

「해양기상 서비스 선진화 및 재난관리 역량향상 방안 연구」 최종보고서

2018. 11.



기상청

Korea Meteorological
Administration

정책연구 최종보고서

과 제 명	국문	해양기상 서비스 선진화 및 재난관리 역량향상 방안 연구		
	영문	Study on the improvement of the advancement of Met ocean service and disaster management capacity		
주관연구기관 (공동연구기관)	기 관 명	소 재 지	대 표	
	(주)한국해양기상기술	서울특별시 구로구 경 인로53길 90 1504호	임효혁	
주관연구책임자 (공동연구책임자)	성 명	소 속	전 공	
	임효혁	(주)한국해양기상기술/ 대표	해양학	
총 연구기간 (당해년도)	2018.04.13. ~ 2018.11.30. (8 개월)			
총 연구비 (당해년도)	일금 150,000천원 (₩150,000,000)			
총 참여연구원 (당해년도)	총 17명	책임연구원	3 명	
		연구원	4 명	
		연구보조원	2 명	
		보조원	8 명	
<p>2018년도 정책연구에 의하여 수행중인 연구과제의 최종보고서를 붙임과 같이 제출합니다. 붙임: 최종보고서 20 부</p> <p style="text-align: right;">2018년 11월 30일</p> <p style="text-align: right;">주관연구책임자 임 효 혁 인 주관연구기관장 임 효 혁 직인</p> <p>기 상 청 장 귀 하</p>				

기상청 「해양기상 서비스 선진화 및 재난관리 역량향상 방안 연구」에
관한 정책연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

2018 년 11 월 30 일

주관연구책임자 임 효 혁 인

주관연구기관장 임 효 혁 직인

(옆면)

(앞면)

재난관리역량향상
해양기상서비스
선진화 및
방안연구

2018년도

기상청

해양기상 서비스 선진화 및 재난관리 역량향상 방안 연구

Study on the improvement of the advancement of Met
ocean service and disaster management capacity

2018년도

기상청

제 출 문

기상청장 귀하

본 보고서를 “해양기상 서비스 선진화 및 재난관리 역량 향상 방안 연구”
최종보고서로 제출합니다.

2018년 11 월 30 일

- 주관연구기관명: 한국해양기상기술
- 연 구 기 간: 2018.04.13. ~ 2018.11.30.
- 주관연구책임자: 대표이사 임효혁
- 참 여 연 구 원
 - 주관사업책임자 : 임효혁((주)한국해양기상기술 대표이사)
 - 주관사업참여자 : 윤석영 김나영 이정원 신동연 조용현
오윤경 김용민 오희림 김채령
 - 협동기관책임자 : 김도연((주)아라종합기술 이사)
박원경((주)대영엔지니어링 책임)
 - 협동사업참여자 : 김성은 박상훈 박재문 김형준 유영재

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

목 차

제1장 사업 개요	1
제1절 사업의 배경 및 목적	1
제2절 사업의 범위	3
제3절 사업 추진 체계	4
1. 수행 조직도	4
2. 사업 수행 일정	5
제2장 사업 수행 내용	6
제1절 맞춤형 해양기상서비스 발굴 및 이행 로드맵 발굴	6
1. 맞춤형 서비스 요구분석 및 시범사업 제안	6
2. 다양한 계층의 의견수렴을 위한 설문조사	30
3. 국내외 해양기상 영향예보 선진기술 동향 분석	34
4. 맞춤형 해양기상서비스 설계 및 단·중기 세부이행계획	54
제2절 해양 위험기상 예측을 위한 인공지능, 빅데이터 활용기법 조사, 제시	60
1. 해양기상 예측에 인공지능의 적용사례 및 활용가능성 진단	60
2. 해양위험기상 예측을 위한 현상별 최적 인공지능 기법 제시	73
3. 연안재해 대응 해양 영향예보를 위한 해양/기상/지리정보의 DB 설계 방안	76
4. 종합 결론	80
제3절 해무예측 서비스 구축을 위한 국내외 기술현황 조사 및 로드맵 마련	114
1. 배경 및 필요성	114
2. 해무 관측 및 예측 기술 현황	124
3. 국내외 해무 정보 서비스 현황	144
4. 해무 정보 서비스 구축 방안	154
5. 결론	163
제4절 동해안 월파 및 너울에 의한 위험도 평가	165
1. 너울 및 월파의 정의	165
2. 너울 및 월파에 의한 동해안 피해현황 조사	170
3. 해안가 피해 예방을 위한 너울 및 월파 정보 적정성 분석	174

4. 너울 및 월파 강도에 따른 위험도 제시	180
5. 해안가 인명 및 재산 피해 예방을 위한 제도 개선 방안 제시	194
6. 소결론	201
제5절 해양기상관측망 강화 방안	203
1. 배경 및 필요성	203
2. 현황 분석	206
3. 해양기상관측망 강화 방안	223
제6절 종합 결론	230

표 차례

표 1 해양기상이 산업분야별 미치는 잠재적 영향(해양분야 기상정보활용도 제고 방안, 2013) · 1	1
표 2 세부 추진일정 계획	5
표 3 해양산업 통계조사(해양수산부, 2016)	7
표 4 어업생산동향조사(통계청, 2017)	8
표 5 해수욕장 이용객 통계(국민안전처 보도자료)	9
표 6 분야별 요구사항 분석	13
표 7 Sea State (Douglas Sea Scale)	16
표 8 저시정 시 해양조난사고 발생 현황(해양경찰청, 2017)	17
표 9 2017년 월별 사고 발생 현황(해양경찰청, 2017)	18
표 10 수상레저 활동자 현황(국민안전처, 2017)	19
표 11 수상레저 사업장 등록수와 사업장 수상레저기구(국민안전처, 2017)	19
표 12 대표 민간 서비스 항목 비교	27
표 13 분야별 맞춤형 서비스 시범 사업 제안	28
표 14 NWS 추진 전략 목표(Weather-Ready Nation Roadmap)	34
표 15 강풍 경고 카테고리	42
표 16 지방(지)청 별 특화 서비스	49
표 17 국외 해양기상 맞춤형 서비스 현황	52
표 18 각국 기상청의 영향예보 서비스 비교	53
표 19 연구 검색을 위한 검색어 및 선정된 과제/연구	67
표 20 국가과제 수행 현황	68
표 21 기계학습을 이용한 기상 예측 연구 현황	69
표 22 딥러닝을 이용한 기상 예측 연구 현황	69
표 23 기계학습을 이용한 기상예측연구 검색 결과	70
표 24 딥러닝을 이용한 기상예측연구 검색 결과	71
표 25 다층 퍼셉트론과 RBFN 비교	88
표 26 회귀분석 비교	94
표 27 기상특보에 따른 입출항 통제현황(연안해운통계연보, 2015 ~ 2016)	117

표 28 해무 예측 기술의 발달 과정	131
표 29 기상청 안개 자료 생산 모델 및 제공 자료	133
표 30 해무 관측 방법 및 적용 방안	142
표 31 해무 예측 방법의 특징 및 관련연구	143
표 32 국내외 해무(시정) 정보 서비스 비교	153
표 33 해무 집중 관측망 구축 방안	158
표 34 해무 예측 방법의 장단점 및 적용 방안	161
표 35 기존 연구에서의 다양한 너울의 정의	165
표 36 더글러스 너울계급 분류표(WMO)	166
표 37 현재진행중인 너울관련 국내연구	167
표 38 고파랑 경보기준(해양수산부)	167
표 39 너울 경보기준(국립재난안전연구원)	168
표 40 단계별 너울 예·경보 가이드스(안)	169
표 41 허용 월파랑 기준에 따른 월파 예·경보 가이드스(안)	170
표 42 지자체별 너울 및 월파 피해현황(2010년 1월~2017년 12월)	170
표 43 미디어 피해자료(2010년 1월~2017년 12월) 내용(계속)	172
표 44 미디어 피해자료(2010년 1월~2017년 12월) 내용	173
표 45 2015년 11월 24일~27일 너울로 인한 재산피해 현황(지자체 내부자료)	174
표 46 수집된 피해자료 당시의 풍랑특보 상황 및 너울 경보기준에 따른 분류(계속)	182
표 47 수집된 피해자료 당시의 풍랑특보 상황 및 너울 경보기준에 따른 분류(계속)	183
표 48 수집된 피해자료 당시의 풍랑특보 상황 및 너울 경보기준에 따른 분류	184
표 49 사람과 차량에 대한 월파한계량(EurOtop)	184
표 50 항만 시설 배후지에서의 월파한계량(EurOtop)	185
표 51 기상청 현업 파랑모델 현황	196
표 52 단계별 너울 예·경보 가이드스(안)	201
표 53 허용 월파랑 기준에 따른 예·경보 가이드스(안)	201
표 54 파고, 파주기 계급별 출현율(해양기상부이)	211
표 55 파고, 파주기 계급별 출현율(파고부이)	212
표 56 우리나라 상륙 태풍 현황(연도별)	218
표 57 해양기상관측망 구축 방안	224

그림 차례

그림 1	해양기상정보의 수요	1
그림 2	사업의 배경 및 목적	2
그림 3	사업수행 조직도	4
그림 4	남해안 양식어류 피해의 주요 원인(1998-2016) (한국해양수산개발원, 2018)	8
그림 5	레저인구수 동향(국민안전처, 2016)	9
그림 6	해양조난사고 현황(해양경찰청, 2017)	10
그림 7	해양 산업의 종류별 영향을 미치는 기상 요소	11
그림 8	맞춤형 서비스 사업 시행 분야	11
그림 9	수온의 변화와 어종분포 변화(좌:기상청, 중:통계청, 우:국립수산과학원)	14
그림 10	남해안 양식어류 피해의 주요 원인(1998-2016) (한국해양수산개발원, 2018)	14
그림 11	생활체육 동호회 및 동호인 수(체육백서, 2017)	19
그림 12	Windfinder 서비스	21
그림 13	Windy 서비스	22
그림 14	Windguru 서비스	23
그림 15	Earth Nullschool 서비스	24
그림 16	Magicseaweed 서비스	25
그림 17	Surf-Forecast 서비스	26
그림 18	1차 전문가 대상 설문조사 결과	32
그림 19	2차 전문가 대상 설문조사 결과	33
그림 20	NOAA Weather & Hazard Data Viewer	35
그림 21	NOAA Tsunami warning System	35
그림 22	지진 해일 영향 예보 위험 매트릭스	36
그림 23	NOAA Storm Prediction System	37
그림 24	NOAA beach forecast service	37
그림 25	일본의 해일 예측 서비스와 이에 따른 행동 수칙 (일본 기상청)	38
그림 26	바다네비 서비스 예시 1 (일본기상주식회사)	39
그림 27	바다네비 서비스 예시 2 (일본기상주식회사)	39

그림 28 Met office 영향예보 예시(Metoffice)	40
그림 29 자연 재해 파트너십과 일간 유해성 평가 (NHP)	41
그림 30 해양 위험 경고의 예시 1 (호주 기상청)	43
그림 31 해양 위험 경고의 예시 2 (호주 기상청)	43
그림 32 MetEye 서비스 (호주 기상청)	44
그림 33 승선하기 전 체크해야할 기상 상태 (호주 기상청)	45
그림 34 중국기상 경고 정보(중국 기상청)	46
그림 35 영향예보 비전과 추진 방향(기상청, 2016)	47
그림 36 기상청 제공 서비스 (기상청)	48
그림 37 국립해양조사원 제공 서비스	50
그림 38 실시간 해양환경 어장정보시스템	51
그림 39 맞춤형 서비스 시범 사업 로드맵	54
그림 40 데이터 가시화 방안(출처: Windy 서비스 일부)	57
그림 41 데이터 가시화 및 예/관측 기반 강화 방안	58
그림 42 왓슨 애널리틱스 (IBM)	62
그림 43 에어비주얼 서비스 (Air visual)	63
그림 44 Deep hybrid model 개념도 (Microsoft, 2015)	64
그림 45 인공지능 기법의 현재 위치와 인공지능 기법의 출현 시기	66
그림 46 인공지능 대표 알고리즘	73
그림 47 데이터베이스의 개요	76
그림 48 NoSQL DB	77
그림 49 데이터 종류에 따른 최적 DB 환경 검토	78
그림 50 서버 구성 인프라의 H/W, S/W 기술 변화	79
그림 51 DB 구축 설계 방안	79
그림 52 인공지능 빅데이터 활용기법 로드맵	80
그림 53 단순 선형 회귀	82
그림 54 RBFN의 구조	87
그림 55 RBFN 학습 결과	88
그림 56 Non-linear SVR	89
그림 57 커널을 이용한 SVR	89

그림 58 kNN 알고리즘 개념	90
그림 59 kNN 분류 결과	91
그림 60 선형 SVM이 두 자료 (흰색 원, 검은색 원)를 직선으로 분리	92
그림 61 SVR 결과	93
그림 62 표준 로지스틱 함수	95
그림 63 로지스틱 회귀 분석 결과	95
그림 64 하나의 결정 트리	96
그림 65 K-means 알고리즘 실행 과정	99
그림 66 덴드로그램(dendrogram) 예시	100
그림 67 거리측정 방법	101
그림 68 min_samples = 5일 때, x는 핵심 포인트, y는 경계 포인트, z는 잡음	103
그림 69 DBSCAN 클러스터링 결과	103
그림 70 EM 알고리즘 결과	105
그림 71 다층 퍼셉트론의 구조	106
그림 72 다층 퍼셉트론	107
그림 73 은닉층이 1개인 autoencoder의 구조	108
그림 74 알고리즘의 각 기호에 대한 설명	109
그림 75 CNN의 구조	110
그림 76 컨볼루션(C)과 서브샘플링(S)	111
그림 77 완전연결층, 지역연결층, 컨볼루션층의 비교	111
그림 78 Simple RNN의 구조	112
그림 79 RNN의 기본 구조	113
그림 80 지역별 20년간(1989-2008) 안개 발생일 비교(손희정 등, 2010)	114
그림 81 해무발생 및 내륙 유입 모식도(기상청, 2015)	115
그림 82 연안안개 발생 모식도(기상청, 2015)	115
그림 83 기상특보 발효 및 출항통제 횟수(연안해운통계연보, 2011 ~ 2016)	116
그림 84 연도별, 월별 여객선 사고 현황(연안해운통계연보, 2011 ~ 2016,)	117
그림 85 해양사고 발생 통계(2011 ~ 2016)	118
그림 86 기상원인별 사고 통계	118
그림 87 기상원인별-해역별 사고 통계	119

그림 88	해역별 해양사고 발생 통계(국립해양조사원, 2017)	120
그림 89	월별 해양사고 발생 통계(국립해양조사원, 2017 자료 재구성)	121
그림 90	해무 예측 관련 설문 조사 결과 (국립해양조사원, 2016)	122
그림 91	해무 예측 정보 서비스 구축 필요성	123
그림 92	목측에 의한 안개 관측	124
그림 93	시정계의 종류	125
그림 94	현천계 예시	125
그림 95	일사계와 안개 간접 지표 활용(de Haij, 2010)	126
그림 96	기상청 연안 CCTV 해무 관측 사례	126
그림 97	위성을 이용한 안개 탐지 예시	127
그림 98	운고계와 관측 결과 예시(Schäfer et al, et al. 2007)	128
그림 99	라디오존데와 관측 결과 예시	128
그림 100	라디오미터와 안개 탐지 결과 예시	128
그림 101	스캐닝 레이더와 안개 탐지 결과 예시(Hamazu et al, et al. 2003)	129
그림 102	라이다와 관측 탐지 모식도	129
그림 103	지역예보모델과 국지예보모델의 안개관련 예측자료 예시	134
그림 104	인공신경망(DNN) 해무 예측 성능(좌: 인천항 우: 부산항; 국립해양조사원, 2017)	135
그림 105	7개 인자를 이용한 분류나무 모형(국립해양조사원, 2017)	136
그림 106	조지아 연안 해무 결정 트리(Lindner et al, et al. 2018)	137
그림 107	인공신경망 모델과 UM 모델 시정 예측값 비교(Claxton, et al. 2008)	138
그림 108	양상블 모델 예측 방법 및 확률론적 예측 평가 결과(Duan et al, et al. 2012)	139
그림 109	C-Fog 연구 개념도 및 육상 관측 계획	140
그림 110	C-Fog 해상 관측 지점 및 장비	140
그림 111	기상청 안개정보서비스 서비스	144
그림 112	기상청 방재기상정보 서비스	145
그림 113	항계안전 해양정보 서비스	146
그림 114	미국 기상청 안개 예특보 서비스	147
그림 115	미국 NOAA/NCEP/EMC 시정 예측 결과 예시	148
그림 116	미국 NOAA/NWS 내륙 시정관측 장비(좌) 및 서비스 현황(우)	149
그림 117	미국 NOAA/NOS 해상 시정 관측 장비(좌) 및 서비스 현황(우)	149

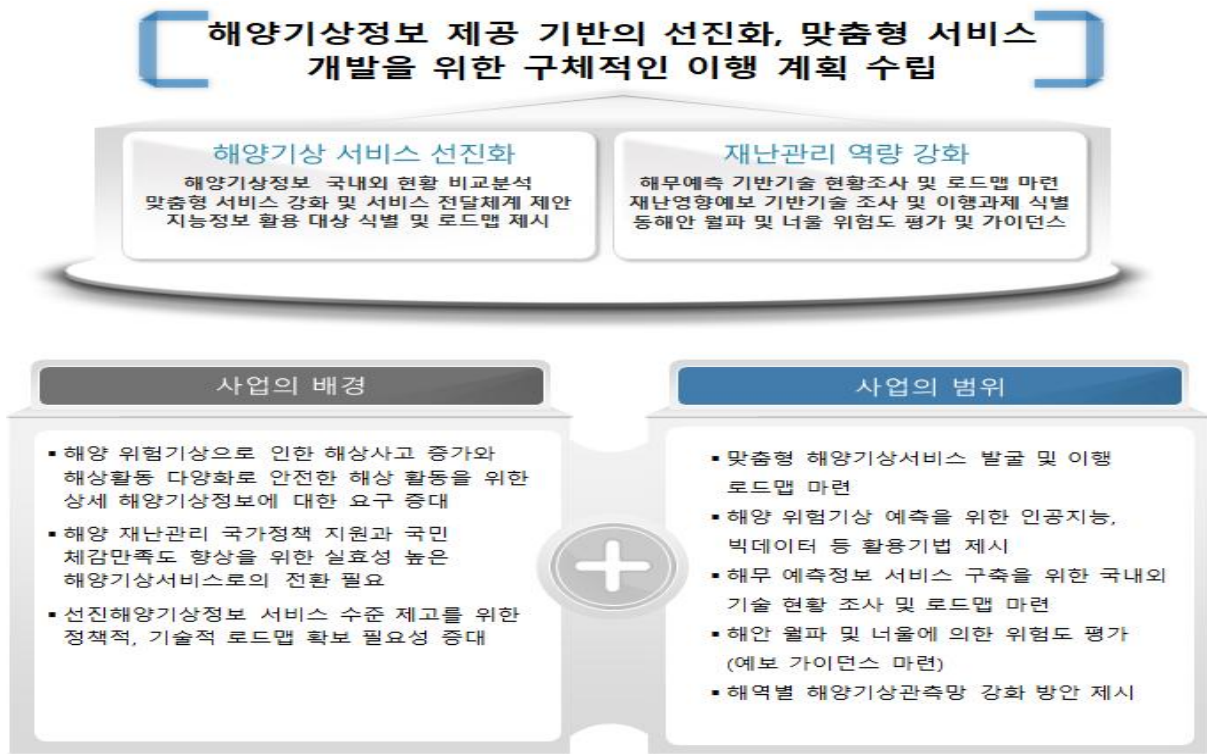
그림 118	영국 기상청 시정 예보 구역도 및 시정 예보 예시	150
그림 119	영국 기상청 시정 관측 자료 제공 현황	151
그림 120	일본 기상청 시정 예보 및 관측 서비스	152
그림 121	기상별 해양조난사고 인명피해 및 선박출항통제 기준	154
그림 122	선박 및 인명 사고 분포 현황(국립해양조사원 개방해)	154
그림 123	기상청 시정 관측망(좌: 목측, 중: 시정계, 우: 위성영상)	155
그림 124	유관기관 해무 관측망 현황	156
그림 125	연안 해무 관측 관련 기관별 관측 지점	157
그림 126	해무 집중 관측망 구축안	159
그림 127	해무 정보 전달 시스템 적용	162
그림 128	해무 정보 서비스 구축을 위한 세부 방안	163
그림 129	해무 정보 서비스 구축을 위한 단·중기 로드맵	164
그림 130	미디어 피해자료 (2010년 1월~2017년 12월) 요약	171
그림 131	기상청 너울파고 수치예보 서비스	176
그림 132	기상청 보도자료 및 동해상 위험기상 발생 가능성 정보	177
그림 133	CDIP 너울 정보제공 시스템(미국)	178
그림 134	일본 전국 항만 해양 파랑정보망(NOWPHAS)	179
그림 135	호주 실시간 파랑관측 시스템(너울 정보)	179
그림 136	범람 및 해안침식 위험관리 요소(영국)	180
그림 137	경사 및 직립구조에서 월파랑 산정의 주요인자	186
그림 138	경사식 및 직립식 구조물의 월파랑 경험식 산정 흐름도(예시)	187
그림 139	너울로 월파 피해(2015년 11/23~27일)	188
그림 140	월파예보 시스템 개념도	189
그림 141	기상청 동해부이 시계열 자료 예시	190
그림 142	목호항 조위 시계열 자료 예시	190
그림 143	동해지역 파랑수치모형 실험 격자망 및 수심	191
그림 144	사천진항 주변 파랑수치모형 실험 격자망 및 수심	191
그림 145	파랑수치모형 실험결과	192
그림 146	사천진항 대표 단면	193
그림 147	주문진항 방파제 자동경보시스템(해양수산부)	194

그림 148	영상기준점 측량 과정	195
그림 149	격자 해상도에 따른 해안구조물 전면 계산과고 비교	197
그림 150	현행 동해안 해상국지예보구역과 세분화 제안(안)	198
그림 151	너울 및 월파 정보제공 서비스 구축방안 요약	199
그림 152	너울 및 월파 정보기준 구축을 위한 단계별 연구 로드맵	200
그림 153	해상예보구역과 해양기상관측망(부이, 등표)	203
그림 154	언론에 비친 해양기상관측망	204
그림 155	기후변화에 따른 어종 변화(서울신문, 2016.1.13.)	205
그림 156	해양기상관측망 현황	210
그림 157	유의과고 상자그림(OB : 해양기상부이, CWB : 파고부이)	213
그림 158	파주기 상자그림(OB : 해양기상부이, CWB : 파고부이)	213
그림 159	국지파랑 예측모델(CWW3) 군집분석 내부평가 지수	215
그림 160	국지파랑 예측모델(CWW3) 군집 분석 결과(8~11개)	216
그림 161	국지파랑 예측모델(CWW3) 군집 분석 결과(12~15개)	217
그림 162	우리나라 상륙태풍 진로도(2002 ~ 2018)	219
그림 163	해역별 어종 변화(국립수산과학원)	220
그림 164	월별 예상 어장도(2017.11 ~ 2018. 4)	221
그림 165	월별 예상 어장도(2018.5 ~ 2018. 10)	222
그림 166	미국 해양기상관측망 계획 및 현황	223
그림 167	해양기상관측망 구축(안)	225
그림 168	GTSP, DBCP, 국립해양조사원(NEMOQC)의 품질 관리 단계 (기상청, 2016)	226
그림 169	전지구 Argo 수온 및 염분 자료의 품질 관리 흐름도 (Chang et al, et al. 2009) ..	227
그림 170	OSSE 시스템 모식도	228
그림 171	OSSEs 실험 결과(공주대학교, 2017)	229
그림 172	조직운영방안	232

- 요약 문 -

I. 과제의 배경 및 목적

- 해양기상정보는 어업으로 대표되는 기존 해양관련 산업 뿐 아니라, 해양레저, 선박의 최적항로 등 다양한 산업 분야에 영향을 미침
- 최근 해상활동의 다양화에 따라 해상사고가 증가하여 안전한 해상활동을 위한 상세한 해양기상 정보의 요구 증가
- 해양기상정보는 해양 재난관리 국가정책을 지원하고, 국민의 만족도를 향상시키도록 양적, 질적 개선을 통해 높아진 수요층의 눈높이를 맞추고 실효성 높은 서비스로 전환될 필요성이 있음
- 해양기상정보가 해양관련 산업 외에도 이용자의 수가 급격히 증가하는 항로, 레저 분야 뿐 아니라 해양 재난 등 해양기상정보의 이용이 요구되는 산업 분야에 미치는 영향을 고려하면, 본 연구는 안전한 해상활동을 위한 상세한 해양기상정보를 제공하기 위한 기반을 마련하고, 국민 체감 만족도를 향상시킬 수 있는 효율성 높은 해양기상 서비스로의 전환을 도모할 수 있음



[과제의 배경 및 목적]

II. 과제의 범위

본 연구는 안전한 해상활동을 위해 다양한 분야에서 요구되는 해양기상정보 요청에 대응하고, 실효성 높은 서비스를 제공함으로써, 해양재난관리의 국가정책 지원과 국민 체감도를 향상시키기 위해 5가지 연구 범위를 기준으로 해양기상 서비스를 선진화하고, 재난 관리 역량을 향상시키기 위한 연구를 수행함

- 맞춤형 해양기상 서비스 발굴 및 이행 로드맵 발굴
 - ✓ 국내외 해양기상 영향예보 선진기술 동향 분석
 - ✓ 맞춤형(어업, 항만, 선박(항로), 레저, 안보, 해난 등) 서비스 요구 분석 및 시범사업 제안
 - ✓ 맞춤형 해양기상서비스 설계 및 단·중기 세부이행계획 제시
- 해양위험기상 예측을 위한 인공지능, 빅데이터 활용기법 조사, 제시
 - ✓ 해양기상 예측에 인공지능 적용사례 조사 및 활용 가능성 진단
 - ✓ 해양위험기상 예측을 위한 현상별 최적 인공지능 기법 제시
 - ✓ 연안재해 대응 해양 영향예보를 위한 해양 기상 지리정보의 DB 설계방안 제시
- 해무예측 서비스 구축을 위한 국내외 기술현황 조사 및 로드맵 마련
 - ✓ 해무예측정보 서비스 현황 및 활용성 진단
 - ✓ 국내 해무 관측현황 및 해무 집중관측망 구축 방안
 - ✓ 해무예측정보 서비스 구축을 위한 로드맵 제시
- 동해안 월파 및 너울에 의한 위험도 평가 (예보 가이드스 마련)
 - ✓ 너울 및 월파에 의한 동해안 피해 현황 등 영향 조사
 - ✓ 너울 및 월파 강도에 따른 위험도 제시
 - ✓ 해안가 피해 예방을 위한 현재 너울 및 월파 정보 적정성 분석
 - ✓ 해안가 인명 및 피해 예방을 위한 제도 개선 방안 제시
- 해양기상관측망 강화 방안 제시
 - ✓ 해상예보구역, 대표성을 고려한 최적 해양기상관측망 방안 제언

- ✓ 여객선 항로 상 민원(언론) 분석 및 해결방안 제언
- ✓ 해양기상관측 강화 및 예보향상을 위한 조직 강화 방안 제언

III. 연구 수행 내용

1. 맞춤형 해양기상서비스 발굴 및 이행 로드맵 마련

- ✓ 맞춤형 서비스에 대한 요구를 분석하여 맞춤형 서비스가 효율적으로 전달되고, 높은 실효성을 가져 국민 체감도를 향상시키도록 분야별 시범 사업을 제안함
 - 바다를 기반으로 하는 해양산업은 타 산업과 비교하여 기상과의 상관성과 민감도가 높음. 따라서 맞춤형 서비스 사업을 실시하는데 있어 해양산업의 규모가 가장 큰 해운항만업의 항로 분야와 항만 분야를 맞춤형 서비스 사업의 실시 분야로 선정하고, 해양기상정보가 생산성에 직접적인 영향을 미치는 어업 분야, 최근 이용객의 수가 급증한 해양 레저 분야, 기상위험에 따라 인명/시설 피해가 발생할 가능성이 높은 해난분야 및 국가 안보를 고려하여 안보 분야를 포함하는 6개 분야를 맞춤형 서비스를 제공하기 위한 시범 분야로 제안하며, 각 분야에 대하여 제안하는 맞춤형 서비스는 아래 표와 같음

분야	맞춤형 서비스 제안	
항로	- 항로별 예상 도착 시간에서의 파고, 풍속, 풍향 예측 정보 등	
항만	- 기상실황정보(기상부이, 파고부이, 등표, 육상 AWS 등), 항만예보, 조석, 일(월)출몰 정보 등	
어업	- 수온 - 추가적으로 파고, 풍속 등	
레저	낚시	- 파고, 수온 - 층별 수온정보, 층별 조류정보 (격자 상 특정위치 선택 시 해당지점 층별 수온, 층별 격자 등)
	서핑	- 파고, 파향, 파주기, 풍속, 풍향, 수온 - 쇄파대 정보 (데이터 생산 필요)
안보	- Sea State	
해난	- CCTV, 해무 예측정보	

[분야별 맞춤형 서비스 시범 사업 제안]

- 향후, 현재 제안된 6개 분야 외에 해양산업의 규모가 가장 큰 선박 및 해양 플랜트

의 건조를 포함하는 조선 분야에 대한 맞춤형 서비스 및 해양에서의 환경오염 문제가 대두되어 환경보존에 중요성과 필요성이 강조되고 있는 점을 고려하여 적조 예측, 기름 유출 범위 예측 등 환경 분야에 대한 맞춤형 서비스가 고려될 수 있음

- ✓ 본 연구에서는 국내외 해양기상 영향예보의 선진기술 동향 분석을 통해 기상선진국(미국, 일본, 영국, 호주, 중국)의 기술 동향을 파악하고, 우리나라와의 비교를 통해 현 상황을 파악하고, 영향예보와 관련하여 나아가야 할 방안을 제안함
 - 미국은 Weather-Ready Nation Roadmap 2.0을 통해 현행 기상 서비스를 영향예보 서비스로 전환할 것으로 결정하였으며, 해일 위험 정보의 경우 과거 30일에 발생한 해일정보를 GIS 및 목록 형태로 제공함과 동시에 해일의 위험도에 따라 단계별로 구분된 행동양식을 제공함
 - 일본은 해일 발생 시 해일고의 높이, 진원지 정보 및 해일 예상 도착시간 등을 함께 제공하고 있으며 지방기상청과의 협력을 통해 해일 발생 시 단계별 행동요령을 안내하고 있음. 한편, 일본기상주식회사의 바다네비는 낚시, 서핑, 다이빙, 해수욕장으로 구분된 맞춤형 서비스를 제공하고 있음
 - 영국은 강풍 경보 등 기상 위험 정보를 Risk Matrix에 기초하여 결정된 단계에 따라 색상으로 구분하여 단계별로 제공하고 있으며, 자연재해 파트너십(NHP)을 설립하여 신청자에 한해 20여 가지 위험 기상 정보에 대한 일간 유해성 평가 보고서를 제공함
 - 호주는 MetEye 서비스를 통해 강수, 풍랑, 기온 등의 기상 정보 및 안개, 습도 등의 기상 현상 중 사용자가 선택한 정보를 GIS를 통해 표시하는 맞춤형 서비스를 제공하고 있으며, 강풍, 태풍, 해일 등의 위험 기상에 대하여 위험도에 따라 색상으로 구분된 기상 정보를 제공함

해양기상	미국	일본	영국	호주	중국	한국
강수	●		●			
강풍	●		●	●		
태풍	●		●	●		
해일	●	●		●		
낙뢰	●		●			
이안류	●					

※중국과 한국의 경우 별도의 영향예보 서비스 제공 없음

[기상 영향예보 서비스 비교]

- 현재, 우리나라의 경우 해양기상과 관련된 영향예보는 시행되고 있지 않으며, 기상청은 2020년부터 영향예보 서비스를 시행하려는 계획을 발표한 만큼, 향후 다양한 분야에서 영향예보 서비스가 개발되어 서비스 될 것으로 예상됨. 다만, 영향예보 서비스를 계획하는데 있어 필요한 기상정보 현황을 분석 후 유관기관과의 협조 또는 기상관측망 강화를 진행하여 영향예보를 위해 필요한 기상정보를 정확하게 파악하고 효율적인 영향예보 서비스가 제공될 수 있도록 체계가 구성되어야 함
- ✓ 다양한 계층의 의견 수렴을 위하여 국민 생각함을 통한 의견 수렴, 1차 전문가 대상 설문조사, 2차 전문가 대상 설문조사를 통해 의견을 수렴하고, 조사결과를 활용하기 위한 설문조사 분석을 수행함
- ✓ 조사된 내용을 기반으로 맞춤형 서비스의 설계 및 해양기상정보 서비스의 안정화 위한 단·중기 세부이행계획을 제시함
 - 로드맵을 참조하면, 단기적인 서비스 시범사업은 2019년부터 즉시 시행될 수 있도록 계획/준비되어야 하며 중장기적 서비스 시범사업은 2020년 이후 적용 가능하도록 관련 기술의 개발 및 환경의 구축 등을 선결해야 함
 - 6개 분야에 대한 로드맵을 제시했으나, 각 분야를 보다 세분화하여 맞춤형 서비스를 제공할 수 있음. 예를 들면, 어업의 경우 양식업과 조업 맞춤형 서비스로 구분하여 서비스를 계획할 수 있으며 보다 세분화하여 양식어류의 폐사 등에 직접적으로 영향을 미치는 고수온, 저수온을 포함하는 극한수온에 대한 맞춤형 서비스를 계획할 수도 있음. 새로운 분야에 대한 요구사항, 필요성 등을 고려하여 제시된 분야 외에 다양한 분야로 확장하여 맞춤형 서비스를 제공할 수 있음(예를 들면, 조선 분야 및 환경 분야 등)
 - 데이터의 가시화에 있어서 다양한 해양기상 데이터를 추가 생산하여 API 기반의 해양기상정보 서비스를 민간 사업자에게 전달함으로써 민간사업자의 예·관측 데이터 생산기반을 강화하는 방안을 제안함

맞춤형 서비스 시범 사업 로드맵

	단기	중장기	
공통	<ul style="list-style-type: none"> • 해양기상 관측망 확대(전국 서비스 인프라를 구축하기 위한 구축 계획 수립) • 예보시간 간격 조정 (기존 12시간 -> 6시간/3시간) • 예보구역 세분화, 해양기상 정보의 정확도 향상, GIS 환경에 대한 구축 필요 		
항로	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">도착 지점 예측 기상 정보</div> <ul style="list-style-type: none"> • 예상 도착 시간에서의 기상 예측 정보 (파고, 풍속, 풍향 등)-국내 	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">항로 상 예측 기상 정보</div> <ul style="list-style-type: none"> • 30분/1시간 후 위치에 대한 기상 예측 정보 (파고, 풍속, 풍향 등)-국제 	
항만	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">항만 별 기상실황정보</div> <ul style="list-style-type: none"> • 항만 별 기상실황정보,항만예보,조석,일(월)출몰정보 (항만 인근 기상부이, 파고부이, 등표, 육상 AWS 정보 등) 	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">지점 별 기상예측정보</div> <ul style="list-style-type: none"> • 항만인근 GIS 기반의 선택 지점에서의 기상실황/예측정보 	
안보	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">Sea State</div> <ul style="list-style-type: none"> • 단계별 바다상태 정보 제공 	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">지점 별 기상예측정보</div> <ul style="list-style-type: none"> • GIS에 기반한 선택지점에서의 기상예측정보 	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">ECMWF 자료</div> <ul style="list-style-type: none"> • ECMWF 자료와 UM 기상 자료의 동시 제공
어업	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">수온/파고/풍속</div> <ul style="list-style-type: none"> • 대표 지점에 대한 수온 정보 	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">지점 별 기상 예측 정보 (수온/파고/풍속)</div> <ul style="list-style-type: none"> • GIS에 기반한 선택된 지점에 대한 기상 예측 정보 • 해당 지점 층별 수온/조류 정보 	
해안	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">해안 CCTV 정보</div> <ul style="list-style-type: none"> • 해변가, 해수욕장 등 특정 지점에 대한 CCTV 화면 제공 	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">수상 장비 CCTV 정보</div> <ul style="list-style-type: none"> • 부이, 등표 등 CCTV가 포함된 장비에서의 CCTV 화면 제공 	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">해무 예측 정보</div> <ul style="list-style-type: none"> • 해무예측 정보제공
래저	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">낙시</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">파고/수온</div> <ul style="list-style-type: none"> • 선정된 지점에 대한 낙시 맞춤정보 	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">서핑</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">파고/파향/풍향/풍속</div> <ul style="list-style-type: none"> • 선정된 지점에 대한 서핑 맞춤정보 	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">스킨스쿠버</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">요트 등 스포션박</div> <ul style="list-style-type: none"> • 특정 지점 층별 수온/조류 • 특정 지점 쇄파대 정보

[맞춤형 서비스 시범 사업 로드맵]

2. 해양 위험기상 예측을 위한 인공지능, 빅데이터 등 활용기법 조사, 제시

- ✓ 해양기상 예측에 인공지능이 적용된 사례를 조사하여 인공지능을 활용할 수 있는 가능성을 진단함
 - IBM은 웨더컴퍼니를 약 2조원에 인수하여 왓슨 애널리틱스 플랫폼(Watson Analytics Platform)을 통해 기업의 운영과 의사 결정에 기상정보를 적용하고자 했으며, 웨더컴퍼니는 스타트업인 에어맵(Airmap)과 협력하여 드론 조종사들에게 기상정보를 실시간으로 제공할 계획을 가지고 있음
 - Microsoft는 인공지능 기반 예보모델인 Deep Hybrid Model을 개발하였으며, 미국 60개 고층대기 관측소와 기후자료에 인공지능 기술을 적용하고, 기상학적 법칙을 추가, 보정하는 과정을 통해 예보를 생산함
 - 한국의 경우 SK TechX, 부경대, KISTI 등에서 기상 정보를 인공지능을 적용하여 예보 생산, 대기 변화, 태풍의 진로 등 기상 현상을 예측하고자 하는 시도들이 이루어짐
 - 위험기상을 예측하는데 있어 다양한 시도가 이루어지고 있으나, 크게 기계학습을 통한 인공지능 학습과 딥러닝을 통한 인공지능 학습 방법이 이루어지고 있음. 인공지능 기법을 적용함에 있어 단기적으로 기계학습을 통한 위험기상 예측 방안을 고려할 수

있고, 장기적인 관점에서 딥러닝을 통한 위험기상 예측 방안을 고려할 수 있음

- 기상예측을 적용하는 분야와 관련하여 해무 등의 위험 기상현상 예측에 적용하거나 또는 맞춤형 서비스를 통해 제공되는 수치예측정보를 생산하는데 인공지능을 적용할 수 있음

✓ 해양위험기상 예측을 위한 현상별 최적 인공지능 기법 제시

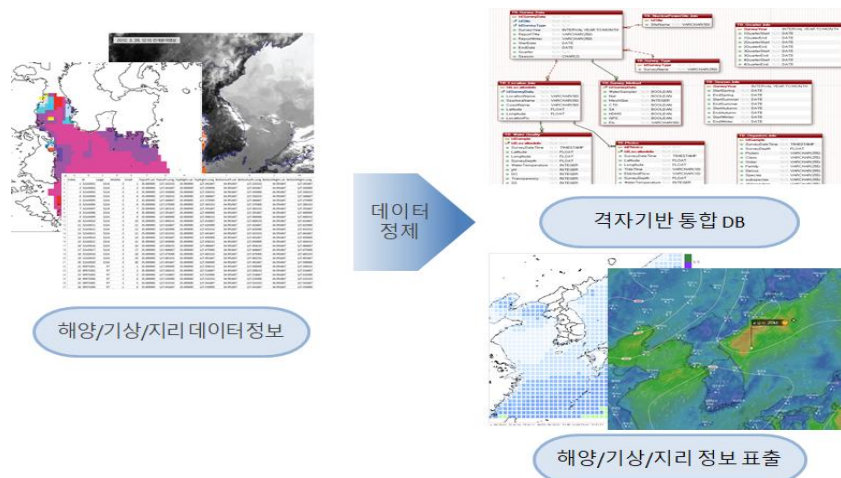
- 인공지능을 통한 기상예측은 비교적 최근 들어 연구가 진행되고 있으며, 앞서 조사된 바와 같이 큰 틀에서 기계학습과 딥러닝을 통해 기상현상을 예측하려는 시도들이 이루어지고 있음.

- 해양기상 예측뿐만 아니라, 인공지능 학습을 위한 데이터를 생산하는데 인공지능을 적용할 수 있으며, 다양한 장소에서 생산되는 데이터를 인공지능을 통해 전처리함으로써, 데이터의 신뢰성과 생산성을 높일 수 있음

- 인공지능은 예측 알고리즘, 분류 알고리즘, 군집 알고리즘, 신경망 알고리즘 등으로 분류될 수 있음. 따라서 위험 해양기상을 예측하는데 예측 알고리즘의 적용을 고려할 수 있고, 데이터의 품질관리에 있어 분류 알고리즘의 적용을 고려할 수 있음

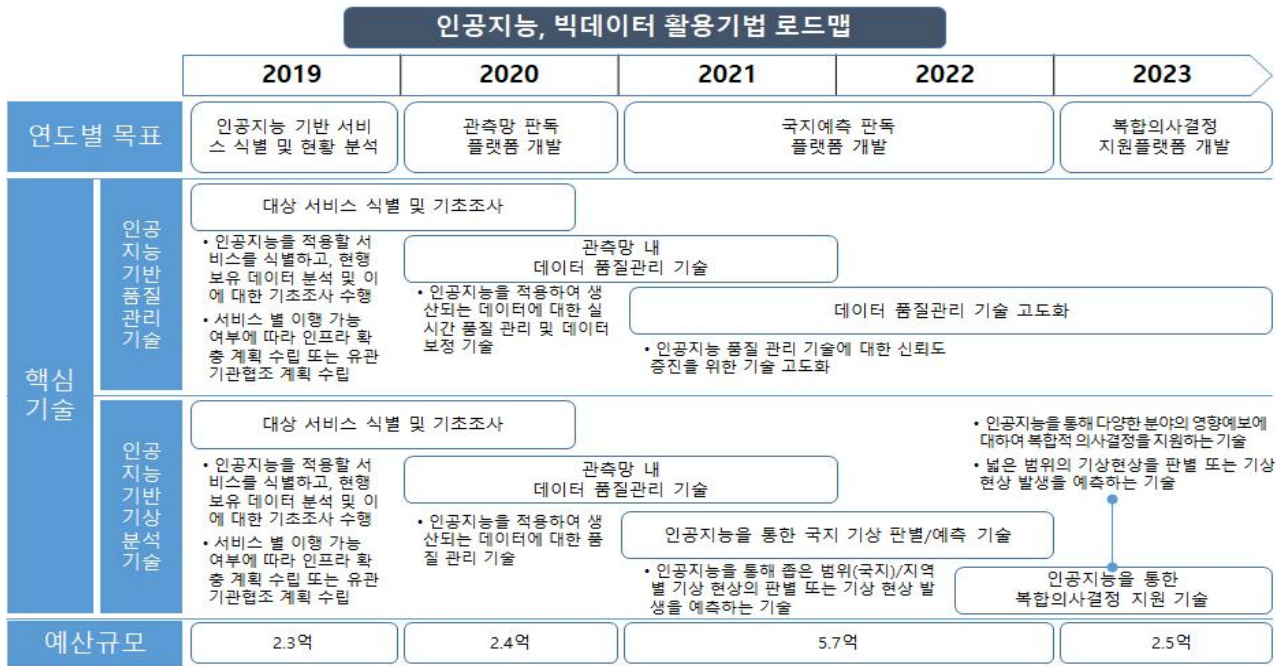
✓ 해양 영향예보를 위한 해양·기상·지리 정보의 DB설계 방안

- 해양기상지리 정보를 위한 데이터베이스(DB)를 설계하는데 있어, 다양한 곳에서 수집되는 해양·기상·지리 정보를 포함하는 데이터에 대한 데이터 정제가 필요하며, 정제된 데이터를 통합하는 격자기반의 통합DB 설계가 필요함. 데이터의 정제 및 통합 DB 설계 시 각 DB의 기준을 표준화하는 작업이 중요하나, 자료의 종류와 양이 방대하고, 관련 부처 간, 사용자 간 이견이 있기 때문에 별도의 과제를 통해 통합 DB를 설계하는 방안을 제안함



[DB 구축 설계 방안]

- ✓ 조사된 내용을 바탕으로 인공지능, 빅데이터를 활용하기 위한 로드맵을 제안함
 - 인공지능을 활용하여 데이터에 대한 품질 관리 기술과 기상 분석 기술을 개발할 것을 제안함
 - 단기적으로 서비스 대상 식별 및 현황 분석이 이루어져야 할 것이며, 이후 관측품질을 개선하기 위한 플랫폼 연구, 국지예측을 판독하는 플랫폼의 개발, 최종적으로는 복합의사 결정을 지원하는 플랫폼을 개발해야 함
 - 인공지능 개발과 병행하여, 해무 예측 또는 앞서 선정된 6개 분야에 대한 맞춤형 서비스의 수치 예측에 인공지능을 적용, 현재의 기상관측망에서 수집되는 데이터에 대한 데이터 품질 관리에 활용할 수 있도록 인공지능을 다른 사업과 이용할 수 있도록 사업 계획이 수립되어야 함. 향후, 기상관측망이 강화되는 경우 이들에 대한 데이터 품질 관리에도 인공지능을 이용할 수 있음



❖ 예산규모는 기상청 - 미래 기상업무변화 대응 인공지능 기술 활용 전략기획 내 인공지능 융합 기상업무 혁신기술개발사업 예산 예산 참조






[인공지능 빅데이터 활용기법 로드맵]

3. 해무예측정보 서비스 구축을 위한 국내외 기술 현황 조사 및 로드맵 마련

- 안개는 증발과정, 냉각과정 등 복잡한 원인과 다양한 기작에 의해 발생하는데 반하여 지점의 시정을 관측하는 시정계는 관측 분해능에 한계가 있고, 대기의 수적을 탐지하는 레이더는 지표 부근에서 형성되는 안개를 실시간 파악하는데 한계가 있으며, 가시영상을 사용하는 위성관측은 야간의 안개 발생과 낮은 층운형 구름을 구분하기 어려운 것이 현실임

✓ 해무예측정보 서비스 현황 및 활용성 진단

- 해무를 관측하는 방법은 아래 표와 같음

관측 방법		장점	단점	적용 방안
목측		<ul style="list-style-type: none"> • 해무 발생 유무 확인 • 물표 기준 시정거리 산출 	<ul style="list-style-type: none"> • 정확한 물표가 없는 경우 시정거리 측정 불가 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안 • 연근해(선박)
시정/현천계		<ul style="list-style-type: none"> • 시정거리 산출 • 구조 단순, 상시 관측 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 관측 환경 및 방법에 따라 시정 거리 오차 발생 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안 • 연근해 (부이, 해상기지)
영상		<ul style="list-style-type: none"> • 해무 발생 유무 확인 • 영상처리 기법 이용 시정거리 산출 	<ul style="list-style-type: none"> • 야간 관측 불가 • 영상처리시 다양한 불확실성 존재 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안 • 연근해 (부이, 해상기지)
위성 관측		<ul style="list-style-type: none"> • 넓은 지역 탐지 • 다양한 탐지 기법 적용 	<ul style="list-style-type: none"> • 해무와 구름 구분 어려움 • 시공간 해상도 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안 • 연근해 • 외해
기타		<ul style="list-style-type: none"> • 대기 경계층 특성 산출 • 높은 해상도의 시공간적 상시관측 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 선박/해상기지 이외 해상 적용이 어려움 • 간접적인 지표 제공 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안 (연구용)

[해무 관측 방법 및 적용 방안]

- 해무 예측 방법은 통계 기반의 해무 예측과 역학 기반의 해무 예측 방법이 있으며 장단점은 아래 표와 같음

구 분	내 용	관 련 연 구
통계 기반	<ul style="list-style-type: none"> • 특정 지역에서 관련 안개 예측 변수들을 사용하여 통계적 분석을 통해 예측 수행 • 효율적인 계산 가능 • 관측이 존재하는 단일한 지역만 유효 • 예측의 정확성은 관측 기간이 길어질수록, 날씨 상황의 변동이 생길수록 감소 	<ul style="list-style-type: none"> • 단순 회귀분석(Taylor, 1917) • 로지틱스 회귀분석(Lewis, 2004) • 분류·회귀 트리분석(Tardif and Rasmussen, 2007) • MOS(Huang et al, et al. 2011) • 인공신경망(Marzban et al, et al. 2007) • 퍼지 로직(Miao et al, et al. 2012)
역학 기반	<ul style="list-style-type: none"> • 보존 방정식과 안개 관련 물리적 과정의 모수화 • 결정론적 예측 기법 <ul style="list-style-type: none"> - 고정된 설정값, 초기/경계조건 및 모수화 사용 • 확률론적 예측 기법 <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 초기/경계, 모수화 조건, 또는 모델 설정에 따른 앙상블 자료 생성 - 각각의 예측 자료 앙상블 - 결과 종합, 물리적 변수의 확률적 결과 도출 • 1차원 수치모델은 효율적이며 수직 해상도가 높고 복잡한 모수화 방법을 사용 가능 • 3차원 수치모델은 안개 예보를 수행하는 주된 도구이나 계산이 복잡하고 적절한 수평/수직 해상도와 관련된 변수에 대한 세밀한 모수화가 부족하다 	<ul style="list-style-type: none"> • 확산방정식기반 1D/2D모델(Fisher and Caplan, 1963) • 안개모의를 위한 2D모델 개발(Barker, 1977) • 안개 발생 기작 모의를 위한 2nd 난류마감모델 개발(Oliver et al, et al. 1978) • MetOffice 중규모모델을 이용한 원해 안개 예보(Ballard et al, et al. 1991) • 고해상도 1D 모델을 이용한 안개 발생 모의(Koracin et al, et al. 2001) • 3D MM5 모델을 이용한 안개연구(Koracin et al, et al. 2005) • 1D/3D모델 결합 모델 적용(Kim and Yum, 2012) • 앙상블 예측 모델 연구(Zhou and Du, 2010)

[해무 예측 방법의 장단점 및 적용 방안]

✓ 국내 해무 관측현황 및 해무 집중관측망 구축 방안

- 국내외 해무(시정)정보 서비스를 비교하면 아래 표와 같음

구분		기상청	국립해양조사원	미국	영국	일본
관측	내용	시정, CCTV, 위성탐지	시정, CCTV, 위성탐지	시정, CCTV, 위성탐지	시정	시정, 위성탐지
	범위	해안(내부용)	11개항	연안, 연근해	연안, 연근해	연안
예측	내용	발생지역, 가시거리 지속시간	보통해무 짙은해무	DenseFog Freezing Fog	4단계 가이던스	3단계 가이던스
	범위	우리나라 전연안	인천항, 해운대	연안, 근해, 외해	연안, 근해, 외해	주변해역
	주기	위험 발생시	매시간	4회 /1일	2, 4회 /1일	1회/1일
	간격	-	3, 6, 12 시간 후	1 ~ 3시간 간격	-	3, 9, 15, 21시
	기간	-	12시간	7일	24시간	1일

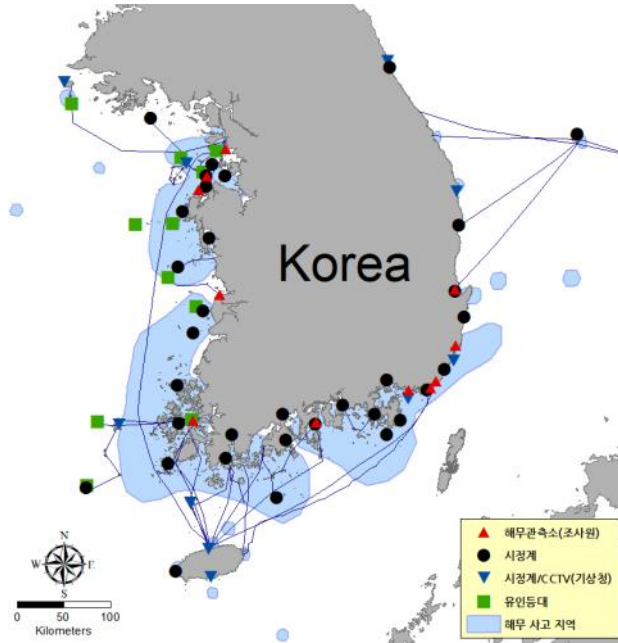
[국내외 해무(시정) 정보 서비스 비교]

- 연안, 근해, 외해 해무 관측망은 아래 표와 같음

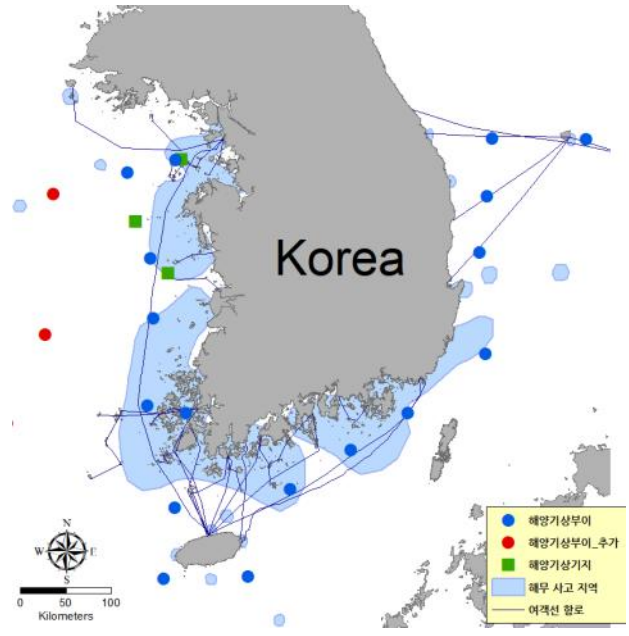
중점 고려 사항	① 해무기인 사고 발생해역 ② 연안 해무 관측 공백 해소 ③ 인명사고 발생 위험이 높은 여객선 항로	
대상해역	관측 지점	구축 방안
연안 (54)	(기상청) • 연안 시정계(기존 33개소) • 연안 CCTV(기존 10개소) • 유인등대 (신설 8개소) (유관기관) • 국립해양조사원 해양기상관측소(11개소)	• 기존 관측망 활용 • 신설 관측소 시정현천계, CCTV 설치 • 유관기관 협조체계 구축
연근해 (17)	(기상청) • 해양기상부이(기존 17개소) • 해양기상부이(신설 10개소) • 해양기상기지(신설 3개소)	• 시정계 및 CCTV 추가 설치 • 영상자료를 이용한 시정 산출 알고리즘 적용
원해 (1)	(기상청) • 천리안 안개 탐지 영상 자료 활용	• 영상 자료 가공 • 웹 GIS 상 표출

[해무 집중 관측망 구축 방안]

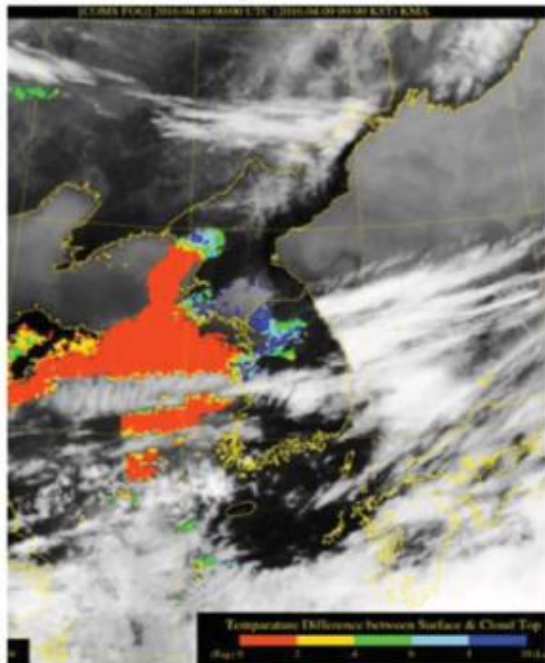
- 해무 관측망을 통합한 해무 집중 관측망 구축안은 아래 그림과 같음



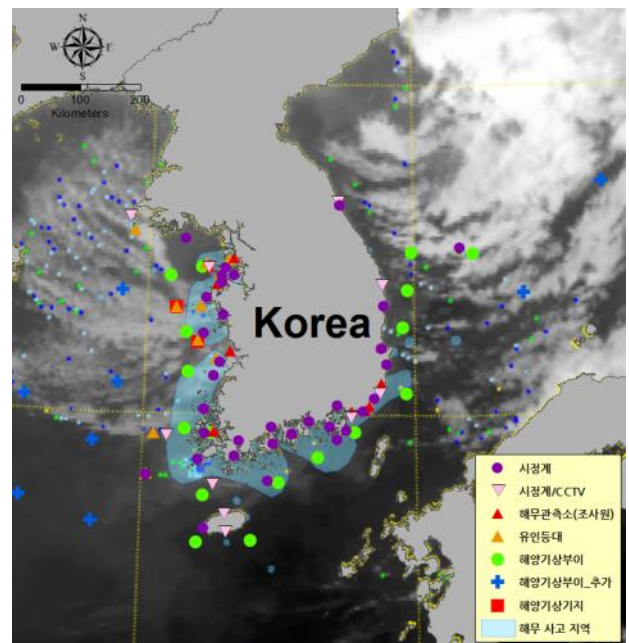
연안



연근해



외해

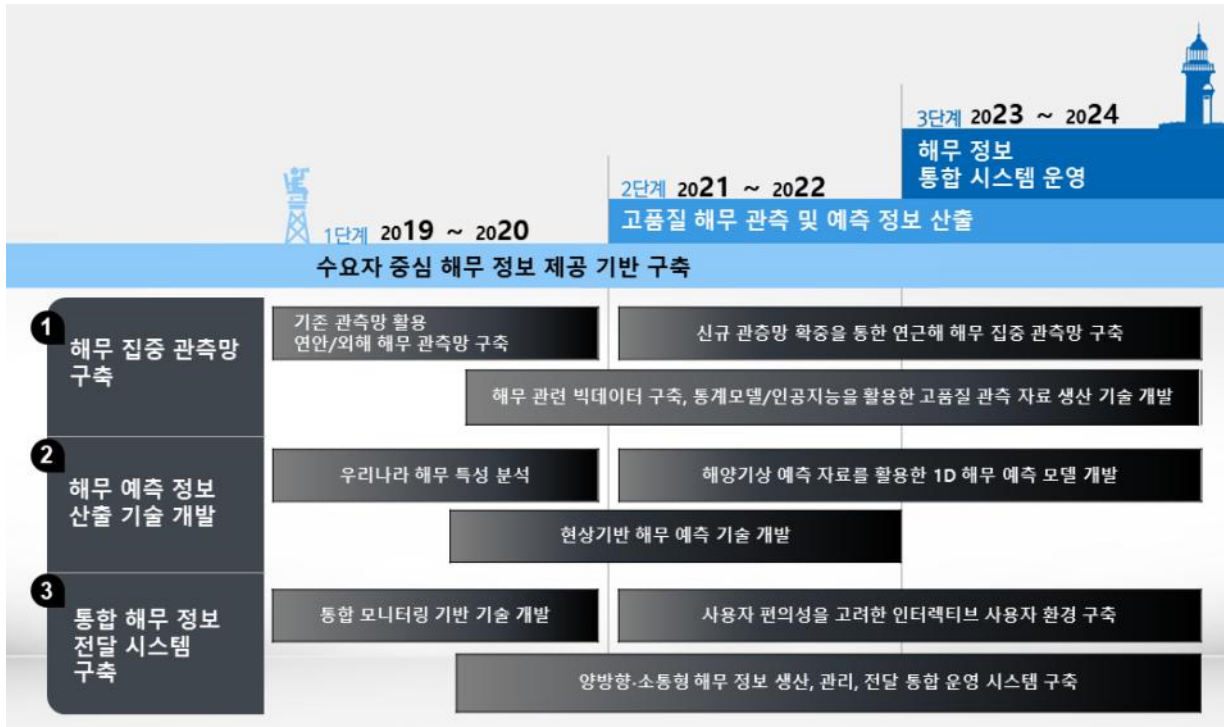


통합 해무 관측망

[해무 집중 관측망 구축안]

✓ 해무예측정보 서비스 구축을 위한 로드맵 제시

- 해무 정보 서비스 구축을 위한 세부 실행 방안을 제시하고, 단중기 로드맵을 3단계로 정의하여 단계별 핵심목표를 설정하였으며, 핵심 목표는 수요자 맞춤형 해양기상 정보 제공을 위한 관측망 구축, 국민의 안전사고 예방을 위한 해무 예측 정보 산출 및 사용자 중심의 통합 해무 정보 전달 시스템의 구축을 그 목표로 함



[해무 정보 서비스 구축을 위한 단·중기 로드맵]

4. 동해안 월파 및 너울에 의한 위험도 평가(예보 가이드스 마련)

✓ 너울 및 월파의 정의

- 너울을 정의하는 범위에는 상당히 많은 이견이 존재하고, 너울 발생에 따른 공식적인 계측, 집계자료가 전무한 상태로, 이번 연구에서의 너울은 국립재난안전연구원의 너울 경보 기준으로 설정함

계급	파고	주기(초)
양호	2m 이하	8.0초 미만
관심	2m 이하	8.0초 이상
주의	2m 이상	8.0초 미만
경계	2m 이상	8.0 이상~11초 미만
위험	4m 이상	11초 이상

[단계별 너울 예·경보 가이드스(안)]

- 월파는 기존 문헌자료를 바탕으로 허용월파량에 따라 안전, 주의, 위험의 3단계로 분류함

단계	월파량 $q(m^3/s/m)$	위험요소
위험	$q \geq 0.005$	벽으로부터 5-20m 떨어진 작은 배의 침수 비교적, 큰 배의 피해
주의	$0 < q < 0.005$	사람, 차량(호안, 방파제 배후로 근접해 있는 경우)의 피해
안전	$q = 0$	안전

[허용 월파량 기준에 따른 예·경보 가이드스(안)]

✓ **너울 및 월파에 의한 동해안 피해 현황 조사**

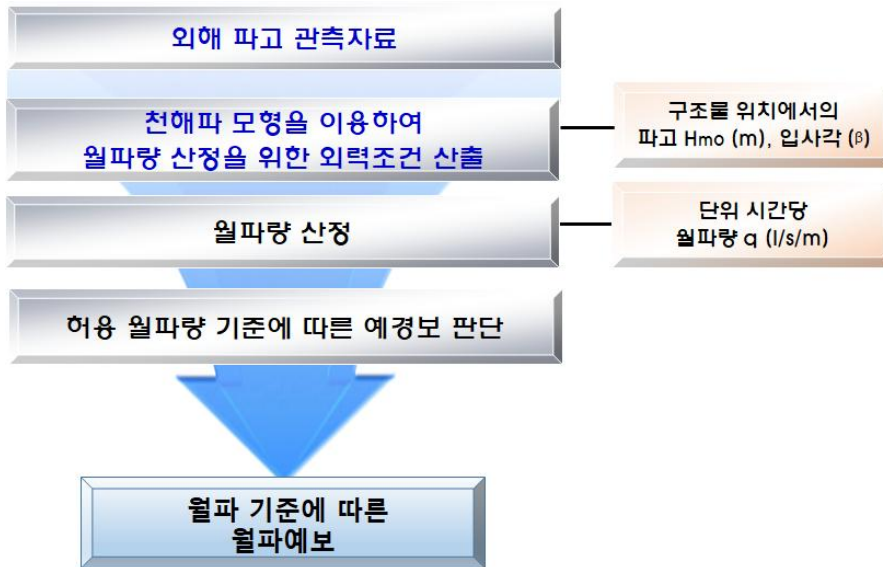
- 너울 및 월파에 의한 피해는 공식적으로 집계하는 기관이 없어 과거 사례를 정확하게 확인하기 어려움. 따라서 키워드 검색을 통해 지자체별로 발생한 인명 피해에 대한 재산 피해를 집계함

지자체	미디어집계 피해건수	인명피해 (인)	재산피해 (건)
고성군	15	20	3
속초시	7	6	2
양양군	4	4	2
강릉시	10	15	2
동해시	5	8	-
삼척시	6	13	-
울진군	6	10	-
영덕군	4	7	-
포항시	15	32	2
울산광역시	11	24	3
총계	83	139	14

[지자체별 너울 및 월파 피해현황(2010년 1월~2017년 12월)]

✓ **해안가 피해 예방을 위한 너울 및 월파 정보 적정성 분석**

- 월파의 예 경보 서비스는 해안 전체를 대상으로 하기 어려운 측면이 있어, 특정지점을 대상으로 예보체계를 구축하는 방안을 제안



[월파예보 시스템 개념도]

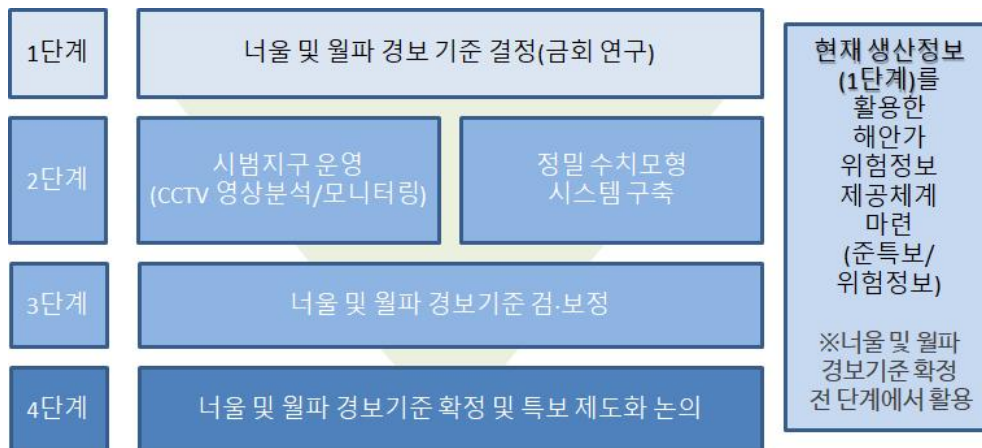
✓ **해안가 인명 및 재산 피해 예방을 위한 제도 개선 방안 제시**

- 너울 및 월파 경보기준 구축을 위한 단계별 연구 방안을 수립하여 제시하였으며, 문

현자료를 통해 경보기준(안)을 결정하는 것을 1단계로 시작하여, 정량적인 현상자료 축적과 자료 분석을 위한 정밀 수치모형시스템 구축을 2단계, 자료분석을 통한 너울 및 월파 경보기준 검·보정을 3단계로 설정하였으며, 3단계 연구자료를 바탕으로 경보기준의 확정과 특보 제도화 마련을 최종단계로 설정함

- 금회 연구에서는 기존 연구 및 문헌자료를 바탕으로 너울 및 월파의 예·경보 가이드스(안)를 제안함. 그러나 너울과 월파는 발생 시 사고기록에 대한 정량적인 자료축적이 되어있지 않아 경보기준의 검·보정 과정이 충분하지 않은 문제점이 존재

- 너울은 경보기준(안)을 바탕으로 올해부터 수행중인 해양기상과의 ‘너울 위험예측 가이드스 시험 운영’과 같이 시험지역에 대한 모니터링을 통해 위험판단기준의 검·보정을 수행. 관측자료는 현재 해안에 설치된 파고부이를 활용할 수 있으며, 필요에 따라서 시험지역에 파고부이나 CCTV의 추가 설치를 검토



[너울 및 월파 정보제공 서비스 구축방안 요약]

5. 해양기상관측망 강화 방안 제시

✓ 여객선 항로 상 민원 분석 및 해결방안 제언

- 기상청의 예보구역과 관측자료가 우리나라 모든 연근해 해역에 대한 각각의 특성을 정확하게 예측하거나 관측하는데 한계가 있어 현재 바다가 조용한데 출항을 할 수 없는 등 출항통제가 현재 바다 상황과 맞지 않는다는 민원이 꾸준히 제기됨

바다 날씨에 생계 걸렸는데... (경북매일 2017-11-13)

해양기상부이는 포항과 울진 앞 70km 해상에 떠 있지만 나머지 해상에는 해양기상부이가 없어 기상정보를 확인할 방법이 없다. 포항에서 울릉까지 거리가 217km, 울진에서 울릉까지 159km인 점을 감안하면 70km당 1곳은 드넓은 바다를 관측하기에는 턱없이 부족하다.

섬 주민 족쇄로 전락한 기상청 해양기상부이 (헤럴드경제 2018-01-10)

울릉섬 주민들은 한국 주변 바다 해양기상 감시 강화를 위해 설치한 해양기상부이를 족쇄라며 이구동성으로 말했다. 현재 경북 동해안권에는 2개의 해양기상부이와 8개의 파고부이가 설치돼 있다. 파고부이는 포항 월포와 구룡포, 울진 죽변과 후포 앞바다에 1곳씩 설치돼 있으며 울릉도 3곳, 독도 1곳에 배치돼 있다.

인천 내항여객선, 걸핏하면 출항 통제에 주민 불만 (중부일보 2017.11.30)

인천 앞바다 섬을 오가는 여객선들의 잦은 선박출항 통제 기준이 문제시 되고 있다. 이는 해사안전법에서 명시된 통제기준에도 해당하지 않았음에도 무리한 통제로 주민 불편을 가중시켰다는 불만이 나오는 원인으로 지적되고 있다.

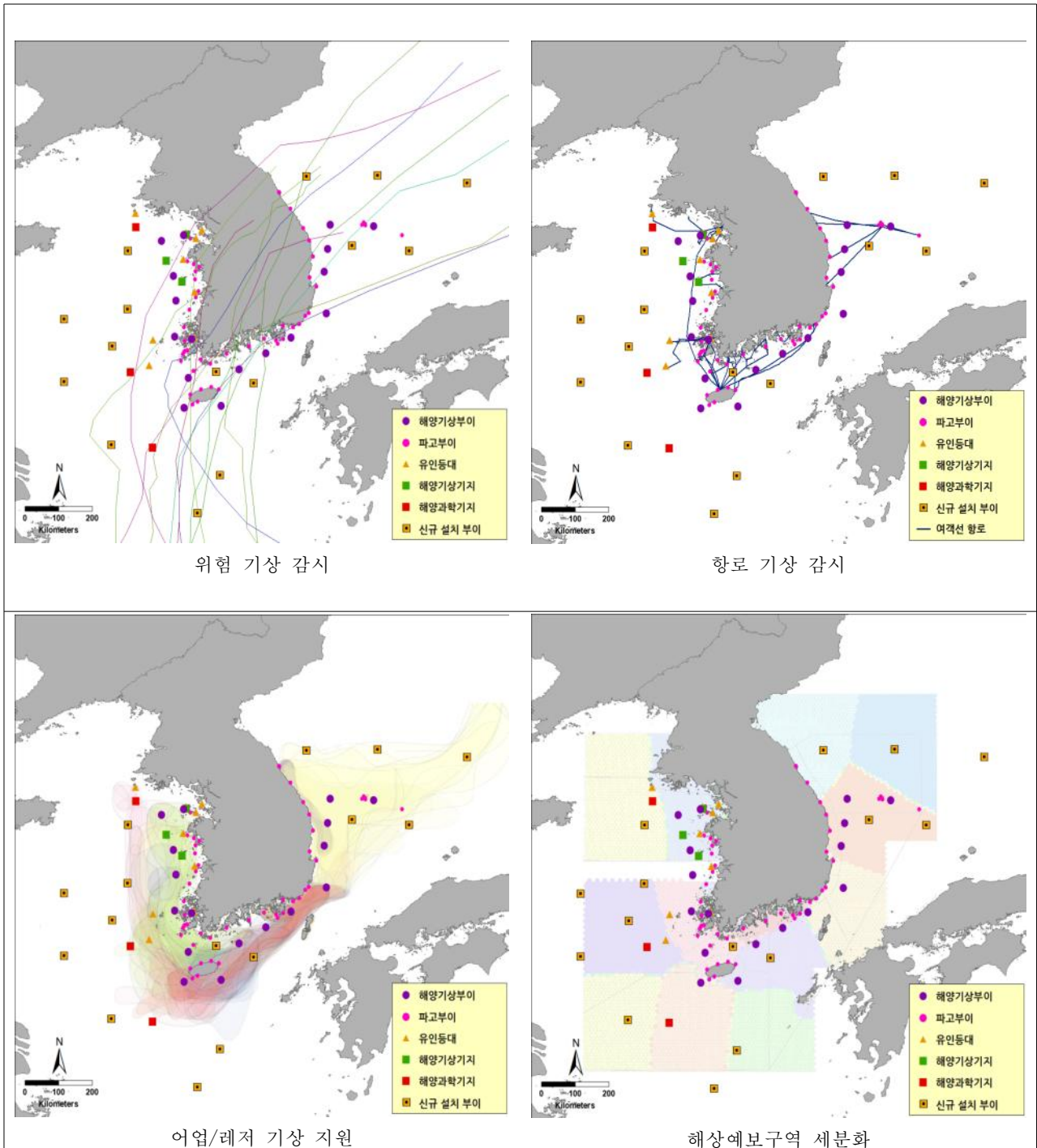
합리적 여객선 통제 '머리맞대' (경상매일신문 2018.01.18.)

양기상부이의 최대파고는 특정 기간의 순간적인 측정값으로써 외부적인 요인 및 기계적인 오류를 포함할 수 있어, 풍랑특보 해제 후 충분히 출항 가능한 해상상태임에도 여객선 입출항이 통제되고 있다는 지적과 민원이 제기되어왔다. 필요시 울릉군과 각 선사에서는 여객선의 해양기상에 의한 통제기준 개선방안 연구용역 등을 통해 여객선 운항통제 기준의 합리적 개선방안을 제시할 계획이다.

[언론에 비친 해양기상관측망]

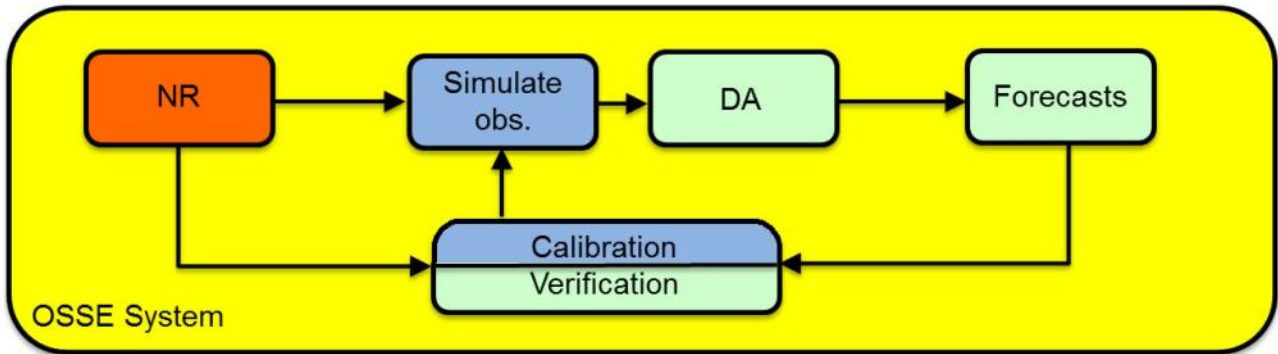
✓ 해상예보구역, 대표성을 고려한 최적 해양기상관측망 방안

- 해양기상관측망은 국민의 삶의 질 향상을 목표로 국민의 건강, 안전과 재산보호 및 생존권 확보를 위하여 국외 기인 대기 오염 물질을 감시하고, 태풍/해일 등 위험 기상을 모니터링 하여 어업/레저 등 해상 활동을 지원하고 예측/예보 능력 향상을 위한 기초 자료를 제공할 수 있도록 구성함



[해양기상관측망 구축(안)]

- 관측망의 배치 성능 평가 방법 중 하나는 관측망 모의실험(OSSE: Observing System Simulation Experiments)로서, 이를 통해 대기, 해양 및 육지 표면을 모니터링 및 예측하여 최저 비용으로 전지구 또는 국가의 기상 예측을 개선하기 위한 관측 시스템을 설계한 바 있음



[OSSE 시스템 모식도]

제1장 사업 개요

제1절 사업의 배경 및 목적

해양기상정보는 어업 등 기존 해양관련 산업 뿐 아니라, 해양레저, 선박의 최적항로 등 다양한 산업 분야에 영향을 미친다. 최근 해상활동의 다양화와 더불어 해상사고가 증가함에 따라 안전한 해상활동을 위한 상세한 해양기상 정보에 대한 요구도 증가하고 있다. 이에 해양기상 정보는 해양 재난관리 국가정책을 지원하고, 국민의 만족도를 향상시키도록 양적, 질적 개선을 통해 높아진 수요층의 눈높이를 맞추고 실효성 높은 서비스로 전환될 필요성이 있다.

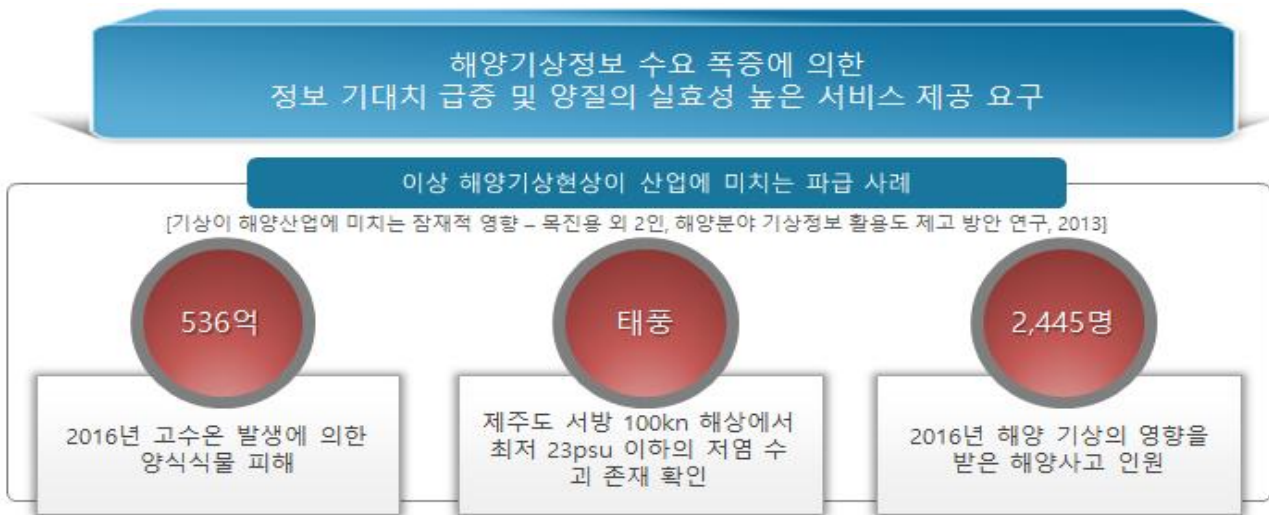


그림 1 해양기상정보의 수요

표 1 해양기상이 산업분야별 미치는 잠재적 영향(해양분야 기상정보활용도 제고 방안, 2013)

분야	잠재적 영향
조선	선박의 건조공정과 지연, 장비와 인력 수급 차질, 시설 파손
해운·물류	운항 지연과 중단, 선박 및 항로 안전 위협, 보험료 등 운항비용 상승
수산	수산자원 변화, 생산량 감소, 어병(魚病) 증가, 시설물 파손·유실, 물가 상승
항만	항만 시설물·구조물 파손, 항만하역 지연, 항 내 운항 안전 위협
해양환경	연안 침수·침식, 해양쓰레기 증가, 해양생태계 변화·훼손, 해안 모래 유실
해상안전	해난사고·유류오염 발생 증가와 확산, 구조와 방제 지체
해양관광·레저	경관 변화 등 해양관광자원 훼손, 지역 축제 및 해양 스포츠 행사 차질, 해양 관광 수요와 매출 감소
해양자원·플랜트	구조물 파손, 해양자원 수급 차질, 인명사고 위험증가, 해양기상자원 이용, 신재생 에너지 발전 장애

본 연구에서는 맞춤형 해양기상정보의 상시제공에 대한 요구증대 및 실질적인 현장에서의 활용성을 갖는 해양기상 서비스로의 전환을 목적으로, 맞춤형 해양기상서비스 발굴 및 이행, 해양 위험기상 예측을 위한 인공지능, 빅데이터 활용기법 제시, 해무 예측정보 구축을 위한 국내외 기술 현황 조사 및 로드맵 마련, 동해안 월파 및 너울에 의한 위험도 평가와 해역별 해양기상관측망 강화 방안 도출 등을 통해 해양기상 서비스를 선진화 하고, 재난관리 역량 향상 방안을 제시한다.

해양기상정보 제공 기반의 선진화, 맞춤형 서비스 개발을 위한 구체적인 이행 계획 수립

해양기상 서비스 선진화

해양기상정보 국내외 현황 비교분석
맞춤형 서비스 강화 및 서비스 전달체계 제안
지능정보 활용 대상 식별 및 로드맵 제시

재난관리 역량 강화

해무예측 기반기술 현황조사 및 로드맵 마련
재난영향예보 기반기술 조사 및 이행과제 식별
동해안 월파 및 너울 위험도 평가 및 가이던스

사업의 배경

- 해양 위험기상으로 인한 해상사고 증가와 해상활동 다양화로 안전한 해상 활동을 위한 상세 해양기상정보에 대한 요구 증대
- 해양 재난관리 국가정책 지원과 국민 체감만족도 향상을 위한 실효성 높은 해양기상서비스로의 전환 필요
- 선진해양기상정보 서비스 수준 제고를 위한 정책적, 기술적 로드맵 확보 필요성 증대

사업의 범위

- 맞춤형 해양기상서비스 발굴 및 이행 로드맵 마련
- 해양 위험기상 예측을 위한 인공지능, 빅데이터 등 활용기법 제시
- 해무 예측정보 서비스 구축을 위한 국내외 기술 현황 조사 및 로드맵 마련
- 해안 월파 및 너울에 의한 위험도 평가 (예보 가이던스 마련)
- 해역별 해양기상관측망 강화 방안 제시

그림 2 사업의 배경 및 목적

제2절 사업의 범위

수행사는 본 사업의 성공적인 수행을 위해 시스템의 체계적인 관리역량을 바탕으로 해양기상 서비스 선진화 및 재난관리 역량 향상 방안을 연구하였다. 이를 통해 국민 체감 만족도가 높은 실효성 있는 해양기상서비스로의 전환발판을 마련하기 위해 다음과 같이 사업을 수행하였다.

■ 맞춤형 해양기상 서비스 발굴 및 이행 로드맵 발굴

- ✓ 국내외 해양기상 영향예보 선진기술 동향 분석
- ✓ 맞춤형(어업, 항만, 선박(항로), 레저, 안보, 해난 등) 서비스 요구 분석 및 시범사업 제안
- ✓ 맞춤형 해양기상서비스 설계 및 단·중기 세부이행계획 제시

■ 해양위험기상 예측을 위한 인공지능, 빅데이터 활용기법 조사, 제시

- ✓ 해양기상 예측에 인공지능 적용사례 조사 및 활용 가능성 진단
- ✓ 해양위험기상 예측을 위한 현상별 최적 인공지능 기법 제시
- ✓ 연안재해 대응 해양 영향예보를 위한 해양 기상 지리정보의 DB 설계방안 제시

■ 해무예측 서비스 구축을 위한 국내외 기술현황 조사 및 로드맵 마련

- ✓ 해무예측정보 서비스 현황 및 활용성 진단
- ✓ 국내 해무 관측현황 및 해무 집중관측망 구축 방안
- ✓ 해무예측정보 서비스 구축을 위한 로드맵 제시

■ 동해안 월파 및 너울에 의한 위험도 평가 (예보 가이드선스 마련)

- ✓ 너울 및 월파에 의한 동해안 피해 현황 등 영향 조사
- ✓ 너울 및 월파 강도에 따른 위험도 제시
- ✓ 해안가 피해 예방을 위한 현재 너울 및 월파 정보 적정성 분석
- ✓ 해안가 인명 및 피해 예방을 위한 제도 개선 방안 제시

■ 해양기상관측망 강화 방안 제시

- ✓ 해상예보구역, 대표성을 고려한 최적 해양기상관측망 방안 제언
- ✓ 여객선 항로 상 민원(언론) 분석 및 해결방안 제언
- ✓ 해양기상관측 강화 및 예보향상을 위한 조직 강화 방안 제언

제3절 사업 추진 체계

1. 수행 조직도

수행사는 유사 사업에 투입된 경험 인력을 중심으로 현업의 업무 전문가로 구성된 실무추진반을 구성하여 현업의 협조를 최대한 유도함으로써, 본 사업을 수행하였다.

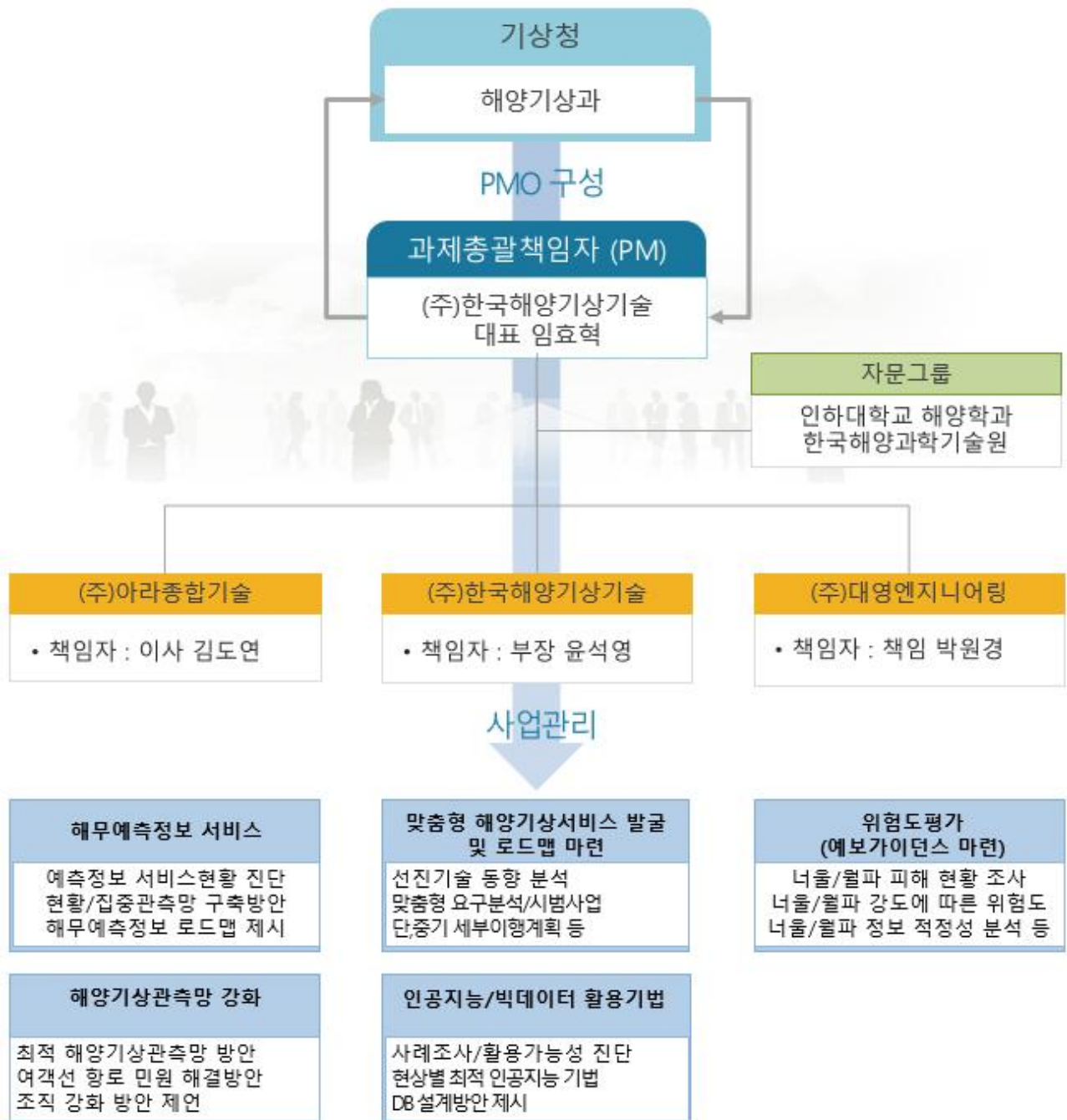


그림 3 사업수행 조직도

2. 사업 수행 일정

본 사업은 아래 표와 같이 사업관리, 업무분석, 조사 및 분석 단계로, 단계별로 아래와 같은 일정 계획에 따라 수행되었다.

표 2 세부 추진일정 계획

		수행 기간 (8개월)											
		M	M+1	M+2	M+3	M+4	M+5	M+6	M+7				
사업 관리	사업관리	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	품질보증 관리	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
업무 분석	수요처 요구분석	■	■										
	맞춤형 해양기상정보 인공지능 빅데이터		■	■	■	■	■	■	■	■			
조사 및 분석	해무예측 월파/너울 위험도 기상관측망 강화		■	■	■	■	■	■	■	■			
	산출물 작성								■	■	■	■	
	착수보고	√											
	중간보고					√							
	최종보고												√
	월간보고			√	√	√	√	√	√	√			
	준공												√

제2장 사업 수행 내용

제1절 맞춤형 해양기상서비스 발굴 및 이행 로드맵 발굴

1. 맞춤형 서비스 요구분석 및 시범사업 제안

가. 개요

급격한 기후변화에 따른 해양 기인성 위험기상현상이 빈번하게 발생하여 해양기상정보의 중요성이 부각되고 있으며, 해양기상정보의 정교한 제공을 요구하거나 맞춤형 해양기상 정보의 제공을 요구하는 등 상세하고 정밀한 기상정보에 대한 요구는 계속해서 증가하고 있다. 우리나라는 지형 특성 상 대기의 흐름이 대부분 바다를 거쳐 육지로 이동하므로 해양에서의 기상관측이 기상예보에 중요한 역할을 수행하며, 육상에서 발생하는 집중호우, 폭설 등의 위험기상현상들 또한 해양의 환경에 변화에 직접적인 영향을 받는다.

현재까지 해양기상정보는 주로 선박의 안전운항에 활용되어 실시간으로 제공되는 태풍 정보와 기상특보를 통해 선박을 신속하게 대피시켜 해상사고를 예방하는데 주로 이용되었기 때문에 그 용도가 다소 한정되어 있었다. 하지만, 해양기상정보는 기존 해양관련 산업뿐만 아니라, 해양레저, 항로 등 다양한 해양산업 분야에 영향을 미치며, 해상 활동의 다양화와 더불어 해상사고가 증가하고 있어 안전한 해상활동을 위한 맞춤형 해양기상 정보에 대한 요구도 역시 증가하고 있다. 바다를 기반으로 하는 해양산업은 타 산업과 비교하여 기상과의 상관도와 민감도가 높은 것으로 평가되고 있다. 해양에서의 기상은 수산업, 해양관광, 해운, 항만, 해상여가활동 등 해양산업 전반에 걸쳐 직접적인 영향을 미치고 있기 때문에 해양산업의 유형 및 특성에 따른 해양기상서비스의 제공이 필요하다.

나. 맞춤형 서비스를 위한 분야 선정

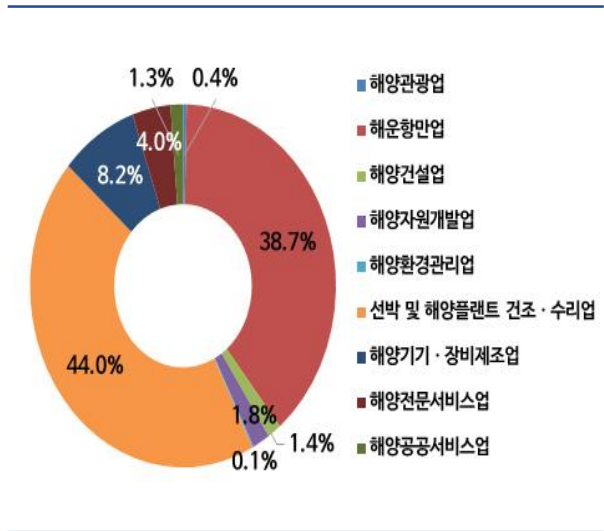
해양수산부의 해양산업 통계조사(2016.12.31. 기준)(표 3 참조)에 따르면, 해양산업의 총 매출액은 약 116.9조원으로 이 중 선박 및 해양플랜트 건조·수리업과 해운항만업이 전체 매출액의 82.7%를 차지한 것으로 조사되었다. 해운항만 분야의 경우 대형 기업을 중심으로 기상정보를 기업경영에 활용하여 시설물보호 및 일정관리 등에 이용하거나, 대형 선사를 중심으로 기상정보를 항해안전과 경비절감에 등에 활용하고 있다. 한국기상산업기술원에 따르면, 해운항만업은 기상정보 활용도가 매우 높으며 주로 일정관리, 시설물·안전관리, 수요예측 등에 기상정보를 활용하고 있다. 보다 상세한 예로 선박관리회사인

KLCSM은 선박의 위치를 지도 상에 표시하고, 유럽중앙기상청의 기상정보를 매핑하여, 본선의 항해 위험 여부를 판단하는 시스템을 구축하여 운영 중이 있다. 울산항만공사의 경우 울산항만에 특화된 현천, 강수유무, 기온, 해면기압, 시정, 바람, 파도 등 해양기상 전문정보를 활용하여 입출항선박 교통관제, 도선업무 수배 및 정박선 피항 조치 등의 업무에 적용하고 있다.

표 3 해양산업 통계조사(해양수산부, 2016)

(단위: 십억)

구분	금액
해양관광업	460
해운항만업	45,233
해양건설업	1,668
해양자원개발업	2,157
해양환경관리업	162
선박 및 해양플랜트 건조·수리업	51,418
해양기기·장비제조업	9,532
해양전문서비스업	4,730
해양공공서비스업	1,529
합계	116,893



한편, 특정분야에서 기상정보의 제공은 수요자의 의사결정에 필요한 판단의 근거로서 활용될 수 있다. 다시 말해, 과거 기상자료의 분석을 통해 생성된 예측자료를 이용하여 생산량을 조정하거나, 안전 예방, 위기 대응 및 경영관리에 이용할 수 있다. 일례로, 바지락과 꼬막 등의 어패류 종패 입식시기, 오징어 어장 정보, 미역 양식의 관리, 기상정보를 활용한 염전의 운영 관리 등이 있을 수 있다.

국립수산과학원은 2001년부터 2007년까지 남해안(경남, 전남 해역)에서 발생한 수산생물의 폐사원인을 조사하였다. 조사결과 직접적인 해양기상(기온, 수온, 염분) 현상 및 해양기상 조건에 따른 생물학적 요인(적조)이 폐사의 주요 원인으로 나타났으며 이로 인한 피해액도 최대 300억 원 이상 발생한 것으로 보고되었다. 이와 같이 수산, 어업 분야에서 해양기상은 생산량에 직접적인 영향을 미치며, 해양기상정보의 제공은 의사결정에 필요한 판단의 근거로 활용될 수 있음을 보여준다. 좀 더 구체적으로, 통계청 어업생산동향조사에 따르면, 수온 상승으로 1990년 이후 연근해 해역에서 난류성 어종은 증가하고, 한류성 어종은 감소했다.(표 4 참조)

표 4 어업생산동향조사(통계청, 2017)

(단위: °C, 톤)

구분	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2017	
표층수온	16.0	15.9	17.3	16.9	17.2	17.1	16.9	17.2	
난류성	고등어류	38,256	62,690	96,297	145,908	135,596	99,534	140,623	115,260
	멸치	54,047	169,657	130,192	201,192	249,001	249,636	211,574	210,943
	살오징어	72,142	48,490	74,172	226,309	189,126	159,130	155,743	87,024
한류성	명태	13,418	28,112	9,798	766	25	1	3	1
	꽂치	25,036	12,395	5,301	19,883	4,319	2,564	574	757
	도루묵	16,110	4,348	3,137	1,571	2,401	4,236	4,762	4,965

한국해양수산개발원에서 남해안 양식 어류의 피해를 조사하였으며, 조사 결과 주요 피해 원인으로 저수온 26.5%, 고수온 31.0%로 조사되어, 수온에 의한 피해는 57.5%로 전체 피해 원인 중에 절반을 차지할 정도로 높게 조사되었으며, 이는 적조에 의한 피해보다 더 많은 것으로 나타나 수온 양식어류에 미치는 영향 또한 높은 것을 알 수 있다. (그림 4 참조)

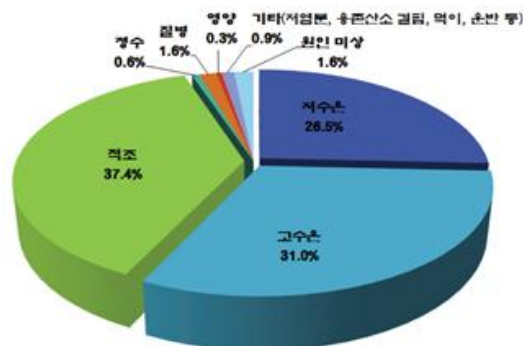


그림 4 남해안 양식어류 피해의 주요 원인(1998-2016) (한국해양수산개발원, 2018)

국민의 여가활동 증가와 함께 해양관광에 대한 수요와 그 활동 영역도 확대되고 있다. 해양관광은 일반 국민이 보편적으로 이용한다는 점에서 안전과 직결되며, 활동이 바다에서 이뤄진다는 부분에서 기상상황에 직접적인 영향을 받는 산업이다. 해양수산부는 2015년 전국의 해수욕장 이용객을 99,855,284명으로 최종 발표했으며, 이는 전년대비 43.5% 늘어난 수치이다. 이와 관련하여 한국해양수산개발연구원의 조사에 따르면 해수욕장은 조사 응답자의 64%가 가장 선호하는 휴가지로 선택할 만큼 여름 휴가지로서 선호하는 장소이다.(표 5 참조)

표 5 해수욕장 이용객 통계(국민안전처 보도자료)

구분	단위: 천명			
	2012	2013	2014	2015
이용객	75,230	87,738	69,555	99,855

2016년 수상레저활동인구는 457만 4천명을 기록(해수면 118만 2천명, 내수면 339만 2천명)하는 등 바다와 강에서 레저활동을 즐기는 인구가 늘어나는 추세이고, 모터보트·요트 등 동력수상레저기구를 조종할 수 있는 조종면허 취득자도 2016년 약 1만 6천명을 넘어서 현재 누적 취득자 수가 18만 5천명에 달하고 있다. 바람으로 항행하는 요트 등의 무동력 소형 레저기구는 동력수상레저기구와 비교하여 풍속과 풍향, 파도의 영향을 직접적으로 받기 때문에 기상 정보의 제공이 중요하다. (그림 5 참조)



그림 5 레저인구수 동향(국민안전처, 2016)

레저인구의 증가에 따라 해양사고의 발생 건 수 역시 증가하고 있으며, 해양경찰청에 따르면 2017년 한 해 발생한 해양사고는 총 2,582건으로 2016년과 비교하여 11.9% 증가된 것으로 집계되었다. 2017년 레저선박 사고는 449건으로 2016년과 비교하여 총 134건 증가하였으며, 낚시어선 사고도 총 66건 증가한 것으로 나타났다. 2017년 해양사고가 전년 대비 증가한 주요 원인으로서는 레저인구와 낚시어선 이용객이 급격하게 증가하면서 레저선박과 낚시어선의 사고 건수 또한 증가한 것으로 분석된다. (그림 6 참조)



그림 6 해양조난사고 현황(해양경찰청, 2017)

태풍과 같은 위험기상과 기상학적인 원인으로 발생하는 너울성 파도 및 월파 등의 해양기상 현상은 인명피해 뿐만 아니라 방파제 등 연안 시설물의 형상을 훼손하거나 기능을 저하시킬 수 있다. 해양경찰청은 해양재난 안전관리, 해양오염 예방/방제, 해양교통질서 확립 및 해양범죄 수사 등 해양재난/방제와 관련한 다양한 임무를 수행하기 위해 다양한 임무를 수행 중에 있다.

해상에서의 안보는 해군이 주로 담당하고 있으며, 함정 기항지의 해수면 상승, 해안 주둔부대의 침식, 자주 발생할 것으로 예상되는 높은 파도와 해일에 대한 대비에 대비, 작전 및 훈련 가능 여부를 파악 및 파고에 의한 기항지 피해 방지 등 안보에도 해양기상정보의 제공은 중요하다고 할 수 있다.

국가안보는 국가라는 조직의 가장 중요한 목표 중 하나이다. 한반도 주변의 안보상황은 급변하고 있으며 급변하는 안보상황에 따라 우리나라의 안보전략도 변할 필요가 있다. 한반도 주변의 바다들은 모두 국제분쟁의 지대가 되고 있다고 말할 수 있을 정도로 국제분쟁(international disputes) 지역으로 변하고 있다. 한반도 해역은 중국과 일본, 러시아 그리고 북한 등의 상호 세력의 대결이 첨예하게 나타나고 있는 곳으로 해양 안보에 대한 중요성이 매우 높다고 할 수 있다.

해양에서 기상은 수산업, 해양관광, 해운, 항만, 해상여가활동 등 해양산업 전반에 걸쳐 영향을 미친다.(그림 7 참조) 맞춤형 서비스를 위한 사업 시행 분야는 산업의 규모, 해양 기상이 산업에 미치는 영향, 업계의 요구사항 등을 종합적으로 고려하여 선정되었다. 우선 해양산업의 규모가 가장 큰 해운항만업의 항로 분야와 항만 분야를 서비스 사업의 실시 분야로 선정하였고, 해양 기상정보가 생산성과 경제성에 직접적인 영향을 미치는 수산/양식 분야를 포함하는 어업 분야를 맞춤형 서비스 사업의 시행분야로 선정하였다. 최근 이용객의 수와 규모가 급증하는 해양 레저 분야와, 레저 분야가 성장함에 따라 사고가 증가했으며, 기상 위험에 따라 인명/시설 피해가 발생할 가능성이 높은 해양재난(해난) 분야를 맞춤형 서비스의 사업의 시행분야로 선정하였다. 마지막으로 국가안보의 중요성을 고려하여 국가안보에 직접적인 영향을 미치는 안보분야를 맞춤형 서비스의 사업 시행분야로 선정하였다. (그림 8 참조)

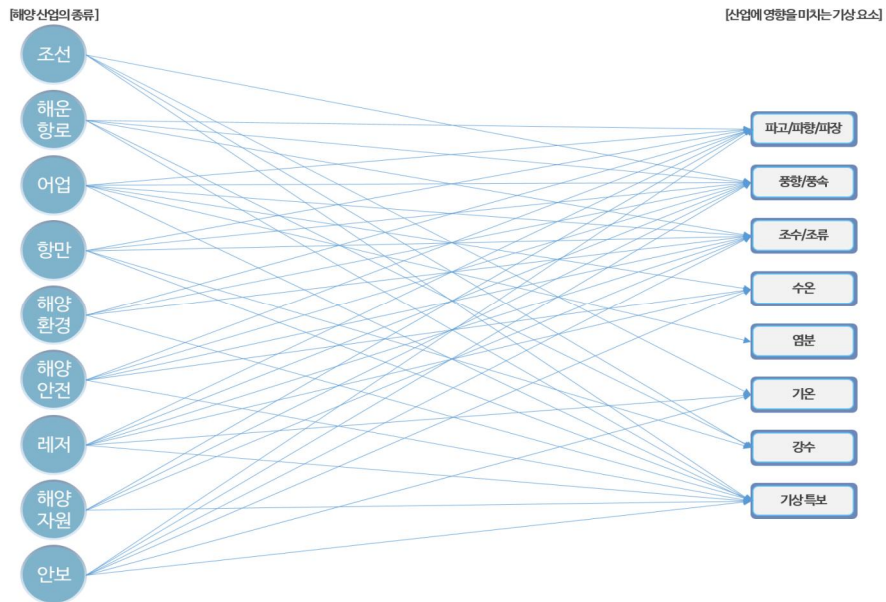


그림 7 해양 산업의 종류별 영향을 미치는 기상 요소



그림 8 맞춤형 서비스 사업 시행 분야

다. 분야별 해양산업의 현황 및 요구사항

2018년 5월 11일 해양기상 맞춤형 서비스와 관련하여 전문 자문단 워크숍이 진행되었으며, 워크숍을 통해 분야별 요구사항과 향후 발전 사항에 대한 발표가 진행되었다. 워크숍을 통해 발표된 내용은 아래 표 6과 같다.

(항로 분야) 관측 체계 확대를 위해 기상 부이 등의 장비 설치를 확대하고, 초기자료의 추가 가공, 표현방식의 고도화를 통해 해양기상정보의 정확도를 증가시키는 한편, 선박의 운항 가능 여부를 판단할 수 있도록 맞춤형 정보 제공 서비스가 필요하다.

(어업 분야) 기상과 관련된 음성통신 발신 현황이 전체 음성통신 발신 현황의 27%를 차지할 정도로 해상 기상정보가 중요하며, 해양기상정보의 실시간 전파 방안이 필요하다.

(안보 분야) 해군의 경우, 해군 작전지역 확대에 따라 실시간 해양기상관측 정보의 파악을 위해 NLL 접적지역, 남해 이어도 남쪽 해역에 대한 관측망 확대가 필요하며, 예보와 관련하여 기존 12시간에서 6시간 내지 3시간으로의 시간별 예보 간격의 조정이 필요하다..

(해난 분야) 먼 바다 바다날씨 제공과 해양 예보에 대한 세분화 및 상세화가 필요하고, 갯벌, 해안가, 해수욕장 등 해경의 관할 해역 연안 특성에 대응하는 연안 맞춤형 기상정보가 필요하다고 요구하였다. 또한, 방문객이 많은 주요 개소에 대하여 안개, 파도 등 해양기상에 대한 심층 정보의 제공이 필요하다.

(레저 분야)와 관련하여, 레저는 장소와 기상에 따라 활동 여건이 달라지기 때문에 레저에 좋은 장소와 이에 대한 공유가 필수적이며, 레저를 즐기는데 있어 적절한 파고, 파향, 풍향, 풍속 등의 정보를 제공하는 레저 활동 맞춤형 기상정보 제공 서비스가 필요하다.

(종합) 공통적으로 관할구역의 연안특성, 선박 운항의 가능 여부, 레저 활동 등 분야별로 상황에 맞는 맞춤형 기상정보를 제공하는 서비스를 요구하였으며, 이 밖에 해양기상 관측망 확대, 예보시간 간격 조정, 예보 구역 세분화 및 해양기상정보의 정확도 향상 등이 필요하다.

표 6 분야별 요구사항 분석

분야	요구사항
항로	-기상 부이 및 해양 관측 체계 확대를 위해 장비 설치를 확대하고, 초기자료의 추가가공, 표현방식의 고도화를 통해 해양기상정보의 정확도를 증가시키고, 선박운항의 가능 여부를 판단할 수 있도록 하는 맞춤형/영향 정보 제공 서비스가 요구됨
어업	-기상과 관련된 음성통신 발신 현황이 전체 음성통신 발신 현황의 27%를 차지할 정도로 해상 기상정보가 중요하며, 해양기상정보의 실시간 전파 방안이 요구됨
안보	-해군 작전지역 확대에 따라 실시간 해양기상관측 정보의 파악(NLL 접적지역, 남해 이어도 남쪽 해역에 대한 관측망 확대)이 필요하며, 예보와 관련하여 시간별 예보 간격의 조정이 요구됨 (기존 12시간 -> 6시간, 3시간)
해난	-먼 바다 바다날씨 및 해양 예보에 대한 세분화, 상세화가 필요하고, 갯벌, 해안가, 해수욕장 등 관할 해역 연안 특성에 기반을 둔 맞춤형 기상정보가 필요하며, 방문객이 많은 주요 개소에 대하여 안개, 파도 등 해양기상에 대한 심층 정보의 제공이 요구됨
레저	-레저는 장소와 기상에 따라 활동여건이 달라지기 때문에 레저에 좋은 장소와 이에 대한 정보의 공유가 필수적임. 또한, 레저를 즐기는데 있어, 적절한 파고, 파향, 풍향, 풍속 등 레저 활동 맞춤형 기상 정보 제공 서비스가 요구됨
종합	-해양기상관측망 확대, 예보시간 간격(기존 12시간-> 6시간 내지 3시간)의 조정, 예보구역 세분화, 해양기상정보의 정확도 향상 등이 요구됨 -관할구역 연안특성, 선박운항의 가능여부, 레저 활동 등 분야별 맞춤형 기상정보 제공 서비스가 요구됨

라. 맞춤형 서비스 시범 사업 제안 - 어업

어업의 경우 어선이 출항하는데 있어 기상정보는 매우 중요하며, 기상과 관련된 음성통신 발신 현황을 살펴보면 전체 음성통신 발신 현황의 27%(전체 2,738,880건 중 741,750건)를 차지할 정도로 빈도수가 높으며, 해상기상과 관련된 어업정보방송 역시 연간 8,700여회에 이른다.(수협중앙회, 2017) 따라서 기상청에서 제공하는 해양기상정보를 실시간으로 어업인에게 전파하는 기술개발이 요구되며 이를 통해 안전조업지도 및 소득증대 지원을 이룰 수 있을 것으로 예상된다.

해상통신과 관련하여 지오펜스 기능을 통해 정해진 해역을 진입 또는 이탈하는 어선에 경보를 발생하여 안전조업을 지원할 수 있고, 조난신호 발생장치 및 CCTV를 통해 어업인 조난 시 생명을 보호하고, 사고 시 사고 원인을 분석하여 향후 사고예방을 추진하기 위한 기술 개발이 요구된다.

한반도 주변 수온을 공식적으로 기록하기 시작한 1968년 이후 현재까지 한반도 주변의 수온은 약 1.5°C가 상승했다. 보다 구체적으로 살펴보면, 1997~2018년의 7월 평균 수온은 21.4 °C였지만 2010~2018년 평균 수온은 22.4 °C 로 증가하는 등 한반도 주변의 수온은 지속적으로 증가하고 있다. (그림 9 참조)

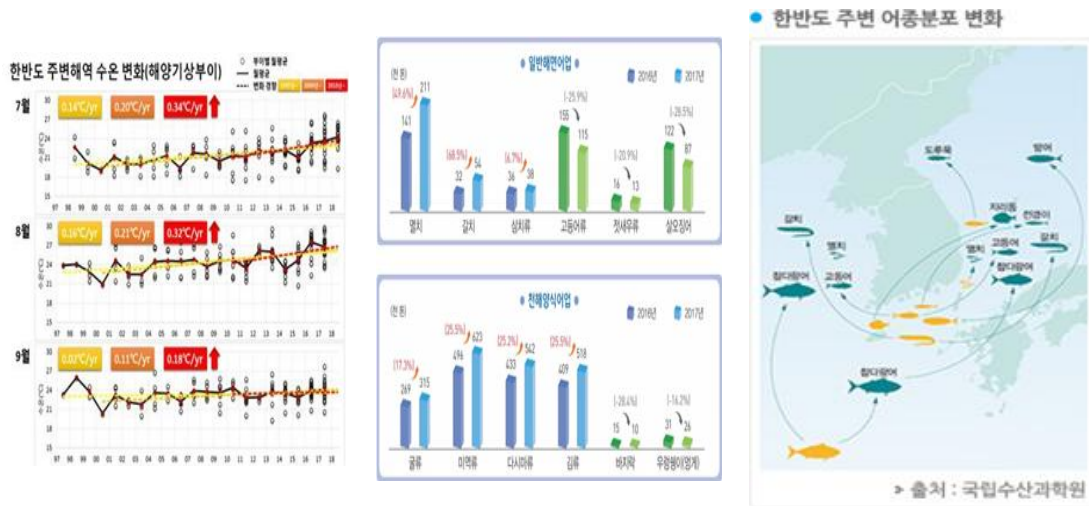


그림 9 수온의 변화와 어종분포 변화(좌:기상청, 중:통계청, 우:국립수산물과학원)

한반도 주변 해역의 경우 수온 상승으로 인해 명태, 도루묵 등의 냉수성 어종 및 바지락, 멍게 등의 양식종 어획량이 감소하였으며, 고등어, 갈치, 삼치, 멸치 등의 온수성 어종의 어획량이 증가하였다. 다만, 오징어의 경우 중국 어선의 불법어업으로 어획량이 감소하였다. 양식 어류의 경우 수온에 의한 피해가 전체의 57.5%를 차지할 정도로 해양기상이 직접적인 피해원인이 되고 있는 것으로 나타났다. (그림 10 참조)

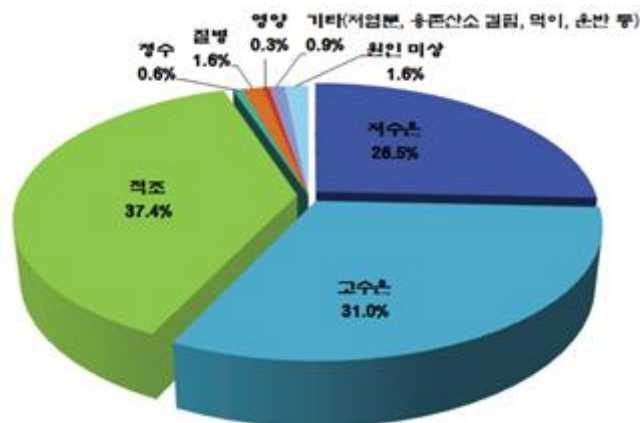


그림 10 남해안 양식어류 피해의 주요 원인 (1998-2016) (한국해양수산개발원, 2018)

현재 대만에서 어업 분야와 관련하여 맞춤형 기상 정보를 응용기상 어플리케이션을 통해 제공하고 있다. 제공하는 정보는 일반정보와 맞춤형 정보로 구분되며, 맞춤형 정보는 냉수 재해(위성 관측값과 모델 예측값(1, 5, 10m 수심)), 너울 정보, 향만 해상상태, 어종에 따른 양식 정보, 어종별 수온 정보이며, 내수면, 해수면에 따른 양식 지점, 해안, 어항, 갯바위 등으로 지점을 구분하고 있다.

전 세계적인 기후 변화로 인해 이상 수온 현상은 앞으로 더욱 빈번하게 발생될 것으로 예상되며, 우리나라 연안의 어장 관리를 위해 맞춤형 서비스로서 수온을 표시하는 방안을 제안한다.

마. 맞춤형 서비스 시범 사업 제안 - 안보

해양이 우리의 문화나 삶에 미치는 영향력 등을 종합한 지수 중 해양안보의 중요성 지수가 82.9로 가장 높게 나타났다. (서울경제, 2018.2.27.) 한반도 해역은 중국과 일본, 러시아 그리고 북한 등의 상호 세력의 대결이 첨예하게 나타나는 곳으로, 우리나라의 해양안보에 대한 중요성이 높다.

해군 작전해역 확대에 따라 실시간 해양기상관측 정보의 파악이 필요하다. 구체적으로, 동·서해 NLL(북방한계선, Northern Limit Line) 접적지역, 서해 124° 이서 해역, 남해 이어도 남쪽 해역에 대한 해양기상관측망 확대 설치 및 실시간 통합 지원 서비스가 필요하다. 중국은 한·중 잠정조치수역은 물론 한·일, 중·일 중간수역에도 해양기상관측부이를 설치하는 등 해양기상 정보를 수집하는데 노력을 기울이고 있다.

해군에서는 예보와 관련하여 기상청 해상예보 중 일일예보의 시간별 예보 간격의 조정을 요구했다.(기존 12시간 -> 6시간) 육상예보의 경우 일일예보는 3시간 별로 제공하고 있는 반면, 해상예보의 경우, 일일예보를 오전/오후로 구분하여 12시간 간격으로 제공하고 있으나, 12시간 간격의 예보는 풍속, 파고 등에 대한 상세한 기상 변화시간을 판단하는데 어려움이 따른다. 또한, 동·서해 북한 해역에 대한 해상 예보구역 및 예보시간의 세분화를 요구했다. 북한 육상예보의 경우, 평안북도 등 5개 도 단위로 세분화하여 지역별로 3시간 예보를 제공하고 있는 반면, 해상예보의 경우, 동해북부, 서해북부 2개 해역으로 광범위하게 나누어 하루 2번 제공하고 있기 때문에 북한 적 해상활동 가능 여부를 판단을 위해 세분화된 해상 일일예보 지원이 필요하다.

함정 기항지의 해수면 상승, 해안 주둔부대의 침식, 자주 발생할 것으로 예상되는 높은 파도와 해일에 대비하고, 작전 및 훈련 가능 여부를 파악 및 파고에 의한 기항지 피해방지를 위해 Seastate의 표시를 맞춤형 서비스의 시범 사업으로 제안한다. Seastate는 WMO에서 Douglas Sea Scale의 정의에 따라 해상의 상태를 나타내는 상태코드로서 채

택되었다. (표 7 참조)

표 7 Sea State (Douglas Sea Scale)

code	세계 기상기구	
	기술	유효 파고
		범위
0	잔잔한(유리같은) Calm(Glassy)	0 m
1	잔잔한(물결) Calm(rippled)	0-0.1m (0-0.33ft)
2	부드러운(작은 파도) Smooth(wavelets)	0.1-0.5m (0.33-1.6ft)
3	약간의 Slight	0.5-1.25m (1.6-4.1ft)
4	보통의 Moderate	1.25-2.5m (4.1-8.2ft)
5	거친 Rough	2.5-4.0m (8.2-13.1ft)
6	매우 거친 Very rough	4.0-6.0m (13.1-19.7ft)
7	높은 High	6.0-9.0m (19.7-29.5ft)
8	매우 높은 Very high	9.0-14.0m (29.5-45.9ft)
9	재앙의 Phenomenal	>14.0m (45.9+ft)

현재 제공되는 해구별 예측정보는 UM과 Wavewatch 모델이 조합된 수치예측모델 정보이나, 이 외에도 ECMWF와 같은 수치예측모델 자료를 함께 제공하면, 안보 분야의 서비스 이용자가 작전 및 훈련 가능 여부를 파악하는데 도움을 줄 수 있다. 향후 GIS 좌표 기반으로 이용자가 선택한 지점들에 대한 예측정보를 제공하는 방안을 고려할 수 있다.

바. 맞춤형 서비스 시범 사업 제안 - 해난

방재분야와 관련하여 해양경찰청은 해양주권의 수호, 해양재난 안전관리, 해양오염 예방/방제, 해양교통질서 확립 및 해양범죄 수사 등 해양재난/방재와 관련한 다양한 임무를 수행 중에 있으며, 대형화, 복합화되는 해양위험기상 및 방재 대응 정보에 대응하기 위해 해양기상정보를 제공해줄 것을 요구하고 있다. 구체적으로, 연안(서남해 주요 도서 연결 및 기타영해 기선 12해리 안의 영역)에 대하여 임무 수행에 필요한 기상정보를 활용 중에 있으나, 200해리 베타적 경제수역(EEZ) 등 광범위한 경비 활동을 위해 먼 바다에 대

한 바다날씨 및 해상예보에 대한 세분화된 정보가 필요하다고 요구했다.

우리나라의 해안선 길이는 15,000km에 달하며, 이를 전국 93개 해경 파출소가 담당하고 있으나, 급증하는 연안 해양사고에 대응하기에는 부족한 실정이다. 해양사고의 피해저감을 위해, 갯벌, 해안가, 해수욕장 등 파출소 관할 해역 연안 특성에 기반을 둔 맞춤형 기상정보가 필요하며, 전국 연안 안전관리에 특화된 기상정보 활용방안이 요구된다. 예를 들어, 위험 대상지역의 정밀한 기상 정보 활용을 통해 제주, 여수, 울산 등 해녀 어로 지역에 대한 잠수안전을 확보하는 방안이 있을 수 있다. 동해안을 중심으로 연례적으로 발생하는 너울성 파도 피해저감을 위해 전국 해안을 포함하는 종합정보시스템을 구축하여 피해를 사전예방 또는 최소화하고, 해양레저에 대한 수요와 활동영역 확대, 다양화에 발맞춰 수상레저/낚시/해수욕 등 레저분야별 안전 서비스 시행을 고려하거나, 갯벌체험 관광인구가 급증함에 따라 관련 사고가 증가하고 있으므로 방문객이 많은 주요 개소에 대하여 안개, 파도 등 해양기상에 대한 심층 정보를 제공하는 등의 해양안전에 특화된 기상 서비스를 고려할 수 있다.

해양경찰청은 해상 안개로 시정이 1,000야드 이하인 저시정 시 어선, 수상레저기구 등의 출항을 통제하고 있다. 해양경찰청의 해양조난사고 통계연보에 따르면, 최근 5년간 저시정 시 해상조난사고가 매년 평균 66척 발생하였다.(표 8, 9 참조) 해상에서의 안개(해무)는 선박충돌, 좌초 등 해양 사고의 주요 발생원인이고, 사고 발생 시 막대한 피해를 야기하나, 해무와 관련한 기상정보의 제공 및 활용은 다소 제한적이다. 따라서 항해, 조업 안전에 큰 영향일 끼치는 안개(해무) 정보 서비스 확대를 위해 단기적으로 CCTV 정보 표시를 제안하고, 중장기적으로 해무예측 정보를 제공할 것을 제안한다.

표 8 저시정 시 해양조난사고 발생 현황(해양경찰청, 2017)

(단위: 척)

구분		계	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
발생	전체사고	9,681	1,052	1,418	2,740	2,839	3,160
	저시정 시 발생사고	317	56	51	97	78	125
	비율(%)	3.3	5.3	3.6	3.5	2.8	4.0

표 9 2017년 월별 사고 발생 현황(해양경찰청, 2017)

구분	계	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
계	125	1	1	0	20	8	35	30	8	11	2	4	5
어선	55	0	1	0	10	3	15	14	4	3	2	2	1
낚시어선	16	0	0	0	2	3	7	1	0	2	0	0	1
레저선박	33	0	0	0	7	1	9	7	2	6	0	0	1
화물선	7	1	0	0	0	0	1	3	1	0	0	1	0
예부선	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
여객선	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
유조선	6	0	0	0	0	0	1	3	1	0	0	0	1
유도선	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
기타	4	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0

사. 맞춤형 서비스 시범 사업 제안 - 레저

사회구조의 변화에 따라 여행 추세가 근거리 여행에서 장거리 여행으로 변화하는 등 여행 거리가 변화하고 있다. 향후 관광 행태는 문화관광 및 해양관광, 레저, 스포츠 관광이 주가 될 것으로 전망된다. 이 중 무동력 해양레저스포츠는 자연환경에 대한 의존도가 높아, 이러한 무동력 해양레저스포츠에 있어서 바람과 파도, 조류 등 자연환경에 대한 정보가 필수적이며, 장소와 기상 상태에 따라 활동여건이 달라지기 때문에 좋은 장소에 대한 정보의 공유 역시 필수적이다. 무동력 해양레저스포츠는 적절한 파고, 파향, 풍향, 풍속 존재하기(예를 들어, 윈드서핑, 카이트보딩의 경우 바람이 많고 파도가 적으며 조류가 적으면 좋고, 바람세기와 파도의 유형에 따라 보드의 크기와 형태가 다르게 사용된다) 때문에 이에 맞는 레저 활동 맞춤형 기상정보의 제공이 요구된다.

무동력 해양레저스포츠에 참여하는 참여자 외에도, 어촌 체험관광, 어촌 휴양단지 등에 대한 수요 역시 증가하고 있으며, 해양지역에 장기체류하는 형태의 휴가패턴이 정착함에 따라 해변가 등 해양 환경, 생태 관광 등에 대한 관심이 대두되고 있다. 이러한 레저 활동은 자연의 형태와 기상기후의 변화에 민감하고, 변화에 따라 활동의 영향을 크게 받으므로 정확한 기상정보에 대한 의존도가 높다.

해양경찰청의 자료에 따르면 2016년 수상레저 활동자는 450만 여명이고, 이 중 해수면에서 활동한 사람은 118만 여명으로 집계되었다. 또한, 2016년 기준 수상레저사업장은 해

수면 458개소이며, 매년 증가하는 추세를 보이고 있다. (표 10, 11 참조)

표 10 수상레저 활동자 현황(국민안전처, 2017)

(단위: 천명)

활동자수	2012	2013	2014	2015	2016
합계	3,924	4,490	3,279	4,437	4,574
해수면	947	1,628	1,130	1,185	1,182
내수면	2,978	2,862	2,149	3,252	3,392

표 11 수상레저 사업장 등록수와 사업장 수상레저기구(국민안전처, 2017)

구분	사업장 등록수(개소)			사업장 수상레저기구(대)		
	합계	해수면	내수면	합계	동력	무동력
2012	914	368	546	10,598	1,771	8,827
2013	908	389	519	11,048	1,773	9,275
2014	893	392	501	11,305	1,914	9,391
2015	974	414	560	13,480	2,087	11,393
2016	1,014	458	556	13,708	2,259	11,449

체육백서에 따르면, 해양레저스포츠 관련 종목인 낚시, 스킨스쿠버, 카누, 수상스키, 윈드서핑, 요트의 동호회 수는 1,532개로 나타났으며, 이 중 낚시 동호회는 660여개로 전체 동호회의 43%를 차지한다. 한편, 한국서핑협회에 따르면, 연도별 서핑이용객은 2016년 5만 여명으로 추산된다고 발표했으며, 이 중 90%의 이용자들이 5월 내지 10월 사이에 이용했다고 발표했다. 동해지역 서핑업체 역시 2017년 46개소로 2013년 대비 약 3배 증가한 것으로 나타났다. (그림 11 참조)

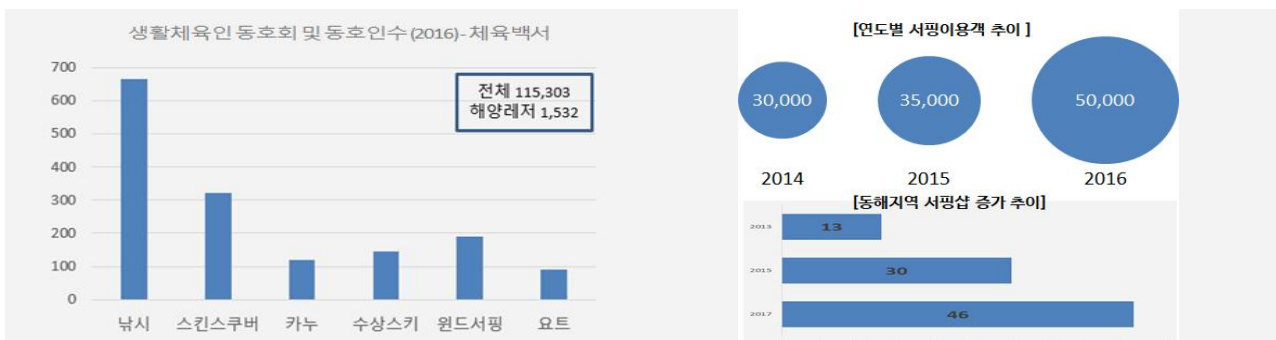


그림 11 생활체육 동호회 및 동호인 수(체육백서, 2017)

(주)한국해양기상기술의 ‘여우비 바다날씨’ 서비스를 대상으로 최근 1년간(2017.07 ~ 2018.06) 이용위치를 지도상에 표시한 히트맵(HeatMap)과 국립해양조사원의 ‘개방해’ 서비스의 수상 레저 포인트 현황과 중첩해본 결과, 수상 레저의 포인트가 모여 있는 곳 위주로 히트맵이 밀집된 것이 확인되어, 수상레저의 포인트에 서비스 이용자가 많을 것으로 예상된다. 수상레저의 포인트가 모여 있는 장소를 중심으로 수상레저 업체 역시 증가하므로, 레저 업체가 모여 있는 장소를 중심으로 우선 정보 제공 지역을 선정하는 것을 제안한다. 더불어, 다양한 레저 활동 중 활동인구가 가장 많은 낚시 분야와, 최근 빠르게 성장 중인 서핑 분야를 레저 분야의 맞춤형 서비스 시범 사업으로 제안한다.

낚시의 경우 적절한 파고와, 대상 어종에 따라 수온이 중요하며, 풍랑주의보, 풍랑경보 시 출항이 금지되기 때문에 해당 정보를 우선적으로 표출하는 것을 제안하며, 서핑의 경우, 적절한 파고, 해안선과 일직선이 되는 육지방향의 파향, 파주기, 풍속, 파향과 반대방향의 풍향, 활동을 위한 수온 등이 중요한 이유에서 이들에 대한 정보를 우선적으로 표출하는 것을 제안한다. 추가적으로 레저에서 중요한 쇄파대 정보를 표시하는 방안을 제안한다.

낚시의 경우 낚싯배를 통해 바다 한가운데로 이동하거나, 낚시 포인트를 바꾸는 등 위치를 계속해서 이동하기 때문에, 낚시 포인트를 선정하는데 어려움이 따른다. 따라서 항구 또는 방파제 등 고정된 지점을 낚시 정보를 제공하는 포인트로 설정하여, 해당 지점들을 중심으로 정보를 제공하는 방법을 제안하며, 서핑의 경우 서핑 업체가 모여 있는 지점 또는 국내의 서핑 포인트 조사를 통해 유명 서핑 포인트를 중심으로 정보를 제공하는 방법을 제안한다.

레저와 관련하여 민간 차원에서 제공되는 기상서비스는 Windfinder, Windy, Windguru, Earth Nullschool, magicSeaWeed 및 Surf-Forecast 등이 있으며 아래에서는 각각의 서비스에 대한 분석 결과를 제시한다.

Windfinder(<https://www.windfinder.com>)는 GFS 모델 기반으로 13km 격자 크기의 예측정보를 생산한다. 하루 4번(UTC 기준 5h, 11h, 17h, 23h) 예측정보를 생산하며, 3시간 예측 및 10일 예측정보를 제공한다. 유럽의 경우 하루 4번(UTC 기준 2h, 8h, 14h, 20h) 7km 격자 크기로 생산되는 예측정보를 제공한다. 미국의 경우 5km, 이집트의 경우 7km, 남아프리카의 경우 5km, 카나리아 제도의 경우 5km 격자 크기로 생산된 예측정보를 제공한다.(그림 12 참조)

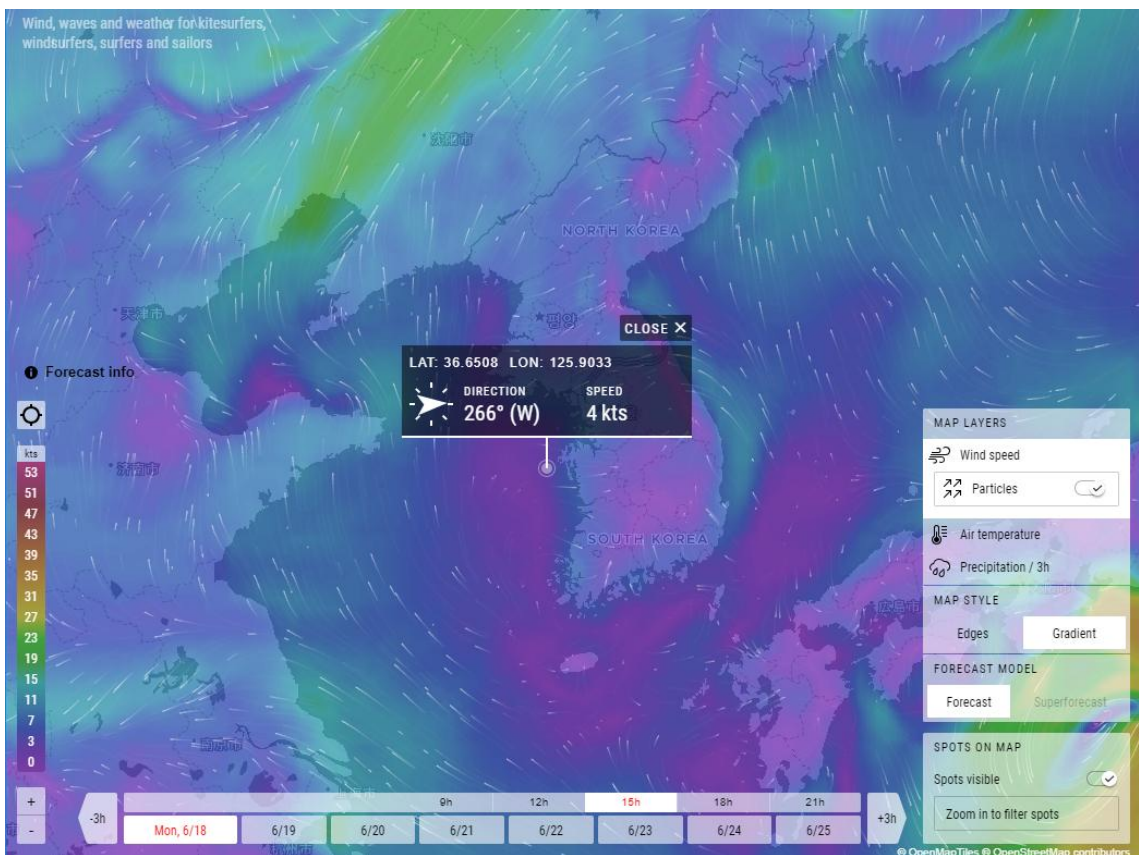


그림 12 Windfinder 서비스

Windy(<https://www.windy.com>)는 GFS 기반으로 기상예측 서비스를 제공하고 있으며, 최근 ECMWF 모델을 이용한 기상예측 서비스가 추가되었다. Windfinder가 유료버전에 한정하여 ECMWF 모델을 통한 예측정보를 제공하는 것과 달리 Windy는 10일 예보에 대한 ECMWF 모델을 통한 예측정보를 무료로 제공한다. (그림 13 참조)

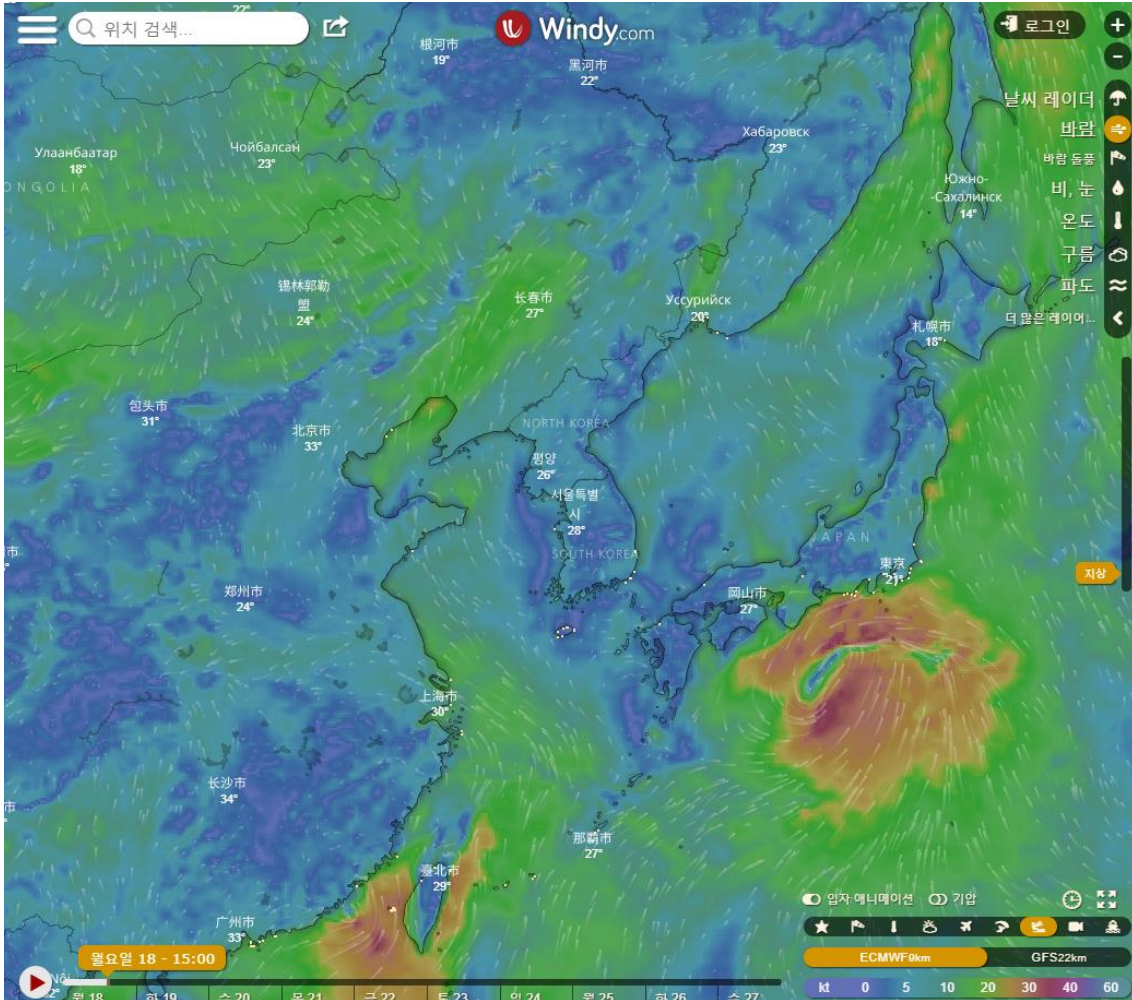


그림 13 Windy 서비스

Windguru (<https://www.windguru.cz>)는 체코 국적의 서비스로 서핑을 즐기는 사람들이 즐겨 쓰는 서비스이며 다양한 기상모델을 이용하여 정보를 제공하나, 기본적으로 GFS를 기반으로 제공된다. 기본적으로 50km 격자 크기의 예측정보를 제공하고 있으며, 각 지역별로 9km(하와이는 3km) 격자 크기의 예측정보를 제공하기 위해 각 지역에 맞는 모델들의 자료를 혼합하여 제공하고 있다. Windguru는 NAM model, WRF model, HRW model 등을 바탕으로 생산하는 고급정보는 유료로 제공한다. (그림 14 참조)

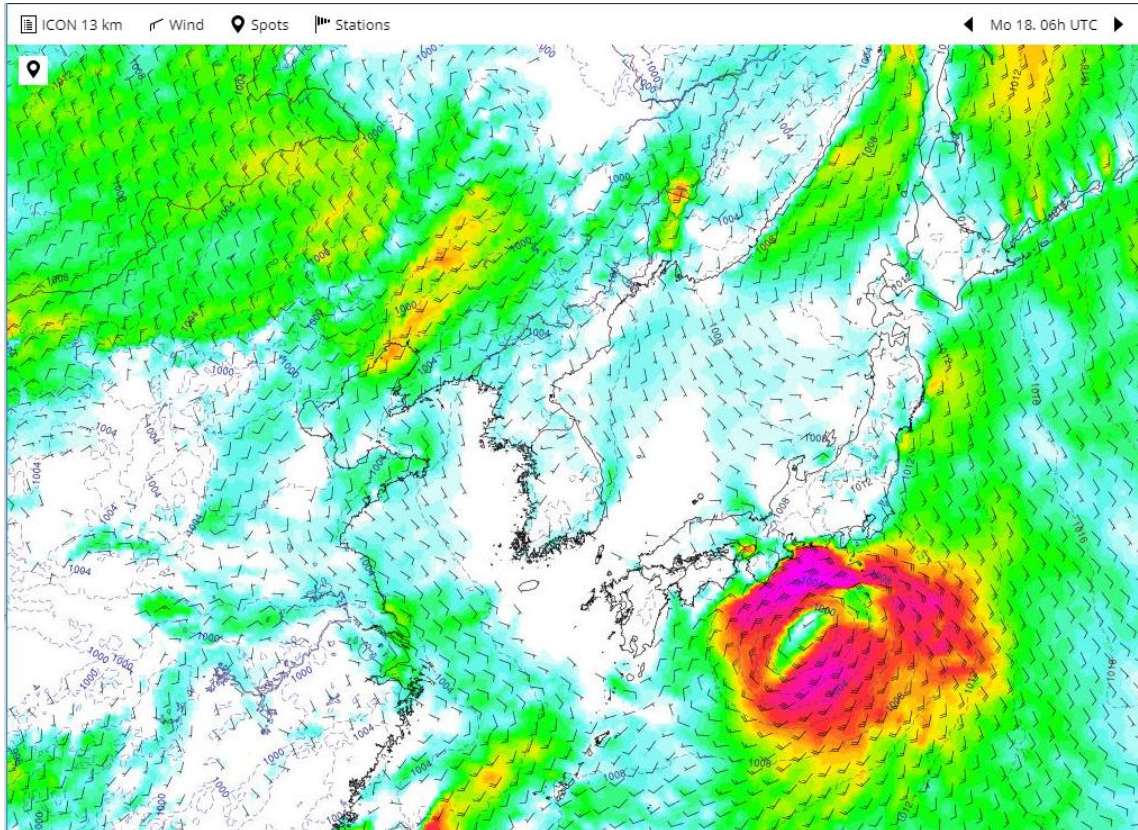


그림 14 Windguru 서비스

Earth Nullschool (<https://earth.nullschool.net>)은 3시간 단위로 기상예측정보를 생산하며, 파랑 예측정보의 경우 5시간마다 생산한다. GFS / NCEP / US National Weather Service 모델을 사용하여 예측정보를 생산하여 사용자에게 제공하고 있으며, 파도의 경우 WAVEWATCH III / NCEP / NWS 모델을 사용하여 예측정보를 생산한다. (그림 15 참조)

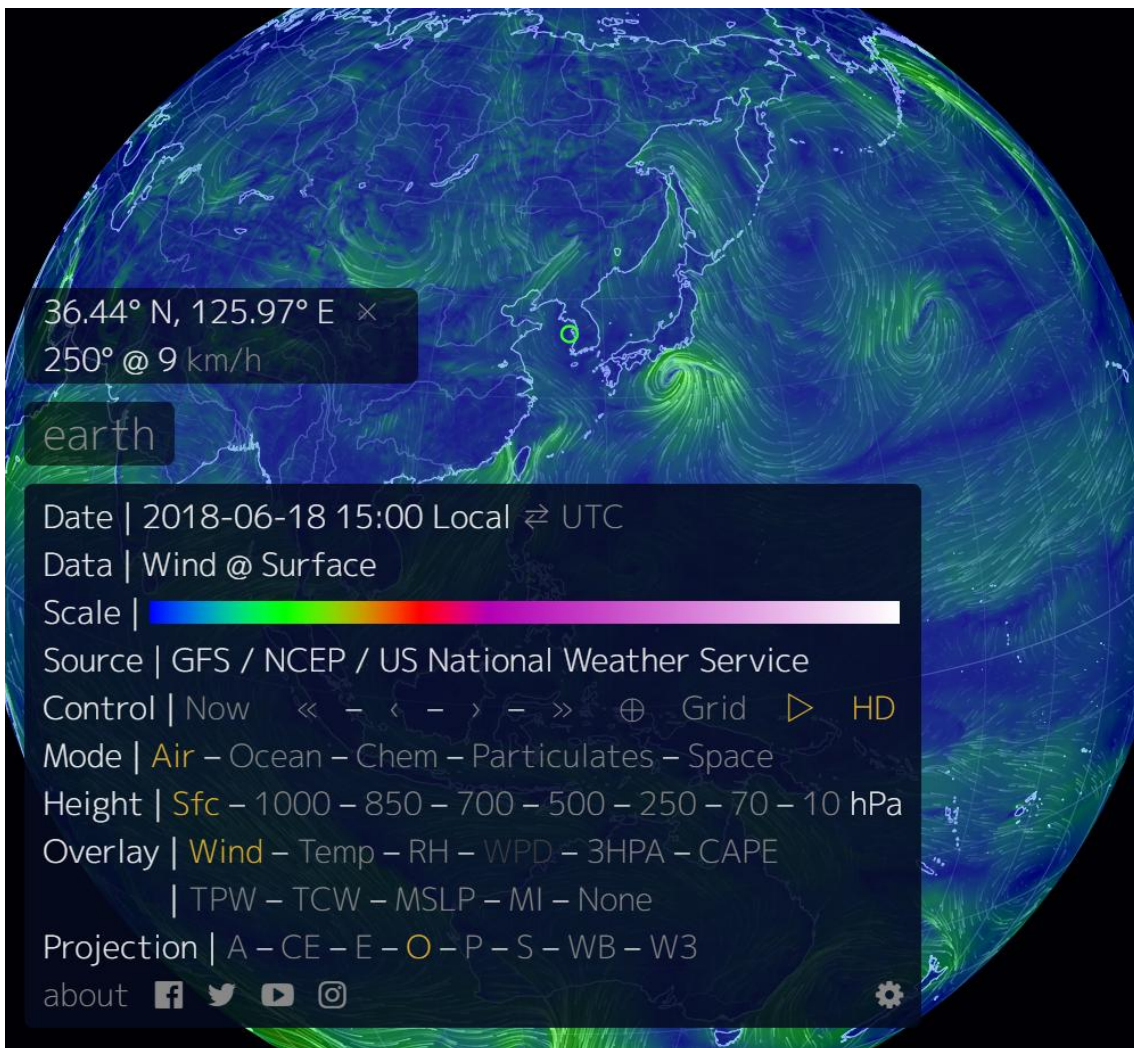


그림 15 Earth Nullschool 서비스

Magicseaweed (<https://magicseaweed.com>)는 특정 장소(Spot)에 대한 서핑과 관련된 기상예측정보를 제공한다. msw blended model / wavewatch / proteus global model 등의 예측 모델을 통해 생산된 수치예측정보를 제공하며, 쇄파대(Breaking wave height)에 대한 정보를 제공한다. Magicseaweed는 제공되는 정보가 정확한지에 대한 사용자 검증 데이터 수집 방안을 제시하여, 현재 제공되는 정보가 올바른지, 검증 데이터를 생산하고 있다. (그림 16 참조)

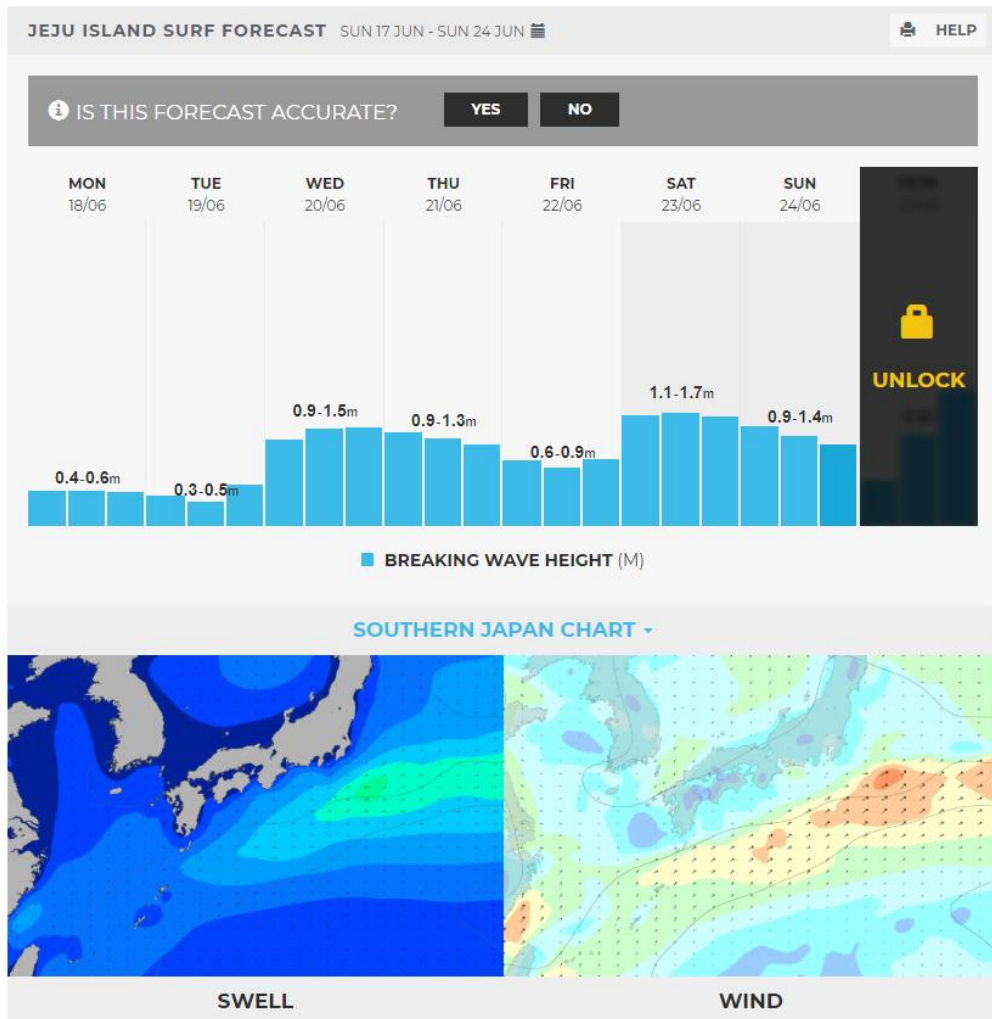


그림 16 Magicseaweed 서비스

surf-forecast (<http://www.surf-forecast.com/breaks>)는 특정 장소(Spot)에 대한 파랑, 풍향, 풍속 정보를 포함하는 수치예측정보를 48시간 및 7일 단위로 제공한다. 또한, 현재 해당 장소가 서핑에 적절한지 여부를 나타내기 위해 0 내지 10으로 구성된 점수(Rating) 정보를 제공한다. 다만, 다른 서비스들과는 다르게 GIS를 기반으로 지도상에 예측정보를 표시하지는 않으며, 수치적인 결과만을 제공한다. (그림 17 참조)

m, °C ●	Thursday 28				Friday 29								Saturday 30					
ft, °F ●	12PM	3PM	6PM	9PM	0AM	3AM	6AM	9AM	12PM	3PM	6PM	9PM	0AM	3AM	6AM	9AM	12PM	3PM
Rating (10 max)	☆	☆	☆	★	★	★	★	★	★	★	★	★	☆	☆	☆	☆	☆	☆
Wave Height (m) & direction (?)	1.8 SSW	1.9 SSW	1.8 SSW	1.7 SSW	1.7 SSW	1.5 SSW	1.5 SSW	1.3 SSW	1.5 SSW	1.3 S	1.3 SSW	1.2 S	1.2 S	1 SSW	1 SSW	1 SSW	1.1 S	0.9 SSW
Period(s) (?)	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	7	6	6	6	6	6	6	6
Wave Graph (10m, 5m, 3m, 1m, 0m) (?)																		
Energy (?)	290	355	324	278	294	210	183	147	176	143	152	123	123	80	78	75	92	58
Wind (km/h)	30 SW	30 SSW	25 SW	20 SW	15 WSW	15 WSW	10 WSW	10 SW	10 SSW	10 SSW	15 SSW	15 S	20 SSE	20 SSE	15 SSE	15 SSE	15 SSE	15 SSE
Wind State (?)	on	on	cross-on	on	cross-on	cross-on	cross-on	on	on	on	on	cross-on	cross-on	cross-on	cross-on	cross-on	cross-on	cross-on
Tide State (?)	flow	ebb	low	flow	high	ebb	ebb	low	flow	ebb	low	flow	flow	high	ebb	low	flow	high
High Tide / height (m)					11:52PM 2.48				11:30AM 1.82					12:27AM 2.48				12:05PM 1.81
Low Tide / height (m)			5:08PM 0.28					6:04AM 0.82			5:42PM 0.28					6:39AM 0.82		

Note: the tide data above is for Jungmun Beach (Jeju Island) which is 5 km away. Surf properties and timing are calculated for Kangjeong (Jeju Island). See detailed tide info

그림 17 Surf-Forecast 서비스

여우비 바다날씨(<http://koast.net/foxrainsea/>)는 해상 위치를 기반으로 기상청, 해양기 관의 정보를 바탕으로 바다와 관련된 해양기상정보 및 조석 정보 등을 제공하고 있다. 여우비 바다날씨는 GIS 기반으로 선택된 지점에 대한 기상정보/조석정보를 3시간 단위로 최장 12일까지의 예측 정보로 제공하고 있다. 기상정보는 날씨, 기온, 수온, 풍향, 풍속, 최대풍속, 파향, 파고, 파주기 등이 제공된다.

■ 서비스 비교

표 12 대표 민간 서비스 항목 비교

서비스	WindFinder	Windy	Windguru	여우비 바다날씨
풍향/풍속	O	O	O	O
하늘상태(운량)	O	O	O	O
강수/설량	X	O	O	O
기온	O	O	O	O
기압	O	O	O	O
수온	X	O	X	O
파고	X	O	O	O
파향	X	O	O	O
파주기	X	O	O	O
시정	X	O	X	X
물때	X	X	X	O
월령	X	X	X	O
너울	X	O	X	X
등압면	X	O	X	X
CO농도	X	O	X	X
SO2농도	X	O	X	X
오존	X	O	X	X
적용Model (동아시아 기준)	GFS	GFS ECMWF	GFS WRF(유료)	UM WW ROMS
수평 해상도	GFS:13km	GFS:13km ECMWF:9km	GFS:27km WRF:9km	UM:1.5/12/17km WW:1/8/50km ROMS:9km
갱신주기	6시간	6시간	6시간	6h(UM) 12h(WW) 24h(ROMS)
예측스텝	3시간	3시간	3시간	3시간
예측기간	10일	10일	10일	12일

아. 소결

■ 맞춤형 서비스 시범 사업 제안

맞춤형 서비스의 서비스 요구분석을 종합하여 시범 사업 시 표시할 기상 정보들을 정리하면, 어업 분야에서는 우선적으로 수온의 표시를 제안하고, 파고, 풍속 등을 추가적으로 표시할 것을 제안한다. 안보 분야에서는 작전 및 훈련 가능 여부를 파악하고, 파고에 의한 기항지 피해 방지를 위해 Sea State의 표시를 제안한다. 해난 분야에서는 단기적으로 CCTV 정보를 표시하고, 중장기적으로 해무예측 정보의 제공을 제안한다. 레저의 경우 레저 인구 중 가장 많은 이용자 수를 가지는 낚시와 최근 이용자 수가 급증하고 있는 서핑에 대한 맞춤형 기상 정보를 제공할 것을 제안한다.

하며, 구체적으로 낚시의 경우 파고와 수온 정보를 우선적으로 표출 할 것을 제안하며, 서핑의 경우 파고, 파향, 파주기, 풍속, 풍향 정보를 표시하고, 추가적으로 쇄파대 정보를 더 표시하는 방안을 제안한다. 또한, 항로 분야에서는 항로별로 여객선 도착 시간에서의 파고, 풍속, 풍향 등 해양 기상예측 정보를 표시하는 방안을 제안하며, 항만 분야에서는 항만 인근의 기상부이, 파고부이, 등표, 육상 AWS등에서 수집되는 기상 실황 정보, 항만에 대한 항만기상예보 정보, 일(월)출 시간 정보 및 조석예보 등의 기상정보를 표시하는 방안을 제안한다. (표 13 참조)

표 13 분야별 맞춤형 서비스 시범 사업 제안

분야	맞춤형 서비스 제안	
항로	- 항로별 예상 도착 시간에서의 파고, 풍속, 풍향 예측 정보 등	
항만	- 기상실황정보(기상부이, 파고부이, 등표, 육상 AWS 등), 항만예보, 조석, 일(월)출몰 정보 등	
어업	- 수온 - 추가적으로 파고, 풍속 등	
안보	- Sea State	
해난	- CCTV, 해무 예측정보	
레저	낚시	- 파고, 수온 - 층별 수온정보, 층별 조류정보 (격자 상 특정위치 선택 시 해당지점 층별 수온, 층별 격자 등)
	서핑	- 파고, 파향, 파주기, 풍속, 풍향, 수온 - 쇄파대 정보 (데이터 생산 필요)

■ 데이터 제공 방안

관측되는 숫자, 수치를 제공하는 것과 비교하여 시계열 자료, GIS 기반의 자료 표출 등 종합적인 시각에서 분석할 수 있도록 기상정보를 제공하면 사용자의 편의성을 증대시킬 수 있을 것으로 예상되나, 모든 지역에 대하여 제공하는데 현실적인 어려움이 따를 수 있다. 이 경우, 항만, 기상부이, 등표 등을 우선적으로 선정하여, GIS 기반의 서비스를 제공할 수 있다.

다만, 기상청에서 현재 취급하고 있는 해양기상정보의 종류가 매우 많아, 분야별 맞춤형 서비스를 제공함에 있어 어떤 기상정보를 제공하고, 제공되는 기상정보를 시계열 자료, 수치자료, 그래프 등의 다양한 형태 중 어떤 형태로 제공할 것인지에 대해 선택하는데 어려움이 따를 것으로 예상된다. 따라서 정보를 구분해서 전달하는 방식이 아닌, 기상청에서 현재 취급하고 있는 모든 해양기상정보를 제공하되, 호주의 MetEye 서비스와 같이 사용자가 원하는 정보를 선택하여 표출하는 서비스의 제공을 고려할 수 있다. 이 경우, 시스템의 부하를 줄이기 위해 한 번에 선택되는 기상정보의 종류(예를 들면, 3 종류 이하)를 줄이도록 하는 방안이 고려될 수 있다.

위와 같은 서비스를 제공하고자 할 때, 우선적으로 필요로 하는 자료들이 무엇인지, 이 자료들을 위해서 생산하고 있는 원 데이터(Rawdata)가 무엇인지, 현재 취급하고 있는 자료들이 무엇인지 등에 대한 내용을 정리하는 현황 조사를 수행할 필요가 있다. 이를 통해 즉시 제공 가능한 자료, 제공 불가능한 자료, 앞으로 추가 제공할 자료 등으로 구분하여 정리할 수 있다.

2. 다양한 계층의 의견수렴을 위한 설문조사

전문가 자문단 회의를 통해 맞춤형 해양기상정보 서비스에 대한 방향을 설정하였으며, 맞춤형 해양기상정보 서비스의 시행과 관련한 다양한 계층의 의견수렴을 위해 1) 국민생각함을 통한 의견 수렴 2) 1차 전문가 대상 설문조사 3) 2차 전문가 대상 설문조사를 통해 의견을 수렴하고, 조사결과를 활용하기 위한 설문조사 분석을 수행하였다.

가. 자문단 회의

2018년 5월 16일 해양기상 맞춤형 서비스와 관련하여 본 과제를 진행하는데 있어 고려할 점, 유의점, 진행 방향등을 설정하기 위해 전문가 자문단 회의를 진행하였으며, 자문단 회의의 내용은 아래와 같다.

■ 인공지능 빅데이터 분야

- ✓ 기상예측에 있어서 인공지능을 도입하려는 시도들이 최근 들어 있었을 뿐으로 그 수준은 높지 않음
- ✓ 인공지능의 활용을 위해서는 최대한 많은 수의 관측망을 확보해야 하며 관측망의 확보는 인공지능을 보다 잘 활용할 수 있는 방안이 될 것으로 예상
- ✓ 해양기상분야의 자료는 다양한 장소와 기관에서 수집되고 있어 수집되는 데이터의 품질관리(QC)가 중요하고, 해양기상 현상을 인공지능을 통해 예측하는 것 외에 기존의 기상현상예측에 사용하는 관측자료에 대한 품질관리에 인공지능을 활용하는 방식으로 활용 범위를 확대하는 것도 좋은 방안이 될 것
- ✓ 인공지능의 가장 큰 장점은 상황인식이므로 상황인식에 인공지능을 활용하는 것도 결과를 도출하기 용이
 - 기상의 상황에 대한 분류를 인공지능을 통해 수행하고, 수치모델을 통해 이를 분석하는 형태
 - 축적된 기상 모델 자료를 활용하여 인공지능을 통해 기상 현상을 그룹핑하여 분류

■ 설문조사

- ✓ 전문가 워크숍 시 발표했던 유관기관의 담당자, 관련 연구원, 선주 협회 등 앞서 선정된 6가지 분야의 업종관계자를 대상으로 하는 것이 좋음
- ✓ 설문조사 문항 개발 및 대상에 관한 연구를 진행하되, 온라인 설문조사 플랫폼(서베이 몽키, 구글 설문조사 등)은 준비된 것으로 무방할 것으로 예상

- 온라인을 통해 설문조사를 진행하는 경우, 온라인 취약계층에 대한 의견수렴을 할 수 없는 문제가 발생 가능
- 온라인의 특성 상 참여가 강제되지 않으면서 별도의 노력을 요구하기 때문에 설문조사에 참여한 참여자들에게 리워드를 제공하는 방안이 필요
- ✓ 본 과제의 목적 및 특성을 고려하면 소수의 전문가 그룹에 대한 심층조사를 시행하는 것이 적절

■ 통합DB 설계

- ✓ 기존에는 저장된 자료와 중복되는 비슷한 자료를 새로 생산하는 과정을 반복하는 등 데이터 관리가 되지 않음
- ✓ 양질의 서비스를 위해서는 공통된 규칙을 가지며, 데이터의 무결성이나 성능 상의 이슈 없이 구조적으로 설계되어야 하며 설계된 데이터베이스에 대한 관리체계가 보장되어야 함
- ✓ 영향예보를 제공하는데 있어 기상데이터, 해양데이터 및 지리데이터를 복합적으로 이용하는 것은 매우 중요하며, 전처리 과정을 통해 기준 정보를 표준화하여 업무데이터로 이동시키는 것 역시 중요

나. 국민생각함을 통한 의견 수렴

■ 국민생각함을 통해 2018.04.09. ~ 2018.04.24.(16일간) 일반 국민의 의견을 수렴

- ✓ 국민이 만족할 수 있는 해양기상정보의 제공
- ✓ 위험지역 또는 위험한 상황에 대한 알림 요청
- ✓ 재난 발생 시 빠른 조치와 보고체계 개선
- ✓ 구조를 위한 장비 증설 등을 통해 재난 발생 후 조치에 대한 연구 필요

다. 1차 전문가 대상 설문조사

■ 제주 해양학회에 참석한 전문가를 대상으로 설문조사 진행 (2018.05.23.) (그림 18 참조)

- ✓ 설문에 응한 조사대상자는 총 48명
- ✓ 해양기상정보에 대한 만족도와 관련하여 48.9%의 응답자가 만족한 것으로 응답
- ✓ 인공지능 기법에 의한 해양기상예측정보 정확도 향상 정도와 관련하여 93.3%의 응답자가 정확도 향상에 도움이 될 것이라고 응답
- ✓ 필요한 해양기상예측정보는 순위별로 1) 파고/파향/파장정보(31), 2) 풍향/풍속정보(28), 3) 조수/조류정보(19), 4) 강수확률(17), 5) 수온정보(16)인 것으로 나타남
- ✓ 필요한 해양기상관측정보는 순위별로 1) 파고/파향/파장정보(30), 2) 풍향/풍속 정보(30), 3) 조수/조류정보(19), 4) 수온정보(14)인 것으로 나타남
- ✓ 적절한 예보기간은 순위별로 1) 7일(30), 2) 3일(5), 3) 15일(5)인 것으로 나타남
- ✓ 그 외 추가의견
 - 정확한 기상정보의 안내
 - 장기에보의 정확성 향상
 - 저시정 관측 등 종합적인 해양관측 정보의 필요
 - 일반인에 대한 접근성 향상
 - 해상관측 시스템에 대한 데이터 제공 체계 필요

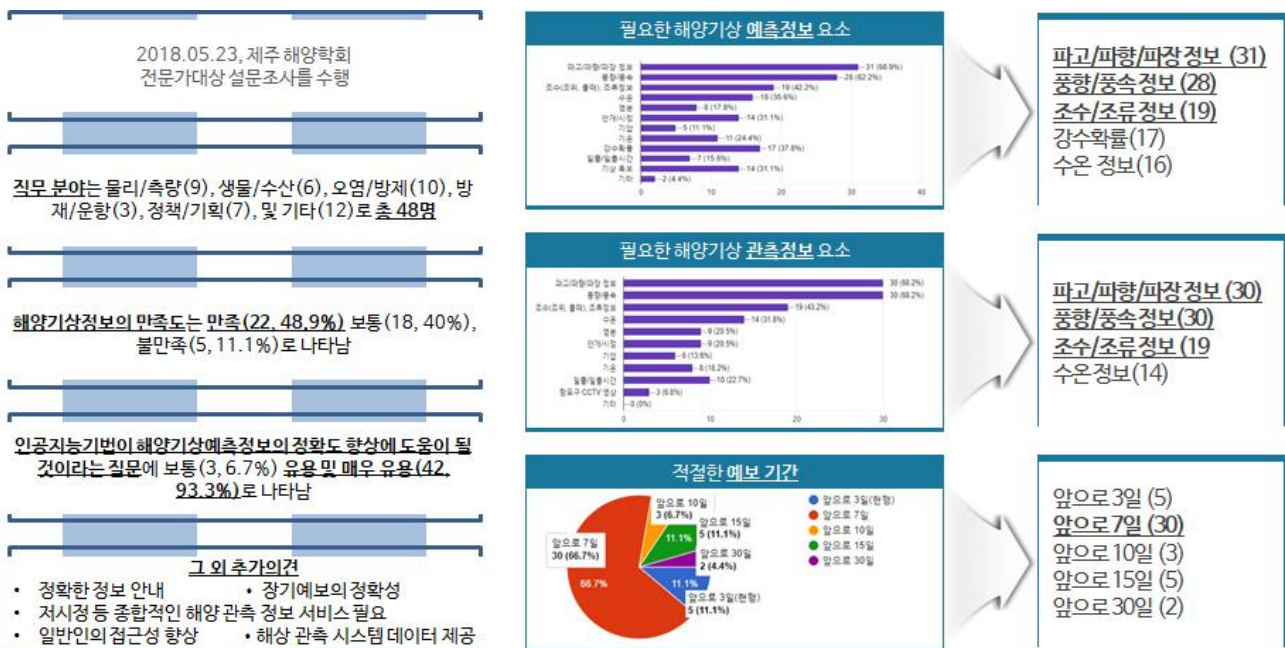


그림 18 1차 전문가 대상 설문조사 결과

라. 2차 전문가 대상 설문조사

■ 경기대 레저스포츠학과의 교수, 석/박사 과정의 학생을 대상으로 설문조사 진행 (2018.06.08.) (그림 19 참조)

- ✓ 설문에 응한 대상자는 총 18명
- ✓ 해양기상정보에 대한 만족도와 관련하여 38.9%의 응답자가 만족한 것으로 응답
- ✓ 해양기상정보 서비스 개선을 위해 가장 필요한 것
 - 신속한 예측 결과의 획득(15)
 - 서비스 전달체계의 개선(5)
 - 관측지점의 확대(4)
- ✓ 필요한 해양기상예측정보는 순위별로 1) 풍향/풍속정보(18), 2) 강수확률(9), 3) 기온 정보(8), 4) 파고/파향/파장정보(7) 5) 조수/조류정보(6)인 것으로 나타남
- ✓ 필요한 해양기상관측정보는 순위별로 1) 풍향/풍속정보(17), 2) 파고/파향/파장정보 (9), 3) 조수/조류정보, 4) 기온정보(8)인 것으로 나타남
- ✓ 적절한 예보기간은 순위별로 1) 7일(30), 2) 15일(6), 3) 10일(4)인 것으로 나타남

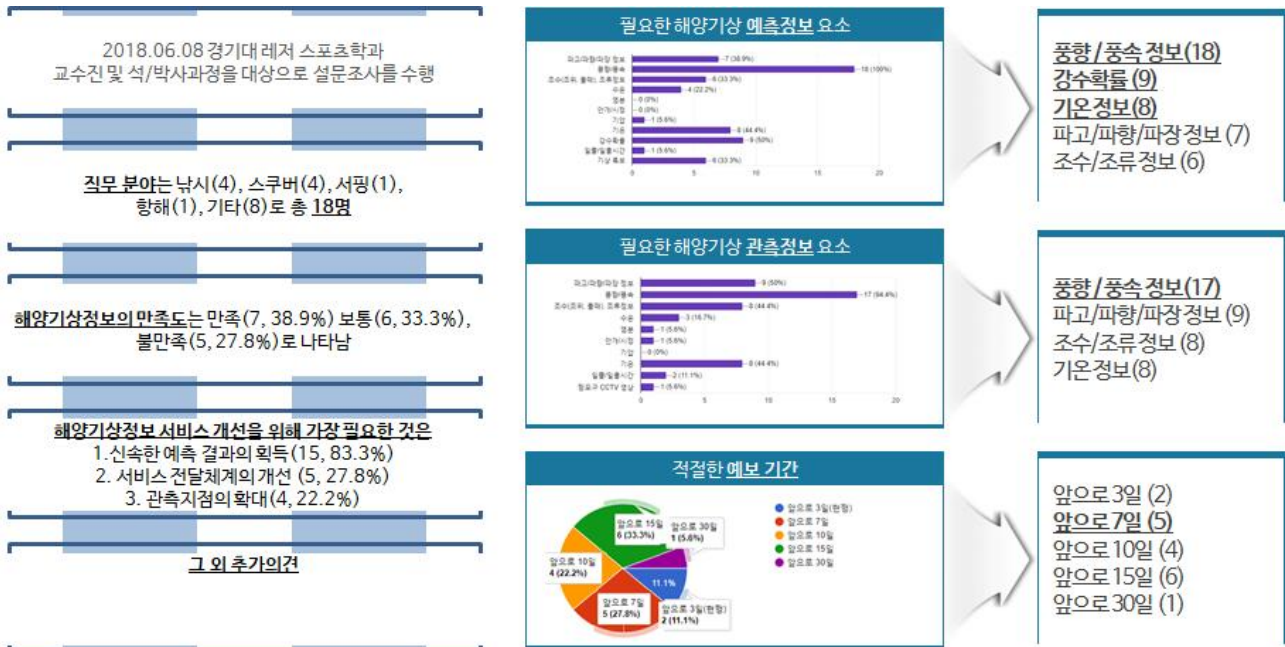


그림 19 2차 전문가 대상 설문조사 결과

3. 국내외 해양기상 영향예보 선진기술 동향 분석

가. 미국

미국 해양대기청(NOAA: National Ocean and Atmospheric Administration)의 NWS(National Weather Service)는 2013년 Weather-Ready Nation Roadmap 2.0에서 영향기반 의사결정 지원서비스를 포함하고 이에 대한 추진전략을 제시했다. 추진전략에는 삶과 생계를 위협하는 사건에 대한 기상 결정 서비스 개선(Goal 1)을 포함하는 영향기반 의사결정 지원 서비스가 포함되어 있다. (표 14 참조)

표 14 NWS 추진 전략 목표(Weather-Ready Nation Roadmap)

NWS 추진 전략 목표	
Goal 1	삶과 생계를 위협하는 사건에 대한 기상 결정 서비스 개선 (Improve weather decision services for events that threaten lives and livelihoods)
Goal 2	국가 수자원 관리를 지원하기 위해 개선된 수문 예보 서비스를 제공 (Deliver a broad suite of improved water forecasting services to support management of the Nation's water supply)
Goal 3	지역 사회, 기업 및 정부가 기후 관련 위험을 이해하고 적응하도록 돕는 기후 서비스 강화 (Enhance climate services to help communities, businesses, and governments understand and adapt to climate-related risks)
Goal 4	경제적 생산성을 위해 부문 별 정보를 개선 (Improve sector-relevant information in support of economic productivity)
Goal 5	건강한 공동체 및 생태계를 지원하는 통합 환경 예측 서비스 활성화 (Enable integrated environmental forecast services supporting healthy communities and ecosystems)
Goal 6	사명을 달성하기 위한 훈련, 도구 및 인프라가 갖추어진 고도로 숙련된 전문 인력을 유지 (Sustain a highly skilled, professional workforce equipped with the training, tools, and infrastructure to meet our mission)

NWS는 로드맵을 통해 기상현상에 대한 정확한 예측과 경고를 생산하는 한편, 사용자가 영향기반의 의사결정 서비스(IDSS, Impact-based Decision Support Services)를 통해 기상 현상에 대한 예방 조치를 계획하고 수행하기 위해 NWS의 정보를 이용할 수 있도록 하는 서비스 계획을 수립하고 있다. 또한, 점점 더 복잡해지는 사회의 요구를 충족시키기 위해 영향력이 큰 위험 기상에 대한 예측을 지속적으로 개선해야 하며, 정보의 내용, 흐름 및 전달에 대한 사용자의 만족도 또는 기대치를 지속적으로 개선해야 한다고 강조했다.

미국 해양대기청은 미국 전역에 대하여 악천후 위험(Severe Weather Warning), 수문 위험(Hydrology Hazard), 화재 위험(Fire Hazards), 한파 위험(Winter Hazard), 가뭄 위험(Non-Precipitation Hazard), 해안 위험(Coastal Hazard) 및 바다 위험(Marine Hazard)에 대한 위험정보(Hazard Information) 등의 위험정보를 제공하고 있으며, 미국 서부지역 한정으로 고해상도의 위험 정보를 제공하고 있다. 이와 같은 위험 정보는 일기예보정보와 위험정보를 동일한 위치에 제공함으로써 관리자가 폭풍을 모니터링하고 날씨에 대한 잠재적인 영향을 시각화할 수 있도록 도와주고 있으며, 사용자로 하여금 기상 위험으로부터 대처하도록 한다. 일기 예보정보는 NOAA nowCOAST와 NOAA National Weather Service의 National Digital Forecast Database에 의해 제공된다. (표 20 참조)

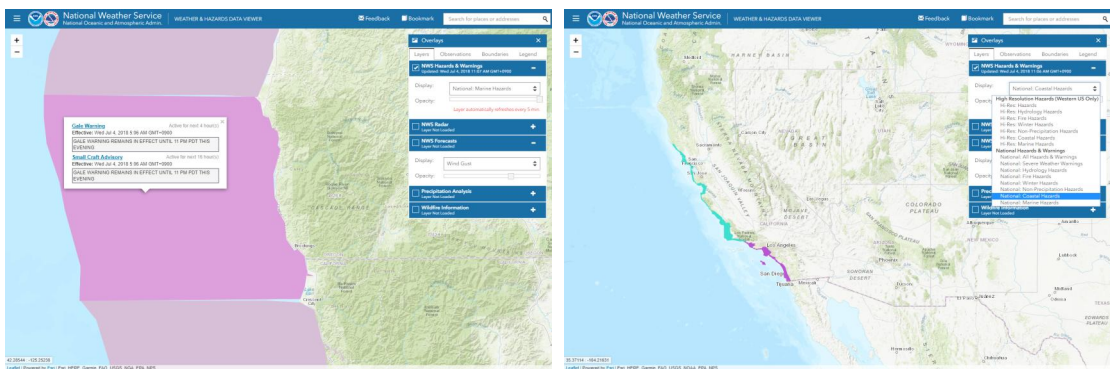


그림 20 NOAA Weather & Hazard Data Viewer

해양대기청의 PTWC(Pacific Tsunami Warning Center)는 바다 전 지역의 과거 30일 동안 발생된 해일 발생정보 및 위험정보를 GIS 및 목록 형태로 제공하고 있으며, 4단계로 구분된 위험 정보에 따라 해일 피해 및 이에 따른 행동양식을 제안함으로써, 선제적인 위험기상정보를 제공하고 있다. (그림 21 참조)



그림 21 NOAA Tsunami warning System

지진 해일에 대한 위험 정보를 단계에 따라 구분하면, 경고, 주의, 관망, 정보전달 체계로 구분되며, 각 단계는 지진의 세기(진도)를 기반으로 결정된다. (그림 22 참조)

- 경고(warning) 단계는 위험한 해안 범람과 강한 해일이 발생하며, 해안 범람이 도착 후 몇 시간 또는 며칠간 유지될 수 있는 단계로, 단계 발령 시 지방 공무원의 지시를 따르며, 고지 또는 내륙으로 대피하는 등 가능한 물에서 멀리 떨어져야 한다.

- 주의(Advisory) 단계는 물속, 물과 가까운 곳에 위험한 해류 또는 파도 발생 가능성이 발생할 수 있는 단계로, 단계 발령 시 지방 공무원의 지시를 따르며, 물에서 벗어나 해변과 수로에서 멀리 떨어져야 한다.

- 관망(Watch) 단계는 먼 곳에서 해일이 발생한 단계로, 단계 발령 시 관련 정보에 귀를 기울이고, 해일에 대처할 준비를 해야 한다.

- 정보 전달(Information Statement) 단계는 먼 곳에서 지진/해일이 발생했으나 지진/해일의 위험은 없다.



그림 22 지진 해일 영향 예보 위험 매트릭스

생산되는 해일 경보 메시지는 전 세계의 지진 및 해수면 자료를 기반으로 하며, DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunami systems)를 통해 해일의 조기탐지, 측정 및 실시간 보고를 제공하고, 지진 해일에 의한 해저의 압력 변화 등의 데이터를 해일 예측 모델에 입력함으로써 해일 경보 메시지를 생산하고, 연안에서 지속적으로 동작하는 해안 수위 방속을 통해 해일의 파고와 도착시간에 대한 정보를 제공한다.

해양대기청의 SPC(Storm Prediction Center) 미국 전역의 뇌우와 토네이도에 대해 예측과 전망을 제공하기 위해, 관측 1일 후 내지 3일 후에 대한 예측 정보에 기초하여 미국 전역의 천둥 번개, 뇌우를 포함하는 태풍에 대한 위험 정보를 색상으로 구분하여 제공하며, 각 단계 별로 상세한 기상 정보를 함께 제공한다. (그림 23 참조)

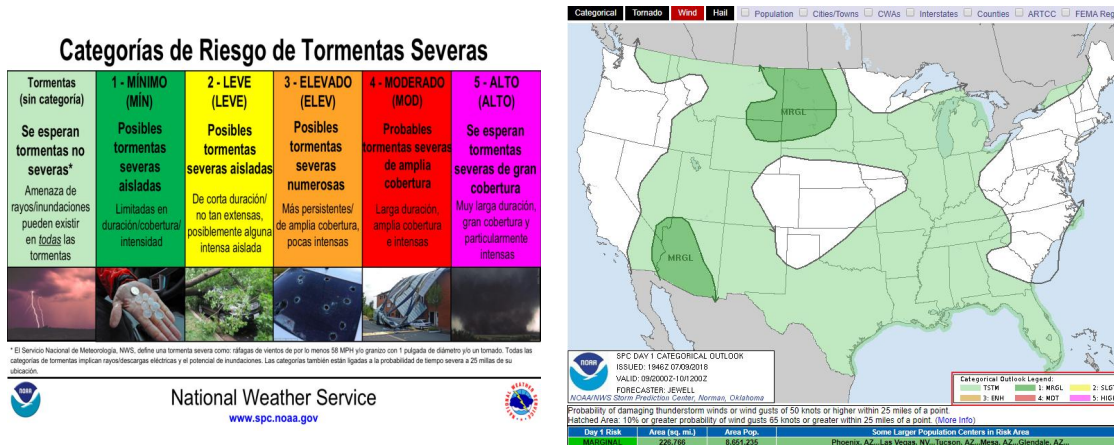


그림 23 NOAA Storm Prediction System

NWS는 해변 예보를 통해 해변 지역에 대해 예측된 위험 수준을 색상으로 구분하여 제공하고 있다. 또한, 해당 해변 지역에서 발생할 수 있는 이안류 위험 정보와 해당 해안 지역에 발효되는 폭풍 정보 및 이에 따른 위험 정보를 함께 제공하여 해변 이용 시 발생할 수 있는 위험 정보를 제공하고 있다. (그림 24 참조)

일기예보실(WFO: Weather Forecast Office)은 예보 지역 내 해변에 대한 현재 안전 정보, 서핑지역에서의 파도 정보, 이안류 위험 정보, 레이더 영상, 자외선 등의 정보를 제공하고 있으며, 서핑과 파도에 대한 위험 정보 및 안전정보가 추가될 예정이다.

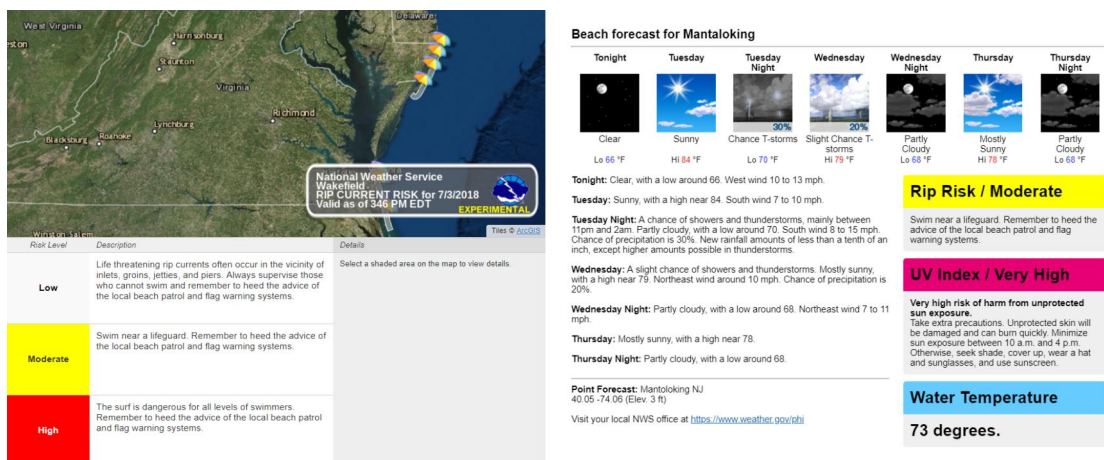


그림 24 NOAA beach forecast service

나. 일본

일본기상청은 일본의 해안에 대하여 파랑, 해수면 수위, 해빙, 표층온도, 지표수온, 해류 등 해상기상 예.관측 정보를 제공하고 있으며, 일본 근해, 북서태평양에 대하여, 해수면 온도, 기후의 변화 등에 대한 데이터를 제공하고 있다. 연안 파랑의 경우 12시간 주기로 실태도를 제공하고 있으며, 조위 관측정보의 경우 매 5분마다 갱신하여 제공하고 있다.

일본의 해안에서 지진해일이 발생하는 경우, 해일 주의보(해일고 0.5 내외), 해일 경보(해일고 2m 내외) 및 대해일 경보(해일고 3m 이상)로 구분하여 진원지 정보 및 해일의 예상 도착 시간을 함께 제공하고 있으며, 지방 기상청을 중심으로 해일 발생 시 행동 요령과 피해 정도를 사람들에게 제공하고 있다. (그림 25 참조)

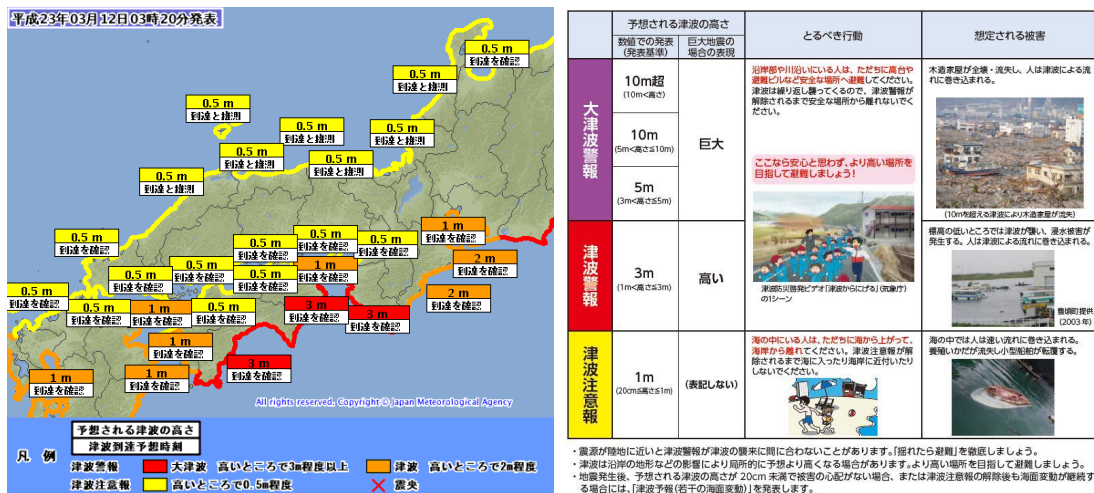


그림 25 일본의 해일 예측 서비스와 이에 따른 행동 수칙 (일본 기상청)

일본기상주식회사에서 제공하는 기상네비게이터(天氣ナビゲーター) 서비스 중 바다네비(海ナビ) 서비스는 낚시, 서핑, 다이빙, 해수욕장로 구분하여 맞춤형 서비스를 제공하고 있다. 바다네비 서비스는 어느 하나의 지점에 대하여 주목해야할 점, 발효되는 주의보 정보 및 기상 정보를 제공하고 있다. 기온 및 강수정보를 일별(6시간 단위) 및 시간별로 제공하고 있으며, 추가적으로 파고 정보와 풍랑 정보, 황사, 적설량 정보 및 해당 지역의 교통 정보 등의 다양한 정보를 제공하여 레저 활동의 유무를 결정할 수 있도록 하고 있다 (그림 26 참조)



그림 26 바다네비 서비스 예시 1 (일본기상주식회사)

낚시와 관련하여 만조·간조 시간과 그 조수, 파도의 높이와 바람 등 관련 정보가 제공되며, 낚시 포인트에서의 조업 결과를 게시하여 정보의 공유가 가능하다. 다만, 황사, 구름, 상공의 기온, 자세한 파고맵, 과거 기상 정보 등의 상세한 정보는 유료로 제공된다. (그림 27 참조)



그림 27 바다네비 서비스 예시 2 (일본기상주식회사)

다. 영국

영국의 경우 해상 및 해안 경비대(MCA)가 경고 및 예측 방송을 포함해 해상에서 선박에 대한 해상 안전 정보를 제공하고 있으며, 영국기상청(MetOffice)은 해양 기상과 관련하여 3일 내지 5일의 해안 기상 예측 정보, 파고예측 및 태풍 경보, 연근해의 강풍 정보 및 출하 예측에 대한 정보 등 광범위한 해양 예측 및 경고를 제공한다.

해안 기상 예측은 하루 1번(23:00 GMT 기준) 발표되며, 3일 내지 5일 후 해안 기상을 예측한다. 예측 범위는 영국을 둘러싼 바다를 세 영역(Cullercoats, Portpatrick 및 Niton)으로 나뉜다. 세 영역의 일부 지역은 중복되는 영국의 Navtex 송신기의 적용 범위를 반영하여 예측한다. 예측 정보는 강풍이나 폭풍의 가능성에 대한 세부 정보 및 각 Navtex 송신기의 적용 범위에 대한 일반적인 예측 정보가 포함된다.

파고 예측은 하루 2번(09:30 및 21:30 GMT 기준) 발표되어, 1일 후 및 2일 후에 대한 예측 정보가 포함된다. Metarea로 알려진 북대서양의 일부는 12개의 해역으로 나뉘며, 그 중 6개는 해운 예보에 포함된다. 공해 예보는 향후 24시간 동안의 예측과 풍향, 날씨 및 가시성을 포함하는 일반적인 개요와 해역 예측 정보가 포함된다.

연근해에 대한 강풍 예측은 하루에 4번(00:00, 06:00, 12:00 및 18:00 UTC) 발표되며, 해상에서 최대 12마일 떨어져있는 영국 해역의 연안 지역을 19개의 지역으로 나누어 예상 풍향, 날씨, 가시성 및 해상 상태에 대한 세부 정보를 제공하고 있다.

악천후로 인해 영국에 영향을 줄 가능성이 큰 기상현상이 발생하는 경우, 기상 경고 서비스를 통해 기상 경고를 발표하며, 이러한 경고는 날씨가 미치는 영향과 위협 수준의 조합에 따라 노란색, 호박색 또는 빨간색으로 표시하여 나타낸다. 노란색은 기상 현상에 의해 낮은 수준의 영향을 미칠 수 있으며, 호박색의 경우, 악천후로 인한 영향을 받아 계획에 차질을 줄 수 있으며, 빨간색 경고 시에는 악천후로 인한 영향으로부터 자신과 다른 사람을 지켜야 한다고 명시하고 있다. (그림 28 참조)

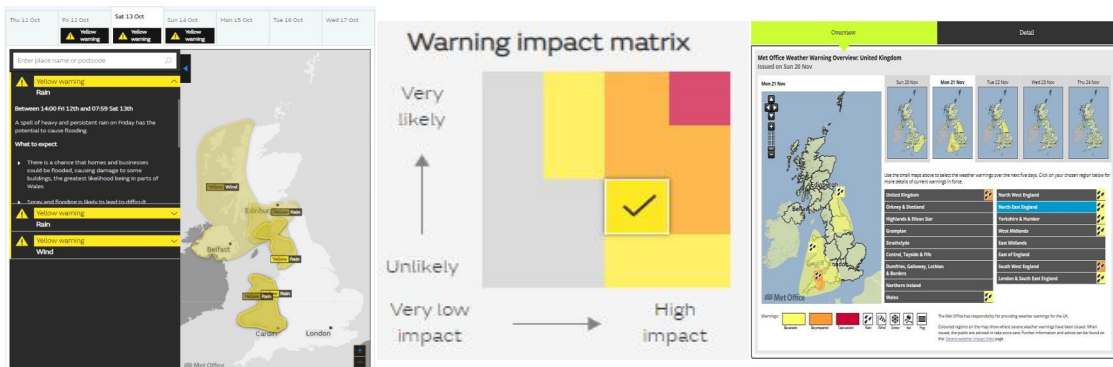


그림 28 Met office 영향예보 예시(Metoffice)

영국에서는 정부 부처 간 재해관리 의 일관성, 품질과 재해에 대한 계획, 준비, 특보 및 대응을 향상시키기 위해 자연 재해 파트너십(NHP, Natural Hazards Partnership)을 설립 하였으며 이 파트너십에 참여하고 있는 기관들은 영국 내부에서 재해 관련 연구에 선두 적인 역할을 하고 있다. 특히 영국에서 영향예보의 기본방향은 기상·기후 서비스를 통한 국민 보호와 정부·기업 지원에 있으며 향후 추진전략으로는 앙상블 기반의 시·공간적 상 세예보 생산 기술 고도화, 학·연·관 협업 및 소통 강화, 역량강화를 위한 내부교육 활성화 및 응용기상/기후변화 관련 컨설팅 실시가 있다. 자연 재해 파트너십은 신청자를 대 상으로 해안범람, 비 등 20여 가지의 위험기상 정보를 위험도에 따라 색상으로 구분하여 일간 유해성 평가를 제공하고 있다. (그림 29 참조)



그림 29 자연 재해 파트너십과 일간 유해성 평가 (NHP)

라. 호주

호주 해양기상청은 강풍 경고가 발표되면, 해양 라디오를 통해 최신 예보 정보를 방송한다. 해양 위험 경고는 현재 해안 수역에 대한 예측 정보가 포함되어 있다. 해양 위험 경고는 주 전체 요약을 통해 당일 및 다음날에 대한 모든 연안 바다와 지방 바다에 대한 예측 정보를 표시한다. 아래 표는 해양 위험 경고 중 강풍에 대한 정보 기준을 나타낸다. (표 15 참조)

표 15 강풍 경고 카테고리

바람 경고	풍속 평균 26 노트에서 최대 33 노트
강풍 경고	풍속 평균 34 노트에서 최대 47 노트
폭풍우 경고	풍속 평균 48 노트에서 최대 63 노트
허리케인 경고	풍속 평균 64 노트 이상

2일 동안 예측된 해양 위험 경고를 표시하며, 해안 경고 예보에 강풍경고 라벨이 추가된다. 연안 수역에 대한 예보는 일반적으로 6시간마다 발표되며, 경고 발표 후 24시간 동안 게시된다. 또한, 경고 기간 동안 모든 주 해안 및 지방 수역을 포괄하는 해양 강풍 경고 요약이 발표되며, 해양 위험 및 경고에 있어 위험 단계에 따라 색상으로 구분하여 표시하고 있다. (그림 30, 31 참조)

Gold Coast Waters Forecast

View the current warnings for Queensland

Forecast issued at 3:06 pm EST on Thursday 30 May 2013.

Weather Situation

A cold front will move across southern parts today, with strong southerly winds along the southeast coast. A strong high pressures system over southern NSW will move eastwards into the Tasman Sea on Friday.

Forecast for Thursday until midnight

Strong wind warning for Thursday for Gold Coast

Winds	Southerly 25 to 30 knots.
Seas	2.5 to 3 metres.
Swell	South to southeasterly 4 metres.
Weather	Isolated thunderstorms with possible hail.

Friday 31 May

Strong wind warning for Friday for Gold Coast

Winds	South to southeasterly 25 to 30 knots decreasing to 15 to 25 knots before dawn.
Seas	1.5 to 2.5 metres, decreasing below 1.5 metres during the morning.
Swell	Southerly 3 to 4 metres, decreasing to 3 metres around dawn.

Saturday 1 June

Winds	South to southeasterly 10 to 15 knots tending east to southeasterly in the late evening.
Seas	Up to 1 metre.
Swell	Southerly 2.5 to 3 metres, tending southwesterly 2 metres during the morning.

그림 30 해양 위험 경고의 예시 1 (호주 기상청)



그림 31 해양 위험 경고의 예시 2 (호주 기상청)

호주 기상청은 MetEye 서비스를 통해 호주의 모든 지역에 대하여 기상관측 및 예보 정보 중 사용자가 선택한 정보 요소만을 시각화하여 표출하는 사용자 맞춤형 기상 정보 서비스를 제공하고 있으며, 강수, 풍향, 파도, 기온, 태풍, 습도, UV 등의 기상 정보를 표시할 수 있다. MetEye 서비스는 7일 예측을 지원하고 있으며 3시간 간격으로 예보에 대한 상세 정보를 분석하여 제공한다. (그림 32 참조)

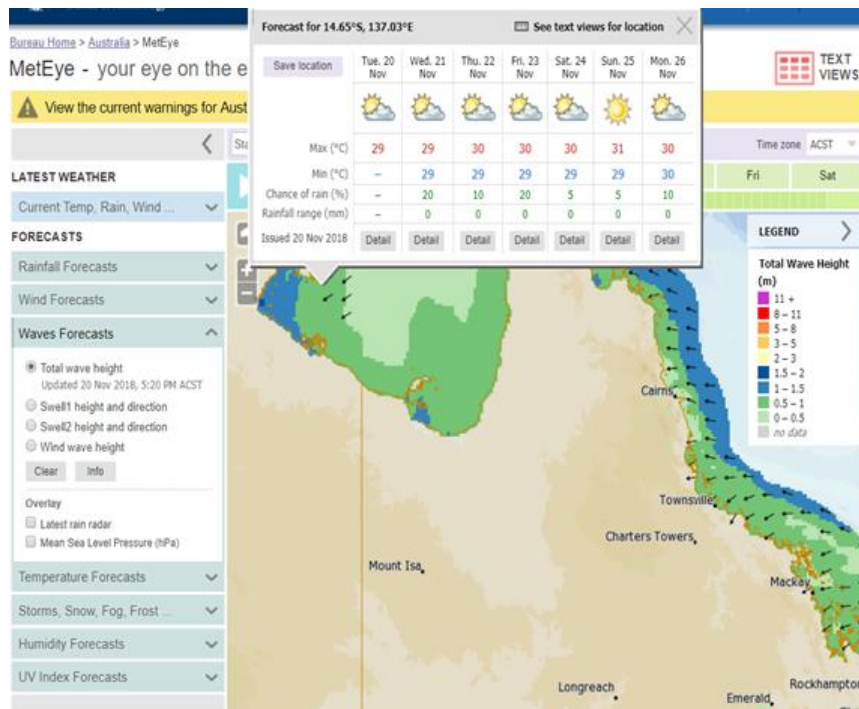


그림 32 MetEye 서비스 (호주 기상청)

Auswave라고 불리는 글로벌 파랑 모델을 운영하고 있으며 7일 후의 파랑 예측 정보를 생산한다. Auswave Regional 모델은 호주 해역의 여러 하위 지역에서 고해상도의 파랑 예측 정보를 생산한다. 빅토리아와 태즈메니아 사이에 유명한 베스 해협(Bass Strait)의 경우 해류가 급격하여 매우 높은 파도의 파도가 자주 발생하고, 반대의 조류가 파도의 경사를 증가시키는 지역으로 별도로 생산된 예측 정보를 표시한다. 또한, 해상 활동에 참조할 수 있도록 호주 내 다양한 지역에 대한 상세 파도 정보를 제공하고 있다.

호주 기상청은 호주 연안 해역에서 운영하는 보트 운전자의 수천 건의 요청에 응답하며, 기상 위험의 영향에 따라 보트 운전자가 보다 안전한 상황을 대비하여 계획을 보다 잘 준비하거나 일정의 변경을 유도하기 위해 아래 그림과 같이 5가지 기상 상태를 체크할 수 있도록 안내한다. (그림 33 참조)

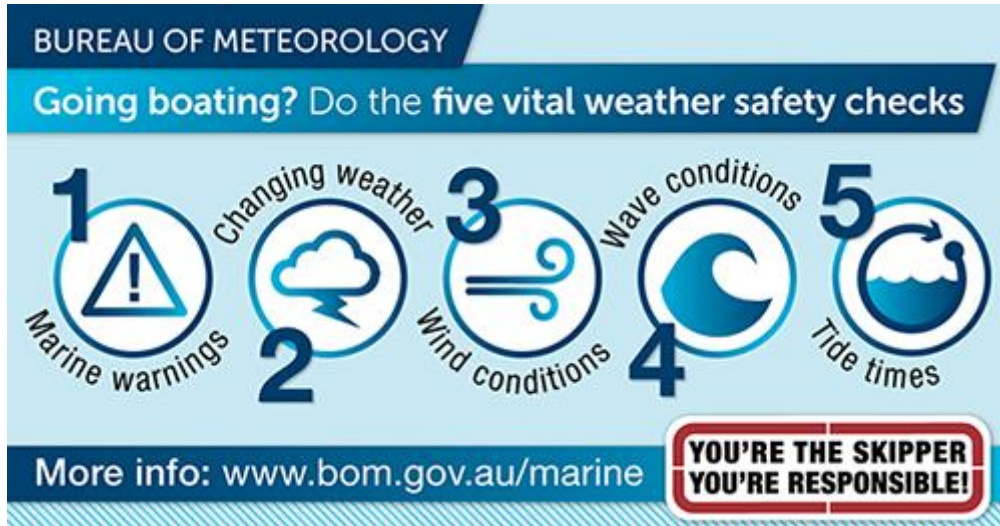


그림 33 승선하기 전 체크해야할 기상 상태 (호주 기상청)

호주 기상국은 위험한 바람과 파도가 예상되는 경우 해양 지역에 대한 경고 범위를 발표하고 있으며, 안개 또는 비로 인한 가시성 감소, 또는 뇌우, 낙뢰 등 기상의 변화에 따른 경고를 발표하여 안전에 유의하도록 안내하고 있다. 또한, 강풍, 폭풍우 또는 허리케인이 예상 될 때마다 해안 강풍 경고를 발표하여 해안 활동에 주의하라고 안내하고 있으며, 파도 및 조수 정보를 추가적으로 제공하고 있다.

마. 중국

중국은 도로결빙, 폭설, 폭우, 우박, 강풍, 박무, 고온, 저온, 가뭄, 낙뢰, 황사, 서리, 태풍 등에 대한 기상 경고정보를 수치 예보 정보를 기반으로 파랑, 노랑, 주황, 빨강으로 구분된 아이콘을 통해 단계를 나누어 표시하고 있으며, 이에 따라 방위 지침을 게시하여 해당 기상 위험으로부터 시설 및 인명을 보호하기 위한 노력을 기울이고 있다. (그림 34 참조)



그림 34 중국기상 경고 정보(중국 기상청)

바. 국내

■ 기상청

기상청은 2020년 영향예보를 본격적으로 수행하겠다는 비전을 수립하였으며, 이를 위한 빅데이터 기반의 기상영향 분석 및 지원 체계 구축, 영향예보 기술 개발, 영향예보 이해 확산 및 관련 기관 협업, 영향예보 서비스 및 평가체계 구축을 포함하는 4가지 추진 전략과 11개의 세부 과제를 구성했다. (그림 35 참조)

또한, 영향예보를 실현하기 위해 구체적인 기상영향 정보를 제공해 재해담당 기관의 의사결정을 지원, 선제적 재해관리 강화를 위한 조기경보 체계를 구축 및 유관기관과의 효과적 협업 체계를 구축을 추진방향으로 설정했다.

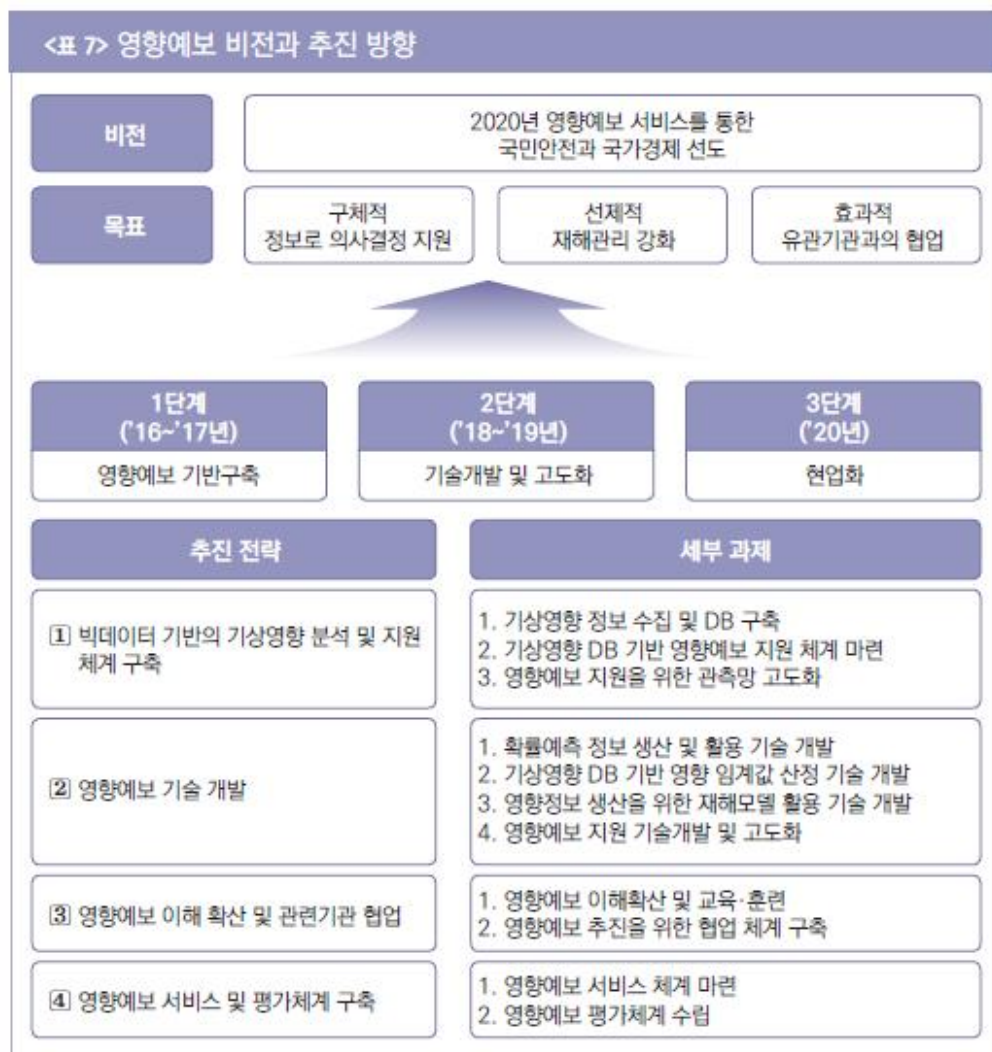


그림 35 영향예보 비전과 추진 방향(기상청, 2016)

기상청은 해양기상과 관련하여 해양기상과 관련된 영향예보를 제공하고 있지는 않으며, 유의파고, 파향, 파주기, 풍속, 풍향 등을 포함하는 해양기상정보에 대하여 수치예측정보를 제공하고 있다. 또한, 수치예측정보를 제공함에 있어, 수치에 따라 색으로 구분된 결과를 제공하여 사용자에게 직관적으로 정보를 전달하고 있다. (그림 36 참조)

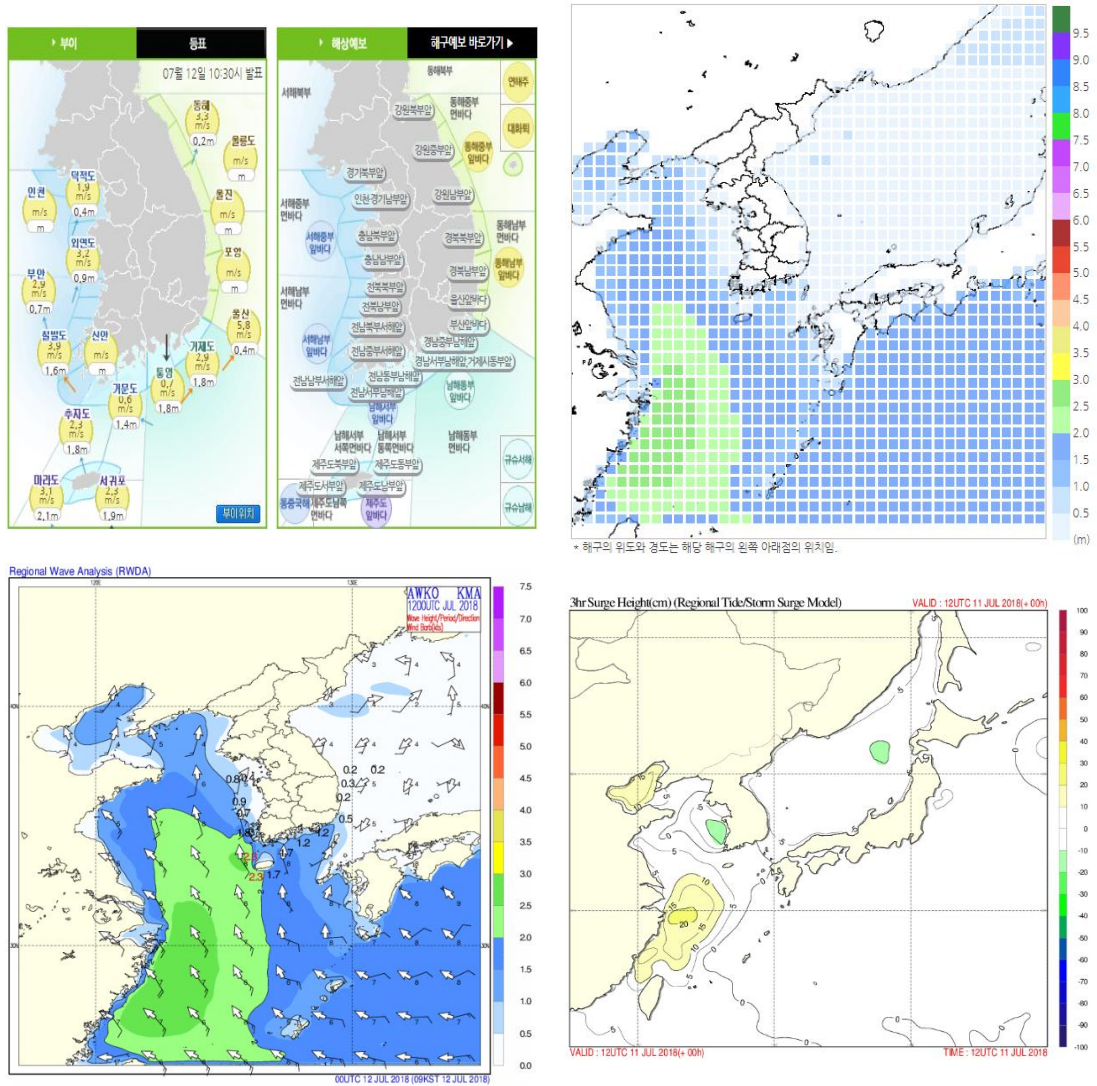


그림 36 기상청 제공 서비스 (기상청)

기상청은 우리나라 주변 해역을 총 1331개의 해구별(50km 격자)로 세분화하여 해양기상정보를 제공하고, 3시간 간격으로 파고, 파주기, 파향, 풍향, 풍속 등의 해양기상정보를 제공하고 있으며, 기상청과 별도로 각 지방기상청들이 각 지방, 지역별로 해당 지역에 맞는 맞춤 기상 정보를 제공하고 있다. (표 16 참조)

표 16 지방(지)청 별 특화 서비스

지방(지)청	서비스 내용	자체 콘텐츠
수도원(청)	항만기상정보, 해구별 예측정보, 연근해 선박정보	연근해선박정보
부산(청)	항만기상정보, 해구별 예측정보, 조석예보	항만기상정보
광주(청)	해구별 예측정보, 항만기상정보, 해상실황, 뱃멀미지수	뱃멀미지수
대전(청)	수온예측정보, 해구별 예측정보, 연근해 선박정보, 항만망기상정보	
강원(청)	항만기상정보	
제주(청)	항만기상정보, 바다날씨	
대구지청	항만기상정보, 독도접안기상정보	독도접안기상정보
전주지청	항만기상정보	

■ 국립해양조사원

국립해양조사원은 조석, 조류, 기본적인 해양기상 정보 제공 외에, 조석예보, 바다갈라짐 지수, 해수유동 정보 등 해양과 관련된 다양한 정보를 포함하는 해양수산부 내 전체 해양수산정보 메타데이터를 구축하여 제공하는 해양정보 통합 플랫폼, MSP, 해양수산, 정책지원, 방재활동 지원을 위한 공유해 서비스, 해양레저스포츠, 여행 등 대국민을 위한 해양레저정보를 제공하는 개방해, 해양공간정보의 정확한 표출을 위한 해양중심의 새로운 베이스 어플리케이션인 해아름 등 다양한 서비스를 제공하고 있다.

해양수산부 및 산하기관에서 생산한 해양정보를 통합하여 새로운 지식정보자원을 생산하고, 국가정책을 지원할 뿐만 아니라, 민간의 새로운 서비스 제품, 비즈니스 개발을 지원하기 위해 국가해양정보 활용센터를 운영하고 있다. (그림 37 참조)



그림 37 국립해양조사원 제공 서비스

■ 국립수산과학원

국립수산과학원은 연안 양식어장 밀집해역과 이상해황에 의한 어업재해가 빈발한 해역에 실시간 어장환경정보(수온, 염분, 용존산소 등) 자동관측시스템을 구축하여 어업활동에 필요한 과학적 어장환경정보의 실시간 적시제공(웹, SMS, 메일링 서비스 등) 및 수산업 진흥을 위한 기반 자료 확보를 위해 실시간 관측 정보 시스템을 구축하여 서비스를 제공하고 있으며, SMS를 통해 실시간으로 업데이트 되는 정보를 제공하고 있다. (그림 38 참조)



그림 38 실시간 해양환경 어장정보시스템

사. 소결

기존의 기상 예보는 위험기상 및 기상자료에 대한 유관기관의 대응을 지원하는데 한계가 있었다. 유관기관이 충분히 대비하기에 선행시간이 부족했고, 함께 제공되는 주의사항은 일반적인 내용만을 담고 있어 이를 활용하기 어려웠다.

미국기상청은 2013년 발표한 Weather-Ready Nation Roadmap에서 영향기반 의사결정 지원 서비스로 패러다임 전환을 결정하고, 산출물 중심의 서비스에서 해석과 상담 서비스로의 전환을 추진하고 있으며, 영국기상청은 2011년부터 위험가능성 도표를 기반으로 발생 가능성과 영향의 정도에 따라 5가지 기상현상(비, 바람, 눈, 결빙, 안개)에 대해 최대 5일 전부터 특보를 발효하는 등 의사결정을 지원할 수 있는 기상예보에 영향예보를 도입하여 서비스를 수행하고 있다.

또한, 해양기상과 관련하여 각 국은 자국의 특성에 맞추어 위험기상 발생가능성과 영향 정도에 따라 특보를 발표하고 있다. 예를 들면 일본과 호주의 경우 해양 기후와 관련하여 보다 상세한 정보를 제공하고 있으며, 특히, 호주의 경우 해양레저와 연계된 기상 정보를 함께 제공하고 있다. (표 17 참조)

표 17 국외 해양기상 맞춤형 서비스 현황

국가	현황
미국	<ul style="list-style-type: none"> • 해일, 태풍에 대한 위험 정보 및 이에 따른 영향 정보를 제공 • 해안가 위험 및 바다 위험에 대한 맞춤형 정보를 제공하여, 해안가 방문 전 위험 상황에 대비하도록 함
일본	<ul style="list-style-type: none"> • 해일이 발생하는 경우, 해일고의 높이, 진원지 정보 및 해일의 예상 도착 시간 등을 제공 • 일본기상주식회사의 바다네비(https://s.n-kishou.co.jp/w/charge/tide/tidetop.html) 서비스는 낚시, 서핑, 다이빙, 해수욕장으로 구분된 맞춤형 서비스가 제공됨 - 해당 지역에서의 날씨, 발효된 주의보, 일별, 시간별 날씨 정보 제공 - 파도 예상, 바람 예상, 황사, 구름, 상공의 기온, 자세한 파고맵, 과거 기상 정보 등은 유료 제공
영국	<ul style="list-style-type: none"> • 해양 기상 전망, 강풍 경보, 기상 위험 정보 등의 위험 정보를 색상으로 구분하여 단계별로 제공 • 자연 재해 파트너십(NHP)이 설립되었으며, 신청자에 한해, 해안 범람, 번개 등 20여 가지 위험 기상 정보에 대한 일간 유해성 평가 제공
호주	<ul style="list-style-type: none"> • MetEye서비스를 통해 강수, 풍랑, 기온 등의 기상 정보 및 안개, 습도 등의 기상 현상에 대한 정보를 제공 • 해양기상정보센터를 통해 해양수요자를 대상으로 해양 기상 정보를 제공
중국	<ul style="list-style-type: none"> • 특보정보, 강풍, 태풍, 해일 등의 기상 정보를 강도와 영향 정도에 따라 색상으로 구분하여 제공

더불어, 각 국의 기상청 및 관련 기관을 중심으로 제공되는 영향예보의 서비스를 기상 현상 및 맞춤형 서비스 분야 등으로 구분되는 서비스의 종류 별로 구분하여 비교하면 아래 표와 같다. (표 18 참조)

표 18 각국 기상청의 영향예보 서비스 비교

해양기상	미국	일본	영국	호주	중국	한국
강수	●		●			
강풍	●		●	●		
태풍	●		●	●		
해일	●	●		●		
낙뢰	●		●			
이안류	●					

※중국과 한국의 경우 별도의 영향예보 서비스 제공 없음

현재, 우리나라 기상청의 경우 제주 지역 한하여 날씨 예보에 결항과 침수, 결빙 등 재해 위험 정보를 함께 제공하는 영향예보를 시범적으로 도입(2016년 8월)했을 뿐 기상과 관련된 구체적인 서비스는 이루어지지 않고 있다. 다만, 기상청은 2019년까지 기술개발을 완료하여 2020년부터 정식 서비스할 계획을 세우고 있는 만큼, 다양한 해양기상 분야에 대한 영향예보 서비스가 개발되어 서비스될 수 있을 것이다.

영향예보의 필요성은 계속해서 강조되고 있으나, 영향예보의 경우 단순한 예보와는 다르게 피해규모 등 기상현상과 관련된 다양한 요소를 파악해야 실질적인 효과가 있을 것으로 예상된다. 다시 말해, 향후 다양한 분야에서 서비스될 영향예보가 보다 정밀하고, 실효성 있는 서비스가 된다면 사회경제적 효과는 매우 클 것으로 예상된다. 예를 들면, 항만 운행과 관련된 영향예보를 서비스하는 경우 출항 후, 기상악화로 항만에 접안하기 위해 대기하는 것을 방지하거나, 레저와 관련된 영향예보를 서비스하는 경우 미리 계획을 잡을 수 있도록 하는 등 생활과 밀접하게 관련 될 수 있어 그 효과는 매우 클 것으로 예상된다. 다만, 해양기상과 관련된 영향예보를 계획하는데 있어 유관기관과의 협조 또는 기상관측망 강화를 통해 정확하고 효율적인 영향예보 체계가 구성되어야 할 것이다.

4. 맞춤형 해양기상서비스 설계 및 단·중기 세부이행계획

앞서 조사된 선진기술 조사결과, 전문가문단 워크숍, 자문단 회의 및 지방청들의 요구 사항들을 종합하여 맞춤형 해양기상 서비스를 위한 세부이행계획을 제안한다.

가. 맞춤형 서비스 시범사업 로드맵

해양산업의 규모, 해양기상의 직접적인 영향 정도, 산업의 성장, 중요성, 분야별 요구사항 등을 고려하여 어업, 안보, 해난, 레저, 항로, 항만을 포함하는 6개 분야를 맞춤형 서비스를 위한 사업 시행 분야로 선정하였으며, 선정된 6개 분야를 중심으로 맞춤형 서비스의 시범 사업을 위한 단·중장기 로드맵을 제시한다. (그림 39 참조)

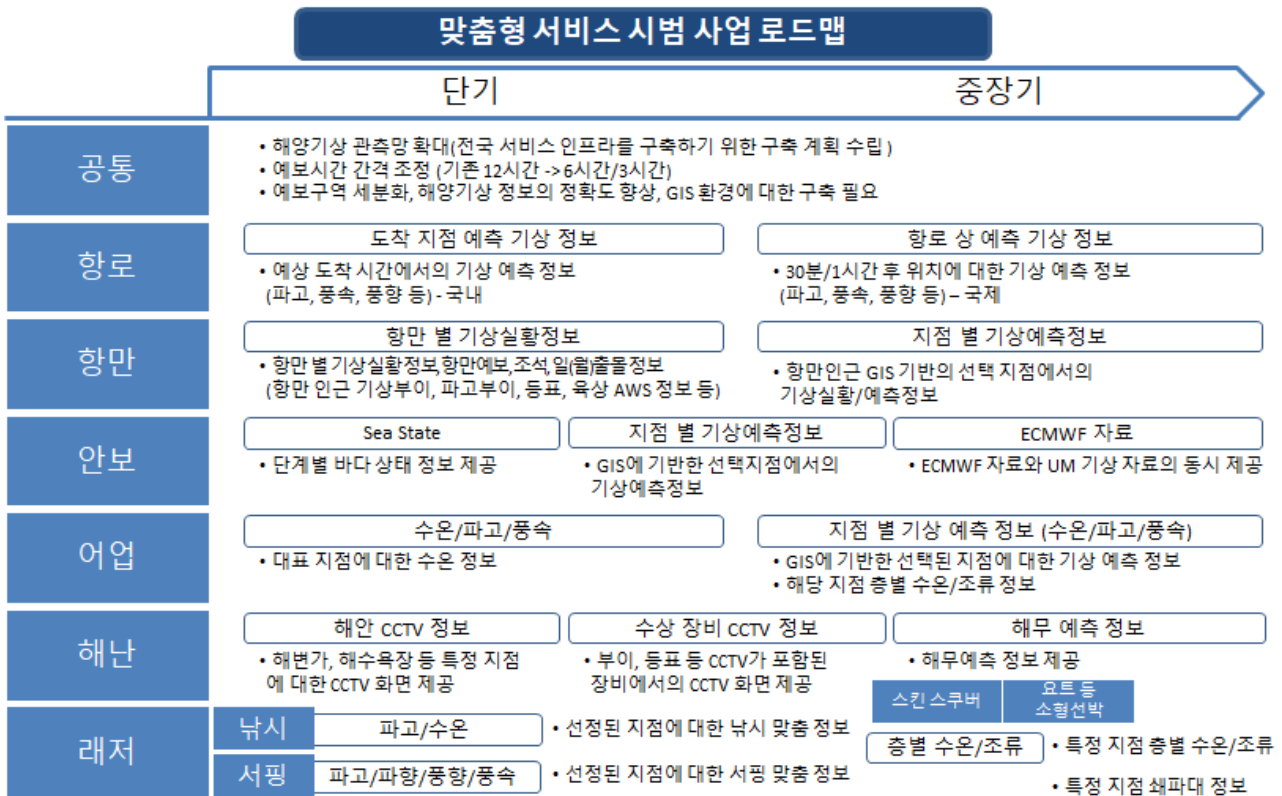


그림 39 맞춤형 서비스 시범 사업 로드맵

해양산업의 규모가 가장 큰 항로와 항만 분야에 대한 맞춤형 서비스를 우선적으로 시행하는 방안을 제안하나, 안보, 어업, 해난, 레저 분야를 포함하는 그 외 분야에 대해서도 단기적인 시점에서 맞춤형 서비스를 준비하는 것을 제안한다. 다만, 서비스를 제공하는데 있어 어업 종사자, 해경, 해군, 레저 종사자 등 해당 분야에 속한 사람들이 원하는 정보

또는 중요도를 고려하여 우선적으로 제공할 분야, 또는 정보를 선별하거나 제공되는 정보에 대한 정확도를 증진시키는 방안이 고려된다.

맞춤형 서비스의 분야별로 단기/중장기적인 맞춤형 서비스의 시범 사업을 제안한다. 단기적인 서비스 시범 사업은 2019년부터 즉시 시행될 수 있도록 계획/준비되어야 하며, 중장기적 서비스 시범사업은 2020년 이후부터 서비스될 수 있도록 관련 기술의 개발, 환경의 구축 등이 선결되어야 한다.

(항로 분야)에서는 해당 항로를 지나는 여객선의 출항 여부를 결정할 수 있도록 항로별로 여객선 도착 예상 시간에서의 파고, 풍속, 풍향 등의 해양 기상 예측 정보를 표시하는 방안을 제안하며, 중장기적으로는 GIS에 기반하여 30분/1시간 후 등 단위시간 후의 선박의 예상 위치에 대한 예측 기상 정보를 제공하는 방안을 제안한다.

(항만 분야)에서는 단기적으로 항만 인근의 기상부이, 파고부이, 등표, 육상 AWS 등에서 수집되는 기상 실황 정보를 제공하는 방안을 제안하며, 추가적으로 항만 기상예보 정보, 일(월)출 시간 정보 및 조석 예보 등 부가적인 기상정보를 표시하는 방안을 제안한다. 중장기적으로는 GIS에 기반하여 항만 인근에 선택된 지점에 대한 기상 예측 정보 또는 선택된 지점 인근에서 수집되는 기상 실황 정보를 제공하는 방안을 제안한다.

(어업 분야)에서는 미리 선별된 대표 지점에 대하여 어획량과 직접적으로 연관되는 수온 정보를 표시할 것을 제안하고, 파고, 풍속 등을 추가적으로 표시할 것을 제안한다. 중장기적인 관점에서는 GIS에 기반하여 선택된 지점에 대한 수온 정보를 표시할 것을 제안하며, 선택된 지점에 대한 층별 연직 수온/조류 정보를 추가적으로 표시하는 방안을 제안한다.

(안보 분야)에서는 작전 및 훈련 가능 여부를 파악하고, 파고에 의한 기항지 피해 방지를 위해 Sea State의 표시를 제안하며, 장기적으로 ECMWF 자료를 UM자료 동시에 제공하는 방안을 제안한다. 이를 통해 해군은 작전 수행의 여부를 판단할 수 있을 것으로 예상된다.

(해난 분야)에서는 단기적으로 해안가를 중심으로 설치된 CCTV 정보를 표시하고, 새로 설치된 부이, 등표 등 CCTV가 포함된 장비의 CCTV 화면을 주가로 표시할 것을 제안한다. 이후, 해무예측 정보를 제공하는 방안을 제안하나, 해무예측과 관련하여 현재 검증이 진행 중인 만큼 중장기적인 관점에서 서비스가 진행되어야 할 것이며 검증과 관련하여 조사원 사례와 같이 연구 과제를 선행하여 해무 관측 환경 구축 후 장기간 데이터 확보한 이후 데이터 전처리 및 인공지능 기법의 도입을 고려할 수 있다.

(레저 분야)에 있어서, 수요자 수가 가장 많은 낚시와 최근 수요자가 급증하고 있는 서핑 분야에 대한 맞춤형 해양기상 서비스 제공을 제안하며, 서핑에 있어서, 파고, 파향, 파주기, 풍속, 풍향, 수온 정보를 제공하고, 데이터의 생산이 필요할 것으로 예상되는 바

중장기적으로 쇄파대 정보를 추가적으로 제공할 것을 제안한다. 쇄파대 정보는 수심과 파랑, 파향 정보 등을 종합하면 예측 정보를 제공할 수 있을 것으로 예상된다. 우선 서비스 대상 위치와 관련하여 해수욕장, 해변가를 중심으로 이루어지기 때문에, 이들을 중심으로 서비스를 제공하거나 또는 서핑 관련 업체가 모여 있는 지역을 중심으로 우선 서비스를 제공할 것을 제안한다.

낙시의 경우 단기적으로 미리 선정된 특정 지점에 대한 파고, 수온 정보를 우선 표시하고 격자 상 특정 위치 선택 시 해당 지점의 층별 수온, 층별 격자 등의 층별 정보를 파고, 수온 정보와 같이 제공할 것을 제안한다. 낙시의 경우 동해안, 남해안보다 서해안을 이용하는 인구가 많기 때문에 서해안을 중심으로 우선 서비스를 제공하는 방안을 제안하며, 이동이 많은 낙시 특성 상 고정된 위치를 특정하기 어려운 경우 항구, 방파제 등 고정된 지점을 중심으로 우선 서비스를 제공할 것을 제안한다.

레저 분야의 경우 우선적으로 낙시와 서핑 맞춤형 기상 정보를 제공할 것을 제안하고 있으나 향후 스킨 스쿠버 등 수중 레저 활동을 위한 수온, 수중 가시성(탁도) 정보 등의 맞춤형 정보를 제공하는 방안을 제안하며, 항로가 정해지지 않은 소형 레저 선박의 운행 가능 여부를 파악하거나, 사용자가 지정한 항로에 대해 예측된 기상 정보를 제공하는 맞춤형 서비스를 제공하는 방안을 제안한다. 한편, 해안가의 특정 지점을 방문할 계획을 세울 수 있도록 연안 지점(해수욕장 등)에 대한 맞춤형 서비스를 고려해볼 수 있다.

현재 맞춤형 서비스를 제공하기 위해 6개 분야를 결정하여 맞춤형 서비스를 제공할 것을 제안하였으나, 해양기상정보에 대한 수요, 요구사항, 필요성 등을 고려하여 더 다양한 분야로 확장하여 맞춤형 서비스를 제공할 것을 제안한다. 예를 들면, 해양 산업의 규모가 가장 큰 선박 및 해양 플랜트의 건조를 포함하는 조선 분야를 고려하여 조선 분야 맞춤형 서비스의 제공을 계획할 수 있고, 해양에서 환경 오염문제가 대두되어 환경 보존에 중요성과 필요성이 강조되고 있는 점을 고려하여 적조 예측, 기름 유출 범위 예측 등 해양 환경에 대한 맞춤형 서비스의 제공을 계획할 수 있을 것이다.

한편, 현재 제공되는 맞춤형 서비스를 각 분야를 보다 세분화하여 맞춤형 서비스를 제공할 수 있다는 점을 고려할 수 있다. 예를 들어, 어업 분야의 경우 양식과 조업으로 세분화하여 양식업 맞춤형 서비스 및 조업 맞춤형 서비스로 구분하여 맞춤형 서비스를 계획할 수 있고, 양식, 조업되는 어종의 종류에 따라 보다 세분화하여 맞춤형 서비스를 계획할 수 있다. 추가적으로 저수온, 고수온 등의 극한 수온의 경우 해양기상과 직간접적 관련되어 양식과 조업에 직접적인 영향을 미치므로, 향후 서비스의 제공을 고려할 수 있다.

공통적으로 서비스 대상이 광범위하여 컴퓨팅 파워 이슈가 발생하는 경우 조사원 다른 기관에서 선정한 대표지점을 우선 서비스 대상으로 선정하여 서비스를 제공하되, 추후

전국 서비스 인프라를 구축하기 위한 구축 계획을 수립할 수 있다. 장기적인 관점에서 전국 서비스 인프라를 구축하기 위해 해양기상관측망을 확대해야 하며, 이를 기반으로 예보구역의 세분화 계획을 수립하거나 GIS 기반의 서비스 환경을 구축하기 위한 논의가 필요하다. 추가적으로 기존 12시간 간격의 예보시간 간격을 6시간 내지 3시간으로 줄이기 위한 계획의 수립을 제안한다.

나. 데이터 가시화 방안

빅데이터라는 개념이 일반화되면서 데이터의 중요성은 커졌으나 취급하는 데이터의 양이 많으면 많을수록 그 결과를 이해하기 어려워져 데이터의 유용성이 떨어지는 문제점이 발생하게 된다. 데이터의 가시화는 빠르고 정확한 의사결정을 하는데 있어 중요한 요소이다. 따라서, 기상청에서 현재 취급하고 있는 해양기상정보에 기초하여 분야별 맞춤형 서비스를 제공하는데 있어 효과적인 데이터 가시화 방안을 제안한다.

현재 민간 영역에서 제공하는 Windy, Windguru, Windfinder 등의 기상 데이터를 가시화하여 제공하는 서비스 들을 참조하면, 바람, 해수의 방향과 세기를 파티클 애니메이션을 활용하여 표시함으로써 직관적으로 바람, 해수의 움직임을 보여주며, 기압, 기온 등 수치적인 데이터를 컨투어 효과를 이용하여 색상으로 구분된 형태로 표출함으로써 가시성을 높이는 구성을 기본으로 한다. (그림 40 참조)

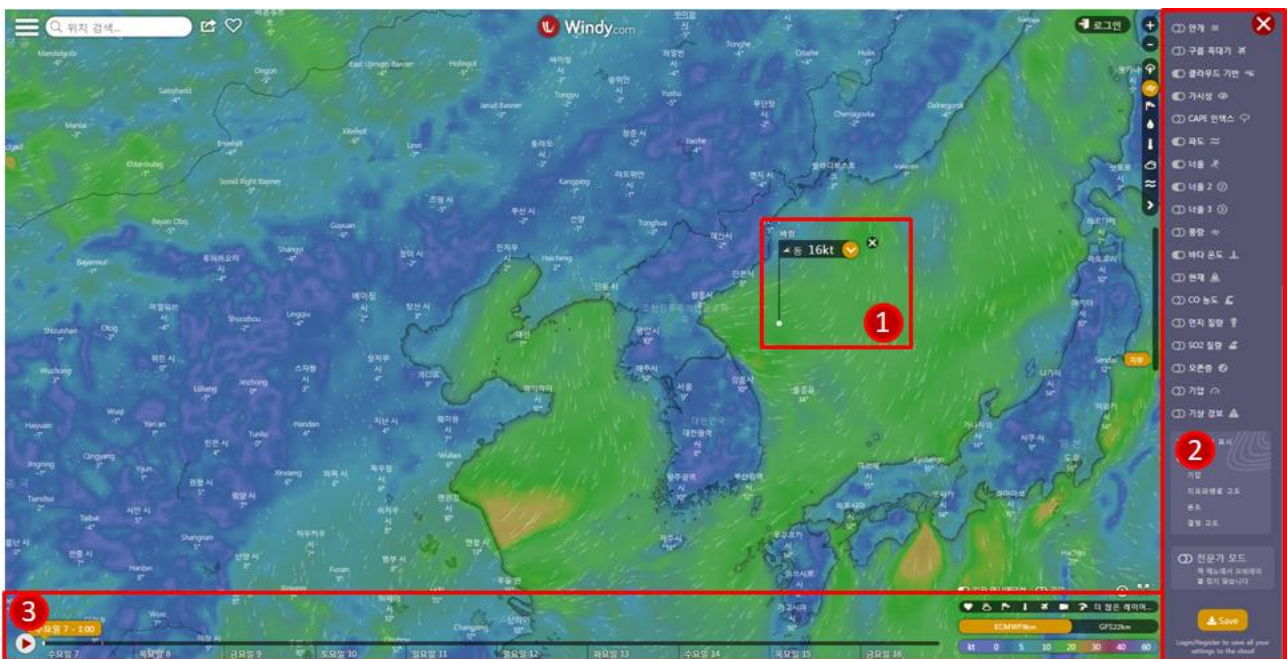


그림 40 데이터 가시화 방안(출처: Windy 서비스 일부)

Windy를 예시로 하면, Windy에 경우 1) 선택된 지점에 대하여 ECMWF 또는 GFS에 기초한 해양 기상 예측 정보를 제공하고 있으며, 2) 공개된 정보를 이용하여 번개 레이더 정보, 바람, 비, 번개, 누적강수량, 눈, 적설량, 뇌우, 온도, 이슬점, 습도, 결빙고도, 구름, 안개 등 다양한 기상정보 뿐만 아니라, 파도, 너울, 해수온도, 등의 해양기상 정보, CO, 먼지, SO2, 오존 등의 다양한 정보를 제공하고 있다. 다만, 시스템의 부하를 고려하여 사용자에게 의해 선택된 정보를 선택적으로 표시하는 형태를 보인다. 또한, 3) 현재 날짜를 기준으로 10일 후 예측 정보를 애니메이션 형태로 시계열로 보여주거나, 문숫자/그래프 형태로 예보 정보를 보여주고 있다.

Windy 등 기상 데이터를 가시화하여 제공하는 서비스의 인터페이스를 벤치마킹하여 맞춤형 서비스를 제공하면 기상청에서 취급하는 다양한 기상 정보를 효과적으로 가시화하여 전달할 수 있을 것으로 예상된다.

기상청에서 현재 취급하고 있는 해양기상정보의 종류가 매우 많아, 분야별 맞춤형 서비스를 제공함에 있어 기상정보를 제공하고, 어떤 정보를 시계열 자료, 수치자료, 그래프 등 어떤 형태로 제공할 것인지를 결정하는데 어려움이 따를 것으로 예상된다. 따라서 정보를 구분해서 전달하는 하는 방안이 아닌, 기상청에서 현재 취급하고 있는 모든 해양기상정보를 제공하되, 사용자가 원하는 정보를 선택할 수 있도록 하는 서비스를 제공하는 방안을 제안한다. 이 경우, 시스템의 부하를 줄이기 위해 한 번에 선택되는 기상정보의 종류를 줄이도록 하는 방안을 고려할 수 있다.

하지만 장기적인 관점에서 상기된 모든 서비스를 기상청에서 직접 서비스하는 것 보다 민간사업자와의 협력을 통해 가시화된 기상 정보를 제공하는 방안을 고려할 수 있다. 다시 말해, 기상청은 다양한 해양기상 데이터를 추가 생산하여 민간 사업자에게 제공하여 민간사업자의 예관측 데이터 생산 기반을 강화하는 방안을 제안하며 이를 위해서는 API 기반의 해양기상정보의 서비스 확대가 요구된다. (그림 41 참조)

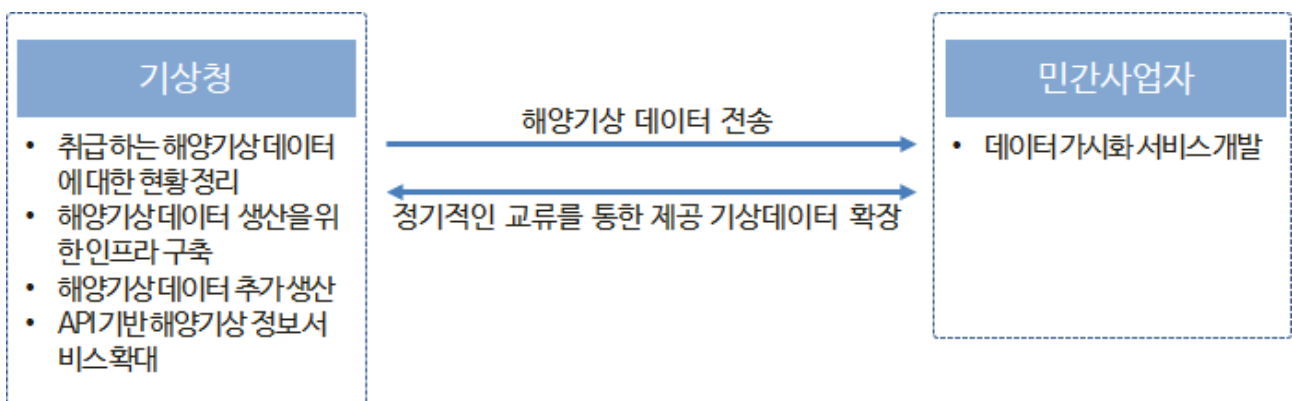


그림 41 데이터 가시화 및 예/관측 기반 강화 방안

이를 위해, 기상청에서 현재 취급하는 모든 해양기상정보를 제공하기 위해서는 우선적으로 표시하거나, 요구되는 자료들이 무엇인지, 해당 자료를 위해서 생산하고 있는 Rawdata가 무엇인지, 현재 제공되는 자료는 무엇인지 등에 대한 내용을 정리할 필요가 있으며, 이를 통해 즉시 제공 가능한 자료, 제공 불가능한 자료, 앞으로 추가 제공할 자료 등으로 구분될 수 있다. 또한, 해양기상 데이터 생산을 위한 인프라를 구축하고 구축된 인프라에 기반하여 추가 생산된 해양기상 데이터를 민간 사업자에게 API 기반으로 전송하면, 민간사업자는 이를 기반으로 데이터가시화 서비스를 개발할 수 있을 것이다. 또한, 기상청과 민간사업자의 정기적인 교류를 통해 제공되는 기상데이터를 확장할 수 있을 것이다.

제2절 해양 위험기상 예측을 위한 인공지능, 빅데이터 활용기법 조사, 제시

1. 해양기상 예측에 인공지능의 적용사례 및 활용가능성 진단

인공지능 분야는 인간의 지능으로 할 수 있는 사고, 학습, 자기 개발 등을 컴퓨터가 할 수 있도록 하는 방법을 연구하는 컴퓨터 공학 및 정보기술의 한 분야로서, 컴퓨터가 인간의 지능적인 행동을 모방할 수 있도록 연구하는 분야이다. 인공지능은 그 자체로 존재하는 것이 아니라, 컴퓨터 과학의 다른 분야와 직간접으로 많은 관련되어 있다. 특히 현대에는 정보기술의 여러 분야에서 인공지능적 요소를 도입하여 그 분야의 문제 풀이에 활용하려는 시도가 매우 활발하게 이루어지고 있다.

자연언어처리(natural language processing) 분야에서는 이미 자동번역과 같은 시스템을 실용화하며, 특히 연구가 더 진행되면서 사람이 컴퓨터와 대화하며 정보를 교환할 수 있게 되므로 컴퓨터 사용에 혁신적인 변화를 가져오고 있다.

전문가시스템(expert system) 분야에서는 컴퓨터가 현재 인간이 하고 있는 여러 가지 전문적인 작업들(의사의 진단, 광물의 매장량 평가, 화합물의 구조 추정, 손해 배상 보험료의 판정 등)을 대신할 수 있도록 하는 것이다.

컴퓨터가 TV 카메라를 통해 잡은 영상을 분석하여 그것이 무엇인지를 알아내거나, 사람의 목소리를 듣고 그것을 문장으로 변환하는 것 등의 일은 매우 복잡하며, 인공지능적인 이론의 도입 없이는 불가능하다. 이러한 영상 및 음성 인식은 문자 인식, 로봇 공학 등에 핵심적인 기술로서 연구되고 있다.

이론증명(theorem proving)은 수학적 정리를 이미 알려진 사실로부터 논리적으로 추론하여 증명하는 과정으로서 인공지능의 여러 분야에서 사용되는 필수적인 기술이며, 그 자체로도 많은 가치를 지니고 있다.

신경망(neural network)은 비교적 근래에 등장한 것으로서 수학적 논리학이 아닌, 인간의 두뇌를 모방하여 수많은 처리기들의 네트워크로 구성된 신경망 구조를 이용하여 다양한 형태의 데이터를 처리하는데 사용되고 있다.

첨단과학기술의 도입을 통한 기상업무 고도화 및 미래 기상 서비스의 수요 대응 기반을 마련하고, 기상기후 융합서비스 활용 및 기상기후자료의 신뢰성, 접근성 및 활용성 제고하기 위해 4차 산업 혁명의 유망기술인 인공지능을 기상예보에 활용하고자 하는 시도가 점차 증가하고 있다.

인공지능과 빅데이터는 데이터를 기반으로 하고 있으며, 유효한 데이터가 많을수록 보다 정확한 예측 결과를 도출할 수 있어 활용분야가 많아질 수 있다. 해양기상분야는 생산되는 데이터의 종류가 다양하고 데이터의 크기가 커서 다양한 분야에서 인공지능과 빅

데이터를 활용할 수 있을 것으로 예상된다. 특히, 해양기상분야는 현재 생산되는 데이터 외에도 이미 축적된 데이터의 양이 매우 많기 때문에 인공지능을 학습시키기 위한 기반 자료 역시 많은 것으로 판단된다. 예를 들면, 인공지능 기반의 보정 기법을 기존 수치모델을 이용한 예측 방법에 적용하여 예측 정확도를 높이는 방안을 고려할 수 있다. 즉, 인공지능과 빅데이터는 축적된 데이터의 양이 많을수록 결과에 대한 정확도와 활용 방법이 많아지며, 해양기상분야는 과거에 생산된 자료 뿐만 아니라 현재 생산되고 있는 데이터의 양이 매우 많기 때문에 해양기상분야 특히 해양위험기상을 예측하는데 있어 유의미한 결과를 도출할 수 있을 것이다.

기상청 2017년 주요 업무 계획에 따르면, 기상청 내부에서도 2017년 계획 수립, 2018년 ~ 2019년 연구개발, 2020년 인공지능 예보생산체계기반 구축이라는 인공지능을 활용한 예보업무 효율화 등 예보생산체계에 대한 새로운 시도를 추진하고 있으며, 관련하여 유전 알고리즘 등을 이용한 연무 발생 예측 모델 개선, 수치예보모델 단기예측 가이드스 개발 등을 계획 중에 있다.

아래에서는 해양 위험기상 예측을 위한 인공지능, 빅데이터 등 활용기법 제시하기 위해, 해양기상 예측에 인공지능이 적용된 적용 사례를 조사하여 활용가능성을 진단하고, 해양위험기상 예측을 위한 인공지능 기법을 제시하고자 한다.

가. 인공지능 활용 사례

■ IBM

IBM은 인공지능을 학습시킬 자체 빅데이터 부족을 해결하고자 웨더컴퍼니를 약 2조원에 인수하여 기상예측용 ‘왓슨 애널리틱스’ 플랫폼을 통해 기업의 운영과 비즈니스 의사결정에 기상정보를 적용하고자 했다. 웨더컴퍼니는 전 세계 기상데이터, 약 300여명의 기상전문가, 항공기 5만 여대로부터 생성되는 30억 건의 데이터 분석이 가능하며, IBM의 ‘왓슨 애널리틱스’는 기업의 운영과 비즈니스 의사결정에 누적/실시간 기상정보를 적용하여 보험, 에너지, 소매, 물류 등을 위한 산업 솔루션을 개발하기 위해 솔루션 개발 중에 있다. 한편, 웨더 컴퍼니는 드론 내비게이션 스타트업인 에어맵(Airmap)과 협력하여 드론 조종자들에게 기상정보를 실시간으로 제공할 계획을 가지고 있다.

왓슨 애널리틱스는 자연어 처리기술을 기반으로 제공되는 혁신적인 인지 서비스, 기업 사용자가 고도의 예측·시각 분석 툴을 스마트 기기를 통해 즉각적으로 접근할 수 있도록 해주는 최첨단 예측 서비스로, 마이크로소프트, 버스트(Burst), 아나플랜(Anaplan), 타이드마크(Tidemark) 등의 분석툴과 차별화된 자연어처리 기능을 활용, 중요한 질문들을 자연어로 인지하고 분석하여 결과를 산출한다. 단일 비즈니스 분석에 있어서 비즈니스 전

문가들이 문제를 발견하면, 왓슨 애널리틱스는 데이터 수집, 클렌징, 정제, 통찰력 발견, 결과 예측 및 시각화, 보고서 및 대시 보드 작성, 다른 사람과의 협업이 가능하도록 지원하며, 유도예측 분석에 있어, 예측 분석을 활용해 주요 사실들을 밝히고, 예측하지 못했던 패턴이나 관계를 찾아내도록 고안되었다. 왓슨 애널리틱스는 기상분석을 통해 보험료 신청의 주된 원인을 분석할 수 있으며 예를 들어 강수가 보험료의 주된 원인으로 분석된 경우 이에 대한 대책으로 강수 전에 사용자에게 강수에 대한 경계정보를 전송함으로써 이에 대한 대책을 마련하도록 돕고 있다. (그림 42 참조)

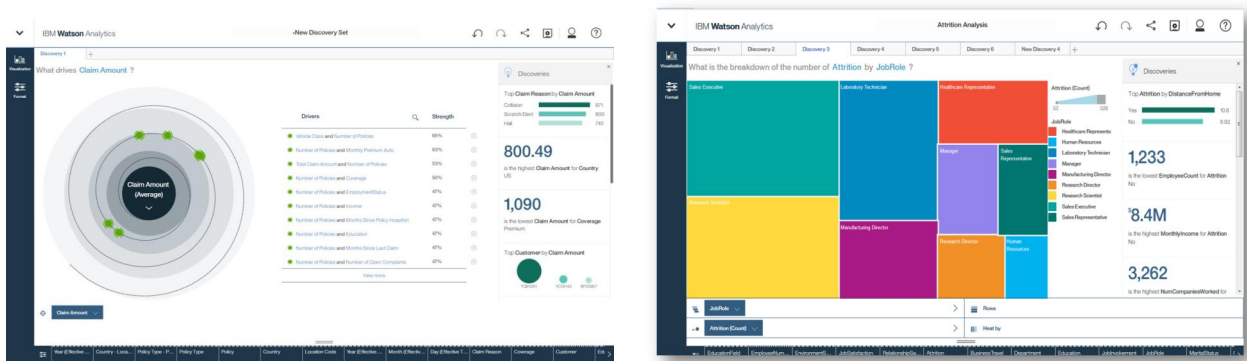


그림 42 왓슨 애널리틱스 (IBM)

■ 에어비주얼(Air visual)

에어비주얼은 공기 질 측정값에 대한 빅데이터를 활용하고자 각국의 환경, 컴퓨터공학, 디자이너 등이 협업하여 설립했다. 빅데이터 기반의 프로그램 개발로 위성정보와 연계하여 기상예 따라 각국의 대기오염 물질이 어떻게 흘러가는지에 대한 3D 지도를 만들었다. 에어비주얼은 자사의 앱(Application)을 활용하여 모든 공기 질 측정값과 비교 순위, 지도 정보를 무료로 공개 중이다. (그림 43 참조)

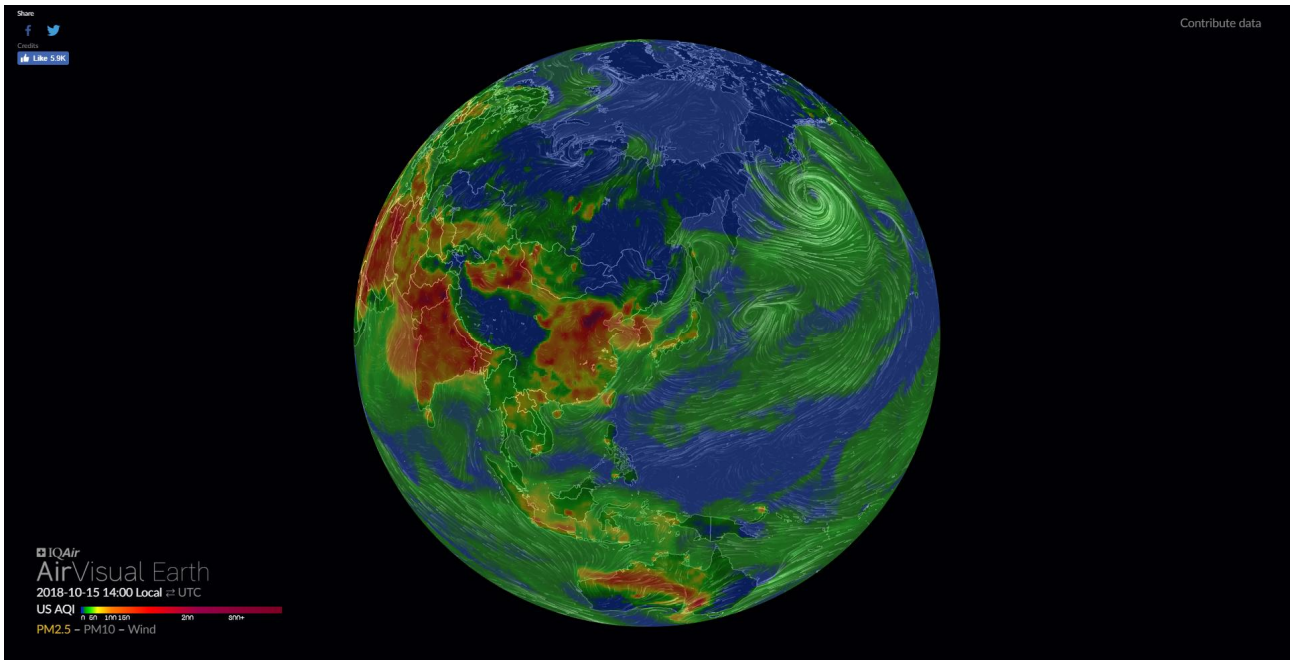


그림 43 에어비주얼 서비스 (Air visual)

■ Microsoft

마이크로소프트는 인공지능을 적용한 예보모델인 Deep Hybrid Model을 개발했으며, 이 모델은 미 대륙 60개 고층대기 관측소의 기상, 기후자료에 인공지능 기술을 적용하고 기상학적 법칙으로 추가, 보정하는 과정을 통해 예보를 생산한다.

마이크로 소프트는 인공지능을 통해 학습하는 예측 모델과, 날씨 관련 변수를 포함하는 신경망 네트워크를 통해 기상을 예측하고 있으며, 넓은 영역의 공간 종속성을 바탕으로 하는 공간 보간을 통해 성능을 향상시켜 보다 효율적인 학습 및 추론 절차를 도출한다고 밝혔다. (그림 44 참조)

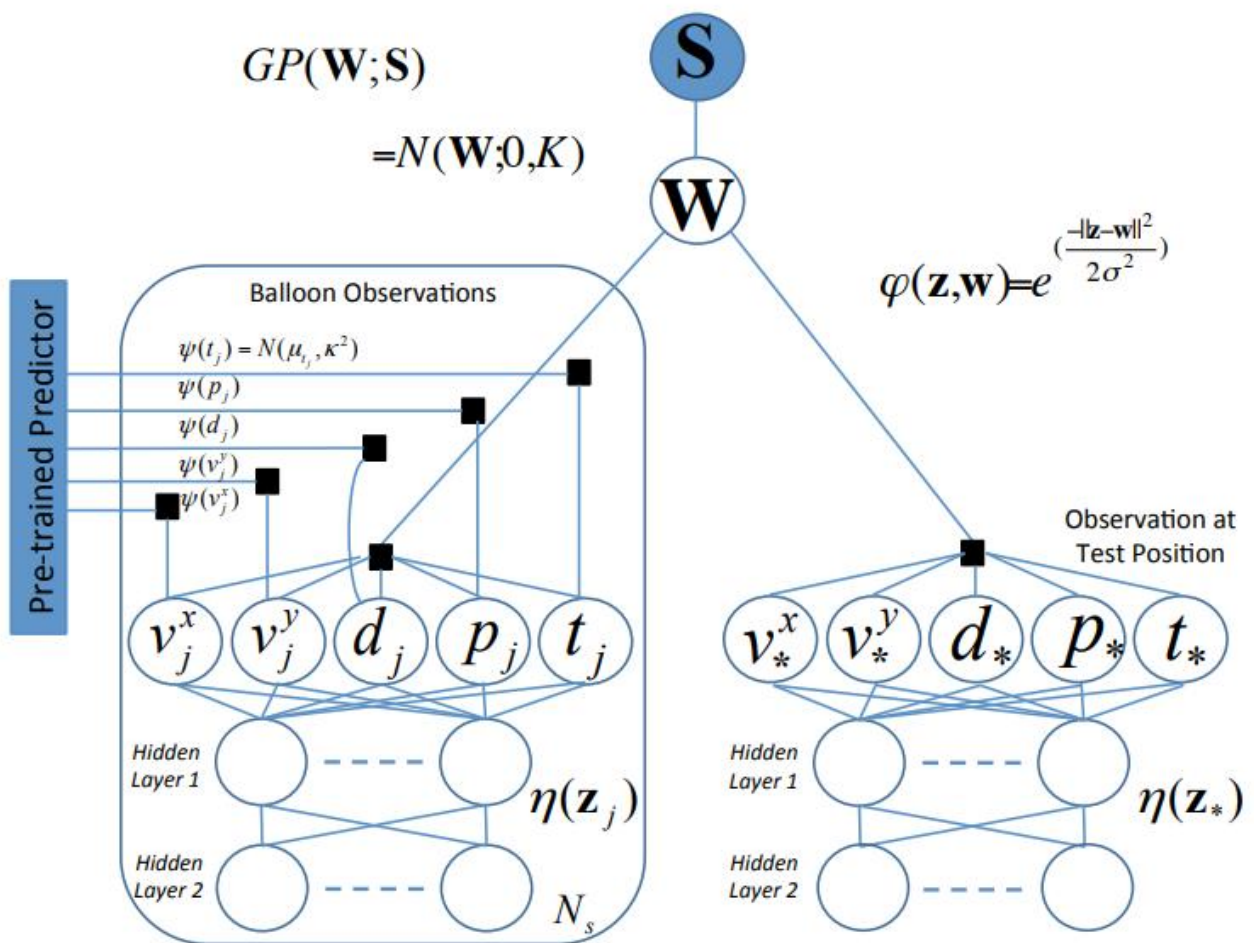


그림 44 Deep hybrid model 개념도 (Microsoft, 2015)

■ 한국

SK TechX는 슈퍼컴퓨터를 통해 생산된 기상 예보를 기계학습을 통해 최종 일기예보를 생산하는 모델을 개발했으며, 휴대전화 기지국 천여 곳에 기상장비를 설치하고, 실제 관측자료와 같은 예보를 내도록 인공지능을 학습 중에 있다.

부경대는 기상정보를 바탕으로 기상 상황을 70m 단위로 파악해 자연재해의 가능성을 판단하는 AlphaMet을 개발했으며, AlphaMet은 지상 관측정보와 상층 기상자료, 지형데이터를 실시간으로 수집해 특정 지역 기상 변화를 유추할 수 있다.

KISTI는 단기재난 예측을 위해 태풍 진로를 예측하는 DeepTC를 개발했으며, DeepTC는 한반도에 큰 영향을 준 10개의 태풍 데이터를 기반으로 풍속, 강수량, 기압 등의 기상 변수를 선별해 학습하여 태풍 진로를 예측한다.

나. 활용가능성 진단

■ 위험기상 예측을 위한 인공지능의 연구 현황

위험기상을 예측하는데 있어 다양한 인공지능 기법을 도입하려는 시도가 이뤄지고 있으나 크게 기계학습을 통한 인공지능 학습과 딥러닝을 통한 인공지능 학습 방법이 이용되고 있다.

기계학습 인공지능 기법을 이용한 위험 예측은 1990년대에도 이론적인 연구가 진행되었으나, 컴퓨팅 성능이 발전한 2000년대 중반부터 본격적인 연구가 진행되었으며, 최근까지도 기계학습을 통한 인공지능 기법을 이용하여 위험기상을 예측하기 위한 시도가 이루어지고 있다. 한편, 딥러닝 인공지능 기법을 통한 기상 위험 예측은 2010년대 중반에 들어 관련 연구가 진행되고 있다. (그림 45 참조)

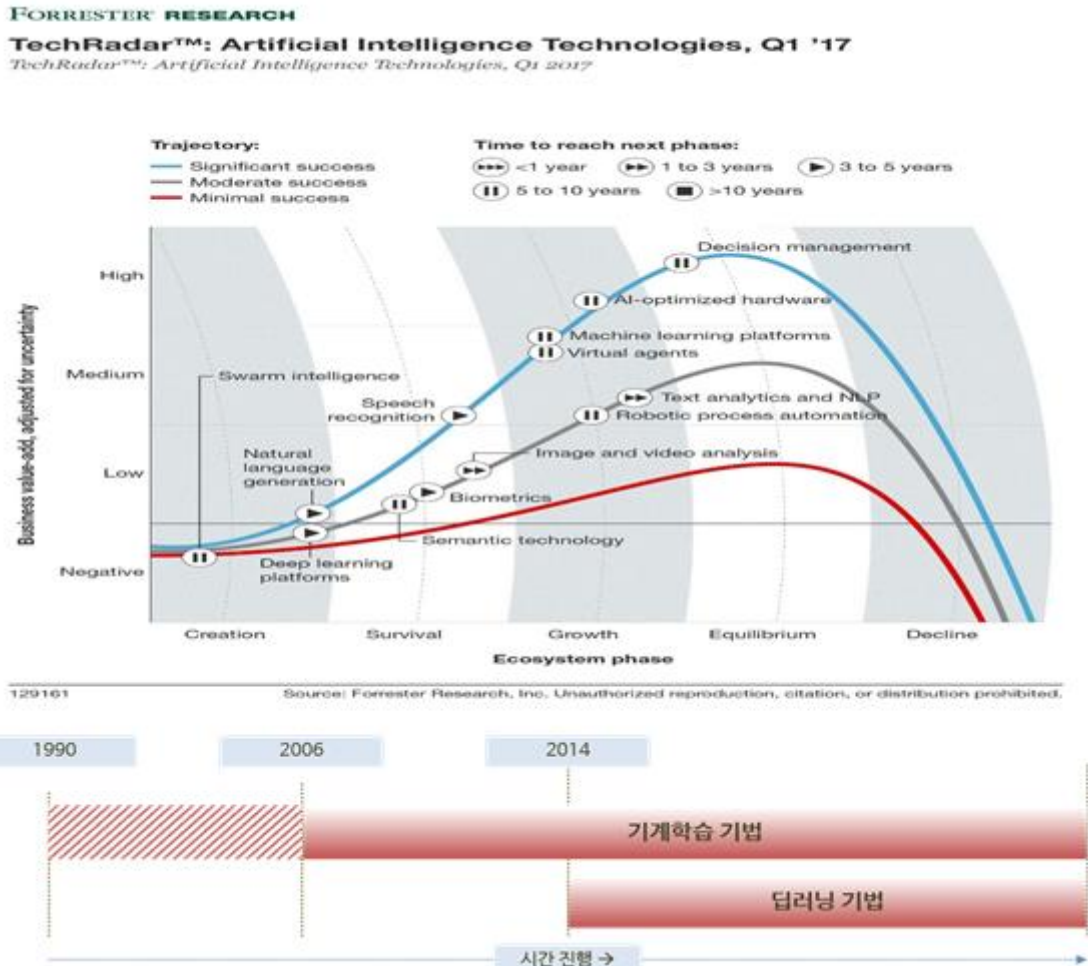


그림 45 인공지능 기법의 현재 위치와 인공지능 기법의 출현 시기

아래에서는 NTIS를 통한 국가 과제 검색, Google Scholar 및 RISS를 통한 연구 검색을 통해 인공지능의 활용가능성을 진단하고자 한다. 기상, 인공지능을 기초로 검색어를 작성하였으며, 검색된 결과로부터 관련성 있는 과제를 관련 과제/연구로 선정하였다. (표 19 참조)

표 19 연구 검색을 위한 검색어 및 선정된 과제/연구

검색 DB	검색어	검색건수	관련과제/연구
NTIS (과제검색)	(기상and 인공지능)and (2017 or 2018).과제년도.	89	14
Google Scholar (관련 연구검색)	(Weather or Climate or 기후 or 기상) and (인공지능 or AI or Artificial intelligence)	-	6
			6
RISS (관련 연구검색)	(Weather or Climate or 기후 or 기상) and (기계학습or 기계학습 or machine learning)	267	17
	(Weather or Climate or 기후 or 기상) and (딥러닝or deep learning)	91	17

NTIS(국가과학기술지식정보서비스)를 통해 검색된 2017년과 2018년 신규로 시작된 기상 분야와 인공지능이 결합된 기술 과제를 살펴보면, 대기-해양 및 연안 해양-파랑, 지진, 호우, 태풍 등의 기상현상에 대한 연구가 신규로 진행되었으며, 모델링/분석/예측에 인공지능을 융합하는 연구가 진행되거나, 진행 중에 있어, 특정 기상 현상에 대한 연구를 위해 인공지능을 이용하거나 또는 모델링, 분석, 예측에 인공지능을 결합하여 보다 나은 결과를 도출해내기 위한 연구를 진행 중인 것으로 나타났다. (표 20 참조)

표 20 국가과제 수행 현황

과제수행시작	과제명	과제관리기관
2018	대기-해양 결합예측을 통한 특이 해양기상예보 정확도 향상연구	한국기상산업기술원
2018	영상 빅데이터를 기반으로 한 인공지능 기상센서	중소기업기술정보진흥원
2018	위성정보 처리 및 융합 서비스 기술 개발	정보통신기술진흥센터
2018	인공지능 기술 활용 지진감지업무 적용 기술 연구	한국기상산업기술원
2018	인공지능을 이용한 날씨컨설팅 웨더봇 기술 개발	한국기상산업기술원
2018	지역특성에 따른 호우재해 영향 예측 모델 및 플랫폼 개발	한국기상산업기술원
2018	해양수치모델링과 지능정보기술을 활용한 해양예측 정확도 향상 연구	해양수산과학기술진흥원
2018	호우 영향모델 적용을 위한(초단기, 단기, 중기) 예측강우 적용기술 개발	한국기상산업기술원
2017	Machine Learning 기술과 기상/강우 레이더를 활용한 지속발전가능 재해예측 시스템 개발	한국연구재단
2017	기상예보 정확도 향상과 기상융합 신산업 창출을 위한 통계학습 및 인공지능 기반 한국형 기상/기후 예보 시스템 개발	한국연구재단
2017	미래 기상업무 변화 대응 인공지능 기술 활용 전략 기획	기상청
2017	태풍의 경로 및 세기 예측을 위한 순환회선신경망 인공지능기술 개발	한국연구재단
2017	한국형 수치예보모델개발	기상청
2017	미래유망 민간기상 서비스 성장기술 개발	기상청

Google Scholar 검색을 통해 딥러닝과 기계학습을 비교하면, 딥러닝과 기계학습 인공지능을 통한 위험기상 예측 연구에 있어서 검색건수가 많지는 않았으나, 출간연도를 살펴보면, 기계학습 인공지능 기법을 통한 기상 예측 연구는 2000년대 중반부터 최근까지 연구가 이어진 것을 알 수 있으며, 딥러닝 인공지능 기법을 통한 기상 예측 연구는 2010년 중반에 들어 연구가 이루어져 왔음을 알 수 있다. 아래 표는 Google Scholar를 통해 검색된 딥러닝과 기계학습 인공지능 기법을 통한 위험 기상예측 연구 결과의 검색 결과를 나타낸다. (표 21, 22 참조)

표 21 기계학습을 이용한 기상 예측 연구 현황

논문명	출간연도
Complex hybrid models combining deterministic and machine learning components for numerical climate modeling and weather prediction (VM Krasnopolsky, et al.)	2006
Time series prediction using support vector machines: a survey (NI Sapankevych, et al.)	2009
Atmospheric temperature prediction using support vector machines (Y Radhika, et al.)	2009
Daily streamflow forecasting by machine learning methods with weather and climate inputs (K Rasouli, et al.)	2012
ANN approach for weather prediction using back propagation (CJ Devi, et al.)	2012
Convolutional LSTM network: A machine learning approach for precipitation nowcasting (Xingjian SHI, et al.)	2015

표 22 딥러닝을 이용한 기상 예측 연구 현황

논문명	출간연도
Big data deep learning: challenges and perspectives (XW Chen, et al.)	2014
Deep neural network based feature representation for weather forecasting (JN Liu, et al.)	2014
A deep hybrid model for weather forecasting (A Grover, et al.)	2015
Forecasting the weather of Nevada: A deep learning approach (M Hossain, et al.)	2015
Deep neural networks for ultra-short-term wind forecasting (M Dalto, et al.)	2015
Sequence to sequence weather forecasting with long short term memory recurrent neural networks (MA Zaytar, et al.)	2016

RISS 검색을 통해 딥러닝과 기계학습을 비교하면, 앞서 Google Scholar 검색 결과와 비슷한 양상을 보였다. RISS를 통해 딥러닝과 기계학습을 이용한 기상 예측 연구의 비교를 위해 검색어를 작성하였으며, 기계학습, 딥러닝 등 인공지능 기법에 대한 검색어와 기상이라는 검색어를 통해 넓은 범위에서 검색을 실시하였다. 기계학습을 이용한 기상예측연구와 관련하여 총 267개의 연구논문이 검색되었으며, 필터링을 통해 관련성이 높은 연구논문을 조사한 결과, 총 17건이 조사되었다. 마찬가지로 딥러닝을 이용한 기상예측연구와 관련하여 총 91개의 연구논문이 검색되었으며, 필터링을 통해 관련성이 높은 연구논문을 조사한 결과 총 17건이 조사되었다.

기계학습을 이용한 기상예측연구는 1995년 기계학습을 통한 해무 예측 방법에 대한 이론적인 연구를 시작으로 연구 건수는 많지 않으나 2005년부터 2017년 현재까지 지속적인 연구가 진행되었다. (표 23 참조)

표 23 기계학습을 이용한 기상예측연구 검색 결과

제목	출판일
Application of Machine Learning Technology to Maritime Fog Forecasting (Tag, P. M, et al.)	1995
Complex Hybrid Models Combining Deterministic and Machine Learning Components as a New Synergetic Paradigm in Numerical Climate Modeling and Weather Prediction (unknown)	2005
Complex hybrid models combining deterministic and machine learning components for numerical climate modeling and weather prediction (Krasnopolsky, V. M, et al.)	2006
Short Lead-Time Streamflow Forecasting by Machine Learning Methods, with Climate Variability Incorporated (Rasouli, K.)	2010
Daily streamflow forecasting by machine learning methods with weather and climate inputs (Rasouli, K.)	2012
Machine Learning Enhancement of Storm-Scale Ensemble Probabilistic Quantitative Precipitation Forecasts (Gagne, D.J.)	2014
머신 러닝 기반 위성영상의 지표면 온도 정확도 향상 (최유정)	2017
기계학습을 이용한 공공시설 호우피해 예측함수 개발 (최창현)	2017
돌발홍수 예보를 위한 빅데이터 분석방법 (박다인)	2017
기계학습을 적용한 고해상도 강우량 추정에 관한 연구 (김민규)	2017
How machine learning could help to improve climate forecasts (Jones, N.)	2017
Meteorological drought forecasting for ungauged areas based on machine learning: Using long-range climate forecast and remote sensing data (Rhee, Jinyoung)	2017
The application of machine learning for evaluating anthropogenic versus natural climate change (Abbot, John)	2017
Nowcasting Foehn Wind Events Using the AdaBoost Machine Learning Algorithm (Sprenger, Michae)	2017
A Machine Learning Approach to Modeling Tropical Cyclone Wind Field Uncertainty (Loridan, Thomas)	2017
Storm-Based Probabilistic Hail Forecasting with Machine Learning Applied to Convection-Allowing Ensembles (Gagne, David Joh)	2017
Machine Learning for Real-Time Prediction of Damaging Straight-Line Convective Wind (Lagerquist, Ryan)	2017

딥러닝을 이용한 기상예측은 기계학습을 이용한 기상예측과는 달리 2016년인 최근 들어 연구가 진행되고 있는 것으로 분석되었으나 정량적으로 봤을 때 연구 건수는 많지 않은 것으로 분석되었다. (표 24 참조)

표 24 딥러닝을 이용한 기상예측연구 검색 결과

제목	출판일
Fast Doppler Radar Image Generation System based on Tornado Recognition using Deep Learning (류양)	2016
인공신경망 딥러닝을 활용한 기후예측 모형 개발 (김동훈)	2016
딥러닝 기법을 이용한 내일강수 예측 (하지훈)	2016
센서 데이터와 딥러닝을 이용한 실내 공기 지표 측정 및 추세 예측 모델 (안재현)	2017
KISTI 의사결정지원시스템 (K-DMSS)과 연계한 HPC 기반 기상/기후 딥러닝 연구 현황 및 발전 계획 (조민수)	2017
기상/기후 분야에의 딥러닝 기법 개발 활용 방안에 대한 제언 (함유근)	2017
기상/기후 예측 연구를 위한 딥러닝 이해 (송사광)	2017
GNSS PWV와 기상인자를 통한 딥러닝 기반의 강수예측 알고리즘 선정 (김희연)	2017
기상인자와 RNN을 이용한 딥러닝 기반의 강수예측 (김희연)	2017
기상예보 정확도 판별을 위한 딥러닝 변수 설정 방법 (김장운)	2017
인공지능 딥러닝을 이용한 엘니뇨 예측시스템 개발 (김동훈)	2017
인공지능 딥러닝을 이용한 영종도의 초단기 풍속 예측성 연구 (김동훈)	2017
딥러닝 기반 위성영상 자료를 이용한 태풍 중심 탐지 연구 (홍승균)	2017
기온 예측 정확도 향상을 위한 순환 신경망 기반 기온 예측 기법 (송정현)	2018
자연재해 중심 안전지수의 빅데이터 모델링 및 분석에 관한 연구 (정명균)	2018
딥러닝 기반 미세먼지 농도 예측 기법 성능 연구 (양초원)	2018
Deep Neural Network를 사용한 미세먼지의 예측 (전성현)	2018

■ 시사점

인공지능 기술을 기상 현상과 융합하여 이를 분석하고자 하는 움직임은 비교적 최근 시작되어 시작 단계에 있는 것으로 보이며, 인공지능을 통해 대기 해양, 연안 해양, 파랑, 지진, 호우, 태풍 등 특정 기상현상을 예측하거나 또는 기존의 모델링 결과, 분석 결과 또는 예측 결과를 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있다.

따라서, 기상 현상의 예측에 인공지능을 도입하는 경우 해무 등의 위험 기상현상 예측 또는 6개 분야에서 서비스 예정인 맞춤형 서비스 등 현재 기상청에서 계획 중인 분야, 또는 특정 기상 현상 등에 대한 예측 정확도 증진을 목표로 인공지능 기법을 도입하는 것을 제안한다.

다만, 인공지능 기법을 적용함에 있어, 단기적으로 기계학습을 통한 기상 현상의 예측을 고려할 수 있고, 중장기적으로 컴퓨팅 자원과 처리 능력이 향상되는 것을 고려하여 딥러닝을 통한 기상 현상 예측을 고려할 수 있다. 다만, 인공지능에 있어 다양한 장소에서 수집되는 데이터에 대한 전처리 및 학습을 위한 데이터의 품질 관리가 중요한 만큼 데이터의 품질 관리에도 인공지능을 적용하는 것을 고려할 수 있다.

2. 해양위험기상 예측을 위한 현상별 최적 인공지능 기법 제시

인공 지능은 최종적으로 인간의 지능과 유사한 특성을 가진 복잡한 컴퓨터를 제작하는 것이다. 머신 러닝은 기본적으로 알고리즘을 이용해 데이터를 분석한 후, 분석을 통해 학습하여 판단이나 예측을 한다. 이는 판단이나 예측을 할 때 구체적인 지침을 코딩하는 것이 아니라 대량의 데이터와 알고리즘을 통해 컴퓨터를 학습시켜 작업 수행 방법을 익히는 것을 목표로 한다.

머신 러닝은 알고리즘 방식에는 의사 결정 트리, 귀납 논리 프로그래밍(ILP), 클러스터링(Clustering), 강화 학습(Reinforcement learning), 베이지안 네트워크, 인공 신경망 등이 있다. 기계학습의 종류는 크게 지도 학습(Supervised learning), 비지도 학습(Unsupervised learning)으로 나눌 수 있다. 지도학습은 예측하고자하는 결과를 사용하여 학습하고, 비지도학습은 예측하고자하는 결과가 없는 경우에 사용한다. 알고리즘에 대한 자세한 설명은 별첨되는 문서를 통해 제공하고자 한다. (그림 46 참조) (별첨 문서 1 인공지능 대표 알고리즘 참조)

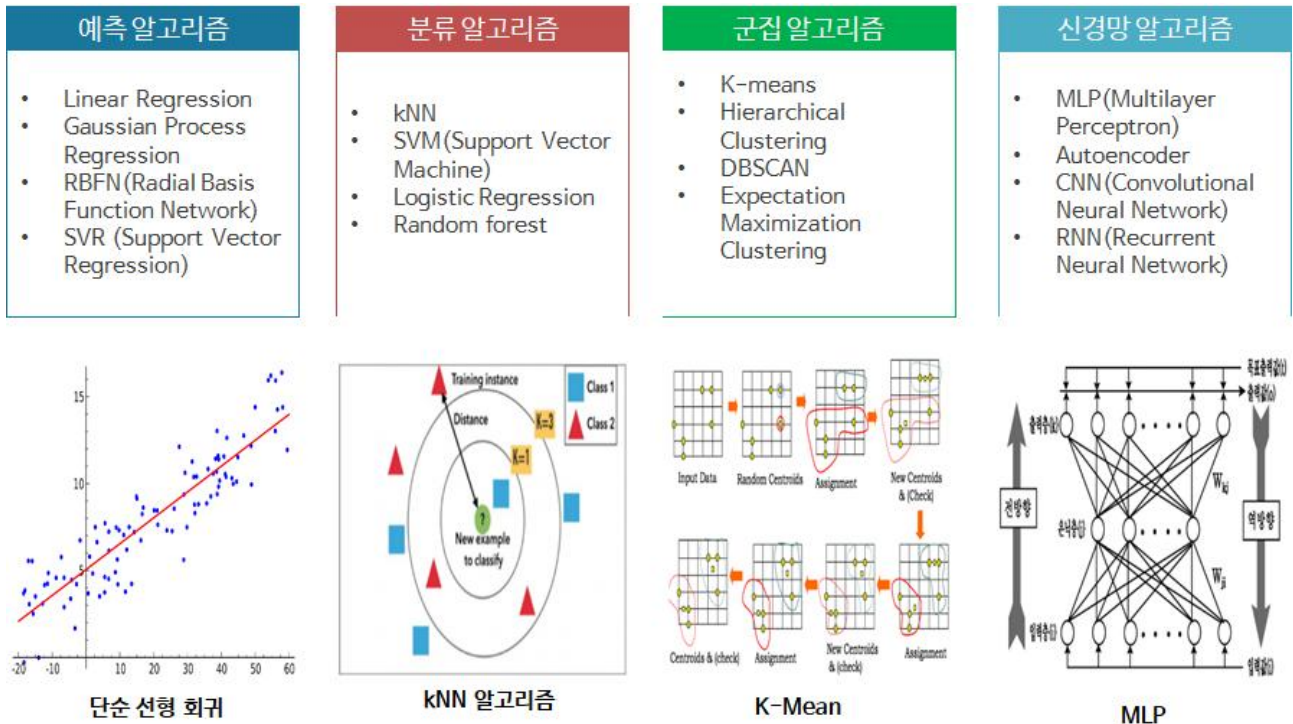


그림 46 인공지능 대표 알고리즘

가. 인공지능 대표 알고리즘 이용 사례

■ Bayesian Classifiers

Bayesian Classifier는 모든 분류 작업에 사용할 수 있지만 문서 분류, 특히 스팸 필터와 함께 특히 유용하다. Paul Graham가 개발한 Bayesian spam filter는 99.5%의 정확성으로 스팸을 탐지하며, email의 헤더 및 HTML과 Javascript에 포함된 단어에 해당 Classifier를 적용한다.

■ Decision Tree Classifier

Decision Tree Classifier로 웹서비스 등을 통하여 얻어진 사용자의 데이터를 이용하여 유료고객이 될 새로운 무료 평가판 사용자를 예측할 수 있다. 또한, 고객을 유도한 정확한 유입경로를 보여 준다. MIT는 Decision Tree Classifier를 이용하여 신청자가 대출을 받을지 여부와 신청자가 채무를 불이행 할 여부를 예측하는 방법을 연구하였다.

■ Support Vector Machines(SVM)

SVM은 필기 인식, 표정분류 및 이미지 분류와 같은 복잡한 데이터와 함께 자주 사용된다. 아랍어와 페르시아어로 작성된 숫자를 94%의 정확도로 인식 가능하다.

■ Neural Networks

Amazon은 Neural Networks를 사용하여 제품 권장 사항을 생성하며, 메사추세츠 종합병원(Massachusetts General Hospital)은 환자 진단과 치료를 향상시키기 위해 딥러닝을 사용한다. 또한, Facebook은 안면 인식을 위해 Deep Neural Networks를 사용하며, Google은 Neural Networks를 이용하여 Google 번역 기능을 제공한다.

■ K-nearest Neighbors

K-nearest Neighbors는 시장의 상품가격을 예측하고, 제품 권장 사항을 작성하는 데에 사용된다.

나. 소결

인공지능을 통한 기상 현상의 예측은 비교적 최근 들어 연구가 진행되고 있으며, 앞서 말한 바와 같이 기계 학습을 통한 기상 예측과 딥러닝을 통한 기상 예측을 통해 해양위험기상을 예측하려는 시도들이 이루어지고 있다. 또한, 다양한 장소에서 수집되는 데이터에 대한 전처리 및 학습 데이터에 대한 품질관리가 중요한 만큼 데이터의 품질 관리에도 인공지능을 적용해야 할 것이다.

정리하면, 인공지능 기법은 크게 예측 알고리즘, 분류 알고리즘, 군집 알고리즘, 신경망 알고리즘 등으로 분류할 수 있다. 이에 기초하면, 태풍, 해무 등 위험 해양기상을 예측하는데 있어 예측 알고리즘을 이용할 수 있고, 데이터의 품질 관리에 있어 분류 알고리즘을 이용할 수 있다. 신경망 알고리즘(딥러닝)의 적용을 고려할 수 있으나, 신경망 알고리즘의 경우 비교적 최근 들어 연구가 진행되었기 때문에 장기적인 관점에서 적용 방안을 검토해야 한다.

3. 연안재해 대응 해양 영향예보를 위한 해양/기상/지리정보의 DB 설계 방안

가. 영향예보를 위한 해양/기상/지리정보를 DB

데이터베이스는 여러 사람에 의해 공유되어 사용될 목적으로 통합하여 관리되는 데이터의 집합 또는 그 집합을 관리하는 미들웨어로서, 오랫동안 사용된 SQL, Oracle로 대표되는 관계형 데이터베이스와 빅데이터에 대한 관심이 높아지면서 다양한 분야의 빅데이터를 처리하기 위해 고안된 비관계형 데이터베이스를 예로 들 수 있다.

관계형 데이터베이스는 데이터를 열(Column)과 행(Row)으로 구성된 일종의 테이블 형태로 저장하고 데이터의 종속성은 관계(Relation)로 표현되며, 데이터 구조가 고정된 형태로 저장되기 때문에 서로 다른 테이블 간의 관계가 매우 중요한 데이터베이스이다. 비관계형 데이터베이스는 시계열데이터, 그래프데이터, 트리데이터 등의 특정 데이터 구조를 목적으로 만들어졌으며, 목적에 따라 그 특성이 다르나, 공통적으로 스키마가 없는 구조로 구조 변경이 용이한 특성을 가진다. (그림 47 참조)

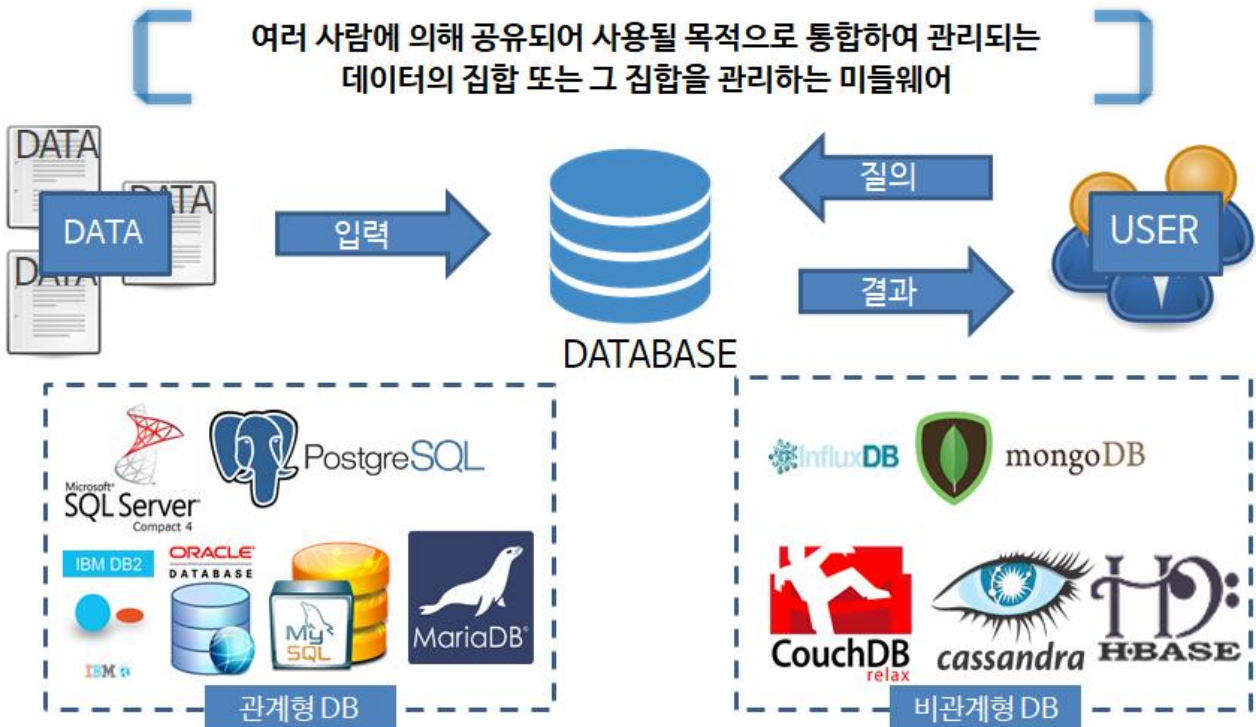


그림 47 데이터베이스의 개요

빅데이터를 간단히 정의하면 데이터를 수집, 저장, 처리, 검색, 공유, 분석, 시각화를 통해 대규모 데이터를 처리하는 플랫폼으로 미래 경쟁가치를 창출하는 원천으로 인정받고 있으나, 수많은 데이터의 양/종류에 따라 전체적인 기술 연계를 통한 활용이 어렵다는

문제를 가지고 있다. 하지만 빠르게 기술이 발전하고 있고, 정부차원의 지원 확대 등을 통해 다양한 분야로 시장이 확대되고 있는 기술이다.

이 중, No SQL에 대해 좀 더 상세히 설명하면, 다양한 NoSQL은 각각 시계열데이터, 그래프데이터, 트리데이터 등의 특정 데이터 구조를 목적으로 만들어진 덕분에 NoSQL마다 그 특성이 다르나, RDBMS와는 다르게 스키마가 없는 구조로서 구조 변경시 자유롭게 필드를 추가가 가능하다는 특징이 있다. 특히, NoSQL은 많은 서버로의 확장 (Scale-out)이 용이하고, NoSQL에서는 가변적인 구조로 데이터를 저장할 수 있으며, 데이터의 생산량이 많고 구조가 비정형인 경우에 효율적으로 데이터를 저장할 수 있는 장점을 가지고 있다. (그림 48 참조)



많이 사용되는 NoSQL 들

특징	<ul style="list-style-type: none"> • 각각의 NoSQL 은 <u>시계열데이터</u>, <u>그래프데이터</u>, <u>트리데이터</u> 등의 특정 데이터 구조를 목적으로 만들어진 덕분에 각각의 NoSQL 마다 그 특성이 다름. • 공통적인 부분으로는 RDBMS 와는 다르게 Schema-less 로서 구조 변경시 자유롭게 필드를 추가가 가능.
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 많은 서버로의 확장 (Scale-out) 이 용이함. • NoSQL 에서는 가변적인 구조로 데이터를 저장 할 수 있음. • 데이터의 생산량이 많고 구조가 비정형인 경우에 효율적으로 데이터를 저장할 수 있음.

그림 48 NoSQL DB

새로운 해양/기상/지리 DB를 설계할 때, 격자 정보, 시계열 정보 등 해양기상정보에 특화된 데이터 구조 설계에 유리한 NoSQL DB의 도입을 적극적으로 고려하여 최상의 데이터 관리 체계를 확보해야 할 것이다.

데이터베이스 환경을 검토하는데 있어, 데이터의 종류를 검토하여 최적의 데이터베이스를 선택하는 것이 매우 중요하다. 예를 들어, 해양기상의 특성 상 수많은 종류의 해양기상정보에 대한 시계열 데이터가 생산되고 있으므로, 해양기상정보를 처리하기 위해 InfluxDB(시계열 DB 1위 엔진)를 고려할 수 있다. 한편, 지리 정보, 격자 정보를 생성하기 위한 데이터는 일반 문서형 데이터를 이용하게 되는데 이를 위해 MongoDB(일반 문서형 데이터 DB 1위 엔진)을 고려할 수 있다. 이 밖에도 다양한 데이터베이스들이 데이터 구조와 목적에 따라 서로 다른 특성을 가지고 있기 때문에, 목적에 따라 DB를 선택할 수 있다. (그림 49 참조)

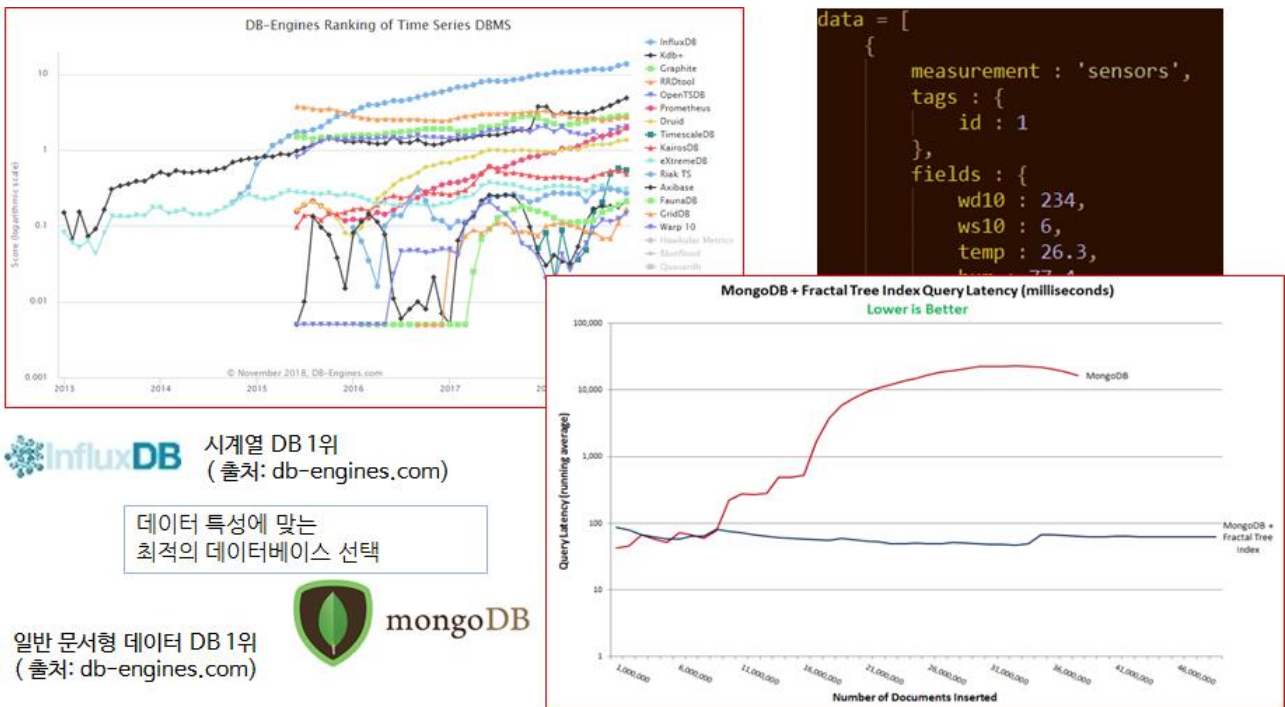


그림 49 데이터 종류에 따른 최적 DB 환경 검토

나. 해양·기상·지리 정보 DB 설계 방안

과거에는 일반적으로 사용된 서버는 서버 1대에 운영체제를 바로 올려 가동하는 레거시 시스템을 이용했으나, 기술의 발전으로 서버 1대에 하이퍼바이저를 설치하여 복수의 OS와 업무를 가동시킬 수 있는 레거시, 가상화를 기반으로 하는 서버 기술이 이용되었다. 하이퍼바이저는 호스트 컴퓨터에서 다수의 운영체제를 동시에 실행하기 위한 논리적 플랫폼을 의미한다.

기술이 발전함에 따라 최근에는 클라우드 분산파일 시스템 기반 환경에 가상화 요소를 접목한 하이퍼 컨버지드(HCI) 형태로 변화하고 있으며 하이퍼 컨버지드의 경우 장치가

추가되는 경우에도 논리적으로 하나의 장치로 인식하여 동작하기 때문에 유지보수 및 확장이 용이한 기술이다. (그림 50 참조)

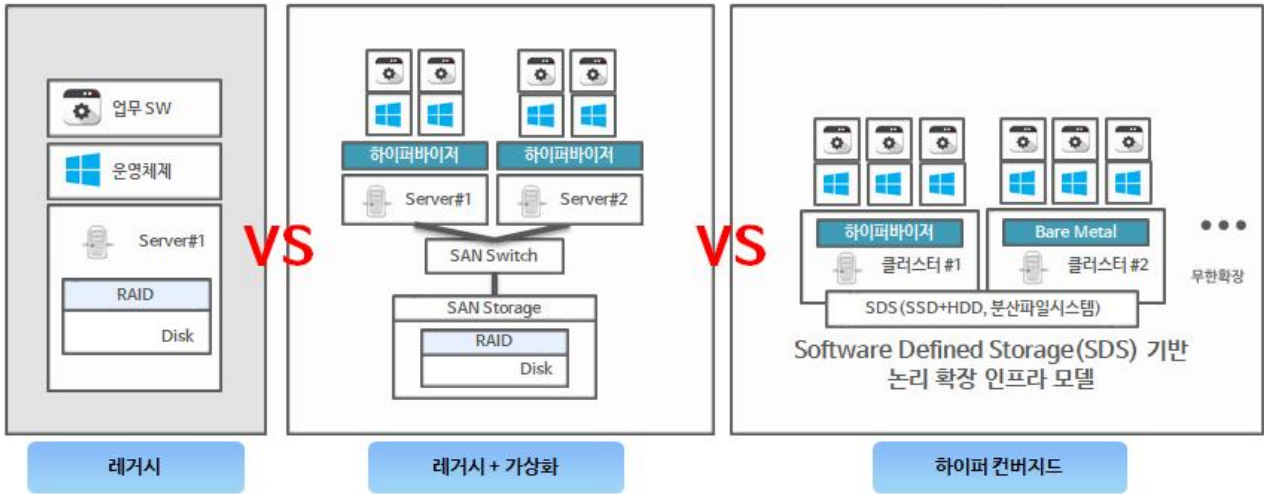


그림 50 서버 구성 인프라의 H/W, S/W 기술 변화

해양기상지리 정보를 위한 데이터베이스(DB)를 설계하는데 있어, 다양한 곳에서 수집되는 해양·기상·지리 정보를 포함하는 데이터에 대한 데이터 정제가 필요하며, 정제된 데이터를 통합하는 격자기반의 통합 DB를 설계해야 할 것이다. 데이터의 정제 및 통합 DB 설계시 DB마다 기준이 동일하지 않기 때문에 기준(도메인)을 표준화하는 작업이 중요하나, 자료의 종류와 양이 방대하고, 관련 부처간, 사용자간 이견이 있기 때문에 별도의 과제를 통해 통합 DB를 설계하는 방안을 제안한다. (그림 51 참조)

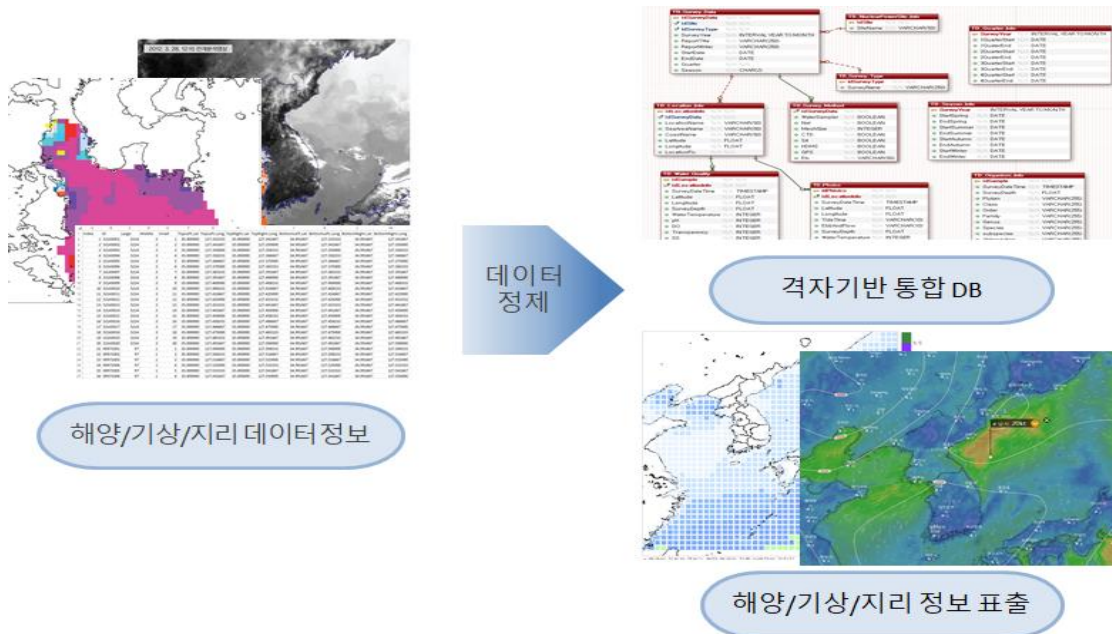


그림 51 DB 구축 설계 방안

4. 종합 결론

인공지능을 통한 기상현상의 예측은 비교적 최근 들어 연구가 진행되었기 때문에 크게 기계학습 기법과 딥러닝 기법을 이용하여 기상현상을 예측하려는 시도가 이루어져 왔으며, 다양한 장소에서 수집되는 데이터에 대한 전처리 및 학습 데이터에 대한 품질 관리가 매우 중요하다. 인공지능을 통해 기상 현상을 예측하고자 하는 경우, 예측 알고리즘을 통해 문제 해결을 도모할 수 있으며, 데이터의 품질 관리에 있어서 분류 알고리즘을 이용할 수 있다.

빅데이터의 활용에 있어서, 데이터베이스마다 기준 정보가 동일하지 않기 때문에 데이터 정제 시 기준 정보를 표준화 하는 것이 중요하며, 통합 DB 설계 시 1) 공통된 규칙을 가지도록 하고, 2) 데이터 무결성이나 성능 상의 이슈 없는 구조적으로 설계되며, 3) 설계된 데이터베이스에 대한 제대로 된 관리 체계가 보장 되도록 해당 내용을 고려해야 한다.

인공지능과 빅데이터에 대하여 조사된 내용을 바탕으로 인공지능을 활용하기 위한 로드맵을 제안하며 제안된 로드맵은 아래 그림과 같다. (그림 52 참조)

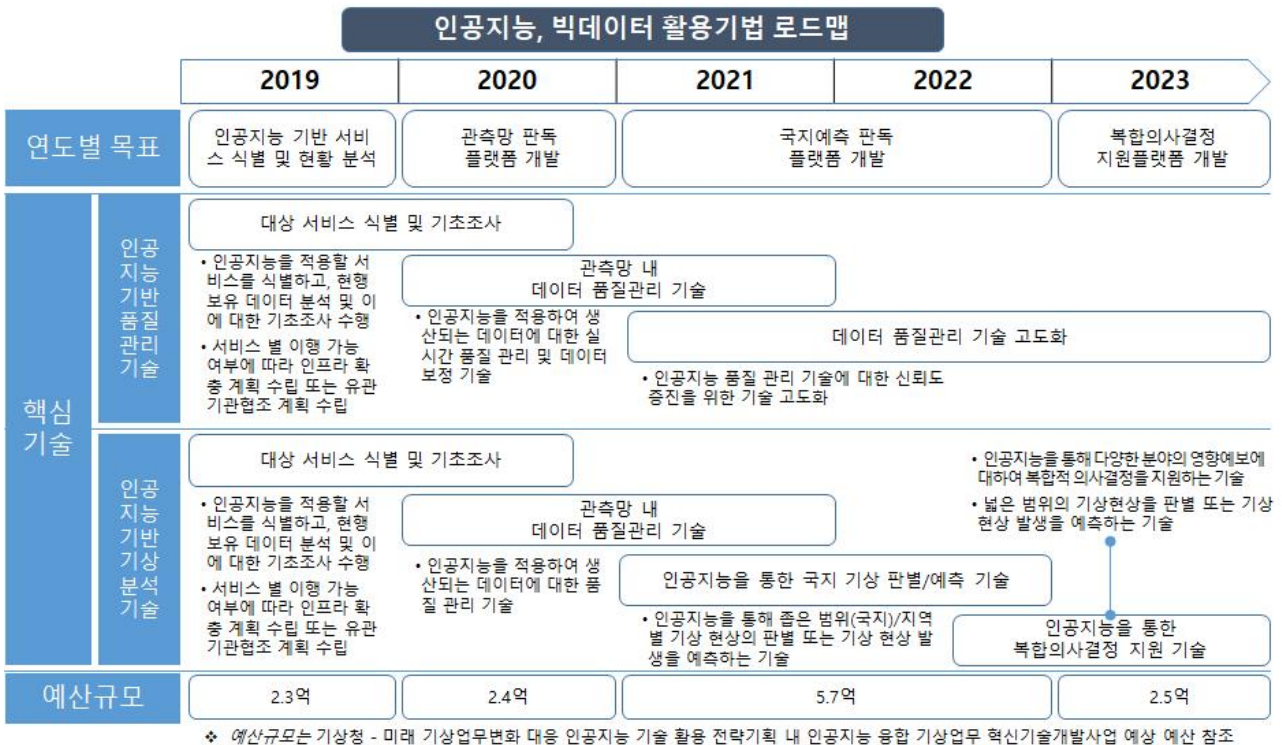


그림 52 인공지능 빅데이터 활용기법 로드맵

인공지능은 해무 예측 또는 앞서 선정된 6개 분야에 대한 맞춤형 서비스의 수치 예측에 적용될 수 있으며, 현재의 기상관측망에서 수집되는 데이터에 대한 데이터 품질 관리에 이용될 수 있으며, 향후 기상관측망이 강화되는 경우 이들에 대한 데이터 품질 관리에도 인공지능이 이용될 수 있다.

앞서 언급한 각 선결조건을 만족하기 위해 인공지능 기반의 품질 관리 기술과 인공지능 기반의 기상 분석 기술을 개발할 것을 제안하며, 인공지능 기반 품질 관리에 있어서, 데이터 품질 관리 대상을 식별한 이후 품질 관리를 위한 기술 연구가 진행되어야 할 것이며, 인공지능 기반 기상 분석을 위해 인공지능을 적용할 서비스를 식별할 필요가 있다.

로드맵을 참조하면 상세히 설명하면, 연도별로 서비스 대상 식별 현황을 분석을 완료 후 관측 품질 개선을 위한 플랫폼 연구를 진행할 수 있다. 이후 국지 예측 관측을 위한 인공지능 플랫폼을 개발하고 최종적으로 복합의사결정을 지원하는 인공지능 플랫폼을 개발하는 목표를 세울 수 있다.

구체적으로 인공지능 기반 품질 관리 기술을 살펴보면, 데이터 품질을 적용할 개선 대상을 식별할 수 있다. 이 단계에서는 인공지능 기반 서비스 개발을 위한 관측 품질을 개선할 대상을 식별하고, 품질 개선 요소의 식별과 관련 인프라 확충, 유관기관 협조 필요 여부 등 구체적인 전략을 수립한다. 이후, 관측 데이터 품질 관리 기술 연구 단계에서 인공지능 활용 대상 해양기상 관측 데이터 품질 관리 및 데이터 보정 기법의 연구가 필요하고, 데이터 품질관리 기술을 실용화하고 고도화하여, 인공지능을 통해 관리되는 데이터 품질의 신뢰도를 증진시켜야 할 것이다.

한편, 인공지능 기반의 기상 분석 기술을 살펴보면, 맞춤형 서비스 운영 결과 분석 및 기술 타당성 검토를 통한 인공지능 적용 대상을 식별하는 서비스 대상 식별 단계를 우선 시행할 수 있다. 예를 들면, 해무, 항로 기상 예측, 크로스 섹션 판정 기술, 해군 및 해경의 작전을 지원하는 서비스 등이 예시될 수 있다. 인공지능의 적용 대상이 식별된 이후, 현재 조사된 인공지능 기법 등에 기초하여 인공지능 적용을 위한 기반기술에 대한 연구를 진행할 수 있다. 인공지능 기반의 관측 외 지점 비선형 데이터 보간 기법을 설계하거나, 보정, 보간 데이터 검증 기법 설계, 검증 환경 구축 계획을 수립할 수 있다. 이후, 인공지능 기반 해양기상 관측 단계에서는 비관측점 해양기상현상의 관측기술 연구 및 검증 데이터 자동생성 플랫폼을 개발할 수 있고, 가시화 등 정보전달체계를 개발할 수 있다. 최종적으로는 인공지능을 통한 복합의사 결정을 지원하는 기술을 개발할 수 있다.

별첨 1. 인공지능 대표 알고리즘

가. 예측 알고리즘

■ Linear Regression

통계학에서, linear regression은 하나 이상의 독립 변수와 종속 변수와의 선형 상관 관계를 모델링하는 회귀분석 기법이다. 독립 변수가 하나인 경우 단순 선형 회귀, 하나보다 많은 독립 변수인 경우는 다중 선형 회귀라고 한다.

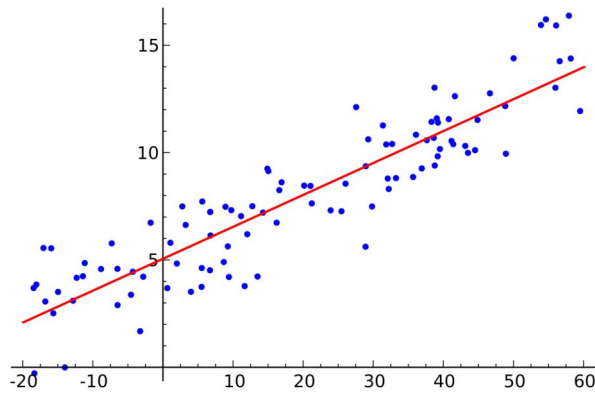


그림 53 단순 선형 회귀

선형 회귀는 대개 두 가지 중 하나로 사용한다.

- 값을 예측하는 것이 목적인 경우
- 종속 변수와 관련된 독립 변수들이 존재하는 경우에, 선형 회귀 분석을 이용해 독립 변수가 종속 변수에 얼마나 기여하는지는 정량화할 수 있다. 이를 이용해 관계가 없는 독립 변수를 제거하거나, 관계가 높은 독립 변수를 찾을 수 있다.

일반적으로 선형 회귀는 최소제곱법(least square method)을 사용해 선형 회귀 모델을 세운다. 최소제곱법은 실제 해와 예측 해의 오차의 제곱이 합이 최소가 되는 해를 구하는 방법이다. 이외에도 손실 함수(loss function)를 최소화 하는 방식으로 선형 회귀 모델을 세울 수 있다. 비선형 회귀 모델에도 이와 같은 방법을 적용할 수 있다.

n 개의 데이터 집합 $\{y_i, x_{i1}, \dots, x_{ip}\}_{i=1}^n$ 이 주어지면, 선형 회귀 모델은 종속 변수 y 와 설명 변수 x (차원이 p 인 벡터)의 관계가 선형이라고 가정한다. 이 관계는 종속 변수와 설명 변수 간의 선형 관계에 노이즈를 추가하는 관찰되지 않은 확률 변수 ε 를 통해 모델링 된다. 모델은 다음과 같다.

$$y_i = \beta_0 1 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i = \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta} + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n,$$

여기서 T 는 전치를 나타내며, 따라서 $\mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta}$ 는 벡터 \mathbf{x}_i 와 $\boldsymbol{\beta}$ 의 내적이다.

종종 n 개의 방정식은 쌓아 놓은 형태로 표현하는 행렬 표기법으로 작성되기도 한다.

$$\mathbf{y} = X\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon},$$

$$\mathbf{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix},$$

$$X = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_1^T \\ \mathbf{x}_2^T \\ \vdots \\ \mathbf{x}_n^T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{pmatrix},$$

$$\boldsymbol{\beta} = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_p \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}.$$

■ Gaussian Process Regression

Gaussian Process(GP)는 확률 과정으로 시간 진행에 대해 확률적인 변화를 가지는 구조이다. 한편, 확률 변수의 모든 유한 집합은 다변수 정규분포를 갖고, 확률 변수의 모든 유한 선형 결합은 정규 분포를 따른다. GP의 분포는 모든 확률 변수의 결합 분포이다. 따라서 분포는 연속적인 도메인을 가진 함수들에 대한 분포이다.

GP를 사용하는 기계학습 알고리즘은 lazy learning을 사용한다. 따라서 학습을 미리 할 수 없으며, 학습에 필요한 자료를 저장해야하기 때문에 큰 공간을 필요로 한다. 또한 GP는 유사성 측정을 사용하여 학습 데이터로부터 보이지 않는 지점의 값을 예측한다. 예측은 단순한 추정과 1차원 가우스 분포를 따르는 불확실성 정보(marginal distribution)를 가지고 있다. GP는 가우시안 정규분포(Gaussian distribution) 개념을 기반으로 하며, 다변수 가우스 분포를 무한 차원으로 확장한다. Multivariate normal distribution은 mean vector와 covariance matrix로 정의된다. 한편, GP에서는 mean vector와 covariance matrix를 함수로 정의하고, 함수의 분포를 함수로 공식적으로, GP는 유한 부분 집합이 다변수 가우스 분포를 따르도록 데이터를 생성한다.

GP는 평균 함수를 보통 0으로 설정한다. 이렇게 설정한 경우에 관측값과 다른 관측값에 관련되는 것은 covariance function $k(x, x')$ 이다. 인기있는 선택으로는 다음의 squared exponential 함수이다.

$$k(x, x') = \sigma_f^2 e^{-\frac{(x-x')^2}{2l^2}}$$

여기서 σ_f^2 은 최대 허용 공분산이다. 이 매개 변수는 y 축에서 넓은 범위를 커버하는 함수들에 대해 높아야한다. 만약 $x \approx x'$ 인 경우, $k(x, x')$ 은 최대값에 다가가며, 이는 $f(x)$ 가 $f(x')$ 와 거의 완벽하게 상관이 있다는 것을 의미한다. 또한 x 와 x' 과 거리가 멀다면, 우리는 $k(x, x') \approx 0$ 을 얻게 된다. 이러한 분리의 효과는 매개 변수 l 에 따라 유연하게 바뀐다.

데이터는 측정 오류 등으로 인해 종종 노이즈가 있을 수 있다. 각 관측치 y 는 Gaussian 잡음 모델에 숨어있는 $f(x)$ 와 관련되어 있다고 생각할 수 있다.

$$y = f(x) + N(0, \sigma_n^2)$$

이 식은 일반적인 회귀식과 비슷하다는 것을 알 수 있다. 이 회귀는 $f(x)$ 를 찾는다. 이 예제에서는 기존 공분산 함수에 새로운 항을 추가한다.

$$k(x, x') = \sigma_f^2 e^{-\frac{(x-x')^2}{2l^2}} + \sigma_n^2 \delta(x, x')$$

여기서 $\delta(x, x')$ 은 Kronecker delta 함수이다.

GPR을 위해서, 우리는 주어진 데이터에서 모든 가능한 조합을 활용해 공분산 함수를

계산한다.

$$K = \begin{bmatrix} k(x_1, x_1) & k(x_1, x_2) & \dots & k(x_1, x_n) \\ k(x_2, x_1) & k(x_2, x_2) & \dots & k(x_2, x_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k(x_n, x_1) & k(x_n, x_2) & \dots & k(x_n, x_n) \end{bmatrix},$$

$$K_* = [k(x_*, x_1) \quad k(x_*, x_2) \quad \dots \quad k(x_*, x_n)],$$

$$K_{**} = k(x_*, x_*).$$

K 의 대각선 요소들의 값은 모두 $\sigma_f^2 + \sigma_n^2$ 이라는 것을 확인해 볼 수 있다. K 에는 학습할 데이터들로 구성이 되며, *가 붙은 경우 테스트 할 데이터를 넣게 된다. 즉 x_* 에서 예측치 y_* 를 찾는 것이 목표이다. 만일 테스트할 데이터가 한 개이면 위와 동일하지만, 아닌 경우는 다음과 같다.

$$K_* = \begin{bmatrix} k(x'_1, x_1) & k(x'_1, x_2) & \dots & k(x'_1, x_n) \\ k(x'_2, x_1) & k(x'_2, x_2) & \dots & k(x'_2, x_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k(x'_m, x_1) & k(x'_m, x_2) & \dots & k(x'_m, x_n) \end{bmatrix},$$

$$K_{**} = \begin{bmatrix} k(x'_1, x'_1) & k(x'_1, x'_2) & \dots & k(x'_1, x'_m) \\ k(x'_2, x'_1) & k(x'_2, x'_2) & \dots & k(x'_2, x'_m) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k(x'_m, x'_1) & k(x'_m, x'_2) & \dots & k(x'_m, x'_m) \end{bmatrix}.$$

GP 모델링의 주요 가정은 우리의 데이터를 다변수 Gauss 분포의 샘플로 나타낼 수 있기 때문에 우리는 다음을 얻는다.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{y} \\ y_* \end{bmatrix} \sim N\left(0, \begin{bmatrix} K & K_*^T \\ K_* & K_{**} \end{bmatrix}\right)$$

우리는 조건부 확률 $p(y_*|\mathbf{y})$ 에 관심이 있다. 이것은 데이터가 주어졌을 때, y_* 에 대한 예측 가능성이 얼마나 있는지를 나타낸다. 한편, 이 조건부 확률의 분포는 다음과 같이 해결할 수 있다.

$$y_*|\mathbf{y} \sim N(K_*K^{-1}\mathbf{y}, K_{**} - K_*K^{-1}K_*^T)$$

y_* 에 대한 최고의 추정치는 이 분포의 평균이다:

$$\bar{y}_* = K_*K^{-1}\mathbf{y}$$

또한 우리 추정치의 불확실성은 분산으로 나타내지며 다음과 같다:

$$\text{var}(y_*) = K_{**} - K_*K^{-1}K_*^T$$

GP에서 회귀의 신뢰도는 공분산 함수를 얼마나 잘 선택하는지에 달려있다. 또한 매개 변수를 $\theta = \{l, \sigma_f, \sigma_n\}$ 현명하게 선택되지 않으면, 공분산 함수를 잘 선택해도 결과는 좋지 않을 수 있다. θ 의 posteriori 추정의 최댓값은 $p(\theta|x, y)$ 이 가장 큰 경우이다. 베이지 정리는 θ 가 무엇인지에 대한 사전 지식이 거의 없다고 가정하면, 이는 $\log p(\mathbf{y}|\mathbf{x}, \theta)$ 를 최대화하는 것에 해당 하며, 다음과 같이 주어진다.

$$\log p(\mathbf{y}|\mathbf{x},\boldsymbol{\theta}) = -\frac{1}{2}\mathbf{y}^T\mathbf{K}^{-1}\mathbf{y} - \frac{1}{2}\log|\mathbf{K}| - \frac{n}{2}\log 2\pi.$$

따라서, 다변수 최적화 알고리즘(conjugate gradients, Nelder-Mead simplex 등)을 사용하면, GP의 매개 변수를 찾을 수 있다.

■ RBFN (Radial Basis Function Network)

RBFN은 방사 기능을 활성화 기능으로 사용하는 인공 신경 네트워크이다. 네트워크의 입력과 출력은 뉴런 매개 변수의 방사형 기저 함수의 선형 조합이다. RBFN은 함수 근사, 시계열 예측, 분류 및 시스템 제어를 포함하여 많은 용도로 사용된다.

RBFN의 기본 구조는 아래 그림과 같다. 그림에서 $f: R^m \rightarrow R$ 문제를 풀기 위해 k 개의 은닉 뉴런을 가지는 RBFN을 보여준다. 우선, 입력 차원이 m 이므로 입력 패턴은 $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_m)$ 로 표현할 수 있다. 아래 그림에서 c_j 는 j 번째 은닉 뉴런의 중심이고, w_j 는 너비이다. h_0 는 출력 유닛의 바이어스이며, h_j 는 j 번째 은닉 뉴런과 출력 유닛 사이의 가중치이다. 각각의 입력이 은닉 뉴런과 전부 연결되어 있고, 은닉 뉴런에서는 가우시안 함수에 의해 해당 입력 패턴에 대한 출력을 내보낸다. 출력 유닛에서는 은닉 뉴런의 출력 값에 각 은닉 뉴런의 가중치를 곱해서 더한 값을 최종 신경망의 출력으로 내보낸다.

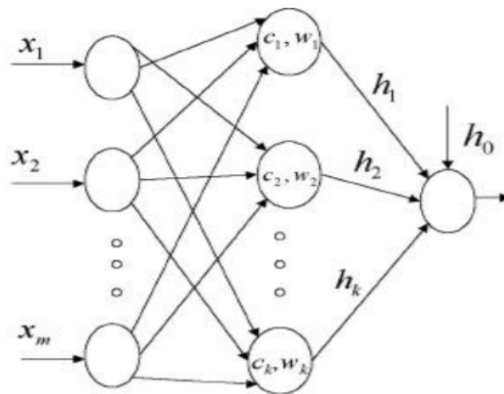


그림 54 RBFN의 구조

출력 유닛이 하나인 RBFN의 출력 값은 $y = \sum h_j z_j + h_0$ 로 계산할 수 있다. 여기서, $z_j = \exp\left(-\frac{\|c_j - x\|^2}{w_j^2}\right)$ 이다.

기계학습의 도구로서 신경망을 사용할 때, 가장 많이 연구가 되고, 많이 사용되는 것은 다층 퍼셉트론(Multilayer Perceptron, MLP)이다. 그러나 전통적인 MLP는 학습 속도가 느리고 학습된 최종 신경망이 표현하는 지식을 이해하기 어렵다는 단점이 있다. 이에 RBFN이 제안되었고, 그 이유는 은닉 뉴런들이 확률분포 함수를 이룰 수 있고, 학습 속도도 빠를 수 있으며 신경망이 표현하는 지식을 어느 정도 이해할 수 있다는 장점이 있기 때문이다. 아래 표는 다층 퍼셉트론과 RBFN을 비교 정리한 것이다.

표 25 다층 퍼셉트론과 RBFN 비교

	MLP	RBFN
은닉 층의 수	1 or more	1
활성화 함수	시그모이드	가우시안
활성화 함수 인자	벡터 내적	유클리드 거리
비선형 매핑	전역적	지역적

RBFN으로 학습한 결과에 대한 예시는 아래 그림과 같다.

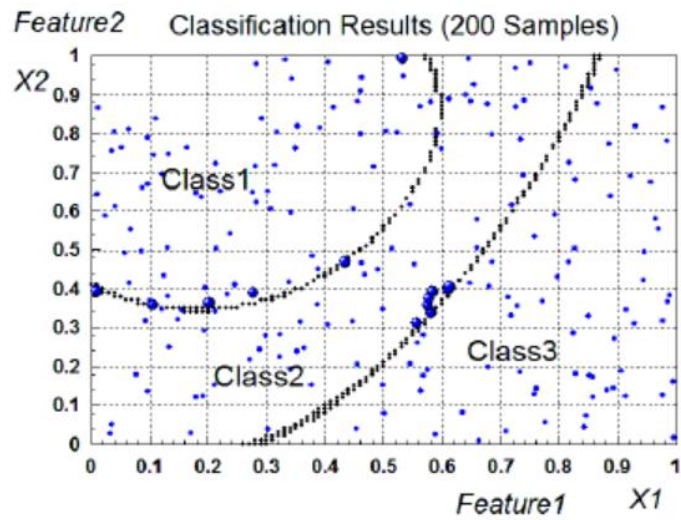


그림 55 RBFN 학습 결과

■ SVR (Support Vector Regression)

Support Vector Machine은 알고리즘을 특징 짓는 모든 주요 기능 (최대 마진)을 유지 하면서 회귀 방법으로 사용할 수도 있다. SVR은 분류에 SVM과 동일한 원칙을 사용한다. 하지만 몇 가지 사소한 차이점이 있다. 출력이 실수이므로 무한한 정보를 예측하기가 매우 어렵다. Regression에서 허용 오차는 SVM에 근사하여 설정하고, SVM은 이 값을 요청한다. 그러나 이 사실 외에도 복잡한 이유가 있기 때문에 이 알고리즘은 더 복잡하므로 고려해야한다. 그러나 주 아이디어는 SVM과 동일하다: 오류를 최소화하고 마진을 최대화하는 초평면을 개별화하며 오류의 일부가 허용된다.

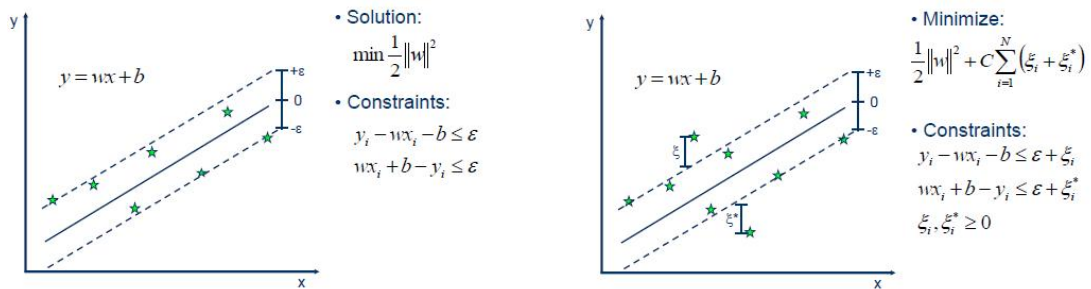


그림 56 Non-linear SVR

커널 기능은 데이터를 고차원 형상 공간으로 변환하여 선형 분리를 수행 할 수 있게 한다.

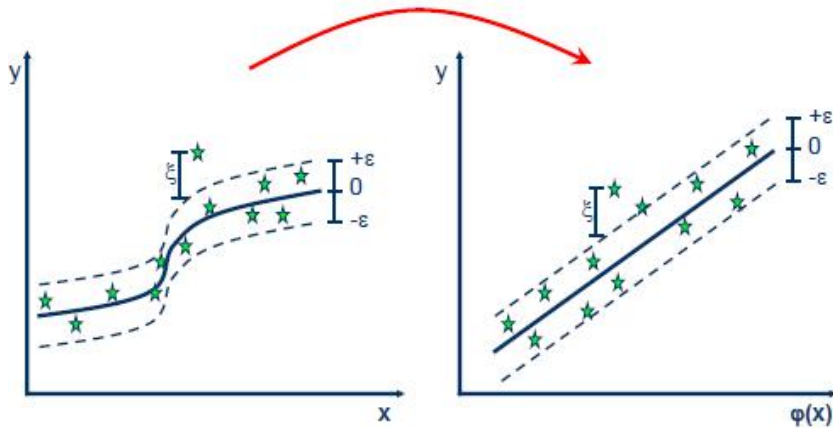


그림 57 커널을 이용한 SVR

나. 분류 알고리즘

■ kNN

kNN 알고리즘은 범주를 알지 못하는 데이터가 있을 때, 학습 데이터 중 가장 근접한 k 개의 데이터를 이용해 범주를 예측하는 분류 방법이다. 범주가 미리 정해진 학습 데이터들과의 거리를 각각 측정하여 거리가 가장 가까운 k 개의 데이터 중 다수가 속해있는 범주의 클래스로 소속시킨다.

kNN 알고리즘의 동작 원리는 아래 그림과 같이 표현되어 있다. 새로운 fingerprint(원)을 네모 또는 삼각형의 클러스터에 매칭 하는 원리이다. 우선 새로운 fingerprint(물음표, 원)를 확인한다. 다음 거리 기반으로 k 개의 데이터를 training set에서 추출하고 다수결(Majority voting)에 의해 클러스터를 매칭 한다. 아래 그림에서 새로운 fingerprint는 k 가 1일 경우 네모, k 가 3인 경우 세모 클러스터에 매칭된다.

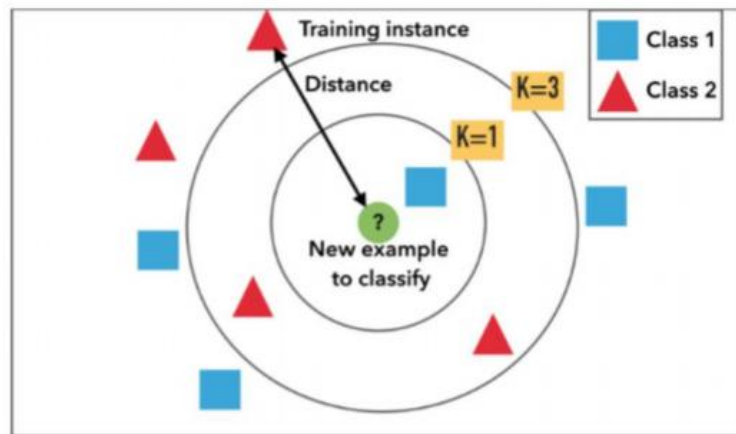


그림 58 kNN 알고리즘 개념

kNN 알고리즘의 특징은 다음과 같다.

최고 인접·다수결: 기존 데이터 중에서 가장 유사한 k 개의 데이터를 측정하여 분류한다.

유사도(거리) 기반: 유클리디안 거리(Euclidian's distance), Mahalanobis' distance 거리, 코사인 유사도(cosine similarity) 등을 활용한다.

Lazy learning 기법: 새로운 입력 값이 들어온 수 분류를 시작한다.

단순유연성: 모형이 단순하며 변수의 가정이 거의 없다.

NN(Nearest Neighbors)개선: kNN은 가장 근접한 k 개의 데이터에 대한 다수결 내지 가중 합계 방식으로 분류한다. 그러나 NN의 경우 새로운 항목을 분류할 때 가장 유사한 instance를 찾아서 같은 class에 일방적으로 분류하기 때문에 잡음이 섞인 데이터에서는

성능이 좋지 못하다.

kNN 알고리즘은 모형이 단순하고 구현이 쉬울 뿐만 아니라, 훈련 데이터에 잡음이 있는 경우에도 적용가능하다. 데이터에 가정을 반영하고 변형하는 것도 간편하다. 또한, 데이터의 수가 무한대로 증가할 때 오차율이 베이스 오차율의 두 배 보다 항상 나쁘지 않음을 보장하기 때문에 결과의 일관성이 보장된다. 그러나 kNN 알고리즘에는 몇 가지 단점도 존재한다. kNN 알고리즘은 k값 선정에 따라 알고리즘의 성능이 좌우되고, 모든 훈련 데이터와의 거리를 계산해야 하므로 연산 비용이 높다. 또한, 새로운 개체 n을 읽어서 메모리 내의 데이터 셋과 비교해야 하므로 높은 자원량이 요구된다.

kNN 알고리즘은 이미지나 비디오에서 얼굴과 글자를 인식하는 컴퓨터 비전 App, 개인별 추천 영화 예측, 특정 단백질과 질병을 추출하는데 사용하는 유전자 데이터의 패턴 식별 등에 이용될 수 있다. 다음 그림은 kNN 알고리즘을 적용하여 꽃의 종류를 구분한 예시이다.

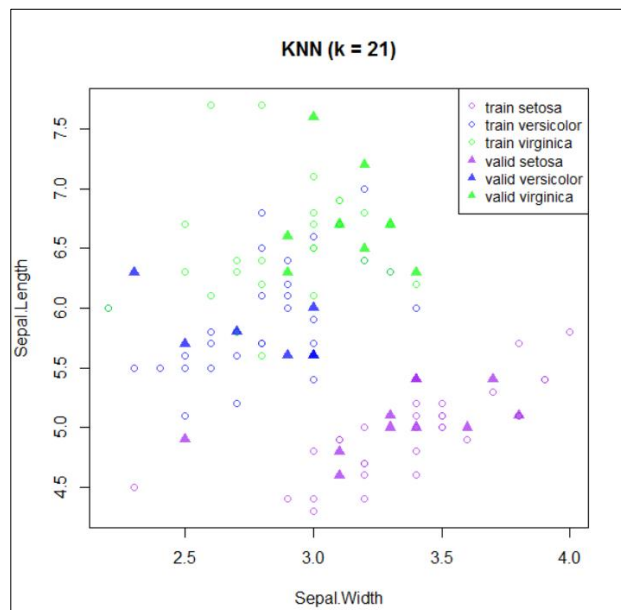


그림 59 kNN 분류 결과

■ SVM (Support Vector Machine)

SVR는 기계학습의 분야 중 하나로 패턴 인식, 자료 분석을 위한 지도 학습 모델이며, 주로 분류와 회귀 분석을 위해 사용한다. 두 카테고리 중 어느 하나에 속한 데이터의 집합이 주어졌을 때, SVR 알고리즘은 주어진 데이터 집합을 바탕으로 하여 새로운 데이터가 어느 카테고리에 속할지 판단하는 비확률 이진 선형 분류 모델을 만든다. 만들어진 분류 모델은 데이터가 사상된 공간에서 경계로 표현되는데 SVR 알고리즘은 그중 가장 큰 폭을 가진 경계를 찾는 알고리즘이다.

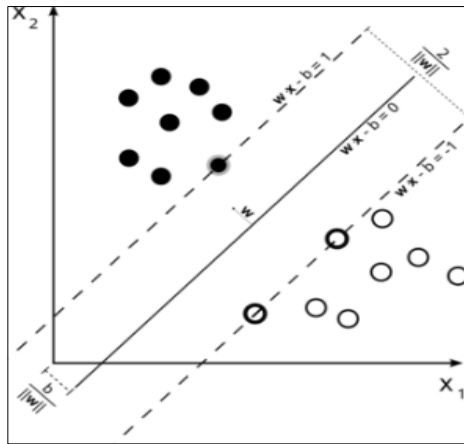


그림 60 선형 SVM이 두 자료 (흰색 원, 검은색 원)를 직선으로 분리

일반적으로, SVR은 분류 또는 회귀 분석에 사용 가능한 초평면(hyperplane) 또는 초평면들의 집합으로 구성되어 있다. 직관적으로, 초평면이 가장 가까운 학습 데이터 점과 큰 차이를 가지고 있으면 분류 오차가 작기 때문에 좋은 분류를 위해서는 어떤 분류된 점에 대해서 가장 가까운 학습 데이터와 가장 먼 거리를 가지는 초평면을 찾아야 한다. 일반적으로 초기의 문제가 유한 차원 공간에서 다루어지는데, 종종 데이터가 선형 구분이 되지 않는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 초기 문제의 유한 차원에서 더 높은 차원으로 대응시켜 분리를 쉽게 하는 방법이 제안되었다. 그 과정에서 계산량이 늘어나는 것을 막기 위해서, 각 문제에 적절한 커널 함수 $k(x,y)$ 를 정의한 SVR 구조를 설계하여 내적 연산을 초기 문제의 변수들을 사용해서 효과적으로 계산할 수 있도록 한다. 높은 차원 공간의 초평면은 점들의 집합과 상수 벡터의 내적 연산으로 정의된다. 초평면에 정의된 벡터들은 데이터 안에 나타나는 이미진 벡터 매개 변수들과의 선형적 결합이 되도록 선택한다. 이 선택된 초평면에서, 초평면에 대응된 점 x 는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\sum_i \alpha_i k(x_i, x) = constant$$

만약 $k(x,y)$ 가 x 와 y 가 점점 멀어질수록 작아진다면, 각각의 합은 테스트 점 x 와 그에 대응되는 데이터 점 x_i 의 근접성의 정도를 나타내게 된다. 이러한 방식으로, 위 커널식의 합은 구별하고 싶은 집합 안에 있는 데이터 점과 테스트 점 간의 상대적인 근접성을 측정하는데 사용될 수 있다. 초기 공간에서 볼록하지 않은 집합 안의 점 x 가 높은 차원으로 대응되었을 때 오히려 더 복잡하고 어려워질 수도 있는데 이런 부분을 주의해야 한다.

SVR을 이용하여 하나는 꽃잎의 길이가 5이고 너비가 2인 것과 다른 하나는 꽃잎의 길

이가 4이고 너비가 1.5인 두 개의 꽃을 분류한 결과는 아래 그림과 같다.

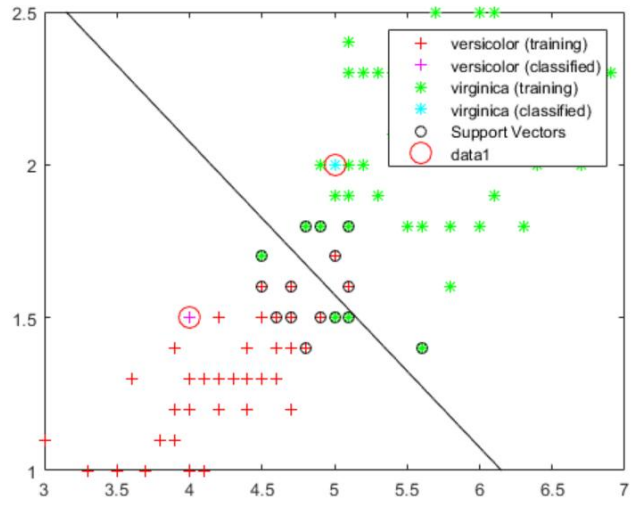


그림 61 SVR 결과

■ Logistic Regression

로지스틱 회귀(Logistic Regression)는 D.R.Cox가 1958년에 제안한 확률 모델로서 독립 변수의 선형 결합을 이용하여 사건의 발생 가능성을 예측하는데 사용되는 통계 기법이다. 로지스틱 회귀의 목적은 일반적인 회귀 분석의 목표와 동일하게 종속 변수와 독립 변수간의 관계를 구체적인 함수로 나타내어 향후 예측 모델에 사용하는 것이다. 이는 독립 변수의 선형 결합으로 종속 변수를 설명한다는 관점에서는 선형 회귀 분석과 유사하다. 하지만 로지스틱 회귀는 선형 회귀 분석과는 다르게 종속 변수가 범주형 데이터를 대상으로 하며 입력 데이터가 주어졌을 때 해당 데이터의 결과가 특정 분류로 나뉘기 때문에 일종의 분류 기법으로도 볼 수 있다. 선형 회귀 분석과 로지스틱 회귀 분석의 차이점은 아래 표로 정리되어 있다.

표 26 회귀분석 비교

	일반선형 회귀 분석	로지스틱 회귀 분석
종속변수	연속형 변수	이산형 변수
모형 탐색 방법	최소자승법	최대우도법, 가중최소자승법
모형 검정	F-test, t-test	χ^2 test

흔히 로지스틱 회귀는 종속 변수가 이항형 문제(즉, 유효한 범주의 개수가 두 개인 경우)를 지칭할 때 사용된다. 이외에, 두 개 이상의 범주를 가지는 문제가 대상인 경우엔 다항 로지스틱 회귀 (multinomial logistic regression) 또는 분화 로지스틱 회귀 (polytomous logistic regression)라고 하고 복수의 범주이면서 순서가 존재하면 서수 로지스틱 회귀 (ordinal logistic regression) 라고 한다.

로지스틱 모형 식은 독립 변수가 $[-\infty, \infty]$ 의 어느 숫자이든 상관 없이 종속 변수 또는 결과 값이 항상 범위 $[0,1]$ 사이에 있도록 한다. 이는 odds ratio를 logit 변환을 수행함으로써 얻어진다. 식의 구성 요소는 다음과 같다.

odds & logit 변환: 성공 확률이 실패 확률에 비해 몇 배 더 높은가를 나타내며 그 식은 아래와 같다.

$$\text{odds} = \frac{p(y = 1|x)}{1 - p(y = 1|x)}$$

logit 변환: odds에 로그를 취한 함수로서 입력 값의 범위가 $[0,1]$ 일 때 출력 값의 범위를 $[-\infty, \infty]$ 로 조정한다. 그 식은 아래와 같다.

$$\text{logit}(p) = \log \frac{p}{1 - p}$$

logistic function: 로지스틱 함수의 그래프는 아래 그림과 같고 이는 독립 변수 x 가 주어졌을 때 종속 변수가 1의 범주에 속할 확률을 의미한다. 즉 $p(y=1|x)$ 를 의미한다. 로지스틱 함수는 logit 변환을 통해 만들어지고, 그 형태는 다음과 같다.

$$\text{logistic function} = \frac{e^{\beta \cdot X_i}}{1 + e^{\beta \cdot X_i}}$$

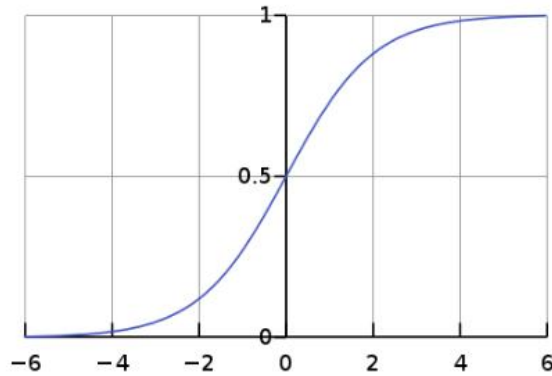


그림 62 표준 로지스틱 함수

로지스틱 회귀 분석은 의료, 통신, 데이터마이닝과 같은 다양한 분야에서 분류 및 예측을 위한 모델로서 폭넓게 사용되고 있다. 로지스틱 회귀 분석을 적용한 결과의 예시는 아래 그림과 같다.

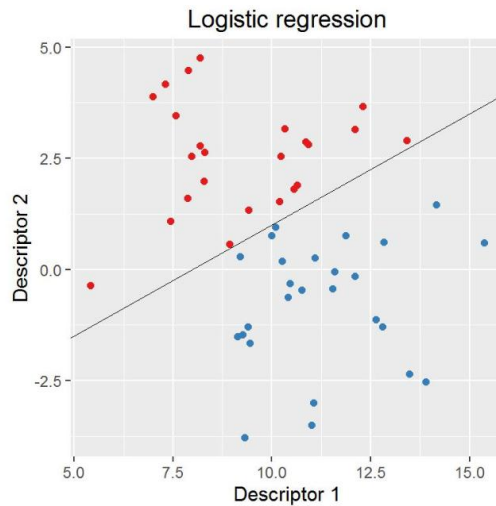


그림 63 로지스틱 회귀 분석 결과

■ Random forest

랜덤 포레스트(Random Forest)는 여러 개의 결정 트리들을 임의적으로 학습하는 방식의 앙상블 방법이다. 랜덤 포레스트 방법은 크게 다수의 결정 트리를 구성하는 학습 단계와 입력 벡터가 들어왔을 때, 분류하거나 예측하는 테스트 단계로 구성되어 있다. 랜덤 포레스트는 검출, 분류, 그리고 회귀 등 다양한 애플리케이션으로 활용되고 있다.

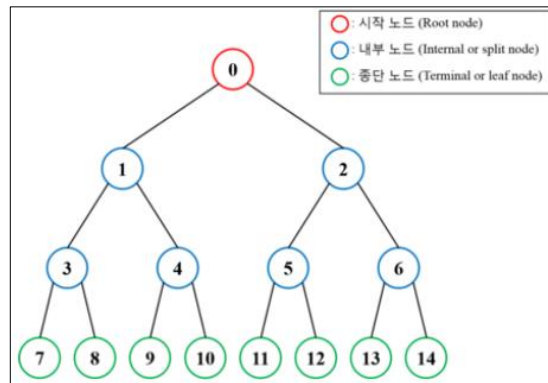


그림 64 하나의 결정 트리

랜덤 포레스트의 가장 핵심적인 특징은 임의성(randomness)에 의해 서로 조금씩 다른 특성을 갖는 트리들로 구성된다는 점이다. 이 특징은 각 트리들의 예측(prediction)들이 비상관화(decorrelation)되게하며, 결과적으로 일반화(generalization) 성능을 향상시킨다. 또한, 임의화(randomization)는 포레스트가 노이즈가 포함된 데이터에 대해서도 강인하게 만들어 준다. 임의화는 각 트리들의 훈련 과정에서 진행되며, 가장 널리 쓰이는 두 가지 방법으로는 임의 학습 데이터 추출 방법을 이용한 앙상블 학습법인 배깅(bagging)과 임의 노드 최적화(randomized node optimization)가 있다. 이 두 가지 방법은 서로 동시에 사용되어 임의화 특성을 더욱 증진 시킬 수 있다.

배깅은(bagging)은 bootstrap aggregating의 약자로, 부트스트랩(bootstrap)을 통해 조금씩 다른 훈련 데이터에 대해 훈련된 기초 분류기(base learner)들을 결합(aggregating)시키는 방법이다. 부트스트랩이란, 주어진 훈련 데이터에서 중복을 허용하여 원 데이터와 같은 크기의 데이터를 만드는 과정을 말한다. 배깅을 통해 랜덤 포레스트를 훈련시키는 과정은 다음과 같이 크게 세 단계로 구성되어 있다.

우선, 부트스트랩 방법을 통해 T 개의 훈련 데이터 집합을 생성한다.

T 개의 기초 분류기(트리)들을 훈련시킨다.

기초 분류기(트리)들을 하나의 분류기(랜덤 포레스트)로 결합한다. 평균 또는 과반수 투표 상식을 이용한다.

임의 노드 최적화는 훈련 목적 함수를 최대로 만드는 노드 분할 함수의 매개변수 θ 의 최적값을 구하게 된다. 각 트리의 노드는 분할 함수(split function)를 가지고 있으며, 다

음과 같이 표현할 수 있다.

$$h(\mathbf{v}, \boldsymbol{\theta}_j) \in \{0, 1\}$$

0은 거짓(false), 1은 참(true)을 가리킨다. 노드에 도달한 데이터는 분할 함수 결과에 따라 왼쪽 또는 오른쪽의 자식 노드로 보내지게 된다. 이러한 분할 함수는 매개변수 $\theta = (\phi, \psi, \tau)$ 에 따라 결정된다.

ϕ 는 필터 함수로 벡터 v 에서 몇 개의 특징(feature)들만을 선택한다. 이 과정은 특징 배깅(feature bagging)이라고도 불린다. 특징을 선택하는 이유는 배깅을 통해 얻은 트리 플 간의 상관성에 있다. 즉, 한 개의 특징 또는 극소수의 특징들이 결과에 대해 강한 예측 성능을 지닌다면, 훈련 과정 중 여러 트리 노드에서 이러한 특징들이 중복되어 선택되고 결과적으로 트리들이 상관화되기 때문이다.

ψ 는 분할 함수의 기하학적 특성을 나타낸다. 즉 어떤 기하학적 특성을 이용해 데이터를 분리할 지를 나타내는 것으로 평행한 초평면(axis-aligned hyperplane), 비스듬한 초평면(oblique hyperplane) 또는 일반적인 평면(general surface) 등이 사용될 수 있다.

τ 는 매개변수 벡터로 이진 테스트(binary test)의 부등식에서 임계값(threshold value)들을 가지고 있다.

다. 군집 알고리즘

■ K-means

K-means 알고리즘은 주어진 데이터를 k개의 클러스터로 묶는 알고리즘으로, 각 클러스터와 거리 차이의 분산을 최소화하는 방식으로 동작하여 가장 최소화하는 k개의 평균 (means) 벡터를 찾는다. 이 알고리즘은 자율 학습의 일종으로, 레이블이 달려 있지 않은 입력 데이터에 레이블을 달아주는 역할을 수행한다.

K-means 알고리즘은 클러스터링 방법 중 분할법에 속한다. n개의 데이터를 입력받았을 때, 분할법은 입력 데이터를 n보다 작거나 같은 k개의 그룹으로 나눈다. 즉, 데이터를 한 개 이상의 데이터로 구성된 k개의 그룹으로 나누는 것이다. 이 때 그룹을 나누는 과정은 거리 기반의 그룹 간 비유사도는 증가하고, 다른 그룹에 있는 데이터와의 유사도는 감소하게 된다. K-means 알고리즘은 각 그룹의 중심(centroid)과 그룹 내의 데이터와의 거리의 제곱합을 비용함수로 정하고, 이 함수값을 최소화하는 방향으로 각 데이터의 오브젝트의 소속 그룹을 업데이트 해 줌으로써 클러스터링을 수행하게 된다.

이 알고리즘에서는 i 번째 클러스터의 중심을 μ_i , 클러스터에 속하는 점의 집합을 S_i 라고 할 때, 전체 분산은 다음과 같이 계산된다.

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{j \in S_i} |x_j - \mu_i|^2$$

이 값을 최소화하는 S_i 를 찾는 것이 알고리즘의 목표가 된다. 이 알고리즘은 우선 초기의 μ_i 를 설정하는 것으로 시작한다. 이후 다음의 두 단계를 반복한다.

클러스터 설정: 각 데이터로부터 각 클러스터들의 μ_i 까지의 유클리드 거리를 계산하여, 해당 데이터에서 가장 가까운 클러스터를 찾아 데이터를 배당한다.

$$S_i^{(t)} = \{x_p : |x_p - \mu_i^{(t)}|^2 \leq |x_p - \mu_j^{(t)}|^2 \forall j, 1 \leq j \leq k\}$$

클러스터 중심 재조정: μ_i 를 각 클러스터에 있는 데이터들의 무게 중심 값으로 재설정해준다.

$$\mu_i^{(t+1)} = \frac{1}{|S_i^{(t)}|} \sum_{x_j \in S_i^{(t)}} x_j$$

이때, 만약 클러스터가 변하지 않는다면 반복을 중지한다. K-means 알고리즘을 실행하는 과정을 간단히 표현한 그림은 다음 그림과 같다.

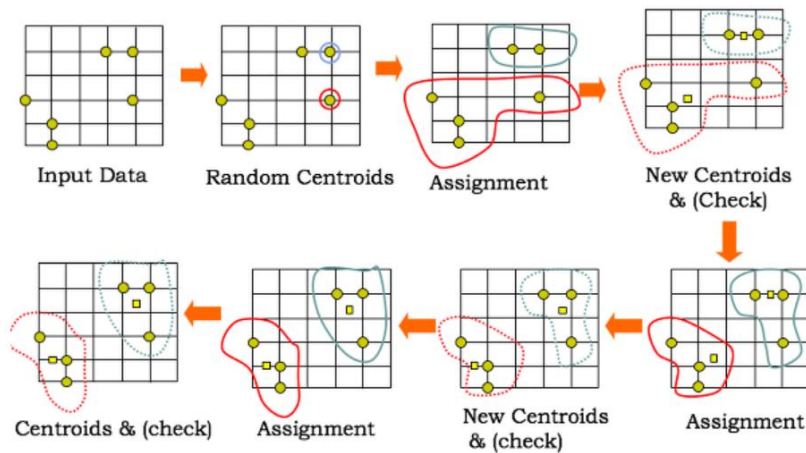


그림 65 K-means 알고리즘 실행 과정

K-means 알고리즘은 간단한 알고리즘으로 대규모에 적용이 가능하며 주어진 자료에 대한 사전정보 없이 의미 있는 자료구조를 찾아낼 수 있다는 장점이 있지만, 한계점이 존재한다. 첫 번째는 클러스터의 개수 k 값을 입력 파라미터로 지정해주어야 한다는 것이다. 이 알고리즘은 k 값에 따라 결과의 값이 완전히 달라질 수 있다. k 값을 어떻게 주느냐에 따라 클러스터링의 결과가 극명하게 달라지며, 좋지 못한 결과를 보여줄 가능성이 있다. 두 번째 한계는 알고리즘의 초기값을 어떻게 주느냐에 따라 최적화의 결과가 global optimum이 아닌 local optimum으로 빠질 가능성이 있다는 것이다. 또한 이 알고리즘은 이상값에 민감하다. 이상값이란 다른 대부분의 데이터와 비교했을 때 멀리 떨어져 있는 데이터를 의미한다. 이러한 이상값은 알고리즘 내에서 중심점을 갱신하는 과정에서 클러스터 내의 전체 평균 값을 크게 왜곡시킬 수 있다. 따라서 클러스터의 중심점이 클러스터의 실제 중심에 있지 않고 이상값 방향으로 치우치게 위치할 수 있다. 마지막으로, 이 알고리즘은 구형(spherical)이 아닌 클러스터를 찾는 데에는 적절하지 않다. 왜냐하면, 이 알고리즘은 유클리드 거리를 사용하기 때문에 알고리즘 수행 시 중심점으로부터 구형으로 군집화가 이루어지게 된다. 따라서 만약 주어진 데이터 집합의 분포가 구형이 아닐 때, 클러스터링 결과가 예상과 다를 수 있다.

■ Hierarchical Clustering

계층적군집(hierarchical clustering)은 트리 모형을 이용해 개별 개체들을 순차적, 계층적으로 가장 유사한 개체 그룹과 통합하여 군집화를 수행하는 알고리즘이다. 보통 계통도 또는 덴드로그램(dendrogram)의 형태로 결과가 주어지며 각 개체는 하나의 군집에만 속하게 된다. 개체 간의 유사성(또는 거리)에 대한 다양한 정의가 가능하며, 군집 간의 연결법(최단연결법, 최장연결법, 평균연결법, 중심연결법, 와드연결법)에 따라 군집의 결과가 달라질 수 있다. K-means 알고리즘과 달리 군집 수를 사전에 정하지 않아도 학습을 수행할 수 있다.

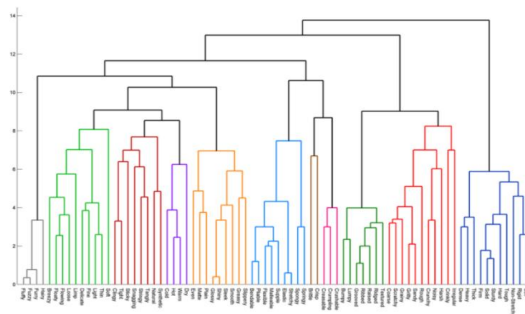


그림 66 덴드로그램(dendrogram) 예시

계층적군집을 형성하는 방법에는 작은 군집으로부터 출발하여 군집을 병합해 나가는 병합적(agglomerative) 방법과, 큰 군집으로부터 출발하여 군집을 분리해 나가는 분할적(divisive) 방법이 있다.

계층적군집을 수행할 때 두 군집간의 거리를 측정하는 방법에 따라 병합 방법이 달라진다. 거리측정(또는 병합) 방법에는 최단연결법, 최장연결법, 중심연결법, 평균연결법, 와드연결법이 있으며, 구체적인 내용은 다음과 같다.

최단연결법 또는 단일연결법(single linkage method)은 두 군집 사이의 거리를 각 군집에서 하나씩 관측값을 뽑았을 때 나타날 수 있는 거리의 최솟값으로 측정한다.

최장연결법 또는 완전연결법(complete linkage method)은 두 군집 사이의 거리를 각 군집에서 하나씩 관측값을 뽑았을 때 나타날 수 있는 거리의 최대값으로 측정한다. 같은 군집에 속하는 관측치는 알려진 최대 거리보다 짧으며, 군집들의 내부 응집성에 중점을 둔 방법이다.

중심연결법(centroid linkage)은 두 군집의 중심 간의 거리를 측정한다. 두 군집이 결합될 때 새로운 군집의 평균은 가중평균을 통해 구해진다.

평균연결법(average linkage)은 모든 항목에 대한 거리 평균을 구하면서 군집화하기 때문에 계산의 양이 불필요하게 많아질 수 있다.

마지막으로 와드연결법(Ward linkage)은 군집간이 거리에 기반하는 다른 연결법과는

달리 군집내의 오차제곱합(error sum of square)에 기초하여 군집을 수행한다. 일반적으로, 두 군집이 합해지면 병합된 군집의 오차제곱합은 병합 이전 각 군집의 오차제곱합의 합 보다 커지게 되는데, 그 증가량이 가장 작아지는 방향으로 군집을 형성해 나가는 방법이다.

이러한 연결법들을 그림으로 나타내면 아래 그림과 같다.

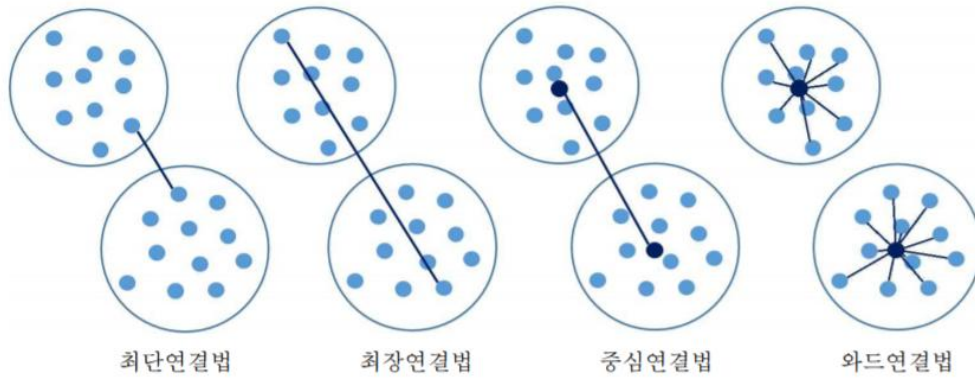


그림 67 거리측정 방법

■ DBSCAN

DBSCAN(Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise)은 밀도를 기반으로 하여 군집화하는 알고리즘이다. K-means 알고리즘이나 계층적군집 알고리즘의 경우 데이터 간의 거리를 이용하여 클러스터를 나누지만, DBSCAN 알고리즘은 데이터 포인트가 세밀하게 몰려 있어 밀도가 높은 부분을 군집화하는 방식이다.

DBSCAN 알고리즘은 특성 공간(Feature Space)에서 데이터가 밀집해 있는 지역의 포인트를 찾는다. 이러한 지역을 특성 공간의 밀집 지역(Dense Region)이라 한다. 이러한 데이터의 밀집 지역이 하나의 클러스터를 구성하며, 비교적 비어있는 지역을 경계로 다른 클러스터와 구분하는 것이다. 밀집 지역에 있는 포인트를 핵심 샘플(핵심 포인트)라고 하며, 임의로 선정한 하나의 데이터 포인트에서 지정 거리(eps) 안에 데이터가 최소 샘플 개수(min_samples)만큼 들어 있으면 이 데이터를 핵심 샘플로 분류한다. 따라서 지정해 준 거리보다 가까이 있는 핵심 샘플은 DBSCAN 알고리즘에 의해 동일한 클러스터로 합쳐진다. 즉, 어느 포인트를 기준으로 지정 반경 내에 데이터 포인트가 n개 이상 있으면 하나의 클러스터로 인식하는 방식이다.

또한 임의로 선정한 하나의 데이터 포인트에서부터 지정 거리 이내에 포인트 수가 최소 샘플 수보다 적다면 그 포인트를 어떤 클래스에도 속하지 않는 잡음(Noise)으로 레이블한다. 최소 샘플 수보다 많으면 그 포인트는 핵심 샘플로 레이블되고 새로운 클러스터 레이블을 할당한다. 또한, 클러스터 내에 속하나 지정 반경 내 최소 샘플 개수를 만족하지 못하는 포인트는 경계 포인트로 분류한다. 그 다음 그 포인트의 지정 거리 안의 모든 이웃을 확인한다. 아직 어떤 클러스터에도 할당되지 않았다면 바로 전에 만든 클러스터 레이블을 할당한다. 이때, 이미 할당이 완료된 핵심 샘플이면 그것의 이웃 포인트로 넘어가서 일련의 과정을 반복한다. 지정 거리 안에 더 이상 핵심 샘플이 없을 때까지 반복한다. 그 다음 확인하지 못한 밀집 지역의 포인트를 임의로 선정하여 같은 과정을 반복한다. 분류된 포인트들을 그림으로 표현하면 다음과 같다.

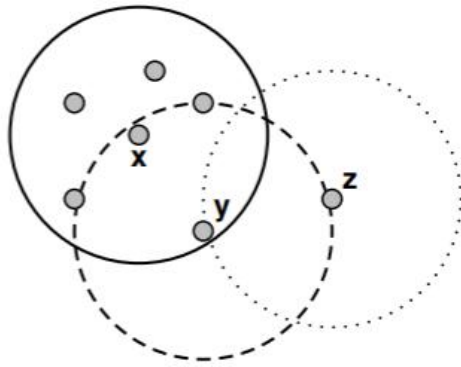


그림 68 min_samples = 5일 때,
 x는 핵심 포인트, y는 경계 포인트,
 z는 잡음

DBSCAN 알고리즘 방법은 클러스터의 개수를 미리 지정할 필요가 없으며 계층적군집이나 K-means 알고리즘과는 달리 다음 그림과 같이 복잡한 데이터의 형상도 찾을 수 있다. 그러나 지정 거리의 값이 간접적으로 몇 개의 클러스터가 만들어질지 제어하므로 적절한 지정 거리를 찾으려면 모든 특성의 스케일을 비슷한 범위로 조정해줄 필요가 있다.

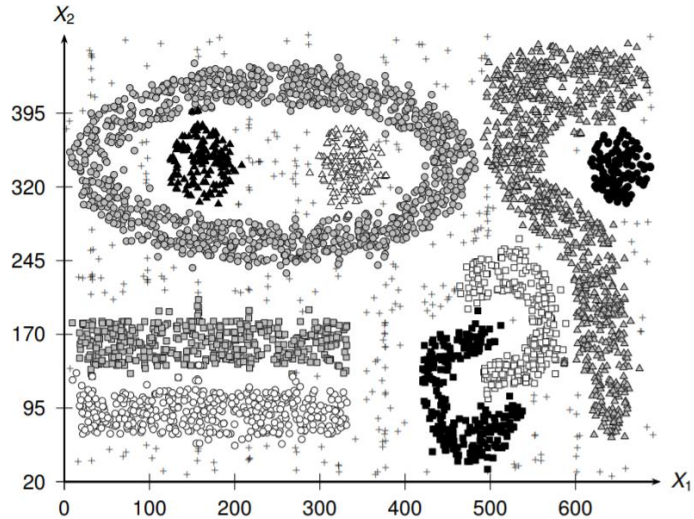


그림 69 DBSCAN 클러스터링 결과

■ Expectation Maximization Clustering

Expectation-Maximization Clustering(EM)은 관측되지 않은 잠재변수에 의존하는 확률 모델에서 최대가능도(maximum likelihood)나 최대사후확률(maximum a posteriori, MAP)을 갖는 매개변수를 찾는 반복적인 알고리즘이다.

최대가능도는 어떤 확률변수에서 표집한 값들을 토대로 그 확률변수의 모수를 구하는 방법이다. 어떤 모수가 주어졌을 때, 원하는 값들이 나올 가능성을 최대로 만드는 모수를 선택하는 방법이다.

최대사후확률은 베이즈 통계학에서 사후 확률의 최빈값을 가리킨다. 최대사후확률에 대응하는 모수는 최대가능도와 마찬가지로 모수의 점 추정으로 사용할 수 있지만, 최대우도에서는 어떤 사건이 일어날 확률을 가장 높이는 모수를 찾는 것에 비해, 최대 사후 확률 모수는 모수의 사전 확률과 결합된 확률을 고려한다는 차이점이 있다.

EM 알고리즘은 매개변수에 관한 추정값으로 로그 가능도(log likelihood)의 기댓값을 계산하는 기댓값(E) 단계와 이 기댓값을 최대화하는 변수값을 구하는 최대화(M) 단계를 번갈아가며 적용한다. 최대화 단계에서 계산한 변수값은 다음 기댓값 단계의 추정값으로 쓰인다. 기댓값 단계와 최대화 단계에 대한 구체적인 설명은 다음과 같다.

기댓값 단계에서는 θ^t 가 주어지고 새로운 θ 를 사용할 때 가능도의 기댓값 Q 를 정의한다. 이때 기댓값을 취하는 확률분포는 X , θ^t 가 주어졌을 때 Z 의 조건부 분포이다.

$$Q(\theta|\theta^{(t)}) = E_{\mathbf{Z}|\mathbf{X},\theta^{(t)}} [\log L(\theta; \mathbf{X}, \mathbf{Z})] = \sum_{\mathbf{Z}} p(\mathbf{Z}|\mathbf{X}, \theta^{(t)}) \log L(\theta; \mathbf{X}, \mathbf{Z})$$

최대화 단계에서는 Q 를 최대화하는 새로운 매개변수 θ^{t+1} 를 계산한다.

$$\theta^{(t+1)} = \arg \max_{\theta} Q(\theta|\theta^{(t)})$$

기댓값 최대화 알고리즘은 다양한 모델에 적용 가능하지만, 적용되는 모델은 일반적으로 다음 성질을 만족한다.

관측값 X 는 이산적일 수도 연속적일 수도 있다.

누락값/잠재변수 Z 는 이산적이고, 각각의 관측값은 그에 대응하는 하나의 잠재변수를 가진다.

매개변수들은 연속적이고 두 종류로 나누어지며, 이는 관측값들과 관련한 매개변수 혹은 잠재변수 각각의 값에 대응하는 매개변수이다.

매개변수 θ 가 주어졌을 때, 잠재변수 Z 에 관한 가능도 함수를 최대화함으로써 Z 의 값을 어렵지 않게 추정할 수 있고, 반대로 잠재변수 Z 의 값이 주어졌을 때, 매개변수에 관한 가능도 함수를 최대화함으로써 매개변수 θ 의 값을 추정할 수 있다. 매개변수와 잠재변수 중 하나의 값을 알면 다른 값도 쉽게 알 수 있다는 것이 기댓값 최대화 알고리즘의

핵심이다. 다음은 기댓값 최대화 알고리즘을 간략히 요약한 것이다.

첫 번째 단계로 매개변수 θ 를 임의의 값으로 설정한다.

두 번째 단계에서는 주어진 매개변수 값에 관한 잠재변수 Z 값을 추정한다.

세 번째 단계에서는, 두 번째 단계에서 얻은 잠재변수 값을 이용해 매개변수 θ 값을 다시 추정한다.

매개변수 θ 값과 잠재변수 Z 값이 수렴할 때까지 두 번째, 세 번째 단계를 반복한다.

EM 알고리즘 실행 결과에 대한 예시는 아래 그림과 같다.

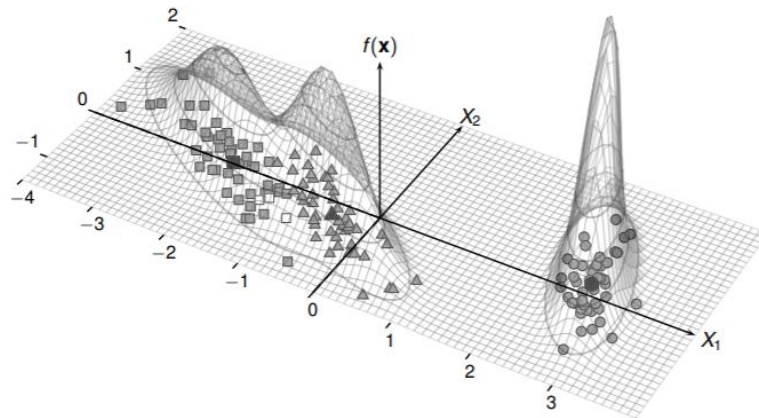


그림 70 EM 알고리즘 결과

라. 신경망 알고리즘

■ MLP (Multilayer Perceptron)

다층 퍼셉트론(Multilayer Perceptron)은 입력층과 출력층 사이에 하나 이상의 중간층이 존재하는 신경망으로 아래 그림에 나타난 것과 같은 계층구조를 갖는다. 이때 입력층과 출력층 사이의 중간층을 은닉층(hidden layer)이라 부른다. 네트워크는 입력층, 은닉층, 출력층 방향으로 연결되어 있으며, 각 층내의 연결과 출력층에서 입력층으로의 직접적인 연결은 존재하지 않는 전방향(feedforward) 네트워크이다.

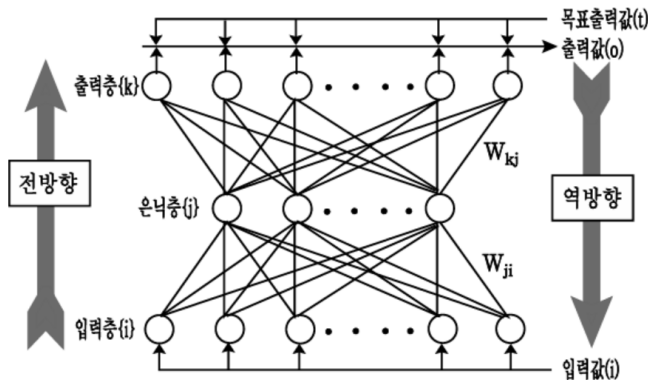


그림 71 다층 퍼셉트론의 구조

다층 퍼셉트론은 단층 퍼셉트론과 유사한 구조를 가지고 있지만, 중간층과 각 unit의 입출력 특성을 비선형으로 함으로써 네트워크의 능력을 향상시켜 단층 퍼셉트론의 여러 가지 단점들을 극복했다. 다층 퍼셉트론은 층의 개수가 증가할수록 퍼셉트론이 형성하는 결정 구역의 특성은 더욱 고급화된다. 즉 단층일 경우, 패턴 공간을 두 구역으로 나누어 주고, 2층인 경우, convex 개구역 또는 오목한 폐구역을 형성하며, 3층인 경우에는 이론상 어떠한 형태의 구역도 형성할 수 있다.

아래 그림에서 단층, 2층, 3층 퍼셉트론들의 구조와 결정 구역을 나타내었다. 이 그림에서 두 번째 열은 각 네트워크가 형성하는 결정 구역을 나타내고 다음 두 개의 열은 Exclusive-or와 mesh 구역 문제에 대한 결정 구역을 예시한다. 지금까지는 주로 계단형(hard limiting)의 비선형(nonlinear) 활성화 함수를 사용하고 출력 unit이 하나인 다층 퍼셉트론에 대하여 논의하였다. 이와 비슷한 결과가 시그모이드 비선형 활성화 함수를 적용한 한 개 이상의 출력 unit를 가진 네트워크에도 나타난다. 시그모이드 비선형 활성화 함수를 적용할 경우 결정 영역이 통상 직선이 아닌 완만한 곡선으로 경계 지워지므로 행위의 분석이 약간 복잡하지만, 미분이 가능하다. 따라서 오히려 은닉층을 학습할 수 있는 Backpropagation 학습 알고리즘을 수행할 수 있다. 대부분의 다층 퍼셉트론은

backpropagation 학습 알고리즘을 사용하여 학습시킬 수 있다.


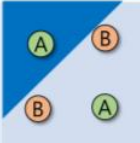
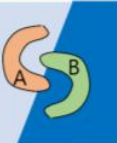






Structure	Regions	XOR	Meshed Regions
Single layer 	Halfplane bounded by hyperplane		
Two layers 	Convex Open or closed regions		
Three layers 	Arbitrary (limited by # of nodes)		

그림 72 다층 퍼셉트론

일반적인 다층 퍼셉트론의 학습방법은 다음과 같다. 입력층의 각 unit 에 입력 데이터를 제시하면 이 신호는 각 unit에서 변환되어 중간층에 전달되고 최종적으로 출력층으로 나오게 된다. 이 출력값과 원하는 출력값을 비교하여 그 차이를 감소시키는 방향으로 연결 강도를 조정하는 것이다. 그러나 중간층이 있으면 학습은 어려워진다. 왜냐하면 어떤 연결 강도가 오차를 유발하는지 알 수 없기 때문이다.

■ Autoencoder

Autoencoder는 이미지 데이터의 압축을 위해 연구된 인공신경망(Artificial Neural Networks, ANNs)이다. Autoencoder의 구조는 일반적인 feedforward neural networks(FNNs)와 유사하지만, autoencoder는 비지도 학습(unsupervised learning) 모델이다. Autoencoder는 대부분 데이터의 압축을 위해 활용되었으나, 최근에는 딥러닝(deep learning)에 대한 연구가 활발해지면서 입력 벡터의 차원 축소, 은닉층의 학습 등에 많이 이용되고 있다.

Autoencoder의 구조는 일반적인 FNN의 구조와 매우 유사하며, 한 가지 다른 점은 입력층(input layer)과 출력층(output layer)의 크기가 항상 같다는 것이다. 아래의 그림은 은닉층(hidden layer)이 1개인 autoencoder의 구조를 나타낸 것이다. 입력층과 출력층의 크기는 같으며, 입력층-은닉층 구간을 encoder, 은닉층, 출력층 구간은 decoder라고 한다.

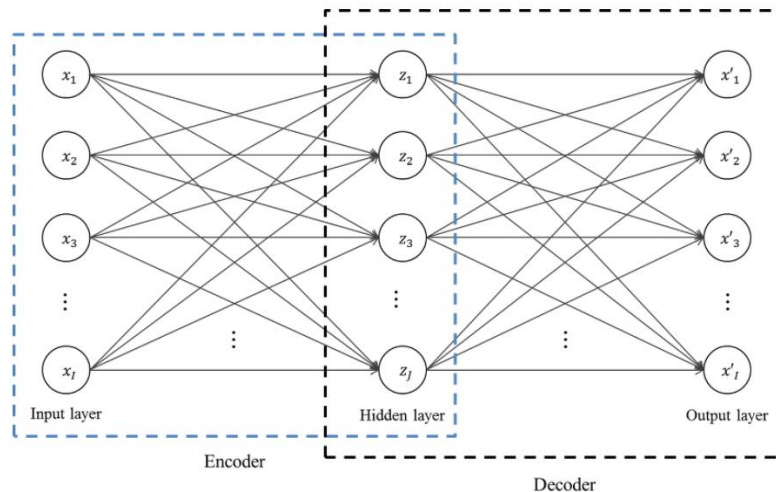


그림 73 은닉층이 1개인 autoencoder의 구조

Autoencoder의 중요한 동작은 입력 벡터의 차원을 축소하는 것이다. 이러한 동작은 입력-은닉층 구간인 encoder에서 수행되며, 차원이 축소된 입력 벡터를 code 또는 latent variables라고 한다. Encoder 영역에서 생성된 code는 은닉층-출력층 구간인 decoder를 거쳐 입력 벡터와 동일한 출력 벡터로 변환된다.

일반적으로 autoencoder는 FNNs처럼 역전파(backpropagation) 알고리즘을 이용하여 학습을 수행한다. FNNs 모델에 대한 역전파 알고리즘에 대한 설명은 다음과 같다. 우선, 알고리즘을 설명하는데 필요한 기호와 각 기호가 갖는 의미는 다음 표와 같으며 뉴런의 활성화 함수(activation function)로는 시그모이드 함수(sigmoid function)를 이용하였다.

기호	정의
I	입력층의 크기 (= 출력층의 크기)
J	은닉층의 크기
η	학습률 (learning rate)
x_{ni}	n번째 학습 벡터의 i번째 요소
w_{ji}	j번째 은닉층 뉴런의 i번째 가중치
v_{ij}	i번째 출력층 뉴런의 j번째 가중치
z_{nj}	n번째 학습 벡터에 대한 j번째 은닉층 뉴런의 출력값
x'_{ni}	n번째 학습 벡터에 대한 i번째 출력층 뉴런의 출력값
θ_j	j번째 은닉층 뉴런의 바이어스
b_i	i번째 출력층 뉴런의 바이어스

그림 74 알고리즘의 각 기호에 대한 설명

아래 식은 위의 그림 ‘은닉층이 1개인 autoencoder의 구조’와 같은 구조를 갖는 autoencoder의 출력층 가중치 학습 연산이다. 출력층 가중치는 은닉층-출력층 사이의 연결강도를 의미한다.

$$v_{ij}(t+1) = v_{ij}(t) + \eta(x_{ni} - x'_{ni})(1 - x'_{ni})x'_{ni}z_{nj}$$

아래 식은 은닉층 가중치의 학습 연산이며, 은닉층 가중치는 입력층-은닉층 사이의 연결 강도를 의미한다.

$$w_{ji}(t+1) = w_{ji}(t) + \eta x_{ni} z_{nj} (1 - z_{nj}) \sum_i^I \delta_{ni} v_{ij}$$

$$\delta_{ni} = (x_{ni} - x'_{ni})(1 - x'_{ni})x'_{ni}$$

출력층 및 은닉층 뉴런의 바이어스 학습 연산은 다음 식과 같다.

$$b_i(t+1) = b_i(t) + \eta(x_{ni} - x'_{ni})(1 - x'_{ni})x'_{ni}$$

$$\theta_j(t+1) = \theta_j(t) + \eta(1 - z_{nj})z_{nj} \sum_i^I \delta_{ni} w_{ij}$$

■ CNN (Convolutional Neural Network)

CNN은 영상처리를 위해 고안된 특수한 연결 구조를 가진 다층신경망이다. 일반적인 다층신경망에서는 인접한 두 개의 층간의 뉴런들이 모두 연결된 완전 연결 구조를 갖는다. 이러한 완전 연결 구조를 이용하면 이론적으로 입력 영상에 있는 위상학적 구조를 찾을 수는 있다. 그러나 현실적으로는 입력 영상이 다차원으로 이루어져 있기 때문에 문제 복잡도가 매우 크다는 문제가 있다. CNN의 핵심 아이디어는 영상의 위상학적 구조를 학습할 수 있는 신경망의 구조를 새롭게 설계한 것이다. 이러한 설계는 픽셀 영상으로부터 최소한의 전처리를 통해서 다양한 영상 인식에 사용할 수 있다.

CNN은 기존의 패턴 인식 방식에서 특징 추출과 분류의 두 단계를 하나의 단계로 합친 통합한 모델로 볼 수 있다. CNN은 기본적으로 다수의 컨볼루션 층(convolution layer)과 서브샘플링 층(subsampling layer)으로 구성되어 있다. 다음 그림은 “A”자의 문자 이미지를 인식하는 CNN의 구조를 보여준다.

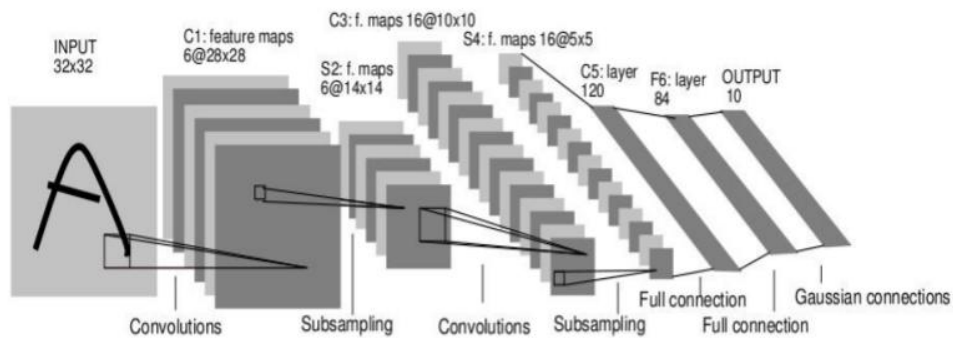


그림 75 CNN의 구조

컨볼루션층은 입력에 대해서 다양한 컨볼루션 커널을 적용하여 특징맵(feature map)을 생성한다. 컨볼루션은 고차원의 입력 영상에 대해서 특징을 추출하는 일종의 템플릿 역할을 한다. 하나의 컨볼루션은 부분 입력을 대상으로 하며 위치를 바꾸어 가며 여러 번 반복적으로 적용되어 전체 이미지를 스캔한다. 즉, 하나의 컨볼루션은 적은 수의 연결선을 가지며 위치가 바뀌어도 그 연결 가중치가 공유된다(weight sharing). 이는 컨볼루션이 위치에 무관하게 특징을 추출할 수 있도록 해준다. 서브샘플링(subsampling) 층은 만들어진 특징맵에 대해서 공간적 해상도를 줄인 뉴런층이다. 서브샘플링 연산자로는 대상 뉴런들에 대해서 최대치를 취하는 맥스풀링(max pooling) 연산자나 평균치를 취하는 평균풀링(average pooling) 연산자를 주로 사용한다. 풀링을 통해서 차원을 축소할 뿐만 아니라 특징맵이 이동(shift)과 왜곡(distortion)에 대해 강인하도록 하는 효과가 있다.

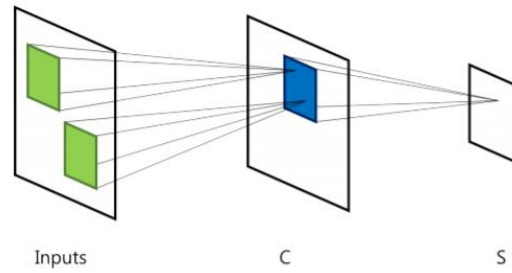


그림 76 컨볼루션(C)과 서브샘플링(S)

신경망은 연결 방식에 따라 완전연결층, 지역연결층, 컨볼루션층으로 나뉘어진다. 완전연결층은 이웃한 층의 뉴런간에 연결선이 존재하는데, 하나의 층에 있는 모든 뉴런과 이웃한 층에 있는 모든 뉴런이 연결된다. 이에 반해서 지역연결층을 사용하면 상위층의 뉴런이 하부층에 있는 일부 뉴런에만 연결된다(가운데 그림). 컨볼루션층은(오른쪽 그림) 부분연결층과 같이 부분적인 연결을 가지는 것은 같으나, 상위층 뉴런들이 서로 가중치를 공유한다. 즉, 각 상위층에 있는 뉴런이 아래층에 있는 왼쪽, 중앙, 오른쪽 세 개의 뉴런과 연결된다고 하면, 상위층에 있는 5개의 뉴런은 이 세 개의 가중치를 공유한다. 따라서 연결선은 13개임에도 불구하고 가중치는 3개이다. 이렇게 함으로써 학습해야 할 파라미터의 수를 줄이게 된다. 이러한 연결구조를 이용하면 위치는 다르지만 비슷한 특징을 가지는 부분을 추출할 수 있기 때문에, 입력 이미지에서 물체가 좌우로 이동하는 것에 무관하게 특징을 추출할 수 있다.

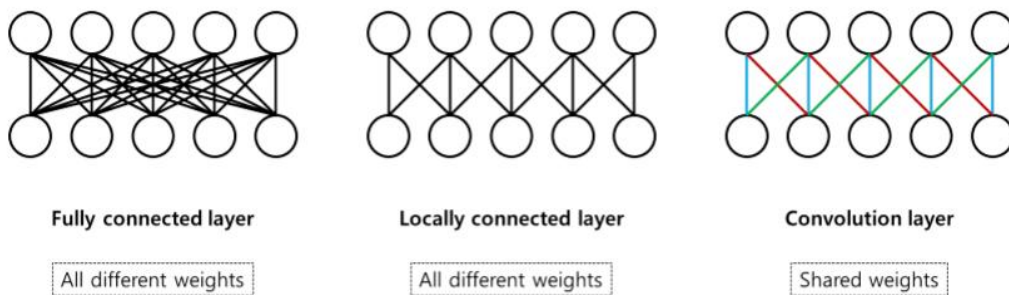


그림 77 완전연결층, 지역연결층, 컨볼루션층의 비교

■ RNN (Recurrent Neural Network)

순환 인공 신경망 (RNN)은 인공 신경망의 한 종류로, 유닛간의 연결이 순환적 구조를 갖는 특징을 갖고 있다. 이러한 구조는 시변적 동적 특징을 모델링 할 수 있도록 신경망 내부에 상태를 저장할 수 있게 해준다. 전방 전달 신경망과 달리, 순환 인공 신경망은 내부의 메모리를 이용해 시퀀스 형태의 입력을 처리할 수 있다. 따라서 순환 인공 신경망은 필기체 인식이나 음성 인식과 같이 시변적 특징을 가지는 데이터를 처리할 수 있다.

정적인 NN(Neural Network)와 대비해서 RNN(Recurrent Neural Network)의 기본 개념을 이해하기 위해서는 가장 기본적인 RNN의 개념을 이해할 필요가 있다. Simple RNN의 구조를 아래 그림과 같이 표현할 수 있다.

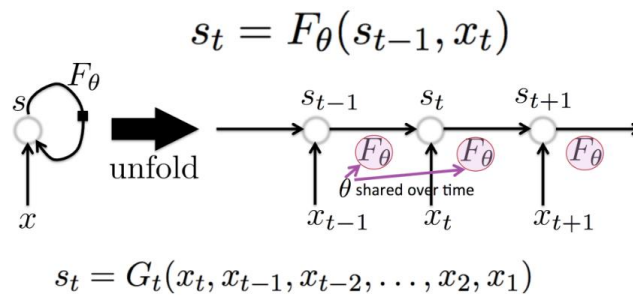


그림 78 Simple RNN의 구조

기본 단위를 살펴보면, RNN에서의 $s(t)$ 는 현재 입력(current input) $x(t)$ 와 이전 State(previous state)인 $s(t-1)$ 가 변수인 함수로 표현된다. 현재 입력이 State의 독립 변수라는 것은 정적 NN과 다르지 않지만, 이전 state가 독립 변수라는 점이 RNN을 설명하는 가장 큰 특징이다. 이전 state가 다시 $s(t-2)$ 의 함수이고, 이 $s(t-2)$ 는 또한 $x(t-2)$ 를 입력값으로 가지므로, 결국 $s(t)$ 는 꼬리를 무는 연결 관계에 의해 이전의 모든 입력(x)들의 함수라는 것을 알 수 있다. 이것을 다르게 해석하면, 현재의 state 값은 이전의 모든 입력값에 영향을 받아 결정된다는 점이고, 이점은 dynamic system과 유사한 특징을 가지게 된다. Dynamic system에서는 일련의 입력이 시간의 변화에 따른 입력이지만, RNN에서는 시간의 개념을 가질 필요 없이 연관성을 가지는 모든 순차적 입력이 이용될 수 있다.

기본적 구조는 동일하되, 출력(Output)을 가지는 RNN(Vanilla RNN이라고 불리운다)은 아래 그림과 같다. 각 state에서 output을 출력하는 구조이나 반드시 모든 state에서 output을 출력할 필요는 없다.

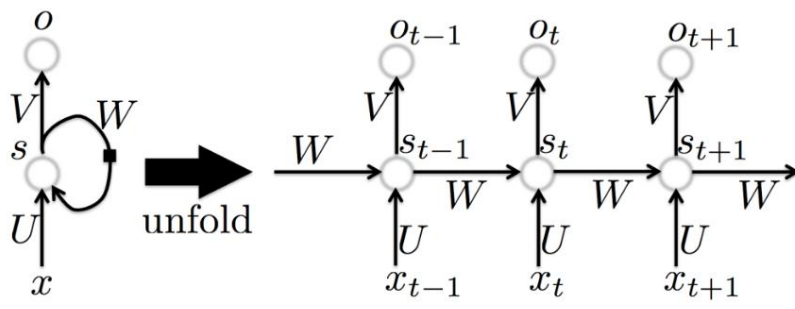


그림 79 RNN의 기본 구조

제3절 해무예측 서비스 구축을 위한 국내의 기술현황 조사 및 로드맵 마련

1. 배경 및 필요성

가. 연구의 배경

세계기상기구(WMO: World Meteorological Organization)에서 안개는 수상에 의해 해수면 시정이 1 km 미만으로 나타나는 현상으로 정의하고 있다.

우리나라 기상청은 안개의 생성 기작에 따라, 지표의 냉각으로 형성되는 복사안개(radiation fog), 따뜻하고 습윤한 공기가 차가운 지표 또는 수면 위로 이동할 때 포화되어 발생하는 이류안개(advection fog), 습윤한 공기가 높은 지형을 따라 상승하여 응결하는 활승안개(upslope fog), 온난전선면 부근에서 약한 비가 내릴 때 발생하는 전선안개(frontal fog), 차가운 공기가 따뜻한 수면 위를 이동할 때 발생하는 김 안개(steam fog) 및 해안지역에서 복사안개와 이류안개의 특징이 복합적으로 나타나는 연안안개(coastal fog)로 구분하고 있다.

1989년부터 2008년까지 20년간 우리나라 지역별 안개 발생빈도를 연구한 결과(손희정 등, 2010), 계절적으로 봄과 여름에 높은 빈도를 나타내고 지역적으로 황해와 서해안에서 가장 높고 동해안, 남해, 남해안, 동해안 순으로 안개 발생빈도가 높은 것으로 보고되었다. (그림 80 참조)

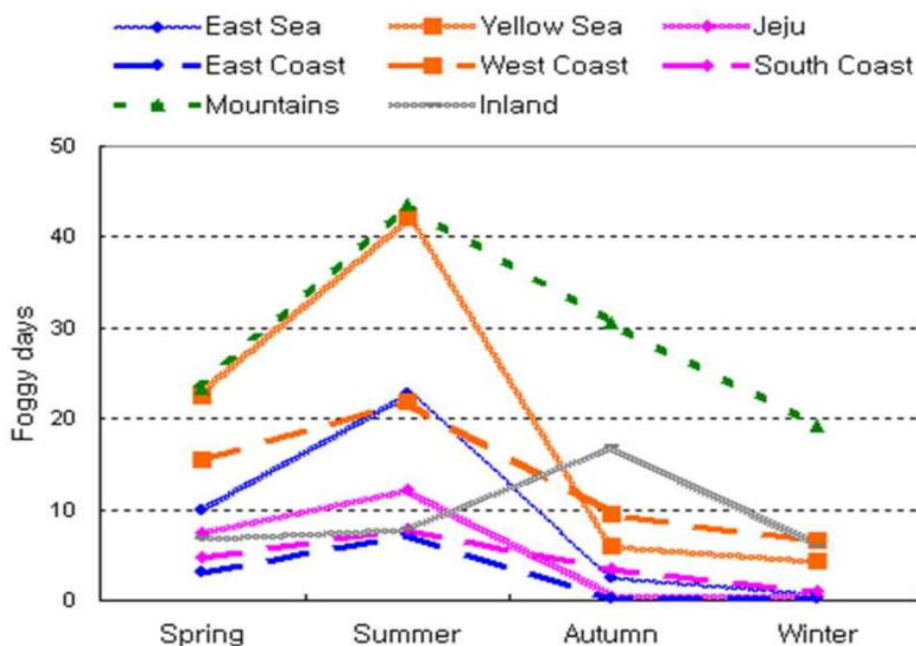


그림 80 지역별 20년간(1989-2008) 안개 발생일 비교(손희정 등, 2010)

우리나라 연안에서 안개는 증발, 냉각과정 등 복잡한 원인과 기작을 통해 다양한 형태로 나타난다. 2006년 10월 많은 인명피해가 발생한 서해대교에서 29중 추돌사고는 연안의 낮은 수온과 동풍계열의 육풍의 영향으로 기온이 크게 하강하여 생성된 복사안개로 인한 대표적인 피해사례이다. 서해상에서 남서기류가 강화되는 5 ~ 7월에 집중적으로 나타나는 해무는 차가운 해수면 위로 따뜻한 공기가 근접하여 포화될 때 발생하는 이류안개의 대표적인 현상으로 우리나라 주변에서 해수면 온도보다 기온이 높은 4 ~ 10월 사이에 발생한다. 또한, 복사안개와 이류안개의 특징을 동시에 보이는 연안안개는 야간에 서풍이 내륙에서 연안으로 부는 육풍(동풍)과 충돌하여 연안에서 무풍 또는 약한 서풍이 나타나고, 일몰 후 지면의 냉각과 바다로부터 들어오는 서풍에 의해 습해진 공기가 응결되어 발생한다(최효, 2001). 연안안개는 주변지형과 해안선 형태에 영향을 받기 때문에 해무와는 구별되며(Leipper, 1994), 2015년 2월 인천 영종대교에서 발생한 106중 추돌사고, 도로통제 및 항공기 결항의 원인으로 파악되었다(기상청, 2015). (그림 81, 82)

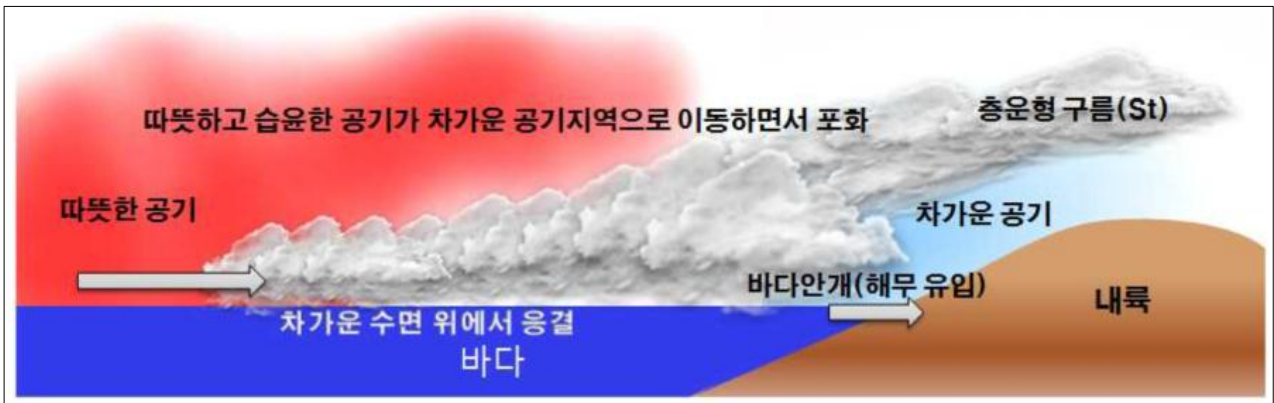


그림 81 해무발생 및 내륙 유입 모식도(기상청, 2015)



그림 82 연안안개 발생 모식도(기상청, 2015)

나. 해무 예측 정보의 필요성

우리나라 연근해에서 기상현상으로 인해 발생하는 선박 사고의 현황 및 해무 예측 정보의 필요성을 파악하기 위하여 기상청과 국립해양조사원에서 수행한 관련 문헌을 수집하여 검토하였다.

■ 연안 정기 여객선 입출항 장애 사례

기상청에서는 기상관련 사례를 중심으로 2011년부터 2016년까지 6년간 여객선 운항통제 현황 자료를 이용하여 지역별 출항통제의 원인을 분석한 바 있다(기상청, 2017).

과거 6년간 기상 특보 발효 횟수는 연평균 535건이며, 여객선의 전면 출항 통제 횟수는 연평균 402건, 부분 통제 횟수는 608건에 달하는 것으로 나타났다. 여객선 전면 출항 통제에 영향을 미친 해양기상 요소는 풍랑이 가장 크고 기상악화, 안개의 순으로 나타났다. 풍랑 특보에 의한 통제 횟수는 점차 줄어들으나, 안개에 의한 통제 횟수는 점진적으로 증가하고 있는 추세를 보였다. (그림 83 참조)

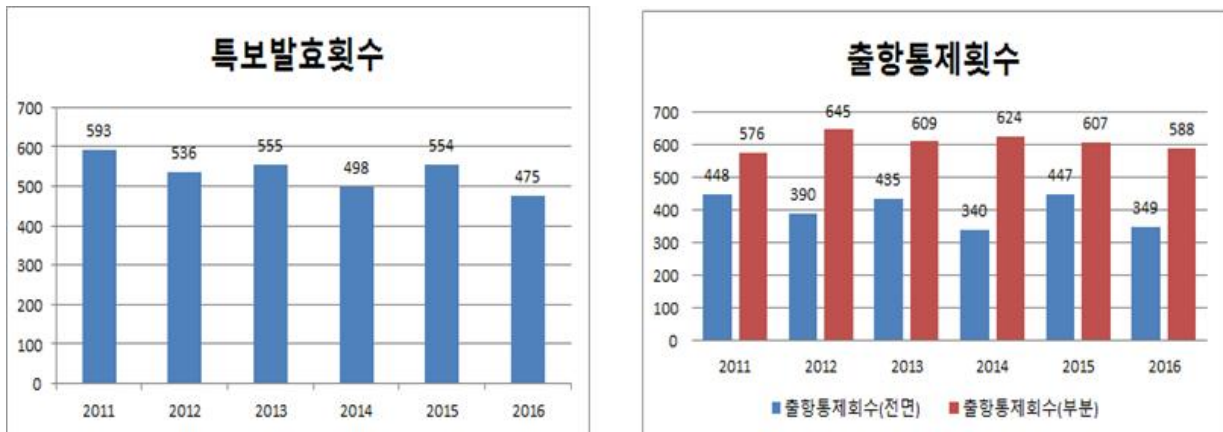


그림 83 기상특보 발효 및 출항통제 횟수(연안해운통계연보, 2011 ~ 2016)

최근 2년간 (2015 ~ 2016) 통제현황을 살펴보면 전면통제 일수는 감소하였으나 부분 통제 일수는 증가하였다. 이는 풍랑특보와 기상악화로 인한 전면통제 일수는 감소하고 부분통제 일수가 증가한 것에 기인한 것으로 보이나, 안개로 인한 전면통제 일수는 증가하고 부분통제 일수는 감소한 것으로 나타났다. (표 27 참조)

또한, 1998년부터 2016년까지 여객선의 사고 건수를 분석한 결과, 여객선의 해양사고는 2013년부터 급격히 증가하고, 하계(7, 8월)에 집중되어 발생하는 것으로 나타났다. (그림 84 참조)

표 27 기상특보에 따른 입출항 통제현황(연안해운통계연보, 2015 ~ 2016)

특보 구분	전면통제						부분통제						특보 발효 횟수
	태풍	풍랑	안개	기상 악화	기타	계	태풍	풍랑	안개	기상 악화	기타	계	
2015	0	82	6	30	0	118	0	38	18	75	6	137	136
2016	0	62	10	13	0	85	0	52	15	90	1	158	145
증감	-	▼20	▲4	▼17	-	▼33	-	▲14	▼3	▲15	▼5	▲21	▲9

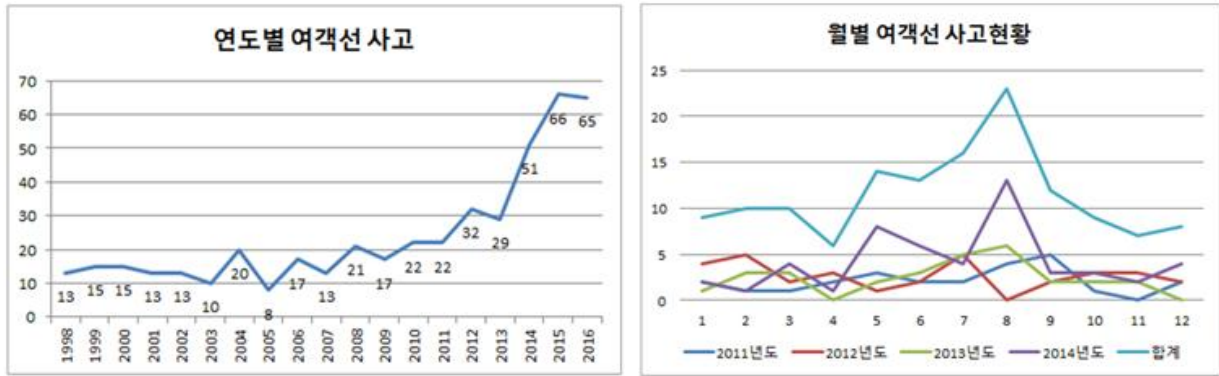


그림 84 연도별, 월별 여객선 사고 현황(연안해운통계연보, 2011 ~ 2016,)

해역별 해양사고 발생현황을 주요 개항 및 진입수로와 해역(동해/서해/남해)로 구분하여 조사하였다. 지난 6년간 남해(3,358건)에서 가장 많은 해양사고가 발생하였으며, 서해(2,920건), 동해(1,103건) 순으로 해양사고가 발생하였다. (그림 85 참조)

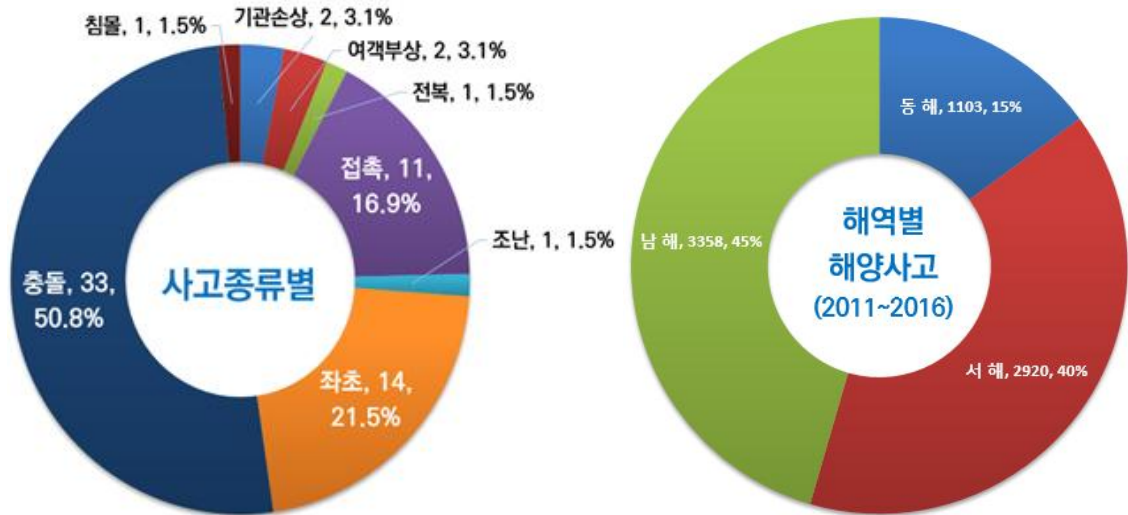


그림 85 해양사고 발생 통계(2011 ~ 2016)

중앙해양안전심판원과 각 지방해양안전심판원(부산, 인천, 동해, 목포)에서 제공하는 13,266건(재결요약서 12,535건)의 재결서 자료를 수집하여 총 65건의 “기상요인에 의한 여객선 사고 사례”를 추출하여 분석한 결과, 사고 발생 건수 중 가장 많은 원인이 된 기상요인은 안개로 인한 시정제한이 가장 큰 부분을 차지하고 있으며, 기타 요인으로 폭풍주의보·경보, 돌풍, 조류, 풍랑, 조석 등의 순으로 나타났다. (그림 86 참조)

원인	건수	비율(%)	원인	건수	비율(%)
너울	1	1.5	폭풍특보	8	12.3
돌풍	5	7.7	풍랑	3	4.6
폭우	1	1.5	풍랑특보	2	3.2
조류	4	6.2	해안파	1	1.5
조석	1	1.5	안개	38	58.5
태풍	1	1.5			
총 사고 건수 : 65건					

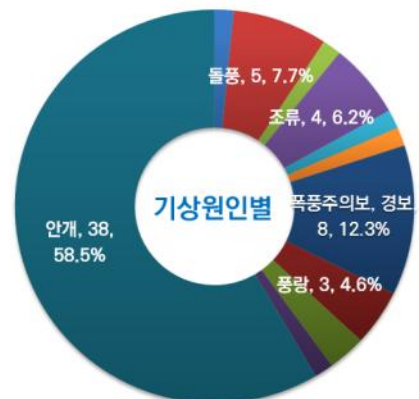


그림 86 기상원인별 사고 통계

해양기상 기인(안개, 폭풍주의보·경보, 조류, 풍랑, 돌풍, 너울, 폭우, 조석, 태풍, 풍랑주의보·경보, 해안파) 국내 연안여객선의 해양사고 발생건수를 해역별, 발생 원인별로 구분하여 검토한 결과 여객선 해양사고의 절반이상이 서해에서 안개로 인해 발생한 것으로 나타났다. 중부해역은 조류로 인한 사고가 상대적으로 많았으며, 남해는 폭풍, 동해는 폭풍, 풍랑 및 너울에 의한 사고가 상대적으로 많이 발생하였다. (그림 87 참조)

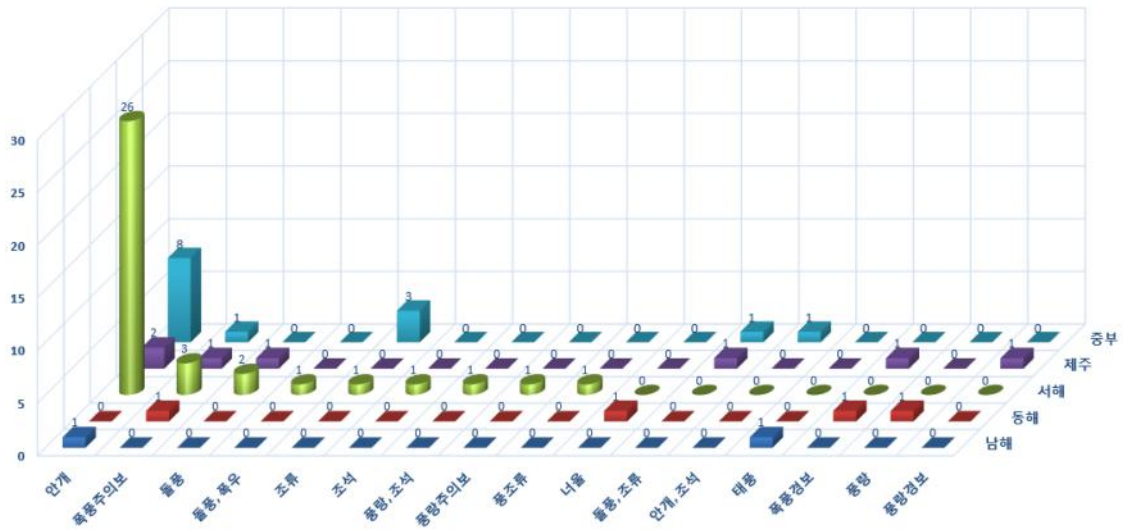


그림 87 기상원인별-해역별 사고 통계

■ 해무 관련 해양사고

국립해양조사원(2017)은 해무로 인한 선박사고의 현황 파악을 위해 중앙해양안전심판원에서 공개하는 재결서를 수집하여 분석한 바 있다. 각 사고 사례는 재결서에서 최초 사고 원인으로 해무와의 관련성 정도를 판단하여 분류한 결과, 2007 ~ 2016년 재결서의 전체 해양사고(1,540건) 중 해무에 의한 사고 횟수는 131건으로 8.5%의 비율을 기록하였다. 해역별 해무에 의한 사고 횟수는 황해 404건 중 38건으로 7.0%, 서남해역 521건 중 53건으로 10.2%, 남동해역은 457건 중 32건으로 7.0%, 동해는 158건 중 8건으로 5.1%로 나타났다. (그림 88 참조)

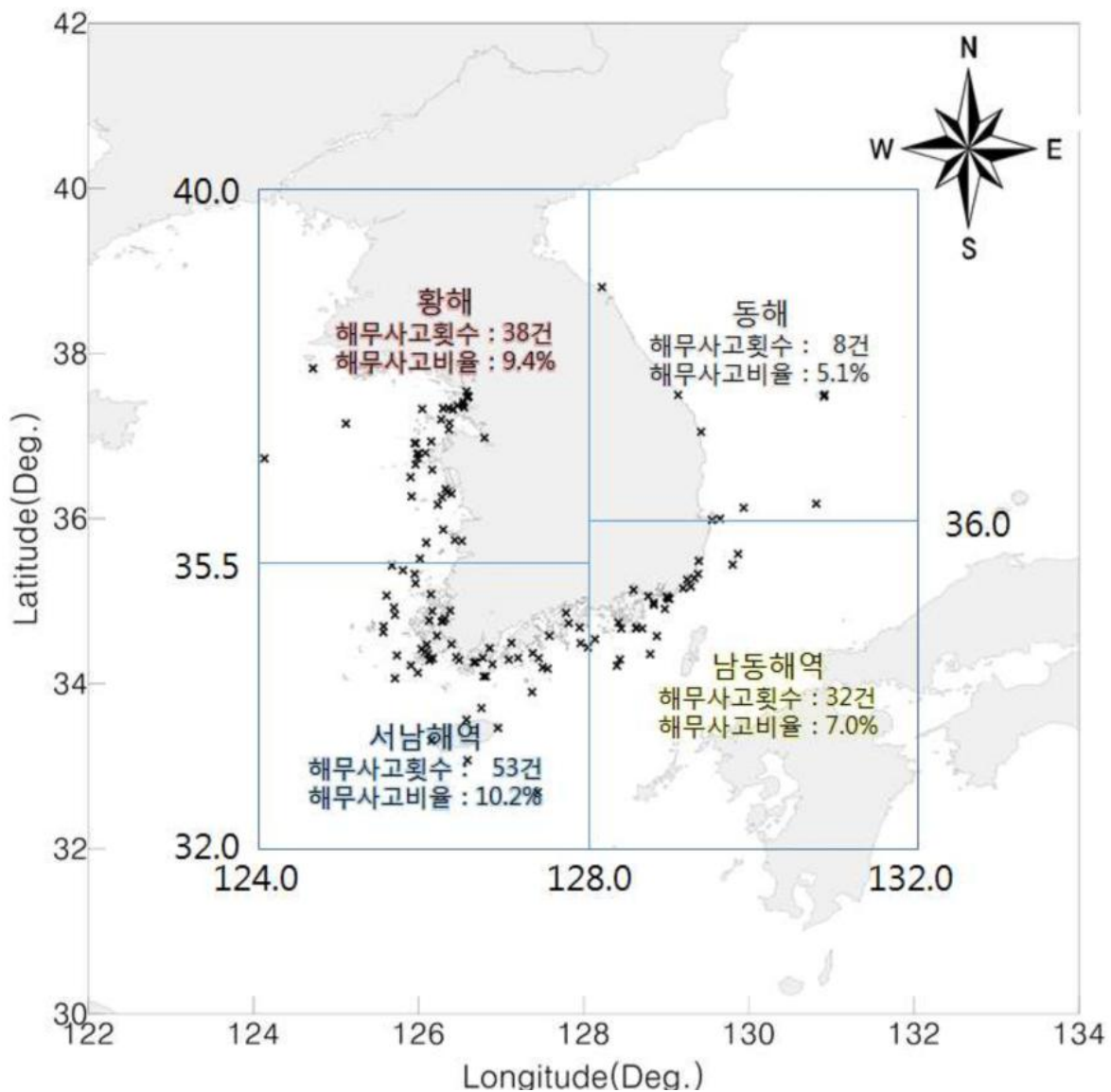


그림 88 해역별 해양사고 발생 통계(국립해양조사원, 2017)

전체사고 중 해무에 의한 사고비율의 월별 비교 결과 황해의 경우 2월부터 사고가 자주 발생하여 5 ~ 7월에 자주 발생하는 것으로 나타났으며 서남해역은 주로 6, 7월, 남동해역의 경우 5 ~ 8월, 동해의 경우 7, 8월에 사고 비율이 높은 것으로 나타나 황해에서 동해로 갈수록 해무에 의한 사고 발생시기가 늦어지는 경향을 보였다.

전체사고 중 해무에 의한 사고의 계절별 사고 비율 비교 결과 황해의 경우 춘계 16.7%, 서남해역의 경우 춘계 19.8%, 남동해역에서는 춘계에 17.0%, 동해에서는 하계에 17.5%로 가장 높은 사고비율을 기록하였다. 또한 타 지역에 비해 황해에서 동계의 해무 발생 비율이 약 4 ~ 5% 정도 높은 것으로 나타났다. 전체 해역을 고려하였을 때 사고 비율은 춘계 16.5%, 하계 14.5%, 추계 0.9%, 동계 3.4%로 나타나 주로 춘계, 하계에 해무가 발생한 것으로 보고하였다. (그림 89 참조)

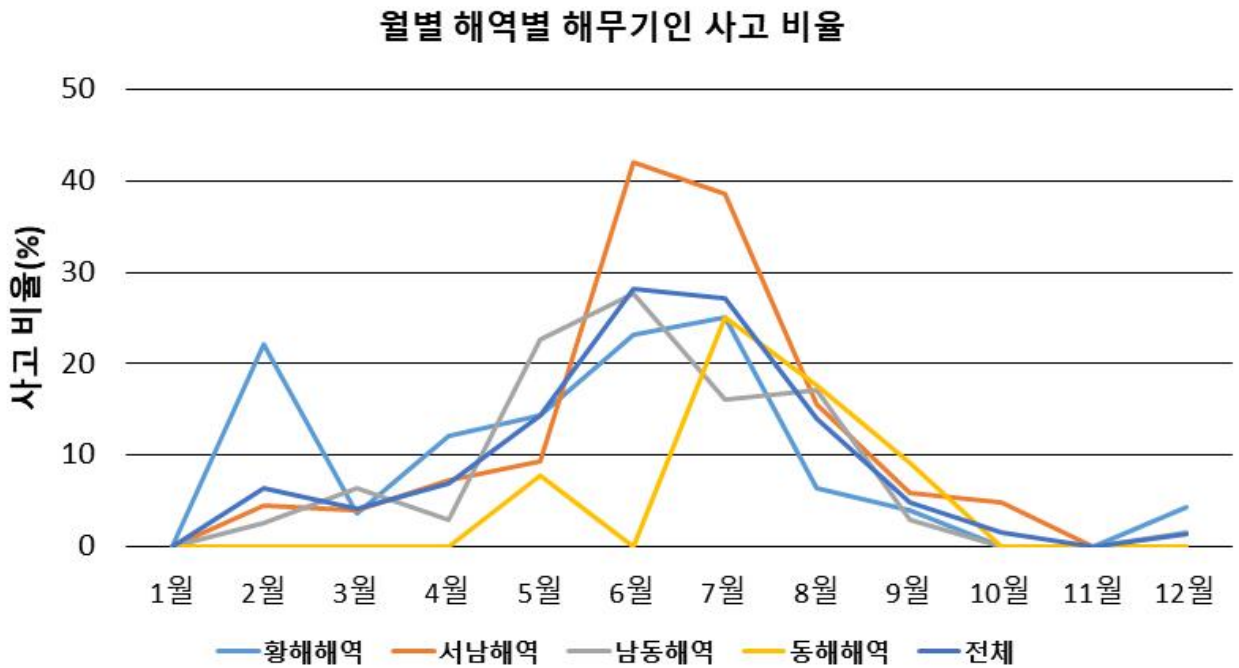


그림 89 월별 해양사고 발생 통계(국립해양조사원, 2017 자료 재구성)

■ 해무 예측 정보 관련 설문 조사

국립해양조사원(2016)은 2016년 5월 19일부터 6월 3일까지 국가기관, 대학교, 연구기관 등을 대상으로 해양 예보정보의 활용과 개선방안 마련을 위한 설문조사를 실시하였다. 해양예보 인지 필요 정도에 대한 설문에서 전체 설문 응답자 562명 중 1명을 제외한 561명이 ‘해양예보가 필요하다’고 응답하여 해양예보의 필요성을 매우 중요하게 인지하고 있음을 알 수 있다.

“업무수행에 있어 필요한 해양예보”에 대한 설문조사 결과에 의하면 “연안위험 요소”

가 30.2%를 기록하며 가장 높은 값을 기록하였고, “수온 예측”항목이 23.4%, “국지파랑 예측”이 23.1%, “해무 예측”은 20.1%로 나타나 수온, 파랑에 대한 연구의 보편성을 고려할 때, 해무 예측 정보 수요가 높음을 알 수 있다. “해무 예측” 정보는 산업체, 국가기관, 대학교, 연구기관 순으로 선호하는 것으로 나타났다.

또한, “시급히 서비스해야 할 해양 예보 정보”에 대한 설문조사 결과는 “항계/항만 안전정보 확대”항목이 21.3%로 가장 높았고, “3차원 해류정보”가 16.1 %, “해무”가 15.0 %로 나타났다. 해무의 각 기관별 누적백분율은 국가기관이 18.8 %, 대학교 12.1 %, 연구기관 9.0 %, 산업체 14.8 %, 기타 22.9 %를 기록하였다. 특히 국가기관에서는 “항계/항만 안전정보 확대”항목의 응답 비중이 20.8%로 높았으며, 그 다음으로 “해무”와 “국지파랑”이 높은 응답비중을 기록하였다. (그림 90 참조)

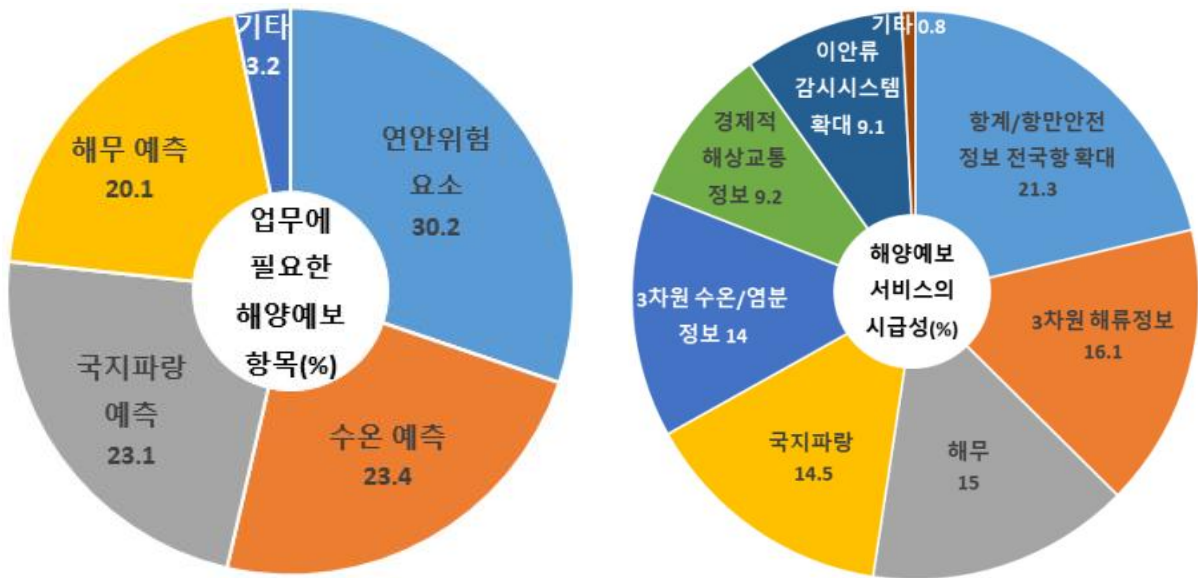


그림 90 해무 예측 관련 설문 조사 결과 (국립해양조사원, 2016)

위에서 살펴본 바와 같이, 우리나라 연근해에서 발생하는 해상 사고 중 많은 부분이 해상에서 발생하는 안개로 인해 발생하고 있으며, 발생 건수가 해마다 증가하고 있는 추세이다. 국민안전처 해양경비안전본부의 통계에 의하면 풍랑이나, 황천 기상조건 시 해양 조난사고 인명피해 추이는 2010년 18.9%에서 2011년 7.0%, 2014년 4.3%로 감소하는 반면, 저시정 시 해양조난 사고 인명피해는 2010년 2.6%, 2011년 6.0%, 2014년 8.0%로 증가하고 있다.

안개는 증발과정, 냉각과정 등 복잡한 원인과 다양한 기작에 의해 발생하는데 반하여 지점의 시정을 관측하는 시정계는 관측 분해능에 한계가 있고, 대기의 수적을 탐지하는 레이더는 지표 부근에서 형성되는 안개를 실시간 파악하는데 한계가 있으며, 가시영상을 사용하는 위성관측은 야간의 안개 발생과 낮은 층운형 구름을 구분하기 어려운 것이 현실이다. 또한, 안개는 시간과 공간적으로 매우 다양한 변화 특성을 나타내고 있어 종관규모에서 미시규모까지 매우 정확한 예측을 필요로 하므로 지역, 시간 및 강도를 수치적으로 예측하는데 어려움이 있다.

최근 국내에서 기상청, 국립해양조사원 등 관련 기관 및 학계에서 해무 관측 및 예측을 위한 다양한 시도가 이루어지고 있으나 수요자의 기대에 미치지 못하고 있다. 본 연구에서는 국내의 해무 예측 정보 서비스 현황과 관련 기술을 조사하여 우리나라 기상청의 해무 예측 정보 서비스 구축을 위한 관측망 구축 및 예측 기술 확보 방안을 검토하였다. (그림 91 참조)

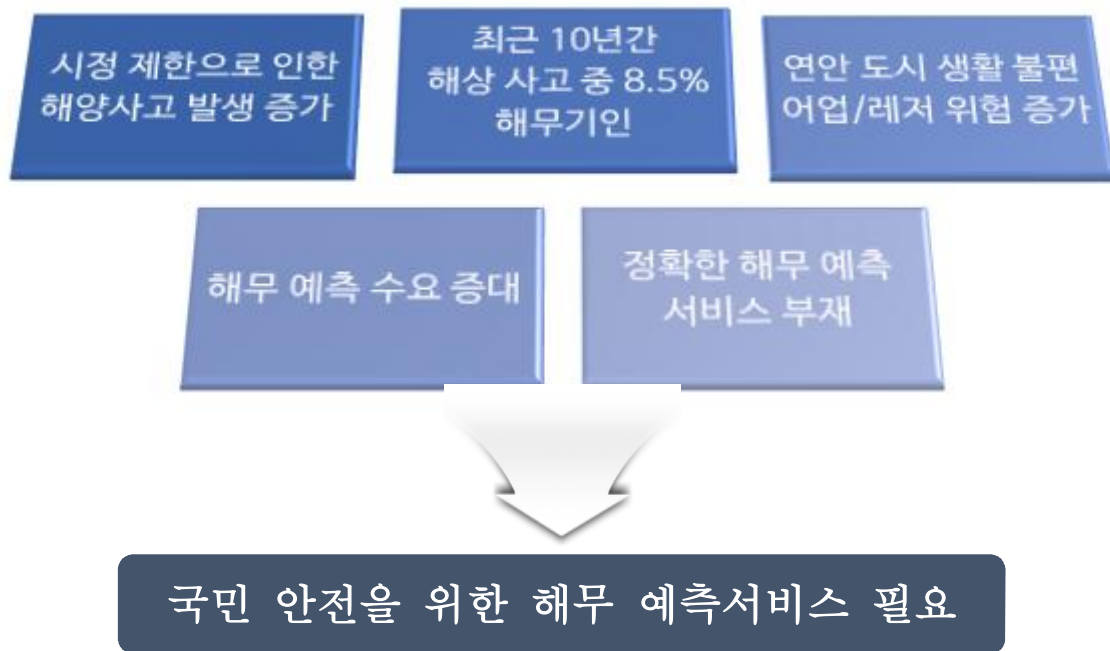


그림 91 해무 예측 정보 서비스 구축 필요성

2. 해무 관측 및 예측 기술 현황

가. 해무 관측 기술

해무 발생 시 해무의 발생과 소멸을 관측할 수 있는 방법으로는 전통적으로 지형/물체 식별 여부를 사람이 판단하는 목측이 일반적으로 사용되었으나, 기술의 발달로 인하여 최근에는 빛의 산란 및 전파 특성을 이용한 측정 방법이 보편화되어 있다.

■ 목측

안개, 연무, 박무는 전통적으로 인간의 눈에 의해 감지되었으며, 최근까지도 육상 및 해상의 선박에서 대기의 가시성을 관측하는데 이용되고 있다. 목측으로 관측되는 값은 기상학적 광학거리(Meteorological Optical Range, MOR)로 표현되는 물체까지의 수평 거리를 말한다. 관측값을 정량화하기 위하여 육상에서는 주변의 다양한 물체의 거리를 측정하고 볼 수 있는 가장 먼 물체와 가장 가까운 물체 사이의 거리를 일정한 관측 기준(WMO, 2008)을 적용하여 주관적으로 추정한다. 해상에서 목측에 의한 안개 관측은 선박의 구조물을 이용한 경우를 제외하고 주변에 목표물이 없는 경우가 많아 육상 관측보다 관측자의 주관에 더욱 크게 의지한다. (그림 92 참조)

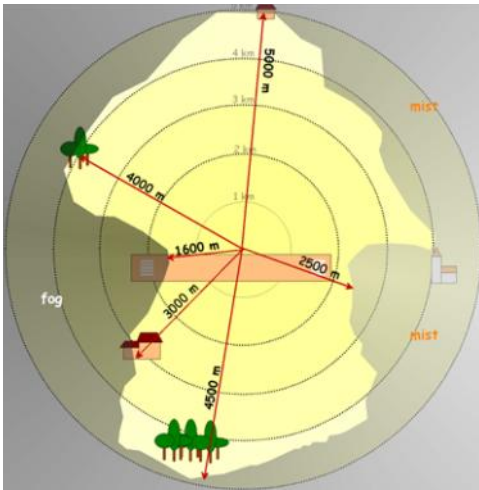


그림 92 목측에 의한 안개 관측

■ 시정계

시정(visibility)은 기상학적 광학거리로 표현되는 대기의 투과 정도를 정량화하여 나타낸 값이다. 측정 방법에 따라 산란방식, 광학방식, 영상방식, 전자파/레이더 방식으로 구분할 수 있다. 산란방식은 전방 산란 적외선 송수신기로 구성되며 빗물, 먼지 등의 오염 물질에 의한 관측 영향이 적은 구조로 설계되어진다. 광학방식은 송신기에서 보낸 빛을

1km 이상의 거리에 설치된 수신기에서 받아들여 시정을 산출하는 원격 방식과 아주 짧은 거리에 송신기와 수신기를 기울어지게 설치하여 송신기에서 조사된 빛이 대기 중에 산란되어 수신기에서 획득된 신호로부터 시정을 산출하는 방법이다. 영상방식은 영상이나 이미지 분석을 통해 시정을 산출하는 방법이며 전자파/레이더 방식은 저출력 레이저 펄스를 전송하여 대기의 역산란을 측정하여 시정을 산출하는 방법이다. 시정계는 자동관측이 가능하여 기상관측소에서 시정 관측 장비로 보편적으로 사용하고 있다. 또한 최근에는 해양 플랫폼/부이에 설치하여 연안의 해무 관측에 이용되고 있다. (그림 93 참조)



산란방식 시정계



광학방식 시정계



영상방식 시정계

그림 93 시정계의 종류

■ 현천계

현천은 현재의 기상 상태를 나타내는 것으로 대기의 혼탁도와 강수 상황을 알 수 있는 대표적인 지표로서 현천계(Present Weather Sensor)는 대부분 시정 센서를 포함하고 있으며 최근 상당한 기술적 진보가 이루어졌다. 일반적으로 현천계는 현재의 기상 상태를 WMO 및 미국 NWS 표준 코드로 나타내는 알고리즘을 갖춘 다중 센서로 구성되어 있으며 자동화가 용이하여 지상 및 해상의 기상 관측에 적합하다. 현재 일부 장비의 경우 안개, 연무, 박무, 청천을 구분하고, 7종의 강수타입(rain, freezing rain, drizzle, freezing drizzle, snow, ice pellet)을 식별할 수 있다. (그림 94 참조)



그림 94 현천계 예시

■ 일사계

하향 복사(태양 및 적외선)는 대기의 열교환과 안개의 발생 기작에 영향을 미치고 안개 발생시 지표면에 도달하는 일사량은 감소하므로 안개 특성을 나타내는 간접적인 지표로 사용되며, 일반적으로 일사계(pyranometer)에서 측정된 복사량을 이용한다. 하지만 고층 구름, 강수 현상도 동일한 결과를 나타내고 지표면의 적외선 복사는 매우 복잡하게 나타나 정확한 안개 측정에는 제한적이다. (그림 95 참조)

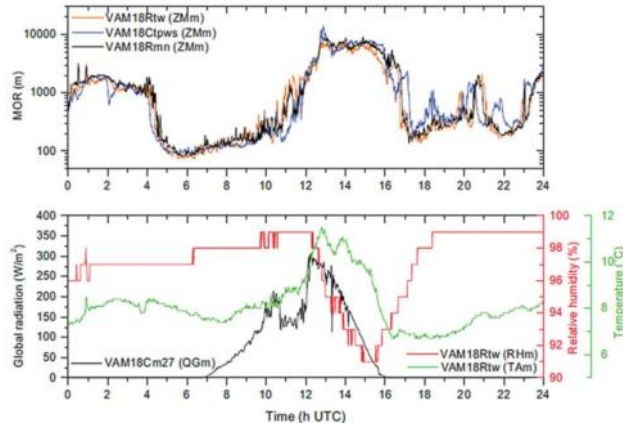


그림 95 일사계와 안개 간접 지표 활용(de Haij, 2010)

■ 비디오 카메라

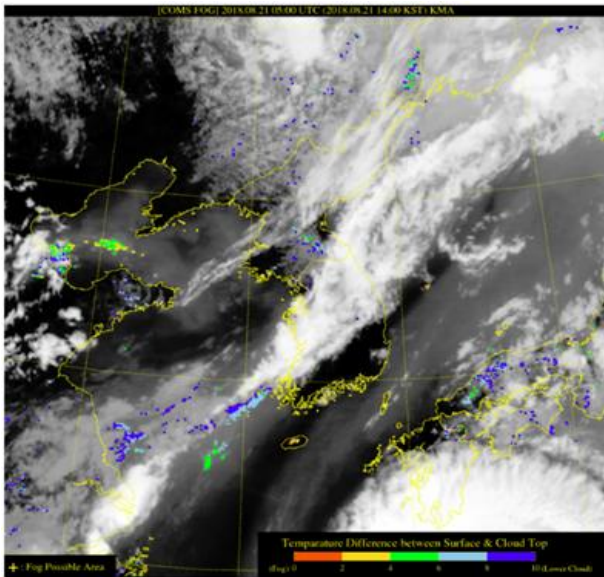
비디오 카메라는 안개와 날씨를 모니터링 하는 데 매우 유용하게 이용된다. 실시간 혹은 저장된 이미지는 기상 상황을 요약하거나 측정에서 누락되거나 이상치를 식별하는데 사용될 수 있다. 설치가 간편하고 원격으로 작동하거나 위성을 이용하여 인터넷에 연결할 수 있다. 전 세계적으로 인터넷에 연결된 실시간 비디오 카메라를 이용하여 기상 모니터링뿐만 아니라 해상 부이 관리에 이용되고 있다. (그림 95 참조)



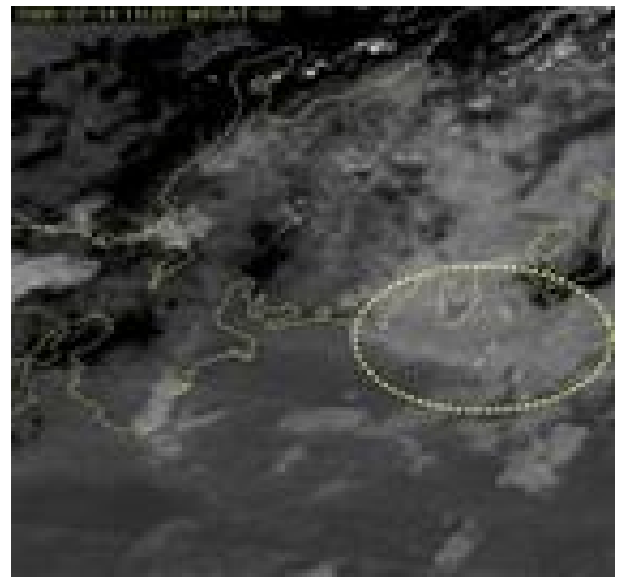
그림 96 기상청 연안 CCTV 해무 관측 사례

■ 위성

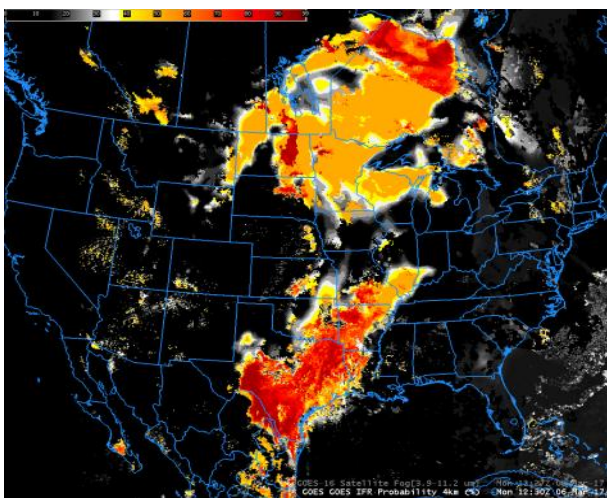
위성을 이용한 안개 탐지는 관측 장비가 없는 해상 안개역의 탐지 및 이동 감시에 유용하다. 현재 우리나라에서는 천리안 위성, 국외에서는 Terra/Aqua, GOES, Himawari 등의 위성을 이용하여 안개를 탐지하고 있다. 천리안위성의 안개 관측 주기는 매 15분 또는 30분 간격이며 주간, 일출/일몰, 야간으로 구분하여 주간에는 가시 채널 반사도를 이용하고 그 외 시간에는 단파 적외 채널과 적외 1 채널 사이의 휘도 온도 차이를 이용한다. 안개역 판단은 지표면 온도와 운정온도의 차이가 0 ~ 10 ℃ 경우 안개로 탐지하고 지표면과 운정의 온도차에 따라 5 단계로 나누어 안개 탐지 영상을 표출한다. (그림 97 참조)



천리안 위성



Himawari 위성



GOES 위성



Terra/Aqua 위성

그림 97 위성을 이용한 안개 탐지 예시

■ 기타

운고계(Ceilometer)는 대기 경계층의 다른 측면을 감지할 수 있으나 대부분 구름의 높이를 측정하는데 사용되며, 라디오존데(Radiosonde)는 대기의 온도, 기압, 습도, 오존 농도, 일사량 등을 측정한다. (그림 98, 99 참조)

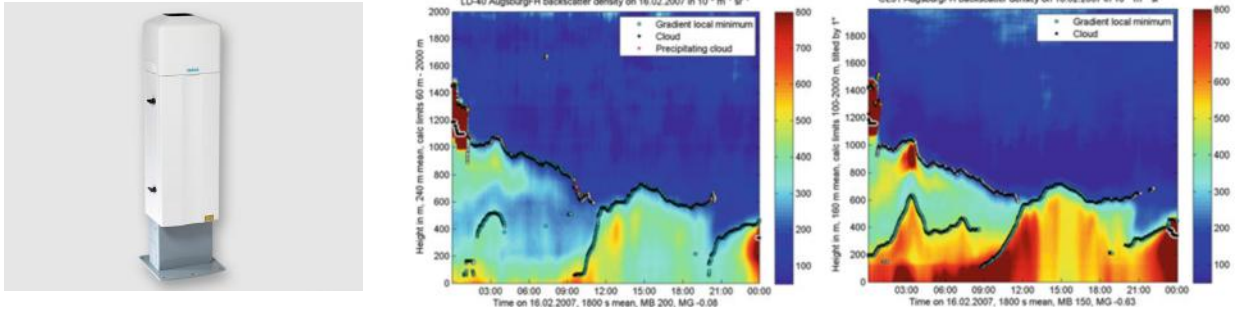


그림 98 운고계와 관측 결과 예시(Schäfer et al, et al. 2007)

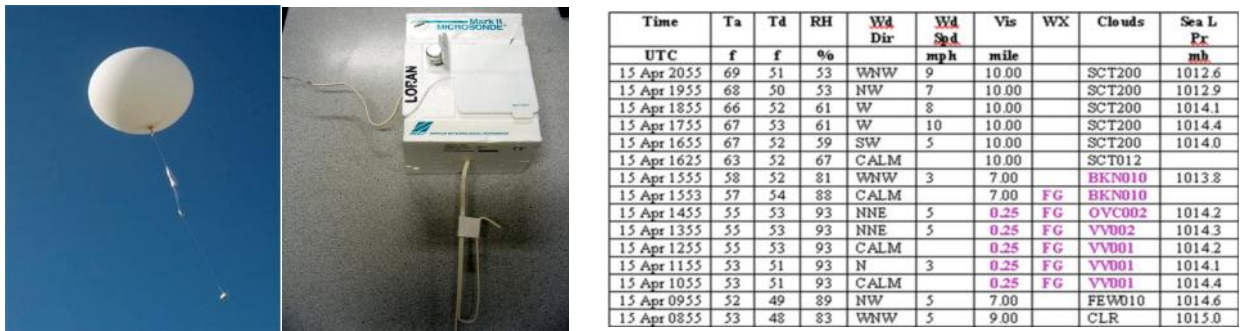


그림 99 라디오존데와 관측 결과 예시

안개를 관측하는데 레이더 기반의 관측 시스템은 육상과 해상에서 매우 중요하게 적용되고 있다. 마이크로파 레이더(Microwave Radar)는 대기 온도, 상대 습도 및 수입자의 수직 분포를 약 10 km까지 관측할 수 있는 비스캐닝 장비로 안개와 밀접한 관계가 있는 중규모 및 중관규모 대기 경계층의 변화를 관측하기 위하여 사용된다. (그림 100 참조)

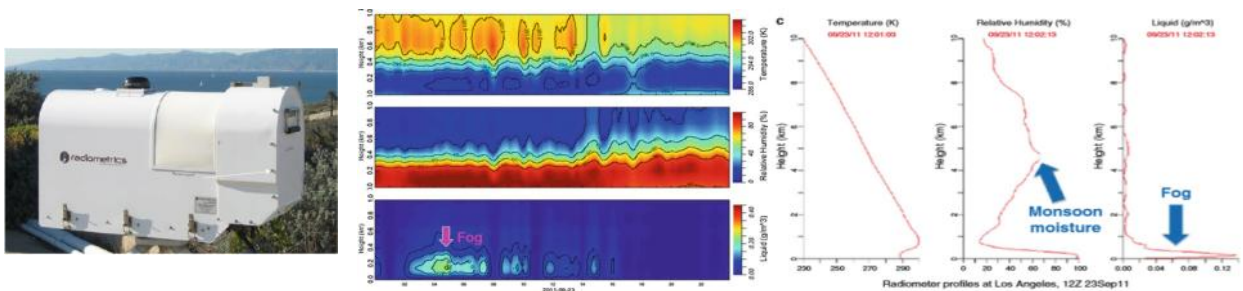


그림 100 라디오미터와 안개 탐지 결과 예시

다른 주요 유형의 레이더는 짧은 시간 내에 3 차원 볼륨을 지속적으로 조사 할 수 있는 스캐닝 장비이다. 육상과 해상에서 다양한 연구가 이루어졌으며((Kollias et al, et al. 2007), 작은 물방울에 반응하는 밀리미터 파장대까지 관측할 수 있도록 레이더 능력을 확장하여 안개 연구에 적용한 바 있다. (그림 101 참조)

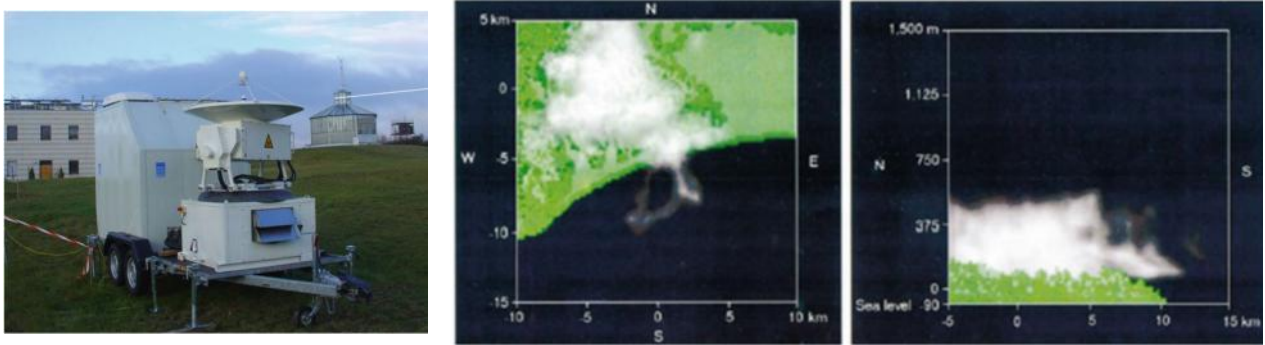


그림 101 스캐닝 레이더와 안개 탐지 결과 예시(Hamazaki et al, et al. 2003)

대기를 조사하기 위해 펄스 레이저를 사용하는 LIDAR(Light Detection and Ranging)는 실질적인 안개 감지를 위한 운용 장비는 아니지만 제한된 상황에서 안개를 감지하는데 활용할 수 있다. LIDAR는 육지와 바다의 고 해상도 풍속, 풍향 와류 측면도 제공을 위해 지난 몇 십 년 동안 사용되어왔으며 LIDAR는 안개가 있을 때 보다 안개가 없는 조건에서 낮은 대기의 해양 경계 층 성분을 조사하는 데 보다 효과적이며 일부 안개 탐지에 사용된 바 있다. (그림 102 참조)

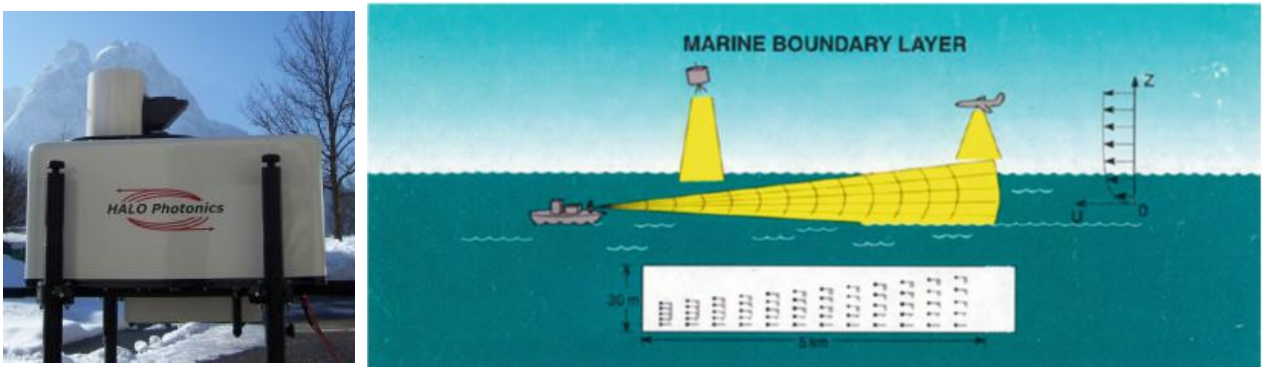


그림 102 라이다와 관측 탐지 모식도

나. 해무 예측 기술

안개 예측 방법은 규칙 기반 기법(Rule Based Technique: Burrows and Toth, 2011; Toth et al, et al. 2011; Zhou and Du, 2010), 통계 방법(Statistical Method: Claxton, 2008; Miao et al, et al. 2012), 수치 예측 모델(Numerical Forecast Model: Bott et al 1990, Bott & Trautmann, 2002, Clark et al, et al. 2008, Gultepe & Milbrandt, 2010, Muller, Masbou & Bott, 2010, Muller, Schmutz, Parlow, 2007, Shi et al, et al. 2012), 통합된 실황 예보(Integrated Nowcasting Method: Golding, 1993, 1998; Haiden, Kann, and Pistotnik, 2014; Wright and Thomas, 1998)로 구분할 수 있다.

최근 십 수 년간 안개 모델링과 예보 정확도의 향상을 위해 기상학적 지표에 근거한 방법부터 다양한 규모의 고해상도 수치 모델링을 통한 방법 등을 이용한 지속적이고 다양한 시도가 있었으며, 1차원, 2차원 모델의 개발부터 시작하여 고해상도 3차원 모델의 개발 및 차원 간 결합(3차원과 1차원 결합)을 통해 안개 예측 모델링이 발전되어왔다. 초기 안개 예측 연구는 안개의 변동, 수직 구조, 대기의 안정성 등을 중점적으로 고려되었으며, 이후 장파 냉각 및 안개의 유지와 분산에 관여하는 과거 안개 변화, 미시적 물리 관측 및 모델링, 해수표층수온 및 해풍 순환이 미치는 영향 등에 초점을 맞추어 집중적인 연구가 진행되어왔다.

최근 안개 예보에 적용되는 두 가지 접근은 통계적 또는 물리적 방법으로 나눌 수 있다. 통계적 방법은 회귀, 상관관계, 분석, 결정 트리 등 다양한 통계적 분석에 기본을 두며 안개 예측인자(predictor)와 예측변수(predictand)의 비선형적 관계를 성공적으로 분석할 수 있는 인공 신경망, 퍼지 로직 등을 포함하고 있다. 통계적 방법은 관심 지역의 안개 입력장 변수 정보와 충분한 안개 관측값이 존재할 경우 적용가능하며 매우 유용하게 활용될 수 있다. 통계적 방법은 계산상 효율성으로 인하여 수치모델을 이용한 예보와 별개로 독립적인 도구로써 사용될 수 있으며, 수치 예보 모델과 결합하여 운영할 수 있다. 그러나 통계적 방법은 실제 3차원 기상 구조와 안개의 발달 과정을 고려하지 못한다는 단점이 있다.

안개 예보에서 역학적 모델은 기본적인 물리 보존 방정식과 안개와 관련 있는 과정에 대한 모수화를 적용하여 사용한다. 초기 모델은 높은 해상도의 1차, 2차원 모델을 사용하였으나 1차, 2차원 모델은 안개 발생 조건을 만드는 대기 과정의 진화와 구조를 정확하게 모의할 수 없어 3차원 모델이 개발되었다. 그러나 초기 3차원 모델은 복잡한 과정에 따른 계산량 증가로 수직/수평 해상도가 낮으며 물리적인 특성을 단순화 시킨 모수화를 이용함에 따라 매우 조밀한 시공간적 특성을 보이는 안개 발생을 정확하게 재현하지 못하는 단점이 있다. 최근 계산 자원의 성능향상에 따라 시공간적인 해상도를 높이고 각

모델의 장점을 포함한 1차원, 3차원 통합 모델을 사용함으로써 예보의 정확도를 향상시키는 연구가 진행되고 있다.

단일한 안개 예측 결과를 생성하는 결정론적 접근 이외에도 앙상블을 활용한 확률론적 방법도 최근 활발히 연구되고 있는 방법 중 하나이다. 특히 확률론적 예보는 초기/경계 조건, 물리적 모수화, 모델 구조 및 초기조건에 의한 불확실성을 나타낼 수 있어 최근 확률론적 예보를 통한 안개 예측 시도가 증가하고 있다.

해무의 정확한 예보를 위하여 현재 해양/대기의 경계층에 대한 다양한 관측을 통해 해양-대기층에 대한 이해를 높이고, 대기-해양 결합 모델의 개선/개발, 해양-대기 경계층에서 나타나는 난류를 정확히 모사하기 위한 난류 모델(DNS: Direct Numerical Simulation; LES: Large-eddy simulation)의 개선/개발 및 관측자료(현장, 위성)를 이용한 자료동화 기법 적용 등을 적용하여 예보의 정확도를 크게 향상할 수 있다는 것이 밝혀졌다. (표 28 참조)

연대	주요 연구 내용
2000년 이전 ¹	<ul style="list-style-type: none"> • 라그랑지 방법 적용, 안개의 형성 및 변화를 고려해야 함을 주장 • 안개의 변동, 수직 구조, 이동한 대기의 안정성 조사 • Great Banks의 해무를 모의하기 위해 2차원 모델 사용 • 안개 예측의 성공은 습도의 초기 조건, 구름 수증기 측면도, 연안 육지와 구름 윗부분의 장파 냉각, 수직 해상도, inversion strength 등에 의해 결정
2000 ~ 2005 ²	<ul style="list-style-type: none"> • 안개를 라그랑지 관점에서 연구해야 함을 강조 • 안개 형성시 발생하는 장파 냉각 및 안개의 유지와 분산에 관여하는 기작 연구 • 예측 모델에 수평 바람 성분, 수증기의 온위, 와류 운동 에너지, 장/단파 복사의 모수화 적용 • 1차원 모델을 3차원 모델로 확장
2005 ~ 2010 ³	<ul style="list-style-type: none"> • 안개 예측에 있어 안개 형성·유지·분산 메커니즘, 대기-해양 상호작용 연구에 대한 이해의 필요성 제시 • 미시적 물리관측과 모델링에 초점 • COAMPS (coupled/uncoupled) 모델 (Hodur, 1997; Hodur et al, et al. 2002) 과 지역 해양 모델 시스템 (ROMS; Shchepetkin & McWilliams, 2004) 을 사용
2010 이후 ⁴	<ul style="list-style-type: none"> • 안개의 분산과 층운으로 발달하는 원인 조사 • 해수표층수온 및 해풍 순환이 미치는 영향 집중 • 1차원·3차원 통합 모델이 3차원 모델만을 사용하는 것보다 정확도가 높음 • U.K. Met. Office의 고해상도 날씨 예보 모델(one-way coupled system)사용, 1차원 모델을 3차원 WRF 모델과 결합(coupled) • ECMWF ERA-Interim reanalysis (Dee et al, et al. 2011), 위성 자료를 입력한 3차원 non-hydrostatic 모델 적용 필요
<ol style="list-style-type: none"> 1. Taylor(1917), Barker(1977), Ballard et al.(1991) 2. Koracin et al.(2001), Teixeira and Miranda(2001), Korac'in, Businger, et al. (2005), Thompson et al.(2005) 3. Gultepe and Milbrandt(2007), Rasmussen(2007), Heo and Ha(2010) 4. Kim and Yum(2010,2012), Huang, Liu, et al.(2011), Tang(2012), Li et al.(2012), Bartok et al.(2012), Van Schalkwyk and Dyson(2013), Bari et al.(2015) 	

표 28 해무 예측 기술의 발달 과정

■ 국내 해무 예측 기술 현황

기상청에서는 현재 안개 특보 및 정보를 생산하기 위해 UM(Unified Model), UM지역 안개가이던스, 지역특화 안개가이던스, 구름물리변수기반 안개가이던스, 연무가이던스를 이용한다.

✓ UM지역 안개가이던스

UM 모델 기반의 지역예보모델(RDAPS : Regional Data Assimilation and Prediction System)과 국지예보모델(LDAPS : Local Data Assimilation and Prediction System)을 이용하여 안개와 관련된 습도예상도, 시정예상도, Fog fraction 예상도를 제공한다. 통합 모델의 시정 산출 과정은 아래의 식과 같으며 분자는 빛의 소산 계수로 모델이 예측한 상대습도와 에어로졸 농도로부터 추정된 응결물입자의 농도를 이용하여 지상에서 1.5m 고도의 시정을 산출한다.

$$vis = - \frac{\ln(0.02)}{\beta_{air} + \beta_{(RH,m)}}$$

여기서, β 는 소산계수, air는 맑은 공기이다.

✓ 지역특화 안개가이던스

2010년부터 2012년까지 선진예보시스템 구축사업의 일환으로 개발된 지역특화 안개가이던스는 전국 116개 지점(공항을 포함한 기상청시정계, 해군 목측, 미공군 시정계 관측 지점)에 대한 복사무, 이류무를 예측한다. 고해상도(50m) 지표 피복 자료와 수온정보(환경부 물 환경정보시스템, UM 해수면 온도자료 활용)를 적용하고 지점별 시정계 관측자료를 넛징(nudging)하는 과정을 포함하고 있다. 해안가 지점은 3km × 3km 격자의 단일 컬럼 모드를 적용하고, 83개 육상 지점은 지표면의 특성이 반영될 수 있도록 1km × 1km 격자를 3 × 3으로 확대한 다중 컬럼 모드를 적용하여 cloud water, cloud ice, rain, snow 입자의 수농도로 인한 감쇄정도를 반영한 1.5 km 고도의 시정을 산출한다. 지역특화 안개가이던스의 시정산출식은 아래와 같다.

$$vis = - \frac{\ln(0.02)}{\beta_{cloudwater} + \beta_{cloudwater} + \beta_{cloudice} + \beta_{rain} + \beta_{snow}}$$

여기서, β 는 소광계수(extinction coefficient)이다.

✓ 구름물리변수 기반 안개가이던스

구름물리변수 기반의 안개가이던스는 NOAA/NCEP의 시정산출 알고리즘을 적용하여 지역예보모델과 국지예보모델의 최하층의 구름물리변수(cloud water, cloud ice, rain)를 이용하여 시정을 산출한다. 구름물리변수 기반의 안개가이던스에 의한 안개 예측 결과는

실제 안개 예측 장소와 안개 발생 지역의 차이가 존재하였으나 해무와 복사안개를 동시에 예측하여 연안안개의 예측 가능성을 보여준데 의의가 있는 것으로 평가되었다.

$$vis = - \frac{\ln(0.02)}{\beta_{cloudwater} + \beta_{cloudice} + \beta_{rain}}$$

여기서, β 는 소광계수이다.

✓ 연무가이던스

연무가이던스는 지역예보 모델자료와 시정계/습도 관측자료를 이용해 전국 113개 지점의 시정 구간별 발생확률을 통계적으로 산출하여 제공한다. 산출자료는 연무가이던스이나 1km 미만의 시정 예측확률은 안개예측에도 활용될 수 있다. 가이던스에 적용한 확률 예측방법론은 Random Forest 방법으로 현재 서리/우박 예보가이던스에 적용하고 있다. 연무가이던스의 예측구간은 4구간(1km 미만, 1 ~ 4km, 4 ~ 10km, 10km 이상)으로 나뉘며 습도 75%를 기준으로 발생확률을 제공한다. (표 29, 그림 103 참조)

구분		제공자료	수평 해상도	생산시기 (시)	예측기간
UM모델	지역예보 모델	<ul style="list-style-type: none"> 시정 Fog fraction 습도예상도 	12km	03, 09 15, 21	+87시간 (3시간간격)
	국지예보 모델	<ul style="list-style-type: none"> 시정 Fog fraction 습도예상도 	1.5km	03, 09 15, 21	+36시간 (1시간간격)
UM지역 안개가이던스		<ul style="list-style-type: none"> 시정 시계열 (습도, 역전층 포함, 55개 지점) 	12km	09, 21	+87시간 (3시간간격)
지역특화 안개가이던스	RFOG (지역예보 모델기반)	<ul style="list-style-type: none"> 시정 시계열 (습도, 역전층 등 포함) 	1km (육상 85개소)	09, 21	+48시간 (1시간간격)
	LFOG (국지예보 모델기반)	<ul style="list-style-type: none"> 시정-공간분포도 시정변화판단표 (116개 지점) 	3km (해안가 51개소)	03, 09 15, 21	+24시간 (1시간간격)
구름물리 변수기반 안개가이던스	지역예보 모델	<ul style="list-style-type: none"> 시정(강수역 중첩) 	12km	03, 09 15, 21	+73시간 (3시간간격)
	국지예보 모델		1.5km	03, 09 15, 21	+36시간 (1시간간격)
연무가이던스		<ul style="list-style-type: none"> 4개구간 시정발생확률 (113개 지점) 		09, 21	+48시간 (3시간간격)

표 29 기상청 안개 자료 생산 모델 및 제공 자료

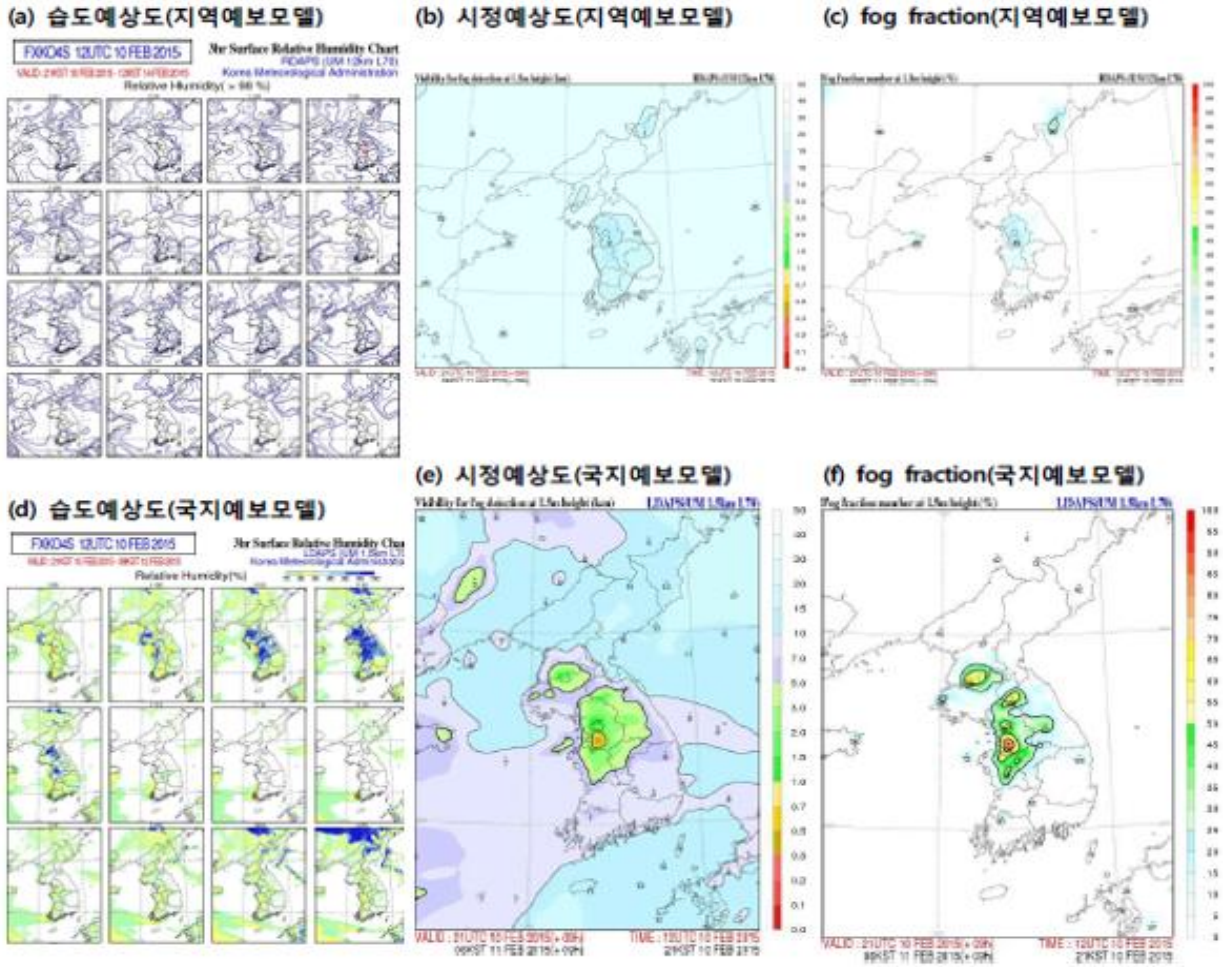


그림 103 지역예보모델과 국지예보모델의 안개관련 예측자료 예시

✓ 신경망기반 해무 예측 모델

국립해양조사원(2017)에서는 해무 예측을 위하여 딥러닝(Deep learning) 기반의 DNN(Deep Neural Network) 기법과 RNN(Recurrent Neural Network) 기법을 적용한 해무 예측 모델을 개발하여 시험 적용 및 최적화를 진행 중에 있다.

신경망 기반 해무 예측 모델은 해무와 비해무, 짙은 해무와 보통 해무일 때의 모델로 구성된다. 해무/비해무 모델에서 해무와 비해무의 기준은 시정이 1 km 이하일 경우를 해무로, 그 이상일 경우를 비해무로 하고, 짙은 해무/보통 해무 모델에서 짙은 해무와 보통 해무의 기준은 각각 시정이 0 ~ 500 m를 짙은 해무로, 그리고 500 ~ 1000 m를 보통 해무로 설정한다.

인공신경망 모델 구축에 이용된 학습 자료는 인천항의 경우, 기온, 누적강우량, 풍향, 풍속, 해면기압, 습도, 일사량, 일조량, 조위, 수온, 해기차, 파고, 파향, 파주기, 미세먼지농도로 총 15개 자료를 사용하며, 부산항의 경우, 기온, 누적강우량, 풍향, 풍속, 해면기압,

습도, 일사량, 일조량, 조위, 수온, 해기차, 이슬점 온도, 미세먼지농도로 총 13개 자료를 이용한다.

인천항과 부산항을 대상으로 기상 및 해양 자료를 이용하여 인공신경망(DNN, RNN) 모델로 해무 예측한 결과 DNN 모델이 RNN 모델보다 예측 정확도가 높게 나타났다. 인천항의 예측 성능은 비해무 80%, 해무 60% (보통해무 70 ~ 80%, 짙은해무 20 ~ 40%), 부산항은 비해무 90%, 해무 30% 이하(보통해무 70 ~ 80%, 짙은해무 20 ~ 40%)이고, 현재 예측 성능 향상을 위한 연구를 진행 중에 있다. (그림 104 참조)

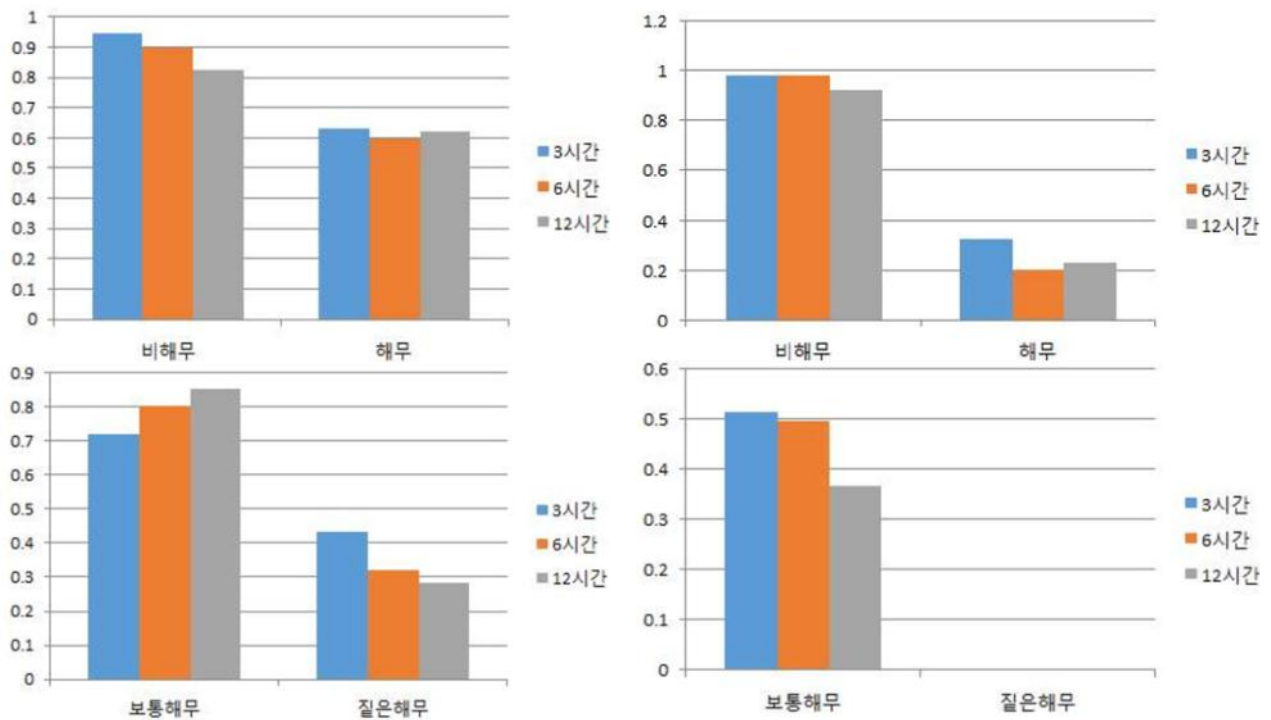


그림 104 인공신경망(DNN) 해무 예측 성능(좌: 인천항 우: 부산항; 국립해양조사원, 2017)

✓ 의사결정트리

국립해양조사원(2017)은 인공신경망뿐 아니라 의사결정기법(CART)을 이용한 해무 예측 기법을 검토한 바 있다. 의사결정트리는 의사결정규칙을 도표화하여 관심대상이 되는 집단을 몇 개의 소집단으로 분류하거나 예측하는 수행방법으로 연구자가 분석 과정을 쉽게 이해하고 설명할 수 있다는 장점이 있다.

의사결정트리를 이용한 해무 예측은 CART(Classification and Regression Tree) 분석 기법의 분류트리와 회귀트리 중 분류트리기법이 적용되었으며, 입력 자료는 인천항 해무 관측소의 해양기상 통계자료를 사용하였다. 2012 ~ 2016년도 자료는 학습에 사용하고, 2017년도 자료는 테스트에 사용하여 해무의 분류확률을 확인한 바 있다.

해무 발생 영향 인자를 총 7개 인자(해기차, 누적강우량, 풍속, 이슬점온도, 수온, 기온,

습도)로 구분하고 적용한 4 단계 분류트리모형은 실제 해무인 경우를 해무로 판단할 확률이 54.1 %로 나타났으며, 실제 비해무인 경우를 비해무로 판단할 확률은 97.4 %로 나타났다. 비해무인 경우 비해무 판단 확률은 매우 높으나 해무일 경우 해무로의 판단 확률이 54.1%, 비해무일 경우 해무로의 판단 확률이 45.9%로 거의 절반의 확률을 보여주어 보다 다양한 경우를 고려하여 분류나무를 형성하고 CART 분석을 수행할 필요가 있음을 제시한 바 있다. (그림 105 참조)

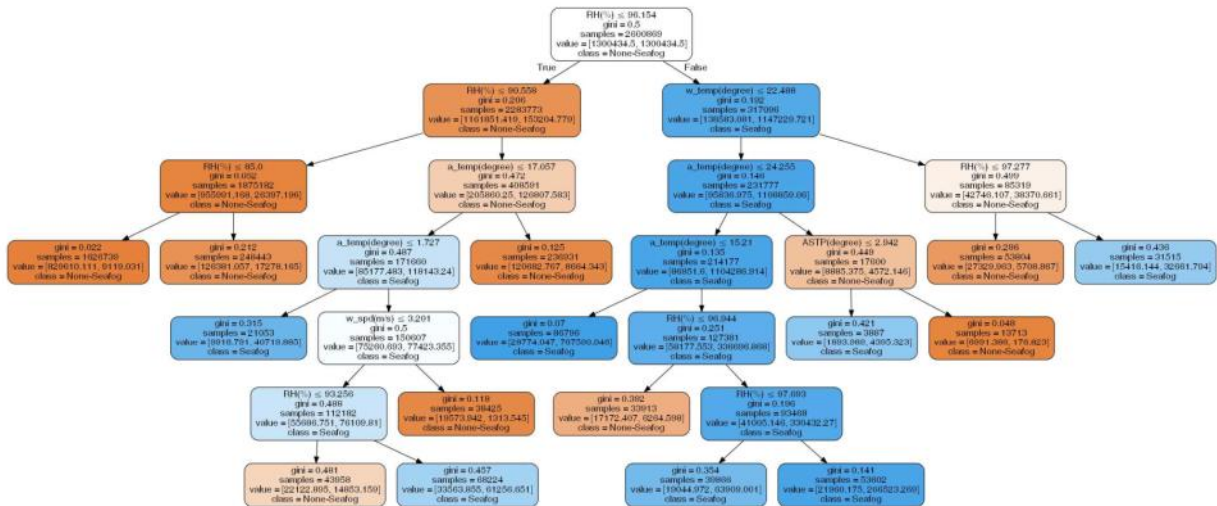


그림 105 7개 인자를 이용한 분류나무 모형(국립해양조사원, 2017)

■ 국외 예측 기술 현황

일반적으로 안개 예측은 LWC(Liquid Water Content), Nd(Droplet number concentration), Z(Radar reflectivity factor)의 모델 기반 예측을 이용하며, 대표적으로 영국 기상청의 UM(Met Office Unified Model)과 미국 해양대기청의 NAM(North America Mesoscale Model)이 있다. 앙상블 예측 기술은 수치적 예측의 불확실성을 다루기 위해 수십 년 동안 개발되어왔으며(Toth & Kalnay, 1993), 최근에는 대기 예측 결과를 이용하고 신경망 기법을 적용하여 시정 예보를 수행한 결과 예측 성능이 크게 향상됨을 보고한 바 있다(Claxton, 2008). 본 절에서는 국외에서 그 동안 수행된 방대한 안개 예측 연구와 대기 예측 모델 개발에 대한 전체적인 내용 보다는 대기 예측 모델 결과를 이용한 해무 예측 기술 중 단기 혹은 중기적으로 기술 개발이 가능할 것으로 판단되는 최근 연구 사례를 중심으로 검토하였다.

✓ 통계 모델 (의사결정트리)

Lindner et al.(2018)은 해무의 분류 및 입력 변수의 최적화를 통한 결정트리분석을 수행하였다. 의사결정트리는 1998 년부터 2014 년까지 648 개의 저시정 (<4.8 km) 연안 안개 자료를 이용하여 사우스캐롤라이나와 조지아 연안 지역을 대상으로 개발되었다.

해무 입력 변수의 정확한 범위 판단을 위해 CART 분석 방법을 사용하였으며, 미국 남동부 시정 지도, 기상 관측, 시정 관측 자료 및 NWS WFO CHS의 안개 기록 자료를 이용하였다. 실제 예보에 사용될 수 있는 두 가지 해무 결정 트리는 해수면 온도, 기온, 이슬점 온도, 풍속, 풍향, 역전층의 높이에 기반을 두어 개발되었다.

해무 발생 계절인 2016년10월 1일부터 2017년 4월 30일까지 전체 212일 기간에 대하여 결정 트리를 적용한 결과, 97%의 해무 발생 예측 성공률을 보였으며, 94%의 비해무 예측 성공률을 나타냈다. (그림 106 참조)

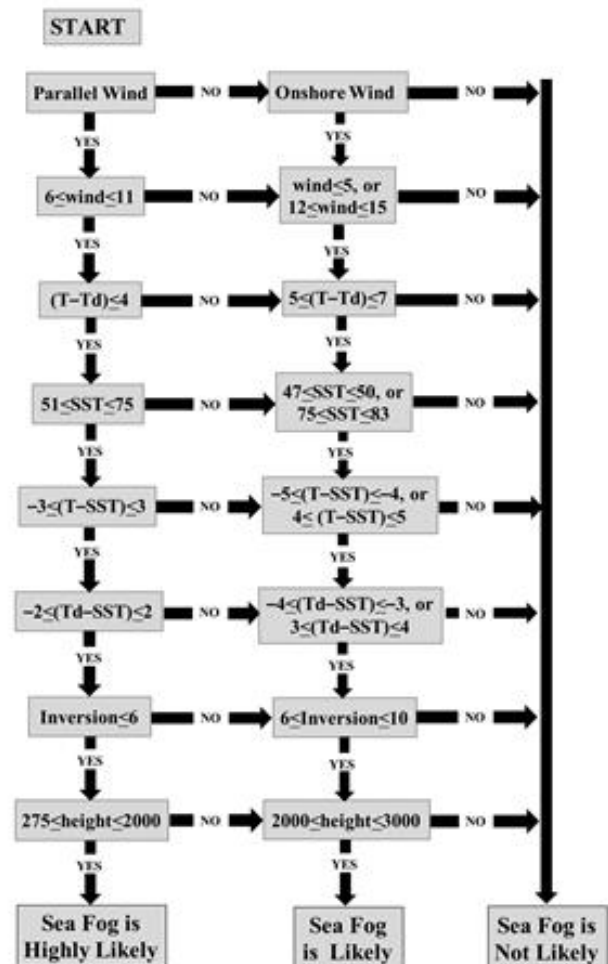
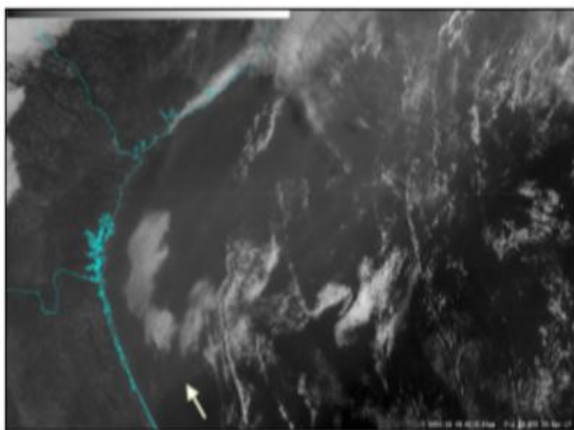


그림 106 조지아 연안 해무 결정 트리(Lindner et al, et al. 2018)

✓ 통계 모델 (신경망모델)

Claxton(2008)은 영국 기상청 대기 예측 모델(UM)에서 시정 예측값과 동일 변수를 이용한 신경망 모델(Neural Network)에서 산출된 시정 예측값을 비교하였다. 영국 기상청 UM 모델과 신경망 모델에서 시정은 기압, 기온, 절대습도, Cloud Liquid Water, Cloud Frozen Water, 에어로졸을 이용하여 산출된다. 신경망 모델은 5 개의 변수로 구성된 입력층, 2개(20개, 10개)의 은닉층 및 1 개의 출력층(시정)으로 구성되며, 총 2468개의 자료셋이 모델 학습에 이용되었다.

2005년 1월 1일부터 2006년 4월 1일까지 영국 카딩턴에서 관측된 시정 자료를 이용하여 중규모(12km 해상도) UM 시정 예측 결과(예측기간: 00h ~ 23h)와 신경망 모델의 시정 예측 결과를 비교한 결과, 신경망 예측 결과는 UM에서 계산된 시정 예측 결과보다 22% 정도 향상된 예측값을 나타내는 것으로 보고하였다. (그림 108 참조)

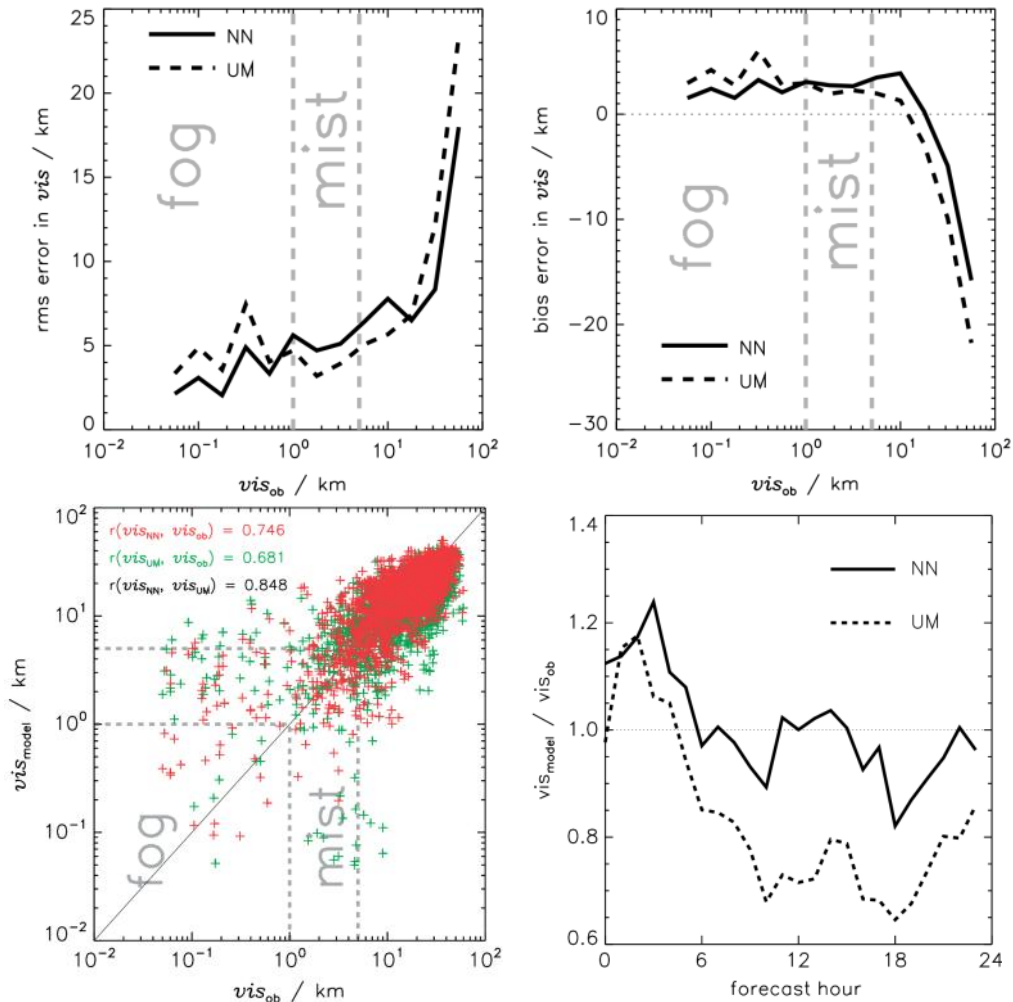


그림 107 인공신경망 모델과 UM 모델 시정 예측값 비교(Claxton, et al. 2008)

✓ 앙상블 수치 모델

Duan et al.(2012)은 NCEP/NMM(Non-hydrostatic Mesoscale Model; Janjic' et al. 2001) 과 NCAR/WRF-ARW(Skamarock et al, et al. 2005)의 국지적 모델을 사용하는 10개의 멤버로 구성된 다중 모델 기반 앙상블 시스템인 mesoscale Ensemble Prediction System(EPS)을 사용하여 2008년 1월 29일부터 9월 7일까지 중국의 동쪽 해안가에 발생하는 안개를 예측한 바 있다. 10개의 멤버 결과를 이용하여 중국 동부의 13개의 대도시 지역을 대상으로 검증을 수행한 결과 전반적인 예측 지역 범위는 관측치와 좋은 일치율을 보였으며, 비교적 정확한 안개 예측율(60 ~ 70%)을 나타내었다.

Duan et al.(2012)의 연구는 전반적으로 앙상블 기반의 안개 확률 예측은 단일 결정론적 예측 모델보다 우수한 성능을 나타냄을 제시하였다. (그림 108 참조)

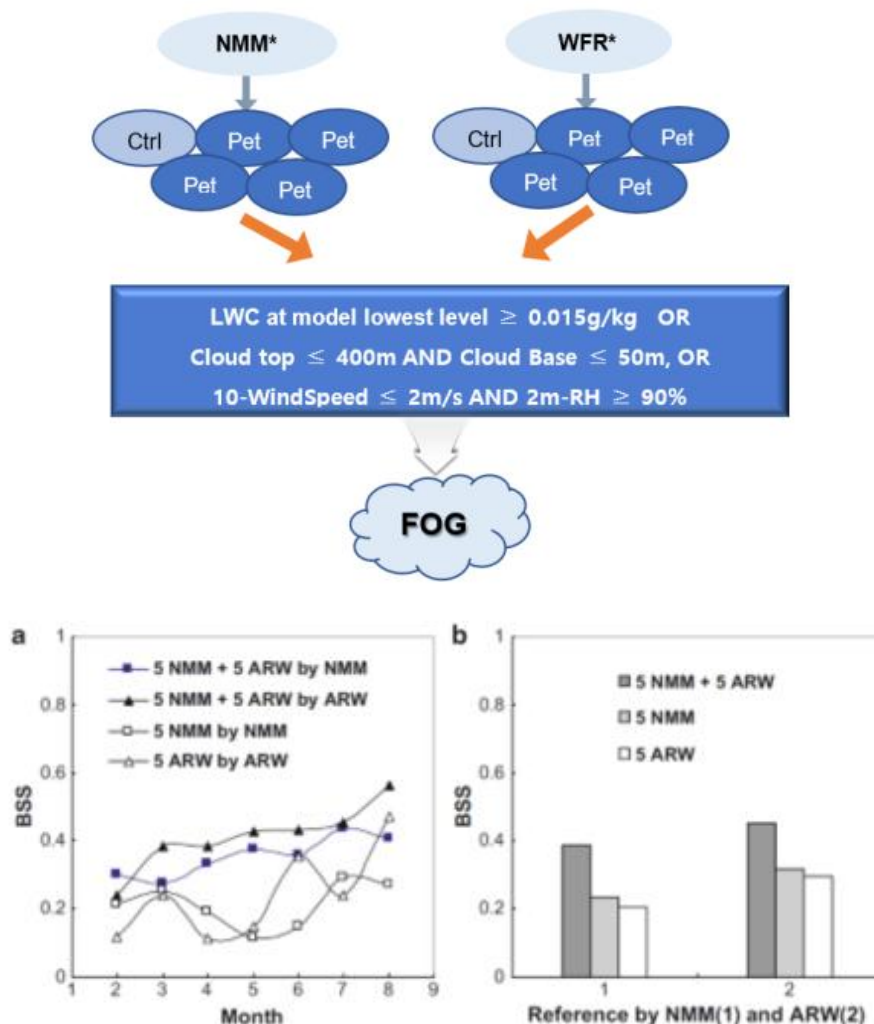


그림 108 앙상블 모델 예측 방법 및 확률론적 예측 평가 결과(Duan et al, et al. 2012)

✓ 연안 안개 집중 연구

캐나다에서 금년부터 수행 중인 C-FOG(Coastal Fog prediction) 연구는 2년간에 걸쳐 연안 안개 발생 역학을 파악하기 위한 집중 관측과 열역학적·미세물리 과정 예측 성능을 높이는데 중점을 두고 진행 중이다.

이 연구는 두 가지 다른 종류의 안개(이류안개, 연안개)가 많이 발생하는 캐나다 동부의 노바스코샤와 서부의 뉴펀들랜드 지역을 연구 대상으로 설정하고 있다. 연안 안개 형성 기작을 보다 면밀히 파악하기 위하여 육상과 해상에서 현장 관측, 원격 탐사, 수직/3차원 프로파일러, 무인항공기 등 다양한 관측 장비를 이용한 통합 관측을 실시하고 미세물리(물방울의 특징, 핵형성), 열역학적(복사 메커니즘, 상변화), 경계층 구조(실시간 및 지연 정점 관측, 단면 관측, 원격 탐사)를 분석할 예정이다. 또한, 대기 예측 모델(WRF 등), 난류 모델(LES, WRF-LES, DNS 등)을 사용하여 중규모 및 미세규모의 안개 예측 성능을 높이는 연구가 수행될 예정이다. (그림 109, 110 참조)

C-Fog: Science and Applications

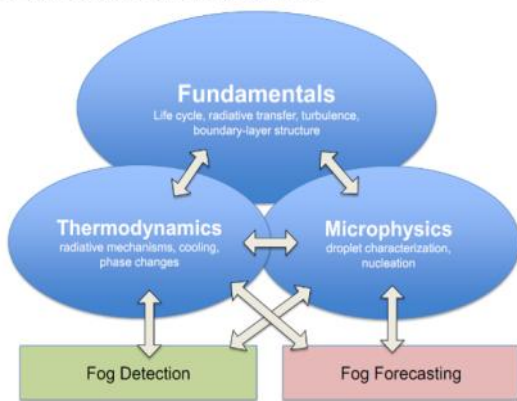


그림 109 C-Fog 연구 개념도 및 육상 관측 계획



그림 110 C-Fog 해상 관측 지점 및 장비

✓ 기타

Bartok et al.(2012)는 1차원 모델을 3차원 WRF 모델과 결합하여 아라비안 반도 북쪽 연안의 안개 예측을 수행하고 위성 이미지와 결과를 비교하여 적중률, correct negatives, 누락 및 잘못된 경보의 범주 평가를 수행하였다. 연구결과, 해상풍 순환은 해양에서 육지로 이동한 수분을 공급하므로 반도의 안개 형성에 중요하며 낮 동안 해풍에 의해 축적된 수분의 복사냉각은 안개가 될 수 있으며 육지 쪽의 흐름에 의한 해양 에어로졸의 이류는 연안 육지의 이후 안개 형성의 원인이 될 수 있음을 밝혔다.

Schalkwyk and Dyson(2013)은 남아프리카의 Cape Town의 안개의 특성을 파악하기 위하여 13년간의 자료와 안개 형성 메커니즘에 기본을 둔 객관적인 안개 분류법을 사용하여 최소 시정, 시작 시간, 지속시간, 분산을 결정한 후 지배적인 종관 기상조건과 안개 발생에 관한 연관성을 분석하였다. 주요 안개의 종류를 이류, 복사, 구름기저 침강 및 미분류로 구분하여 제시하였다. 연구 결과는 가용성 있는 예보를 생산하지는 않았으나 예보관이 판단할 수 있는 안개발생, 최소 시정, 지속시간, 분산 등을 자료를 제공할 수 있는데 의의가 있다.

Teixeira and Miranda(2001)는 1차원 모델을 사용하여 포르투갈의 리스본 공항에서 안개를 모의한 바 있다. 수치 모델은 수평 바람성분, 수증기의 온위(potential temperature), total specific water, 와류 운동 에너지, 장/단파 복사의 모수화 등의 방정식으로 구성되어 있으며 네덜란드 Cabauw tower 자료를 사용한 모델을 평가하였고 리스본 공항의 8가지 경우의 안개에 대한 모의를 수행하였다. 연구결과, 공항의 안개는 실제로 Tagus estuary에서 생성되어 공항지역으로 이류된 것으로 나타났다. 모의된 시정을 실제 두 지역에서 관측된 시정과 비교한 결과 높은 일치도를 보였으나 다른 지역 또는 모든 경우에 일반적으로 적용하기는 어려운 것으로 파악되었다.


Bari et al.(2015)는 모로코 북서해안을 대상으로 ERA-Interim 재분석자료(Dee et al, et al. 2011)를 이용하여 짙은 안개를 모의하고 분석하였다. 모의결과 육지에 형성된 복사 안개는 성층권 하부구름의 침강으로 인해 연안지역으로 확장하며, 민감도 실험 결과 안개 예측의 정확성은 표층수온, 초기조건, 지형, 미시물리적 변수의 정확도에 의해 결정되는 것으로 나타났다.

다. 시사점

안개를 관측하는 기술은 인간의 눈으로 관측하는 방법을 시작으로 대기의 복사 및 전자기적 특성을 이용하는 방법까지 다양한 관측 장비와 기술이 개발되어 왔다. 그러나 해상에서 발생하는 해무는 접근성, 안정성, 장비 유지 등 측면에서 육상에 비하여 열악한 환경에 놓여있어 관측 자체가 매우 어려운 현실이다. 이러한 제약으로 인하여 해무의 발생과 소멸에 대하여 정확한 정보와 분석에 기반을 둔 예측 모델의 정확성도 영향을 받을 수밖에 없을 것으로 판단된다.

해무 측면에서 시정/안개 관측은 관측 지점에 따라 연안, 연근해 및 원해역으로 나눌 수 있다. 연안 및 섬에서 해무 관측은 상대적으로 접근성이 양호하므로 현존하는 모든 관측 기술을 적용할 수 있다. 그러나 연근해 및 원해역의 해무 관측은 관측 환경의 제약으로 인하여 항공기, 선박, 부이, 해상플랫폼을 이용할 수 있으나 발생 및 소멸 과정이 매우 짧은 시간에 일어나는 해무의 특성을 고려하면 관측 시간에 제약을 받는 항공기와 부정기적인 선박에 의한 관측보다는 일정한 지점에서 지속적으로 관측을 수행할 수 있는 부이와 해상플랫폼을 이용한 관측 방법을 적용할 것으로 판단된다. 또한, 시공간적인 해상도는 다소 떨어지나 광범위한 지역을 동시에 관측할 수 있는 위성 관측 기술을 이용하여 연안, 연근해뿐만 아니라 외해의 해무 발생을 파악하여야 하며, 장기적으로 우리나라에서는 거의 수행되지 않은 대기 복사, 전자기 특성을 이용한 관측 방법(라디오미터 등)에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. (표 30 참조)

표 30 해무 관측 방법 및 적용 방안

관측 방법		장점	단점	적용 방안
목측		<ul style="list-style-type: none"> • 해무 발생 유무 확인 • 물표 기준 시정거리 산출 	<ul style="list-style-type: none"> • 정확한 물표가 없는 경우 시정거리 측정 불가 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안 • 연근해(선박)
시정/현천계		<ul style="list-style-type: none"> • 시정거리 산출 • 구조 단순, 상시 관측 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 관측 환경 및 방법에 따라 시정 거리 오차 발생 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안 • 연근해 (부이, 해상기지)
영상		<ul style="list-style-type: none"> • 해무 발생 유무 확인 • 영상처리 기법 이용 시정거리 산출 	<ul style="list-style-type: none"> • 야간 관측 불가 • 영상처리시 다양한 불확실성 존재 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안 • 연근해 (부이, 해상기지)
위성 관측		<ul style="list-style-type: none"> • 넓은 지역 탐지 • 다양한 탐지 기법 적용 	<ul style="list-style-type: none"> • 해무와 구름 구분 어려움 • 시공간 해상도 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안 • 연근해 • 외해
기타		<ul style="list-style-type: none"> • 대기 경계층 특성 산출 • 높은 해상도의 시공간적 상시관측 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 선박/해상기지 이외 해상 적용이 어려움 • 간접적인 지표 제공 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안 (연구용)

안개를 예측하는 기술은 규칙 기반 기법, 통계적인 방법, 수치 예측 모델 및 통합 실험 예보 방법으로 나눌 수 있으며, 서로 상호 보완하는 방법을 통해서 발전되어 왔다. 우리나라에서도 수치모델 및 예측 결과를 이용한 예측 가이드언스가 지속적으로 개발되어 왔으며, 최근에는 기계학습 및 인공지능 기법을 적용한 예측 기술이 시도되고 있다.

해무 예측 정보 산출 측면에서 정확한 해무 예측을 위해서는 대기의 미세물리 과정, 해양-대기 경계층에서 난류 모의, 해무 산출 알고리즘, 해양-대기 접합모델 개발, 관측자료를 이용한 수치모델의 자료동화 등 방대한 분야에 대한 이해와 이를 통한 모델 개발이 요구된다. 현재 구름 및 안개의 생성 기작을 포함한 대기 예측 연구는 학계, 연구기관 및 정부부처를 중심으로 국가적인 과제로 진행되고 있어 광범위한 대기 수치 모델의 개발보다는 대기 예측 모델 결과를 이용한 해무 예측 기법에 중점을 두고 단·중기적으로 현업에 적용 가능한 것으로 판단되는 관련 기술을 적용하는 것이 효율적으로 판단된다. (표 31 참조)

표 31 해무 예측 방법의 특징 및 관련연구

구 분	내 용	관 련 연 구
통계 기반	<ul style="list-style-type: none"> 특정 지역에서 관련 안개 예측 변수들을 사용하여 통계적 분석을 통해 예측 수행 효율적인 계산 가능 관측이 존재하는 단일한 지역만 유효 예측의 정확성은 관측 기간이 길어질수록, 날씨 상황의 변동이 생길수록 감소 	<ul style="list-style-type: none"> 단순 회귀분석(Taylor, 1917) 로지틱스 회귀분석(Lewis, 2004) 분류·회귀 트리분석(Tardif and Rasmussen, 2007) MOS(Huang et al, et al. 2011) 인공신경망(Marzbán et al, et al. 2007) 퍼지 로직(Miao et al, et al. 2012)
역학 기반	<ul style="list-style-type: none"> 보존 방정식과 안개 관련 물리적 과정의 모수화 결정론적 예측 기법 <ul style="list-style-type: none"> 고정된 설정값, 초기/경계조건 및 모수화 사용 확률론적 예측 기법 <ul style="list-style-type: none"> 다양한 초기/경계, 모수화 조건, 또는 모델 설정에 따른 앙상블 자료 생성 각각의 예측 자료 앙상블 결과 종합, 물리적 변수의 확률적 결과 도출 1차원 수치모델은 효율적이며 수직 해상도가 높고 복잡한 모수화 방법을 사용 가능 3차원 수치모델은 안개 예보를 수행하는 주된 도구이나 계산이 복잡하고 적절한 수평/수직 해상도와 관련된 변수에 대한 세밀한 모수화가 부족하다 	<ul style="list-style-type: none"> 확산방정식기반 1D/2D모델(Fisher and Caplan, 1963) 안개모의를 위한 2D모델 개발(Barker, 1977) 안개 발생 기작 모의를 위한 2nd 난류마감모델 개발(Oliver et al, et al. 1978) MetOffice 중규모모델을 이용한 원해 안개 예보(Ballard et al, et al. 1991) 고해상도 1D 모델을 이용한 안개 발생 모의(Koracin et al, et al. 2001) 3D MM5 모델을 이용한 안개연구(Koracin et al, et al. 2005) 1D/3D모델 결합 모델 적용(Kim and Yum, 2012) 앙상블 예측 모델 연구(Zhou and Du, 2010)

3. 국내외 해무 정보 서비스 현황

가. 국내

■ 기상청 안개정보서비스

현재 기상청에서는 2009년 4월 서울 및 수도권 지역의 안개 특보 시험 운영, 2011년 4월 상해 안개정보 서비스 시행, 2015년 3월 안개 특보 시범 운영 이후 2018년 4월 현재 안개 특보를 중단하고 안개 속보 및 상세 정보를 제공하고 있다. 안개 속보는 안개로 인한 중대한 피해가 예상될 때 제공하며 안개 상황 요약, 안개 예상정보, 주의구간, 안개원인 및 전망을 기상청 홈페이지의 안개정보 서비스(http://www.weather.go.kr/weather/warning/fog_status.jsp) 를 통해 제공하고 있다. (그림 111 참조)

특보·정보 | 안개정보서비스

인쇄

안개정보서비스 2018년 10월 16일 오후 5시 30분 발표

요약

○ 고기압의 영향으로 대체로 맑은 날씨를 보이는 가운데, 밤사이 복사냉각에 의해 기온이 떨어지면서 오늘 밤부터 내일(17일) 아침 사이에 내륙을 중심으로 안개가 짙게 끼는 곳이 있겠고, 특히 터널 입구와 출구에서는 갑자기 시정이 나빠질 수 있으니, 교통 안전에 각별히 유의하기 바랍니다.

안개예상정보

- 예상 지역: 경기동부내륙, 강원, 충청내륙, 경상내륙, 전북내륙
- 예상 가시거리: 50~800m
- 예상 지속시간: 오늘 밤부터 내일(17일) 아침까지

구역	안개다발구간
경기북부내륙	의정부시, 가평군, 남양주시, 구리시 의정부-동두천(국도3호선 광희로), 알산-퇴계원(국도3호선), 강일-구리(국도3호선), 가평군(청평호 주변, 북한 노루고개, 상원 할사리, 일대)
경기남부내륙	양평군, 여주군, 이천시 양평군 신양수대교-고음교(국도6호선), 용연교(국도3호선), 제2용문산, 연흥(국도3호선), 이천 유선교차로-용암동명(국도42호선), 이천 복향교-가선삼거리(국도3호선)
충남북부내륙	예산군, 천안시, 아산시 수신정문정-천안유계소(경부선), 천안(동서TG) 부근(천안논산선), 고덕(천안논산선), 고덕(천안논산선)
충남남부내륙	부여군, 청양군, 공주시, 논산시, 금산군, 계룡시 금산(천안논산선), 논산(천안논산선), 논산(천안논산선), 논산(천안논산선), 논산(천안논산선), 논산(천안논산선), 논산(천안논산선), 논산(천안논산선), 논산(천안논산선)
세종	세종특별자치시 세종(세종고속도로), 세종(세종고속도로), 세종(세종고속도로), 세종(세종고속도로), 세종(세종고속도로)
대전	대전광역시 대전-공주(국도2호선)
전북내륙	정읍시, 익산시, 전주시, 완주군, 진안군, 무주군, 장수군, 임실군, 순창군, 남원시 순창(순창고속도로), 남원(순창고속도로), 남원(순창고속도로), 남원(순창고속도로), 남원(순창고속도로)
충북북부	음성군, 충주시, 계천시, 단양군 충주-강주(충주내륙선), 남한강대교-충주(충주내륙선), 단양 상진대교 부근(국도5호선), 충주 복향대교 부근(국도19호선), 옥천-단양(충주내륙선)
충북남부	청주시, 괴산군, 옥천군, 진천군 청주(충주내륙선), 괴산(충주내륙선), 옥천(충주내륙선), 진천(충주내륙선)
충남남부	보은군, 옥천군, 영동군 영동(충주내륙선), 옥천(충주내륙선), 옥천(충주내륙선)
강원북부내륙	철원군, 화천군, 양구군(영지), 인제군(영지) 양구 울진3터널-양구(국도46호선)
강원중부내륙	속천시, 홍천군(영지) 속천-속천(영지)
강원남부내륙	원주시, 횡성군, 평창군(영지), 영월군, 정선군(영지) 원주-횡성(영동선), 횡성-원주(영동선), 횡성-원주(영동선), 횡성-원주(영동선)

그림 111 기상청 안개정보서비스 서비스

■ 기상청 방재기상정보

기상청 방재기상정보시스템(afso.kma.go.kr) 홈페이지를 통해 위험기상, 뇌우, AWS지점별 실황, 안개연무종합 정보 등 방재기상정보를 제공하고 있다. 이 시스템은 여러 기관들의 협업을 통해 구축되어 방재기상정보를 보다 직관적으로 파악할 수 있도록 구성되어 있으며, 자료는 유관기관 관계자 외에는 접속이 제한되어 있다. 시스템에서는 시정 거리, 습도, 운저 고도, 위성영상, 현재 날씨를 확인할 수 있으며, 시정계로 관측한 시정 거리 정보는 10분, 30분, 60분 전의 결과를 제공하고 있다. 또한, 안개연무종합감시를 통해 전국의 AWS(Automated Weather Station) 지점별 시정 자료를 안개, 연무, 박무를 구분하여 연무가이던스 정보를 현재를 기준으로 과거 48시간, 미래 48시간 동안 제공한다. (그림 112 참조)

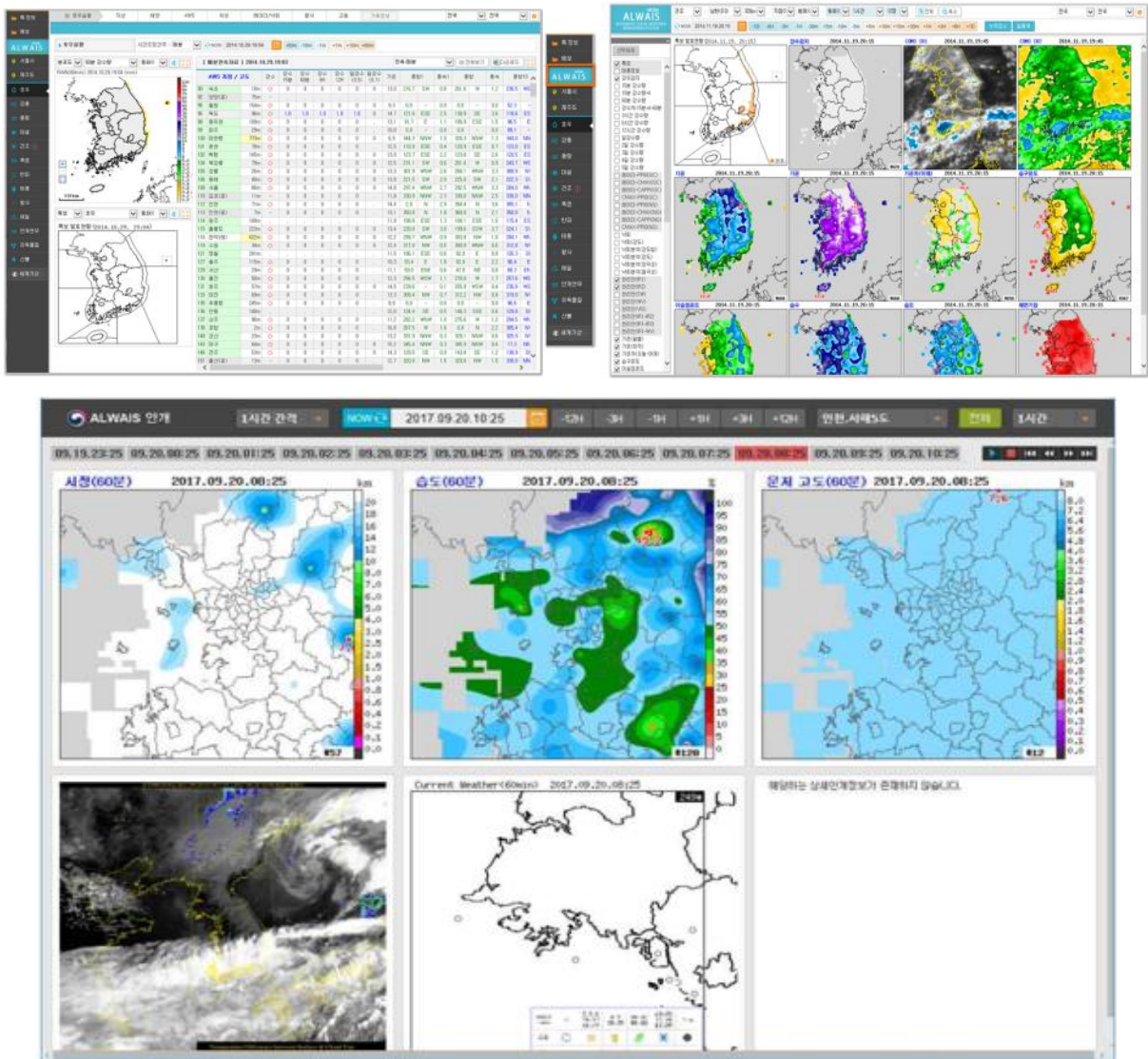


그림 112 기상청 방재기상정보 서비스

■ 국립해양조사원 항계안전해양정보

국립해양조사원에서는 항계안전 해양정보 제공시스템(www.khoa.go.kr/pois)을 통해 인천항, 대산항, 여수광양항, 부산신항, 부산항, 울산항, 평택당진항, 군산항, 포항항, 목포항을 대상으로 시정, 풍향/풍속, 기온, 기압, 습도, 수온 관측 자료를 제공하고 있다. 시정은 2종의 시정계(관측 범위: 20 ~ 3,000m, 20 ~ 20,000m)를 이용하여 1시간 간격으로 관측하고 실시간 CCTV를 설치하여 10분 간격으로 전면 해상 상황을 모니터링 하고 있다. 또한, 하위서비스인 해무정보서비스를 통해 한반도 천리안 위성영상, 일본 Himawari 위성 자료와 천리안 GOCI 자료를 이용한 한반도 해무탐지영역 및 인천항과 해운대에서 인공신경망 기반의 해무예측정보를 1시간 간격으로 산출하여 3, 6, 12시간 후 해당 지점의 해무 예측 정보를 비해무, 보통해무, 짙은해무로 구분하여 시범 제공하고 있다. (그림 113 참조)

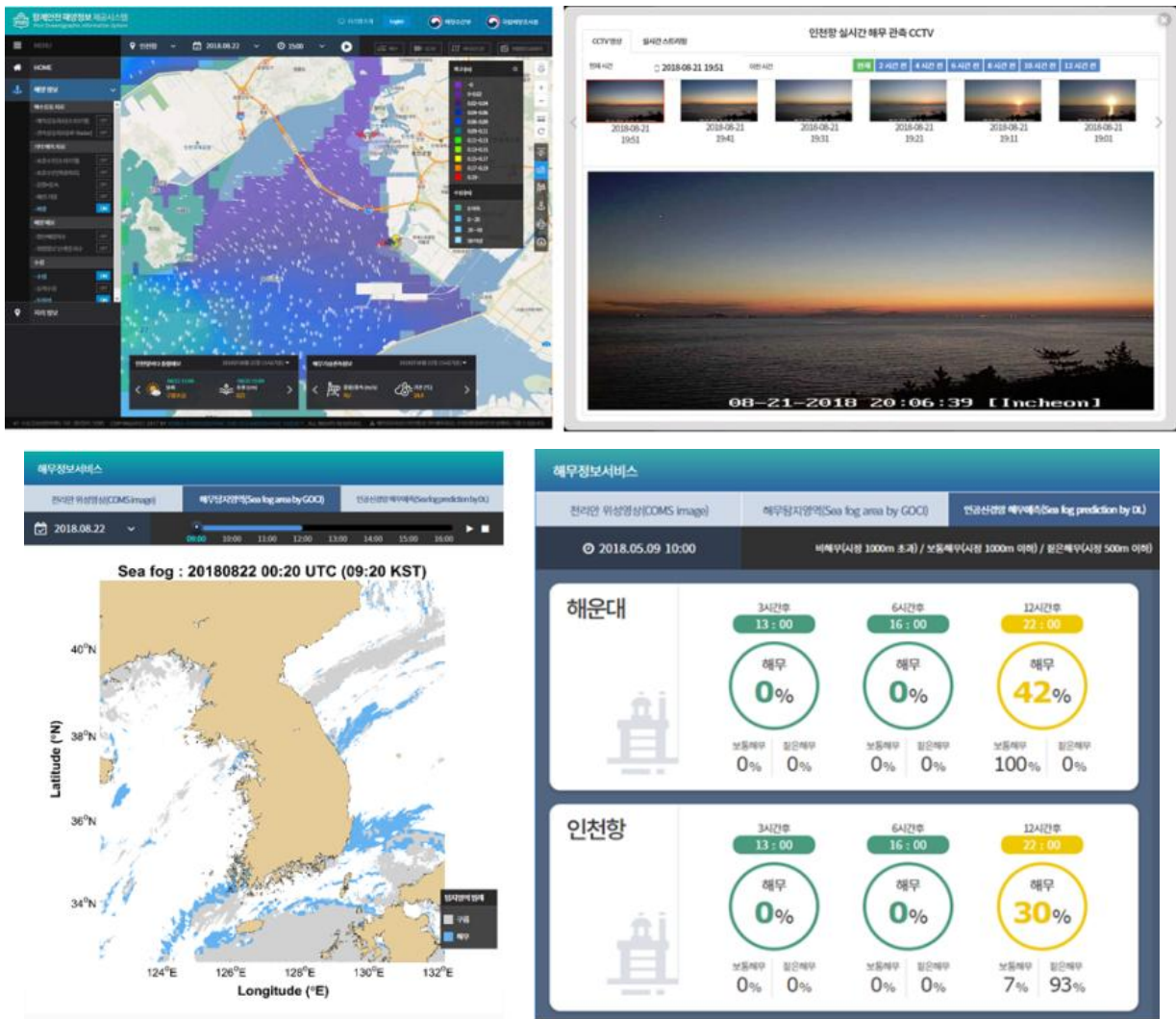


그림 113 항계안전 해양정보 서비스

나. 국외

■ 미국 기상청

미국 기상청(National Weather Service)에서 제공하는 안개 예특보 정보는 미국 전역, 알래스카, 하와이, 괌, 푸에르토리코, 열대 대서양, 열대 태평양 및 대양 구역에 대하여 NDFD(National Digital Forecast Database)로부터 산출되는 정보를 시각화하여 안개 특보를 제공하고 있다(<https://digital.weather.gov/>). 안개 예특보 구역은 내륙과 연안 지역을 포함하며, 육지는 2.5km (알래스카는 6km) 이하, 해양은 10km의 수평해상도를 가진 WFO(Weather Forecast Office) 예보 정보를 이용하여 매 30분마다 갱신되며 7일 예보 자료를 산출한다. 안개 특보는 시정이 0.25 mile 이하(Dense Fog)와 1.0 mile 이하(Freezing Fog)로 구분하여 제공하고 있다. (그림 114 참조)

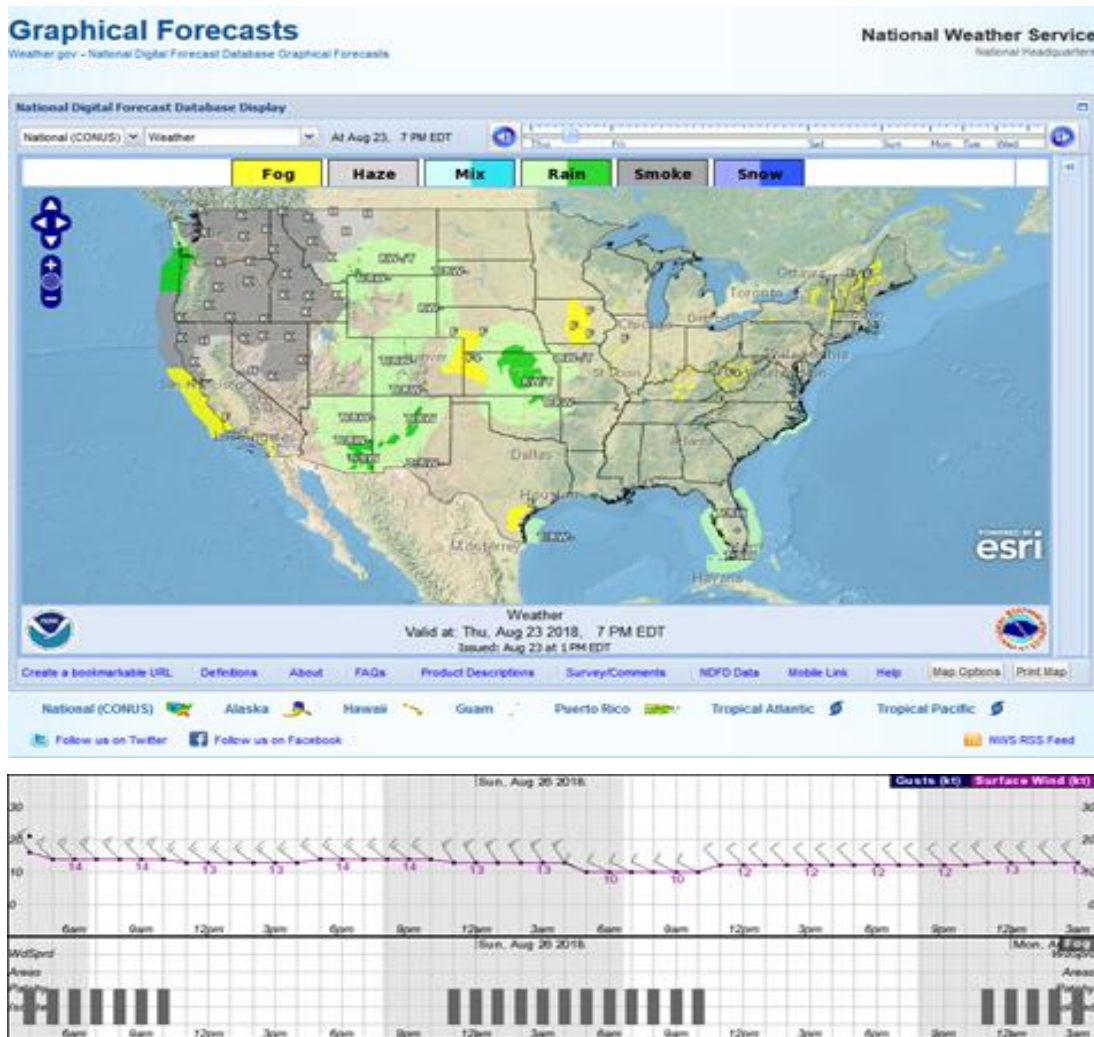


그림 114 미국 기상청 안개 예특보 서비스

■ 미국 해양대기청

미국 해양대기청(NOAA) NCEP/EMC(Environment Modeling Center)에서는 미국 연안 (<http://polar.ncep.noaa.gov/marine.meteorology/coastal.visibility/>)과 전지구(<http://polar.ncep.noaa.gov/marine.meteorology/global.visibility/>)를 대상으로 안개 예측 정보를 제공하고 있다. 연안 지역의 안개 예측정보는 단기 예보 모델(NAM)에서 생산된 하층 시정 범위 가이드선스 정보를 이용하여 산출한다. 연안 안개 예측 모델은 1일 4회(00, 06, 12, 18 UTC) 운영되며 미국 전역, 동부 해안, 멕시코만, 서부 해안, 알래스카 해안을 대상으로 3시간 간격의 84시간 예측 정보를 산출한다. 전 지구의 안개정보는 GFS(Global Forecast system) 모델 결과와 Stoelinga and Warner 알고리즘을 이용하여 산출되며, 전지구, 대서양, 태평양, 남반구를 대상으로 1일 4회, 3시간간격의 168시간 예측 정보를 제공한다. 시정 예측 정보는 0.5 이하, 0.5 ~ 3, 3 ~ 7, 7 mile 이상으로 구분하여 가이드선스를 제공하고 있다. (그림 115 참조)

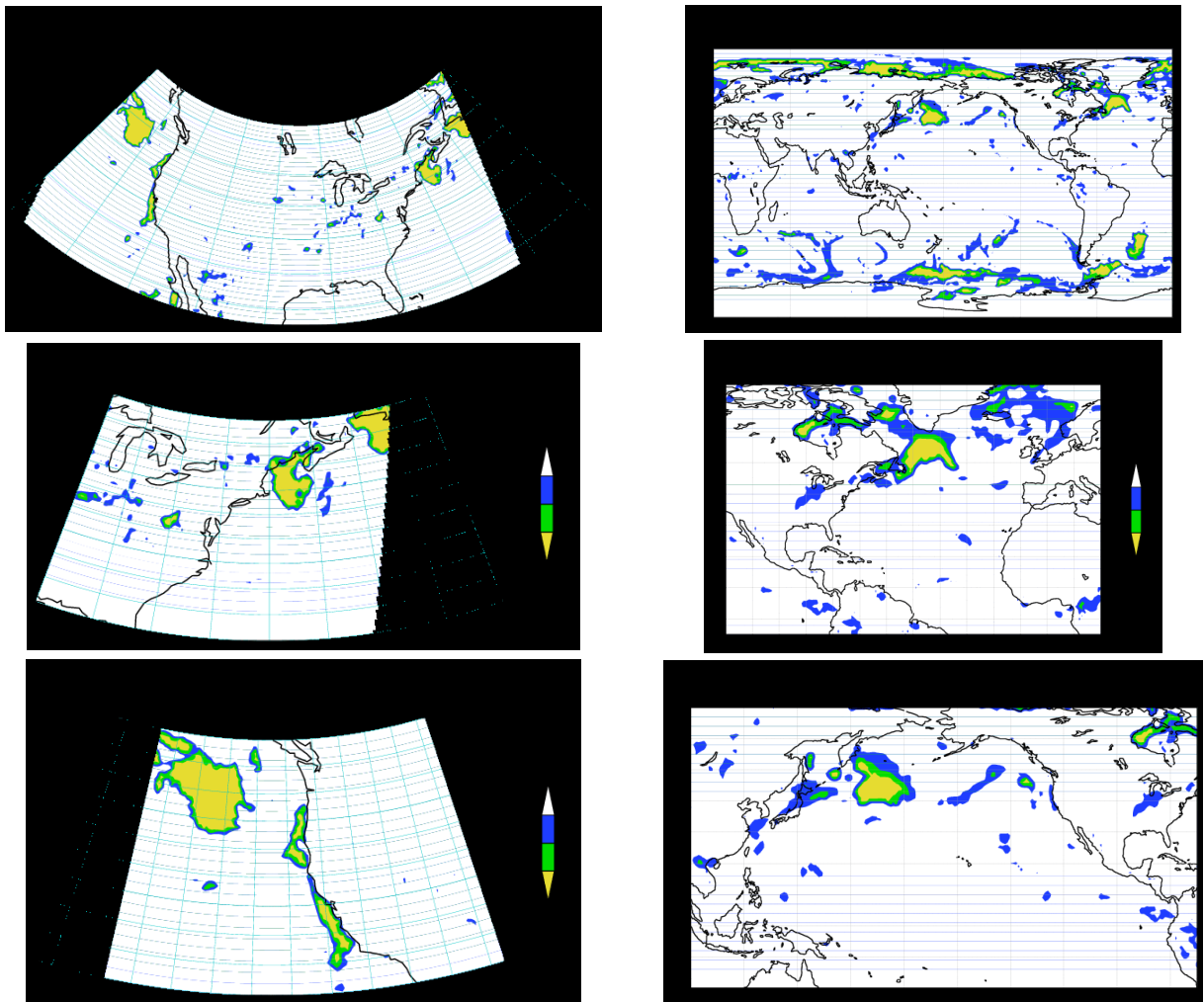
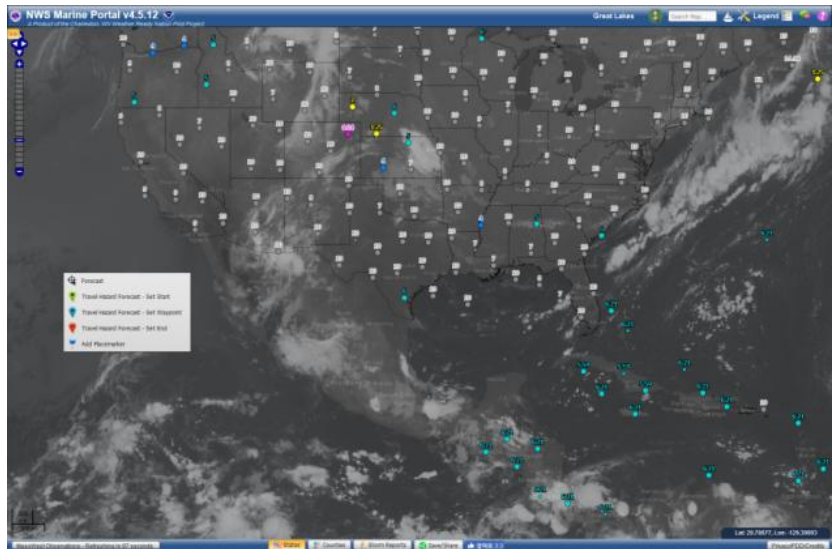


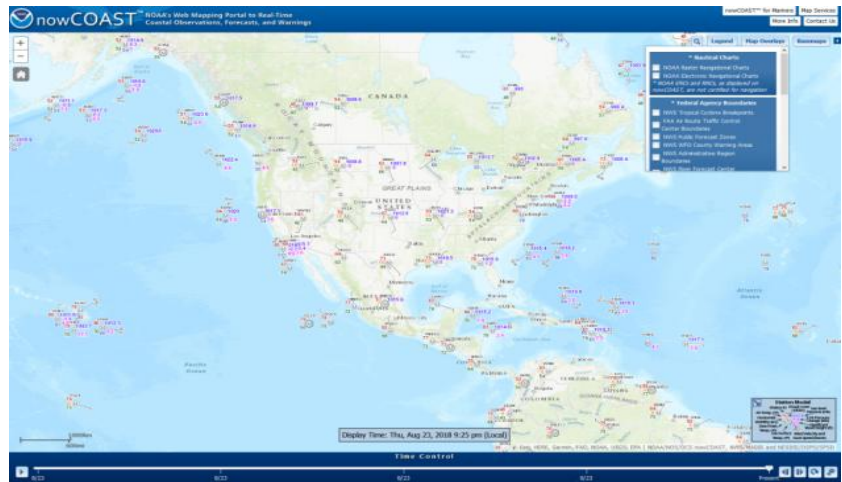
그림 115 미국 NOAA/NCEP/EMC 시정 예측 결과 예시

미국 해양대기청은 내륙 및 연안에 설치된 기상관측장비, 해양 부이, 위성을 통해 관측된 온도, 습도 등 기상 자료와 시정 자료는 NCEI(National Centers for Environmental Information)을 통해서 제공하고 있다. 또한, GOES 위성과 AVHRR Infrared (IR) 채널을 결합하여 야간의 안개와 하층운 이미지를 제공하고 있다. 위성 자료는 8km와 2km 해상도로 제공되며 색상(파란색: 권운, 노란색: 저층운 또는 안개, 회색: 청천)으로 구름 및 안개를 구분한 공간분포도를 제공하고 있다. 해상에 설치된 일부 부이에는 BuoyCAM을 설치하여 주간 영상을 전송하여 해상상태 및 해무 현황을 모니터링 하고 있다. (그림 116, 117 참조)



<https://preview.weather.gov/edd/index.php?t=marine>

그림 116 미국 NOAA/NWS 내륙 시정관측 장비(좌) 및 서비스 현황(우)



<https://nowcoast.noaa.gov/>

그림 117 미국 NOAA/NOS 해상 시정 관측 장비(좌) 및 서비스 현황(우)

■ 영국 기상청

영국 기상청(Met Office, <https://www.metoffice.gov.uk>)은 홈페이지를 통해 영국 주변 해역을 High Sea (12 구역), Shipping (31 구역), Inshore (19 구역)로 나누고 1일 2회(High Sea) 혹은 4회(Shipping, Inshore) 24시간 이내의 시정을 4단계 (1km 미만, 1km ~ 2 mile, 2 ~ 5 mile, 5 mile 이상)로 구분하여 예특보를 제공하고 있다. (그림 118 참조)



High sea Shipping Inshore water

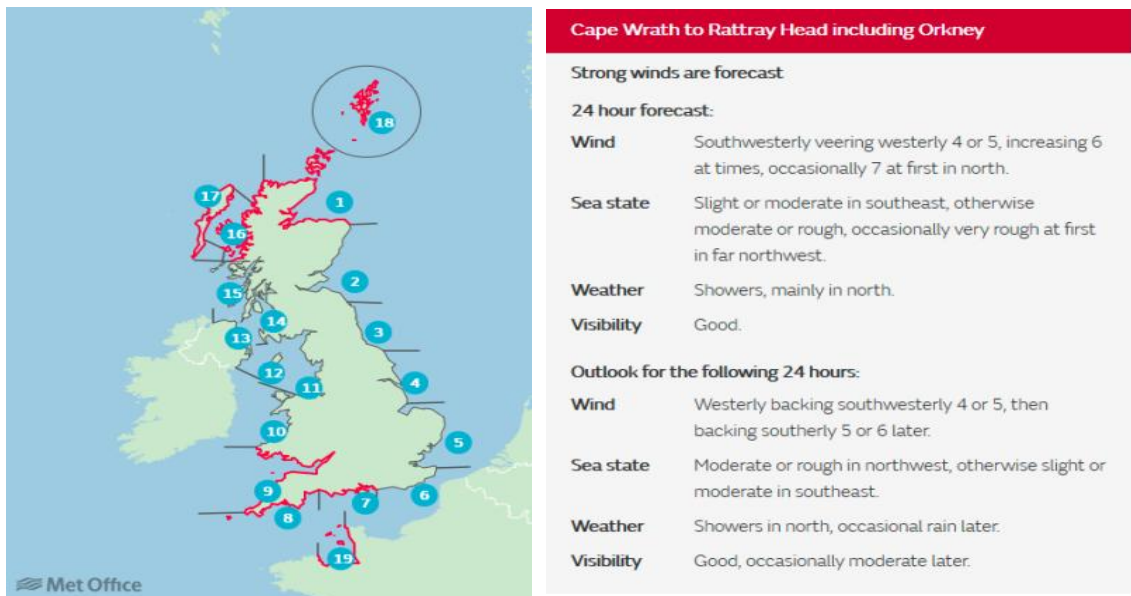


그림 118 영국 기상청 시정 예보 구역도 및 시정 예보 예시

영국 기상청은 육상, 선박 및 해상 부이를 통해서 시정을 관측하고 현황 자료를 제공하고 있다. 총 55개 지점에서 시정(mile), 풍향/풍속, 습도, 기압, 이슬점온도 해양기상 관측을 수행하고 1시간 간격의 관측 자료를 제공하고 있다. (그림 119 참조)

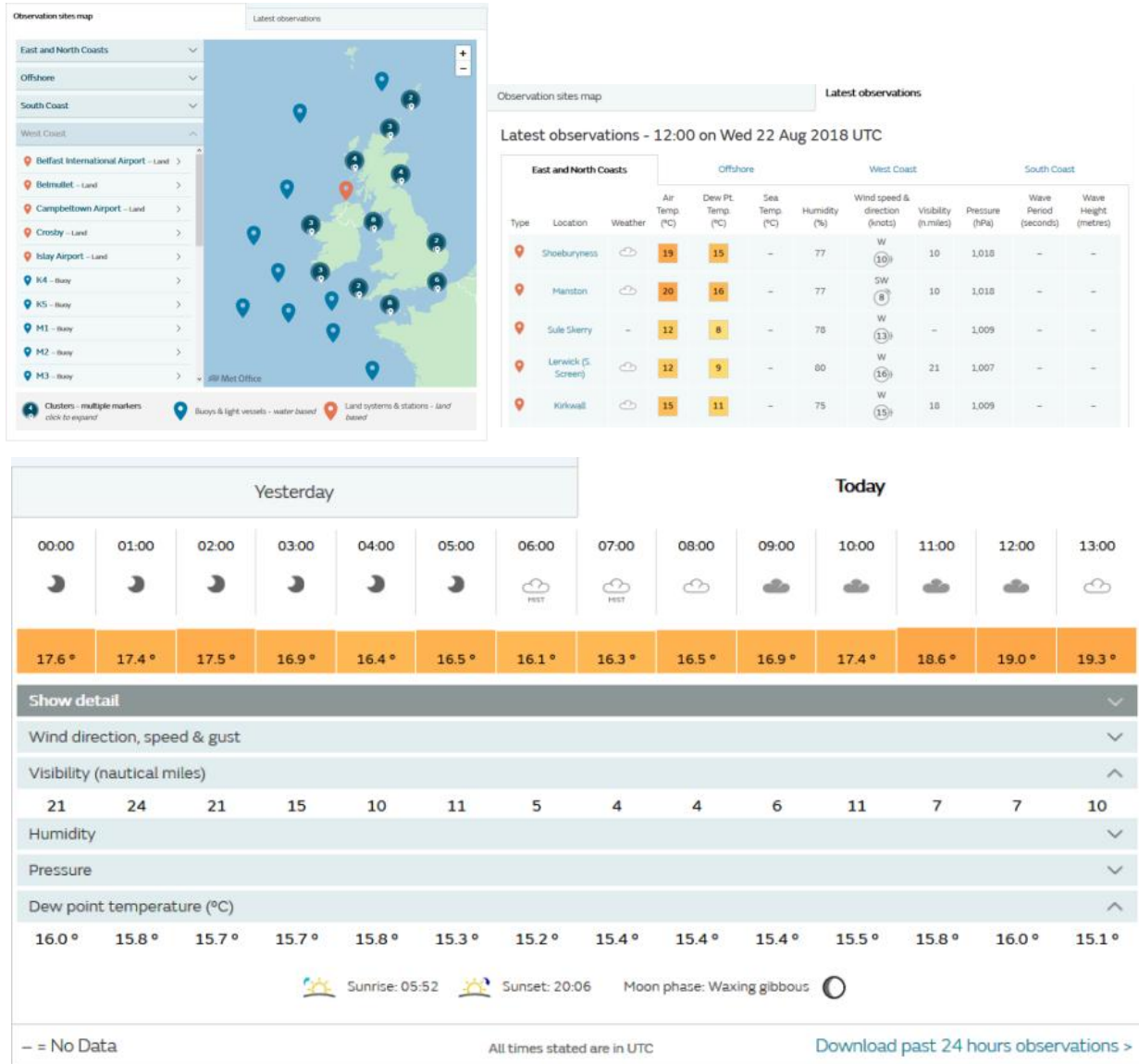


그림 119 영국 기상청 시정 관측 자료 제공 현황

■ 일본 기상청

일본 기상청은 주변 해역을 격자로 나누고 시정을 3단계(0.5km 이하, 0.5 ~ 1km, 1km 이상)로 나누고 1일 1회 3, 9, 15, 21시 예측장을 홈페이지를 통해 제공하고 1일 후의 시정 예보를 텍스트 형식으로 제공한다. 일본 기상청은 내륙, 연안 및 해상의 155개 지점에서 시정을 관측하고 있으며, 위성을 이용한 해무 관측은 기존 MTSAT(Multi-Functional Transport Satellite) 위성을 2015년에 Himawari 8 위성으로 대체하여 500m 해상도의 관측 영상을 10분 간격으로 전송하고 있다. (그림 120 참조)

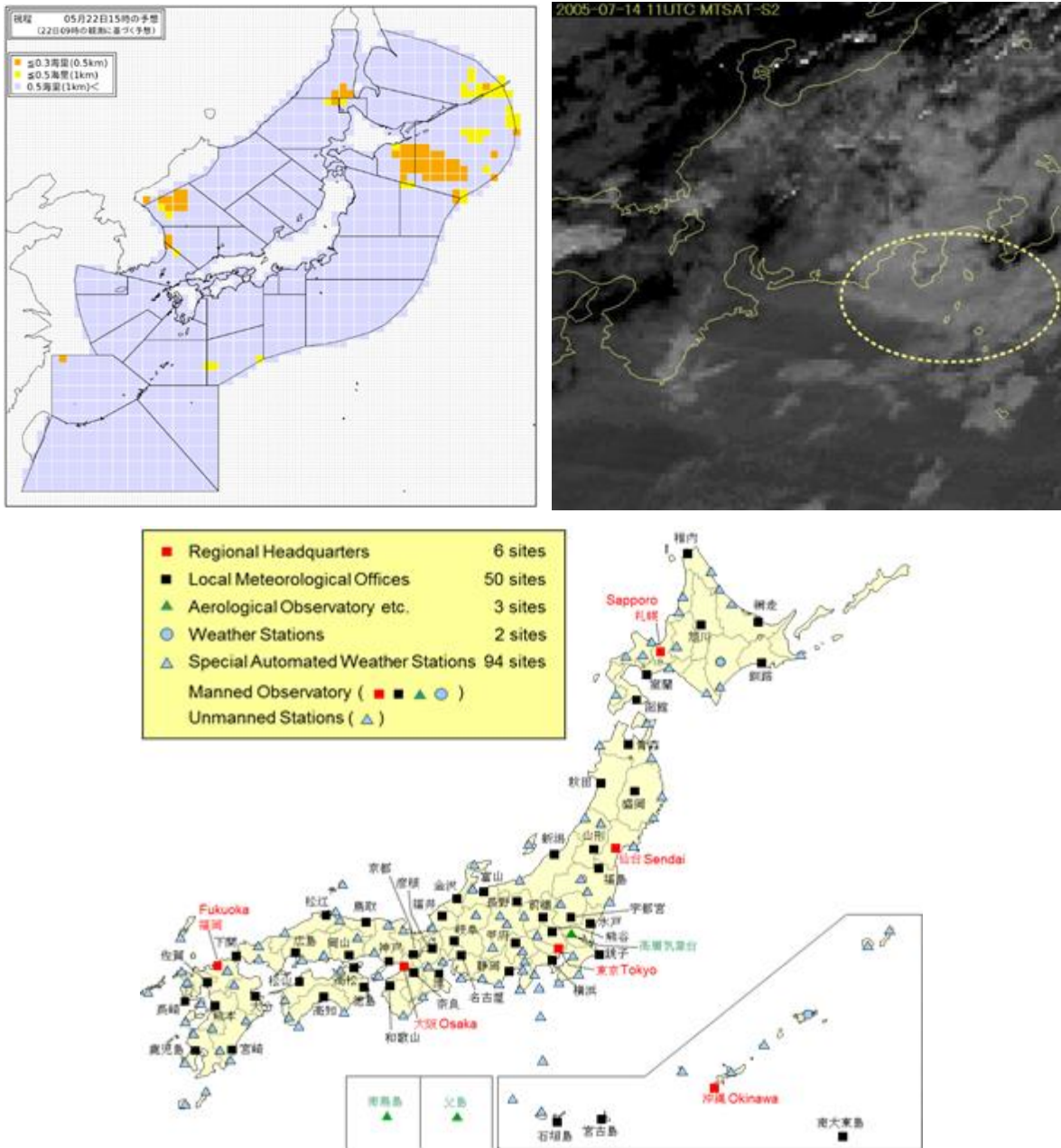


그림 120 일본 기상청 시정 예보 및 관측 서비스

다. 시사점

국내외 해무(연안 시정) 관련 예측 및 관측 서비스 현황을 수집하여 분석한 결과를 아래에 정리하였다.

우리나라 기상청은 2018년 4월 현재 안개 특보를 상세 안개정보로 개정하여, 지속적으로 안개 예보를 위한 예측 모델을 개발하고 유무인 관측 장비를 이용하여 내륙/연안에서 상대적으로 촘촘한 시정 관측망을 운영하고 있다. 국립해양조사원은 최근 11개 항만에서 시정 및 해양기상관측망을 구축하고 선박 통항량이 많은 항만 구역을 위주로 해무 관측을 수행하고 관측 자료 기반의 해무 예측 정보를 시험 생산하여 제공하고 있다. 국외에서는 내륙, 연안 및 해상에서 해무(시정) 관측망을 구축하여 실시간 시정 정보를 제공하고 선박의 안전 항해와 국민의 해상 여가 활동을 위하여 연안, 근해 및 외해역을 대상으로 해무(시정) 예보/예측 정보를 제공하고 있는 것으로 조사되었다.

국외 사례와 비교하면 국내 해무(시정) 관측 및 예보/예측 정보 서비스는 ①육상에서 떨어진 연근해를 대상으로 하는 해상 시정 현황 및 예측/예보 정보가 전무하고 ②위성을 이용한 해무 탐지 정보가 보다 명확하게 제공되어야 할 필요성이 있으며 ③사용자가 관측 자료 제공 서비스에 접근하여 관련 자료를 취득하기 위하여 여러 단계를 거쳐야 하는 등 자료 이용의 편의성이 미흡한 것으로 판단된다.

최근 여가 활동 증가로 연근해 조난 사고가 지속적으로 증가하고 그 중 해무(해상 안개)로 인한 사고가 점차 늘어나고 있어 향후 연근해 해무 정보의 중요성과 필요성은 더욱더 증가할 것으로 예상되며 향후 수요에 대비한 해무 관측 및 예측 정보 서비스 구축이 시급히 요구된다. (표 32 참조)

표 32 국내외 해무(시정) 정보 서비스 비교

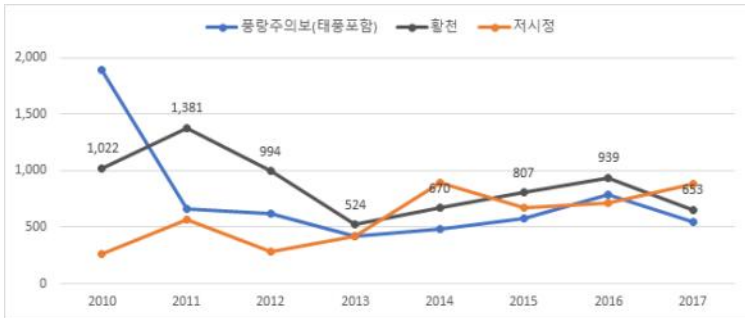
구분		기상청	국립해양조사원	미국	영국	일본
관측	내용	시정, CCTV, 위성탐지	시정, CCTV, 위성탐지	시정, CCTV, 위성탐지	시정	시정, 위성탐지
	범위	해안(내부용)	11개항	연안, 연근해	연안, 연근해	연안
예측	내용	발생지역, 가시거리 지속시간	보통해무 짙은해무	DenseFog Freezing Fog	4단계 가이던스	3단계 가이던스
	범위	우리나라 전연안	인천항, 해운대	연안, 근해, 외해	연안, 근해, 외해	주변해역
	주기	위험 발생시	매시간	4회 /1일	2, 4회 /1일	1회/1일
	간격	-	3, 6, 12 시간 후	1 ~ 3시간 간격	-	3, 9, 15, 21시
	기간	-	12시간	7일	24시간	1일

4. 해무 정보 서비스 구축 방안

가. 현황 및 문제점

지난 8년간(2010 ~ 2017) 기상별 해양조난사고 인명피해 통계자료에 따르면 풍랑이나 황천 기상조건 시 해양조난사고로 인한 인명 피해는 감소하는데 반해 저시정시 인명피해는 꾸준히 증가하는 추세이다. 이는 우리나라의 경우 기상특보 발효시 관련법에 의거하여 선박출항을 통제하고 있어 기상특보의 정확도가 높아질수록 해양조난사고 인명피해가 감소하는 것을 의미한다. 따라서 해무 정보는 국민의 안전과 사회경제적 영향 측면에서 매우 중요한 정보이나 현재 기상청에서는 기존의 안개 특보를 폐지하고 기상청 홈페이지를 통해 분포도와 텍스트 형식으로 안개정보를 서비스하고 있으나 정보 전달 측면에서 다소 미흡한 것으로 판단된다. (그림 121, 122 참조)

해양경찰청 해상조난사고통계



선박출항통제기준(해사안전법 제31조)

구분	기상상태	
여객선 외 (어선포함)	풍랑 해일 태풍 주의보/경보	시계 제한시 (시정 0.5km, 11km)
여객선		시계 제한시 (시정 1.0km, 11km)

그림 121 기상별 해양조난사고 인명피해 및 선박출항통제 기준



그림 122 선박 및 인명 사고 분포 현황(국립해양조사원 개방해)

나. 해무 집중 관측망 구축 방안

■ 현황

기상청에서 내륙과 연안지역에서 종관기상관측장비(ASOS)와 자동기상관측(AWS)을 통한 자동 관측과 목측에 의한 수동 관측을 통해 시정을 산출하고 있으며 천리안 위성을 이용한 안개 탐지 영상을 제공하고 있다. 시정을 목측으로 관측하는 지점은 21개소이며, 279개소(2016년 기준)에서 시정계를 이용한 자동 관측을 수행하고 있다(이와 서, 2018). (그림 123 참조)

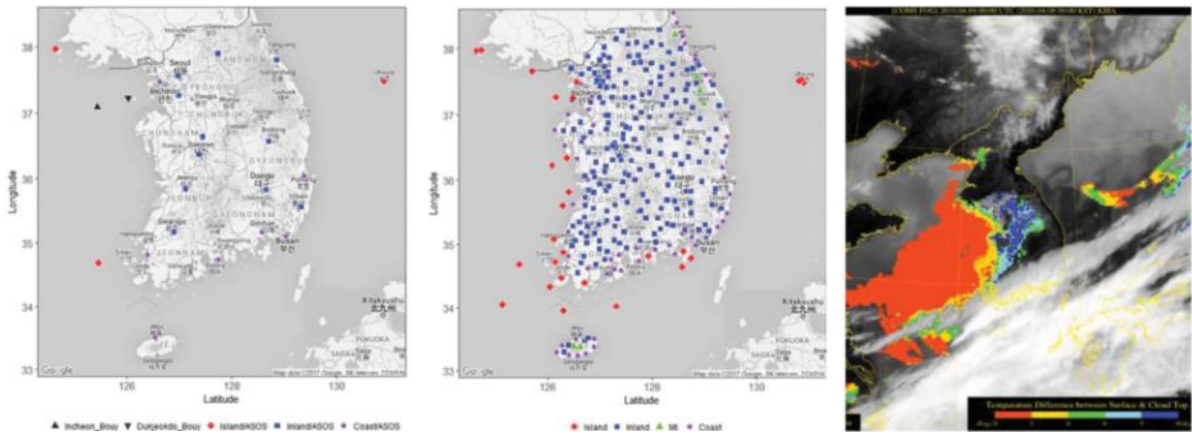
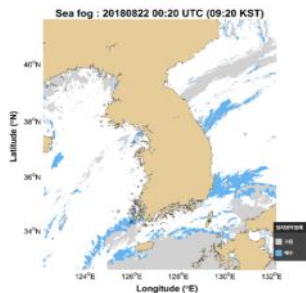


그림 123 기상청 시정 관측망(좌: 목측, 중: 시정계, 우: 위성영상)

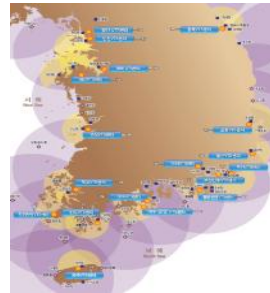
국립해양조사원은 2016년에 4개소(부산항, 부산항신항, 인천항, 평택당진항), 2017년에 7개소(군산항, 대산항, 목포항, 여수항, 포항항, 울산항, 부산 해운대)에 해무(해양기상)를 관측하기 위하여 시정계와 CCTV 및 기상관측 장비를 설치하여 운영하고 있다. 또한, 처리안 GOCI 영상과 일본 Himawari-8 영상자료를 이용한 해무 탐지 영상을 제공하고 있다. 해양경찰청은 18개소의 해상교통관제(VTS: Vessel Traffic Service)센터에서 시정계를 이용한 시정 거리 관측과 더불어 선박 교신을 통한 해무 발생 여부를 관제 일지에 기록하고 있으며 해무(시정 거리 1,000m 이하) 또는 짙은 해무(시정 거리 500m 이하) 일 때, 선박운항통제 관리대장에 선박 통제 및 해제 상황을 기록하고 있다. (그림 124 참조)



국립해양조사원 해무관측망



국립해양조사원 위성해무탐지



해양경찰청 VTS 센터

VTS 위치	시정계	관리대장
경인항	○	○
군산항	○	○
대산항	○	X
동해항	○	X
마산항	○	○
목포항	○	○
부산신항	○	X
부산항	○	X
여수연안	○	X
여수항	○	○
울산항	○	○
인천항	○	○
제주항	○	○
진도연안	○	X
통영연안	○	X
평택항	○	○
포항항	○	○

해양경찰청 해무관측자료

그림 124 유관기관 해무 관측망 현황

■ 해무 집중 관측망 구축 방안

해무 관측 정보는 정확한 해상 현황을 제공함과 동시에 해무의 다양한 기작(형성, 진화, 분산 등)에 대한 충분한 자료를 제공하고 이를 통해 보다 신뢰성 있는 해무 예측 정보를 제공하는데 목적이 있다.

현재 기상청 및 유관기관의 해무(시정) 관측은 주로 해안에 설치한 연안 시정계와 한반도 영역을 대상으로 위성 탐지 안개 영상을 표출하고 있으나 여객선 운항, 어선 조업 및 최근 해상 레저 활동이 활발한 연근해역의 해무 정보는 일부 섬을 제외하고 거의 없는 실정이다.

해무 집중 관측망은 기상청 및 유관기관의 기존 관측망을 최대한 활용하고 기존 해무 기인 사고 발생해역, 인명사고 발생 위험이 높은 여객선 항로, 입출항 선박으로 인한 통항 밀도가 높은 항만 구역 등 취약 지역을 고려하여 우리나라 전 해역에서 해무 관측 정보의 공백이 최소화 될 수 있도록 연안, 근해, 외해로 대상 해역을 구분하여 제시하였다.

✓ 연안

연안 해역을 대상으로 하는 해무 관측망은 기존 해무(시정) 관측망을 최대한 활용하는 방안이 효율적으로 판단된다. 연안 해무 관측은 선박 통항이 활발하고 사고 발생 빈도가

높은 해안 및 연안의 상황을 정확히 반영할 수 있는 지점을 선정하였다. 기상청에서 운영하는 기존 관측지점 중 시정계는 해안선에서 최대 500 m 이내에 위치(43개소, 일부지점 1km 이내)하고 관측된 시정거리를 판단할 수 있는 CCTV 관측이 인근 (1km 이내)에서 수행되는 지점(10개소, 시정계와 중복)을 선정하였으며, 항만에 위치한 국립해양조사원 해양기상관측소(11개소)를 활용하는 방안이 효율적으로 판단된다. 해양경찰청 VTS 센터 시정계와 해양수산부 비디오 모니터링 지점은 CCTV를 활용한 시정 산출 알고리즘 적용 가능성을 검토한 후 적용하는 것으로 계획하였다. (그림 125 참조)

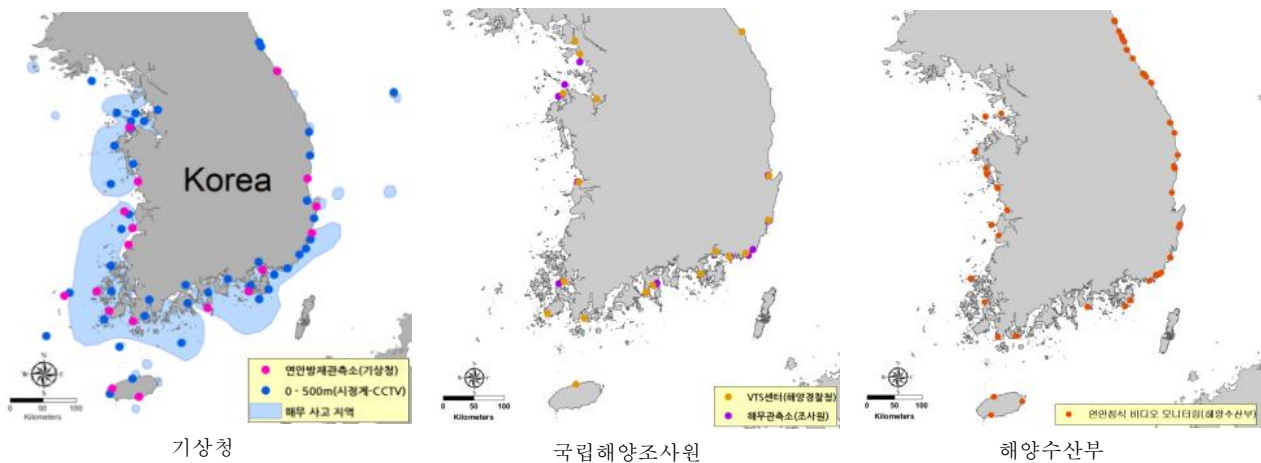


그림 125 연안 해무 관측 관련 기관별 관측 지점

✓ 연근해

현재 연근해 해역을 대상으로 하는 해무 관측 정보는 기상청에서 일부 섬에 설치된 시정계와 위성 자료 분석을 통해 산출되고 있으나 주요 여객선 항로 및 어업 활동 구역에 대한 충분한 정보를 제공하기에는 매우 제한적이다. 연근해 해무 관측망은 해안에 설치하는 관측 장비에 비해 공간적인 제약으로 인하여 도입 및 운영 비용이 상대적으로 높아 충분한 관측 해상도를 유지하는데 어려움이 있다. 따라서 주요 여객선 항로와 어업 활동 구역 인근에 위치한 해양기상부이(17개소)와 해양등표(8개소)에 시정계와 CCTV를 신규 설치하여 연근해 해무 관측망을 구축하고 하는 것이 효율적으로 판단된다. 해양기상부이에 설치되는 시정계와 CCTV는 매우 열악한 상황에서 관측이 이루어지므로 기존 설치 사례를 충분히 검토하여 기 설치된 부이 시스템에 적합하고 신뢰성이 확보된 장비를 설치하여야 한다.

✓ 외해

외해 해무 관측은 넓은 영역을 효과적으로 관측할 수 있는 위성 안개 탐지 영상을 활용하는 방안이 유일하다. 현재 기상청에서 제공되는 안개 탐지 영상 자료는 한반도 영역

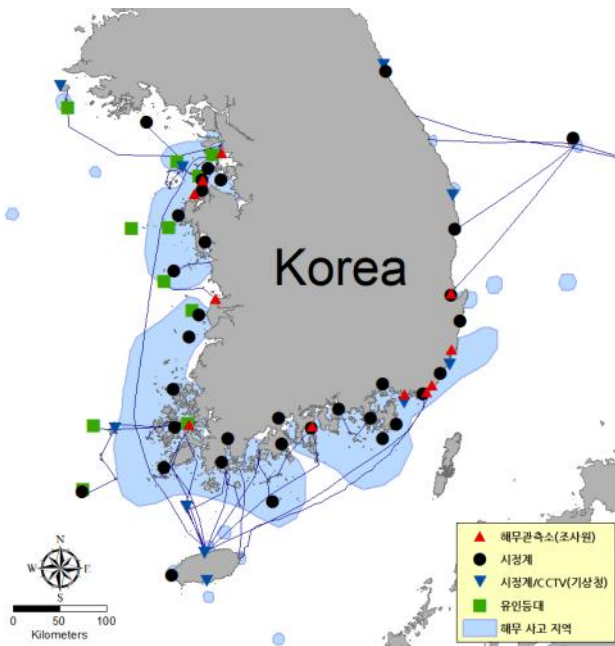
에 대하여 제공되고 있어 자세한 영역에 대한 정보 제공이 미흡하므로 영상 자료를 가공하여 웹 GIS 상에서 표출하거나 해구별 정보로 제공되는 것이 보다 활용성이 높을 것으로 판단된다.

✓ 해무 집중 관측망 구축안

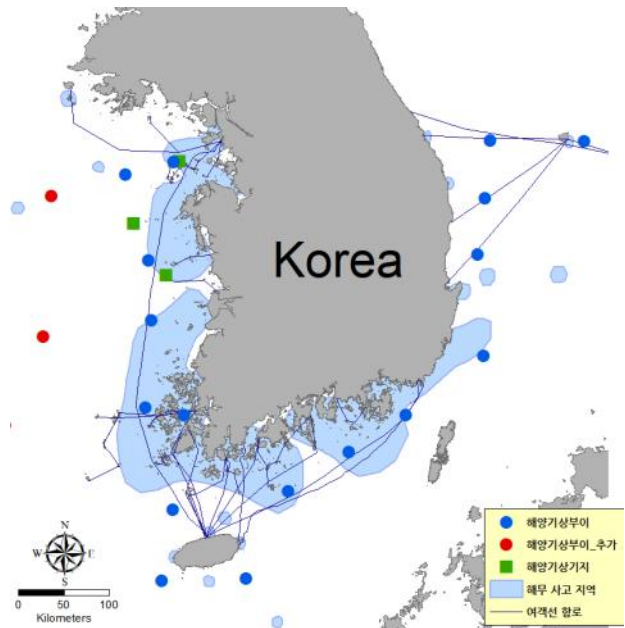
위에서 제시한 연안, 근해, 외해 해무 관측망을 정리하여 아래의 표에 제시하였으며, 해무 관측망을 통합한 해무 집중 관측망 구축안을 그림에 제시하였다. (표 33, 그림 126 참조)

표 33 해무 집중 관측망 구축 방안

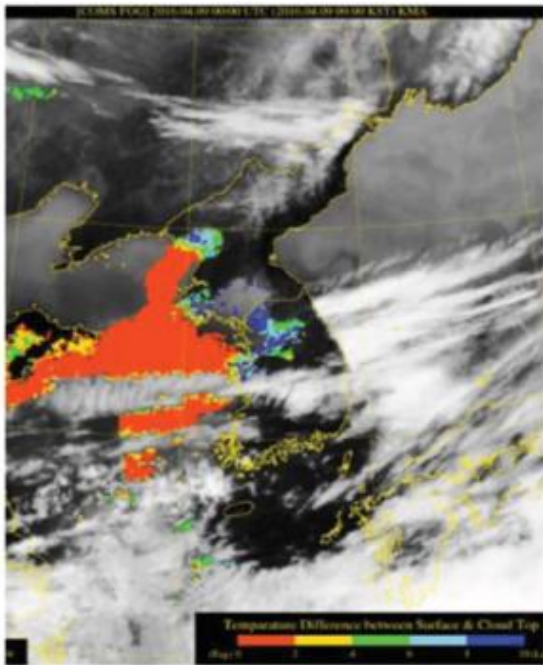
중점 고려 사항	① 해무기인 사고 발생해역 ② 연안 해무 관측 공백 해소 ③ 인명사고 발생 위험이 높은 여객선 항로	
대상해역	관측 지점	구축 방안
연안 (54)	(기상청) • 연안 시정계(기존 33개소) • 연안 CCTV(기존 10개소) • 유인등대 (신설 8개소) (유관기관) • 국립해양조사원 해양기상관측소(11개소)	• 기존 관측망 활용 • 신설 관측소 시정현천계, CCTV 설치 • 유관기관 협조체계 구축
연근해 (17)	(기상청) • 해양기상부이(기존 17개소) • 해양기상부이(신설 10개소) • 해양기상기지(신설 3개소)	• 시정계 및 CCTV 추가 설치 • 영상자료를 이용한 시정 산출 알고리즘 적용
원해 (1)	(기상청) • 천리안 안개 탐지 영상 자료 활용	• 영상 자료 가공 • 웹 GIS 상 표출



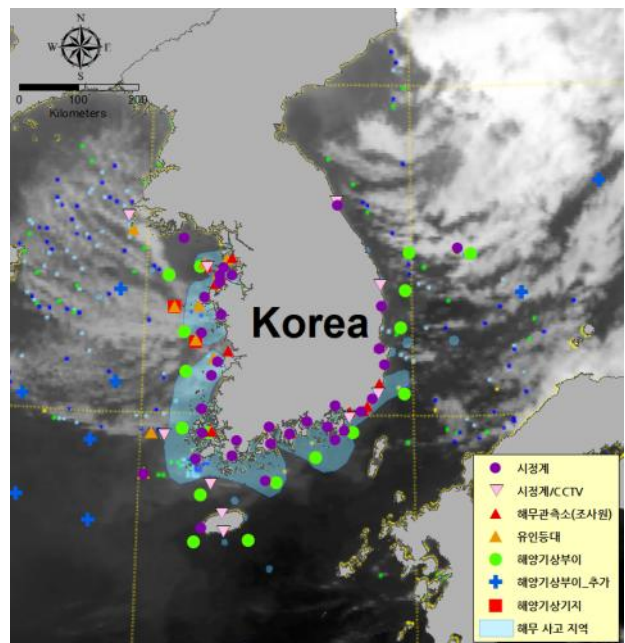
연안



연근해



외해



통합 해무 관측망

그림 126 해무 집중 관측망 구축안

다. 해무 예측 정보 산출 방안

해무 예측 정보는 국외의 경우 해상 안전을 위하여 기본적으로 제공되고 있으나 우리나라의 경우 기상청에서 제공되었던 안개 예보는 안개 정보 서비스로 변경되어 중요도가 다소 낮아졌다.

육상은 안개로 인하여 교통이 통제되는 경우는 거의 없으나, 해상에서 안개는 해상 교통과 생업뿐만 아니라 해상 안전사고에 직접적으로 영향을 미치고 이로 인한 사회경제적 피해를 야기한다. 해상 사고는 지속적으로 증가하고 기상 기인 해상 사고 중 해무로 인한 사고 비율이 현저히 높게 나타나고 있는 상황이다. 해상 사고 예방과 사회경제적 피해를 방지할 위하여 해상에서 안개 정보는 지속적으로 요구되어져 왔으며 정확한 해상 안개 상황 및 예측 정보의 수요는 앞으로 더욱 증가할 것으로 예상되어 해무 예측 정보의 산출 체계 구축은 시급한 사안으로 판단된다.

해무 예측 기술은 통계적인 방법과 역학기반 수치 예측 모델이 서로 상호 보완하는 방법을 통해서 지속적으로 발전되어 왔다. 우리나라에서도 수치 모델을 이용한 안개 예측과 대기 예측 결과에 기반한 다양한 예측 가이드스가 개발되어 왔으며, 최근에는 기계학습 및 인공지능 기법을 적용한 예측 기술이 시도되고 있다.

현재 기상청에서는 지역 안개가이드스, 지역특화 안개가이드스, 구름물리기반 안개가이드스 및 연무가이드스를 산출하여 안개 정보 서비스를 통해 제공하고 있으나, 정보에 대한 접근성과 텍스트 위주의 정보 전달로 사용자 측면에서 다소 불편한 면이 있다. 기상청 안개 정보 중 해상을 대상으로 하는 정보는 연안 안개 정보가 유일하며 연근해 및 외해 해무 예측 정보는 제공하고 있지 않다.

해무 예측 정보 산출 측면에서 정확한 해무 예측을 위해서는 대기의 미세물리 과정, 해양-대기 경계층에서 난류 모의, 해무 산출 알고리즘, 해양-대기 접합모델 개발, 관측자료를 이용한 수치모델의 자료동화 등 방대한 분야에 대한 이해와 이를 통한 모델 개발이 바람직하다. 현재 구름 및 안개의 생성 기작을 포함한 대기 예측 연구는 학계, 연구기관 및 정부부처를 중심으로 국가적인 과제로 진행되고 있다.

■ 추진방안

구름 미세물리과정, 경계층 난류 모델 등 보다 정확한 대기 예측 모델 개발은 기존 연구개발 및 기상청 현업에서 산출되는 결과를 이용하는 것이 효율적으로 판단된다. 우리나라 전체 영역을 대상으로 하는 기존 연구 및 현업에서 개별적으로 다루기 힘든 국지 연안 및 연근해를 대상으로 대기 예측 모델 결과를 이용한 해무 예측 기법을 단계적으로 개발하고 적용하는 방안이 효과적일 것으로 판단된다.

■ 해무 예측 정보 산출 방안

해무 예측 정보는 기본적으로 기상청 혹은 국외 대기 예측 자료를 활용할 수 있는 기법을 적용하여 단기, 중장기로 나누어 예측 기술을 개발하는 방안을 제시한다.

해무 예측 기술 개발 앞서 최우선적으로 수행하여야 할 단계는 해무 발생 특성을 분석하는 것이다. 기존의 연구 결과를 분석하고 현장 관측 자료를 수집하여 해역별 해무 발생 및 소멸에 영향을 미치는 해양기상 인자를 도출하고 영향 범위를 파악하여야 한다.

단기적으로 해무 특성 분석 자료를 바탕으로 대표적인 해무 발생 지역을 대상으로 개발 기간이 비교적 짧고 효과적인 통계모형을 적용하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. 통계모형은 해무 발생 특성을 이용한 의사결정트리 기법(예: Lindner et al, et al. 2018)이나 인공지능 기법(기계학습, 딥러닝; 예: Claxton, 2008)을 적용하여 특정 연안/연근해를 대상으로 한 해무 예측 정보를 산출한다.

중장기적으로는 대기 예측 모델에서 산출된 기상 변수와 해양기상 예측 모델에서 산출된 해양 변수를 이용한 1D 해무 예측 모델(예: Koracin et al, et al. 2001)을 개발하여 적용한다. 또한 대기 예측 자료의 불확실성을 최소화하기 위하여 다양한 대기 예측 모델 결과를 이용하는 앙상블 기술(예: Duan et al, et al. 2012)을 개발·적용하여 연안, 연근해 및 원해를 대상으로 하는 해무 예측 산출 체계를 구축한다. (표 34 참조)

표 34 해무 예측 방법의 장단점 및 적용 방안

구 분	목 표	내 용
단기	<ul style="list-style-type: none"> • 해무 발생 특성 파악 	<ul style="list-style-type: none"> • 대기, 해양 자료 수집 및 분석 • 해무 발생 사례 분석 • 우리나라 해무 발생 특성 분석
	<ul style="list-style-type: none"> • 연안/연근해 특정 해역 대상 국지 해무 예측 모델 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 대기 예측 결과를 활용한 통계모형 기법 분석 • 특정 해역 대상 <ul style="list-style-type: none"> - 의사결정트리 개발 및 적용 • 다양한 대기 예측 모델 결과를 이용한 앙상블 시정 산출
중장기	<ul style="list-style-type: none"> • 우리나라 전해역 대상 해무 예측 체계 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 특정 해역 대상 <ul style="list-style-type: none"> - 인공지능 기법 개발 및 적용 • 해양 예측 변수와 대기 예측 변수를 이용한 1D 해무 예측 모델 개발

라. 해무 정보 서비스 구축 방안

해무 정보 서비스는 다음과 같이 구분된다.

- 해무 집중 관측망 구축
- 해무 예측 정보 산출 체계 구축
- 통합 해무 정보 전달시스템 구축

앞서 제시한 해무 집중 관측망 및 예측 정보 산출 체계에서 산출된 해무 현황 및 예측 자료를 효과적으로 제공할 수 있는 사용자 중심의 해무 정보 전달 시스템이 요구된다. (그림 127 참조)

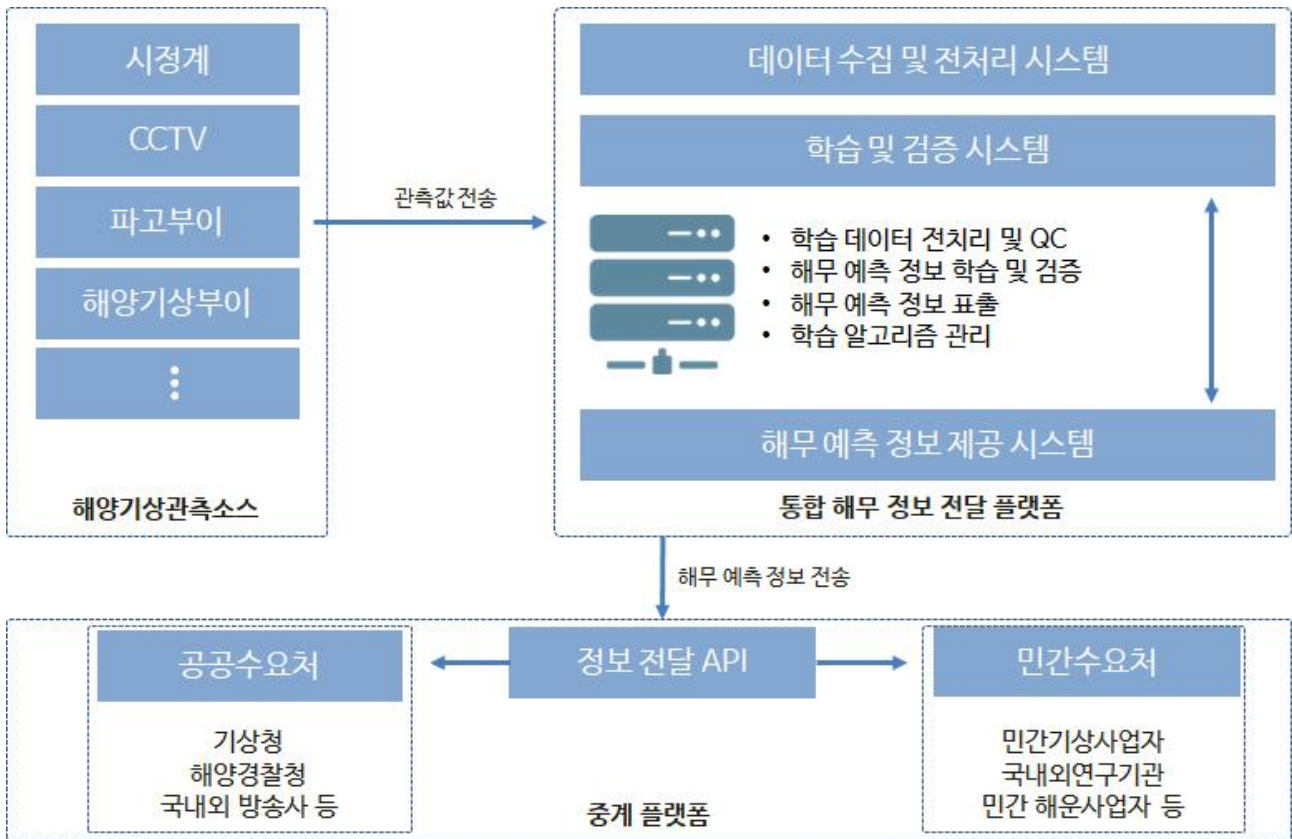


그림 127 해무 정보 전달 시스템 적용

해무 정보 전달 시스템을 살펴보면, 시정계, CCTV, 파고부이, 해양기상부이 등의 해양 기상관측소로부터 생산된 관측값은 해무 정보 전달 플랫폼으로 전달되고, 통합 해무 정보 전달 플랫폼은 수집된 데이터의 전처리 후 전처리된 데이터를 기반으로 학습 및 검증을 수행함으로써 해무 예측에 정보를 생산할 수 있다. 생산된 해무 예측 정보는 정보 전달 API를 통해 기상청, 해양경찰청 등 해무 정보를 원하는 공공수요처 또는 민간기상

사업자, 국내외 연구기관 등의 민간 수요처로 전송한다. 이러한 시스템을 고도화함으로써 해무 집중 관측망 및 예측 정보 산출 체계에서 산출된 해무 정보를 사용자 중심으로 발전시킬 수 있다.

5. 결론

가. 통합 해무 정보 서비스 구축 방안 및 로드맵

본 연구에서는 최종적으로 해무 정보 서비스 구축을 위한 세부 실행 방안을 다음과 같이 제시하고 단·중기 로드맵을 총 3단계로 정의하고 단계별로 핵심목표를 설정하였다. (그림 128, 129 참조)

- 1 • 수요자 맞춤형 해양기상 정보 제공을 위한 해무 집중 관측망 구축
 - 기존 해양기상 관측망을 활용한 관측 요소, 관측 지점 확대를 통한 관측망 효율 극대화
 - 해안, 연근해 및 외해역 대상 해무 정보 생산 체계 구축 및 유관기관 협력을 통한 관측 공백 최소화
 - 해무 관련 빅데이터 구축, 통계모델/인공지능을 활용한 고품질 관측 자료 생산 기술 개발
 - 해무 관측자료 활용성 증대를 위한 품질평가 및 전달체계 구축
- 2 • 국민의 안전 사고 예방을 위한 해무 예측 정보 산출
 - 연안 해무 사례 분석을 통한 우리나라 연근해 해무 특성 분석
 - 대기 예측 자료를 이용한 현상(관측) 기반 해무 예측 기술 개발
 - 해양기상 예측 자료와 대기 예측 자료를 이용한 1D 해무 예측 모델 개발
- 3 • 사용자 중심의 통합 해무 정보 전달 시스템 구축
 - 해무 관측/예측 자료 통합 모니터링 및 전달 체계 구축
 - 직관적인 표출 기법을 적용한 해무 관측 모니터링 시스템
 - 다양한 분석 기법을 적용한 해무 예측 자료 표출 및 분석 시스템 개발

그림 128 해무 정보 서비스 구축을 위한 세부 방안

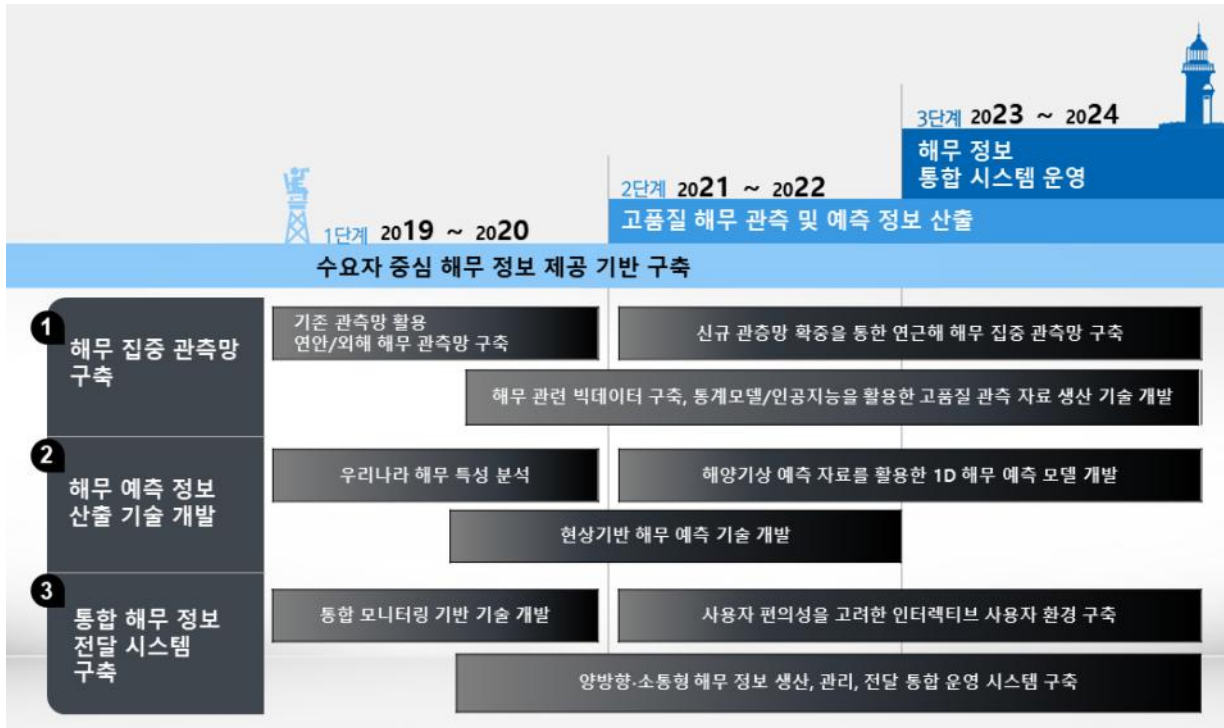


그림 129 해무 정보 서비스 구축을 위한 단·중기 로드맵

제4절 동해안 월파 및 너울에 의한 위험도 평가

1. 너울 및 월파의 정의

가. 너울

너울은 큰 풍랑이 저기압, 태풍중심 등의 발생위치를 떠나서 잔잔한 해안에 온 경우, 또는 바람이 갑자기 그친 후의 남은 파도 등으로 해양과학용어사전(2005)에서 정의하고 있다.

너울 관련 정보 기준은 국외 사례도 많지 않으며 너울에 대한 정의는 학계에서도 파랑의 일정 범위를 학자별로 한정하여 구분하고 있는 실정이다. 너울의 명칭마저도 너울, 너울성 고파, 이상파랑, 돌연고파 등 다양하게 정의되고 있으며, 정량적 정의가 이루어지지 않은 상태이다. 이에 관련하여 명확한 현상의 정의가 되어 있지 않은 너울 및 월파의 피해는 특정한 경우의 피해로 처리되며, 재해항목으로 분류가 되어 있지 않아 공공분야에서 별도의 통계 자료는 생산되지 않고 있다. (표 35 참조)

표 35 기존 연구에서의 다양한 너울의 정의

구분	내용
Goda(2000)	<ul style="list-style-type: none"> • 너울은 파랑이 생성되는 해역에서 벗어나 연안역으로 전달되는 파랑 • 파의 주기가 비교적 길며, 파형경사는 완만한 반면에 파랑스펙트럼의 형상은 뾰족한 것으로 알려져 있으며, 주기가 8~20sec 정도, 파형경사는 0.02 이하인 파
Utsunomiya et al.(2009)	<ul style="list-style-type: none"> • 유의파고가 2m 이상인 파랑 중, 유의파주기가 10sec 이상이거나 파형경사가 0.02이하인 파
오 등(2010)	<ul style="list-style-type: none"> • 유의주기가 길고($T \geq 9\text{sec}$) 유의파고가 큰($H_s \geq 3\text{m}$) 파랑
안 등(2013)	<ul style="list-style-type: none"> • 너울 정의를 위해 대표적인 파랑스펙트럼 형상모수로 파랑스펙트럼 첨두모수(Q_p)를 사용
IT기술을 이용한 너울성파랑 대처기술 개발(2014)	<ul style="list-style-type: none"> • KOGA-E01 부이형 파고계로부터 기준 고파랑을 산정하고 이로부터 너울 정보 기준으로 산정 • 유의파고의 평균값 2.77m로 폭풍파랑으로 정의하였으며, 예·경보 기준으로 유의파고 1.89m(관심), 2.14m(주의), 2.77m(경계), 3.20m(위험)로 구분 • 지속시간에 대한 기준도 0.5hr(관심), 1.0hr(주의), 5.0hr(경계), 9.0hr(위험)으로 설정 • 후포와 속초 파랑관측자료를 분석하여 $Q_p \geq 2$, $T_p \geq 8\text{sec}$로 너울을 정의
김 등(2016)	<ul style="list-style-type: none"> • 너울성 고파라는 명칭은 현상의 돌발성을 적절히 나타내지 못하는 용어라 생각하여, 돌연고파(Sudden high wave)로 너울성 고파를 지칭 • 돌연고파의 파고, 주기(또는 파장) 및 발생 소요 시간 등을 나타낼 수 있는 변수($\Delta(H^2L)/\Delta t$)를 선정하고, 상위 20% 값인 $\geq 88.6 \text{ m}^3/\text{hr}$를 돌연고파의 기준으로 제시

국외에서 가장 많이 활용되는 너울 기준은 세계기상기구(WMO)에서 제시하는 더글러스 너울 계급표이다. 이 표는 과거 해상에서 경험한 목측으로 너울 강도가 먼저 분류되고 후에 수치로 정량화된 너울의 분류 계급표이다. 현재 국내·외 기관에서 주로 제시되는 수치모형에 의한 너울파고, 주기는 파랑의 특정 주파수를 수치적으로 분류해 너울파랑의 제원, 성분만을 별도로 제시하는 것으로 현실적으로 경험되어지는 파랑과는 다른 부분이 있으며, 오히려 실제 해상에서 파랑의 강도는 더글러스 계급표와 같은 분류방법이 현실적이라 할 수 있다. (표 36 참조)

표 36 더글러스 너울계급 분류표(WMO)

계급	구분	파장(m)	주기(초)	파고(m)
0	No swell	0	0	0
1	Verylow (short or low wave)	200이하	11.3이하	2이하
2	Low (long and low wave)	200이상	11.4이상	2이하
3	Light (short and moderate wave)	100이하	8.0이하	2~4
4	Moderate (average and moderate wave)	100~200	8.1~11.3	2~4
5	Moderate rough (long and moderate wave)	200이상	11.4이상	2~4
6	Rough (short and heavy wave)	100이하	8.0이상	4이상
7	High (average and heavy wave)	100~200	8.1~11.3	4이상
8	Very high (long and heavy wave)	200이상	11.4이상	4이상
9	Confused	둘 이상의 방향에서 너울이 몰려와서 해상이 혼란할 경우		

국내에서는 해양수산부에서 연안 이상현상(이상고파, 이안류) 발생원인 규명 및 대응체계 구축연구를 2014년부터 시작해 2018년 5차년도 연구를 수행중이며, 행정안전부 국립재난안전연구원에서는 2016년부터 너울예보 시스템 개발을 위한 연구를 수행중이다. 기상청에서도 2015년 이상파랑 감시 모니터링 예보 기술 개발에서 동해안 너울 관측 및 예보시스템에 대한 연구를 수행한 바 있다. (표 37 참조)

표 37 현재진행중인 너울관련 국내연구

구분	연안 이상현상(이상고파, 이안류) 발생원인 규명 및 대응체계 구축연구(해양수산부)
2014년	• 이상고파, 이안류 원인규명과 거동특성 파악을 위한 조사 및 설계
2015년	• 세부별 연구 시스템 구축 및 이상고파, 이안류 원인규명과 거동특성 파악
2016년	• 이상고파, 이안류 원인인자 도출 및 거동특성 파악
2017년	• 이상고파, 이안류 원인규명과 거동특성 파악을 위한 현장관측, 수치, 수리실험 수행 및 예측·감시 기법검증
2018년	• 기상정보와 관측 통합기반 감시(예경보) 기법 개발 및 대응시스템 개발
구분	너울성 파랑 예측시스템 구축(국립재난안전연구원)
2016년	• 해양재난 예측정보 콘텐츠 기술 개발
2017년	• 너울성 파랑 수치예측모형 정확도 개선 및 확대적용
2018년	• 너울성 파랑 예측모델 시범지역 확대적용

해양수산부의 연안 이상현상(이상고파, 이안류) 발생원인 규명 및 대응체계 구축연구에서는 고파랑 경보 시스템의 경보기준으로 1일 24시간 예측결과 중 조건에 따라 3시간 이상 지속되는 상태에 경보를 하도록 되어 있다. 기상청의 동해 중·남부 앞바다로 설정된 영역에서 파고-주기 기준 중 하나라도 해당이 될 경우 다음과 같은 기준으로 경보를 하는 안을 제시하였으나 아직 연구 진행 중으로 확정된 범위는 아니다. (표 38 참조)

표 38 고파랑 경보기준(해양수산부)

유의파고	피크주기	상태	유의파고	피크주기	상태
2m 미만	-	안전	1.5m 미만	8초 미만	안전
2~4m	-	주의	1.5m~2m	8~10초	주의
4m 이상	-	위험	2m 이상	10초 이상	위험

국내에서 진행중인 국립재난안전연구원의 연구(2017)에서는 현재 생산되고 있는 관측 및 예보정보를 실질적으로 활용할 수 있는 파고, 주기의 경계로 동해안 너울 경보기준을

4단계로 분류하였다. 과거 피해자료 및 관측자료 등을 참고하여 단계별 경보기준을 결정하였으며, 경보범위는 기상청의 동해 중·남부 앞바다로 설정된 영역에서 예측수치모델이 도출하는 유의파고 및 주기가 기준범위 안으로 나타났을 경우이다. 이러한 경우, 지역 및 경우에 따라 다르나 일반적으로 연안역에서 주의(2m, 8sec)시 약 1.2~2.0m, 경계(4m, 11sec)시 약 2.1~3.8m 정도의 파고를 나타낸다. 이 연구에서는 수치예보모델을 시범운영 중으로 경보기준에 따라 현장 실사 등을 수행하고 있으나 너울 발생에 따른 공식적인 계측, 집계 자료가 전무하다시피 하므로 경험적인 경보기준의 조정은 아직 이루어지지 않고 있다. (표 39 참조)

표 39 너울 경보기준(국립재난안전연구원)

계급	파고	주기(초)	더글러스 너울 계급	경보범위
양호	2m 이하	8.0초 미만	0~1	
관심	2m 이하	8.0초 이상	1~2	
주의	2m 이상	8.0초 미만	3(Light)	
경계	2m 이상	8.0 이상~11초 미만	4~7 (Moderate~High)	
위험	4m 이상	11초 이상	7~8등급	

앞서 언급한 바와 같이 너울을 정의하는 범위에는 상당히 많은 이견이 존재하고, 너울 발생에 따른 공식적인 계측, 집계 자료가 전무한 상태이므로 향후 너울 기준의 수립을 위해서는 가급적 동일한 기준을 가지고 장기간 자료를 확보 분석하여 검·보정하는 과정이 필수적이다. 그러나 단일 연구로 동해안 넓은 지역의 모니터링 및 자료축적에는 시간 및 비용적인 한계를 수반하게 된다. 선행연구의 기준을 활용하면 향후 연구수행에 있어서 각 기관에서 도출할 연구성과를 용이하게 적용할 수 있을 것이다.

이에 따라 금회 연구에서 너울 강도 분류는 국립재난안전연구원의 너울 경보기준으로 설정하기로 하였으며, 기상청 기후과학국 해양기상과에서는 국립재난안전연구원에서 수립한 너울의 위험판단기준(안)을 시험 적용하여 가이던스의 적용 및 검증 수행을 진행 중이다.

표 40 단계별 너울 예·경보 가이드스(안)

계급	파고	주기(초)
양호	2m 이하	8.0초 미만
관심	2m 이하	8.0초 이상
주의	2m 이상	8.0초 미만
경계	2m 이상	8.0 이상~11초 미만
위험	4m 이상	11초 이상

나. 월파

파의 처오름 작용에 의하여 범람에 대한 방어 또는 연안침식 예방을 위한 구조물의 마루높이를 넘는 현상을 월파라 하며 실제 구조물의 마루높이를 넘는 월파의 유량은 일정하지 않기 때문에 일반적으로 폭 1m 당 평균 유출량($l/s/m$ 또는 $m^3/s/m$)으로 취급한다.

월파량 산정을 위한 주요 인자는 파고, 주기, 파형경사, 쇄파 모수, 구조물의 형상(경사, 소단, 피복, 폭 등), 처오름 높이 등이다. 주요 인자의 각각의 불확실성이 크기 때문에 월파량의 산정은 수리모형실험을 통한 경험식을 주로 사용하며, 최근에는 수치모형실험을 적용하는 경우도 있으나 각 지역별 정밀 재현이 수반되므로 상대적으로 비용이나 시간적인 제한을 가지고 있다. 일반적으로 구조물 설계에 적용하는 월파량 산정식은 다음과 같은 항만구조물 설계 기준서에 포함되어 있다.

미국 : CEM(Coastal Engineering Manual)

일본 : Technical standards and commentaries for port and harbor facilities in japan

유럽 : EurOtop

한국 : 항만 및 어항설계기준 해설

이 중 EurOtop은 영국, 네덜란드, 독일의 설계기준을 확장하여 유럽 내 월파관련 연구자의 연구성과를 수록한 지침서로 일본 및 국내 기준도 이 경험식을 적용하고 있다.

구조물의 설계에서는 극한 상황에서의 설계파랑에 대하여 일정량의 월파량을 허용·비허용하는 관점에서 시설물의 설계를 수행하나, 예·경보 관점에서는 월파 발생 전 단계에서 위험도를 분류하여 예보하는 것이 타당할 것이다.

금회 연구에서는 기존 문헌자료를 바탕으로 허용월파랑에 따라 안전, 주의, 위험의 3단계로 분류하였다.

표 41 허용 월파량 기준에 따른 월파 예·경보 가이드스(안)

단계	월파량 $q(m^3/s/m)$	위험요소
위험	$q \geq 0.005$	벽으로부터 5-20m 떨어진 작은 배의 침수 비교적, 큰 배의 피해
주의	$0 < q < 0.005$	사람, 차량(호안, 방파제 배후로 근접해 있는 경우)의 피해
안전	$q = 0$	안전

2. 너울 및 월파에 의한 동해안 피해현황 조사

가. 조사 및 분석방법

너울 및 월파에 의한 피해는 공식적으로 집계하는 기관이 없기 때문에 과거 사례를 정확하게 확인하기가 쉽지 않은 실정이다. 금회 피해사례 조사에서는 2010년 1월~2017년 12월에 발생한 너울 및 월파 관련 미디어 피해 자료를 수집하여 지자체별 총 피해 현황 분석하였다. 키워드 검색을 통해 지자체별로 발생한 인명 피해(구조, 실종, 사망 포함), 재산피해를 집계하였다. (표 42 참조)

지자체	미디어집계 피해건수	인명피해 (인)	재산피해 (건)
고성군	15	20	3
속초시	7	6	2
양양군	4	4	2
강릉시	10	15	2
동해시	5	8	-
삼척시	6	13	-
울진군	6	10	-
영덕군	4	7	-
포항시	15	32	2
울산광역시	11	24	3
총계	83	139	14

표 42 지자체별 너울 및 월파 피해현황(2010년 1월~2017년 12월)

나. 피해현황 조사결과 및 한계점

미디어 보도자료는 주로 인명피해에 대한 뉴스를 다루고 있으며, 관측자료와 비교해 볼 때, 고파랑 발생상황은 명확하나 사고원인이 경보 등의 안전관리 상의 문제인지 피해자의 부주의로 인한 것인지 명확치 않다. 또한, 2015년 11월 24~27일 동해안 전역에 발생한 너울로 인한 피해내역을 입수·분석한 결과 각 지자체별 안전펜스, 어구 등의 재산피해가 상당한 것으로 나타났으나 미디어 보도는 크게 되지 않아 객관적인 자료로 신뢰하기는 어렵다.

또한, ‘너울’ 키워드로 검색된 보도자료의 빈도수가 최근 3년간 자료에서 상당히 증가하는 것으로 나타났는데, 기후 환경변화로 인해 동해안의 파랑강도가 증가하고 있는 추세이나 최근 3년 사이에 너울의 발생빈도가 2~3배 증가했다고 보기는 어려우며, 이는 너울의 정의가 제시되어 있지 않아 보도에서 자의적인 해석에 따라 ‘너울’ 키워드의 사용빈도가 높아진 것으로 보인다.

그러나 너울 및 월파에 의한 피해가 지속적으로 발생하고 있으며, 위험 기상현상으로 인식되어 사회적인 방재대응의 필요성이 대두되고 있으므로 이에 대응하여 기상청에서는 재해 예방을 위한 기상정보를 제공할 필요가 있다. (그림 130, 표 43, 44, 45 참조)

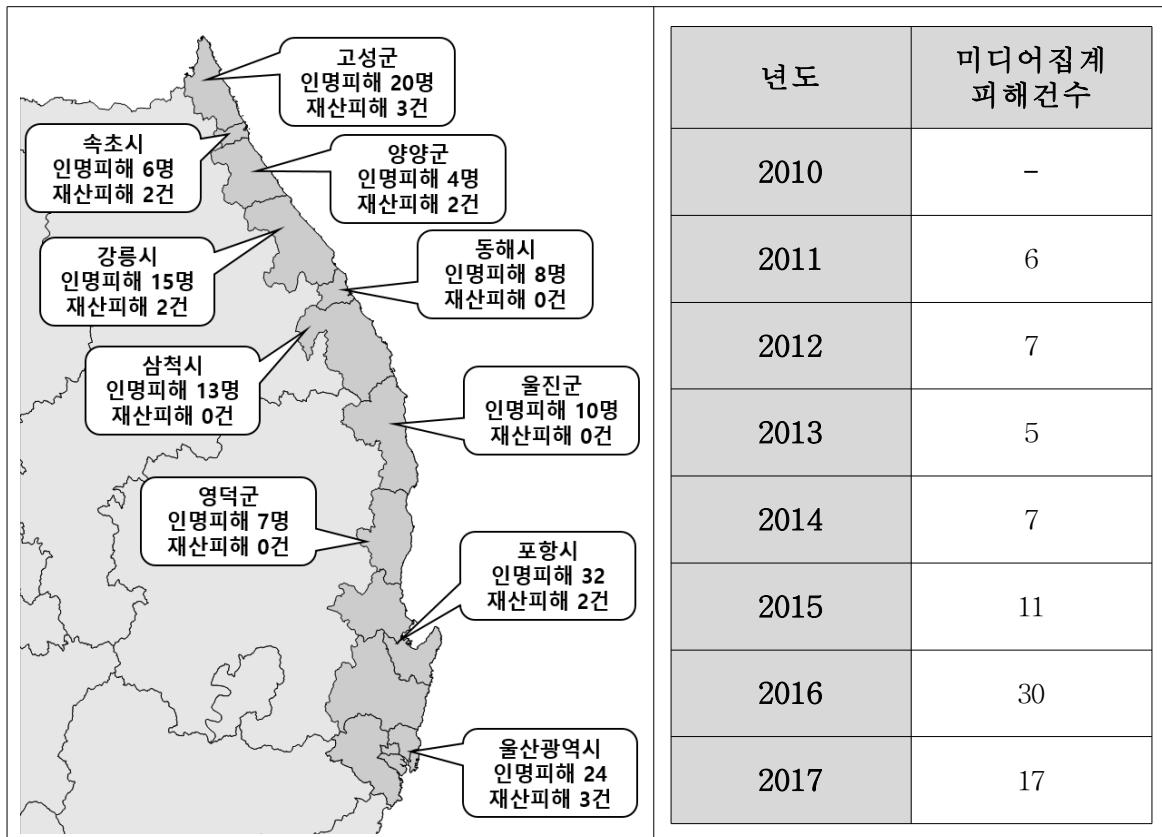


그림 130 미디어 피해자료 (2010년 1월~2017년 12월) 요약

표 43 미디어 피해자료(2010년 1월 ~ 2017년 12월) 내용(계속)

날짜	미디어	지자체	발생지역	피해현황
2011-08-25	연합뉴스	울산광역시	울산항 매암부두	횃집유리창파손/1명피해
2011-09-03	NEWSIS	동해시	망항 해수욕장	1명실종
2011-09-08	연합뉴스	울산광역시	산하해변	1명사망
2011-09-07	강원일보	동해시	망상해변	1명실종
		강릉시	강문해변 백사장	2명사망
		속초시	속초해변	2명피해
2012-01-20	NEWSIS	삼척시	남애물 갯바위	2명실종
2012-07-22	NEWSIS	삼척시	맹방해변	1명사망
2012-11-20	강원신문	강릉시	공군비행장 앞 해변	4명구조
2012-12-14	울산매일	울산광역시	주전 앞바다 방파제	1명사망
2012-12-17	문화일보	울산광역시	울산신항 북방파제	작업선전복 (7명사망/5명실종)
		양양군	낙산해변	4명구조
		동해시	망상해변 앞바다	2명구조
2013-07-29	강원일보	강릉시	경포해변 앞바다	3명구조
2013-10-21	환경일보	울산광역시	당월 공단내 방파제	차량15대파손
2013-12-23	강원 도민일보	속초시	영랑동 해안도로	횃집 유실
		고성군	거진해안도로	경관펜스60m파손
2014-02-16	경북일보	영덕군	경정3리앞바다	1명사망/2명구조
2014-02-25	영남일보	울진군	후포항 인근 해안	보트전복(2명구조)
2014-06-17	경북매일	울진군	후포4리갯바위	2명사망
2014-07-05	NEWSIS	강릉시	사근진해변 앞바다	3명사망
2014-08-12	노컷뉴스	포항시	여남갯 앞 해상	2명구조
2014-10-15	경북매일	포항시	용한리 부두	자망어선1척침수
2015-06-25	경북매일	울진군	후포 앞바다	1명구조
2015-07-20	연합뉴스	포항시	월포 해수욕장 인근	2명구조
		포항시	구룡포 해수욕장 인근	1명구조
2015-07-24	아시아	포항시	영일대 해수욕장 인근	3명구조
2015-08-03	뉴스통신	포항시	구룡포 해수욕장 인근	3명구조
2015-08-24	NSP통신	울진군	후포항 갯바위	1명구조
2015-08-27	GUKJENEWS	포항시	영일대 해수욕장 인근	1명구조
2015-08-28	NEWSIS	고성군	삼포 해수욕장 인근	3명구조
2015-09-10	NEWSIS	속초시	속초 해수욕장 인근	1명사고
2015-09-29	연합뉴스	속초시	속초항 북방파제	2명추락
2015-11-27	SBS	양양군	양양군 일대	어구 피해
2016-01-20	SBS	강릉시	레일바이크	-
	YTN	강릉시, 속초시, 양양시	전국 너울성	-
	울산매일	울산	전국 너울성	-
2016-04-17	강원일보	고성군	지반 침하	-
2016-05-27	뉴시스	동해시	카약 전복	구조 1명
2016-06-26	뉴시스	강릉시	소돌해변	실종 1명, 탈출 1명
	연합뉴스	고성군		구조 3명

표 44 미디어 피해자료(2010년 1월~2017년 12월) 내용

날짜	미디어	지자체	발생지역	피해현황
2016-06-27	경북일보	포항시	장사 해수욕장	구조 3명
2016-06-26	SBS	영덕군	고래불 해수욕장	사망 1명
2016-06-26	연합뉴스	삼척시	장호 해변	구조 1명
		삼척시	삼척 해변	구조 2명
2016-07-18	소방방재신문	울진군		구조 3명
2016-08-21	YTN	포항시	영일대 해수욕장, 외해	구조 3명
2016-08-26	경북 도민일보	포항시	포항시남구 구룡포읍 하정리 앞바다	구조 2명
2016-08-29	YTN	양양군, 고성군	침수 및 도로통제	-
2016-09-09	국제뉴스	울산광역시	우가항 갯바위	구조 2명
2016-09-09	경향신문	고성군	고성군 봉포리 앞 해상	구조 1명
2016-09-10	연합뉴스	고성군	천진 해변	구조 3명
2016-09-10	KBS	고성군	해변	사망 1명, 구조 1명
2016-09-13	연합뉴스	고성군	천진 해변 (스쿠버)	구조 2명
2016-10-18	연합뉴스	강릉시	영진항 동쪽 1마일 해상	구조 1명
2016-10-19	연합뉴스	영덕군	해상	구조 1명
2016-11-08	국민일보	삼척시	춧대바위	사망 3명
2016-12-25	연합뉴스	속초시, 고성군	산책로 파손 및 침수	무
2016-12-26	강원 도민일보	강릉시	레일마이크 붕괴	무
2016-12-26	아시아 뉴스통신	포항시	전촌항 어선 침수	무
2017-01-17	뉴시스	고성군	해변	사망 1명
2017-04-12	연합뉴스	고성군	대진항 앞바다	구조 1명
2017-04-12	아시아 뉴스통신	울진군	카약 전복 낚시객	구조 1명
2017-06-02	매일신문	포항시	배 전복(해상)	사망 1명
2017-06-03	연합뉴스	동해시	망상 해수욕장	구조 1명, 사망 2명
2017-06-03	KBS	속초시	영랑동 방파제	구조 1명
2017-06-03	KBS	고성군	천진 해수욕장	구조 2명
2017-06-13	뉴스1	울산광역시	레저보트 전복	구조 1명
2017-08-07	로이슈	울산광역시	산하 해변	구조 3명
2017-08-12	뉴시스	고성군	해변	구조 1명
2017-08-12	뉴시스	삼척시	부남 해변	구조 3명, 사망 1명
2017-08-13	연합뉴스	고성군	송지호 해수욕장	사망 1명
2017-08-13	아시아 뉴스통신	포항시	청하 해변	구조 1명
2017-08-18	국제뉴스	영덕군	덕천 해변	구조 2명
2017-08-21	연합뉴스	포항시	갯바위	구조 1명
2017-08-30	YTN	포항시	해상	구조 3명, 사망 4명, 실종 2명
2017-11-12	뉴시스	울산광역시	해상	구조 3명

표 45 2015년 11월 24일~27일 너울로 인한 재산피해 현황(지자체 내부자료)

시군	시설명	피해내역								비고
		계		전파		반파		유실		
		건수	금액	건수	금액	건수	금액	건수	금액	
고성군	소계	2건	38,900	-	-	1건	28,900	1건	10,000	
	양식시설 (동호어촌계)	1개소	10,000	-	-	-	-	1개소	10,000	양식장 펌프 침수
	안전경관웬스 (가진,거진,초도)	126m	28,900	-	-	126m	28,900	-	-	
속초시	소계	3건	298,000	1건	22,500	1건	5,500	1건	270,000	
	어선	1척	5,500	-	-	1척	5,500	-	-	
	침식방지시설 (영랑동피복석 유실)	100㎡	270,000	-	-	-	-	100㎡	270,000	
	안전난간웬스 (영랑동, 설악항)	40m	22,500	40m	22,500	-	-	-	-	
양양군	소계	6건	491,900			4건	330,900	2건	161,000	
	연안도로 (광진리)	30m	150,000					30m	150,000	
	안전경관웬스 (인구,물치)	90m	28,400			90m	28,400			2개소
	구명함 및 표지판 (인구,동산, 기사문,후진)	8개소	11,000					8개소	11,000	
	방파제 물양장 (기사문)	580㎡	300,000			580㎡	300,000			
	방파제 출입문 (동산항)	1개소	2,000			1개소	2,000			
	방파제사석 (낙산항)	1개소	500			1개소	500			
강릉시	소계	26건	839,644	-	-	24건	827,691	2건	11,953	
	어선	10척	34,229	-	-	8척	22,276	2척	11,953	
	정지망 및 정치성구획	11건	467,615	-	-	11건	467,615	-	-	
	안전난간웬스(금진,심곡, 안인,강릉항)	26m	7,800	-	-	26m	7,800	-	-	
	소돌어촌계 회센터 펌프장 침수,파손	1개소	10,000	-	-	1개소	10,000	-	-	
	어구보관장 (영진,사천)	2개소	20,000	-	-	2개소	20,000	-	-	
	방파제 물양장(영진항)	500㎡	300,000	-	-	500㎡	300,000	-	-	

3. 해안가 피해 예방을 위한 너울 및 월파 정보 적정성 분석

가. 현재 너울 및 월파 예보의 적정성

너울 및 월파의 경우 재해분류가 되어 있지 않고 참고할 만한 자료가 전무하기 때문에 각 지자체나 유관기관에서는 사전 예방조치와 예산 편성에 어려움을 겪고 있으며, 예산 수립을 위한 공신력있는 근거자료가 필요한 것이 현실이다. 다만, 예측정보를 분류하는 세부기준은 실제 발생한 위험상황 사례와의 비교를 통해 대응 기관에서 납득할 수 있는 합리적인 지표를 수립하여야 한다.

국외사례에서 너울은 접근하는 관점에 따라 민간분야에서 레저(서핑)의 정보제공이 주를 이루고 있고, 방재 차원에서는 별도의 너울 물리적 정보(너울 성분의 파고, 주기, 에너지 스펙트럼 등)는 제공하나 위험 경보의 경우, 높은 파랑에 대한 위험 정보로 주로 제공하고 있다. 월파에 대한 경보는 사고가 빈번한 특정 지역에 한하여 모니터링 및 예측정보를 제공하고 있는 것으로 나타났다. 너울 및 월파에 의해 발생하는 사고사례에 대한 집계가 어려운 것이 현실이기 때문에 예·경보 정보제공은 국외에서도 제한적이다.

대체로 현재 기상청에서 제공하고 있는 정보(특정 지점의 정보의 물리적 수치)수준으로 하고 있으며, 제공정보의 종류와 방법은 선진사례와 비교할 때 기술적으로 큰 차이를 보이지 않는다.

너울과 월파에 대한 정보제공은 기상선진국 사례에서도 모든 지역을 대상으로 하는 경우는 찾아보기 어려웠으며, 일본이나 포르투갈 사례 조사에서 사고가 빈번히 발생하는 특정 지역에 대한 정보를 별도 구성하여 월파, 수위, 고파랑 정보, 대피정보 등을 제공하는 경우가 있다.

그러나 현재 기상청에서 제공하는 해상 관련 정보의 범위는 생산되는 예측정보에 대비해 해상국지예보구역이 상당히 넓은 영역으로 분류되어 있다. 각종 예·특보에서 육상국지예보구역은 시·군단위로 세분하여 대상으로 삼고 있으나 해상의 국지예보구역은 3~4개 시군을 포괄하는 범위를 예보 대상해역으로 구분하고 있다. 너울 및 월파 같은 연안 바다에 대한 위험정보 제공시, 실질적으로 이에 대응하는 실 사용자는 주로 지자체의 방재를 담당하는 부서이며 관련 유관기관도 각 지역별로 대응 업무를 수행하게 된다. 위험 상황에 대한 효율적인 대응 정보 제공을 위해서는 현재 예·경보를 수행하고 있는 해상국지예보의 지역적 범위보다 세분화된 정보의 생산 및 제공이 필요하다. 지역별 정보제공 방안을 마련하는 것이 필요하며, 세분화된 정보제공이 이루어지면 현재 각 지자체별로 보유하고 있는 예·경보 체계를 활용하여 지역맞춤형 위험대응체계를 구축 할 수 있을 것으로 기대된다.

또한, 월파와 같이 해안지형이나 구조물에 따라 복합적으로 발생하는 현상에서는 해안의 침·퇴적으로 발생하는 지형변화 등을 유기적으로 함께 고려해야 하며, 이를 위해서는 ‘다. 국외 너울 및 월파 정보제공 기술현황’에서 제시한 영국의 사례와 같이 유기적으로 발생하는 여러 물리현상들의 연동 평가를 수행하여 통합적으로 예측·관리할 수 있는 체계를 수립하는 것이 바람직하다. 해상의 바람, 파고 등의 단일 현상에 대해서는 현재 기상청에 구축된 수치모형을 통해서도 충분한 재현이 가능하나 지형변화 등을 고려해야 할 경우 현재보다 고해상도의 지형정보를 재현할 수 있는 격자체계의 수립, 예측정보를 검·보정할 수 있는 모니터링 체계가 필요할 것이다.

나. 국내 너울 및 월파 정보 서비스 현황

국내에서 너울에 관한 정보제공은 현재 기상청이 유일하며 너울 정보는 국지 파랑 예측 시스템에서 생산되는 에너지 스펙트럼을 Watershed 알고리즘에 적용하여 풍랑과 너울 성분을 분리, 너울의 진행 방향과 높이 정보를 생산/제공하고 있다. 또한, 강원지방기상청에서는 보도자료 및 해양방재기상 지원 밴드(네이버 밴드)를 통해 해양유관기관에 해상 안개, 높은 파고, 강한 바람 등 해양위험 기상정보를 제공하고 있다. 여기서는 동해상 위험기상 발생 가능성 정보를 제공하며, 해안가 너울 유입 예상시기가 포함되어 있다.

각 지자체 및 관련기관에서는 너울 및 월파에 대하여 사전 구조적 예방조치(안전펜스, 해안구조물 설치 등)를 수행하며, 사후 대응을 위주로 수행하고 있다. 해안지역의 경보의 경우 해상 위험 경보 시에 연안지역에 대하여 어촌계·수협 등으로 휴대폰 SMS (Short Message Service) 정보 전파, 지역별 CBS (Cell Broadcasting Service)등은 마을단위로 전파가 가능하고, 필요시 고파랑시 지자체 및 어민들이 위험지구에 대한 통제, 안전조치를 수행할 수 있으나, 기상청이 수행하고 있는 해상 경보의 경우도 예·경보의 지역적 범위가 ‘동해상’으로 지정범위가 넓어 개별적인 대응은 어렵기 때문에 행정구역 범위의 세분화된 경보가 필요한 실정이다. (그림 131, 132 참조)

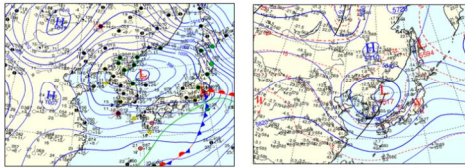


그림 131 기상청 너울파고 수치예보 서비스

배포일시	2010. 5. 25.(화) 09:00(총 1매)	보도시점	즉시
담당부서	강원지방기상청 예보과	담당자	과장 윤성득 전화번호 033-650-0343

강원동해안 너울 주의
- 모래(27일)까지 강풍, 풍랑, 너울 주의 -

□ 현재 동해상에 위치한 발달한 저기압은 느리게 이동하고 있고, 상층 5km 상공에는 절리저기압이 오호츠크 부근의 기압능에 저지되어 역회전하면서 정체하고 있으며, 동해북부해상 상공에는 영하 15도의 찬 공기가 유입되고 있는 상황임



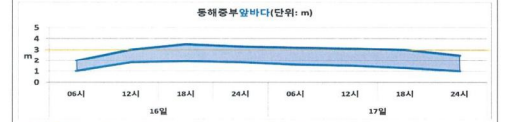
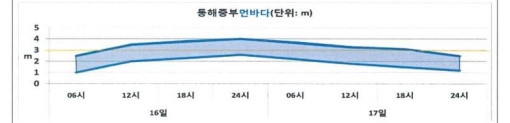
[지상일기도(2010. 5. 24. 21시)] [500hPa 일기도(2010. 5. 24. 21시)]

- 현재 동해중부해상에는 강한 바람과 높은 물결이 일고 있으며, 저기압이 동해상에서 정체함에 따라 동해안에서는 오늘부터 모래(27일)까지 매우 높은 파도가 방파제를 넘어 올 가능성이 있겠으니, 시설물관리와 함께 방파제 출입 등 안전관리에도 각별히 유의하시기 바람
- 또한 강원동해안지방과 울릉도·독도지방을 중심으로 바람이 강하게 불고, 강원산지와 내륙지방에서도 바람이 다소 강하게 부는 곳이 많겠으니, 비닐하우스 등 시설물 관리와 농작물 관리에 유의하시기 바람
- 동해중부해상에는 안개가 짙게 끼는 곳이 있겠으니, 항해하거나 조업하는 선박은 안전운항에 유의하시기 바람

강원지방기상청 동해상 위험기상 발생 가능성 정보 (2018. 8. 14. 16:30)

◆ 동해중부전해상 강한 바람 및 높은 파도 예상
⇒ 기간: 8. 16. 오전 ~ 8. 17. 오후
◆ 해안가 너울 유입(8. 16. 오후 ~ 8.18. 오후)

○ 동해상에서 발달하는 저기압으로 인해 16일 새벽 북쪽해역부터 바람이 강해지기 시작하였고, 16일 오전 동해중부전해상에 북동풍의 매우 강한 바람(~16㎞)과 높은 파도로 인해 풍랑주의보가 발효될 가능성이 있음
- 풍랑주의보 예상시기(동해중부전해상)
⇒ 8. 16. 오전 ~ 8. 17. 오후
※ 저기압의 이동속도에 따라 풍랑특보는 18일까지 이어질 가능성이 있음



※ 예상 유의파고 범위 풍랑 주의보 기준
○ 15일 오후부터 연해주해역의 강한 바람으로 발생한 너울이 16일 오후부터 18일 오후까지 동해안에 유입되었음

유의사항
▶ 대형 선박은 항해나 어업에 주의
▶ 높은 파도가 해안가 방파제나 해안도로를 넘는 곳이 있겠으니 해수욕장 관광객, 방파제 및 해안가 낚시객 등은 피해가 없도록 유의

그림 132 기상청 보도자료 및 동해상 위험기상 발생 가능성 정보

다. 국외 너울 및 월파 정보제공 기술현황

■ CDIP-미국 캘리포니아주 파랑 예보시스템

CDIP는 미국의 해안을 따라 파도와 해변을 모니터링하기 위한 네트워크로, 1975년 설립된 이래 해안분야 엔지니어와 기획자, 과학자, 선원 및 해양 애호가가 사용할 수 있도록 공개적으로 접근 가능한 데이터베이스를 제공한다. 이 그룹의 또 다른 주요 초점은 다양한 사용자에게 실시간 파랑 데이터를 제공하는 것이다. CDIP 웹 사이트를 통해 NOAA의 국립기상서비스(National Weather Service) 및 국립 데이터 부표 센터 (National Data Buoy Center)와 협력하여 관측 자료를 배포한다. 사용 대상자는 해양관련 전문직(항구 관리자, 라이프 가드, 선원 등) 및 레크리에이션 활동자(보트 및 해변 이용자, 서퍼 등)로 대중의 안전과 책임감 있는 해안 자원의 사용과 향유를 장려하는 것을 목표로 하고 있다.

이 시스템은 근해 파랑관측자료 및 파랑수치모델을 이용해 현재 및 3일 예측정보 제공하며, 너울예측정보는 현재 기상청에서 제공하는 수치예보와 동일한 알고리즘을 사용해 분리된 너울 성분을 파주기 8초 이상에 대하여 해변에서의 파고, 주기, 파향, 파랑스펙트럼 정보로 제공하고 있다. (그림 133 참조)

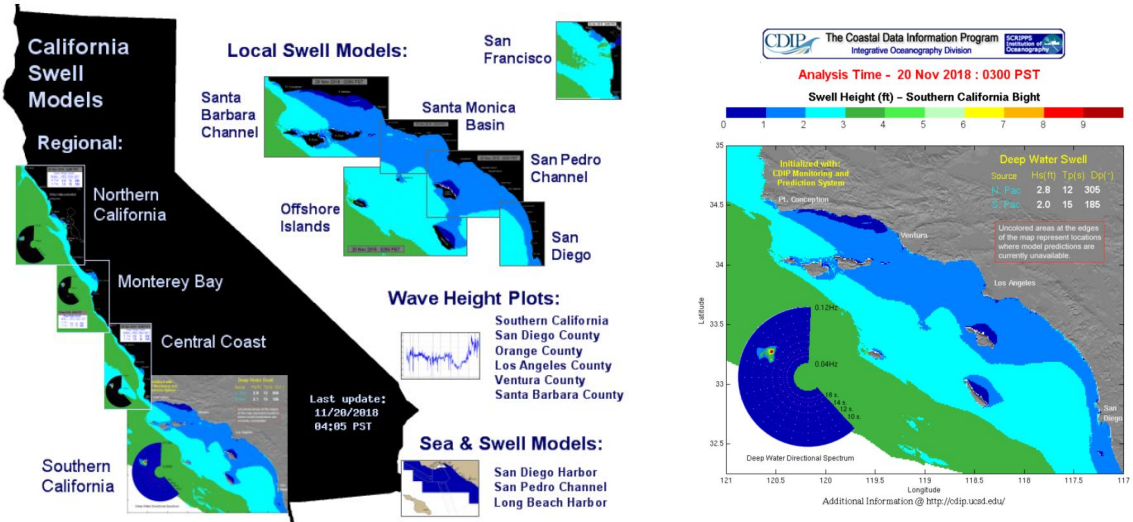


그림 133 CDIP 너울 정보제공 시스템(미국)

■ 일본 실시간 파랑관측 시스템

일본의 경우에는 전국 항만 해양 파랑정보망(NOWPHAS)을 이용하여 지형의 영향을 받지 않는 연안 부근의 표면을 관측하기 위해 해안선으로부터 13km, 수심 50m 정도의 해저에 초음파식 파고계를 설치하여 운영하며, 파랑 관측 정보는 기상청에 의한 파랑 예보에 활용되고 장기간의 데이터 통계 분석을 통해 항만·해안·공항 사업의 계획·조사·설계·시공을 비롯한 연안 지역의 개발·이용·방재에 폭넓게 활용하고 있으나 너울에 관련한 전국적인 별도의 예보는 없으며, 장주기파의 내습으로 부진동 현상이 자주 발생하는 나가사키만의 지역 방재교육자료 배포 및 지자체 예보 등이 대표적이다. 또한, 교통부 ‘지방 해상 예보 및 지방 해상 경보에 관한 발표 형식’에서 너울은 더글러스 너울 계급표를 그대로 차용해 사용하고 있다. (그림 134 참조)



그림 134 일본 전국 항만 해양 파랑정보망(NOWPHAS)

■ 호주 실시간 파랑관측 시스템

선박항행, 수색 구조 활동 및 레저 활동에 주로 사용되며, 서핑을 위한 해양 서비스, 해상 요트 경주 용 해양 서비스로 바람, 파도 및 해양 정보를 제공한다. 호주 기상청은 Primary swell이외에 secondary swell 예보도 함께 하며 secondary swell의 경우 항상 예보가 되는 것이 아니라 다음 조건하에만 예보한다. (그림 135 참조)

- primary swell이 4m이하일 때 primary swell의 진행방향과 다른 방향에서 1.0m이상의 second swell이 발생하는 경우
- primary swell이 4~6m범위 일 때 primary swell의 진행방향과 다른 방향에서 1.5m이상의 second swell이 발생하는 경우
- primary swell이 6~8m범위 일 때 primary swell의 진행방향과 다른 방향에서 2.0m이상의 second swell이 발생하는 경우
- primary swell이 8~10m범위 일 때 primary swell의 진행방향과 다른 방향에서 2.5m이상의 second swell이 발생하는 경우

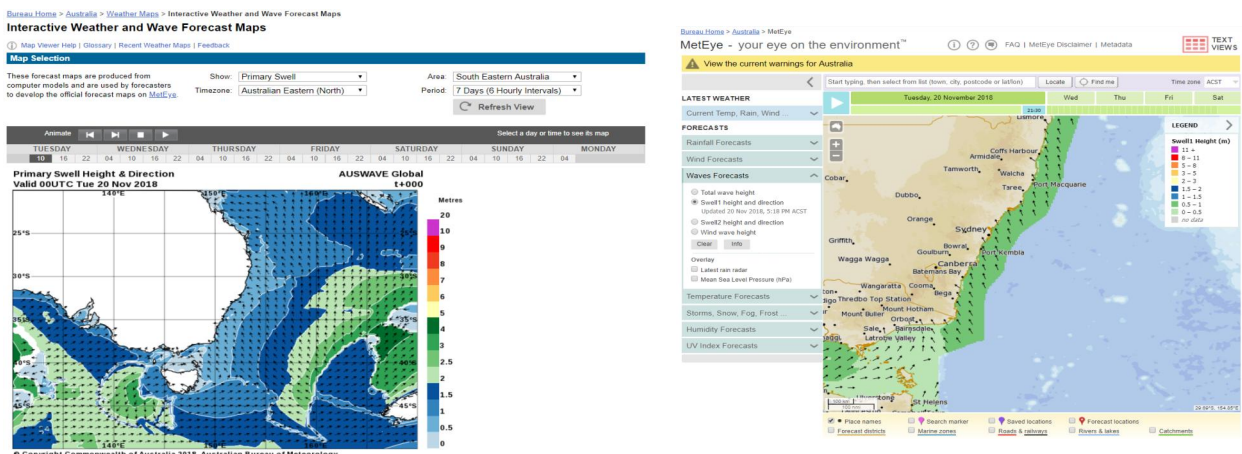


그림 135 호주 실시간 파랑관측 시스템(너울 정보)

■ 영국 범람 및 해안침식 위험관리 프로그램

영국은 연안 범람 예측 시스템으로 통합관리를 수행하고 있으며 아래와 같은 6단계를 유기적으로 연계하여 위험관리에 활용하고 있다. 실제 해안에서의 물리현상은 복합적인 요인에 따라 발생하며 월파현상은 고정된 구조물과 해상 파랑조건 이외에도 해안 지형변화에 따라 그 형태가 매우 달라지게 된다. 해안에서의 현상예측은 영국의 위험관리 프로그램과 같이 해안에서 나타나는 현상을 유기적으로 연동하여 평가하는 방법이 상대적으로 예측의 불확실성을 줄이고 현실적인 정보를 제공하는 방법이라 할 수 있다. (그림 136 참조)

- 1단계 : 자연상태 예측
- 2단계 : 해수면 변형
- 3단계 : 파랑의 변형
- 4단계 : 월파
- 5단계 : 해안변형
- 6단계 : 범람

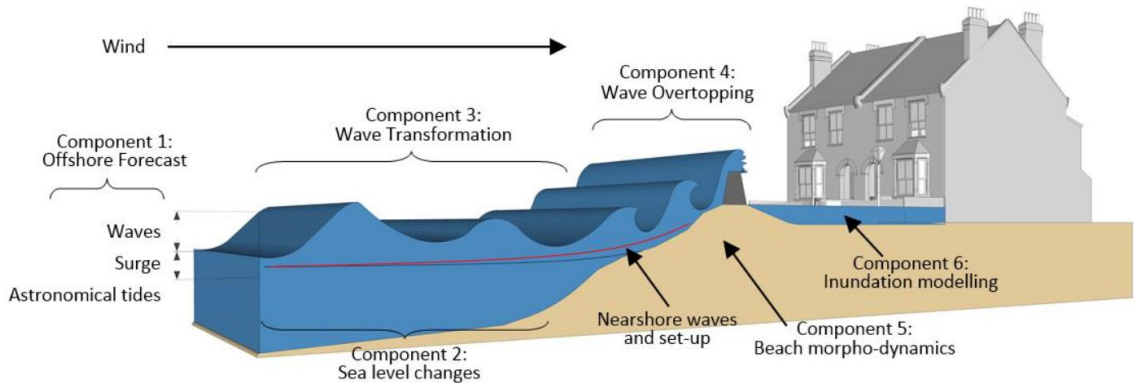


그림 136 범람 및 해안침식 위험관리 요소(영국)

4. 너울 및 월파 강도에 따른 위험도 제시

가. 너울 강도에 따른 위험도 평가

해안구조물, 선박 등은 너울의 물리적 강도에 따라 피해가 달라질 수 있으나 일반적으로 인명피해는 너울의 물리적 강도와는 상관없이 발생한다. 오히려 위험수준의 경보가 아닌 낮은 수준의 상황에서 돌발적인 사고나 부주의로 인한 사고가 자주 발생된다. 따라서 해안에서의 경보기준치 설정은 해상의 기준보다 보수적으로 평가할 필요가 있다.

너울의 강도(경보기준치)에 따른 위험도 평가를 위해서는 실제 피해상황과 당시 관측 또는 예보자료를 함께 분석해야 한다. 그러나 이를 수행하기 위한 공식적인 집계 및 계측자료가 절대적으로 부족한 상황이기 때문에 본 연구에서는 기 수행된 미디어 피해자료를 바탕으로 최근 3년(2015~2017년, 57건)에 대한 분석을 수행하였다.

피해당시의 집계나 상황자료의 부족으로 경보기준치의 조정은 어려우며, 본 연구에서는 너울 강도에 대한 위험도 평가 방법으로 피해당시의 관측결과 및 풍랑특보 상황을 집계하여 풍랑특보만으로 연안 위험에 대한 정보를 충실히 제공가능한지 여부를 확인하였으며, 금회 적용하는 너울 예·경보 가이드스(안)에 대입하여 너울 강도를 분류해 적용의 타당성 여부를 검토하였다.

너울 예·경보 가이드스(안)은 당시의 파고와 주기 정보가 필요하기 때문에 피해당시의 인근 기상청 파고부이 관측자료를 활용하였다. 현재 설정된 너울 예·경보 가이드스(안)은 기상청 동해 중·남부 앞바다로 설정된 영역에서 발생하는 파랑을 기준으로 하고 있다. 따라서 상대적으로 연안 가까이에 있는 파고부이에서 관측된 자료를 분류에 적용하면 실제 운용하는 것 보다 경보 출현빈도가 적게 나타난다고 볼 수 있다.

풍랑특보는 동해 앞바다 기준으로 예비특보를 포함하여 뉴스자료에서 피해당시의 경보 및 주의보 발령 유무를 확인하였다. 분석결과, 최근 3년간 57건의 피해집계 자료 중 풍랑특보는 37번 발령되었으며, 나머지 20건(약 35%)에는 풍랑특보가 없었던 것으로 나타났다. 미디어 보도자료를 기반으로 했기 때문에 전체 피해가 모두 너울/월파에 의한 피해로 보기 어려운 측면이 있고, 피해 내용상으로도 카약의 표류, 익수사고, 갯바위 등 너울 및 월파가 직접적인 원인이 아닌 것으로 추정되는 경우가 있다. 또한, 해안침식에 의해 발생하는 호안붕괴의 경우는 너울, 고파랑 등으로 인해 사전에 침식이 크게 발생하고 나중에 붕괴하는 현상도 종종 나타난다. 그러나 조사결과에서 풍랑특보 미발령시의 해안에서의 사고 발생비율이 전체 조사군의 1/3이상으로 높게 나타나, 해상기준의 풍랑특보가 해안에서의 위험에 대한 지표로 신뢰될 수는 없으며 별도의 연안바다에서의 재해 예·경보기준 수립이 필요함을 보여준다.

금회 수립한 너울 예·경보 가이드스(안)에서는 ‘양호’가 12건, 그 외 경보기준이 45건으로 풍랑특보에 비해서 해안에서의 경보수준은 크게 나타났으며, 분류에 사용한 계측 파랑이 실제 경보에 사용되는 파랑제한(동해 앞바다의 예보파랑)에 비해 상대적으로 낮은 수준의 파랑임을 감안할 때 상당부분의 위험범위를 경보 할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 금회 제시된 너울 예·경보 가이드스(안)은 불확실한 피해사례를 기초로 수립되었으며, 실제 운용된 바가 없으므로 시험 적용 및 모니터링을 통한 조정 과정을 반드시 거쳐야 한다. (표 46, 47, 48 참조)

표 46 수집된 피해자료 당시의 풍랑특보 상황 및 너울 경보기준에 따른 분류(계속)

구분	너울 예·경보 가이드스(안)					풍랑특보 기준	
	양호	관심	주의	경계	위험	○	X
전체(57건)	12	24	3	18	0	37	20

표 47 수집된 피해자료 당시의 풍랑특보 상황 및 너울 경보기준에 따른 분류(계속)

구분	날짜	피해 지역	피해 사례	관측파랑			너울 경보 (안)	풍랑 특보
				파고 부이	파고 (m)	주기 (sec)		
1	2015.02.08	동해 전해상	-	-	-	-	경계	경보/주의보
2	2015.06.25	울진군	카약 전복	후포	0.2-0.5	4.3-5.3	양호	X
3	2015.07.20	포항시	익수 사고	구룡포	0.5-0.9	4.4-5.5	양호	X
4	2015.07.24	구룡포	익수 사고	구룡포	0.5-1.6	3.7-5.0	양호	X
5	2015.08.03	포항시	익수 사고	구룡포	0.1-0.7	3.1-3.9	양호	X
6	2015.08.24	울진군	익수 사고	후포	1.1-2.8	6.6-7.9	주의	주의보
7	2015.08.27	포항시	익수 사고	후포	0.9-1.9	8.1-9.7	관심	주의보
8	2015.08.28	고성군	너울성에 의한 표류	토성	0.5-1	5.5-8.4	관심	X
9	2015.09.10	속초시	너울성 파도에 휩쓸림	토성	1.8-2.9	7.6-9.7	경계	경보
10	2015.09.29	속초시	신방파제 앞서 카약 표류	토성	0.6-1.4	4.5-5.9	양호	X
11	2015.11.08	동해 전해상	-	-	-	-	경계	경보/주의보
12	2015.11.27	강원도 일대	도로 유실, 휩쓸림 사망사고	토성	1.5-3.2	9.3-10.6	경계	경보/주의보
13	2015.12.11	동해 전해상	-	-	-	-	경계	경보/주의보
14	2016.01.20	강릉시	레일바이크 (붕괴)	연곡	2.4-3.3	9.4-11.3	경계	경보/주의보
15	2016.01.20	경주시	해안도로 (침수)	간절곶	1.2-2.2	8.8-10.2	경계	경보/주의보
16	2016.01.20	강릉시, 속초시, 양양시	전국 너울성	토성	2.2-3.2	8.8-10.7	경계	경보/주의보
17	2016.01.20	울산광역시	월파 후 도로/공장 침수	간절곶	1.2-2.2	8.8-10.2	경계	경보/주의보
18	2016.04.17	고성군	지반 침하	토성	0.5-2.4	5.3-7.9	주의	주의보
19	2016.05.27	동해시	카약 전복	토성	0.2-0.5	2.6-5.1	양호	X
20	2016.06.26	강릉시	소돌해변 익사사고	연곡	0.9-1.8	7.1-10.5	관심	주의보
21	2016.06.26	고성군	-	토성	0.9-1.5	6.9-9.2	관심	주의보
22	2016.06.27	포항시	장사해수욕장	월포	0.8-1.5	8.0-10.0	관심	주의보
23	2016.06.26	영덕군	고래불 해수욕장	후포	0.6-1.9	6.3-9.7	관심	주의보
24	2016.06.26	삼척시	장호해변	삼척	0.6-1.4	6.5-10.2	관심	주의보
25	2016.06.26	삼척시	삼척해변	삼척	0.6-1.4	6.5-10.2	관심	주의보
26	2016.07.18	울진군	-	죽변	0.4-0.7	5.2-5.9	양호	X
27	2016.08.21	포항시	영일대 해수욕장, 외해	월포	0.8-1.1	4.4-5.2	양호	X
28	2016.08.26	포항시	구룡포읍 하정리 앞바다	구룡포	0.3-3.2	3.8-8.4	경계	주의보
29	2016.08.29	양양군, 고성군	침수 및 도로통제	토성	1.9-3.2	7.1-9.0	경계	주의보
30	2016.09.09	울산시	우가항 갯바위	간절곶	0.5-1.2	5.2-9.1	관심	주의보
31	2016.09.09	고성군	봉포리 앞 해상	토성	1.2-2.1	7.9-8.8	경계	주의보
32	2016.09.10	고성군	스쿠버 교육중 사고	토성	1.1-2.0	6.7-8.4	경계	주의보
33	2016.09.10	고성군	해변산책 중 1명 사망	토성	1.1-2.0	6.7-8.4	경계	주의보
34	2016.09.13	고성군	스쿠버 교육중 사고	토성	0.7-0.9	5.4-6.0	양호	주의보
35	2016.10.18	강릉시	영진항 동쪽 1마일 해상	연곡	0.3-2.0	4.1-7.5	주의	X
36	2016.10.19	영덕군	해상	월포	0.4-1.0	5.1-6.9	양호	예비특보 (번바다)
37	2016.11.08	삼척시	춧대바위 공사인부 1명, 특공대원 2명 사망	삼척	0.6-2.8	4.3-9.8	경계	주의보
38	2016.12.25	속초시, 고성군	산책로 파손 및 침수	토성	0.8-1.8	7.5-9.1	관심	주의보
39	2016.12.26	강릉시	레일바이크 붕괴	연곡	0.6-1.0	4.5-7.0	양호	주의보
40	2016.12.26	포항시	진촌항 어선 침수	구룡포	0.7-1.2	4.6-7.7	관심	주의보
41	2017.01.17	고성군	해변에서 20대 여성 사망	토성	1.3-2.0	8.3-9.4	경계	주의보
42	2017.04.12	고성군	대진항 앞바다	토성	0.7-1.6	4.6-6.7	관심	X
43	2017.04.12	울진군	카약 전복 낚시객	죽변	0.8-1.9	5.0-7.7	관심	X
44	2017.06.02	포항시	배 뒤집혀 선장사망(해상)	월포	0.6-1.1	3.7-8.3	관심	주의보 (번바다)
45	2017.06.03	동해시	망상해수욕장 2명 사망	삼척	1.2-1.8	7.0-9.4	관심	주의보 (번바다)

표 48 수집된 피해자료 당시의 풍랑특보 상황 및 너울 정보기준에 따른 분류

구분	날짜	피해 지역	피해 사례	관측파랑			너울 정보 (안)	풍랑 특보
				파고 부이	파고 (m)	주기 (sec)		
46	2017.06.03	속초시	영랑동 방파제	토성	1.5-2.0	8.3-9.3	경계	경보/주의보 (면바다)
47	2017.06.03	고성군	친진해수욕장	토성	1.5-2.0	8.3-9.3	경계	경보/주의보 (면바다)
48	2017.06.13	울산시	레저보트 해상에서 전복	간절곶	0.6-0.9	5.1-8.0	관심	X
49	2017.08.07	울산	산하해변	간절곶	0.1-0.8	4.8-9.4	관심	경보/주의보 (면바다)
50	2017.08.12	고성군	해변	토성	1.1-1.4	6.7-7.8	관심	X
51	2017.08.12	삼척시	부남해변	삼척	1.1-1.3	6.4-7.3	관심	X
52	2017.08.13	고성군	송지호해수욕장	토성	0.9-1.2	6.3-7.4	관심	X
53	2017.08.13	포항	청하해변	월포	1.0-1.2	5.5-6.6	관심	X
54	2017.08.18	영덕	덕천해변	후포	0.7-1.4	6.3-7.8	관심	X
55	2017.08.21	포항	갯마위	월포	0.3-0.5	3.9-5.1	양호	X
56	2017.08.30	포항	해상	월포	0.5-1.2	4.9-8.2	관심	X
57	2017.11.12	울산	해상	간절곶	0.6-1.1	6.0-9.0	관심	주의보 (면바다)

나. 파랑에 의한 월파 위험도 평가

■ 월파강도 분류방안

월파의 위험도는 크게 네가지로 분류할 수 있다.

- 해안 방어 시설 배후에서의 부상 또는 사망
- 배후지의 재산, 기반시설에 대한 피해로 경제적, 환경적 손실
- 방어 시설의 파괴와 범람
- 낮은 수위의 범람

월파에 의한 위험은 지역적 지형과 구조물, 내습하는 파랑의 특성에 따라 달라지므로 모든 조건에서의 월파 허용량을 정확히 산정하는 것은 불가능하다. 따라서 평균적인 월파 허용량에 대한 지침을 세우고, 상황에 따라 적용·수정하여야 한다.

EurOtop에서는 사람과 차량에 대한 월파한계량을 다음과 같이 제시하고 있다. (표 49 참조)

위험요소 및 조건		평균월파랑 $q(m^3/s/m)$	최대부피 (m^3/m)
(호안, 방파제 위 사람 에서 파랑을 확인할 수 있는 시야를 확보한 상태)	$H_{m0} = 3m$	0.0003	0.6
	$H_{m0} = 2m$	0.001	0.6
	$H_{m0} = 1m$	0.01-0.02	0.6
	$H_{m0} < 0.5m$	No limit	No limit
(호안, 방파제 배후로 차량 근접해 있는 경우)	$H_{m0} = 3m$	< 0.005	2.0
	$H_{m0} = 2m$	0.01-0.02	2.0
	$H_{m0} = 1m$	< 0.075	2.0

표 49 사람과 차량에 대한 월파한계량(EurOtop)

그러나 보행자가 밀려오는 파랑을 못보는 경우, 좁은 길에 있거나 전도, 추락위험이 있는 경우 보다 사전적인 한계량으로 $q=0.00003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ 을 제안하고 있으며, 표에 제안한 한계량은 정의된 조건의 경우에서만 적용할 것을 권고하고 있다. 또한, 항만시설의 배후지에서 선박의 안정을 위한 월파한계량은 다음과 같이 제시하고 있다. (표 50 참조)

위험요소 및 조건	평균 월파량 $q(\text{m}^3/\text{s}/\text{m})$
치명적인 피해 및 비교적 큰 배의 침수; $H_{mo} > 5\text{m}$	>0.01
치명적인 피해 및 비교적 큰 배의 침수; $H_{mo}= 3\text{-}5\text{m}$	>0.02
벽으로부터 5-10m떨어진 작은 배의 침수 비교적 큰 배의 피해	>0.005
비교적 큰 배가 안전한 조건; $H_{mo} > 5\text{m}$	<0.005
벽으로부터 5-10m떨어진 작은 배가 안전한 조건; $H_{mo}= 3\text{-}5\text{m}$	<0.001
구조물 요소	≤ 0.001
배후지 5-10m에 위치한 장비의 파손	≤ 0.001

표 50 항만 시설 배후지에서의 월파한계량(EurOtop)

구조물, 건물, 재산에 대한 월파 영향 자료는 유럽에서도 매우 적으며 시설 요소에 따라 매우 달라 한계량을 제시하기 어렵다고 기술되어 있다. 월파량은 실제 구조물에서의 계측도 매우 어렵기 때문에 수리모형실험을 통해 얻어지는 경험식과 수치모형실험에 크게 의존된다.

따라서, 월파의 예·경보를 위한 기준강도는 이용자(사람)를 대상으로 하는 비월파 조건, 항만 배후지에 정박하는 선박의 피해방지를 위한 일부 월파에 대한 조건으로 구분하는 것이 현실적이라 할 수 있다.

■ 월파랑 산정방법

외해에서 전파된 파랑의 월파는 크게 두 가지 경우로 분류할 수 있다. 첫째로 경사식 구조물과 해안에서는 파의 처오름 높이(wave run-up height)가 주요한 위험강도로 분류 될 것이며, 직립식 구조물의 경우에는 전빈 경사(foreshore slope)와 파랑의 파형경사 (wave steepness)등이 주요한 인자가 된다. (그림 137 참조)

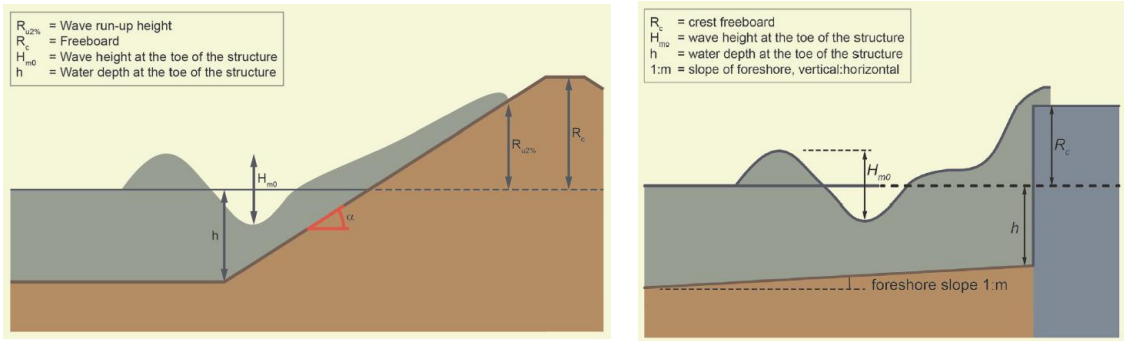


그림 137 경사 및 직립구조에서 월파랑 산정의 주요인자

✓ 일반 공식(General formulae)

1) 쇄파조건

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{mo}^3}} = \frac{0.023}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_m^{-1.0} \cdot \exp \left[- \left(2.7 \frac{R_c}{\xi_m^{-1.0} \cdot H_{mo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v} \right)^{1.3} \right]$$

2) 비쇄파조건

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{mo}^3}} = 0.09 \cdot \exp \left[- \left(1.5 \frac{R_c}{H_{mo} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma} \right)^{1.3} \right]$$

✓ 천해 적용공식(Shallow and very shallow foreshore)

1) 쇄파조건

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{mo}^3}} = 10^{-0.79} \cdot \exp \left(- \frac{R_c}{\gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot H_{mo} \cdot (0.33 + 0.022 \cdot \xi_m^{-1.0})} \right)$$

2) 비쇄파조건

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{mo}^3}} = 10^{-0.50} \cdot \exp \left(- \frac{R_c}{\gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot H_{mo} \cdot (0.33 + 0.022 \cdot \xi_m^{-1.0})} \right)$$

여기서, q : 단위시간당 월파랑
 g : 중력 가속도
 H_{mo} : 구조물 선단에서 유의 파고

$\tan\alpha$: 평균 사면경사

γ_b : Berm에 대한 영향계수

γ_f : 조도에 따른 영향계수

γ_β : 파랑 입사각에 따른 영향계수

γ_v, γ^* : 호안 및 제방형상에 따른 영향계수

각각의 영향계수의 산정방법은 경우에 따라 다르게 적용되며 한 가지 구조 형식에서의 적용도 다음 그림과 같이 적용하는 방식이 다양한 조건에서 각기 다른 영향계수를 선정하여 사용하게 된다. (그림 138 참조)

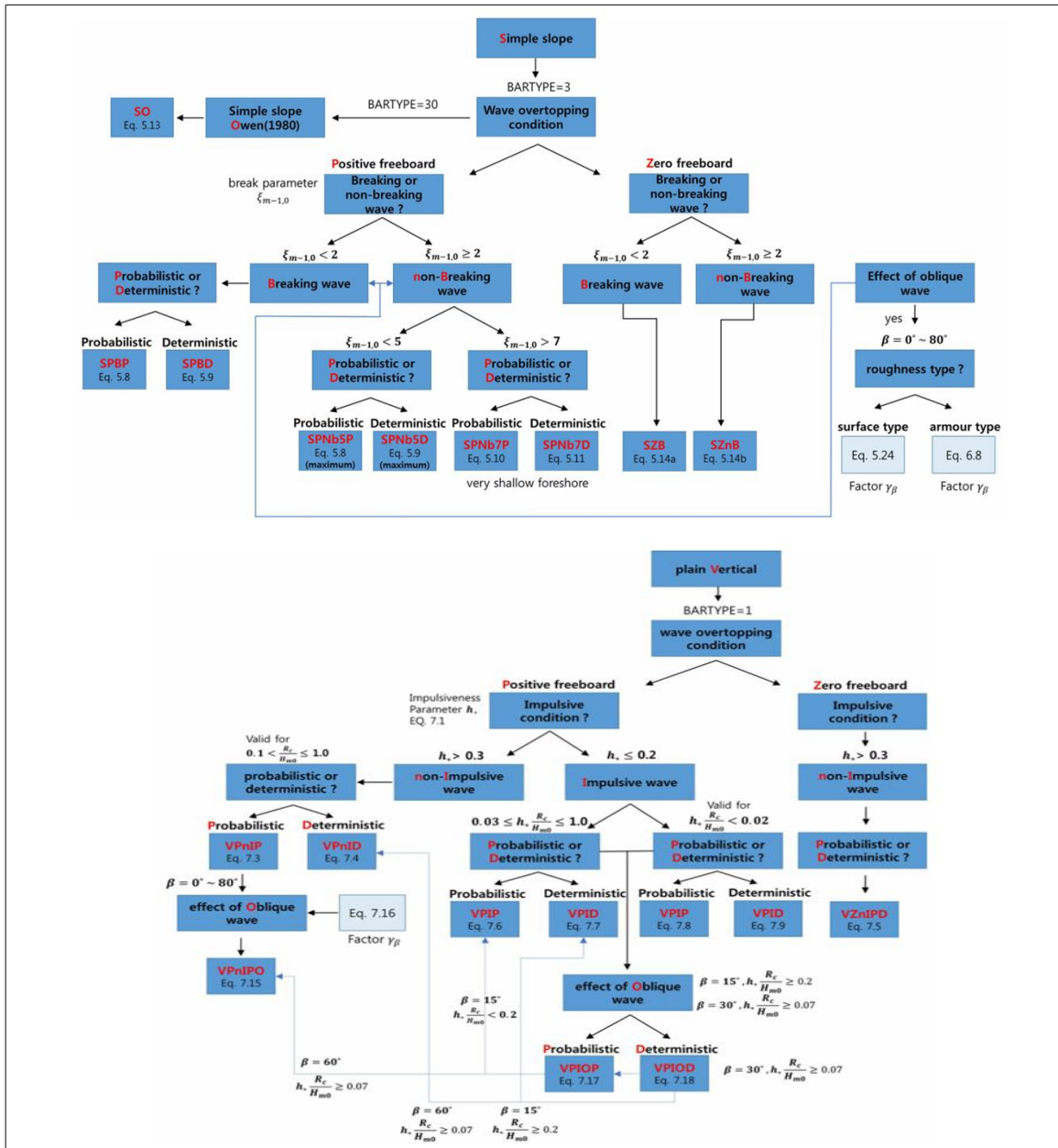


그림 138 경사식 및 직립식 구조물의 월파량 경험식 산정 흐름도(예시)

이와 같이 월파 조건은 상황에 따른 변화가 크기 때문에 일괄적인 산정방법을 사용하기 어려우며, 사실상 대상지역 각각에 맞춤형 산정방법을 도입하여야 한다. 이에 본 연구에서는 EurOtop에서 제시한 허용월파량 기준을 사용하여 맞춤형 월파량의 산정방법론을 제시하였다. 산정방법의 예시는 2015년 11/23~27일 사이 해일을 동반한 너울로 월파 피해가 발생한 경우이다. (그림 139 참조)



그림 139 너울로 월파 피해(2015년 11/23~27일)

■ 월파로 인한 어선 피해예방을 위한 어항 맞춤형 월파 예보체계 예시(안)

월파의 예·경보 서비스 구축은 해안 전체를 대상으로 하기 어려운 측면이 있기 때문에 본 연구에서는 특정지점을 대상으로 한 예보체계 구축방안을 예시로 제안하였다. (그림 140 참조)

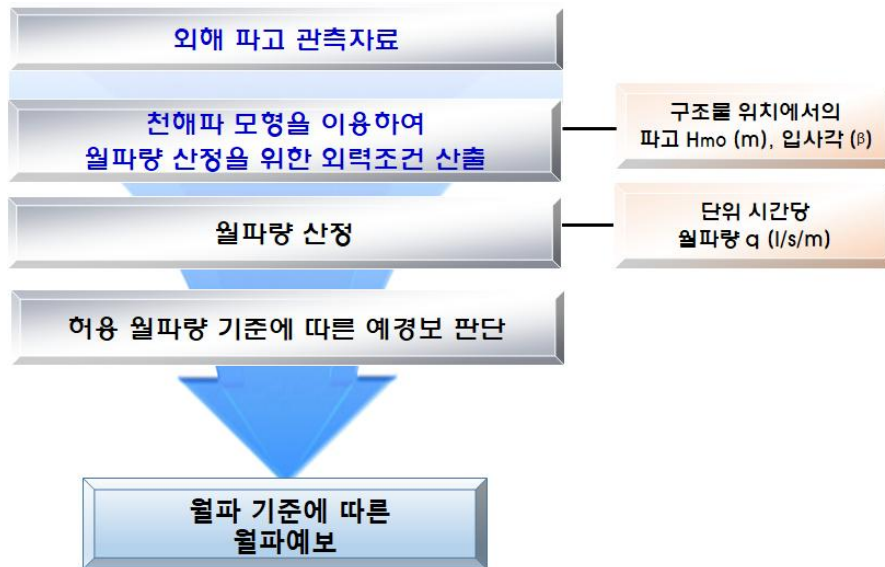


그림 140 월파예보 시스템 개념도

- ✓ 기상청 외해 파고 관측자료 취득 (그림 141, 142 참조)
 - 월파로 인한 어선 및 물양장 피해 저감 대책 마련 목적
 - 동해안 어항 방파제를 대상으로 예보를 위해 파랑전파에 의한 도달시간을 고려하여 외해에 있는 동해 파고 관측부이자료 이용
 - 동해부이의 1시간 단위 자료를 이용하여 최소 1시간 단위 월파량 예보 가능
 - 아래 시계열은 2015년 11/23~27사이 해일을 동반한 너울성 고파 발생 당시 시계열 자료로 동해파고부의에서 최대 유의파고 $H_s=7.3m$, 주기 $T_s=10.7sec$, 파향 SSE~SE계열로 관측되었으며, 묵호항 관측조위는 86cm로 해수면이 상승

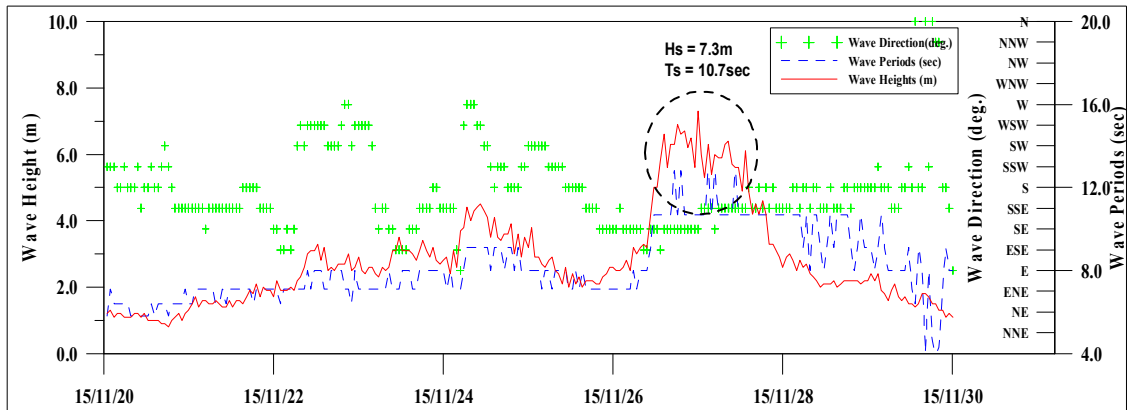


그림 141 기상청 동해부이 시계열 자료 예시

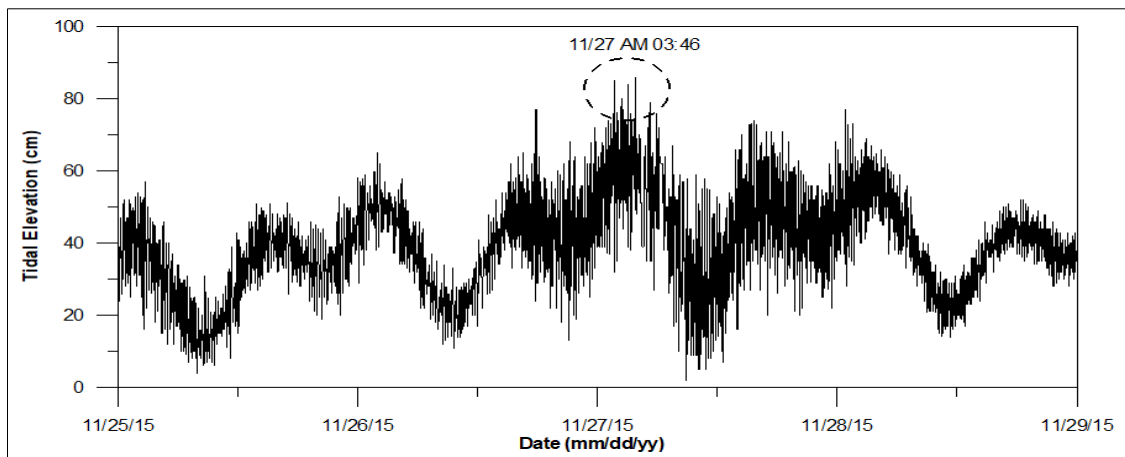


그림 142 묵호항 조위 시계열 자료 예시

- ✓ 천해파 모형(SWAN)을 이용한 외력조건 산출(H_{m0} , β) (그림 143, 144, 145 참조)
 - 동해부이가 포함되는 광역에서 동해부이의 관측파랑을 입사시켜 각 어항이 위치한 상세역에서 방파제 전면에서의 천해파고 및 파향정보를 산출
 - 광역 입사조건은 동해부이에서 관측되었던 파고 $H_s=7.3m$, 주기 $T_s=10.7sec$, 파향 SE 값으로 하였으며, 동해부이에서 관측되었던 파고는 천해역을 지나 연안 부근으로 오면서 약 3~4m의 파고 분포를 나타냄
 - 동해지역 광역실험과 연계하여 월파랑 산정 관심 대상지역인 사천진항 방파제 전면에서 파고 산출결과 약 3.6~3.8m의 파고를 나타냄
 - 광역에서 SE파향으로 입사되던 파향은 회절되어 사천진항 방파제 전면에서 방파제 직각 입사하는 것으로 나타남

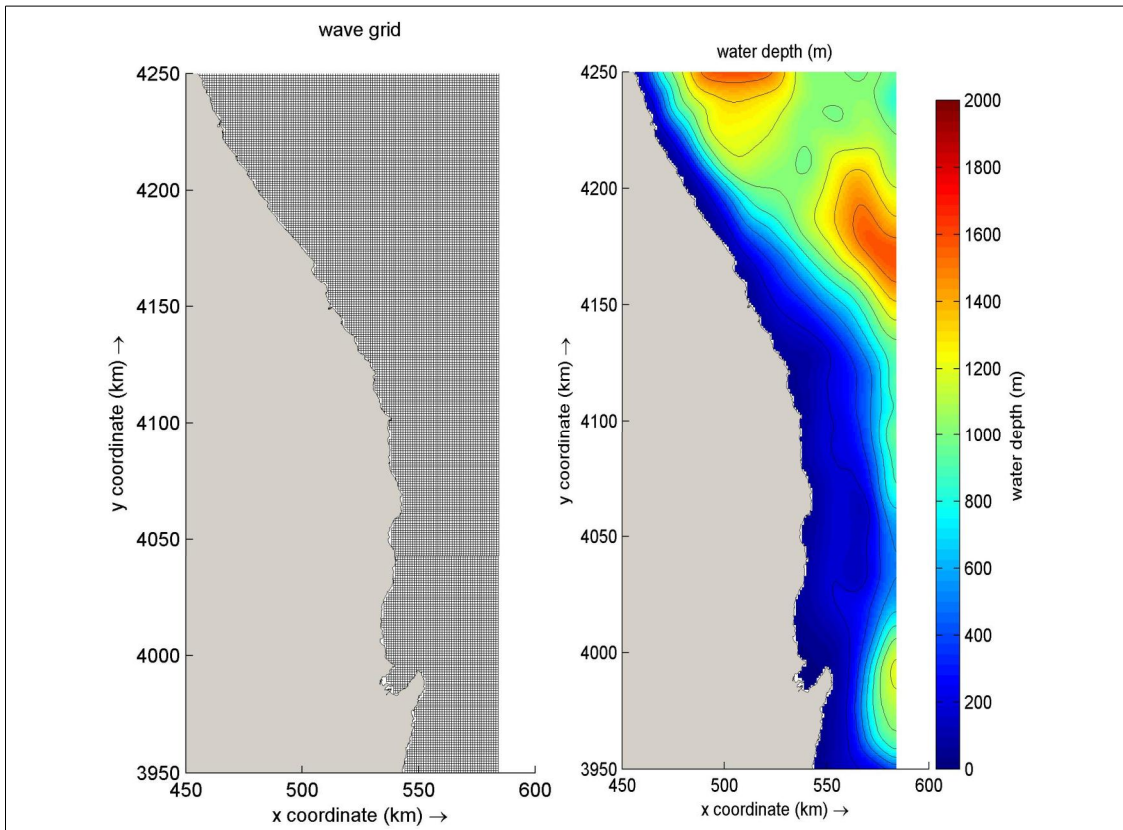


그림 143 동해지역 파랑수치모형 실험 격자망 및 수심

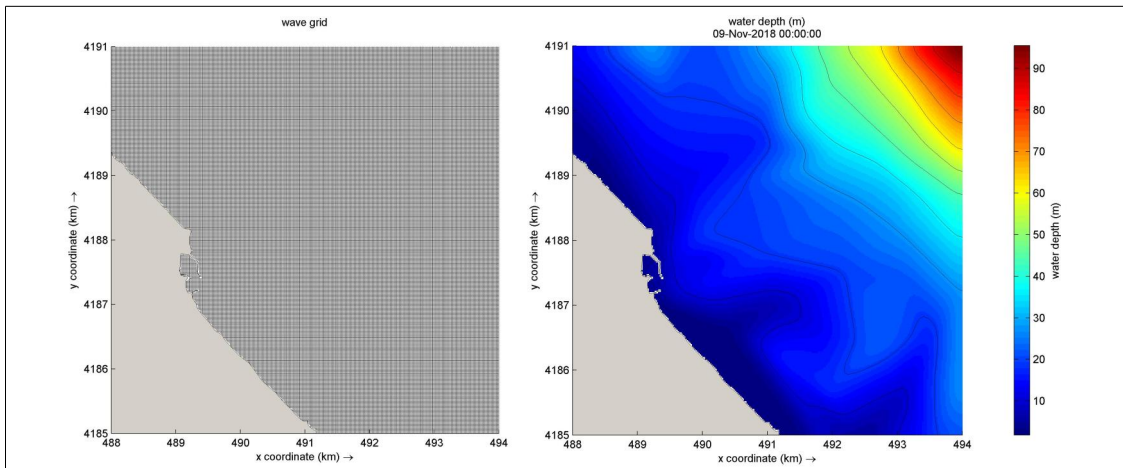


그림 144 사천진항 주변 파랑수치모형 실험 격자망 및 수심

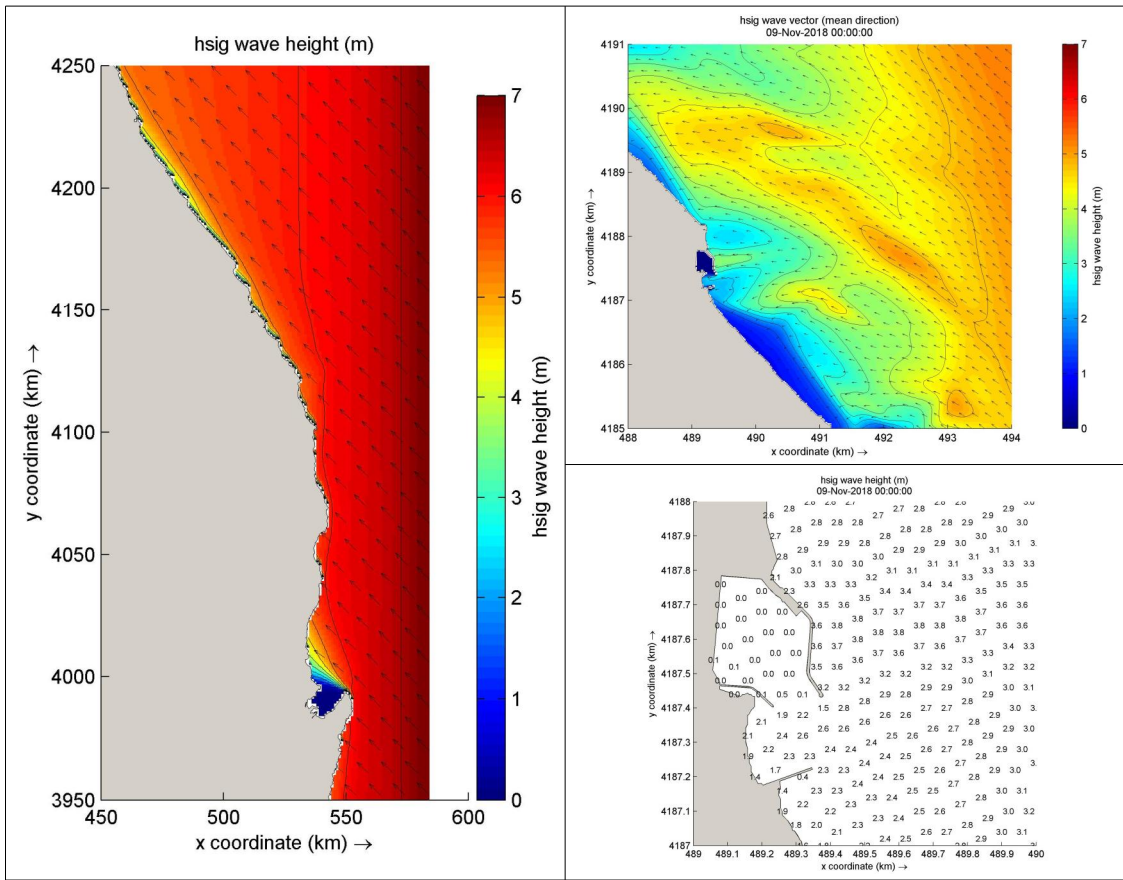


그림 145 파랑수치모형 실험결과

✓ 단위 시간당 월파랑 산정

- 천해파 산출모형(SWAN)을 이용한 파고 및 파향 제원을 월파랑 산정식에 적용
- 대부분의 어항 방파제는 방파제 전면이 소파형식으로 피복되어 있으며, 사면경사는 1:1.33~1:2범위로 앞서 월파랑 산정방법에서 제시한 일반 공식을 적용하여 산정하였음
- 월파랑 산정에 사용한 사천진항의 방파제 단면 및 제원조건은 그림 146와 같음
- 산정식은 다음과 같음

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{mo}^3}} = 0.09 \cdot \exp \left[- \left(1.5 \frac{R_c}{H_{mo} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma^*} \right)^{1.3} \right]$$

- 위 식은 다음과 같이 단위 시간당 유량으로 정리 될 수 있음

$$q = 0.09 \cdot \exp \left[- \left(1.5 \frac{R_c}{H_{mo} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma^*} \right)^{1.3} \right] \cdot (\sqrt{g \cdot H_{mo}^3})$$

- 월파랑 산정조건으로 천해 설계파 실험에서 산정된 $H_{mo}=3.8m$ 를 적용하였음

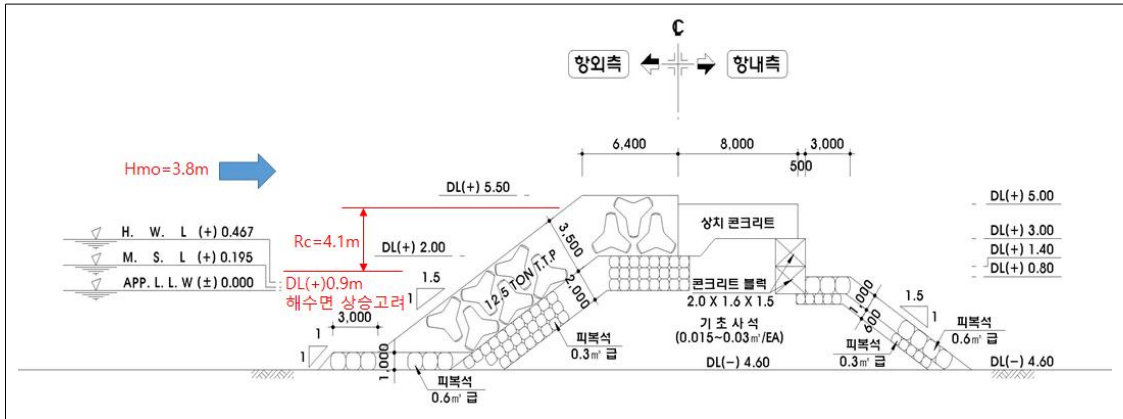


그림 146 사천진항 대표 단면

- 월파 당시 해수면 상태(DL(+0.9))를 고려하여 정수면에서의 마루높이를 Rc=4.1m로 하였음
- 피복재의 경우 콘크리트 재질, 파랑의 입사각 및 은 회절 및 굴절로 인해 방파제에 직각으로 입사하는 것으로 가정하여 각각의 계수는 1.0으로 하여 산정함
- 계산결과

$$0.322 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} = 0.09 \cdot \exp \left[- \left(1.5 \frac{(4.1)}{(3.8) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1)} \right)^{1.3} \right] \cdot \left(\sqrt{9.81 \cdot (3.8)_{mo}^3} \right)$$

- 취득된 기상청 외해 파고 관측자료를 기반으로 산정된 월파량은 $0.322 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ 로 계산되었으며, 계산된 수치는 허용 월파량에 따른 예·경보 체계 기준(안)의 기준치를 참고할 때, 월파 경보가 필요한 시점인 것으로 나타남
- 실제로 동해안 지역에 월파로 인한 피해가 다수 발생하였음

5. 해안가 인명 및 재산 피해 예방을 위한 제도 개선 방안 제시

가. 너울 및 월파 정보제공 서비스를 위한 필요자료 구축방안 제안

■ CCTV 모니터링 및 피해사례 수집을 위한 시범지역 구축

너울 및 월파의 예·경보 가이드스(안)을 검·보정하기 위해서는 피해 발생 당시의 상황 정보(발생 시간, 위치, 파랑강도, 월파 유무)가 필요하다.

비디오 모니터링은 높은 지대에 카메라를 설치하여 연안을 촬영하는 방식으로 무인 시스템으로 운용되어 적은 비용으로 장기간 지속관찰이 가능하다. 연안관측 시스템으로 원격 모니터링은 정확도 면에서는 현장에서의 직접관측에 비하여 떨어지지만 지속적으로 발달되고 있는 카메라의 높은 화소의 기술과 영상분석기술 발달에 따라 연안정보 수집에 적극 활용되고 있다.

예로 해양수산부는 안전한 해양공간 조성을 위해 2011년에 처음으로 주문진항 방파제에 자동경보시스템을 설치하여 시범운영과 성능검증을 실시하였으며, 2013년 속초항과 삼척항에 확대 설치하였다. 이 시스템은 첨단 영상분석기술을 이용하여 방파제의 월파를 CCTV로 관측하는 관측시스템과 기상예보자료로부터 수치모델을 통해 월파를 예측하는 예측시스템과 전광판, 사이렌 등의 경보시스템으로 구성되어 있다. (그림 147 참조)



그림 147 주문진항 방파제 자동경보시스템(해양수산부)

CCTV 영상의 좌표변환의 정확도는 영상기준점 개수와 구성된 형상에 영향을 받는다. 따라서 기본적으로 영상 기준점 선정 시 카메라 한대 당 최소 20점 이상의 좌표가 필요하며, 영상에서 필요한 지역에 넓게 분포되어야 자료의 정확도를 높일 수 있다. 영상기준

점 측량은 비디오 모니터링 시스템으로부터 획득되는 카메라 영상과 현장 실측 좌표와의 상관관계를 파악하고, 좌표변환 및 거리환산 등의 영상 처리가 가능하도록 진행되는 측량으로서 비디오 모니터링 시스템 구축 초기에 수행하며 카메라 촬영 각도 변화, 카메라 교체 등으로 인해 영상의 화각이 변경되었을 경우 반드시 재수행 되어야 한다. 또한, 매년 주기적으로 반복수행하여 좌표변환 정확도를 검증하여야 한다. (그림 148 참조)

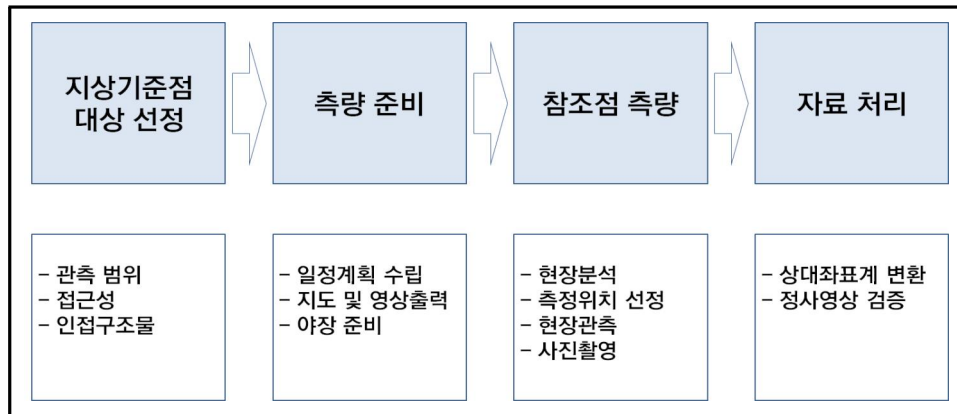


그림 148 영상기준점 측량 과정

모니터링 시스템의 운용은 현재 너울 및 월파 예·경보 가이드스(안)에 준하는 예보값 발생시 순간영상을 자동 저장하도록 하며, 이외의 사고 발생의 경우는 사고 발생 시점을 영상정보로 확인할 수 있으므로 경보기준치의 보정을 위한 자료분석에 유용하게 활용될 수 있다. 또한, 파랑에 의해 변화하는 해안선 경계를 평균 영상 추출을 통해 수행할 수 있으며 변화하는 해안선 경계값을 명확히 구분하여 너울 및 월파 영향을 정밀 분석하는 기초자료 제공을 할 수 있다.

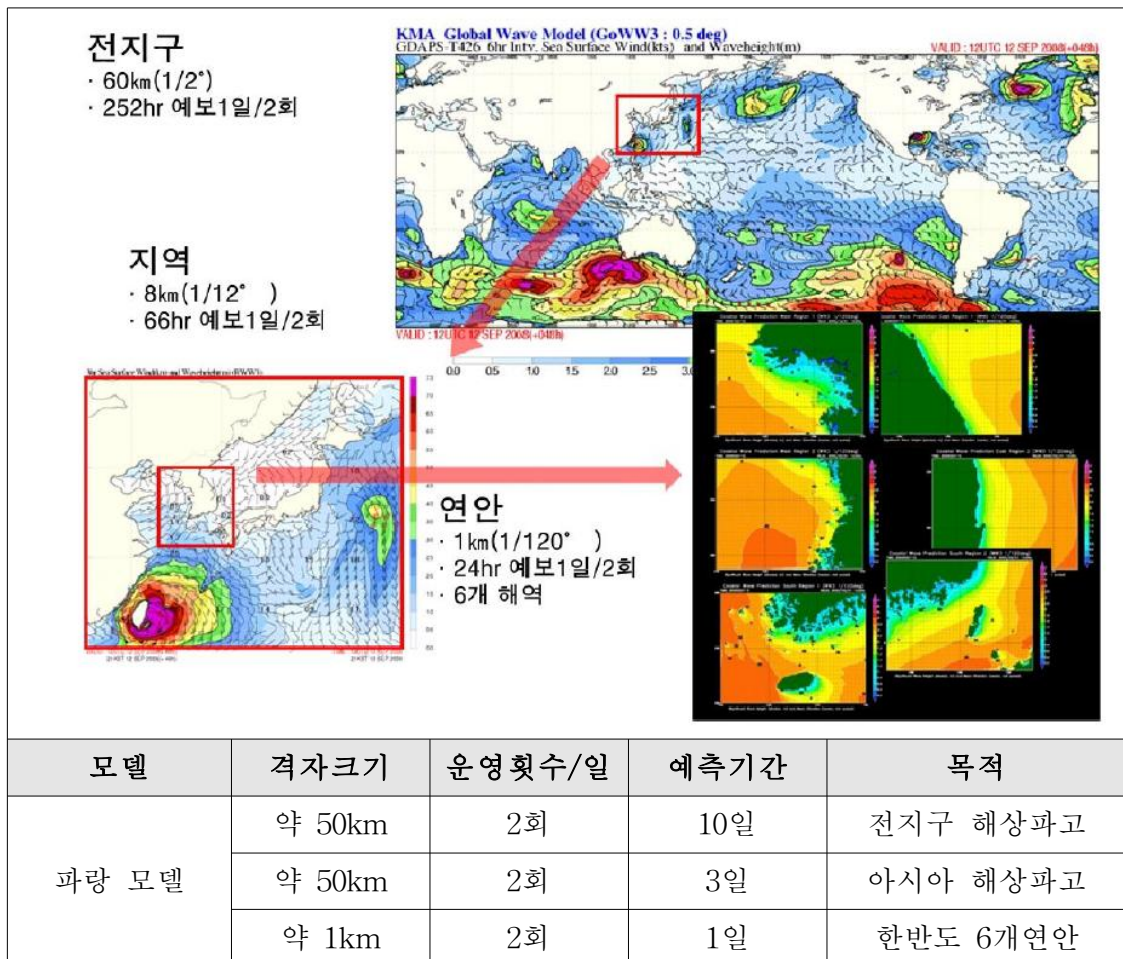
CCTV 영상자료는 영상좌표계를 평면좌표계로 좌표변환하기 위한 기준점 측량이 선행 되면 취득된 자료에 대한 정사보정을 통해 파의 처오름 높이, 월파의 유무, 해안선의 변동 등을 정량적으로 취득할 수 있다. 따라서 신규 시설물 설치가 아니더라도 최근 다양한 목적에 따라 많이 설치되고 있는 기 설치된 CCTV의 부처간 정보공유나 협력을 통해 정사보정에 활용할 수 있는 사전작업(기준점 측량 및 위치 조정)을 통해 시범지역을 선정하여 모니터링 체계를 구축할 수도 있다.

■ 월파 예보를 위한 정밀 수치모형 시스템 구축

기상청에 현재 운용되는 파랑예보 모델은 예보대상 지역규모에 따라 전지구(GWW3), 아시아지역(ReWW3), 한반도 연안(CoWW3)로 나누어 운영 중에 있다. 파랑예보에 사용되는 최소 격자크기는 한반도 연안을 대상으로 하여 약 1km로 구성되어 있으며, 연안인근 해상에서의 파랑상태를 예보 하는 데에는 문제가 없다.

하지만 연안 또는 항만시설에 포함되는 구조물(방파제, 호안)에 대한 처오름 높이 및 월파량을 산정하는 경우 1km격자 해상도를 이용한 예측파랑은 적용하기 어려운 측면이 있다. 예로 저해상도(1km)격자와 고해상도(20m)격자를 이용한 사천항 방파제 전면 파고 산정 결과에서 저해상도 격자 결과의 경우, 사천항 방파제로부터 약 500m전면까지 육지 영역으로 격자가 구성어 방파제 전면에서 파고는 1.0m내외의 파고로 예측되나, 고해상도 격자의 결과에서는 3.0m이상의 결과를 도출하고 있다. 월파의 산정에서 전면해역의 수심, 경사, 파랑제원의 차이가 크게 발생하기 때문에 월파 피해가 빈번하게 발생하는 어항(방파제) 또는 주요 관심대상지(해수욕장, 레저시설, 호안)의 구조물을 대상으로 하여 고해상도 상세 격자망을 구성하여 예측 수치모형 시스템을 구축할 필요가 있다. (표 51, 그림 149 참조)

표 51 기상청 현업 파랑모델 현황



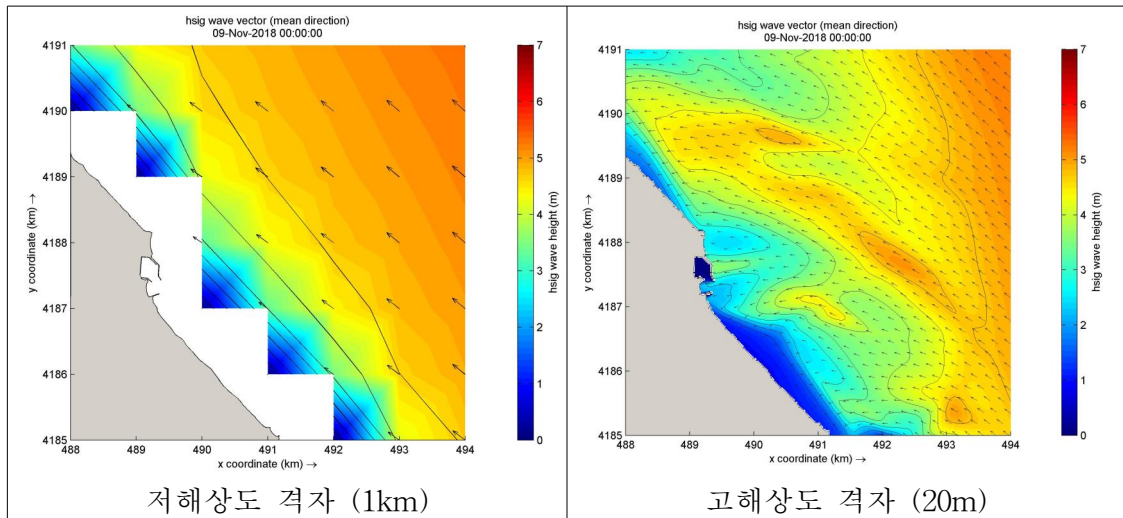


그림 149 격자 해상도에 따른 해안구조물 전면 계산과고 비교

나. 현 특보제도(풍랑 및 폭풍해일특보)의 개선 및 서비스 도입

현재 해상특보 구역은 해상국지예보구역에서 동해안의 경우 강원북부·남부·중부, 경북 북부·남부 앞바다로 분류하고 있다. 그러나 앞서 기술한 바와 같이 육상국지예보구역에 비해 예보범위가 넓어 방재 대응을 주로 수행하는 지자체와 유관기관에서도 세부적인 대응이 어려운 실정이다. 사전 및 실시간 방재대응 체계 마련에 있어 특보구역의 세분화가 필요하다고 판단된다. 특히, 동해안 연안바다에서의 재해 발생 빈도 등을 객관적으로 제공해 줄 데이터가 부재하기 때문에 기상청에서 지자체별 예·경보 정보제공이 수행되면, 사고발생이 많은 지역에 대한 방재 예산 확보 마련의 근거자료로 제공될 수 있으며, 필요에 따라 모니터링 설비의 공동 구축, 연구개발 협력지원체계를 마련하는 초석이 될 수 있다.

최근 논의되고 있는 ‘해양공간계획 및 관리에 관한 법률’에서는 주요내용으로 시·도지사가 해양공간관리 계획을 수립·변경하는 것을 제안하고 있어 법률이 제정될 경우에는 지자체가 관할하는 해양공간의 범위가 지정될 것으로 예상된다. 금회 제안한 시·군별 해역 세분화(안)은 동해 앞바다를 기준으로 시·군별 앞바다로 분류하였으나, 해양공간에 대한 관리주체가 지정될 경우에는 그에 맞는 예보구역의 조정이 필요할 것이다. (그림 150 참조)

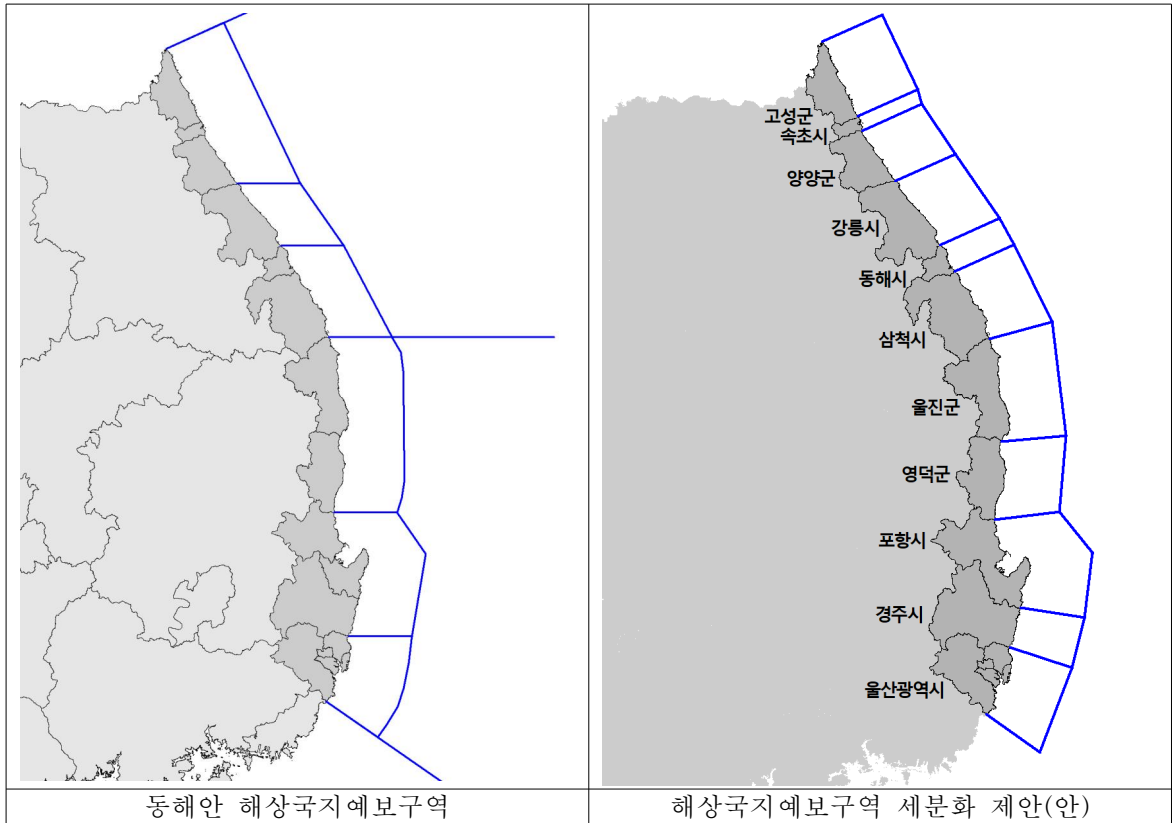


그림 150 현행 동해안 해상국지예보구역과 세분화 제안(안)

다. 해안가 인명 및 재산 피해 예방 정보 서비스 도입을 위한 연구개발 로드맵

신뢰성 있는 너울 및 월파 경보기준의 수립에는 앞서 기술한 바와 같이 검·보정을 위한 자료축적과 연구 분석이 수행되어야 하며 단시간에 이런 과정을 수행하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 너울 및 월파 경보기준 구축을 위한 단계별 연구 방안을 수립하여 제시하였다.

연구의 단계는 금회 문헌자료를 통해 예·경보 가이드스(안)을 결정하는 것을 1단계로 시작하여, 정량적인 현상자료 축적과 자료 분석을 위한 정밀 수치모형시스템 구축을 2단계, 자료분석을 통한 너울 및 월파 경보기준 검·보정을 3단계로 설정하였으며, 3단계 연구자료를 바탕으로 경보기준의 확정과 특보 제도화 마련을 최종단계로 설정하였다. (그림 151, 152 참조)

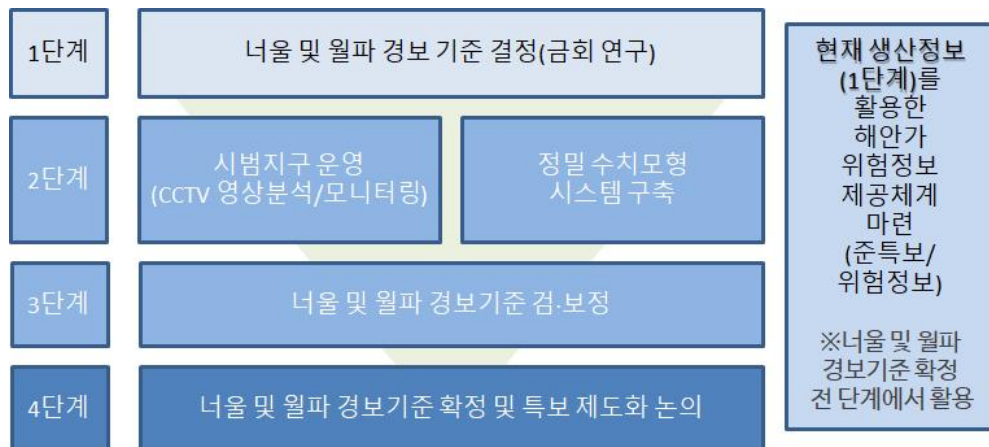


그림 151 너울 및 월파 정보제공 서비스 구축방안 요약

1단계	2단계
너울 및 월파 예보가이드스 마련	너울 및 월파 모니터링 체계구축 및 정밀 수치모형시스템 구축
<ul style="list-style-type: none"> -너울 및 월파에 의한 피해현황 등 영향조사 -너울 및 월파 강도에 따른 위험도 제시 -해안가 피해예방을 위한 현재 너울 및 월파 정보 적정성 분석 -해안가 인명 및 재산피해 예방을 위한 제도 개선 방안 제시 	<ul style="list-style-type: none"> - 모니터링 시험사업 대상지 선정 <ul style="list-style-type: none"> · 반복피해 및 고위험 지역 선정 · CCTV 공동활용체계 검토 · 시험지역 대상우선순위 결정 - CCTV 모니터링 체계구축 <ul style="list-style-type: none"> · 모니터링 항목 및 범위 결정 · 시험지역 시스템 설치사항 검토 · 자료수집 및 운용체계 수립 - 정밀 수치모형시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> · 고해상도 격자망 구축 · 모형수립 · 실시간 관측정보 연계기술 개발 · 관측정보 재현성 평가
3단계	4단계
너울 및 월파 경보기준 재수립	너울 및 월파 경보기준 확정 및 제도화 방안 마련
<ul style="list-style-type: none"> - 모니터링 자료 분석 <ul style="list-style-type: none"> · 지역별, 지형별 특성을 반영한 자료분류 · 피해 자료의 시·공간적 경향성 분석 - 너울 및 월파 예·경보 기준 신뢰도 평가 - 너울 및 월파 예·경보 기준 수정·개선 	<ul style="list-style-type: none"> - 너울 및 월파 경보기준 결정 - 제도화(특보체계) 시행에 따른 효과 및 영향 분석 - 특보에 따른 행동요령/대응절차 수립 - 영향예보 DB제공을 위한 중장기 정보관리 계획 수립

그림 152 너울 및 월파 경보기준 구축을 위한 단계별 연구 로드맵

6. 소결론

현재 너울 및 월파는 여러 기관 및 연구자에 따라 기준을 정의하는 내용이 상이하기 때문에 예·경보를 위해서는 기준 마련이 우선 필요하며, 설정한 기준에 대하여 장기간 자료를 확보 분석하여 검·보정하는 과정이 필수적이다. 그러나 단일 연구로 동해안 넓은 지역의 모니터링 및 자료축적에는 시간 및 비용적인 한계를 수반하며, 선행연구의 기준을 활용하면 향후 연구수행에 있어서 각 기관에서 도출되는 모니터링, 분석 등의 연구성과를 용이하게 적용할 수 있을 것이다. 또한, 파고와 주기만으로 위험단계를 구분하고 있어 별도의 후처리 과정없이 현재 생산되고 있는 예측 및 관측정보를 적용하기에도 유리하다. 따라서, 이번 연구에서의 너울 예·경보 가이드스(안)은 과거 피해자료 분석 등의 선행연구를 통해 수립되어 시험적용 중인 너울 경보기준과 동일한 내용으로 수립하였다. 그러나 금회 제시된 너울 예·경보 가이드스(안)은 언론 피해사례를 기초로 수립되었으며, 실제 운용·분석을 통해 적절한 범위로의 추가 조정 과정이 필요하다. (표 52 참조)

표 52 단계별 너울 예·경보 가이드스(안)

계급	파고	주기(초)
양호	2m 이하	8.0초 미만
관심	2m 이하	8.0초 이상
주의	2m 이상	8.0초 미만
경계	2m 이상	8.0 이상~11초 미만
위험	4m 이상	11초 이상

월파는 현재 기상청에서 생산되는 예측정보가 없기 때문에 월파향을 산정하는 후처리 과정이 필요하며, 기존 문헌자료를 바탕으로 인명피해가 발생할 수 있는 수준의 허용월파량과 시설 피해가 발생할 수 있는 허용 월파량에 따라 안전, 주의, 위험의 3단계로 분류하여 가이드스(안)을 제시하였다. (표 53 참조)

표 53 허용 월파량 기준에 따른 예·경보 가이드스(안)

단계	월파량 $q(m^3/s/m)$	위험요소
위험	$q \geq 0.005$	벽으로부터 5-20m 떨어진 작은 배의 침수 비교적, 큰 배의 피해
주의	$0 < q < 0.005$	사람, 차량(호안, 방파제 배후로 근접해 있는 경우)의 피해
안전	$q = 0$	안전

너울 및 월파에 의한 동해안 피해 현황 조사 결과에서는 최근 미디어에서 ‘너울’ 및 ‘월

과' 키워드가 증가하는 추세를 보이고 있으나, 이를 실제 현상이 발생하는 빈도의 증가로 연결하여 보기는 어려웠으며, 너울 및 월파피해에 대한 관심도가 증가한 것으로 보인다.

금회 연구에서는 기존 연구 및 문헌자료를 바탕으로 너울 및 월파의 예·경보 가이드스(안)을 제안하였다. 그러나 너울과 월파는 발생시 사고기록에 대한 정량적인 자료축적이 되어있지 않아 경보기준의 검·보정 과정이 충분하지 않은 문제점이 존재한다.

너울은 경보기준(안)을 바탕으로 올해부터 수행중인 해양기상과의 '너울 위험예측 가이드스 시험 운영'과 같이 시험지역에 대한 모니터링을 통해 위험판단기준의 검·보정을 수행할 수 있다. 관측자료는 현재 해안에 설치된 파고부이를 활용할 수 있으며, 필요에 따라서 시험지역에 파고부이나 CCTV의 추가 설치를 검토할 수 있을 것이다.

월파량 산정은 구조물 전면 해저 경사, 파고, 입사각이 주요 변수로 작용하기 때문에 대상지 주변 지형적인 특성을 현재 기상청 예측시스템 수준보다 정밀하게 반영할 필요가 있으며, 예·경보 가이드스(안)의 적용을 위해서는 허용월파량을 산정할 수 있는 사전준비 과정이 필요하다. 이를 위해서는 각 어항 및 해안별 정밀 격자 체계구성을 통해 예측모형의 해상도 향상이 우선 필요하며, 관측자료 확보를 위한 CCTV확보 방안을 마련해야 서비스가 가능할 것으로 예상된다.

제5절 해양기상관측망 강화 방안

1. 배경 및 필요성

기상청은 기상법 제7조의2 및 기상법 시행규칙 제1조의2에 따라 해상특보의 대상구역 중 관측이 필요하다고 인정되는 장소의 해양기상에 대한 관측망을 구축하여 운영하고 있다. 해사안전법 제38조제1항에 따르면, 해상에 대하여 기상특보가 발표되거나 제한된 시계 등으로 선박의 안전운항에 지장을 줄 우려가 있다고 판단할 경우에는 선박 소유자나 선장에게 선박의 출항 통제를 명할 수 있다고 명시되어 있으며, 이에 따라 출항통제권자는 풍랑, 해일 경보, 태풍 주의보, 경보 등의 기상특보가 발효되면 출항신고 선박의 통제 대상 여부를 판단한 후 해당 선박의 출항을 통제해야 한다. (해사안전법 시행규칙 제31조). 즉 선박의 출항 통제 해역은 기상청의 해상예보 구역을 기준으로 하고 있으며, 기상청을 통해 발효되는 기상 특보에 따라 선박의 출항이 통제된다. (그림 153 참조)



그림 153 해상예보구역과 해양기상관측망(부이, 등표)

기상청 해상예보는 해상광역예보구역과 해상국지예보구역으로 나누어 발표하고 있으며, 출항통제권자는 해상예보와 인근에 위치한 관측 자료를 토대로 출항 통제를 시행하고 있다. 그러나 예보구역과 관측 자료가 우리나라 모든 연근해 해역에 대한 각각의 특성을 정확하게 예측하거나 관측하는데 한계가 있어 현재 바다가 조용한데 출항을 할 수

없는 등 출항통제가 현재 바다 상황과 맞지 않다는 민원이 꾸준히 제기되고 있다. 일 예로, 육지와 울릉도를 운항하는 여객선 대부분은 울릉도 서쪽 해상상태에 따라 운항여부가 결정되어 왔으며, 기존의 울릉도-독도 해양기상부이는 울릉도 동쪽해상에 설치되어 있어, 여객항로인 울릉도 서쪽 주변 해역에 대한 해양기상 특성 파악의 필요성이 지속적으로 제기되어 왔다. 이에 울릉도 서쪽 해상(E 130도 29분 59초, N 37도 26분 32초)에 파고부이를 설치하기 위해 3월 28일 사전 관측환경을 조사하였고, 해당지점에 대한 세부 설치계획을 수립하여 울릉군청(군수 최수일)의 행정지원을 받아 지난 4월 28일 설치 및 관측을 시작했다. (그림 154 참조)

<p style="text-align: center;">바다 날씨에 생계 걸렸는데... (경북매일 2017-11-13)</p> <p>해양기상부이는 포항과 울진 앞 70km 해상에 떠 있지만 나머지 해상에는 해양기상부이가 없어 기상정보를 확인할 방법이 없다. 포항에서 울릉까지 거리가 217km, 울진에서 울릉까지 159km인 점을 감안하면 70km당 1곳은 드넓은 바다를 관측하기에는 턱없이 부족하다.</p>	<p style="text-align: center;">섬 주민 족쇄로 전락한 기상청 해양기상부이 (해럴드경제 2018-01-10)</p> <p>울릉섬 주민들은 한국 주변 바다 해양기상 감시 강화를 위해 설치한 해양기상부이를 족쇄라며 이구동성으로 말했다. 현재 경북 동해안권에는 2개의 해양기상부이와 8개의 파고부이가 설치돼 있다. 파고부이는 포항·월포와 구룡포, 울진 죽변과 후포 앞바다에 1곳씩 설치돼 있으며 울릉도 3곳, 독도 1곳에 배치돼 있다.</p>
<p style="text-align: center;">인천 내항여객선, 걸핏하면 출항 통제에 주민 불만 (중부일보 2017.11.30)</p> <p>인천 앞바다 섬을 오가는 여객선들의 잦은 선박출항 통제 기준이 문제시 되고 있다. 이는 해상안전법에서 명시된 통제기준에도 해당하지 않았음에도 무리한 통제로 주민 불편을 가중시켰다는 불만이 나오는 원인으로 지적되고 있다.</p>	<p style="text-align: center;">합리적 여객선 통제 '머리맞대' (경상매일신문 2018.01.18.)</p> <p>양기상부이의 최대파고는 특정 기간의 순간적인 측정값으로써 외부적인 요인 및 기계적인 오류를 포함할 수 있어, 풍랑특보 해제 후 충분히 출항 가능한 해상상태임에도 여객선 입출항이 통제되고 있다는 지적과 민원이 제기되어왔다. 필요시 울릉군과 각 선사에서는 여객선의 해양기상에 의한 통제기준 개선방안 연구용역 등을 통해 여객선 운항통제 기준의 합리적 개선방안을 제시할 계획이다.</p>

그림 154 언론에 비친 해양기상관측망

또한 최근 가속화되고 있는 기후변화로 인한 수온 상승으로 동해안의 한류성 어종의 어획량이 감소하고 멸치, 오징어 등 난류성 어종의 활동 범위가 넓어지고 어획량이 증가하며 아열대성 어류의 활동 범위 및 개체수가 증가하고 있어 향후 어선의 조업 영역의 지속적 확장이 예상되어 먼 바다 구역의 해양기상 관측 및 예보의 중요성이 더욱 커질 것으로 판단된다. (그림 155 참조)



그림 155 기후변화에 따른 어종 변화(서울신문, 2016.1.13.)

따라서 본 연구에서는 해양기상관측망 현황을 정리하고 관측망 산출 자료, 기상청 현업 예측 모델 결과, 위험 기상 요인(태풍) 및 어업 현황을 수집·분석하여 해양기상관측망의 문제점 및 필요성을 검토하고 해상예보구역, 해양 특성 및 해양기상 수요 확대에 따른 최적 해양기상관측망 구성 방안을 도출하였다.

2. 현황 분석

가. 여객선 항로 상 민원(언론) 분석

해사안전법 제38조제1항에 따르면, 해상에 대하여 기상특보가 발표되거나 제한된 시계 등으로 선박의 안전운항에 지장을 줄 우려가 있다고 판단할 경우에는 선박 소유자나 선장에게 선박의 출항 통제를 명할 수 있다고 명시되어 있으며, 이에 따라 출항통제권자는 풍랑, 해일 경보, 태풍 주의보, 경보 등의 기상특보가 발효되면 출항신고 선박의 통제 대상 여부를 판단한 후 해당 선박의 출항을 통제해야 한다.(해사안전법 시행규칙 제31조) 다시 말해, 선박의 출항 통제 기준은 기상청의 예보구역이라고 할 수 있으며, 기상청 예보구역별로 발효되는 기상 특보에 따라 선박의 출항이 통제된다.

기상청은 기상법시행령에 따라 정의된 해상예보구역을 기준으로 선박의 안전운항에 필요한 해상예보 및 해상특보를 발표하고 있다. 해상예보구역은 기상법시행령에 부속된 행정규칙으로 제정된 예보업무규정에 그 정의가 포함되어 있다. 예보업무규정에 따르면, 북위27도, 동경136도선에 따라 구획된 북서해역을 해상예보구역으로 하며, 해상광역예보구역과 해상국지예보구역을 다시 구획하고 관할예보관서를 지정하여 별표 4, 5로 제시하고 있다.

해상광역예보구역은 앞바다와 먼바다로 구분된다. 앞바다는 서해의 백령도, 소청도, 소연평도, 우도, 덕적도, 선갑도, 울도, 궁시도, 대길산도, 말도, 안마도, 부남도, 칠발도, 우이도, 상조도, 남해의 당사도, 청산도, 초도, 손죽도, 외나로도, 연도, 육지도, 거제도 남단의 소매물도, 고동말 남동쪽 12해리 지점을 연결하는 선 안의 해역, 동해 및 제주특별자치도는 영해 및 접속수역법 제2조에 따른 우리나라 기선에서 12해리 안의 해역으로 정의되고 있으며, 앞바다와 먼바다의 경계 좌표는 예보업무규정의 별표 6에 제시되어 있다. 한편, 기상청의 해양 예보구역 중 먼바다 구역은 영해로부터 200해리까지의 거리를 대상으로 하고 있다.

다만, 항로에서 멀리 떨어져 있는 부이를 참조하여 출항통제를 하거나, 현재 바다가 조용한데 출항을 할 수 없는 등 출항통제가 현재 바다 상황과 맞지 않다는 민원이 꾸준히 제기되고 있으며 이와 같은 내용이 언론을 통해 공개되었다. 아래에서는 언론을 통해 공개된 출항통제 관련 기사를 소개한다.

■ 경북매일 2017.11.13.

현재 국내에서 해상기상정보를 직접적으로 제공하는 장비는 해상기상부이와 파고부이이다. 해양기상부이는 포항과 울진 앞 70km 해상에 떠 있지만 나머지 해상에는 해양기

상부이가 없어 기상정보를 확인할 방법이 없다. 포항에서 울릉까지 거리가 217km, 울진에서 울릉까지 159km인 점을 감안하면 70km당 1곳은 드넓은 바다를 관측하기에는 턱없이 부족하다.

동해안 해양기상정보의 구분도 절실하다. 기상청은 동해안 기상예보를 동해 중부와 남부로 나눠 발표한다. 설정 범위가 400km가 넘게 광범위하다 보니 현지 상황과 맞지 않는 기상예보가 종종 발생하고 있다. 최소 3구역으로 세분화되어야 한다는 지적이다. 울릉도 앞바다는 평온한 상황인데 이와 거리가 먼 대화퇴어장이나 일본 대마도 앞바다의 풍랑이 심해 울릉도 여객선까지 운항이 전면 통제되는 경우도 많다.

■ 헤럴드경제 2018.01.10

울릉섬 주민들은 한국 주변 바다 해양기상 감시 강화를 위해 설치한 해양기상부이를 족쇄라며 이구동성으로 말했다. 현재 경북 동해안권에는 2개의 해양기상부이와 8개의 파고부이가 설치돼 있다. 파고부이는 포항 월포와 구룡포, 울진 죽변과 후포 앞바다에 1곳씩 설치돼 있으며 울릉도 3곳, 독도 1곳에 배치돼 있다.

세월호 사고 이후 기상청 해양기상부이의 최대 파고가 입출항 통제 기준으로 등장했다. 때문에 울릉도와 포항, 강원도를 운항하는 모든 여객선들은 동해와 포항해상에 설치된 부이파도 최고치를 측정, 출항 여부가 결정된다.

그러나 울릉도 부이는 여객선 운항과 정반대 방향에 설치돼 있는 데다 부이파도는 순간적으로 상승하는 파도를 측정해 현실과 맞지 않다는 게 해양 전문가의 입장이다. 해양기상 예보 정확도 향상을 위한 과감한 개선과 합리적 기준에 의한 여객선 통제 기준 재설정을 위해 이제는 관계기관들이 지혜를 모아야 할 때다.

■ 경북매일 2018.03.29.

울릉도 가는 바닷길의 기상정보를 정확하게 알려줄 파도 높이 측정용 파고부이가 추가로 설치된다.

■ 아시아투데이 2018.07.05.

경북 울릉~포항 간 여객선의 잦은 결항으로 인한 주민 불편을 해소하고자 올 4월 말 설치된 파고부이가 여객선의 운항관리 규정의 여객선 통제 자료로 사용할 수 없다는 것이 확인됐다. 여객선 운항관리 규정에는 최대파고 외에 풍속 항목도 두고 있는데 파고부이는 풍속을 측정할 수 없어 적절하지 않다는 것이다.

■ 경상매일신문 '2018.01.18.

해양기상부이의 최대파고는 특정 기간의 순간적인 측정값으로써 외부적인 요인 및 기

계적인 오류를 포함할 수 있어, 풍랑특보 해제 후 충분히 출항 가능한 해상상태임에도 여객선 입출항이 통제되고 있다는 지적과 민원이 제기되어 왔다.

필요시 울릉군과 각 선사에서는 여객선의 해양기상에 의한 통제기준 개선방안 연구용역 등을 통해 여객선 운항통제 기준의 합리적 개선방안을 제시할 계획이다.

■ MBC 2018.03.26.

흑산도 앞바다에서 163명이 탄 여객선이 좌초되었다. 사고 원인은 해상에 짙은 안개가 끼면서 시정거리가 급격히 악화된 탓으로 보인다.

문제는 여객선의 출항을 결정하는 기준이 애매한데 있다. 서남 해의 55개 관측지점에서 육안으로 가시거리를 확인할 뿐 과학적인 측정근거는 없다. 특히, 출항한 뒤에 시정거리가 급격히 나빠지는 경우에 대비한 별도의 규정이 없다.

■ 중부일보 2017.11.30.

인천 앞바다 섬을 오가는 여객선들의 잦은 선박출항 통제 기준이 문제시 되고 있다. 이는 해사안전법에서 명시된 통제기준에도 해당하지 않았음에도 무리한 통제로 주민 불편을 가중시켰다는 불만이 나오는 원인으로 지적되고 있다.

■ 내일신문 2018.04.05.

앞으로는 기상 예비특보가 발령되거나 유의파고가 2m 이상이면 연안 선박이 출항할 수 없게 된다. 해양수산부는 5일 국무총리 주재 현안조정회의에서 이 같은 내용을 포함한 '연안선박 안전관리 강화방안'을 발표했다. 이에 따라 선박이 야간 원거리 항해할 때는 레이더 조난위치 발신장치 안전요원 등을 갖춘 경우에만 예외적으로 허용키로 했다.

■ 아시아투데이 2018.07.05.

경북 울릉~포항 간 여객선의 잦은 결항으로 인한 주민 불편을 해소하고자 올 4월 말 설치된 파고부이가 여객선의 운항관리 규정의 여객선 통제 자료로 사용할 수 없다는 것이 확인됐다. 여객선 운항관리 규정에는 최대파고 외에 풍속 항목도 두고 있는데 파고부이는 풍속을 측정할 수 없어 적절하지 않다는 것이다.

5일 울릉군 및 기상청 등에 따르면 울릉군은 지난 1월 최수일 전 군수가 울릉도·독도 해역의 기상을 관할하고 있는 기상청 대구지청을 방문해 전준항 지청장을 면담한 자리에서, 울릉~포항 간 항로의 기상상황을 관측할 수 있는 울릉도 남서쪽에 부이를 추가 설치해 줄 것을 건의했다. 이에 기상청은 지난 4월 울릉도 서쪽해상에 파고부이를 설치, "1년간 시범운영을 통해 울릉도 운항 여객선과 부근해역에서 조업하는 선박에 더욱 정확한 자료를 제공하고, 지역주민과 관광객 불편을 최소화해 지역경제 활성화에 도움이 될 수

있을 것으로 기대한다”고 홍보하기도 했다

하지만 조사 결과 파고부이는 기계적인 오작동과 통신장애 등으로 잘못된 기상관측자료가 나올 수 있어 제공되는 자료는 참조용으로만 사용가능하며 기상증명 등의 자료로 활용할 수 없다는 것이 드러났다. 특히 파고부이에서 생산된 자료는 해양기상부이에 비해 파고센서 정확도 저하 등의 문제로 자료 정확도가 떨어져 신뢰하기 어렵다는 입장이다.

■ 소결

앞서 소개한 바와 같이, 출항통제가 현재 바다 상황과 맞지 않자는 민원은 꾸준히 제기되고 있으며, 이와 같은 내용은 언론을 통해 공개되고 있다. 2013년 131 콜센터 민원 전화 중 약 73%가 해상 특보와 관련된 것으로 집계되는 등 기상청에서 수신되는 날씨 관련 민원 중 가장 많은 부분 역시 해양분야로 나타났다. 기상청은 해상 예·특보에 필요한 해상 기상관측망의 추가 설치에 대한 필요성을 인지하고, 해양기상과 관련된 민원을 해결하기 위해 2018년 4월 울릉도 서편에 파도 높이 측정용 파고부이를 추가로 설치하는 등 관측 자료를 확보하기 위한 노력을 기울이고 있으며, 서해 먼 바다 관측공백 해역, 제주 남쪽과 동해 먼 바다 관측 공백 지역에 해양기상 부이 설치 계획을 수립하는 등 관측 자료를 보다 많이 수집하기 위한 계획을 수립 중에 있다.

기상청은 해양기상과 관련된 민원을 해소하고, 해양기상에 대한 관측자료를 확보하기 위한 다양한 계획을 수립 중에 있다. 향후 해양기상관측망의 강화를 위해 현행 관측망의 분석 및 예보구역의 적정성 등을 고려해야 할 것이다.

나. 해양기상관측망

■ 현황

기상청에서 운용하는 해양기상관측장비는 해양기상부이, 파고부이, 연안방재관측, 등표를 운용하고 있다. 우리나라 해역을 육지에서 이격되는 거리로 구분하였을 때, 해안, 연안, 연해, 원해로 나눌 수 있다. 해안은 17개 지점의 연안방재관측소를 이용하여 관측을 하고 있으며, 연안은 파고부이(52개)와 등표(9개), 연해는 해양기상부이(17개소), 원해는 천리안 위성을 통해 관측이 이루어지고 있어 현재 해양기상관측망은 연근해(평구수역과 연해주역) 영역에 집중되어 있다. (그림 156 참조)

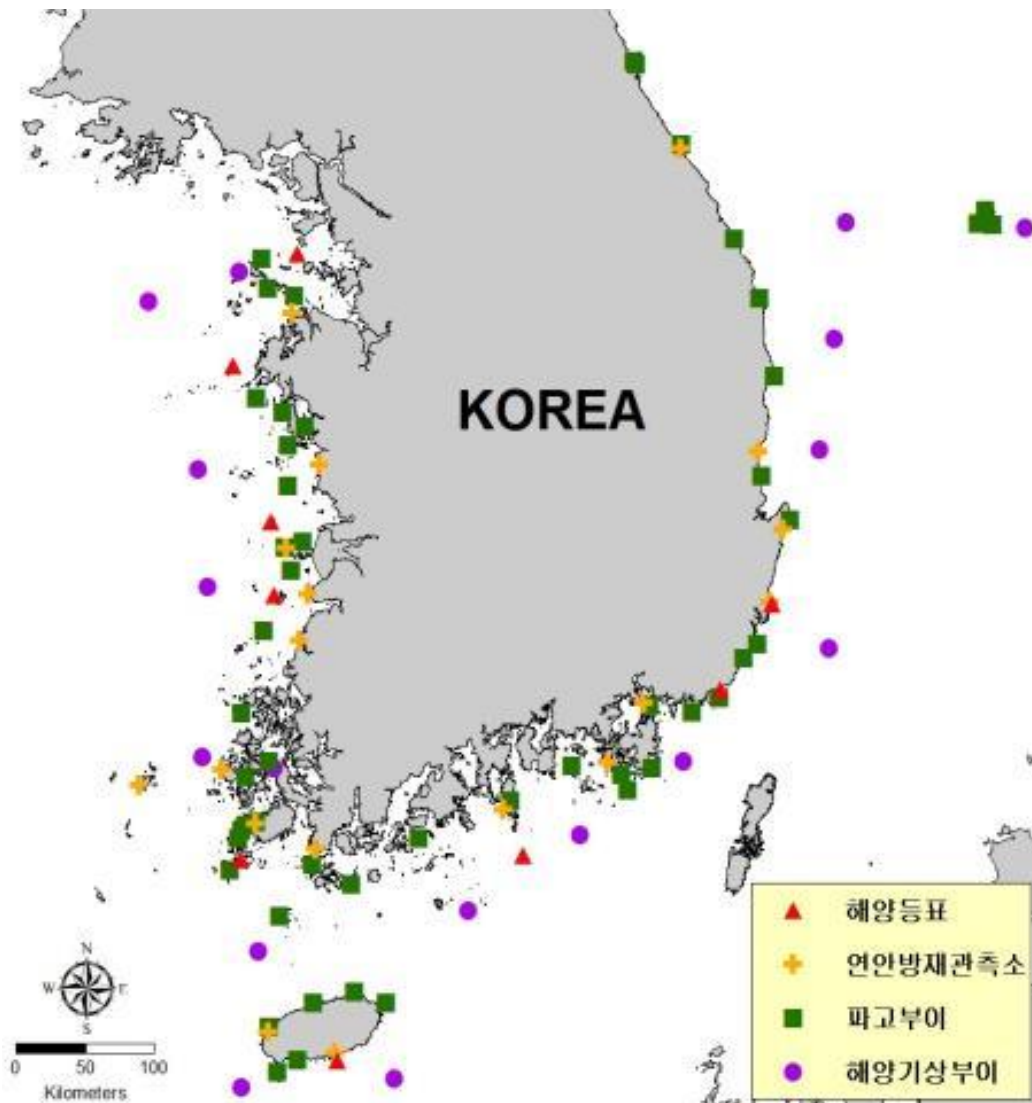


그림 156 해양기상관측망 현황

■ 해양기상관측해역 파랑특성 분석

해양기상관측망의 특성을 파악하기 위하여 최근 2년간(2016 ~ 2017년) 해양기상부이(17개 지점)와 파고부이(45개 지점)에서 1시간 간격으로 관측된 유의파고, 파주기의 출현율과 5가지 통계 수치를 이용한 상자 그림(Box Plot)을 제시하였다.

유의파고는 동해와 제주도에서 상대적으로 높고 편차가 큰 것으로 나타났으며, 신안, 옥도, 이작도, 풍도, 노화도, 잠도, 천수만은 유의파고가 상당히 낮게 나타났다. 또한 위 7개 지점의 유의파고의 빈도를 분석한 결과 최근 2년간 풍랑주의보 특보 기준인 3m이상의 비율이 0%로 나타났다. 전체 지점과 비교하였을 때 신안, 옥도, 잠도, 천수만은 파주기가 3초 이하의 비율이 30% 이상인 것으로 나타났다. 파주기는 동해 해역이 대체적으로 파주기가 길고 편차가 큰 경향을 보인다. 특히 동해 남부는 중앙값의 편차가 크지 않은 것으로 나타났다. 전체 지점과 비교하였을 때 옥도와 진도는 파주기 편차가 매우 큰 것으로 나타났으며 천수만, 신안, 잠도는 파주기가 매우 짧은 것으로 나타났다.

천수만, 옥도 파고부이와 신안 해양기상부이의 경우 1m 이하 유의파고의 출현율이 99%로 대부분 정온 상태의 해상 상태를 나타내고 있어 지역적 해양기상 특성을 대표하기에는 다소 미흡한 것으로 판단된다. (표 54, 55, 그림 157, 158 참조)

구분	유의파고(m)	상대도수백분율(%) (이상~미만)								파주기(sec)	상대도수백분율(%) (이상~미만)							
		0~0.5	0.5~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~	합계		0~3	3~5	5~7	7~10	10~15	15~	합계	
해양기상부이	울릉도	10.01	29.99	39.01	13.77	5.13	1.57	0.53	100	울릉도	1.91	28.38	34.40	32.43	2.88	0.00	100	
	덕적도	55.66	28.17	14.75	1.41	0.02	0.00	0.00	100	덕적도	11.19	54.70	26.47	6.57	1.05	0.02	100	
	칠발도	35.95	33.31	20.27	7.47	2.60	0.37	0.03	100	칠발도	5.75	35.23	35.85	21.28	1.75	0.13	100	
	거문도	14.02	43.95	35.85	5.41	0.63	0.11	0.04	100	거문도	3.39	39.53	31.09	22.51	3.46	0.01	100	
	거제도	12.90	44.03	36.32	5.68	0.81	0.19	0.06	100	거제도	2.78	27.44	31.75	33.82	4.20	0.00	100	
	동해	9.68	34.20	39.04	11.87	3.90	1.10	0.20	100	동해	4.10	32.32	31.61	29.36	2.61	0.00	100	
	포항	13.92	34.13	37.40	10.82	2.80	0.75	0.18	100	포항	4.60	33.20	27.54	31.25	3.42	0.00	100	
	마라도	7.04	36.21	38.77	12.98	4.07	0.74	0.19	100	마라도	2.66	28.84	35.86	29.30	3.35	0.00	100	
	외연도	32.99	33.90	23.40	6.98	2.23	0.49	0.01	100	외연도	6.38	44.45	32.81	15.25	1.10	0.02	100	
	신안	90.50	8.98	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	100	신안	60.32	31.04	6.34	1.90	0.38	0.02	100	
	추자도	18.09	38.29	33.21	8.59	1.51	0.31	0.01	100	추자도	13.77	41.76	29.64	14.31	0.51	0.01	100	
	인천	34.31	34.19	24.76	5.54	1.12	0.07	0.00	100	인천	7.99	45.08	34.52	11.50	0.91	0.00	100	
	부안	36.13	32.39	20.96	7.15	2.67	0.66	0.04	100	부안	7.14	46.31	30.94	15.23	0.37	0.01	100	
	서귀포	5.47	33.98	47.27	10.32	2.08	0.67	0.21	100	서귀포	3.14	35.73	32.86	24.22	4.04	0.01	100	
	통영	13.25	45.34	35.57	5.25	0.50	0.05	0.04	100	통영	3.86	43.51	25.64	22.45	4.54	0.01	100	
	울산	8.89	34.56	41.02	12.26	2.50	0.56	0.20	100	울산	4.29	34.13	28.07	29.86	3.65	0.00	100	
	울진	10.48	33.53	39.97	11.46	3.32	0.95	0.29	100	울진	7.24	31.83	29.87	28.62	2.43	0.00	100	

표 54 파고, 파주기 계급별 출현율(해양기상부이)

구분	유의파고(m)	상대도수백분율(%) (이상~미만)								파주기(sec)	상대도수백분율(%) (이상~미만)						
		0~0.5	0.5~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~	합계		0~3	3~5	5~7	7~10	10~15	15~	합계
파고부이	독도	13.05	43.18	38.54	4.43	0.58	0.20	0.03	100	독도	0.42	38.15	51.03	10.35	0.05	0.00	100
	혈암	34.96	25.98	24.74	9.03	3.98	1.22	0.09	100	혈암	1.23	36.90	42.94	18.90	0.03	0.00	100
	구암	40.25	35.53	20.01	3.37	0.76	0.07	0.01	100	구암	0.27	54.51	42.39	2.84	0.00	0.00	100
	신진도	47.41	34.06	15.61	2.44	0.44	0.03	0.01	100	신진도	1.63	47.87	35.42	13.19	1.87	0.03	100
	삼시도	69.17	22.83	7.07	0.86	0.06	0.01	0.00	100	삼시도	4.83	57.67	25.40	10.05	2.03	0.02	100
	옥도	94.24	5.71	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	100	옥도	36.08	22.49	13.74	20.07	7.60	0.02	100
	진도	58.58	29.26	11.25	0.87	0.04	0.00	0.00	100	진도	1.45	24.58	29.12	31.21	13.64	0.00	100
	두미도	64.46	30.85	4.32	0.35	0.02	0.00	0.00	100	두미도	12.23	63.24	21.43	3.01	0.09	0.00	100
	연곡	27.95	40.84	25.10	4.83	1.19	0.06	0.02	100	연곡	0.90	38.11	41.10	19.47	0.42	0.00	100
	죽변	33.01	39.42	23.38	3.74	0.43	0.02	0.00	100	죽변	0.67	36.29	41.89	20.76	0.40	0.00	100
	구룡포	29.68	40.91	25.29	3.67	0.30	0.14	0.00	100	구룡포	1.27	34.94	41.15	22.22	0.42	0.00	100
	장안	37.13	47.18	14.52	1.02	0.13	0.02	0.00	100	장안	0.83	37.72	47.98	13.46	0.01	0.00	100
	해금강	30.71	47.06	18.79	2.97	0.37	0.08	0.02	100	해금강	0.01	26.72	54.73	18.32	0.22	0.00	100
	청산도	56.71	33.34	9.19	0.69	0.08	0.00	0.00	100	청산도	1.09	35.20	53.11	10.47	0.14	0.00	100
	제주항	38.37	34.43	19.77	5.64	1.39	0.28	0.11	100	제주항	0.75	62.77	33.24	3.23	0.01	0.00	100
	중문	38.95	43.45	16.02	1.35	0.20	0.02	0.00	100	중문	0.34	30.42	56.37	12.60	0.26	0.00	100
	북항	30.19	48.13	19.33	1.97	0.31	0.06	0.01	100	북항	0.07	37.70	50.49	11.67	0.08	0.00	100
	남항	50.02	40.97	8.20	0.60	0.13	0.07	0.01	100	남항	0.69	44.52	45.28	9.22	0.29	0.00	100
	이작도	77.90	19.45	2.60	0.04	0.00	0.00	0.00	100	이작도	4.44	62.66	25.93	6.13	0.85	0.00	100
	울릉읍	25.49	51.22	21.36	1.65	0.25	0.04	0.00	100	울릉읍	0.38	41.51	50.30	7.82	0.00	0.00	100
	후포	31.24	39.63	24.47	4.22	0.39	0.04	0.00	100	후포	0.73	33.43	44.15	21.22	0.46	0.00	100
	금오도	77.75	18.38	3.78	0.07	0.02	0.01	0.00	100	금오도	6.50	69.82	21.05	2.55	0.08	0.00	100
	한산도	63.24	29.99	6.03	0.58	0.12	0.04	0.00	100	한산도	1.51	57.66	33.59	7.01	0.24	0.00	100
	추자도	39.18	38.07	20.07	2.35	0.27	0.06	0.00	100	추자도	0.65	59.63	36.15	3.57	0.00	0.00	100
	우도	33.44	35.70	25.09	4.33	1.16	0.24	0.05	100	우도	0.29	49.82	44.31	5.38	0.21	0.00	100
	풍도	72.12	23.34	4.43	0.11	0.00	0.00	0.00	100	풍도	1.51	41.53	29.98	20.34	6.65	0.00	100
	토성	33.42	41.68	20.84	3.39	0.66	0.01	0.00	100	토성	0.72	37.33	45.45	16.24	0.26	0.00	100
	자월도	66.54	24.70	8.41	0.32	0.04	0.00	0.00	100	자월도	9.34	73.22	14.51	2.37	0.56	0.00	100
	서천	51.46	31.80	13.88	2.40	0.40	0.06	0.00	100	서천	5.42	69.16	23.08	2.31	0.03	0.00	100
	군산	57.77	25.39	13.36	2.94	0.50	0.03	0.00	100	군산	15.61	61.72	19.80	2.25	0.61	0.00	100
	영광	45.64	29.58	16.25	5.53	2.28	0.63	0.08	100	영광	7.58	53.40	28.41	9.50	1.10	0.01	100
	가파도	24.51	48.37	24.69	2.22	0.21	0.00	0.00	100	가파도	0.14	37.44	54.37	8.03	0.02	0.00	100
	노화도	76.76	20.73	2.42	0.09	0.00	0.00	0.00	100	노화도	14.28	48.46	25.89	9.73	1.63	0.01	100
	고흥	76.88	20.70	2.32	0.08	0.02	0.00	0.00	100	고흥	9.61	47.63	33.93	8.10	0.74	0.00	100
	삼척	33.88	38.08	22.84	4.43	0.73	0.03	0.00	100	삼척	0.69	35.02	43.68	20.33	0.28	0.00	100
	맹골수도	41.32	40.70	17.06	0.78	0.14	0.00	0.00	100	맹골수도	0.26	34.76	55.31	9.51	0.17	0.00	100
	간절곶	26.22	48.77	22.27	2.48	0.20	0.05	0.01	100	간절곶	0.43	35.49	45.40	18.44	0.24	0.00	100
	잠도	96.72	3.18	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	100	잠도	46.67	48.82	3.59	0.80	0.12	0.00	100
	소매물도	42.97	42.64	12.46	1.62	0.19	0.09	0.03	100	소매물도	0.84	59.27	32.93	6.75	0.21	0.00	100
	협재	41.59	33.62	19.80	4.46	0.46	0.06	0.00	100	협재	2.02	62.93	33.10	1.95	0.01	0.00	100
천수만	96.44	3.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	천수만	57.68	26.02	7.32	6.98	1.99	0.01	100	
안면도	66.37	24.93	8.27	0.40	0.02	0.00	0.00	100	안면도	7.66	65.12	24.82	2.36	0.04	0.00	100	
대치마도	60.10	25.61	11.90	2.14	0.23	0.02	0.00	100	대치마도	5.38	52.54	31.49	10.20	0.38	0.00	100	
월포	40.25	33.74	22.96	2.72	0.27	0.05	0.02	100	월포	2.04	34.13	38.09	23.84	1.90	0.00	100	
김녕	33.14	33.91	23.23	7.34	1.94	0.33	0.10	100	김녕	0.79	49.14	43.74	6.31	0.02	0.00	100	

표 55 파고, 파주기 계급별 출현율(파고부이)

유의파고 boxplot:2016~2017년

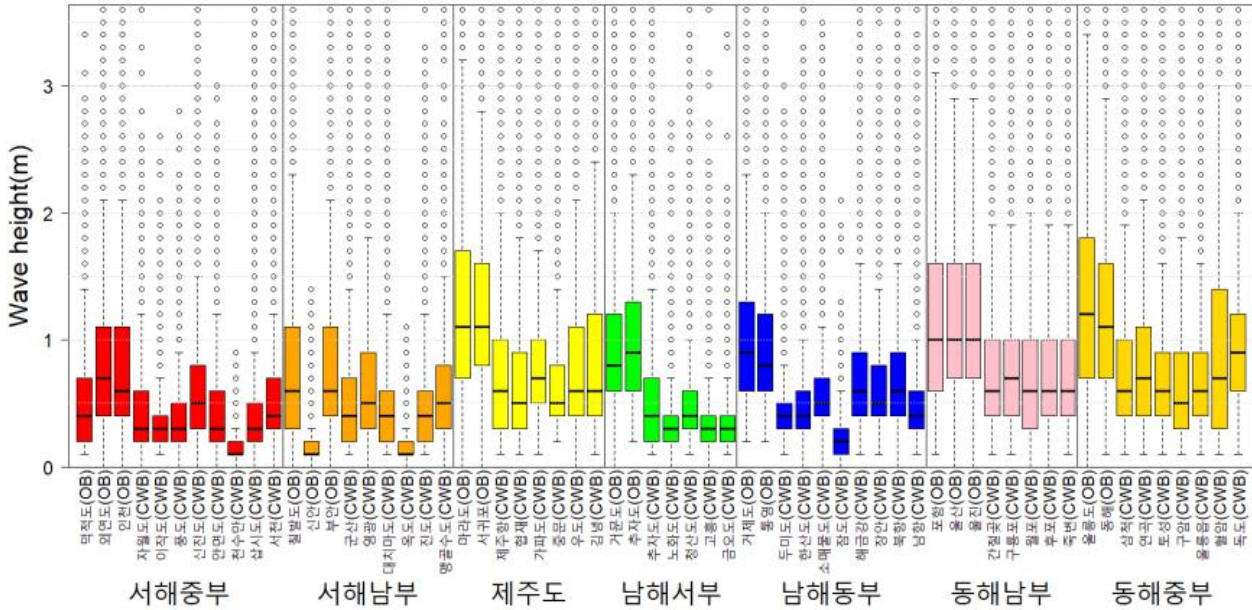


그림 157 유의파고 상자그림(OB : 해양기상부이, CWB : 파고부이)

파주기 boxplot:2016~2017년

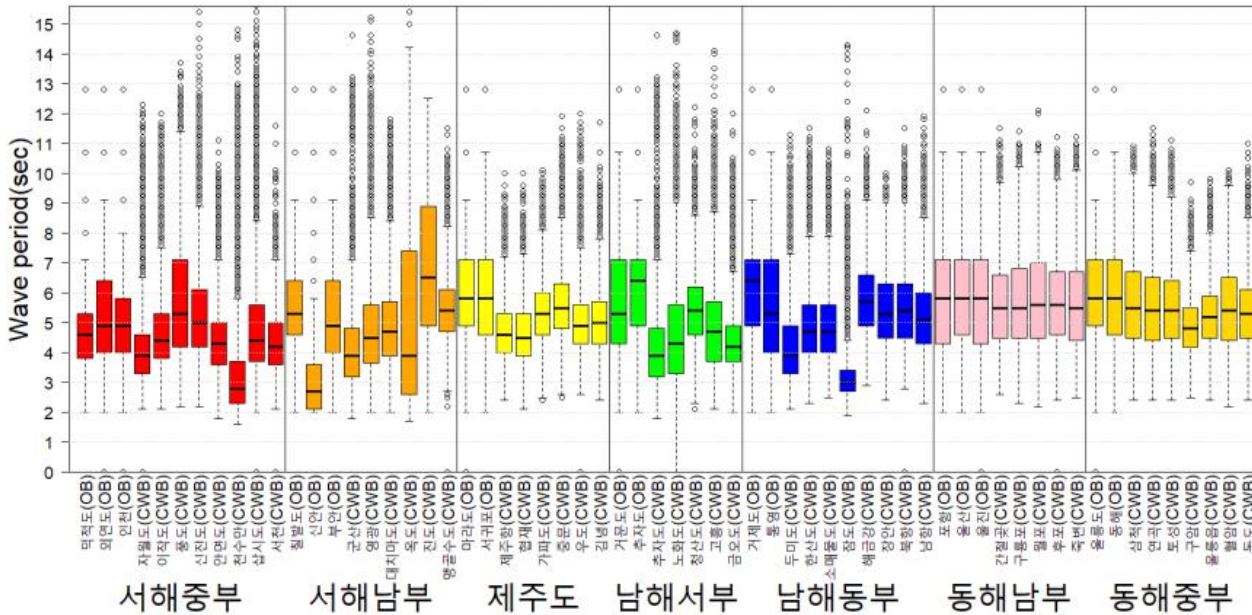


그림 158 파주기 상자그림(OB : 해양기상부이, CWB : 파고부이)

다. 해상예보구역

기상청은 우리나라 해상을 서해, 남해, 동해 및 제주해역으로 구분하고 육지에서 떨어진 거리를 기준으로 먼바다, 앞바다, 연안바다로 구분하여 해상예보를 실시하고 있다. 본 절에서는 예보 구역의 대표성을 검토하기 위하여 최근 3년간(2014 ~ 2016년) 수행된 기상청 현업 국지파랑 예측모델(CWW3, 공간해상도 약 1 km, 시간해상도 3시간 간격) 결과(파고, 파주기)를 각 격자별로 평균하여 군집분석을 수행하였다.

군집분석은 주어진 자료의 대상간 유사성을 측정하여 유사성이 높은 대상 집단을 분류하여 몇 개의 군집을 찾아내는 비지도(unsupervised) 기법이며 명확한 기준이 존재하지 않거나 밝혀지지 않은 상태에서 다양한 특성을 지닌 대상을 집단으로 분류하는데 사용된다. 본 연구에서는 분할군집 분석 방법 중 K-Means 방법을 적용하고 내부 평가 지수(Davie-Bouldin, Calinski-Harabasz, Silhouette)를 산출하여 군집 개수의 타당성을 평가하였다. Silhouette index는 0.5이상인 경우 유의미한 군집으로 평가하며, D-B index는 높을수록, 나머지 지수는 낮을수록 군집이 잘 나누어졌음을 의미한다.

파랑예측 자료를 이용한 군집분석 결과 서해는 동서방향으로, 동해와 남해는 바람과 수심 분포 특성에 따라 다수의 구역으로 구분되는 것으로 나타났다. 분석 결과 현재 먼바다 예보 구역은 14개 혹은 15개의 특성 구역으로 구분할 수 있어 예보구역의 파랑 특성을 대표하기에는 다소 미흡한 것으로 판단되며 향후 파랑 특성을 대표할 수 있는 먼바다 예보 구역의 세분화와 이에 따른 해양기상관측망 확대가 필요할 것으로 판단된다. (그림 159 ~ 161 참조)

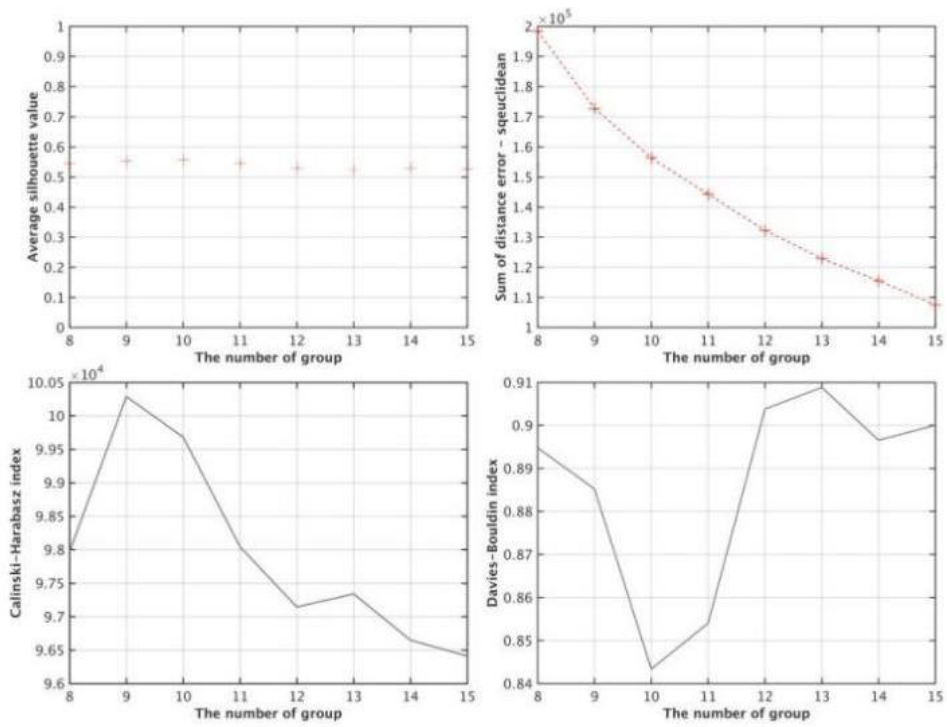


그림 159 국지과량 예측모델(CWW3) 군집분석 내부평가 지수

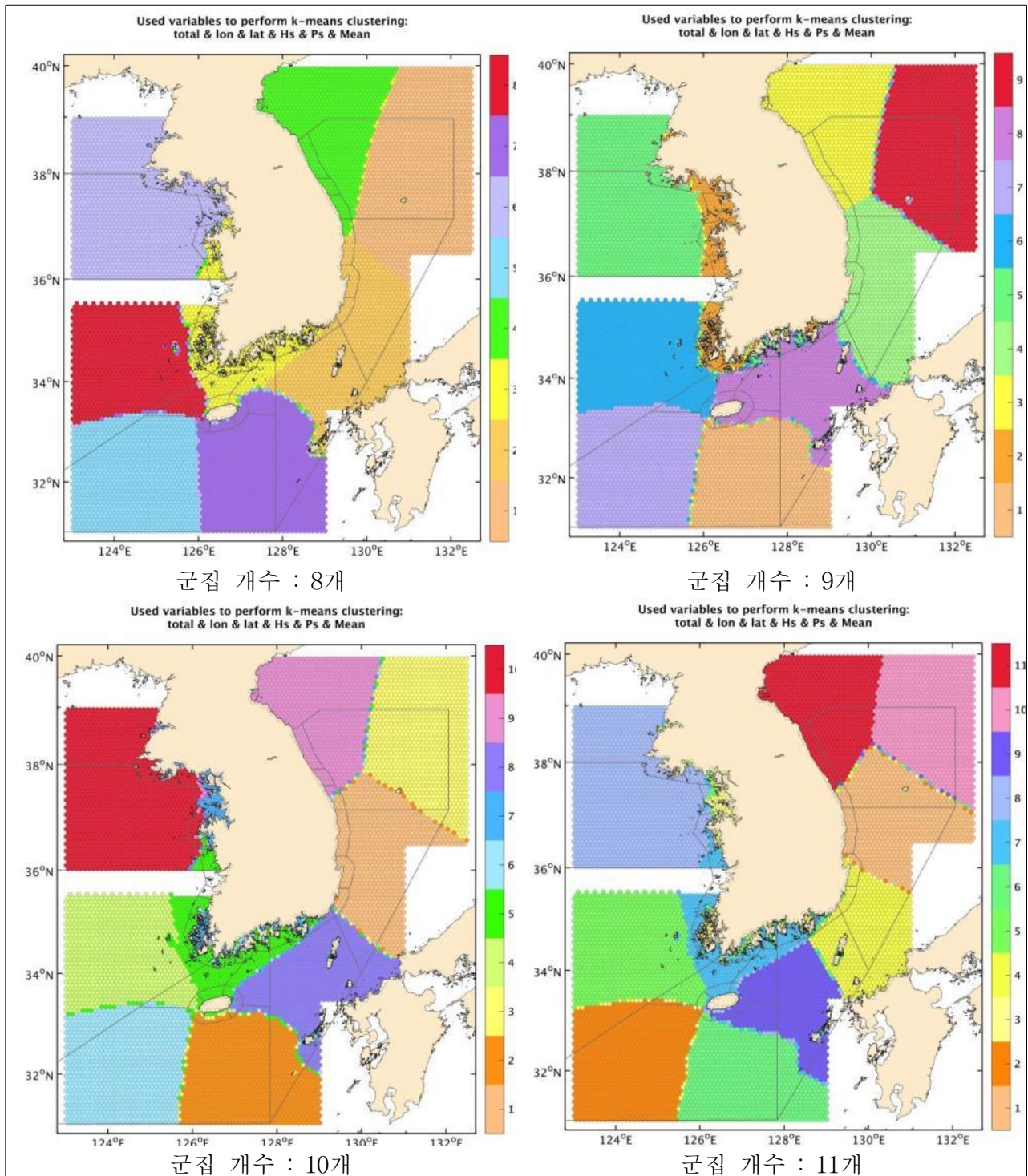


그림 160 국지파랑 예측모델(CWW3) 군집 분석 결과(8~11개)

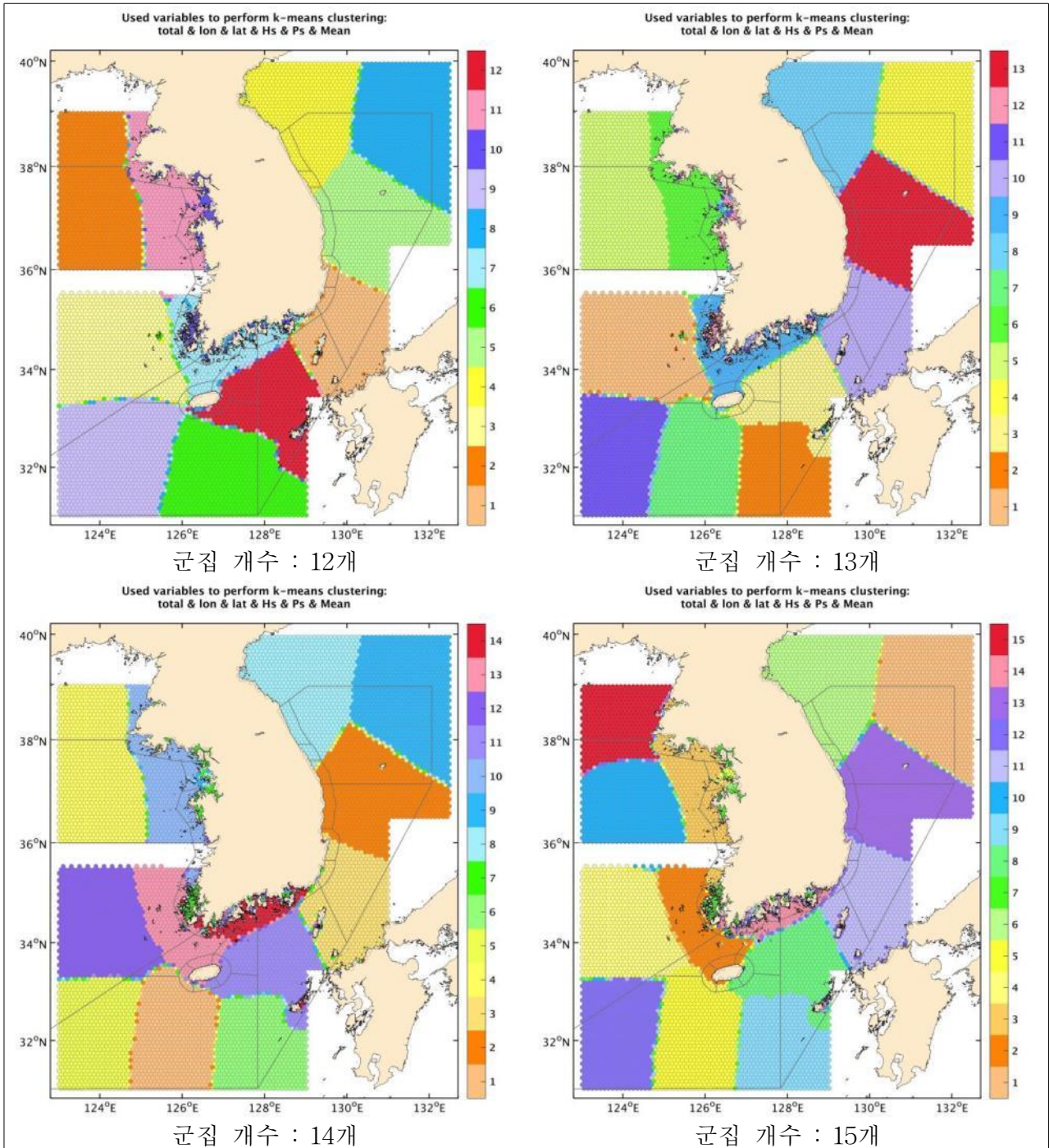


그림 161 국지파랑 예측모델(CWW3) 군집 분석 결과(12~15개)

라. 위험 기상

태풍은 연안 및 해안 지역의 큰 피해를 발생시키는 대표적인 위험 기상 현상이다. 우리나라는 2002년부터 2018년까지 총 13개의 태풍이 상륙한 것으로 조사되었다. 2002년 제15호 태풍 “루사(RUSA)”는 일본 남쪽 해상과 제주도 서귀포 동쪽 해상을 거쳐 8월 31일 전라남도 고흥반도 남부해안으로 상륙하여 9월 1일 우리나라를 관통한 상륙한 태풍 중 그 세력이 가장 강력한 태풍으로 분류된다. 2003년 제 14호 태풍 “매미(MAEMI)”는 경상남도 남해 해상으로 북상하여 상륙한 태풍으로 여수의 최대순간풍속이 49.2 m/s로 여수기상대 창설(1942년 2월)이후 극값을 경신하였으며 강한 바람을 동반한 태풍으로 131명의 인명피해와 약 4조 2천억 원의 막대한 재산피해를 가져왔다. 2007년 태풍 “나리(NARI)”는 강한 호우를 동반하였으며, 2010년 상륙한 태풍 “덴무(DIANMU)”는 오랜 폭염과 가뭄 해갈에 긍정적인 역할을 한 태풍이었다. 동일년도에 상륙한 태풍 “곤파스(KOMPASU)”는 크기는 소형이었지만 강도는 강한 태풍이었으며, 수도권으로 상륙하며 큰 피해를 입힌 태풍이다. 2016년 태풍 “차바(CHABA)”는 10월 4일 오후부터 10월 5일 오후까지 제주도 성산 부근을 통과하고 거제도와 부산 남쪽을 거쳐 동해상으로 빠져나가면서 강풍을 동반한 많은 비를 내렸다. 태풍 차바는 제주도, 부산, 울산을 포함한 한반도 남동부지방에 많은 피해를 입혔다. 시설물의 파손, 정전, 침수 등 막대한 재산피해와 인명피해가 발생하였다(기상청 국가태풍센터, 2017). (그림 56 참조)

구분	태풍번호	태풍명	발생 ~ 소멸(KST)
1	200205	라마순(RAMMASUN)	2002/06/29 15:00 ~ 2002/07/06 21:00
2	200215	루사(RUSA)	2002/08/23 09:00 ~ 2002/09/01 15:00
3	200314	매미(MAEMI)	2003/09/06 15:00 ~ 2003/09/14 06:00
4	200603	에위니아(EWINIAR)	2006/07/01 03:00 ~ 2006/07/10 22:00
5	200711	나리(NARI)	2007/09/13 15:00 ~ 2007/09/17 00:00
6	201004	덴무(DIANMU)	2010/08/08 21:00 ~ 2010/08/12 15:00
7	201007	곤파스(KOMPASU)	2010/08/29 21:00 ~ 2010/09/03 03:00
8	201207	카눈(KHANUN)	2012/07/16 15:00 ~ 2012/07/19 12:00
9	201214	덴빈(TEMBIN)	2012/08/19 09:00 ~ 2012/08/31 00:00
10	201216	산바(SANBA)	2012/09/11 09:00 ~ 2012/09/18 09:00
11	201618	차바(CHABA)	2016/09/28 03:00 ~ 2016/10/06 00:00
12	201819	솔릭(SOULIK)	2018/08/16 09:00 ~ 2018/08/25 03:00
13	201825	콩레이(KONG-REY)	2018/09/29 15:00 ~ 2018/10/07 09:00

표 56 우리나라 상륙 태풍 현황(연도별)

우리나라에 상륙한 태풍의 경로는 동중국해와 제주도 남쪽 해상을 통과하여 서해안 혹은 남해안에 상륙하는 비교적 일정한 형태를 보이고 있으나 대기와 해양의 상태에 따라 다양한 경로로 변형된다. 기상청은 태풍 내습시 관측 자료와 수치모델에 기반한 다양한 분석 결과를 토대로 예특보 업무를 수행하고 있으나 기후 변화를 포함한 다양한 요인으로 인하여 정확한 태풍의 진로를 예측하는데 많은 어려움을 가진다.

제주도 남측 해상에서 북상하는 태풍은 일반적으로 수시간 ~ 1일 정도 후 우리나라에 직접적인 영향을 미치므로 태풍 경로에서 사전에 정확한 해상 및 기상 상태를 제공할 수 있는 해상 관측이 필수적으로 요구된다. 현재 제주도 남서측 해상에 위치한 이어도 종합 해양과학기지서 해양기상 관측을 수행하고 있으나 시공간적으로 빠르게 변화하는 태풍 정보를 파악하는데 충분하지 못한 것으로 판단된다. (그림 162 참조)



그림 162 우리나라 상륙태풍 진로도(2002 ~ 2018)

마. 어업 기상

기상청은 어선의 안전조업과 어로활동 보호를 목적으로 우리나라 주변 해역을 0.5° 간격으로 구획된 해구를 대상으로 해구별 예측 정보(파고, 파향, 파주기, 풍향, 풍속)를 제공하고 있다. 국립수산물과학원은 국내외 어업여건의 변화에 능동적으로 대처하기 위하여 연근해 주요 13개 어업과 주요 10개 어종을 대상으로 대상어업 또는 어종의 특성, 과거 및 최근의 해황과 어황 정보를 종합 분석하여 '월간어황정보'를 발간한다.

국립수산물과학원이 제공하는 월간어황정보의 월별 예상 어장도에 대하여 계절 및 해역별검토를 진행했다. 남해는 대형선망, 저인망 어업이 연중 지속되는데 반해 서해과 동해의 안강망, 저인망 및 채낚기 어업의 경우 겨울철은 주로 연안에서 조업하여 조업 영역이 작은 것으로 나타났으며, 여름철 및 가을철은 서해의 경우 다양한 어종을 대상으로 조업하는 것으로 나타났으며, 동해의 경우 오징어 조업으로 인해 조업 영역이 큰 양상을 나타내고 있다.

어선의 활동 영역은 계절에 따라 조금씩 다르지만 서해는 한중잠정조치수역 전까지 남해는 동중국해 북단까지이며 기상청 해상예보구역에서 설정하고 있는 연안바다에서부터 앞바다 및 먼바다까지 폭넓은 해역에서 조업이 이루어지고 있다.

또한 수온 상승으로 동해안의 한류성 어종의 어획량이 감소하고 멸치, 오징어 등 난류성 어종의 활동 범위가 넓어지고 어획량이 증가하며 아열대성 어류의 활동 범위 및 개체수가 증가하고 있다. 향후 어선의 조업 영역 또한 지속적으로 넓어질 것으로 예상되어 먼바다 구역의 해양기상 관측 및 예보의 중요성은 더욱 커질 것으로 예상되며 이에 대비한 해양기상관측망 확대가 필요하다. (그림 163 ~ 165 참조)

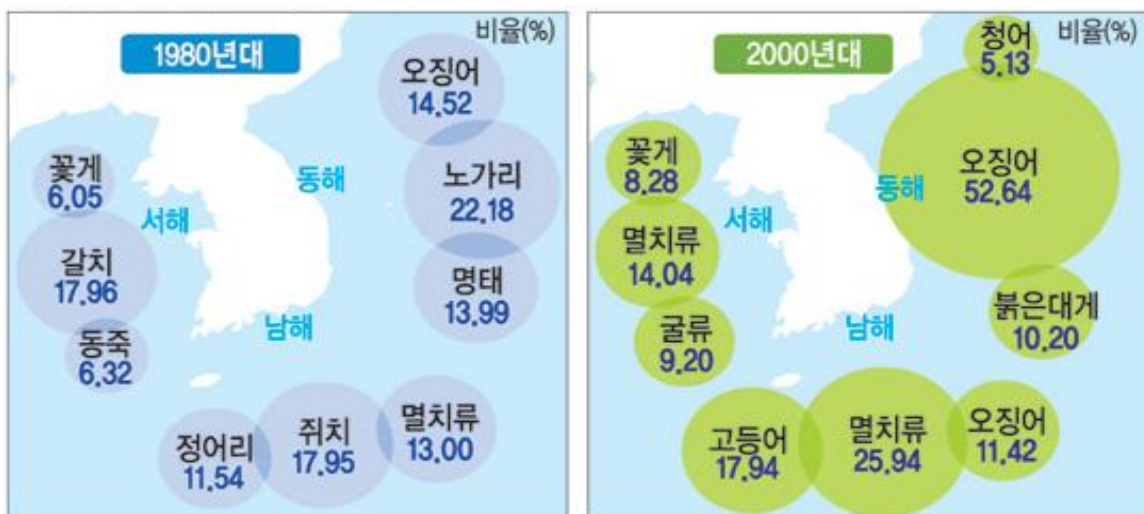


그림 163 해역별 어종 변화(국립수산물과학원)

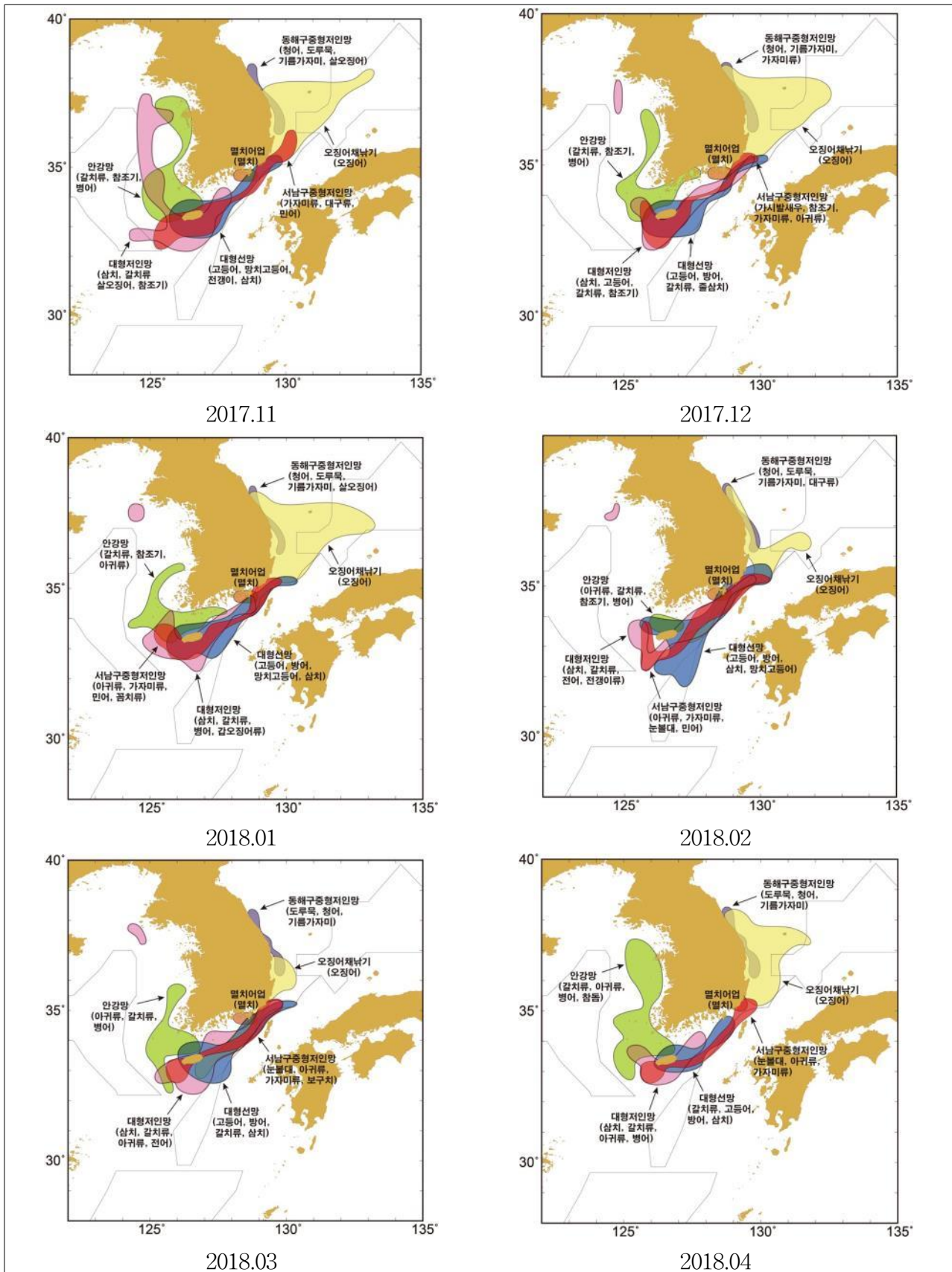
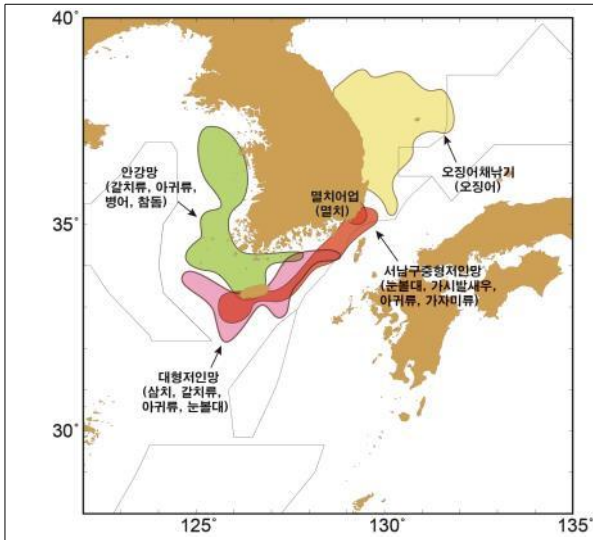
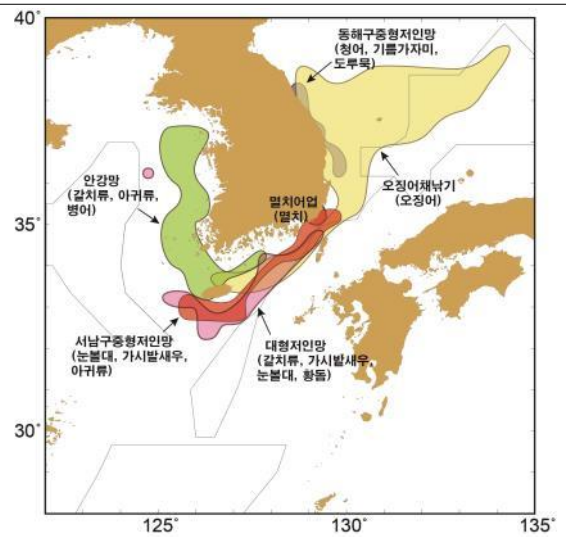


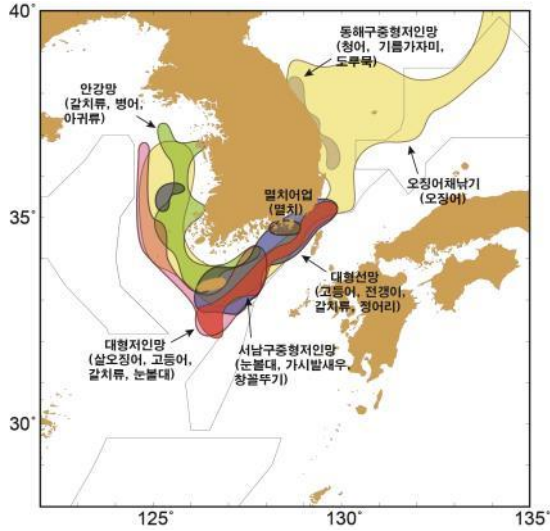
그림 164 월별 예상 어장도(2017.11 ~ 2018. 4)



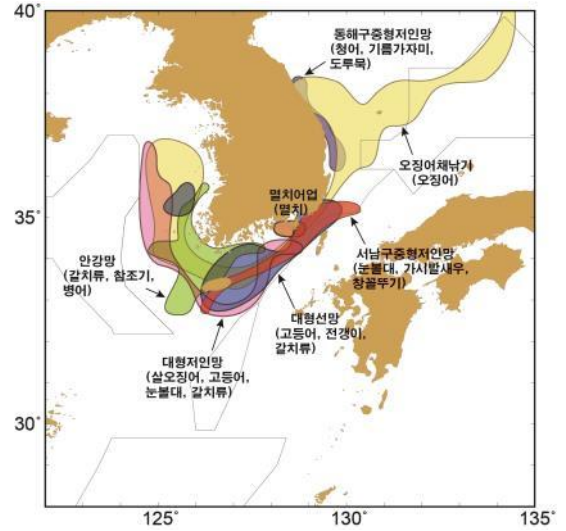
2018.05



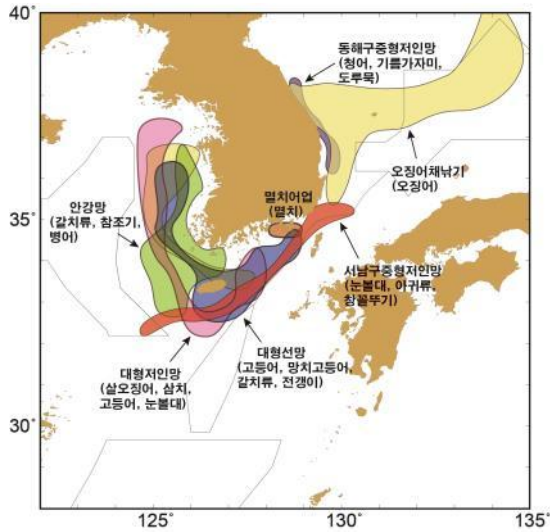
2018.06



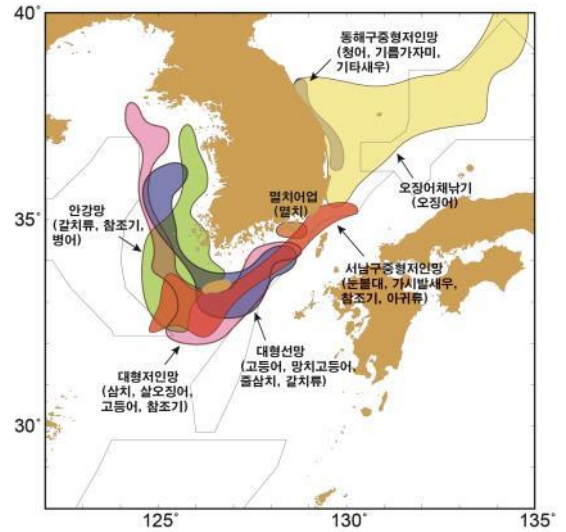
2018.07



2018.08



2018.09



2018.10

그림 165 월별 예상 어장도(2018.5 ~ 2018. 10)

3. 해양기상관측망 강화 방안

국민의 삶의 질 향상을 목표로 국민의 건강, 안전과 재산보호 및 생존권 확보를 위한 해양기상 감시 체계 구축이 요구되며 이를 위한 해양기상관측망 구축, 관측 자료 품질 확보 및 효율적 관측망 배치를 위한 관측망 평가 방안을 수립하였다.

가. 해양기상관측망 구성

■ 관측망 구축 계획 사례(미국)

1995년 미국 NOAA는 미국, 알래스카, 하와이, 캐리비안 및 대서양 서부지역을 대상으로 200개 이하의 부이/C-MAN 관측망을 추가하는 계획(MAROB plan)을 수립하였으며, 부이/C-MAN 네트워크의 구축시 ① 부이의 추가 여부는 가동상/조사 요구를 기반으로 결정 ② 자료 수집 전략의 증가 ③ C-MAN 시스템이 연안의 육지기반 관측 지역과 위치가 유사할 때 C-MAN 시스템 일부는 고정/표류 부이로 대체 ④ 날씨 변동, 폭풍에 취약한 지역 고려 ⑤ 연안 지역의 관측망 이상적 설치 간격은 30-50km 간격 ⑥ 연안에서의 활동이 활발한 지역을 고려하였다.

해양 예측 문제 해결, 기상 예측 모델의 향상, 겨울 폭풍과 허리케인에 미치는 연안의 영향, 연안 날씨 관측/예측/경보, 민간 관측 선박, 우주 기반 위성 플랫폼 등의 활용을 목적으로 하는 MAROB plan 역시 인구밀도가 높은 지역의 관측 공백은 해소되었으나 여전히 부족한 지역이 많다는 한계점이 여전히 존재하는 것으로 나타났다.

1998년 미국 국가 연구위원회 (NRC : National Research Council)의 대기과학 및 기후 위원회 (BASC : Board on Atmospheric Sciences and Climate)는 국립해양대기청 (NOAA)의 요청으로 기상 자료 부이 프로그램 (Meteorological data buoy program) 및 연안 해양 자동 관측망 (C-MAN : Coastal Marine Automated Network)에 대한 조사를 수행하고 날씨 및 예보 능력 유지를 위한 관측망을 제안한 바 있다. (그림 166 참조)

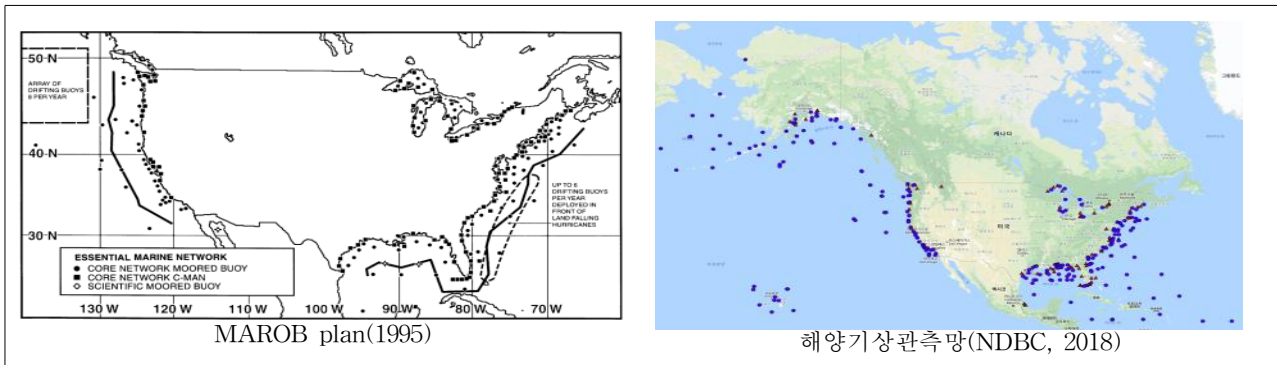


그림 166 미국 해양기상관측망 계획 및 현황

■ 해양기상관측망 구축 방안

해양기상관측망은 국민의 삶의 질 향상을 목표로 국민의 건강, 안전과 재산보호 및 생존권 확보를 위하여 국외 기인 대기 오염 물질을 감시하고, 태풍/해일 등 위험 기상을 모니터링하여 어업/레저 등 해상 활동을 지원하고 예측/예보 능력 향상을 위한 기초 자료를 제공할 수 있도록 구성하였다. (표 57 참조)

표 57 해양기상관측망 구축 방안

중점 고려 사항	태풍, 해일 등 해양위험 기상 감시 및 예측 지원 강화 향후 해양 특성을 고려한 해상 예보 구역 세분화 국내 유입 대기 오염 물질 감시 해상 활동(어업, 레저 등) 지원	
대상해역	관측 지점	활용 방안
연안 (54)	<ul style="list-style-type: none"> 연안방재관측소(기존 17개소) 등표(기존 9개소) 유인등대 (신설 11개소) 	<ul style="list-style-type: none"> 대기 오염 물질 유입 감시 항만 및 연안 항로 기상 감시 태풍, 해일 등 위험 기상 감시 연안 어업 활동 지원 위험 기상 예측 기술 지원
앞바다 (17)	<ul style="list-style-type: none"> 파고부이(기존 52개소) 해양기상기지(기존 1개소 → 3개소) 	
먼바다 (17)	<ul style="list-style-type: none"> 해양기상부이(기존 17개소 → 32개소) 	
원해 (1)	<ul style="list-style-type: none"> 천리안 2A, 2B 위성(신규) 	<ul style="list-style-type: none"> 먼바다 및 원해역 항로 및 위험 기상 감시 및 어업 기상 지원

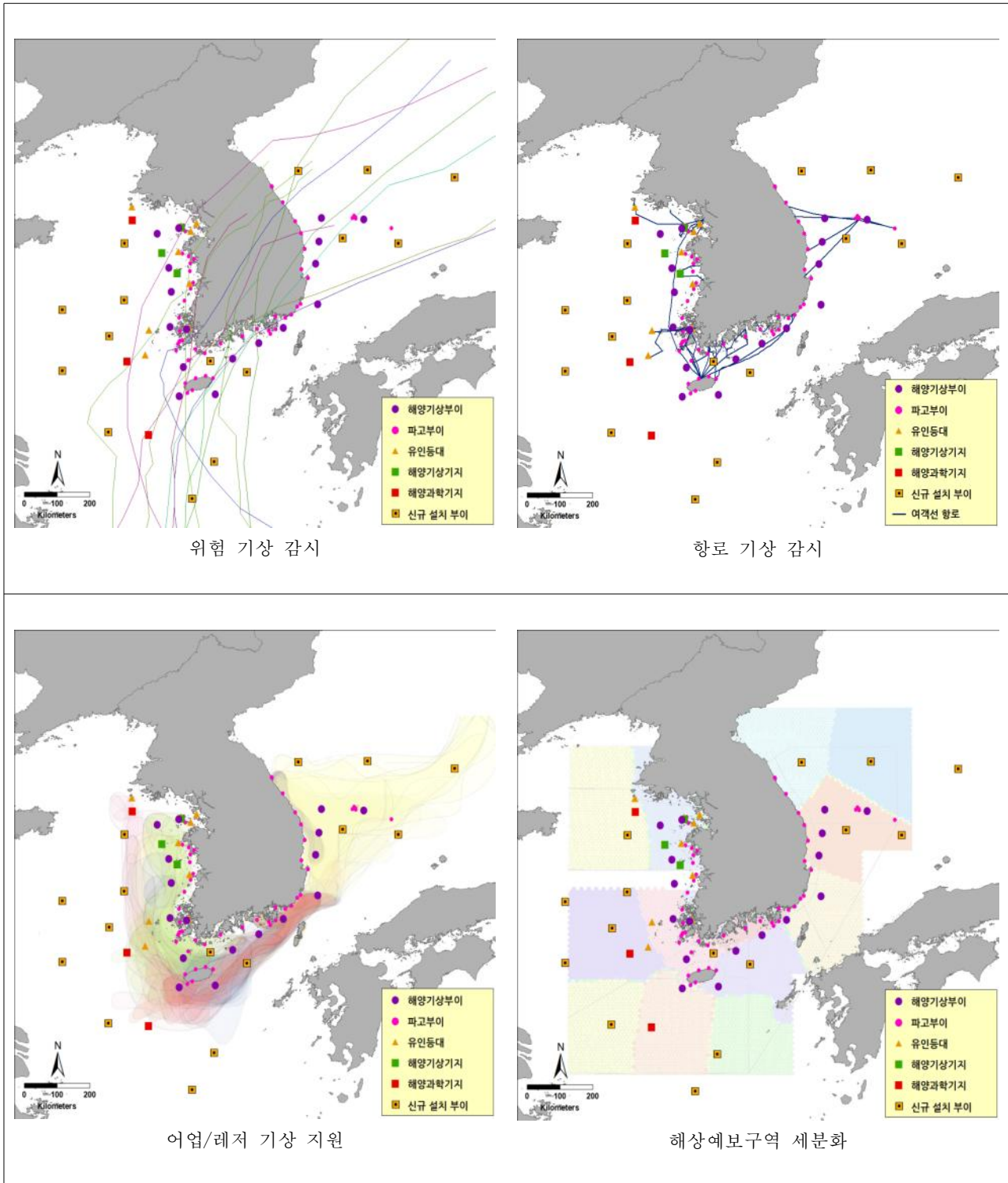


그림 167 해양기상관측망 구축(안)

나. 해양기상관측망 평가 방안

■ 관측 자료 품질 평가

관측 자료 품질 평가는 통계모델 또는 인공지능을 적용하여 실시간으로 수행될 수 있으며 수치모델 자료 동화를 위하여 관측 자료를 표준화 하거나 정제 및 분석을 수행한다. 국외 해양관측자료 처리기관은 NOAA의 GTSP(Global Temperature and Salinity Profile Programme) 프로젝트와 WMO-IOC 합동기구인 DBCP가 있다. GTSP는 해양관측자료 수집 후 품질 평가를 통해 신뢰성이 확보된 자료를 제공한다. GTSP의 품질 평가 과정은 중복성 검사(Duplicate elimination check)와 고유 자료 검사(Unique data identification), 메인 품질관리(Quality Control editing)과정으로 나눌 수 있다. 중복 제거 검사는 동일한 자료로 인해 발생하는 통계적 오차를 줄이기 위해 수행되며, Exact duplicate와 In-exact (또는 Near) duplicate의 두 가지 방법이 있다. 고유 자료 검사는 중복성 검사 결과와 순환 중복 검사(CRC; cycle redundancy check)결과를 조합하여 타입별로 station 개수, 비율을 보여주는 6가지 CRC match type로 구분한다. 이후 메인 품질관리 과정인 26가지의 품질관리 과정을 거치게 된다. (기상청, 2016) (그림 168 참조)

No	Stage	GTSP	DBCP	NIMR (NEMOQC)
1	(S0) Duplication test	Managing duplicate times/location of observation		
2		Check sums ; CRC		-
3		-		Thinning
4	(S1) Location and Identification tests	Platform Identification		
5		Impossible Date/Time and Location, Speed, Sounding		
6		Position on Land		
7	(S2) Profile tests	Global / Regional Impossible Parameter Value		
8		-		Superobbing
9		Increasing Depth		
10		Spike test		
11		Gradient test		
12		Stuck value test		
13		Density test		
14		-		Background check (Bayesian approach)
15	(S3) Climatology tests	Levitus, Emery and Dewar, Asheville Climatology	User defined Limit check (or climatological test)	EN4 Climatology
16	(S4) Profile consistency tests	Waterfall		
17	(S5) Visual inspection	Visual Inspection of Cruise Track	-	-
18		Visual Inspection of Profiles		

그림 168 GTSP, DBCP, 국립해양조사원(NEMOQC)의 품질 관리 단계 (기상청, 2016)

자료동화에 입력되는 관측 자료는 매우 까다로운 품질 평가 및 표준화가 요구된다. 전 지구 수온, 염분 프로파일에 대한 품질관리(Quality Control, QC) 시스템은 NODC 기술 보고서 (Boyer and Levitus, 1994)와 Argo의 실시간 QC 매뉴얼 기반의 자료 처리 방안을 아래에 정리하였다.

프로파일 자료의 품질 관리는 원시 자료에서 중복되는 시간과 정점을 제거하는 과정(Duplication check for pressure and cycle)을 거친 뒤, 자료에서의 수심 역전 값(Monotonically increasing check for pressure)을 확인하여 역전되는 층을 제거한다. 이후 수온과 염분, 그리고 밀도에서의 안정도 확인 작업(Gradient check for temperature and salinity)을 실시하여 수심에 따라 수온, 염분 값의 기본 기준 범위(Range check and Spike check for temperature and salinity) 및 각 층간의 연직 구배 범위에서 벗어나는 자료는 제거된다. 또한 NODC의 기술 보고서를 참고하여, 0-50m 구간에서는 연구 기간의 표준 편차의 5배 이상 값이 제거되며, 75m 아래의 자료에 대해서는 표준 편차의 4배 이상 값이 제거되어 정점 별 시간에 따른 이상 편차 값을 제거하는 과정을 거친다(Lim and Chang, 2016; Chang et al, et al. 2009). 이러한 QC 시스템을 기반으로 지역으로 적절한 실시간 QC 알고리즘 개발이 필요하다. (그림 169 참조)

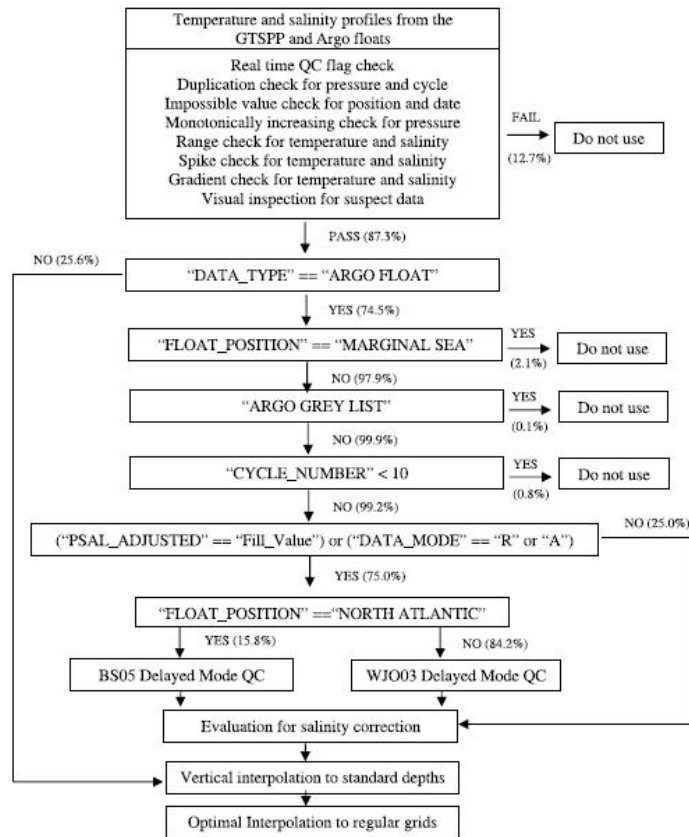


그림 169 전지구 Argo 수온 및 염분 자료의 품질 관리 흐름도 (Chang et al, et al. 2009)

■ 관측망 평가

최근 사용되고 있는 관측망 배치 성능평가 방법 중 하나는 관측망 모의 실험(OSSE: Observing System Simulation Experiments)이다. OSSEs는 OSEs(Observing system experiment)의 상위 버전으로, 실제 관측 시스템 분석은 가능하나 가상 관측 시스템 분석이 불가능한 OSEs의 단점이 보완된 방법이다. OSSEs는 새로운(또는 존재하는) 관측 시스템의 배치 수정 및 적용의 잠재적인 영향 평가와 관측 전략 최적화를 위한 효율적 접근을 수행한다. 신규 관측망을 통한 OSSEs 예측 성과의 차이는 새로운 데이터가 예측에 미치는 영향을 반영한다. 실제로 OSSEs를 이용하여 NOAA는 대기, 해양 및 육지 표면을 모니터링 및 예측하여 최저 비용으로 전지구 또는 국가의 기상 예측을 개선하기 위한 관측 시스템을 설계한 바 있다. (그림 170 참조)

관측망 모의 실험은 고도화된 연구 방법 중 하나로 관측자료 분석, 수치모델, 자료동화 기술에 관한 종합적 이해를 바탕으로 이루어진다. OSSE 실험은 다양한 관측자료 중 성능 평가를 원하는 관측 자료만을 입력 자료에서 제거(withhold)한 결과를 기존의 동화 모델과의 비교를 통해 민감도를 판단하는 방법, 수치모델의 일정 시점의 적분 결과를 실제 해양(true ocean)으로 가정하여 원하는 위치와 시간의 입력 변수를 추출하여 모델의 표준 해양(control ocean)에 다시 동화한 결과를 실제 해양과 비교하여 정량적인 동화 효과를 알아보는 쌍둥이 실험(twin experiment)방법 등으로 구성되어 있다. 연구 목적에 따라 실험 방법은 다르게 적용될 수 있으며, 모의 결과를 통해 관측망 정량 평가 및 최적 관측망 제안이 가능하다.

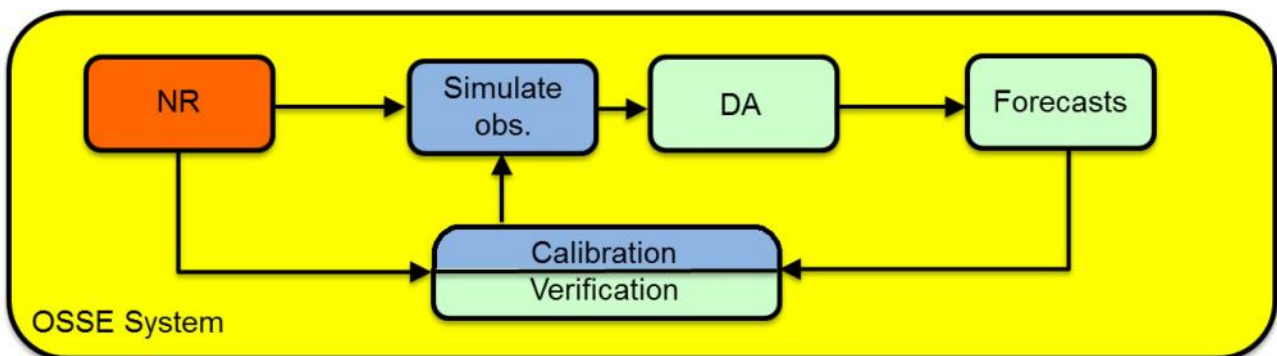


그림 170 OSSE 시스템 모식도

공주대학교(2017)는 북태평양 지역을 대상으로 자료동화 모델을 이용한 해양 관측망 시뮬레이션의 정량적 분석을 수행하였으며 관측망 시뮬레이션을 통해 XBT 자료 제거, Deep argo 자료 동화, 동아시아 해역의 관측 위치(137° E, OK line, 165° E)변동에 따른 영향을 분석하였다. 연구에 사용된 모델은 CM2(Climat Model version 2)이며 동화 알

고리즘은 CM2 모델을 기반으로 자료동화를 자유롭게 적용할 수 있는 앙상블 칼만 필터 기법을 사용하였다. 관측망 배치에 따른 성능평가를 위한 실험은 앙상블 접합 자료동화 시스템을 이용한 쌍둥이 실험을 통해 수행하였다. 실험에 사용된 관측망 위치는 일본 기상청에서 제공하는 동아시아 해역의 세 관측라인(OK line, 137°E line, 165°E line)이다. 실험에서 가정한 실제 해양은 초기 값을 IPCC CM2.1 2012년 1월 자료, 표준 해양은 ECDA 2012년 1월 자료를 사용하였으며 각 30년에 대해 모델을 수행하였다. 또한 실험은 각 관측라인의 자료동화 효과를 알아보기 위하여 4가지 상황(실제 해양으로 가정한 결과에서 해양표층수온(SST)추출하여 자료동화, SST에 137°E line 자료 추가하여 자료동화, SST에 OK line, 137°E line자료 추가하여 자료동화, SST에 165°E line자료 추가하여 자료동화)에 대한 실험을 수행하였다. 실험 결과 지역적, 시기적인 차이가 있었으나 165°E 관측망을 사용한 관측이 우수한 결과를 생산하였다. 이처럼 관측망 시뮬레이션 실험은 관측자료 동화효과 및 관측망 배치의 정량적 성능평가가 가능하며, 관측망 배치의 사전 모의에 있어 큰 역할을 할 수 있음을 제시하였다. (그림 171 참조)

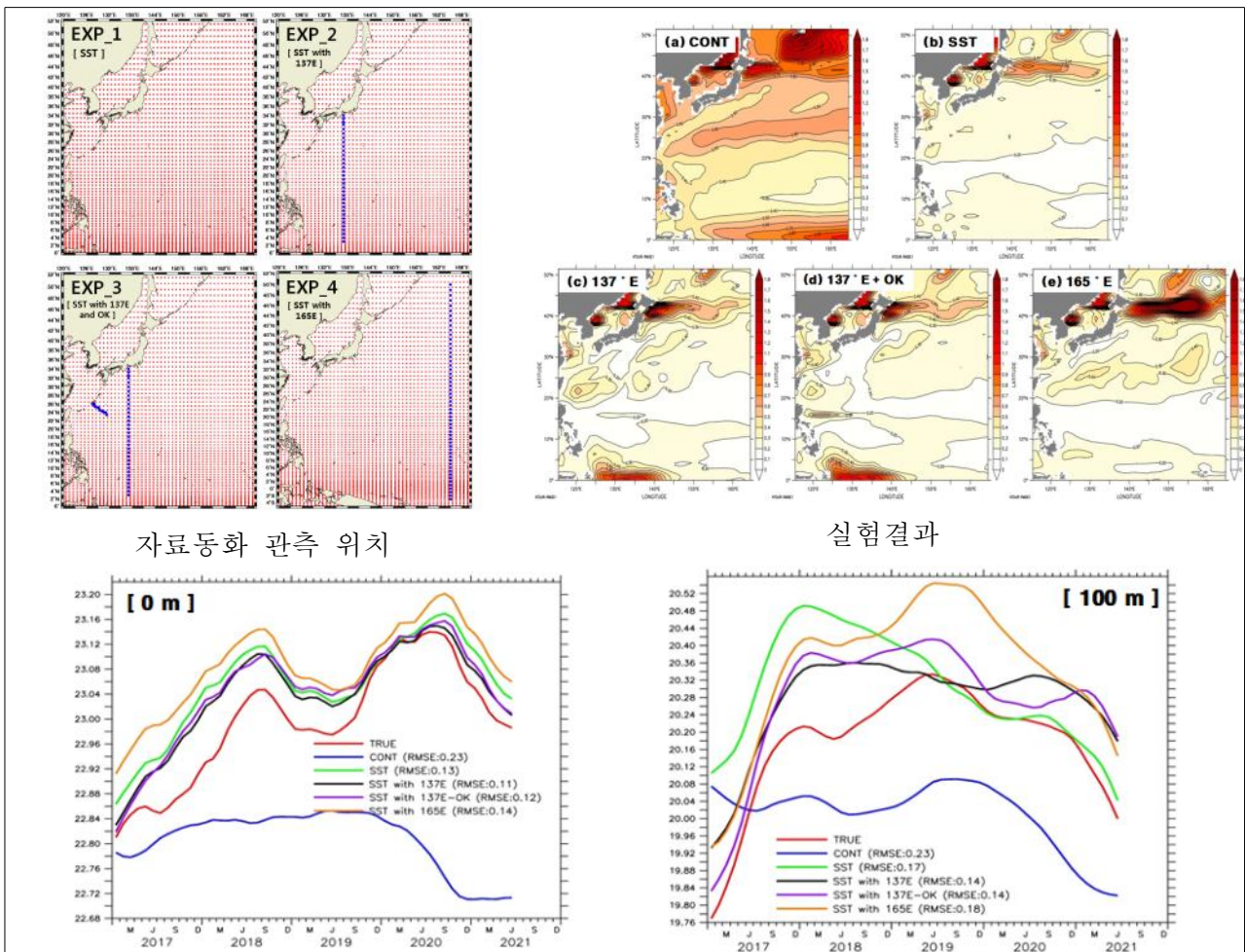


그림 171 OSSEs 실험 결과(공주대학교, 2017)

제6절 종합 결론

본 연구는 안전한 해상활동을 위해 다양한 분야에서 요구되는 해양기상정보 요청에 대응하고, 실효성 높은 서비스를 제공하기 위해 1) 맞춤형 해양기상 서비스 발굴 및 이행 로드맵 발굴, 2) 해양위험기상 예측을 위한 인공지능, 빅데이터 활용기법 조사, 제시, 3) 해무예측 서비스 구축을 위한 국내외 기술현황 조사 및 로드맵 마련, 4) 동해안 월파 및 너울에 의한 위험도 평가, 5) 해양기상관측망 강화 방안 제시를 포함하는 5가지 연구 범위를 기준으로 연구를 수행하였다. 이를 간단히 정리하면 아래와 같다. (보다 상세한 내용은 본 보고서의 각 절을 참조)

(맞춤형 해양기상 서비스 발굴 분야) 국내외 해양기상 선진 기술에 대한 동향을 분석하고, 맞춤형 서비스에 대한 요구 분석을 통해 항로, 항만, 안보, 어업, 해난, 레저 분야 각각에 대한 시범사업을 제안하고, 맞춤형 해양기상서비스를 제공하기 위한 단·중기 세부 이행 로드맵을 제공하였다. 로드맵에 제시된 단기적인 서비스 시범사업은 2019년부터 즉시 시행될 수 있도록 계획/준비되어야 하며, 중장기적 서비스 시범사업은 2020년 이후 적용 가능하도록 관련 기술을 개발하여 환경을 구축하는 등의 문제를 선결해야 한다. 로드맵을 통해 6개 분야에 대한 맞춤형 서비스 시범사업을 제시하였으나, 각 분야를 보다 세분화하여 맞춤형 서비스를 계획할 수 있고, 새로운 분야에 대한 요구사항, 필요성 등을 고려하여 다른 분야로 확장된 맞춤형 서비스를 개발하여 제공할 수 있다. 데이터 가시화 방안에 있어서 해양기상 데이터를 추가 생산하여 API 기반의 해양기상정보 서비스를 민간사업자에 전달함으로써, 민간사업자의 예·관측 데이터 생산 기반을 강화하는 방안을 제안하였다.

(해양 위험기상 예측을 위한 인공지능, 빅데이터 등 활용기법 조사 및 제시 분야) 해양기상예측에 인공지능이 적용된 사례를 조사하였고, 해양위험 기상 예측을 위한 인공지능 별 기법을 제시하였으며, 해양영향예보를 위한 해양 기상 지리정보의 DB 설계 방안을 제시하면서, 인공지능, 빅데이터를 활용하기 위한 로드맵을 제시하였다. 로드맵을 참조하면 인공지능을 활용하여 데이터에 대한 품질 관리 기술과 기상 분석 기술을 분석할 것을 제안하였으며, 단기적으로 서비스 대상을 식별하여 현황의 분석이 필요하고, 관측 품질을 개선하기 위한 플랫폼 연구, 국지예측을 판독하는 플랫폼의 개발, 최종적으로 복합의사 결정을 지원하는 플랫폼을 개발해야 한다고 제시하였다.

(해무예측 서비스 구축을 위한 국내외 기술현황 조사 및 로드맵 마련 분야) 해무 정보 서비스 구축을 위한 세부 실행 방안을 제시하고, 단·중기 로드맵을 3단계로 정의하였다. 수요자 맞춤형 해양기상 정보 제공을 위한 관측망의 구축, 국민의 안전사고 예방을 위한 해무 예측 정보 산출 및 사용자 중심의 통합 해무 정보 전달 시스템의 구축을 핵심

목표로 제안하였다.

(동해안 월파 및 너울에 의한 위험도 평가 분야) 너울 및 월파 경보 기준을 위한 단계별 연구 방안을 수립하여 제시하였으며 문헌자료를 통해 경보기준(안)을 결정하는 것으로 시작하여 정량적인 현상자료 축적과 자료 분석을 위한 정밀 수치모형시스템 구축, 자료 분석을 통한 너울 및 월파 경보기준을 검정, 보정하고 차후, 연구자료를 바탕으로 경보기준을 확정하는 단계를 설정하였다. 제시된 너울 경보기준(안)을 바탕으로 2018년부터 기상청 해양기상과에서 수행 중인 ‘너울 위험예측 가이드스 시험 운영’과 같이 시험지역에 대한 모니터링을 통해 위험판단기준의 검정, 보정을 수행할 수 있으며, 필요에 따라 시험지역에 파고 부이나 CCTV의 추가 설치를 검토해야 한다고 제시하였다.

(해양기상관측망 강화 방안 제시 분야) 기상청의 예보구역과 관측자료가 우리나라 모든 연근해 해역에 대해 각각의 특성을 정확하게 예측하거나 관측하는데 한계가 있어 현재 바다 상황과 맞지 않는다는 민원이 꾸준히 제기되고 있어, 해양기상관측망은 국민의 삶의 질 향상을 목표로 국민의 건강, 안전과 재산보호 및 생존권 확보를 위하여 국외 기인 대기 오염 물질을 감시하고, 태풍/해일 등 위험 기상을 모니터링하여 어업/레저 등 해상활동을 지원하고 예보/예측 능력 향상을 위한 기초자료로 제공될 수 있도록 해양기상관측망을 제안하였다.

앞서 연구된 바와 같이, 해상활동을 위한 맞춤형 해양기상 서비스의 시행, 인공지능과 빅데이터의 활용, 해무 예측 서비스, 월파 및 너울 위험도 평가, 해양기상관측망 강화 등을 포함하는 다양한 분야에서 요구되는 해양기상정보 요청에 대응하고 연구 결과를 통해 제시된 제시안들을 이행하여 보다 실효성 높은 서비스를 제공하기 위해서는 현재의 조직 구성으로는 한계가 있을 것으로 예상되며, 이를 전문적으로 수행하는 전담부서의 신설 또는 부서의 개편이 필요하고 개편에 따라 전문성을 갖춘 인력이보다 많이 필요할 것으로 예상된다. 따라서 해양기상정보의 중요성을 고려하고, 연구 결과의 이행 및 향후 해양기상정보 요청에 대응하기 위해 ‘청’ 단위의 해양기상정보를 전문으로 하는 조직을 신설하여 해양기상, 해상예보를 전문적으로 취급하도록 하고, 현재 활용도가 낮은 지방 기상대를 중심으로 업무를 강화하는 방안을 제안한다.

전문 조직으로의 신설 또는 조직 개편은 직무 만족도, 업무 몰입 등 조직에 대한 일체감을 제공하고, 조직 간 유기적 소통/협업체계 강화를 통해 업무추진의 효과 증진 및 성과 강화 등의 효과를 가질 수 있다. 또한, 본 연구범위를 포함하는 매우 넓은 분야의 해양기상 관련 업무의 처리, 최적 해양기상 관측 및 예보 향상을 통해 생산성 향상 등을 체계적으로 구성하고 수행할 수 있도록 재원의 확장을 기반으로 조직강화를 추진하는 방안을 제안한다.

효과적인 조직 운용을 통해 해양기상 서비스의 선진화 및 재난관리 역량을 극대화할 수 있다. 조직강화를 위해 우선 재원마련을 통한 경제성의 확보가 요구되고, 전문성 향상을 통한 조직 구성원의 역량 강화, 선진교육훈련을 위한 맞춤형 체계를 마련하고, NOAA 파견 등을 통해 해양기상 분야의 전문인력을 양성하는 등의 조직 강화 기반을 마련할 수 있다. 해양기상 서비스 선진화를 위해 해양기상정보의 국내외 현황분석활동을 강화하고, 맞춤형 서비스 전달체계를 고도화하며, 지능정보 활용 대상 발굴 및 연구 체계를 개발할 수 있고, 재난관리 역량 강화를 위해 해무예측 역량강화를 위한 기반 연구활동 실시, 재난영향예보를 위한 기반 연구 및 과제 수행, 동해안 월파 및 너울 위험도 평가 기반 모델 개발을 계획할 수 있다.

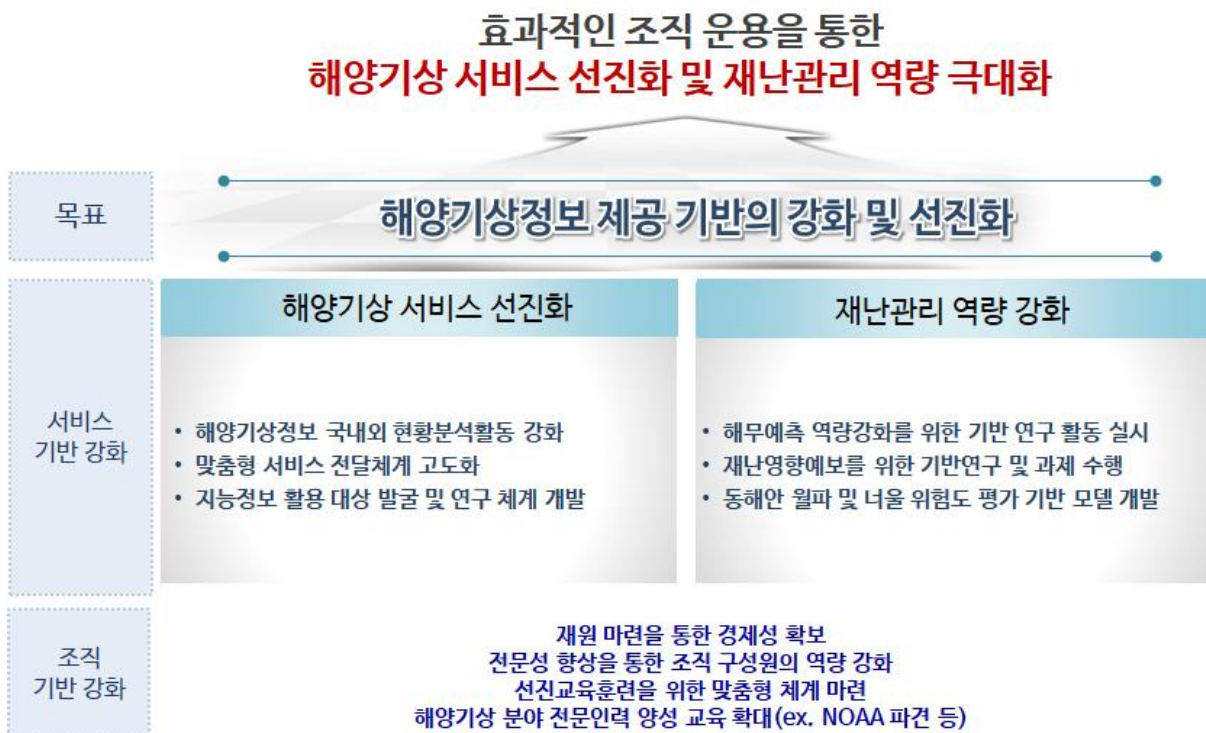


그림 172 조직운용방안

본 연구를 통해 안전한 해상활동을 위한 상세한 해양기상정보를 제공하기 위한 기반을 마련하고, 효율성 높은 해양기상 서비스로의 전환을 통해 국민 체감 만족도를 향상시켜, 해양기상 서비스의 선진화를 이끌어낼 수 있을 것으로 기대된다.

또한, 영향예보의 선진화를 통한 지능정보의 적극 활용방안을 마련하여 해양안전의 기반을 강화하고, 효율성 높은 해양기상 서비스로의 전환을 통해 국민 체감 만족도의 향상을 기대할 수 있으며, 이러한 선진체계의 기반을 마련함으로써 국가 경쟁력을 강화할 수 있다.

참고문헌

- 국립기상과학원, 2016, 기상기술정책
- 국립해양조사원, 2017, 항계안전을 위한 해무정보 생산 기반 구축 보고서
- 국민안전처, 2017, 보도자료 해경 올 여름 수상레저 사고 최소화에 총력
- 기상산업기술원, 2017, 날씨경영 우수사례집
- 기상청, 2012, 초급 예보관 훈련용 교재 :수치예보
- 기상청, 2015, 이상파랑 감시 모니터링 및 예보 기술 개발
- 기상청, 2015, 주요 안개 사례 분석을 통한 안개 분석기술과 예측방법.
- 기상청, 2017, 2017년 해양 영향예보서비스 기술 개발 연구 용역 보고서
- 기상청, 2017, 미래 기상업무변화 대응 인공지능기술 활용 전략기획
- 기상청, 2018, 너울 위험정보 서비스 기반 마련을 위한 「해양기상기술 협력 워크숍」
- 기상청, 2107, 기상청 2017년 주요 업무 계획
- 농림수산물식품부, 2013, 국가어항 외곽시설(방파제 등) 설계과검토 및 안전성 평가
- 대한토목학회, 2013, 동해안 너울성 고파 예측 알고리즘
- 문화체육관광부, 2016, 체육백서 177-178
- 박상욱, 2001, 능동 데이터 선택에 의한 RBF 신경망의 건설적 학습
- 소방방재청, 2014, IT기술을 이용한 너울성 파랑 대처기술 개발
- 원덕진, 2000, 황해상 해무 발생시의 기상 및 해양 요소의 특성 분석
- 이화영, 2015, 폭풍해일 범람모의 요소기술 향상에 대한 연구
- 중소기업기술정보진흥원, 2017, 중소기업 기술로드맵(2018-2020)
- 최효, 2001, Numerical Prediction on Fog Formation Affected by the Yellow Sea and Mountain. Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences
- 통계청, 2018, 보도자료 기후(수온)변화에 따른 주요 어종 어획량 변화
- 한국기상학회, 2010, 우리나라 안개 발생의 장기 변동 특성 분석
- 한국해양·해양공학학회, 2010, 우리나라 동해안 너울성 고파의 발생원인 분석
- 한국해양·해양공학학회, 2016, 동해에서 돌연고파의 기준 제안
- 한국해양수산개발원, 2007, 해양관광발전을 위한 여건분석과 정책
- 한국해양수산개발원, 2013, 해양분야 기상정보 활용도 제고 방안
- 한국해양학회, 2005, 해양과학용어사전
- 해양경찰청, 2016, 해상조난사고 통계연보
- 해양수산부, 2014, 연안 이상현상(이상고파, 이안류) 발생원인 규명 및 대응체계 구축
- 해양수산부, 2016, 2016년 기준 해양산업 통계조사
- 해양수산부, 2017, 2017년 연안침식 실태조사
- 해양수산부, 2017, 2017년 해양사고 통계 발표
- 행안안전부, 2017, 너울성 파랑 예측기술 신뢰성 검증과 재해위험개선지구 선정기준 설정
- 행안안전부, 2016, 해양재난 예측정보 콘텐츠 기술 개발
- 행안안전부, 2017, 너울성 파랑 수치예측모형 정확도 개선 및 확대적용

- de Haij, 2010, On the use of SODAR reflectivity data during low visibility conditions at Schiphol Airport
- EurOtop, 2016, Manual on wave overtopping of sea defence and related structures
- Gada, Y, et al. 2000, Numerical experiments on wave statistics with spectral simulation, Report Port Harbour
- Hamazu, 2003, A 35-GHz scanning Doppler radar for fog observations.
- Kollias, 2007, Millimeter-wavelength radars: new frontier in atmospheric cloud and precipitation research.
- Leipper, D. F, et al. 1994, Fog on the US west coast: A review. Bulletin of the American Meteorological Society
- M. Ebden, 2008, Gaussian Processes for Regression: A Quick Introduction
- NWS, 2013, Weather Ready Nation Roadmap 2.0
- Schafer, 2007, Long-term monitoring of layering of lower atmosphere in urban environment by ceilometer.
- USACE 1984, Shore Protection Manual Vol.2
- Utsunomiya, Y, et al. 2009, A study on the prediction and monitoring system of swell waves.
- WMO, 1998, Guide to Wave analysis and forecasting. WMO-No. 702.
- WMO, 2008, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation
- WMO, 2015, Guidelines on Multi-hazard Impact-based Forecast and Warning Services
- Zaki, 2014, Data Mining and Analysis: Fundamental Concepts and Algorithms