

해수면 상승에 따른 연안 취약성 평가모형 연구

A Study on the Coastal Vulnerability
Assessment Model to Sea Level Rise

2011. 12.

육근형 · 정지호 · 안용성



경제·인문사회연구회

NATIONAL RESEARCH COUNCIL FOR
ECONOMICS, HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCES



한국해양수산개발원

KOREA MARITIME INSTITUTE

2011년 경제·인문사회연구회 녹색성장 종합연구 총서

“해수면 상승에 따른 연안 취약성 평가모형 연구”

1. 녹색성장 종합연구 총서 시리즈

녹색성장 종합연구 총서 일련번호	연구기관 고유 일련번호	연구보고서명	연구기관
11-02-65	기본연구 2011-13	해수면 상승에 따른 연안 취약성 평가모형 연구	한국해양 수산개발원

2. 참여연구진

연구기관		연구책임자	참여연구진
주관 연구 기관	한국해양 수산개발원	육근형 전문연구원	정지호 연구원 안용성 연구원

* 해당 기관 양해 하에 한국해양수산개발원의 기본연구 2011-13을
경제·인문사회연구회 녹색성장 종합연구 총서 11-02-65로 발간함

◆ 보고서 집필 내역

● 연구책임자

- 육 근 형 : 제1장, 제2장, 제3장 1~3절,
제4장 1~2절, 제5장

● 연구진

- 정 지 호 : 제3장 3절, 제4장 3절
- 안 용 성 : 제3장 3절, 제4장 4절

◆ 산·학·연·정 연구자문위원

- 박 성 우 (전자신문 부장)
- 류 종 성 (안양대학교 교수)
- 문 일 주 (제주대학교 교수)
- 하 호 경 (극지연구소 박사)
- 정 명 국 ((사)한국연안협회 책임연구원)
- 노 백 호 (한국환경정책평가연구원 박사)
- 이 속 희 (해양환경관리공단 과장)
- 공 성 규 (국토해양부 주무관)

* 연구자문위원은 산·학·연·정 순임

◆ 연구감리자

- 이 원 갑(한국해양수산개발원 연구위원)

머 리 말

연안지역이 자연환경적, 사회경제적으로 활용가치가 매우 높다는 것과 기후변화에 따른 해수면 상승, 폭풍해일 등에 취약하다는 것은 널리 알려진 사실이다. 이는 긴 해안선을 가진 우리나라가 기후변화 적응정책을 연안지역에 적용하는 데 해수면 상승에 대한 고려가 반드시 필요하다는 것을 말해 준다.

기후변화 적응정책에서 취약성 평가는 정책 설정의 방향키 역할을 한다고 할 수 있다. 선박의 방향을 결정하는 방향키와 같이 취약성 평가는 적응정책의 방향을 결정하기 때문에 과학적이면서 우리나라 실정에 적합한 취약성 평가모형을 구축하는 것은 무엇보다 중요하다. 우리는 연안지역이 기후변화에 취약하다는 것은 당연히 받아들이고 있지만 그다음 단계, 즉 구체적으로 어느 지역이, 어떤 대상이, 어느 정도 취약한지는 명확하게 밝히지 못하고 있다.

이 연구는 우리나라에 적합한 연안 취약성 평가모형을 구축하기 위한 사전 연구로 국제기구, 연안 선진국, 학계 등에서 연안지역을 대상으로 구축한 다양한 취약성 평가모형을 심도 있게 분석하여, 그동안 우리는 물론 기존의 기후변화 취약성 평가모형에서 간과하였지만 반드시 고려해야 하는 조건을 도출하였다. 확률로 해결하기 어려운 불확실성의 문제, 적응정책과 연관된 시간 속성의 고려, 영향의 공간적 범위 설정 등이 그런 요소에 해당한다. 또한 취약성 평가는 기후변화 영향의 크기와 성격, 발생빈도에서 시작하여 연안 환경을 고려한 영향권역의 설정, 사회경제적 영향범위, 적응능력의 여부 등 단계를 구분하여 체계적으로 접근하여야 한다는 점도 이 연구를 통하여 확인할 수 있었다. 특히 기존의 취약성 평가모형에서 고려하지 못한 신선한 관점과 모형 개발의 방향을 이번 연구에서 제시하였기

때문에 다음 연구에서 제시할 연안 취약성 평가모형의 적용에 더 큰 기대가 모아진다.

연안지역을 대상으로 하는 취약성 평가의 필요성은 우리나라 역시 국가 차원에서 수립한 많은 기후변화 대책에서 강조되고 있다. 그러나 필요성에 대한 인식 수준에 비하여 우리나라에 적합한 모형을 구축하는 일에는 소홀한 점이 없지 않다. 이런 실정을 감안하면 이 연구는 시기적으로 적절하며 앞으로는 연구 결과를 더욱 다듬어 정부에서 추진하는 취약성 평가 관련 사업과 연계할 필요가 있다. 연안지역 기후변화 적응정책을 수립하기 위하여 20년 전부터 기후변화 영향 및 예측, 취약성 평가, 적응정책 개발을 체계적으로 추진하는 영국의 사례처럼, 이 연구 역시 우리의 기후변화 적응정책에 중요한 디딤돌이 되기를 기대해 본다.

끝으로 이 연구의 책임을 맡은 우리 원의 육근형 전문연구원과 연구진으로 참여한 정지호 연구원, 안용성 연구원, 그리고 연구의 감리를 맡은 이원갑 연구위원의 수고에 깊은 감사를 전한다. 또한 이 연구의 완성도를 높일 수 있도록 좋은 의견을 제시한 외부 자문위원께도 감사를 드린다.

2011년 12월

한국해양수산개발원
원 장 김 학 소

차 례

Executive Summary	i
-------------------------	---

제1장 서 론	1
---------------	---

1. 연구의 배경 및 필요성	1
2. 연구의 목적	3
3. 연구의 범위와 방법	4

제2장 해수면 상승 현황 및 영향인자	7
----------------------------	---

1. 해수면 상승 현황	7
1) 전 지구적 해수면 상승	7
2) 우리나라 주변 해역의 해수면 변동	12
2. 이상기상 현상에 따른 해수면 상승	21
1) 극한사상(태풍 등)에 의한 해일고	21
2) 우리나라 주변해역의 해수면 극값 변화	22

제3장 연안 취약성 평가 관련 사례 연구	26
------------------------------	----

1. 연안 취약성의 개념	26
2. 평가모형의 개념 틀	32
1) PSR 및 DPSIR 평가 개념 모형	32
2) IPCC 취약성 평가 개념 모형	44
3. 기존 취약성 평가모형 검토	47
1) 미국 지질조사국의 해수면 상승에 대한 연안 취약성 평가체계	47

2) 미 해양대기청의 기후변화 연안 적응 지침	61
3) Nicholls의 연안 취약성 평가	68
4) 캐나다 Climate Change Impacts and Adaptations Program	78
5) 국립해양조사원의 연안재해취약성 평가	84

제4장 해수면 상승 연안 취약성 평가모형 ————— 92

1. 취약성 평가모형 구성의 이론적 배경	92
1) 취약성 평가의 의의	92
2) 취약성 평가모형 구성의 착안점	94
3) 평가모형의 구성	103
2. 해수면 상승과 영향권역 검토	106
1) 해역별 해수면 상승	106
2) 해일고의 변화	109
3) 침수예상도를 통한 영향권역 파악	111
4) 침수구역 분석을 위한 정보 선택과 활용	114
3. 연안의 사회경제적 영향인자	116
1) 사회경제적 영향인자 사례	117
2) 사회경제적 영향인자 구성 시 고려요인	128
4. 해수면 상승 연안 대응역량 인자	134
1) 공적 영역의 대응역량	136
2) 민간 영역의 대응역량	140
3) 대응역량 인자의 평가	142

제5장 결 론 ————— 145

1. 요약 및 결론	145
------------------	-----

2. 정책 제언	149
3. 연구의 한계와 방향	156

참 고 문 헌	157
---------------	-----

부 록	164
-----------	-----

부 록 1. 침수범람 지역 확인을 통한 해수면 상승의 공간적 영향 범위 파악 ..	164
부 록 2. 우리나라 주변해역의 태풍 경로와 영향반경	192
부 록 3. 한반도 상륙태풍의 강풍 영향 범위	203
부 록 4. 한반도 상륙태풍의 기상자료	235

표 차 례

표 2-1. 검조기록에 의한 해수면 상승률	9
표 2-2. 전 세계 해수면 상승요인과 변화 추이	12
표 2-3. 주요 항만 검조기록에 따른 해면 변화(1960~1998년)	13
표 2-4. 국내 기존 해수면 변동 연구	14
표 2-5. 국립해양조사원 2008년 자료와 2009년 자료의 비교	15
표 2-6. 조위관측소별 동일기간(1993~2008년) 해수면 상승률	16
표 2-7. 분석기간별 해수면 상승률	17
표 2-8. 해역별 지각변동 속도 및 해수면 상승률	19
표 2-9. 해수면 상승률 종합	20
표 2-10. 1974년부터 2007년 사이에 발생한 지역별 최대 해일고의 특성	24
표 3-1. 취약성에 대한 정의의 비교	26
표 3-2. 사회적 취약성이 나타나는 문제 연안	31
표 3-3. DPSIR 평가모형의 구성요소	36
표 3-4. 연안 취약성에 대한 DPSIR 평가모형 구성인자	40
표 3-5. UNEP(2005) 취약성 평가결과 요약	42
표 3-6. 연안 취약성 지표인자의 등위화: 미국 대서양 연안	51
표 3-7. 대서양 연안지역 연안취약성지수(CVI) 값	55
표 3-8. 연안 취약성 지표인자의 등위화: 미국 멕시코만 연안	58
표 3-9. 연안 취약성 지표인자의 등위화: 미국 태평양 연안	59
표 3-10. 연안경사도 지표인자의 등위등급 간 비교	60
표 3-11. 상대적 해수면 상승 추이 지표인자의 등위등급 간 비교	60
표 3-12. 평균 파고 지표인자의 등위등급 간 비교	60
표 3-13. NOAA 기후변화 적응계획의 수립과정	61
표 3-14. 워싱턴 주의 해수면 상승 시나리오 예시	66

표 3-15. 연안지역 취약성 평가 4가지 시나리오	72
표 3-16. 연안지역 비기후 환경 및 사회경제적 변화	76
표 3-17. 기후변화 영향 지역 취약성 및 적응역량 요인	83
표 3-18. 연안위험취약성지수 평가인자	86
표 3-19. 연안환경취약성지수 평가지표 및 인자	87
표 3-20. 연안지속가능개발지수 평가지표 및 인자	90
표 4-1. 태풍해일고 모의 모형별 주요 입력자료 비교	111
표 4-2. 수치지형도별 오차 특성	115
표 4-3. 평균해면과 인천평균해면과의 차이	116
표 4-4. 기후변화 영향 및 적응 분석을 위한 사회경제 인자	118
표 4-5. 국가단위 기후변화 취약성 평가를 위한 잠재적 대리변수	124
표 4-6. 공적 영역의 대응역량 인자(1)	137
표 4-7. 공적 영역의 대응역량 인자(2)	138
표 4-8. 공적 영역의 대응역량 인자(3)	139
표 4-9. 공적 영역의 대응역량 인자(4)	140
표 4-10. 민간 영역의 대응역량 인자	142
부록 표 1. 수치지형도 Ver 1.0과 Ver 2.0 비교표	167
부록 표 2. 수치지형도(Ver 2.0) 항목 중 수치표고모델 제작에 사용될 수 있는 레이어 항목	170
부록 표 3. 항공라이다를 이용한 수치표고모델 제작 현황	179
부록 표 4. The list of the KP-approach TCs and the KP-landfall TCs during 1951-2008.	195

그림 차례

그림 1-1. 해수면 상승에 따른 연안 취약성 평가모형의 내용적 범위	5
그림 1-2. 연구 흐름도	6
그림 2-1. 20세기 전 지구적 평균해수면 변화 추이	8
그림 2-2. 위성고도계에 따른 해수면 상승 추이	10
그림 2-3. 위성고도계에 따른 해수면 변동 현황	11
그림 2-4. 해수면 상승률 분석의 흐름	18
그림 3-1. PSR 평가모형의 구성	34
그림 3-2. DPSIR 평가모형의 구성	35
그림 3-3. DPSIR을 활용한 연안 취약성 평가모형	38
그림 3-4. IPCC의 기후변화 영향평가 순서도	45
그림 3-5. 기후변화 적응의 흐름	46
그림 3-6. 연안 취약성(CVI) 지도: 미국 대서양 연안	54
그림 3-7. 히스토그램: 미국 대서양 연안	55
그림 3-8. 각 위험범위군의 퍼센트: 미국 대서양 연안	56
그림 3-9. NOAA의 취약성 평가 6단계	63
그림 3-10. 연안 취약성 평가 개념적 체계	71
그림 3-11. 지식수준과 연안통합관리 상태	74
그림 3-12. 온실가스 배출 시나리오에 근거한 연안지역 적응 시나리오	76
그림 3-13. Haida Gwaii의 지리적 범위	79
그림 3-14. 연안 취약성 통합평가 모델	80
그림 3-15. 북 Haida Gwaii 커뮤니티 지도	82
그림 3-16. SOPAC의 환경취약성지수 결과 사례	89
그림 3-17. 국립해양조사원 연안재해취약성 평가결과 예시	91
그림 4-1. 기후변화에 있어 불확실성의 확대	95
그림 4-2. 대기온도 상승에 대한 예측결과 비교	98

그림 4-3. 시나리오별 해수면 상승 예상치	99
그림 4-4. 연안지역 해수면 상승 취약성 평가의 흐름	105
그림 4-5. A1B 시나리오에 따른 지역적 해수면 상승 편차	107
그림 4-6. 순간최대풍속의 변화(1951~2006년)	109
그림 4-7. 한반도를 통과하는 태풍의 중심기압 변화 추이	110
그림 4-8. 빈도별 태풍 내습 시 침수예상도(부산 수영강 하류)	112
그림 4-9. 빈도별 태풍 내습 시 침수예상도(전남 여수시)	113
그림 4-10. 기후변화 사회적 취약성 평가 틀에서 제시된 인자	123
그림 4-11. 해수면 상승을 감안한 폭풍해일 위험지역	126
그림 4-12. 다양한 폭풍해일-해수면 상승 위험 시나리오에 따른 사회경제 자산 ·	127
그림 4-13. 사회경제 여건 시나리오 작성 방식	129
그림 4-14. 기후 및 사회경제 시나리오	130
그림 4-15. 취약성 평가 분석단위 및 관계	132
그림 4-16. 해수면 상승 대응역량	135
그림 4-17. 물리적 취약성과 지역공동체의 대응능력의 정도에 따른 시나리오 ···	143
그림 5-1. 해수면 상승의 시공간적 영향범위 설정 모식도	146
그림 5-2. 해수면 상승 연안 취약성 평가모형의 흐름과 검토요소	149
그림 5-3. 연안정보 관리 및 평가기구의 기능 및 위상	154
부록 그림 1. 수치지형도 Ver 1.0과 Ver 2.0의 비교 그림	168
부록 그림 2. 국토해양부의 3차원 국토공간정보 구축사업 추진계획 개요	173
부록 그림 3. 항공라이다 측량 개요(위광재 외, 2010)	175
부록 그림 4. 항공레이저 측량에 의한 수치표고모델 제작 절차	177
부록 그림 5. 국토지리정보원의 국가 수치표고모델(DEM) 구축 추진 현황(2009년 기준)	178
부록 그림 6. 사용목적에 따라 선택이 가능한 수치표고모델 자료 현황	181
부록 그림 7. 6가지 자료를 비슷한 격자 간격(30" 또는 900m)으로 재생성한 후 위치정확도를 검토한 결과	181
부록 그림 8. 해안침수예상도 작성 흐름도	183

부록 그림 9. 마산만 지역에 대한 해안침수예상도 작성 결과	184
부록 그림 10. 국토해양부 연안관리정보시스템에서 2008년 구축한 3차원 해안침수시물레이션 시스템의 화면(마산 지역)	185
부록 그림 11. 해안선조사측량사업 추진 현황(2010년 현재)	186
부록 그림 12. 해안선조사측량 사업에서의 항공 LiDAR 측량 추진 현황	187
부록 그림 13. 해안선조사측량 사업에서 지형현황측량 과업을 항공 LiDAR 측량으로 대체	187
부록 그림 14. 항공라이다 데이터를 사용한 3차원 침수시물레이션 예시	189
부록 그림 15. 센서융합(수심측량+지상라이다)을 통한 연안측량 사례	190
부록 그림 16. 육도와 해도를 접합한 정밀지형도 구축 예시	191
부록 그림 17. Tracks of tropical cyclones(TCs) that approached the Korean Peninsular(KP)	194
부록 그림 18. Tracks of the KP-landfall TCs during 1951-2008.	194
부록 그림 19. Distribution of TC surface pressure as a function of radial distance(r).	197
부록 그림 20. Distribution of symmetric TC wind speed(STS) as a function of radial distance(r).	198
부록 그림 21. Distribution of asymmetric TC wind speed as a function of radial distance(r) considering a storm translation speed(STS) ..	199
부록 그림 22. Tracks of TC that made landfall over the KP during 1977~2009	200
부록 그림 23. TC-influence radius estimated along the TC tracks	201
부록 그림 24. TC-influence range estimated along the TC tracks	202

Executive Summary

A Study on the Coastal Vulnerability Assessment Model to Sea Level Rise

Coastal areas are known as a place for a variety of human and economic activities. They hold a great social and economic importance as the fact that more than two thirds of world cities are located in coastal areas indicates. At the same time, they are most vulnerable areas to sea level rise, one of the immediate effects of climate change. Sea level rise increases potential risk of inundation in coastal areas. Extreme climate events such as storm surges cause temporary and sudden increase in the wave height, which might wreck havoc on coastal areas.

The study used the universal concept of ‘vulnerability’ to assess natural environmental changes, such as sea level rise and resulting impacts on coastal areas. It also extended the scope of its analysis to the responsive social capabilities. For the development of the model, it conducted various theoretical reviews, including Pressure-State-Response(PSR), the Driving force-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) models and methodology suggested by IPCC in 1996. The study also analyzed the model on Coastal Vulnerability Index(US Geological Survey), researches by sociologists, including Nicholls and some relevant cases in other nations, such as Canada and domestic researches on coastal disaster vulnerability as well as the national flooding map projects. Characteristics, strengths and weaknesses of each research and possibility of using these models were analyzed as well.

The result shows that the following three factors should be considered to assess coastal vulnerability to sea level rise: first, ‘uncertainty’ between the cause and ef-

fect in adaptation process for climate change; second, ‘temporal factor’ for considering adaptation policies; third, ‘the range of areas of impacts’ of sea level rise. In particular, the range of areas of impacts should be designated in terms of time and space, based on the probability of occurrence or the scenario. This scientific classification of the areas is the most basic and essential stage in assessing the vulnerability. With this, possible socio-economic impacts should be analyzed, and accordingly, proper responses or characteristics of adaptation policies are to be determined.

Furthermore, it is desirable to include the coastal vulnerability assessment in the process of ‘Coastal Management Local Plan’, an official local plan for coastal areas, in order to maximize its usefulness. A new organization or agency also needs to be established for the management and evaluation of coastal information. It could play an important role of conducting vulnerability assessment at the local level and assisting the coastal local government in developing the ‘Coastal Management Local Plan’ under a standardized methodology. The current study on the coastal vulnerability assessment model is expected to give a positive inspiration on adaptation strategies for coastal areas under the threat posed by sea level rise.

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

연안은 지구상에서 가장 생산성이 높은 생태계로 모든 생물에게 중요한 공간이다. 연안을 통해 사람들은 바다의 다양한 자원을 얻어내기도 한다. 수산물을 얻고 해양의 광물자원을 채취하기도 하며, 해운을 통한 물자의 이동 역시 모두 연안을 통해 이루어진다. 갯벌에서는 수산물을 채취하고 해변에서는 해수욕이나 해양레저와 같은 이용행위가 이루어진다. 우리나라만 해도 전국 국가산업단지의 78%가 연안에 위치한다. 국가 경제의 측면이나 다양한 이용의 측면에서도 중요한 공간이 연안이다.

그러나 연안은 기후변화라는 전 지구적인 현상에 영향을 받는 곳이기도 하다. 기후변화의 가장 직접적인 변화인 해수면 상승은 연안 공간의 환경과 현재의 연안 이용방식에 큰 영향을 미칠 수밖에 없다. IPCC(2007) 보고서에서도 연안을 기후변화의 주요 현상인 해수면 상승에 가장 취약한 곳으로 지적하였다. 이미 1991년 보고서에서 21세기의 해수면 상승률을 연평균 0.6cm까지 예측했고, 좀 더 정밀한 연구 결과를 참고한 IPCC의 제4차 평가보고서에서는 금세기 말까지 최대 58cm에 이르는 해수면 상승을 예측했다.

해수면 상승은 직접적으로 연안지역에 침수와 범람의 위험을 증가시킨다. 특히 사람들이 밀집하여 거주하는 연안의 대도시는 그 영향에 더 취약하다고 할 수 있다. Nicholls(1995)의 연구에 따르면 1950년 2개(런던, 뉴욕)에 불과하던 연안지역의 거대도시¹⁾는 1990년 13개로 증가했고, 2010년에는 20개에 달할 것으로 예측했다. 그러나 Nicholls의 이런 예측은 빗나가 2003

1) 인구 800만 명 이상이 거주하는 도시를 말함.

년에 이미 연안지역에 21개나 되는 거대도시가 형성된 것으로 조사 (Martinez et al., 2007)되었다. 연안도시가 예상보다 빠르게 성장하면 연안지역의 취약성도 함께 증가한다.

일 년에 수 밀리미터씩 상승하는 해수면과 함께 연안지역에 피해를 주는 현상은 예고 없이 나타나 단기간에 강력한 영향을 집중적으로 가하는 폭풍우에 의한 해수면 상승이다. 보통 폭풍해일(storm surge)로 표현하는데 해일(海溢)은 사전적으로 “해저의 지각변동이나 해상의 기상변화에 의해 갑자기 바닷물이 크게 일어서 육지로 넘쳐 들어오는 것 또는 그런 현상”을 의미한다. 같은 크기의 폭풍해일이 연안에 들어 닥치더라도 점진적으로 증가된 해수면에 폭풍해일에 의한 수면 상승을 더할 경우 결국 폭풍해일 자체가 커지는 것과 같은 효과를 낳게 된다. 또한 그만큼 연안지역의 침수범람의 가능성은 커지고, 이는 결국 대형 폭풍이 발생할 때 연안에 직접적인 피해로 나타난다. 더욱 우려스러운 점은 폭풍해일에 직접적인 영향을 주는 폭풍의 세기나 빈도마저도 지구온난화로 더 커지고 잦아진다는 예측이 있다는 점이다.

장기간의 조위 관측 자료나 최근 이루어지는 인공위성에 의한 고도 자료를 통해 해수면이 상승한다는 다양한 연구 보고가 있다. 게다가 과거 50년 평균 연 1.8mm씩 증가하던 해수면 상승률이 1993년 이후 연 3.1mm까지 증가했다는 관측결과는 매우 우려스러운 부분이다. 더욱이 적도 근방에서 강력한 태양복사 에너지를 받아 더욱 강력해진 쿠로시오 난류의 직접적인 영향권에 있는 우리나라 해역에서 관찰되는 해수면 상승률은 전 세계 평균을 상회하는 것으로 관찰된다. 제주도 서귀포의 경우 상승률이 연 6mm 전후로 나타나고 있어 앞으로 이에 대한 대책 마련이 필요한 상황이다.

2. 연구의 목적

기후변화이든 이 연구에서 주목하는 해수면 상승이든 모든 자연환경의 변화는 인간이 만들어 놓은 사회시스템에 영향을 준다. 그 영향이 긍정적이든 부정적이든 어떤 영향을 미칠 때 사람들은 이에 대해 대응이 필요한지, 그리고 어떻게 대응할지 논의한다. 예를 들어 우리는 수시로 변하는 날씨를 과학적으로 예측하고 그 예측을 근거로 대응한다. 우산을 들거나 따뜻한 옷을 입는 것 모두 이런 변화에 대한 대응 방식이다. 즉, 자연의 변화가 얼마나 있었고 얼마나 더 일어날지, 또한 인간이 만들어 놓은 사회시스템이 이런 자연환경의 변화에 얼마나 영향을 받는 지, 또 그 영향에 대처가 가능한지 아닌지에 대한 판단은 우리의 삶에서 늘 함께 하는 부분이다. 기후변화에서 자주 거론되는 취약성이라는 용어가 이를 의미한다.

가깝게는 2003년 국내에 영향을 준 태풍 매미나 2005년 미국 남동부를 강타한 허리케인 카트리나와 같은 환경변화와 이로 인해 발생가능한 위험에 대응하기 위해서는 우선 그 영향을 과학적으로 예측하고 얼마나 많은 사람과 시설이 영향을 받을지를 최대한 정확하게 평가하여야 한다. 그리고 평가 결과에 근거하여 피난 대책이 되든 방어 대책이 되든 대응전략이 필요하다.

기후변화에 따라 점차 높아지는 해수면 상승이나 해일고에 의한 피해에 대해서도 역시 같은 논리적 경로를 거쳐 대응전략을 마련해야 한다. 변화를 규명하고 최대한 정확하게 예측하며, 이를 바탕으로 가능한 시간적 공간적 범위에서 영향을 받을 대상을 밝혀내고 그 영향의 크기를 가늠해야 한다. 이를 바탕으로 영향의 특성이나 공간적 특성을 반영하여 대응대책을 수립해야 한다. 이미 국내에서도 연안지역의 기후변화에 따른 영향이 우려되고 연안지역의 활발한 사회경제활동과 결합하여 막대한 피해를 유발할 우려가 있어, 2008년 정부는 「기후변화대응 종합기본계획」에서 ‘해수면 상

승에 따른 연안재해 관리 시스템 구축'을 해양 분야의 2개 과제 중 하나로 명시하기도 했다.

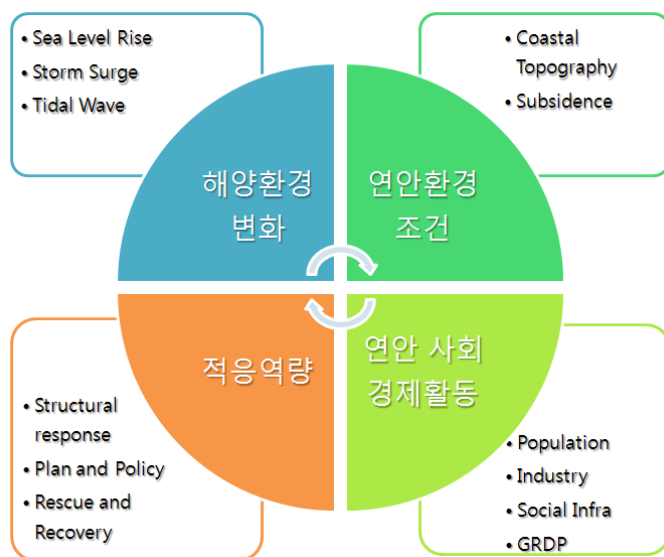
특히 해수면 상승에 따라 연안지역에 미치는 영향은 물리적 환경의 변화뿐만 아니라 여기에 노출된 정도, 영향을 받는 사회경제활동, 해당지역 사회구조의 대응 또는 적응능력 등 다양한 변수에 좌우된다. 더욱이 연안은 이미 인간의 이용과 개발을 위해 공유수면을 매립하거나 방조제를 건설하는 등 급격하게 변화하고 있다. 이로 인해 해수면 상승과 같은 장기적 변화는 물론 단기간 집중되는 태풍이나 해일 등 기상현상의 영향은 변화의 크기를 더욱 배가하기도 한다.

이 연구에서는 해수면 상승이라는 자연환경의 변화에서 연안지역에 미치는 영향, 사회적인 대응능력에 이르는 일련의 과정을 취약성 평가라는 개념적 틀로 설정하여, 현실을 최대한 정확하게 반영하면서 사회적 대응에 필요한 과학적 의사결정을 지원할 수 있는 평가모형을 개발하고자 한다.

3. 연구의 범위와 방법

본 연구는 우리나라 연안에 미치는 해수면 상승의 영향과 적응 가능성을 취약성이라는 개념을 통해 해석하고자 한다. 따라서 이 연구는 내용적으로는 해수면 상승이라는 현상에 대한 고찰과 이에 따라 영향을 받는 연안의 자연환경, 인문사회환경이 대상이 된다. 또한 취약성의 개념에는 영향을 받는 시스템이 외부에서 가해진 변화에 적응할 수 있는 능력도 포함하기 때문에 연안지역이 가지고 있는 적응능력을 표현하는 지표나 인자도 분석의 대상이 된다. 이 연구는 기본적으로 연안지역의 해수면 상승에 대한 취약성을 평가하는 모형을 개발하는 연구이므로 내용적으로는 모형을 구성하는 요소를 대상으로 한다. 그러나 연안이라는 공간을 대상으로 하는

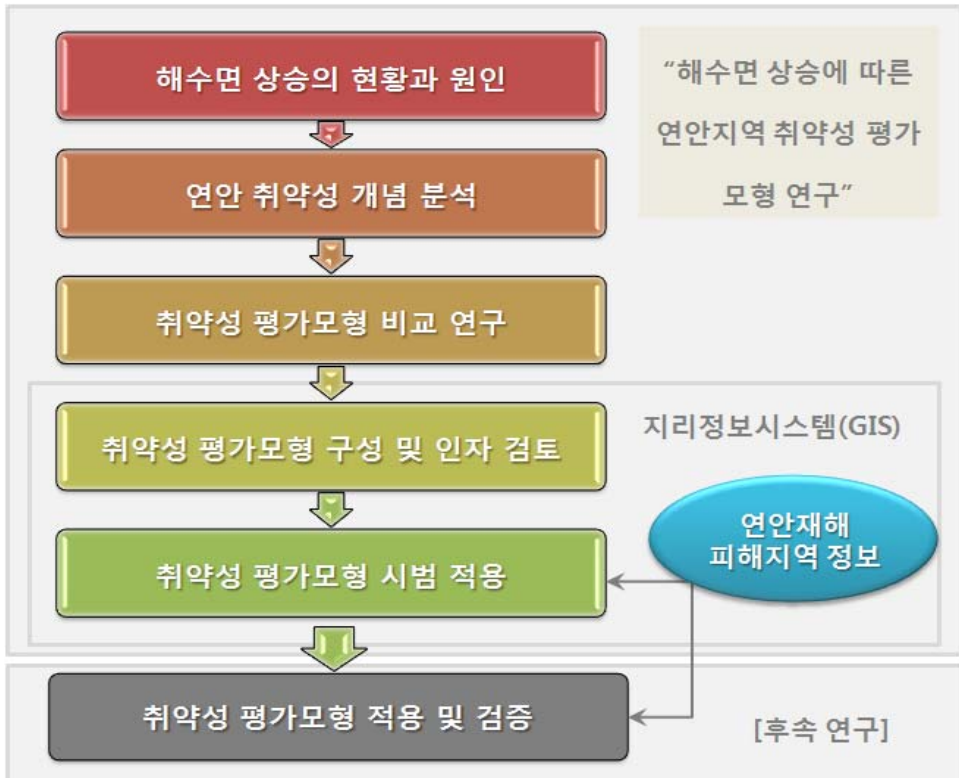
특성상 단순히 평가요소만을 분석하는 것이 아니라 연안지역의 특성과 공간정보도 다루어야 한다. 모형개발의 초기 단계에서는 연구의 내용적 범위가 주로 평가모형을 구성하는 인자 중심으로 이루어지지만 평가모형을 구성해 가면서 필요한 공간자료를 모형에 적용할 필요도 있다. 특히 해수면 상승에 따라 피해를 입은 연안지역의 자료를 취합하고 연안의 다양한 사회 및 자연환경 요소와 비교 평가할 예정이다. 다만 평가요소의 선정과 모형의 구성을 뒷받침하는 논리적 근거 확보에 소요되는 인력과 시간적 한계를 고려하여 이번 연구에서는 모형의 개념적 틀 구성, 구성 인자 검토, 모형 구성의 유의점 검토까지 수행할 예정이다.



| 그림 1-1 | 해수면 상승에 따른 연안 취약성 평가모형의 내용적 범위

구체적으로 이 연구에서는 취약성 평가모형을 설계하기 위하여 취약성의 개념, 특히 연안에서 해수면 상승에 대한 취약성의 개념을 관련 문헌을 중심으로 비교 분석하였다. 또한 해수면 상승에 대한 연안지역의 취약성 평가에 관한 국내외 관련 연구를 종합적으로 고찰하여 취약성 평가라는 개

념에 충실하고 본래 취약성 평가의 목적을 효과적으로 달성할 수 있는 모형을 개발하고자 한다. 이를 위해 취약성 평가모형을 개념적으로 세분하여 구성하고 세분한 구성요소 각각에 포함할 수 있는 인자를 검토한다. 해수면 상승이라는 변화 요인에서 시작하여 연안의 자연환경 및 사회환경, 연안사회의 대응능력을 대표할 수 있는 인자들은 취약성 평가의 결과에 유의미하게 영향을 줄 수 있는 인자를 선정하되, 실질적으로 자료를 취득할 수 있는 지도 함께 검토하여 모형 구성인자 선정에 참고하였다.



| 그림 1-2 | 연구 흐름도

제 2 장 해수면 상승 현황 및 영향인자

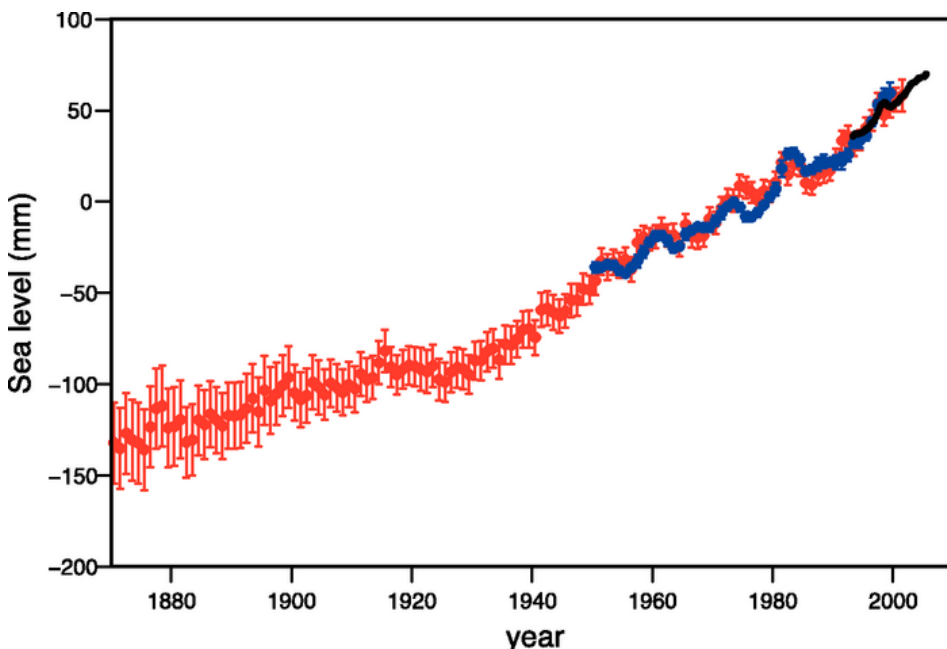
1. 해수면 상승 현황

1) 전 지구적 해수면 상승

기후변화에서 지구 대기온도의 상승과 함께 중요한 해양의 변화는 해수면의 상승이다. 해수면은 여러 요인에 의해 수시로 상승과 하강을 반복한다. 조석이나 날씨에 따라 수 시간에서 수일 내에 변화를 보이거나, 우리가 말하는 기후처럼 수년에서 수백만 년 단위와 같은 다양한 시간적 규모에서도 변화한다.

기후변화에 따른 해수면 상승은 일찍이 IPCC가 낸 여러 차례의 평가보고서에서 관심 있게 다루어졌다. 특히 3차 평가 보고서에서는 해수면 상승의 요인을 분석하기 시작했고 보다 정밀한 자료의 생산에 대한 관심이 높아졌다. 20세기의 전 지구적 수준이나 지역적 범위에서 관찰된 해수면 상승의 경향은 대부분 ‘평균해수면 상시 서비스(Permanent Service for Mean Sea Level)’라는 전 지구적 장기 해수면 변동에 관한 자료 은행에서 나왔다. 이 서비스는 유네스코 산하의 정부간해양학위원회(Intergovernmental Oceanographic Commission : IOC)와 국제과학위원회(International Council for Science : ICSU) 그리고 각국 정부의 연구소 등이 조위계를 이용한 조위관측 자료를 서로 공유하는 체제로 IPCC(2001)의 3차 보고서까지도 대부분의 해수면 상승 자료는 여기에 근거한다. 검조소의 위치나 자료의 신뢰성에 따라 다양한 분석결과가 있는데, 안정된 지반에서 측정된 25곳의 조위 관측자료를 대상으로 분석한 Douglas(2001)와 Peltier(2001)에 따르면 과거 70년간 해수면이 연 1.8mm씩 상승했다고 한다. 정밀한 9곳의 검조 기록을 분석한 Miller and

Douglas(2004)는 연간 $1.5\sim 2.0\text{mm}$ 의 연간 해수면 상승률을 산정했고, 반면에 177개 검조소의 기록을 분석한 Holgate and Woodworth(2004)는 $1.7\pm 0.4\text{mm}$ 의 해수면 상승률을 산정했다. 이 밖에도 검조기록을 분석한 개별연구가 많이 있지만 대체로 1961년 이후 2003년까지는 연간 $1.8\pm 0.5\text{mm}$ 의 상승률과 20세기에는 약 $1.7\pm 0.5\text{mm}$ 의 연간 상승률로 평가할 수 있다.



주 : 1) 붉은색 곡선은 1870년 이후 평균 해수면 추정치이며, 푸른색은 1993년 이후 검조소의 조위 관측 기록, 마지막 검은 선은 위성고도계를 활용한 평균 해수면 높이임

2) 오차막대는 90% 신뢰구간을 의미

자료 : IPCC(2007), p. 410

| 그림 2-1 | 20세기 전 지구적 평균해수면 변화 추이

검조소의 조위관측 기록을 통해 해수면의 평균 높이가 20세기 들어 지속적으로 상승했음을 확인할 수 있다. 그러나 검조소 관측자료는 검조소가 위치한 지반 자체가 수직으로 움직일 수 있어 해수면 상승률을 분석할 때 주의가 필요하다. 지반의 이동은 크게 두 가지 요인에 의해 일어난다. 하나는 빙하의 생성과 용해에 따른 무게 차이로 발생하는 지각의 반동운동인

후빙기조륙운동(또는 빙하균형조정, Glacial Isostatic Adjustment : GIA)이고, 또 다른 하나는 조륙운동에 의한 것이다. 두 현상 모두 검조계를 통해서는 그 측정이나 예측에 부정확한 요소가 많이 있어 지반운동에 관한 모형이나 예측방법을 활용하여 해수면 상승률을 보정한다. 다음 표와 같이 연구자들에 따라 보정된 해수면 상승률은 다양하게 나타난다.

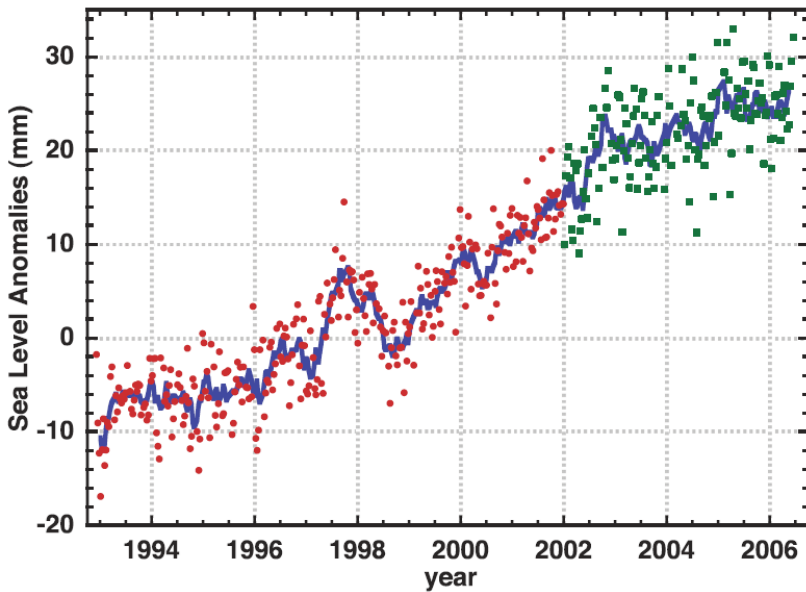
| 표 2-1 | 검조기록에 의한 해수면 상승률

	지역 범위	지반의 수직운동	상승률±표준오차 (mm/yr)
Gornitz and Lebedeff(1987)	전 지구	Geological	1.2±0.3
Peltier and Tushingham (1989, 1991)	전 지구	ICE-3G/M1	2.4±0.9
Trupin and Wahr(1990)	전 지구	ICE-3G/M1	1.7±0.13
Nakiboglu and Lambeck(1991)	전 지구	Spatial decomposition	1.2±0.4
Douglas(1991)	전 지구	ICE-3G/M1	1.8±0.1
Shennan and Woodworth(1992)	북서 유럽	Geological	1.0±0.15
Gornitz(1995)	북미 동해안	Geological	1.5±0.7
Mitrovica and Davis(1995), Davis and Mitrovica(1996)	전 지구	PGR Model	1.4±0.4
Davis and Mitrovica(1996)	북미 동해안	PGR model	1.5±0.3
Peltier(1996)	북미 동해안	ICE-4G/M2	1.9±0.6
Peltier and Jiang(1997)	북미 동해안	Geological	2.0±0.6
Peltier and Jiang(1997)	전 지구	ICE-4G/M2	1.8±0.6
Douglas(1997)	전 지구	ICE-3G/M1	1.8±0.1
Lambeck et al. (1998)	Fennoscandia	PGR Model	1.1±0.2
Woodworth et al. (1999)	British Isles	Geological	1.0

자료 : IPCC(2001), p. 660

이처럼 검조 기록에 의한 해수면 변화 자료는 육지의 수직적인 움직임이라는 오차를 유발할 요인이 있기 때문에 이런 문제가 없는 위성고도계 자료를 활용할 수 있다. 1992년부터 TOPEX/Poseidon(T/P)과 Jason 위성을 통해 해수면의 고도를 측정할 수 있게 되었다. 위성자료는 열흘 간격으로 남위 66도에서 북위 66도 사이의 해수면을 약 5mm의 정확도를 가지고 관측한 결과이다. 위성고도계의 관측값을 분석한 결과 1993년 이후 2003년까지 평

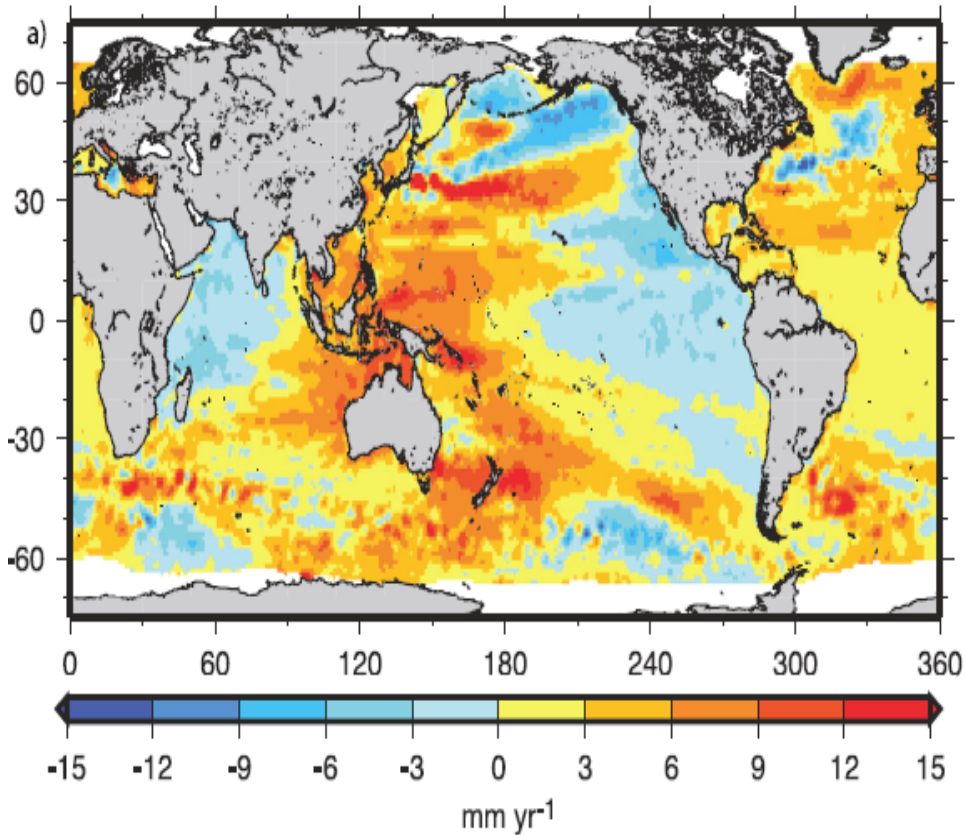
균 해수면은 연간 $3.1 \pm 0.7 \text{mm}$ 씩 상승한 것으로 분석됐다(Cazenave and Nerem, 2004; Leuliette et al., 2004). 고도측정에 기초한 해수면 관측 역시 빙하균형 조정 현상에 따른 변이를 포함하고 있다. 지금까지 관측된 자료에서 나온 해양 지역은 매년 약 0.3mm , 최대 0.15mm 씩 하강하는 것으로 알려져 있어 (Peltier, 2001) 이를 고려하면 해수면 전체의 체적은 위성고도계에서 증가한 해수면 높이에 해저의 하강분을 합한 값이 된다.



자료 : IPCC(2007), p. 411

| 그림 2-2 | 위성고도계에 따른 해수면 상승 추이

위성에서 관측한 해수면 상승을 지리적 분포로 보면 그림과 같이 전 지구적으로 상승률이 일정하지 않은 것을 확인할 수 있다. 어떤 해역에서는 전 지구 평균해수면 상승률의 5배에 이르는 상승을 보이기도 한다. 이런 현상은 해면에서 나타나는 엘니뇨 현상과 같은 변동에 의해 그 상승률이 더 커지는 측면도 있지만 대개 태평양의 서쪽 해역, 인도양의 동쪽 해역 등에서 그 증가율이 매우 높게 나타난다.



자료 : IPCC, 전제서, p. 412

| 그림 2-3 | 위성고도계에 따른 해수면 변동 현황

전 지구적인 해수면 상승의 변화를 과거 검조기록과 최근 위성고도계를 이용한 값, 그리고 해수면 상승의 세부 요인별로 예측하고 관측한 결과가 다음 표와 같다. 정리하자면 지난 100년간(1906-2005) 지구의 평균기온은 $0.74(0.56-0.92)^{\circ}\text{C}$ 상승하였으며, 이는 북반구 고위도로 갈수록 더 크게 나타났다. 지구 평균해수면 상승은 지구온난화 경향과 일치하는데 1961년 이후 평균 $1.8(1.2-2.3)\text{mm/yr}$, 1993년 이후에는 평균 $3.1(2.4-3.8)\text{mm/yr}$ 로 상승하였다(IPCC, 2007).

| 표 2-2 | 전 세계 해수면 상승요인과 변화 주이

	해수면 상승률(mm/년)	
	1961 ~ 2003	1993 ~ 2003
- 열팽창	0.42 ± 0.12	1.6 ± 0.5
- 빙하 및 빙모	0.50 ± 0.18	0.77 ± 0.22
- 그린란드 대륙 빙하	0.05 ± 0.12	0.21 ± 0.07
- 남극 대륙 빙하	0.14 ± 0.41	0.21 ± 0.12
추정된 해수면 상승값(a)	1.1 ± 0.5	2.8 ± 0.7
실제 관찰된 해수면 상승값(b)	1.8 ± 0.5	3.1 ± 0.7
실측과 추정치의 차이(b-a)	0.7 ± 0.7	0.3 ± 1.0

자료 : IPCC, 전게서, p. 419

2) 우리나라 주변 해역의 해수면 변동

국내에서는 국립해양조사원이 주로 항만에 설치된 검조소를 통해 조석의 변화를 포함하여 해수면의 변화를 관측한다. 국립해양조사원은 매년 관측한 조위의 변화를 분석하여 공개하고 있는데 이를 활용한 관련 연구결과를 종합해 보면, 우리나라 주변해역의 해수면은 해역별로 차이가 있지만 약 2~5mm/yr의 평균 해수면 상승률이 보고된다.

국립해양조사원이 검조소를 통해 관측한 조위값을 연보 형식을 통해 제공하고 있으나 이를 바로 해수면 변동으로 이해하고 활용하기에는 그 정확성에 몇 가지 제약이 있다. 예를 들어 검조소의 위치가 일부 조정되기도 하였으며, 이와 함께 검조장비가 시설 개선에 따라 교체되기도 하였다. 특히 검조 기록에 포함될 수 있는 여러 가지 오차를 보정하지 않고 단순히 검조소 기준으로 상대적인 해수면 높이만을 제공하는 한계도 있다.

(1) 조위 관측 자료를 통한 해수면 변동

조위 측정값을 활용한 해수면 변동에 관한 연구로는 우선 1999년 국립해양조사원에서 펴낸 강병덕 외(1999)의 연구가 있다. 이 연구는 우리 연안

의 해수면 변화에 대한 연구가 많지 않은 상황에서 해수면 변화를 관측하는 실무자가 관측기록을 가지고 퍼낸 의미 있는 자료라고 할 수 있다. 이 연구는 1960년부터 1998년까지 국내 23개 검조소의 조석관측 자료를 활용하여 연평균해면과 최극조위변화를 중심으로 해수면 변동을 살펴봤다. 다만 해수면에 변화를 주는 장주기 해면 변동(18.6년 주기)이나 엘니뇨 발생에 따른 해면변동을 고려하여 분석과정에서 검토하였다. 전체 분석대상 23개 검조소 기록 중 대표적이고 안정적인 자료가 있는 8개 지역의 조위변화를 정리한 결과, 제주와 서귀포, 추자도, 거문도의 평균해면 증가는 $0.3\sim 0.7\text{cm/yr}$ 에 달했고, 서해안의 경우 뚜렷한 평균해면의 증가($0.1\sim 0.2\text{cm/yr}$)는 없지만 연안개발 및 매립 등과 같은 대규모 해양공사의 영향으로 최극조위의 상승이 관찰되었다. 동해안의 경우 뚜렷한 변화는 관찰되지 않으나, 울릉도의 경우 해면이 하강하는 추세를 보이고 있어 추가적인 조사와 분석이 요구된다고 결론내리고 있다. 또한 서해안과 남해안에 나타난 평균해면 변화는 엘니뇨 현상과 밀접한 관계가 있으며 18.6년 주기의 조석 장주기 변화가 전 연안에서 관측된다고 한다. 결론적으로 해면의 여러 변화요인을 제거하고 보면 지구온난화에 의한 해수면 상승 현상이 우리나라 연안에도 지역적인 차이를 두고 나타난다고 보고하였다.

| 표 2-3 | 주요 항만 검조기록에 따른 해면 변화(1960~1998년)

cm/yr	서귀포	제주	목포	군산	부산	여수	포항	속초
평균해면 변화	0.70	0.44	0.08	0.10	0.16	0.16	0.12	0.25

자료 : 강병덕 외(1999)

2009년에도 국립해양조사원은 조위관측소 자료를 이용하여 우리나라 주변 해역의 해수면 변동을 분석하였다. 전체 37개 조위관측소 중에서 관측기간이 10년 이하인 15개 관측소와 해수면 상승률이 현저히 차이가 나는 5개 관측소 자료를 제외한 총 17개 관측소 자료를 분석에 이용하였다. 분석

결과 해역별 연평균 해면 상승률은 서해 1.2mm/년, 동해 2.3mm/년, 남해(제주 부근 포함) 3.3mm/년, 제주부근 4.9mm/년 순으로 나타났다. 이 조사결과는 국립해양조사원의 2008년 발표자료의 평균 1.9mm/년보다 0.4mm/년 높게 나타났으며, 제주부근은 기존 결과와 유사하게 다른 해역에 비해 2~4배 이상의 높은 해수면 상승률을 나타냈다.

표 2-4 | 국내 기존 해수면 변동 연구

자료	근거	해수면 상승률
조광우 등(2001)	한반도 주변 23개 조위 자료를 사용, 후빙기 조륙 운동을 보정하여 산출	2.3mm/yr
	1992년 5월부터 2001년 4월 위성고도계 자료	동해 4.6mm/yr 남해 4.8mm/yr
한국해양연구원 국립해양조사원(2009) 재인용	위성고도계, 최근 9년간 동해 상층부의 열팽창	동해 5.4mm/yr 동해남부 6.6mm/yr
국립해양조사원(2008)	46년간 조위자료 분석	평균 1.9mm/yr 남해 3.4mm/yr 동해 1.4mm/yr 서해 1.1mm/yr 제주 5.1mm/yr

국립해양조사원은 해수면 변동에 대해 정밀분석을 실시하면서 해마다 개선된 방법을 적용하여 보다 정확한 해수면 변동값을 제시하고 있다. 단적인 예로 2008년에 국립해양조사원이 발표한 자료와 2009년 해수면 변동에 관한 결과를 비교해 보면, 분석기간의 차이에 따라 같은 지역에서도 다른 상승률을 보이고 있다(<표 2-5> 참조). 자료의 신뢰도와 분석 대상이 된 검조소에 따라 해수면 변동률은 다르게 나타난다. 이에 따라 군산과 같이, 같은 관측지점이어도 1981년부터 2006년까지 분석한 값은 연간 0.3mm의 해수면 상승이 있는 반면, 1983년부터 2005년까지 분석한 값은 연간 1.2mm로 크게 다르다. 동해안의 묵호 역시 1966년부터 2006년까지 관측한 결과 연간

0.6mm씩 해수면이 상승했지만, 1972년부터 2008년까지 관측한 결과는 연간 2.1mm로 크게 증가하는 것으로 나타났다.

| 표 2-5 | 국립해양조사원 2008년 자료와 2009년 자료의 비교

조위 관측소	2008년 발표자료				2009년 자료			
	분석기간		관측소별 상승률 (mm/yr)	해역별 상승률 (mm/yr)	분석기간		관측소별 상승률 (mm/yr)	해역별 상승률 (mm/yr)
	시작	종료			시작	종료		
인천	1960	2006	0.7	서해 1.0	-	-	-	서해 1.2
안흥	1987	2006	1.6		1989	2008	1.3	
군산	1981	2006	0.3		1983	2005	1.2	
목포	1983	2006	1.2		1972	2008	1.3	
대흑산도	1980	2006	1.3		1982	2008	0.8	
완도	1983	2006	2.3	남해 2.1 (3.4)	1985	2008	1.5	남해 2.0 (3.3)
여수	1966	2006	1.5		1969	2008	1.8	
통영	1977	2006	2.2		1979	2008	1.8	
가덕도	1977	2006	2.4		1983	2008	2.4	
부산	1962	2006	2.3		1975	2008	2.4	
추자도	1984	2006	3.3	제주 부근 5.1	1986	2008	2.0	제주 부근 4.9
제주	1973	2006	5.0		1978	2008	5.8	
서귀포	1985	2006	6.0		1985	2008	5.9	
거문도	1982	2006	5.9		19852	2008	6.0	
울산	1966	2006	0.3	동해 1.4	-	-	-	동해 2.3
포항	1972	2006	2.2		1977	2001	2.3	
목호	1966	2006	0.6		1972	2008	2.1	
속초	1974	2006	2.2		1977	2008	2.6	
울릉도	1979	2006	2.0		1983	2004	2.3	
총평균				1.9				2.3

자료 : 국립해양조사원(2009)

따라서 분석의 시간적 범위에서 발생하는 오차를 줄이고 최근의 해수면 상승률 추이를 파악하기 위하여 국립해양조사원(2009) 연구에서는 조위 관측소별로 동일한 기간인 1993년부터 2008년까지의 조위 자료를 이용하여 지역별 해수면 상승률을 분석하였다(<표 2-6> 참조).

분석 결과 해역별 해수면 상승률은 서해 2.9mm/yr, 동해 2.9mm/yr, 남해(제주포함) 4.2mm/yr, 제주부근 6.5mm/yr이었으며, 평균 해수면 상승률은 3.3mm

/yr로 나타났다. 이는 17개 조위관측소의 평균해수면 상승률 2.3mm/yr보다 1.0mm/yr높으며, 이는 IPCC 4차보고서에서 위성고도계 자료로 분석한 전 세계 평균 해수면 상승률 3.1mm/yr과 비슷한 상승속도이다.

【 표 2-6 】 조위관측소별 동일기간(1993~2008년) 해수면 상승률

서해		남해		제주부근		동해	
조위 관측소	상승률 (mm/yr)	조위 관측소	상승률 (mm/yr)	조위 관측소	상승률 (mm/yr)	조위 관측소	상승률 (mm/yr)
안흥	2.8	완도	2.1	추자도	3.5	포항	-
군산	-	여수	0.0	제주	9.4	목호	3.2
목포	(7.8)	통영	2.2	서귀포	5.1	속초	2.5
대흑산도	(-3.5)	가덕도	5.1	거문도	7.8	울릉도	-
인천	3.0	부산	2.5				
평균	2.9	평균	2.4	평균	6.5	평균	2.9
		4.2					
총평균	3.3						
비고	목포 및 대흑산도의 통계는 제외(이상 상승률) 군산, 포항, 울릉도는 분석 종류 연도가 2005년 이전(조위관측소 이설) 인천의 분석기관은 1999-2008년						

자료 : 국립해양조사원, 전게서, 2009

이와 같이 분석기간에 따른 해수면 상승률의 변화를 보다 정확하게 보기 위하여, 동일 조위관측소에서 분석기간 선정에 따른 해수면 상승률 차이를 분석하여 비교하여야 한다.

분석 결과, 동일한 관측소에서도 분석기간에 따라 해수면 상승률의 차이가 나타났다. 여수의 경우 과거 30년간 연 3.2mm씩 해수면이 증가했지만 최근 10년 사이에는 연 5.4mm씩 해수면이 하강했다. 부산의 경우 역시 최근 10년 들어 해수면이 하강한 것으로 나타난다. 반면 제주는 과거 30년간 5.9 mm/yr의 상승률을 보이거나 최근 10년 사이에는 7.6mm/yr의 높은 상승률을 보

인다. 이러한 결과는 관측자료 및 관측소 주변 여건의 영향을 비롯하여, 분석기간 동안 대기 및 해양의 단기 변화 요인에 영향을 받았기 때문이다.

표 2-7 | 분석기간별 해수면 상승률

조위 관측소	해수면 상승률(mm/yr)					
	시작	종료	전체 분석기간	30년 (1979-2008)	20년 (1989-2008)	10년 (1999-2008)
목포	1972	2008	1.3	2.4	3.2	4.9
여수	1969	2008	1.8	3.2	-0.1	-5.4
통영	1979	2008	1.8	1.8	1.2	0.5
부산	1975	2008	2.4	3.2	1.8	-0.8
제주	1978	2008	5.8	5.9	7.6	7.6
목호	1972	2008	2.1	2.9	2.5	2.6
속초	1977	2008	2.6	2.5	2.2	0.1

자료 : 국립해양조사원, 전계서, 2009

(2) 지각변동을 고려한 해수면 변동 보정

일반적으로 조위관측소의 지각변동을 고려하지 않은 조위자료만으로 해수면 상승률을 산정할 경우에는 지구온난화에 따른 실제 해수면 변화와는 다른 결과를 초래하게 된다. 따라서 해역별 지각변동이 고려된 절대해수면 분석을 위해서는 해면기압 변화가 해수면 상승률에 미치는 영향을 제거한 연평균 해면 자료를 이용하여 상승률을 재산정한 후, 여기에 지각변동 속도를 보정함으로써 최종적으로 대기압, 지각변동 성분이 제거된 절대해수면 상승률을 산정하여야 한다. 이때 지각의 변동 성분은 GPS에 기록된 검조소가 위치한 지반의 수직이동 정도를 더하거나, 빙하기 때 지반 위에 있던 얼음층이 제거된 이후 평형상태를 유지하기 위해 지반이 상승하는 정도를 모형으로 모의한 후빙기 조륙운동 모형을 활용할 수 있다. 국립해양

조사원(2009)에서는 이 두 보정 방법인 조위관측소에서 관측한 GPS 분석 자료와 후빙기 조륙운동에 관한 모델링 결과를 모두 활용한 절대 해수면 상승률을 추정하였다.



| 그림 2-4 | 해수면 상승률 분석의 흐름

GPS 관측 결과에 따르면 전국 평균 지각상승 속도가 약 2.4mm/yr로 나타났다으며, 해역별로는 서해 2.5mm/yr, 남해(제주 포함) 2.1mm/yr, 동해 2.6mm/yr, 제주 2.3mm/yr로 해역별로 큰 차이를 보이지는 않았다. 후빙기조륙운동에 의한 지각 변동은 Ice model(ICE-5G)을 사용하여 분석하였는데, 모의분석 결과 전국 평균 1.2mm/yr의 상승 속도가 나타났다.²⁾ 해역별로는 서해와 동해 모두 1.2mm/yr, 남해(제주 포함) 1.1mm/yr로 나타나는 등 후빙기 조륙운동에 의한 지각 상승 역시 GPS에서 관측한 것과 유사하게 전국적으로 큰 편차를 보이지 않는다.

2) 과거 조광우(2001)에서는 ICE-4G 모형을 통해 약 0.3mm/yr의 지반 상승속도를 구했으나 국립해양조사원(2009)에서는 이보다 개선된 모형인 ICE-5G를 활용.

| 표 2-8 | 해역별 지각변동 속도 및 해수면 상승률

해역	조위 관측소	상대 해수면 상승률 (RSLR) (mm/yr)	수직 지각변동 속도 (VLM)		절대 해수면 상승률 (ASLR)	
			GPS (mm/yr)	GIA (mm/yr)	RSLR+GPS (mm/yr)	RSLR+GIA (mm/yr)
서해	안흥	1.3	2.2	1.3	3.5	2.6
	군산	1.3	1.8	1.3	3.1	2.6
	목포	1.2	3.0	1.2	4.2	2.4
	대흑산도	0.5	2.9	1.1	3.4	1.6
	평균	1.1	2.5	1.2	3.6	2.3
남해	완도	1.1	2.1	1.1	3.2	2.2
	여수	1.6	1.8	1.2	3.4	2.8
	통영	1.6	1.9	1.2	3.5	2.8
	가덕도	2.2	2.1	1.2	4.3	3.4
	부산	2.3	2.0	1.2	4.3	3.5
	평균	1.8(3.2)	2.0(2.1)	1.2(1.1)	3.7(5.3)	2.9(4.3)
제주 부근	추자도	1.9	2.4	1.1	4.3	3.0
	제주	6.0	1.9	1.0	7.9	7.0
	서귀포	5.8	2.5	1.0	8.3	6.8
	거문도	6.0	2.2	1.1	8.2	7.1
	평균	4.9	2.3	1.1	7.2	6.0
동해	포항	2.2	2.6	1.2	4.8	3.4
	목호	2.1	2.1	1.2	4.2	3.3
	속초	2.4	1.7	1.3	4.1	3.7
	울릉도	2.2	4.0	1.1	6.2	3.3
	평균	2.2	2.6	1.2	4.8	3.4
전체 평균		2.2	2.4	1.2	4.6	3.4

주 : 남해의 해수면 상승률에서 괄호는 제주도의 변화를 포함한 경우

자료 : 국립해양조사원, 전계서, 2009

GPS 분석 결과로 보정한 절대 해수면 상승률은 전국 평균 4.6mm/yr로 서해 3.6mm/yr, 동해 4.8mm/yr, 남해(제주부근 포함) 5.3mm/yr, 제주부근 7.2mm/yr의 순으로 나타나고, 군산에서 가장 낮은 3.1mm/yr, 서귀포에서 가장 높은 8.3mm/yr가 나타났다. 제주를 제외하고는 동해의 평균 해수면이 가장 높게 나타난 것이 특징적이다.

후빙기 조륙운동(GIA)으로 보정한 절대 해수면 상승률은 전국 평균 3.1mm/yr이며, 해역별로 서해 2.3mm/yr, 동해 3.4mm/yr, 남해(제주부근 포함) 4.3mm/yr, 제주부근 6.0mm/yr 순으로 나타났다. 서해 대흑산도에서 1.6mm/yr로 가장 낮았으며, 거문도에서 7.1mm/yr로 가장 높았다.

GPS 분석 결과를 보정한 절대해수면 상승률은 평균 4.6mm/yr로 후빙기 조륙운동이 보정된 절대해수면 상승률 평균 3.4mm/yr보다 1.2mm/yr 높았으며, 이 차이는 조위관측소의 국지적인 지반변동에 의한 것이다.

후빙기 조륙운동을 보정한 경우나 GPS 고도변화를 보정한 경우 모두 지역적으로는 제주도 부근, 한반도의 남동연안 해역, 그리고 울릉도 주변에서 절대 해수면 상승률이 다른 지역에 비해 상대적으로 높게 나타난다.

| 표 2-9 | 해수면 상승률 종합

(mm/yr)	서해	남해	제주부근	동해	평균
상대 해수면 상승률	2.9	2.4	6.5	2.9	3.3
절대 해수면 (+GPS)	3.6	3.7	7.2	4.8	4.6
절대 해수면 (+GIA)	2.3	2.9	6.0	3.4	3.4

자료 : 국립해양조사원, 전계서, 2009 종합 정리

2. 이상기상 현상에 따른 해수면 상승

1) 극한사상(태풍 등)에 의한 해일고

기후변화와 관련된 많은 연구들이 대부분 지구 평균 해수면의 지속적인 상승에 대해 우려한다. 해수면이 상승하는 추세가 향후 100년이 지나면 수십 센티미터에 달하고 현재의 연안이 바다로 바뀔 것이라는 걱정이다. 사실 연안지역에 영향을 주는 주요 원인은 점진적인 해수면의 변화라기보다 극한사상에 의한 해수면의 급격한 변동 때문이다. 쓰나미와 같은 비기후적인 현상은 논외로 하더라도 해수면의 극단적인 변동은 열대성 폭풍우에 의한 폭풍해일에서 주로 나타난다. 극한사상에 의한 해수면의 변동은 기존의 점진적인 해수면 상승과 더불어 나타나는데 사실 이런 종류의 변동에 관한 연구는 점진적인 해수면 변동에 관한 연구보다 훨씬 더 복잡하고 어렵다. 게다가 해수면을 보통 매 시간 단위로 관측하는 조위계로는 이런 종류의 극한사상의 정확한 변화를 감지하기 부족하다.

보통 극한사상에 의한 해수면 변동은 연간 최대 관측 해일고를 장기간 관측한 자료를 활용하여 그 변화 경향을 확인하게 된다. 그러나 이와 같은 해면의 극값에 대한 장기간 관측자료는 어쩔 수 없이 일부 관측점에 제한될 수밖에 없다. 1768년부터 영국 리버풀에서 관측한 해수면의 극값을 분석한 Woodworth & Blackmand(2002)에 따르면 연간 최대 관측 해일고는 18세기 후반, 19세기 후반, 20세기 후반에 나타난 값들이 20세기 전체에서 나타난 값보다 크게 나타나는데, 이는 기상학 자료에서 보이는 태풍의 장기 변동과 일관된 변화라고 한다. 또 다른 연구인 Bouligand & Pirazzoli(1999)는 1860년부터 1994년까지 브레스트(Brest) 지역의 검조계 기록을 분석한 결과 최대극값과 상위 1%의 해일고 값이 전체적으로는 증가했지만, 1953년 이후에는 감소하는 경향을 보고했다. 반면 앞서 언급한 Woodworth &

Blackmand는 2004년 연구에서 매 시간 단위로 관측된 전 세계 141개 지역의 해수면 극값(상위 1%)을 분석한 결과 1975년 이후 전 세계적으로 해수면 극값이 상승했음을 보여 줬다. 많은 연구에서 극값의 연간 변화를 보면 대부분 평균해수면의 변화와 유사한 경향을 가지고 있는데 이는 특히 지역적인 기후 변화의 형태와 해역별 해수면 상승률과 높은 상관성을 보여 준다.

2) 우리나라 주변해역의 해수면 극값 변화

IPCC는 앞으로 지구온난화로 인한 수온 상승과 이로 인한 태풍의 활동이 전 세계적으로 강화될 것으로 예측하였으며, 해일에 의한 피해 규모 역시 점차 커질 것으로 예상하였다. 특히 삼면이 바다로 둘러싸여 있는 우리나라는 태풍에 의한 폭풍해일로 인한 연안지역의 범람 위험이 높은 지역 중 하나이다.

우리나라에 영향을 미치는 태풍이 연안에 접근하게 되면 기압 하강과 바람에 의해 해수면이 상승한다. 이렇게 조석에 의한 수위 변화를 제거한 기상에 의한 해수면 변화만을 ‘해일’이라고 정의할 수 있는데, 해일은 태풍의 낮은 기압과 강력한 바람에 의해 발생하며 특히 연안에 특정한 지형이 있을 경우 더 높아지는 경우도 발생한다.

그 원리를 보면 우선 기압 하강에 따른 해수면 상승은 정수압 법칙인 다음 식에 따라 발생한다.

$$p = \rho gh \dots\dots\dots (1)$$

여기서 ρ 는 밀도, g 는 중력가속도, h 는 수심을 나타낸다. 이 식에 따르면 기압이 1hPa 하강하면 수위가 약 1cm 상승한다. 따라서 태풍의 중심에서는 아래 (2)식에 의해 기압에 의한 해수면 상승을 계산할 수 있다.

$$H_{pressure} = P_{background} - P_{center} \dots\dots\dots (2)$$

여기서 $H_{pressure}$ 는 기압변화에 의한 해수면 상승값, $P_{background}$ 는 주변기압, P_{center} 는 태풍중심기압을 나타낸다. 태풍중심기압과 주변기압은 태풍경로 자료로부터 얻을 수 있다.

또한 바람에 의한 해수면 상승은 풍향과 풍속, 그리고 만의 형태와 깊이 등에 관계된다. (3)식은 바람에 의한 해수면 상승(H_{wind})을 경험적으로 산출한 것이다.

$$H_{wind} = 4.8 \times 10^{-4} (lv^2/2d) \cos \phi \dots\dots\dots (3)$$

여기서 l 은 만의 길이[m], v 는 풍속[m/s], d 는 만의 깊이[m], ϕ 는 풍향과 만의 방향이 이루는 각도를 나타낸다. 이 식에 따르면, 바람에 의한 해수면 상승은 바람이 강할수록, 만의 수심이 얕을수록, 만의 길이가 길수록, 풍향과 만의 방향이 일직선이 될수록 크게 발생함을 알 수 있다. 특히, 해일의 강도는 태풍이 만의 어느 쪽을 통과하느냐에 따라 크게 달라진다. 즉, 태풍이 만의 서쪽으로 통과할 때는 태풍의 진행방향과 같은 남풍에 의해 해수가 육지로 압류되어 높은 해일이 발생한다. 그러나 태풍이 만의 동쪽으로 통과하면 바람은 육지에서 바다로 바람이 불어 수위 상승이 거의 발생하지 않는다.

태풍 강도의 변화를 보기 위하여 56년간(1951~2006년) 관측된 연간 기압 극소값의 변화 경향을 분석한 연구 결과(최의수 외, 2008)에 따르면, 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 강도는 점점 강해지고 있으며, 그에 따라 최대 해일고가 급격히 증가하는 경향이 나타난다.

IPCC 기후모델(MPI_ECHAM5 AIB series)을 이용한 2001년과 2099년의 해수면 온도 변화를 보면, 우리나라가 위치한 북서태평양 부근의 해수면 온도가 다른 해역에 비하여 많이 상승하는 것으로 나타났으며, 특히 제주도 남단 해역에 위치한 이어도 주변의 해수면 온도는 약 4℃ 상승한 것으로 나타났다.

해일고는 매일 관측된 1시간 간격의 해수면 자료를 이용하여 조화분석에 의해 계산된 천문조 예측값을 제거하여 산정한다. 2008년 태풍 루사가 발생했을 당시 속초 조위관측소에서 관측된 1시간과 1분단위 원시조위자료를 비교해 보면, 1시간 자료에 근거하여 추정된 최대 해일고는 1분 자료에 비해 과소 산정되었음을 보여 준다. 그러나 현재 1시간 조위자료는 34년간 축적되었으나 1분 조위자료는 8년밖에 축적되지 않았기 때문에, 현재 장기간 해일고의 변동을 조사함에 있어서는 1시간 조위자료로 경향을 분석하는 것이 바람직하다. 따라서 2009년 국립해양조사원은 포항, 울산, 부산, 제주 조위관측소의 34년간(1974~2007) 1시간 원시조위자료를 이용하여 연간 최대 해일고의 변동성을 분석하였다.

표 2-10 | 1974년부터 2007년 사이에 발생한 지역별 최대 해일고의 특성

구분	지역	증가율 (Linear Regression)		연간 최대 해일고의 평균값	최대값	태풍의 영향
		연간 (mm/yr)	총(cm/yr)	cm	cm	%
동해안	속초	2.5	8.3cm/34yrs	22.6	48.9	53
	묵호	2.6	8.7cm/34yrs	22.2	41.0	53
	포항	3.5	12.1cm/34yrs	24.4	55.8	59
	울산	2.9	9.9cm/34yrs	25.1	62.0	47
남해안	부산	3.3	11.2cm/34yrs	28.4	70.1	65
	통영	10.8	33.6cm/31yrs	37.8	155.7	68
	여수	10.1	34.5cm/34yrs	43.5	118.1	71
	제주	0.19	0.64cm/34yrs	29.4	69.4	50

자료 : 국립해양조사원(2009)

분석 결과, 포항, 울산, 부산의 연간 최대 해일고는 1987년 태풍 다이너 시기에 기록된 55.84cm, 61.96cm, 70.08cm이었으며, 제주는 2002년 태풍 루사 시기에 기록된 69.4cm이었다. 선형회귀에 의한 포항, 울산, 부산, 제주의 연

간 최대 해일고의 증가율은 2008년도 연구지역인 속초, 묵호, 포항, 울산, 부산, 통영, 여수 지역의 2.5mm/yr보다 높은 상승률을 나타냈으나 제주 연안에서는 거의 변동이 없는 것으로 나타났다. 이 결과에 근거하면, 제주를 제외한 남해안에서는 연간 최대해일고의 특성 등에서 동해안과는 다소 다른 경향을 보여 주고 있다. 즉, 선형회귀에 의한 증가율, 연간 최대 해일고의 평균값과 최대값, 태풍의 영향 등에서 제주를 제외한 남해안이 동해안보다는 상대적으로 높게 나타난다.

제 3 장 연안 취약성 평가 관련 사례 연구

1. 연안 취약성의 개념

취약성(脆弱性)은 연할 취(脆), 약할 약(弱)을 사용하여 ‘무르고 약한 성질이나 특성’을 의미한다. 외부변화에 쉽게 변형되고 영향을 받는 특징을 의미하는 취약성은 여기에 해당하는 영어 단어인 ‘vulnerability’에도 유사하게 정의되어 있다. 사전 상에는 ‘물리적으로 또는 정신적으로 상처받을 수 있는 또는 공격이나 피해에 열려 있는(capable of being physically or emotionally wounded, open to attack or damage)’으로 정의한다.

기후변화 적응 측면에서 보면 기후변화라는 외부 요인에 대해 우리가 사는 사회라는 시스템이나 자연계가 얼마나 쉽게 영향을 받는지를 확인하는 취약성 검토는 매우 중요한 과정이라 할 수 있다. 기후변화 관련 연구에서도 취약성은 <표 3-1>과 같이 다양하게 정의한다.

표 3-1 | 취약성에 대한 정의의 비교

기관명	용어	정의
IPCC	vulnerability	기후 다양성과 극한 기후 상황을 포함한 기후변화의 역효과에 대한 한 시스템의 민감도, 또는 대처할 수 없는 정도
UNDP	vulnerability	기후 변동이나 스트레스에 대한 노출과 이에 대한 대처, 회복, 적응능력에 따른 노출 단위의 위험에 대한 민감도
	socio-economic vulnerability	일정 범위의 유해한 변동에 대한 환경적, 사회적, 경제적, 정치적 노출을 통합하는 인간의 복지수준을 총체적으로 측정하는 수단
UK CIP	vulnerability	- 특정 위험상황에서 야기되는 손해의 범위를 뜻함 - IPCC의 정의를 바탕으로 하며, 취약성은 시스템의 민감도뿐 아니라 적응능력에 의해서도 결정됨

| 표 3-1 | 취약성에 대한 정의의 비교(계속)

기관명	용어	정의
UNFCCC	vulnerability	사회, 인구, 생물종, 생태계, 지역, 농업시스템이나 그 외 다른 수량이 기후변화의 역효과에 민감한 정도, 또는 대처할 수 없는 정도
UN/ISDR	vulnerability	물리적, 사회적, 경제적, 환경적 요소나 과정에 의해 결정되는 조건으로 위협의 영향에 대한 지역사회의 민감성을 증가시킴
Australian Greenhouse Office	vulnerability	- 자연계와 인간 사회가 기후변화, 다양성, 극한 기후상황의 부정적 영향에 대처할 수 없는 범위 - 시스템이나 사회의 민감도, 적응능력뿐만 아니라 기후변화에 의해서도 좌우됨

자료 : 한화진(2006)에서 재인용

IPCC(2001)에서는 취약성의 개념을 기후변화 적응전략의 틀에서 제시하였다. 취약성을 기후변화의 영향, 예를 들어 기후변동이나 극한사상의 부정적 영향에 대해 영향을 받기 쉬운 또는 대응하지 못하는 정도로 정의하였다. 특히 취약성을 ‘어떤 한 계(system)가 노출된 기후변동의 특성(character), 크기(magnitude), 속도(rate) 변동에 영향을 받는 시스템의 민감도(sensitivity), 그리고 그 시스템이 가지고 있는 적응능력(adaptive capacity)의 함수’로 정의했다.³⁾ 여기서 민감도⁴⁾란 국어적 의미와 유사한데 ‘어떤 한 계가 기후와 관련된 부정적 또는 긍정적 영향을 받는 정도’를 의미한다. 그 영향은 기온변화에 따라 달라지는 농산물 수확량의 변화와 같은 직접적인 경우도 있고, 해수면 변동에 따라 해안가 해수 범람의 횟수가 늘어나면서 발생하는 피해

3) The degree to which a system is susceptible to, or unable to cope with, adverse effects of climate change, including climate variability and extremes. Vulnerability is a function of the character, magnitude, and rate of climate variation to which a system is exposed, its sensitivity, and its adaptive capacity(IPCC, 2001).

4) Sensitivity is the degree to which a system is affected, either adversely or beneficially, by climate-related stimuli. The effect may be direct (e.g., a change in crop yield in response to a change in the mean, range, or variability of temperature) or indirect (e.g., damages caused by an increase in the frequency of coastal flooding due to sea level rise).

와 같은 간접적인 경우도 있다.

$$\text{취약성} = f((\text{시스템이 노출된 기후변동의 특성/크기/속도}), \text{민감도}, \text{적응능력})$$

..... IPCC(2001)

적응능력은 어떤 양식이나 과정, 구조의 조정을 통해 기후변화로 인한 잠재적인 피해를 줄이거나 또는 이를 거꾸로 기회로 이용할 수 있는 역량을 말한다. 노출도는 기후위험(climatic hazards)에 대한 시스템이 얼마나 노출되었는지를 의미한다. 따라서 이런 개념적 틀에서는 매우 취약한 시스템이란 보통의 기후 변화에 대해서도 매우 민감하게 반응하고 대응능력이 제한되는 경우를 말한다. 반면 레질리언스(resilience)는 취약성과 대척점에 자리매김할 수 있는 개념으로 어떤 변화에 민감하지 않고 또는 그 변화에 충분히 대응하는 경우를 말하게 된다.

IPCC의 기후변화 3차 보고서(2001)에서 정의한 취약성의 개념은 여전히 4차 보고서(IPCC, 2007)에서도 유지된다. 다만 노출(exposure)에 대하여 혼동의 여지가 있어 명확할 필요가 있다. IPCC(2001)에서 용어 설명(glossary)을 통해 취약성의 개념을 위와 같이 정의하고 있기는 하지만, 평가 보고서의 본문에서는 기후변동의 크기나 속도와 같은 부분을 ‘노출의 정도(degree of exposure)’로도 표현한다. 예를 들어 햇볕에 노출되었다고 하면, 피부에 영향을 준 햇볕에 관심이 있다고 하기보다 노출된 피부를 강조한 것으로 혼동하기 쉽다. 그러나 취약성의 개념에서는 어떤 계가 노출된 영향의 크기나 속도에 관심이 있기 때문에, 기후변화 취약성 개념에서 노출은 영향의 종류와 크기, 속도 또는 빈도를 중심으로 고려하여야 한다. 이는 취약성과 관련한 국내 일부 연구에서도 관련 개념을 정의할 때 혼란이 있는 부분으로 이 연구에서는 노출의 개념을 보다 명확하게 바로잡는다.

IPCC(2007)에서도 취약성이나 민감도에 대한 개념은 동일하나 이에 대

한 적용의 측면에서 보다 심도 있는 검토가 이루어졌다. 해수면 상승의 경우만 해도 전 지구적으로 그 상승률이 제시되어 있기는 하지만 전 세계적으로 해안에 따라 그 상승률은 매우 다르다. 우리나라만 해도 앞서 2장에서 확인한 것과 같이 서해안은 연간 2mm 남짓한 상승률을 보인 것에 반해 제주를 비롯한 남해 연안은 전 세계 평균 해면 상승률인 연간 3.1mm를 상회한다.

또한 같은 해수면 상승률이 나타난다고 하더라도 연안 시스템이 가지고 있는 지질학적, 해양학적, 또는 생물학적인 과정이나 특성이 다르다면 전혀 다른 영향을 받게 된다. 쉬운 예로 연안의 지질학적 또는 지형학적 차이를 가정해 보면, 평평한 모래해변이 직벽에 가까운 단단한 암반해안보다 동일한 해수면 상승에 대해 더 큰 영향을 받을 수밖에 없다. 또한 동일한 강도의 폭풍해일이 외해에서 연안으로 몰려온다고 하더라도 해안의 지형에 따라 해일고가 더 높아지거나 또는 낮아지기도 한다. 혹은 해안침식에 결정적인 영향을 미치는 폭풍해일이 해안에 따라 발생 빈도가 다를 수도 있고, 또 발생 빈도가 비슷하다 하더라도 바다로 공급되는 육지의 퇴적물 양에 따라 해안 침식의 양상도 달라질 수밖에 없다. 이처럼 연안이라는 시스템은 동일한 민감도와 노출, 적응능력이 있다고 가정하기도 어려울 뿐만 아니라 해수면 상승과 같은 변화 자체의 크기 역시 다양하게 나타나기 때문에 취약성 평가에 고려할 중요한 요소이다.

취약성의 개념을 연안지역(coastal zone)에 적용하기 위해서는 개념적으로 해수면 상승 등 기후변화의 영향을 받는 시스템인 연안을 그 대상으로 삼는다. 연안은 해변이나 사구, 해안림, 맹그로브, 산호지대 등의 자연환경은 물론, 연안에서 활동하는 사람에 의해 만들어진 사회경제적 환경, 도로, 도시, 거주지역, 배수시스템 등 모든 활동이나 구조물로 이루어져 있다. 연안이라는 자연 시스템과 사회시스템에 해수면 상승이라는 변화가 연안에 어떤 영향을 만들어 내는지는 연안이 가지고 있는 민감도와 노출도 모두의

영향을 받는다고 할 수 있다. 특히 그 영향은 연안별로 지역적으로 매우 다르기 때문에 취약성을 평가할 때는 공간특이성(site-specific)에 대해 주목하여 접근하여야 한다.

취약성이라는 함수를 들여다보면 함수를 구성하는 요인 중 변화의 크기, 민감도, 노출도는 변하지 않는 상수(常數)에 가깝다. 해수면이 상승하는 변화 자체는 연안이라는 시스템의 입장에서 통제하거나 조절할 수 있는 인자가 아니다. 취약성을 보려는 개별 해안에서 과거에 관측되고 또 적절한 과학적 연구에 따라 예측되는 상승률은 해안별로 주어지는 값이다. 또한 기후변화에 따른 연안의 민감도나 노출도 역시 해안 지형의 변화라든가 도시계획의 수정에 따라 도시구조가 변한다거나 하는 특별한 경우에 한해 달라질 수 있기는 하지만, 대개 쉽게 바뀌기 어려운 특성을 가지고 있다. 하지만 연안 시스템이 기후변화에 대응할 수 있는 적응능력은 변수(變數)로서 갖는 특성이 더 크다. 앞으로 나타나게 될 기후변화의 정도나 속도에 따라 대응하는 노력을 더하거나 덜할 수도 있고, 혹은 사회구성원의 기후변화에 대한 인식 수준에 따라 적응능력은 얼마든지 달라질 수 있기 때문이다. IPCC(2007)에서도 그동안 기후변화 취약성을 고려하는 과정에 인간의 대응 능력에 대한 인식과 고려가 부족했다는 점, 특히 다발적으로 발생하는 여러 비기후적인 외부 스트레스에 의해 대부분의 연안 자연 시스템에 미치는 기후변화의 영향이 더욱 심화된다는 점을 지적하고 있다. 문제는 기후적 요소에 더해 비기후적 요소에 의한 문제의 악화가 20세기보다 21세기에 더욱 심각해질 전망이다라는 것이다. 다음 표에서는 사회적인 문제들로 기후변화의 문제가 더욱 심각해지고 확대되는 연안지역을 확인할 수 있다.

| 표 3-2 | 사회적 취약성이 나타나는 문제 연안

지배적인 요인	사례 지역
추가적인 방벽(barriers)을 통한 적응	베니스, 아시아대형 삼각주, 뉴올리언즈
지반 침하 또는 자연방어시스템 약화	미시시피, 나일강 삼각주, 네덜란드, 지중해, 몰디브
수온 상승의 악영향 경험지역	산호초, 북극, 남극 반도
폭풍해일에 노출된 범람원	벵갈만, 멕시코만, 카리브해, 북해, Plata/Parna 삼각주
기후변화에 따라 담수가 감소한 연안	서아프리카, 서호주, 환초(環礁), 소도시
관광 중심의 경제에 악영향	카리브해, 지중해, 플로리다, 태국, 몰디브
내륙으로의 이동이 제한된 취약 연안	이미 개발된 하구 지역, 방글라데시 등

자료 : Yohe and Tol(2002)

사회적인 취약성은 대체로 경제 발전의 수준에 많이 좌우된다고 한다 (Yohe and Tol, 2002). 개발도상국이나 미개발국가 역시 연안 저지대에 살고 있는 사람들을 보다 안전한 곳으로 옮기고 싶은 사회적인 의지 또는 방향성을 가지고 있지만 재정적인 여력이 없기 때문에 이들 저개발국가의 사회적인 취약성은 동일한 연안 조건을 갖는 기개발국가에 비해 더욱 열악할 수밖에 없다. 따라서 개발수준에 대한 고려는 단지 온실가스의 배출을 평가하는 데만 중요한 요소일 뿐만 아니라 적응능력을 평가하는 데 있어서도 근본적인 요소가 되어야 한다. 경제적인 여유와 기술에 대한 접근 용이성은 적응능력을 향상하는 데 도움을 주는 반면, 빈곤은 이런 적응 조치를 택하는 데 걸림돌이 되기 때문이다.

2. 평가모형의 개념 틀

해수면 상승이라는 외적인 환경변화 요인이 등장하면서 연안이라는 환경은 다양한 영향을 받게 된다. 환경에 변화를 주는 요인이 무엇이며 그 정도는 얼마인지, 그리고 그 변화에 환경이 어떻게 영향을 받는지를 평가하는 것은 변화의 원인이나 영향을 받는 환경의 다양한 특성만큼 복잡할 수 있다. 때로는 환경변화의 원인과 결과를 수치로 정량화할 수 있는 반면, 그렇지 못한 경우도 많다. 예를 들어 해수면이 상승한 정도나 영향을 받는 토지의 면적이나 인구는 어느 정도 예측을 수치로 표현할 수 있다. 하지만 해당 연안에 해수면 상승과 관련한 대책이 강구되어 있는지, 또 마련되어 있는 대책이 효과적으로 역할을 수행하는지에 대한 평가는 정량적으로 평가하기에 한계가 많다. 이 절에서는 해수면 상승에 대한 연안지역의 취약성 평가를 위하여 활용 가능한 평가모형을 살펴보고 시사점을 통해 새로운 평가모형의 구상 필요성과 주안점을 확인하고자 한다. 이를 위해 전 세계적으로 환경문제에 관한 평가틀로 제시되어 있는 PSR 평가모형과 노출-민감도 모형을 개념 수준에서 분석하고자 한다.

1) PSR 및 DPSIR 평가 개념 모형

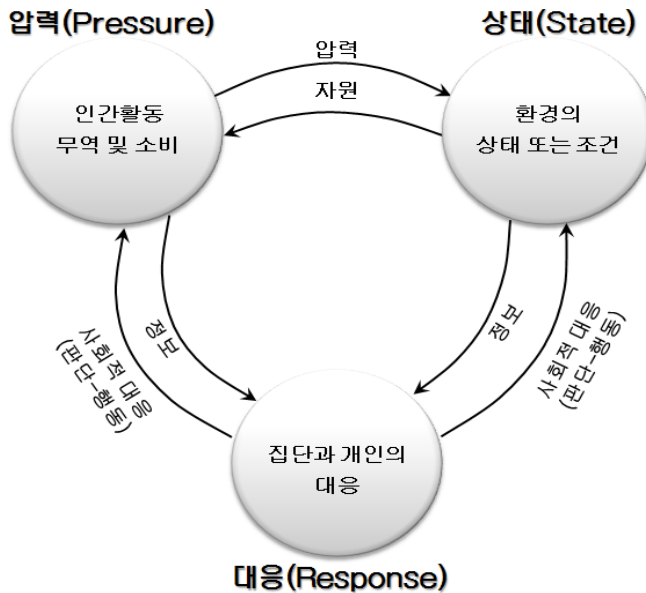
(1) 모형의 개념 및 구성요소

환경변화에 대한 정보는 다양하고 그 표현방법도 일괄적이지 않다. OECD와 UNCSD와 같은 국제기구 등에서는 지구의 환경변화에 대한 많은 정보들을 해석하고 이를 통해 환경변화를 평가하기 위해 다양한 노력을 기울였다. 그중 하나가 OECD가 개발한 압력(Pressure), 상태(State), 대응(Response)으로 구분하여 해석하는 PSR 평가모형이다(OECD, 1993). OECD

의 PSR 평가모형은 환경에서 얻은 정보를 구조화하고 분류하는 개념적인 틀을 제공하는데, 기본적으로 원인과 결과, 즉 인과관계에 주목하여 정책 결정자나 대중이 환경과 경제, 그리고 다른 관련 문제들이 서로 어떻게 연계되는지를 보고자 한다. 1990대 초에 개발된 PSR 평가모형은 사실 앞서 개발되어 있던 ‘stress-response’ 모형에서 발전된 형태이다. 기존 모형이 특정한 스트레스와 환경변화, 사회적인 대응을 일대일로 대응시키려고 노력한 반면, OECD의 PSR 모형은 인간활동과 환경상태 간의 관계를 특정화하기보다는 다양한 인간활동과 환경변화를 압력(P)과 상태(S), 대응(I)이라는 세 분야로 구분하여 살펴본다는 데 의의가 있다.

그림과 같이 세 개의 구성요소로 이루어진 모형을 살펴볼 수 있는데, 우선 압력요인(pressure)은 인간의 활동이 대상이 된다. 인구 증가나 소비, 빈곤, 에너지, 교통 등의 인간활동은 모형상에서는 압력요인이기는 하나, 사실 정책적 관점에서는 환경문제를 해결하는 시작점으로 간주되기도 한다. 상태요인(state)은 압력요인의 결과로 나타난 환경상태를 의미한다. 여기에는 대기의 질이나 토지의 훼손, 삼림 황폐화 등의 환경상태가 대상이 되는데, 이는 다시 인간의 번영이나 복지수준에 영향을 주는 요인이 된다. 예를 들어 토지가 훼손되면 식량생산이 감소하고, 이를 메우기 위해 식량 수입은 증가한다. 그러나 수입마저 어려운 경제적 형편이라면 훼손된 토지에서 나는 식량에 의존하던 상당수의 인구는 영양부족 상태를 겪을 수밖에 없다. 따라서 환경상태를 이해할 때는 이에 따른 간접적인 영향도 고려하여야 하고, 환경상태를 나타내는 지표는 압력요인에 영향을 받는 것을 대상으로 하고 동시에 압력요인을 개선하는 효과를 낼 수 있는 지표로 선정되어야 한다. PSR 평가모형에서 대응요인(response)은 개인적 또는 집단적인 차원에서 사회가 취한 행위와 관련된다. 따라서 대응요인으로 꼽을 수 있는 대상은 환경에 미치는 부정적인 영향을 방지·완화하거나, 현재의 피해를 복구하거나 또는 자연자원을 보전하기 위한 대책 등이 해당된다. 따

라서 대응요인에는 정규적인 대응책이나 환경 또는 조사비용, 여론이나 소비자 선호, 관리전략의 변경, 환경정보의 제공 등 대상의 폭이 넓다. 따라서 대응요인은 압력요인에 영향을 줄 수 있는 것으로 선정되어야 하고 동시에 환경의 상태를 나타내는 지표에도 영향을 줄 수 있어야 한다.

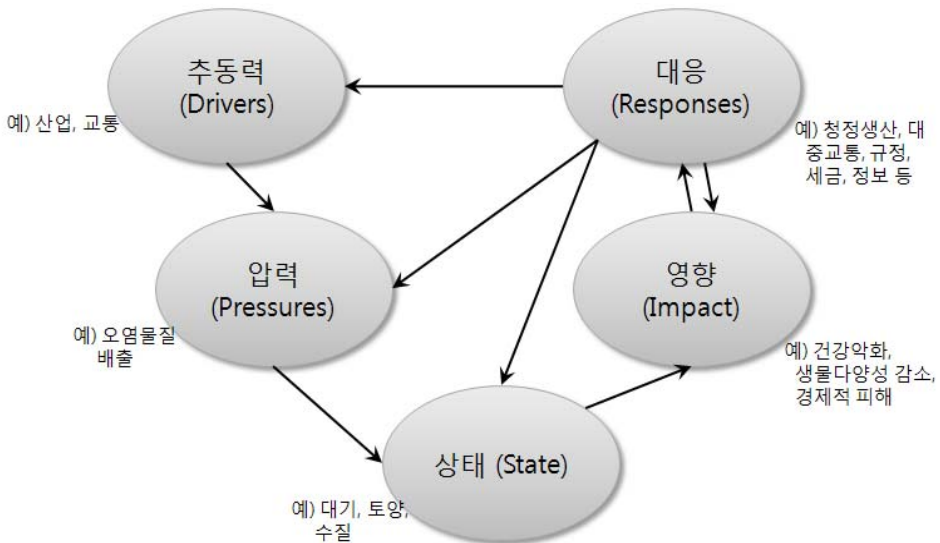


| 그림 3-1 | PSR 평가모형의 구성

인간활동에 따른 환경상태와 대응을 일련의 순환구조로 파악한 PSR 평가모형은 복잡한 환경에 관한 정보를 인과관계에 근거해 구조적으로 파악했다는 측면에서 의미가 있다.

PSR 모형이 1990년 초반 처음 제안된 후 평가하려는 주제의 목적에 따라 몇 가지 개선된 형태의 분석틀로 발전하기도 했다. 압력요인 대신 추동력(driving force)요인을 쓴 DSR 평가모형이나 PSR에 추동력과 영향(impact)을 삽입한 DPSIR 평가모형이 여기에 해당된다(OECD, 1996). 유럽 환경청(European Environmental Agency, EEA)에서 유럽환경상태보고서(EEA, 1998)

를 작성하는 데 활용되기도 했던 이 모형은 정책 결정자가 환경상태에 대한 정책적 대응을 유도하고 정책 결정에 따른 영향을 보여 준다는 점에서 앞서 PSR 평가모형보다 우수하다고 평가되기도 한다. 평가모형에서 새로 도입된 추동력요인(D)은 사회적이거나 경제적인, 그리고 제도적인 지표를 추가하여 압력요인(P)을 좀 더 정확하고 명확하게 표현하기 위해 도입되었다. DPSIR의 경우 압력요인이 보다 직접적으로 환경상태에 영향을 주는 요인이라면 추동력은 그 압력요인이 존재하게 만든 근본적인 원인에 해당된다. 예를 들어 차량이나 산업활동으로 배기가스로 대기 상태가 악화되었다면, 배기가스 배출은 압력요인(P), 대기상태는 상태요인(S)으로 분류한다. 이때 배기가스가 존재하게 하는 근본 원인인 교통이나 산업은 추동력(D)에 해당한다. 또 악화된 대기상태(S)는 그 안에서 숨을 쉬고 살아가는 사람의 건강이나 생태계에 악영향(I)을 미치게 되는데, 이는 영향인자(impact)에 해당한다. PSR 평가모형과 마찬가지로 대응인자(R)는 이에 따른 정책적 수단(규정, 정보, 세금 등) 등이 해당된다.



| 그림 3-2 | DPSIR 평가모형의 구성

PSR 평가모형과 마찬가지로 추동력(D)과 영향(I)이 추가된 DPSIR 평가모형 역시 환경문제의 원인과 결과 간의 관계를 기술하는 데 유용하다. 두 평가모형 모두 인과관계에 주목하여 구성인자를 체계적으로 구분하기는 하나, 평가모형 각 요소간의 연결고리에 보다 집중하여 이들의 관계를 파악하는 것은 매우 중요하다. 즉, 추동력(D)과 압력요인(O) 간의 관계를 경제적 활동의 차원에서 파악하면 그 관계는 어떤 기술이나 시스템이 가지고 있는 생태효율(eco-efficiency)⁵⁾의 함수로 볼 수 있다. 생태효율이 향상되면 더 많은 추동력요인(D)이 존재하더라도 더 적은 압력요인(P)으로 나타날 수 있다. 예를 들어 어떤 화학물질을 배출하는 정도는 관련 경제활동의 정도와 대상 물질의 배출계수(emission factor)의 함수이다. 여기서 배출계수는 기술의 영향을 받게 되기 때문에, 어떤 나라나 지역에서는 처리기술 수준의 차이로 경제활동의 크기와 다르게 과도한 배출 또는 적은 배출이 나타날 수 있다. 마찬가지로 영향(I)과 상태요인(S) 역시 시스템이 가지고 있는 수용능력(carrying capacities)이나 임계수준(threshold)에 좌우된다. 또한 사회적 대응(R) 수준은 영향(I)을 어떻게 인식하고 평가하느냐에 달려 있고, 추동력(D)에 대한 대응(R)은 대응책이 가지고 있는 효율성에 좌우된다.

| 표 3-3 | DPSIR 평가모형의 구성요소

인 자	내 용	예
추동력 (driving forces)	의식주와 같은 수요(need) · 산업적 측면에서는 이윤과 낮은 비용 · 국가적 측면에서는 실업률 감소 · 거시경제학에서는 생산과 소비 과정	· 인구(수, 연령구조, 교육수준 등) · 교통(사람, 물자, 도로 등) · 에너지 사용 · 발전소, 산업, 농업, 정유/광업 · 수처리 체계, 토지이용 등 · 비산업부문

5) 생태효율이라는 개념은 1992년 지속가능발전세계비즈니스위원회(WBCSD, World Business Council for Sustainable Development)에서 제안된 개념으로 더 적은 자원으로 더 적은 오염 물질을 만들면서 더 많은 제품과 서비스를 제공한다는 개념임(WBCSD, 2000)

| 표 3-3 | DPSIR 평가모형의 구성요소(계속)

인 자	내 용	예
압력 (Pressures)	추동력의 수요를 맞추기 위한 인간활동 생산과 소비과정의 결과물로 환경에 미 치는 영향	· 환경자원의 과도한 사용 · 토지이용의 변화 · 오염물질의 배출
상태 (States)	다양한 환경부문(공기, 물, 토양 등)의 질	대기질, 수질, 토양질, 생태계, 인간건강
영향 (Impacts)	환경상태의 변화에 따른 생태계 및 인 간복지 수준의 변화	생태계 기능과 이에 따른 생 명부양능력, 인간건강에 미친 영향
대응 (Responses)	원치않은 영향의 결과에 대한 사회와 정책 결정자의 대응	교통수단의 변화 유도(개인차 량에서 대중교통), 규제(황 함 량 저감 연료) 등

출처 : UNEP(2005)

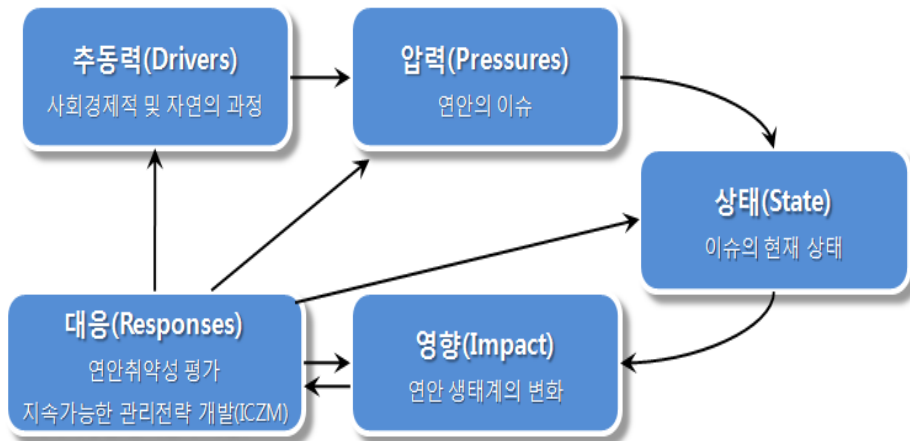
PSR 평가모형이나 DPSIR 평가모형은 모두 어떤 환경문제에 관한 원인과 대응을 구조적으로 파악하고 있다. 어떤 환경상태, 즉 문제의 원인을 직접적인 원인(P)은 물론 근본적인 원인(D)까지 심화하여 들여다봄으로써 문제 해결의 시작점을 보다 구체화하고 있다는 점이 장점이다. 문제의 상태나 현황(S)으로 인한 영향 역시 어떤 계의 임계수준 또는 수용능력의 함수라는 점을 고려하기 때문에 비록 상태와 영향이 인과관계를 가지고 있지만 단순한 선형관계가 아닌 계의 특성에 따라 다른 영향이 나타날 수 있음을 보여 주고 대응의 필요성이나 시급성도 계의 특성에 따라 달라질 수 있다는 가능성을 보여 준다.

(2) DPSIR(PSR) 평가모형의 기후변화 연안 취약성 적용 사례

연안의 취약성에 관하여 DPSIR 평가모형을 활용하여 평가한 연구가 UNEP의 주도 하에 2005년 수행된 적이 있다(UNEP, 2005). 이 연구는 전 세계의 연안에 대한 다양한 모니터링 자료를 취합하여 재해에 노출된 정도와 대응능력을 평가하여 세계 각국 연안의 취약성 지수를 도출했다. 이 연구

에서는 전 지구적 수준에서 연안 취약성을 평가하기 위한 분석틀로 DPSIR 평가모형을 활용했다. PSR 평가모형이 주로 인간의 활동에 따른 환경문제, 환경문제에서 인간이 만들어 낸 원인과 그 결과에 주로 주목하는 한계를 가지고 있는 반면, DPSIR 평가모형은 자연환경의 변화 과정도 추동력(D) 인자에 포함시킴으로써 해수면 상승이나 기후변화와 같은 자연환경의 변화도 포함할 수 있기 때문이다.

UNEP의 연구는 공간적으로 전 세계의 연안을 대상으로 삼고 있다. 따라서 일부 자료는 가용하지 않거나 가용하다 하더라도 불완전한 경우가 많다. 또한 전 세계적인 평가를 위해 대상이 되는 자료를 임의적으로 구분하여 등급화하는 경우도 있다. 그러나 이 연구에서는 연안의 취약성에 대한 평가방법으로 DPSIR 평가모형을 활용했다는 점에 의의를 가지고 자료의 부족이나 평가인자의 등급화에 대한 논리적 해석보다는 전체 평가과정의 개념적 틀에 주목하여 분석하는 것이 바람직하다.



| 그림 3-3 | DPSIR을 활용한 연안 취약성 평가모형

UNEP이 연안 취약성을 평가하기 위해 활용한 DPSIR 평가모형에서 각 인자에 포함된 평가요소는 다음과 같다. 우선 추동력(D)에는 연안지역의

증가하는 인구와 토지 이용, 토지피복의 양상, 그리고 연안 도시의 성장은 모두 연안 자원에 대한 수요 증가와 함께 연안 생태계의 훼손으로 귀결된다. 환경적 요소로는 주로 자연재해와 기후변화와 관련된 인자인 폭풍에 대한 노출과 파고와 조석파의 증가, 해수면 상승이 인자로 포함되었다.

추동력에 영향을 받는 압력인자(P)는 연안의 인구 집중, 연안도시의 성장, 연안 관광, 도시화에 따라 발생한 문제점들을 주로 다룬다. 여기에는 연안의 인구밀도나 성장률, 연안도시와 같은 지표를 포함하였다. 상태 인자(S)는 관찰이 가능한 변화와 관련되는데, 인구분포나 밀집된 연안도시, 지구 대기온도와 해수면의 상승과 같은 현 상태를 보여 주는 지표를 포함하여 생물학적 핵심구역(hotspots)의 변화 등이 대상이 된다. 이런 변화는 연안 지역사회나 연안의 민감한 생태계에 심각한 영향(I)을 미친다. 즉, 변화된 환경에 의한 영향으로 이는 토지이용이나 연안의 녹지면적의 변화나 습지의 훼손, 갯녹음, 염해(鹽害), 폭풍활동의 강화, 수질 오염, 해빈 훼손, 해안 침식 등의 형태로 나타난다. 최종적으로 이런 일련의 문제에 대한 대응(R)은 정책 결정자들이 선택하는 정책수단이나 전략은 물론, 중요 문제에 대한 인식 증진을 위한 연구 등도 해당된다. 이는 대응에 있어 어디가 어떻게 취약한지를 아는 것이 첫 번째 과정이고 이를 통해 다양한 정책수단, 예를 들어 보호구역을 통한 연안의 중요생태계를 보전한다거나 주거지역의 확대를 제한하는 것, 또는 온실기체에 세금을 부과하는 것, 연안의 자연자원을 지속가능하게 이용하는 것 등이 모두 해당한다. 특히 연안통합관리(ICZM)는 이런 연안의 문제를 해결하는 데 가장 포괄적이고 조율된 정책적 틀로 알려져 있다. 연안의 취약성을 평가하기 위한 UNEP(2005)의 연구에서 DPSIR 평가모형의 각 인자에 해당하는 지표(indicators)는 다음 표와 같다.

| 표 3-4 | 연안 취약성에 대한 DPSIR 평가모형 구성인자

인 자	지 표	비 고
추동력 (Driving forces)	- 인구 - 연안도시 - 폭풍, 해일, 해수면 상승 노출도	인구는 “전체 인구 중 연안에 사는 인구 비율/전체 국토 면적 중 연안면적”을 지표로 하여 1을 기준으로 한다
압력 (Pressures)	- 인구밀도와 성장률 - 연안도시	연안(<100km) 인구밀도 87명/km ² , 내륙 23명/km ² 전 세계 10만 이상 연안도시 260개(전 세계 도시의 절반)
상태 (States)	- 토지피복과 토지이용도 - 생물다양성 핵심구역(hotspots) - 산호지대와 맹그로브 - 지구온난화 - 폭풍강도 강화와 피해인구 - 연안역의 지리적 노출(저지대)	Conservation International이 선정한 25개 핵심구역의 면적 중 보호구역으로 보호받고 있는 비율 해발고도 50m 이하의 면적 또는 해안(해안선/국경길이)
영향 (Impacts)	- 해수면 상승 - 소규모도서, 하류 삼각주	-
대응 (Responses)	- 보호구역 면적 - 연안통합관리의 이행 여부	-

출처 : UNEP(2005)

UNEP의 DPSIR 평가모형은 연안 취약성을 위한 구성인자를 구분하고 관련 정보를 각각 지도로 보여 주고 있기는 한데, 실제 취약성은 IPCC-CZM(1990)에서 제안된 방법을 차용하고 있다. 또한 취약성에 대해 재해에 영향을 받기 쉬운 인구나 생태계로 이 영향을 대응할 수 있는 인구나 생태계의 역량에 의해 완화될 수 있는 것으로 정의했다. 따라서 취약성은 재해에 노출된 인구와 영향에 적응하거나 완화할 수 있는 능력의 함수로 이해했다. 이를 위해 함수 내 독립변수 각각을 대표하는 지표(indicator)를 선정하는 작업과 이를 연산을 통해 어떻게 최종적으로 연안 취약성지수(Coastal Vulnerability Index : CVI)를 산정하는 작업으로 구분된다.

$$\text{연안 취약성(Coastal Vulnerability)} = f(\text{재해노출, 인구밀도, 대응역량})$$

지수 계산을 위하여 재해노출에는 연안의 인구밀도와 과거 100년간 발생한 자연재난의 횟수(세계자연자해 데이터베이스⁶⁾ 참조), 연안의 식생대 또는 녹지면적의 비율, 지리적 노출은 연안 면적에서 해발고도 50m 이하 저지대 면적비율과 각국의 국경길이 대비 해안선 길이의 비율값을 사용했다.

대응역량(coping capacity)과 관련된 지표로는 UNDP에서 개발한 인간개발지수(Human Development Index : HDI)⁷⁾를 활용했다. 이는 교육수준이 높고 소득이 높으면 일반적으로 현대적인 사회기반시설과 통신에 대한 접근성이 더 나은 거라는 판단에서 포함된 지수로 그 값은 0과 1 사이에서 나타나고, 매년 국제연합개발계획이 국가별로 산정하여 발표한다.

최종적으로 UNEP(2005)의 연안 취약성 산정에 포함된 지표는 총 5개로 인구밀도, 자연재해 발생가능성, 식생대 면적, 지리적 노출도, 인간개발지수로 이들은 각각 값의 크기가 다르기 때문에 하나의 지수로 표현하기 위해 각각의 지수를 0과 1 사이의 값을 갖도록 표준화하고, 이들을 연산한 연안 취약성지수(CVI) 결과 역시 같은 방식의 표준화⁸⁾를 통해 0에서 1 사이의 값으로 표현한다.

6) the World Natural Disaster Database.

7) 흔히 삶의 질 지수라 불리는 HDI는 국제연합개발계획(UNDP)이 매년 각국의 교육수준(성인 문자해독률, 취학률)과 국민소득, 평균수명 등을 조사해 인간개발 성취 정도를 평가하는 지수(이현재, 2006).

8) 표준화는 최대값과 최소값의 차를 분모로 하여 조사값과 최소값의 차를 분자로 하여 계산함[(조사값-조사값의 최소값)/(최대값-최소값)].

취약성(Vulnerability) = f [(PD)+(ND)+(1-FC)+(GE)-(HD)]

PD : 인구밀도(population density)

ND : 자연재해발생의 고확률(high probability of natural disaster incidents)

1-FC : 비 녹지대의 면적비(low forest cover)

GE : 지리적 노출도(geographic exposure)

HD : 인간개발(human development)

UNEP(2005)의 평가결과, 평가대상 연안국가의 83.9%는 보통(moderate)의 취약성으로 평가되었으나, 방글라데시, 중국, 인도, 필리핀, 몰디브, 아프리카의 세이셸 제도(Seychelles) 6개국은 취약성이 높은 국가로 분류되었다.

표 3-5 | UNEP(2005) 취약성 평가결과 요약

	취약성 평가 등급 비율(%)						비 고
	낮음		보통		높음		
선진국	13%	3국	87%	20국	0%	-	총 23국
개발도상국	12.3%	9국	82.2%	60국	5.5%	4국	총 73국
소규모도서국	0%	-	87.5%	14국	12.5%	2국	총 16국
총 합	10.7%	12국	83.9%	94국	5.4%	6국	총 112국

(3) DPSIR(PSR) 평가모형의 연안 취약성 적용의 시사점

DPSIR 평가모형이 PSR 평가모형에 비해 평가하는 인자를 좀 더 세분하고 구체화하고 있기는 하나 두 모형 모두 인과관계를 통해 문제를 구조적으 파악한 점은 공통적이다. 이 두 평가모형의 개념적인 원리를 본 연구의 주제인 해수면 상승에 따른 연안지역 취약성에 대한 평가에 적용하려 했을 때 몇 가지 측면에서 유용한 의미와 자료해석의 가능성을 제공한다.

즉, 우선 해수면 상승을 압력요인(P)으로 하고 이를 있게 한 추동력(D)을 산업활동에 따른 온실가스의 증가로 볼 수 있으며, 해수면 상승에 따른 연안지역 범람을 상태(S)로, 이에 따른 경제활동의 부정적 영향을 영향요인(I)으로 구분할 수 있다. 이에 따라 대응(R) 역시 추동력을 줄이는 온실가스 저감정책(mitigation)으로, 그리고 압력요인 또는 영향요인을 줄이기 위한 기후변화 적응정책(adaptation)으로 분류할 수 있다. 이는 저감정책과 적응정책이 별도의 정책 수단이 아닌 기후변화라는 환경변화에 대응하기 위해 결합할 수 있는 정책수단이라는 점을 보여 주는 좋은 예가 된다.

그러나 해수면 상승에 따른 연안 취약성을 평가하는 데 PSR 평가모형 내지 DPSIR 평가모형을 적용할 때 해석의 한계가 오는 지점이 바로 상태인자(S)이다. 비록 온실가스 증가, 해수면 상승, 연안 범람지역의 확대, 적응정책의 도입 등 일련의 인과관계가 DPSIR의 평가모형에 따라 분류될 수 있기는 하나 취약성과 관련된 어떤 인자가 상태인자(S)로 분류될지를 판단하기는 쉽지 않다. 이는 취약성이 가지는 확률론적 특성 때문이다.

또한 이 연구의 취약성 평가가 PSR 평가나 DPSIR 평가와 다른 점은 현상의 원인에 해당하는 인자가 해수면 상승 및 해일고 증가와 같은 자연현상이라는 점이다. PSR 평가에서는 자연상태에 영향을 주는 사회경제적 요인을 압력인자나 추동력인자로 해석한다. 이러한 해석은 대응을 하는 데 있어 그 원인인 사회경제 활동에 영향을 줄 수 있다는 것을 가정한 것이다. 그러나 적응의 관점에서 해수면 상승을 바라보면 다소 복잡해진다. 물론 최근의 지구온난화가 사람에 의한 이산화탄소 배출이라는 인위적인 원인에 의한 것이고, 이는 결국 저감(mitigation)을 통해 이산화탄소를 줄이고 온난화 속도를 낮추어 해수면 상승이 줄어드는 과정을 거칠 수도 있지만, 적응(adaptation)의 관점에서는 현재의 인간 활동을 제어함으로써 단기간에 해수면 상승 자체에 영향을 주기 어려운 특성이 있다. 설혹 온실가스 배출량을 획기적으로 줄인다고 하여도 그 영향이 기온이나 해수면의 높이에 직접적

으로 나타나기에는 시간적인 지연(lag)이 존재하기 때문이다.

이처럼 해수면 상승의 원인인 지구온난화와 그 추동력인 대기 중 온실가스 증가나 화석연료 사용 증가까지 취약성 평가의 범위를 확대하기 어렵다. 취약성 평가의 공간범위가 연안에 국한되고 취약성 평가를 통해 대응의 우선순위를 꼽아 본다는 측면에서 PSR 평가구조를 그대로 활용하기에는 한계가 있다.

2) IPCC 취약성 평가 개념 모형

기후변화에 따른 영향을 평가하는 대표적인 방법으로는 IPCC(1996)가 제안한 방법이 있다. 이 방법은 기후변화의 시나리오와 모형을 통해 기후변화에 의한 순영향을 평가하는 과정을 포함하여 7단계로 이루어진다. 첫 번째 단계에서는 문제를 정의한다. 여기서 의사결정자는 기후영향평가의 목적과 대상, 평가가 이루어지는 지역, 평가 기간, 자료에 대한 조건을 정한다. 두 번째 단계에서는 기후변화의 영향을 분석할 때 사용할 기법을 선택한다. 선택한 기법의 내용과 방법, 모형, 가정을 설정한다. 이를 통해 다양한 접근법의 신뢰도와 영향평가 결과를 비교할 때 활용한다. 세 번째 단계에서는 앞서 선정한 기법의 적합성을 평가하고 검증한다. 다음 네 번째 단계에서는 기후변화 시나리오를 선택한다. IPCC는 온실가스 배출에 관한 특별보고서(Special Report on Emissions Scenario : SRES)에 따르면 총 6개의 시나리오를 가정하고 각 시나리오에 따라 앞으로 온실가스 배출이 어떻게 이루어지고, 이에 따라 미래의 기후가 어떻게 변화할지를 가정한다.

다섯 번째 단계는 앞서 검증된 기법과 네 번째 단계에서 설정한 시나리오를 통해 앞으로 미래의 기후가 어떻게 변할지를 전망하게 된다. 여기에는 대상 시스템이 자연계일 수도 있고 인간계일 수도 있다. 환경이나 인간계의 변화를 추정하는 데는 자료가 부족한 경우 정성적인 기술을 활용할

수도 있고, 정량적 자료와 분석이 가능한 경우 지표나 동태 모형을 활용하여 변화를 추정한다. 여기에는 비용편익분석이 될 수도 있고 불확실성과 위험성 분석도 포함될 수 있다.

마지막 두 단계는 시스템의 적응능력을 평가하는 단계이다. 다만 외부 변화에 대한 시스템의 즉각적이고 내재된 반응능력을 평가하고 이를 통해 잔여 영향(순영향)을 추정한다. 잔여 영향을 통해 어떤 피해가 어떻게 나타날지를 파악하고 여기에 대응하기 위한 다양한 적응전략을 검토할 수 있다.

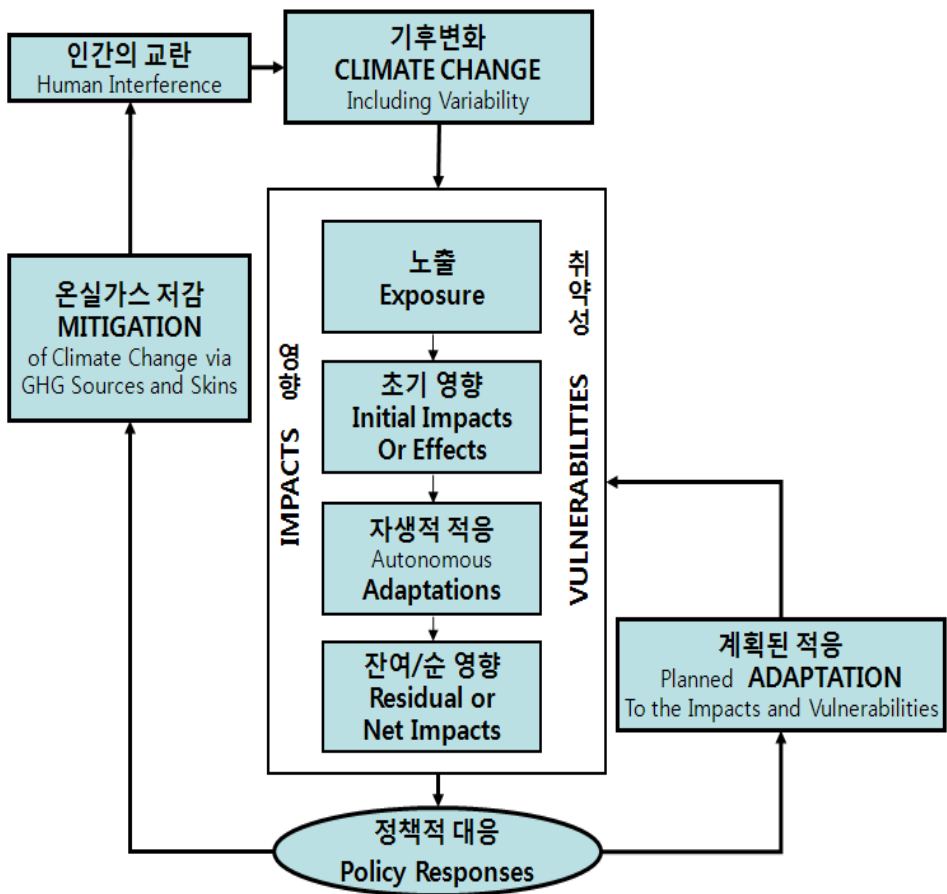
문제의 정의	• 기후변화 영향 평가의 목적과 대상
영향평가의 기법 선정	• 모의, 실험, 사례연구, 전문가 의견
기법의 적합성 평가	• 검증 및 세부목표 수정
시나리오 선택	• 온실가스 배출 시나리오 근거
시나리오의 영향 평가	• 자연계와 인간계 영향 평가
자생적 적응 평가	• 시스템에 미치는 순영향 평가
적응 전략 평가	• 예방, 감수, 이전 및 변경 등

자료 : Cater et al.(1994), 유가영(2007) 재인용

| 그림 3-4 | IPCC의 기후변화 영향평가 순서도

이를 종합하여 IPCC(2001)에서는 기후변화의 영향, 취약성, 적응 간의 관계를 그림과 같이 정의하였다. 특히 취약성을 노출도, 초기 영향, 자생적인 적응, 그리고 순영향까지를 포괄하는 것으로 봤다. 인간의 활동으로 지구 환경이 교란되고 이로 인한 기후변화의 일차적인 영향이 나타난다. 여기서 주목할 부분은 자생적 적응(autonomous adaptation)이다. 즉, 외부의 변화에 따른 영향에 대해 시스템은 그 영향을 최소화하기 위해 자생적인 적응을 한다는 점이다. 예를 들어 생물은 새로운 지역으로 이동할 수 있고 인

간은 행동방식에 변화를 준다거나 하는 방식으로 당장의 환경변화에 적응한다. 그러나 그 영향은 지속적으로 나타나기 때문에 그런 즉각적이고 시스템에 내재된 적응으로도 남아 있는 영향이 순영향, 잔여 영향이 된다. 시스템은 이 순영향에 대응하기 위해 새로운 적응을 하게 되고, 사회시스템에서는 정책적 대응을 통해 적응이 이루어진다.



자료 : Smit et al.(1999)

| 그림 3-5 | 기후변화 적응의 흐름

3. 기존 취약성 평가모형 검토

1) 미국 지질조사국의 해수면 상승에 대한 연안 취약성 평가체계⁹⁾

(1) 개요

미래의 연안환경의 변화에 대한 예측은 그리 간단치 않다. 왜냐하면 이에 대해 확실한 기준이 되는 방법론이 현재 존재하지 않으며, 이러한 예측에 결정적으로 필요한 것으로 판단되는 자료조차 그 유효성과 진위 자체에 대한 과학적 논쟁에서 자유롭지 못하기 때문이다. 그럼에도 불구하고, 연안환경의 변화를 예측하기 위해서 다음과 같은 접근방법론들이 다양하게 시도되었다(미국 국가연구위원회, National Research Council, 1990, 1995).

- 연안 침식률과 같은 역사적 데이터들의 추이를 이용하여 추정하는 보외법(補外法, Extrapolation)
- 정적 침수 모형(Static inundation modeling)
- 브룬 법칙(the Bruuns' Rule)과 같은 간단한 기하학적 모형의 응용
- 퇴적역학/수지모형의 응용
- 매개변수화된 물리적 축진인자들 기반의 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo simulation)

하지만, 이러한 접근방법론들은 자체적인 한계를 보였으며, 경우에 따라 유효하지 않는 결과를 도출하는 등 방법론으로 일반화되기에는 어려운 것들이었다.

9) USGS(U.S. Geological Survey) NACV(National Assessment of Coastal Vulnerability to Future Sea-Level Rise).

이에, 미국 지질조사국(USGS)은 기 서술한 독자적인 정량적 예측방법에서 벗어나, ‘연안의 지형학적 특징’, ‘해수면 상승율’, ‘과거 해안선의 변화’, 그리고 다른 기본적 정보들로부터 종합적으로, 해수면 상승에 기인한 연안환경의 상대적 취약성을 정량화하는 방법을 연구, 도입하였다. 아울러 현재는 물론 향후 연안지역에의 인구와 기반시설의 꾸준한 증가가 예상되고 있는 가운데, 미국 지질조사국은 ‘해수면의 상승’을 연안 전 지역의 미래 생존과 발전을 결정짓는 중요한 이슈로 파악하고 있다.

“Sea-level rise will have a large sustained impact on coastal evolution in the future and will occur as both population and infrastructure in coastal regions are projected to increase.”¹⁰⁾

(2) 변수(Variables)와 연안취약성지수(CVI)의 도출

① 연안 취약성에 영향을 미치는 인자

미국지질조사국은 점진적으로 변화하는 연안환경의 미래에 대한 물리적 대응방법의 도출 준비 단계로, 전 미국해안에 걸쳐서 해수면 상승과 관련하여 연안환경의 취약성에 영향을 미치는 주요 인자들을 다음과 같이 여섯 가지 카테고리로 분류하였다.

- 조차(Tidal range, m) 범람위험성과 밀접한 상관관계가 있는 것으로 파악
- 파고(Wave height, m) 범람위험성과 밀접한 상관관계가 있는 것으로 파악
- 연안경사도(Coastal slope, %) 홍수로 인한 범람과 해안선 후퇴에 대한 연안의 민감도와 밀접한 상관관계가 있는 것으로 파악
- 연안침식률(Shoreline erosion rates, m/yr)

10) U.S. Geological Survey, 2000, National Assessment of Coastal Vulnerability to Future Sea-Level Rise, USGS Fact Sheet FS -076 -00.

- 지형학적 특징(Geomorphology) 연안의 침식에 민감한 정도를 보여 주는 주요 척도 중 하나로 파악
- 상대적 해수면 상승의 추이(Historical rates of relative sea-level change, mm/yr) 전 지구적 해수면의 변화와 해당지역의 융기와 침강을 포함하는 조륙운동의 결과물으로써, 해당지역의 해안선 변화에 영향을 주는 주요인으로 파악

이들 여섯 가지 인자들의 개발 및 도출, 변수화 작업에는 과거 Gornitz and White(1992)의 연구에서 사용되었던 방법론이 도입되었다. 다음에서 볼 수 있듯이, 각 변수들은 해수면 상승에 기인하여 각기의 방향에서 연안의 물리적 변화에 기여할 수 있는 잠재적 중요도에 근거한 상대적 위험도를 나타낸다.

■ 조차(Tidal range, m)

‘조차의 범위’ 변수는 미국 전역의 해안선을 따라 설치되어 있는 657개소의 National Ocean Service(NOS) 검조소에서 측정된 데이터에서 얻어진 것인데, 기본적으로 조차의 범위는 침수범람위험도와 밀접한 관련이 있는 것으로 파악하고 있다.

■ 파고(Wave height, m)

‘파고’는 파도의 에너지량을 나타내기 위하여 도입된 변수이다. 파도의 에너지량은 파고의 제곱에 비례하여 증가하며, 결과적으로 파고의 크기와 연안의 퇴적물의 이동 또는 침식의 정도 사이에 강력한 함수관계가 성립이 된다고 볼 수 있다.

■ 연안경사도(Coastal slope, %)

‘연안경사도’ 변수는 보통, 연안선으로 부터 바다와 육지의 양(兩)방향으로 약 50km 정도를 범위로 하며, 이 범위에서 연장된 등고선(육지측), 등심선(바다측)의 단면도로 이루어진 그리드로부터 계산된다. 해안 평지로부터 해저 대륙붕까지의 해안경사도를 계산하기 위해서, 각 측정 단위 그리드는 최대 10km의 반경 안에서 최대고도를 갖도록 정의하고, 대륙붕단이나 대륙사면과 같이 급격한 경사를 가지는 지형이 연안 10km 이내에 있을 경우, 보다 적절한 반경을 설정함으로써 이를 보정하였다. 연안경사도는 해당 지역의 범람으로 인한 상대적 위험도뿐만 아니라, 연안선 후퇴의 잠재적 속도를 측정 가능하게 한다. Pilkey and Davis(1987)의 연구 결과에 따르면, 연안의 경사가 낮을수록 연안의 후퇴 속도가 빠르기 때문이다.

■ 연안 침식률(Shoreline erosion rates, m/yr)

‘연안 침식률’은 침식률과 퇴적률의 값으로 나타내는 변수인데, 이는 May and others(1983, 1985)의 연안정보시스템(Coastal Erosion Information System : CEIS)의 데이터에 따른 것이다. 연안정보시스템은 대서양 연안, 멕시코만, 태평양 연안과 오대호 연안 등의 주요 만(灣)과 하구 퇴적지를 포함하는 전미(全美) 지역의 연안선의 변화 데이터를 포함하고 있다. 하지만 워낙 여러 출처에서 나온 방대한 양의 자료들로 이루어져 있기 때문에, 어느 지역 침식률의 정확한 값을 도출하려면 비효율적으로 많은 작업이 필요한 단점이 있다.

■ 지형학적 특징(Geomorphology)

‘지형학적 특징’ 변수는 선택된 여섯 가지의 인자들 중, 유일하게 비수치 데이터로 이루어진다. 다음의 <표 3-6>에서도 볼 수 있듯이, 여러 가지

타입의 서로 다른 지형들을 상대적 침식도(가능성)로 나타내었다. 이는 지질도와 1:25,000의 지형도를 근거로 한 것이며, 이를 상대적 위험도에 따라 5급간으로 분류하여 변수화하였다.

■ 상대적 해수면 상승의 추이(Historical rates of relative sea-level change, mm/yr)

‘상대적 해수면 상승의 추이’는 검조소(檢潮所)에서의 연 평균치를 시간의 추이에 따라 구하여 변수화한 것으로, 이 조사에서는 미국 전역의 28개소의 National Ocean Service(NOS) data stations 자료를 기본으로 하여, 해안선을 따라 등수위선으로 나타내는 방법을 도입하였다. 유의할 점은 이 변수는 상대적 수치로서 범지구적 해수면 변화는 물론, 조류운동으로 인한 지각상승, 하강의 영향을 포함했다는 것이다. 또한, 과거 50년에서 100년 정도를 변화 추이의 관찰 대상으로 하였다.

② 연안 취약성 지표인자의 등위화

| 표 3-6 | 연안 취약성 지표인자의 등위화: 미국 대서양 연안¹¹⁾

	연안취약성 지표인자의 등위 (Ranking of coastal vulnerability index)				
	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
변수	1	2	3	4	5
Geomorphology (지형학적 특징)	Rocky, cliffed coasts, Fiords, Fiards	Medium cliffs, Indented coasts	Low cliffs, Glacial drift, Alluvial plains	Cobble beaches, Estuary, Lagoon	Barrier beaches, Sand beach, Sand Marsh, Mud flats, Deltas, Mangrove, Coral reefs

11) U. S. Geological Survey(1999), National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U. S. Atlantic Coast, Open-file report 99-593.

| 표 3-6 | 연안 취약성 지표인자의 등위화; 미국 대서양 연안 (계속)

	연안취약성 지표인자의 등위 (Ranking of coastal vulnerability index)				
	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
Coastal slope (연안경사도; %)	> 0.115	0.115~0.055	0.055~0.035	0.035~0.022	< 0.022
Relative sea-level change (상대적 해수면상승; mm/yr)	> 1.8	1.8~2.5	2.5~3.0	3.0~3.4	> 3.4
Shoreline erosion rates (연안 침식율; m/yr)	> 2.0	1.0~2.0	-1.0~+1.0	-1.1~-2.0	< -2.0
	퇴 적		안 정	침 식	
Mean tide range (평균조차 범위; m)	> 6.0	4.1~6.0	2.0~4.0	1.0~1.9	< 1.0
Mean wave height (평균파고; m)	< 0.55	0.55~0.85	0.85~1.05	1.05~1.25	> 1.25

자료 : USGS(1999)

위의 <표 3-6>에서 볼 수 있듯이 취약지수를 도출하기 위하여 기 서술한 여섯 개의 물리적 인자들을 각각 해수면 상승과 관련하여 해당지역의 연안의 취약성을 증가시키는 정도에 따라 1에서 5까지 5개 급간으로 나누었다. 여기서 1은 매우 낮은 위험도를, 5는 매우 높은 위험도를 의미한다. 이는 지수의 도출에 있어서 정량적인 정보는 물론, 정성적인 정보까지 포함한다는 의의가 있다. 수치화된 변수들은 일정한 범위의 급간에 따라 위험도 등위가 나뉘어 지수화되며, 비(非)수치 데이터인 ‘지형학적 특징’ 변수와 같은 경우 대상지형의 침식에 대한 저항의 상대적 정도에 따라 등위로 나누어 지수화된다.

여기에서 주목할 점은 선행연구들과는 반대로, ‘조차의 범위’ 변수를 지수화할 때 조차의 범위가 큰 경우(macrotidal; tide range > 4m)를 위험도가 낮은 것으로, 조차의 범위가 작은 경우(microtidal; tide range < 2.0 m)를 위험도가 높은 것으로 분류하여 등위화했다는 점이다. 이는 태풍, 해일의 연안 환경에 대한 잠재적 영향력, 그리고 조수 간만의 사이클에 맞물려 태풍이

나 해일의 영향력과 파괴력이 극대화될 수도, 전혀 없을 수도 있다는 논리에 기인한 것이다. 이에 반해 이 방식에 앞선 연구(Gornitz, 1990; Shaw et al, 1998)에서는 모두 조차의 범위가 큰 경우를 고위험으로, 조차의 범위가 작은 경우를 위험도가 낮은 것으로 분류였다. 선행연구에서는 큰 조차는 조류가 빠르고 센 것과 밀접하게 관련이 있는 것으로 보았으며, 이런 조류는 연안환경의 변화에 지대한 영향을 미칠 것으로 파악했기 때문이다.

③ 연안취약성지수(Coastal Vulnerability Index)

미국 지질조사국(USGS, U.S. Geological Survey)의 해수면 상승에 대한 연안취약성지수(CVI)는 선행연구인 Gornitz et al.(1994), 그리고 Shaw et al.(1998)의 민감도 지수(sensitivity index)와 비슷한 도출과정을 가진다. 연안취약성지수는 앞서 설명한 여섯 개의 물리적 인자들을 정량적으로 변수화하였으며, 그 결과로 얻어지는 수치들은 절대적 수치로서 의미는 없지만, 해수면 상승과 관련하여 해당지역의 상대적 취약성을 나타내는 데에 유효하다. 결과적으로 해수면 상승에 대한 연안취약성지수(CVI)는 상대적 취약성의 의미를 가지며, 다음과 같은 다음과 같은 방법으로 계산된다.

$$CVI = \sqrt{\{(a \times b \times c \times d \times e \times f)/6\}}$$

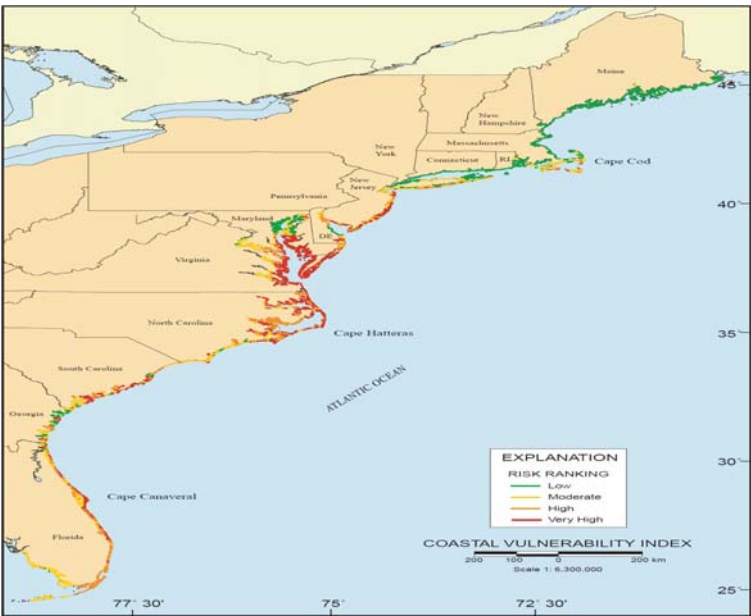
- a = mean Tidal range (평균 조차(潮差)의 범위; m)
- b = mean Wave height (평균 파고(波高); m)
- c = Coastal slope (연안경사도; %)
- d = Shoreline erosion rates (연안 침식률; m/yr)
- e = Geomorphology (지형학적 특징)
- f = Historical rates of relative sea-level change (상대적 해수면 상승의 추이; mm/yr)

④ 연안취약성지수(CVI)의 활용

위에서와 같은 방법으로, 미국 지질조사국은 전미 연안을 대서양 연안 지역, 멕시코만 연안지역, 태평양 연안지역의 세 부분으로 나누어 해당 연안 지역의 해수면 상승에 대한 연안 취약성지수를 각각 계산, 분석하였다. 이들 중, 대서양 연안지역에 대한 분석결과를 살펴보면 다음과 같다.

■ 대서양 연안¹²⁾

다음의 지도는 미국 지질조사국에서 대서양 연안의 해수면 상승에 대한 연안취약성지수를 계산, 분석한 연안취약성지수의 결과 값을 대상 지역의 지도 위에 표시하여, 미국의 대서양 연안지역의 연안 취약성을 나타낸 것이다.



자료 : USGS(1999)

| 그림 3-6 | 연안 취약성(CVI) 지도: 미국 대서양 연안

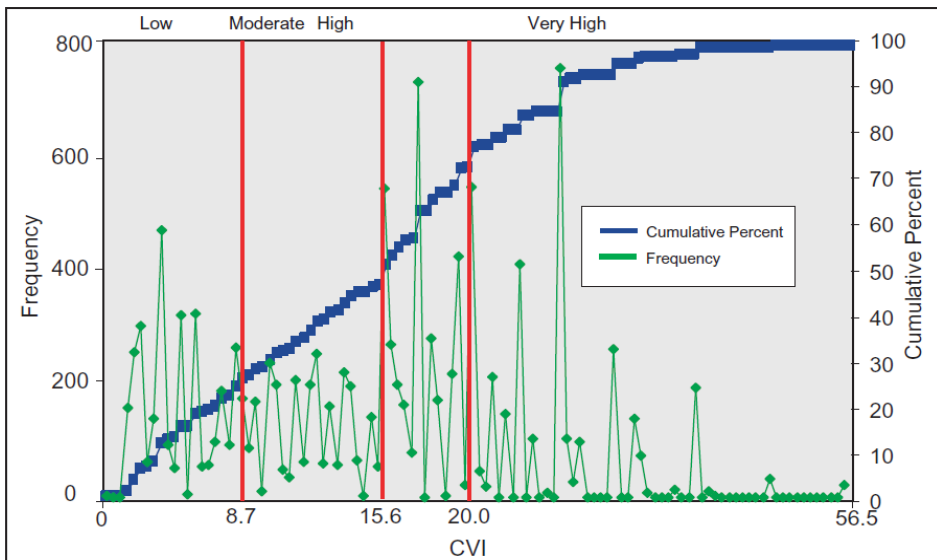
12) U. S. Geological Survey(1999), National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U. S. Atlantic Coast, Open-file report 99-593.

또한, 대서양 연안지역 전체의 연안취약성지수 값의 통계 결과는 다음과 같다.

| 표 3-7 | 대서양 연안지역 연안취약성지수(CVI) 값

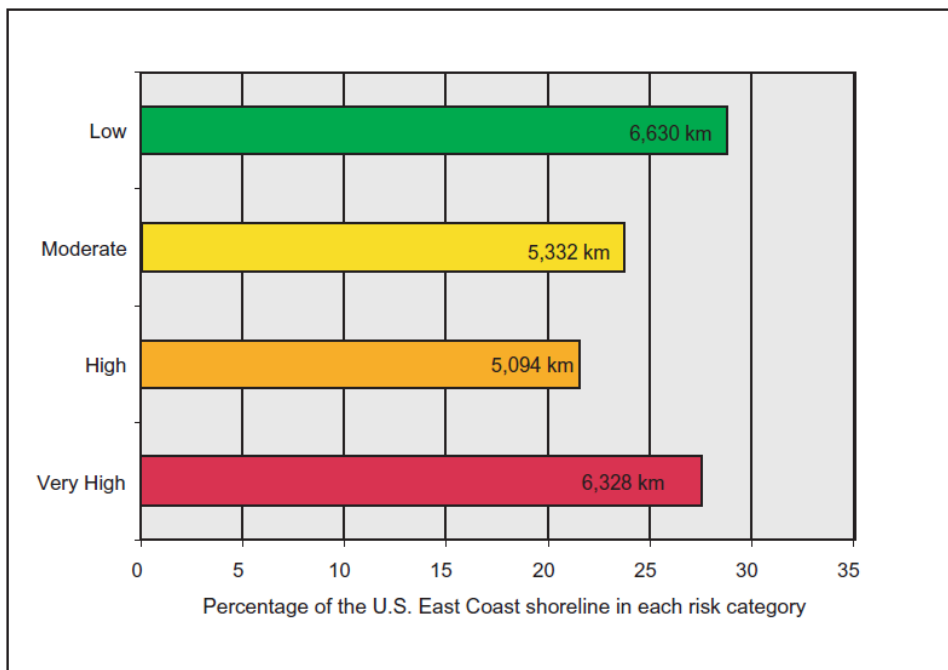
CVI 값의 범위	1.22~39.52
평균값 (Mean)	14.75
최빈값 (Mode)	24.49
중간값 (Median)	15.49
표준편차 (Standard deviation)	7.7

이들 통계 값에서 제1사분위수는 8.7, 제2사분위수는 15.6, 제3사분위수는 20.0으로, 이는 다음과 같은 히스토그램으로 나타난다. 미국 지질조사국은 이러한 결과를 토대로, 세 개의 사분위수들을 기준으로 하여 CVI 값이 8.7보다 작은 값을 가지는 부분은 위험도가 낮은 것으로, 8.7~15.6 사이의 부분은 보통, 15.6~20.0 사이의 부분은 위험도가 높은 것으로, 20.0 이상의 값을 가지는 부분은 극히 위험한 것으로 파악하였다.



| 그림 3-7 | 히스토그램: 미국 대서양 연안

다음의 막대그래프는 위의 결과를 토대로 하여, 전체 연안에서 사분(四分)된 각 위험범위군이 차지하는 부분을 보여 준다. 이를 살펴보면, 미국 대서양 연안의 경우, 총 9,472km의 연안선 중 27%가 매우 높은 위험도를 가지며, 22%가 높은 위험도, 23%가 보통, 28%의 연안선이 낮은 위험도를 가지는 것으로 파악된다.



| 그림 3-8 | 각 위험범위군의 퍼센트: 미국 대서양 연안

⑤ 연안 취약성 평가체계(NACV) 연안취약성지수(CVI)의 시사점

해수면 상승에 대한 연안 취약성 평가체계(NACV)의 연안취약성지수(CVI) 모형은 분명 획기적인 시도로 보인다. 첫째, 미래의 연안환경 변화에 대한 예측과 대응에 실제적 가이드라인을 제시하였다. 또한, 과거의 독자적인 정량적 예측방법에서 벗어나서, 해수면 상승과 관련하여 연안환경의 취약성에 잠재적으로 영향을 미칠 수 있는 정량적, 정성적 주요 인자들을 취

합하여 유효하게 정량화시켰다는 데에도 중요한 의미가 있다고 할 수 있다. 취약성을 유효하게 표현하기 위하여 수치적으로 정량화하되, 절대적 수치가 아닌 상대적 등위 개념으로 변환시킨 것이다.

하지만 동시에 몇 가지 문제점과 한계를 보이기도 하는 것이 사실이다. 우선 인자의 선정에 있어서 여섯 개의 인자 조합이 유효한지는 누구도 알 수 없는 것이 사실이다.

조차의 범위(Tidal range)

파고(Wave height)

연안경사도(Coastal slope)

연안 침식률(Shoreline erosion rates)

지형학적 특징(Geomorphology)

상대적 해수면 상승의 추이(Historical rates of relative sea-level change)

시간이 지나고, 이를 기반으로 많은 연구와 조사가 이루어져서 경험적으로 이들 여섯 인자의 조합의 유효성이 증명이 될 수도 있겠지만, 직관적으로 보기에 이들 인자의 조합이 같거나 유사한 성격의 인자들로 이루어져 있는 것으로 판단된다. 연안경사도, 연안침식률, 지형학적 특징, 해수면 상승의 추이의 네 가지 인자는 굳이 자세히 조사해 보지 않아도 많은 부분이 겹치는 인자들임에 틀림이 없다. 만약 이러한 염려가, 실제로 모형 내의 시스템에서 작용한다면 이들의 중복으로 생겨난 새로운 지수들의 영향력이 너무도 커질 수 있으며, 이는 모형의 결과를 심각하게 왜곡할 수 있다.

아울러, 이러한 모형을 도입함에 있어서 미국 지질조사국의 연안 취약성지수를 그대로 적용하기보다는, 우리의 상황과 기후, 지형에 맞는 새로운 연안 취약성 평가모델의 개발이 필요하다. 이는 연안취약성지수의 경우, 미국 연안의 상황에 맞게 인자를 선택하고, 이를 변수화하고 지수화한 것이기 때문이다. 우리의 상황과 기후, 지형에는 또 다른 새로운 인자가 개입되어야

할 가능성이 다분히 존재하며, 기존의 인자들 중 몇몇은 제외될 수 있어, 결과적으로 전혀 새로운 연안취약지수가 될 가능성이 크다. 다음의 연안 취약성 지표인자의 등위표의 비교에서도 볼 수 있듯이, 미국의 대서양 연안과 태평양 연안에서도 각각의 상황과 기후, 지형에 맞게 주어진 변수들의 급간 범위는 물론 기준이 되는 값들조차도 전혀 다른 것을 확인할 수 있다.

표 3-8 | 연안 취약성 지표인자의 등위화: 미국 대서양 연안

	연안취약성 지표인자의 등위 (Ranking of coastal vulnerability index)				
	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
변수	1	2	3	4	5
Geomorphology (지형학적 특징)	Rocky, cliffed coasts, Fiords, Fiards	Medium cliffs, Indented coasts	Low cliffs, Glacial drift, Alluvial plains	Cobble beaches, Estuary, Lagoon	Barrier beaches, Sand Marsh, Mud flats, Deltas, Mangrove, Coral reefs
Coastal slope (연안경사도; %)	> 0.115	0.115~0.055	0.055~0.035	0.035~0.022	< 0.022
Relative sea-level change (상대적 해수면상승; mm/yr)	> 1.8	1.8~2.5	2.5~3.0	3.0~3.4	> 3.4
Shoreline erosion rates (연안 침식율; m/yr)	> 2.0	1.0~2.0	-1.0~+1.0	-1.1~-2.0	< -2.0
	퇴 적		안 정	침 식	
Mean tide range (평균조차 범위; m)	> 6.0	4.1~6.0	2.0~4.0	1.0~1.9	< 1.0
Mean wave height (평균파고; m)	< 0.55	0.55~0.85	0.85~1.05	1.05~1.25	> 1.25

자료 : USGS(1999)

| 표 3-9 | 연안 취약성 지표인자의 등위화: 미국 태평양 연안

	연안취약성 지표인자의 등위 (Ranking of coastal vulnerability index)				
	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
변수	1	2	3	4	5
Geomorphology (지형학적 특징)	Rocky, cliffed coasts, Fiords, Fiards	Medium cliffs, Indented coasts	Low cliffs, Glacial drift, Alluvial plains	Cobble beaches, Estuary, Lagoon	Barrier beaches, Sand Marsh, Mud flats, Deltas, Mangrove, Coral reefs
Coastal slope (연안경사도; %)	> 1.9	1.3~1.9	0.9~1.3	0.6~0.9	< 0.6
Relative sea-level change (상대적 해수면상승; mm/yr)	< -1.21	-1.21~0.1	0.1~1.24	1.24~1.36	> 1.36
Shoreline erosion rates (연안 침식율; m/yr)	> 2.0	1.0~2.0	-1.0~+1.0	-1.1~2.0	< -2.0
	퇴 적		안 정	침 식	
Mean tide range (평균조차 범위; m)	> 6.0	4.1~6.0	2.0~4.0	1.0~1.9	< 1.0
Mean wave height (평균파고; m)	< 1.1	1.1~2.0	2.0~2.25	2.25~2.60	> 2.60

자료 : USGS(2000)

여섯 인자들 중, 지형학적 특징과 평균 조차의 범위, 연안 침식률을 제외한 세 가지의 인자들의 급간 범위와 그 기준 값들이 매우 다른 것으로 관찰되는데, 이를 자세히 살펴보면 다음과 같다. 연안경사도(%)의 경우 <표 3-10>과 같으며, 이 두 지역의 등위급 간의 비교에서 중대한 문제점을 발견할 수 있다. 태평양 연안에서의 경우 연안 경사도가 매우 위험한 것으로 분류되는 지역이, 대서양 연안에서는 위험도가 매우 낮은 것으로 분류될 수 있다.

| 표 3-10 | 연안경사도 지표인자의 등위급간 비교

위험도 등급 (연안경사도)	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
	1	2	3	4	5
대서양 연안 (%)	0.115 이상	0.115~0.055	0.055~0.035	0.035~0.022	0.022 이하
태평양 연안 (%)	1.9 이상	1.3~1.9	0.9~1.3	0.6~0.9	0.6 이하

상대적 해수면 상승의 추이(mm/yr)와 평균 파고(m)의 경우에도 역시 위와 같은 문제점을 보인다.

| 표 3-11 | 상대적 해수면 상승 추이 지표인자의 등위급간 비교

위험도 등급 (상대 해수면 상승)	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
	1	2	3	4	5
대서양 연안(mm/yr)	1.8 이하	1.8~2.5	2.5~3.0	3.0~3.4	3.4 이상
태평양 연안(mm/yr)	-1.21 이하	-1.21~0.1	0.1~1.24	1.24~1.36	1.36 이상

| 표 3-12 | 평균 파고 지표인자의 등위급간 비교

위험도 등급 (평균 파고)	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
	1	2	3	4	5
대서양 연안(m)	0.55 이하	0.55~0.85	0.85~1.05	1.05~1.25	1.25 이상
태평양 연안(m)	1.1 이하	1.1~2.0	2.0~2.25	2.25~2.60	2.60 이상

또한, 연안취약성지수를 이용한 연안 취약성 평가체계 모형에서도 지역에 따라 여섯 인자 중 대다수가 낮은 위험도를 보이는 데도 불구하고, 소수의 인자들이 극히 위험한 수치를 보여, 이들 소수의 인자들이 결국 지수의 결과 값을 지배하는 결과를 보이기도 한다. 태평양 연안의 경우를 일례로 들어보면, 해당지역의 거의 모든 곳에서 대다수의 인자들이 아주 낮은 위험도의 수치를 보이는 데 반해, 한두 개의 인자들만이 극히 높은 위험도를 나타내고, 결국 지수 결과 값을 한두 개의 인자들이 지배하는 현상을 보인 것이다. 이는 인자들의 급간 수치범위의 조정이나 새로운 보정작업의 필요성을 보여 주는 것일 수도 있지만, 기본적으로 태평양 연안지역과 다른 대상 지역이 인자의 선택에 있어서 그 기준이나 방법이 달라야 함을 시

사하는 것일 수도 있다. 이러한 의미에서, 우리의 모델을 개발하는 과정에서, 이들의 인자에 대한 무조건적인 도입보다는 우리의 기후와 지형에서는 어떠한 것들이 더 유효할지, 그 숫자는 몇 개나 되어야 하는지에 대한 기본적인 고민이 있어야 할 것이다.

2) 미 해양대기청의 기후변화 연안 적응 지침

미 해양대기청은 2010년 기후변화 적응을 위한 계획 수립에 관한 지침서를 펴냈다.¹³⁾ 이 지침은 미국 내의 주 정부나 지방정부의 연안관리 담당자가 기후변화에 따른 영향을 줄이기 위한 적응전략 수립을 지원하기 위하여 만들어졌다. 이 지침은 연안관리자가 적응대책이나 계획을 만들어 낼 때 참고할 수 있는 자료로서 연안에서 적응전략을 수립하는 차원에서 필요한 정보는 무엇이고 어떤 절차를 밟아가는 것이 합리적인지 등 적응계획 수립에 필요한 구체적인 절차를 보여 준다. 크게 계획과정을 사전에 설정하는 단계, 취약성을 평가하는 단계, 적응전략을 개발하는 단계, 마지막으로 계획의 이행과 점검 과정을 구상하는 총 4단계를 보여 준다. 이는 실제로 취약성 평가를 포함하여 적응대책을 개발하고 협의하는 과정에서 도움을 주는 부분이라고 할 수 있다(<표 3-13> 참조).

| 표 3-13 | NOAA 기후변화 적응계획의 수립과정

계획단계	세부과정
1단계 계획과정의 설정	1.1 계획의 범위와 책임감 설정 1.2 자원에 대한 수요와 활용가능성 평가 1.3 계획팀의 조직과 책임 부여 1.4 이해관계자 교육, 참여

13) NOAA, Adapting to Climate Change: A Planning Guide for State Coastal Managers, NOAA Office of Ocean and Coastal Resource Management., 2010.

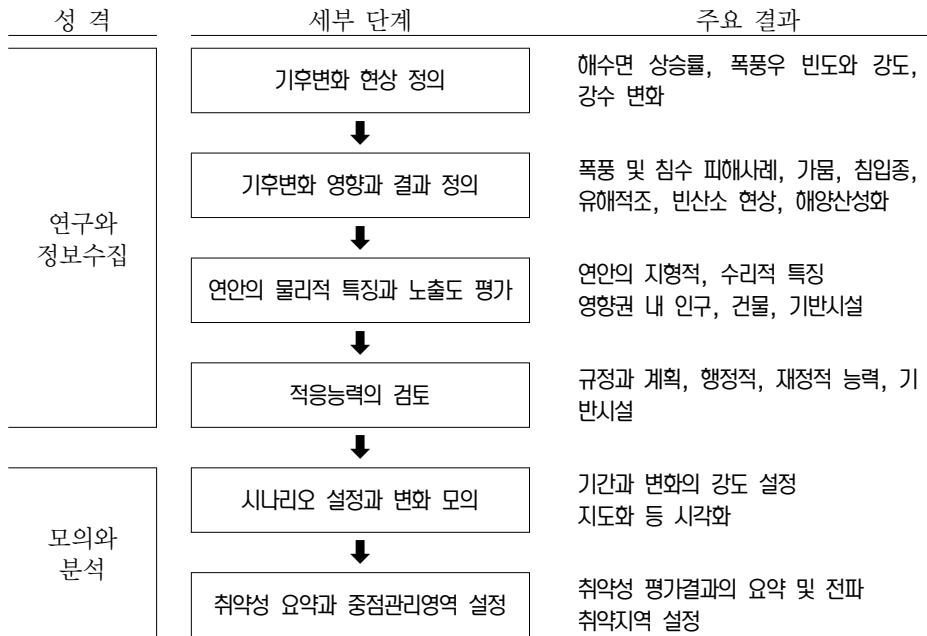
| 표 3-13 | NOAA 기후변화 적응계획의 수립과정(계속)

계획단계	세부과정
2단계 취약성 평가	2.1 기후변화 현상 정의 2.2 기후변화 영향과 결과 정의 2.3 물리적 특징과 노출도 평가 2.4 적응능력(adaptive capacity) 검토 2.5 시나리오 설정과 변화 모의 2.6 취약성 요약과 중점관리 영역 설정
3단계 적응전략 개발	3.1 목표 설정 3.2 대응책(actions) 확인 3.3 대응책의 평가, 선정, 우선순위 3.4 이행계획 작성
4단계 계획이행과 점검 과정 설계	4.1 계획 선정 4.2 계획의 이행 4.3 계획의 시사점을 다른 주 계획수립과정에 통합 4.4 계획의 진행수준을 평가하고 소통 4.5 계획 갱신

자료 : NOAA(2000), p. 17

NOAA의 적응계획 4단계 수립 과정에서 취약성 평가는 적응전략의 수립을 위한 기초적인 토대를 제공한다. 취약성 평가를 통해 기후변화에 따라 무슨 일이 일어났는지를 확인하고, 이에 따라 어떤 현상과 영향이 미치게 될지를, 그리고 어떤 공간과 자산이 이런 변화에 취약한지를 파악하도록 해 준다. 따라서 기후변화의 다양한 현상에 대한 대책을 어떻게 수립할지에 대한 실질적인 시작점이라고 할 수 있다.

NOAA의 취약성 평가는 6단계의 세부단계로 구성된다(<그림 3-9> 참조). 이 중 앞에 위치한 4단계인 i) 기후변화 현상에 대한 정의, ii) 영향과 결과에 대한 정의, iii) 물리적 특징과 노출도 평가, iv) 가능한 적응능력의 고려는 조사와 정보수집의 기초 단계이다. 반면, 후반부에 위치한 두 단계는 모의와 분석의 단계로 v) 기후변화 시나리오 작성 및 모의, vi) 취약성 요약과 집중 대책구역 확인으로 이루어진다(<그림 3-9> 참조).



자료 : NOAA(2010), pp. 26~27

| 그림 3-9 | NOAA의 취약성 평가 6단계

우선 첫 번째 단계에서는 기후변화 현상을 구체적으로 규명하여야 한다. 여기에는 해수면 상승이나 폭풍우의 빈도와 강도의 증가, 강수 형태의 변화, 대기 온도의 상승, 해양 산성화 등의 현상이 해당되는데, 이런 현상은 지역에 따라 그 편차가 매우 크기 때문에 계획을 수립하는 팀은 계획의 대상이 되는 공간적 범위에서 어떤 현상을 취약성 평가의 대상으로 삼을지를 사전에 명확하게 할 필요가 있다. 해수면 상승률과 같은 기후변화의 여러 현상은 대개 계획 수립팀이 독자적으로 파악하기 어려운 내용이기 때문에 관련 기관이 제공하는 전문적인 지식과 정보를 활용할 필요가 있다.

두 번째 단계는 기후변화 현상의 영향과 결과가 무엇인지 파악하는 것이다. 앞서 기후변화 현상에 따른 영향은 물리적이거나 생물학적이거나 때로는 사회적인 시스템의 변화를 불러일으킨다. 모든 변화가 그런 것은 아니지만 기후변화의 영향은 대부분 과거에 일어난 경우가 많고 때로는 기후

변화에 의해 더욱 가속화된다. 과거에 일어난 영향에 관한 기록을 확인하는 것은 향후 미래에 유사한 변화에 어떻게 대응해야 하는지에 대한 선택을 제공하기도 하기 때문에 계획 수립팀은 향후 예상되는 기후변화 영향과 함께 고려하여야 한다. 이처럼 계획 수립팀은 발생가능한 모든 영향에 관한 다양한 정보를 취합하고, 때로는 계획의 수립 범위에 따라 영향을 경우에 따라 제한적으로 해석하기도 해야 한다.

취약성 평가의 세 번째 단계는 연안의 물리적 특징과 노출도(exposure)를 평가하는 작업이다. 이를 위해 기후변화의 영향이 나타나는 공간적 범위를 명확하게 하여야 하는데, 예를 들어 태풍해일의 영향을 받는 고도, 습지의 상태, 건물의 수 등을 파악해야 한다. 연안의 물리적 특징을 이해하는 것은 기후변화가 어떻게 영향을 미칠지를 이해하는 데 중요한 부분이다. 대체로 연안의 물리적 특징이란 자연환경 자체의 특징이나 자연환경이 순환하는 과정에 관한 지표들로, 예를 들어 지표의 형태, 해저 지형, 연안지형, 수로학, 지질학, 토양의 특성, 피복특성, 토지이용도 등이 해당된다.

노출도는 쉽게 말해 기후변화에 영향을 받는 자산(assets) 목록이라고 할 수 있는데, 여기서 자산이란 사람이나 재산, 체계, 기능 등을 포괄하는 의미로 기후변화의 영향으로 소실되거나 훼손될 수 있는 것들을 말한다. 여기에 해당하는 정보로는 인구(수, 밀도, 인구비율, 사회적 약자 등), 건물, 사회기반시설(교량, 방조제, 해안방호시설 등), 자연자원(습지, 해변, 사주, 산호초, 해양보호구역, 피난처, 보호종, 어류 서식지, 이동경로 등), 역사적 자원, 문화적 자원(박물관, 공원, 공공시설, 휴양시설, 관광지 등), 경제적 자원(산업시설 등) 등이다. 가능하면 기후변화의 영향에 노출된 이들 시설물의 경제적 또는 비경제적 가치를 추산하고 이를 통해 사전 적응정책의 필요성을 정책 결정자나 공공에게 알리는 것도 적응 대책의 수립과정에서 필요한 부분이다.

세 번째 단계에서 다루는 연안의 지리적 특징이나 사회경제적 특징들

은 사실 유사한 다른 계획들, 예를 들어 재해대책이나 자연자원에 대한 계획과정에서도 공통적으로 다루는 정보이다. 따라서 기후변화 적응계획을 수립할 때에는 이와 같은 관련 계획을 참고하여 공통적으로 활용하는 정보를 이용하는 것도 바람직하다.

취약성 평가의 네 번째 단계는 앞서 단계에서 기후변화의 정도나 영향권, 피해를 받는 자연과 인문사회적인 특징에서 나아가 적응능력을 검토하는 과정이다. 환경변화의 영향은 일차적으로 환경에 가해지는 물리적인 스트레스가 얼마나 크냐에 좌우되지만, 이런 변화에 적응하는 시스템의 능력에 좌우되기도 한다. 따라서 변화 자체에 대한 고려만큼 이를 극복해 내는 능력에 대한 검토 역시 취약성 평가에서 매우 중요한 요소일 수밖에 없다. 대응능력은 국가나 지역적으로, 즉 공간에 따라 큰 차이가 나는데 이를 확인할 수 있는 지표로는 연안관리나 취약지역의 시설물에 관한 규정이나 계획 및 대책의 수립 여부, 기술적인 대비능력(관련 전문가, 장비, 기술수준, 지도화 및 모델링 능력 등), 재정적인 부담능력(세금이나 채권, 보험 등), 사회 기반 대응시설(홍수통제시설, 비상대피로, 전력계통 등) 등이 해당된다. 취약성 평가에서는 특히 여러 분야에 걸친 사회시스템의 대응능력을 파악함으로써 강점과 약점을 확인할 수 있고 이런 과정을 통해 예상되는 기후변화의 영향에 대한 사회시스템 전체의 적응능력을 향상시킬 수 있다.

NOAA의 취약성 평가과정의 5단계와 6단계는 앞서 표에서도 나타났듯 모의와 분석으로 향후 기후변화의 영향을 구체적으로 모의하고 이를 분석하는 단계이다. 즉, 앞선 단계에서 수집한 정보를 토대로 기후변화 시나리오를 설정하고, 이에 따라 영향 범위를 모의하여 그 결과를 살펴본다. 시나리오를 통해 여러 시간 지점에 따라 기후변화의 결과와 영향을 살펴보고 이를 통해 필요한 의사결정을 하는 것이다. 예를 들어 해수면 상승률을 저, 중, 고로 나누고, 각각의 해수면이 어떻게 변했을지를 현재부터 20년 후, 50년 후, 100년 후와 같은 분석 시점으로 나눈다. 이렇게 되면 총 9개의 시나

리오가 나오고 이런 시나리오는 해안별로 또 다르게 된다.

아래 워싱턴 주의 시나리오를 참고하면 크게 2050년과 2100년을 구분하여 시점을 잡고 있다. 그리고 해수면 상승에 대한 예측도 매우 낮은 경우, 보통인 경우, 매우 높은 경우로 나누어서 보고 있으며, 해수면 상승을 단순히 전 지구적인 수준에서만 보는 것이 아니라 여기에 대기압의 변화, 지반의 운동을 합한 지역별 상대해수면의 변동을 시나리오로 분석하였다.

| 표 3-14 | 워싱턴 주의 해수면 상승 시나리오 예시

SLR Estimate	Components	2050			2100		
		NW Olympic peninsula	Central& Southern Coast	Puget Sound	NW Olympic peninsula	Central& Southern Coast	Puget Sound
Very Low	Global SLR	9cm			18cm		
	Atm. Dynamics	-1cm			2cm		
	VLM	-20cm	-5cm	0cm	-40cm	-10cm	0cm
	Total	-12cm(5")	3cm(1")	8cm(3")	-24cm(9")	6cm(2")	16cm(6")
Medium	Global SLR	15cm			34cm		
	Atm. Dynamics	0cm			0cm		
	VLM	-15cm	-2.5cm	0cm	-30cm	-5cm	0cm
	Total	0cm(5")	12.5cm(5")	15cm(6")	4cm(2")	29cm(11")	34cm(13")
Very High	Global SLR	38cm			93cm		
	Atm. Dynamics	7cm			15cm		
	VLM	-10cm	0cm	10cm	-20cm	0cm	20cm
	Total	35cm(14")	45cm(18")	55cm(22")	88cm(35")	108cm(43")	128cm(50")

주 : 1) 음의 값은 해수면의 하강을 의미하여 대기압 변화(Atm. Dynamics)는 경우에 따라 해수면 하강이나 해수면 상승(15cm)을 유발하기도 함

2) 지반의 수직운동(VLM, Vertical Land Movement)은 지각의 운동이나 빙하기 이후 나타나는 조륙운동 등 다양한 원인이 있으나 여기서는 각 지역에서 나타날 수 있는 지반의 수직운동을 고려

자료 : <http://www.cses.washington.edu>(2011. 11. 20)

미래를 예측하거나 이에 대응한 대책을 마련하는 데 모형을 통한 모의는 매우 유용한 수단이다. 특히 전 지구적인 기후변화 모형에 기반하여 지역 수준에서 앞으로의 기후변화를 모의하는 것은 일관된 예측을 할 수 있

다는 측면에서 합리적인 방법이다. 그러나 모형을 통해 미래를 예측하는 것에는 주의할 사항이 몇 가지 있다. 예를 들어 기후변화의 과정은 각 과정 간의 관계에 대해 우리가 가지고 있는 정보의 불완전성을 감안해야 한다. 제한적인 관찰과 불완전한 이해, 또는 기후변화의 과정을 모형으로 구조화하는 과정에서 나타나는 부적절성, 모의 과정에서 단위가 되는 공간단위가 살펴보고자 하는 연안이나 육상의 공간적인 범위에 비해 너무 커서 나타나는 문제 등이 여기에 해당한다. 특히 전 지구를 대상으로 하는 모형은 그 평가단위가 매우 크기 때문에 이를 지역적 수준에서 살펴보기 위해서는 규모의 축소(downscaling)가 필요하다. 여기에는 지역 수준에서 다양한 자료가 추가적으로 필요하다. 따라서 전 지구 수준에서 권역이나 지역의 수준으로 내려가 기후변화를 모의하고자 할 때는 여기에 필요한 자료가 있는지, 또한 이 작업을 수행할 수 있는 기술적, 재정적 뒷받침이 있는지를 검토할 필요가 있다.

지금까지 취약성 평가를 위한 정보의 수집과 모형과 관련된 일련의 작업을 통해 기후변화에 의해 어떤 영향이 어떻게 해안에 영향을 주는지를 파악할 수 있었다. 따라서 취약성 평가의 마지막 단계로 NOAA(2010)에서는 지금까지 진행한 작업을 종합하여 어디가 취약한 곳인지, 이를 해결하기 위해 어떤 목표를 설정하고 어떤 대책이 필요한지 정리할 필요가 있다고 한다. 공간적으로는 어디를 대상으로 하는지, 영향의 정도는 얼마나 되고 영향이 발생할 확률은 어떻게 되는지, 시간적인 개념으로는 얼마나 자주 또는 언제 발생하는지, 영향에 대해 연안의 지역사회가 얼마나 대응을 할 수 있는지 등 앞서 다섯 단계에서 검토한 모든 내용을 요약·정리하고 이를 다시 이해관계자들에게 공개하여 새로운 토론을 시작할 수 있게 된다. 취약성 평가 결과를 바탕으로 시작하는 토론은 적응전략과 대책을 고민하면서 자연스럽게 적응계획 수립 단계로 이행하게 된다.

3) Nicholls의 연안 취약성 평가

(1) 자연시스템과 사회경제시스템 통합

영국 사우스햄턴대학교 토목공학환경학부 교수인 니콜스(Robert J. Nicholls)는 1990년대 초반부터 기후변화 취약성 방법론에 대한 연구를 심도 있게 진행해 왔다. 기후변화에 취약한 연안지역에 주목하고 IPCC, UNEP 등 국제기구에서 개발한 취약성 평가 방법론에 대하여 비판적으로 고찰하여 니콜스만의 방법론을 제시하기도 하였다. 특히, 1999년에 발표한 논문¹⁴⁾에서는 기후변화 취약성 평가에 자연환경 요인뿐만 아니라 사회경제적 요인도 포함해야 한다고 강조하였고, 이를 연안지역에 적용한 모델을 제시하였다. 물론 니콜스는 취약성 연구에서 잠재적 사회경제적 영향에 대한 평가의 중요성을 언급하였지만 그에 앞서 해당지역의 해수면 상승의 범위에 대한 분석이 필요하다고 하였다.

니콜스는 기후변화 영향에 대한 취약성은 다차원적인 개념으로 생지물리학적(biogeophysical), 경제학적, 제도적, 사회문화적 요인을 포괄하기 때문에 취약성의 개념은 압력과 충격에 대응하는 사회시스템 기능과 밀접한 관련이 있다고 보았다. 이러한 측면에서 연안지역에서 취약성을 ‘기후변화와 가속되는 해수면 상승에 대응하는 무능력의 정도’라고 정의하였다. 즉 취약성 평가는 예상되는 영향과 유용한 적응수단을 모두 포함하여 평가하는 것이라고 할 수 있다. 이와 같은 인식을 바탕으로 니콜스는 많은 국가에서 사용하는 IPCC의 취약성 평가 방법론을 고찰하였다.

IPCC는 기후변화 영향에 대한 취약성 평가를 위하여 ‘연안지역 해수면 상승 취약성 평가를 위한 방법론(Common Methodology for Assessing the

14) Richard J. T. Klein and Robert J. Nicholls, "Assessment of Coastal Vulnerability to Climate Change", *Royal Swedish Academy of Science*, Vol. 28, No.2, 1999, pp. 182~187.

Vulnerability of Coastal Areas to Sea-Level Rise)’¹⁵⁾ ‘기후변화 영향 및 적응 평가를 위한 기술지침(Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptation)’¹⁶⁾을 개발하였다. IPCC 기술지침은 범용적으로 적용할 수 있는 체계이지만 취약성 평가 방법론은 연안지역에 좀 더 초점을 맞췄다고 할 수 있다. IPCC 방법론과 기술지침은 취약성을 평가하는 단계를 7단계로 구분한 것은 동일하지만 각 단계는 차이를 보인다. 예를 들면, 기술지침에는 문제를 정의하고 방법론을 선택하는 단계가 있지만 취약성 평가 방법론에는 그러한 단계가 없다. 이후 IPCC의 기술지침은 UNEP에서 더욱 정교하게 다듬어 ‘기후변화 영향 평가 및 적응 전략 방법론에 관한 핸드북(the UNEP Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and adaptation Strategies)’을 작성하였다. UNEP의 핸드북은 연안지역을 포함하여 9가지 자연과학적 시스템과 사회경제학적 부문에 대한 가이드라인을 제시하였다.

니콜스는 IPCC의 취약성 평가 방법론을 사용한 많은 사례를 통하여 다음과 같은 문제를 지적하였다. 첫째, 영향 및 적응을 평가하기 위한 정확하고 완전한 데이터가 부족하여 많은 나라에서 영향을 받는 지역에 대한 정확한 설정이 어려웠다. 둘째, 지역 차원의 기후변화 시나리오가 없어서 전 세계 차원의 단일 해수면 상승 시나리오를 사용하여 상대적인 해수면 상승의 공간적 차이, 기후변화에 따른 연안지역에 주는 의미 등을 무시하였다. 셋째, 연안지역에서 해수면 상승의 생지물리학적 반응을 고려하도록 하지만 복잡한 비선형적인 연안작용(coastal process)을 설명할 수 있는 데이터와 모델이 없어 구체적인 정량적 영향 평가가 불가능하다. 많은 사례연구에서는 해수면 상승 시나리오에 따라 육지 쪽으로 해안선을 옮겨 단순한 선형

15) IPCC CZMS, 1992.

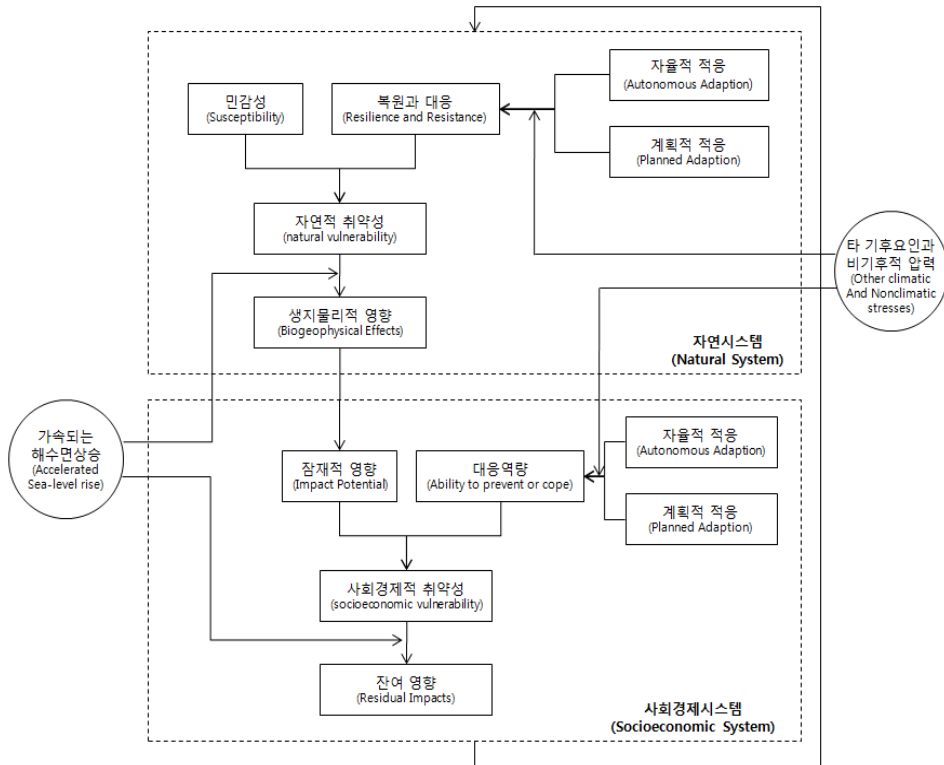
16) Cater et al., 1994.

적, 1차원적으로 평가했다. 넷째, IPCC 방법론은 적응 측면에서 각각 다른 지역적 특성을 반영하여 기술적, 제도적, 경제적, 문화적 요소를 고려하는데 효과적이지 않다. 다양한 부문의 적응수단을 고려하기보다 보호(protection) 수단에 치우친 방법론이다. 이상과 같은 문제는 데이터가 부족하거나 모델이 개발되지 않아 발생하는 문제가 많다. 니콜스는 위와 같은 문제의식을 바탕으로 해수면 상승에 의한 연안지역 취약성 평가에 관한 개념과 방법을 제시하였다.

니콜스의 취약성 평가에 대한 개념은 자연시스템 취약성과 사회경제시스템 취약성을 구분하고 서로 연계가 있다는 것을 강조한 점이 특징이다. 해수면 상승은 직접적으로 자연환경에 영향을 미치지만 자연환경에 미치는 영향을 다시 사회경제적인 영향을 초래한다. 물론 해수면 상승이 직접적인 사회경제적 영향을 주지만 해수면 상승에 의한 사회경제적 취약성을 평가하기 위해서는 자연환경 취약성을 먼저 검토해야 한다고 말한다. 니콜스는 연안지역 취약성의 개념적 구조를 <그림 3-10>과 같이 설명하고 있다. 취약성은 크게 자연시스템과 사회경제시스템으로 구분하고 각 시스템 안에서 해수면 상승을 포함한 기후적 요인과 비기후적 요인에 따라 영향을 받는 구조를 가진다. 각 시스템의 구조는 유사하며 자연시스템 안에서 취약성에 의한 생물물리학적 영향은 사회경제시스템의 잠재적 영향과 관련되고 사회경제시스템에서 영향은 다시 자연시스템에 영향을 주는 피드백구조를 가진다고 설명하였다.

니콜스는 연안지역 취약성 평가 시 자연시스템과 사회경제적시스템의 상호 관계를 규명하면서 해수면 상승에 대한 잠재적인 사회경제적 영향을 크게 3가지로 제시하였다. 첫째, “토지, 인프라시설, 연안서식지 손실에 대한 직접적인 경제적, 생태학적, 문화적, 생존가치(Subsistence Value)의 손실”, 둘째, “증가하는 사람, 토지, 인프라시설에 대한 홍수 위험”, 셋째, “수자원 관리, 염분, 생물학적 활동의 변화와 관련된 영향”을 말한다. 이를 토대로

해수면 상승으로 연안지역에서 직접적으로 영향을 받게 될 사회경제적 부문으로 ‘수자원(Water Resources)’, ‘농업(Agriculture)’, ‘건강(Human Health)’, ‘어업(Fishery)’, ‘관광(Tourism)’, ‘주거지(Human Settlement)’로 제시하였다. 직접적으로 영향을 받는 사회경제적 부문은 해수면 상승에 의한 생물물리학적 영향인 ‘홍수빈도’, ‘침식’, ‘범람’, ‘상승하는 지하수면’, ‘염수침투’, ‘생물학적 영향’과 관련이 있다. 물론 취약성 평가와 관련된 사회경제학적 부문은 범위가 매우 넓어질 수 있다.



자료 : Richard J. T. Klein and Robert J. Nicholls, *Op. cit.*, p. 185

| 그림 3-10 | 연안 취약성 평가 개념적 체계

니콜스는 기후변화와 해수면 상승이 자연적, 사회경제적 환경에 미치는 영향은 불확실하기 때문에 하나 이상의 시나리오를 작성하고 그 시나리

오에 근거하여 취약성을 평가해야 한다고 하였다. 연안지역 취약성 평가에 사용할 수 있는 4가지 유형의 시나리오를 <표 3-14>와 같이 제시하였다. 시나리오는 미래 발생할 수 있는 환경적, 사회경제적 조건을 반영하였는데 어떤 요인은 거의 모든 지역에 적용할 수 있지만 어떤 요인은 특정지역에만 적용할 수 있다. 시나리오는 크게 기후 관련 여부와 시스템(자연적 혹은 사회경제적)을 변수로 4가지의 시나리오를 제시하였다.

표 3-15 | 연안지역 취약성 평가 4가지 시나리오

	자연환경적 변화	사회경제적 발전
기후요인 (Climate-induced)	가속되는 해수면 상승 (Accelerated sea-level rise) 강우패턴 변화 (Changes in rainfall patterns) 해수 표층온도 상승 (Changes in sea-surface temperature) 바람 및 파도 패턴 변화 (Changes in wind and wave patterns) 엘니노 관련 변화 (EL-Nino-related change) 퇴적수지 변화 (Sediment-budget changes)	자율적 적응 (Autonomous adaptation) 계획적 적응 (Planned adaptation)
비기후요인 (Not climate-induced)	수직적 지각 움직임 (Vertical land movement) 퇴적수지 변화 (Sediment-budget changes)	인구변화 (Population change) 토지이용 변화 (Land-use change) 국내총생산 변화 (Changes in gross domestic product)

자료 : Richard J. T. Klein and Robert J. Nicholls, *Op. cit.*, p. 185

IPCC 기술지침을 비롯한 연안지역 취약성에 관한 선행 연구에서는 주로 기후요인이면서 자연환경적 변화를 다루는 방향으로 전개되었다. 이후 기후요인과 무관하지만 연안지역의 주요한 자연시스템의 변화를 고려하고, 연안지역의 사회경제적 요인들도 고려하는 방향으로 전개되었다. 니콜스는

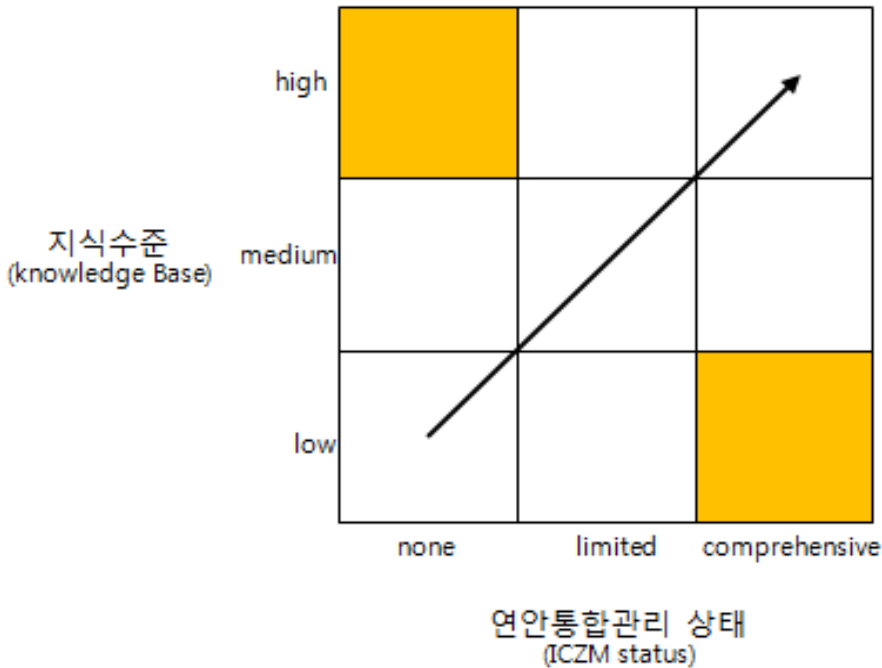
연안지역 취약성 평가가 데이터 수준, 방법론 수준, 연안지역 관리여건 등에 따라 단순한 형태에서 정밀한 형태로 발전할 수 있다고 보았다.

먼저 니콜스 등은 데이터 한계를 감안하여 평가 수준을 3가지로 구분하였는데 낮은 수준부터 ‘검증평가(Screening Assessment : SA)’, ‘취약성 평가(Vulnerability Assessment : VA)’, ‘계획평가(Planning Assessment : PA)’를 말한다. SA는 가장 낮은 수준의 평가로 자연시스템의 민감성(susceptibility)이 중심이 되는데 검증하는 방식의 일종이라고 할 수 있다. 그다음 높은 수준인 VA는 SA보다 더 종합적인 평가로 자연시스템의 생물물리학적 영향과 사회경제시스템의 영향과 적응에 대한 평가가 포함된다. 가장 높은 수준인 PA는 VA에 전체적인 연안계획(Coastal Planning)을 통합하는 수준의 분석을 포함한다. 즉 PA는 전체 연안관리 차원과 비슷한 맥락에서 실시된다. 니콜스가 제시한 3가지 수준의 평가는 해당지역의 여건에 따라 수준이 달라지는데 대개 SA→VA→PA의 단계로 진행된다고 할 수 있다.

니콜스가 말한 연안지역 취약성 평가의 높은 수준은 결국 연안통합관리의 방향을 지향한다고 할 수 있다. 니콜스 등이 취약성 평가에 대한 개념, 체계, 수준 등을 제시할 당시는 1992년에 개최된 리우회의에서 채택한 AGENDA21에 포함된 연안통합관리(Integrated Coastal Zone Management : ICZM)가 연안지역을 효과적으로 관리할 수 있는 수단으로 받아들여지는 시기였다. 니콜스는 연안지역에서 연안통합관리가 기후변화와 관련된 연안지역의 문제를 해결하는 데도 효과적인 방법이 될 수 있다고 인식하고 연안지역 취약성 평가 또한 연안통합관리 연계되어야 한다고 하였다. 취약성 평가는 연안통합관리를 위한 하나의 유인(trigger)이 될 수도 있고, 반대로 연안통합관리가 취약성 평가를 위한 유인이 될 수도 있음을 강조하였다.

<그림 3-11>은 연안지역의 여건을 지식수준과 연안통합관리 상태 두 개의 축으로 단순하게 도식화하여 취약성 평가가 지향해야 할 지점으로 높은 지식수준과 종합적인 연안통합관리가 구축된 상태로 제시하였다. 결국

취약성 평가의 수준이 높아질수록 연안지역의 다양한 이슈를 다루어야 하기 때문에 연안지역의 효과적인 관리수단인 연안통합관리와 긴밀한 연계가 필요하다는 것이다.



자료 : Richard J. T. Klein and Robert J. Nicholls, *Op. cit.*, p. 186

| 그림 3-11 | 지식수준과 연안통합관리 상태

(2) 취약성 통합평가를 위한 시나리오

니콜스는 1999년에 발표한 논문에서 연안지역 취약성 평가는 자연시스템과 사회경제시스템 모두를 고려하고 두 시스템 간 연계 구조를 고려해야 한다고 주장하였는데, 10년이 지난 2008년에 발표한 논문¹⁷⁾에서도 여전히

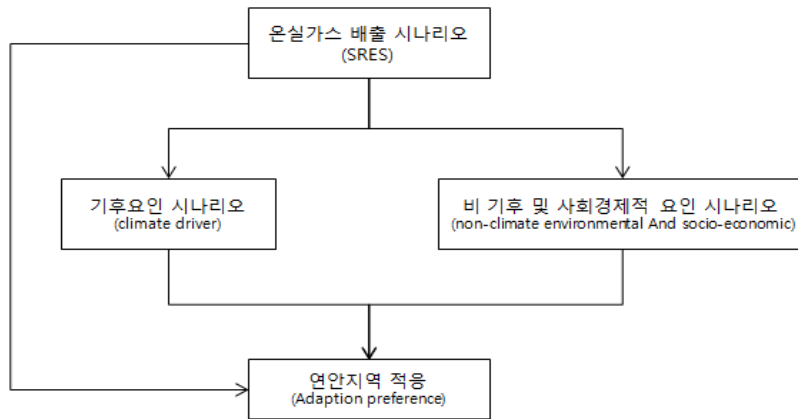
17) Robert J. Nicholls et al., "Climate Change and Coastal Vulnerability Assessment: Scenarios for Integrated Assessment", *Integrated Research System for Sustainability Science and Springer*, Vol. 3, 2008.

연안지역 취약성 평가가 주로 해수면 상승에 초점을 맞추고 있음을 지적하였다. 특히, 비기후적 환경변화나 사회경제적 변화가 거의 무시되고 있다고 강조하였다. 기후변화와 해수면 상승이 전체 연안지역 변화에서 차지하는 위치를 규명하는 것은 기후변화로 인한 연안지역의 영향, 취약성, 적응 수요 등을 정확하게 파악할 수 있는 중요한 조건이 된다. 해수면 상승과 같은 기후요인도 중요하지만 연안지역의 전체 시스템에서는 비기후적이고 사회경제적인 요인도 중요하게 작용하기 때문에 연안지역 취약성 평가는 이를 균형적으로 고려한 통합적 평가가 필요하다고 한 것이다.

IPCC는 기후변화와 관련된 시나리오를 제시하고 있지만 비기후 및 사회경제적 요인에 대한 시나리오는 거의 개발하지 못했다. 이와 같은 문제점을 인식하여 니콜스 등은 Nakicenovic and Swart(2000)가 개발한 온실가스 배출 시나리오(Special Report on Emission Scenarios : SRES)¹⁸⁾에 근거하여 비기후 및 사회경제적 요인에 대한 시나리오를 제시하였다. 시나리오는 니콜스 등이 각 부문별로 새로운 연구를 통하여 도출된 결론이 아닌 기존 연구자들이 수행한 결과를 바탕으로 제시한 것이다.

<그림 3-12>는 니콜스가 온실가스 배출 시나리오에 근거하여 기존 기후요인에 비기후 및 사회경제적 요인을 통합하여 연안지역에서 취약성 평가를 위한 시나리오를 제시한 구조이다. 전체적인 방향은 i) 온실가스 배출 시나리오(SRES), ii) SRES에 따른 기후요인 시나리오, iii) SRES에 따른 비기후 및 사회경제적요인 시나리오, iv) 연안지역 적응 시나리오의 순서로 전개하였다.

18) Nakicenovic and Swart(2000)가 개발한 SRES는 미래 사회발전 방향과 공간적 범위에 따라 온실가스 배출 시나리오를 4개의 영역으로 구분하는데 A는 경제 중심, B는 환경 중심, 1은 지구적 차원, 2는 지역적 차원을 나타내며 이를 조합하여 A1, A2, B1, B2로 구분함.



| 그림 3-12 | 온실가스 배출 시나리오에 근거한 연안지역 적응 시나리오

니콜스 등이 제안한 통합적 평가를 위한 시나리오 중에서는 기존 연구에서 잘 다루지 않았던 비기후 및 사회경제적 시나리오를 주목할 필요가 있다. 니콜스는 ‘연안지역 인구’, ‘기반시설’, ‘인간유발 지반 침하’, ‘담수 및 퇴적물 공급’, ‘양식’, ‘채취 산업’, ‘관광’, ‘해양재생에너지’, ‘직간접적인 서식지 파괴’를 비기후 및 사회경제적 요인으로 선정하여 SERS의 4가지 시나리오에 따라 미래 경향을 제시하였다(<표 3-16> 참조) 비기후 및 사회경제적 요인은 기후변화와 직접적인 관련은 없지만 연안지역 시스템상 주요한 인자로서 다양한 원인에 따라 지속적으로 변한다는 사실을 취약성 평가에 반영해야 한다는 것이다.

| 표 3-16 | 연안지역 비기후 환경 및 사회경제적 변화

환경적 및 사회경제적 인자		20세기 경향 ^a	21세기 경향(SRES)			
			A1 ^e	A2	B1	B2
전 지구	2100년 인구(10억 명)	↑	~7 ^b	~15	~7 ^b	~10
	2010년 GDP(1조 US 1990년 달러)	↑	525~550	243	328	235
	2100년 1인당 평균 GDP	↑	75~79	16	47	24

| 표 3-16 | 연안지역 비기후 환경 및 사회경제적 변화(계속)

환경적 및 사회경제적 인자		20세기 경향 ^a	21세기 경향(SRES)			
			A1 ^e	A2	B1	B2
연 안 지 역	연안지역 인구 이동	↑	가능성 가장 높음	가능성 낮음	가능성 높음	가능성 가장 낮음
	기반시설	↑	최대 증가	크게 증가	적게 증가	최소 증가
	인간유발 침하 ^c	↑(L)	가능성 높음		가능성 낮음	
	육상 담수 및 퇴적물 공급 ^d	↓	최대 감소	크게 감소	적게 감소	적게 감소
	양식	↑	크게 증가		적게 증가	
	채취 산업	↑	크게 증가		적게 증가	
	관광	↑	최대 성장	크게 성장	크게 성장	최소 성장
	해양 신재생에너지 ^e	↑	가변적 성장	최소 성장	최대 성장	크게 성장
	서식지 파괴(직접적, 간접적)	↑	지속적 손실		손실 감소, 복원	안정 또는 동일

주 : 1) 지역별 큰 차이가 있고 기후변화는 추가적인 변화의 유인이 될 것임

2) a : ↑ 증가, ↓ 감소, L 지역적으로 중요

b : 2050년에 지구 인구 87억 명으로 정점에 이름

c : 연안 저지대에서 지하수 추출 및 유기토 배출에 따른 침하

d : 유역관리에 따른 변화

e : A1은 A1FI보다 낮고, A1T보다 높은 상태를 고려

자료 : Nicholls et al.(2008), p. 94(일부 수정)

SERS, 기후요인 시나리오, 비기후 및 사회경제적요인 시나리오를 고려하여 최종적으로 연안지역에서 선택할 수 있는 적응시나리오를 제시하였다. 적응시나리오는 연안의 주요 부문으로 ‘수자원 공급’, ‘농업’, ‘정주 및 산업’, ‘생태계 및 서식지 보전’으로 나누어 SERS의 4가지 시나리오에 따라 제시하였다. 정주 및 산업 부문을 예로 들면, 지구적 차원이면서 경제개발을 우선시하는 A1의 경우, 비계획적인 도시화와 연안재해 증가로 사후처리(reactive) 성격의 경성방호(hard protection) 방식을 선호하고, 지역적 차원이면서 환경보호를 우선시하는 B2의 경우, 도시화를 최소화하고 자연적 완충공간과 같은 연성방호(soft protection) 방식을 선호한다.

니콜스는 연안지역 취약성 평가가 기후변화의 직접적인 영향을 받는 자연시스템에 치중하여 연안지역을 구성하는 다양한 요인을 고려하지 못해서 발생하는 문제를 지속적으로 제기하였다. 그런 문제 제기를 바탕으로 연안지역 취약성 평가에 사회경제적 요인을 반영하는 개념과 모델을 개발하였다. 니콜스가 제시한 모델은 데이터의 부족, 정교하지 못한 방법론 등으로 구체적이고 세밀한 평가결과를 제시하지 못했지만 적절한 연안지역 취약성 평가 방향을 제시했다는 데 의미가 있다. 연안지역을 자연시스템과 사회경제시스템으로 구분하고 각각의 시스템에서 취약성에 영향을 주는 요인과 상호관계를 규명한 것과 기후변화가 갖는 불확실성의 위험을 줄이기 위해 시나리오 방식에 따라 취약성 평가 모델을 제시한 점이 의미가 있다. 또한 사회경제적으로 복잡하고 역동적인 연안지역을 효과적으로 관리하기 위하여 도입한 연안통합관리라는 제도와 취약성 평가를 연계해야 한다는 주장도 의미가 있다.

4) 캐나다 Climate Change Impacts and Adaptations Program¹⁹⁾

세계에서 해안선이 가장 긴 캐나다는 전체 해안선의 약 1/3이 해수면 상승에 물리적으로 민감한 지역에 해당하여 기후변화에 따른 영향과 적응에 대한 관심이 높다. 기후변화와 해수면 상승은 연안지역에서 다양한 생물리학적(biophysical) 변화를 초래하고 생물물리학적 변화는 사회경제적 영향을 불러온다. 기후변화에 따른 영향은 지역의 특성에 따라 다르게 나타나기 마련인데 그동안의 연구는 기후변화에 노출되는 물리적 위험과 해당 커뮤니티 적응역량의 지역적 차이를 통합하여 평가하지 못했다. 즉 기후변

19) Walker, I.J. and CCIAP A580 Team(2007)이 수행한 “Coastal vulnerability to climate change and sea-level rise, Northeast Graham Island, Haida Gwaii(Queen Charlotte Island), British Columbia”을 토대로 작성하였음.

※ CCIAP는 캐나다 Climate Change Impacts and adaptations Program의 약자임

화가 초래하는 생물물리학적 변화나 사회경제적 영향에 대한 관심은 있었으나 이러한 변화에 대응하는 지역의 역량에 대한 관심이 적었다. 특히 규모가 작고 외딴 지역에 형성된 커뮤니티일수록 기후변화에 따른 취약성이 높지만 크게 관심을 받지 못했다.

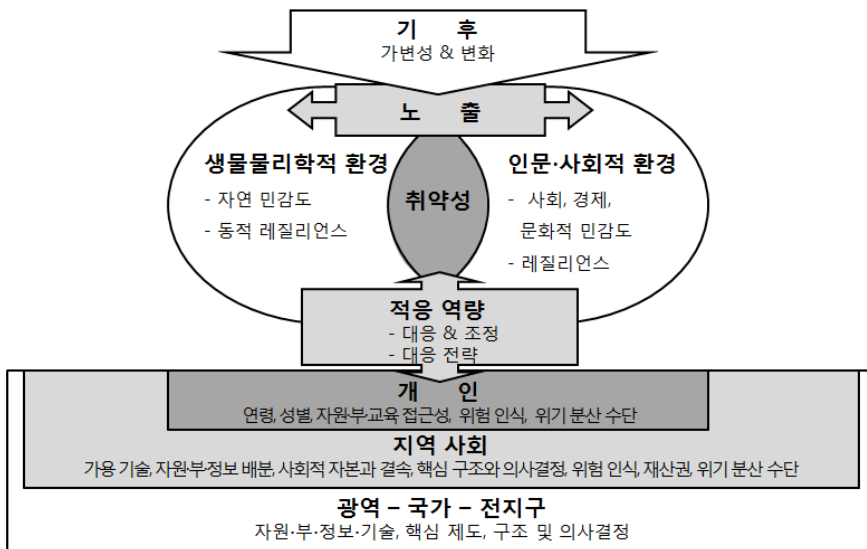
Walker와 CCIAP A580 Team(2007)은 캐나다 서부 브리티시컬럼비아 주 Haida Gwaii의 북쪽에 위치한 Graham Island를 대상으로 연안지역 취약성 평가를 실시하였다. Haida Gwaii는 약 180개의 섬으로 이루어져 있는데 캐나다 본토에서 약 100km 떨어져 있다. Haida Gwaii의 전체 인구는 4,935명(2001년 기준)인데 이 중 4,475명이 연구 대상지역인 Graham Island에 거주한다. 연구 대상지역 인구는 브리티시컬럼비아 주 전체에서 0.11%에 불과하지만 Haida Gwaii에서는 가장 큰 지역을 형성하고 있다.



자료 : Walker, I. J. and the CCIAP A580 Team(2007)

| 그림 3-13 | Haida Gwaii 의 지리적 범위

Walker와 CCIAP A580 Team(2007)이 수행한 연구에서는 무엇보다 커뮤니티에 기반하여 취약성을 검토했다는 것이 큰 특징이다. 사회 단위별로 취약성을 평가하는 요인이 다를 수 있다. 국가 전체 혹은 광역적 단위의 지역에 대한 취약성 평가도 의미가 있지만 사람들이 실제로 느끼는 취약성에 대한 평가도 중요하다. 캐나다 사례는 소규모 커뮤니티를 중심으로 취약성 평가에 대한 연구를 실시하였다. <그림 3-14>는 캐나다 연구에서 활용한 통합적 연안 취약성 평가 체계로 원래는 Dolan and Walker(2004)가 개발한 것이다. 통합평가체계는 기후변화 영향, 생물물리학적 환경 및 인간 환경(사회경제적 및 문화적 민감성 복원력)의 취약성, 적응역량으로 단계를 구분하고, 적응역량은 개인 차원, 커뮤니티 차원, 광역·국가·지구적 차원으로 구분하였다.



자료 : Dolan and Walker(2004), p. 4

| 그림 3-14 | 연안 취약성 통합평가 모델

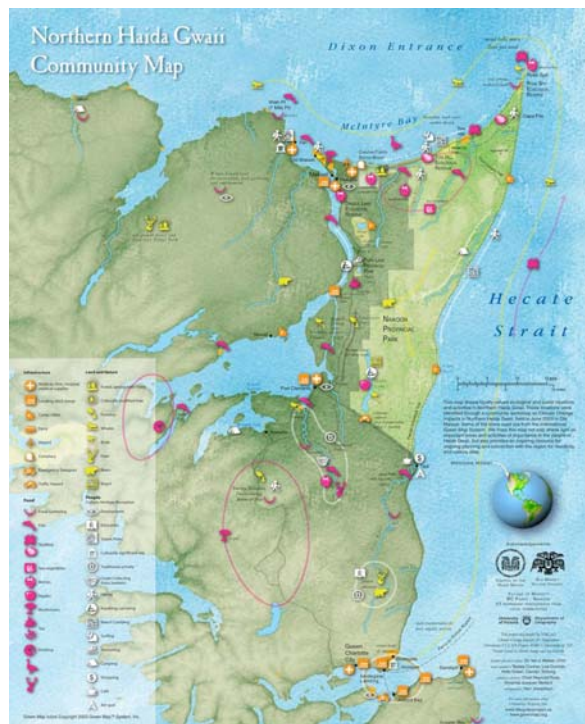
캐나다 사례에 사용한 Dolan and Walker(2004)의 모델은 취약성 평가 시 생물물리학적 환경과 인간 환경을 고려하고 취약성과 취약성을 감소시키는

적응역량을 같이 고려했다는 점에서 통합적인 연안 취약성 평가모델이라고 할 수 있다. 캐나다 사례에서는 Dolan and Walker(2004)의 통합평가 모델을 거의 그대로 따르지만 적응역량 부분에서는 커뮤니티 수준을 중심으로 분석하였다. 본 글에서는 인간 환경부문의 취약성 평가와 이를 감소하기 위한 커뮤니티 차원의 적응역량 요인을 중심으로 살펴보았다.

Dolan and Walker(2004)의 통합평가 모델에서는 커뮤니티 차원의 적응역량 요인으로 ‘사용가능한 기술(available technology)’, ‘자원(resources)’, ‘부와 정보의 배분(wealth & information distribution)’, ‘사회적 자본 및 결속(social capital & cohesion)’, ‘핵심 구조와 의사결정(critical framework & decision-making)’, ‘위기 인식(risk perception)’, ‘재산권(property rights)’, ‘위기분산 수단(risk spreading options)’을 제시하였는데 캐나다 사례는 기후변화 영향을 분석하기 위해 기후변화에 민감하게 반응하는 지역(areas)과 행위(activities)를 도출하였다. 지역과 행위는 ‘커뮤니티 및 가족 유대(Community and family relations)’, ‘문화(Culture)’, ‘교육(Education)’, ‘음식(Food)’, ‘건강과 약(Health & Medicine)’, ‘자연자원(Natural Resources)’, ‘여가(Recreation)’, ‘교통(Transportation)’, ‘직업과 고용(Work and employment)’ 9가지 분야로 구분하였다.

각 분야를 자세하게 살펴보면, ‘커뮤니티 및 가족 유대’는 사회를 구성하는 그룹인 가족, 친구, 지역사회 등이 서로에게 느끼는 친밀감의 정도를 말하며, ‘문화’는 역사, 언어, 자연환경 등에 따른 해당지역만의 독특한 특성으로 Haida Gwaii의 경우는 캐나다 본토와 달리 사회 구성원의 ‘개척정신(frontier mentality and pioneering ways)’을 말한다. ‘교육’은 사회 구성원에게 제공하는 공식적, 비공식적 교육수준 등, ‘음식’은 지역에서 생산한 음식에 접근하고 채집하는 기술과 장소, ‘건강과 약’은 건강한 음식으로의 접근성, 충분한 의료서비스 제공 등, ‘자연자원’은 음식, 건강, 여가, 지역경제에 필요한 자연 자원, ‘여가’는 해수욕, 하이킹, 보트 등을 즐길 수 있는 야외 여가장소, ‘교통’은 다른 커뮤니티 및 본토와 연결하는 교통수단, ‘직업

및 고용'은 직업과 소득원의 다변화를 말한다. 커뮤니티 차원에서는 위에서 열거한 지역과 행위를 중요하게 생각하며 기후변화나 해수면 상승의 영향을 받을 경우 지역 주민들이 민감하게 반응하는 요인이 된다. <그림 3-15>는 연구진이 기후변화 영향에 민감하게 반응할 수 있는 지역과 행위를 도면에 표시한 것으로 많은 부분이 연안지역에 분포함을 알 수 있다.



자료 : Walker, I. J. and CCIAP A580 Team(2007), p. 261

| 그림 3-15 | 북 Haida Gwaii 커뮤니티 지도

기후변화 영향에 민감한 지역 및 행위는 커뮤니티 수준에서 연안지역 취약성을 평가하는 중요한 요인이 되는데 <표 3-16>은 Haida Gwaii에서 취약성 요인으로 도출한 항목을 보여준다. 대개 앞서 9가지 지역 및 행위분야를 중심으로 부족하거나 낮은 수준일 경우를 말한다.

| 표 3-17 | 기후변화 영향 지역 취약성 및 적응역량 요인

취약성 요인 (Attributes of vulnerability)	적응역량 요인 (Attributes of adaptation capacity)
- 지리적 고립 - 기후변화 위험과 해수면 상승 노출	- 상급 정부와 강한 연계 - 자연과 유대감 - 개척 정신 - 환경변화와 위험에 대한 경험
- 낮은 학력수준	- 높은 비공식 교육, 지역지식 - 지역 고유의 문화와 재발견 - 다양한 기술 (사냥, 채집 등)
- 제한적 필수 공공서비스 공급 (건강 보호, 사회서비스, 교육) - 세대별 건강 영향 (알코올 중독, 학대, 무관심)	- 강한 사회응집력과 네트워크 (가족 유대, 자원봉사자 등) - 자원봉사자 및 지역 자체적으로 필수 공공서비스 공급 (여성 센터, 건강프로그램)
- 낮은 비상계획 보급 및 인식	- 정착된 대피방법 - 마을 간 통신 증대
- 빈번한 정전 - 불충분한 식량 제고	- 전력부족에 대한 높은 대응능력 - 지역음식 채집 및 사냥 - 음식 저장 및 보관
- 높은 실업률 - 불안정한 자연자원 부문 의존 - 불확실한 장기 경제안정	- 가계소득 다변화 및 지원 (여러 직업, 예술, 음식 채집, 관광) - 계절별 직업 (어업, 임업, 관광) - 경제적 빈곤에 대한 회복력 증대
- 공적 토지자원 부족 및 토지이용관리 계획 부재	- 토지이용계획 수립
- 지방, 지역, 연방정부 간 정치적 긴장	- 의사결정에 참여

자료 : Walker, I. J. and the CCIAP A580 Team, *Op. cit.*, 2007

만약 <표 3-16>에서 제시한 취약성 요인을 기준으로 평가할 경우 Haida Gwaii가 기후변화와 해수면 상승에 취약한 지역이 될 수도 있다. 그러나 연안지역 기후변화로 인한 영향에 대응할 수 있는 역량을 키우는 데 직·간접적으로 기여하는 지역 고유의 특성이 있고, 이들 고유 특성을 바탕으로 기후변화에 대한 적응역량을 높이면 장기간 커뮤니티 수준에서 취약성을 줄

일 수 있다는 것을 밝혀냈다. 이는 연안 취약성 평가를 기후변화로 영향을 받는 직접적인 부문뿐만 아니라 취약성을 감소시킬 수 있는 적응역량까지 고려한 진일보한 평가 방법이라고 할 수 있다.

5) 국립해양조사원의 연안재해취약성 평가

(1) 개요

국립해양조사원이 진행 중인 연안재해취약성 평가는 연안재해에 주목하여 취약성 평가를 하고자 하였다(국립해양조사원, 2010). 국외의 관련 연구를 다양하게 분석하였으며, 특히 미국에서 진행된 지질조사국(USGS)의 연안 취약성지수(CVI)에 주목하였다. 앞서 살펴보았듯이 CVI는 해수면 상승과 관련한 연안의 환경조건을 보여 주는 연안지형이나 침식률, 연안경사, 평균 파고와 평균 조차를 가지고 해안의 취약성을 평가했다. 국립해양조사원의 평가에서는 CVI가 단순히 자연환경 조건만을 가지고 평가한 한계를 지적하며 SOPAC(South Pacific Islands Applied Geoscience Commission, 남태평양도서 응용지구과학 위원회)에서 제시한 환경취약성지수(Environmental Vulnerability Index)를 활용하여 우리나라에 적용할 연안재해취약성 평가모형을 구성하였다.

국립해양조사원이 추진 중인 연안재해취약성 평가체계(Coastal Disaster Vulnerability Assessment System)에서는 연안재해취약성을 ‘연안 시스템에서 발생하는 재해에 대하여 대처 불가능, 악화와 같은 취약성의 정도를 정량적으로 표시한 것을 말하는 것’으로 정의하고 각각의 재해 인자 및 지표를 정의하여 평가하였다.

(2) 연안재해취약성 평가체계의 3대 지수

이 연안재해취약성 평가체계에서는 재해취약성을 산정하기 위하여 지수를 세 가지 종류로 세분하여 정하고 있다. 여기에는 우선 재해의 물리적 측면을 평가하기 위하여 연안위험취약지수(Coastal Hazard Vulnerability Index : CHVI)와 연안재해의 환경적 측면인 연안환경취약지수(Coastal Environmental Vulnerability Index : CEVI), 경제·사회적 측면의 연안지속가능개발지수(Coastal Sustainable Development Index : CSDI)가 있다. 각 지수를 산정하는 변수에 대해서는 별도의 전문가 자문과 설문을 통해 더하거나 제외하였다.

① 연안위험취약성지수(CHVI)

전문가 자문과 설문을 통해 최종 결정된 연안위험취약성지수(CHVI)에는 태풍, 해일, 파랑, 연안지형, 해안특성, 해안취약구조물, 해수면 상승(해수온도 상승 포함)의 7가지 지표가 포함되고 각 지표를 대표해 총 30개의 평가인자가 들어간다. 예를 들어 태풍을 반영하기 위하여 내습빈도, 경로, 중심기압, 최대풍속, 최대순간풍속, 강우량 등의 평가인자가 포함되어 있다. 그러나 태풍을 반영하는 상당수의 평가인자들에서 서로 성격이 중복되는 경향이 있다. 또한 해안특성에 고극조위, 유속, 이안류 등이 포함되어 있는데, 연안위험이라는 측면에서는 빠른 유속이나 높은 고극조위가 위험의 지표가 될 수 있다고 해석할 수 있다. 그러나 본 연구의 대상이 되는 해수면 상승과 같은 해양환경의 변화에 대해서는 유속이나 이안류가 갖는 의미는 크지 않을 것으로 보인다.

연안위험취약성에 대한 개념에 대한 명확한 정의가 없는 상태에서 하나의 지수를 만들어 내는 과정에 성격이 전혀 다른 지표가 혼재하는 문제도 있다. 연안위험취약성지수를 구성하는 7개 지표 중 해안취약구조물 지표가 포함되어 있는데, 여기에는 해안도로나 항만시설, 방조제 등 총 7가지 평가인자를 대상으로 한다. 그러나 연안위험취약성지수의 다른 6개 지표가

모두 해양환경의 변화 정도나 연안의 자연환경 특성과 같이 취약성을 일으키는 원인에 관한 지표라는 점에 비해, 해안취약구조물 지표는 영향을 받는 시설물로 성격이 다소 다르다. 비록 변화의 원인을 대신하는 지표와 영향을 받는 지표를 취약성지수를 개발하는 과정에 고려하는 것은 가능하나, 전체 7개 지표 중 영향을 받는 지표가 유일하게 하나만 포함된 점, 그리고 취약구조물에 도로, 항만 등 구조물만을 대상으로 하고 있을 뿐, 정작 피해가 크게 발생할 수 있는 취약지역이나 산업단지 등은 고려하지 않은 점은 재고할 필요가 있다.

| 표 3-18 | 연안위험취약성지수 평가인자

지표	평가인자	평가기간
1. 태풍	내습빈도, 내습경로, 중심기압, 최대풍속, 최대순간풍속, 일일강우량, 시간당 강우량	30년 자료
2. 해일	태풍해일고, 지진해일고	지진 및 50년, 100년 태풍에 의한 최대 해일고, 최대 침수거리
3. 파랑	최대파고, 유의파고, 이상파랑/너울	30년 자료
4. 연안지형	침퇴적률, 해안형태, 표고, 경사, 지질분포, 토지이용도	5년 자료
5. 해안특성	고극조위, 유속, 이안류	30년 자료
6. 해안취약 구조물	해안도로, 접안시설, 항만 및 어항시설, 방조제, 하구언, 해상교량, 발전소	현재 구축된 자료
7. 해수면 상승	해수면 상승, 해수온 상승	30년 자료

자료 : 국립해양조사원(2010)

② 연안환경취약지수

국립해양조사원의 연안재해취약성 평가시스템에는 또 다른 지수로 연안환경취약지수가 있다. 여기에는 총 8개의 지표에 22개 인자를 고려한다.

지표에는 해양수질과 퇴적물, 생태계, 육상유입오염원, 유류오염원, 해안선, 갯벌, 연안생산성이 다음 표와 같이 들어 있다. 이에 따라 각종 수질이나 퇴적물의 질적 수준을 보여 주는 이화화학적 값이 제시된다. 또한 갯벌의 면적을 연안 면적 대비 갯벌 면적의 비율을 쓰거나 연안의 생산성을 대신 해 양식장의 크기나 영향을 인자로 삼고 있다. 비록 CEVI가 다양한 지표와 인자를 고려하고 있지만 우선 해당 지수가 무엇을 보여 주고 싶은 지에 대한 명확한 설정이 부족한 측면이 있다. 지금 제시된 지표인 수질이나 퇴적물, 생태계, 오염도 등을 포괄하는 것으로 볼 때 연안의 특별한 취약성을 본다기보다는 연안의 환경상태를 지표로 만드는 성격이 더 강하다. 더욱이 취약성이란 개념은 대개 시스템이 외부의 변화에 영향을 받을 때 이에 대응하지 못하는 시스템의 능력을 말하기 때문에 본질적으로 해당 시스템에 영향을 주는 외부 변수를 고려하고 있다. 따라서 여기에서처럼 실제 환경 취약성에 영향을 주는 외부 요인에 대한 설명 없이 연안의 환경요인을 종합한 것만으로 연안의 환경취약성지수라고 하기는 지표 구성인자로 볼 때 부적절한 측면이 있다.

| 표 3-19 | 연안환경취약성지수 평가지표 및 인자

지표	인자	비고
1. 해양수질	COD, TN, TP, pH, DO	5년 평균 농도(절대평가)
2. 해저퇴적물	COD, TN, TP, 강열감량	5년 평균 농도(절대평가)
3. 연안생태계	생태자연도, 토지피복도, 생태지수, 표영생태계지수	GIS 이용(절대평가) 및 국토해양부 연구결과 활용(상대평가)
4. 육상유입오염원	하수처리장, 폐수처리장, 쓰레기 매립장, 축산시설, 하천수 수질(COD, TN, TP)	처리량 및 농도(상대평가 및 절대평가)
5. 유류오염	항로	항로, 거리(상대평가)
6. 해안선	자연해안선	해안선 중 자연해안선 비율(상대평가)

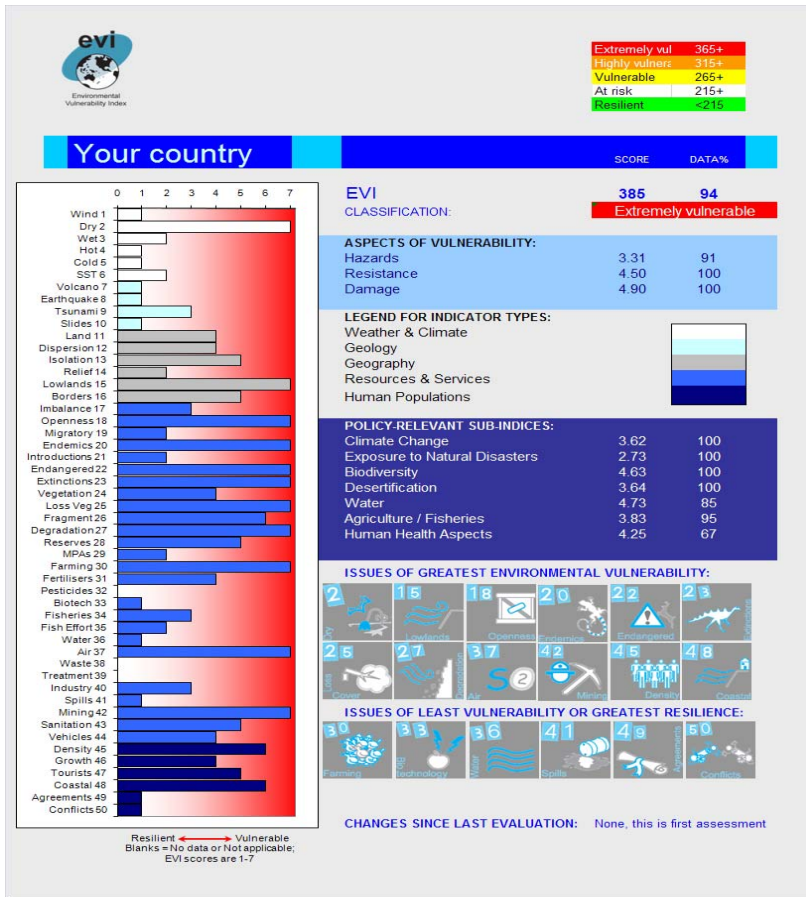
| 표 3-19 | 연안환경취약성지수 평가지표 및 인자(계속)

지표	인자	비고
7. 갯벌	갯벌	연안 면적 중 갯벌 면적 비율(상대평가)
8. 연안생산성	양식장	양식장의 영향(+,-), 양식장 크기(상대평가)

자료 : 국립해양조사원(2010)

연안환경취약성지수를 개발하면서 참고했다고 하는 SOPAC(South Pacific Applied Geoscience Commission)의 문헌(Pratt et al., 2004)을 살펴보면, 환경취약성지수(Environmental Vulnerability Index : EVI)는 1990년 초반 SOPAC의 회원국과 UNEP에 의해 개발되었다. 이 지수는 각 국가의 지속가능한 발전에 부정적인 영향을 주는 원인과 과정을 파악하기 위하여 경제적 취약성 지표와 사회적 취약성 지표와 함께 개발되었다. 한 국가가 지속가능한 발전을 하기 위해서는 각 요소가 얼마나 취약한지 평가하고 사회적인 레질리언스를 증진하기 위한 방법을 찾아야 한다고 본다. 이른바 한 국가의 지속가능성을 구성하는 주요 3요소인 환경과 경제, 사회적인 측면에서 확인해야 하는 문제들을 지수는 다루고자 한다.

SOPAC과 UNEP이 개발한 환경취약성지수에는 총 50개의 지표에 대한 정보가 필요하다. 강풍이나 건기의 기간, 해수표면온도와 같이 기후변화에 관계된 정보에서 시작하여 화산이나 지진, 쓰나미와 같은 재난에 관한 정보, 식생이나 멸종위기종, 토지피복의 변화와 같은 생물다양성에 관련된 피해, 인구와 관광, 교통과 같은 인간계에 관련된 정보 등 자연과 인문, 경제적인 측면의 다양한 환경지표들이 포함되어 있다. 흥미로운 점은 50개의 지표를 재난의 측면, 대응능력의 측면, 피해의 측면 등으로 그룹을 만들어서 원인이나 결과의 측면에서 다시 평가할 수 있게 하고 있다. 따라서 비록 50개의 지표지만 각 지표의 결과값을 활용할 수 있으면서도 원인이나 활용의 목적별로 환경취약성지수를 활용할 수 있도록 되어 있다.



자료 : C. R. Pratt, Kaly, U. L., and Mitchell, J.(2004), p. 18

| 그림 3-16 | SOPAC의 환경취약성지수 결과 사례

③ 연안지속가능개발지수

연안재해취약성 평가체계에서는 연안재해취약성을 평가하기 위하여 연안지속가능개발지수를 고려했다. 연안통합관리를 통해 연안의 재해예방을 하는 정책적 요소로 포함한 것인데, 지수에 포함된 지표는 크게 3가지로 사회경제적 복원능력, 물리적 복원 능력, 행정자치 복원능력으로 구분하여 14개 세부인자를 포함한다.

표 3-20 | 연안지속가능개발지수 평가지표 및 인자

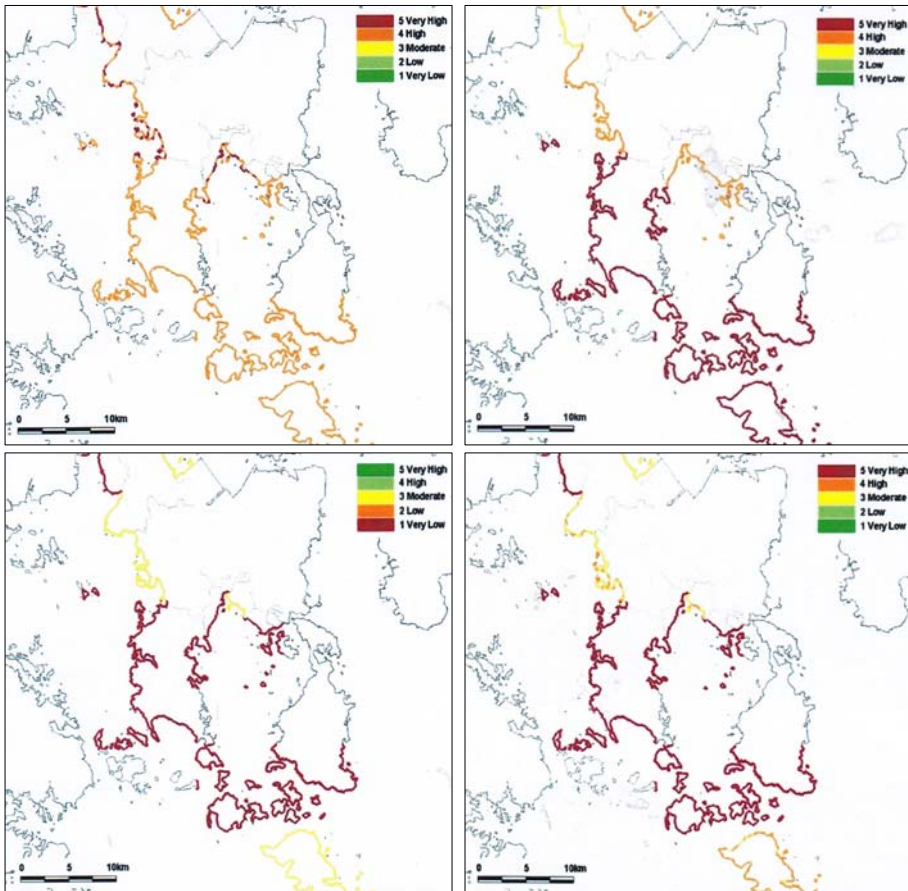
지표	인자	비고
1. 사회 경제적 복원능력 (Resilience)	GRDP	면적당 GRDP
	재정자립도	재정자립도
	경제성장률	GRDP 상승률
	취약 인구수	인구수 중 취약 인구 수 비율
2. 물리적 복원능력	병원	인구수당 병원수 비율
	소방서	인구수당 소방서 수 비율
	대피시설	인구수 중 수용가능 인구 수 비율
	용도구역	녹지 공간 및 농업 또는 상업지역
	취약 건물 수	연안 1km 이내의 취약 건물 수
3. 행정자치 복원능력	공무원	인구수 중 공무원 수 비율
	재난경보 시스템	시스템 구축 정도(민방위 등)
	재난 금액	1인당 재난 금액
	재해예방교육	1년 중 교육 실시 횟수
	환경보전지역	거리 또는 0,1

자료 : 국립해양조사원(2010)

연안재해취약성 평가체계에서는 이들 3개 지수를 종합하여 우선순위를 만들고자 한다. 아직까지 확정된 방법론을 제안하고 있지는 않지만 현재 잠정적인 결과로는 앞서 3개 지수를 산술평균한 우선지수(PI, Priority Index)를 가정했다.

$$\text{우선지수(priority index)} = (\text{CHVI} \times \text{CEVI}) / \text{CSDI}^2$$

국립해양조사원의 연구에서 제안된 여러 지수는 아직까지 확정되어 실용화 단계에 있다고 보기는 어렵다. 또한 지수 개발에 고려할 여러 요소가 많아 이를 재구성하는 과정을 거치고 있다. 예를 들어 현재의 위험지수, 환경지수, 지속가능 지수를 재구성하여 노출과 민감도, 적응능력으로 전환하는 방안도 모색 중이다. 이는 향후 관련 연구결과를 수집하여 다시 분석하고자 한다.



| 그림 3-17 | 국립해양조사원 연안재해취약성 평가결과 예시

주 : 좌상단부터 연안재해취약성의 노출평가, 민감도 평가, 적응능력평가 및 통합지수(재해노출×민감도/적응능력²)

자료 : 국립해양조사원(2010)

제 4 장 해수면 상승 연안 취약성 평가모형

1. 취약성 평가모형 구성의 이론적 배경

1) 취약성 평가의 의의

해수면 상승에 대한 연안지역의 취약성, 즉 해수면 변동에 영향을 받거나 대응하지 못하는 정도를 검토하는 취약성 평가를 통해 우리는 연안지역의 사회경제활동에 미치는 영향이나 영향의 가능성을 사전에 확인하고, 이에 대응하는 예방적 활동을 할 수 있다. 더욱이 우리와 같이 국가의 산업과 경제활동이 항만이나 연안도시, 임해산업단지를 중심으로 발달한 경제구조에서는 연안지역이 해수면 상승이나 폭풍해일 등에 따른 피해를 입게 되면 직접적으로 국민경제에 영향을 미치게 된다. 예를 들어 국가의 수출입을 담당하는 항만과 배후지역에 침수나 범람이 있게 되면 복구가 마무리될 때까지 해당시설이나 공간의 기능이 일시적으로 정지할 수밖에 없다. 또한 온산이나 대산, 창원과 같이 해안지역에 밀집된 산업단지나 주거단지 역시 침수 기간뿐 아니라 복구 기간 내내 기존 경제활동에 악영향을 주게 된다.

특히 기후변화에 따른 해수면 상승은 연안에 늘 영향을 미치던 태풍해일과 더불어 연안지역에 침수와 범람 가능성을 더 높인다. 따라서 해수면 상승이 어느 정도의 강도로, 얼마나 자주, 얼마나 넓은 면적에 나타날지를 확인함으로써 피해가 가능한 지역에 대해 대응대책을 준비할 수 있다. 따라서 취약성 평가는 해수면 상승이라는 원인과 연안지역의 대응이라는 인과관계를 사전에 검토하는 과정이라고 할 수 있다. 앞서 OECD의 PSR 평가모형이나 DPSIR 평가모형 검토에서 확인한 것과 같이 ‘원인(stress)-대응(response)’의 관계를 통해 문제가 되는 환경상태(state)를 있게 한 원인인 추

동력(driving force)이나 압력(pressure)을 확인하고, 상태를 개선할 수 있는 대응(response)을 확인하는 과정은 원인에서 대응에 이르는 기본 구조를 지향하는 취약성 평가에서도 의미가 있다.

또한 이 연구에서 살펴보려는 취약성 평가모형은 연안지역을 대상으로 하고 해수면 상승을 그 원인으로 한다. 공간적인 고려의 대상과 취약성의 원인이 명확하게 정의된 것이다. 따라서 취약성 평가를 위한 평가인자를 검토하거나 산정할 때 근본적으로 평가인자가 연안과 해수면 상승이라는 공간과 원인에 밀접한 관련이 있어야 한다. 특히 해수면 상승은 침수범위의 확대, 또는 해안선의 후퇴라는 현상을 동반한다. 따라서 취약성 평가는 해수면 상승에 따라 침수나 범람의 위험에 들어 있는 곳을 미리 확인하고 검토하여야 한다. 해수면 상승이 동일한 수준이라 하더라도 배후의 연안지역이 어떤 지형적 조건을 갖고 있는지, 또는 토지이용을 어떻게 하는 지에 따라 영향범위가 크게 달라질 수 있다. 또한 영향범위 내에서 이루어지는 사회경제적 활동은 인명과 재산과 같은 피해의 규모를 좌우하고 또한 복구나 대응능력을 결정하는 중요한 인자가 된다.

앞서 PSR 평가구조가 주로 현재 나타난 문제와 그 해결에 주목한 반면, 취약성 평가는 미래에 닥칠 위험에 대한 사전 평가라는 점에서도 다르다. 연안 취약성 평가가 현재에서 미래 일정 시점에까지 이르는 시간이라는 변수가 포함되는 것에 반해, PSR 평가는 시간이라는 차원을 포함하지 않거나 포함한다고 하여도 미래에 할 수 있는 대응정책을 찾는 제한된 수준에 불과하다. 따라서 취약성 평가는 해수면 상승이라는 미래 예측이 필요한 시간 차원에 대한 고려가 있다는 점에서 기존 PSR 평가체계의 구조와 쓰임새가 다르다.

앞서 3장에서 검토한 미 지질조사국이 산정한 연안 취약성지수(CVI)는 해수면 상승이나 연안경사, 조차 등 6개 인자를 등급으로 구분하고 등급을 종합한 결과를 연안 취약성으로 정의하여 해안을 따라 시각적으로 보여 줬

다는 점에서 의의가 있다. 지수에 포함된 6개 인자 모두 해수면 상승 정도와 해수면 상승에 따른 해안의 민감도를 보여 주는 인자이다. 따라서 우리의 취약성 평가체계에서 검토하는 사회경제적 영향이나 적응정책까지 고려하지는 못한다. 다만 공간을 구획하고 구획된 공간에서 해수면 상승에 대한 물리적 민감도 정도를 보여 줬다고 할 수 있다. 공간적으로 모든 해안을 평가

단위로 끊어서 평가하였기 때문에 시각적으로는 매력적인 방식이기는 하나, 평가결과와 취약성에 대한 실제 피해결과 등이 비교되지 못했기 때문에 신뢰성이 부족하다. 취약성 지수의 평가결과가 실제 해당해역의 해수면 상승의 취약성을 나타낸다고 하기 어려운 측면이 있는 것이다. 더욱이 미래에 대한 예측이나 대응 없이 인자값 모두가 현재 또는 과거 자료에 기반한 것이기 때문에 미래에 대한 연안의 취약성이라기보다 연안의 현재 수준에서 갖는 취약성을 물리적 수준에서 살펴봤다고 할 수 있다.

2) 취약성 평가모형 구성의 착안점

(1) 불확실성에 대한 고려

기후변화에 관한 모든 과학적, 정책적 검토에서 가장 격렬한 논쟁을 일으키는 부분이 바로 기후변화에 대한 불확실성(uncertainty) 문제이다. 불확실성에 대해 Schneider et al.(2002)은 ‘정보의 부족은 분명히 불확실성을 야기하는 원인’이라는 하나 알려져 있는 또는 알 수 있는 것에 관한 의견 불일치가 불확실성의 또 다른 원인’이라고 봤다. 여기에는 언어적 표현의 부정확, 통계적 편차, 측정 오차, 추정, 주관적인 판단, 의견 불일치 등이 해당된다. 따라서 불확실성도 일부는 정량화할 수 있는 반면, 또 다른 종류는 확률적인 개념으로 표현할 수가 없기도 하다. 그러나 이런 불확실성의 문

제가 전 지구적인 수준에서의 기후변화 문제로 넘어오게 되면, 지역적 수준에서 나타나는 기후변화 영향이나, 기후변화 원인과 결과 간에 나타나는 시간적 지연 현상, 관측기간을 넘어서는 기후변동의 낮은 발생회수, 사전 실험과 통제의 불가능성 등의 문제로 나타난다. 이들 모두가 기후변화 문제에서 불확실성을 낳게 하는 원인이 된다.

아래 그림은 기후변화 문제에서 갖는 불확실성이 실제 온실가스 배출 시나리오에서 여러 단계를 거쳐 최종적으로 우리가 체감하는 영향의 측면으로 이전할 때 어떻게 확대되는지를 보여 준다. 첫 단계인 온실가스 배출 시나리오에 관해서도 사회적 합의의 여부, 기술의 발전 가능성 등에 따라 불확실한 측면이 있기 때문에 일정 수준의 불확실성을 예상할 수 있다. 그런데 다음 단계의 탄소순환의 측면이나 이에 따른 전 지구적 기후변화에 대한 민감도에서는 더 큰 불확실성이 나타난다. 더욱이 기후변화는 전 지구적 수준뿐만 아니라 지역 차원에서 고려하여야 하는데, 이렇게 되면 지역 차원에서 고려할 수 있는 시나리오는 지역적인 특성에 따라 더 다양해질 수밖에 없다. 결국 우리가 체감하게 될 영향의 범위 역시 처음 온실가스 배출 시나리오에서 가정한 불확실성과는 비교도 할 수 없을 만큼 확대된다. 이처럼 단계를 거쳐 가면서 불확실성이 급격하게 커지는 현상을 이른바 ‘불확실성의 폭발(uncertainty explosion)’이라고 하는데, 기후변화 현상에 대한 이해는 물론 이에 대한 대책을 논의할 때 반드시 고려할 부분이라고 할 수 있다.



| 그림 4-1 | 기후변화에 있어 불확실성의 확대

자료 : Schneider et al.(2002), p. 68

기후변화 현상에 대한 예측이 불확실성을 잠재적으로 가지고 있지만 이에 대한 대책은 결국 예측에 기초할 수밖에 없다. 그러나 대책을 수립하는 과정이나 결과물인 사회적인 합의 또는 정책이라는 것도 결국 이해관계자 간 협의의 산물이기 때문에 과학적 근거의 존재 여부에 관계없이 어떤 정책을 수립할 때 역시 불확실성은 발생하는 것이다. 예를 들어 이산화탄소 배출량 감축에 관한 국가 간 이견 등이 향후 기후변화 문제를 다루는데 불확실성을 낳는 가장 직접적인 원인이기도 하다. 다만 기후변화 문제와 대응 정책의 수립에 있어 불확실성 문제는 짚고 넘어가야 할 부분이나 그렇다고 근본적으로 해결할 수 있는 성질은 아니다. 과학적인 부분에서는 추가적인 연구를 통해 불확실성의 일부 원인이 밝혀지고 불확실성이 감소할 수는 있지만 결코 과학적인 분야라 하더라도 모든 불확실성을 제거할 수는 없다. 더욱이 사람에서 기인하는 불확실성이라면 더욱 그러하다. 따라서 기후변화 문제를 다루는 모형이나 정책과정에서 불확실성에 대한 고려를 체계적이고 공식적으로 다루어야 한다. IPCC의 모든 기후변화 평가보고서에서는 불확실성을 논의하고 있으며, 이를 위해 확률이나 시나리오를 활용하는 것도 대응의 방식이기도 하다.

연안지역의 해수면 상승에 대한 취약성 평가는 기본적으로 해수면이 상승이라는 사건에서 시작한다. 그 사건이 연간 상승률로 표현되는 연속적인 해수면 상승일 수도 있고, 폭풍해일과 같은 일시적 해수면 상승일 수도 있다. 그러나 이를 좀 더 들여다보면 연속적이건 일시적 사건이건 모두 해수면 상승의 크기, 속도, 빈도에 대한 예측이 필요함을 알 수 있다. 미래에 대한 예측은 기본적으로 가능성, 즉 확률적 사건으로 보거나 시나리오에 기반을 두고 볼 수밖에 없다.

확률적 해석은 기본적으로 리스크 평가(risk assessment) 방식을 의미하는데, 리스크란 “우려할 만한 사건이 발생할 확률과 그 사건이 발생한 경우 피해의 규모를 곱한 기댓값”이다(USPCC RARM,²⁰ 1997).²¹ 그러나 확률적

해석은 앞서 기후변화와 관련된 불확실성에서는 적용하기 어려운 측면이 있다. 리스크에서 발생확률은 정확한 정보에 따라 밝혀져 있어야 하는데, 기후변화에 대한 관련된 예측이나 정보는 성격상 부정확하거나 발생확률이 거의 알려져 있지 않다. 전 지구적인 기후변화에 워낙 다양한 인자와 과정, 관계들이 내재하고 이에 대한 이해도 부족하기 때문이다. IPCC(2001)에서 기후변화를 기습적인 사건이라는 의미의 ‘surprise’라는 단어를 사용하는 이유도 이와 궤를 같이한다.

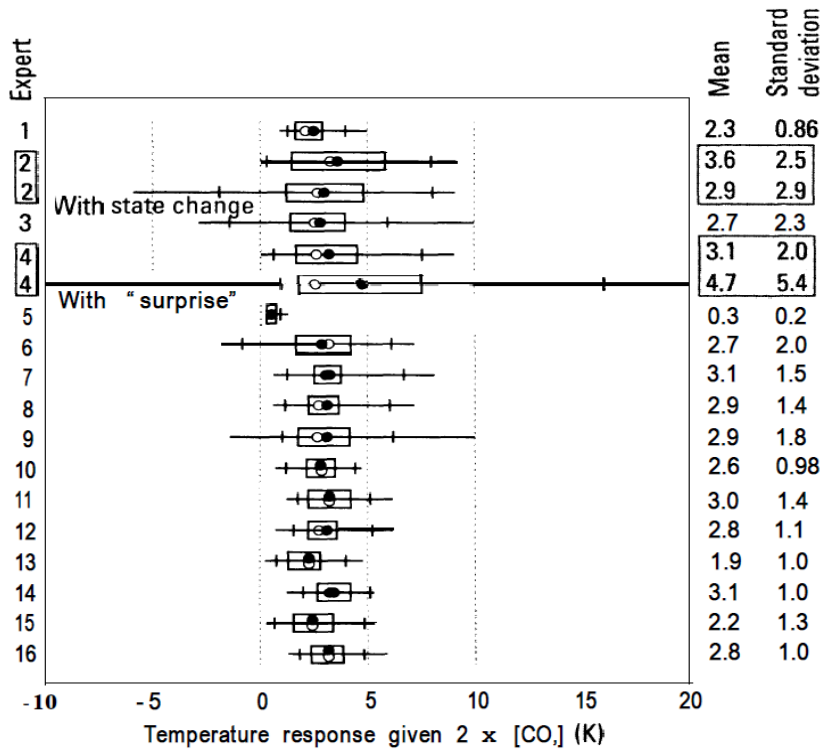
다음 그림은 기후변화의 가장 기본적인 대기온도 상승에 대한 여러 실험결과의 신뢰구간을 보여 주는 데 이를 통해서도 기후변화의 불확실성, 확률론적 접근의 실태를 보여 준다. 대기 중 이산화탄소 농도가 두 배가 된다는 같은 조건에서도 대기 온도 상승에 대한 예측값은 다양한 영향인자 때문에 매우 다양하게 나타날 수 있으며, 하나의 결과라 하더라도 발생확률을 고려한 결과값의 범위는 큰 폭으로 나타난다.

20) US Presidential/Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management.

21) Risk itself is defined by the as the probability that a substance or situation will produce harm under specified conditions. Risk is a combination of two factors:

The probability that an adverse event will occur.

The consequences of the adverse event.



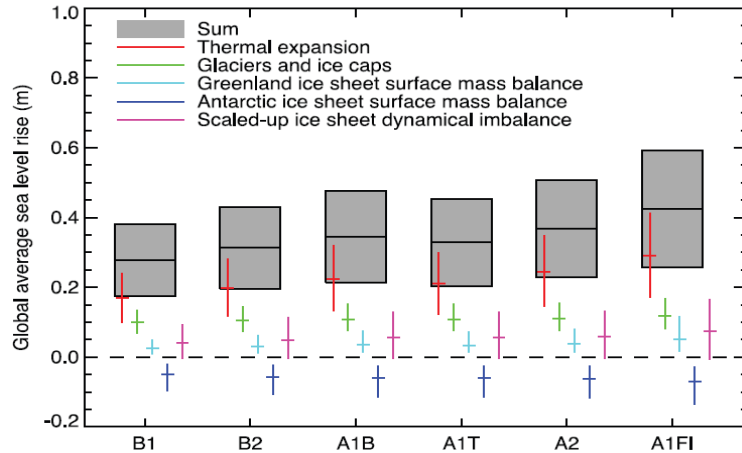
| 그림 4-2 | 대기온도 상승에 대한 예측결과 비교

주 : 대기 중 이산화탄소 농도가 두 배가 되었을 경우를 가정할 경우 나타날 기온상승에 대한 16개 연구결과와의 비교로서, 가로선의 우측과 좌측은 최대값과 최소값의 범위이며, 세로 표시는 각각 5%와 95%에 해당하는 구간을 의미하며, 상자는 50% 신뢰구간, 검은 점은 평균, 흰점은 중앙값을 의미

자료 : Morgan & Keith(1995), p. 469

기후변화 문제에 대한 확률적인 해석의 한계를 극복하기 위해서 IPCC 등 국제사회는 시나리오 분석을 시도하였다. 기후변화에서 시나리오는 우선 미래의 온실가스 배출량에 대한 시나리오 설정이다. 온실가스 배출량이라는 것이 인구증가나 사회경제적 발전의 문제, 기술변화 등 다양한 영향을 받기 때문에 이들에서 기인한 불확실성을 묶어서 미래에 배출될 온실가스를 몇 가지 시나리오로 가정한 것이다. 여기에는 대표적인 6개 배출 시나리오가 있으며 이를 기반으로 해수면 상승 폭까지 예측하였다. 각 시나리오에서 해수면 상승을 확률분포상 5%와 95% 범위, 즉 5%에서 95%으로

아래 그림의 상자 가장 높은 곳과 낮은 곳의 값에 해당한다. 이중 가장 악 조건에서 가정한 시나리오 A1F1을 따를 경우, 금세기 말까지 해수면 상승고는 최소 26cm에서 최대 59cm에 이른다.



구분		B1	B2	A1B	A1T	A2	A1F1
상승고(m)	5%	0.18	0.20	0.21	0.20	0.23	0.26
	95%	0.38	0.43	0.48	0.45	0.51	0.59
상승률(mm/yr)	5%	1.5	2.1	2.1	1.7	3.0	3.0
	95%	3.9	5.6	6.0	4.7	8.5	9.7

자료 : IPCC(2007), p. 820

| 그림 4-3 | 시나리오별 해수면 상승 예상치

우리가 해수면 상승에 대해 언급할 때 금세기 말까지 59cm 해수면 상승을 자주 인용하는데, 이 정도의 해수면 상승은 현재로서는 최악의 상황을 가정한 경우라는 점을 반드시 고려하여야 한다. 6가지 기후변화 시나리오 중에서도 가장 심각한 경우에서만 가능한 수치이며, 그것마저도 확률적으로 매우 낮은 발생가능성을 가지고 있다는 점이다. 시나리오 분석에서 쓰인 모형이나 관측값이 갖는 문제로 분석결과인 예측값에 불확실성이 있겠지만 이는 앞으로 과학적 연구를 통해 불확실성을 줄여 갈 부분이고, 현

재 가지고 있는 정보를 활용하고 취약성을 평가하는 과정에서는 이런 전제 조건에 대한 고려가 반드시 필요하다고 할 것이다.

(2) 시간에 대한 고려

해수면 상승에 대한 연안 취약성 평가모형의 구성 과정에 고려할 중요한 인자 중 하나가 시간 또는 목표로 하는 기간 또는 시점이다. 해수면 상승은 현재 실존하고 미래에도 지속적으로 일어날 가능성이 상당하다는 것을 가정한다. 과거 약 1세기 동안 해수면 상승이 관측되었고 그 원인으로 지목된 지구온난화 현상이 현재의 이산화탄소 증가의 전망 속에서 지속된다는 가정에 기초하고, 해수면 상승은 미래에도 계속되며 이에 따라 연안 지역에 피해가 나타날 것을 가정한다.

쉬운 예로 우리가 배출하는 온실가스는 대기 중에 누적되어 지구온난화라는 돌이킬 수 없는 전 지구적 영향을 주기 때문에 지금부터 온실가스 저감 몇 %와 같은 구체적인 대책을 시급히 마련해서 진행하지 않으면, 100년 또는 200년 후에는 돌이킬 수 없는 영향이 미래에 나타난다. 이 때문에 어떤 종류의 저감 대책이건 시급성이 있다. 반면, 적응 대책에서는 접근 방식이 조금 다르다. 해수면 상승이나 태풍에 의한 해일고가 증가한다고 하여도 기본적으로 그 변화는 지속적으로 계속 일어나는 점진적이고 연속적인 변화이다. 또한 그 대책도 필요한 시점에 적절한 수준만큼의 대응을 하는 것이 중요하다. 즉, 적절한 시간적 범위를 고려하여 경제적으로도 효율적인 선택을 하여야 하는 것이다.

1997년 캐나다에서 약 1조 원의 공사비를 들여 건설한 Confederation 교량의 건설 과정을 살펴보면 기후변화 적응에 있어 적절한 시간적 범위에 대한 고민을 확인할 수 있다(Lee, 2000). 이 교량은 길이가 총 13km에 달하고 교각과 교각 사이에는 선박이 통항할 수 있도록 수직으로 약 50m의 공

간이 필요했다. 교량 계획 당시 캐나다 정부는 향후 해수면이 상승하면 배가 통항할 수 있는 교량의 수직 높이가 줄어 들 수 있어 설계과정에 해수면 상승분을 더 고려하여야 한다고 보았다. 이 때 캐나다 정부는 교각이 한번 건설되면 향후 추가적으로 교량고를 높이는 작업이 어렵다는 점과 교량의 수명이 약 100년 정도라는 점에 주목했다. 이런 조건을 감안하여 설계 초기 계산한 교각 높이에 1m를 추가로 높여 시공하였다.

또 다른 예로는 해수면 이하의 토지가 국토의 1/3이 넘는 네덜란드의 사례이다. 네덜란드 정부는 ‘수해방지 기술자문위원회(Technical Advisory Committee on Water Defence : TACWD)’의 권고에 따라 신규 토목건설 시 구조물의 최대 수명을 고려하여 시설계획을 수립하도록 하였다. 이에 따라 새로 건설되는 폭풍해일 대비 방어시설(barrier)이나 댐의 경우 해수면 상승을 고려하도록 하여 약 50cm를 추가로 높여 건설하도록 하였다(Government of the Netherlands, 1997).

이처럼 해수면 상승에 대한 예측이나 시나리오의 근간에는 시간에 대한 고려가 존재한다. 적응정책은 앞서 온실가스 저감 정책과 다르게 영향을 받는 사람들, 특히 당장의 영향은 물론 장기적으로는 한 세대 또는 시설물의 내구연한 내에 감당할 수 있는 시간적 범위에서 대책을 고려하는 것이 마땅하다. 즉, 100년 후의 해수면 상승에 대한 예측이 1m가 된다고 하여 당장 이를 고려한 연안지역의 대책이 필요한 것은 일부에 불과하다.

IPCC의 기후변화 평가 보고서에는 여러 기후변화 시나리오에 미래의 일정 시점까지를 가정하고 있다. 예를 들어 대기온도 상승과 해수면 상승은 2100년 또는 21세기 말을 주로 시간적 범위로 잡는다. 이에 따라 높아지는 해수면에 대한 대응대책을 검토하는 과정에서 이 시점을 기준으로 잡기 쉬운데 이는 우리가 고려할 수 있는 적응정책의 관점에서는 적절한 시간 기준이라고 하기 어렵다. 만약 21세기 말을 기준으로 적응정책을 검토하고 이에 따라 시설물의 구조 등을 변경하면 대개 시설의 사용 기간 내내 불필

요한 수준의 과도한 시설이 되기 쉽고, 결국 비용 대비 불합리한 선택을 하는 결과가 된다. 따라서 적응대책을 과학적, 합리적으로 고려하기 위해 수행하는 취약성 평가에서도 기본적으로 기후변화나 해수면 상승 대책이 유효한 시간적 범위 내에서 평가하고 검토하는 것이 기본이라고 할 수 있다.

(3) 영향범위(공간)에 대한 고려

현재 지구의 기온 상승과 해수면 상승은 주로 대기-해양 일반순환모형(Atmosphere-Ocean General Circulation Models : AOGCM) 모형을 통해 모의한다. AOGCM 모형은 지구 기후를 결정하는 대기와 해양, 육상 간의 상호관계를 실측자료를 기반으로 구성하고 이를 통해 과거 기후는 물론 현재와 미래의 기후를 모의한다. IPCC의 평가보고서 등에서 국제적으로 통용되는 이 모형에서 수평 해상도는 125~400km에 달한다. 이와 같은 규모의 해상도는 지구 전체를 대상으로 수십 년 내지 수백 년간의 기간을 두고 모의하여야 하기 때문에 기술적으로나 비용효과 측면에서 가장 효율적인 수준에서 결정된 것이다. 그러나 지역적 수준에서는 지금의 해상도보다 좀 더 세밀한 해상도에 따른 예측 결과가 필요하다. 해수면 상승이 금세기 말까지 최대 59cm라고는 하나 이는 전 지구 평균으로, 지역적으로는 그 편차가 당연히 있을 수밖에 없기 때문이다.

또한 해수면 상승이라는 환경 변화는 연안의 자연적인 또는 물리적 조건에 따라 그 영향권역과 강도가 달라질 수 있다. 예를 들어 조석의 크기나 해안경사의 정도, 해안림이나 매립지 등의 존재 유무에 따라 영향을 받는 범위나 강도도 달라진다. 또한 해수면이 점진적으로 증가하여 침수되는 경우는 물론 폭풍 해일에 따른 해일고와 같이 해수면 변동의 성격에 따라 영향을 받는 공간적 범위를 고려하는 것 역시 전혀 다른 기작에 따른다고 할 것이다. 이는 물리적 또는 자연환경의 민감도(coastal physical or natural

sensitivity)라고 할 수 있는데, 이에 따라 해수면 상승의 영향을 받는 공간적 범위가 결정된다.

해수면 상승의 영향범위가 결정되면 범위 내는 물론 간접적인 영향권역 전체에 대한 사회경제적 활동 일체를 살펴볼 필요가 있다. 예를 들어 토지이용 현황 등이 그 대상이 될 수 있는데 이와 같은 사회경제적 활동의 형태를 이해하는 것은 앞서 물리적 또는 자연환경의 민감도와 대비하여 사회경제적 민감도를 확인하는 과정이라고 할 수 있다. 이를 통해 해수면 상승에 따른 범람이나 침수에 따라 그 영향이 얼마나 구체적이고 치명적인지, 또한 얼마나 빠르게 복구할 수 있는지를 살펴볼 수 있다.

해수면 상승에 영향을 받는 공간을 파악하고 해당 연안의 자연환경과 사회경제적 환경을 살펴봄으로써 어떤 피해를 입을 수 있을지를 파악할 수 있다. 그러나 여기서도 역시 중요한 점은 해수면 상승이라는 사건이 일어날 확률과 시간에 대한 고려이다. 이에 관해서는 후술하는 분야별 주요 인자에 대한 설명에서 자세히 논의될 것이다.

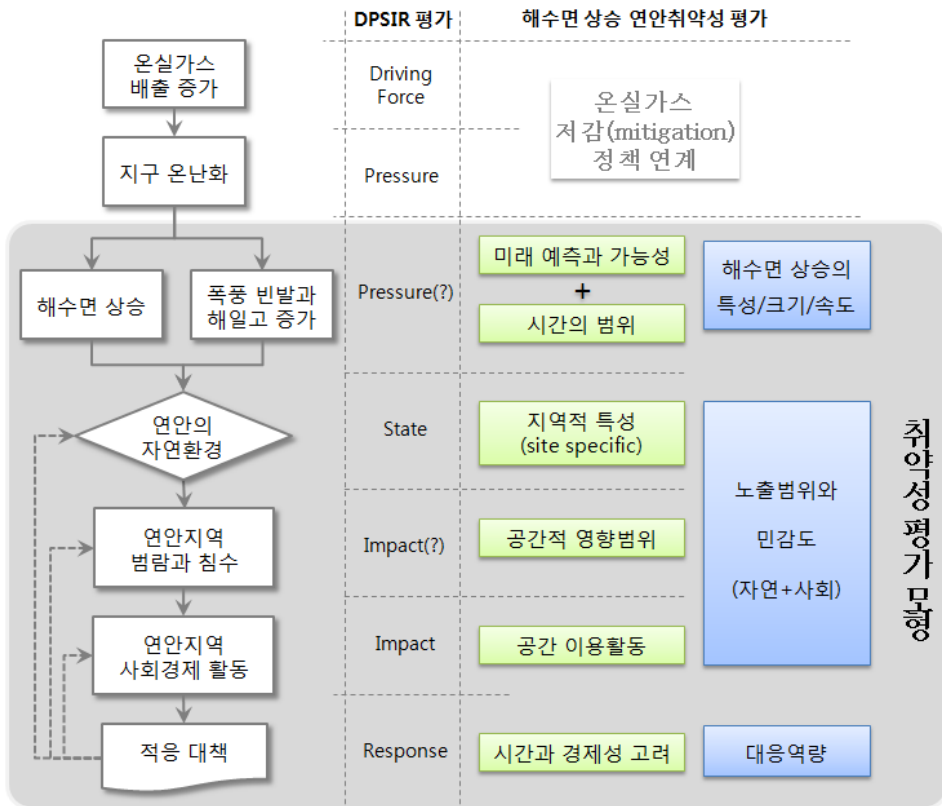
3) 평가모형의 구성

해수면 상승에 대한 연안지역의 취약성에 관한 국내외 연구들을 종합하고 여기서 얻은 시사점과 모형 구성에 필요한 착안점들을 종합하여 평가모형을 구성하고자 한다. 다양한 평가모형 각각의 장단점과 우리가 살펴보는 현상의 특성을 종합적으로 검토한 결과 평가모형 구성의 기본적인 원리 내지 기본 원칙을 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 해수면 상승에 따른 연안 취약성 평가는 원인(stress)과 반응(response)의 과정으로 이루어지며, 이는 연안이라는 공간에서 자연시스템과 사회시스템의 상호작용을 밝히는 것이다.
- 해수면 상승에 대한 취약성 평가는 합리적이고 필요한 수준의 시간과 공간의 범위를 설정하여야 한다.
- 불확실한 미래를 가정한 취약성 평가는 사회적으로 합의가 가능하거나 과학적으로 충분히 설명할 수 있는 발생확률이나 시나리오를 활용하여야 한다.

해수면 상승에 대한 연안지역의 취약성을 검토하는 과정은 앞서 살펴본 여러 모형 중 특히 IPCC의 기후변화 취약성 평가의 기본 구조인 노출과 민감도, 영향과 적응능력의 흐름을 활용한다. 그러나 노출에 있어 해수면 상승이라는 원인을 세분하고 영향을 받는 대상인 연안을 자연적 환경특성과 사회경제적 환경특성으로 구분한다. 연안의 물리적·자연적 민감도에 따라 영향을 받는 권역, 즉 공간적 범위를 설정하고, 이후 해당 범위 내 및 주변지역을 대상으로 사회경제적 특성을 확인할 수 있다. 이 과정에서 해당지역이 사회경제적으로 해수면 상승에 민감한지 아닌지, 즉 사회경제적 민감도를 확인할 수 있도록 관련 인자를 구성하여야 한다.

영향범위와 영향을 받는 범위에서의 사회경제적 활동을 파악하면 이를 기반으로 해수면 상승 영향에 적응할 수 있는 사회시스템의 능력을 검토할 수 있다. 그 능력에는 공적 조직이 갖는 사전대응이나 사후 복구의 시설적, 물적 측면이 될 수도 있고, 지역사회 또는 시민 개개인이 갖는 정서적 측면, 심리적 측면도 포함될 수 있다. 이는 이후의 분야에서 나누어 설명하도록 한다.



| 그림 4-4 | 연안지역 해수면 상승 취약성 평가의 흐름

<그림 4-4>는 평가모형의 개념도이다. 앞서 취약성 평가가 PSR이나 DPSIR 평가기법과 다른 점에 대해 언급한 바와 같이 해수면 상승을 있게 만든 지구온난화와 대기 중 온실가스 증가의 문제는 각각 압력(Pressure)과 추동력(Driving Force)로 분류할 수 있으나, 이는 온실가스 저감(mitigation) 정책과 관련된 부분으로 기후변화 적응의 측면에서 바라보는 취약성 평가에서는 제외했다. 따라서 해수면의 점진적 상승과 폭풍해일고의 특성, 크기, 속도에 대한 이해를 시작으로 하여, 연안의 자연환경과 침수·범람 예상 지역 내의 사회경제활동을 파악함으로써 노출 범위와 피해에 대한 민감도를 확인할 수 있다. 이후 대응정책은 정책이 효과적으로 작동할 수 있는 적

절한 시간규모 내에서 사회적으로 필요한 다른 활동이나 정책과 비교하여 경제적으로 효율적인 선택을 고려하여야 한다. 대응방식에는 법이나 제도, 행정과 같은 정책적인 방식에 의할 수도 있고 해안선을 보호하기 위한 방파제나 사구의 복원, 옹벽의 설치 등과 같은 물리적인 방식도 가능하다. 이는 대상지역의 공간적 특성에 따라 각각에 적합한 방식을 검토하고 선택할 부분이다.

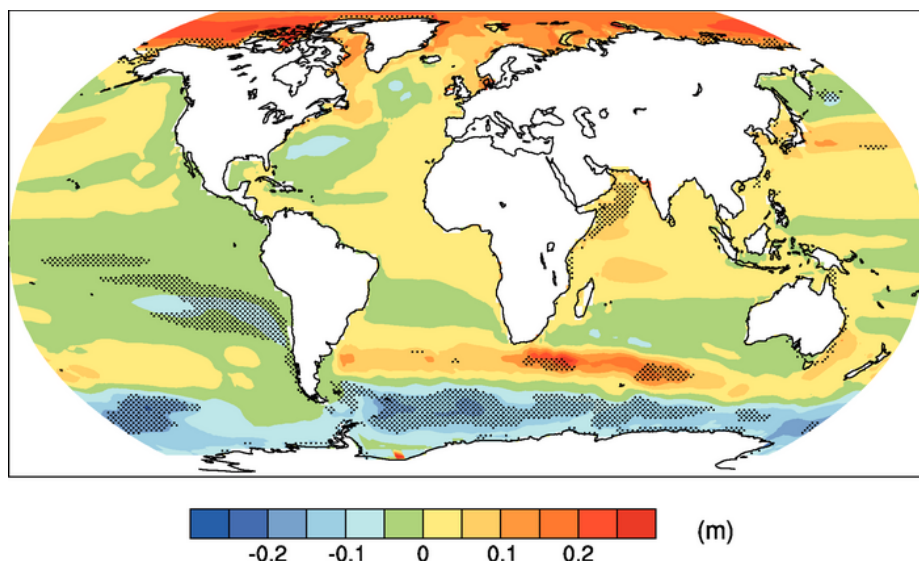
2. 해수면 상승과 영향권역 검토

1) 해역별 해수면 상승

해수면 상승은 앞서도 언급한 것과 같이 크게 두 가지로 방식으로 나타난다. 첫째, 지구온난화에 따른 점진적인 해수면 상승, 둘째 폭풍해일과 같은 일시적 수면 변화이다. 이 둘은 서로 영향을 주기는 하지만 발생기가 전혀 다르기 때문에 각각의 발생 원인과 영향의 정도를 나누어 검토할 필요가 있다.

앞서 해수면 상승에 대한 국제사회의 예측을 살펴보면, 온실가스 배출이 가장 많이 이루어지는 시나리오(A1F1) 기준으로 해수면 상승고가 금세기 말 최대 59cm에 달한다는 것을 확인하였다. 그러나 개별 연안지역에서 나타나는 해수면 상승은 다양한 인자의 영향을 받기 때문에 상승 양상도 복잡하고 예측하기 어려운 형편이다. 아래 그림과 같이 전 지구를 대상으로 한 모형에서도 바닷물의 밀도나 순환류의 변화 때문에 해역별로 해수면 상승률이 나르게 나타난다. 아래 그림은 6가지 시나리오 중 중간 정도의 온실가스 배출 시나리오인 A1B 시나리오의 결과로 AOGCM의 16개 모형에서 나온 전 지구 해수면 상승 평균값과의 편차, 즉 평균해수면 변동에 대한 지역별 상승률의 차이를 보여 준 것이다. 양의 값으로 표시된 해역은 A1B

시나리오 기준으로 예상된 전 지구적 해수면 평균 상승고보다 더 높게 상승한 곳이고, 음의 값으로 표시된 해역은 그 반대의 경우이다.



자료 : IPCC(2007), p. 813

그림 4-5 | A1B 시나리오에 따른 지역적 해수면 상승 편차

이처럼 해수면 상승 자체도 해역별로 다르게 나타나는데, 연안지역은 육지와 맞닿은 곳이기 때문에 연안지역에서 체감하는 해수면 상승은 사실 상대적인 변화가 더 중요하다. 즉, 해수면의 절대적인 변화는 물론 해당 연안지역의 지반 운동의 변화를 함께 고려하여야 한다. 지반 자체가 움직이거나 또는 빙하기 이후 나타나는 후빙기 조륙운동의 효과를 같이 고려하여야 한다. 단순히 인공위성 고도계를 통한 절대적인 해수면 변동만이 중요한 것이 아니라, 연안지역의 각기 다른 지반운동까지 고려하여야 하기 때문에 매우 복잡한 과정이 될 수 있다.

이를 위해서는 우선 과거부터 현재까지의 해수면 변동과 지반변동 각각에 대해 원인별로 분석하고, 그 경향성을 기초로 모형을 개발하여야 한다. 또한 신뢰성 있는 해수면 변동 및 지반 변동 모형을 통해 미래의 해수

면 변동을 예측할 수 있어야 한다.

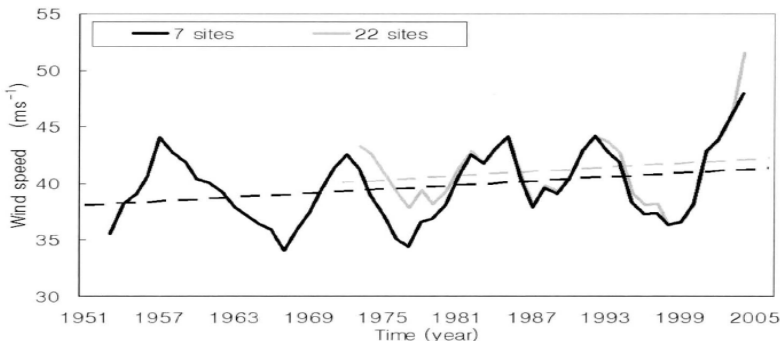
우리나라에서 해수면 변동은 제2장에서 각종 국내자료의 현황을 살펴본 것과 같이 국립해양조사원이 중심이 되어 조위관측 장비를 통해 해수면 변동을 기록하고, GPS 등의 기술을 통해 지반운동도 분석한다. 그러나 우리나라에서 해수면 변동에 대한 정밀한 연구는 2000년대 후반 들어서야 본격화되었으며, 연구의 기초 분석자료가 되는 조위관측 기록 자체도 여러 가지 오차를 내포하고 있다. 결국 해수면 변동을 정밀하게 파악하기 위해서는 국제적인 기록과도 비교가 가능하고 신뢰성 있는 조위와 지반 변화에 대한 자료를 확보하는 일이 중요하다고 할 것이다. 미래의 해수면 변동의 경향성을 예측하는 것은 연안지역의 해수면 상승에 대한 취약성을 검토하는 전 과정의 첫 단계이자 가장 기본이며 핵심적인 부분이다. 다행히 지난 2001년 11월 29일 「신 기후변화 시나리오에 따른 미래 기후 전망 및 기후 변화 영향」 세미나를 통해 새로운 온실가스 배출 시나리오에 따른 개선된 기후와 해양결합모형을 통해 우리나라에 나타날 기온 상승과 해수면 상승을 예측하였다. 그중 RCP8.5 시나리오(CO₂ 940ppm)를 따를 경우 2050년까지 동해 35cm, 서해 23cm, 남해 23cm로 평균 30cm의 상승을 예측했다.²²⁾ 그러나 국내의 연구는 아직까지 과거 자료에 대한 해석조차 확실하게 이루어지지 않은 짧은 연구 이력이라는 한계를 가지고 있어 장기적으로 꾸준하게 투자되어야 할 부분이다.

22) 흔히 해수면 상승을 예상하여 지형도상에 침수범위를 도시하곤 하는데, 이 과정에는 몇 가지 고려할 부분이 있다. 예를 들어 해안에는 ‘바닷가’라고 하여 만조 시 바닷물과 육지가 만나는 해안선과 지적공부(地籍公簿)에 등록된 지역까지의 공간을 정의하는데, 해수면 상승이 수십 cm 정도 예상될 경우 수면 상승의 영향은 직접적으로 지적이 있는 토지를 침수하기보다는 바닷가를 침수하는 선에서 그칠 가능성이 크다. 또한 지형도 상의 기준면이 인천 앞바다의 평균해수면인데 해역별 평균해수면이 인천 앞바다와도 차이가 있고, 해역별로 조차가 다르기 때문에 침수범위를 산정하는 데는 다양한 요소에 대한 검토가 필요하다.

2) 해일고의 변화

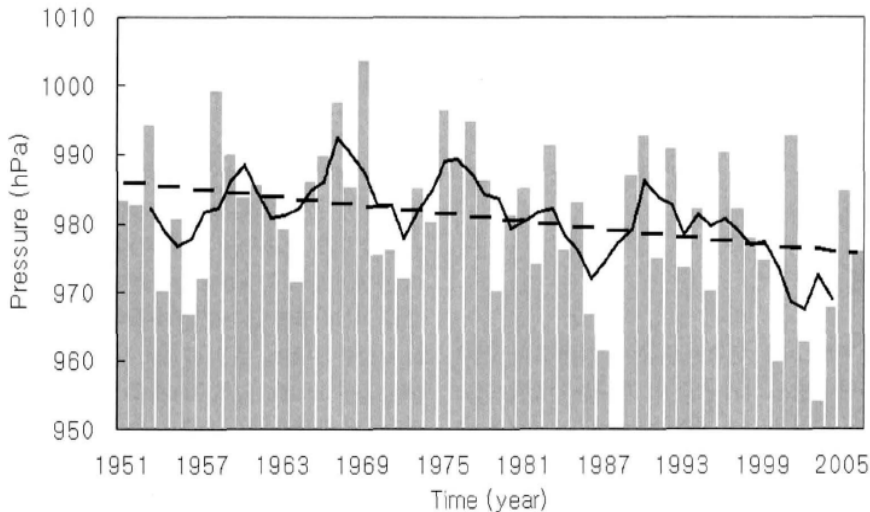
2장에서 살펴본 것과 같이 연안지역에는 전 지구적인 해수면 상승도 영향을 미치지만 결정적이고 강력한 피해를 주는 것은 폭풍해일에 따른 해수면 변동이다. 더욱이 기후변화로 해수면이 꾸준히 올라가면 같은 크기의 폭풍해일이라도 월류고는 더 높아지고 피해는 그만큼 더 커지게 된다.

국립해양조사원(2009)에서는 IPCC 기후모델(MPL_ECHAM5 AIB series)을 이용하여 2001년과 2099년의 해수면 온도 변화를 살펴봤는데, 우리나라에 영향을 주는 북서태평양 부근의 해수면 온도는 다른 해역에 비하여 많이 상승하는 것으로 나타났다. 특히 제주도 남단 해역인 이어도 주변 표층 해수 온도가 약 4℃나 상승한 것으로 나타났다. 이는 앞으로 태풍의 강도와 빈도는 물론, 태풍의 발달과 쇠퇴와 같은 생애주기에도 영향을 줄 것으로 보인다. 또한 1951년 이후 2006년까지 관측한 연간 기압 극소값을 분석한 최의수 외(2008)에 따르면, 우리나라에 영향을 주는 태풍의 강도는 점점 강해지는 것으로 보고된다. 순간최대풍속의 극값이 분석 기간 중 약 15m/s 증가하였고, 중심기압은 10hPa 이상 하강하였다. 만약 기후변화의 이유로 태풍의 중심기압이 낮아지고 풍속이 강해진다면 최대 해일고 역시 증가할 가능성이 높다.



자료: 최의수·문일주(2008)

| 그림 4-6 | 순간최대풍속의 변화(1951~2006년)



자료 : 최의수·문일주, *Op. cit.*, 2008

| 그림 4-7 | 한반도를 통과하는 태풍의 중심기압 변화 추이

그러나 기후변화에 따른 태풍의 변화 양상은 기존의 관측결과는 물론 관련된 모형분석을 통해 예측과 검증이 가능하다. 나아가 전 지구적인 기후변화, 해수온도 상승 등을 포함하여 태풍의 발생빈도나 이동방향, 강도의 변화를 모의할 수 있다. 관련 연구가 국내에서도 개별 연구 등을 통해 진행 중이다.²³⁾ 다만 태풍의 향후 변화의 방향과 정도를 취약성 평가에 활용하기 위해서는 일정한 시간적 범위와 평가대상이 명확히 정해져야 한다. 즉, 어느 연안을 어느 정도의 시간 범위에서 검토해야 하는지를 결정해야 한다. 이는 적응에 필요한 시공간적인 범위를 설정하여 시나리오를 제공하고 이에 따라 해일고 변화는 물론 앞서 해수면 상승도 포함하여 고려하여야 한다.

23) 오지희 외(2011), 박종길 외(2007), 오태석 외(2009), 오태석 외(2008), 권순덕 외(2008) 등의 연구에서 태풍 관측결과 및 모의를 통해 풍속 변화 등을 예측하였음.

3) 침수예상도를 통한 영향권역 파악

해일이 해안에 가까이 다가오면 해안의 지형이나 수심 등에 의해 파형이 변형된다. 때로는 예상보다 더 높은 파가 되어 해안을 덮칠 수도 있고, 때로는 더 작아져 큰 피해가 나지 않을 수도 있다. 이는 결국 폭풍해일의 크기와 방향, 천해파가 되면서 나타나는 파의 변형, 그리고 해수면 자체의 상승 등에 따라 영향권역은 달라지고 이는 연안의 특성에 따라 수치모형으로 분석해야 할 부분이다.

국내에서는 이런 분석을 해안침수예상도 제작 과정에 활용하고 있다. 국립해양조사원이 2009년 이후 연차사업으로 진행하고 있는데 여기에 쓰인 모형으로는 국내외에서 인지도가 있는 INSPECT, ADCIRC, FVCOM, SLOSH 등이다. 이들 모형은 모두 파의 운동방정식을 통해 지형과 수심 등의 조건에서 파의 거동을 해석하는 방식이다. 어떤 방법이건 분석의 기본이 되는 격자는 해안에 가까운 곳은 작고 세밀하게 구성하고 먼 곳은 격자 크기를 크게 구성하였다. 모형에 따라 크기는 74km의 격자에서 작게는 24m까지 다양한 격자가 활용된다.

표 4-1 | 태풍해일고 모의 모형별 주요 입력자료 비교

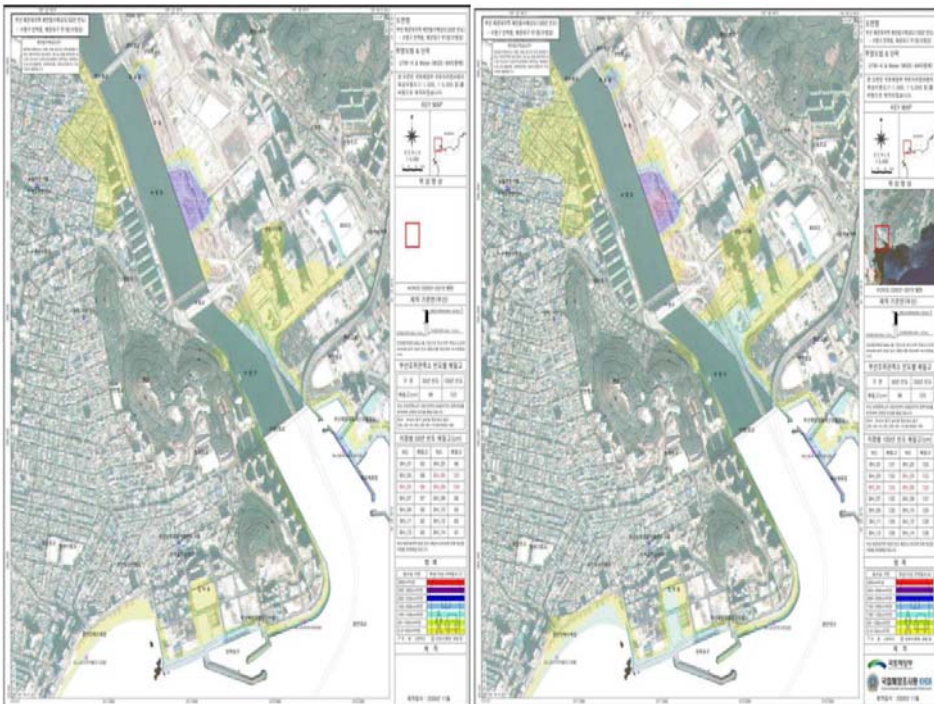
구분	INSPECT 모형	ADCIRC 모형
최소 격자크기	30m	24m
최대 격자크기	29,160m	74,300m
좌표계	WGS84, UTM-K 좌표	WGS84, 경위도 좌표
격자수	641,821개	element 140,188개 node 73,102개

자료 : 국립해양조사원(2009) 재정리

특히 해안침수예상도를 작성하는 과정에서 태풍의 강도나 방향 등을 여러 가지 조건으로 가정한 시나리오 분석을 실시하였다. 예를 들어 부산

과 여수의 침수예상도를 만들 때는 과거 영향이 컸던 6개의 태풍을 정해 이를 이동경로 10가지, 중심기압 6가지, 최대풍반경 3가지로 설정하여 총 1,080가지의 시나리오를 구성하여 분석하였다. 태풍의 세기는 보통 2~3년 빈도로 자주 발생하는 중심기압 980hPa의 태풍에서, 100년 빈도의 950hPa의 태풍이 있기 때문에, 중심기압도 최소 930hPa에서 최대 980hPa까지 6가지를 가정한 것이다.

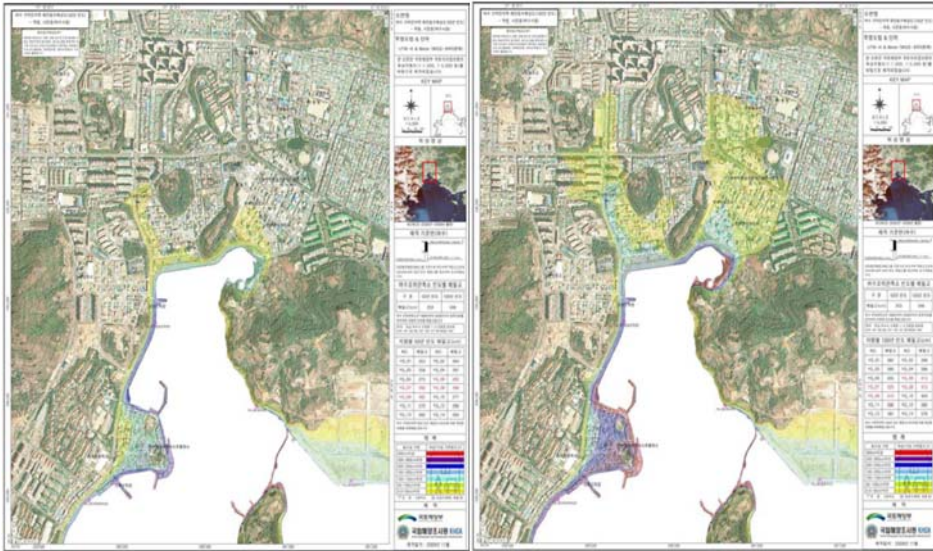
해안침수예상도는 아래와 같이 1:5,000 지형도에 빈도별로 침수구역을 보여준다. 침수심은 50cm 단위로 하여 최대 3m까지 표시하였다. 아래에는 침수예상도의 여러 세부 지역 중 넓은 지역에 피해가 나타난 수영강 하류와 여수 시전동 여수시청 지역이다.



주 : 좌측이 50년 빈도, 우측이 100년 빈도

자료 : 국립해양조사원(2009), p. 217

| 그림 4-8 | 빈도별 태풍 내습 시 침수예상도(부산 수영강 하류)



주 : 좌측이 50년 빈도, 우측이 100년 빈도
 자료 : 국립해양조사원, *Op cit.*, 2009, p. 224

| 그림 4-9 | 빈도별 태풍 내습 시 침수예상도(전남 여수시)

두 지역의 해안침수예상도에서 볼 수 있듯 해일이 해역의 조건, 수심이나 지형 여건에 따라 파형이 달라져 육지로 올라가게 되면, 육지의 지형이나 하천의 위치에 따라 침수가 되는 지역의 범위도 다양하게 나타난다. 단순히 해안에서 가까운 곳이 침수된다기보다는 해안과 연결된 저지대를 따라 침수범위가 확장된다. 수영강 하류를 대상으로 한 침수예상도를 보면 100년 빈도의 태풍이 내습하여도 해안가의 침수심은 불과 50cm 수준에 불과하다. 그러나 해일이 수영강을 따라 올라가면서 하천 좌측과 우측의 저지대를 침수시키는데 그 깊이가 최대 2m가 넘는다. 만약 해당지역에 사람이 거주하거나 활동하는 상태라면 범람한 물 높이가 사람 키 이상이 되기 때문에 인명 피해의 우려도 매우 크다.

여수시의 경우 가막만 북쪽에 위치하고 시가지가 밀집되어 있기 때문에 태풍을 따라 남쪽에서 해일이 밀려올 경우 피해의 우려가 큰 지역이다. 침수예상도를 보면 바다에 연접한 해안 지역은 해일에 의해 일부 침수를

입기는 하나 특히 소호동(그림의 좌하단) 지역은 전면의 작은 섬과 해안을 매립하고 이를 주거지로 이용하는 지역으로 2m 이상의 침수가 예상된다. 또한 만 가장 안쪽에도 침수가 발생하는데 도로를 따라 침수가 되어 50년 빈도일 경우 시청 바로 인접지역까지 100년 빈도일 경우 시청을 지나 1km 나 안쪽에 위치한 지역까지 침수가 발생한다. 비록 그 침수심이 크지 않다고 할지라도 빗물이나 하천과 같은 담수가 아닌 바닷물이 범람하였기 때문에 시설물의 부식이나 염해에 따른 수목 피해 등 이차적인 피해가 발생할 수밖에 없다.

4) 침수구역 분석을 위한 정보 선택과 활용

앞서 미지질조사국의 연안 취약성지수의 인자 중에는 지형이나 해안경사, 조석 등 연안환경에 관한 인자가 포함되어 있었다. 그러나 이들 인자는 지금과 같은 해안침수예상도를 수치모형에 따라 모의할 경우 거의 모든 환경조건이 모형의 환경인자로 포함되게 된다. 즉, 수치모형을 수립할 때 실제지형을 최대한 반영할 수 있도록 정밀한 수심, 지형표고자료, 해안선 정도를 확보하여야 한다. 지형정보 자료에는 수치지형도, 수치해도가 활용되고 정밀성이 요구되거나 자료가 가용한 경우 항공레이저 측량기술(Light Detection and Ranging : LiDAR)에서 얻은 영상 자료를 활용할 수 있다. 특히 침수예상도는 기본적으로 수직해상도의 정밀도, 정확도와 밀접한 관계가 있다. 왜냐하면 기후변화에 따른 해수면 상승고가 금세기 말까지 최악의 시나리오에서 최대 59cm에 머물고, 100년 빈도의 폭풍해일고라고 해도 대개 3m가 최대 높이이기 때문에 침수예상도 작성에서도 침수심을 50cm 단위로 검토한 것이다.

일반적으로 지형도를 활용할 경우 축척에 따라 오차가 존재한다. 아래 표와 같이 수치지형도의 축척이나 기법에 따라 오차는 발생한다. 1/1,000

수치지도에서 표고점의 오차가 33cm 수준이고 LiDAR 역시 이와 비슷하거나 다소 낮은 것으로 평가되기도 한다. 그러나 위광재 등(2007)에 따르면, GPS 측량을 통해 LiDAR 자료의 표고 정확도를 평가한 결과 평균 $0.089\text{m} \pm 0.062\text{m}$ 의 정확도를 보여 축척 1/1,000의 수치지형도보다 우수하다고 평가하였다. 앞서 부산과 여수에 대한 침수예상도 작성에는 부산에 대해 LiDAR 영상을 활용하였다.

| 표 4-2 | 수치지형도별 오차 특성

구분		1/5,000	1/1,000	LiDAR
평면(X,Y) 오차		$\pm 3.50 \text{ m}$	$\pm 0.70 \text{ m}$	1/2,000 × 고도
높이(Z) 오차	표고점	$\pm 1.66 \text{ m}$	$\pm 0.33 \text{ m}$	15~35 cm
	등고선	$\pm 2.50 \text{ m}$	$\pm 0.50 \text{ m}$	-

자료 : 국립해양조사원, *Op cit.*, 2009, p. 224

해수면 상승에 따른 침수지역을 파악하기 위해서는 지역에 따라 지형도와 해도의 기준면을 일치시켜야 하는 과정보다 검토하여야 한다. 지형도의 기준이 되는 측지기준은 인천평균해면(MSL)인데 반면 해도의 기준은 약최저저조면을 기본수준면(DL)²⁴⁾으로 삼는다. 따라서 기본수준면 기준으로 평균해면(MSL)은 +463.5cm의 값을 가지고 대조평균고조위는 +862.4cm를 가지게 된다. 이는 즉, 지형도로 환산하면 대조시 해발 398.9cm(대조평균고조위-평균해면)까지 대조시에 평균적으로 물이 차오른 상태임을 말한다. 따라서 지형도를 활용하여 침수예상도나 범람 범위를 산정할 때는 이와 같은 측지기준과 기본수준면의 차이를 고려하여야 한다.

24) 기본수준면(약최저저조면)이라 함은 일정 기간 조석을 관측하여 분석한 결과 가장 낮은 해수면으로 연평균해수면에서 주요 4대 분조의 반조차 합만큼 내려간 면으로, 기준조위관측소의 기본수준면은 다음 방식으로 결정(국립해양조사원 고시 제 2009-22호, 2009.12.14)

$$DL = P0 - (Hm + Hs + H' + H0)$$

여기서 DL : 기본수준면, P0 : 연평균해수면

Hm, Hs, H', H0 : 기준조위관측소의 주요 4대 분조(M2, S2, K1, O1)의 반조차

또한 해역별로 평균해면(MSL)도 인천의 기준해면과 차이가 난다. 기준 조위관측소가 위치한 인천 연안역에서도 평균해면이 인천의 기준이 되는 평균해면과 다소 차이가 난다. 그 차이가 수 cm에서 20여 cm로 과히 크지 않을 수도 있으나 연간 수 밀리미터로 추정되는 기후변화에 따른 해수면 상승 속도를 고려하면 침수예상도를 고려할 때 함께 고려할 높이이기도 하다.

| 표 4-3 | 평균해면과 인천평균해면과의 차이

단위: cm	을왕리	잠진도	세어도	무의도	송도
인천평균해면과 차이	-6.93	-16.89	0.0	-12.3	-12.6

자료 : 국립해양조사원, 수로기술연보, 2002

3. 연안의 사회경제적 영향인자

기후변화 영향 취약성 평가에서 사회경제 인자를 고려한다는 것은 취약성의 개념을 좀 더 적극적으로 해석하는 것이라고 할 수 있다. 어떤 지역에 형성되어 있는 연안환경은 취약성 평가를 위한 가장 근본적인 인자에 해당하지만 취약성 평가의 최종 주체이면서 연안환경과 활발하게 상호작용하는 사회경제 시스템에 대한 고려가 간과될 경우 취약성 평가의 실효성이 낮아질 수 있다. 이런 이유로 취약성 평가에 사회경제 인자를 고려해야 한다는 필요성은 취약성 평가모형 개발과 관계있는 국제기구, 정부기관, 연구자 사이에서 보편적으로 받아들이는 사실이다.

제3장에서 검토한 Nicholls(1999, 2008)의 연구가 사회경제 인자의 필요성을 지적한 대표적인 연구에 해당하며, 캐나다 Climate Change Impacts and adaptations Program은 실제 지역을 대상으로 자연환경뿐만 아니라 사회경제 인자, 적응역량을 통합적으로 고려한 좋은 사례라고 할 수 있다. 최근에는 Nicholls(1999, 2008)의 연구와 캐나다 사례뿐만 아니라 대부분의 국제기구,

정부기관에서 개발한 취약성 평가모형에서 사회경제 인자를 고려하고 있다. 더 나아가서 단순한 인자, 물리적 특성, 현재 시점 등을 기준으로 고려한 과거의 방식을 탈피하여 시간, 인자 간 관계, 비물리적 속성 등에 대한 고려도 중요하게 고려하는 추세로 바뀌고 있다.

다음에서는 국제기구, 해외 정부기관, 기존 연구자가 개발한 취약성 평가모형에서 고려한 사회경제 인자 종류, 수준 등을 검토하였고 우리나라 취약성 평가모형 개발 시 도움이 될 수 있도록 각각의 평가모형에서 사회경제 인자를 구성할 때 중요하게 고려한 기준을 검토하였다.

1) 사회경제적 영향인자 사례

UNEP, UNDP, IPCC, 미국 NOAA 등 많은 국제기구, 정부기관 등에서 기후변화 취약성 평가모형에서 구성한 사회경제 인자는 취약성 평가 목적, 대상지역 공간범위 등에 따라서 매우 다양하다.

UNEP·IVM²⁵⁾은 1998년 작성한 ‘Handbook on Methode for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies’에서는 사회경제 시나리오를 활용한 취약성 평가모형을 제안하였는데, 구체적으로 영향을 받는 사회경제 분야·시스템을 ‘일반(general)’, ‘수자원(Water Resources)’, ‘연안지역(Coastal Zones)’, ‘농업(Agriculture)’, ‘건강(Human Health)’, ‘에너지(Energy)’, ‘산림(Forestry)’, ‘가축 및 초지(Livestock and grasslands)’, ‘야생생물 및 생물다양성(Wildlife and biodiversity)’, ‘수산업(Fisheries)’로 구분하고 각 분야에 대한 변수를 설정하였다(<표 4-5> 참조). 사회경제 분야·시스템 구분에서는 연안지역이 유일하게 분야가 아닌 특정한 공간을 포함하였다. 그만큼 연안지역은 기후변화 영향에 밀접한, 영향의 종류(예를 들면, 해수면 상승)에 따라

25) Institute of Environmental Studies(Vrije Universiteit Amsterdam).

서 영향을 받는 유일한 지역이라는 것을 의미한다. 연안지역에 기후변화 영향을 받는 세부 변수는 인구밀도, 경제적 활동 및 투자, 토지이용, 적응역량(경제적, 기술적, 제도적)으로 설정하였다.

UNEP(2005)가 실시한 연안지역 취약성 평가는 DPSIR 모형을 사용하여 연안지역만을 대상으로 하였다는데 의의가 있고, 국가 전체를 평가단위로 하였기 때문에 인자가 매우 단순하다. 취약성 평가를 위하여 사용한 사회경제 인자는 노출도(exposure)에 연안지역 ‘인구밀도’, ‘자연재해 발생 확률’, ‘식생이 있는 지역의 비중’, ‘지리적 노출도(50m 이하 평지, 해안선 비율)’을, 적응역량에 UNDP의 인간개발지수(HDI)를 포함하였다.

표 4-4 | 기후변화 영향 및 적응 분석을 위한 사회경제 인자

부문/시스템	시나리오를 위한 변수
일반	· 인구성장 · 경제성장
수자원	· 농업, 가정, 산업, 에너지 부문 물 이용 · 토지이용(지표수 관련) · 적응역량(경제적, 기술적, 제도적)
연안지역	· 인구밀도 · 경제 활동 및 투자 · 토지이용 · 적응역량(경제적, 기술적, 제도적)
농업	· 토지이용 · 물 이용 · 음식 수요 · 대기 구성요소 및 퇴적물 · 농업 정책(국제무역 포함) · 적응역량(경제적, 기술적, 제도적)
건강	· 식량 및 물에 대한 접근성 및 질 · 건강 보호(최저 기준 포함) · 인구구조 · 도시화 · 적응역량(경제적, 기술적, 제도적)
에너지	· 인구 · 경제구조 · 발전구조 · 적응역량(경제적, 기술적, 제도적)

| 표 4-4 | 기후변화 영향 및 적응 분석을 위한 사회경제 인자(계속)

부문/시스템	시나리오를 위한 변수
임업	· 토지이용 · 물 이용 · 목재 수요 · 대기조성(atmospheric composition) 및 침적(deposition) · 자연보전 정책 · 적응역량(경제적, 기술적, 제도적)
가축과 초원	· 토지이용 · 물 이용 · 고기 및 유제품 수요 · 대기조성 및 오염 · 고기 및 유제품을 위한 국내외 시장과 정책 · 적응역량(경제적, 기술적, 제도적)
야생생물 및 종다양성	· 토지이용 · 물 이용 · 대기조성 및 퇴적물 · 관광 · 자연보전 정책
수산업	· 낚시(빈도 및 강도) · 토지이용(연안지역) · 물 이용(담수) · 대기 오염

자료 : UNEP and IVM(1998), pp. 2~5

IPCC가 1990년 작성한 ‘해수면 상승 적응전략(Strategies for adaptation to Sea level Rise)’에서는 취약성 평가를 하지 않았고 해수면 상승이 미치는 사회경제적 영향을 간단하게 언급하였다. IPCC는 주로 전 세계를 대상으로 연구를 하기 때문에 상세하거나 심화된 영향 분석이 없다. 다만 보편적으로 고려할 수 있는 인구(특히, 저지대), 식량(특히, 농업)의 영향 등에 의한 취약성을 강조하였다. 특히 저개발국가에서 해안가 저지대에 거주하는 사람들과 농지가 해수면 상승으로 피해를 입게 되는 사실을 강조하였다. 또한 개발이 된 국가에서도 도로, 다리, 항만 등 인프라가 피해를 받는 것도 언급하면서 기후변화와 해수면 상승에 따른 잠재적인 영향이 가변적이고 불확실하더라도 적응전략이 필요하다고 하였다. 해수면 상승 적응전략은 전 세계적으로 기후변화에 관한 논의가 본격적으로 시작되던 시기에 작성

되었기 때문에 해수면 상승이 연안지역에 미치는 영향만 간단하게 언급하였다. IPCC의 적응전략은 해수면 상승은 연안지역에 피해를 줄 것이 확실하기 때문에 적응전략을 마련해야 하고, 구체적인 방법으로 3가지²⁶⁾를 제시하였다는 점에서 의미가 있다.

이후 IPCC는 기후변화에 관한 4차례에 걸쳐 보고서를 작성하였고, 2007년에 작성한 제4차 보고서에서 해안 및 저지대 부문에서 기후변화로 영향을 받는 사회경제 요인을 분석하였다. IPCC가 기후 관련 영향이 연안 지역 사회경제 부문에 미치는 영향을 ‘담수 자원(Freshwater resources)’, ‘농업 및 임업(Agriculture and forestry)’, ‘수산업 및 양식(Fisheries and aquaculture)’, ‘건강(Health)’, ‘위락 및 관광(Recreation and tourism)’, ‘생물다양성(Biodiversity)’, ‘정주 및 사회간접시설(Settlement and Infrastructure)’로 나누었다. 각각의 항목은 다시 세부적인 인자로 구성되어 있는데 예를 들면, 담수 자원은 ‘표면수 및 해안 대수층으로 해수 침투’, ‘하구 및 강 체계에 대한 해수 침입’, ‘해안 범람’ 등을 포함하였다.

UNDP가 2004년에 작성한 ‘기후변화 적응정책 체계(Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures)’에서는 취약성 평가를 위하여 고려해야 할 사회경제적 상태(conditions)를 크게 다섯 분야로 제시하였다. 다섯 분야는 ‘인구 분석(Demographic analysis)’, ‘경제 분석(Economic analysis)’, ‘자연자원 이용(Natural resource use analysis)’, ‘거버넌스 및 정책분석(Governance and policy analysis)’, ‘문화 분석(Cultural analysis)’으로 실제로 어떤 지역의 취약성을 평가하지 않았으나 중요하게 고려해야 하는 분야를 선정하고 나누었다는 데 의미가 있다. 인구 분야에서는 인구수, 밀도, 구조, 분포 위치 등 인구와 직접적으로 관련된

26) 3가지 구체적인 적응전략은 전 세계적으로 해수면 상승에 대응한 방법으로 널리 활용하고 있는 ‘Retreat’, ‘Accommodation’, ‘Protection’을 말함.

인자뿐만 아니라 교육, 연료, 주택, 전기사용, 빈곤 비율, 건강, 전염병, 식품 안전 등을 포함하였고, 경제 분석 항목에서는 통화정책(Monetary Policies), 산업 및 인프라 정책(Industrial and Infrastructure policies), 노동정책(Labor policies), 농업 정책(Agricultural policies), 환경 정책(Environmental policies)을 포함하였다. 자연자원 이용 항목에서는 현재 사용하고 있는 자연자원의 범위, 상태, 미래 다른 용도의 이용 등을 포함하였고, 거버넌스 및 정책 항목에서는 환경 트렌드 및 정책, 경제정책과 환경정책의 통합, 계획하고 있는 국가의 개혁정책(민영화, 자유무역협정 등)을 포함하였다. 마지막으로 문화 항목에서는 교육, 지식개발, 기술 지원, 토착기술 개발, 지역 연구, 의사소통, 대중 의식 제고 등을 포함하였다.

NOAA가 2011년에 작성한 ‘기후변화 적응전략(Adapting to Climate Change: a planning guide for state coastal managers)’에서는 사회경제 인자를 연안지역의 물리적 특징, 취약성을 평가하는 요소인 노출도로 구분하여 제시하였다. NOAA(2011)는 사회경제 인자에 무엇을 포함하는지를 정하기 전에 어떤 관점 혹은 기준으로 사회경제 인자를 포함하여야 하는지를 명확하게 하였다. 기후변화에 취약한 자산을 기후변화 영향에 노출된(exposure) 자산의 개념으로 정립하고, ‘사람(people)’, ‘재산(property)’, ‘시스템(system)’, ‘기능(function)’으로 인식하였다. 또한 취약성을 평가할 때는 ‘영향을 받는 지역(area)’, ‘주 정부나 이해당사자가 보호하기 원하는 특별한 시설(specific asset)’, ‘미래 변화(assets projected to change in the future)’를 고려해야 한다는 것을 강조하였다.

구체적으로 NOAA(2011)가 제시한 취약성 평가를 위한 사회경제 인자는 ‘인구(population)’, ‘건축물(buildings)’, ‘기반시설(infrastructure)’, ‘자연자원(natural resources)²⁷⁾’, ‘역사자원(historical resources)’, ‘문화자원(cultural

27) 습지, 해빈, 사주, 산호초, 해양보호구역, 피난처, 보호종, 어류서식지, 이동경로 등을 말함

resources)²⁸⁾, ‘경제자원(economic resources)’으로 구분하고 각 항목별로 개수, 밀도, 형태, 높이, 용도 등으로 세분하였다. 또한 기반시설 중에서도 사람들의 안전을 위하여 핵심적인 기반시설로 상하수도, 교통, 전기, 통신, 의료, 경찰, 소방, 응급시설, 정부건물, 학교, 해안보호 및 침수방지시설, 오일 및 가스 생산 저장 및 운반 시설, 위험처리시설, 국방, 감옥을 제시하였다.

NOAA(2011)의 취약성 평가모형에서 주목할 만한 것은 사회적 취약계층을 별도로 언급한 점이다. 사회의 모든 사람이 기후변화에 동일하게 대응할 수 없기 때문에 사회경제적 특성 파악이 중요하며, 재산, 나이, 건강, 단일부문 경제 의존도, 주택 재고, 인종, 직업, 인프라 의존도 등을 통하여 사회적 취약계층을 선정하고 취약성 평가 시 별도의 인자로 고려해야 할 필요성을 강조하였다. 기반시설 중에서 핵심적인 기반시설과 사람 중에서 기후변화 영향에 더욱 취약한 계층을 고려한 점은 민감도(sensitivity)를 고려했다고 볼 수 있다.

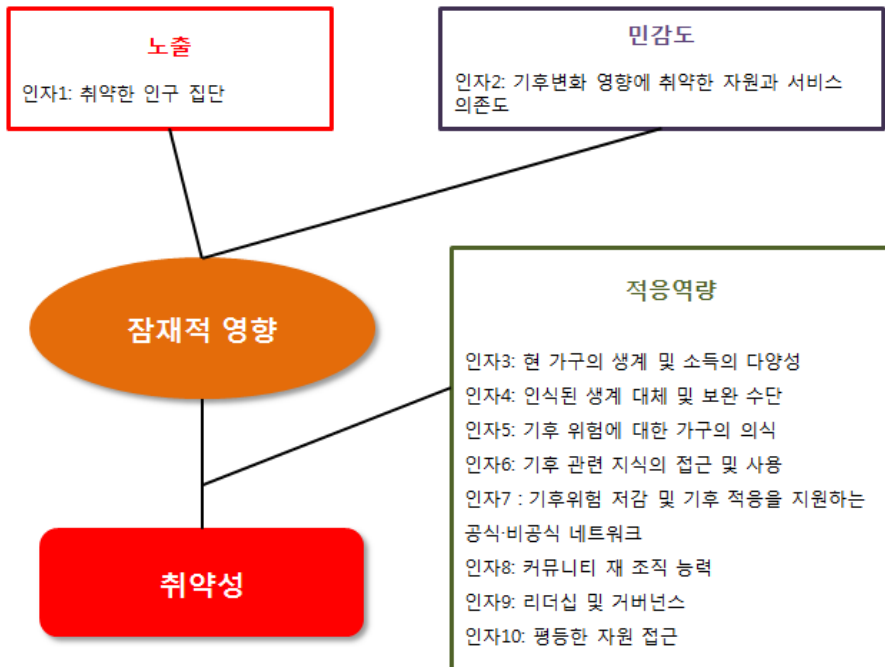
NOAA 등²⁹⁾이 후원하여 작성한 ‘지역사회 수준의 기후변화 사회적 취약성 평가를 위한 인자(Indicators to assess community-level social vulnerability to climate change)’에서는 인자를 IPCC 취약성 평가모형 구조에 따라 구성하였다. 노출도(exposure)는 커뮤니티 전체에서 기후변화에 취약한 집단을 선정하는 것을 말하는데 인자는 ‘가구 크기 및 구조’, ‘나이’, ‘성별’, ‘교육 수준’, ‘문맹률’, ‘직업’, ‘소득 및 경제 수준’, ‘이동 상태’, ‘주택 위치 및 위험지역 근접성’, ‘건강 상태’, ‘종교, 인종, 언어적 특정 집단 가입 여부’, ‘기반시설 접근성’으로 구성하였다. 즉 위에서 언급한 인자를 기준으로 기후변화 영향에 노출된 집단을 분석하는 것이다.

그 다음으로는 기후변화 영향에 취약한 계층이 기후변화 영향에 취약

28) 박물관, 공원, 공공접근시설, 휴양시설, 관광지 등을 말함.

29) the Coral Reef InitiativeS for the Pacific, IUCN, The Nature Conservancy, the NOAA Coral Reef Conservation Program을 말함.

한 자원이나 서비스에 어느 정도 의존하고 있는지를 검토하는 절차다. 이는 민감도(sensitivity) 차원에서 분석하는 것을 말하는데, 기후변화에 취약한 계층이라도 기후변화 영향에 취약한 자원이나 서비스에 어느 정도 의존하고 있는지에 따라 최종적인 취약성이 달라질 수 있음을 의미한다. 이때 고려하는 자원이나 서비스는 자연과 인공(man-made)적인 것을 모두 포함하는데 인공적인 자원이나 서비스는 도로, 학교, 건강센터, 발전소, 수자원 저장소 등을 말한다.



자료 : NOAA et al.(2011), p. 11

| 그림 4-10 | 기후변화 사회적 취약성 평가 틀에서 제시된 인자

국제기구나 정부기관 이외에도 많은 기후변화 관련 연구자가 취약성 평가모형에 관한 연구를 하였는데 Brooks et al.(2005)는 국가단위에 적용할 수 있는 평가모형을 제시하면서 예외적으로 매우 상세한 인자를 제시하였다. Brooks et al.(2005)는 기후변화 취약성 평가를 위한 인자를 주제별로 구

분하였는데 포함된 인자는 대부분 사회경제적 인자로 볼 수 있다. 사회경제 인자는 ‘경제’, ‘건강 및 영양’, ‘교육’, ‘인프라’, ‘거버넌스’, ‘지리 및 인구’, ‘농업’, ‘생태’, ‘기술’로 구분하고, 구분한 항목마다 세부적인 인자를 구성하여 총 48개 변수로 구성하였다. 이 평가방식에서는 평가단위를 국가 단위로 설정하였음에도 불구하고 실제 많은 국가를 대상으로 취약성을 평가한 UNEP(2005)가 구성한 사회경제 인자에 비하면 매우 많다.

| 표 4-5 | 국가단위 기후변화 취약성 평가를 위한 잠재적 대리변수

분야	변수	대리변수	자료 출처
경제	국가 부(wealth) 불평등 경제 자립 국가 부(wealth)	1인당 GDP 지니계수 채무상환 국민총소득(GNI)	WB WIID WB WB
건강 및 영양	건강 지원 상태 건강 지원 상태 나쁜 건강 부담 일반적 건강 건강관리 유효성 경제활동인구 상실 영양 상태 일반적 식량 유효성 영양 접근성	1인당 건강 지출액 공공의료 지출 비율 수명과 관련된 장애 기대 수명 10만명 당 여성사망 비율 AIDS/HIV 감염률(성인) 1인당 칼로리 섭취량 식량 생산 지수 (1981~90, 1991~99 연평균 변화) 식량 가격 지수 (1981~90, 1991~99 연평균 변화)	HDI HDI WHO HDI HDI HDI GRID WB WB
교육	교육적 투입 교육적 투입 정보에 대한 혜택 정보에 대한 혜택 정보에 대한 혜택	GNP 대비 교육 지출 정부지출 대비 교육 지출 식자율(15세 이상) 식자율(15~24세) 식자비(남성 대비 여성)	HDI HDI HDI HDI HDI
기반시설	농촌지역의 고립 농촌지역에 대한 투입 기초 기반시설 수준	도로 안전한 물에 접근하지 못하는 농촌 인구 위생시설에 접근가능한 인구	WB/CISEIN HDI HDI

| 표 4-5 | 국가단위 기후변화 취약성 평가를 위한 잠재적 대리변수(계속)

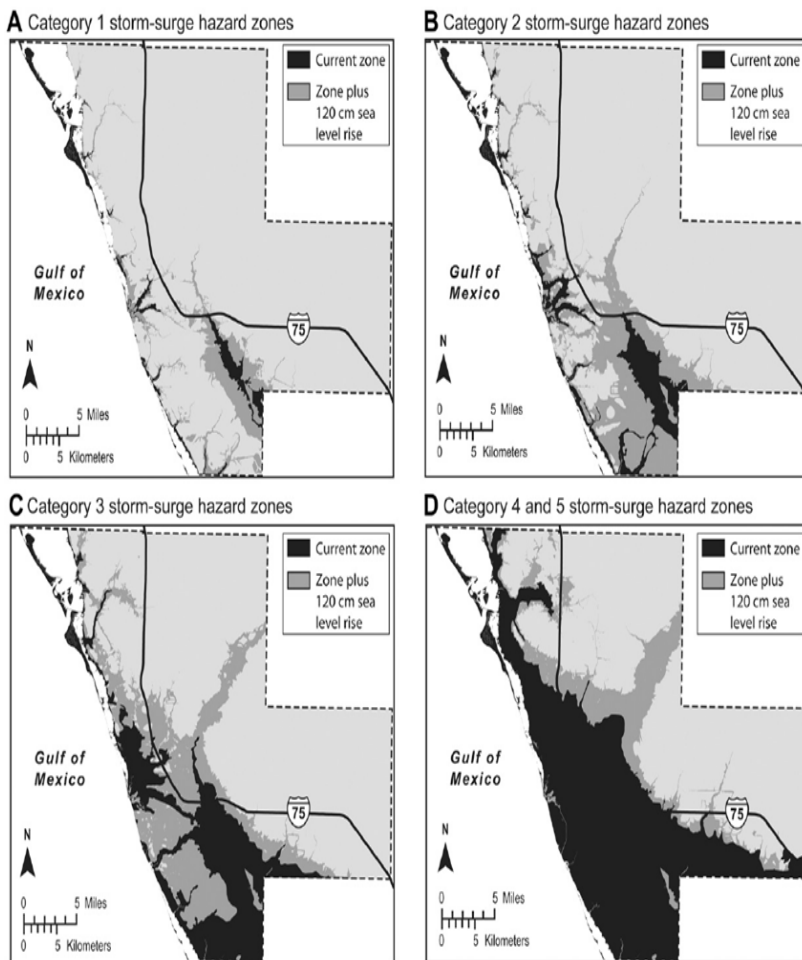
분야	변수	대리변수	자료 출처
거버넌스	상층	내부 난민 비율	WB
	정책의 효과성	부패 규제	KKZ
	서비스 공급력	정부 효과성	KKZ
	적응분야 투자 의지	정치적 안정성	KKZ
	적응에 대한 장벽	규제 수준	KKZ
	적응분야 투자 의지	법에 의한 관리	KKZ
	참여적 의사결정	발언과 책임	KKZ
	정치적 과정에 영향	시민 자유	FH
	정치적 과정에 영향	정치적 권리	FH
지리 및 인구	연안지역 위험	해안선 길이	GRID
	연안지역 위험	해안선에서 100km 이내 인구	GRID
	자원 압력	인구밀도	CIESIN
농업	농업 의존	전체 인구 중 농업 종사자 비율	WB
	농업 의존	농촌 인구 비율	WB
	농업 의존	남성 인구 중 농업 종사자 비율	WB
	농업 의존	여성 인구 중 농업 종사자 비율	WB
	자급자족	농업 생산 지수	WB
생태	환경적 압력	보호지역 비율	GRID
	환경적 압력	년 중 산림전용 비율	GRID
	환경적 압력	산림 비율	GRID
	환경적 압력	무인(unpopulated) 지역	CIESIN
	수자원의 지속가능성	1인당 지하수 함양	GRID
	수자원의 지속가능성	1인당 수자원	GRID
기술	연구를 위한 투자 및 자원	GNP 대비 R&D 투자비율	WB
	연구 및 이슈 대응 역량	백만 명당 R&D 분야 과학자 및 기술자 비율	WB

주 : WB(World Bank, 세계은행), HDI(Human Development Index, 인간개발지수), GRID (UNEP/GRID-Geneva, 지구연구정보), KKZ(Kaufmann, Kray and Zoido-Lobaton governance data set), CIESIN(Center for International Earth Sciences Information Network at Columbia University, 세계 지구과학 정보네트워크 센터) ; WIID(United Nations World Income Inequality Database, UN 세계 소득 불평등 데이터베이스)

자료 : N. Brooks, W. Neil Adger, P. Mick Kelly(2005), p. 155

T. G. Frazier et al(2010)는 Brooks et al.(2005)와 달리 간단한 사회경제 인자로 규모가 작은 지역을 대상으로 ‘사회적 취약성(societal vulnerability)’ 평가를 실시하였다. T. G. Frazier et al.(2010)는 미국 플로리다 주 Sarasota 카

운트를 대상으로 현재의 폭풍해일 위험지역에 해수면이 120cm 상승한다고 가정하고 취약성 평가를 하였다. GIS기법을 사용하여 폭풍해일, 해수면 상승, 허리케인 3가지 조합에 의해 취약지역을 선정하였고, 취약지역 내 ‘거주자(Residents)’, ‘고용자(employees)’, ‘핵심시설(critical and essential facilities)’, ‘지가(parcel value)’, ‘토지이용(land use)’의 규모를 산출하였다.

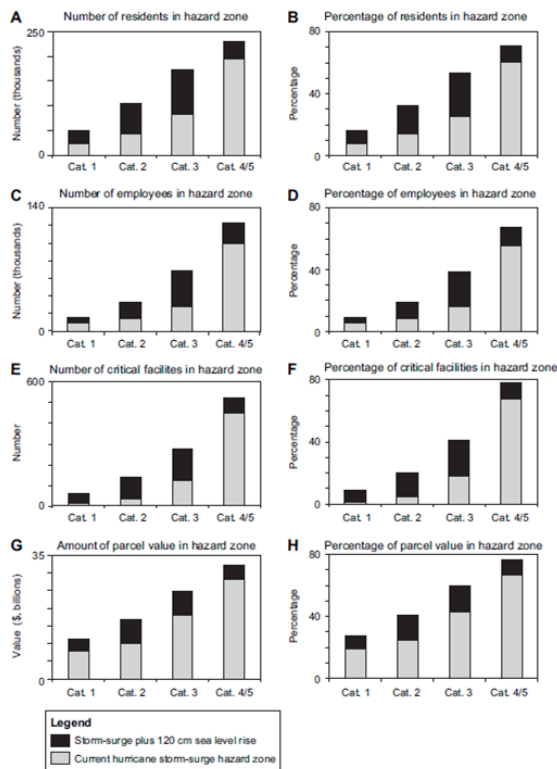


주 : 도면은 Saffir-Simpson 허리케인 척도에 따라 구분

자료 : Tim. G. Frazier, Nation Wood, Brent Yarnal, Denise H. bauer(2010), p. 7

| 그림 4-11 | 해수면 상승을 감안한 폭풍해일 위험지역

<그림 4-11>은 현재 폭풍해일 위험지역과 해수면이 120cm 상승할 경우 위험한 지역을 표시한 도면에 허리케인 변수를 더하여 총 4가지 시나리오를 만들었다. <그림 4-12>는 취약성 평가 결과에 해당하는데 폭풍해일, 해수면 상승, 허리케인 3가지 변수를 조합한 4가지 경우마다 피해가 예상되는 거주자, 고용자, 핵심시설, 지가사회경제 인자별 피해 규모와 비율을 산정하였다. T. G. Frazier et al.(2010)는 시나리오에 근거한 단순한 모형을 사용하여 명확한 피해 규모를 산정하였지만 사회경제 인자를 취약성 평가에 사용하지 않은 한계가 있다.



자료 : T. G. Frazier et al, *op. cit.*, p. 8

| 그림 4-12 | 다양한 폭풍해일·해수면 상승 위험 시나리오에 따른 사회경제 자산

이상에서 살펴보았듯이 취약성 평가를 위한 사회경제 인자는 취약성 평가 목적과 대상지역의 특성에 따라 다양하게 구성될 수 있음을 알 수 있었다. 이런 이유로 우리나라 연안지역 기후변화 영향 취약성 평가를 위하여 고려할 수 있는 사회경제 인자가 무엇인지에 대한 고민보다는 사회경제 인자를 구성할 때 고려해야 하는 요인이 무엇인지를 밝혀내는 것이 우선되어야 한다. 다음에서는 앞서 검토한 국제기구, 연안 선진국 등에서 취약성 평가모형을 개발할 때 중요하게 고려한 사항을 주제별로 구분하여 살펴보았다.

2) 사회경제적 영향인자 구성 시 고려요인

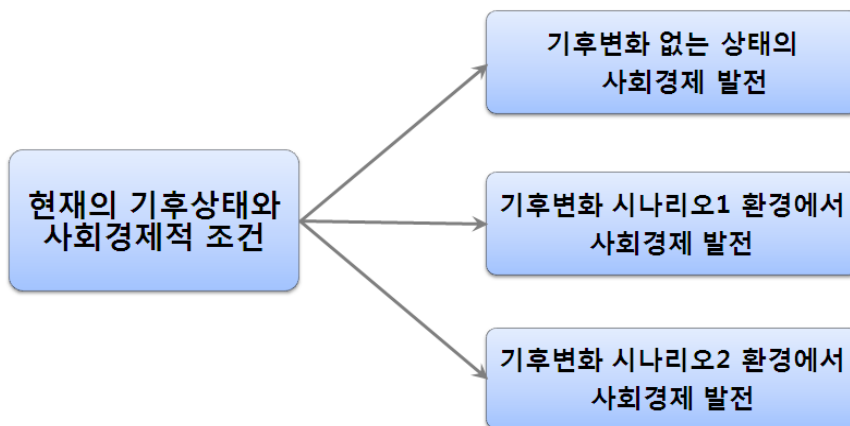
(1) 시간 속성

어떤 사회경제 시스템이라도 시간이 지나면 변하기 마련이다. 대부분의 사회경제 시스템은 시간이 지날수록 자체 동인에 따라 변하기도 하지만 외부 사회경제 시스템과 교류가 활발한 개방시스템(open system)이기 때문에 변화의 속도와 폭이 더욱 커진다. 사회경제 시스템이 시간의 속성에 따라 역동적으로 변한다는 사실은 기후변화 영향 취약성을 평가하기 위해 고려하는 사회경제 인자도 단지 현재 시점만을 기준으로 할 경우 취약성 평가의 실효성이 낮아질 수밖에 없음을 의미한다. 취약성 평가 시 시간 속성에 대한 고려의 중요성은 국제기구에서 개발한 대부분의 취약성 평가모형에서 강조하고 있다.

UNDP(2004)가 작성한 취약성 평가모형은 시간 속성을 고려한 대표적인 모형에 해당한다. UNDP 취약성 평가모형에서는 기후 위험(climate risks)과 사회경제적 상태(socio-economic conditions)에 대하여 현재와 미래로 구분하여 평가하였고, 기후 위험과 사회경제 상태를 통합하여 적응전략을 마련하는 체계로 이루어져 있다. 기후 위험에 대한 예측은 국제기구나 연구자

가 만든 다양한 모델에 근거하여 실시하도록 하였고, 사회경제적 상태에 대한 전망은 주요 사회경제 인자의 추정과 기후변화 여부 및 대응 여부에 따라 3가지 시나리오(storyline)를 통하여 분석하는 방법을 제시하였다.

기후변화 취약성 평가모형에서 직접 사회경제 상태를 정밀하게 예측하는 것은 매우 어려운 일이며 사회경제 상태를 나타내는 인자별로 고유의 예측모형이 구축되어 있는 경우가 많기 때문에 <그림 4-13>과 같이 사회경제 상태를 시나리오를 통하여 예측해야 한다는 사실을 강조한 점이 UNDP 취약성 평가모형의 의의라고 할 수 있다.

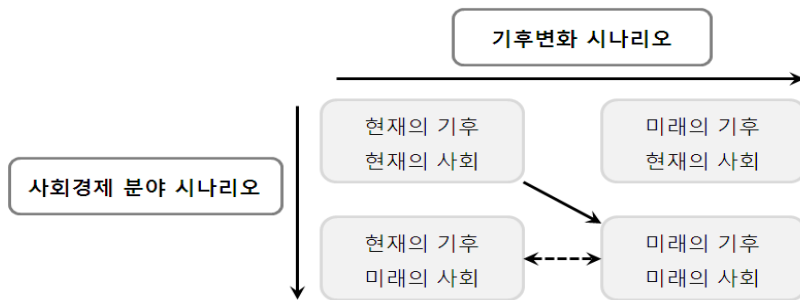


자료 : UNDP(2004), p. 157

| 그림 4-13 | 사회경제 여건 시나리오 작성 방식

UNEP-IVM(1998)은 기후변화 영향을 받는 사회경제 여건은 미래에 현재의 여건과 달라지며 크기뿐만 아니라 구조도 달라진다는 것을 강조하였다. 기후변화 취약성 평가를 위해서는 기후변화 시나리오뿐만 아니라 사회경제 시나리오 작성도 중요함을 강조하면서 시나리오에 대한 기본적인 개념을 <그림 4-14>와 같이 제시하였다. <그림 4-14>는 매우 간단한 다이어그램으로 사회경제와 기후변화의 변화 여부를 기준으로 시나리오를 작성할 수 있다는 일종의 개념적 방법을 제시한 것이다.

또한 UNEP-IVM(1998)는 시나리오 작성을 위한 3단계 절차를 제시하였는데 첫째 단계에서는 사회경제 구조를 변하게 하는 핵심 인자를 규정하는 단계이고, 둘째 단계에서는 핵심 인자가 향후 어떻게 변할지에 대한 시나리오를 작성하는 단계이며, 마지막 단계는 시나리오에 근거하여 사회경제 영향 및 적응 분석을 실시하는 단계다. UNEP-IVM(1998)도 UNDP(2004)가 언급한 것처럼 시나리오 작성 두 번째 단계는 기존 문헌이나 연구에서 방법을 활용하도록 하였고 기존 문헌이나 연구가 없다면 역사적 추세나 지리적으로 유사한 지역의 사례를 활용하도록 하였다.



자료 : UNEP and IVM(1998), pp. 2~10

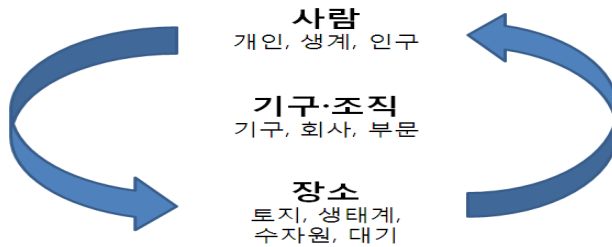
| 그림 4-14 | 기후 및 사회경제 시나리오

NOAA(2011)도 시나리오에 근거한 계획수립은 불확실성이 높은 분야에서 사용하는 과학 기반 의사결정 체계를 개발하는 수단이라고 전제하면서 시나리오 개발을 기후변화 적응을 위한 계획수립 과정의 하나로 포함하였다. 기후모형을 사용하여 다양한 온실가스 배출 시나리오를 작성하고 각각의 시나리오에 따른 기후변화 영향을 기술하는 방식인데 이때 사회경제적으로 받는 영향도 각기 달라진다는 것을 가정한 것이다. 미래는 과거의 단순한 연속이 아니고 어떻게 변할지는 아무도 모르기 때문에 불확실성을 줄이기 위하여 다양한 시나리오를 개발하고 각각의 취약성을 평가하고 그에 맞는 적응전략을 마련하는 것이 중요하다는 것이다.

(2) 인자 간 상호작용

개별 인자는 다른 인자에 영향을 주는 경우가 대부분이다. 자연환경 인자와 사회경제 인자 간에 영향을 주고받지만 사회경제 인자 간에도 영향을 주고받는다. IPCC 제4차 보고서에서도 인자 간 관계에 주목하였는데 기후변화 영향을 받아 취약해지는 인자를 도출할 때, 기후변화는 1차적으로 자연환경에 영향을 미쳐 자연환경의 훼손, 변형 등을 발생시키고 그로 인해 사회경제 인자가 2차적인 영향을 받는 사실을 고려해야 한다고 하였다. 사회경제 인자 중에는 기후변화 영향을 직접적으로 받는 경우가 있지만 - 예를 들면, 해수면 상승이나 폭풍 해일 발생으로 침수가 되면 인명, 재산 피해 발생 - 연안지역 자연생태계가 훼손되어 기존에 자연생태계로부터 받았던 서비스를 못 받는 경우가 발생할 수 있다. 이런 사례는 기후변화에 따른 해수면 상승 등으로 습지, 모래해안 등 자연적 해안체계가 훼손된다면 연안재해에 따른 사회경제 인자의 취약성이 더욱 커지는 것에서도 확인할 수 있다. 반대의 경우도 가능하다. 예를 들면 많은 사람들이 연안지역으로 이주하여 바다에 인접한 지역이 개발될 경우 개발된 지역이 해수면 상승 등으로 취약성이 높은 지역이 될 뿐만 아니라 주변 생태계가 매립, 오염물질 배출 등으로 훼손될 가능성이 매우 크다.

UNDP(2004)에서도 사람을 사회경제 인자에서 가장 핵심이라고 하면서 사람은 그 사람이 속해 있는 다양한 조직, 단체 등과 밀접한 관계가 있고, 토지, 생태계 등과도 밀접한 관련이 있기 때문에 취약성 평가 시 ‘사람(people)-기구·조직(institutions)-장소(places)’의 관계에서 발생하는 특성을 고려해야 한다고 하였다.



자료 : UNDP, *Op. cit.*, 2004, p. 73

| 그림 4-15 | 취약성 평가 분석단위 및 관계

(3) 비물리적 인자

기후변화 영향에 취약한 연안지역에는 인류에게 필수적인 서비스를 공급하는 생태계가 넓게 분포한다. UN의 ‘새천년생태계평가(Millennium Ecosystem Assessment, MEA)’³⁰⁾에서는 연안습지가 식량, 신선한 물 공급 등 눈에 보이는 물리적 형태의 서비스뿐만 아니라 자연재해 방지, 위락·휴식 기능 등 눈에 보이지 않는 다양한 비물리적인 서비스를 공급하고 있음을 밝혔고, Costanza et al.(1997)는 연안지역 생태계 가치가 1조 2,568억 달러로 추정한 바 있다. 만약 연안지역 생태계가 기후변화로 훼손된다면 생태계로부터 서비스를 받는 사회경제 시스템에도 문제가 발생할 수 있기 때문에 취약성 평가를 위한 사회경제 인자에 생태계 서비스와 같은 비물리적인 인자도 고려할 필요가 있다.

비물리적인 인자를 포함한 UNEP-IVM(1998) 평가모형은 연안지역에서 기후변화의 사회경제 영향을 평가하기 위하여 인자를 크게 ‘인구’, ‘시장적 재화 및 서비스(marketed goods and services)’, ‘비시장적 재화 및 서비스

30) UN이 2005년에 발표한 ‘새천년생태계평가(Millennium Ecosystem Assessment, MEA)’에서는 연안습지가 제공하는 서비스를 크게 ‘공급(provisioning)부문’, ‘조절(regulating)부문’, ‘문화(cultural)부문’, ‘지원(supporting)부문’으로 구분하였고, 공급부문에서는 식량, 신선한 물 공급 등, 조절부문에서는 기후 조절, 자연재해 방지 등, 문화부문에서는 정신·영감, 위락 등, 지원부문에서는 종다양성, 토양생성 등의 서비스가 있다고 평가하였음.

(non-marketed goods and services)’로 분류하였다. 시장 재화 및 서비스는 토지, 주택, 도로, 농업 및 산업 생산성 등으로 시장에서 거래할 수 있는 것을 말하며 비시장적 재화 및 서비스는 위락적(recreational) 가치, 문화적(cultural)·생활적(subsistence)³¹⁾ 가치, 자연적(natural) 가치³²⁾ 등으로 시장에서 거래할 수 없는 재화나 서비스를 말한다. 특히, UNEP-IVM(1998)는 비 시장적 재화 및 서비스 항목을 통하여 기후변화 영향으로 취약하지만 눈에 보이지 않는 비물리적 특성을 고려해야 하고 더불어 자원의 단순한 시장가치보다는 비시장적 가치까지 고려한 연안지역 시스템의 전체 경제적 가치를 고려하는 것이 더 중요하다고 강조한 점이 의미가 있다.

NOAA(2011)는 기후변화에 취약한 자산을 ‘사람(people)’, ‘재산(property)’, ‘시스템(system)’, ‘기능(function)’으로 인식하였는데 비물리적인 속성을 가진 시스템, 기능도 사회경제 인자로 포함하고 있다. 구체적으로는 습지, 해변, 산호 등 자연자원, 박물관, 관광시설, 대중접근시설 등 역사·문화자원의 경우 개수, 형태 등 물리적인 속성에 대한 인자뿐만 아니라 가치(value)도 고려하고 있다. 또한 NOAA(2011)는 인자의 시장적·비시장적 가치를 모두 평가한다면 의사결정자나 이해당사자가 적응정책을 수립할 때 고려할 수 있는 근거 자료가 될 수 있다는 점을 지적하였다.

(4) 평가단위

취약성 평가에서 사회경제 인자는 개인, 마을, 지역, 국가단위 등 취약성 평가 대상지역의 단위에 따라 달라질 수 있다. 취약성 평가는 결국 대상 지역에 적절한 적응정책을 수립하기 위하여 실시하기 때문에 평가 지역의 범위에 따라 시행할 수 있는 적응정책의 수준도 달라질 수 있다. 이런 이유

31) 커뮤니티 구조 등.

32) 갯벌의 파도에너지 완충, 오염물질 흡수 등.

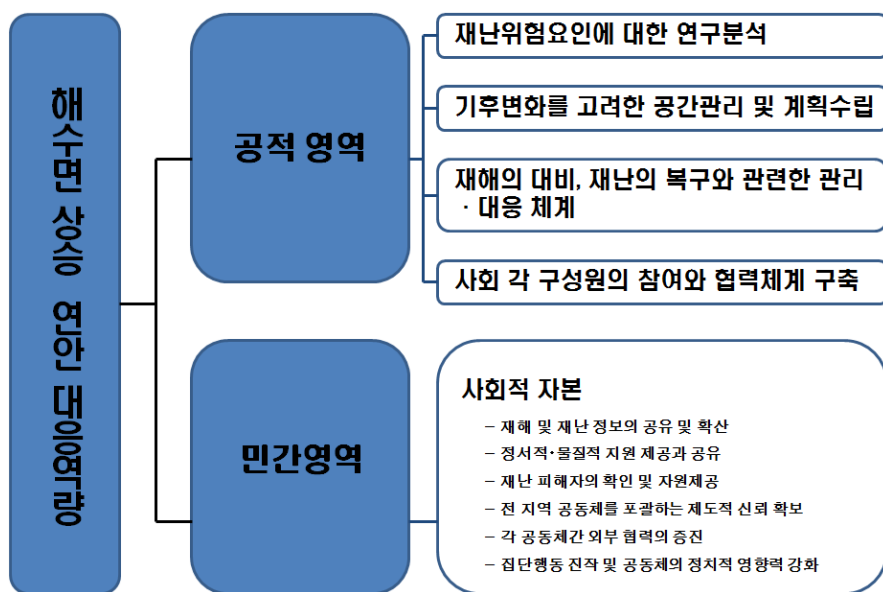
로 국가단위보다 작은 규모의 평가단위일수록 구체적이고 다양한 인자를 구성할 수밖에 없고, 같은 규모의 지역이더라도 지역마다 사회경제적 여건이 다르기 때문에 인자의 수와 질이 달라질 수 있다. 또한 평가단위가 달라져도 인구, 기반시설, 산업 등 핵심적으로 고려해야 할 사회경제 인자가 있겠지만 핵심적인 인자라 하더라도 세부적인 내용은 달라질 수 있다. 예를 들면, 국가단위 취약성 평가에서는 인구는 주로 밀도 변수를 사용하지만 지역사회 단위에서는 밀도뿐만 아니라 절대적인 인구수, 인구구조 등도 고려할 수 있다.

UNEP이나 IPCC와 같이 주로 국가단위로 취약성 평가를 시행하는 모형에서는 핵심적이면서 보편적으로 얻을 수 있는 몇 개의 사회경제 인자를 포함하게 된다. 그러나 NOAA와 UNDP 사례와 같이 지역사회를 평가단위로 할 경우에는 국가단위보다 훨씬 상세한 인자를 구성할 필요가 있다. 또한 같은 인자를 고려하여도 평가단위에 따라 의미가 다르게 받아들여질 수 있다. 예를 들면, 국가단위에서 인구밀도와 지역단위에서 인구밀도의 의미는 매우 다르다. 국가단위에서 인구밀도보다 지역단위 혹은 커뮤니티 단위의 인구밀도가 더 높거나, 낮을 수 있다.

4. 해수면 상승 연안 대응역량 인자

기후변화에 의한 해수면 상승은 아니지만 연안지역에 막대한 피해를 준 2011년 3월 동일본 지역에서 발생한 대지진과 쓰나미는 전 세계 지진 관측 역사상 4번째로 강한 지진이었다. 당시 지진 이후 발생한 쓰나미는 파고 10m, 최대 높이가 40m에 달하는 막대한 규모로 동일본 연안에 궤멸적인 타격을 입혔다. 지진과 해일에 의한 사망자는 1만 5,840명, 실종자는 3,536명에 달하며, 재산 피해액은 16조 엔에서 25조 엔 정도로 추정되었

다.³³⁾ 쓰나미 이후 해안에 위치한 원전의 가동이 멈추고 방사능이 누출되는 등 큰 피해가 있었지만, 인명 피해는 엄청난 재해의 규모에 비교해 보면 상대적으로 크지 않은 수준이다. 2004년 인도양에서 발생한 쓰나미의 경우 재산피해 규모는 정확하게 추정되지 않지만 동남아시아 주민 54만여 명이 사망했었는데, 동일본 대지진에서 희생된 인명 피해 규모는 상대적으로 작은 편이다. 재해의 규모가 다르기는 하나 지역에 따라 인명과 재산의 피해 정도가 확연히 다르게 나타나는 것이다. 재해에 대응하는 물리적 취약성 평가에 기반하여 재해의 가능성을 예상하고 이에 대비하며, 피해 발생 시 이에 대한 즉각적인 대응과 복구를 수행하는 사회적 시스템에 주목해야 하는 이유이다. 이러한 재해대응역량을 거버넌스 측면과 지역공동체 측면으로 나누어 생각해 볼 수 있다.



| 그림 4-16 | 해수면 상승 대응역량

33) 『朝日新聞』, 2011. 4. 4.

거버넌스 측면의 대응역량은 정부 차원의 정책과 법규, 그리고 각종 재해 대비·대응·구호 프로그램 등으로, 지역공동체 측면에서는 긴밀하게 연결되어 있는 사회적 네트워크와 이를 기반으로 한 사회적 자본의 양상으로 나타난다. 재해와 재난에 강한 사회의 구축과 관련한 인자가 전자라면, 후자는 재난의 피해를 최소화하고, 이를 빠르게 복구하는 역량과 관련된 인자인 것이다.

1) 공적 영역의 대응역량

일본은 1995년 1월 6,000여 명이 사망한 고베(神戸) 대지진 이후, 지진에 대비하여 대형 고층 건축물의 기본 골조 내에는 추가로 철근 버팀목과 고무패드를 부착하게 하는 등 첨단 내진건축기법을 개발하고 각종 건축규칙을 더욱 엄격하게 적용해 왔다. 아울러 일본의 지진정보시스템은 세계최고수준으로, 전 세계 1,000여 곳의 지진관측소와 연계하여 단층의 파장을 감지하는 조기경보시스템이 구축되어 있다. 또한 일본인들은 지진과 쓰나미를 일상적 재해로 인식하여 재해대응 대피·대비 훈련을 체계적으로 받아오고 있다. 이렇듯 중앙 거버넌스에 의한 총체적 재해대비·대응태세가 이번 참사의 피해를 그나마 상대적으로 줄일 수 있었던 것이다.

한편, 기후변화를 위시한 자연·기후환경의 이상변화로 인하여 각종 재난 위험이 증대되고 있는 상황에서, 이에 대응하는 재난위험관리의 양상은 중앙정부의 명령과 통제에 의한 전통적 행정 거버넌스에서 사회 구성원과 각 이해 집단의 참여와 협력을 기반으로 하는 공공 거버넌스 중심으로 변화하고 있다. 하지만, 다음과 같은 부분에서 중앙 및 지방정부의 역할은 여전히 크다.

- 재해 위험요인에 대한 지속적 연구·분석 및 대응방안의 마련

- 취약성에 대한 안전 인프라의 확충
- 재해의 대비, 재난의 복구와 관련한 관리·대응체계 확립
- 사회 각 구성원의 참여와 협력체계 구축

(1) 재난위험요인에 대한 연구 분석

각종 재해와 재난 위험의 불확실성에 대비·대응하기 위해서는 이에 대한 철저한 연구와 분석이 필수적이다. 신기술과 각종 사례를 대상으로 취약성을 평가·도출하여 미래의 위험에 대한 불확실성을 최소화시킬 수 있기 때문이다. 재해에 대응하는 모든 정책은 연구와 분석의 결과에서 출발한다. 이는 과학, 공학, 행정학, 사회학을 아우르는 모든 학문 분야의 협력과 이에 대한 관리와 조율을 필요로 하며, 이러한 이유에서 일종의 조정자(coordinator)로서의 정부의 역할이 필요하다. 이러한 연구·분석 작업은 국지적 이슈 해결을 위한 소규모에서부터 국가적 레벨을 넘어서는 대규모일 수도 있다. 따라서 이 부분에서 도출할 수 있는 연안지역의 유효한 대응역량 인자로는 대상 연안지역이 국지적임을 감안하여 해당 연안지역의 취약성 관련 데이터의 유/무, 취약성 평가 여부 등이 있을 수 있겠다.

| 표 4-6 | 공적 영역의 대응역량 인자(1)

재난위험요인에 대한 연구분석	
1	해당 연안지역의 취약성 관련 데이터의 유/무
2	취약성 평가 여부
	⋮

(2) 기후변화를 고려한 공간관리 및 계획수립

연안지역을 포함한 전 국토의 공간관리는 「국토의 계획 및 이용에 관

한 법률』에 의해 수립하는 도시기본계획, 도시관리계획, 지구단위계획에 의해 구체적으로 결정된다. 취약성 평가를 통해 선정된 취약지역에 대해서는 개발행위를 엄격히 제한하는 보전 목적의 용도지역/용도지구가 지정될 수 있도록 토지이용방향을 제시해야 하며, 기개발지에는 방재시설을 설치하여 자연재해로 인한 피해를 저감하는 방법을 적용하고, 이와 함께 신규 개발을 제한하며 점진적으로는 Set-back이나 토지수용 등을 통하여 자연재해로 인한 피해를 방지·저감하는 방법도 사용할 수 있다. 집중호우 또는 해일로 인한 연안지역의 범람 가능성에 대비하기 위해서는 해당지역의 하수관을 정비하고, 침수에 대비하여 저지대 건물의 경우 1층을 필로티로 띄워 주차장으로 사용하고 지하시설 개발과 이용을 제한할 수 있다. 또한, 이러한 개발제한 조건에 대한 인센티브의 방법으로, 미국 FEMA의 국가홍수보험프로그램의 일부인 Community Rating System과 같이 해당 커뮤니티가 ‘범람지 내 오픈 스페이스 보전’, ‘안전한 신개발을 위한 높은 수준의 기준 적용’, ‘배수 체계 유지 및 관리’, ‘시민들에게 홍수해, 홍수보험, 홍수해 저감 방법 고지’ 등을 실시할 경우, 일정 수준의 CREDIT을 부여하고 이에 따라 홍수보험료를 인하해 주는 방법도 있다. 이와 관련한 연안지역 대응역량 인자로는 재해 취약지역의 용도제한 여부, 개발제한 여부, 재난 취약지역의 적극적 관리 여부, 재난 취약지역민들의 이주 여부 등을 도출할 수 있겠다.

| 표 4-7 | 공적 영역의 대응역량 인자(2)

기후변화를 고려한 공간관리 및 계획수립	
1	재해 취약지역의 용도제한 여부
2	재해 취약지역의 개발제한 여부
3	재난 취약지역의 적극적 관리 여부
4	재난 취약지역민들의 이주 여부
⋮	

(3) 재해의 대비, 재난의 복구와 관련한 관리·대응체계

행정 거버넌스의 또 다른 주요한 역할은, 재해의 불확실성에 대비하고 만약 재난이 발생했을 시에는 효과적으로 이에 관리, 대응하는 체계를 확립하는 것이다. 재난위험요인에 대한 연구·분석의 결과에 따라서, 재난 및 위기상황의 유형별로 미래를 대비하고, 피해를 최소화할 수 있는 예방과 대응 전략, 법규 및 정책 개발을 해야 하며, 이를 공공에 전파, 교육해야 한다. 따라서, 이 부분에서 연안지역의 대응역량을 평가할 수 있는 인자로는 해당 연안지역의 재해대비·대응 실천계획의 수립여부, 재난 발생 시 복구·구호 거버넌스 시스템의 일원화 여부, 지진·재난에 대한 조기경보시스템 여부, 지진·재난에 대비한 대피·대응 훈련 실시 여부, 인근지역의 경찰관서, 소방관서, 의료기관, 민간구조단체의 수, 비상시에 투입될 수 있는 인근지역의 군부대의 유/무, 공적 재난기금의 규모 등을 생각해 볼 수 있겠다.

| 표 4-8 | 공적 영역의 대응역량 인자(3)

재해의 대비, 재난의 복구와 관련한 관리·대응체계	
1	해당 연안지역의 재해대비·대응 실천계획의 수립 여부
2	재난 발생 시 복구·구호 거버넌스시스템의 일원화 여부
3	지진·재난에 대한 조기경보시스템 여부
4	지진·재난에 대비한 대피·대응 훈련 실시 여부
5	인근지역의 경찰관서, 소방관서, 의료기관, 민간구조단체의 수
6	비상시에 투입될 수 있는 인근지역의 군부대의 유/무
7	공적부문 재난기금의 규모
⋮	

(4) 사회 각 구성원의 참여와 협력체계 구축

마지막으로, 재해와 재난에 강한 사회의 구축을 위해서 정부는 다양한 협력적 거버넌스가 구축, 활성화될 수 있도록 기본 사회시스템을 제공하여야 한다. 명령과 통제를 중심으로 국가가 책임지는 위기관리 방식에서 사회 각 구성원들의 참여와 협력을 통한 위기관리·대응체계로 변화하고 있지만, 다양한 이해당사자들을 포함한 재난위기대처 시스템 간의 효과적인 협력을 도출하고 보다 통합적으로 효율적인 위기 거버넌스 시스템을 구축하기 위해서는 정부의 주도적 역할이 중요하다. 이와 관련한 대응역량인자로는 주민자치 리더십과 참여 시스템의 유/무, 시민 주도의 자원봉사활동의 활성화 정책 유/무 등을 도출할 수 있다.

| 표 4-9 | 공적 영역의 대응역량 인자(4)

사회 각 구성원의 참여와 협력체계 구축	
1	주민자치 리더십과 참여 시스템의 유/무
2	시민 주도의 자원봉사활동의 활성화 정책 유/무
⋮	

2) 민간 영역의 대응역량

앞에서 기술한 바와 같이, 재난의 대응양상은 과거 중앙정부를 위시한 행정 거버넌스 중심의 사후관리형 대비체계에서 보다 사전적이고 예방적이며 지역공동체와 시민사회가 협력적으로 참여하는 위기관리의 패러다임으로의 변화하고 있다. 이러한 변화는 과거 환경 결정론적 재난의 인식에서 벗어나 인간의 사회, 정치, 경제적 조건들에 의해 재난과 그 피해의 양상이 달라질 수 있다는 인식으로의 전환에 기인한다. 이는 지난 2011년 동일본 지역의 대지진과 쓰나미 발생 시의 일본 사회의 대응양상에서 확인할 수 있

다. 당시 기록적인 물리적 재난과 그 피해에도 일본인들은 절제·준법·질서·배려 등의 성숙한 시민의식을 보여주었고, 차분한 가운데 민/관이 협력하여 체계적이고 효율적으로 피해복구와 구호활동을 진행하였다. 이러한 재난 대응 상황은 2005년 허리케인 카트리나 당시의 미국 뉴올리언즈 지역과 2010년 아이티 대지진 당시의 대혼란과는 대조적인 모습으로, 재난의 대응시스템의 연구에 많은 시사점을 준다. 이렇듯 강력한 대응역량의 추이는 일본의 성숙한 사회적 자본의 형태에서 그 이유를 유추할 수 있는데, 일본은 전통적으로 지역사회 내의 여러 공동체 조직을 기반으로 사회 구성원들의 인간관계가 겹겹이 얹혀 있는 경우가 많다. 이는 ‘신뢰’와 ‘네트워크’를 중심으로 한 지역공동체 내부의 결속으로 풀이할 수 있으며, 이러한 지역공동체를 기반으로 한 사회의 신뢰 수준이 높다면, 결과적으로 다양한 집합행동과 그로 인한 상충의 문제를 용이하게 풀어 나가고, 사회적으로 높은 수준의 시민의식을 제고시켜 다양한 정책 실현의 효율성을 높일 수 있을 것이다. 결국 ‘신뢰’는 지역공동체의 차원을 넘어서 일종의 사회 전체적 역량(societal capacity)이라는 차원으로 발전하는 것이다. 반면 ‘네트워크’는 지역 공동체 구성원들 사이의 관계망으로서 재난 발생 시, 효과적인 구호, 대응, 복구 작업 등이 원활하게 이루어질 수 있도록 도와준다.

(1) 사회적 자본

사회적 자본(Social Capital)은 ‘신뢰’와 ‘네트워크’를 중심으로 한 지역공동체 내부의 결속과 이를 기반으로 한 문제 대응역량으로 해석할 수 있는데, 대체로 다음과 같은 부분에서 사회적 자본이 재난 혹은 위기관리의 영역에 중요한 역할을 하는 것으로 보인다.

- 재해 및 재난 정보의 공유 및 확산

- 정서적·물질적 지원 제공과 공유
- 재난 피해자의 확인 및 자원 제공
- 전 지역 공동체를 포괄하는 제도적 신뢰 확보
- 각 공동체간 외부 협력의 증진
- 집단행동 진작 및 공동체의 정치적 영향력 강화

사회적 자본과 관련하여 연안지역의 대응역량을 평가할 수 있는 인자로는 해당 연안지역의 공식적/비공식적 지역공동조직의 종류와 수, 지역 협동조합 조합원 수의 총합, 조합원의 평균 소득수준, 민간부문 재난기금의 규모 등을 생각해 볼 수 있겠다.

| 표 4-10 | 민간 영역의 대응역량 인자

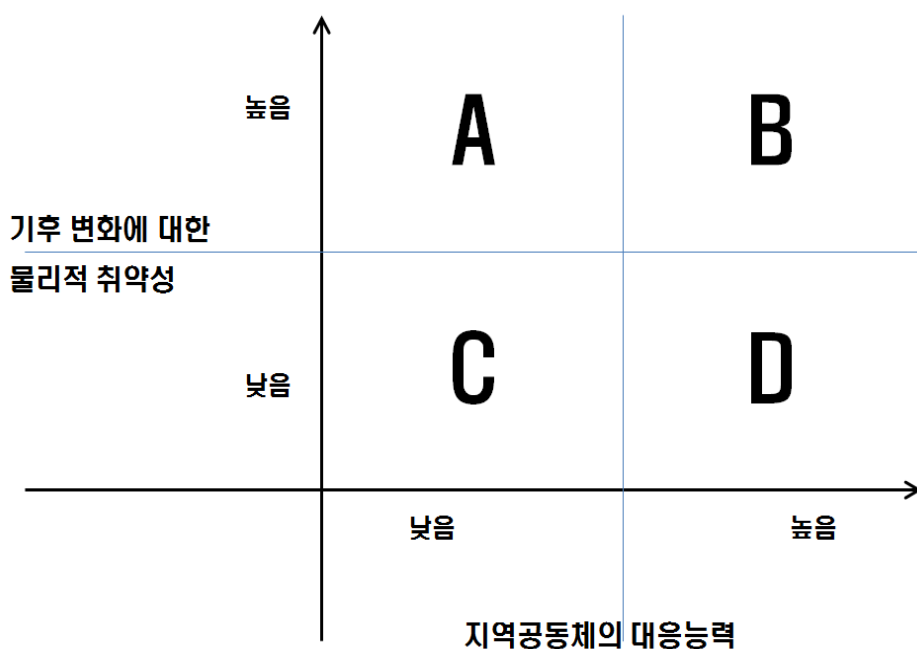
사회적 자본	
1	해당 연안지역의 공식적/비공식적 지역공동조직의 종류와 수
2	지역 협동조합 조합원 수의 총합
3	조합원의 평균 소득
4	민간부문 재난기금의 규모
⋮	

3) 대응역량 인자의 평가

대응역량에 대한 연구경향을 보면, 사전대비 측면에서만 파악하여 취약성 평가에 도입하는 경우와 이를 사후 복구역량으로 해석하여 사회의 충격에 대한 레질리언스(Resilience)의 주요 지표로 이해하는 경우로 나누어 볼 수 있다. 하지만 해수면 상승을 포함한 기후변화에 대응하여 연안지역의 취약성을 실제적으로 평가하기 위해서는 물리적 취약성과 더불어 해당 지역의 대응역량을 파악하고, 이들이 서로에게 어떠한 영향을 미치며 종합

적으로 보이는 양상에 대한 분석이 필요하다.

Briguglio(2006)가 제시한 취약성과 대응능력의 조합에 따른 네 가지 시나리오의 방법론을 도입하여,³⁴⁾ 대상 연안지역의 물리적 취약성과 지역공동체의 대응능력의 정도에 따라 나타날 수 있는 시나리오를 살펴보면 다음의 그림과 같다.



| 그림 4-17 | 물리적 취약성과 지역공동체의 대응능력의 정도에 따른 시나리오

네 가지 시나리오 중, A의 경우는 대상 연안지역이 물리적으로도 기후 변화에 대한 취약성이 높으면서, 지역공동체의 대응능력 또한 미흡한 경우로 종합적으로 매우 높은 위험에 노출되어 취약한 지역으로 볼 수 있다. B

34) Lino Briguglio and Gordon Cordina, "Economic Vulnerability and Resilience in Small Jurisdictions", 『한국도시지리학회지(Journal of the Korean Urban Geographical Society)』, 제9권 제3호, 2006, pp. 11~24.

의 경우를 보면, 기후변화에 대한 물리적 취약성은 높지만 적절한 사회적, 정책적 대응수단을 갖추고 있는 경우로 관리와 개선이 용이한 위험 수준으로 파악할 수 있다. C의 경우는 기후변화에 대한 물리적 취약성이 낮음에도 불구하고, 기후변화 및 재해에 대비·대응하는 정책 또는 메커니즘의 미흡 또는 부재로 인하여 즉각적인 관리 또는 사회적 혁신을 요하는 지역으로 파악할 수 있다. 마지막으로, D의 경우를 보면 가장 최상의 시나리오로 취약성의 수준이 낮고 적절한 대응 정책과 수단의 구비로 지역공동체 전체의 대응역량도 높은 지역이다.

제5장 결 론

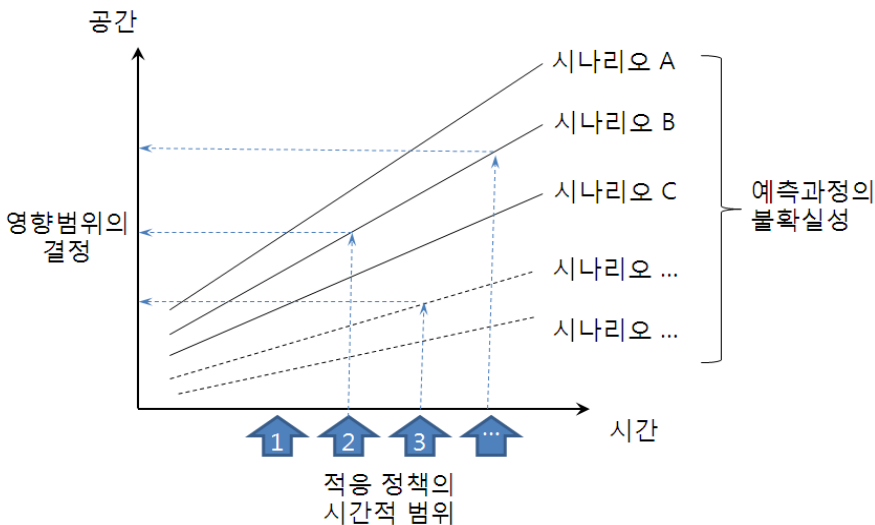
1. 요약 및 결론

지금까지 해수면 상승에 대한 연안지역의 취약성을 평가하기 위한 기초적인 개념 정리에서 시작하여 모형의 구성방향과 모형 구성 시 고려할 사항, 세부 구성요소에 포함될 수 있는 인자에 대하여 살펴보았다. 기후변화 문제를 해결하는 여러 노력 중에서 취약성 평가라는 용어가 많이 사용되고 국내에도 도입이 필요하다는 점이 사회 전 분야에서 논의되고 있다. 실제로 연안지역의 재해취약성 평가를 위한 작업이 최근 국립해양조사원과 같은 국가기관을 중심으로 논의되고 있기도 하다. 이 연구는 비록 연안지역을 대상으로 직접 취약성 평가를 실시하지는 않았지만 연안지역에서 취약성 평가가 가지는 의미와 중요성을 확인함으로써 취약성 평가가 적응정책 수립과 직접적으로 연계된다는 측면에서 취약성 평가와 적응정책 수립이 같은 궤에서 이루어져야 한다는 점을 명확히 하였다.

특히 대기 중 온실가스 증가 이후 연쇄적으로 일어나는 지구 환경의 변화에 대해 원인에 대한 대응이 온실가스 저감(mitigation) 정책으로, 결과에 대한 대응이 적응(adaptation) 정책으로 크게 나누어지는 상황에서 적응정책의 수립과 이행의 가장 기초적인 작업이 취약성 평가에 기반하고 있다. 따라서 취약성에 대한 정확하고 과학적이며 신뢰할 만한 평가가 적응정책의 핵심이자 기본이라고 할 수 있다.

이를 위해 이 연구에서는 연안환경 변화의 근본적인 원인인 해수면 상승에 대한 과학적인 검토부터 시작하였다. 검토 결과 해수면 상승은 과거 기록은 일정한 수치로 상승률이 알려져 있는데 향후 미래의 상승률은 온실가스 배출 시나리오에 따른 대기 중 온실가스의 양과 이에 따른 대기와 해

양의 변화를 고려하여야 해수면의 상승률이 나올 수 있으며, 여러 분석단계를 거치면서 실제 해수면 상승률에 대한 불확실성이 크게 증가한다는 점을 확인하였다. 또한 온실가스에 의한 해수면 상승과 직접적이지는 않지만 간접적인 영향이 있다고 할 수 있는 폭풍해일까지 고려할 경우 불확실성은 더 커질 수밖에 없다. 점진적인 해수면 상승이 우리가 고려할 만한 수준의 시간적 범위에서 불과 수십 cm의 수면변동에 불과하나 해일은 수 m에 달하는 편차를 갖기 때문이다. 2003년 태풍 매미 내습 당시 마산만에서 예상 만조위보다 2m 이상 높은 해일고가 나타난 사례가 여기에 해당하는데, 이는 연안의 해저지형은 물론 육지의 지형적·지리적 조건에 따라 해일의 크기가 크게 달라질 수 있기 때문이다. 따라서 지역 수준에서 해수면 상승을 보기 위해서는 점진적인 해수면 상승에 대한 지역 수준의 정밀한 예측은 물론 다양한 크기의 폭풍해일에 의한 범람과 같은 여러 시나리오를 같이 고려해야 한다.



| 그림 5-1 | 해수면 상승의 시공간적 영향범위 설정 모식도

중요한 점은 해수면 상승은 연안의 적응대책 수립이라는 측면에서 적

응대책이 필요한 시간적 범위에서 영향을 받는 공간 범위를 고려하여야 한다는 점이다. 연안지역을 대상으로 적응 정책을 모색한 상당수 선행연구들이 적응정책의 시간적·공간적 범위에 대한 문제를 간과하고 있는데, 이를 해결하기 위해서는 해수면 상승을 해석하는 단계부터 적응정책 수립을 고려한 시간적·공간적 영향범위를 포함하여야 한다. 또한 기후변화 예측이라는 것이 현재도 복잡한 과정이 수없이 상호작용을 하는 지구계를 대상으로 하여 미래 일정 시점을 두고 지구 전체를 대상으로 에너지와 물질 순환을 모의하여야 하는 어렵고도 복잡한 과정이다. 또한 결과를 낸다 하여도 거기에 내재한 수많은 인자로 인해 불확실성이 높다는 점도 확인하였다. 따라서 적응정책의 기준이 되는 환경변화를 해석하기 위해서는 가능성이 높은 여러 시나리오를 가정하여 결과를 예측하고 이 중에서 사회적으로 고려하여야 하는 여러 적응방안을 모색하여야 한다.

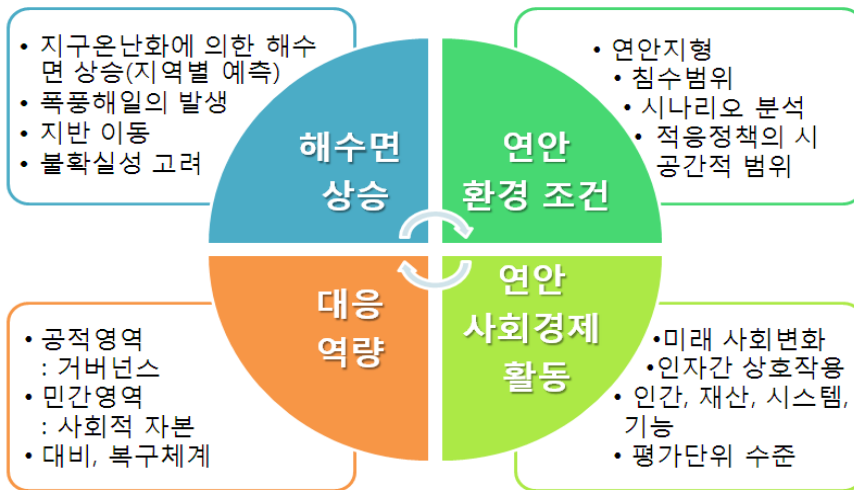
위의 과정을 거쳐 해수면 상승의 영향범위가 제시되면 그 안에서 이루어지는 사회경제적 활동을 분석하여 피해의 종류와 가능성을 확인하고 해당하는 공간의 사회 및 자연 시스템이 갖는 대응능력을 확인할 수 있다. 이때 고려할 대상은 해수면 상승에 영향을 받을 수 있는 연안지역에서 이루어지는 모든 활동이나 사회시스템이 될 수 있다. 그러나 영향을 받는 인자를 고려하는 데는 해수면이 상승하여 영향을 미치게 될 시점, 즉 시간에 따른 변화 역시 함께 고려하여야 한다. 여기에서도 미래 연안지역의 사회경제 상황을 정확하게 예측하기는 어렵기 때문에 여러 가지 가능한 시나리오를 구성하여 분석하게 된다. 결국 취약성 평가는 해수면 상승이라는 현상 자체의 변화는 물론 영향을 받는 사회경제활동의 미래 변화까지 함께 고려하여야 하는 것이다.

또한 취약성 평가에 포함할 수 있는 사회경제적 인자를 결정하는 것은 평가하려는 대상의 공간규모에 좌우되는 점도 확인할 수 있었다. 예를 들어 취약성 평가가 국가 간일 경우, 또는 한 국가 안에서 전체 연안일지, 아니면

더욱 세밀하게 일정한 지역일지 등 분석대상의 공간적 수준(scale)에 따라 포함하여야 하는 사회경제 인자의 성격도 크게 달라진다. UNEP(2005)가 국가 간 기후변화 취약성 평가를 할 때 활용한 인간개발지수(Human Development Index : HDI)는 소득과 교육수준에 좌우되는 지수인데, 이를 대응능력으로 포함한 것은 국가 수준에서는 의미 있는 인자가 된다. 그러나 이 연구에서 관심 있는 지역적 수준, 해수면 상승의 물리적 변화가 구체화되는 연안을 대상으로 하면 의미있는 인자라고 하기 어렵다. 침수가능한 공간 범위 내의 사람이나 시스템, 기능을 대표하는 사회경제 인자 역시 공간적 규모에 적합한 수준으로 선정하여야 한다.

마지막으로 이 연구에서는 취약성 평가의 최종 단계로 대응역량을 포함하였다. 이상파랑이나 폭풍해일과 같은 재해가 연안에 발생한다고 하여도 사전에 예보와 대피를 통해 인명 피해를 최소화할 수 있는 능력, 피해 이후 빠르게 복구할 수 있는 능력, 그리고 복구 과정에서 다음에 있을 수도 있는 재해에 대응할 수 있도록 강화된 대책을 마련하는 능력 모두 연안지역의 해수면 상승에 대한 취약성을 좌우하는 인자가 될 수 있다. 이 연구에서는 대응역량을 공적 영역과 민간 영역으로 구분하여 각 영역에서 고려할 수 있는 수단을 포괄적으로 살펴봤다. 공적 영역에서 검토할 수 있는 법·제도적 수단이나 물리적 방어 수단들은 그동안 연안관리에서 강조되었던 부분으로 우리나라를 비롯해 여러 연안국가에서 상당한 수준으로 이행 중이다. 그러나 민간 영역에서 고려할 수 있는 대응역량에 대해서는 그동안 소홀하게 다뤄진 측면이 있다. 국제적인 대규모 재해 사례를 비교하여 살펴보면 공적 영역의 대응역량은 물론 민간이 가진 사회적 자본, 신뢰와 네트워크가 위기 상황이 닥쳤을 때 추가적인 인재(人災)를 최소화하고 빠른 복구와 원상회복에 도움이 됨을 확인할 수 있었다. 2011년 동일본 대지진 이후 침착한 대응에서 보여 준 성숙한 시민의식, 2010년 아이티 대지진 직후의 대혼란 등에서 시민의식, 사회적 자본의 중요성을 확인할 수 있다.

이 연구에서는 해수면 상승에 대한 연안의 취약성 평가를 적응정책의 한 부분으로 접근하여 취약성의 개념을 명확히 하고 평가과정에 포함될 요소를 확인함으로써 모형의 구성요소를 밝혀 나갔다. 아래 그림은 우리 모형의 구조를 도시화하되 각 단계에서 포함할 인자는 물론 고려 시 주의할 점을 함께 나타냈다.



| 그림 5-2 | 해수면 상승 연안 취약성 평가모형의 흐름과 검토요소

2. 정책 제언

지금까지 살펴본 연안지역의 해수면 상승에 대한 취약성 분석은 정부 차원의 기후변화 대책을 종합한 “기후변화대응 종합기본계획(2008.9.19.)”에 근거한다. 기본계획에는 적응대책을 수립하기 위해 대기나 해양 등 부문별로 영향평가 및 취약성 분석을 하도록 하였는데, 특히 해양의 경우 ‘해수면 상승에 따른 연안 재해관리 시스템’을 구축하도록 명시되어 있다. 그러나 해수면 상승이 가장 일반적으로 널리 알려진 기후변화의 중요한 현상이기 는 하나 이 변화에 적응하는 대책을 강구할 때에는 앞서 살펴본 것과 같이

불확실성이 큰 다양한 요인들을 다루어야 한다. 따라서 취약성 평가에 필요한 절차를 밟아나가는 데 여러 가지 주의할 점이 있었다. 여기서는 해수면 상승에 대한 연안 취약성 평가를 수행하여 적응정책 수립에 활용하기 위해 필요한 정책을 제시하고자 한다.

▣ 해안침수예상도와 연안 재해취약성 평가 작업의 결합

우리 연안을 관리하는 데 새로운 위협요소로 등장한 해수면 상승과 이에 따른 연안의 취약성을 평가하는 작업은 국가 전체적인 수준이라기보다는 지역적 수준에서 이루어져야 그 효용을 최대화할 수 있다. 국내에서 최근 이루어진 해수면 고도변화 모의결과에 따르면 2050년 우리나라 해수면은 최악의 시나리오에서 평균 30cm 정도 상승할 것으로 알려져 있는데, 해수면 상승에 의한 연안의 침수·범람 범위를 파악할 때는 이 정도 수준의 정밀도와 오차 수준을 구현할 수 있는 공간범위를 대상으로 하여야 한다. 수직으로 약 30cm의 해수면 변화를 의미있게 볼 수 있는 축척의 지도를 선택하여야 하고 여기서 태풍과 폭풍해일의 규모를 모의하고 해수면 상승과 침수·범람 가능성을 평가하여야 한다. 다행히 「자연재해대책법」 제18조(재해지도의 종류)에서 지방자치단체의 장은 자연재해를 경감하고 신속한 국민 대피 등의 조치를 하기 위하여 재해지도를 제작·활용하도록 되어 있다. 재해지도의 여러 종류 중 침수예상도는 현재 지형을 기준으로 예상강우 및 태풍, 호우, 해일 등에 의한 침수범위를 예측하여 표시한 지도로서 이를 세분화하면 홍수범람위험도와 해안침수예상도가 있다. 연안의 경우 해안침수예상도를 작성하여야 하는데 여기에 태풍, 호우, 해일 등에 의한 해안지역의 침수지역을 예측하여 표시하도록 되어 있다.

침수예상도는 태풍이나 호우, 해일의 정도를 시나리오에 따라 수치모형으로 모의하여야 하기 때문에 비록 법적으로는 지방자치단체의 장이 수행하도록 되어 있기는 하지만 실제 작업은 전문 기관이나 업체가 담당할

수밖에 없다. 최근 국립해양조사원에서 시작한 침수예상도 작업은 지방자치단체의 연안을 구역별로 나누어 침수가 가능한 범위와 침수 깊이 등을 모의한다.

침수예상도 작업이 최근 시작하였으며, 한편에서는 연안재해취약성 평가가 진행 중이다. 사실 이 둘은 해수면 상승이라는 동일한 원인에 대한 영향권을 확인한다는 차원에서는 그 시작점이 같다. 다만 침수예상도는 물리적 영향의 공간범위를 확인하는 과정에 초점을 맞춘 반면, 재해취약성은 연안의 사회경제적 인자나 사회와 자연 시스템의 대응능력에 관심이 많다. 따라서 현재 진행 중인 두 사업을 결합하여 영향을 받는 공간범위를 정밀하게 분석하고 취약성 평가를 고도화하는 것이 바람직하다.

현재 연안재해 취약성 평가는 앞서도 확인한 바와 같이 연안지역의 침수 가능성을 태풍의 경로나 풍속, 파고, 조차, 연안경사 등의 대리지표를 가지고 추정한다. 또한 사회경제적 인자 역시 공간범위가 연안권으로 크게 설정된 상태에서 대리지표의 성격의 다양한 사회경제적 인자들을 활용한다. 따라서 공간범위를 정밀하게 설정하고 대리지표가 아닌 구체적으로 영향을 받는 사회경제적 인자와 공적 영역과 민간 영역의 대응능력 등을 검토하는 것이 재해에 대한 연안지역의 취약성을 확인하고 대응능력을 확보하는 데 보다 정확한 정보를 전달할 수 있을 것이다.

▣ 지역 수준의 취약성 평가와 적응정책에 활용 : 연안관리지역계획 등

앞서 해안침수예상도 제작은 기술적인 역량이 필요해 현재는 국립해양조사원이 진행하고 있지만, 법적으로는 지방자치단체의 의무이행 사안이다.³⁵⁾ 또한 자기 지역의 재해 가능성을 스스로 진단하고 필요한 조치를 수

35) 해안침수예상도는 국토해양부장관이 수립하되, 지방자치단체가 이를 보완하거나 신규로 제작하여 활용할 수 있음(소방방재청고시, 제2006-6호).

립할 수 있다는 측면에서도 의무를 이행하여야 하는 자가 지방자치단체인 점은 합리적이고 타당하다. 다만 연안지역에서 침수예상도, 취약성 평가 작업을 실시할 경우 이 내용이 어떻게 연안지역의 사회경제 활동에 영향을 줄 수 있는지, 없다면 어떤 방법을 찾는 것이 좋을지 고민할 필요가 있다.

취약성 평가를 통해 영향을 받는 사회경제 분야와 대응이 필요한 분야를 확인하면 결과적으로 연안을 이용하는 현재의 방식에 어떤 조치가 필요하게 된다. 따라서 연안 취약성 평가는 연안의 이용행위를 조정할 수 있는 제도적 틀 안에 포함될 때 그 효과가 배가될 수 있다. 여기에 적합한 제도가 바로 ‘연안관리지역계획’이라고 할 수 있다.

연안관리지역계획은 「연안관리법」 제9조에 따라 “특별자치도지사·시장·군수·구청장이 관할 연안의 효율적인 보전·이용 및 개발을 위하여 필요하다고 인정하는 지역에 대하여 통합계획의 범위에서 수립”하도록 되어 있다. 게다가 연안관리지역계획의 범위를 제시한 통합계획이 지난 2011년 10월 국토해양부 고시(제2011-623호)로 제시되었는데, 여기에는 특히 기후변화 적응을 위해 취약성을 평가하고 침수예상도 작성과 같은 개별사업은 물론 ‘연안육역과 공간계획이 연계한 기후변화 적응형 연안공간관리 시행’이라는 중점 추진과제를 제시하였다. 이는 연안관리지역계획이 연안이라는 공간 특수성을 감안한 공간계획이기 때문에 지역계획을 통해 영향범위와 취약한 사회경제활동을 확인하고 이를 기초로 토지이용 등의 관리를 할 수 있기 때문이다.

정리하면 기존에 진행되던 해안침수예상도 작성과 연안재해취약성 평가를 통합하되, 이를 연안관리지역계획 수립의 한 과정으로 포함하여 이 결과를 바탕으로 연안에 대한 공간계획을 설정하는 것이다. 연안관리지역계획 수립과정은 지방자치단체라는 관은 물론 지역민과 이해관계자가 참여하는 개방된 계획과정이므로, 이 과정에서 자연스럽게 침수예상지역이나 재해에 취약한 지역이 과학적인 자료에 근거하여 공개되면 재산권 문제 등

으로 공개에 어려움을 겪던 침수예상도 등의 정보를 자연스럽게 논의할 수 있는 기회로 삼을 수 있다.

▣ 연안정보 관리 및 평가 기구 설립

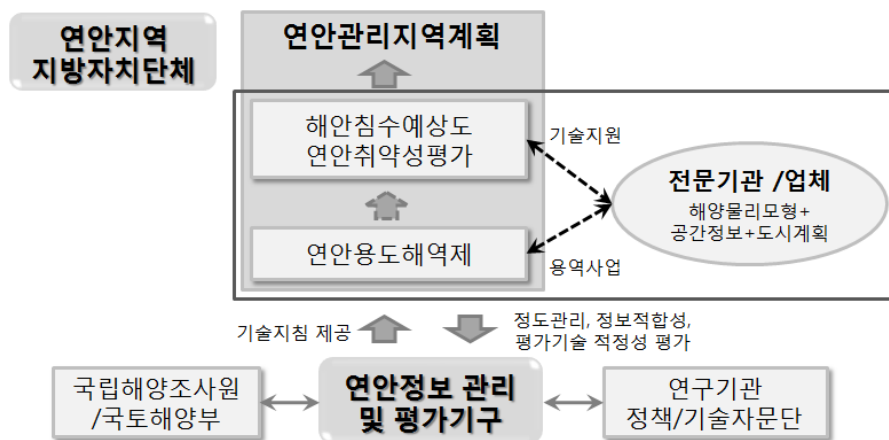
앞서 연안 취약성 평가나 해안침수예상도 작성과 같은 작업은 정책적인 활용의 맥락을 이해하는 것도 필요하나, 해양물리 현상을 모형으로 모의하고 기후변화 등 다양한 외생변수를 고려할 수 있는 전문 지식을 갖춘 사람이 필요하다. 지금까지는 국립해양조사원이 두 업무의 기초를 닦고 추진하는 과정에 큰 역할을 하였고 현재도 관련 업무를 용역사업의 형태로 진행하고 있다. 다만 앞으로도 국립해양조사원이 전 연안을 대상으로 취약성 평가와 침수예상도 작성을 직접 수행하는 것은 조직의 기존 업무나 조직의 성격상 한계가 있을 수 있다. 해양조사는 국가 차원에서 반드시 이루어져야 하는 업무인 데 반해, 침수예상도와 취약성 평가는 성격상 지역 차원, 지방자치단체의 차원에서 해야 할 일이기 때문이다. 더욱이 침수나 취약성에 관한 정보는 각 지역의 토지이용 규제 등과 밀접히 관련되는 주제이기 때문에 「자연재해법」에서 규정한 것처럼 지방자치단체가 수행하는 것이 더 적합할 것이다.

또 다른 문제는 취약성 평가에 필요한 기술적인 수준에 대한 정도관리 일 것이다. 비록 현재의 국가 용역사업의 형태라 하더라도 규정에 따라 엄격한 심사절차를 거쳐 자격 있는 업체를 선정하여 진행하고 있다. 하지만 연차별 계약 과정에서 사업수행자가 바뀔 수 있어 결과물을 표준화하거나 일정 수준의 기술적 수준을 완벽하게 담보하기 어렵다. 또한 취약성 평가나 침수예상도 사업은 전 연안에서 필요하고 일단 사업으로 진행된다고 하더라도 기존 자료의 갱신, 연안관리지역계획 수립에 따른 정보 제공, 침수흔적도 사업 등 후속적인 작업도 상당하다. 이런 점을 고려하면 용역사업의 형태로 지속하는 것은 후속 정책과의 연계성이나 결과의 질적 수준을 확보

하는 데 장애가 될 수 있다. 따라서 침수예상도 제작이나 취약성 평가는 시범 사업 차원에서 반드시 필요하고, 이 작업을 통해 실무적 경험과 기술적 한계, 효과적 제작 방식 등에 대한 노하우를 기술지침의 형태로 보급할 필요가 있다.

이를 위해 국립해양조사원 산하 또는 별도의 지원조직을 두고 여기서 각 지방자치단체가 수행한 침수흔적도 제작이나 취약성 평가 결과, 또는 연안관리지역계획의 적정한 수립 여부를 확인할 수 있을 것이다.

이와 함께 기술적으로 일정 수준 이상으로 요구하고 확인할 수 있는 제도적인 장치 역시 필요하다. 예를 들어 각 사업에 필요한 기술 수준과 작업 매뉴얼 등을 표준화하여 사업을 수행하는 전문기관이나 업체가 참고할 수 있도록 하고, 반대로 사업을 수행한 결과물인 취약성이나 침수예상도를 해석하고 검증하여 지역별로 예측한 결과가 과학적이며 통일성을 갖출 수 있도록 하는 것이다. 이른바 ‘연안정보 관리 및 평가기구(안)’를 두어 중장기적으로 연안관리지역계획 수립 전반에 관한 기술적 지원과 연안정보에 대한 관리 및 활용, 연안 및 해양의 해역이용협이나 환경영향평가 등과 관련한 업무까지 통합적으로 검토할 수 있을 것이다.



| 그림 5-3 | 연안정보 관리 및 평가기구의 기능 및 위상

▣ 해수면 상승 연안 취약성 평가 결과의 민간 공개

취약성 평가를 통해 일정 지역이 해수면 상승에 노출된다는 정보는 논란의 여지가 많아 공개에 주의가 필요한 정보이다. 취약한 곳으로 평가된 지역의 토지나 주택 소유자에게는 재산가치가 떨어질 수 있기 때문에 관련 정보의 공개를 원하지 않을 수 있다. 또한 이들로부터 민원이 발생할 것을 우려하여 지방자치단체에서도 해당 정보의 공개를 꺼리게 된다. 그러나 이들 정보가 결국 해당지역민의 재산과 인명을 보호하는 데 필수적인 정보라는 점을 이해할 필요가 있다. 취약한 지역일수록 대응할 수 있는 수단을 사전에 강구하여 만약에 우려했던 침수나 범람이 발생하더라도 피해를 최소화하는 것이 더욱 중요하기 때문이다. 더욱이 2010년부터 자연재해에 따른 개인의 재산 피해를 국가가 지원하는 방식에도 변화가 생겼다. 과거 자연재해 피해지원 제도가 주택은 30%, 온실·축사는 35%까지 지원하고 합산하여 2억 원까지 지원했으나, 풍수해보험이 도입되면서 금액의 총액에는 관계없이 피해액의 90%까지 보험으로 지원하게 된다. 보험 납입액은 국가와 개인이 공동으로 납입하는 것이지만 국가 입장에서는 일시에 과도한 피해복구비를 지출하지 않아도 되는 이점이 있고, 개인의 입장에서는 한도가 있던 국가지원이 아니라 보험요율에 따라 그 이상도 지원받을 수 있다. 다만 중요한 점은 무상이 아닌 개인의 보험금에 따라 재해복구를 지원하기 때문에 개인 및 민간 영역에서 스스로 재해에 대한 예방활동을 강화하는 계기가 된다.

이런 활동이 가능할 수 있는 근본적인 이유는 결국 해당지역이 재해에 얼마나 취약한지에 대한 정보를 개인에게 공개하느냐 아니냐의 차이라고 할 수 있다. 연안에서는 개인의 토지나 건물이 침수나 범람에 얼마나 취약한지를 알고 사전에 대응할 수 있는 방안을 찾을 수 있도록 하는 것이다. 개인의 인식수준이 높아지면 아무런 개인의 회피 노력, 예방활동 없는 상태에서 입을 수 있는 피해규모보다 훨씬 더 작은 수준에서 피해규모를 억제할 수 있고, 인명 피해의 규모도 줄일 수 있기 때문이다. 따라서 취약성 평가 결과나

해안의 침수예상도와 같은 결과를 시민에게 공개하는 것은 공공 부문이 민간 영역에게 제공해야 할 의무이자 바람직한 정책방향이라고 할 수 있다.

3. 연구의 한계와 방향

이번 연구를 통해 해수면 상승이라는 기후변화 현상에 대응하기 위해서는 우선적으로 취약성 평가를 통해 적응정책을 수립해야 함을 확인할 수 있었다. 이와 더불어 취약성의 개념, 적응정책과의 연계성, 취약성 평가의 단계별 검토 사항 등을 국내외 연구결과들을 종합하여 정리하였다. 그러나 이 연구는 개념에 대한 검토, 적용에 있어 유의할 사항 등을 꼽고 방향을 설정하는 데는 도움이 되었으나 실제 사례지역 내지 전체 연안지역을 대상으로 필요한 인자를 선정하고 평가하는 단계까지 발전하지는 못했다.

실제 어떤 인자가 취약성 평가에서 대상이 되는지의 여부, 연안의 이용특성에 따라 천차만별인 연안의 사회경제 활동을 파악하는 일, 나아가 대응역량에 있어 이 연구에서 주목한 사회적 자본에 대한 평가방식 등 좀 더 구체화할 부분이 많다. 이 연구가 비록 한 해에 종료되는 연구이기는 하나 유사한 형식의 연구를 다음 해에 수행할 수 있는 여건이 확보되어 부족한 부분은 다음 연구를 통해 해소할 수 있을 것으로 기대된다.

다음 연구에서는 개념적인 측면에서 일정 수준 정리가 된 취약성 평가모형을 실제 구현하는 작업이 진행될 것이다. 특히 해안침수예상도를 기반으로 적응이 필요한 시간적 범위에서 해수면 상승을 고려하고, 이에 영향을 받는 자연적 요소, 사회경제적 요소들을 구체적으로 확인하고자 한다. 취약성이 드러난 연안지역은 어떤 방식으로 대응할 수 있는지를 계획하고, 시범사업 등을 통해 적용 가능성을 타진할 수 있을 것이다. 이 과정에 필요하다면 연안관리 지역계획이나 지자체의 도시계획 등의 공간계획과 연계하는 방안도 함께 검토할 예정이다.

참 고 문 헌

<국내 문헌>

- 강준묵 외, “지형의 체적 산정을 위한 LiDAR 자료의 활용”, 한국GIS학회
2006년도 GIS/RS 공동춘계학술대회, 2006, pp. 181~186.
- 국립해양조사원, 「연안 취약성지도 종합기본계획 수립 및 시범제작」,
2009.
- _____, 「연안재해취약성 평가체계(CDAS)기본계획 수립 및 시범
구축」, 2010.
- _____, “인천부근 해안선 조사측량 및 DB구축”, 「수로기술연보」,
2002.
- _____, 「해수면 변동 정밀분석 및 예측」, 2009.
- _____, 「지구온난화에 의한 해수면 변화 연구」, 2009.
- 국토지리정보원, 「수치표고모델(DEM) 제작 추진계획」, 2010.
- 권석재·문일주·이은일, “속초와 묵호항의 연간 최대해일고의 장기간 변동성
에 대한 고찰”, 「한국해안·해양공학회논문집」, Vol. 20, No. 6 ,
2008. pp. 564~574.
- 권순덕·이재형, “태풍 시뮬레이션을 통한 서남해안의 극한풍속 예측”, 「대
한토목학회지」, Vol. 28, No. 4, 2008, pp. 431~438.
- 김준철 외, “레이저 스캐닝 데이터를 이용한 정밀 도로 수치표고모델 제작
에 관한 연구”, 「한국측량학회 2003년도 추계학술발표회 논문
집」, 2003, pp. 245~250.
- 문일주·심재설·이동영·이재학·민인기·임관창, “이어도 종합해양과학기지를
활용한 태풍연구: Part I. 태풍관측의 중요성 및 현황”, 「대기」,
Vol. 20, No. 3, 2010, pp. 247~260.
- 문일주·최의수, “객관적인 태풍 통계자료 구축을 위한 ‘한반도 근접 태풍’

- 의 정의 및 기준 설정”, 「대기」, Vol. 21, No. 1, 2011, pp. 45~55.
- 박종길·정우식·최효진, “기상정보 활용 및 방재를 위한 태풍 사례 연구”, 「한국방재학회지」, Vol. 7, No. 1, 2007, pp. 21~28.
- 심재설 외, “지상라이다 측량을 통한 연안 분석/모니터링 활용”, 「한국해양과학기술학회 2009년도 발표 논문집」, 제18권, 2009, pp. 89~92.; 심재설 외, “지상 LiDAR를 이용한 만리포 해변 정밀 지형측량 및 지형 변화 분석”, 「Ocean and polar research」, Vol. 32, No. 1, 2010, pp. 73~84.
- 안기원 외, “IRS-1C 위성데이터를 이용한 수치표고모델 생성에 관한 연구”, 「한국측지학회지」, 제17권 제3호, 1999, pp. 293~300.
- 오지희·서경덕·김영오, “과거 60년간 한반도에 영향을 미친 태풍의 강도 및 지속기간의 경향 분석”, 「대한토목학회지」, Vol. 31, No. 2, 2011, pp. 121~128.
- 오태석·문영일·전시영·권현한, “비매개변수적 모의발생기법과 지역가중다항식을 이용한 태풍의 극치강우량 평가”, 「대한토목학회지」, Vol. 29, No. 2, 2009, pp. 193~205.
- 오태석·문영일, “태풍으로 인한 극한강수 특성 분석”, 「대한토목학회지」, Vol. 28, No. 5, 2008, pp. 459~473.
- 유가영, “우리나라 기후변화 영향평가 및 적응에 관한 제언”, 「경기논단」, Vol. 9, No. 4, 2007, pp. 33~48.
- 위광재 외, “우리나라 해안선조사측량 추진 현황 및 개선점 연구”, 「한국측량학회 2010년 춘계학술발표회 논문집」, 2010, pp. 403~406.
- 위광재·조재명·이임평·강인구, “LiDAR 데이터를 이용한 등고선 제작의 효율성 평가”, 「한국지형공간정보학회지」, Vol. 15, No. 2, 2007, pp. 59~66.
- 이석배 외, “LiDAR DEM 및 여러가지 수치표고모델의 정확도 분석”, 한국

- GIS학회 2008년도 공동춘계학술대회, 2008.
- 이현재, “일인당 국민소득수준에 의한 인간개발지수(Human Development Index)의 평가”, 「산업경영연구」, Vol. 29, No. 5, 2006, pp. 227~244.
- 이현직 외, “정사영상 제작을 위한 정밀 DSM 생성 방안”, 「한국공간정보 시스템학회 2007년도 GIS 공동춘계학술대회 논문집」, 2007, pp. 369~374.
- 정현 외, “SHOALS를 이용한 해안선측량 및 수심측량”, 한국GIS학회 2008년도 공동추계학술대회, 2008, pp. 331~332.
- 최의수·문일주, “한반도 강수 및 풍속의 극값 변화”, 「대기」, Vol. 18, No. 4, 2008, pp. 397~416.
- 최현 외, “Kompsat 영상을 이용한 수치표고모델 추출”, 「한국지형공간정보 학회논문집」, 제10권 제3호, 2002, pp. 71~77.
- 정재훈 외, “고해상도 위성영상을 이용한 정밀 DEM 생성 및 정확도 분석에 관한 연구”, 「한국측량학회지」, 제26권 제4호, 2008, pp. 359~365.
- 한화진, 「기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축」, 2006.
- 해양수산부, 「연안관리정보시스템 구축 완료보고서」, 2006.
- _____, 「연안관리정보시스템 구축 완료보고서」, 2007.
- _____, 「연안관리정보시스템 구축 완료보고서」, 2008.
- Briguglio, Lino and Gordon Cordina, “Economic Vulnerability and Resilience in Small Jurisdictions”, 「한국도시지리학회지(Journal of the Korean Urban Geographical Society)」, 제9권, 제3호, 2006, pp. 11~24.

<국외 문헌>

「朝日新聞」, 2011. 4. 4.

Brooks, N., W. Neil Adger, P. Mick Kelly, “The Determinants of Vulnerability and Adaptive Capacity at the National Level and the Implications for Adaptation”, *Global Environmental Change* 15, 2005, pp. 151~163.

Cater, T. P., Parry, M. L., Harasawa, H., and Nishioka, N., *IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations*, London: University College London, 1994.

Choi, K-S., and B.-J. Kim, “Climatological Characteristics of Tropical Cyclone Making Landfall over the Korean Peninsula”, *J. Korean Meteor. Soc.* 43, 2007, pp. 97~109.

Costanza, R. et al., “The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital”, *NATURE*, Vol. 387, 1997, pp. 253~260.

Dolan, A. H. and I. J. Walker, “Understanding Vulnerability of Coastal Communities to Climate Change Related Risks”, *Journal of Coastal Research*, Special Issue 39, Cambridge University Press. Cambridge, UK, 2004.

EEA, *Guidelines for Data Collection and Processing - EU State of the Environment Report*, Annex 3, 1998.

Government of The Netherlands, *Second Netherlands Communication on Climate Change Policies, Prepared for the Conference of Parties under the Framework Convention on Climate Change*, 1997.

Holland, G. J., “An Analytic Model of the Wind and Pressure Profiles in Hurricanes”, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 108, 1980, pp. 1212~1218.

IPCC, *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, 1996.

_____, *Cimate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability*, Third

- Assessment Report, 2001.
- _____, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Cambridge, United Kingdom, 2007.
- IPCC CZMS, *A Common Methodology for Assessing Vulnerability to Sea-level rise-second revision: Global climate change and the rising challenge of the sea*. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, The Hague, The Netherlands, Appendix C, 1992
- Kim, J.-H., C.-H. Ho, M.-H. Lee, J.-H. Jeong, and D. Chen, “Large Increase of Heavy Rainfall Associated with Tropical Cyclone Landfalls in Korea after the late 1970s”, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 33, 2006.
- Kinney, Patrick, *Social Vulnerability to Climate Change: A Neighborhood Analysis of the Northeast U.S. Megaregion*, NECIA, 2006.
- Klein, Richard J. T., and Robert J. Nicholls, “Assessment of Coastal Vulnerability to Climate Change”, *Royal Swedish Academy of Science*, Vol. 28, No. 2, 1999.
- Lee, R. J., *Climate Change and Environmental Assessment Part 1: Review of Climate Change Considerations in Selected Past Environmental Assessments*, 2000.
- Mogan, M. G. and D. W. Keith, “Subjective judgments by Climate experts”, *Enrrironmental science and Technology*, Vol. 29, 1995, pp. 468~476.
- Nicholls, Robert J., Nicholls, Poh Poh Wong, Virginia Burkett, Colin D. Woodroffe and John Hay, “Climate Change and Coastal Vulnerability Assessment:scenarios for Integrated Assessment”, *Sustain Sci*, Vol. 3, 2008, pp. 89~102.
- NOAA, *Adapting to Climate Change: a Planning Guide for State Coastal Managers*, 2010.

- NOAA et al., *Indicators to Assess Community-Level Social Vulnerability to Climate Change*, 2011.
- OECD, “OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews”, *OECD Environment Monographs* No. 83, OECD, Paris, 1993.
- _____, Working Party on Pollution Prevention and Control. Advanced Air Quality Indicators and Reporting. Methodological Study and Assessment. ENV/EPOC/PPC (99)9, 1999.
- Pratt, C. R., Kaly, U. L., and Mitchell, J., *Manual: How to Use the Environmental Vulnerability Index(EVI)*, SOPAC Technical Report383, 60pp, 2004.
- Scheider, Stephen H. and Kristin Kuntz-Duriseti, “Uncertainty and Climate Change Policy”, *Climate Change Policy*, pp. 53~88, 2002.
- Smit, B., I. Burton, R.J.T Klein and R. Street, “The Science of Adaptation : a Framework for Assessment”, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Vol. 4, 1999, pp. 199~213.
- UNDP, *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures*, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2004.
- _____, *Assessing Coastal Vulnerability: Developing a Global Index for Measuring Risk*, 2005.
- UNEP, *Assessing Coastal Vulnerability: Developing a Global Index for Measuring Risk*, 2005.
- UNEP and IVM, *Handbook on Method for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies*, 1998.
- USPCC RARM, “Framework for Environmental Health Risk Management”, *Final Report*, Vol. 1, 1997.

- U. S. Geological Survey National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Pacific Coast, USGS Open-file report 00-178, 2000.
- U. S. Geological Survey National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast, Open-file report 99-593, 1999.
- Walker, I. J. and CCIAP A580 Team, *Coastal Vulnerability to Climate Change and Sea-Level Rise, Northeast Graham Island, Haida Gwaii(Queen Charlotte Island), British Columbia*, 2007.
- WBCSD, *Eco-Efficiency: Creating More Value with Less Impact*, 2000.
- World Resources Institute, *Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water*, 2005.
- Yohe, G. and R.S.J. Tol, "Indicators for Social and Economic coping Capacity-moving toward a working definition of Adaptive Capacity", *Global Environmental Change*, Vol. 12, 2002, pp.25-40.

<인터넷 자료>

- 워싱턴대학교 지구시스템 과학센터(<http://www.cses.washington.edu>)
- 서울시 지리정보시스템 홈페이지(http://gis.seoul.go.kr/GisWebDataStore/Gis_Edu/html/S0502/SGIS-HTML.jsp?sgis=0502&pgis=0201)
- 국토지리정보원 홈페이지(http://ngi.go.kr/board/boardView.do?bbs_type=2&bbs_id=public_data&seq=1000014138&menuNum=3003&mainMenu=5&subMenu1=1&subMenu2=1)
- (주) 신한항업 홈페이지(http://www.shas.co.kr/html/biz_03.htm)
- 국토지리정보원 홈페이지(http://www.ngi.go.kr/wooriwon/practice_areas401.do)
- 연안포털(www.coast.kr)

부 록 1. 침수범람 지역 확인을 통한 해수면 상승의 공간적 영향 범위 파악 : 해수면 상승에 따른 연안의 영향권 파악의 방법과 정책 제언

1. 개요

해수면 상승에 따른 침수면적을 산출하기 위해서는 필수적으로 해수면의 수위에 따른 침수 범위를 공간적으로 산출할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 연안지역에 대해 비교적 정밀한 수직 위치정확도를 지닌 기본적인 공간정보 자료의 확보가 선행되어야 한다.

2차원 공간정보인 경위도와 함께 표고에 대한 정보를 포함하여 제공하는 대표적인 지리정보는 수치표고모델이다. 수치표고모델(Digital Elevation Model)이란 수치지형모델을 표현하는 한 방법으로서 위치를 알고 있는 특정 지역에 대하여 일정한 격자 간격으로 지형의 표고값을 표현한 모델이다. 수치표고모델은 GIS 시스템에 의한 여러 가지 영향권 분석 등 지형 시뮬레이션을 위해 필수적으로 필요하며 아울러 정밀지오이드 계산을 위한 지형효과계산 등에 활용되고 있다.³⁶⁾ 또한 수치표고모델은 국가의 기본이 되는 지리정보 중 하나로서 그 활용분야는 재난재해관리, 환경보전, 국토계획, 국방, 도시기본계획, 도로노선계획, 경관분석, 방재분야, 문화관광, 3차원 지도 서비스, 전파영향분석 등으로 활용성이 무척 높은 데이터라 할 수 있다.

한편, 수치표고모델과 비슷한 개념으로서 수치표면모델로 불리는

36) 이석배 외, “LiDAR DEM 및 여러가지 수치표고모델의 정확도 분석”, 한국GIS학회 2008년도 공동춘계학술대회, 2008.

DSM(Digital Surface Model)이 있다. 수치표고모델의 경우 단순한 지형만을 표현하고 있어 건물, 교량 등과 같은 인공적인 지형지물에 대한 표고정보는 제대로 제공을 해주지 못한다. 이를 보완하기 위해 자연적인 지형뿐만 아니라 인공적인 지형지물에 대한 표고정보를 포함하여 지표면의 모든 지형지물을 표현해 주는 자료가 DSM이라 할 수 있다.³⁷⁾

수치표고모델과 DSM은 제작방법과 제작에 사용되는 원시 데이터에 따라서도 구분이 가능하다. 수치표고모델은 보통 종이지형도나 수치지형도와 같이 항공사진측량 등의 방식으로 제작된 2차 지리정보에서 자연적인 지형에 대한 표고 정보를 추출하여 제작을 하게 된다. 반면, DSM의 경우는 지상에 존재하는 모든 지형지물에 대해서도 표현이 가능해야 하기 때문에 항공 LiDAR 측량과 같은 방식을 통해 제작이 가능하다.

해수면 상승에 따른 침수범위를 파악하기 위해서는 자연적인 지형뿐만 아니라 연안지역에 존재하는 모든 인공지형지물에 대한 표현까지 가능한 DSM을 사용하는 것이 훨씬 정밀한 결과를 제공할 수 있다. 하지만, 본 연구에서는 용어 사용의 혼동을 피하기 위해 가장 일반적으로 사용되는 수치표고모델을 대표적인 단어로 사용하고자 한다.

2. 수치표고모델(DEM) 구축방법 및 현황

1) 수치표고모델의 구축방법

수치표고모델의 제작 방법은 사용되는 원시 데이터 및 제작 기술에 따라 몇 가지로 구분이 가능하다. 우선 지형의 표고자료 획득 방법으로는 현

37) 이현직 외, “정사영상 제작을 위한 정밀 DSM 생성 방안”, 『한국공간정보시스템학회 2007년도 GIS 공동춘계학술대회 논문집』, 2007, pp. 369~374.

지측량, GPS 측량, 사진측량 및 LiDAR 측량 등으로 구분할 수 있다. 이 중에서 사진측량에 사용될 수 있는 원시 데이터 측면에서는 위성영상과 항공사진(아날로그 및 디지털)을 들 수 있다. LiDAR 측량의 경우 사진측량의 범주에 포함될 수도 있으나 많은 장점을 인정받아 최근 주로 사용되고 있는 기술인 관계로 별도로 구분하여 접근하고자 한다.

위에서 언급한 방식들 중에서 현지측량, GPS 측량, 사진측량 등은 표고 획득에 많은 시간과 비용이 소요되고 비접근 지역의 표고자료를 획득하기 어렵다는 단점이 있다. LiDAR 측량의 경우 여러 연구결과를 통해서 다른 측량기법에 비해 표고정확도와 비용 측면에서 경제성이 있는 것으로 나타나고 있다.³⁸⁾

(1) 수치지형도를 이용한 방법

수치표고모델의 제작을 위해 과거 많이 사용되었던 가장 기본적인 방법은 지형도에서 표고정보를 내포하고 있는 항목을 추출한 후 내삽(Interpolation)하여 육역의 모든 영역에 대한 표고정보를 산출하는 방식이다. 여기에 사용되는 지형도는 종이로 제작된 지형도와 수치지형도 두 가지 모두 사용이 가능하다. 종이 지형도의 경우에는 등고선 등의 표고 정보를 디지털타이징(Digitizing)하는 방식으로 수치화하여 사용한다. 반면, 수치지형도는 이 과정을 생략하고 곧바로 컴퓨터를 사용한 전산화 작업이 가능하다는 이점이 있다.

하지만 우리나라에서 제작하여 오랫동안 사용해 온 수치지형도(Ver 1.0)는 항공사진을 기반으로 제작된 종이 지형도를 단순히 수치화한 자료이

38) 강준목 외, “지형의 체적 산정을 위한 LiDAR 자료의 활용”, 한국GIS학회 2006년도 GIS/RS 공동춘계학술대회, 2006, pp. 181~186.

기 때문에 종이 지형도가 가지는 위치정확도의 한계나 오차를 그대로 포함하고 있다. 게다가 종이지형도를 수치화하는 과정에서 발생할 수 있는 작업자 오류까지 포함될 수 있어 수치지형도의 수직 위치정확도는 종이 지형도의 그것을 벗어날 수 없다.

수치지형도의 제작은 국토해양부 소속기관인 국토지리정보원에서 수행하고 있는데, 업무 특성상 크게 항공사진 촬영, 항공사진 도화, 수치지도 제작 과정을 거쳐 이루어진다. 1995년부터 2000년까지 진행된 제1차 국가지리정보(NGIS) 구축 기본계획에 의해 제작된 기존 수치지형도는 Ver 1.0으로 불린다. 수치지형도 Ver 1.0은 생산자 위주의 지도적 관점의 지형지물 표현에만 중점을 두어 제작되어 GIS에 활용하기 위해서는 많은 가공과 추가 작업이 필요하여서 이용에 불편함이 있었다. 이에 국토지리정보원에서는 이러한 문제점을 검토 보완하여 새로운 수치지형도 제작기준을 마련하였고, 이에 따라 2004년도부터 제작되기 시작한 수치지형도는 Ver 2.0으로 구분하여 제작 및 사용하고 있다.³⁹⁾

| 부 록 표 1 | 수치지형도 Ver 1.0과 Ver 2.0 비교표

구분	수치지형도 Ver 1.0	수치지형도 Ver 2.0
분류체계	축척에 따라 서로 다른 코드체계 사용(597개의 소분류로 구성)	축척에 관계없이 동일한 코드 분류체계 사용(8개 대분류, 104개 소분류로 구성)
단위	도엽단계 File	도엽단계 File
UFID (유일 식별자)	없음	있음
속성항목	없음	다양한 속성항목(NBI)
위상정보 표현	없음	위성정보 구축가능

39) 서울시 지리정보시스템 홈페이지

(http://gis.seoul.go.kr/GisWebDataStore/Gis_Edu/html/S0502/SGIS-HTML.jsp?sgis=0502&pgis=0201)

부록 표 1 | 수치지형도 Ver 1.0과 Ver 2.0 비교표(계속)

구분	수치지형도 Ver 1.0	수치지형도 Ver 2.0
데이터 구조	도형구조(도형객체로서의 의미를 가지지 않음)	도형 + 위상구조
데이터 형식	DXF	NGI(국토지리정보원 포맷)
기본지리 정보구축	별도의 작업공정이 필요	기본지리정보 구축에 기반이 되는 데이터

자료 : 서울시 지리정보시스템 홈페이지(<http://gis.seoul.go.kr/>)



자료 : 서울시 지리정보시스템 홈페이지(<http://gis.seoul.go.kr/>)

부록 그림 1 | 수치지형도 Ver 1.0과 Ver 2.0의 비교 그림

수치지도 Ver 2.0은 기존의 수치지도(Ver 1.0)가 가지고 있는 논리적인 모순과 기하학적인 문제점이 제거된 지형 및 속성정보를 동시에 가지고 있는 공간정보 데이터이다. 기존의 수치지도가 597개의 소분류만을 가지는 반면 수치지도 Ver 2.0에는 지형지물이 교통, 수계 및 해양, 건물 및 시설물, 문화 및 시설, 식생, 지형, 경계, 주기 등 총 8개 대분류와 104개의 소분류로 나누어 구성되어 있다.

또한 수치지형도 Ver 2.0은 UFID⁴⁰⁾라는 유일한 식별자를 가지고 있어 공간 데이터와 속성 데이터를 결합하여 사용할 수 있으며 단순한 도형 정

보가 아닌 위상정보를 포함하고 있다. 또한 Ver 2.0부터는 기존의 지리정보 범용 교환포맷인 dxf뿐만 아니라, 수치지형도 제작 주체인 국토지리정보원의 내부 포맷인 ngi 포맷으로도 제작 및 판매된다. 기존의 수치지도가 기본 지리정보구축용으로 사용되기 위해서는 별도의 복잡한 작업 공정이 필요했지만 새 버전에서는 손쉽게 기본지리정보로 활용될 수 있다.

수치지형도 Ver 1.0의 경우 종이 지형도를 수치화한 자료이기 때문에 수치화 과정에서 발생하는 작업자 오류가 다수 포함되어 있다. 따라서, 수치지형도 Ver 1.0을 사용하여 수치표고모델을 제작하기 위해서는 등고선 오류나 표고값 기입 오류 등의 문제를 수정하면서 작업해야 했던 관계로 수치표고모델 제작보다 오류 수정에 더 많은 시간과 인력이 필요했다.

반면, 수치지형도 Ver 2.0의 경우 종이지형도를 거치지 않고 곧바로 항공사진 측량 및 도화작업을 통해 제작한 결과물이기 때문에 상대적으로 적은 오류와 높은 위치 정확도를 제공한다.

수치지형도 Ver 2.0에 포함되어 있는 지형지물 항목들 중에서 수치표고모델 제작에 사용되는 레이어는 아래 표와 같다.⁴¹⁾ 3가지 축척에 대해 각각 등고선, 표고점 레이어가 표고값을 속성정보로 가지고 있으며 수치표고모델 제작을 위해 이 레이어만을 별도로 추출한 후 GIS 사용 S/W 등을

40) ‘지형지물 전자식별자(Unique Feature Identifier)’의 약어로 쉽게 말하면 사람의 주민등록번호와 같은 역할을 한다. UFID 숫자에는 정확한 행정구역(2 21 11061)과 공장의 지형지물분류코드(4611), 도엽번호(3591300300), 각 기관별 지형지물 식별자(0009907652), 오류확인(7) 등 다양한 정보들이 수록된다. 또 이 32자리의 UFID는 아스키(ASCII) 또는 이진(Binary)형태로 저장할 수 있다. 더욱이 건물, 문화재, 철도, 도로, 하천, 호수, 해안, 행정경계, 측량기준점, 지적, 등고선 등 국가 기본지리정보에 포함되는 모든 지형지물에는 UFID가 부여된다. 따라서 UFID 활용체계가 구축되면 항목, 위치, 행정구역, 지도 도엽, 관리기관 등 개별 식별자만으로도 원하는 종류의 각종 속성정보를 검색하고 출력할 수 있다. 실제로 UFID는 좌표가 아닌 지리적 식별자로서 위치 판단을 할 수 있기 때문에 미래 위치기반서비스(LBS)를 위한 필수적인 위치 식별자로도 활용된다.

(자료: <http://www.etnews.com/news/detail.html?id=200303210291>)

41) 국토지리정보원 홈페이지 (http://ngi.go.kr/board/boardView.do?bbs_type=2&bbs_id=public_data&seq=1000014138&menuNum=3003&mainMenu=5&subMenu1=1&subMenu2=1)

사용하여 보간 및 격자형 자료화(Rasterizing) 작업을 거치면 격자 모양의 수치표고모델 제작이 가능하다.

| 부록 표 2 | 수치지형도(Ver 2.0) 항목 중 수치표고모델 제작에 사용될 수 있는 레이어 항목

Layer	분류그룹 (Table)	지형지물 이름	형 태	속성명	속성타입	속성내용
F001	지형 (1/1,000)	등고선	선	구분	STRING	계곡선, 주곡선, 간곡선, 조곡선
				등고수치	DOUBLE	등고선 간격 : 1m
	지형 (1/5,000)	등고선	선	구분	STRING	계곡선, 주곡선, 간곡선
				등고수치	DOUBLE	등고선 간격 : 5m
	지형 (1/25,000)	등고선	선	구분	STRING	계곡선, 주곡선
				등고수치	DOUBLE	등고선 간격 : 10m
F002	지형 (1/1,000)	표고점	점	수치	DOUBLE	
	지형 (1/5,000)	표고점	점	수치	DOUBLE	
	지형 (1/25,000)	표고점	점	수치	DOUBLE	
E008	수계 (1/1,000)	해안선	선	명칭	STRING	
				구분	STRING	육지, 섬
	수계 (1/5,000)	해안선	선	명칭	STRING	
				구분	STRING	육지, 섬
	수계 (1/25,000)	해안선	선	명칭	STRING	
				구분	STRING	육지, 섬

자료 : 국토지리정보원 홈페이지(<http://www.ngii.go.kr/index.do>)

위의 표 2에서 보듯 수치지형도의 축척에 따라 표현이 가능한 등고선의 간격이 다르다. 축척이 낮은 1/25,000 지형도의 경우 등고선을 통해 확인이 가능한 수직 위치정확도는 10m 정도이고, 반면 대축척에 속하는 1/1,000 지형도의 경우에는 1m 수준까지의 등고선을 확인할 수 있다.

수치지형도의 등고선을 사용하여 보간법을 통해 수치표고모델을 제작하게 되면 사실상 작업자가 원하는 격자 해상도만큼 자유롭게 결과물을 제작해 낼 수 있다. 즉, 수치지형도의 등고선 간격이 얼마인지에 상관없이 사용자가 보간 작업 수행 시 산출되는 결과물의 격자 간격을 이보다 더 정밀하

게 수~수십 cm 수준으로 정하면 결과물은 얼마든지 이에 맞춰 산출이 된다.

그러나 등고선 간격보다 세밀한 격자 간격의 수치표고모형을 제작하였다 해도 원시자료인 수치지형도의 등고선 간격 수준보다 더 좋은 위치정확도를 가질 수는 없다. 이에 반해, 해수면 상승은 수 mm 또는 수 cm 수준으로 변동하기 때문에 사실상 수치지형도에서 제공하는 수직 위치정확도 수준으로는 어느 정도 신뢰성 있는 침수범위 산정이 불가능하다고 할 수 있다.

따라서 해수면 상승에 따른 침수범위 파악을 위한 목적이라면 수치지형도를 사용한 방법보다 훨씬 정밀한 항공사진 측량 또는 LiDAT 측량 방식을 사용하는 것이 타당할 것이다.

(2) 사진측량에 의한 방법

사진측량에 의한 수치표고모형의 제작 방법은 일차적으로 사용 데이터에 따라 위성영상을 이용하는 방법과 항공사진을 사용하는 방법으로 구분할 수 있다.

인공위성영상을 이용한 수치표고모형 제작에 대한 연구는 1986년 2월 프랑스에서 SPOT 위성을 발사함으로써 본격적으로 시작되었다.⁴²⁾ SPOT 위성영상의 경우 한 Scene이 지상면적 60kmx60km 정도를 촬영할 수 있었고, 당시에는 고해상도였던 10m 해상도의 영상 자료를 획득할 수 있는 획기적인 위성영상 자료였다. 그 뒤를 이어 1995년 12월에 인도에서 발사된 IRS-1C를 5m 공간해상도의 스테레오 영상 촬영이 가능했던 관계로 수치표고모형 제작에 사용되었다. 우리나라의 영상으로는 1999년에 발사된 아리랑 1호(Kompsat-1)의 서로 다른 두 궤도에서 촬영된 영상으로 수치표고모형을 추출하려는 연구가 수행된 바 있다.⁴³⁾ SPOT과 IRS-1C 위성영상이 애초

42) 안기원 외, “IRS-1C 위성데이터를 이용한 수치표고모형 생성에 관한 연구”, 『한국측지학회지』, 제17권 제3호, 1999, pp. 293~300.

43) 최현 외, “Kompsat 영상을 이용한 수치표고모형 추출”, 『한국지형공간정보학회논문집』, 제

부터 동일한 지역에 대해 다른 촬영각을 가지는 스테레오(Stereo) 영상 취득이 가능했던 반면, 아리랑 1호의 경우 동일 지역을 시간차와 촬영각이 다르게 2번 촬영한 영상을 사용하여 수치표고모델 추출을 시도했다는 점에서 차이가 있다.

최근에 와서는 2.5m의 고해상도 영상 촬영이 가능한 SPOT-5, IKONOS, Quickbird, 아리랑 2호(Kompsat-2) 등의 위성영상을 사용한 수치표고모델 생성 관련 연구가 진행된 바 있다.⁴⁴⁾

위성영상 자료의 경우, 항공사진에 비해 저렴한 비용으로 보다 넓은 지역에 대해 촬영이 가능하다는 장점이 있으나 수백 km에 달하는 촬영고도로 인해 항공사진보다 해상도가 떨어질 수밖에 없고 이는 곧바로 수치표고모델의 해상도 또는 위치정확도와 연결된다. 따라서 표고정보를 획득하기 위한 자료로는 항공측량 자료를 사용하는 것이 타당하다 할 수 있다.

항공사진의 경우 과거에는 흑백 아날로그 필름 방식으로 촬영하던 것이 최근에는 디지털 컬러항공사진 촬영방식으로 전면 전환되었다. 이 두 가지 방식 모두를 통해 수치표고모델 제작이 가능하나, 흑백 아날로그 필름의 경우 별도의 필름 스캐닝 과정을 거친 후 도화작업을 진행해야 한다는 단점이 있다. 반면, 디지털 컬러항공사진의 경우 수치신호 형태로 데이터가 취득되기 때문에 곧바로 전산작업을 통해 처리가 가능하고, 해상도와 위치정확도 측면에서도 과거 아날로그 필름 방식보다 훨씬 개선되었다.⁴⁵⁾

항공측량에 의해 수치표고모델 제작은 수치사진측량 기법을 사용하여 수행된다. 수치사진측량 기술은 본래 수치표고모델 제작을 위한 기술이라기

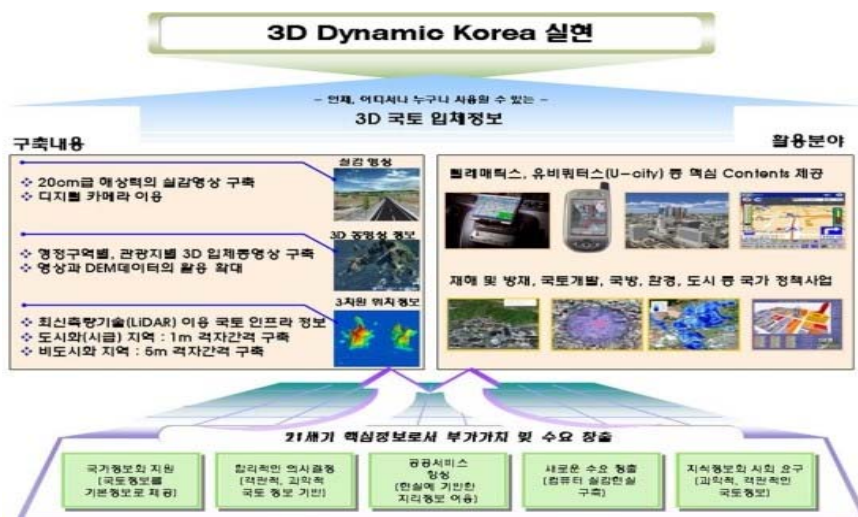
10권 제3호, 2002, pp. 71~77.

44) 정재훈 외, “고해상도 위성영상을 이용한 정밀 DEM 생성 및 정확도 분석에 관한 연구”, 『한국측량학회지』, 제26권 제4호, 2008, pp. 359~365.

45) 항공사진은 ‘사진측량법(Photogrammetry)’을 이용하여 수치표고모델을 제작하는데, 흑백 아날로그 필름을 처리하는 경우에는 ‘해석사진측량법’, 디지털 항공사진을 처리하는 경우에는 ‘수치사진측량법’으로 구분한다.

보다 항공사진을 원시자료로 하여 정사영상을 제작하고 이를 토대로 최종적으로는 수치지형도 Ver 2.0과 같은 지도를 제작하기 위해 개발된 기술이다. 하지만, 정사영상을 제작하는 과정에서 스테레오 영상을 사용하여 표고 정보를 추출하게 되는데 이를 통해 수치표고모델이 생성된다. 한편으로는 수치사진측량 작업의 중간 결과물로서 산출되는 경우라고 할 수 있다. 하지만, 이 과정에서 산출되는 수치표고모델은 다시 항공사진으로 정사영상을 제작하는데 기준 자료로 사용되기 때문에 그 중요성을 간과할 수 없다.

또한, 최근 수년간 정부 차원에서 전국에 대한 ‘3차원 국토공간정보’ 구축사업을 지속적으로 추진하고 있으며, 이 사업의 핵심적인 기반 데이터로 전국 단위 수치표고모델 제작이 추진되고 있다.



| 부록 그림 2 | 국토해양부의 3차원 국토공간정보 구축사업 추진계획 개요

(3) 항공레이저 측량에 의한 방법

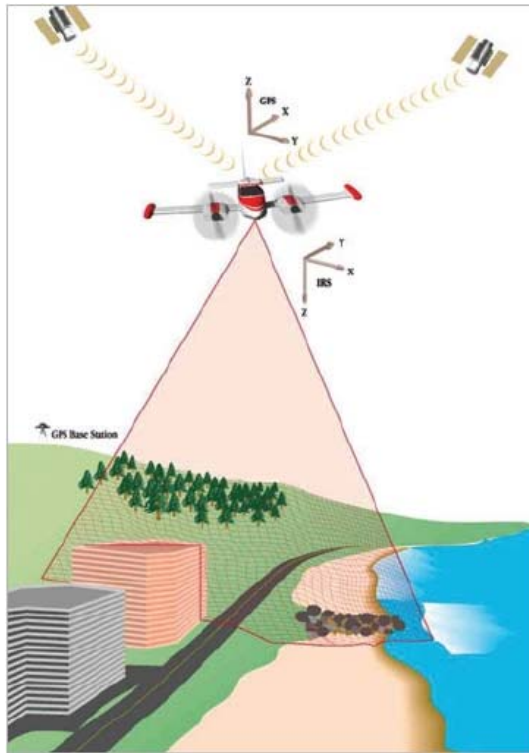
항공 LiDAR(Light Detection And Ranging) 측량은 레이저 스캐너(Laser Scanner)를 항공기에 장착하여 레이저 펄스를 지표면에 주사하고 반사된 레

이제 펄스의 도달 시간을 관측함으로써 반사 지점의 공간위치 좌표를 계산해 지표면에 대한 정보를 추출하는 측량기법으로 최근 새로운 지형정보의 획득수단으로 부각되고 있다.⁴⁶⁾

LiDAR의 경우 반드시 항공촬영 방식으로만 지형정보 획득이 가능한 것은 아니다. 국내에서도 몇 년 전부터 지상 LiDAR 촬영을 통해 연안 지형을 분석하고 모니터링하기 위한 연구가 진행되고 있다.⁴⁷⁾ 지상 LiDAR 측량의 경우 관측거리가 가까운 만큼 더욱 정밀한 지형측량이 가능하나 광역에 대해서는 적용하기 어렵다. 또한 GPS 측량 등 다른 지상측량과 비슷한 수준의 시간과 인력이 소요되기 때문에 경제성 측면에서도 항공측량 방식보다는 효율성이 떨어진다고 할 수 있다.

46) 이석배 외, *op. cit.*, 2008.

47) 심재설 외, “지상라이다 측량을 통한 연안 분석/모니터링 활용”, 『한국해양해양공학회 2009년도 발표 논문집』, 제18권, 2009, pp. 89~92.; 심재설 외, “지상 LiDAR를 이용한 만리포 해변 정밀 지형측량 및 지형 변화 분석”, 『Ocean and polar research』, Vol. 32, No. 1, 2010, pp. 73~84.



| 부록 그림 3 | 항공라이다 측량 개요(위광재 외, 2010)

LiDAR는 1990년대 중반부터 상용화된 장비가 출시되었고 이후로 정확도 향상과 자료처리 및 활용 등의 기술 개발에 따라 지형지물의 위치자료를 획득하는 주요 수단으로 선진국에서는 활용해 오고 있다. LiDAR 기술을 이용한 항공레이저 측량을 통하여 획득되는 3차원 포인트(point) 데이터는 수치표고모델(DEM) 및 수치표면모델(DSM)로 가공되며, 지형뿐만 아니라 복잡한 도시의 건물, 인공 구조물, 시설물 등의 모델링에도 활용되고 있다. LiDAR 데이터는 투과성과 다중반사의 특성을 이용하여 건물이나 수목의 상단과 지면까지의 3차원 위치를 추출할 수 있는 장점을 가진다.⁴⁸⁾

48) 위광재 외, “LiDAR 데이터를 이용한 등고선 제작의 효율성 평가”, 『한국지형공간정보학회지』, 제15권 제2호, 2007, pp. 59~66.

위광재 등(2007)에 따르면, GPS 측량에 의해 LiDAR 데이터의 표고 정확도를 평가한 결과 LiDAR 데이터의 표고 정확도는 평균 $0.089\text{m} \pm 0.062\text{m}$ 로서 축척 1/1,000 수치지형도보다 우수하게 나타났다. 이는 LiDAR 데이터가 항공사진 도화 방식과 비교할 때 지형의 기복을 더 정확하게 표현하는 것임을 나타내는 것이다. 또한 지형을 표현하는 세밀도에 있어서도 고밀도 LiDAR 데이터를 이용한 자동화 방식이 교량, 산악절개지, 복개 주차장 등 복잡한 지형지물을 세밀하게 표현해 줌을 알 수 있었다. 더불어, 경제적인 관점에서는 등고선 제작 방식에 따른 구축비용을 계산하여 비교한 결과, 1/1,000 및 1/5,000 수치지형도 기준의 등고선 제작에 LiDAR 데이터를 이용하는 경우가 현행 항공사진 도화 방식에 비하여 각각 48%와 14% 정도의 비용절감 효과가 있다고 주장하였다.⁴⁹⁾

본고에서 언급한 연구성과 외에도 다양한 연구들을 통해 현 단계에서 수치표고모델 제작을 위한 가장 정밀하고도 효율적인 방법은 항공 LiDAR 측량이라는 것이 인정되고 있다. 우리나라의 대표적인 지도 제작기관인 국토지리정보원도 이미 2000년대 초에 다양한 수치표고모델 제작 방법들에 대한 비교검토를 통해 LiDAR 측량방식이 가장 낫다는 평가를 내리고 이미 2006년도부터 순차적으로 LiDAR 측량을 이용한 수치표고모델 제작 사업을 추진해오고 있다.

아래 <그림 4>는 항공레이저 측량에 의한 수치표고모델을 제작하는 절차를 개략적으로 도식화한 그림이다.⁵⁰⁾

49) 위광재 외, op. cit., 2007.

50) (주) 신한항업 홈페이지(http://www.shas.co.kr/html/biz_03.htm)

○ 성과물 제작 절차 - 항공레이저측량에 의한 수치표고모형제작의 경우



| 부록 그림 4 | 항공레이저 측량에 의한 수치표고모델 제작 절차

2) 우리나라의 수치표고모델 제작 현황

우리나라의 지도 제작을 총괄하는 국토지리정보원에서는 90년대 후반부터 국가 차원에서 수치표고모델 제작을 위한 연구를 시작하였고, 이를 토대로 2000년대에 들어서 본격적으로 수치표고모델의 제작사업을 추진해 왔다.

2000년대 전반기에는 주로 기존에 제작되어 있던 수치지형도를 활용하여 수치표고모델 제작사업을 추진하였고, 2000년대 중반을 넘어서면서부터는 본격적으로 항공레이저 측량으로 전환하여 수치표고모델 제작을 추진하였다.

국토지리정보원의 전체적인 국가 DEM 구축 현황은 그림 5와 같다.

구분 년도	사업지역	사업량	사업내용
'98~'99	국가고도자료 연구사업 I, II	학술연구	국가DEM 구축 방안 연구
'01	청주지역	20km ²	시범사업실시(항측, LiDAR, 수치지도)
'02	서울지역	1,018km ²	LiDAR 이용(5m×5m)
'03	호남, 제주, 경상, 충청지역	67,000km ²	수치지도 이용(10m×10m)
'04	강원, 경기, 인천, 서해안	16,000km ²	수치지도 이용(10m×10m)
'05	대전광역시	540km ²	항공라이다 이용 국가 DEM제작 정사영상 제작(중축척 카메라 이용)
'06	제주, 울산, 의왕, 원주, 진해, 통영, 양산	4,650km ²	
'07	인천, 대구, 수원, 청주, 오산, 양산, 부산, 광주	3,235km ²	
'08	구리, 의정부, 창원, 마산, 거제, 공주, 광양	2,173km ²	항공라이다 이용 국가 DEM제작 정사영상 제작(대축척카메라이용)
	부천, 시흥, 안산, 광명, 안양, 군포, 과천, 하남시	591km ²	
'09	서울, 춘천, 여수, 화성, 평택, 고양, 이천, 용인, 여주, 양평, 가평, 남양주	구축 중	항공라이다 이용 국가 DEM제작 정사영상 제작(대축척카메라이용)

| 부록 그림 5 | 국토지리정보원의 국가 수치표고모델(DEM) 구축 추진 현황(2009년 기준)

항공라이다 측량은 2001년 국토지리정보원에서 ‘수치표고자료 구축 시범연구사업’을 통하여 대전광역시를 대상으로 항공라이다 측량, 수치지도, 항공사진 도화방법 등으로 구축하여 비교, 분석을 실시하였으며, ‘02년도에는 항공라이다 측량방법으로 국가기관에서 처음으로 서울, 성동(1/50,000 도엽명)에 대하여 수치표고모델을 구축하였다.⁵¹⁾

국토지리정보원에서는 3차원 국토공간정보 및 전국 기반의 연속 공간 영상정보 DB 구축을 위하여 최신의 고정밀 수치표고모델 제작을 최근 몇 년간 지속적으로 추진해 왔다.

수치표고모델의 제작은 항공레이저 측량방식에 의해 수행되었고, 격자 간격 1m로 구축이 되었다. 제작지역은 2008년도부터 2개년에 걸쳐 수도권에 대한 격자 간격 1m의 수치표고모델 제작을 완료하였고, 2010년에는 충청권 중 미구축 지자체인 ‘충주시’에 대해 구축을 추진한 바 있다.⁵²⁾

이에 앞서 국토지리정보원에서는 이미 2003년에 도서 및 해안지역을 제외한 전국에 대해 10m 격자의 수치표고모델 구축을 완료한 바 있다.

현재까지 우리나라의 수치표고모델 제작 현황은 <표 3>과 같다.⁵³⁾

| 부록 표 3 | 항공레이더를 이용한 수치표고모델 제작 현황

연 도	사업지역	면적	수치표고		정사영상
			방법	격 자	축척
2006	제주, 울산, 원주, 의왕, 양산, 통영, 진해	4,650	LiDAR	1, 5	1/5천
2007	부산, 광주, 군산, 인천, 청주, 수원, 대구, 오산	3,235	LiDAR	1	1/5천
2008	구리, 의정부, 마산, 창원	736	LiDAR	1	1/5천
	장성군	520	LiDAR	1	1/5천
2009	공주, 광양	1,437	LiDAR	1	1/5천
	부천, 시흥, 안산, 과천, 광명, 군포, 안양, 하남	621	LiDAR	1	1/5천
	가평·양평군	1,721	LiDAR	1	1/5천
	화성·평택시	1,141	LiDAR	1	1/5천
	안성·이천시	1,014	LiDAR	1	1/5천
	고양·남양주시	725	LiDAR	1	1/5천
	춘천	1,116	LiDAR	1	1/5천

51) 위광재 외, 「測量」, No. 105, 2009, pp. 68~73.

52) 국토지리정보원, 「수치표고모델(DEM) 제작 추진계획」, 2010.

53) 국토지리정보원 홈페이지(http://www.ngi.go.kr/wooriwon/practice_areas401.do)

| 부록 표 3 | 항공라이다를 이용한 수치표고모델 제작 현황(계속)

연도	사업지역	면적	수치표고		정사영상
			방법	격자	축척
'09	여수	501	LiDAR	1	1/5천
	서울특별시	605	LiDAR	1	1/5천
	용인·여주시	1,199	LiDAR	1	1/5천
	제천시	882	LiDAR	1	1/5천
	영암군	601	LiDAR	1	1/5천
	횡성군	840	LiDAR	1	1/5천
	영덕군	746	LiDAR	1	1/5천
'10	충주시	984	LiDAR	1	-
합계		23,274			

자료 : 국토지리정보원 2010년 말 현재

단위 : km, 매

이석배 등(2008)은 국내·외에서 확보가 가능한 수치표고모델 자료들을 대상으로 정확도 분석을 수행한 바 있다. 이 연구에서는 미국의 GTOPO30⁵⁴⁾과 SRTM-3⁵⁵⁾ 자료, 지형도(축척 1/50,000) 독취 자료, 환경부 보유자료, 항공사진에 의해 생성한 자료, LiDAR를 사용하여 제작한 자료 등 총 6가지 항목에 대해 정확도를 분석하였다.

54) GTOPO30 자료는 미국 USGS에서 제공하는 3"(약 1km) 격자 간격의 수치표고모델로 라스터(Raster) 및 벡터 소스의 지형정보를 기반으로 제작되었다.

55) 미국에서 일명 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)이라는 프로젝트에 의해 생성된 자료로서 우주왕복선이 11일 주기로 항해하는 동안 왕복선에 탑재한 레이더 센서를 이용하여 InSAR 방법에 의해 데이터를 획득한 자료이다. 미국 본토에 대해서는 1"(약 30m)의 격자 간격으로 제작되었고, 그 외의 전 세계 지역에 대해서는 3"보간하여 약 90m에 수렴하게 제작되었다. STRM-1은 1 arc-second 간격으로 초기 자료에 해당되며, STRM-3는 3 arc-second 간격으로 SRTM-1의 자료를 3"x3" 간격으로 보간하였다. SRTM-3의 절대 정확도는 평면 정확도 60m 이내이고, 수직 정확도는 16m 이내이다.

DEM Source	격자간격	파일 포맷	좌표체계	재생성 격자간격	보유기관
1/50,000 지형도 독취 DEM	30" × 30"	ASCII	Bessel 측지좌표, 표고	30" × 30"	-
환경부 DEM	30m×30m	ASCII	Bessel TM좌표, 표고	900m×900m	환경부
GTOPO30	30" × 30"	ASCII	WGS84 측지좌표, 표고	30" × 30"	USGS
SRTM-3	3" × 3"	Arc-Info ASCII, GeoTiff, Binary Data Mask File	WGS84 측지좌표, 표고	30" × 30"	NASA, NGS, USGS
Aerial photo	0.92m×0.92m	ASCII	GRS80 TM좌표, 표고	900m×900m	JNU
LiDAR DEM	1m×1m	ASCII	GRS80 TM좌표, 타원체고	900m×900m	HANJIN/ JNU

자료 : 이석배 외, op. cit., 2008.

| 부록 그림 6 | 사용목적에 따라 선택이 가능한 수치표고모델 자료 현황

위에서 사용한 6가지 자료를 비슷한 격자 간격으로 변환한 후, GPS 측량
과 수준측량이 동시에 실시된 시범 지역의 3차원 도시기준점 성과와 비교한
결과 LiDAR를 통해 제작된 수치표고모델이 가장 정확한 것으로 나타났다.

Source		격자 간격	비 교 성과수	결 과 값 (m)			
자료유형	좌표체계			Max.	Min.	Aver.	Stdev.
1/50,000 지형도	Bessel 위도, 경도, 표고	30" × 30"	409	29.200	-156.44	-69.294	35.951
환경부 DEM	GRS80 TM (중부원점), 표고	900m×900m	409	52.169	-95.738	-4.522	17.299
GTOPO30	GRS80 위도, 경도, 표고	30" × 30"	409	19.433	-54.285	-10.286	8.415
SRTM-3	GRS80 위도, 경도, 표고	30" × 30"	409	54.215	-44.006	-13.776	11.850
Aerial photo	GRS80 TM (동부), 표고	900m×900m	30	7.345	-22.883	-3.635	11.152
LiDAR DEM	GRS80 TM (동부), 타원체고	900m×900m	295	9.635	-21.914	-2.941	5.577

| 부록 그림 7 | 6가지 자료를 비슷한 격자 간격(30" 또는 900m)으로 재생성한 후
위치정확도를 검토한 결과

비록 수치표고모델의 격자 간격이 항공사진과 LiDAR에 의해 제작된 자료를 제외하고는 대부분 30m~1km 수준으로 낮은 편이지만 사용목적에 따라 비교적 쉽게 획득 사용이 가능한 수치표고모델 자료들의 현황을 정리하고 이를 최신 기술로 제작된 항공사진 및 LiDAR에 의한 제작방식과 비교했다는 데 의미가 있다.

3. 수치표고모델을 이용한 연안지형 측량 및 침수지역 파악 고찰

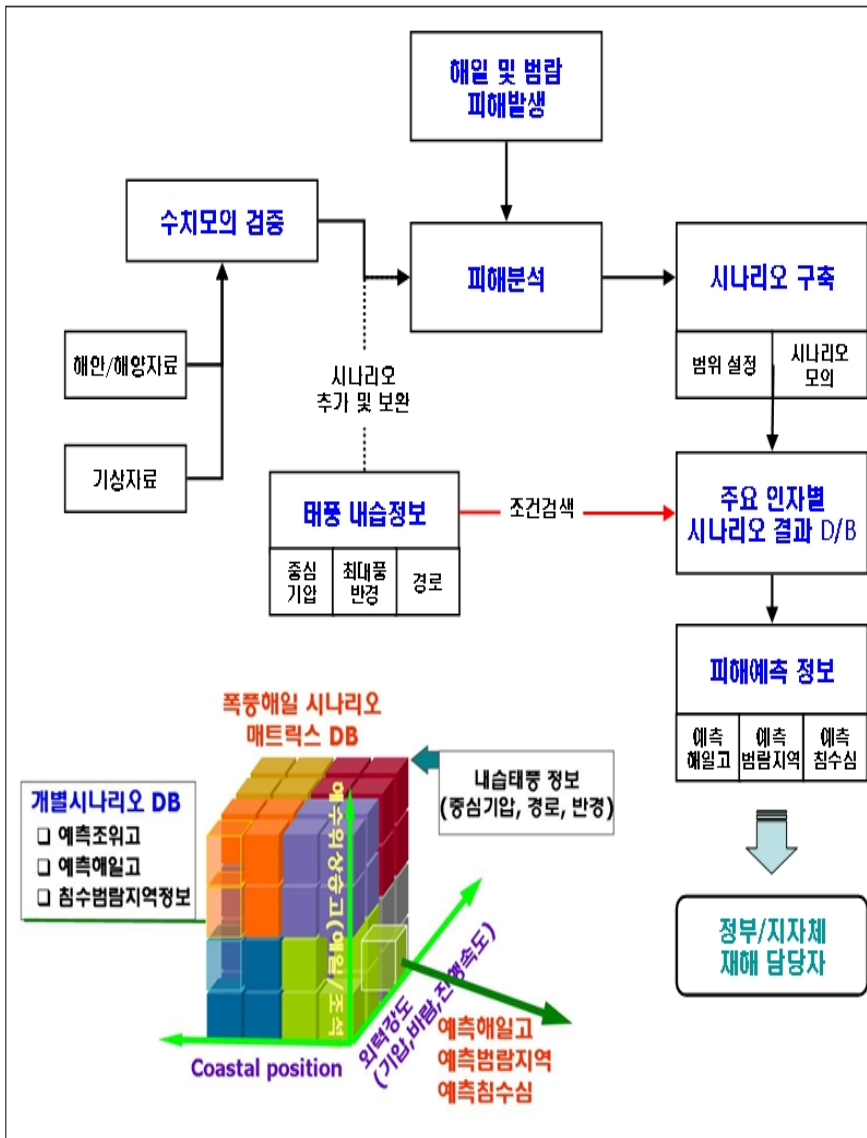
수치표고모델을 사용하여 침수지역을 파악한 사례로 국토해양부(구 해양수산부) 연안관리정보시스템⁵⁶⁾을 들 수 있다. 연안관리정보시스템 구축사업에서는 2006년도부터 2008년도까지 폭풍해일에 따른 해안침수예상도를 제작한 바 있다. 또한 해안침수예상도 제작결과에 따른 침수범위를 가시화하여 보여주기 위해 ‘3차원 해안침수시뮬레이션 시스템’을 구축하였다.⁵⁷⁾

해안침수예상도의 제작을 위해 수치모델링 작업이 수행되었고, 이를 위해 대상 해역 및 육역에 대한 표고정보가 구축되었다. 육역에 대해서는 축척 1/5,000(또는 1/1,000) 수치지형도의 등고선 등의 자료가 사용되었고, 해역에 대해서는 국립해양조사원에서 제작한 해도의 수심 자료를 활용하였다.

해안침수예상도의 제작 절차는 <그림 8>과 같다.

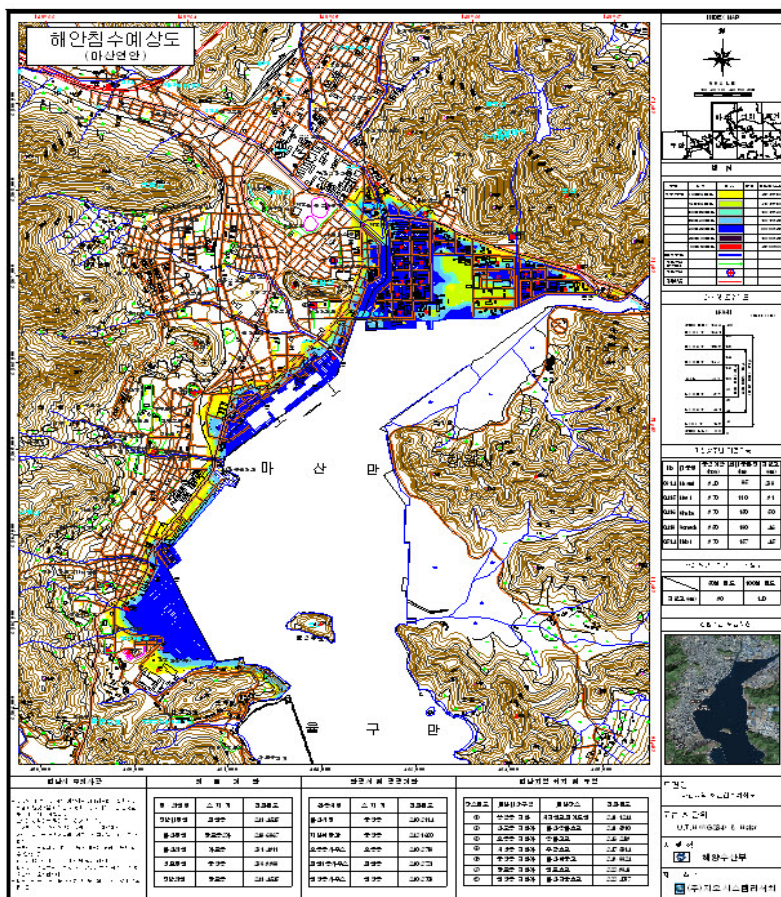
56) 연안포털(www.coast.kr) 참고

57) 해양수산부, 「연안관리정보시스템 구축 완료보고서」, 2006.; 해양수산부, 「연안관리정보시스템 구축 완료보고서」, 2007.; 해양수산부, 「연안관리정보시스템 구축 완료보고서」, 2008.



| 부 록 그림 8 | 해안침수예상도 작성 흐름도

위와 같은 과정을 통해 50년 또는 100년 빈도의 폭풍해일에 따른 최대 침수범위를 산출하였고, 그 결과는 지형도 또는 위성영상을 배경으로 한 도면으로 제작되었다(<그림 9>).



부록 그림 9 | 마산만 지역에 대한 해안침수예상도 작성 결과

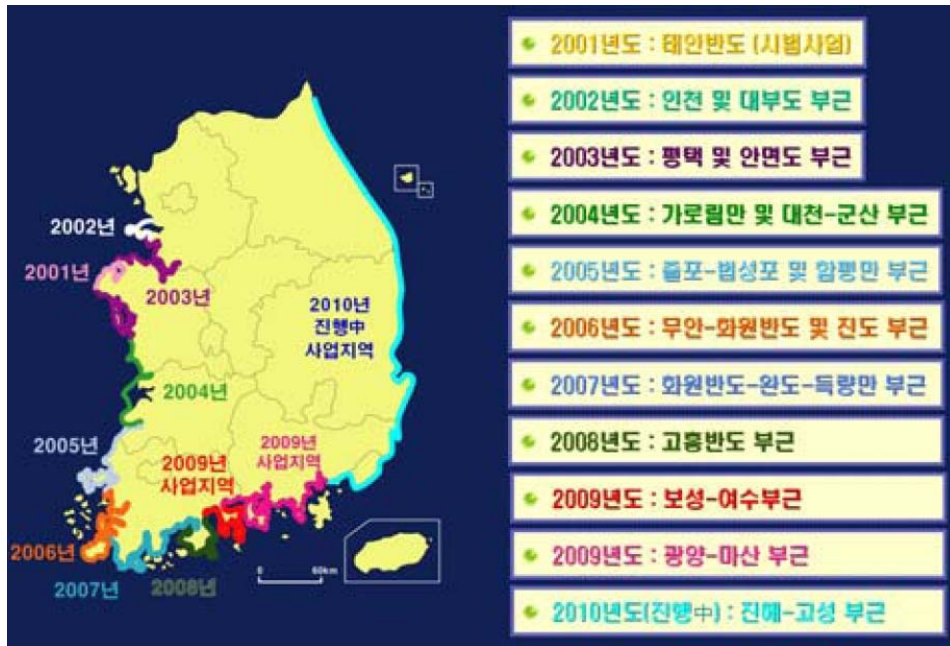
이렇게 해안침수예상도 제작 작업을 통해 도출된 침수범위 결과는 다시 웹 기반 3차원 해안침수시물레이션 시스템을 통해 가시화되었다. 3차원 해안침수시물레이션 시스템을 구축하는 과정에서도 대상 지역의 수치표고모델이 제작되었다. 이 작업 역시 축척 1/5,000 또는 1/1,000 수치지형도의 등고선 정보를 사용하였다. 특징적인 부분은 연안지역에 존재하는 건물에 대해서도 침수결과를 가시화하기 위해 수치지형도에 존재하는 시설물 정보(2차원 벡터 형식)와 건물별 층수 정보를 활용하여 인위적으로 3차원 건물모델을 생성하여 가시화하였다(<그림 10>).



| 부록 그림 10 | 국토해양부 연안관리정보시스템에서 2008년 구축한 3차원
해안침수시뮬레이션 시스템의 화면(마산 지역)

한편, 항공 LiDAR 측량을 연안지형 측량에 활용한 대표적인 사례로는 국립해양조사원에서 추진한 ‘해안선조사측량’ 사업을 들 수 있다. 해안선조사측량 사업은 2001년도 태안군 지역에 대한 시범사업을 시작으로 서해안, 남해안, 동해안 순으로 2010년도까지 육지부 해안선에 대한 조사측량을 완료하였다. 해안선조사측량 사업은 국토의 형상을 정립하고 정확한 해안선을 제작하기 위해 목적으로 추진되었다. 이를 위해 세부적으로는 기준점 측량, 수준측량, 지형현황측량, 수심측량, 조석관측, 속성조사 등으로 구분하여 수행하였다.⁵⁸⁾

58) 위광재 외, “우리나라 해안선조사측량 추진 현황 및 개선점 연구”, 『한국측량학회 2010년 춘계학술발표회 논문집』, 2010, pp. 403~406.



부록 그림 11 | 해안선조사측량사업 추진현황(2010년 현재)

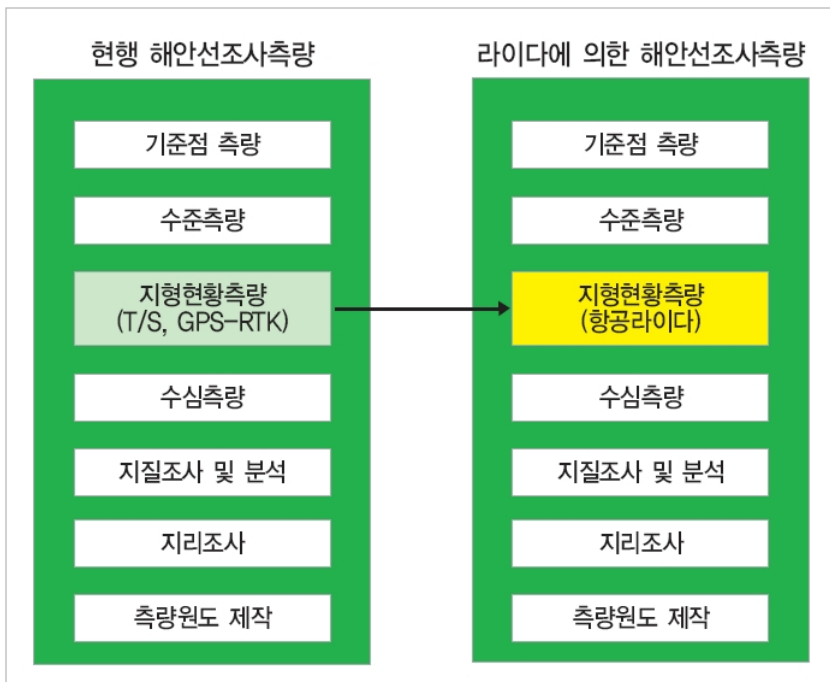
항공 LiDAR 측량 2005년도에 함평만 지역(해안선 길이 : 약 122km)을 대상으로 시범적으로 도입되었다. 또한, 2006년도에는 항공레이저수심측량(SHOALS)⁵⁹⁾ 시범사업도 추진한 바 있다. 이를 토대로 2007년도부터는 기존의 해안선조사측량 수행 과업 중 ‘지형현황측량’ 부분을 대체하여 항공 LiDAR 측량이 수행되기 시작하였다.

59) SHOALS(Scanning Hydrographic Operational Airborne LiDAR Survey)는 항공기에 레이저 측정 장비를 탑재하여 해수면과 해저면을 동시에 관측 및 수심 측정이 가능한 기술로서 빠른 속도로 대규모 지역을 측정할 수 있으며, 암초 지역 및 천소지역을 효과적으로 측정할 수 있다는 장점을 가지고 있다(정현 외, “SHOALS를 이용한 해안선측량 및 수심측량”, 한국GIS학회 2008년도 공동추계학술대회, 2008, pp. 331~332.).

구분 년도	사업지역	사업내용
'05	줄포에서 법성만, 함평만	항공라이다측량 시범사업
'06	함평만에서 진도만	항공레이저수심(SHOALS)측량 시범사업
'07	화원반도에서 득량만	현황측량분야에 항공라이다측량 방법 적용
'08	고흥반도	
'09	여수만 여수만에서 진해시	

자료 : 위광재 외, op. cit., 2010

| 부록 그림 12 | 해안선조사측량 사업에서의 항공 LiDAR 측량 추진 현황



자료 : 위광재 외, op. cit., 2010

| 부록 그림 13 | 해안선조사측량 사업에서 지형현황측량 과업을 항공 LiDAR 측량으로 대체

4. 결론 및 향후 발전 방향

수치지형도를 이용한 DEM의 제작방법은 표고점을 이용하여 보간법을 적용하기 때문에 정밀도가 떨어진다. 항공사진 및 인공위성영상을 이용하여 제작하는 경우에는 자동제작이 어려우며, 고비용이 드는 단점이 있다. 따라서 최신기술인 LiDAR 측량을 통해 최신의 지형정보를 획득하고 자동기법을 통해 수치표고모형을 제작하는 것이 현재의 기술수준에서는 가장 효율적이고 경제적인 방법인 것으로 사료된다.⁶⁰⁾

항공라이다측량은 기존 측량장비에 비해 정확도가 우수하고,⁶¹⁾ 비행범위의 확대 및 지상측량의 최소화로 작업효율이 뛰어나며 직접적인 접근이 어려운 도서지역 등에 대해서도 측정이 가능한 장점을 가지고 있다.⁶²⁾

또한 항공라이다 측량은 한 번의 측량으로 고정밀 수치표고자료와 더불어 고해상도(30cm급)의 디지털 영상을 같이 획득할 수 있으므로 모니터링, 침식, 종단면 및 횡단면 현황측량 등 다양한 방식으로 활용이 가능하고 침수범람 시뮬레이션을 위한 3차원 입체 공간정보도 신속하게 생산해 낼 수 있다.

따라서 최근에 지구상 곳곳에서 발생하고 있는 쓰나미, 폭풍해일 등 연안지역의 재해 및 재난과 관련하여 정확한 피해 예측, 시뮬레이션을 통한 대응체계 구축을 위해 항공라이다 기술이 요긴하게 사용될 것으로 예상된다.

항공라이다 측량을 이용한 수치표고모형 제작 기술이 이처럼 해수면 상승 및 이에 따른 침수지역 파악을 위해 유용한 기술인 것은 분명해 보인다. 이를 토대로 해수면 상승에 대응하기 위한 수치표고모형 등 3차원 지리정보의 발전방향은 다음과 같이 제언할 수 있다.

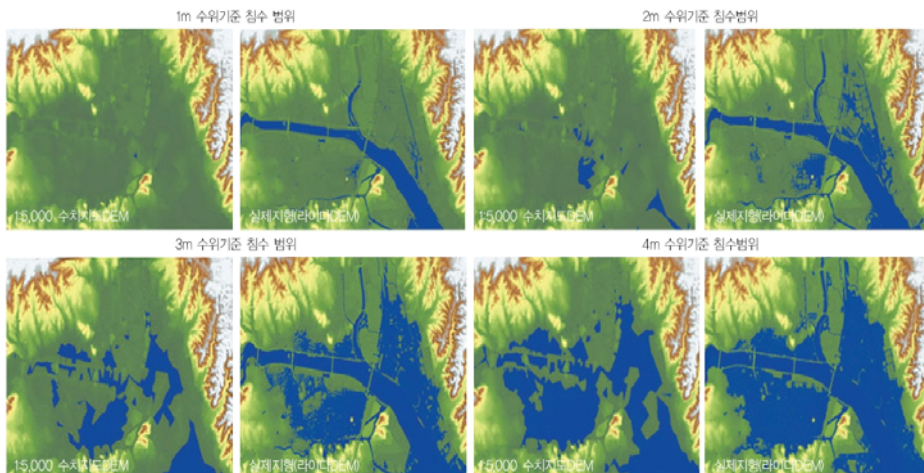
60) 김준철 외, “레이저 스캐닝 데이터를 이용한 정밀 도로 수치표고모형 제작에 관한 연구”, 『한국측량학회 2003년도 추계학술발표회 논문집』, 2003, pp. 245~250.

61) 국토지리정보원에서 2005년도에 ‘다차원공간정보 구축사업’을 수행하면서 1m 격자 간격의 수치표고자료에 대하여 수평위치 $\pm 19\text{cm}$, 수직위치 $\pm 14\text{cm}$ 로 검증결과가 나온 바 있다.

62) 위광재 외, op. cit., 2010.

먼저, 기후변화에 따른 해수면 상승은 장기간에 걸쳐 미세하게 진행되기 때문에 항공라이다 측량을 통한 수치표고모델 제작도 이에 준하는 위치 정확도와 정밀도를 지녀야 할 것으로 사료된다. 최근 연구에 따르면 1993~2008년(16년간) 동안 NASA의 Topex/Poseidon 및 Jason 위성고도계 자료에 의한 우리나라 주변 해역의 해수면 상승률은 평균 4.02mm/yr로 나타났다.⁶³⁾ 따라서, 현 수준에서 해수면 상승률이 급격하게 증가한다 하더라도 연간 5mm 수준을 넘지는 않을 것으로 보인다.

이러한 경향을 토대로 연안지역의 침수지역을 모니터링하거나 가시화하기 위해서는 적어도 수~수십 cm 수준의 정밀도를 지니는 수치표고모델의 제작이 가능해야 한다. LiDAR 측량의 특성상 측량점의 점밀도를 높이거나 항공촬영 시 고도를 낮추는 등의 방법을 통해 충분히 가능할 것으로 판단된다.



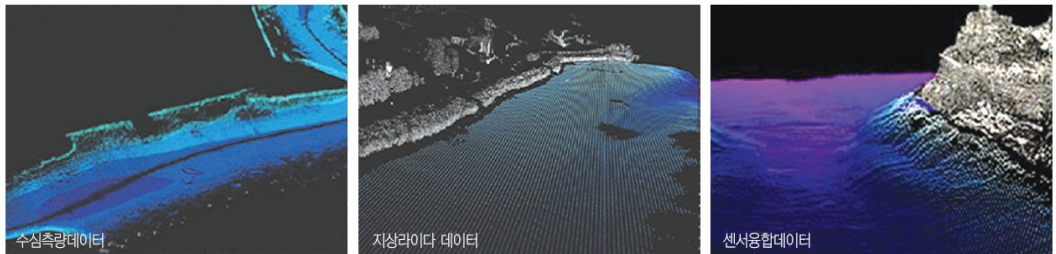
| 부 록 그림 14 | 항공라이다 데이터를 사용한 3차원 침수시뮬레이션 예시

63) 조광우 외, 「해수면 상승에 따른 취약성 분석 및 효과적인 대응정책 수립 I : 해안침식 영향평가」, 녹색성장연구 2009-12, 2009.

둘째로는 육역과 해역이 공존하고 주기적인 노출을 반복하는 조간대의 특성을 고려한 지형 측량방법이 본격적으로 활용되어야 한다. 연안지형 측량의 가장 큰 장애물은 바로 지형의 일부분이 해수면으로 덮여 있다는 점이다. 이러한 장애를 극복하기 위한 가장 좋은 방법 중 한 가지는 해저지형에 대한 측량과 연안 육역에 대한 측량을 동시에 수행하는 것이다.

최근에 캐나다 Optech사에서는 선박에 GPS/INS, 지상라이다, 수심측량 장비를 동시에 부착하여 연안지역이나 해안선 지역에 대해 육상측량과 수심측량을 동시에 수행하는 장비를 실용화시킨 바 있다.⁶⁴⁾

아래 그림 15는 이와 같이 센서를 융합하여 연안지역에 대해 측량을 실시한 사례를 보여 주고 있다.



| 부록 그림 15 | 센서융합(수심측량+지상라이다)을 통한 연안측량 사례

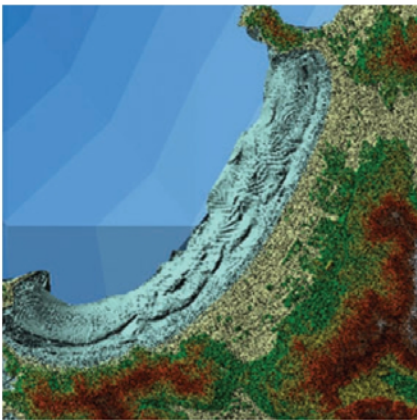
마지막으로, 현재 이원화되어 있는 해안선에 대한 기준을 일원화시키고 이를 토대로 육도와 해도가 통합된 지형도를 제작할 수 있어야 한다. 우리나라의 경우 국토지리정보원에서 제작하는 지형도의 해안선 기준과 국립해양조사원에서 제작하는 해도의 해안선 기준이 달라 육도와 해도가 일원화된 지형도의 제작에 어려움을 겪고 있다. 몇 년 전부터 이 문제를 해결하기 위한 노력이 진행되고 있으나 여전히 숙제로 남아 있는 것이 사실이다.

64) 위광재 외, “LiDAR 데이터를 이용한 등고선 제작의 효율성 평가”, 「한국지형공간정보학회지」, 2007.

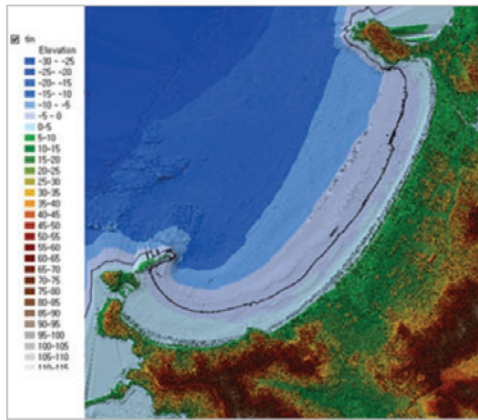
육도와 해도의 해안선 기준이 통일되게 되면 육역 측량과 해역 측량의 공간적인 범위가 명확해질 것이고, 이에 따라 각각의 지도를 제작하는 양 기관에서 제작되는 지리정보도 해안선을 기준으로 접합 및 통합 제작이 가능해질 것이다.

지형측량에 사용되는 센서와 측량방식이 서로 이질적인 육도와 해도를 통합하여 구축 및 활용할 수 있게 되면 연안지역에 대해 신뢰도 높은 관리와 정책 수립이 가능해질 것이다. 또한, 해수면 상승에 따른 침수지역 파악 등 기후변화에 따른 대응 및 적응 기술도 안정적이고 탄력적으로 추진될 수 있을 것이다.

만리포 육도-해도 접합정밀지형도
(한국해양연구원 30초 수심)



만리포 육도-해도 접합정밀지형도
(멀티빔 정밀수심)



| 부 록 그림 16 | 육도와 해도를 접합한 정밀지형도 구축 예시

부 록 2. 우리나라 주변해역의 태풍 경로와 영향반경

연안지역에 해일이나 바람에 의한 피해를 발생시킬 수 있는 태풍을 조사하기 위하여 먼저 지난 33년(1977~2009)간 한반도에 접근한 태풍과 상륙한 태풍을 분류하고 그 특성을 조사하였다. 또한 태풍의 경로에 따라 그 영향 반경을 추정하기 위하여 태풍의 기압과 풍속 분포를 조사하였다. 이러한 결과를 바탕으로 본 연구에서는 최종적으로 하여 해일이나 바람에 의한 피해를 발생시킬 수 있는 태풍에 대한 영향 반경을 설정하고자 한다.

1. 한반도 접근 및 상륙 태풍의 분류

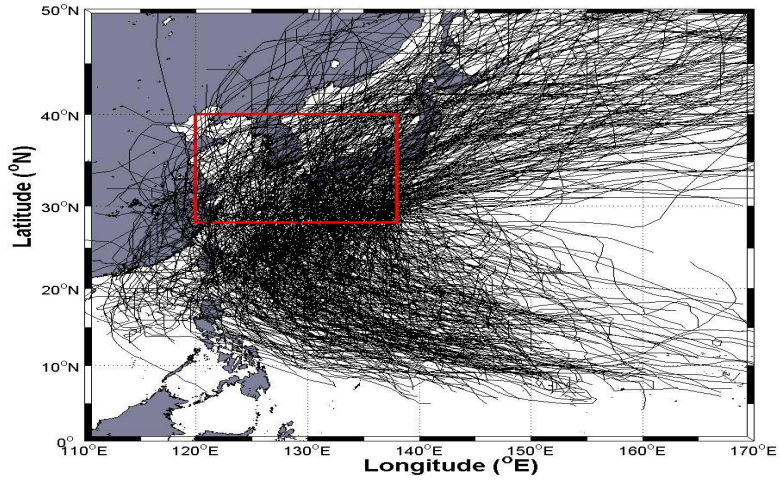
우리나라에서 발생하는 여러 자연재해 가운데 태풍은 전체 피해 중 60% 이상을 차지하는 매우 위협적인 기상현상이다. 특히, 2000년대에 들어 태풍 루사(0215), 매미(0314), 나리(0711) 등의 강력한 태풍으로 인해 그 피해가 점점 커지고 있다(최의수·문일주, 2008). 특히, 연안지역은 기후변화로 인한 해수면 상승과 태풍에 의한 해일 강도의 증가로 인해 해수 범람에 가장 취약하다.

본 연구에서는 과거 33년간(1977년-2009년)의 미 해군합동태풍경보센터(Joint Typhoon Warning Center : JTWC)의 태풍 최적경로(Best track) 자료와 과거 58년간(1951~2008년)의 일본 동경 지역특별기상센터(Regional Specialized Meteorological Center-Tokyo : RSMC Tokyo)의 태풍 최적경로(Best track)를 사용하여 한반도에 근접한 태풍과 상륙한 태풍들을 조사하였다. 태풍 최적경로 자료는 북서태평양에서 발생한 모든 태풍의 중심위치(위·경도)와 강도(중심기압·최대풍속)를 6시간 간격으로 제공한다. 분석 시에는 6시간 간격의 태풍 최적경로 자료를 15분 간격으로 내삽되어 사용하였다. 이

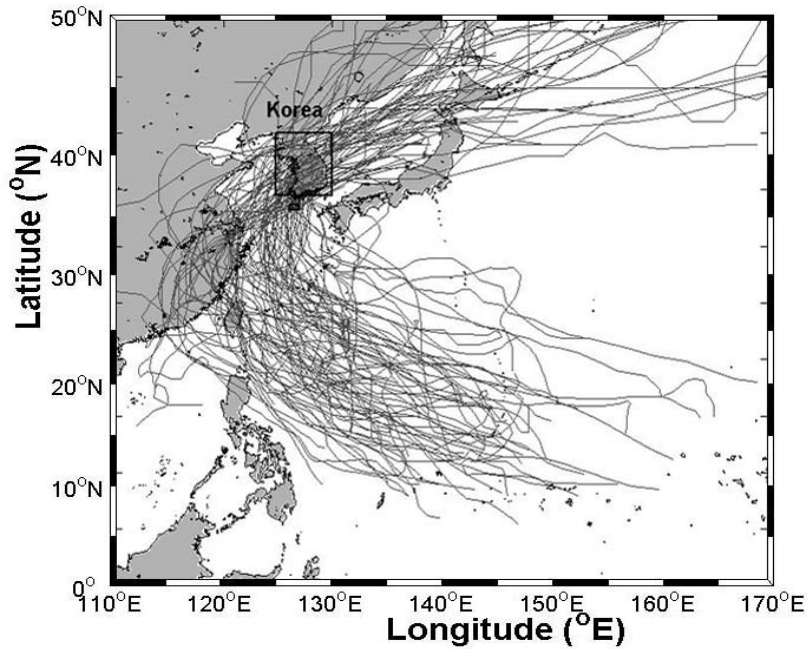
것은 이동속도가 빠른 태풍이 정해진 구역 내를 짧은 시간에 통과할 경우에 통계자료에서 빠질 수 있는 가능성을 없애기 위해서이다(문일주 외, 2010).

한반도 근접 태풍은 기상청에서 사용 중인 태풍비상구역과 기후예측과의 한반도 영향 태풍의 기준을 절충한 북위 28° - 40° N 그리고 동경 120° - 138° 범위를 통과한 태풍으로 정의하였다(문과 최, 2011). <그림 17>은 지난 58년간 한반도에 근접한 472개 태풍의 이동경로를 나타내고 <표 4>는 한반도 근접 태풍의 목록을 나타낸다. 월별로 보면 한반도에 근접하는 태풍은 주로 6, 7, 8, 9월에 집중되어 57년간 총 472개의 한반도 근접 태풍 중에 385개(82%)가 이 기간 동안에 발생하였다.

한반도에 상륙한 태풍은 1/60 격자의 수심자료를 이용하여 태풍의 중심이 한반도의 육지 격자에 한번이라도 들어왔을 때로 정의하였다. 이 기준은 Choi et al.(2007)이 제시한 ‘태풍 진로가 한반도 해안선과 만나는 경우’와 거의 유사하지만 Kim et al.(2006)이 제시한 ‘한반도 중심(36° N, 128° E)으로부터 5° 반경 내를 지나간 모든 열대저기압’과는 조금의 차이를 보인다. <그림 18>은 57년간 한반도에 상륙한 태풍의 이동경로를 나타낸다. 한반도 상륙 태풍의 목록은 <표 4>에 나타내었다.



| 부록 그림 17 | Tracks of tropical cyclones(TCs) that approached the Korean Peninsular(KP) within a range of 28°N~40°N, 120°E~138°E (red box) during 1951-2008.



주 : The black box represents the limits of the KP.

| 부록 그림 18 | Tracks of the KP-landfall TCs during 1951-2008

| 부록 표 4 | The list of the KP-approach TCs and the KP-landfall TCs during 1951-2008

Year	KP-approach TCs	KP-landfall TCs
1951	5106, 5107, 5108, 5111, 5114, 5115	5111, 5114
1952	5201, 5202, 5204, 5205, 5209, 5211, 5221	5209, 5211
1953	5302, 5304, 5307, 5309, 5313	5304, 5309
1954	5404, 5405, 5407, 5412, 5413, 5414, 5415	5407
1955	5504, 5507, 5508, 5512, 5513, 5516, 5522, 5523, 5526	
1956	5603, 5606, 5607, 5609, 5611, 5612, 5613, 5615	5611, 5613
1957	5705, 5707, 5709, 5710	5707
1958	5806, 5811, 5817, 5819, 5821, 5822	5819
1959	5904, 5905, 5906, 5907, 5909, 5911, 5913, 5914, 5915, 5916, 5918	5904, 5905, 5909, 5911
1960	6003, 6006, 6008, 6010, 6011, 6012, 6015, 6016, 6019	6015
1961	6103, 6104, 6106, 6107, 6110, 6111, 6112, 6115, 6117, 6118, 6123	6104, 6107, 6110, 6123
1962	6203, 6205, 6207, 6209, 6210, 6213, 6215, 6217	6205, 6209, 6210, 6217
1963	6303, 6304, 6305, 6309, 6311	6304, 6305
1964	6405, 6407, 6409, 6410, 6411, 6414, 6416, 6420, 6424	6409, 6411
1965	6508, 6509, 6510, 6513, 6515, 6517, 6518, 6523, 6524	6513, 6518
1966	6603, 6612, 6614, 6615, 6617, 6618, 6619, 6621, 6624	6615, 6617, 6618
1967	6707, 6710, 6715, 6718, 6734, 6737	
1968	6803, 6804, 6807, 6810, 6816	
1969	6907, 6909, 6911	6911
1970	7002, 7004, 7006, 7009, 7010, 7011	7002, 7004, 7011
1971	7107, 7113, 7119, 7120, 7123, 7128, 7129, 7133	7120, 7128
1972	7206, 7207, 7209, 7214, 7220	
1973	7303, 7305, 7306, 7310	7305, 7310
1974	7406, 7408, 7411, 7414, 7416, 7418, 7420, 7421	
1975	7502, 7504, 7505, 7506, 7513, 7514	
1976	7605, 7609, 7611, 7612, 7613, 7615, 7617	7615
1977	7702, 7707, 7709	
1978	7803, 7806, 7808, 7811, 7813, 7816, 7818, 7824	7811
1979	7910, 7911, 7912, 7916, 7920	7910, 7911
1980	8004, 8005, 8007, 8012, 8013, 8019	8007
1981	8104, 8105, 8109, 8110, 8118, 8120	8118, 8120
1982	8210, 8211, 8213, 8218, 8219	8211
1983	8305, 8306, 8310, 8313	
1984	8403, 8405, 8407, 8409, 8410, 8412	8403, 8409
1985	8505, 8506, 8507, 8508, 8509, 8510, 8512, 8513, 8520	8507, 8508, 8509

주 : 4-digital number represents year[YY] and TC number[NN] of each year

| 부록 표 4 | The list of the KP-approach TCs and the KP-landfall TCs during 1951-2008

Year	KP-approach TCs	KP-landfall TCs
1986	8605, 8606, 8608, 8613, 8616	8605, 8613
1987	8705, 8706, 8707, 8708, 8712	8705, 8708
1988	8808, 8809, 8811, 8813, 8822	
1989	8906, 8909, 8911, 8912, 8917, 8921, 8922	8911, 8921
1990	9003, 9005, 9007, 9011, 9014, 9015, 9019, 9020, 9021, 9028	9007, 9015
1991	9109, 9112, 9113, 9114, 9117, 9119	9112
1992	9203, 9209, 9210, 9211, 9216, 9219, 9230	9209, 9219
1993	9304, 9305, 9306, 9307, 9313, 9314	
1994	9403, 9407, 9411, 9413, 9414, 9416, 9426, 9429	9411, 9416, 9429
1995	9502, 9503, 9507, 9514	9503, 9507
1996	9606, 9612	
1997	9707, 9708, 9709, 9711, 9713, 9719	9711
1998	9805, 9806, 9807, 9808, 9809, 9810, 9811	
1999	9905, 9907, 9908, 9909, 9910, 9914, 9916, 9917, 9918, 9920	9905, 9907, 9910, 9914
2000	0004, 0006, 0008, 0010, 0012, 0014, 0020	0010, 0012, 0014
2001	0102*, 0108, 0111, 0115, 0121	0102
2002	0204, 0205, 0206, 0207, 0208, 0209, 0211, 0215	0205, 0215
2003	0302, 0304, 0306, 0310, 0314, 0315, 0319	0314
2004	0404, 0406, 0407, 0410, 0411, 0413, 0415, 0416, 0418, 0420, 0421, 0422, 0423, 0424	0407
2005	0507, 0509, 0511, 0514, 0515	
2006	0601, 0603, 0607, 0610, 0613	0603
2007	0704, 0705, 0706, 0711, 0712, 0715	0706, 0711
2008	0807, 0813, 0815	0807

2. 태풍의 기압과 풍속 분포

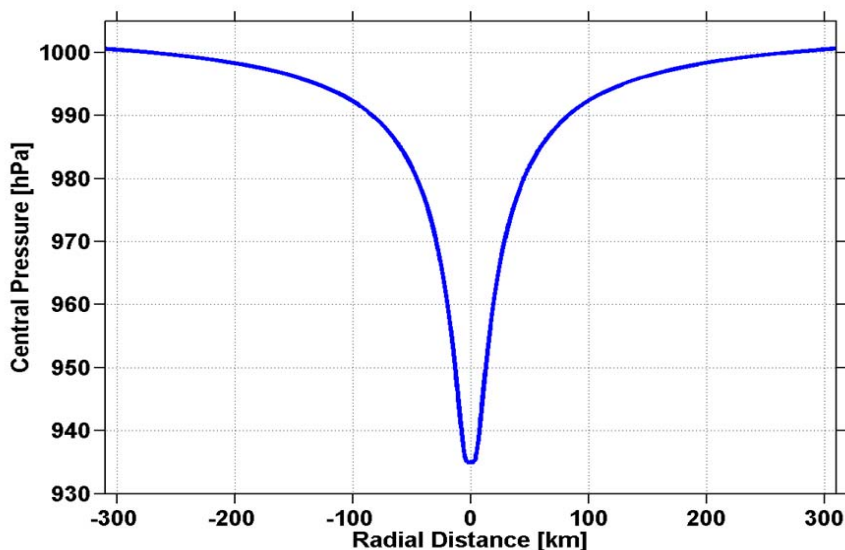
태풍의 경로에 따라 그 영향 반경을 추정하기 위해서는 태풍의 기압과 풍속에 대한 공간적인 분포를 파악하여야 한다.

1) 기압분포

태풍의 기압분포는 태풍의 중심에서 기압이 가장 낮고 바깥으로 갈수록 지수함적으로 증가하는 경향을 보인다. 또한 태풍은 동심원 형태로 대칭적인 기압분포를 보이므로 (1)식과 같이 태풍 중심으로 부터의 반경(r)를 사용하여 경험적 함수로 표현할 수 있다(<그림 19>).

$$p = p_c + (p_{background} - p_{center}) e^{-\frac{r_{max}}{r}} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 p_c 는 중심기압 $p_{background}$ 는 주변기압, r_{max} 는 최대풍속반경을 나타낸다.



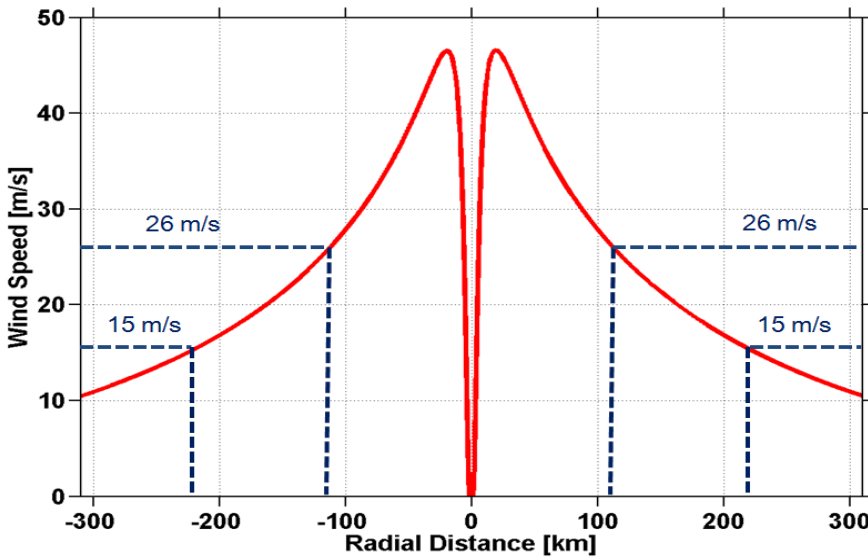
| 부록 그림 19 | Distribution of TC surface pressure as a function of radial distance(r)

2) 풍속분포

태풍의 풍속분포는 태풍의 중심에서 가장 낮고 최대풍속반경(rmax)에서 최대값을 보이며 최대풍속반경으로부터 바깥으로 갈수록 감소하는 경향을 보인다(<그림 20>). 또한 태풍의 풍속 역시 동심원 형태로 대칭적인 기압분포를 보이므로 (2)식과 같이 태풍 중심으로부터의 반경(r)를 사용하여 경험적 함수로 표현할 수 있다(Holland, 1980).

$$V = \sqrt{\frac{r_{\max}}{\rho_{\text{air}}} (p_{\text{background}} - P_{\text{center}}) e^{-\frac{r_{\max}}{r}} r + \frac{r^2 f^2}{4} - \frac{rf}{2}} \dots\dots\dots (2)$$

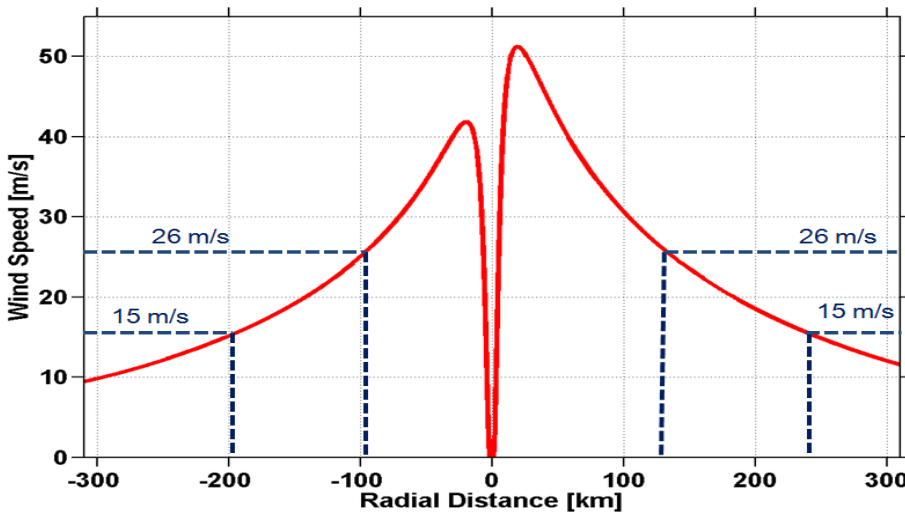
여기서 P_c 는 중심기압 $P_{\text{background}}$ 는 주변기압, $r_{\max}$ 는 최대풍속반경, ρ_{air} 는 공기의 밀도, 그리고 f 는 콜리올리 힘을 나타낸다.



| 부록 그림 20 | Distribution of symmetric TC wind speed as a function of radial distance(r)

관측자료로부터 태풍 풍속의 공간적인 분포를 보면 태풍의 오른쪽 반원에서 풍속이 더 강한 것을 발견할 수 있다. 이것은 북반구에서 태풍이 반시계 방향으로 회전을 하기 때문에 태풍의 오른쪽 반원에서는 태풍의 이동방향과 태풍 바람 방향이 일치하기 때문에 나타난다. 즉 태풍의 오른쪽 반원에서는 태풍의 이동속도(Storm Translation Speed : STS)가 더해지고 같은 이유로 태풍의 왼쪽 반원에서는 태풍의 이동속도만큼 풍속이 감소하게 된다. 식 (3)은 태풍의 이동속도를 고려한 반경(r)의 함수로 표현된 풍속의 분포를 나타낸다. 이 식을 이용하여 비대칭적인 태풍의 풍속 분포를 <그림 21>에 나타내었다.

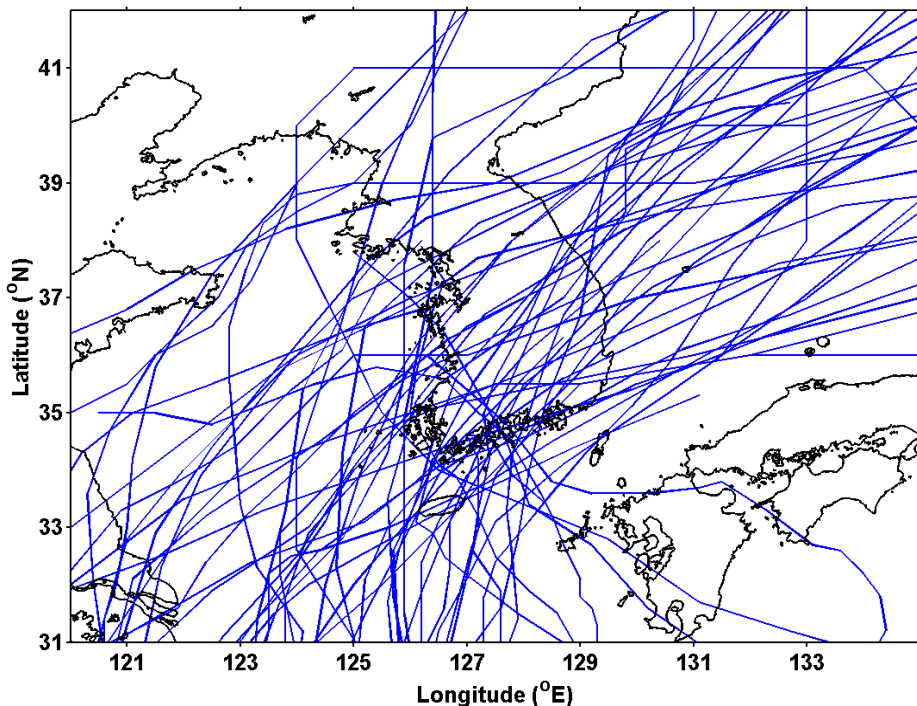
$$V = \sqrt{\frac{r_{\max}}{\rho_{\text{air}}} (p_{\text{background}} - P_{\text{center}}) e^{-\frac{r_{\max}}{r}} r + \frac{r^2 f^2}{4} - \frac{rf}{2} \pm STS} \dots\dots\dots (3)$$



| 부록 그림 21 | Distribution of asymmetric TC wind speed as a function of radial distance(r) considering a storm translation speed(STS)

3) 한반도 상륙 태풍의 영향 반경

연안지역에서 해일이나 강풍에 의한 피해는 태풍이 한반도에 상륙하지 않아도 발생할 수 있지만 대부분의 해일 피해는 태풍이 직접적으로 한반도에 상륙한 경우에 발생한다. 따라서 본 연구에서는 한반도에 태풍의 중심이 상륙한 경우에 대해서만 그 영향 반경을 계산하였다. 또한 태풍이 우리나라에 상륙하기 직전에 온대저기압으로 바뀐 경우와 풍속이 15m/s 이하인 경우도 분석에서 제외하였다. 분석기간은 인공위성에 의한 태풍강도 추정 기술이 사용된 1977년 이후부터 2009년까지 33년을 선택하였다. <그림 22>는 33년간 한반도에 상륙한 태풍(풍속 15m/s 이상)의 총 이동경로를 나타낸다.



| 부록 그림 22 | Tracks of TC that made landfall over the KP during 1977-2009

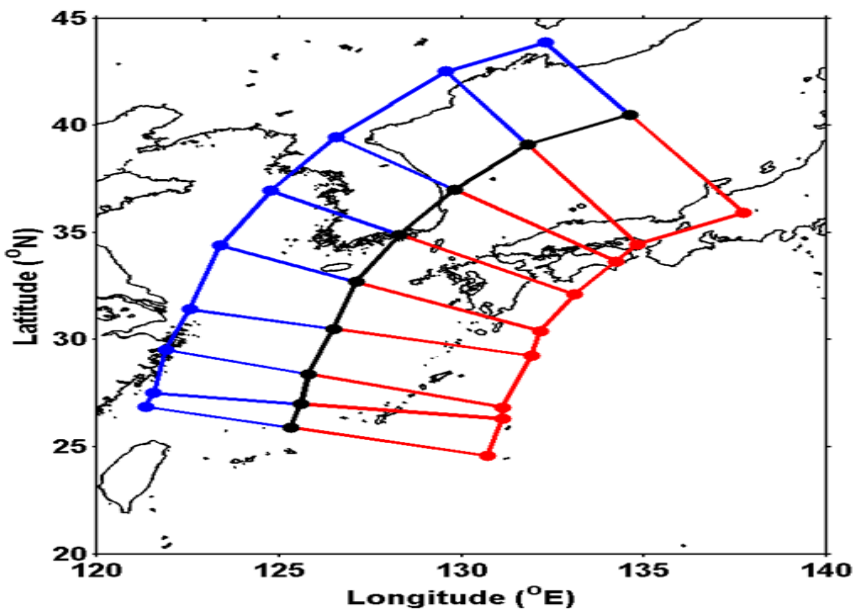
한반도 상륙 태풍의 영향 반경은 태풍의 이동경로를 따라 진행방향의 수직으로 강풍반경을 추정하여 구한다(<그림 23>). 상세한 영향 반경 추정 방법은 다음과 같다.

i) 태풍정보와 (3)식을 이용하여 한반도 상륙 직전의 15m/s와 26m/s 강풍 반경을 구한다.

ii) 현시점에서 태풍중심 위치와 6시간 후의 태풍중심을 이용하여 태풍의 이동방향을 구한다.

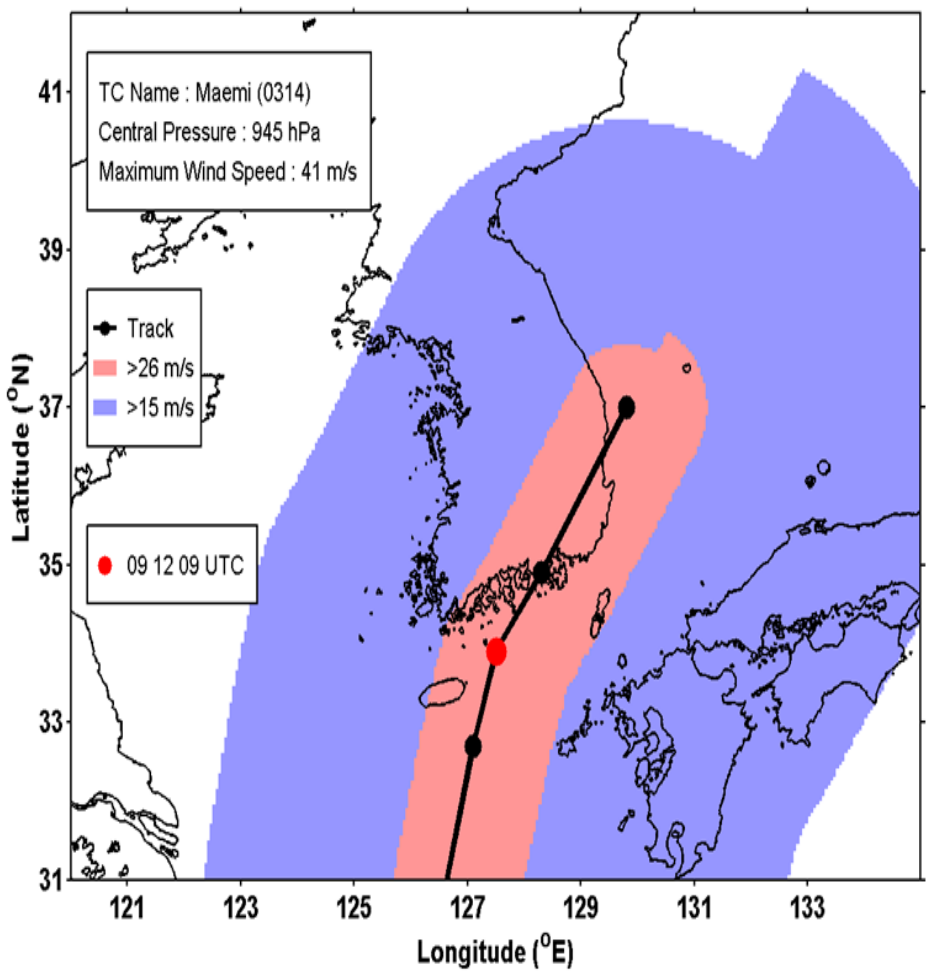
iii) 태풍이동 방향에 수직 방향으로 좌우측의 15m/s와 26m/s 강풍 반경을 구한다.

iv) 구해진 태풍의 이동경로를 따라 15m/s와 26m/s 강풍 범위를 표시한다(15m/s 이상: 파란색 칠, 26m/s 이상: 붉은색 칠) (<그림 24>).



| 부록 그림 23 | TC-influence radius estimated along the TC tracks

아래 그림은 2003년 태풍 매기 시기의 태풍 영향 범위를 위의 방법으로 계산한 예를 나타낸다. 1997년부터 2009년까지 한반도에 상륙한 총 30개의 태풍에 대한 영향 범위는 부록 1에 나타났다. 부록 2에는 참고로 총 30개 태풍이 한반도에 상륙하였을 때 기상관측소에서 기록된 풍속과 강수량 값을 함께 제시하였다.



| 부록 그림 24 | TC-influence range estimated along the TC tracks

부 록 3. 한반도 상륙 태풍의 강풍 영향 범위

(1977-2009년, JTWC Best Track Data)

1. Carmen, 7811
2. Irving, 7910
3. Judy, 7911
4. Agnes, 8118
5. Holly, 8410
6. Jeff, 8507
7. Kit, 8508
8. Lee, 8509
9. Nancy, 8605
10. Vera, 8613
11. Thelma, 8705
12. Judy, 8911
13. Robyn, 9007
14. Caitlin, 9109
15. Gladys, 9112
16. Ted, 9219
17. Brendan, 9411
18. Seth, 9429
19. Fave, 9503
20. Tina, 9711
21. Yanni, 9809
22. Neil, 9905

23. Olga, 9907

24. Saomai, 0014

25. Prapiroon, 0012

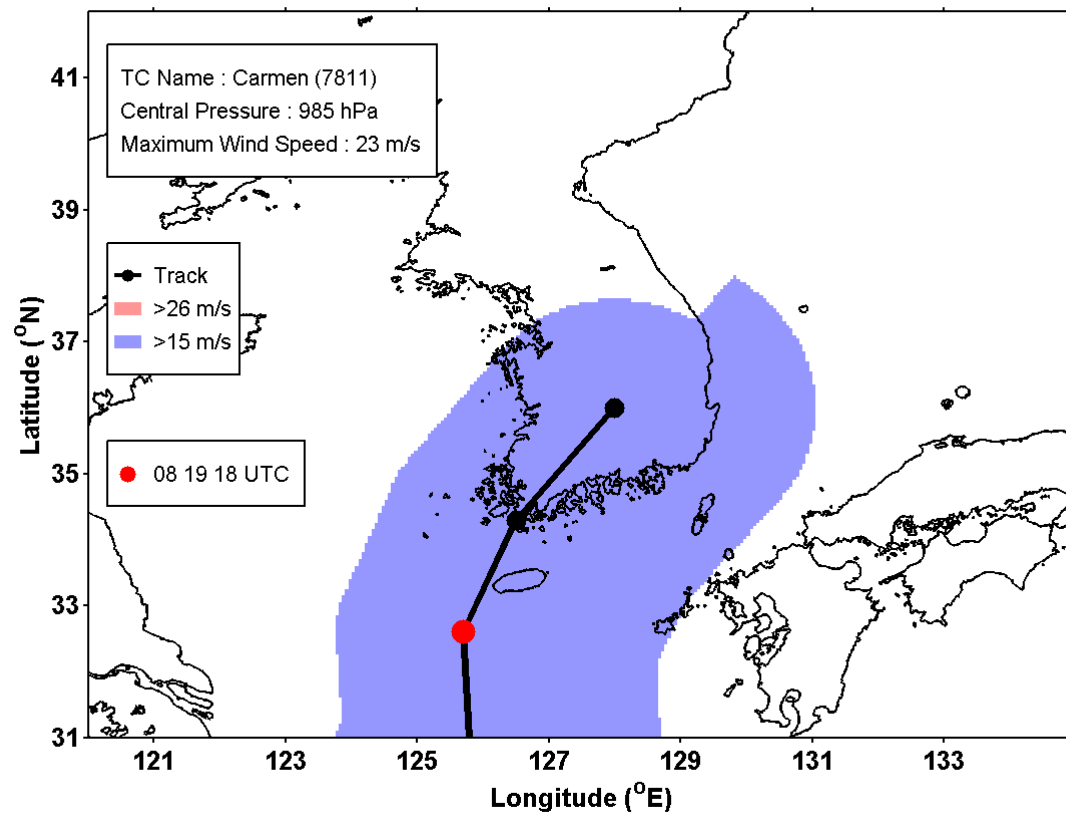
26. Rammasun, 0205

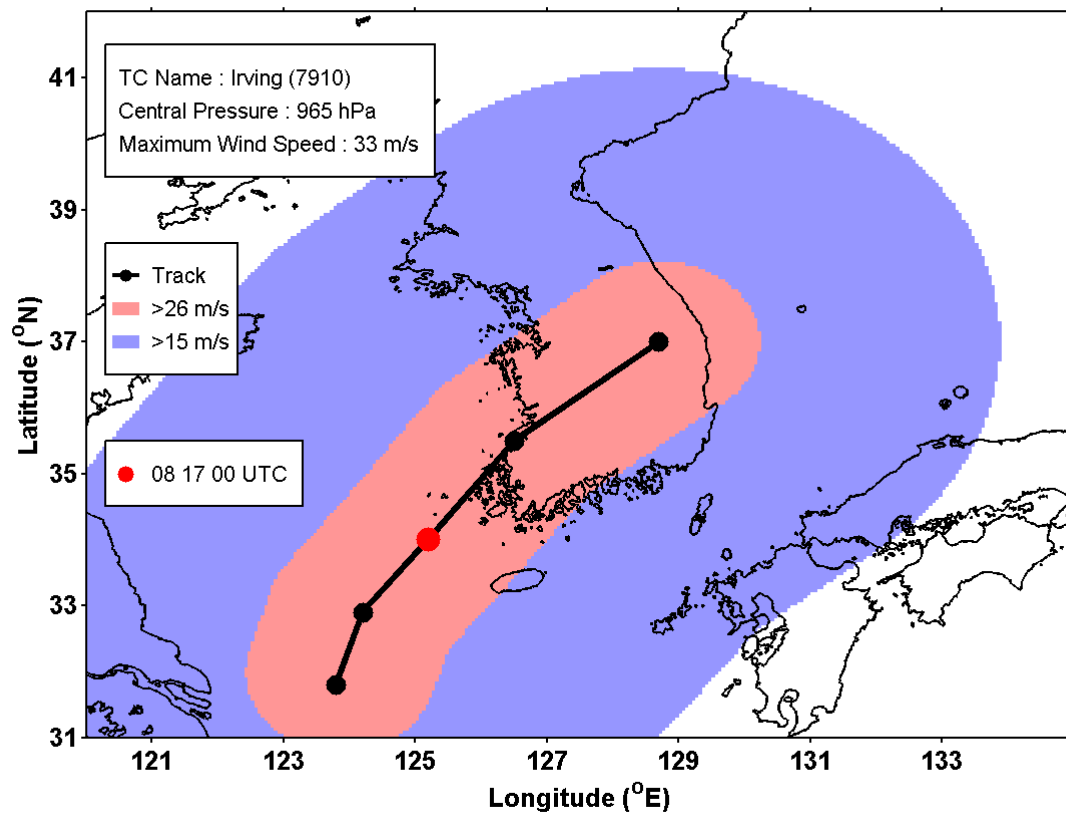
27. Rusa, 0215

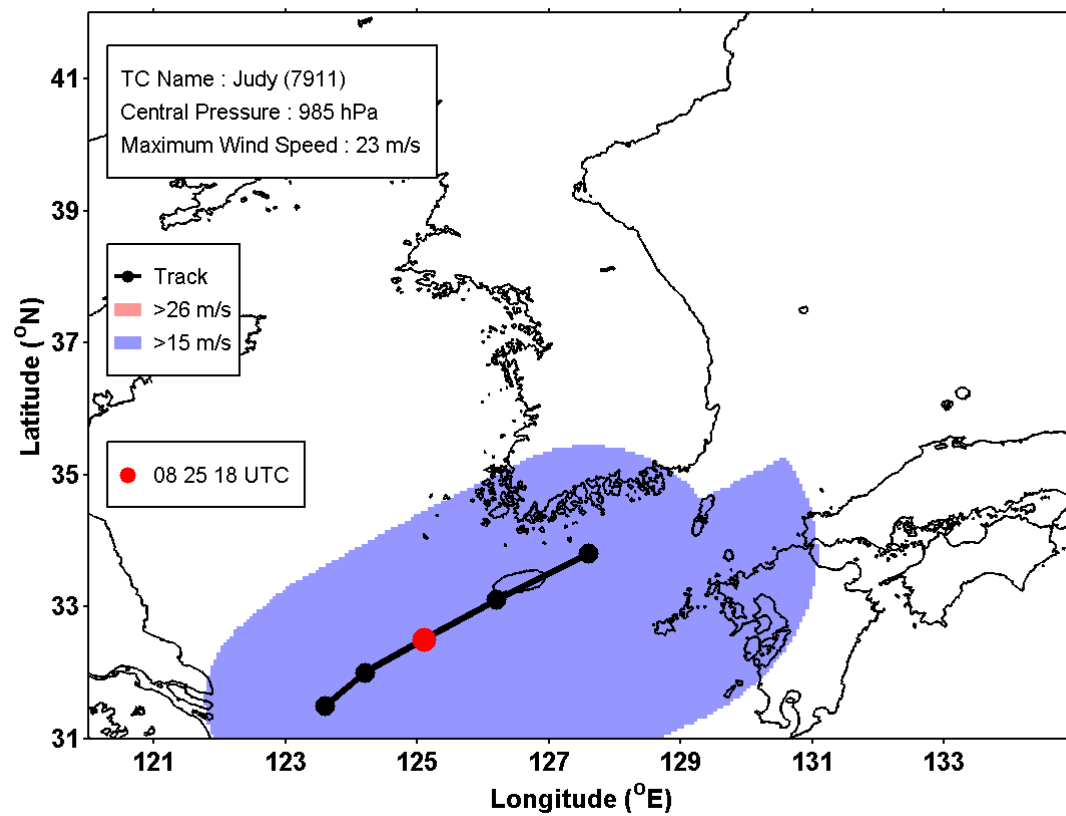
28. Maemi, 0314

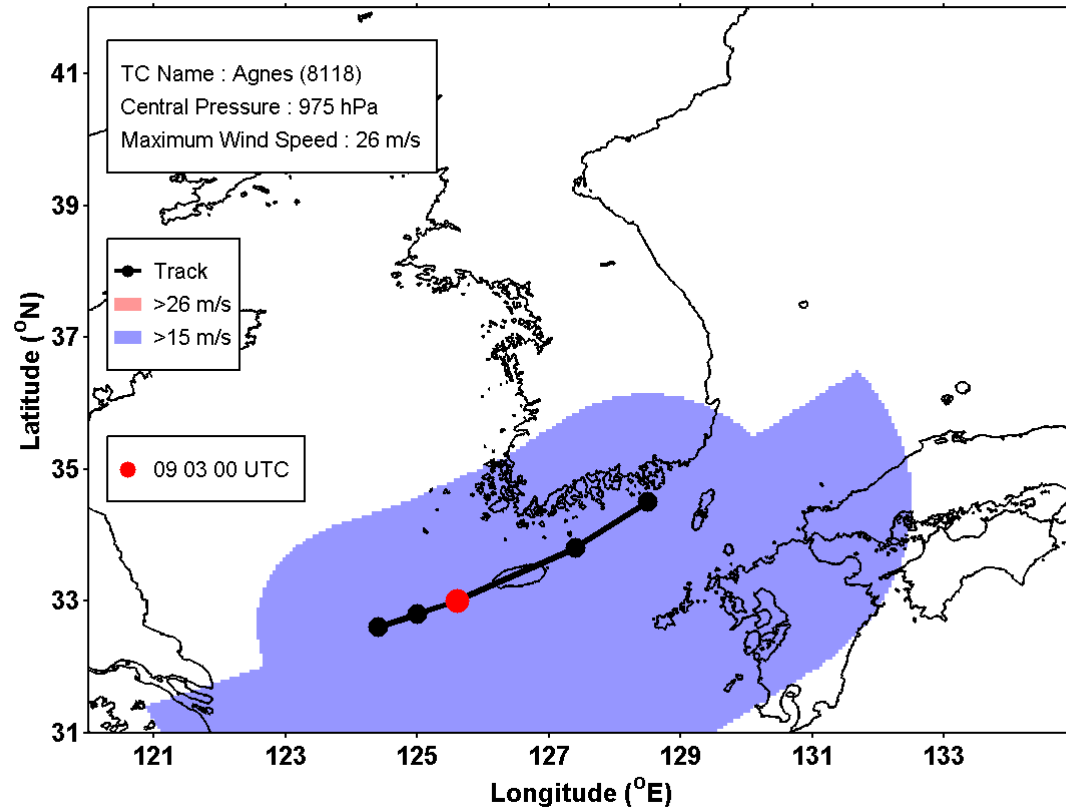
29. Ewiniar, 0603

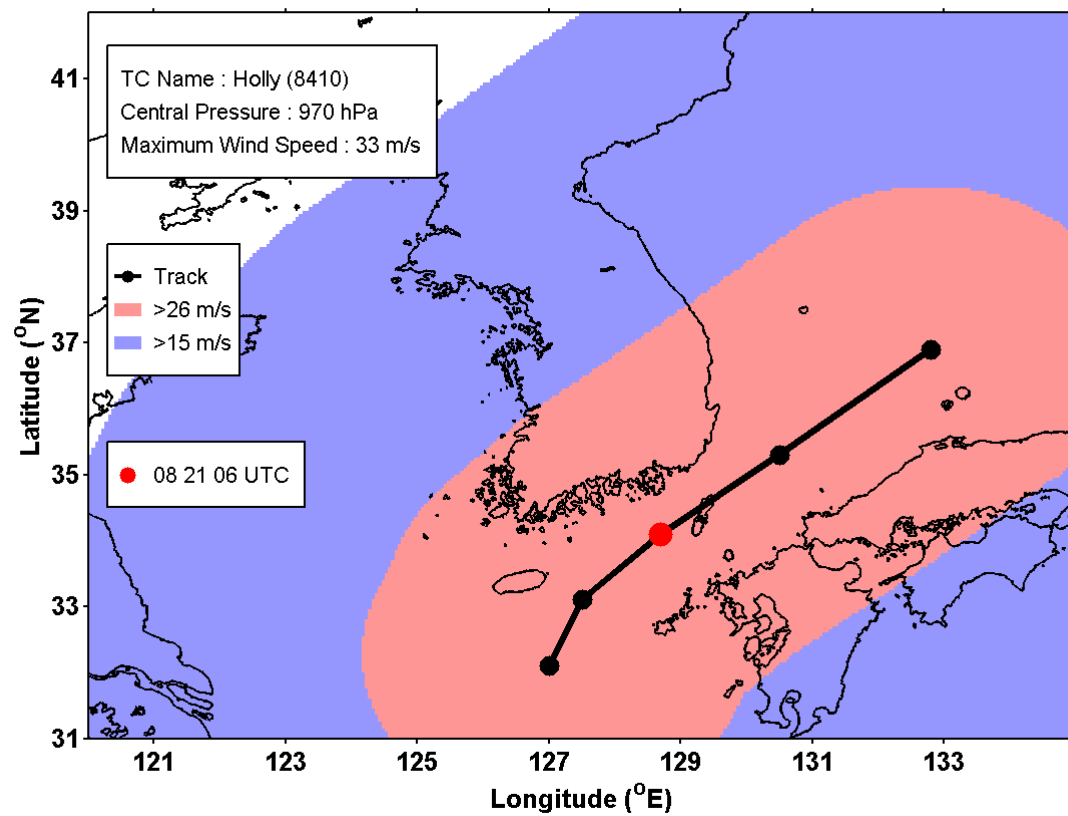
30. Nari, 0711

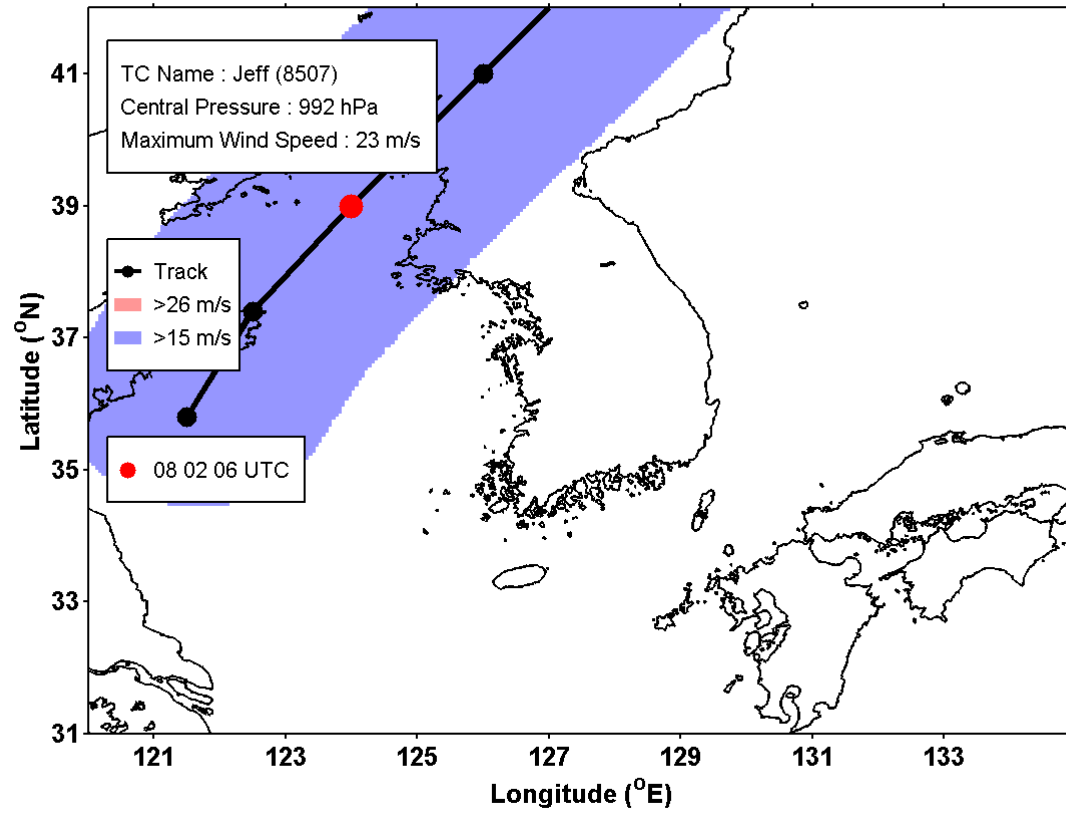


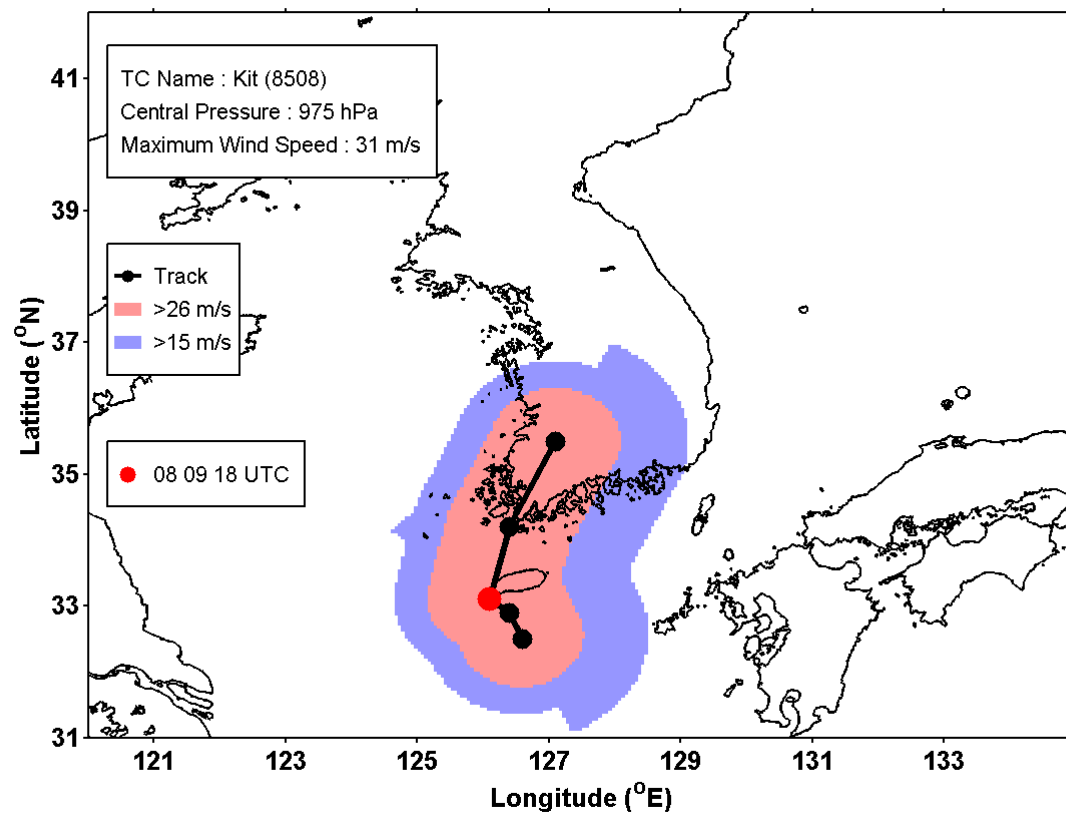


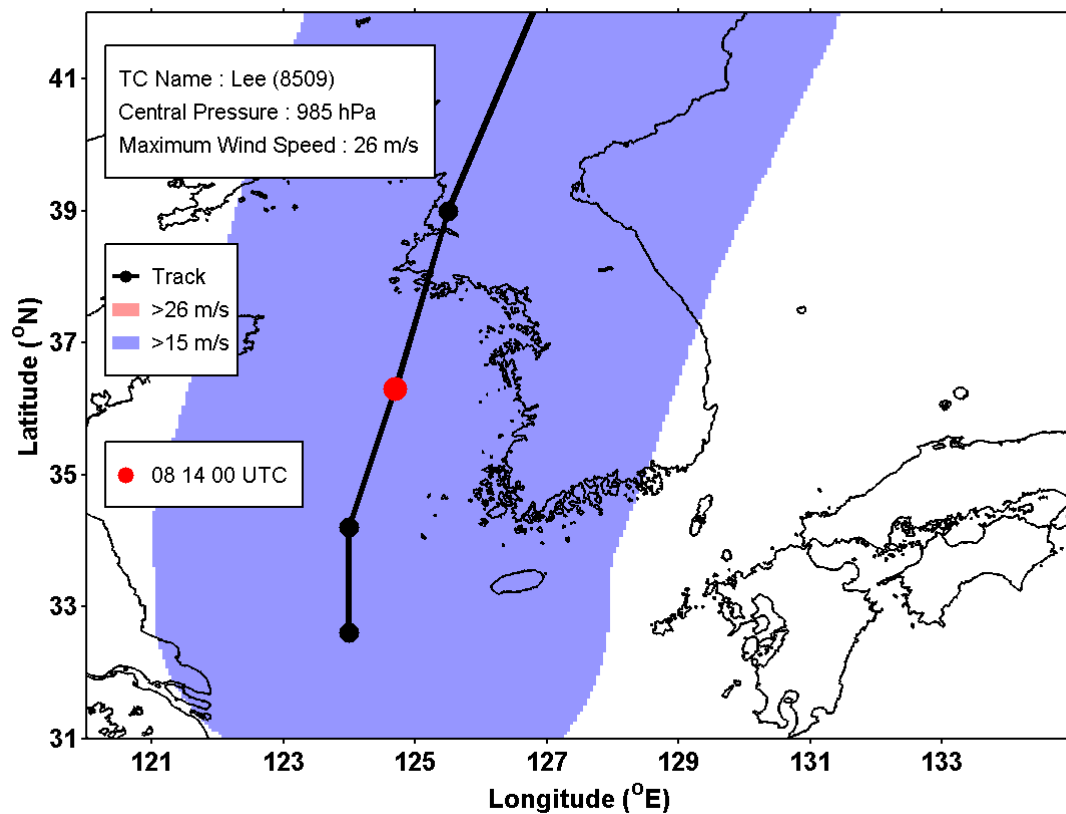


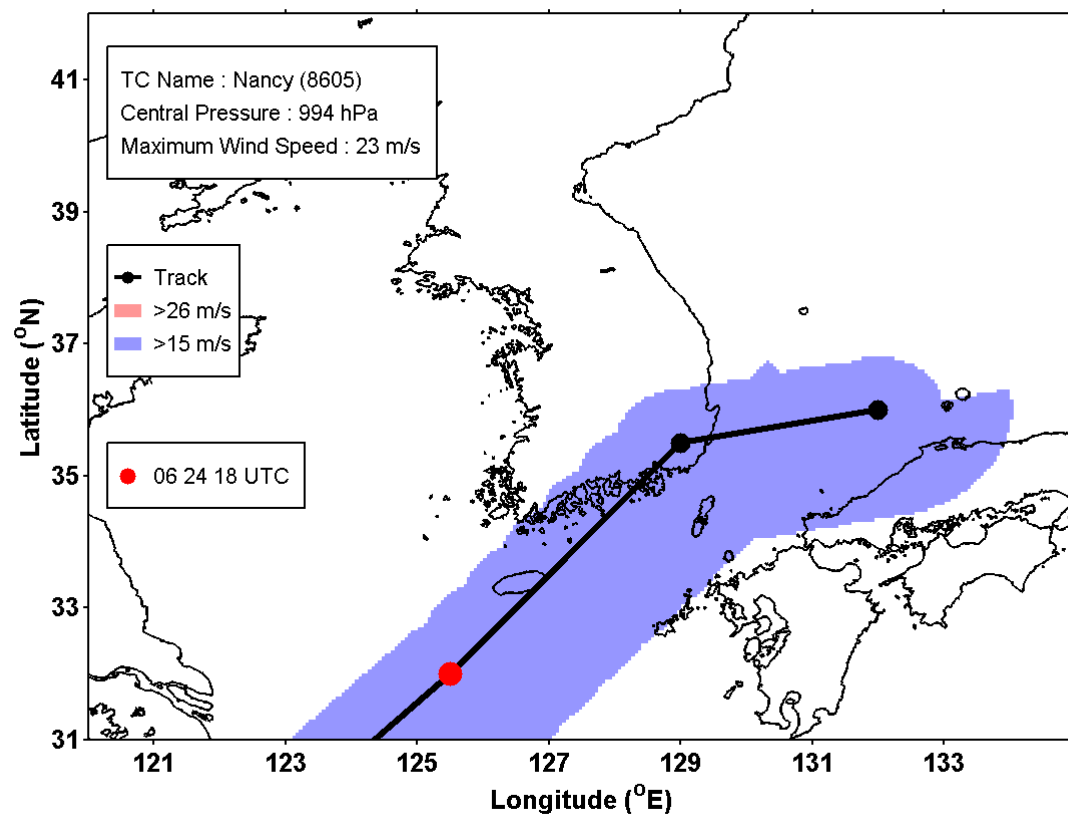


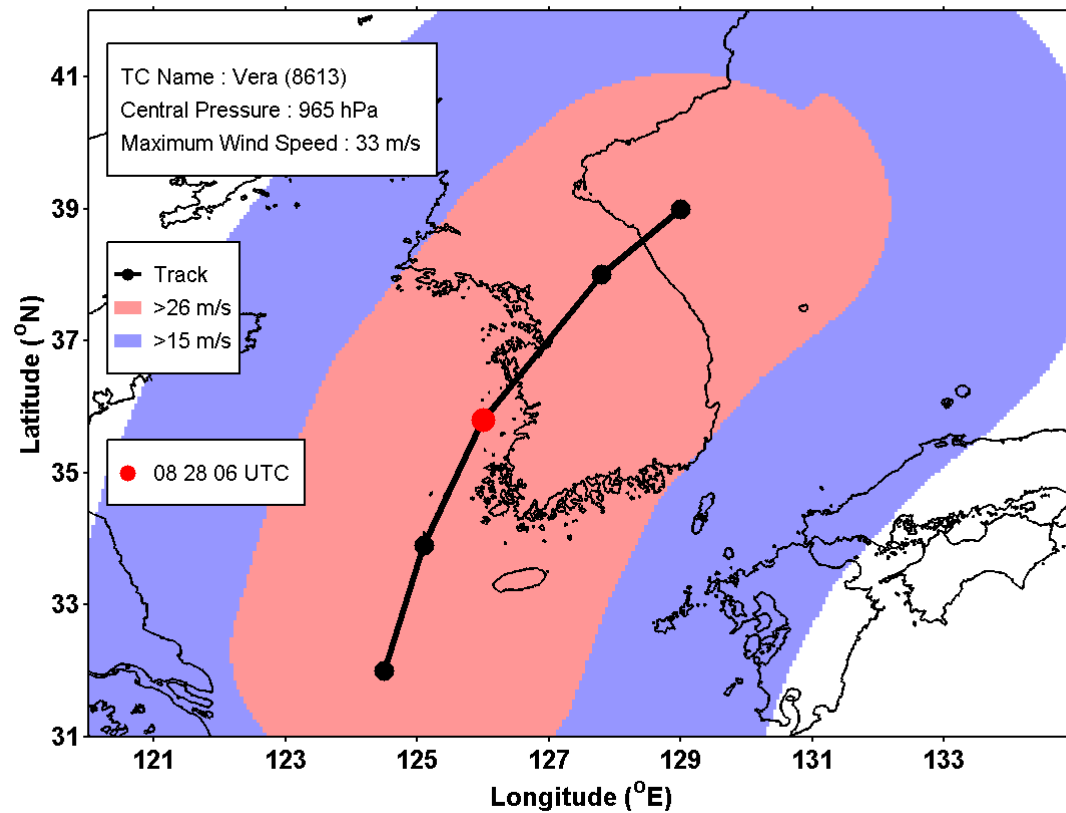


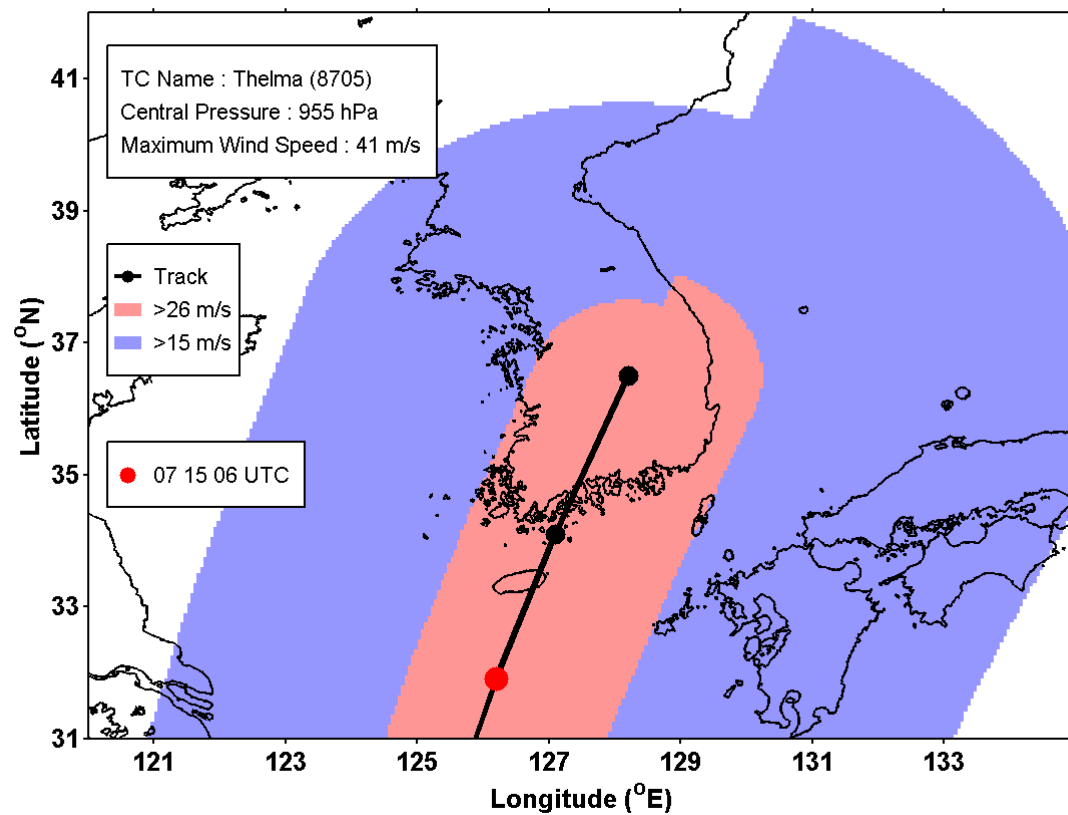


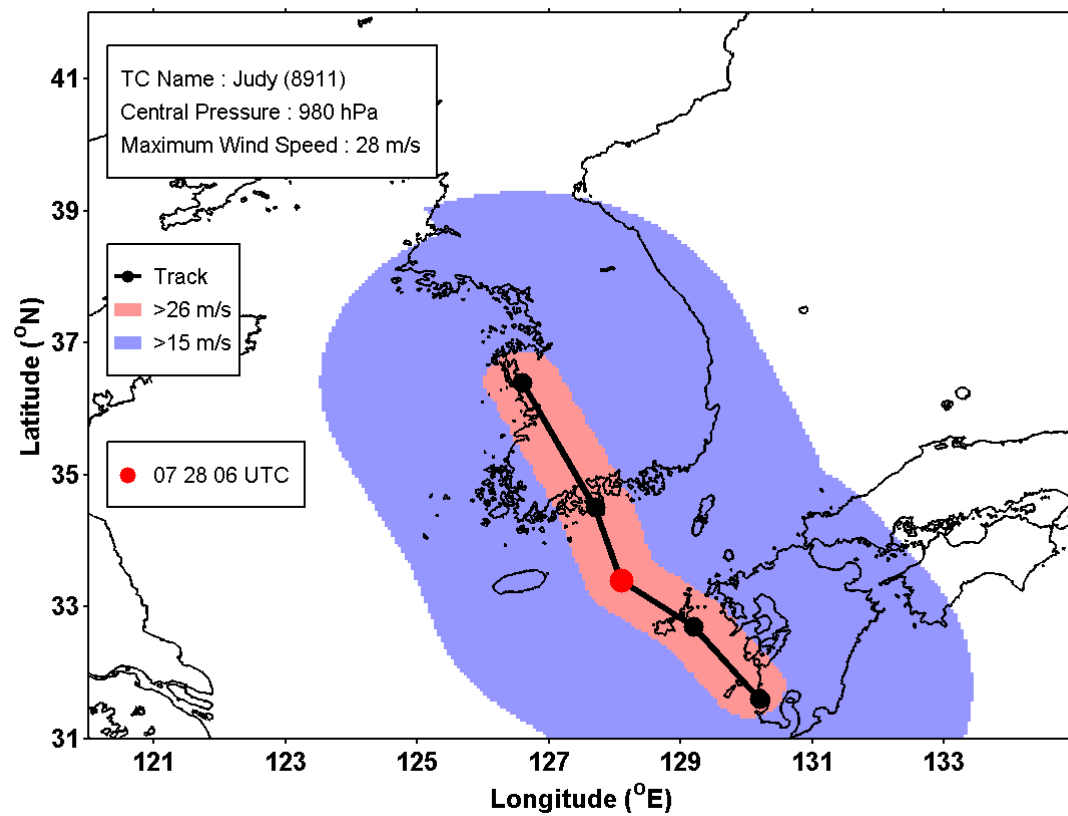


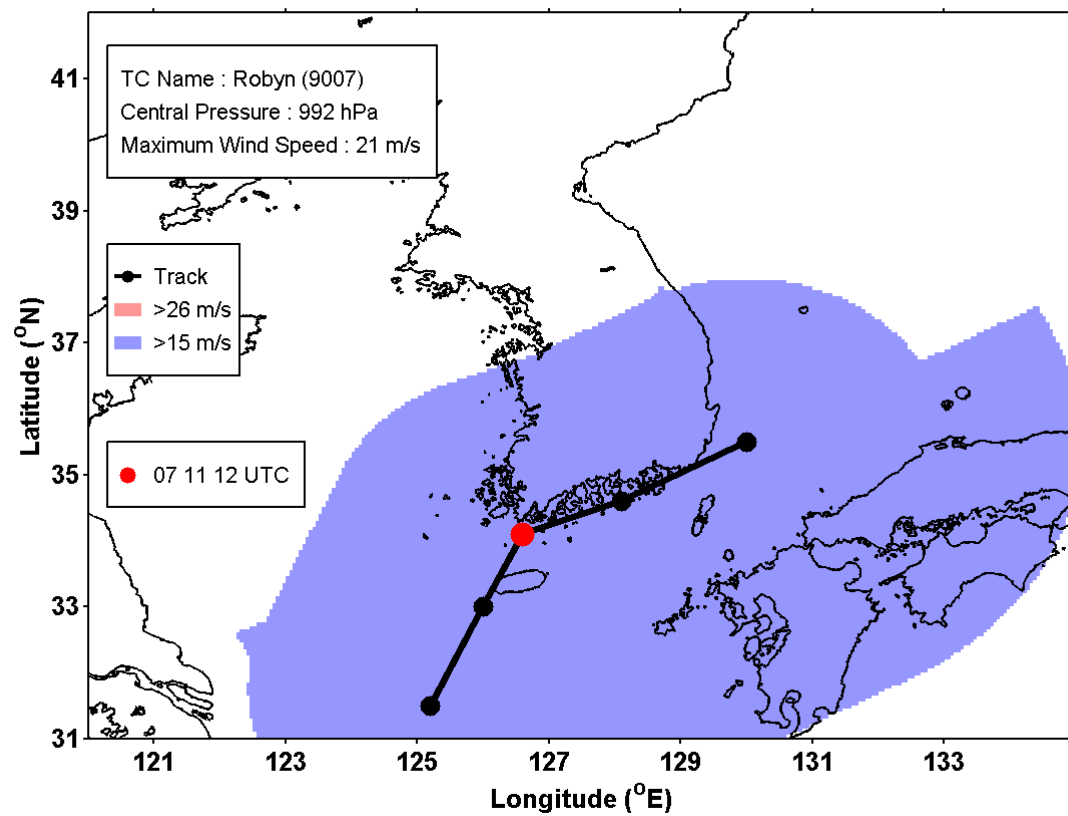


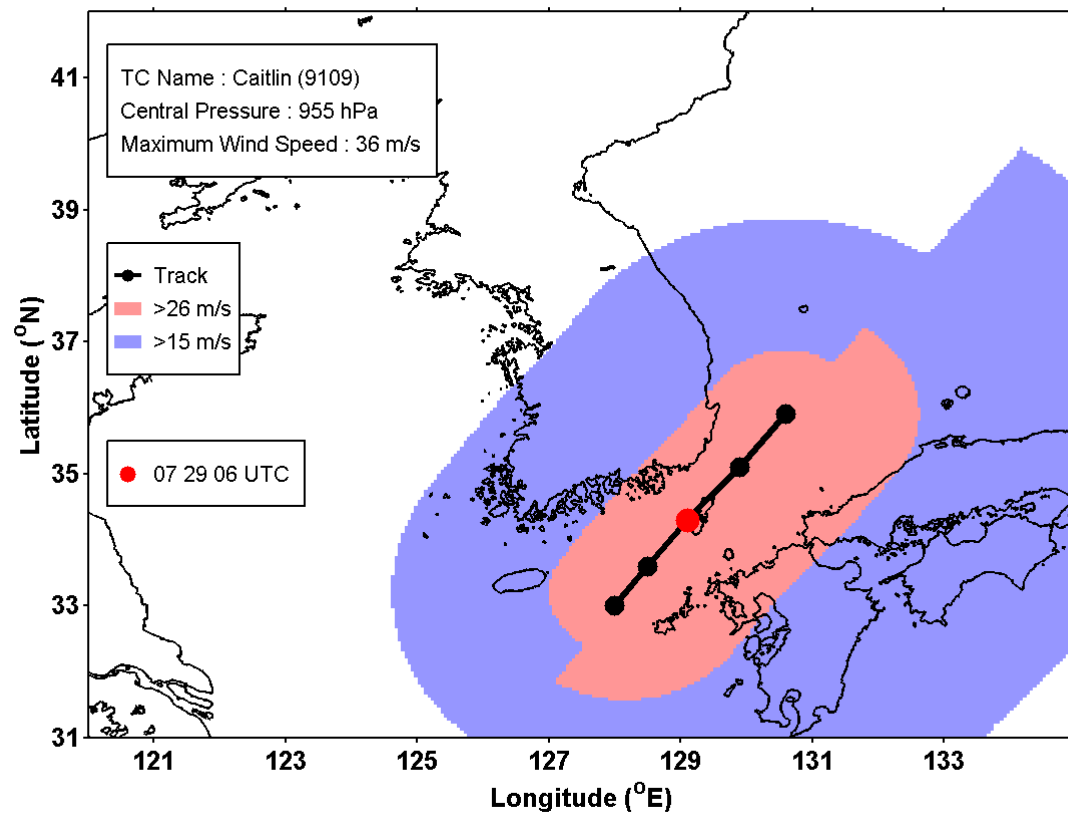


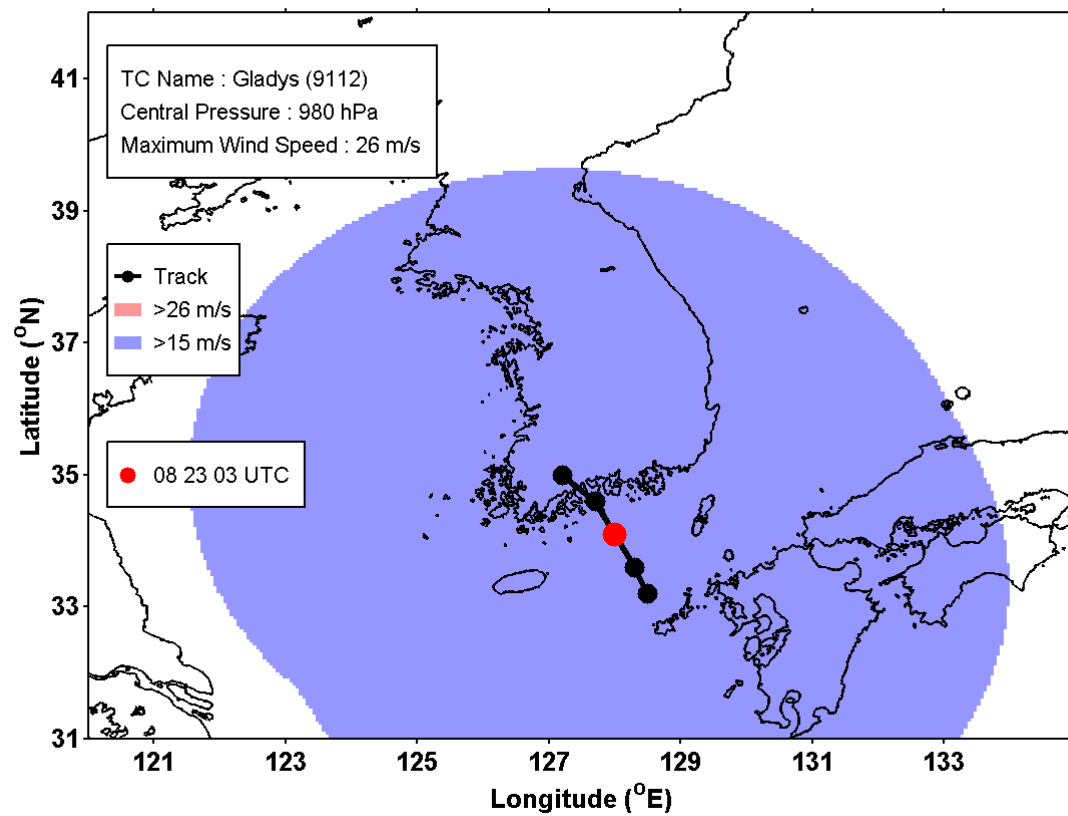


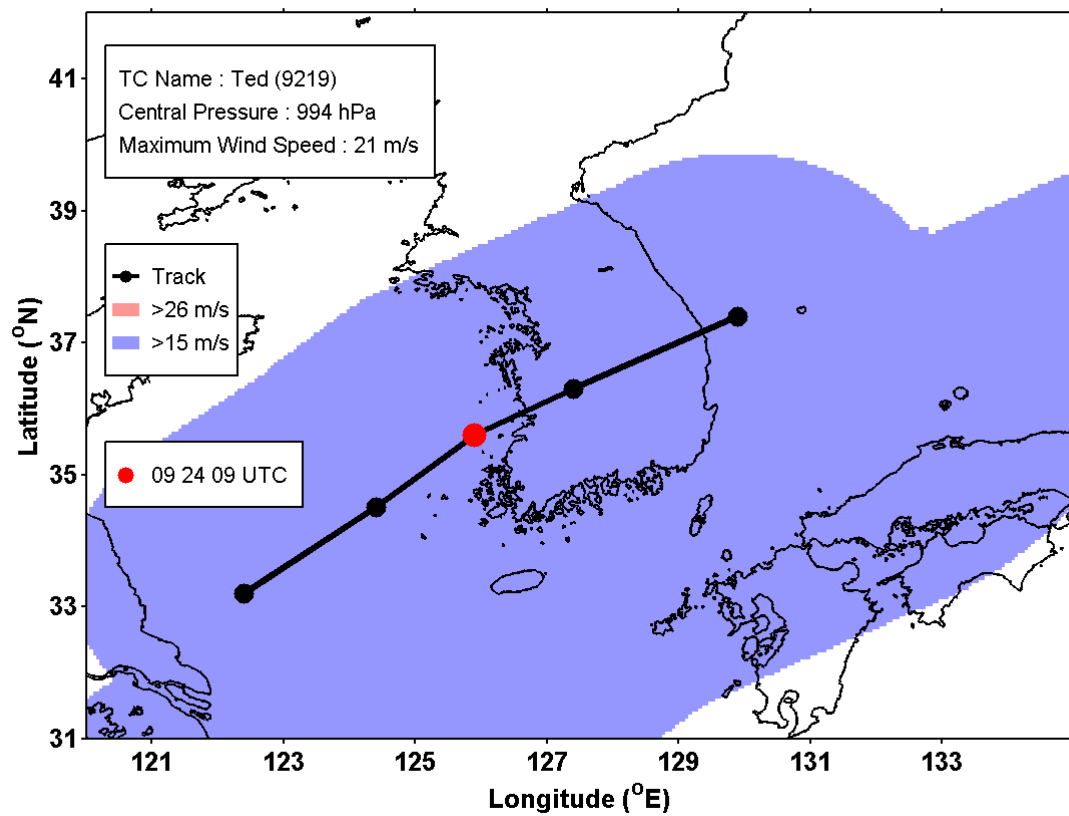


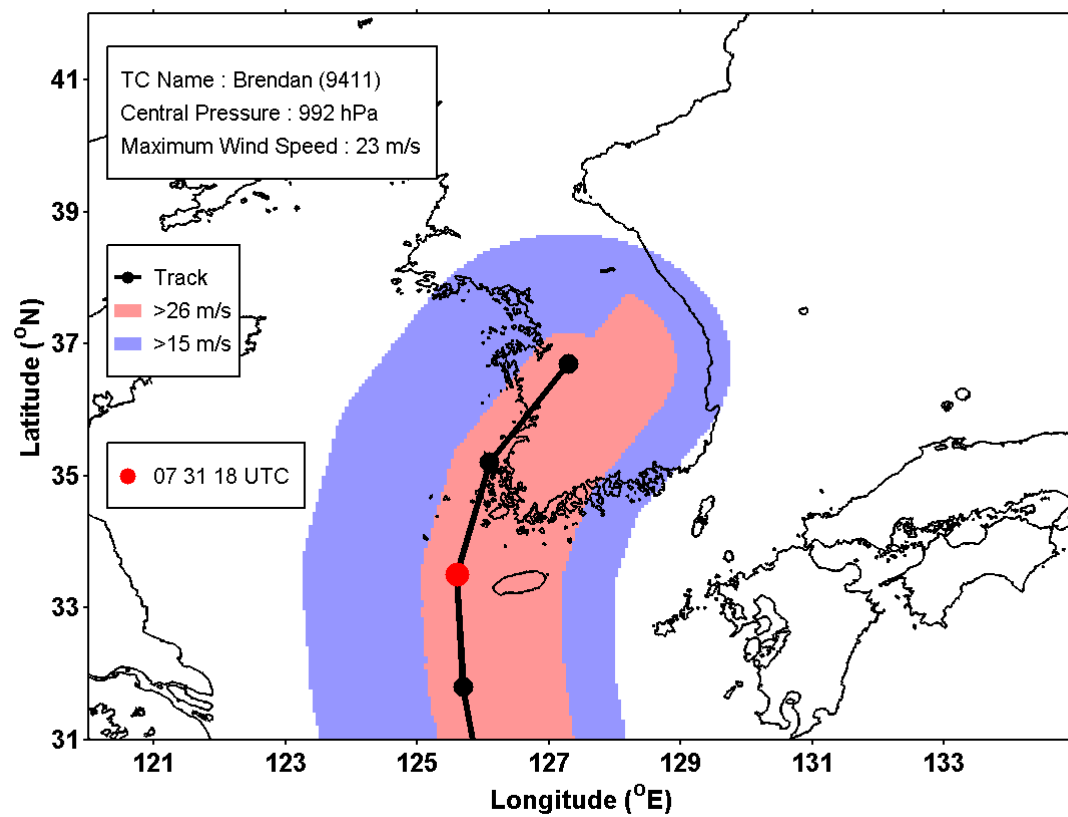


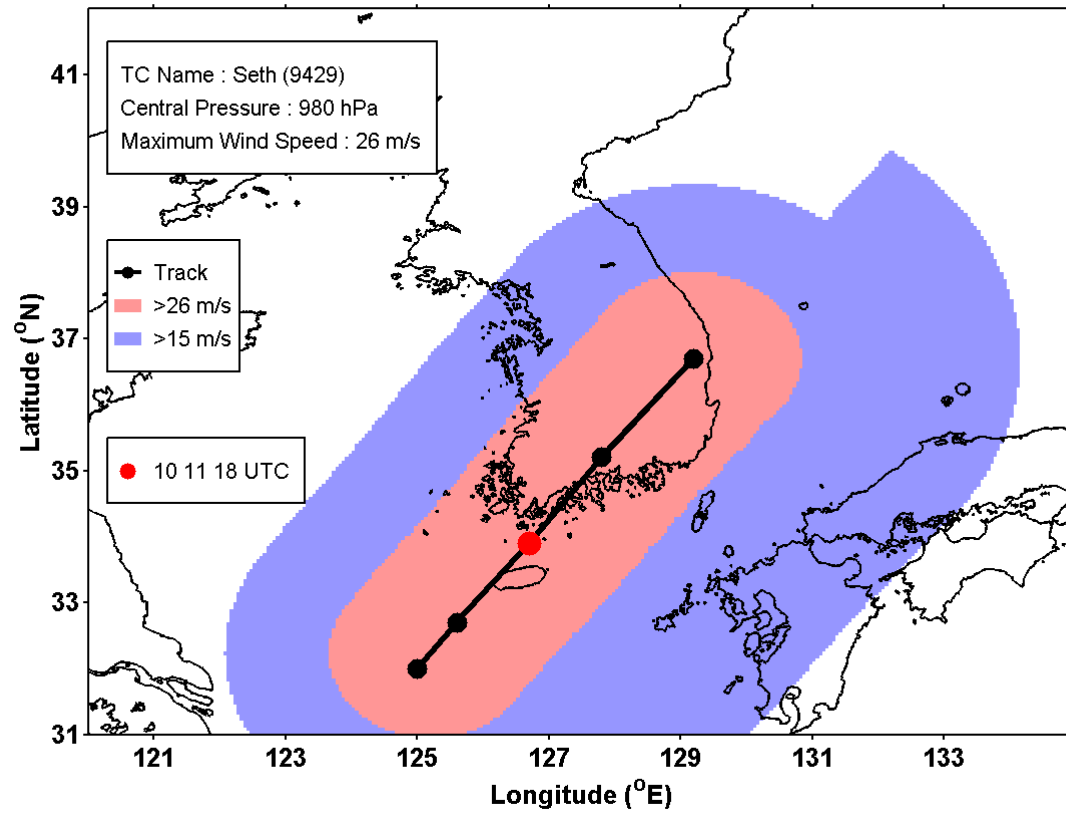


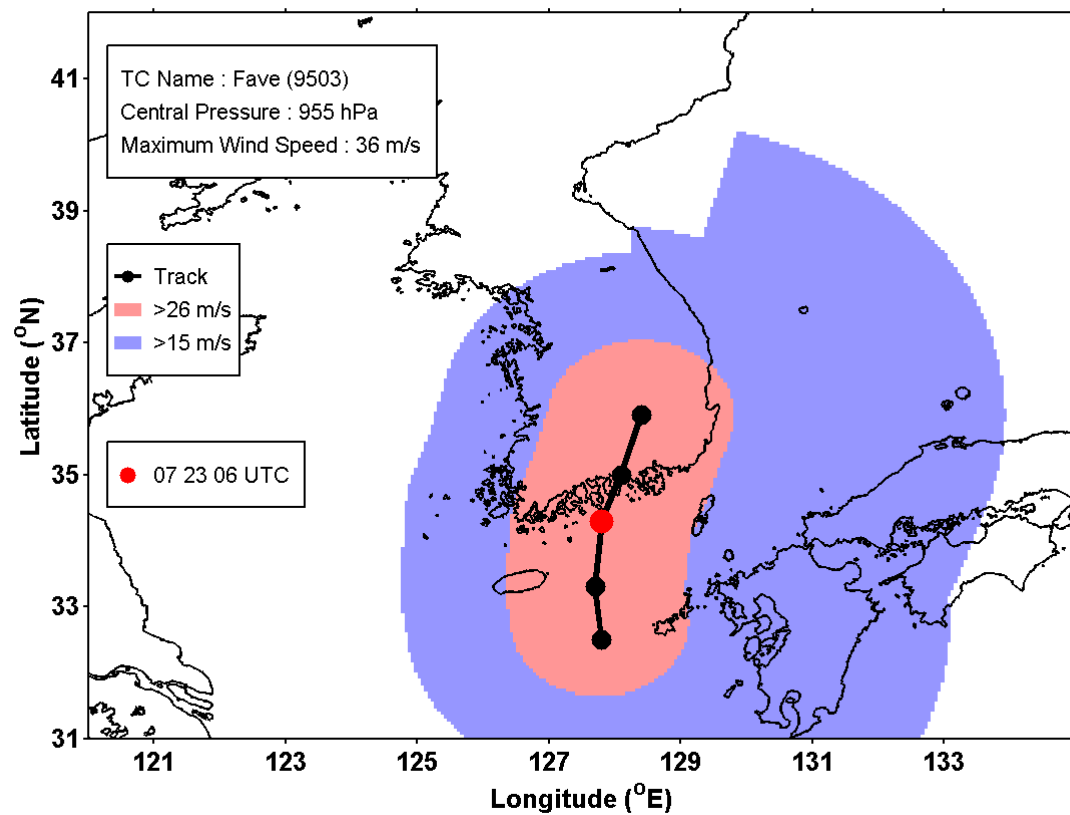


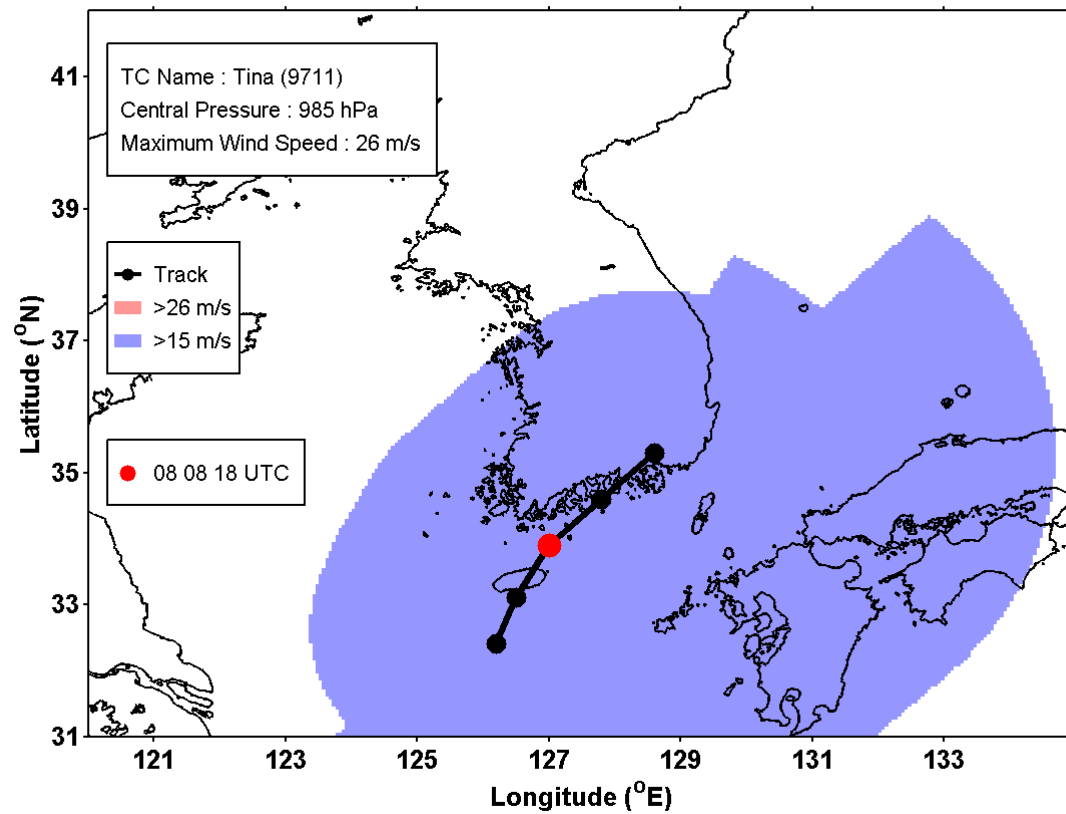


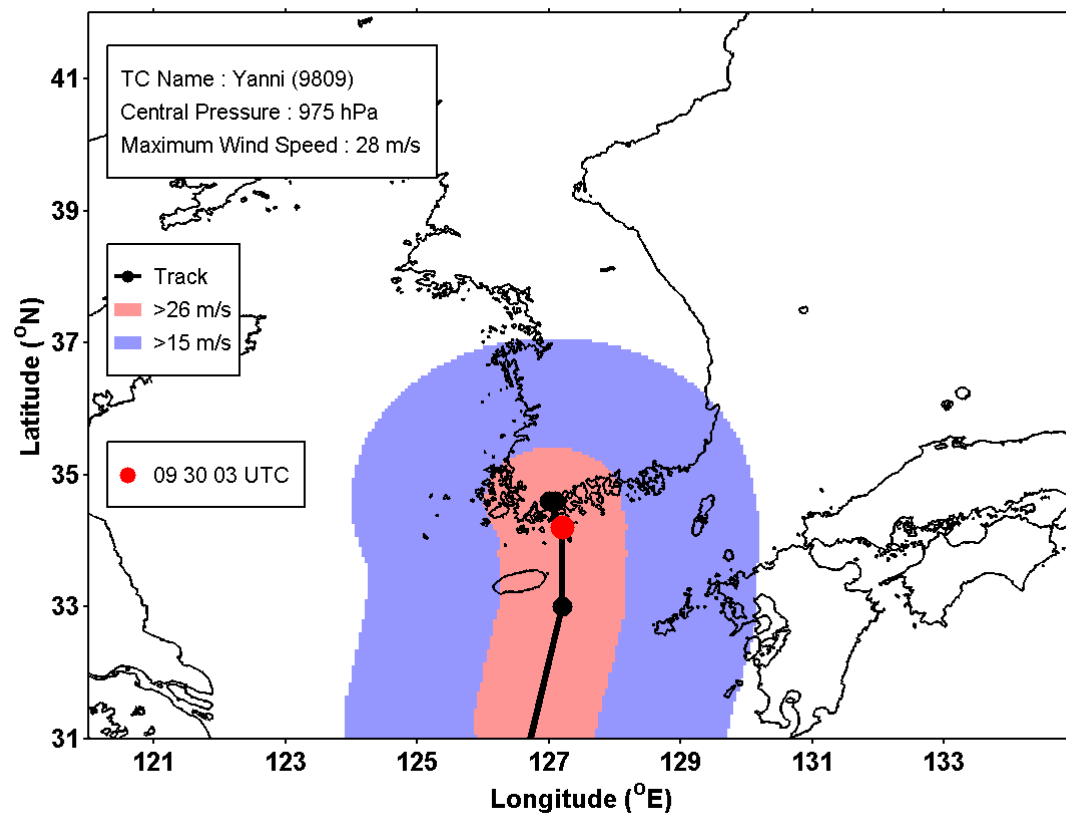


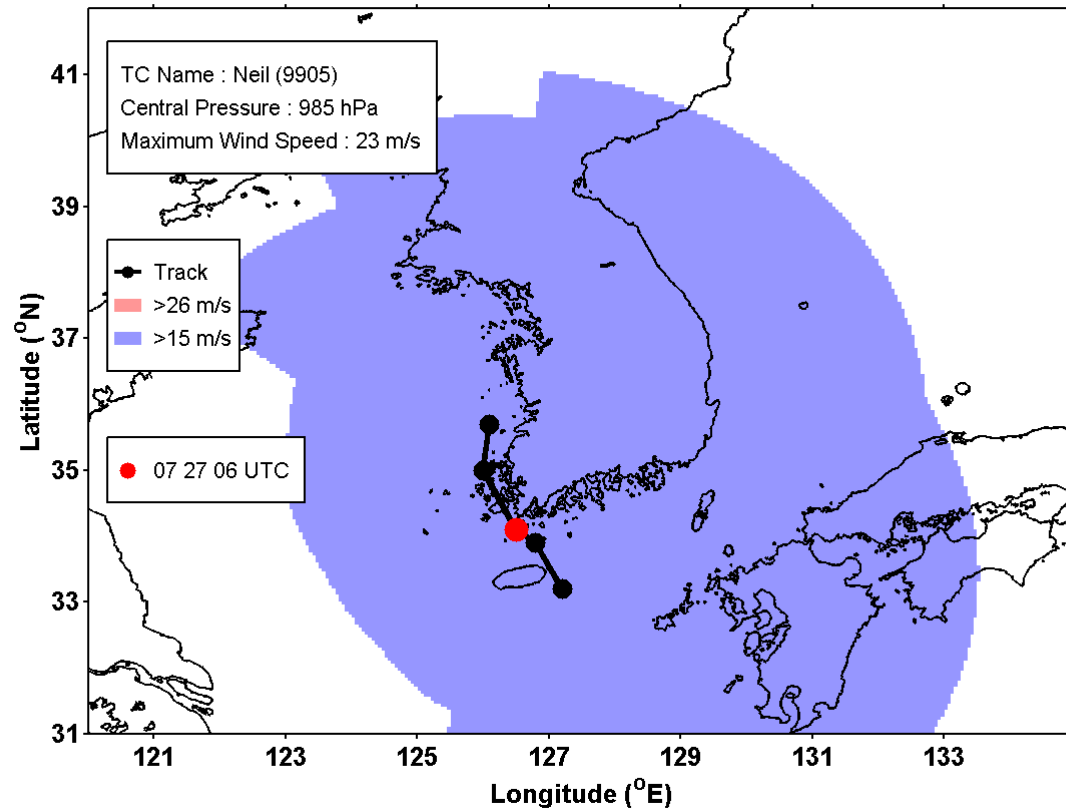


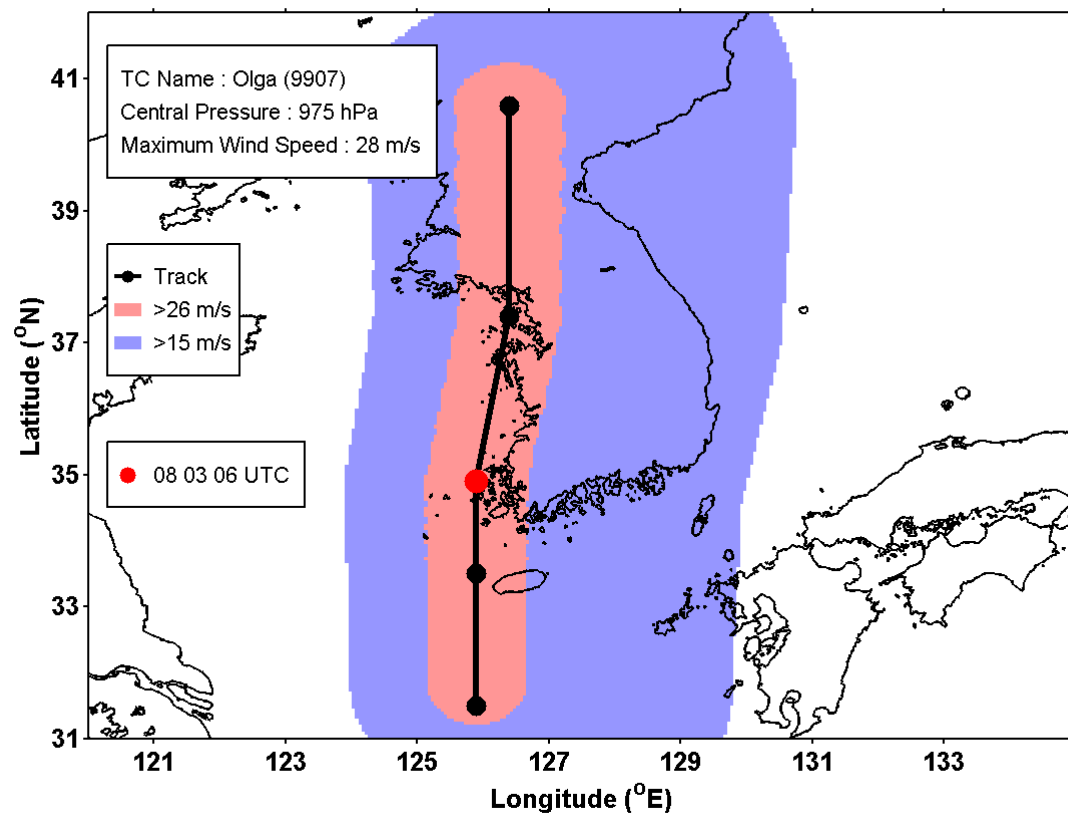


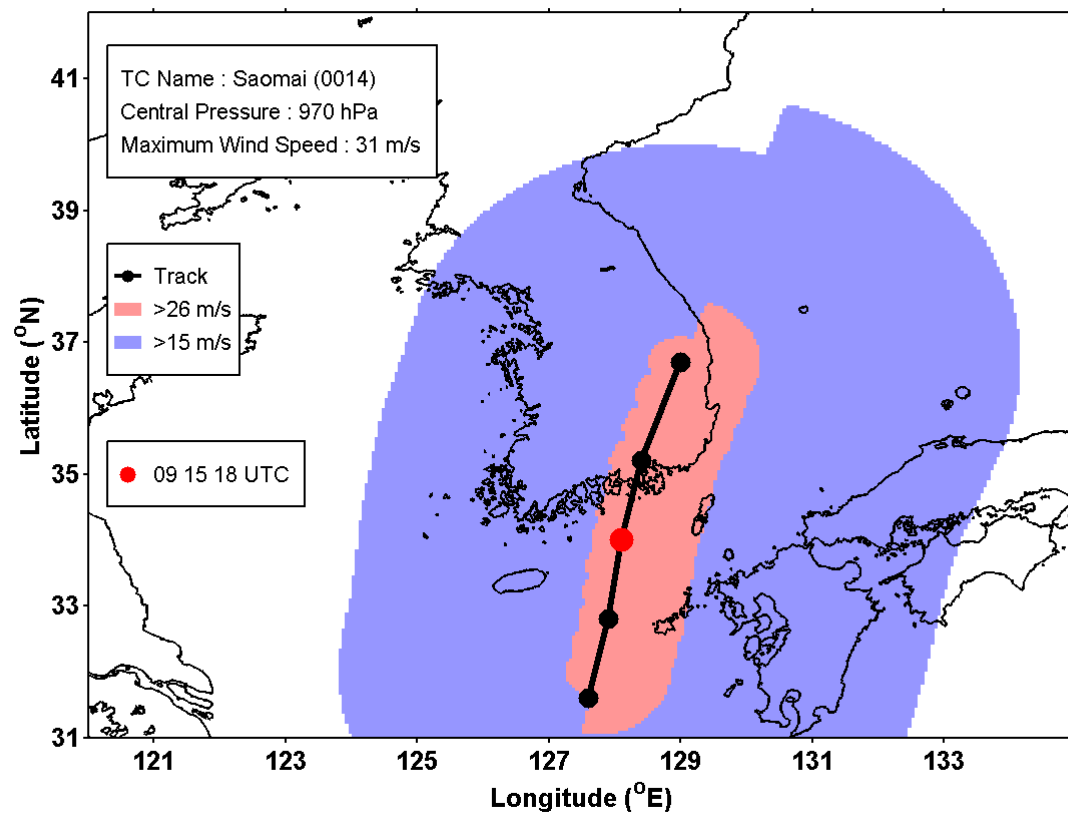


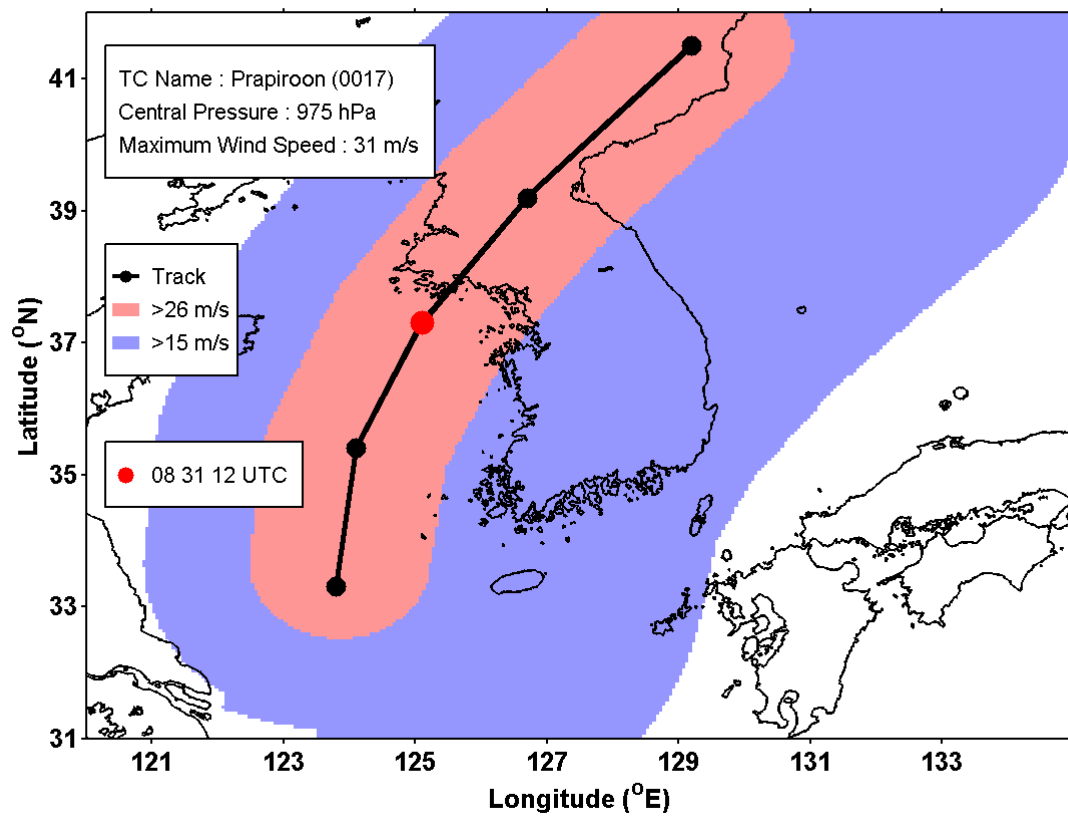


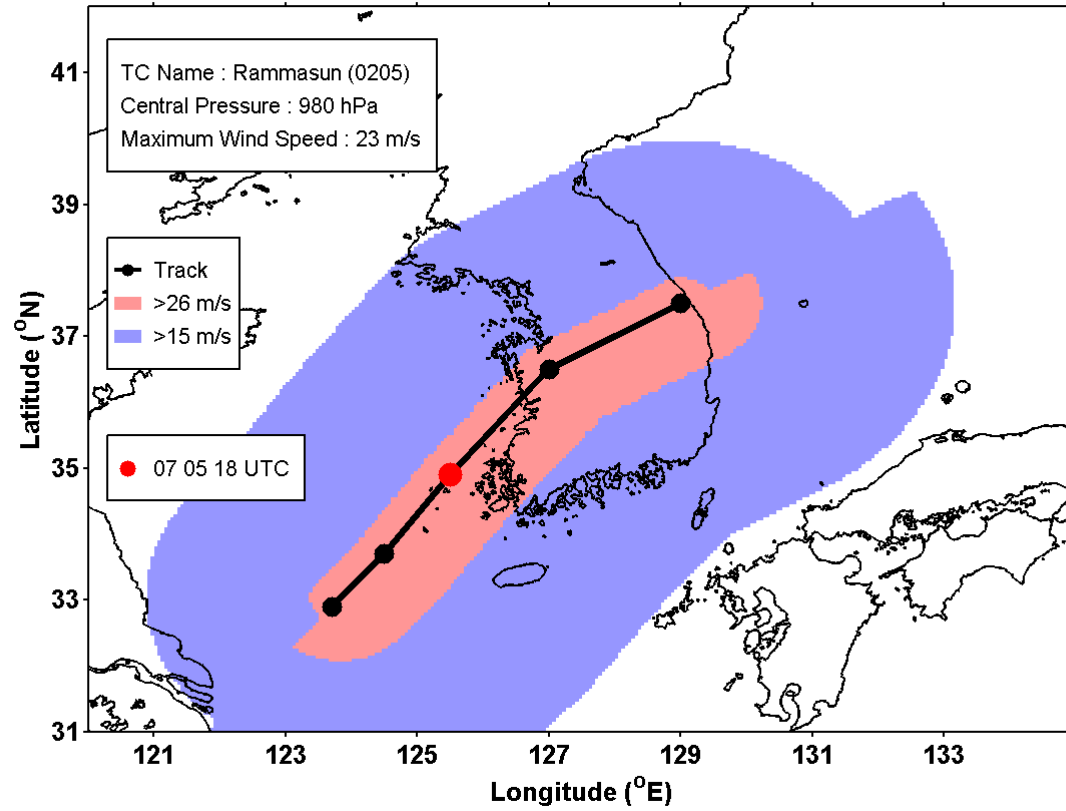


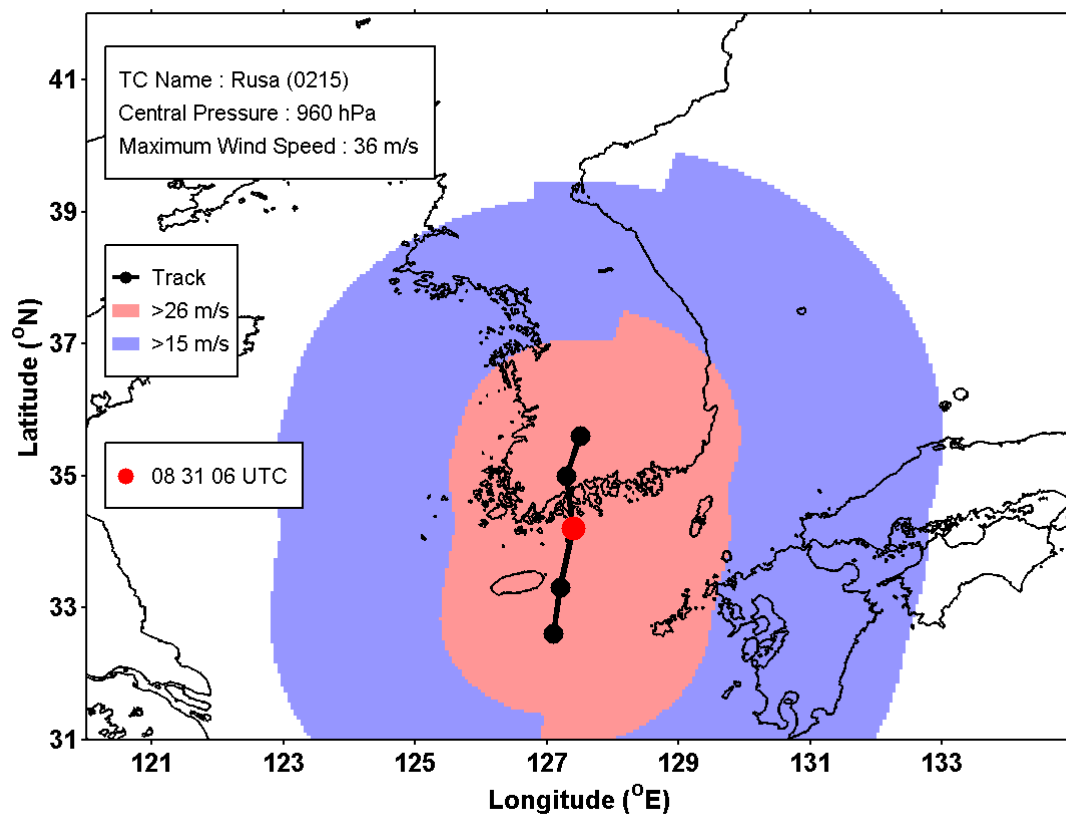


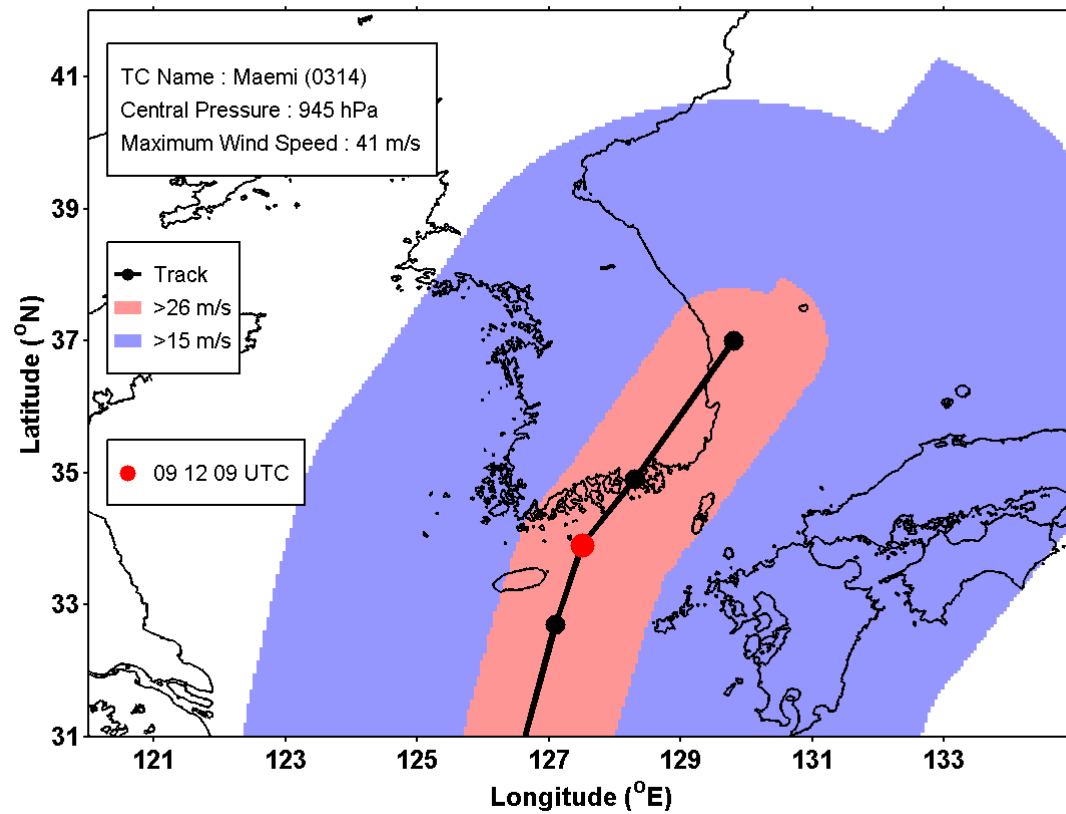


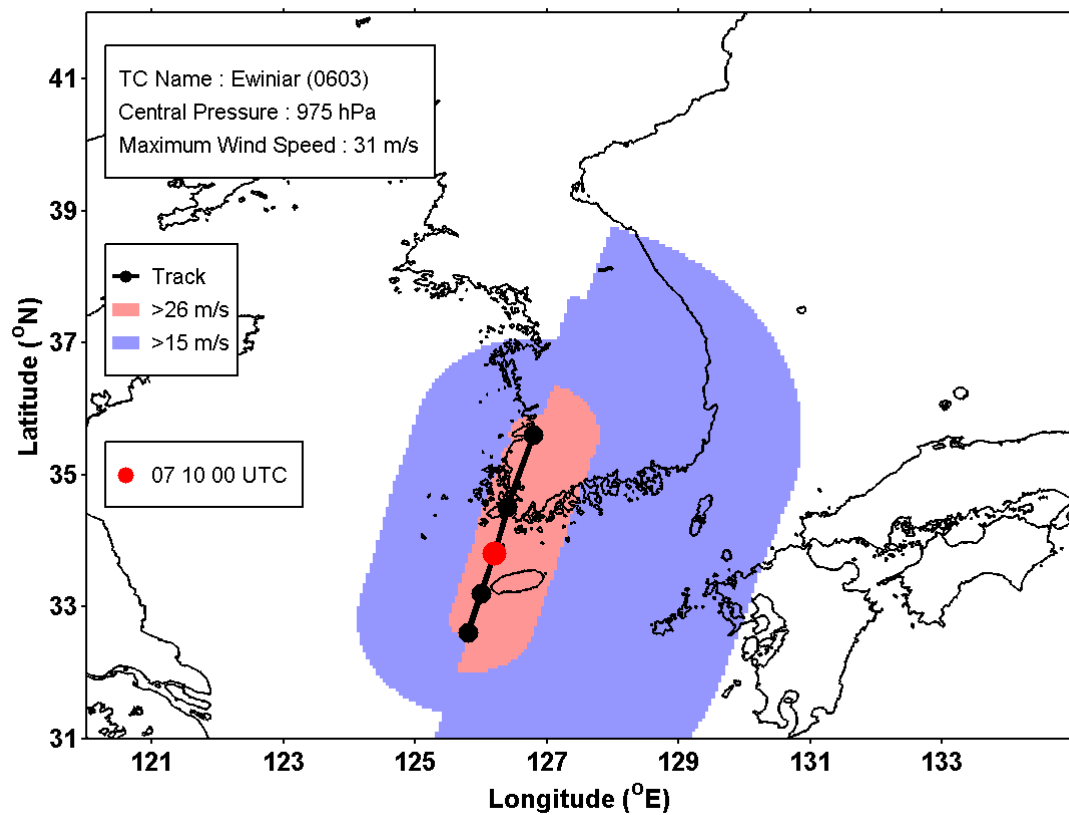


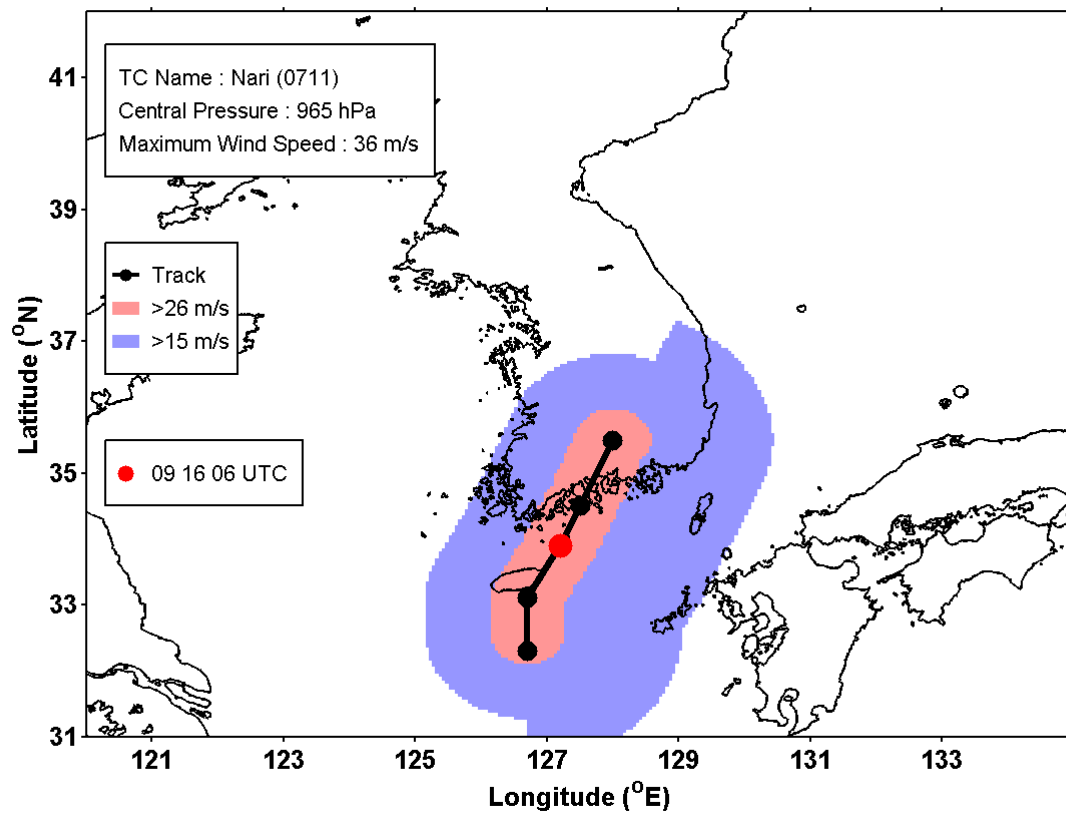












부 록 4. 한반도 상륙 태풍의 기상자료

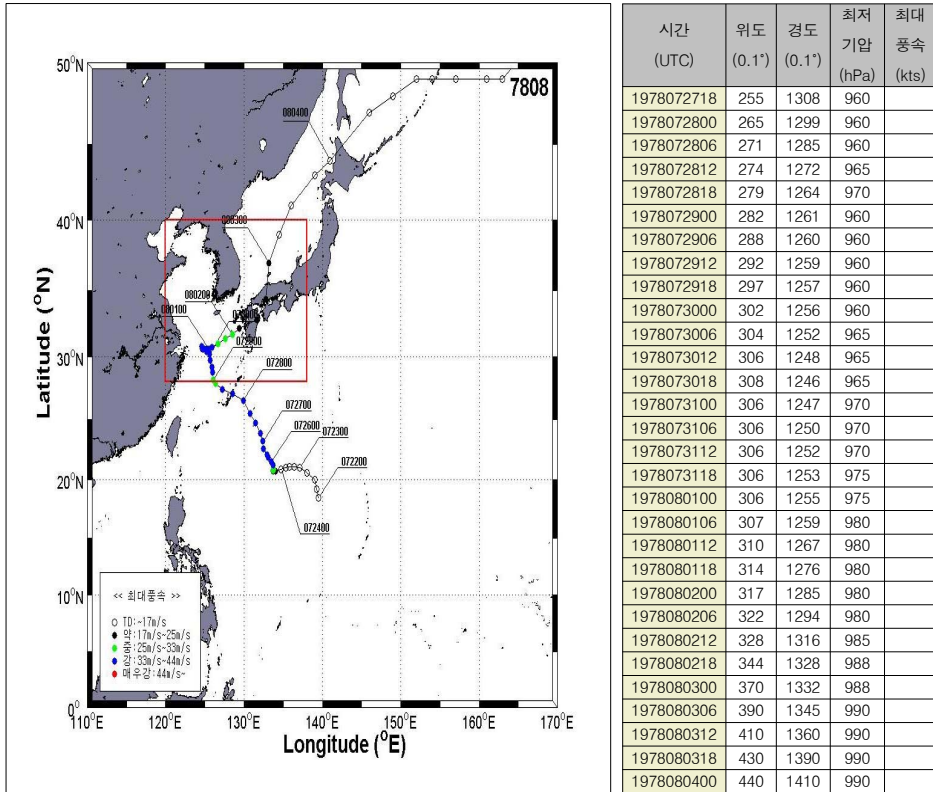
(1977~2009년, 태풍백서)

1. Carmen, 7811
2. Irving, 7910
3. Judy, 7911
4. Agnes, 8118
5. Holly, 8410
6. Jeff, 8507
7. Kit, 8508
8. Lee, 8509
9. Nancy, 8605
10. Vera, 8613
11. Thelma, 8705
12. Judy, 8911
13. Robyn, 9007
14. Caitlin, 9109
15. Gladys, 9112
16. Ted, 9219
17. Brendan, 9411
18. Seth, 9429
19. Fave, 9503
20. Tina, 9711
21. Yanni, 9809
22. Neil, 9905

23. Olga, 9907
24. Saomai, 0014
25. Prapiroon, 0012
26. Rammasun, 0205
27. Rusa, 0215
28. Maemi, 0314
29. Ewiniar, 0603
30. Nari, 0711

1. 1978년 11호 태풍 - CARMEN

· Best track



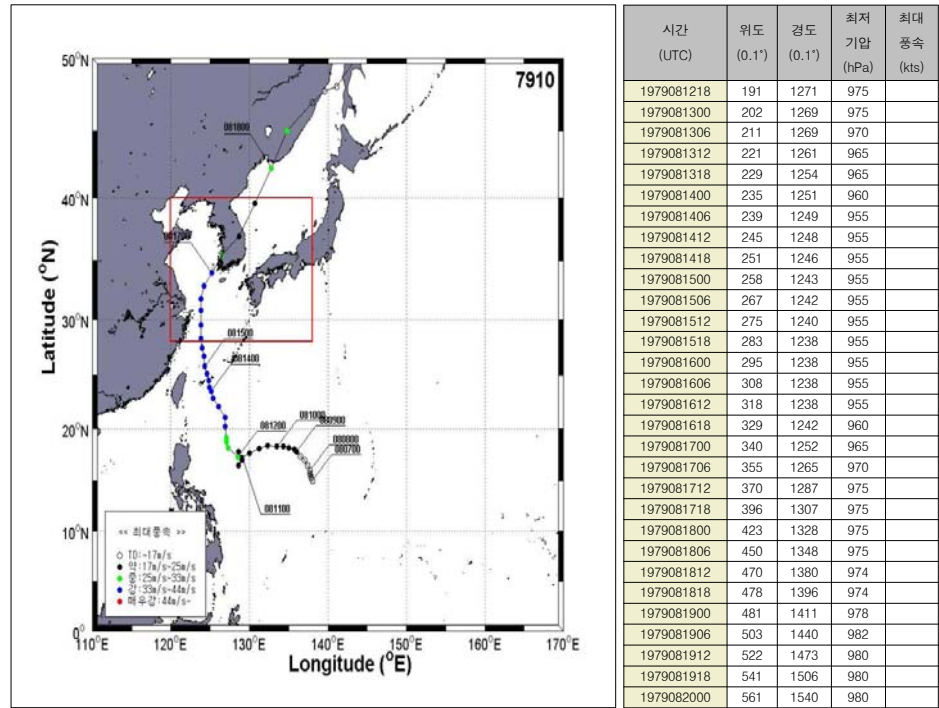
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1978. 8. 1~8. 3

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대순항풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
울릉도	N 15.0	N 27.3	73.0	84.0	84.0	988.9
	3 10:10	3 10:00	3 07:20	3		3 10:10
균 산	WNW 11.7	NW 15.3	0.5	0.6	0.6	991.9
	2 19:08	3 04:28	2 04:00	2		2 15:45
봉 영	SSW 11.7	SW 15.8	1.9	5.1	5.1	990.1
	3 14:42	3 08:50	2 17:40	2		2 16:00
여 수	N 11.7	N 19.4	5.6	13.3	13.5	991.5
	3 01:00	3 00:51	2 10:21	2		2 15:48

2. 1979년 10호 태풍 - IRVING

· Best track



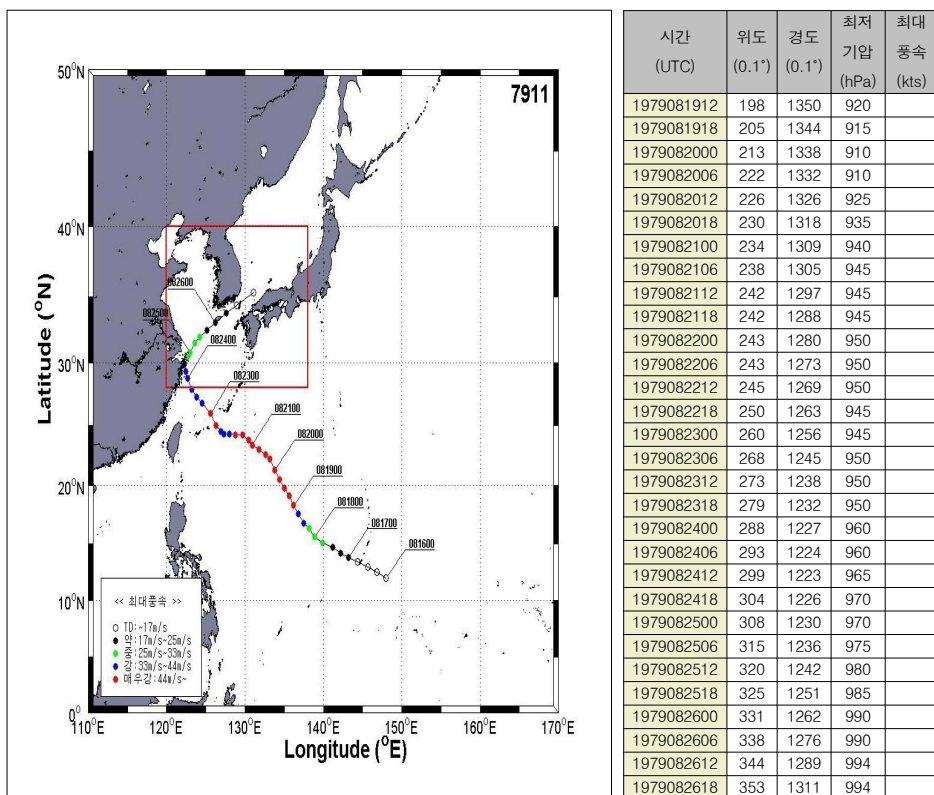
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1979. 8. 15~8. 18

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
울릉도	SW 23,3	SW 35,0	3,1	7,1	8,5	978,0
	18 03:00	18 02:28	17 21:10	17		18 00:20
군 산	WNW 27,0	NNW 29,3	11,2	64,3	64,3	976,0
	17 20:20	17 18:56	17 15:00	17		17 16:13
부 산	SSW 23,3	S 33,0	12,8	43,4	44,2	982,5
	17 20:00	17 16:53	17 07:40	17		17 18:09
통 영	SE 23,5	SSW 34,0	22,4	61,9	65,0	983,6
	17 17:25	17 17:50	17 09:48	17		17 16:20
목 포	S 21,0	S 30,0	15,5	48,9	64,4	970,2
	17 13:05	17 13:00	17 02:50	17		17 13:15
여 수	S 20,3	S 35,9	24,8	113,1	119,7	980,2
	17 13:11	17 13:03	17 04:32	17		17 15:33
서귀포	SSE 23,3	SSE 36,5	22,5	53,6	137,6	983,0
	17 06:00	17 06:10	15 12:40	15		17 09:45

3. 1979년 11호 태풍 - JUDY

· Best track



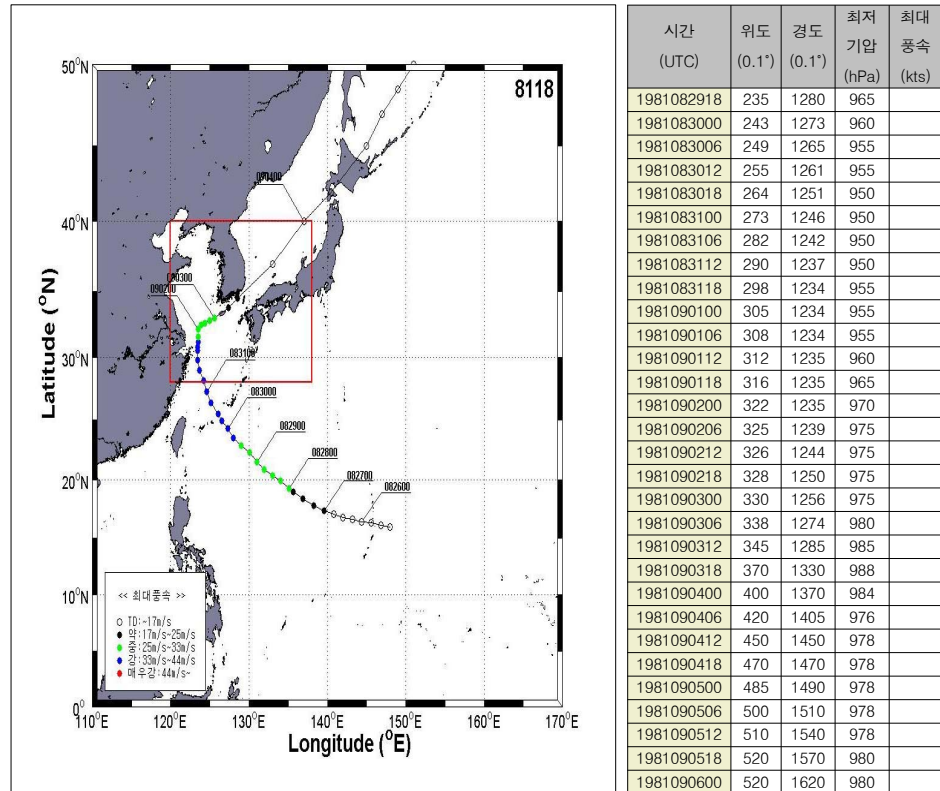
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1979. 8. 24~8. 26

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
봉 영	SSW 11.2	SSE 20.0	55.0	340.5	401.8	994.1
	26 08:40	25 18:38	25 12:45	25		26 17:20
여 수	S 14.0	S 26.4	53.5	257.1	304.5	994.4
	25 07:41	25 07:37	25 06:21	25		26 17:47
서귀포	SSE 12.0	SE 17.8	46.6	260.6	340.8	991.1
	26 08:40	24 23:45	24 14:20	24		26 14:00
완 도	ESE 7.0		86.0	282.5	350.5	
	25 23:20		25 01:08	25		

4. 1981년 18호 태풍 - AGNES

· Best track



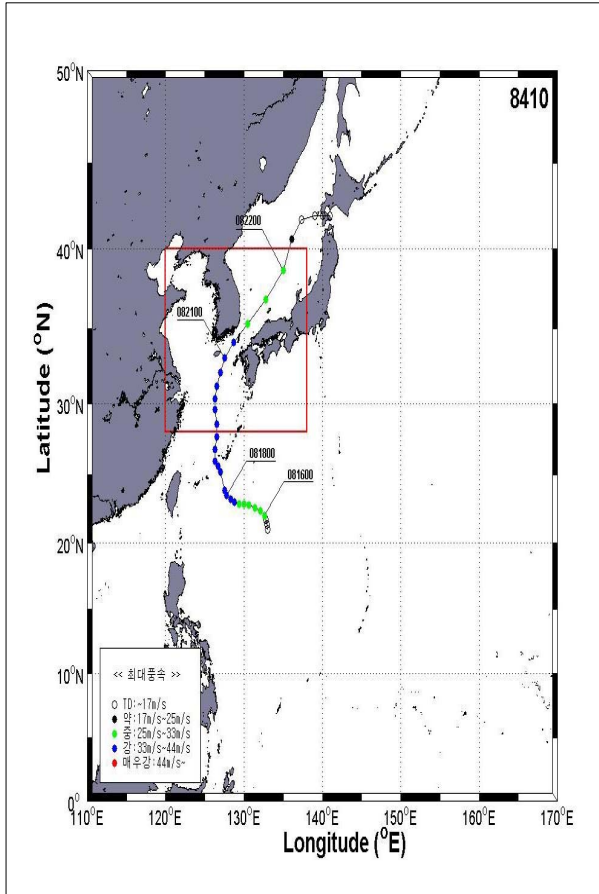
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1981. 8. 31~9. 4

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
울릉도	NE 19,7	NE 31,2	37,5	257,8	301,9	987,3
	4 04:00	4 03:13	3 19:00	3		3 23:20
울진	NNW 18,3	NNW 23,9	22,8	175,2	201,6	994,9
	4 03:20	3 23:45	3 11:00	3		3 19:06
북포	NNW 13,5	ESE 18,1	49,5	394,7	545,7	987,9
	4 02:20	2 00:58	2 10:41	2		3 14:55
여수	E 20,3	E 30,0	46,0	166,9	303,9	987,8
	2 19:02	2 19:12	3 02:28	3		3 18:01
장흥	SE 11,5		52,5	547,4	655,9	
	2 07:40		2 18:00	2		
제주(분)	ESE 12,0		82,0	233,3	499,3	
	1 13:50		2 03:05	2		

5. 1984년 10호 태풍 - HOLLY

· Best track



시간 (UTC)	위도 (0.1°)	경도 (0.1°)	최저 기압 (hPa)	최대 풍속 (kts)
1984081600	220	1326	990	
1984081606	224	1321	990	
1984081612	226	1314	990	
1984081618	228	1306	985	
1984081700	229	1300	985	
1984081706	229	1294	980	
1984081712	230	1288	975	
1984081718	232	1283	970	
1984081800	235	1278	970	
1984081806	239	1275	970	
1984081812	252	1270	970	
1984081818	256	1267	970	
1984081900	260	1263	965	
1984081906	268	1263	960	
1984081912	277	1265	960	
1984081918	286	1265	965	
1984082000	296	1263	965	
1984082006	303	1263	965	
1984082012	312	1265	965	
1984082018	321	1270	965	
1984082100	331	1275	970	
1984082106	341	1287	970	
1984082112	353	1305	975	
1984082118	369	1328	980	
1984082200	387	1350	980	
1984082206	406	1361	980	
1984082212	418	1373	984	
1984082218	420	1390	984	
1984082300	420	1400	988	
1984082306	420	1410	988	

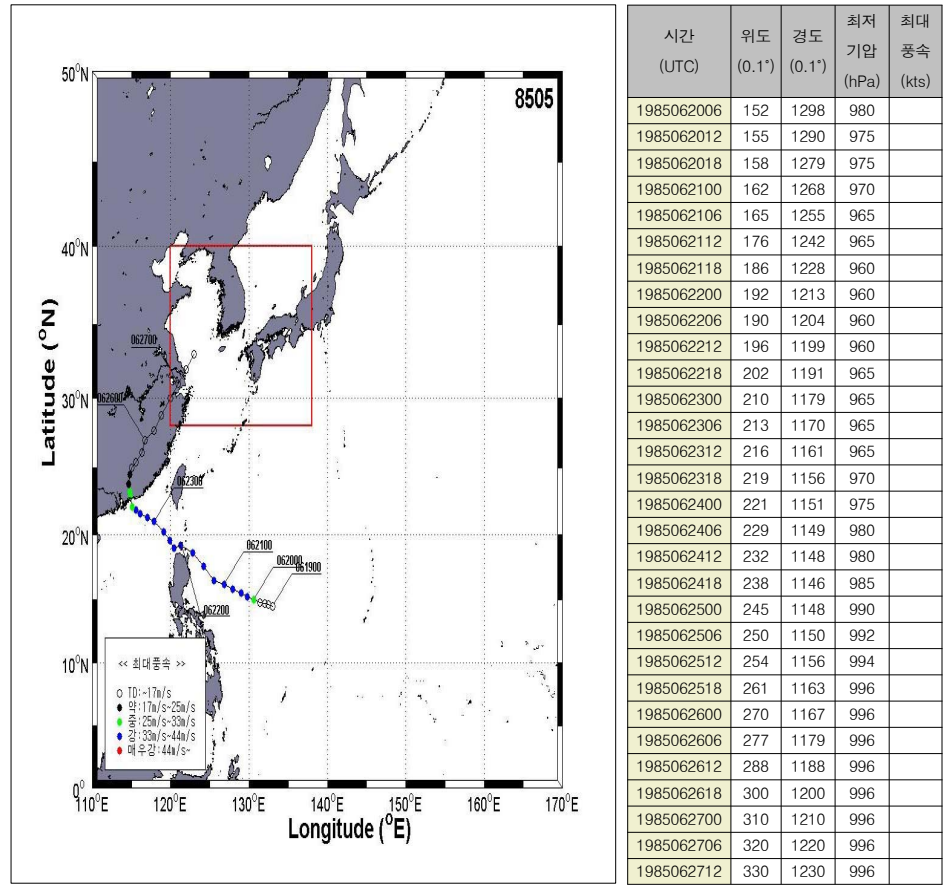
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1984. 8. 20~8. 22

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
울릉도	NNW 17.7	NNW 38.6	9.4	44.7	55.9	984.7
	22 08:50	22 08:41	21 20:10	21		22 08:00
서귀포	NE 16.7	NE 28.1	11.5	43.0	70.1	976.2
	20 19:45	20 19:44	21 00:04	20		21 05:30

6. 1985년 05호 태풍 - JEFF

· Best track



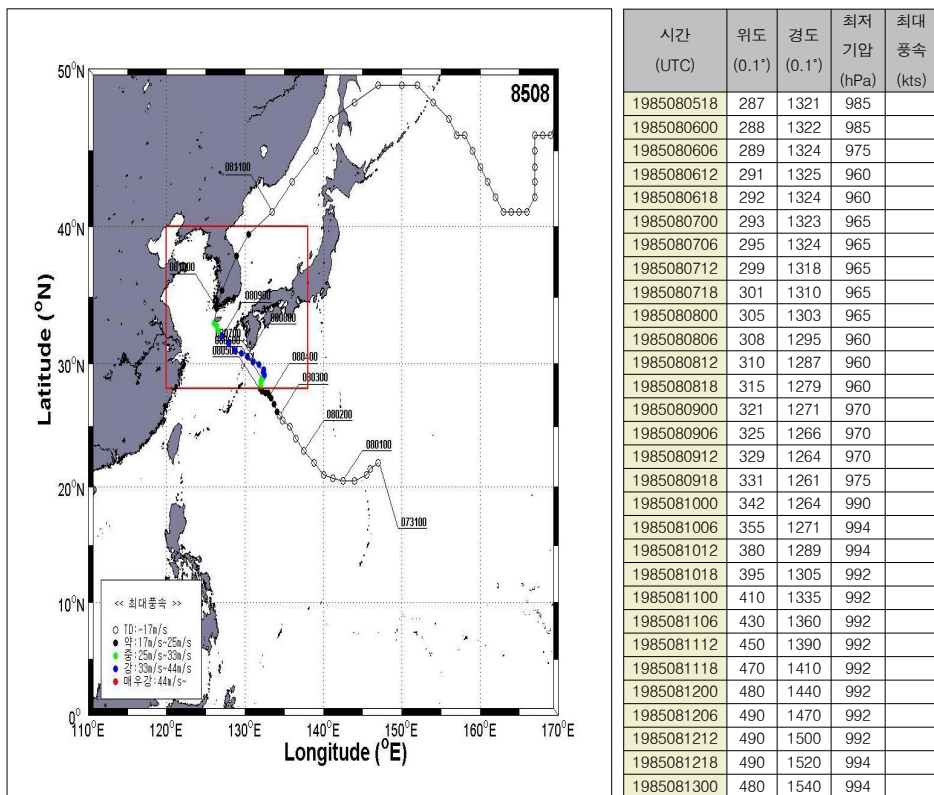
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1985. 6. 27~6. 28

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
완 도	ENE 9.7	ESE 13.0	19.7	185.0	185.0	999.5
	28 13:50	27 19:10	27 11:28	27		27 19:10
제 주	SW 10.3	SW 18.7	42.8	248.7	287.4	997.8
	27 12:55	27 12:48	27 20:29	27		27 15:00

7. 1985년 08호 태풍 - KIT

· Best track



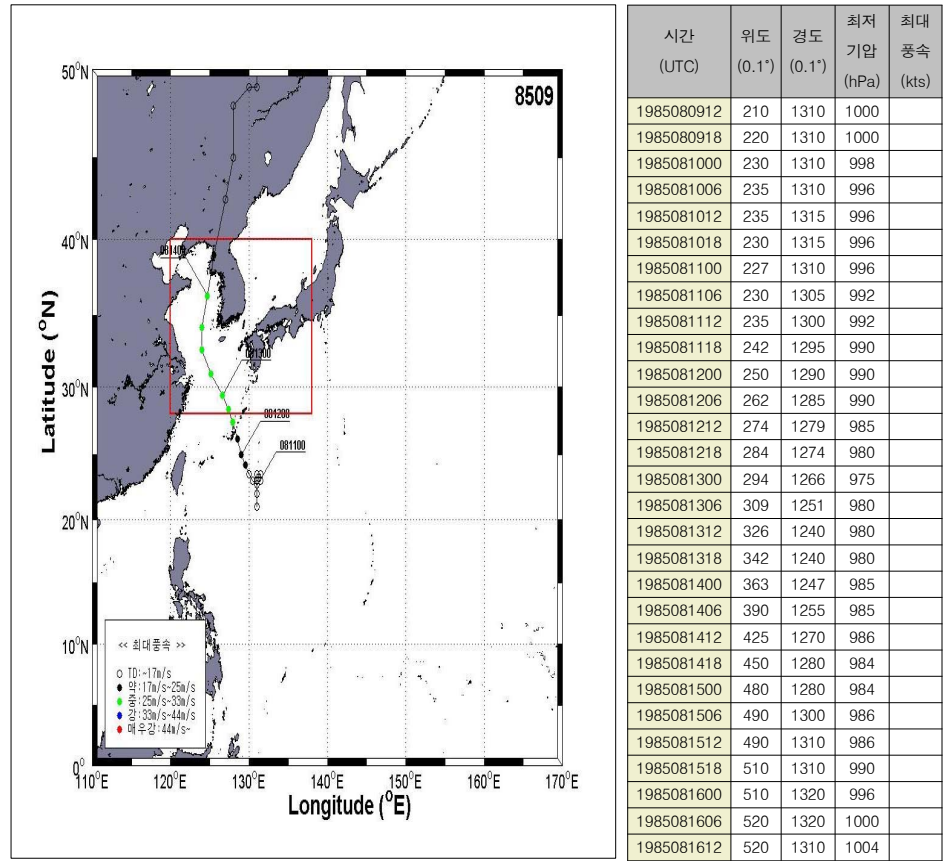
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1985. 8. 8~8. 11

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
울릉도	SSW 22.7	SSW 31.4	13.9	24.3	26.3	997.6
	11 02:30	11 02:20	11 02:40	11		11 01:11
울진	SE 21.3	SSE 27.7	38.4	80.0	81.8	995.4
	10 19:00	10 20:18	10 19:07	10		10 20:22
완도	SSE 16.7	SSE 31.9	26.4	86.8	116.2	990.9
	10 10:20	10 10:08	10 08:00	10		10 10:00
서귀포	E 18.7	ENE 32.8	60.0	232.4	245.2	992.4
	9 21:23	9 19:51	9 21:47	9		9 19:36

8. 1985년 09호 태풍 - LEE

· Best track



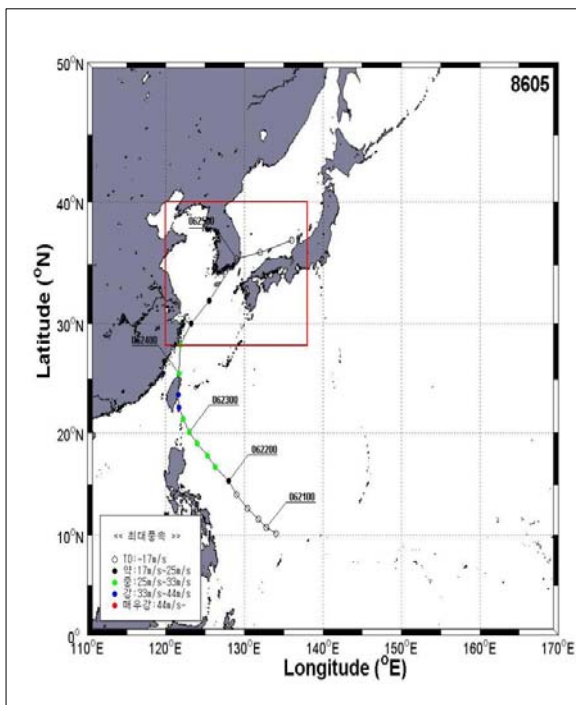
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1985. 8. 13~8. 14

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
인 천	E 20,0	E 31,0	4,9	6,6	10,3	989,6
	14 13:50	14 13:46	13 04:50	13		14 11:20
목 포	S 22,7	S 31,9	7,4	21,2	32,0	992,1
	14 06:20	14 06:02	13 23:00	13		14 04:40
여 수	SSE 13,3	SSW 20,2	60,3	164,3	166,6	999,2
	14 02:39	14 06:01	14 20:07	14		14 05:37

9. 1986년 05호 태풍 - NANCY

· Best track



시간 (UTC)	위도 (0.1°)	경도 (0.1°)	최저 기압 (hPa)	최대 풍속 (kts)
1986062018	102	1340	1004	
1986062100	108	1328	1004	
1986062106	116	1318	1002	
1986062112	127	1304	1002	
1986062118	140	1290	998	
1986062200	154	1280	990	
1986062206	167	1263	985	
1986062212	178	1253	980	
1986062218	190	1240	975	
1986062300	201	1230	970	
1986062306	213	1222	960	
1986062312	224	1217	955	
1986062318	236	1216	960	
1986062400	255	1217	975	
1986062406	281	1218	985	
1986062412	300	1232	990	
1986062418	320	1255	994	
1986062500	355	1290	998	
1986062506	360	1320	998	
1986062512	370	1360	998	

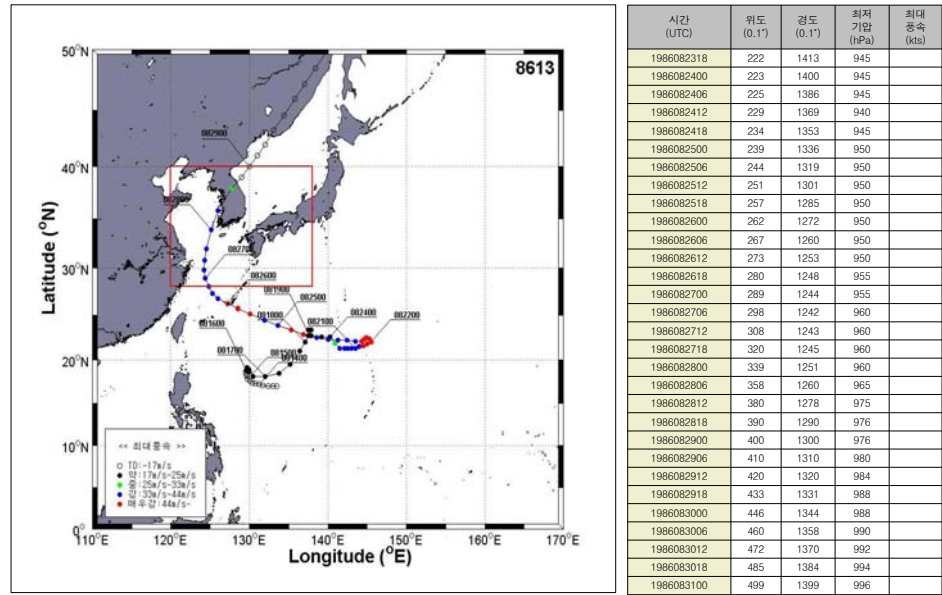
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1986. 6. 23~6. 25

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
대 구	ESE 7,3	ESE 10,0	21,6	78,6	154,7	999,3
	23 15:00	23 15:29	25 04:00	25		25 10:15
전 주	SE 6,8	SE 12,5	20,7	114,6	194,9	1000,0
	24 09:20	23 21:10	24 19:33	24		25 07:55
마 산	NNW 8,3	NW 10,7	43,5	113,0	195,0	997,3
	25 10:20	25 10:57	25 04:20	25		25 08:00
광 주	SSE 7,5	SSE 12,1	27,8	131,7	179,8	998,9
	23 15:35	23 15:23	24 16:15	24		25 08:00
부 산	SSW 13,3	SSW 18,4	31,0	59,4	142,0	997,5
	25 08:50	25 08:42	25 05:58	25		25 09:47
통 영	SSW 12,7	SSW 20,2	19,0	59,6	119,2	998,3
	25 08:11	25 07:42	25 06:00	25		25 08:09
목 포	S 10,3	S 13,5	25,6	116,8	160,5	999,6
	23 21:00	23 20:54	24 08:00	24		25 06:30

10. 1986년 13호 태풍 - VERA

· Best track



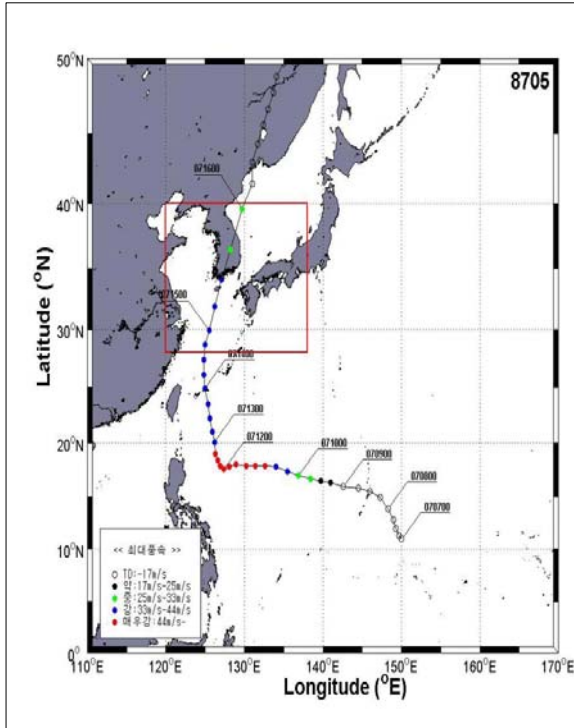
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1986. 8. 27~8. 29

지명	바람(m/s)		강수량(mm)		최저해면기압(hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	
속 초	E 21,7	E 32,2	35,0	110,1	179,6
	28 17:10	28 17:10	28 14:00	28	28 20:00
강릉	WSW 10,0	ESE 26,4	39,4	120,4	136,7
	28 18:00	28 17:22	28 15:02	28	28 19:00
울진	SE 28,0	SE 49,0	9,2	18,4	24,9
	28 17:12	28 17:10	28 12:10	28	28 17:10
군산	W 22,7	W 29,8	30,7	117,6	136,9
	29 02:10	29 02:02	28 15:00	28	28 15:31
광주	SSE 14,7	SSE 28,2	17,9	88,2	92,0
	28 12:16	28 12:15	28 08:40	28	28 13:27
부산	SSE 21,7	SSE 32,1	6,0	11,6	11,6
	28 15:00	28 15:02	28 13:15	28	28 15:20
통영	S 23,7	S 36,0	11,2	34,8	34,8
	28 19:13	28 12:10	28 08:57	28	28 15:19
목포	S 25,7	S 35,6	16,1	112,5	124,4
	28 13:10	28 12:56	28 02:18	28	28 13:05
여수	S 20,3	S 38,8	42,8	122,0	122,0
	28 14:40	28 14:12	28 08:40	28	28 13:53
완도	SE 27,3	SE 46,0	27,0	100,7	145,4
	28 09:46	28 09:43	28 03:02	28	28 11:42
제주	SSE 19,0	SSE 41,6	40,5	224,5	334,7
	28 07:50	28 07:47	28 04:04	28	28 09:37
서귀포	SSE 25,0	SSE 40,9	20,9	44,7	62,7
	28 07:55	28 08:11	28 00:00	28	28 08:30

11. 1987년 05호 태풍 - THELMA

· Best track



시간 (UTC)	위도 (0.1°)	경도 (0.1°)	최저 기압 (hPa)	최대 풍속 (kts)
1987071018	179	1326	945	
1987071100	179	1314	930	
1987071106	179	1302	915	
1987071112	180	1289	915	
1987071118	178	1281	920	
1987071200	176	1274	920	
1987071206	179	1269	925	
1987071212	184	1266	935	
1987071218	190	1263	945	
1987071300	201	1262	950	
1987071306	210	1259	950	
1987071312	222	1256	940	
1987071318	235	1254	945	
1987071400	249	1250	950	
1987071406	261	1248	945	
1987071412	274	1248	940	
1987071418	287	1250	945	
1987071500	299	1255	950	
1987071506	319	1262	955	
1987071512	341	1271	970	
1987071518	365	1282	975	
1987071600	396	1297	980	
1987071606	415	1310	980	
1987071612	430	1310	988	
1987071618	443	1317	990	
1987071700	456	1324	992	
1987071706	467	1330	992	
1987071712	478	1337	994	
1987071718	488	1341	996	
1987071800	497	1350	998	

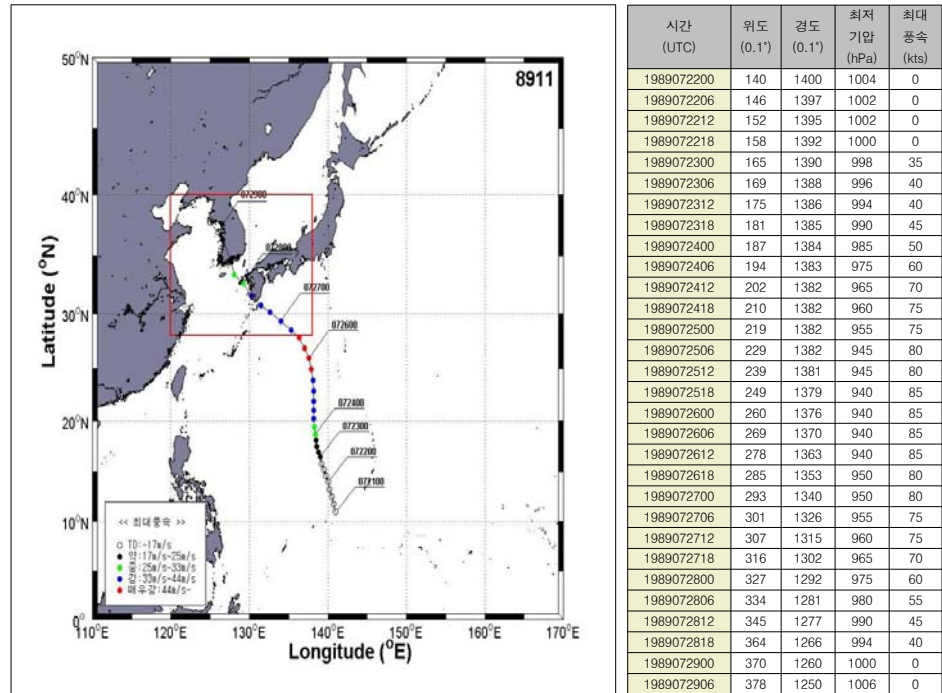
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1987. 7. 15 ~ 7. 16

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향·풍속	최대순간풍향·풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
강릉	ESE 12.0	ESE 31.8	60.0	173.5	270.6	978.2
	16 03:16	16 03:13	16 23:40	15		16 04:38
울진	E 27.8	E 34.2	11.0	98.5	112.0	980.8
	16 01:40	16 01:40	15 19:10	15		16 03:13
광주	NE 11.3	NE 21.8	34.0	166.7	169.1	975.7
	15 19:09	15 19:00	15 19:33	15		15 22:30
통영	SSW 26.7	S 39.6	22.8	101.5	102.0	982.9
	16 02:00	16 00:29	15 20:03	15		15 24:00
여수	SSE 25.0	SSE 40.3	27.0	143.6	144.0	971.8
	15 20:25	15 21:47	15 20:45	15		15 22:31
제주	NE 19.0	NE 31.0	27.0	163.6	164.0	966.3
	15 15:30	15 14:50	15 15:20	15		15 19:12
고흥	ENE 15.0		61.5	216.8	218.8	
	15 19:40		15 19:40	15		

12. 1989년 11호 태풍 - JUDY

· Best track



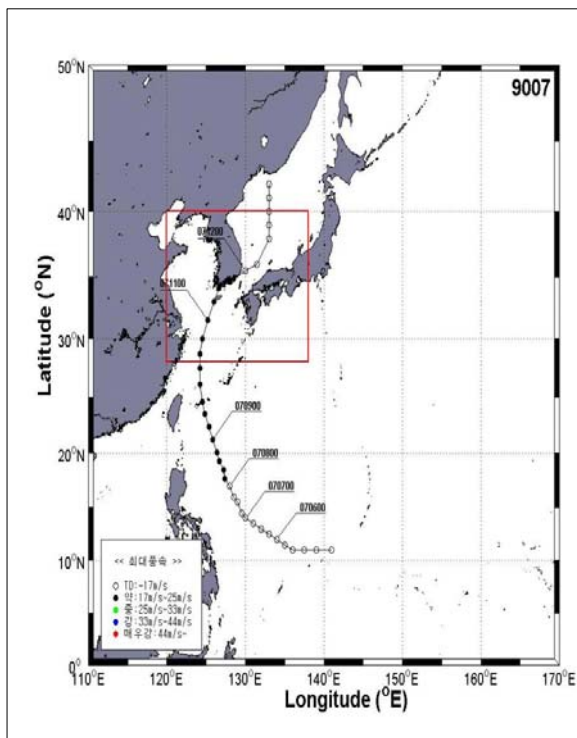
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1989. 7. 28~7. 29

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
마 산	ESE 16, 7	E 25, 6	19, 6	84, 5	155, 1	999, 4
	28 22:30	28 20:47	28 23:00	29		28 20:23
부 산	ENE 12, 5	ENE 25, 3	47, 5	140, 5	258, 3	1000, 1
	28 19:30	28 19:34	29 01:40	29		28 17:36
통 영	SSW 13, 0	NE 21, 0	33, 0	134, 5	178, 3	995, 9
	29 01:20	28 17:10	28 20:25	28		28 17:21
여 수	NNE 23, 3	NNE 30, 0	8, 8	37, 4	45, 8	987, 1
	28 20:10	28 19:32	28 20:50	28		28 22:00
진 주	SSE 14, 0	ENE 20, 3	15, 2	62, 8	108, 8	995, 9
	28 23:44	28 21:06	28 21:30	28		28 22:33
밀 양	ESE 9, 0		36, 5	138, 5	190, 0	
	28 22:20		29 00:00	29		
산 청	NE 6, 0		40, 0	69, 3	127, 2	
	28 21:00		28 23:20	28		
거 제	SE 9, 0		48, 0	221, 0	319, 7	
	28 22:00		28 19:30	28		
남 해	NNE 16, 0		29, 0	128, 5	162, 0	
	28 20:30		28 19:30	28		

13. 1990년 07호 태풍 - ROBYN

· Best track



시간 (UTC)	위도 (0.1°)	경도 (0.1°)	최저 기압 (hPa)	최대 풍속 (kts)
1990070618	135	1310	998	0
1990070700	140	1300	998	0
1990070706	145	1295	998	0
1990070712	155	1290	998	0
1990070718	160	1285	998	0
1990070800	170	1280	998	0
1990070803	177	1274	996	35
1990070806	185	1272	996	35
1990070812	193	1267	996	35
1990070818	201	1264	994	40
1990070900	212	1258	994	40
1990070906	224	1254	992	45
1990070912	235	1248	992	45
1990070918	246	1245	992	45
1990071000	261	1242	992	45
1990071006	275	1242	992	45
1990071012	287	1242	992	40
1990071018	300	1245	992	40
1990071100	315	1252	992	40
1990071106	330	1260	992	40
1990071112	341	1266	992	40
1990071118	346	1281	992	35
1990071200	355	1300	992	0
1990071206	360	1315	992	0
1990071212	380	1330	992	0
1990071218	390	1330	992	0
1990071300	400	1330	992	0
1990071306	400	1330	994	0
1990071312	400	1330	996	0
1990071318	410	1330	1000	0

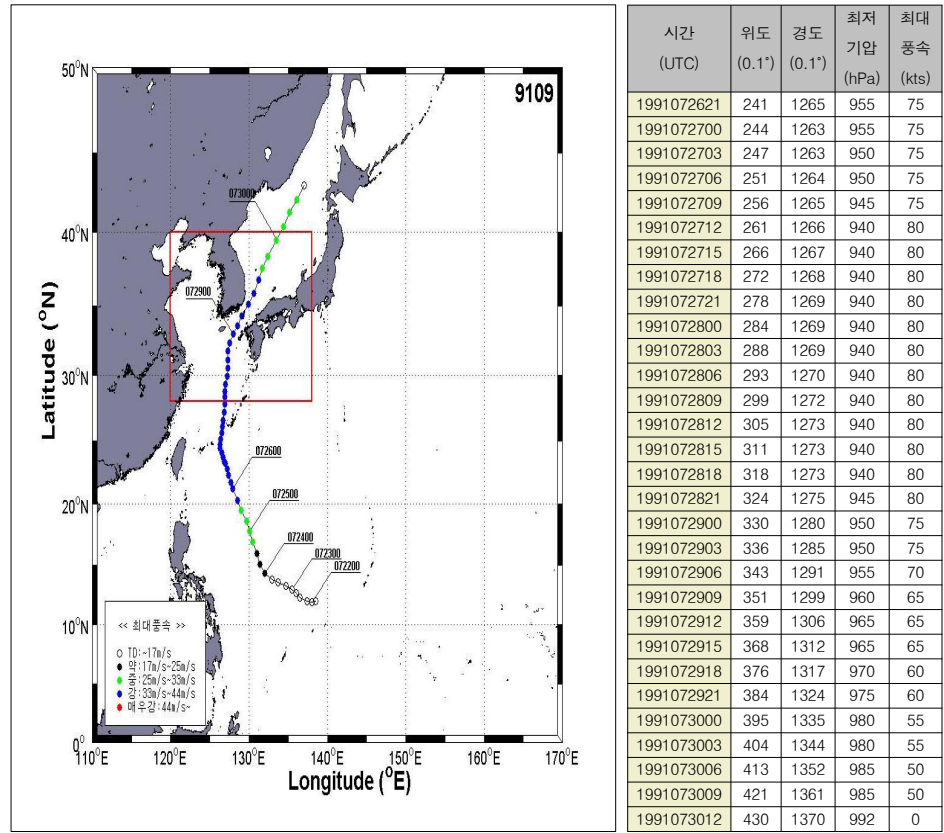
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1990. 7. 10~7. 12

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
철 원	ENE 6,3	ENE 11,7	37,0	134,5	227,9	993,8
	12 19:40	12 19:22	12 01:20	11		12 16:30
대 전	W 6,3	W 9,1	25,0	71,2	74,2	996,4
	12 20:00	12 18:38	11 12:30	11		12 04:00
군 산	ENE 12,3	ENE 17,0	17,4	65,8	68,5	995,7
	11 16:32	11 16:29	11 15:10	11		12 02:40
광 주	WNW 6,3	E 10,3	51,3	93,3	99,0	995,2
	12 15:14	11 18:39	11 12:33	11		11 19:47
목 포	NW 12,3	NW 15,7	43,9	126,6	138,3	995,7
	12 07:08	12 06:57	11 16:02	11		11 19:30
완 도	E 12,2	SE 19,1	49,3	63,3	74,4	994,5
	11 19:28	11 12:52	11 09:37	11		11 20:00
계 주	SSE 16,0	SSE 26,0	6,5	11,7	22,7	992,8
	11 11:05	11 11:04	10 09:30	10		11 18:00

14. 1991년 09호 태풍 - CAITLIN

· Best track



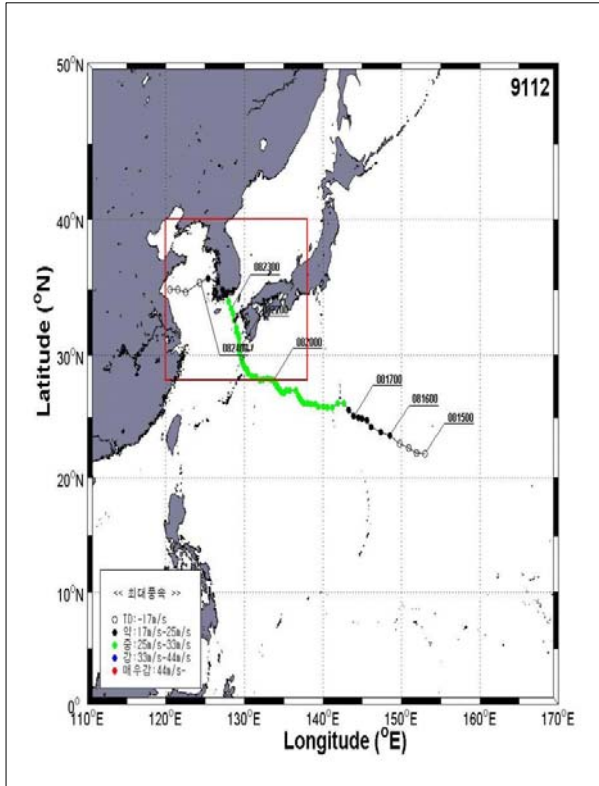
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1991. 7. 28~7. 30

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
부 산	ENE 18,0	ENE 33,0	24,3	55,6	98,3	974,8
	29 15:20	29 15:18	30 18:20	29		29 16:45
통 영	SW 15,8	NNE 23,3	47,0	70,1	102,4	978,7
	30 00:19	29 12:40	30 19:20	30		29 15:12
여 수	N 20,0	N 25,5	23,8	40,4	46,5	982,1
	29 12:40	29 12:30	30 21:03	30		29 14:23

15. 1991년 12호 태풍 - GLADYS

· Best track



시간 (UTC)	위도 (0.1°)	경도 (0.1°)	최저 기압 (hPa)	최대 풍속 (kts)
1991082012	280	1320	975	60
1991082015	283	1315	975	60
1991082018	284	1309	975	60
1991082021	286	1305	975	60
1991082100	289	1303	975	60
1991082103	289	1302	970	60
1991082106	290	1301	965	60
1991082109	292	1299	965	60
1991082112	294	1298	965	60
1991082115	296	1297	965	60
1991082118	298	1296	965	60
1991082121	301	1294	965	60
1991082200	305	1294	970	60
1991082203	308	1293	975	60
1991082206	313	1293	975	60
1991082209	316	1292	975	60
1991082212	318	1290	975	55
1991082215	321	1290	975	50
1991082218	327	1287	975	50
1991082221	332	1285	975	50
1991082300	336	1283	980	50
1991082303	341	1280	980	50
1991082306	346	1277	985	45
1991082309	350	1272	988	40
1991082312	356	1266	990	40
1991082318	358	1254	992	35
1991082400	355	1243	996	0
1991082406	348	1225	998	0
1991082412	350	1215	1000	0
1991082418	350	1205	1002	0

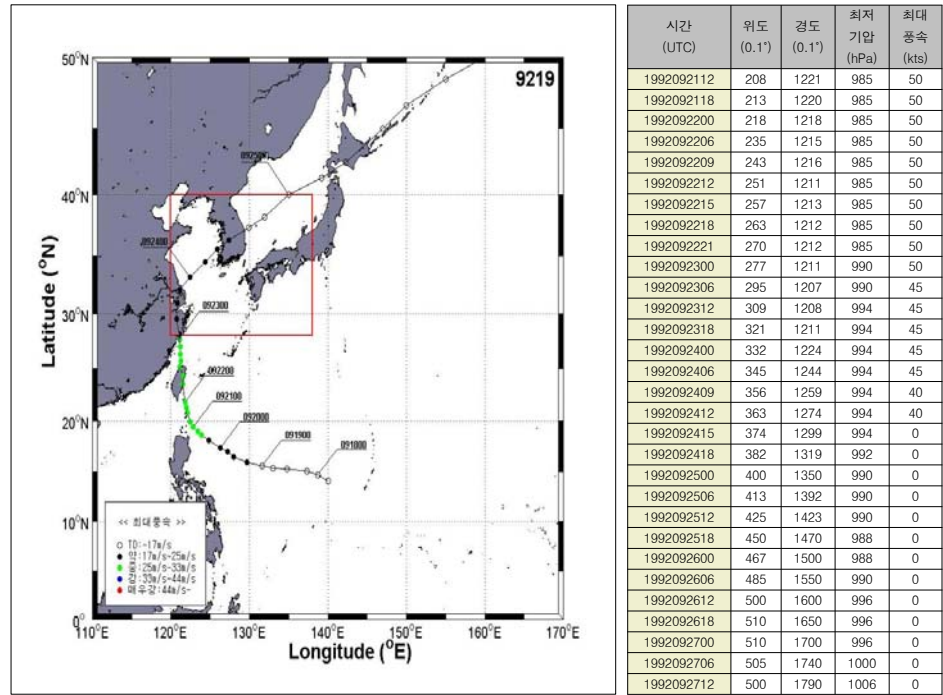
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1991. 8. 22~8. 26

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
대관령	E 7.3	E 18.7	25.6	234.2	528.7	1001.1
	23 20:20	23 14:13	23 12:10	23		23 16:27
울진	N 14.7	N 21.5	39.5	279.0	419.4	999.1
	23 05:20	23 05:10	23 09:00	23		23 14:15
포항	NE 17.0	NE 27.7	28.4	315.6	394.8	995.1
	23 12:30	23 02:37	23 16:30	23		23 13:00
울산	NE 10.0	NE 26.6	35.5	417.8	545.0	992.6
	22 22:00	23 08:38	23 09:14	23		23 12:35
부산	NNE 15.0	NNE 31.1	40.0	439.0	505.5	988.6
	22 23:13	23 06:20	23 11:10	23		23 12:32

16. 1992년 19호 태풍 - TED

· Best track



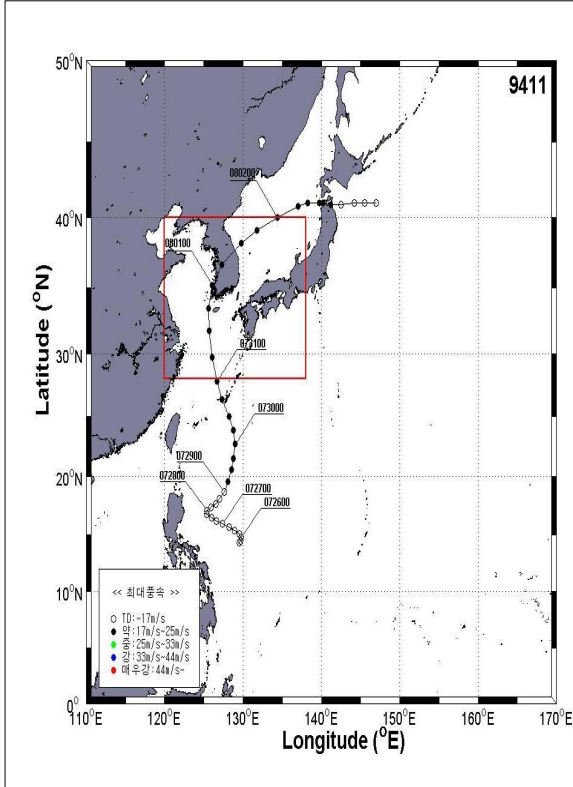
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1992. 9. 22~9. 26

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
속 초	N 16,7	N 20,8	17,2	101,3	147,5	998,9
	25 02:40	24 20:59	25 21:42	24		24 22:52
대관령	NW 9,7	NE 15,9	20,6	125,6	161,8	997,8
	24 21:10	25 03:46	24 15:30	24		25 00:05
울릉도	N 29,7	N 51,0	8,7	48,1	52,4	990,8
	25 06:10	25 06:18	24 20:20	24		25 05:40
서 산	NNE 15,0	NNE 20,0	15,1	108,5	110,5	995,0
	24 22:20	24 22:20	24 15:00	24		24 18:30
마 산	SSE 13,3	SSE 22,0	29,5	140,7	141,3	996,2
	24 15:40	24 16:35	24 12:15	24		25 02:00
통 영	SSW 17,0	SSW 29,4	27,0	94,3	95,1	997,7
	24 22:33	24 17:33	24 12:40	24		25 03:03
여 수	S 13,3	S 23,5	35,5	116,7	116,7	997,2
	24 15:18	24 13:09	24 09:51	24		24 23:10
완 도	NNW 14,5	S 25,7	18,0	80,0	82,5	997,1
	25 01:30	24 10:31	24 06:14	24		24 18:01

17. 1994년 11호 태풍 - BRENDAN

- Best track



시간 (UTC)	위도 (0.1°)	경도 (0.1°)	최저 기압 (hPa)	최대 풍속 (kts)
1994072800	171	1254	998	0
1994072806	174	1259	998	0
1994072812	177	1265	998	0
1994072818	181	1270	996	0
1994072900	187	1276	996	0
1994072906	196	1281	994	35
1994072912	206	1285	994	35
1994072918	215	1288	994	35
1994073000	227	1290	994	35
1994073006	239	1288	994	35
1994073012	250	1282	994	35
1994073018	264	1273	996	35
1994073100	278	1267	996	35
1994073106	297	1261	994	40
1994073112	318	1257	992	45
1994073118	335	1256	992	45
1994080100	352	1261	994	40
1994080106	367	1273	994	35
1994080112	382	1298	996	35
1994080118	391	1318	996	35
1994080200	400	1344	996	35
1994080206	408	1370	994	40
1994080209	410	1383	994	40
1994080212	410	1397	994	40
1994080213	410	1402	996	35
1994080215	409	1412	996	35
1994080218	409	1425	998	0
1994080300	410	1442	1000	0
1994080306	410	1455	1002	0
1994080312	410	1470	1004	0

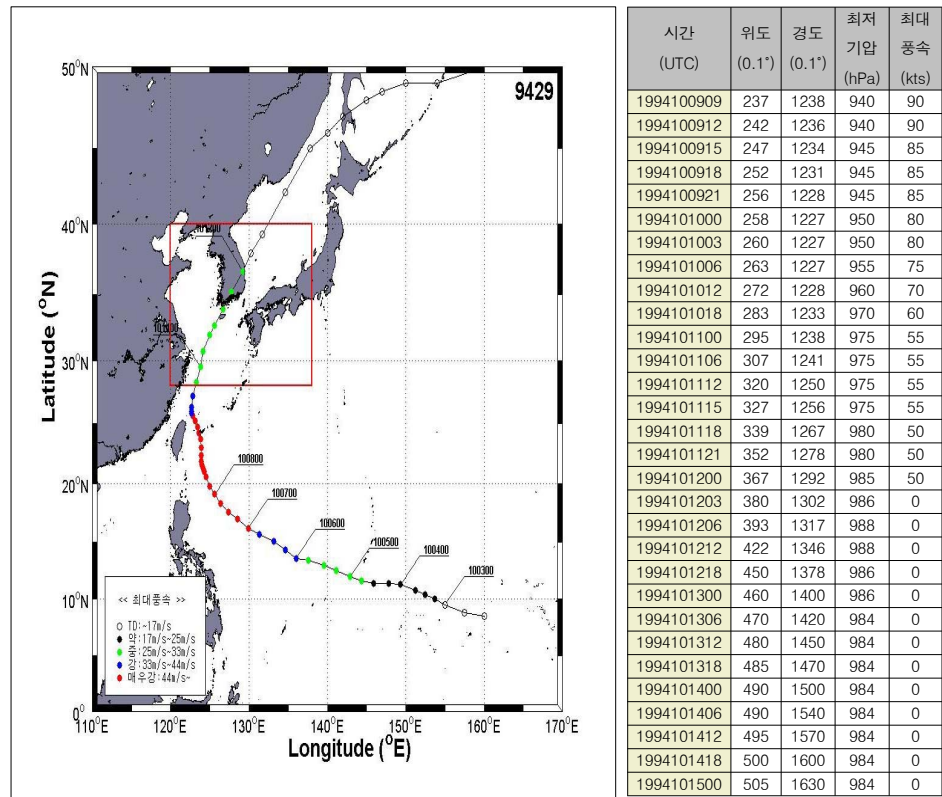
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1994. 7. 31~8. 1

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
대관령	WSW 13.3	WSW 20.7	37.6	135.5	135.5	994.0
	1 19:20	1 19:17	1 16:50	1		1 19:00
강릉	SE 7.3	SE 15.8	14.0	58.0	58.0	991.4
	1 18:06	1 17:50	1 16:27	1		1 19:25
청주	WSW 10.3	WSW 19.8	32.3	60.3	87.3	994.9
	1 15:50	1 15:45	1 13:45	1		1 14:55
마산	S 11.0	S 18.6	37.6	97.2	98.1	1003.9
	1 09:00	1 10:26	1 09:50	1		1 14:34
완도	ENE 14.5	SE 25.2	16.7	26.0	26.8	999.4
	1 01:10	1 05:22	1 00:00	1		1 05:11

18. 1994년 29호 태풍 - SETH

· Best track



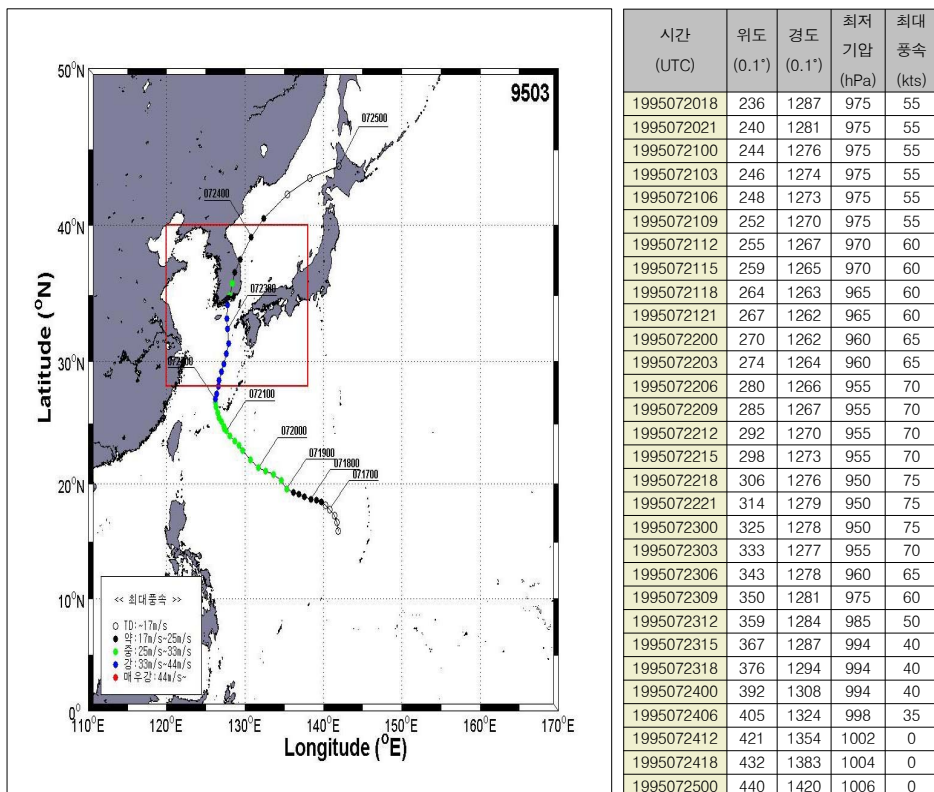
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1994. 10. 10~10. 12

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
울진	ESE 22,0	ESE 34,2	33,4	75,5	110,6	985,0
	12 05:10	12 05:22	12 00:20	12		12 09:10
통영	SSE 22,3	SSE 39,0	4,6	30,7	40,9	986,8
	12 04:39	12 04:13	11 19:50	11		12 06:06
목포	NW 20,0	NNW 24,5	18,8	96,8	129,8	988,3
	12 07:20	12 05:07	11 22:00	11		12 03:50
제주	E 12,0	SE 27,8	55,0	189,3	202,5	984,1
	11 16:10	11 21:45	11 16:10	11		12 01:30
삼척	S 8,2	S 15,7	76,5	307,5	336,5	988,5
	12 06:40	12 06:40	12 04:20	12		12 08:20

19. 1995년 03호 태풍 - FAYE

· Best track



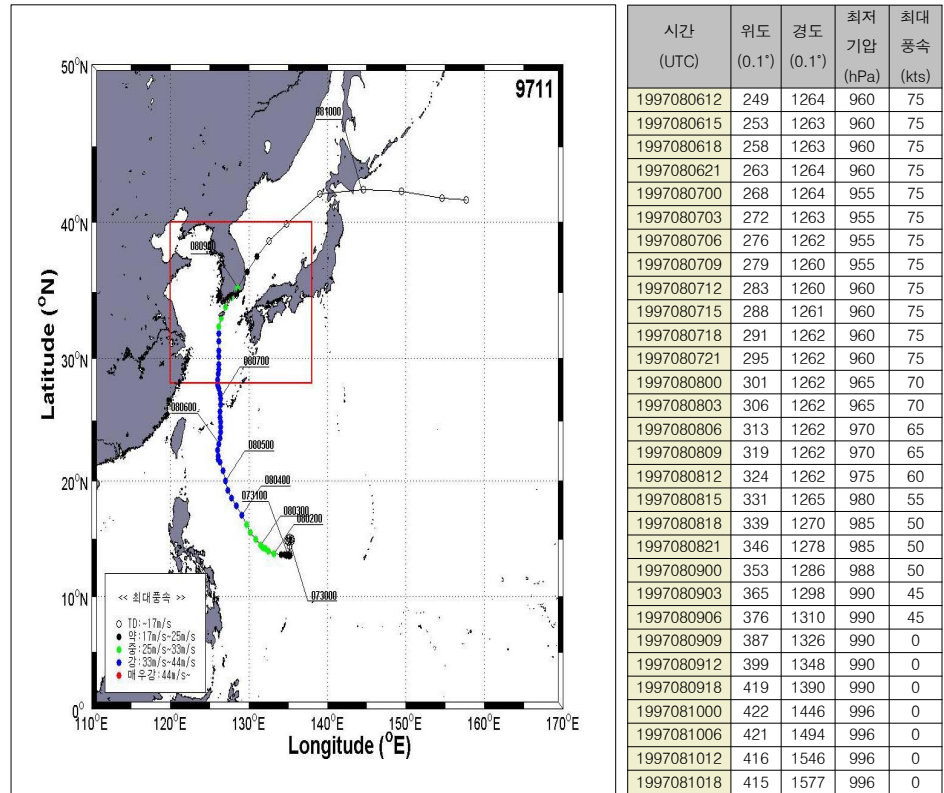
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1995. 7. 22~7. 24

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
마 산	SE 22,3	SE 38,0	11,6	69,5	88,8	987,9
	23 17:20	23 16:13	23 14:59	23		23 18:00
부 산	S 22,5	SE 42,3	9,1	19,1	52,7	996,0
	23 21:40	23 16:41	24 21:17	22		23 18:00
봉 영	SE 24,3	SE 46,6	32,3	52,9	103,0	983,0
	23 16:37	23 16:20	24 20:10	23		23 16:32
여 수	N 33,2	N 39,0	28,2	135,3	147,6	970,2
	23 15:20	23 15:18	23 14:35	23		23 16:20
계 주	NNE 15,7	SW 22,5	35,0	120,9	167,6	993,5
	23 10:20	23 12:28	22 15:10	22		23 11:40
진 주	S 16,7	E 28,3	24,0	93,5	116,6	978,2
	23 18:40	23 17:20	23 16:20	23		23 17:56

20. 1997년 11호 태풍 - TINA

· Best track



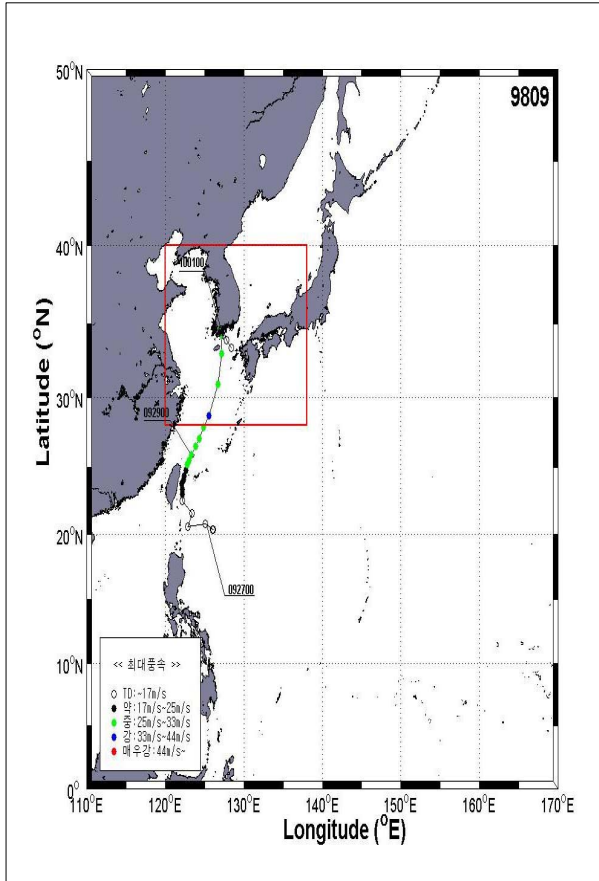
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1997. 8. 3~8. 10

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
흑산도	S 21.0	SSW 29.4		100.2	115.6	990.9
	4	4		4		9
통영	SE 20.0	SE 28.0		57.7	148.8	988.1
	9	9		5		9
인천	SW 10.0	SW 14.1	93.0	260.8	304.7	993.1
	9	9	4	4		9
강화	SW 4.2	NW 8.3	101.0	293.0	520.0	995.3
	3	4	3	3		9

21. 1998년 09호 태풍 - YANNI

· Best track



시간 (UTC)	위도 (0.1°)	경도 (0.1°)	최저 기압 (hPa)	최대 풍속 (kts)
1998092612	204	1261	1002	0
1998092618	204	1260	1002	0
1998092700	208	1251	1002	0
1998092706	206	1229	1002	0
1998092712	216	1234	1002	0
1998092718	225	1222	1000	0
1998092800	230	1222	998	35
1998092803	234	1222	996	35
1998092806	238	1221	992	40
1998092809	241	1223	990	40
1998092812	244	1224	985	45
1998092815	248	1226	985	45
1998092818	252	1228	980	50
1998092821	255	1230	980	50
1998092900	259	1233	975	50
1998092903	265	1239	975	55
1998092906	271	1243	970	60
1998092909	279	1249	970	60
1998092912	287	1256	965	65
1998092918	309	1267	970	60
1998093000	330	1272	975	55
1998093003	342	1272	975	55
1998093006	346	1270	980	50
1998093009	346	1271	990	0
1998093012	346	1272	994	0
1998093018	346	1274	996	0
1998100100	339	1278	998	0
1998100106	334	1284	1000	0

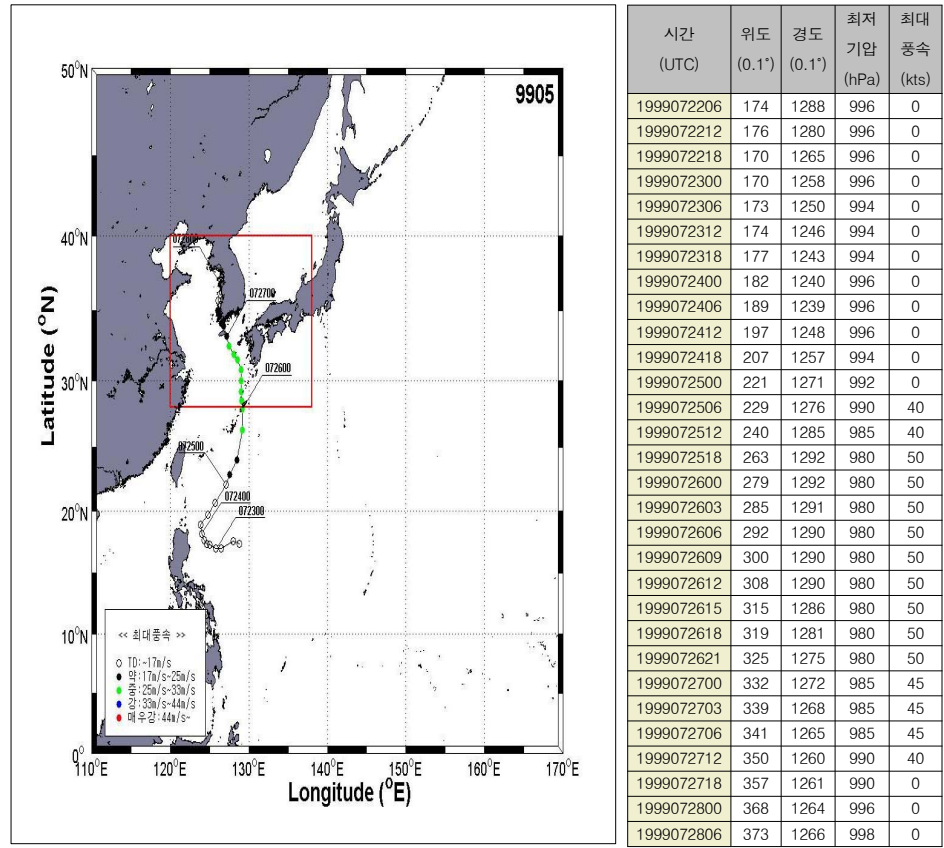
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1998. 9. 29~10. 01

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
흑산도	NNE 30.0	NNE 42.1		81.4	107.0	993.9
	30	30		29		30
울진	N 15.7	N 32.7		152.2	207.9	999.2
	01	01		30		01
포항	NNE 13.3	NNE 24.6		516.4	610.1	997.5
	30	30		30		30

22. 1999년 05호 태풍 - NEIL

· Best track



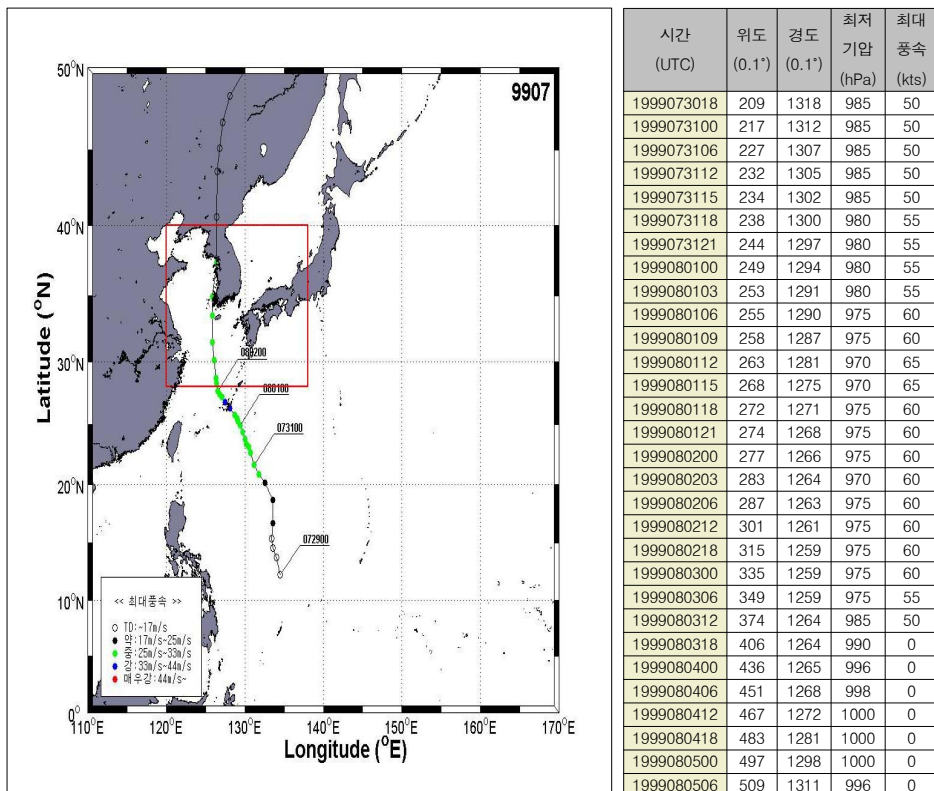
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1999. 7. 27~7. 28

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
고 산	N 22,5	NE 26,6		45,4	45,4	985,2
	27	27		27		27
군 산	NE 14,2	NE 26,8		54,9	83,7	991,0
	27	27		28		27
고 흥	ESE 16,6	SE 18,4		148,0	156,0	989,7
	27	27		27		27

23. 1999년 07호 태풍 - OLGA

· Best track



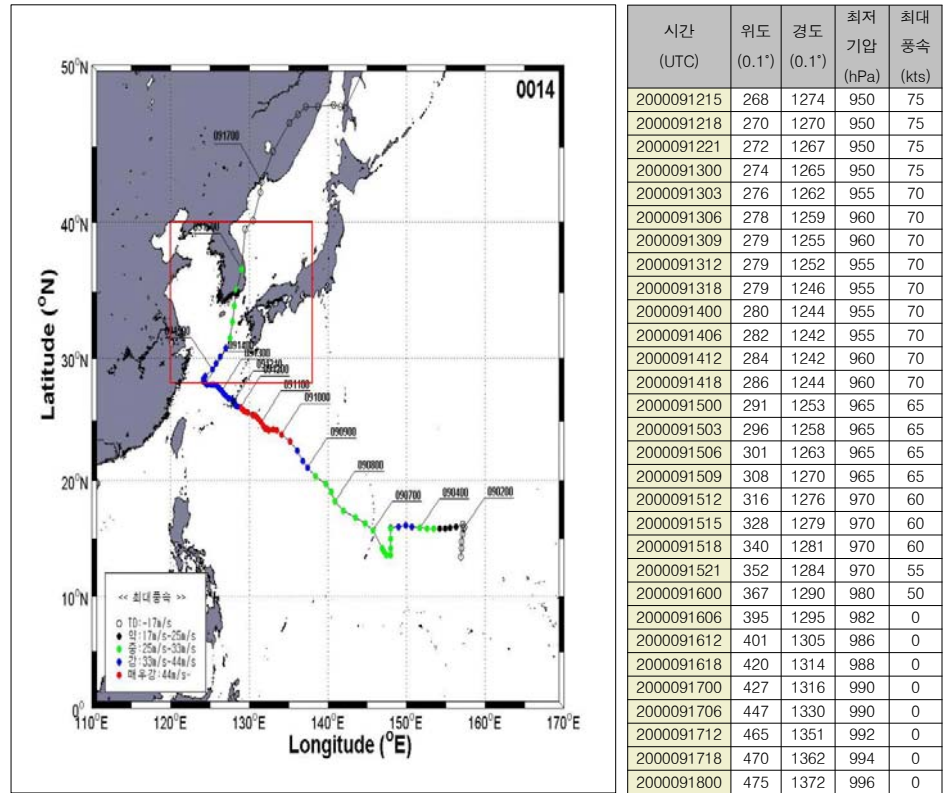
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 1999. 8. 1~8. 4

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
여 수	S 30.7	S 40.0		51.1	70.4	992.9
	03	03		04		30
완 도	SSE 27.3	SSE 46.0		96.2	143.6	986.6
	03	03		03		03
제 주	SSW 22.3	SE 38.2	79.2	248.2	296.1	983.2
	03	03	3	03		03
동두천	SSW 15.0	S 25.2		377.5	697.8	1005.8
	04	03		1		02

24. 2000년 14호 태풍 - SAOMAI

· Best track



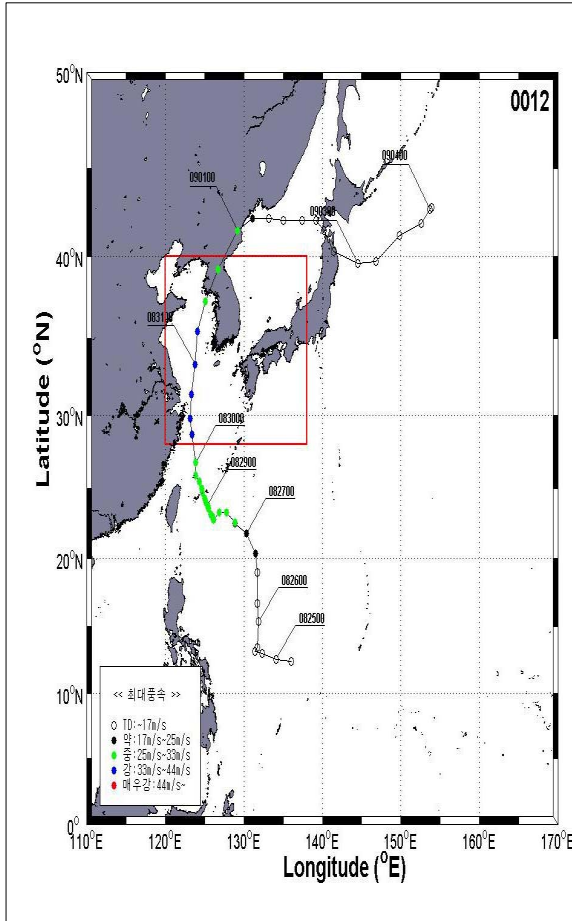
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 2000. 9. 13~9. 16

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향-풍속	최대순간풍향-풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
고 산	NW 27,6	NNW 31,1		154,5	164,5	985,5
	16	16		15		16
여 수	N 25,6	N 25,6		59,7	167,0	974,4
	16	16		14		16
거 제	E 14,2	ESE 26,2	68,0	135,0	266,0	965,4
	16	16	16	16		16
완 도	NW 17,8	WNW 22,8		178,1	293,0	985,9
	16	16		15		16

25. 2000년 12호 태풍 - PRAPIROON

· Best track



시간 (UTC)	위도 (0.1°)	경도 (0.1°)	최저 기압 (hPa)	최대 풍속 (kts)
2000082712	225	1289	990	40
2000082718	226	1289	985	50
2000082800	233	1278	985	50
2000082803	233	1269	985	50
2000082806	228	1262	985	50
2000082809	228	1261	980	55
2000082812	230	1260	980	55
2000082815	232	1258	980	55
2000082818	236	1255	980	55
2000082821	237	1255	975	60
2000082900	238	1254	975	60
2000082903	240	1252	975	60
2000082906	243	1250	975	55
2000082909	247	1247	975	55
2000082912	250	1246	975	55
2000082915	255	1243	975	55
2000082918	259	1239	975	55
2000083000	268	1239	970	60
2000083006	287	1234	970	65
2000083012	298	1232	965	70
2000083018	314	1233	965	70
2000083100	333	1238	965	70
2000083106	354	1241	965	70
2000083112	373	1251	975	60
2000083118	392	1267	980	55
2000090100	415	1292	985	50
2000090106	422	1311	990	45
2000090112	422	1332	990	0
2000090118	421	1350	992	0
2000090200	421	1374	992	0

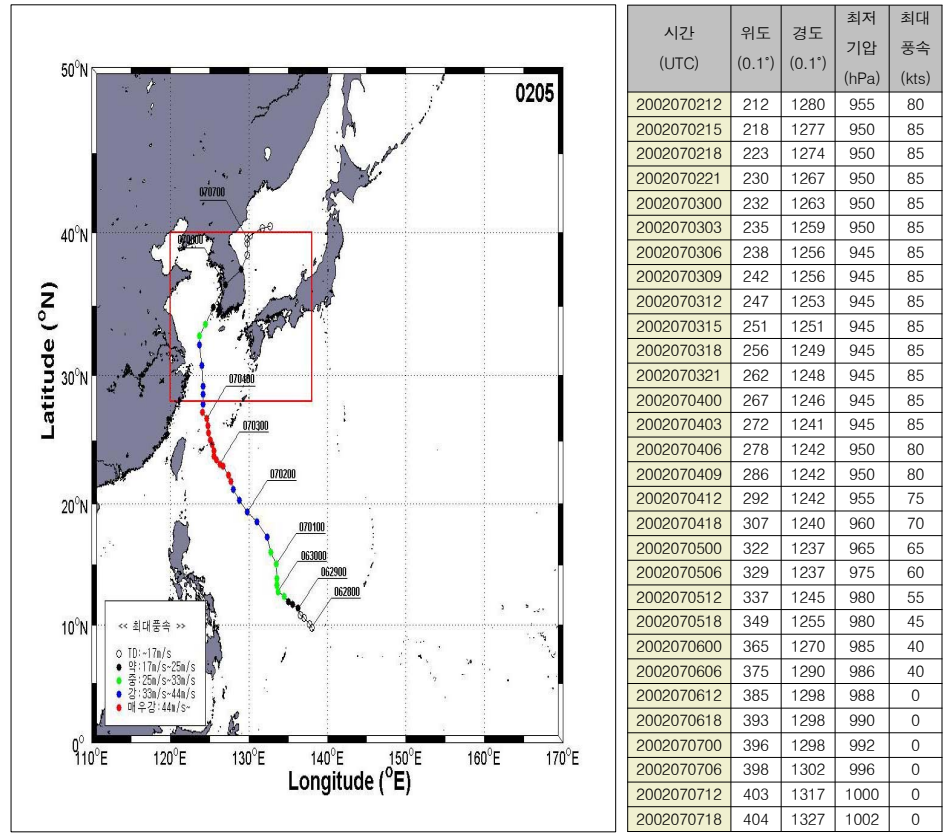
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 2000. 8. 24~8. 31

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
흑산도	S 47.4	S 58.3		281.1	564.3	980.1
	31	31		26		31
군 산	E 15.0	S 23.0		310.0	645.9	988.6
	31	31		26		31

26. 2002년 05호 태풍 - RAMMASUN

· Best track



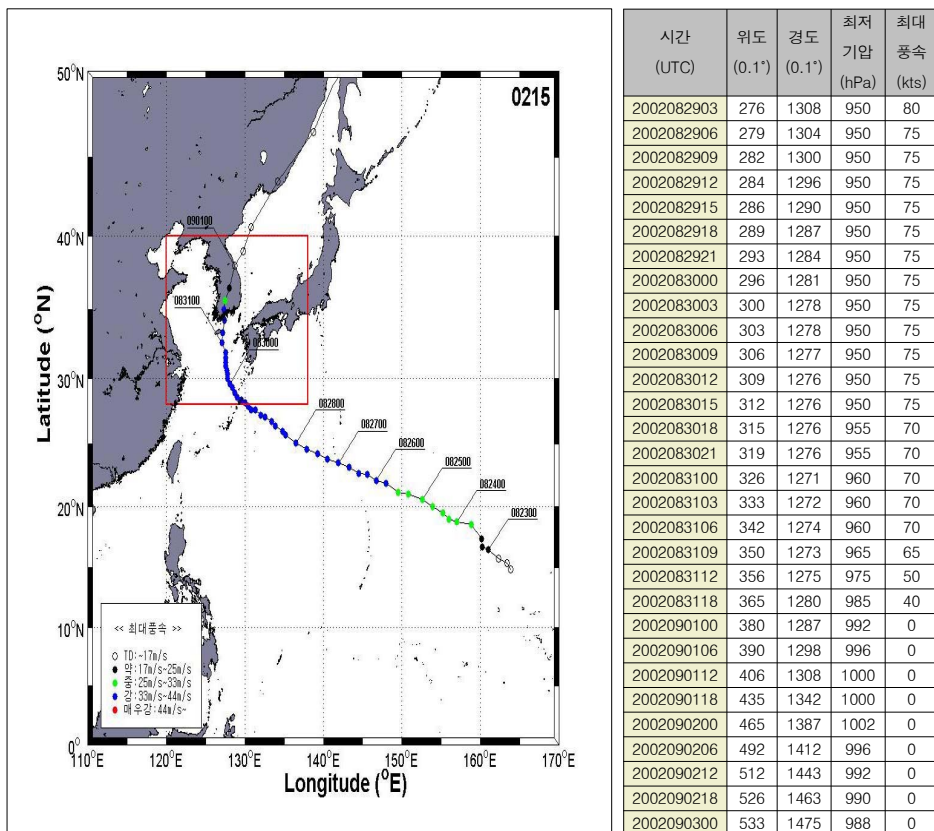
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 2002. 7. 5~7. 6

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
고 산	S 25.6	S 29.9		39.5	40.0	986.7
	05	05		05		05
흑산도	SSE 21.6	S 31.0		79.5	83.5	978.7
	05	05		05		06
산 청	E 8.9	E 19.0		252.0	294.0	989.4
	06	06		05		06

27. 2002년 15호 태풍 - RUSA

· Best track



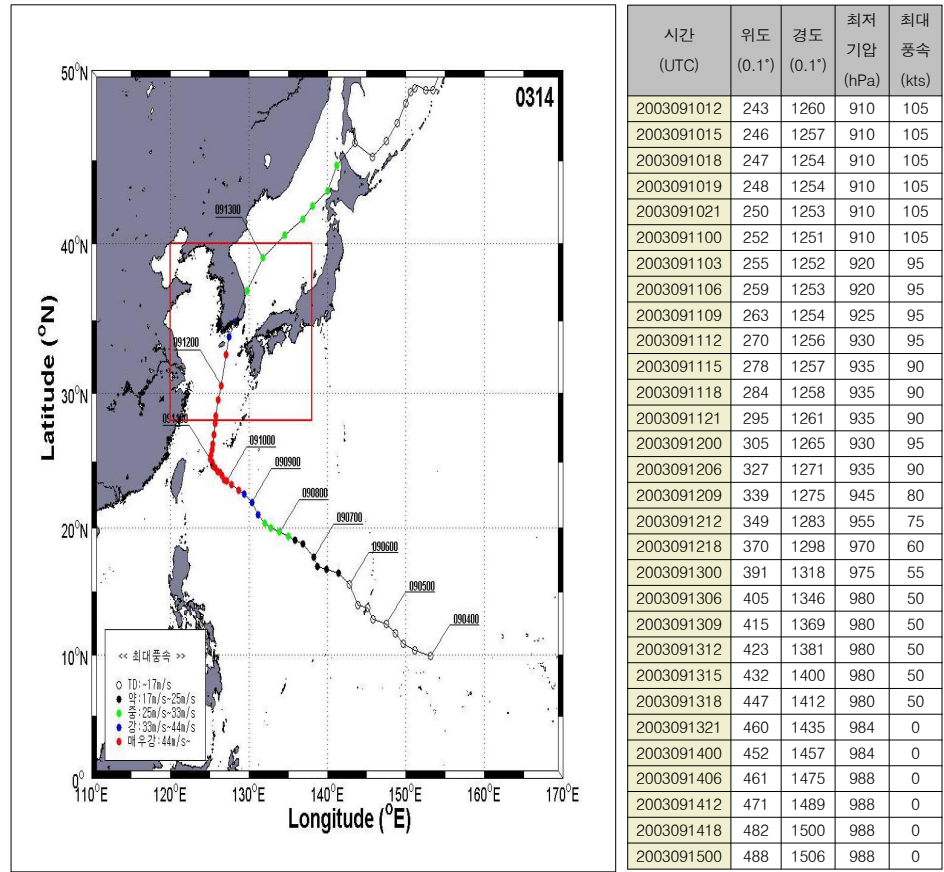
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 2002. 8. 28~9. 1

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
고 산	N 43.7	N 56.7		39.5	59.6	969.1
	31	31		31		31
흑산도	NNE 33.3	NNE 50.2		11.5	15.1	984.9
	31	31		31		31
강 룡	WSW 9.0	WNW 16.2		870.5	898.0	989.5
	31	31		31		01

28. 2003년 14호 태풍 - MAEMI

· Best track



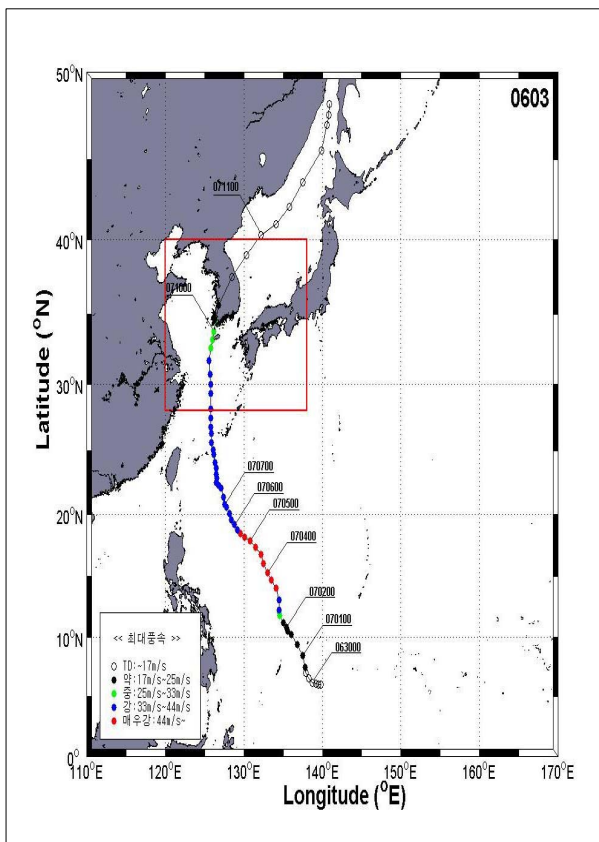
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 2003. 9. 11~9. 13

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
고 산	N 51.1	N 60.0		54.0	61.0	970.5
	12	12		12		12
제 주	NW 39.5	NW 60.0		231.5	266.4	974.0
	12	12		12		12
남 해	N 15.6	NNW 37.2		410.0	452.5	956.1
	12	12		12		12

29. 2006년 03호 태풍 - EWINIAR

· Best track



시간 (UTC)	위도 (0.1°)	경도 (0.1°)	최저 기압 (hPa)	최대 풍속 (kts)
2006070721	229	1266	950	80
2006070800	232	1265	950	80
2006070803	237	1265	950	80
2006070806	241	1263	950	80
2006070809	247	1262	950	80
2006070812	251	1261	955	80
2006070815	256	1259	955	80
2006070818	263	1259	960	75
2006070821	268	1258	960	75
2006070900	275	1258	960	75
2006070903	282	1258	960	75
2006070906	293	1258	965	70
2006070909	300	1258	965	70
2006070912	307	1257	970	65
2006070915	317	1256	970	65
2006070918	326	1258	975	60
2006070921	332	1260	975	60
2006071000	338	1262	975	60
2006071003	345	1264	980	55
2006071006	356	1268	985	45
2006071012	375	1285	996	0
2006071018	390	1303	996	0
2006071100	403	1322	996	0
2006071106	410	1341	998	0
2006071112	421	1358	1000	0
2006071118	436	1375	1000	0
2006071200	455	1399	1000	0
2006071206	470	1406	998	0
2006071212	476	1408	998	0
2006071218	482	1409	998	0

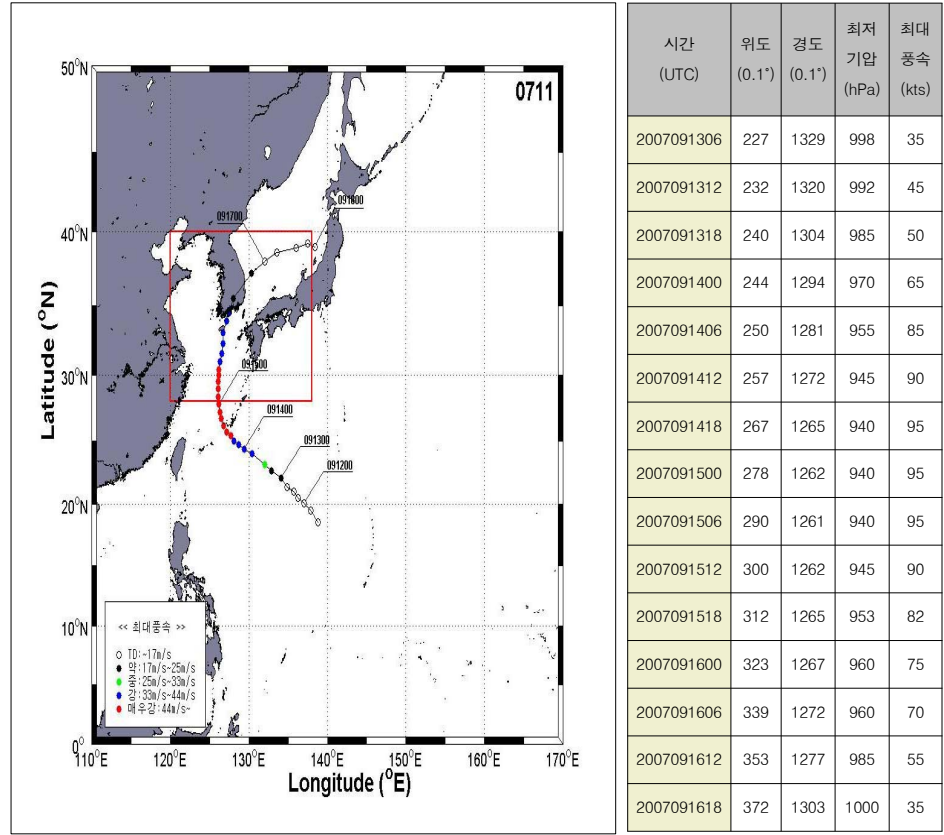
· 태풍시기의 관측기록

기간 : 2006. 7. 8~7. 12

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
완 도	E 28.6	ESE 40.2		123.0	257.0	984.0
	10	10		11		10
여 수	SW 26.7	SW 38.4		164.5	340.0	990.7
	10	10		10		10
고 흥	SSE 11.8	S 25.1	62.0	204.5	337.0	988.5
	10	10	10	10		10
남 해	SE 13.0	ESE 32.0		264.5	442.0	992.8
	10	10		10		10

30. 2007년 11호 태풍 - NARI

· Best track



· 태풍시기의 관측기록

기간 : 2007. 9. 14~9. 18

지명	바람(m/s)		강수량(mm)			최저해면기압 (hPa)
	최대풍향풍속	최대순간풍향풍속	1시간최다	일최다	기간합계	
고 산	NNW 43.0	NNW 52.0		113.5	229.2	979.3
	16	16		16		16
울릉도	NNE 27.1	NNE 52.4		86.5	110.5	999.9
	17	17		16		17
고 흥	NW 16.2	NW 30.7	92.5	239.0	446.0	983.9
	16	16	16	16		16
성 산	ENE 25.9	ENE 43.0		147.5	396.5	963.4
	16	16		15		16

해수면 상승에 따른 연안 취약성 평가모형 연구

2011年 12月 29日 印刷

2011年 12月 31日 發行

編輯兼
發行人

金 學 韶

發行處

韓國海洋水產開發院

서울특별시 마포구 매봉산로 45

전 화

02-2105-2700 FAX : 02-2105-2800

등 록

1984년 8월 6일 제313-1984-1호

組版・印刷 / 한성애드컴 02-2266-6559

정가 15,000원

판매 및 보급 : 정부간행물판매센터

Tel : 02-394-0337