림 55] 해양기후 예측·전망 서비스의 필요성/가능성 분석(분야별)	118
[그림 56] 전문가 설문조사 요약 및 시사점	118
[그림 58] 전문가 심층 인터뷰 결과-기술개발 방향 및 필요성	120
[그림 59] 해양기후 예측정보 공백 구간	121
[그림 60] 해양기후 예측모델 운영 현황	122
[그림 61] 전문가 회의체 구성 후보(안)	125
[그림 62] 해양기후예측 서비스의 활용성 조사	137
[그림 63] 관계기관 설문조사의 중요성-만족도 분석	138
[그림 64] IP 분석 참고	139
[그림 65] 해양기후 예측정보의 활용 설문조사 종합	141
[그림 66] 서비스 요소별 확장성 검토	145

[그림 67] 예측기간별 확장성 검토	148
[그림 68] 해양기후예측 서비스 대상구역 검토 후보(안)	149
[그림 69] 해양기후예측 서비스 대상구역 검토	150
[그림 70] 서비스 영역(대상구역)별 확장성 검토	151
[그림 71] 해양기후예측 서비스 형태	153
[그림 72] 서비스 요소별 장단점 분석	153
[그림 73] 서비스 요소별 확장성 검토	154
[그림 74] 해양기후예측 서비스 형태 및 확장성 검토	155
[그림 75] STEEP 환경 분석	158
[그림 76] SWOT 분석 내용	160
[그림 77] SWOT 분석을 통한 전략 방향 도출	161
[그림 78] 비전 및 목표	164
[그림 79] 단계별 추진계획(안)	166
[그림 80] 단계별 서비스 추진계획(안)	167
[그림 81] (전략1) 미래지향적 해양기후예측 기반조성의 연도별 로드맵	167
[그림 82] (전략2) 신뢰성 있는 해양기후서비스 제공의 연도별 로드맵	168
[그림 83] (전략3) 해양기후예측 서비스 활용 강화의 연도별 로드맵	168
[그림 84] 해양기후예측 서비스의 단계별 체계 구성(안)	169
[그림 85] 업무 추진체계(안)	170
[그림 86] 해양기후예측 정보생산 흐름도(안)	171
[그림 87] 해양기후예측정보의 생산 체계 및 자료 배포	171
[그림 88] 전문가 회의체 구성(안)	172
[그림 89] 해양기후예측정보의 환류체계(안)	173
[그림 90] 서비스 제공방식의 확장성 검토	174
[그림 91] 선행인자 제안	176
[그림 92] 중복성 검토 방법	179
[그림 93] 법제도·상위계획과의 부합성 검토 결과	182
[그림 94] 과학 기술적 타당성 분석 흐름도	183
[그림 95] 정량조사 응답자 현황	196
[그림 96] 해양기후예측 서비스 기술수준(종합)	198
[그림 97] 해양기후예측 서비스 기술수준 ... 내·외부 전문가 평가 비교	199
[그림 98] 선진국 대비 해양기후예측 서비스 기술격차	200
[그림 99] 기상청 내 육상기후예측 대비 해양기후예측 서비스 기술격차	201
[그림 100] 해양기후예측 서비스 기술 연구개발 평가·요구(IP·NU 분석)	202

[그림 101]	기후예측시스템에서 산출되는 요소의 우선순위 검토	202
[그림 102]	해양기후변수(ECVs)	203
[그림 103]	해양기후 예측·전망 서비스의 필요성/가능성 분석(분야별)	204
[그림 104]	해양기후예측 전망 기간	206
[그림 105]	해양기후예측 서비스 기술개발 역량	206
[그림 106]	해양기후예측 서비스 전망 기간 답변 분포	215
[그림 107]	해양기후예측 서비스 대상 구역 답변 분포	216
[그림 108]	해양기후예측 서비스 정보의 형태 답변 분포	217
[그림 109]	해양기후예측 서비스 정보의 제공 방식 답변 분포	218
[그림 110]	해양기후예측 서비스 정보의 생산 및 발표	220
[그림 111]	해양기후예측 연구조직의 필요성	221
[그림 112]	해양기후예측 서비스의 활용성 조사	225
[그림 113]	해양기후예측 서비스 평가	226
[그림 114]	해양기후 예측 정보 활용 현황	226
[그림 115]	해양기후 예측 정보 활용 현황	227
[그림 116]	해양기후 예측 정보 요소별 활용 예측 기간	227
[그림 117]	해양기후 예측 정보 요소별 활용 예측 기간	228
[그림 118]	해양기후 예측 정보 요소별 해역 범위	228
[그림 119]	해양기후예측 정보 활용 목적	229
[그림 120]	해양기후예측 정보 활용 분야	229
[그림 121]	해수면온도 예측 정보 기간 평가	230
[그림 122]	해상풍 예측 정보 기간 평가	231
[그림 123]	파고 예측 정보 기간 평가	232
[그림 124]	응답자 특성 - 연령대	243
[그림 125]	응답자 특성 - 지역별	243
[그림 126]	응답자 특성 - 이용목적	244
[그림 127]	응답자 특성 - 직종	244

제 1 장 연구 개요

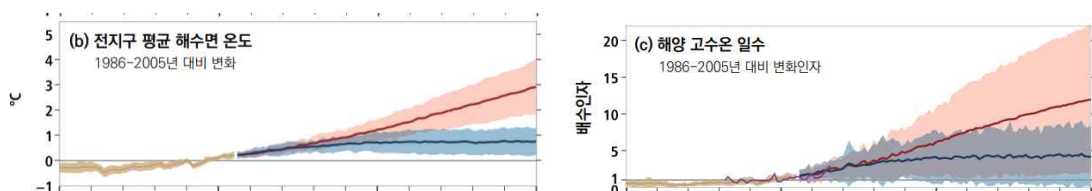
제 1 장 연구 개요

제 1 절 배경 및 목적

1. 연구 배경

가. 전 지구적 해양 기후변화의 심각성

- IPCC 「해양과 빙권 특별 보고서」, 극한 해양기후 현상의 발생 빈도가 높아질 것
 - IPCC가 2019년 승인한 「해양과 빙권 특별보고서」에 따르면 해양 온난화 추세가 계속되고 있고, 극한의 파도가 많아진 데다 상대적 해수면 상승과 결합되면서 극한 해수면 현상 및 연안 재해가 악화되고 있음
 - 1993년 이후 해양 온난화 속도는 2배 이상, 해양 고수온은 1982년 이후 빈도가 2배 이상, 강도가 증가하고 있음
 - 극한의 파고는 극한 해수면 현상, 연안 침식 및 홍수를 일으키는데, 1985~2018년 동안 남대서양 및 북대서양에서 약 10.0cm/yr 및 0.8cm/yr 씩 상승함. 북극지역의 해빙 손실은 1992~2014년동안 파고를 증가시킴
 - 해양 고수온의 빈도 및 강도는 더욱 증가하고, 날씨 패턴으로 인한 파도 변화 및 해수면 상승으로 인한 조수 변화가 연안 재해의 지역적 차이를 발생시킬 것
 - 해양이 21세기 동안 계속 온난화하면서 해양 상부의 성층이 강화될 것으로 전망하였고, 이로 인해 해양의 고수온이 강화될 것으로 전망
 - 유의파고는 RCP8.5 하에서 남대서양과 동태평양, 발트해를 중심으로는 증가하고, 북대서양과 지중해에서 감소할 것으로 예상
 - 극한 해수면 현상은 현재 100년에 한 번 지역적으로 발생하나 2050년에는 저지대 대도시 및 군소도서들을 중심으로 최소 1년에 한 차례, 2100년에는 대부분 지역에서 최소 1년에 1회 발생할 것으로 예상



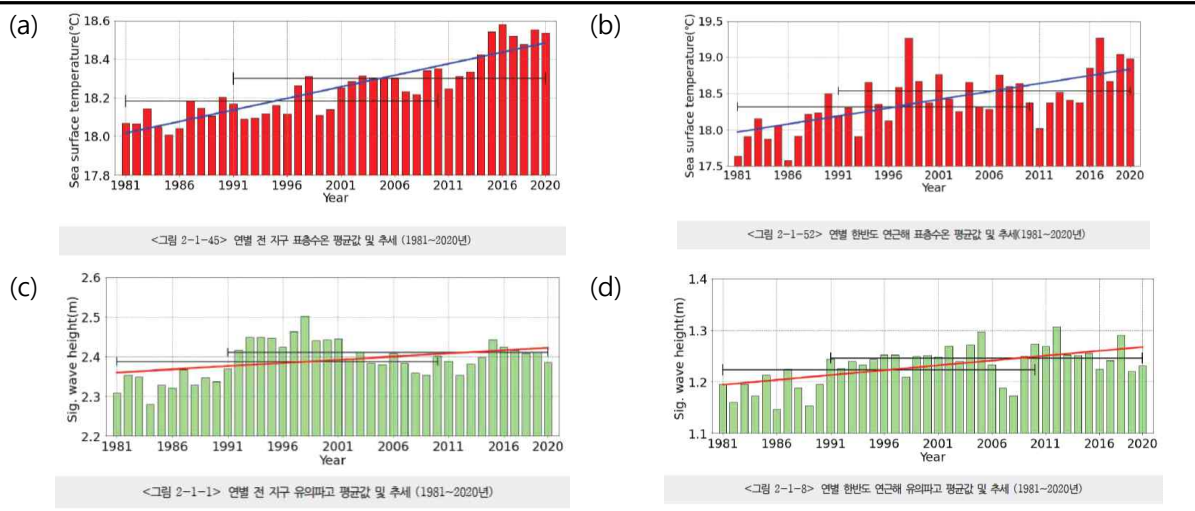
* 자료 : 기상청, "IPCC 해양 및 빙권특별보고서(최종)", 2019.9.26

[그림 1] 높아지고 있는 극한 해양기후 현상의 발생 빈도

나. 한반도 연근해 기후변화의 심각성

□ 전지구 대비 상승폭이 더 높은 한반도 연근해의 해수면온도 및 유의파고

- 전 지구적으로 해수면 온도와 유의파고의 연간 상승률은 구평년(2018~2010년)보다 신평년(1991~2020년)이 더 높으며, 특히 한반도 주변 해역에서 더 높게 나타남(기상청 「해양기후 분석 보고서(2021)」)
 - 해수면 온도의 연간 상승률은 한반도(0.021℃/yr)가 전지구(0.012℃/yr)의 약 1.8 배, 유의파고의 연간 상승률은 한반도(1.9mm/yr)가 전지구(1.6mm/yr)의 약 1.2배 높음
- 2021년 이후에도 한반도 연근해의 연평균 해수면 온도와 유의파고는 최근 10년과 비슷하거나 높았음(기상청 「2023 연 기후특성 보고서(2024)」)
 - 연평균 해수면 온도는 최근 10년의 평균(17.1℃)과 같거나 더 높았으며(2021년 17.7℃, 2022년 17.1℃, 2023년 17.5℃), 연평균 유의파고는 최근 10년의 평균(1.1m)과 비슷하였음(2021년 1.1m, 2022년 1.1m, 2023년 1.0m)
- 2024년 봄철과 여름철에도 한반도 연근해의 해수면 온도는 최근 10년(2015~2024년) 중 가장 높았고, 유의파고는 최근 10년의 평균과 비슷하였음(기상청 보도자료 2024년 봄철 기후특성”, “2024년 여름철 기후특성”)
 - 봄철 평균 해수면 온도는 14.1℃로 최근 10년 평균(13.0℃)보다 1.1℃ 높고, 최근 10년 중 가장 높았음. 봄철 평균 유의파고는 1.0 m로 최근 10년 평균과 비슷함
 - 여름철 평균 해수면 온도는 23.9℃로 최근 10년 평균(22.8℃)보다 1.1℃ 높았으며, 최근 10년 중 가장 높았음. 여름철 평균 유의파고는 0.8m로 최근 10년 평균과 비슷함



* 자료 : 기상청 “해양기후 분석 보고서”, 2021.12.

[그림 2] 1981~2020년 연별 평균값 및 추세

(a) 전지구 해수면 온도 (b) 한반도 연근해 해수면 온도 (c) 전지구 유의파고 (d) 한반도 연근해 유의파고

다. 해양 기후변화에 따른 피해 증가

□ 해수면 온도 상승과 고수온 피해 사례

- ‘역대 최장’ 고수온 특보 71일간 지속...가을 제철 수산물 어획량 급감 ‘폭염 후유증’ 농산물 이어 수산물까지 덮쳐...양식 품목에도 직격탄(시사저널, 2024.10.21.)
- 가을 전어가 사라졌다(시사저널, 2024.10.21.)
 - 가을까지 지속한 폭염의 후유증으로 꽃게, 전어 등 수산물 어획량감소로 이어져 이상기온으로 인한 ‘기후플레이션’ 이 수산물까지 영향
 - 양식업에도 고수온으로 인한 4,934만 마리의 양식어종 폐사(지난해보다 55% 증가)
- 영국 주요 소매업체에 공급하는 양식 연어 100만 마리 이상 폐사(the Guardian, 2024.10.22.)
 - Tesco, Asda 및 Sainsbury’s에 제품을 공급하는 Mowi Scotland는 해수 온도 상승이 폐사의 원인으로 지목
 - 영국 최대 연어공급업체의 양식장에서 100만 마리 이상의 물고기 폐사 기록

□ 풍랑너울 등 해양위험기상으로 인한 해양사고 사례

- 최근 3년간 해양의 풍랑특보 발표 건수에 비례하여 해양 사고가 증가하고 있음
 - 풍랑특보 발표: 2021년 518건, 2022년 605건, 2023년 629건(기상청 제공)
 - 해양사고 발생: 2021년 2720건, 2022년 2863건, 2023년 3092건(해양수산부 「2023년 해양사고 통계(2024)」)
- 최근 5년(2018~2022)간 기상악화에 의한 해양사고 발생 원인은 전체 특보 중 풍랑특보가 67%를 차지하고 있음(해양수산부 「2023년 해양사고 통계(2024)」)
 - 특보별 사고 현황: 풍랑 355건, 태풍 152건, 안개 7건, 기타 12건
- 잦아진 어선 사고... 기후변화 악천후에 무리한 조업 탓(경향신문, 2024.3.15.)



* 자료 : 시사저널, “가을 전어가 사라졌다...뜨거워진 바다에 ‘피시플레이션’”, 2024.10.21;
the Guardian, “More than 1m farmed salmon die at supplier to leading UK retailers”, 2024. 10. 22.
경향신문, “잦아진 어선 사고... 기후변화 악천후에 무리한 조업 탓”, 2024.3.15.

[그림 3] 해수면온도 상승에 의한 양식장 피해

라. 기후위기 대응을 위한 해양기후 예측정보의 중요성 증대

□ 기후변화감시예측법 25일 시행...정부의 감시·예측 역할 강화

- 기후위기에 대응하기 위해 국가 차원에서 기본계획 및 세부 절차를 마련하고 기후변화 감시 및 다양한 기후예측 정보생산을 구체화하기로 함
- 기상청과 해양수산부는 기후변화를 과학적으로 감시·예측, 기후위기에 적극적으로 대응하기 위해 ‘기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률’ (기후변화감시예측법) 과 동법 시행령의 의무사항(법조항)을 이행하기 위하여 시급히 준비 및 추진이 필요

「기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」 제8조

□ 제8조 기후예측 정보의 생산

- ① 기상청장은 기후예측에 관한 정보(이하 "기후예측 정보"라 한다)를 생산하고, 「정보통신망 이용촉진 및 정보보호 등에 관한 법률」 제2조제1항제1호에 따른 정보통신망(이하 "정보통신망"이라 한다)에 게재하는 등 적절한 방법을 통하여 국민에게 알려야 한다.
- ② 기후예측 정보의 종류는 다음과 같다.
 1. 1개월 전망 : 기후예측 대상 기간을 1개월로 하는 기후예측 정보
 2. 3개월 전망 : 기후예측 대상 기간을 3개월로 하는 기후예측 정보
 3. 기후 전망 : 기후예측 대상 기간을 계절과 연 단위로 하는 기후예측 정보
- ③ 기상청장은 기후예측 정보의 활용성 증대를 위하여 이상기후 전망 정보를 생산할 수 있다.
- ④ 해양수산부장관은 해양·극지의 환경 및 생태계에 관한 기후예측 정보를 생산하고, 정보통신망에 게재하는 등 적절한 방법을 통하여 국민에게 알려야 한다.
- ⑤ 제2항부터 제4항까지에 따른 정보의 구체적인 생산내용은 대통령령으로 정한다.

「기후·기후변화 감시 및 예측법 시행령」 제6조

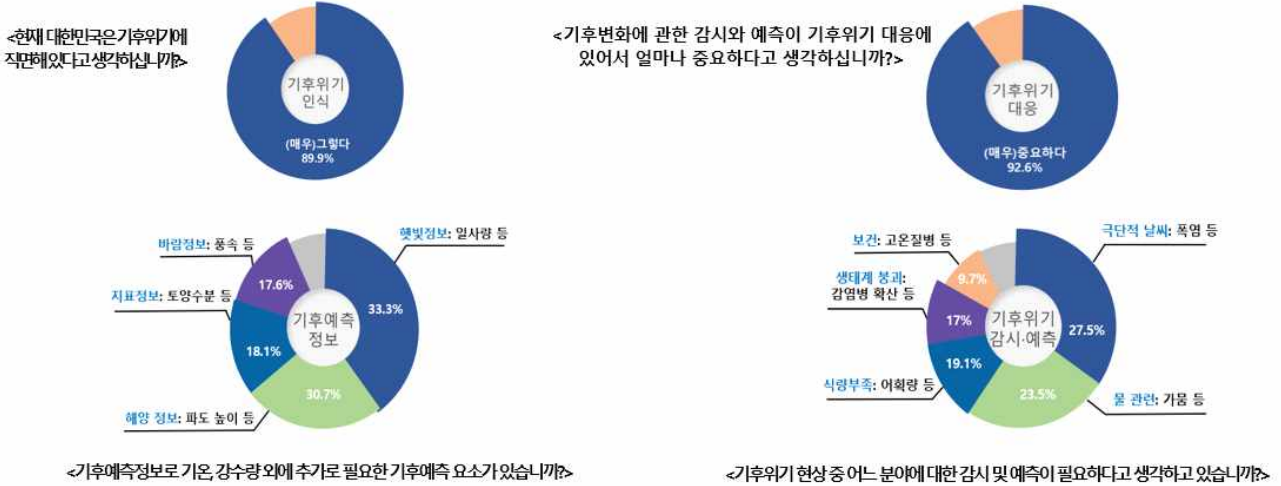
□ 제8조 기후예측 정보의 내용

- ① 기상청장이 법 제8조제2항 및 제3항에 따라 생산하는 기후예측 정보 및 이상기후 전망 정보의 구체적인 생산 내용은 다음 각 호와 같다.
 1. 강수량, 기온, 해수면 온도, 일사(日射), 바람 및 파고(波高) 등의 기후요소
 2. 엘니뇨 및 라니냐 등 기후체계 내 상호작용에 의한 현상

□ 기후변화의 심화와 해양의 변화에 대한 사회적 관심 증대

- 기후위기 대응에 해양에 대한 감시 및 예측이 필요하다는 수요자 의견이 많음 (기상청 ‘기후위기 감시 예측 서비스 발굴을 위한 대국민 설문조사’ 결과)
 - 감시와 예측이 기후위기 대응에 있어서 중요(92.6%)
 - 기온·강수 외에 ‘해수면온도 등 해양정보(32.1%)’ 의 수요가 최다

'24.4.25.~5.14. 실행, 1,706명 참여

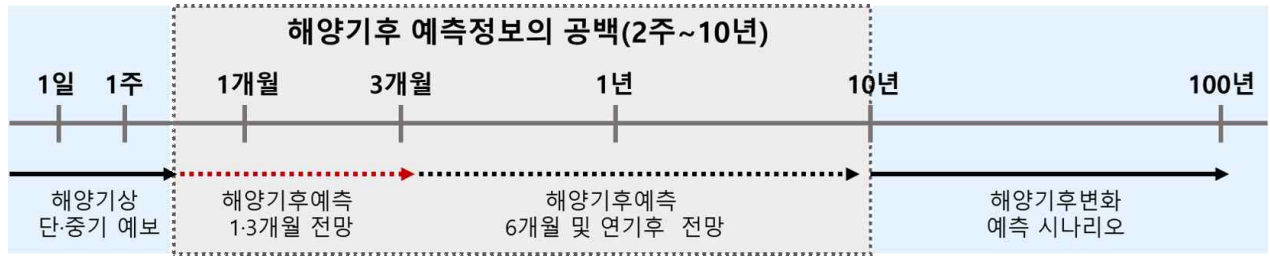


* 자료 : 기상청 보도자료, “고조되는 기후위기 불안, 국민의 목소리를 듣다”, 2024.6.4.

[그림 4] 기후위기 감시 및 예측 서비스 발굴을 위한 설문조사

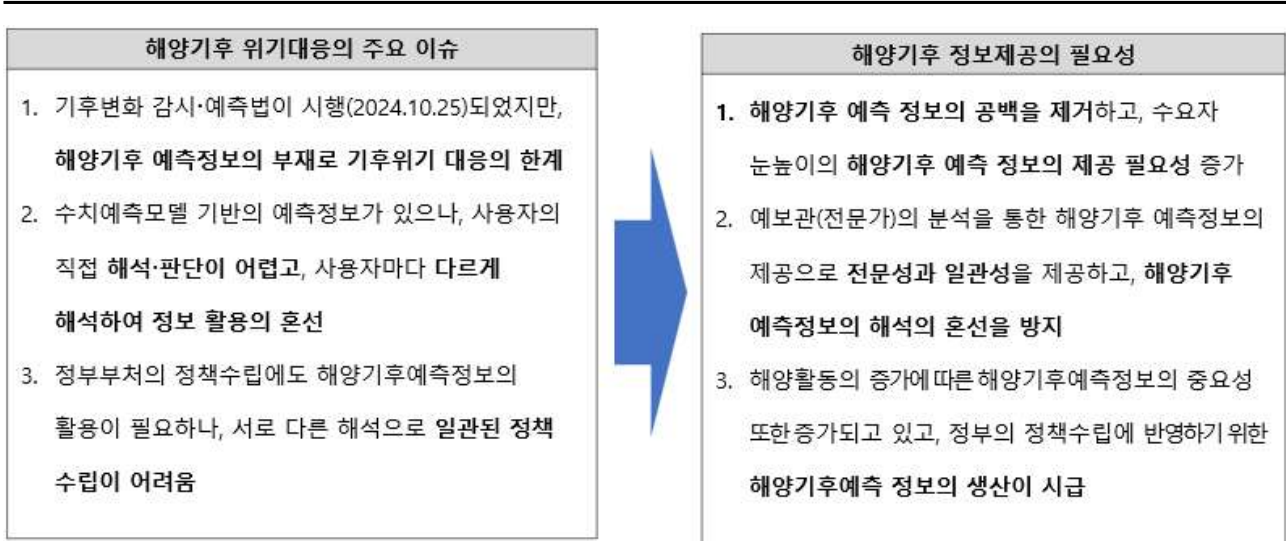
□ 기후위기 대응을 위한 해양기후 예측정보의 이슈, 필요성

- 해양기후 예측정보는 2주~10년 사이의 기간에서 해양기후 예측정보의 공백이 있고, 일부(2주~1개월) 기간은 수치모델 기반의 예측정보가 제공되고 있으나, 국민이 직접 해석하고 판단하여 사용하기에는 어려움이 있음



[그림 5] 해양기후 예측정보 공백 구간

- 부족한 해양기후 정보를 공급하고, 미흡한 서비스 체계 시급히 보완할 필요성
 - 해양기후 정보생산 및 제공 시스템을 효율화하여 접근성과 활용도를 개선하여 해양기후정보의 수요에 대응할 필요성이 있음
- 해양 분야 기후예측분석관의 전문 분석을 기반으로 육상 예측정보와 정합성 있는 해양기후 예측정보를 생산하여 일관된 기후위기 대응책 수립 지원 필요



[그림 6] 해양기후 예측정보의 이슈 및 필요성

2. 연구 목적

- 해양기후 예측정보 서비스 형태의 구체화 및 서비스 로드맵 도출
 - 서비스의 수요 및 요소별 필요성 분석
 - 서비스의 기간 및 요소, 대상구역 및 정보 생산 주기 검토
 - 대국민 제공을 위한 서비스 형태 검토
 - 연도별 해양기후 예측 서비스 로드맵 도출
- 해양기후 예측정보 서비스를 위한 연구개발 중점 추진과제 발굴
 - 해양기후 예측정보 서비스의 기술적인 제반 사항 조사
 - 선행연구 조사·분석 기반의 주요 선행인자 제안
 - 서비스 기간 확장 및 요소 확대를 위한 기술적·경제적 확장성 검토
- 해양기후 예측정보의 대국민 서비스를 위한 업무체계 구체화
 - 해양기후 예측정보의 대국민 서비스를 위한 일정 검토
 - 해양기후 예측 서비스 체계 구축을 연구 개발 방향 수립

제 2 절 연구 범위 및 수행 체계

1. 연구 범위

□ 해양기후 예측정보 제공 필요성의 구체화

- 해양 관련 이해관계자들 대상 수요조사
- 국내외 해양기후 예측(1·3개월 이상) 서비스 사례조사·분석
- 조사한 이해관계자 수요를 기반으로 해양기후 예측정보의 이해관계자별 활용방안 도출
- 해수면 온도, 파고, 해상풍 등 예측정보 제공 요소별 필요성 조사·분석

□ 해양기후 예측자료 생산을 위한 기술 사항 조사·분석

- 국내외 해양기후 예측 모델의 기술적 제반 사항 조사
- 서비스 기간 확장 및 요소 확대를 위한 기술적·경제적 확장성 검토
- 선행연구 조사·분석 기반의 해양기후 예측을 위한 주요 선행 인자 제안
- 연구개발 중점 추진과제 발굴 및 세부 실행방안 도출

□ 해양 기후예측 정보의 서비스 형태 구체화 방안 도출

- 확률예보 또는 단정예보 등 서비스 형태의 결정을 위해 해양의 시공간적 변동성과 예측성을 고려한 장단점 분석
- 현업 기후예측모델(GloSea6)의 공간해상도, 수요자의 요구, 활용 형태 등을 고려해 서비스 대상 구역 및 정보생산 주기 등 서비스 형태 제안

□ 해양 기후예측 정보 생산 및 서비스 방안 제시

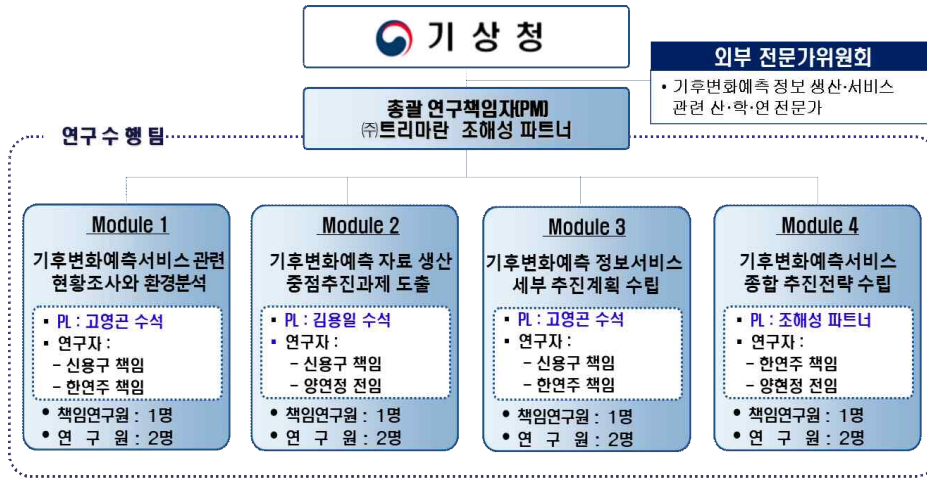
- 해양기후 예측정보 생산·제공에 따른 전문가 환류 및 정보 활용 활성화 방안 제시
- 연도별 해양기후 예측 서비스 로드맵 도출 및 서비스 시행을 위한 업무체계 제시

2. 수행 체계 및 방법

가. 수행 체계도

□ 연구의 효율적 추진을 위해 연구책임자의 총괄 주관으로 4개의 모듈로 구성 및 운영

- 각 연구 모듈별 PL은 공학적 전문성과 기술기획 및 경영전략 수립에 대한 전문성을 보유한 책임급 이상 컨설턴트로 사업추진
- 참여연구원은 환경·해양 분야 연구원을 포함한 산업공학, 전자공학 등 공학분야와 기술경영, 경영학 등 인문·경영분야 전공자로 구성



[그림 7] 연구수행 조직

□ 연구의 전문성 및 객관성, 신뢰성 증대를 위해 전문가들로 구성된 자문위원회 운영

- 자문위원은 해양기후예측 관련 전문가(교수, 연구자, 기상청 소속)로 구성하여 전문적인 토의 및 결론을 도출할 수 있도록 구성
- 운영 목적 및 역할: 해양기후예측 서비스 추진을 위한 전략방안 도출
 - 기후예측 모델 및 수요를 고려한 서비스 형태 도출
 - 예측정보 생산을 위한 분석기술 발굴
 - 서비스 추진 및 확장을 위한 기술개발 방안 도출
- 구성: 기획위원회 및 3개의 소위원회(총 14명, 기상청 관계자와 협의를 거쳐 구성)
 - 기획위원회: 기상청 해양기상과장, 해양기후 분야의 전문가 3명으로 구성
 - 소위원회: 기획위원을 위원장으로 외부전문가 2명, 기상청 전문가 3명으로 구성

구분	기획위원회	소위원회3	소위원회2	소위원회1	기획위원회
외부	김백민 교수 국종성 교수 예상욱 교수	예상욱 교수 황유근 교수 민승기 교수	국종성 교수 박원선 교수 김영호 교수	김백민 교수 남상현 교수 김형석 교수	김백민 교수 국종성 교수 예상욱 교수
내부	-	유승협 과장 부경은 부장	유승협 과장 박병권 과장	유승협 과장 조경숙 과장	-
당연직	박승균 과장	박승균 과장	박승균 과장	박승균 과장	박승균 과장

[그림 8] 자문위원회 구성 및 운영 체계

<표 27> 자문단 현황

번호	소속	성명	전문 분야	소속	직책
1	기획위원회	박승균	■ 해양기후	기상청 해양기상과	과장
2	기획위원회	예상욱	■ 기후변화에 따른 기후변동성의 변화 예측 연구 ■ 해양-대기 상호작용 연구 ■ 한반도 연근해 변동성 연구	한양대학교	교수
3	기획위원회	국종성	■ 기후변화 및 예측 전공 ■ 기후시스템 연구	서울대학교	교수
4	기획위원회	김백민	■ 해양기후 연구 ■ 위험기상/이상기후	부경대학교	부교수
5	소위원회	함유근	■ 기후환경 AI 융합, AI 기반 기후 예측 ■ AI 기반 자료동화 ■ 기후 변동/변화 메커니즘 연구	서울대학교	부교수
6	소위원회	민승기	■ 해양기후 연구 ■ 기후분석기술, 기후모델	포항공대	교수
7	소위원회	박원선	■ 기후물리, 탄소중립, 기후모델 연구	부산대학교	교수
8	소위원회	김영호	■ 해양기후 연구 ■ 해양순환모델 연구	부경대학교	조교수
9	소위원회	남성현	■ 해양물리, 해양순환모델	서울대학교	교수
10	소위원회	김형석	■ 태풍 및 재해기상 ■ 기후변화 및 예측 ■ 해양-대기 상호작용	한국해양대학교	교수
11	소위원회	유승협	■ 해양기후	기상청 파견	과장
12	소위원회	부경운	■ 해양기후 예측 모델	국립기상과학원	부장
13	소위원회	조경숙	■ 기후예측	기상청 기후예측과	과장

나. 수행 전략

□ 자문위원회 및 산·학·연·관 전문가 의견 수렴을 통한 서비스 전략 도출

- 기획위원회를 통한 정책연구 방향 수립
- 전문가 의견 조사(심층 인터뷰 및 설문조사)를 통한 이슈 분석
- 소위원회를 통한 서비스 기본 방향 수립
- 이해관계자 및 대국민 설문조사를 통한 방향성 검증
- 기획위원회를 통한 우선순위 도출 및 추진전략 마련

□ 자문위원회 운영 방안

○ 기획위원회는 전략의 방향 검토, 소위원회는 중점 논의 주제에 대한 토의

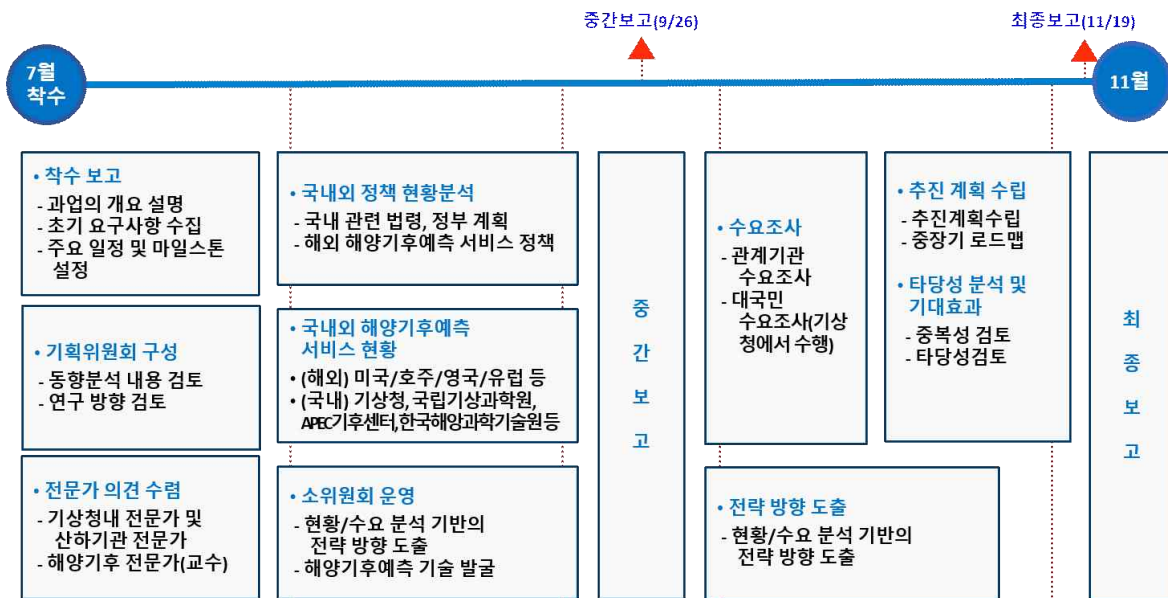
기획위원회	연구 기획 방향 설정 및 소위원회 논의사항을 종합한 해양기후예측 서비스 추진전략 수립	
주요 논의주제	해양기후예측서비스 형태 해양기후예측서비스 업무 체계 해양기후관측자료 확보 방안 해양기후예측을 위한 협력 체계 구축 해양기후예측정보 활용 방안	해양기후예측 모델 개발 해양기후예측정보 생산서비스 기술 개발 해양기후예측 분석기술 개발
최종목표	해양기후예측 서비스 방안 수립	연차별 연구과제 도출을 통한 연구개발 중장기 로드맵 수립

[그림 9] 자문위원회 운영 방안

다. 추진 경위

□ 주요 연구의 추진 경위

○ 착수보고회의('24.7.11)를 시작으로 국내외 현황 분석, 기획위원회 구성, 전문가 인터뷰에서 다양한 의견을 수렴하고, 소위원회에서 서비스 추진방안의 이슈를 토의 하였고, 기획위원회에서 추진 방향을 도출하여 구체적인 추진전략을 마련



[그림 10] 과제 추진 경과

<표 28> 전략 도출 경과

	구분	주요내용	기간
연구 방향 수립	기획위원회	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (목적) 해양기후예측 서비스 추진전략 연구 방향성 검토 및 소위원회 구성 협의, 서비스 구체화 프레임워크 설계 ▪ (방법) 기획위원회 회의 	'24.8.9
이슈 분석 ↓ 서비스 방안 구체화 ↓ 수요조사 및 방향성 검증	전문가 설문조사	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (목적) 해양기후예측 서비스 관련 역량진단, 연구개발 우선순 위 분석, 서비스 방안 등에 대한 설문 ▪ (방법) 개인별 설문조사 ▪ (대상) 기상청과 산하기관 전문가, 해양기후 분야 연구자 33명 	'24.8.6. ~ '24.8.20.
	전문가 심층인터뷰	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (목적) 해양기후예측 서비스의 업무체계 및 서비스 형태 구체화를 위한 기상청 및 소속 산하기관 전문가(keyman)의 현장 의견 수렴 ▪ (방법) 심층 인터뷰 ▪ (대상) 기상청과 산하기관의 관련 분야 전문가 16명 	'24.8.6. ~ '24.8.13.
	소위원회 운영	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 현업 기후예측모델(GloSea6)의 공간해상도, 수요자의 활용 형 태 등을 고려해 해양기후 예측정보 서비스 형태 도출 ▪ 해양기후 예측 서비스를 위해 필요한 모델 개발·개선 방안 도출 ▪ 해양기후 감시 및 예측정보 생산을 위한 예측·분석 기술 발굴 	'24.9.6. ~ '24.9.11.
	관계기관 설문조사	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (목적) 해양기후예측 서비스 관련 관계기관(정부, 지자체, 기업, 연구자 등)에 대한 활용에 대한 의견 수렴 ▪ (방법) 개인별 설문조사 ▪ (대상) 정부, 지자체, 기업연구자 등 총 42명 	'24.10.15. ~ '24.10.30.
	대국민 설문조사	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (목적) 해양기후예측 서비스 활용 방안 도출을 위한 대국민 설문조사 ▪ (방법) 온라인 설문조사(소통24) ▪ (대상) 대국민/1,613명 (일반국민 74.4%, 해양업무종사자 23.9%) <p>※ 기상청 조사 결과 활용</p>	'24.10.16. ~ '24.10.22.
최종 전략 도출	기획위원회	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (목적) 해양기후예측 서비스의 추진 전략 방향 결정 ▪ (방법) 기획위원회 회의 	'24.11.19.

□ 자문위원회 상세 활동 경과

○ 총괄 기획위원회 2회, 소위원회 3회, 총 5회의 기획위원회 운영

<표 29> 기획위원회 및 소위원회 활동 경과

구분	주요 회의 내용	참석자	장소/일자
기획위원회 1차	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양기후예측 서비스 추진전략 연구 방향성 검토 ■ 소위원회 구성 협의 	기상청(3) 기획위원(3) 연구진(3)	기상청 2024.8.9
소위원회 1 (위원장: 김백민 교수)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양기후 1.3개월 전망의 모델 개발·개선 방안 도출 ■ 현업 기후예측모델(Glosea6)의 공간해상도, 수요자의 수요, 활용 형태 등을 고려해 해양기후 예측정보 서비스 형태 도출 ■ 해양기후 감시 및 예측정보 생산을 위한 분석기술 발굴 	기상청(3) 기상청 전문가(3) 외부 전문가(3) 연구진(3)	온라인회의 2024.9.11
소위원회 2 (위원장: 국종성 교수)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양기후 1.3개월 전망의 모델 개발·개선 방안 도출 ■ 현업 기후예측모델(Glosea6)의 공간해상도, 수요자의 수요, 활용 형태 등을 고려해 해양기후 예측정보 서비스 형태 도출 ■ 해양기후 감시 및 예측정보 생산을 위한 분석 기술 발굴 	기상청(3) 기상청 전문가(3) 외부 전문가(3) 연구진(3)	온라인회의 2024.9.9
소위원회 3 (위원장: 예상욱 교수)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양기후 1.3개월 전망의 모델 개발·개선 방안 도출 ■ 현업 기후예측모델(Glosea6)의 공간해상도, 수요자의 수요, 활용 형태 등을 고려해 해양기후 예측정보 서비스 형태 도출 ■ 해양기후 감시 및 예측정보 생산을 위한 분석 기술 발굴 	기상청(3) 기상청 전문가(3) 외부 전문가(3) 연구진(3)	온라인회의 2024.9.6
기획위원회 2차	<ul style="list-style-type: none"> ■ 서비스 추진방향 검토 및 추진전략 확정 ■ 상세 추진일정 및 연구개발 계획 검토 ■ 중점 연구분야, 우선순위 도출 	기상청(3) 기획위원(3) 연구진(3)	기상청 2024.11.5

제 2 장 현황 분석

제 2 장 현황 분석

제 1 절 해양기후 예측 정책 동향

1. 국내 동향

- 국내 정부는 기후위기 대응을 위해 기후변화 감시·예측 역량 강화를 강조하고 있으며, 최근 「기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」이 제정되어 해양 기후예측 정보의 생산이 의무화됨
 - 윤석열 정부 120대 국정과제 87-5. ‘기후위기 감시·예측 역량 강화(기상청)’ (대한민국 정부, 2022. 07)를 통해 예측 기술 개발 및 맞춤형 기상 정보 제공을 목표¹⁾
 - 기후변화 감시·예측 역량 강화를 위해 AI, 빅데이터 등 기반 기후변화 및 위험기상 예측 첨단 기술을 개발하고 국민 체감형·재생에너지 맞춤형 기상 정보 제공을 목표
 - 제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(2023~2025)(관계부처 합동, 2023. 06.)을 통해 ‘기후위기에 안전하고 회복력 높은 대한민국’이라는 비전으로 3대 목표 및 4대 정책 방향을 발표²⁾
 - 「기후위기 대응을 위한 탄소 중립·녹색성장 기본법」 제38조, 동법 시행령 제41조에 따라 수립된 ‘제3차 국가 기후위기 적응대책(2021~2025)’에 액션플랜 등 보완하기 위하여 수립

[참고] 국가 기후위기 적응대책 주요 내용

- 기후위기에 대한 감시·예측·제공·활용 능력 향상에 관한 사항
- 부문별·지역별 기후위기의 영향·취약성 평가 및 적응대책에 관한 사항
- 기후위기에 따른 취약계층·지역 등의 재해 예방에 관한 사항
- 녹색생활운동과 기후위기 적응대책의 연계 추진에 관한 사항
- 기후위기 적응을 위한 국제협약 등에 관한 사항

- 목표

- 과학적 예측에 기반한 적응대책 지원
- 기후재난 예방으로 국민피해 최소화

1) 대한민국 정부, 윤석열정부 120대 국정과제, 2022. 07.

2) 관계부처 합동, 제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(2023 ~ 2025), 2023. 06.

- 모든 적응 주체가 함께하는 역량 제고
- 정책 방향
- 과학적 기후 감시·예측 및 적응기반 고도화
 - 기후재난·위험을 극복한 안전사회 실현
 - 기후위기에 적응하는 사회적 기반 구축
 - 모든 주체가 함께하는 기후적응 추진

비전	기후위기에 안전하고 회복력 높은 대한민국	
목표	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 과학적 예측에 기반한 적응대책 지원 ◆ 기후재난 예방으로 국민피해 최소화 ◆ 모든 적응 주체가 함께하는 역량 제고 	
4대 정책	① 과학적 기후 감시·예측 및 적응 기반 고도화	<ul style="list-style-type: none"> • 기후위기 감시 체계 및 예측 강화 • 기후위기 적응정보 생산 및 기술개발 촉진
	② 기후재난 위험을 극복한 안전사회 실현	<ul style="list-style-type: none"> • 홍수·가뭄 대비 물관리 강화 • 산불·산사태 등 산림재해 예방 • 폭염·한파 등 이상기온 대비 건강피해 사전예방 강화
	③ 기후위기에 적응하는 사회적 기반 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 기후위기에 따른 주택·도시·기반시설 재해대응력 강화 • 기후위기 적응형 항만·해양공간 조성 • 지속가능한 농수산 환경 조성 • 생태계 안정성 유지
	④ 모든 주체가 함께하는 기후적응 추진	<ul style="list-style-type: none"> • 기후위기 취약계층 등에 대한 국가적 보호 강화 • 기후재난 대비 대응역량 제고 • 국민과 함께하는 적응 거버넌스 구현

* 자료 : 관계부처 합동, 제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(2023~2025), 2023. 06.

[그림 11] 제3차 국가 기후위기 적응 강화대책 비전체계도

- 기후예측과 관련하여 기후예측시스템 기반 및 기술 개발, 수요자 맞춤형 기후 위기 적응정보 제공 등 과학적 기후예측 고도화를 강조

<표 30> 제3차 국가 기후위기 적응 강화대책 정책방향 주요 내용

구분	구분	주요 내용
정책방향 1 과학적 기후 감시·예측 및 적응기반 고도화	1-1. 기후위기 감시체계 및 예측 강화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기후위기 종합감시체계 다원화 및 활용·협력 체계 강화 ▪ 기후전망 생산기술 개발과 차기 시나리오 선제 대비 ▪ 기후위험 조기에측 기술 개발 및 의사결정 지원
	1-2. 기후위기 적응정보 생산 및 기술개발 촉진	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 적응정보 종합플랫폼 마련 및 수요자 맞춤형 정보 제공 ▪ 기후위기 적응정보 시각화 및 평가방식 고도화 ▪ 감시·예측, 대응 순과정에 걸친 적응기술 개발 촉진
정책방향 2 기후재난·위험을 극복한 안전사회 실현	2-1. 홍수·가뭄에 대비한 물관리 강화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 극한홍수 발생의 골든타임 확보 및 인프라 개선 ▪ 장기연속 가뭄의 대응역량 강화 및 물관리 고도화 ▪ 기후위기에도 안정적인 건강한 물환경 구축
	2-2. 산불·산사태 등 산림재해 예방	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 잦아지고 대형화되는 산불에 선제적인 대응체계 마련 ▪ 산사태취약지역 피해저감 및 복구 강화 ▪ 기후변화로부터 산림 생태계 보호
	2-3. 폭염·한파 등 이상기온 대비 건강 피해 사전예방 강화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 폭염·한파 모니터링 및 피해 최소화 ▪ 기후변화 기인 질병 연구·감시 및 대응역량 제고 ▪ 건강민감계층 피해 확대에 따른 보호기반 강화
정책방향 3 기후위기에 적응하는 사회적 기반 구축	3-1. 기후위기에 따른 주택·도시·기반시설 재해대응력 강화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 재해취약주택 중점관리 및 건축물 적응력 제고 ▪ 이상기후 대응을 위한 사회기반시설 관리 강화 ▪ 지역중심 기후적응 도시계획 구축
	3-2. 기후위기 적응형 항만·해양공간 조성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 연안재해 예방을 위한 정보제공 강화 ▪ 연안재해 대비 항만보강 및 설계기준 개선 ▪ 한국형 연안재해 대응기술 개발 및 전문성 강화
	3-3. 지속가능한 농수산 환경 조성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농수산 생산·기상 정보 고도화 및 기후재난 대응 ▪ 기후재해 대응 생산기반 적응력 제고 ▪ 기후적응형 기술·품종 개발 및 인프라 스마트화
	3-4. 생태계 안정성 유지	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기후위기로부터 생태계 보호를 위한 모니터링·정보제공 강화 ▪ 생물대발생 등 생태계 기후재난 위험 대응 강화 ▪ 기후위기 취약생물 보호 및 생태계 다양성·안정성 증진 추진
정책방향 4 모든 주체가 함께하는 기후적응 추진	4-1. 기후위기 취약대상 등에 국가적 보호 강화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기후위기 취약계층 현황 파악 및 적응수단 발굴 ▪ 기후위기 취약계층 건강관리 및 에너지부담 경감 ▪ 취약계층 주거환경 개선 및 취약지역 평가·지원
	4-2. 기후재난 대응역량 제고	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 신속·정확한 재난 정보제공 체계 구축 ▪ 현장 대응·복구를 위한 대책 및 지원 강화 ▪ 함께 만들어가는 안전문화 확산
	4-3. 국민과 함께하는 적응 거버넌스 구현	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 적응사회 제도적·협력적 기반 강화 및 의사결정 지원 시스템 개발 ▪ 모든 적응주체의 적응역량 강화 및 내실화 ▪ 국민 눈높이에 맞는 홍보·교육 및 국제협력 강화

* 자료 : 관계부처 합동, 제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(2023~2025), 2023. 06.

- 제4차 기상업무발전 기본계획(2023~2027)(기상청, 2022. 12.)을 통해, ‘다시 도약하는 기상·기후서비스 더욱 안전한 국민의 나라’ 라는 비전으로 3대 발전목표 및 4대 전략을 발표³⁾
 - 국가 기상 업무의 건전한 발전을 도모함으로써 기상재해로부터 국민의 생명과 재산을 보호하고 공공복리를 증진할 목적으로 「기상법」 제5조를 근거로 수립되는 5개년 기본계획
 - 기상 업무에 관한 정책의 기본 방향, 기술연구 추진과 실용화 촉진, 국제 협력 등에 관한 사항을 주요 내용으로 하며, 현 정부의 국정 기조, 기상청 소관 법정계획, 분야별 중장기 계획과의 정합성 및 연계성을 유지
 - 현 정부 국정과제 중 기상청 소관 실천과제 : 87-5 기후위기 감시·예측 역량 강화(환경부 주관, 기상청 협조), 87-6 위험한 날씨와 지진에 준비된 사회 구현(기상청 주관)
 - 법정 기본계획 : 기상산업진흥 기본계획, 지진·지진해일·화산의 관측 및 정보에 관한 기본계획
 - 분야별 중장기계획 : 관측업무발전 기본계획, 기후업무발전 기본계획
 - 발전목표
 - 기후변화에 따른 날씨 변동성·위험성 증가에 대응하여 사회·경제적 영향을 고려하는 예·특보서비스 제공
 - 기후·기후변화 정보 고도화로 기후위기 극복 지원 강화, 신뢰도 높은 과학정보 제공
 - 세계 수준을 선도하는 초격차 미래 기상기술 확보
 - 전략
 - 안전사회를 위한 위험기상·지진 대응역량 강화
 - 기후위기 극복을 지원하는 기후·기후변화정보 고도화
 - 미래 도약의 기반인 초격차 기상·기후기술 확보
 - 풍요로운 사회 조성을 위한 기상·기후 가치 확산
 - 기후예측과 관련하여 기상 및 기후 대응역량 강화를 위해 기후예측시스템 개선, 차세대 기후예측모델 개발 등을 강조
 - 상세 해양기상정보 개발(유의파고, 파주기, 해상풍 등), 파도넘침 예측 서비스 등, 수요자별 맞춤형 위험기상 대응체계 구축
 - 기후예측모델 앙상블 자료의 가공·활용 기술 개발, 현업 기후예측시스템 개선, 다양한 수요대응을 위한 차세대 기후예측시스템 개발, 세계 수준의 수치예측역량 확보
 - 한국형 수치모델 고도화, 파세대 통합형 수치예보모델 개발, AI기술을 활용한 관측정보-수치모델 예측정보 융합

3) 기상청, 제4차 기상업무발전 기본계획(2023 ~ 2027), 2022. 12.

비전

다시 도약하는 기상·기후서비스
더욱 안전한 국민의 나라!

발전목표

- ◆ 사회·경제적 영향을 고려하는 예·특보서비스 제공
- ◆ 기후위기 극복을 위한 신뢰도높은 과학정보 제공
- ◆ 세계수준을 선도하는 초격차 미래 기상기술 확보

전략1 안전사회를 위한 위험기상·지진 대응역량 강화

- 1-1. 기상-방재 융합을 위한 상세 예특보로의 서비스 전환
- 1-2. 협력을 통한 분야별 맞춤형 안전기상정보 강화
- 1-3. 첨단 위험기상 감시·관측체계 고도화
- 1-4. 영향 기반 지진정보서비스로의 패러다임 전환

전략2 기후위기 극복을 지원하는 기후·기후변화정보 고도화

- 2-1. 기후위기 종합 감시 및 분석 역량 강화
- 2-2. 기후변화 예측정보의 과학적 근거 견고화
- 2-3. 기후위기 감시·예측의 제도·기술 마련

전략3 미래도약의 기반인 초격차 기상·기후기술 확보

- 3-1. 미래예측역량 향상을 위한 원천기술 마련
- 3-2. 사회현안 해결에 기여하는 융합기술 개발

전략4 풍요로운 사회 조성을 위한 기상기후 가치 확산

- 4-1. 녹색산업의 혁신성장을 지원하는 기상산업 육성
- 4-2. 글로벌 리더십 강화 및 인적·문화적 성장기반 마련

* 자료 : 기상청, 제4차 기상업무발전 기본계획(2023 ~ 2027), 2022. 12.

[그림 12] 제4차 기상업무발전 기본계획(2023 ~ 2027) 비전체계도

<표 31> 제4차 기상업무발전 기본계획(2023 ~ 2027) 전략별 주요 내용

구분		주요 내용
전략 1 안전사회를 위한 위험기상·지진 대응역량 강화	1-1. 기상·방재 융합을 위한 상세 예특보로의 서비스 전환	<ul style="list-style-type: none"> ■ 정교한 방재활동을 지원하는 지역별 상세 특보체계 구축 ■ 기상재해 대응 영향기반 의사결정 지원체계 강화 ■ 더욱 정교한 지능화 기반 상세예보체계로 전환
	1-2. 협력을 통한 분야별 맞춤형 안전기상정보 강화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 서울·수도권 중심 위험기상 정보 제공 강화 ■ 부처 협력 확대·강화로 분야별 국가안전체계 강화 ■ 수요자별 맞춤형 위험기상 대응체계 구축 ■ 일상 속으로 스며드는 날씨정보 소통·전달체계 구축
	1-3. 첨단 위험기상 감시·관측체계 고도화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기상위성·레이더 등 첨단 원격관측장비 확충 ■ 첨단 기상장비 기반의 한반도 3차원 입체 기상관측망 구축 ■ 국가 기상관측자료 공동활용을 위한 기상측기 관리체계 강화 ■ 미래지향적 기상관측업무 기반 마련
	1-4. 영향 기반 지진정보서비스로의 패러다임 전환	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국가주요시설 중심 신속한 지진경보체계 도입 ■ 빈틈없이 전달되는 지진정보 전달체계 구축 ■ 지진해일·화산 재난 대응을 위한 관측·경보체계 고도화
전략 2 기후위기에 대응하는 기후·기후변화 정보 고도화	2-1. 기후위기 종합 감시 및 분석 역량 강화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기후위기에 대한 다각적 추적·분석 역량 강화 ■ 동아시아·한반도 기후변화 감시 기반 확대
	2-2. 기후변화 예측정보의 과학적 근거 견고화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 실효성 높은 상세 기후예측정보 제공 ■ 체감도 높은 기후위기 영향정보 분석·제공
	2-3. 기후위기 감시·예측의 제도·기술 마련	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기후위기 감시·예측업무의 총괄·지원 기능 강화 ■ 국가 기후변화 예측기술 선도
전략 3 미래도약의 기반인 초격차 기상·기후기술 확보	3-1. 미래예측역량 향상을 위한 원천기술 마련	<ul style="list-style-type: none"> ■ 한계돌파형 기상과학 기초연구 집중투자 강화 ■ 세계를 선도하는 수치예보기술 확보 ■ 인공지능·빅데이터 융합기술 등을 활용한 미래 기상기술 개발 ■ 미래 기상·기후 기술을 위한 든든한 컴퓨팅 역량 확보
	3-2. 사회현안 해결에 기여하는 융합기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미래사회 대비 기상·비기상정보 융합 확대 ■ 미래 항공교통 체계 대비 스마트 항공기상서비스체계 구축 ■ 도시생활 특화 기상·기후서비스 활성화
전략 4 풍요로운 사회 조성을 위한 기상기후 가치 확산	4-1. 녹색산업의 혁신성장을 지원하는 기상산업 육성	<ul style="list-style-type: none"> ■ 민간 기상산업 시장의 혁신적 성장 뒷받침 ■ 기상관측장비 핵심기술 개발 및 수출지원 강화 ■ 기상기후데이터·융합기술 기반 기상산업 인프라 조성
	4-2. 글로벌 리더십 강화 및 인적·문화적 성장기반 마련	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국제사회에서의 역할 강화 및 주도적 참여 확대 ■ 남북관계 개선 대비 공동협력 기반 조성 ■ 기상전문인력 양성 및 기상과학문화 보급 확대

* 자료 : 기상청, 제4차 기상업무발전 기본계획(2023 ~ 2027), 2022. 12.

- 제5차 과학기술 기본계획(2023~2027)(과학기술정보통신부, 2022. 12.)을 통해 ‘과학기술혁신이 선도하는 담대한 미래’ 라는 비전으로, 3대 추진전략을 발표⁴⁾
 - 과학기술기본법 제7조에 따른 과학기술 분야 최상위 계획으로서 「제5차 과학기술 기본계획(2023~2027)」 수립을 통해 향후 5년간의 정책 결정·추진
 - 추진전략 : ‘질적 성장을 위한 과학기술 체계 고도화’, ‘혁신 주체의 역량 제고 및 개방형 생태계 조성’, ‘과학기술 기반 국가적 현안 해결 및 미래 대응’
 - 기후예측과 관련하여 기후변화 감시 및 차세대 기후예측 시스템 개발을 제시
 - 범지구적 기후재난에 대한 징후감지·관측·예측·영향 분석기술 고도화
 - 글로벌 기후예측 및 단·중기 기상데이터 활용, 징후감지, 기상위성 기반 기후재난 관측, 중장기 기후재난 전망 등
- 「기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」(2023. 10. 24. 제정)을 통해 해양에 대한 기후예측 정보 생산이 법적으로 의무화⁵⁾
 - 기후·기후변화에 대한 과학적인 감시 및 예측 등에 필요한 사항을 정하여 기후변화로부터 생태계 및 기후체계를 보호하고 공공복리를 증진하는 데에 이바지하기 위하여 2023. 10. 24. 제정

[참고] 「기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」

제8조(기후예측 정보의 생산)

- ① 기상청장은 기후예측에 관한 정보(이하 “기후예측 정보”라 한다)를 생산하고, 「정보통신망 이용촉진 및 정보보호 등에 관한 법률」 제2조제1항제1호에 따른 정보통신망(이하 “정보통신망”이라 한다)에 게재하는 등 적절한 방법을 통하여 국민에게 알려야 한다.
- ② 기후예측 정보의 종류는 다음과 같다.
 1. 1개월전망: 기후예측 대상 기간을 1개월로 하는 기후예측 정보
 2. 3개월전망: 기후예측 대상 기간을 3개월로 하는 기후예측 정보
 3. 기후전망: 기후예측 대상 기간을 계절과 연 단위로 하는 기후예측 정보
- ③ 기상청장은 기후예측 정보의 활용성 증대를 위하여 이상기후 전망 정보를 생산할 수 있다.
- ④ 해양수산부장관은 해양·극지의 환경 및 생태계에 관한 기후예측 정보를 생산하고, 정보통신망에 게재하는 등 적절한 방법을 통하여 국민에게 알려야 한다.
- ⑤ 제2항부터 제4항까지에 따른 정보의 구체적인 생산내용은 대통령령으로 정한다.

4) 과학기술정보통신부, 제5차 과학기술기본계획(2023 ~ 2027), 2022. 12.

5) 국가법령정보센터 홈페이지(law.go.kr)

[참고] 「기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」시행령(안) 제6조

제6조(기후예측 정보의 내용)

- ① 기상청장이 법 제8조제2항 및 제3항에 따라 생산하는 기후예측 정보 및 이상기후 전망 정보의 구체적인 생산내용은 다음 각 호와 같다.
 1. 강수량, 기온, 해수면 온도, 일사(日射), 바람 및 파고(波高) 등의 기후요소
 2. 엘니뇨 및 라니냐 등 기후체계 내 상호작용에 의한 현상

[참고] 「기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」시행규칙 제5조

제5조(기후예측 정보 및 이상기후 전망 정보의 주기 등)






- ① 기상청장은 법 제8조제1항에 따라 기후예측 정보를 다음 각 호의 구분에 따른 주기로 국민에게 알려야 한다.
 1. 법 제8조제2항제1호에 따른 1개월전망: 주 1회
 2. 법 제8조제2항제2호에 따른 3개월전망: 월 1회
 3. 법 제8조제2항제3호에 따른 기후전망: 다음 각 목의 구분에 따른 주기
 - 가. 계절 단위: 계절별 1회
 - 나. 연 단위(1년 단위 및 1년 초과 10년 이하의 연 단위): 연 1회
- ② 기상청장은 법 제8조제3항에 따라 이상기후 전망 정보를 다음 각 호의 구분에 따른 주기로 생산할 수 있고, 생산한 정보를 국민에게 알릴 수 있다.
 1. 1개월전망: 주 1회
 2. 3개월전망: 월 1회
- ③ 제1항 및 제2항에서 규정한 사항 외에 기후예측 정보의 제공 및 이상기후 전망 정보의 생산 등에 관하여 필요한 세부 사항은 기상청장이 정한다.

- 기후업무 강화계획(2024~2027)(기상청, 2024. 4.)를 통해 중점 추진전략인 ‘미래 수요에 부합하는 선진 기후·기후변화 서비스’를 위해 해양의 기후·기후변화 정보 서비스 강화를 추진과제로 발표
 - 「기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」의 제정(2023. 10. 24. 제정)에 따라 기존에 수립된 ‘제4차 기후업무발전 기본계획(2023~2027)’을 보완한 기상청 기후업무에 대한 중장기적 로드맵
 - 중점 추진전략 2 ‘미래 수요에 부합하는 선진 기후·기후변화 정보 서비스’의 주요 추진과제로 ‘탄소 중립 시대를 뒷받침하는 해양 기후 및 기후변화 정보 서비스 강화’를 발표
 - 해양 기후 및 기후변화 예측 정보 서비스를 위한 기반 구축
 - 해양 부문 효율적 의사결정 지원을 위한 해양기후 서비스 강화
 - 해양기후 예측을 위한 예보관 분석 지원 강화

2. 해외 동향

가. 국제기구

- WMO는 날씨와 기후 예측모델의 차별적, 독립적 개발에서 벗어나 연속적인 시공간 규모(주 ~ 수십 년)를 구현할 수 있도록 수렴하는 기후예측시스템의 필요성을 제시
 - 계절내, 계절, 수십년, 환경 등 모델 관련 워킹그룹을 조직하여, ‘지구시스템 모델링 및 관측’ 프로젝트, ‘향후 10년 모델링’ 위대한 도전(grand challenge) 사업, AI, 빅데이터 기반 모델과 관측 융합·제공 ‘디지털 어스’ 새로운 활동 추진
 - WMO Strategic Plan 2024 ~ 2027(WMO)를 통해 기후예측 관련 주요 목표들을 제시⁶⁾
 - ‘2030년까지 기상, 기후 및 환경적 변화에 대한 대응력을 높여, 지속가능한 발전을 지원하는 세계’를 비전으로 하는 WMO의 전략 계획으로 2023년 발표
 - 날씨, 기후, 물 및 기타 환경 조건의 변화를 모니터링하고 예측하는 데 있어 전 세계적 협력을 촉진하기 위한 계획으로 기후예측 관련 주요 목표들을 제시

VISION	A world where all nations, especially the most vulnerable, are more resilient to the socioeconomic impact of extreme weather, climate, water and other environmental events, and empowered to boost their sustainable development through the best possible weather, climate and water services				
OVERARCHING PRIORITIES	Preparedness for, and reducing loss of life, infrastructure and livelihood from hydrometeorological extremes		Climate-smart decision-making to build resilience and adaptation to climate risk		Socioeconomic value of weather, climate, hydrological and related environmental services
CORE VALUES	Accountability for results and transparency		Collaboration and partnership		Inclusiveness and diversity
LONG-TERM GOALS	1 Services  Better serve societal needs	2 Infrastructures  Enhance Earth system observations and predictions	3 Science and Innovations  Advance targeted research	4 Member Services  Close the capacity gap	5 Smart Organization  Strategic realignment of WMO structure & programmes
STRATEGIC OBJECTIVES	1. National multi-hazard early warning/alert systems 2. Policy- and decision-supporting climate information & services 3. Hydrological services 4. Decision-supporting weather information & services 5. Changes in the cryosphere and downstream impacts	1. Acquisition of Earth system observation data (WIGOS) 2. Access to, exchange and management of Earth system observation data and products (WIS) 3. Access to and use of numerical analysis and Earth system prediction products	1. Advance scientific knowledge of the Earth system 2. Enhance science-for-service value chain to improve predictive capabilities and analysis 3. Advance policy-relevant science	1. Enable developing countries to provide and utilize essential services 2. Develop and sustain core competencies and expertise 3. Scale up partnerships for investment in sustainable cost-efficient infrastructure and service delivery	1. Optimize WMO constituent body structure 2. Strategic partnerships 3. Advance equal, effective and inclusive participation 4. Environmental sustainability

* 자료 : WMO, WMO Strategic Plan 2024 ~ 2027, 2023

[그림 13] WMO Strategic Plan 2024 ~ 2027 비전 체계도

6) WMO, WMO Strategic Plan 2024 ~ 2027, 2023

<표 32> WMO Strategic Plan 2024 ~ 2027 주요 내용

장기 목표	전략 목표
<p>목표 1 사회적 요구에 부응 : 신뢰성 있고, 접근 가능하며, 사용자 중심적이고 목적에 맞는 정보 및 서비스 제공</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국가 다중 재해 조기 경보 시스템을 강화하고, 관련 위험에 대한 효과적인 대응을 위한 범위 확장 ■ 정책 및 의사결정 지원을 위한 기후 정보 및 서비스 제공 범위 확대 ■ 지속 가능한 수자원 관리와 적응을 위한 수문학 서비스 개발 ■ 의사결정 지원을 위한 기상 정보 및 서비스의 가치 증대와 혁신 ■ 빙권의 비가역적 변화와 이로 인한 수자원 및 해수면 상승에 따른 글로벌 위험을 해결하기 위한 통합 시스템 및 서비스 개발 가속화
<p>목표 2 지구 시스템 관측 및 예측 역량 강화: 미래를 위한 기술적 기반의 강화를 통한 진전</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ WMO 통합 글로벌 관측 시스템(WIGOS)을 통한 지구 시스템 관측 데이터 수집 최적화 ■ WMO 정보 시스템을 통한 현재 및 과거의 지구 시스템 관측 데이터와 파생 제품의 접근성, 교환, 관리 개선 및 확대 ■ WMO 통합 처리 및 예측 시스템을 활용하여 모든 시간적 및 공간적 규모에서의 수치 분석 및 지구 시스템 예측 제품에 대한 접근 및 활용 증진
<p>목표 3 목표 지향적 연구 강화: 과학적 리더십을 활용한 지구 시스템에 대한 이해 증진 및 서비스 개선</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지구 시스템에 대한 과학적 지식의 심화 ■ 과학적 성과의 서비스화 주기 강화, 과학 및 기술적 진보를 통해 예측 능력 및 분석력 개선 ■ 정책과 연관된 과학적 연구의 발전 및 기여
<p>목표 4 기상, 기후, 수문학 및 관련 환경 서비스의 역량 격차 해소: 개발도상국의 서비스 제공 역량을 강화하여 정부, 경제 부문 및 시민이 필요로 하는 필수 정보와 서비스를 보장</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 개발도상국이 필수적인 기상, 기후, 수문학 및 관련 환경 서비스를 제공하고 활용할 수 있도록 지원 ■ 핵심 역량 및 전문성 개발과 유지 ■ 지속 가능하고 비용 효율적인 인프라 및 서비스 제공을 위한 효과적인 파트너십 확대
<p>목표 5 정책 및 의사결정의 효과적 실행을 위한 WMO 구조 및 프로그램의 전략적 재정비</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 더 효과적인 의사결정을 위한 WMO 구성 기관 구조 최적화 ■ WMO의 전략적 파트너십 강화 ■ 거버넌스, 과학적 협력 및 의사결정에서 평등하고 포괄적인 참여 증진 ■ 환경적 지속 가능성 촉진

* 자료 : WMO, WMO Strategic Plan 2024 ~ 2027, 2023

- 국제해양법재판소(ITLOS)는 기후변화 대응책 수립 시, 당사국의 자의적 판단이 아닌 IPCC 평가보고서 등 과학적 근거를 고려한 객관적 결정이 필요함을 강조
 - ‘기후변화 관련 권고적 의견(2024. 5.)’ 을 통해 해수 온난화, 해수면 상승, 해양 산성화 등 기후변화로 인해 발생하는 부정적인 영향을 방지·경감·통제하기 위해 유엔해양법협약 당사국이 지는 구체적인 의무와 실천 방식에 대한 권고적 의견 발표⁷⁾
 - 해양의 기후변화 완화 조치 중 가장 핵심적인 것으로 ‘대기로의 인위적 온실가스 배출 감축’ 을 내세워 온실가스 저감 조치와 유엔해양법협약상 의무 사이의 연결 고리를 확인시켜 줌
 - 해양의 부정적 영향을 방지·경감·통제하기 위한 조치를 결정할 때 당사국들이 자의적으로 판단하는 것이 아니라 과학적 근거, 기후변화와 관련된 국제적 규칙 및 표준, 기타 관련 요소들, 실현 가능성, 국가의 능력 등 다양한 요인을 고려하여 객관적으로 결정되어야 한다고 강조
 - 특히, 과학적 근거로는 기후변화 분야의 권위있는 국제기구인 IPCC의 기후변화 위험 및 저감 관련 평가보고서들을 고려할 것을 명시

나. 미국

- 해양학정책위원회가 수립한 ‘해양기후 행동 계획’ 의 우선 과제로 ‘해양연구, 관측, 모델링, 예측 및 융합 지원’ 을 제시하여 해양기후 감시·예측의 중요성 강조
 - 백악관 산하 해양학정책위원회(Ocean Policy Committee)는 연방의 지속적 마스터 플랜이자 미국 최초의 해양기후 부문 행동계획인 ‘Ocean Climate Action Plan(2023. 3.)’ 을 발표⁸⁾
 - 핵심 목표로 ‘유해 배출 없는 탄소 중립 미래 조성’, ‘온실가스 저장 및 기후 위험 저감을 위한 자연 기반 해법 가속화’, ‘기후에 따른 해양 변화에 대한 지역사회 회복력 강화’ 를 설정
 - 우선 과제(OCAP Priority)로 ‘해양 연구, 관측, 모델링, 예측 및 융합 지원’ 을 제시하여 감시·예측의 중요성을 강조하고, 목표 3 ‘해양 변화에 대한 지역 사회 회복력 강화’ 의 단기 조치 사항을 이행하기 위해 해양 변화 적응 및 조치를 위한 정보 제공을 제시

7) ITOLS(International Tribunal for the Law of the Sea), Request for an Advisory Opinion Submitted by the Commission of Small Island States on Climate Change and International Law, 21 May 2024

8) Ocean Policy Committee, Ocean Climate Action Plan, March 2023

- 「지구변화연구법」, NOAA 2022 ~ 2026 Strategic Plan 등 기후위기 대비를 위해 최고의 과학을 집대성 하여 기후변화모델링, 예측 및 전망기술 역량의 극대화를 추진
 - 「지구변화연구법」를 통해 지구 변화를 이해하고 대응하기 위한 미국 지구변화 연구프로그램(USGCRP) 수립하고, 지구 변화 연구 분야의 국제 협력을 제시⁹⁾
 - NOAA 2022 ~ 2026 Strategic Plan(NOAA)를 통해 ‘기후변화에 대비하는 국가’, ‘형평성을 핵심 운영 방안으로 통합’, ‘블루 이코노미의 성장 가속화’를 목표¹⁰⁾
- 기후변화에 대비하기 위한 기후예측 개선 및 통합 기후·해양 모델링 시스템구축, 해양 관련 데이터 수집·예측 혁신적 접근법 개발을 통한 블루 이코노미의 성장 가속화를 주요 내용으로 함
 - 전략 목표 1 ‘기후변화에 대비하는 국가 구축’ 중 1-2 ‘환경 예측 및 전망 개선’을 통해 해양기후 예측 관련 ‘통합 기후 및 해양 모델링 시스템구축’을 제시
 - 해당 전략에 따른 2026년 예상 Output으로 기후, 환경예측 및 예측능력 개선, 위험기상(가뭄, 극한 더위/추위, 해양폭염, 열대 사이클론 등)에 대한 개선된 계절예측과 계절내 예측정보 제공을 제시
 - 전략 목표 3 ‘정보 기반 블루 이코노미의 성장 가속화’ 중 3-1 ‘해양 관련 데이터 및 데이터 접근성 향상’을 통해 ‘해양 데이터 수집 및 예측을 위한 혁신적 접근법 개발’을 제시

<표 33> NOAA 2022 ~ 2026 Strategic Plan 주요 내용

전략 목표		주요 내용
전략 목표 1 기후변화에 대비하는 국가 구축	1-1. 파트너에 대한 서비스 제공 강화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 파트너와의 지속적인 참여 개선 ■ NOAA 모든 활동에 기후에 대한 고려사항 반영 ■ 과학 기반의 실용적 의사결정 지원 도구 제공
	1-2. 환경 예측 및 전망 개선	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기상, 수자원 및 기후 예측과 전망 개선 ■ 계절내 ~ 연간의 통합 수자원 역량 확충 ■ 연안지역의 통합 수자원 역량 강화 ■ 완화 및 적응 전략을 위한 모니터링 및 모델링 강화 ■ 통합 기후 및 해양 모델링 시스템구축 ■ NOAA 보호 자원에 대한 생태 예측 강화
	1-3. 통합된 혁신적 기후 연구 발전	<ul style="list-style-type: none"> ■ 세계 최고 수준의 차세대 지구 시스템 모델 발전 ■ 사회과학 연구 역량 강화 ■ 최첨단 통합 연구를 실무에 적용

9) <https://www.congress.gov/bill/101st-congress/senate-bill/169> (2024. 11. 26. 검색)

10) NOAA, NOAA FY22-26 Strategic Plan, 2022

전략 목표		주요 내용
전략 목표 1 기후변화에 대비하는 국가 구축	1-4. 신뢰성 높은 데이터 및 정보 관리 강화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 데이터 관리 개선 ■ 플랫폼에 구매받지 않는 데이터 및 정보 최적화 ■ 전사적 데이터 관리 체계 개선
	1-5. 종합적인 관측 및 모니터링 시스템 강화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지역 및 현장 중심의 분산 관측 강화 ■ 우주 기반 관측 기술 혁신 ■ 상업적 파트너십 및 신기술 도입 확대 ■ 공통 소스 데이터 통합 및 공통 서비스 개선
전략 목표 2 형평성을 핵심 운영 방안으로 통합	2.1. 모범적인 직장 구축	<ul style="list-style-type: none"> ■ 책임성 강화를 위한 EEO(평등 고용 기회) 발전 ■ 직원의 형평성과 소속감 심화 ■ NOAA STEM 분야 다양화 및 소수집단 대상 기관(MSI)과의 파트너십 강화 ■ 성폭력/성희롱(SASH) 예방 및 대응 노력에 형평성 통합
	2.2. 소외되고 취약한 공동체 지원	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국가 통합 커뮤니티 파일럿 프로젝트 시작 ■ 행정부담 제거 ■ 사용하기 쉬운 도구 및 서비스 설계 ■ 새로운 커뮤니티 참여 접근법 개발 ■ 사회과학 및 평가역량 강화
전략 목표 3 정보 기반 블루 이코노미의 성장 가속화	3.1. 해양 관련 데이터 및 데이터 접근성 향상	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양 기업의 발전 촉진 ■ 데이터 수집 및 예측을 위한 혁신적 접근법 개발 ■ 이해관계자 참여 확대
	3.2. 기존 블루 이코노미 분야 강화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 적응형 어업 관리 개선 ■ 지속가능한 해양 관광 및 레크리에이션 기회 확대 ■ 지속가능한 해상 재생 에너지 개발 지원 ■ 안전하고 효율적인 해양 운송 시스템에 대한 NOAA 기여 확대
	3.3. 해안 공동체와 경제 회복력 강화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해수면 상승 및 해안 침수 영향 예측 향상 ■ 해안 및 환경적 위험 감소 ■ 책임 있는 해안 개발 및 관리 지원
	3.4. 해양, 해안 및 오대호 생태계와 해양 생물 보호 및 복원	<ul style="list-style-type: none"> ■ 보호 종의 복구 및 보존 ■ 해안, 해양 및 오대호의 토지, 수역 및 자원보호, 보존/복원 ■ 관리 및 보존을 위한 과학 발전

* 주 : 볼드체는 해양기후 예측과 관련한 내용을 의미

* 자료 : NOAA, NOAA FY22-26 Strategic Plan, 2022

○ NOS(National Ocean Service) Strategic Plan Fiscal Year 2024 ~ 2028(NOAA)를 통해 미국 해안의 회복력 강화, '평등', '해양 기업과 블루 이코노미의 성장 가속화', '건강한 해안 및 해양 생태계 보전' 을 목표¹¹⁾

- 기후변화에 대응한 관측, 모델링 예측 능력 향상, 파트너십을 통한 데이터 강화, 해안 변수 식별 및 관측 시스템 개선 등을 주요 내용으로 함

11) NOAA, NOS Strategic Plan 2024 ~ 2028, 2023

- 기본적인 관측, Mapping 및 모델링 개선하여 예보 및 예측능력 향상
 - NOS 모델링 전략을 통해 글로벌 해양, 해안/영토 및 오대호 모델링 기능을 운영 중인 지구 시스템 모델링 프레임워크에 더욱 통합하여 생태계 변화와 해안 위험 예측을 제공
 - 광범위한 파트너 네트워크와 협력하여 기초 데이터 수집을 지속적으로 강화하여 새롭고 개선된 예측 모델을 개발
 - 데이터 수집부터 제품 개발에 이르기까지 의사 결정에 중요한 해안 변화 변수를 식별하고 우선순위를 지정하여 해당 정보를 제공
 - 해양 및 해안 예측을 지원하기 위한 관측 시스템의 개선 사항을 설계, 구축 및 유지
 - 기업, 정부, 학계 및 기타 조직에 맞춤형 예측 및 의사 결정 지원 도구와 같은 혁신적인 부가가치 제품 및 서비스를 제공하여 연안 지역 사회의 해양 경제 동력을 지원하기 위한 정보를 제공
- U.S. Department of Commerce Strategic Plan (2022 ~ 2026)(U.S. Department of Commerce)를 통해 미국의 글로벌 경쟁력 제고’, ‘기후 위기 해결’, ‘데이터를 통한 기회와 새로운 발견 확대’ 등을 목표¹²⁾
- 기후 예측 개선, 외부 이해관계자와의 협력 강화, 취약 지역사회를 위한 사용자 친화적 정보 제공, 관측 인프라 업그레이드를 통해 경제 성장과 생명 보호를 위한 포괄적인 기후서비스 확대 등 NOAA의 역할을 제시
 - 서비스 제공을 강화하기 위해 기후예측을 개선하고 외부 이해관계자와(민간부분 등) 협력
 - 기후 데이터 및 서비스 요구사항. 기후 데이터 및 서비스 사용을 강화하기 위해 비정부 부문 및 비상 관리자, 연방, 주, 지역 및 부족 공무원, 특히 극한 날씨 및 기후 사건에 취약한 소외된 지역사회와 협력하여 사용자 친화적인 기후정보를 제공
 - 경제 성장과 생명 보호를 위해 기후, 우주 기상, 해안 및 해양 예측연구를 부가가치 제품으로 전환하는데 필요한 데이터를 수집하기 위해 관측 인프라를 업그레이드할 예정
- Weather Program Office Strategic Plan 2022-2026(NOAA)를 통해 파트너와의 기상 연구 협력 및 네트워크 육성, 영향력 있는 날씨 예보와 제품 및 서비스 개선, 최상의 통합 예보 시스템 구축, 차세대 기상 연구 기반시설 강화 등을 주요 목표¹³⁾
- NOAA와 미국을 위한 기상 정보, 예보, 제품 및 서비스 발전 등 연구전략을 기반으로 하는 NOAA 기상 프로그램 사무소(Weather Program Office)의 전략 계획(2022년 발표)
 - 개방적 접근방식, 커뮤니티 기반 지구시스템 예측의 가속화
 - 날씨, 물, 계절별 예측에 대한 계절별 결합 지구시스템 데이터 동화 개선
 - 극단적 현상의 감지 및 정량화, 편향 보정 및 예측 성능 평가를 개선하기 위해 실제 분석 및 재예측의 생산 및 공개 액세스 발전

12) U.S. Department of Commerce, U.S. Department of Commerce Strategic Plan(2022 ~ 2026), 2022

13) NOAA Weather Program Office, Weather Program Office Strategic Plan 2022-2026), 2022

다. 유럽

- EU Agenda for International Ocean Governance를 통해 해양의 보호와 지속 가능한 관리를 위해 감시·예측의 중요성을 강조하고, 코페르니쿠스를 통한 전 세계 해양 모니터링 및 예측 서비스 제공과 IPCC 등 글로벌 과학기관 지원 계획을 발표
 - 유럽연합 집행위원회(European Commission)는 유럽 그린 딜(European Green Deal)에서 설정한 우선순위를 반영한 국제 해양 거버넌스를 도입하고, ‘국제 해양 거버넌스 체계 강화’, ‘2030년까지 해양 지속 가능성 실현’, ‘해양 보안 및 안전 보장’, ‘해양 관련 지식 확장’이라는 4가지 목표를 설정¹⁴⁾
 - 목표 4 ‘해양 관련 지식 확장’에서 해양을 보호하고 지속 가능하게 관리하기 위해 증거 기반의 조치가 필수적이며, 이를 위해 해양 과학, 관측, 환경 모니터링 및 예측의 중요성을 강조
 - 코페르니쿠스 기후변화 서비스를 통해 EU 해양 유역과 전 세계 해양 모니터링 및 예측 서비스를 제공하고 독립 과학 패널, IPCC, 생물 다양성에 관한 정부 간 과학 정책 플랫폼 등 글로벌 과학기관에 증거 수집을 지원하겠다고 밝힘
- ECMWF Strategic 2021-2030, Copernicus Marine Service Evolution Strategy 등이 있으며, 신규 위성자료를 활용한 자료 동화기법 개선, 앙상블 모델링 기법을 포함한 이음새 없는 지구시스템 모델 구축을 제시
 - ECMWF Strategy 2021 ~ 2030(ECMWF)을 통해 수치 기상 예보 발전을 통해 사회에 최상의 서비스를 제공하는 것을 목표¹⁵⁾
 - 세계 최고 수준의 앙상블 지구시스템 구축과 이음새 없는 지구시스템 모델 개선, 수치예보를 위한 최첨단 기술과 컴퓨터 과학 활용을 제시
 - Copernicus Marine Service Evolution Strategy : R&D priorities(EU)를 통해 전세계 및 유럽 지역의 해양환경 모니터링을 위한 서비스로, 2021년 사용자의 요구에 대응하여 지속적인 개선을 위한 전략을 발표¹⁶⁾
 - 통합 해양 예측시스템 아키텍처를 차세대 컴퓨팅 시스템에의 적용, 사용자 수요에 대응한 예측시스템의 시공간적 해상도 개선, 머신러닝·AI·빅데이터 기반 데이터 제공 등을 주요 내용으로 함

14) European Commission, EU Agenda for International Ocean Governance, 24 June 2022

15) ECMWF, ECMWF Strategy 2021 ~ 2030, 2021

16) EU, Copernicus Marine Service Evolution Strategy : R&D priorities, 2021

<표 34> ECMWF Strategy 2021 ~ 2030 주요 내용

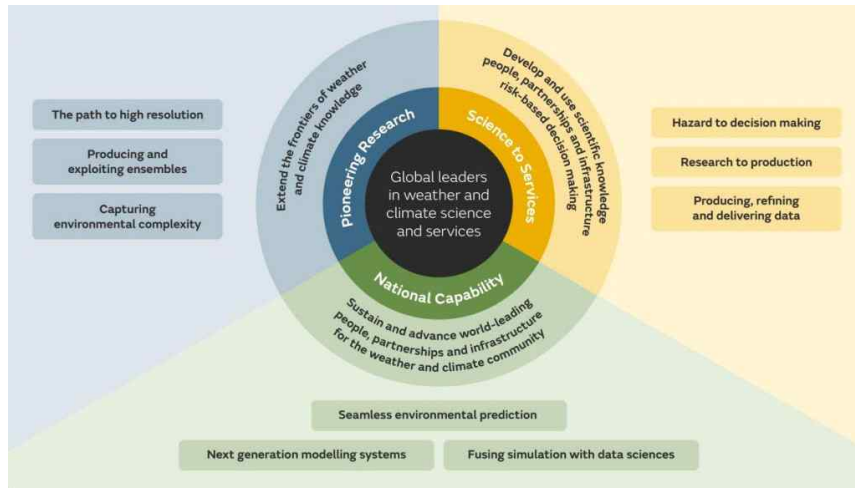
전략 방향	목표	전략 과제
Pillar 1 과학과 기술 : 최첨단 과학과 기술을 개발하고 운영에 활용	<ul style="list-style-type: none"> ■ 세계 최고의 기상 및 지구시스템 과학 ■ 수치 예보(NWP)를 위한 최첨단 기술과 컴퓨터 과학 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지구 시스템 데이터 동화에서 리더십 강화 ■ 신규 및 기존 관측 자료의 활용 개선 ■ 이음새 없는 지구 시스템 모델 개선 ■ 수치 예보(NWP)를 위한 고성능 컴퓨팅(HPC), 기술, 컴퓨터 과학 활용 ■ 인공지능(AI)과 머신러닝(ML) 활용 ■ 연구와 운영 간의 양방향 지식 전달 및 시스템 설계 최적화
Pillar 2 영향력 : ECMWF 회원국들에게 탁월한 가성비를 제공	<ul style="list-style-type: none"> ■ 목적에 맞는 고품질 제품 ■ 효율적이고 간편한 제품 접근 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 세계 최고의 품질을 가진 제품으로 사용자 요구 충족 ■ 자원의 제공과 공유 최적화 ■ 데이터 개방으로의 전환 ■ 교육 및 커뮤니케이션 강화 ■ 파트너십과 협력 확대
Pillar 3 조직과 인재 : 유연하고 혁신적인 조직을 만들고, 최고의 전문가 영입을 통한 영감 제공	<ul style="list-style-type: none"> ■ 효율적인 조직 운영 ■ 사람 중심의 접근 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 다중 거점 기업 문화를 구축 ■ 환경적 지속 가능성 개선 ■ 다양하고 협력적인 환경 촉진 ■ 유연한 근무 환경 개발

* 자료 : ECMWF, ECMWF Strategy 2021 ~ 2030, 2021

□ 영국은 Research and Innovation Strategy(Met Office)를 통해 기상 및 기후에 대한 국가적 대응능력 향상을 위해 불확실성 예측, 영향/적응/감축 정책을 지원할 수 있는 모델링 체계 개발을 강조¹⁷⁾

- 기상 및 기후에 대한 국가적 대응능력 향상을 위해 차세대 고해상도 모델링, 앙상블 전망을 통한 불확실성 예측, 영향/적응/감축 정책을 지원할 수 있는 모델링 체계개발을 강조
- 이와 관련하여, Met Office Hadley Centre에서는 기후과학 로드맵 ‘Climate Science Roadmap 2020 ~ 2030’ 을 발표
 - ‘기상 및 기후 과학, 서비스 분야의 글로벌 리더로의 도약’ 을 비전으로 하는 Met Office의 2020~2030 기후과학 로드맵으로 2020년 발표
 - ‘과학의 활용’, ‘선도적 연구’, ‘국가 역량’ 을 3가지 방향으로 설정하고 방향별 전략 과제 및 주요 활동을 제시
 - 활용(서비스), 연구(기술개발), 역량(기반 구축) 등 관점에서 고해상도 예측 시스템 개발, 앙상블 생산 및 활용, 차세대 모델링 시스템구축 등 기술 역량을 확보하기 위한 방안을 제시

17) <https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/research-and-innovation-strategy> (2024. 11. 26. 검색); Met Office, Met Office Hadley Centre Climate Science Roadmap 2020 ~ 2030, 2020



* 자료 : Met Office, Met Office Hadley Centre Climate Science Roadmap 2020 ~ 2030, 2020

[그림 14] Met Office Hadley Centre Climate Science Roadmap 2020 ~ 2030 주요 방향 및 과제 개념도

<표 35> Met Office Hadley Centre Climate Science Roadmap 2020 ~ 2030 주요 내용

전략 방향	전략 과제	주요 활동
Pillar 1 과학의 활용(Science to Service) : 위험 관련 결정을 위한 과학적 지식, 인력, 협력관계, 기반의 개발 및 활용	<ul style="list-style-type: none"> ■ 의사 결정을 위한 재해 예측 분야 ■ 생산성 기반 연구 ■ 데이터 생산, 가공 및 제공 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 정부와 이해관계자들과 협력하여 미래 기후 과학을 위한 정책과 사회적 요구를 공동으로 수립 ■ 기후 서비스 및 전달 메커니즘을 연구 우선순위와 요구에 맞게 조정 ■ 과거/현재(관측), 단기(계절/10년) 및 장기(시나리오 계획) 기간을 아우르는 새로운 "무결점 리스크 서비스"의 위험 요소 개발 ■ 기후 정책에 정보를 제공하는 새로운 "완화 전략" 서비스 개발 ■ 기후 시스템의 중요한 변화를 신뢰할 수 있는 권위 있는 기관으로서 모니터링
Pillar 2 선도적 연구(Pioneering Research) : 기상 및 기후 분야 최첨단 지식의 확장	<ul style="list-style-type: none"> ■ 고해상도 예측 개발 ■ 앙상블 생산 및 활용 ■ 환경 예측 역량 확장 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 규모에 따른 추적 가능한 모델 계층 구조를 갖추고, 각 애플리케이션에 적합한 구성을 통해 통합된 기후 예측 시스템 개발 ■ 기후 관점에서 모델 평가에 기여 ■ 외부 요인이 기후 시스템에 미치는 영향을 이해하고, 예측 능력의 한계를 파악 ■ 저확률이지만 큰 영향을 미칠 수 있는 기후 시스템의 임계점과 그 결과를 연구 ■ 사건 귀속 및 단기 예측 과학 개발
Pillar 3 국가 역량(National Capability) : 기상 및 기후 학계를 위한 선도 연구자, 협력관계, 기반의 유지 및 개선	<ul style="list-style-type: none"> ■ 이음새 없는 환경 예측 ■ 차세대 모델링 시스템 ■ 데이터 시뮬레이션 	<ul style="list-style-type: none"> ■ GCOS ECVs 및 영국 관측 데이터 세트 개선 ■ CMIP와 UKCP를 위한 기후 변화 시뮬레이션을 설계하고, WMO를 위한 계절 및 10년 예측을 제공 ■ 데이터 과학 도구를 기후 과학에 적극 활용 ■ 미래의 슈퍼컴퓨터 아키텍처에 대비 ■ 국가 기후 과학 역량의 기술적 기반을 구축

* 자료 : Met Office, Met Office Hadley Centre Climate Science Roadmap 2020 ~ 2030, 2020

라. 호주

□ Research and Development Plan 2020 ~ 2030(BoM)등이 있으며, 기후 예측 및 예보 관련 중장기 로드맵을 제시

○ Research and Development Plan 2020 ~ 2030(BoM)를 통해 주요 목표에 따른 3년/5년/10년 로드맵을 제시¹⁸⁾

- '신뢰할 수 있고 믿음직하며, 언제나 대응 가능한 기상, 수자원, 기후 및 해양 서비스를 24시간, 매일 제공'한다는 BoM의 임무에 따라 2020년에 수립한 향후 10년간의 연구개발 계획
- '맞춤형 영향 기반 예보 및 경보 제공', '신뢰할 수 있는 예보 제공', '통합 지구시스템 수치예측', '일관된 날씨 및 기후 인사이트 제공' 등 4가지 주요 목표를 제시하여 3년/5년/10년으로 구분하여 방향을 제시

<표 36> Research and Development Plan 2020 ~2030 주요 내용

핵심 목표	단기(3년 목표)	중기(5년 목표)	장기(10년 비전)
목표 1 : 맞춤형 영향 기반 예보 및 경보 제공	<ul style="list-style-type: none"> ■ 영향 예보 및 경보 서비스, 의사 결정 지원 및 자동화 개선 ■ 국가 고해상도 분석 시스템 및 고해상도 앙상블 기반 수자원 예측 능력 구축 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 사회과학을 기반으로 한 지역 맞춤형 영향 예보 시스템 구축 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 도시 및 지역 응용 프로그램을 위한 완전 통합된, 지속적으로 업데이트되는 다중 재해 및 영향 기반 확률 분석, 예보 및 경보 시스템 구축
목표 2: 신뢰할 수 있는 예보 제공	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기존 관측 기술 최대 활용 및 새로운 관측 장비 배치 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 적합한 데이터 통합 및 수집 확대, 비전통적 데이터 출처 활용 능력 구축 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 전통적, 비전통적 데이터를 통합한 관측 정확성 향상
목표 3: 통합 지구 시스템 수치 예측	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미래 컴퓨팅 환경 구축 및 지구 시스템 연계 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 차세대 모델링 시스템 도입 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국가 전역에서 운영되는 통합 지구 시스템 예측
목표 4: 일관된 날씨 및 기후 인사이트 제공	<ul style="list-style-type: none"> ■ 대기 및 수문학에 대한 통합된 데이터 및 모델 구축 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 날씨, 물, 기후 데이터를 통합한 시스템 구축 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 모든 시간 척도에 걸친 세계적 수준의 날씨, 기후, 사회 과학에 기반한 통합 서비스 제공

* 자료 : BoM, Research and Development Plan 2020 ~ 2030, 2020

18) BoM, Research and Development Plan 2020 ~ 2030, 2020

마. 일본

- 「기후변동적응법」 등이 있으며, 지구온난화에 대한 정책 결정 및 적응 지원을 위해 해양을 포함한 지구온난화 예측정보 및 수십 년 장기 예측 기후정보를 제공하고, 이를 위해 지구 시스템 모델 개선을 추진
 - 「기후변동적응법」을 통해 기후변화 적응에 관한 시책을 종합적이고 계획적으로 추진하기 위한 법적 근거를 제공
 - Vision for Meteorological Services in 2030(JMA)를 통해 자연재해에 대비하고 정보통신기술을 다양한 분야에 확장하는 것을 목표¹⁹⁾
 - 자연재해에 대비하고 정보통신기술을 다양한 분야에 확장하는 것을 목표로 하는 일본정부의 Society 5.0²⁰⁾를 고려한 JMA의 중장기 기상 서비스 비전
 - 국가 및 지방 정부의 정책 결정 및 지구 온난화 적응 대책 수립을 지원하기 위해 해양 예측정보 및 태풍 및 폭우와 같은 극한 사건의 빈도·강도를 포함한 지구 온난화 예측정보 및 수십년 예측정보 제공 계획을 가지고 있음
 - 기후예측과 관련하여 재난/재해 대응 및 관리를 목적으로 수치 예보 및 관측 기술 개선, 예측 정확도 향상이 포함됨
 - 장기예측 및 지구온난화 예측의 정밀도를 높이기 위해 대기, 해양 및 기후예측과 관련된 기타 요인을 계층적으로 통합하는 지구시스템 모델을 사용함을 제시

<표 37> Vision for Meteorological Services in 2030 주요 내용

주요 이슈		목표	전략 과제
이슈 1 관측 및 예측 정확성 향상을 위한 기술 개발	날씨 및 기후	<ul style="list-style-type: none"> ■ 신속한 대피와 안전을 위한 기상 관측 및 예측 정확도 향상 ■ 재해 대응을 위한 12시간 사전 예측 정확도 개선 ■ 태풍, 폭우 등 대규모 재해 대피가 필요한 현상에 대한 예측 정확도 개선 ■ 기후 리스크를 줄이고 생산성을 향상시키기 위한 수개월 단위 예측 정확도 향상 ■ 지구온난화에 대한 정책 결정 및 적응을 지원하는 100년 단위 정보 제공 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기상 모니터링 기술의 개선 ■ 수치 기상 예측 기술의 향상

19) JMA, Vision for Meteorological Services in 2030, 2018; [https://www.futurekorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=115184\(2024. 10 11. 검색\)](https://www.futurekorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=115184(2024. 10 11. 검색))

20) Society 5.0 : 4차 산업혁명을 ‘Industry 4.0’ 이라는 산업정책으로 수용했다면, 2017년 일본은 여기에 문명적 전환을 덧붙여 4차 산업혁명을 사람들의 Life style과 접목해 사회적 진화로 나아가겠다는 계획 (미래한국, [https://www.futurekorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=115184\(2024. 10 11. 검색\)](https://www.futurekorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=115184(2024. 10 11. 검색)))

주요 이슈		목표	전략 과제
이슈 1 관측 및 예측 정확성 향상을 위한 기술 개발	지진, 쓰나미, 화산	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지진 정보 제공 및 경보시스템 구축 ■ 시뮬레이션 정교화, 예측 정확성 향상을 통한 지진/쓰나미/화산 정보 제공 ■ 지방 정부의 관련 지식 향상 및 정확한 화산 동향 평가 수행 ■ 원격 감지 기술(기상 레이더, 위성 등)을 활용하여 화산재 범위 및 양을 신속하게 평가하고, 데이터에 통합 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 관측 및 모니터링 기술의 개선 ■ 예측 및 활동 평가 기법 향상
이슈 2 기상정보 활용 촉진		<ul style="list-style-type: none"> ■ 기상 정보 접근 환경 구축 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기상 정보의 효율적 제공 ■ 정보 접근성 개선 ■ 기술 혁신에 따른 시스템 재검토 (예: 규제 완화)
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 정보 활용 능력 향상 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 재해 관리 및 삶의 질 향상을 위한 기상 정보 활용 능력 증진 ■ 경제 활동에서 기상 정보 활용 촉진
이슈 3 재해 완화 대응 및 지원 촉진		<ul style="list-style-type: none"> ■ 재해 대비 및 대응 강화 ■ 기상정보 정확성 향상 ■ 주민 재난 인식 개선 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 수치예보 및 관측 기술 개선 ■ 리스크맵 등 위험 예측 도구 개선 ■ 지방 자치단체와의 협력을 통한 대피 권고 및 위기 관리 강화 ■ 재난 예방 교육 및 기상 정보활용 역량 증진

* 주 : 볼드체는 해양기후 예측과 관련한 내용을 의미

* 자료 : JMA, Vision for Meteorological Services in 2030, 2018

제 2 절 국내외 기술 및 연구 현황

1. 국내외 기후예측시스템 현황

가. 기상청 기후예측시스템 GloSea6(Global Seasonal Forecasting System)²¹⁾

□ 1·3개월로 전망 생산을 위해 현업으로 운영되는 수치모델로 대기+해양+해빙+지면 결합 계절 기후예측시스템

○ 구성요소 : 대기+해양+해빙+지면 모델이 결합자 OASIS(SERFACS)에 의해 결합

- 대기 : UM 11.5(Met Office Unified Model)

• 수평 해상도 : N216(약 60km)

• 연직 해상도 : 총 85개 층으로 구성

- 해양 : NEMO 3.6

• 수평 해상도 : eORCA025(약 27km)

• 연직 해상도 : 총 75개 층으로 구성

- 해빙 : CICE 5.1.2

• 해상도는 해양과 동일

- 지면 : JULES 5.6

• 해상도는 대기와 동일

- 결합자 : OASIS(CERFACS)

○ 예측기간 : 240일(계절예측, 4개 멤버), 72일(계절내 예측, 4개 멤버)

○ 과거 재현기간 : 1993~2016(24년, 7개 멤버)

○ 초기조건/자료 동화 기법

- 대기: ERA-Interim(HCST)/kmA NWP(FCST)

• 대기 초기 조건으로 기상청 수치모델링센터의 전지구 자료동화 분석장이 사용됨

- 지면(토양 수분): ERA5(HCST,FCST)

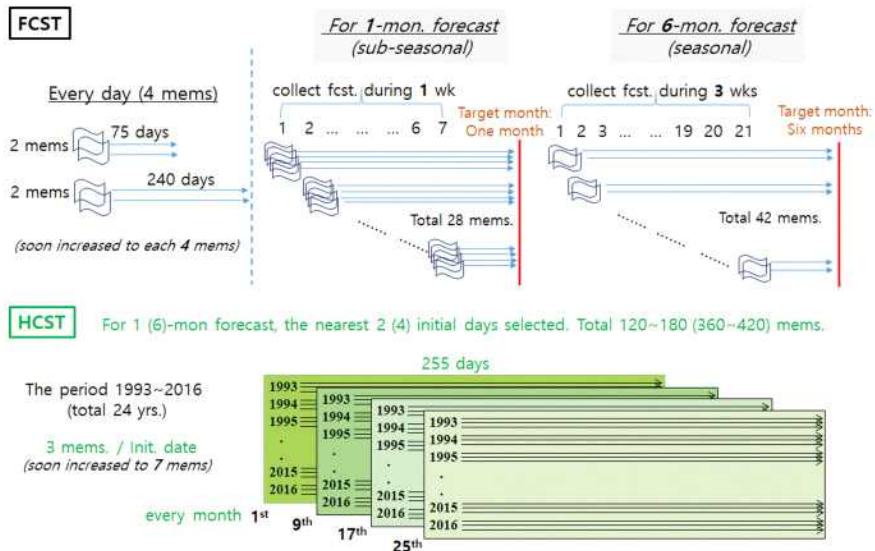
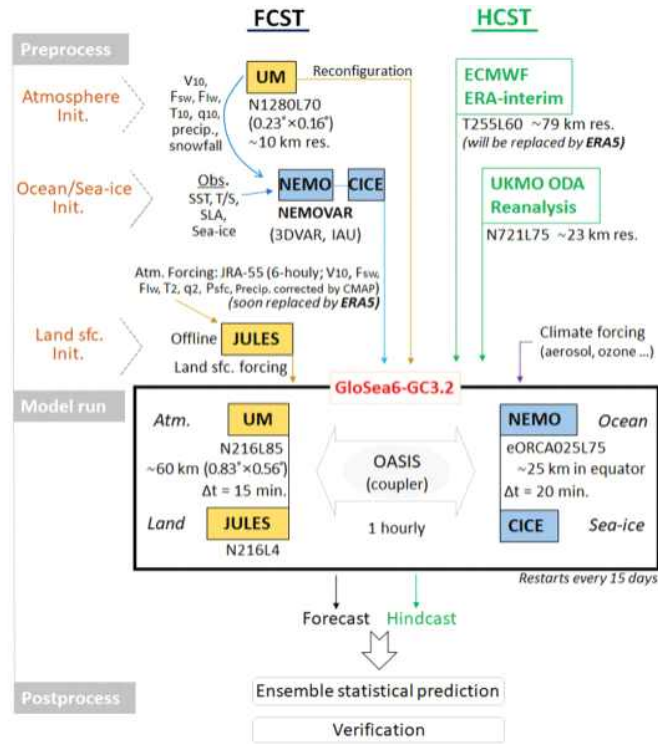
• 지면 초기 조건은 ERA5 재분석을 입력장으로 하여 JULES 지면모델로 생산된 토양수분값이 사용됨

- 해양/해빙: UkmO ODA Reanalysis(HCST)/kmA GODAPS2(FCST)

21) 김혜리 외, 기상청 기후예측시스템(GloSea6)-Part 1 : 운영 체계 및 개선 사항, 2021; 현유경 외, 기상청 기후예측시스템(GloSea6)-Part 2 : 기후모의 평균 오차 특성 분석, 2022; 기상청 내부자료

- NEMOVAR 프로젝트에 의해 개발된 3차원 변분 해양자료동화를 기반으로 기후 예측을 위해 국립기상과학원에서 생산된 분석장을 사용

○ 앙상블 방법 : 시간지연 + 추계(Stochastic) (SKEB2 + SPT)



* 자료 : 김혜리 외, 기상청 기후예측시스템(GloSea6)-Part 1 : 운영 체계 및 개선 사항, 2021

[그림 15] GloSea6 작동 체계

○ 최근에는 국가 기후예측시스템을 구축하기 위한 사업을 추진중

나. NWS NCEP CPC(미국) 기후예측시스템 CFSv2(Climate Forecast System)²²⁾

- NCEP에서 개발한 대기+해양+지면+해빙 결합 계절 기후예측시스템으로 해수면온도, 해수면온도 어노말리, 해수면 높이, 해빙 범위 및 농도에 대한 확률적 전망을 제공
 - 구성 요소 : 대기+해양+해빙+지면 모델이 결합자 NCEP Coupler에 의해 약하게 결합(weakly coupled)
 - 대기 : NCEP GFS
 - 수평 해상도 : T126(약 100km)
 - 연직 해상도 : 총 64개 층으로 구성(0.26hPa)
 - 해양 : GFDL MOM4
 - 수평 해상도 : 0.5° (경도)x0.25° (위도)
 - 연직 해상도 : 총 40개 층으로 구성
 - 해빙 : GFDL MOM4
 - 수평 해상도 : 0.5° (경도)x0.5° (위도)
 - 연직 해상도 : 총 2개 층으로 구성
 - 지면 : Noah Land Surface Model
 - 수평 해상도: T126
 - 연직 해상도 : 총 4개 층으로 구성
 - 결합자 : NCEP Coupler(weakly coupled model)
 - 예측기간 : 최대 9개월
 - 45일(매일 9개 앙상블 멤버)
 - 1개월(3개 앙상블 멤버)
 - 9개월(4개 앙상블 멤버)
 - 과거 재현기간 : 1982~2010(29년, 20개 앙상블 멤버)
 - 초기조건/자료동화 기법 : NCEP Reanalysis 시스템(CFSR)을 기반으로 기후장(HCST, Hindcast) 및 예측장(FCST, Forecast) 초기조건 설정
 - 대기 초기조건 : NCEP Reanalysis와 GDAS* 데이터를 사용하여 설정, 3D-VAR 및 4D-VAR 기법 활용, 위성/지상 관측 데이터를 통합하여 대기 초기조건 최적화

22) <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/27/6/jcli-d-12-00823.1.xml>(2024 09.29. 검색);

https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/ens0/archive/200907/models/NCEP_CFS.html(202409.29. 검색);

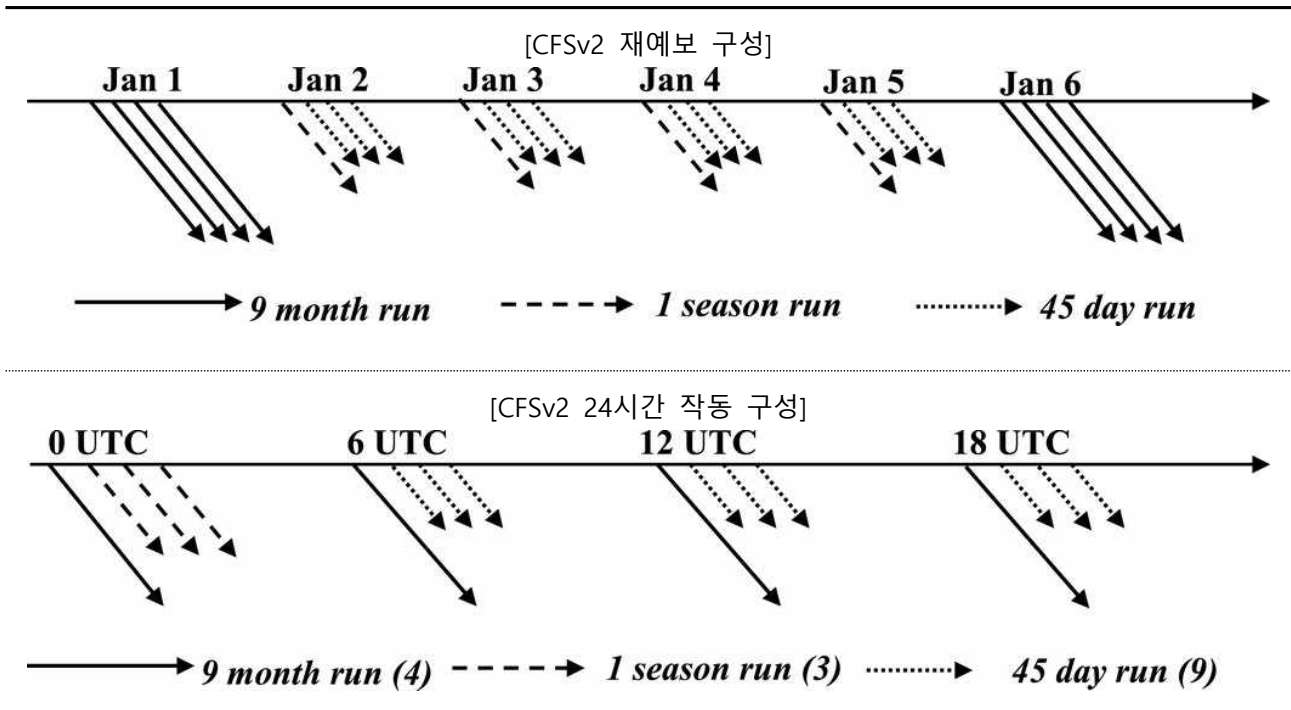
https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/91/8/2010bams3001_1.xml?tab_body=pdf(2024 09.29. 검색)

* GDAS : Global Data Assimilation System

- 해양 초기조건 : GODAS(Global Ocean Data Assimilation System)를 사용하여 설정, 3D-VAR 기법 활용, Argo부이, 선박 데이터 등 활용

- 해빙 초기조건 : NOAA 해빙 농도 분석 데이터 활용하여 초기조건 설정

○ 앙상블 방법 : 초기시간 지연+추계(Ensemble-based probabilistic)



* 자료 : <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/27/6/jcli-d-12-00823.1.xml>(2024 09.29. 검색)

[그림 16] CFSv2 작동 체계

다. ECMWF(유럽) 기후예측시스템 SEAS5(Seasonal Forecasting System)²³⁾²⁴⁾

□ ECMWF의 대기+해양+해빙 결합의 독자적 계절 기후예측시스템으로 1개월 간격으로 설정한 지역/기간에 대한 평균 대기, 해양, 지면 상태에 대한 확률 전망 제공

○ 구성요소 : 대기+해양+해빙 모델이 결합된 모델로, 결합 인터페이스는 단일 실행 파일(single executable)로 구현

* 이전 버전인 SEAS4는 OASIS3 커플러를 사용한 반면, SEAS5의 커플링 인터페이스는 단일 실행 파일로 구현

- 대기 : IFS(Integrated Forecasting System) atmosphere model cycle 48r1

• 수평 해상도 : T319(약 36km)

* 주요 역학 계산에 사용되는 스펙트럼 수평 해상도는 T319이나, 모델의 물리적 매개변수화(구름, 강수, 지면 등)는 물리 공간에서 계산되며, 이는 약 36km간격의 O320 가우시안 격자를 사용-연직 해상도 : 총 91개 층으로 구성되며, 모델 상부는 중간권(약 80km 고도, 0.01hPa)까지 포함

• 연직 해상도 : 총 91개 층으로 구성되며, 모델 상부는 중간권(약 80km 고도, 0.01hPa)까지 포함

- 해양 : NEMO v3.4.1 (Nucleus for European Modeling of the Ocean)

• 수평 해상도 : ORCA0.25° (약 27km)

• 연직 해상도 : 총 75개 층으로 구성(해양 상층부 50m 내의 층 수는 18개, 표층 깊이는 1m)

- 해빙 : LIM2 (Louvain-la-Neuve sea ice model)

• 해상도는 해양모델과 동일

- 결합자 : single executable

○ 예측기간 : 7개월(매월 1일 51개 앙상블 멤버 7개월 예측, 이 중 2·5·8·11월의 15개 앙상블 멤버는 13개월 예측)

○ 과거 재현기간 : 1981~2016(36년, 25개 앙상블 멤버)

○ 초기조건/자료동화 기법

- 대기: ERA-Interim/operations

• 2017년 1월 1일 이전의 재예보(re-forecast)에서는 대기의 초기 조건이 ERA-Interim 분석에서 가져오나 ERA-Interim 분석은 SEAS5 예보를 위해 필요한 시점에 제공되지 않으므로, 2017년 1월 1일 이후의 예보에서는 ECMWF 운영 분석 데이터로 초기화

23) <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/154/meteorology/ecmwfs-new-long-range-forecasting-system-seas5/>(2024.09.26. 검색)

24) [https://gmd.copernicus.org/articles/12/1087/2019/](https://gmd.copernicus.org/articles/12/1087/2019/(2024.09.26. 검색))(2024.09.26. 검색)

- ERA-Interim에서의 오존 변동성은 위성 기기 변경에 따른 영향으로 인해 실제 대기의 연간 변동성을 제대로 반영하지 못하므로, 재예보와 예보 모두에서 오존 초기화는 오존 모델을 사용한 계절적 기후 자료를 기반으로 실행
 - 이 과정에서는 IFS 42r1 주기(L137, 연직 해상도 개선 버전)를 사용하여 ERA-Interim 와도(12 시간 주기) 및 대류권계면 온도(5일 주기)로 보정
- 지면: ERA-Interimland(43r1)/operations
- 재예보에서는 HTESSEL(지면 및 수문학적 모델)의 43r1 버전을 사용하여 지면 초기 조건 설정
 - HTESSEL은 오프라인 모드에서 실행되며, ERA-Interim 데이터(강수량, 태양 복사, 지표면 온도, 바람, 습도 등)를 기반으로 동일한 해상도에서 강제 실행
 - SEAS5 예보에서의 지면 초기 조건은 ECMWF 운영 분석을 기반으로 하며, 여기에는 전용 지면 자료 동화 시스템이 포함
 - SEAS5의 지면 초기 상태는 HRES O1280 격자에서 SEAS5 O320 격자로 보간되는데, 이 과정에서 해상도 차이로 일부 지역에서는 초기 상태가 크게 달라질 수 있어, 이를 방지하기 위해 재예보(36년) 동안 해당 위치와 날짜에서 관측된 최대/최소값과 필드마다 설정된 일정한 마진을 추가로 적용
- 해양/해빙: ORA-S5(과거 해양 재분석)/OCEAN5-RT(일일 실시간 해양 분석)
- ECMWF의 SEAS5에서 해양 및 해빙의 초기 조건과 자료 동화는 OCEAN5 시스템을 통해 제공되며, 과거 해양 재분석 시스템(ORAS5)와 실시간 해양 분석 시스템(OCEAN5-RT)으로 구성
 - OCEAN5는 NEMOVAR라는 3차원 변분법(3D-Var) 자료 동화 시스템의 FGAT (First-Guess at Appropriate Time) 설정으로 운영되며, 해빙의 초기 조건도 제공하여 보다 정밀한 해양 예측을 가능하게 함
- 앙상블 방법 : 초기조건 섭동(데이터 동화 앙상블(EDA))+모델 섭동(추계(Stochastic) (3-scale SPPT + SKEP))

라. BoM(호주) 기후예측시스템 ACCESS-S2²⁵⁾26)

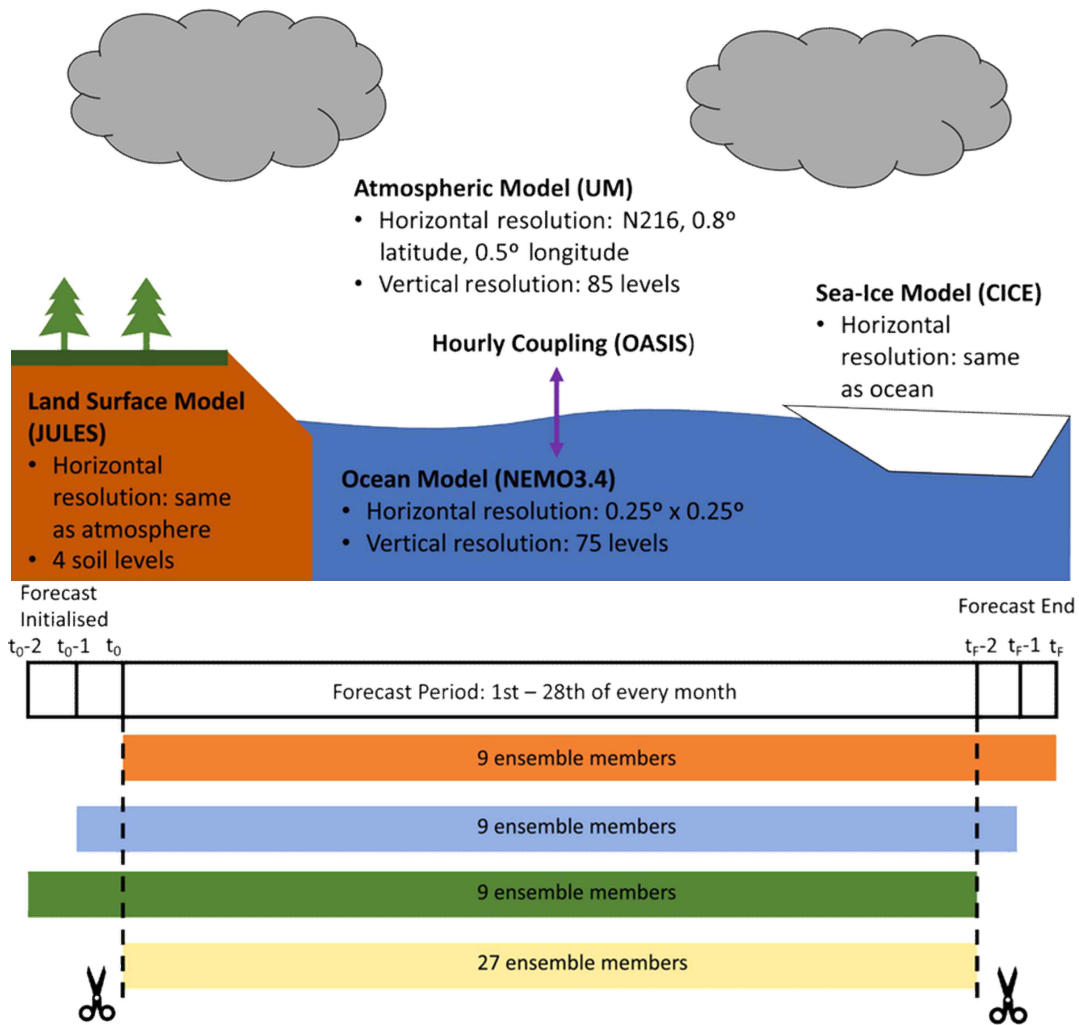
- BoM의 대기+지면+해양+해빙 결합 계절 내/계절 기후예측시스템으로 호주 포함 전 세계 ENSO, 인도양 쌍극자, MJO, 계절별 강수량과 기온 전망, 해수면온도 이상치를 예측
 - 구성 요소 : 대기+해양+해빙+지면 모델이 결합자 OASIS3에 의해 결합
 - 대기 : UM 6
 - 수평 해상도 : N216(약60km, $0.8^\circ \times 0.5^\circ$)
 - 연직 해상도 : 총 85개 층으로 구성
 - 해양 : NEMO ORCA25
 - 수평 해상도 : 0.25° (경도) \times 0.25° (위도)
 - 연직 해상도 : 총 75개 층으로 구성
 - 해빙 : CICE 6.0
 - 수평 해상도는 해양과 동일
 - 연직 해상도 : 5개의 두께로 구성
 - 지면 : JULES 6.0
 - 수평 해상도는 대기와 동일
 - 연직 해상도 : 4개의 층으로 구성
 - 결합자 : OASIS3
 - 예측기간 : 5개월(매일 22개 앙상블 멤버 42일 예측, 이 중 11개 앙상블 멤버 217일 예측, 9일 연속 99개 앙상블 멤버)
 - 과거 재현기간 : 1981~2018(38년, 한 달에 27개 앙상블 멤버)
 - 초기조건/자료동화 기법 : Weakly coupled ensemble optimum interpolation(EnOI)기법을 활용하여 해양, 해빙 지면의 초기조건 생성, 대기 초기조건은 기존 분석 데이터 활용
 - 대기 : ERA-Interim(HCST, 1981~2018), 4D-VAR(ACCESS-G3)(실시간 예측)
 - 해양 : EnOI 활용
 - 해빙 : 대기와 해양의 강제력에 의해 결정, 자료 동화시스템에서 해빙 관측 데이터를 직접 동화하지는 않음
 - 토양 수분 초기화 : 대기 강제력에 의해 결정

25) CSIRO, ACCESS-S2: the upgraded Bureau of Meteorology multi-week to seasonal prediction system, 2022

26) Kimberley J. Reid et al., Atmospheric water vapour transport in ACCESS-S2 and the potential for enhancing skill of subseasonal forecasts of precipitation, 2022

○ 앙상블 방법 : DA system(시간 지연+ Burst)

- ACCESS-S2는 특정 날짜의 대기, 해양, 해빙, 지면 필드의 단일 세트를 기반으로 예측을 수행
- 동일한 시작 날짜에 대한 여러 예측을 생성하기 위해(Burst Ensemble), 반무작위 섭동이 대기 예측 필드에 추가되며, 섭동이 추가되는 변수에는 위풍(U), 경풍(V), 잠재 온도, 특정 습도, 공기 밀도, 엑스너 함수, 지면 기압, 수증기 혼합비, 구름 액체 및 얼음 혼합비 등이 포함
- 이 과정을 통해 실시간 예측을 위한 33개의 앙상블 멤버가 생성되며, 과거 예측의 경우 필요에 따라 멤버 수가 달라짐

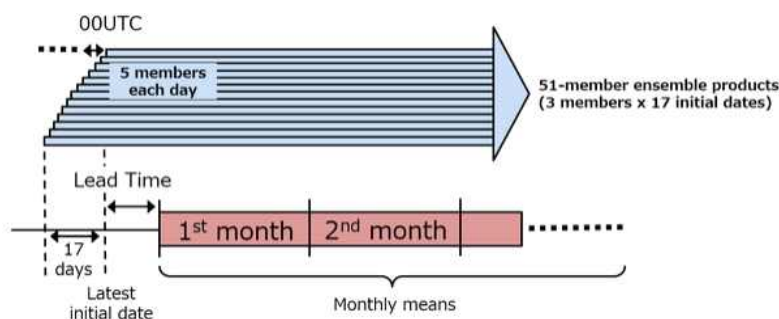


* 자료 : Kimberley J. Reid et al., Atmospheric water vapour transport in ACCESS-S2 and the potential for enhancing skill of subseasonal forecasts of precipitation, 2022

[그림 17] ACCESS-S2 작동 체계

마. JMA(일본) 기후예측시스템 MRI-CPS3²⁷⁾

- JMA의 계절별 앙상블 예측 시스템으로 대기+해양+육지+해빙이 결합 되어 있음. 3개월 예측, 온난/추운 계절 전망, 엘니뇨 전망을 위해 운영 중
 - 구성 : 초기화 시스템과 예측 모델로 구성된 대기-해양-육지-해빙 결합 예측시스템
 - 대기-지면 : GSM2003C
 - 수평 해상도 : TL319L100(~55km)
 - 연직 해상도 : 총 100개 층으로 구성
 - 해양-해빙 : MRI.COM v4.6
 - 수평 해상도 : 0.25 ° X 0.25 °
 - 연직 해상도 : 총 60개 층으로 구성
 - 결합자: SCUP(JMA 개발 coupler)
 - 예측기간 : 7개월(매일 5개 앙상블)
 - 과거 재현기간 : 1991~2020(30년, 한 달에 두 개의 초기 날짜)
 - 초기조건/자료동화 기법
 - 대기 : JRA-3Q 및 GA
 - 육지 : JRA-3Q 및 GA에 의해 강제로 오프라인 모델 실행
 - 대양 : MOVE/MRI.COM-G3(저해상도 4D-VAR+고해상도 다운스케일링)
 - 해빙 : MOVE/MRI.COM-G3(3DVAR)
 - 동화 시스템 : MOVE/MRI.COM-G3(incremental 4D-VAR)
 - 앙상블 방법: BGM + 초기 시간 지연



* 자료 : https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/model/outline/cps3_description.html(2024. 09. 27. 검색)

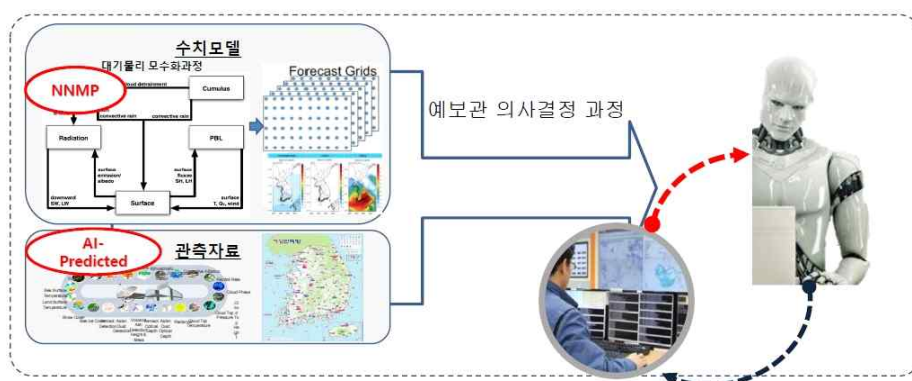
[그림 18] MRI-CPS3의 앙상블 구성

27) https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/model/outline/cps3_description.html(2024. 09. 27. 검색)

2. 국내외 기술 및 연구 개발 동향

가. 국내 동향

- 국립기상과학원에서는 해양기상 감시 및 해양예측시스템 개발 연구, 기후예측시스템 현업 운영 및 개선 연구, AI 기상예측기술 개발 등 기상·기후 연구를 수행중
 - 최근 우리나라 선박들의 해상활동의 범위와 형태가 다변화되어감에 따라 한반도 근해 뿐만이 아닌 전지구 해양기상분야의 예측기술을 향상시키기 위한 연구를 진행중²⁸⁾
 - 기상청 파랑예보 등 현업 지원을 위한 장기예측시스템 구축 및 운영을 위한 연구
 - 해양 변동성 감시 및 자료 동화시스템 개선연구
 - 기상청 장기예보를 지원하기 위해 2주 ~ 6개월 예측규모의 기후예측시스템을 운영중이며 기후예측 정확도 향상을 위해 시스템을 구성하는 각각의 요소들을 개발하고 개선하는 연구를 진행중²⁹⁾
 - “기상재해로부터 국민을 보호하며 지구환경을 보존하기 위한 가치지향의 연구 개발 선도” 를 목표로 미래 수요에 대비하고 그린뉴딜 정책 실현의 일환으로 기상분야에 대한 “인공지능 지원 기술 및 활용” 연구를 수행중³⁰⁾
 - 첨단 관측자료, 수치모델자료와 AI 기술의 융합으로 초단기 및 단기 강수예측 정확도 향상과 수치예보모델의 연산속도를 개선
 - 설명 가능한 인공지능(XAI, eXplainable AI) 기법 적용으로 기상예보 설명력과 신뢰성을 확보하기 위한 기술을 개발중



* 자료 : http://www.nims.go.kr/?sub_num=1216 (2024. 11. 26. 검색)

[그림 19] 인공지능 기상예측기술 개발(국립기상과학원)

28) http://www.nims.go.kr/?sub_num=1088 (2024. 11. 26. 검색)

29) http://www.nims.go.kr/?sub_num=1090 (2024. 11. 26. 검색)

30) http://www.nims.go.kr/?sub_num=1216 (2024. 11. 26. 검색)

- 한국해양과학기술원(KIOST)에서는 기후·해양환경 변화에 대응하여 관련 연구와 AI를 활용한 기후 예측 시스템을 개발중
 - 한반도 주변해 해양변화 예측역량 강화와 해양기후변화 전망연구를 통해 CMIP6 기후 모델 결과를 활용한 미래 기후 전망 및 불확실성 평가, 지역기후모형을 활용한 역학적 상세 전망 등을 연구³¹⁾
 - 인공지능 모델을 이용한 기후지수 예측 결과에 대한 불확실성과 기여도를 제공하는 기후지수 예측 방법 및 시스템을 개발하여 해양기후 예측에 활용할 계획³²⁾
 - 해수면 온도와 해수 열용량 데이터를 입력받은 딥러닝 기반 인공지능 모델과 합성곱 신경망(CNN)을 이용하여 기후지수를 예측
 - 기후지수 예측의 신뢰도를 정량적으로 제시하기 위해 모델의 불확실성과 기여도를 함께 제공하는 기후지수 예측 방법
- APEC 기후센터는 기상청과 협력하여 기후예측시스템의 예성 향상을 위한 기술개발 연구와 장기예보 개선을 위한 연구를 진행중
 - 현업 장기예보 정확도 향상을 위해 실무 예측기술을 개선하고, 앞서 개발된 기술 또는 개선된 기후정보(예측성이 좋은 정보)를 선별하고 가공하여 객관화된 예측 정보를 생산할 수 있는 기반을 마련하기 위한 연구를 진행중³³⁾
 - 국가 기후예측모델(GloSea6)의 예측력 강화를 위해 지면모델 개선기술 개발, 현업화 테스트베드 역할 이행, 기후예측모델 평가·관리 시스템 구축 관련 연구를 진행³⁴⁾

31) https://mobile.kordi.re.kr/prog/homepage/lab/sub01_02/view.do?gubun=point&cntNo=270 (2024. 11. 26. 검색)

32) https://mobile.kordi.re.kr/cop/bbs/BBSMSTR_00000000311/selectBoardArticle.do?nttId=23318 (2024. 11. 26. 검색)

33) APEC 기후센터, 장기예보 개선을 위한 예측정보 통합 방안 개발, 2023

34) APEC 기후센터, 국가 기후예측모델 개선을 위한 테스트베드 구축 및 활용기술 개발, 2023

나. 해외 동향

□ 미국 NOAA는 GFDL을 중심으로 기존의 기후예측시스템 CFSv2를 대체하기 위해 통합예측시스템(UFS) 프레임워크를 사용하여 계절 예측 기능을 개발중³⁵⁾

- 통합예측시스템(UFS)는 기존의 기후예측시스템 CFSv2 대비 내부변동성이 양호하며, 더 높은 해상도를 보임
- 통합예측시스템(UFS) 관련 개발 및 시험중인 모델은 SPEAR, CM4, ESM4, HiRAM, Doubly Periodic HiRAM, SHIELD(fvGFS), AM4/LM4 등이 있음

<표 38> 통합예측시스템(UFS) 관련 개발 및 시험중인 모델들

모델	주요 내용	구성요소
SPEAR	계절~수십년 단위의 예측과 전망을 위한 차세대 GFDL 모델링 시스템	FV3, MOM6, LM4
CM4	최신 대기 및 육상 모델을 활용한 다목적 대기-해양 결합 기후 모델	FV3, MOM6, LM4, AM4, SIS2
ESM4	육지, 해빙 및 빙산 역학을 표현한 대기 순환 모델과 해양 순환 모델을 결합한 지구 시스템 모델	FV3, MOM6/with COBALT, LM4
HiRAM	GFDL 글로벌 고해상도 대기 모델은 글로벌 기후 모델에서 중요한 기상 현상에 대한 개선된 표현을 제공하는 목표로 개발	FV3 with non-hydro option, LM3
Doubly Periodic HiRam	Doubly Periodic HiRam은 대기 물리학을 테스트하기 위한 이상화된모델	FV3 with non-hydro option, LM3
SHIELD(fvGFS)	통합 기상 모델링 시스템, 지구-지역 도메인에 대한 고해상도 예측 시스템	Non-hydro FV3
AM4/LM4	AM3 및 HiRAM에서 개발된 CM4와 같은 결합 모델을 위한 대기 및 육지 구성 요소 모델	-
MOM6	GFDL과 전 세계에서 사용되는 MOM 정식 대규모 해양 기후 모델의 최신 버전	-

* 자료 : <https://www.gfdl.noaa.gov/modeling-systems-group-public-releases/>(2024. 10. 15. 검색)

[참고] NOAA SHIELD 및 NOAA FV3

- NOAA SHIELD(지구-지역 도메인에 대한 고해상도 예측 시스템)
 - SHIELD는 다양한 시간 및 공간 규모에 걸쳐 예측을 할 수 있는 FV3기반의 통합 예측 시스템으로, 동일한 모델링 시스템에서 고해상도 단거리(0 ~ 60시간), 글로벌 중거리(2 ~ 10일), 계절 외(10 ~ 40일) 예보 모델 등 다양한 어플리케이션에 맞게 구성할 수 있음

구분	사용분야	해상도	예측 기간
SHIELD	중기 날씨 예보	Global 13-km , 수직 91층	240 hours (10 days)
C-SHIELD	단거리~중거리 미국 본토의 심각한 기상 예보	Global 13-km, 미국주변 3-km, 수직 63 층	126 hours (5.25 days)

35) <https://www.gfdl.noaa.gov/modeling-systems-group-public-releases/>(2024. 10. 15. 검색)

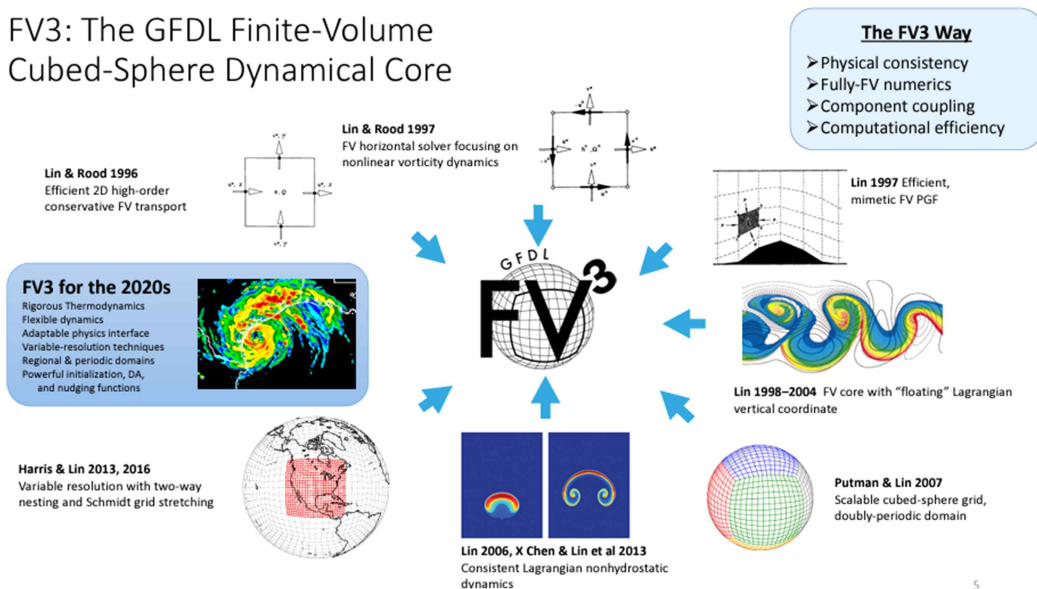
구분	사용분야	해상도	예측 기간
T-SHIELD	중거리 대서양 열대저기압 및 허리케인 예측	Global 13-km, 대서양주변 3.5-km, 수직 63층	168 hours (7 days), hurricane season only
S-SHIELD	계절 예측 (글로벌 변동성 예측, 특히 열대성 저기압, 지표-대기 결합 및 구름-복사 상호 작용)	Global 25-km, 수직91층	30 to 90 days, with up to 10 ensemble members
X-SHIELD	실험적 DYAMOND급 글로벌 스톰해결 모델(GSRM)	Global 3.25-km, 수직 79층	40 days
R-SHIELD	지역 제한 지역 모델(LAM) 구성	Regional 13, 3, or 1 km	54 hours
Tele-SHIELD	단기-중기 심각한 기상 예측, 도시 규모 영향, 해안 날씨 및 수문학, 아격자규모 토지 이용 변동성	Global 13-km, 4.3-km first nest, 1.4-km second nest for Northeast Corridor areas, 91 층	240 hours (10 days)

* 자료 : <https://www.gfdl.noaa.gov/shield/>(2024. 10. 15. 검색)

■ NOAA FV3(Finite-Volume Cubes-Sphere Dynamical Core)

- 세계 최고의 AM4 와 강력한 SHIELD통합 날씨-계절 간 예측 모델 및 SPEAR 원활한 결합 예측 시스템을 포함한 모든 GFDL(Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) 날씨 및 기후 모델의 동적 핵심 코어
- GFDL 유한 체적 입방체 구 동적 코어(FV3)로 정수압 및 비정수압대기 시뮬레이션을 모두 수행가능
- AM4 와 SHIELD 통합 날씨-계절 간 예측 모델을 포함한 GFDL 날씨 및 기후 모델의 동적 코어
- 편리한 휴대성,확장성으로 슈퍼컴퓨터 ~ 노트북에서도 실행

FV3: The GFDL Finite-Volume Cubed-Sphere Dynamical Core



* 자료 : Lucas Harris for the GFDL FV3 Team, The GFDL Finite-Volume Cubed-Sphere Dynamical Core Structure and Usage, 발표 자료, 2022

□ 유럽-지중해 기후변화 센터(CMCC)는 AI와 고성능 컴퓨팅을 활용해 기후 모델링 해상도 향상, 예측 역량 강화, 해양 및 지구시스템 예측 혁신을 선도중³⁶⁾

○ AI와 머신러닝을 활용하여 기후 관측, 예측, 해양 관리 등에서 혁신적인 솔루션을 개발하며 기후 과학의 변화를 선도하기 위한 노력을 추진중

- AI로 모델의 현재 해상도(100km에서 10~50km)가 적당히 증가하고 모델 오류를 최소화하고 불확실성을 정량화

- km 규모의 해상도를 우선시하는 대신, 학습을 위해 컴퓨팅 및 AI의 발전을 활용하는 적당히 높은 해상도(현재 표준인 약 100km에서 10~50km)에서 대규모 시뮬레이션 앙상블을 생성하는 데 초점을 맞춘 균형 잡힌 접근방식 제안

• 10km 해상도의 시뮬레이션 1,000개 비용은 1km 해상도의 시뮬레이션 1개와 동일한 비용

○ 유럽 지구시스템예측 연구소(IESP, Institute for Earth System Predictions)에서는 CMCC 기후 모델링 역량을 향상하고 과학적 통찰력을 향상된 예측기술 및 계획 도구로 전환중

- IESP의 주요 임무는 다음과 같음

• 하위 계절에서 수십 년에 이르는 다중 규모 모델링 및 예측 역량

• 글로벌, 지역 및 해안 해양 운영 예측 서비스

• 기후 시스템의 다양한 구성 요소(해양, 해빙, 대기 및 육지)의 데이터 동화

• 혁신적인 해양 연안 관찰, 모델링 시스템 및 응용

• 해양 및 육상 생지화학적 모델링

• HPC 및 클라우드 아키텍처에서 수치 모델을 최적으로 활용하기 위한 데이터 분석 및 관리를 위한 고급 컴퓨팅 기술 및 혁신적인 플랫폼

• 인공 지능 및 기계 학습 방법

□ 유럽의 기상 및 기후 시뮬레이션 센터(ESiWACE)는 유럽의 기상 및 기후 모델링 커뮤니티를 위한 연구센터로 상세하고 정확한 기후 관련 기술을 개발중³⁷⁾

○ 3단계 프로젝트 ESiWACE3를 통해 전 세계 날씨 및 기후 모델이 소규모 시뮬레이션 기능을 명확하게 해결하여 변화하는 기후에서 날씨 패턴을 예측하는 능력을 크게 향상시키는 것을 목표

- ESiWACE3의 주요 목표는 다음과 같음

36) <https://www.cmcc.it/what-we-do/institutes/institute-for-earth-system-predictions-iesp> (2024. 10. 15검색); CMCC, CMCC Annual Report 2023, 2023

37) [- 52 -](https://www.esiwace.eu/news/news/esiwace3-started(2024.11.12. 검색); https://www.hpccoe.eu/esiwace/(2024. 11. 12. 검색)</p></div><div data-bbox=)

- 지구 시스템 모델링 커뮤니티 전반에 걸쳐 날씨와 기후의 효율적이고 확장 가능한 시뮬레이션을 위한 지식과 기술의 전달 및 확립
- 공동 개발을 통해 공통 기술 지식 격차를 해소하고 고해상도 지구 시스템 모델링을 위한 툴박스 제공
- 유럽에서 날씨와 기후 모델링을 위한 고성능 컴퓨팅에 대한 교육, 커뮤니케이션 및 보급을 위한 지속 가능한 커뮤니티 허브 역할

□ 유럽 전역의 19개 파트너가 참여하는 PRIMAVERA 프로젝트를 통해 차세대 고해상도 기후 예측 모델을 개발중³⁸⁾

- PRIMAVERA 프로젝트는 EU Horizon 2020의 자금 지원을 받아 고해상도 모델링과 유럽 기후위험 평가에 대한 진전을 목표로
 - 고급 고해상도 전지구 기후모델 개발
 - 전례 없는 정확도로 지역 기후를 시뮬레이션하고 예측할 수 있는 능력 확보
 - 정부, 기업, 사회 전반에 유용한 기후정보 제공
- 기존 지역 기후 모델(RCM)에서 사용되던 높은 해상도(약 25~50km)를 적용하고, 슈퍼 컴퓨팅을 활용한 대규모 데이터를 분석하는 등 혁신적인 접근방식을 채택중

□ 일본 JMA는 ‘2030 수치예보 기술개발 중점계획을 통해 해양 예측 모델 개발, 예측 정밀도 향상, 앙상블 시스템 고도화 등 연구를 진행중³⁹⁾

- ‘2030년의 과학기술을 바라본 기상 업무의 본연의 자세(2018.08.)’ 에서 ‘관측·예측 정밀도 향상과 관련된 기술개발’, ‘기상정보·데이터의 활용 추진’ 이 중점항목에 선정됨에 따라 이를 ‘2030 수치예보 기술개발 중점계획’ 에 반영
- 해양기후 예측과 관련된 연구는 기반기술연구 중 모델, 물리, 데이터 분야로 진행

<표 39> 일본 2030 수치예보 기술개발 중점계획

분류	주요 연구 내용
기반기술연구 (모델)	연구주제 : 계층적 지구 시스템 모델링에 관한 연구 (전구 대기 해양 연구부) <ul style="list-style-type: none"> ■ 단기부터 장기 예측 과제에 응용 가능한 지구 시스템 모델 개발 연구 ■ 해양 예측 기술의 개발 및 해양 현상의 규명에 관한 연구 ■ 해양 및 대기 해양 결합 시스템의 데이터 동화에 관한 연구 ■ 주부터 계절 예보를 위한 예측 시스템 개발에 관한 연구 ■ 대기의 미량 성분의 감시·예측 기술과 기상·기후 영향에 관한 연구

38) <https://noc.ac.uk/projects/primavera>(2024. 10. 15. 검색); <https://www.climateurope.eu/primavera/>(2024. 11. 13. 검색); <https://www.primavera-h2020.eu/about/project/>(20224. 11. 13. 검색)

39) JMA, JMA's NWP Strategic Plan Toward 2030, 2018

분류	주요 연구 내용
기반기술연구 (물리)	<p>연구주제 : 대기의 물리 과정의 해명과 물리 과정 모델의 개발에 관한 연구 (기상 예보 연구부)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 고해상도 수치 모델에 있어서의 선형 강수대(선형 호우대)등의 격렬한 기상 현상의 재현성 향상 ■ 설빙물리 과정의 고도화에 기여하는 관측적 연구 ■ 수치 모델의 예측 정밀도 향상을 위한 적운 대류·구름·방사 방식 정밀화 ■ 실험 관측에 기초한 에어로졸, 구름, 강수 미물리소 과정 모델링개선
기반기술연구 (데이터)	<p>연구주제 : 데이터 동화 기술과 관측 해석 기술의 고도화에 관한 연구(기상 관측 연구부)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 위성 데이터의 동화 및 원격 센싱 기술의 고도화 ■ 차세대 미소-스케일 데이터 동화 및 앙상블 시스템의 고도화 ■ 현저 현상의 실황 감시와 메커니즘 규명·예측을 위한 지상 원격 센싱 기술의 개발
응용기상연구	<p>연구주제 : 기상·기후 예측의 사회 경제 활동에의 고도 이용에 관한 연구 (주 담당: 응용 기상 연구부)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 구름 해상 지역 기후 모델에 의한 현저 현상의 재현·예측에 관한 연구 ■ 방재·교통 안전에 직결하는 기상 정보 고도화에 관한 연구 ■ 사회 경제 활동의 안전·안심을 향상시키는 기상·기후 정보의 활용

* 자료 : JMA, JMA's NWP Strategic Plan Toward 2030, 2018

[참고] JMA 해양기후 예측 연구

■ 계층적 지구시스템 모델 연구

분류	주요 연구 내용
1. 단기부터 장기 예측 과제에 응용 가능한 지구 시스템 모델 개발 연구	<ul style="list-style-type: none"> ■ 시공간 스케일을 고정밀도로 표현 가능한 지구 시스템 모델을 개발함으로써 모델 기후 예측 결과와 과거 기후변화의 재현성의 향상을 확인하여 기상·기후 예측의 정밀도 향상과 불확실성 감소 ■ 모델 활용의 저변을 확대 하고 지구 시스템 요소의 영향을 적절히 평가할 수 있는 모델 구축을 목표
2. 해양 예측 기술의 개발 및 해양 현상의 규명에 관한 연구	<ul style="list-style-type: none"> ■ 다양한 시공간 스케일에 대응한 해양 예측 기술을 개발함으로써, 일본 주변 해역의 극단 현상이나, 장기 변동을 규명 ■ 미래의 현업 시스템의 고도화 및 기후 변동 예측이나 일본 주변의 해양 환경에 관한 정보의 고도화
3. 해양 및 대기 해양 결합 시스템의 데이터 동화에 관한 연구	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지구 시스템의 핵심 구성 요소인 해양 및 대기 해양 결합 시스템의 데이터 동화
4. 주-계절 예보를 위한 예측 시스템 개발에 관한 연구	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미래의 현업 예측 시스템을 위한 기술개발과 확실성 연구 수행 이에 따라 주간부터 계절예보의 정확도 향상
5. 대기 미량 성분의 감시 예측 기술과 기상·기후 영향에 관한 연구	<ul style="list-style-type: none"> ■ 화학 수송 모델의 개량을 통해 지구 시스템 모델의 방사 수지나 구름·강수 과정 등을 고정밀도로 지구 온난화 예측 등의 개선 ■ 기상 업무(수치 예보, 환경 기상 등)의 정밀도 향상을 목표

* 자료 : JMA, JMA 중기연구계획(2024 ~ 2028), 2024

■ 대기의 물리 과정의 해명과 물리 과정 모델의 개발 연구

분류	주요 연구 내용
1. 고해상도 수치 모델에 있어서의 선형 강수대(선형 호우대)등의 격렬한 기상 현상의 재현성 향상	<ul style="list-style-type: none"> ■ 고해상도 수치 모델을 활용 선형 강수대등의 격렬한 기상 현상의 재현성 향상 ■ 구름·난류 과정의 고도화를 통해 선형 강수대를 비롯한 격렬한 기상 현상의 예측 정밀도 향상
2. 설빙물리 과정의 고도화에 기여하는 관측적 연구	<ul style="list-style-type: none"> ■ 설빙물리 과정의 고도화-연구 관측에 설빙물리 과정의 이해 및 설빙물리 모델의 고도화 ■ 얼음과 관련된 모델의 정밀도 향상 및 현업 제품 개선
3. 수치 모델의 예측 정밀도 향상을 위한 적운 대류·구름·방사 방식 정밀화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 수치 모델의 예측 정밀도 향상을 위한 적운 대류·구름·방사 방식의 개량 ■ 단기부터 주간예보, 계절예보나 지구온난화 예측에 이용되는 수치예보 모델의 적운대, 부분운, 방사방식 등의 물리과정을 정밀화하여 예측 정밀도 향상
4. 실험 관측에 기초한 에어로졸, 구름, 강수 미물리소 과정 모델링 개선	<ul style="list-style-type: none"> ■ 실내 실험이나 야외 관측에 의한 에어로졸·구름 특성 연구 ■ 에어로졸·구름·강수의 미물리소 과정과 상호작용을 규명하고, 수치 모델링을 정밀화 함으로써 강수, 복사량 등 현상의 예측 정밀도 향상

* 자료 : JMA, JMA 중기연구계획(2024 ~ 2028), 2024

■ 데이터 동화 기술과 관측 해석 기술의 고도화 연구

분류	주요 연구 내용
1. 위성 데이터의 동화 및 원격 센싱 기술의 고도화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 위성 데이터의 동화 및 리모트센싱 기술의 고도화해석·예측의 고정밀도화 개선 ■ 일반 대기·지표면의 방사 전달 계산에 적용할 수 있는 입자 형상·산란 모델 개발 제공 ■ 에어로졸 감시 기술의 고도화에 의한 "기후 및 지구 환경 변동 관련 탄소나 황산염 등의 인위 기원 오염 물질에 의한 지구 환경 변동의 파악"
2. 차세대 매소-스케일 데이터 동화 및 앙상블 시스템의 고도화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 차세대 매소-스케일 데이터 동화 및 앙상블 시스템의 고도화
3. 분명한 기상 현상의 실황 감시와 메커니즘 해명·예측을 위한 지상 원격 센싱 기술의 개발	<ul style="list-style-type: none"> ■ 분명한 기상 현상의 실황 감시와 메커니즘 해명·예측을 위한 지상 원격 센싱 기술의 개발 「대기하층의 수증기 관측 기술의 확립」 ■ 관측 데이터를 이용한 「선형 강수대 등 재해를 초래하는 예측이 어려운 기상 현상의 이해와 예측 정밀도 향상」 ■ 「화산분화나 삼림화재 등 에어로졸 감시를 위한 지상 리모트센싱 기술의 개발」

* 자료 : JMA, JMA 중기연구계획(2024 ~ 2028), 2024

■ 기상·기후 예측의 사회 경제 활동에의 고도 이용에 관한 연구

분류	주요 연구 내용
1. 구름 해상 지역 기후 모델에 의한 현저 현상의 재현·예측에 관한 연구	<ul style="list-style-type: none"> ■ 일본해역의 기후의 장세 변화를 예측하는 구름해상 지역기후 모델의 개발·개량을 AI의 활용도 적절히 검토하면서 진행 ■ 지방(시정촌)스케일의 기후 변동 예측 정보·영향 평가의 창출에 기여 ■ 모델에 의한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 미소-스케일의 현저한 현상의 지구 온난화에 따른 변화의 메커니즘을 규명
2. 방재·교통 안전에 직결하는 기상 정보 고도화에 관한 연구	<ul style="list-style-type: none"> ■ 폭우, 해일, 파랑에 의한 하천 홍수 및 연안 침수의 예측·리스크 평가에 관한 수법의 개발·개량을 AI의 활용도 적절히 검토하면서 진행하여 보다 효과적인 방재 대응 ■ 다양한 재해로 이어지는 태풍 예측 정보의 개선을 위해 오차 요인 등을 조사하여 예측의 불확실성을 줄이고 신뢰할 수 있는 진로·강도 예측 개선
3. 사회 경제 활동의 안전·안심을 향상시키는 기상·기후 정보의 활용	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기상·기후정보의 활용을 추진·확대하는데 도움이 되는 간편한 기후지표를 정비하고 그 변화·변동의 요인을 규명 ■ 대학·연구 기관과 협력·협력 한 기상·기후 위험 관리에 기여하는 기상·기후 정보의 활용에 관한 노력을 통해 기상·기후 위험을 줄이고 사회 경제 활동의 안전·안심 및 생산성 향상에 기여

* 자료 : JMA, JMA 중기연구계획(2024 ~ 2028), 2024

□ 한편, 세계적으로 빅데이터 및 AI 기법이 기후연구 분야에 활용되면서 기존의 기후 예측 기법들을 전처리, 후처리 부문에서 대체/보완중

- (유엔기후변화협약) 제28차 총회에서 기술집행위원회 주도로 AI 이니셔티브* (AI4ClimateAction)를 신규 출범하여, 선진국이 개도국을 대상으로 하는 기술지원 분야에서 AI·디지털 강조

* 개도국의 온실가스 감축 및 기후변화 적응 행동을 위한 변혁적인 기후 솔루션을 발굴하고, 스케일-업 하는 과정에서 AI 기술의 활용 방안을 모색하기 위한 다자 협의체

- (마이크로소프트) 다양한 기상변수 및 시공간 해상도 데이터를 사용하여 학습된 AI 기반 기후모델인 ‘ClimaX’ 개발
- (엔비디아) 지구의 디지털트윈, ‘어스-2’ 개발을 통해 기후변화 예측하고 산불, 홍수, 이상고온과 같은 자연재해를 AI로 예측
- (ECMWF) NWP와 AI(머신러닝) 결합한 3~6주 기온 및 강수 예측 시도(’21년), 트랜스포머 기반 앙상블 후처리 기법으로 기온, 강수 연구
- 1개월 이상 기후규모에서 기후(기온, 강수, 한파 일수)예측을 위해 특정 변수에 대해 장기간 특정패턴을 반복 학습하는 후처리 부문에서 주로 활용 중이며, 물리모수화는 영국에서 시도 중

- 글로벌 민간기업 중심으로 딥러닝(CNN, ViT, GNN, Transformer)기법을 활용하여 전산자원 한계 극복, AI 예측모델을 개발, 현재 AI모델로 NVIDIA ForeCastNet('22.2.) 이후 4개가 발표되었음
 - 30년 이상의 ERA5를 학습, 대기변수 예보(7일)에서 우수한 성능
 - 기후예측 가능모델은 ClimaX가 유일, 2주까지는 성능우수, 그 이상 미검증

다. 해양기후 예측 및 분석 연구 현황

□ (해수면 온도) Web of Science⁴⁰⁾에서 2015년에서 2024년 간 관련 논문 검색 결과 총 2,385편의 논문이 검색되었으며, 이 중 해수면온도 선행인자와 관련 있는 논문 80*편을 분석

* Web of Science를 통해 도출된 논문 79편에 현황 분석시 도출된 논문 1건을 추가함⁴¹⁾

- 동아시아(East Asia), 황해(Yellow Sea), 남해(South Sea), 동해(East Sea), 태평양(Pacific Ocean) 등 지역을 한정
- 해수면온도의 중장기 예측 구분을 위해 3개월, 6개월, Seasonal로 기간을 제한

[참고] 해수면온도 검색식

□ 검색식 1

("sea surface temperature" OR "SST") AND ("El Nino" OR "La Nina" OR "Southern Oscillation Index" OR "SOI" OR "Pacific Decadal Oscillation" OR "PDO" OR "Pacific-North American Pattern" OR "PNA" OR "Madden Julian Oscillation" OR "MJO" OR "Boreal Summer Intraseasonal Oscillation" OR "BSISO" OR "Pacific-Japan Pattern" OR "PJ" OR "Indian Ocean Dipole" OR "IOD" OR "Eurasia Pattern" OR "EU" OR "Circumglobal Teleconnection" OR "CGT" OR "Arctic Oscillation" OR "AO" OR "North Atlantic Oscillation" OR "NAO" OR "Scandinavia Pattern" OR "SCAND" OR "Quasi-Biennial Oscillation" OR "QBO") AND ("East Asia" OR "Yellow Sea" OR "South Sea" OR "East Sea" OR "Pacific Ocean")

□ 검색식 2

("sea surface temperature" OR "SST") AND ("East Asia" OR "Yellow Sea" OR "South Sea" OR "East Sea" OR "Pacific Ocean") AND ("3 month" OR "6 month" OR "Seasonal")

- 해수면온도 관련 논문 분석 결과, 원격상관패턴과 다양한 선행인자를 도출
 - (원격상관패턴) 엘니뇨-남방진동(ENSO), 북태평양십년주기진동(PDO), 태평양-북미패턴(PNA), 매든-줄리안진동(MJO), 여름철 계절내 진동(BSISO), 인도양 쌍극자(IOD), 북극진동(AO), 성층권 2년주기 진동(QBO)
 - (기타 선행인자) 서태평양 대기패턴, 열대성 저기압, Asia-Pacific Oscillation(APO), EDDY, 황해 냉수괴 등

<표 40> 원격상관패턴 - 해수면온도

명칭	개수*
엘니뇨·라니냐(EL Nino·La Nina), 남방진동지수(SOI)	21
북태평양 십년주기 진동(PDO)	8
태평양-북미 패턴(PNA)	3
매든-줄리안 진동(MJO)	8

40) Web of Science 검색일(2024.10.02. ~ 2024.10.29.)

41) 정은실, 한반도에서 위험기상 발생 시 나타나는 해수면온도 변동의 특성, 2019

명칭	개수*
여름철 계절내 진동(BSISO)	3
태평양-일본 패턴(PJ)	-
인도양 쌍극자(IOD)	1
유라시아 패턴(EU)	1
환지구원격상관 패턴(CGT)	-
북극 진동(AO)	6
북대서양 진동(NAO)	-
스칸디나비아 패턴(SCAND)	-
성층권 2년 주기 진동(QBO)	2

* 선행인자별 논문 개수로 총 논문 개수와 불일치 할 수 있음(예 : 한 논문에서 여러 선행인자가 도출된 경우)

<표 41> 기타 선행인자 - 해수면온도

명칭	개수*
Previous winter air-sea coupling	1
atmospheric internal variations (AIVs)	1
증가한 Downward latent heat flux와 shortwave radiation flux	1
combination of oceanic and atmospheric processe	1
서태평양 대기 패턴	1
5-6월의 하이브리드 원격 상관(Hybrid Teleconnections, HT) 패턴	1
열대성 저기압 (Tropical cyclones)	1
Asian-Pacific Oscillation (APO)	1
일간 수온 상승(Diurnal warming)	1
황해 난류(Yellow Sea Warm Currents)	1
북풍(Northerly wind)	1
동아시아 겨울철 강수 쌍극자 패턴(dipole pattern)	1
황해 냉수괴(Yellow Sea Cold Water Mass, YSCWM)	1
갯벌(macro tidal flat)	1
Wind stress	1
equatorial Pacific wind stress	1
몬순 바람(Monsoon wind)	1
구름-해양결합(저층 구름-SST 피드백)	1
South Pacific meridional mode (SPMM)	1
Mixed layer depth (MLD)	1
Subtropical Mode Water (STMW)	1
deep-cycle turbulence	1
태풍(열대성 저기압)	2
EDDY	3
집중호우	1
대설	1

* 선행인자별 논문 개수로 총 논문 개수와 불일치 할 수 있음(예 : 한 논문에서 여러 선행인자가 도출된 경우)

- (해상풍) Web of Science⁴²⁾에서 2015년에서 2024년 간 관련 논문 검색 결과 총 11편의 논문이 검색되었으며 이 중 해상풍 선행인자와 관련 있는 논문 2편 분석
 - 동아시아(East Asia), 황해(Yellow Sea), 남해(South Sea), 동해(East Sea), 태평양(Pacific Ocean) 등 지역을 한정
 - 중장기 예측 구분을 위해 3개월, 6개월, Seasonal로 기간을 제한

[참고] 해상풍 검색식

□ 검색식 1

("marine wind" OR "ocean wind") AND ("El Nino" OR "La Nina" OR "Southern Oscillation Index" OR "SOI" OR "Pacific Decadal Oscillation" OR "PDO" OR "Pacific-North American Pattern" OR "PNA" OR "Madden Julian Oscillation" OR "MJO" OR "Boreal Summer Intraseasonal Oscillation" OR "BSISO" OR "Pacific-Japan Pattern" OR "PJ" OR "Indian Ocean Dipole" OR "IOD" OR "Eurasia Pattern" OR "EU" OR "Circumglobal Teleconnection" OR "CGT" OR "Arctic Oscillation" OR "AO" OR "North Atlantic Oscillation" OR "NAO" OR "Scandinavia Pattern" OR "SCAND" OR "Quasi-Biennial Oscillation" OR "QBO") AND ("East Asia" OR "Yellow Sea" OR "South Sea" OR "East Sea" OR "Pacific Ocean")

□ 검색식 2

("marine wind" OR "ocean wind") AND ("East Asia" OR "Yellow Sea" OR "South Sea" OR "East Sea" OR "Pacific Ocean") AND ("3 month" OR "6 month" OR "Seasonal")

- 해상풍 관련 논문 분석 결과, East Pacific Sea Surface Cooling 및 21세기 초반 지구 표면 온난화 둔화, 지구 온난화가 해상풍에 영향이 있는 것으로 나타남

<표 42> 원격상관패턴 - 해상풍

명칭	개수*
엘니뇨·라니냐(EL Nino·La Nina), 남방진동지수(SOI)	-
북태평양 십년주기 진동(PDO)	-
태평양-북미 패턴(PNA)	-
매든-줄리안 진동(MJO)	-
여름철 계절내 진동(BSISO)	-
태평양-일본 패턴(PJ)	-
인도양 쌍극자(IOD)	-
유라시아 패턴(EU)	-
환지구원격상관 패턴(CGT)	-
북극 진동(AO)	-
북대서양 진동(NAO)	-
스칸디나비아 패턴(SCAND)	-
성층권 2년 주기 진동(QBO)	-

* 선행인자별 논문 개수로 총 논문 개수와 불일치 할 수 있음(예 : 한 논문에서 여러 가지 선행인자가 도출된 경우)

42) Web of Science 검색일(2024.10.02. ~ 2024.10.29.)

<표 43> 기타 선행인자 - 해상풍

명칭	개수*
East Pacific sea surface cooling 및 21세기 초반 지구 표면 온난화 둔화	1
지구 온난화	1

* 선행인자별 논문 개수로 총 논문 개수와 불일치 할 수 있음

- (파고) Web of Science⁴³⁾에서 2015년에서 2024년 간 관련 논문 검색 결과 총 59편의 논문이 검색되었으며, 이 중 유의파고 선행인자와 관련 있는 논문 9편을 분석
 - 동아시아(East Asia), 황해(Yellow Sea), 남해(South Sea), 동해(East Sea), 태평양(Pacific Ocean) 등 지역을 한정
 - 중장기 예측 구분을 위해 3개월, 6개월, Seasonal로 기간을 제한

[참고] 유의파고 검색식

□ 검색식 1

("ocean wave height" OR "wave height" OR "significant wave height") AND ("El Nino" OR "La Nina" OR "Southern Oscillation Index" OR "SOI" OR "Pacific Decadal Oscillation" OR "PDO" OR "Pacific-North American Pattern" OR "PNA" OR "Madden Julian Oscillation" OR "MJO" OR "Boreal Summer Intraseasonal Oscillation" OR "BSISO" OR "Pacific-Japan Pattern" OR "PJ" OR "Indian Ocean Dipole" OR "IOD" OR "Eurasia Pattern" OR "EU" OR "Circumglobal Teleconnection" OR "CGT" OR "Arctic Oscillation" OR "AO" OR "North Atlantic Oscillation" OR "NAO" OR "Scandinavia Pattern" OR "SCAND" OR "Quasi-Biennial Oscillation" OR "QBO") AND ("East Asia" OR "Yellow Sea" OR "South Sea" OR "East Sea" OR "Pacific Ocean")

□ 검색식 2

("ocean wave height" OR "wave height" OR "significant wave height") AND ("East Asia" OR "Yellow Sea" OR "South Sea" OR "East Sea" OR "Pacific Ocean") AND ("3 month" OR "6 month" OR "Seasonal")

- 파고 관련 논문 분석 결과, 원격상관패턴과 기타 선행인자를 도출
 - (원격상관패턴) 엘니뇨 남방진동(ENSO), 태평양-일본패턴(PJ), 인도양 쌍극자(IOD), 북극진동(AO), 태평양-북미패턴(PNA)
 - (기타 선행인자) 남방환형 모드(SAM), 몬순, 해수면 바람

<표 44> 원격상관패턴 - (유의)파고

명칭	개수*
엘니뇨·라니냐(EL Nino·La Nina), 남방진동지수(SOI)	2
북태평양 십년주기 진동(PDO)	-
태평양-북미 패턴(PNA)	1
매든-줄리안 진동(MJO)	-
여름철 계절내 진동(BSISO)	-

43) Web of Science 검색일(2024.10.02. ~ 2024.10.29.)

명칭	개수*
태평양-일본 패턴(PJ)	1
인도양 쌍극자(IOD)	3
유라시아 패턴(EU)	-
환지구원격상관 패턴(CGT)	-
북극 진동(AO)	1
북대서양 진동(NAO)	-
스칸디나비아 패턴(SCAND)	-
성층권 2년 주기 진동(QBO)	-

* 선행인자별 논문 개수로 총 논문 개수와 불일치 할 수 있음

<표 45> 기타 선행인자 - (유의)파고

명칭	개수*
남방환형 모드(SAM)	2
몬순	1
해수면 바람	2

* 선행인자별 논문 개수로 총 논문 개수와 불일치 할 수 있음

- (해류) Web of Science⁴⁴⁾에서 2015년에서 2024년 간 관련 논문 검색 결과 총 132편의 논문이 검색되었으며, 이 중 해류 선행인자와 관련 있는 논문 4편을 분석
 - 동아시아(East Asia), 황해(Yellow Sea), 남해(South Sea), 동해(East Sea), 태평양(Pacific Ocean) 등 지역을 한정
 - 중장기 예측 구분을 위해 3개월, 6개월, Seasonal로 기간을 제한
 - 해류는 한반도 주변의 해류를 검색식에서 고려
 - Kuroshio current, East Korea warm current, Yellow sea warm current, Tsushima current

[참고] 해류 검색식

□ 검색식 1

("ocean current" OR "kuroshio current" OR "east korea warm current" OR "yellow sea warm current" OR "tsushima current") AND ("El Nino" OR "La Nina" OR "Southern Oscillation Index" OR "SOI" OR "Pacific Decadal Oscillation" OR "PDO" OR "Pacific-North American Pattern" OR "PNA" OR "Madden Julian Oscillation" OR "MJO" OR "Boreal Summer Intraseasonal Oscillation" OR "BSISO" OR "Pacific-Japan Pattern" OR "PJ" OR "Indian Ocean Dipole" OR "IOD" OR "Eurasia Pattern" OR "EU" OR "Circumglobal Teleconnection" OR "CGT" OR "Arctic Oscillation" OR "AO" OR "North Atlantic Oscillation" OR "NAO" OR "Scandinavia Pattern" OR "SCAND" OR "Quasi-Biennial Oscillation" OR "QBO") AND ("East Asia" OR "Yellow Sea" OR "South Sea" OR "East Sea" OR "Pacific Ocean")

□ 검색식 2

("ocean current" OR "kuroshio current" OR "east korea warm current" OR "yellow sea warm currents" OR "tsushima currents") AND ("East Asia" OR "Yellow Sea" OR "South Sea" OR "East Sea" OR "Pacific Ocean") AND ("3 month" OR "6 month" OR "Seasonal")

44) Web of Science 검색일(2024.10.02. ~ 2024.10.29.)

○ 해류 관련 논문 분석 결과, 원격상관패턴과 기타 선행인자를 도출

- (원격상관패턴) 태평양십년주기진동(PDO), ENSO-PDO 복합 기후 모드, 엘니뇨-남방진동(ENSO),
- (기타 선행인자) 열유속

<표 46> 원격상관패턴 - 해류

명칭	개수*
엘니뇨·라니냐(EL Nino·La Nina), 남방진동지수(SOI)	2
북태평양 십년주기 진동(PDO)	1
태평양-북미 패턴(PNA)	-
매든-줄리안 진동(MJO)	-
여름철 계절내 진동(BSISO)	-
태평양-일본 패턴(PJ)	1
인도양 쌍극자(IOD)	-
유라시아 패턴(EU)	-
환지구원격상관 패턴(CGT)	-
북극 진동(AO)	-
북대서양 진동(NAO)	-
스칸디나비아 패턴(SCAND)	-
성층권 2년 주기 진동(QBO)	-

* 선행인자별 논문 개수로 총 논문 개수와 불일치 할 수 있음

<표 47> 기타 선행인자 - 해류

명칭	개수*
열유속	1

* 선행인자별 논문 개수로 총 논문 개수와 불일치 할 수 있음

□ (해양기후예측 요소의 상호 영향 분석) 해상기후예측의 주요 요소인 해수면온도, 해상풍, 유의파고, 해류가 각각 선행인자로서 다른 요소들에 미치는 영향 분석 수행

- 선행인자로서 해류와 해수면온도 서로에 미치는 영향을 분석한 결과, 총 10편의 논문이 검색되었으며 이 중 1편의 관련 논문 분석 수행
 - 해류(황해 난류)가 해수면온도에 영향을 미치는 것으로 분석됨
- 반면 해상풍·해류, 해상풍·유의파고, 해상풍·해수면온도, 해수면온도·해상풍 및 유의파고 간 상호 영향을 분석하였으나, 관련 논문은 도출되지 않음

[참고] 검색식

□ 검색식 1 : 해류 및 해수면온도

("sea surface temperature" OR "SST") AND ("ocean current" OR "kuroshio current" OR "east korea warm current" OR "yellow sea warm currents" OR "tsushima currents") AND ("East Asia" OR "Yellow Sea" OR "South Sea" OR "East Sea" OR "Pacific Ocean") AND ("3 month" OR "6 month" OR "Seasonal")

□ 검색식 2 : 해상풍 및 해류

("marine wind" OR "ocean wind") AND ("ocean current" OR "kuroshio current" OR "east korea warm current" OR "yellow sea warm currents" OR "tsushima currents") AND ("East Asia" OR "Yellow Sea" OR "South Sea" OR "East Sea" OR "Pacific Ocean") AND ("3 month" OR "6 month" OR "Seasonal")

□ 검색식 3 : 해상풍 및 유의파고

("marine wind" OR "ocean wind") AND ("ocean wave height" OR "wave height" OR "significant wave height") AND ("East Asia" OR "Yellow Sea" OR "South Sea" OR "East Sea" OR "Pacific Ocean") AND ("3 month" OR "6 month" OR "Seasonal")

□ 검색식 4 : 해상풍 및 해수면온도

("marine wind" OR "ocean wind") AND ("sea surface temperature" OR "SST") AND ("East Asia" OR "Yellow Sea" OR "South Sea" OR "East Sea" OR "Pacific Ocean") AND ("3 month" OR "6 month" OR "Seasonal")

□ 검색식 5 : 해수면온도, 해상풍 및 유의파고

("sea surface temperature" OR "SST") AND ("marine wind" OR "ocean wind") AND ("ocean wave height" OR "wave height" OR "significant wave height") AND ("East Asia" OR "Yellow Sea" OR "South Sea" OR "East Sea" OR "Pacific Ocean") AND ("3 month" OR "6 month" OR "Seasonal")

제 3 절 해양기후 예측 서비스 현황

1. 해양기후 예측 서비스 현황 요약

- 국내에서는 기상청과 APEC기후센터, 한국해양과학기술원에서 수치모델 자료를 활용하여 해수면 온도와 파고를 중심으로 서비스를 제공 중
 - 기상청은 GloSea6 앙상블 평균과 WaveWatch3 단일모델의 예측자료를 기반으로 1개월 예측자료를 서비스하고 있으며, 기상청의 해상 광역 예보구역에 대해 해수면 온도와 유의파고 예측정보를 제공하고 있음
 - APEC기후센터는 전세계에서 수집한 기후예측모델의 MME(Multi Model Ensemble)를 기반으로 해수면 온도에 대한 3개월 및 6개월 예측정보를 제공 중이며 동아시아 주변 해역에 대한 다중모델과 다중모델 확률 예측자료를 서비스하고 있음
 - 한국해양과학기술원은 NOAA의 CFSv2를 기반으로 3개월 예측정보를 제공 중이며 해양기상 요소(해수면 온도, 파고 등)와 해상의 기상 요소(기온·강수량 등) 9종을 가공하여 제공하고 있음⁴⁵⁾
- 주요국들은 해수면온도 어노말리를 중심으로 서비스를 제공중이며, 유럽과 호주는 해수면온도와 해수면온도 어노말리 모두에 대한 서비스를 제공중
 - 예측구역 : 미국, 유럽, 영국은 전지구/열대지역을 중심으로 서비스를 제공중이며, 일본은 북서태평양, 호주, 뉴질랜드는 주변해역을 중심으로 제공중
 - 생산주기/기간 : 1개월, 3개월, 6개월 서비스를 제공중이며 발표주기는 국가마다 상이
 - 1개월 : 매일 발표(미국), 격주 발표(일본)
 - 3개월 : 월 1회 발표(미국)
 - 6개월 : 영국, 호주, 뉴질랜드
 - 기타(4개월) : 유럽
 - 예보방식 : 국가별로 확률예보 혹은 단정예보 방식으로 제공중이며, 호주는 단정예보, 확률예보 모두 제공중
 - 확률예보 : 유럽, 영국, 호주
 - 단정예보 : 미국, 호주, 일본, 뉴질랜드
 - 호주는 해수면온도에 대해 단정예보를 제공중이며, 해수면온도 어노말리에 대하여는 확률예보, 단정예보 모두 제공중
 - 기타 : 일본은 전문가의 설명이 포함된 통보문을 함께 제공

45) <https://www.ocpc.kr/> (2024. 11. 26. 검색); 해양기후예측센터, 2024 8월~10월 해양기후 전망, 2024. 07. 30.

<표 48> 주요국 해수면온도 예측 서비스 현황

구분	NCEP(미국)	ECMWF(유럽)	Met Office(영국)	BoM(호주)	JMA(일본)	NIWA(뉴질랜드)
서비스유무 (서비스명)	● (CFSv2 Forecast of Monthly Mean Climate Anomalies)	●	● (ENSO region sea surface temperature forecasts)	● (Ocean Temperature Outlooks)	● (해양건강진단)	●
예측구역	전지구	●	●	-	-	-
	NiNo 해역	●	-	●	-	-
	열대 지역	-	●	● (열대 대서양, 인도양, 열대 태평양)	-	-
	주변 해역	-	-	-	● (호주 주변 해역)	● (뉴질랜드 연안)
	기타	-	-	-	● (북서태평양)	-
생산주기, 기간	1개월 (매일 발표)	-	-	-	● (주 1회 발표)	-
	3개월 (매월 발표)	-	-	-	-	-
	6개월	-	-	● (월 1회 발표)	● (월 1회 발표)	● (월 1회 발표)
	기타	-	● (최대 4개월, 월 1회 발표)	-	-	-
예보방식	확률 예보	-	● (해수면온도, 해수면온도 어노말리)	● (해수면온도 어노말리)	● (해수면온도 어노말리)	-
	단정 예보	● (해수면온도 어노말리)	-	-	● (해수면온도, 해수면온도 어노말리)	● (해수면온도 어노말리, , 해양열파)
배포방식 (인터넷 홈페이지)	그래픽 예상도 (지도)	●	●	-	●	●
	시계열 그래프	-	●	●	●	●
	텍스트	●	-	-	-	●
	기타	-	-	-	해수면온도 상승에 따른 산호초 표백 위험 정보	통보문 함께 제공

* Nino 해역 : Nino(엘리뇨/라니냐)해역(Nino1+2, Nino3, Nino3.4, Nino4)

* 자료 : 각 기관 홈페이지, 쉐트리마란 정리

- 해상풍 및 유의파고에 대한 예측 서비스는 단기 중심으로 제공중이며, 해류 예측 서비스는 일본 JMA에서 1개월 단정예보를 제공중
 - 미국, 영국, 호주는 자국 주변 해역의 해상풍 단기예보 서비스를 제공중이며, 유럽은 사이클론, 허리케인/태풍, 열대성 폭풍에 대한 발생 전망 정보를 제공중
 - 미국, 유럽 호주는 자국 주변 해역의 파고 단기예보 서비스를 제공중이며, 일본은 파랑/실황 단기 예측 서비스를 제공중
 - 미국, 호주는 해류 단기예보 서비스를 제공중이며, 일본은 해수면온도 어노말리와 함께 ‘해양건강진단’ 을 통해 해류 1개월 단정예보 서비스를 제공중

2. 국가별 해양기후 예측 서비스 현황

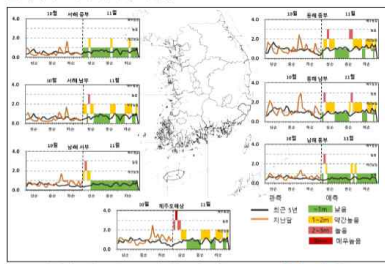
가. 국내

□ 기상청

- 예측 구역 : 한반도 주변 해역
- 생산 기간/주기 : 1개월(월 1회 발표)
- 예보 방식 : 단정예보(해수면 온도, 유의파고)
 - 해수면온도 : 해역별 평균 예측값을 월간 범위 및 순별 시계열로 제공함
 - 유의파고 : 7개 해역별 평균 예측값을 구간*으로 제공함
- * 파고 구간값: 낮음(1m 미만), 약간높음(1~2m), 높음(2~3m), 매우높음(3m 이상)
- 배포 방식
 - 해수면 온도 : 월간지, 인터넷 홈페이지에 텍스트, 분포도 및 시계열 그래프 제공
 - 해류 : 월간지, 인터넷 홈페이지에 분포도 및 시계열 그래프 제공
- 활용 대상 : 대국민, 어업 및 수산업 관련 종사자, 해운 및 항해업, 해양학자, 해양 관광 산업, 재난 대비 기관

[참고] 기상청 월간 해양기상·기후정보

■ 유의파고 관측 및 예측 시계열



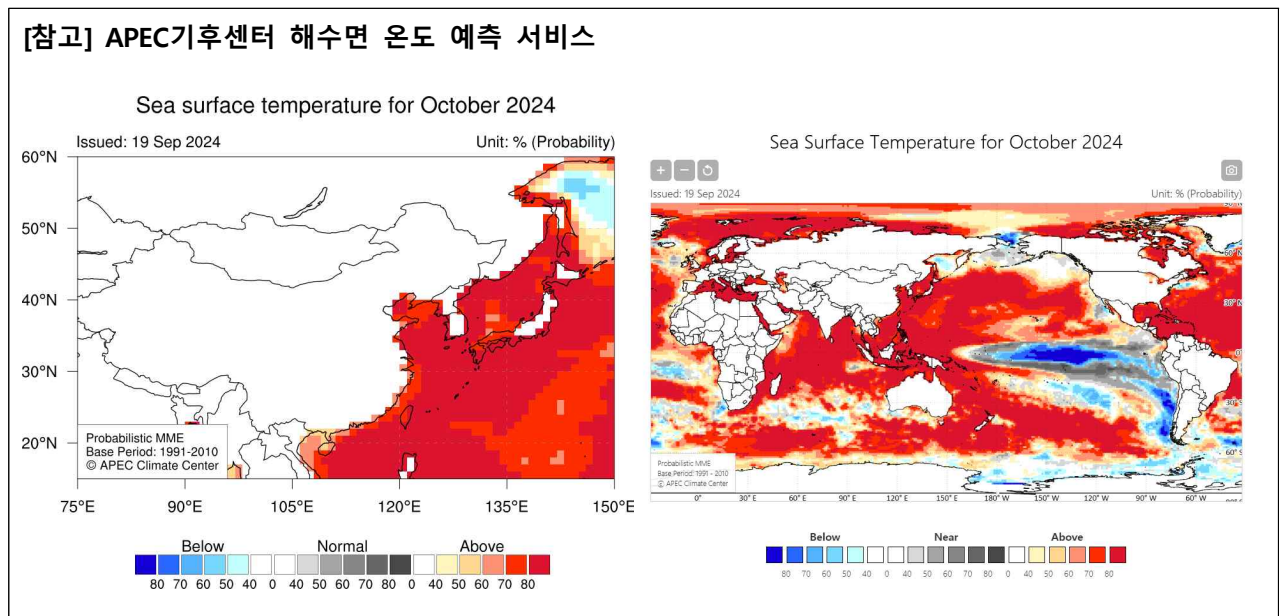
< 유의파고 최근 5년(19~23년) 및 24년 10월(10.1~10.31) 관측과 11월 예측 >

- ✓ 유의파고는 해양기상부에서 파고부에서 관측한 일 평균 유의파고를 사용하였으며, 최근 5년(—)은 19~23년 관측값의 일 평균, 지난달(—)은 24년 10월(1일~31일) 관측값의 일 평균임
- ✓ 파고 예측은 수치모델에서 산출된 해역별 평균 예측값으로, 범위로 표출함
 * 파고 구간값: 낮음(1m 미만), 약간높음(1~2m), 높음(2~3m), 매우높음(3m 이상)
- ✓ 파고 예측정보는 해역별 평균 예측값으로 실제 관측값과 차이가 있을 수 있음

해역	면적	위치
서해중부	평안도, 인연	북위: 38.00, 38.50, 39.00, 39.50, 40.00, 40.50, 41.00, 41.50, 42.00, 42.50, 43.00, 43.50, 44.00, 44.50, 45.00, 45.50, 46.00, 46.50, 47.00, 47.50, 48.00, 48.50, 49.00, 49.50, 50.00, 50.50, 51.00, 51.50, 52.00, 52.50, 53.00, 53.50, 54.00, 54.50, 55.00, 55.50, 56.00, 56.50, 57.00, 57.50, 58.00, 58.50, 59.00, 59.50, 60.00, 60.50, 61.00, 61.50, 62.00, 62.50, 63.00, 63.50, 64.00, 64.50, 65.00, 65.50, 66.00, 66.50, 67.00, 67.50, 68.00, 68.50, 69.00, 69.50, 70.00, 70.50, 71.00, 71.50, 72.00, 72.50, 73.00, 73.50, 74.00, 74.50, 75.00, 75.50, 76.00, 76.50, 77.00, 77.50, 78.00, 78.50, 79.00, 79.50, 80.00, 80.50, 81.00, 81.50, 82.00, 82.50, 83.00, 83.50, 84.00, 84.50, 85.00, 85.50, 86.00, 86.50, 87.00, 87.50, 88.00, 88.50, 89.00, 89.50, 90.00, 90.50, 91.00, 91.50, 92.00, 92.50, 93.00, 93.50, 94.00, 94.50, 95.00, 95.50, 96.00, 96.50, 97.00, 97.50, 98.00, 98.50, 99.00, 99.50, 100.00, 100.50, 101.00, 101.50, 102.00, 102.50, 103.00, 103.50, 104.00, 104.50, 105.00, 105.50, 106.00, 106.50, 107.00, 107.50, 108.00, 108.50, 109.00, 109.50, 110.00, 110.50, 111.00, 111.50, 112.00, 112.50, 113.00, 113.50, 114.00, 114.50, 115.00, 115.50, 116.00, 116.50, 117.00, 117.50, 118.00, 118.50, 119.00, 119.50, 120.00, 120.50, 121.00, 121.50, 122.00, 122.50, 123.00, 123.50, 124.00, 124.50, 125.00, 125.50, 126.00, 126.50, 127.00, 127.50, 128.00, 128.50, 129.00, 129.50, 130.00, 130.50, 131.00, 131.50, 132.00, 132.50, 133.00, 133.50, 134.00, 134.50, 135.00, 135.50, 136.00, 136.50, 137.00, 137.50, 138.00, 138.50, 139.00, 139.50, 140.00, 140.50, 141.00, 141.50, 142.00, 142.50, 143.00, 143.50, 144.00, 144.50, 145.00, 145.50, 146.00, 146.50, 147.00, 147.50, 148.00, 148.50, 149.00, 149.50, 150.00, 150.50, 151.00, 151.50, 152.00, 152.50, 153.00, 153.50, 154.00, 154.50, 155.00, 155.50, 156.00, 156.50, 157.00, 157.50, 158.00, 158.50, 159.00, 159.50, 160.00, 160.50, 161.00, 161.50, 162.00, 162.50, 163.00, 163.50, 164.00, 164.50, 165.00, 165.50, 166.00, 166.50, 167.00, 167.50, 168.00, 168.50, 169.00, 169.50, 170.00, 170.50, 171.00, 171.50, 172.00, 172.50, 173.00, 173.50, 174.00, 174.50, 175.00, 175.50, 176.00, 176.50, 177.00, 177.50, 178.00, 178.50, 179.00, 179.50, 180.00, 180.50, 181.00, 181.50, 182.00, 182.50, 183.00, 183.50, 184.00, 184.50, 185.00, 185.50, 186.00, 186.50, 187.00, 187.50, 188.00, 188.50, 189.00, 189.50, 190.00, 190.50, 191.00, 191.50, 192.00, 192.50, 193.00, 193.50, 194.00, 194.50, 195.00, 195.50, 196.00, 196.50, 197.00, 197.50, 198.00, 198.50, 199.00, 199.50, 200.00, 200.50, 201.00, 201.50, 202.00, 202.50, 203.00, 203.50, 204.00, 204.50, 205.00, 205.50, 206.00, 206.50, 207.00, 207.50, 208.00, 208.50, 209.00, 209.50, 210.00, 210.50, 211.00, 211.50, 212.00, 212.50, 213.00, 213.50, 214.00, 214.50, 215.00, 215.50, 216.00, 216.50, 217.00, 217.50, 218.00, 218.50, 219.00, 219.50, 220.00, 220.50, 221.00, 221.50, 222.00, 222.50, 223.00, 223.50, 224.00, 224.50, 225.00, 225.50, 226.00, 226.50, 227.00, 227.50, 228.00, 228.50, 229.00, 229.50, 230.00, 230.50, 231.00, 231.50, 232.00, 232.50, 233.00, 233.50, 234.00, 234.50, 235.00, 235.50, 236.00, 236.50, 237.00, 237.50, 238.00, 238.50, 239.00, 239.50, 240.00, 240.50, 241.00, 241.50, 242.00, 242.50, 243.00, 243.50, 244.00, 244.50, 245.00, 245.50, 246.00, 246.50, 247.00, 247.50, 248.00, 248.50, 249.00, 249.50, 250.00, 250.50, 251.00, 251.50, 252.00, 252.50, 253.00, 253.50, 254.00, 254.50, 255.00, 255.50, 256.00, 256.50, 257.00, 257.50, 258.00, 258.50, 259.00, 259.50, 260.00, 260.50, 261.00, 261.50, 262.00, 262.50, 263.00, 263.50, 264.00, 264.50, 265.00, 265.50, 266.00, 266.50, 267.00, 267.50, 268.00, 268.50, 269.00, 269.50, 270.00, 270.50, 271.00, 271.50, 272.00, 272.50, 273.00, 273.50, 274.00, 274.50, 275.00, 275.50, 276.00, 276.50, 277.00, 277.50, 278.00, 278.50, 279.00, 279.50, 280.00, 280.50, 281.00, 281.50, 282.00, 282.50, 283.00, 283.50, 284.00, 284.50, 285.00, 285.50, 286.00, 286.50, 287.00, 287.50, 288.00, 288.50, 289.00, 289.50, 290.00, 290.50, 291.00, 291.50, 292.00, 292.50, 293.00, 293.50, 294.00, 294.50, 295.00, 295.50, 296.00, 296.50, 297.00, 297.50, 298.00, 298.50, 299.00, 299.50, 300.00, 300.50, 301.00, 301.50, 302.00, 302.50, 303.00, 303.50, 304.00, 304.50, 305.00, 305.50, 306.00, 306.50, 307.00, 307.50, 308.00, 308.50, 309.00, 309.50, 310.00, 310.50, 311.00, 311.50, 312.00, 312.50, 313.00, 313.50, 314.00, 314.50, 315.00, 315.50, 316.00, 316.50, 317.00, 317.50, 318.00, 318.50, 319.00, 319.50, 320.00, 320.50, 321.00, 321.50, 322.00, 322.50, 323.00, 323.50, 324.00, 324.50, 325.00, 325.50, 326.00, 326.50, 327.00, 327.50, 328.00, 328.50, 329.00, 329.50, 330.00, 330.50, 331.00, 331.50, 332.00, 332.50, 333.00, 333.50, 334.00, 334.50, 335.00, 335.50, 336.00, 336.50, 337.00, 337.50, 338.00, 338.50, 339.00, 339.50, 340.00, 340.50, 341.00, 341.50, 342.00, 342.50, 343.00, 343.50, 344.00, 344.50, 345.00, 345.50, 346.00, 346.50, 347.00, 347.50, 348.00, 348.50, 349.00, 349.50, 350.00, 350.50, 351.00, 351.50, 352.00, 352.50, 353.00, 353.50, 354.00, 354.50, 355.00, 355.50, 356.00, 356.50, 357.00, 357.50, 358.00, 358.50, 359.00, 359.50, 360.00, 360.50, 361.00, 361.50, 362.00, 362.50, 363.00, 363.50, 364.00, 364.50, 365.00, 365.50, 366.00, 366.50, 367.00, 367.50, 368.00, 368.50, 369.00, 369.50, 370.00, 370.50, 371.00, 371.50, 372.00, 372.50, 373.00, 373.50, 374.00, 374.50, 375.00, 375.50, 376.00, 376.50, 377.00, 377.50, 378.00, 378.50, 379.00, 379.50, 380.00, 380.50, 381.00, 381.50, 382.00, 382.50, 383.00, 383.50, 384.00, 384.50, 385.00, 385.50, 386.00, 386.50, 387.00, 387.50, 388.00, 388.50, 389.00, 389.50, 390.00, 390.50, 391.00, 391.50, 392.00, 392.50, 393.00, 393.50, 394.00, 394.50, 395.00, 395.50, 396.00, 396.50, 397.00, 397.50, 398.00, 398.50, 399.00, 399.50, 400.00, 400.50, 401.00, 401.50, 402.00, 402.50, 403.00, 403.50, 404.00, 404.50, 405.00, 405.50, 406.00, 406.50, 407.00, 407.50, 408.00, 408.50, 409.00, 409.50, 410.00, 410.50, 411.00, 411.50, 412.00, 412.50, 413.00, 413.50, 414.00, 414.50, 415.00, 415.50, 416.00, 416.50, 417.00, 417.50, 418.00, 418.50, 419.00, 419.50, 420.00, 420.50, 421.00, 421.50, 422.00, 422.50, 423.00, 423.50, 424.00, 424.50, 425.00, 425.50, 426.00, 426.50, 427.00, 427.50, 428.00, 428.50, 429.00, 429.50, 430.00, 430.50, 431.00, 431.50, 432.00, 432.50, 433.00, 433.50, 434.00, 434.50, 435.00, 435.50, 436.00, 436.50, 437.00, 437.50, 438.00, 438.50, 439.00, 439.50, 440.00, 440.50, 441.00, 441.50, 442.00, 442.50, 443.00, 443.50, 444.00, 444.50, 445.00, 445.50, 446.00, 446.50, 447.00, 447.50, 448.00, 448.50, 449.00, 449.50, 450.00, 450.50, 451.00, 451.50, 452.00, 452.50, 453.00, 453.50, 454.00, 454.50, 455.00, 455.50, 456.00, 456.50, 457.00, 457.50, 458.00, 458.50, 459.00, 459.50, 460.00, 460.50, 461.00, 461.50, 462.00, 462.50, 463.00, 463.50, 464.00, 464.50, 465.00, 465.50, 466.00, 466.50, 467.00, 467.50, 468.00, 468.50, 469.00, 469.50, 470.00, 470.50, 471.00, 471.50, 472.00, 472.50, 473.00, 473.50, 474.00, 474.50, 475.00, 475.50, 476.00, 476.50, 477.00, 477.50, 478.00, 478.50, 479.00, 479.50, 480.00, 480.50, 481.00, 481.50, 482.00, 482.50, 483.00, 483.50, 484.00, 484.50, 485.00, 485.50, 486.00, 486.50, 487.00, 487.50, 488.00, 488.50, 489.00, 489.50, 490.00, 490.50, 491.00, 491.50, 492.00, 492.50, 493.00, 493.50, 494.00, 494.50, 495.00, 495.50, 496.00, 496.50, 497.00, 497.50, 498.00, 498.50, 499.00, 499.50, 500.00, 500.50, 501.00, 501.50, 502.00, 502.50, 503.00, 503.50, 504.00, 504.50, 505.00, 505.50, 506.00, 506.50, 507.00, 507.50, 508.00, 508.50, 509.00, 509.50, 510.00, 510.50, 511.00, 511.50, 512.00, 512.50, 513.00, 513.50, 514.00, 514.50, 515.00, 515.50, 516.00, 516.50, 517.00, 517.50, 518.00, 518.50, 519.00, 519.50, 520.00, 520.50, 521.00, 521.50, 522.00, 522.50, 523.00, 523.50, 524.00, 524.50, 525.00, 525.50, 526.00, 526.50, 527.00, 527.50, 528.00, 528.50, 529.00, 529.50, 530.00, 530.50, 531.00, 531.50, 532.00, 532.50, 533.00, 533.50, 534.00, 534.50, 535.00, 535.50, 536.00, 536.50, 537.00, 537.50, 538.00, 538.50, 539.00, 539.50, 540.00, 540.50, 541.00, 541.50, 542.00, 542.50, 543.00, 543.50, 544.00, 544.50, 545.00, 545.50, 546.00, 546.50, 547.00, 547.50, 548.00, 548.50, 549.00, 549.50, 550.00, 550.50, 551.00, 551.50, 552.00, 552.50, 553.00, 553.50, 554.00, 554.50, 555.00, 555.50, 556.00, 556.50, 557.00, 557.50, 558.00, 558.50, 559.00, 559.50, 560.00, 560.50, 561.00, 561.50, 562.00, 562.50, 563.00, 563.50, 564.00, 564.50, 565.00, 565.50, 566.00, 566.50, 567.00, 567.50, 568.00, 568.50, 569.00, 569.50, 570.00, 570.50, 571.00, 571.50, 572.00, 572.50, 573.00, 573.50, 574.00, 574.50, 575.00, 575.50, 576.00, 576.50, 577.00, 577.50, 578.00, 578.50, 579.00, 579.50, 580.00, 580.50, 581.00, 581.50, 582.00, 582.50, 583.00, 583.50, 584.00, 584.50, 585.00, 585.50, 586.00, 586.50, 587.00, 587.50, 588.00, 588.50, 589.00, 589.50, 590.00, 590.50, 591.00, 591.50, 592.00, 592.50, 593.00, 593.50, 594.00, 594.50, 595.00, 595.50, 596.00, 596.50, 597.00, 597.50, 598.00, 598.50, 599.00, 599.50, 600.00, 600.50, 601.00, 601.50, 602.00, 602.50, 603.00, 603.50, 604.00, 604.50, 605.00, 605.50, 606.00, 606.50, 607.00, 607.50, 608.00, 608.50, 609.00, 609.50, 610.00, 610.50, 611.00, 611.50, 612.00, 612.50, 613.00, 613.50, 614.00, 614.50, 615.00, 615.50, 616.00, 616.50, 617.00, 617.50, 618.00, 618.50, 619.00, 619.50, 620.00, 620.50, 621.00, 621.50, 622.00, 622.50, 623.00, 623.50, 624.00, 624.50, 625.00, 625.50, 626.00, 626.50, 627.00, 627.50, 628.00, 628.50, 629.00, 629.50, 630.00, 630.50, 631.00, 631.50, 632.00, 632.50, 633.00, 633.50, 634.00, 634.50, 635.00, 635.50, 636.00, 636.50, 637.00, 637.50, 638.00, 638.50, 639.00, 639.50, 640.00, 640.50, 641.00, 641.50, 642.00, 642.50, 643.00, 643.50, 644.00, 644.50, 645.00, 645.50, 646.00, 646.50, 647.00, 647.50, 648.00, 648.50, 649.00, 649.50, 650.00, 650.50, 651.00, 651.50, 652.00, 652.50, 653.00, 653.50, 654.00, 654.50, 655.00, 655.50, 656.00, 656.50, 657.00, 657.50, 658.00, 658.50, 659.00, 659.50, 660.00, 660.50, 661.00, 661.50, 662.00, 662.50, 663.00, 663.50, 664.00, 664.50, 665.00, 665.50, 666.00, 666.50, 667.00, 667.50, 668.00, 668.50, 669.00, 669.50, 670.00, 670.50, 671.00, 671.50, 672.00, 672.50, 673.00, 673.50, 674.00, 674.50, 675.00, 675.50, 676.00, 676.50, 677.00, 677.50, 678.00, 678.50, 679.00, 679.50, 680.00, 680.50, 681.00, 681.50, 682.00, 682.50, 683.00, 683.50, 684.00, 684.50, 685.00, 685.50, 686.00, 686.50, 687.00, 687.50, 688.00, 688.50, 689.00, 689.50, 690.00, 690.50, 691.00, 691.50, 692.00, 692.50, 693.00, 693.50, 694.00, 694.50, 695.00, 695.50, 696.00, 696.50, 697.00, 697.50, 698.00, 698.50, 699.00, 699.50, 700.00, 700.50, 701.00, 701.50, 702.00, 702.50, 703.00, 703.50, 704.00, 704.50, 705.00, 705.50, 706.00, 706.50, 707.00, 707.50, 708.00, 708.50, 709.00, 709.50, 710.00, 710.50, 711.00, 711.50, 712.00, 712.50, 713.00, 713.50, 714.00, 714.50, 715.00, 715.50, 716.00, 716.50, 717.00, 717.50, 718.00, 718.50, 719.00, 719.50, 720.00, 720.50, 721.00, 721.50, 722.00, 722.50, 723.00, 723.50, 724.00, 724.50, 725.00, 725.50, 726.00, 726.50, 727.00, 727.50, 728.00, 728.50, 729.00, 729.50, 730.00, 730.50, 731.00, 731.50, 732.00, 732.50, 733.00, 733.50, 734.00, 734.50, 735.00, 735.50, 736.00, 736.50, 737.00, 737.50, 738.00, 738.50, 739.00, 739.50, 740.00, 740.50, 741.00, 741.50, 742.00, 742.50, 743.00, 743.50, 744.00, 744.50, 745.00, 745.50, 746.00, 746.50, 747.00, 747.50, 748.00,

□ APEC기후센터

- 예측 구역 : 동아시아, 전지구
- 생산 기간/주기 : 1개월/3개월(월 1회 발표)
- 예보 방식 : 단정예보, 확률예보(해수면 온도 어노말리), 해수면 온도와 ENSO전망
 - 단정예보: 전세계 11개국 15개 기관의 기후예측모델 수집자료를 활용하여 개별 모델 및 MME(Multi Model Ensemble) 결과를 분포도로 표시
 - 확률예보: 전세계 11개국 15개 기관의 기후예측모델 수집자료를 활용하여 개별 모델 및 MME(Multi Model Ensemble) 결과를 기반으로 3분위(Below, Normal, Above) 확률을 각 6개 구간으로 나누어 색상 분포도로 표시
 - 해수면 온도와 ENSO 전망: Nino 3.4 시계열 및 지수 편차, 3개월 해수면 온도 어노말리 분포도 등으로 표시
- 배포 방식 : 인터넷 홈페이지에 제공



□ 한국해양과학기술원

- 예측 구역 : 한반도 주변해역, 동아시아, 전지구
- 생산 기간/주기 : 3개월(월 1회 발표)
- 예보 방식 : 단정예보(해수면, 해수면 온도, 엘니뇨-라니냐, 인도양 쌍극자 진동, 해상기온, 해상강수량, 해상풍, 파랑 등 9종)
- 배포 방식 : 보고서 발간 및 인터넷 홈페이지에 제공

[참고] 한국해양과학기술원 3개월 해양기후 시범 전망

- 미국 해양대기청(NOAA) 계절예측시스템(CFSv2), 유럽중기예보센터(ECMWF) 계절예측시스템(SEAS5), 북극 해빙통계모형(KAOS) 예측자료를 기반으로 OCPC가 재분석하여 시범적으로 전망한 결과로, 현재 기술의 예측성을 평가하고 개선하기 위해 실험적으로 운영하는 서비스
- 예측 구역 : 전지구, 동아시아해역, 동해, 황해, 동중국해
- 생산 주기/기간 : 3개월(월 1회 발표)
- 예보 방식 : 단정예보(해수면온도, 해수면온도 어노말리)
 - 해수면온도 : 단정예보(해수면온도, 해수면온도 어노말리)
 - 해상풍 : 단정예보(해상풍, 해상풍 어노말리)/ 해상풍 방향을 화살표로 표시
 - 유의파고 : 단정예보(유의파고, 유의파고 어노말리)
- 배포 방식 : 인터넷 홈페이지에 그래픽 예상도, 시계열 그래프, 텍스트 설명을 제공
- 제공 요소 : 해수면, 해수면온도, 해상기온, 해상강수량, 해면기압, 해상풍, 유의파고, 평균 파주기

2024년 8월~10월 해양기후 전망

해수면, 해면수온, 해상기온은 전지구, 동아시아해역에서 평년보다 높겠으며, 북극 해빙면적은 평년과 비슷하겠습니다. 열대 대양염에 라니냐가 발달할 것으로 전망됩니다.

지표/해역	전지구	*동아시아해역	동해	황해	동중국해	세부내용
해수면	▲	▲	▲	□	□	2북
해면수온	▲	▲	▲	▲	▲	3북
해상기온	▲	▲	▲	▲	▲	6북
해상강수량	□	▲	□	□	□	7북
해상풍	□	□	□	□	□	8북
유의파고	□	□	□	▲	□	9북
평균파주기	▼	▼	▼	▼	▼	10북

엘니뇨 인도양 항구진동 북극해빙면적

* 대기연수(해상기온, 해상풍), 해빙면적, 해빙용적의 과거자료와 통계값을 NCEP/NCAR에서 ERA5로 변경하였습니다. (2022.12.30)
 * 해수면, 해상기온, 해상풍, 해빙의 평년 기준값 변경되었습니다. 해수면: 1993~2022년, 대기연수, 해빙: 1999~2020년 (2024.02.29)
 * 해양염 농도의 관측(해수면, 해수면, 해빙) 평년 기준값 * 표준편차 *4로 조정되었습니다. (2024.02.29)
 * 편차 공간분포의 평년 기준값 평년 표준편차 *2 조정을 반영하여 이상치(outlier)를 표시하였습니다. (2024.02.29)
 * 북극 해빙면적 산출 기준값 Sea Ice Extent에서 Sea Ice Area로 변경하였습니다. (2024.02.29)
 * 해양유니온과 평균파주기 자료를 ERA5에서 재해석(Reanalysis)으로 변경하였습니다. (평년: 2014~2022년 (2024.05.31)
 * 3개월 해양기후 전망은 미국 해양대기청(NOAA) 계절예측시스템(CFSv2), 유럽중기예보센터(ECMWF) 계절예측시스템(SEAS5), 북극 해빙통계모형(KAOS) 예측자료를 기반으로 OCPC가 재분석하여 시범적으로 전망한 결과입니다.
 * 본 게시물은 현재 자료의 예측성을 평가하고 개선하기 위해 실험적으로 운영 중임을 알려드리고자 게시합니다.

동아시아해역 어떤?
 * 황해, 동중국해, 동해, 우로시오 해류역, 북서태평양의 일부를 포함하는 해역으로서, 우리나라 기후변화와 밀접한 해양지리의 구역입니다.
 * 해양기후예측센터에서 구분하는 황해, 동중국해, 동해장계는 하구역, 대륙붕, 해역을 종합적으로 고려한 광역 해양생태계 (Large Marine Ecosystems) 기준을 따릅니다.
 * 우로시오 해류는 열대의 열원과 열대지역을 축으로 수송하며, 일부가 제주해협과 대안해협을 통해 동해로 유입되기 때문에 우리나라 해양기후 예측에 매우 중요합니다.

OCPC 해양기후예측센터

전지구 평균 해수면은 빙하나 빙봉, 육상과 강수에 의한 담수의 유입 등에 의한 해양의 질량 변화나 바닷물의 수온 상승에 따른 열팽창으로 인한 해양의 부피 변화에 의해 변동합니다. 한편 지역 해수면은 해류나 조석과 같은 해수의 유동에 의해서도 달라집니다. 해수면이 높아 지면 저지대의 침수를 유발할 수 있으며 해안에서의 물파나 침식, 홍수시 침수범람 위험이 더욱 높아짐을 의미합니다. 한편 여기서 사용하는 해수면은 절대 해수면 높이(Absolute Dynamic Topography, ADT)로서 모형으로 산출한 가상의 지오이드(Geoid, 중력포텐셜이 같은 면)를 기준으로 환산한 값이므로 잘못된 크기 보다는 상대적인 차이가 더 중요합니다.

◇ 해역평균 해수면 및 편차의 변화와 3개월(2024년 8-10월) 전망

최근 해수면 변화와 3개월 전망(°C) 해수면 편차 변화와 3개월 전망(°C)

◇ 예상되는 3개월(2024년 8-10월) 평균 해수면 및 과거 30년 평균 대비 편차 분포

전지구 평균해수면(ADT) 2024.08월 전지구 평균해수면(ADT) 2024.09월 전지구 평균해수면(ADT) 2024.10월
 전지구 평균해수면(ADT) 2024.08월-10월 평균 전지구 평균해수면(ADT) 2024.08월-10월 편차 전지구 평균해수면(ADT) 2024.08월-10월 편차

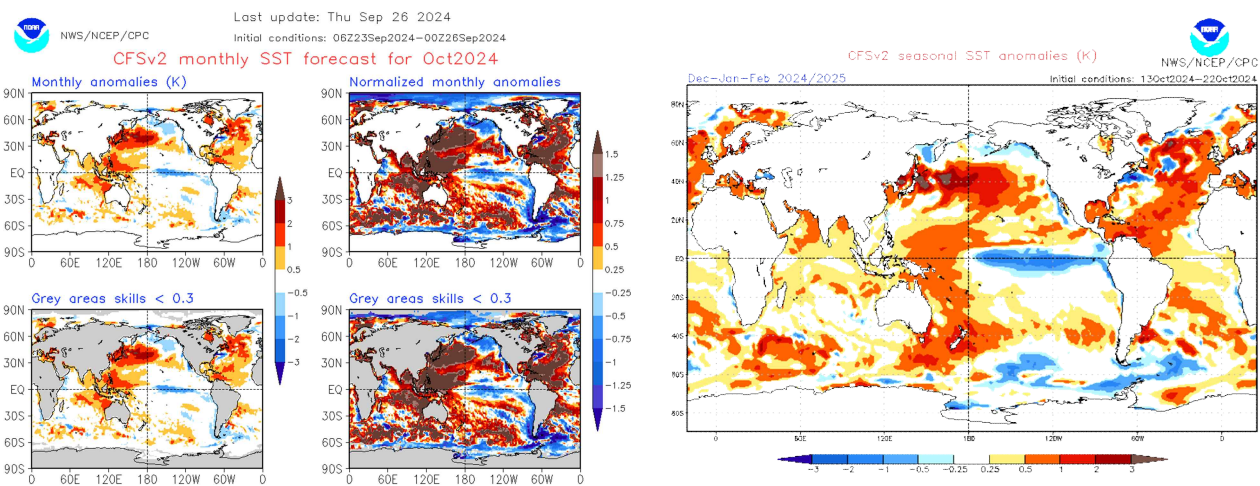
동아시아해역 평균해수면(ADT) 2024.08월 동아시아해역 평균해수면(ADT) 2024.09월 동아시아해역 평균해수면(ADT) 2024.10월
 동아시아해역 평균해수면(ADT) 2024.08월-10월 평균 동아시아해역 평균해수면(ADT) 2024.08월-10월 편차 동아시아해역 평균해수면(ADT) 2024.08월-10월 편차

* 전지구 8-10월 평균 해수면은 평년(59±1cm)보다 높겠으며, 중위도 북동태평양 및 열대 남태평양 해역에서 평년 표준편차를 초과하는 높은 해수면 편차가 전망됩니다.
 * 동아시아해역 8-10월 평균 해수면은 평년(107±2cm)보다 높겠습니다.
 * 동해의 8-10월 평균 해수면은 평년(59±2cm)보다 높겠으며, 황해, 동중국해의 해수면은 평년(74±2cm, 98±2cm)과 비슷하겠습니다.

* 자료 : 해양기후예측센터, 2024 8월~10월 해양기후 전망, 2024. 07. 30.

나. NWS NCEP CPC(미국)46)

- NCEP의 결합 예측시스템 CFSv2를 사용하여 Nino 해역 및 전지구 해수면온도 어노말리에 대한 1개월/3개월 단정예보를 제공중
 - 예측 구역 : Nino(엘니뇨/라니냐 감시) 해역(Nino 1+2, Nino 3, Nino 3.4, Nino 4), 전지구
 - 생산 기간/주기 : 1개월(매일 발표), 3개월(월 1회 발표)
 - 예보 방식 : 단정예보(해수면온도 어노말리)
 - 1개월 : 13개 구간으로 나누어 색상 표시
 - 3개월 : 9개 구간으로 나누어 색상 표시
 - 배포 방식
 - 인터넷 홈페이지에 그래픽 예상도, 설명서를 제공
 - 활용 대상 : 정부 기관(NOAA, US Navy), 기후 연구자, 해양 과학자, 환경 단체, 관련 산업(Fisheries, shipping, energy) 등



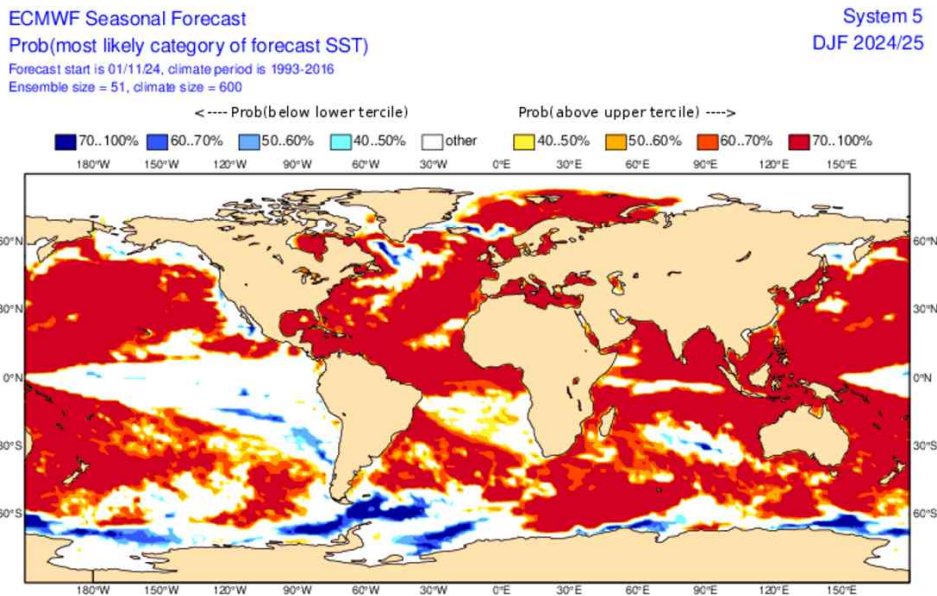
* 자료 : [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/people/mchen/CFSv2FCST/monthly/\(2024.09.27. 검색\);](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/people/mchen/CFSv2FCST/monthly/(2024.09.27. 검색);)
[https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CFSv2/htmls/qlbSSTe1Sea.html\(2024.11.27. 검색\)](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CFSv2/htmls/qlbSSTe1Sea.html(2024.11.27. 검색);)

[그림 20] NCEP 해수면온도 어노말리 예측(1개월 예측(좌), 3개월 예측(우))

46) [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CFSv2/CFSv2seasonal.shtml\(2024. 09. 21. 검색\);](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CFSv2/CFSv2seasonal.shtml(2024. 09. 21. 검색);)
[https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/\(2024. 09. 21 검색\);](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/(2024. 09. 21 검색);)
[https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/people/mchen/CFSv2FCST/monthly/\(2024. 09 .27. 검색\)](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/people/mchen/CFSv2FCST/monthly/(2024. 09 .27. 검색);)

다. ECMWF(유럽)47)

- ECMWF의 계절예측 시스템 SEAS5 및 재분석 시스템 ERA5를 사용하여 글로벌(전지구), 열대지역 해수면온도 어노말리에 대한 1개월 확률예보를 제공중
 - 예측 구역 : 2개 지역(글로벌(전지구), 열대지역)으로 구분
 - 생산 기간/주기 : 4개월(월 1회 발표)
 - 발표월 기준 4개월까지 전망 정보를 제공(예 : 2024년 9월 발표는 10, 11, 12, 2025년 1월의 예측정보 포함)을 제공, 유효월은 3개월까지의 확률정보를 제공
 - 예보 방식 : 확률예보(해수면온도, 해수면온도 어노말리)
 - 3분위, 하위 및 상위 3분위는 각각 4개 구간으로 나누어 색상 표시
 - 배포 방식
 - C3S를 통해 배포, 웹페이지에서 시각화(그래프, 지도 등), 다양한 시나리오별 예측값을 제공
 - 활용 대상 : Cefas와 같은 어업 관련 기관 및 기업은 해수면온도 예측을 사용해 어종의 이동 경로를 예측하고 어획량을 조정



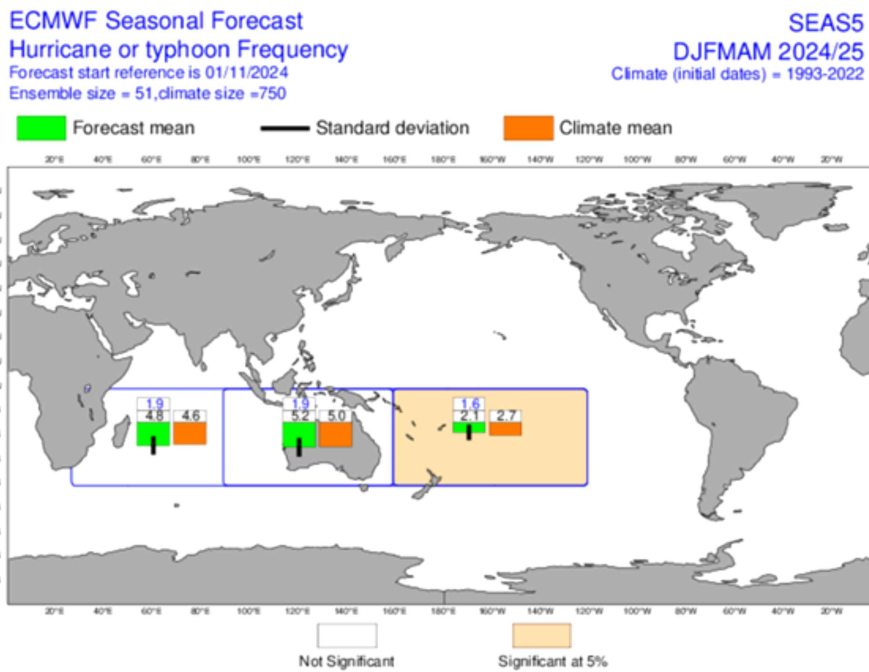
* 자료 : [https://charts.ecmwf.int/permalinks/sea-surface-temperature-seas5-25295\(2024.11.27.](https://charts.ecmwf.int/permalinks/sea-surface-temperature-seas5-25295(2024.11.27.) 검색)

[그림 21] ECMWF 해수면온도 3개월 예측

47) [https://charts.ecmwf.int/?facets=%7B%22Range%22%3A%5B%22Long%20%28Months%29%22%5D%2C%22Type%22%3A%5B%22Forecasts%22%5D%2C%22Parameters%22%3A%5B%22Temperature%22%5D%7D\(2024.09.27.](https://charts.ecmwf.int/?facets=%7B%22Range%22%3A%5B%22Long%20%28Months%29%22%5D%2C%22Type%22%3A%5B%22Forecasts%22%5D%2C%22Parameters%22%3A%5B%22Temperature%22%5D%7D(2024.09.27.) 검색);
[https://charts.ecmwf.int/products/seasonal_system5_standard_ssto?area=GLOB&base_time=202410010000&stats=tsum&valid_time=202411010000\(2024.10.07.](https://charts.ecmwf.int/products/seasonal_system5_standard_ssto?area=GLOB&base_time=202410010000&stats=tsum&valid_time=202411010000(2024.10.07.) 검색)

[참고] ECMWF 바람에 대한 장기예측 시스템

- ECMWF는 홈페이지-차트로 바람에 대한 계절예측 정보를 제공하고 있음
 - 전망 개요 : 약 36km의 수평해상도에서 51개의 앙상블 자료를 매일 업데이트하고 있음
 - 전망 유형 : 해상풍을 특정해서 전망하지는 않고, 사이클론, 허리케인/태풍, 열대성 폭풍에 대하여 발생전망 정보를 제공
 - 전망 기간 : 발표월의 다음 달부터 6개월까지 전망 정보를 제공
 - 전망 지역 : 글로벌(전지구)



* 자료 : [https://charts.ecmwf.int/permalinks/hurricaneyphoon-frequency-long-range-forecast-seas5-5327\(2024.11.27.](https://charts.ecmwf.int/permalinks/hurricaneyphoon-frequency-long-range-forecast-seas5-5327(2024.11.27.) 검색)

라. Met Office(영국)48)

- Forecast Ocean Assimilation Model(FOAM)을 사용하여 Nino 해역 및 열대 지역 해수면온도 어노말리에 대한 6개월 확률예보를 제공중
 - 예측 구역 : Nino(엘니뇨/라니냐 감시) 해역(Nino 1+2, Nino 3, Nino 3.4, Nino 4), 열대 대서양, 인도양, 열대 태평양
 - 생산 기간/주기 : 6개월(월 1회 발표)
 - 예보 방식 : 확률예보
 - 특정 값보다 높을 확률, 낮을 확률에 대해 6개 구간으로 나누어 그래프로 표시
 - 배포 방식
 - 인터넷 홈페이지(시계열 그래프)
 - 활용 대상 : Copernicus Marine Service, European Space Agency, ECMWF 등

Images last updated 2024-09-11 08:05:33

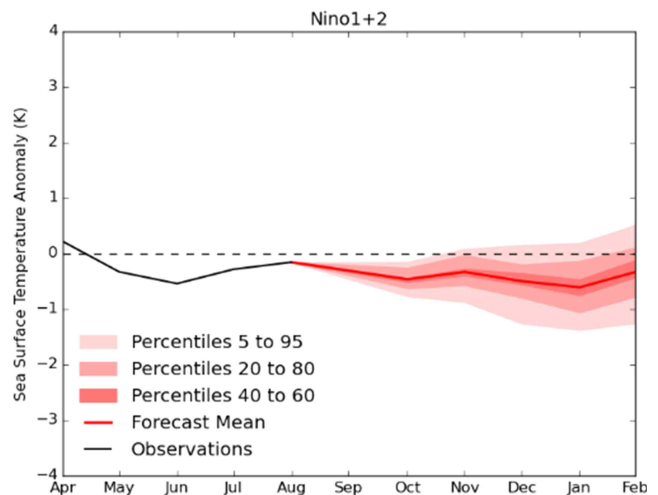
September 2024 Niño1.2

Month

September 2024

Region

- Niño3.4
- Niño3
- Niño4
- Niño1.2



* 자료 : [https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/qpc-outlooks/el-nino-la-nina\(2024.09.27. 검색\)](https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/qpc-outlooks/el-nino-la-nina(2024.09.27. 검색))

[그림 22] Met Office 해수면온도 6개월 예측(Nino 1+2 사례)

48) [https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/gpc-outlooks/el-nino-la-nina\(2024.09.27. 검색\)](https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/gpc-outlooks/el-nino-la-nina(2024.09.27. 검색))
[https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/gpc-outlooks/atlantic-indian-ocean\(2024.09.29. 검색\)](https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/gpc-outlooks/atlantic-indian-ocean(2024.09.29. 검색))

[참고] 아일랜드 해수면온도 3개월 예측

- 해양기후예측 제공항목 : 해수면온도
- 해양기후예측 지역 : 아일랜드 해안, 북대서양
- 해양기후예측 기간 : 3개월 전망을 월별로 제공

SEASONAL OUTLOOK FOR OCTOBER, NOVEMBER AND DECEMBER 2024 (OND)

The signal from the C3S seasonal models for Ireland during the OND period is for slightly above average temperatures. Rainfall amounts are less certain with the possibility of precipitation trending near average overall.

Mean temperatures during OND are signalled to be above average overall. Temperatures are likely to trend between 0.2 and 1.0°C above average over the three month period. However, there is an increased likelihood of colder periods, especially during December.

The rainfall forecast is less certain with no clear signal for above or below average rainfall overall. There is potential for wetter and drier spells within the three months with a slightly higher likelihood of drier periods during December.

The sea surface temperatures around Irish coasts and over the North Atlantic are expected to trend slightly above average during OND, ranging between 0.2 to 1.0°C degrees higher than normal generally. Sea surface temperatures are expected to be closest to normal in October, with a gradual increase in anomalies through November and December.

<해수면온도 3개월 단정예보>

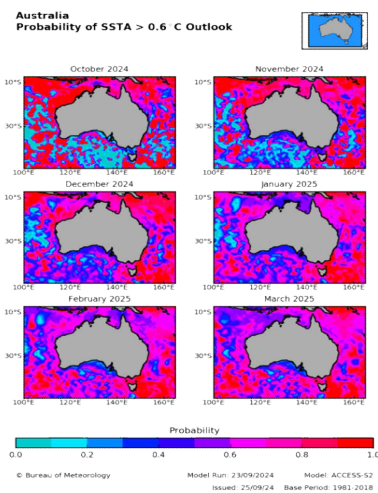
* 자료 : <https://www.met.ie/forecasts/monthly-forecast> (2024.09.29. 검색)

마. BoM(호주)49)

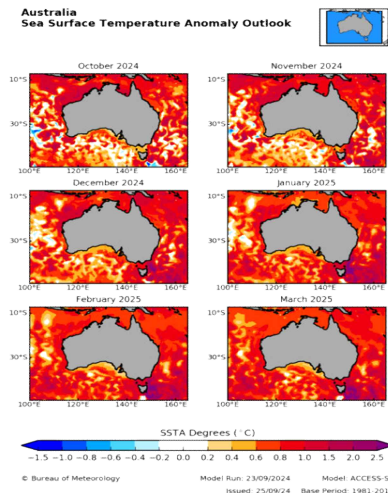
□ ACCESS-S2/NEMO ORCA25를 사용하여 호주 주변 해역 해수면온도 6개월 단정 예보와 해수면온도 어노말리에 대한 6개월 확률 및 단정예보를 제공중

- 예측 구역 : 호주 주변 해역
- 생산 기간/주기 : 6개월(월 1회 발표)
- 예보 방식 : 확률예보(해수면온도 어노말리), 단정예보(해수면온도 어노말리, 해수면온도)
 - 확률예보 : 해수면온도 어노말리가 1°C 보다 높을 확률, 0.6°C 보다 높을 확률에 대해 10구간으로 나누어 그래픽 예상도로 제공
 - 단정예보 : 해수면온도, 해수면온도 어노말리에 대해 그래픽 예상도, 시계열 그래프로 제공
- 배포방식
 - 인터넷 홈페이지에 그래픽 예상도 및 시계열 그래프 제공
 - 해수면온도 상승에 따른 산호초 표백 위험 정보도 함께 제공
- 활용 대상 : 해양산업 종사자, 해양 연구기관, 정부기관, 해양환경 관리자(산호초)

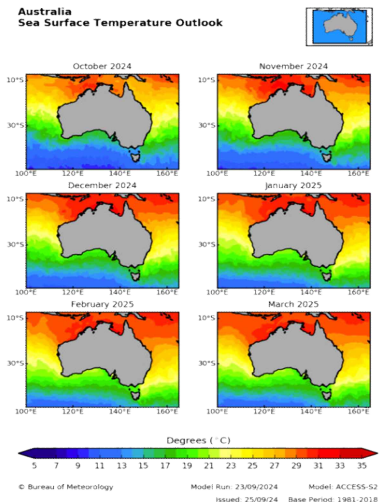
[해수면온도 어노말리 > 0.6°C]
(확률예보)



[해수면온도 어노말리]
(단정예보)



[해수면온도]
(단정예보)

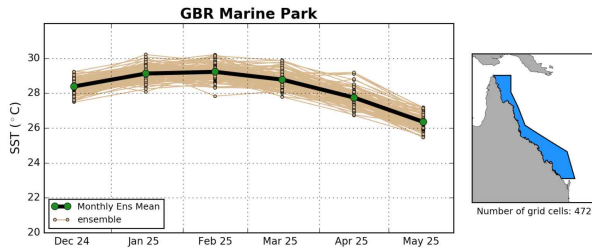


* 자료 : <http://www.bom.gov.au/oceanography/oceantemp/sst-outlook-map.shtml>(2024. 09. 29. 검색)

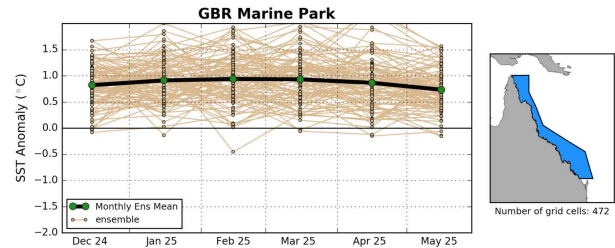
[그림 23] BoM 해수면온도 및 해수면온도 어노말리 6개월 예측 그래픽 예상도

49) <http://www.bom.gov.au/oceanography/oceantemp/sst-outlook-map.shtml>(2024. 09. 29. 검색)

[세부 지역 해수면온도]

Sea Surface Temperature Outlook
December to May

[세부 지역 해수면온도 이상치]

Sea Surface Temperature Anomaly Outlook
December to May

* 자료 : <http://www.bom.gov.au/oceanography/oceantemp/sst-outlook-index.shtml>(2024. 11. 28. 검색)

[그림 24] 세부 지역 해수면온도 및 이상치 6개월 예측 시계열 그래프

Coral bleaching

Elevated sea temperatures are the primary cause of mass coral bleaching events. Bleaching is a stress response of corals, during which they expel their zooxanthellae during unfavourable conditions, giving rise to the typical white colouration observed. Aside from temperature, other stressors such as tropical cyclones, freshwater inflows and anthropogenic pollution can also induce bleaching but to a far lesser extent and generally not on large spatial scales.

Bleaching has been observed on the Great Barrier Reef since 1982, with severe bleaching events occurring in the summers of 1998, 2002, 2006, and more recently 2016–2017. Mass bleaching from thermal stress was also observed on Ningaloo Reef in 2011 and Scott Reef in 2016. Major bleaching events in Southern Hemisphere reefs (Pacific and Indian Oceans) tend to occur in February to April, with a lag of up to a month in the bleaching response of corals following thermal stress. Mortality appears to increase with the intensity of the bleaching event, which is determined by how much and for how long temperatures remain above the maximum mean summer temperatures.

Seasonal forecasts from coupled dynamical climate models such as ACCESS-S can be used to detect anomalous SSTs several months in advance, allowing for proactive management responses. These products have revolutionised the way in which coral bleaching events are monitored and assessed in the Great Barrier Reef and Coral Sea. For more information on coral bleaching refer to the [Great Barrier Reef Marine Park Authority](#).

For satellite SST-based nowcasts for coral bleaching risk see [ReefTemp Next Generation](#).



Bleached Staghorn corals

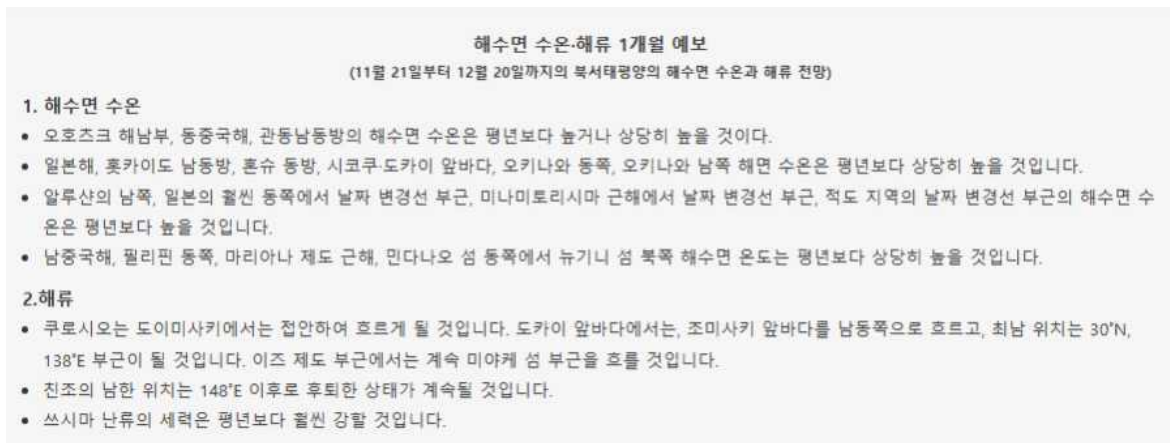
Image courtesy of the Great Barrier Reef Marine Park Authority (Commonwealth of Australia)

* 자료 : <http://www.bom.gov.au/oceanography/oceantemp/sst-outlook-coral.shtml>(2024. 09. 29. 검색)

[그림 25] 산호초 표백 위험

바. JMA(일본)50

- 일본 연안해안감시예측시스템(MOVE-JPN)을 사용하여 북서태평양 해수면온도 어노말리와 해류에 대한 1개월 단정예보를 제공중
 - 예측 구역 : 북서태평양
 - 생산 기간/주기 : 1개월(격주 발표)
 - 예보 방식 : 단정예보(해수면온도 어노말리, 해류)
 - 해수면온도 어노말리 : 1℃ 당 증가선으로 수온을 제시, 12개 구간으로 나누어 색상으로 표시
 - 해류 : 해류 방향을 화살표로 표시, 유속*은 6개 구간으로 나누어 색상으로 표시
* 단위: knot
 - 배포 방식
 - 해수면온도 어노말리 : 인터넷 홈페이지에 텍스트, 그래픽 예상도(설명서와 함께 제공) 및 시계열 그래프 제공
 - 해류 : 인터넷 홈페이지를 통해 텍스트, 그래픽 예상도(설명서와 함께 제공) 제공
 - 활용 대상 : 어업 및 수산업 관련 종사자, 해운 및 항해업, 해양학자, 해양 관광 산업, 재난 대비 기관



* 주 : 해당 웹페이지를 한국어로 번역함

* 자료 : <https://www.data.ima.go.jp/kaivou/data/db/kaikyo/ocean/forecast/month.html>(2024. 11. 28. 검색)

[그림 26] JMA 텍스트 예보-해수면온도 어노말리, 해류

50) <https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/kaikyo/ocean/forecast/month.html>(2024. 09. 27. 검색);

https://www.data.jma.go.jp/kaivou/data/db/kaikyo/knowledge/move_jpn/system.html(2024. 09. 27. 검색);

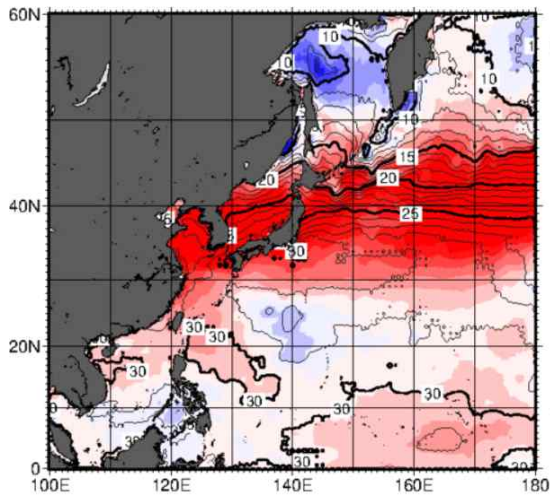
https://www.data.jma.go.jp/kaivou/data/db/kaikyo/knowledge/move_jpn/tech_note.html(2024. 09. 27. 검색)



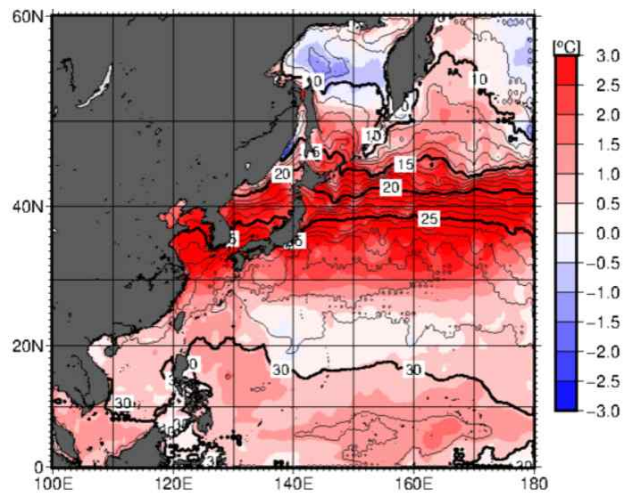
* 주 : 해당 웹페이지를 한국어로 번역함

* 자료 : <https://www.data.jma.go.jp/qmd/kaidou/shindan/index.html> (2024.09.11. 검색)

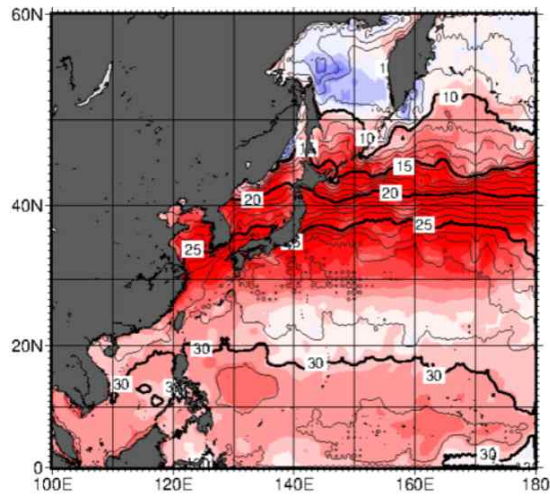
[그림 27] JMA 해양건강진단 관측/예측 해역



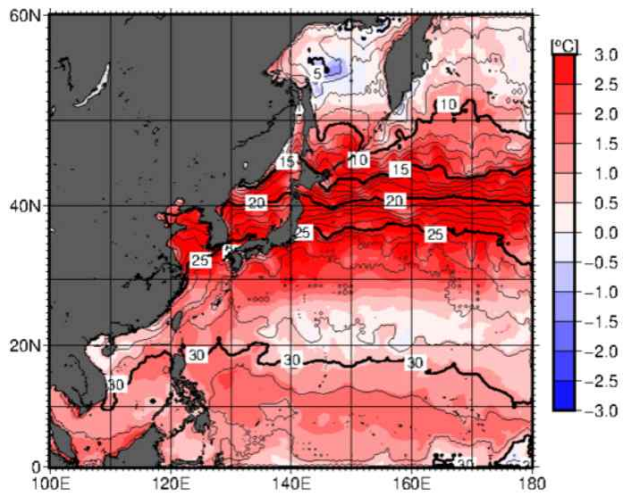
해수면 수온 실황도 (9월 19일)



해수면 수온 예상도 (9월 30일)



해수면 수온 예상도 (10월 10일)



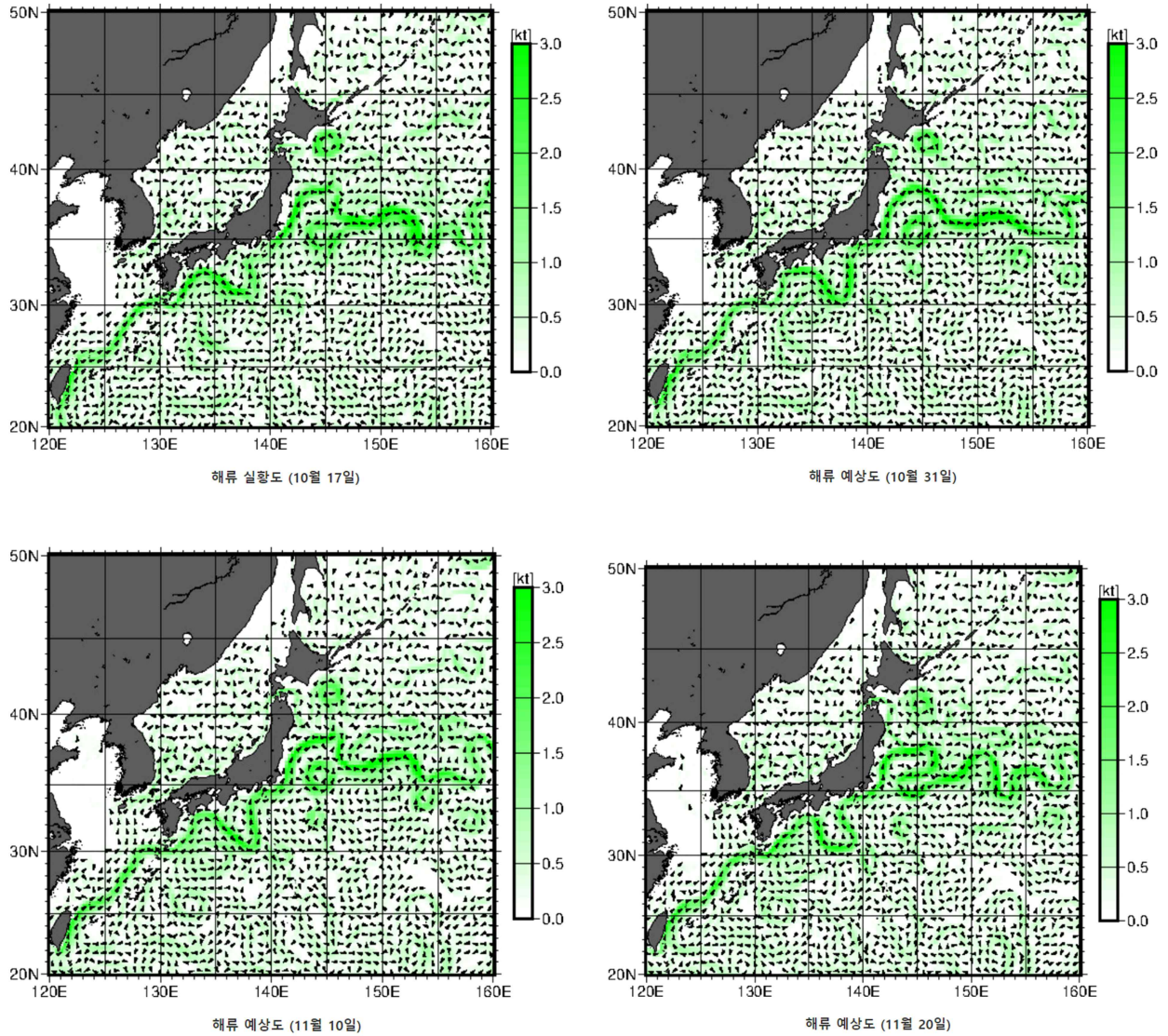
해수면 수온 예상도 (10월 20일)

해수면 수온 : 1°C 당 등가선으로 수온을 나타냅니다. 적색은 평년치보다 높은 해역, 청색은 평년치보다 낮은 해역으로, 색이 진할수록 평년차가 큰 것을 나타냅니다. 평년치는 1991년부터 2020년까지의 평균치입니다. 점모는, 최신의 실황(예보 발표일의 전날)에 있어서 해빙 때문에 해면 수온의 데이터가 없는 해역을 나타냅니다.

* 주 : 해당 웹페이지를 한국어로 번역함

* 자료 : <https://www.data.ima.go.jp/qmd/kaidou/data/db/kaikyo/ocean/forecast/month.html>(2024. 09.27. 검색)

[그림 28] JMA 그래픽 예상도-해수면온도

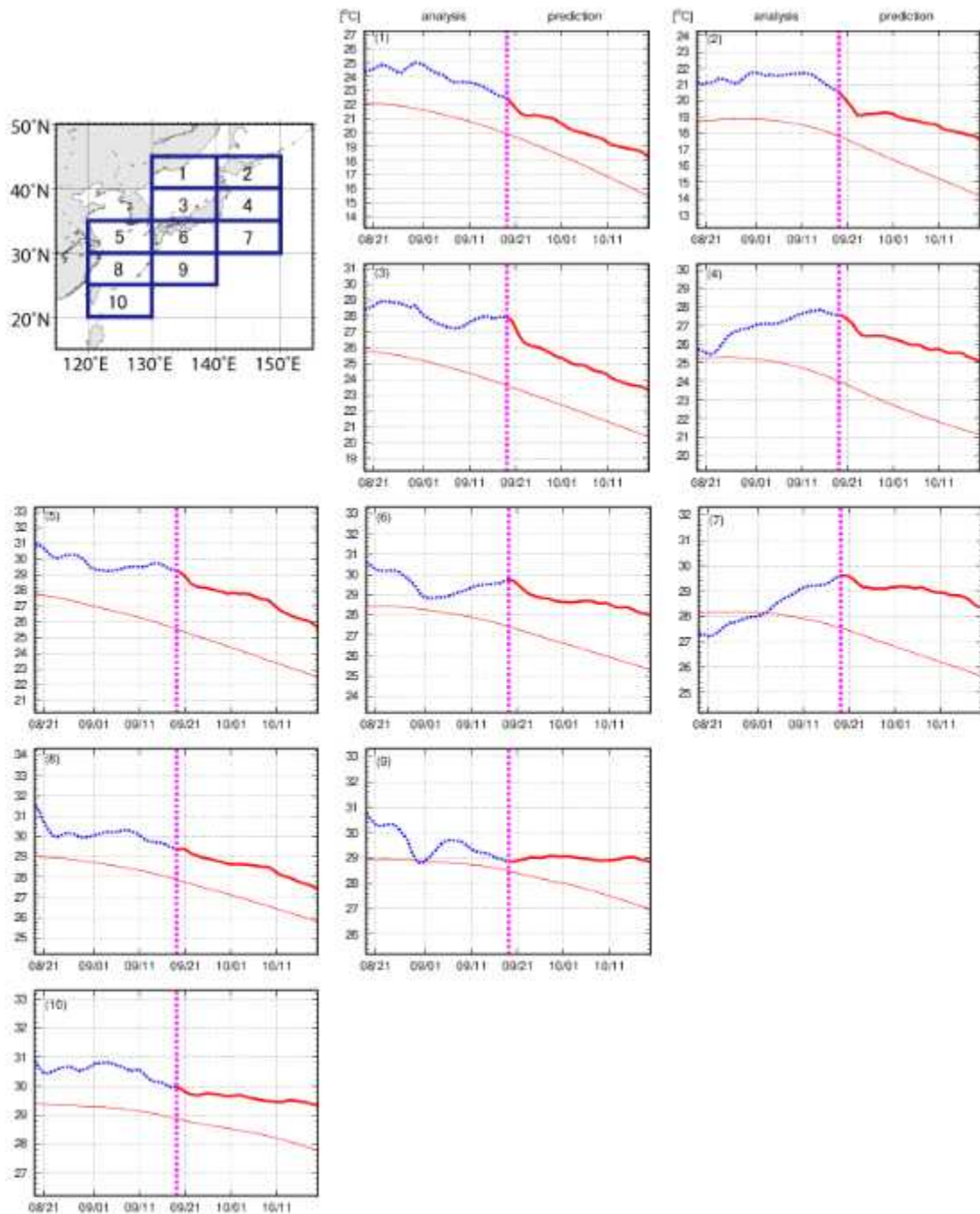


일본 근해의 해면 부근의 해류를 나타냅니다. 해류의 방향은 화살표로 표시됩니다. 해류의 속도(단위 : 1노트 ≍ 0.5m/s, 그림에서는 kt라고 표기하고 있습니다.)는 색으로 나타내고, 그림의 오른쪽에 있는 스케일을 이용하고 있습니다.

* 주 : 해당 웹페이지를 한국어로 번역함

* 자료 : <https://www.data.jma.go.jp/qmd/kaiyou/data/db/kaiyo/ocean/forecast/month.html>(2024. 10. 21. 검색)

[그림 29] JMA 그래픽 예상도-해류



해수면 수온 시계열 예상도

위쪽 상단의 그림에 나타난 해당에서 붉은색 선은 해수면 수온의 시계열입니다.
 파란색 점선까지의 해수면 수온의 경과, 빨간색 실선부터는 해수면 수온의 변화 세전후 예상치를 나타냅니다.

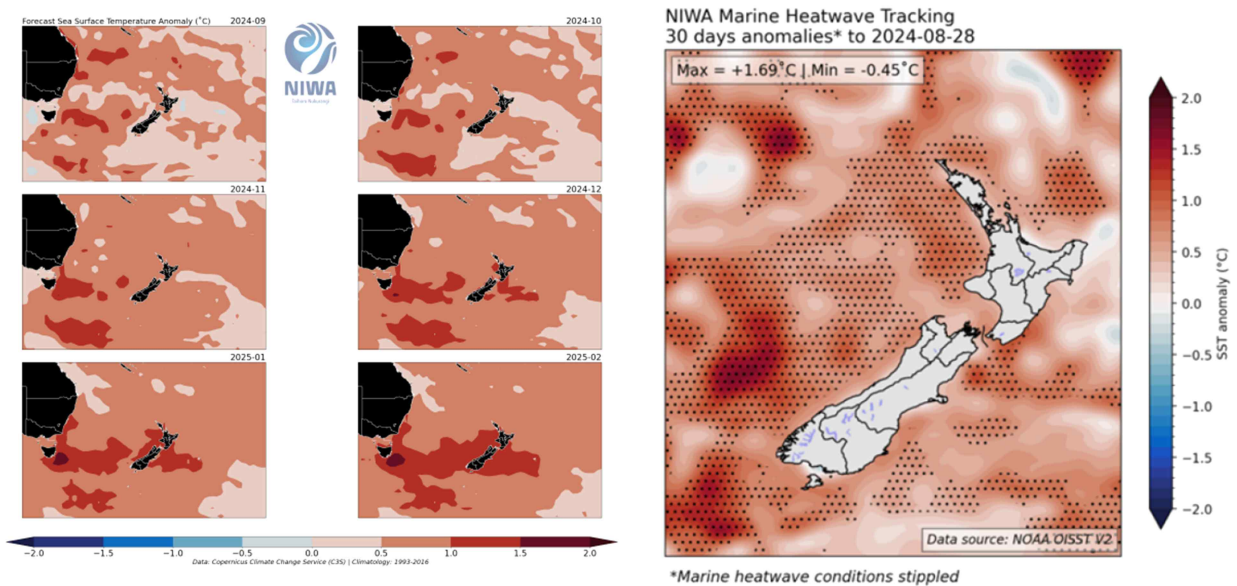
* 주 : 해당 웹페이지를 한국어로 번역함

* 자료 : <https://www.data.jma.go.jp/qmd/kaiyou/data/db/kaiyo/ocean/forecast/month.html>(2024. 09. 27. 검색)

[그림 30] JMA 시계열 그래프-해수면온도

사. NIWA(뉴질랜드)⁵¹⁾

- 수정된 C3S(Copernicus Climate Change Service Information)를 사용하여 뉴질랜드 연안 해수면온도 어노말리 및 해양열파 어노말리에 대한 6개월 확률예보를 제공중
 - 예측 구역 : 뉴질랜드 연안
 - 생산 기간/주기 : 6개월(월 1회 발표)
 - 예보 방식 : 단정예보(해수면온도 어노말리, 해양열파)
 - 배포 방식 : 인터넷 홈페이지에 그래픽 예상도 제공
 - 활용 대상 : 어업, 해양 에너지, 해양 관광, 해양 생태계 관리, 어업 계획, 해양 보호 기관 등



* 자료 : [https://niwa.co.nz/climate-and-weather/sea-surface-temperature-update/sea-surface-temperature-for-ecast-august-2024-january-2025\(2024.09.22. 검색\);](https://niwa.co.nz/climate-and-weather/sea-surface-temperature-update/sea-surface-temperature-for-ecast-august-2024-january-2025(2024.09.22. 검색);)
[https://niwa.co.nz/climate-and-weather/seasonal-climate-outlook/seasonal-climate-outlook-september-november-2024\(2024.09.22. 검색\)](https://niwa.co.nz/climate-and-weather/seasonal-climate-outlook/seasonal-climate-outlook-september-november-2024(2024.09.22. 검색);)

[그림 31] NIWA 해수면온도 어노말리 6개월 전망(좌), 뉴질랜드 Marine Heat Wave 조건(우)

51) [https://niwa.co.nz/climate-and-weather/baseline-tables/north-north-island/rainfall-sep-oct-nov\(2024. 09. 22. 검색\);](https://niwa.co.nz/climate-and-weather/baseline-tables/north-north-island/rainfall-sep-oct-nov(2024. 09. 22. 검색);)
[https://niwa.co.nz/climate-and-weather/sea-surface-temperature-update/sea-surface-temperature-forecast-august-2024-january-2025 \(2024. 09. 22. 검색\)](https://niwa.co.nz/climate-and-weather/sea-surface-temperature-update/sea-surface-temperature-forecast-august-2024-january-2025 (2024. 09. 22. 검색);)

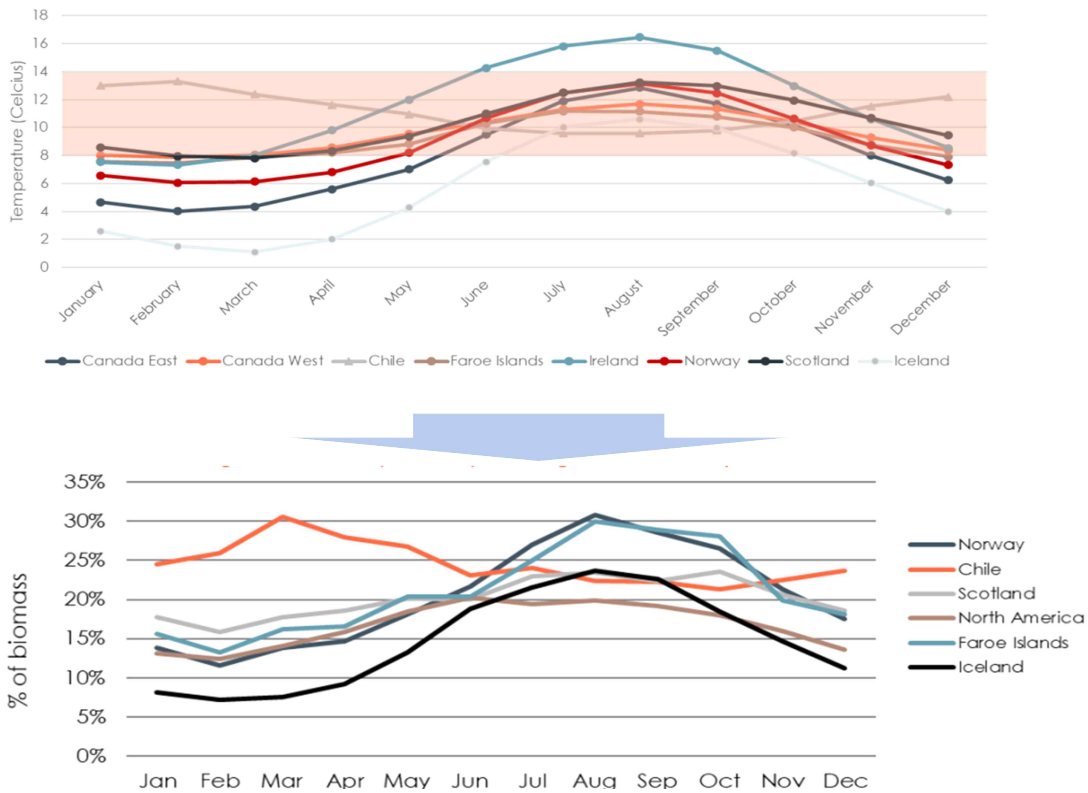
제 4 절 해양기후 정보 활용 현황

- 해수면온도, 해상풍, 유의파고, 해류 등 해양기후 정보는 어업 및 수산업, 해양 안전, 해양 환경 등 다양한 분야에서 활용중



[그림 32] 해양기후 정보 활용 현황 요약

- 해수면온도의 상승은 해양 온도에 영향을 미치며, 연어 양식업에 영향을 미치는 제약 요소로서 존재
 - 전 세계 연어 생산의 약 18%를 점유하고 있는 Mowi(노르웨이 연어양식 회사)는 해양 온도를 연어양식의 주요 인자로 활용하고 있음
 - 연어는 냉혈동물(외배엽)이기 때문에 바다의 수온이 성장 속도에 중요한 역할을 하며, 대서양 연어양식의 최적 수온은 8~14℃ 임
 - 해양 온도가 높을수록 질병의 위험이 증가하고 기온이 0℃ 미만이면 대량 사망 가능성이 커져 성장률이 하락
 - 해양 온도와 기타 자연적 제약 요소로 인해, 연어양식은 주로 노르웨이, 칠레, 영국, 북미, 페로 제도, 아이슬란드, 아일랜드, 뉴질랜드 및 태즈메이니아의 바다에서 생산

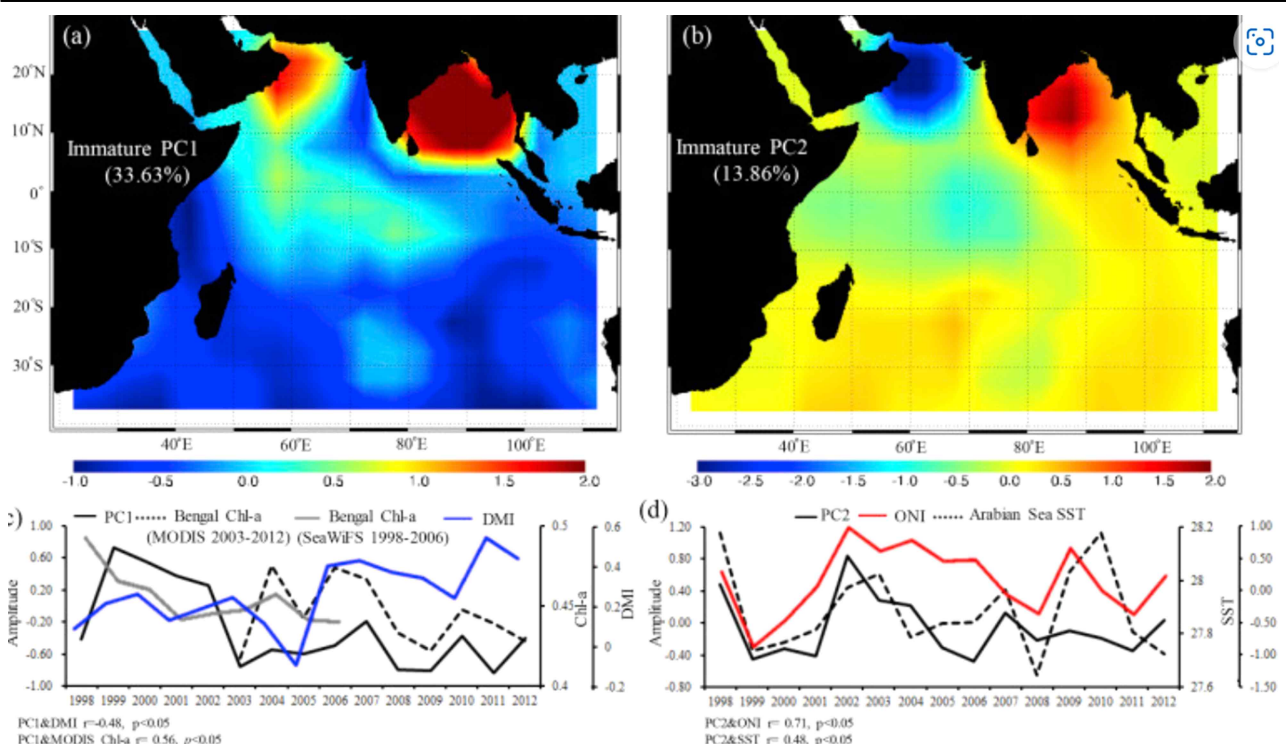


* 자료 : <https://mowi.com/wp-content/uploads/2024/05/2024-Salmon-Industry-Handbook.pdf>

[그림 33] 계절별 수온 변화와 연어 생산국가의 생산량

□ 황다랑어 어획량 공간 예측 분석에서 해수면온도는 중요한 변수로서 활용

- 황다랑어(Yellowfin Tuna)는 태평양, 대서양, 인도양의 열대 및 아열대 해역에서 서식하며 큰 무리를 지어 다니는 습성 보유
- 다랑어의 이동 패턴과 분포는 환경 조건에 따라 달라지며, 황다랑어는 따뜻한 수온과 일차생산력(High concentration of primary productivity)*이 있는 지역을 선호
 - * 일차생산력은 주로 해양 식물성 플랑크톤이 태양 에너지를 이용하여 광합성을 통해 유기물질을 생성하는 과정을 의미
- Lan et al.(2020)의 연구에서는 1998년에서 2012년까지의 대만의 연승(Longline) 어업 데이터를 활용하여 해양학적 조건과 관련된 미성숙 및 성숙 황다랑어 무리의 어장과 어획률의 시간적·공간적 변화를 분석
 - 추가로, 기후인자(인도양 쌍극자, ENSO)가 황다랑어 무리의 연도별 어획률과 분포에 미치는 영향에 대해서 분석을 수행
 - 분석결과, 해수면 온도가 가장 영향력이 있는 변수로 나타남



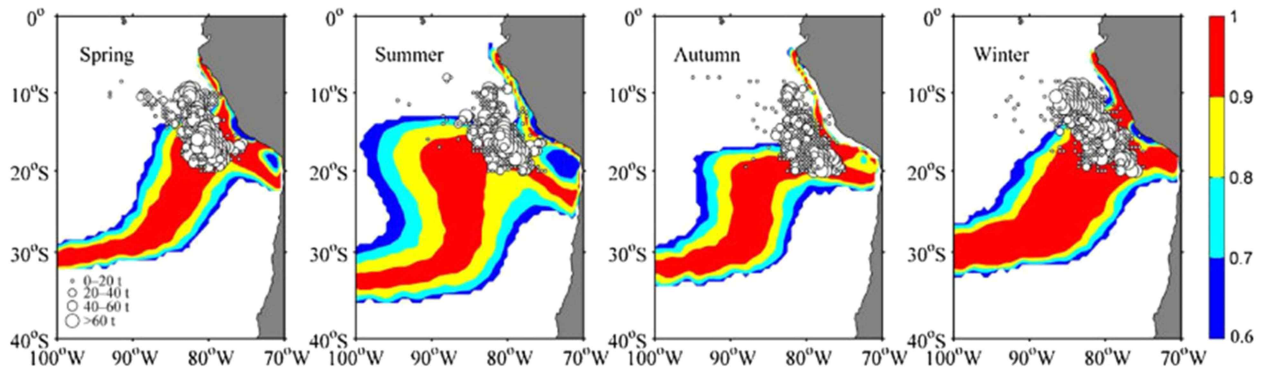
* 자료 : Lan et al., (2020), Influence of oceanographic and climatic variability on the catch rate of yellowfin tuna(*Thunnus albacares*) cohorts in the Indian Ocean, Deep Sea Research Part II: Tropical Studies in Oceanography, p.175

[그림 34] 미성숙 황다랑어 어획량과 해양학적 조건 분석

□ 오징어 서식지의 변화 연구에서 해수면온도 상승은 서식지 이동에 영향을 미치는 것으로 나타남⁵²⁾

- 기후변화로 인한 해양 온난화가 동태평양의 대형 오징어(*Dosidicus gigas*)의 서식지 적합성과 분포에 미치는 영향을 분석
- 2011~2015년 페루 해역의 오징어 어업 데이터를 바탕으로, 해수면 온도(SST)의 상승이 오징어의 서식지에 미치는 영향을 다섯 가지 시나리오(현재와 SST가 0.5°C, 1.0°C, 2.0°C, 4.0°C 상승한 상황)에서 평가
 - 연구 결과, SST가 상승할수록 대형 오징어의 서식지 적합성이 감소하고, 서식지가 남동쪽으로 이동하는 경향이 나타남

52) Yu et al., Ocean warming-induced range-shifting of potential habitat for jumbo flying squid *Dosidicus gigas* in the Southeast Pacific Ocean off Peru, 2018

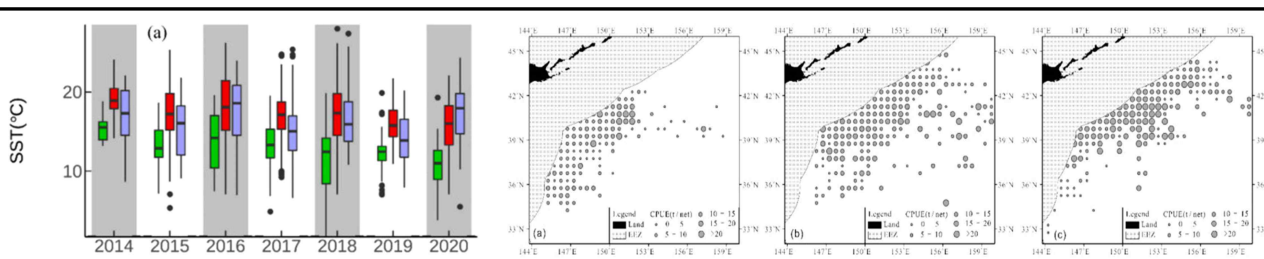


* 주: 적합한 서식지(HSI≥0.6)에 오버레이된 계절별 어업 데이터(획득, 단위: 톤)이며, 색상 패턴은 서식지 적합성 범위를 나타냄
 * 자료: Yu et al., (2018)

[그림 35] 동태평양 대형 오징어 서식지 적합성 지도

□ 고등어 자원 분포에 미치는 해양환경 요인을 분석한 결과, 해수면온도가 고등어 분포에 영향을 미치는 것으로 나타남⁵³⁾

- 북서태평양 해역의 해양 환경 요인이 고등어(*Scomberjaponicus*) 자원 분포에 미치는 영향을 분석
- 봄, 여름, 가을 계절별로 다양한 환경 요인(해수면온도, 엽록소-a 농도, 와류 운동 에너지 등)이 고등어 분포에 미치는 영향을 분석
 - 연구 결과, 계절별로 유의미한 변수들이 다르게 나타났으며, 해수면온도는 봄과 여름에 유의미한 결과 도출



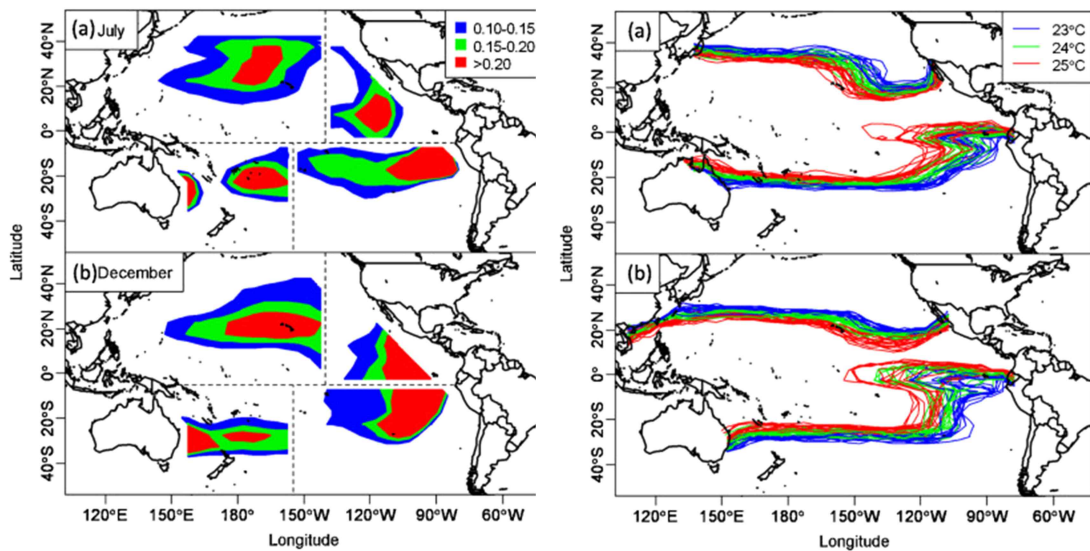
* 자료: Li et al., Spatiotemporal analysis of marine environmental influence on the distribution of chub mackerel in the Northwest Pacific Ocean based on geographical and temporal weighted regression, 2024

[그림 36] 봄-여름-가을 해수면온도와 고등어 분포 상관관계

53) Li et al., Spatiotemporal analysis of marine environmental influence on the distribution of chub mackerel in the Northwest Pacific Ocean based on geographical and temporal weighted regression, 2024

□ 줄무늬 청새치의 공간 패턴과 서식지 특성에 관한 연구에서 해수면온도는 주요한 예측 변수로서 작용⁵⁴⁾

- 태평양에서 줄무늬 청새치의 공간 패턴과 서식지 특성을 어업 의존적 어획 단위당 노력(catch-per-unit-effort, CPUE)과 위성 기반 환경 데이터를 활용한 일반화 선형 및 추가 모델을 사용하여 분석
 - 줄무늬 청새치는 태평양 전역에 분포하지만, 서식지 선호에 따라 지역별로 공간 분포가 다르며, 해수면 온도(SST)가 주요 예측 변수로 작용



* 자료: Su et al., Environmental influences on seasonal movement patterns and regional fidelity of striped marlin *Kajikia audax* in the Pacific Ocean, 2015

[그림 37] 7월-12월 줄무늬 청새치 분포 및 SST 등온선(1998~2012)

□ 해양열파 및 산호초 백화현상은 해수 온도의 급격한 상승 또는 오염에 기인

- 산호초 백화현상(Coral bleaching)은 산호가 하얀색으로 변하는 현상으로, 해수 온도의 급격한 상승 또는 오염 등 외부 요인으로 인해 세포조직 내에 살고 있는 황록공생조류가 한꺼번에 빠져나가면서 생기는 현상을 의미
- 산호초는 해양생물의 터전이며, 해양 생태계 유지에 필수적인 역할을 하고 있어, 산호초가 파괴되면 해양 먹이사슬이 붕괴될 위험이 있음
- 플로리다와 호주 대산호초(Great Barrier Reef)에서 산호초의 대량 백화와 폐사가 보고되었으며, 특히 플로리다에서는 해수온도가 약 38°C 까지 상승하여 산호초가 대량으로 백화가 진행 중

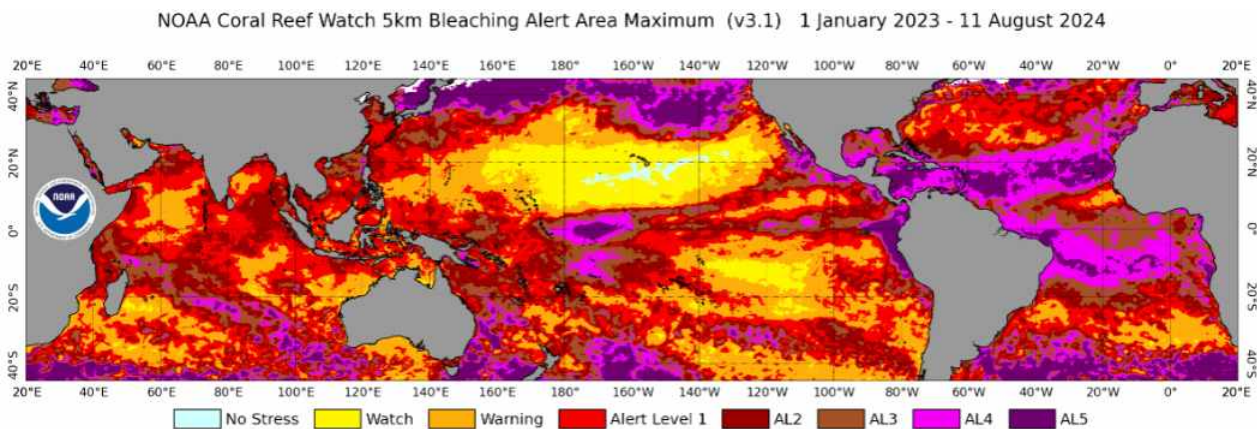
54) Su et al., Environmental influences on seasonal movement patterns and regional fidelity of striped marlin *Kajikia audax* in the Pacific Ocean, 2015

- 과거에는 깊은 바다에 서식하는 산호초는 비교적 안전하다고 여겨졌지만, 최근 연구에 따르면 수심 30~150m의 중광대(Mesophotic) 에서도 해수면에서 내려온 열파로 인해 백화현상이 발생
- 2023년에는 해류의 변화로 인해 해수면온도가 상승했다는 연구 결과 발표(열대 지방에서 추운 지역으로 유입되는 따뜻한 물이 빨라져, 온난류가 계속해서 온도를 상승)
- 이에 과학자와 플로리다 해양학 연구소 등은 해수면 온도 정보를 활용하여 산호초 보호 활동을 전개중



* 자료 : <https://www.popsci.co.kr/news/articleView.html?idxno=21052> (2024.10.08. 검색)

[그림 38] 산호초 백화 현상

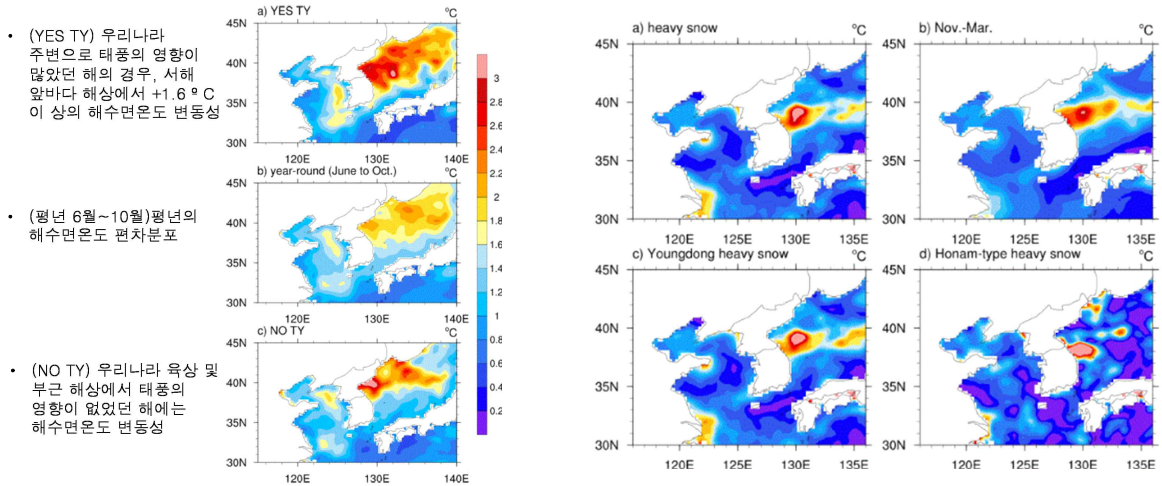


* 자료 : [https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/research/coral bleaching report.php](https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/research/coral%20bleaching%20report.php) (2024.11.12. 검색)

[그림 39] NOAA 산호초 열 스트레스 모니터링 결과

□ 해수면온도 변화를 활용한 우리나라 위험 기상 예측

- 한반도 내 또는 한반도 주변에서 위험기상 발생과 관련하여 어떤 특정한 기상요소의 변화가 나타난다면, 그 변화 특징을 이용하여 위험 기상 현상의 강도와 변화추세 등을 연구·예보에 활용하기 위한 해수면온도(SST)의 특징 조사



* 자료 : 정은실, 한반도에서 위험기상 발생 시 나타나는 해수면온도 변동의 특성, 2019

[그림 40] 해수면온도와 해풍 영향 관계

[참고] 해수면온도 증가에 따른 위험동물 출몰 사례 1

□ 검상어 출몰 사례 증가

- 최근 온난화로 인한 한반도 주변 해역의 해수 온도 상승으로 인해 원래 따뜻한 바다에 서식하던 대형 상어류의 동해안 출현 빈도가 높아지고 있음
- 백상아리에 의한 국내 인명 피해는 총 7건이 보고되었으며, 그동안 주로 서해와 남해에서 발견되던 백상아리가 동해안까지 진출해 그 위험성이 더 커짐
- 이에 해안 지역 및 해수욕장 등에서는 상어 출몰 경과와 모니터링이 강화되고 있으며, 안전 수칙을 안내하는 등 대비책을 강화중



동해안·남해안에서 잇따라 출몰한 상어

- 2023년 6월 13일 전남 완도군
1.5m 백상아리 사체
- 6월 23일 강원 속초시 인근 해상
1.9m 백상아리, 2.4m 악상어 사체
- 7월 1일 강원 양양군 인근 해상
2.1m 악상어 사체
- 7월 7일 강원 삼척시 인근 해상
청상아리 추정
- 7월 10일 경북 포항시 인근 해상
길이 2~3m 청상아리 추정

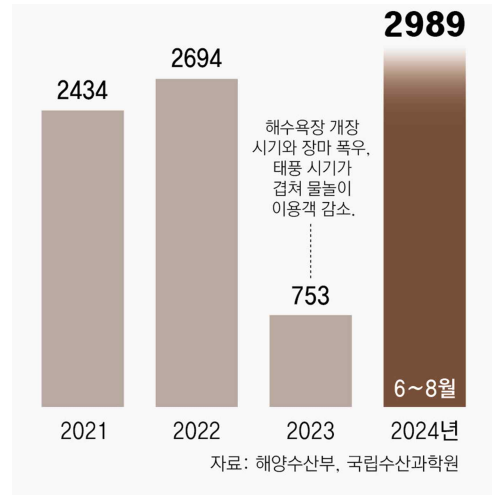
자료=속초시·포항시·해양경찰청

* 자료 : [https://m.edaily.co.kr/News/Read?newsId=02050006638925328&mediaCodeNo\(2024. 10. 13. 검색\)](https://m.edaily.co.kr/News/Read?newsId=02050006638925328&mediaCodeNo(2024. 10. 13. 검색))
[https://news.zum.com/articles/84330276\(2024. 10. 23. 검색\)](https://news.zum.com/articles/84330276(2024. 10. 23. 검색))

[참고] 해수면온도 증가에 따른 위험동물 출몰 사례 2

□ 해파리 출몰 사례 증가

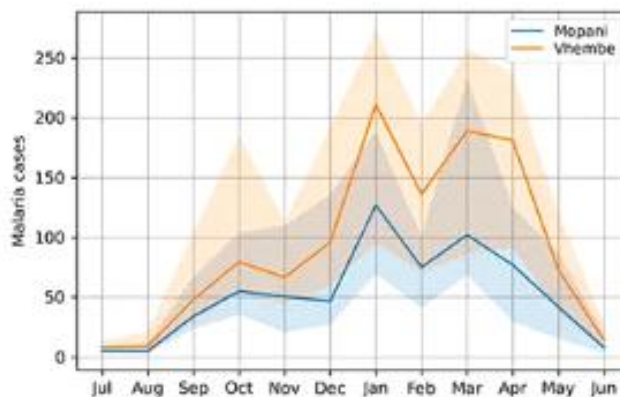
- 해수온도 상승으로 인해 면적당 0.3마리에 그쳤던 독성 해파리는 2024년 20~40마리로 늘어났으며, 2024년 해파리 쏘임 사고는 2,989건으로 매년 증가중
- 전문가 분석에 따르면 해수면온도 상승은 플랑크톤을 증가시켜 해파리가 생육하기 좋은 조건을 조성했으며, 서해안과 남해안, 동해안의 바닷물 온도가 상승해 해파리가 따뜻한 바닷물 길을 따라 동해안까지 유입
- 해파리 급증으로 인해 쏘임 사고뿐만 아니라 어민들의 피해 또한 증가중



* 자료 : [https://m.edaily.co.kr/News/Read?newsId=02050006638925328&mediaCodeNo\(2024. 10. 13. 검색\);](https://m.edaily.co.kr/News/Read?newsId=02050006638925328&mediaCodeNo(2024. 10. 13. 검색);)
[https://news.zum.com/articles/84330276\(2024. 10. 23. 검색\);](https://news.zum.com/articles/84330276(2024. 10. 23. 검색);)

□ 머신러닝 기반 말라리아 예측연구에서 해수면 온도

- 태평양과 인도양의 열대 기후 변동성과 관련된 해수면온도가 남아프리카 공화국 림포포(Limpopo)에서 최대 3시즌(6~9개월) 전의 말라리아 예측에 미치는 영향에 대해 머신러닝을 활용하여 예측 연구 수행

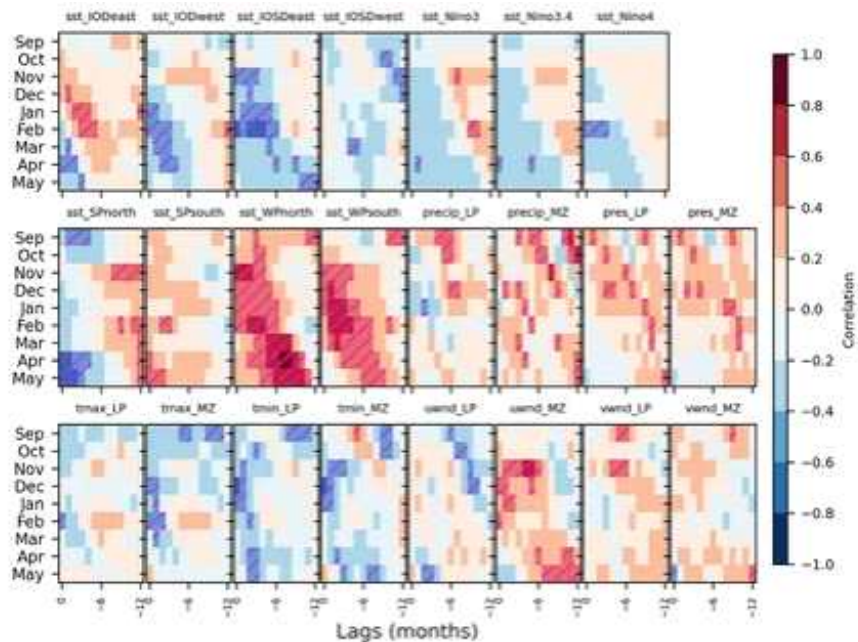


* 자료 : Marineauet al., Predicting malaria outbreaks from sea surface temperature variability up to 9 months ahead in Limpopo, South Africa, using machine learning, Frontiers in Public Health,25, 2022

[그림 41] 남아프리카공화국 림포포주의 말라리아 발생률

- 말라리아는 아프리카에서 가장 흔하며(전세계 사례의 약 95% 차지), 사하라 이남 아프리카(Sub Saharan Africa)는 말라리아를 유발하는 기생충의 주요 매개체 확산에 유리한 환경 조건 때문에 가장 큰 영향을 받음

- 모기장 제공, 살충제 살포 등 개입 전략에 필요한 추가 예산과 자원을 조달할 수 있도록 장기적인 예측시스템 구축 필요
- Marineauet al.(2022)의 연구에서는 머신러닝 기반 예측시스템을 활용, 태평양과 인도양의 SST 데이터를 분석 → 주요 기후 선행 지표를 식별
- 분석결과, 서태평양과 인도양의 SST가 말라리아 발생과 높은 상관관계를 가지는 것으로 나타남(예측 정확도 최대 80%)
- SST 데이터를 활용하여 말라리아 발생 예측 시간을 연장하고 효과적인 예방 정책 수립에 기여 가능

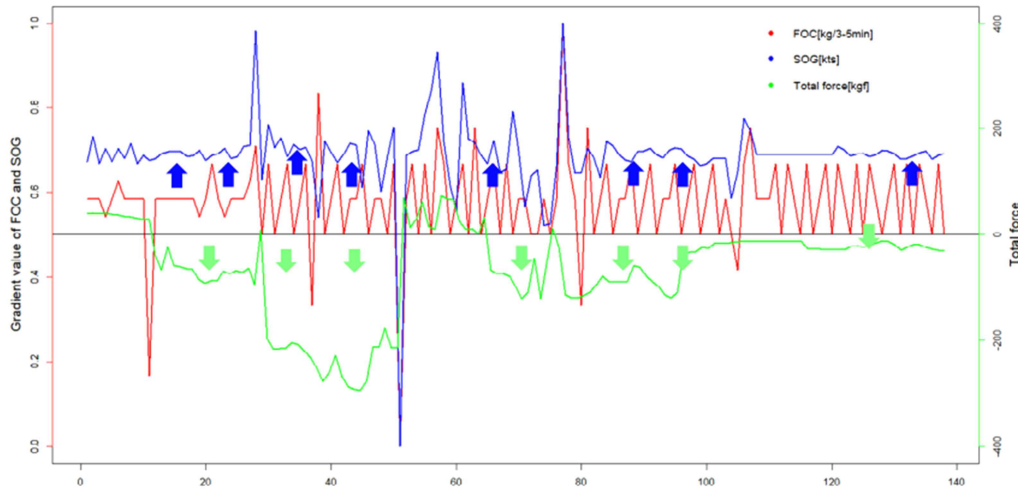


* 주: 말라리아 시즌(y축)과지연(x축)동안의 기후 지수와 말라리아 발생률 간 상관관계는 색상으로 표시, 5% 유의수준에서 유의한 상관관계는 Magenta 색으로 표시
 * 자료: Marineauet al., Predicting malaria outbreaks from sea surface temperature variability up to 9 months ahead in Limpopo, South Africa, using machine learning, Frontiers in Public Health,25, 2022

[그림 42] 해수면온도와 말라리아 영향 관계

□ 선박 연료 소비(FOC)는 선박속도와 해양 환경요인에 영향을 받음

- 선박 연료 소비(FOC)가 선박 속도와 해양 환경요인(바람, 해류, 파도)에 어떤 영향을 받는지 분석 수행
 - 분석 결과 저속(6~7kt)에서는 해류 속도가 FOC에 큰 영향을 미쳤고, 고속(10kt)에서는 바람 속도가 큰 영향을 미친 것으로 나타났으며, 파도는 모든 속도에서 영향을 미친 것으로 나타남
 - 또한, 조종 중에는 바람이, 순항 중에는 파도가 가장 큰 영향을 미친 것으로 나타남



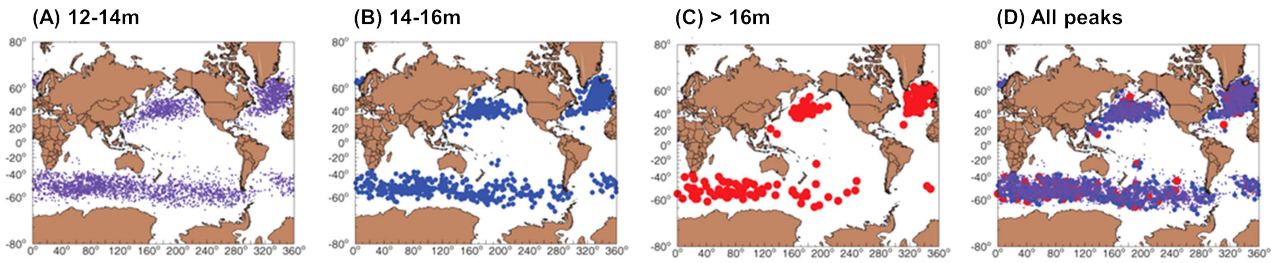
* 자료 : 신대운 외, 선속과 해양기상이 선박 연료소모량에 미치는 영향에 대한 실선 실험 해석, 2021

[그림 43] 해양기상요인에 따른 FOC와 SOG의 변화율

□ 극한파고(Extreme wave height)의 연구, 관측, 예측은 자연 해안 재해에 대한 완화 대책, 선박 항로 계획, 해안 및 해양구조물 설계에 필수적⁵⁵⁾

- 해상 풍속과 파고는 해양 인프라 설계와 항로 계획에서 중요한 요소로 작용하며, 극한 해상상태(Very Extreme Sea States, VESS)는 높은 위험을 나타냄
 - 예를 들어, VESS와 마주치는 선박의 위험은 선박 침몰(M.V. Derbyshire), 컨테이너선 손상(APL China), 해안 지역의 후속 오염을 동반한 사고(Tanker Prestige), 부상 및 선박 손상과 관련된 여객선 피해 등이 존재
- Samayam et al.(2017)의 연구에서는 1991년부터 2010년까지의 위성데이터를 활용, 풍속과 극단적 파고를 평가
 - 글로벌 파도 GROW2012 Hindcast 모델 활용, 9개 항로에서 선박이 기상 회피 조치 없이 극한 해상상태를 만날 위험을 평가한 결과, 북대서양/북태평양에서 겨울철 14m 이상의 파고를 경험할 확률이 약 0.1%로 나타남
 - 또한, 북대서양(미 동부 해안, 영국 해협 입구 간)과 북태평양(요코하마-시애틀 경로)에서 12월에 약 3%의 확률로 극단적인 파고를 경험할 가능성이 큰 것으로 나타남
 - 다만, 선박이 33년간 극단적 파도를 만날 확률은 매우 낮았으며 9개 항로 중 6개 항로에서 선박의 극단적 파도 노출 시간은 평균 3시간 미만으로 나타났으며, 2개 항로에서는 최대 10시간으로 나타남

55) Samayam et al., Assessment of reliability of extreme wave height prediction models, Natural Hazards and Earth System Sciences, p.17, 2017



* 자료 : Samayamet al., (2017), Assessment of reliability of extreme wave height prediction models, Natural Hazards and Earth System Sciences,17.

[그림 44] 유의파고 세그먼트 피크(peak)의 전세계 분포도

- 9개 주요 항로에서 특정 월 동안의 유의파고 임계값(5/8/11/14m)에 대한 초과 확률(%) 결과는 다음 표에 나타나 있음

<표 49> 극한파고 시뮬레이션 결과

HS Threshold	North Atlantic			North Pacific			Southern Ocean		
	Jan.	Jan.	Jan.	Jan.	Jan.	Jan.	Jul.	Jul.	Jul.
	DB-BR	AM-BR	AM-GB	BU-SP	YK-SE	KH-LA	RO-SG	CP-ML	HB-VP
> 5m	29.12	27.65	19.06	15.55	35.43	22.91	13.54	44.78	23.42
> 8m	5.95	5.18	2.91	1.70	5.71	3.38	1.07	6.80	2.80
> 11m	1.13	0.89	0.43	0.15	1.05	0.55	0.13	0.99	0.24
> 14m	0.07	0.05	0.02	<0.01	0.09	0.05	<0.01	0.04	<0.01

* 자료 : Samayamet al., (2017), Assessment of reliability of extreme wave height prediction models, Natural Hazards and Earth System Sciences,17

□ 발전소 구축에서 해상풍 및 파고 데이터를 활용하고 있으며, 향후 파력발전소 입지 선정에서 활용 증가 전망

○ 해상풍력발전소 구축 현황

- 해상풍력은 육상풍력보다 입지 제약에 있어 비교적 자유롭고 해안에서 멀어질 수록 풍속이 높고 바람이 균일해진다는 점에서 외해에도 적합하고 에너지 효율이 높은 특징을 가짐
- 해상풍력의 최소 적정풍속은 연평균 초속 7m로, 장기적인 해상풍 데이터를 통해 최적의 해상풍력발전소의 입지 선정이 가능하며, 2024년 기준 국내 해상풍력 발전시설은 11개소, 53기(150.5MW) 설치

○ 파력발전소 구축 현황

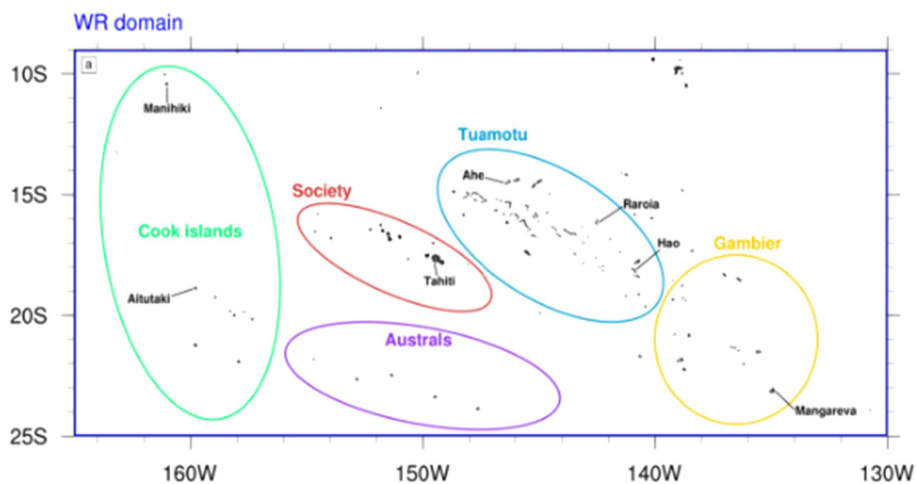
- 파력발전은 해상에서 자연적으로 발생하는 파의 에너지를 이용하는 방법으로, 자연에너지를 동력으로 하므로 에너지 효율이 높은 특징을 지님
- 장기적인 파고 데이터를 통해 파력발전소의 입지 및 설계 조건을 설정할 수 있으며, 국내 첫 파력발전소는 제주에 준공되었으며 포항에도 구축중



* 자료 : <https://www.hdhy.co.kr/news/articleView.html?idxno=16773>(2024. 10. 13. 검색);
<https://news.skocplant.com/plant-tomorrow/15703/>(2024. 10. 13. 검색);
<https://www.digitalbizon.com/news/articleView.html?idxno=2330655>(2024. 10. 13. 검색)

[그림 45] 풍력발전소(좌)와 파력발전소(우)

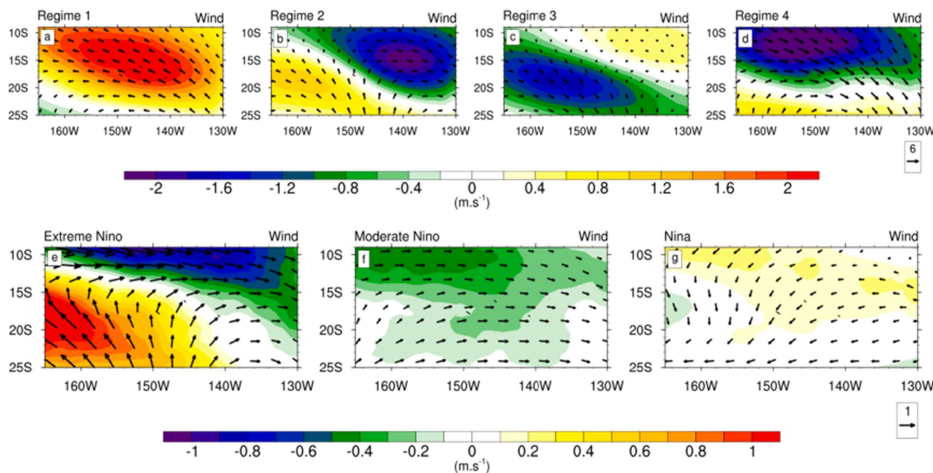
- 해상풍은 남태평양의 환초 석호 순환(Atoll Lagoon Circulation)과 유생 확산(Larval dispersal)의 주요 동인으로, 진주 양식에서 주요한 영향을 미침



* 자료 : Dutheil et al., Characterization of south central Pacific Ocean wind regimes in present and future climate for pearl farming application, Marine Pollution Bulletin, 160, 2020

[그림 46] 남태평양 진주조개 양식지

- 남태평양의 진주 양식 섬에서는 바람이 석호 내의 물 순환을 주도
 - 강풍은 석호 내 국지적인 파도를 발생시킬 수 있으며, 생물학적 공동체에 이롭거나 파괴적인 영향을 미칠 수 있음
 - 반면, 며칠에서 몇 주간 바람이 없는 경우 물의 순환 저하 및 층화 현상, 무산소 상태로 인해 산소부족으로 인한 대량 폐사가 발생할 수도 있음
- 남태평양 지역의 일반적인 바람 조건을 특정하기 위하여 Dutheil et al. (2020)은 WRF 모델 기반 지역 기후 시뮬레이션을 통해 현재/21세기 말 바람 체제를 분류
 - 그 결과, 일일 시간 규모(daily time-scale)에서 무역풍, 북동풍, 2개의 동풍 체제가 나타났으며, 대규모 순환과 기후 변동 모드에 의해 결정됨을 확인
 - 진주조개 유생의 부유기(Pearl oyster pelagic larval duration)기간과 일치하는 월간 시간 규모에서는 바람이 역전되는 3개 체제를 포함, 총 9개의 바람 체제를 확인
 - 확인된 바람 체제는 진주 굴 유생 확산 시기의 석호 조건을 모델링하는데 활용 가능

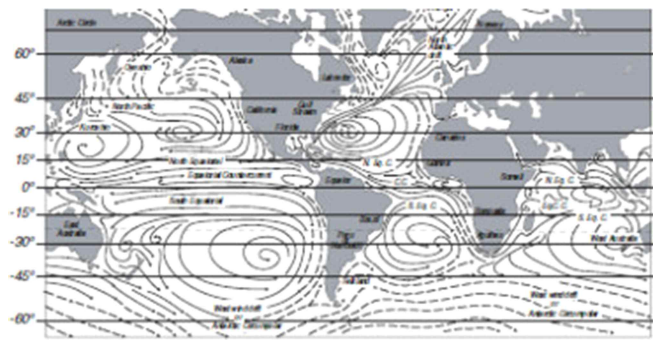


* 자료: Dutheil et al., Characterization of south central Pacific Ocean wind regimes in present and future climate for pearl farming application, Marine Pollution Bulletin, 160, 2020

[그림 47] 기상 체제와 ENSO 단계에 대한 PD에서 표면 바람 어노말리(m/s)

- 후쿠시마 오염수 방출 영향 연구에서 해류정보를 활용하여 해양 오염물질 경로를 파악하고, 향후 유출 사고 발생 대비 해류 경로를 파악하여 신속한 방지 대책 마련 가능
- 후쿠시마 원전 오염수를 해양으로 방출할 경우, 북태평양 해류 순환에 따라 이동·확산·희석되어 우리나라에 도착하기까지 약 4~5년 소요

- 후쿠시마 주변의 해류는 동중국해에서 북상하는 ‘쿠로시오 난류’가 캄차카반도에서 남하하는 ‘오야시오 한류’와 만나 북태평양으로 이동
- 이후 북태평양 해류 순환에 따라 일본 동쪽 해상 → 미국 알래스카·캘리포니아·하와이 → 적도 → 필리핀을 지난 후 다시 일본, 우리나라 주변 해역으로 돌아옴

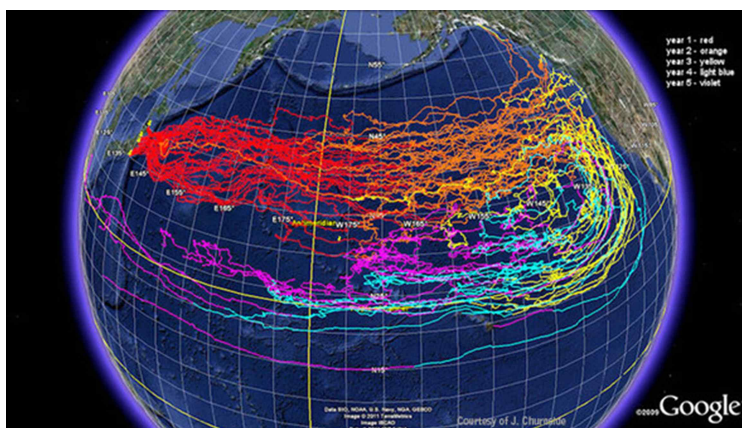


* 자료: 국회입법조사처, 이슈와 논점 제1827호 후쿠시마 원전 오염수 해양 방출 영향 및 대응 방안, 2021

[그림 48] 우리나라와 일본 주변 및 전지구 규모 해류도

□ 해류는 해양쓰레기 경로 예측 분석에 활용되고 있으며, 해류를 통해 해양쓰레기 회수에도 활용 중

- 부유하는 해양쓰레기를 해결할 방안으로 해류의 흐름을 분석하는 방법을 활용
- 미국 NOAA가 운영중인 표층해류시스템(OSCURS, Ocean Surface Current Simulators)은 북태평양 전지역을 90km 간격으로 측정한 해류와 기상정보를 기반으로 쓰레기의 향후 경로를 예측
- OSCURS를 활용해 1992년 미국 앞바다에서 사고를 당한 화물선에 실린 목욕용 장난감 2만 9,000개 회수



* 자료 : www.hani.co.kr/arti/science/science_general/517655.html(2024. 10. 28. 검색)

[그림 49] 일본 쓰나미 쓰레기의 향후 5년 동안의 이동 경로 예측

□ 수산업양식 분야 연구에서 해양기후 요소들이 활용중

○ 한반도 주변 수온변화 연구⁵⁶⁾

- 기후변화에 따른 자연재해 저감을 위한 개선된 계절예측 시스템의 필요성 기후 변화와 관련하여 기상 이변의 발생 빈도가 증가하고 있으며 이에 따라 자연재해도 늘어나는 추세
- 자연재해 저감을 위하여 개선된 예측시스템 수립과 계절예측 시스템의 정확도 향상이 요구
- 수산 및 어장 환경변화 예측의 필요성 계절예측 시스템은 안정적인 수산자원 확보를 위해 매우 유용한 계절예측 정보를 제공 가능
- 해양환경에 대한 계절예측 정보는 수산자원의 증·양식, 잡는 어업, 어로 활동, 수산자원의 분포, 이동과 회유 등 수산업 전반의 활성화에 필수적인 기초 정보로 활용 가능

○ 해양수산분야 수온예측시스템⁵⁷⁾

- 장기적인 해양 변화 이해가 중요하나, 이상기후에 따른 수산업의 피해 최소화를 위해서는 단기적인 수온 변화 정보의 생산과 제공도 매우 중요
- 국립수산과학원은 동해, 서해, 남해 등 각 해역의 고해상도 수온예측시스템을 운영(NIFS, 2019)
- 공간해상도는 동해와 서해가 500m, 남해가 300m로 연안과 내만의 수온 변화를 정확도 높게 예측할 수 있도록 구성하였으며, 매일 1회 1시간 간격의 7일 예측 결과를 생산
- 양식 밀집 해역 및 이상 수온에 따른 피해 우려 해역을 중심으로 수온분포도, 수온그래프 등으로 가공하여 이상 수온 발생 전망과 특보 발령에 활용 중

○ 김·미역 양식 기후변화 피해비용 분석⁵⁸⁾

- 한국해역은 기후변화에 기인한 이상기후의 영향으로 여름철 고수온 및 겨울철 저수온 등 수온의 계절별 양극화가 심화로 양식생물의 대량 폐사 발생(IPCC, 2019)
- 김·미역 등 고수온에 취약한 해조류 양식은 우리나라 양식산업 중에서 기후변화 취약성이 가장 높은 품종으로 분석

56) 박영규 외, 한반도 해역 수온 및 해수면 변화 전망 연구, 한국해양과학기술원, 2018

57) 한인성 외, 해양수산분야 기후변화 영향, 전망과 평가 정보의 현황 및 제공, Journal of Climate Change Research Vol.14 No.6-2, 한국기후변화학회, 2023

58) 윤유진, 김봉태, 김·미역 양식의 기후변화 피해비용 분석, 수산경영론집 Vol.54 No.2, 한국수산경영학회, 2023

- 김의 생육단계는 가을의 수온이 22℃ 전후에서 15℃까지 내려가는 발아기와 15℃ 이하의 성장기로 구분되며, 최성기에는 5~8℃가 성장 적온이고 하한 온도는 4℃이며, 이후 봄까지 12~13℃가 될 때 생육이 정지하게 됨(국립수산과학원, 1984)
- 미역은 양성기간의 수온이 8.8~19.9℃의 분포를 나타내며(국립수산과학원, 2016), 20℃ 이하가 되는 시기가 미역 양식의 시작이 가능한 수온(국립수산과학원, 2022)

○ 북서태평양 중기해양예측모형⁵⁹⁾

- 해양환경의 변화는 어업과 관련 산업에 광범위한 사회경제적 영향을 미치므로 해양환경의 중기(개월에서 년) 예측에 대한 수요가 증가하고 있음
- 계절적으로 중기해양예측모형(OMIDAS)는 추운 계절(가을과 겨울)보다 따뜻한 계절(봄과 여름)에 더 나은 예측성을 보였으며, 이는 한국해역의 예측성에 계절적 종속성을 시사함

□ 해양열파(MHW)는 양식업과 어업 등 산업분야에 영향을 미치며, 이러한 위험은 이전 시기의 기후 현상을 조기에 경고하는 계절예측을 활용하여 감소시킬 수 있음

- 극단적인 기후 영향, 예측 및 위험 관리에 대한 보다 명확한 이해는 해양산업에 매우 중요하며, 특히 많은 연안 지역의 식량, 운송 및 생계와 같은 필수품을 바다에 의존하는 서태평양에서 특히 중요

<표 50> 해양산업의 해양열파(MHW) 예측

분류	주요 내용	출처
산업 영향 사례 및 연구	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2016년 호주 최남단에 위치한 태즈매니아 섬의 MHM는 해양생물의 성장과 질병에 취약하였으며 이는 상품가치 하락과 공급 및 수출에 악영향 발생 	Oliver et al.(2017)
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2011년 서호주에서 발생한 MWH로 물고기 폐사와 가리비 어업의 붕괴가 발생하였으며, 닝갈루 암초에서 처음으로 백화 현상이 관찰됨 	Pearce & Feng(2013) Caputi et al.(2019)
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 장기적·극단적인 MWH는 해양생물의 서식지 분포와 이동 경로 등의 변동을 초래함 ■ 이는 일반적인 계절에는 더 이상 전통적인 위치에서 발견되지 않을 수 있어 기존 산업구조에 변화를 불러옴 	J. R. Hartog et al.(2023)
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 온도가 너무 높으면 어패류의 성장률에 부정적인 영향이 발생하며, 이는 어패류의 상품 가치를 결정함 ■ 상품 가치가 떨어져 폐사되는 어패류가 발생 가능함 	Callaway et al.(2012) Leung & Bates(2012) Meng et al.(2022)

59) 정희석 외, 북서태평양 중기해양예측모형(OMIDAS) 해면수온 예측성능: 계절적인 차이, Ocean and Polar Research Vol.43 No.2, 한국해양과학기술원, 2021

분류	주요 내용	출처
계절 예측 수요 및 사례	<ul style="list-style-type: none"> 기후 압력이 해양 부문과 연안 지역 사회에 미치는 영향이 증가함에 따라 MHW와 같은 극단적인 사건에 대한 정보에 대한 수요 증가 	J. R. Hartog et al.(2023)
	<ul style="list-style-type: none"> 호주의 연어양식과 참치어업의 경우, 지난 10년 동안 기후 위험을 관리하기 위해 계절 예측을 사용하고 있음 	Eveson et al.(2015) Hobday et al.(2016b)
	<ul style="list-style-type: none"> 결정론적 및 확률론적 예측은 호주 기상청에서 운영하는 앙상블 결합 해양-대기 모델을 사용하여 최대 6개월 정보를 제공하고 있음 	Smith & Spillman(2019) Wedd et al.(2022)
	<ul style="list-style-type: none"> 해양 기업은 수확 주기, 파종 시기, 다양한 투자 주기, 재배 또는 대상 어종의 다양화를 포함한 운영 활동을 위해 여러 가지 방법으로 예측 정보를 활용함 	J. R. Hartog et al.(2023)

* 자료 : Forecasts of marine heatwaves for marine industries: Reducing risk, building resilience and enhancing management responses

[참고] 해양기상정보 활용 사례

□ 조선분야 생산계획

- 조선산업 생산 계획과 일정 수립에 국지 풍속, 기온, 습도 등에 민감하게 반응하여 많은 영향을 받기에 한화오션의 경우 조선산업에 특화된 산업기상 정보서비스를 받고 있고, 년 12억(2017년 집계자료) 규모의 생산성 향상 및 원가절감 효과를 거두고 있음



탑재, 블록, 선박이동



태풍대비 계류작업



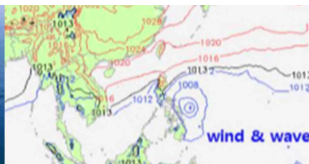
한화오션 기상정보 서비스

□ 조선분야 시운전 및 실운항선박 분석

- (시운전) 선박의 중사시험 및 해상시운전 일정 수립시 인접 해상의 기상예보를 활용하여 시험 항해
- (선박연료 소모량 추정) AIS 및 해양기상데이터를 활용하여 현재 운항중인 선박의 대략적인 연료소모량 추정
- (선박 성능 분석) 실운항 계측 데이터를 확보 분석하여 실시간 운항성능을 분석, 신조대비 선속, 동력 성능을 예측
- (경제운항 솔루션) 기상예보를 활용한 최적 운항 항로 추천을 통해 연료, 비용감소 및 온실가스 배출량 저감



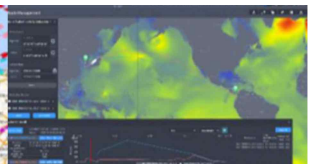
시운전



연료소모량 추정



선박 성능 분석



경제운항 솔루션

* 자료 : 국회의원 박대수의원실 정책자료, '기후변화에 따른 해양 기상·기후서비스 강화를 위한 정책토론회 자료'

제 5 절 요약 및 시사점

- 기후변화에 있어 해양의 중요성이 부각 되고, 해양 부문에 대한 기후변화의 부정적 영향에 대응하기 위해 해양기후 감시·예측 정보 등의 과학적 근거를 통한 대책 수립이 강조되고 있음
- 국내는 「기후기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률(2023.10.24. 제정)」의 제정으로 해양기후 예측정보의 생산이 의무화되었으며, 기후위기 대응 및 적응 지원을 위해 기후변화 감시·예측 역량의 강화를 강조
- 국제적으로 기후변화에 있어 해양의 중요성을 강조하고, 지속 가능한 해양의 보존과 관리를 위한 중장기 계획을 수립하고, 이와 관련해 감시·예측 정보 등의 과학적 근거를 기반으로 한 대응 정책 수립이 필수임을 강조함

<표 51> 해양기후 예측 정책 동향 요약

구분	주요 내용 요약
한국	<ul style="list-style-type: none"> ■ 정부는 기후위기 대응을 위해 기후변화 감시·예측 역량 강화를 강조 ■ 최근 「기후기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」이 제정되어 해양의 기후예측 정보 생산이 의무화 됨
WMO	<ul style="list-style-type: none"> ■ 전세계적 협력을 통한 지구 시스템 관측 및 예측 역량 강화를 주요 목표로 제시 ■ 날씨와 기후 예측모델의 차별적, 독립적 개발에서 벗어나 연속적인 시공간 규모(주 ~ 수십 년)를 구현할 수 있도록 수렴하는 기후예측시스템의 필요성을 제시
국제 해양법 재판소 ITLOS	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기후변화 대응책 수립 시, 당사국의 자의적 판단이 아닌 IPCC 평가보고서 등 과학적 근거를 고려한 객관적 결정이 필요함을 강조
미국	<ul style="list-style-type: none"> ■ 백악관 산하 해양학정책위원회가 수립한 '해양기후 행동 계획'의 우선 과제로 '해양연구, 관측, 모델링, 예측 및 융합 지원'을 제시하여 해양기후 감시·예측의 중요성 강조 ■ NOAA는 Strategic Plan 2022~2026을 통해 기후 변화 대응을 위해 관측 및 모델링 개선, 데이터 접근성 강화, 인프라 개선, 해양 및 육상기상 데이터 활용을 통한 블루 이코노미 성장을 강조
유럽	<ul style="list-style-type: none"> ■ 유럽연합 집행위원회는 EU Agenda for International Ocean Governance를 통해 해양의 보호와 지속 가능한 관리를 위해 감시·예측의 중요성을 강조하고, 코페르니쿠스를 통한 전 세계 해양 모니터링 및 예측 서비스 제공과 IPCC 등 글로벌 과학기관 지원 계획을 발표 ■ ECMWF Strategic 2021-2030, Research and Innovation Strategy(영국 Met Office) 등이 있으며, 신규 위성자료를 활용한 자료 동화기법 개선, 앙상블 모델링 기법을 포함한 이음새 없는 지구시스템 모델 구축을 제시 ■ 영국은 Research and Innovation Strategy(Met Office)를 통해 기상 및 기후에 대한 국가적 대응능력 향상을 위해 불확실성 예측, 영향/적응/감축 정책을 지원할 수 있는 모

구분	주요 내용 요약
	델링 체계 개발을 강조
호주	<ul style="list-style-type: none"> Research and Development Plan 2020 ~ 2030(BoM)를 통해 '맞춤형 영향 기반 예보 및 경보 제공', '신뢰할 수 있는 예보 제공', '통합 지구시스템 수치예측', '일관된 날씨 및 기후 인사이트 제공' 등 4가지 주요 목표에 따른 3년/5년/10년 로드맵을 제시
일본	<ul style="list-style-type: none"> 「기후변동적응법」등이 있으며, 지구 온난화에 대한 정책 결정 및 적응 지원을 위해 해양을 포함한 지구온난화 예측정보 및 수십 년 장기 예측 기후정보를 제공하고, 이를 위해 지구 시스템 모델 개선을 추진

□ 주요국들은 대기-해양-해빙 모델이 결합된 앙상블 기반의 기후예측시스템을 운영하며, 계절 기후예측과 해양기후 연구에서 앙상블 기법과 AI 기술을 활용

○ 기후 예측성능 향상에 대기-해양의 상호작용을 고려하는 것이 필수적임에 따라 기후예측시스템은 대기-해양-해빙-지면 모델의 결합을 기반으로 하고 있음

○ 주요국은 기후예측의 불확실성에 따라 앙상블 예측 모델을 운영하고 있으며, 대기-해양-해빙-지면이 결합된 계절 기후예측시스템을 운영중이며, 대부분 앙상블 기법을 활용하여 확률예측정보를 제공하고 있음

- 5~51개의 멤버를 통해 최장 6개월~13개월 기간에 대한 예측을 수행함

□ 기후위기 대응을 위하여 사회 전반에 걸친 다양하고 유용한 기후예측 정보를 제공하고자, 이음새 없는 지구시스템 모델 기반 기후예측시스템 구축을 추진 중

○ 국내는 기상청의 독자적이고 국산화된 기술을 활용하여 대기-해양-해빙-지면식생-탄소-에어로졸-생지화학이 결합된 지구시스템 모델인 국가기후예측시스템 개발을 추진 중이며, 3개월~10년까지의 기후예측이 가능하도록 적용

○ 주요국들은 또한, 해양기후 관련 해외 주요 연구기관들은 통합 지구시스템 모델링 개발, 해양자료동화 및 해양·해빙 모수화 성능 개선, 고해상도 예측 역량을 강화하는 한편 AI/머신러닝 등 첨단기술을 활용하는 연구도 증가

○ 해양기후 예측 및 분석에 관한 연구는 부족한 편이나 일부 참고할 만한 해수면 온도와 연관성 분석이 있으며, 그 밖의 요소에 대한 연구는 부족함

□ 주요국들은 기후예측 정보 생산 기관에서 해수면 온도와 해수면 온도의 아노말리 예보를 다양한 주기와 방식으로 제공하며, 예측 결과를 인터넷을 통해 시각화된 자료로 배포중

○ 주요국들은 기후예측 정보 생산 기관에서 해수면 온도와 해수면 온도 아노말리를 중심으로 서비스를 제공 중

- 예측 구역은 전지구/열대지역 또는 자국 주변 해역을 중심으로 제공중
- 생산 주기/기간은 1개월, 3개월, 6개월 등 다양하며 국가마다 상이함
- 예보 방식은 확률예보 또는 단정예보 방식으로 제공되거나 확률예보/단정예보 모두 제공하는 국가도 있으며, 일본의 경우 전문가의 해석을 함께 제공
- 대부분 인터넷 홈페이지를 통해 그래픽 예상도, 시계열 그래프 등으로 배포
- 한편 국내는 기상청에서 단정모델 기반의 해수면온도와 유의파고에 대한 1개월 예측자료를 매일 제공하고 있으며, 한국해양과학기술원(KIOST)에서 3개월 해양기후 시범전망을 운영중
- 국내외 해양기후 관련 정보는 어업·수산업을 비롯하여 해양안전, 해양환경, 해운·항로 등 다양한 분야에서 활용
 - 주요 해양기후 요인인 해수면온도, 해상풍, 유의파고, 해류는 어업·수산업, 선박업, 해양안전·환경 등의 분야에서 활용되고 있음
 - 해양산업에서 해양기후 예측정보를 활용하여 어획량과 어종 분포 등을 최적화할 수 있으며 이를 통해 자원 관리가 가능
 - 자연재해 및 해양위험을 대비하는데 해양기후 예측정보를 활용하고 있으며, 예측된 정보를 통해 해양의 안전 확보가 가능
 - 해양기후 예측정보를 통해 효과적인 해양구조물의 입지 선정, 산업 설비 이동, 해양구조물 강화 등을 시행 가능
 - 장기적인 해양 생태계 보호에 해양기후 예측정보를 활용

<표 52> 해양기후 정보 활용 사례 요약

구분	어업 및 수산업	해운·항로	해양 안전	해양 환경	해양구조물	기타
해수면온도	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해수면온도 기반 어류 분포 ■ 해양산업 활용 <ul style="list-style-type: none"> - 양식업 어획량 예측, 어종 분포 및 이동 연구 등 	-	<ul style="list-style-type: none"> ■ 난류성 및 위험 어종 유입 예측 가능 - 해파리, 상어 등 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양열파, 산호초 백화 현상 예측 	-	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국내 위험 기상 예측 <ul style="list-style-type: none"> - 태풍, 대설, 집중호우 등 ■ 육상 생태계 영향 예측 <ul style="list-style-type: none"> - 말라리아 예측 연구 등
해상풍	<ul style="list-style-type: none"> ■ 양식업에 적합한 기후 조건 파악 - 양식업 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 선박 항로 최적화 증대 ■ 선박 연료 소비 효율성 증대 ■ 선박 안전 강화* 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양 재난 예·특보 제공* - 미국 NWS, 일본 JMA의 해양 재해 예·특보 서비스 	-	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해상풍력 발전 입지 선정 	-
유의파고	-	<ul style="list-style-type: none"> ■ 선박 항로 최적화 증대 ■ 선박 연료 소비 효율성 증대 ■ 선박 안전 강화* 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양 재난 예·특보 제공* - 미국 NWS, 일본 JMA의 해양 재해 예·특보 서비스 	-	<ul style="list-style-type: none"> ■ 극한파고 관측 ■ 예측 기반 해안 및 해양 구조물 설계 ■ 장기 데이터 기반 파력발전소 입지 및 설계 조건 설정 	-
해류	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해류를 따라 이동하는 특정 어류의 어획량 관리 및 이동 패턴 예측 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 선박 항로 최적화 증대 ■ 선박 연료 소비 효율성 증대 ■ 선박 안전 강화* 	-	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양열파, 산호초 백화 현상 예측 ■ 해양오염 경로 예측 <ul style="list-style-type: none"> - 오염수 방출, 해양쓰레기 경로 	-	-

* 단기 예측정보 포함: 실제 활용하고 있는 사례와 활용가능성이 있는 분야에 대한 연구 내용이 포함됨

□ 현황 분석을 토대로 시사점 도출

- 과학적 근거를 기반으로 한 해양의 기후위기 대응책 수립 지원을 위해 해양기후 예측 서비스 필요
 - 주요국처럼 기후예측시스템에서 생산되고 있는 예측자료의 활용을 확대하여 해양 기후 예측 서비스 제공 필요
 - 육상의 기후예측정보와 정합성이 있는 해양기후 예측정보를 통해 범정부의 일관성 있는 정책 수립 지원 필요
 - 예측자료의 불확실성 감소 및 국내 수요자의 예측자료 활용 지원을 위해 해양 기후예측분석관의 분석 및 해석을 통한 해양기후 예측 서비스 제공 필요
- 기상청에서 현업 기후예측시스템(GloSea6)을 통해 빠른 시일 내에 1~3개월 해양 기후예측 서비스를 제공할 수 있으며 구축 중인 지구시스템 모델(국가기후예측 시스템)을 활용하여 10년까지의 예측자료 생산이 가능
 - 현업 기후예측시스템(GloSea6)에서 산출되는 요소 중 앙상블 예측 체계가 갖춰진 해수면 온도를 우선적으로 제공할 수 있으며, 파랑모델의 앙상블 자료 추가 생산을 통해 파고에 대한 예측자료를 생산할 수 있음
 - 기상청에서 구축 중인 국가기후예측시스템(대기-해양-해빙-지면식생-탄소-에어로졸-생지화학이 결합된 지구시스템 모델)을 통해 해상의 기온·강수량·바람, 해수면 온도, 파고, 해류, 해빙 등에 대해 3~10년의 이음새 없는 예측자료 생산 가능
- 해양기후 예측기술 역량 강화를 위해 기후예측시스템 개선 및 해양기후 예측·분석에 관한 연구 필요
 - 해양기후예측 서비스의 고해상도를 위한 모델 개선, 해양기후 예측자료의 불확실성 감소를 위한 해양자료동화 성능 향상 및 해양·해빙 모수화 성능 개선 등의 지속적 연구개발 필요
 - 기후시스템 내에서 대기-해양 상호작용 및 원격상관에 의해 발생하는 해양기후 특성에 대한 연구가 필요하며, 이를 통해 지속적인 선행인자 발굴 및 가이던스 개발 추진
 - AI와 빅데이터 등 첨단 기술을 적용한 기후예측 기술 강화
- 해양기후 정보의 활용 분야는 다양하나 서비스는 부족한 실정으로 수요에 적합한 서비스 개발 및 제공이 필요
 - 산업별로 특화된 기후정보를 제공하여 수산업, 해운업 등 다양한 산업 분야에서 활용할 수 있도록 기후정보 제공

- 사용자 친화적 기후정보 제공을 통한 해양기후위기 대응
- 해양 기반 산업(어업,수산업, 선박 제조업 등)의 운영에 있어 해양기후 위험을 회피하기 위한 대응책으로 해수면온도, 해상풍, 유의파고, 해류 등을 포함하는 해양기후 예측 활용 필요

<p>해양기후 예측 정책 동향</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내는 법적 기반 마련과 기후 예측 역량 강화를 위한 다양한 노력을 추진중이며 차세대 기후예측모델 개발을 강조 ▪ 해외 주요국들은 고해상도 예측 시스템과 앙상블 기법을 활용한 예측 정밀도 개선에 중점 ▪ 과학적 근거를 기반으로 한 해양의 기후위기 대응책 수립 지원을 위해 해양기후예측 서비스 필요 - 육상의 기후예측정보와 정합성이 있는 해양기후 예측정보를 통해 범정부의 일관성 있는 정책 수립 지원 필요 - 예측자료의 불확실성 감소 및 국내 수요자의 예측자료 활용 지원을 위해 해양기후예측 분석관의 분석 및 해석을 통한 해양기후 예측 서비스 제공 필요 	<p>해양기후 예측 기술 및 연구 현황</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 주요국들은 대기-해양-해빙 지면이 결합된 계절 기후예측시스템을 운영 중이며, 대부분 앙상블 기법을 활용하여 확률 예측 수행 중 ▪ 또한 해양기후 관련 해외 주요 연구기관들은 통합 지구시스템 모델링 개발, 고해상도 예측 역량을 강화하는 한편 AI/머신러닝 등 첨단기술을 활용하는 연구도 증가 중 ▪ 해수면온도, 해상풍, 유의파고, 해류 등 주요 요소별로 선행인자들에 대한 연구는 아직 부족하며, 육상 기후 원격상관 패턴을 비롯한 기타 선행인자들의 활용성 검토 필요 ▪ 기상청에서 구축 중인 국가기후예측시스템(대기-해양-해빙-지면식생-탄소·에어로졸-생지화학이 결합된 지구시스템 모델)을 통해 해상의 기온·강수량·바람, 해수면 온도, 파고, 해류 등에 대해 3~10년의 이음새 없는 예측자료 생산 가능
<p>해양기후 예측 서비스 현황</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 주요국들은 해수면온도 어노말리를 중심으로 서비스를 제공 중 ▪ 예측구역은 전지구/열대지역 또는 자국 주변해역을 중심으로 제공 중 ▪ 생산주기/기간은 1개월, 3개월, 6개월 등 다양하며 국가마다 상이함 ▪ 예보방식은 확률예보 또는 단정예보 방식으로 제공되거나 확률예보/단정예보 모두 제공하는 국가도 있음 ▪ 대부분 인터넷 홈페이지를 통해 그래픽 예상도, 시계열 그래프 등으로 배포 ▪ 일본은 전문가의 해설이 포함된 통보문을 함께 제공 	<p>해양기후 정보 활용 현황</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 해양기후 정보는 수산업/양식업, 해운/항만, 에너지 산업, 환경 관리, 재난 관리, 기타 연구 등 다양하게 활용 중 ▪ 해양 산업에서 해양기후 예측 정보를 활용하여 어획량과 어종 분포 등을 최적화할 수 있으며 이를 통해 자원 관리가 가능 ▪ 자연재해 및 해양 위험을 대비하는데 해양기후 예측 정보를 활용하고 있으며, 예측된 정보를 통해 해양 안전 확보 가능 ▪ 해양기후 예측 정보를 통해 효과적인 해양구조물의 입지 선정, 산업 설비 이동, 해양구조물 강화 등을 시행 가능 ▪ 장기적인 해양 생태계 보호에 해양기후 예측 정보를 활용
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 해양기후예측 서비스 필요 : 육상의 기후예측정보와 정합성이 있는 해양기후 예측정보를 통해 범정부의 일관성 있는 정책 수립 지원이 필요, 예측자료의 불확실성 감소 및 수요자의 예측자료 활용 지원을 위해 해양기후예측 분석관의 분석 및 해석을 통한 해양기후 예측 서비스 필요 ▪ 기후예측시스템 개선 및 연구 필요 : 모델 개선, 해양자료동화 성능 향상 및 해양-해빙 모수화 성능 개선 등의 지속적 연구개발 필요 ▪ 사용자 중심의 서비스 개발 : 산업별로 특화된 기후 정보를 제공하여 수산업, 해운업 등 다양한 산업 분야에서 활용 가능하도록 기후 정보 제공 	

[그림 50] 요약 및 시사점

제 3 장 해양기후예측 서비스 추진전략

제 3 장 해양기후예측 서비스 추진전략

제 1 절 이슈 및 필요성·활용 분석

1. 프레임워크 설계

□ 분석에 앞서 해양기후예측 서비스 구체화 프레임워크를 설계함

○ 예보 요소

- 고려 대상 : GloSea6 산출 요소 및 IPCC 지정 핵심 해양기후변수(ECVs) 19종*
* 해양물리 11종, 해양생지화학 6종, 해양생태 2종
- 우선 고려 : ① 해수면온도, ② 해상풍, ③ 파고, ④ 해양이상기후정보

○ 예보의 기간

- ① 1개월 전망, ② 3개월 전망, ③ 6개월 전망, ④ 1년 전망, ⑤ 1~10년 전망
- 육상기후예측과 예보 기간을 같게/다르게 할 것인가

○ 예보의 구역/영역 단위

- 구역 : ① 해상 예·특보 구역을 준용/별도의 구역 설정
② 앞바다/먼바다의 구분이 필요한지, 어디까지 상세화해야 할지
- 영역 : 연근해, 동아시아, 전지구 중 무엇부터 제공할 것인지

○ 예보 방식은 어떻게 할 것인가

- ① 3분위 확률예보(평년 낮음/비슷/높음), ② 단정예보, ③ 범위/구간별 확률예보, ④ 지수화 또는 지수별 확률예보
- 변동성과 예측성을 고려하여 요소별로 방식을 차별화할 것인가

○ 시스템 구축 방식

- 해양기후예측 분석 시스템을 ‘기후예측·분석통합시스템’ 내에 구축 혹은 별도 구축

○ 업무 체계

- 해양기후 예측정보는 어느 부서에서 생산·발표하는 것이 적절한가
- 해양기후 예측정보의 통보문 생산과 배포의 주체(기후예측센터(가칭) 신설 필요성)

- 신규사업 추진 방안
 - ① 일반 사업, ② 정보화 사업, ③ 연구개발 사업
- 추진체계 구성 방안
 - 예산확보, 자원확보, 인력확보(인력확충 적정 규모), 부서별 역할 정립 방안
 - 해양기후 예측을 위한 별도의 연구조직 필요성
- 기술(연구)개발 요소
 - 해양기후 예측정보 서비스를 위해 단기/중기/장기적으로 필요한 기술개발
 - 해양기후 예측의 정확도 향상을 위해 모델 개선
- 외부 협력 및 전문가 교류 방안
 - ① 전문가(기관) 교류 및 환류 방안, ② 국제협력 방안
- 활용 및 활성화 방안
 - 해양기후예측 서비스 시행 시 예상되는 수요/활용 분야
 - 수요자의 정보 활용 활성화 방안

1. 무엇을 예보할 것인가?	<ul style="list-style-type: none"> • 대상 : GloSea6 산출 요소 및 IPCC 지정 핵심 해양기후변수(ECVs) 19종 • 우선 고려 : 현재 산출 중인 요소 활용 ① 해수면온도, ② 해상풍, ③ 파고, ④ 해양이상기후정보
2. 예보의 기간과 생산 주기?	<ul style="list-style-type: none"> • ① 1개월 전망, ② 3개월 전망, ③ 6개월 전망, ④ 1년 전망, ⑤ 1~10년 전망 • 육상기후예측과 예보기간(1개월, 3개월, 계절, 연 기후 전망) 및 생산주기를 같게/다르게 할 것인가?
3. 예보의 구역/영역 단위?	<ul style="list-style-type: none"> • 구역: ① 해상 예·특보 구역을 준용/별도의 구역 설정 ② 앞바다/먼바다의 구분이 필요한지? 어디까지 상세화해야 할지? • 영역: 연근해, 동아시아, 전지구 중 무엇부터 제공할 것인지
4. 예보 방식은 어떻게?	<ul style="list-style-type: none"> • ① 3분위 확률예보, ② 단정예보, ③ 범위/구간별 확률예보, ④ 지수화 또는 지수별확률예보 • 변동성과 예측성을 고려하여 요소별로 방식을 차별화할 것인가?
5. 시스템구축은 어떻게?	<ul style="list-style-type: none"> • 해양기후예측 분석 시스템을 '기후예측분석통합시스템' 내에 구축 혹은 별도 구축
6. 업무 체계는?	<ul style="list-style-type: none"> • 해양기후 예측정보는 어느 부서에서 생산·발표하는 것이 적절한가? • 해양기후 예측정보의 통보문생성과 배포의 주체는? (기후예측센터(가칭)신설 필요성?)
7. 신규사업 추진 방식?	<ul style="list-style-type: none"> • ① 일반 사업, ② 정보화 사업, ③ 연구개발 사업
8. 추진체계 구성 방안?	<ul style="list-style-type: none"> • 예산확보, 자원확보, 인력확보(인력확충 적정 규모?), 부서별 역할 정립 방안 • 해양기후 예측을 위한 별도의 연구 조직이 필요성?
9. 기술(연구)개발 요소?	<ul style="list-style-type: none"> • 해양기후 예측정보 서비스를 위해 단기/중기/장기적으로 필요한 기술개발 • 해양기후 예측의 정확도 향상을 위해 모델 개선
10. 외부협력/전문가교류 방안?	<ul style="list-style-type: none"> • ① 전문가(기관) 교류 및 환류 방안, ② 국제협력 방안은?
11. 활용 및 활성화 방안?	<ul style="list-style-type: none"> • 해양기후예측 서비스 시행 시 예상되는 수요/활용 분야 • 수요자의 정보 활용 활성화 방안

[그림 51] 해양기후예측 정보 서비스 구체화 프레임워크

- 프레임워크에 따라 전문가 설문조사 및 심층 인터뷰를 진행하여 해양기후예측 서비스의 이슈를 분석하고 서비스 방안을 구체화함. 이해관계자 대상 수요조사를 진행하여 서비스 전략의 방향성에 대해 검증함

<표 27> 이슈 분석 및 전략 도출 경과

	구분	주요내용	기간
연구 방향 수립	기획위원회	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (목적) 해양기후예측 서비스 추진전략 연구 방향성 검토 및 소위원회 구성 협의, 서비스 구체화 프레임워크 설계 ▪ (방법) 기획위원회 회의 	'24.8.9
이슈 분석 ↓ 서비스 방안 구체화 ↓ 수요조사 및 방향성 검증	전문가 설문조사	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (목적) 해양기후예측 서비스 관련 역량진단, 연구개발 우선순위 분석, 서비스 방안 등에 대한 설문 ▪ (방법) 개인별 설문조사 ▪ (대상) 기상청과 산하기관 전문가, 해양기후 분야 연구자 33명 	'24.8.6. ~ '24.8.13.
	전문가 심층인터뷰	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (목적) 해양기후예측 서비스의 업무체계 및 서비스 형태 구체화를 위한 기상청 및 소속·산하기관 전문가(keyman)의 현장 의견 수렴 ▪ (방법) 심층 인터뷰 ▪ (대상) 기상청과 산하기관의 관련 분야 전문가 16명 	'24.9.6. ~ '24.9.11.
	소위원회 운영	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 현업 기후예측모델(Glosea6)의 공간해상도, 수요자의 활용 형태 등을 고려해 해양기후 예측정보 서비스 형태 도출 ▪ 해양기후 예측 서비스를 위해 필요한 모델 개발·개선 방안 도출 ▪ 해양기후 감시 및 예측정보 생산을 위한 예측·분석 기술 발굴 	'24.9.6. ~ '24.9.11.
	관계기관 설문조사	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (목적) 해양기후예측 서비스 관련 관계기관(정부, 지자체, 기업, 연구자 등)에 대한 활용에 대한 의견 수렴 ▪ (방법) 개인별 설문조사 ▪ (대상) 정부, 지자체, 기업연구자 등 총 42명 	'24.10.15. ~ '24.10.30.
	대국민 설문조사 (기상청 자료 활용)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (목적) 해양기후예측 서비스 활용 방안 도출을 위한 대국민 설문조사 ▪ (방법) 온라인 설문조사(소통24) ▪ (대상) 대국민/1,613명 (일반국민 74.4%, 해양업무종사자 23.9%) 	'24.10.16. ~ '24.10.22.
최종 전략 도출	기획위원회	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (목적) 해양기후예측 서비스의 추진 전략 방향 결정 ▪ (방법) 기획위원회 회의 	'24.11.19.

2. 전문가 의견

가. 전문가 설문조사

□ 조사 개요

- (목적) 해양기후예측 서비스 관련 기술 수준 및 역량 진단, 연구개발의 우선순위 분석, 서비스 방안 등에 대한 기상청 내외 전문가 의견 확인하기 위함
- (방법) 2024년 8월 6일~23일까지 개인별 대면 및 서면 설문조사로 진행하였으며, 기상청 내 전문가 및 산하기관의 해양기후예측 관련 전문가 16명과 외부전문가 17명의 의견을 수렴
- (주요 내용) 기술 수준, 현황 수준, 정보의 품질, 전망 기간, ECVs, 연구개발의 중요성 및 시급성, 역량 수준 등 11개 항목에 대한 구조화 설문
 - 해양기후예측 서비스의 기술분류를 대분류(3), 중분류(9)로 구성로 분류하고, 기술 수준 조사를 진행함

<표 28> 해양기후예측 서비스 기술분류

대분류(3)	중분류(9)	중분류 설명
1. 해양기후예측 모델 기술	1-1. 해양기후예측 자료수집 기술	예측모델 관련 관측·분석자료 수집 기술
	1-2. 해양기후예측 수치모델 기술	해양기후예측 모델(GloSea, 해양 접합 모델, 파랑 모델 등) 개발 기술
	1-3. 해양기후예측 모델 후처리 기술	해양기후예측 예보관 분석용 가이드스 등 개발
2. 해양기후예측 정보 생산·서비스 기술	2-1. 해양기후예측 시스템 구축·운영 기술	예보관의 실황 및 모델 자료 분석을 위한 가시화 및 분석 툴 개발 기술
	2-2. 해양기후예측 정보 생산을 위한 품질 관리 기술	해양기후예측 정보의 생산을 위한 분석 및 정확도·품질 확보 관련 기술
	2-3. 해양기후예측 정보 전달 체계 기술	해양기후예측 정보의 제공 관련 해설, 소통, 매체, 수단 등 (예 : 장기 전망 해설서, 온라인 정보 시스템, 무선 팩스, 위성방송, 문자 등)
3. 해양기후예측 분석 기술	3-1. 해양기후 발생 특성에 대한 이해 기술	우리나라 해역에서 발생하는 현상의 원인 및 상관관계 등 해양기후 발생 특성에 대한 이해
	3-2. 해양기후 예측을 위한 선행 인자 확보 기술	우리나라 해역의 해양기후 장기 예측을 위한 선행 인자 확보
	3-3. 해양기후 예보 기술	예보관이 기후예측모델 결과와 실황 감시, 예측 인자 등을 종합적으로 분석·활용하여 예보의 품질을 높이는 기술

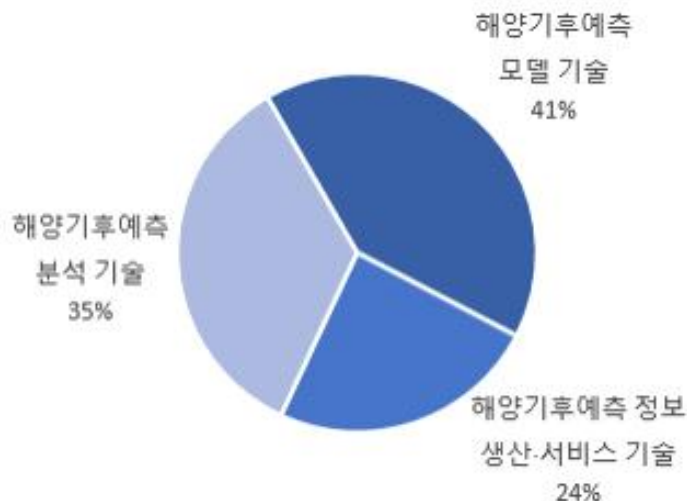
□ 전문가 설문 조사 결과 요약 및 시사점

○ 해양기후예측 관련 기술수준 (As-is 진단)

- 선진국 대비 기술 수준 : 해양기후예측의 선진국 대비 기술 수준은 5점 척도 기준으로 해양기후예측 모델 기술 3.00점, 해양기후예측 정보의 생산·서비스 기술 3.18점, 해양기후예측 분석기술 3.12점으로 조사
- 해양기후예측 모델 기술이 상대적으로 낮음 : 모델 기술의 중요성이 높고, 기상청의 강점인 분석기술의 향상이 필요함 (내·외부 전문가를 구분해 분석해 보면, 해양기후예측 분석기술에서 외부 전문가가 내부 전문가보다 기술 수준 평가에서 0.81점(16.2%) 상대적으로 높은 것으로 응답)
- 해양기후예측 서비스의 선진국 대비 기술격차는 10년 이내가 75%로 기술격차가 그리 크지 않음
- 기상청 내 육상기후예측 서비스 대비 해양기후예측 서비스의 기술격차는 10년 이내가 83%로 조사됨

○ 해양기후예측 서비스 기술개발 『중요성-만족도』, 『필요성-시급성』 분석

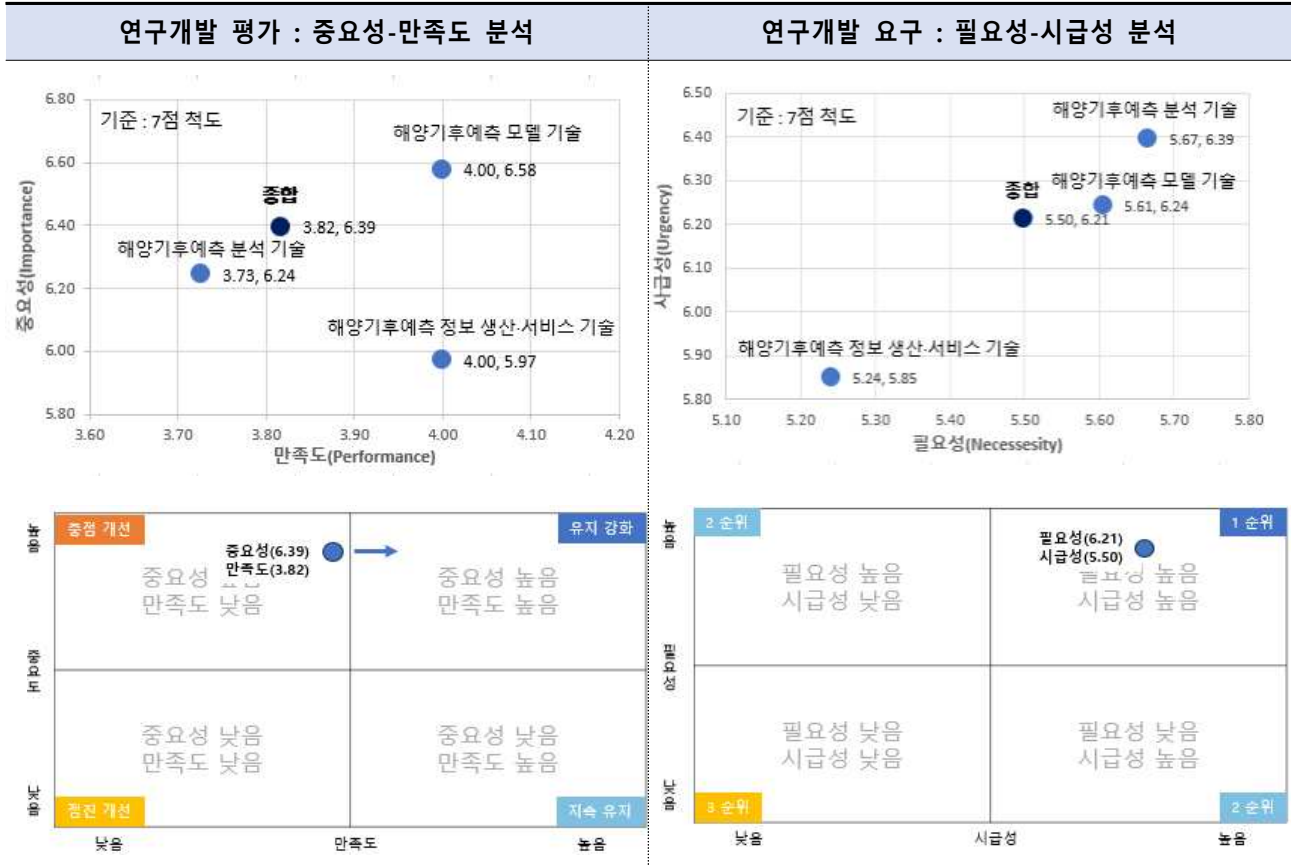
- 해양기후예측 정보 품질에 미치는 영향(가중치) : 해양기후예측 모델 기술 41%, 해양기후예측정보 생산·서비스기술 24%, 해양기후예측 분석기술 35%,



[그림 52] 해양기후예측 정보 품질에 미치는 영향(전문가 설문조사 결과)

- 해양기후예측 서비스 기술 연구개발 평가·니즈를 중요성-시급성-가능성 측면에서 분석한 결과, 7점 척도 기준으로 중요도 6.39에 비하여 성과도(만족도)는 3.82로 현저히 낮으며, 연구개발의 시급성은 5.50으로 높음

- 연구개발의 우선순위 : ① 해양기후예측 분석기술, ② 해양기후예측 모델기술, ③ 해양기후예측정보 생산·서비스 기술
- 예보관 역량과 관련되는 ‘해양기후예측 분석 기술개발’의 시급성이 높음



* 중요성-만족도 분석은 중점개선과 유지강화 평면에 치우쳐 있으므로, 중요하지만 만족도는 낮으므로 시급히 개선이 필요한 것으로 해석됨
 * 필요성-시급성 분석은 1순위 평면의 상위에 있으므로, 필요성과 시급성이 상당히 높음. 우선순위로 자원(서비스)을 투입하여야 하는 것으로 해석됨

[그림 53] 해양기후예측 서비스 기술 연구개발 평가·요구 분석(전문가 설문조사)

○ 해양기후 예측 서비스 요소의 우선 순위 및 확장성 검토

- 기상청의 기후예측시스템에서 산출되는 해양기후예측 요소에 대해 7점 척도 기준으로 중요성-시급성-가능성을 분석한 결과 다음과 같은 우선순위가 있음
- ⇒ ① 해수면 온도(6.48, 6.33, 6.36), ② 해상풍(6.24, 5.94, 5.45), ③ 유의파고(6.03, 5.52, 5.45)
- 특히, 해수면 온도는 중요성-시급성-가능성이 월등히 크므로, 가장 우선하여 추진해야 할 분야
- 해상풍과 유의파고는 중요성과 시급성에 비해 가능성이 다소 낮아 기술개발 필요

- 핵심 해양기후변수(ECVs)를 기반으로 서비스 확장성을 검토하기 위해 필요성-가능성 분석을 수행하여 서비스 우선순위를 판단함

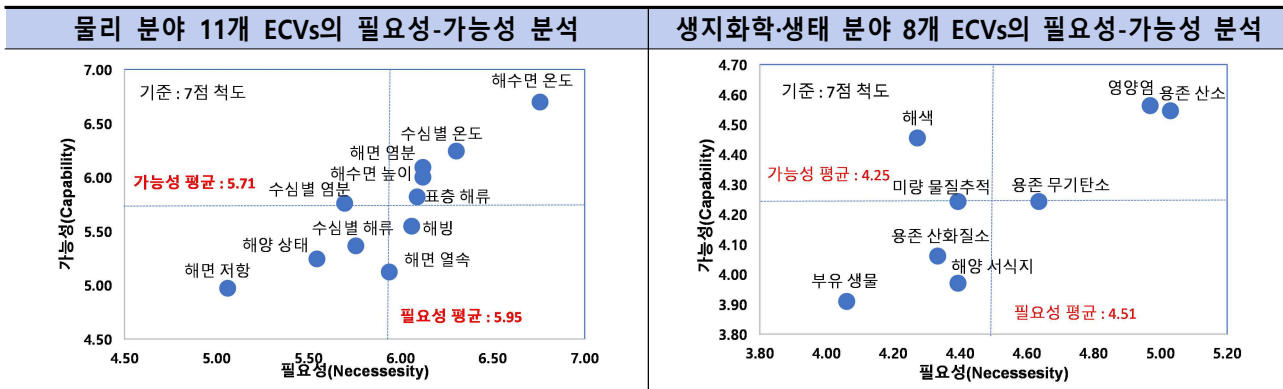
* 총 19개/물리 부문 11개, 생지화학 부문 6개, 생태 부문 2개)

- ⇒ ① 해수면 온도 → ② 수심별 온도 → ③ 해면 염분 → ④ 해수면 높이 → ⑤ 표층해류 → ⑥ 해빙 → ⑦ 수심별 염분 → ⑧ 수심별 해류 → ⑨ 해면 열속 → ⑩ 해양 상태 → ⑪ 해면 저항 → ⑫ 영양염 → ⑬ 용존 산소 → ⑭ 용존 무기탄소 → ⑮ 해색 → ⑯ 용존 산화질소 → ⑰ 미량 추적 물질 → ⑱ 부유 생물 → ⑲ 해양 서식지

- 물리 부문 11개 요소가 생지 화학과 생태 부문보다 우선순위가 월등히 높음 으며, 핵심 해양기후변수(ECVs) 19개 중 해수면온도가 가장 높음

<표 29> 해양기후변수(ECVs) 예측-전망 필요성-가능성 분석(종합)

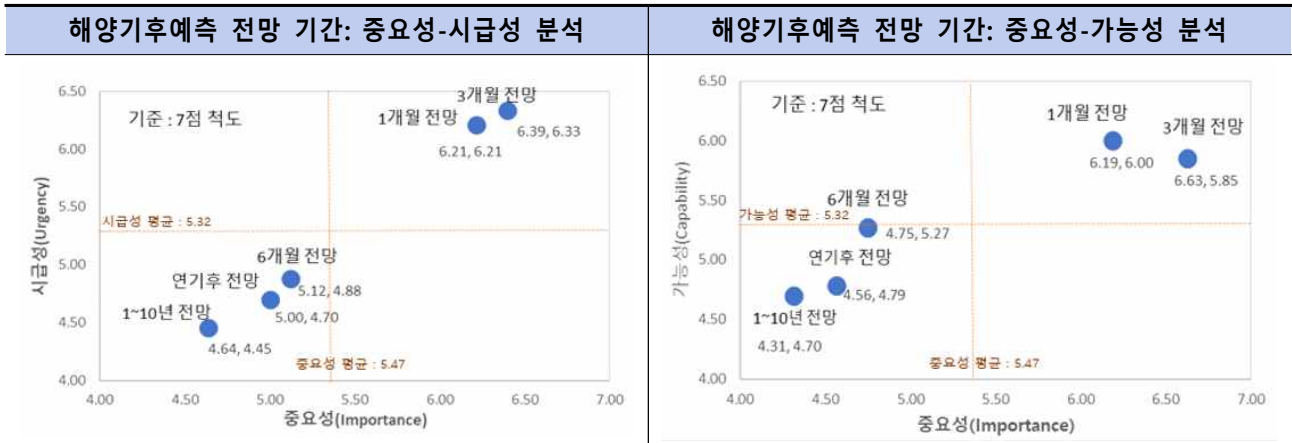
부문	해양기후변수(ECVs)	필요성	가능성	합계	부문	해양기후변수(ECVs)	필요성	가능성	합계
물리	01 해수면 온도(Sea Surface Temperature)	6.76	6.70	13.45	생지화학	12 용존 산소(Oxygen)	4.97	4.56	9.53
	02 수심별 온도(Subsurface Temperature)	6.30	6.24	12.55		13 영양염(Nutrients)	5.03	4.55	9.58
	03 해면 염분(Sea Surface Salinity)	6.12	6.09	12.21		14 용존 무기탄소(Inorganic Carbon)	4.64	4.24	8.88
	04 수심별 염분(Subsurface Salinity)	5.70	5.76	11.45		15 미량 추적 물질(Transient Tracers)	4.33	4.06	8.39
	05 표층 해류(Surface Currents)	6.09	5.82	11.91		16 용존 산화질소(Nitrous Oxide)	4.39	4.24	8.64
	06 수심별 해류(Subsurface Currents)	5.76	5.36	11.12		17 해색(Ocean Colour)	4.27	4.45	8.73
	07 해수면 높이(Sea Level)	6.12	6.00	12.12	생태	18 해양 서식지(Marine Habitats)	4.06	3.91	7.97
	08 해양 상태(Sea State)	5.55	5.24	10.79		19 부유 생물(Plankton)	4.39	3.97	8.36
	09 해면 저항(Surface Stress)	5.06	4.97	10.03					
	10 해면 열속(Ocean Surface Heat Flux)	5.94	5.12	11.06					
	11 해빙(Sea Ice)	6.06	5.55	11.61					



[그림 54] 해양기후 예측-전망 서비스의 필요성/가능성 분석(분야별)

○ 해양기후예측 전망 기간 우선순위 도출

- 해양기후예측 전망 기간을 중요성-시급성-가능성으로 분석한 결과, ① 3개월 전망 → ② 1개월 전망 → ③ 6개월 전망 → ④ 연기후 전망 → ⑤ 1~10년 전망 순으로 우선순위가 있는 것으로 조사됨
- 3개월 전망이 가장 중요하고 시급함
- 5개의 전망 기간에 대한 상대적 우선순위에서 1분면에 위치한 3개월과 1개월이 현저히 높음



[그림 55] 해양기후 예측·전망 서비스의 필요성/가능성 분석(분야별)

○ 해양기후예측 서비스 기술개발 역량진단

- 해양기후예측 서비스 기술개발 역량을 R3I 기법으로 분석해 보면, 정부가 이 분야 기술개발에 투입한 자원(Resource) 투입 수준 2.64점, 준비·운용(Readiness) 수준 3.27점, 성과(Realization) 수준 4.00점, 혁신역량 수준은 4.70점으로 조사
- 투자된 자원 투입에 비하여 운용, 성과, 혁신 수준이 상대적으로 높아서, 적절한 투자가 이루어지면 상당히 높은 성과가 기대됨(연구개발의 효율성이 높은 분야로 평가될 수 있음)



[그림 56] 전문가 설문조사 요약 및 시사점

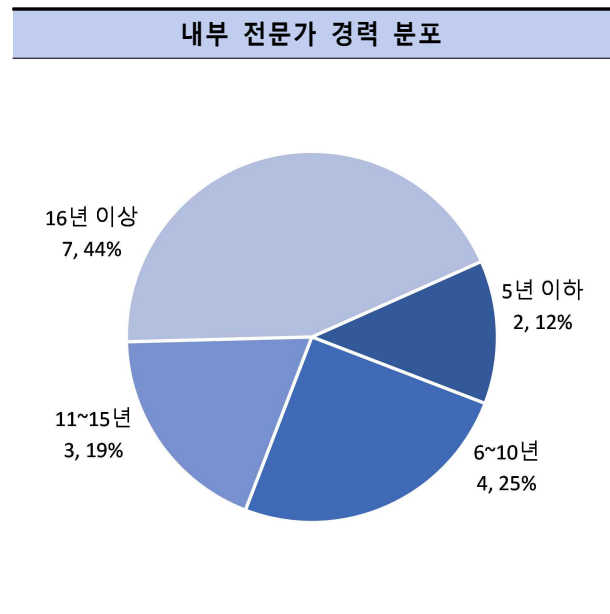
나. 전문가 심층인터뷰

□ 인터뷰 개요

- (목적) 해양기후예측 서비스의 업무체계 및 서비스 형태 구체화를 위한 기상청 및 소속·산하기관 전문가(keyman)의 현장 의견을 해양기후예측 서비스 추진 전략 수립에 반영하기 위함
- (방법) 2024년 8월 6일~13일(총8일)간 내부전문가의 근무지에서 개인별 설문조사 와 대면 심층 인터뷰 병행하여 진행함
- (주요 내용) 해양기후예측 서비스 추진을 위한 서비스 형태, 기술 제반 사항, 업무 체계 등의 제반 사항에 대하여 의견수렴
- (응답자) 기상청과 산하기관의 관련 분야 전문가 16명

<표 30> 전문가 심층인터뷰 응답자 현황

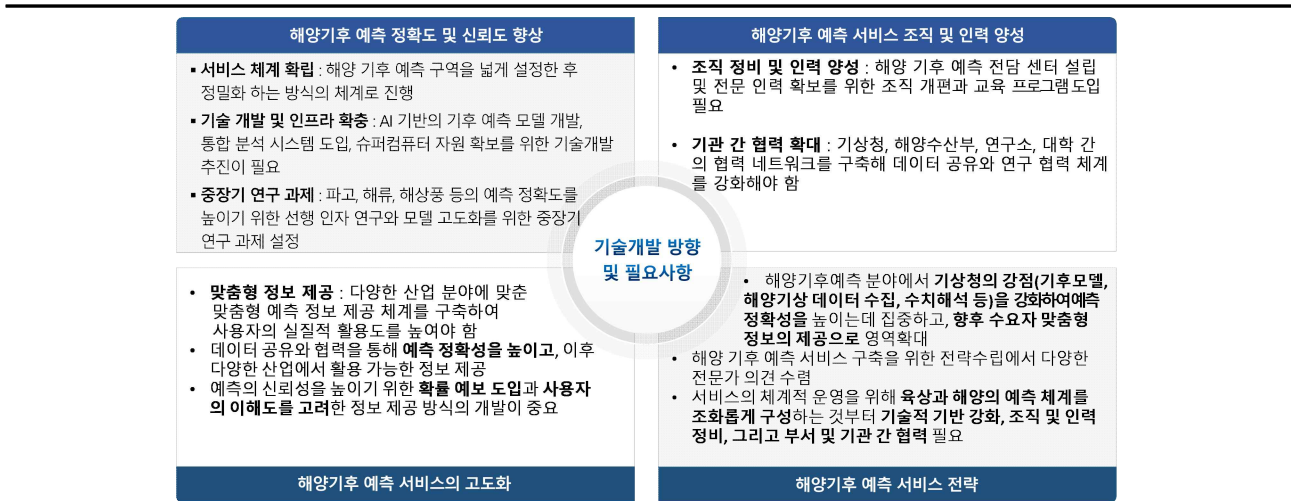
소속 기관 및 근무 부서			전문가 수
기상청	기후과학국	해양기상과	1
		기후예측과	4
		기후변화감시과	1
		수문기상팀	1
	예보국	예보정책과	2
국립기상과학원		기후연구부	2
		기후변화 예측연구팀	1
APEC기후센터		예측운영과	2
		기후분석과	1
		예측기술과	1
합계			16



□ 심층인터뷰 조사 결과 요약 및 시사점

- 해양기후예측 서비스 추진 방향에 대한 주요 의견
 - 예측 요소 : 해수면 온도, 해상풍, 파고의 순서로 시급
 - 전망 기간 : 기존 서비스(육상기후예측)와 동일해야 한다는 의견이 87%로 동일한 기준으로 시작 후 향후 해양기후예측 서비스의 전문적 필요성에 의해 확대
 - 대상 구역 : 단기예보의 해양기상 광역예보구역과 달라도 된다는 의견이 80%로 통계적 상관성을 높이고 타임 스케일에 맞게 구역을 나누는 연구가 필요하며, 광역으로 시작한 후 향후 예측 성과가 확인되면 세밀화

- **정보의 형태** : 정보의 신뢰도를 고려하여 확률예보가 적절하다는 답변이 81%이나, 사용자의 활용 편의성·직관성을 위해 가능한 수준에서 단정예보도 필요하다는 의견이 있으며, 해수면 온도는 기상청 외부 서비스와 차별성이 있어야 함
 - **서비스 제공방식** : 기존 통보문 포함 여부에 대한 답변은 비등하였음(포함 44%(7명), 별도 제공 37%(6명)), 전반적인 견해는 수요자의 요구 파악을 위해 별도의 제공방식으로 시작하고 추후 통합을 고려. 별도의 통보문이라도 발표 시기는 동일
 - **연구 및 기술개발**: 앙상블체계 확대 및 모델결합 강화 등의 모델 고도화, 선행 인자 발굴 및 해양기후 현상의 원인 규명을 위한 연구, 예보관의 예측·분석기술 개발 등 중장기적 연구개발 과제로 진행 필요
 - **외부 전문가 협력체계** : 국내외 기관과의 데이터 공유 및 협력체계 구축, 연구소·대학과의 교류 추진 등이 필요하며, 해양기후예측 전문회의 필요
 - **예상 수요 및 활용 분야** : 양식업·수산업, 해운업, 풍력·파력 등 에너지 산업의 수요가 높을 것으로 예상되며 향후 분야별 맞춤형 정보의 제공 필요성 있음. 육·해상 단기예보 및 육상 장기예보의 분석 및 예측정확도 향상에도 기여 가능
 - **조직·인력 및 업무체계** : 임무(해양기상과) 중심의 업무 확장 및 연구 조직의 확충이 필요하며, 향후 육상 기후 업무 또는 (가칭)기후예측센터로 통합
 - **예산 및 자원 확보** : 해양기후예측 서비스를 위한 신규 사업의 추진이 필요하며 서비스 현업화를 위한 전산자원이 확보되어야 함
- 전문가 심층 인터뷰 내용을 종합하여 기술개발 방향 및 필요사항을 검토하고 ‘해양기후 예측 정확도 및 신뢰도 향상’, ‘해양기후 예측 서비스 조직 및 인력 양성’, ‘해양기후 예측 서비스 고도화’, ‘해양기후 예측 서비스 이행 전략’ 분야로 요약

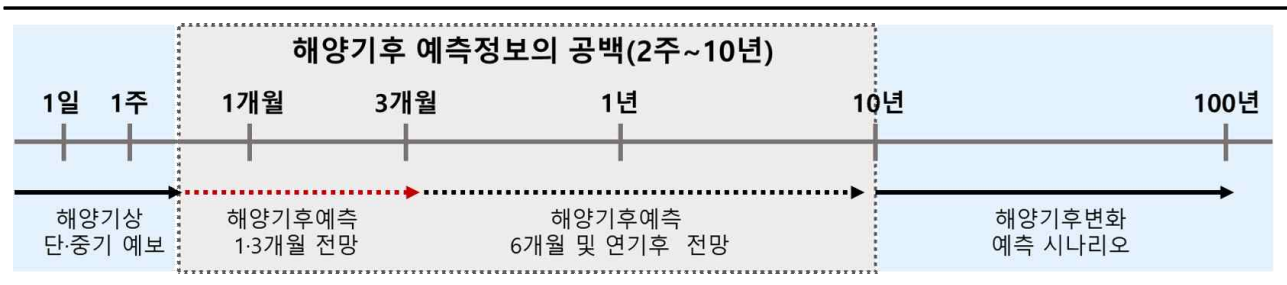


[그림 58] 전문가 심층 인터뷰 결과-기술개발 방향 및 필요성

3. 주요 이슈 분석

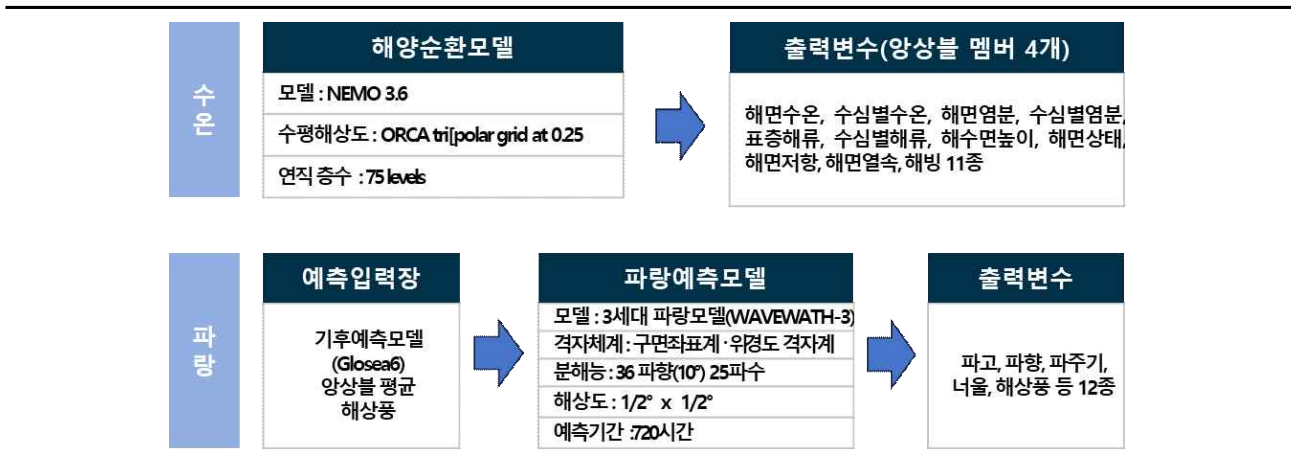
가. 해양기후예측 서비스 추진 여건 분석 및 체계 도출

- 사례조사·전문가 의견(설문조사·심층인터뷰)을 통해 해양기후예측 서비스의 이슈를 분석함
- 추진 여건 분석
 - (법적 근거) 「기후변화감시예측법」('24.10.25. 시행)에 따라 기상청장은 해양·극지에 관한 사항을 포함하여 기후변화 감시·예측 업무를 수행
 - 해양기후예측정보는 2주~10년 사이의 기간에서 공백이 있고, 기후변화감시 예측법에 따라 해당 기간의 정보를 제공해야 할 의무가 있음



[그림 59] 해양기후 예측정보 공백 구간

- (가용자원) ① 기구축된 모델(Glosea6), ② 확률예측 기술, ③ 기후예측 서비스 운영 경험, ④현업 기능을 활용해 서비스 확장 가능
 - 모델 개발부터 추진해야 하는 타 기관과 비교하면 기상청이 기술적 우위
 - 분석·후처리 시스템 구축만으로도 현재 생산되는 앙상블 예측자료를 활용한 수온* 및 파고**의 확률예보 가능
 - * 기존의 앙상블 멤버별 SST 활용 ** 앙상블 멤버별 자료를 활용한 장기파랑모델 구축 필요
- 기상청 내 서비스 체계
 - 육상(기온·강수량) 기후예측정보 서비스는 기후예측모델 기반의 1·3개월 전망을 하고 있고, 통계기법 기반의 계절·연기후 전망을 하고 있음.또한, 기후예측 모델 기반의 6개월 전망 및 연기후 전망, 1~10년 전망을 계획하고 있음
- 해양기후예측 모델 운영 현황
 - 해수면온도는 해양순환모델(NEMO)의 출력변수(앙상블 멤버 4개)에서 산출
 - 해상풍 및 파랑은 파랑예측모델의 출력변수 12종



[그림 60] 해양기후 예측모델 운영 현황

□ 서비스 추진 방향 설정을 위한 이슈 분석

- 해양기후예측 분야에서 기상청의 강점(기후모델, 해양기상 자료수집, 예보관의 수치해석 등)을 강화하여 예측 정확성을 높이는 데 집중해야 하며 이를 수행할 인프라 확대와 추가 인력확보가 필수적임
- 해양기후예측 서비스는 기존의 육상예측 시스템과의 연계·통합과 동시에 해양 특성에 맞춘 독립적인 접근이 요구
- 서비스의 체계적 운영을 위해 육상과 해양의 예측 체계를 조화롭게 구성하는 것부터 기술적 기반 강화, 조직 및 인력 정비, 그리고 부서 및 기관 간 협력 필요
- 기존 기상청 서비스 방식과의 일관성을 유지할 경우 사용자 혼란을 줄이고 효율성을 높일 수 있으며, 해양기후 요소별 특성과 서비스 수요집단에 적합한 체계를 채택할 경우 서비스의 효용성을 높일 수 있음

□ 서비스 체계 확립을 위한 이슈 분석

- 예측 요소
 - 시급성 및 활용성, 기술적 실행 가능성 측면에서 해수면 온도의 서비스 우선 순위가 가장 높은 것으로 분석
 - 주요 선진국의 기상청은 해수면 온도에 대한 예측정보를 제공하고 있으며, 전문가 의견 역시 해수면 온도의 시급성·활용성을 가장 높게 평가하고 있음
 - 해수면 온도의 활용성은 정책적(기후 위기 대응책 수립 등), 경제적(수산업·양식 분야 등) 활용 및 기초 연구자료로서의 활용도도 높을 것으로 기대되어 서비스가 제공될 경우 긍정적인 파급 효과가 클 것으로 분석됨
 - 해수면 온도는 현재 기상청의 기후예측 체계에서 가장 먼저 서비스가 가능한 요소며, 해양열파 등 극한 정보에 대한 선행 연구가 가장 많이 확보되어 있음

- 예보관 분석을 통해 생산된 해수면 온도 전망은 기후예측 시스템의 정확성 평가, 기온 및 강수량 전망 생산에 환류가 가능하여 기상청 기존 서비스의 품질 향상에도 기여할 수 있음
 - 해상풍 및 파고는 평균 정보보다 이를 기반으로 한 극한 정보에 대한 수요가 더 높을 것으로 예상되므로 평균 정보에 대한 서비스 시행 속도를 높인 후 극한 정보로의 빠른 확대 필요
 - 현재 수요는 리스크 대응 차원의 극한 정보에 집중되어 있으며, 미래 수요는 해상풍력 및 파력 발전 등 에너지 수급을 위한 수요로 확대될 것으로 분석
 - 현재 기상청의 기후예측 체계에서 해상풍이 파고보다 우선적으로 시행이 가능
 - 해상풍과 파고의 선행인자 확보를 위해 기존에 밝혀진 원격상관관계의 활용 가능성에 대한 평가가 필요
 - 기존 기상청의 기온·강수량 전망의 대상 영역을 확장하여 해상 기온 및 해상 강수량에 대한 서비스 제공 여부 검토 필요
- ⇒ ① 해수면 온도 ② 해상풍 ③ 유의파고의 순으로 시행하며, 해양이상기후 정보 또는 극한 정보에 대한 예측 서비스 제공

○ 예측의 기간

- 정책적·경제적 측면에서 대책 수립 등 수요자의 이용 형태를 고려하여 3개월 전망의 시급성이 가장 높을 것으로 분석됨
 - 해양기후 예측 서비스의 상세화를 위해 차순위로 1개월 전망의 시행이 필요하며, 이를 통해 중기예보와 3개월 전망 사이의 공백 해소
 - 현재 구축 추진 중인 국가기후예측시스템을 통해 기술적인 기반을 갖춘 후 근미래 전망(6개월~10년)의 서비스 필요성 및 사전 준비사항 검토
- ⇒ 3개월 전망 및 1개월 전망을 순차적으로 시행하고 성과 분석을 통해 근미래 전망(6~10개월) 서비스 필요성 및 사전 준비사항 검토

○ 예측 영역의 단위

- 정책적·경제적으로 기후위기 대응·적응 지원을 위해 한반도 주변 해역에 대한 전망 서비스가 가장 시급할 것으로 분석
 - 원양업·무역 등의 경제적 활동 영역과 기초 연구자료로의 활용성을 고려하여 동아시아·전지구로의 확장이 필요하나 영역이 넓은 만큼 많은 분석 인력이 투입되어야 함
- ⇒ 한반도 주변 해역에 대한 전망 서비스를 먼저 시행, 전지구 및 동아시아 해역은 모델 예측자료 기반의 분포도(수치/확률 검토 필요) 서비스로 병행한 후 향후 통보문 포함 여부 검토

○ 예측 구역의 단위

- 서비스의 품질과 현재 기후예측시스템의 해상도를 고려하여 동해/서해/남해와 같은 광역 구역을 우선 제공한 후 점진적으로 상세화 필요
 - 각 요소별로 구역의 상세화를 위한 특성 분석이 필요하며, 전문가들은 동해/서해/남해에서 더 세분화 된 구역을 구분할 때 위도에 따른 특성 차이보다 앞바다/먼바다의 특성 차이가 더 클 것이라는 의견
 - 기존 단중기 예보와의 연속성 역시 중요한 정책 결정 요소임
- ⇒ 월간 해양기상·기후정보와 같은 구역(중기예보 구역 기반의 7개 권역)으로 서비스를 시작한 후, 앞바다/먼바다 상세화

○ 예측 형태/방식

- 예측 형태 및 방식에 대해서는 전문가의 의견이 수렴되지 않았으나, 확률예보가 단정예보보다 근소하게 우세한 편임
 - (3분위 확률예보) 해수면 온도의 경우 국외 대부분 서비스가 아노말리를 제공하고 있으며, 전망의 품질 및 기온·강수량 전망과의 환류를 고려하여 3분위 확률예보가 필요
 - (단정예보) 수요자의 이해를 높이기 위해 단정예보가 필요
 - 수요자의 활용 형태에 맞춘 범위 또는 지수화된 예측 형태 고려
 - 기상청만의 고유한 강점이 반영된 서비스 형태 고안
- ⇒ ① 3분위 확률예보(평년 낮음/비슷/높음), ② 단정예보, ③ 범위/구간별 확률예보, ④ 지수화 또는 지수별 확률예보 등 다양한 예측 형태에 대해 자문위원회 및 수요자의 의견 조사 필요

○ 업무 체계

- 기상청 내 부서 간 분석회의 및 국립기상과학원, APEC기후센터와의 협력 필요
- 기온·강수량과의 정합성 있는 해양기후 감시·예측을 위해 기후변화감시과 및 기후예측과의 정기적 분석회의 진행
- 기후예측모델의 신뢰도 분석 및 예측경향 진단 등을 위한 국립기상과학원과의 협력
- 국외 기후예측모델별 성능 및 MME* 결과 분석 등을 위한 APEC기후센터와의 협력

*Multi Model Ensemble

○ 외부 협력 및 전문가 교류 방안

- 해양기후 감시 강화를 위한 연구가 필요. 또한, 해양기후 감시의 출발인 관측자료 확보를 위해 기관 간 협력이 중요하며 관측자료의 공동 활용과 품질 향상을 위해 관측자료의 표준화 필요

- 기상청, 해수부, 연구소, 대학 간의 협력 네트워크를 구축해 데이터 공유와 연구 협력체계를 강화해야 함
- 해양기후 감시의 출발인 관측자료 확보를 위해 기관 간 협력이 중요하며 관측 자료의 공동 활용과 품질 향상을 위해 관측자료의 표준화 필요

<1안> 육상+해양 공동 회의 운영



<2안> 육상/해양 별도 회의 운영



[그림 61] 전문가 회의체 구성 후보(안)

- 조직 정비 및 인력 양성
 - 육상(기온, 강수량) 예측을 위한 인력구성과 유사한 체계 필요
 - 기후예측 전담 센터 설립 및 전문인력 확보를 위한 조직 개편과 교육 프로그램 도입이 필요
- 활용 및 활성화 방안
 - 예측의 신뢰성을 높이기 위한 확률예보 도입과 사용자의 이해도를 고려한 정보 제공 방식의 개발이 중요하며 향후 다양한 산업에서 활용할 수 있는 수요자 맞춤형 정보의 제공으로 영역 확대
 - 맞춤형 정보 제공 : 다양한 산업 분야에 맞춘 맞춤형 예측정보 제공 체계를 구축하여 사용자의 실질적 활용도를 높여야 함
- 기술개발 및 인프라 확충
 - 현재 운영 중인 시스템 효율적 활용을 위한 기술개발 및 전산자원 확보 필요
 - 기 구축된 시스템(GloSea6)의 운영 현황 및 차기 예측시스템의(국가기후예측시스템) 추진 현황을 고려한 중장기 연구과제 개발 필요
 - 파고, 해류, 해상풍 등의 예측 정확도를 높이기 위한 선행인자 연구와 모델 고도화를 위한 중장기 연구 과제 설정
 - AI 기반의 기후예측 가이드선스 개발, 통합 분석 시스템 도입
 - 기후예측모델 활용 및 개선·개발
 - GloSea6를 활용한 아노말리 산출을 위해 각 서비스 요소에 대한 과거 재현자료

생산 체계 구축이 필요

- 해수면 온도는 기존에 구축된 앙상블 예측 체계를 활용할 수 있으며 그 외 요소는 서비스 추진 전 앙상블 예측 체계 구축 및 성능 검증
- 해양기후 예측에 대한 불확실성 감소를 위해 해양 자료동화 운영 체계 및 해양 순환모델에 대한 지속적인 개선이 필요하며, 해양/해빙 모형의 역학 과정 및 모의 성능 분석을 통한 물리 모수화 개선 추진
- 향후 정밀한 서비스를 제공하기 위해 해양순환 모델의 해상도 상세화 필요

○ 예보관 분석·예측기술

- 각 예측 요소별 선행인자 발굴 및 가이던스 개발이 선행되어야 하며, 바람 등의 대기 현상이 해양기후 현상에 영향을 주기 때문에 기 개발된 기온·강수량 예측 선행인자에 대해 해양기후 예측 활용성 여부를 검토할 필요 있음
- 서비스 시행을 위해 해역별 해양기후 특성 분석이 필요하며, 향후 대상 구역을 상세화시키기 위해 구역 특성 등에 대한 별도 연구 필요
- 기후위기 대응 지원을 위해 해양열파, 해상강풍, 이상파랑 등 극한 해양기후에 대한 예측 기술 개발 필요
- 해양기후 예측 서비스를 위해 예측-분석-검증-서비스 기능이 통합된 시스템 구현이 필요하며, 서비스 확대 및 예보관의 분석 지원을 위해 지속적 개선 필요
- 예보관의 예측 및 분석 지원을 위해 AI와 통계 기반의 예측 가이던스 고도화, 선행인자 발굴 및 해양기후 현상 원인 규명을 위한 연구 필요
- 해양기후 감시 강화를 위한 연구가 필요

나. 자문위원회(소위원회) 논의

□ 앞서 분석한 이슈를 바탕으로 세 가지 토의 주제를 선정하여 자문위원회(소위원회)에서 논의 후 해양기후예측 서비스 방안을 도출

- 주제 1 : 해양기후 1·3개월 전망을 위해 필요한 모델 개발 및 개선방안 도출
- 주제 2 : 현재 활용 중인 기후예측모델(GloSea6)의 공간해상도, 수요자의 수요, 활용 형태 등을 고려하여 해양기후 예측정보 서비스 형태 도출
- 주제 3 : 해양기후 감시 및 예측정보 생산을 위한 분석 기술 발굴

□ 주제 1 : 해양기후예측 서비스를 위해 필요한 모델 개발 및 개선방안 도출

- (1-1) 해양기후 1·3개월 전망을 위한 모델 개발 기술

<표 31> 주제 1-1 : 해양기후예측을 위한 모델 개발 기술

구분	주요 내용
해상풍 모델 개발기술	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해상풍 3개월 전망 시그널을 다운스케일링 → 웨더 시뮬레이션 형태 기반 로컬 모델 생성하여 평균장이 바뀐 상태에서의 극단적인 기상 현상의 확률 분포도 혹은 시나리오 제공 제안
다양한 모델 적용	<ul style="list-style-type: none"> ■ 다양한 모델 적용, 앙상블 mean(평균)값 뿐만 아니라 여러 가지 모델 자료를 제공하여 사용자가 판단할 수 있게 할 필요 있음 - 해양은 불확실성이 더 크다는 점을 고려
대기-해양 결합 개선	<ul style="list-style-type: none"> ■ Air-sea interaction(대기-해양 결합) 개선에 대한 고민 필요

- (1-2) 대기-해양-파랑 결합을 위해 필요한 모델 개발 기술

<표 32> 주제 1-2 : 대기-해양-파랑 결합을 위해 필요한 모델 개발 기술

구분	주요 내용
해양분야 특화 모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양기후모델이 대기모델과 반드시 커플링 되어야 한다면, 개발하고 있는 모델 많음 ■ 해양모델 자체만 개선하기에는 어려운 부분이 있어, 해양분야에 특화된 모델 자체를 개발하는 것도 방법이 될 수 있음 - Glosea와 결합하면 시스템 규모가 커져서 고도화 작업 어려움
수치예측 모델 활용	<ul style="list-style-type: none"> ■ 수치예측 모델은 30일까지 해양-대기 시스템을 커플링하여 예측 ■ 수치예측 모델의 연근해 예측성을 파악해 보는 것을 제안함
모델 결합	<ul style="list-style-type: none"> ■ GloSea6에 파고모델을 추가하는 것은 불가능 ■ KIM모델에 해양모델인 NEMO, WAVE 등을 결합 필요

○ (1-3) 해양기후 예측 대상 구역 상세화를 위해 필요한 모델 개발

<표 33> 주제 1-3 : 해양기후 예측 대상 구역 상세화를 위해 필요한 모델 개발

구분	주요 내용
서비스 고도화 방향성	<ul style="list-style-type: none"> GloSea6 활용하여 25km 저해상도 서비스로 시작→R&D 통해 상세한 모델 개발 이를 통해, 해양기후 예측 정보의 활용성을 높이는 것이 필요
서비스 대상 구역	<ul style="list-style-type: none"> 전지구 모형은 25km가 적절함 해안의 표층해류를 맞추려면 해상도가 매우 높아야 하며, 9km(1/12) 해상도에서도 우리나라 주변 해류가 맞지 않음 GloSea6와 관련하여 고해상도(25→9km/ORCA025→ORCA12) 해양순환 모델 구축 시 계산 용량이 방대해져 힘들 수 있지만 좋은 시도라고 판단됨 2-way nesting grid를 활용하여 전지구는 ORCA025(1/4도)로 하고 우리나라 주변해역은 고해상도로 하는 것이 유용 및 적절 <ul style="list-style-type: none"> OCAR025(1/4)일 경우 북서태평양까지 1/20도로 nesting할 수 있음 25km로 우리나라 근해까지 제공하기에는 격자 간격이 작으므로 9km까지 구축 필요
해양모델 고도화를 위한 과제	<ul style="list-style-type: none"> GloSea6의 해양 모델은 NEMO 기반으로, 국내에는 NEMO 관련 전문가가 많지 않음 전문가 육성 또는 컨소시엄 참여 필요하나 어려움이 있으므로 발전된 다른 모델로 전환
해외 예측 구역 사례 및 제안	<ul style="list-style-type: none"> 현재 프랑스 MERCATOR Ocean에서 NEMO 활용하여 해양 예측 수행하고 있으며, 유럽에서 Copernicus로 자료를 제공 중 현재까지 1/12도 재분석 자료가 나오는 것이 OCAR 12(재분석 자료 GLORYS), 전세계에서 1/12도에 대한 것은 전세계에서 튜닝이 많이 되어 있는 상태이므로 이 수준까지의 성능 필요(프랑스는 전구로 1/36까지 가고 있음)

○ (1-4) 해양기후예측의 성능 개선을 위한 자료동화 기술

<표 34> 주제 1-4 : 해양기후예측의 성능 개선을 위한 자료동화 기술

구분	주요 내용
자료동화 기술 및 관측자료	<ul style="list-style-type: none"> 앙상블 칼만 필터나 3D VAR 모두 충분히 적용 가능하나 자료동화 기법의 성능 차이는 크지 않으며, 이보다 관측자료 확보 방안에 대한 고민과 우리나라에 중요한 요소*들에 대한 평가가 우선 필요(예 : 황해 태풍에 큰 영향을 주는 요소) 관측자료로 전지구는 Argo, SWOT(Surface Water and Ocean Topography) 위성자료(생산 예정), 글라이더 활용이 가능하며 우리나라 주변 해역은 국립수산과학원 자료와 국립해양조사원 자료 활용 가능 동화 방법에 따라 쿠로시오 예측 성능이 달라짐 SWOT 자료의 해면고도를 활용할 방법에 대한 고민 필요, 최근에는 기계학습으로 적용하려는 노력을 많이 하고 있음 황해가 중요하며 황해와 관련하여 조석모델 개발이 중요할 것으로 판단
자료동화 성능 향상 방안	<ul style="list-style-type: none"> 자료동화 기술은 현업화가 되지 않은 상황이며, 해양기후 예측의 성능을 향상시킬 수 있는 방안으로 기법 고도화보다 요소(해빙농도, 두께 등)를 추가하는 것이 용이 선행인자로 해빙은 아직 모델에 동화되고 있지 않은 변수가 있음 해양자료 동화에 해류 고려 필요 모델에 자료동화를 붙이는 것은 좋으나 시간과 예산이 많이 소요되므로 모델 자료의 정확도를 높이기 위해서는 혼합하여 개선된 자료로 개발

○ (1-5) 해양기후예측 모델 성능 평가 및 검증 기술

<표 35> 주제 1-5 : 해양기후예측 모델 성능 평가 및 검증 기술

구분	주요 내용
해양기후 예측 모델 검증	<ul style="list-style-type: none"> ■ 의미 있는 예측 정보를 생산하고 있는지에 대한 검증은 연구 초기에 빠르게 추진 필요
해양기후 예측 모델 성능평가	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양기후예측 모델에 대한 성능 평가가 어느 정도 되었는지 의문이며, 예측 인자를 잘 발굴하는 것이 필요 ■ 지수와 관련하여 우리나라의 해수면 온도 변동성을 설명해 주는 모듈에 대한 네이밍을 통해 모듈 기반 예측 제안

○ (1-6) (기타) 해양기후예측을 위한 모델 관련 최신 기술 동향 및 개발 필요 기술

<표 36> 주제 1-6 : 해양기후예측을 위한 모델 관련 최신 기술 동향 및 개발 필요 기술

구분	주요 내용
NEMO 모델	<ul style="list-style-type: none"> ■ NEMO는 컨소시엄이며, 개발자로 들어가기 위해서는 1명 정도의 인력 확보 필요 제공이 어렵다면 유저로서 도움을 받으면 됨 ■ NEMO를 사용할 때 우리나라 주변의 조석을 반영하는 방법이 연구단계에서 중요 ■ 다양한 모델을 활용하는 것이 좋으며, 관측점을 바꿀 때 오버랩하듯이 모델도 장기간 오버랩이 필요 ■ NEMO를 다른 모델로 바꿀 시 위험 부담, 다른 모델을 함께 활용하는 방안이 적절 - 황해 저층 냉수대는 NEMO, HYCOM 등의 해양 전구모델이 모의를 못 함
GloSea6 등 모델 활용	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양 자료동화가 어느 모형에 들어가는지가 중요 ■ 해양 기후예측에 새로운 모형을 사용할지, GloSea6를 사용할지, 전지구시스템을 사용할지 결정 필요 ■ GloSea6를 그대로 활용 시, 1개월에서 6개월로 넘어갈 경우 전지구에 대한 기후정보가 필요하기 때문에 지역적인 예측은 어렵다고 판단됨
모델 성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> ■ 우리나라에 굉장히 중요하게 관장하는 요소들에 대한 모델 성능을 먼저 평가 필요 - 이런 부분을 가장 잘 모의할 수 있는 모델을 가져가는 것이 좋고, NEMO 외에 다른 모델들과 슈퍼 앙상블로 가는 것도 좋은 방안임
기타	<ul style="list-style-type: none"> ■ 전문가 설문조사 중 해양기후예측 정보 품질에 미치는 영향(가중치)은 신중하게 접근하는 것이 필요하며, 예측분석 기술 등 용어의 의미 검토 필요 ■ '해양기후예측 서비스 기술분류' 중 3-2 선행인자 확보 기술은 지엽적이며, 예보관 분석 가이드선으로 변경 필요 - 현재 예보관 분석 가이드선은 1-3 모델 후처리 기술에 포함되어 있으므로 검토 필요

□ 주제 2 : 현재 활용 중인 기후예측모델(GloSea6)의 공간해상도, 활용기관의 수요, 활용 형태 등을 고려하여 해양기후 예측정보 서비스 형태 도출

○ (2-1) 해양기후 예측 서비스의 요소 및 시기의 적정성

<표 37> 주제 2-1 : 해양기후 예측 서비스의 요소 및 시기의 적정성

구분	주요 내용
해양기후 예측 서비스 요소	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해수면온도를 최우선 서비스 요소로 선정 <ul style="list-style-type: none"> - 해상풍, 파고, 파랑 등은 수요 측면에서 볼 때 장기적인 기후예측의 요소보다 단기적인 기상요소로 다루는 것이 더 적절 ■ 해수면온도 이후 해상풍 서비스를 바로 추진할 수 있도록 진행 <ul style="list-style-type: none"> - 유의파고 및 극한파랑은 어려울 것으로 보임 ■ 해상풍, 파고 보다는 실제로 활용할 수 있는 타깃 설정 필요 ■ 파랑에너지와 해수면온도의 trend는 똑같으므로 파고는 서비스 요소에서 제외 ■ 해상풍과 파고는 앙상블 mean과 anomaly는 값이 미미할 것이며, 극한 파랑 확률과 같이 국민에게 translation 된 정보를 제공하는 것이 의미 있음 ■ 해수면온도를 우선순위로 설정한 것은 타당하나, 해상풍 및 유의파고에 앞서 열용량을 알 수 있는 MLD(해양혼합층두께), (북극)해빙 요소 서비스 우선 고려 필요 <ul style="list-style-type: none"> - 이외 성층에 관여하는 저염수는 land의 강물 예측이 중요하여 해양수산부에서 다루지 못하는 요소로 기상 및 태풍예측에 직접적 영향이 있는 중요한 요소 ■ 해수면온도, 해상풍, 파고 순으로 적절하게 설정했으며 이외에 대기에 영향이 있는 표층해류 또한 중요한 인자 ■ 해빙요소는 예측인자로서 중요하긴 하나 모델 튜닝에 해빙 없이 예측하는 것이 용이하므로 예측 요소에서 제외 ■ 서비스 대상과 관련하여 예측성을 우선적으로 아는 것이 중요함 <ul style="list-style-type: none"> - 해수면온도를 가장 중점적으로 두되 그 외에 유용하고 예측도 가능한 열용량 및 해양열파 등을 고려할 필요 있음 - 실제 해양에서 월평균 해수면온도보다 다음달 해양열파의 발생 여부가 더 중요함 ■ 해수면온도는 성능이 안정적이므로 먼저 서비스하는 것이 적절함 ■ 현재 모델에서 해상 강수, 해상 일사 및 폭염 등 요소 확장이 가능하나 (폭풍해일, 해무는 우선순위를 뒤로), 영향 예보나 이벤트성 예보는 해양기상과에서 예보관 위주로 고민 필요 ■ 제공 자료와 관련하여 해양(해수면온도, 표층아래 수온, 염분, 해류), 기상변수 (해상풍, 기온, 강수량 증발량), 응용(파고, 해일, 해무, PH, 이산화탄소) 순으로 중요
해양기후 예측 전망(시기) 단위	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양기후는 기상과 다르게 예측 기간을 6개월 단위 이상의 장기적인 예측이 필요 <ul style="list-style-type: none"> - 1.3개월 전망 이외에 6개월 이상 전망 고려(매달 발표 형식) ■ 해양기후 예측정보는 1개월 전망으로 제공하는 것은 어려우며, 해양기후 예측정보를 3개월 전망으로 추진할 것을 제안 <ul style="list-style-type: none"> - 1.3개월 전망 예측시 평균값에 대한 변화가 크지 않을 것이며, 이상현상 발생 확률을 제공하는 것이 적절(강풍, 높은파고)

구분	주요 내용
해양기후 예측 서비스 형태	<ul style="list-style-type: none"> ■ 확률예보 형태는 타당하나 범주에 대한 고민 필요 ■ 기상청 고유한 역할을 강조할 수 있는 서비스 형태 필요 ■ 기상청에서 기후지수의 예보값을 제공하고 있는데(AO, NLO 등) 해양에서도 필요 → 연근해와 자세히 매치할 수 있는 코리안 PDO 지수 등 개발
해양기후 시범 및 정식 서비스 시기	<ul style="list-style-type: none"> ■ 시범·정식 서비스의 연도 timescale을 길게 설정 필요 - 평년과 비슷한 기준점이 필요한데 hindcast 자료 분석, 모델 구축 및 가동(해상풍) 등 시간이 많이 소요 ■ 극한 기후 정보는 웨더시뮬레이션을 거쳐야 하므로 R&D 등의 개발 필요하므로 3년 이내 단기적 시행은 어려움
기타	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양 쪽에서 표층해류를 예측하기가 어려우며, 예측하기 위해서는 해상도가 높아야함 - 기술적으로 해상풍/유의파고는 예측 성능이 안나옴 ■ 대기 해양 표층의 변수들은 기상청에서 충분히 다룰 수 있고 인력 확보도 가능하나, 생물·화학·심해 쪽은 기술적으로 다루기 어렵기 때문에 해양수산부와 업무 조율 필요 ■ 해수면온도, 해상풍, 파고에 대한 예보 외에 이 요소들이 끼치는 영향에 대한 예보 제안 - 또한, 전통적인 단정·확률예보 외에 수요자에게 극한 현상 등 가능성에 대한 정보를 제공하는 이벤트성 예보 제안 ■ 기상청에서 차별적으로 할 수 있는 것을 고려했을 때 일본 기상청에서 발표하는 '해양 건강진단표'에 현재 풀려고 하는 내용들이 많이 포함되어 있음 ■ 지역모델보다 전지구모델을 우선하며, 해수부에서 할 수 있는 영역은 지역 기반이며 전지구에는 관심이 적음 - 전지구모델이 10km 격자 정도까지 개발될 예정이며, 다만 인터플레이션을 통해 정보가 나와야함/선행인자와 관련하여 K형 지수 발전 필요 (예: 남해에 수온이 올라갔을 때 한달 후 어떤 영향을 끼치는지, 일본 수온 변화에 따라 강수에 어떤 영향을 주는지 등)

○ (2-2) 해양기후 예측요소별 특성과 변동성을 고려하였을 때 적절한 서비스 형태

<표 38> 주제 2-2 : 해양기후 예측요소별 특성과 변동성을 고려하였을 때 적절한 서비스 형태

구분	주요 내용
해양기후 예측 서비스 형태 적정성	<ul style="list-style-type: none"> ■ 확률이 아닌 특정 영역의 issue 분석 필요 - 해양은 Anomaly 경향을 이용한 높음·비슷·낮음이 의미가 없음 ■ 예측자료는 과거 자료도 같이 제공 필요 ■ 서비스 전망 기간 체계는 육상의 체계와 같은 방향으로 추진 ■ 단정예보 보다 확률예보가 더 적절 ■ 확률예보의 경우 범위를 지정해 주어야 일반인이 이해하기 쉬움
기타	<ul style="list-style-type: none"> ■ 어떤 형태의 예측이든 검증은 필요하며, 앙상블 확률 예측자료를 향한 예측 범위 정보는 일반인들이 받아들이기 어려운 내용으로 판단 ■ 확률예보는 받아들이는 입장에서 도움이 되지 않을 것으로 보임 - 해수면온도는 1일 평균자료를 제공해도 큰 변화가 없으며 해상풍, 파고 등 또한 의미가 없어지므로 영향예보와 비슷하게 지역별로 어떤 영향이 될 것이라는 정보 제공 ■ 모델 예측 성능을 알아야 절대값을 줄 것인지 anomaly를 줄 것인지 결정 가능

○ (2-3) 해양이상기후(극값) 예측 서비스 적합 요소 및 서비스 형태 제공 방식

<표 39> 주제 2-3 : 해양이상기후(극값) 예측 서비스 적합 요소 및 서비스 형태 제공 방식

구분	주요 내용
해양이상기후 예측 서비스 적합 요소	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해상풍, 파고 보다는 실제로 활용할 수 있는 타깃 설정 필요 ■ 해상풍과 파랑은 평균의 계절적 차이가 크지 않으므로 재해·이상기후 개념이 적절함 ■ 해수면온도, 유의 파고, 해상풍 등의 변수들을 가지고 활용하기 위해서는(양식장 등) 지수화를 잘 하는 것이 필요 <ul style="list-style-type: none"> - 평균 유의파고보다는 극단적인 유의파고에 대한 예측이 필요하며 평균값은 도움이 되지 않음
서비스 형태 제공 방식	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해수면온도에서 열파라는 개념과 같이 평균값이 아닌 극값에 대한 정보 추가 필요 ■ 1개월, 3개월 예측시 평균값에 대한 변화가 크지 않을 것이며, 이상현상 발생 확률을 제공하는 것이 적절(강풍, 높은파고) ■ 기상청에서 만들어내는 '임계값'이라고 하는 어떤 기준에 해당하는 값들이 실제 사용자들에게 어떠한 영향을 주고 있는지에 대해서 고려 필요
기타	<ul style="list-style-type: none"> ■ 타 기관의 서비스와 차별화하는 부분에 대한 고민이 필요하고, 다양한 모델을 사용하여 사용자가 필요한 정보를 제공하는 것을 고민해야 함

○ (2-4) 해양기후 예측 서비스 추진전략(안)의 대상 구역의 적합성

<표 40> 주제 2-4 : 해양기후 예측 서비스 추진전략(안)의 대상 구역의 적합성

구분	주요 내용
해양기후예측 서비스 대상 구역의 적합성	<ul style="list-style-type: none"> ■ 예측영역은 전지구도 필요하지만 동아시아 영역에 대한 수요가 더 높을 것으로 보임 ■ 앞바다·먼바다 구분은 해양기후에 적절하며, 해양기후는 해양기후보다 영역을 더 넓게 가져가야함
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 한반도 주변 해역은 서해/동해/남해(* 남해는 세부적으로 1~2개로 분류)→ 해양기후 광역 광역예보구역과 유사(중기예보 대상구역은 너무 세분화되어 있음) <ul style="list-style-type: none"> - 수요자 입장에서는 적절하나 다른 정보임을 강조해서 광역으로 제공 ■ 동아시아 해역은 북태평양 및 북서태평양을 포함할 수 있도록 조정 필요하며, 전지구·동아시아 해역은 예보관 분석 없이 모델 예측기반으로 제공해도 될 것으로 보임 <ul style="list-style-type: none"> - 한반도 주변 해역은 예보관 분석이 포함되는 정보, 전지구·동아시아는 예측정보를 표출하는 개념이 되어야 함
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양기후 측면에서 특정 영역을 부이의 평년값과 비교하는 것, 중기예보처럼 앞바다와 먼바다를 구분하는 것은 의미가 없음, issue가 될 만한 지역을 분석해서 제공해야함
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 우선적으로 자료들에 대한 검증이 진행된 후 이에 맞춰 예측성능이 나오는 영역 선정 필요, 평가가 중요하므로 사용할 수 있는 재분석자료나 관측자료에 맞춰서 영역과 권역을 선정

구분	주요 내용
서비스 구역	<ul style="list-style-type: none"> 북서태평양보다 조금 더 광역적으로 포함(북적도해류, 태풍 발달 지역과 겹치며 쿠로시오 영역 포함)하고 베링해 추가 ⇒ 예측성능을 높이는 데 도움이 될 것
	<ul style="list-style-type: none"> 서비스 구역은 우리나라 연해 + 기상청 기존 구역 + 북서태평양(태풍 관련)이 적절 서비스 대상 구역은 해양기후 광역예보구역과 동일하게 제공/ 연근해는 검증 필요 연근해 중심으로, 가까운 해양과 먼 해양으로 구분하여 디테일한 예측보다는 광범위한 예측부터 실시하는 것이 필요
기타	<ul style="list-style-type: none"> 기상청의 앱은 정적이므로 동적으로 제공할 필요성이 있음

○ (2-5) 향후 해양기후 예측 서비스 검토 요소

<표 41> 주제 2-5 : 향후 해양기후 예측 서비스 검토 요소

구분	주요 내용
향후 해양기후 예측 서비스 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> 해양기후예측 시 1개월 후의 snapshot이 아닌 mean에 대해 예측하는 것이므로 과거 자료에 대한 기후적인 분석이 우선적으로 필요하며, 기후적 분석을 통해 평균이 정보로 활용될 수 있는지 먼저 검토하고 나서 요소 확대를 검토해야 함 해양기후변수 우선순위 상위 7개는 현재 GloSea6에서 출력이 가능하나, 검증 필요 <ul style="list-style-type: none"> - 전지구/동아시아 기후평년값보다 해수면온도가 안정적인 면과 성능 측면에서 우수 서비스 대상과 관련하여 예측성을 우선 아는 것이 중요, 해수면온도를 가장 중점적으로 두되 그 외에 유용하기도 하고 예측도 가능한 열용량, 해양열파 등 고려 <ul style="list-style-type: none"> - 실제 해양에서 월평균 해수면온도보다 다음달 해양열파가 발생할지 여부가 더 중요
향후 해양기후 예측 서비스 검토 요소	<ul style="list-style-type: none"> 해수면온도를 우선순위로 설정한 것은 타당하나, 해상풍 및 유의파고에 앞서 열용량을 알 수 있는 MLD(해양혼합층두께), (북극)해빙 요소 서비스 우선 고려 필요 이외 성층에 관여하는 저염수는 land의 강물 예측이 중요하여 해양수산부에서 다루지 못하는 요소로 기상 및 태풍예측에 직접적 영향이 있는 중요한 요소
기타	<ul style="list-style-type: none"> 해수면온도, 해상풍, 파고 순으로 적절하게 설정했으며 이외에 대기에 주는 영향이 있는 표층 해류 또한 중요 해빙요소는 예측인자로서 중요하긴 하나 모델 튜닝에 해빙 없이 예측하는 것이 용이하므로 예측 요소에서 제외
	<ul style="list-style-type: none"> 해양물리 : 수온, 해류, 염분 기상변수 해양기온·폭염, 강수량·증발량(염분) 응용변수: 파고, 해일, 해무, CO₂, pH
기타	<ul style="list-style-type: none"> 해양 쪽에서 표층해류를 예측하기가 어려우며, 예측하기 위해서는 해상도가 높아야함 기술적으로 해상풍·유의파고는 예측성능이 안나옴 연근해 해수면온도를 EOF 분석하면 2가지 mode 가 나타남(대기 관련), 네이밍을 잘해서 예측하는 것도 의미 있을 듯 대기 해양 표층의 변수들은 기상청에서 충분히 다룰 수 있고 인력 확보도 가능하나, 생물·화학·심해 쪽은 기술적으로 다루기 어렵기 때문에 해양수산부와 업무 조율 필요

○ (2-6) 해양기후예측 서비스 형태에 대한 기타 의견

<표 42> 주제 2-6 : 해양기후예측 서비스 형태에 대한 기타 의견

구분	주요 내용
서비스 형태	<ul style="list-style-type: none"> ■ 통보문은 최소화하여 예측정보 표출 시스템에 같이 포함하여 활용 필요, 육상과의 통보문 통합은 안됨 ■ 영향예보나 미세먼지의 경우 값 자체가 의미가 있는 것은 아니고, 실제로 사용하는 사람들이 위험 여부를 색깔로 이해함 <ul style="list-style-type: none"> - 대상자들에게 어떤 영향을 주는지 고려하면 임계값 기준 선택이 용이 - 색깔로 구분하는 등의 서비스를 하면 정보를 쉽게 이해하게 도울 수 있음
예측 서비스 정보	<ul style="list-style-type: none"> ■ 육상예측과 함께 예측을 하는 것이 좋을 것이라 판단 ■ 현재 기상청에서 월간기후분석정보, 해양기상기후정보, 1.3개월 기후예측전망 등을 활용하여 타 기관에서 제공하는 해양기후예측정보와 차별성 필요 (예측정보를 가공하고 전문가 의견을 붙인 레포트 형태의 월별 분기별 서비스) ■ 해양기상기후정보 : 기상가뭄과 관련하여 확률정보가 아닌 영역의 개념으로 접근하여, 1.3개월에 어느 지역이 GloSea6에서 편차상의 수온이 높아질 것이라는 정보 제공 모델 자료 + 편차가 높아진 정보+ 설명(전문가 회의를 통한 이슈 도출) ■ 기상청 월간기후분석정보 : 해수면온도가 동해 쪽 어떤 영역에서 높았는지, 이슈가 될 만한 기후분석정보를 제공 ■ 영향예보측면에서 기상청 고유의 topic이 드러나는 정보로 차별화, regular 보다는 seasonal impact가 적절 ■ NCEP 전지구 해양브리핑 monthly 아이디어 차용 필요
업무체계	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국가기후예측센터 설립을 고려한 조직도 형태를 포함하여 1, 2안으로 제안 필요
기타	<ul style="list-style-type: none"> ■ 가뭄 정보가 다른 스타일의 통보문으로 나가듯 해양도 수요자 설문 필요 ■ 일본 기상청 해양건강진단표 참고 ■ 해수면온도는 파랑의 높이가 아닌 파랑의 에너지와 연관, 이러한 정보제공이 가능하다는 방점 강조 필요

□ 주제 3 : 해양기후 감시 및 예측정보 생산을 위한 분석 기술 발굴

○ (3-1) 해양기후 감시를 강화하는 데 필요한 관측자료 활용 방안

<표 43> 주제 3-1 : 해양기후 감시를 강화하는 데 필요한 관측자료 활용 방안

구분	주요 내용
관측자료 활용 관련 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> ■ 자료동화 기법보다는 관측자료가 더 중요함 ■ 해양기상과만의 차별화된 관측을 통해 해양기후 감시를 강화하느냐가 중요 ■ 현재 해양수산부는 바다 안쪽에 중점을 두고 있으며, 바다 위쪽은 센서들을 보유하고는 있지만 관리가 잘 안되는 상황
관측자료(부이 및 위성자료) 활용 방안	<ul style="list-style-type: none"> ■ 먼바다 부이의 해양기후관측 센서들의 보강이 필요하며, 동아시아 해역에서 위성자료를 최적화하는 검증 자료로 부이 데이터를 활용할 수 있을 것 <ul style="list-style-type: none"> - 여력이 된다면 이동형 관측(뜰개) 추가 제안 ■ 해양기상부이는 현재 주로 파랑, 해상풍 위주로 측정하고 있지만 수온을 해양기후 업무로 포함하게 되면 수온뿐만 아니라 수심별 온도, 염분*도 함께 측정할 필요가 있으며 이를 해상 부이 플랫폼을 활용하면 충분히 가능 <ul style="list-style-type: none"> * 고수온에 저염분이 큰 영향을 끼침 - 지금까지는 해양기상 업무 목적으로 센서들을 부착하는데 근거가 부족, 해양기후 업무에 수온이 포함되면 이러한 관측들이 충분히 가능할 것으로 보임 ■ 기상청에서 보유하고 있는 해상 부이 플랫폼이 우리가 서비스하고자 하는 타깃의 변수(고수온, 저염분, mixed layer depth 등)들을 더 잘 관측할 수 있도록 확장 필요 ■ 해양의 열용량 등은 위성자료를 활용

○ (3-2) 해양기후 예측과 연관된 기후감시요소의 발굴·예측을 위한 연구개발

<표 44> 주제 3-2 : 해양기후 예측과 연관된 기후감시요소의 발굴·예측을 위한 연구개발

구분	주요내용
기후감시요소 발굴·예측 연구	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양기후 감시 및 예측정보 생산을 위한 분석 기술과 관련하여 해양기후 예측인자가 결정된 후 이에 대한 연구가 진행되어야 함

○ (3-3) 해양기후 예측을 위해 연구되어야 할 원격상관패턴

<표 45> 주제 3-3 : 해양기후 예측을 위해 연구되어야 할 원격상관패턴

구분	주요내용
고려사항	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양기후분석을 위해 대기 기후 관련 원격상관패턴을 대상으로 하는 것이 필요 <ul style="list-style-type: none"> - 해양 폭염, 해수온의 변화 등은 대기 영향이 큰 부분을 차지하며, 해양 자체 순환도 대기의 큰 흐름을 따라감

구분	주요내용
원격상관패턴 연구개발	<ul style="list-style-type: none"> ■ 엘니뇨, PDO 등 원격 상관 패턴이 대기 지면 온도에 미치는 영향에 대한 연구는 많이 이루어졌으나, 해류와 관련된 연구는 미흡 ■ 원격 상관 패턴이 바람을 변화시켜 해상풍에 영향을 미치고 바람이 수송과 해류를 바꾸기 때문에 이 부분에 관한 연구 필요
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 월별 예측인자 강수량 8월에서 영역의 서쪽 경계를 열대 서인도양까지 확장 필요 (참고자료 참조) <ul style="list-style-type: none"> - 열대 서인도양의 용승해역 해수면 온도 anomaly가 동아시아 중부 남부지역의 여름철 강수량에 큰 영향을 미침
	<ul style="list-style-type: none"> ■ PDO가 우리나라 인근 해역의 해수면온도와 잘 맞아 떨어짐

○ (3-4) 해양기후 예측 1·3개월 전망 생산을 위한 선행예측인자 도출 방안

<표 46> 주제 3-4 : 해양기후 예측 1·3개월 전망 생산을 위한 선행예측인자 도출 방안

구분	주요내용
선행인자 도출 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> ■ 선행인자로 해빙쪽은 아직 모델에 동화되고 있지 않은 변수가 있음 ■ 해양 자료동화에 해류도 고려

○ (3-5) 해양기후 예측 정보 생산을 위해 예보관이 활용해야 할 분석기술에 대해 자유롭게 의견 제시

<표 47> 주제 3-5 : 예보관이 활용해야 할 분석 기술

구분	주요내용
해양기후 분석 인력확보	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양기후예측은 인력충원이 필요 <ul style="list-style-type: none"> - 인력을 충원하지 않으면 시작단계부터 신뢰를 잃을 수도 있음
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양기후 분석은 시작단계이고 전문가가 부족하므로 분석인력의 증원이 필요 ■ 검증에 더 많은 노력이 필요
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양 관측에 대한 감각이 있는 사람이 모델에 대해 얘기할 필요 있음 <ul style="list-style-type: none"> - 제한적인 검증은 하겠으나 본부에서 인력 증원 필요
기타	<ul style="list-style-type: none"> ■ 최근, 높아진 해수면온도는 쉽게 회복되기 힘든 현상이고, 올해 여름 이상고온은 해수면온도가 주요 영향임. ■ 이상기후의 피해를 줄이기 위하여 해양기후 연구의 확대가 필요함

4. 필요성 및 이해관계자별 활용 분석

□ 자문위원회(소위원회) 토의를 통해 도출된 해양기후예측 서비스 방안의 방향성을 검증하기 위해 이해관계자(관계기관, 대국민)를 대상으로 설문조사를 실시함

가. 관계기관(기업) 설문조사

□ 조사 개요

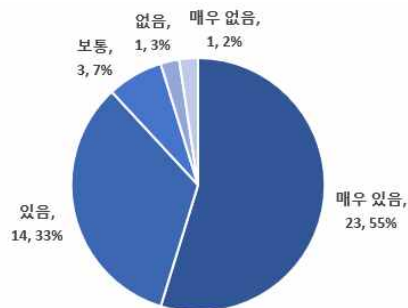
- (목적) 해양기후예측 서비스의 중요성, 필요성 및 시급성, 활용 현황, 미래 활용 의향, 예측정보 요소 구성, 예측 기간 및 공간 범위 등에 대한 수요자 의견수렴
- (대상/방법/기간) 정부, 지자체, 기업연구자 등 총 42명 / 개인별 서면 설문조사 / 2024년 10월 16일부터 10월 30일까지

□ 주요내용

- 해양기후예측 서비스 필요성 및 활용도 의견 8개 항목, 요소별 활용성 설문 9개, 필요한 해양기후 예측정보의 요소에 대한 의견, 해당분야의 서비스 및 활용 관점에서 서비스 방안, 이슈·문제점, 개선방안 등 19개 항목에 대한 구조화 설문
- 전체응답자의 88%가 해양기후예측 서비스의 활용 의향(있음, 매우있음 포함)이 있으므로 답변을 함
 - 또한, 해양기후예측 정보의 활용 목적은 연구 및 결정의 기초자료가 가장 많고, 리스크관리 및 안전성 강화 순임

해양기후예측 정보 활용 의향

매우 있음	23
있음	14
보통	3
없음	1
매우 없음	1



해양기후예측 정보 활용 목적

연구 및 결정의 기초자료	31	53%
리스크 관리 및 안전성 강화	14	24%
운영 효율성 향상	6	10%
비용 절감 및 생산성 향상	5	8%
자원관리의 최적화	3	5%



[그림 62] 해양기후예측 서비스의 활용성 조사

□ 관계기관(기업) 설문 종합 분석

○ 해양기후예측 서비스의 중요성-만족도 및 필요성-시급성 분석

- 해양기후예측 서비스의 중요성-만족도(IP) 분석에서 7점 척도 기준 중요성(6.52), 만족도(4.52)이므로 중요성이 높으므로 만족도를 개선하기 위한 역량을 투입해야 함
- 필요성-시급성 분석에서 필요성(6.57), 시급성(5.83)으로 모두 높으므로 우선순위로 서비스(투자)를 제공할 필요성이 있음



* 중요성-만족도 분석은 중점개선과 유지강화 평면에 치우쳐 있으므로, 중요하지만 만족도는 조금 더 개선이 필요한 것으로 해석됨
 * 필요성-시급성 분석은 1순위 평면에 있으므로, 필요성과 시급성이 높아 우선순위로 자원(서비스)을 투입하여야 하는 것으로 해석됨

[그림 63] 관계기관 설문조사의 중요성-만족도 분석

- 해양기후예측 정보 활용 분야 종사자의 설문에서 해양기후예측 정보의 활용도는 높음
 - 응답자의 86%가 해양기후예측 정보를 활용하고 있다고 응답하였고(36명), 응답자의 88%가 기상청 서비스를 활용할 의향이 있다고 응답함(37명)
- 해양기후예측 정보 요소는 ① 파고, ② 해수면온도, ③ 해상풍 순으로 활용도가 높을 것으로 조사됨
 - 해양기후예측 정보 요소는 복수 선택 응답에서 파고(33명), 해수면온도(28명), 해상풍(27명)이 응답함
- 해양기후예측 정보 예측 기간은 1개월 전망, 3개월 전망, 6개월 전망 순으로 높은 것으로 조사됨
- 해양기후예측 정보의 제공 방법은 해역의 지도를 포함한 형태, 예측 범위의 정보, 우리나라 연근해에 대한 정보의 제공을 요구하고 있음
- 응답자의 정보활용 목적은 연구 및 결정의 기초자료가 가장 많고, 리스크 관리 및 안전성 강화, 운영의 효율화, 비용 절감(생산성) 순임

- 해양기후예측 정보의 활용분야는 해양공학 및 건설이 가장 높고, 해양수산정책, 에너지 운영, 운송 및 물류계획, 어업 및 양식업 관리 순으로 응답을 함
- 중요성-만족도 분석과 필요성-시급성 분석의 해석



[그림 64] IP 분석 참고

나. 대국민 설문조사(기상청 자료 활용)

□ 조사 개요

- 기상청(해양기상과)에서 대국민 수요를 확인하기 위하여 2024년 10월 16일부터 10월 22일까지 해양기후예측 서비스 활용 방안 도출을 위한 대국민 설문을 소통24를 통하여 온라인 설문을 실시하였으며 1,613명이 응답함
- (주요내용) 해양기후 예측정보의 필요성 및 제공·활용방안 등 18개 문항

□ 대국민 설문조사 결과 요약 및 시사점

- (인식 및 필요성) 응답자 대부분이 해양의 기후변화가 심각하다(92.2%)고 인식하고 있으며, 해양기후예측 서비스가 시급하다(83.9%)고 답변
 - * (현재 서비스) 만족도 70.2%, (예측서비스) 필요성 88.0%, 중요성 92.1%, 시급성 83.9%
- (서비스 제공방안) 모든 요소*에 대한 서비스가 필요하며, 3개월(53.9%) 및 연근해(71.0%)에 대한 예측정보가 우선 제공되어야 함
 - * 해상바람(23.1%), 파도높이(22.6%), 해수면온도(21.7%), 해상기온(17.3%), 해상강수(15.2%)
- (서비스 형태) ‘확률예보가 적합하다(74.0%)’ 고 답변하였으며, ‘평균 정보(53.4%)’ 와 ‘극한 정보(40.4%)’ 가 모두 필요*
 - * 일반국민은 평균정보(57.9%), 해양업무종사자는 극한정보(54.3%)를 더 필요로 함
- (서비스 활용) 다양한 목적*으로 활용될 수 있으며, 해양안전(42.3%) 및 어업·양식(22.8%) 분야의 활용도가 가장 높을 것으로 예상
 - * 공공(34.1%), 산업(32.3%), 일상생활 편의(29.7%) 등

다. 필요성 분석

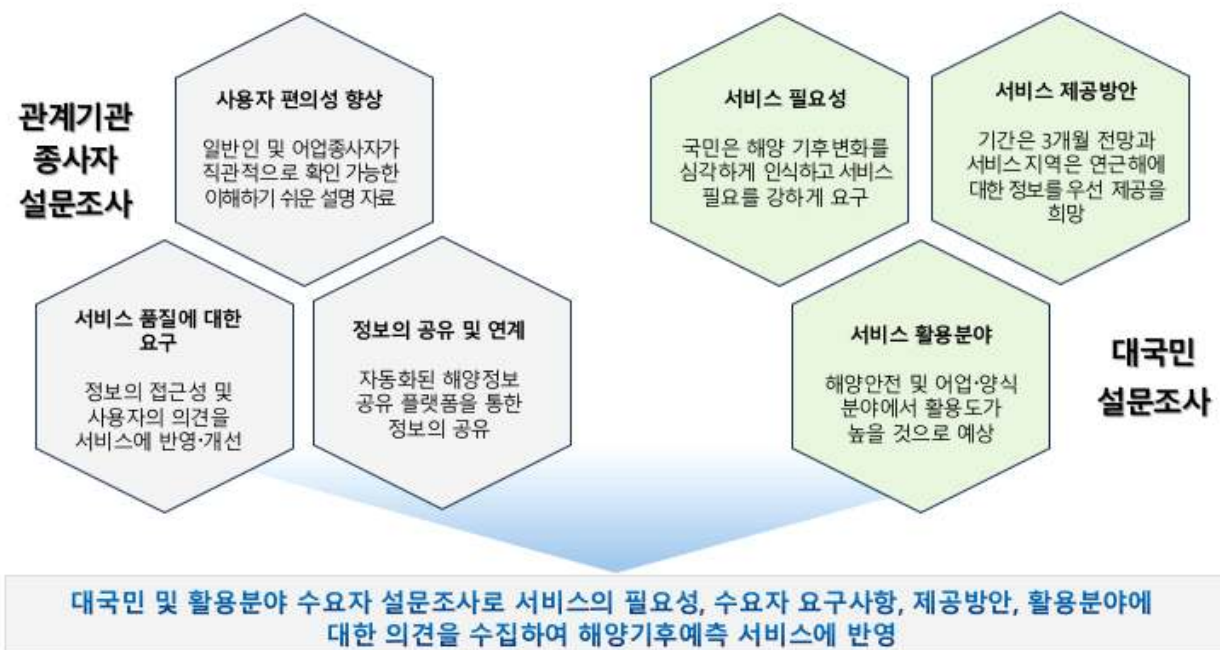
□ 해양기후예측 정보 관련 관계기관의 의견 종합

- (사용자 편의성 향상) 일반인 및 어업종사자가 직관적으로 확인할 수 있고 이해하기 쉬운 설명 자료의 제공
- (서비스 품질에 대한 요구) 정보의 접근성 및 사용자의 의견을 서비스에 반영·개선
- (정보의 공유 및 연계성) 자동화된 해양정보 공유 플랫폼을 통한 정보의 공유

□ 해양기후예측 정보 관련 일반국민의 의견 종합

- (필요성) 국민은 해양 기후변화를 심각하게 인식하고 서비스 필요를 강하게 요구
- (제공방안) 기간은 3개월 전망과 서비스 지역은 연근해에 대한 정보를 우선 제공을 희망
- (활용분야) 해양안전 및 어업·양식 분야에서 활용도가 높을 것으로 예상

□ 해양기후예측 서비스의 활용 방안 도출을 위한 수요자(관계기관, 대국민) 수요조사 종합



[그림 65] 해양기후 예측정보의 활용 설문조사 종합

□ 요소별 필요성

- 해수면 온도: 전문가 의견을 종합한 결과 해양기후 예측·전망 서비스로써 해수면 온도의 필요성 및 가능성이 가장 높음

- (활용 목적) 연구 및 결정의 기초자료
- (활용 분야) 해양 공학 및 건설, 해양 수산 정책, 어업 및 양식업 관리
- 해상풍: 대국민 설문조사에서 해양기후예측 서비스의 요소로 해상풍에 대한 응답률(23.1%)이 가장 높았음. 일반 국민보다 해양업무종사자들이 해상풍을 선택한 비중이 더 높았던 것으로 분석
 - (활용 목적) 연구 및 결정의 기초자료, 운영 효율성 향상
 - (활용 분야) 해양 공학 및 건설, 에너지 운영
- 파고: 관계기관 설문조사에서 파고에 대한 해양기후예측 정보의 활용도가 가장 높을 것으로 답변
 - (활용 목적) 연구 및 결정의 기초자료, 리스크 관리 및 안전성 강화
 - (활용 분야) 해양 공학 및 건설, 에너지 운영
- 해상 기온 및 강수: 관계기관은 해양 대기 및 기상에 대한 서비스가 필요하다는 의견(33.3%)이 있었으며, 대국민 역시 해상 기온(17.3%), 해상 강수(15.2%)에 대한 응답 비율이 비교적 높았음

라. 이해관계자별 활용 방안

- 문헌조사를 활용한 사례조사, 전문가 인터뷰, 설문을 활용한 수요조사의 의견을 종합하여 예상되는 이해관계자별 활용방안을 도출함

<표 48> 이해관계자별의 활용 방안도출

구분	주요내용
사례조사 (문헌조사)	<ul style="list-style-type: none"> ■ (양식업) 해수면온도 변화를 예측하여 생산성 추정(계절, 연간) ■ (어업) 해수면온도 분포를 활용하여 다랑어 이동패턴·분포 분석(1.3개월) ■ (어업) 해수면온도 상승의 영향으로 어장(오징어, 고등어 등) 이동(계절, 연간) ■ (재난) 해수면온도 변화에 여름철 위험기상(상어출몰, 해파리 등) 예보 (3개월, 계절) ■ (해운업) 해양환경(바람, 해류, 파도)를 예측하여 선박의 경제적 운항경로에 반영(1개월) ■ (공사계획) 해양환경(극한파고 등)을 예측하여 해양구조물 설치 계획수립(1.3개월, 계절) ■ (에너지) 파력에너지, 바람에너지를 예측하여 발전소 설치 장소 선정(계절, 연간) ■ (환경) 해류를 활용한 해양쓰레기 경로 예측(1,3개월, 계절, 연간) ■ (정책) 해수온도변화를 예측하여 수산양식 피해 분석·지원(계절, 연간)
기획위원회 (소위원회)	<ul style="list-style-type: none"> ■ (재난) 해양재난 예측 (1,3개월, 계절) ■ (조선) 조선소 생산계획 수립(단기, 1,3개월, 계절) ■ (양식업) 해수면온도, 유의파고, 해상풍등 변수를 활용하기 위하여 지수화하여 제공 ■ (이상기후) 활용시 평균이 아닌 극값의 정보가 중요
전문가 인터뷰	<ul style="list-style-type: none"> ■ (재난) 해양방재 대응, 해양재난 예측 (1,3개월, 계절) ■ (조선) 조선소 생산계획, 시운전계획 수립(단기, 1,3개월, 계절) ■ (양식업) 어민은 해수면온도를 정기적 참고 ■ (에너지) 재생에너지 분야에 참고, 풍력발전, 신재생에너지 분야 ■ (해양관광) 해양관광수요 중장기 예측, 현재 생각하지 못한 다양한 분야 ■ (해운업) 배 접안, 하역에 날씨가 중요요인이고 미리 알 수 있으면 배의 도착시간 조정 ■ (어업, 양식업) 활용 가능한 정보(조류, 저염분수, 냉수대 정보 등)
설문조사	<ul style="list-style-type: none"> ■ (해양안전) 재해 및 사고대응, 시설물 보호 ■ (에너지) (레저, 관광) (해양환경보호) 등

- 이해관계자별 활용 방안 도출(안)

<표 49> 이해관계자별의 활용 방안

분류	이해관계자별 활용 방안
어업, 양식업	■ 어업생산량 예측 및 재해예측 분야
정책, 안전, 재난, 재해	■ 위험정보 예보 및 대응, 재해 대응력 강화
해운, 조선	■ 생산계획 수립, 운항계획 수립
에너지, 공사	■ 설치 후보지역 조사, 잠정 발전산출량 추정, 설치계획 수립 등
환경, 레저, 관광	■ 관광 레저 수요 중장기 예측

제 2 절 해양기후예측 서비스 구체화 및 확장 방안

1. 예측 요소

□ 예측 요소의 구체화 방안

- 제공 요소 및 순서: 해수면 온도, 해상풍, 유의파고의 순으로 시행하며, 해양이상 기후 정보 또는 극한 정보에 대한 예측 서비스 제공

<표 50> 예측 요소 구체화 방안

구분	주요내용
사례조사 (문헌조사)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 주요 기후 요소인 해수면온도 제공에 대해 우선 검토 필요 ■ 해양기후 예측요소 다변화 필요 <ul style="list-style-type: none"> - 예: 해상풍, 파고, 해류 등 해상의 기온, 강수량 제공에 대해서도 검토 ■ 주요국들은 해수면온도 어노말리를 중심으로 서비스를 제공 중 ■ 해수면온도의 활용성이 높고, 해상풍, 국지풍속, 기온, 습도, 해류, 해수온도 순임
전문가인터뷰	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해수면온도, 해상풍, 유의파고 순으로 확인됨 ■ 극한정보, 이상기후정보 등 제공 검토 필요
자문위원회 (소위원회)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해수면온도 성능과 수요 측면에서 해수면온도를 우선 제공하는 것이 타당 ■ 해상풍 해류에 영향을 준다는 점에서는 중요하나, 평균값의 변화가 크지 않으며 어노말리가 미미함. 단, 극한/재해/이상기후의 발생 확률을 제공은 적절 ■ 유의파고 평균값의 변화가 크지 않고 어노말리가 미미하므로 극한/재해/이상기후의 발생확률이 적절하다는 의견이 다수 <ul style="list-style-type: none"> - 파랑에너지가 해수면온도와 경향이 같으므로 유의파고는 필요 없다는 의견도 있음 ■ 기타 요소 제안 <ul style="list-style-type: none"> - 해양열파 해양에서는 평균 해수면온도보다 열파가 더 중요함 - Korean PDO(가칭) 기후지수(AO, NLO 등) 예측을 제공하듯이 연근해와 매치할 수 있는 K-PDO 지수 등 개발·제공 - 열용량 다른 요소 예측에 유용하게 쓰임 / 해양혼합층두께 열용량과 관련 있음 - 표층해류 대기에 영향을 줌 - 저염수 기상 및 태풍 예측에 직접적인 영향이 있고, 육지의 강물 예측이 선행되어야 하므로 타 기관에서 분석하지 못함 - 해빙 위원 간 의견차이가 있음 <ul style="list-style-type: none"> 필요 측 : 북극 해빙이 해양기후 예측에 중요 / 제외 측 : 모델 튜닝에 불리함 - 기상변수 해상 강수량·증발량, 해상 기온·폭염 등 - 응용변수 해일, 해무, pH, 이산화탄소 등 - 심층 수온 해양수산부와 협력하여 예측

구분	주요내용
이해관계자 설문조사	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (활용분야 종사자) 파고, 해수면온도, 해상풍 순으로 조사됨 ▪ (대국민) 해상바람, 파도높이, 해수면온도, 해상기온, 해상강수 순으로 조사됨
기획위원회 토의 및 종합 의견	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기 구축된 체계의 활용성, 성능, 수요를 고려하여 '해수면 온도, 해상풍'의 순서로 제공하고 장기파랑예측모델의 앙상블 체계를 구축하여 '파고'로 확대 <ul style="list-style-type: none"> - 각 요소별 시범 서비스(1년) 후 정식 서비스로 진행 - 수요자는 해상풍, 유의파고를 요구하고 있지만, 사례조사와 전문가(소위원회 포함)는 실효성에 이견이 있음 - 해상 기온 및 강수는 기 구축된 체계의 활용성이 높고, 대국민 수요도 비교적 높은 편이므로 예측 성능과 실질적 수요를 분석하여 서비스 여부 및 제공 방식 결정 필요 ▪ 각 요소별 극한/재해/이상기후 발생 정보 제공 <ul style="list-style-type: none"> - 수요와 요소별 특성을 반영한 극한 정보의 기준 연구 필요 - 고수온, 기후 리스크 평가 등은 추가로 제공하기 위하여 준비 ▪ 소위원회, 설문조사, 사례조사에서 제시된 기타요소에 대한 선행연구가 필요

□ 예측 요소의 확장성 검토

- 해양기후 예측 서비스의 요소에 대한 추가 확장성을 위하여 문헌조사, 전문가 인터뷰, 소위원회 활동, 대국민 설문을 통하여 후보 요소 도출
 - 본 연구를 통해 도출된 요소 중 후보요소(안)은 해수온도, 표층해류, 해상기온, 염분, 해상강수, 해양열파이며 서비스 우선순위는 추가적인 연구 필요

문헌조사, 전문가 인터뷰 및 대국민 설문					종합 검토
문헌조사 (일본 사례)	전문가 설문조사(ECVs)	소위원회 제안	대국민설문	Glosea6산출물	후보 요소(안)
해수온도	수심 별 온도(1순위)	MLD (해양혼합층두께)	해상바람 (23.5%응답)	해수온도	1. 해수온도(수심별 온도)
해류	해면염분(2순위)	해양열파	파도높이 (22.6%응답)	염분	2. 표층 해류
해수면의 조위	수심 별 염분(3순위)	Korea PDO	해상기온 (17.31%응답)	해류	3. 해상기온
바다의 온실가스	표층해류(4순위)	저염수	해상강수 (15.7%응답)	혼합층 깊이	4. 염분(해면염분, 수심별 염분)
표층수 덩어리(수괴)	해수면 높이(5순위)	해상 기상변수 (강수, 증발, 기온 등)		해수면높이	5. 해상 강수
해양오염	해면 저항(6순위)	표층해류		총 열유속	6. 해양열파

• 해양기후 예측 서비스는 해수면 온도(시범/정식) → 해상풍(시범/정식) → 파고(시범/정식) 진행
 • 해양기후 요소의 확장 후보요소(해수온도, 표층해류, 해상기온, 염분, 해상강수, 해양열파)의 서비스는 중요도에 따라 순차적으로 진행

[그림 66] 서비스 요소별 확장성 검토

○ 요소 확대를 위한 기술적 확장성 검토

<표 51> 서비스 요소 확장에 대한 기술적 확장성

서비스 기간	기술적 확장성 검토	검토 의견
해수면온도	<ul style="list-style-type: none"> ■ (모델) Glosea6에서 생산 가능 계절예측(240일), 계절내예측(72일) 가능 ■ (시스템) 저장공간의 추가확보 필요 ■ 후처리 시스템 필요 ■ 수치모델의 산출물을 활용하여 서비스를 제공하는데 기술적으로 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ■ SST의 경우, 현 수준의 수치 모델의 산출물을 사용하여 서비스 제공은 가능
해상풍		<ul style="list-style-type: none"> ■ 현 수준의 수치모델의 산출물은 이용 가능하지만, 충분한 검증필요
파고		
해류		-
기타		-

○ 요소 확대를 위한 경제적 확장성 검토

<표 52> 서비스 요소 확장에 대한 경제적 확장성

서비스 기간	경제적 확장성 검토	검토 의견
해수면온도	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기상청에서 운영하는 Glosea6 시스템으로 후처리 부분만 해양요소를 보완하여 서비스 가능하므로 추가적인 투자는 최소화 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 추가 투자를 최소화하여 서비스 가능
해상풍	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기상청에서 운영하는 Glosea6 시스템으로 후처리 부분만 해양요소를 보완하여 서비스 가능 ■ 예보를 위한 별도의 검증 체계 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기술개발 및 시스템 확충의 비용 추가
파고		
해류		
기타	<ul style="list-style-type: none"> ■ 전반적으로 검토 및 개발이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 전반적인 기술개발 및 시스템 확충이 필요

2. 예측 기간 및 제공 주기

□ 예측 기간 구체화 및 정보생산 주기 구체화 방안

- (예측 기간) 전문가 의견 및 수요에 따라 3개월 전망, 1개월 전망의 순서로 시행 하되, 1·3개월 전망의 성능 및 활용성 검토 후 6개월 전망 확장 가능 여부 검토
- (제공 주기) 설문조사 및 전문가 의견, 기상청의 대외 서비스 제공 주기, 기후예측모델(GloSea6)의 자료 생산 일정에 따라 육상기후예측과 동일한 주기로 제공하는 것을 제안함

<표 53> 예측 기간 구체화 방안

구분	주요 내용
사례조사 (문헌조사)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 생산주기/기간은 1개월, 3개월, 6개월 등 다양하며 국가마다 상이함 ■ 1개월/3개월 해양기후예측 서비스 필요(예: 매월 1개월 및 3개월 예측 정보 제공)
전문가 인터뷰	<ul style="list-style-type: none"> ■ 3개월 전망 → 1개월 전망 → 6개월 전망 → 연기후 전망 → 1~10년 전망 순으로 우선순위가 있는 것으로 조사됨
자문위원회 (소위원회)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 서비스를 전제로 기술적인 검토만 하고, 기간의 우선순위는 특별히 논의하지 않음 ■ 단 해상풍 '3개월 전망'의 경우, 극단적 기상현상에 대한 분포도·시나리오가 제공된다면 의미가 있음
이해관계자 설문조사	<ul style="list-style-type: none"> ■ (활용분야 종사자) 1개월 전망 → 3개월 전망 → 6개월 전망 순으로 조사됨 ■ (대국민) 3개월 전망 → 6개월 전망 → 1개월 전망 순으로 조사됨
기획위원회 토의 및 종합 의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 3개월 우선(전문가, 대국민 설문) ■ 해상풍은 3개월 전망에서 극단적 기상현상들의 예측정보 제공을 위한 선행연구 필요 ■ 국가마다 예측기간은 상이하므로 우리에게 맞는 기간을 설정하여 준비 필요

<표 54> 해양기후예측 서비스의 정보생산 주기

분류	서비스 생산주기	전망기간
3개월전망	<ul style="list-style-type: none"> ■ 육상과 동일한 매월23일 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 다음월부터 3개월까지의 해양기후요소에 대하여 매월23일에 발표
1개월전망	<ul style="list-style-type: none"> ■ 육상과 동일한 매주 목요일 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 다다음주부터 5번째주까지 1개월간 매주 해양기후 요소 전망
계절전망	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2월, 5월, 8월, 11월, 12월의 23일(육상과 동일한 기준) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 다다음 계절의 해양기후 전망

□ 예측 기간의 확장성 검토

- 현황분석(문헌 조사), 전문가 의견, 소위원회 활동, 대국민 설문 등을 통하여 해양기후 예측 서비스의 적합한 예측기간의 확장성을 도출
 - 예측기간에 대한 수요조사 및 장단점 분석을 통해 국내 수요자에게 적합한 서비스 형태 검토
 - 예측기간의 확장은 1·3개월 전망의 다음으로 수요가 높은 6개월 전망 서비스의 준비 필요

구분	주요 내용
현황 분석 (문헌조사)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국가별로 1개월, 3개월, 6개월 서비스를 제공 중이며, 발표주기는 국가마다 상이 - 1개월 : 매일 발표(미국), 주 1회 발표(일본) - 3개월 : 월 1회 발표(미국) - 6개월 : 영국, 호주, 뉴질랜드
전문가 인터뷰	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 해양기후예측 전망 기간을 중요성-시급성-가능성으로 분석한 결과, ①3개월 전망 → ②1개월 전망 → ③6개월 전망 → ④연기후 전망 → ⑤1~10년 전망 순으로 우선순위가 있는 것으로 조사됨 ▪ 3개월 전망이 가장 중요하고 시급하나, 가능성이 다소 낮아서 기술적 어려움이 있는 것으로 분석
활용분야 설문조사	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1개월 전망과 3개월 전망이 높고 6개월 전망 순으로 선호
대국민 설문조사	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 3개월(과반수) > 6개월 > 1개월 > 1년 > 1 ~ 10년 순으로 선호
소위원회	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 해양이상기후예측 3개월 전망, 6개월 전망(매월발표)을 고려
종합검토 (예측기간)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 대국민 수요가 높은 3개월 전망 우선 제공 → 1개월 → 6개월순으로 선호 ▪ 해양이상기후예측 전망과 6개월 전망의 준비가 필요

[그림 67] 예측기간별 확장성 검토

○ 서비스 기간 확장에 대한 기술적 확장성 검토

<표 55> 서비스 기간 확장에 대한 기술적 확장성

서비스 기간	기술적 확장성 검토	검토 의견
3개월 전망	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (모델) Glosea6 활용 가능 계절예측(240일), 계절내예측(72일) 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SST의 경우, 현 수준의 수치 모델의 산출물을 사용하여 서비스 제공은 가능
1개월 전망	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (시스템) 저장공간 등 전산자원 추가확보 필요 ▪ 후처리 시스템 필요 	
6개월 전망	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 수치모델의 산출물을 활용하여 서비스 제공 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SST의 경우, 현 수준의 수치 모델의 산출물을 이용 가능 하지만 그 외의 요소의 경우 검증이 선행되어야 함
연 전망	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (모델) 구축 추진 중인 국가기후예측시스템 활용 가능(3개월~10년) ▪ (시스템) 전산자원 추가 확보 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국가기후예측시스템 구축 후 요소별 성능 검증을 통해 확장 가능성 추가 검토

○ 서비스 기간 확장에 대한 경제적 확장성 검토

<표 56> 서비스 기간 확장에 대한 경제적 확장성

서비스 기간	경제적 확장성 검토	검토 의견
3개월 전망	<ul style="list-style-type: none"> 기상청에서 운영하는 Glosea6 시스템으로 후처리 부분만 해양요소를 보완하여 서비스 가능하므로 추가적인 투자는 최소화 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 추가 투자를 최소화하여 서비스 가능
1개월 전망	<ul style="list-style-type: none"> 기상청에서 운영하는 Glosea6 시스템으로 후처리 부분만 해양요소를 보완하여 서비스 가능 예보를 위한 별도의 검증 체계 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 기술개발 및 시스템 확충의 비용 추가
6개월 전망	<ul style="list-style-type: none"> 기상청에서 운영하는 Glosea6 시스템으로 후처리 부분만 해양요소를 보완하여 서비스 가능 예보를 위한 별도의 검증 체계 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 기술개발 및 시스템 확충의 비용 추가
연 전망	<ul style="list-style-type: none"> 전반적으로 개발이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 전반적인 기술개발 및 시스템 확충이 필요

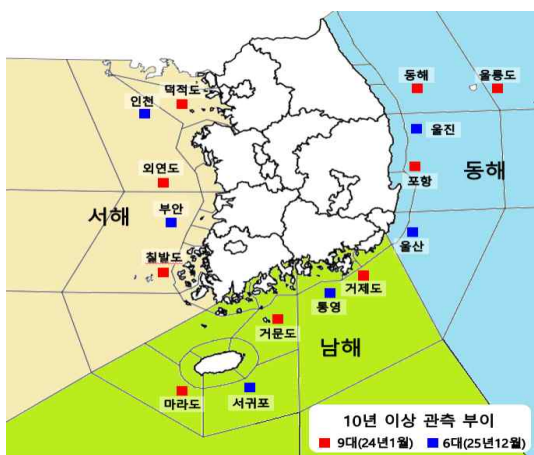
3. 예측 구역 및 대상 영역

□ 예측 구역 및 대상 영역의 구체화 방안

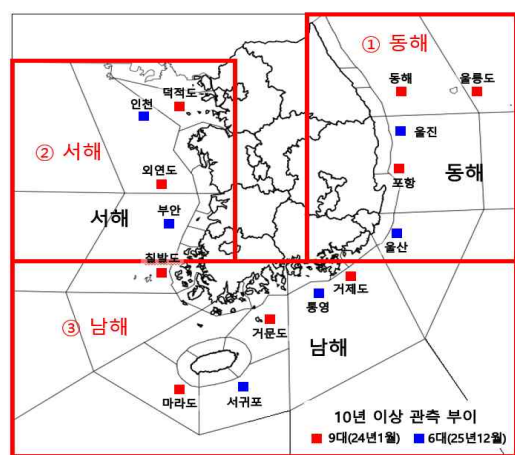
○ (예측 구역의 구분) 우선 3개 구역(서해, 동해, 남해)으로 구역을 나누어 시범 서비스 실행하되, 구역을 구분하는 기준은 2가지 안을 기반으로 해역별 특성 분석 및 전문가·수요자의 의견 수렴이 중요

- (1안) 기존 단기예보 구역과의 일관성을 유지하는 것
- (2안) 해류 등 통계적 상관성이 높은 지역으로 구분하는 것

<1안> 단중기예보 구역을 고려한 구역



<2안> 해수면 온도 특성을 고려한 구역

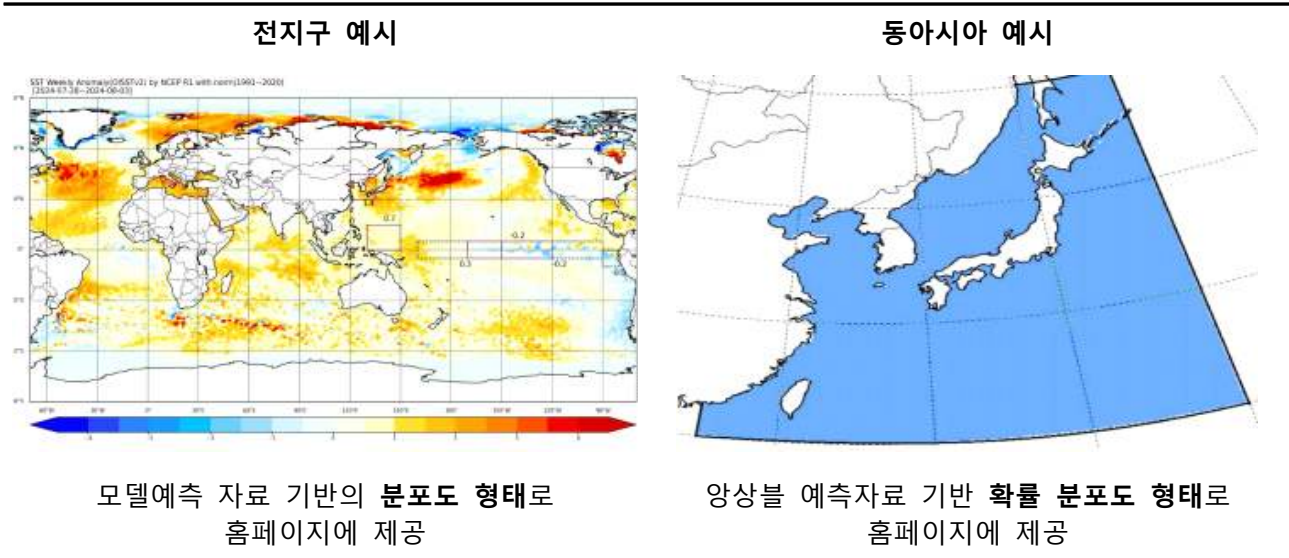


[그림 68] 해양기후예측 서비스 대상구역 검토 후보(안)

○ (서비스 대상 영역의 선정) 전지구·동아시아 권역에 대하여 모델예측 자료를 바탕으로 분포도 형태로 홈페이지에 제공하는 방안

- 국내 기후와 연관성이 높은 구역을 중심으로 대상 구역의 확장에 관한 선행 연구가 필요
 - 북적도해류, 쿠로시오해류, 태풍 발달 구역을 포함한 구역의 연구
 - 점진적으로 전지구를 대상으로 제공하기 위하여 단계적으로 연근해 먼저 제공하고 원양어업 등을 고려하여 동아시아로 확대검증을 통해 예측 성능이 좋은 영역을 먼저 선정하는 방법을 고려

[그림 69] 해양기후예측 서비스 대상구역 검토



<표 57> 예측 범위(영역)의 구체화 논의 요약

구분	주요 내용
사례조사 (문헌조사)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해외 주요국들은 고해상도 예측 시스템과 양상블 기법을 활용한 예측 정밀도 개선에 중점 ■ 예측구역은 전지구/열대지역 또는 자국 주변해역을 중심으로 제공 중 ■ 예측범위의 점진적인 확대 필요(예: 근해 → 동아시아, 태평양, 전 지구)
전문가 인터뷰	<ul style="list-style-type: none"> ■ 예보와 예측은 데이터량이 비교가 안 될 정도로 큼, 세밀한 공간 분할 예보는 기술적 한계 ■ 시간적인 틈이 커지면 공간적인 틈도 커져야 함 <ul style="list-style-type: none"> - 서해, 남해, 동해가 적절하며 혹은 한 번 더 나누어서 6~7개 정도가 좋을 듯 ■ 넓은 지역(광역)에서 추진해야 할 것 ■ 해상은 경계가 없으므로 상세 정보에 어려움이 있을 수 있음
자문위원회 (소위원회)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 북서태평양보다 더 넓은 영역이 적절(북적도해류, 쿠로시오해류, 태풍 발달 구역을 포함)하고, 해양기상 구역보다 영역을 더 넓게 가져가야 함 ■ 전지구를 대상으로 제공해야함 ■ 연근해 먼저 제공하고 원양어업 등을 고려하여 동아시아로 확대검증을 통해 예측 성능이 좋은 영역을 먼저 선정해야 함 ■ 예측성을 고려하여 3~4개(서해, 동해, 남해 등)의 광역예보구역을 먼저 제공하는 것이 적절 ■ 해양기후 측면에서 특정 구역을 부이의 평년값과 비교하는 것은 의미 없음(이슈가

구분	주요 내용
	있는 지역에 대한 정보가 필요) ■ 해양기상과 다르게 앞바다·먼바다를 구분하는 것은 의미가 없음 ■ 연근해를 기준으로 가까운 해양과 먼 해양으로 구분하여 광범위한 예측부터 실시
이해관계자 설문조사	■ (활용분야 종사자) 연근해 → 북서태평양 → 남태평양 순임 ■ (대국민) 연근해 → 동아시아 → 전지구 순임
기획위원회 토의 및 종합 의견	■ 연근해(자국해역 중심) 먼저 실시 ■ 연근해는 3~4개(서해, 동해, 남해)로 먼저 제공, 이후 동아시아, 전지구 확대가 바람직 ■ 연근해 3개(서해, 동해, 남해)구역은 통계적 상관성이 높은 지역으로 구분할 것

□ 예측 구역 및 대상 영역의 확장성 검토

- 소위원회 토론, 전문가인터뷰 내용, 대국민 설문을 포함하고, 기획위원회의 의견을 반영하여 연근해 예측과 전지구(동아시아)예측의 확장성으로 나누어 검토함
 - (연근해의 확장성) 연근해 예측은 3개 구역(서해, 동해, 남해)으로 시작하며, 구역의 경계는 상관성이 높은 지역으로 묶는 것이 바람직하고, 구역 내에서 세분화는 자원(기술적 연구, 시스템 확충, 인력 확충)에 따라 세분화
 - (전지구·동아시아) 전지구로 예측구역을 확대할 필요성이 있고, 모델 기반 또는 앙상블 확률예측 자료를 제공하고, 동아시아는 우리나라와 관련이 깊은 태풍발달 지역 및 쿠로시오해류 지역을 포함

구분	예보구역 확장에 대한 의견(논의사항) 정리	연근해예측 검토(안)	전지구 예측 검토(안)
기획위원회	<ul style="list-style-type: none"> • 3개 구역(서해, 동해, 남해)으로 나눔 • 구역의 경계 설정을 수계특성의 고려가 필요, 추가적인 연구가 요구됨 • (전지구) 모델예측자료 기반 제공 • (동아시아) 앙상블 기반 확률예측자료 제공 	<ul style="list-style-type: none"> • 연근해 예측은 3개 구역(서해, 동해, 남해)으로 시작하며, 구역의 경계는 상관성이 높은 지역으로 묶는 것이 바람직 • 구역내에서 세분화는 자원(기술적 연구, 시스템확충, 인력확충)에 따라 세분화 	<ul style="list-style-type: none"> • 동아시아, 전지구로 예측구역을 확대할 필요성이 있고, 모델기반 또는 앙상블 확률예측 자료를 제공 • 동아시아는 우리나라와 관련이 깊은 태풍발달지역 및 쿠로시오 해류 지역을 포함
소위원회 의견	<ul style="list-style-type: none"> • (한반도 주변) 서해/동해/남해로 구분→중기예보구역 → 광역예보구역으로 확장 • (전지구,동아시아) 동아시아 개념으로 접근하되, 북태평양 및 북서태평양을 포함하고 모델 예측기반으로 제공 • 서비스 구역은 연근해+기상청구역+ 북서태평양이 적절 • 북서태평양(태풍발달지역, 쿠로시오 해류)+배링해 지역 • 가까운 해양과 먼 해양을 구분하여 광범위한 예측부터 		
전문가 인터뷰	<ul style="list-style-type: none"> • 큰 영역으로 범위가 확장되어야 하고 통계적 상관성이 높은 지역으로 묶는 것이 바람직 • 예측은 예보와 달리 데이터양이 비교가 안될 정도로 크기 때문에 세밀한 공간분할은 기술적 한계가 있음 • 시간의 틀이 커지면 공간적인 틀도 커져야 함 • 해상은 경계가 없으므로 상세정보에 어려울 수 있음 		
문헌 조사 (서비스 동향)	<ul style="list-style-type: none"> • 유럽(ECMWF)는 유럽과 전지구 대상, (일본) 근해, 북서태평양 대상 • 예측범위의 점진적 확대는 필요 함 		
대국민설문	<ul style="list-style-type: none"> • 연근해 → 동아시아 → 전지구로 확장 		

[그림 70] 서비스 영역(대상구역)별 확장성 검토

4. 예측 형태

- 예측방식(확률/단정)은 사례조사, 전문가 인터뷰, 소위원회 모두 확률예보가 적절하다는 의견이 다수이고, 수요자의 이해를 높이기 위한 해설서의 준비는 필요하다는 결론을 도출함

<표 58> 예측 방식의 구체화 방안

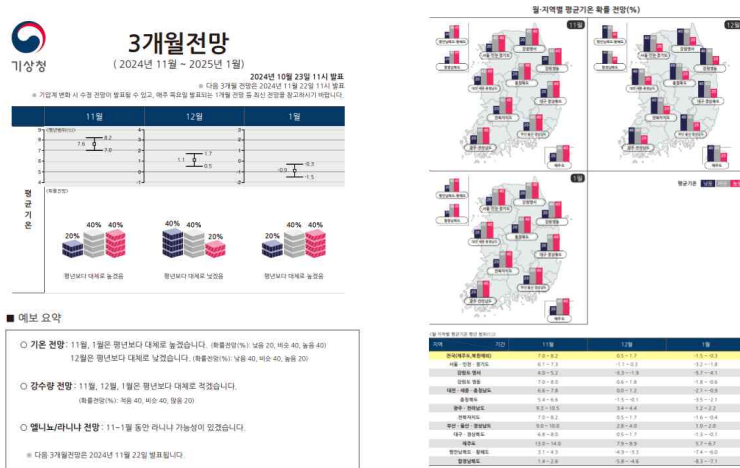
구분	주요내용
사례조사 (문헌조사)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 주요국(영국, 미국, 호주 등)은 확률예보 중심 ■ 예보방식은 확률예보 또는 단정예보 방식으로 제공되거나 확률예보/단정예보 모두 제공하는 국가도 있음 ■ 주요국들은 대기-해양-해빙 지면이 결합된 계절 기후예측시스템을 운영 중이며, 대부분 앙상블 기법을 활용하여 확률 예측으로 서비스 중 ■ 해양기후예측의 확률예보 서비스 필요
전문가 인터뷰	<ul style="list-style-type: none"> ■ 확률예보가 앞선 기술, 확률예보가 적절(81%) ■ 앙상블이 하나밖에 없을 때 어쩔 수 없이 단정예보를 했지만, 4개 이상 돌고 있고 기반이 갖춰져 있으므로 당연히 확률예보를 해야함 ■ 확률예보로 할 때는 수요자가 이해하기 어려움이 있고, 별도의 따라서 해설이 필요
자문위원회 (소위원회)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 확률예보가 타당하며, 기후분석 및 수요자에게 미치는 영향 등을 고려하여 범주 및 임계값을 설정하는 것이 필요 ■ 단정예보보다 더 많은 정보를 준다는 점에서 확률예보가 적절하나, 수요자가 활용하기 쉽게 범위·색상 제공 또는 지수화 ■ 3분위 확률예보가 아닌 특정 영역의 이슈를 분석·제공 ■ 해양에서 Anomaly 경향을 이용한 높음·비슷·낮음 의미가 없음 ■ 전통적인 확률·단정예보 외에 극한/이상현상의 발생 확률 또는 가능성을 함께 제공
이해관계자 설문조사	<ul style="list-style-type: none"> ■ (활용분야 종사자) 형태별 선호도에 대해 큰 차이는 없으나 예측범위 정보에 대한 수요가 가장 높게 나타남(29%) ■ (대국민) 확률예보가 적절 또는 매우 적절이 다수(74%)
기획위원회 토의 및 종합 의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 확률예보가 적절(사례조사, 기획위원회, 전문가, 대국민설문) ■ 수요자의 이해에 어려움이 있으므로 해설이 필요 ■ 극한 고수온, 기후 리스크 평가를 추가로 제공한다면 국민에게 유용할 것으로 보임 ■ 기상청 내의 일관성이 가장 중요하며 기후예측과와 동일한 확률예보 형태의 서비스가 바람직함. 기상청 내에서 하나의 목소리를 낼 필요성이 있음 ■ 기후예측은 확률예보가 추세이며, 육상기후예측과 동일한 확률예보 형태로 제공하여 혼란 방지 필요 ■ 기후예측모델 앙상블 결과를 기반으로 해수면온도 예측범위에 대한 확률정보를 추가로 제공 <ul style="list-style-type: none"> - (전문가 인터뷰) 확률예보가 적절(81%), 수요자 이해도 향상 방법 필요 - (대국민 설문) 육상기후예측과 유사한 확률예보 적합(적합 이상 74%)

□ 서비스 형태는 확률예보/단정예보의 장단점 분석을 통해 국내 수요자에게 적합한 형태를 검토하고 두 가지 안을 제안함

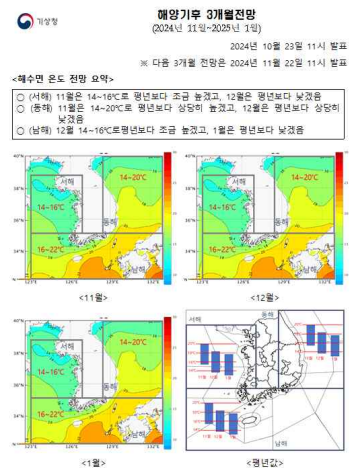
- (1안) 육상과 유사한 확률기반의 해수면 온도 편차 제공
- (2안) 수요자 이해도를 높이기 위해 예측 범위 정보로 제공하되, 평년값 대비 높고/낮음에 대한 수준을 3단계*로 구분하여 서비스

* 상당히 높음 - 높음 - 조금 높음 - [비슷함] - 조금 낮음 - 낮음 - 상당히 낮음

<1안> 확률 기반의 편차 정보



<2안> 확률 기반의 예측 범위 정보



* 1안은 육상기후예측 자료를 활용함

[그림 71] 해양기후예측 서비스 형태

□ 해수면온도, 해상풍, 파고에 대하여 요소별 확률예보와 단정예보의 장·단점 분석

공통		해수면온도	
3분위 확률예보	<ul style="list-style-type: none"> 장점: ① 불확실성을 고려한 유연한 정보 ② 육상과의 통일성, 생산 노하우 습득 용이 단점: ① 수요자가 해석하기 어려움 ② Hindcast 자료 산출 필요 	3분위 확률예보	<ul style="list-style-type: none"> 장점: 해수면온도의 Anomaly는 안정적임 단점: 세밀한 정보 제공이 어려움
단정/결정론적 예보	<ul style="list-style-type: none"> 장점: 일반 대중의 이해가 쉬움 단점: 불확실성을 고려하지 않아 신뢰도 하락 우려 	단정/결정론적 예보	<ul style="list-style-type: none"> 장점: 현재 제공중인 1개월 전망의 체계 활용 가능 단점: 철대값에 대한 안정성은 별도 검증 필요
범위/구간/지수 확률예보	<ul style="list-style-type: none"> 장점: 불확실성을 고려한 다양한 시나리오 제공 단점: 별도의 구간/임계값 설정 연구 필요 	범위/구간/지수 확률예보	<ul style="list-style-type: none"> 장점: 구간 설정에 따라 재해 정보도 표현 가능 단점: 철대값에 대한 안정성은 별도 검증 필요
극한/이상기후 가능성 정보	<ul style="list-style-type: none"> 장점: 재해 방지에 활용할 수 있어 효용성이 높음 단점: 극한 기준 필요(10%ile or 임계값 설정) 	극한/이상기후 가능성 정보	<ul style="list-style-type: none"> 장점: 활용도가 높을 것으로 예상됨 단점: 앙상블 spread 다양화 기술이 필요
해상풍		파고	
3분위 확률예보	<ul style="list-style-type: none"> 장점: 풍향 분석을 통해 육상과의 연계 강화 단점: Anomaly가 작아 정보의 효용성이 떨어짐 	3분위 확률예보	<ul style="list-style-type: none"> 장점: 파고만의 장점 없음 단점: 해수면온도, 해상풍과 결합이 유사하여 중복된 정보가 될 가능성이 있음
단정/결정론적 예보	<ul style="list-style-type: none"> 장점: Hindcast 산출 없이 생산 가능 단점: 평균값은 무의미한 정보임 	단정/결정론적 예보	<ul style="list-style-type: none"> 장점: 현재 1개월 전망의 체계 활용 가능 단점: 불확실성이 매우 높음
범위/구간/지수 확률예보	<ul style="list-style-type: none"> 장점: 풍속의 구간 값으로 특보 기준 활용 가능 단점: 풍속과 풍향의 확률 구간이 매치되지 않아 수요자가 잘못된 해석을 할 수 있음 	범위/구간/지수 확률예보	<ul style="list-style-type: none"> 장점: 구간 값으로 특보 기준 활용 가능 단점: 해상도가 낮을 경우 효용성과 신뢰도가 떨어짐
극한/이상기후 가능성 정보	<ul style="list-style-type: none"> 장점: 풍향에 대해 제공할 경우 효용성이 높음 단점: 풍향에 대해 유의미한 정보 제공이 어려움 	극한/이상기후 가능성 정보	<ul style="list-style-type: none"> 장점: 재해 방지에 활용할 수 있어 효용성이 높음 단점: 별도의 weather simulation 체계 구축 필요

[그림 72] 서비스 요소별 장단점 분석

□ 예측 형태 확장성 검토

- 확률예보에서 수요자의 이해도를 고려한 서비스와 극한정보의 제공을 위한 방안의 추가적인 검토가 필요함

구분	주요 내용
현황 분석 (문헌조사)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국가별로 확률예보 혹은 단정예보 방식으로 제공 중이며, 호주는 단정예보, 확률예보 모두 제공 중 - 확률예보 국가 (유럽, 영국, 호주), 단정예보 국가 (미국, 호주, 일본, 뉴질랜드)
전문가 인터뷰	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 예보/전망 기간 및 규모에 대한 면밀한 검토가 필요. 전체적으로 확률예보가 적합하지만 부분적으로 단정예보도 필요함. ▪ 해양기후예측 분야에서 기상청의 강점(기후모델, 해양기상 데이터 수집, 수치해석 등)을 강화하여 예측 정확성을 높이는 데 집중하고, 향후 수요자 맞춤형 정보의 제공으로 영역확대 ▪ 예측의 신뢰성을 높이기 위한 확률 예보 도입과 사용자의 이해도를 고려한 정보 제공 방식의 개발이 중요
활용분야 설문조사	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 예측 범위 정보 > 구간별 확률 정보 > 3분위 확률 정보 순으로 선호
대국민 설문조사	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 해양기후예측 서비스의 형태로 확률예보가 적합하다(74.0%)고, 답변하였으며, 평균정보(53.4%)와 극한정보(40.4%)가 모두 필요 * 일반국민은 평균정보(57.9%), 해양업무종사자는 극한정보(54.3%)를 더 필요로 함
소위원회	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 확률 예보가 타당하며, 기후분석 및 수요자에게 미치는 영향 등을 고려하여 범주 및 임계 값을 설정하는 것이 필요 ▪ 단정예보보다 더 많은 정보를 준다는 점에서 확률예보가 적절하나, 수요자가 활용하기 쉽게 범위·색상 제공 또는 지수화 ▪ 3분위 확률예보가 아닌 특정 영역의 이슈를 분석·제공. 해양에서 Anomaly 경향을 이용한 높음·비슷·낮음 의미가 없음 ▪ 전통적인 확률·단정예보 외에 극한/이상현상의 발생확률 또는 가능성 정보를 함께 제공
종합검토 (예보형태)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 확률예보 형태로 제공하는 것이 적절하나, 수요자의 이해도를 고려하여 범위·색상을 제공 등 방법의 검토 필요 ▪ 추후 극한정보나 특정 영역의 이슈를 함께 제공하는 방안 검토 필요

[그림 73] 서비스 요소별 확장성 검토

5. 종합 검토 결과

- 기획위원회에서 소위원회 토의 결과 및 전문가 의견, 설문조사를 반영, 해양기후 예측 서비스의 수요가 높고 법적 의무화⁶⁰⁾로 시급한 부분부터 단계적으로 추진하는 방향으로 의견을 도출

예측요소	<ul style="list-style-type: none"> • 해양기후예측 서비스는 해수면온도(시범/정식) → 해상풍(시범/정식) → 파고(시범/정식) 진행 • 해양기후 요소의 확장 후보요소(해수온도, 표층해류, 해상기온, 염분, 해상강수, 해양열파)의 서비스는 중요도에 따라 순차적으로 진행 		<p>해양기후 예측 서비스 확장</p> <ul style="list-style-type: none"> • 예측요소는 수요자 요구/중요성 중심의 순차적 확대 • 대상영역(연근해·세분화, 전지구: 동아시아 → 전지구 확장) • 기간은 3,1개월 제공 후 6개월/연기후 <p>해양기후 예측 서비스 제공 방식</p> <ul style="list-style-type: none"> • 해양기후 예측 서비스는 연근해 3개 구역(서해, 동해, 남해)중심으로 예측요소(해수면온도, 해상풍, 파고)에 대한 순차적 정식 서비스 제공 • 기간(3개월/1개월)의 확률예보 기반, 수요자 이해도를 고려한 예보관의 설명 및 특정 이슈에 대한 설명 포함 • 예보관/전문가 의견을 포함한 통보문/인터넷 배포 및 수요자 조사를 통한 의견을 반영
대상구역	연근해	<ul style="list-style-type: none"> • 연근해 예측은 3개 구역(서해, 동해, 남해)으로 시작하며, 구역의 경계는 상관성이 높은 지역으로 묶는 것이 바람직 • 구역내 세분화는 자원(기술적 연구, 시스템확충, 인력확충)에 따라 세분화 	
예보형태 (확률예보)	전지구	<ul style="list-style-type: none"> • 동아시아, 전지구로 예측구역을 확대할 필요성이 있고, 모델 기반 또는 앙상블 확률예측 자료를 제공 • 동아시아는 우리나라와 관련이 깊은 태풍발달지역 및 쿠로시오 해류 지역을 포함 	
예보기간	<ul style="list-style-type: none"> • 확률예보 형태로 제공하는 것이 적절하나, 수요자의 이해도를 고려하여 범위·색상을 제공 등 방법의 검토필요 • 추후 극한정보나 특정 영역의 이슈를 함께 제공하는 방안 검토 필요 		
예보방식	<ul style="list-style-type: none"> • 대국민 수요가 높은 3개월전망 우선 제공 → 1개월 → 6개월순으로 선호 • 해양이상기후예측 전망과 6개월 전망의 준비가 필요 		
예보방식	<ul style="list-style-type: none"> • 전문가의 의견을 포함한 통보문, 인터넷 홈페이지를 통해 배포 • 수요자가 활용 가능한 설명을 포함한 정보의 제공 		

[그림 74] 해양기후예측 서비스 형태 및 확장성 검토

- 해양기후예측 정보별 서비스 시행 일정(안)

- 해수면온도(SST), 해상풍, 파고 등 해양기후 요소별 특성을 고려하여 예측영역⁶¹⁾, 서비스 형태⁶²⁾ 등을 고려한 일정 수립

<표 59> 해양기후예측 정보별 서비스 시행 일정(안)

정보	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년 ~
3개월 전망	해수면 온도 (시범)	→ (정식)	해상풍 (시범)	→ (정식)	파고 (시범)	→ (정식)	
1개월 전망	해양기상·기후정보 월간지 발간 (해수면온도·파고)				예측서비스로 전환 (해상풍 추가) (시범) (정식)		해양이상기후 예측정보제공

60) 기후변화감시예측법 시행령에 해수면온도, 파고 등 해양기후예측 정보 생산 위임

61) 한반도 주변해역, 동아시아, 전지구

62) 예측범위 정보, 3분위 또는 구간별 확률정보

제 3 절 해양기후 예측 서비스 비전 및 목표

1. 환경분석 및 문제해결 이슈 도출

□ 해양기후예측 서비스 관련 국내외 정치 경제 사회 기술적 주요 변화요인을 분석하여 사업추진의 목표 도출

○ 환경분석을 위한 프레임의 개념은 아래와 같음

- 사업추진 주체가 통제할 수 없는 사회적, 기술적, 경제적, 생태적, 정책적 흐름 분석
- Social : 사업추진에 가장 핵심적인 엔드유저를 분석
- Technological : 4차 산업혁명 등 기술적인 요소가 사업추진에 어떠한 영향을 미칠지 분석하고 활용할 수 있는 요소를 모색하며 약점에 대응
- Economic : 사업추진과 관련하여 이미 발생한 이슈와 사업추진 부문의 시장규모 등 동향을 분석
- Ecological : 사업추진을 통해 극복하고자 하는 환경문제 또는 환경에 미칠 영향을 분석
- Political : 정부가 제공하거나 제공하고자 하는 상품 및 서비스와 정부가 제공하지 않으려는 것 또는 정치적이고 법률적인 부분에서 사업추진 상 고려해야 할 환경 변화에 대해 분석

○ 요소별 분석을 통하여 해결해야 할 문제점과 이슈 등을 파악

- Social : 사회환경
 - 기후 변수가 수산업, 해운업, 해양관광 등 해양산업의 구조적 변화 촉진
 - 해수면 상승 등 기후변화로 취약성 증가와 해양 자원 고갈 문제 심화
 - 기후 환경 영향에 대한 사회적 불평등 심화, 사회 갈등 야기 가능성
 - 해양 보호에 대한 사회적 관심 증대, 관련 정책 변화 촉진
- Technological : 기술환경
 - 기후 모델링 기술발전으로 해양기후변화예측 정확도 향상
 - 인공위성, 해양 로봇 등을 활용한 해양관측 기술발전
 - AI 기반의 방대한 해양 데이터 분석에 의한 과학적 의사결정 지원 가능
 - 이상기후 대비 국내외 예측·전망 정보생산·서비스 기관 간 협력 요구

- Economic : 경제환경
 - 수산업, 해운업, 관광업 등 해양 관련 산업에 큰 피해 초래
 - 해수면 상승 대비 방조제 건설, 침수지역 복구 등 기후변화 적응 투자 증가
 - 해양 운송 경로 변화, 해양 자원 확보 등 국제적 경쟁 심화
 - 해양 신재생 에너지, 해양환경 기술 등 새로운 성장동력 지원 필요
- Ecological : 생태환경
 - 해양 온도 상승으로 인해 태풍, 해일 등 극한 기상 현상 빈발
 - 해수온 상승, 해양 산성화, 서식지 파괴 등으로 해양생물 다양성 감소
 - 해양 산성화로 해양생물의 생존을 위협받고 생태계 교란 증대
 - 해수면 상승으로 인한 해안 침식, 섬 침몰 등 심각한 문제 야기
- Political : 정책환경
 - 탄소 배출 규제 강화, 해양 환경 보호 등 기후 관련 법규 제정
 - 해양 생태계 보전과 지속 가능한 이용 등 각국의 해양 관리 정책 강화
 - 지구온난화 대응을 위한 국제 협약 체결 및 이행 협력 요구
 - 해수면 상승, 자원 고갈 등으로 인해 해양 영토 분쟁 심화
- 목표를 수립하여 추진하고자 하는 목적을 명확히 하고 추진 결과를 가시화
 - 해양기후 예측에 대한 과학 기술적 이해 증진
 - 지속적인 연구를 통해 해양기후변화의 메커니즘 파악
 - 방대한 해양 데이터 분석에 의한 과학적 의사결정 지원
 - 국내외 예측·전망정보 생산·서비스 기관 간 협력
 - 해양기후전망을 위한 새로운 기술 개발과 투자 확대
 - 해양기후변화 예측 모델의 정확도 향상
 - 해양환경 변화를 정밀 관측하고 예측하는 기술 개발
 - 예측 인자 등을 종합 분석·활용하는 예보 역량 증진
 - 해양기후위험 예측을 통한 위기관리 체계 지원
 - 위험기후로 인한 인명피해 경제적 손실 저감
 - 해수면 상승, 극한기상 현상 등에 대한 국가 차원의 적응대책 지원
 - 기후적응 및 친환경 산업 개발 등 신사업 기회 지원
 - 미래 환경변화에 대응하고 지속 가능한 성장을 위한 전략을 수립하는 중요한 도구
 - 기존 기업과의 차별화를 통해 시장 경쟁력 강화 지원

환경분석을 통한 주요 이슈 종합 → 목표 수립

Social
사회환경

- ❖ 기후 변수가 수산업, 해운업, 해양관광 등 해양산업의 구조적 변화 촉진
- ❖ 해수면 상승 등 기후변화로 취약성 증가와 해양 자원 고갈 문제 심화
- ❖ 기후 환경 영향에 대한 사회적 불평등 심화, 사회 갈등 야기 가능성
- ❖ 해양 보호에 대한 사회적 관심 증대, 관련 정책 변화 촉진

Technological
기술환경

- ❖ 기후 모델링 기술 발전으로 해양기후변화 예측 정확도 향상
- ❖ 인공위성, 해양 로봇 등을 활용한 해양관측 기술 발전
- ❖ AI 기반의 방대한 해양 데이터 분석에 의한 과학적 의사결정 지원 가능
- ❖ 이상기후 대비 국내외 예·측전망 정보 생·산서비스 기관간 협력 요구

Economic
경제환경

- ❖ 수산업, 해운업, 관광업 등 해양 관련 산업에 큰 피해 초래
- ❖ 해수면상승대비방조제 건설, 침수지역 복구 등 기후변화 적응 투자 증가
- ❖ 해양 운송 경로 변화, 해양 자원 확보 등 국제적 경쟁 심화
- ❖ 해양신재생 에너지, 해양환경 기술 등 새로운 성장동력 지원 필요

Ecological
생태환경

- ❖ 해양 온도 상승으로 인해 태풍, 해일 등 극한 기상 현상 빈발
- ❖ 해수온 상승, 해양 산성화, 서식지 파괴 등으로 해양생물 다양성 감소
- ❖ 해양 산성화로 해양생물의 생존을 위협받고 생태계 교란 증대
- ❖ 해수면 상승으로 인한 해안 침식, 섬 침몰 등 심각한 문제 야기

Political
정책환경

- ❖ 탄소 배출 규제 강화, 해양 환경 보호 등 기후 관련 법규 제정
- ❖ 해양 생태계 보전과 지속 가능한 이용 등 각국의 해양관리 정책 강화
- ❖ 지구온난화 대응을 위한 국제 협약 체결 및 이행 협력 요구
- ❖ 해수면 상승, 자원 고갈 등으로 인해 해양 영토 분쟁 심화

사업추진 목표

해양기후 예측에 대한 과학기술적 이해 증진

- 지속적인 연구를 통해 해양기후변화의 메커니즘 파악
- 방대한 해양 데이터 분석에 의한 과학적 의사결정 지원
- 국내외 예·측전망 정보 생·산서비스 기관간 협력

해양기후전망을 위한 새로운 기술개발과 투자 확대

- 해양기후변화 예측 모델의 정확도 향상
- 해양환경 변화를 정밀 관측하고 예측하는 기술 개발
- 예측 인자 등을 종합 분석·활용하는 예보 역량 증진

해양기후 위험 예측을 통한 리스크 관리 체계 지원

- 위험기후로 인한 인명피해 경제적 손실 저감
- 해수면 상승, 극한 기상 현상 등에 대한 국가 차원의 적응 대책 지원

기후적응 및 친환경 산업 개발 등 신사업 기회 지원

- 미래 환경 변화에 대한 준비를 하고, 지속 가능한 성장을 위한 전략을 수립하는 중요한 도구
- 기존 기업과의 차별화를 통해 시장 경쟁력 강화 지원

[그림 75] STEEP 환경 분석

2. 전략방향 도출

□ 사업에 대한 전략적 계획(Strategic Planning)을 세우기 위한 도구로, 본 연구에서는 비전 및 목표 수립을 위한 전략방향 도출에 SWOT 분석을 활용

- 해양기후 예측 서비스를 둘러싼 국내외 환경을 SWOT 기법으로 분석하고, 기술·서비스 개발과 인프라 구축, 방재 역량 강화를 위한 전략 도출
- SWOT 분석은 수집된 정보를 통해 내부 강점(Strengths)과 약점(Weaknesses), 외부로부터의 기회(Opportunities)와 위협(Threats)을 규정하여 포괄적으로 평가하고 분석

□ SWOT 요소별 분석

○ Strength

- 데이터 축적 : 장기간 축적된 해양 관측 데이터를 바탕으로 정확한 예측모델 개발 가능
- 모델링 기술 발전 : 슈퍼컴퓨터 등 첨단 기술을 활용하여 복잡한 해양 시스템을 모형화하고 정교한 예측이 가능
- 관측망 구축 : 해양 관측망을 지속해서 확대하고 고도화하여 데이터 품질 향상

○ Weakness

- 예측 불확실성 : 자연 시스템의 복잡성으로 인해 예측의 정확도가 떨어질 수 있음
- 부분적 데이터 부족 : 특정 지역이나 심해에 대한 데이터가 부족할 수 있음
- 모델의 한계 : 기존 모델이 모든 현상을 완벽하게 설명하지 못할 수 있음

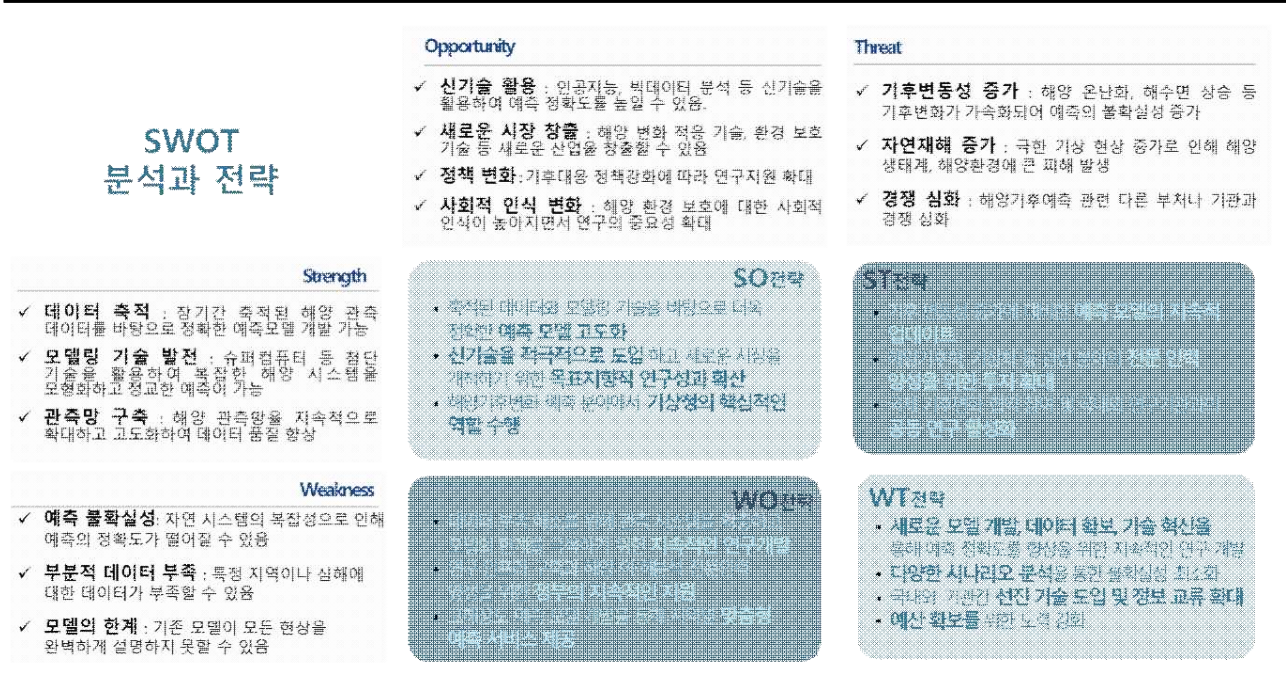
○ Opportunity

- 신기술 활용 : 인공지능, 빅데이터 분석 등 신기술을 활용하여 예측 정확도를 높일 수 있음
- 새로운 시장 창출 : 해양 변화 적응 기술, 환경 보호 기술 등 새로운 산업을 창출할 수 있음
- 정책 변화 : 기후 대응 정책 강화에 따라 연구지원 확대
- 사회적 인식 변화 : 해양 환경 보호에 대한 사회적 인식이 높아지면서 연구의 중요성 확대

○ Threat

- 기후 변동성 증가 : 해양 온난화, 해수면 상승 등 기후변화가 가속화되어 예측의 불확실성 증가

- 자연재해 증가 : 극한기상 현상 증가로 인해 해양 생태계, 해양환경에 큰 피해 발생
- 경쟁 심화 : 해양기후예측 관련 다른 부처나 기관과 경쟁 심화



[그림 76] SWOT 분석 내용

□ SWOT 분석 결과 도출한 전략

○ SO 전략

- 축적된 데이터와 모델링 기술을 바탕으로 더욱 정확한 예측 모델 고도화
- 신기술을 적극적으로 도입하고, 새로운 시장을 개척하기 위한 목표지향적 연구 성과 확산
- 해양기후변화예측 분야에서 기상청의 핵심적인 역할 수행

○ ST 전략

- 기후 변동성 증가에 대비한 예측 모델의 지속적 업데이트
- 해양기후학, 기상학 등 관련 분야의 전문인력 양성을 위한 투자 확대
- 국제 기후변화 협약 참여 및 국내외 연구기관과의 공동 연구 활성화

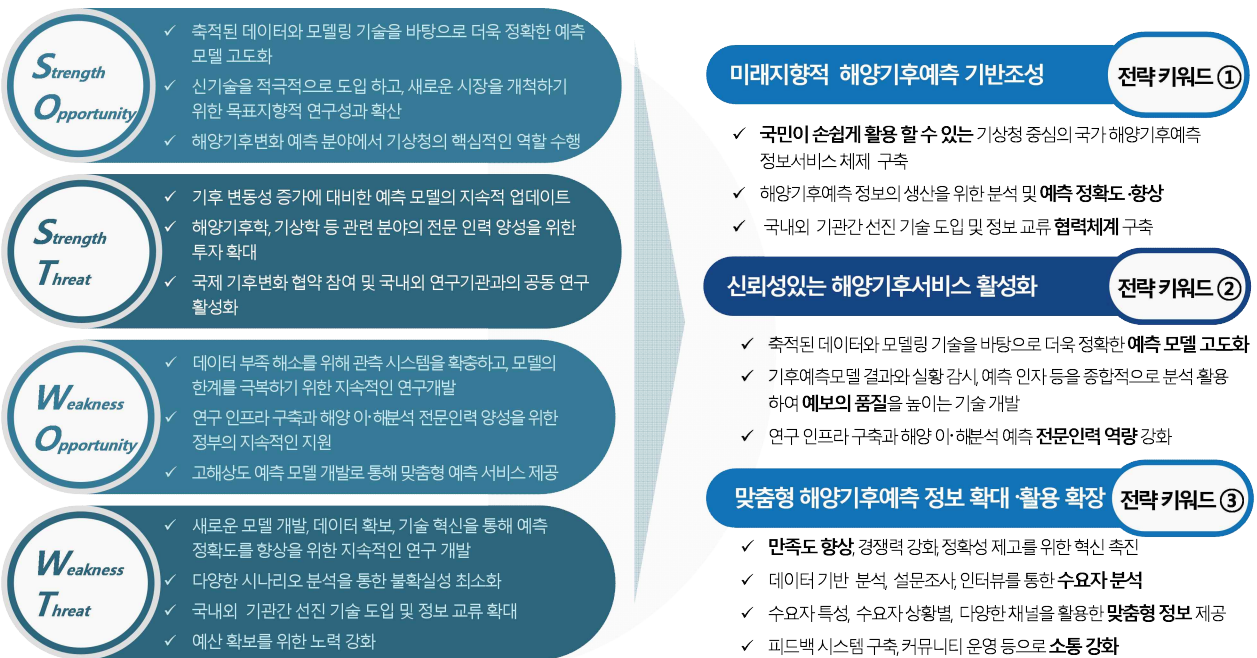
○ WO 전략

- 데이터 부족 해소를 위해 관측 시스템을 확충하고, 모델의 한계를 극복하기 위한 지속적인 연구개발

- 연구인프라 구축과 해양 이해·분석 전문인력 양성을 위한 정부의 지속적인 지원
- 고해상도 예측 모델 개발을 통해 지역별 맞춤형 예측 서비스 제공

○ WT 전략

- 새로운 모델 개발, 데이터 확보, 기술 혁신을 통해 예측 정확도 향상을 위한 지속적인 연구개발
- 다양한 시나리오 분석을 통한 불확실성 최소화
- 국내외 기관 간 선진 기술 도입 및 정보 교류 확대
- 예산 확보를 위한 노력 강화
- 공동 활용 연구 운영·관리체계 고도화



[그림 77] SWOT 분석을 통한 전략 방향 도출

□ 전략 키워드와 추진 방향은 아래와 같이 도출

○ 미래지향적 해양기후예측 기반 조성

- 국민이 손쉽게 활용할 수 있는 기상청 중심의 국가 해양기후예측 정보서비스 체제 구축
- 해양기후예측 정보의 생산을 위한 분석 및 예측 정확도·향상
- 국내외 기관간 선진 기술 도입 및 정보 교류 협력체계 구축

○ 신뢰성 있는 해양기후서비스 활성화

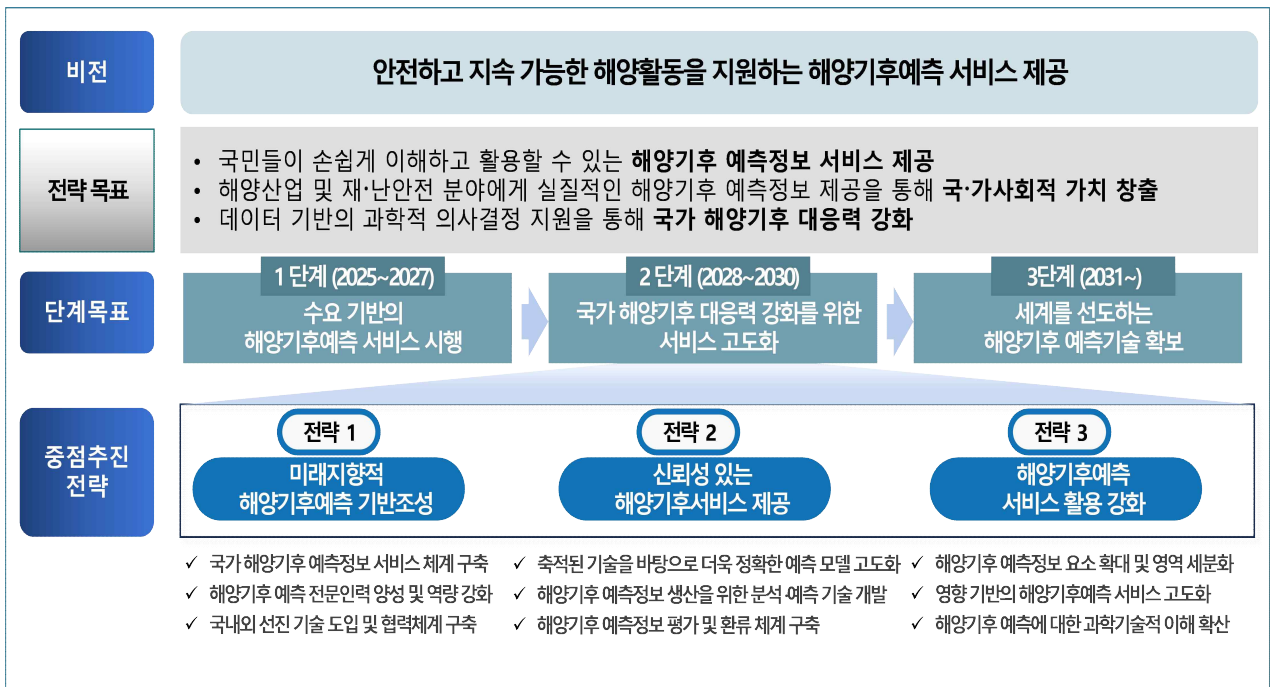
- 축적된 데이터와 모델링 기술을 바탕으로 더욱 정확한 예측 모델 고도화
- 기후예측모델 결과와 실황 감시, 예측 인자 등을 종합적으로 분석·활용 하여 예보의 품질을 높이는 기술 개발
- 연구 인프라 구축과 해양 이해·분석 예측 전문인력 역량 강화

○ 맞춤형 해양기후예측 정보 확대·활용 확장

- 만족도 향상, 경쟁력 강화, 정확성 제고를 위한 혁신 촉진
- 데이터 기반 분석, 설문조사, 인터뷰를 통한 수요자 분석
- 수요자 특성, 수요자 상황별, 다양한 채널을 활용한 맞춤형 정보 제공
- 피드백 시스템 구축, 커뮤니티 운영 등으로 소통 강화

3. 비전 및 목표 수립

- ‘안전하고 지속 가능한 해양활동을 지원하는 해양기후 예측 서비스 제공’이라는 비전으로, 기상청 해양기후 예측 서비스의 목표와 전략방향을 수립
 - 아래의 전략목표를 선정하고 단계목표 및 중점추진 전략 도출
 - 국민이 손쉽게 이해하고 활용할 수 있는 해양기후 예측정보 서비스 제공
 - 해양산업 및 재난·안전 분야에 실질적인 해양기후 예측정보 제공을 통해 국가·사회적 가치 창출
 - 데이터 기반의 과학적 의사결정 지원을 통해 국가 해양기후 대응력 강화
 - 전략목표에 대한 3가지 단계 목표는 아래와 같이 도출
 - 1단계 (2025~2027) : 수요 기반의 해양기후예측 서비스 시행
 - 2단계 (2028~2030) : 국가 해양기후 대응력 강화를 위한 서비스 고도화
 - 3단계 (2031~) : 세계를 선도하는 해양기후 예측기술 확보
 - 단계목표에 대한 중점추진 전략과 전략과제를 아래와 같이 도출
 - 추진전략 1 : 미래지향적 해양기후예측 기반조성
 - 국가 해양기후 예측정보 서비스 체계 구축
 - 해양기후 예측 전문인력 양성 및 역량 강화
 - 국내외 선진 기술 도입 및 협력체계 구축
 - 추진전략 2 : 신뢰성 있는 해양기후 서비스 제공
 - 축적된 기술을 바탕으로 더욱 정확한 예측 모델 고도화
 - 해양기후 예측정보 생산을 위한 분석·예측 기술 개발
 - 해양기후 예측정보 평가 및 환류 체계 구축
 - 추진전략 3 : 해양기후 예측 서비스 활용 강화
 - 해양기후 예측정보 요소 확대 및 영역 세분화
 - 영향 기반의 해양기후예측 서비스 고도화
 - 해양기후 예측에 대한 과학기술적 이해 확산



[그림 78] 비전 및 목표

4. 중점 추진과제별 세부 실행방안 도출

□ 해양기후예측 정보 서비스 일정 계획(안)

- 발표시기 : 매월 23일, 월 1회 발표
- 제공방법 : 통보시스템, 날씨누리, 해양기상정보포털

□ 단계별 추진계획(안)

- 1단계 : 수요 기반의 해양기후예측 서비스 시행
 - (목표) 수요 기반의 해양기후예측 서비스 기반조성 및 시행
 - (기간) 2025~2027
 - (주요 내용)
 - 해양기후 서비스 업무체계 개편
 - 해양기후 예측 전망분석, 생산기능 구현
 - GloSea6기반 과거 재현자료 생산체계 구축

- 해수면 온도 3개월 전망 서비스 시행(' 25년 시범, ' 26년 정식)
- 해양기후 3개월 예측·분석·검증 서비스를 위한 시스템 개선
- 3개월 전망 서비스 요소 확대를 위한 장기파랑 앙상블 예측 체계 마련
- 해양자료동화 운영체계 개선 및 현업화
- 가이드스 개발을 위한 선행 연구 분석 및 응용 가능성 검토

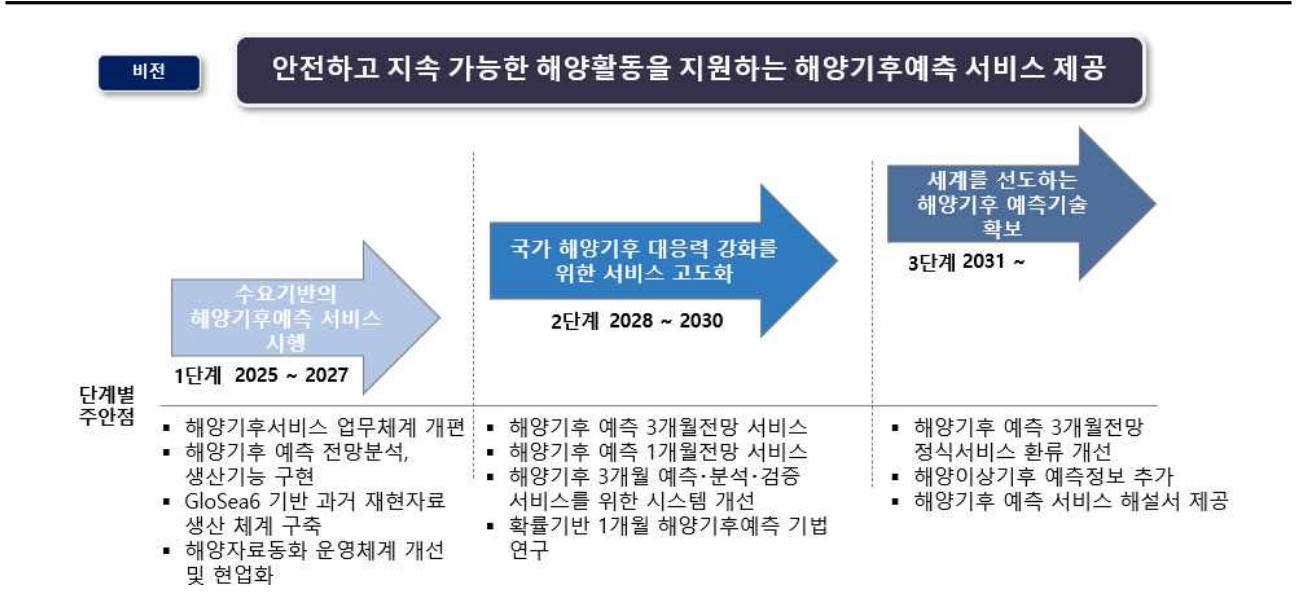
○ 2단계 : 국가 해양기후 대응력 강화를 위한 서비스 고도화

- (목표) 국가 해양기후 대응력 강화를 위한 서비스 고도화 및 신뢰성 있는 해양기후 서비스 제공
- (기간) 2028~2030
- (주요 내용)
 - 해수면 온도 3개월 전망 서비스 등 1단계 운영 성과 점검
 - 해상풍, 파고에 대한 예측성 진단 및 해양기후 3개월 전망 서비스 요소 확대
 - 해상풍, 파고의 극한 정보 생산 기술 개발 및 체계 구축
 - 해상풍, 파고의 선행인자 확보를 위한 연구개발
 - 해양이상기후(극한정보) 생산 기술 개발 및 체계 구축
 - 전지구, 동아시아 영역에 대한 서비스 확대
 - 확률기반 1개월 해양기후예측 기법연구

○ 3단계 : 세계를 선도하는 해양기후 예측기술 확보

- (목표) 세계를 선도하는 해양기후 예측기술 확보 및 해양기후예측 서비스 활용 강화
- (기간) 2031~
- (주요 내용)
 - 해양기후예측 3개월 전망 정식 서비스 환류 개선
 - 확률 기반의 1개월 해양기후 예측 서비스로 전환
 - 1개월 전망을 위한 예측·분석·검증 통합 시스템 고도화

- 해양기후예측 서비스 해설서 제공
- 해양이상기후(극한정보) 서비스 시행
- 1개월 전망 기반의 극한 정보 생산 기술 개발



[그림 79] 단계별 추진계획(안)

제 4 절 해양기후 예측 서비스 로드맵 및 이행 방안

1. 해양기후 예측 서비스 로드맵

□ 단계별 해양기후예측 서비스 제공을 위한 로드맵(안)

서비스 구역	일정 계획	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
연근해	단계별 서비스 일정 계획	1단계 : 해양기후예측 정보기반 조성			2단계 : 해양기후예측 정보 서비스 활성화			3단계 : 해양기후예측 정보 활용 확산
	3개월전망 서비스 일정 계획	해수면온도 시범	해수면온도 정식	해상풍 시범	해상풍 정식	파고 시범	파고 정식	요소 확장 서비스 (시범)
	1개월전망 서비스 일정 계획	해양기상 기후정보 월간지발간(해수면온도, 파고)				해상풍 추가		
	6개월전망 서비스 일정 계획					해수면온도(시범 후 정식)		
연근해 확장	3개월전망 서비스 일정 계획	상세구역 시범서비스						
전지구, 동아시아 (수지모델)	3개월전망 서비스 일정 계획	해수면온도 시범	해수면온도 정식	해상풍 시범	해상풍 정식	파고 시범	파고 정식	요소 확장 서비스 (시범)
	1개월전망 서비스 일정 계획					해상풍 추가		
	6개월전망 서비스 일정 계획					해수면온도		

[그림 80] 단계별 서비스 추진계획(안)

2. 중점 추진전략별 로드맵

□ (전략1) 미래지향적 해양기후예측 기반조성의 연도별 로드맵

분류	주요사업	과제	기간(년)	'25년도	'26년도	'27년도	'28년도	'29년도	'30년도	'31년도
해양기후예측 정보 서비스 일정 - 발표: 매월 23일, 월1회 발표 - 제공: 통보시스템, 날씨누리, 해양기상정보포털	단계별 서비스 일정 계획			1단계:기반조성			2단계:서비스활성화			
	3개월전망 서비스 일정 계획			해수면온도 → (시범)	해상풍 → (정식)	파고 → (시범)	파고 → (정식)			
	1개월전망 서비스 일정 계획			월간지발간(해수면온도, 파고)			해상풍 추가		해양이상 기후정보	
1. 미래지향적 해양기후 예측 기반 조성	1-1. 국가 해양기후 예측정보 서비스 체계 구축	해양기후 서비스 업무체계 개편(~'25.5)	~ '25.5	→						
		해양기후 예측 전망분석, 생산가능 구현 (~ '25.8)	~ '25.8	→						
		해양기후 예측 3개월전망 시범서비스 ('25.11~'26.10)	'25.11~'26.10	→						
		해양기후 예측 3개월전망 정식서비스 ('26.11 ~)	26.11~계속		→					
		GloSea6 기반 과거 재현자료 생산 체계 구축	'25~'27	→						
		해양기후 3개월 예측·분석·검증·서비스를 위한 시스템 개선	'28~계속							
		해양기후 1개월 예측·분석·검증·서비스를 위한 시스템 개선(계속)	'28~계속							
	1-2. 해양기후 예측 전문인력 양성 및 역량강화	해양기후 분석기법 연구 및 가이드스 개발	연중	→						
		확률기반 1개월 해양기후예측 기반 연구	'28							
	1-3. 국내외 선진기술 도입 및 협력체계 구축	해양기후 예측 정내 협력체계 구축(~'25.6)	~ '25.6	→						
해양기후 서비스 발전 포럼('25.10)		'25.10	▶							
해양기후 예측 전문가 협의체 구성, 운영 ('26.11 ~)		26.11~계속								
	해양기후 다중 모델 앙상블 자료 생산체계 구축(APCC)	'26 ~								

[그림 81] (전략1) 미래지향적 해양기후예측 기반조성의 연도별 로드맵

□ (전략2) 신뢰성 있는 해양기후서비스 제공의 연도별 로드맵

분류	주요사업	과제	기간(년)	'25년도	'26년도	'27년도	'28년도	'29년도	'30년도	'31년도	
해양기후예측 정보 서비스 일정 - 발표 : 매월 23일, 월1회 발표 - 제공 : 통보시스템, 날씨누리, 해양기상정보포털		단계별 서비스 일정 계획		1단계:기반조성			2단계:서비스활성화				
		3개월전망 서비스 일정 계획		해수면온도 → (시범)	(정식)	해상풍 → (시범)	(정식)	파고 → (시범)	(정식)		
		1개월전망 서비스 일정 계획		월간지발간(해수면온도, 파고)				해상풍 추가		해양이상기후정보	
2. 신뢰성 있는 해양기후 서비스 제공	2-1. 축적된 기술을 바탕으로 더욱 정확한 예측모델 고도화	해양/해빙 모형의 역학과정 및 모의 성능 분석	'25~'26	→							
		해양-해빙 과거기후(해수면온도) 초기장 자체생산(기후연구부)	'25.1~계속	→	→	→	→	→	→	→	
		해양자료동화운영체계 개선 및 현업화	'25	→							
		해양 자료동화 개선(선행인자 발굴)	'26~계속		→	→	→	→	→	→	
		해양순환모델 성능 개선(계속)	'29~계속					→	→	→	
		고해상도 해양순환모델 현업화 (25km → 9km)	'25~'26	→							
		고해상도(9km) 해양 앙상블 예측자료 생산	'27~'28				→	→			
	다중모델 앙상블 예측기술 연구	'29~'30						→	→		
	장기파랑 앙상블 예측체계 구축 및 성능 검증	'26~'28				→	→				
	해양/해빙 물리 모수화 개선	'27~'28				→	→				
	2-2. 해양기후 예측 정보 생산을 위한 분석·예측 기술개발	해양기후 3개월 예측·분석·검증·서비스 기능 구현	'25~'27	→	→	→					
		기개발된 기후예측 선형 인자의 상관분석을 통한 해양기후예측 활용성 연구	'25~'26	→	→						
		해수면온도와 해류의 상관성 분석	'25	→	→	→					
		수온(SST, 수심별 수온)과 해류 등 선행인자의 상관성 분석	연중	→	→	→	→	→	→		

[그림 82] (전략2) 신뢰성 있는 해양기후서비스 제공의 연도별 로드맵

□ (전략3) 해양기후예측 서비스 활용 강화의 연도별 로드맵

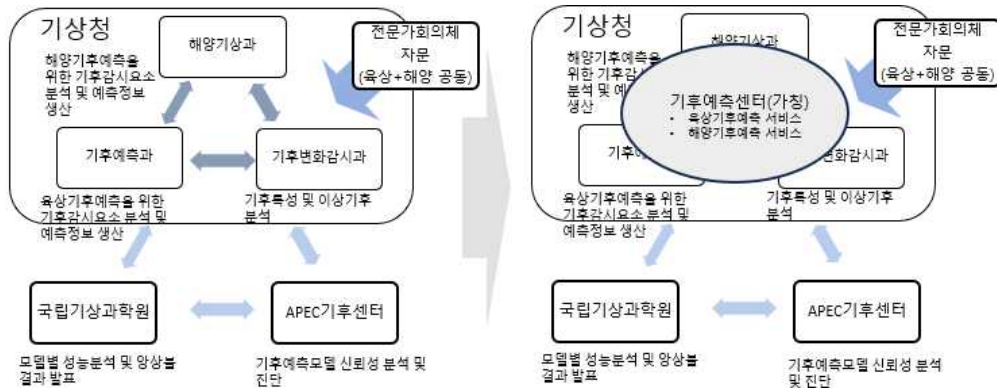
분류	주요사업	과제	기간(년)	'25년도	'26년도	'27년도	'28년도	'29년도	'30년도	'31년도	
해양기후예측 정보 서비스 일정 - 발표 : 매월 23일, 월1회 발표 - 제공 : 통보시스템, 날씨누리, 해양기상정보포털		단계별 서비스 일정 계획		1단계:기반조성			2단계:서비스활성화				
		3개월전망 서비스 일정 계획		해수면온도 → (시범)	(정식)	해상풍 → (시범)	(정식)	파고 → (시범)	(정식)		
		1개월전망 서비스 일정 계획		월간지발간(해수면온도, 파고)				해상풍 추가		해양이상기후정보	
3. 해양기후예측 서비스 활용 강화	3-1. 해양기후 예측정보 요소 확대 및 영역 세분화	대상구역 상세화를 위한 시스템 고도화	'28				→				
		전 지구·동아시아 해역 확률기반 기후 예측 기법 연구	'29~'30					→	→		
		기후예측 대상구역 세분화 연구	'26~'27		→	→					
	3-2. 영향기반의 해양기후예측 서비스 고도화	전 지구·동아시아 해역의 해양기후특성 분석	'27~'28			→	→				
		해양열파 기후예측 기술 개발	'25~'26	→	→						
		해상강풍 기후예측 기술 개발	'27~'28			→	→				
	3-3. 해양기후 예측에 대한 과학기술적 이해 확산	이상파랑 기후예측 기술 개발	'29~'30					→	→		
		해양기후 예측 서비스 해설서 제공 ('31~)	'31~							→	
		통보문 표준형식 마련('25.5 ~7)	'25.5~'25.7	→							

[그림 83] (전략3) 해양기후예측 서비스 활용 강화의 연도별 로드맵

3. 해양기후 예측 서비스 시행 업무체계 및 협력 방안

□ 단계별 해양기후예측 서비스 체계 구성

- 1단계 : 기상청 내 부서 간 협력과 국립기상과학원, APEC기후센터, 전문가 회의로 구성
 - 기상청 내부 관련 부서(해양기상과, 기후예측과, 기후변화감시과)의 협력
 - 전문가 회의체 구성 : 기존의 육상기후예측 서비스 전문가 회의 + 해양기후예측 전문가 참여
 - 전문가 회의체에서 육상으로부터 해양을 보는 사람과 해양에서 육상을 보는 사람과의 교류, 해양학과 해류/대기 분야의 전문가와 교류를 통한 협력
- 2단계 : 기상청 내 기후예측센터(가칭)를 중심으로 육상-해양기후예측 서비스를 제공
 - 기후예측센터(가칭)는 기상청 내부의 기후예측 서비스의 총괄 조직



[그림 84] 해양기후예측 서비스의 단계별 체계 구성(안)

가. 업무체계

□ 기상청과 국립기상과학원, APEC기후센터와의 역할 정립

- (기상청) 해양기후 예측정보 생산
 - 해양기후 예측-분석 시스템 구축·운영
 - 해양기후 분석·예측 기술개발
 - 해양기후 분석·예측정보 생산 및 해설
 - 해양기후 분석 및 예측 서비스
- (국립기상과학원) 기후예측모델 개발 및 운영
 - 기후예측모델 개발·개선·운영
 - 기후예측모델 신뢰도 분석 및 진단
 - 자료동화 체계 운영 및 개선

○ (APEC기후센터) 기후예측모델 분석 및 진단

- 15개국 GPC(Global Producing Center) 예측 자료 수립 · 표준화
- 수집된 모델별 성능분석 및 다중 앙상블 결과발표

<표 60> 기상청, 국립기상과학원, APEC기후센터 역할 및 업무분담(안)

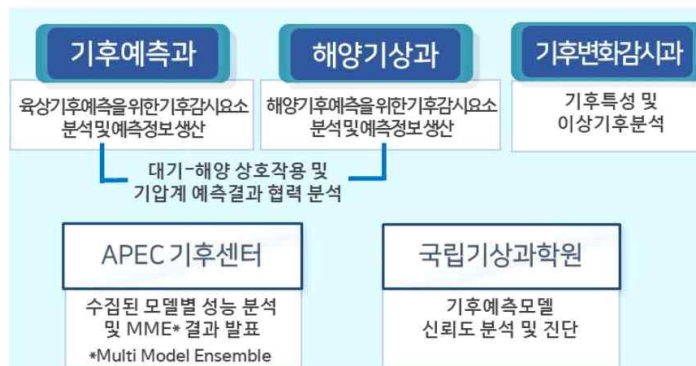
구분	기상청	국립기상과학원	APEC기후센터
역할	해양기후예측정보 생산	기후예측모델 개발 및 운영	기후예측모델 분석 및 진단
주요 업무	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양기후 예측·분석 시스템 구축·운영 ■ 해양기후 분석·예측 기술개발 ■ 해양기후 분석예측 정보생산 및 해설 ■ 해양기후 분석 및 예측 서비스 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기후예측모델 개발·개선·운영 ■ 기후예측 모델 신뢰도 분석 및 진단 ■ 자료동화 체계 운영 및 개선 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 15개국 GPC 예측자료 수집·표준화 ■ 수집된 모델별 성능 분석 및 다중모델 앙상블 결과 발표

□ 기상청 내 해양기후예측 서비스와 관련이 있는 해양기상과, 기후예측과 기후변화 감시과의 역할 정립

- (해양기상과) 해양기후예측을 위한 기후감시요소 분석 및 예측정보 생산
- (기후예측과) 육상기후예측을 위한 기후감시요소 분석 및 예측정보 생산
- (기후변화감시과) 기후특성 및 이상기후 분석
- 기상청과 국립기상과학원, APEC기후센터와의 역할 정립

□ 해양기후예측 서비스를 위한 업무체계 구성(안)

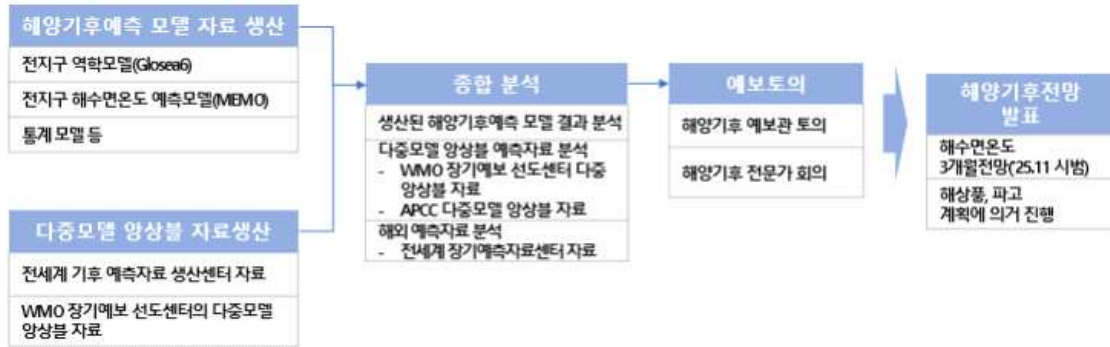
- 기상청 내 역할 구분 및 청 내·외 업무체계(안)



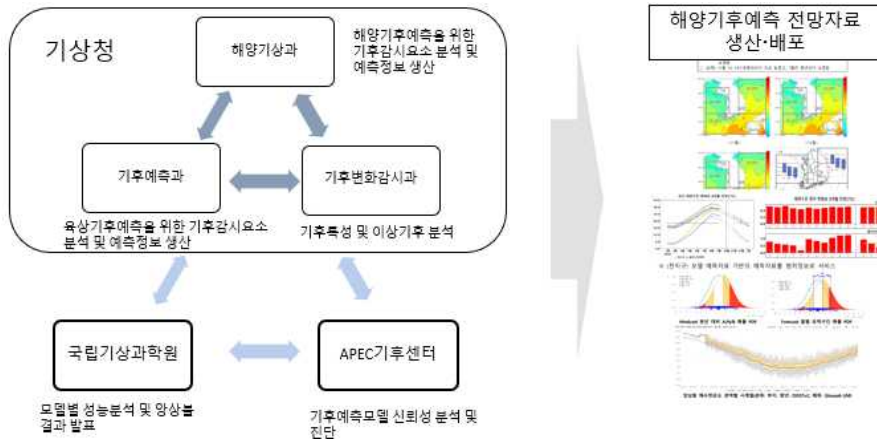
[그림 85] 업무 추진체계(안)

□ 해양기후예측 정보생산 절차 (안)

- 해양기후예측정보의 생산은 해양기후모델의 자료생산 및 앙상블 자료를 종합 분석하고 예보관 및 전문가의 협의 후 배포



[그림 86] 해양기후예측 정보생산 흐름도(안)



[그림 87] 해양기후예측정보의 생산 체계 및 자료 배포

나. 협력 및 전문가 환류 방안

□ (대외 협력 방안) 해양기후예측 전문가 회의체 구성(안)

○ 기획위원회 토의 내용

- 전문가 회의체의 구성안으로 육상과 유사한 규모의 별도 회의체 및 육상·해양 통합회의체 운영에 대하여 논의하였으며, 회의체의 효율적 운영을 위하여 통합하여 운영하는 것으로 결론을 도출함
- 전문가 회의체는 필요하며, 육상분야와 해양분야 전문가가 많이 중복되므로 육상과 같이 통합하여 운영하는 것이 좋을 것 같음
- 별도로 운영한다면 참여율이 저조할 수 있으며, 관련 정보도 중복될 우려가 있음
- 기후 관련 회의체가 많이 운영되고 있으므로 현황을 고려해 내실있는 운영을 해야 함

<표 61> 전문가 회의체 구성 후보(안) 특징 비교

항목	1안 육상+해양 공동 회의체	2안 육상/해양 별도 회의체
방법	■ 육상과 해양 회의체를 공동으로 운영하는 방법	■ 육상과 해양 회의체를 각각 운영하는 방법
장점	<ul style="list-style-type: none"> ■ 각 분야(기관)의 전문가 섭외 및 구성이 쉬움 ■ 해양과 육상의 상호작용 관련 중점 논의가 가능 ■ 해양에 특화된 현상에는 제한적인 자문 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양에 특화된 현상에 전문적인 자문이 가능 ■ 육상의 기상과 해양의 상호작용은 논의가 어려움
단점	<ul style="list-style-type: none"> ■ 논의 주제가 많아서 효율적인 회의를 운영하기 위한 모색 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 각 분야(기관)의 전문가의 섭외 및 구성 어려움 ■ 해양과 육상의 상호작용 관련 논의에 제약 ■ 신규로 전문가를 섭외하여 운영하는 경우 회의체 구성 및 운영의 어려움 예상
기타	대부분의 기후 전문가는 육상과 해양이 겹치고 있음	

○ 협력체계-회의체 구성(안)

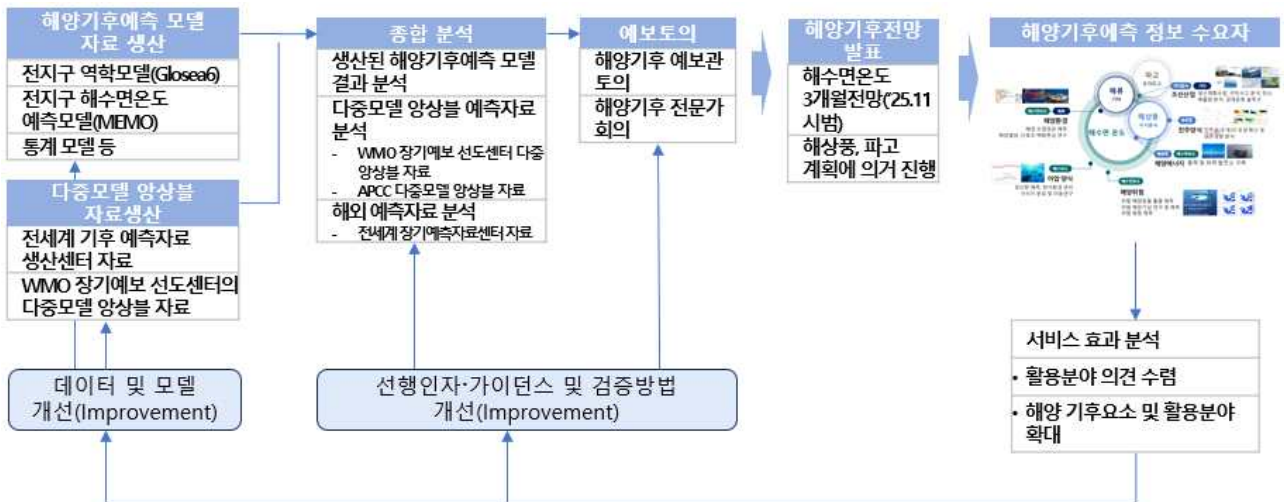
- 육상과 해양의 상호작용을 고려한 의견 교류 강화를 위해 공동 협력체계 운영
- (기획위원회 의견) 전문가 풀이 중복되므로, 효율적 운영을 위해 1안이 적합함



[그림 88] 전문가 회의체 구성(안)

□ 전문가 환류 방안

- 해양기후의 계절(계절 내)예측의 정확도에 영향을 미치는 핵심역량 중 ‘기후예측시스템’ 역량 강화를 위해 해양기후 예측시스템 모델특성 분석, 모델 관련 부서 간 환류 체계를 강화
- 해양기후예측 모델의 산출물의 오차 분석을 체계화하여 1·3개월 전망 생산 관련 부서 간 환류 체계를 정비하고 역할 분담의 명확화와 함께 주기적(비정기) 회의체를 구성하여 환류를 추진
- 해양기후예측정보 생산 시스템인 Glosea6의 업그레이드를 반영하여 모델의 예측성 개선 및 생산정보의 효율을 개선
- 역학 모델과 통계 모델의 한계를 극복하기 위하여 오차 보정 및 AI 모델의 개선·적용을 확대하고, 예보관의 역량을 강화하고 인력을 확충
- 해양기후예측정보 생산·제공에 따른 수요자 의견수렴을 위한 체계 구축 (수요기관과의 협업체계 구축 및 설문조사, 수요자 인터뷰)



[그림 89] 해양기후예측정보의 환류체계(안)

4. 활용 활성화 방안

- (활용 활성화 방안 검토) 현황 분석(문헌조사), 전문가 인터뷰, 소위원회 활동, 대국민 설문을 통하여 해양기후 예측 서비스의 적합한 형태 도출
 - 기후예측정보에 대한 수요자의 이해를 강화하기 위해 해설서 제작 필요
 - 기후예측정보 활용 방안에 대한 홍보 및 이해 확산
 - 날씨누리, 해양기상정보포털, 기후정보포털 등 제공 창구 다양화를 통한 점점 확대
 - 전문가의 의견을 포함한 통보문의 개선 및 수요자의 활용도를 높이는 연구가 필요

구분	주요 내용
해외사례 (문헌조사)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 주요국들은 해수면온도 어노말리를 중심으로 서비스를 제공 중 ▪ 생산주기/기간은 1개월, 3개월, 6개월 등 다양하며 국가마다 상이함 ▪ 대부분 인터넷 홈페이지를 통해 그래픽 예상도, 시계열 그래프 등으로 배포
전문가 인터뷰	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 답변자의 전반적인 견해는 처음에 사용자의 반응 및 수요자의 요구를 파악하기 위하여 별도의 제공방식으로 시작해서 나중에 하나로 합치는 것을 고려, 서비스를 생산하는 입장과 수요자의 입장을 고려하여 적절한 방법을 찾아야 함 ▪ 통보문을 별도로 생산을 하는 경우에도 육상과 같은 발표시기를 유지해야 함
활용분야 설문조사	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 전문 용어에 대한 쉬운 설명 및 활용 안내 어업양식업에 활용가능한 정보
대국민 설문조사	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 일반국민은 평균정보(57.9%), 해양업무종사자는 극한정보(54.3%)를 더 필요로 함
소위원회	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 통보문은 최소화하여 예측정보 표출 시스템에 같이 포함하여 활용 필요, 육상과의 통보문 통합은 X/ 가용 정보가 다른 스타일의 통보문으로 나가듯 해양도 수요자 설문 필요 ▪ 정보 제공모델 자료 + 편차가 높아진 정보+ 설명(전문가회의를 통한 이슈 도출) ▪ 예측정보를 가공하고 전문가 의견을 붙인 리포트 형태의 월별 분기별 서비스
종합검토 (예보방식)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 전문가의 의견을 포함한 통보문, 인터넷 홈페이지를 통해 배포 ▪ 수요자가 활용 가능한 설명을 포함한 정보의 제공

[그림 90] 서비스 제공방식의 확장성 검토

5. 해양기후예측을 위한 선행인자 제안

□ (선행인자) 육상기후 관련 원격상관 패턴에 대한 해양기후예측 관련성 검토 및 기타 선행인자 검색을 통해 해양기후예측 선행인자를 제안함

○ 해양기후 예측 원격상관 패턴 : ENSO, PDO, PNA, MJO, BSISO, PJ, IOD, EU, AO, QBD 등

<표 62> 원격상관패턴과 해양기후요소와의 관계 연구 현황

명칭	해수면온도	해상풍	(유의)파고	해류
엘니뇨-라니냐(EL Nino-La Nina)남방진동지수(SOI)	●	-	●	●
북태평양 십년주기 진동(PDO)	●	-	-	●
태평양-북미 패턴(PNA)	●	-	●	-
매든-줄리안 진동(MJO)	●	-	-	-
여름철 계절내 진동(BSISO)	●	-	-	-
태평양-일본 패턴(PJ)	-	-	●	●
인도양 쌍극자(IOD)	●	-	●	-
유라시아 패턴(EU)	●	-	-	-
환지구원격상관 패턴(CGT)	-	-	-	-
북극 진동(AO)	●	-	●	-
북대서양 진동(NAO)	-	-	-	-
스칸디나비아 패턴(SCAND)	-	-	-	-
성층권 2년 주기 진동(QBO)	●	-	-	-

* 자료 : ㈜트리마란 정리

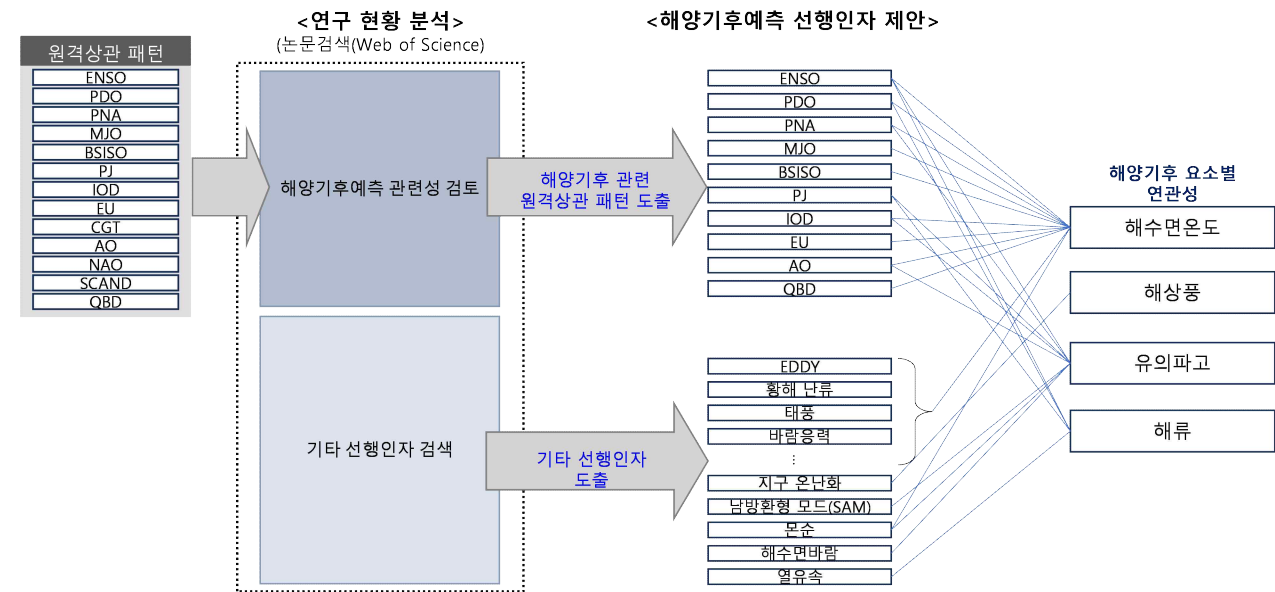
○ 기타 선행인자 : EDDY, 황해 난류, 태풍, 바람응력, 지구 온난화, 남방환형 모드 (SAM), 몬순, 해수면바람, 열유속 등

- 기타 선행인자(해수면온도)

<표 63> 해수면온도 기타 선행인자

- Previous winter air-sea coupling	- 갯벌(macro tidal flat)
- Atmospheric Internal Variations (AIVs)	- Wind stress
- 증가한 Downward latent heat flux와 shortwave radiation flux combination of oceanic and atmospheric process	- equatorial Pacific wind stress
- 서태평양 대기 패턴	- 몬순 바람(Monsoon wind)
- 5-6월의 하이브리드 원격 상관(Hybrid Teleconnections, HT) 패턴	- 구름-해양결합(저층 구름-SST 피드백)
- 열대성 저기압 (Tropical cyclones)	- South Pacific meridional mode (SPMM)
- Asian-Pacific Oscillation (APO)	- Mixed layer depth (MLD)
- 일간 수온 상승(Diurnal warming)	- Subtropical Mode Water (STMW)
- 황해 난류(Yellow Sea Warm Currents)	- deep-cycle turbulence
- 북풍(Northerly wind)	- 태풍(열대성 저기압)
- 동아시아 겨울철 강수 쌍극자 패턴(dipole pattern)	- EDDY
- 황해 냉수괴(Yellow Sea Cold Water Mass, YSCWM)	- 집중호우
	- 대설

- 기타 선행인자(해상풍) : East Pacific sea surface cooling 및 21세기 초반 지구 표면 온난화 둔화, 지구온난화 등
- 기타 선행인자(유의파고) : 남방환형 모드(SAM), 몬순, 해수면 바람 등
- 기타 선행인자(해류) : 열유속 등



[그림 91] 선행인자 제안

- 현황 분석 및 자문위원회, 수요 조사 결과를 종합하여 선행인자 연구 방향을 도출함
 - 파고, 해류, 해상풍 등의 예측 정확도를 높이기 위한 선행인자 연구와 모델 고도화를 위한 중장기 연구 과제 설정 필요
 - 대기에서 활용하는 원격상관패턴을 고려하여 이미 개발된 기후예측 선행인자의 상관분석을 통한 해양기후예측 활용성 연구 필요
 - 해수면온도, 수온, 해류등 선행인자 간 상관성 분석 필요
 - 수온과 해류 등 선행인자의 상관성 분석 필요

제 5 절 기대효과 및 타당성 분석

1. 기대효과 및 활용 방안

가. 사회적 효과 및 활용 방안

□ 해양기후 예측 서비스의 연구 성과는 해양기후 대응 정책의 개선, 학계 및 관련 연구기관의 연구 고도화, 해양 산업계 및 관련 기관과의 협업 강화에 활용 가능

○ 해양기후재해 대응 및 정책결정에 활용

- 해양기후 예측 서비스는 기상청과 해양관련 기관 및 지자체에서 재난 발생 시 신속하고 정확한 대응을 지원하는 기본 자료로 활용
- 축적된 데이터를 통해 해양기후 재해 대응 정책의 효과를 평가하고 개선할 수 있는 시스템을 구축하여, 지속적인 정책 개선과 재해 관리 전략 수립에 활용
- 정책의 효과성을 지속적으로 검토하고, 해양기후재해로 인한 필요한 조정을 가해 사회적·경제적 피해를 줄이는 데 활용

○ 연구 고도화를 위한 기반 자료로 활용

- 연구 성과는 학계 및 관련 연구기관에서 해양기후 및 환경 연구의 기반 자료로 활용되며, 기상재해 관련 연구의 발전과 다학제적 접근을 촉진하는데 활용
- 생산된 정보는 다양한 연구에 활용되어 기상재해 예측의 정확성을 높이고, 관련 연구의 양적·질적 향상을 도모함

○ 해양 산업계 및 관련 기관과 협업 강화에 활용

- 어업·양식업, 해양에너지, 해양재난관리 등 산업 분야에 활용되어, 생산성 향상과 재해 리스크 관리에 활용
- 관련 기관들이 해양에서 기후위험 요소를 사전에 감지하고 이에 대비할 수 있도록 함으로써 해양기후 변화에 따른 생산 및 운영 계획을 조정하는 데 활용

나. 경제적 효과

□ 해수면 온도 전망 정보는 근미래의 경제적 대응력 강화

- 엘니뇨의 영향으로 폭염과 홍수, 가뭄 등에 의해 농산물의 생산량을 감소시키고, 이에 따라 식량 가격 상승을 예측하고 대응할 수 있음, 해수면 온도가 1도 오르면 1~2년 뒤 식량 가격도 5~7% 상승⁶³⁾

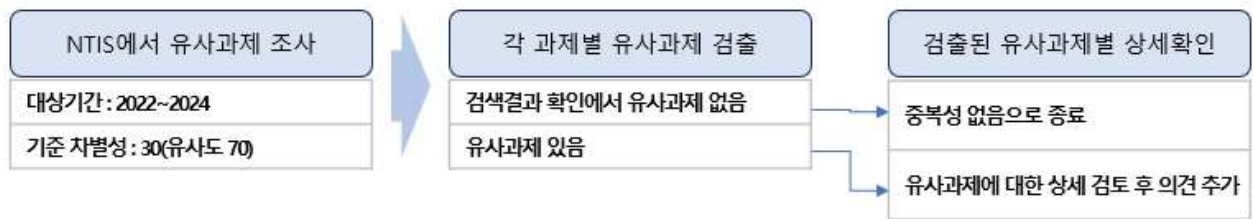
63) JTBC, 해수면 온도 1도 오르면 식량 가격 5-6% 오른다, 2023.8.28

- 영국 캐피털 이코노믹스는 엘니뇨 때문에 동남아 지역에서 발생한 가뭄으로 베트남의 2016년도 1분기 국내총생산(GDP)이 1년 전보다 1% 이상 하락했다고 분석
 - 전미경제연구소의 연구에 의하면, 기온이 1도 상승할 때마다 세계 GDP가 12% 감소할 수 있다고 함(탄소 배출 1톤당 사회적 비용을 약 \$1,056으로 계산한 결과)
 - 해양기후예측 정보(해수온, 염분, 영양염 등)의 예측정보를 통해 어족자원의 분포와 어획량 변화를 예측할 수 있어 어업 생산성 향상에 기여
- 장기적인 에너지 정책과 기상재해의 대응력 강화
- 장기적인 에너지 정책 마련에 도움 및 기상재해로부터 인명을 보호하고 사회·경제적 재산 피해 경감에 기여
 - 근미래 예측성 향상으로 국가 기후 정책, 의사결정의 기초자료로 활용 가능
 - 기후 변동성에 대한 새로운 과학 지식 제공으로 관련 분야 연구 활성화 및 대국민 이해에 기여, 극한기상 현상에 따른 사회경제적 피해 저감
 - 해양기후예측정보를 효과적으로 생산하여 제공하는 서비스 체계를 마련하여 제시함으로써, 이상기후에 대한 대응역량 제고로 재난방지, 국민 편익 증진 및 사회·경제적 피해 최소화
 - 최근, 기후 변동성이 증가하고 있고, 중기 해양기후예측 정보는 태풍 및 해양 위험 기상의 발생 가능성에 대비하여 연안 지역의 피해를 줄이고 예방적 조치 가능
 - 아르고(ARGO) 프로그램과 같은 국제협력을 통해 해양기후변화 연구를 발전시키고, 이를 통해 경제적 가치를 창출할 수 있음
- 공공부문 및 민간부문 모두에서 의사결정이 기후정보에 근거하여 이루어지게 함으로써 업무수행 과정에 수반되는 비용을 절감하고 효과성을 높이는 등 사회 전반에서의 경쟁력 제고
- 해양기후예측 정보는 기상재해나 재난에 따른 대피와 같이 직접적인 선택과 행동을 제안하는 정보는 아니나, 해양 분야의 장기적인 기후위기 적응 및 대응책 마련 방안을 제시하여 어업·양식, 물류, 조선, 해양에너지 등 다양한 분야에서 활용 가능

2. 중복성 및 타당성 분석

가. 중복성 검토

- 본 사업의 중점 추진전략의 해양기후예측정보의 대국민 서비스를 위한 3대 중점 추진전략 분야와 9개의 추진과제에 대하여 중복성 검토
- 중복성 검토 방법



[그림 92] 중복성 검토 방법

- NTIS의 차별성 검토에서 유사과제 확인 결과

<표 66> 차별성 검토 결과

구분	과제명	유사과제	중복성
전략 1	1-1 국가 해양기후 예측정보 서비스 체계 구축	조천호 외, 2011	없음
	1-2 해양기후 예측전문인력 양성 및 역량강화	없음	없음
	1-3 국내외 선진기술 도입 및 협력체계 구축	없음	없음
전략 2	2-1 축적된 기술을 바탕으로 더욱 정확한 예측모델 고도화	없음	없음
	2-2 해양기후 예측정보 생산을 위한 분석 예측 기술개발	없음	없음
	2-3 해양기후 예측정보 평가 및 환류 체계 구축	없음	없음
전략 3	3-1 해양기후 예측정보 요소 확대 및 영역 세분화	없음	없음
	3-2 영향기반의 해양기후예측 서비스 고도화	조천호 외, 2011	없음
	3-3 해양기후 예측에 대한 과학기술적 이해 확산	박민희 외, 2017	없음

○ NTIS 차별성 조사에서 검출된 유사과제에 대한 상세 검토

- 검출된 유사과제 ‘기후변화 예측기술 지원 및 활용연구, 조천호 외(2011)’, ‘기후변화대응 기술개발 전략 및 정보 분석 연구, 박민희 외(2017)’ 는 연구 목표, 연구 내용에서 ‘1-1 국가 해양기후 예측정보 서비스 체계 구축’ 과제와 ‘3-2 영향기반의 해양기후예측 서비스 고도화’ 와의 유사성이 없음

[참고] 유사과제 상세 내용

□ 기후변화 예측기술 지원 및 활용연구, 조천호 외(2011)

■ 연구 목표

이 사업의 최종목표는 국가 기후변화 적응 정책을 지원하는 기반 자료 생산, 국가 전략적 차원의 식량, 에너지와 물 자원의 선제적 대응을 위한 기반 자료 생산과 지구탄성력 회복을 위한 탄소 저감 정책 기반 정보 산출

■ 연구 내용

국가 차원의 기후변화 대응 전략 수립을 위한 기후변화과학정보 산출을 목표로 2009년부터 국가 표준 기후변화 시나리오 개발 및 수요자 맞춤형 기후변화 시나리오 활용시스템 구축에 관한 내용

- 기후변화 시나리오 산출과 분석
 - 전지구 기후변화 시나리오 4종 산출
 - 아시아/한반도 기후변화 시나리오 산출
 - 관측/시나리오를 활용한 기후변화 경향, 변동성, 극한 기후분석
- 지구시스템 모델 개발
 - 해양탄소모듈 결합을 통한 탄소순환 과정 구축
 - 아시아 기후모의 향상을 위한 에어로졸 및 지면과정 개선
- 1-10년 예측시스템 개발
 - 한·영 공동예측시스템 구축을 위한 기후예측 모델 구축 및 안정화
 - 전지구 물자원 예측 기반 구축
- 탄소추적시스템 개발 및 온실가스 위성 활용 기술개발
 - 아시아에 중심을 둔 전지구 탄소추적시스템 구축과 탄소순환의 분석
 - 원격·항공 감시체계 구축을 통한 위성 온실가스 통합 검증 기반 구축

□ 기후변화대응 기술개발 전략 및 정보 분석 연구, 박민희 외(2017)

■ 연구 목표

국가 기후변화대응 기술개발 전략 수립 지원, 기후기술 정보 분석, R&D 성과 확산 등을 수행하는 기후변화대응 전략 플랫폼 구축·운영을 통한 국가 기후변화대응 역량 극대화

■ 연구 내용

- 기후변화대응 기술정책 및 R&D 전략 연구
 - 국가 기후기술 정책·전략 수립 지원
 - 비즈니스 모델 발굴 및 기획
 - 상시 정책 지원
- 기후기술(Climate Technology) 정보 분석
 - 국가 기후기술 R&D 정보 분석
 - 심층 분석 정보 제공
- R&D 성과공유 및 전문가 교류
 - 기후변화대응 R&D 성과발표 지원
 - 전문가 교류

나. 정책적 타당성 분석

- 본 사업은 정부 법제도·상위계획에 부합성이 높으며, 사업추진체계 및 추진 의지를 확보하고 있으므로 충분한 정책적 타당성이 있다고 판단됨
- 정책적 타당성 분석 결과
 - 정부 지원의 필요성 및 시급성
 - 본 사업은 국민의 안전과 해양의 위협 기후 대응 측면에서 충분한 공공성과 필요성을 지니고 있음
 - 특히, 급격한 기후변화로 인한 해수면 온도 상승 등 이상기후의 피해가 가속화 되는 가운데 해양기후 예측정보의 활용 강화는 기후재해를 사전에 예측하고 대응할 수 있도록 하는 핵심 요소로 국가적 차원의 신속한 지원이 요구됨
 - 사업추진 의지 검토 결과
 - 본 사업은 주요 국가 정책과의 연계성을 확보하고 있으며, 국가 해양활동의 대응능력과 기후변화에 따른 기후위험 등에 대한 대응역량을 강화함으로써 국가적 재난 대응 체계의 발전에 기여할 수 있는 중요한 사업
 - 본 사업은 ‘기후변화감시법’에 반영되어 있어 본 사업에 대한 주관부처의 추진 의지 및 전략적 우선순위가 높다고 판단됨-특히, 기상업무발전 기본계획의 전략 2인 ‘기후위기 극복을 지원하는 기후·기후변화정보 고도화’와 밀접하게 연계되어 있음
 - 또한, 국가 기후위기 적응 강화대책의 정책 방향 1 ‘과학적 기후 감시·예측 및 적응기반 고도화’와 밀접하게 연계되어 있음
 - 이러한 연계성으로 인해 본 사업은 주관부처가 강력한 추진 의지를 가진 전략적 사업으로 평가

□ 법제도·상위 계획과 부합성 검토 결과

- 본 사업은 정부 상위계획의 사업 추진에 대한 근거를 제시하고 있어 부합성이 높으며, 국가 과학기술정책에 따른 본사업의 지원 근거는 적절한 것으로 판단

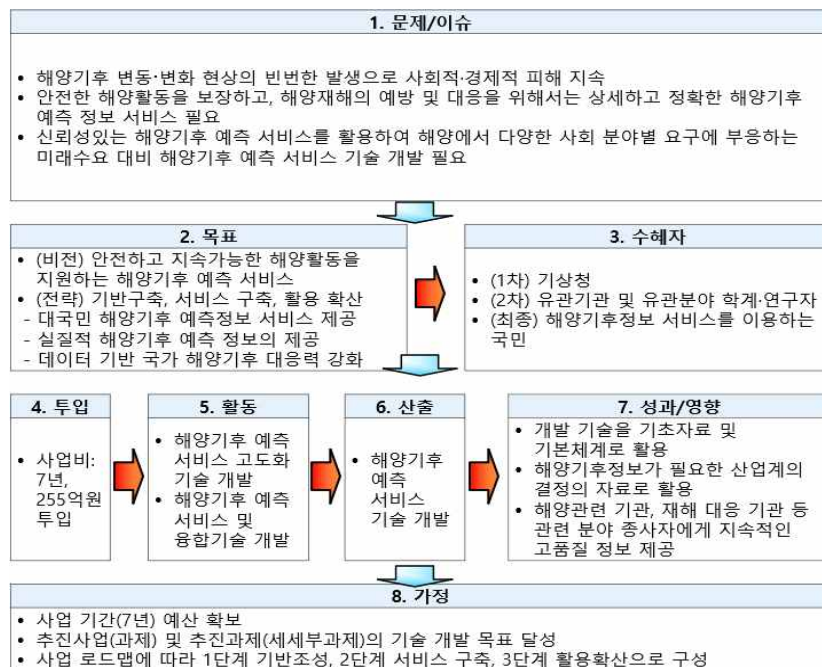
구분	법률 및 계획명	부합도		
		낮음	보통	높음
필수	「기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」 제8조 「기후·기후변화 감시 및 예측법 시행령」 제6조 「기후·기후변화 감시 및 예측법 시행규칙」 제5조			√
선택군 계획	제4차 기상업무발전 기본계획(2023~2027)			√
	제1기후변화대응 기술개발 기본계획(2023~2032)			√
	제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(2023~2025)			√
	제5차 과학기술기본계획(2023~2027)			√

필수 계획 / 선택군 계획	부합도 낮음	부합도 보통	부합도 높음
부합도 높음	보통	대체로 적절	적절
부합도 보통	대체로 부적절	보통	대체로 적절
부합도 낮음	부적절	대체로 부적절	보통

[그림 93] 법제도·상위계획과의 부합성 검토 결과

다. 과학기술적 타당성 분석

- 본 사업은 문제/이슈 도출과 사업목표가 잘 부합되며, 세부활동 및 추진전략의 적절성이 있으므로 과학기술적 타당성이 있다고 판단됨
- 문제/이슈 도출의 적절성 검토 결과
 - 기후변화로 이상기후 현상의 빈번한 발생으로 사회·경제적 피해가 지속하는 상황에서, 효과적인 위험기상 예방 및 대응을 위한 상세하고 정확한 해양기후 예측정보 서비스가 필요하다는 문제/이슈 도출은 적절성이 인정됨
 - 해양기후 변화는 가뭄, 폭염 등 이상기후를 발생시키는 주요 예측 요소이며, 해양기후 요소의 정확한 예측기술 개발이 필요하다는 문제해결 방안의 적절성이 인정됨
- 사업목표의 적절성 검토 결과
 - 본 사업계획은 문제/이슈의 해결과 사업목표가 잘 부합되며, 대내외적 현황을 충분히 고려하여 적절히 수립되었다고 판단됨
- 사업 추진상의 위험요인 검토 결과
 - 본 사업의 추진과제와 추진사업, 사업목표 간 연계는 비교적 적절히 제시됨
 - 추진과제는 전문가의 심층 인터뷰와 자문회의를 통해 심도 있는 논의를 거쳐 도출되었으며, 이러한 과정을 통해 제안된 과제가 적절하고 실효성이 높은 것으로 평가



[그림 94] 과학 기술적 타당성 분석 흐름도

3. 정책 제언

□ 해양기후 감시 정보 확대를 위한 기관간 협력 및 관측자료의 표준화 필요

- 장기적으로 해양기후 감시 및 예측 정확도를 향상시키기 위해 위성을 통한 해양 및 해빙 감시정보, 아르고 플로트 등의 확대가 필요
- 다양한 관측자료의 활용하기 위해 외부 기관과 협력이 필요하며, 정보의 품질 확보를 위해 관측자료의 표준화가 필수적임

□ 해양에 대한 기후 감시·예측 강화를 위해 통합 해양기후 감시체계 마련과 이를 위한 연구 강화 필요

- 해양에 대한 기후 감시·예측 강화를 위해 국내외 해양기후 관측자료를 통합 분석할 수 있는 감시체계 마련 필요

참고문헌

참고문헌

1. 기상청 보도자료, "2024년 여름철 기후특성", 2024.9.5.
2. 시사저널, "가을 전어가 사라졌다...뜨거워진 바다에 '피시플레이션'", 2024.10.21.
3. the Guardian, "More than 1m farmed salmon die at supplier to leading UK retailers", 2024.10.22.
4. 보도자료, "IPCC, 바다와 극지의 위험을 경고하다", 2019.9.25.
5. 기상청 보도자료, "고조되는 기후위기 불안, 국민의 목소리를 듣다", 2024.6.4
6. 기상청, "IPCC 해양 및 빙권특별보고서(최종)", 2019.9.26.
7. 해수부·기상청공동 정책브리핑, "기후변화감시예측법 25일 시행..정부의 감시예측 역할 강화", 2024.10.24.
8. 관계부처 합동, "제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(2023~2025)", 2023.06.
9. 기상청, "제4차 기상업무발전 기본계획(2023 ~ 2027)", 2022.12.
10. 과학기술정보통신부, "제5차 과학기술기본계획(2023 ~ 2027)", 2022.12.
11. NOAA, "NOAA FY22-26 Strategic Plan", 2022
12. U.S. Department of Commerce, U.S. "Department of Commerce Strategic Plan(2022 ~ 2026)", 2022
13. NOAA Weather Program Office, "Weather Program Office Strategic Plan 2022-2026)", 2022
14. ECMWF, "ECMWF Strategy 2021 ~ 2030", 2021
15. Met Office, "Met Office Hadley Centre Climate Science Roadmap 2020 ~ 2030", 2020
16. BoM, "Research and Development Plan 2020 ~ 2030", 2020
17. JMA, "Vision for Meteorological Services in 2030", 2018
18. WMO, "WMO Strategic Plan 2024 ~ 2027", 2023
19. 김혜리 외, "기상청 기후예측시스템(GloSea6)-Part 1 : 운영 체계 및 개선 사항", 2021

20. 현유경 외, "기상청 기후예측시스템(GloSea6)-Part 2 : 기후모의 평균 오차 특성 분석", 2022
21. CSIRO, "ACCESS-S2: the upgraded Bureau of Meteorology multi-week to seasonal prediction system", 2022
22. Kimberley J. Reid et al., "Atmospheric water vapour transport in ACCESS-S2 and the potential for enhancing skill of subseasonal forecasts of precipitation", 2022
23. APEC 기후센터, "장기예보 개선을 위한 예측정보 통합 방안 개발", 2023
24. APEC 기후센터, "국가 기후예측모델 개선을 위한 테스트베드 구축 및 활용기술 개발", 2023
25. Lucas Harris for the GFDL FV3 Team, "The GFDL Finite-Volume Cubed-Sphere Dynamical Core Structure and Usage, 발표 자료", 2022
26. CMCC, "CMCC Annual Report 2023", 2023
27. JMA, "JMA's NWP Strategic Plan Toward 2030", 2018
28. JMA, "JMA 중기연구계획(2024 ~ 2028)", 2024
29. 정은실, "한반도에서 위험기상 발생 시 나타나는 해수면온도 변동의 특성", 2019
30. 한국해양과학기술원 해양기후예측센터, "2024 8월~10월 해양기후 전망", 2024.07.
31. Lan et al., "Influence of oceanographic and climatic variability on the catch rate of yellowfin tuna(*Thunnus albacares*) cohorts in the Indian Ocean, Deep Sea Research Part II: Tropical Studies in Oceanography", p.175, 2020
32. Li et al., "Spatiotemporal analysis of marine environmental influence on the distribution of chub mackerel in the Northwest Pacific Ocean based on geographical and temporal weighted regression", 2024
33. Su et al., "Environmental influences on seasonal movement patterns and regional fidelity of striped marlin *Kajikia audax* in the Pacific Ocean", 2015
34. Marineau et al., "Predicting malaria outbreaks from sea surface temperature variability up to 9 months ahead in Limpopo, South Africa, using machine learning, *Frontiers in Public Health*, 25", 2022
35. 신대운 외, "선속과 해양기상이 선박 연료소모량에 미치는 영향에 대한 실선 실험 해석", 2021

36. Samayam et al., "Assessment of reliability of extreme wave height prediction models, Natural Hazards and Earth System Sciences", p.17, 2017
37. Dutheil et al., "Characterization of south central Pacific Ocean wind regimes in present and future climate for pearl farming application, Marine Pollution Bulletin,160", 2020
38. 국회입법조사처, "이슈와 논점 제1827호 후쿠시마 원전 오염수 해양 방출 영향 및 대응 방안", 2021
39. Jason R. Hartog et al., "Forecasts of marine heatwaves for marine industries: Reducing risk, building resilience and enhancing management responses", 2023
40. 국회의원 정책자료 박대수의원실, "기후변화에 따른 해양 기상기후서비스 강화를 위한 정책토론회 자료", 2024.11.검색
41. 국가법령정보센터, <https://www.law.go.kr>
42. 미국의회 도서관, <https://www.congress.gov/bill/101st-congress/senate-bill/169> (2024.11.26. 검색)
43. 미래한국, <https://www.futurekorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=115184>(2024.10.11. 검색)
44. AMS, <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/27/6/jcli-d-12-00823.1.xml> (2024 09.29. 검색)
45. NCEP_CFS,
https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/archive/200907/models/NCEP_CFS.html
(202409.29. 검색)
46. AMS,
https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/91/8/2010bams3001_1.xml?tab_body=pdf(2024.09.29. 검색)
47. ECMWF,
<https://www.ecmwf.int/en/newsletter/154/meteorology/ecmwfs-new-long-range-for-ecasting-system-seas5/>(2024.09.26. 검색)
48. <https://gmd.copernicus.org/articles/12/1087/2019/>(2024.09.26. 검색)
49. 일본 기상청,
https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/kaikyo/knowledge/move_jpn/system.htm

- (2024.09.27. 검색);
50. 일본 기상청,
https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/kaikyo/knowledge/move_jpn/tech_note.html(2024.09.27. 검색)
51. http://www.nims.go.kr/?sub_num=1216 (2024.11.26. 검색)
52. 한국해양과학기술원,
https://mobile.kordi.re.kr/prog/homepage/lab/sub01_02/view.do?gubun=point&cntNo=270 (2024.11.26. 검색)
53. 한국해양과학기술원,
https://mobile.kordi.re.kr/cop/bbs/BBSMSTR_000000000311/selectBoardArticle.do?nttId=23318 (2024.11.26. 검색)
54. NOAA GFDL,
<https://www.gfdl.noaa.gov/modeling-systems-group-public-releases/>(2024.10.15. 검색)
55. NOAA GFDL, <https://www.gfdl.noaa.gov/shield/>(2024.10.15. 검색)
56. cmcc,
<https://www.cmcc.it/what-we-do/institutes/institute-for-earth-system-predictions-iesp>
57. esiwace, <https://www.esiwace.eu/news/news/esiwace3-started>(2024.11.12. 검색)
58. esiwace, <https://www.hpccoe.eu/esiwace/>(2024.11.12. 검색)
59. PRIMAVERA, <https://noc.ac.uk/projects/primavera>(2024.10.15. 검색);
60. climateurope, <https://www.climateurope.eu/primavera/>(2024.11.13. 검색);
61. Horizon2020 프로젝트, <https://www.primavera-h2020.eu/about/project/>(2024.11.13. 검색)
62. 한국해양과학기술원 해양기후예측센터, <https://www.ocpc.kr/> (2024.11.26. 검색)
63. NOAA NWS,
<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/people/mchen/CFSv2FCST/monthly/>(2024.09.27. 검색)
64. NOAA NWS,
<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CFSv2/CFSv2seasonal.shtml>(2024.09.21. 검색)

65. ECMWF,
https://charts.ecmwf.int/products/seasonal_system5_standard_ssto?area=GLOB&base_time=202410010000&stats=tum&valid_time=202411010000(2024.10.07. 검색)
66. AMS, <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/27/6/jcli-d-12-00823.1.xml>(2024 09.29. 검색)
67. 일본 기상청,
https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/kaikyo/knowledge/move_jpn/tech_note.html(2024.09.27. 검색)
68. 국립기상과학원, http://www.nims.go.kr/?sub_num=1216 (2024.11.26. 검색)
69. NOAA NWS,
<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/people/mchen/CFSv2FCST/monthly/>(2024.09.27. 검색);
70. NOAA NWS,
<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CFSv2/CFSv2seasonal.shtml>(2024.09.21. 검색)
71. ECMWF,
https://charts.ecmwf.int/products/seasonal_system5_standard_ssto?area=GLOB&base_time=202410010000&stats=tsum&valid_time=202411010000(2024.10.07. 검색)
72. ECMWF,
https://charts.ecmwf.int/products/seasonal_system5_tstorm_density_anomaly?base_time=202409010000(2024.09.29. 검색)
73. 영국 기상청,
<https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/gpc-outlooks/el-nino-la-nina>(2024.09.27. 검색)
74. 아일랜드 기상청, <https://www.met.ie/forecasts/monthly-forecast> (2024.09.29. 검색)
75. 호주 기상청,
<http://www.bom.gov.au/oceanography/oceantemp/sst-outlook-map.shtml>(2024.09.29. 검색)
76. 호주 기상청,

- <http://www.bom.gov.au/oceanography/oceantemp/sst-outlook-map.shtml>(2024.09.29. 검색)
77. 호주 기상청,
<http://www.bom.gov.au/oceanography/oceantemp/sst-outlook-map.shtml>(2024.09.29. 검색)
78. 일본 기상청,
https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/kaikyo/knowledge/move_jpn/tech_note.html(2024.09.27. 검색)
79. 일본 기상청,
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/kaikyo/ocean/forecast/month.html>(2024.09.27. 검색)
80. 일본 기상청,
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/kaikyo/ocean/forecast/month.html>(2024.10.21. 검색)
81. 일본 기상청,
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/kaikyo/ocean/forecast/month.html>(2024.09.27. 검색)
82. NIWA,
<https://niwa.co.nz/climate-and-weather/sea-surface-temperature-update/sea-surface-temperature-forecast-august-2024-january-2025> (2024.09.22. 검색)
83. popular science, <https://www.popsci.co.kr/news/articleView.html?idxno=21052> (2024.10.08. 검색)
84. NOAA NESDIS,
https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/research/coral_bleaching_report.php
(2024.11.12. 검색)
85. 이데일리,
<https://m.edaily.co.kr/News/Read?newsId=02050006638925328&mediaCodeNo>(2024.10.13. 검색)
86. 조선일보,
https://www.chosun.com/national/transport-environment/2023/07/10/OM4OLEAHB NADPOUFKS6FLUALGI/?utm_source=zum&utm_medium=original&utm_campaign=news&cm=news_headline(2024.10.23. 검색)

87. 현대해양, <https://www.hdhy.co.kr/news/articleView.html?idxno=16773>(2024.10.13. 검색)
88. SKecoplant, <https://news.skecoplant.com/plant-tomorrow/15703/>(2024.10.13. 검색)
89. 디지털 비즈온,
<https://www.digitalbizon.com/news/articleView.html?idxno=2330655>(2024.10.13. 검색)
90. 한겨레 신문, www.hani.co.kr/arti/science/science_general/517655.html(2024.10.28. 검색)
91. Global Climate Observing System (GCOS),
<https://gcos.wmo.int/en/essential-climate-variables/>

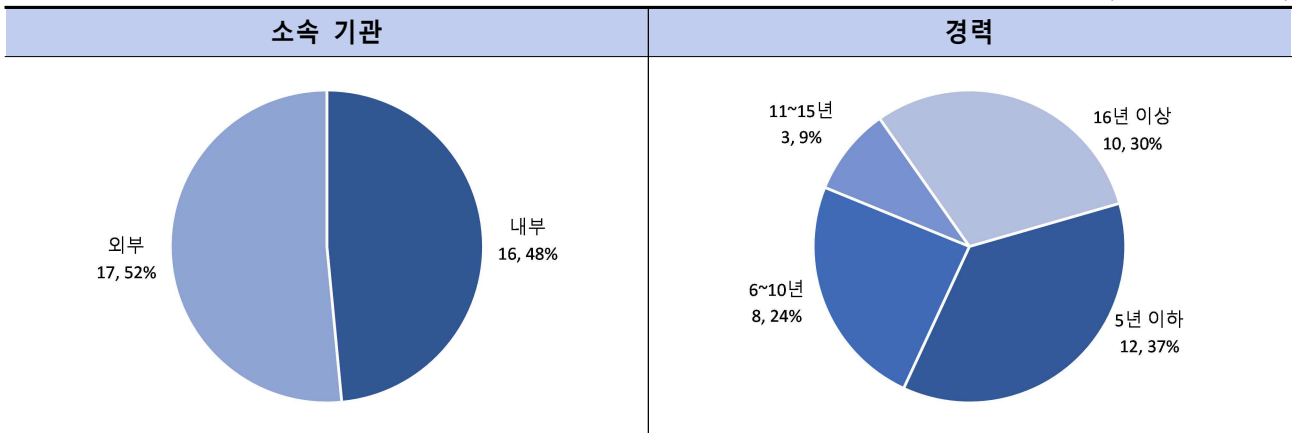
부록

부록1 해양기후예측 서비스 전략수립을 위한 전문가 설문조사

가. 조사 개요

- (목적) 해양기후예측 서비스 관련 기술 수준, 현황 수준, 전망 기간, ECVs, 연구개발의 중요성 및 시급성, 역량 수준 등에 대한 기상청 내외 전문가 의견 수렴
- (방법) 개인별 대면 및 서면 설문조사
- (기간) 2024년 8월 6일부터 23일
- (응답자) 33명, 기상청과 산하기관의 관련 분야 전문가 16명, 외부 전문가 17명

(단위: 명, 총 42명)



[그림 95] 정량조사 응답자 현황

- (주요 내용) 기술 수준, 현황 수준, 정보의 품질, 전망 기간, ECVs, 연구개발의 중요성 및 시급성, 역량 수준 등 11개 항목에 대한 구조화 설문
 - 해양기후예측 서비스에 대한 기술수준 조사 등 프레임 설계를 위한 기술 분류는 다음과 같음

<표 67> 해양기후예측 서비스 기술분류

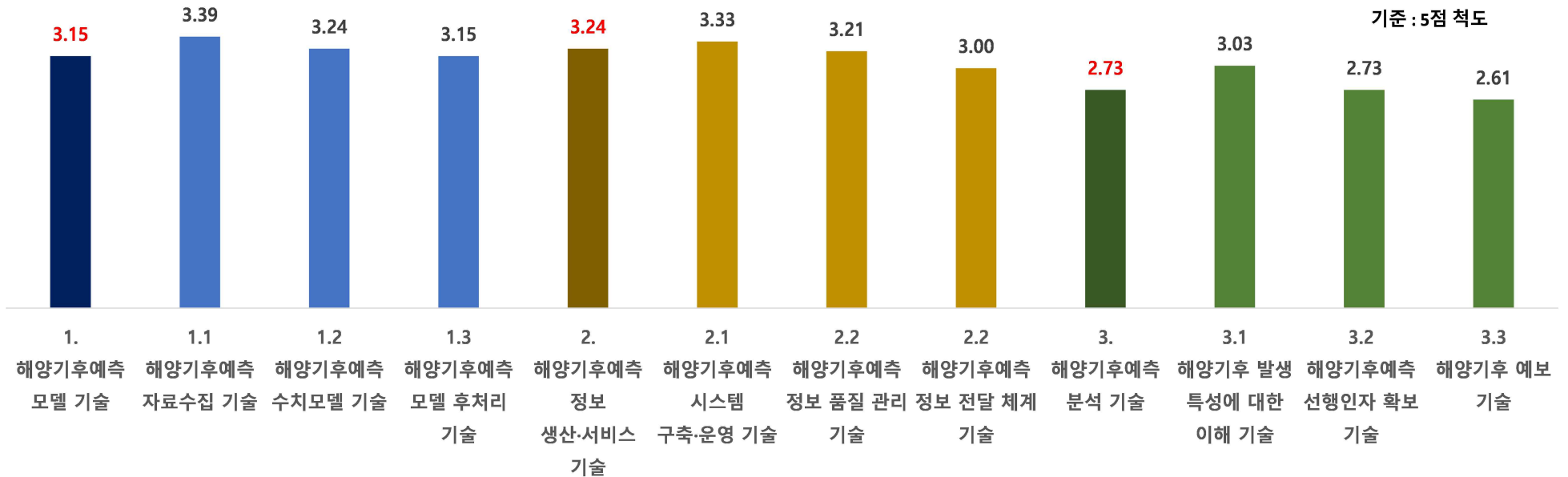
대분류(3)	중분류(9)	중분류 설명
1. 해양기후예측 모델 기술	1-1. 해양기후예측 자료수집 기술	예측모델 관련 관측·분석자료 수집 기술
	1-2. 해양기후예측 수치모델 기술	해양기후예측 모델(GloSea, 해양 접합 모델, 파랑 모델 등) 개발 기술
	1-3. 해양기후예측 모델 후처리 기술	해양기후예측 예보관 분석용 가이드선스 등 개발
2. 해양기후예측 정보 생산·서비스 기술	2-1. 해양기후예측 시스템 구축·운영 기술	예보관의 실황 및 모델 자료 분석을 위한 가시화 및 분석 툴 개발 기술
	2-2. 해양기후예측 정보 생산을 위한 품질 관리 기술	해양기후예측 정보의 생산을 위한 분석 및 정확도·품질 확보 관련 기술
	2-3. 해양기후예측 정보 전달 체계 기술	해양기후예측 정보의 제공 관련 해설, 소통, 매체, 수단 등 (예 : 장기 전망 해설서, 온라인 정보 시스템, 무선 팩스, 위성방송, 문자 등)
3. 해양기후예측 분석 기술	3-1. 해양기후 발생 특성에 대한 이해 기술	우리나라 해역에서 발생하는 현상의 원인·상관 관계 등 해양기후 발생 특성에 대한 이해
	3-2. 해양기후 예측을 위한 선행 인자 확보 기술	우리나라 해역의 해양기후 장기 예측을 위한 선행 인자 확보
	3-3. 해양기후 예보 기술	예보관이 기후예측모델 결과와 실황 감시, 예측 인자 등을 종합적으로 분석·활용하여 예보의 품질을 높이는 기술

나. 전문가 설문조사 세부 내용

□ 해양기후예측 서비스 기술 수준

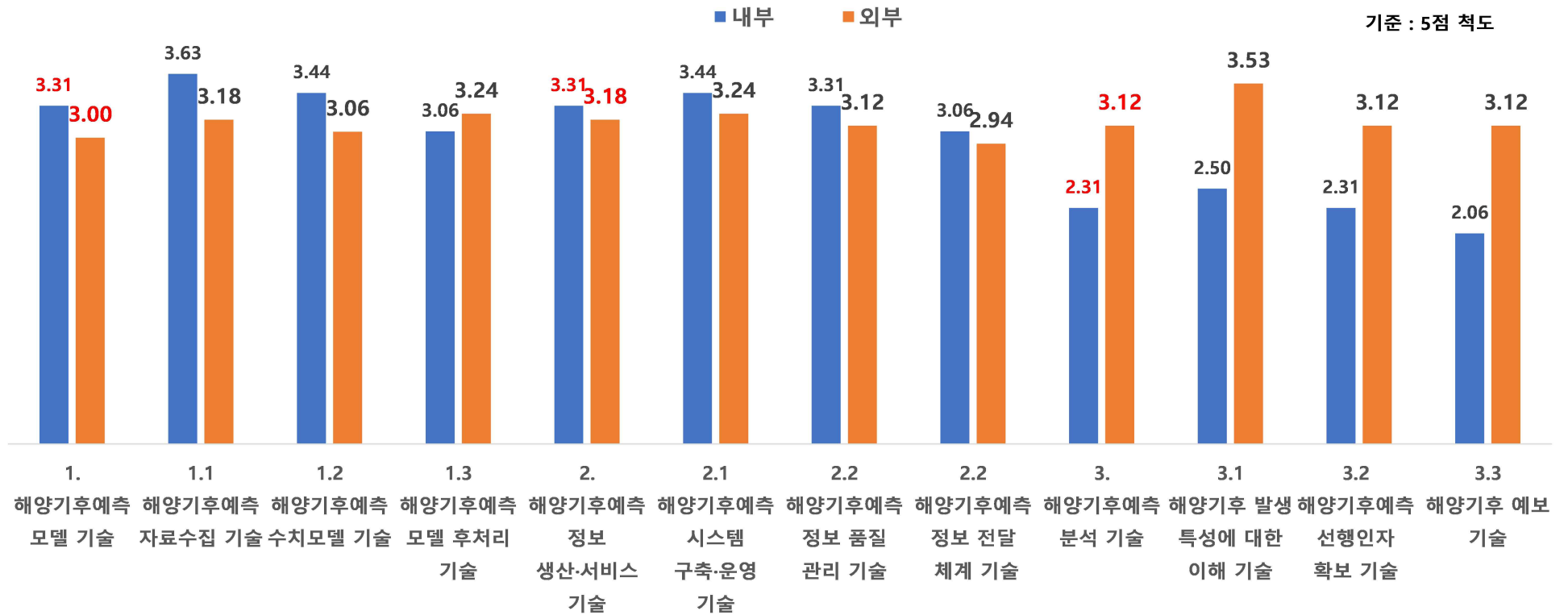
○ 해양기후예측의 선진국 대비 기술수준은 5점 척도 기준으로 해양기후예측 모델 기술 3.15점, 해양기후예측 정보 생산·서비스 기술 3.24점, 해양기후예측 분석 기술 2.73점으로 조사

- 해양기후예측 분석 기술이 2.73점으로 다른 기술에 비해 상대적으로 낮음 ⇒ 기상청의 강점인 분석 기술의 향상이 필요함



[그림 96] 해양기후예측 서비스 기술수준(종합)

○ 해양기후예측의 선진국 대비 기술수준에 대한 내·외부 전문가의 답변을 분석해 보면, 해양기후예측 분석 기술에서 외부 전문가의 점수가 내부 전문가보다 제일 큰 점수(0.81점)로 차이가 남

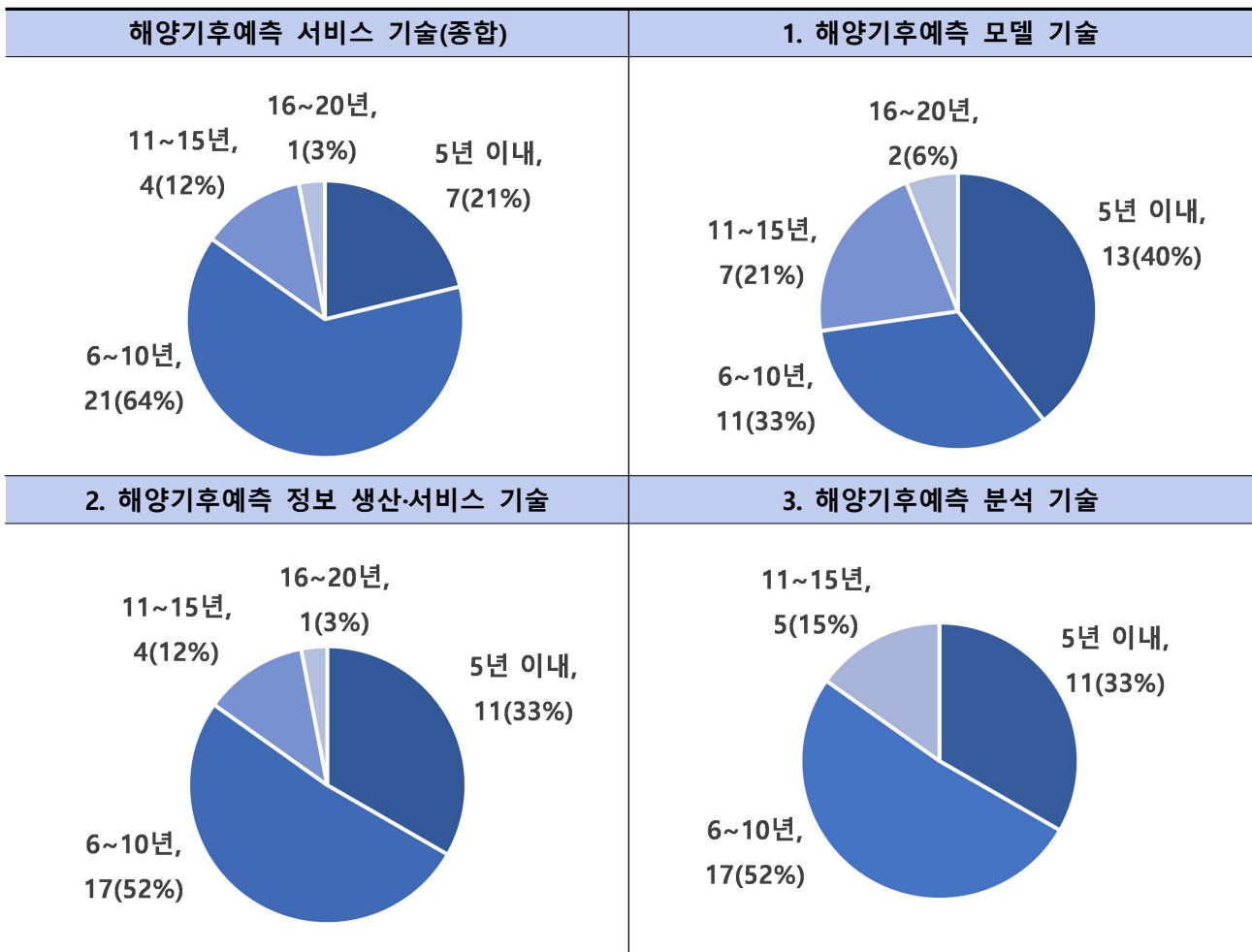


[그림 97] 해양기후예측 서비스 기술수준 ... 내·외부 전문가 평가 비교

□ 해양기후예측 서비스 기술격차

- 해양기후예측 서비스의 선진국 대비 기술격차는 10년 이내가 75%로 조사 됨.
 - 10년 이내라고 응답한 경우를 보면, 해양기후예측 모델 기술 73%, 해양기후예측 정보 생산·서비스 기술 85%, 해양기후예측 분석기술 85%
 - 선진국 대비 기술격차가 크지 않음

(단위 : 명)

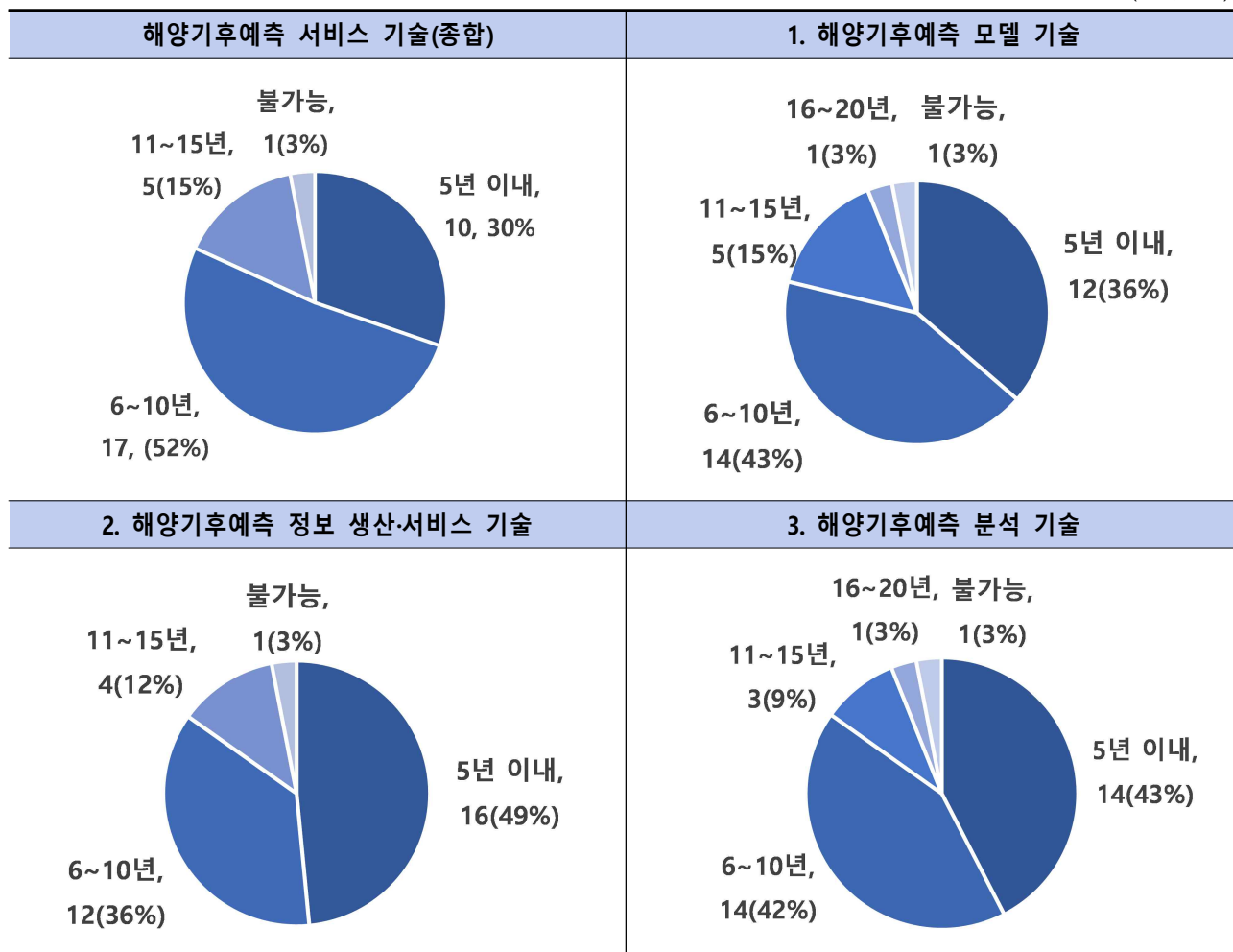


[그림 98] 선진국 대비 해양기후예측 서비스 기술격차

□ 기상청 내 육상기후예측 서비스 대비 해양기후예측 서비스의 기술격차는 10년 이내가 83%로 조사됨

- 10년 이내라고 응답한 경우를 보면, 해양기후예측 모델 기술 79%, 해양기후예측 정보 생산·서비스 기술 85%, 해양기후예측 분석기술 85%
- 해양기후예측 서비스는 육상기후예측 서비스기술 발전과 긴밀한 연관 관계가 있음

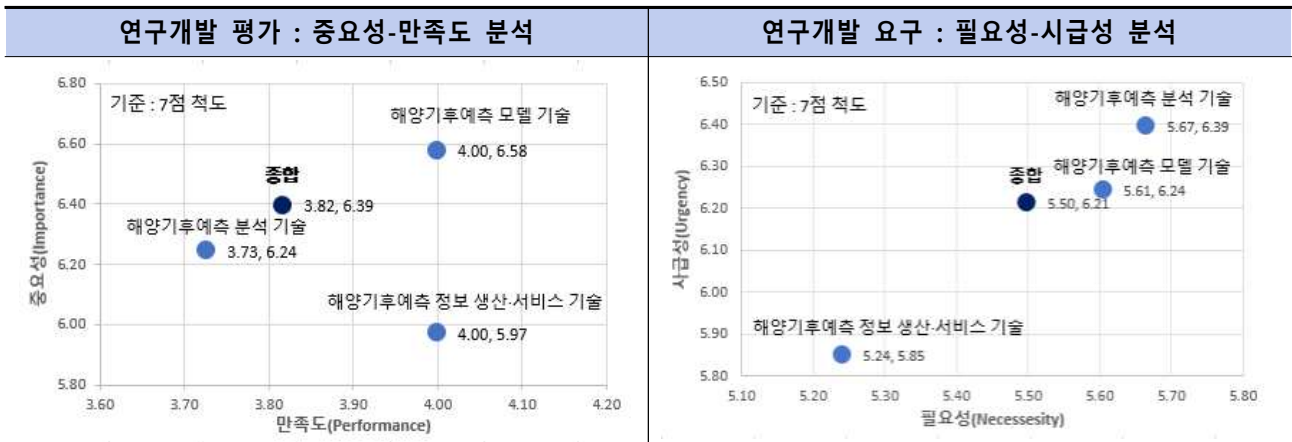
(단위 : 명)



[그림 99] 기상청 내 육상기후예측 대비 해양기후예측 서비스 기술격차

□ 해양기후예측 서비스 기술 개발 『중요성-만족도』, 『필요성-시급성』 분석

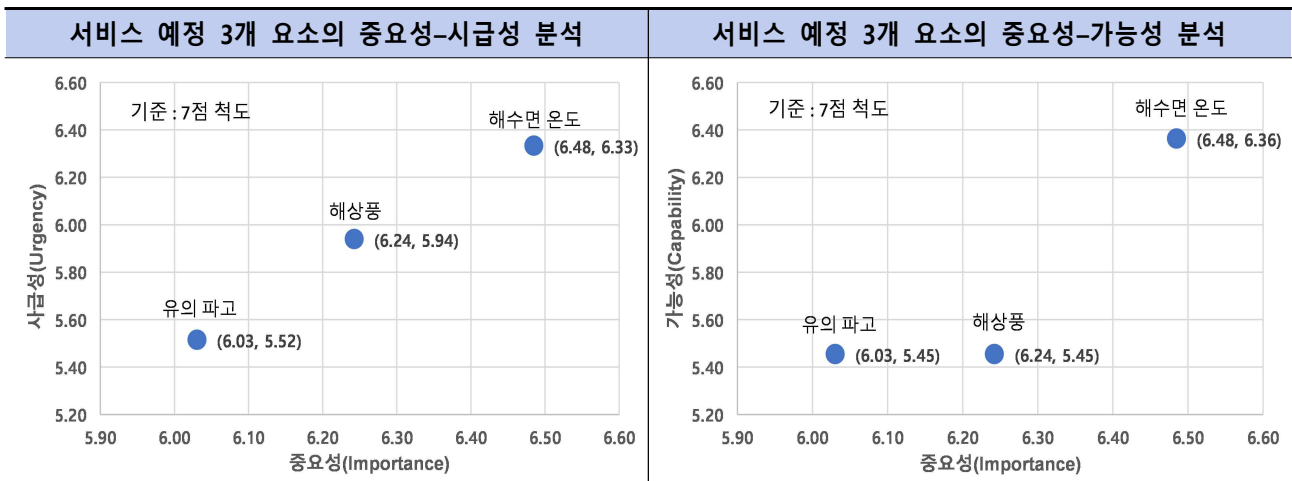
- 해양기후예측 서비스기술의 연구개발 평가·니즈를 중요성-시급성-가능성 측면에서 분석한 결과, 중요도의 종합 6.39에 비하여 성과도(만족도)는 3.82로 현저히 낮으며, 연구개발의 시급성은 5.50으로 높음
 - 연구개발의 우선순위 : ① 해양기후예측 분석기술 → ② 해양기후예측 모델 기술 → ③ 해양기후예측 정보 생산·서비스기술
 - 예보관 역량과 관련되는 ‘해양기후예측 분석기술 개발’의 시급성이 높음
- 해양기후예측 정보 품질에 미치는 영향(가중치) : 해양기후예측 모델 기술 41%, 해양기후예측정보 생산·서비스기술 24%, 해양기후예측 분석기술 35%,



[그림 100] 해양기후예측 서비스 기술 연구개발 평가·요구(IP·NU 분석)

□ 서비스 요소의 우선순위 검토

- 기상청의 기후예측시스템에서 산출되는 해양기후예측 요소에 대한 중요성-시급성-가능성을 비교한 결과, ① 해수면 온도 → ② 해상풍 → ③ 유의 파고 순으로 우선순위가 있는 것으로 조사됨
 - 특히, 해수면 온도는 중요성-시급성-가능성이 월등히 크므로, 가장 우선하여 추진해야 할 분야
 - 해상풍과 유의파고는 중요성과 시급성에 비해 가능성이 다소 낮아 기술개발 필요



[그림 101] 기후예측시스템에서 산출되는 요소의 우선순위 검토

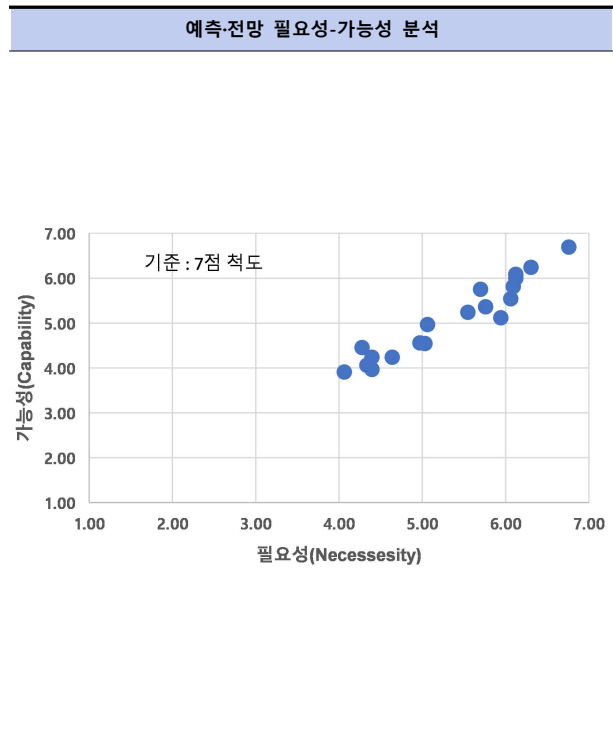
□ 해양기후변수(ECVs) 해양기후 예측·전망 서비스의 필요성/가능성 분석(종합)

- 해양기후예측 서비스 관련 주요 해양기후변수(ECVs) 19개(물리 부문 11개, 생지화학 부문 6개, 생태 부문 2개)에 대하여 필요성-가능성 분석을 수행하여 서비스 우선순위를 판단함

- 물리 부문 11개 요소가 생지 화학과 생태 부문보다 우선순위가 월등히 높음

<표 68> 해양기후변수(ECVs) 예측·전망 필요성-가능성 분석(종합)

해양기후변수(ECVs)		필요성	가능성	합계
물리	01 해수면 온도(Sea Surface Temperature)	6.76	6.70	13.45
	02 수심별 온도(Subsurface Temperature)	6.30	6.24	12.55
	03 해면 염분(Sea Surface Salinity)	6.12	6.09	12.21
	04 수심별 염분(Subsurface Salinity)	5.70	5.76	11.45
	05 표층 해류(Surface Currents)	6.09	5.82	11.91
	06 수심별 해류(Subsurface Currents)	5.76	5.36	11.12
	07 해수면 높이(Sea Level)	6.12	6.00	12.12
	08 해양 상태(Sea State)	5.55	5.24	10.79
	09 해면 저항(Surface Stress)	5.06	4.97	10.03
	10 해면 열속(Ocean Surface Heat Flux)	5.94	5.12	11.06
	11 해빙(Sea Ice)	6.06	5.55	11.61
생지 화학	12 용존 산소(Oxygen)	4.97	4.56	9.53
	13 영양염(Nutrients)	5.03	4.55	9.58
	14 용존 무기탄소(Inorganic Carbon)	4.64	4.24	8.88
	15 미량 추적 물질(Transient Tracers)	4.33	4.06	8.39
	16 용존 산화질소(Nitrous Oxide)	4.39	4.24	8.64
	17 해색(Ocean Colour)	4.27	4.45	8.73
생태	18 해양 서식지(Marine Habitats)	4.06	3.91	7.97
	19 부유 생물(Plankton)	4.39	3.97	8.36



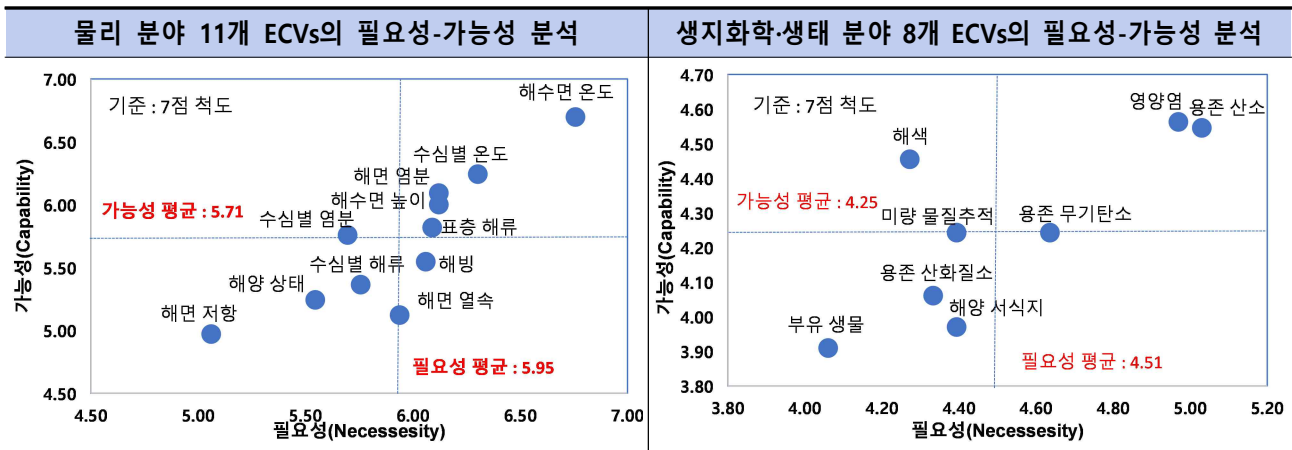
* 자료 : Global Climate Observing System (GCOS)(<https://acos.wmo.int/en/essential-climate-variables/>)를 참고하여 재정리

[그림 102] 해양기후변수(ECVs)

□ 해양기후변수(ECVs) 해양기후 예측·전망 서비스의 필요성/가능성 분석(세부)

○ 해양기후예측 서비스 관련 주요 해양기후변수(ECVs) 19개 중 물리 부문 11개 요소와 생지화학·생태 부문 8개에 대하여 필요성-가능성 분석을 수행하여 서비스 우선순위를 상대적으로 분석함

- 물리 부문의 우선순위 : ① 해수면 온도 → ② 수심별 온도 → ③ 해면 염분 → ④ 해수면 높이 → ⑤ 표층해류 등의 순
- 생지화학·생태 부문의 우선순위 : ① 영양염 → ② 용존 산소 → ③ 해면 염분 → ④ 용존 무기탄소 → ⑤ 해색 등의 순



[그림 103] 해양기후 예측·전망 서비스의 필요성/가능성 분석(분야별)

□ 해양기후변수(ECVs) 해양기후 예측·전망 서비스의 필요성/가능성 분석(우선순위)

○ 해양기후예측 서비스 관련 주요 해양기후변수(ECVs) 19개(물리 부문 11개, 생지화학 부문 6개, 생태 부문 2개)에 대하여 필요성-가능성 분석을 수행하여 서비스 우선순위를 판단함 (우측 표가 우선순위별로 나열한 것임)

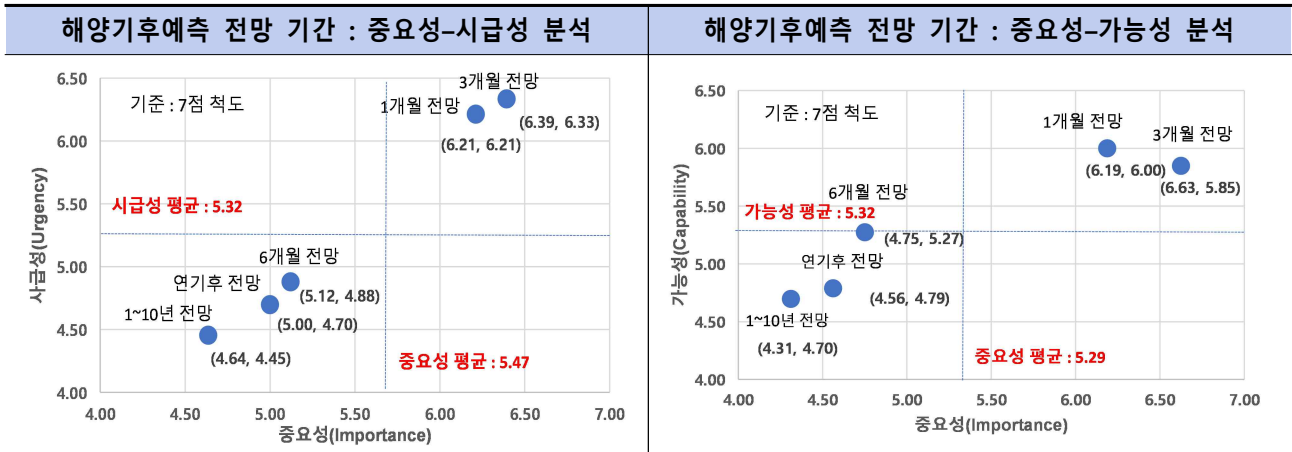
- 물리 부문의 11개 요소 모두가 생지화학과 생태 부문보다 우선순위가 상대적으로 높음

<표 69> 해양기후변수(ECVs) 예측·전망 우선순위 검토

해양기후변수(ECVs)		필요성	가능성	합계	순위	해양기후변수	필요성	가능성	합계
물리	01 해수면 온도(Sea Surface Temperature)	6.76	6.70	13.45	1	01 해수면 온도	6.76	6.70	13.45
	02 수심별 온도(Subsurface Temperature)	6.30	6.24	12.55	2	02 수심별 온도	6.30	6.24	12.55
	03 해면 염분(Sea Surface Salinity)	6.12	6.09	12.21	3	03 해면 염분	6.12	6.09	12.21
	04 수심별 염분(Subsurface Salinity)	5.70	5.76	11.45	4	07 해수면 높이	6.12	6.00	12.12
	05 표층 해류(Surface Currents)	6.09	5.82	11.91	5	05 표층 해류	6.09	5.82	11.91
	06 수심별 해류(Subsurface Currents)	5.76	5.36	11.12	6	물리 11 해빙(Sea Ice)	6.06	5.55	11.61
	07 해수면 높이(Sea Level)	6.12	6.00	12.12	7	04 수심별 염분	5.70	5.76	11.45
	08 해양 상태(Sea State)	5.55	5.24	10.79	8	06 수심별 해류	5.76	5.36	11.12
	09 해면 저항(Surface Stress)	5.06	4.97	10.03	9	10 해면 열속	5.94	5.12	11.06
	10 해면 열속(Ocean Surface Heat Flux)	5.94	5.12	11.06	10	08 해양 상태	5.55	5.24	10.79
	11 해빙(Sea Ice)	6.06	5.55	11.61	11	09 해면 저항	5.06	4.97	10.03
생지화학	12 용존 산소(Oxygen)	4.97	4.56	9.53	1	생지화학 13 영양염	5.03	4.55	9.58
	13 영양염(Nutrients)	5.03	4.55	9.58	2	12 용존 산소	4.97	4.56	9.53
	14 용존 무기탄소(Inorganic Carbon)	4.64	4.24	8.88	3	14 용존 무기탄소	4.64	4.24	8.88
	15 미량 추적 물질(Transient Tracers)	4.33	4.06	8.39	4	17 해색	4.27	4.45	8.73
	16 용존 산화질소(Nitrous Oxide)	4.39	4.24	8.64	5	16 용존 산화질소	4.39	4.24	8.64
	17 해색(Ocean Colour)	4.27	4.45	8.73	6	15 미량 추적 물질	4.33	4.06	8.39
생태	18 해양 서식지(Marine Habitats)	4.06	3.91	7.97	1	생태 19 부유 생물	4.39	3.97	8.36
	19 부유 생물(Plankton)	4.39	3.97	8.36	2	18 해양 서식지	4.06	3.91	7.97

□ 해양기후 예측·전망 기간 우선순위 검토

- 해양기후예측 전망 기간을 중요성-시급성-가능성으로 분석한 결과, ① 3개월 전망 → ② 1개월 전망 → ③ 6개월 전망 → ④ 연기후 전망 → ⑤ 1~10년 전망 순으로 우선순위가 있는 것으로 조사됨
- 3개월 전망이 가장 중요하고 시급하나, 가능성이 사소 낮아서 기술적 어려움이 있는 것으로 분석
- 5개의 전망 기간에 대한 상대적 우선순위에서 1분면에 위치한 3개월과 1개월이 현저히 높음

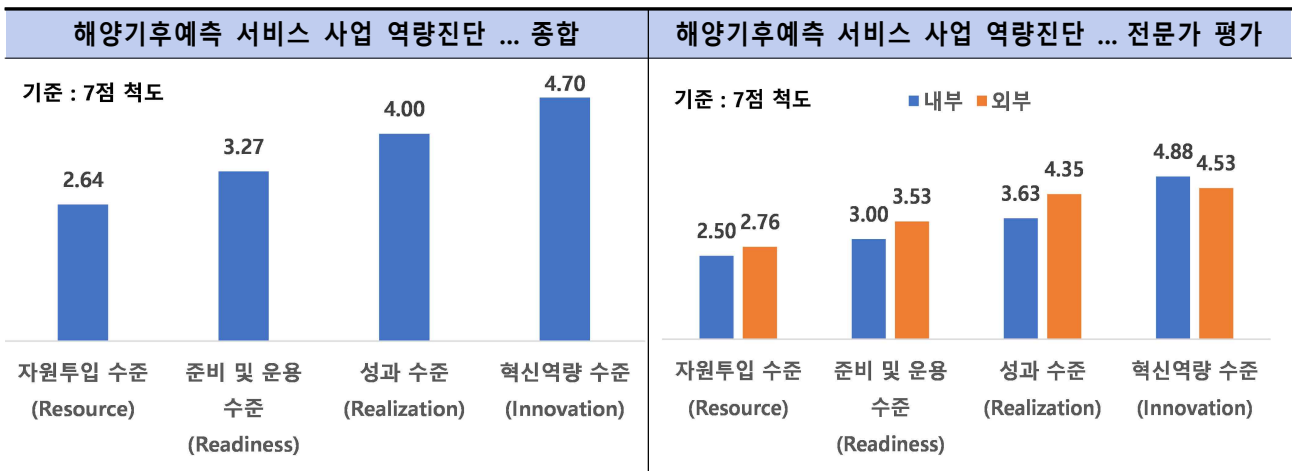


[그림 104] 해양기후예측 전망 기간

□ 해양기후예측 서비스 기술개발 역량

- 해양기후예측 서비스 기술개발 역량을 R3I* 기법으로 분석해 보면, 정부가 이 분야 기술개발에 투입한 자원(Resource) 투입 수준 2.64점, 준비·운용(Readiness)수준 3.27점, 성과(Realization) 수준 4.00점, 혁신역량 수준은 4.70점으로 조사
 - 투자된 자원 투입에 비하여 운용, 성과, 혁신 수준이 상대적으로 높아서, 적절한 투자가 이루어지면 상당히 높은 성과가 기대됨(연구개발의 효율성이 높은 분야로 평가될 수 있음)

* R3I : 자원 투입 수준(Resource), 준비·운용수준(Readiness), 성과수준(Realization), 혁신역량 수준(Innovation)



[그림 105] 해양기후예측 서비스 기술개발 역량

다. 전문가 설문조사 문항

1. 해양기후예측 서비스 기술 수준 및 격차에 대한 의견

설문1. [해양기후예측 서비스에 대한 기술수준 평가]

해양기후예측 분야의 국내 기술 수준에 대해 5점 척도와 선진국 대비 기술수준(%)로 평가해 주십시오. 아래 표에서 **대분류 및 중분류 기술**에 대하여 답해 주십시오.

* (정의) 해양기후예측 서비스 : 1개월, 3개월, n개월 단위의 해양기후 예측 관련 정보 서비스

* 5점 척도

척도	세부내용	척도	세부내용
5	세계 최고 수준 성과로 새로운 분야를 개척하였거나 문제해결 등에 기여할 수 있는 획기적인 지식 또는 기술 등을 확보	2	국내의 통상적인 기술수준 또는 그에 상응하는 성과 창출
4	세계적 수준 또는 국내 최고이상의 성과로 국내 기술적 수준을 한 단계 상승시킬 수 있는 지식 또는 기술 등을 확보	1	국내의 통상적인 기술수준 이하 또는 그에 상응하는 성과 창출
3	국내 최고 수준 또는 그에 상응하는 성과 창출	-	-

대분류(3)	중분류(13)	중분류 설명
1. 해양기후예측 모델 기술 (),(%)	1-1. 해양기후예측 자료수집 기술 (), (%)	예측모델 관련 관측·분석자료 수집 기술
	1-2. 해양기후예측 수치모델 기술 (), (%)	해양기후예측 모델(GloSea, 해양 접합 모델, 파랑 모델 등) 개발 기술
	1-3. 해양기후예측 모델 후처리 기술 (), (%)	해양기후예측 예보관 분석용 가이던스 등 개발
2. 해양기후예측 정보 생산·서비스 기술 (),(%)	2-1. 해양기후예측 시스템 구축운영 기술 (), (%)	예보관의 실황 및 모델 자료 분석을 위한 가시화 및 분석 툴 개발 기술
	2-2. 해양기후예측 정보 생산을 위한 품질 관리 기술 (),(%)	해양기후예측 정보의 생산을 위한 분석 및 정확도·품질 확보 관련 기술
	2-3. 해양기후예측 정보 전달 체계 기술 (),(%)	해양기후예측 정보의 제공 관련 해설, 소통, 매체, 수단 등 (예시: 장기전망 해설서, 온라인 정보시스템, 무선팩스, 위성방송, 문자 등)
3. 해양기후예측 분석 기술 (),(%)	3-1. 해양기후 발생 특성에 대한 이해 기술 (),(%)	우리나라 해역에서 발생하는 현상의 원인·상관관계 등 해양기후 발생 특성에 대한 이해
	3-2. 해양기후예측을 위한 선행인자 확보 기술 (),(%)	우리나라 해역의 해양기후 장기 예측을 위한 선행인자 확보
	3-3. 해양기후 예보 기술 (),(%)	예보관이 기후예측모델 결과와 실황 감시, 예측 인자 등을 종합적으로 분석·활용하여 예보의 품질을 높이는 기술

설문2. [선진국 대비 기술격차]

현재 해양기후예측 서비스 분야의 기술발전 속도를 고려할 때, 향후 몇년 내 이 분야 국내 기술이 세계 최고 기술수준에 도달할 것으로 예측하십니까?

예시) ① 5년 이내 ② 6~10년 ③ 11~15년 ④ 16~20년 ⑤ 불가능

대분류 항목	기술격차
1. 해양기후예측 모델 기술	① ② ③ ④ ⑤
2. 해양기후예측 정보 생산·서비스 기술	① ② ③ ④ ⑤
3. 해양기후예측 분석 기술	① ② ③ ④ ⑤
전체 종합	① ② ③ ④ ⑤

설문3. [기상청 내 육상 기후예측 대비 기술격차]

현재 해양기후예측 서비스 분야의 기술발전 속도를 고려할 때, 향후 몇년 내 이 분야의 기술이 기상청의 육상의 기후예측과 동일한 기술 수준에 도달할 것으로 예측하십니까?

예시) ① 5년 이내 ② 6~10년 ③ 11~15년 ④ 16~20년 ⑤ 불가능

대분류 항목	기술격차
1. 해양기후예측 모델 기술	① ② ③ ④ ⑤
2. 해양기후예측 정보 생산·서비스 기술	① ② ③ ④ ⑤
3. 해양기후예측 분석 기술	① ② ③ ④ ⑤
전체 종합	① ② ③ ④ ⑤

설문4. [현재 해양기후예측 정보 품질 향상에 미치는 영향(가중치) 판단]

해양기후예측 정보의 품질을 향상에 미치는 영향 정도를 퍼센트(%) 비율로 직관적으로 평가해 주십시오.

대분류 항목	영향 정도(가중치 %)
1. 해양기후예측 모델 기술	
2. 해양기후예측 정보 생산·서비스 기술	
3. 해양기후예측 분석 기술	
전체 종합 (가중치 합)	100%

설문5. [현재 해양기후예측 정보 품질 만족도 및 개선 필요성]

기상청에서는 제공하고 있는 해양기후예측 정보의 품질에 대한 중요성, 필요성, 만족도, 시급성을 7점 척도로 직관적으로 평가해 주십시오.

해양기후 예측정보의 품질	중요성 (Importance)	만족도 (Performance)	필요성 (Necessity)	개선 시급성 (Urgency)
1. 예측 정보의 충분성 (Sufficiency)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
2. 예측 정보의 신뢰성 (Reliability)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
3. 예측 서비스의 안정성 (Stability)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
4. 예측 정보의 활용성 (Usability)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

* 만족도 : 현재 기술 성과에 대한 만족 정도

중요성 : 국가 및 산업발전을 위한 기술개발의 필요성 정도

필요성 : 기술 확보가 필요한 정도

시급성 : 기술 확보가 시급한 정도

* 7점 척도 : 1(매우 낮음), 2(낮음), 3(다소 낮음), 4(보통), 5(다소 높음), 6(높음), 7(매우 높음)

II. 해양기후예측 서비스 분야의 연구개발 중요성 및 시급성

설문6. [해양기후예측 서비스 분야 연구개발의 중요성-필요성-만족도-시급성 평가]

해양기후예측 서비스 분야 연구개발의 단계별 중요성(Importance)과 필요성(Necessity), 만족도(Performance), 개선 시급성(Urgency)은 어느 정도라고 생각하십니까? 아래 표에서 7점 척도 기준으로 상대적 값으로 응답해 주십시오.

* 7점 척도 : 1(매우 낮음), 2(낮음), 3(다소 낮음), 4(보통), 5(다소 높음), 6(높음), 7(매우 높음)

대분류 항목	중요성 (Importance)	만족도 (Performance)	필요성 (Necessity)	개선 시급성 (Urgency)
1. 해양기후예측 모델 기술	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
2. 해양기후예측 정보 생산·서비스 기술	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
3. 해양기후예측 분석 기술	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
전체 종합	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

설문7. [해양기후예측 서비스 기술개발 역량]

국내 해양기후예측 서비스 기술개발에 대한 자원 투입(Resource), 운용(Readiness), 성과(Realization), 혁신역량(Realization) 수준은 국내 여타 분야 혹은 해외와 비교시 상대적으로 어떠한 수준인지 7점 척도로 직관적으로 평가해 주십시오.

* 7점 척도 : 1(매우 낮음), 2(낮음), 3(다소 낮음), 4(보통), 5(다소 높음), 6(높음), 7(매우 높음)

구분	설명	평가
(Resource) 기술개발을 위한 자원투입 수준	국내 기상정보 서비스 기술개발에 대한 예산 투자, 조직구성 및 인력 규모, 법·제도 구비, 장비·인프라 구축 등 투자 수준	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
(Readiness) 기술개발의 준비 및 운용 수준	인력의 전문역량, 법·제도 운용, 장비 및 인프라 활용성, 조직문화의 자율성/탄력성 등 수준	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
(Realization) 기술개발 성과 수준	경제·산업 기여도, 연구성과 활용도, 과학기술 발전, 국가 브랜드 향상 등의 성과 수준	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
(Innovation) 기술개발 혁신역량 수준	관련 분야의 미래 환경변화에 대한 인식, 자기 계발 및 학습 노력, 혁신 의지, 혁신추진 역량 등 혁신역량 수준	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

III. 해양기후예측 서비스 형태에 대한 의견

설문8. [해양기후예측 서비스 전망 기간의 우선순위]

기상청은 해양기후예측 서비스를 3개월 전망('25년~), 1개월 전망('29년~)의 순서로 시행할 계획입니다. 해양기후예측정보 서비스의 전망 기간에 대한 우선 순위를 1~5로 평가하고, 필요성, 기술적 실현 가능성에 대해 7점 척도로 직관적으로 평가해 주십시오.

* 7점 척도 : 1(매우 낮음), 2(낮음), 3(다소 낮음), 4(보통), 5(다소 높음), 6(높음), 7(매우 높음)

전망 기간	우선 순위 (1~5)	필요성		기술적 실현 가능성
		중요성	시급성	
3개월 전망		① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
1개월 전망		① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
6개월 전망		① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
연기후 전망		① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
1~10년 전망		① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

설문9. [해양기후예측 서비스 제공 요소의 우선순위]

기상청은 해양기후예측 서비스를 해수면온도('25년~), 유의파고 또는 해상풍('27년~)의 순서로 시행할 계획입니다. 해양기후예측 서비스의 제공 요소에 대한 우선순위를 1~3으로 평가하고, 필요성, 기술적 실현 가능성에 대해 7점 척도로 직관적으로 평가해 주십시오.

제공 요소	우선순위 (1~3)	필요성		기술적 실현 가능성
		중요성	시급성	
해수면온도		① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
해상풍		① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
유의파고		① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
기타	(기타 중요한 요소에 대해 우선순위를 정하여 작성해 주십시오.)			

설문10. [해양기후 예측을 위한 해양기후변수 요소 우선순위]

전문가께서 알고 계시는 IPCC지정 핵심 해양기후변수(ECVs)에 대해 공급/수요의 필요성과 기술적 가능성을 직관적 7점 척도로 평가해 주십시오.

- * (정의) 필요성 : 공급/수요의 관점에서 해양기후 예측을 위한 정보의 필요성
- * (정의) 가능성 : 현재의 제공할 수 있는 기술적 가능성

IPCC 지정 핵심 해양기후변수(ECVs)의 필요성/가능성

구분	변수명	필요성	가능성
물리 (Physics)	1 해수면온도(Sea Surface Temperature)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
	2 수심별 온도(Subsurface Temperature)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
	3 해면 염분(Sea Surface Salinity)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
	4 수심별 염분(Subsurface Salinity)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
	5 표층 해류(Surface Currents)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
	6 수심별 해류(Subsurface Currents)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
	7 해수면높이(Sea Level)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
	8 해양상태(Sea State)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
	9 해면 저항(Surface Stress)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
	10 해면 열속(Ocean Surface Heat Flux)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
	11 해빙(Sea Ice)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
생지화학 (Biogeo-Chemistry)	1 용존산소(Oxygen)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
	2 영양염(Nutrients)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
	3 용존무기 탄소(Inorganic Carbon)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
	4 미량추적 물질(Transient Tracers)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
	5 용존산화질소(Nitrous Oxide)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
	6 해색(Ocean Colour)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
생태 (Biology/Ecosystems)	1 해양 서식지(Marine Habitats)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
	2 부유생물(Plankton)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

<참고> IPCC 지정 핵심 해양기후변수(ECVs)의 종류

구분	변수명	구분	변수명
물리 (Physics)	해수면온도(Sea Surface Temperature)	생지화학 (Biogeo-Chemistry)	용존산소(Oxygen)
	수심별 온도(Subsurface Temperature)		영양염(Nutrients)
	해면 염분(Sea Surface Salinity)		용존무기 탄소(Inorganic Carbon)
	수심별 염분(Subsurface Salinity)		미량추적 물질(Transient Tracers)
	표층 해류(Surface Currents)		용존산화질소(Nitrous Oxide)
	수심별 해류(Subsurface Currents)		해색(Ocean Colour)
	해수면높이(Sea Level)	생태 (Biology/Ecosystems)	해양 서식지(Marine Habitats)
	해양상태(Sea State)		부유생물(Plankton)
	해면 저항(Surface Stress)		
	해면 열속(Ocean Surface Heat Flux)		
	해빙(Sea Ice)		

설문11. [‘해양기후예측 서비스’에 대한 의견]

해당분야의 연구개발과 서비스 및 활용 관점에서 이슈·문제점, 개선방안, 연구개발 주제 등을 자유롭게 서술해 주십시오.

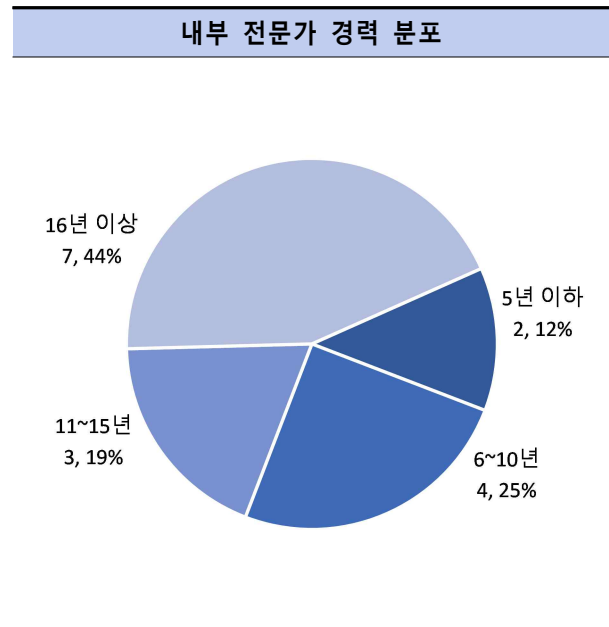
부록2 전문가 인터뷰

가. 개요

- (목적) 해양기후예측 서비스의 업무체계 및 서비스 형태 구체화를 위한 기상청 및 소속·산하기관 전문가(keyman)의 현장 의견 수렴
- (방법) 개인별 설문 조사와 대면 심층 인터뷰 병행
- (기간 및 장소) 2024년 8월 6일부터 13일까지 총 8일 / 근무지
- (주요 내용) 서비스 형태, 기술 제반 사항, 업무 체계 등
- (응답자) 33명, 기상청과 산하기관의 관련 분야 전문가 16명

<표 70> 전문가 심층인터뷰 응답자 현황

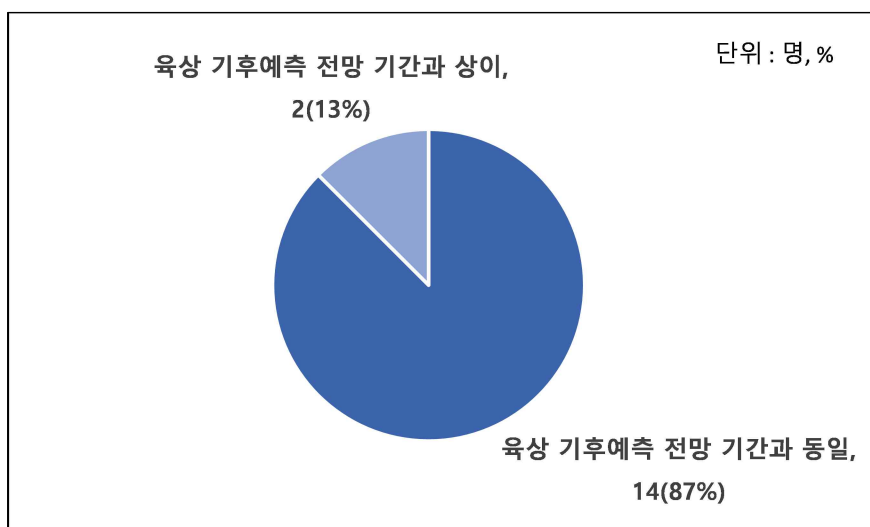
소속 기관 및 근무 부서			전문가 수
기상청	기후과학국	해양기상과	1
		기후예측과	4
		기후변화감시과	1
		수문기상팀	1
	예보국	예보정책과	2
국립기상과학원	기후연구부	2	
	기후변화예측연구팀	1	
APEC기후센터	예측운영과	2	
	기후분석과	1	
	예측기술과	1	
합계			16



나. 전문가 심층인터뷰 세부 내용

□ 해양기후예측 서비스 전망기간

- 해양기후예측 서비스를 위하여 전망 기간 및 체계에 대하여 전체 응답자 중 14명(87%)이 육상기후예측과 전망 기간이 동일해야 한다고 답변함



[그림 106] 해양기후예측 서비스 전망 기간 답변 분포

○ 전문가 의견 요약

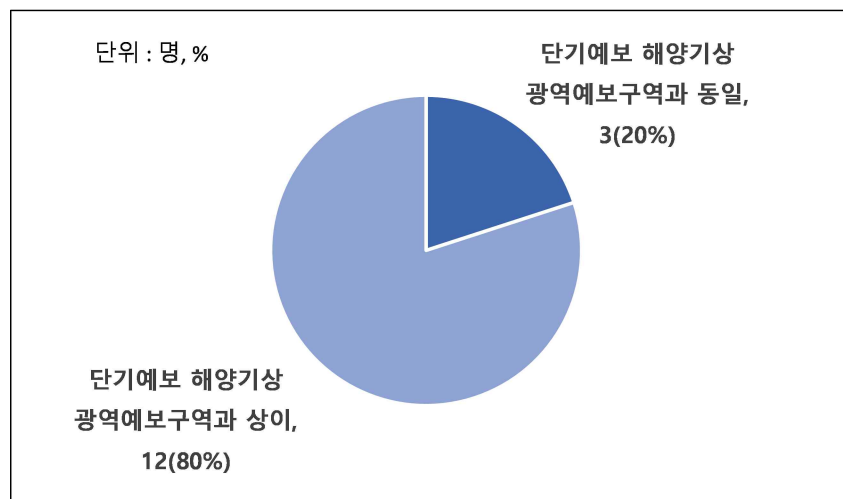
- 생산자 측면에서 전망 기간이 같아야 하는 이유
 - 예측 기간의 단위가 같아야 기술개발에 용이
 - 같은 모델에서 생산되므로 기간도 동일함
- 수요자 측면에서 전망 기간이 같아야 하는 이유
 - 전망 기간이 다르면 사용자의 혼란이 우려되고, 통보문 등 전체 체계는 같은 방향이어야 함
 - 단기/중기예보 틀 안에서 육상/해상이 동일한 형식으로 제공
- 전망 기간이 달라야 하는 이유(일부 의견)
 - 수요자/활용 분야가 다르므로 반드시 동일할 필요는 없음

○ 의견종합

- 기존 서비스(육상기후예측)와 동일한 기준으로 시작하여 향후 해양기후예측 서비스의 전문적 필요성에 의해 확대하는 것이 바람직함
- (참고) 가뭄 전망의 경우도 기후 전망과 같은 기간 체계로 진행 중

□ 해양기후예측 서비스 대상 구역

- 해양기후예측 서비스의 대상 구역에 대하여 전체 응답자 중 12명(80%)이 단기예보 해양기상 광역예보구역과 상이하야 한다고 답변함



[그림 107] 해양기후예측 서비스 대상 구역 답변 분포

○ 전문가 의견 요약

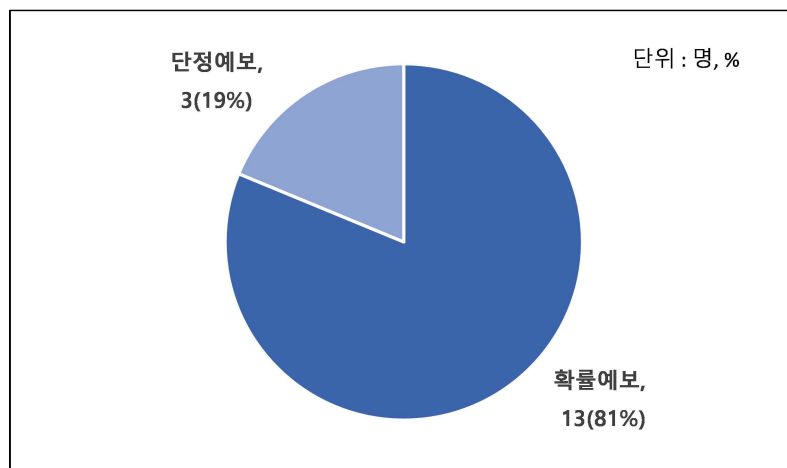
- 서비스 예보 구역을 달리해야 하는 이유
 - 현재보다 큰 해역으로 나누는 것이 좋음
 - 범위가 훨씬 확장되어야 하고, 통계적 상관성이 높은 지역은 묶는 것이 바람직함
 - 예측은 예보와 달리 데이터 양이 비교가 안될 정도로 크기 때문에 세밀한 공간 분할은 기술적으로 한계가 있음
 - 시간의 틈이 커지면 공간적인 틈도 커져야 함.
 - 서해, 남해, 동해 그리고 더 나누어 6~7개 구역이 좋을 것 같음
 - 해상은 경계가 없으므로 상세 정보에 어려움이 있을 수 있음
- 서비스 예보구역을 동일하게 해야 하는 이유
 - 동일하게 할 수 있으면 일관성 측면에서 좋음
 - 수요자 입장에서는 표준화된 것을 선호함

○ 의견 종합

- 통계적 상관성이 높은 구역을 나누는 연구가 필요하고, 타임 스케일에 맞는 영역으로 묶어야 함
- 향후 예측 성과가 확인된 이후 예보 구역을 보다 세밀화하면 됨

□ 해양기후예측 서비스 정보의 형태

- 해양기후예측 서비스 정보의 형태에 대하여 전체 응답자 중 13명(81%)이 확률예보가 적절하다고 답변함



[그림 108] 해양기후예측 서비스 정보의 형태 답변 분포

○ 전문가 의견 요약

- 확률예보가 적절한 이유

- 확률예보가 앞선 기술이고, 기술적으로 좋은 방법
- 기술적으로 앙상블이 하나밖에 없을 때는 단정예보가 가능하지만, 4개 이상 분석이 진행되기 때문에 확률예보가 당연함
- 예측 기술의 신뢰도, 수준을 고려하면 합리적인 방법
- 확률예보는 수요자가 이해하기 어려움이 있고 별도의 해설이 필요함

- 단정예보가 적절한 이유

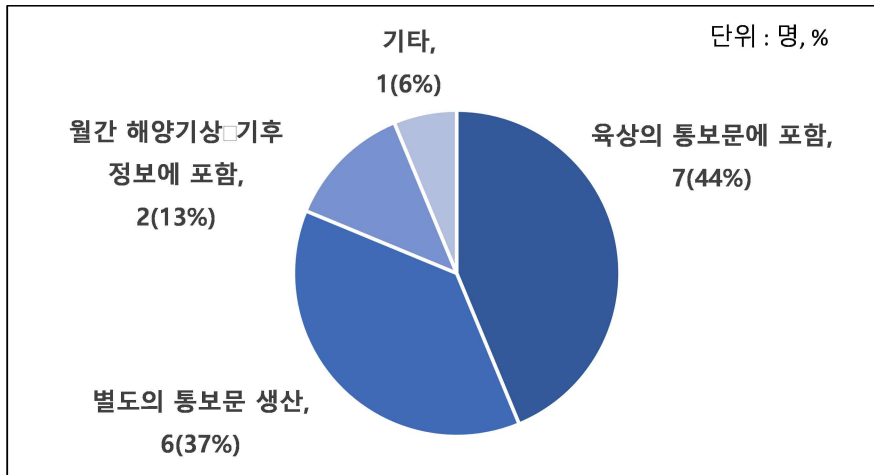
- 고수온은 특정값(임계값)이 중요하기 때문에 특정분야(고수온, 바람)은 단정예보가 필요
- 단정예보가 가능할 정도라면 직관적으로 좋음
- 단정예보는 직관적이지만 예측오차를 고려하기 쉽지 않고 Risk가 있음
- 확률예보의 경우 요소에 따라 유의미한 정보를 제공하기 어려울 수 있으므로 사전 분석 필요

○ 의견 종합

- 확률예보 시, 사용자 불편을 고려하여 좀 더 정확한 정보를 생산해야 하고, 해수면 온도는 기상청 외부 서비스와 차별성이 있어야 함

□ 해양기후예측 서비스 제공 방식

- 해양기후예측 서비스 정보의 제공 방식에 대하여 전체 응답자 중 7명(44%)이 육상의 통보문에 포함이 적절하다고 답변하였으나, 별도의 통보문을 생산해야 한다는 답변도 6명(37%)으로 많음



[그림 109] 해양기후예측 서비스 정보의 제공 방식 답변 분포

○ 전문가 의견 요약

- 육상 통보문에 해양기후예측 포함이 적절하다고 답변한 경우
 - 육상과 해양정보를 한눈에 볼 수 있는 장점이 있으며, 명확한 정보로 간략하게 구성이 필요
 - 육상, 해상 같은 국가 영토인데 따로 생산하는 것도 문제임
 - 현 체계를 유지해서 강화하는 방안이 적절하다고 생각함
- 별도의 통보문이 적절하다고 답변한 경우
 - 육상 통보문에 포함하면, 해양예보가 뒤에 묻혀버릴 수 있음
 - 육상에 첨부하는 형태로 가면 아무도 모를 것임
 - 각기 다른 부서의 사람이 생산하는 것이므로 별도 생성 필요
 - 육상과 합치는 경우, 통보문이 길어져서 가독성이 떨어짐
 - 육상과 해상의 수요자는 다르다. 수요자에 맞추어 별도 생산하는 것이 좋을 것임

○ 의견 종합

- 답변자의 전반적인 견해는 처음에 사용자의 반응 및 수요자의 요구를 파악하기 위하여 별도의 제공방식으로 시작해서 추후 통합하는 것을 고려
- 서비스를 생산하는 입장과 수요자의 입장을 고려하여 적절한 방법을 찾아야 함
- 통보문을 별도로 생산해도 육상과 같은 발표 시기를 유지해야 함

□ 연구 및 기술개발

○ 전문가 의견 요약

- 기존 모델의 앙상블 체계를 확대해야함
 - 해수면 온도는 4개에서 30개~60개로 늘려야 하며, 장기파랑모델도 앙상블 체계 구축 필요
 - 해양기후예측 요소에 대한 기후장 생산도 확률 체계로 개선 필요
- 모델 간 결합 강화 등 기후예측시스템 개선 필요
 - 바람과 파랑의 상호작용을 고려하기 위한 결합모델이 필요하며, 단기예보 뿐만 아니라 장기 예보에서도 bias를 바로 잡는 데 중요
 - EnKF 등 결합 자료동화를 위한 기술 적용 검토
 - 파랑모델 등 우리의 독자적인 모델이 필요함
- 연구를 통한 다양한 선행인자 확보 및 현상의 원인 규명
 - 대기의 고/저기압 순환에 따라 해상풍과 파고의 양상이 달라지므로 이에 대한 연구 필요
 - ENSO, PDO 등 큰 규모의 기후변동성이 선행인자로 활용 가능할 것으로 보임
 - 해류가 수온, 해상풍에 영향을 주는 경우가 있으므로 ARGO 등을 활용해 연구
 - 쿠로시오 해류에 대한 연구 필요
 - 해빙에 대한 연구 필요
- 예보관 분석에 활용할 수 있는 가이드선스 개발
 - 시스템은 지금도 잘 되어있으며, 통계/AI 등 모델 후처리 기술을 활용한 가이드선스 개발 필요
 - 전 지구적 인자를 분석·판단해야하므로 숙련된 예보관 양성하며 예보관의 분석기술도 개발
 - 모델 생산 자료와 관측자료에 대한 꾸준한 연구와 해당 분야의 인력 양성 필요
 - 기존 논문을 분석하여 예보에 활용할 수 있도록 체계화 또는 정량화하는 과정 필요

□ 외부 전문가 협력체계

○ 전문가 의견 요약

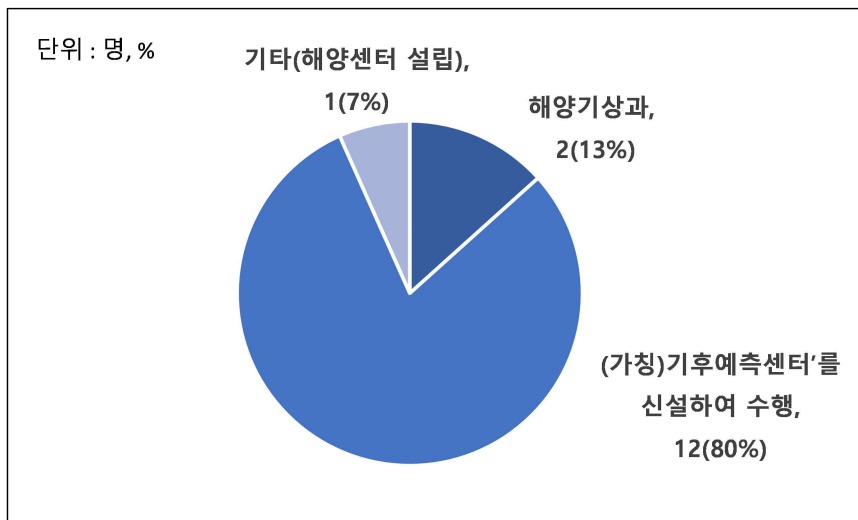
- 해양에 관한 데이터 확보를 위해 국내외 기관과의 교류 및 협력 중요
 - 재분석 자료의 분석을 위해 해류 흐름에 대한 관측자료 확대
 - 프랑스 아비소(AVISO) 연구소와의 자료 공유 협력 필요
- 대학 및 연구소 등 외부 전문인력과의 교류 추진
 - 한정된 인력과 예산을 극복하기 위해 외부 전문인력과의 협력을 통해 시너지 창출
- 해양기후예측 전문회의 필요
 - 해양기후예측 전문가 회의를 별도로 하고 육상과의 정기적 협력도 필요

□ **예상수요 및 활용 분야 확대**

- 양식·수산업, 해운업, 풍력·파력 등 에너지 산업 등의 수요가 높을 것으로 예상
- 육·해상 단기예보 및 육상 장기예보의 분석자료로 활용될 수 있으며, 예보관의 분석 강화 및 예측정확도 향상에도 기여하는 등 선순환 가능
- 향후 어업, 양식업, 해운업, 에너지 산업 등 활용 분야 맞춤형 정보의 제공 필요

□ **해양기후예측 서비스 정보의 조직·인력 및 업무체계**

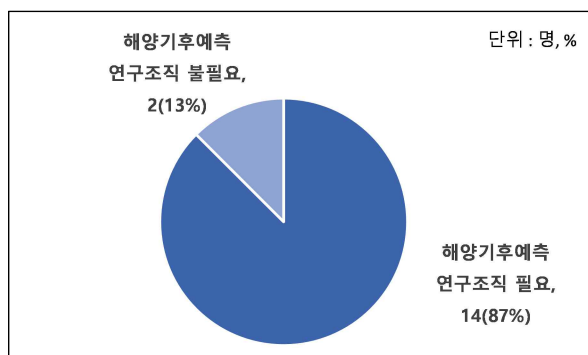
- 해양기후예측 서비스 정보의 조직·인력·예산에 대하여 전체 응답자 중 12명(80%)이 (가칭)기후예측센터의 신설이 필요하다고 응답함



[그림 110] 해양기후예측 서비스 정보의 생산 및 발표

○ **전문가 의견 요약**

- 해양기상과 중심 확장 : 해양기상과의 업무를 확대하여 육상 기후 업무와 통합하고, 다음에 기후예측센터를 설립 필요
- 기후연구부 강화 : 기존 기후연구부의 해양 관련 부분을 강화하여 해양기후예측 업무 수행 필요
- 인력 확보 필요 : 기반은 확보되어 있으나 업무 수행 인력이 없음. 본부 및 소속 기관 모두 육상 장기예보와 비슷한 수준의 인력 확보가 필요함



[그림 111] 해양기후예측 연구조직의 필요성

○ 의견 요약 종합

- 해양기상과 중심으로 업무 확장 후 향후 육상 기후업무 또는 (가칭)기후예측 센터로 통합이 바람직하다는 답변이 다수로 확인됨
- 해양기후 예측을 위한 연구의 필요성은 있고, 별도의 연구조직 신설 또는 국립 기상과학원내의 해양기후예측 연구인력 확충하는 방법을 제안함

□ 해양기후예측 예산 및 자원 확보

○ 해양기후예측 서비스를 위해 신규 사업의 추진이 필요하다는 의견이 100%

- 일반사업과 R&D는 모두 필요하다는 견해이며, 정보화사업은 신규 추진이 필요하다는 의견과 기존 사업을 확장해야 한다는 의견으로 양분

○ 해양기후예측 서비스 현업화를 위한 전산자원 확보 필요

- 현업 운영을 위한 전산자원과 저장공간(스토리지)이 확보되어야 함
 - 해양기후 요소는 기후예측시스템에서 산출은 되지만 저장하지 않고 있음
 - 기존 서비스 체계에 필요한 최소한만 확보하고 있으므로 해양기후예측 서비스를 위한 자원은 추가로 반드시 확보

다. 전문가 인터뷰의 설문 문항

1. 해양기후예측 서비스의 전망 기간 체계는 **육상의 기후예측 체계***와 같은 방향으로 추진해야 한다고 생각하십니까? 그렇게 생각하신 이유와 장단점 및 고려해야 할 것은 무엇이 있습니까?

*** (참고) 육상의 기후예측 서비스 체계**

- 현행: 1개월전망, 3개월전망, 계절전망, 연기후전망(통계기법 기반)
- 확대: 기후예측모델 기반의 6개월전망('24.시범, '25.정식) 및 연기후전망('25.시범), 1~10년전망(추진중)

2. 해양기후예측 서비스를 **단기예보의 해양기상 광역예보구역과 동일하게** 제공하는 것이 적절하다고 생각하십니까? 그렇게 생각하신 이유와 장단점은 무엇입니까?
3. **확률예보와 단정예보** 중 어느 것이 더 적절하다고 생각하십니까? 그 이유는 무엇입니까? 확률예보와 단정예보 각각의 장단점에는 어떤 것이 있다고 생각하십니까?
6. 해양기후예측 서비스(해수면온도, 유의파고 또는 해상풍)가 시행될 경우 **예상되는 수요/활용 분야**에 대해 답변해 주시기 바랍니다.
7. 해양기후 예측정보의 **통보문 생산 방식**은 다음 중 어떤 것이 적절하다고 보십니까? 그 이유와 장단점 및 고려해야 할 것은 무엇이 있다고 생각하십니까?
 - ① 육상의 통보문에 포함
 - ② 별도의 통보문 생산
 - ③ 월간 해양기상·기후 정보에 포함
 - ④ 기타
8. **3개월 전망 서비스**를 위해 **현재 활용 가능한 기술**(시스템, 모델자료, 분석기법 등)과 **앞으로 필요한 기술**은 어떤 것이 있습니까?
9. **1개월 전망 서비스**를 위해 **현재 활용 가능한 기술**(시스템, 모델자료, 분석기법 등)과 **앞으로 필요한 기술**은 어떤 것이 있습니까?
10. 육상의 기후예측을 위해 활용하는 **선행인자** 중 **해양기후예측에 활용 가능한 것**이 있다고 보십니까?

11. 해양기후예측을 위해 **선행인자의 발굴**이 필요합니다. 적절한 것으로 예상되는 선행인자를 제안해주세요.
12. 해양기후예측정보 서비스를 위해 **단기적으로 필요한 연구개발**은 무엇이라고 생각하십니까?
13. 해양기후예측정보 서비스를 위해 **중장기적으로 필요한 연구개발**은 무엇이라고 생각하십니까?
14. 해양기후예측 서비스 시행을 위해 고려해야 하는 것은 무엇이라고 생각하십니까? 기술개발, 예산확보, 자원확보, 인력확보, 부서별 역할 정립 등에 대해 구체적으로 답변 주시기 바랍니다.
15. 해양기후예측 서비스 시행을 위해 귀하에게 추가되는 업무가 있습니까? 있다면 어떤 업무가 추가됩니까?
16. 해양기후예측 서비스가 시행된 이후 귀하의 업무에 미치는 영향이 있습니까? 있다면 어떤 영향을 미칩니까?
17. 기상청의 해양기후예측 정보 생산을 위해 외부 전문가·기관의 교류 또는 협력이 필요하다고 생각하십니까? 필요하다면 어떤 방식으로 협력해야 한다고 생각하십니까?
19. 중장기적 관점에서 해양기후 예측정보 서비스를 위해 몇 명의 인력이 필요하다고 생각하십니까? 인력별 수행 업무에 대해 구체적으로 답변해주세요.
20. 단·중기예보의 경우 육상과 해상 예보를 종합하여 총괄예보관이 생산·발표하고 있습니다. 해양기후 예측정보는 어느 부서에서 생산·발표하는 것이 적절하다고 생각하십니까? 그 이유는?
21. 기상청 내에 해양기후예측을 위한 별도의 연구 조직이 필요하다고 보십니까? 필요하다면 어떤 형태로 설립하는 것이 적절하다고 생각하십니까? 별도의 연구조직이 필요 없다면 모델 기술개발은 어디에서수행하는 것이 적절하다고 생각하십니까?

22. 해양기후예측 서비스를 위해 신규 사업의 추진이 필요하다고 생각하십니까?
어떤 분야로 추진해야 한다고 생각하십니까? '일반', '정보화', 'R&D'으로 분류하
여 상세하게 답변 주시기 바랍니다.

- 감사 압 니 다 -

부록3 관계수요기관(기업)대상 설문조사

가. 조사 개요

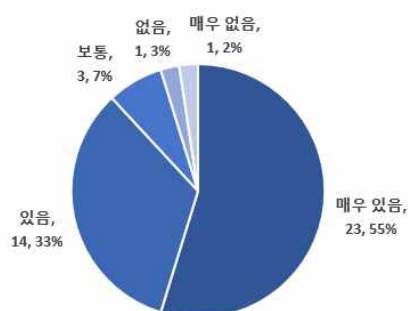
- (목적) 해양기후예측 서비스의 중요성, 필요성 및 시급성, 활용 현황, 미래 활용 의향, 예측정보 요소 구성, 예측 기간 및 공간 범위 등에 대한 기상청 수요자 관점의 의견수렴
- (방법) 개인별 서면 설문조사
- (기간) 2024년 10월 16일부터 10월 30일
- 주요내용 : 해양기후예측 서비스 필요성 및 활용도 의견 8개 항목, 요소별 활용성 설문 9개, 필요한 해양기후 예측정보의 요소에 대한 의견, 해당분야의 서비스 및 활용 관점에서 서비스 방안, 이슈·문제점, 개선방안 등 19개 항목에 대한 구조화 설문
- (응답자) 42명, 기상 관련 산업체 및 해양수산 분야 연구자 및 종사자

해양기후예측 정보 활용 의향

매우 있음	23
있음	14
보통	3
없음	1
매우 없음	1

해양기후예측 정보 활용 목적

연구 및 결정의 기초자료	31	53%
리스크 관리 및 안전성 강화	14	24%
운영 효율성 향상	6	10%
비용 절감 및 생산성 향상	5	8%
자원관리의 최적화	3	5%



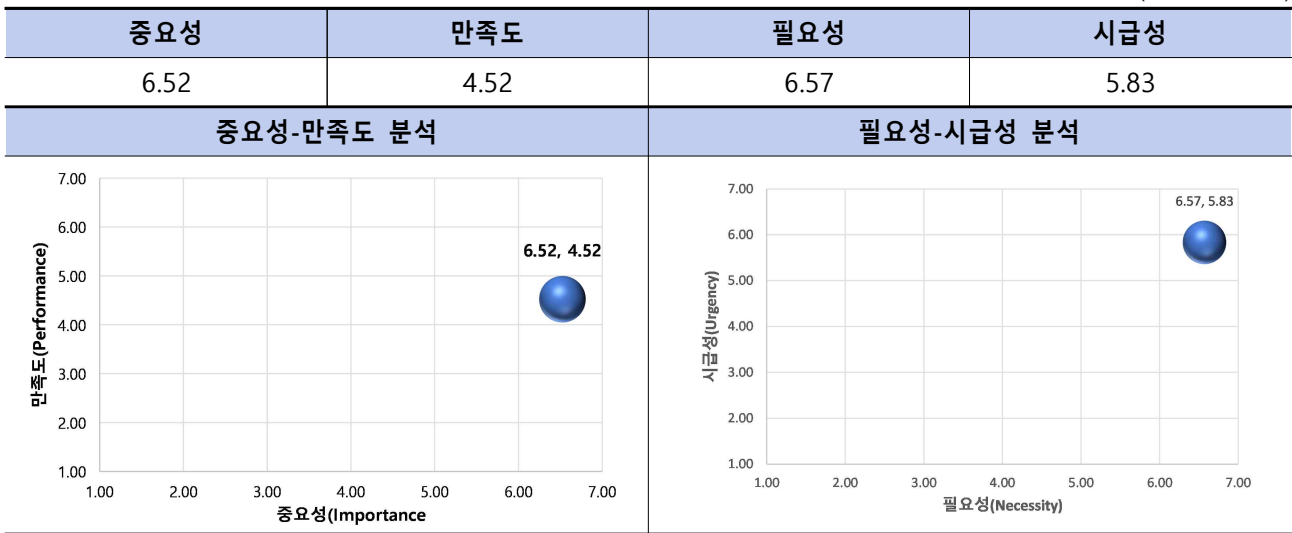
[그림 112] 해양기후예측 서비스의 활용성 조사

나. 세부 내용

□ 해양기후예측 서비스

- (질문) 기상청은 해양기후에 대한 감시 및 예측을 강화하기 위해 예보관 분석을 통해 1개월 또는 3개월의 해양기후 예측정보를 서비스하고자 합니다. 귀하의 기관(회사) 입장에서 해양기후 예측정보에 대해 다음의 항목을 평가해 주십시오.

(7점 척도 기준)

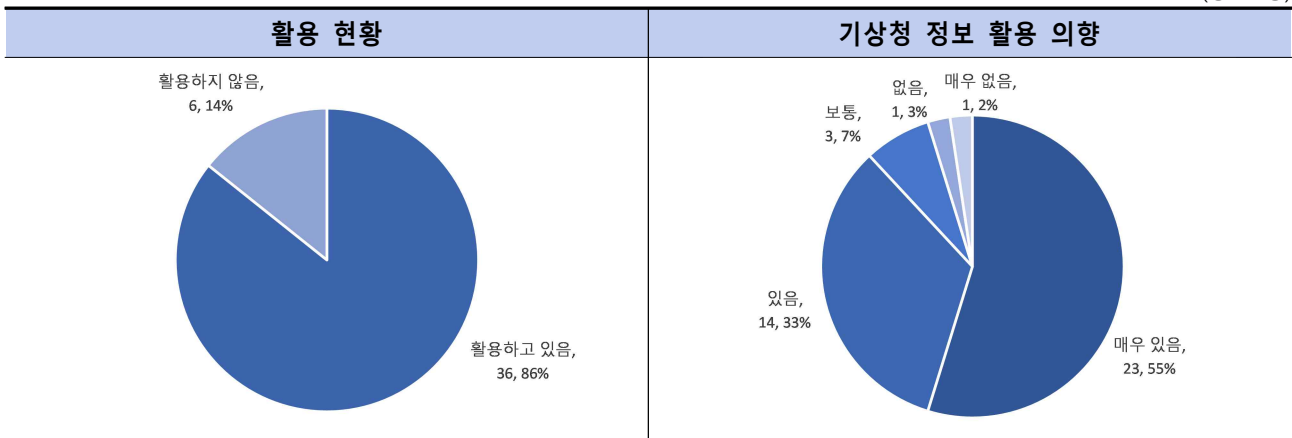


[그림 113] 해양기후예측 서비스 평가

□ 해양기후예측 정보 활용

- (질문) 귀하의 기관(회사)는 해양기후예측 정보를 활용하고 있습니까?
- (질문) 기상청에서 서비스 계획 중인 해양기후예측 정보를 서비스한다면 활용할 의향이 있습니까?

(총 42명)

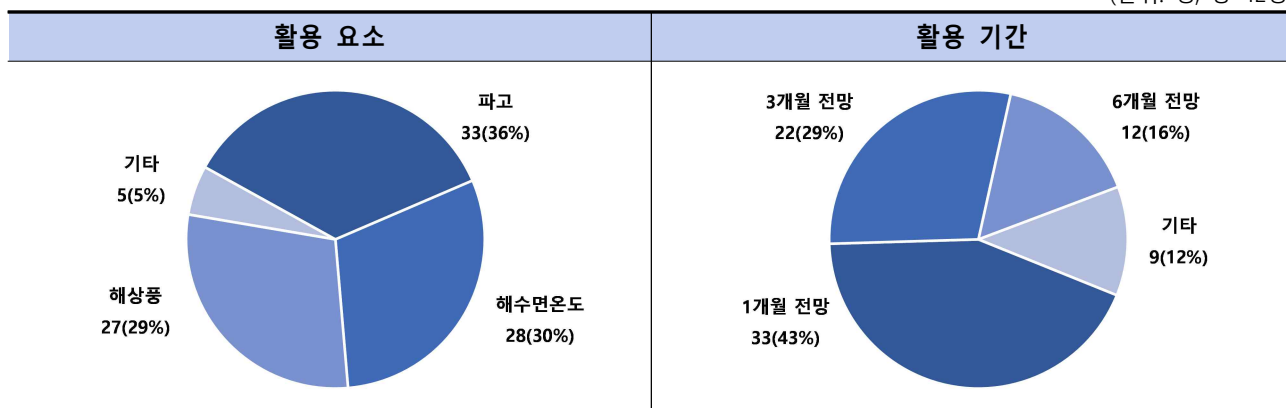


[그림 114] 해양기후예측 정보 활용 현황

□ 해양기후예측 정보 요소 및 기간 범위

○ (질문) 귀하의 기관(회사)에서 주로 활용(또는 계획) 중인 해양기후예측 정보의 요소 및 기간 범위는 무엇입니까? (복수 선택 가능)

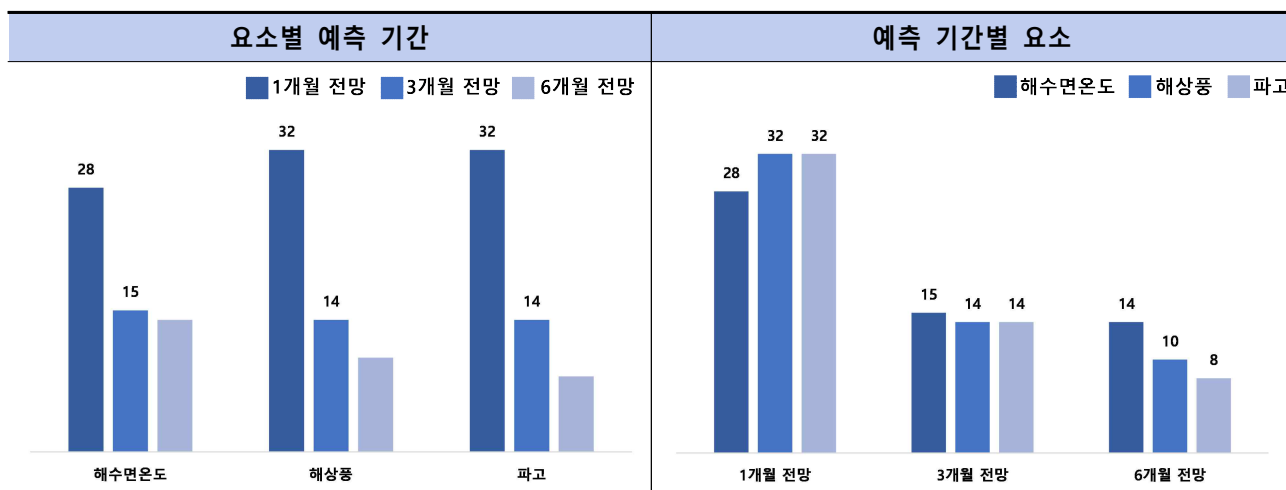
(단위: 명, 총 42명)



[그림 115] 해양기후 예측 정보 활용 현황

□ 해양기후예측 정보 요소별 예측 기간 범위

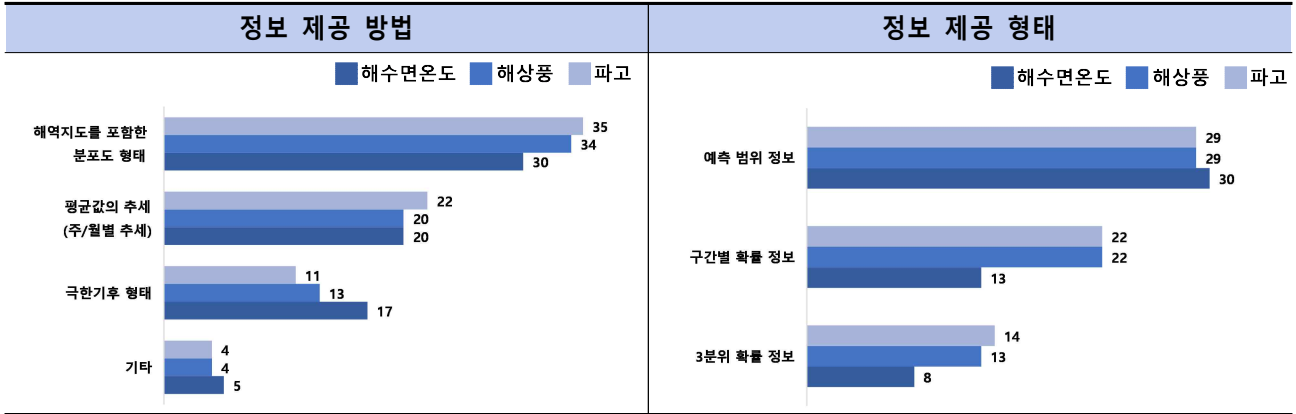
○ 귀하의 기관(회사)에서 주로 사용(또는 사용 예정)하는 해양기후예측 정보의 예측 기간 범위는 무엇입니까? 요소별로 답변해 주십시오. (복수 선택 가능)



[그림 116] 해양기후 예측 정보 요소별 활용 예측 기간

□ 해양기후예측 정보 제공 방법과 형태

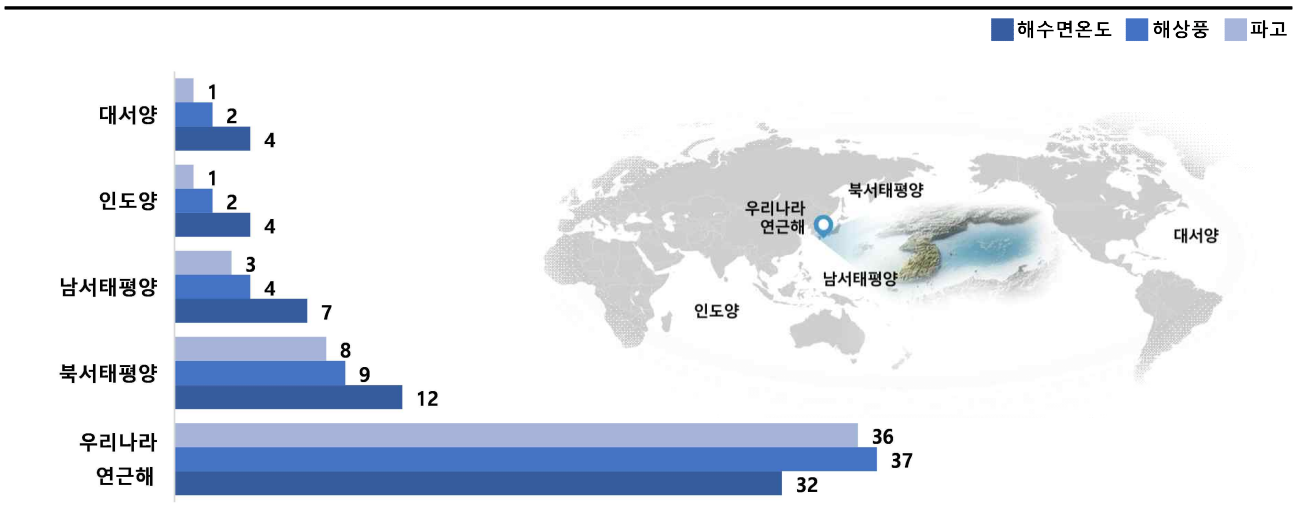
○ 기관(회사)에서 선호하는 해양기후예측 정보의 제공 방법과 형태는 무엇입니까?
 요소별로 답변해 주십시오. (복수 선택 가능)



[그림 117] 해양기후 예측 정보 요소별 활용 예측 기간

□ 해양기후예측 정보 해역 범위

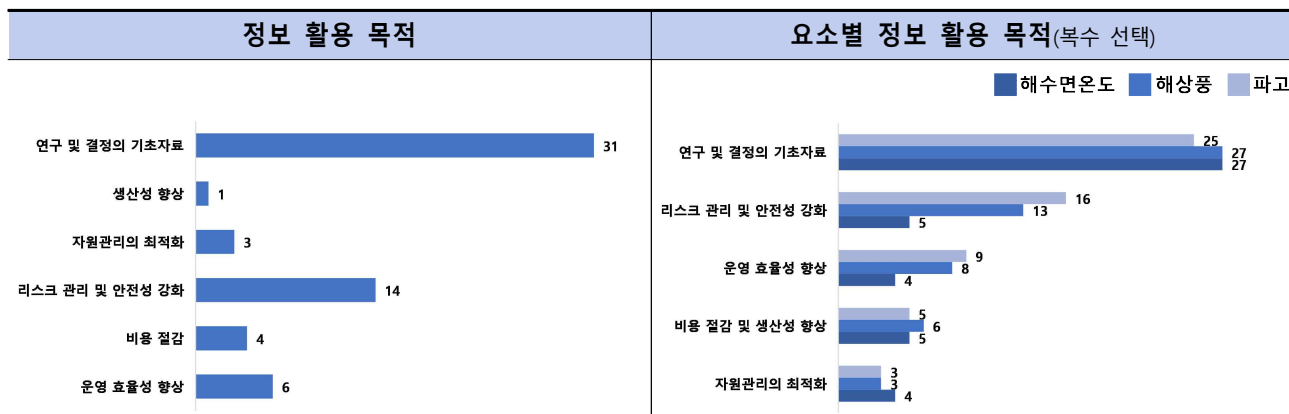
○ 귀하의 기관(회사)에서 선호하는 해양기후예측 정보가 중요한 지역(해역)은 어디입니까? 요소별로 답변해 주십시오. (복수 선택 가능)



[그림 118] 해양기후 예측 정보 요소별 해역 범위

□ 해양기후예측 정보 활용 목적

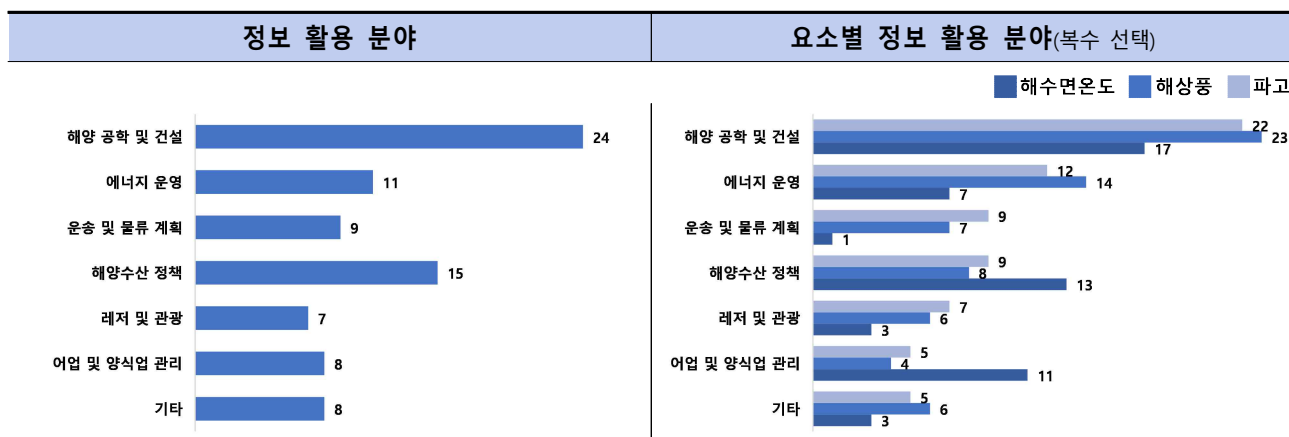
○ 귀하의 기관(회사)에서 해양기후 정보를 활용(또는 활용 계획)하는 목적은 무엇입니까? 요소별로 답변해 주십시오. (복수 선택 가능)



[그림 119] 해양기후예측 정보 활용 목적

□ 해양기후예측 정보 활용 분야

○ 귀하의 기관(회사)에서 해양기후 정보를 활용(또는 활용 계획) 중이면 어떤 분야에 해당합니까? 요소별로 답변해 주십시오. (복수 선택 가능)



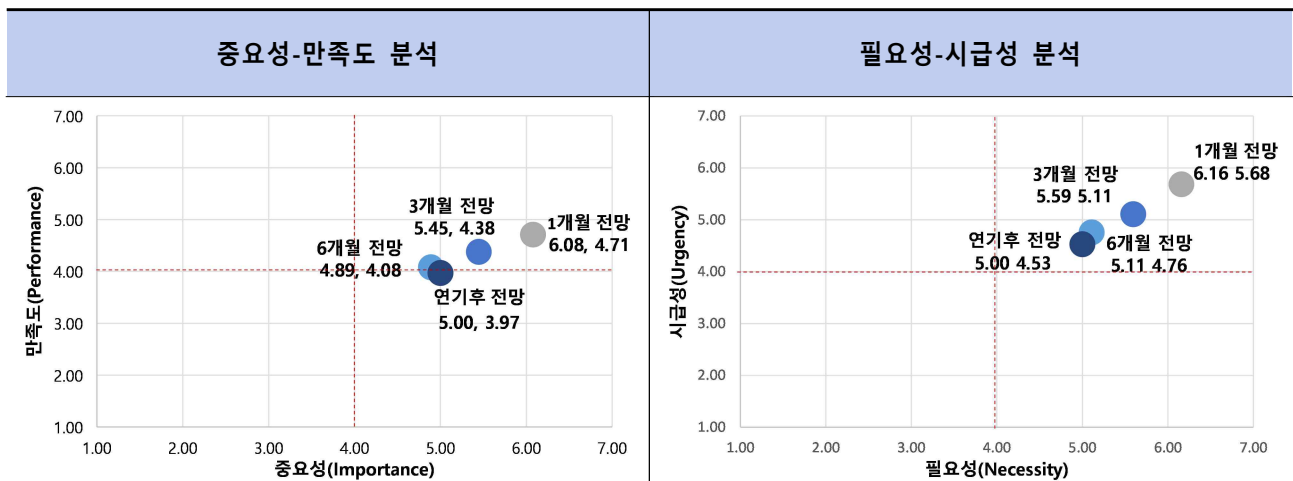
[그림 120] 해양기후예측 정보 활용 분야

□ 해수면온도 예측 정보 기간 평가

○ 귀하는 해수면온도에 대하여 중요성, 만족도, 필요성, 시급성에 대해 어떻게 생각하십니까? 예측 기간에 따라 평가해 주십시오.

(7점 척도 기준)

해수면온도 예측 정보 기간	중요성	만족도	필요성	시급성
3개월 전망	5.45	4.38	5.59	5.11
1개월 전망	6.08	4.71	6.16	5.68
6개월 전망	4.89	4.08	5.11	4.76
연기후 전망	5.00	3.97	5.00	4.53



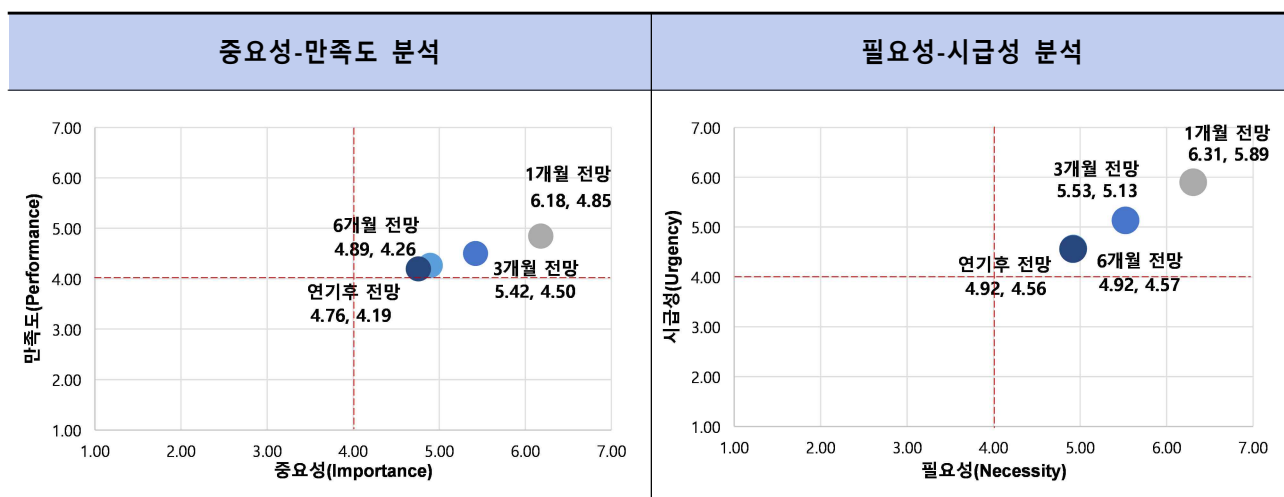
[그림 121] 해수면온도 예측 정보 기간 평가

□ 해상풍 예측 정보 기간 평가

○ 귀하는 해상풍에 대하여 중요성, 만족도, 필요성, 시급성에 대해 어떻게 생각하십니까? 예측 기간에 따라 평가해 주십시오.

(7점 척도 기준)

해상풍 예측정보의 기간	중요성	만족도	필요성	시급성
3개월 전망	5.42	4.50	5.53	5.13
1개월 전망	6.18	4.85	6.31	5.89
6개월 전망	4.89	4.26	4.92	4.57
연기후 전망	4.76	4.19	4.92	4.56



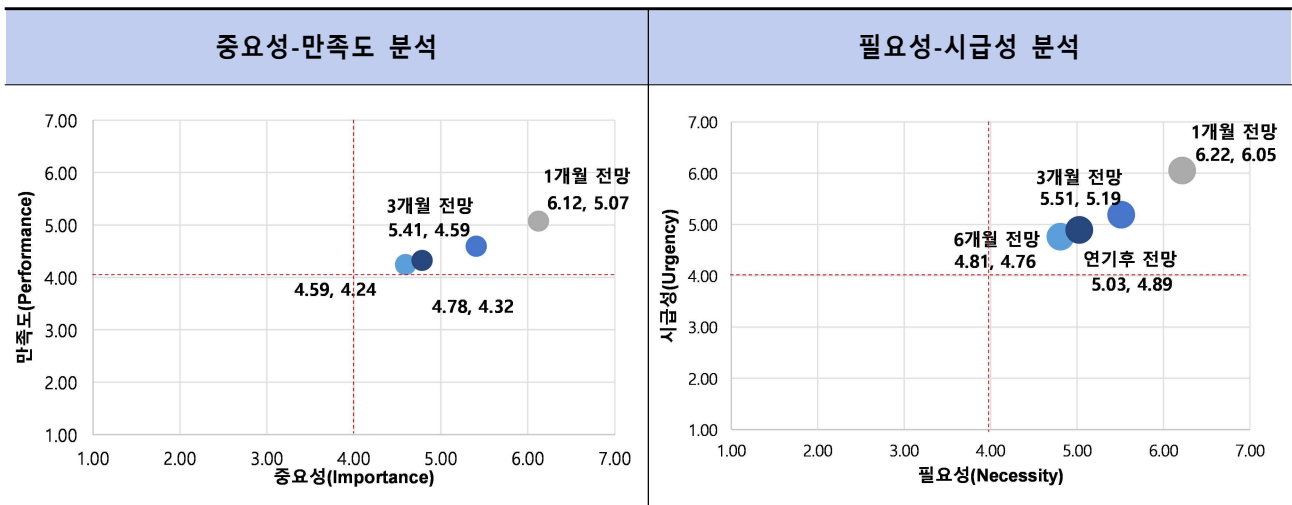
[그림 122] 해상풍 예측 정보 기간 평가

□ 파고 예측 정보 기간 평가

○ 귀하는 파고에 대하여 중요성, 만족도, 필요성, 시급성에 대해 어떻게 생각하십니까? 예측 기간에 따라 평가해 주십시오.

(7점 척도 기준)

파고 예측정보의 기간	중요성	만족도	필요성	시급성
3개월 전망	5.41	4.59	5.51	5.19
1개월 전망	6.12	5.07	6.22	6.05
6개월 전망	4.59	4.24	4.81	4.76
연기후 전망	4.78	4.32	5.03	4.89



[그림 123] 파고 예측 정보 기간 평가

□ 해양기후예측 서비스 활용에 대한 의견

- (질문) 해당분야의 서비스 및 활용 관점에서 서비스 방안, 이슈·문제점, 개선방안 등을 자유롭게 서술해 주십시오.
- 설문조사 추가의견으로 서비스 관련 31개(중복 포함)의 의견을 수집함
- 제공된 데이터의 접근 편의성과 데이터 품질, 정보공유 및 연계와 관련된 의견 등 사용자 관점에서의 의견이 다수

<표 71> 해양기후예측 서비스 활용 추가 의견

(총 31건, 중복 포함)

분류	세부 내용
사용자 편의성 향상	<ul style="list-style-type: none"> ■ 일반인과 어업·양식업 종사자가 직관적으로 파악 가능한 인터페이스 ■ 전문 용어에 대한 쉬운 설명 및 활용 안내 ■ 어업·양식업에 활용 가능한 변수 정보(조류, 앞바다, 저염분수, 냉수대 등) ■ 분석 가능한 RAW 데이터 다운로드 서비스
서비스 데이터 품질	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미국과 유럽 수준의 고품질 자료 제공 및 제한 없는 접근 ■ 현대화된 장비를 이용한 최신 정보의 지속적 제공 및 준실시간 자료 제공 ■ 사용자 의견 수렴 및 서비스 품질 보증 체계 구축 ■ 예측 정보와 실제 정보 오차 데이터
정보 공유 및 연계	<ul style="list-style-type: none"> ■ 공공기관 선박 간 해양기상 정보 공유 플랫폼 ■ 타 기관 조사 데이터와의 연계 구축 ■ 해상특보 정보의 항만시설물 유지관리 정보시스템 및 매뉴얼과 연계 서비스 ■ 여타 해양정보시스템과 연계 프로세스 간소화
서비스 주체 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양기후 관련 예측 자료 서비스는 활용 분야의 의견 수용이 중요 ■ 기상청은 대기 및 기상 관련 항목의 서비스를 고도화 ■ 기상청의 해수면 온도 예측은 기상 및 기후를 위한 요인으로 활용해야 함

□ 해수면온도, 해상풍, 파고 이외 필요한 해양기후예측 정보 요소

- (질문) 해수면온도, 해상풍, 파고 외, 귀하의 기관(회사)에서 필요한 해양기후예측 정보 요소에 대해 답변해 주십시오.
- 설문조사 추가의견으로 해수면온도, 해상풍, 파고 외 필요한 요소를 수집함
- 해수 및 해류, 해양 대기 및 기상, 해양 생태계, 측정 범위 등 21가지 의견이 있었음

<표 72> 해양기후예측 정보 요소 추가 의견

분류	세부 내용
해수 및 해류 (30명)	수심별 수온(3명), 염분도(3명), 산성화(1명), 해수면 높이 (4명) 조류(3명), 해류(3명), 이안류(2명), 유향(3명), 유속(3명), 파향(2명), 파주기(3명)
해양 대기 및 기상 (14명)	해무(3명), 해수면 기압(2명) 해수면 상대습도(1명), 풍향(1명), 풍속 (1명) 해상 강수량(2명), 태풍 이동 경로(2명), 풍랑 주의보(2명)
해양 생태계 (2명)	생지화학 변수 (1명), 해양생태계 변화 추론(1명)
측정 범위	전구해역 및 평수구역(1명) 수심별 요소 측정(1명) 실기간 및 단기간 예측(2명) 해수면온도, 해상풍, 파고 정보를 연계한 해양 기상 특보 확률 등(2명)

다 설문문항

1. 해양기후예측 서비스 필요성 및 활용도 의견

설문1. 기상청은 해양기후에 대한 감시 및 예측을 강화하기 위해 예보관 분석을 통해 1개월 또는 3개월의 해양기후 예측정보를 서비스하고자 합니다. 귀하의 기관(회사)의 입장에서 해양기후 예측정보에 대해 다음의 항목을 평가해주시오.

중요성, 필요성, 만족도, 시급성을 7점 척도로 직관적으로 평가해 주십시오.

만족도 (Performance)	중요성 (Importance)	필요성 (Performance)	시급성 (Urgency)
① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

* 만족도 : 현재 서비스에 대한 만족 정도

중요성 : 국가 및 산업의 발전을 위해 서비스 제공이 중요한 정도

필요성 : 서비스 제공이 필요한 정도

시급성 : 서비스 제공이 시급한 정도

* 7점 척도 : 1(매우 낮음), 2(낮음), 3(다소 낮음), 4(보통), 5(다소 높음), 6(높음), 7(매우 높음)

설문2. 귀하의 기관(회사)는 해양기후 예측정보를 활용하고 있습니까?

활용 요소	(O) 표시	비고
① 예(활용하고 있음)	()	'설문3'으로 이동
② 아니오(활용하지 않음)	()	'설문2-1'로 이동

설문 2-1. 귀하의 기관(회사)에서 해양기후 예측정보를 사용하지 않는 이유는 무엇입니까?

해양기후 예측정보를 사용하지 않는 이유	(O) 표시
① (업무와 관련성이 있으나) 필요한 해양기후 예측정보가 제공되지 않고 있음	()
② 업무와 관련성이 없음	()
③ 해양기후 예측정보에 대해 알지 못함(활용 방법에 대해 알지 못함)	()
④ 기타 ()	()

설문 3. 기상청에서 서비스 계획 중인 해양기후 예측정보를 서비스한다면 활용할 의향이 있으십니까?

해양기후 예측정보를 활용할 의향	(O) 표시
① 매우 있다	()
② 있다	()
③ 보통이다	()
④ 없다	()
⑤ 매우 없다	()

설문4. 귀하의 기관(회사)에서 주로 활용(또는 활용 계획) 중인 해양 기후 예측 정보의 요소는 무엇입니까? (복수 선택가능)

예측 기간	(O) 표시
① 해수면온도	()
② 해상풍	()
③ 파고	()
③ 기타 ()	()

설문5. 귀하의 기관(회사)에서 주로 활용(또는 활용 계획) 중인 해양 기후 예측 정보의 기간 범위는 무엇입니까? (복수 선택가능)

예측 기간	(O) 표시
① 1개월 전망	()
② 3개월 전망	()
③ 6개월 전망	()
③ 기타 ()	()

설문6. 해양기후 예측정보를 활용할 때 귀하의 기관(회사)에서 중요하게 생각하는 것은 무엇입니까? 우선 순위로 답변해주십시오.

제공 방법	우선 순위 (O) 표시
① 해역의 상세화 정도	()
② 요소의 다양화 정도	()
③ 정보의 최신 정도	()
④ 기타 ()	()

설문7. 귀하의 기관(회사)에서 해양기후 정보를 활용(또는 활용 계획) 중이면 다음 중 어떤 분야 해당합니까? (복수 선택가능)

활용 분야	(O) 표시
① (해양) 정책	()
② 운송 및 물류 계획	()
③ 어업 및 양식업 관리	()
④ 에너지(해상 풍력, 석유, 가스) 운영	()
⑤ 레저 및 관광	()
⑥ 해양 공학 및 건설	()
⑦ 기타 ()	()

설문8. 귀하의 기관(회사)에서 해양기후 정보를 활용(또는 활용 계획) 중이면 활용 목적은 무엇입니까?

활용 목적	(O) 표시
① 운영 효율성 향상	()
② 비용 절감	()
③ 리스ٹ 관리 및 안전성 강화	()
④ 자원관리의 최적화	()
⑤ 생산성 향상	()
⑥ 연구 및 결정의 기초자료	()
⑦ 기타	()

II. 해양기후예측 서비스 - 요소별 활용성 설문

설문1. 귀하의 기관(회사)에서 주로 사용(또는 사용예정)하는 해양기후 예측정보의 예측기간 범위는 무엇입니까? 요소별로 답변해주시시오.(복수 선택가능)

예측 기간	(O) 표시		
	해수면온도	해상풍	파고
① 1개월 전망	()	()	()
② 3개월 전망	()	()	()
③ 6개월 전망	()	()	()
③ 기타 ()	()	()	()

설문2. 귀하의 기관(회사)에서 주로 사용(또는 사용예정)하는 해양기후 예측정보의 활용분야는 무엇입니까? 요소별로 답변해주시시오.(복수선택)

활용 분야	(O) 표시		
	해수면온도	해상풍	파고
① (해양) 정책	()	()	()
② 운송 및 물류 계획	()	()	()
③ 어업 및 양식업 관리	()	()	()
④ 에너지(해상 풍력, 석유, 가스) 운영	()	()	()
⑤ 레저 및 관광	()	()	()
⑥ 해양 공학 및 건설	()	()	()
⑦ 기타 ()	()	()	()

설문3. 귀하의 기관(회사)에서 해양기후 예측정보를 활용하는 목적은 무엇입니까?
 요소별로 답변해주시시오.(복수선택)

활용 목적	(O) 표시		
	해수면온도	해상풍	파고
① 운영 효율성 향상	()	()	()
② 비용 절감	()	()	()
③ 리스트 관리 및 안전성 강화	()	()	()
④ 자원관리의 최적화	()	()	()
⑤ 생산성 향상	()	()	()
⑥ 연구 및 결정의 기초자료	()	()	()
⑦ 기타	()	()	()

설문4. 귀하의 기관(회사)에서 해양기후예측정보가 중요한 지역(해역)은 어디입니까?
 요소별로 답변해주시시오.(복수선택)

예측 지역(해역)	(O) 표시		
	해수면온도	해상풍	파고
① 우리나라 연근해	()	()	()
② 북서태평양	()	()	()
③ 남서태평양	()	()	()
④ 대서양	()	()	()
⑤ 인도양	()	()	()
⑥ 기타 ()	()	()	()

* 참고: 해역의 범위



설문6. 귀하의 기관(회사)에서 선호하는 해양기후예측정보의 제공 방법은 무엇입니까?
 요소별로 답변해주십시오.(복수선택)

제공 방법	(O) 표시		
	해수면온도	해상풍	파고
① 해역지도를 포함한 분포도 형태	()	()	()
② 평균값의 추세(주/월별 추세)	()	()	()
③ 극한기후 (예: 육상의 경우 이상저온/고온 전망 제공)	()	()	()
④ 기타 ()	()	()	()

설문7. 귀하의 기관(회사)에서 선호하는 해양기후예측정보의 제공 형태는 무엇입니까?
 요소별로 답변해주십시오.(복수선택)

제공 형태	(O) 표시		
	해수면온도	해상풍	파고
① 3분위 확률 정보 (예시: 낮음 30%, 비슷 50%, 높음 60%)	()	()	()
② 예측 범위 정보 (예시: 해수면온도 17~20℃, 해상풍 10~14m/s, 유의파고 3~5m)	()	()	()
③ 구간별 확률 정보 (예시: 약한바람(0~4m/s) 20%, 약간강한바람(4~9m/s) 40%, 강한바람(9~14m/s) 30%, 매우강한바람(14m/s~) 10%)	()	()	()
④ 기타 ()	()	()	()

설문8. 귀하의 기관(회사)은 해양기후 예측정보-해수면온도(SST)의 중요성에 대해 어떻게 생각하십니까?

중요성, 필요성, 만족도, 시급성을 7점 척도로 직관적으로 평가해 주십시오.

해양기후 예측정보의 기간	중요성 (Importance)	만족도 (Performance)	필요성 (Performance)	시급성 (Urgency)
3개월 전망	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
1개월 전망	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
6개월 전망	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
연기후 전망	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

* 만족도 : 현재 서비스에 대한 만족 정도

중요성 : 국가 및 산업발전을 위해 서비스 제공이 중요한 정도

필요성 : 서비스 제공이 필요한 정도

시급성 : 서비스 제공이 시급한 정도

* 7점 척도 : 1(매우 낮음), 2(낮음), 3(다소 낮음), 4(보통), 5(다소 높음), 6(높음), 7(매우 높음)

설문9. 귀하의 기관(회사)은 해양기후 예측정보-해상풍의 중요성에 대해 어떻게 생각하십니까?

중요성, 필요성, 만족도, 시급성을 7점 척도로 직관적으로 평가해 주십시오.

해양기후 예측정보의 기간	중요성 (Importance)	만족도 (Performance)	필요성 (Performance)	시급성 (Urgency)
3개월 전망	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
1개월 전망	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
6개월 전망	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
연기후 전망	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

* 만족도 : 현재 서비스에 대한 만족 정도

중요성 : 국가 및 산업발전을 위해 서비스 또는 기술개발이 중요한 정도

필요성 : 서비스 시행이 필요한 정도

시급성 : 서비스 시행이 시급한 정도

* 7점 척도 : 1(매우 낮음), 2(낮음), 3(다소 낮음), 4(보통), 5(다소 높음), 6(높음), 7(매우 높음)

설문10. 귀하의 기관(회사)은 해양기후 예측정보-파고의 중요성에 대해 어떻게 생각하십니까?

중요성, 필요성, 만족도, 시급성을 7점 척도로 직관적으로 평가해 주십시오.

해양기후 예측정보의 기간	중요성 (Importance)	만족도 (Performance)	필요성 (Performance)	시급성 (Urgency)
3개월 전망	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
1개월 전망	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
6개월 전망	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
연기후 전망	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

* 만족도 : 현재 서비스에 대한 만족 정도

중요성 : 국가 및 산업발전을 위해 서비스 또는 기술개발이 중요한 정도

필요성 : 서비스 시행이 필요한 정도

시급성 : 서비스 시행이 시급한 정도

* 7점 척도 : 1(매우 낮음), 2(낮음), 3(다소 낮음), 4(보통), 5(다소 높음), 6(높음), 7(매우 높음)

설문11. 해수면온도, 해상풍, 파고 외에 귀하의 기관(회사)에서 필요한 해양기후 예측정보의 요소에 대해 답변해 주십시오.

설문12. [‘해양기후예측 서비스’의 활용에 대한 의견]

해당분야의 서비스 및 활용 관점에서 서비스 방안, 이슈·문제점, 개선방안 등을 자유롭게 서술해 주십시오.

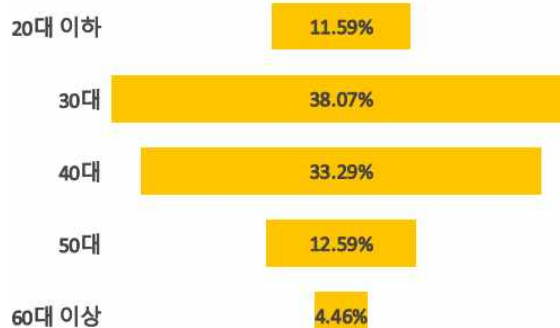


- 감사 합니다 -

부록4 대국민 설문조사(기상청 제공)

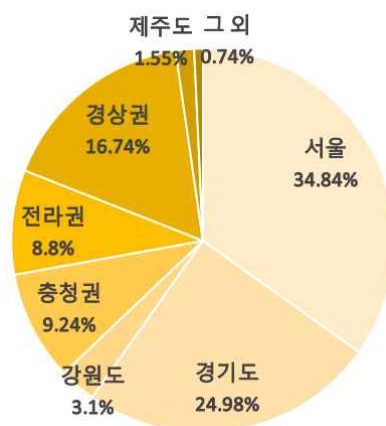
가. 조사 개요

- (목적) 해양기후예측 서비스 활용 방안 도출
- (방법) 소통24(온라인 설문조사 플랫폼)
- (기간) 2024년 10월 16일부터 10월 22일
- (주요내용) 해양기후 예측정보의 필요성 및 제공·활용방안 등 18개 문항
- (응답자 특성 분석)
 - (성별) 남녀 균형적으로 응답함(남 54.56%, 여 45.41%)
 - (연령대) 30대/40대가 대다수



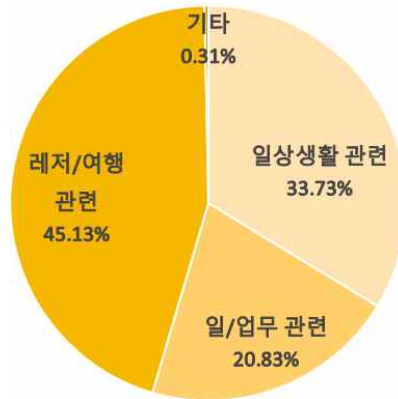
[그림 124] 응답자 특성 - 연령대

- (지역) 수도권 응답자의 비율이 높음(59.82%)



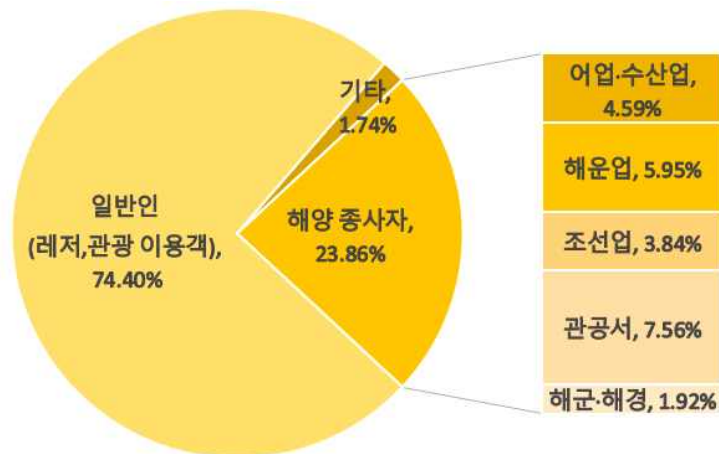
[그림 125] 응답자 특성 - 지역별

○ (해양 이용목적) 목적 별 차이가 크지 않으나 ‘레저·여행 목적’의 응답 비율이 가장 높음(45.13%)



[그림 126] 응답자 특성 - 이용목적

○ (직종) 일반인 응답 비율이 74.40%로 대다수, 해양 업무 종사자는 23.86%가 응답



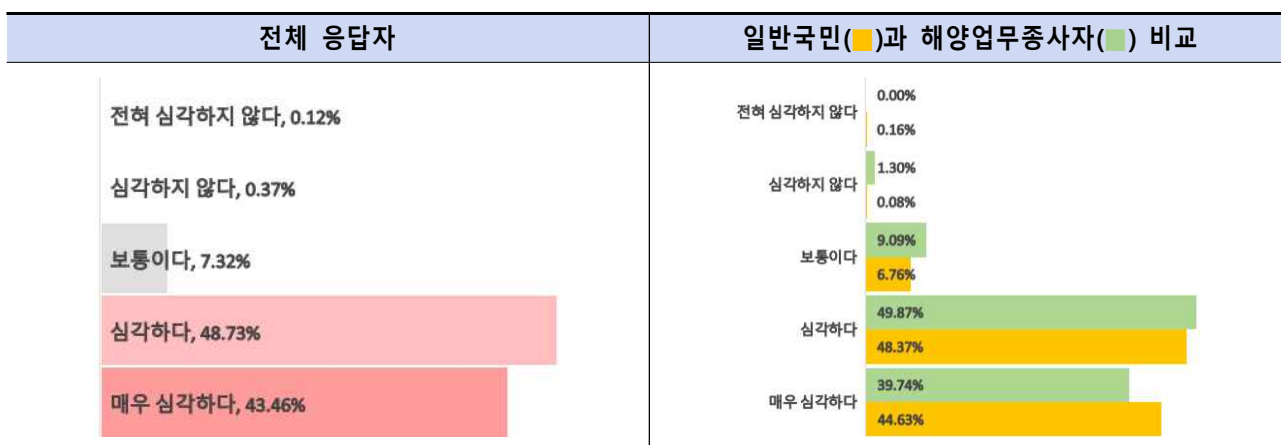
[그림 127] 응답자 특성 - 직종

나. 대국민 설문조사 세부 내용

1) 해양기후에 대한 인식 및 예측 서비스의 필요성

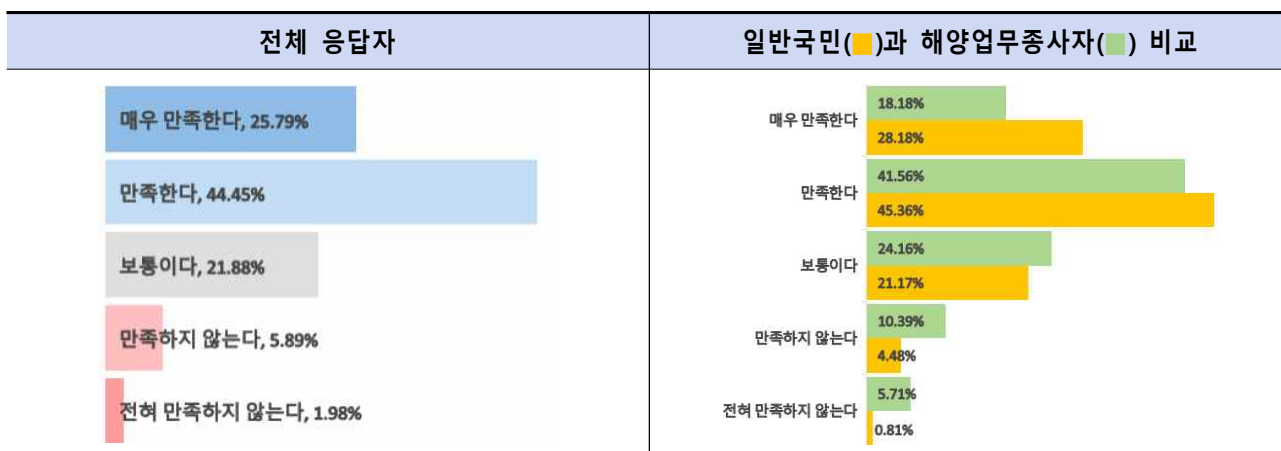
□ (1. 해양기후변화의 심각성) 귀하는 해양의 기후변화가 심각하다고 생각하십니까?

- 대부분의 응답자(92.19%)가 해양의 기후변화가 심각하다고 인식
- 일반국민(93.00%)이 해양업무종사자(89.61%)보다 3.39%p 높게 해양의 기후변화가 심각하다고 인식



□ (2. 현재 기상청 해양기후정보 서비스 만족도) 기상청은 수치모델 기반의 해수면 온도 등 해양기후정보 서비스를 제공하고 있습니다(해양기후정보포털, 1개월). 현재, 제공하고 있는 해양기후정보 서비스에 대해 만족하십니까?

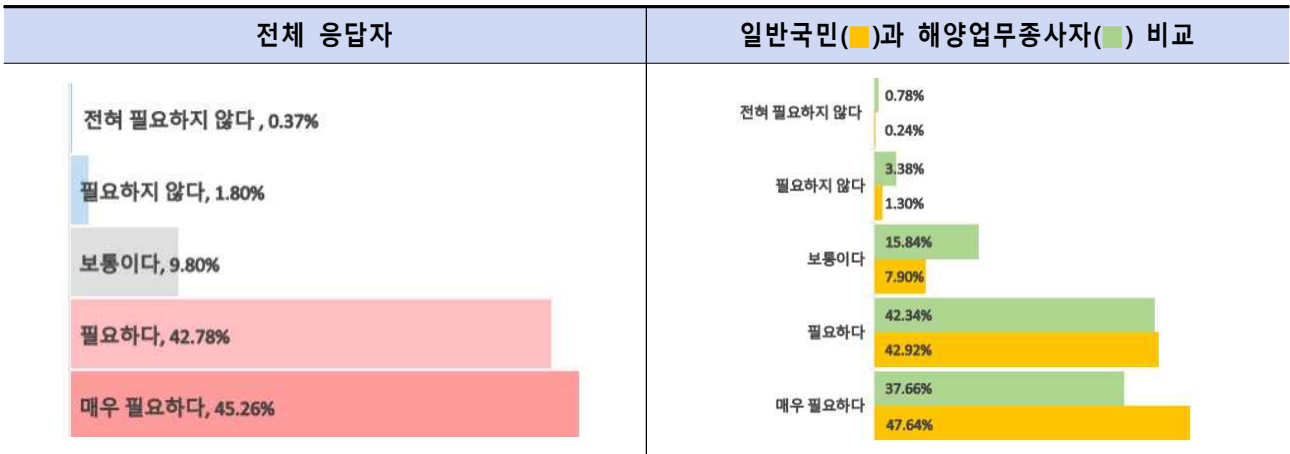
- 응답자의 70.24%가 현재의 해양기후정보 서비스에 대해 만족함
- 일반국민(73.54%)이 해양업무종사자(59.74%)보다 13.8%p 높게 현재의 해양기후정보 서비스에 만족함



□ (3. 해양기후 예측서비스 인식) 기상청은 해양에 대한 감시 및 예측을 강화하기 위해 해양기후 예측정보 서비스(이하 ‘해양기후예측 서비스’)를 계획하고 있습니다.

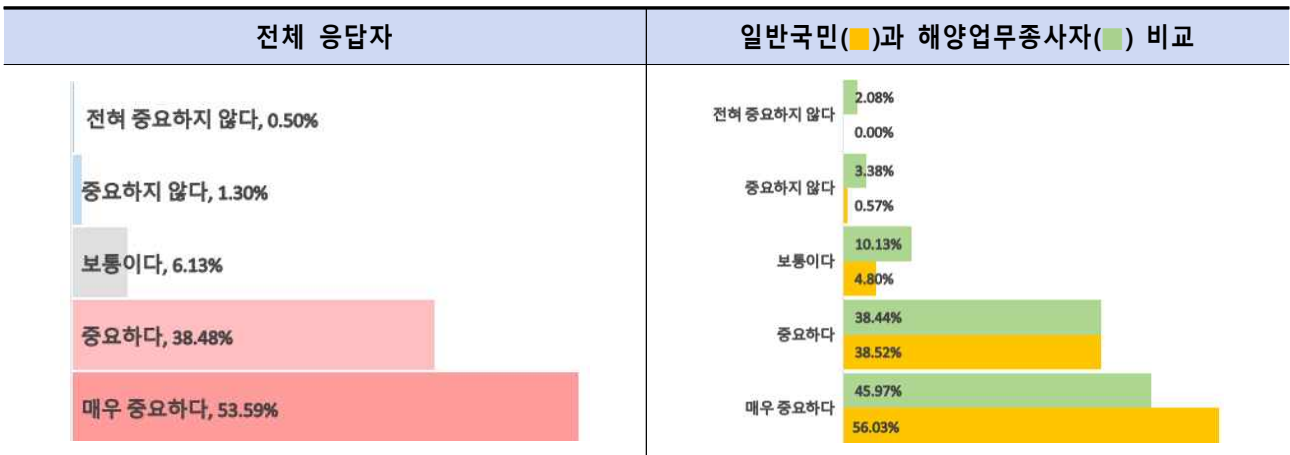
○ (3-1. 서비스 필요성) 본 서비스가 필요하다고 생각하십니까?

- 응답자의 88.04%가 본 서비스가 필요하다고 답변
- 일반국민(90.56%)이 해양업무종사자(79.96%)보다 10.60%p 높게 본 서비스가 필요하다고 답변



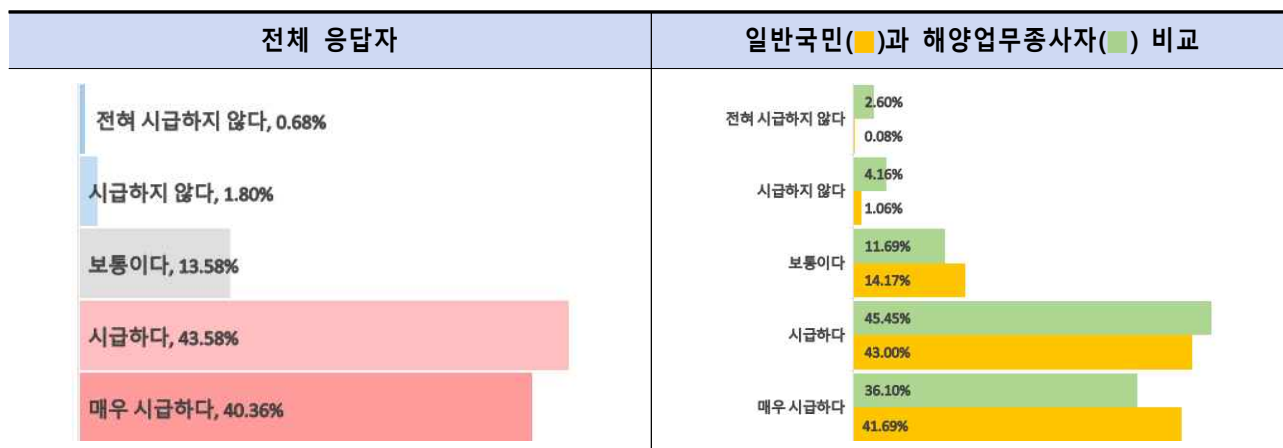
○ (3-2. 서비스 중요성) 본 서비스가 중요하다고 생각하십니까?

- 응답자의 92.07%가 본 서비스가 중요하다고 답변
- 일반국민(94.55%)이 해양업무종사자(84.41%)보다 10.14%p 높게 본 서비스가 중요하다고 답변



○ (3-3. 서비스 시급성) 본 서비스가 시급하다고 생각하십니까?

- 응답자의 83.94%가 본 서비스의 시행이 시급하다고 답변
- 일반국민(84.69%)이 해양업무종사자(81.55%)보다 3.14%p 높게 본 서비스가 시급하다고 답변



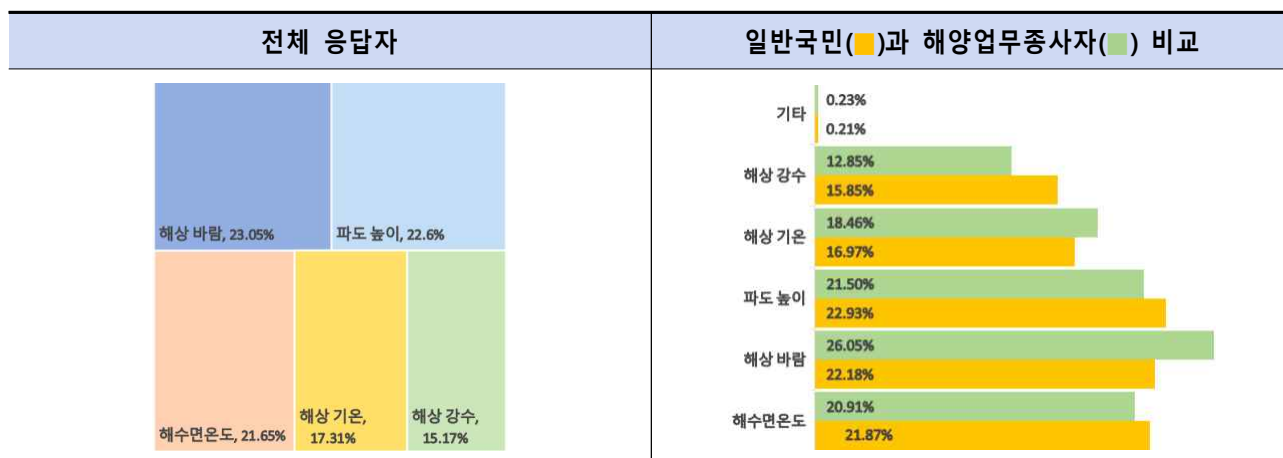
2) 기후예측 서비스의 제공 방안

□ (1. 필요한 요소) 해양기후예측 서비스에는 어떤 요소에 대한 정보가 제공되어야 한다고 생각하십니까?(복수 선택 가능)

○ 요소별 답변율이 비슷하여 모든 요소가 필요한 것으로 분석되며, 해상바람 (23.05%), 파도높이(22.6%), 해수면온도(21.65%)의 순으로 답변율이 높음

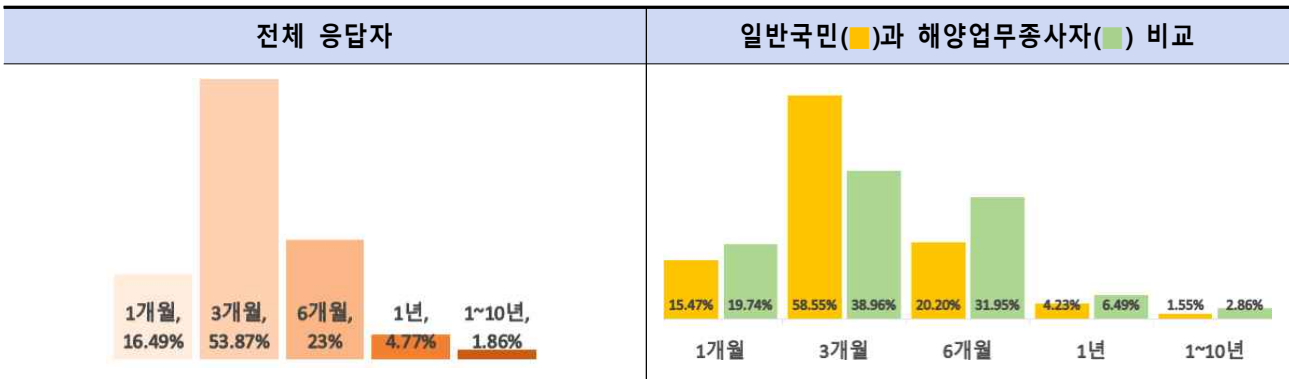
* (기타) 해상습도, 해무, 해빙의 변화, 해수면 높이

○ 일반국민은 파도높이(22.93%), 해양업무종사자는 해상바람(26.05%)을 선택한 비율이 가장 높음



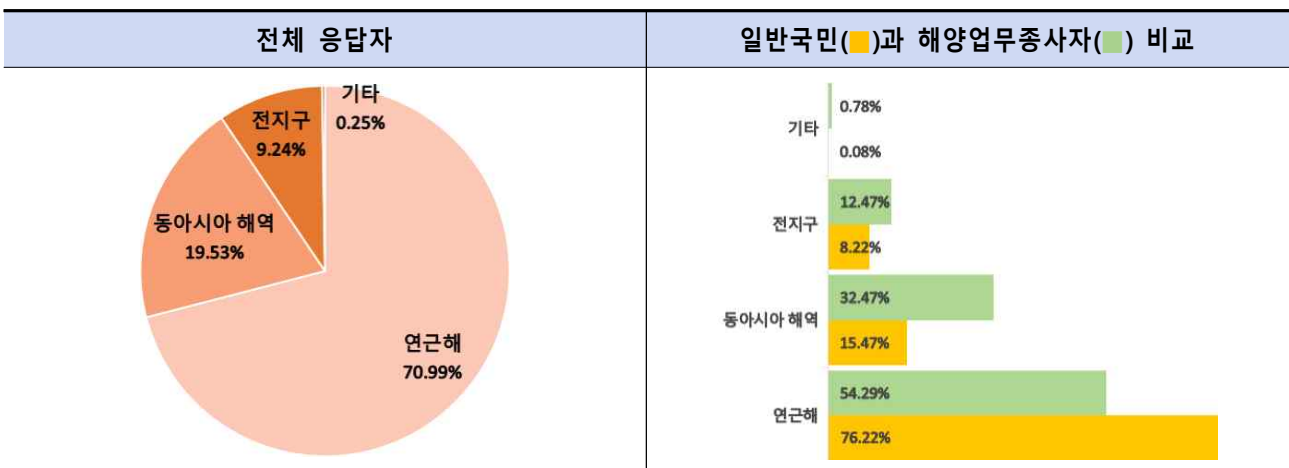
□ (2. 예측기간 우선순위) 해양기후 예측정보가 서비스된다면 어느 정도의 예측 기간이 가장 먼저 제공되어야 한다고 생각하십니까?

- 3개월(53.87%)이 과반수 이상 가장 높으며, 6개월(23.00%), 1개월(16.49%), 1년(4.77%), 1~10년(1.86%)의 순서로 답변
- 일반국민(58.55%)과 해양업무종사자(38.96%) 모두 3개월이 먼저 제공되어야 한다고 답변



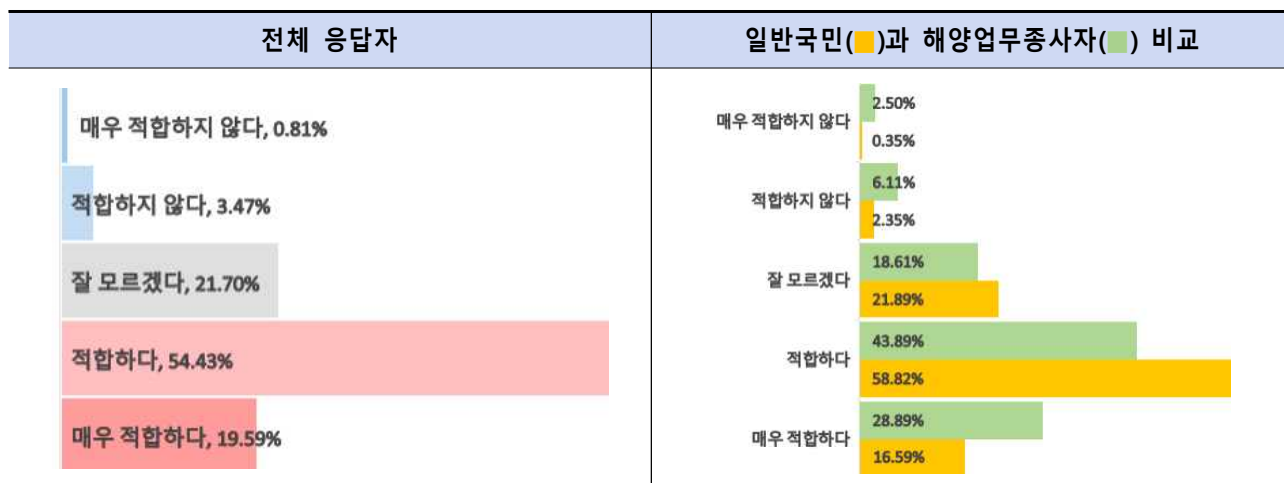
□ (3. 예측영역 우선순위) 해양기후예측 서비스를 통해 어떤 영역에 대한 예측정보가 가장 먼저 제공되어야 한다고 생각하십니까?

- 연근해(70.99%)에 대한 답변이 가장 높음
 - * (기타 의견) 서해5도, 영도, 양양(국지적 지역에 대해 답변)
- 일반국민은 연근해(76.22%)를 집중 선택하였으며, 해양업무종사자도 연근해(54.29%)에 대한 선택비율이 가장 높으나 일반국민에 비해 동아시아 해역(32.47%), 전지구(12.47%)에 대한 답변율이 높음



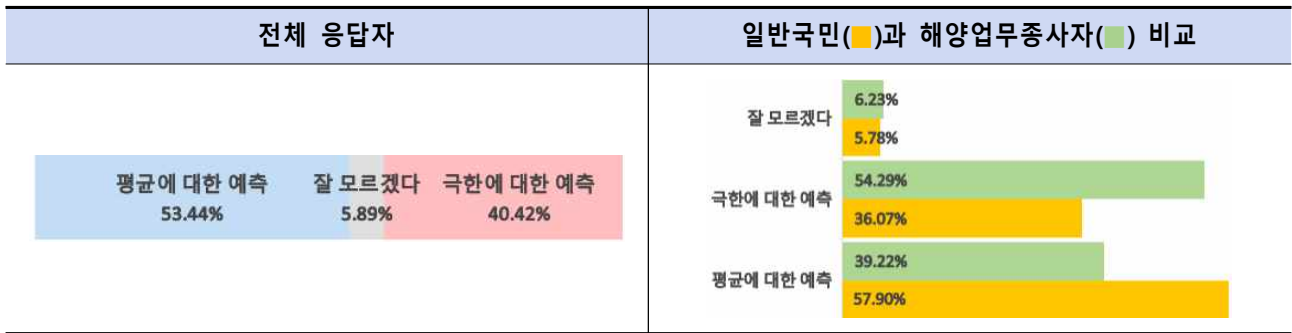
□ (4. 확률예보의 적합성) 기후예측의 불확실성을 고려하여 해양기후예측 서비스를 육상기후예측과 유사하게 확률예보로 제공하는 것이 적합하다고 생각하십니까? 그렇게 생각하시는 이유는 무엇입니까?

- 응답자의 74.02%가 확률예보를 제공하는 것이 적합하다고 답변
- 일반국민(75.41%)이 해양업무종사자(72.78%)보다 2.63%p 높게 확률예보가 적합하다고 답변
- 이유 및 주관식
 - (적합하다) 사용자의 유연한 활용과 대비책 마련에 도움이 됨. 확률예보가 가장 객관적(합리적)임. 기후변화가 심해 예측이 어려우므로. 육상 기후예측 서비스에 익숙하므로 통일된 서비스 체계 필요. 수치화되어 있는 통계자료가 신뢰성이 높음
 - (적합하지 않다) 확률 개념에 대한 일반인의 이해도가 낮아 결과를 해석하는데 어려움을 겪을 수 있음. 육상기후와 다르므로 별도의 예보 방식이 필요함. 더 확실한 정보가 필요함. 확률예보는 실용성이 없음



□ (5. 필요한 예측 내용) 해양기후의 평균에 대한 예측과 극한에 대한 예측 중 어느 것이 먼저 제공되어야 한다고 생각하십니까?

- ‘평균 정보’ 및 ‘극한 정보’의 답변율이 비슷하여 모두 필요한 것으로 분석되나, ‘평균 정보’가 ‘극한 정보’의 답변율보다 13.02%p 더 높음
- 일반국민은 평균 정보에 대한 답변율이 21.93%p 더 높으며, 해양업무종사자는 극한 정보에 대한 답변율이 15.07%p 더 높음



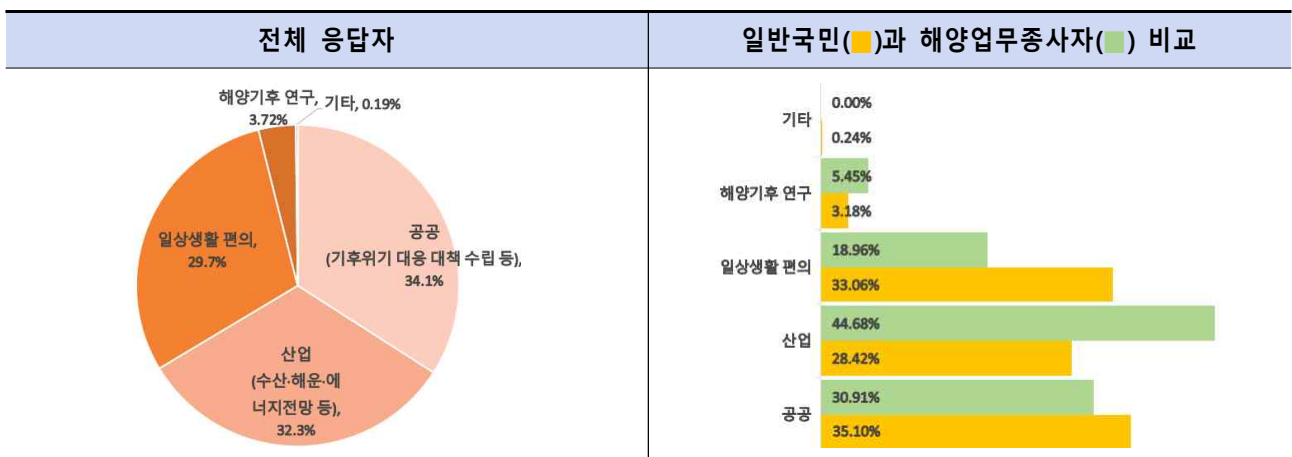
3) 해양기후예측 서비스의 활용

□ (1. 예상되는 활용 목적) 해양기후예측 서비스가 제공된다면 어떤 목적으로 가장 많이 활용될 것이라고 생각하십니까?

- 공공(34.10%), 산업(32.30%), 일상생활 편의(29.70%)에 대한 답변율이 비슷하게 높아 다양한 목적으로 활용될 것으로 예상됨

* (기타 의견) 레저·관광

- 일반국민은 공공(35.10%), 일상생활 편의(33.06%)에 대한 답변율이 높고, 해양업무종사자는 산업(44.68%), 공공(30.91%)에 대한 답변율이 높음



□ (2. 예상되는 활용 분야) 해양기후예측 서비스가 제공된다면 어떤 분야에서 활용도가 가장 높다고 생각하십니까?

- 해양안전(42.34%)과 어업 및 양식업(22.75%) 분야의 활용도가 높을 것이라는 답변이 많음

* (기타 의견) 모든 분야

- 일반국민과 해양업무종사자 모두 1, 2순위로 ‘해양안전’, ‘어업 및 양식업’으로 답변. 그 외 분야로 일반국민은 ‘레저·관광’, ‘해양자원활용’으로 답변, 해양업무종사자는 ‘해양자원활용’, ‘조선·해운’으로 답변

