기본연구 2012-11

# 연안의 기후변화 대응능력 평가 및 제고방안 연구

## - 지방자치단체의 적응역량을 중심으로 -

Evaluation and Improvement of Coastal Areas' Climate Change Response Capabilities : with focus on climate change adaptation capability of coastal municipalities

2012. 12.

육근형 · 정지호 · 신철오 · 안용성 · 이아람

KMI 한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

## ◆ 보고서 집필 내역

- 연구책임자
  - 육 근 형 : 제1장, 제2장, 제3장 1・2・6절, 제4장 1~4절, 제5장 1~2절
- 연구진
  - 정 지 호 : 제3장 3~4절, 제4장 3절,제5장 2절
  - 신 철 오 : 제3장 5절, 제4장 3절, 제5장 2절
  - 안 용 성 : 제3장 2절, 제4장 3절,제5장 2절
  - 이 아 람 : 제2장 1절

## ◆ 산·학·연·정 연구자문위원

- 임 영 식(수영 P&C 대표)
- 정 명 국((사)연안협회 소장)
- 김 성 욱(서강대학교 교수)
- 박 원 경(대영엔지니어링 부설연구소 소장)
- 이 호 준(삼성방재연구소 박사)
- 김 남 원(국토해양부 연안계획과 사무관)

* 연구자문위원은 산·학·연·정 순임

## ◆ 연구감리자

- 이 원 갑(한국해양수산개발원 선임연구위원)
- 김 성 귀(한국해양수산개발원 선임연구위원)

# 머리말

기후는 연안의 환경에 영향을 미치는 중요한 요인 중 하나이다. 강풍이나 집중호우, 해수면 상승 등은 바다에 접한 연안에 직접적인 영향을 주기 때문에 연안지역은 이런 요인의 변화를 파악하고 대응수단을 가지고 있어야 한다. 더욱이 해수면 상승은 태풍과 같은 기상현상과 더해져 피해 규모를 확대하고는 하는데, 과거 태풍 매미나 허리케인 카트리나의 피해가 여기에 해당한다.

기후변화 대응과 관련한 논의는 온실가스를 줄이고자 하는 '저감' 정책과 변화한 기후에 맞추어 살아간다는 개념의 '적응' 정책을 중심으로 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다. IPCC 등 기후변화와 관련한 국제적인 기구에서도 각종 보고서를 통해 기후변화와 재해에 대한 적응 정책은 지역 차원에서 대응하는 것이 중요하다고 주장한다. 해당 지역의 여건을 고려해 적응정책을 고안하여야 하며, 분야별로 가능한 각종 적응대책을 통합적 관점에서 검토하여야 한다는 것이다. 고조위와 태풍에 의한 해수면 상승의 피해를 종종 입는 우리나라 역시 연안재해에 대한 사전예방과 대응의 필요성은 인식하고 있으나, 아직까지 이에 필요한 실질적 대응 방안을 확보하지 못한 실정이다. 이에 이 연구에서는 기후변화에 대한 연안지역의 적응정책에 구체적으로 어떤 내용을 담아야 하고, 어떻게 적응 정책을 전개하여야 하는지를 검토하여 실효성 있는 기후변화 적응전략을 제시하고자 하였다.

특히 기후변화 적응정책은 연안 취약성 평가에서 출발하여야 한다는 이전 연구 결과를 활용하여 해수면 상승과 연안 환경조건, 영향 범위, 사회경제 활동, 대응역량을 종합적으로 고려하였다. 시범지역으로 경남 창원시의 마산만을 대상으로 해수면 상승 시나리오에 따라 침수예상지역을 분석하고, 침수예상지역 내 사회경제 분야에 미치는 영향을 평가하였다. 평가

결과 현재 많은 사람들이 거주하고 경제활동이 활발한 상당한 면적의 연안지역이 해수면 상승에 취약하고, 주택은 물론 병원, 학교, 관공서 등 도시 주요시설이 침수 피해에 노출될 것으로 분석되었다. 이미 시범지역에 폭풍해일을 막기 위한 방재언덕이나 방재벽 등 다양한 대책이 논의되고 있으나 여전히 해수면 상승에 의한 외수침수는 물론 집중호우에 의한 내수 침수의 문제, 취약지역의 침수피해 재발 가능성 등은 여전히 해결되지 못한 채 남아있다. 이에 본 연구에서는 연안지역의 기후변화 적응 대책으로 '표사계 중심의 해안선 관리 정책 도입', '도시계획 수단을 활용한 기후적응형 공간계획', '자기책임성을 강화한 경제적 대응 수단의 확보', '연안 지역 내수 및 외수에 대한 침수·범람 대응 매뉴얼 개발', '기후변화 적응 정책을 위한 지역 의사결정 구조 확보'를 꼽고, 이에 필요한 구체적인 이행 수단을 검토했다. 특히 정책대안을 찾는 과정에 시범지역인 창원시의 공무원과 이해관계자, 학계 전문가들과 긴밀한 협의를 통하여 적응 전략을 숙고한 점은 높이 평가할만하다. 또한 정책연구로서 이 연구가 제시한 주요 결론과 정책 제언이 연안의 기후변화 적응 전략을 마련하는 데 실질적이고 의미있는 지침서 역할을 할 것으로 기대된다.

끝으로 이 연구의 책임을 맡은 우리 원의 육근형 부연구위원과 연구진으로 참여한 정지호 전문연구원, 신철오 전문연구원, 안용성 연구원, 이아람 연구원, 그리고 연구 감리를 맡은 이원갑 선임연구위원과 김성귀 선임연구위원의 수고에 깊은 감사를 전한다. 또한 연구의 완성도를 높일 수 있도록 좋은 의견을 제시한 외부 자문위원께도 깊은 감사의 말씀을 전하고자 한다.

2012년 12월

한국해양수산개발원

원 장 **김 학 소**

# 차 례

Executive Summary ——— i

제 1 장 서 론 ——— 1

1. 연구의 배경 및 필요성 ····· 1
2. 연구의 목적 ····· 2
3. 연구의 범위와 방법 ····· 2
   1) 연구의 내용 및 범위 ····· 2
   2) 연구의 방법 ····· 6
   3) 선행연구 검토 ····· 8

제 2 장 연안지역 기후변화 대응의 현황과 한계 ——— 10

1. 연안지역 기후변화 양상과 추이 ····· 10
   1) 연안지역 해수면 상승 경향과 전망 ····· 10
   2) IPCC 5차 평가보고서 예비결과 ····· 15
   3) 해수면 변화에 따른 해안의 영향 ····· 24
2. 연안지역 기후변화 적응정책의 현황과 한계 ····· 30
   1) 국가 기후변화 적응정책 현황 ····· 30
   2) 지자체 적응대책 수립 현황 ····· 35
   3) 기후변화 취약성 관련 연구 ····· 51
   4) 적응정책의 한계 ····· 58

**제 3 장 연안지역 기후변화 대응 부문별 전략** 62

1. 연안지역 기후변화 대응전략의 개요 62
2. 해안선 변화와 연안정비 65
   1) 기후변화와 연안침식 67
   2) 네덜란드 역동적 해안보존(Dynamic Preservation) 정책 86
3. 연안지역 공간계획 99
   1) 국제사회의 기후변화 적응과 공간계획 99
   2) 우리나라 기후변화 적응을 위한 공간계획 위상 및 기능 110
4. 재해영향 평가를 통한 위협요인 관리 115
   1) 사전재해영향성검토협의제도 개요 115
   2) 사전재해영향성검토협의제도 활용의 한계 124
5. 재해보험을 통한 대응 125
   1) 기후변화와 보험의 역할 125
   2) 기후변화와 보험산업 125
   3) 기존의 재해대응 방안 : 풍수해보험 131
   4) 자연재해 관련 정책보험 해외사례 135
   5) 자연재해와 보험산업의 대응 138
6. 연안 침수 및 범람 관리 146
   1) 연안 침수 현상의 사례와 원인 146
   2) 연안 침수범람 방지대책 154

**제 4 장 기후변화 연안 대응전략의 적용** 175

1. 시범적용지역의 선정 175
2. 시범적용 연안 지자체 현황 및 관리여건 181
   1) 창원시 마산만 일반 현황 181
   2) 관련계획 및 사업 현황 183
3. 기후변화 연안적응전략 시범 적용 217

1) 생태적 해안환경 조성전략 ····· 217
2) 재해에 안전한 연안환경 조성 ····· 222
3) 사전예방적 공간관리 수단 적용 ····· 237
4) 연안지역 재해보험을 통한 경제적 접근 ····· 260
4. 시범지역 적응전략 적용의 시사점 ····· 264

**제 5 장 결론 및 정책 제언** ——— 270

1. 요약 및 결론 ····· 270
2. 기후변화에 안전한 연안을 위한 정책 제언 ····· 279
1) 표사계 중심의 해안선 관리 정책의 도입 ····· 279
2) 기후적응형 도시계획으로 진화 ····· 281
3) 자기책임성을 강화한 경제적 대응수단의 확보 : 재해보험 ····· 283
4) 기후변화 대응 연안 침수·범람 대응 매뉴얼의 개발 ····· 284
5) 기후변화 적응을 위한 지역 의사결정 구조의 확보 ····· 286

**참고문헌** ——— 287

**부록. 마산만 침수예상지역 분석** ——— 297

# 표 차 례

표 1-1. 본 연구 방법의 특징 ····· 7
표 1-2. 선행연구 검토 ····· 9
표 2-1. 해안별 해수면 상승률(1993~2008년) ····· 11
표 2-2. 분석기간별 해수면 상승률 ····· 11
표 2-3. 우리나라 주변 해역 해수면 상승률 ····· 12
표 2-4. RCP(대표농도경로)의 복사강제력과 CO2 농도 ····· 16
표 2-5. 불확실성의 정도 ····· 20
표 2-6. 국가 기후변화 적응 종합계획 주요 추진과제 ····· 33
표 2-7. 경기도 적응대책 세부시행 계획상 재난·재해 부문 주요 적응이슈 ····· 37
표 2-8. 경기도 적응대책 세부시행 계획상 해양·수산 부문 주요 적응이슈 ····· 38
표 2-9. 경기도 적응대책 세부시행계획의 연안 관련 주요대책 ····· 39
표 2-10. 전라남도 해수면상승에 대한 기반시설 취약성 평가 ····· 42
표 2-11. 전라남도 갯벌 면적의 취약성 평가 구성 변수 ····· 44
표 2-12. 경상남도 해수면 상승에 따른 침수면적 예측 ····· 47
표 2-13. 경상남도 적응대책 연안 관련 목표 및 대책 ····· 48
표 2-14. 3개 시・도(경기, 전남, 경남) 기후변화 적응 세부시행 계획의 시사점 ····· 50
표 2-15. 연안재해취약성 평가지수의 구성인자 ····· 53
표 3-1. 연안지역 기후변화 영향과 대책 예시 ····· 64
표 3-2. 미국 워싱턴주 올림픽 조각공원의 공법 적용 ····· 86
표 3-3. 네덜란드 주요 양빈 현황(1991~1994) ····· 93
표 3-4. 네덜란드 양빈지역에 대한 종합 평가결과 ····· 96
표 3-5. 광역도시계획수립지침 중 방재계획 주요 내용 ····· 111
표 3-6. 도시기본계획 기초조사 항목 중 연안 재해 관련 항목 ····· 112

표 3-7. 도시기본계획수립지침상 재해 관련 항목 ····· 112
표 3-8. 도시관리계획수립지침상 재해 관련 항목 ····· 113
표 3-9. 사전재해영향성검토협의제도 대상사업 및 관계법령(수자원 및 해양개발) 117
표 3-10. 사전재해영향성검토협의 시 검토항목(공통항목) ····· 120
표 3-11. 해안·도서 지역 입지유형별 검토항목 ····· 123
표 3-12. 전 세계 자연재해 손실 및 인명피해 현황 ····· 128
표 3-13. 자연재해 손실 및 손실률 변화 추이 ····· 128
표 3-14. 타 보험제도와의 비교 ····· 135
표 3-15. 자연재해 정책보험 해외사례 ····· 136
표 3-16. 지리적 규모별 Nat. Cat. 모델의 정확도 ····· 141
표 3-17. 태풍 매미에 의한 시・도별 피해규모 ····· 148
표 3-18. 홍수의 유형 및 특징 ····· 152
표 3-19. 도시침수에 대한 용어 정의와 원인 ····· 153
표 3-20. 우수유출저감시설의 분류 ····· 172
표 4-1. 마산시 재해재난 감시 및 예・경보 체계 ····· 182
표 4-2. 마산구항 방재언덕 설치공사 추진 경위 ····· 183
표 4-3. 마산구항 방재언덕 사업규모 ····· 186
표 4-4. 마산구항 방재언덕 토지이용계획 ····· 186
표 4-5. 마산구항 방재언덕 관련 지역 의견 ····· 187
표 4-6. 태풍 매미 해일고와 빈도별 폭풍해일고 비교 ····· 188
표 4-7. 예상 침수면적에 따른 침수 주택 및 인원 수 ····· 190
표 4-8. 침수 피해액 및 상실된 기회비용을 포함한 잠재적 총 피해비용 ····· 190
표 4-9. 마산만 해일 및 침수피해 대응 대안 비교 ····· 193
표 4-10. 마산해양신도시 개발계획 추진 경위(2010년 기준) ····· 195
표 4-11. 창원시(마산만) 용도지역별 개발가능 건축물 ····· 202
표 4-12. 용도지역별 허용 개발밀도 및 지정 현황 ····· 203

표 4-13. 창원시 해일위험지구 지정 현황 ····· 204
표 4-14. 마산시 개발가능지 분석기준 ····· 206
표 4-15. 마산시 도시기본계획상 용도구분 기준 ····· 208
표 4-16. 해안지구별 해일대책 방안 ····· 210
표 4-17. 연안관리구역 지정 기준 ····· 212
표 4-18. 마산항 시설 개발계획 ····· 214
표 4-19. 풍수해보험 전국 가입 실적 ····· 215
표 4-20. 마산시 2012년 풍수해보험 신규 계약 현황 ····· 216
표 4-21. 마산시 2012년 풍수해보험 보험료 납입 현황 ····· 216
표 4-22. 배후지의 중요도를 고려한 허용월파량 ····· 230
표 4-23. 수치모형에 따른 방재언덕 월파량 실험결과 ····· 230
표 4-24. 물양장 방재언덕 수리모형 실험결과 ····· 231
표 4-25. 방재언덕 제원 비교 결정 ····· 232
표 4-26. 마산만 주요 침수지역 해소대책 ····· 235
표 4-27. 재해 대응 토지이용계획 수립 고려사항 ····· 239
표 4-28. 침수위험관리를 고려한 토지이용계획 수립 절차 ····· 240
표 4-29. 도시계획 기후변화 대응수단 ····· 242
표 4-30. 침수예상지역 토지이용 분석 ····· 248
표 4-31. 침수예상 시나리오에 따른 예상 피해 규모 ····· 250
표 4-32. 침수위험 취약성 건축물 분류(Flood Risk Vulnerability Classification) ·· 253
표 4-33. 침수예상지역 시설물 분포 현황 ····· 254
표 4-34. 영국 침수구역 분류 ····· 255
표 4-35. 영국 침수구역별 적합시설 구분 ····· 255
표 4-36. 창원시 침수구역 구분(안) ····· 257
표 4-37. 창원시 침수구역별 적합시설(예시) ····· 257
표 5-1. 연안지역 기후변화 적응대책 사례 ····· 278

# 그림차례

그림 1-1. 연구 흐름도 ····· 5
그림 2-1. 전 지구 평균 해수면 고도의 변화 전망 ····· 13
그림 2-2. 우리나라 주변해역 평균 해수면 고도의 변화 전망 ····· 14
그림 2-3. 우리나라 해안별 평균해수면 고도 전망 ····· 15
그림 2-4. RCP 시나리오별 일최대강수의 확률밀도함수 ····· 18
그림 2-5. 태풍의 발생지수와 잠재강도의 변화 전망 ····· 19
그림 2-6. IPCC AR4의 해수면 상승 전망 ····· 21
그림 2-7. 증거수준 및 동의수준의 표현 및 신뢰수준과의 관계 ····· 22
그림 2-8. 전 세계 유의파고 분포(1월 기준, 1958~2007년) ····· 25
그림 2-9. 브룬 수식과 모식도 ····· 26
그림 2-10. 국가 기후변화 적응 종합계획의 비전과 목표 ····· 32
그림 2-11. 경기도 10m 이하 저지대 가구수 및 면적 ····· 36
그림 2-12. 경기도 기후변화 적응 파트너십 ····· 40
그림 2-13. 전남 지자체 해수면 상승에 대한 미래 기반시설 취약성 변화 ····· 43
그림 2-14. 국립해양조사원 연안재해취약성 평가체계 개념 틀 ····· 52
그림 2-15. Cape Code 해안의 상대적 연안 취약성 ····· 55
그림 2-16. 해수면 상승의 시공간적 영향범위 설정 모식도 ····· 56
그림 2-17. 해수면 상승 연안취약성 평가모형의 흐름과 검토요소 ····· 57
그림 3-1. 마이애미 해안 양빈구간의 종단돌제 ····· 71
그림 3-2. 일본 돗토리현 가이케 해안 ····· 73
그림 3-3. 순환양빈(Sand Recycle) ····· 75
그림 3-4. 우회양빈(Sand Bypassing) ····· 76
그림 3-5. 노스캐롤라이나 Bald Head Island 지오튜브 돌제군 ····· 77

그림 3-6. 비사포집 울타리 시공사례 ····· 78
그림 3-7. 사구확장(위) 및 사구승고(아래)를 위한 울타리 설치순서 ····· 79
그림 3-8. 식물의 사구안정화 과정 ····· 80
그림 3-9. Habitat Bench의 개념도 ····· 82
그림 3-10. 올림픽 조각공원의 Habitat Bench 설치 예시 ····· 82
그림 3-11. 밴쿠버 컨벤션센터의 Habitat Skirt 설치 예시 ····· 83
그림 3-12. Vertical Garden의 개념 ····· 84
그림 3-13. 시범적으로 설치된 Seawall Habitat Panels ····· 84
그림 3-14. Pocket Beach 개념도 ····· 85
그림 3-15. 네덜란드 해안선 현황 ····· 88
그림 3-16. 네덜란드 해안선 현황도 ····· 88
그림 3-17. 네덜란드 해안사구 전경 ····· 89
그림 3-18. 네덜란드 해안침식 모니터링 모식도와 관측봉 ····· 90
그림 3-19. 네덜란드 양빈의 주요 기법 ····· 94
그림 3-20. 네덜란드 양빈지역 해안퇴적량 및 해안선 변화 경향 ····· 97
그림 3-21. 위험관리수단의 사회경제적, 환경적, 제도적·정치적 교환관계 ····· 104
그림 3-22. 사전재해영향성검토협의제도 협의 절차 ····· 119
그림 3-23. 열대야의 확률 분포 ····· 126
그림 3-24. 아시아의 대규모 자연재해 ····· 129
그림 3-25. 보험손실 증가 추이 ····· 130
그림 3-26. 풍수해보험의 운용 체계 ····· 133
그림 3-27. Nat. Cat. 모델을 통한 홍수 리스크 분석 ····· 140
그림 3-28. Nat. Cat. 모델 결과와 실제 값의 비교 ····· 141
그림 3-29. 다중모델을 통한 정확도의 개선 ····· 142
그림 3-30. Openquake의 표시 사례 ····· 144
그림 3-31. GEM 모델의 지진 리스크 추산 ····· 145

그림 3-32. 태풍 매미 진로도 ····· 147
그림 3-33. 허리케인 카트리나 전후 뉴올리언스 인공위성 영상 ····· 149
그림 3-34. 뉴올리언스 중심부의 침수 전경 ····· 150
그림 3-35. 서울시 표면유출량 변화(좌: 홍수기, 우: 갈수기) ····· 151
그림 3-36. 베니스의 해수위 높이별 발생횟수 추이 ····· 155
그림 3-37. 베니스시 침수 전경 ····· 157
그림 3-38. 베니스 수문 건설과 염습지 복원 모식도 ····· 159
그림 3-39. 베니스 모세 프로젝트 수문 작동원리 ····· 160
그림 3-40. 과거 30년간 일 100㎜ 이상 강우 발생 일수 비교 ····· 165
그림 3-41. 1974년 이후 홍수에 의한 재산 및 인명 피해 추이 ····· 166
그림 3-42. 빗물유출 억제 방법 ····· 167
그림 3-43. 하수도계획의 절차 ····· 169
그림 3-44. 우수조정지의 구조형식 예 ····· 171
그림 3-45. 우수유출저감시설의 종류 ····· 173
그림 4-1. 태풍 산바 진로도(좌)와 바닷물 범람 전경(우) ····· 176
그림 4-2. 마산(위)과 통영(아래) 1시간 조위 자료(2012년 9월) ····· 177
그림 4-3. 통영지역 범람 전경 ····· 177
그림 4-4. 통영항 최극고조위 추이 ····· 178
그림 4-5. 2003년 마산항 조위 변화 ····· 179
그림 4-6. 마산만 조위도 ····· 181
그림 4-7. 마산구항 방재언덕 조감도 ····· 184
그림 4-8. 마산방재언덕 사업계획 평면도 및 토지이용계획 ····· 184
그림 4-9. 마산방재언덕 표준단면도(접안시설 구간) ····· 186
그림 4-10. 마산구항 월류고 도시 ····· 189
그림 4-11. 플랩형 게이트 단면계획 ····· 191
그림 4-12. MOSE 프로젝트 수문 구조물 ····· 192

그림 4-13. 마산해양신도시 서항지구 조감도 ····· 194
그림 4-14. 마산해양신도시 개발사업 위치도 ····· 196
그림 4-15. 마산해양신도시 개발사업 토지이용 계획도 ····· 197
그림 4-16. 해안선 연장 변화 ····· 199
그림 4-17. 창원시 용도지역 지정현황도 ····· 201
그림 4-18. 자연재해위험지구 위치도 ····· 205
그림 4-19. 개발가능지 분석도 ····· 207
그림 4-20. 마산시(구) 도시기본구상도 ····· 209
그림 4-21. 마산시 해일방재 계획도 ····· 211
그림 4-22. 창원시 연안관리지역계획 총괄도 ····· 213
그림 4-23. 마산항계획 평면도 ····· 214
그림 4-24. 연안공간의 구성 ····· 218
그림 4-25. 생태적 연안정비를 통한 마산만의 연안생태환경 개선 방향 ····· 221
그림 4-26. 마산연안 주요 침수지역 ····· 234
그림 4-27. 도시침수 관련 의사결정 방식 ····· 238
그림 4-28. 뉴욕시 침수예상도 ····· 243
그림 4-29. 주요 침수 대응전략 ····· 245
그림 4-30. 해수면 상승 시나리오별 예상 침수범위 ····· 246
그림 4-31. 침수예상 시나리오별 토지이용 현황 ····· 247
그림 4-32. 침수예상 시나리오별 용도지역 지정 현황 ····· 248
그림 4-33. 침수예상 시나리오별 건축물 분포 ····· 249
그림 4-34. 침수예상 시나리오별 시설물 분포 ····· 249
그림 4-35. 침수예상지역 내 침수 취약 시설 분포 현황 ····· 254
그림 4-36. 창원시 침수구역 구분도 ····· 256
그림 4-37. 리스크 관리 기준의 변화 ····· 263
그림 5-1. 마산만 기후변화 적응대책 종합 ····· 275

# Executive Summary

## Evaluation and Improvement of Coastal Areas'Climate Change Response Capabilities: with focus on climate change adaptation capability of coastal municipalities

### 1. Purpose

○ The study aims to comprehensively assess the vulnerability of coastal areas to sea level rise as well as their capability to climate change. By reviewing their climate change response policies based on the coastal vulnerability assessment, the study intends to improve local adaptation capability against climate change.

- As the most vulnerable area to climate change and disasters, coastal areas require comprehensive adaptation policies. However, their different socio-economic, environmental and institutional conditions require flexible and differentiated policy implementation.

### 2. Methodologies and Feature

1) Methodologies

○ Literature analyses on the current impacts of climate change on coastal areas and future prospects

○ Spatial analysis using GIS to analyze vulnerability of pilot areas to sea level rise

○ Workshops with local experts (local government officials, professors and

NGOs) to review the validity of local adaptation policies

2) Feature

○ Based on the Coastal Vulnerability Assessment Model of previous study done in 2011, this study addresses impacts of climate change at the local level and adaptation measures for local community. In addition, proposed measures are applied to pilot coastal areas to assess the vulnerability and adaptation capability to sea level rise, which will give substantial helps and guidelines for coastal community to cope with the sea level rise and relevant phenomenon of climate changes.

## 3. Results

1) Summary

○ After an assessment of vulnerability and adaptation capabilities of coastal areas, the study analyzed problems and presented factors to be considered for effective response policies against climate change.

- The study analyzed flood areas in Changwon City (Masan Bay) under the typhoon and sea level rise scenario. According to the results, key facilities of the city, such as housing, education, health and public facilities were exposed to tidal flooding.
- Masan Bay in Changwon City has problems such as preference to artificial coastal protection, separate response to sea level rise and torrential rain, urban planning unlinked to climate change and non-coverage by disaster insurance.

○ With an analysis on pilot areas, the study presented substantial measures for adaptation, considering environmental, socio-economic and institutional conditions.

- Coastline management: to introduce long-term and ecological coastline management policies focusing on coastal sediments through ecological protection, beach nourishment along with artificial protection
- Urban planning: to apply various urban planning tools, such as set-back, relocation and zoning linked to coastal vulnerability assessment as precautionary measures
- Natural Disaster insurance: to use policy insurance, such as storm and flood insurance for the mitigation and preparation of local residents
- Flooding: to prepare effective measures against tidal flooding by sea level rise and alluvial flooding by localized torrential downpour which is getting worse with expansion of impermeable surface at coastal cities

2) Policy contribution

○ The study presented methodology and policy measures necessary for coastal municipalities to assess their vulnerability to sea level rise and to establish adaptation measures against climate change. By doing so, the study would contribute to enhancing adaptation capabilities to climate change of coastal municipalities.

3) Expected benefits

○ The study proposed adaptation measures based on impacts on coastal areas and their vulnerability to climate change, which will help to maintain socio-economic and ecological sustainability of coastal community.

○ In presenting climate change adaptation policies, the study took “the bottom-up’ approach, which reflected local demands, rather than ‘the top-down’ approach of the past.

# 제1장 서 론

## 1. 연구의 배경 및 필요성

연안은 해양에 대한 접근성을 기반으로 하여 항만 및 배후 물류단지, 산업단지, 해수욕장, 어촌 등과 같은 다양한 경제활동이 이루어지는 곳으로 국가경제적 측면에서 중요한 지역이다. 국가항만인 무역항과 연안항 53개항을 중심으로 국가 경제의 근간이라고 할 수 있는 수출입이 이루어지고, 국가산업단지의 84%가 연안지역에 집중되어 있다. 더욱이 해양관광의 중요한 공간인 해수욕장은 하계에 집중적으로 이용됨에도 불구하고, 연간 이용객이 1억 명이 넘는 등 고밀도로 이용되고 있다.

한편 연안지역은 해수면 상승과 태풍이나 해일 피해 등 재해의 우려가 높은 공간이다. 전 세계 해수면 상승률보다 빠른 상승속도를 보이는 우리나라에서 해수면이 1m 상승한다고 가정하면 서울시 면적의 약 1.6배가 침수되는 것으로 추정하기도 한다(조광우 외, 2002). 그러나 지구온난화에 따른 점진적인 해수면 상승과 더불어 여름철 태풍에 의한 해일이 발생하면서 연안지역에 이상조위가 발생하기도 한다. 2003년 태풍 매미가 내습했을 당시, 마산만 연안 조위가 예측치보다 2m 이상 상승하면서 상당한 면적의 지역이 침수되었고 인명손실과 재산피해도 크게 발생했다.

이미 정부는 2008년 「기후변화대응 종합기본계획」을 통해 '해수면 상승에 따른 연안재해 관리 시스템 구축'을 해양 분야의 주요 과제로 명시하였다. 연안지역, 특히 연안도시는 열파, 집중호우 등 기존에 우려되던 기후변화 영향과 더불어 해수면 상승 및 태풍과 같은 재해에 취약한 상태에서 기후변화 영향이 복합적으로 나타나기 때문에 종합적인 대응정책이 필요한 공간이기도 하다.

## 2. 연구의 목적

이 연구는 해수면 상승에 따른 연안지역의 취약성 및 기후변화 대응능력을 종합적으로 평가하고 이에 기초하여 연안지역의 대응정책을 점검함으로써 지역 차원의 기후변화 대응능력을 제고하고자 한다. 앞서 연안지역의 해수면 상승에 대한 취약성을 평가할 수 있는 개념모형을 검토한 육근형 외(2011)의 연구결과를 활용하여 취약성 평가와 대응능력 제고의 연계성을 강화하고자 한다. 특히 이 연구는 기후변화와 해수면 상승에 따른 연안지역의 위험도와 연안지역의 다양한 경제활동을 구체적으로 고려하기 위하여 해수면 상승에 취약한 연안도시를 시범지역으로 선정하여 해당지역의 기후변화 취약성을 검토하고 기후변화에 대응하기 위한 정책대안을 고려함으로써 실질적이고 실증적인 기후변화 대응 연구가 되도록 하였다. 또한 이 과정에서 현장에서 발굴한 정책대안을 법률과 제도에 어떻게 담을 수 있을지를 고려함으로써 현장에서 발굴한 정책수요를 중앙정부는 물론 전국 차원에서 활용할 수 있도록 하였다.

## 3. 연구의 범위와 방법

### 1) 연구의 내용 및 범위

기후변화 대책은 국내외적으로 초기에는 주로 온실가스 저감에 초점을 맞추었으나, 최근에는 기후변화 자체의 비가역성 내지 탄소 저감 대책과 그 효과 사이에 나타나는 시간적인 지연효과 때문에 기후가 변화한다는 것을 가정하고 사회적으로 대책을 강구하는 적응정책이 중요하게 대두되었다. 2010년 정부에서는 「저탄소 녹색성장 기본법」을 제정하여 저탄소 사회로 나아가기 위한 정책 수립의 법적 근거를 확보했는데, 여기서는 저감 정

책은 물론 적응정책도 수립하도록 명시하고 있다. 동법 제40조에 따라 「기후변화대응 기본계획」을 수립하였고, 특히 적응대책에 관한 사항을 기본계획에 포함하도록 하였으며, 동법 제48조(기후변화 영향평가 및 적응대책의 추진)에 따라 기후변화의 영향을 완화하거나 건강·자연재해에 대응하는 적응대책을 수립하고 시행하도록 하고 있다.

이 연구는 공간적으로 연안지역을 대상으로 한다. 기후변화가 연안에 미치는 영향은 해수면 상승, 집중 호우에 따른 내수배제 불량과 침수, 태풍 강도와 빈도의 변화 등을 꼽을 수 있다. 한편 기후변화 영향을 받는 연안은 다양한 환경요소와 경관으로 구성된다. 해안선 길이만 1만 3,509㎞에 달하는 우리나라는 총인구의 약 27%가 연안에 접한 74개 시·군·구에 살며, 국가산업단지의 약 84%가 연안에 위치한다(국토해양부, 2012). 어떤 곳에는 산업단지와 인구가 밀집한 연안도시가 있기도 하고, 또 다른 곳에서는 해안사구와 해안림으로 된 자연해안이 있기도 한다.

더욱이 해안별로 그 특성은 매우 상이하다. 전 세계의 바다를 생태적 특성에 따라 12개 realm과 62개 province, 232개의 ecoregion으로 나눈 권역 구분(Spadling *et al*., 2007)에 따르면 우리의 동·서·남해의 각 바다는 별개의 ecoregion으로 구분될 만큼 다양하고 독특한 환경을 가진 것으로 평가된다. 연안의 각기 다른 환경 조건은 기후변화에 따른 해양의 변화와 연안에 미치는 영향의 측면에서도 큰 차이를 만든다. 예를 들어 평평하면서 만이 발달하고 조차가 큰 서해안에서는 백중사리 등 만조위에 따라 해수면이 상승하면 인접한 연안 육지의 저지대에 큰 위협이 될 수 있다. 태풍의 주 진행 경로에 있는 남해안은 더 잦아지고 강력해진 태풍이 내습하면 과거보다 더 심각한 침수·범람 피해가 연안지역에 나타날 수 있다. 한편 동해안은 파랑고가 커지면서 해안에서 침퇴적 활동이 더 활발해지고 이에 따라 해안침식이 심해지거나 이상조위가 예측 불가능하게 나타날 수도 있다.

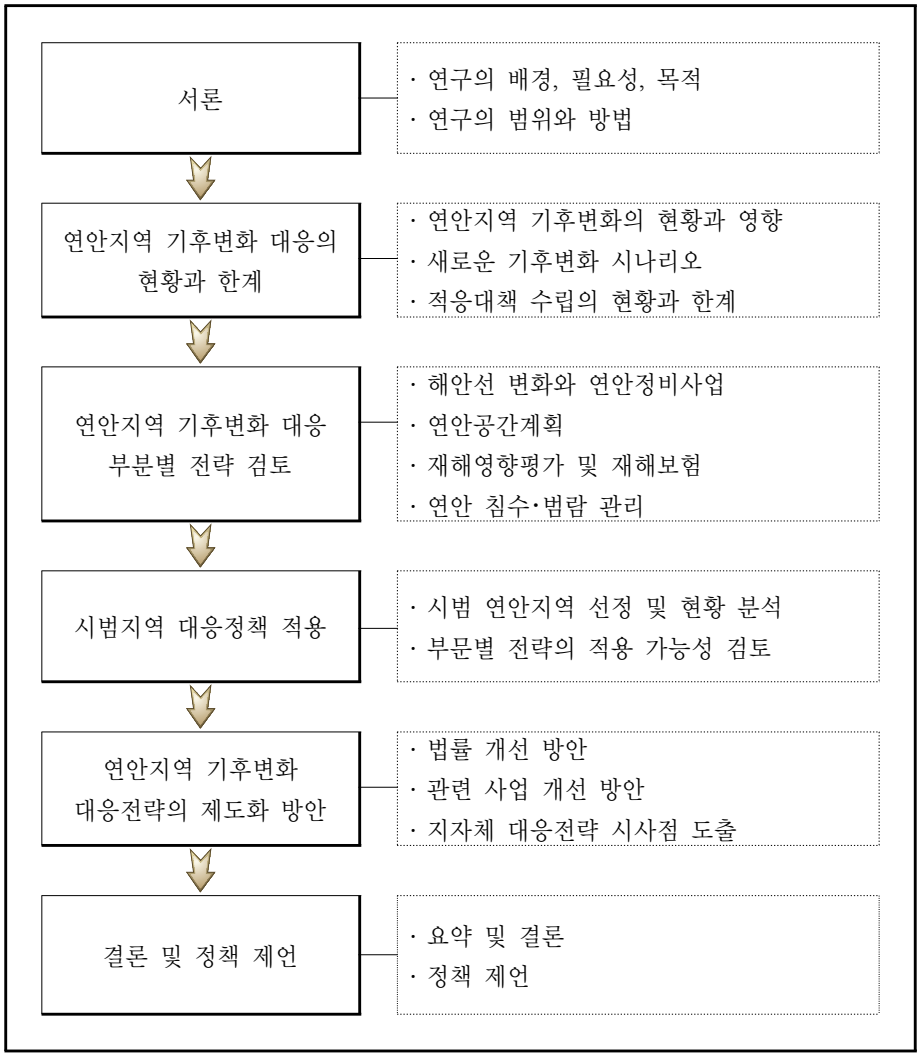
따라서 연안지역 기후변화에 대한 대책은 지역적 특성을 반영하여야

한다. 중앙정부 차원의 법과 제도, 계획이 다양하게 제시되지만, 실제 그 실행은 대부분 지방자치단체의 몫이다. 중앙정부 차원에서 2008년 12월 환경부 주도하에 12개 관련 부처가 공동으로 『국가 기후변화 적응 종합계획』을 수립하였고, 이후 지방자치단체가 적응대책을 수립하고 이행하는 것을 돕기 위해 2009년 5월 『지자체 기후변화 적응 업무 안내서』를 펴내기도 했다. 안내서는 지방자치단체의 입장에서 기후변화 적응정책을 어떻게 수립하고 실행하여야 하는지를 '적응능력의 형성'부터 '이행 및 평가'에 이르는 6단계로 나누어 보여 준다.

국제적으로도 기후변화 대응에 있어 지역적 차원의 적응이 중요함이 강조되고 있다. IPCC가 2012년에 펴낸 특별보고서인 *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*은 지역 차원의 기후변화 대응의 중요성을 역설하고 있다. 극한 기후현상으로 발생해 인명과 재산피해로 이어지는 재난은 해당지역과 지역민에게 닥치는 지극히 지역적인 현상이다. 같은 크기의 해수면 상승이나 태풍의 내습이라도 그 영향과 피해는 지역에 따라 천차만별이다. IPCC(2012)에서도 이런 점에 주목하여 극한 기후사상의 영향은 지역에 따라 인간의 안전을 위협하는 정도가 달라지며, 지역 수준의 취약성은 지역의 사회적, 경제적, 정치적 조건에 따라 달라지기도 한다는 점을 명시하였다.

본 연구에서는 우리나라 연안지역 중 기후변화의 영향을 받기 쉬운 지역을 선정하여 지금까지 국가적 차원에서 제시하였던 여러 가지 연안지역의 대응정책을 적용하고 그 타당성을 검토하고자 한다. 이를 위해 연안지역에 영향을 미치는 기후변화 현상을 구체적으로 검토하고 그 영향의 발생 가능성을 시범지역에 적용하여 기후변화 영향의 정도를 실질적으로 파악하고자 한다. 또한 여러 가지 적응정책을 연안지역의 자연적, 경제적, 사회적 특성에 따라 고려하고 대책의 타당성을 이행가능성의 측면, 경제적·재정적 측면, 사회적인 수용 여부의 측면 등 다각도에서 검토하고자 한다. 이

를 위해 지역의 담당 공무원이나 기후변화 대응에 관심을 가지고 있는 시민단체나 전문가와의 면담 내지 자문을 통해 이 연구에서 검토하는 지역적 차원의 연안지역 기후변화 대책의 타당성을 검토하고자 한다.




**| 그림 1-1 |** 연구 흐름도

### 2) 연구의 방법

기후변화 적응과 관련하여 과거 수행된 연구와 기존에 제안된 다양한 기후변화 적응수단을 시범지역에 적용하고 이를 통해 법률적, 제도적, 사업적 측면에서 한계와 개선 여부를 파악함으로써, 이를 정책대안으로 제시하고자 한다. 이를 통해 지금까지 중앙정부 중심으로 진행된 기후변화 대응대책, 특히 적응대책을 보다 현실적이고 체계적인 형태로 개선하는 데 도움이 되고자 한다. 이를 위해 이 연구에선 주로 ⅰ) 문헌 분석을 통한 연안지역 기후변화 영향의 현황과 전망, ⅱ) 공간분석 기법을 활용한 시범지역 해수면 상승에 따른 취약성 분석, ⅲ) 현지 전문가(공무원, 학계 전문가, 시민단체 등)와 워크숍을 통한 지역 차원의 대응 정책 타당성 검토 등을 활용하고자 한다.

#### (1) 문헌 분석을 통한 기후변화 영향 검토

기후변화로 예상되는 여러 변화 중 연안지역에 일어날 것이라고 예상되는 해수면 상승이나 태풍 해일고 변화, 집중강우 등의 현상은 과거 관측자료의 변화이력에 관한 각종 연구를 통해 확인된다. 해수위의 변화를 관측하는 국립해양조사원의 관측결과나 기상청의 관측기록 등을 분석하여 지금까지 나타난 변화를 검토하고자 한다. 또한 미래 일정 시점에 대한 예측 연구들이 최근 여러 분야에 걸쳐 이루어지고 있는데 이런 연구들을 비교 검토함으로써 신뢰성 있는 연구결과를 최대한 활용할 수 있도록 한다.

| 표 1-1 | 본 연구 방법의 특징

| 특징 | 주요 내용 | 자료수집 | 방법론 선택 이유 |
|---|---|---|---|
| 문헌분석 | - 우리나라 기후변화 관측 기록 분석 및 검토<br>- 기후변화 시나리오에 따른 해수면 상승 예측고 검토 | - 국립해양조사원<br>- 기상청<br>- 시범지역(마산) | - 분야별 신뢰성 있는 국가 관측 및 예측 기록 확인<br>- 과거 피해 조사 |
| 공간분석 | - 시범지역 침수범람 흔적 및 상승 예측고 범위 도출<br>- 영향권역 내 사회경제 활동 파악<br>- 해안별 환경조건 및 관리특성 도출 | - 과거 침수이력 조사<br>- 수치지도 활용<br>- 현장방문을 통한 자료 협조 | - 정밀수치지도(1:1,000)를 활용하여 해수면 상승 영향권역 도출 |
| 현지연구 | - 기후변화 취약 연안지역 선정<br>- 부문별 대응전략 지역 적용 및 타당성 검토 | - 현지 워크숍 및 업무협의 | - 대응전략의 현지 적용성 및 한계 검토 |

### (2) 공간분석을 활용한 시범지역 취약성 분석

기후변화 적응정책의 핵심은 앞서 육근형 외(2011)에서도 지적한 바와 같이 취약성을 제대로 평가하고 지역적 특성을 반영하여 차별화되고 효과적인 적응대책을 수립·시행하는 것이다. 연안지역에서 취약성 평가의 핵심은 영향을 받는 공간을 정확하고 정밀하게 규명하는 것인데, 예를 들어 해수면이 상승하면서 영향을 받는 육지 지역을 예측하기 위해서는 바탕이 되는 지도 자료의 해상도, 특히 수직적인 오차, 즉 지형도 상 고도값의 정밀도가 적어도 해수면이 상승하는 수준보다 높아야 한다. 따라서 최대한 자세하고 정밀하게 대상지역을 볼 수 있는 공간자료를 확보하고 여기서 해수면 상승으로 영향을 받을 수 있는 공간을 분석해 내야 한다. 또한 영향을 받는 권역이 정해지면 그 안에서 이루어지는 사회경제 활동의 현황을 도출할 수 있다. 이는 취약성 평가 모형 연구(육근형 외, 2011)에서도 강조했던

것처럼 대응정책은 해수면 상승이라는 자연현상과 연안의 환경조건은 물론 영향을 받는 연안의 사회경제 활동까지 함께 고려할 때 대책의 효과가 극대화될 수 있다는 지적과 상통한다. 이 연구에서는 공간분석 기법을 활용하여 과거 침수이력과 침수범위를 살펴보고, 향후 해수면 상승 시나리오를 바탕으로 미래의 영향권역을 비교・검토하고자 한다.

#### (3) 현지 연구

이 연구는 기후변화의 피해가 지역의 특성과 여건에 따라 매우 다르게 나타난다는 점에 기초해 적응정책 역시 지역적 차원에서 이루어져야 한다는 원칙에 따라 수행하였다. 지금까지 중앙정부 차원에서 제시된 여러 대응 정책이 실제 지역에서 적용될 때 효과적인지 검토하기 위해서는 시범지역을 선정하고 지역 여건에 적합한 적응정책을 지역의 전문가와 공동으로 검토할 필요가 있다. 이를 위해 시범지역의 공무원과 공동워크숍을 개최하여 부문별 대응전략의 이행가능성과 타당성을 함께 검토하며, 비정부조직인 시민단체나 지역의 학계 전문가의 의견을 수렴하고자 한다. 현장에 기초한 연구를 통해 중앙정부의 제도적 지원이 효과적으로 이행 될 수 있는 정책 제언을 도출하고자 한다.

### 3) 선행연구 검토

기후변화 적응에 관한 연구는 농업, 임업, 수산, 환경, 건강 등 사회 전 부문에 걸쳐 다양하게 진행되고 있다. 여기서는 연안을 대상으로 기후변화 적응정책에 관한 선행연구를 검토하였다. 대부분의 연구가 적응정책, 특히 취약성 분석 등 이론적 측면에서 접근하였고, 특히 기후변화 대응이라는 국제적인 흐름과 연구를 지역에 실행하는 데 도움을 주고자 하는 하향식(top-down) 연구성격을 가진다고 할 수 있다. 반면, 선행연구들의 성격과 비

교할 때 이 연구는 하향식 연구체계로 정책을 수용하는 측면이 강한 기초지자체의 입장에서 적응정책의 적용 가능성을 현실적으로 검토하고, 이를 통해 중앙정부의 제도적 측면에서 개선사항을 제시한다는 점에서 상향식(bottom-up) 연구흐름 특성을 가진다고 할 수 있다.

| 표 1-2 | 선행연구 검토

| 연구 | 내용 |
|---|---|
| 남정호 외<br>(2009) | - 기후변화 대응 레질리언스 개념 소개<br>- 국내 기후변화 분문별 대책의 현황과 문제점 분석<br>- 연안지역 레질리언스 강화를 위한 부문별 대책 제시(연안완충공간 보전 부문, 토지이용 및 도시계획 부문, 재난관리 부문) |
| 조광우 외<br>(2009) | - 해수면 상승 영향 검토<br>- 해수면 상승에 따른 해안침식, 특히 모래해안의 후퇴거리 산정<br>- 해수면 상승에 따른 해안침식 대응방향 제시 : 적응형 관리방안(방치, 방어, 후퇴 등 선택적 활용) |
| 명수정 외<br>(2009, 2010) | - 기후변화 취약성 평가 이론<br>- 사회기반시설의 기후변화 노출 분석<br>- 전문가 설문을 통한 취약성 평가<br>- 사회기반시설 강화를 위한 제도 개선 |
| 조광우 외<br>(2011) | - 해수면 상승 영향평가<br>- 항만 분야 해수면 상승에 따른 영향평가<br>- 하구역 영향 평가 |
| 해양환경<br>관리공단<br>(2011) | - 해수면 상승 대응 연안공간계획 대책<br>- 국제사회 적응형 공간계획 분석<br>- 기후변화 대응 연안공간계획 수립 지침 정비방향 |

# 제 2 장 연안지역 기후변화 대응의 현황과 한계

## 1. 연안지역 기후변화 양상과 추이

### 1) 연안지역 해수면 상승 경향과 전망

#### (1) 우리나라 주변해역 해수면 상승 경향

전 지구적인 기후변화에 관한 연구결과와 과학적 근거, 정책방향을 담고 있는 정부 간 기후변화협의체(IPCC) 4차 보고서(IPCC, 2007)에 따르면, 지난 100년간(1906-2005) 지구 평균기온은 0.74(0.56-0.92)℃ 상승하였고, 지구 평균해수면은 1961년 이후 평균 1.8(1.2-2.3)㎜/yr, 1993년 이후에는 평균 3.1(2.4-3.8)㎜/yr의 속도로 상승하였다고 한다.

우리나라 역시 조위 관측자료를 분석한 결과, 일정 정도의 해수면 상승이 나타난다. 해수면 변동을 정밀분석한 국립해양조사원(2009)의 연구결과에 따르면, 1993년부터 2008년까지 해수면 상승률은 서해 2.9㎜/년, 남해 2.4㎜/년, 동해 2.9㎜/년, 제주부근 6.5㎜/년을 보이고 전체 평균은 약 3.3㎜/년에 달한다. 그러나 이와 같은 경향성도 분석기간에 따라, 관측지점별로 다양하게 나타나고 있어 해석에 유의가 필요하다. 동일한 국립해양조사원(2009)의 연구에 따르면, 부산이나 여수의 경우 과거 30년 기록을 보면 모두 3.2㎜/년의 속도로 해수면이 상승했으나 최근 10년 기록을 보면 각각 0.8, 5.4㎜/년의 속도로 해수면이 하강하기도 한다. 이는 관측자료 자체가 가지고 있는 오차의 가능성은 물론 관측소 주변의 대기 및 해양의 단기 변화 등으로 조위계에 관측된 상대해수면이 영향을 받았기 때문일 수 있다.

| Ⅱ 2-1 | 해안별 해수면 상승률(1993~2008년)

| 서해 | | 남해 | | 제주 부근 | | 동해 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 조위 관측소 | 상승률 (㎜/yr) | 조위 관측소 | 상승률 (㎜/yr) | 조위 관측소 | 상승률 (㎜/yr) | 조위 관측소 | 상승률 (㎜/yr) |
| 안흥 | 2.8 | 완도 | 2.1 | 추자도 | 3.5 | 포항 | - |
| 군산 | - | 여수 | 0.0 | 제주 | 9.4 | 묵호 | 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)<br>군산, 포항, 울릉도는 분석 종류 연도가 2005년 이전(조위관측소 이설)<br>인천의 분석기관은 1999~2008년 | | | | | | |

자료 : 국립해양조사원, 『해수면 변동 정밀분석 및 예측』, 2009

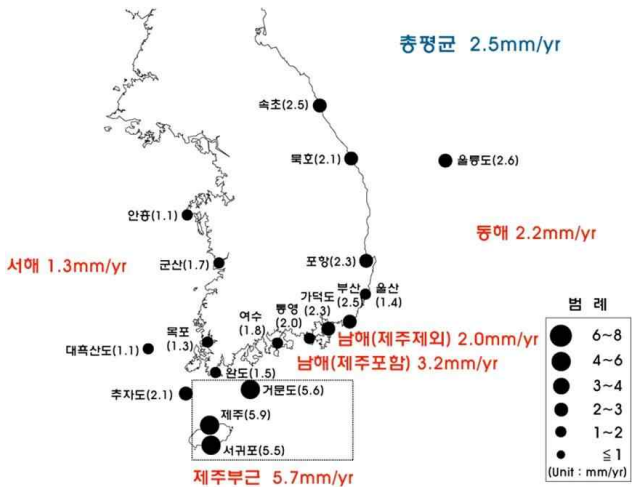
| Ⅱ 2-2 | 분석기간별 해수면 상승률

| 조위 관측소 | 해수면 상승률(㎜/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 |
| 묵호 | 1972 | 2008 | 2.1 | 2.9 | 2.5 | 2.6 |
| 속초 | 1977 | 2008 | 2.6 | 2.5 | 2.2 | 0.1 |

자료 : 국립해양조사원, 『해수면 변동 정밀분석 및 예측』, 2009

이와 같은 상대해수면 변동에 지반의 움직임이나 기압의 영향 등 보정 작업을 거친 절대해수면은 일반적으로 국내외에서 보고되는 해수면 변동과 비슷한 수준의 상승으로(국립해양조사원, 2010), 이 결과에 따르면 서해 1.3㎜/년, 남해 2.0㎜/년, 동해 2.2㎜/년, 제주부근 5.7㎜/년으로 전체 평균 2.5㎜/년의 해수면 상승이 나타나는 것으로 볼 수 있다.

| 표 2-3 | 우리나라 주변 해역 해수면 상승률



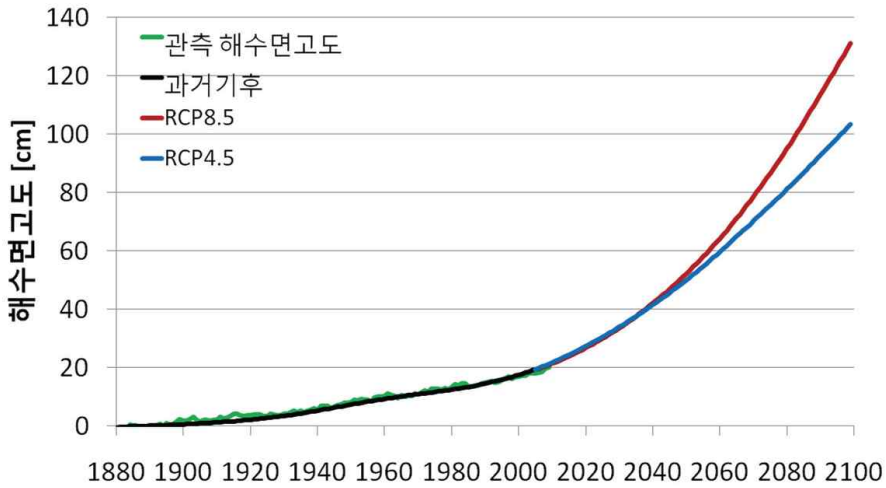

| 구 분 | | 연간 |
|---|---|---|
| **동 해** | | **2.2mm** |
| **남 해** | | **2.0mm** |
| | 부 산 | 2.5mm |
| | 가덕도 | 2.3mm |
| | 통 영 | 2.0mm |
| | 여 수 | 1.8mm |
| | 완 도 | 1.5mm |
| **서 해** | | **1.3mm** |
| 추자도 | | 2.1mm |
| 거문도 | | 5.6mm |
| 제주도 | | 5.7mm |

자료 : 국립해양조사원, 『해수면 변동 정밀분석 및 예측(2차)』, 2010 ; 국토해양부(2011) 재인용

### (2) 향후 해수면 상승 전망

전 지구적으로 해수면 고도는 그린란드나 남극대륙에 있는 육지 빙하인 육빙(陸氷)이 녹으면서 해수의 양 자체가 늘어나고, 또한 수온의 상승으로 바닷물이 팽창하면서 그 체적이 커지게 된다. 우리나라는 물론 전 세계적으로 기후모델에서 열팽창 효과는 수온과 염분의 변화에 따른 해수밀도 변화를 통해 해석하고, 육상 빙하가 녹아들어 나타나는 해수면 상승효과는

준경험적인 방식을 적용하여 미래 해수면 고도를 전망한다(국립기상연구소, 2011, p. 75). 최근 IPCC의 기후변화 제5차 보고서에 선보일 새로운 기후변화 시나리오인 RCP8.5와 RCP4.5 시나리오에 따라 우리나라 기상청에서도 해수면 고도 변화를 전망하였다. 전 지구를 대상으로 한 평균 해수면 고도변화 예측결과 21세기 말(2090~2099년, 10년 평균) 해수면은 1980~1999년 대비 RCP4.5에서 83㎝, RCP8.5에서 108㎝가 상승할 것으로 추정하였다. 이 중 열팽창에 의한 기여분은 각각 24㎝와 34㎝인데, 이 결과는 기존 IPCC의 4차 평가보고서의 시나리오와 비교할 때, RCP4.5는 B1 시나리오의 범위에, RCP8.5는 A2~A1F1의 시나리오 추정범위에 들어간 것으로 평가된다.

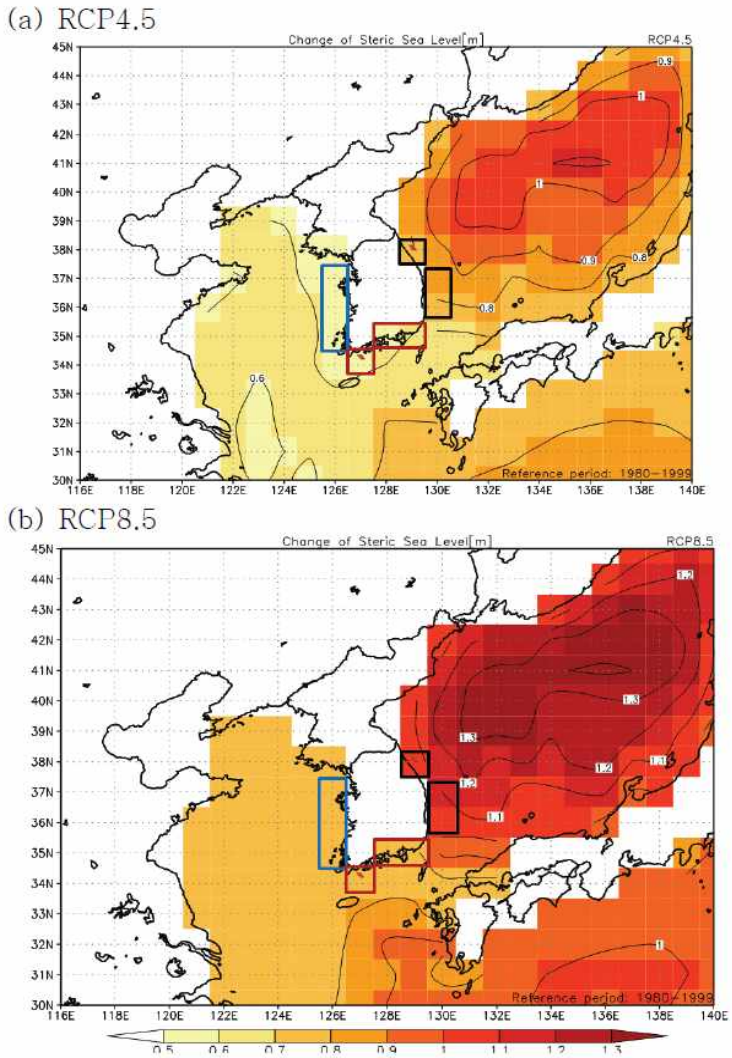



자료 : 국립기상연구소, 『IPCC 5차 평가보고서 대응을 위한 국가 기후변화 시나리오 보고서 2011』, 2011, p. 74

**| 그림 2-1 |** 전 지구 평균 해수면 고도의 변화 전망

동일한 모형에서 우리나라 주변해역도 상세하게 모의되었는데 서해는 수심이 낮아 해수면 상승이 크지 않은 반면, 동해에서는 해수면 상승이 두드러지게 나타난다. 21세기 말 기준으로 동해 북동부의 해역 중앙에서는

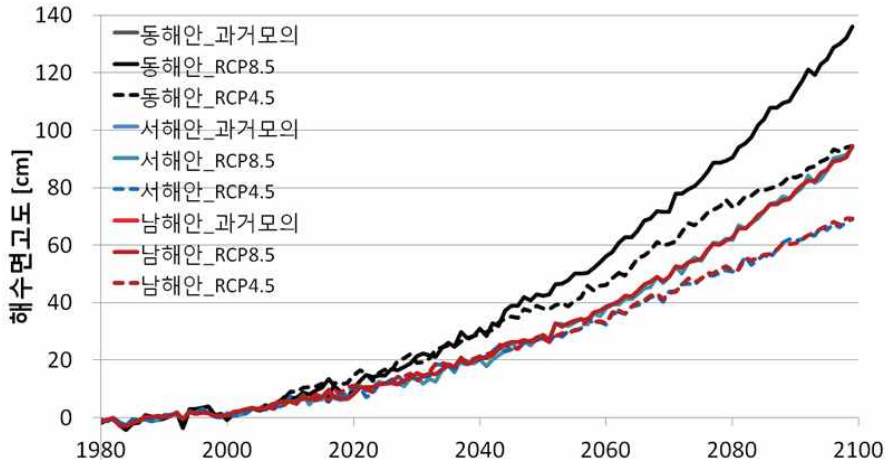
RCP4.5에서 1m, RCP8.5에서는 1.4m에 달하는 해수면 상승이 나타날 것으로 예측되었다. 다만 연안에 가까울수록 상승 정도는 다소 줄어든다.




자료 : 국립기상연구소, 『IPCC 5차 평가보고서 대응을 위한 국가 기후변화 시나리오 보고서 2011』, 2011, p. 72

**| 그림 2-2 |** 우리나라 주변해역 평균 해수면 고도의 변화 전망

위 <그림 2-2>에서 상자로 표시한 곳은 해안을 대표하는 격자로 해수면 상승 예측 자료를 따로 뽑아 시간에 따른 추이를 분석한 결과는 <그림 2-3>에서 볼 수 있다. 해역별 특성과 마찬가지로 동해안에서 1m가 넘는 가장 큰 해수면 상승이 예상되고 남해안과 서해안 역시 1m에 육박하는 해수면 상승이 예상된다. 전반적으로 21세기 후반으로 갈수록 상승속도가 다소 빨라지는 것으로 전망된다.




자료 : 국립기상연구소, 『IPCC 5차 평가보고서 대응을 위한 국가 기후변화 시나리오 보고서 2011』, 2011, p. 77

**| 그림 2-3 |** 우리나라 해안별 평균해수면 고도 전망

## 2) IPCC 5차 평가보고서 예비결과

### (1) RCP 시나리오와 모형

앞서 해수면 고도 변화에 대한 전 지구적 수준과 우리나라 주변해역에 대한 예측결과는 과거와는 다른 기후변화 시나리오에 근거한다. 즉, RCP라는 대표농도경로(Representative Concentration Pathway)를 이용하는데, 이는

지금까지 이용해 온 기후변화 시나리오가 가지는 한계를 보완하기 위하여 인간활동이 미치는 복사강제력을 기준으로 시나리오를 설정했다.

제5차 IPCC 평가보고서에서 활용되는 RCP는 4가지로 현재 추세대로 온실가스가 계속 배출되는 가장 악화된 상황을 RCP8.5으로, 온실가스 저감 정책이 어느 정도 실현되는 경우를 RCP6.0과 RCP4.5로 나누어 구성하며, 지구가 회복력을 가질 수 있는 최대수준으로 RCP2.6을 설정했다. 여기서 숫자는 복사강제력의 변화정도를 의미하는데 인위적인 온실기체와 다른 요소에 의한 효과를 모두 포괄한다. 즉, 태양에서 지구에 도달하는 태양복사에너지가 약 238W/㎡이므로 RCP 8.5, 6.0, 4.5, 2.6은 현재의 태양복사에너지가 3.6%(8.5/238), 2.5%, 1.9%, 1.1% 수준씩 늘어남을 의미한다. RCP는 복사강제력의 증가분을 직접적으로 표시하기 때문에 다양한 종류의 온실가스 영향을 종합적으로 나타냄으로써 기후변화 시나리오 각각이 어떤 의미인지를 보다 알기 쉽게 표현했다고 할 수 있다.

| 표 2-4 | RCP(대표농도경로)의 복사강제력과 $CO_2$ 농도

| 시나리오 | 복사강제력 (2100년 기준) | 농도($CO_2$상당) (2100년 기준) | 경로형태 | 과거 배출 시나리오 |
|---|---|---|---|---|
| RCP8.5 | >8.5W/㎡ | >1,370 | 상승 | A2~A1F1 |
| RCP6.0 | ~6W/㎡ | ~850 | 안정 | A1B |
| RCP4.5 | ~4.5W/㎡ | ~650 | 안정 | B1 |
| RCP2.6(3-PD) | 3W/㎡ 후 감소 | ~490 후 감소 | 상승 후 감소 | - |

자료 : 국립기상연구소, 『IPCC 5차 평가보고서 대응을 위한 기후변화 시나리오 보고서 2011』, 2012, p. 6

기상청 국립기상연구소는 우리나라에서 활용할 수 있는 기후변화 시나리오를 개발 중이다. IPCC의 새로운 시나리오인 RCP를 전 지구 대기-해양 결합모형인 HadGEM2-AO[1)]에 적용해 우선 전 지구 기후변화 시나리오를

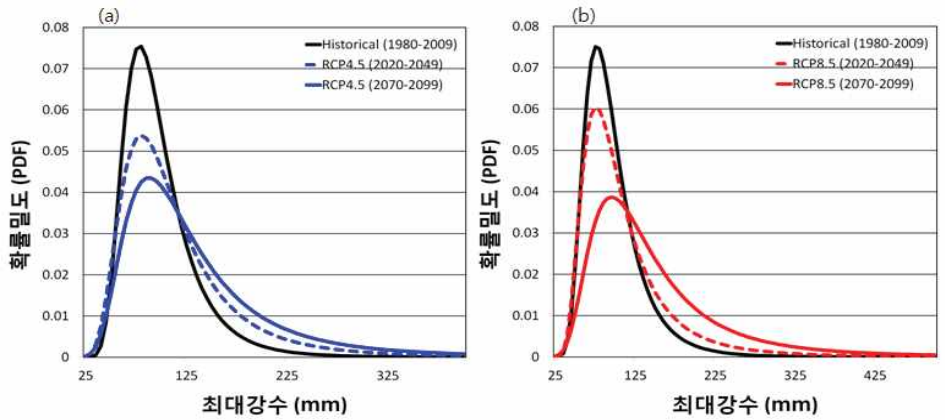
산출한다. 이 모형은 영국 기상청 해들리센터의 기후변화 예측모델로 우리나라 기상청이 영국 기상청과 협력을 통해 활용 중이다. 이 모형은 전 지구를 대상으로 하며 약 135㎞의 공간해상도를 갖는데, 대기모델 기반의 지역기후 모형인 HadGEM3-RA(Atmospheric Regional climate model of Hadley Centre Global Environment Model의 version 3)을 이용해 지역 수준에서도 기후변화를 모의한다. 국내에서는 이 모형을 공간해상도 12.5㎞로 나누어 동서로 200개, 남북으로 180개의 격자를 설정하여 우리나라의 기후변화를 모의했다.

### (2) 최대강우와 태풍의 변화

앞서 우리나라 주변에서 예상되는 해수면 상승고 역시 지역기후모형을 활용한 것으로 여기서는 연안지역에 영향을 줄 수 있는 중요한 환경 변수의 하나인 극한 강수의 변화에 관한 국립기상연구소의 연구결과를 인용하고자 한다. 극한 강수를 보기 위해 일최대강수의 확률밀도함수를 국립기상연구소(2011)에서 제시했는데, RCP4.5에서는 평균을 의미하는 GEV 분포의 위치가 과거 78.5㎜(1980~2009년)에서 21세기 전반기(2020~2049년)에는 84.4㎜, 후반기(2070~2099년)에는 95.2㎜로 지금보다 16.7㎜ 증가하는 것으로 나타난다. 그림에서 보는 것처럼 극한값의 평균적 크기와 변동성이 더욱 커지며 GEV 분포의 꼬리가 지금보다 두터워져 규모가 큰 강수의 발생확률이 증가하는 것으로 전망된다. RCP8.5에서는 그 변화의 폭이 더 커지는 것으로 전망했다.

---

1) Hadley Centre Global Environment Model version 2 - Coupled Atmosphere-Ocean model.

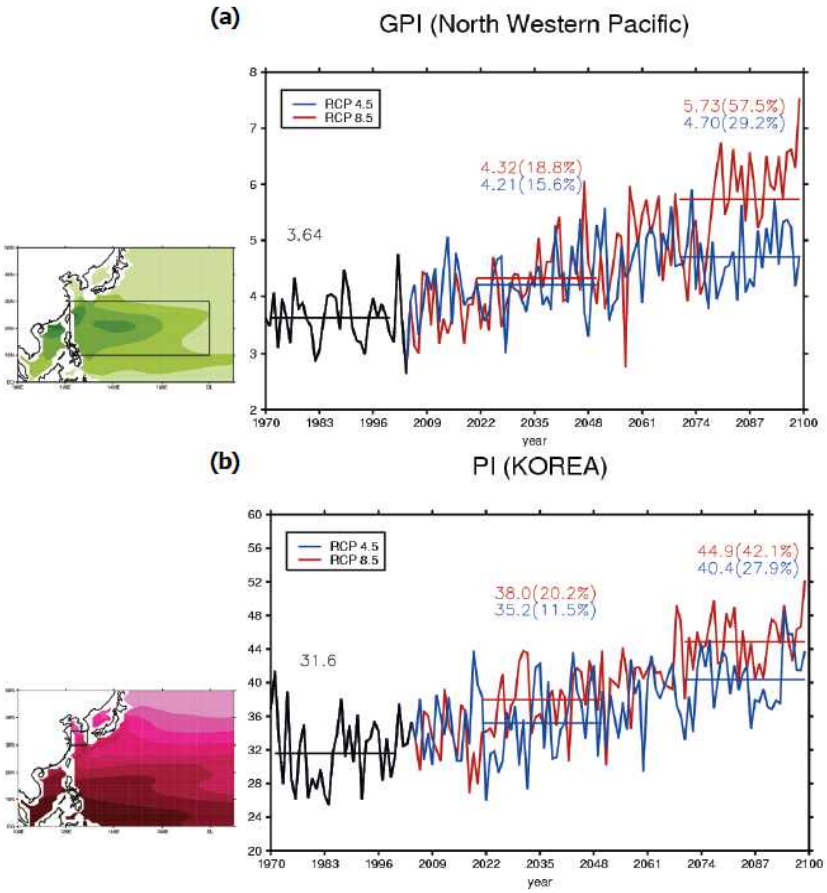



자료 : 국립기상연구소, 『IPCC 5차 평가보고서 대응을 위한 국가 기후변화 시나리오 보고서 2011』, 2011, p. 109

**| 그림 2-4 |** RCP 시나리오별 일최대강수의 확률밀도함수

국립기상연구소(2001)의 기후변화 시나리오에 따른 모의결과에서는 태풍의 변화에 대해서도 언급하고 있다. 기후변화 시나리오에서는 직접적인 태풍 발생의 위치나 강도에 대한 결과가 산출되지 않기 때문에 태풍 발생과 연관된 기상 요소인 태풍발생지수(GPI : Genesis Potential Index)와 잠재적 강도 (PI : Potential Intensity)를 구해 태풍이 발생하는 위치와 빈도를 가늠하였다. 모의 결과, 미래(2070~2999년) 태풍의 발생횟수는 전반적으로 증가할 것으로 나타났으며, RCP8.5 시나리오에서는 북서태평양의 태풍 발생이 크게 증가할 것으로 전망되었다. 반면 남동태평양, 대서양, 인도양 일부에서는 폭풍 발생이 감소하기도 한다.

우리나라에 영향을 주는 태풍은 서태평양에서 발생하는 것들로 태풍발생지수를 기준으로 보면 21세기 전반기에는 1971~2000년에 비해 15.6%(RCP4.5), 18.8%(RCP8.5) 증가하고, 21세기 후반기에는 각각 29.2%, 57.5%로 태풍 발생이 적어도 30% 이상 증가하는 것으로 전망된다. 서태평양에서 발생하여 우리나라 남해안에 내습하는 태풍의 강도도 21세기 말에는 27.9%(RCP4.5), 42.1%(RCP8.5)나 강해질 전망이다.




자료 : 국립기상연구소, 『IPCC 5차 평가보고서 대응을 위한 국가 기후변화 시나리오 보고서 2011』, 2011, p. 51

주 : 상단의 (a)는 태풍의 발생빈도를 나타내는 GPI(Genesis Potential Index)이며, 하단의 (b)는 태풍의 잠재적 강도를 나타내는 PI(Potential Intensity)로 각각 1971~2000년, 2021~2050년, 2070~2099년의 30년 평균값을 산정

**| 그림 2-5 |** 태풍의 발생지수와 잠재강도의 변화 전망

### (3) 시나리오 예측결과 활용의 유의점

지금까지 우리나라를 대상으로 기온과 강수량, 태풍, 해수면 고도의 변화 등을 새로운 기후변화 시나리오에 따라 국제적으로 인정받는 모형을 통

해 전망한 국립기상연구소(2011)의 연구결과는 우리나라에 필요한 기후변화 시나리오를 생산하였다는 점에의 중요한 의미가 있다. 이는 국내 기후변화 영향과 취약성 평가, 적응대책 수립 등 기후변화 대응에 있어 유용하게 활용될 수 있는 기초자료임에 틀림없다.

다만 국립기상연구소의 시나리오 결과를 활용하는 데 주의할 부분도 몇 가지 존재한다. 이 중에서도 특히 기후변화 전망에 관한 결과의 불확실성을 고려하는 것이 중요하다. 과거 IPCC의 3차와 4차 기후변화 평가보고서를 보면 기후변화 전망의 불확실성에 대한 고려를 확인할 수 있다. 아래 <표 2-5>와 같이 발생가능성에 따라 확률적으로 표현할 수 있는 용어를 사용했다. 이는 IPCC가 평가보고서 작성 작업에 참여하는 저자들을 위해 불확실성을 다루는 일관된 방식을 제공한 별도의 지침이라고 할 수 있다.

| 표 2-5 | 불확실성의 정도

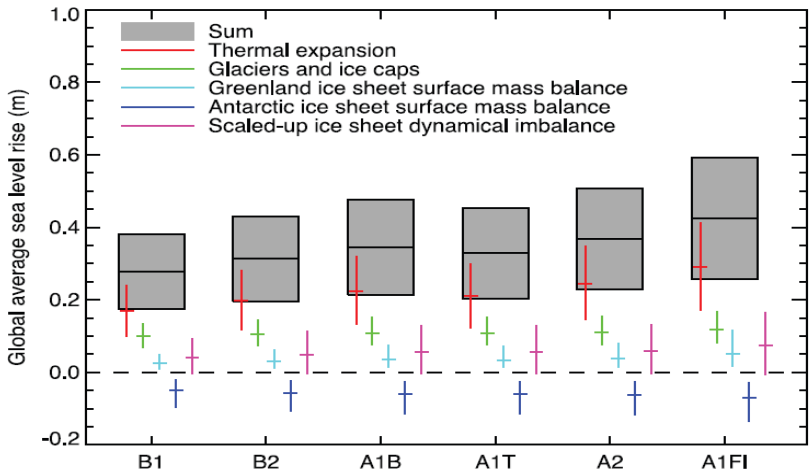
| 용어<br>Term | 결과의 발생가능성<br>Likelihood of the Outcome |
|---|---|
| Virtually certain | 99~100% 확률 |
| Very likely | 90~100% 확률 |
| Likely | 66~100% 확률 |
| About as likely as not | 33~66% 확률 |
| Unlikely | 0~33% 확률 |
| Very unlikely | 0~10% 확률 |
| Exceptionally unlikely | 0~1% 확률 |

주 : 이외에 제한적인 상황에서 extremely likely(95~100% 확률), more likely than not (>50~100% 확률), extremely unlikely(0~5% 확률) 등이 쓰였고 이는 향후 5차 평가보고서에도 활용할 수 있음

자료 : Mastrandrea *et al.*, “Guidance Note for Lead Authors of the IPCC", *Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties,* 2010, p. 3

IPCC가 그들의 평가보고서에 나오는 원인과 결과에 확률 즉, 발생가능성을 언급하는 이유는 기후변화와 그 영향이라는 것이 일종의 리스크의 특성을 가지고 있기 때문이다. 리스크란 발생확률(probability)과 영향의 크기(magnitude)의 곱으로 표현된다. 기후변화에 관한 전망은 발생가능성, 특히

확률 분포를 전제로 한다. 기후변화에 관한 다양한 전망이 때로는 사람들에게 충격적일 수 있는 결과를 보여준다. 그러나 여기에는 확률이 함께 제시되어야 한다. 영향의 크기가 비록 매우 큰 사건이 발생할 수 있다고 해도 그 발생확률을 고려하면 실제 그 대응의 필요성을 검토할 때는 다른 결과를 낼 수밖에 없다. 앞서 4차 기후변화 평가보고서의 해수면 상승에 대한 전망(projections)을 보면, 신뢰구간을 함께 제공하는 것을 확인할 수 있다. 최악의 상황을 가정한 A1F1에 따른 금세기 말 해수면 상승은 5%와 95% 신뢰구간이 각각 26㎝와 59㎝이고 평균은 40㎝를 약간 웃도는 수준이다. 일반 대중에게는 최대값인 59㎝의 해수면 상승이 기후변화의 영향 즉, 영향의 크기를 알릴 때는 효과적이기는 하나 실제 발생가능성은 낮은 전망이다. 이보다는 평균값을 제공하고 5%의 신뢰수준에서 최대 59㎝까지 상승할 수 있다는 기술이 정확하다. 발생확률에 대한 정보는 적어도 국가나 지역 수준에서 기후변화 적응정책을 검토하고 결정해야 하는 정책결정자에게 매우 중요한 정보라는 점을 간과해서는 안된다.

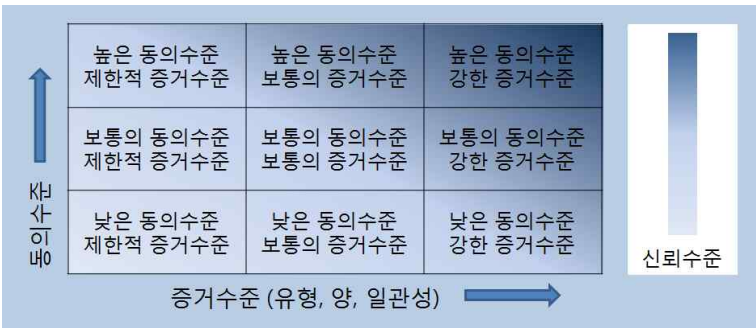



자료 : IPCC, *The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2007, p. 820

**| 그림 2-6 |** IPCC AR4의 해수면 상승 전망

제5차 보고서 작성을 위한 IPCC의 지침(Mastrandrea *et al.,* 2010)에서도 저자들은 어떤 의견이나 추정을 활용할 때는 그 안에 내재한 불확실성에 대해 저자 간에 검토와 협의가 필요하다는 점을 역설하고 있다. 우리가 지식으로 습득했던 기존의 과학적 정보에 대해 사람들은 그 불확실성을 고려하지 않고 관대하게 받아들이는 경향이 있기 때문이다. 특히 비관적일 수 있는 기후변화의 미래 전망을 전 세계인에게 전달하고자 하는 IPCC의 기후변화 평가보고서에서 어떤 증거나 견해에 내재된 불확실성을 정량적으로 알리지 않으면 사람들은 마치 불확실한 전망을 필연적으로 일어날 사실처럼 받아들일 수 있다는 점을 IPCC는 경계한 것이다.

IPCC는 지침을 통해 과거 기후변화 보고서에서 일부 언급하였던 주요 전망이나 결과(findings)에 대한 신뢰도를 함께 제시하도록 하고 있다. 아래 <그림2-7>과 같이 기후변화에서 다루어야 하는 다양한 종류의 증거수준, 그리고 이에 대한 동의수준이 신뢰수준과 어떤 관계를 가지는지를 보여준다. 증거를 표현하기 위해 '제한적(limited)', '보통(medium)', '강력한(robust)'이라는 용어를 사용하고, 동의수준에 대해서는 '낮은(low)', '보통(medium)', '높은(high)'을 사용한다. 증거수준과 동의수준이 높아질수록 신뢰수준은 높아진다고 할 수 있다.




자료 : IPCC, *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation : A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* 2012, p. 21

**| 그림 2-7 |** 증거수준 및 동의수준의 표현 및 신뢰수준과의 관계

극한사상과 재난에 관한 기후변화 적응정책을 다룬 IPCC(2012)의 보고서에서도 앞서 지침에서 주목한 불확실성과 신뢰도를 보고서 전반에 걸쳐 언급하고 있다. 예를 들어, 미국이나 카리브 해 지역에서 허리케인에 따른 손실의 증가에 관한 내용을 보면, 우선 지금까지 관측 자료에 기초한 평가 결과 "열대 저기압 활동의 증가는 관측 능력의 과거 변화를 고려했을 때 40년 이상의 장기간에서는 낮은 신뢰도(low confidence)를 가짐."[2]이라고 평가한다. 전망되는 변화에 대해서는 "열대 저기압의 전 지구적 수준에서 발생빈도가 감소하거나 실질적으로 변하지 않고 유지될 가능성이 높다(likely~unchanged)."[3]로 평가하였다. 이와 같이 증거에 대한 해석과 전망에 대한 신뢰도를 함께 제시함으로써 이를 활용하는 정책결정자는 기후변화에 관한 정보를 보다 정확하게 활용할 수 있게 된다.

반면 앞서 우리가 검토한 우리나라 기후변화 시나리오 결과에서는 불확실성이나 신뢰수준에 관한 언급을 확인할 수 없다. 해수면 상승이나 기타 기상현상의 변화에 관한 전망에 관한 결과물이 대개 하나의 값으로 제시된다. 이는 IPCC의 기후변화 평가보고서가 우려한 것처럼 국내에서도 정책결정자들이 평가 결과를 활용하는 데 제약조건이 되거나 과장된 정보로 오용될 수 있다. 특히 다른 사회적 현안과의 우선순위 비교를 통해 기후변화 적응정책을 결정할 수밖에 없는 정책결정자의 입장에서는 기후변화가 불확실한 정보로 비춰질 수 있고, 때로는 발생가능성이 적은 시나리오를 확대해서 보고했다는 비판에 노출될 수도 있기 때문이다. 향후 IPCC의 5차 평가보고서가 2013년 하반기부터 2014년까지 작업반(Working Group)별로 발간될 예정인 것을 감안하여 우리나라의 기후변화 시나리오도 향후 보완할 필요성이 있다.

---

2) "Observed: Low confidence in any observed long-term (i.e., 40 years or more) increases in tropical cyclone activity, after accounting for past changes in observing capabilities."

3) "Projected: Likely that the global frequency of tropical cyclones will either decrease or remain essentially unchanged."

### 3) 해수면 변화에 따른 해안의 영향

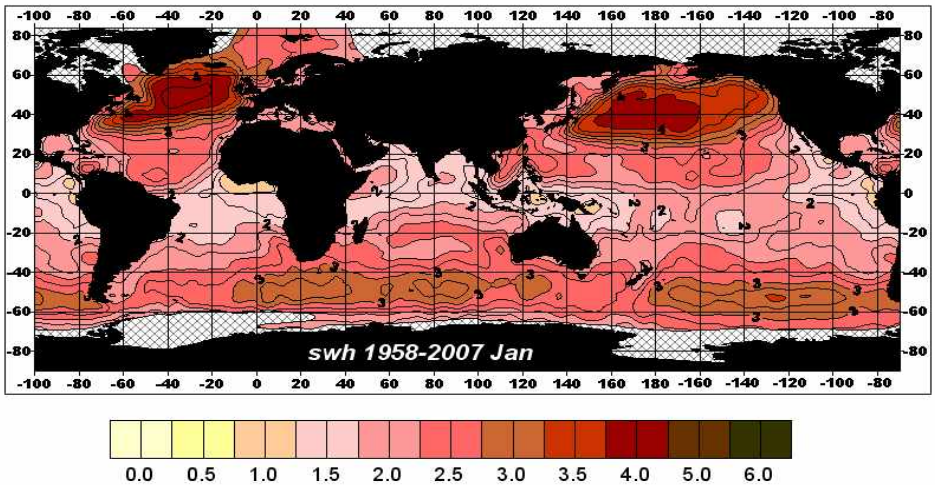
#### (1) 해수면 상승과 주요 영향

해수면 상승은 연안에서 범람의 가능성을 높이거나 해안침식을 악화시키고, 쓰나미나 폭풍해일, 파랑의 효과를 더 크게 만든다(UNESCO IOC, 2009). 여기서는 기후변화에 따라 새롭게 나타나거나 더 강력해지는 해양의 현상들에 관하여 자세히 살펴보고자 한다.

대개 지구온난화에 따른 해수면 상승은 육빙의 용해, 밀도변화에 따른 해수 열팽창 등에 의해 일어난다. 이런 해수면 상승은 급격한 변화는 아니지만 연안에 영향을 주는 여러 기상현상에 대한 연안지역의 피해 가능성 즉, 취약성을 높이는 효과를 가진다. 예를 들어 지진해일보다 강력하지는 않지만 더 자주 발생하는 폭풍해일은 연안에 현실적인 문제가 되고 높아진 해수면은 폭풍해일의 강도를 더 크게 만드는 효과를 낳는다. 대개 온대성 저기압 폭풍에 의한 해일은 겨울철에 발생하고 열대성저기압 폭풍은 여름부터 이른 가을철에 생기는데, 우리나라에 영향을 미치는 태풍은 열대성저기압으로 주로 7월부터 10월까지 발생한다. 폭풍해일은 바람에 의해 만들어진 큰 파도와 함께 연안의 저지대에 피해를 입힌다. 특히 낮은 기압에 의한 해수면 상승 효과(inverted barometer)와 바람에 의한 해수면 상승(wind set-up)이 연안의 지형효과와 맞물려 증폭되면서 해일은 매우 커질 수 있다. 일반적으로 짧은 주기의 파랑은 대개 천해역에서 깨지면서 에너지가 분산되는 반면, 폭풍해일은 높아진 해수면을 유지하며 그대로 연안으로 올라서는 특성이 있다.

폭풍해일은 온대성・열대성 저기압이 발생하면서 일시적으로 영향을 주는 데 반해, 바닷가에 밀려오는 파도는 우리가 바다에 가면 늘 볼 수 있는 현상이다. 파도는 대부분 바람에 의해 만들어지는데 이 중 규모가 큰 너울(swell waves)은 해안에서 멀리 떨어진 심해에서 지속적이고 강력한 바람

에 의해 만들어진 파랑이다. 우리나라는 태평양이나 대서양과 같은 큰 바다를 직접 접하지 않아 흔하게 나타나지는 않지만, 심해에서 바람에 의해 발생한 너울은 골에서 마루까지 높이인 파고가 흔히 15m를 넘기도 한다. 유의파고(significant wave height)[4]의 전 세계적 분포를 나타낸 'Global Atlas of Ocean Waves'[5]의 자료에 따르면, 1958년부터 2007년까지 1월의 유의파고는 북대서양과 북태평양 중위도 해역에서 최대 4m가 넘게 나타난다. 강한 바람이 충분히 불면서 높은 파고의 너울을 만들어 낸 것이다. 큰 바다에서 만들어진 너울은 해안으로 접근하면서 감쇄되는 과정을 거치면서 작아진다. 다행히 <그림 2-8>에서 알 수 있듯 우리나라 주변해역은 일본 열도에 의해 심해파가 상당 부분 차단되면서 큰 바다에서 만들어진 높은 파고의 영향권에 있다고 보기는 어렵다.




자료 : Global Atlas of Ocean Waves의 자료로 자발적 관측선(VOS, Voluntary Observing Ship)으로부터 관측된 자료를 바탕으로 함

**| 그림 2-8 |** 전 세계 유의파고 분포(1월 기준, 1958~2007년)

4) '유의파고'란 어느 한 점을 연속 통과하는 N개의 파를 관측하였을 때, 높은 쪽에서부터 N/3개의 파를 선택하여 파고를 평균한 높이.

5) Global Atlas Ocean Waves, http://www.sail.msk.ru/atlas/ (2012. 6. 20).

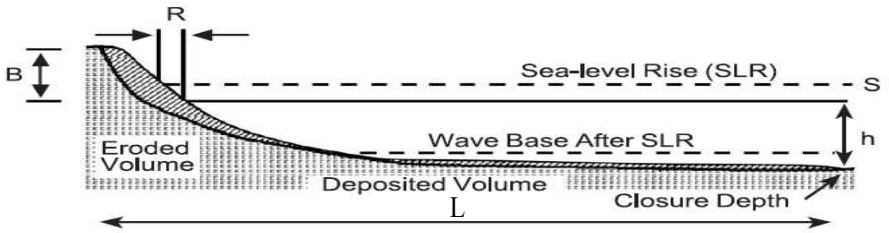
### (2) 해수면 상승과 해안선 변화

기후변화에 따른 해양의 가장 확연한 변화는 무엇보다 해수면의 상승인데, 높아진 해수면으로 저지대나 모래로 이루어진 이른바 연성해안(soft shore)에서는 해안선의 후퇴현상이 나타날 수 있다. 특히 모래해안에서는 높아진 해수면에 파랑의 영향이 겹치면서 해안이 침식되기 쉽다. 침식현상은 퇴적물의 이동이나 지역적인 특수성에 따라 그 원인이 다양하고 침식의 정도 역시 해안의 퇴적 상황에 따라 다를 수 있으나, 전 지구적으로 나타나는 해수면 상승은 해안침식을 더 악화시킬 것으로 전망된다.

해수면 상승과 해안침식의 관계를 설명하려는 연구와 시도는 여러 가지가 있으나 대표적인 모형으로 알려진 i) Bruun rule과 ii) 롤 오버(roll-over) 모형, iii) 침수모형의 세 가지를 검토하고자 한다.

해수면 상승과 해안침식에 관한 초기 설명 모형으로 대표적인 것이 'Bruun rule'로 알려진 수식이다. 1954년 Bruun은 해수면 상승과 해안선의 변화 관계를 동적평형(equilibrium) 상태에 기반하여 수식으로 풀어냈다(Bruun, 1954). 이 수식은 해수면이 상승(S)하면 해안의 단면지형은 새로운 평형 상태를 유지하기 위하여 해안선이 침식되면서 육지쪽으로 후퇴(R)한다는 것이다. 수식은 아래 식(1)과 같다.

$$R=\frac{S}{(B+h)/L}=S\cdot\frac{1}{\tan\Theta} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{식(1)}$$




자료 : Cooper, J. Andrew and Pilkey, Orrin H., "Sea-leve rise and shoreline retreat : time to abandon the Braun Rule." Global and Planetary Change, 43(3-4), 2004

| 그림 2-9 | 브룬 수식과 모식도

해수면 상승에 따른 해안선 이동을 간단한 수식으로 표현한 브룬의 식은 이후 많은 학자들에 의해 비판적 해석이 이루어졌다(Storms *et al.,* 2002; Cooper & Pilkey, 2004; SCOR Working Group, 1991). 그 비판의 대부분은 브룬의 수식이 해안침식에 영향을 주는 여러 해양학적 현상들을 간과하고 있다는 데 초점을 맞추고 있다. 대표적으로 침식과 퇴적이 연안이라는 3차원 공간에서 퇴적물의 동역학적인 표사계[6]에 관한 현상인 데도 불구하고 이에 대한 고려 없이 단순한 2차원의 해안 모식도를 가정하였다는 점이다. 또한 침식되는 연안지역의 언덕높이인 B(berm, 해안 둔덕)와 h(closure depth)가 실제 자연계에서는 해안마다 다르고 때로는 규정하기 어려운 개념이라는 점이다. 때문에 브룬의 수식에서처럼 B와 h는 개념적으로 설정할 수 있으나 현실에서는 이를 적용하기 애매한 경우가 많다는 점도 지적된다(SCOR Working Group, 1991).

브룬과 달리 해안지형의 변화를 해석한 모형이 롤 오버(roll-over) 모형이다.[7] 이 모형은 일종의 해안 지형의 이동을 말하는데, 예를 들어 해수면이 상승하면 사주가 침식되고 침식된 물질이 배후의 석호에 퇴적되면서 내륙으로 이동한다는 것이다. 결국 해수면 상승으로 이동한 사주는 수심과 조석에 대해 이동 전과 동일한 환경을 유지한다. 이런 이동은 모래가 사구에서 바람을 따라 사구 배후지로 이동하면서 또 다른 사구를 형성하고 결국 사구열을 형성하는 것과 비슷한 원리이다. 이에 대해 Carter(1988)는 이동(roll-over)하는 속도와 해수면 상승 속도를 다음의 관계식으로 해석했다(유근배, 2007).

---

6) 표사계(coastal sediment cell)란 독립적인 토사수지체계를 의미함. 해안에 토사는 셀이라고 할 수 있는 일종의 공간구획 안에서 순환하는 것을 가정하는 것으로 국내에서는 이에 관한 연구가 거의 없는 실정임(해양수산부, 2006, p. 12).

7) 롤-오버 모형과 침수모형의 주요 내용은 French(2001)를 번역한 유근배(2007)의 해당 내용을 간략하게 재정리한 것임.

$$\frac{\delta R_1}{\delta t} = \frac{\delta s^1}{\delta t} \tan\beta \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{식(2)}$$

여기서 $\delta R_1/\delta t$는 롤-오버에 의해 내륙으로 이동하는 속도, $s^1$은 해수면 상승속도, $t$는 시간, β는 해빈 전면부의 경사를 의미한다. 그러나 해수면 상승으로 지형의 변화가 있다 하더라도 지형의 구성물질이 무엇이냐에 따라 침식과 퇴적이 달라지고 변화도 다르게 나타날 수 있는데 롤-오버 모형이나 앞서 브룬의 수식이나 모두 이 점을 간과한다.

브룬의 수식, 롤 오버 모형과 함께 높아지는 해수면과 해안선 변화에 대한 또 다른 접근이 침수모형(drowning model)이다. 브룬 수식의 전제는 해안지형이 해수면 상승에 반응하여 동적 평형을 유지한다는 것인데 만약 해안지형의 반응이 느리면 동적 평형을 유지할 수 없게 된다. 예를 들어 사주섬이 매우 느리게 움직이는 지역에서는 해수면이 증가하는 속도가 사주섬이 내륙으로 이동하는 속도보다 빠르게 되고, 결국 사주섬이 수면 아래로 가라앉게 된다. 하구역의 염습지 역시 해수면의 상승 속도에 발맞추어 지면고도가 높아지기 위해서는 하천을 따라 퇴적물의 공급이 원활해야 하는데 해수면 상승률을 따라 잡지 못하면 염습지 역시 급격한 환경변화를 맞게 되고 어떤 경우 식생대가 있던 곳이 잦은 침수의 결과 식생이 없는 갯벌로 변할 수도 있다.

여러 모형 중 브룬의 수식은 많은 한계에도 불구하고 전 세계 여러 국가에서 해수면 상승에 따른 연안지역의 예상후퇴선을 잡을 때 많이 활용된다. 왜냐하면 브룬의 식처럼 단순하고 이용하기 쉬우며, 이 식 외에는 해수면 상승과 연안침식을 해석할 때 설명력이 높은 수식이 아직까지 등장하지 않았기 때문이다. 그러나 침식에 관한 문제는 적어도 우리나라에서는 단순히 해수면 상승의 결과로만 보기는 어렵다. 침식이 크게 문제가 되는 동해

안이 남해나 서해에 비해 해수면 상승이 빠르게 나타난다고 하기 어렵기 때문이다. 다만 지금까지 이루어지고 있는 침식에 관한 여러 가지 연구와 모니터링 결과를 해석할 때 해수면 상승을 함께 검토할 필요는 있는 것으로 보인다.

지금까지 논의한 해수면 상승이나 폭풍해일, 이상너울, 해안침식 등 연안에 나타날 수 있는 여러 가지 현상은 사실 두세 가지가 동시에 일어날 때 해안에 심각한 영향을 미친다. 또한 해양의 중요 물리현상인 조석도 고려하여야 하는데 바닷물이 차는 만조 시기에 폭풍해일 등 기상 현상이 함께 발생하면 해안에 심각한 침수와 범람이 발생할 수 있다.

한편 연안지역의 범람원이나 하구의 삼각주에서는 앞서 언급한 해양학적인 현상뿐만 아니라 하천 범람의 영향도 함께 받는다. 예를 들어 폭풍해일의 경우 상당한 양의 강수를 동반하는데 만조나 폭풍해일로 해수면이 높아지면 이는 마치 담수가 되는 하구에 댐이 생긴것과 같은 역할을 하게 된다. 일반적으로 온대성 저기압에 의한 폭풍해일과 하천의 범람은 종종 동시에 발생하곤 한다고 한다(UNESCO IOC, 2009). 우리나라의 한강이나 낙동강과 같은 대형하천은 높아진 해수면이 자연적인 댐과 같은 역할을 할 수 있는 자연형 하천이 아니기 때문에 직접적으로 해수면 상승과 하천범람의 영향이 명확하게 드러나지는 않는다. 그러나 소규모 하천이나 하구언이 있는 하천의 경우 빗물이 빠져나갈 하구에 만조나 폭풍해일 등으로 수위가 높아지면 빗물이 역류하거나 하구역에 범람을 일으킬 우려는 여전히 남아 있다.

### (3) 해수면 상승에 따른 연안지역 침수

해수면 상승과 관련해서 해수면 높이의 변화는 평균해수면의 변화를 기본으로 한다. 평균해수면은 일정 기간 조석을 관측하여 산술평균한 높이

를 기본수준면(약최저저조면, DL.) 기준으로 보정한 것으로, 기본수준면은 일정기간 조석 관측 결과 가장 낮은 해수면을 말한다. IPCC에서 낸 기후변화 평가보고서에 따르면 기온상승과 더불어 나타나는 해수면 상승은 1961년 이후 2003년까지 평균 1.8㎜/yr의 상승속도를 보인다. 약 40년으로 보면 10㎝가 되지 않는 상승 정도에 해당한다. 한편 향후 해수면 상승이 가속화할 것이라는 전망과 함께 B1에서 A1F1에 이르는 다양한 시나리오에 따르면, 금세기 말까지 0.18m에서 0.59m에 달하는 해수면 상승이 예측되기도 한다.[8] 약 100년 후를 가정해도 1m에 달하지 않는 해수면 상승이 예측되는데, 실제 연안에서 나타나는 태풍이나 너울, 해수면 이상변동의 크기에 비하면 상당히 작은 편이다. 다만 기후변화로 해수면이 높아지면 과거와 동일한 크기의 태풍과 해일이어도 침수와 범람의 가능성은 더 높아진다는 점에서 함께 고려할 필요가 있다.

## 2. 연안지역 기후변화 적응정책의 현황과 한계

### 1) 국가 기후변화 적응정책 현황

2008년 8월 정부는 새로운 국가비전으로 '저탄소 녹생성장(Low Carbon, Green Growth)'를 제시하면서 9월 총리실이 중심이 되어 범부처 「기후변화 대응 종합기본계획」을 발표하였다. 기본계획은 과거 협약대응 중심의 기후변화 대응에서 나아가 저탄소 사회 구현과 이를 통한 국가 신성장동력으로 삼겠다는 적극적인 의지를 드러낸 것이라 할 수 있다. 또한 국민의 삶의 질도 함께 제고할 수 있도록 기후변화 적응대책의 추진을 명시했다. 이명박

8) IPCC의 제5차 기후변화 평가보고서는 미발간된 잠정 결과이므로 여기서는 IPCC의 제4차 보고서를 기준으로 함.

정부에서 제시한 종합기본계획은 과거 정부의 대응이 기후변화협약 중심에 머물던 것에서 나아가 적극적으로 국가 수준의 기후변화 대응 계획을 제시했다는 점에서 진일보한 것으로 평가된다. 특히 기본계획이 과거 기후변화 대책에서 중요하게 다루지 않던 적응대책을 통한 안전한 사회 구축의 필요성을 언급하였다는 점이 주목된다. 이를 위해 『국가 기후변화 적응 종합계획』을 수립하여 부문별 기후변화 영향인자를 검토하고 적응정책을 우선순위에 따라 추진하도록 하였다.

2008년 12월 정부는 부처공동으로 『국가 기후변화 적응 종합계획』을 발표하였다.[9] 2009년부터 2030년까지 약 20년 이상의 계획 기간을 잡되 단기(2009~2012년)와 중장기(2013~2030년)로 나누어 목표를 제시하였다. 단기 목표는 '종합적이고 체계적인 기후변화 적응역량 강화'로 이들 위해 한반도의 시공간적 취약성 지도를 완비하고 예측·감시 기술을 선진국 대비 70% 수준으로 올리고자 하였다. 장기목표로는 '기후변화 위험 감소 및 기회의 현실화'로 설정하여 기후변화 적응 프로그램을 수행하고 2030년 기상재해로 인한 인명손실과 재산피해를 과거 10년(1996~2005년) 대비 10% 감소시키고, 기후변화 적응 관련 사업을 GDP 대비 1%가 되도록 성장시킨다는 것이다. 여기서 적응 관련 사업이란 주로 방재산업, 보험, 컨설팅, 기상산업, 기후의료산업, 자연복원사업, 신품종 개발 등이다.

9) 이 계획은 국무총리가 위원장인 '기후변화대책위원회'에서 수립을 결정하였으나 법률상 명시된 법정계획은 아니었음. 그러나 2010년 4월 「저탄소 녹색성장 기본법」이 제정되면서 기존에 수립된 적응계획 내용의 대부분을 수용하여 2010년 10월 「국가 기후변화 적응대책(2011~2015)」을 법정 계획으로 수립함.

| | |
|---|---|
| 비전 | **기후변화 적응을 통한<br>안전사회 구축 및 녹색성장 지원** |

| | |
|---|---|
| 목표 | <단기목표(~'12)> : **종합적이고 체계적인 기후변화 적응역량 강화**<br>– 한반도 시·공간적 취약성 지도 100% 작성<br>– 예측·감시 기술 수준 선진국 대비 70% 달성<br><장기목표(~'30)> : **기후변화 위험 감소 및 기회의 현실화**<br>– 과거 10년(1996–2005) 대비 기상재해피해 10% 감소<br>– 기후변화 적응 관련 생산 GDP 대비 1 % 달성 |

|그림 2-10| 국가 기후변화 적응 종합계획의 비전과 목표

계획의 중점 추진과제에는 주로 기후변화에 대한 감시와 예측 능력을 고도화하고 기후변화 영향과 취약성을 평가하며 부문별로 기후변화 적응 프로그램을 추진하는 것이 포함된다. 세부적으로는 생태계, 물관리, 건강, 재난, 적응산업·에너지, 사회기반시설의 6개 부문으로 구분된다.

재난 부문에서는 특히 국토개발계획과 방재정책을 연계하여 상습침수 지구의 주민을 이주시키고 재개발을 통해 근본적인 위험요인을 줄이거나 지구단위로 홍수방어기준을 설정하는 등 우리 연안에도 적용할 수 있는 공간계획과의 연계가 언급되어 있다. 재해대책으로 재해 유형별 기후변화 취약성 지도를 작성하고 방재기준을 강화할 것을 주문했다. 이에 따라 자연재해 저감시설물의 설계용량을 높이고 설계기준을 재설정하도록 하였다. 또한 최근 도입된 풍수해보험을 활성화하여 재해 발생 시 적응능력을 증진할 필요가 있으며, 특히 그동안 풍수해 보험의 적용 대상이 아니었던 상가나 공장 등에 대한 풍수해 보험 시범사업을 추진하고 이를 전국으로 확대할 것을 제시했다. 한편 국가적으로는 위험분산과 복구비용에 대한 부담을 덜기 위해 국가재보험을 도입하기로 하였다.

사회기반시설 부문에서는 해수면 상승에 대비한 효율적인 국토 및 도

시개발 방안을 마련할 것과 연안항 항만 시설물의 안전성을 평가하고 보수·보강방안을 수립할 것, 대규모 산업단지에 대한 기후변화 취약성 저감 방안을 수립할 것 등이 구체적으로 언급되어 있다. 계획에서는 이들 6개 세부 적응프로그램 이행을 지원하기 위하여 제도적 지원 방안을 담고 있는데, 지자체와 관련해서는 '지자체 적응 가이드라인'을 개발하고 보급하는 것과 중앙정부와 지자체가 협력체계를 구축하여 적응정책을 포함한 '지자체 기후변화대응 종합대책' 수립을 유도하는 것이 제안되어 있다.

| Ⅲ 2-6 | 국가 기후변화 적응 종합계획 주요 추진과제

| 추진전략 | 추진과제 | 세부추진과제 |
|---|---|---|
| 기후변화 위험평가 체계 구축 | 기후변화 감시 및 예측 능력 고도화 | |
| | 기후변화 영향 장기모니터링 | |
| | 부문별 영향 및 취약성 평가 | |
| 부문별 적응프로그램 | 생태계 | 자연/산림/농업·해양 |
| | 물관리 | 수자원/물환경/홍수 |
| | 건강 | 건강영향/대기오염/전염병 |
| | 재난 | 위기관리체계/산림재해 |
| | 적응산업·에너지 | 농업/임업/수산업/에너지/제조·서비스 산업 |
| | 사회기반시설 | 국토·도시의 적응체계 |
| 국내외 협력 및 제도적 기반 확보 | 적응 역량 배양을 위한 여건 조성 | |
| | 국내외 협력기반 구축 및 교육·홍보 | |

2010년에 수립된『국가기후변화적응대책』은 2008년에 수립된 적응종합계획과 대동소이하지만 내용적으로 보다 세분화되었고 해양과 수산업을 함께 묶어 적응대책을 제시하였다. '해수면 상승 대응 및 안정적 수산식량

자원 확보'라는 정책적 목표를 달성하기 위해 ⅰ) 해수면 상승으로 인한 연안변화 관리체계 및 적응방안 마련, ⅱ) 기후변화에 따른 어장변화 감시·예측 및 미래수산자원 확보 추진, ⅲ) 수산생물 감염성 질병·산성화 피해 저감 및 수산업 재해경감 대책 수립이 제시되었다. 특히 첫 번째 연안변화 관리체계는 침식 등으로 최근 문제가 되고 있는 연안지형의 변화와도 밀접한 관계가 있다. 종합대책의 해양·수산 분야에서 수산을 제외하고 해양·연안관리에 국한해서 보면 세부과제로 '해수면 상승 대응 연안취약성 평가'와 '연안 외력변화 예측 및 대응을 위한 과학적 관리체계 구축', '기후변화 대응 국토 해안 지형변화 및 적응방안 수립'이 제시되어 있다.

기후변화 적응 종합계획이나 이후 적응대책에서 중앙과 지자체와의 협력체계 구축과 지자체 수준의 적응계획 및 대응계획을 수립하도록 하고 있는데, 이것은 기후변화 적응의 속성상 적절한 주문이라고 할 수 있다. 온실가스 저감 정책은 대중교통 이용 확대와 같은 개인의 노력이 수반되어야 가능한 분야도 있지만 대부분 중앙정부가 추진하는 정책에 그 성과가 많이 좌우되는 특성이 있다. 반면 적응정책은 사회 모든 부문에 걸쳐 실행이 필요한 부분이다. 특히 지역민의 생활과 밀접한 관계를 갖는 지방자치단체 수준에서 추진할 사항이 많다. 지역에 따라 기후변화의 영향이나 취약성이 크게 다르고 이에 따라 어떤 정책을 수립하고 실행해 나갈지도 달라지기 때문이다.

지역 차원에서 수립하는 계획의 중요성은 이미 기후변화협약문에도 언급되어 있다. 협약문 제4조 1항 b에 따르면 '몬트리올의정서에 의하여 규제되지 않는 모든 온실가스의 배출원에 따른 인위적 배출 방지와 흡수원에 따른 제거를 통하여 기후변화를 완화하는 조치와 **기후변화에 충분한 적응을 용이하게 하는 조치**를 포함한 국가적 계획 및 적절한 경우 **지역적 계획을 수립·실시·공표**하고 정기적으로 갱신'하도록 되어 있다.[10] 국내에서 진행 중인 지역 차원의 적응계획의 추진에 관해서는 다음 절에서 다루고자 한다.

### 2) 지자체 적응대책 수립 현황

앞서 언급했던「저탄소 녹색성장 기본법」제48조에 따르면 정부는 기후변화 적응대책을 수립·시행하도록 되어 있다. 특히 대통령령에서 관계중앙행정기관의 장 및 시·도지사는 기후변화 적응대책에 따라 소관 사항에 대하여 기후변화 적응대책의 세부 시행계획을 수립·시행하도록 하고 있어 최근 시·도 수준의 지방정부에서 기후변화 적응대책 세부 시행계획을 수립 중이다. 대개 각 시·도에 소속된 지방발전연구원이 시행계획을 수립하는데 여기서는 연안에서 경제활동이 많은 경기도와 전라남도, 경상남도의 기후변화 세부시행계획을 대상으로 연안 및 해양과 관련된 대책을 비교·분석하였다.

#### (1) 경기도 기후변화 적응대책 세부시행계획

##### ① 개요

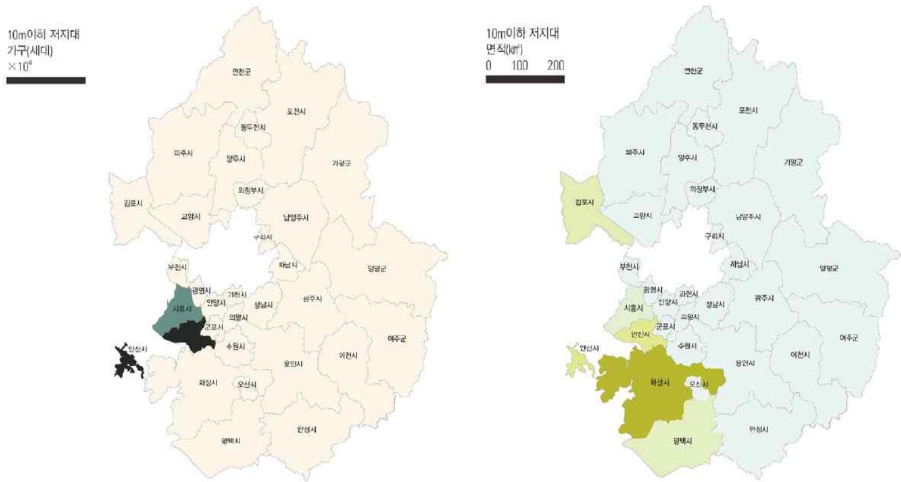
경기도(2012)의 기후변화 적응 세부시행계획은 총괄과 부문별 적응대책으로 나뉘어 있다. 총괄에서는 경기도 기후변화 현황 및 전망, 기후변화 영향 및 취약성 평가, 적응의 비전과 목표, 중점사업과 추진체계로 구성된다. 부문별 적응대책에서는 건강 부문을 비롯하여 재난·재해, 농업, 산림, 해양·수산, 물관리, 생태계, 적응기반 등 사회와 자연 전 부문을 망라한다.

해양・수산을 중심으로 살펴보면 연안지역의 취약성이 공간분석 기법을 통해 검토된 점이 주목할 만하다. 경기도의 시행계획에서는 취약성 평

---

10) "~ (b) Formulate, implement, publish and regularly update national and, where appropriate, regional programmes containing measures to mitigate climate change by addressing anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of all greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol, and **measures to facilitate adequate adaptation to climate change**;".

가로서 10m 이하의 저지대 면적과 가구(세대) 분포를 지리정보체계를 활용해 분석했다. 분석 결과, 안산시 60.919㎢, 6만 1,893세대, 시흥시 30.731㎢, 3만 4,758세대 등 경기도 내 시별로 저지대 면적과 가구수를 도출했다.




**|그림 2-11|** 경기도 10m 이하 저지대 가구수 및 면적

이와 함께 경기도의 세부시행계획에서는 연안침식 모니터링 결과를 검토하였는데 경기도 내에서는 연안침식 우려가 적은 것으로 봤다. 해수면 상승은 1m를 검토하고자 하였으나, 과거 전국 차원에서 진행한 연구결과만 인용하였고 침수면적이나 영향을 받는 인구는 별도로 제시하지 못했다. 한편 수산업은 수온 변화에 따라 어종 변화 등의 영향을 받는데 경기도 계획에서는 과거에 진행된 관련 연구결과를 인용하면서 수온 변화에 따라 수산업, 특히 양식업에 미치는 민감도는 특별히 높다고 보지는 않았다.

경기도의 세부계획에서는 적응 이슈별로 취약성과 위험도를 검토한 후 정성적인 설명과 함께 주로 어떤 문제에 대응해야할지를 제시하였는데, 재난·재해 부문에서는 연안과 관련하여 '도시 배수시스템의 용량초과와 파

손'" 등이 해양·수산 분야에서는 '어획량 변화 및 수산업 피해'와 '어항 등 연안기반시설 및 저지대 침수', '해안 침식 및 유실'의 순으로 적응할 필요가 있다고 제시했다.

| Ⅱ 2-7 | 경기도 적응대책 세부시행 계획상 재난·재해 부문 주요 적응이슈

| 현재 및 미래 주요 스트레스 | 관련 기후 조건 | 현재 기후 변화 영향 | 미래 기후 전망 | 미래 기후 변화 영향 | 취약성 | | | 위험도 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 민감도 | 적응 능력 | 취약성 | 영향 심각성 | 발생 가능성 | 위험도 |
| 건물 및 공공시설 관리 | 폭염·호우·태풍 | 건물의 열적 안정성 저하 | 기온 상승 | 건물 열적 안정성 저하 | L | L | L | L | L | L |
| | | 저지대 건물침수 및 파손 | 호우·태풍 빈도·강도 증가 | 건물 침수파손 피해 증가 | H | L | H | H | H | H |
| | | | | 도시 배수시스템 용량 초과 | H | L | H | H | H | H |
| | | | | 도시배수 시스템 파손 | H | L | M | H | L | M |
| | | | | 도로파손 및 유실 | H | L | M | M | L | M |
| | | | | 도심 내 도로침수 | H | L | H | M | M | M |
| | | | | 도심 내 토사 유입 | H | L | H | M | M | M |

주 : H(High), M(Medium), L(Low)를 의미
자료 : 경기도, 『2012~2016 경기도 기후변화 적응대책 세부시행계획』, 2012

| 표 2-8 | 경기도 적응대책 세부시행 계획상 해양·수산 부문 주요 적응이슈

| 주요 스트레스 | 관련 기후조건 | 현재 기후변화 영향 | 미래 기후 전망 | 미래 기후변화 영향 | 취약성 | | | 위험도 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 민감도 | 적응 능력 | 취약성 | 영향 심각성 | 발생 가능성 | 위험도 |
| 해안침식 및 유실 | 해수면 상승, 호우, 태풍, 지진 해일 | ·경기 일부 지역에서 해안침식 발생. 기반시설 및 주택붕괴 위험 존재 | ·호우, 태풍 강도 및 빈도 증가, 지진해일 가능성, 해수면 상승 | ·해양환경 변화로 해안침식 가속화 전망 | M | L | M | M | M | M |
| 어항 등 연안 기반시설 피해 및 저지대 침수 | 해수면 상승, 호우 및 태풍 | ·해수면 상승으로 인한 직접적인 피해는 아직 없음 | ·해수면 상승 폭이 커질 수 있음 | ·향후 저지대 침수 가능성, 홍수 및 태풍과 함께 발생할 경우 위험성 증가 ·연안도시 해안리조트 구조물, 항만 부두 시설, 교각 등 피해 발생 우려 | M | L | M | M | H | H |
| 어획량 변화 및 수산업 피해 | 수온상승, 태풍 및, 한파 등 | ·집중호우, 이상저온, 수온상승으로 인한 양식어업 피해 ·난대성 어류 증가 ·해파리 등 유해생물 및 외래종 유입 등 수산자원 생태계 변화 | ·수온상승 전망 ·호우태풍 빈도 및 강도증가 전망 | ·수온상승에 따른 어종 변화 예상, 긍정적, 부정적 영향 모두 존재 ·유해생물 및 외래종 유입 등 수산자원 생태계 변화 우려 | H | L | H | H | H | H |

주 : H(High), M(Medium), L(Low)
자료 : 경기도, 『2012~2016 경기도 기후변화 적응대책 세부시행계획』, 2012

### ② 부문별 대책과 시사점

경기도 계획에서는 취약성 평가와 적응의 우선순위를 바탕으로 부문별 대책을 제시하였다. 연안과 관련된 재난·재해와 해양·수산 부문 대책은 <표 2-9>와 같다. 앞서 취약성 평가와 함께 제시된 적응 이슈의 주요 내용

인 민감도나 적응능력, 취약성 등을 고려하여 전략별로 세부과제를 제시하였다.

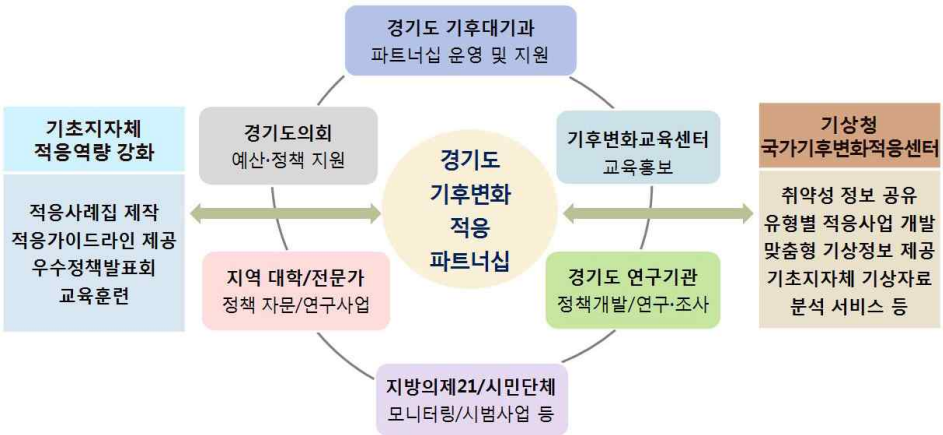
| Ⅱ 2-9 | 경기도 적응대책 세부시행계획의 연안 관련 주요대책

| 전략 | | 세부과제 | 정책구분 |
|---|---|---|---|
| 재난·재해 | 기후변화대응 방재기준 선진화 | 도시기반시설 방재기준 수립 및 목표설정 | 기존보완 |
| | | 평가 및 심의 가이드라인 마련 | 기존보완 |
| | 재해안전도시 조성 | 재해안전도시 조성 시범사업 계획 수립 | 기존보완 |
| | | 집중강우에 대비한 배수시설 정비 및 확충 | 기존보완 |
| | 녹지를 통한 방재역량 강화 | 저영향개발(LID) 기법 도입 및 활성화 | 기존보완 |
| | | 방재공원 조성 | 신규 |
| | 도민과 함께하는 통합적 재난대응 및 복구시스템 수립 | 재난관련 부서 행정조직 정비 | 기존보완 |
| | | 복구지원 제도개선 및 관리체계 강화 | 기존보완 |
| | | 민관재해대응 프로그램 개발 | 기존보완 |
| | | 예·경보 시스템 정비 및 강화 | 기존보완 |
| 해양·수산 | 연안침식 모니터링 및 취약성 평가 | 연안어항 및 마리나항 시설 안전성 및 취약성 평가 | 신규 |
| | | 연안침식 모니터링 | 기존보완 |
| | 양식기술개발 및 자원관리계획 수립 | 양식품종 및 기술개발 | 기존보완 |
| | | 수산자원관리계획 및 어선에너지 고효율화 | 기존보완 |
| 물관리 | 통합홍수관리체계 구축 | 통합수해지도의 작성 및 공개 | 신규 |
| | | 통합 홍수관리 및 홍수량 할당제 추진 | 신규 |

자료 : 경기도, 『2012~2016 경기도 기후변화 적응대책 세부시행계획』, 2012.에서 재난재해, 해양·수산 부문 발췌 필자 정리

경기도의 세부시행계획은 지역 차원에서 충분히 자세하고 정밀한 분석이 이루어지지는 않았으나 취약성과 민감도, 그리고 위험도에 따라 검토할 수 있는 모든 분야를 부문별로 나누어 분석하고 이를 바탕으로 적응대책의 세부과제를 구체화하였다는 점에서 체계적이고 종합적인 연구를 수행했다고 볼 수 있다. 특히 중점사업의 효과적인 추진을 위해 적응대책의 우선순

위와 취약 부문을 밝혀 정책을 실제로 이행할 때 무엇부터 시작해야 할지를 제시하였다. 또한 현재의 행정체계와 제도, 예산을 가지고는 세부시행계획에서 제시한 기후변화 대책을 이행하기에 어렵다고 보고 거버넌스 차원의 대책도 함께 제시하였다. 여기에는 대책 이행을 위한 T/F구성, 민관산연 등 다양한 이해관계 간 파트너십 운영, 중앙정부 및 민간단체와의 협력 구조 활성화 방안 등 정책 이행에 필요한 포괄적이고 구체적인 내용을 담은 점이 특징적이다.




|그림 2-12| 경기도 기후변화 적응 파트너십

### (2) 전라남도 기후변화 적응대책 세부시행계획

#### ① 개요

전라남도(2012)의 세부시행계획 역시 경기도와 마찬가지로 시·도 수준에서 수립하는 기후변화 적응에 대한 시행계획으로 국가 적응계획과 기초지방자치단체의 적응계획의 중간에서 권역의 기후변화 적응 방향을 제시한 것이라고 할 수 있다. 앞서 경기도와 마찬가지로 2012년부터 2016년까지 5개년을 대상으로 하며, 전남의 기후변화 영향과 전망을 바탕으로 부문별

취약성을 평가하고 이를 토대로 지역의 기후변화 적응대책을 수립하였다. 부문으로는 건강, 재난·재해, 농업, 산림, 해양·수산, 물관리, 생태계, 적응산업·에너지로 2010년의 국가적응대책의 기본적인 부문별 대책을 반복하고 있으며, 다만 기후변화 감시예측과 교육홍보 및 국제협력 분야는 포함되어 있지 않다.

전남의 적응계획은 총괄편에서 기후변화 현황과 전망, 영향을 제시되어 있는데 해양과 연안과 관련하여 가장 중요하다고 할 수 있는 해수면 상승은 국립해양조사원의 조사자료를 인용하였다. 여기에는 국립해양조사원이 1960년대 이후 관측한 조위자료와 더불어 지각의 수직운동이나 위성고도계 자료 등을 함께 제시했다. 그러나 해수면의 과거 변동 자료에는 주변 지반의 움직임을 고려한 상대해수면 변동과 이를 고려치 않는 해수면 자체의 절대변동 자료가 혼재되어 있고, 이 중 어느 자료를 기준으로 했는지는 불명확하다. 더욱이 해수면 상승은 향후 전망이 중요한데 지역적 차원에서는 이에 대한 자료가 제시되어 있지 않다.[11)]

### ② 취약성 평가

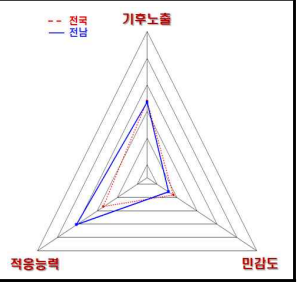
전남의 시행계획에서는 부문별 기후변화 영향과 취약성을 평가하기 위하여 환경부 국립환경과학원에서 제공한 CCGIS(Climate Change GIS)를 활용했다. CCGIS에서는 취약성이 노출과 민감도, 적응능력의 함수라고 하는 IPCC의 제안을 받아들여, 전라남도 내 22개 기초지자체를 대상으로 취약성을 구성하는 3가지 변수를 구하고 여기에 각각 가중치를 곱하여 합산한 값을 취약성으로 평가했다.

---

11) 이처럼 지역적 차원에서 다르게 나타날 해수면 변동에 대한 전망치의 부재는 앞서 경기도나 전남은 물론 전국 모든 연안지역에서 모두 공통되는 현상으로 적응계획이 수립될 당시 신뢰할만한 지역적 차원의 전망자료가 제시되지 못했기 때문임. 최근 기상청에서 보다 상세한 기후변화 예측 모형을 활용 중으로 일부 해수면 상승 자료가 제시되기는 하였으나 이 역시 향후 검증의 기간이 필요한 것으로 평가됨.

분야별로 취약성 평가를 구성하는 변수는 달라지는데 재난·재해 분야 중 해수면 상승에 대한 기반시설의 취약성 평가는 기후노출에 해수온도 상승률, 민감도에 도로 면적, 항만 면적, 수질오염방지시설 면적, 적응능력에 1인당 지역총생산과 1인당 공무원 수, 방조설비 면적으로 구성된다. 노출과 민감도, 적응능력을 골고루 나누었으나 노출에 해수면 상승이 아닌 해수온도 상승률이 포함된 점은 해수면 상승에 대한 기반시설의 취약성 평가라는 측면에서는 이해되지 않는 변수라고 할 수 있다. 또한 민감도 변수에 도로나 수질오염방지시설의 면적을 포함한 것도 해수면 상승이라는 변인을 고려할 때 다소 의외의 변수라고 할 수 있다. 오히려 해수면 상승에 영향을 받을 수 있는 연안지역의 도로나 사회간접시설을 포함하는 것이 더 적절할 것이다.

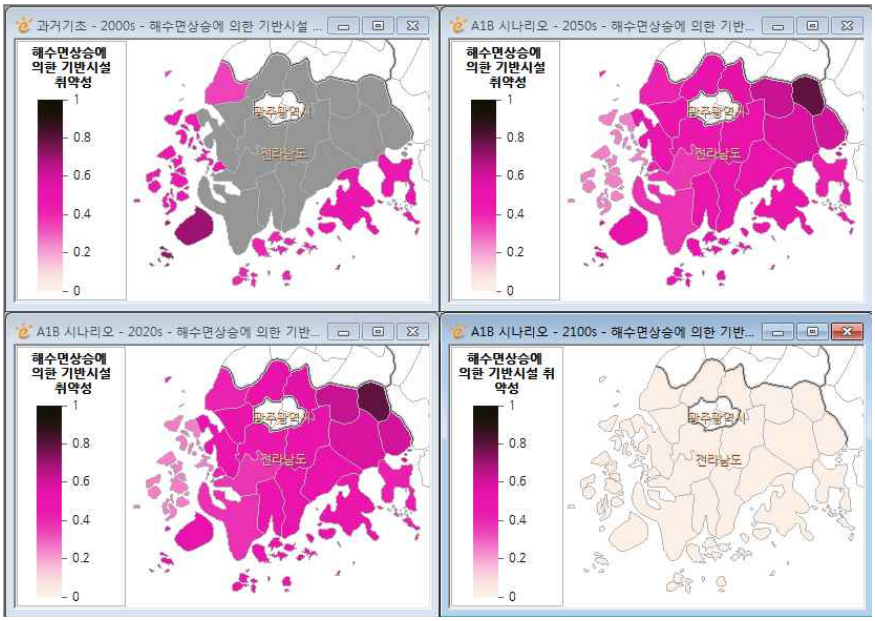
|표 2-10| 전라남도 해수면상승에 대한 기반시설 취약성 평가

| 대용변수 | 가중치 | 변수 목록 | CCGIS 가중치 | 전국 대비 전남도 취약성 |
|---|---|---|---|---|
| 기후노출 | 43 | 연간 해수온도 상승률 | 100 |  |
| 민감도 | 26 | 도로 면적 | 23 | |
| | | 항만 면적 | 61 | |
| | | 수질오염방지시설 면적 | 16 | |
| 적응능력 | 31 | 1인당 지역총생산(GRDP) | 24 | |
| | | 1인당 공무원 수 | 15 | |
| | | 방조설비 면적 | 61 | |

자료 : 전라남도, 『전라남도 기후변화 적응대책 세부시행계획 수립(2012-2016)』, 2012, p. 48

전라남도 내 22개 지자체에 해수면 상승에 대한 미래 기반시설 취약성을 평가한 결과는 <그림 2-13>과 같다. 해안이 아닌 지역에 대해서도 해수면 상승에 따른 취약성 평가를 진행하였고 결과가 제시되어 있다. 이는 추측하건데 해수면 상승이라는 본래의 목적과 관계없이 기계적으로 변수를 적용하였기 때문으로 보인다. 더욱이 취약성 평가 결과 내륙에 위치한 지

자체에서 해수면 상승에 따른 기반시설의 취약성이 더 높게, 즉 더 취약하게 나오는 현상마저 확인할 수 있다.




자료 : 전라남도, 『전라남도 기후변화 적응대책 세부시행계획 수립(2012-2016)』, 2012, p. 51

**|그림 2-13|** 전남 지자체 해수면 상승에 대한 미래 기반시설 취약성 변화

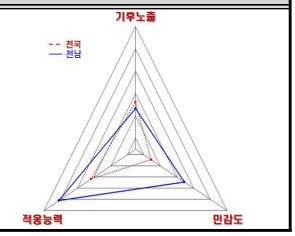
해양·수산 분야에서는 취약성 평가를 전복 가두리 양식, 해조류 양식, 갯벌면적 취약성 3개 분야를 대상으로 했다. 연안환경과 관련된 갯벌면적 변화와 관련해서는 기후노출에 해수면 상승률과 조차가 변수로 포함되었고, 민감도에 천해양식면적과 연안침식정도, 적응능력에는 재정자립도와 공무원 수가 포함되었다. 갯벌면적의 취약성 평가 결과, 도 전체적으로는 전국 평균에 비해 민감도가 다소 높고, 적응능력이 더 우수한 것으로 평가되었다.

그러나 전남의 취약성 평가를 구성하는 변수들의 구성을 보면 노출과 민감도 등 취약성을 구성하는 변수에 대한 개념이 혼란스럽게 사용되는 것

을 확인할 수 있다. 기후변화 취약성에서 노출이란 기후변화의 정도를 의미하고, 민감도란 어떤 한 계, 자연계이건 사회계이건 관계없이 기후와 관련된 부정적 또는 긍정적 영향을 받는 정도를 의미하는 개념이다(육근형 외, 2011). 이런 측면에서 보면 해수면 상승에 따른 갯벌 면적의 취약성을 보기 위해서는 전라남도 지역에 해수면 상승률이 얼마나 되는지(노출), 그리고 갯벌과 배후지의 지형과 경사도(민감도)에 따라 얼마나 많은 갯벌이 새로 생기거나 감소할 지를 봐야 한다. 이때는 민감도 항목에 갯벌의 면적과 형태 변화로 영향을 받을 수 있는 천해양식지의 면적도 해당될 수 있다.

취약성 평가에서 노출로 포함된 조차가 해수면 상승이라는 변화하는 환경에서 갯벌에 어떤 영향을 줄지는 불명확하다. 쉽게 말해 같은 조차라고 하더라도 오히려 갯벌의 경사도에 따라 해수면 상승에 영향을 받는 갯벌의 면적이 달라지므로 조차보다는 갯벌 경사도가 노출을 구성하는 더 적절한 변수가 될 수 있다. 또한 적응능력을 보면 전남지역의 재정자립도가 매우 열악한 데도 불구하고 적응능력이 우수한 것으로 나온다. 이는 인구당 공무원 수가 높기 때문으로 추정되는데, 대체로 공무원 수가 많은 편이 갯벌 면적 변화와 같은 자연환경 변화에 더 효과적으로 대처할 가능성은 높은 편이나, 일률적인 공무원 수를 고려하기보다는 수산이나 연안관리 분야의 공무원 수가 더 적절하다고 할 수 있다.

| 표 2-11 | 전라남도 갯벌 면적의 취약성 평가 구성 변수

| 대용변수 | 가중치 | 변수목록 | CCGIS 가중치 | 전국 대비 전남도 취약성 |
|---|---|---|---|---|
| 기후노출 | 33 | 해수면 상승률 | 0.3 |  |
| | | 조석의 차 | 0.7 | |
| 민감도 | 27 | 천해양식 면적 | 0.5 | |
| | | 연안침식정도 | 0.5 | |
| 적응능력 | 40 | 재정자립도 | 0.2 | |
| | | 인구당 공무원 수 | 0.8 | |

자료 : 전라남도, 『전라남도 기후변화 적응대책 세부시행계획 수립(2012-2016)』, 2012, p. 74

### ③ 적응대책 및 시사점

전남의 세부계획 중 해양과 관련된 대책은 앞서 살펴본 재난・재해 분야와 해양・수산 분야에서 언급된다. 재난・재해에서는 사회기반시설에 대한 관리 차원에서 '해수면 상승에 따른 취약지역 분석 및 적응방안 마련'과 '연안환경 개선 및 복원사업', '안전한 국토기반 조성을 위한 재해예방사업 추진', '해수면 상승에 따른 연안침식 방지시설과 완충시설 확보 관리' 사업 등이 제시되었다.

이들 대책은 앞서 취약성 평가와 연계성은 높지 않으나 해수면 상승과 태풍・해일 등 자연재해에 취약한 전남 서남해안과 저지대를 관리하기 위한 것으로 위험성에 대한 실태조사와 예측기술 등을 개발하도록 하였으며, 저지대 토지의 효율적 관리와 대응기술, 해안침식에 따른 토지유실 등의 피해를 최소화하고자 하는 대책이라고 할 수 있다. 또한 기후변화에 대한 적응 능력을 증진하는 데 도움이 되는 연안환경 개선과 복원 사업을 제시하여 해안선의 변동에 따른 해안사구나 해변을 보호하고자 한 점도 주목할 만하다.

전라남도의 기후변화 적응 세부시행계획은 앞서 정부의 적응대책과 마찬가지로 총괄과 부문별로 나누어 구성되고, 특히 환경부에서 제시한 CCGIS를 부문별 취약성 평가에 적극적으로 활용한 점이 눈에 띈다. 그러나 취약성 평가를 구성하는 변수를 다소 임의적으로 선정하여 평가 결과가 왜곡되고 특히, 해수면 상승에 큰 영향을 받지 않을 내륙 지자체까지 해수면 상승 취약성 평가를 하는 등의 문제가 나타났다. 취약성 평가의 목적이 기후변화에 취약한 부문이나 지역, 요소를 찾기 위한 점이라는 측면에서 변수 선정에 대한 보다 깊이 있는 검토가 필요할 것으로 보인다.

일부 개선사항이 있기는 하나 전라남도의 세부시행계획에는 기후변화 정책의 이행을 위하여 필요한 여러 정책방안을 체계적으로 담고 있다고 평

가할 수 있다. 더욱이 적응정책의 추진을 위하여 기후변화 전담부서를 확대・개편하여 기후변화 대응정책과를 신설하고 여기에 기획총괄, 적응, 완화, 그리고 교육・홍보팀을 두는 구상을 제시했다. 또한 부문별 적응대책의 상호 연계성을 강화하고자 '전라남도 기후변화적응 위원회'를 구성하여 5년 주기의 기후변화 적응 세부시행계획을 수립하고 다양한 분야의 정책을 조정하고 협의하도록 하였다. 지속적인 기후변화 관련 연구와 정책실행, 교육과 인력양성을 지원하기 위하여 '기후변화 적응연구소' 설립도 하나의 항목으로 제시하였다. 이처럼 전라남도의 기후변화 적응대책에 공공조직의 확보와 거버넌스 강화, 그리고 연구기관을 통한 지속적인 정책지원 기능까지 포괄한 점은 정책의 실질적 이행을 지향한다는 측면에서 의미있는 제안이라고 할 수 있다.

### (3) 경상남도 기후변화 적응대책 세부시행계획

#### ① 개요

경상남도(2012)의 기후변화 적응 세부시행계획은 다른 시도와 마찬가지로 2012년부터 2016년까지의 5개년 계획으로 도 산하의 정책연구기관인 경남발전연구원에서 수행했다. 이 계획 역시 총괄과 부문으로 구분되어 있으며, 부문계획에는 건강, 재난・재해, 농업, 산림, 해양・수산업, 물관리, 생태계, 에너지의 8개 부문으로 나뉜다. 경남에는 18개 시・군 중 9개 시군(양산시, 김해시, 통합창원시 마산합포구・회원구, 고성군, 사천시, 하동군, 남해군, 통영시, 거제시)이 해안에 위치한다. 경남의 계획에서는 축척 1:25,000의 지형도를 기반으로 해수면 상승에 따른 연안시군의 침수면적을 구했다. 2050년 세계 평균 해수면 상승 높이를 지금보다 0.32m, 2100년에 0.59m 상승한 것으로 가정하여 침수면적을 산정한 결과 침수면적을 각각 3.5㎢와 8.5㎢로 예상했다.

|표 2-12| 경상남도 해수면 상승에 따른 침수면적 예측

| 해수면 상승 | 2050년, 0.32m | 2100년, 0.59m |
|---|---|---|
| 면적(㎢) | 3.5 | 8.5 |

자료: 경상남도, 『경상남도 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012~2013)』, 2012, p. 98

또한 기후변화 영향과 관련하여 해수면 상승과 함께 해수온도 변화도 검토하였다. 과거 1997년부터 2008년까지 경남의 연안에서 측정된 해수온도를 살펴보았으나 해역별 평균 해수온도만 제시하고 경년 변화는 제시하지 않았다. 다만 기후변화 국가적응대책에서 제시된 것처럼 과거 41년간(1968~2008년) 평균 1.31℃ 증가하였고, 2008년 대비 2050년에는 1.3℃, 2100년에는 2.9℃ 상승할 것으로 전망한 수치를 활용했다. 경남의 기후변화 적응계획에서는 해수온도상승에 의한 해양생물의 영향을 염려하였는데, 특히 경남 남해안인 충무, 통영, 거제, 고성은 우리나라 굴 생산량의 70%를 차지하는 지역으로 이와 같은 해수온도 상승은 굴 생산량에도 일부 영향을 줄 것을 우려했다. 그러나 해수온도 변화와 굴 생산량 간의 상관관계에 대한 기초자료 내지 관련 연구가 부족한 관계로 굴 생산량의 변화가 어느 정도 될지에 대해서는 언급하지 않았다.

### ② 주요 적응대책

경남의 세부시행계획은 계획기간인 “2016년까지 기후변화 적응기반을 구축한다.”는 현실적인 목표와 경남을 ‘기후변화 안전지대’로 조성하겠다는 비전을 제시하였다. 8개 부문으로 나뉜 부문별 추진전략에 따라 주요 과제를 제시하였는데, 이에 앞서 8개 부문에 대한 SWOT분석을 실시하여 추진전략을 도출하고, 쌍대비교를 통해 부문 간 상대적 중요도를 추정했다. 중요도 추정 결과, 재난·재해의 우선순위가 가장 높고 건강과 물관리가 뒤를 이었다. 해양·수산은 산림과 함께 가장 낮은 우선순위로 평가되었다.

8개 부문 중 연안·해양과 관련된 부문은 재난·재해와 해양·수산으로 두 부문의 정책목표와 과제는 <표 2-13>과 같다.

재난·재해 부문에서는 세부과제를 방재체계와 방재인프라, 사회기반시설로 나누어 제시했는데, 대부분 기존에 방재 관련 행정 조직에서 진행하던 내용을 담고 일부 신규과제가 추가되었다. 신규사업으로는 '수산인 안전공제 보험료 지원' 사업과 '자동기상관측수집시스템 백업시스템 구축'이 포함되어 있으며, 방재인프라 분야에서는 '급경사지 붕괴위험지역 정비사업', 사회기반시설 분야에서는 '하도준설'과 '하천유지관리사업'이 추가되었다. 재난·재해 분야의 대책 중 연안과 관련하여서는 대부분 태풍 피해와 관련한 복구사업으로 지방하천이나 상하수도 분야의 피해복구 사업이 대부분이다.

|표 2-13| 경상남도 적응대책 연안 관련 목표 및 대책

| 부문 | 목표 | 과제 |
|---|---|---|
| 재난·재해 | - 기후변화 대비 방재 패러다임 전환 및 예방체계 구축<br>- 기후변화 피해저감을 위한 위기관리체계 구축 강화<br>- 기후변화를 고려한 예방적 경남 토지관리 실현 및 도시 생활환경 개선 | - 기후변화 대응을 위한 사전 재해예방 방재체계 구축 및 방재인프라 강화<br>- 기후변화에 따른 국토 취약지역 분석 및 적응방안 마련<br>- 기후변화 적응 친화적인 국토이용·관리체계 구축 및 도시의 기후변화 적응능력 제고 |
| 해양-수산 | - 바다목장 조성 등을 통한 안정적 수산식량자원 확보<br>- 기후변화를 고려한 새로운 양식기술 도입 및 보급<br>- 해수면 상승 대응 경남 토지관리 방안 구축으로 사회안정성 확보 | - 수산업(1차 산업) 생산성 증진 및 피해방지<br>- 해수면 상승 및 연안침식 방지 |

자료 : 경상남도, 『경상남도 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012~2016』, 2012, p. 176

해양·수산 부문에는 '수산업 생산성 증진'과 함께 '해수면 상승 및 연안침식 방지'가 주요 과제로 제시되어 있는데, 세부과제는 연안 및 해수면 상승 대책 분야와 수산업 생산성 증진과 피해방지 분야로 나누어 제시했

다. 이 연구에서 관심을 가지는 연안 및 해수면 상승 대책과 관련해서는 특별한 언급 없이 바다숲조성을 비롯한 10개 세부과제가 제시되어 있다. 10개 세부과제는 대부분 바다목장, 어초어장, 인공어초, 해중림 조성으로 해수면 상승에 따른 연안침수·범람이나 침식과 관련한 대책은 확인할 수 없다.

③ 시사점

경남의 기후변화 적응계획에서 연안 및 해양과 관련된 내용은 총괄의 기후변화 영향을 검토하는 과정에서 일부 확인할 수 있다. 해수면 상승에 따른 침수범위를 해수면 상승 시나리오에 따라 분석한 결과, 2100년에는 약 8㎢의 육지가 침수될 것으로 예상했다. 그러나 경남의 적응계획에서 침수면적 산정을 위해 사용한 기본도면은 1:25,000의 소축척지도로 이는 매우 넓은 지역을 보여주는 데는 적절하나 경남지역의 침수면적을 산정하는 데는 적절하지 않다. 1:25,000보다 상세한 1:5,000 지형도에서도 높이 오차가 표고점에서 ±1.66m, 등고선에서 ±2.50m에 달하는데, 불과 1m 이내에 불과한 해수면 상승률을 이보다 더 큰 오차를 갖는 지형도에서 분석한 것은 침수면적 산정결과의 신뢰도에 매우 중요한 문제를 야기한다. 침수면적 산정에서 분석방법이 가지고 있는 문제는 침수면적이 매우 적게 나온 것과도 관련될 수 있다. 침수면적이 크지 않을 것이라는 분석 결과가 해수면 상승에 대한 적응정책 수립을 필요성을 반감하면서, 결국 세부대책에서 침수·범람 문제가 전혀 고려되지 않게 된 것이다.

그러나 경남의 연안지역은 침수나 범람 문제를 고려하지 않을 수 없는 환경이다. 과거 2002년 태풍 루사, 2003년에는 100년 빈도에 해당하는 태풍 매미가 내습한 곳이다. 2003년 당시 태풍에 의한 침수·범람으로 구 마산시는 물론 통영, 부산 등지에서 막대한 피해가 발생했으며, 특히 뒤에 사례지역으로 제시된 구 마산시에서는 태풍 매미로 침수된 면적이 4.2㎢에 달했다. 더욱이 통영이나 남해안 해안가의 저지대는 태풍 해일이 아니어도

사리 때에 자주 침수되는 지역으로 기후변화에 따른 해수면 상승의 영향에서 자유롭지 않다.

경남의 기후변화 적응 계획은 기후변화의 현황과 전망, 기후변화의 영향, 경남의 자연 및 경제현황 등을 충실히 분석하였고, SWOT분석과 AHP 분석을 통해 전략을 개발하고 부문 간 상대적 중요도를 파악하여 대책을 수립하였다는 점에서는 완결성 높은 계획이라고 할 수 있다. 다만 해수면 상승과 같은 요인에 대해서는 경남이 가지고 있는 지형적 여건을 충분히 고려하지 않아 관련 대책들이 전체 계획에서 중요하게 제시되지 못했다. 한편 경남에서도 앞서 경기도나 전라남도에서 활용한 취약성 평가 방법을 환경부의 CCGIS를 통해 활용하기는 하였으나, 대책을 도출하는 과정에 취약성 평가 결과가 거의 기여하지 못했다. 다만 경남 도 내 지자체 의 기후변화 취약성을 비교 수준에서 보여주었다고 할 수 있다.

|표 2-14| 3개 시·도(경기, 전남, 경남) 기후변화 적응 세부시행 계획의 시사점

<table>
<tr><th>구분</th><th>시사점</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>경기도</td><td>- 취약성 평가 기법에 기초<br>- 적응대책의 우선순위 제시<br>- 이행체계(조직 및 협력관계 등)에 대책 제시</td><td rowspan="3">- 해수면 상승에 따른 침수지역 등에 대한 지역적 차원 분석 미비<br><br>- 환경부 CCGIS에 대한 일률적인 적용으로 지역 특성의 반영 부족<br><br>- 기초 지자체 적응계획과의 연계성 확보 부족</td></tr>
<tr><td>전라남도</td><td>- 전복 양식 등 수산자원 관리 필요성 제시<br>- 연안침식 방지와 대응기술 언급<br>- 해양환경 및 연안환경(사구 등) 복원 사업<br>- 저지대 관리 필요성 제시<br>- 이행조직 구체적으로 제시</td></tr>
<tr><td>경상남도</td><td>- 수산자원 관리(바다목장, 어초, 해중림 등) 필요성 제시<br>- 침수지역 분석을 실시하였으나 방법론 부적합<br>- 저지대 관리 대책 부족</td></tr>
</table>

자료 : 경기도, 전라남도, 경상남도 각각의 기후변화 적응대책 세부시행계획을 참고하여 필자 정리

### 3) 기후변화 취약성 관련 연구

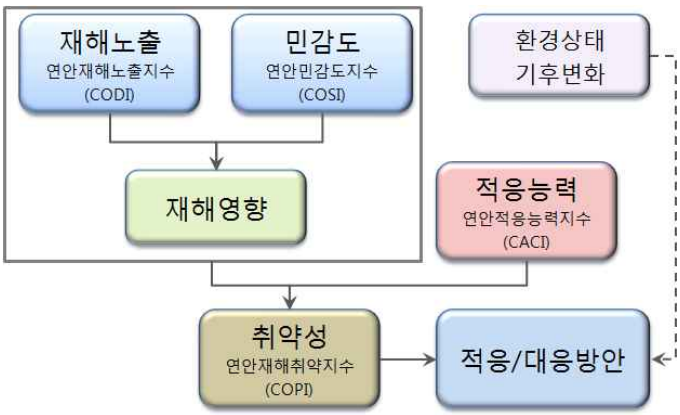
기후변화 적응에서 가장 중요한 단계는 우리가 기후변화에 얼마나 취약한지, 즉 무엇이, 어떤 영향을, 얼마나 주고 어떻게 영향 받을지를 확인하는 작업이다. 앞서 전라남도의 취약성 평가에 포함되는 변수에서도 확인한 것처럼 일부 취약성 평가의 개념을 적용하는 데 혼란이 있지만, 기후변화에 어디가 취약한지를 먼저 확인하는 것은 기후변화 적응정책이 아니라 모든 정책의 수립에 있어 기본적인 단계이다. 선행연구인 육근형 외(2011)에서도 기후변화에 적응하기 위해서는 기후변화라는 요인에 대해 우리가 사는 사회라는 시스템이나 자연계가 얼마나 쉽게 영향을 받는 지를 확인하는 것이 매우 중요한 과정이라고 평가하였다. 이미 기후변화에 있어 국제적으로 연구와 정책방향을 선도하는 기후변화에 관한 정부 간 패널인 IPCC(2001)에서도 취약성의 개념[12)]과 도입 필요성을 기후변화 적응전략의 틀에서 제시하고 있다. 더욱이 우리 연구에서 살펴보고자 하는 연안지역은 육상지역이 받을 수 있는 기후변화 요인에 더불어 해양환경의 변화로 부가되는 영향도 함께 받는다. 연안지역은 평균기온의 상승, 강수량 및 강우패턴의 변동은 물론 해수면 상승, 폭풍해일의 빈도 변화, 수산자원의 변동 등 기상학적 변화는 물론 해양학적 변화를 함께 겪어야 하는 곳이다. 이에 기후변화 적응에 대한 국가계획에서도 연안지역에 대해 연안재해취약성을 평가하여 국토 유실이나 태풍 등에 의한 자연재해를 검토하도록 하고 있다.

이에 국토해양부 소속기관인 국립해양조사원은 전국 연안에 대해 연안재해취약성을 평가하고 있다. 국립해양조사원은 본래 해역에 대한 해양측량, 해양관측 등 해양조사를 시행하여 해도와 수로서지 등을 펴내는 국가기관이다. 국립해양조사원에서는 IPCC에서 기후변화 취약성을 노출, 민감

12) 취약성을 기후변화의 영향, 예를 들어 기후변동이나 극한 사상의 부정적 영향에 대해 영향을 받기 쉬운 또는 대응하지 못하는 정도로 정의하였다.

도, 적응능력의 함수라고 본 관점에 따라 우리나라 연안의 취약성을 평가하였다. 또한 IPCC의 취약성 개념에서 포함하지 않은 환경상태와 기후변화의 요소를 포함하여 재구성하여 연안이 해양 기인 재해에 노출되어 부정적 영향에 취약한 정도를 연안재해취약성으로 정의하여 <그림 2-14>와 같은 취약성 평가의 개념적인 틀을 제시했다.

연안재해취약성 평가에서는 아래 그림과 같이 재해노출(CODI : Coastal Disaster Index)과 민감도(COSI : COastal Sensitiviy Index)를 각각 정량화한 지수를 통해 재해영향을 살펴보고, 여기에 적응능력을 정량화한 연안적응능력지수(CACI : Coastal Adaptive Capacity Index)를 더해 정량화한 수치를 최종적으로 연안재해취약지수로 정의한다.




자료 : 국립해양조사원, 『연안재해취약성 평가체계(CDAS) 구축·평가부문』, 2011, p. 134

**|그림 2-14|** 국립해양조사원 연안재해취약성 평가체계 개념 틀

현재 연안재해취약성 평가체계는 다양한 인자와 평가를 통해 최적안을 모색하는 과정에 있고, 향후 평가결과를 토대로 연안지역의 재해관리에 활용할 예정이다. 평가 체계를 구성하는 중요한 세 가지 지수에는 <표 2-15>와 같이 각각에 해당하는 여러 성격의 지표와 인자를 포함한다. 특히 IPCC

가 제시한 취약성 개념에 따라 노출과 민감도, 대응능력을 구분하여 평가했다는 측면에서 상당히 진전된 접근이라고 할 수 있다. 다만 기후변화 영향이 연안재해의 개념에서 얼마나 중요한 의미를 차지하는지는 명확하지 않은데, 특히 노출지수에 포함된 지표를 보면 해수면 상승 외에도 태풍이나 침식 등 연안의 여러 다른 환경변화를 대상으로 하는 성향이 강하다는 해석도 가능하다.

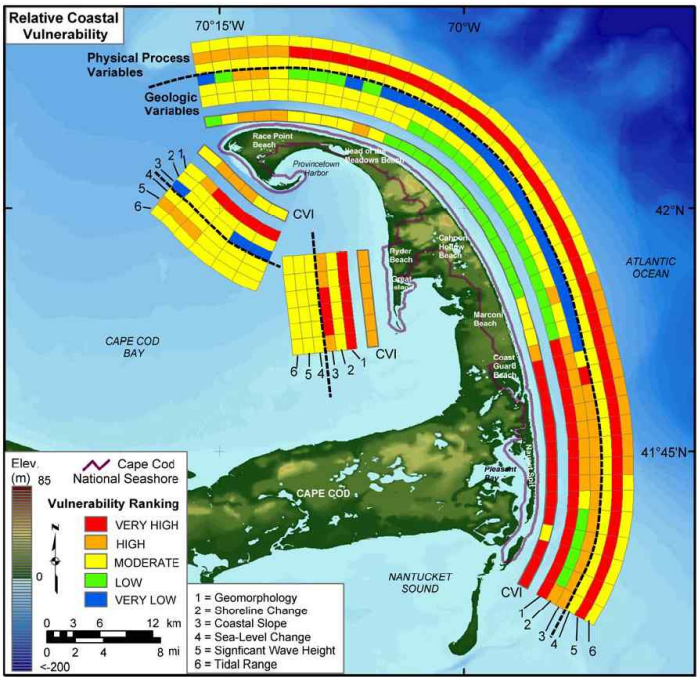
**| 표 2-15 |** 연안재해취약성 평가지수의 구성인자

| 지수 | 지표 | 가중치(%) | 인자 |
|---|---|---|---|
| 연안재해노출지수 | 태풍 | 31.25 | 내습빈도, 해면기압, 최대풍속, 일강우량 |
| | 해일 | 17.5 | 폭풍해일, 지진해일 |
| | 파랑 | 16.25 | 최대파고, 유의파고 |
| | 조석 | 10 | 고극조위, 조차 |
| | 해수면 상승 | 12.5 | 해수면 상승 |
| | 침식 | 12.5 | 침식 |
| 연안민감도지수 | 인적민감도 | 33.25 | 인구밀도, 취약인구 (고령인구, 장애인구) |
| | 물적민감도 | 43.25 | 연안건물, 어선, 접안시설, 산업단지, 도로, 양식장, 연안취약시설물, 표준공시지가 |
| | 지형적민감도 | 23.25 | 침수지역, 해안선, 표고, 경사 |
| 연안적응능력지수 | 사회경제적 적응능력 | 52.5 | 재정자립도, 의료종사자, 주민대응역량, 중장비 |
| | 행정자치적 적응능력 | 47.5 | 공무원, 대피소, 재난경보시스템 |

자료 : 국립해양조사원, 『연안재해취약성 평가체계(CDAS) 구축·평가부문』, 2011, p. 183

이와 비슷한 평가 사례는 외국의 취약성 평가 연구에서도 발견할 수 있다. 미 지질조사국(USGS)의 연안취약성지수(CVI : Coastal Vulnerability Index)는 연안의 취약성 평가 결과를 아래와 같이 시각적으로 나타냈다는 점에서 의미가 있는 평가방식이다. CVI는 연안의 기후변화 취약성을 평가하기 위하여 파고(波高), 연안경사도, 연안침식률, 지형학적 특징, 상대적 해수면 상승의 추이를 종합하여 수치로 표현하는 방식을 활용했다. <표 2-15>와 같이 6개 평가항목별로 상대적 평가 결과를 보여주고, 다시 이를 곱하여 하나의 지수로 제시하였다. 6개의 평가항목을 색깔이 들어간 띠로 표현한 것과 마찬가지로 최종적인 지수 역시 색띠의 형태로 연안을 따라 표시하였다.

그러나 CVI 평가에서 항목 간 중요도 내지 각 평가항목의 급간이 적절한지 여부는 의문이다. 또한 지수를 구성하는 평가항목은 모두 기후변화, 특히 해수면 상승에 대한 노출의 성격이 강한 인자이다. 연안의 사회경제적 활동과 같은 민감도를 보여주는 인자가 결합되지 못했다. 만약 해수면이 크게 변화할 것으로 예상되는 해안이어도 사람이 이용하지 않는 연안이라면 같은 변화를 겪지만 사람이 많이 이용하는 연안에 비해 중요하다고 할 수 없다. 결국 최종적으로 나온 지수가 각 연안이 받을 수 있는 해수면 상승의 영향을 보여주기는 하나, 이를 가지고 그 다음 단계, 즉 어디에 어떻게 활용할 수 있을지 불분명하다. 예를 들어 평가 대상에 포함된 어떤 지자체가 평가결과를 보고 자기의 지자체 연안이 다른 지자체 연안에 비해 기후변화에 얼마나 노출되었는지를 상대적으로 살펴볼 수는 있겠으나, 1에서 5점으로 제시된 CVI 지수를 가지고 적응정책을 결정하기에는 한계가 있다.

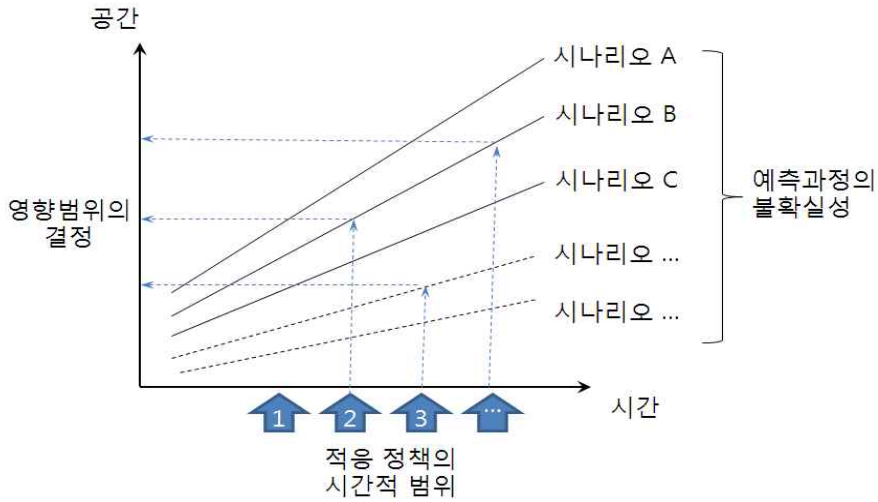



자료 : Hammar-Klose *et al. Coastal Vulnerability Assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to Sea-Level Rise*, 2003, p. 16

**|그림 2-15|** Cape Code 해안의 상대적 연안 취약성

이 연구는 앞서 2011년에 수행한 『해수면 상승에 따른 연안 취약성 평가모형 연구』(육근형 외, 2011)의 연구를 심화시킨 것이라고 할 수 있다. 선행 연구에서는 해수면 상승이라는 변화에 따른 연안의 취약성을 평가하기 위해서는 어떤 절차를 거치고, 무엇을 살펴보는 것이 바람직한지를 검토했다. 또한 기후변화에 따른 연안환경 변화의 근본적인 원인인 해수면 상승에 대한 과학적인 검토를 한 결과 '불확실성'에 대한 고려도 중요함을 알 수 있었다. 본문의 표현에 따르면 "해수면 상승에 대한 과거 관측기록은 일정한 수치로 상승률이 알려져 있는데, 미래의 상승률은 온실가스 배출 시나리오에 따른 대기 중 온실가스의 양과, 이후 대기와 해양의 상호작용을 고려하여야 해수면의 예상되는 상승률이 나올 수 있으며, 여러 분석단

계를 거치면서 실제 해수면 상승률에 대한 불확실성이 크게 증가한다는 점"으로 정리하였다. 또한 지역 단위에서 나타나는 해수면의 상승은 폭풍해일이나 이상조위 변화와 같은 다양한 상황을 여러 시나리오로 가정하여 고려해야 한다는 점이다. 해수면 상승에 대한 예측의 불확실성을 <그림 2-16>과 같이 여러 가지 시나리오에 따라 검토하여야 하며 여기에 계획하는 시간의 범위에 따라 그 영향범위도 크게 달라진다는 점을 지적하였다.



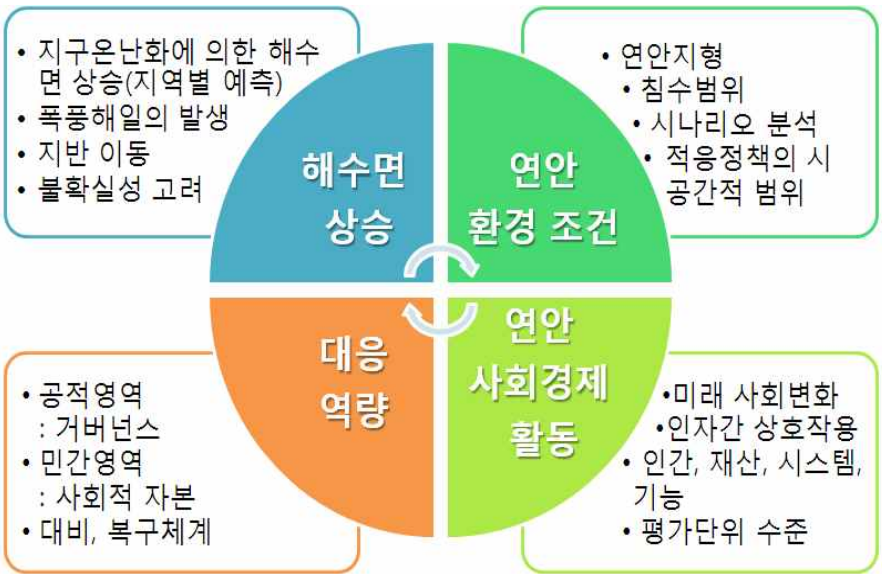

자료: 육근형 외, 『해수면 상승에 따른 연안 취약성 평가모형 연구』, 한국해양수산개발원, 2011, p. 152

**|그림 2-16|** 해수면 상승의 시공간적 영향범위 설정 모식도

불확실성을 고려하여 미래 기후변화 시나리오에 따른 해수면 상승의 영향범위가 제시되면, 그 공간에서 이뤄지고 있는 여러 사회경제적 활동과 발생가능한 영향을 분석하여야 한다. 여기에는 해수면 상승과 같은 기후변화 현상이 시간의 함수인 것처럼 우리가 구성하는 사회시스템 역시 시간에 따라 역동적으로 변화할 것이라는 점도 고려하여야 한다. 다만 해수면 상승에도 불확실성이 존재하듯 사회시스템의 변화 양상도 불확실하고 이 역시 다양한 상황을 시나리오를 통해 함께 고려하여야 한다. 고위험 사회로

갈 것인지 저위험 사회로 갈 것인지는 단지 기후변화의 정도와 속도에만 좌우되는 것이 아니고 사회시스템의 변화에도 함께 영향을 받기 때문이다.

변화하는 자연과 사회에 대한 인식은 곧 대응역량을 어떻게 증진할 지와 직결된다. 자연현상에 대한 예보와 대피, 빠르고 강력한 복구 능력, 그리고 다음 재해에 대응한 또 다른 대책을 만드는 과정은 사회시스템의 역량에 좌우된다. 여기에는 법·제도나 국가기간시설 사업과 같은 공적영역의 능력과 효율성은 물론 민간영역의 역량도 중요한 요소임을 확인했다. 민간영역의 역량이란 과거 지진이나 쓰나미 피해를 입은 다른 나라의 대규모 재해 사례에서 알 수 있듯, 성숙한 시민의식이라는 사회적 자본의 확보 여부가 기후변화와 같은 재해상황에 대응할 때 매우 중요한 요소임을 확인할 수 있었다.




자료: 육근형 외, 『해수면 상승에 따른 연안 취약성 평가모형 연구』, 한국해양수산개발원, 2011, p. 141

**|그림 2-17|** 해수면 상승 연안취약성 평가모형의 흐름과 검토요소

지금까지 기후변화에 대한 연안지역 취약성 평가에 관한 몇 가지 선행연구의 주요내용을 살펴봤는데, 기후변화에 직접 노출되고 대책을 세워야 하는 지자체 입장에서는 취약성 평가의 의미와 결과의 활용이 전혀 다르게 해석될 수 있다. 이는 지금까지 중앙정부 중심으로 수립되어 온 기후변화 적응정책을 지역적 차원에서 적용할 때는 기존의 연구결과를 고려하되 지역의 눈높이에서 접근할 필요가 있음을 의미한다.

### 4) 적응정책의 한계

앞서 2절에서는 기후변화 적응을 위한 국가 수준의 적응대책과 지자체가 수립하는 적응계획, 그리고 적응대책 수립에 있어 중요한 요소라고 할 수 있는 취약성 평가의 현황에 대해 살펴봤다.

각 절에서 단편적으로 일부 언급한 것처럼 우리가 지금 기후변화 적응을 위해 제시하는 대책들에는 기본개념에 대한 접근은 물론, 계획 수립의 과정, 정책시행의 제반 여건 등에 있어 몇 가지 문제가 엿보인다. 이를 정리하면 다음과 같다.

**첫째, 우리의 기후변화 적응정책은 중앙정부 중심의 정책 수립으로 실질적으로 지역에 도움이 되는 정책이 되기에 한계가 있다.** 자동차나 산업시설에서 배출하는 온실가스를 감축하는 저감・완화(mitigation) 정책은 주로 정부의 감시・감독, 법제도적 규제, 탄소시장과 같은 가상시장의 설정 등 중앙정부 차원의 의지와 노력으로 추진되는 측면이 강하다. 반면, 적응전략은 지역마다 다르게 나타나는 기후변화 현상과 영향이 무엇인지를 밝히는 것부터 시작하여야 하기 때문에 다른 지역이나 중앙에서는 알기 어렵다. 이처럼 적응정책은 해당 지역에서 가장 효과적인 정책을 만들어 낼 수 있다고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 우리나라의 적응정책은 중앙정부의 기본계획에서 시작하여 시・도, 그리고 기초지자체로 이어지는 시행계획까

지 일사불란하게 수립된다. 이 과정에서 중앙정부의 계획과 시・도에서 수립하는 계획 간에 별 차이가 나타나지 않고, 더 큰 문제는 지역적 특성에 따라 다를 수밖에 없는 기후변화 영향의 범위와 정도, 즉 지역의 기후변화 취약성을 반영할 수단조차 확보되어 있지 않다는 점이다. 예를 들어, 연안의 경우 향후 해수면 상승이 지역적으로 어느 정도 나타날지, 집중호우는 어떤 양상으로 변화할지에 대한 기본적인 정보, 시나리오조차 제대로 갖춰지지 않은 상태에서 그 영향을 논하고 대책을 수립하는 모순된 구조를 보여준다. 특히 해수면 상승의 경우 수직적인 변화가 불과 1m 내외이기 때문에 지형도상에서 침수범위를 전망하는 것은 적어도 이보다 세밀한 정밀도를 갖는 지형도를 활용하여야 함에도 불구하고 오차의 범위가 1m보다 10배 이상 큰 지형도를 활용하는 사례가 경남의 적응계획 등에서 발견된다.

**둘째, 현재 정부와 시・도에서 수립한 기후변화 적응대책은 기후변화의 지역적 특성을 반영한 취약성 평가에 기초하지 못했다.** IPCC는 취약성 평가를 노출(exposure), 민감도(sensitivity), 적응능력(adaptive capacity)의 함수로 제안했는데 이는 기후변화 현상이 어느 정도 나타나고(노출), 여기에 우리 사회나 자연환경이 얼마나 영향을 받는지(민감도), 그리고 이에 얼마나 대응할 수 있는지를 의미한다. 예를 들어 해수면 상승의 정도가 앞으로 어느 정도이며 여기에 어떤 지역이 영향을 받고 우리가 여기에 대응할 수 있는 시설이나 제도는 완비하고 있는지를 검토하여야 한다. 또한 이 과정에 해수면 상승의 속도는 물론 사회의 발전 방향과 전망에 대해서도 세밀한 검토가 필요하다. 여기에는 확률적인 접근, 시나리오에 따른 다양한 대안의 모색이 함께 필요하다. 그러나 지금까지 중앙정부는 물론 시・도에서 수립한 적응대책에 포함된 취약성평가는 이와는 거리가 멀다. 환경부 국립환경과학원에서 기초지자체를 대상으로 공간분석 기법을 적용해 실시한 취약성 평가는 단순히 취약성을 구성하는 3개 인자에 대한 대용변수를 찾아 이를 지수화 하는 데 머무를 뿐이다. 앞서 각 시・도의 적응계획을 검토하는

과정에서 언급했듯이 전국을 대상으로 지자체별 취약성 지수라는 것을 만들다 보니 한눈에 비교·평가하기에는 적합하지만 이를 시·도나 기초 지자체가 활용하여 필요한 적응대책을 만들 때는 거의 활용되지 못했다. 더욱이 취약성 지수를 구성하는 여러 대용변수의 적절성에도 상당한 문제가 나타났다. 예를 들어 해수면 상승에 따른 기반시설 취약성을 살펴본 전라남도의 취약성 평가에서는 노출에 대한 대용변수로 해수면 상승률이 아닌 해수온도 상승률을 활용한 것도 그런 예에 해당한다.

**셋째, 기후변화 적응 대책이 대부분 기존에 지자체에서 시행하고 있던 관련 업무 중 기후변화 업무를 나열하는 수준에 머물러 있다.** 기존 업무로 수행하던 내용 중에 기후변화 대응에 있어 보다 강력하게 이행하거나 확대할 필요가 있는 정책도 존재할 것이다. 예를 들어 기후변화에 따른 재해보험의 확대와 같은 경우가 여기에 해당된다. 그러나 5년이나 10년 단위의 계획기간을 가지고 있는 적응계획은 해당 시기에 시행할 수 있는 정책 목표와 이를 위해 필요한 구체적 대책을 제시하여야 한다. 그러나 중앙정부는 물론 시·도에서 제시한 대부분의 세부 적응대책은 분야별로 기존에 있던 관련 정책들을 나열하고 이를 조합한 수준에 불과하다. 이는 앞서 취약성 평가가 제대로 이루어지지 않은 탓일 수도 있겠으나, 근본적으로는 국가기본계획과 세부시행계획이 갖는 한계와 권한의 구분, 적응대책의 목표와 방법을 중앙정부는 물론 지방정부 역시 정확히 인지하지 못했기 때문일 수도 있다.

**넷째, 기후변화 적응대책에 대한 지자체의 인식 수준이 낮고 이를 제고하기 위한 중앙정부의 정책적 지원이 부족하다.** 시·도에서 수립한 적응계획은 대부분 시·도 산하의 발전연구원에서 수립한 것이다. 그러나 상당한 사업예산을 투자하여 수립된 이들 적응계획을 시·도의 홈페이지에 게시하여 주민이나 이해관계자가 쉽게 찾아볼 수 있도록 한 지자체는 거의 없다. 대부분 기후변화 담당자가 개별적으로 가지고 있거나, 때로는 이조차

도 어려워 계획 수립 연구를 수행한 시·도발전연구원의 연구진이 보관하는 상황이다. 계획은 법정이건 비법정 계획이건 수립한 이후 제시된 세부 추진과제를 착실하게 이행하여야 계획을 수립할 때 설정한 정책 목표를 달성할 수 있다. 시·도의 적응계획이 보건은 물론 산림, 농업, 수산, 도시계획 등 사회 전 부문을 다루고 있음에도 불구하고 현장에서는 계획을 찾아보기 어렵고 이를 집행할 다른 부서의 담당자들 역시 제대로 이해하기 어려운 상황이다. 이처럼 기후변화 적응계획이 현장에서 얼마나 실효성을 가질 수 있을지 의심스러운 부분이라고 할 수 있다.

# 제 3 장 연안지역 기후변화 대응 부문별 전략

## 1. 연안지역 기후변화 대응전략의 개요

지구온난화에 따른 기후변화는 기후와 관련된 자연현상의 발생빈도나 강도를 증가시키고 때로는 명확히 드러나지 않으면서 그 영향을 누적시키기도 한다. 앞서 기후변화 적응 국가대책과 시·도의 세부시행계획에서 나타났듯이 기후변화 적응대책은 건강 부문을 비롯하여 재난·재해, 농업, 산림, 해양·수산업, 물관리, 생태계, 에너지 등으로 세분하여 제시되어 있다. 연안은 일반적인 내륙지역과 달리 바다에 접하고 종종 하천과 바다가 만나는 하구나 석호가 있기도 하다. 따라서 연안은 기후변화의 일반적인 영향은 물론 해수면 상승의 영향에 직접 노출되기 때문에 침수·범람에 의한 재해 대응 정책을 강화할 필요가 있다. 더욱이 내륙의 하천범람이 강우기에 집중되는 반면, 연안은 해수면 상승에 따라 침수·범람 가능성이 해를 거듭하며 높아지는 차이가 있을 뿐이다. 따라서 하절기를 중심으로 하천범람의 위험이 높은 상습침수지역을 관리하기 위한 '자연재해위험지구' 등과 같은 정책수단을 앞으로는 연차적으로 침수 위험이 더 높아지는 연안지역에 적극적으로 활용할 필요가 있다.

우리 연안은 해운의 이점을 바탕으로 집중적인 경제 개발이 이루어진 공간이다. 어찌 보면 기후변화로 해수면이 상승하는 것보다 더 빠르고 강력한 변화가 인간의 개발 행위로 이루어졌으며, 이로 인한 피해가 기후변화에 의한 영향보다 클 수도 있다. 2003년 태풍 매미가 비록 강력한 태풍이기는 했지만 마산만의 침수 피해지역이 대부분 사람이 개발할 목적으로 만든 매립지였다는 점도 한 예가 될 수 있다.

도시의 기후변화 적응 전략을 논한 세계은행의 보고서[13)]에서도 기후변

화에 보다 잘 적응하고 회복한다는 개념인 'resilient city'를 언급하면서 기후변화의 여러 다양한 영향과 사회의 대응방향을 제시하고 있다. 특히 연안도시의 경우 앞으로 예상되는 가장 중요한 세 가지 환경변화로 집중호우의 증가, 폭풍의 강도 증가, 해수면 상승을 지목했다. 이들의 발생가능성을 보면 집중호우의 경우 90% 이상의 확률인 'very likely', 폭풍 강도의 증가는 66% 이상의 확률인 'likely'로, 해수면 상승은 이보다 높은 99% 이상의 확률인 'virtually certain'으로 평가하였다. 이처럼 90% 이상의 높은 발생확률을 가진 집중호우 빈도와 강우강도의 증가는 범람과 강풍, 산사태를 유발할 수 있고, 이는 공공상수도와 하수도 체계를 교란하여 음용수와 지하수의 수질을 저하하고 교통시스템과 경제활동에 제한을 가져올 수 있다. 강풍 등으로 가옥이나 공공시설 등에 물리적인 피해를 입히는 것은 물론 인명의 손실이 발생할 수 있고, 수인성 질병이 확산될 수 있다. 이런 재해는 보험을 통해 그 손실에 대응할 수 있다. 정부의 재해 대비 기금도 역할을 할 수 있겠지만 민간의 보험도 활용할 수 있다. 그러나 장기적이지만 분명히 피해가 예상되는 취약지역에 대해서는 민간보험업자들이 보험계약을 거부할 수 있으며, 이럴 경우 거주자들은 보험을 통해 재해위험을 대비할 수 없게 되기도 한다. 국가가 개입하여 정책적인 대응이 필요한 부분이라고 할 수 있다.

해수면 상승은 미래에 거의 확실히 나타날 것이라고 할 수 있는 99% 이상의 발생확률을 가진다. 이에 따라 발생할 수 있는 영향은 해안침식과 침수문제, 그리고 이를 막기 위한 해안방어와 재배치 비용의 발생, 염수의 대수층 침투에 의한 지하수 자원의 감소, 폭풍 해일에 의한 해안 범람 등이다.

---

13) International Bank for Reconstruction and Development of World Bank, *Guide to Climate Change Adaptation in Cities,* 2011, p.19.

| 표 3-1 | 연안지역 기후변화 영향과 대책 예시

| 기후변화 현상 | 도시의 노출과 취약성 원인 | 영향 | 적응대책 예시 |
|---|---|---|---|
| 집중호우의 증가(>90%)<br><br>열대저기압성 폭풍의 강도 증가 (>66%)<br><br>해수면 상승 (>99%) | 빠른 도시 성장으로 사회기반시설 (도로, 수도 등) 없는 임시주거지 증가 | 범람과 산사태 증가 | 현명한 토지이용계획<br>- 취약지 관리<br>- 적응력 있는 지역의 고밀도 개발<br>- 생태적 계획 |
| | | 수질오염<br><br>질병확산 | 수도 체계의 누수와 오염 방지 |
| | | | 고형폐기물의 막힘 방지 |
| | | | 공중보건 증진 활동 |
| | 교통 체계 부재 또는 열악 | 구조활동<br>지연<br>경제활동 감소 | 임시주거지에 대한 도로 등 개설 |
| | | | 녹색 인프라(공원, 습지, 숲, 식생, 투수성포장, 옥상녹화 등) |
| | | | 침수가능지역에서 도로 및 차량 이전 |

자료 : IBRD World Bank, *Guide to Climate Change Adaptation in Cities,* 2011, p. 54

이 연구에서는 연안지역에 나타나는 기후변화 영향을 크게 해수에 의한 침수·범람과 집중호우에 따른 연안지역의 내수 침수에 초점을 두고 대응전략을 검토하였다. 특히 우리가 현재 연안과 해안선을 관리하기 위해 펴고 있는 정책은 물론 사회 전 분야에서 활발하게 논의되는 기후변화 적응대책, 그리고 이와 함께 활용가능한 재해·재난 대책들을 포괄적으로 살펴보고자 한다. 이는 4장의 시범지역을 선정하여 기후변화 적응대책을 적용하는 데 활용할 수 있는 정책수단을 검토하는 과정으로 시범지역의 여건에 맞추어 활용방안을 모색하기에 앞서 개별 적응정책의 내용과 활용방향, 한계와 개선방향을 함께 검토한다고 할 수 있다.

여기서는 기후변화 적응정책을 다섯 가지 분야로 나누어 검토하였다. 첫째, 해안선 침식이나 해안 방호는 물론 해수면 상승에 대비한 해안선 관리를 포괄한 **'연안정비'** 정책이다. 둘째로는 연안 육지부의 **'공간계획'** 현황

을 살펴봄으로써 해안지역이 침수나 범람의 위험에 장기적으로 어떻게 대응할 수 있는지를 검토했다. 이를 위해 국내의 연구는 물론 국외에서 이루어진 해수면 상승에 대한 연안지역 공간계획 관련 정책을 살펴봤다. 셋째는 **'재해영향평가 제도'**로 해수면 상승을 재해의 한 종류로 볼 때 기존 재해분야에서 예방수단으로 중요하게 활용하는 재해영향평가 제도를 기후변화 적응정책에서 어떻게 활용할 수 있는지 고민했다. 넷째는 국내에 도입되었지만 기후변화와 관련해서 아직 활발하게 논의되지 않고 있는 **'보험의 역할'**을 살펴봤다. 기후변화를 일종의 위험(risk)로 볼 때 이미 위험을 관리하는 기법으로 발달한 보험의 원리와 일부 도입된 풍수해 보험을 중심으로 기후변화 적응정책으로서 가능성을 확인했다. 마지막으로는 해안 지역의 **'침수・범람 관리'**를 살펴봤다. 해안에서는 침수가 해수면의 상승에 따른 바닷물이 범람하는 것이 원인일 수도 있으나, 때로는 육지에 내린 많은 양의 빗물이 해안에서 제때 바다로 배제되지 못하면서 나타나는 내수 침수인 경우도 있어 이를 함께 살펴보고자 한다.

이처럼 3장에서는 연안지역에서 검토할 수 있는 기존의 정책수단의 효과와 한계, 그리고 발전 방향을 살펴봄으로써 4장에서 시범지역에 이들 전략을 적용할 때 보다 충실하고 깊이 있는 접근이 되도록 하였다.

## 2. 해안선 변화와 연안정비

우리나라의 연안은 과거 오랜 기간 개발 위주의 성장정책과 급증하는 연안의 이용수요에 부응하기 위하여, 대규모 해안매립과 인공 구조물 건설이 계속되어 왔다. 이런 인위적 연안환경변화에 더하여 기후변화에서 기인한 해수면 상승 및 각종 이상재해, 그리고 과거에 비해 급감한 육상으로부터의 퇴적물 공급 역시 연안환경의 변화를 유발한다. 하지만 연안역 각 요

소들이 임의적이고 복합적으로 작용하면서 연안의 토사가 붕괴・유출되는 대규모 침식을 유발하기도 하고, 해안선의 후퇴, 기상재해에 따른 완충구역의 손실, 연안 및 내륙 지역의 인명・재산의 피해 등 다양한 유・무형적 비용의 손실이 지속적으로 발생하고 있다. 이에 따라 과거에는 연안 일부 지역의 국지적 문제에 불과한 환경 이슈로 인식되던 연안침식의 문제는 근래 들어 국가적 차원의 사회적 이슈로까지 확산・발전하였고, 연안의 효율적인 보전・이용 및 개발을 위한 연구와 기술개발 수요가 증가하고 있다.

정부에서는 기후변화에 따른 연안재해와 개발압력의 증가와 같은 자연적・인위적 연안환경 위협요소들을 제어하고, 연안을 지속가능한 방법으로 이용・개발, 보전하기 위하여 「연안통합관리계획」이나 「연안정비계획」 등 지속적이고 다양한 관리체계들을 도입하여 시행하였다. 하지만 「제1차 연안정비계획(2000~2009년)」의 경우 기후변화와 연안재해에 대응하기보다는 훼손된 해안에 대한 사후복구나 시설보강 위주의 경성공법 위주의 해안선 인공화 사업이 중심이 되면서 많은 자연해안이 훼손되었다는 비판을 받기도 하였다. 또한 시설물 중심의 연안정비로 해안선의 많은 부분이 인공화되면서 자연해안이 갖는 생태적 기능과 가치도 크게 훼손되었다. 제도가 본래 목적과 달리 적용됨으로써 오히려 보호하려는 연안환경에 저해요소로 작용한 것이다. 이는 연안정비와 관련한 장기조사・연구가 부족하고 특히 기후변화와 연안침식 대응기술 개발이 미진한 데서 기인한 것으로 보인다. 「제2차 연안정비계획(2010~2019년)」이 시행되고 있는 현재에도 이러한 양상은 실제로 그다지 개선되지 못한 형편이다. 다만 제2차 연안정비계획에서는 기후변화에 따른 자연재해에 대한 적응력 강화를 위하여 '연안재해 취약성평가'를 도입・적용하고, 콘크리트 구조물로 인공화된 해안선을 보다 자연적인 모습으로 복원하기 위해 양빈, 생태적 방호 등의 자연적 연성공법을 연안정비 기법에 적극적으로 도입하여 추진 중이다.

이미 서술한 것처럼 연안침식현상은 예측하기 어려운 다양한 원인에

의해 다양한 형태로 발생하여 진행되면서, 특히 동·서·남해안은 물론 국지적으로 다양한 지형적 특성을 갖는 우리나라 연안의 경우 지역과 여건에 따라 그 전개 양상 또한 다양하게 나타난다. 이 절에서는 이를 고려하여 연안의 자연성을 회복하고 해안선을 보전하기 위한 바람직한 연안정비 전략에 대해서 고찰해 보도록 하겠다.

### 1) 기후변화와 연안침식

#### (1) 연안침식관리 및 연안정비

현재 우리 연안을 관리하는 가장 실효적인 수단은 '연안정비사업'이다. 그러나 앞에서 기술한 바와 같이 제1차 연안정비계획(2000~2009년)에서는 해수면의 상승 및 기후변화에 대한 인식도 미미했을 뿐 아니라, 이에 대한 대응 역시 연안정비사업에서 고려하지 못했다. 또한 대부분의 사업들이 연안공간의 생태적 회복 또는 지속가능한 연안공간의 창출이라는 장기적 목표 또는 미래에 대한 예측도 없이, 콘크리트 위주의 시설 강화·복구에 주력하는 등, 근시안적으로 시행되어 그 결과로 2차 침식을 유발하고 해당 생태계가 파괴되는 등 오히려 해당 연안공간에 악영향을 초래하는 경우가 많았다.

이처럼 연안의 각 구성요소 간의 인과관계가 매우 복잡하고 아직까지 연안에서 나타나는 토사의 이동 및 침식·퇴적을 종합적으로 설명하기 어려워 해안의 지형 변화를 정확하게 예측할 수 있는 단일모형은 존재하지 않는다. 그러므로 연안공간에 침식의 문제가 발생할 경우 최선의 대응책을 도출하기 위해서는 근시안적으로 즉각 복구하는 방법을 선택하기보다는 표사의 유·출입을 파악하는 것으로 시작하여 해당 연안의 지속가능성을 염두에 두고 장기적이고 체계적으로 관리해야 한다. 이를 기초로 침식이 발생한 연안의 복원·보호 및 신규 인공해빈 조성을 위한 최적의 공법을

연안정비사업에서 선택할 수 있도록 해야 한다.

연안 관리·정비의 주목적은 기본적으로 연안침식 방지, 연안의 복원·보호, 해수범람의 예방이라고 할 수 있다. 앞에서 서술한 것처럼 효과적인 연안관리·정비를 위해서는 다양한 인자의 작용을 고려해야 한다. 개별적인 연안정비사업이 주어진 문제와 상황에 적절한 공법인지 여부를 결정하기는 어려우나 해당 공법의 목적 및 효과, 한계에 대한 명백하고 정확한 판단은 필요하다.

연안침식을 관리하기 위한 연안정비사업의 경우, 현재 발생한 문제는 물론 미래에 발생할 수 있는 문제를 유발하는 요인이 무엇인지, 특히 관련된 지리적·물리적 인자가 무엇인지를 충분히 검토하여야 한다. 또한 시간이 흐르면서 나타난 문제가 악화되는지 아니면 악화와 호전이 반복되는지도 모니터링 해야 한다. 특별히 이에 대해 아무런 조치를 취하지 않았을 경우 이 문제가 공학적 측면, 환경 및 사회·경제적인 측면에서 어떠한 방향으로 진행될지, 나아가 해당 연안공간의 지속가능성에 어떠한 영향을 미칠 것인가도 검토해야 한다.

### (2) 연안정비사업의 대응기술전략

제1차 연안정비계획에 따른 연안정비사업 당시, 피해복구를 위한 경성공법 위주의 인공방호시설의 비중이 전체 정비사업의 95%를 차지할 정도로 매우 높았다. 정비사업으로 오히려 자연해안 및 경관의 훼손의 문제를 야기하기도 하고 사업을 실시할 때는 예상하지 못한 2차 침식이나 다른 환경문제가 나타나기도 하였다. 이는 경성공법의 특성상 해류나 조류, 파랑 등 표사계의 자연적인 흐름을 교란하기 쉽기 때문이다. 근래에 들어서는 경성방호 위주의 정비사업에서 양빈이나 식재 등이 가미된 연성공법, 그리고 양빈과 구조물(노출형 또는 잠형)을 함께 이용하는 복합공법 등 연안정비사업의 방법이 점차 바뀌고 있다.

이미 해안관리의 역사가 오래된 네덜란드나 영국 등에서 오래전부터 경성공법을 대신하여 연성공법의 활용도가 높아져왔다. 연성공법이 육지와 바다의 단절을 최소화하고 연안의 생태적 기능을 유지하기 때문에 주목받는 측면이 있는 것은 사실이다. 그러나 모든 해안에 대해 연성공법을 적용할 수도 없고 지역에 따라서는 경성공법을 선택할 수밖에 없는 곳도 있다. 더욱이 어떤 공법이 되었건 해안침식이나 해안선 후퇴의 문제에 대한 근본적인 해결 방법이라고 할 수는 없다. 다만 여기서는 해안 관리의 기술 수단으로서 활용되는 공법을 살펴보고 그 활용가치와 한계를 확인하여 연안의 적응대책을 수립하는 데 활용할 수 있을 것으로 본다.

**① 경성방호**[14)]

연안침식에 대응하기 위하여 인공적인 구조물을 설치하여 파랑이나 해류, 조류, 연안류, 풍성류 등의 흐름을 인위적으로 제어하는 공법을 통틀어 경성공법이라 한다. 연안침식에 대응하는 가장 일반적인 방법이었으나, 콘크리트 위주의 인공방호 성격의 구조물 또는 그 건설과정에서 기존의 파랑 및 흐름의 양상을 변화시킴으로써 해당 또는 인근의 연안표사가 교란 받고, 이러한 결과 침식이나 퇴적의 양상이 바뀌고 예상치 못한 곳에 변화를 유발하곤 한다. 이밖에도 연안생태계를 훼손하는 등 문제점이 노출되면서 최근에는 양빈을 비롯한 친환경적 연성공법 위주로 연안정비의 방향을 전환하고 있다. 비록 연성공법이 친환경성을 포함한 여러 측면에서 바람직하기는 하지만 중요 기간시설의 방호를 위해서는 경성공법의 적용이 불가피한 경우가 적지 않으며, 양빈의 경우에도 해당 연안공간의 특성상 상당량의 토사가 단기간 내에 유실 될 것으로 예상되는 경우에는 적절한 경성공법을 병행하는 것이 효과적이다.

---

14) 해양수산부, 『연안침식방지 기술개발 연구용역(제1차년도)』, pp. 134~140.
해양수산부, 『연안침식방지 기술개발 연구용역(제3차년도)』, p. 309.

### 가. 돌제

돌제는 세계적으로 가장 널리 이용되어온 경성방호 공법으로 표사가 연안류에 의해서 해안선에 평행한 방향으로 이동하는 것을 저지하기 위해 해안선에 직각방향으로 설계한 구조물이다. 해빈 퇴적물의 유실을 억제하기 위해 해안선을 따라 평행하게 이동하는 연안표사가 활발한 경우에 설치하는 것을 원칙으로 한다. 돌제의 주요기능은 파랑이 아닌 연안류를 제어하는 것이므로, 파랑이 해안선에 직각으로 입사하는 경우에는 돌제가 파랑에는 물리적 영향을 주기 어렵다.

돌제의 설치로 연안을 따라 이동하던 표사량이 감소하면 돌제의 하류부에 심각한 침식이 발생할 수 있다. 따라서 돌제를 설치할 때는 주변해역에서 토사의 이동을 광범위하게 고려하여야 하고, 일반적으로 여러 개의 돌제를 적당한 간격으로 배치한다. 하천의 말단부나 이른바 표사계의 경계에서는 유실되는 모래를 포집하는 단일 돌제인 종단돌제(terminal groin)[15]를 이용하기도 한다. 종단돌제는 양빈공법과 함께 활용하면 토사의 유실을 방지하고 장기적으로는 양빈비용을 효과적으로 절감할 수 있는 것으로 알려져 있다. 좋은 예로 약 10마일에 이르는 양빈 사업을 실시한 미국 플로리다의 마이애미 해변의 양 끝에 종단돌제를 시공한 사례가 있으며, 네덜란드 역시 양빈의 효과를 극대화하기 위하여 해당 표사계의 종단부에 돌제를 설치하기도 하였다.

돌제는 연안표사를 저지하거나 표사의 속도를 저감하여 침식 해안에 퇴적을 유도할 수 있고 양빈과 더해져 연안침식에 대응하는 국지적인 효과가 있다. 반면 횡단표사에 의한 침식이 발생하는 해안에서는 돌제의 설치로 기대할 수 있는 효과가 거의 없고 오히려 돌제의 설치로 표사계의 하류에 침식이 심해지는 경우에는 방호 효과가 일부 지역에 제한되고 거시적으

15) 국토해양, 『연안정비사업 침식관리 가이드북』, 2010.

자료 : 국토해양부, 『연안정비사업 침식관리 가이드북』, 2010

**| 그림 3-1 |** 마이애미 해안 양빈구간의 종단돌제

로는 침식을 가속화하는 결과를 초래할 수 있다. 또한 돌제 시설물은 지속적인 유지 및 보수가 필요하며, 경관적인 측면에서 유해요소로 작용할 수 있다.[16)]

### 나. 이안제

이안제는 입사파랑의 에너지 감소를 목적으로 해안선에 평행하게 설치한 구조물로 주로 해빈을 보호하고 이안제 배후에 퇴적(연육사주)을 유도하여 장기적으로 백사장 복원에 효과적이다. 하지만 이안제 역시 표사하류 해안에 침식을 유발할 수 있어 적당한 간격으로 일련의 이안제들을 설치하지만 해당 표사계 전체에 설치하지 않으면 종단부의 이안제 하류에서는 필연적으로 침식이 발생한다. 일반적으로 사석을 그 재료로 사용하며, 그 천단이 노출되는 형태와 항상 수중에 잠기는 형태가 있는데 후자를 잠제(인공리프)라고 한다. 이안제는 돌제와 달리 연안의 수리・퇴적작용에 미치는 영향

16) 국토해양부, 『연안정비사업 침식관리 가이드북』, 2010. pp. 84~91.

이 크므로, 설치 이전에 그 영향에 대하여 충분히 고려해야 한다.

연안침식에 대응하기 위해 이안제 이안잠제를 설치할 때 기대할 수 있는 장점으로는 이안제 배후의 파고 감쇠로 연안표사를 저지하거나 표사의 속도를 저감하여, 해당 대상해안부에 상당량의 퇴적을 유도할 수 있다. 더욱이 퇴적이 진행되면 연육사주까지 발달한다. 무엇보다 파랑에너지의 감소로 퇴적이 강화되기 때문에 해안절벽의 침식이나 붕괴를 예방할 수 있다. 반면 잠제는 해수면 아래에 설치되기 때문에 이안제처럼 해안경관을 해치지 않고 조망권을 확보할 수 있으며, 이안제보다 정선구배가 완만하기 때문에 해빈의 이용률도 높일 수 있다는 장점이 있다.

반면, 불리한 점으로는 횡단표사에 의한 침식이 발생하는 해안의 경우 기대할 수 있는 퇴적효과가 적으며, 이안제의 설치로 표사 하류에 침식이 발생하는 경우 방호의 효과가 지역적으로 제한되고 거시적으로는 오히려 침식을 가속화하거나 또 다른 침식을 유발하는 결과를 초래할 수 있다. 또한 여러 개의 이안제를 설치할 경우, 개구부의 폭이 넓으면 후방해안에 국지적인 침식이 발생한다. 특히 이안제를 설치한 후에도 지속적으로 유지·보수가 필요하나 비교적 깊은 수심에 설치되기 때문에 설치 비용은 물론 유지·보수 비용도 높은 편이다. 더욱이 잠제는 해수면 아래에 설치되어 시설물 상태를 육안으로 파악하는 것이 불가능하기 때문에 유지와 보수가 더 어렵다.[17]

17) 국토해양부, 『연안정비사업 침식관리 가이드북』, 2010. pp. 88~92.

주 : 이안제 3호기(좌)를 잠제로 개량(우)
자료 : 국토해양부, 『연안정비사업 침식관리 가이드북』, 2010
**| 그림 3-2 |** 일본 돗토리현 가이케 해안

### 다. 호안 및 사면보호공

호안은 해안이나 둑을 보호하고 해안선의 침식을 막기 위하여 바닷물에 접촉하는 연안지반을 피복재로 포장하는 방법으로 도로나 특정 건물 등 보호가치가 높은 배후지역의 해안선 후퇴를 방지하는 최후의 방어 수단이다. 직립 호안, 완경사 호안 및 사면보호공 등의 공법이 쓰이고 있으며, 이들은 모두 모래 이동 등 해안의 자연적 순환을 막기 때문에 해수면 상승과 같은 장기적인 변화에 대응하기 어려운 방법이다. 따라서 일반적으로 사용하기보다는 횡단표사에 의한 침식이 심각한 구간에 한정하여 설치하는 것이 바람직하다.

일반적으로 주요 건물이나 기간시설이 있어 보호가치가 높은 배후지역을 방호하기 위해 침식되는 해안에 호안이나 사면보호공을 설치하는 경우가 많다. 이 공법은 우선 횡단표사에 의한 침식작용이 절대적으로 우세할 경우 효과적인 것으로 알려져 있다. 직립호안의 경우 파랑에 의한 사구 및 해안절벽의 침식 방지에 용이하며 사구방향으로 비사 감소를 기대할 수 있다.

반면 연안표사에 의한 침식작용에 대해서는 물리적으로 전혀 영향을 주지 못하고 오히려 하류부에 침식이 발생한다는 단점이 있다. 또한 입사파의 반사에 의하여 호안 전면부에 침식이 발생하기 쉽기 때문에 이 공법

의 적용 자체가 침식을 억제하고 개선하기보다는 단지 국부적인 방호를 목적으로 하는 수준이고, 결과적으로는 침식이 되는 지점을 표사계의 하류부로 옮기는 것에 불과하다. 또한 경성공법은 폭풍 등 이상재해로 시설물에 피해가 발생할 경우 상대적으로 높은 복구비가 소요되며 토지소유자의 사석 투하 등 비전문가의 근시안적·무계획적인 시공이 이루어질 가능성이 높다. 이는 장기적이고 거시적인 관점에서 보면 침식 문제를 오히려 악화시키는 상황이 되고 만다. 특히 이 공법은 해안을 인공적으로 피복해버리기 때문에 해당 연안공간이 해수면 상승 등의 기후변화 및 환경변화에 적응할 수 있는 자연적 기능을 근본적으로 상실하게 한다.[18)]

#### ② 연성방호

연성공법은 경성공법과는 달리 연성 구조물을 설치·이용하거나 해당 연안공간의 자연지형 및 지물에 친환경적 침식대응 기능을 부여하여 연안공간의 자연성을 최대한 유지·보전하면서도 효과적인 침식대응·관리를 도모하는 방법이다. 연안지역의 기후변화와 이에 따른 연안침식에 대응하여 해당 연안공간의 지속가능성을 최대한 복원·보전하는 데 그 의미가 있다. 현재 많은 나라에서 보다 효과적인 방법을 찾고자 연구·개발 중이다. 여기서는 대표적인 연성공법인 양빈과 비사포집, 식재, 지오튜브를 자세히 살펴본다.

##### 가. 양빈

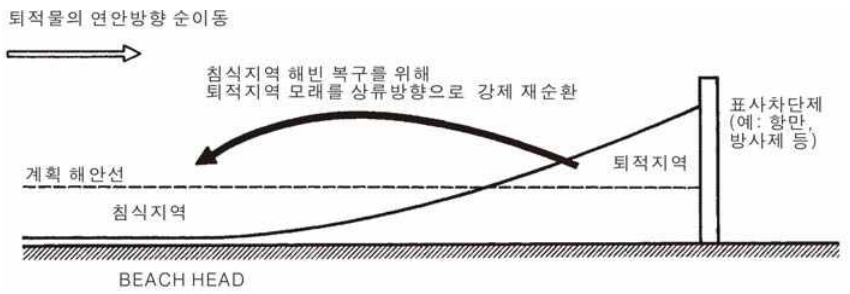
가장 대표적인 연성공법인 양빈은 다른 지역의 모래를 침식이 발생한 연안에 인공적으로 공급하여 자연 상태와 유사한 연안공간으로 복원하는 방법이다. 이 공법은 해안의 침식 문제는 해당부분에 모래가 부족한 데서 기인하므로 이를 인공 구조물의 설치로 해결하려는 시도는 또 다른 역효과

18) 국토해양부, 『연안정비사업 침식관리 가이드북』 2010. pp. 93~94.

를 초래할 가능성이 높고 부족한 부분에 모래를 채워 넣으면 된다는 경험과 지식에서 출발한다.

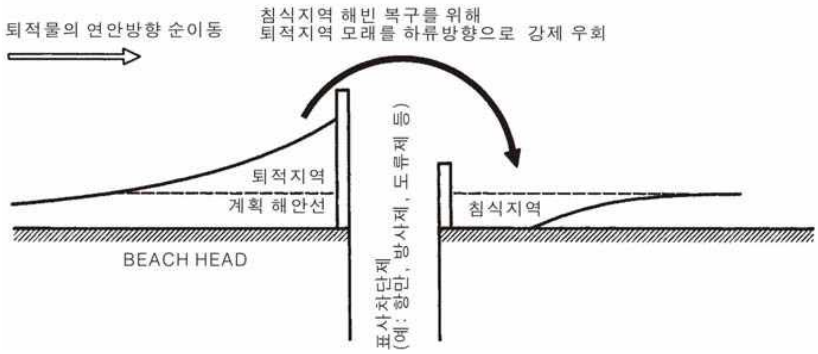
양빈은 2차 침식이 없고 환경피해가 상대적으로 적고 경우에 따라 해당 해빈을 친환경적으로 복원할 수 있기 때문에 최근에는 연안침식에 대응하는 최적의 방안으로 인식되고 있다. 최근 그 효과를 극대화하기 위하여 양빈과 더불어 양빈모래 유실방지를 위한 종단돌제 등의 구조물을 병행하여 시공하는 경우가 많다. 또한 양빈을 시공하는 과정이나 양빈 이후에도 투입한 모래가 유실되는데 이 역시 바로 양빈의 자연스런 과정이라고 할 수 있다. 아울러 양빈에 필요한 모래의 확보와 경우에 따라 추가적인 유지양빈과 이를 위한 지속적인 재원 투입이 필요하다. 특히, 장기간에 걸친 양빈사업의 효과를 극대화하기 위해서는 주변 해역의 가용모래분포와 해당 해안의 모래 유・출입 현황 등의 수리・퇴적작용에 대한 면밀한 조사가 필요하다(해양수산부, 2007, p. 310).

국토해양부(2010)의 『연안정비사업 침식관리 가이드북』에는 우리나라에서 활성화가 필요한 침식방지대책으로 어항 및 해안시설물 주변의 퇴적모래를 이용한 순환양빈(Sand Recycle)과 우회양빈(Sand Bypassing)을 제시되어 있다.




자료: 국토해양부, 『연안정비사업 침식관리 가이드북』, 2010, p. 96

**| 그림 3-3 |** 순환양빈(Sand Recycle)




자료: 국토해양부, 『연안정비사업 침식관리 가이드북』, 2010, p. 96

**| 그림 3-4 |** 우회양빈(Sand Bypassing)

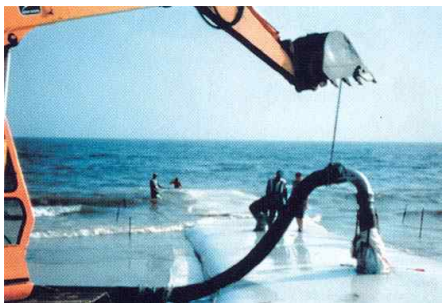
연안침식에 대응할 때 양빈공법을 적용하면 단기간에 해빈 확장이 가능하며 해안선 후퇴의 저지에 가시적인 효과를 도출하기 쉽다. 또한 횡단표사의 작용으로 연안사주(일종의 모래 완충지역)가 형성될 수 있어 이를 통해 내습파랑의 감소와 침식저감 효과도 기대할 수 있다. 양빈 공법으로 해안의 동적 평형을 자연상태에 가깝게 복원하는 것을 지향하기 때문에 특히 연안표사계가 교란되면서 발생한 침식과 제반 악영향을 줄이는 데 효과적이다. 양빈은 장기적인 측면에서 보면 오히려 상대적으로 저렴하고 특히 항만 및 하천의 준설토를 이용하면 비용을 크게 줄일 수 있다.

반면, 불리한 점으로는 폭풍 내습 시 해안에 공급한 모래가 깊은 수심으로 이동·유실되어 양빈으로 형성된 사구나 해빈이 훼손되기 쉽다. 또한 이 공법을 적용하기 위해서는 비교적 많은 모래가 필요하며 자갈을 재료로 사용할 경우 그 효과가 적다. 양빈을 적용할 때 재료가 되는 양빈용 모래에 니질이 포함되거나 색깔이 짙으면 해안의 관광이나 휴양 활동에 바람직하지 못한 영향을 줄 수 있어 양빈 해안에 어울리는 크기와 성질을 가진 모래를 선택해야 한다.[19]

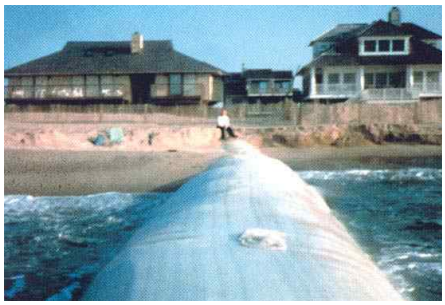
### 나. 지오튜브(Geotextile tube)

지오튜브는 사구 혹은 후빈의 침식에 경제적으로 대처할 수 있는 공법으로 과거에는 지오튜브를 보조적으로 사용하는 경우가 많았다. 그러나 지오튜브의 설치비용이 저렴하고 친환경적이라는 점이 알려지면서 최근 이용이 늘어나고 있다. 또한 상대적으로 구조 변경과 복구가 용이해 경성 구조물의 시공에 앞서 지오튜브를 시험적으로 시공하여 그 효과를 가늠하고 경성구조물의 최종 배치를 확정하기도 한다.

지오튜브 정렬



Sand Slurry 주입



완성된 지오튜브 돌제

지오튜브 돌제군(群)

자료: 국토해양부, 『연안정비사업 침식관리 가이드북』, 2010, p. 113

**| 그림 3-5 |** 노스캐롤라이나 Bald Head Island 지오튜브 돌제군

19) 국토해양부, 『연안정비사업 침식관리 가이드북』 2010. pp. 93~94.

### 다. 비사포집[20)]

비사에 의해 형성된 해안사구는 해빈을 구성하는 퇴적물의 자연적 저장소라고 할 수 있다. 사구가 훼손되거나 해빈과 사구 사이에 모래 이동이 차단되면 장기적으로 해빈의 관리에 문제가 발생할 수 있다. 따라서 해안사구나 모래해안의 유지나 확장을 목적으로 비사를 포집할 수 있는 다양한 형식의 비사방지 울타리가 사용되고 있다.

기지포 해수욕장 (2002. 1)

기지포 해수욕장 (2009. 1)

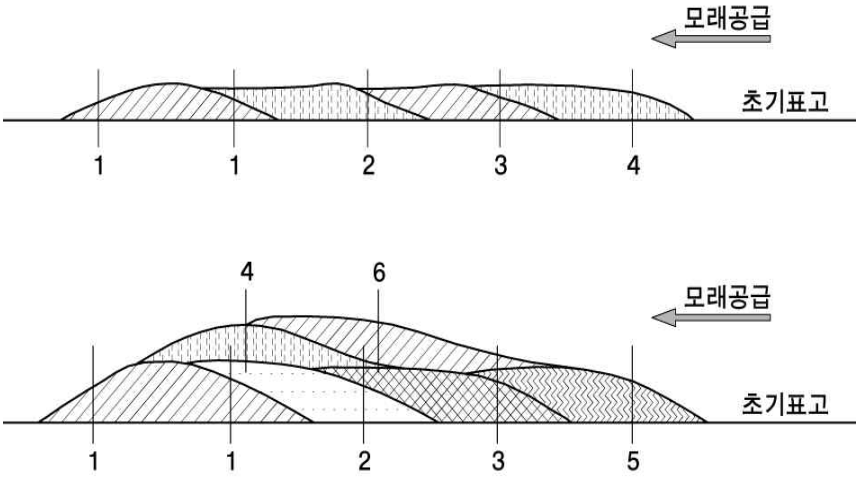
삼봉 해수욕장 (2003. 11)

Massachusetts, U.S.

자료 : 국토해양부, 『연안정비사업 침식관리 가이드북』, 2010, p. 117

**| 그림 3-6 |** 비사포집 울타리 시공사례

20) 해양수산부, 『연안침식방지 기술개발 연구용역(제1차년도)』, 2005. pp. 143~144.



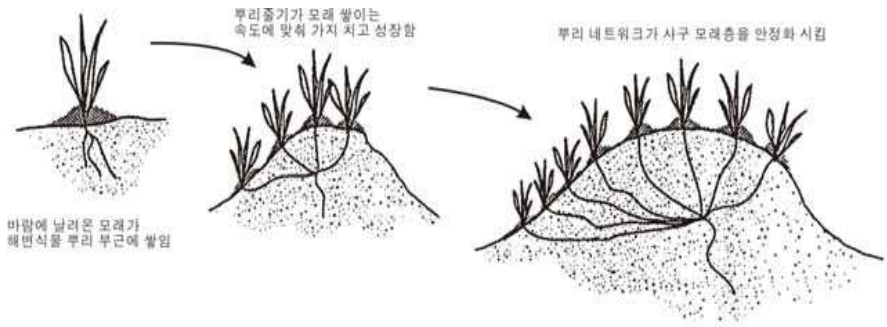

자료: 국토해양부, 『연안정비사업 침식관리 가이드북』, 2010, p. 116

**| 그림 3-7 |** 사구확장(위) 및 사구승고(아래)를 위한 울타리 설치순서

### 라. 식재

식재 역시 비사포집용 울타리와 함께 사구의 안정화에 사용되는 중요한 방법이다. 사구나 해빈부에 초본류를 식재하고 방문객에 의한 훼손 및 침식을 방지하기 위하여 사구 위에 보드워크를 설치하기도 한다. 또한 이 공법은 사구뿐만 아니라 해조류와 같은 연성 식생(flexible vegetation)은 물론 강성의 삼림성 식물(mangrove)과 같은 다양한 해양식생들을 이용하여 해빈의 침식 및 표사이동을 제어하는 방법으로 적용할 수 있다.

연안에 식물을 식재해 해안침식을 관리하는 기법은 이들 식생이 육지로부터 유입되는 오염물을 정화하거나, 각종 어패류에 최적의 서식공간을 제공하기 때문에 매우 친환경적인 방법으로 향후 연구와 개발을 확대할 필요가 있는 분야이기도 하다.




자료: 국토해양부, 『연안정비사업 침식관리 가이드북』, 2010, p. 116

**| 그림 3-8 |** 식물의 사구안정화 과정

### ③ 연안도심 수변재생공법[21)]

연안에 위치한 도심 지역은 비도심지역과는 달리 주거 및 생활 인구가 많고 지역경제의 중심축으로 해수면 상승과 같은 취약요인에 직접적으로 영향을 받을 수 있다. 우리나라 대부분의 연안 도심지역들은 오랜 기간 고밀도로 개발되는 과정에 난개발 또는 개발 지체현상을 겪으며 자연적인 연안의 성격을 잃어버린 것은 물론 침식 및 재해의 위험에도 심각하게 노출되어 있다.

연안도심 지역의 수변을 재생하여 자연성을 높이기 위한 공법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 직벽구조의 콘크리트 피복구조의 호안에 추가적으로 어패류, 수중생물 등의 산란 및 서식을 위한 공간을 마련하는 추가 설치식 공법(additional installment)과 기존의 구조물을 제거하고 인공적으로 조간대 서식환경을 형성하는 재건의 방법(reconstruction)이 있다(안용성, 2012).

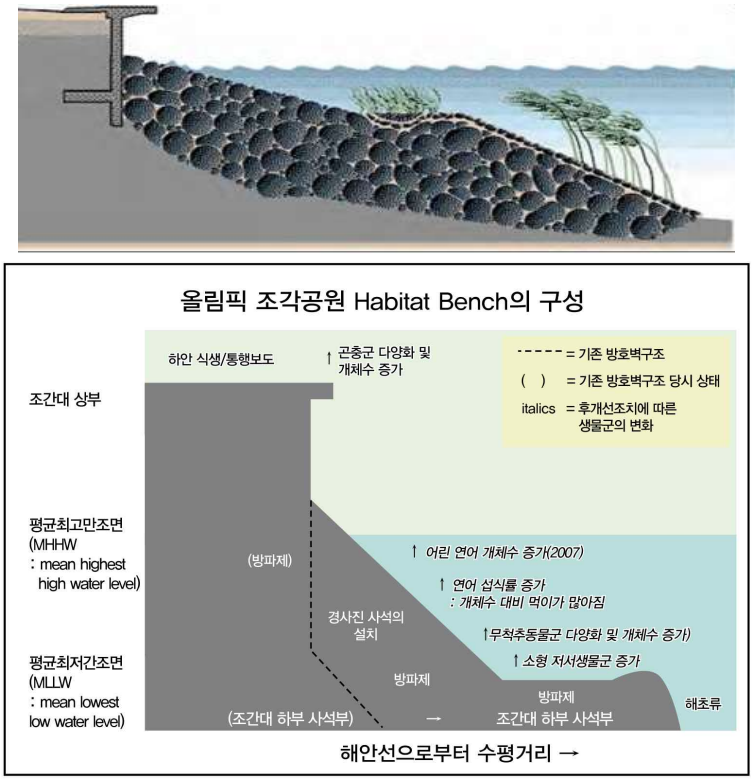
21) 안용성, 「연안공간의 생태적 재개발방안」, 2012년 한국도시행정학의 추계학술대회 발표집, 2012.

### 가. 추가 설치식 공법

추가 설치식 공법은 기존 직벽호안에 일종의 인공적인 서식지를 만드는 것으로, 재료의 종류나 조성되는 유사 조간대의 경사 및 형태에 따라 다음과 같은 방법들이 있다.

#### 가) Habitat(Intertidal) Bench

Habitat Bench 또는 Intertidal Bench로 불리는 이 공법은 직벽 호안이나 방파제 등에 바다쪽으로 사석을 쌓아 완만한 경사의 유사 조간대를 만들어 주는 방법이다. 미국 워싱턴주 올림픽 조각공원(Olympic Sculpture Park)의 조경계획의 일환으로 직벽구조의 호안을 친수생태공간으로 바꾸는 정비사업에 사용되었다. 당시 도심의 폐산업용지 주변으로 연안을 따라 설치되어 있던 인공방호벽 형태의 기존 방파제를 생태적으로 재개발하기 위하여 개발 적용된 기법이다. 이 기법은 인공적으로 수중식생을 복원하는데 매우 효과적인 방법으로 완만한 경사의 얕은 수심을 형성하여 수중 식생의 서식환경을 제공하고 이 공간에 어린 어패류가 서식하면서 생태계의 생산력이 증가하는 선순환 구조를 형성한다. <그림 3-9>에서 볼 수 있듯 콘크리트 구조물 위주의 인공방호벽 형태의 도심연안에 인위적으로 연안식생의 서식공간을 제공함으로써 연안의 생태적 기능은 물론 침식 및 재해에도 친환경적으로 대응하는 기능을 부여하였다.




자료 : 시애틀 시청(워싱턴주, 미국), *Elliott Bay Seawall Project: : Glossary*, 2010. ; University of Washington, *Olympic Sculpture Park : Year 3 Monitoring of Shoreline*, 2010, p. 4 를 참조하여 재작성

**| 그림 3-9 |** Habitat Bench의 개념도

자료 : 시애틀 시청(워싱턴주, 미국), *Elliott Bay Seawall Project: Glossary*, 2010

**| 그림 3-10 |** 올림픽 조각공원의 Habitat Bench 설치 예시

미국 워싱턴주 올림픽 조각공원(Olympic Sculpture Park) 방파제의 경우, 기존의 콘크리트 구조물에 바다쪽으로 사석을 덧대어 구조적으로 보강하고 사석부의 조간대에 Habitat Bench를 설치하였다.

나) Habitat Skirt

Habitat Skirt 혹은 Habitat Apron이라고 불리는 이 공법은 조간대 생물에 새로운 서식환경을 제공하는 일종의 인공어초의 개념에서 출발한 방법이다. 캐나다 밴쿠버시의 밴쿠버 컨벤션센터 확장공사의 일환으로 진행된 연안정비사업에서 이 공법이 사용되었다. 이 기법은 경기장의 외야관람석과 비슷한 형태의 구조물을 호안에 부착하는 형태로 어린 연어나 기타 어린 물고기들의 서식환경을 제공하기 위하여 설계되었다.

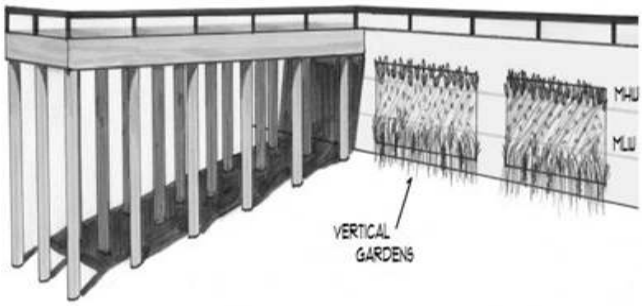
자료 : 시애틀 시청(워싱턴주, 미국), *Elliott Bay Seawall Project: Glossary,* 2010

**| 그림 3-11 |** 밴쿠버 컨벤션센터의 Habitat Skirt 설치 예시

다) 기타

그 외 방법으로 Vertical Garden과 Seawall Habitat Panels이 있다. Vertical Garden은 육상에서 도심녹지율을 높이기 위한 방안의 하나로 건물 외벽에 식재하는 방법과 유사하게 방파제나 호안의 벽체에 직접 해안식물을 식재할 수 있는 프레임을 설치하는 방법이다. Seawall Habitat Panels은 여러 가지 형태의 콘크리트 판넬을 방파제 혹은 호안벽에 부착하는 방법으로 2008년 Elliott Bay의 방파제에 시범적으로 설치하여 생물종의 증가 여부를 시험하기

도 하였다. 지속적인 모니터링을 한 결과 해조류, 따개비 등 해양생물이 대규모로 이 판넬에 정착하여 서식하는 것으로 관찰되었다.




자료 : 시애틀 시청(워싱턴주, 미국), *Elliott Bay Seawall Project: Glossary,* 2010

**| 그림 3-12 |** Vertical Garden의 개념

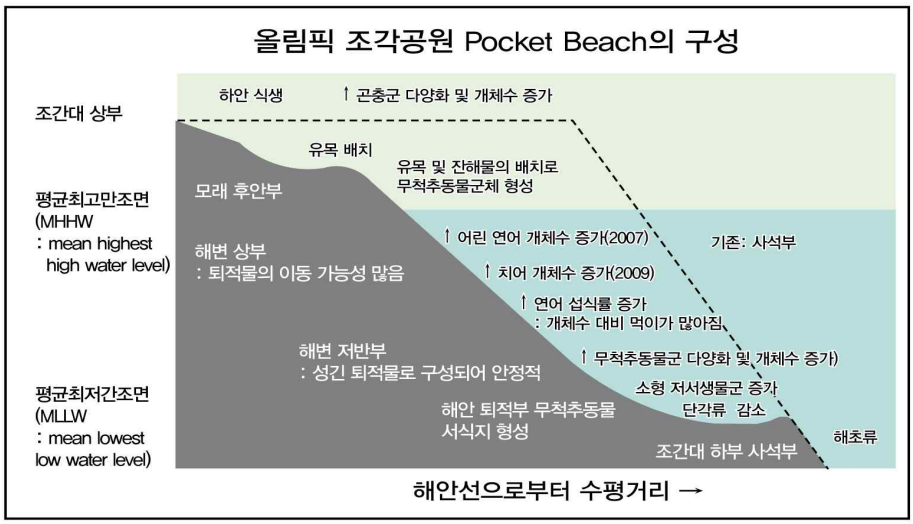
자료: 시애틀 시청(워싱턴주, 미국), *Elliott Bay Seawall Project: Glossary*, 2010

**| 그림 3-13 |** 시범적으로 설치된 Seawall Habitat Panels

### 나. 인공 조간대 재건공법(reconstruction)

이 방법은 기존의 직벽 구조 또는 자연연안의 기능을 현격하게 훼손하는 구조의 호안구조물을 제거하고 자연재료를 사용하여 조간대 환경을 인공적으로 재구성하는 것이다. 대표적인 예가 인공적으로 Pocket Beach를 재건하는 것으로, 이 방법 역시 미국 워싱턴 주 올림픽 조각공원(Olympic Sculpture Park)에서 조경계획의 일환으로 활용되었다. 일부 호안에 Habitat

Bench를 설치하고 나머지 부분의 콘크리트 구조물을 걷어낸 후 사석으로 얕은 수심을 형성하여 Pocket Beach를 구성하였는데, 이렇게 만들어진 Pocket Beach의 얕은 수심부에는 어린 연어들이 살 수 있는 서식지를 조성하고 Beach의 상부에는 식물을 심고 부착기질이 될 수 있는 목재 조각들을 설치하여 연안서식환경의 복원을 꾀하였다.




자료: University of Washington, *OLYMPIC SCULPTURE PARK: YEAR 3 MONITORING OF SHORELINE*, 2010, p. 4 를 참조하여 재작성

**| 그림 3-14 |** Pocket Beach 개념도

Pocket Beach는 본래 두 개의 연안 돌출부 사이에 형성되는 소규모의 모래해안으로 이와 같은 형태는 주변의 표사계 및 해안선의 변화에 영향을 적게 받는다. 이러한 특징을 이용하여 연안정비 시 친수접근공간의 형성이 필요할 경우 기존의 호안을 제거하고 그 자리에 Pocket Beach 형태의 소규모 모래해안을 형성할 수 있다. 이는 조간대의 본래 모습에 가까운 형태로 복원하는 적극적인 방법으로 장기적으로는 조간대 기능을 상당 수준 복원할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 도심 수변부를 일률적인 호안 구조가 아닌 친수가 가능한 수변 접근공간을 디자인할 수 있는 방법이기도 하다.

| 표 3-2 | 미국 워싱턴주 올림픽 조각공원의 공법 적용

| | |
|---|---|
| | (과거 상태)<br><br>콘크리트 구조물 위주의 인공방호 형태의 연안의 사석(Riprap)및 방파제로 연안공간의 생태적 기능 및 자생적 기후변화 대응능력이 전무한 상태 |
| | (공법의 적용)<br><br>재시공한 사석 부분에 Pocket Beach를 만들고, 기존의 방파제에 Habitat Bench를 보강하여 생물의 서식공간을 제공<br>→ 연안에 서식환경을 인공적으로 복원하여 연안 생태계의 재생능력과 기후변화 대응능력을 제고<br>※ 최고조 시 모습: Habitat Bench는 수중에 있음. |
| | (공법의 적용)<br><br>최저조 시 노출된 Habitat Bench의 모습 |

자료 : 안용성, 「연안공간의 생태적 재개발방안」, 2012년 한국도시행정학회 추계학술대회 발표집, 2012, ; University of Washington, *OLYMPIC SCULPTURE PARK: YEAR 3 MONITORING OF SHORELINE*, 2010, p. 2 에서 발췌, 재구성

### 2) 네덜란드 역동적 해안보존(Dynamic Preservation) 정책

네덜란드 정부는 1990년 해안 보호에 대한 새로운 국가정책을 결정했다. 1990년 상태로 해안선을 유지하여 저지대 간척지의 안전성과 해안사구를 보전하는 것이다. 네덜란드 해안선 보호에서 가장 중요한 방법은 양빈이다. 1991년 이후 매년 약 700만㎥의 모래를 해안에 공급했다. 양빈공법을 시행한 후 성과평가를 통해 확인한 결과 양빈이 가장 효율적이고 효과적인 해안선 보호 수단으로 밝혀졌다. 평가 결과에 따르면 양빈 정책은 지역별

해안지형이나 수리학적 조건에 따라 지역에 맞게 조정해야 그 효과가 큰 것으로 나타났다. 여기서는 가장 선진적인 해안관리 정책을 펴고 있다고 평가되는 네덜란드의 해안선 관리 정책을 살펴보고 우리의 해안선 관리의 문제점과 대응방향에 활용할 수 있는 시사점을 얻고자 한다.

### (1) 네덜란드 해안선 관리 정책의 배경

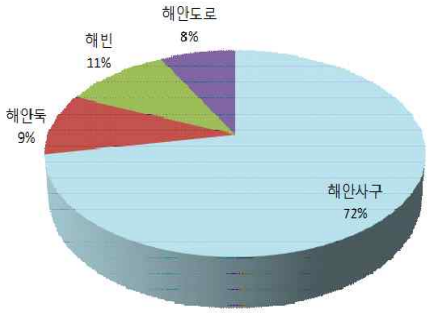
네덜란드는 전 세계적으로도 인구밀도가 높은 나라[22]로 하구를 따라 낮은 곳에 취락이 발달하였다. 이천년 전부터 해안사구 배후의 습지를 배수하며 간척을 시작했고 이후 천년 후부터는 바다와 강을 따라 홍수를 막기 위한 둑을 쌓으면서 본격화되었다. 현재 네덜란드 국민의 60%는 해수위보다 6m나 낮은 간척지에 살고 있는데 역설적으로 네덜란드는 폭풍해일에 의한 침수 피해에 안전한 국가로 알려져 있다(CHillen & Roelse, 1995, p. 17).

네덜란드는 1953년 해일에 의한 대홍수로 1,800명이나 사망하고 국가 총생산의 14%나 감소하였다. 이후 네덜란드 의회는 홍수에 대한 새로운 안전기준과 해안방어의 모든 수단을 법적으로 수용한 '수방법(Water Defence Bill)'을 제정하였다. 이후 중요산업과 인구가 밀집된 중부 홀란드지역의 둑은 만년 빈도의 태풍해일에도 견딜 수 있는 수준으로 건설하였고 이보다 경제적 가치가 덜한 다른 지역은 다소 낮은 안전기준을 적용했다.

네덜란드 해안선 길이는 350㎞에 달하는데, 이 중 73%에 달하는 254㎞는 사구로 되어 있고, 해안 방조제 34㎞, 해빈(beach flats) 38㎞, 해안도로나 옹벽 27㎞로 해안이 구성된다. 해안사구의 폭은 200m 미만에서 5㎞가 넘는 것까지 다양하다. 서부지역에 교란되지 않은 해안은 연간 침퇴적률이 불과 수 미터에 불과할 정도로 안정적이다. 반면 북부와 남서지역의 해안을 따

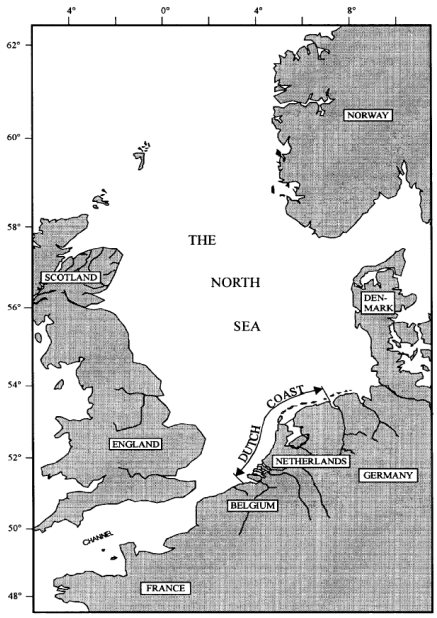
22) 미국 중앙정보국(CIA)의 World Factbook에 따르면 3만 3,893㎢의 육지 면적에 약 1,673만 명이 거주하여 인구밀도는 약 494명/㎢으로 우리나라 인구밀도 489명/㎢과 유사한 수준임.

라 도서가 연이어 발달한 해안에서는 해안선의 변화가 매우 역동적이다. 도서지역은 해안에 따라 침식과 퇴적이 매우 다르게 나타하는데, 북부지역의 말단에 위치한 일부 섬에서는 해빈(beach flat)이 많고 이곳에서는 연간 100m 이상의 해안선 이동이 흔히 나타난다.




자료 : Hillen, Roeland and Pier Roelse, "Dynamic Preservation of the Coastline in the Netherland", *Journal of Coastal Conservation*, 1, 1995

**| 그림 3-15 |** 네덜란드 해안선 현황




자료 : Hillen, Roeland and Pier Roelse, "Dynamic Preservation of the Coastline in the Netherland", *Journal of Coastal Conservation*, 1, 1995

**| 그림 3-16 |** 네덜란드 해안선 현황도

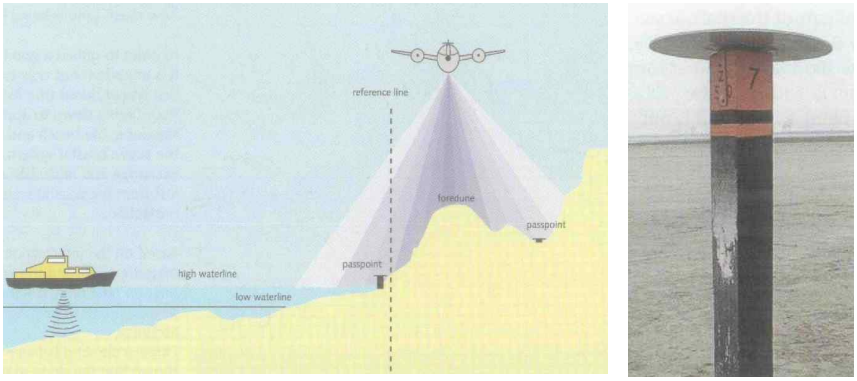
네덜란드에서 해안사구는 해안방호의 가장 핵심적인 역할을 할 뿐만 아니라 식수를 공급하는 역할도 하기 때문에 오래전부터 사람의 거주가 제한되었다. 주변국들이 해안사구를 적극적으로 개발하고 이용한 데 반해 네덜란드는 해안사구의 자연적 가치에 주목했으며 해안사구 전 지역을 현재 생태적 중심축으로 관리하고 있다(Anon, 1990).

자료 : National Institute for Coastal and Marine Management, *Coastline Management*, 1996

**| 그림 3-17 |** 네덜란드 해안사구 전경

네덜란드에서는 19세기 중반 이후 해안사구 관리를 위해 해안사구의 시작점(해안쪽 말단부)과 고조위, 저조위를 매년 측정했다. 해안을 따라 200~250m 간격으로 관측봉(passpoint)을 박고 이를 측정기준으로 이용하였다(<그림 3-18>참조). 1960년대 중반 이후에는 원격탐사 기법을 이용해 육지지역을 관찰하고 해안은 측심장비를 이용해 조사했다. 또한 기준이 되는 해안에서는 육지쪽으로 200m, 바다쪽으로 약 800m를 범위로 하여 해안의 지형 단면을 관찰하였다. 매년 얻어낸 관찰 결과는 모든 종류의 해안선 연구와 평가에 활용할 수 있도록 제공된다. 예를 들어 이 관측결과를 이용해 서로 다른 시간적·공간적 스케일에 따라 네덜란드 해안에서의 모래 수지

에 관한 연구가 이루어지기도 하였다. 이를 통해 앞으로 어느 지역에 침식이 될지, 퇴적이 될지를 예측할 수 있게 되면서 해안선의 이동과 변화까지 예측하는 수준까지 이르렀고, 이런 정보는 결국 해안침식에 대응하는 데 가장 필수적으로 이용된다.




자료 : National Institute for Coastal and Marine Management, *Coastline Management*, 1996, p. 5

**| 그림 3-18 |** 네덜란드 해안침식 모니터링 모식도와 관측봉

### (2) 역동적 해안선 보존 정책

네덜란드 의회는 정부의 제안에 기초해서 1990년 새로운 해안방어정책인 '역동적 해안선 보존 정책(Dynamic preservation of the coastline)'을 채택하였다. 해안침식에 대응하기 위해 주요 정책수단으로 양빈을 우선적으로 선택했으며, 이를 통해 해안을 범람으로부터 안전하게 지키고 동시에 사구와 해빈의 자연적 가치나 휴양활동 등으로 얻는 편익을 유지하는 데에 초점을 맞추었다.

1995년에는 평가 보고서에서 얻은 결론과 정책 제언을 담아 역동적 보존 정책의 첫 번째 개정판이 나왔다. 이에 따르면 1990년 이후 네덜란드 해안선의 구조적인 침식현상은 정체된 양상을 보인다는 점이며, 이는 양빈이 네덜란드의 모래해안에서 나타난 침식에 대응한 효과적인 정책으로 평가

된다는 점, 그러나 아직까지 연안의 자연적 동역학적인 복원은 충분하지 않으며, 이를 위해서는 해안선 중심의 접근에서 나아가 연안관리로 정책적 범위가 확대해야 한다는 점이 지적되었다.

역동적 해안보존 정책은 1990년 법제화가 되었지만 이미 1980년대부터 논의가 이루어졌다. 1989년에 출간된 신 정책에 대한 '논의보고서(Discussion Document)'에 따르면 해안방어 정책으로 다음의 네 가지 정책 대안을 검토했다.

① **후퇴(retreat)** : 침식이 간척지역의 안전을 위협하는 곳에서는 해안 후퇴는 유일한 대책
② **선택적 보존(selective preservation)** : 간척지역의 안전이 위협되는 곳이거나 사구와 해변의 주요 편익이 훼손되는 곳으로 인간에 의한 조치가 필요한 곳
③ **보존(preservation)** : 해안선을 1990년대의 상태로 유지
④ **전진(expansion seaward)** : 침식이 집중되는 지역에서 인공적인 방호 대책으로 바다쪽으로 시설물을 설치하여 해안의 후퇴 현상을 정지

네 가지 정책수단의 경제적 효과에 대해서도 검토하였는데, 1990년부터 2090년까지 각 대안을 시행하여 얻은 편익과 비용을 비교하였다. 또한 네덜란드의 역동적 해안보존 정책이 결정되는 데는 다양한 이해관계자들의 참여가 있었다. 의견수렴을 거친 결과 세 번째 대안인 '보존' 정책에 대한 선호가 가장 높았다. 이는 인구밀도가 높고 토지이용이 집약적으로 이루어지는 네덜란드의 여건에서는 불가피한 선택일 수 있는데, 이 정책을 통해 해안사구와 해변의 가치와 편익을 보전하고 동시에 침수·범람에 대응할 수 있는 수단을 선택했다고 볼 수 있다. 다만 해안사구의 특성과 자연계의 동역학적 현상을 유지해야 한다는 측면에서 역동적(dynamic)이란 표

현이 추가되었다.

보존정책은 네덜란드 해안보호정책의 신기원이라고 할 수 있다. 정책이 채택되기 된 1990년 이전까지 네덜란드 해안선의 많은 곳이 침식의 피해를 입고 있었고, 심한 지역은 과거 4세기 동안 5㎞나 해안선이 육지로 물러나기도 했다. 새로운 해안보호정책이 채택되면서 침식 중인 해안선마저도 1990년의 해안선으로 유지하기 위해 적극적인 해안 보호 정책을 실시해야 했다. 이를 통해 연안지역이 제공하는 주거, 휴양, 음용수 제공 등의 기본적인 기능을 유지하고 해안선을 위협하는 침식현상에 대응하고자 하였다.

### (3) 양빈(sand nourishment)의 활용과 효과

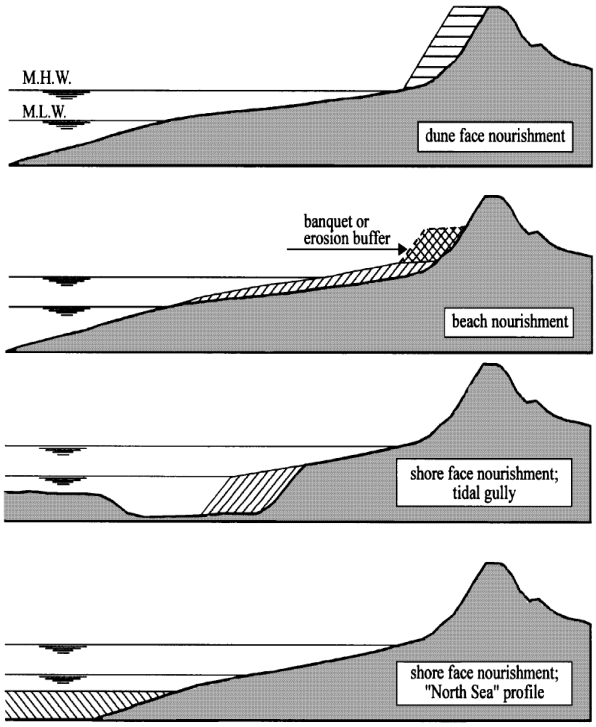
1990년에 채택된 해안선 보존 정책에서 양빈정책이 새롭게 부각되기는 했지만 1970년대 말까지 양빈은 네덜란드 해안관리 정책에서 가장 흔한 방법이기도 했다. 그러나 당시 양빈은 몇몇 훼손된 해안선의 복구를 위해 이용되었을 뿐이고, 1990년 이후에는 해안선의 해침현상(해안선이 육지쪽으로 이동하는 현상)을 막는 수단으로 활용된다. 양빈에 필요한 모래는 북해의 수심 20m가 넘는 곳에서 채취하고 이를 수심 6~8m의 얕은 해안에 공급한다. 해변에 모래를 공급하면 해안선은 임시로 바다쪽으로 전진하는 효과를 보게 된다. 장기적으로 양빈은 침식에 효과적인 대응수단이면서 융통성이 있고 특히 경제적으로도 효과적인 방법으로 평가되었다(Roelse, 1990).

1990년 새로운 해안보호 정책이 채택된 이후 매년 약 700만㎥의 모래를 네덜란드 해안에 공급하였고(<표 3-3> 참조), 여기에 매년 든 비용은 미 달러화 기준으로 3,500만 달러에서 4,000만 달러, 우리 돈으로 360억 원에서 410억 원에 달한다. 이는 결국 해안선을 관리하는 비용으로 볼 수 있는데, 이를 단위 해안선 당 관리비용으로 환산하면 같은 단위의 도로 관리비용보다 저렴한 수준이다.

| Ⅱ 3-3 | 네덜란드 주요 양빈 현황(1991~1994)

| 연도 | 지역 | 양빈량(Mm³) | 연간 총량(Mm³) |
|---|---|---|---|
| 1991 | Texel - De Koog | 2.0 | 7.5 |
| | Callantsoog | 0.5 | |
| | Petten | 0.4 | |
| | Scheveningen | 1.0 | |
| | Hoek van Holland | 0.3 | |
| | Schouwen - Kop | 2.5 | |
| | Westk. - Zoutelande | 0.8 | |
| 1992 | Ameland - midden | 1.6 | 7.5 |
| | Den Helder | 0.9 | |
| | Egmond - C'duin | 1.5 | |
| | Hoek van Holland | 0.6 | |
| | Slufterdam | 1.1 | |
| | Domburg | 0.7 | |
| | Zoutelande - Vijgeter | 0.9 | |
| | Vijgeter - Clissingen | 0.2 | |
| 1993 | Terschelling - midden | 2.0 | 6.3 |
| | Texel - zuidwest | 1.5 | |
| | Kijkduin - Ter Heijde | 1.1 | |
| | Hoek van Holland | 0.2 | |
| | s-Gravenzande | 0.7 | |
| | Noord - Beveland | 0.4 | |
| | Walcheren - Veerse Dam | 0.2 | |
| | Walcheren - Oranjezon | 0.1 | |
| | Breskens | 0.1 | |
| 1994 | Texel - zuidwest | 0.8 | 5.9 |
| | Bloemendaal / Zandvoort | 0.5 | |
| | Hoek van Holland | 0.3 | |
| | Domburg | 0.4 | |
| | Schouwen - noord | 0.1 | |
| | Texel - Eierland | 1.3 | |
| | Adornispolder | 0.9 | |
| | Rijnland - zuid | 0.7 | |
| | Ameland - west | 0.2 | |
| | Bergen - Egmond | 0.2 | |
| | Goeree - noord | 0.5 | |

자료 : Roeland, Hillen and Piet, Roelse, "Dynamic preservation of the coastline in Netherlands", *Journal of Coastal Conservation* 1(1), 1995 재정리




자료 : Roeland, Hillen and Piet, Roelse, "Dynamic preservation of the coastline in Netherlands", *Journal of Coastal Conservation* 1(1), 1995

**| 그림 3-19 |** 네덜란드 양빈의 주요 기법

네덜란드에서 주로 활용된 양빈은 <그림 3-19>와 같은 4가지 기법이다. 사구 전면부에 모래를 추가로 공급하는 방식, 해변에 모래를 추가하는 방식, 저조위 해변과 조수로에 모래를 공급하는 방식, 조하대에 모래를 공급하는 방식 정도로 나뉜다. 이 중 두 번째로 소개된 해변에 모래를 공급하는 방식은 사구전면부에 모래포집기나 침식완충장치와 함께 시행되고는 하는데 이 기법은 해안에 파도가 강하지 않고 깊게 조수로가 발달한 경우에만 활용이 가능하다. 이는 우리나라의 해운대 해수욕장과 같이 파도가 강한 해수욕장에 침식이나 해안선 후퇴가 발생하는 경우 모래를 해변에 공급하는 경우와 대비되는데, 파도가 강한 곳의 해변에 모래를 공급하면 단기간

에 쉽게 쓸려 나갈 수 있다는 점에 유의할 필요가 있다. 반면 파도가 강하고 조류에 의한 영향이 크지 않은 해변에서는 저조위 해변과 조수로에 모래를 공급하는 방법이 효과적인 것으로 알려져 있다. 또한 양빈이 단기간에 지형에 어떤 영향을 미칠지 예측하기 어려운 곳에서는 소규모로 자주 양빈을 해주는 편이 효과적인 것으로 보고된다.

양빈을 통한 동역학적 보전 기법에 대한 평가 결과에 따르면 양빈이 해안의 지형에 대한 어떤 변화를 일으켰는지가 중요하게 평가되었다. 양빈 성과 연구는 소규모의 시간과 공간 범위에서 개별 양빈지역을 대상으로 하고 한편으로는 보다 큰 규모에서 연속적인 양빈의 복합적인 효과도 살펴봤다. 양빈의 효과를 평가하기 위한 항목에는 해안선 보존 여부, 침식에 대한 완화 효과 여부, 설계기법의 측면, 효과성, 해변의 폭, 해안사구의 침식량, 해안사구의 안정성 등이다. 개별 양빈지역의 종합 평가 결과는 아래 <표 3-4>와 같다. 평가 항목 중 ‘result’는 양빈을 통해 해안선이 유지되었는지와 기존의 해안침식이 양빈 후 완화되었는지를 평가한 항목이며, ‘effort’ 항목은 양빈 후 감소된 모래의 양과 양빈이 없을 경우 감소되었을 모래 양의 비율이다. 즉, 양빈이 없을 때 발생할 수 있는 침식량을 기준으로 하여 양빈 후 침식량을 비교한 것이다. ‘functions’ 항목은 해변의 폭(레저・휴양)이나 사구 침식지역에서 모래의 부피 유지(침수・범람 대비), 사구의 안정성(자연적 가치)에 관한 종합적인 영향을 고려한 것이다.

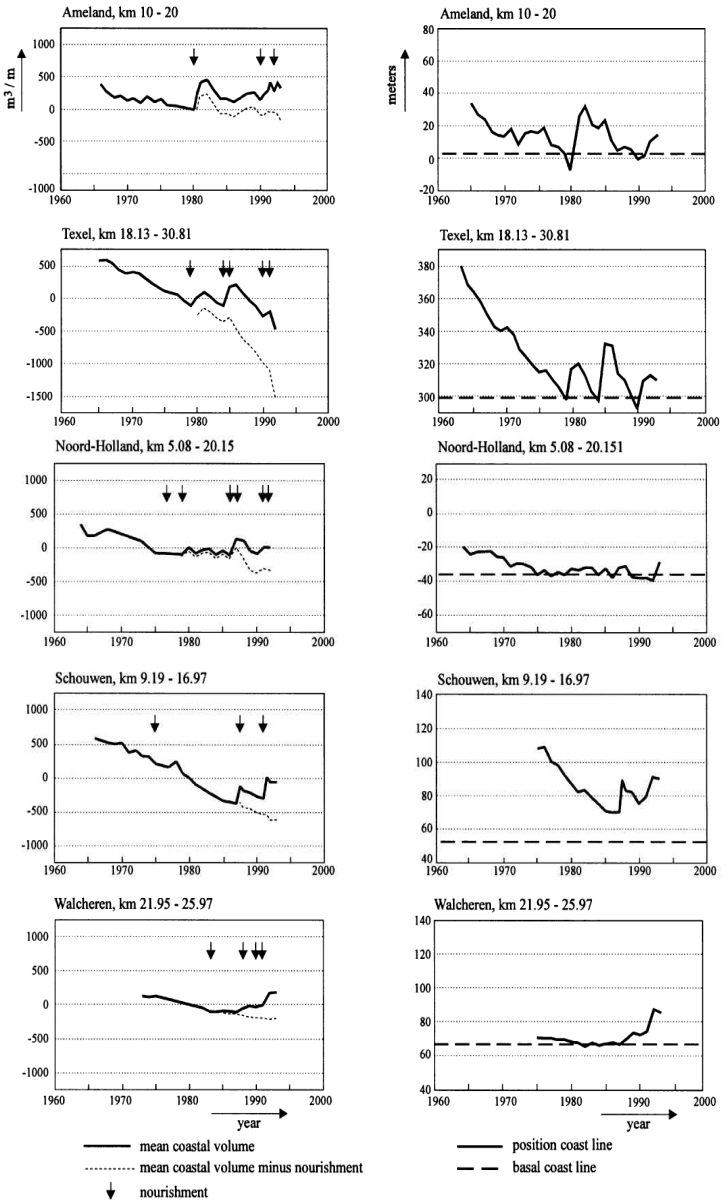
| 표 3-4 | 네덜란드 양빈지역에 대한 종합 평가결과

| 지역 | 양빈량(Mm³) | Result | Effort | Functions |
|---|---|---|---|---|
| 1. Ameland 1980 | 2.20 | ++ | ++ | ++ |
| 2. Eierland 1979 | 3.05 | + | − | + |
| 3. Eierland 1985 | 2.85 | + | + | + |
| 4. De Koog 1984 | 3.02 | − | − | + |
| 5. Callantsoog 1986 | 1.30 | + | −− | + |
| 6. Zwanenwater 1987 | 1.70 | + | + | − |
| 7. Goeree 1977 | 1.27 | ++ | | |
| 8. Goeree 1984/1985 | 0.86 | ++ | | |
| 9. Schouwen 1987 | 1.83 | ++ | + | ++ |
| 10. Cadzand 1988 | 1.02 | ++ | −− | ++ |
| ++(very good), +(good), −(moderate), −−(poor) | | | | |

자료 : Roelse, P. & Hillen R., "Evaluatie Zandsuppleties, Eindrapport(Evaluation Study of sand nourishments)", *RIKZ report* 와 Roeland, Hillen and Piet, Roelse, "Dynamic preservation of the coastline in Netherlands", *Journal of Coastal Conservation* 1(1), 1995 재인용

양빈의 효과에 대한 평가는 장기간에 걸쳐 넓은 공간적 범위에서 이루어져야 한다. <표 3-4>처럼 네덜란드의 10개 양빈지역의 퇴적물의 부피와 해안선의 이동을 대상으로 변화 경향을 1963년부터 1993년까지 살펴봤다. <그림 3-20>은 위 <표 3-4>의 10개 평가지역 중 5개 지역에 대한 해안퇴적물 부피와 해안선 변화를 보여준다.[23] Texel 지역은 워낙 침식현상이 압도적인 해안으로 양빈을 통해 해안선 후퇴나 퇴적물 체적의 감소를 억제하지 못했으나, Ameland를 비롯한 다른 네 곳은 모두 해안의 침식 현상이 정지되는 수준으로 관리된다고 평가할 수 있다.

23) <표 3-4>의 지역 구분에서 2와 3에 해당하는 Eierland를 Texel로, 5와 6 지역을 Nord Holland로, 10지역은 범위를 넓혀 Walcheren 권역으로 묶어 평가대상으로 삼음.




자료 : Roelse, P,. "Evaluatie Zandsuppleties, Eindrapport(Evaluation Study of sand nourishments)", *RIKZ report* 와 Roeland, Hillen and Piet, Roelse, "Dynamic preservation of the coastline in Netherlands", *Journal of Coastal Conservation* 1(1), 1995 재인용

**| 그림 3-20 |** 네덜란드 양빈지역 해안퇴적량 및 해안선 변화 경향

### (4) 네덜란드 해안선 관리 정책의 시사점

네덜란드 역동적 해안보존 정책이 1990년에 공식화되기는 했으나 이전부터 있던 양빈 사례가 정책 전환의 논리적 근거가 되었음을 알 수 있다. 특히 양빈지역에 대한 장기 모니터링의 결과를 통해 양빈 기법의 효과에 대한 신뢰성을 확보한 후 정책을 수립했다. 양빈에 대한 평가 결과는 1990년 양빈을 국가 단위의 해안보호 정책으로 결정하는 데 다음과 같은 몇 가지 시사점을 제시하였다.

네덜란드에서는 역동적 해안보존 정책이 있기 전에는 엄격한 전사구 관리 정책이 있었다. 사구의 이동을 최대한 억제하고 바람으로 공급되는 모래를 잡아두기 위해 여러 가지 수단들이 동원되었다. 예를 들어 사구 말단부에 모래 포집기나 스크린을 설치하기도 하였고, 사구의 구조를 유지하기 위하여 사초를 식재하기도 했다. 그 결과 네덜란드의 해안사구는 자연형 사구의 형태를 갖기는 하나 실제로는 모래로 된 제방에 불과했다. 그러나 1990년 양빈을 주요 기법으로 삼은 역동적 해안보존 정책이 결정되면서 전사구의 유지 관리 수준을 완화하였다. 특히 사구 지역의 폭이 넓은 곳에서 좀 더 여유 있는 해안보존 정책이 가능했다. 양빈은 해안선 보존에 효과적일 뿐만 아니라 사구와 해변이 가지고 있는 생태적, 환경적, 휴양적 가치를 유지하는데 도움을 주는 기법이며, 특히 해변에 모래를 직접 공급하는 방식은 파도가 심하지 않고 조수로가 발달한 곳에서 효과적인 것으로 알려졌다. 그러나 10년 이상, 그리고 10㎞ 이상으로 시공간적 규모를 확대해서 보면, 해안침식의 속도는 양빈에 영향을 받지 않는다. 즉, 양빈을 했다고 해서 해안침식의 본래 속도나 과정이 완화된 것은 아니다. 해안침식은 해안에서 모래의 부족 현상에서 발생하기 때문이다. 오히려 양빈지역의 일부 개별 사례를 보면 주변 지역으로 모래가 분산하는 효과가 있기 때문에 양빈을 할 때 침식을 메우기 위해 필요한 양보다 20% 정도의 추가적인 모래

가 필요하다. 양빈은 10년 이상 이루어지기에는 재정적으로 부담이 되기는 하나, 장기간 양빈은 해안사구가 유지되면서 얻을 수 있는 여러 효과와 같은 장점도 가지고 있다. 5년 이하의 짧은 기간 시행하는 양빈은 소규모 투자로 지역의 수요를 충족할 수 있는 장점이 있기도 하다. 해안선 관리를 위한 양빈은 해안 침식을 관리하는 데 일정 정도 효과가 있으며, 재정적으로도 다른 방식에 비해 경쟁력을 가지고 있다고 할 수 있다. 그러나 양빈의 규모나 방법은 일률적이지 않고 지역별로 다른 수리학적 조건과 지형학적 조건을 고려한 지역 맞춤형으로 이루어져야 함을 네덜란드 사례를 통해서 확인할 수 있었다.

## 3. 연안지역 공간계획

### 1) 국제사회의 기후변화 적응과 공간계획

#### (1) 공간계획 중요성 및 고려요인

기후변화는 해수면 상승, 태풍 빈도 및 강도 증가, 집중호우 증가 등을 불러왔고 재해에 취약한 연안지역에 많은 피해를 주었다. 뿐만 아니라 전 세계 연안지역 저지대(해발 10m이하)에는 약 6억 5,000만 명이 거주하고 있어 많은 사람들이 연안 재해에 노출되어 있고 특히, 재해 대응능력이 부족한 중・저개발국가에 연안지역 저지대 거주인구의 83.5%가 거주하고 있어 앞으로도 많은 피해가 발생할 수 있다(UN-Habitat, 2011). 기후변화로 연안지역에서 많은 재해 피해가 발생하였고 미래에도 피해 가능성이 높다는 사실은 전 세계 많은 연안도시들이 사전에 재해 피해를 예방하기 위하여 많은 노력을 하도록 하였다.

연안 재해에 대응하는 수단은 매우 다양하지만 공간계획은 사전예방적

수단으로 재해 관련 국제기구에서 적극적으로 활용하도록 각 국가에 권고하고 있다. '토지이용계획은 위험에 노출된 지역에서 사람과 재산을 분리하기 위한 유용한 재해 위험관리 접근법(IPCC, 2012)', '토지이용계획은 공간계획에 재해위험 경감을 포함하는 가치 있는 수단(UN-Habitat, 2009)' 등 많은 국제기구에서 재해위험 대응수단으로서 공간계획의 중요성을 강조하고 있다. 기후변화 대응에서 공간계획이 강조되는 또 다른 이유는 비용효과적인(cost-effective) 수단이라는 점이다. 공간계획을 통하여 기후변화에 대응하는 것은 직·간접적인 비용이 들지만 아무것도 하지 않아(Do-nothing) 피해를 입는 것과 비교하면 매우 적은 비용이 든다는 사실에 대체로 동의하고 있다(Wilson, E., 2006).

공간계획은 다양한 이슈를 포괄하는 정책이기 때문에 기후변화에서도 저감부문과 적응부문 모두에 활용할 수 있으나 본 연구에서 초점을 맞추고 있는 적응부문에서는 용도지역규제(zoning regulation), 후퇴(retreat), 재배치(relocation), 토지매입(land acquisition) 등 토지이용계획이 주요한 수단이 될 수 있다. 대표적인 재해 국제기구인 유엔재해경감국제전략(UNISDR : UN International Strategy for Disaster Reduction)은 지방정부가 재해에 효과적으로 대응하는데 필요한 다양한 원칙과 방법을 담은 지침*(How To Make Cities More Resilient: A Handbook For Local Government Leaders*)을 발간하면서 토지이용계획의 역할과 기능을 강조하였다. 지침에서는 도시가 재해에 효과적으로 대응하기 위하여 지켜야 할 10가지 원칙[24]을 제시하면서 토지이용계획과 관련한 내용도 제시하였다. '현실적이고, 위험을 고려한 건축물 규제와 토지이용계획 규칙 적용', '저소득층이 이전할 수 있는 안전한 토지를 찾고 무허가 주택 개선' 등이 토지이용계획과 관련이 있으며 현실에 맞고 실제 위험에 적합하며 저소득층을 배려하도록 한 점이 의미가 있다.

---

24) 조직 구성과 조정, 예산 배정, 위험 평가, 핵심 기반시설의 위험 저감, 교육프로그램 및 훈련, 생태계 및 자연적 완충기능 보호, 조기경보시스템 등에 관한 원칙을 제시함.

지침에서는 토지이용계획 관련 원칙을 실행하기 위하여 가장 먼저 도시위험평가(city risk-assessment)를 실시하고 토지이용계획 및 규제에 재해위험 경감과 기후변화영향을 고려하도록 하였다. 공간계획은 공간에 기반한 문제해결 수단[25]이므로 위험한 지역을 평가하는 것이 중요하며 토지이용계획의 출발이라고 할 수 있다. 다음으로 도시위험평가를 통하여 위험지역이 도출되면 위험지역을 관리할 수 있는 수단을 토지이용계획에 포함시켜야 한다. 큰 위험이 있는 지역에서 개발을 억제하고 기존 개발지역에서 위험을 저감시키기 위하여 건축물 종류(type), 이용(use), 점유(occupancy), 밀도(density) 등에 대한 구체적인 규제를 마련하도록 하였다. 또한 시간과 주변 여건에 따라 토지이용이 빠르게 변하므로 토지이용 유형과 취약성에 대한 정보를 최신의 상태로 유지하고 위험지역에서 추진되는 개발을  모니터링하기 위하여 도시공간과 건축물에 대한 DB를 최신의 상태로 유지하도록 하였다.

IBRD World Bank(2011)가 작성한 도시 기후변화 적응에 관한 가이드라인(Guide to Climate Change Adaptation in Cities)에서도 기후변화에 따른 집중호우, 해수면상승, 태풍강도 증가 등에 따른 홍수 위험을 경고하고 토지이용계획이 재해 대응에 중요한 수단이라는 것을 강조하였다. 그러면서 토지이용계획 수립 시 준수해야 할 원칙으로 ⅰ) 지역 기후변화 취약성에 대한 이해, ⅱ) 재해에 안전한 지역(resilient area)의 개발밀도, 복합용도개발(mix-use development) 장려, ⅲ) 도시 경계지역에서 생태적 계획 접근방식(마을단위 유역 관리, 해안선 근처 맹그로브 및 습지 보전 등) 접목 등을 제시하였다.

유엔재해경감국제전략 지침과 같이 세계은행 가이드라인에서도 도시 취약성평가에 근거하여 토지이용계획을 수립하도록 하여 공간계획에서 가장 기초적이면서 중요한 사항으로 해당 도시의 여건을 감안한 세밀한 취약

25) 공간계획은 공간기반(place-based) 문제해결(problem-solving) 수단으로 공간계획 과정에 공간을 설정(envisioned), 평가(assessed), 협상(negotiated), 동의(agreed), 표현(expressed)하는 것을 포함(Davoudi, S., *et al.,* "Climate Change and Spatial Planning Responses", *Planning for Climate Change*, 2009. pp 7~18).

지역 분석의 중요성을 강조하였다. 두 번째 원칙은 세계적으로 공간계획 분야에 복합용도개발(mix-use development), 압축도시(compact city) 개념이 널리 활용되는 것을 감안한 원칙으로 재해에 안전한 지역에 집적하여 복합적으로 개발하는 것을 유도하였다. 이 원칙은 교통거리를 단축시켜 온실가스 감축에도 기여할 뿐만 아니라 분산 개발에 따른 환경훼손을 줄이고 재해대응이 한정된 지역에 집중하여 효율성을 높이는 장점이 있다. 세 번째 원칙은 도시와 인접한 저개발 혹은 미개발된 지역에 대한 토지이용계획은 생태적 특성을 더욱 고려해야 한다는 것으로 생태계 혹은 자연지형 보전이 재해위험 감소에 중요한 역할을 한다는 것을 의미한다.

World Bank(2010)의 재해피해 후 주택 및 마을 복원 대한 매뉴얼(*Safer Homes, Stronger Communities: A Handbook for Reconstructing After Natural Disasters*)은 도시지역과 시골지역의 도시적 맥락이 다르기 때문에 토지이용계획과 같은 공간계획 수립 시 두 지역에 대한 접근방법이 달라야 한다고 하였다. 도시지역은 토지이용이 복잡하고, 토지가격이 비싸고, 기반시설 설치비용이 많이 들며, 토지가격에 미치는 영향이 크고, 주민 참여가 어렵다.[26] 또한 도시지역에서 토지이용 규제 시스템은 복잡하기도 하지만 결함이 있는 경우가 많아 토지이용규제를 피할 경우 오히려 혜택을 보는 경우가 많다는 사실을 고려해야 한다. 이와 같은 특성을 고려할 때 도시지역에서는 토지이용계획 수립 시 ⅰ) 다양한 토지이용 반영, ⅱ) 재해취약지역에 주거지를 다시 건설 시 기반시설 건설(시기, 비용 등)과 연계, ⅲ) 투명한 계획 수립, ⅳ) 기존 계획 및 규제 시스템에 기반, ⅴ) 간단하고 효과적인 규제 시스템 구축 등을 권고하였다.

반면 시골지역은 주거지역이나 개발지역이 소규모이고 토지가격이 저렴하며, 주민이나 커뮤니티의 주인의식이 높아 주민참여 여건이 성숙되어

26) 매뉴얼에서는 도시지역에서 주민참여가 어려운 이유로 '다양한 이해당사자 간 충돌', '대중 의견의 변덕', '도시거주민의 유동성', '자유시간의 제한', '공공 공간보다 사적공간에 관심' 등이라고 함.

있다. 이와 같은 시골지역 특성을 감안할 때 토지이용계획은 지질(geology), 지형(topography), 수문(hydrology), 생태(ecology) 등 자연형상(natural features)을 고려해야 한다. 토지이용계획은 시골지역의 토지가격에 큰 영향을 주지 못하지만 지속가능한 개발에 큰 영향을 줄 수 있음을 인식해야 하고, 농업 등 시골지역의 생활방식을 지원해야 한다. 또한 시골지역에서 주택은 소유자, 지역 석공(mason) 등 비 전문가가 하는 경우가 많은 사실도 고려해야 한다. 즉 매뉴얼에서는 도시, 시골처럼 공간적 맥락이 다르다면 동일한 토지이용계획이라도 다른 결과를 보일 수 있으므로 공간의 고유한 특성이 적절히 고려되어야 함을 강조한 것이다.

### (2) 토지이용계획 활용의 한계 및 유의사항

토지이용계획은 위에서 제시한 몇 가지 원칙을 준수하면 재해에 대응하기 위한 효과적인 수단이 될 수 있다. 그러나 많은 국제기구의 보고서와 논문에서는 토지이용계획과 같은 공간계획을 실행하는 데 제약요인이 많다고 지적하였다.

토지이용 계획이나 규제와 같은 토지관리 정책은 지역의 환경이나 사회경제 부문에 단기간에 가시적인 영향을 주기 어려운 반면 정치적 영향이 커 지방정부가 실행하기가 어려운 경우가 많다. 저개발국가뿐만 아니라 미국과 같은 선진국도 재해취약지역에 대한 토지이용 관련 정책(retreat, setback 등)은 연안지역에 거주하는 사람이나 개발업자의 반대가 심하여 실행하는데 어려움을 겪고 있다(IPCC, 2012, p. 306). 토지이용 계획이나 규제와 같은 토지관리 정책이 제도적·정치적 이유로 집행되는 데 어려움이 있다는 점은 UNESCO IOC(정부 간 해양학 위원회)에서 작성한 재해위험 관리에 관한 보고서(*Hazard Awareness and Risk Mitigation in ICAM*)에서도 지적하고 있다. 이 보고서에서는 용도지역 규제(Zoning controls)의 사회경제적, 환경적, 제도적·정치적 측면의 교환관계(Trade offs)를 서술하면서 환경적

측면에서는 좋지만 사회경제적 측면이나 제도적·정치적 측면에서 그리 환영받지 못한다고 보았다.

| 관리전략 | 교환관계 (trade-off) | | |
|---|---|---|---|
| | 사회·경제적 영향 | 환경적 영향 | 제도적·정치적 장애 |
| 보호 수단 (protection measures) | | | |
| 폐쇄형 게이트, 해일방벽 / 폭풍게이트 | ●●● | ●● | ◆ |
| 제방/호안 / 방조제 | ●● | ●●● | ◆ |
| 방사제 | ● | ●● | ◆ |
| 인공 헤드랜드 | ■ | ●● | ■ |
| 절벽 안정화 수단 | ●● | ●● | ◆ |
| 연안 방파제 / 초(礁) | ■● | ■ | ■ |
| 연안 쓰나미 방파제 | ■ | ■ | ■ |
| 양빈 | ■ | ■ | ■ |
| 자연방호 수단 | ◆ | ◆◆◆ | ● |
| 순응 수단 (accommodation measures) | | | |
| 피난처, 경보시스템, 대피로 | ■ | ◆ | ■ |
| 건축규정 | ◆ | ◆ | ■ |
| 배수 규정 / 정책 | ◆ | ◆◆ | ◆ |
| 용도지역제 | ◆ | ◆◆ | ● |
| 재해 후 재개발 규정 | ◆ | ◆ | ● |
| 세금과 보험 인센티브 / 벌칙 | ◆■ | ◆ | ● |
| 후퇴 수단 (retreat measures) | | | |
| 건축규정 | ◆■ | ◆ | ■ |
| 후퇴개발 | ◆■ | ◆◆ | ■ |
| 개발권 양도 | ●● | ■ | ● |
| 매입/재배치 지원 | ●● | ◆◆ | ■ |
| 용도지역제 | ◆ | ◆ | ● |
| 세금과 보험 인센티브 / 벌칙 | ◆■ | ◆ | ● |
| 제한적 자금 증식 | ◆◆ | ◆ | ■ |
| 지역권 | ◆■ | ◆ | ◆ |
| 재해 후 재건축 금지 | ◆ | ◆ | ● |

주 : 1) ·사회·경제적 : ● (고 비용), ■ (중간 비용), ◆ (저 비용)
·환경적 : ● (중대한 부정적 영향), ■ (보통의 부정적 영향, 긍정적 이익과 균형), ◆ (긍정적 영향)
·제도적·정치적 : ● (중대한 장애), ■ (보통의 장애), ◆ (최소한의 장애)
2) 표 내용은 사이트 혹은 프로젝트에 한정한 것이며, 대략적인 차원에서 판단하는 데 도움을 주기 위하여 작성하였음

자료 : UNESCO IOC, *Hazard Awareness and Risk Mitigation in ICAM Integrated Coastal Area Management,* 2009, p. 118

**| 그림 3-21 |** 위험관리수단의 사회경제적, 환경적, 제도적·정치적 교환관계

용도지역 규제는 경제발전 기회 및 세금소득을 감소시키고(사회경제적 측면) 지방정부나 민간영역에서 용도지역 규제와 같은 토지이용규제를 반대하며(제도적·정치적 측면) 재해위험지역 규명에 많은 비용이 필요하기 때문에 선호하지 않는 수단이라는 것이다. 토지이용계획과 같은 재해위험 관리수단은 그 정책을 실제로 집행하거나 적용받는 대상이 강하게 거부하는 속성이 있기 때문에 토지이용 관련 정책 수립과 집행에는 반드시 관련 이해당사자의 참여가 필요하다.

아시아재해대응센터(ADPC : Asian Disaster Preparedness Center)가 작성한 도시 거버넌스 및 커뮤니티 지속가능성을 위한 지침(Urban Governance and Community Resilience Guides)[27]에서는 IPCC 및 UNESCO IOC 보고서에서 제시한 이유를 포함하여 토지이용계획에서 재해위험을 다루더라도 지방 차원에서 제대로 실행되지 않는 다양한 요인을 제시하였다. 요인은 '정치적 의지, 역량, 제도적 체계 부족', '토지소유자 및 개발업자의 정치적 영향', '정부 정책 및 규제에 대한 사회적 무시', '타 정부기관 혹은 다른 수준(상급 및 하급) 정부의 정책과 규제에 대한 무시', '부패', '경제적 압력', '실행 가능한 대안 부재' 등으로 아시아 저개발국가를 대상으로 작성한 지침이지만 많은 요인이 우리나라에도 해당한다. 공간계획 분야뿐만 아니라 지자체가 기후변화 적응정책을 수행하는 데는 다양한 제약요인이 있다. Wilson(2006)은 '전문적, 기술적, 정치적 지원 부족', '권력(그 일을 할 수 있는 능력 혹은 힘)과 자원 부족', '전통적인 정책목표보다 낮은 우선순위', '지자체 역량을 넘어선 목표' 등을 지자체가 가지는 한계로 지적하였으며 이는 위에서 살펴본 공간계획 분야의 한계와 일맥상통한다.

지금까지는 주로 공간계획이 제대로 실행되기 어려운 외적 요인을 살펴보았다면 유엔재해경감국제전략이 작성한 재해위험경감을 위한 세계평

27) 지침 중 Chapter 4. Mainstreaming Disaster Risk Reduction을 말함.

가 보고서(GAR : Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction)에서는 토지이용계획 수립 시 간과할 수 있는 내적요인을 구체적으로 지적하고 있다. 토지이용계획에서 재해에 대한 사항을 고려하더라도 계획 수립이나 영향 예측 시 정교하지 못하면 예상하지 못한 부정적 현상이 발생할 수 있다는 사실을 지적하였다.

먼저 토지이용 관련 법, 지침, 계획 등에서 재해위험지역에 개발을 제한하는 규정이 있다면 재해에 따른 피해를 예방하는 효과가 있지만 만약 저소득층에 대한 고려가 없을 경우 재해에 안전한 지역에 저소득층이 이전하지 못하는 경우가 발생할 수 있다는 것이다. 재해위험지역에는 저소득층이 거주할 가능성이 높기 때문에 저소득층의 소득수준, 생활기반 여건 등이 고려되어야 하지만 대개의 경우 재해취약지역 내 개발 제한이라는 단순한 규제만 시행하고 있다는 것이다. 이런 문제는 저소득층이 재해위험지역에 계속해서 거주하게 되거나 다른 곳에 이주하더라도 기존 생활기반과 단절될 가능성을 내포하고 있는 것이다.

또 다른 문제는 토지이용계획이 실행되더라도 재해위험이 단일 지방정부의 토지이용계획이 포괄하는 지역을 넘어설 경우 효과적으로 실행되기 어렵다는 점이다. 다시 말하면 재해위험지역이 행정구역과 일치하지 않아 효과적으로 대응하기 어렵다는 것이다. 국가나 광역정부 수준의 토지이용계획 관련 계획이나 지침은 구체적인 지역 문제를 다루기가 어렵고 지방정부는 관할 행정구역을 넘어서는 재해위험에 대응하기가 어렵다는 데 원인이 있다. 토지이용계획 수립 주기 혹은 계획 수립 소요기간이 빠르게 성장하는 도시 여건과 불일치 한다는 점도 문제로 지적하고 있고 토지이용계획이 수립·승인되는 동안 재해위험지역에 개발이 허용될 수 있다는 것이다.

GAR을 보완하는 Johnson(2011)의 보고서는 재해위험에 대응하기 위하여 토지이용규제를 실시한 두 나라의 사례를 통하여 좋은 의도에서 출발하였으나 해당 지역의 토지이용 여건을 고려하지 않을 경우 의도하지 않은

부정적인 결과를 가져온 사례를 소개하고 있다. 첫 번째 사례는 아르헨티나 Buenos Aires로 자연배수보전법(Law on the Conservation of Natural Drainage)에 따라 개발가능 입지(해발 3.75m 이상에서만 개발), 규모(필지규모 300㎡이상), 기반시설에 대한 세밀한 규제를 시행 하였다. 그러나 규제가 경직적이어서 침수위험 경감을 위한 다른 대안을 고려하지 못하도록 하였고, 도시 토지가격을 상승시켜 저소득층이 토지시장에서 배제되었다. 반면, 터키에서는 아르헨티나처럼 구체적이고 세밀한 토지이용규제 대신 위험평가를 실시하고 위험을 해결하는 내용을 토지이용계획에 담아서 수립하였다. 터키의 유연한 규제방식은 지역 수준의 사회적·환경적 여건과 수요를 고려하여 계획과 건축에서 위험 요소를 고려한 것으로 아르헨티나와 같은 문제는 없었으나 재해위험지역에 개발을 허용하거나 고밀의 개발이 이루어질 수 있는 가능성이 있다.

Ingram *et al*.(2006)도 지역의 여건을 고려하지 않고 성급하게 정책을 추진할 경우 부정적 효과를 줄뿐만 아니라 결국 제도를 다시 개정하게 된다는 사실을 지적하고 있다. 2004년에 발생한 인도양 쓰나미로 피해를 입은 스리랑카 정부는 피해 후 즉시 완충구역을 설정하고 사람들을 안전한 지역으로 이주시켰다. 그러나 기존에 살던 지역과 먼 곳에 배치하고 사회적인 단절을 야기하여 결국 완충공간을 다시 설정하고 새로운 주거지로 재이주하게 되었다.

### (3) 시사점

기후변화 정책에서 온실가스 감축과 같은 저감정책은 하향식 접근방식이 효과적일 수 있어도 적응정책은 지역의 여건을 고려한 상향식 접근방식이 필요하다. 기후변화 예측과 취약성이 지역마다 다르기 때문에 기후변화 적응정책은 개별 도시가 주도적으로 추진할 필요가 있다(Carter, Jeremy G,

2011). 기후변화 적응정책에서 중요한 수단으로 활용되는 공간계획 정책도 개별 지자체가 추진 주체이며 해당 지역의 여건이 충분히 반영될 때 효과가 높다. 그러나 많은 국제기구 보고서가 지적하였듯이 개별 지자체가 공간계획을 활용하여 재해위험에 효율적으로 대응하는 것이 현실적으로 어렵기 때문에 다음과 같은 요인을 고려할 필요가 있다.

**첫째, 공간계획을 수립하는 주체는 중앙정부나 광역정부가 아닌 기초 지자체이기 때문에 지자체의 제반 역량을 고려하지 않을 경우 토지이용계획, 규제 등이 본래 의도하는 목표를 달성하기 어렵다.** 기후변화라는 이슈가 전 세계 모든 수준의 정부에게 중요한 사안으로 인식되고 있지만 지자체 자체의 공간계획 수립 및 시행을 위한 역량이 낮아 기후변화에 대한 인식만큼 적절한 대응이 어려운 것이 현실이다. 지자체의 역량이 단기간에 향상되기 어렵기 때문에 공간계획을 비롯한 적응정책 추진도 현재 지자체 역량과 향후 개선 정도와 보조를 맞출 필요가 있다. Johnson(2011)도 중・저개발국가의 토지이용 관련 제도를 검토하면서 우선적으로 지방정부의 계획 수립 및 집행 역량을 강화하는 것이 중요함을 지적하였다. 이를 위하여 중앙정부는 지방정부가 관할 지역에 토지이용계획 및 규제를 집행하기 위해 필요한 예산과 자원을 지원해야 하며, 특히 공간계획 분야는 기술적 지원이 필수적이라고 하였다.

**둘째, 재해위험에 대응한 공간계획은 지역의 여건이 세밀하게 반영되어야 한다.** 공간계획은 다양한 분야와 관련이 있을 뿐만 아니라 지자체마다 공간이용 패턴이 다르기 때문에 지역의 여건을 무시한 공간계획은 의도하지 않은 부정적인 결과가 나타날 수 있다. 공간계획은 해당 지역의 자연환경적 여건, 사회경제적 여건, 역사・문화적 여건, 제도적・정치적 여건 등과 밀접한 관련이 있어 같은 토지이용계획이라도 지역마다 다른 효과가 나타날 수 있다. World Bank(2010)의 재해피해 후 주택 및 마을 복원 대한 매

뉴얼에서는 지자체 내에서도 도시지역과 시골지역의 여건이 다르기 때문에 차별된 접근이 필요하다고 지적하였다. 지역마다 공간계획과 관련한 특성이 다르기 때문에 재해위험에 대비하여 토지이용계획을 수립하였더라도 재해 피해는 지역마다 다르게 나타날 수 있음을 인식해야 한다.

**셋째, 공간계획의 유연한 운영이 필요하다.** 예를 들면, 공간계획의 주요한 수단인 토지이용규제가 획일적이고 경직되게 적용될 경우 규제 효과가 적을 뿐만 아니라 부정적인 효과가 발생할 수 있다. 시간이 지남에 따라 지자체 공간계획과 관련한 여건이 빠르게 변하기 때문에 변하는 여건을 최대한 수용할 수 있는 규제 체계가 마련되어야 한다. 우리나라 토지이용 관련 규제는 대부분 용도지역제에 기반한 개발제한 방식이어서 지역의 특성을 충분히 반영하기 어렵고 더구나 변하는 여건을 유연하게 수용하기가 대단히 어렵다. 토지이용규제를 경직적으로 운영하여 예상하지 못한 결과가 나타난 사례는 Johnson(2011)의 보고서에서 아르헨티나 사례를 통하여 지적하였다. 유연한 공간계획 운영을 위해서는 단순하면서도 효과적인 토지이용규제 체계 구축이 필요하다. 복잡한 규제일수록 변하는 여건을 반영하는데 불리하고 규제 자체에 허점이 많기 마련이다. 단순하면서도 효과적인 토지이용 규제는 규제를 운영하는 공무원의 역량이 중요하기 때문에 첫 번째 고려요인으로 제시한 지자체 역량과 관련이 있다고 할 수 있다.

**넷째, 공간계획 수립 및 시행에 정치가, 주민, 기업가, 시민단체, 이익단체 등 이해당사자의 폭 넓은 참여가 필요하다.** 공간계획 과정에 기후변화 관련 이슈가 포함되어도 실제 집행이 어려운 이유 중 하나는 전반적인 사회 분위기가 공간계획을 수용하지 않기 때문이다. 공간계획은 사회 구성원의 생활과 밀접한 관련이 있기 때문에 그들의 참여가 없을 경우 계획의 실효성이 낮아질 수밖에 없다. 특히 재해위험지역에서 이주하는 사람들은 이주에 대한 두려움 또는 저항이 있기 때문에 토지이용계획을 통한 지역의 이주 시에는 해당 지역 주민뿐만 아니라 이전해 가는 주민, 주변지역 주민

등의 참여가 필수적이다.

**다섯째, 재해위험에 대응하기 위한 수단으로 공간계획을 활용하기 위해서는 해당 지역에 대한 세밀한 재해위험 평가가 선행되어야 한다.** 유엔재해경감국제전략(2012), World Bank(2011) 등의 보고서에서 토지이용계획 수립을 위한 우선적인 조건으로 해당 지역의 재해위험평가를 제시하였다. 재해위험평가는 본 연구의 1차년도 연구에서 지적한 바와 같이 자연환경 요인, 사회경제적 요인, 제도적 요인 등을 함께 고려해야 하기 때문에 복잡한 작업이 될 수 있다. 그러나 기존과 같이 단순히 물리적 피해만 고려할 경우 해당 지역에 적합한 공간계획이 수립되기 어렵고 결국은 재해위험을 효과적으로 예방하기 어렵게 된다.

**여섯째, 공간계획 수립 시 자연환경의 재해위험 저감기능을 충분히 활용할 필요가 있다.** World Bank(2011) 보고서에서 지적한 바와 같이 토지이용계획 수립 시 재해위험 저감기능이 있는 습지, 사구, 숲 등의 보전을 적극적으로 추진해야 한다. 특히 연안지역에서 생태계에 기반한 계획 수립 방식을 고려할 필요가 있다.

### 2) 우리나라 기후변화 적응을 위한 공간계획 위상 및 기능[28)]

#### (1) 기후변화 적응을 위한 공간계획 제도적 여건

도시계획은 각종 도시계획 수립지침에 따르기 때문에 도시계획 수립지침에 기후변화 대응에 관한 사항이 어느 정도 포함되어 있는지를 검토하는 것이 필요하다. 도시계획 수립지침은 ‘광역도시계획수립지침’, ‘도시기본계획수립지침’, ‘도시관리계획수립지침’, ‘지구단위계획수립지침’ 등 도시계획

28) 해양환경관리공단, 2011, 『기후변화 적응을 위한 연안지역 공간계획 수립지침 마련』, 연구 제3장 2. 도시계획 부분을 요약 정리하였음.

종류마다 작성되어 있으며, 기후변화와 직접적으로 관련해서는 '저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시계획수립지침'이 있다.

| Ⅲ 3-5 | 광역도시계획수립지침 중 방재계획 주요 내용

- 광역계획권이 가지고 있는 방재상 취약점을 분석, 정리하고 대책방안 제시
- 해안, 하천, 지천 등은 홍수예방 등 방재기능 확보, 친환경적인 수변공간으로서 이용가능성 검토
- 구릉지성 산림은 도시화예정용지에서 제외하는 것을 원칙으로 하고, 불가피하게 지정할 때에는 '최소한의 개발, 최대한의 보전' 원칙에 따라 개발방향 제시
- 수변공간의 개발 및 녹지확충은 방재기능도 함께 고려
- 상습수해지역 등 재해가 빈발하는 지역은 가급적 보전용도를 부여하고, 이미 개발용도로 지정된 경우 대체 지정하는 방안을 적극 강구하고, 저지대는 유수지로 지정하는 방안 등 검토

광역도시계획수립지침에는 기후변화에 대하여 직접적으로 언급한 부분은 없고 부문별 계획에 대한 내용 중 방재계획에 기후변화로 발생할 수 있는 재해 대응 내용이 일부 포함되어 있다. 상습수해지역 등 재해가 빈발하는 지역은 가급적 보전 성격의 용도를 부여하고, 녹지 확충 시 방재기능도 함께 고려하며, 해안 등에서 방재기능을 확보하도록 명시하였다.

도시기본계획수립지침에는 계획 수립을 위하여 기본적으로 조사해야 하는 기초조사[29] 항목을 상세하게 제시하고 있는데 자연환경, 토지이용, 방재시설 등의 항목에서 재해 관련 조사를 실시하도록 하였다. 자연환경 항목에서는 과거 50년간 풍수해기록을 조사하도록 하였고, 토지이용 항목에서는 재해위험지역을 판단하도록 하였으나 구체적인 조사 내용에 대한 언급은 없다. 재해에 대응하는 방재시설은 하천, 저수지 등 위치 및 수량, 방화, 방수, 방풍 등 설비의 위치 및 개소를 조사하도록 하였다.

29) 기초조사는 도시기본계획 수립 시 계획 수립 주체가 자연환경, 토지이용, 인구, 주거, 교통시설, 공공·문화체육시설, 공간시설, 환경기초시설, 방재시설 등 총 14개 대 항목에 따라 실시하게 되며, 도시관리계획 등 다른 도시계획 수립 시에도 도시기본계획수립지침에서 제시한 기초조사 항목을 참고하여 조사해야 함.

| Ⅲ 3-6 | 도시기본계획 기초조사 항목 중 연안 재해 관련 항목

| 대항목 | 세부항목 | 조사내용 |
|---|---|---|
| 자연환경 | 풍수해기록, 가능성 | 과거 50년간 풍수해기록 |
| | 수리, 수문, 수질 | 수계분석, 하천별 수량, 수변 여건 |
| 토지이용 | 재해위험요소 | 재해위험지역의 판단 |
| 방재시설 | 하천, 유수지, 저수지 | 위치 및 수량 |
| | 방화, 방수, 방풍, 사방, 방조설비 | 설비의 위치 및 개소 |

기초조사 항목 이외에 도시기본계획수립지침에서 용도구분 원칙, 공원녹지 형성방향, 방재 및 안전 부문 등에서 재해와 관련한 사항을 간단하게 언급하였는데 광역도시계획에서 제시한 내용과 유사한 수준이다. 상습적인 침수지역은 개발성격의 시가화예정용지 지정을 억제하고 보전용지를 지정하도록 했으며, 수변지역에 위치한 공원이나 녹지는 방재기능도 고려하도록 하였다.

| Ⅲ 3-7 | 도시기본계획수립지침상 재해 관련 항목

| 부 문 | 내 용 |
|---|---|
| 용도 구분 | ● 상습수해지역 등 재해가 빈발하는 지역과 하천 하류지역의 수해를 유발할 가능성이 있는 상류지역은 원칙적으로 보전용지 지정 |
| 공원·녹지체계 형성방향 | ● 해안, 하천, 지천 등은 홍수예방 등 방재기능 수행 고려<br>- 수변공간 및 도시지역 내부의 녹지는 방재기능도 동시에 고려하여 검토 |
| 방재 및 안전 | ● 상습침수지역 등 재해가 빈발하는 지역에 대하여는 가급적 시가화예정용지 지정 억제<br>- 상습침수지역을 시가화예정용지로 부여할 때에는 집중호우에 의한 배수유역에서 충분한 우수를 저류할 수 있는 유수지를 확보하거나 충분한 녹지를 확보하여 도시 내 담수능력을 배양하도록 하는 등 재해에 대한 예방대책 수립<br>- 재해가 빈발하는 도시는 재해예방대책 구체적 제시 |

도시관리계획수립지침은 도시기본계획수립지침보다 재해 관련 사항이 상세하게 제시되어 있으나 연안지역과 관련해서는 크게 다르지 않다. 재해 관련 사항은 용도지역 기본원칙, 보전녹지지역 지정기준, 방재지구 지정

기준, 방재계획 등에서 언급하고 있으며 주로 수해 피해에 대한 내용이 육지 중심적으로 언급되어 있다. 구체적이고 직접적인 공간관리 수단인 용도지역, 용도지구 등의 지정을 위한 기본원칙에서는 재해가 빈발하는 지역에서 개발용도의 지역을 지정하지 않도록 하였다.

상습적으로 수해가 발생하는 지역에서는 보전녹지지역 또는 방재지구를 지정하여 피해에 대비하도록 하였고 부문별 계획 중 하나인 방재계획 수립 기준에는 수해가 빈발하는 지역에 인명 및 재산상 피해가 발생되지 않도록 토지이용계획을 수립해야 한다는 내용이 포함되어 있다.

| Ⅱ 3-8 | 도시관리계획수립지침상 재해 관련 항목

| 부 문 | 내 용 |
|---|---|
| 용도지역계획 기본원칙 | · 수해 등 재해빈발지역은 가급적 개발용도의 지역 지정 억제 |
| 보전녹지지역 지정기준 | · 상습수해지역 등 재해가 빈발하는 지역과 하천 하류지역의 수해를 유발할 가능성이 큰 하천 상류지역 |
| 방재지구 지정기준 | · 풍수해 때 침수 등으로 인하여 재해의 위험이 예상되는 지역<br>· 해일의 피해가 우려되어 예방대책이 필요한 지역 |
| 방재계획 | · 저지대 및 지내력이 적은 지역에는 내수범람 및 침수방지를 위한 배수 및 방수시설을 충분히 설치하고, 취약지대에는 인구가 밀집되지 않도록 토지이용계획 수립<br>· 수해상습지역에는 가급적 운동장·공원 등 공공용지를 많이 확보하여 재해로 인한 피해가 최소화되도록 토지이용계획 수립 |

도시관리계획수립지침에 따라 상습 침수지역을 보전성격의 용도지역인 보전녹지지역으로 지정하더라도 다양한 종류의 개발이 가능하기 때문에 기후변화에 따른 재해 피해를 예방하는 데 한계가 있다. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따라 보전녹지지역에서는 건폐율 20% 이하, 용적률 100% 이하에서 초등학교, 창고시설, 교정 및 군사시설을 건축할 수 있고 해당 시군구 도시계획조례에 따라 단독주택, 근린생활시설, 의료시설, 중・고등학교 등 주요 시설의 설치가 가능하다. 도시관리계획 수립으로 재해예방을 위하여 지정할 수 있는 방재지구[30]는 재해에 취약한 지역에 지정

할 경우 보전녹지지역 등과 같은 보전성격의 용도지역이 재해 대응 측면에서 보이는 한계를 보완할 수 있다.

저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시계획 수립지침은 도시계획 분야에서 기후변화와 직접적으로 관련된 유일한 지침이지만 주로 온실가스 배출 감축에 초점을 맞추고 있다. 온실가스 배출 감축을 위하여 광역도시계획, 도시기본계획, 도시관리계획에 적용할 기준을 제시하였는데 공간구조, 토지이용, 교통체계, 기반시설 등 부문에서 온실가스 감축을 위한 방향을 간략하게 제시하였다. 기후변화에 따른 재해 피해가 큰 연안지역에서 중요한 적응부문과 관련해서는 원칙, 기본방향 위주로 간단하게 언급하였다. 도시기본계획에 적용할 기준으로 기후변화로 인해 발생 가능한 집중호우, 해수면 상승 및 하천 범람 등에 대한 영향평가 및 취약성 분석을 실시하고 적응계획을 제시하도록 명시하였다.

### (2) 공간계획 활용의 문제점

도시계획에서는 연안지역을 내륙지역과 같은 공간으로 인식하고 있으며 도시계획 수립지침에서는 육지 중심적 기준이 대부분이어서 기후변화 대응 연안지역 공간관리 수단으로서 기존 도시계획은 근본적인 한계가 있다. 도시계획 관련 법과 지침에서는 공유수면매립과 관련된 내용만 언급되어 있다. 도시계획 수립을 위한 공간범위에 연안지역에 관한 기준이 불분명하고, 개발가능지 분석, 용도지역 지정 등 토지이용계획 절차에서 연안지역의 특성이 거의 고려되지 않았다.

우리나라 도시계획 분야에서 기후변화 대응 관련 제도는 초기 단계에 해당한다. 기후변화 대응이 지침의 목적인 '저탄소 녹색도시 조성을 위한

30) 방재지구는 풍수해, 산사태, 지반의 붕괴, 그 밖의 재해를 예방하기 위하여 필요한 지역에 대해서 국토해양부장관, 시·도지사 또는 대도시 시장이 지정하는 지구를 말함.

도시계획수립지침'은 주로 온실가스 배출 감축에 초점을 맞추고 있으며, 각종 도시계획 수립지침에서는 기후변화 적응 관련 규정을 도입하지 않았다. 도시계획 수립지침에서는 제시한 재해 관련 사항은 내륙에서 발생하는 수해에 초점을 맞추고 있고 실제 도시계획에 적용할 수 있는 구체적인 기준이 미흡하다. 수해가 발생할 가능성이 큰 지역을 보전성격의 용도지역을 지정하도록 하였으나 보전지역에서 다양한 개발이 가능하여 실효성이 낮고, 이를 보완할 수 있는 수단인 방재지구 지정은 해당 지방자치단체 장의 의지에 달려 있어 실제 적용 사례가 거의 없다.

기후변화 대응 정책 수립은 기후변화에 관한 장기적이고 과학적인 데이터 구축이 필수적이며, 도시계획 수립 시에도 해당 지역에 대한 신뢰할 만한 데이터 구축이 선행되어야 하지만 도시계획 수립지침에는 이에 관한 내용이 거의 제시되지 않았다. 도시기본계획수립지침에 제시된 재해 관련 기초조사 항목은 조사해야 할 내용이 매우 적고 형식적이어서 용도지역 지정 등을 통한 재해 예방을 실시하는 데 한계가 있다.

## 4. 재해영향 평가를 통한 위협요인 관리

### 1) 사전재해영향성검토협의제도 개요

#### (1) 도입 배경 및 근거 법

재해예방차원에서 개발사업에 대한 종합적이고 체계적인 평가를 위하여 1996년에 「자연재해대책법」에 따라 '재해영향평가제도'를 도입하였다. 그러나 기존의 '재해영향평가제도' 대상사업의 범위는 6개 분야 24사업으로 개발계획 전반에 대한 체계적인 방재계획을 수립하기에 한계가 있어 2005년 자연재해대책법 개정 시 개발계획 및 사업과 관련하여 종합적이고

체계적인 방재를 위하여 '사전재해영향성검토협의제도'를 도입하였다.

'사전재해영향성검토협의제도'는 자연재해대책법 제4조에 근거하여 실시하며 자연재해대책법에는 '사전재해영향성검토협의대상(법 제5조)', '사전재해영향성검토협의에 포함하여야 할 사항(시행령 제3조)', '사전재해영향성검토위원회의 구성 및 운영(시행령 제5조)', '사전재해영향성검토협의 대상 및 협의방법(시행령 제6조)', '사전재해영향성검토협의 이행의 관리·감독 등(법 제6조)' 등에 관한 규정을 포함하고 있다.

### (2) 사전재해영향성검토협의 대상 범위

자연재해대책법에서는 사전재해영향성검토협의 대상이 되는 행정계획 및 개발사업을 ⅰ) 국토·지역계획 및 도시의 개발, ⅱ) 산업 및 유통단지 조성, ⅲ) 에너지 개발, ⅳ) 교통시설의 건설, ⅴ) 하천의 이용 및 개발, ⅵ) 수자원 및 해양개발, ⅶ) 산지개발 및 골재채취, ⅷ) 관광단지 개발 및 체육시설, ⅸ) 그 밖에 자연재해에 영향을 미치는 계획 및 사업으로 제시하였다. 행정계획은 32개 법령에 의한 41개 계획, 개발사업은 42개 법령에 의한 50개 사업이 이에 해당한다. 연안지역과 관련해서는 '수자원 및 해양개발' 분야가 직접적인 관련이 있다고 할 수 있으나 나머지 행정계획 및 개발사업 대부분도 연안지역에서 추진될 수 있어 대상 계획 및 사업 대부분이 연안지역과 직·간접적인 관련이 있다고 할 수 있다. 수자원 및 해양개발 부문에서는 행정계획의 경우 '공유수면매립기본계획', '어항개발계획', '항만배후단지개발종합계획', '신항만건설기본계획'이 대상이고, 개발사업의 경우 '어항개발사업계획', '항만공사실시계획', '신항만건설사업 실시계획', '공유수면매립실시계획'이 대상이다.

| 표 3-9 | 사전재해영향성검토협의제도 대상사업 및 관계법령(수자원 및 해양개발)

| 협의 대상 | 범위 | 협의 시기 |
|---|---|---|
| 행정 계획 | (1) 「공유수면매립법」제4조에 따른 공유수면매립기본계획 | 관계중앙행정기관의 장과 협의시 |
| | (2) 「어촌·어항법」제19조에 따른 어항개발계획 | 계획 수립 전 |
| | (3) 「항만법」제42조에 따른 항만배후단지개발종합계획 | 관계중앙행정기관의 장과 협의시 |
| | (4) 「신항만건설촉진법」제3조에 따른 신항만건설기본계획 | 관계 시·도지사 및 관계중앙행정기관의 장과 협의 시 |
| 개발 사업 | (1) 「어촌·어항법」제23조에 따른 어항개발사업계획 | 사업시행 허가 전(다만 국가 또는 지방자치단체의 경우 계획수립 전) |
| | (2) 「항만법」제10조에 따른 항만공사실시계획 | 실시계획 수립 전(다만 비관리청에서 실시계획을 수립하는 경우에는 승인 전) |
| | (3) 「신항만건설촉진법」제8조에 따른 신항만건설사업 실시계획 | 실시계획 승인 전 |
| | (4) 「공유수면매립법」제15조에 따른 공유수면매립실시계획 | 실시계획 승인 전 |

### (3) 사전재해영향성검토협의 절차

개발사업을 하고자 하는 행정기관 또는 사업자는 재해에 관한 영향을 검토한 내용이 포함된 해당 사업계획서를 승인기관에 제출한다. 행정기관 또는 사업자로부터 사업계획서를 접수받은 사업승인기관의 장(관계중앙행정기관의 장, 시・도지사, 시장・군수・구청장 등)은 자연재해에 영향을 미치는 행정계획을 수립・확정(지역・지구・단지 등의 지정 포함)하거나 개발사업을 허가・인가・승인・면허・결정・지정 등을 하기 전에 중앙재난안전대책본부장 또는 지역재난안전대책본부장에게 협의를 요청한다. 다만 행정계획은 사전재해영향성검토협의 기관의 장이 관계행정기관의 장으로

부터 관계법령에 의한 협의요청을 받아 해당 행정계획에 관한 재해영향을 검토한 경우에는 사전재해영향성검토협의 절차를 이행한 것으로 본다.

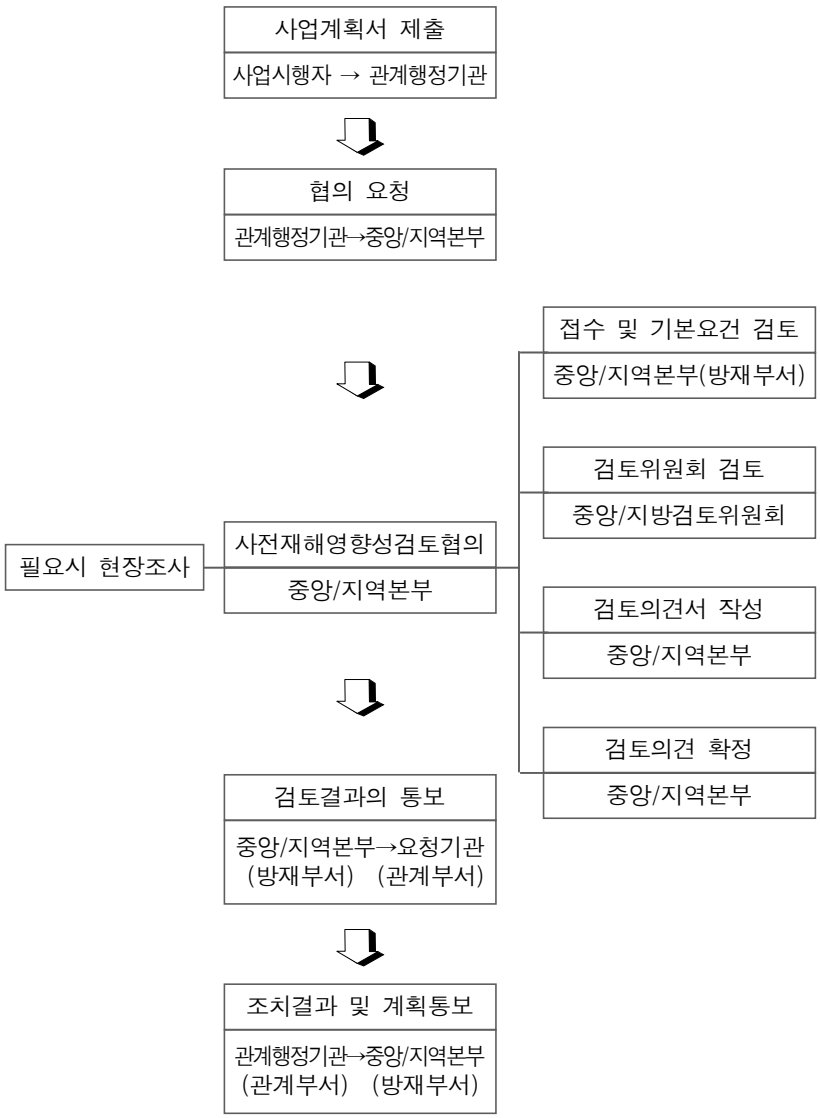
### (4) 사전재해영향성검토협의 검토항목

관계 중앙행정기관의 장, 특별시장·광역시장·도지사·시장·군수·구청장 및 특별행정기관의 장이 중앙·지역본부장에게 사전재해영향성검토협의를 요청하는 경우에는 ⅰ) 사업의 목적·필요성·추진배경·추진절차 등 사업계획에 관한 내용, ⅱ) 배수처리계획도, 침수흔적도, 사면경사 현황도 등 재해영향의 검토에 필요한 도면, ⅲ) 행정계획의 수립 시 재해예방에 관한 사항, ⅳ) 개발사업의 시행으로 인한 재해영향의 예측 및 저감대책에 관한 사항을 포함하여야 하며 중앙본부장이 행정계획 및 개발사업의 재해경감을 위하여 중점검토 하여야 할 항목으로 고시한 사항도 포함하여야 한다.

특히 고시를 통하여 관련 공무원이 중점적으로 검토해야 하는 항목은 일반적으로 적용될 수 있는 공통 검토사항, 개발 대상지역의 5개 입지유형[31]별 검토사항, 분야별 검토항목으로 구분하여 제시하였다. 먼저 공통 검토사항은 행정계획의 경우 10가지 항목, 개발사업의 경우 17가지 항목에 해당하며 행정계획의 중점 검토항목은 1가지 항목을 제외하고 개발사업 검토항목과 동일하다. 행정계획에 대한 중점 검토항목은 구체적으로 살펴보면 ⅰ) 기존의 지형여건 및 주변환경에 따른 재해위험요인, ⅱ) 주변지역이나 시설에 미치는 재해영향 및 예방에 관한 사항, ⅲ) 자연재해위험지구 현황조사 및 대상지역과의 관련성, ⅳ) 침수재해 발생 가능성, ⅴ) 주변지역의 토지이용, 개발계획 현황조사 및 대상지역과의 관련성, ⅵ) 대상지역 내 하천, 소하천의 포함 여부 및 정비계획, ⅶ) 자연재해저감시설 현황 및 재

31) 도시지역, 해안·도서지역, 산지지역, 농촌지역, 하천·호소지역.

해예방에 관한 사항, viii) 대상지역의 입지 적정성 분석, ix) 대상지역 내 지진재해 발생가능성 및 저감대책, x) 지반재해 발생가능성 및 저감대책 이며 대상지역의 입지 적정성 분석은 행정계획에만 해당한다.




| 그림 3-22 | 사전재해영향성검토협의제도 협의 절차

| Ⅲ 3-10 | 사전재해영향성검토협의 시 검토항목(공통항목)

| 검토 항목 | 행정계획 | 개발사업 |
|---|---|---|
| ❍ 기존의 지형여건 및 주변환경에 따른 재해위험요인<br>- 지형여건 및 주변환경에 따른 재해발생 가능성 등을 검토 하였는지 여부 | ● | ● |
| ❍ 주변지역이나 시설에 미치는 재해영향 및 예방에 관한 사항<br>- 대상지역의 개발계획으로 인한 주변지역 및 시설물 등에 미치는 재해영향의 예방에 관한 사항을 포함하였는지 여부 | ● | ● |
| ❍ 자연재해위험지구 현황조사 및 대상지역과의 관련성<br>- 대상지역 및 주변지역에 자연재해위험지구 현황을 조사하고, 상호 미치는 재해영향 및 저감대책을 검토하였는지 여부<br>- 금회 개발사업에서 제시되는 재해저감시설로 인해 자연재해위험지구의 개선정도를 검토하였는지 여부<br>- 대상지역 및 주변지역의 과거 재해발생 및 복구현황을 조사하였는지 여부 | ● | ● |
| ❍ 침수재해 발생 가능성<br>- 대상지역 및 주변지역이 인접수계의 홍수위보다 지반이 낮은 지역 또는 최근 침수 피해가 발생한 지역인지 여부<br>- 침수재해발생 예상지역에 중요시설이 입지하지 않도록 계획하였는지 및 수방계획이 적합하게 수립되었는지 여부 | ● | ● |
| ❍ 주변지역의 토지이용, 개발계획 현황조사 및 대상지역과의 관련성<br>- 주변지역의 토지이용 현황·계획 내용을 조사하고, 대상지역과의 재해영향 관련성을 검토하였는지 여부<br>- 주변지역의 개발사업 및 개발계획을 조사하고, 대상지역과의 재해영향 관련성을 검토하였는지 여부 | ● | ● |

| Ⅲ 3-10 | 사전재해영향성검토 협의 시 검토항목(공통항목)(계속)

| 검토 항목 | 행정계획 | 개발사업 |
|---|---|---|
| ❍ 재해저감을 고려한 토지이용계획이나 시설물의 배치<br>- 대상지역에서 유출량이 가급적 고르게 분산 배수될 수 있도록 토지이용계획 및 시설물 배치가 이루어졌는지 검토<br>- 포장률이 높거나 및 시설의 과도한 집중으로 인해서 유출량이 급증할 가능성이 있는지 검토<br>- 저지대 및 지내력이 적은 지역에는 범람 및 내수침수방지를 위한 재해저감시설을 설치하고, 인구 및 시설이 밀집하지 않도록 계획하였는지 여부<br>- 대절토 단면으로부터 일정거리 이격하여 시설물 배치가 이루어 졌는지 검토<br>- 대규모 절토 및 성토에 따른 추가적인 배수불량지역이 발생할 수 있는지 검토 | | ● |
| ❍ 과도한 지형변형으로 인한 재해발생<br>- 재해를 유발할 수 있는 과도한 사면절토 계획이 있는지 확인하고 이에 대한 대책이 수립되었는지 여부<br>- 대규모 지반성토에 따른 주변지역의 상대적인 재해위험요인을 검토하였는지 여부<br>- 공간계획에서 평면적인 검토뿐만 아니라 주변 지역과의 지반고 차이를 고려한 입체적 검토를 실시하였는지 여부<br>- 개발후 기존의 유역이 분할될 수 있는 가능성에 대한 검토 및 대책을 수립하였는지 여부 | | ● |
| ❍ 대상지역 내 하천, 소하천의 포함 여부 및 정비계획<br>- 대상지역 내 하천, 소하천의 포함 여부 및 하천정비 계획을 수립하였는지 여부<br>- 하천 복개나 유로변경으로 인해 발생할 수 있는 재해가능성을 파악하고 이에 대한 재해저감대책이 수립하였는지 여부 | ● | ● |
| ❍ 대상지역 내 우수유출저감대책(저류시설, 침투시설)에 관한 사항<br>- 유수지나 충분한 녹지를 확보하여 대상지역 내의 우수유출저감능력을 확보하는 등 재해저감대책을 수립하였는지 여부<br>- 우수 침투가 용이하도록 침투시설 및 저류시설 설치계획을 수립하였는지 여부 | | ● |
| ❍ 대상지역 내 토사유출저감시설 설치계획<br>- 토사유출량 산정의 적정하게 산정하고 저감시설 설치계획을 수립하였는지 여부 | | ● |

| Ⅲ 3-10 | 사전재해영향성검토 협의 시 검토항목(공통항목)(계속)

| 검토 항목 | 행정계획 | 개발사업 |
|---|---|---|
| ❍ 자연재해저감시설 현황 및 재해예방에 관한 사항<br>- 대상지역 및 주변지역의 자연재해저감시설 현황조사를 하였는지 여부<br>- 당해 재해저감시설의 재해영향 예측 및 예방기능을 검토하였는지 여부<br>- 인구 및 시설의 밀집도 등을 고려한 재해영향 예측 및 저감대책을 수립하였는지 여부<br>- 재해저감시설에 대한 정기적인 보수 및 관리체계를 확립하였는지 여부 | ● | ● |
| ❍ 대상지역의 입지 적정성 분석<br>- 주변지역의 재해위험, 개발정도 등을 고려한 입지의 적정성을 검토하였는지 여부 | ● | |
| ❍ 저감시설의 설치기준, 안정성 및 개발후 관리대책<br>- 임시침사지겸 저류지, 영구저류지 등의 구조적 안정성 확보 및 개발 후 저감시설의 유지·관리방안의 적정하게 수립하였는지 여부 | | ● |
| ❍ 대상지역 내 지진재해 발생가능성 및 저감대책<br>- 주요시설물에 대한 내진설계 기준의 설정 및 지진재해 저감대책을 수립하였는지 여부 | ● | ● |
| ❍ 지반재해 발생가능성 및 저감대책<br>- 대상지역 및 주변지역에 사면붕괴지역, 지반균열 등이 있는 경우 이들 지역에서 발생 가능한 재해저감대책을 수립하였는지 여부<br>- 대상지역 내에서 지하수를 개발사용하는 경우 지하수맥 차단과 유실, 지반붕괴 등이 발생하지 않는가에 대해 검토하였는지 여부 | ● | ● |
| ❍ 배수시설의 적정성 및 주변지역 배수체계와의 연계<br>- 임도(임시진입로) 및 사면배수시설이 적정하게 계획하였는지 여부<br>- 대상지역 내 배수시설의 적정성 확보하고, 주변지역 배수체계와 연계하여 검토하였는지 여부 | | ● |
| ❍ 토석 및 유목방지시설의 설치계획<br>- 집중호우로 인한 토석류 발생 가능성 분석 및 방지대책을 수립하였는지 여부<br>- 상류부 유송잡물 유입방지를 위한 대책을 수립하였는지 여부 | | ● |
| ❍ 대상지역 내 낙뢰방지대책 수립<br>- 대상지역 내 주요시설물에 낙뢰방지대책을 수립하였는지 여부 | | ● |

개발 대상지역의 입지유형별로 제시한 검토항목에서는 입지유형의 하나로 해안·도서지역이 있어 연안지역에서 추진하는 행정계획 및 개발사업에 대한 사전재해영향성검토 항목이 비교적 상세하게  제시되어 있다. 해안·도서지역에서는 침수, 침식, 지반침하 등을 주요 재해로 설정하고 이에 대한 대책을 마련하였는지를 중점적으로 검토하도록 하였다. 검토항목에는 해일 등에 의한 직접적인 피해에 대한 대책뿐만 아니라 하수체계 정비대책, 저지대 다목적 활용방안, 2차 시설물 파괴 대책 등 연안지역의 특성을 고려한 입체적인 대책 마련 여부도 포함되어 있다.

| Ⅲ 3-11 | 해안·도서 지역 입지유형별 검토항목

| |
|---|
| ❍ 상습해일 등의 피해우려지역에 대한 대처계획 수립<br>❍ 해일특성의 변화, 해수면 상승 등 자연환경적 변화에 대한 검토 실시<br>❍ 지반이 낮은 지역에서는 방류구가 낮아 조위 상승시 우수배제 가능시간이 짧아져 내수침수의 원인이 되므로 방류구의 위치변경, 유수지 설치 및 확대, 펌프 등의 기계식 배제계획, 해수역류방지시설계획 등 하수체계 정비대책 수립<br>❍ 해수범람 예상 저지대는 다목적 유수지, 공원, 체육시설 등을 조성하여 조위 상승에 따른 내수배제 불량 시 유수기능을 높이도록 유도<br>❍ 개발로 인한 해안선 침식, 백사장 파괴 등에 대한 검토<br>❍ 해안도로 주변의 국공유지를 활용하여 범람해수의 집수·저류시설을 지하에 설치하는 방안, 펌프장을 이용하여 강제 배수하도록 하는 방안 등의 방재시설물 설치계획 수립<br>❍ 해수범람의 피해를 예방할 수 있는 부지고 상승 등의 대책 수립<br>❍ 지반침하, 압밀, 지진 및 지반진동 등 지반재해 영향 검토 및 대책 수립<br>❍ 연안에 위치한 시설의 경우 폭풍해일과 지진해일에 의한 피해와 이에 따른 2차 시설물 파괴에 대한 대책 수립<br>❍ 세굴 및 퇴적으로 인한 항내매몰 등 영향 분석 및 예방에 관한 사항<br>❍ 설계파 및 설계해면의 산출 등 연안구조물의 설계를 위해서 태풍모델을 바탕으로 태풍관측자료와 해안관측자료 종합정밀분석 실시 |

### 2) 사전재해영향성검토협의제도 활용의 한계

2005년에 사전재해영향성검토협의제도가 도입되었으나 내륙지역보다 재해에 더 취약한 연안지역에서는 활발하게 활용되지 못했다. 사전재해영향성검토협의제도가 연안지역에서 적극적으로 도입되지 못한 큰 이유는 연안재해의 영향을 받는 행정계획 및 개발사업의 범위가 명확하지 않았기 때문이다. 물론 사전재해영향성검토협의제도의 가이드라인인 '사전재해영향성검토협의 중점검토항목 및 방법 등에 관한 사항 고시'에 해안·도서지역에서 추진하는 행정계획 및 개발사업에 대하여 중점적으로 검토해야 하는 항목을 제시하였으나 어떤 사업이 해안·도서지역에 해당하는지가 명확하지 않아 그 동안 사전재해영향성검토협의 대상 중 '수자원 및 해양개발'에 포함되는 사업에 국한되었다. 수자원 및 해양개발에서 행정계획의 경우 '공유수면매립기본계획', '어항개발계획', '항만배후단지개발종합계획', '신항만건설기본계획'이 해당되고, 개발사업의 경우 '어항개발사업계획', '항만공사실시계획', '신항만건설사업 실시계획', '공유수면매립실시계획'으로만 한정되어 있다. 결국 열거된 사업 이외에 연안지역에서 추진되는 많은 계획이나 사업은 해안·도서지역에서 필요한 검토항목(<표 3-11> 참조)을 고려하지 못하고 사업이 진행되는 상황이다.

연안지역에 입지하고 있어 연안재해의 영향을 받지만 수자원 및 해양개발의 범주에 포함되지 않아 해안·도서지역에서 검토해야 하는 항목을 검토하지 않은 것은 활발한 사회경제 활동이 이루어지고 있는 우리나라 연안지역의 특성을 전혀 고려하지 못한 것이라고 볼 수 있다. 연안지역을 대상으로 하는 행정계획과 개발사업도 공통 검토항목에서 어느 정도 재해대책의 적정성을 검토할 수 있으나 공통 검토항목은 주로 내륙지역에서 발생하는 재해에 대한 대책 수립여부에 초점이 맞춰져 있어 연안지역의 특성을 고려한 재해대책을 마련하는 데 한계가 있다.

## 5. 재해보험을 통한 대응

### 1) 기후변화와 보험의 역할

보험제도는 기본적으로 사회와 기업 활동에 대한 전반적인 위험(risk) 관리자의 역할을 수행하여 다양한 경제적 활동이 활발히 일어날 수 있도록 제도적인 뒷받침을 지원하는 사회적 역할을 수행한다. 이러한 의미에서 본다면 기후변화로 인한 재해나 기상 변화에 의한 피해의 발생도 사회가 직면하게 될 위험요인에 해당한다. 따라서 위험의 관리수단으로서 보험제도가 적절히 기능할 수 있는 여건이 마련된다면 향후 기후변화의 대응전략의 하나로 활용될 수 있다. 특히 보험산업의 입장에서는 화재, 각종 사고, 재해와 같은 전통적인 영역에서 기후변화로 파생되는 다양한 부문으로 산업의 영역을 확장할 수 있는 중요한 기회가 마련될 수 있다(노용환・유경원, 2009, p. 108). 즉 사전에 대비된 위험은 오히려 해당 산업에 대한 기회로 작용하게 되며, 연안지역에 거주하는 일반 국민이나 재산 및 인명을 보호할 뿐만 아니라 국가차원의 재정부담도 낮추게 될 긍정적인 작용이 이루어지게 된다.[32] 따라서 앞으로 충분히 발생 가능한 기후변화와 관련된 위험요인을 고려해볼 때 기후변화에 대응한 다양한 역할 수행이 가능할 것으로 판단된다.

### 2) 기후변화와 보험산업

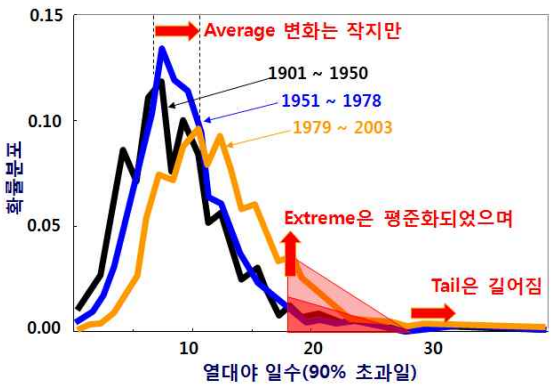
기후변화에 대한 우려가 커지면서 이에 따른 경제적 손실과 인명피해

---

32) 현재까지 기후변화를 둘러싼 보험산업의 역할은 일부 선진국을 중심으로 건물의 친환경적 디자인, 재해예방과 관련된 건축, 탄소배출권 거래, 신재생 에너지원의 개발과 같은 분야로 확대되고 있다(Mills, E, “Synergisms between climate change mitigation and adaptation : an insurance perspective”, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Chang*, Vol. 12(5), 2012, pp. 809~842 ; 변혜원, 「보험산업의 기후변화 완화 노력과 시사점」, 『Kiri Weekly』, 제175호, 보험연구원, 2012, pp. 5~9).

가능성이 예상되고 있다. 1995년 이후 대형 자연재난은 매년 5%씩 지속적으로 증가 추세에 있으며, 우리나라도 집중호우 일수가 연평균 40일 이상으로 1980년대에 비해 1.5배 정도 증가한 것으로 알려지고 있다.[33)]

Alexander et al.(2006)은 전 세계 육지의 73%에서 열대야가 급격히 일어남을 설명한다. <그림 3-23>은 1901년부터 2003년까지의 열대야 기온에 대한 연간발생 확률함수를 세단계로 나누어 분석한 모습을 보여준다. 그림에서 수평축에는 각 기간 동안 열대야의 90% 이상을 보이는 값에 대한 시간의 백분율을 표시하였고 수직축은 그 확률분포를 나타내고 있다. 흑색선은 1901 ~ 1950년, 청색선은 1951 ~ 1978, 황색선은 1979 ~ 2003년의 값을 보여준다. 100년간의 열대야 일수의 양상은 평균치에 있어서는 점차 증가하고 있음이 명백하지만 뚜렷한 차이를 보이고 있지는 않다. 실제로 변화가 있다면 통계의 극값이 점차 평준화 되어 높아지고 있으며, 발생 가능성이 희박하다고 평가되는 극단값에 해당하는 영역이 점차 길어짐을 알 수 있다.




자료 : Alexander *et al.*, “Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation”, *Journal of Geophysical Research*, 2006, p. 111

| 그림 3-23 | 열대야의 확률 분포

33) 김윤종 · 원종석, 「재난 제로, 서울을 위한 방재전략」, 『SDI 정책리포트 제25호』, 서울시정개발연구원, 2008, pp. 1~22.

보험산업 내에서는 앞으로 기후변화로 인한 미래의 손실이 매우 큰 수준으로 나타날 것으로 판단하고 있다. 보험시장을 선도하고 있는 영국 Lloyd에서는 향후 보험시장에서 가장 큰 당면과제가 될 것이라 언급한 바 있고 유럽에서 가장 큰 보험사인 Allianz에 따르면 10년 이내 37%의 피해액 증가를 예상하고 있다(Mills, 2007, p. 809).

아직까지 우리나라 연안에서 발생하고 있는 재해와 기후변화와의 인과관계가 연구를 통해 입증되지는 않았으나 향후 사전 예방의 차원에서 적극적인 연안부문에 대한 위험관리의 필요성이 증가하고 있다. 보험의 핵심기능은 위험에 대한 사전 보장을 통해 재해의 사회적·개인적 피해를 최소화하는 데 있다. 따라서 위험을 사전에 확인하고 예방·관리하는 것은 사회적 보험제도의 사회적 기능을 구현하고 지역의 안정을 유지하는 순기능이 발생하게 된다.

최근 들어 전 세계적으로 자연재해의 발생이 증가하면서 이에 따른 경제적 손실과 인명피해가 확산되는 추세이다(이석호, 2012). 최근 10년간 평균 사망자 수와 경제적 손실액, 재해 발생 건수가 20년 평균치를 웃돌면서 점차 재해의 발생 가능성과 피해 범위가 확대되는 것을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 우리나라의 경우도 크게 다르지 않은 상황이다. 태풍이나 호우와 같은 자연재해의 피해액이 2007년 이후 2010년까지 꾸준히 증가하는 추세를 나타내고 있으며, 2010년도 재산피해는 총 4,267억 원으로 집계된다(소방방재청, 2011, p. 26).

| Ⅱ 3-12 | 전 세계 자연재해 손실 및 인명피해 현황

단위 : 백만 달러

| 구분 | 2009년 | 2010년 | 2000-2009년 평균 | 1980-2009년 평균 |
|---|---|---|---|---|
| 자연재해 발생 건수 | 900 | 950 | 785 | 615 |
| 경제적 손실액 | 60,000 | 130,000 | 110,000 | 95,000 |
| 보험금 지급액 | 22,000 | 37,000 | 35,000 | 23,000 |
| 사망자 수 | 11,000 | 295,000 | 77,000 | 66,000 |

자료 : Natural Hazard Statistics and losses from Munich Re(http://www.munichre.com) ; 이석호, 「자연재해 증가에 대한 보험사와 과제」, 『주간 금융브리프』, 20권 16호, 2012. p. 16

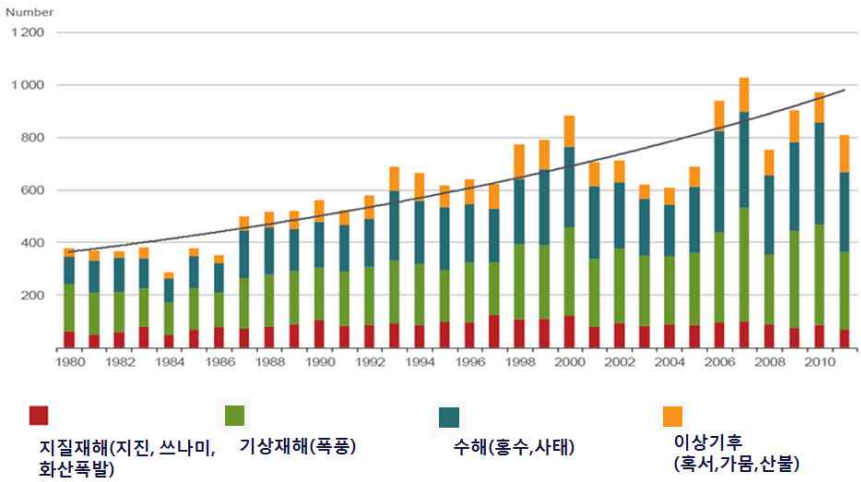
| Ⅱ 3-13 | 자연재해 손실 및 손실률 변화 추이

단위 : 10억 달러

| 구분 | 1950년대 | 1960년대(A) | 1970년대 | 1980년대 | 1990년대 | 최근10년(B) | B/A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 발생건수 | 20 | 27 | 47 | 63 | 91 | 63 | 2.3 |
| 경제손실 | 44.9 | 80.5 | 147.6 | 228.0 | 703.6 | 566.8 | 7.0 |
| 보험손실 | - | 6.5 | 13.7 | 28.8 | 132.2 | 101.7 | 15.6 |

자료 : 이석호, 「자연재해 증가에 대한 보험사와 과제」, 『주간 금융브리프』, 20권 16호, 2012. p. 16

특히 기후변화로 인한 위험 기상이 출현하고 그 형태가 극대화되어가는 과정에서 장기간의 경제적인 손실이 두드러지게 나타나고 있다. 또한, 도시가 고도화되고 많은 재산이 도시에 밀집되면서 피해 규모 또한 막대하게 증가하고 있다. 특히 대규모 태풍이나 허리케인, 지진 등이 전 세계 대도시를 내습할 때에는 경제손실은 막대하게 커지며, 교통과 무역으로 연결된 여타 지역의 도시와 국가에 경제손실의 여파를 전달하는 것이 일상화되었다. 위험기상현상이 극대화되기 시작한 1980년대 이후 이러한 경향은 뚜렷하다.

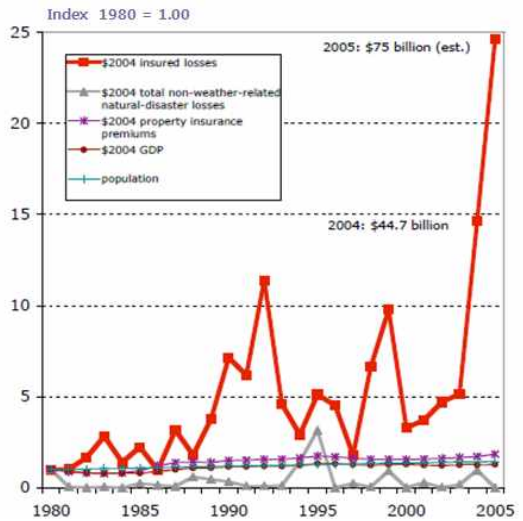



자료 : Munich Re, Natural Hazard Statistics and Losses, NatCatService, 2012

**| 그림 3-24 |** 아시아의 대규모 자연재해

2012년 Munich Re가 발표한 전 세계 자연재해 손실 추이를 보면 재해의 성격과 발생 장소에 따라 차이는 있지만 그 평균치는 점차 증가하는 양상을 보이고 있다. 1980년 133건이던 대규모 자연재해는 2011년 350건으로 증가하였으며, 2009년 1,700만 명이었던 이재민은 2010년 4,200만 명에 다다르게 되었다.

산업계가 바라보는 자연재해 리스크는 절대적으로 위험한 요인이 아닐 수 없으며, 가장 적극적이자 안전한 리스크 관리 수단으로 보험을 선택하는 일이 많아졌다. 자연재해가 발생할 경우 보험사는 그 손해를 담보해야 하는 의무를 지는 바, 자연재해 손실 추이 가운데 보험금 지불액이 뚜렷이 구분되어 나타난다. 다만 자연재해로 인해 광역에서 발생하지만 해당 영역 내 모든 기업과 조직이 보험에 가입한 것은 아니기 때문에 전체를 차지하지는 않지만 그 크기가 1990년대 중반을 넘어 서면서 점차 증가하고 있는 것도 사실이다.




자료 : Mills, E, "Synergisms between climate change mitigation and adaptation : an insurance perspective", *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Chang*, Vol. 12(5), 2012, p. 817

**| 그림 3-25 |** 보험손실 증가 추이

<그림 3-25>는 1980년부터 2005년까지 인구밀도, GDP, 재물 보험료, 기상 외 보험 손실과 비교하여 보험 손실이 얼마나 증가해 왔는지를 보여준다. 기상 또는 기후변화는 사회에 불확실성을 안겨주고 그에 따른 자연재해 손실은 막대한 경제손실을 동반하게 되었으며 2000년대 이후 보험손실은 1980년 기준치 1을 기점으로 무려 15배 이상 증가된 반면 재물 보험료, GDP 성장, 인구밀도 증가 및 기상 외 보험손실과 비교하여 큰 증가치를 보여준다. 이러한 추세는 자연재해에 대한 강화된 대안이 나타나지 않는 한 더욱 악화될 것으로 보인다.

경제가 고도화됨에 따라 전 세계는 지역별로 균등한 성장을 나타내기보다 오히려 시장이 형성된 곳에서 고부가가치를 창출하기 위해 특정 지역에 자원과 물류가 집중되는 양상을 보이고 있다. 또한 세계화에 따라 밀집화, 고도화된 세계의 대표 도시들은 전 세계를 연결하는 경제 중심 허브로서 독립성을 상실해 가는 가운데 상호 의존하는 형태로 발전해 가고 있다.

그 가운데 자연재해 외력은 날로 증가해 가고 있어 기존의 사회 시스템이 감당하지 못하는 뉴노멀(new normal)[34]을 일상적으로 발생하고 있으나, 짧근 시간 내에 고도화된 도시 기능은 이러한 외력에 극히 약한 구조를 보이는 가운데 모든 손실과 영향은 경제적 이익 또는 손실로 재현되기 시작했다.

기후변화의 경우 그 특성상 향후 일정 기간 동안 점진적으로 진행될 것으로 예상되고 있으며, 구체적으로 기후변화로 인한 피해의 양상은 태풍의 빈발, 폭염, 폭우, 해일 등 자연재해와 동반하여 발생하는 특징을 지닌다. 이러한 기후변화 형태의 위험(risk)은 보험의 공급자 입장에서 관리하는 것이 매우 어려우며, 발생 강도와 빈도가 타 재난·재해 상황과는 달라서 이에 부응하는 보험수요를 기대하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 기후변화와 가장 관련이 깊은 재해보험의 사례를 살펴보고 향후 기후변화의 대응 방안으로서 보험제도를 어떻게 설계하고 운영할 수 있을 것인가에 대해 논의해보고자 한다.

### 3) 기존의 재해대응 방안 : 풍수해보험

#### (1) 풍수해보험의 개념과 도입 배경

풍수해보험은 민간이 자율적으로 시행하는 것이 아닌 행정당국인 소방방재청이 일차적으로 관장하고 민간보험사가 실제 운영을 담당하는 정책보험의 한 유형이다. 보험의 수혜자에 해당하는 계약자가 100% 보험료를 부담하는 일반 보험과는 달리 예기치 못한 풍수해(태풍, 홍수, 호우, 해일, 강풍, 풍랑, 대설)에 대비하기 위해서 국가와 지방자치단체에서 보험료의

34) 2010년 다보스포럼에서 화두가 된 이슈로 글로벌 경제위기 이후에 나타난 새로운 동향으로는 부채축소, 탈세계화, 규제강화 및 낮은 경제성장의 일상화 등이 언급됨. 이러한 새로운 경제 환경은 사회에 새로운 리스크를 파생시키기 시작하였으며 이를 뉴노멀(new normal)로 지칭하게 되었음.

일부를 보조함으로써 운영하는 형태를 띠고 있다. 이러한 풍수해보험은 자연재해에 대한 피해 구제를 목적으로 하는 제도의 특성상 충분한 수요를 찾기 어려운 현실을 감안한 것으로 판단된다.[35] 제도의 도입배경으로는 지속적으로 확대되는 풍수해피해에 대한 사후적·소극적 대응정책에서 벗어나 민간 부문의 자율적 대응대책과 결합한 수혜자 부담원칙의 적용 확대에 있다. 풍수해로 인한 민간의 피해지원은 과거 경제발전의 단계가 미미할 때 생계구호의 차원에서 시작되어 최근까지도 매년 지원 대상과 규모가 확대되어왔으나 사후적인 지원 금액만으로는 실질적인 피해복구와 재해에 대한 예방노력 확보가 어렵다는 문제가 지속적으로 제기되어 왔다(신동호, 2004, p. 3). 피해주민은 국비 또는 지방비를 통한 지원기준과 지원수준에 만족하지 못하고, 정부도 한정된 재정상황에서 지원수준의 지속적 확대요구로 재정운영의 어려움이 있다.

자연재해에 대한 소극적 복지 차원의 복구비 지원에서 벗어나 적극적으로 풍수해 등 자연재해에 대응하기 위한 민간의 자율적 역량을 높이기 위해서는 사후지원의 틀을 벗어나는 근본적인 정책방향의 전환이 필요하다. 이는 피해발생을 국가의 지원을 통해 해결한다는 의식으로 인해 수익자 부담원칙에 정면으로 반하게 되며, 민간의 자율적 방재체계 구축에도 걸림돌로 작용하게 된다. 즉 지금까지와 같은 상황에서는 수혜자의 도덕적 해이(moral hazard)의 심화를 막을 수 없는 것이다. 미국, 일본, 유럽 등 선진국은 주택 등 생계구호를 제외하고는 사유시설에 대한 지원제도는 없으며, 국가가 직·간접적으로 지원하는 정책보험을 실시하는 것으로 조사된다(유지호, 2011, p. 51).

본격적인 풍수해보험이 도입되기 이전 풍수해에 대한 민간의 보험상품으로는 일반손해보험에 대한 담보특약의 형태로 특별약관에 가입하는 경

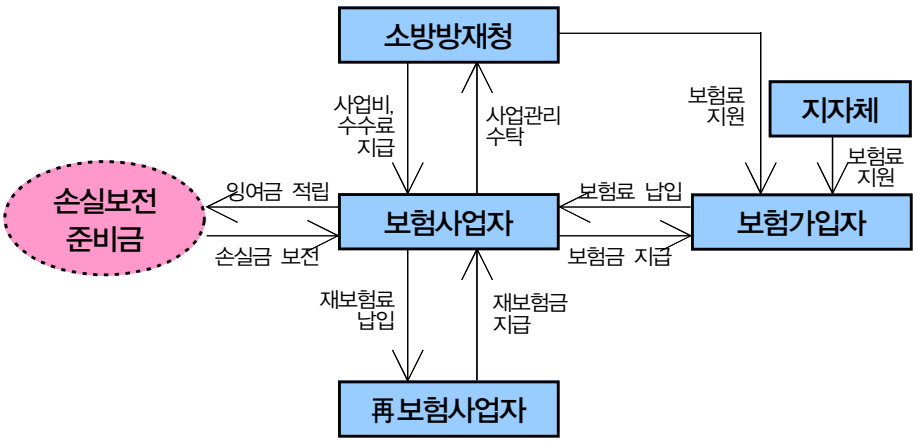
35) 유지호, 「자연재해보험시장에서 역선택의 존재와 원인에 대한 실증연구」, 『리스크 관리연구』, 제22권, 제1호, 2011, pp. 49~78.

우 풍수해에 대한 보장이 가능한 상황이고 이는 현재도 마찬가지로 유지된다. 보험소비자연맹의 설명에 따르면 '특약을 통해 풍수해 위험을 담보하는 손해보험상품은 가정용으로는 화재보험과 주택화재보험, 가정생활보험, 가정안심보험, 종합안전보험 등이 있으며 기업용으로는 화재보험과 동산종합보험'이 있다.[36)]

### (2) 풍수해보험의 운영

#### ① 운용체계

현행 풍수해보법상 보험의 운영은 다음과 같다. 보험사업에 대한 전체적인 관장은 소방방재청이 주관하고 있으며, 실제 운영은 소방방재청과 위탁운영 약정을 체결한 민간 보험사업자로 구분된다. 또한 이에 대한 감독과 분쟁해결은 통상의 보험과 마찬가지로 각각 금융위원회와 금융감독원이 맡고 있다.




자료 : 소방방재청, 『풍수해보험실무』, 2010, p. 8

| 그림 3-26 | 풍수해보험의 운용 체계

36) 보험소비자연맹 홈페이지(http://www.kicf.org/counsel_accept/qna_view.asp?ISN=3178&page=11&ppage=2&field=&keyword=&flag=2).

풍수해보험의 운영상 특징으로는 민간손해보험회사가 사업주체로 참여하고 일반보험상품과 마찬가지로 금융감독원의 분쟁조정기능을 활용하는 동시에 전체적인 운영을 소방방재청이 관장하는 데 있다. 동시에 가장 중요한 부분은 보험가입자에 대한 보험료 지원이 소방방재청과 지자체를 통해 이루어지는 데 있다.

### ② 대상재해와 보험목적물

보험의 대상재해 유형으로는 「풍수해보험법」제2조제1항에서는 「자연재해대책법」제2조 제2항에 규정된 6가지 자연재해인 태풍, 홍수, 호우, 강풍, 풍랑, 해일, 대설을 보험의 적용대상이 되는 재해로 규정하고 있다.

일반적으로 보험목적물은 보험을 통해 보호하고자 하는 대상 물건을 의미한다. 풍수해보험의 목적물로는 「풍수해보험법」제4조에서 「건축법」제2조제1항제2호에 따른 건축물로 규정하고 있다. 그리고 지난 2008년의 개정에서는 건축법 상의 건축물 이외에도 '그 밖에 피해의 가능성과 보험의 효용성 등을 종합적으로 고려하여 대통령령으로 정하는 시설물'을 추가하여 온실에서 건축법에 의한 모든 건축물과 온실 및 이에 부수 또는 포함되는 동산으로 그 적용범위를 확장한 바 있다.

### ③ 타 보험제도와 비교

풍수해보험은 일차적으로 정부와 지자체의 보험료에 대한 정책적 지원을 통해 수행된다는 특징이 있다. 이와 같은 국가의 보험 지원은 <표 3-14>에서 제시된 바와 같이 농작물재해보험과 가축재해보험특약에도 이루어지고 있다. 그러나 일반적인 동산에 관한 보험의 특약의 형태로 존재하는 민간 보험의 경우에는 풍수해와 같은 재해에 대비하는 성격이긴 하나 보험료의 지원 없이 자발적인 판단과 선택에 의해 운영되고 있다.

| 표 3-14 | 타 보험제도와의 비교

| 보험종목 | 주요 보상 내용 | 비 고 |
|---|---|---|
| 풍수해보험 | 태풍, 홍수, 호우, 강풍, 풍랑, 해일, 대설의 직접적인 결과로 인해 발생한 피보험목적물의 손해 및 추가비용 (온실의 잔존물 제거비용, 손해방지비용) | 정부와 지자체의 보험료 지원 |
| 화재보험 풍수재특약 | 태풍, 회오리바람, 폭풍, 폭풍우, 홍수, 해일, 범람 및 이와 비슷한 풍재 또는 수재로 보험목적에 생긴 손해 보상 | 보통약관에서는 면책, 특약으로 보상. 설해는 보상되지 않음 |
| 주택상공종합 보험의 위로금 | 풍수설해로 건물이 전손(붕괴, 유실)의 경우 보험가입금액의 10%를 위로금으로 지급 | 주계약상의 위로금 조항 전손인 경우, 10%한도 |
| 동산종합보험 풍수재특약 | 화재보험 풍수재특약과 동일한 담보내용으로 보험목적물이 각종 동산 | 보통약관에서는 면책 설해는 보상되지 않음 |
| 전위험 담보보험 | 재산종합보험(PAR), 건설공사보험, 조립보험과 같은 전위험담보(All Risk)의 증권에서는 특별히 면책조항에 포함시키지 않으면 풍수해 위험을 보상 | 주로 대규모 기업성 물건을 위한 상품 설해, 지진을 포함하여 각종 자연재해를 담보 |
| 농작물재해보험 | 농작물재해보험은 보험기간(발아기~수확기) 동안 과일과 같은 농작물이 태풍, 우박, 동상해 등 자연재해로 피해를 입은 경우 보상 | 농작물에 대한 보험 |
| 가축재해보험의 축사특약 | 가축의 재해를 기본담보 하며 보험료의 50%를 국가가 지원 축사의 화재, 풍재, 수재로 인한 손해는 특약으로 가입 가능 | 설해 보상됨 축사는 보험료의 30%를 국가가 지원 |

자료 : 소방방재청, 『풍수해보험실무』, 2010, p. 19

### 4) 자연재해 관련 정책보험 해외사례

자연재해와 관련된 정책보험을 운영하고 있는 대표적인 국가로는 미국과 일본, 프랑스, 스위스 등의 사례를 참고할 수 있다. 미국의 경우 금융기관의 대출을 통해 건물이 신축되는 경우 대출기관에서는 대출시 자연재해에 대한 가입증명을 요구하는 형태로 재해 관련 보험의 가입을 유도한다(신동호, 2004, p. 6).

|표 3-15| 자연재해 정책보험 해외사례

| 구분 | 풍수해보험 | 미국 홍수보험 | 미국 캘리포니아주 지진보험 |
|---|---|---|---|
| 대상 재해 | - 태풍, 호우, 홍수, 강풍, 풍랑, 해일, 대설 | - 홍수 | - 지진 |
| 보험 대상 | - 주택, 온실 | - 개인·상업용 건물 및 동산 | - 주택 및 가재도구 |
| 보험 가입 금액 | - 시설별 복구비 기준액의 50~90% 수준 | - 개인용건물(최대 25만 달러), 동산(최대 10만 달러)<br>- 상업용건물(최대 50만 달러), 동산(최대 50만달러) | - 주택(최대2.5만 달러)<br>- 가재도구(최대5천 달러)<br>※ 1사고당 72억 달러까지 총보상 한도액제 운영 |
| 보험 사업자 | - 소방방재청 관장<br>- 민간보험사 운영 | - 연방재난관리청 (FEMA) 직영<br>※ 120여 개 민간보험사에서 보험판매 손해평가 등 위탁운영 병행 | - CEA(California Earthquake Authority) 및 민영보험사 |
| 보험 가입 방식 | - 임의가입 | - 임의가입(홍수위험지역 주민 등의 경우 토지개발 규제 및 보험 의무가입) | - 임의가입(가정종합보험의 의무 부대특약 운영) |
| 보험료 정부 지원 | - 영업보험료 : 57.5~64%<br>※ 국민기초생활수급자 소유의 주택 : 86.75% | - 지원 없음 | - 지원 없음 |
| 비고 | - 손실보전준비금제도를 통한 정부의 손실보전 | - 국가직영으로 손실보증(국가홍수보험기금으로 별도 계정 관리)<br>※ 홍수보험과 연계하여 홍수터개발 조례, 지역안전도지수(CRS) 등을 활용한 홍수예방 정책시행 | - CEA(캘리포니아 지진보험기구주정부·보험회사 공동 운영)를 통한 주정부재보험 제공<br>※ 지진보험과 연계하여 '내진성능 보강을 위한 재정지원(SAFER)' 정책시행 |

자료 : 소방방재청, 『풍수해보험실무』, 2010, p. 17

|표 3-15| 자연재해 정책보험 해외사례(계속)

| 구분 | 일본 지진보험 | 프랑스 자연재해보험 | 스위스 자연재해보험 |
|---|---|---|---|
| 대상 재해 | - 지진 | - 홍수, 지진 등 자연재해 (포괄적 제공) | - 홍수 등 자연재해 (포괄적 제공, 단, 지진 위험은 제외) |
| 보험 대상 | - 주택 및 가재도구 | - 개인·상업용 건물 및 동산 등 | - 개인·상업용 건물 및 동산 등 |
| 보험 가입 금액 | - 주택(최대5천만 엔)<br>- 가재도구(최대1천만 엔), 사고당 4조 5천억 엔까지 총보상한도액제 운영 | - 개인용건물(최대 25만 달러), 동산(최대 10만 달러)<br>- 상업용건물(최대 50만 달러), 동산(최대 50만 달러) | - 개인 건물/동산 각각 최대 3만 스위스프랑, 사고 당 5억 스위스프랑까지 총액보상한도제 운영 |
| 보험 사업자 | - 민간보험사 | - 민간보험사 | - 공영보험 : 주정부 운영<br>- 민영보험 : 민간보험사<br>※ 2/3 건물이 공영보험 가입, 동산은 민영보험만 담보 |
| 보험 가입 방식 | - 임의가입(단, 화재보험의 자동 부대특약으로 운영) | - 임의가입(단, 화재보험의 의무 부대특약으로 운영) | - 임의가입(단, 화재보험의 의무 부대특약으로 운영) |
| 보험료 정부 지원 | - 지원 없음 | - 지원 없음 | - 지원 없음 |
| 비고 | - JER(일본지진재보사 보험회사 공동출자)과 계약 관계를 통한 국가재보험 제공(특별회계에 의한 기금 운영)<br>- 민영보험회사에서 위험을 인수하여 JER에 재보험, JER은 다시 민영보험회사와 국가에 재재보험 | - 국영 재보험회사(CCR)를 통한 국가재보험 제공 | - 공영보험 : 정부보증 민영보험 : SIA(보험협회) 보험 pool에 의한 위험 분산 |

자료 : 소방방재청, 『풍수해보험실무』, 2010, p. 18

우리나라를 비롯한 대부분의 국가에서 시행하는 재해 관련 보험가입방식은 임의가입을 기본으로 하고 있으며, 미국, 일본, 프랑스 등에서는 화재보험이나 종합보험의 의무 부대특약으로 운영되고 있다. 반면에 우리나라에서 실시하는 풍수해보험과 다른 선진국 제도와의 가장 큰 차이점은 가입자가 부담하는 보험료에 대한 정부 지원 유무라고 할 수 있다. 한국을 제외한 다른 국가에서는 국가에 의한 보험료 지원이 이루어지는 것을 찾아보기 어렵다. 반면 우리나라에서는 제도의 조기 정착과 피해예상 지역 주민에 대한 공적 보장의 성격을 담보하기 위해 보험료에 대한 지원이 이루어지고 있다.

### 5) 자연재해와 보험산업의 대응

#### (1) Nat. Cat. 모델의 적용

대규모 자연재해(natural catastrophe)는 최근에 발생하고 있는 예측 불허의 악기상과 지질재해에 대비하여 보험자들이 그 리스크와 영향 혹은 피해를 예측하여 보험 인수와 자금 배분을 위한 기준으로 활용하는 시스템으로 Nat. Cat. 모델이 있다. Nat. Cat. 모델의 리스크 분석은 지진, 허리케인 또는 토네이도와 같은 자연현상으로 인한 손실을 보험의 관점에서 해석한다. Nat. Cat. 모델은 보험자, 재보험자와 리스크 관리자로 하여금 가장 적합한 리스크 관리와 프라이싱 정책을 제공해 주는 강력한 툴이 되어 왔다. 그러나 보험자가 이를 활용하기 위해서는 충분한 데이터와 경험을 가져야 한다. 재보험사에서 이를 운영하기 위해서는 1년간 15명의 기술자가 참여해야 했다. 그 이유로 많은 보험자와 재보험자들이 언더라이팅을 수행할 때에는 Nat. Cat. 모델을 직접 운영하거나 판매되는 상용모델을 통해 손해를 예측하고 가격정책 변화를 이해하기도 한다. 모델이 주는 결과물은 통계학적으로 분석된 이벤트에 대하여 모델이 예측한 손실 또는 Nat. Cat. 모델로

부터의 재무 또는 위험에 관한 모듈을 사용하여 리스크를 예측하기 위한 성과를 제공한다. 보험사가 추정하는 손실 가운데 PML(예상최대손실, probable maximum loss)와 AAL(연평균 손실, annual average loss)는 통계적 모델(probabilistic model) 로부터 구할 수 있다. 결정론적 모델(deterministic model)은 특정한 이벤트로부터 예상되는 손실을 구할 때 사용된다. 일반적으로 Nat. Cat. 모델을 통한 손실 분석과정은 보험 가입 데이터의 이해와 해석, 데이터의 변형, Nat. Cat. 데이터 모델링과 결과 해석 모듈 등을 포함한다.

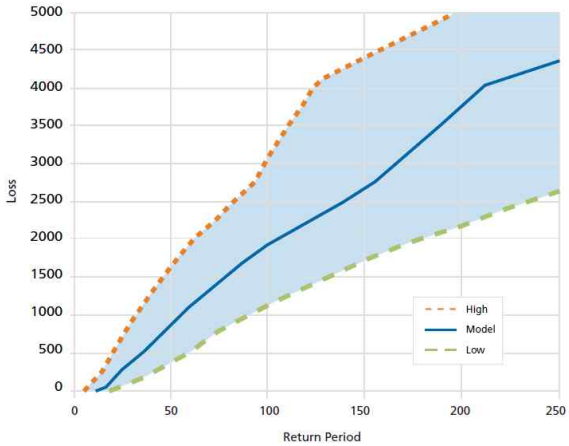
통계적 분석을 위해서는 데이터 분석을 통한 회귀 년도와 손실 크기를 이용한 잠재적인 손실 리스크를 추정하게 된다. 이는 주로 과거의 손실 데이터를 바탕으로 통계적 접근이 사용되고 있다. 결정론적 방법을 통해 해당 지역에 보다 상세한 시뮬레이션을 수행한다면 구체적인 손실 시나리오와 크기를 추산할 수 있다. 이 때에는 상당 부분의 공학적인 접근과 해석도 활용된다. <그림 3-27> 홍수 리스크를 분석하는 과정을 보여준다. 태풍, 호우 등 기상모델로부터 해당지역에 내습하는 호우의 통계적 분포를 구한다. 각 빈도에 따른 호우에 대하여 유역에 유출모델을 적용하면 침수구역을 추정할 수 있다. 침수 구역 내 재산 분포 또는 인수 물건을 매핑하고 해당 물건의 침수심별 손실을 추정하면 물건별 또는 유역 내의 담보 내역을 산출할 수 있게 된다. 마지막으로 재무모델을 적용하여 보험자는 해당지역의 리스크 인수에 대한 한도와 정책을 결정할 수 있다. 이와 같이 최근에는 통계적 방법에 더하여 공학적 기법을 적용하여 보다 구체적이고 정확한 피해를 산출하는 경우가 늘고 있다. 그러나 이 역시 손실 추정을 위한 피해함수(loss function)을 활용하기 때문에 통계적 분석을 배제할 수 없는 한계를 가진다.

| 그림 3-27 | Nat. Cat. 모델을 통한 홍수 리스크 분석

아직까지 리스크를 추산하고 모델링하는데 있어 가장 큰 변수가 되는 이러한 데이터 수집과 처리 능력에 개선이 있다 하더라도 자연재해와 이상기후, 위험 기상이 주는 불확실성(uncertainty)은 이미 보험 업계는 현실적인 과제가 되고 있음이 지적되고 있다(Guy Carpenter, 2011). 모델을 개선한다 하더라도 최근의 불확실한 자연 재앙을 재현할 수 없는 것이 현실이다. 그러나 예측 불허의 자연 변화에 대한 모델 개선과 이를 교육받은 기업들은 이미 자연재앙에 대해 모델링하는 총체적인 관리 과정을 정착시키고 서로 경쟁하고 있는 것이 현실이다.

1980년대 하반 Nat. Cat. 모델에 대한 첫 번째 상용 모델이 도입된 이래, 최근의 다양한 자연재앙으로부터 얻은 과학과 지식에 기반하여 개선되어 왔다. 현재 모델링 서비스를 제공하는 업체가 늘어나고 있으며 모든 보험자 또는 재보험자는 자신들이 개발한 또는 서비스 업자들의 모델들을 활용하고 있다. 모델에 상당한 발전이 있었음에도 불구하고 불확실성은 남아 있으며 이는 다수의 사용자가 인식하고 있는 심각한 요인이 아닐 수 없다. 1999년 Miller는 미국을 강타하는 허리케인 리스크 모델의 불확실성을 추산하여 발표한 바 있다. 결과에 따르면 100년 빈도 또는 그보다 큰 빈도의 허

리케인에 대한 모델 결과치는 실제 피해와 비교하여 50% ~ 230%의 결과로 예측되었다.




자료 : Guy Carpenter, Managing Catastrophe Model uncertainty, 2011, p. 3

**| 그림 3-28 |** Nat. Cat. 모델 결과와 실제 값의 비교

그러나 1999년 이후의 발전과 더불어 작은 지역을 대상으로 한 해석을 제외하고는 불확실성의 폭은 상당히 줄어든 것도 사실이다. 이에 따라서 지리적 규모별로 현재 예측하는 정확도는 <표 3-16>와 같은 변화를 나타낸다.

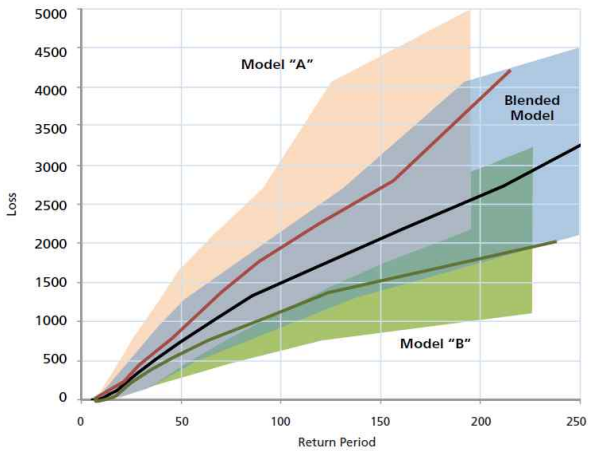
**| 표 3-16 |** 지리적 규모별 Nat. Cat. 모델의 정확도

| 지리적 규모 | 범위의 하한치 | 범위의 상한치 |
|---|---|---|
| 국가 | PML의 60% | PML의 190% |
| 주 | PML의 40% | PML의 270% |
| 지역 | PML의 25% | PML의 430% |

자료 : Guy Carpenter, Managing Catastrophe Model uncertainty, 2011, p. 3

상당한 크기의 불확실성을 내포하고 있음에도 불구하고 이 모델은 시나리오 분석과 누적위험 연구를 위한 중요한 툴로 아직까지 사용되어 오고

있으며 그에 대한 확장개념으로 인식되고 있다. 이러한 Nat. Cat. 모델의 불확실성을 제거하기 위해 다방면의 노력이 수행되어 오고 있다. 많은 경우 오차 범위를 줄이기 위한 다수의 모델을 병합한 다중모델(multiple model)을 사용하는 방법이 사용되고 있다.




자료 : Guy Carpenter, Managing Catastrophe Model uncertainty, 2011, p. 11

**| 그림 3-29 |** 다중모델을 통한 정확도의 개선

모델들의 결과를 '혼합(blending) 또는 평균(averaging)'하고 그중 한 모델의 결과를 '변형(morphing)'하여 타 모델의 특성을 반영하는 방법을 쓰기도 하고, 여러 모델을 '융합(fusing)'하여 새로운 모델에 주입하는 방법을 쓰기도 한다. 각 경우 모두 어떤 정확한 특정 가중치 선택과 방법론을 이용하는지가 극히 중요하며 각 모델의 장점과 단점을 고려해야 할 필요가 있다. 또한 불확실성에 대한 근원을 차단하기 위한 방법으로 다중모델의 이용은 각각의 모델 변화에 따른 영향을 제거해주는 역할을 한다. 모델에 대한 불확실성과 변화는 업계에 많은 어려운 도전을 부여하고 있다. 블랙박스 형태의 툴이 더 이상 유용하지 않으며 오히려 전문가들의 결정을 이용하는 방법이 고려되어야 할 것으로 보인다.

### (2) GEM

Nat. Cat. 모델의 한계가 지적되는 가운데 2011년 동일본 대지진을 필두로 전 세계  각지에서 다양한 지진이 빈발하고 있다. 지진 리스크는 진앙지에서의 지진 에너지 크기와 진동의 전파 특성에 따른 각지의 진도분포로 설명되지만, 부지 위 시설물의 내진 성능에 따라서도 크게 달라진다. 지진 재앙에 대처하기 위해 올바른 정보와 기술을 공유하여 피해를 경감시키기 위한 정책을 개발하고 보험 등 민간 섹터에서도 이를 활용하여 지진 리스크의 불확실성을 해소하고자 하는 국제 공동의 노력이 이루어지기 시작하였다.

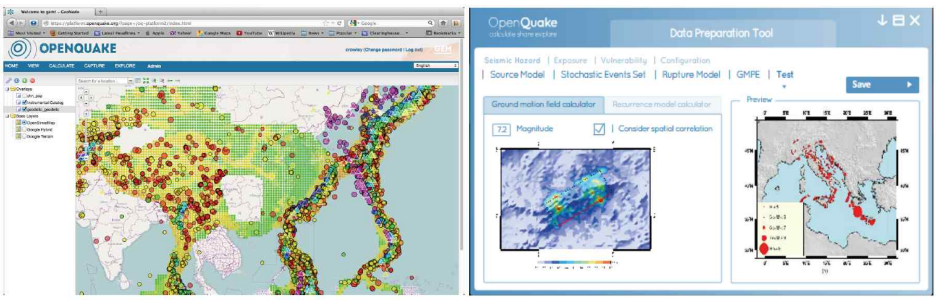
GEM(Global Earthquake Model) 재단은 공공과 개인 간의 파트너십으로 전 세계 지진 리스크 추산을 위한 자원과 툴 개발을 지향하는 공동의 노력을 추진하고 있다. 수백여 개의 조직과 개인 전문가와 실무자들로 구성된 조직은 함께 일하면서 동일한 형태의 글로벌 데이터베이스와 동일한 방법론, 툴과 오픈 소스의 소프트웨어를 개발하고 있다. 현재 다양한 툴과 지식들이 서로 연결되지 않은 형태로 전 세계에서 개발되고 있으나 이를 필요로 하는 이들이 활용하는 데 어려움이 있고 현실적으로 불가능한 점을 이슈로 하여 그간의 성과를 바탕으로 공동의 플랫폼 하에 기술을 집약시키고 학습해 나가기 위한 공동의 활동이라 하겠다. 데이터, 지식과 사람들을 한데 모으고 사회 이익을 위한 최고 전문가들의 지식을 활용하고 교류 협력할 수 있는 국제 포럼의 형태로 운영 중이다.

GEM이 그동안의 유사한 활동 또는 비즈니스와 차별을 두고 있는 점은 리스크를 최선단의 과학을 바탕으로 추산한다는 점을 먼저 들 수 있다. 함께 협력하는 과정에서 데이터와 지식을 공유하고 공동의 연구노력을 수행하기 위한 공동 프레임워크와 플랫폼을 제공한다는 점도 그 영향력을 보강해준다. 또한, 블랙박스 형태가 아닌 투명한 방법과 프로세스 심지어는 독립적인 산출물일지라도 이를 공유하고 오픈 소스 형태의 소프트웨어 형식으로 제공하여 범용성을 높이는 특성도 함께 가진다. 리스크를 추산하는

과정으로 서로의 툴과 데이터, 방법을 글로벌 프레임워크에 저장한 후, 지역별로 공동 작업과 프로젝트를 통해 필요한 데이터와 방법을 선정하게 된다. 이렇게 분석된 리스크는 이를 필요로 하는 조직이나 개인에게 사용할 수 있는 형태의 데이터와 결과로 제공된다.

본 활동이 지향하는 목표를 들면 글로벌 또는 지역 내의 지진 리스크 데이터셋과 기 완성된 우수한 성과를 공유하고 학제간 과학적 연구, 테스트와 토론을 첫 번째로 들 수 있다. 오픈 소스이며 확장 가능하고 유연한 툴과 모델을 활용하여 지진 리스크를 모델링하는 것이 두 번째이며 글로벌 또는 로컬 규모의 리스크 완화를 위한 활동과 의사결정을 지원함을 궁극적인 목표로 한다. 성과물로 공개될 'Open Quake'로 명명된 오픈 소스 모델을 이용하면 누구든 전세계 10개 이상의 동질한 지진동에 관한 데이터 셋에 접근 가능하다. 또한 다양한 툴을 사용하여 지진 리스크를 산정할 수도 있다.

GEM이 구축중인 글로벌 지진 해저드와 리스크 모델은 지진원(seismic source) 모델, 지진동(ground motion) 모델, 물리적 리스크 노출과 취약성(physical exposure & vulnerability) 모델, 복합 지수(social vulnerability, resilience, indirect economics) 모델과 같은 세부 모듈을 포함하고 있으며, 이러한 모델을 활용하면 그동안 모델 섹터별로 분리되어 분석되고 다루어지던 리스크를 총체적으로 식별할 수 있게 된다.




자료 : Openquake 홈페이지

| 그림 3-30 | Openquake의 표시 사례

지진에 의한 지진동 확률을 지진 해저드로, 그러한 해저드에 노출되어 있는 재물, 지진 해저드에 노출된 재물 또는 건축물들의 지진 취약성은 물리적 리스크(physical risk)로 통합된다. 이는 지진으로 인한 인명피해와 구조물 피해 확률로 표시된다. 또한 지진동에 의해 그 사회가 견딜 수 있는 사회와 경제구조의 취약성에 대한 복합지수를 구하게 되며, 이러한 두 가지 요소가 합쳐져 최종적인 지진 리스크를 구성하게 된다.

| 그림 3-31 | GEM 모델의 지진 리스크 추산

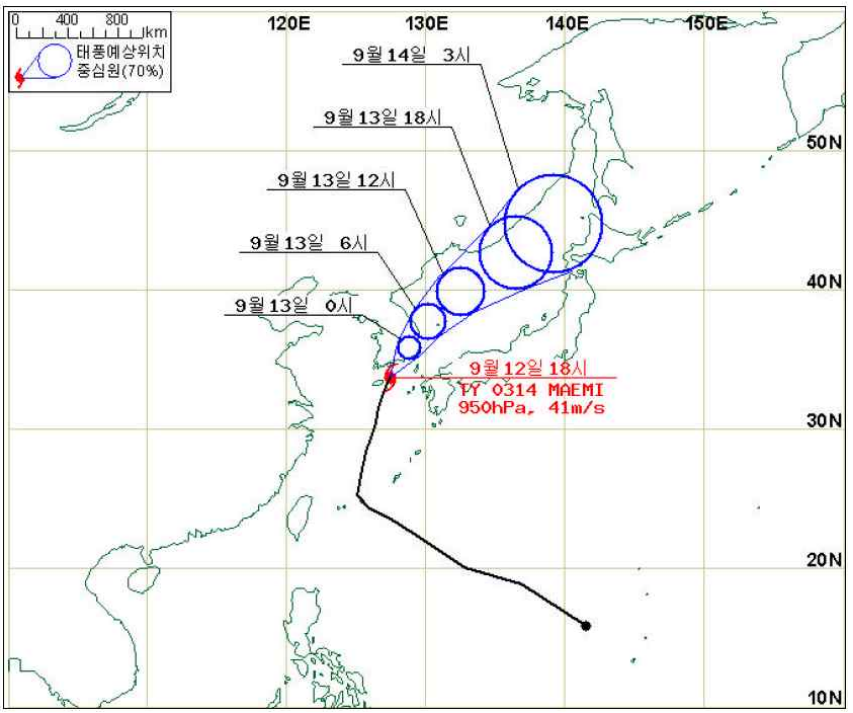
특히 사회 취약성(social vulnerability) 및 복원력(resilience)을 위한 복합지수의 산정에는 어떤 지수와 지표를 통해 이를 측정할지를 선택하고 어떠한 방법을 통해 취약성을 추산하며 재해에 대한 복원력은 무엇인지, 지진으로 인한 직접 손실 이외에도 간접적으로 파생되는 손실들은 무엇인지를 파악하는 과정이다. 이는 그동안 지진 재해 피해를 추산해 오던 보험자들이 Nat. Cat. 모델을 통해 블랙박스로 산출해 내던 성과를 공개되고 통일된 형태로 공유하는 계기를 마련하고 국제 사회 공동의 노력을 통해 이를 개선하기 위한 과제를 발의할 수 있는 계기가 된다는 점에서 큰 의미를 가진다. 2014년 말 'Open Quake'는 그 첫 모델을 웹상에 런칭하게 된다. 리스크와 손실 추산에 대한 집적되고 발전적인 성과를 위해 전 세계 보험자 또는 재보험자, 국가와 지역이 GEM에 참여하고 있으며 자신의 데이터와 기술, 지식을 제공하고 자본 투자가 한창이다.

# 6. 연안 침수 및 범람 관리

## 1) 연안 침수 현상의 사례와 원인

일반적으로 연안지역에서는 흔히 바닷물이 육지보다 높이 차올라 침수되는 현상에 사람들의 관심이 크다. 조석 범람으로 번역할 수 있는 'tidal flooding'은 북해를 두고 있는 유럽의 연안에서는 종종 발생하는 현상이다. 1953년 연안지역의 대범람으로 영국에서 307명, 네덜란드에서는 1,835명이 사망하기도 했다. 우리 연안에서는 연중 백중사리라 하는 최대만조 시 일부 저지대가 침수되는 수준에서 머물지만 지역적 조건에 따라 그 영향은 크게 나타날 수 있다. 향후 기후변화에 따라 해수면의 상승폭이 더 커지면 우리 역시 저지대 일부 지역에 대한 일시 침수가 심각해져 침수권역이 보다 광역화되고 그 피해도 더 커질 가능성이 있다.

우리나라에서는 이미 2003년 태풍 매미로 큰 피해를 입으면서 방재정책이나 연안관리 정책에 중요한 시사점을 얻을 수 있었다. 행정자치부(2003)가 펴낸 『2003 태풍 매미 피해 현장조사 보고서』에 따르면 정부는 「자연재해대책법」에 따라 국립방재연구소를 중심으로 학계와 업계의 전문가로 재해원인분석조사단을 구성해 태풍 매미에 의한 피해원인을 조사·분석했다. 이에 따르면 태풍 매미는 우리나라에 내습하는 전형적인 9월 태풍으로 2003년 12일 18시 경 제주도 성산포 동쪽 해상을 거쳐 같은 날 21시 경 경남 사천시 해안으로 상륙했다. 태풍의 중심기압은 950hPa로 순간 최대풍속은 북제주군 기상대에서 60m/sec가 관측되며 우리나라 기록 사상 최고치를 경신했다. 당시 강우량은 경남 남해에서 453㎜로 최고치를 기록하였으며, 최대 시간강우량은 12일 20~21시에 79㎜를 기록했다.




자료 : 행정자치부, 『2003 태풍 매미 피해 현장조사 보고서』, 2003, p. 2

**| 그림 3-32 |** 태풍 매미 진로도

현장조사에서 집계된 전국의 피해규모는 인명 피해 132명, 재산피해 4조 7,756억에 달하는 것으로 집계되었다. 특히 태풍이 상륙한 경상남도의 피해규모는 전체 피해규모의 거의 절반에 가까운 인명 피해 64명, 재산피해 2조 3,062억 원에 달했다.

| 표 3-17 | 태풍 매미에 의한 시·도별 피해규모

| 피해지역 | 인명피해(명) | 재산피해액(천 원) | 선정시도 |
|---|---|---|---|
| 계 | 132 | 4,775,652,418 | 7개 |
| 서울특별시 | - | - | - |
| 부산광역시 | 17 | 381,086,826 | 조사 |
| 대구광역시 | 4 | 180,263,988 | 조사 |
| 인천광역시 | - | - | - |
| 광주광역시 | - | 502,036 | - |
| 대전광역시 | - | 36,502 | - |
| 울산광역시 | - | 100,055,389 | - |
| 경기도 | - | - | - |
| 강원도 | 13 | 827,914,436 | 조사 |
| 충청북도 | - | 42,134,817 | - |
| 충청남도 | - | 364,961 | - |
| 전라북도 | - | 21,789,621 | - |
| 전라남도 | - | 196,887,830 | 조사 |
| 경상북도 | 19 | 669,118,080 | 조사 |
| 경상남도 | 64 | 2,306,194,125 | 조사 |
| 제주도 | 2 | 49,303,807 | 조사 |

자료 : 행정자치부, 『2003 태풍 매미 피해 현장조사 보고서』, 2003, p. 3

조석에 의한 해수 범람과 함께 연안에서 중요한 범람은 내수, 즉 담수에 의한 범람으로, tidal flooding과 대비하여 alluvial flooding으로 알려져 있다. 2005년 미 남동부를 강타한 허리케인 카트리나 당시 뉴올리언스 지역을 범람시킨 것은 해수가 아닌 담수였다. 뉴올리언스 북쪽에 위치한 Pontchartrain 호수의 담수가 제때 외부로 배수되지 못하면서 인접한 도시 주변지역으로 범람한 것이다. <그림 3-33>은 Landsat7 인공위성으로 찍은 허리케인 카트리나 전후의 뉴올리언스와 북쪽 호수의 영상으로 호수의 외곽이 조금 커진 것으로 보인다.

사진 출처 : PLANETOBSERVER/SCIENCE PHOTO LIBRARY(http://www.sciencephoto.com/image/163756/large/E1580146-New_Orleans_before_Hurricane_Katrina-SPL.jpg)

**| 그림 3-33 |** 허리케인 카트리나 전후 뉴올리언스 인공위성 영상

<그림 3-34>는 뉴올리언스 중심지역의 침수 전경으로 가운데 보이는 건물은 미식축구가 열리는 메르세데스-벤즈 수퍼돔으로 북쪽 호수에서 10㎞나 떨어진 곳에 있다. 수퍼돔이 있는 지역은 도시의 중심부에 위치한 곳으로 이곳까지 범람이 된 원인은 허리케인 내습 당시 도시 북쪽에 위치한 호수가 도시로 넘쳐 들어왔기 때문이다. 다만 호수의 제방이 구조적으로 허리케인 카트리나 규모에 대응하지 못할 설계빈도를 가지고 있었는지, 아니면 제방의 설계와 시공상에 문제가 있었는지에 대해서는 많은 논란이 있다(Kates *et al.,* 2006).

뉴올리언스처럼 대규모 피해는 아니지만 우리의 연안지역에서도 이와 비슷한 사례가 발생하고 있다. 목포 연안의 상습침수지역의 경우 만조시 하수가 바다로 배출되지 못하면서 시가지가 침수되는 일이 빈번했다. 이후 목포시는 2010년 하수관거 정비 사업을 통해 구경이 큰 하수관거를 묻고 빗물펌프장을 준설하는 등의 노력을 기울여 침수 현상을 줄여나가고 있다. 동해안에 위치한 강릉 역시 태풍과 함께 폭우가 내리면 강릉 시내 도심 일부가 침수되는 피해가 발생하는 지역이다. 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미 내습 시 강릉시 도심 지역이 침수되었다.

사진 출처 : PLANETOBSERVER/SCIENCE PHOTO LIBRARY(http://www.globalsecurity.org/military/facility/images/new-orleans_050831-n-8154g-115.jpg)

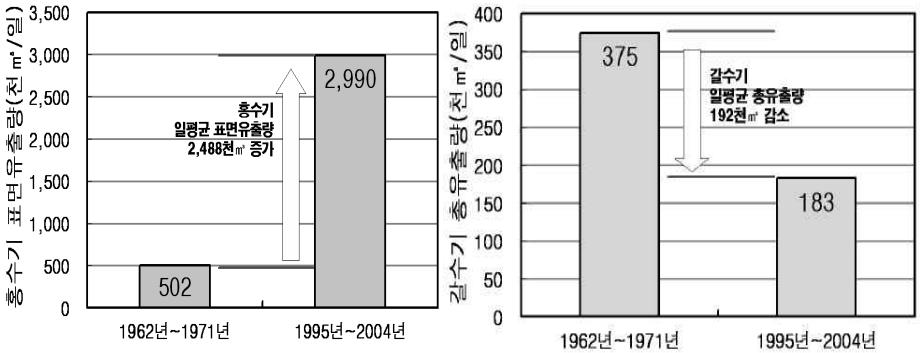
**| 그림 3-34 |** 뉴올리언스 중심부의 침수 전경

이후 2005년에 강릉시에서 빗물펌프장을 완공하여 침수에 대비하기도 했으나 이듬해인 2006년은 물론 2008년에 발생한 집중호우 당시 빗물이 빠져나가지 못하면서 도시 중심부가 침수되는 현상이 반복되었다.

이처럼 지금까지 일반적인 홍수라고 할 수 있는 하천수나 바닷물이 제방을 넘어 제외지(堤外地)를 침수하는 방식이 아닌 하수와 우수가 관거를 통해 빠져나가지 못하고 역류하면서 발생하는 도시형 침수가 최근에는 더 큰 문제가 되고 있다. 이런 방식의 홍수를 이른바 도시홍수라고 하며, 특히 호우의 강도, 지속시간, 지역적 특성에 따라 하천홍수, 도시홍수, 해안홍수, 돌발홍수 등으로 구분한다(소방방재청, 2011a). 더욱이 도시지역은 불투수층의 비율이 높아 개발되지 않은 자연유역에 비해 같은 비가 오더라도 첨두유출량과 유출량이 크게 늘어난다. 대부분 배수관으로 강우를 배제하기 때문에 도달시간이 단축되는 등 수문유출곡선이 크게 달라진다(장금숙, 2008). 한편 김근영(2005)에서는 배수관으로 집중된 강우 유출수는 때로 배수시설을 파손시키기도 하며, 배수시설의 용량을 부족하게 만드는 결과를

초래하거나 배수펌프와 수문의 오작동, 배출 수위 증가에 따른 역류현상 등이 발생할 경우 도시홍수를 유발하는 요인이 되기도 한다고 지적한다.

아래 그림은 대표적인 도시지역으로 불투수층이 급격하게 증가한 서울시의 표면유출량 변화이다(김영란, 2008). 홍수기 일평균 표면유출량이 1960년대에는 502천㎥/일에서 최근에는 2,990천㎥/일로 거의 6배 이상 증가하여 도시홍수의 가능성이 높아졌다. 반면, 갈수기인 동계에는 표면 유출량 1960년대 375천㎥/일에서 최근에는 183천㎥/일로 거의 절반 가까이 감소하기도 하였다.




주 : 홍수기 표면유출량은 6, 7, 8, 9월의 침수 피해를 일으키는 유출량이며, 갈수기 총 유출량은 12, 1, 2월의 지표면, 지하수유출량임

자료 : 김영란 외,「기후변화에 대응한 서울시 출관리 전략」,『SDI 정책리포트』, 제10호, 서울시정개발연구원, 2008, p. 5

**| 그림 3-35 |** 서울시 표면유출량 변화(좌: 홍수기, 우: 갈수기)

특히 해안지역에 위치한 도시는 도시홍수와 해안홍수의 특징을 함께 보여준다. 앞서 설명한 일반적인 도시홍수의 양상 김근영(2005)과 함께 태풍이나 고조에 따른 해수면 상승 시 육지의 강우와 하수가 바다로 배제되지 못하면서 내륙 육지부가 침수되고 심한 경우 해수가 육지로 유입하면서 그 피해가 더 커지는 상황이 되고 만다.

| 표 3-18 | 홍수의 유형 및 특징

| 유형 | 원인 | 특징 |
|---|---|---|
| 하천홍수 | 태풍 또는 집중호우에 의한 하천의 범람 | 공간적으로 넓은 지역에 장기간 발생하여 그 피해가 광범위하고 제방의 월류 및 붕괴에 의해 피해가 지배적임 |
| 도시홍수 | 도시의 주차장, 건물, 도로 등의 불투수 지역의 증가 | 불투수역의 증가로 인한 첨두홍수의 증가 및 도달시간의 단축, 도시내수 배제 불량으로 인한 주택지, 상가, 공장지 등의 침수에 의한 피해가 지배적임 |
| 돌발홍수 | 지형적으로 급경사인 소유역(산악지역)에서의 집중호우 | 공간적으로 좁은 지역에 짧은 기간 발생하며 상류하천 유량의 급격한 증가나 유사 밀도류의 형성, 산사태와 상류 소형댐의 붕괴에 의한 피해가 지배적임 |
| 해안홍수 | 태풍 또는 호우시 저기압 형성에 의한 해수면의 상승 및 높은 파랑의 형성 | 높아진 해수면 및 파랑에 의해 해안가 저지대에서 바닷물에 의한 침수 피해가 대부분이며 하천 하류 지역에서는 만조시 해수 유입으로 인한 하천의 범람에 의한 피해가 지배적임 |

자료 : 소방방재청, 『도시홍수 위험성 평가 및 통합관리방안 개발』, 2011, p. 11

환경부의 하수도정비 관련 계획에서도 도시 침수를 침수 원인에 따라 외수침수와 내수침수로 구분한 점은 연안도시에 적용할 때도 의미 있는 부분이다. 즉, 집중호우 발생 뒤 도시에 인접한 강이나 하천, 혹은 자연적 물길의 제방고 및 통수능력을 넘어서는 물넘침에 의한 '외수침수'와 강우 시 도시지역에서 빗물이 배수되지 못하고 적체되는 현상으로 외수(하천)의 범람이 아닌 도시 자체의 빗물 배제능력의 부족이나 하수도시설의 용량 부족으로 발생하는 '내수침수'로 도시침수를 구분했다.

| Ⅲ 3-19 | 도시침수에 대한 용어 정의와 원인

| 구 분 | 정의 | 주요 원인 |
|---|---|---|
| 외수침수 | 집중호우 발생 뒤 도시에 인접한 강이나 하천, 혹은 자연적 물길의 제방고 및 통수능력을 넘어서는 물넘침에 의한 홍수 | ① 하천범람 및 하천의 통수능 부족<br>② 제방붕괴 및 제방고 부족 등 |
| 내수침수 | 강우 시 도시지역에서 빗물이 배수되지 못하고 적체되는 현상. 외수(하천)의 범람이 아닌 도시 자체의 빗물배제능력의 부족 및 하수도시설의 용량 부족으로 발생. | ① 노면수의 하수관거 유입지연<br>② 하수관거의 병목현상 발생<br>③ 하수관거의 이송능력 부족<br>④ 하수관거의 역류현상<br>⑤ 외수위 상승에 따른 배수위 발생<br>⑥ 빗물펌프장 용량부족 또는 부적정 가동 |

자료 : 환경부, 『하수도정비기본계획수립지침』, 2011 재정리. ; 해양환경관리공단, 『기후변화 적응을 위한 연안지역 공간계획 수립지침 마련』, 2011, p. 63 수정 후 재인용

인천을 비롯하여 부산이나 목포, 군산 등 우리나라에서 연안에 바로 접한 도시의 경우 홍수의 유형이 도시홍수는 물론 해안홍수 양측의 성격을 같이 보이곤 한다. 연안도시에서 자주 발생하는 이런 형태의 침수는 그 원인을 크게 두 가지로 볼 수 있다. 우선 도시홍수의 특징처럼 도시가 발달하면서 과거 빗물이 지하로 침투할 수 있는 투수층이 크게 줄어들어 많은 양의 우수가 그대로 지표유출량이 되고, 이는 자동적으로 관거나 하천을 통해 배출해야 하는 우수의 양이 증가하게 된다. 강우량이나 강우강도가 관거가 매설될 당시와 다르지 않다고 하여도 관거가 수용하여야 하는 우수의 양은 크게 늘어난 셈이다. 게다가 관거가 노후하고 특히, 연안의 매립지역에 부설된 관거의 경우 지반 침하 등으로 관거가 파손되는 경우가 자주 있어 관거 본래의 용량조차도 감당하기 힘들어 지기도 한다.

한편 연안지역은 만조가 겹치게 되면 지표의 유출수를 자연배수하기 어려워지는 상황이 종종 나타난다. 이를 대비해 빗물펌프장을 통해 강제배수를 하게 되는데 과거 도시화가 확대되기 전에 설치한 빗물펌프장의 설

계용량으로는 늘어난 지표유출수를 감당하지 못하게 되면서 원활한 배수가 이루어지지 못하게 된다.

### 2) 연안 침수범람 방지대책

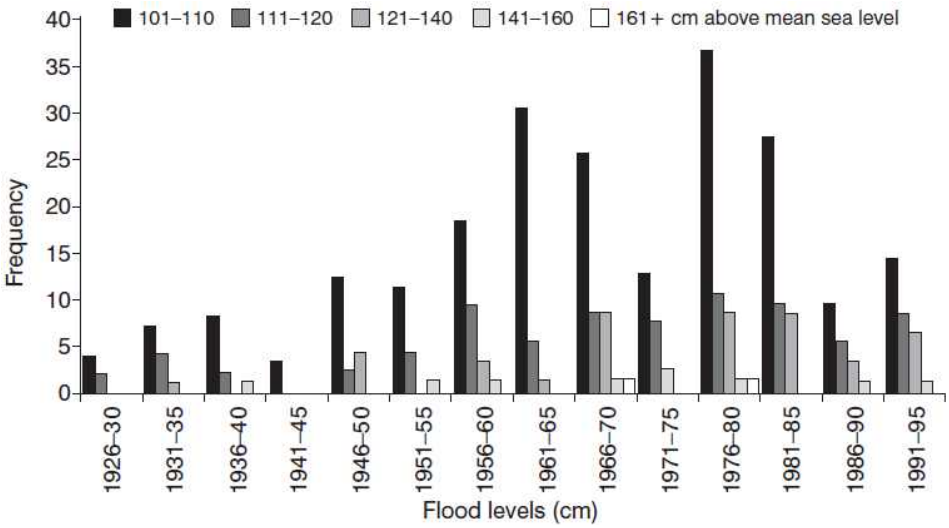
#### (1) 베니스 MOSE Project를 통한 외수침수 대응

##### ① 베니스 범람의 역사

전 세계적으로 물의 도시로 널리 알려진 이탈리아의 베니스(베네치아)는 지대가 낮아 바닷물의 범람 현상이가 빈번하게 발생한다. 특히 최근에는 바닷물 범람 현상이 더 잦아지면서 그 피해 규모도 더 커진 것으로 알려져 있다. 사실 베니스에서 해수 범람의 문제는 그 기원이 매우 오래된 것으로 기록상으로는 적어도 베니스가 건설된 후 100년 후인 527년부터 있었던 것으로 알려져 있다. 1240년에는 도시의 거리가 2m나 침수되면서 1,268명이 익사하기도 하였고, 1966년에는 해수면이 평균해수면보다 2m 가까이 높아지면서 도시 중심부의 성 마르크 광장이 15시간이나 침수되기도 했다. 당시에는 여러 가지 기상현상과 해양현상이 겹치면서 문제가 되었는데 폭우와 함께 만조상태에서 해당 지역에 저기압대가 형성된 것이 문제였다. 또한 외해에서 베니스가 위치한 라군 해역으로 강한 바람이 지속적으로 불면서 이상적으로 높은 해수위가 형성된 것도 한 원인이었다. 이때의 수위 상승으로 도시의 전기와 전화는 일주일 간 끊기고, 1층에 위치한 집과 사업체는 모두 침수 피해를 입었다. 다행히 사망자는 발생하지 않았으나 수천 마리의 쥐 사체가 침수 후 생활 쓰레기와 함께 도시 내의 운하를 가득 채우기도 했다고 한다(Nagle, 2004).

이와 같은 높은 해수위 상승 현상은 확률적으로는 140년에 한번 정도

발생하나 20세기 들어 범람횟수는 늘어나고 있다(<그림 3-36> 참조). 특히 1966년 이후 베니스시를 범람 위험에서 구해야 한다는 필요성은 매우 강해졌다. 이태리 정부는 이를 위해 약 40억 달러를 편성하였고 이태리 내의 엔지니어와 건설 회사로 하여금 'New Venice Consortium(Consorzio Venezia Nuova, CVN)'을 구성하게 하여 기술적인 해결책을 모색했다. 또한 베니스라는 전 세계적인 문화재를 지키기 위하여 전 세계에서 30여 개에 달하는 단체가 이 작업에 동참했다. 연구 결과에 따르면 베니스에서 최근 증가한 범람 현상의 원인은 복잡하나 그 영향은 명백한 것으로 나타났다. 특히 도시 내에서 관광객들이 즐겨 찾는 명소인 성 마르크 광장은 도시 내에서 가장 낮은 저지대로 일세기 전만해도 연간 약 7회 정도밖에 침수되지 않았으나 1950년대 들어 20회를 넘어갔고, 최근에는 연간 50회 이상 빈번히 침수된다. 이에 따라 1960년대 후반 이후 지역 전기회사에서는 변전소의 위치를 높이고 각 가정용 전기 플러그의 높이를 평균해수면 보다 2m 높은 곳에 설치하였다.




자료 : Nagle, Garrett, "Protecting Venice from Flooding", *GeoActive Online Series 15*, Issues 4, 2004

**| 그림 3-36 |** 베니스의 해수위 높이별 발생횟수 추이

앞서도 잠시 언급이 있었지만 베니스시의 최근 잦은 범람 원인에 대해서는 다양한 가설이 존재한다. 우선 일세기 전 이태리에서 가장 큰 강인 포(Po) 강을 베니스 도시 외곽으로 우회하려 할 때 지반 침하 문제가 제기되었었다. 처음 본류를 변경하려는 제안은 강을 따라 내려온 퇴적물이 항만과 대운하(Grand Canal)에 쌓이는 것을 막기 위해서였는데, 문제는 강을 따라 내려온 퇴적물이 모래사주와 점토사주를 만들고 도시의 지반을 유지하는 기능을 했다는 점이다. 강에서 퇴적물이 공급되지 못하면서 사주도 퇴화하기 시작했다. 특히 베니스시는 사주에 나무로 된 기둥을 박고 그 위에 여러 건물들을 만들었기 때문에 지반 자체가 가라앉으면서 베니스시의 여러 건물과 구조물도 범람의 위험에 더 노출된 것이다. 또한 베니스시는 점토사주로 된 일종의 석호 내에 위치하여 외해에서 오는 높은 파랑의 위험에 비교적 안전했으나 하천으로부터 퇴적물이 공급되지 못하면서 외해의 파도와 해일을 막아주던 점토사주도 약해지고, 해수면 상승으로 염습지도 함께 줄어들면서 과거보다 더 자주 폭풍 해일과 파랑의 피해를 입게 된 것이다.

한편 라군 바깥의 아드리안 해역에서 천연가스 채굴 사업과 도시주변의 지하수 채취도 베니스시의 범람에 한 원인이 된다. 외해역에서는 천연가스를 뽑아내고 도시주변에서는 음용수를 위해 지하수를 뽑아냈는데, 이로 인해 과거 50년 동안 도시의 지반 높이는 50㎝나 하강했다.

해수면 상승에는 바람도 역할을 한다. 베니스시에는 ‘sirocco’라고 하는 남풍과 고조가 겹치게 되면 약 1m 정도 조위가 상승하는데 이때 베니스시는 도시 면적의 4% 정도가 침수된다. 더욱이 베니스에서는 해수위가 10㎝만 더 상승하면 도시 전체의 40%가 침수될 정도로 매우 평평한 지형인 것도 문제를 악화시키는 원인이 된다.

자료 : 사진(좌) http://www.dailymail.co.uk 2012. 10. 17.
사진(우) http://econews.com.au 2012. 3. 22.

**| 그림 3-37 |** 베니스시 침수 전경

오래된 건축물을 기준으로 과거 조위를 분석한 결과, 도시가 생긴 400년부터 1900년까지 도시의 지빈침하와 절대해수면의 상승에 따라 상대해수면[37]은 100년에 약 12㎝ 정도 상승한 것으로 나타난다. 그러나 1872년 이후 베니스의 상대 해수면은 20세기 들어 더 빠르게 상승했다.[38] 지난 100년간 약 30㎝가 상승한 것으로 나타나는데 현재 베니스시의 해수위는 1970년대 해수위와 거의 같다. 이는 도시 아래에서 지하수 개발을 중단시킨 1970년대부터 지반 침하가 중단되었기 때문으로 보인다. 베니스시는 1930년부터 지하수를 개발했는데 1970년 개발이 중단되기 까지 약 40년 간 약 10㎝ 정도 지반이 하강했다. 지하수 개발에 따른 이 정도의 지반 침하는 자연적인 지질학적 현상에서는 약 250년 동안 침하되는 수준이다.

---

37) 육지에서 측정한 해수위 높이로 해수면 자체의 높이 변화뿐만 아니라 지반의 상승과 하강 등이 결합된 해수면 높이로 우리가 해수면 범람 등을 논할 때 현실적으로 고려하여야 하는 해수위를 말함. 반면 절대 해수면은 지반의 운동을 제외하고 해수면의 절대적인 높이를 의미함.

38) 한편 카나레토(Canaletto)가 18세기 베니스를 그린 그림을 연구한 바에 따르면 당시 상대해수면은 지금보다 약 50㎝ 정도 낮은 것으로 보이는데, 이는 운하에 위치한 건물 벽에 살던 조류의 위치를 현재와 비교하여 얻은 결론으로 지금보다 높은 평균해수면을 가지고 있음을 보여줌.

### ② MOSE 프로젝트

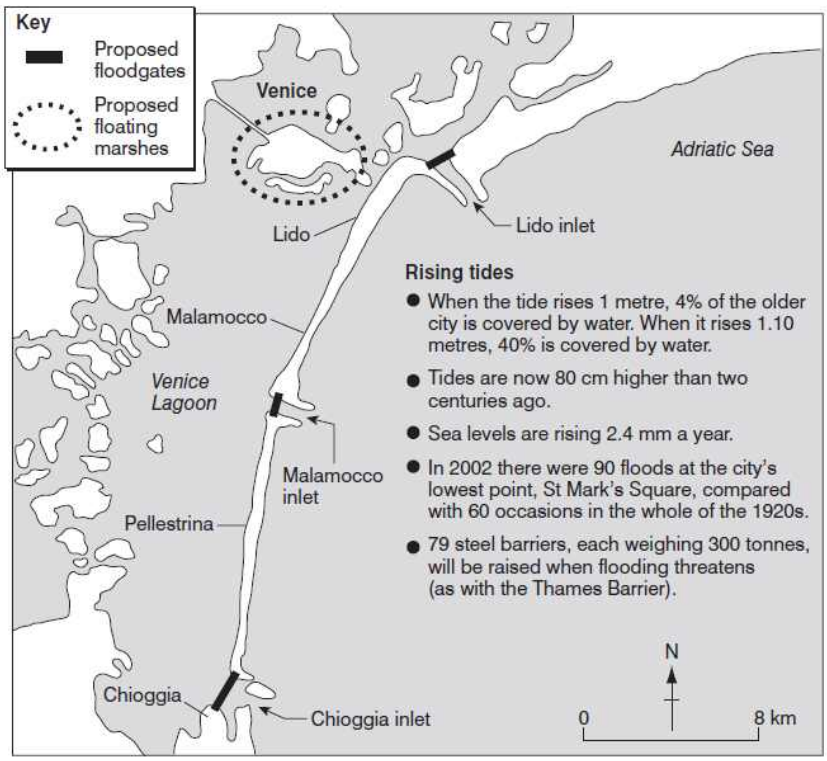
앞서 언급된 엔지니어링 컨소시엄인 CVN은 건설부의 베니스 수관리청을 대신하여 구성되었는데,[39] 이들은 수년간 범람과 폭풍해일로부터 베니스시와 라군을 보호하고 생태계를 보전하기 위한 광범위한 연구를 수행했다. CVN은 만들어질 때부터 라군의 생태계에 영향을 주는 현상과 과정을 이해하기 위하여 다양한 연구와 실험을 수행했다. 여기에는 이태리의 여러 대학과 연구기관은 물론 국제적인 전문가도 포함되어 있다. 미국 메사추세츠 공대 및 유명 해양연구기관인 SCRIPPS 등의 전문가들은 물론, 폭풍해일방조제관리자(Storm Surge Barrier Managers) 네트워크를 통해 네덜란드와 영국, 러시아 등의 전문가들도 참여했다.[40]

다양한 전문가가 참여한 CVN에서 연구와 조사를 통해 제시한 해답은 35억 유로가 소요되는 가동식 방조수문을 건설하는 것이다. 이른바 MOSE 프로젝트로 불리는데 이태리어 'MOdulo Sperimentale Elettromeccanico'에서 따온 것으로, 영어로는 실험적 전기기계장치(Experimental Electromechanical Module)라는 의미이다. 총 79개의 수문으로 구성되며 각각의 수문은 폭 20m, 최대 길이 30m, 무게 약 300톤에 달하는 것으로 이 가동식 수문은 과거에 찾아보기 어려웠던 매우 혁신적인 구조물로 평가된다. 이 가동식 수문들은 해저에 박은 말뚝 구조물에 수문 한 쪽이 고정되어 있다가 해수면이 높아질 때 부상하여 수로를 막는 방식이다(<그림 3-39>참조).

베니스가 위치한 라군과 외해인 아드리안 해는 3곳의 수로(inlet)인 말라모코(Malamocco), 치오지아(Chioggia), 리도(Lido)로 연결되는데, CVN의 제안은 여기에 속이 빈 수문을 설치하는 것으로 평상시에는 수문 내부의 빈

39) 법률적으로는 이태리 법률 Law n. 798/84에 근거함(http://www.consorziovenezianuova.it/).
40) http://www.i-italy.org/11281/how-italian-technology-trying-save-venice-mose-project-presented-new-york.

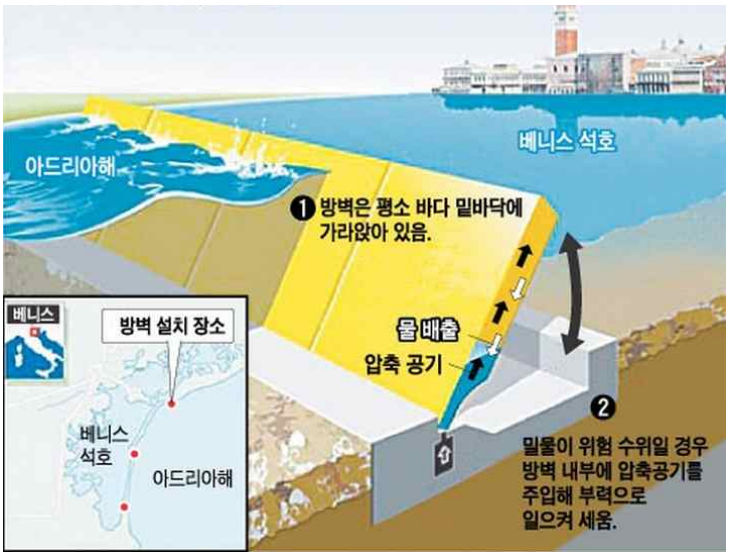
공간에 물을 채워 해저 바닥에 누워있게 된다. 이때는 수로를 통해 선박이 운항할 수 있고 경관적으로도 구조물이 보이지 않는다. 그러나 1m 이상 되는 조위가 예상되면 수문이 가동되는데 수문의 빈 공간에 압축공기를 주입하여 수문 안에 차 있던 바닷물을 내보내고 공기를 채워 부력을 만들게 되면 수문은 자연스럽게 떠올라 수로를 막게 된다. 수문을 세우는 데 걸리는 시간은 약 30분 정도며, 반대로 수문이 물속으로 드러눕는데 걸리는 시간은 15분 정도로 알려져 있다. 2003년에 시작된 이 사업은 2008년 기준으로 63%의 공정률을 보였으며, 2014년에 완공될 예정이다.




자료: http://www.consorziovenezianuova.it/

**| 그림 3-38 |** 베니스 수문 건설과 염습지 복원 모식도

CVN의 제안은 단순히 베니스시를 고조에 따른 범람에서 구하기 위해 수문 구조물만 제안한 것은 아니다. CVN에서는 수문과 함께 베니스를 아드리안 해로부터 방어하는 역할을 하는 자연 방조제인 사주 지형을 강화하고자 하였다. 이를 위해 1,200㎥에 달하는 모래를 사주에 공급하여 침식을 저감하고 염습지를 복원하는 것도 포함되어 있다(<그림 3-38>참조).




주 : 본 그림은 'Crazyengineers.com'에서 제시된 영문자료를 국문화한 것으로 아래에 원출처를 명시함

자료 : 포스코 탄소중립프로그램 공식블로그(http://blog.naver.com/PostList.nhn?blogId=carbonzero, 2012. 10. 2)

**| 그림 3-39 |** 베니스 모세 프로젝트 수문 작동원리

한편 만 내부에서는 파랑으로 인한 피해를 줄이기 위해 인공적인 점토 사주를 창출(create)[41]하고 도시 주변에는 부유식 염습지를 만드는 계획도 추진 중이다. 이 계획은 비록 조위의 상승을 막을 수는 없지만 파도를 감소

41) 복원과 달리 과거에 없던 경관이나 서식지를 만들어 내는 것으로 과거에 있었던 것을 복원하는 것과는 다소 다르며, 여기서는 과거에 없던 사주를 만드는 것이므로 창출이란 용어가 적절함.

하는 즉, 쇄파의 기능을 가지고 있어 베니스시의 구조물에 파랑으로 생기는 파손을 적은 비용을 가지고 효과적으로 줄일 수 있다. 베니스시 내부에서는 450개의 교량 중 113개를 복원하였고, 수로를 준설하고 수로주변의 벽 구조물도 재시공할 계획이다. 특히 운하와 나란히 나있는 보도를 30㎝ 정도 높여 침수에 대비하도록 할 예정이다. 수로 준설은 이미 상당한 효과를 보고 있는데, 특히 수로 내 수질이 개선되면서 어류와 게 등이 다시 출현하고 특히, 과거 수십 년간 보기 힘들었던 가마우지도 관찰되었다. 베니스시에서 관광객이 가장 즐겨 찾는 성 마르크 광장의 경우 광장 지하의 배수관로를 현대적으로 정비하고 방수처리하여 범람에서 대비하는 계획도 포함되어 있다.

한편 모세 프로젝트에 대해 환경적 측면에서 적지 않은 우려가 있다. 계획된 사업들이 진행되면 조석에 의한 도시 내 수로의 물 순환능력이 떨어질 수 있어 그렇지 않아도 악취로 유명한 베니스의 수로가 더 정체되는 것은 아닌 지에 대한 우려이다. 특히 이태리의 환경단체에서는 모세 프로젝트로 인해 고조 시 해수의 유입이 차단되면서 라군의 물 순환을 더 더디게 할 것이라며 사업의 타당성을 비판해왔다. 베니스가 위치한 라군은 단지 3곳의 수로로만 외해와 연결되어 있고 조석에 의한 바닷물의 이동이 크지 않기 때문에 아드리안 해와 수체 교환율은 높지 않다. 특히 라군 내에서는 여름철 고온으로 조류 대번성이 있는데 주변의 포르토 마게라 정유화학공단에서 배출되는 황과 질소 화합물, 폐수에 포함된 유기물질이 더해지면서 수질 문제를 더 악화시킬 수도 있다는 것이다. 또한 사업규모가 현재 35억 유로이나 다른 대규모 건설 사업이 늘 그래왔듯 시공 과정에서 건설비가 더 솟구칠 것이라는 비판도 있다. 하지만 베니스 사람들은 대체로 이 사업 계획에 반대하지 않고 다만, 이 계획만으로는 베니스라는 도시가 수면 아래로 사라지는 것을 근본적으로 막기에는 부족하다는 입장이다.

또한 이 사업을 통해 해수위 상승 피해를 일정기간 줄일 수 있을지 몰

라도 결국에는 소용없는 대책이 될 것이라는 우려도 있다(UNESCO Venice Office, 2010). 즉, MOSE 프로젝트의 수문이 불과 수십 년간 해수위 상승에 대해 베니스시를 보호할 수 있겠지만, 결국에는 전 지구적 해수면 상승, 직접적으로는 라군이 위치한 아드리안 해의 해수면 상승의 경향을 반전시킬 수는 없기 때문이다. 따라서 문제는 이 가동형 수문을 갖춘 베니스의 해수면 상승 방어 대책이 무력화될지 안 될지의 문제가 아니라 언제 무력화되느냐 하는 시기에 대한 문제라는 지적도 존재한다.

### ③ MOSE 프로젝트 시사점

MOSE 프로젝트는 네덜란드의 마에스란트 가동식 방조제나 영국 템즈강의 가동식 방조제와 더불어 해수위 상승에 대응할 수 있는 구조물로 널리 알려져 있으며, 전 세계적으로도 사업의 완료와 그 효과에 대해 관심이 매우 높다. 베니스라는 세계적인 문화재를 보호하기 위한 이태리 정부의 노력은 이런 면에서 국내외적인 지지를 받을 수 있었으며, 특히 네덜란드와 영국의 가동식 방조제와는 달리 해수 유통을 최대한 교란하지 않고 라군 전체의 해양생태계를 보전하기 위한 다각적인 대책을 병행했다는 측면에서 의미가 있다.

특히 CVN이라고 하는 국내외 전문 기술자 및 과학자로 구성된 컨소시엄을 위해 법률적인 근거를 만들고 정부 차원의 전폭적인 지원을 했다. CVN은 베니스시의 잦은 범람 문제를 해결하기 위해 포괄적이고 다각적인 연구와 실험을 했는데, 그 결과 과거에 건설된 다른 방조제와는 다른 혁신적인 사업제안을 했다는 점은 주목할 만하다.

최근 국내에서도 2003년 태풍 매미로 연안지역에 상당한 규모의 해일 피해가 발생하고 기후변화 적응이라는 사회적인 화두속에 이태리의 MOSE 프로젝트가 많이 언급되고 일부에서는 거의 같은 형식의 사업이 제안되는 실정이다.[42] 그러나 MOSE 프로젝트 가동식 수문의 혁신에 놀라워하기보다

는 이 프로젝트가 왜 필요했고 어떤 사실을 기반으로 하여 정책적 결정을 내렸는지를 살펴보는 것이 우선일 것이다.

**첫째, MOSE 프로젝트가 탄생하게 된 베니스라는 공간에 대한 문화적, 예술적 가치를 고려하여야 한다.** 다른 곳보다 이곳이 우선적으로 해수위 상승 대책이 고려되었던 것은 이태리 국내적인 차원에서는 중요한 관광자원으로서 상당한 경제적 수입을 창출하는 곳이며, 한편으로는 국제적으로도 유네스코가 지정한 세계유산이라는 상징성이 있는 곳이기 때문에 40억 유로 이상이 드는 공사비가 드는 이 프로젝트가 검토된 것이다. 즉, 다른 곳에 비해 우선적으로 보호할 가치가 인정되었다고 할 수 있다. 베니스라는 공간과 그 안에 있는 문화재가 갖는 가치에 대한 판단은 다양할 수 있으나 기본적으로 온전히 베니스의 상태를 유지할 필요가 있느냐 없느냐에 대한 판단이 상당한 비용이 드는 방조제라는 적극적인 보호 조치를 결정하는 과정에 전제가 된 것이다. 이처럼 해수위 상승으로 피해를 입게 되는 연안 공간의 사회문화적 가치가 대책을 도입할 지 여부에 결정적인 영향을 준 것이라고 할 수 있다.

**둘째, 피해의 규모이다. 베니스의 해수위 대책이 국가적인 차원에서 고려된 것은 침수 피해가 너무 잦았기 때문이다.** 베니스는 처음 건설될 때부터 물 위에 말뚝을 박아 건물을 짓고 건물 사이는 작은 수로를 통해 연결되는 독특한 도시구조를 가진 물의 도시로 과거 천년 이상의 역사 속에서 주목할 만한 침수 피해가 여러 번 발생했다. 그러나 문제는 그 피해의 횟수, 빈도가 달라졌다는 점이다. 수십 년에 한번 내지 일 년에 한두 번이 아니라 최근에는 적어도 일 년에 50회 이상 침수되었고, 이에 따라 베니스는 이미 변전소나 가정용 플러그의 위치를 침수의 영향이 적은 높은 곳으로

42) 최근 국토해양부를 중심으로 국가항만의 재해취약지구 정비를 위한 사업, 이른바 '아라미르 프로젝트'에서 마산항 등에 제안되었음.

이전할 정도로 심각한 위협에 처해 있었다. 침수 피해가 일상화되고 있으며 베니스에 사는 사람은 물론 베니스를 찾는 관광객에게도 상시적인 피해가 되면서 베니스의 주요 산업인 관광업에도 영향을 주게 된 것이다.

베니스를 보호하기 위한 MOSE 프로젝트는 국내외적으로 전문가가 참여하여 혁신적인 구조물을 설계함으로써 전 세계적으로 이목을 받는 사업이고 최근 대두하는 해수면 상승이라는 위협으로부터 연안지역을 보호할 수 있는 유용한 수단이다. 그러나 앞서 언급한 것과 같이 해수위 상승 피해로부터 보호할 대상인 연안지역의 사회경제적, 문화적 가치에 대한 판단과 해수위 상승에 따른 피해 횟수와 피해규모를 고려한 합리적인 의사결정이 필요하다. 지난 2003년 태풍 매미가 남해안에서 해수위 상승에 대한 경각심을 준 것은 연안관리에 있어 중요한 경험이 될 수 있으나, 한편으로는 연안지역에서 해수위 상승에 대해 어떤 대책을 고민하고 논의할 때 MOSE 프로젝트의 사례는 우리에게 다양한 함의를 제공한다고 할 수 있다.

### (2) 배제시설 능력 제고를 통한 내수침수 대응

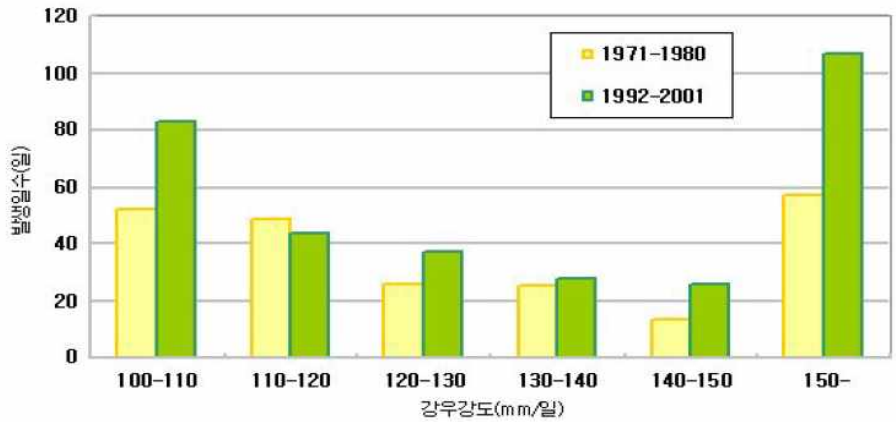
#### ① 법제도적 근거

우리나라에서 내수배제, 즉 우수배제는 「하수도법」에 근거한다. 동법 제1조(목적)에 따르면 이 법은 하수도의 설치 및 관리의 기준 등을 정함으로써 하수와 분뇨를 적정하게 처리하여 지역사회의 건전한 발전과 공중위생의 향상에 기여하고 공공수역의 수질을 보전하는 것을 목적으로 한다. 이에 따라 공공하수도 계획의 설계에 적용하는 지침서인 하수도시설기준(상하수도협회, 2011)에서는 하수도 시설의 목적을 ⅰ) 하수의 배제와 이에 따른 생활환경의 개선, ⅱ) 침수방지, ⅲ) 공공수역의 수질보전과 건전한 물순환의 회복, ⅳ) 지속발전 가능한 도시구축에 기여 등으로 제시한다. 침수방지의 경우 하수도 정비를 통해 우수를 신속하게 배제하고 침수문제를 해

결하기 위한 것인데, 하수도시설기준에서도 도시는 재산과 인명의 밀집현상이 나타나 침수 시 재산과 인명 피해가 커지게 되므로 침수대책으로서 하수도 역할은 갈수록 더 중요해진다고 적시하고 있다. 특히 이에 대처하기 위해 관거와 펌프장 같은 기존의 전통적인 우수배제 시설의 정비 외에도 우수유출 저감시설을 적절히 조합하여 도시의 침수방지 기능을 강화해야 한다고 보고 있다. 한편 하수도 시설 중 유수지나 펌프장, 하수처리시설의 경우 상부를 복개하는 경우 공원, 주차장, 체육시설 등 시민의 편의시설로 활용하여 도시의 지속가능한 발전에 기여할 수 있는 여지도 매우 크다.

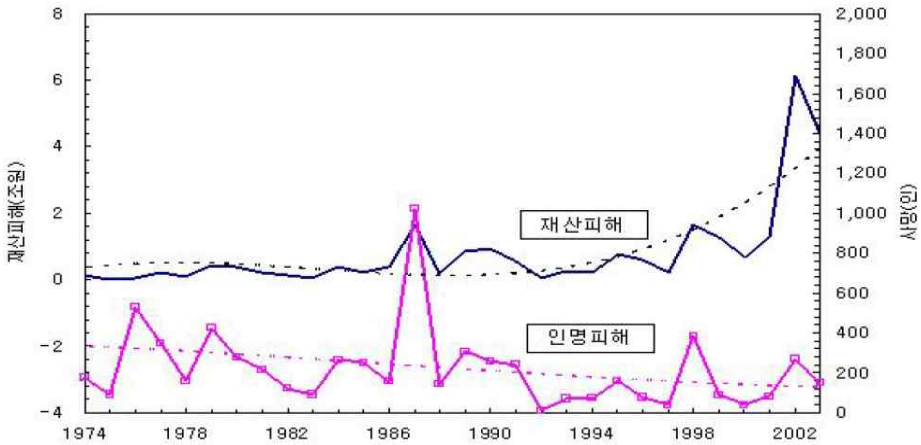
특히 침수방지와 지속발전이 가능한 도시구축은 이 연구에서 관심을 가지는 분야인 연안지역의 침수 피해를 예방 또는 저감함으로써 연안지역의 지속가능한 발전을 가능께 한다는 측면에서도 상통한다고 할 수 있다.

환경부가 2007년 수립한 『국가하수도종합계획』에 따르면 과거 10년간 1일 100㎜ 이상 집중호우가 발생한 빈도는 325회로 70~80년대의 222회에 비해 1.5배 이상 증가하였고, 이와 함께 도시화에 따른 인구와 자산의 집중현상으로 홍수피해규모는 그 이상으로 크게 늘어났다.




자료 : 건설교통부, 『수자원장기종합계획(2006~2020)』, 2006 : 환경부, 『국가하수도종합계획』, 2007, p. 52 재인용

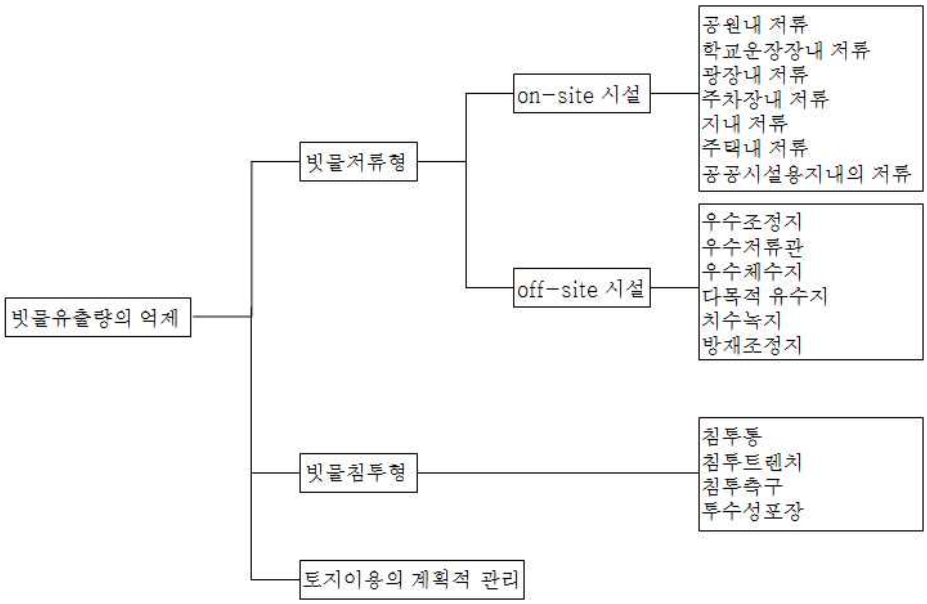
**|그림 3-40|** 과거 30년간 일 100㎜ 이상 강우 발생 일수 비교




자료 : 환경부, 『국가하수도종합계획』, 2007, p. 52

| 그림 3-41 | 1974년 이후 홍수에 의한 재산 및 인명 피해 추이

환경부의 종합계획에서도 이에 주목하여 정책비전의 하나로 '비가 와도 넘치지 않는 하수도'를 제시하면서 하수도 시설에 의한 빗물관리 기능의 강화를 주요 정책과제의 하나로 제시했다. 이를 위해 '하수처리구역 내 빗물관리기본계획'을 수립하고 '지역특성에 적합한 빗물유출저감형 하수도 시설 구축', '빗물조정지 및 펌프장 기능제고'를 제시했다. 이 중 빗물유출저감시설은 빗물유출량은 물론 첨두유출량 경감을 위한 것으로 하수관망에 빗물침투형 하수관거를 매립하거나 빗물 함양지(涵養池), 유수지(遊水池), 저류지(貯溜池) 등 저류형 시설 설치를 권고하고 있다.




자료 : 환경부, 『국가하수도종합계획』, 2007, p. 117

**| 그림 3-42 |** 빗물유출 억제 방법

그런데 집중강우에 따른 내수배제 문제를 완화하기 위한 환경부의 대책과 함께 다른 법률과 부처에서도 비슷한 성격의 사업을 정의하고 시행하고 있다. 일단 「하수도법」에서 정의[43]하는 '하수저류시설'이란 하수관거로 유입된 하수에 포함된 오염물질이 하천·바다, 그 밖의 공유수면으로 방류되는 것을 줄이고 하수가 원활하게 유출될 수 있도록 하수를 일시적으로 저장하거나 오염물질을 제거 또는 감소시키는 시설로 「하천법」제2조제3호 나목에 따른 시설과 「자연재해대책법」제2조제6호에 따른 우수유출저감시설은 제외한다. 「하천법」에서 제시한 시설은 홍수조절지, 저류지, 지하하천, 방수로, 배수펌프장으로 하천의 수위를 조절하기 위한 시설이며, 「자연재해대책법」에서 제시한 시설은 '우수유출저감시설'로 우수(雨水)의 직접적인

43) 제2조9의2.

유출을 억제하기 위하여 인위적으로 우수를 지하로 스며들게 하거나 지하에 가두어 두는 시설을 말한다. 또 이와는 별도로 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」제2조제3호의 '빗물이용시설'이란 건축물의 지붕면 등에 내린 빗물을 모아 이용할 수 있도록 처리하는 시설로 주로 건축물에 한정되어 빗물을 모아서 이용하는 시설을 말한다.

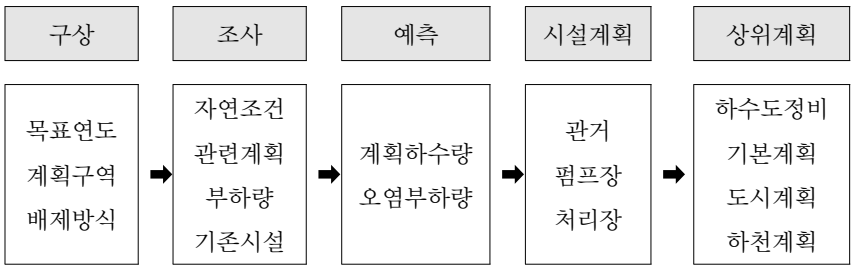
「하수도법」, 「하천법」, 「자연재해대책법」에서 모두 유사한 시설을 법적으로 정의하고 있으나 다만 각 법의 제정 취지와 범위에 따라 그 대상이 다소 다른 형편이다. 「하수도법」에서는 하수도 관거 체계의 하나로 하수저류시설을 언급하였고, 「하천법」에서는 하천의 수위를 조절하는 차원에서 홍수조절지와 저류지, 지하하천을 언급하였으며, 「자연재해대책법」은 강우에 의한 피해의 하나인 홍수를 억제하기 위한 차원에서 '우수유출저감시설'을 언급하였다. 법률에 따라 그 세부적인 명칭과 성격은 다소 다를 수 있으나 어느 시설이건 강우로 인한 침수를 방지하기 위한 목적에 따라 비슷한 기능을 가진다고 할 수 있다. 연안지역에서는 하수관거 체계의 하나로 침수문제를 바라볼 수도 있는 한편, 연안지역을 관통하는 하천에서는 범람의 문제, 또는 재해의 차원에서도 볼 수 있기 때문에 구체적인 저감 사업의 특성과 관련 예산에 따라 집행이 가능하다고 할 수 있다.

**② 우수배출 및 저류 관련 시설**

하수관거가 설치된 지역에서 우수는 합류관 또는 분류관을 통해 하천이나 바다로 배출된다. 따라서 하수도계획에는 대상지역의 우수배제와 관련이 있는 하천이나 배수로 등과 함께 종합적인 우수배제계획을 수립하여야 한다.

하수도 계획은 일반적으로 목표연도와 계획구역, 배제방식에 대한 구상을 토대로 대상지역을 조사하고 계획하수량을 예측한다. 이를 통해 관거나 펌프장, 처리장 등의 시설계획을 수립하는 절차를 밟는다. 하수도 시설

의 능력결정은 장기간에 걸친 예측을 기초로 할 필요가 있다. 하수도계획의 목표년도는 시설의 내용년수와 건설기간이 길고, 특히 관거처럼 하수량의 증가에 따라 단계적으로 단면을 증가시키기가 곤란한 경우 장기적인 관거계획을 수립할 필요가 있어 원칙적으로 20년 후를 목표로 계획을 수립한다. 도시기본계획상의 장기지표가 없이는 하수량 추정이 곤란하므로 도시의 성격과 도시기본계획의 지표에 따라 계획목표년도를 결정하기도 한다. 그러나 처리장의 경우에는 유입하수량의 증가에 따라 단계적인 증설을 계획함으로써 사업의 효과를 조기에 거둘 수 있으며, 관거도 복수관을 계획하는 경우도 있다.




**| 그림 3-43 |** 하수도계획의 절차

일반적으로 도시의 우수배제 실태는 매우 복잡한데, 「하천법」상 하천 외에 「소하천정비법」에 따른 소하천, 일반 구거, 기타의 기존 수로, 농업용 배수로 및 도로측구 등 도시배수에 있어 중요한 역할을 하고 있어도 그 실태는 물론 관리주체마저 분명하지 않은 경우가 많다. 따라서 우수배제계획에서는 해당 지역의 우수배제 실태를 충분히 조사하고 하천은 물론 농업배수로, 배수로 등 관련기관과 충분히 협의하여 우수배제 계획을 수립하도록 하고 있다.

연안지역 하수도계획에서 하수관거는 내수침수 피해와 직결되기 때문에 중요한 부분이다. 우수를 배제하는 우수관거는 계획우수량을 기준으로

하는데, 계획우수량이라고 할 수 있는 최대계획우수유출량 산정은 하수도 시설기준에서 제시하는 합리식에 따른다. 최대계획우수유출량(㎥/s)은 평균 강우강도와 배수면적에 비례하는 다음 식을 따른다.

$$Q = \frac{1}{360} \cdot C \cdot I \cdot A$$

Q : 최대계획우수유출량 (㎥/초)

C : 유출계수

I : 유달시간(t) 내의 평균 강우강도 (㎜/시간)

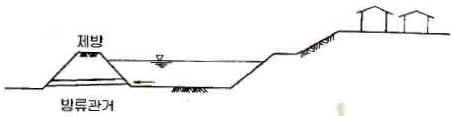
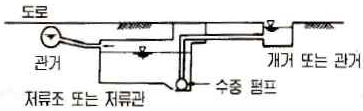
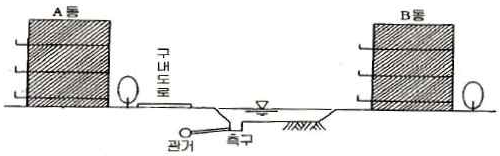
$$I = \frac{a}{(t^m + b)^n}$$ a, b, m, n 은 정수

A : 배수면적(ha)

여기서 강우강도는 확률강우강도, 즉 과거 강우강도 자료를 토대로 만들어낸 강우강도를 활용하는데 하수관거의 계획우수량 결정을 위한 확률연수는 2011년 이전까지는 5~10년을 원칙으로 했다. 물론 지역의 중요도나 배수구역의 크기 등 여러 가지 여건을 고려하여 확률연수를 다르게 할 수도 있으나, 과거에는 일반적으로 5~10년의 확률연수를 따랐다고 할 수 있다. 그러나 2011년 환경부에서는 기후변화로 빈발하고 있는 집중호우에 따른 침수 피해를 최소화하기 위해 하수관거의 계획확률연수를 10~30년으로 강화하고, 빗물펌프장의 계획확률연수도 30~50년으로하여 신설했다.

「하수도법」에서는 관거와 빗물펌프장과 같은 배제시설뿐만 아니라 저류시설도 언급하고 있다. 이 중 우수조정지는 하수도 및 기타 배수시설을 보완하는 시설로 배수구역으로부터 유출되는 우수를 일시 저장하는 시설로 하류관거의 유하능력이 부족한 곳, 하류지역 펌프장 능력이 부족한 곳이나 방류수로의 유하능력이 부족한 곳 등에 설치하여 우수 유출 시에

일시 저장하는 역할을 한다. 주요 형식은 <그림 3-44>와 같이 제방높이 15m 미만의 댐식과 굴착식, 지하식이 있다. 대개 우수조정지 계획도 계획우수량에 따라 10~30년을 원칙으로 하지만 도시 재개발이나 국지성 집중호우에 대비하여 확률연수를 보다 크게 잡기도 한다.

| 구조형식 | 내 용 | 방류(조절) 방식 |
|---|---|---|
| 댐 식<br>(제방높이 15m 미만 | 흙댐 또는 콘크리트 댐에 의해서 우수를 저류하는 형식이다.<br>  <br> | 자연 방류식이 일반적 |
| 굴착식 | 평탄지를 굴착하여 우수를 저류하는 형식이다.<br> <br> | 자연 방류식 펌프배수<br>게이트조작에 의한 배수 |
| 저하식<br>(관내 저류 포함) | 일시적으로 지하의 저류탱크 관거 등에 우수를 저류하고 우수 조정지로서 기능을 갖도록 하는 것이다.<br>  <br> | 저류 수심이 크게 되므로 펌프에 의한 배수가 일반적 |
| (참고)<br>현지 저류식 | 공원, 교정, 건물, 사이, 지붕 등을 이용하여 우수를 저류하는 시설로서 보통 현지에 내린 비만을 대상으로 하기 때문에 관거의 상류측에 설치한다.<br>  <br> | 자연 방류식이 일반적 |

자료: 한국상하수도협회, 『하수도시설기준』, 2008, p. 164

**| 그림 3-44 |** 우수조정지의 구조형식 예

소방방재청이 관장하는 「자연재해대책법」에서 규정한 '우수유출저감시설'은 우수의 직접유출량을 줄이거나 첨두유출 시간을 지연시키기 위하여 설치하는 시설을 말한다. 저감 목표에 따라 현 시점에서 발생하는 초과우

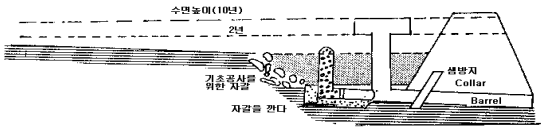
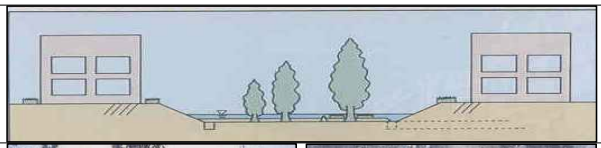
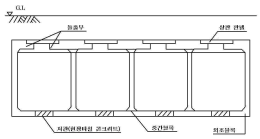
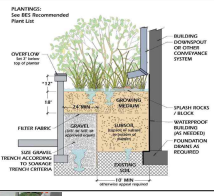
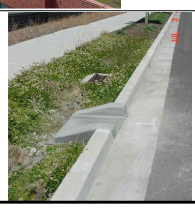
수유출량을 저감시키기 위한 시설과 개발로 인하여 증가되는 우수유출량을 상쇄시키기 위한 시설로 나뉜다. 우선 현 시점에서 발생하는 초과우수유출량을 저감시키기 위한 시설은 대부분 공공목적으로 발생원외(Off Site) 저류시설의 형태로 설치되는 것이 일반적인 반면, 개발로 인하여 증가되는 우수유출량을 상쇄시키기 위한 시설은 발생원 내(On Site) 저류시설의 형태로 설치되는 것이 일반적이다. 지역 내 저류시설은 대개 홍수유출 해석 없이 개발로 인한 우수의 직접유출 증가량을 당해지역에서 저류 또는 침투시킨다. 저감시설은 저감방법에 따라 저류시설과 침투시설로 나뉜다.

| Ⅱ 3-20 | 우수유출저감시설의 분류

| 구분기준 | 시설 | 설 명 |
|---|---|---|
| 저감방법 | 저류시설 | 우수가 유수지 및 하천으로 유입되기 전에 일시적으로 저류시켜 바깥수위가 낮아진 후에 방류하여 유출량을 감소시키거나 최소화 하기위하여 설치하는 |
| | 침투시설 | 우수의 직접유출량을 감소시키기 위하여 지반으로 침투를 용이하게 고안된 시설. 대부분 당해지역(On Site)에 적용 |
| 사용용도 | 침수형 저류시설 | 평상시 일반적인 용도로 사용되나 폭우시 우수가 차오르도록 고안된 시설(공원, 운동장, 주차장 등 상대적으로 저지대에 배치된 공공 시설물 등) |
| | 전용 저류시설 | 평상시 빈 공간으로 유지되며, 강우시 우수를 저장하기 위한 목적으로 인위적으로 설치된 시설(지하저류지 등) |
| 설치위치 | 발생원 내(On Site) 저류시설 | 해당지역에서 발생한 우수유출량을 해당지역에서 저류할 수 있는 시설 |
| | 발생원 외(Off Site) 저류시설 | 해당지역 외부에서 발생한 우수유출량을 해당지역에서 저류할 수 있는 시설 |

자료 : 소방방재청, 『우수유출 저감시설의 종류·구조·설치 및 유지관리 기준』, 2009, p. 5

소방방재청이 소개하는 우수유출저감시설을 보면(소방방재청, 2009) 환경부나 국토해양부에서 하수도 사업이나 하천 관리 차원에서 고려한 유사한 우수 저류시설을 총 망라했다고 할 정도로 종합적이다.

| 종류 | 구조 | 비고 |
|---|---|---|
| 건식저류지 |  | 지체저류방식 |
| 단지 내 저류 |  | 단지 내 공원 |
| 공원 저류 | | 공원 저류 |
| 학교 교정 저류 | | 운동장 활용 |
| 전용 저류시설 |  | 지하구조물 매립 |
| 지붕녹화 |  | 강우 체류시간 증가 |
| 물데 시스템 |  | 도로보다 화단 높이 낮춤 |

자료 : 소방방재청, 『우수유출 저감시설의 종류·구조·설치 및 유지관리 기준』, 2009 재정리

**| 그림 3-45 |** 우수유출저감시설의 종류

지역 외 저류시설로 든 사례에는 댐식, 굴착식, 지하식으로 앞서 하수도법에서 제시하는 우수조정지마저 포함되어 있다. 이 외에도 오염물질 제거와 우수 유출량을 저류하는 기능을 함께 가진 습지 조성도 제시하는 한편, 발생원 내 저류의 개념으로 건물 간 저류, 주차장 저류, 운동장 저류, 지붕 저류 등 다양한 저류 방식도 함께 제시하고 있다.

# 제 4 장 기후변화 연안 대응전략의 적용

## 1. 시범적용지역의 선정

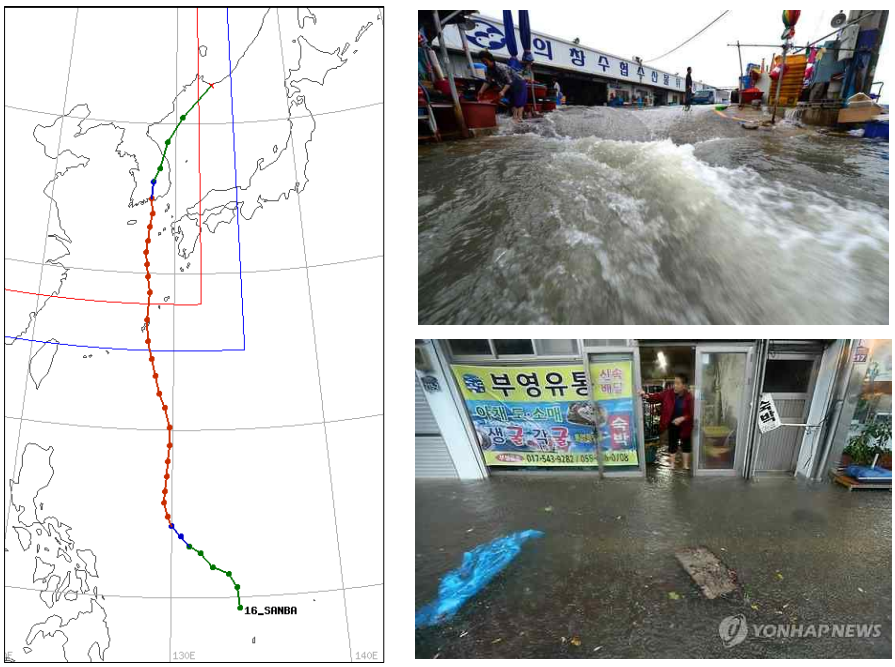
하루에도 두 차례씩 조위에 따라 상승과 하강을 반복하는 해수면은 전 세계적으로 작은 곳은 2~3m에서 크게는 10m에 가까운 조차를 보이기도 한다. 일간 변화는 물론 월간 변화 내지 연간으로도 그 변화는 상당한 수준이며, 특히 최근에 기후변화에 따른 해수면 수위의 상승까지 고려하면 매우 다양한 요인들이 각기 다른 시간적 범위에서 나타나는 셈이다. 일반적으로 기후변화에 따른 해수면 상승에서 우려하는 것은 주로 폭풍우와 같은 극단적인 해수면 변동이 기후변화에 따른 해수면 상승에 더해져 결국 과거보다 더 큰 해수면 상승의 영향이 연안지역에 나타날 수 있다는 점이다.

태풍의 길목에 위치한 우리나라 역시 늦여름부터 초가을까지 태풍의 영향에서 자유롭지 못하다. 연간 평균 26개 정도 발생하는 태풍 중 평균적으로 3.1개 정도가 우리나라에 직접적인 영향을 미친다.[44] 2012년에도 제14호 태풍 덴빈을 비롯하여 제15호 태풍 볼라벤, 제16호 태풍 산바가 내습하여 서남해안의 연안지역에 침수 피해를 주기도 했다. 특히 남해안의 경상남도 해안을 태풍 산바가 관통하면서 통영항 여객터미널과 인근 상가 밀집지역에 바닷물이 범람하기도 했다(<그림 4-1> 참조). 또한 통영과 가까운 창원시 마산만 해안에서도 마산항 배후에 위치한 어시장까지 침수되는 등 태풍의 진로를 따라 해수 범람이 함께 발생했다. 앞으로 해수면이 기후변화에 따라 상승하게 되면 더 자주 바닷물 범람과 침수현상이 발생할 것으

---

44) 국가태풍센터에 따르면 태풍은 연 평균 약 25.6개 발생하여 우리나라에 평균적으로 3.1개(1981년부터 2010년까지 30년 평균)이며, 최근 10년(2001~2010)에는 연간 23.0개가 발생하여 평균 2.5개가 우리나라에 영향을 주고 있음.

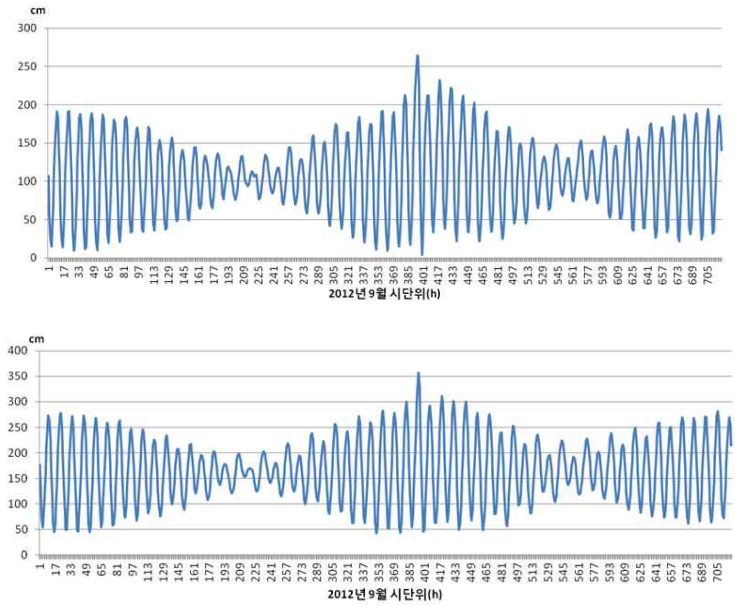
로 예상된다. 지역에서는 피해가 앞으로 더 커질 것을 우려하면서 근본적인 대책이 필요하다는 목소리가 높다.




자료 : 태풍 산바 진로도(기상청 국가태풍센터), 범람 전경(경남도민일보 및 연합뉴스, 2012. 9. 17)

**| 그림 4-1 |** 태풍 산바 진로도(좌)와 바닷물 범람 전경(우)

태풍 산바 접근 당시 통영과 창원(마산) 두 지역의 조위관측 자료를 보면 태풍이 접근했던 2012년 9월 17일 오전 10시, 마산 조위관측소에서 265㎝, 통영 관측소에서 357㎝의 최대수위가 나타났다. 이는 조석편차로 볼 때 예측된 조위보다 마산에서는 71㎝, 통영에서는 72㎝ 높게 나타난 것이다(국립해양조사원 조석편차계산표 기준). 불과 70㎝ 정도의 이상조위가 발생하면서 항은 물론 인접해 있는 상가지역까지 바닷물이 범람하는 결과를 가져온 것이다.




자료 : 국립해양조사원 조위 관측 자료

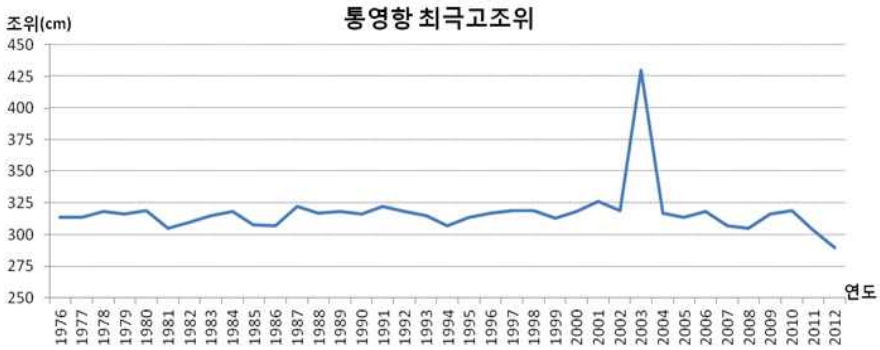
**| 그림 4-2 |** 마산(위)과 통영(아래) 1시간 조위 자료(2012년 9월)

연안지역에서 바닷물의 범람 현상은 비단 태풍이 내습했을 때만 발생하는 것은 아니다. 태풍이 없는 겨울철에도 발생한다. 2010년 2월 1일과 2일 사이에는 바닷물의 관측수위가 306㎝까지 높아지면서 <그림 4-3>과 같이 통영항 배후의 상가지역이 침수되기도 했다.

주 : 좌(2009. 7. 24), 우(2010. 2. 3)
자료 : 부산일보 해당일

**| 그림 4-3 |** 통영지역 범람 전경

통영의 최극고조위 자료를 살펴보면 이런 사례는 비단 한두 해에만 국한된 현상이 아님을 알 수 있다. 태풍이 없이도 1976년 이후 거의 모든 해에 걸쳐 2010년과 같은 310㎝ 이상의 극고조위는 지속적으로 발생하고 있는 등 이 지역은 늘 바닷물의 범람 위험에 노출되어 있다고 할 수 있다.




주 : 2003년의 높은 값은 태풍 매미 내습 시 나타난 극고조위로 430㎝로 관측되었음
자료 : 국립해양조사원 조위관측 자료

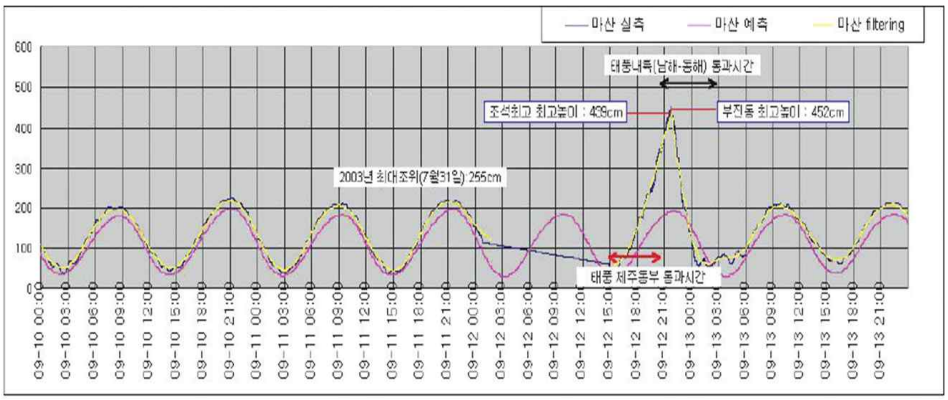
**| 그림 4-4 |** 통영항 최극고조위 추이

현재 창원시가 된 마산항 일대 역시 해일에 의한 침수와 범람 피해가 자주 발생하는 지역이다. 최근 우리나라 연안에서 가장 큰 해수면 변동을 일으킨 태풍은 2003년에 내습한 태풍 매미로 당시 태풍의 오른쪽 반경에 위치한 마산이나 통영, 부산에 큰 피해가 있었다.

태풍 매미는 2003년 9월 12일 오후 제주도 동쪽 해상을 통과하면서 최대순간풍속 60㎧로 우나나라 기상 관측이 시작된(1904년) 이래 최대순간풍속 극값(종전 흑산도 58.3㎧, 2000.8.31)을 경신하기도 하였다. 태풍 매미는 12일 밤 경남 사천시 부근 해안으로 상륙하면서 추정 중심기압 954hPa, 중심 부근 최대풍속 약 40㎧를 보였으며, 거제도 부이에서 기록된 파고는 약 17m에 달했다(부산지방 기상청, 2003). 특히 당시 태풍의 사천지역 상륙 시간이 12일 20시 경으로 마산만 만조시각인 22시 05분에 가까워지면서 해수

면이 상승하는 상황에서 태풍의 강한 바람이 남북으로 나 있는 마산만을 따라 불고, 동시에 태풍 중심부의 낮은 기압으로 해일의 크기가 크게 증폭된 것으로 알려져 있다.

태풍 매미 내습 당시 마산만의 조위를 분석한 김차겸(2003)을 보면, 마산만에서는 조석최고 높이가 439㎝로 사전에 예측된 조위 204㎝보다 무려 235㎝나 더 높게 해수면이 형성되었다. 마산시의 공식자료인 재해백서(마산시, 2003)에서도 해일고가 예측조위보다 215㎝ 높게 형성된 것으로 발표되었다. 마산만과 가장 가깝다고 할 수 있는 통영에서 최대조위 편차가 143㎝이었고, 부산 77㎝, 여수 43㎝에 불과했으며, 특히 태풍의 영향을 먼저 받은 제주에서는 최대조위 편차가 19㎝에 불과했던 것과 비교하면 마산만의 이상조위는 상대적으로 큰 규모이다. 이는 태풍의 중심부가 마산만 근처를 지나면서 나타난 기압강하에 의한 해수면 상승 효과와 지형적 효과 등이 복합적으로 나타났기 때문으로 해석된다. 해수면 상승에서도 지극히 지역적인 영향이 많이 나타난 것으로 볼 수 있다. 이처럼 이상 조위의 발생은 동일한 기상현상이나 해수면 변동 요인이 있다 하여도 지형이나 다른 여러 요인들로 인하여 매우 복잡하고 예측이 어렵다. 따라서 예측에 근거한 대책을 마련하고자 할 때도 불확실성이 클 수밖에 없다.




자료 : 김차겸, 「2003 태풍 DHD 홍수 : 마산 및 남해도」, 『한국수자원학회지』, Vol. 36(6), 2003

**| 그림 4-5 |** 2003년 마산항 조위 변화

이처럼 태풍이나 백중사리와 같은 해수면 변동 요인으로도 연안지역에 범람과 침수가 자주 발생하는 상황에 앞서 살펴보았던 대기온도와 해수면 상승과 같은 전 지구적인 기후변화가 우리의 연안지역에 나타날 경우 현재의 범람이나 침수의 횟수와 강도는 더 커질 수밖에 없고 발생 범위 역시 더 확대될 것으로 보인다. 이에 본 연구에서는 기후변화의 영향이 직접적으로 미치는 연안지역 중 태풍 등에 의한 이상 기상현상이 발생했던 곳의 자료를 토대로 향후 해수면 상승에 따른 취약성과 적응대책을 검토하고자 하였다. 여기에는 해당지역의 해안선 변화 가능성, 사회경제적 활동의 현황, 해수면 상승에 따른 침수·범람 등 취약성을 검토하고 이를 토대로 향후 대응전략을 구상함으로써 지역 차원에서 실질적이고 현실적인 대책을 마련하는데 시사점을 얻고자 하였다.

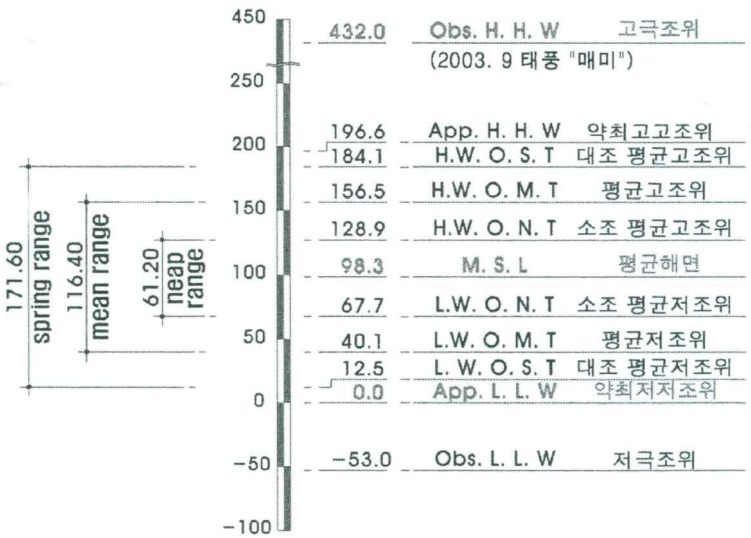
앞서 통영과 마산만 두 연안지역이 언급되었으나 두 권역 모두 과거 태풍 매미와 같은 강력한 태풍에 의해 직접적인 피해를 받은 지역으로 지역사회에서 이와 같은 학술적 검토와 지역적 대책을 마련하라는 요구가 매우 높은 편이다. 다만 마산만의 경우 과거 2003년 피해 이후 높은 해일고를 막기 위한 다양한 대책이 지역의 행정기관은 물론 지역사회 차원에서도 다양하게 논의되고 있고 현재도 다양한 제안들이 실행 단계에 있기도 하다. 따라서 이번 연구에서는 마산만에 축적되어 있는 태풍과 침수에 대한 자료(침수고 및 침수범위 등 피해이력에 대한 자료)는 물론 지역에서 논의되고 있는 재해 대응대책 등을 중심으로 기후변화에 적응할 수 있는 실질적이고 효과적인 적응전략과 대책을 검토하고자 한다.

## 2. 시범적용 연안 지자체 현황 및 관리여건

### 1) 창원시 마산만 일반 현황

마산만은 반일주조형의 조석체계로 1일 2회, 작은 일조부등의 조석을 보이며 약최고고조위(App.H.H.W)는 DL.(+)196.6㎝, 대조차는 171.6㎝이다. 과거 태풍 매미에 의해 높은 해일이 발생하였기 때문에 고극조위(Obs. H.H.W)는 432.0㎝에 달한다. 마산만은 지리적 특성상 만이 길고 좁으며 남동측 방향으로 외해와 바로 연결되어 있어 태풍시 발생하는 남동풍의 영향을 직접 받고 있는 지형으로 해일에 매우 취약한 해역이다.

지난 2003년 태풍 매미 내습 당시 최대 해일고가 220~226㎝로 만조수위 206㎝와 합쳐지면서 마산 시가지의 1/3이상이 침수되었고, 사망 14명을 포함하여 28명의 인명피해와 약 6,000억 원의 재산 피해가 발생했다.




주 : 단위(㎝)
자료 : 마산시, 『구항지구 방재언덕 설치공사 기본 및 실시설계 용역 보고서』, 2009, p. 15

**| 그림 4-6 |** 마산만 조위도

이에 따라 구 마산시에서는 2007년 2월 12일 침수가 발생한 구항지구를「자연재해대책법」제12조 제1항의 규정에 따라 자연재해위험지구로 지정・고시하였다. 구항지구로 명명된 이 지역에는 구 마산시 신포동, 남성동, 동성동, 오동동 일원의 59,100㎡가 해당되며, 고시문에 따르면 해일 및 태풍 내습 시 침수 피해가 예상되는 해안저지대로 향후 시가지, 주거, 상가 밀집지역에 대한 정비사업이 필요하다고 되어 있다.

태풍 매미 이후 2004년에는 동서동 등대와 진동면 광암 방파제에 자동조위・기상관측시스템을 설치하여 조위, 풍향, 풍속, 기온, 습도를 관측해왔다. 또한 재해영상감시시스템을 6개소에 설치하여 이상조위나 홍수에 대비하였고, 문자전광판, 라디오 재해경보시스템 등을 설치하여 해안저지대와 다중집합건물 등에 각종 재난・재해 관련 정보를 사전에 예・경보할 수 있는 시스템을 구축하기도 했다.

현재 구항지구 전면에는 방파제가 3개소 있으나 높이가 낮아 해일에 대한 방재역할은 미흡한 것으로 평가된다. 또한 30년 빈도 강우강도의 우수배제가 가능한 배수펌프장을 2007년 6월에 완공하여 현재 가동 중에 있으나 월파 및 월류에 대한 대책이 반영되어 있지 않아 최근에는 해수 범람을 막을 수 있는 방재언덕의 설치가 논의되어 왔다.

| 표 4-1 | 마산시 재해재난 감시 및 예·경보 체계

| 구분 | 위치 | 설치시기 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 자동조위·기상관측 시스템 | 동서동 등대, 광암방파제, 원전방파제 | 2004.9 | 조위기상 관측으로 사전재해 대비 |
| 재해영상감시시스템 (CCTV) | 6개소 | 2004~2007 | 조위기상 관측장비 관리 등 |
| 문자전광판 | 월영동, 동서동 등 6개소 | 2004~2007 | 기상특보 등 |
| 라디오 재해경보시스템 | 실내형 6개소 실외형 12개소 | 2004~2005 | 해안저지대 및 다중집합건물 등 |

자료 : 마산시,『시정백서』, 2008

## 2) 관련계획 및 사업 현황

### (1) 연안 개발 계획 현황

#### ① 마산 구항 방재언덕 설치공사 계획

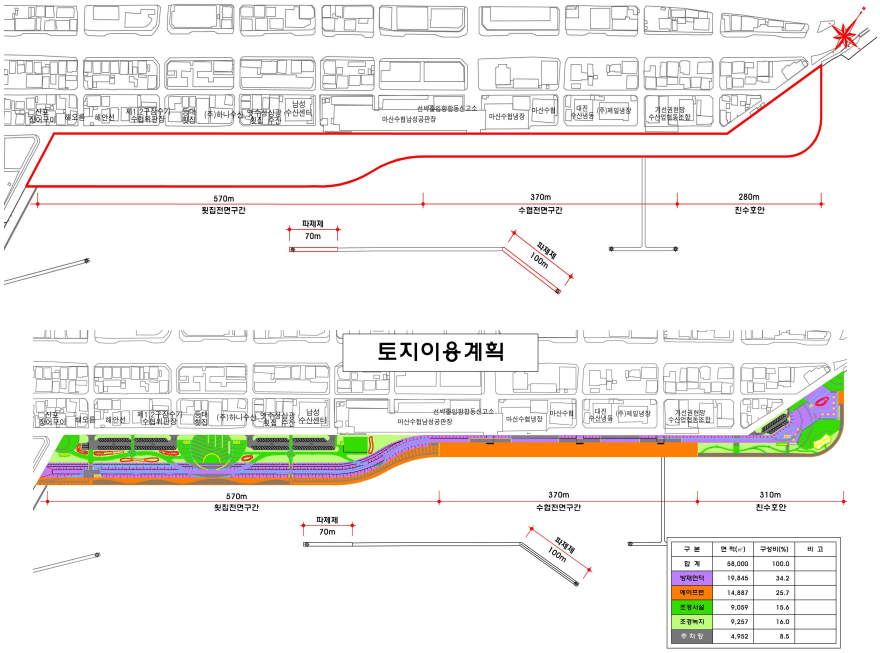
마산 구항은 과거 태풍 매미로 괴멸적인 타격을 입은 지역이다. 이후 마산시(현재는 창원시로 통합)는 방재 대책의 일환으로 마산 구항 일대에 방재언덕을 검토하기 위한 타당성 조사 용역을 수행하였고 기본 설계 및 실시설계를 준비했다. 마산시는 방재언덕 조성사업을 소방방재청 재해예방 시설로 반영하기 위해 노력했으나, 예산상의 문제 등으로 반영시키지 못했다. 이후 2011년 국토해양부의 제3차 항만기본계획에 방재언덕 조성사업이 반영되면서 본격적으로 구체화되었다.

| Ⅲ 4-2 | 마산구항 방재언덕 설치공사 추진 경위

| 일시 | 내용 |
|---|---|
| 2003. 09 | 태풍 '매미'의 해일로 대규모 침수 피해 발생 |
| 2004. ~ 2005. | 타당성 조사 용역 |
| 2007. 02 | 자연재해 위험지구 지정·고시 |
| 2009. 04 | 구항지구 방재언덕 설치공사 기본 및 실시 설계((구)마산시) |
| 2009. 01. 06 | 구항지구 방재언덕 설치공사 사전 환경성 검토 협의 |
| 2009. 05 | 제3차 항만기본계획 반영 요청 |
| 2011. 02 ~ 06 | 간이예비 타당성 조사(기획재정부, 한국개발연구원) |
| 2011. 06. 29 | 제3차 전국 무역항 기본계획 사전 환경성 검토 협의 (국토환경평가과-1819호) |
| 2011. 07 | 제3차 항만기본계획 고시(국토해양부 고시 제2011-402호) |
| 2011. 09. 22 | 기본 및 실시 설계 착수 |
| 2012. 06. 27 | 환경영향평가 주민설명회 |

자료 : 마산시, 『구항지구 방베언덕 설치공사 기본 및 실시설계용역 보고서』, 2009

**| 그림 4-7 |** 마산구항 방재언덕 조감도




| 구 분 | 면 적(㎡) | 구성비(%) | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 합 계 | 58,000 | 100.0 | |
| 방재언덕 | 19,845 | 34.2 | |
| 데이크전 | 14,887 | 25.7 | |
| 조경시설 | 9,089 | 15.6 | |
| 조경녹지 | 9,257 | 16.0 | |
| 주 차 장 | 4,952 | 8.5 | |

자료: 마산지방해양항만청, 『마산구항 방재언덕 설치공사 환경영향평가서(초안)』, 2012

**| 그림 4-8 |** 마산방재언덕 사업계획 평면도 및 토지이용계획

마산구항에 대한 방재언덕 설치사업에 대한 환경영향평가서(초안)에 따르면 이 사업은 현재의 구항 전면부를 약 70m 너비로 5만 8,000㎡를 매립하고 전면에 접안시설 940m, 그리고 방파제 등 외곽시설 450m를 조성하는 공사이다. 특히, 상당한 면적을 매립한 한 후 전면 접안시설의 지반고를 높이고 방조벽을 추가로 설치해 해일을 막겠다는 복안이다.

매립의 폭과 방재언덕의 마루높이는 해일이 월파를 통해 얼마나 배후지역으로 밀고 들어오는 지를 결정하는 중요한 요소이다. 마산시(2009)의 기본 및 실시설계 용역에 따르면 매립은 폭 70m로 조성하고 배후지역 약 50m는 공원으로 조성한 후 바다에 가까운 전면부에는 지반을 더 높여 산책로와 자전거도로를 설치할 계획이다. 현재 기존 마산구항의 지반높이가 약최저저조면(DL.0)에서 (+)250㎝ 수준인데 매립지역의 전면부는 DL.(+)450㎝까지 지반고를 올리고, 다시 투명강화유리의 방조벽을 설치하여 최대 DL.(+)650㎝까지 높이겠다는 것이다.

**[ 마산구항 방재언덕 설치공사 사업 요약 ]**

○ 목 적 : 재해대비 친수형 방재언덕 조성

○ 위 치 : 경남 창원시 동서동 일원(신포매립지 끝단～노산교간)

○ 규 모 : 소형어선계류장 570m, 물양장 300m, 호안 200m, 파제제 170m(2식), 유람선 선착장 30m, 부지 조성 58,000㎡

○ 총사업비 : 592억 원

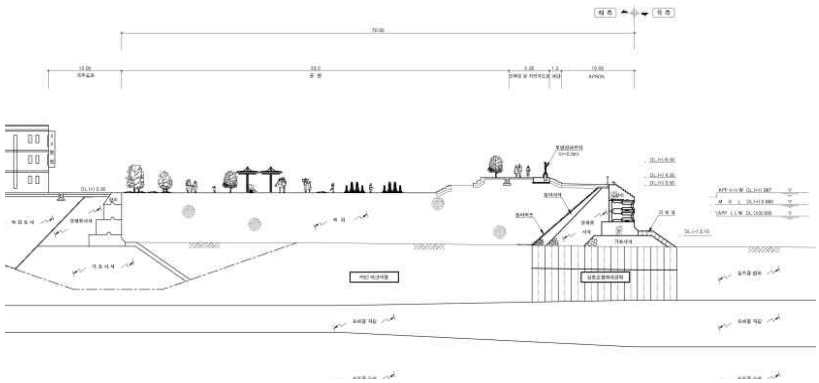
○ 기 간 : 2012～2016년

| 표 4-3 | 마산구항 방재언덕 사업규모

| 구 분 | | 수 량(규모) | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 외곽시설 | 파제제 | 170m | 기존시설 연장 |
| | 친수호안 | 280m | |
| | 합 계 | 450m | |
| 접안시설 | 횟집 전면구간 | 570m | |
| | 수협 전면구간 | 370m | |
| | 합 계 | 940m | |
| 매립 및 부지 조성 | | 58,000㎡ | |
| 상부 공원시설 | | 1식 | |

| 표 4-4 | 마산구항 방재언덕 토지이용계획

| 구 분 | 면적(㎡) | 구성비(%) |
|---|---|---|
| 방재언덕 | 19,845 | 34.2 |
| 에이프런 | 14,887 | 25.7 |
| 조경시설 | 9,059 | 15.6 |
| 조경녹지 | 9,257 | 16.0 |
| 주차장 | 4,952 | 8.5 |
| 합 계 | 58,000 | 100.0 |



자료: 마산지방해양항만청, 『마산구항 방재언덕 설치공사 환경영향평가서(초안)』, 2012

| 그림 4-9 | 마산방재언덕 표준단면도(접안시설 구간)

| 표 4-5 | 마산구항 방재언덕 관련 지역 의견

| 일자 | 주요내용 | 비고 |
|---|---|---|
| 2009-03 | 방재언덕 설치를 위한 마산 동서동 일대 8만 200㎡매립계획 부결<br>: 국비 확보가 되지 않았다는 이유 등 | 국토해양부<br>중앙연안관리심의위원회 |
| 2012-05-15 | 마산구항 방재언덕설치 기본 및 실시설계용역 중간보고회 | 마산항만청 항만공사과 |
| 2012-06-27 | 마산구항 방재언덕 설치공사 환경영향평가 주민설명회 | 마산합포구 동서동 주민센터 |
| 2012-07-25 | 방재언덕설치공사 사업현황 사업설명회 | 마산청 항만공사과 |
| 2012-07-26 | 창원시의회 도시건설위원회(위원장 황일두) 도시건설위원회 간담회 | 추진현황 확인 |
| 2012-07-26 | 창원물생명시민연대(환경단체) “마산만 방재언덕 추진 백지화” 촉구 | 창원물생명시민연대 /창원시청 프레스센터 |
| 2012-09-06 | 마산구항 방재언덕 설치 환경영향평가 주민공청회 | 마산수협 회의실 |
| 2012-09-12 | 용역 설계자문 위원회 개최<br>○ 용역명 : 마산구항 방재언덕 설치공사 기본 및 실시설계 용역 | 부산항만청 국제회의실 |
| 2012-09-18 | ‘마산구항(마산합포구 신포동, 동서동, 오동동 일대) 방재언덕 설치공사 기본 및 실시설계용역 최종보고회’ | 마산지방해양항만청 |
| 2012-09-24 | '정부의 마산항 재해대책, 시민은 안전한가' 시민토론회 | 창원물생명시민연대 /마산YMCA 강당 |

자료 : 관련 신문기사 검색 정리

### ② 마산항 재해취약지구 정비계획(아라미르 프로젝트)

2011년 국토해양부에서는 폭풍해일 등으로 항만과 배후도심권의 침수 피해를 예방하기 위해 기존 시설물을 보강하고 첨단 기능의 방재시설을 설치하는 재해취약지역 보강계획을 수립했다. 이른바 ‘아라미르 프로젝트[45]’로 명명된 이 사업은 기후변화에 따른 해수면 상승 우려 속에 태풍의 힘도

45) ‘아라’는 바다의 순우리말이며 ‘미르’는 용(龍, 바다의 신)의 옛말로서 아라미르는 바다의 수호신의 의미임(국토해양부 보도자료, 2011. 7. 25).

강력해지면서 해일 등으로 침수 피해가 더 확대될 것이라는 전망에 따라 항만과 주변지역에 해일 방지시설을 설치하는 사업이다. 무엇보다 2003년 남해안 일대에 큰 피해를 입힌 태풍 매미 이후 항만에 대한 재해대응의 필요성이 확산된 측면도 크다.

아라미르 프로젝트를 설계하기 위해서는 해일고에 대한 정확한 자료가 필요하다. 한국해양연구원(현재 한국해양과학기술원)이 2006년부터 2010년까지 R&D 사업으로 수행한 '해일 피해 예측 정밀격자 수치모델 구축 및 설계해면 추산' 연구를 통해 1951년 이후 2006년까지 우리나라에 내습한 태풍 201개를 재현하고, 이를 통해 항만별 폭풍해일고를 추산하였다. 또한 국립해양조사원(2010)의 '해수면 변동 정밀분석 및 예측(2차)'에서 제시한 50년 후 해수면 상승 예측치(서해 65mm, 남해 100mm, 동해 110mm, 거문도 280mm, 제주도 285mm 등)를 함께 적용하였다.

국토해양부(2011)에 따르면 태풍 매미 내습 당시 마산검조소의 최대 해일고는 226cm, 해일침수흔적조사에서 해일고는 약 210~230cm로 당시 고조위 수위를 더하면 DL.(+) 기준으로 410~440cm 범위의 해수위 상승이 발생한 것으로 조사되었다. 국토해양부(2011)에서 적용한 폭풍해일고 추산 결과에 따르면, 마산만의 50년 빈도 해일고는 207cm, 100년 빈도 해일고는 246cm로 마산만에 나타난 천문조위를 더할 경우 404~443cm에 달한다. 이처럼 태풍 매미로 발생한 해일고는 100년 빈도의 폭풍해일고에 준하는 수준이라 할 수 있다.

| Ⅱ 4-6 | 태풍 매미 해일고와 빈도별 폭풍해일고 비교

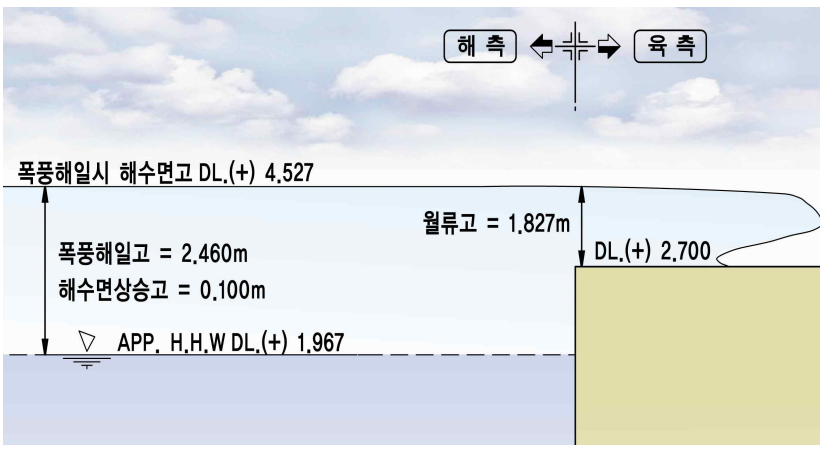
| 구 분 | 태풍'매미'시 현황 | | 금회 적용 폭풍해일고 | |
|---|---|---|---|---|
| | 검조소 기록치 | 침수흔적조사 | 50년 빈도 | 100년 빈도 |
| 최대 해수면고 | 432cm | 410~440cm | 403.7cm | 442.7cm |

자료 : 국토해양부, 『기후변화에 따른 항만구역내 재해취약지구 정비계획 수립용역』, 2011, p. 92

아라미르 프로젝트에서는 마산항의 설계조위를 기후변화에 따른 50년 후 해수면 상승고 10㎝에 100년 빈도의 폭풍해일고 246㎝를 더하여 설계조위를 DL.(+)452.7㎝로 잡았다. 마산항 물양장의 지반고를 고려하면 월류고는 약 183㎝로 추정된다.

설계조위가 되는 폭풍해일 시 해수면 높이와 월류고는 아래 계산과 같으며 <그림 4-10>을 통해 도식적으로 확인할 수 있다.

- 폭풍해일시 해수면고
  = 약최고고조위 + 폭풍해일고(100년 빈도) +해수면 상승고(50년 후)
  = DL.(+)1.967m + 2.460m + 0.100m
  = DL.(+)4.527m
- 월류고
  = 폭풍해일 시 해수면고 - 구항지구 물양장 마루높이
  = DL.(+)4.527m - DL.(+)2.700m
  = 1.827m




자료 : 국토해양부, 『기후변화에 따른 항만구역내 재해취약지구 정비계획 수립용역』, 2011

|그림 4-10| 마산구항 월류고 도시

국토해양부(2011)에서는 1.83m라는 월류고를 기준으로 1:5,000의 수치지형도에 적용하여 예상되는 침수구역, 즉 침수예상도를 작성하였다. 일종의 bucketfill 방식으로 폭풍이 부는 상황에서 파고의 영향이 있겠으나 배후지역의 침수범위는 월류고 중심으로 나타날 것으로 보고 마산항 배후지역의 침수면적은 6.585㎢로 계산하였다. 이는 앞서 마산시(2005)에서 방재언덕 설치 관련 타당성 조사 연구에서 작성한 침수현황도에서 태풍 매미에 의한 침수면적을 4.203㎢로 추정한 것에 비하여 침수구역이 약 57%나 크게 늘어난 것이다. 마산항의 침수면적은 국토해양부(2011)에서 무역항과 연안항 54개소 전체에 대해 구한 예상 침수면적 중 가장 넓다. 특히 여기에는 마산항 배후 지역의 주택, 아파트 등 2,332개 시설이 침수되고, 예상 이재민 수는 1만 3,225명에 달할 것으로 예상된다. 또한 이를 기초로 한 침수 피해액 및 잠재적 총 피해비용은 6,117억 원에 달할 것으로 봤다. 피해비용의 추산 과정과 근거는 이 연구의 범위와 다르므로 자세히 다루지 않으나 그 산정과정의 문제는 뒤에 '재해에 안전한 연안환경 조성' 편에서 보다 자세히 다루고자 한다.

| 표 4-7 |예상 침수면적에 따른 침수 주택 및 인원 수

| 예상침수 면적(㎢) | 예상 침수시설 | | | | 가구당 평균인원 | 예상 이재민수 | 주택밀도 (㎡/가구) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 주 택 | 아파트 | 기 타 | 소계 | | | |
| **6.585** | 2,045 | 101 | 186 | **2,332** | 2.70 | **13,225** | 3,068 |

자료 : 국토해양부, 『기후변화에 따른 항만구역내 재해취약지구 정비계획 수립용역』, 2011

| 표 4-8 | 침수 피해액 및 상실된 기회비용을 포함한 잠재적 총 피해비용

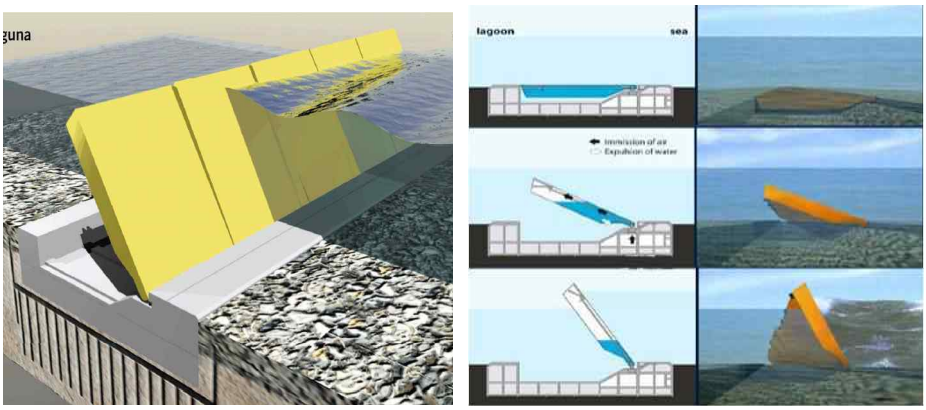
단위 : 억 원

| 일반자산 피해액 | | | 인명 | 이재민 | 공공 시설 | 부가가치 감소 | 항만 지체 | 총 비용 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 건물 | 건물내용 | 산업 | | | | | | |
| 2,712.3 | 342.4 | 125.0 | 12.2 | 63.5 | 2,368.9 | 493.0 | - | **6,117.3** |

주 : 전게서의 246쪽에 제시된 총 피해비용은 1조 5,020억 원으로 되어 있으나 추산과정을 검토한 결과 981쪽의 6,117억 원이 항목별 피해비용을 합한 것으로 확인됨

자료 : 국토해양부, 『기후변화에 따른 항만구역내 재해취약지구 정비계획 수립용역』, 2011, p. 981

아라미르 프로젝트에서는 국가항만 중 침수면적이 가장 클 것으로 예상되고 이미 태풍 매미에 의한 피해 이력을 가진 마산항에 대해 3가지 대책을 대안으로 제시했다. 제1안으로는 플랩형 게이트로 평소에는 해저 바닥에 가동식 갑문이 있다가 해일이 밀려들 위험이 있으면 해수면까지 들어올려 만 입구를 막는 방식이다. 이 사업에는 약 3,500억 원 규모의 공사비가 소요되며 평소에는 선박의 출입에 지장이 없고 경관 확보의 측면에서 유리한 방식으로 평가된다. 다만 해일이 밀려오는 위급한 상황에 신뢰성 있는 작동 성능을 유지하는 것이 관건이라고 할 것이다. 이는 앞서 3장에서 설명한 것처럼 수상도시로 알려져 있는 이탈리아 베네치아에 도입되어 공사 중인 방법이다. 두 번째 안으로는 네덜란드의 마에스란트(Maerslant) 방조제(barrier)와 같이 수평으로 움직이는 가동식 방조제이다. 이 역시 해일에 대응이 필요할 경우 만 입구를 봉쇄하는 방식이나 앞서 플랩형 방식과는 달리 갑문이 수평으로 움직인다. 마지막 안은 해안에 방재언덕을 쌓는 방식으로 앞서 마산구항 방재언덕 사업과 동일한 방식이다.




자료 : http://www.i-italy.org11281/how-italian-technology-trying-save-venice-mose-project-presented-new-york

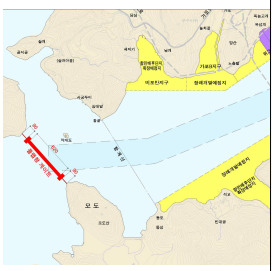
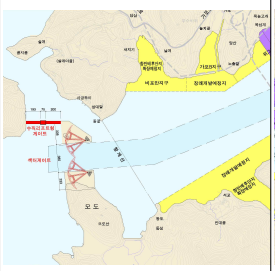
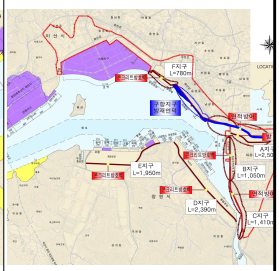
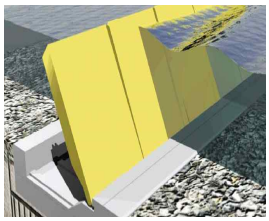
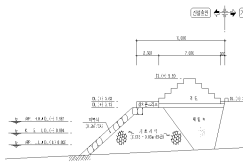
**| 그림 4-11 |** 플랩형 게이트 단면계획

자료 : http://venetianmatters.blogspot.kr/2011/04/saving-venice-mose-project.html

**|그림 4-12|** MOSE 프로젝트 수문 구조물

국토해양부(2011) 아라미르 프로젝트에서는 세 가지 대안을 평가하였다. 이 중 마산구항 방재언덕 조성사업은 공사비가 가장 적게 드나 조망권 침해로 민원이 발생할 우려가 높다는 이유로 최종 결정에서 제외되었고, 최적안으로는 매립면적과 공사비, 조망권 등을 고려하여 제1안인 플랩형 게이트 설치가 선정되었다. 그러나 이미 마산항에 대한 해일 대책 사업으로 방재언덕 사업이 별도로 진행 중에 있어, 마산만에 대한 플랩형 게이트 설치계획은 2020년부터 시작하는 아라미르 프로젝트 2단계 사업 대상으로 분류되어 착수 시기가 늦춰져 있다.

| Ⅱ 4-9 | 마산만 해일 및 침수피해 대응 대안 비교

| 구 분 | 제 1 안<br>플랩형 게이트 | 제 2 안<br>섹터 게이트 | 제 3 안<br>면적방어 및 방호벽 |
|---|---|---|---|
| 평면도 |  |  |  |
| 단면도 |  | |  |
| 공사비 | • 3,484.5억 원 | • 8,546.4억 원 | • 1,058.9억 원 |
| 매립면적 | • A = 10,680㎡ | • A = 158,100㎡ | • A = 22,150㎡ |
| 장단점 | • 항 전체 대응 방안<br>• 경관성 및 조망권 양호<br>• 매립 면적 최소화로 항내 해수유동 영향 거의 없음<br>• 항계선 변경 필요 | • 항 전체 대응 방안<br>• 경관성 및 조망권 양호<br>• 매립 면적이 넓어 항내 해수유동 불리<br>• 항계선 변경 필요 | • 구역별 대응 방안<br>• 조망권 침해로 민원 발생 우려<br>• 매립 면적 최소화로 항내 해수유동 영향 거의 없음<br>• 기존 항계선 유지 |
| 최적안 | ○ | | |

자료 : 국토해양부, 『기후변화에 따른 항만구역내 재해취약지구 정비계획 수립용역』, p. 249

### ③ 마산해양신도시 개발계획

#### 가. 사업의 개요

마산 서항지구 및 가포지구 해양신도시 개발계획은 해당 사업지에 바다를 매립하여 주거 및 문화·상업 중심의 친환경 도시와 마산항 배후단지를 조성하는 것이다. 또한 기존 도심과 신도시를 기후변화나 이상재해로부터 보호할 수 있는 방재 및 기반시설도 확보할 계획이다. 그러나 경남지역 시민·사회단체 대표들은 신도시 개발을 위해 필요한 대규모 매립에 대한 반대는 물론 여기에 수반되는 수질 악화, 해양생태계의 훼손 등을 염려하며 반대에 나서기도 하였다. 현재는 2010년 6월 경상남도가 고시한 『마산해양신도시 도시개발사업 실시계획 인가』를 계기로 신도시 개발사업이 구체적으로 추진되고 있다.

|그림 4-13| 마산해양신도시 서항지구 조감도

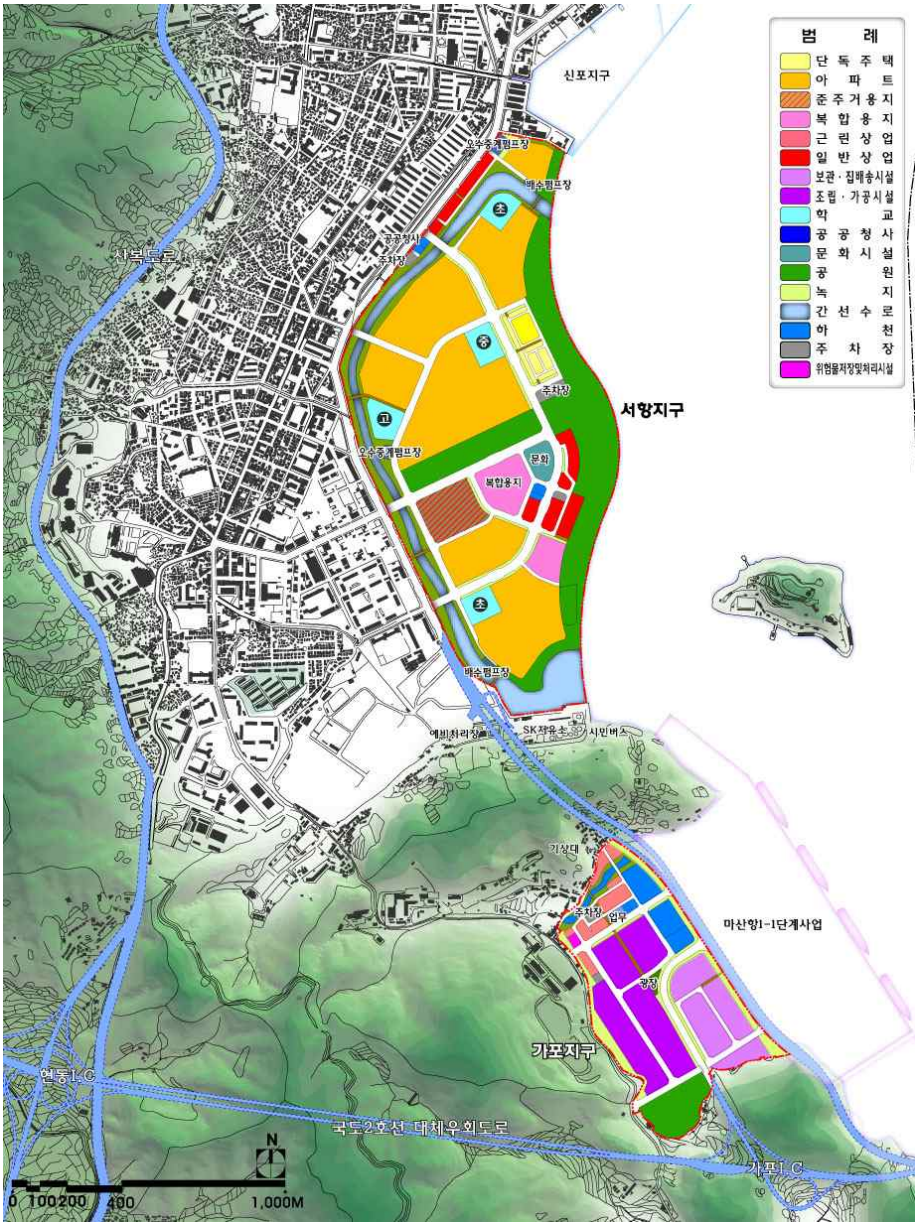
| 표 4-10 | 마산해양신도시 개발계획 추진 경위(2010년 기준)

| 일 시 | 내 용 |
|---|---|
| 2002. 11. | 마산항 1-1단계 민간투자사업관련 서항·가포지구 개발방안연구(해양수산부) |
| 2003. 05 | 해양수산부 정책심의회 개최(사업시행자 확정 : 마산시) |
| 2003. 12 | 서항·가포지구 개발관련 시민토론회 개최 |
| 2003. 12 | 서항·가포지구 개발관련 협약서 체결(해양수산부-마산시) |
| 2004. 11 | 공유수면 매립 기본계획 변경 고시(해양수산부고시 제2004-70호) |
| 2004. 12 | 서항·가포지구 개발방안 및 타당성조사 |
| 2007. 06 | 제2차 공유수면 매립 기본계획 변경 고시(해양수산부 제2007-35호) |
| 2007. 08 | 2020 마산 도시기본계획 건설교통부 승인 |
| 2007. 09 | 공청회 |
| 2007. 11 | 마산시의회 의견청취 |
| 2007. 12 | 마산시의회 시도시계획위원회 자문 |
| 2008. 05~06 | 경상남도 도시계획위원회 심의 |
| 2008. 07 | 마산도시관리계획(용도지역) 결정(변경) 고시(경상남도 고시 제2008-285호) |
| 2008. 09 | 도시개발구역 지정 및 개발계획 수립 고시(경상남도 고시 제2008-446호) |
| 2010 | 각종 영향평가 및 실시계획 완료 및 도시개발사업 실시계획 인가 |

자료 : 마산시, 『마산해양신도시 건설사업 환경영향평가서』, 2008

자료 : 마산시, 『마산해양신도시 건설사업 환경영향평가서』, 2008

**|그림 4-14|** 마산해양신도시 개발사업 위치도




자료 : 마산시, 『마산해양신도시 건설사업 환경영향평가서』, 2008

**| 그림 4-15 |** 마산해양신도시 개발사업 토지이용 계획도

**[ 마산해양신도시 개발사업 요약 ]**

- 사 업 명 : 마산해양신도시 건설사업
- 사업목적 : 마산항 개발 및 해양신도시 건설; 가포 유원지와 연안의 공유수면 매립을 통한 동남해안권 종합물류거점 육성사업
- 사업위치 : 경상남도 창원시 마산합포구 해운동, 가포동 일원(공유수면 포함)
- 사업규모 : 전체면적: 1,774,100㎡
  (서항지구: 1,341,447㎡, 가포지구: 432,653㎡)
  ※ 공유수면 매립면적 : 1,520,870㎡
- 사업기간 : 2012 ~ 2018년

### 나. 사업의 주요 관련내용

가) 해안선의 연장 유지

마산해양신도시 서항지구 개발계획에 따르면 해당지구의 매립법선을 곡선의 형태로 계획하여 해수유동장의 변화를 최소화하고, 기존 해안선의 연장을 유지하도록 하였으며 매립부지의 배후에 간선수로를 설치하여 수변부를 확보하도록 하였다. 그 결과 해안선 연장은 사업 시행 전 3,033m(안벽)에서 사업 시행 후 7,533m(외곽호안 1,975m, 간선수로 호안 5,560m)로 증가할 것으로 예상된다.

| 구 분 | 현 재 | 사업계획 |
|---|---|---|
| 구조물 형태 | 안벽(접안시설) | 호안 |
| 해안선 평면도 | | |
| 해안선 연장 | 안벽 연장 : 3,033m | · 외 곽 호 안 : 1,975m<br>· 간선수로호안 : 5,560m<br>計 : 7,535m |
| 구조물경사 | 안벽 직벽구조 | · 1:1.2 호안 경사구조 |
| 친환경 시설물 | 없음 | 자연석 및 친환경 호안계획 수립 |

자료 : 마산시, 『마산해양신도시 건설사업 환경영향평가서』, 2008, p. 687

**|그림 4-16|** 해안선 연장 변화

나) 재해 방재계획

마산신도시 개발계획에는 해일과 홍수 등의 기상재해 및 기후변화에 따른 해수면 상승에 사업 대상지와 배후 구도심 지역에 대한 재해 안정성을 확보하기 위한 방재계획이 포함되어 있다. 서항지구 매립지역 중 해안에 인접한 공원에 2003년 발생한 태풍 매미의 내습 시 관측조위 최대치인 DL.(+)4.32m보다 높은 DL.(+)4.5m의 높이로 매미언덕을 설치하여 월파 또는

이로 인한 침수에 대비하겠다는 것이다.

다) 해양생태공간의 조성

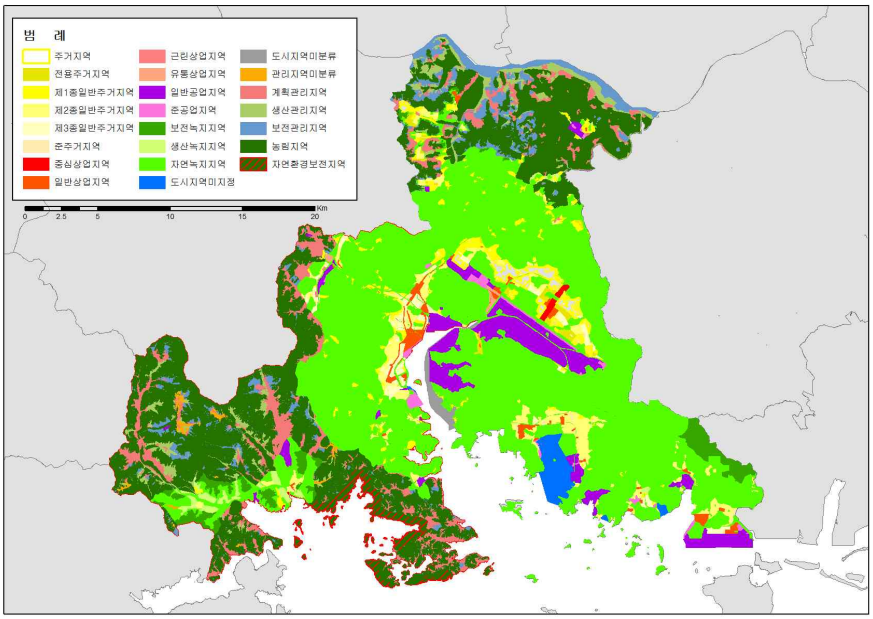
해당 개발계획은 사업의 전체에 걸쳐서 생태적인 측면을 고려하였다. 우선, 기존에 시공되던 직벽구조의 안벽구간을 경사구조의 호안으로 대체하여 저서생물이 착생할 수 있는 토대를 제공하고, 빛을 받는 곳의 면적을 늘려 조간대의 생산력 향상을 꾀했다. 또한 사업 대상지 전면(全面) 해안부에 해조장, 어소블럭, 어초블럭 등을 도입하여 해양생태공간을 형성하도록 하였다.

아울러 경사구조의 외곽호안을 계획하면서 자연석과 식생블럭을 이용하는 친환경호안의 개념을 도입하여 인공적으로 생태 환경을 복원하도록 하였고, 계단과 수변광장 형태의 쾌적한 친수호안을 조성하여 시민들이 수변에 쉽게 접근하고 이용할 수 있도록 설계하였다.

### (2) 연안지역 공간계획 현황

#### ① 용도지역 · 지구

모든 육지에는 국토의 계획 및 이용에 관한 법률에 따라 용도지역이 지정되어 있으며, 용도지역 관리는 동 법에서 규정한 용도지역별 허용 건축물, 개발밀도(건폐율, 용적률)에 따라 이루어진다. 창원시에는 도시지역인 주거지역 55.4㎢, 상업지역 9.8㎢, 공업지역 38.3㎢, 녹지지역 360.5㎢이 지정되어 있고, 관리지역 83.1㎢, 농림지역 181.7㎢, 자연환경보전지역 105.4㎢이 지정되어 있다. 도시지역은 전체 면적(854.8㎢)의 54.5%로 비도시지역과 비슷한 수준이다. 창원시에서 마산만 연안지역은 항만, 산업단지 등이 넓게 지정되어 있어 도시지역 지정 비중이 높다.




**|그림 4-17|** 창원시 용도지역 지정현황도

창원시 도시계획 조례에는 용도지역별로 허용되는 건축물이 제시되어 있다. <표 4-11>에 제시된 바와 같이 용도지역별로 허용되는 건축물의 차이가 있으나 비교적 허용되는 개발 수준이 낮은 주거지역에서도 다양한 개발이 가능하다. 예를 들면, 제2종 일반주거지역에서는 건폐율 60%, 용적률 150%가 적용되고, 아파트를 포함한 공동주택, 제1·2종 근린생활시설, 의료시설, 방송통신시설, 발전시설, 교육시설, 위험물저장및처리시설 등 다양한 개발이 허용된다. 보전의 성격이 강한 자연녹지지역에서도 허용되는 건축물의 폭이 넓다. 단독주택, 제1·2종 근린생활시설, 의료시설, 교육연구시설, 국방·군사시설 등이 모두 가능하다.

반면, '풍수해, 산사태, 지반의 붕괴, 그 밖의 재해를 예방하기 위하여 필요한 지구'에 지정하는 방재지구는 창원시 도시계획조례에서 비교적 강하게 행위를 제한하고 있다. 방재지구에서는 풍수해·산사태·지반붕괴·

지진 그 밖에 재해예방에 장애가 된다고 인정하여 도시·군계획조례가 정하는 건축물을 건축할 수 없으며, 창고시설, 동·식물 관련시설, 분뇨 및 쓰레기 처리시설, 묘지관련 시설 등만 허용된다. 그러나 창원시에는 방재지구를 지정한 사례가 없다. 창원시에는 자연재해위험지구가 지정되어 있으나 이 지역에도 방재지구를 지정하지 않았다.

| 표 4-11 | 창원시(마산만) 용도지역별 개발가능 건축물

| 용도지역 | 주요 허용 건축물 |
|---|---|
| 제1종 일반주거 | 단독주택, 공동주택(아파트 제외), 제1, 2종 근린생활시설, 문화 및 집회시설, 의료시설, 교육시설(초·중·고), 업무시설, 공장, 위험물저장처리시설, 방송통신시설, 발전시설 등<br>※4층 이하 건축물만 허용 |
| 제2종 일반주거 | 단독주택, 공동주택, 제1, 2종 근린생활시설, 종교시설, 문화 및 집회시설, 의료시설, 교육시설(초·중·고), 업무시설, 공장, 위험물저장처리시설, 교정 및 군사시설, 방송통신시설, 발전시설 등 |
| 제3종 일반주거 | 단독주택, 공동주택, 제1, 2종 근린생활시설, 종교시설, 문화 및 집회시설, 의료시설, 교육시설(초·중·고), 운동시설, 공장, 창고, 위험물저장처리시설, 방송통신시설, 발전시설 등 |
| 준주거 | 단독주택, 공동주택, 제1, 2종 근린생활시설, 종교시설, 의료시설, 교육연구시설, 문화 및 집회 시설, 판매시설, 업무시설, 공장, 창고, 위험물저장처리시설, 국방·군사시설, 방송통신시설, 발전시설, 어린이회관 등 |
| 일반상업 | 단독주택, 교육연구시설, 숙박시설, 위락시설, 공장, 제1,2종 근린생활시설, 문화 및 집회시설, 종교시설, 판매시설, 운수시설, 의료시설, 숙박시설, 위락시설, 국방·군사시설, 방송통신시설, 발전시설, 위험물저장처리시설, 군사시설, 관광휴게시설 등 |
| 일반공업 | 기숙사, 의료시설, 교정 및 국방·군사시설, 제1,2종 근린생활시설, 판매시설, 운수시설, 공장, 창고, 위험물저장처리시설, 분뇨 및 쓰레기 처리 시설, 발전시설, 방송통신시설 등 |
| 준공업 | 단독주택, 공동주택, 종교시설, 업무시설, 공장, 국방·군사시설, 제1,2종 근린생활시설, 판매시설, 의료시설, 교육연구시설, 공장, 위험물저장처리시설, 분뇨 및 쓰레기 처리 시설, 발전시설, 방송통신시설 등 |
| 자연녹지 | 단독주택, 제1,2종 근린생활시설, 문화 및 집회시설, 종교시설, 의료시설, 교육연구시설, 분뇨 및 쓰레기 처리 시설, 교정 및 국방·군사시설, 위험물저장처리시설, 방송통신시설, 발전시설, 관광휴게시설 등 |

| Ⅲ 4-12 | 용도지역별 허용 개발밀도 및 지정 현황

| 용 도 지 역 | | 건폐율 (%, 이하) | 용적률 (%, 이하) | 지정면적(천㎡) 창원시 |
|---|---|---|---|---|
| 주거지역 | 제1종전용 | 50 | 100 | 7,281 |
| | 제2종전용 | 50 | 120 | 3,265 |
| | 제1종일반 | 60 | 150 | 14,089 |
| | 제2종일반 | 60 | 200 | 22,402 |
| | 제3종일반 | 50 | 250 | 7,819 |
| | 준주거 | 70 | 400 | 2,248 |
| | 소계 | - | - | 55,396 |
| 상업지역 | 중심 | 80 | 1,000 | 1,225 |
| | 일반 | 80 | 800 | 7,495 |
| | 근린 | 70 | 700 | 253 |
| | 유통 | 80 | 700 | 865 |
| | 소계 | - | - | 9,838 |
| 공업지역 | 전용 | 70 | 200 | - |
| | 일반 | 70 | 250 | 34,207 |
| | 준공업 | 70 | 250 | 4,078 |
| | 소계 | - | - | 38,285 |
| 녹지지역 | 보전 | 20 | 70 | 14,092 |
| | 생산 | 20 | 100 | 4,674 |
| | 자연 | 20 | 100 | 341,395 |
| | 소계 | - | - | 360,461 |
| 관리지역 | 보전관리지역 | 20 | 80 | 27,755 |
| | 생산관리지역 | 20 | 80 | 17,977 |
| | 계획관리지역 | 40 | 100 | 37,379 |
| | 소계 | - | - | 83,111 |
| 농림지역 | | 20 | 80 | 181,683 |
| 자연환경보전지역 | | 20 | 80 | 105,408 |
| 미지정 | | - | - | 18,338 |

「자연재해대책법」에 의해 지정하는 자연재해위험지구는 국토계획법상 방재지구와 성격이 유사하며 ‘침수위험지구’, ‘유실위험지구’, ‘고립위험

지구', '취약방재시설지구', '붕괴위험지구', '해일위험지구' 등으로 지정할 수 있다. 연안지역에 지정하는 해일위험지구는 ⅰ) 폭풍해일로 인하여 피해를 입었던 지역, ⅱ) 지진해일로 인하여 피해를 입었던 지역, ⅲ) 해일 피해가 우려되어 대통령령으로 정하는 지역에 지정할 수 있다. 해일 피해가 우려되는 지역은 '해수면 상승에 의한 하수도 역류현상 등으로 침수 피해가 발생하였거나 발생할 우려가 있는 지역', '태풍, 강풍 등으로 인한 풍랑으로 침수 또는 시설물 파손 피해가 발생하였거나 발생할 우려가 있는 지역'을 말한다. 창원시에는 마산합포구 동서동 일원에 해일 및 태풍 내습 시 침수 피해를 예방하기 위하여 5만 9,100㎡에 지정하였다.

| 표 4-13 | 창원시 해일위험지구 지정 현황

| 지구명 | 위 치 | 지정 내용 | | | 지정 사유 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 유 형 | 등급 | 면적(㎡) | |
| 구항 지구 | 마산합포구 신포동, 남성동,동성동,오동동 일원 | 해일위험 지구 | 가 | 59,100 | 해일 및 태풍 내습 시 침수 피해가 예상되는 해안저지대로서 시가지 주거, 상가밀집지역에 대한 정비사업 필요 |

자연재해위험지구에서는 건축행위 및 형질변경을 제한할 수 있다. 창원시 자연재해위험지구 안에서의 행위제한에 관한 조례에서는 '침수위 이상의 대지의 승고 및 고상식 건축물 등의 자연재해위험 해소대책을 병행하는 건축행위', '침수위험지역의 배수개선사업을 병행하는 건축행위', '자연재해위험이 해소된 지역에서의 건축행위', '침수 및 유실 등의 위험 해소 및 침수 피해를 유발하지 않는 성토 및 정지 작업'을 제외한 건축행위 및 토지 형질변경을 제한하고 있다.

해일위험지구에서는 '해일 피해 우려지역의 피해 예방 및 저감을 위한 재해예방 사업'을 추진할 수 있으나 자연재해대책법, 자연재해위험지구 관리지침 등 관련 규정에서는 구체적으로 어떤 사업이 가능한지에 대한 설명

은 없다. 반면, 침수위험지구 등 다른 유형의 자연재해위험지구에서는 주민 이주대책 사업 등 구체적인 사업 내용이 포함되어 있다. 예를 들면, 침수위험지구에서는 '주민 수혜도가 큰 지역으로 하천의 제방축조 및 정비, 저류지, 유수지, 배수로 및 배수 펌프장 등 우수유출 저감시설의 신설·확장 등 정비사업', '방조제·방파제·파제제 등 주변지역의 침수방지시설 정비사업', '침수위험지구 내 주민 이주대책 사업 등 침수 피해 방지 대책사업' 등을 할 수 있다.

|그림 4-18| 자연재해위험지구 위치도

### ③ 도시기본계획[46)]

마산시 도시기본계획에서는 토지이용계획을 수립하기 위하여 개발가능지를 분석하였다. 개발가능지는 주로 기존 용도지역, 표고, 개발제한구역

46) 통합 창원시 도시기본계획은 수립되지 않아 구 마산시 도시기본계획 내용을 분석하였음.

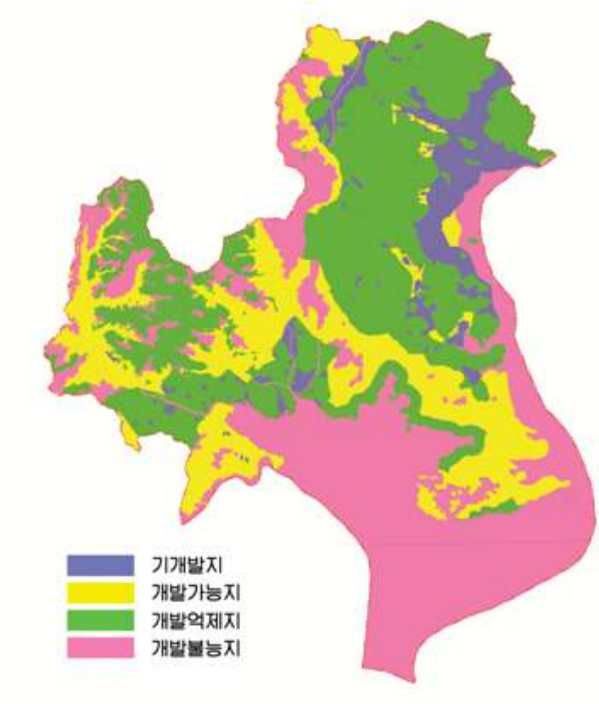
조정, 농업 및 산지, 생태자연도, 보호구역 등을 기준으로 분석, 설정하였다. 공유수면을 제외하면 연안지역의 취약성을 고려한 기준은 하나도 포함되어 있지 않다. 2003년 태풍 매미로 큰 피해를 입은 마산시에서 연안지역 재해 취약성에 관한 기준을 포함하지 않은 것은 사전예방적 차원의 대응이 미흡하다는 것을 말해준다. 개발불능지로 공유수면을 포함하였으나 이는 당장 토지로 이용하기 불가능한 지역이므로 공유수면 개발불능지로 분류하였을 뿐 향후 매립을 억제한다는 것을 의미하지 않는다.

마산시 도시기본계획상 개발가능지 분석기준에 의하면 기후변화로 해수면이 상승하고 해일고가 높아져 침수위험이 큰 지역이라도 개발억제지 혹은 개발불능지로 분석할 수 있는 근거가 없다. 개발가능지 분석은 다음 도시계획 절차인 용도(시가화, 시가화예정, 보전) 구분, 용도지역·지구 지정에 영향을 미치므로 중요한 단계라고 할 수 있다.

| 표 4-14 | 마산시 개발가능지 분석기준

| 구 분 | 면적(㎢) | 분석기준 |
|---|---|---|
| 계 | 432.716<br>(100.0%) | - |
| 기개발지 | 32.13<br>(7.4%) | ■ 도시관리계획상 주거·상업·공업지역<br>■ 현재 진행 중인 개발사업구역<br>(공유수면 매립 기본계획 반영사업 포함)<br>■ 밀집취락지와 GB우선해제지역<br>■ GB조정가능지역 중 국책사업부지, 지역현안 사업부지 |
| 개발가능지 | 97.15<br>(22.5%) | ■ 개발제한구역의 일반조정가능지역<br>■ 표고 200m이하인 지역 |
| 개발억제지 | 135.20<br>(31.2%) | ■ 도시관리계획상 공원·녹지·개발제한구역으로 지정된 지역<br>■ 농업진흥지역 및 보전산지로 지정된 지역<br>■ 생태자연도 1등급지로 환경보전가치가 우수한 지역<br>■ 문화재보호구역, 조수보호구역, 수산자원보호구역 |
| 개발불능지 | 168.23<br>(38.9%) | ■ 공유수면, 하천 및 저수지<br>■ 표고 200m 초과인 지역 |

자료 : 마산시, 『2020년 마산도시기본계획』, 2007, p. 128




자료 : 마산시, 『2020년 마산도시기본계획』, 2007, p. 129

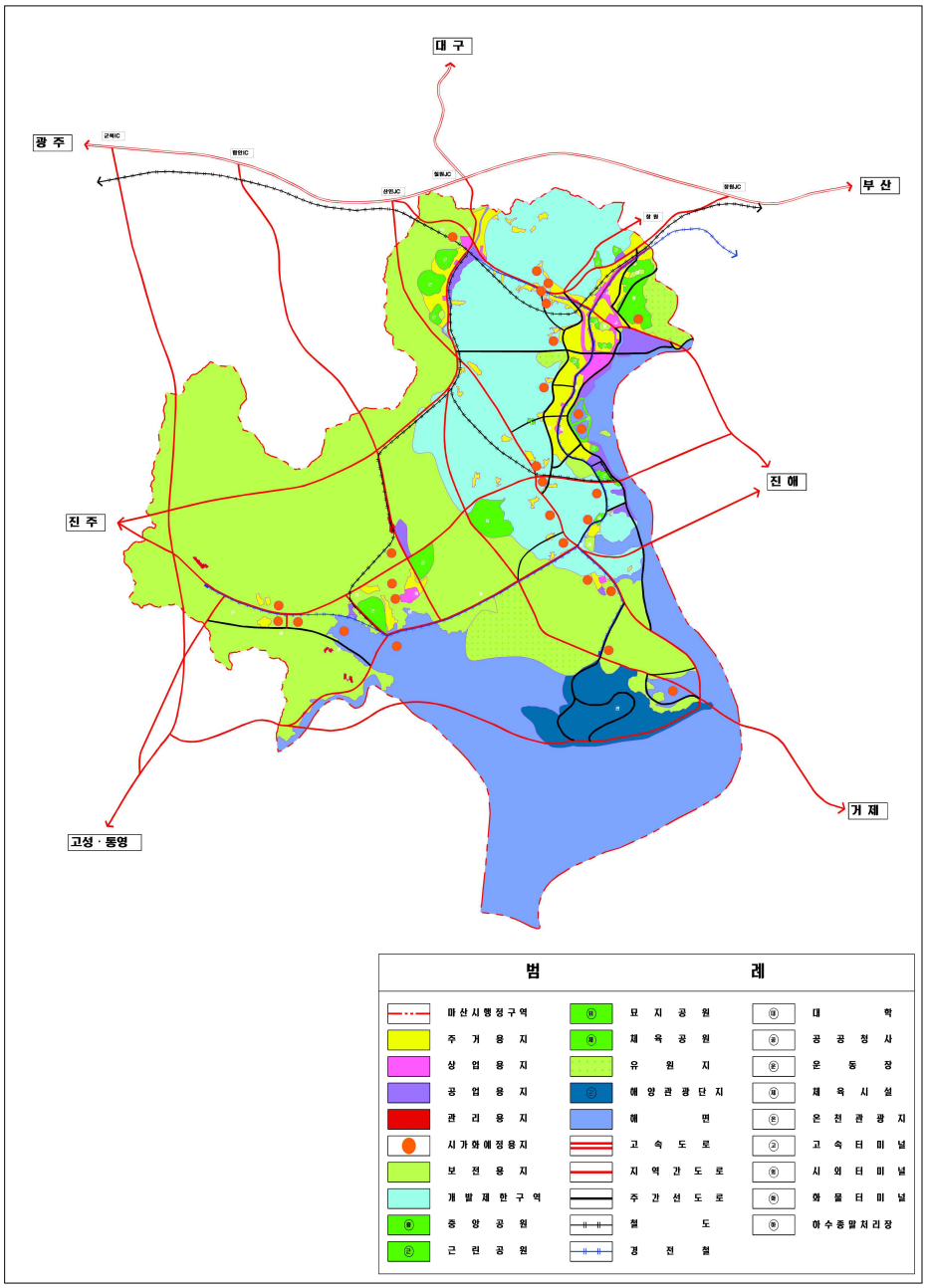
**|그림 4-19|** 개발가능지 분석도

도시기본계획에서는 국토계획법에 의한 용도지역 지정 전 단계인 용지를 지정하는데 관할하는 도시 전역을 시가화용지, 시가화예정용지, 보전용지로 구분한다. 도시기본계획 수립지침에서는 상습수해지역을 보전용지로 지정하도록 하였다. 그러나 마산시 도시기본계획에서는 보전용지 지정기준을 '토지의 효율적 이용, 환경 보전, 시가지의 무질서한 확산방지 등을 목적으로 보전하거나 개발을 유보하여야 하는 지역'으로 설정하고 대상지역은 '도시지역 GB, 자연·생산·보전녹지지역 중 시가화예정용지를 제외한 지역', '농림·자연환경보전·계획관리·생산관리·보전관리지역 중 시가화예정용지를 제외한 지역', '도시공원(어린이공원 제외)'으로 하여 용도지역 지정 전에 침수위험을 관리할 수 있는 근거를 마련하지 않았다.

| Ⅲ 4-15 | 마산시 도시기본계획상 용도구분 기준

| 구 분 | 분석기준 |
|---|---|
| 시가화용지 | ○ 현재 시가화가 형성된 기개발지로서 기존 토지이용을 변경할 필요가 있을 경우 정비하는 토지로서 주·상·공·관리용지로 구분<br>- 도시지역 내 주거·상업·공업지역<br>- 택지개발예정지구, 산업단지, 농공단지<br>- 계획관리지역 중 제2종지구단위계획 수립지역(관리용지)<br>○ 기반시설의 용량과 주변지역의 여건을 고려하여 도시경관을 유지하고 친환경적인 도시환경을 조성할 수 있도록 정비 및 관리방향 제시 |
| 시가화 예정용지 | ○ 장래 도시발전에 대비하여 개발축과 개발가능지를 중심으로 시가화에 필요한 개발공간의 확보를 위한 용지<br>- 도시지역의 자연녹지지역 및 광역도시계획에 의한 개발제한구역 조정가능지역<br>- 계획관리지역 중 개발진흥지구 중 개발계획 미수립지역<br>- 목표연도의 인구규모와 도시기능, 도시의 발전방향 등 도시지표의 달성을 위하여 필요한 지역<br>- 2016년 마산도시기본계획상 개발예정용지<br>- 토지적성평가를 기초로 하여 도시관리계획 상 계획관리지역으로 지정·관리 해야 할 필요가 있는 지역<br>○ 개발방법<br>- 도시관리계획 상 지구단위계획 수립 후 개발용도지역 부여 |
| 보전용지 | ○ 토지의 효율적 이용과 지역의 환경보전·안보 및 시가지의 무질서한 확산을 방지하여 양호한 도시환경을 조성하도록 보전하거나 개발을 유보하여야 할 지역<br>- 도시지역의 GB, 자연·생산·보전녹지지역 중 시가화예정용지를 제외한 지역<br>- 농림·자연환경보전·계획관리·생산관리·보전관리지역 중 시가화예정용지를 제외한 지역<br>- 도시공원(어린이공원 제외) |

자료 : 마산시, 『2020년 마산도시기본계획』, 2007, pp. 125～126




자료 : 마산시, 『2020년 마산도시기본계획』, 2007, p. 144

**|그림 4-20|** 마산시(구) 도시기본구상도

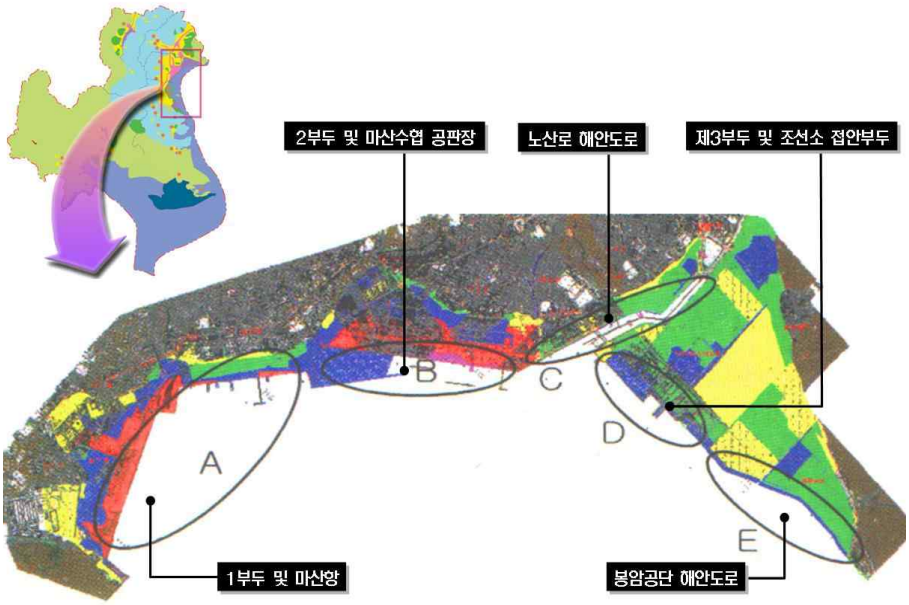
도시기본계획 중 방재계획 부문에서는 피해유형별 방재계획을 제시하면서 해안재해 피해유형을 해일, 제방붕괴, 구조물 유실로 구분하고 대책은 '재해위험도가 높은 지역의 개발지양', '재해발생우려지역을 방재지구 지정·관리', '해일방재를 고려한 설계 및 시공'을 제시하였다. 그러나 창원시에서는 태풍 매미 등으로 재해가 발생한 지역뿐만 아니라 재해발생이 우려되는 어떤 지역에도 방재지구를 지정하지 않았다.

또한 해안지구별로 해일방재대책을 <표 4-16>과 같이 제시하였다. 해일방재대책은 해안도로의 표고를 높여서 인공둔덕 역할 부여, 물양장 건설, 완경사호안 축조, 친수성 매미둔덕 등이며 대부분 대책은 인공시설물 설치에 의존하고 있다.

| 표 4-16 | 해안지구별 해일대책 방안

| 지 구 별 | 해 일 방 재 대 책 |
|---|---|
| (A) 1부두 및 마산항 | •해상매립과 친수성 매미둔덕<br>•해안로의 표고를 높여서 인공둔덕의 역할을 하도록 하는 방안 |
| (B) 2부두 및 마산수협 공판장 | •물양장 전 해역을 매립하여 바깥쪽으로 약 200m까지 전진시키고 반사파 저감효과가 있는 새로운 물양장을 축조하고 물양장 배후에 친수성 인공둔덕을 조성하는 방안 |
| (C) 노산로 해안도로 | •노산로의 표고를 높여서 인공둔덕의 역할을 하도록 하는 방안<br>•해안을 따라 면적 완충공간으로 다단계구조(인공잠제투과식 완경사호안)로 하는 방안 |
| (D) 제3부두 및 조선소 접안부두 | •접안부두 배후에 콘크리트 파라펫과 출입문을 설치하는 방안 |
| (E) 봉암공단 해안도로 | •해안도로의 표고를 높여서 인공둔덕의 역할을 하도록 하는 방안<br>•해안을 따라 면적 완충공간을 다단계구조(인공잠제투과식 완경사호안)로 하는 방안 |

자료 : 마산시, 『2020년 마산도시기본계획』, 2007, p. 309




자료 : 마산시, 『2020년 마산도시기본계획』, 2007, p. 309

**|그림 4-21|** 마산시 해일방재 계획도

### ③ 연안관리지역계획[47)]

창원시 연안관리지역계획에서는 연안지역(연안육역 및 연안해역)을 5개 연안구역[48)]으로 구분하였다. 주거지역, 상업지역, 공업지역은 개발조정연안 또는 개발유도연안으로, 녹지지역은 경우에 따라 절대보전연안이나 준보전연안, 이용연안으로 개발제한구역은 절대보전연안으로 지정하였다. 연안해역에서는 항만 및 어항구역, 공유수면매립 대상지 등은 개발조정연안 및

47) 연안관리법에 따라 관할 연안의 효율적인 보전·이용 및 개발을 위하여 수립하는 연안관리지역계획은 창원시로 통합하기 이전 3개 시(창원시, 마산시, 진해시)가 개별적으로 추진하였으나, 구 창원시 관할구역에 대해서만 연안관리지역계획이 수립되었음.

48) 현재는 연안관리법 개정(2009)으로 연안지역에 대한 용도지역은 해역에 대해서만 4개 구역(이용연안, 특수연안, 보전연안, 관리연안)을 지정함.

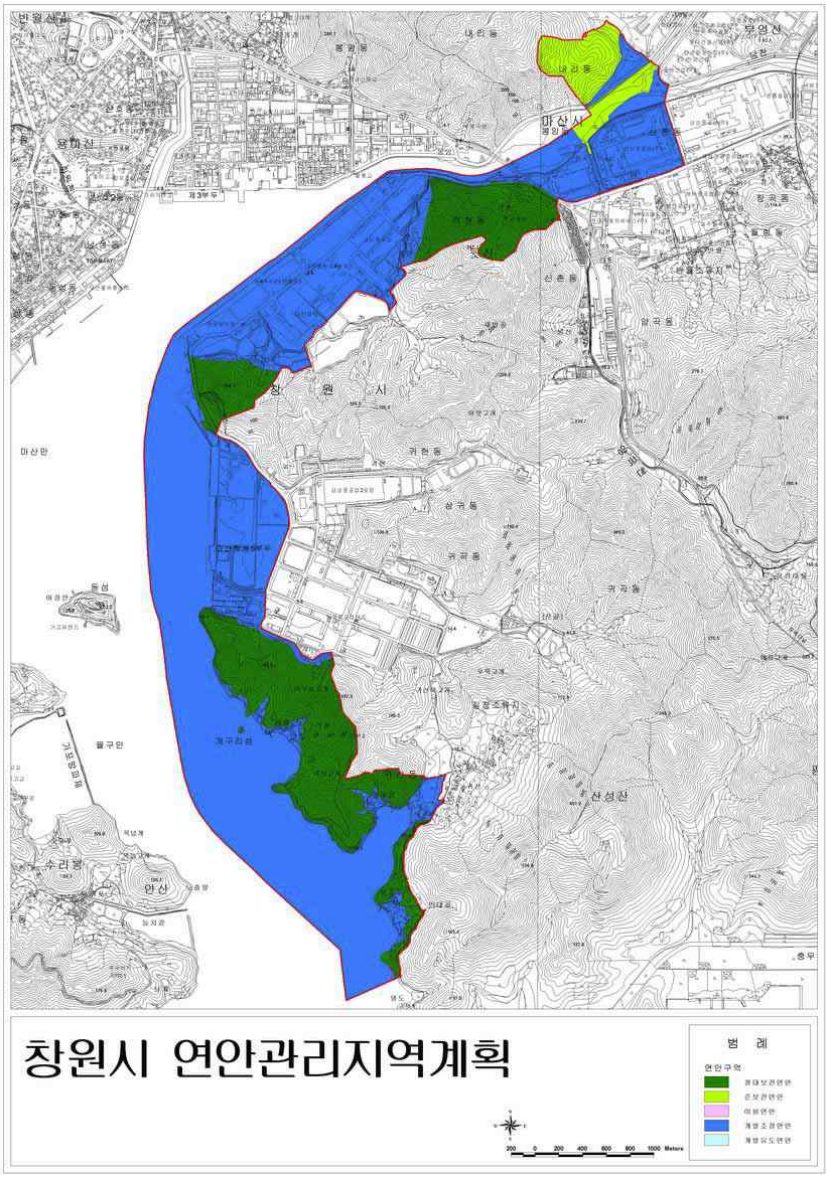
개발유도연안으로 지정하였고, 생태자연도 상 1등급, 무인도서 등은 절대보전연안으로 지정하였다. 창원시 연안구역은 총 9.68㎢이며, 절대보전 2.27㎢, 준보전 0.43㎢, 개발조정 6.98㎢로 대부분 개발조정연안으로 지정되었다.

창원시 연안관리지역계획에서는 연안구역별로 권장·협의사항을 제시하였는데 재해관리와 관련하여 모든 연안구역에서 연안재해방지를 포함한 연안정비사업을 권장하였고, 절대보전연안에서는 연안재해예방 또는 복구를 제외한 자연해안선 훼손행위는 협의사항으로 제시하였다.

| 표 4-17 | 연안관리구역 지정 기준

| 구분 | | 보전 | | 이용 | 개발 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 절대보전 | 준보전 | | 개발조정 | 개발유도 |
| 도시지역 | 주거지역 | | | | | 신규지정 |
| | 상업지역 | | | | | 신규지정 |
| | 녹지지역 | 보전녹지 | 생산녹지 | 자연녹지 | | |
| | 공업지역 | | | | | 신규지정 |
| 개발제한구역 | | | | | | |
| 용도미지정 | | 타 법률에서 지정한 용도지역지구에 따름 | | | | |
| 기타 | 공원 | 도시자연 | 근린 | | | |
| | 기타용도지구 | 보존 | 자연경관 하천구역 | | 시설보호취락 | |
| 항만 및 어항구역 | | | | | 기존 | 신규지정 |
| 공유수면매립대상지 | | | | 친수공간 | 추가수요 | 주거·공업 용지 등 |
| 개발계획 | | | | | | |
| 생태자연도 | | ① | ② | ③ | | |
| 무인도서 | | | | | | |

자료 : 창원시, 『창원시 연안관리지역계획』 요약자료, 2008, p. 22




자료 : 창원시, 『창원시 연안관리지역계획』 요약자료, 2008, p. 25

**|그림 4-22|** 창원시 연안관리지역계획 총괄도

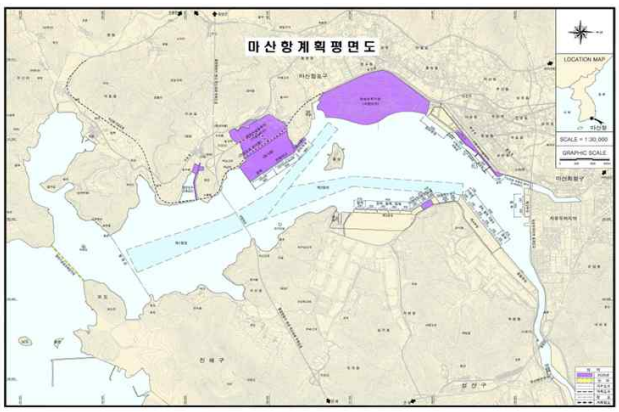
### ④ 제3차 항만기본계획

제3차 항만기본계획에서 마산항은 구항 친수시설(방재) 7만 4,000㎡, 준설토투기장(서항지구) 134만 1,000㎡ 등에 대하여 공유수면매립을 계획하고 있으며, 두 지역은 도시기본계획상 공업지역 혹은 시가화예정용지로 지정하였다.

| 표 4-18 | 마산항 시설 개발계획

| 시설 | 내용 |
|---|---|
| 접안시설 | - 컨테이너부두(1-1단계) : 2천TEU급, 2선석(500m)<br>- 잡화부두(1-1단계) : 3만DWT급, 2선석(480m)<br>- 관리부두(1-1단계) : 320m<br>- 시멘트부두 : 상부시설 1식 |
| 항만시설용부지 | - 항만시설용부지(가포A지구) : 433천m²(항만배후단지 포함) |
| 친수시설 | - 구항 친수시설(방재) : 74천m²<br>- 가포B지구 친수시설 : 30천m²<br>- 노산로 수제선 정비 : 2천m² |
| 임항교통시설 | - 진입도로(1단계) : 2.91km<br>- 진입도로(2～3단계) : 5.00km |
| 기타시설 | - 준설토투기장(서항지구) : 1,341천m² |

자료 : 국토해양부, 『제3차 전국 항만기본계획(2011-2020)』, 2011




자료 : 국토해양부, 『제3차 전국 항만기본계획(2011-2020)』, 2011

| 그림 4-23 | 마산항계획 평면도

### (3) 창원시 풍수해보험 현황

우리나라의 풍수해보험은 지난 2006년 도입된 이후 2008년부터 가입규모가 급격히 확대되어 왔다. 기본적으로 풍수해보험의 가입대상은 도시지역의 주택과 농어촌지역의 온실, 축사 등 농어업 관련 시설로 구분된다. 2012년 현재 주택에 대한 보상기준은 지속적으로 현실화되어 단독주택의 경우 100만 원/㎡, 공동주택의 경우 90만 원/㎡ 수준에 달한다. 수해로 인해 침수가 발생한 경우 침수보험금은 기존의 12만~32만 원 수준으로 120만 원으로 확대되었다. 보험료에 대한 정부의 지원은 총보험료의 55~62%에 달한다. 지원금액 가운데 위험보험료에 대해서는 40~50%(국비:지방비, 70:30), 부가보험료에 대해서는 90%에 대해 정부지원(국비)이 이루어지고 있다. 또한 기초생활수급자는 86%, 차상위계층에 대해서는 76%까지 지원된다.

| 표 4-19 | 풍수해보험 전국 가입 실적

| 구분 | 계 | 주택 | 온실 | 축사 |
|---|---|---|---|---|
| 2006 | 17,487 | 17,318 | 86 | 83 |
| 2007 | 20,563 | 20,221 | 265 | 77 |
| 2008 | 243,434 | 242,470 | 792 | 172 |
| 2008 | 348,983 | 347,745 | 1,072 | 166 |
| 2010 | 304,309 | 302,716 | 1,593 | - |
| 2011 | 345,780 | 343,106 | 2,674 | - |

자료 : 양희산,「풍수해보험 관련 정책성보험 추진방안」,『Focus』, 7월호, 손해보험협회, 2012

풍수해보험 지급실적은 2006년부터 2011년까지 6년 동안 총 2,296건에 64억 1,500만원이 지급되었으며, 2011년도에 가장 많은 1,055건에 31억 5,900만원이 지급되어 6년간 지급된 실적의 거의 반을 차지하고 있다(양희산, 2012, p. 15). 이는 풍수해보험 공유의 특성을 보여준다. 즉 위험의 빈도나 강도를 사전에 미리 예측하기 어려워 위험에 따른 피해의 발생실적이 연도별로 매

우 차이가 크다는 사실을 반증한다. 지난 2000년대 중반 이후 2010년도까지는 태풍 및 폭우가 한반도에 크게 발생하지 않아 보험사측의 손해율이 매우 낮게 나타나고 있다. 결과적으로 보험금 지급 실적은 예정손해율 70%를 크게 하회하고 있는 것으로 나타났다(양희산, 2012, p. 16).

창원시의 2012년 1월부터 9월까지 풍수해보험 총 가입 가구는 7,725 가구로 집계되며, 이 가운데 기초수급자의 비율이 전체의 78.1%인 6,283 가구로 나타난다. 이는 창원시에서의 풍수해보험이 취약계층에 대한 사회보장의 성격을 지니고 있음을 의미하며, 상대적으로 재해보장을 위한 보험 본연의 기능과는 다소 거리가 있음을 뜻한다.

| 표 4-20 | 마산시 2012년 풍수해보험 신규 계약 현황

단위 : 건

| 구분 | 세입자 동산 | 주택(소유) | 온실 | 총계 |
|---|---|---|---|---|
| 기초수급자 | 6,033 | 250 | - | 6,283 |
| 차상위계층 | 4 | - | - | 4 |
| 일반가입 | - | 1,433 | 5 | 1,438 |
| 합계 | 6,037 | 1,683 | 5 | 7,725 |

주 : 2012년 1월부터 9월까지 보험 계약 현황에 해당함
자료 : 창원시 내부자료

| 표 4-21 | 마산시 2012년 풍수해보험 보험료 납입 현황

단위 : 원

| 구분 | 국비 | 지방비 | 주민부담 | 총계 |
|---|---|---|---|---|
| 기초수급자 | 80,561,900 | 22,166,400 | 14,388,400 | 117,116,700 |
| 차상위계층 | 36,500 | 8,900 | 13,200 | 58,600 |
| 일반가입자(주택) | 87,130,700 | 17,423,300 | 83,862,100 | 188,416,100 |
| 일반가입자(온실) | 4,639,900 | 912,180 | 3,509,140 | 9,061,220 |
| 합계 | 172,369,000 | 40,510,780 | 101,772,840 | 314,652,620 |

주 : 2012년 1월부터 9월까지 보험료 납입 현황에 해당함
자료 : 창원시 내부자료

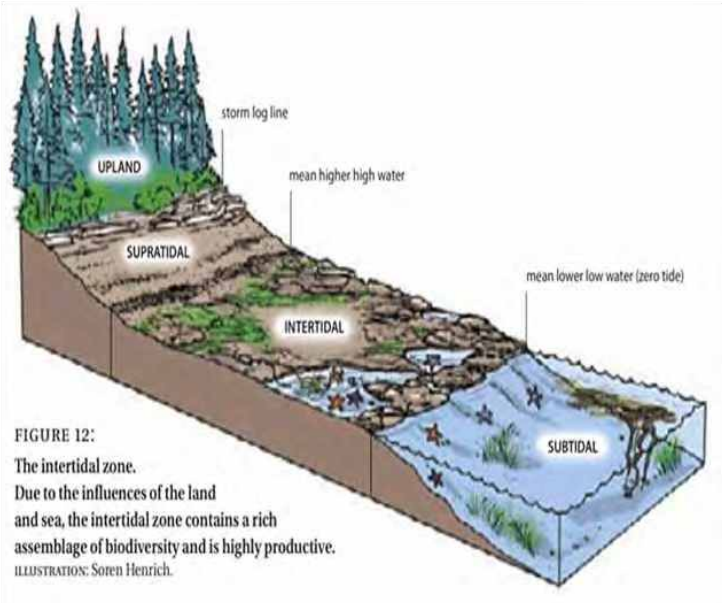
## 3. 기후변화 연안적응전략 시범 적용

### 1) 생태적 해안환경 조성전략

앞에서 살펴본 것처럼 ‘마산 구항 방재언덕 설치공사 계획’, ‘마산항 재해취약지구 정비계획’, ‘마산해양신도시 개발계획’ 등 일련의 마산만 개발계획이나 방재 계획들은 지역경제의 발전과 활성화를 도모한다거나 재해 및 기후변화에 대응하여 도심 수변부와 배후지의 안전을 확보하는 차원에서 계획된 사업들이다. 지역에 필요한 사업으로 제안된 사업들이나 진행과정에서 마산만 전역의 해양환경이나 생태계의 개선과 복원에 대한 고려는 다소 부족한 면이 있다. 여기서는 마산만 주변의 개발이 보다 생태적인 방식으로 이루어질 수 있는지 여부를 국내외 사례를 활용하여 검토하였다.

#### (1) 유사 완경사 조간대 환경의 조성

조간대는 저조시에는 대기에 노출되나 고조시에는 해수면 아래에 잠기는 구간으로 흔히 저조선과 고조선 사이에 해당하는 공간을 말한다. 조간대는 지형 및 환경적 특성에 따라 암벽, 모래해안, 습지 등 여러 가지 양상으로 나타나며, 연안습지는 육상으로부터 유입되는 각종 오염물질을 정화하고, 기상이변이나 기후변화에 따른 해수면 상승 등에 대한 완충기능을 제공하기도 한다. 특히 갯벌과 같이 경사가 완만한 조간대는 생태적으로 매우 중요한 역할을 한다. 수심이 얕은 구간은 광투과율이 높아 생산성이 높은 곳으로 어패류를 포함한 많은 종류의 수중생물의 유년기 서식지가 되거나 각종 조류에게 훌륭한 먹이처가 되기도 한다(안용성, 2012).




자료 : 시애틀 시청(워싱턴 주, 미국), Elliott Bay Seawall Project: Glossary, 2010

**| 그림 4-24 |** 연안공간의 구성

이와 동시에 조간대는 간척 및 매립을 통한 개발이 상대적으로 용이한 지역으로 우리나라에서는 급속한 산업화에 따라 연안이 개발되면서 상당한 면적의 조간대가 소실된 상태이다. 마산만 역시 해안을 따라 도시가 발달하면서 방재의 목적이나 상업적 이용을 위하여 거의 모든 연안의 조간대를 콘크리트로 된 직벽으로 피복해 놓은 상태이다.

지금까지 마산만에서는 해안선 정비와 개발이 주로 콘크리트 직벽 구조의 형태로 이루어졌으며, 현재 진행 중이거나 계획된 매립 및 개발사업에서도 연안 생태환경의 유지나 복원에 대한 전략은 미흡하다. 앞에서 살펴본 '마산해양신도시 개발계획'에서 일부 생태적인 측면을 고려한 개발전략과 공법의 적용이 언급되기는 했으나 마산만 전역의 인공해안에 비하면 매우 일부에 불과하다.

마산만 전역의 콘크리트 호안에 인공적으로 '유사 완경사 조간대 환경'

을 조성하고, 일부나마 매립되지 않고 남아 있는 조간대는 매립과 같은 인공적 이용과 개발을 제한하여 보전하는 적극적인 노력이 필요하다. 특히 마산만 북동부에 위치한 봉암갯벌의 습지 생태환경을 적극적으로 보존하고, 마산만 전역에 친환경 수변 재생공법을 도입함으로써 봉암갯벌의 우수한 생태환경을 마산만 전역으로 확장시키는 효과도 기대할 수 있다.

### [ 마산만 봉암갯벌 ]

○ 개요

- 위치 : 경상남도 창원시 마산만 북동부
- 면적 : 0.1㎢(9만 2396㎡, 약 2만 8000평)

○ 주요 사항

▪ 경상남도 창원시의 마산항 무역항만 내에 위치한 연안습지로 창원천과 남천이 합류하는 지점에서부터 마산만의 봉암교까지 민물과 바닷물이 만나는 수역에 위치

▪ 「습지보전법」제8조에서 규정하고 있는 세 가지 지정 기준 중 '희귀하거나 멸종위기에 처한 야생동식물이 서식·도래하는 지역'의 기준을 충족하여 2011년 12월 16일자로 습지보호지역으로 지정

▪ 대형저서동물의 평균서식밀도 : 10,250개체/㎡로 매우 높은 수준

- 법적보호종인 붉은발말똥게(국토해양부 보호대상해양생물, 환경부 멸종위기야생동식물 II급)의 서식지 확인
- 천연기념물인 황조롱이, 멸종위기야생동·식물 II급인 물수리, 말똥가리, 흰목물떼새, 검은머리갈매기 등 총 5종의 물새의 서식 확인

▪ 주변 해안의 식생 및 식물상

- 일정면적 이상의 총 7개 식물군락이 관찰
- 관찰된 7개 식물군락 중 염생식물 군락으로는 갈대군락, 지채군락, 칠면초군락, 큰비쑥군락, 갯개미취군락 등이 있음

▪ 특징

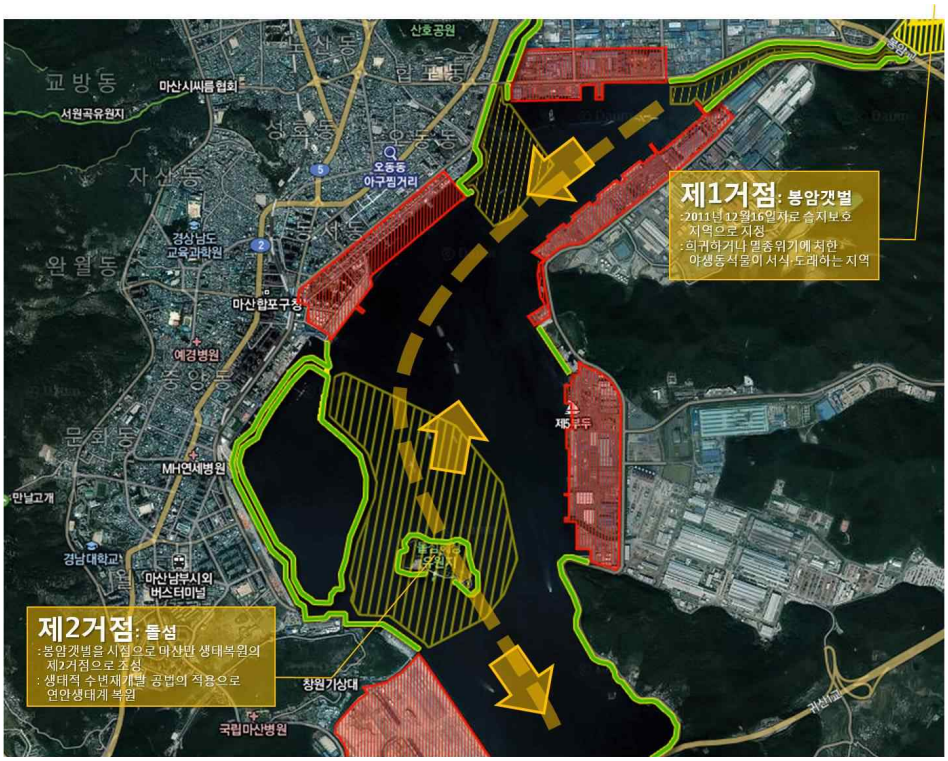
- 국토해양부의 마산만 해양환경개선을 위한 연안오염총량관리제 도입·시행 결과 마산만의 수질이 지속적으로 개선
- 과거 마산만 오염으로 인해 사라졌던 바지락 등 어패류와 잘피 등의 서식이 최근 확인
- 마산만의 시민·환경단체들은 봉암갯벌 보전과 마산만 수질 개선을 위하여 장기적으로 마산만의 자정능력을 감소시킬 것으로 예상되는 일련의 마산만 매립계획의 취소를 주장하는 등 활발하게 활동

자료 : 국토해양부, 『마산만 봉암갯벌 연안습지보호지역 지정 고시』 재정리, 2011

## (2) 연안도심 수변재생공법[49]의 적용

### ① 연안도심 수변재생공법의 적용전략

생태적으로 지속가능한 마산만을 만들기 위한 전략으로 우선 마산만 북동부에 위치한 봉암갯벌의 우수한 습지 생태환경을 적극적으로 보전하여야 한다. 또한 항만시설 및 특수 기능을 제외한 마산만의 직벽호안 전역에 인공적인 방법으로 '유사 완경사 조간대 환경'을 조성하여 봉암갯벌의 다양한 연안습지 식생 및 생태환경을 마산만 전역으로 확산시키는 방안을 제안할 수 있다.




| 그림 4-25 | 생태적 연안정비를 통한 마산만의 연안생태환경 개선 방향

49) 안용성, 『연안공간의 생태적 재개발방안』, 2012.

이를 위해서는 우선 현재 지역사회 전체의 꾸준한 노력으로 습지보호지역으로 지정된 봉암갯벌의 연안습지 생태환경과 서항지구 앞에 위치한 돝섬 인근 지역을 생태적인 두 거점으로 하여 마산만 전체의 연안 생태환경을 회복시킬 필요가 있다. 또한 마산만 전체 해안을 기능 및 지형, 생태적 특징에 따라 권역별로 나누어 적용 가능한 수변재생공법을 시행하고, 권역별로 산란과 서식이 이루어지거나 가능한 생물종에 대한 면밀한 조사를 통해 권역별 관리방안과 이용방안을 제시할 수 있다. 특징적으로 거의 모든 해안이 콘크리트로 피복된 마산만에 생태적인 수변재생공법을 적용함으로써 우리나라 연안도심의 생태적 지속가능성과 친수성을 회복하고 해역에 대한 이용과 개발의 조화를 도모할 수 있을 것이다.

### 2) 재해에 안전한 연안환경 조성

#### (1) 마산만 플랩게이트 설치 사업 검토

마산만 입구에 가동식 방조제인 플랩게이트를 설치하겠다는 계획은 국토해양부가 전국 국가항만을 대상으로 재해에 취약한 지구를 관리하기 위해 시작된 일명 '아라미르 프로젝트'에서 제시되었다.

해수면 상승과 태풍 매미 수준의 강력한 태풍과 해일고 발생을 기준으로 항만과 배후지역의 침수 가능성을 검토하여 항만별로 대응계획을 제시했다. 마산만은 <표 4-9>에 정리되어 있는 것처럼 가동식 수직방조제와 섹터 게이트라는 가동식 수평방조제, 배후지역 전면에 대한 방호벽과 방재언덕 설치의 세 가지 대안을 두고 검토했다. 각 사업의 공사 비용은 각각 3,500억 원, 8,500억 원, 1,000억 원 수준으로 모두 천 억대의 대형 공사라고 할 수 있다. 국토해양부(2011)에서는 이 세 가지 안 중 항 전체를 대응하면

서도 경관과 조망권을 훼손하지 않고 매립이 거의 발생하지 않는 가동식 수직방조제를 최종안으로 선정했다.

### ① 침수면적 산정의 정확성

가동식 방조제를 대안으로 선정한 과정에 검토할 부분이 몇 가지 있다. 우선 침수면적 산정의 정확성에 대한 의문이다. 아라미르 프로젝트에서는 태풍 매미를 기준으로 월류고를 약 1.83m로 잡고 1:5,000 지형도에서 침수구역을 6.585㎢로 예상했다. 그러나 실제 태풍 매미로 침수된 피해범위의 면적은 4.203㎢로 50% 이상 큰 차이가 있다. 이는 해일이 육지로 밀고 들어왔다고 하더라도 배후지로 가면서 본래의 해일고를 유지하지 못하고 점차 그 수위가 낮아졌기 때문에 지형도상에 나타난 1.83m 높이에 해당하는 곳보다 침수범위가 줄어들었을 가능성이 크다. 그런데 문제는 아라미르 프로젝트에서는 실제로 일어났던 태풍해일의 크기를 가정했음에도 불구하고 과거 침수면적보다 50% 이상 침수면적이 늘어났다는 점, 그리고 이로 인해 침수되는 시설과 피해비용 역시 크게 증가하였다는 점이다. 적어도 침수면적이 과다 추정되었다고 보이는 6.585㎢에서 실제 같은 크기의 태풍해일로 침수되었던 면적 4.203㎢로 줄어든다면 피해비용 역시 국토해양부(2011)에서 추정한 6,117억 원에서 1/3 가까이 줄어든 3,900억 원 수준에 머물 가능성이 크다.

### ② 침수로 인한 피해규모 산정의 적절성

침수면적보다 더 큰 문제는 피해규모를 구하는 방식에도 있다. 피해액 산정 결과가 <표 4-7>과 <표 4-8>에 나온 것처럼 예상 침수지역에서 침수시설을 주택, 아파트, 기타 및 이재민수 등으로 나누고 이에 따른 자산 피해액을 따졌다. 예를 들어 건물의 경우 건물의 자산가치와 침수가 어느 정도 깊이까지 이루어졌는지를 기준으로 한다. 건물의 층고에서 침수되는 비율에 따라 피해액을 산정하는 방식으로, 예를 들어 1층짜리 건물의 절반이

침수되었다면 해당 건물 자산가치의 절반 정도를 피해액으로 산정하는 방식이다. 즉, 기준이 되는 가치가 해당건물의 부동산 가격이 되고 침수 깊이에 비례하여 침수 피해액을 잡는 것이다.

| |
|---|
| **건물피해액 = 건물자산 가치(원) × 주거지역 침수편입율 × 침수심별 건물침수 피해율** |
| **자료: 국토해양부(2011), p. 969** |

아라미르 프로젝트에서는 이에 따라 마산구항 침수 예상지역 내 건물 자산 가치 2,855억 원, 침수편입률 100%, 침수심 평균 1.83m에 따른 침수 피해율 0.64를 곱하여 건물 피해액 2,712억 원을 도출하였다. 이는 마산만 배후지역 침수에 따른 피해비용으로 예상한 6,117억 원의 44%에 해당하는 상당한 규모이다. 그러나 국토해양부(2011)에서 계산한 이 피해비용은 기본적인 연산에서 오류가 있다. 건물자산 가치는 침수예상 지역 내 아파트(711억 원)와 다세대주택(2,144억 원)을 대상으로 하였고 그 금액은 2,712억 원이 맞으나 위의 계산식처럼 침수 피해율 0.64를 곱하면 1,827억 원이 된다. 따라서 전체 피해액도 6,117억 원이 아닌 5,232억 원이고, 전체 피해액에서 건물 피해액은 35%를 차지한다.

물론 폭풍해일 등으로 침수가 발생하면 건물이 물을 먹어 습기가 차는 등 자산가치가 다소 감소한다거나 상가 등에 적재한 제품이 수해를 입어 피해가 발생한다는 것은 충분히 예상할 수 있다. 그러나 폭풍해일에 의한 침수가 불과 30분에서 1~2시간 밖에 지속되지 않는 상황에서 건물과 같은 일반자산의 피해액을 건물의 자산가치에 준하여 피해액을 산정하는 것은 문제가 있다고 할 수 있다. 아라미르 프로젝트와 거의 동일한 해일고를 기록하였던 태풍 매미 당시 피해액을 보면 건물 438동 침수에 피해액은 74억 원 수준으로 조사되었음을 참고할 필요가 있다(마산시, 2003, p. 46). 아라미

르 프로젝트의 추산치를 1,827억 원으로 수정하여도 태풍 매미에 의해 실제로 추정된 피해액에 비해 약 25배 이상 큰 차이를 보이는 과도한 피해액 산정결과라고 할 수 있다.

더욱이 침수심 1.83m를 과대추정했다는 의구심이 드는 예상 침수면적 6.585㎢ 전체에 걸쳐 일괄적으로 적용한 점도 문제이다. 적어도 바다에 접해 침수가 시작되는 해안가에서는 침수심이 1.83m에 달할 수 있겠지만, 점차 고도가 높아지는 배후지역에서도 동일하게 1.83m의 침수심이 나타날 수 없다. 해안가에서 발생한 침수심 1.83m는 점차 배후로 가면서 0m로 줄어들 것이 분명하다. 따라서 침수심은 전체 침수면적에 대한 평균값을 활용하는 편이 합리적이고 타당하다. 적어도 침수심에 대한 잘못된 적용만 바로 잡고 건물의 자산가치를 기준으로 한 식을 적용하더라도 피해액은 절반 이상 감소할 것이다.

### ③ 발생빈도가 낮은 태풍에 대한 고려

2003년 마산만을 내습한 태풍 매미는 우리나라 재해관리 역사에서 다양한 의미를 남긴 중요한 태풍으로 기록된다. 슈퍼태풍의 한반도 내습이 보다 잦아질 거라는 어두운 전망(문일주・최의수, 2011)이 제기되는 가운데 해수면 상승의 효과는 일반 태풍마저도 슈퍼태풍에 준하는 해일 피해를 줄 수 있다는 예상으로 이어지기도 한다. 이런 우려는 2003년 이후 남해안에 태풍 매미 규모의 태풍이 상당 기간 없었음에도 불구하고 지속적으로 태풍 해일에 대한 대응 필요성이 논의되었고, 아라미르 프로젝트와 같은 대형 사업이 제안된 이유가 되기도 했다. 특히 아라미르 프로젝트에서 마산만에 제안한 플랩게이트는 지금 한창 시공 중인 이태리 베니스의 모세 프로젝트에서 착안한 사업이다. 비교적 단순한 수문 작동 방식으로 고조위를 막아내는 모세 프로젝트는 기존에 유사한 가동식 방조제인 영국의 템즈 베리어나 네덜란드 마에스란트 베리어에 비해 공사비가 저렴하고 환경적 영향이

적다는 점에 있어 하나의 혁신적인 구조물이라고 할 수 있다. 모세 프로젝트가 아직 준공되지 못해 그 활용성이 얼마나 될지는 확인되지 않았으나 일단 계획대로 작동이 된다면 베니스의 침수 피해는 크게 줄어들 것이 분명하다.

문제는 동일한 구조물이 제안된 베니스와 마산만의 환경 여건의 차이를 인식하지 않았다는 점이다. <그림 3-36>에서 보는 것과 같이 베니스의 해수위는 침수를 일으키는 1~1.1m 이상의 수위만 해도 연간 20회에 달하고 그 이상의 수위까지 합하면 연간 50회 이상이 된다. 이는 곧 연간 50회 이상의 침수가 베니스시내에 발생하는 것을 의미하는데 거의 매주 침수가 발생한다고 해도 과언이 아니다. 반면, 마산만은 2003년 태풍 매미로 해일의 침수·범람 피해가 있었고 올해 2012년 9월 태풍 산바의 내습으로 해안가에 위치한 월영동 일부에서 침수가 발생했다. 침수 피해를 입은 주민의 입장에서는 9년만에 침수가 반복되면서 근본적인 수방대책을 필요로 하겠으나 과연 3,000억 원이 넘는 공사비가 소요되는 가동식 방조제를 건설하는데 재원을 투자하는 것이 경제적으로 타당할지, 아니면 저지대에 대한 수방 대책을 수립하거나 저지대에 위치한 수해 취약시설이나 건물을 이전하는 것이 합리적일지는 평가해 볼 문제이다. 침수로 인명의 손실이 있어서는 안 되므로 취약지역에 대한 경보나 경고체계 등을 강화하여 인명피해의 가능성을 최소화하되, 해당지역에 대한 공간계획의 변경이나 침수 대응 시설의 설치 등 방조제 건설 사업 이전에 활용할 수 있는 여러 정책수단들을 합리적이고 경제적으로 검토하여 활용하는 것이 바람직하다.

#### ④ 관련 계획 간 평가 결과와 시행의 부조화

마산만에서 고려된 아라미르 프로젝트의 세 가지 대안 중 마지막 대안은 방재언덕과 방호벽 조성 사업이다. 이 사업은 가동식 방조제를 만드는 다른 두 대안의 공사비가 각각 3,000억 원대와 8,000억 원대인 것에 비하여

매우 낮은 천억 원대의 공사비가 예상된다. 그러나 최종안 검토에서 방재언덕 사업은 조망권 침해로 민원이 발생할 우려가 있다하여 다른 대안에 비해 투자 비용이 매우 적음에도 불구하고 선정되지 못했다. 이는 마산구항 방재언덕과 관련되어 지역의 민원이 활발하게 제기되었던 것을 보면 일면 타당한 검토였다고 할 수 있다.

그런데 마산구항에 대한 방재언덕 사업은 아라미르 프로젝트에 의한 재해취약지구 정비사업이 아닌 항만기본계획에 따른 사업으로 진행되고 있다. 아라미르 프로젝트나 항만기본계획 사업 모두 국토해양부에서 주관하며 특히 두 사업 모두 항만정책국에서 관장하는 사업이다. 그런데 한 사업에서 조망권에 대한 민원 발생이 우려되어 최적안으로 선정되지 못했던 사업이 다른 항만기본계획 사업에 따라 시행되는 상황은 정책의 일관성을 보여주지 못했다는 비판을 피하기 어렵다. 비록 플랩형 게이트 설치가 2020년 이후에 시행되는 2차 계획의 하나로 편성되기는 하였지만 적어도 대안을 검토하는 과정에서 아라미르 프로젝트와 항만기본계획 간의 조율을 통해 공동으로 대안을 검토하고 사업의 우선순위를 설정하는 것이 바람직할 것이다.

### (2) 마산구항 방재언덕 조성사업 검토와 대안

마산구항 방재언덕 조성사업은 태풍 매미와 같은 해일을 동반한 기상재해에서 배후지역을 보호하고 시민의 친수공간을 확보한다는 차원에서 의미가 있다. 일부 매립을 수반하나 이미 항만 등으로 직벽의 호안으로 되어 있는 공간에 공원을 조성함으로써 시민의 해안접근성이 개선된다는 차원에서 긍정적인 효과도 매우 클 것으로 기대된다. 방재언덕 조성사업이 처음에 마산시에서 주장하였고, 이후 국토해양부에서 항만기본계획의 차원에서 국비로 사업을 추진하고 있다. 그러나 사업의 구체적인 내용이 드러

나면서 해당 지자체는 물론 지역의 시민단체와 언론으로부터 몇 가지 문제점이 제기되고 있다.

시민사회나 지역민, 상가입주민협의회 등으로부터 가장 논란이 되는 부분은 방재언덕의 마루높이에 관한 것이다. 현재 지반고에 비해 약 4m를 더 높이는 방재언덕 사업은 두 단계로 나뉜다. 우선 언덕 자체를 약 2m 높이고, 여기에 바닷가에 가까운 쪽에는 투명한 방조벽을 시공한다. 이에 대해 어시장에서 횟집 등을 운영하는 상인이나 상인연합회에서는 현재의 위치에서 바다를 조망할 수 있는 경관을 해친다는 이유로 방재언덕 사업에 대해 반대의견을 표명하고 있다. 또한 지역의 시민단체에서는 과거 매립이 상당히 많이 이루어져 이미 자연해안이 거의 남아있지 않은 마산만에 또 다시 매립사업이 진행되면 그나마 유지되던 마산만의 해양환경은 더 악화될 것이라는 우려를 표명하기도 한다.

방재언덕의 높이도 시민들로부터 적절한지 여부가 논의될 수 있겠지만 바다와 접할 수 없는 친수공간을 만든다는 모순, 특히 투명한 벽 뒤로 바다를 보는 방식은 전 세계적으로도 유래가 없는 방식이다. 이는 마산만에 대한 경관 관리 측면에서도 매우 부정적인 영향을 주게 될 것이다. 비록 70m 폭의 친수공원이 만들어진다고는 하나 실제 친수를 할 수 있는 기회는 방조벽 때문에 매우 제한될 수밖에 없다.

우선 방재언덕 조성사업에서 논란이 되는 매립지의 마루높이가 적정한지, 그리고 방재언덕이라는 공간에 대한 활용 방안에 대해 검토하기 위하여 마루높이와 매립면적 산정 과정을 자세히 살펴볼 필요가 있다.

방재언덕 조성사업에서 제안된 방재언덕의 제원, 즉 지반고 650㎝와 매립지 너비 70m는 허용월파량에 기초하여 산정된 결과로, 배후지의 용도, 인접지의 표고 등을 고려하여 세 가지 방식의 검토를 거쳐 결정된다. 첫 번째 방식은 허용월파량에 의한 마루높이 산정법이고, 두 번째는 수치모형인

월파량 실험(CADMAD-SURF), 세 번째는 2차원 단면 수리모형 실험이다.

마산시(2009)에서는 '항만 및 어항 설계기준'(해양수산부, 2005)에 따라 허용월파량을 기준으로 방재언덕의 마루높이를 산정했다. 구체적으로는 해저경사 1:30에 대한 직립호안의 월파유량산정도를 활용하여 월파고($h_c$, m) 196㎝를 계산한 후 아래의 식에 따라 마루높이 676㎝를 산정했다.

월파고 $h_c$, = 196㎝ × 1.2(여유고)
= 235㎝
마루높이 = 설계조위 + 월파고
= 440.6㎝ + 235
= 676㎝

또 다른 방법으로는 월파량에 대한 수치모형 실험방식이다. CADMAS-SURF라는 모형을 사용하였는데, 설계조위는 약최고고조위 DL.(+)199.6㎝, 폭풍해일고 222㎝, Wave Setup 22㎝를 각각 잡아 합한 DL.(+)440.6㎝를 마산구항 방재언덕의 설계조위로 잡았다. 한편 설계파랑은 태풍 매미를 가정하여 방재언덕과 방조벽이 있는 경우에 50년 빈도의 설계파랑까지 넣어 검토했다. 실시설계(마산시, 2009)에서는 이런 설계조건에 따라 4가지 매립조건(매립 없음, 폭 40m, 폭 70m, 폭 100m)과 4종류의 마루높이(DL.(+) 450㎝, 550㎝, 650㎝, 750㎝), 총 16가지 경우에 대한 각각의 월파량을 수치모형을 통해 실험했다.

<표 4-22>은 항만설계기준에서 제시된 허용월파량 기준으로 배후지의 중요도에 따라 허용하는 월파량을 구분하여 제시하고 있다.

| Ⅱ 4-22 | 배후지의 중요도를 고려한 허용월파량

| 요건 | 월파량(㎥/m·s) |
|---|---|
| 배후에 민가, 배후시설 밀집으로 월파, 물보라 등의 유입으로 중대한 재해가 예상되는 지역 | 0.01 정도 |
| 기타 중요한 지역 | 0.02 정도 |
| 기타 지역 | 0.02~0.06 |

자료 : 해양수산부, 『항만 및 어항 설계기준』, 2005

실험결과 다음과 같이 매립이 없을 때는 마루높이를 750㎝까지 올려야 월파량이 기준이라고 할 수 있는 0.01㎥/m·s 이하로 떨어지고, 매립이 조금씩 늘어나면서 월파량이 없는 마루높이도 낮아져 100m 폭으로 매립할 경우에는 450㎝의 마루높이로도 월파를 제어할 수 있는 것으로 나타났다.

| Ⅱ 4-23 | 수치모형에 따른 방재언덕 월파량 실험결과

단위 : ㎥/m·s

| 매립폭(m) / 마루높이(㎝) | 0 | 40 | 70 | 100 |
|---|---|---|---|---|
| DL.(+)450 | 0.096 | 0.075 | 0.062 | 0.060 |
| DL.(+)550 | 0.049 | 0.015 | 0.000 | 0.000 |
| DL.(+)650 | 0.014 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| DL.(+)750 | 0.0003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

주 : 파고는 태풍 매미로 가정하여 2.1m로 계산했으며, 어두운 색으로 표시된 칸은 월파량이 0.01m·s 이하인 경우
자료 : 마산시, 『구항지구 방재언덕 설치공사 기본 및 실시설계용역』, 2009, p. 263

마지막 방식으로 방재언덕 실시설계 보고서에서는 단면에 대한 수리모형 실험도 병행했다. 길이 36m의 2차원 단면 실험수조에서 1/25 축적의 정상모형을 사용하여 불규칙파를 적용하여 마루높이에 따른 월파의 범위를 측정했다. 실험결과 4가지 마루높이 별로 월파량의 도달 거리가 달리 나타

났는데, 허용월파량(0.01㎥/m·s)을 기준으로 마루높이 550㎝에서 100m 후방까지, 650㎝에서 70m 후방까지 기준 이하의 바닷물이 월파되고, 750㎝의 마루높이에서는 월파되지 않는 것으로 나타났다. 다만, 이 결과는 태풍 매미의 파고 2.1m를 가정한 것으로 50년 빈도의 파고 1.1m를 가정하면 월파되는 범위는 크게 축소된다(<표 4-24>참조).

|표 4-24| 물양장 방재언덕 수리모형 실험결과

| 마루높이 DL.(+)(㎝) | 파고(m) | 주기 (sec) | 반사 계수 | 월파량(㎥/m·s) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 마루입구 | 40m | 70m | 100m |
| 450 | 1.1 (50년 빈도) | 15.6 | 0.567 | 0.0980 | 0.0712 | 0.0487 | 0.0297 |
| | 2.1 (태풍 매미) | 14.9 | 0.621 | 0.1790 | 0.1580 | 0.1351 | 0.1164 |
| 550 | 1.1 | 15.6 | 0.589 | 0.0001 | 0 | 0 | 0 |
| | 2.1 | 14.9 | 0.629 | 0.0213 | 0.0196 | 0.0181 | 0.0091 |
| 650 | 1.1 | 15.6 | 0.587 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 2.1 | 14.9 | 0.635 | 0.0157 | 0.0125 | 0.0075 | 0.0008 |
| 750 | 1.1 | 15.6 | 0.586 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 2.1 | 14.9 | 0.636 | 0 | 0 | 0 | 0 |

자료 : 마산시, 『구항지구 방재언덕 설치공사 기본 및 실시설계용역』, 2009

방재언덕의 폭과 높이를 결정하기 위하여 앞서 수치모형, 수리모형 실험결과를 종합한 결과는 다음과 같다. 검토방식 각각에 따라 세 가지 안을 구성했으며 공사비와 효과성을 고려하여 매립폭 70m, 마루높이 650㎝가 최종안으로 제안되었다.

|표 4-25| 방재언덕 제원 비교 결정

| 구분 | 허용월파량을 만족하는 조건 | | 비고 |
|---|---|---|---|
| | 마루높이(㎝) | 매립폭 | |
| 허용월파량에 의한 마루높이 | DL.(+)676 | - | 허용월파량 기준 : 0.01㎥/m·s |
| 월파량 실험 (CADMAS-SURF) | DL.(+)550<br>DL.(+)650<br>DL.(+)750 | 70m 이상<br>40m 이상<br>매립 불필요 | |
| 단면수리모형 실험 | DL.(+)550<br>DL.(+)650<br>DL.(+)750 | 100m 이상<br>70m 이상<br>매립 불필요 | |

자료 : 마산시, 『구항지구 방재언덕 설치공사 기본 및 실시설계용역』, 2009 재정리

앞서 제시한 마루높이와 매립폭에 대한 산정방식은 세 가지 기술적 검토방식에 따라 과학적으로 진행되었다고 할 수 있다. 단순 수식에서부터 수치모형, 그리고 수리모형 실험까지 진행하고 상호비교하여 신뢰성을 높이고자 한 점에 의미가 있을 것이다.

한편 이런 기술적 검토 과정에 다른 대안도 함께 검토할 필요가 있다. 즉, 항만 설계기준에서 제시된 허용월파량 중 어느 기준을 따를 것인가에 대한 부분이다. 설계기준에서 허용월파량을 배후지역의 특성에 따라 세 가지로 구분하여 제시하는데(<표 4-22>), 이번 방재언덕 실시설계 용역에서는 배후에 민가 및 배후시설이 밀집된 곳으로 월파나 물보라가 유입하면 중대한 재해가 예상되는 지역을 적용했다. 이 경우 허용월파량은 기준 중 가장 적은 0.01㎥/m·s이다. 그러나 현재의 설계대로라면 이 지역은 70m 폭의 공원으로 설계되었다는 점, 그리고 해수가 월파되어 70m 폭의 공원을 거쳐 현재의 시가지인 마산어시장이나 상업지구까지 다다를 경우 설계기준에서 정한 것과 같이 중대한 재해가 예상되는지 여부는 다시 살펴볼 부분이다. 특히 배후지역의 특성을 볼 때 태풍 등으로 월파의 가능성이 있을 경우 대부분 사전에 대피하거나 상업시설의 운영을 중단할 가능성이 높은 지역으

로 월파와 물보라가 절대로 유입되면 안 되는지 여부도 다시 검토할 부분이다. 만약 지역의 이해관계자가 허용월파량의 적용기준을 기타지역에 해당하는 수준으로 허용하는 것을 합의할 수 있다면 앞서 마루높이와 매립폭은 다른 결론을 낼 수 있다.

만약 지역사회에서 기타지역의 기준인 0.06㎥/m·s 정도의 월파량을 허용한다면, 우선 두 번째 산정방식인 수치모형 실험 결과에서는 매립폭 70m에 마루높이 450㎝도 허용할 수 있는 수준이며, 세 번째 2차원 단면 수리모형 실험에서도 마루높이 450㎝에서 매립폭 70m(월파량 0.0487㎥/m·s)는 물론 40m(0.0712㎥/m·s)까지도 가능한 수준이다.

이처럼 설계기준에서 정한 인자 중 지역적인 합의를 통해 적용을 달리할 수 있는 인자에 주목하면 현재의 과도하게 높다는 비판을 듣는 마루높이와 넓은 매립면적에 대한 재검토도 가능하다고 할 수 있다.

더욱이 앞서 제안된 모든 설계는 태풍 매미 때 발생한 파고를 기준으로 한 점도 검토할 부분이다. 물론 앞으로도 100년 빈도에 해당하는 제2의 태풍 매미가 마산만을 내습할 수도 있겠으나, 50년 빈도의 파고가 1.1m, 태풍 매미 내습시 파고가 2.1m로 그 차이가 1m에 달한다. 이는 우리가 기후변화에 따른 해수면 상승에서 100년 후 해수면 상승을 1m 전후로 잡는 것과 비교할 때 매우 의미 있는 수치라고 할 수 있다. 따라서 방재언덕이 대응하고자 하는 기상현상 즉, 태풍의 크기에 따른 발생확률이 결국 방재언덕의 규모를 결정하는 가장 중요한 요소라는 점에서 지역차원의 논의와 합의가 있다면 방재언덕의 높이나 매립 규모는 상당부분 조정될 여지가 있다.

### (3) 마산만 우수배제 및 해수범람 제어

마산만의 안쪽에 위치한 마산구항과 배후의 시가지는 오래된 구도심지역으로 지반고가 낮아 태풍에 의한 해일 피해는 물론 집중호우에 내수침

수도 함께 겪는 지역이다. 2009년 7월 16일 오전 집중호우로 도로 및 주택이 침수되어 피해가옥 137채, 피해액이 74억 원으로 집계되기도 했다(마산시, 2010). 구 마산시의 하수도정비기본계획에서는 이 지역을 상습침수지역으로 설정하여 항구적인 수해예방 대책을 제시하였다.

자료: 마산시, 『마산시 하수도정비기본계획(변경)』, 2010

**|그림 4-26|** 마산연안 주요 침수지역

하수도정비계획에 따르면 내수침수로 발생하는 침수현상은 대부분 관거의 통수능이 부족하거나 하천에 토사가 퇴적되어 하천 배제가 원활하지 않을 때 나타난다고 보았다. 또한 해안에 가까운 이마트·삼성전자 주변, 신마산병원 인근, 부영아파트 부지 인근 등에 대해서는 해수위가 상승하면

서 육지에 내린 우수를 배제하지 못해 침수되었다고 분석하였다. 앞서 살펴본 것과 같이 관거의 통수능력 부족과 외수위 상승에 따른 자연유하식 배제가 어려워지면서 시가지를 침수시킨 전형적인 사례이다. 마산시의 하수도정비기본계획에 따르면 관경이 큰 관거로 교체하거나 관로를 신설하여 유로를 변경하는 등의 사업을 실시할 예정이고, 해수위 상승으로 우수를 배제하지 못했던 부영아파트 부지 인근에는 빗물펌프장을 신설하기로 하였다(<표 4-26>).

|표 4-26| 마산만 주요 침수지역 해소대책

| 구분 | 침 수 원 인 | 해 소 대 책 |
|---|---|---|
| ① 석전사거리 일대 | 통수능 부족<br>외수위 상승 | 관 교체(관경 확대) |
| ② 양덕로 양덕광장 주변 | 통수능 부족 | 관 교체(관경 확대) |
| ③ 양덕로열린교회 인근 | 통수능 부족 | 우수관거내지장물(상수관)<br>이설 및 퇴적 콘크리트 제거 |
| ④ 양덕빗물펌프장<br>롯데제과 | 통수능 부족 | 관 교체(관경 확대)<br>양덕빗물펌프장 증설 |
| ⑤ 팔용1교 일대 | 토사 퇴적<br>팔용천 단면 부족 | 토사 준설,<br>팔용천 단면 확폭 |
| ⑥ 한우아파트 일대 | 통수능 부족<br>일부 저지대 도로 | 관 교체(관경 확대) |
| ⑦ 이마트·삼성전자 주변 | 외수위 상승<br>(내수배제불가) | 관 신설(유로변경) |
| ⑧ 중앙고교 인근 | 노면배수시설 미설치 | 관 신설 |
| ⑨ 만날고개길 일대 | 통수능 부족<br>일부 저지대 도로 | 관 교체(관경 확대)<br>토사 준설 |
| ⑩ 신마산병원 인근 | 통수능 부족<br>외수위 상승 | 관 교체(관경 확대) |
| ⑪ 부영아파트 부지 인근 | 외수위 상승 | 빗물펌프장 신설 |

자료: 마산시, 『마산시 하수도정비기본계획(변경)』, 2010

하수도정비기본계획에서 상습침수지역으로 평가된 마산 구항 배후지역에 대한 침수해소 대책이 제시되었지만 근본적으로 내수침수의 가능성을 완전히 배제할 수는 없다. 관거의 구경을 증가시키기는 했으나 최종적

으로 바다로 우수를 배제하는 기능에 대해서는 단지 시가지 외곽(부영아파트 부지 인근)에 빗물펌프장을 신설하는 것밖에 담지 못했기 때문이다. 저지대를 지나는 하수관거의 관경만을 확대하면 결국 확대된 관을 타고 우수가 모이는 곳에는 더 집중적이고 심각한 침수가 발생할 수 있다. 정비계획에서는 침수지역에 신설될 빗물펌프장 외에 별도의 저류지는 계획하고 있지 않았다. 빗물펌프장은 모아진 물을 배제하는 기능적인 특성상 충분한 용량의 저류지를 함께 가지고 있을 때 시가지의 침수 피해를 예방하는 데 효과적이다. 그럼에도 불구하고 이 지역에 저류지를 만들만한 공간이 없는 밀집된 시가지라는 점에서 어려움이 있는 것으로 보인다.

즉 지반이 낮은 현재의 구시가지에서 집중호우에 의한 침수 피해를 막기 위해서는 저류시설이 필요하지만, 과밀하게 개발되어 있는 해당지역의 특성상 충분한 규모의 저류시설을 만들 수 있는 공간이 없는 형편이다. 따라서 이 지역에서 침수현상을 줄이기 위해서는 첫째, 강우시 상류에서 흘러 내려오는 빗물을 발생원 또는 침수지역 외곽에서 저류 또는 체류할 수 있는 시설을 적극적으로 설치하여 저지대에 모이는 빗물의 양을 줄여주어야 하고, 두번째로는 침수지역에 모이는 빗물을 저장할만한 저류지를 만들어야 한다. 첫 번째 제안은 상류에 체류시설을 설치하는 방법으로 빗물을 모아둘 수 있도록 건물지붕이나 지하에 저류조를 만들거나 연못, 공원 등 공공 우수체류시설 공사를 통해 효과를 거둘 수 있다. 다만 도시 전체의 건물을 대상으로 하거나 공원 등 공공시설에 설치공사를 시행해야 하기 때문에 업무수요가 많을 뿐더러 상당한 기간을 두고 사업을 추진하여야 하기 때문에 그 효과도 제한적일 수 있다. 또한 발생원이라고 할 수 있는 건물에 신규설비를 하는 경우 건물소유자나 임대자의 반발도 예상되기 때문에 쉽게 이행되기 어려운 측면도 있다.

두 번째로 제안한 별도의 저류지 공간을 확보하는 문제는 현재 침수가 자주 되는 시가지 내에서는 이루어지기 어려운 제안이다. 그러나 앞서 제

안된 방재언덕 사업 등과 함께 검토하는 경우 가능할 수 있다. 현재 방재언덕은 적어도 그 높이가 약최저저조면에서 4.5m 이상 예상되고 해당 해역의 수심 2~3m만 고려해도 방재언덕의 총 매립 높이는 7~8m에 폭도 70m까지 제안된 상태이다. 매립 예정지역의 면적은 5만 8,000㎡로 매립지의 폭이 넓은 동서 방향으로만 해도 길이가 약 570m로 이곳에 방재언덕을 만들기 위해서는 상당한 양의 매립토가 소요된다. 따라서 상당한 규모의 공간이 발생하는 방재언덕의 지하에 적어도 높이 2m, 세로 40m, 가로 300m 규모의 저류시설을 설치한다고 가정하면 그 안에 약 2만 4,000㎥의 우수를 채울 수 있다.

유환희 외(2006)에서 마산 구항 배후지역을 중심으로 도시홍수모델을 이용하여 해안지역의 침수평가를 실시하였는데, 그 결과를 보면 해수위 2.1m 만조 시 100년 빈도의 강우가 왔을 경우 침수깊이가 11.3~29.8㎝로 예상되고, 같은 만조에서 150년 빈도의 강우가 왔을 경우 침수깊이는 15.8~32.9㎝로 증가한다. 150년 빈도에서는 침수면적이 90,027㎡로 평균 침수심을 25㎝로 가정하면 침수량이 약 2만 2,500㎥가 되는데 앞서 보수적으로 잡은 방재언덕 지하 저류시설의 용량 2만 4,000㎥보다 작다. 저류지가 모든 강우량을 다 저류할 필요도 없고 다만 일부라도 저류를 해준다면 마산 구항 배후 지역의 상습 침수현상도 완화될 수 있을 것이다.

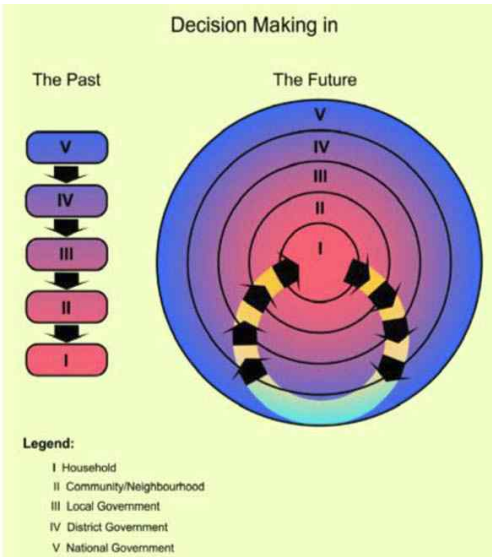
### 3) 사전예방적 공간관리 수단 적용

#### (1) 도시계획 분야 기후변화 대응의 의의 및 고려사항

기후변화 대응에서 도시계획 분야는 사전예방적(precautionary) 접근방법으로 기후변화 대응전략을 제시하는 데 이는 세계기구에서 선호하는 전략이다. 더구나 도시계획 수단을 활용하여 기후변화에 대응하는 것은 그렇지 않았을 경우보다 비용 측면에서도 매우 효과적이라는 사실이 널리 알려져 있어 많은 국가들이 기후변화 적응을 위한 효과적인 수단으로 활용하고 있다.

도시계획은 기본적으로 개별 도시 단위에서 수립하고 운용하기 때문에 기존 도시계획 수단을 기후변화에 대응에 활용하기 위해서는 도시정부의 의지와 역량이 중요하다. 또한 도시계획은 도시정부에서 일방적으로 수립하여 강제하는 것보다 계획수립 주체가 도시 구성원들과 거버넌스를 구성하여 지속적인 의사소통을 유지하는 것이 필요하며, 기후변화에 대응하기 위한 도시계획 수단 활용도 이와 마찬가지다.

최근 기후변화 대응에서 적응 분야는 중앙정부보다 도시정부가 중요하다는 인식에 따라 도시정부의 역할과 기능에 주목하고 있다. <그림 4-27>과 같이 도시정부 혹은 더 작은 행정단위가 기후변화에 따라 증가하는 침수위험 관리 주체로 나서고 있다. 과거에는 중앙-광역-지방-마을의 순서로 의사결정이 이루어졌다면 현재는 작은 공간·행정단위의 역할을 중심으로 상위 정부조직과 지속적인 순환과정 속에서 이루어진다. 기후변화 대응 중에서도 침수위험 관리는 개별 지역의 자연적, 사회경제적, 제도적 특성에 따라 달라지기 때문에 도시정부의 역할이 더욱 중요하다고 할 수 있다.




자료 : WMO, *Urban Flood Risk Management*, 2008, p. 34

**| 그림 4-27 |** 도시침수 관련 의사결정 방식

도시 차원의 기후변화 대응을 강조한 세계기구에서는 기후변화에 대응하기 위한 도시계획 수단으로 토지이용계획을 꼽으면서 <표 4-27>과 같이 고려사항을 제시하였다. 토지이용계획 수립 시 반드시 고려해야 하는 사항은 먼저 재해에 취약한 지역을 규명하고, 재해에 취약한 지역으로 분석된 지역에서 더 이상을 피해가 발생하지 않도록 개발행위를 관리하며, 재해취약성 및 토지이용에 대한 정보를 최신으로 유지하라는 것이다. 또한 아직 개발되지 않은 지역은 습지, 맹그로브 등 본래 자연이 갖고 있는 방재기능을 활용한 생태적 계획 접근방식을 권장하였다. 토지이용계획 수립 시 고려해야 하는 사항은 도시 여건에 따라 구체적인 방법과 형식을 다양한 형태로 유연하게 적용할 수 있다.

| Ⅱ 4-27 | 재해 대응 토지이용계획 수립 고려사항

| 기관 | 토지이용계획 수립 시 고려사항 |
|---|---|
| UNISDR (2011) | - 도시위험평가<br>- 위험지역 토지이용규제 실시<br>- 토지이용 유형 및 취약성 정보 유지<br>- 개발지역 및 주변지역 종합적 고려 |
| IBRD World Bank (2011) | - 도시 취약성 평가에 기반<br>- 재해 안전지역(resilient area)에서 개발밀도, 복합용도개발 장려<br>- 생태적 계획 접근방식(마을단위 유역 관리, 해안선 근처 맹그로브 및 습지 보전 등) 접목 |

재해에 대응한 토지이용계획을 수립할 때 고려할 사항은 세계은행이 작성한 도시차원의 침수대응전략(Cities and Flooding)에서 단계를 구분하여 구체적으로 제시하고 있다. 세계은행 침수대응전략에서는 침수위험관리(flood risk management)를 도시 토지이용계획 차원에서 다루는 절차 및 방법을 제시하였다. 제시된 절차는 토지이용계획을 수립하는 일반적인 절차와 유사하지만 주요 단계에서 침수 위험을 관리하기 위하여 고려해야 하는 사항을 제시한 점이 의미가 있다. 토지이용계획 수립 과정에서 침수위험관리를 고려하기 위한 핵심적인 사항은 대상지역의 침수위험도를 작성하고 침

수위험지역과 토지이용체계를 연계하는 것이라고 할 수 있다.

토지이용계획 수립 대상지역을 결정하고 기초적인 대상지 분석이 끝나면 침수확률에 근거한 침수위험도(Flood Hazard Map)를 작성하는 단계다. 침수위험도는 토지이용계획을 수립하는 계획가나 정책담당자가 침수위험 수준, 범위, 빈도 등을 쉽고 명확하게 이해하는 데 도움이 될 수 있다. 침수위험도는 대상지역의 기존 여건 분석을 바탕으로 작성하는 토지이용체계(Development Framework) 단계에서 긴밀하게 연계되며 공간을 기반으로 침수위험 요인을 토지이용의 유형, 기능 등을 설정해야 한다.

| Ⅲ 4-28 | 침수위험관리를 고려한 토지이용계획 수립 절차

| 단계 | | 주요 내용 |
|---|---|---|
| 1 | 대상지역 결정<br>**(Determine the Study Area)** | - 토지이용 상황, 자연환경, 행정체계 등 고려<br>- 주로 행정구역 단위(도, 시·군·구, 읍·면·동) 로 설정 |
| 2 | 대상지 분석<br>**(Site Analysis)** | - 기존 토지이용 상황, 자연환경 특성, 주요 기반시설, 건축물 분포 등 |
| 3 | 침수위험도 작성<br>**(Flood Hazard Mapping)** | - 침수 확률에 근거한 침수위험 구역을 구분<br>- 침수위험도를 통하여 위험 수준, 공간 범위, 빈도 등을 계획가 및 정책담당자 이해 |
| 4 | 토지이용 제약요인 및 관련 항목 분석<br>**(Land Use constraints/ inventory plan)** | - 토지이용에 영향을 미치는 자연적, 인공적 제약요인 분석<br>- 자연적 특성(절벽, 연안지역, 오픈스페이스, 보호지역 등), 개발형태 및 영향(hazardous industry, contaminated land) 분석 |
| 5 | 개발 프레임워크<br>**(Development Framework)** | - 토지이용체계(Zone)를 구성하는 단계<br>- 침수위험도와 연계<br>- 복합용도(mixed use), 다기능적(multi-functional) 고려<br>- 토지이용에 대한 목표와 비전<br>- 기반시설계획, 위험관리계획, 시민참여 등과 통합 |
| 6 | 개발 기준<br>**(Development Parameters)** | - 토지이용체계에 요구되는 최소기준에 대한 가이드라인<br>- 자연적, 환경적 특성 연계<br>- 개발압력 등 토지이용 변화 고려 필요<br>- 개발 입지선정, 최고 층고 등 기준 제시<br>- 개발과 배수체계 간 연계(침수취약지역 내 자연배수를 가로막는 개발 억제) |
| 7 | 의견수렴<br>**(Consultation)** | - 대상지역 거주자의 의견 수렴<br>- 토지이용 과정과 개발 시나리오 선택 |
| 8 | 규제·이행<br>**(Regulation/Implementation/Enforcement)** | - 개발에 대한 승인, 허가 시스템 |

자료 : IBRD World Bank, *Cities and Flooding*, 2011, pp. 329～339

침수위험 요인을 고려하여 토지이용체계를 구성하면 토지이용체계에 적합한 개발 기준을 마련해야 하는데 토지이용의 유형, 즉 용도지역별로 개발행위에 대한 기준을 설정하고 이때도 침수위험에 대한 요인을 고려해야 한다. 용도지역별 개발행위에 대한 기준에 적용할 수 있는 대표적인 기준은 개발과 자연적인 배수체계 연계, 취약지역 내 개발 입지, 규모 등 제한 등이라고 할 수 있다. 침수위험관리를 고려한 토지이용계획 수립 절차에서 주목할 점은 대상지역 주민과 지속적인 의사소통이 이루어져야 한다는 것이다. 계획수립 절차에서 주민의 의견수렴은 반드시 포함하는 절차이지만 형식적인 통과의례로 끝나는 경우가 많았다. 그러나 침수위험은 주민에게 재산상 피해는 물론이고 인적 피해도 유발할 수 있는 중요한 사안이며, 토지이용계획도 주민의 사회경제적 삶의 전반에 지대한 영향을 미치는 정책이므로 주민의 의견수렴이 중요하다. 끊임없이 변하는 토지이용 수요를 고려한다면 토지이용계획에서 주민의 참여는 지속적·반복적으로 이루어져야 한다.

마지막으로 토지이용계획의 실효성을 높이는 단계로 침수위험 요인을 고려하여 작성한 토지이용체계, 개발행위 관리 기준 등을 효과적으로 집행하는 것이다. 만약 도시정부 부서 간 통합이 미흡하거나, 예산이 부족하거나, 토지이용 관련 데이터가 부족하거나, 토지소유 및 사용 관련 법적체계가 충돌한다면 토지이용계획이 침수위험을 효과적으로 관리하는 데 한계가 있을 수 있음을 지적하고 있다. 그러면서 토지이용계획에 침수위험관리를 고려하는데 핵심적인 사항으로 “① 위험기반 평가는 모든 수준의 계획에서 중요하다”, “② 통합적 토지이용계획은 반복적인 과정이다”, “③ 토지이용체계와 개발 기준은 간결해야 한다”. “④ 토지이용계획의 실행이 중요하다” 로 제시하였다.

### (2) 도시계획 분야 기후변화 대응전략

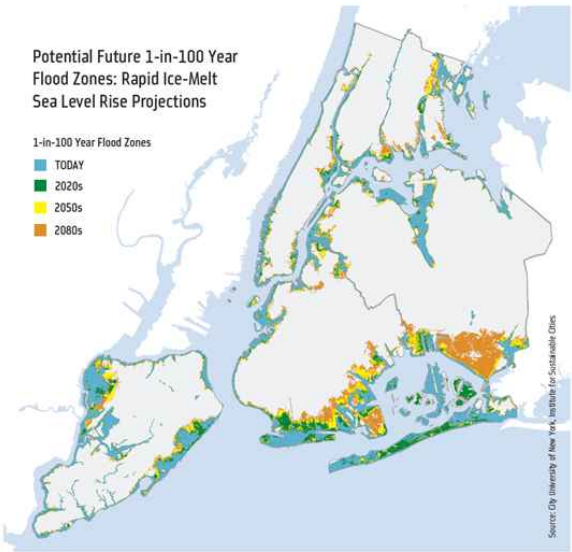
도시계획 분야에서 기후변화에 대응하기 위한 수단은 대부분 기후변화에 따른 재해 피해가 발생하기 전에 활용한다. 기후변화에 대응하기 위한 도시계획 수단은 새로운 것이 아닌 과거부터 도시계획 분야에서 사용한 수단이 대부분이다. 주요한 수단은 용도지역제(zoning), 후퇴 개발(setback), 재배치(relocation), 토지 매입(acquisition) 등이 있으며, 건축물 단위 대응이면서 도시계획과 연관된 수단으로 건축물 바닥 높이 상승(elevation)이 있다. 도시계획 수단을 검토하면서 인식할 점은 개별 도시계획 수단들이 독립적이지 않고 적용하는 과정에서 상호 연계된다는 것이다. 예를 들면, 용도지역제는 해당 도시 토지이용의 골격에 해당하기 때문에 후퇴개발, 재배치 등도 용도지역제 틀 안에서 적용하는 경우가 많다.

| 표 4-29 | 도시계획 기후변화 대응수단

| 수단 | 내용 | 적용 시기 |
|---|---|---|
| 용도지역제<br>(zoning) | - 침수영향 취약지역 구역 구분<br>- 건축물 종류, 크기, 밀도, 위치 등 제한 | 토지이용계획 수립 |
| 후퇴개발<br>(setback) | - 해역으로부터 일정거리를 육지방향으로 이격하여 개발<br>- setback 되는 지역에서 개발 제한 | 토지이용계획 수립<br>재건축 혹은 재개발 |
| 재배치<br>(relocation) | - 침수에 안전한 지역으로 건축물 이전<br>- 이전할 지역은 기존보다 개발밀도 상향 조정 | 재건축 혹은 재개발 |
| 토지 매입<br>(acquisition) | - 상습적인 침수 피해 발생지역에 적용 | 수시 가능 |
| 건축물<br>바닥높이 상승<br>(elevation) | - 1층의 경우 침수를 대비하여 비워두는 방법<br>- 용적률에 대한 인센티브 제공 | 기존 건축물 재건축 |

<표 4-29>에서 제시한 모든 도시계획 기후변화 대응 수단은 어느 지역이 침수에 위험한 지역인지를 명확하게 보여주는 침수위험도 작성이 선행

되어야 한다. 앞서 살펴본 해외 문헌(World Bank, UNISDR 등)에서도 도시계획 분야에서 침수위험에 대한 공간정보 구축이 필수적으로 선행되어야 한다고 강조하였다. <그림 4-28>은 뉴욕시 도시계획에서 작성한 침수예상도로 해수면 상승, 빙하해빙 등의 요인을 고려하여 2020년, 2050년, 2080년 기준 침수예상지역을 표시하였다. 뉴욕시는 해수면 상승 추이를 2020년에 2~5인치, 2050년에 7~2인치, 2080년에 12~23인치 상승하는 것으로 예측하였다. 또한 다른 지역과 달리 뉴욕시에서 해수면 상승 추이를 예측하는데 빙하 해빙을 별도로 고려하였다. 그린란드(Greenland)와 서측남극 빙상(West Antarctic Ice sheets)이 해빙되는 것도 포함할 경우 2020년에 5~10인치, 2050년에 19~29인치, 2080년에 41~55인치 상승하는 것으로 예측하였다.




자료 : The City of New York, *PlaNYC*, 2011, p. 155

**|그림 4-28|** 뉴욕시 침수예상도

뉴욕시에서는 침수예상도에 근거하여 건축규정(Building Code), 용도지역규정(Zoning Resolution)을 수정하도록 하였다. 즉 예측된 해수면 상승 및

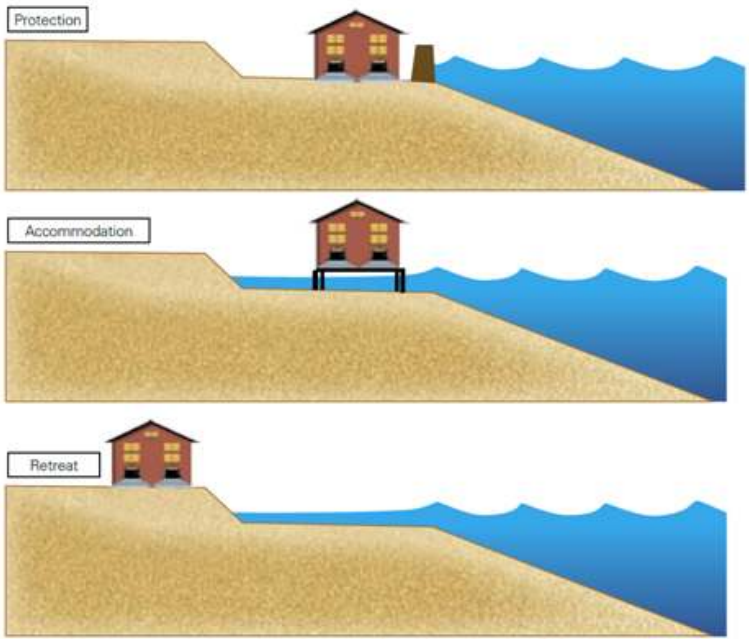
연안 폭풍해일에 따라 연안지역 용도지역 지정, 건축물 설치 등 공간관리 수단을 조정하도록 한 것이다.

기후변화에 대응하여 도시계획 분야에서 활용할 수 있는 대표적인 수단은 용도지역제(Zoning)라고 할 수 있다. 도시계획에서 핵심적인 공간관리 수단으로 활용되는 용도지역제는 도시 전체의 공간관리 방향을 결정하는 역할을 하며, 침수위험지역에 개발행위를 제한하는 용도지역제를 운용할 수 있다. 특히 우리나라 도시계획 수립 절차에서 토지의 용도를 지정하기 전에 실시하는 개발가능지 분석에서 침수위험 요인은 중요하게 고려할 수 있는 기준이 될 수 있다. 후퇴개발(Setback)은 UNESCO에서 "영구 식생과 같은 연안지역 특성을 기준으로 미리 정한 일정거리 안에서 전체 혹은 일부 개발이 제한되는 것[50]"으로 정의하였다. 후퇴개발은 침수위험지역에서 새로운 개발이나 재개발을 억제하여 피해를 사전에 예방할 뿐만 아니라 해변, 사구 등과 같이 자연적 재해저감 기능이 있는 지역을 보호하는 역할도 한다. 후퇴개발은 이미 개발이 완료된 지역에서 적용하기는 한계가 있으며 개발 수준이 낮은 지역이나 개발이 전혀 이루어지지 않았지만 침수위험이 예상되는 지역에서 적용할 수 있다.

재배치(Relocation)는 침수위험지역에 분포하는 건축물을 침수에 안전한 지역으로 이전하는 것을 말하는데 기존 건축물을 강제로 이전하는 것은 제약이 많아 해당지역에 재건축 혹은 재개발 등 토지이용에 관한 변화가 발생하였을 때 고려할 수 있는 수단이다. 토지매입(Acquisition)은 상습적으로 침수 피해가 발생하여 피해가 큰 지역을 정부가 직접 토지를 매입하는 것을 말한다. 토지매입은 단순하면서 명확한 침수 피해 예방 수단이 될 수 있지만 도시정부의 재정적 여건, 주민의 반발 등으로 실제 집행되기 쉽지 않

50) a prescribed distance to a coastal feature, such as the line of permanent vegetation, within which all or certain types of development are prohibited(UNESCO IOC, *Hazard Awareness and Risk Mitigation in ICAM*, 2009, p. 110.).

다. 다만 미개발 지역에서 미래 침수위험을 대비하여 적용할 수 있는 수단이 될 수 있다. 후퇴개발, 재배치, 토지매입 등이 현실적으로 어려운 개발지역에서는 건축물 바닥의 높이를 침수위 이상으로 높이는 방법을 적용할 수 있다. 건축물을 정비하거나 재건축할 때 적용할 수 있으며 건축물 높이, 밀도 등의 제한을 완화하는 조건이 병행되어야 한다.




자료 : UNESCO IOC, *Hazard Awareness and risk mitigation in ICAM*, 2009, p. 105

**|그림 4-29|** 주요 침수 대응전략

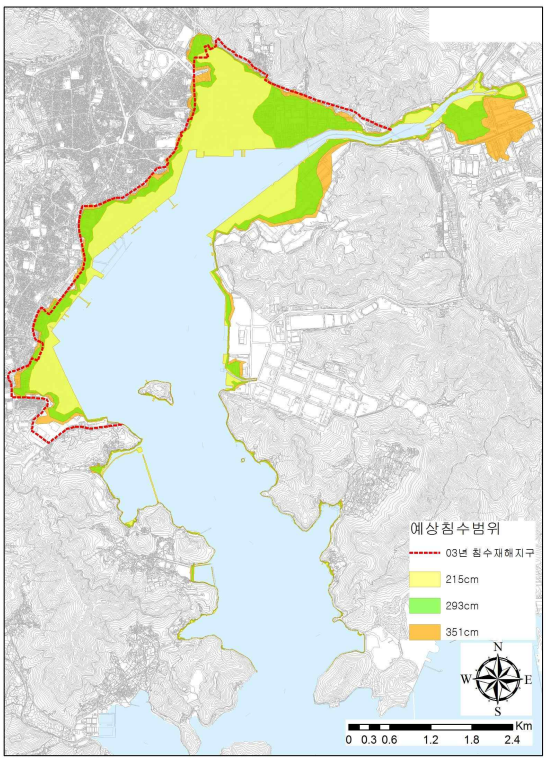
다음에서는 지금까지 살펴본 기후변화 대응 도시계획 원칙, 고려사항, 절차, 활용 수단 등의 타당성을 창원시를 사례로 분석하였다.

### (3) 창원시 기후변화 대응수단 적용

#### ① 침수예상도를 활용한 침수 위험 분석

##### 가. 침수예상 시나리오

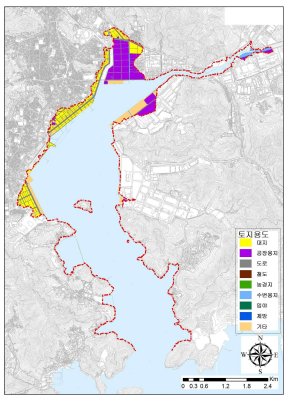
창원시 침수예상도는 3가지 시나리오를 기준으로 분석하였다. 3가지 시나리오는 첫째, 마산만에서 가장 높은 조위 상승폭을 보였던 태풍 매미 조위 215㎝, 둘째, 태풍 매미 상승폭에 해수면 상승 시나리오 RCP4.5(전 지구)에 의한 2100년 예상되는 해수면 상승폭 78㎝를 더한 조위 293㎝, 셋째, 태풍 매미 상승폭에 해수면 상승 시나리오 RCP8.5(우리나라)에 의한 상승폭 136㎝를 더한 조위 351㎝로 설정하였다.



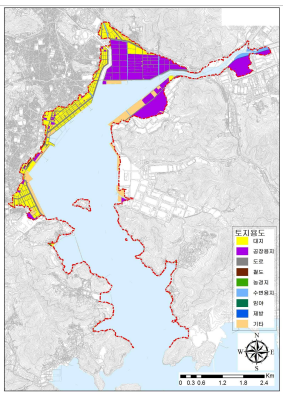

| 그림 4-30 | 해수면 상승 시나리오별 예상 침수범위

### 나. 침수예상지역 내 토지이용

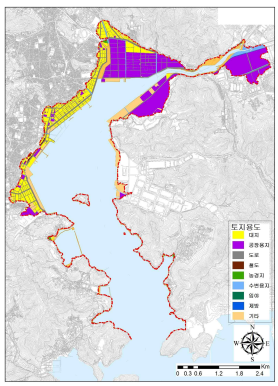
마산만은 조위가 215㎝ 상승할 경우 313만 9,000㎡, 293㎝ 상승할 경우 562만 3,000㎡, 351㎝ 상승할 경우 692만 7,000㎡이 침수되는 것으로 분석되었다. 351㎝ 상승할 경우 215㎝ 상승할 때보다 378만 8,000㎡ 더 침수되어 2배 이상 더 침수되는 것으로 나타났다. 침수예상지역에서는 공장용지, 대지, 도로로 이용되는 면적이 70% 이상으로 대부분을 차지하였다. 침수예상지역에는 주거지역, 상업지역, 공업지역, 자연녹지지역이 지정되어 있으며, 이 중에서 일반공업지역과 일반상업지역이 넓게 지정되어 있다. 일반공업지역은 조위 215㎝ 상승 시 145만㎡, 조위 293㎝ 상승 시 295만 1,000㎡, 조위 351㎝ 상승 시 377만 6,000㎡가 침수되며, 가장 많이 침수될 경우 전체 일반공업지역(3,420만 7,000㎡)의 11.0%가 침수되는 것으로 나타났다.




215㎝

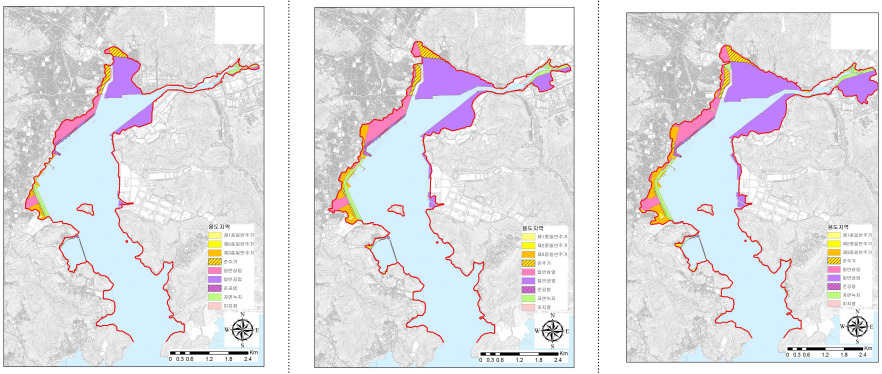



293㎝




351㎝

**| 그림 4-31 |** 침수예상 시나리오별 토지이용 현황



215㎝ 293㎝ 351㎝

**| 그림 4-32 |** 침수예상 시나리오별 용도지역 지정 현황

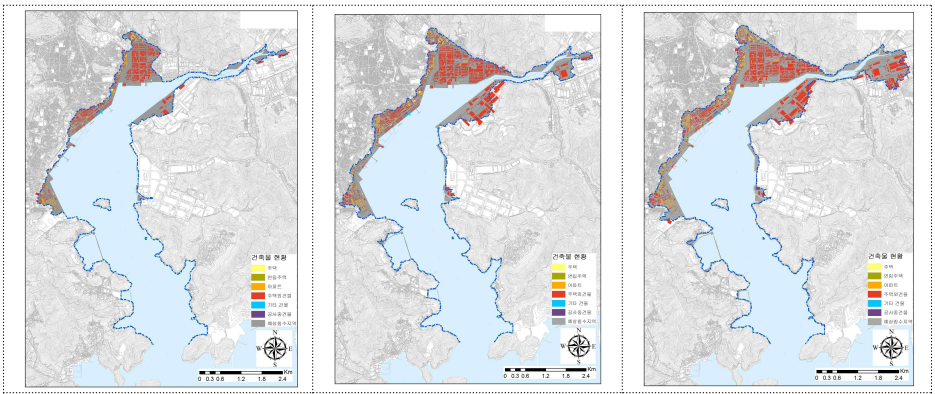
**| 표 4-30 |** 침수예상지역 토지이용 분석

단위 : ㎡

| 구분 | | 침수예상 시나리오 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 215㎝ | 293㎝ | 351㎝ |
| 침수면적 | | **3,138,682** | **5,623,006** | **6,926,895** |
| 토지이용 | 소계 | 3,138,682 | 5,623,006 | 6,926,895 |
| | 대지 | 756,756 | 1,230,457 | 1.421.371 |
| | 공장용지 | 858,968 | 2,042,601 | 2.729.273 |
| | 농경지 | 2,640 | 18,809 | 50.009 |
| | 수변용지 | 107,868 | 168,388 | 209.410 |
| | 도로 | 612,101 | 1,006,672 | 1.188.926 |
| | 제방 | 7,695 | 17,792 | 26.782 |
| | 임야 | 831 | 5,741 | 13.641 |
| | 기타 | 310,476 | 444,194 | 497,630 |
| 용도지역 | 소계 | 2,978,826 | 5,406,997 | 6,678,900 |
| | 제1종일반 | 16,488 | 35,649 | 55,264 |
| | 제2종일반 | 15,277 | 54,074 | 81,216 |
| | 제3종일반 | 137,506 | 413,482 | 545,076 |
| | 준주거 | 263,412 | 342,387 | 368,044 |
| | 일반상업 | 613,456 | 932,406 | 1,070,978 |
| | 일반공업 | 1,449,698 | 2,950,841 | 3,776,024 |
| | 준공업 | 136,766 | 158,366 | 165,956 |
| | 자연 | 283,748 | 432,695 | 520,574 |
| | 미지정 | 62,477 | 87,097 | 95,769 |

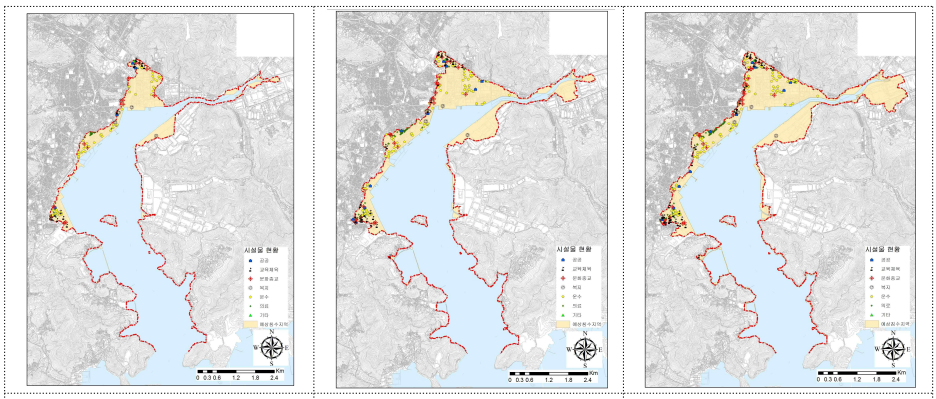
### 나. 침수예상지역 내 건축물 및 시설물

건축물은 조위 215㎝ 상승 시 2,717개소, 조위 293㎝ 상승 시 4,681개소, 조위 351㎝ 상승 시 5,582개소가 침수 침수되는 것으로 분석되었다. 351㎝ 상승할 경우 215㎝ 상승할 때보다 2,865개소 더 침수되었다. 침수되는 건축물은 대부분 주택 이외 건물이며, 많은 사람들이 거주하는 아파트의 경우는 조위 215㎝ 상승 시 47개소, 조위 293㎝ 상승 시 90개소, 조위 351㎝ 상승 시 99개소가 침수되었다.



215㎝ 293㎝ 351㎝

| 그림 4-33 | 침수예상 시나리오별 건축물 분포



215㎝ 293㎝ 351㎝

| 그림 4-34 | 침수예상 시나리오별 시설물 분포

| 표 4-31 | 침수예상 시나리오에 따른 예상 피해 규모

| 구분 | | 215㎝ | | 293㎝ | | 351㎝ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 면적(㎡) | 개소 | 면적(㎡) | 개소 | 면적(㎡) | 개소 |
| 건축물 | 소계 | 843,464 | 2,717 | 1,719,796 | 4,681 | 2,082,244 | 5,582 |
| | 주택 | 53,182 | 591 | 92,985 | 1,171 | 118,806 | 1,532 |
| | 연립주택 | 8,798 | 12 | 14,941 | 25 | 19,104 | 29 |
| | 아파트 | 40,397 | 47 | 67,505 | 90 | 72,574 | 99 |
| | 주택외 건물 | 716,010 | 1,998 | 1,506,948 | 3,250 | 1,828,672 | 3,737 |
| | 기타건물 | 19,329 | 64 | 31,073 | 139 | 36,017 | 177 |
| | 공사중건물 | 5,748 | 5 | 6,344 | 6 | 7,072 | 8 |
| 시설물 | 소계 | - | 240 | - | 403 | - | 446 |
| | 공공 | - | 4 | - | 10 | - | 11 |
| | 공업 | - | 19 | - | 48 | - | 63 |
| | 교육체육 | - | 18 | - | 37 | - | 49 |
| | 금융언론 | - | 12 | - | 22 | - | 28 |
| | 문화종교 | - | 13 | - | 24 | - | 28 |
| | 복지 | - | 10 | - | 12 | - | 12 |
| | 상업 | - | 11 | - | 12 | - | 14 |
| | 숙박 | - | 73 | - | 100 | - | 118 |
| | 운수 | - | 54 | - | 87 | - | 94 |
| | 의료 | - | 25 | - | 50 | - | 68 |
| | 기타 | - | 1 | - | 1 | - | 1 |

주 : 시설물은 수치지형에 표기된 명칭을 기준으로 분석하였기 때문에 하나의 시설물에는 여러 개소의 건축물이 포함된 경우가 많고 주택은 제외되었음. 예를 들면 1개의 공장에는 여러 동의 건축물이 분포하여 건축물 수는 시설물보다 많음

### ② 침수위험을 고려한 용도지역 지정 기준 마련

침수위험을 고려한 용도지역제를 운영하기 위해서는 용도지역을 결정하기 위한 각 단계에서 침수위험 요인을 포함해야 한다. 도시계획 수립 절차에서 용도지역을 결정하기 위한 주요 단계는 ‘토지현황분석’, ‘도시기본계획상 용도구분’, ‘도시관리계획상 용도지역·지구 지정’이라고 할 수 있다. 먼저 도시기본계획 수립 단계에서 실시하는 토지현황분석에서는 토지

의 개발가능 여부를 분석하여 기개발지, 개발가능지, 개발억제지, 개발불가능지로 구분하지만 도시기본계획 수립 지침에 명확한 기준이 없어 도시계획 수립권자의 역량과 의지에 따라 달라진다.

창원시의 경우 개발가능지 분석 기준에서 개발 억제지의 경우 주로 농업, 산지, 생태자연도, 보호구역 등을 기준으로 분석하였고 연안지역의 특성이나 침수위험 요인을 전혀 고려하지 않았다. 개발가능지 분석은 용도지역을 결정하기 위한 처음 단계에 해당하므로 침수위험 요인을 반드시 반영할 필요가 있고 앞서 분석한 창원시 침수예상도가 좋은 기준이 될 수 있을 것이다. 그 다음 단계는 개발가능지 분석 결과를 바탕으로 용지(시가화용지, 시가화예정용지, 보전용지)를 구분하는데 이때도 침수위험 요인을 용도구분의 중요한 기준으로 삼아야 한다. 도시기본계획 수립지침에서는 상습수해지역이 빈발하는 지역은 보전용지로 지정하도록 하였으나 창원시는 이에 대한 기준이 포함되지 않았다. 매립지를 중심으로 침수 위험이 큰 지역은 보전용지로 지정할 필요가 있으며, 만약 이미 상당한 개발이 진행된 지역의 경우는 시가화용지 혹은 시가화예정용지를 지정하더라도 도시관리계획에 의해 지정하는 용도지역·지구 지정 시 보전성격의 용도지역이 지정될 수 있는 기준이 포함되어야 한다.

도시관리계획을 통하여 구체적인 용도지역·지구가 결정되는데 도시관리계획 수립지침에서는 상습수해지역에 보전녹지지역을 지정하도록 권고하고 있다. 창원시 침수예상지역에서는 침수 피해 예방을 목적으로 보전녹지지역이 지정된 지역이 없으며, 보전녹지지역을 지정하더라도 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 및 창원시 도시계획조례에서 침수에 취약한 시설의 개발을 허용하고 있어 보전녹지지역 지정의 효과가 낮다. 보전녹지지역의 실효성을 강화하기 위하여 용도지구인 방재지구를 지정하여 허용되는 개발 수준을 낮출 수 있다, 그러나 방재지구 지정이 의무 사항이 아니고 행위제한이 수반되므로 도시 차원에서 자발적으로 방재지구를 지정하는

사례가 적고 창원시 또한 방재지구가 지정된 지역이 없다.

창원시 마산만 지역은 태풍 매미로 큰 피해를 받았을 뿐만 아니라 가장 낮은 수준의 해수면이 상승한다고 가정하더라도 침수 피해가 발생할 가능성이 크지만 도시계획 차원의 대응은 거의 없다고 할 수 있다. 현재 용도지역제를 활용하여 침수위험을 관리하는 데 한계가 있으나 용도지역·지구를 지정하기 위한 주요한 도시계획 절차에서 침수위험 요인을 적극적으로 고려할 필요가 있다. 무엇보다 침수예상도를 기초로 상습적이고 극심한 피해 지역은 방재지구를 지정하여 관리할 필요가 있고, 자연재해대책법에 의한 자연재해위험지구 중 해일위험지구도 보완적으로 활용할 필요가 있다.

### ③ 침수 취약시설 재배치(Relocation)

침수에 취약한 시설을 재배치하는 방법은 영국의 사례를 참고할 필요가 있다. 영국 도시계획 수립지침에 해당하는 계획정책지침(Planning Policy Statement) 25 '개발과 침수 위험(Development and Flood Risk)'에서는 <표 4-32>와 같이 침수위험에 취약한 정도에 따라 건축물을 분류하였다. 건축물 분류 유형은 '필수 기반시설(Essential Infrastructure)', '매우 취약한 시설(Highly Vulnerable)', '취약한 시설(More Vulnerable)', '덜 취약한 시설(Less Vulnerable)', '친수시설(Water-compatible development)' 5가지로 구분하였다. 필수 기반시설은 되도록 침수취약 지역에 입지하는 것을 억제해야 하지만 기반시설 특성상 입지가 필요할 경우는 별도의 검증 과정을 거쳐 입지할 수 있다.

| Ⅱ 4-32 | 침수위험 취약성 건축물 분류(Flood Risk Vulnerability Classification)

| 침수 정도 | 범위 |
|---|---|
| 필수 기반 (Essential Infrastructure) | 필수 교통시설(대규모 대피통로 포함),발전소, 변전소, 정수처리시설 등 |
| 매우 취약 (Highly Vulnerable) | 경찰서·응급실·소방서·통신시설(침수시 운영하는 경우), 지하 거주지, 이동주택, 위험물질이 포함된 시설 설치 등 |
| 취약 (More Vulnerable) | 병원, 감옥, 고아원, 사회보호소, 주택, 교육시설, 기숙사, 호텔, 쓰레기처리시설, 위험물 관리 시설 등 |
| 덜 취약 (Less Vulnerable) | 경찰서·응급실·소방서(침수시 운영하지 않을 경우), 쇼핑시설, 금융시설, 업무시설, 공업시설, 레저시설, 농업시설 및 농지, 임업시설 및 산림, 폐기물처리시설, 정수처리시설(침수시 운영하지 않을 경우), 하수처리시설 등 |
| 친수 (Water-compatible development) | 홍수예방시설, 상·하수 전달 및 펌핑시설, 모래 및 자갈 처리시설, 항해시설, 부두, 마리나, 조선시설, 친수레저시설, 자연보호시설 등 |

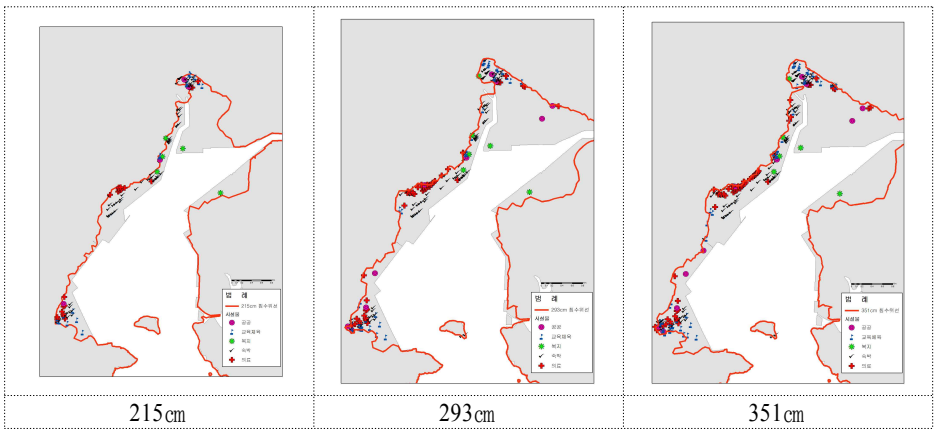
자료 : Her Majesty's Stationery Office, *Planning Policy Statement 25; Development and Flood Risk*, 2010, pp. 25~26

영국의 침수위험 취약성 건축물 분류에 따라 창원시 침수예상지역에 분포하는 시설물은 구분하면 <표 4-33>와 같다. 침수예상지역에는 침수에 매우 취약한 시설물로 치안, 행정 등을 담당하는 공공기관이 분포하고, 조위 상승폭이 가장 큰 351㎝에서는 11개 매우 취약한 시설물이 분포하는 것으로 나타났다. 침수예상지역에 분포하는 취약 시설물은 교육시설, 복지시설, 숙박시설, 의료시설 등으로 조위 상승폭이 가장 큰 351㎝에서는 247개 시설물이 분포한다. 취약 시설물 중에서는 숙박시설, 의료시설, 교육시설 등이 많이 분포한다. 특히 의료시설은 조위가 215㎝에서 293㎝로 올라갈 때 2배가 증가하는 것으로 나타나 창원시에서 의료시설의 취약성에 주목할 필요가 있다.

| 표 4-33 | 침수예상지역 시설물 분포 현황

| 취약성 | 시설물 | | 시나리오별 시설물 수 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 215㎝ | 293㎝ | 351㎝ |
| | 대분류 | 소분류 | 240개 | 403개 | 446개 |
| 매우 취약 (Highly Vulnerable) | 공공 | 지행행정,치안행정,기타행정, 정부투자기관 | 4 | 10 | 11 |
| 취약 (More Vulnerable) | 교육체육 | 학교, 유치원, 도시관, 실내체육관, 학원 | 18 | 37 | 49 |
| | 복지 | 아동복지 및 사회복지시설 | 10 | 12 | 12 |
| | 숙박 | 호텔, 여관, 콘도미니업 등 | 73 | 100 | 118 |
| | 의료 | 병원 | 25 | 50 | 68 |
| | 소계 | - | 126 | 199 | 247 |
| 덜 취약 (Less Vulnerable) | 금융언론 | 은행, 협동조합, 보험회사 | 12 | 22 | 28 |
| | 문화종교 | 교회, 성당, 절, 공회당 | 13 | 24 | 28 |
| | 상업 | 시장, 백화점, 관광음식점 | 11 | 12 | 14 |
| | 운수 | 고속버스·시외버스터미널, 자동차정비수리소, 주유소 | 54 | 87 | 94 |
| | 공업 | 공장, 변전소 | 19 | 48 | 63 |
| | 기타 | 창고, 배수장, 정미소, 축사 | 1 | 1 | 1 |
| | 소계 | - | 110 | 194 | 228 |

주 : 1) 창원시 건축물 분류는 대분류 수준에서 영국과 일치시켰으나 소분류에서는 차이가 있음
2) 건축물 혹은 시설물의 취약성 정도는 해당 지역의 재해 특성, 건축물 설치 및 관리 여건, 재해관리제도 수준 등에 따라 달라질 수 있으나 창원시 시설물의 취약성 분류는 영국의 분류 기준을 준용하였음




|그림 4-35| 침수예상지역 내 침수 취약 시설 분포 현황

영국에서 침수구역은 하천지역과 연안지역으로 구분하여 침수확률을 기준으로 제시하였다. 연안지역의 경우, 침수확률이 가장 낮은 ZONE 1은 연간침수확률 0.1% 미만, ZONE 2는 0.5～0.1%, ZONE 3a는 0.5% 이상, ZONE 3b는 0.5% 이상이면서 극한홍수가 0.1% 이상인 지역을 말한다(<표 4-32> 참고).

| 표 4-34 | 영국 침수구역 분류

| 유형 | 범위 |
|---|---|
| ZONE 1 | 홍수가능성이 작은 지역 : 연간 침수확률이 0.1% 미만인지 |
| ZONE 2 | 홍수가능성이 중간 수준 지역 : 연간 침수확률 하천1~0.1%지역, 연안 0.5~0.1% 지역 |
| ZONE 3a | 홍수가능성이 높은 지역 : 연간 침수확률 하천1% 이상 지역, 연안 0.5% 이상 지역 |
| ZONE 3b | 홍수발생 시 물이 흐르거나 고이는 지역 : 연안 침수확률 5% 이상, 극한홍수 0.1% 이상 지역 |

자료 : Her Majesty's Stationery Office, *Planning Policy Statement 25; Development and Flood Risk*, 2010, pp. 22～24

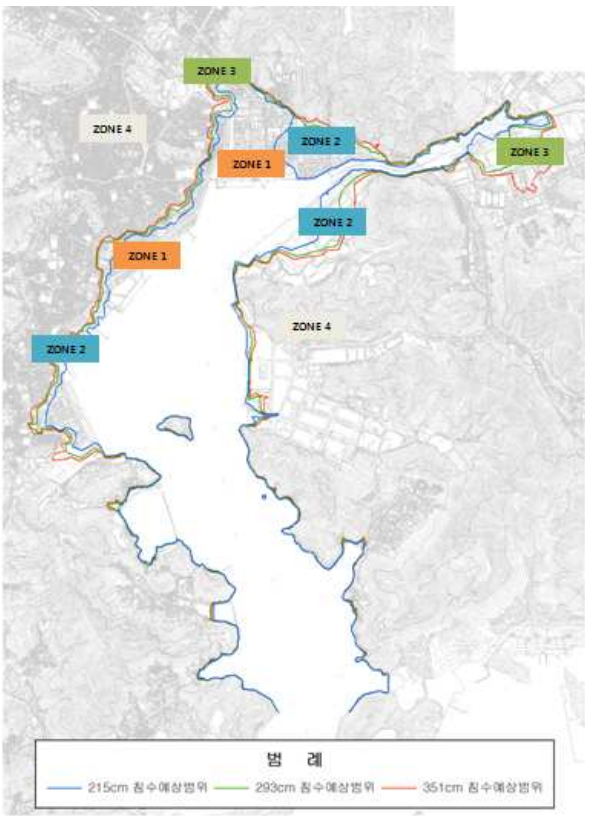
연안 침수확률을 기준으로 구분한 침수구역에서는 <표 4-35>와 같이 건축물의 침수취약성 정도에 따라 적합 여부를 명시하였다. 예를 들면 침수확률이 높아 많은 피해가 예상되는 ZONE 3a 지역에서는 친수시설이나 덜 취약(Less Vulnerable)한 시설만 입지할 수 있다.

| 표 4-35 | 영국 침수구역별 적합시설 구분

| 침수지역 | 필수 기반 | 친수 | 매우 취약 | 취약 | 덜 취약 |
|---|---|---|---|---|---|
| ZONE 1 | 적합 | 적합 | 적합 | 적합 | 적합 |
| ZONE 2 | 적합 | 적합 | 예외검증 필요 | 적합 | 적합 |
| ZONE 3a | 예외검증 필요 | 적합 | 금지 | 예외검증 필요 | 적합 |
| ZONE 3b | 예외검증 필요 | 적합 | 금지 | 금지 | 금지 |

자료 : Her Majesty's Stationery Office, *Planning Policy Statement 25; Development and Flood Risk*, 2010, p. 27

영국 사례를 참고하여 창원시에서 태풍 매미 상승 조위와 해수면 상승 모형에 근거한 조위 상승 시나리오를 기준으로 <표 4-36>와 같이 4가지 구역으로 구분하는 것을 생각해 볼 수 있다. ZONE 1은 침수에 가장 취약한 지역을 말하며, ZONE 4는 침수에 안전한 지역으로 침수에 취약한 시설이 이전하도록 권장할 수 있는 지역이라고 할 수 있다. 그러나 ZONE 1의 경우 313만 9,000㎡에 해당하는 지역으로 마산만 주요 개발지역이 포함되므로 침수위험 관리의 현실성을 감안할 때 구역을 세분하는 방안도 고려할 수 있다. 예를 들면, 매립 여부, 침수방어 시설 유무, 내수배제 여건 등을 고려하여 ZONE 1에서도 세분하여 지정할 수 있을 것이다.




| 그림 4-36 | 창원시 침수구역 구분도

| 표 4-36 | 창원시 침수구역 구분(안)

| 침수구역 유형 | 조위 상승 | 기준 |
|---|---|---|
| ZONE 1 | 215cm 미만 | 태풍 매미 시 상승 조위 |
| ZONE 2 | 215～293cm | 21c말 전 지구 평균 해수면 상승 전망<br>RCP4.5(78cm) + 태풍 매미 |
| ZONE 3 | 294～351cm | 21c말 우리나라 평균 해수면 상승 전망<br>RCP8.5(136cm) + 태풍 매미 |
| ZONE 4 | 351㎝ 이상 | - |

영국 사례와 같이 창원시에서도 침수구역별로 입지가 가능한 시설을 분류하여 침수위험을 관리할 수 있다. 그러나 개발된 지역에서는 침수에 취약한 시설이 상당수 분포하고 있기 때문에 <표 4-37>에서 제시된 기준에 따라 침수위험을 관리하는 데 한계가 있다. 그렇기 때문에 창원시 마산만 지역과 같이 개발이 많이 진행된 지역은 중·장기적으로 시설물의 재배치를 고려할 수 있다. 예를 들면, 침수에 취약한 시설일수록 시설물의 이전 요인이 발생할 경우 ZONE 1과 같이 침수에 안전한 지역으로 이전을 계획할 수 있을 것이다.

| 표 4-37 | 창원시 침수구역별 적합시설(예시)

| 침수구역 유형 | 필수 기반 | 친수 | 매우 취약 | 취약 | 덜 취약 |
|---|---|---|---|---|---|
| ZONE 1 | 적합 | 적합 | 적합 | 적합 | 적합 |
| ZONE 2 | 적합 | 적합 | 별도 검증 | 적합 | 적합 |
| ZONE 3 | 별도 검증 | 적합 | 금지 | 별도 검증 | 적합 |
| ZONE 4 | 별도 검증 | 적합 | 금지 | 금지 | 금지 |

주 : 영국에서 제시한 기준을 인용한 것으로 실제 적용가능한 기준을 작성하기 위해서는 우리나라 관련 법률, 건축물 특성, 지자체 관리여건 등을 고려하여 추가의 연구가 필요함

### ④ 후퇴개발(Setback) 및 토지 매입(Acquisition)

후퇴개발은 침수에 의한 피해를 사전에 예방할 수 있는 수단이며 인공구조물에 의한 대책이 초래하는 환경적, 경제적 문제를 극복하는 방법이 될 수 있다. 이미 개발이 진행된 지역에서 후퇴개발을 적용하기에는 현실

적인 제약이 커 실행하기 어렵지만 넓은 지역을 일시에 적용하기보다 단지 규모의 개발 시 침수가 예상되는 지역을 중심으로 후퇴개발을 적용할 수 있을 것이다. 후퇴개발을 권장하기 위해서는 후퇴개발에 따른 토지이용 상 인센티브를 제공할 필요가 있다. 예를 들면, 침수에 취약한 해역 방향 토지의 일정거리를 녹지로 조성할 경우 건폐율 혹은 용적률을 높일 수 있는 규정을 적용하는 방안도 검토할 수 있다. 작은 규모에서 후퇴개발은 지구단계획에서 충분히 가능하며, 각 지구마다 다양한 형태의 후퇴개발이 적용될 수 있을 것이다.

만약 재해피해가 상습적이고 극심한 지역은 도시정부 등 공공 부문에서 토지를 매입하는 방안도 고려할 필요가 있다. 재해에 취약한 지역은 매입하여 방재기능과 친수기능을 할 수 있는 공원 및 녹지를 조성하고, 해당 지역에 있던 기존 시설물은 안전한 지역으로 이주하는 것을 생각할 수 있다. 공공에서 매입한 재해취약지역은 공원 및 녹지로 조성하여 재해 예방 기능과 함께 주민에게 쾌적한 공간을 제공하는 기능도 수행하는 장점이 있다. 이때 매입 지역은 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」상 도시공원, 완충녹지를 지정하여 관리할 수 있다.

### (4) 도시계획 분야 기후변화 대응전략 한계

침수위험을 관리하기 위하여 전 세계적으로 용도지역제, 재배치, 후퇴개발 등과 같은 다양한 도시계획 수단을 활용하고 있지만 다양한 한계점이 있다. 첫째, 기후변화에 대응한 도시계획 수단 적용은 비교적 장기간이 소요된다. 기후변화에 대응하기 위하여 적용하려는 도시계획 수단은 인공 시설물 설치와 같이 단기간에 실행하기가 어렵다. 침수에 취약한 지역이라도 기존에 개발된 지역일 경우에는 많은 건축물이 입지하고 많은 사람들이 사회경제적 활동을 활발하게 하고 있어 전면적으로, 단기간에 도시계획 수단

을 적용하기 어렵다. 이와 같은 도시계획 특성을 감안한다면 과거 공간이용 패턴을 수용하면서 점진적인 개선을 해야 하며 건축물 단위, 소규모 지역 등 단기간에 적용할 수 있는 지역부터 적극적으로 기후변화에 대응한 도시계획 수단 적용이 필요하다.

둘째, 도시계획 수립 및 집행과 관련한 인적자원의 역량이 중요하다. 제3장에서 살펴본 것처럼 도시계획 분야 기후변화 대응은 도시계획을 수립하고 집행하는 인적 자원의 역량이 중요하다는 것을 전제한다고 할 수 있다. 기후변화에 대응한 도시계획 대응수단을 만들고, 집행하는 사람의 역량이 낮거나, 대응수단의 적용 대상이 되는 시민들의 이해와 수용 의지가 낮다면 기후변화에 대응한 도시계획 수단의 본래 취지가 실제로 발휘되기란 불가능하기 때문이다. 이런 이유로 도시계획 분야에서 기후변화 대응수단을 기계적으로 이식하는 것은 효과적이지 못하며, 도시별 사회경제적, 제도적 여건 등이 충분히 고려되어야 하며 이때 도시계획과 관련한 이해당사자의 역량, 참여, 협력 등이 중요하다는 것이다.

셋째, 도시계획은 공간관리에 관한 종합적인 정책과정이다. 도시계획을 단순히 연안재해에 취약한 지역을 평가하고 취약지역에서 건축물이나 시설물 설치를 제한하는 것이라고 단순하게 생각할 수 있다. 그러나 도시계획 제도를 활용한 기후변화 적응정책은 다른 분야에 대한 고려도 함께 되어야 한다. 예를 들면, 토지이용계획도 단순히 물리적 조치만을 고려하지 않고 물리적 대응으로 영향을 받는 부문에 대한 고려가 필요하다. 즉 토지이용계획과 영향을 주고받는 부문이 무엇인가를 따져보는 것이 중요하다. IPCC(2012)도 토지이용계획만으로 재해위험에 대응하는 것이 효과적이지 못하기 때문에 세금제도, 보험, 배수체계, 하수시스템 등 연계되는 분야와 통합적으로 고려되어야 한다고 하였다.

### 4) 연안지역 재해보험을 통한 경제적 접근

앞서 시나리오별 침수 예상도를 보여주는 <그림 4-30>를 보면 인구밀집지역인 마산만의 경우 장기적으로 기후변화의 요인에 따른 침수가 발생하는 경우 공단, 공동주택, 주택 등에 대한 직간접적 피해가 발생하며, 주로 마산합포구와 마산회원구의 공단지역에 집중되는 것을 알 수 있다. 따라서 기후변화에 대한 자율적인 대응능력을 높이고 사회전체에 손해를 야기할 수 있는 위험을 감소시키기 위해서는 풍수해보험과 같은 자연재해에 대한 보험 가입의 확대를 유도할 필요가 있다. 기본적으로 재해로 인한 사유재산 피해는 사전에 국가가 예측하고 사후 보상을 마련하는 것이 실제로는 불가능하며 국가에 의한 피해구제가 늘 바람직하기만 한 것은 아니다. 따라서 기후변화에 따른 위험 노출에 대해 지속적인 제도 홍보를 시행하여 장기적으로는 정책 보험의 가입을 의무화하는 방안이 요구된다.

우리나라의 경우 풍수해보험에 대해서 일반 가입자의 경우 전체 보험료의 40%만을 부담하고 나머지는 국비와 지방지에서 지원을 받는 구조로 운영되고 있으나, 올해 2012년의 경우 소방방재청이 확보한 2012년도 예산 90억 원이 지난 9월로 모두 소진되어 9월 20일부터 12월 31일까지 풍수해보험의 가입이 중지되기도 하였다.[51] 따라서 이 기간 기존 보험계약자가 재가입을 해야하는 경우 실질적으로 재가입이 어려운 문제가 발생하는 등 풍수해보험과 관련해서 재원확보 문제가 중요하게 대두되는 상황이다. 따라서 단기적으로는 기후변화의 영향을 추정하고 재해 취약성에 따라 지역별로 우선순위를 선정하여 가입을 유도할 필요가 있으며, 점차 관련 지원 예산의 확보노력이 요구된다. 그러나 보험제도 존립의 근간이 되는 자기책임성의 원칙에서 벗어나는 이러한 형태의 보험료 지원제도는 재해발생 유

51) 소방방재청 공고 제2012-225호.

무에 따라 보험사측의 손해율 변동이 극심하게 발생하는 문제를 지닌다. 따라서 평소 손해율이 낮더라도 한 번의 재해 발생으로 매우 높은 손해율이 발생할 수 있고 이 경우 장기적으로 제도의 유지에 어려움을 겪을 수 있음에 유의할 필요가 있다. 특히 수년간 재해발생이 나타나지 않을 경우 합리적 경제활동에 따른 자발적 선택으로 인식하지 못하는 경제주체들은 보험 가입을 정부의 강제에 따른 조세의 한 유형으로 판단하고 이를 벗어날 가능성이 크다. 뿐만 아니라 2012년도와 같이 태풍 내습이 발생하는 경우 다시 보험가입율의 급증으로 정부예산지원의 조기소진 현상이 생길 가능성도 제기된다. 따라서 안정적인 제도의 유지를 위해서는 정책 보험으로써 점진적으로 가입을 의무화하는 정책의 추진이 요구된다.

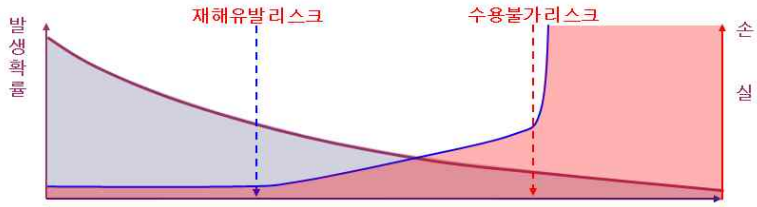
공공부문이 기후변화에 보다 효과적으로 대응하고 민간의 참여를 유도하기 위해서 얼마만큼 적극적으로 개입해야 하는가에 대해서는 아직 여러 논의가 진행 중이다. 실제로 미국 플로리다 주에서는 2005년 허리케인 카트리나(Katrina)의 내습 이후 보험요율의 상승 필요성이 제기되어 왔으나 지역주민의 부담 증가를 우려한 정책당국과 마찰을 빚기도 하였다. 민간보험회사 입장에서는 당국이 제시한 보험요율로는 서비스를 제공할 수 없다고 판단하여 시장 철수를 결정하였으며, 이는 결과적으로 주정부에서 지원하는 기금만으로는 연안지역 주민에게 재해대응수단을 충분히 제공하지 못하는 결과를 야기하기도 하였다(LeBlanc and Linkin, 2010, p. 116).

또한 전통적인 재해위험 예방차원의 대책에서 벗어나 보다 진일보한 위험관리와 비즈니스 연속성관리(BCM) 차원에서의 대비가 이루어질 수 있도록 국가적 지원이 제공되어야 한다. 마산시와 같은 사례지역의 경우 일반주거지 외에도 국가경제의 생산·물류의 거점인 중요 공단이 다수 포함되어 있음을 알 수 있다.

전통적인 리스크 관리에 있어서 작은 규모의 리스크는 발생확률이 높

지만 그 손실은 반비례하는 관계를 가진다. 작은 규모의 리스크에 대처하는 방법은 주로 예방과 대비에 해당한다. 주로 구조물에 의존하는 만큼 부가적인 활동을 요구하지 않으며 도시와 시설 자체가 방어체제를 갖추고 있다. 이는 통계에 근거한 자연외력을 바탕으로 적합한 설계기준과 그에 따른 구조물을 통한 방어로 이른바 구조적 대책(structural measure)으로 알려진 방법이며, 피해를 억제하고자 하는 '방재(disaster prevention)'에 기반하는 대책이기도 하다. 우리나라 임해지역에 위치하는 대부분의 공단지역은 이러한 작은 규모의 재해 리스크에는 충분한 대비를 하고 있거나 방어가 가능한 인프라를 갖추고 있다.

위험 기상의 수준이 점차 높아지고 있는 가운데 오래된 도시일수록 그 설계기준은 실제 자연 현상을 만족하지 못하며 때로 그 수준을 상회하는 기후사상(event)이 발생하고 있다. 태풍의 세력이 강해지고 있으며 강우강도가 높아지고 있고 그동안 발생하지 않던 대규모 지진이 도심을 강타하는 가운데 기존 시설물이 가진 내력 또는 방어능력으로는 이를 감당해 내지 못하는 수준에 이르렀다. 강풍을 견디지 못하는 구조물과 제방을 월류하는 홍수, 안전을 보장하지 못하는 건축물의 구조적 내력에 대비하여 인간은 대피하고, 재난을 진압하며 인명을 구조・구급한다. 또한 피해 확대를 차단하기 위한 대응과 긴급복구 등 부가적인 노력을 기울이게 되었다. 이렇게 구조적인 방어에 더하여 즉각적인 대응이 요구되는 활동을 엄밀한 의미에서 리스크 관리 활동이라고 하며, 피해 경감을 위한 '감재(disaster reduction)'에 기반하는 대책이라고 볼 수 있다.




| | 小 ← 재해외력 → 大 | | |
|---|---|---|---|
| 피 해 | 무재해/소규모 재해 | 상당한 재해/재해지역선포 | 재앙/Nat. CAT Loss |
| 목 표 | 피해 억제 | 피해 경감 | 금융/파이낸싱 |
| 대 처 | 구조물 | 리스크관리(狹義) | 보험/데리버티브 |
| 전 략 | 방재 | 감재 | 연속 |
| 방 안 | 예방, 대비 위주 | 대응, 긴급 복구 위주 | 복원, 연속성 위주 |

자료 : 河田惠昭,『首都圈直下地震の被災様相の特徵と地震防災計画』, 2007

**|그림 4-37|** 리스크 관리 기준의 변화

주요 공단이 입지하여 생산의 거점이 되고 있는 시설은 경제적 역할이 민간 차원에 머물고 있다 할지라도 국가 경제에서 차지하는 위상과 중요도가 매우 높다. 이러한 경제활동은 수용하기 어려운 위험요인이 발생하거나 발생예측확률이 0에 가까운 블랙스완 또는 뉴노멀 현상에 직면할 때 사업의 연속성 유지의 관점에서 대처방안과 전략을 수립하는 것이 필요하다. 예를 들어 2011년 M9.0의 동일본 대지진, 2011년 태국에서 5개월간 평균 강우량을 상회하는 호우가 지속된 현상, 이 모두는 통계를 기반으로 나타날 수 없는 극치이자 확률 0에 수렴하는 상황에 해당한다.

따라서 먼저 기후변화의 영향에 노출된 경제주체, 특히 기업으로 하여금 위험요소에 직면하고 있음을 인식시키고 경제적 유인을 제공함으로써 장기간에 걸친 적응성을 높이는 지원대책의 수립이 필요하다(유종기 외, 2012). 그리고 앞서 언급한 Nat. Cat. 모델과 같은 위해도 평가에 기반한 모델을 통해 기업의 경영자와 정책결정자 또는 정책당국이 기후변화의 재정적 측면을 더욱 잘 이해하도록 유도할 필요가 있다.

## 4. 시범지역 적응전략 적용의 시사점

제4장에서는 연안지역에 나타나는 기후변화의 영향을 시범지역인 창원시 마산만을 대상으로 살펴보고 적용가능한 기후변화 적응수단을 검토하였다. 마산만은 2003년 태풍 매미로 연안지역이 침수되면서 막대한 경제적 피해를 입은 후 침수 피해를 방지하기 위한 다양한 정책이 강구된 곳이다. 해일 피해를 막기 위한 방재언덕은 최근 환경영향평가를 거치는 등 실행 단계 직전에 와있으며, 중앙정부 차원에서는 만 외곽에 가동식 수문을 설치하는 사업도 검토되었다. 한편 마산만 내에는 늘어나는 도시수요를 충족하기 위한 추가적인 매립이 수반되는 서항지구 개발계획이 제시되어 있기도 하다. 한편 도시계획의 측면에서는 「자연재해대책법」에 따른 '해일위험지구'가 마산구항 배후의 저지대 5만 9,100㎡에 지정되어 향후 정비사업을 추진할 계획이다. 연안지역을 대상으로 한 공간계획인  연안관리지역계획은 과거 창원 지역에 대해서만 수립되어 있고 지금의 합포구 등 마산만의 주요 시가지에 대해서는 수립되어 있지 않다.

마산만의 기후변화 영향을 크게 해수면 상승과 집중호우에 따른 침수 가능성 증가로 볼 때, 가능한 적응대책을 크게 4가지 분야(해안선 정비, 도시방재, 공간계획, 재해보험)로 나누어 기존에 제안된 적응대책의 실효성을 검토하고 추가적으로 가능한 적응대책을 강구했다. 분야별로 적용가능성과 시사점은 앞서 각 분야에서 언급이 되었지만 종합적으로 시범지역에 적응정책을 적용하는 과정에서 얻을 수 있는 시사점은 아래와 같다.

**첫째, 친수공간과 연계된 생태적 연안환경의 복원이 필요하다.** 해수면 상승으로 피해가 나타나는 연안은 대부분 이미 개발되어 시가지나 산업단지로 활용되는 공간이다. 취약성 평가의 구조에서 보면 노출도 크지만 민감도 역시 매우 커 취약성이 높은 경우에 해당한다. 이처럼 도시화가 상당부분 이루어진 해안인 경우 자연해안을 찾아보기 거의 힘들고 대부분 인공

호안으로 연안생태계의 자연성이 크게 떨어져있다. 이 때문에 마산만과 같이 인공화된 지역에서는 해안에 대한 생태적 복원과 환경 개선에 대한 수요가 높다. 이는 최근 연안정비사업이 기존의 경성공법 위주에서 상당부분 연안의 생태환경을 고려한 연성공법으로 전환하고 있고, 연안의 도시지역에서는 친수공간에 대한 시민의 요구가 증가하면서 관련 지자체에서도 친수공간을 조성하고자 하는 의지가 다양한 사업으로 나타나고 있다. 연안이 해수면 상승 등의 자연현상에 취약해지는 한편, 친수공간의 수요가 높다는 점은 일면 모순된 측면이 있지만, 오히려 친수공간의 조성을 적극적으로 활용하여 기후변화를 완충하는 하나의 적응대책으로 활용할 필요가 있다. 마산만 방재언덕 사업도 일종의 완충구역을 조성하는 사업으로 방재언덕의 높이 등으로 시행 직전에 일부 논란이 있었으나 기본적으로 지역민의 지지가 있던 사업이다. 해안에 대한 각종 사업을 보다 생태적인 방식으로 접근할 필요가 있다. 또한 마산만의 봉암갯벌과 같이 얼마 남지 않은 생태적으로 중요한 환경을 적극적으로 보전하고 자연성이 크게 떨어진 해안에 대해서는 인공서식지 복원 사업 등을 결합함으로써 해역 전체의 생태적 건강성을 증진할 수 있다.

**둘째, 연안개발과 해수면 상승에 대한 대응사업 등 관련 사업에 대한 조정과 통합적 검토가 필요하다.** 태풍해일로 가장 큰 피해를 입었던 마산만에는 이를 막기 위한 다양한 방재사업이 제안되었다. 한편 서항지구 매립사업과 같은 추가적인 도시개발 사업과 같이 연안에 대한 도시개발사업이 방재사업 제안과 중복되어 나타나기도 하다. 마산만에서 이런 현상은 첨예하게 나타났지만, 만약 태풍 매미와 같은 강력한 태풍이 다른 연안에 내습하고 심각한 피해를 주었다면 대상지역만 다를 뿐 비슷한 논의는 반복되었을 것이다. 그러나 각종 토목사업 간에 조정을 통한 대안 모색은 찾아볼 수 없다. 방재언덕과 같은 재해대응 사업이 어느 한쪽에서 논의되는 가운데 해안매립 사업은 진행 중이다. 취약한 해안지역을 어느 한 곳에서는

개발하고 다른 곳에서는 방어하는 것이다. 방재사업 간에도 상호 검토가 없기는 마찬가지이다. 마산만이라는 같은 곳을 대상으로 하고 있음에도 방재언덕 사업과 가동식 수문설치 사업이 같이 논의되고, 더욱이 한쪽 사업에서는 부적합하다고 평가한 방재언덕 사업이 다른 사업으로 진행되는 상황도 나타났다. 또한 해안가의 육지부 높이를 높여 태풍해일을 막겠다는 제안 역시 조금 들여다보면 지역민의 의견수렴이나 관련 전문가의 자문을 제대로 거치지 않고 여러 가지 문제를 노출한 채로 추진하면서 민원 등 또 다른 지역 갈등을 양산하기도 한다. 방재언덕 사업의 경우 바다에서 밀려오는 해일에 대한 방어의 용도로 활용하겠지만 해일과 함께 집중호우가 발생할 경우 높아진 언덕으로 도시의 우수배수가 지연될 수도 있음은 간과하고 있다. 특히 침수에 취약한 지구로 설정한 하수도기본계획과의 연계성 없이 방재언덕을 조성하고자 하는데, 적어도 앞에서 검토한 것과 같이 우수배제 및 내수침수를 방지하기 위한 저류지를 방재언덕의 지하 공간에 건설하면, 외부의 해일도 막고 내부의 침수도 방지하는 효과를 거둘 수 있을 것이다. 이는 모두 계획 간에 통합적 검토와 사업 간 조정이 부족하면서 나타난 현상이라고 할 수 있다. 중앙정부의 적응대책과 시·도 적응세부시행계획 수립에서 살펴본 것처럼 중앙집권적인 하향식 의사결정 구조로는 지역 특성의 반영이 중요한 지자체의 적응대책 수립에 큰 도움이 되지 못한다는 것을 실증한 사례라고 할 수 있다.

**셋째, 기후변화 적응에 대한 지역사회 중심의 논의구조가 필요하며 여기에는 실질적인 권한이 부여**되어야 한다. 앞에 시사점에서도 일부 언급된 것처럼 다양한 부처와 기관에서 진행하는 여러 사업이 각각의 재원이나 근거법률에 따라 진행된다 하더라도, 결국 여러 사업이 상호 고려없이 집행될 때 나타나는 부작용은 지역사회가 감내하여야 한다. 지자체와 지역사회가 중요한 역할을 하여야 하지만 이들이 가진 제한된 권한으로는 중앙부처나 상급기관에서 집행하는 사업을 조정하거나 통제하기 쉽지 않다. 마산구

항 방재언덕 조성사업이 처음에는 지역의 필요에 의해 주장되다가 최근 중앙정부의 재원이 투입되면서 시행 직전에 다다랐지만 아직까지도 사업에 대한 이견이 노출되고 있다. 지역사회의 의견수렴이 의례적인 행정절차가 되어서는 안된다. 지역사회가 책임감을 가지고 충분히 그리고 다각적으로 검토할 수 있어야 한다. 비록 방재사업 추진과정에 의견수렴 절차가 있었다고는 하지만 지역에서 제기된 문제점이 충분히 반영되지도 못했을 뿐더러 사업을 시행하려는 측과 지역사회 사이에 상호간의 신뢰마저 줄어드는 상황은 곤란하다. 국가수준의 법이나 제도로서 지역의 대형개발사업에 지역사회가 참여하고 결정할 수 있는 절차를 고려할 필요가 있다. 과거 새만금간척사업이나 대형 매립사업 등에서 나타난 지역 갈등을 보면 충분히 필요한 절차라고 할 수 있다. 꼭 제도로 강제하지 않아도 사업을 시행하려는 정부나 공공기관에서 사업을 시행하기 전에 지역사회와 협의할 수 있는 논의구조를 배려한다면, 수백억 원에서 수천억 원이 소요될 수 있는 지역 개발사업이 보다 합리적이고 안정적으로 추진될 수 있을 것이다. 다양한 갈등이 노출되는 다원화사회에서 필요한 정책 운용의 묘라고 할 수 있다.

**넷째, 기후변화에 대응하기 위해서는 우리가 공간을 이용하는 방식인 공간계획에 적응전략을 반영하는 것이 근본적이고 필수적인 대책**이다. 마산만에서는 해수면 상승과 태풍해일의 내습을 시나리오에 따라 가정하여 침수예상지역을 분석하였다. 점진적인 해수면 상승이 미래에 얼마나 큰 폭으로 나타날지 정확히 예측할 수는 없지만 매우 높은 확률(virtually certain, >99%)로 해수면은 상승한다고 봐야하는 상황이다. 다만 적응정책을 세울 때는 해수면 상승의 속도, 즉 언제 얼마나 해수면이 높아질 지와 같은 시간적인 고려가 중요하다. 또한 태풍 해일과 같이 해수면의 높이에 보다 큰 변화를 동반하는 자연현상을 같이 고려하여야 영향범위에 대한 공간적 대응이 가능하다. 이에 따라 침수범위 내 토지이용 현황, 건물과 인명을 파악하고 해수면 상승의 속도에 발맞추어 장기적인 공간이용 전략이 바뀌어야 한

다. 이는 지역별로 다를 수밖에 없고 이와 같은 취약성 평가가 지역차원에서 중요한 이유이다. 우리 연구에서는 영국의 침수확률에 기초한 공간계획 전략을 우리 실정에 맞게 활용하였는데, 마산만 배후지역에 대한 분석결과 침수에 취약한 건물과 시설(산업단지 등) 다수가 침수가능성이 높은 범위에 포함되어 있는 등 공간계획 차원에서 대응할 필요성이 확인되었다. 공간계획은 일반적으로 10년 단위로 변경되곤 하지만 기후변화 적응을 위해서는 보다 장기적인 차원에서 각각의 공간계획이 방향성을 가지고 진화하여야 한다. 해수면이 상승하듯 적응대책도 점진적으로 발전해야 미래 50년, 100년 후에 급격한 영향을 받지 않고도 새로운 연안 환경에 적응할 수 있을 것이다.

**다섯째, 자기책임성을 기반으로 하는 재해보험에 대한 적극적인 활용과 이에 대한 국민인식이 전환되어야 한다.** 이 연구에서는 기후변화를 자연재해의 하나로 보고 기존의 재해대책들을 검토하였다. 특히 최근에는 재해보험이 확대되고 있는데 이는 연안지역에서도 활용할 가능성이 높은 정책이다. 평소 재해에 취약한 지역에 거주하면서도 재해에 무방비로 있다가 막상 큰 재해가 발생하면 복구비 등을 국가에만 의존하는 악순환은 개선되어야 한다. 근본적으로 재해에 취약한 곳을 개발한 국가기관의 책임도 있겠지만, 한편으로는 이 지역을 선택한 데에는 개인의 판단도 일정 부분 책임이 있기 때문이다. 또한 재해보험은 예측불가능하게 발생하는 재해에 대한 복구비를 평소에 준비하고 부담한다는 측면에서 국가재정적인 면에서도 큰 도움이 되는 제도이다. 재해에 대한 자기책임성을 인식함으로써 평소 재난 경보나 예보에 관심을 갖게 되고 작게나마 필요한 자구책을 확보하게 되면 과거보다 재해에 의한 피해규모는 감소할 수밖에 없다. 또한 재해보험을 통한 복구비용의 확보는 원활한 복구에도 큰 도움이 될 수 있다. 이를 위해서는 현재 농수산업 시설 중심으로 되어 있는 재해보험의 적용대상을 확대할 필요가 있다. 특히 재해에 따른 상업시설의 휴업에 따른 운영

비 손실이나 산업단지의 설비 피해 등도 적용대상으로 확대될 수 있다. 또한 매립지와 같이 재해에 취약한 지역을 조성할 때는 조성단계에서부터 재해 대응을 고려하여 실시설계를 하거나 재해복구에 필요한 재원을 토지가격 등에 반영하여 적립하는 등의 다각적인 대책이 필요하다.

# 제5장 결론 및 정책 제언

## 1. 요약 및 결론

이 연구는 기후변화의 영향에 연안지역이 어떻게 대응할 수 있을지 즉, 연안지역의 기후변화 적응정책을 수립할 때 무엇을 어떻게 고려하여야 할지를 검토하고자 했다. 기후변화 적응정책의 수립이 기후변화의 공간적·시간적 특성을 고려한 지역적 수준의 취약성 평가에서 시작한다는 선행 연구(육근형 외, 2011)의 틀을 이어받아 기존에 제안되었거나 앞으로 도입할 수 있는 다양한 기후변화 적응전략을 연안지역에 적용함으로써 정책적으로 실용화할 수 있는 대안을 밝히고자 하였다.

전체 구성을 보면 연안지역의 기후변화 양상과 추이를 검토하고 최근 수립된 국내 기후변화 적응계획의 현황과 문제점을 살펴봤다. 뒤를 이어 연안지역에서 검토할 수 있는 기후변화 대응전략을 해안선 관리와 연안 공간계획, 재해영향평가제도, 재해보험, 침수 및 범람 관리의 5개 분야로 나누어 적용가능한 적응전략의 특징을 검토하였다. 이후 4장에서는 시범적용 지역으로 해일에 의한 침수가 발생하곤 하는 마산만을 선정하여 앞서 3장에서 검토한 적응전략의 적용 가능성을 살펴보고 시사점을 도출했다. 주요 내용을 장별로 요약하면 아래와 같다.

제2장에서는 연안지역의 기후변화 양상과 영향, 그리고 이에 대한 적응정책 현황을 검토했다. 전 세계적으로 바다와 연안의 특성에 따라 해수면 상승의 정도는 지역적인 편차가 있지만 국내에서 관측된 기록에서는 과거 40년간 약 2.5㎜/년의 평균 상승률을 보이는 것으로 나타났다. 상승률은 해역별로 상당 부분 편차가 있는데 서해 1.3㎜/년, 남해 2.0㎜/년, 동해 2.2㎜

/년이고 제주부근은 상당히 큰 5.7㎜/년의 상승률을 보였다. 과거 관측 기록만큼 중요한 것은 미래의 해수면 상승률로, 최근 기상청에서는 IPCC의 새로운 기후변화 시나리오인 대표경로농도(RCP)에 따라 우리나라와 주변 해역에 대한 상세한 기후변화 양상을 예측했다. 상세모델에 따르면 금세기 말에는 RCP4.5에서 83㎝, RCP8.5에서 108㎝ 해수면상승을 추정했다. 동해안의 상승률이 더 크고 상대적으로 남해와 서해의 상승률은 이에 미치지 못할 것으로 전망했다.

과거의 기후변화 상승 추이와 미래 전망을 비교할 때 전체 해역은 물론 동해의 상승률은 기후변화 모델에서 전망한 상승률을 따라오지 못하는 것으로 보이는 등 변화의 정도에서는 다소 차이가 감지되기도 한다. 그러나 해수면 상승에 가장 중요한 기여를 하는 남극과 그린란드의 육빙이 녹게 되면 지금 같은 점진적인 변화와 달리 급격한 해수면 상승이 가능할 수 있어 이에 대해 많은 학자들이 우려하는 바이다. 더욱이 기후변화 문제에서 늘 발생가능성을 고려하는 IPCC의 보고서에서도 해수면 상승은 다른 환경변화와 달리 매우 높은 확률(virtually certain, >99%)로 예상되는 등 전체적인 상황을 고려할 때 우리 역시 해수면 상승에 대비한 적응대책을 수립하는 것은 적절한 조치라고 볼 수 있다.

우리나라는 지난 2010년 「저탄소 녹색성장 기본법」을 제정하면서 온실가스 감축은 물론 기후변화 적응 전반의 기후변화 대책에 있어 법적인 기반을 확보했다. 법정계획으로 국가 기후변화 적응대책을 수립한 것을 시작으로 시・도 수준에서도 적응계획이 2011년과 2012년에 걸쳐 수립되었고, 최근에는 기초 지자체에서도 관련 시행계획 수립에 들어갔다. 전국 244개 기초지자체의 30%나 되는 74개 지자체는 바다를 접하고 있는데, 이들 연안지역에서는 기후변화 적응에 있어 바다의 영향을 반드시 고려하여야 한다. 기초지자체의 적응계획 수립에 있어 바탕이 되는 시・도의 적응계획을 살펴보면 연안지역의 특성을 반영할 수 있는 정책적인 틀이나 대안은 충분히

제시되어 있지 못하다. 내륙이건 연안이건 기후변화 적응에 있어 가장 기본이 되는 취약성 분석도 중앙정부 차원에서 전국 기초지자체를 대상으로 획일화된 방식으로 평가한 CCGIS에 의존하면서 지역적 차별성을 드러내지 못했음을 확인할 수 있었다. 그나마 일부 시·도 적응계획에서 침수지역을 파악하기 위해서 공간분석을 시도한 경우가 있지만, 이마저도 정확한 결과를 활용할 수 없는 분석방법을 선정하면서 이후 관련 대책 도출에 의미 있는 결과를 제시하지 못했다.

제3장에서는 연안지역에 적용 가능한 적응대책을 다섯 가지 분야인 해안선 관리와 연안 공간계획, 재해영향평가제도, 재해보험, 침수 및 범람 관리 중심으로 검토했다. 우선 연안에 대한 생태적으로 복원이나 관리를 통해 기후변화에 대한 연안의 적응 능력이 개선될 여지가 있는지 살펴봤다. 침식 등으로 훼손된 해안에 대한 직접적인 조치를 하는 연안정비사업을 비롯하여 아직까지 국내에서는 활발히 도입되지 못하고 있는 양빈기법을 네덜란드의 해안침식 관리사례를 검토하여 활용가능성을 제시했다.

또한 기후변화가 연안지역에 미치는 가장 직접적인 영향인 해수면 상승과 집중호우 등에 의한 연안 배후지역 침수현상에 대해 그 원인과 작용메커니즘을 제시했다. 연안에서는 침수현상을 크게 두 가지로 나누어서 볼 필요가 있는데, 하나는 하천이나 바다가 범람하여 주변지역을 침수시키는 외수침수이며, 연안에서는 조석범람(tidal flooding)으로 이해할 수 있다. 또 다른 침수는 육지에 내린 강우가 하천이나 바다로 신속히 배출되지 못하고 정체되는 경우이다. 연안은 바다에 가깝기 때문에 일반적으로 배수 문제가 적다고 이해되곤 하지만 오히려 바닷물의 범람을 막기 위한 수방시설이 우수의 배출에 도움이 되지 못하기도 한다. 특히 바다의 조위가 높아질 경우 인위적인 강제 배수가 아니면 우수배출이 불가능한 상황에 처하기도 한다. 따라서 연안 침수 문제에 대해서는 해수면 상승에 대한 고려는 물론 연안도시 지역의 불투수성 지표면이 확대되면서 급격히 늘어난 강수를 효과적

으로 배제하는 조치를 동시에 고려하여야 한다.

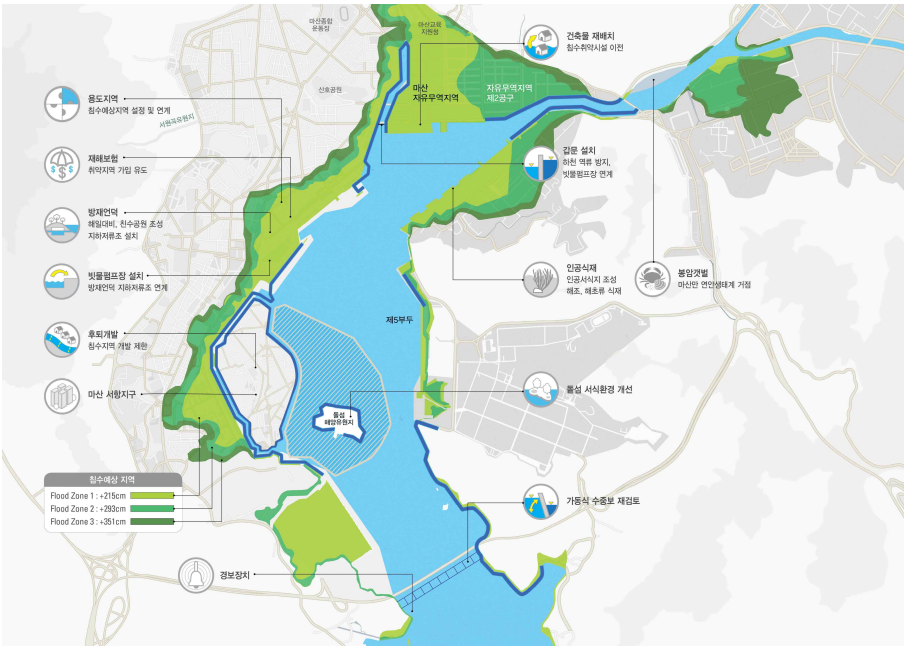
또한 3장에서는 공간계획을 통해 기후변화에 근본적이고 효과적인 대응의 가능성과 재해영향평가 제도의 연안지역 적용 가능성을 살펴봤다. 기후변화 대응방안을 제시한 많은 세계기구에서는 도시계획 수단을 이용한 기후변화 대응이 사전예방적이면서 비용효과적이라는 사실을 강조하고 있다. 도시계획 수립 시 재해취약지역 규명 및 공간화, 재해취약지역에서 개발행위 관리, 재해취약성 및 토지이용 정보 유지가 핵심적인 권고사항이다. 기후변화에 대응하기 위하여 활용할 수 있는 주요한 도시계획 수단은 용도지역제(Zoning), 후퇴 개발(Setback), 재배치(Relocation), 토지 매입(Acquisition) 등이며, 이를 활용하기 위해서는 어느 지역이 침수에 위험한 지역인지를 명확하게 보여주는 침수위험도 작성이 선행되어야 한다. 그러나 창원시를 비롯한 우리나라 연안도시 대부분은 오래전부터 도시기본계획, 도시관리계획 등 다양한 형태의 도시계획을 수립하였으나 토지이용계획, 방재계획 등에 기후변화에 따른 재해에 효과적으로 대응하기 위한 수단과 절차가 마련되지 않아 태풍, 폭풍해일 등에 의한 침수 피해가 빈번하게 발생하였다.

경제적인 재해대응 방식인 재해보험은 최근 소방방재청에서 정책적으로 도입하였고 향후 확대될 가능성이 높다. 지금은 온실이나 축사 등 농업용 시설을 대상으로 하지만 앞으로는 대상도 확대되고 적용방식도 다양하게 진화할 가능성이 크다. 보험의 기본적인 성격과 비교할 때 기후변화와 같은 새로운 리스크에 대해 고려할 부분도 있다. 2011년 태국에서 5개월간 지속된 호우나 같은 해 동일본 대지진과 같은 자연현상은 발생예측확률이 0에 가까운 이른바 블랙스완 또는 뉴노멀 현상의 가능성을 배제할 수 없다. 이런 현상에 대응하기 위해서는 일반시민은 물론 기업과 같은 경제주체들이 기후변화를 위험요소로 인식하고 적응력을 키울 필요가 있으며, 이를 위한 정부의 정책적 지원과 유인책이 필요하다.

제4장에서는 시범지역으로 창원시의 마산만을 선정하여 앞서 제시한

여러 적응정책을 적용하였다. 마산만은 연안에 접한채 도심지역, 산업단지, 항만지역이 연속적으로 입지하여 있는 곳으로 대부분 인공해안이다. 기존의 해안선 정비나 개발은 대부분의 연안을 직벽구조의 콘크리트로 피복하는 방호의 개념으로 이루어져 왔으며, 현재 진행 중이거나 계획된 매립 및 개발사업에서도 연안 생태환경의 유지 및 복원에 대한 전략은 미흡하다. 이를 개선하기 위해서는 현재 계획 중이거나 실시 중인 매립 및 개발사업을 변경하여 마산만 전역의 콘크리트 호안에 인공적으로라도 '유사 완경사 조간대 환경'을 추가적으로 조성하고, 봉암갯벌이나 돝섬과 같이 아직 남아 있는 자연해안과 조간대는 더 이상의 매립이나 호안 설치와 같은 인공적 이용 및 개발을 철저하게 제한할 필요가 있다.

시범지역으로 선정한 마산만 일원은 과거 2003년 태풍 매미로 심각한 인적·물적 피해를 입은 곳으로 지금까지 이 지역에서는 제2의 해일 피해나 침수 피해 등을 막기 위한 다양한 제안이 논의되었다. 대책 논의의 기본적인 바탕은 기본적으로 제2의 태풍 매미가 오더라도 과거와 같은 피해를 반복하지 않겠다는 것이다. 지역에서는 이미 마산구항 배후의 침수지역에 대한 하수도정비계획을 수정하여 우수관거의 관경을 키우고 빗물펌프장을 신설하는 등의 대책을 제시했다. 도시계획의 차원에서는 '해일위험지구'로 지정하여 방재적 차원에서 대책을 수립할 수 있도록 하기도 했다. 또한 마산만 입구에 가동식 수문을 설치한다거나 침수 피해가 있던 마산 구항 전면을 매립하여 해일을 막겠다는 계획을 수립하기도 했다. 그러나 많은 사업들이 계획 수립 과정에 지역사회나 전문가들이 충분히 검토하고 협의할 기회를 갖지 못하면서 사업을 시행하는 쪽의 일정과 계획에 따라 추진되면서 지역에서 갈등이 야기되기도 한다. 더욱이 지역이나 중앙에서 각자 계획한 사업 간에 연계성을 갖지 못하면서 대책의 효과도 반감될 가능성이 농후한 실정이다.




**| 그림 5-1 |** 마산만 기후변화 적응대책 종합

도시계획 분야에서는 과거 창원시(마산만)에 큰 피해를 입힌 태풍 매미의 해일고(215㎝)와 여기에 기후변화 시나리오에 따른 해수면 상승(293㎝, 351㎝)을 더한 세 가지 상황을 가정하여 침수위험지역을 도출하였다. 해수위 상승 높이별로 침수예상지역의 침수면적, 토지이용, 용도지역은 물론 건축형태별 건축물의 수와 시설물 등을 다각적으로 분석했다. 침수위험지역에 분포한 건축물 중에는 주택시설, 교육시설, 복지시설, 숙박시설, 의료시설 등 침수에 취약한 시설이 상당수 있었다.

창원시 침수 피해를 예방하기 위하여 적용할 수 있는 핵심적인 도시계획 수단은 용도지역제, 침수취약시설 재배치 등이 있다. 용도지역제를 활용하여 침수 피해에 대응하기 위해서는 침수위험에 대한 공간정보를 바탕으로 개발가능지 분석, 용지구분, 용도지역 지정 등 주요 도시계획 절차에 침수위험 요인이 반드시 연계되어야 하며, 보완적 수단으로 방재지구, 자연재

해위험지구 등을 활용하여 침수위험지역에서 개발행위를 관리할 필요가 있다. 또한 침수위험지역 정보와 건축물 침수취약도 평가를 바탕으로 침수위험지역 내 침수취약 시설을 이전할 필요가 있다. 침수위험지역 정보는 본 연구에서 실시한 태풍과 해수면 상승 시나리오에 근거한 침수위험지역 분류를 참고할 수 있으며, 건축물 침수취약도 분석은 영국 사례를 근거로 우리나라 실정에 맞게 조정할 필요가 있다. 그러나 창원시와 같이 상당한 개발이 진행된 지역에서 건축물 재배치는 제약이 많기 때문에 건축물의 수명 등을 고려하여 중·장기적인 계획에 따라 추진해야 한다. 또한 작은 규모에서는 후퇴개발을 실시하여 개발을 제한하거나, 침수 피해가 상습적으로 발생한 지역은 공공에서 토지를 매입하여 방재기능과 친수기능을 할 수 있는 공원 및 녹지를 조성하는 것도 고려할 필요가 있다.

지금까지 연안지역의 기후변화 영향에 대응할 수 있는 적응정책을 실제 시범지역에 적용해 본 결과, 구조물과 같은 구조적인 대책에서 도시계획과 같은 비구조적인 대책까지 다양하게 활용할 수 있음을 확인할 수 있었다. 기존에 유사한 목적으로 활용하던 방재대책을 대상으로 할 수도 있고, 이를 기후변화 적응이라는 측면에서 다시 설계하거나 조정할 필요가 있기도 하다.

무엇보다 기존의 대책이건 새로운 대책이건 기후변화 적응대책은 반드시 기후변화에 걸리는 시간, 즉 속도의 개념을 고려하여 점진적이고 일관되게 이루어져야 한다. 또한 기후변화가 리스크 관리의 차원에서 확률적인 성격도 가지고 있기 때문에 과거 확률연수나 발생빈도 등에 기초해서 이루어졌던 방재 대책의 특성도 활용할 필요가 있다. 마산만에 고안된 방재언덕이나 가동식 수문 건설 계획에서는 태풍의 발생 빈도에 대한 고려가 없다. 이는 예상되는 재해의 규모에 비해 매우 과다한 비용을 소모하게 만들 수 있다. 다소 극단적으로 비유하면, 2011년의 동일본에 미증유의 쓰나미 피해가 있었다고 해서 당시 발생한 해일보다 높은 콘크리트 방호벽을 일본의 전 해안에 건설하겠다는 발상에 비유할 수 있다. 방재사업이건 도시계

획이건 모두 적응에 걸리는 시간에 대한 고려, 그리고 사람에게 영향을 미칠 수밖에 없는 대책의 정치적인 속성을 함께 고려하지 않으면 안 된다. 해일 피해를 봤던 지역의 주민들이 마산만 방재언덕이 조성되면 조망권이 훼손된다는 우려로 오히려 반발한 사례에서 보듯, 도시계획에서 제안된 건축물 재배치나 용도지역제 모두 실제로 시행을 한다고 하면 여기에 해당되는 지역주민이 어떤 반응을 보일지 모를 일이다. 해당 지역주민들에게는 연간 몇 ㎜씩 높아지는 해수면보다 적응대책 때문에 겪어야 하는 생활의 변화나 불편이 더욱 중요하기 때문이다.

기후변화 적응정책이 기본적으로 지역단위에서 지역의 특성에 적합한 맞춤형 정책이 되어야 한다는 점, 그리고 그렇지 않은 중앙정부 중심으로 계획된 많은 사업들을 현장에 적용하려 할 때는 치명적인 문제점을 노출할 수 있다는 것을 사례지역에 대한 적용에서 확인할 수 있었다. 이는 결국 의사결정의 구조, 즉 거버넌스의 문제로 귀결된다. 지역에 따라 다르게 나타나는 기후변화 영향과 이에 따른 적응대책을 검토하고 결정하는 과정에는 기후변화 영향은 물론 적응대책으로 영향을 받는 모든 이해관계자의 참여가 반드시 필요하다. 아쉽게도 이 연구에서는 지역사회가 기후변화 적응정책의 의사결정 구조에 어떤 역할을 해야 할지에 관해서는 자세히 살펴보지 못했지만 그 필요성을 인식하는 수준에서 향후 연구 주제로 제안하고자 한다.

| Ⅲ 5-1 | 연안지역 기후변화 적응대책 사례

| 연안의 기후변화 대응방향 | 정책수단 |
|---|---|
| 범람의 영향 감소<br>(내수 및 외수침수) | 저류지, 빗물펌프장 등 우수배출 저감시설 |
| | (가동식)방조제 설치 |
| | Green Infra 등 유역 환경 정비 |
| | 하천 및 배수관 정비 |
| | 정보교류와 교육·홍보 |
| | 재해 대응체계 구축·점검 |
| | 재해 사후 복구 체계 |
| | 재해(범람)보험 확대 |
| 재해 취약성 감소 | 홍수터 관리 |
| | 공간계획, 개발계획, 재개발 계획 |
| | 시설의 구조 및 위치 변경 |
| | 건축물 규정 |
| | 방수 능력 개선 |
| | 이상기상 예보 및 경보 |
| 연안 생태계의 보전·복원 | 연안습지 등 주요생태계 보호 |
| | 연성 해안관리 기법의 도입 |
| | 훼손된 연안 서식지 복원 |
| | 친수공간 및 연안완충공간 확보 |
| 의사결정 구조의 변화 | 이해관계자 협의체 구성 |
| | 적응정책의 거버넌스 확보 |
| | 불확실성에 기초한 리스크 관리 |

## 2. 기후변화에 안전한 연안을 위한 정책 제언

### 1) 표사계 중심의 해안선 관리 정책의 도입

연안공간의 개발수요 급증에 따른 난개발과 자연해안의 감소, 기후변화에 따른 연안 재해 등에 대응하고, 연안의 지속가능한 이용·개발과 보전을 위하여 국토해양부는 연안통합관리계획과 연안정비계획 등 다양한 관리체계를 도입하여 활용하고 있다. 그러나 「제1차 연안정비계획(2000~2009년」에서는 지속가능한 연안공간의 회복 및 창출보다는 침식이나 재해 등에 대한 사후복구와 경성공법 위주의 구조물 보강 사업을 하면서 그나마 남아있던 자연해안을 더욱 훼손하는 소위 인공해안 조성사업이라는 비판을 받기도 하였다. 현재 시행 중인 「제2차 연안정비계획(2010~2019년)」에서는 이와 같은 문제점을 개선하고 기후변화에 따른 자연재해 적응력 강화하기 위하여 연안재해취약성평가를 도입하고, 콘크리트 구조물 위주로 인공화된 해안선을 보다 자연적인 모습으로 복원하기 위해 양빈이나 생태적 방호와 같은 연성공법을 일부 도입하였다.

연안은 해수면 상승으로 앞으로 침식이나 범람의 우려가 더 높아지는 곳이지만 한편으로는 과거보다 연안친수공간에 대한 수요도 더욱 증가하는 곳이기도 하다. 이는 기후변화에 따른 취약성이 증가하면서 재해 대응의 필요성도 높아지면서 한편으로 이용에 대한 수요도 높아지는 상황으로 해안선에 대한 관리 방식도 이 양쪽의 수요를 담을 수 있는 방식으로 진화할 필요가 있다. 앞서 일부 제시된 바와 같이, 인공화된 해안구조물에 생태적인 기능을 증진할 수 있도록 '유사 완경사 조간대 환경'의 조성 등도 해당할 수 있겠지만, 전체적으로 연안에 대한 거시적 종합계획, 일종의 그랜드 디자인(grand design)이 필요하다. 이는 지엽적인 생태공학적 기법의 적용은 물론 해안선을 관리하는 방식에 대한 기본적인 접근부터 달리하여야

할 부분이다.

해수면이 상승하면 해안의 침식은 가속화될 것이라고 한다. 이는 결국 해안의 취약성을 증가시킬 수밖에 없는 문제로 침식과 범람 등 자연재해가 더 자주 해안에 발생하는 것을 의미한다. 재해가 자주 발생하는 상황이 되면 해안에 대한 연성관리공법이 장기적으로 해안의 지속가능성을 확보하는데 더 나은 방식이라고 믿고 있던 정책담당자들조차 해안방호벽과 같은 구조물의 설치를 지지하거나 때로는 민원에 따라 구조물 설치를 수용할 수밖에 없게 된다. 그런데 해수면 상승과 침식과 관련해서 이미 해수면보다 낮은 저지대에서 침식과 범람 등 해안의 자연재해에 대응하기 위해 노력해온 네덜란드의 해안선 관리 정책은 많은 시사점이 있다. 과거 네덜란드가 해안선의 원형유지에 많은 노력을 기울였으나 지금은 역동적 보존이라는 정책으로 발전하였다. 이는 해안선을 형성하는 자연적 기작을 존중하는 방식으로 해양에너지에 의한 퇴적물의 이동 즉, 연안표사계[52]를 왜곡하지 않는 방식을 택한 것이다. 양빈 등으로 표사계를 유지함으로써 해안선을 유지하는 퇴적 기작을 강화하고 이를 통해 해안선의 형태를 유지한다는 것이다. 우리나라 동해에서는 다른 해역보다 높은 해수면 상승이 예상되는데 이미 동해안은 해안침식과 육지부 후퇴 문제가 매우 심각한 곳이다. 앞으로 해수면이 계속 높아진다면 더 많은 모래해안의 침식이 예상되고 이는 해수욕장과 같은 지역의 관광자원의 훼손은 물론 시민의 재산과 안전에도 심각한 위협이 될 것이다. 경성공법 위주의 과거 해안선 관리정책이 효과는커녕 부작용이 더 크다는 비판이 최근 비등한 우리 역시 표사계 차원의 해안관리를 적극 고려할 필요가 있다. 우선 표사계를 파악하기 위한 과학적 조사가 필요할 것이며, 표사계를 보전하는 방법에 대한 국가 연구개발

52) 연안표사계(coastal sediment cell)란 독립적인 토사수지체계를 의미한다. 해안에 토사가 셀이라고 할 수 있는 일종의 공간구획 안에서 순환하는 것을 가정하는 것으로 국내에서는 이에 관한 연구가 거의 없는 실정임(해양수산부, 2006, p. 12).

사업은 필수적일 것이다. 특히 시범지역을 선정해 양빈 등을 장기적으로 추진하고 그 효과를 모니터링을 통해 실증함으로써 연성공법의 확대 가능성도 함께 검토할 필요가 있다.

### 2) 기후적응형 도시계획으로 진화

도시계획은 기후변화로 증가하는 연안재해 피해를 사전예방적으로 대응하는 데 매우 효과적인 수단을 제공한다. 용도지역제, 후퇴개발, 재배치 등 이미 도시계획 제도에 포함된 다양한 수단들을 기후변화에 따른 재해위험 요인을 고려할 수 있도록 보완한다면 기후변화 대응에 매우 효과적일 수 있다. 도시계획 제도에서 침수와 같은 재해 요인을 고려하기 위해서는 국토의 계획 및 이용에 관한 법률, 도시기본계획수립지침 등과 같은 도시계획 수립을 위한 법적 규정의 수정・보완이 필요하다.

**첫째, 도시계획 수단 적용의 출발이 되는 재해취약지역에 대한 명확한 정보가 구축되어야 한다.** 재해취약지역에 대한 정보는 다양한 방법으로 구축할 수 있으나 정책 결정자에게 어떤 지역이 취약한지를 명확하게 보여주기 위해서는 침수예상도(Flood Zone Map)와 같은 도면을 작성할 필요가 있다. 도시계획 절차에서 침수예상도를 작성하기 위해서는 도시기본계획수립지침에 기초조사 부문, 토지이용계획 부문에 침수에 관한 조사, 도면 작성 작성 등을 포함시켜야 한다. 침수예상도에 제시된 정보는 개발가능지 분석, 용지구분, 용도지역・지구 지정 시 필수적으로 고려해야 한다. 또한 「자연재해대책법」상재해지도 등 다른 법률에 따라 작성하는 재해 관련 지도도 도시계획 수립 시 활용할 수 있도록 해야 한다. 도시계획 수립 시 새롭게 침수예상도를 작성할 수도 있으나 만약 관할 지역에 재해지도가 작성되어 있다면 재해지도를 도시계획에 활용할 수 있어야 한다.

**둘째, 용도지역제(Zoning)를 활용하여 재해위험을 관리**하기 위해서는

재해에 취약한 지역에서 개발을 제한할 필요가 있으며 도시기본계획수립지침, 도시관리계획수립지침 등 도시계획 수립지침에서 재해취약지역은 의무적으로 보전성격의 용도지역 및 용도지구 지정해야 한다. 예를 들면, 재해취약지역은 용도지역 중에서 보전녹지지역, 보전관리지역을 지정하고 용도지구중에서 방재지구를 지정하여 관리할 수 있다. 다만, 방재지구와 같은 용도지구는 계획 수립권자의 의지와 해당 지역 주민의 합의에 따라 임의로 결정할 수 있어 지구 지정에 매우 소극적인 실정을 감안하여 재해로 인한 피해가 상습적이거나 큰 지역은 의무적으로 방재지구와 같은 용도지구를 지정할 수 있도록 해야 한다.

**셋째, 재해에 취약한 지역에 지정하는 보전 성격의 용도지역 및 용도지구에서 허용하는 개발 수준을 제한할 필요가 있다.** 재해취약지역에 보전성격의 용도지역 및 용도지구를 지정하더라도 상당한 수준의 개발이 가능하기 때문에 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 및 도시계획조례의 개정을 통하여 개발의 종류 및 강도를 제한해야 한다. 그러나 용도지역의 경우 재해예방만을 목적으로 기존에 허용하던 개발의 수준을 제한하기 어렵기 때문에 용도지구를 적극적으로 활용해야 한다. 또한 기존 용도지역 및 용도지구만으로는 재해취약지역을 관리하는 데 한계가 있으므로 장기적으로 연안지역 재해에 대응하기 위한 용도지구 신설도 고려할 수 있다.

**넷째, 재해에 취약한 지역에 입지한 건축물을 안전한 지역으로 이전(Relocation)하기 위해서는 먼저 우리나라 실정에 맞는 건축물 재해 취약기준을 작성할 필요가 있다.** 건축물 재해 취약기준은 도시기본계획 방재계획에서 실시할 수 있다. 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 및 도시기본계획수립지침에서 전국에 적용할 수 있는 건축물 재해 취약기준을 제시하고, 실제 도시기본계획 수립 시 지역의 여건을 고려하여 조정할 수 있는 규정을 마련해야 한다. 영국 사례처럼 건축물 재해 취약기준은 침수예상도에 제시된 침수구역 혹은 침수정보에 기반한 용도지역·지구 지정과 연계할 필요

가 있다.

**다섯째, 후퇴개발(setback) 적용을 위해서는 후퇴에 대한 기준과 후퇴한 지역에서 개발을 제한할 수 있는 규정이 마련되어야 한다.** 후퇴 기준은 연안지역 관리를 목적으로 수립하는 연안관리지역계획에서 설정하고, 도시계획에서는 후퇴가 필요한 지역에 적용할 수 있는 용도지역·지구와 행위제한 사항을 규정할 필요가 있다. 연안지역에서 후퇴에 대한 기준은 해양의 영향으로 발생하는 침수, 침식 등에 대한 분석이 기반이 되기 때문에 연안해역과 연안육역을 통합적으로 관리하는 연안관리지역계획에서 제시하는 것이 효율적이다. 다만 연안관리지역계획에서 후퇴한 지역에서 개발을 제한할 수 있는 근거가 없기 때문에 도시계획 제도에서 후퇴한 지역의 개발을 관리할 필요가 있다.

### 3) 자기책임성을 강화한 경제적 대응수단의 확보 : 재해보험

기후변화로 발생할 수 있는 연안지역의 재해에 대비할 수 있는 재해보험의 확대가 필요하다. 경제적 유인책의 하나로 활용될 수 있는 재해보험은 연안지역 주민의 자발적 참여의 형태로 사전에 예측하기 어려운 재난에 사전대비책을 제공한다는 이점을 지닌다.

먼지 지역별로 기후변화로 인한 침수, 월파와 같은 연안재해에 대비하기 위한 방안으로 풍수해보험과 같은 정책보험을 활용할 필요가 있다. 우선 연안지역에 대해 기후변화 취약성 평가결과를 바탕으로 현재와 같은 자발적·일률적인 형태의 보험가입 정책에서 탈피하기 위한 정책방안이 요구된다. 동일한 하급 지방자치단체 내에서도 취약성 평가결과에 따라 보험요율과 가입대상자를 선별하여 취약성이 높거나 취약계층 거주지역, 그리고 공업지역과 같이 생산설비가 밀집한 지역에 대해서는 우선적인 가입을 유도할 필요가 있다. 이러한 경우 취약계층 거주지역 이외에 취약성이 높

은 연안지역 시설물에 대해서는 보험료 지원율을 차등화하여 경제적 유인책으로서 보험의 역할을 강화할 필요가 있다. 즉, 취약성이 높은 지역에 대해서는 지원율을 낮게 유지하고 자기부담률을 높여 보험 본연의 기능을 살리는 것을 검토할 수 있다. 이는 반대로 취약성과 관계없이 동일한 지원율을 유지하는 경우 보험의 위험대비기능을 약화시킬 가능성이 크기 때문이며, 민간영역의 사보험 시장과의 갈등관계도 완화시키게 된다.

주요 공업시설이 밀집한 단일 공단의 경우에는 Nat. Cat. 모델과 같은 시뮬레이션 모델과 비즈니스 연속성관리(BCM)의 관점에서 국가기간시설로서의 공급사슬 유지를 위한 목적으로 새로운 보험체계를 설계하여 적용할 수 있다. 재해로 인해 발생한 리스크를 수용불가한 부분과 수용가능한 영역으로 구분하여 보다 안정적인 대체 생산 및 연속성 관리 기회를 확대하는 효과를 거둘 수 있다.

### 4) 기후변화 대응 연안 침수 · 범람 대응 매뉴얼의 개발

연안은 지역에 따라 해수면 상승의 폭은 물론 지형적 여건이나 연안 개발상황 등 매우 다양한 여건을 갖는다. 이는 취약성 평가의 모든 구성요소인 노출, 민감도, 적응역량이 지역에 따라 다르다는 것과 기후변화에 대응하려는 적응정책 역시 지역적으로 특화될 수밖에 없음을 의미한다. 어떤 지역에서는 활용성이 높은 대책이 다른 지역에서는 의미가 없는 대책이 될 수 있는 것이다. 어떤 대책을 선택할 것인가는 당연히 해당지역에서 기후변화의 영향을 받는 지자체의 공무원은 물론 지역의 여러 이해관계자가 주체가 되어야 한다. 그러나 현재 수립되고 있는 기후변화 적응계획은 중앙정부 주도가 갖는 경직성이 그대로 시 · 도의 적응계획에 투영되면서 지역특화의 적응계획이라고 하기 어렵다. 지역적으로 다를 수밖에 없는 취약성 평가 역시 중앙에서 연구 차원으로 제시된 방법만을 따르면서 지역별로 특

화되고 차별성을 가질 수 없게 되었고, 결국 의미 있는 지역의 적응대책을 도출하는 데는 거의 도움이 되지 못하는 형편이다.

적응대책의 상당 부분은 기존의 자연재해대책이나 사회기반시설에 대한 관리정책을 활용할 수 있다. 예를 들어 해일에 대한 방어를 위하여 고려된 방재언덕 등의 사업은 기본적으로 항만설계기준을 통해 설계하고 검토한 것이며, 내수침수를 막기 위한 우수 관리 사업은 하수도시설기준을 따르고 지역의 하수도정비계획에서 구체적인 내용을 확인할 수 있다. 이처럼 기존에 활용하던 대책들을 기후변화의 측면에서 확대하여 접근하는 방식이 실효성을 확보하는 데 바람직하다.

이런 측면에서 앞서 4장에서 마산만 방재언덕의 설계변경에 대한 대안이나 우수를 담을 수 있는 지하 저류조 제안은 시사점이 있다. 방재언덕에서는 오직 해일 피해 예방만을 목적으로 하여 언덕을 높게 쌓으려고 할 뿐, 배후에서 정작 문제가 되는 저지대 침수 문제는 외면하였다. 그러나 이 양쪽의 문제를 함께 고려하면 설계기준의 적용을 달리함으로써 방재언덕의 높이도 낮출 수 있고, 방재언덕의 지하공간을 저류조로 활용하면 침수지역에 설치되는 빗물펌프장의 활용성을 높여 배후 지역의 침수 가능성을 획기적으로 줄일 수 있다.

기후변화가 사회시스템 전반에 비선택적으로 영향을 준다는 점을 감안하면 이와 유사한 사례는 더 다양하게 나타날 수 있다. 이처럼 기후변화 적응대책은 여러 분야의 대책을 지역에서 종합하여 활용할 수 있도록 하는 제도적 지원장치가 필요하다. 중앙정부의 적응계획이 지역에서 의미 없이 반복적으로 인용되는 구조를 깨고 적어도 연안지역에서는 연안의 특성을 반영하여 지역의 적응계획에서 활용할 수 있도록 적응과 관련된 여러 정책수단을 하나의 매뉴얼로 묶어 제공할 필요가 있다. 이를 통해 적응과 관련한 여러 정책과 기준이 지역에서 통합적으로 활용될 수 있을 것이다.

### 5) 기후변화 적응을 위한 지역 의사결정 구조의 확보

현재 수립된 기후변화 적응계획이 중앙집권적인 하향식 계획 수립이라는 문제가 있음을 앞에서 지적하였다. 이는 적응계획이 단순히 중앙정부부터 시·도, 지자체의 순서로 수립된다는 것을 의미하는 것이 아니라, 적응계획의 내용이 지역에서 구체적으로 발전되지 않고 같은 내용이 반복되는 획일성이 있다는 것을 의미한다. 또한 연안을 대상으로 수립된 여러 다른 계획들이 지역의 특성을 고려하지 않으며, 다른 계획에서 추진하는 사업과 유리된 채 각각의 계획이 개별적으로 진행되곤 한다. 결국 이 모든 사업이 벌어지는 지역사회에서는 각 사업의 개별적인 효과가 아닌 사업 간의 우선순위나 서로 다른 효과를 종합적으로 볼 수밖에 없고, 이 과정에서 지역사회의 의견이나 반대가 나타날 수 있다. 그러나 이런 모습이 종종 지역 내 갈등, 또는 지역과 중앙 사이의 갈등으로 해석되곤 하는데 이는 오히려 대안을 찾아 지역이 발전하려는 역동성의 차원에서 보는 것이 적절할 것이다.

문제는 이런 역동성을 수용하여 발전적으로 활용할 수 있는 논의의 틀, 즉 거버넌스가 부족하다는 점이다. 기후변화가 자연계는 물론 사회 전 분야에 영향을 주고 있음에도 기존 대책의 틀 안에서 개별적으로 접근하는 것은 문제가 있다. 현재 수립된 적응계획 대부분이 부문별 대책의 짜깁기라는 형식적 틀에 갇혀 있는 것도 이 때문이다. 적어도 지자체의 적응계획 수립 과정에는 반드시 지역에서 이를 논의할 수 있는 구조를 가져야 한다. 적응계획 수립과정에 논의 구조를 포함함으로써 제안되는 여러 적응대책의 필요성과 실효성, 타당성을 검토해야 한다. 더 이상 연구기관의 연구자 몇몇이 고안하고 정리한 대책을 가지고는 실효성을 담보할 수 없다. 이는 결국 집행력을 확보한 실질적인 적응계획으로 발전하는 길이며, 기후변화에 대한 의미 있는 적응이라고 할 수 있다.

# 참 고 문 헌


**<국내 문헌>**

건설교통부,『수자원 장기종합계획 (2006~2020)』, 2006.

경기도,『2012-2016 경기도 기후변화 적응대책 세부시행계획』, 2012.

경상남도,『경상남도 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012-2016)』, 2012.

관계부처합동,『저탄소 녹색성장 기본법 시행에 따른 국가 기후변화 적응대책(2011~2015)』, 2012.

국립기상연구소,『IPCC 5차 평가보고서 대응을 위한 기후변화 시나리오 보고서 2011』, 2012.

국립해양조사원,『해수면 변동 정밀분석 및 예측』, 2009.

_____,『해수면 변동 정밀분석 및 예측(2차)』, 2010.

_____,『연안재해취약성 평가체계(CDAS) 구축-평가부문』, 2011.

국무총리실 기후변화대책기획단, 『기후변화대응 종합기본계획』, 2008.

국토해양부,『연안정비사업 침식관리 가이드북』, 2010.

_____,『기후변화에 따른 항만구역내 재해취약지구 정비계획수립용역 보고서』, 2011.

_____,『제3차 전국 항만기본계획(2011-2020)』, 2011.

김근영,「도시홍수 피해 감소를 위한 방재와 도시계획의 연계방향」,『대학토목학회지』, 제53권, 제9호, 2005, pp. 13~20.

김윤종・원종석,「재난 제로, 서울을 위한 방재전략」,『SDI 정책리포트』, 제25호, 서울시정개발연구원, 2008.

김영란 외,「기후변화에 대응한 서울시 출관리 전략」,『SDI 정책리포트』, 제10호, 서울시정개발연구원, 2008, p. 5

김차겸,『2003 태풍 매미 홍수 : 마산 및 남해도』,「한국수자원학회지」, Vol.

36(6), 2003, pp. 60~65.

남정호・육근형・최희정・정지호,『기후변화 대응을 위한 연안지역 레질리언스(Resilience) 강화 방안』, 한국해양수산개발원, 서울, 2009.

노용환・유경원,「기후변화와 가계의 위험관리 - 가계 자산구성을 중심으로」,『보험금융연구』, 제20권 제1호, 2009.

명수정・이동규・신상희・조광우,『기후변화 적응 강화를 위한 사회기반시설의 취약성 분석 및 대응 방안 연구Ⅰ』, 한국환경정책평가연구원, 2009.

명수정・김지영・신상희・안병옥,『기후변화 적응 강화를 위한 사회기반시설의 취약성 분석 및 대응 방안 연구Ⅱ』, 한국환경정책평가연구원, 2010.

마산시,『재해백서』, 2003.

_____,『마산만 방재언덕 설치 및 재해방지대책 타당성조사 보고서』, 2005.

_____,『2020년 마산도시기본계획』, 2007.

_____,『마산해양신도시 건설사업 환경영향평가서』, 2008.

_____,『구항지구 방재언덕 설치공사 기본 및 실시설계 용역 보고서』, 2009.

_____,『마산시 하수도정비 기본계획(변경)』, 2010.

마산지방해양항만청,『마산구항 방재언덕 설치공사 환경영향평가서(초안)』, 2012.

문일주・최의수,「객관적인 태풍 통계자료 구축을 위한 '한반도 근접 태풍'의 정의 및 기준 설정」,『대기』, 제21호, 2011.

변혜원,「보험산업의 기후변화 완화 노력과 시사점」,『Kiri Weekly』, 제175호, 보험연구원, 2012.

부산지방기상청,『제14호 태풍 매미(MAEMI) 분석』.

소방방재청,『도시홍수 위험성 평가 및 통합관리방안 개발』, 2011.

_____,『2010 재해연보』, 2011.

_____, 『우수유출 저감시설의 종류・구조・설치 및 유지관리 기준』, 2009.

_____, 『풍수해보험실무』, 2010.

신동호, 「외국의 자연재해보험 연구와 정부의 역할에 대한 연구」, 『산업과학연구』, 제15권, 2004.

안용성, 「생태적으로 지속가능한 연안공공개발 연구」, 2012년 한국행정학회 동계학술대회 발표집, 2012

_____, 『연안공간의 생태적 재개발방안』, 2012년 한국도시행정학회 추계학술대회 발표집, 2012.

양희산, 「풍수해보험 관련 정책성보험 추진방안」, 『Focus』, 7월호. 손해보험협회, 2012.

유근배, 「해안보호(French, Peter W. 2001. “Coastal Defences: Processes, problems and solutions”. Routledge』, 2007, p. 920.

유종기・이호준・신수정, 「삼성SDI의 비즈니스 연속성 관리」, 『DBR Case Study』, No. 89, 2012.

유지호, 「자연재해보험시장에서 역선택의 존재와 원인에 대한 실증연구」, 『리스크 관리연구』, 제22권 제1호, 2011.

육근형・정지호・안용성, 『해수면 상승에 따른 연안 취약성 평가모형 연구』, 한국해양수산개발원, 2011.

이석호, 「자연재해 증가에 대한 보험사와 과제」, 『주간 금융브리프』, 20권, 16호, 2012.

장금숙, 「XP-SWMM 모형을 이용한 도시배수망의 홍수 소통능력 평가」, 인하대 대학원 석사학위 논문, 인하대학교, 2008.

전라남도, 『전라남도 기후변화 적응대책 세부시행계획 수립(2012-2016)』, 2012.

조광우・강정은・양원준・공성용・이해미・H. Nobuoka, 『해수면 상승에 따른 취약성 분석 및 효과적인 대응 정책 수립Ⅰ』, 한국환경정책・평

가연구원, 서울, 2009.

조광우・김지혜・정휘철・Mimura, N.・Nicholls, R.J,『지구온난화에 따른 한반도 주변의 해수면 변화와 그 영향에 관한 연구II』, 한국환경정책・평가연구원, 서울, 2002.

창원시,『창원시 연안관리지역계획』, 2008.

한국상하수도협회,『하수도시설기준』, 2011

해양수산부,『항만 및 어항설계기준』, 2005.

_____,『연안침식방지 기술개발 연구용역 제1차년도 보고서』, 2005.

_____,『연안침식방지 기술개발 연구용역 제3차년도 보고서』, 2007.

해양환경관리공단,『기후변화 적응을 위한 연안지역 공간계획 수립지침 마련』, 2011.

환경부,『국가하수도종합계획』, 2007.

_____,『기후변화 적응 지자체 업무 안내서』, 2009.

_____,『하수도정비기본계획수립지침』, 2011.

환경부・기획재정부・교육과학기술부・행정안정부・문화체육관광부・농림수산식품부・지식경제부・보건복지가족부・국토해양부・소방방재청・농촌진흥청・산림청・기상청,『국가 기후변화 적응 종합계획』, 2008.

행정자치부,『2003 태풍 매미 피해 현장조사 보고서』, 2003.

**<국외 문헌>**

河田惠昭, 『首都圏直下地震の被災様相の特徴と地震防災計画』, 2007.

시애틀 시청(워싱턴주, 미국),『Elliott Bay Seawall Project: Glossary』, 2010.

Alexander, L.V. *et al*., *Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation*. *Journal of Geophysical Research*, 111, 2006.

Andrew, Goudie, *The Human Impact on the Natural Environment: Past, Present,*

*And Future*. 6th ed., Blackwell publishers, 2005.

Anon, Nature Policy Plan of the Netherlands, Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries, The Hague, 1990.

Bird, E.C.F, *Submerging Coasts: the effects of a rising sea level coastal environments*. Chichester, New York, John Wiley & Sons, 1993.

Carter, Jeremy G, "Climate change adaptation in European cities". *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(3): 193-198, 2011.

Cooper, J. Andrew and Pilkey, Orrin H, "Sea-level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule". *Global and Planetary Change,* 43(3-4), 2004, pp. 157~171.

Cutter, S., B. Osman-Elasha, J. Campbell, S.-M. Cheong, S. McCormick, R. Pulwarty, S. Supratid, and G. Ziervogel, "Managing the risks from climate extremes at the local level". *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)], A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 2012, pp. 291~338.

Davoudi, S., Carwford, J. and Mehmood, A "Climate Change and Spatial Planning Responses". *Planning for Climate Change*. Earthscan, UK, 2009, pp. 7~18.

Guy Carpenter, *Managing Catastrophe Model Uncertainty*, 2011.

Hammar-Klose, E.S., Pendleton, E.A., Thieler, E.R, and Williams, SJ, *Coastal Vulnerability Assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to Sea-Level Rise*. U.S. Geological Survey Open file Report 02-233, 2003.

Her Majesty's Stationery Office, *Planning Policy Statement 25; Development and Flood Risk,* 2010, pp. 25～26.

Hillen, Roeland and Piet Roelse, . "Dynamic preservation of the coastline in the Netherland". *Journal of Coastal Conservation,* 1, 1995, pp. 17~28.

IBRD World Bank, *Guide to Climate Change Adaptation in Cities,* 2011.

Ingram, J., G. Franco, C.R. Rio, and B. Khazai, "Post-disaster recovery dilemmas: Challenges in balancing short-term and long-term needs for vulnerability reduction". *Environmental Science and Policy*, 9(7-8), 2006, pp. 607~613.

IPCC, *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability, Third Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001.

_____, *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*[Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

IPCC, *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*: A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 2012, p. 582.

Johnson, Cassidy, *Creating an enabling environment for reducing disaster risk: Recent experience of regulatory frameworks for land, planning and building in low and middle-income countries*. UNISDR, 2011.

Kates, R.W., C.E. Colten, S. Laska, and S.P. Leatherman, “Reconstruction of New Orleans after Hurricake Katrina: A research perspective”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 2006.

LeBlanc, A. and Linkin, M, “Insurance Industry”. *Annals of the New York Academy of Sciences, New York City Panel on Climate Change 2010 Report*, 2010, pp. 113~126.

Mastrandrea, M.D., C.B. Field, T.F. Stocker, O. Edenhofer, K.L. Ebi, D.J. Frame, H. Held, E. Kriegler, K.J. Mach, P.R. Matschoss, G.-K. Plattner, G.W. Yohe, and F.W. Zwiers, “Guidance Note for Lead Authors of the IPCC”. *Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties*. Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC), 2010.

Miller, David, *Uncertainty in Hurricane Risk Modeling and Implications for Securitization,* 1999.

Mills, E, "Synergisms between climate change mitigation and adaptation : an insurance perspective", *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Chang*, Vol. 12(5), 2012, pp. 809~842

Morton, Robert A., Tara L. Miller and Laura J. Moore, “National assessment of shoreline change: Part 1: Historical shoreline changes and associated coastal land loss along the U.S. Gulf of Mexico”. U.S. Geological Survey Open-file Report 2004-1043, 2004, p.45.

Munich Re, Natural Hazard Statistics and Losses, NatCatService, 2012

Nagle, Garrett, “Protecting Venice from flooding”. *GeoActive Online Series* 15, Issues 4, 2004, pp. 312~315.

National Institute for Coastal and Marine Management, *Coastline management. Minitry of Transport, Public Works and Water Management*, Netherlands,

1996.

Pompe, J.J. and Rinehart, J.R, “Mitigating Damage Costs from Hurricane Strikes along the Wouthеastern U.S. Coasts: A Role for Insurance Markets”. *Ocean and Coastal Management*, 51, 2008, pp. 782~788.

Roeland, Hillen & Piet, Roelse, “Dynamic preservation of the coastline in Netherlands”. *Journal of Coastal Conservation*, 1(1), 1995, pp. 17~28.

Roelse, P. & Hillen R, “Evaluatie Zandsuppleties, Eindrapport(Evaluation study of sand nourishments)”. *RIKZ (National Institute of Coastal and Marine Management for the Netherlands) report*, Hague, Netherland, 1993.

Roelse, P, “Beach and dune nourishment in the Netherlands”. *The Dutch Coast, report of a session on the 22nd International Conference on Coastal Engineering 1990*. Rijkswaterstaat, The Hague, 1990.

Roelse, P, “Evaluatie Zandsuppleties, Eindrapport(Evaluation study sand nourishments, Final report)”, *RIKZ (National Institute of Coastal and Marine Management for the Netherlands) report*, Hague, Netherland, 1995.

SCOR, Working Group 89, “The response of beaches to sea level changes: a review of predictive models”. *Journal of Coastal Research,* 7, 1991, pp. 895~921.

Spalding, Mark D., Helen E. Fox, Gerald R. Allen, Nick Davidson *et al.,* “Marine Ecoregions of the World”. A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas”. *Bioscience*, 57(7), 2007, pp. 573-583.

Storms, J.E.A., Weltje, G.J., van Dyke, J.J., Geel, C.R., and Kroonenberg, S.B., “Process-response modeling of wave-dominated coastal systems: simulating evolution and stratigraphy on geological time scales”. *Journal of Sedimentary Research*, 72, 2002, pp. 226-239.

Swiss Re, *Natural Catastrophes and Man-made Disasters in 2011*. Sigma2, 2012.

The City of New York, *PlaNYC*, 2011, p. 155.

The World Bank (The International Bank for Reconstruction and Development), *Guide to Climate Change Adaptation in Cities*. USA, 2011.

UNESCO IOC, *Hazard awareness and risk mitigation in ICAM Integrated Coastal Area Management*. Paris, 2009.

UNESCO Venice Office, *From Global to Regional: Local Sea Level Rise Scenarios Focus on the Mediterranean Sea and the Adriatic Sea*. Italy, 2010.

UN-Habitat, *Planning sustainable cities : global report on human settlements*, United Nations Human Settlements Programme. London & Washington, DC, 2009.

_____, *Cities and Climate Change : Global Report on Human Settlements 2011,* United Nations Human Settlements Programme. London & Washington, DC, 2011.

UN-IOC, *Hazard Awareness and Risk Mitigation in ICAM,* 2009.

UNISDR, *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction,* 2011.

_____, *How To Make Cities More Resilient: A Handbook For Local Government Leaders*. UN, Geneva, 2012.

University of Washington,. *Olympic Sculpture Park: Year 3 Monitoring of Shoreline,* 2010.

Wilson, Elizabeth, "Adapting to Climate Change at the Local Level: The Spatial Planning Response". *Local Environment: The International Journal of Justice and Sustainability*, 11(6), 2006, pp. 609~625.

WMO, *Urban Flood Risk Management,* 2008.

World Bank, *Safer Homes, Stronger Communities: A Handbook for Reconstructing After Natural Disasters,* 2010.

<인터넷 자료>

보험소비자연맹 홈페이지

(http://www.kicf.org/counsel_accept/qna_view.asp?ISN=3178&page=11&ppage=2&field=&keyword=&flag=2)

베니스 MOSE 프로젝트 관련 자료

(http://www.i-italy.org11281/how-italian-technology-trying-save-venice-mose-project-presented-new-york)

(http://venetianmatters.blogspot.kr/2011/04/saving-venice-mose-project.html)

(http://blog.naver.com/PostList.nhn?blogId=carbonzero)

(http://www.consorziovenezianuova.it/)

(http://www.dailymail.co.uk)

(http://econews.com.au/)

이탈리아 관련 법률 (http://www.consorziovenezianuova.it/)

허리케인 카트리나 관련 사진

(http://www.globalsecurity.org/military/facility/images/new-orleans_050831-n-8154g-115.jpg)

(http://www.sciencephoto.com/image/163756/large/E1580146-New_Orleans_before_Hurricane_Katrina-SPL.jpg

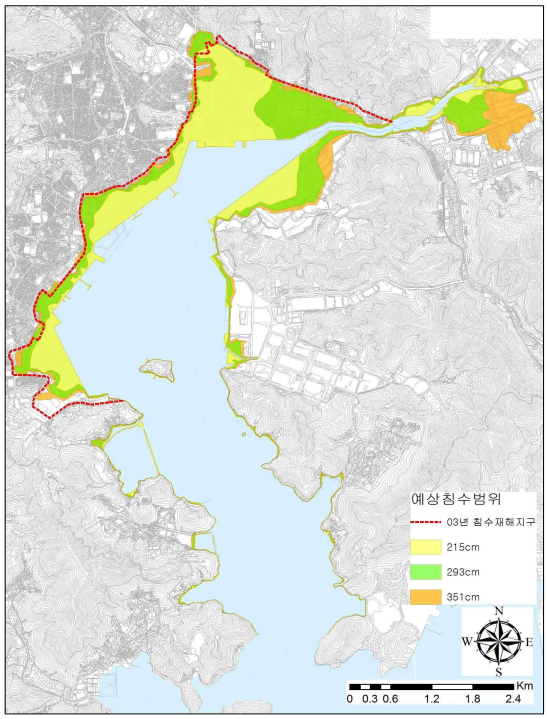
Global Atlas of Ocean Waves 홈페이지(http://www.sail.msk.ru/atlas/)

Open quake 홈페이지(http://openquake.org)

# 부 록. 마산만 침수예상지역 분석
# (1:1,000 지형도 기준)

## 1) 침수예상면적

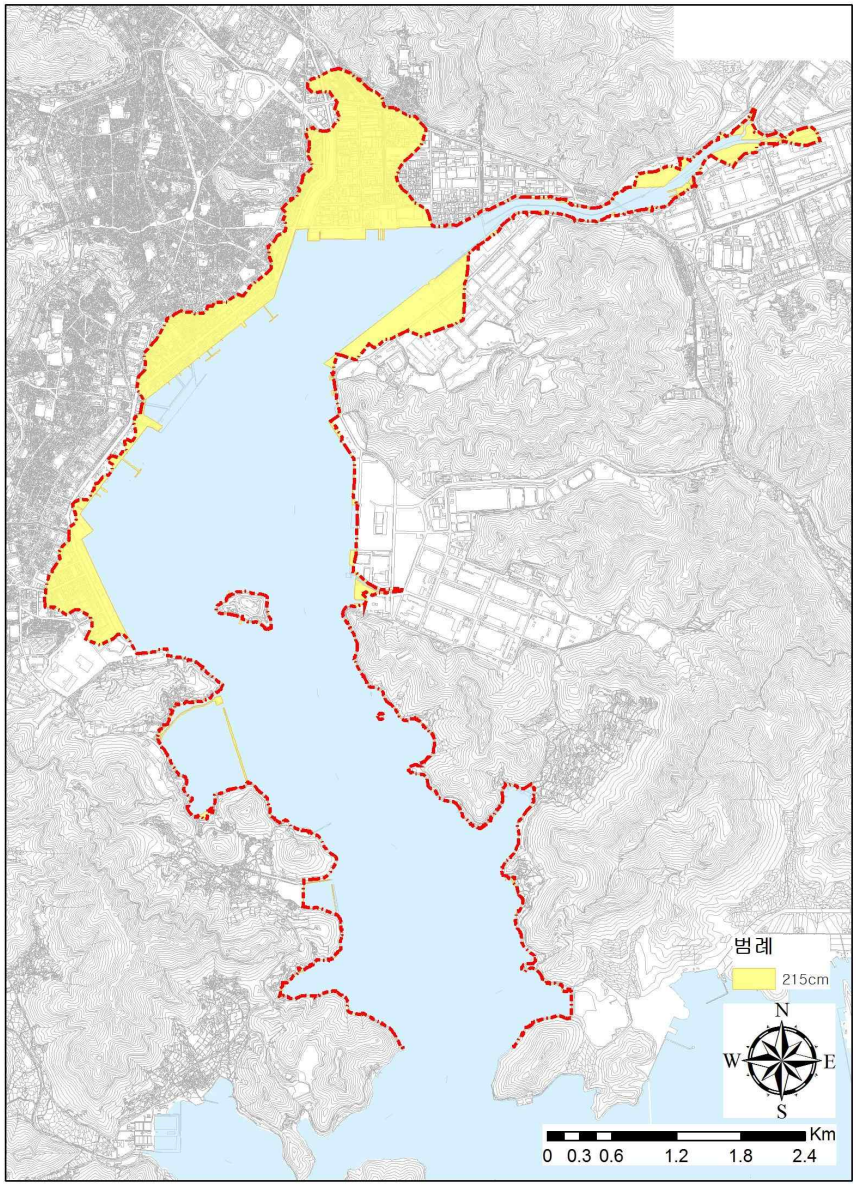
| 구분 | | 설명 | 면적(㎡) |
|---|---|---|---|
| 과거 기록 | 2003년 침수재해지구 | 태풍 매미 피해 면적 | 4,557,035.0 |
| 시나리오1 | 215cm | 태풍 매미 조위 상승고(215㎝) 적용한 침수예상지역 | 3,138,681.5 |
| 시나리오 2 | 293cm | 태풍매미 + 78㎝ (RCP 4.5 21세기 말 지구평균 상승고) | 5,623,006.2 |
| 시나리오 3 | 351cm | 태풍매미 + 136㎝(RCP 8.5 21세기 말 우리나라 주변해역 상승고)(최악상황) | 6,926,894.9 |



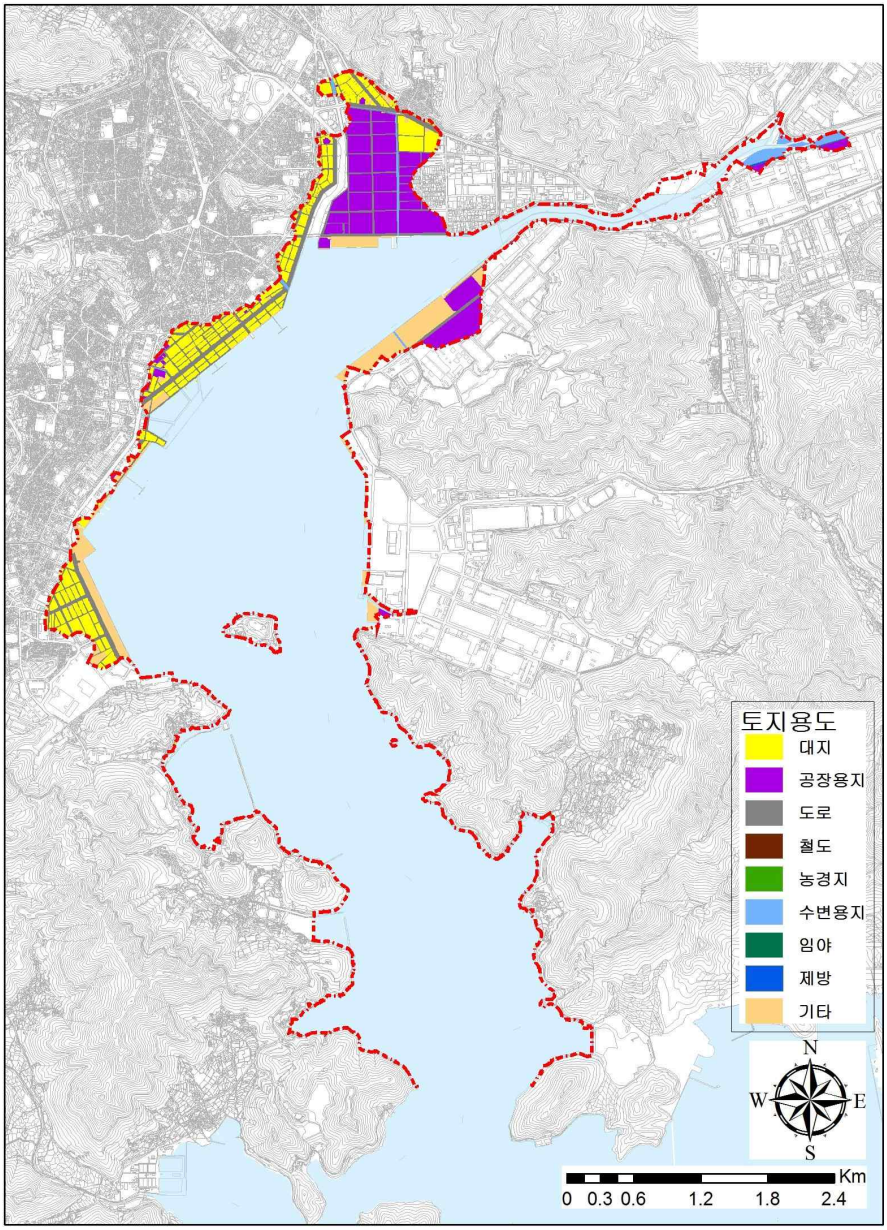

〈시나리오별 예상 침수범위〉

## 2) 시나리오 1 : 215cm

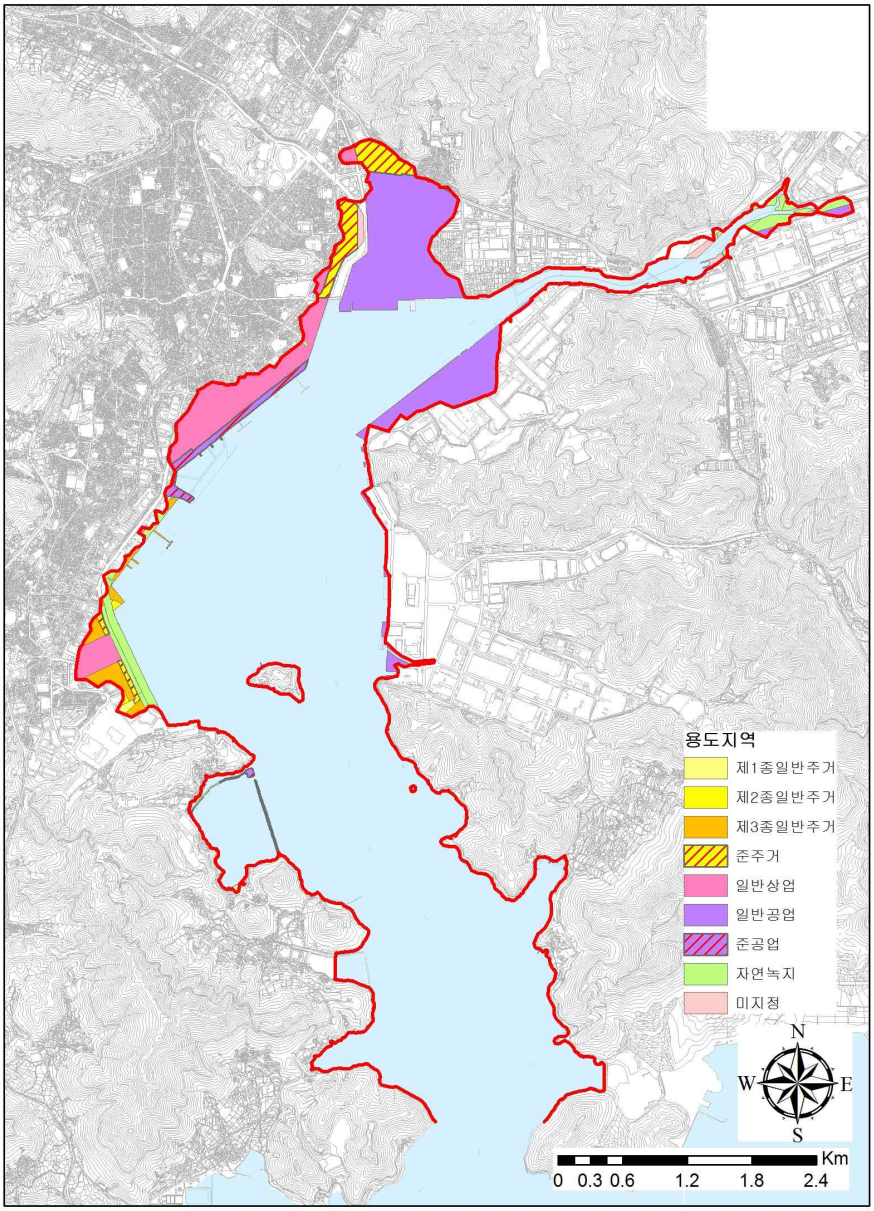
| 구분 | | 면적(㎡) | 개소 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 침수면적 | | 3,138,681.5 | | 215cm |
| 건축물 | 소계 | 843,463.8 | 2717 | - |
| | 주택 | 53,181.9 | 591 | - |
| | 연립주택 | 8,798.1 | 12 | - |
| | 아파트 | 40,396.6 | 47 | - |
| | 주택 외 건물 | 716,010.2 | 1998 | - |
| | 기타 건물 | 19,329.0 | 64 | 무벽건물, 온실, 가건물 |
| | 공사 중 건물 | 5,748.1 | 5 | - |
| 주요 시설 | 소계 | - | 240 | - |
| | 공공 | - | 4 | 지행행정,치안행정,기타행정, 정부투자기관 |
| | 공업 | - | 19 | 공장, 변전소 |
| | 교육·체육 | - | 18 | 학교, 유치원, 도서관, 실내체육관, 학원 |
| | 금융·언론 | - | 12 | 은행, 협동조합, 보험회사 |
| | 문화·종교 | - | 13 | 교회, 성당, 절, 공회당 |
| | 복지 | - | 10 | 아동복지 및 사회복지시설 |
| | 상업 | - | 11 | 시장, 백화점, 관광음식점 |
| | 숙박 | - | 73 | 호텔, 여관, 콘도미니업, 목욕탕 |
| | 운수 | - | 54 | 고속버스·시외버스터미널, 자동차정비수리소, 세자장, 주요소 |
| | 의료 | - | 25 | 병원 |
| | 기타 | - | 1 | 창고, 배수장, 정미소, 축사 |
| 연안 시설물 | 소계 | 246,999.9 | - | - |
| | 방파제 | 16,232.2 | - | - |
| | 해안도로 | 213,898.5 | - | - |
| | 제방 | 16,869.2 | - | - |
| 토지 이용 | 소계 | 3,138,681.5 | 2778 | - |
| | 대지 | 756,755.6 | 2025 | - |
| | 공장용지 | 858,968.0 | 171 | - |
| | 농경지 | 2,640.3 | 34 | 전, 답, 과수원 |
| | 수변용지 | 107,868.1 | 46 | 구거, 하천, 유지, 수도용지 |
| | 도로 | 612,100.9 | 319 | - |
| | 제방 | 7,695.0 | 7 | - |
| | 임야 | 830.8 | 34 | - |
| | 기타 | 310,476.2 | 142 | - |



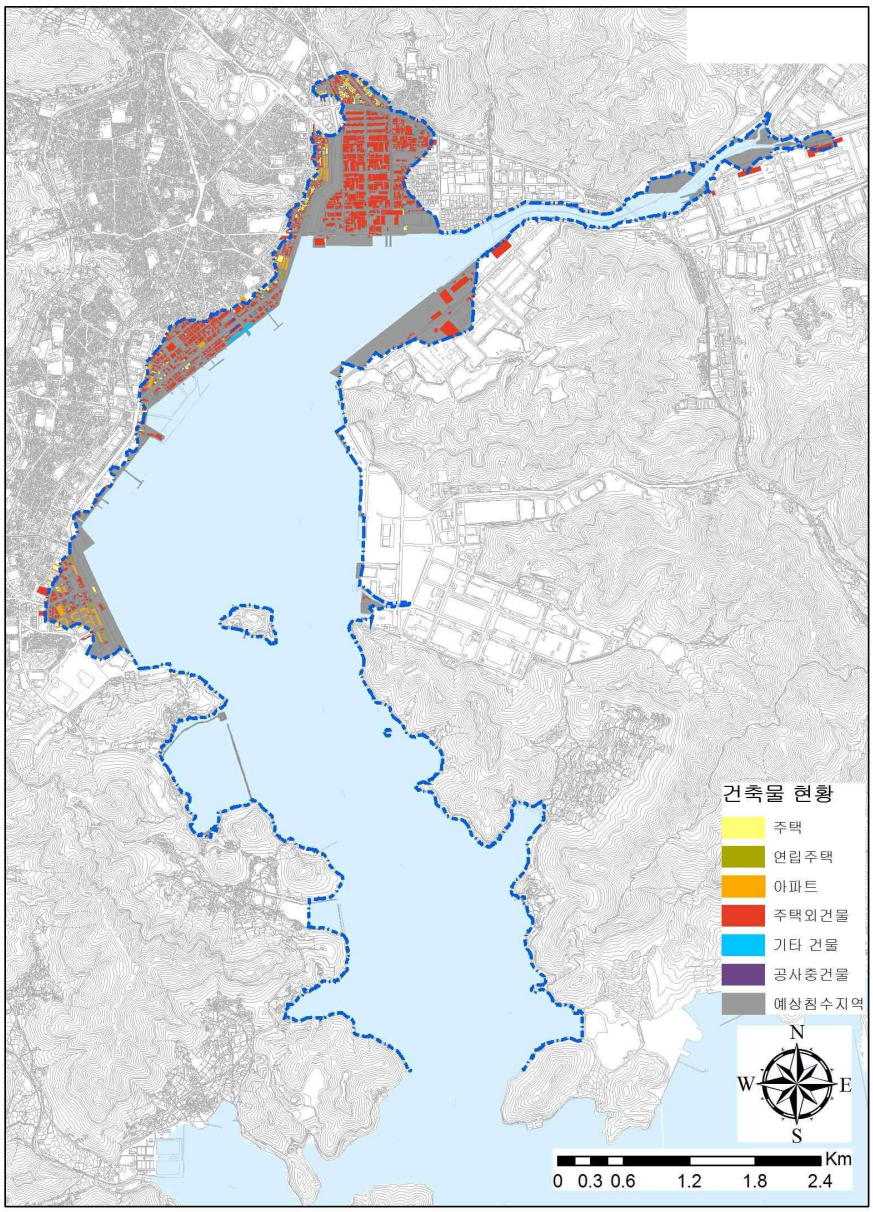

〈침수예상지역 범위〉



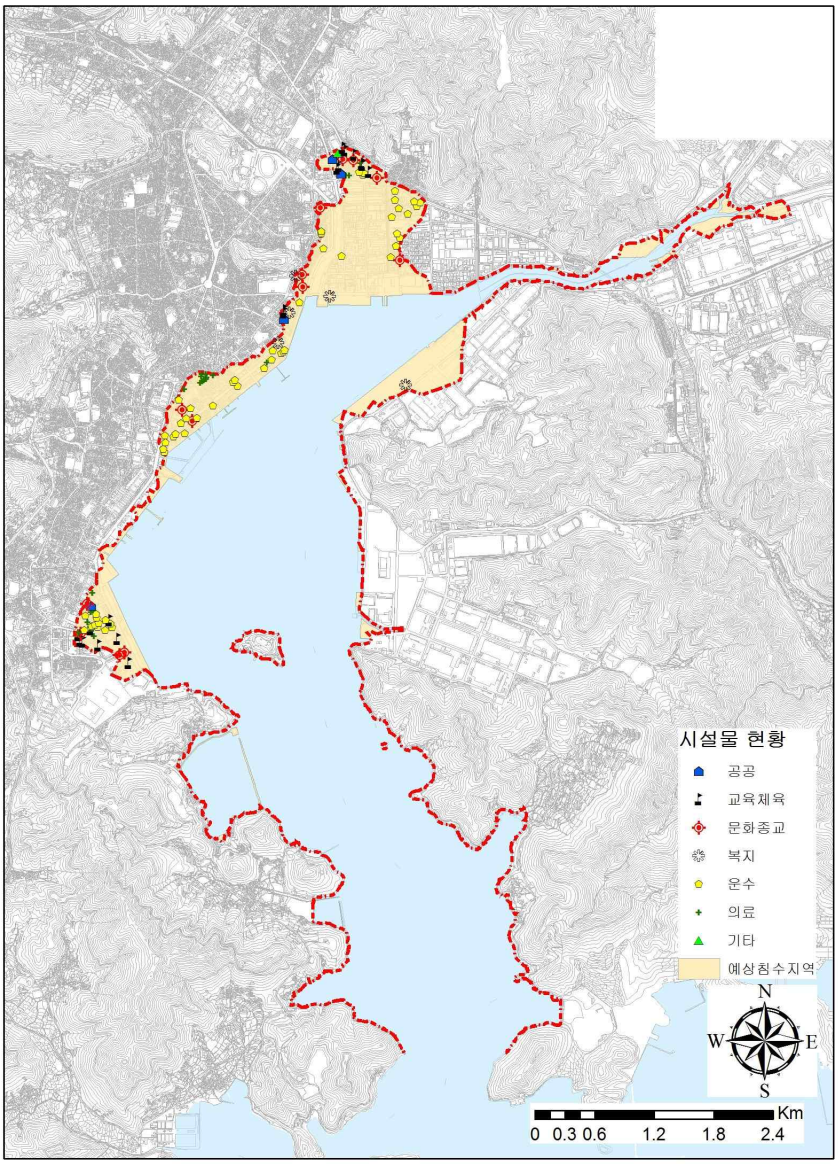

〈침수예상지역 내 토지이용 현황〉



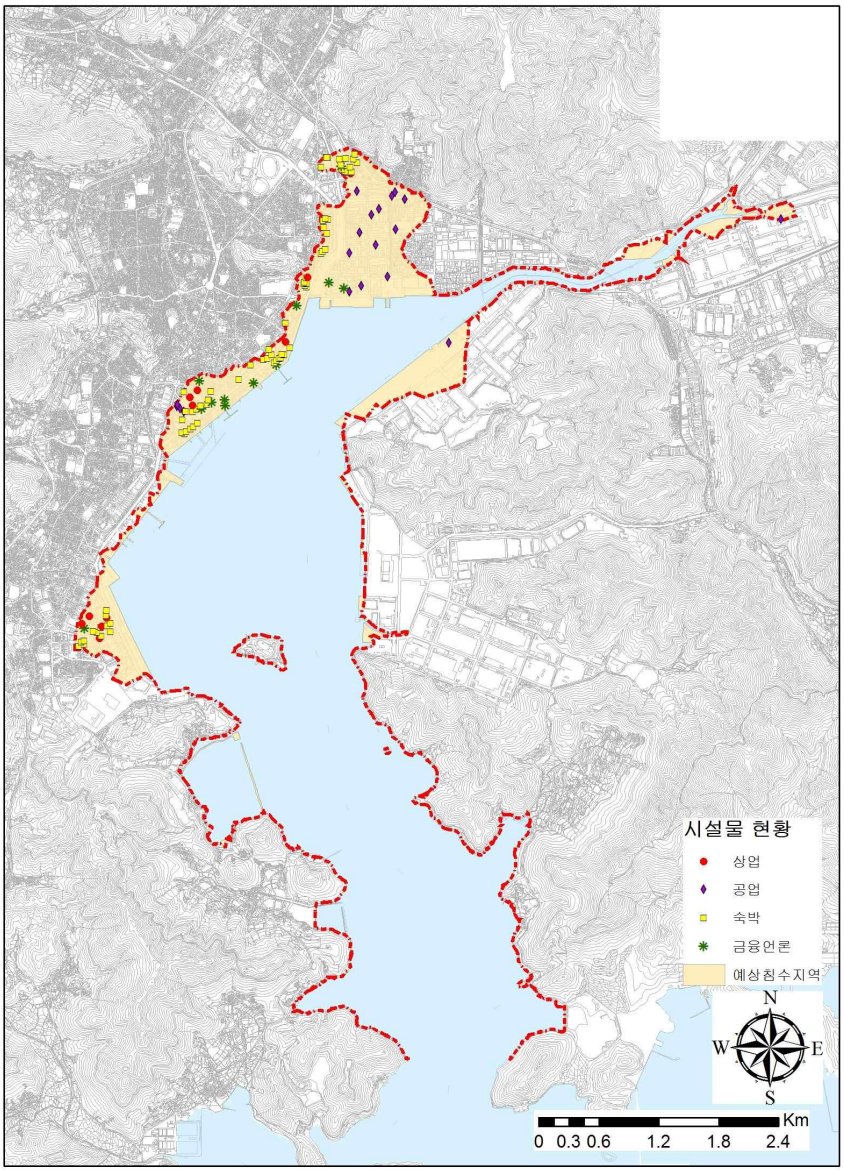

〈침수예상지역 내 용도지역 현황〉



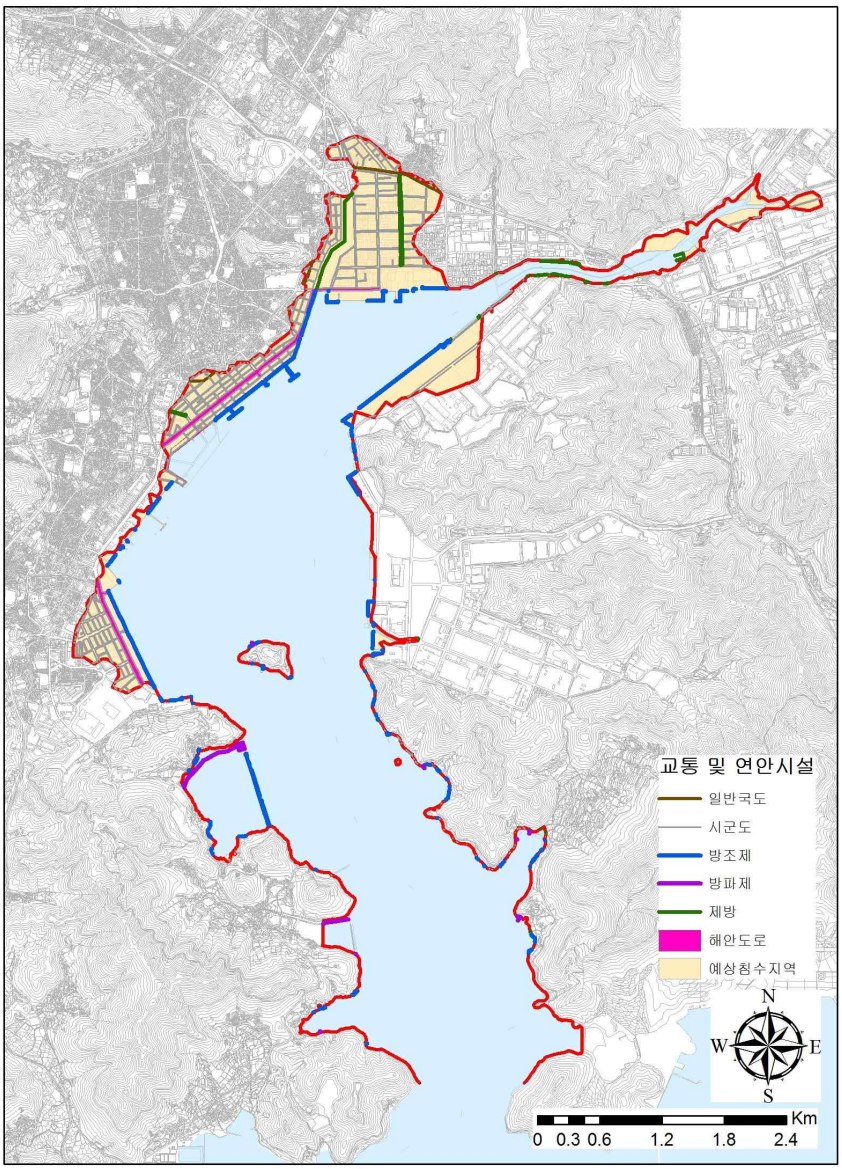

〈침수예상지역 내 건축물 현황〉




〈침수예상지역 내 시설물 현황〉



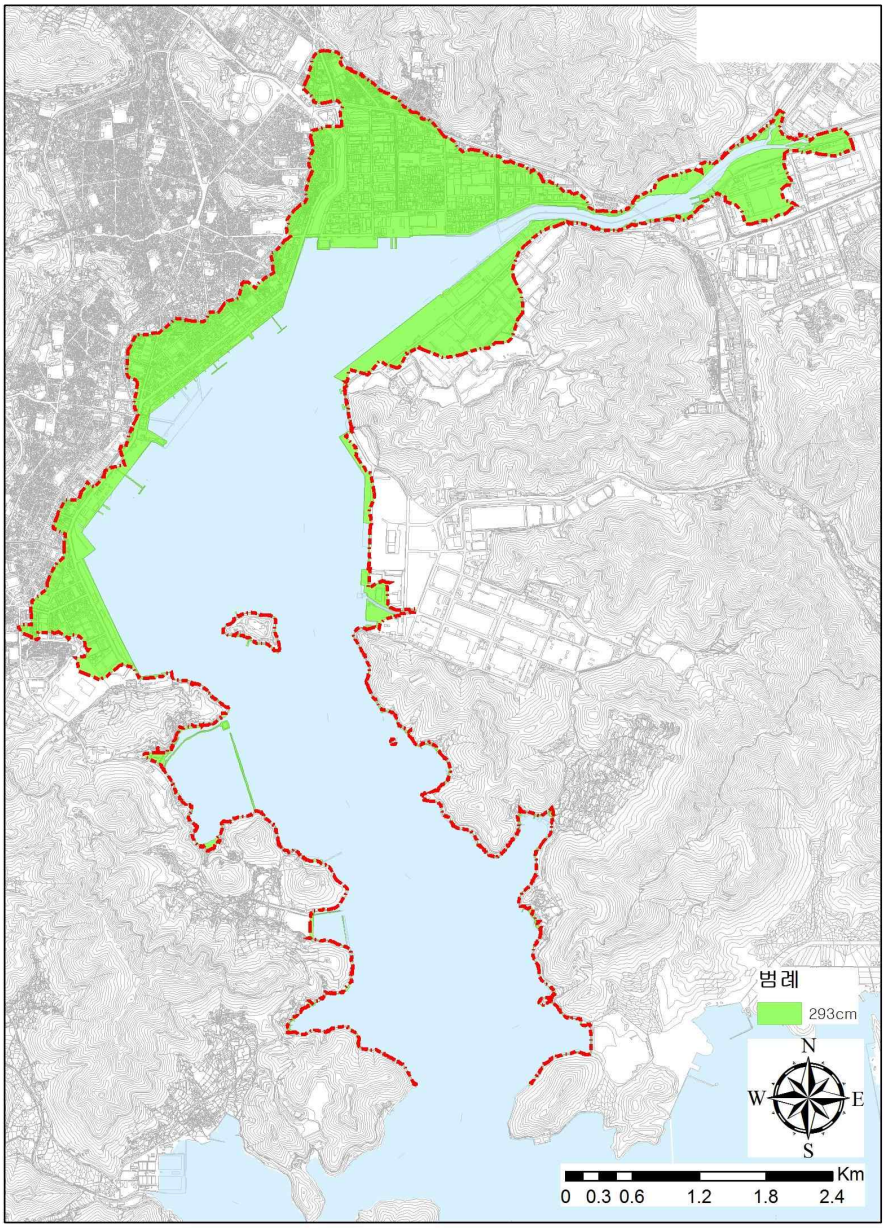

〈침수예상지역 내 토지이용 현황〉



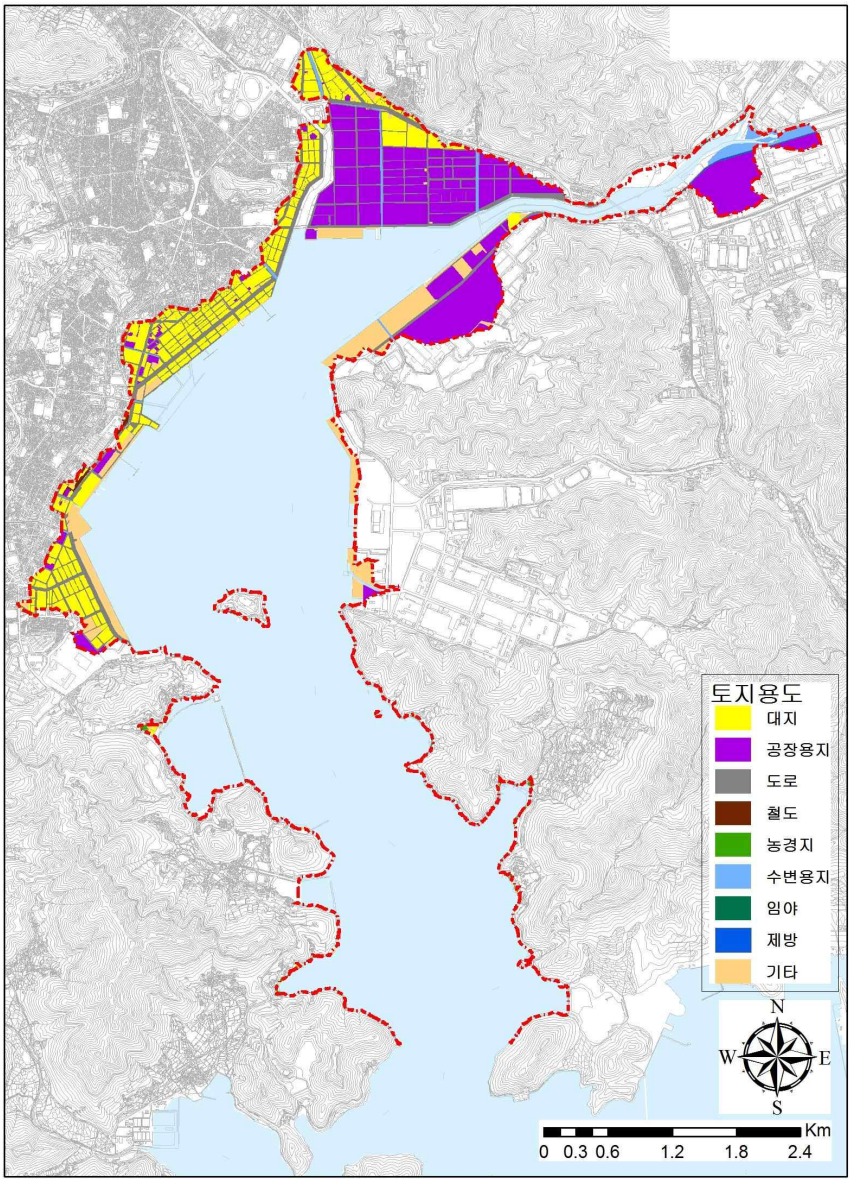

〈침수예상지역 내 교통시설 및 연안시설물 현황〉

### 3) 시나리오 2 : 293cm

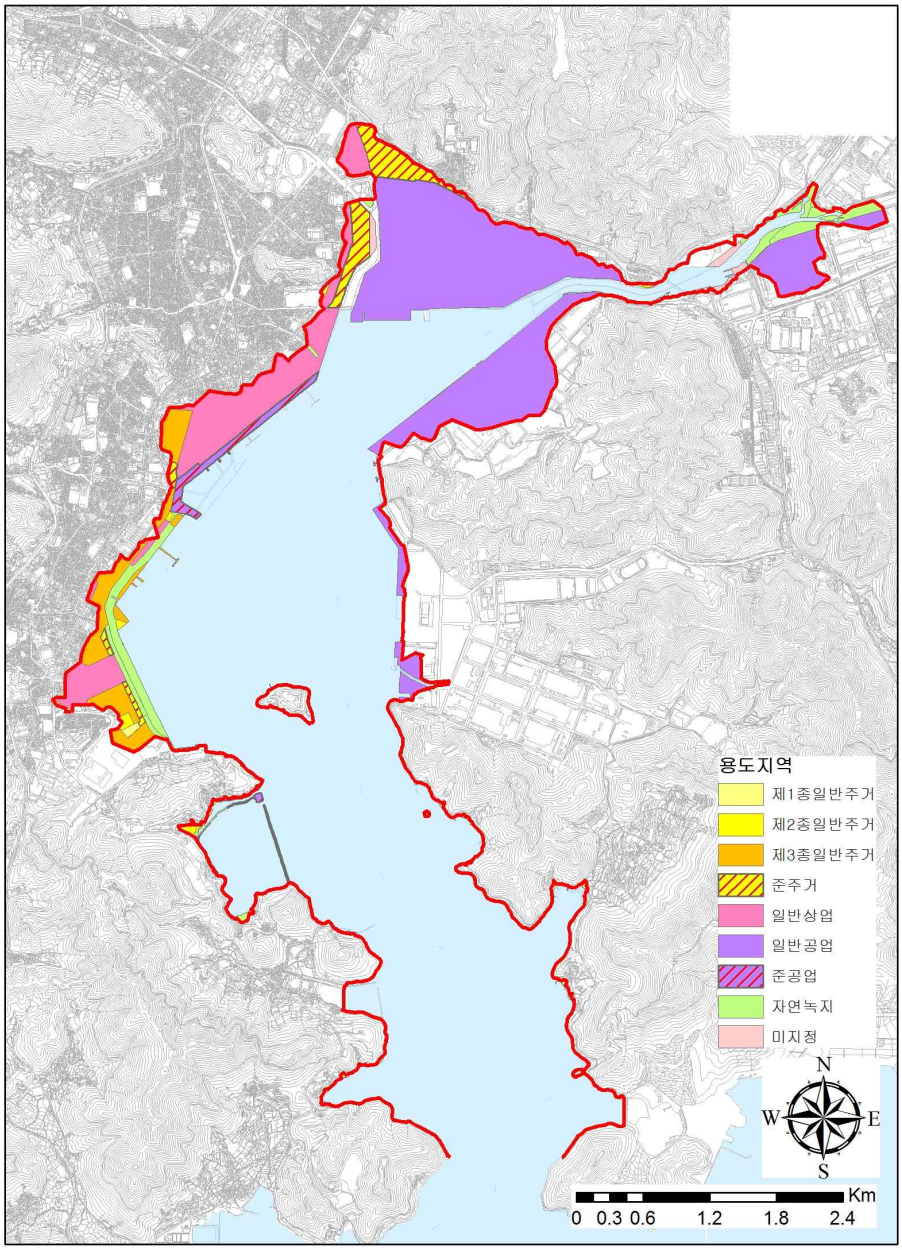
| 구분 | | 면적(㎡) | 개소 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 침수면적 | | 5,623,006.2 | | 293cm |
| 건축물 | 소계 | 1,719,795.6 | 4681 | - |
| | 주택 | 92,985.4 | 1171 | - |
| | 연립주택 | 14,941.0 | 25 | - |
| | 아파트 | 67,504.7 | 90 | - |
| | 주택외 건물 | 1,506,947.8 | 3250 | - |
| | 기타건물 | 31,072.8 | 139 | 무벽건물, 온실, 가건물 |
| | 공사중건물 | 6,343.9 | 6 | - |
| 주요 시설 | 소계 | - | 403 | - |
| | 공공 | - | 10 | 지행행정,치안행정,기타행정, 정부투자기관 |
| | 공업 | - | 48 | 공장, 변전소 |
| | 교육체육 | - | 37 | 학교, 유치원, 도서관, 실내체육관, 학원 |
| | 금융언론 | - | 22 | 은행, 협동조합, 보험회사 |
| | 문화종교 | - | 24 | 교회, 성당, 절, 공회당 |
| | 복지 | - | 12 | 아동복지 및 사회복지시설 |
| | 상업 | - | 12 | 시장, 백화점, 관광음식점 |
| | 숙박 | - | 100 | 호텔, 여관, 콘도미니업, 목욕탕 |
| | 운수 | - | 87 | 고속버스·시외버스터미널, 자동차정비수리소, 세자장, 주요소 |
| | 의료 | - | 50 | 병원 |
| | 기타 | - | 1 | 창고, 배수장, 정미소, 축사 |
| 연안 시설물 | 소계 | 379,698.9 | - | - |
| | 방파제 | 16,232.2 | 6 | - |
| | 해안도로 | 329,251.0 | - | - |
| | 제방 | 34,215.7 | 12 | - |
| 토지 이용 | 소계 | 5,623,006.2 | 5194 | - |
| | 대지 | 1,230,457.2 | 3525 | - |
| | 공장용지 | 2,042,601.0 | 478 | - |
| | 농경지 | 18,809.0 | 100 | 전, 답, 과수원 |
| | 수변용지 | 168,387.5 | 81 | 구거, 하천, 유지, 수도용지 |
| | 도로 | 1,006,672.2 | 712 | - |
| | 제방 | 17,792.1 | 10 | - |
| | 임야 | 5,741.0 | 55 | - |
| | 기타 | 444,194.3 | 198 | - |



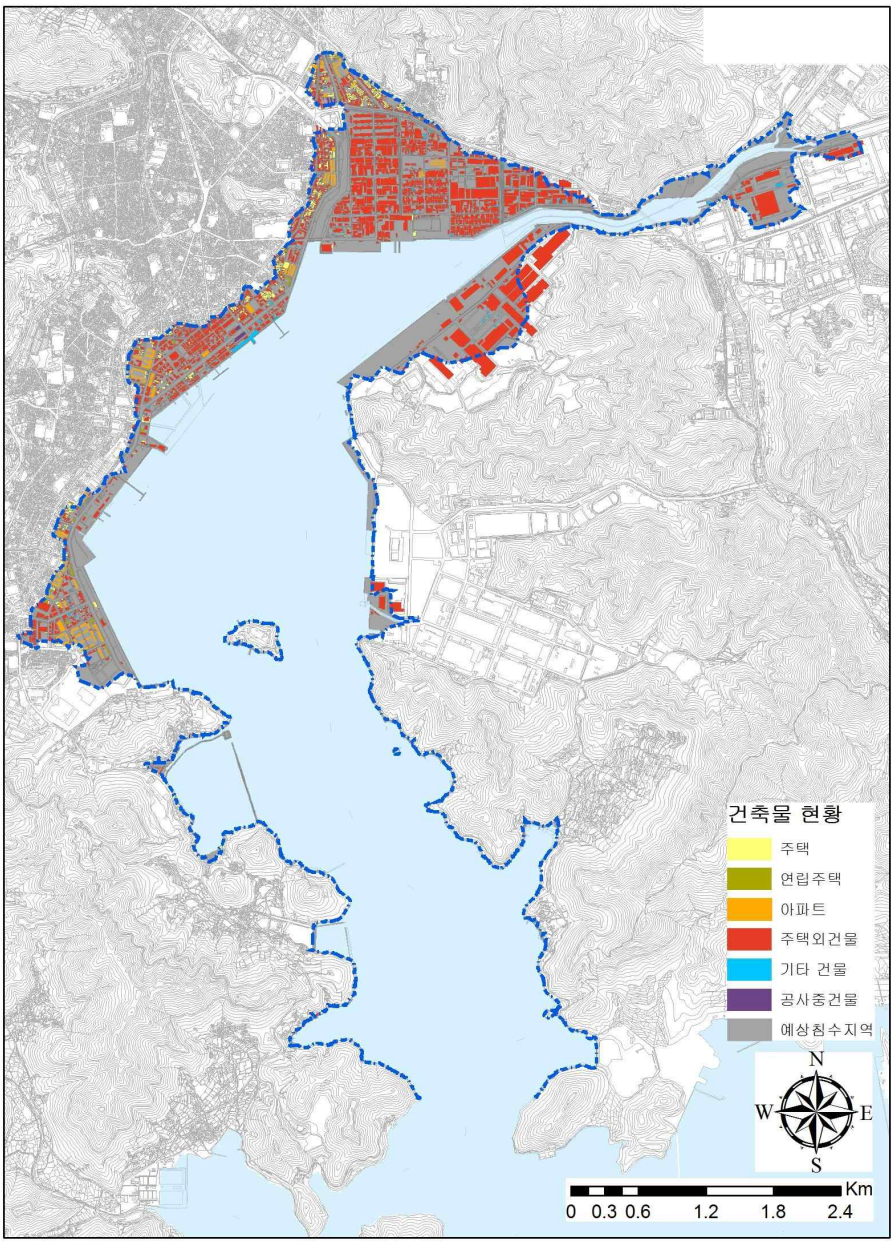

〈침수예상지역 범위〉



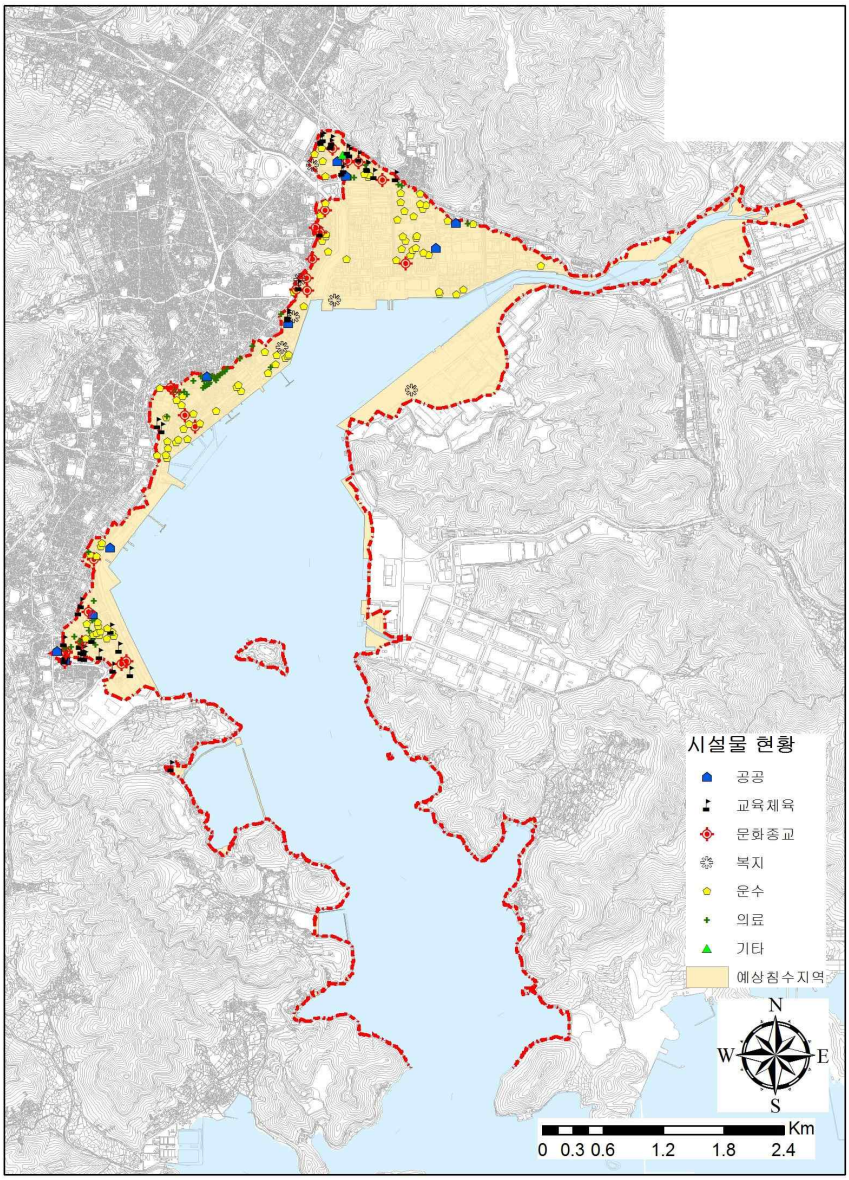

〈침수예상지역 내 토지이용 현황〉



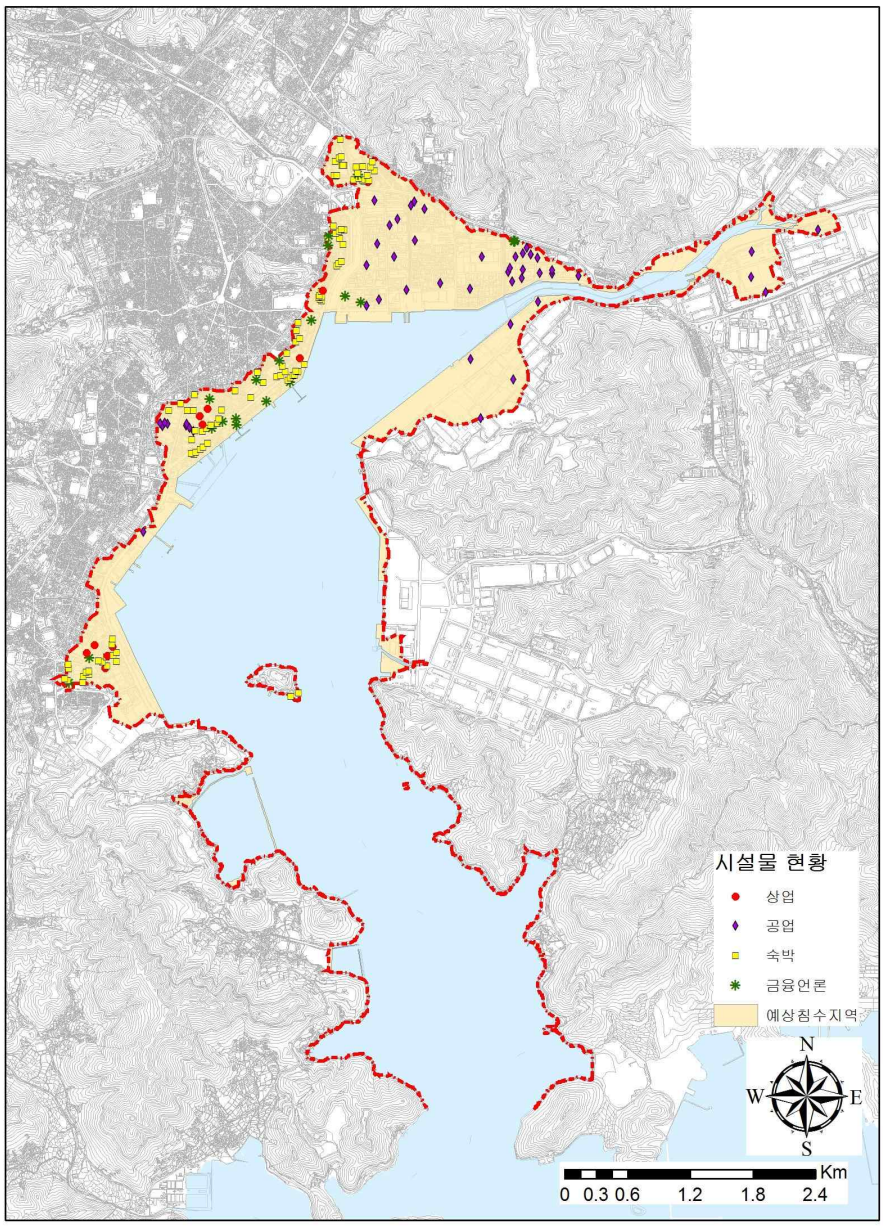

〈침수예상지역 내 용도지역 현황〉



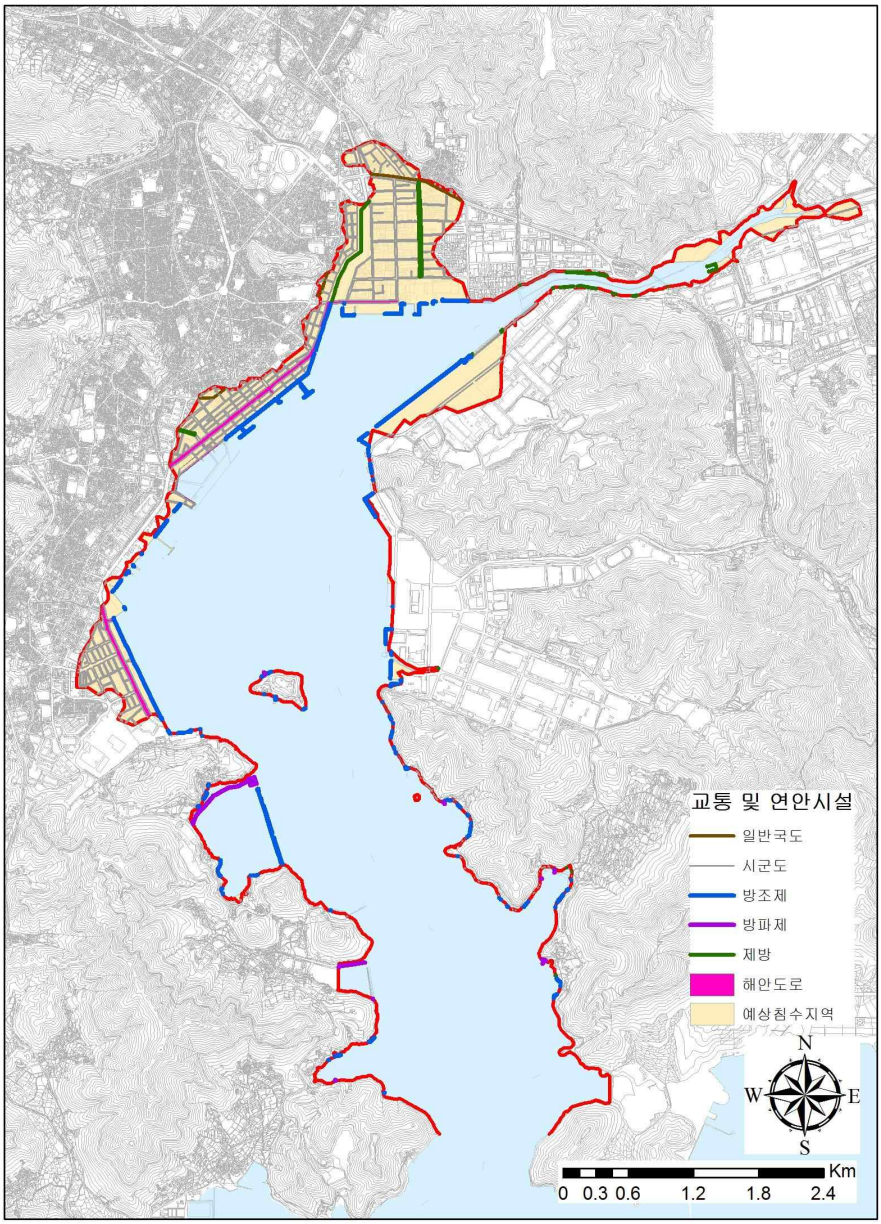

〈침수예상지역 내 건축물 현황〉




〈침수예상지역 내 시설물 현황〉



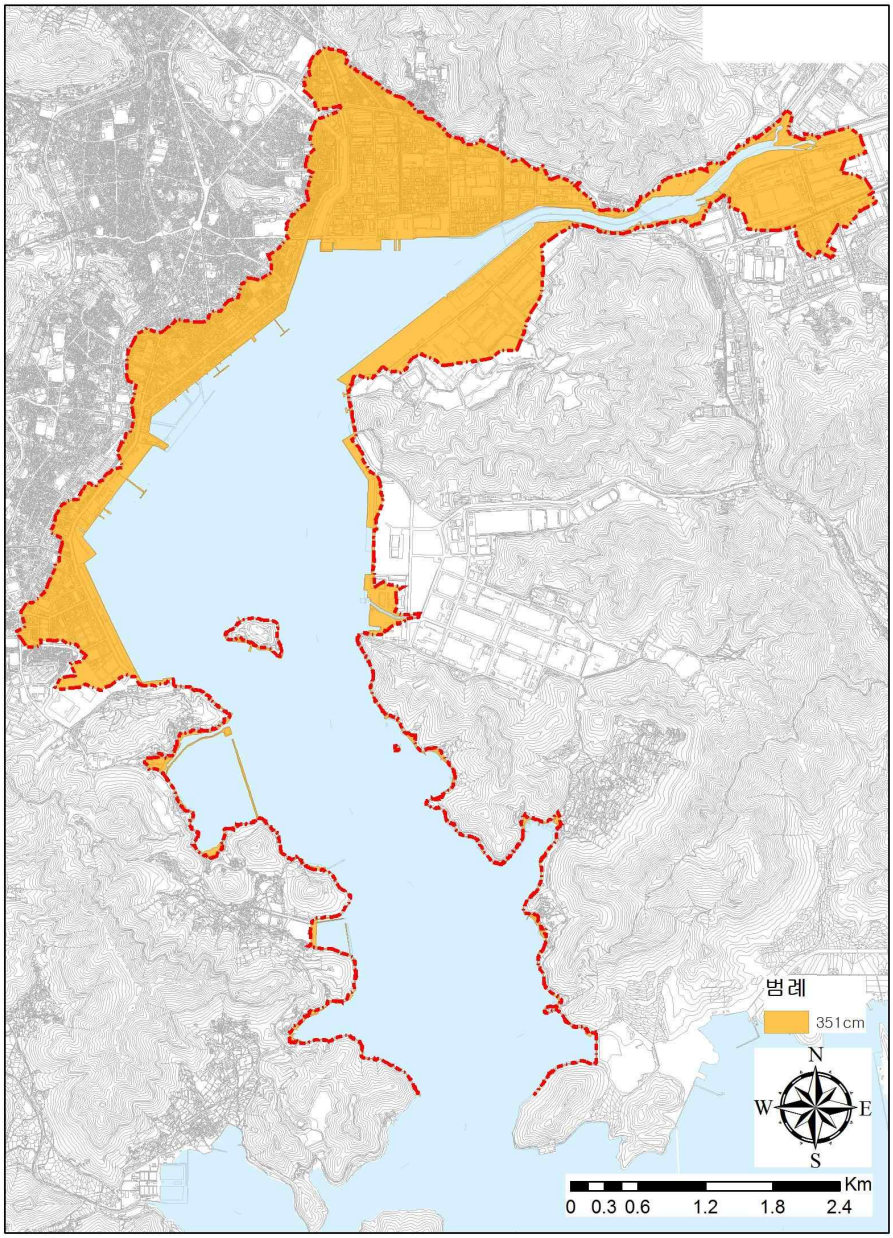

〈침수예상지역 내 시설물 현황〉



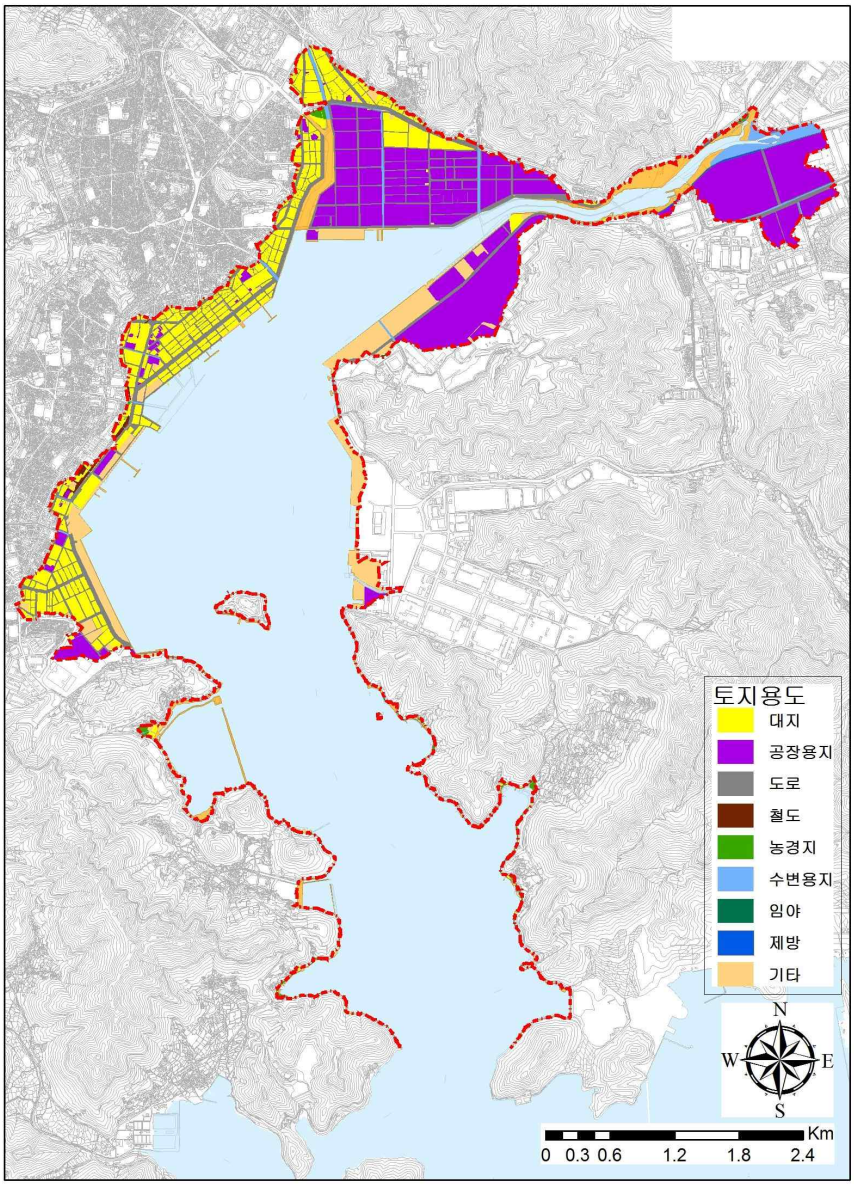

〈침수예상지역 내 교통시설 및 연안시설물 현황〉

## 4) 시나리오 3 : 351cm

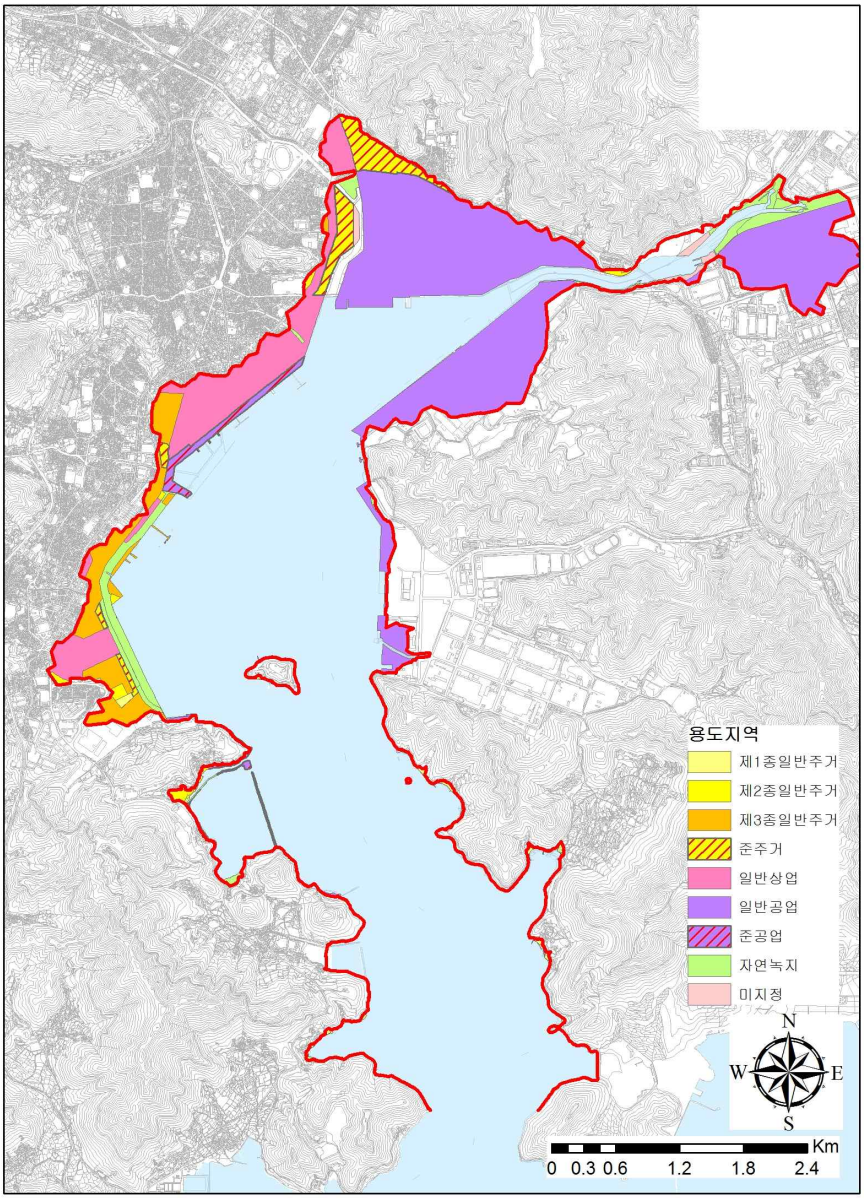
| 구분 | | 면적(㎡) | 개소 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 침수면적 | | 6,926,894.9 | | 351cm |
| 건축물 | 소계 | 2,082,244.4 | 5582 | - |
| | 주택 | 118,806.4 | 1532 | - |
| | 연립주택 | 19,103.6 | 29 | - |
| | 아파트 | 72,574.3 | 99 | - |
| | 주택외 건물 | 1,828,671.6 | 3737 | - |
| | 기타건물 | 36,017.0 | 177 | 무벽건물, 온실, 가건물 |
| | 공사중건물 | 7,071.5 | 8 | - |
| 주요 시설 | 소계 | - | 446 | - |
| | 공공 | - | 11 | 지행행정,치안행정,기타행정, 정부투자기관 |
| | 공업 | - | 63 | 공장, 변전소 |
| | 교육체육 | - | 49 | 학교, 유치원, 도서관, 실내체육관, 학원 |
| | 금융언론 | - | 28 | 은행, 협동조합, 보험회사 |
| | 문화종교 | - | 28 | 교회, 성당, 절, 공회당 |
| | 복지 | - | 12 | 아동복지 및 사회복지시설 |
| | 상업 | - | 14 | 시장, 백화점, 관광음식점 |
| | 숙박 | - | 118 | 호텔, 여관, 콘도미니업, 목욕탕 |
| | 운수 | - | 94 | 고속버스·시외버스터미널, 자동차정비수리소, 세자장, 주요소 |
| | 의료 | - | 68 | 병원 |
| | 기타 | - | 1 | 창고, 배수장, 정미소, 축사 |
| 연안 시설물 | 소계 | 531,500.9 | - | - |
| | 방파제 | 16,232.2 | 6 | - |
| | 해안도로 | 478,992.6 | - | - |
| | 제방 | 36,276.1 | 12 | - |
| 토지 이용 | 소계 | 6,926,894.9 | 6475 | - |
| | 대지 | 1.421.371.3 | 4327 | - |
| | 공장용지 | 2.729.273.1 | 529 | - |
| | 농경지 | 50.008.8 | 175 | 전, 답, 과수원 |
| | 수변용지 | 209.409.9 | 113 | 구거, 하천, 유지, 수도용지 |
| | 도로 | 1.188.925.9 | 973 | - |
| | 제방 | 26.781.5 | 13 | - |
| | 임야 | 13.640.8 | 81 | - |
| | 기타 | 497,629.7 | 220 | - |



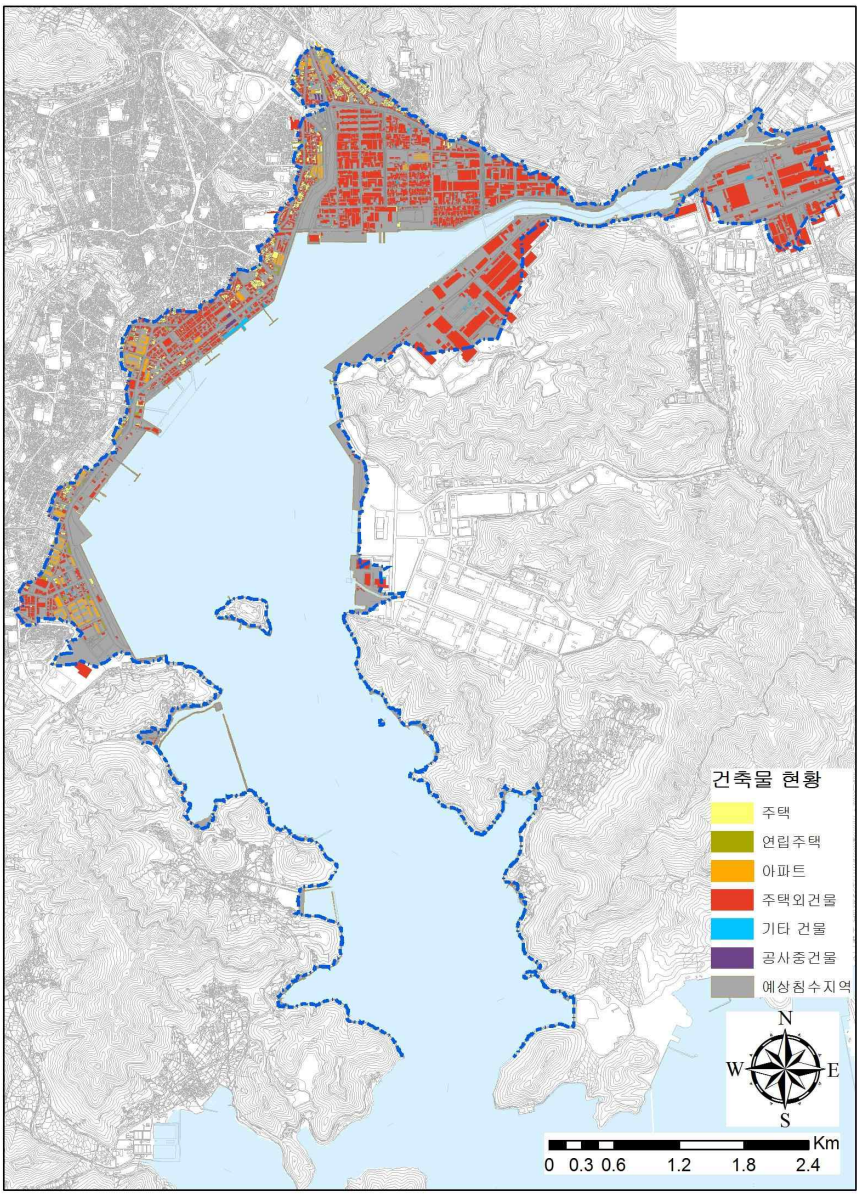

〈침수예상지역 범위〉



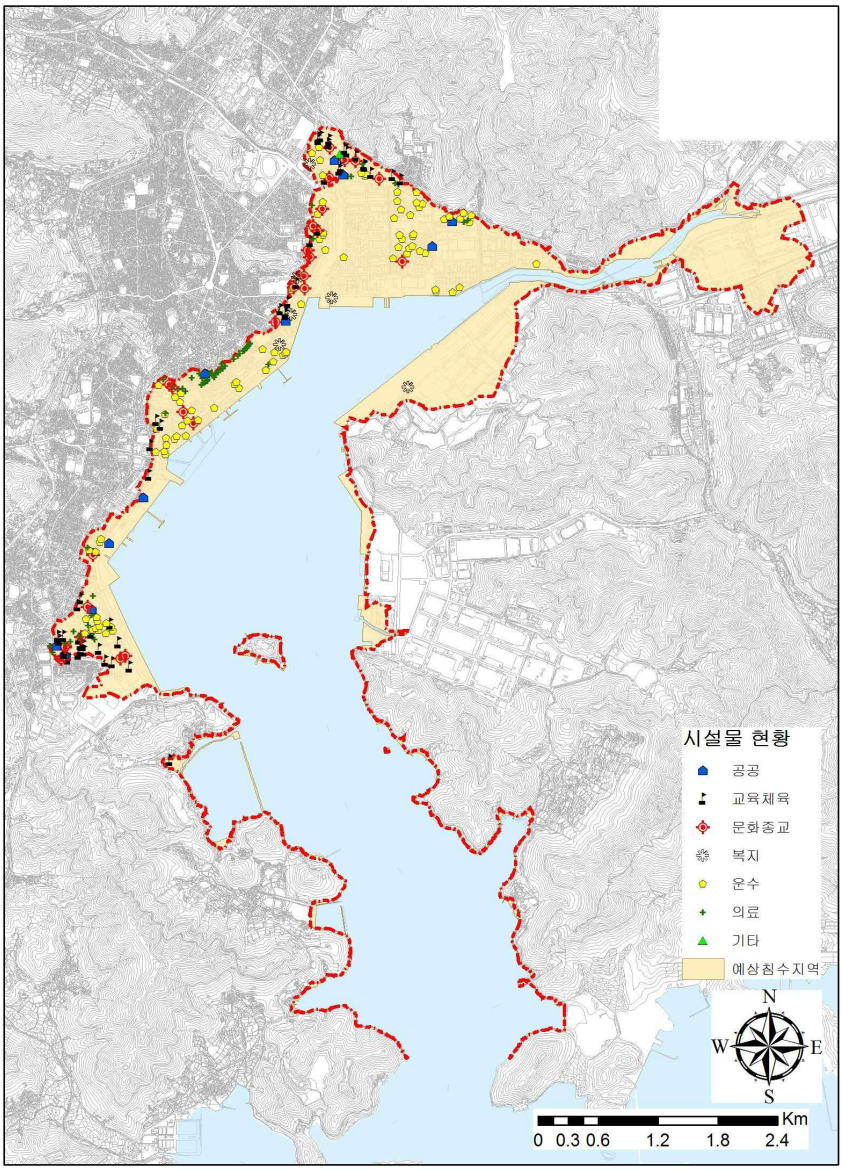

〈침수예상지역 내 토지이용 현황〉



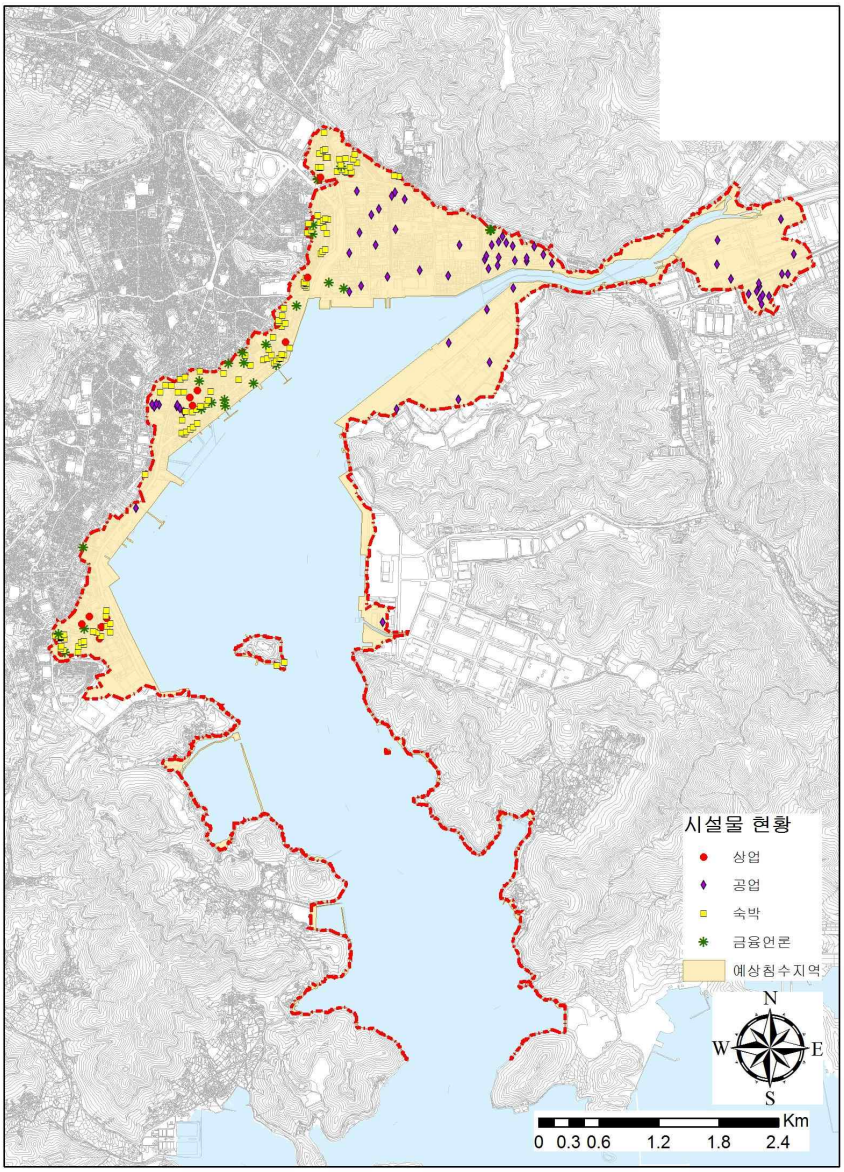

〈침수예상지역 내 용도지역 현황〉



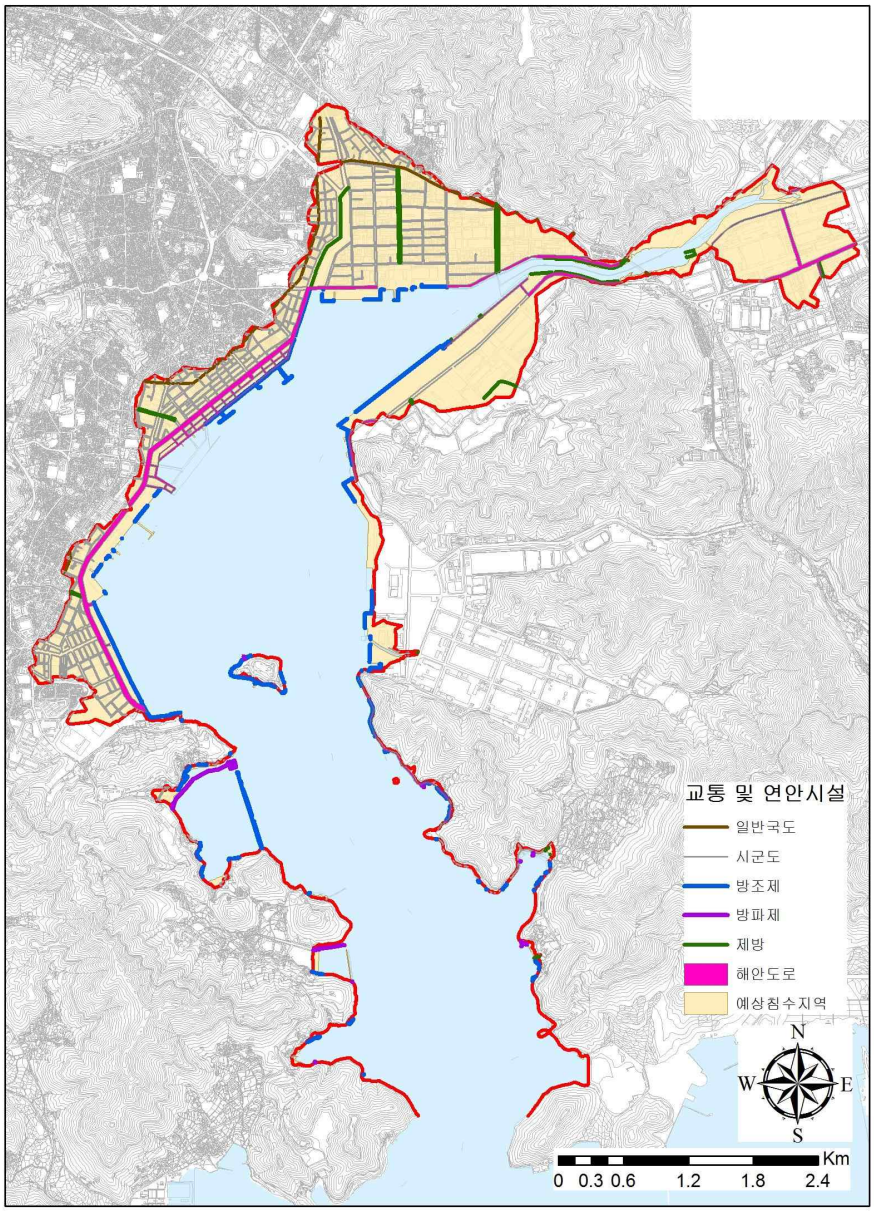

〈침수예상지역 내 건축물 현황〉




〈침수예상지역 내 시설물 현황〉




〈침수예상지역 내 시설물 현황〉




〈침수예상지역 내 시설물 현황〉

연안의 기후변화 대응능력 평가 및 제고방안 연구
-지방자치단체의 연안재해 대응을 중심으로

2012年 12月 29日 印刷
2012年 12月 31日 發行

編輯兼發行人 金 學 韶
發行處 韓國海洋水産開發院
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 / ㈜비전테크시스템즈 1588-0233 정가 15,000원

판매 및 보급 : 정부간행물판매센터 Tel : 02-394-0337