



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

박 경 교수 지도
박사학위 청구논문

기후변화에 따른 해수면 상승 범람지역
영향평가 및 적응전략 연구

2017

성신여자대학교 대학원
지리학과
이 해 미

기후변화에 따른 해수면 상승 범람지역
영향평가 및 적응전략 연구

박 경 교수 지도

이 논문을 박사학위논문으로 제출함

2016년 10월

성신여자대학교 대학원
지리학과
이 해 미

이해미의 박사학위 논문으로 인준함

2016년 10월

심사위원장_____ (인)

심사위원_____ (인)

심사위원_____ (인)

심사위원_____ (인)

심사위원_____ (인)

성신여자대학교 대학원

논문개요

전지구적으로 진행되는 기후변화는 해수면 상승과 극한 기상현상 증가로 인해 연안의 자연시스템 뿐만 아니라 사회·경제시스템 모두 자연재해에 대한 높은 취약성을 가져올 것으로 전망된다. 한국은 상대적으로 산지가 많고 평지가 적은 관계로 농경지 및 산업기반 시설 건설 등 해안 저지대에 대한 개발이 활발하였다. 연안지역에 다양한 사회·경제적 인프라가 집중되어 있는 한국은 현재도 태풍 발생 시 연안 저지대와 농경지의 침수, 해안도로 및 사빈 침식 등 곳곳에서 많은 피해가 발생하고 있으며 이러한 피해는 미래 해수면 상승과 태풍의 빈도 및 강도가 변화되면서 더 심각한 문제를 가져올 것으로 예상된다.

본 연구는 한국의 전 연안을 대상으로 미래 해수면 상승에 대한 영향평가를 통해 취약성을 모니터링하고 지역 현황을 고려한 해수면 상승 적응방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 첫째, 해수면 상승 시나리오를 선정하여 한국 전 해안을 대상으로 범람 예상지역을 지도로 산출하고, 둘째, 산출된 예상 범람도를 주택, 주요 시설물(공공시설, 의료시설, 위험물저장처리시설, 발전시설), 교통시설, 산업단지, 토지피복 현황, 환경영향평가 개발사업 등의 GIS 데이터와 중첩하여 범람 예상지역에 포함된 주요 사회·경제적 인프라 현황과 예상 피해 인구를 정량적으로 분석하여 연안 취약성을 판단하였으며, 셋째, 범람 예상지역 토지피복 현황 분석 결과를 바탕으로 사례지역을 선정하여 지역 현황을 고려한 해수면 상승 적응방안을 제시하고자 하였다.

한국 연안지역의 해수면 상승에 대한 범람 영향평가 결과, 우리나라 연안의 사회·경제적 인프라는 미래 해수면 상승에 대해 취약성이 높은 것으로 평가되었다. 특히 조차가 크고 연안 저지대의 분포가 넓은 서해안 지역에서의 피해를 클 것으로 나타났다. 해수면 상승에 대한 적응방안을 제시하기 위해 범람 예상 지역의 특성에 따라 자연습지 지역, 농경지 지역, 도시화 지역으로 구분하고

각각의 사례지역을 선정하여 예상 범람 피해를 살펴보았으며, 지역 특성에 맞는 적응방안을 제시하였다. 또한 기존 국가 및 지자체 기후변화 적응대책의 연안 및 해수면 상승 관련 적응대책을 검토하고 개선점을 제시하였다.

미래 해수면 상승에 대한 영향평가와 적응대책 수립은 국가의 안보 및 자연과 인간의 공존, 인간시스템에 대한 보호 측면에서 중요한 의미를 가지며, 이에 본 연구를 통한 피해 예측 영향평가 및 토지이용 특성을 고려한 적응방안에 대한 고민은 기후변화로 인한 자연재해 및 다양한 문제들이 가시화되고 있는 현 시점에서, 향후 기후변화로 인한 해수면 상승에 대비한 적응대책 수립에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

목 차

논문개요

I. 서론	1
1. 연구 목적	1
2. 연구 방법	6
II. 선행 연구	11
1. 국내 연구	11
2. 해외 연구	17
III. 해수면 상승 시나리오 및 범람도 산출	23
1. 해수면 상승 시나리오	23
1) RCP(Representative Concentration Pathways) 해수면 시나리오 ...	24
2) 태풍해일	28
3) 조석	28
2. 범람도 산출 및 검증	29
IV. 연안 범람역 영향평가	32
1. 범람 예상지역	32
2. 범람 예상지역 사회·경제현황 영향평가	37
1) 주택	37
2) 인구	42
3) 주요 시설물	44
4) 토지피복 현황	46
5) 교통시설	54
6) 산업단지	58

7) 환경영향평가 개발사업	62
V. 적응방안	67
1. 사례지역 분석	67
1) 자연습지 지역 : 보령시 소항사구	68
2) 농경지 지역 : 고창군 법장천 하구	78
3) 도시화 지역 : 인천광역시 연수구	88
2. ‘연안 및 해수면 상승’ 관련 기후변화 적응대책 수립 현황	95
1) 국가 기후변화 적응대책	96
2) 광역지자체 기후변화 적응대책	99
3) 기초지자체 기후변화 적응대책	101
3. 한국의 해수면 상승 적응대책 개선 방안	103
VI. 결론	108
참고문헌	112
ABSTRACT	120

표 목 차

<표 1> 공간자료 및 통계자료 활용 현황	8
<표 2> RCP 시나리오 개요	25
<표 3> RCP 시나리오 특징	25
<표 4> RCP 4종 시나리오 결과로부터 추정된 연도별 해수면 상승치	26
<표 5> 시·도별 범람 예상 면적 및 범람 비율	35
<표 6> 시·도별 범람 예상지역의 주택 수	38
<표 7> 시·도별 범람 예상지역의 주택 면적	39
<표 8> 시·도별 범람 예상지역 인구	43
<표 9> 시·도별 범람 예상지역 주요 시설물 현황	45
<표 10> 시·도별 범람 예상지역 대분류 토지피복 현황	47
<표 11> 시·도별 범람 예상지역 중분류 토지피복 현황	51
<표 12> 시·도별 범람 예상지역 도로 현황	56
<표 13> 시·도별 범람 예상지역 철도 현황	58
<표 14> 한국의 산업단지 현황	59
<표 15> 시·도별 범람 예상지역 산업단지 현황	61
<표 16> 환경영향평가 대상 분야	62
<표 17> 환경영향평가 사업 현황	65
<표 18> 범람 예상지역 환경영향평가 사업 현황	66
<표 19> 충남 보령시 웅천읍 토지이용 현황(지적도 기준)	73
<표 20> 소항사구 일대 범람 예상 피해 현황	73
<표 21> 소항리 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)	75
<표 22> 독산리 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)	75
<표 23> 전북 고창군 해리면 일대 지역별 토지이용 현황(지적도 기준)	82
<표 24> 전북 고창군 상하면 일대 지역별 토지이용 현황(지적도 기준)	82
<표 25> 법장천 일대 범람 예상 피해 현황	83
<표 26> 전북 고창군 해리면 광승리 일대 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준) ..	84

<표 27> 전북 고창군 해리면 사반리 일대 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준) ..	84
<표 28> 전북 고창군 해리면 나성리 일대 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준) ..	85
<표 29> 전북 고창군 상하면 장호리 일대 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준) ..	85
<표 30> 인천 연수구 지역별 토지이용 현황(지적도 기준)	90
<표 31> 인천 연수구 일대 범람 예상 피해 현황	92
<표 32> 인천 연수구 동춘동 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)	92
<표 33> 인천 연수구 선학동 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)	93
<표 34> 인천 연수구 송도동 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)	93
<표 35> 인천 연수구 연수동 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)	94
<표 36> 인천 연수구 옥련동 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)	94
<표 37> 제1차 국가 기후변화 적응대책(2011~2015)의 연안 및 해수면 상승 대책 ..	98
<표 38> 광역지자체 연안 및 해수면 상승 관련 기후변화 적응대책	100
<표 39> 보령시의 연안 및 해수면 상승 관련 기후변화 적응대책	101
<표 40> 고창군의 연안 및 해수면 상승 관련 기후변화 적응대책	103
<표 41> 인천광역시 연수구의 연안 및 해수면 상승 관련 기후변화 적응대책 ..	103
<표 42> IPCC AR5 적응방안의 범주 및 예시	105

그림 목 차

<그림 1> 연구 추진 체계도	10
<그림 2> RCP 시나리오별 해수면 상승치	27
<그림 3> 국토지리정보원 5M DEM 구축 지역 범위	30
<그림 4> 연구지역 범위(경계지역 DEM 보완)	30
<그림 5> 범람 예상지역의 연결성(connectivity) 검토	31
<그림 6> 한국의 2100년 예상 범람도	34
<그림 7> 시·도별 범람 예상 면적	36
<그림 8> 시·도별 면적 대비 범람 비율	36
<그림 9> 시·도별 범람 예상지역 주택 개소	38
<그림 10> 시·도별 총 주택 수 대비 범람 예상지역 주택 비율	39
<그림 11> 제주시 구좌읍 김녕 해안의 범람 예상지역과 주택 분포	41
<그림 12> 제주시 구좌읍 김녕 해안의 주택 및 시설물 입지(2011.11.11.) ..	41
<그림 13> 서귀포시 표선 해비치 해변의 해빈과 해안도로(2011.11.11.) ..	41
<그림 14> 시·도별 범람 예상지역 인구	43
<그림 15> 시·도별 범람 예상지역 주요 시설물	46
<그림 16> 시·도별 범람 예상지역 토지피복 현황(면적)	49
<그림 17> 시·도별 범람 예상지역 대분류 항목별 토지피복 비율	50
<그림 18> 범람 예상지역과 전국 도로망 현황	54
<그림 19> 범람 예상지역과 전국 철도망 현황	57
<그림 20> 범람 예상지역과 산업 및 농공단지 입지 현황	60
<그림 21> 범람 예상지역과 환경영향평가개발사업 현황	64
<그림 22> 소항사구 생태계보전지역 지정 도면	69
<그림 23> 소항사구 전경	70
<그림 24> 1916년 발간 지형도에서의 소항리 일원	71
<그림 25> 소항사구의 시대별 지형 변화	71
<그림 26> 충남 보령시 웅천읍의 지역별 토지이용 현황(지적도 기준) ..	72

<그림 27> 소항사구 일대의 범람 예상도	74
<그림 28> 모래포집기 복원 사례 : 태안 기지포 해안	77
<그림 29> 태안 기지포 사구의 관리 전(좌), 후(우) 모습	77
<그림 30> 태안 기지포 사구 보호시설(2006년 9월)	78
<그림 31> 법장천 일대의 시대별 지형 변화	80
<그림 32> 전북 고창군 해리면·상하면 일대의 지역별 토지이용 현황(지적도 기준) ·	81
<그림 33> 법장천 일대의 범람 예상도	83
<그림 34> 인천 연수구 일대의 시대별 지형 변화	89
<그림 35> 인천 연수구 토지이용 현황(지적도 기준)	90
<그림 36> 인천 연수구 일대의 범람 예상도	91

I. 서론

1. 연구 목적

기후는 지구 내·외적인 원인에 의해 지구가 형성된 이후로 현재까지 끊임없이 변화하고 있고 해수면도 이와 더불어 상승과 하강을 반복하며 현재 수준에 이르렀으며, 장기적인 관점에서는 현재도 끊임없는 변화의 과정 속에 있다. 그러나 산업혁명 이후 인간활동으로 인한 과도한 온실가스 배출은 지구온난화를 가속시키고 있으며 이로 인해 기후변화 및 해수면 상승 또한 가속되고 있다는 증거가 곳곳에서 나타나고 있다.

기후변화에 관한 정부간협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC¹⁾) 제5차 평가보고서(the 5th Assessment Report, AR5)에 의하면 지구 평균 기온은 1880~2012년에 0.65~1.06℃ 상승하였고, 지구 평균 해수면은 1901~2010년에 17~21cm 상승하였으며, 1901~2010년에 전지구 평균 해수면 상승률은 1.5~1.9mm/yr, 1971~2010년에 1.7~2.3mm/yr, 1993~2010년에 2.8~3.6mm/yr로 나타났다. 또한 현재 추세대로 저감없이 온실가스를 배출하는 RCP 8.5 시나리오 하에서는 금세기 말(2081~2100년) 지구 평균 기온은 1986~2005년에 비해 3.7℃, 해수면은 최대 98cm 상승할 것으로 예측되며, 21세기 말까지 전체 해양 면적의 약 95%에서 해수면이 상승할 가능성이 매우 높은 것으로 전망하였다(IPCC, 2013).

이러한 전망 하에 해수면 상승으로 인해 연안 저지대는 침수, 연안 홍수, 연안 침식과 같은 부정적인 영향이 점점 더 심해질 것이고, 연안지역의 자연시스템 뿐만 아니라 다양한 사회시스템이 위험에 노출될 가능성이 커질 것으로 예측된다(IPCC, 2014). 연안지역은 태풍, 홍수, 강풍, 풍랑, 해일, 조수

1) IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change, 기후변화에 관한 정부간 협의체) : 기후변화와 관련된 전지구적 위험을 평가하고 국제적 대책을 마련하기 위해 1988년 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 공동으로 설립한 유엔 산하 국제 협의체

등 다양한 자연현상에 의한 침수 및 침식, 강풍 피해가 발생하고 있으며 지형적 특성 상 육상의 재해와 해양의 재해가 동시에 발생할 경우는 더 큰 피해가 발생하게 된다(해양수산부, 2015, p.159). 전지구적으로 진행되는 기후변화는 해수면 상승과 집중호우 같은 극한기상 현황의 증가로 인해 연안의 자연시스템 뿐만 아니라 사회·경제시스템 모두 자연재해에 대한 취약성이 더욱 높아질 것으로 전망된다(IPCC, 2014).

해수면 상승으로 인한 자연시스템의 영향을 구체적으로 살펴보면, 먼저 해안 사빈의 경우는 파동과 조석에 의하여 형성·유지되며 세계 해안선의 약 20%를 차지하는 것으로 알려져 있다(Bird, 1993). 해안 사빈에 대한 해수면 상승의 가장 큰 영향은 침식에 의한 손실이다. 현재 일어나고 있는 연안 침식의 주된 원인은 강을 따라 건설한 댐에 의해 하류로의 퇴적물 공급이 감소되는 것과 연안구조물 건설에 따른 연안류의 변화에 기인하는 것으로 알려져 있다. 이에 더해서 해수면 상승은 연안역의 후퇴(retreat)와 이상 폭풍의 빈도 증가에 의해서 연안 침식을 더욱 심화시킬 것으로 예상된다. 해수면 상승에 의한 연안 해안선 후퇴를 예측하는 Brunn's Rule(Brunn, 1962)을 이용하여 일본 모래사장의 침식을 예측한 연구에 따르면 해수면이 각각 30cm, 65cm, 100cm 상승하는 경우 일본 모래사장의 56.6%, 81.7%, 90.3%가 침식에 의해 손실될 것으로 예측된다(Mimura and Kawaguchi, 1996). 한국의 경우도 Brunn's Rule을 이용하여 동해안 12개소, 남해안 5개소, 서해안 6개소 등 총 23개소의 사빈해안을 대상으로 미래 해수면 상승이 각각 38cm, 59cm, 75cm, 100cm 상승하는 경우에 대해 해안 후퇴율을 계산한 결과, 각각 43.7%, 60.3%, 69.2%, 80.1%가 후퇴하는 것으로 평가되었다(강태순 외, 2014).

해수면 상승은 또한 연안습지(갯벌)에도 영향을 미칠 것으로 예상된다. 연안 습지는 다양한 생물의 서식처인 동시에 풍부한 수산자원 생산지로서 인간에게 매우 중요한 곳이다. Nicholls et al.(1999)에 의하면 2080년까지 해수면

상승에 의하여 전 세계 연안습지의 약 28%가 손실될 것으로 전망하고 있다. 갯벌의 경우 해수면 상승은 영양염 공급에도 영향을 주어 갯벌 기능에도 악영향을 줄 것으로 예측되고 있다(IPCC, 2001). 이외에도 해수면 상승은 수질 변화, 생태계 변화, 생물다양성 감소 및 지하수 수질 악화 등 다양한 형태로 자연시스템에 영향을 미칠 것으로 예상되며, 이는 또한 기수 인프라에 대한 영향, 수산업 및 양식에 대한 영향 및 수자원 이용에 대한 영향 등 사회·경제적 영향을 복합적으로 야기할 수 있다.

해수면 상승은 사회 기반시설 및 경제 활동에도 영향을 미칠 것으로 예상된다. 즉 연안 도로, 철도, 빌딩 등의 주요 사회 기반시설과 석유 및 화학 공장 등의 연안 산업 및 서비스(관광) 등에 대한 위협으로 토지 및 건물 재산가치 하락과 해수면 상승 영향에 대한 보호 비용 증대, 정치적·제도적 불안 등을 유발할 수 있다. 또한 직접적인 영향을 받을 것으로 예상되는 지역 주민 및 국가가 겪을 정치적, 경제적, 제도적, 문화적 영향과 해수면 상승으로 인해 이주가 발생하는 경우 국가 간, 지역 간 충돌 등의 사회적인 문제도 유발할 수 있다.

한국은 상대적으로 산지가 많고 평지가 적은 관계로 해안 저지대를 농경지로 개간하여 왔고, 또한 사회가 발전함에 따라 연안역에 사회·경제 기반시설이 다수 입지해 왔다. 최근의 연안 이용 변화도 2007년과 2012년 간의 연안 시·군·구 및 연안 읍·면·동의 지목별 면적 변화에서 개발사업과 도시화로 인해 보전용·경작용 토지면적은 감소(임야·답·전 199km² 감소)한데 비해 주거, 산업, 상업 등을 위한 토지이용은 증가(도로 113.1km², 대지 88.7km², 공장용지 61.9km² 증가)하였다(해양수산부, 2015, p.112). 이와 같이 연안지역에 다양한 사회·경제적 인프라가 집중되어 있는 한국은 현재도 태풍 발생 시 연안 저지대와 농경지 침수, 해안도로 및 사빈 침식 등 많은 피해가 발생하고 있다. 이러한 피해는 미래 해수면이 상승하고 높은 강도의 태풍 발생 빈도가 잦아지게 되는 상황에서 현재와 같이 연안 저지대 매립을 통한 초고층 주거단지 조성 등의

토지이용 형태가 지속된다면 수많은 인명 피해와 더불어 천문학적 금액의 경제적 피해가 발생하리라는 것은 충분히 예상된다.

2016년 10월에 한국 남해안을 강타한 제18호 태풍 ‘차바’와 2016년 10월과 11월에 발생한 조위 상승으로 인한 해수 범람 등의 피해는 현재의 연안시스템이 태풍과 해수면 상승에 얼마나 취약한 지를 보여준 대표적인 사례이다. 2016년 9월 28일 괌 동쪽 해상에서 발생한 태풍 ‘차바’는 10월 5일 새벽 제주를 지나 11시경 부산 상륙하여 12시경 동해상으로 진출하기까지 강풍과 비구름을 동반하여 4일 자정부터 이날 오후 2시까지 서귀포에 289.1mm, 양산 277.5mm, 북창원 219.9mm, 남해 183.0mm 등 기록적인 폭우를 내리면서 많은 피해를 입혔다.

특히 많은 피해가 발생한 울산과 부산의 경우를 살펴보면, 울산은 태풍이 오기 전부터 비가 자주 내려서 저주지와 댐의 수위가 높은 상황이었고, 태풍에 동반된 많은 비와 더불어 울산만의 만조대가 겹치면서 바다로 물이 빠져나가지 못해서 울산의 넓은 지역에 침수 피해가 발생하였으며, 현대자동차 울산 1, 2 공장 침수, KTX 신경주역과 울산역의 상·하행 열차 운행 중단 등 국가의 주요 시설물이 피해를 입었다. 부산 해운대구 마린시티는 수영만 매립지에 조성된 초고층 주거지 중심의 신도시로, 입지에 있어서도 해수면 상승 및 태풍 피해에 대한 취약성이 내재된 상태였으며, 조망권 문제로 마린시티 방수벽의 높이가 기존 계획에 못 미치는 1.2m로 낮게 설치됨에 따라 태풍 ‘차바’로 인해 발생한 높은 파도를 감당하지 못하여 마린시티 전체 면적의 약 46%가 침수되고 상가 25곳과 차량 80여 대가 파손되는 등 많은 피해를 입었다(국민재난안전포털, <http://www.safekorea.go.kr>; 연합뉴스, 2016.12.14.).

또한 조차에 의한 해수면 상승만으로도 연안에서는 해수 침수 피해가 발생하기도 한다. 2016년 10월 17~18일과 11월 15~16일은 지구와 달의 거리가 가까워지면서 기조력이 크게 나타남에 따라 평소보다 해수면이 2.6~4.3m 상승하는 등 백중사리를 뛰어넘는 조차를 기록(국립해양조사원 보도자료,

2016.10.14.; 2016.11.11.)하면서 서해와 남해 저지대에 바닷물이 침수되는 피해가 발생하였다.

이와 같이 현재의 태풍 발생과 조위 상승만으로도 연안지역은 상당히 취약하다는 것을 알 수 있으며, 해수면이 상승함에 따라 그 피해 규모는 점차 증가할 것으로 예상된다. 더불어 국립해양조사원의 18개 조위관측소 장기 관측 자료를 바탕으로 현재까지의 해수면 변동률을 산정한 결과에 따르면, 한국 해안의 해수면 상승률은 2.68mm/yr로 2015년 대비 약 8% 증가하여 상승 속도가 점차 빨라지고 있고, IPCC(2013)가 발표한 전 세계 평균 해수면 상승값인 2.0mm/yr보다 높게 나타나고 있으며(국립해양조사원 보도자료, 2016.12.22.), 또한 내습하는 태풍의 강도가 강해지고 빈도가 잦아질 것으로 전망되고 있다.

따라서 미래 해수면 상승에 대비한 국가 안보와 연안역의 지속가능한 발전을 위해서는 예상되는 해수면 상승에 대해 어느 지역 범위까지 해수 범람으로 인한 침수의 영향을 받게 되며, 예상 침수지역의 사회·경제적 인프라의 입지 및 분포가 어느 정도인지 정량적 평가가 이루어져야 하며 이를 바탕으로 지역 현황을 고려한 해수면 상승 적응대책을 수립하는 것이 필요하다.

본 연구는 첫째, 한국의 연안은 미래 예상되는 해수면 상승에 대해 어느 지역 범위까지 범람될 것인가? 둘째, 범람 예상지역에 거주하는 인구와 주택을 포함한 사회·경제적 인프라가 얼마나 입지하고 있으며, 범람 예상지역의 토지이용 현황과 환경영향평가 개발사업은 어떤 형태로 이뤄지고 있는가? 셋째, 지역별로 다른 토지이용 상황을 고려했을 때 해수면 상승 적응대책이 어떻게 이루어져야 할 것인가에 대한 질문을 바탕으로, 한국의 전 연안을 대상으로 미래 해수면 상승에 대한 영향평가를 통해 취약성을 모니터링하고 지역 현황을 고려한 해수면 상승 적응방안을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 첫째, 해수면 상승 시나리오를 선정하여 한국 전 해안을 대상으로 범람 예상지역을 지도로 산출하고, 둘째, 산출된 예상 범람도를 주택, 주요 시설물(공공시설, 의료시설, 위험물저장처리시설,

발전시설), 교통시설, 산업단지, 토지피복 현황, 환경영향평가 개발사업 등의 GIS 데이터와 중첩하여 범람지역에 포함된 주요 사회·경제적 인프라 현황과 예상 피해 인구를 정량적으로 분석하여 연안 취약성을 판단하였으며, 셋째, 범람 예상지역의 토지피복 현황을 바탕으로 사례지역을 선정하여 지역 현황을 고려한 해수면 상승 적응방안을 제시하고자 하였다.

미래 해수면 상승에 대한 영향평가와 적응대책 수립은 자연과 인간의 공존, 인간시스템에 대한 보호 및 국가 안보 측면에서 중요한 의미를 가지며, 이에 본 연구를 통한 피해 예측 영향평가 및 사례지역을 대상으로 한 적응방안에 대한 고민은 현 시점에서 기후변화로 인한 자연재해 등이 가시화되고 있는 상황에서 향후 해수면 상승 적응대책 수립에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

2. 연구 방법

본 연구의 시간적 범위는 2100년 상황에서 해수면이 상승했을 때로 가정하였다. 분석을 위한 공간자료 및 통계자료는 자료별로 구축년도가 각각 상이하지만, 현재 시점에서 확보 가능한 최신의 자료를 활용하고자 하였다.

공간적 범위는 한국 전 해안을 대상으로 하였으며, 주요 분석지역은 바다와 연결하고 있는 11개 광역 시·도(인천, 부산, 울산, 경기, 강원, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주)를 대상으로 하였다. 범람 예상지역 산출에는 DEM 자료가 구축된 도서 지역은 모두 포함하였으며, 사회·경제적 인프라 분석에 있어서는 제주, 백령도, 울릉도 등 분석에 활용한 공간자료가 구축되어 있는 도서 지역은 포함하였고, 그 외 공간자료가 구축되어 있지 않은 군소 도서 지역은 분석에서 제외하였다.

한국의 전 연안을 대상으로 미래 해수면 상승에 대한 영향평가를 통해 취약성을 모니터링하고, 지역 현황을 고려한 해수면 상승 적응방안을 제시하고자 하는 본 연구의 목적을 달성하기 위하여 내용적 범위는 크게 3개 부문으로 구성하

였다. 첫째는 해수면 상승 시나리오 선정하여 범람지역을 지도로 산출하였다. 2100년 해수면 상승 시나리오는 온실가스 대표농도경로인 RCP(Representative Concentration Pathways) 8.5 시나리오에 의한 해수면 상승 예측값과 현재의 태풍해일 및 조석 값을 더하여 해수면 상승 시나리오를 선정하였다. IPCC 제5차 평가보고서에서는 온실가스 배출 시나리오인 RCP 시나리오를 선정하여 평가에 사용하였는데, 인간활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 정하였고, 대표적인 복사 강제력에 대해 사회-경제 시나리오는 여러 가지가 될 수 있다는 의미에서 ‘대표(Representative)’라는 표현을 사용하고 온실가스 배출 시나리오의 시간에 따른 변화를 강조하기 위해 ‘경로(Pathway)’라는 의미를 포함하고 있다.

본 연구에서는 RCP 8.5 시나리오를 이용한 해수면 상승값을 사용하였는데, RCP 8.5는 현재와 같이 온실가스가 저감없이 배출되는 경우를 의미하며, 또한 해안에는 항만, 원자력발전소, 산업단지 등 국가 중요 시설물이 대부분 입지하고 있기 때문에, 연안시스템의 중요성을 고려하여 미래 해수면 상승에 대비한 영향 평가 및 적응대책을 수립하기 위해서는 해수면 상승값이 높은 시나리오를 사용하여 평가하고자 하였다.

해수면 상승 시나리오에 따른 범람 예상지역 산출은 지형표고모형(Digital Elevation Model, DEM) 자료와 해수면 상승 높이 값(2100년 RCP 8.5 해수면 시나리오+100년빈도 태풍해일고+조석)을 비교하여 해안에서 버킷에 물을 담아 육지 쪽으로 부었을 때 범람하는 지역을 나타내는 Bucket-fill 방법으로 평가하였으며, 해수면 상승 높이 값보다 낮은 지역은 해수에 의해 범람되는 것으로 평가하여 지도로 도출하였다.

두 번째는 도출된 예상 범람도와 주택, 주요 시설물(공공시설, 의료시설, 위험물 저장처리시설, 발전시설), 교통시설, 산업단지, 토지피복 현황, 환경영향평가 개발사업 등의 GIS 데이터와의 중첩 분석을 통해 범람 예상지역에 어느 정도의

주요 사회·경제적 인프라가 입지하고 있는지를 정량적으로 파악하였고, 예상 피해 인구를 산정하여 연안지역의 취약한 정도를 분석하였다. 해수면 상승이 예상되는 지역에서의 가장 우선적으로 분석되어야 할 사항은 침수 예상 지역에 거주하는 인구와 주택 현황을 파악하는 것으로, 적응대책 또한 인명 보호를 최우선적으로 고려하는 적응대책이 수립되어야 한다. 범람 예상지역에서의 주요 시설물은 공공시설, 의료시설, 위험물저장처리시설, 발전시설 등의 공익성이 높은 시설물과 위험물저장처리시설 등을 분포를 파악하였고 교통시설, 산업단지 등의 주요 사회·경제적 인프라를 파악하여 이를 위한 부문별 적응대책 수립에 있어서 필요한 정량적 예상 피해 정도를 제시하고자 하였다. 분석에 필요한 자료(<표 1>)는 국가 각 부처에서 제작한 GIS 공간자료와 지역 정보에 대한 통계자료를 활용하였다.

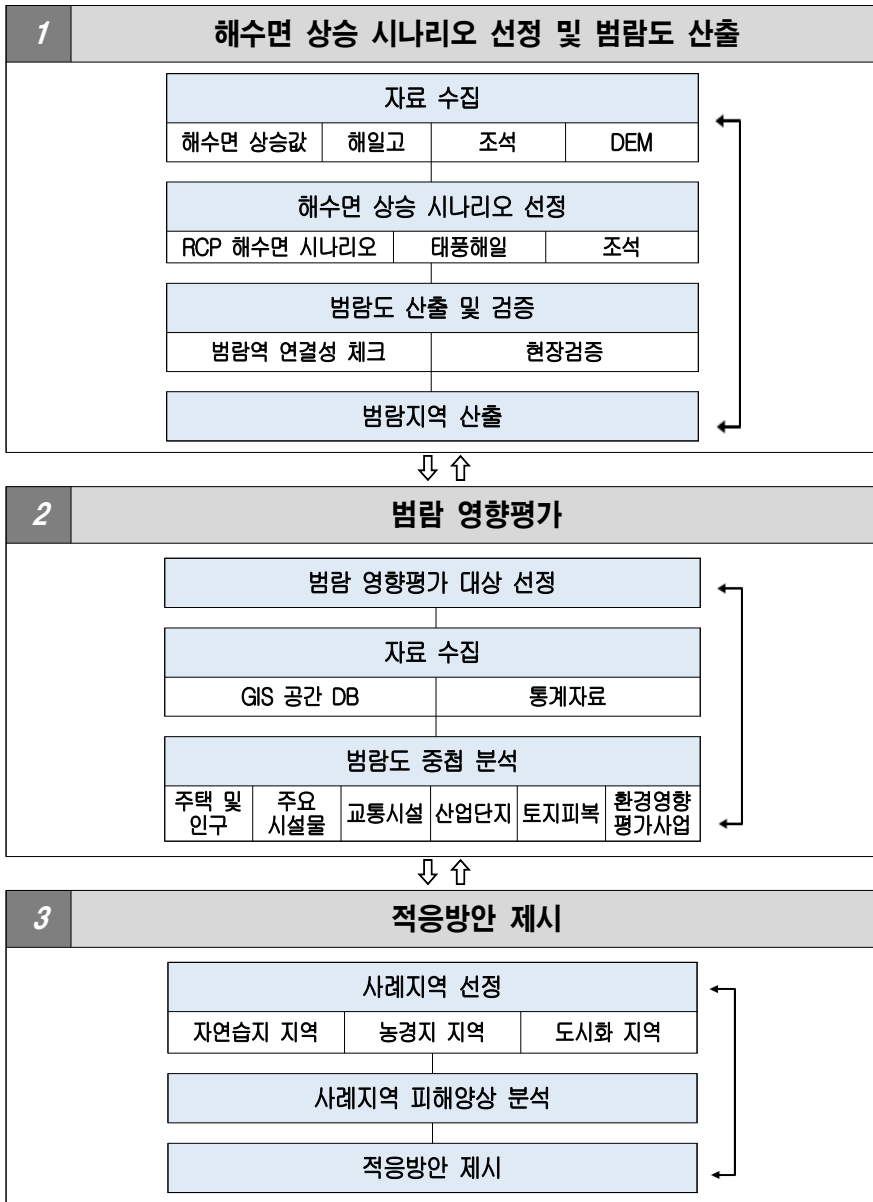
<표 1> 공간자료 및 통계자료 활용 현황

구분	자료명	구축년도 (자료 기준)	출처	비고
지형표고	지형표고모형(DEM)	2014	국토지리정보원	5M 급 해상도
건물정보	도로명주소기본도	2016	국토교통부 국가공간정보유통 시스템	주택 및 주요 시설물
토지이용	중분류 토지피복도	2009	환경부	-
	연속지적도	2014	한국토지정보시스템	-
교통시설	도로망, 철도망	2009	국가교통DB센터	-
산업단지	산업단지	2010	국토해양부 연안포탈	
환경영향평가 개발지역	환경영향평가개발사업 GIS DB	1983~2011	환경영향평가 정보지원시스템	
행정경계	시·군·구 행정구역도	2014	통계청	
인구	행정구역별 총인구	2015	국가통계포털(KOSIS)	
시·도 면적	행정구역별 국토면적	2014	국가지표체계 (www.index.go.kr)	

셋째는 범람 영향평가 결과를 토대로 사례지역을 선정하여 미래 해수면 상승에 대한 지역별 예상 피해를 토지이용을 중심으로 검토하고 지역 현황에 맞는 해수면

상승 적응방안을 제시하였다. 즉, 범람지역 영향평가 결과를 토대로 자연습지 지역, 농경지 지역, 도시화 지역에 해당하는 대표 사례지역을 선정하였고, 지역 별로 범람 예상지역에 해당하는 토지이용을 지적도를 활용하여 분석하고 지역 특성을 고려한 해수면 상승 적응방안을 제시하고자 하였다.

미래 해수면 상승에 대한 범람 예상 지역을 공간적으로 도출해 내고, 이들 지역에 대한 다양한 사회·경제 인프라에 대해 예상되는 피해 규모를 정량적으로 산출하는 작업은 지역 기반 기후변화 및 해수면 상승 적응대책 수립에 있어서 지역적 상황을 반영하여 현실성 있고 효율적인 적응방안 수립을 위한 의사결정에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 본 논문의 연구 추진 체계는 <그림 1> 과 같다.



<그림 1> 연구 추진 체계도

II. 선행 연구

1. 국내 연구

국내의 해수면 관련 연구는 현재까지 관측된 자료나 위성 고도계자료 등을 이용하여 과거로부터 현재까지의 해수면 변화를 분석한 연구와 시나리오 기반의 예측 방법론을 이용하여 미래의 해수면 변화를 예측하는 연구가 진행되고 있다. 또한 최근에는 기후변화로 인한 영향과 이에 대한 적응대책 수립의 중요성이 강조됨에 따라 해수면 상승 시나리오에 따라 연안의 취약성을 평가하고 적응대책을 제시하는 연구들이 활발히 진행되고 있다. 지형학적 관점에서는 해수면 변화나 예측 등 해수면 변동 자체에 관한 연구는 거의 수행되지 않았고, 해안 단구나 해안 퇴적지형의 지형 형성 과정을 과거 해수면 변동과 연계하여 설명한 연구들이 주를 이룬다.

한반도 주변 해역의 해수면 변화 연구로는 1930년 小倉伸吉(Ogura, S.)이 원산, 부산, 군산, 인천 및 진남포 등의 평균해면의 월편차를 산출하여 발표한 것과 1967년에 Listzin, E.가 원산 및 부산의 평균해면을 논한 연구가 있으며, 이석우(1967)는 한국 연안의 9개 검조소(울릉도, 묵호, 울산, 부산, 진해, 여수, 제주, 목포, 인천)의 월평균 해면 자료를 분석하여, 한국 연안의 월평균 해면 변화가 주로 해수밀도와 기압의 변화에 기인하며, 특히 부산 근해를 비롯하여 남해안 및 동해안에서는 해수밀도의 영향이 가장 크며, 서해안의 내해(內海)나 하구에 있어서는 하천 유량의 영향도 더해지는 것으로 보았다²⁾.

1960년대 이후로는 조위관측 자료를 이용하여 해수면 변화를 분석한 연구가 활발히 진행되었으며 특히 국립해양조사원을 중심으로 조위관측소의 장기 관측 자료를 바탕으로 조위관측소 지점별 해수면 변동률을 산정하여 제시하고 있다³⁾.

2) 이석우, 1967, “한국연안의 월평균해면의 변화에 대하여”, 한국해양학회지, 2(1, 2), pp.24-33.
3) 강용균·이병돈, 1985, “한국연안 평균 해면의 년변화”, 한국해양학회지, 20(1), pp.22-30.
서내덕 외, 2000, 우리나라 연안의 해수면 변화, 국립해양조사원.

강주환 외(2008)는 서남해안에 위치한 목포, 완도, 여수, 거문도, 추자도, 제주, 서귀포 등 7개 검조소 자료로 조화분석을 실시한 결과 서남해안 전반에 걸쳐 평균 해수면이 뚜렷하게 상승하는 반면 반일주조(半日周潮)⁴⁾의 진폭은 감소하는 것으로 나타났다. 또한 태양년주조(Sa 분조)의 진폭이 증가하였으며 이에 따라 여름철의 고조위가 더욱 상승한 것으로 확인되었고, 목포와 제주는 평균 해수면 및 약최고고조위가 크게 상승하였으며 특히 목포는 과거에 비해 해일에 의한 범람 위험이 매우 높아진 상태로 분석되었다⁵⁾. 2000년대 이후로는 조위계 자료의 공간적인 자료 부족, 연안역의 복합적인 해양 현상에 의한 자료 오차, 조위계에 대한 지반 움직임에 대한 정보 부족 등을 보완하기 위하여 위성 고도계(satellite altimeter) 자료를 이용한 분석이 이루어졌다⁶⁾.

한반도 주변 해역에 대한 미래 해수면 상승 예측 연구로는 지역적인 열팽창에 의한 해수면 상승을 3차원 수온과 염분 자료를 이용한 역학고도 계산을 통해

손창배, 1999, “해수면 상승에 의한 해안선의 잠재적 후퇴거리 산정”, 한국해양·해양공학회지, 11(1), pp.34-40.

윤종주·김상익, 2012, “우리나라 조위관측소의 장기간 해수면 변화 분석”, 한국방재학회논문집, 12(3), pp.299-305.

국립해양조사원, 2009, 해수면 변동 정밀분석 및 예측.

_____, 2010, 해수면 변동 정밀분석 및 예측(2차).

_____, 2011, 해수면 변동 정밀분석 및 예측(3차).

_____, 2012, 해수면 변동 정밀분석 및 예측(4차).

_____, 2013, 해수면 변동 정밀분석 및 예측(5차).

_____, 2014, 한국형 해수면 변화 분석기법 개발 연구.

_____, 2015, 해수면 변동 분석 및 예측 연구.

4) 반일주조(半日周潮, semidiurnal tide) : 하루에 두 번 고조와 저조가 나타나는 조석을 말함.

5) 강주환 외, 2008, “서남해안의 해수면 상승과 해일고 증가 경향”, 한국해양·해양공학회논문집, 20(1), pp.14-24.

6) 조광우·김지혜, 2001, 지구온난화에 따른 한반도 주변의 해수면 변화와 그 영향에 관한 연구 I, 한국환경정책·평가연구원.

하경자 외, 2006, “복합위성자료(Topex/Poseidon, Jason-1, ERS, Envisat)를 이용한 한반도 주변해역에서의 해수면 고도 변화와 해수면 온도의 상관성 연구”, 대한원격탐사학회지, 22(6), pp.519-531.

Kang, S. K. et al., 2005, Patterns of recent sea level rise in the East/Japan Sea from satellite altimetry and in situ data, *Journal of Geophysical Research: Oceans*(1978-2012), 110(C7), C07002.

황도현 외, 2016, “위성고도계 자료를 활용한 한반도 해수면 높이 변동 연구”, 한국전자통신학회논문집, 11(3), pp.325-330.

분석한 오상명 외(2011)의 연구와 전지구 기후변화 시나리오를 기반으로 지역기후모델 HadGEM3-RA를 이용하여 한국에 대한 12.5km 해상도의 지역 기후변화 시나리오를 산출한 기상연구소(2011)의 연구⁷⁾, RCP 4종 시나리오(RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5)를 적용하여 얻어진 2100년까지의 대기온도 상승값을 반경험식법(Semi-empirical method)에 적용하여 한반도 해역의 2100년 해수면 예상 상승치를 시나리오별로 도출한 김태윤·조광우(2013)의 연구 등을 검토하였다.

오상명 외(2011)는 IPCC AR4 기후 예측모델 결과를 이용하여 북서태평양 및 한반도 근해 미래 해수면 상승을 조사하였고, 열팽창을 고려한 A1B 시나리오에 의한 MPI_ECHAM5와 GFDL_CM2.1 모델을 통한 역학고도 계산에 의해 향후 100년 동안 한반도 근해에서 27cm와 31cm의 해수면 상승을 예측하였으며, 겨울철 시베리아 고기압의 약화와 북서태평양 해역의 기압장 변화, 이로 인한 바람장 및 해류의 변화로 발생한 수온 변화를 해수면 상승의 주요 원인으로 밝혔다⁸⁾. 국립기상연구소(2011)는 전지구 기후변화 시나리오를 기반으로 지역기후모델 HadGEM3-RA를 이용하여 한국에 대한 12.5km 해상도의 지역 기후변화 시나리오를 산출하였고, RCP 8.5 시나리오 하의 21세기 후반(2080~2099년) 한국의 평균 해수면 상승은 1986~2005년 기간에 비하여 83.8cm 상승할 것으로 전망하였다. 김태윤·조광우(2013)는 RCP 4종 시나리오(RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5)를 적용하여 얻어진 2100년까지의 대기온도 상승값을 반경험식법(Semi-empirical method)에 적용하여 한반도 해역의 2100년 해수면 예상 상승치를 시나리오별로 각각 0.87m, 1.21m, 1.02m 1.36m로 도출하였다⁹⁾.

7) 국립기상연구소, 2011, IPCC 4차 평가보고서 대응을 위한 기후변화 시나리오 보고서.

8) 오상명 외, 2011, “지구온난화에 의한 북서태평양 및 한반도 근해의 해수면 상승”, 한국해양·해양공학회논문집, 23(3), pp.236-247.

9) 김태윤·조광우, 2013, “반경험식법을 이용한 미래 해수면 상승 예측”, 해양환경안전학회지, 19(1), pp.1-8.

최근에는 해수면 상승 시나리오에 대한 범람 예상지역을 산출하여 취약성을 평가하는 연구가 진행되고 있다. 장동호 외(2009)는 한국의 남해안 지역을 대상으로 자연재해, 해안생태, 농업, 수산업, 임업 등 분야별 기후변화 관련 자료를 발굴·분석하고, 기후변화 시나리오에 따른 각 분야별 취약성을 정량적으로 평가하였다. 해수면 상승에 따른 침수 취약지역은 2100년까지의 0.5m와 1.0m 해수면 예상 상승치를 적용하였고, 분석 결과, 각각 4,895.58ha와 15,068.90ha의 침수취약지가 발생하는 것으로 나타났다¹⁰⁾. 또한 원격탐사 자료를 이용하여 충남 연안지역의 토지피복 현황을 파악하고, IPCC SRES 시나리오별 해수면 상승에 따른 토지피복별 침수예상 면적을 정량적으로 산출하였으며, 각 시나리오별 해수면 상승에 따른 해안선 변화를 정량적으로 분석하고, 해수면 상승에 따른 연안 침식 취약지역을 현장조사를 바탕으로 추출하였다. 해수면 상승 시나리오는 IPCC 4차 보고서 SRES 각 시나리오별 상승치를 감안해 0.2m, 0.4m, 0.5m, 0.6m의 해수면 상승치와 과거 침수재해가 발생한 백중사리 때의 해수면 상승치인 1.0m, 2.0m를 고려하였다¹¹⁾. 장동호 외(2010)는 충남 연안역을 대상으로 기존 연구 및 충남 연안의 조석, 폭풍에 의한 해수면을 감안하여 0.5m, 1m, 3m, 5m 해수면 상승 시나리오를 적용하여 해수면 상승에 의한 침수 및 침식 취약지와 해안선 변화 추이를 산출하고, 농업 및 임업 분야의 토지이용과 수산업 분야의 변화의 경제적 이용도를 분석하였다¹²⁾.

이수연 외(2011)는 부산시 해운대구를 대상으로 해수면 상승이 연안지역에 미치는 경제적 영향을 분석하기 위해 해수면을 1m 단위로 최대 10m까지 상승 시켜, 토지손실비용, 주택손실비용, 산업손실비용과 사회간접자본의 재건설비용을 요인으로 설정하여 각 요인별 경제적 손실을 계산하였다. 그 결과 전체 비용이 급격히 상승하는 구간은 해수면이 3m, 5m 8m 상승하는 시점이었고, 각 해수면

10) 장동호 외, 2009, 남해안 지역의 기후변화에 대한 취약성 평가, 기상청.

11) 장동호 외, 2009, “충남 연안 지역에서 기후변화에 의한 해수면 상승에 따른 취약성 평가”, 한국지형학회지, 16(2), pp.1-13.

12) 장동호 외, 2010, 충남 해안지역의 해수면 상승에 따른 기후변화 취약성 평가, 교육과학기술부.

상승 구간에 대해 약 1조2천억 원, 4조2천억 원, 8조2천억 원의 경제적 손실이 발생하는 것으로 계산하였다¹³⁾.

홍성기 외(2013)는 부산 영도 해안을 대상으로 해수면 상승에 따른 침수대책을 연구하였다. IPCC 시나리오에 근거한 해수면 상승치(0.2m, 0.4m, 0.6m)와 조석(1.37m), 태풍해일고(1.26m, 4.51m, 4.51m)를 반영한 해수면 상승 시나리오(총 해수면 상승치 2.83m, 6.28m, 6.48m)를 적용하여 범람지역 시뮬레이션을 수행하고, 침수취약성 분석을 위해 토지이용 현황 및 지형적 특성을 고려하여 범람지역을 4개 섹터로 구분하고, 각 섹터별 특성을 고려하여 침수 대책을 제시하였다¹⁴⁾.

김지숙 외(2015)는 기후변화로 인한 영향을 분석하기 위해 시간 흐름에 따른 변수들의 상호작용 및 동태적 변화를 모델링할 수 있는 SD(System Dynamics)와 GIS를 통합한 시공간 통합모델을 구축하여 부산광역시 A구를 대상으로 IPCC의 해수면 상승 시나리오(Case 1) 및 최악의 경우인 태풍해일고를 고려한(Case 2) 침수 영향을 시뮬레이션하고, 이를 통해 2100년까지 시간 단위별로 침수에 의한 피해 면적과 인구를 예측하였다¹⁵⁾.

이동욱 외(2011)는 한국에서 해수면 상승률이 가장 높게 나타나는 제주 지역을 중심으로 해수면 상승(서귀포 5.6mm/yr, 제주 5.3mm/yr)에 따른 해수면 상승고와 대조평균고조시 대형화된 태풍이 내습할 경우에 대한 해수면 상승 시나리오를 작성하고, 침수 면적, 도로 및 시설물에 대한 영향을 평가하였다. 그 결과, 침수 면적은 2040년 2.9km², 2070년 4.1km², 2100년 최대 5.4km²이고, 도로 종류별 침수 영향은 군도의 침수가 주를 이루고, 침수시설물은 대부분 단독주택이 차지하는 것으로 나타났다¹⁶⁾.

13) 이수연 외, 2011, “해수면 상승에 따른 경제적 손실 분석 -부산시 해운대구를 사례로-”, 대한지리학회지, 46(5), pp.597-607.

14) 홍성기 외, 2013, “부산 영도 해안의 해수면 상승에 따른 침수대책 연구”, 한국항해항만학회지, 37(4), pp.409-418.

15) 김지숙 외, 2015, “System Dynamics-GIS 모델을 이용한 해수면 상승 침수 영향 분석”, 한국지리정보학회지, 18(2), pp.92-104.

지형학적 관점에서의 해수면 관련 연구는 해안 퇴적물 관찰이나 boring 자료, 탄소연대측정자료, 화분분석자료, OSL 연대측정자료와 대자율 자료 분석 등을 통하여 해안지형 형성 과정을 해수면 변화와 연계하여 설명한 연구들이 주를 이룬다. 최성길(1995)은 목호에서 강릉 해안에 발달되어 있는 저위해성단구를 대상으로 구정선고도, 단구 퇴적물의 특징, 고토양 및 화석 결빙구조 등을 지표로 지형면의 대비와 편년을 통해 이들 지역의 해성단구가 최종빙기 이전의 시기에 형성된 지형으로 설명하였다¹⁷⁾. 황상일(1998)은 한강 하류 우안에 있는 일산층적평야의 가와지, 새말지역을 대상으로 boring 자료, 탄소연대측정자료, 화분 분석결과 등을 종합적으로 검토하여 약 7,000년 B. P. 이후 이 지역의 퇴적 환경과 해면변동을 설명하고, 이에 따라 일어난 해진과 해퇴에 의해 변화된 당시의 고지리(古地理)를 복원하였다¹⁸⁾. 윤순옥·황상일(2000)은 포항시 구룡포읍 삼정리에서 경주시 양남면 하서리 사이에 분포하는 해안단구 관찰을 통해 해안 단구 형성 메카니즘을 설명하였으며, 현재 해안에서 관찰되는 해안단구는 신생대 제4기 동안 지반운동과 해면변동에 의해 형성되었음을 설명하였다¹⁹⁾.

신영호(2011)는 충남 모산만 하구역 간석지를 대상으로 OSL 연대측정 자료와 대자율 자료를 구축하여 다양한 기후변화 자료들과의 비교를 통해 기후변화의 연관성을 설명하였다. 즉, 비교적 자료가 풍부하게 나타나는 홀로세 후반기의 자료를 통해 시베리아 기단의 강화기와 아시안 몬순의 약화기(강수량과 하천 유출량의 감소)에는 대자율(Magnetic Susceptibility)이 낮아지는 경향을, 반대로 시베리아 기단의 강화기와 아시안 몬순의 강화기(강수량과 하천유출량의 증가)에는 대자율이 높아지는 경향을 보이는 것으로 설명하였다²⁰⁾. 서종철·손명원

16) 이동욱 외, 2011, “해수면 상승 시나리오에 따른 제주연안지역 건설시설물의 영향 분석”, 대한토목학회논문집, 31(2D), pp.267-274.

17) 최성길, 1995, “한반도 중부동해안 저위해성단구의 비교와 편년”, 대한지리학회지, 30(2), pp.103-119.

18) 황상일, 1998, “일산층적평야의 홀로세 퇴적환경변화와 해면변동”, 대한지리학회지, 33(2), pp.143-163.

19) 윤순옥·황상일, 2000, “한국 남동해안 해안단구의 지형형성 mechanism”, 대한지리학회지, 35(1), pp.17-38.

(2007)은 제주도 남서부 사계해안에 분포하는 해빈, 파식대지, 해안사구, 배후 호소 등이 상호 유기적으로 연계되어 있으며, OSL 연대측정법을 이용하여 사계해안의 해안지형시스템의 형성과정을 설명하였다²¹⁾.

이동주(2008)는 고고학적 관점에서 남해안 지역의 신석기시대 패총 유적층에서 관찰되는 해침 흔적 및 해빈 퇴적층을 근거로 해수면 상승이 B.P. 4,300년 무렵 해발 5~7m와 B. P. 4000년 무렵 8.63m 높이까지 2차례 있었음을 밝힌 연구도 있다²²⁾.

국내 연구에서 살펴본 바에 의하면, 다양한 해수면 상승 시나리오에 의해 연안지역의 취약성을 평가하는 연구가 일부 지역을 대상으로 수행되었으나, 한국 전 해안을 대상으로 해수면 상승 시나리오에 따른 연안 취약성을 모니터링하는 관점에서 분석하는 연구 수행은 아직 미진한 편이다. 국가 차원에서의 기후변화 및 해수면 상승 영향평가를 모니터링하고 이에 대한 적응전략을 수립하기 위해서는 먼저 국가 전 연안을 대상으로 어떤 지역이 얼마나 취약한지에 대한 검토가 우선되어야 한다. 더 나아가 지역적 차원에서의 구체적인 적응대책을 수립하기 위해서는 상세 자료를 이용한 분석이 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2. 해외 연구

해안은 기후변화의 가장 취약한 지대로 평가된 이후(IPCC, 2001, 2007) 해안을 지닌 국가들은 자국 해안의 자연 및 사회·경제적 지속성을 유지하기 위하여 국가 차원의 취약성 평가 작업과 대응 전략을 수립해 오고 있다. 본

20) 신영호, 2011, “하구역 퇴적물의 대자율 변화와 기후변화의 연관성”, 한국지역지리학회지, 17(5), pp.521-535.

21) 서종철·손명원, 2007, “제주 사계해안의 지형시스템”, 한국지역지리학회지, 13(1), pp.32-42.

22) 이동주, 2008, “기원전 2000년경 해수면 상승에 대한 고고학적 검토: 남해안 지역을 중심으로”, 동북아문화연구, 16, pp.57-81.

절에서는 해외 연구 검토를 통하여 주요 선진국가(미국, 호주, 캐나다, 일본 등)들의 연안에 대한 영향평가 및 적응 전략을 살펴보고, 국가 차원에서의 해수면 상승 영향평가 방법 및 평가 항목 등의 검토를 통하여 본 논문의 해수면 상승 영향평가 항목 선정에 반영하고자 하였다.

미국은 기후변화 과학 및 영향과 관련하여 중앙 정부의 통합적 노력의 필요성에 따라 대통령 및 의회 중심의 미국기후변화프로그램(U.S. Climate Change Science Program, USCCSP)을 진행하고 있으며, 기후변화 영향 등에 대한 종합 및 평가(Synthesis & Assessment) 작업을 지속적으로 수행하고 있다. 이 프로그램의 일환으로 진행된 해수면 상승과 관련된 평가보고서²³⁾(USCCSP Synthesis & Assessment Product 4.1, 2009)에서는 미국의 사회·경제적 활동이 집중된 대서양 중부 연안을 중심으로 해안의 자연환경을 진단하고, 해수면 상승이 연안 환경, 습지, 취약 생물종, 사회에 미칠 수 있는 잠재적 영향을 평가하였으며, 해수면 상승에 민감한 정책, 적응 기회, 적응을 위한 제도적 장애물 등에 대한 평가를 통하여 전 미국 해안을 대상으로 정책 방향을 제시하고 있다. 주요 영향평가 결과는 미국은 New York에서 North Carolina까지 동부 연안지역에서의 검조기(tide-gauge) 관측을 통해 상대적인 해수면 상승률을 측정하였으며, 그 범위는 일반적으로 연간 2.4~4.4mm 사이로 20세기 동안 약 0.3m 상승하였으며, 지구 평균보다 더 높게 상승한 것으로 나타났다. 이동성이 적은 건물, 도로, 기타 사회 기반 시설 등을 포함하는 해안 지역 개발로 인해 해안 지역의 취약성이 커지고 있으며 가속화되고 있다. 가속화되는 해수면 상승률에 대한 취약성은 해안을 따라 높은 인구 밀도, 기후변화의 다른 영향의 가능성, 가뭄, 침입종과 같은 환경적 스트레스와 폭풍에 대한 해안 지역의 민감성을 포함하여 누적적으로 나타난다.

23) U. S. Climate Change Science Program Synthesis and Assessment Product 4.1, 2009, *Coastal Sensitivity to Sea-Level Rise: A Focus on the Mid-Atlantic Region*.

미국 캘리포니아 주는 2008년에 주지사의 행정명령(Executive Order S-13-08)을 바탕으로 해수면 상승에 대한 영향평가 및 적응전략을 수립하였다. 캘리포니아 자원부서(California Resource Agency)는 2009년에 캘리포니아 주 기후변화 적응전략, 2012년에 기후변화에 대한 영향평가 보고서를 작성하였고, 기후변화의 영향과 취약성을 과학적으로 분석·평가하여 지속가능한 발전을 위한 적응대책을 제시하고 있다. 2012년에 발간된 제3차 기후변화 평가(The Third Climate Change Assessment)에서는 캘리포니아 해안의 21세기 발생 가능한 범람 가능성의 변화에 대해 전망하였다. 캘리포니아 해안과 만(灣) 지역이 대규모로 개발됨에 따라 폭풍우의 영향에 의한 해안 범람 취약지역이 증가하였고 지역 해수면 상승은 만조시 해수면 상승과 함께 극한 폭풍우의 영향으로 인한 해수면 변동을 심화시키고 이로 인해 파동에너지가 육지 쪽으로 더욱 깊숙이 작용하여 연안 침식과 잠재적인 연안 범람을 심화시킨다²⁴⁾.

샌프란시스코만 지역에서의 해수면 상승에 의한 영향평가를 위해 미국 지질조사국(United States Geological Service)은 PIER 기후시나리오의 일환으로 해수면 상승 범람지도를 작성하고 GIS 데이터를 이용하여 해수면 상승으로 인한 인구, 응급 및 건강시설, 위험물 지역, 기반시설, 습지, 사유재산 등에 미칠 수 있는 영향을 파악하였다. 주요 인구 밀집 지역이 샌프란시스코 베이 지역 해안가에 위치하고 있기 때문에 현재 전체 지역인구의 2%에 해당하는 14만 명의 인구가 100년 내 일어날 범람 이벤트(100-year flood event)에 대해 침수 위험에 처해 있는 것으로 나타났다. 학교는 현재 35개소에서 1.4m 해수면 상승 시에는 81개소, 건강관리시설은 현재 15개소에서 42개소로, 소방서와 교육훈련시설은 6개소에서 11개소로, 경찰서는 5개소에서 9개소로 각각 피해가 증가할 것으로 예측된다. 위험물을 포함하고 있는 미국 EPA-규제 지역은 현재와 100년 내 일어날 연안 범람 상황에 94개소가 취약한 것으로

24) California Energy Commission, 2012, *Coastal Flooding-Potential Projections: 2000-2100*.

나타났다. 교통기반시설로는 샌프란시스코 베이 지역의 800마일의 도로와 70마일에 가까운 철도가 위험에 처해 있으며 해수면 상승이 커질수록 위험 범위는 더 늘어난다. 또한 습지는 1.4m 해수면 상승을 가정했을 때 약 93평방마일 정도 규모의 이주 가능한 토지를 필요로 하며 카운티별로 잠재적인 습지 이주에 필요한 토지 규모와 이주 가능하거나(viable) 이주는 가능하지만 농지, 과수원 등으로 이용되고 있어 가치 손실을 감안해야 하는 토지(viable but with loss of managed land), 습지 이주가 가능하지 않은 토지(unviable) 등으로 평가하였다. 샌프란시스코 카운티는 잠재적인 습지 이주 지역의 70%가 습지 이주가 가능하지 않은 토지로 평가되어 현재 습지 서식지 이주에 있어서 가능 위험도가 높은 것으로 평가되었다. 샌프란시스코 만 지역에서의 자산가치 위험은 해수면이 0.5m, 1.0m, 1.4m 상승할 때 위험자산가치는 각각 360억, 490억, 620억 달러로 평가되었다²⁵⁾.

호주는 기후변화 및 에너지 효율부(Department of Climate Change and Energy Efficiency)에서 기후변화 감축 및 적응 등을 총괄하고 있다. 호주 기후변화부에서 수행한 국가 해안선 취약성 평가(2009) 연구 결과를 살펴보면, 호주에서는 인구의 약 85%가 현재 해안 지역에 거주하고 있으며, 해수면 상승으로 앞으로 십년 내에 호주 해안 지대에 중요한 변화를 가져올 것으로 예측한다. 먼저 해안의 사회·경제적 활동의 기준이 되는 해수면 빈도 분포와 관련하여 21세기에 0.5m의 중간급의 해수면 상승이 이루어지는 경우 현재 10년마다 일어나는 사건들이 2100년에는 대략 10일마다 일어날 것으로 예상되고, 현재 100년에 1회 발생하는 사건은 1년에 수차례 발생할 것으로 예상되며, 주로 시드니 주변지역과 애들레이드와 호주의 서부 해안 지대를 따라 높은 해수면 상승 이벤트의 빈도 증가가 크게 나타날 것으로 예측하고 있다. 호주의 해안 범람 평가에서는 침식과 범람을 함께 고려하고 있다. 해수면 상승은 그

25) California Energy Commission, 2012, *The Impacts of sea level rise on the San Francisco Bay*.

동안 충분한 퇴적물 공급으로 안정되거나 확장되어 온 호주 해안의 퇴적물 공급에 변화를 가져옴에 따라 해안 관리에 있어서 해수면이 상승함에 따라 언제 후퇴하는 해안으로 바뀔 것인가 하는 점이 해안 관리에 있어서 핵심 사항이다. 첫 번째 단계의 국가 해안 평가는 호주 해안선 주변의 침식과 범람으로부터 위험한 거주 지역을 분석하였으며, 범람 평가 방법론으로는 ‘bucket fill’ 방법이 사용되었다. 최상위 해수면 상승을 나타내는 100년에 1번 일어나는 이벤트에 대한 범람 위험은 호주의 연방과학산업연구기구(CSIRO)의 폭풍 조수 데이터에 기초하여 Victoria, New South Wales, Tasmania에 대해 평가하였다. 분석 결과, 주거지, 사회·경제적 사회공공기반시설이 범람과 피해의 위험에 노출될 것으로 예상된다²⁶⁾.

캐나다 브리티시 컬럼비아주 환경부는 2013년 “Sea Level Rise Adaptation Primer: A Toolkit to Build Adaptive capacity on Canada’s South Coasts”를 통해서 해수면 상승 적응 틀을 제시하였다. 해수면 상승 적응 틀은 계획(Planning) 틀, 규제(Regulatory) 틀, 토지이용 변경 또는 규제(Land Use Change or Restriction) 틀 등으로 구성되어 있으며, 해수면 상승에 대한 영향평가와 관련된 내용은 계획(Planning) 틀에서 다루고 있다. 주요 내용은 해수면 상승으로 인한 침식 위험지역을 지도화하여 위험지에서 건물에 대한 위험을 저감시키기 위한 최저바닥높이(flood construction levels)를 확인하고, 재산, 건물, 사람에 대한 위험의 가능성 및 결과를 측정하여 비용편익분석, 취약성 평가, 회복력 평가를 하며, 범람 및 다른 재난에 대한 비상계획을 준비하는 내용을 포함하고 있다²⁷⁾.

일본은 총리실 산하 대책 위원회와 각 부처별 관련 위원회를 통하여 중앙 정부 차원의 기후변화 대응 전략을 수립하고 있다. 기후변화 영향 및 적응과

26) Australian Government Department of Climate Change, 2009, *Climate Change Risks to Australia’s Coast*.

27) British Columbia Ministry of Environment, 2013, *Sea Level Rise Adaptation Primer: A Toolkit to Build Adaptive capacity on Canada’s South Coasts*.

관련된 연구는 환경부를 중심으로 이루어지고 있으며, ‘기후변화 영향 및 적응 연구에 관한 위원회’를 통하여 일본 정부의 적응 전략(wise adaptation)을 수립하고 있다. 더불어 2005~2009년까지 기후변화가 수자원, 건강, 농업, 산업 및 연안역에 미치는 물리적 및 사회·경제적으로 평가하는 작업을 수행하였고, 2010년에는 S-8 프로젝트를 출발시켜 기후변화 영향을 주기적으로 평가하고 그 결과를 통하여 국가 전략을 수립하는 체계를 갖추었다.

연안역 부분에 대한 주요 평가는 해수면 상승 및 태풍 강도 변화에 따른 범람 영향평가, 모래사장의 침식에 따른 경제적 가치 손실, 해수면 상승에 따른 지하수 염분 침투에 발생하는 액상화 문제 등을 포함하고 있다. S-8-1(4) 「연안·방재 위험의 추정과 전국 위험지도 개발 연구」에서는 해일 재난 위험을 평가하기 위해 지표고와 제방 등의 높이를 포함한 표고 데이터를 구축하여 해수면 상승과 해일고 증가를 반영하여 침수 구역, 침수 인구 및 침수 피해액을 추산하였다. 또한 해수면 상승량의 미래 예측 결과를 이용하여 Bruun의 법칙²⁸⁾으로 21세기 말 경의 미래 해빈 침식량을 예측하였으며, 연구 결과 해수면이 60cm 상승했을 때 모래사장이 전국적으로 침식되어 백사장 손실률은 90%를 넘는 것으로 평가되었다. 특히 해일 위험이 큰 지역에서는 연안 방재 대책의 관점에서 모래사장을 보전하는 것이 중요함을 강조하였다²⁹⁾.

28) 해안선 후퇴량과 퇴적물 이동 한계 수심, 해수면 상승량의 관계를 나타냄.

29) 日本 環境省, 2014, S-8 地球温暖化 「日本への影響」

Ⅲ. 해수면 상승 시나리오 및 범람도 산출

1. 해수면 상승 시나리오

해수면 상승으로 인한 연안지역의 영향평가를 실시하기 위해서는 먼저 해수면 상승 시나리오를 어떻게 구성할 것인가가 정의되어야 한다. 해수면 상승 시나리오는 크게 지구온난화로 인한 해수면 상승의 정적 효과만을 고려하는 경우와 해수면 상승과 조석 및 태풍해일의 동적 효과를 함께 고려하는 경우로 구분할 수 있다³⁰⁾.

한국을 포함한 전 세계 대부분의 해안에서 발생하는 범람 피해는 백중사리³¹⁾, 태풍³²⁾, 폭풍해일(storm surge)³³⁾과 고파랑 등이 겹치면서 발생하고 있고 점진적인 해수면 상승과 더불어 연안역에서의 피해가 증가할 것으로 전망된다. 연안역에는 다양한 기능을 가진 시설들이 입지하고 있고 폭풍해일, 바람, 파랑 등의 외력이 구조물마다 다르게 작용함에 따라 연안역의 다양한 사회·경제적 활동의 기준도 일반적으로 파랑, 해일 등의 특정기간 빈도를 사용하고 있다. 조광우·김지혜(2001)는 한국과 같이 조석, 태풍 및 폭풍해일 등의 동적 영향이 매우 큰 지역에서는 지구온난화로 인한 해수면 상승만을 고려하는 방법 보다는 온난화로 인한 해수면의 정적 상승과 더불어 태풍 및 조석 효과를 동시에 고려하는 것이 적절한 영향평가 접근방법으로 판단하였다³⁴⁾.

30) 조광우·김지혜, 2001, 전계서, p.89.

31) 백중사리 : 음력 7월 15일인 백중을 전·후로 3~4일간 조차가 연중 최대가 되는 현상을 말한다. 이 시기는 지구와 달, 태양의 위치가 거의 일직선상에 있으면서, 달과 지구가 가장 가까운 거리(근지점)에 있는 기간임. 백중사리 때는 해수면이 가장 높아지면서 저지대가 침수되거나 바닷물이 제방 위로 넘쳐흘러 피해를 주기도 함.

32) 태풍(颱風, typhoon) : 북서태평양에서 발생하는 열대저기압으로 중심 최대풍속이 17m/s 이상인 것을 말한다.

33) 폭풍해일(暴風海溢, storm surge) : 태풍이나 강력한 저기압, 강풍 등의 영향으로 바닷가 해수면이 이상상승을 일으키는 현상을 말한다. 태풍의 이동과 더불어 파랑이 해안으로 접근할수록 해저와의 마찰로 파장은 짧아지고 파고는 높아져 해일을 일으킴. 대조기에 태풍의 위험반원에 위치하고 고조 시간이 겹치는 경우는 해일 피해가 큼.

34) 조광우·김지혜, 2001, 전계서, p.89.

한국은 해역별로 조차(潮差)의 편차가 크고 태풍 영향이 미치는 지역과 빈도도 지역 차가 있기 때문에 해수면 상승 높이만을 반영하는 것보다는 해수면 상승 높이와 더불어 태풍해일, 조석 등 이 세 가지 요소를 모두 반영하여 해수면 상승 시나리오를 구성하는 방법이 범람지역을 도출하는데 있어서 합리적인 방법으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 지구온난화로 인해 2100년의 한반도 해역의 예상되는 해수면 상승 높이 값에 현재 한반도 해역의 조석, 그리고 태풍해일의 효과를 반영하여 해수면 상승 시나리오를 구축하였다.

1) RCP(Representative Concentration Pathways) 해수면 시나리오

본 논문에서 적용한 한반도 해역의 2100년 해수면 상승 값은 기상청 국립기상연구소의 국제표준온실가스 배출 시나리오에 바탕을 둔 대표농도경로(Representative Concentration Pathway, RCP) 4종(RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5)에 대해서 Vermeer and Rahmstorf(2009)³⁵⁾가 제안한 준경험식 방법론(semi-empirical method)으로 한반도 해역의 해수면 상승을 예측한 김태윤·조광우(2013)의 연구 결과³⁶⁾를 활용하였다.

RCP 시나리오는 다양한 분야의 전문가(통합평가 전문가, 기후모형 전문가, 육상 생태계 전문가, 온실가스 방출 관련 전문가) 집단이 모여 개발한 시나리오로서 인간활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 정하였고, 온실가스 배출, 토지이용, 대기오염 등이 고려되었다.

35) Vermeer, M. and S. Rahmstorf, 2009, Global sea level linked to global temperature, *PNAS*, 106(51), pp.21527-21532.

36) 김태윤·조광우, 2013, 전계논문, pp.1-8.

〈표 2〉 RCP 시나리오 개요

구분	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
온실가스 배출량	매우 낮음	중간-낮은 완화 매우 낮은 기준선	중간 기준선 높은 완화	높은 기준선
토지이용	농경지와 목초지 중간	농경지와 목초지 모두 매우 낮음	농경지는 중간 목초지는 매우 낮음	농경지와 목초지 모두 중간
대기오염원	중간-낮음	중간	중간	중간-높음

주 : RCP 시나리오의 숫자는 복사강제력, 즉 온실가스 등으로 에너지의 평형을 변화시키는 영향력의 정도를 의미하는 양으로서 단위는 W/m²임. 지상에 도달되는 태양복사가 약 238W/m²이므로 RCP 2.6/4.5/6.0/8.5의 복사강제력은 입사 태양복사량의 약 1.1%, 1.9%, 2.5%, 3.6%에 해당됨 (미래기상자원지도, <http://www.greenmap.go.kr>).

출처 : van Vuuren et al.(2011), p.26.

〈표 3〉 RCP 시나리오 특징

구분	특징	2100년 CO ₂ 농도
RCP 2.6	인간 활동에 의한 영향을 지구 스스로가 회복 가능한 경우	420ppm
RCP 4.5	온실가스 저감 정책이 상당히 실행되는 경우	540ppm
RCP 6.0	온실가스 저감 정책이 어느 정도 실현되는 경우	670ppm
RCP 8.5	온실가스가 현재 추세로 저감없이 배출되는 경우	940ppm

출처 : 기상청 (<http://www.kma.go.kr>).

미래의 해수면 상승을 계산하는 방법으로는 선형가속률법, 준경험식법, 대기-해양모델링법으로 구분된다. 선형가속률법은 조석자료, 지질자료(salt-marsh deposits, sediment compaction 등) 등 기존 자료를 바탕으로 해수면 상승률과 가속률을 계산하여 계산된 가속률을 선형적으로 적용하여 미래 해수면 상승을 구하는 것으로 산정 결과의 불확실성이 매우 큰 단점이 있다. 준경험식법은 해수면 상승이 대기온도와 일차적 함수관계로 비례한다는 가정 하에, 대기온도와 해수면 변동의 상관관계를 토대로 해수면 상승량을 계산하는 통계적이고 실용적인

방법으로 알려져 있다. 준경험식법의 장점은 여러 가지 대기시나리오에서 얻어진 대기 상승 온도값을 이용하여 신속하게 해수면 상승온도를 계산할 수 있다는 점이다. 대기-해양모델링법은 대기대순환모형(Atmosphere General Circulation Model, AGCM)과 해양대순환모형(Ocean General Circulation Model, OGCM)을 접합시킨 대기-해양접합모델(Atmosphere-ocean coupled General Circulation Model, AOCGCM)을 사용하여 해수면 상승을 계산하는 방법으로, 대기-해양접합모델에서 얻어진 해수의 열팽창과 해빙으로 인한 해수 밀도변화를 이용하여 해수면 상승치를 구하기 때문에 전지구적 및 지역적 해수면 상승값을 구할 수 있다³⁷⁾.

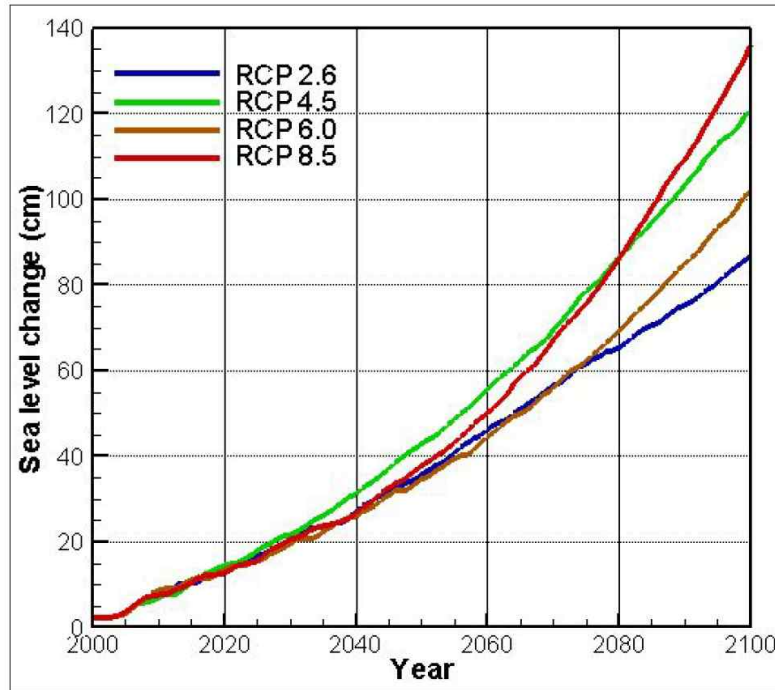
RCP 4종 시나리오를 근거로 하여 얻어진 대기온도 상승값을 Vermeer and Rahmstorf(2009)가 제안한 준경험식법에 적용하여 전지구적 평균 해수면 상승치를 예측한 결과는 아래 표와 같다.

〈표 4〉 RCP 4종 시나리오 결과로부터 추정된 연도별 해수면 상승치

RCP 시나리오	2025년	2050년	2075년	2100년
RCP 2.6	0.17m	0.36m	0.62m	0.87m
RCP 4.5	0.18m	0.43m	0.79m	1.21m
RCP 6.0	0.16m	0.35m	0.63m	1.02m
RCP 8.5	0.16m	0.38m	0.76m	1.36m

출처 : 김태윤·조광우(2013), p.6.

37) 김태윤·조광우, 2013, 전계논문, p.2.



<그림 2> RCP 시나리오별 해수면 상승치

출처 : 김태윤·조광우(2013), p.5.

RCP 8.5 시나리오의 경우는 2025년까지는 해수면 상승폭이 0.16m이며, 2050년에는 0.38m로서 비교적 완만한 상승을 나타내고 있으나 2100년에는 1.36m로 최대 해수면 상승치를 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서는 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우인 RCP 8.5 시나리오에 의한 2100년 해수면 상승치인 1.36m를 해수면 시나리오로 선정하였다. 앞에서 설명한 바와 같이 해안에는 항만, 원자력발전소, 산업단지 등 국가 중요 시설물이 다수 입지하고 있는 만큼 연안시스템의 중요성을 고려하여 미래 해수면 상승에 대비한 적응 대책을 수립하기 위해서는 높은 해수면 상승 시나리오를 적용한 평가가 필요하다.

2) 태풍해일

폭풍해일(storm surge)은 태풍이나 저기압의 영향으로 해면의 상승작용이나 강풍에 의한 해수의 퇴적작용에 의해 해면이 평상시의 조석보다 상승하는 것을 말하며, 저기압 통과 시 기압, 바람, 해저마찰, 파랑, 지형, 조석 및 하천 등의 복합적인 요인에 의해서 발생한다. 태풍의 중심기압이 낮고 풍속이 클수록 해일이 커지며, 특히 태풍이 불어오는 방향으로 만구가 열려있는 경우 해일은 더 커지기 때문에 한국의 경우 만구가 남쪽이나 서쪽으로 열리고 비교적 수심이 얕은 곳에서 해일이 빈번히 일어난다. 이러한 폭풍해일은 태풍 시에 주로 발생하고 그때마다 해안지역을 중심으로 사회·경제적 피해가 보고되고 있다³⁸⁾.

본 논문의 태풍해일의 빈도별 규모는 1970~2010년까지 중심기압을 분석하여 제시한 국립해양조사원(2012)의 100년 빈도 규모의 중심기압을 적용하여 산출하였다.

3) 조석

한반도의 조석은 해역별로 다른 특성을 가지고 있다. 한국의 해역별 조석의 특성(국립해양조사원, 2009)은 동해안의 경우 조차가 매우 적으며, 일조도 일정하지 않아 1일1회조³⁹⁾가 되는 경우도 있다. 대조시 감포 이북이 0.3m 이하이고 남쪽으로 내려가면서 울산 0.5m, 고리 0.7m, 부산 1.2m로 조차가 커진다. 남해안의 조차는 동쪽에서 서쪽으로 갈수록 증가하여 대조차는 부산 1.2m, 여수 3.0m, 완도 3.1m 정도가 된다. 남해안은 일조부등⁴⁰⁾이 적으며 규칙적인 승강을 하는 것으로 조사되고 있다. 황해안은 한국에서 조석이 가장 크게 나타나는 해역이며 전 세계적으로도 조차가 큰 해역에 속한다. 이에 따라 최근 황

38) 조광우 외, 2011, 국가 해수면 상승 사회·경제적 영향평가 I, 한국환경정책·평가연구원, p.116.

39) 1일1회조(single day tide) : 하루에 한 번 고조와 저조가 나타나는 조석을 말하며 일주조라고도 함.

40) 일조부등(日潮不等, diurnal inequality of tide) : 1일 2회 있는 고조 및 저조가 같은 날이라도 높이가 서로 다른 것을 말함.

해안의 큰 조차를 활용한 조력발전소 건설 및 계획이 활발히 진행 중에 있다. 대조시 조차는 서해안 남부에서 약 3.0m이나 군산에서는 6.0m, 인천 부근에서는 약 8.0m까지 증가한다⁴¹⁾. 본 논문에서는 해수면 상승에 따른 범람지역 산출에 조석의 영향을 고려하기 위하여 해역별 조석의 평균해면 값을 구하여 범람지역 산출에 적용하였다.

2. 범람도 산출 및 검증

본 연구에서는 범람지역 산정을 위한 지역적 해수면 시나리오는 평균해수면 상승, 태풍해일, 조석을 중첩하여 사용하였으며, 범람지역 산출은 IPCC 및 주요 국가에서 사용하는 Bucket_fill 방법을 이용하였다. Bucket_fill 방법은 해안에서 버킷에 물을 담아 육지 쪽으로 부었을 때 범람하는 지역을 나타내는 방법으로, 해수면 상승과 조석, 태풍해일로 인한 총 해수면 상승 높이를 산정하고 육지의 고도가 총 해수면 상승 높이보다 낮은 육역은 범람지역으로 평가하는 방법이다. 범람 계산 시 필요한 수력학적인 과정은 고려하지 않지만, 연안지역 범람을 평가하는 가장 간단하면서도 합리적인 방법으로 평가되고 있다⁴²⁾.

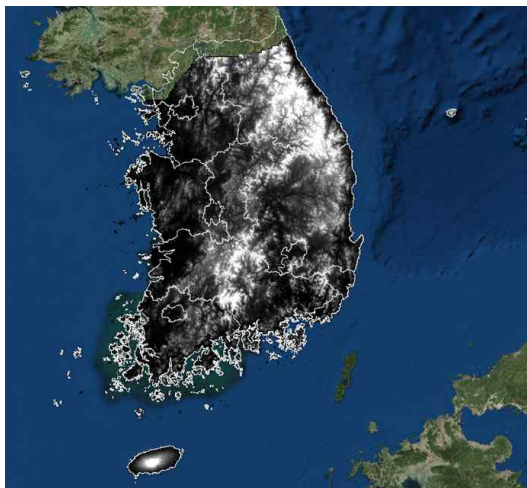
범람지역을 산출하기 위한 육상 지형자료는 국토지리정보원의 「2014년도 전국 정밀 수치표고모형 제작사업」 결과물인 5m 해상도의 정밀 수치표고모형(이하 'DEM') 자료를 사용하였다. 전국 정밀 수치표고모형 제작에 필요한 원시자료는 국토지리정보원, 국토교통부 브이월드(V-World), 측량협회 등으로부터 원시자료 구축 현황을 조사하고 기구축 성과에 대해 자료수집과 분석을 수행하여, 원시자료 검수 및 최신성 등의 활용 여부를 판단하고, 각 원시데이터의 중복지역 확인 및 데이터 검수를 통해 품질을 확보하는 과정을 통해 원시자료로

41) 조광우 외, 2011, 상계서, p.118.

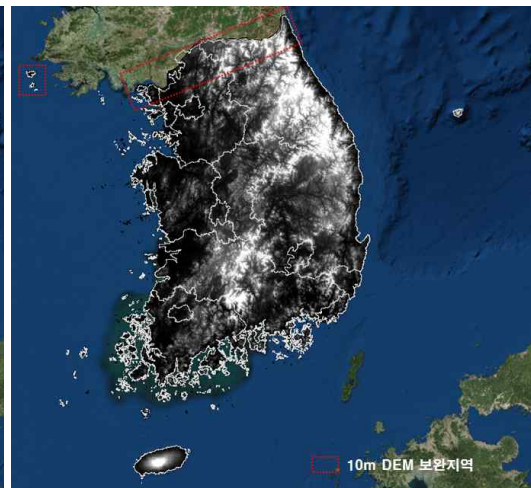
42) 조광우 외, 2010, 해수면 상승에 따른 취약성 분석 및 효과적인 대응 정책 수립 II -연안역 범람 평가 및 대응 방향, 한국환경정책·평가연구원, p.65.

사용되었다. 원시자료로는 1/5,000 연속수치지형도, 1/1,000 도화 성과, 1/5,000 도화 성과, 기본측량 Lidar DEM, V-WORLD Lidar DEM, 공공측량 Lidar DEM, 지리원 Lidar DEM, 통합기준점, 삼각점, 수준점, 사진기준점 성과, 1/25,000 북한지역 DEM, 산높이 고시정보 등이 활용되었다⁴³⁾.

국토지리정보원 5M DEM에서는 백령도 일대와 강화도를 포함한 휴전선 일대 접경지역은 구축되어 있지 않은 상태로, 이들 지역에 대해서는 국토지리정보원의 10m 해상도의 DEM를 활용하여 연구지역 DEM을 보완하였다(<그림 4>).

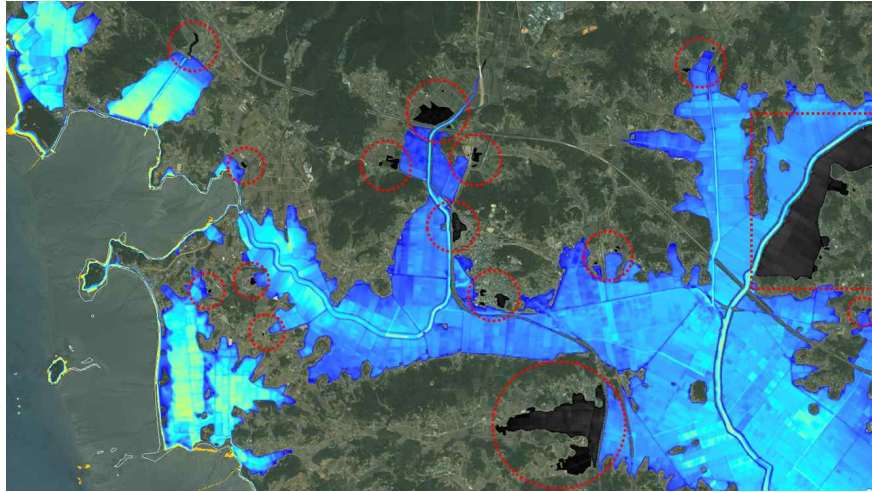


<그림 3> 국토지리정보원 5M DEM 구축 지역 범위



<그림 4> 경계지역 DEM 보완한 연구지역 범위

43) 국토지리정보원, 2014, 전국 정밀 수치표고모형 제작 용역결과보고서, p.8.



<그림 5> 범람 예상지역의 연결성(connectivity) 검토

범람지역 산출 후 검증 작업은 범람지역에 대한 현지조사와 위성영상 지도를 이용한 바다로부터의 범람지역 연결성 등을 검토하였다. 사례로 <그림 5>에서 붉은 점선 안쪽의 검정색으로 표시된 지역의 고도는 총 해수면 상승 높이와 같거나 낮은 곳으로 범람이 예상되는 지역이지만, 제방과 도로 등의 높이로 인해 범람지역과는 직접적으로 연결되어 있지 않은 곳으로 이러한 지역은 범람지역의 바다로부터의 연결성(connectivity) 검토를 통해 전체 범람지역에서 제외하였다. 하지만 이들 지역은 본 연구에서 적용한 해수면 상승 시나리오보다 높은 해수면 시나리오에서는 범람 가능성이 매우 높은 지역이므로 향후 이들 지역에 대한 관리 방안 마련도 필요할 것으로 생각된다.

IV. 연안 범람역 영향평가

1. 범람 예상지역

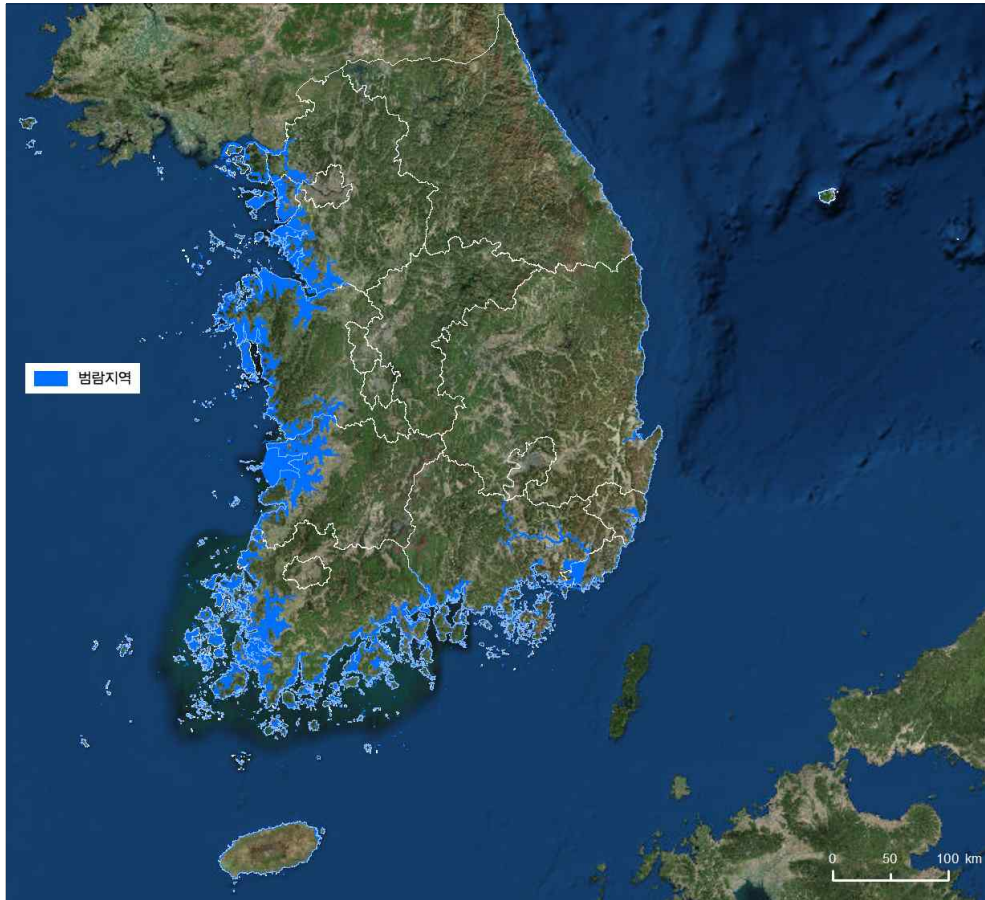
범람 예상지역 산출은 본 연구의 III장에서 도출한 해수면 상승 시나리오 (2100년 RCP 8.5 해수면 시나리오에 100년빈도 태풍해일고와 조석을 반영)와 국토지리정보원에서 구축한 5M 해상도의 DEM 자료를 사용하였고, 범람지역의 면적 계산에는 한국토지정보시스템에서 제공하는 연속지적도를 활용하였다. 분석에는 ESRI ArcMap 10.1 GIS 소프트웨어를 사용하였다.

본 논문에서 도출한 범람도는 RCP 8.5 해수면 상승 값은 전 해역에 대해 동일하게 적용되었지만, 100년빈도 태풍해일고와 조석이 해역별로 다르기 때문에 해역별로 범람 고도가 다르고, 같은 해역이라도 반영된 조석 및 태풍해일 높이에 따라 지역별로 범람 고도가 다르게 나타난다. 예를 들어 서해안에서의 대략적인 범람 고도를 살펴보면 강화도 일대는 약 8m 정도까지 범람되고 인천은 7.5m 내외, 안면도를 포함한 태안 일대는 5m 내외, 새만금 일대는 6m 내외, 목포는 4m 내외로 범람된다. 남해안 일대는 보성 8m 내외, 여수 5~6m 내외, 부산 2.5m 내외, 울산을 포함한 동해안 지역은 대부분 2m 내외 범위까지 범람 되는 것으로 나타났다.

본 논문에서 적용한 범람도 산출 방법론에 의하면 바다와 연결하지 않은 서울과 대구 지역까지 범람 영향이 미치는 것으로 나타나는데, 서울의 경우는 한강을 따라 바닷물이 유입되어 한강과 주변 저지대 일부가 침수되고, 대구의 경우는 부산 서낙동강 하구의 녹산배수펌프장 일대 저지대와 낙동강을 따라 대구 지역의 낙동강과 주변 저지대가 일부 침수되는 것으로 분석되었다. 하지만 이러한 경우는 분석에 사용한 DEM 자료 등의 정확도의 한계와 수력학적 특성을 반영하지 못하는 범람도 산출 방법의 한계로 판단하여 본 논문의 범람지역 면적 계산 및 영향평가 시에는 바다와 연결하지 않은 서울과 대구 지역은 제외하였다.

특히 대구 지역의 경우는 본 논문에서 적용한 해수면 상승 시나리오에 의해 해수면이 상승하여도 현실적으로 바닷물의 직접적인 영향이 미치기에는 거리상으로 동떨어져 있고, 해수에 의한 직접적인 영향보다는 내수침수 등 간접적인 영향에 의한 피해가 발생할 수 있을 것으로 판단하였기 때문이다. 서울 지역의 경우는 한강을 통해 바닷물이 유입할 가능성이 있고, 과거 조선시대에도 마포 및 용산 일대까지 바닷물이 드나들었던 기록이 있어 해수면 상승으로 인한 영향이 미칠 수 있을 것으로 생각되나, 범람도 산출 결과 침수 지역이 대부분 한강 등의 수역과 한강을 따라 일부 저지대가 침수되는 것으로 나타나는데, 바다와 연결하지 않은 서울의 경우도 해수 보다는 내수에 의한 범람 가능성이 높은 것으로 판단하여 분석에서는 제외하였다.

범람 예상지역 산출 결과에 따르면, 2100년 한국 전체의 총 범람 면적은 4,540.7km²(2014년 연속지적도 기준)로 나타난다. 이는 국토(100,283.8km², 2014년 지적 통계 기준 국토 면적)의 약 4.5%에 해당하는 면적으로, 시·도별로는 전남(1,527.2km²), 충남(984.2km²), 전북(828.2km²), 경기(479.3km²), 경남(265.7km²), 인천(253.7km²), 부산(134.6km²), 강원(19.7km²), 경북(19.4km²), 울산(17.7km²), 제주(11.0km²) 순으로 범람지역이 넓게 나타난다. 즉, 조차가 크고 고도가 낮아 간석지의 발달이 탁월하고 평야가 발달한 황해안은 범람이 내륙 안쪽 저지대를 포함하여 넓게 나타나고, 동해안으로 갈수록 범람지역이 해안선을 따라 선적으로 좁게 나타난다.



<그림 6> 한국의 2100년 예상 범람도

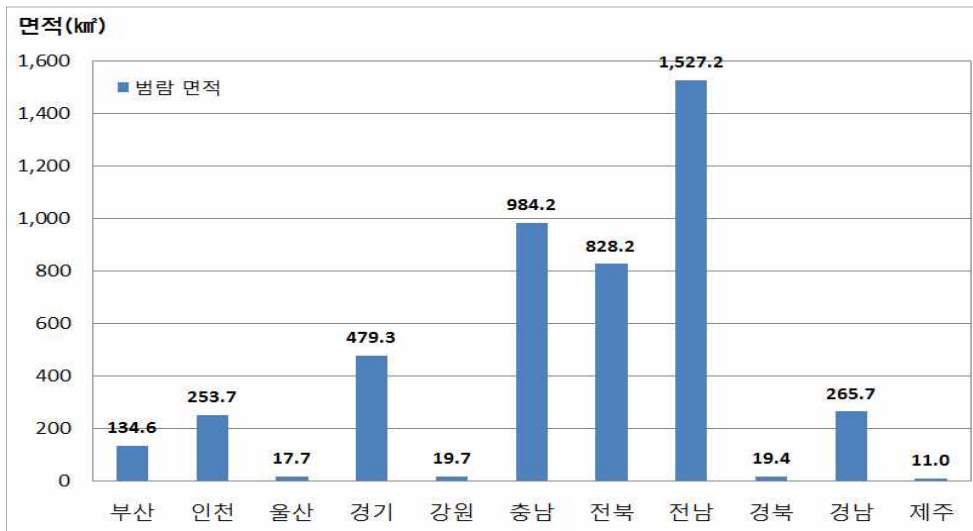
지자체 면적 대비 범람 면적의 비율을 살펴보면, 인천이 24.2%로 가장 높고, 부산 17.5%, 전남 12.4%, 충남 12.0%, 전북 10.3%, 경기 4.7%, 경남 2.5%, 울산 1.7%, 제주 0.6%, 강원 0.1%, 경북 0.1% 순으로 나타난다.

<표 5> 시·도별 범람 예상 면적 및 범람 비율

시·도	지자체 면적(km ²) ⁴⁴⁾	범람 면적(km ²) ^{주)}	지자체 면적 대비 범람 비율(%)
서울	605.2	-	-
부산	769.8	134.6	17.5
대구	883.5	-	-
인천	1,047.6	253.7	24.2
광주	501.2	-	-
대전	539.3	-	-
울산	1,060.7	17.7	1.7
세종	464.9	-	-
경기	10,172.7	479.3	4.7
강원	16,825.6	19.7	0.1
충북	7,407.1	-	-
충남	8,213.7	984.2	12.0
전북	8,067.2	828.2	10.3
전남	12,309.0	1,527.2	12.4
경북	19,029.3	19.4	0.1
경남	10,538.0	265.7	2.5
제주	1,849.0	11.0	0.6
계	100,283.8	4,540.7	4.5

주 : 2014년 연속지적도 기준 범람 면적 계산.

44) 국가지표체계(<http://www.index.go.kr>) 2014년 행정구역별 국토면적(출처 : 국토교통부 「지적통계연보」) 기준.



<그림 7> 시·도별 범람 예상 면적



<그림 8> 시·도별 면적 대비 범람 비율

2. 범람 예상지역 사회·경제현황 영향평가

1) 주택

범람 예상지역의 주거지는 범람 예상지역에 입지하고 있는 주택의 개소와 면적을 분석하였으며, 공간자료는 행정안전부에서 구축한 도로명주소 전자지도(2016.09 기준)를 활용하였다. 도로명주소 전자지도에는 주택이 단독주택과 공동주택으로 구분되어 있고, 단독주택은 다시 단독주택과 다중주택, 다가구주택, 공관 등으로, 공동주택은 아파트와 연립주택, 다세대주택으로 세분되어 있다.

분석 방법은 단독주택(데이터값; 01000, 01001), 다중주택(01002), 다가구주택(01003), 공관(01004)과 공동주택(02000), 아파트(02001), 연립주택(02002), 다세대주택(02003)을 추출한 후, 범람도와 중첩하여 범람 예상지역에 해당하는 주택만 따로 추출하여 주택 개소와 면적을 분석하였다.

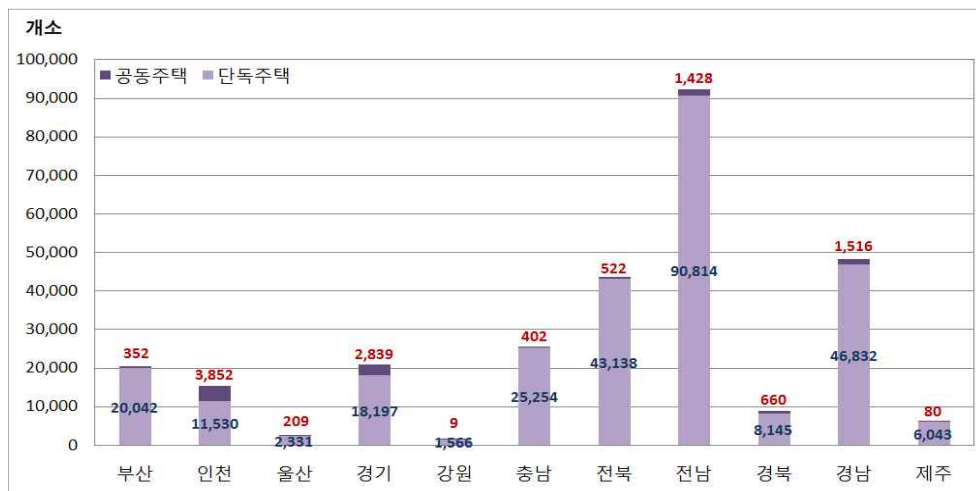
범람 예상지역의 주택 개소는 전국의 총 주택 6,473,995개소(단독주택 6,024,867개소, 공동주택 449,128개소)의 약 4.4%에 해당하는 285,762개소(단독주택 273,893개소, 공동주택 11,869개소)의 주택이 범람 피해를 입을 것으로 나타났다. 시·도별로 살펴보면, 전남 지역이 전국 총 범람 예상지역 주택 수의 32.3%에 해당하는 92,242개소(단독주택 90,814개소, 공동주택 1,428개소)가 범람 예상지역에 입지하고 있어 전국에서 가장 많은 주택 피해를 입을 것으로 추정된다. 다음으로는 경남 48,348개소, 전북 43,660개소, 충남 25,656개소, 경기 21,036개소, 부산 20,394개소, 인천 15,382개소, 경북 8,805개소, 제주 6,123개소, 울산 2,540개소, 강원 1,575개소 순으로 나타났다.

<표 6> 시·도별 범람 예상지역의 주택 수

(단위: 개소, %)

시·도	총 주택 수			범람 예상지역 주택 수			지자체별 총 주택 수 대비(%)
	단독 주택	공동 주택	계	단독 주택	공동 주택	계	
서울	346,831	129,594	476,425	-	-	-	-
부산	227,467	35,408	262,875	20,042	352	20,394	7.8
대구	171,281	14,527	185,808	-	-	-	-
인천	114,878	36,565	151,443	11,530	3,852	15,382	10.2
광주	115,319	7,099	122,418	-	-	-	-
대전	96,609	9,943	106,552	-	-	-	-
울산	94,164	7,692	101,856	2,331	209	2,540	2.5
세종	25,050	1,432	26,482	-	-	-	-
경기	670,611	113,336	783,947	18,197	2,839	21,036	2.7
강원	340,797	8,226	349,023	1,566	9	1,575	0.5
충북	357,565	8,818	366,383	-	-	-	-
충남	498,192	13,653	511,845	25,254	402	25,656	5.0
전북	557,773	10,439	568,212	43,138	522	43,660	7.7
전남	716,313	7,657	723,970	90,814	1,428	92,242	12.7
경북	691,330	17,478	708,808	8,145	660	8,805	1.2
경남	864,100	20,414	884,514	46,832	1,516	48,348	5.5
제주	136,587	6,847	143,434	6,043	80	6,123	4.3
계	6,024,867	449,128	6,473,995	273,893	11,869	285,762	4.4

주 : 도로명주소기본도(2016) 자료 활용.



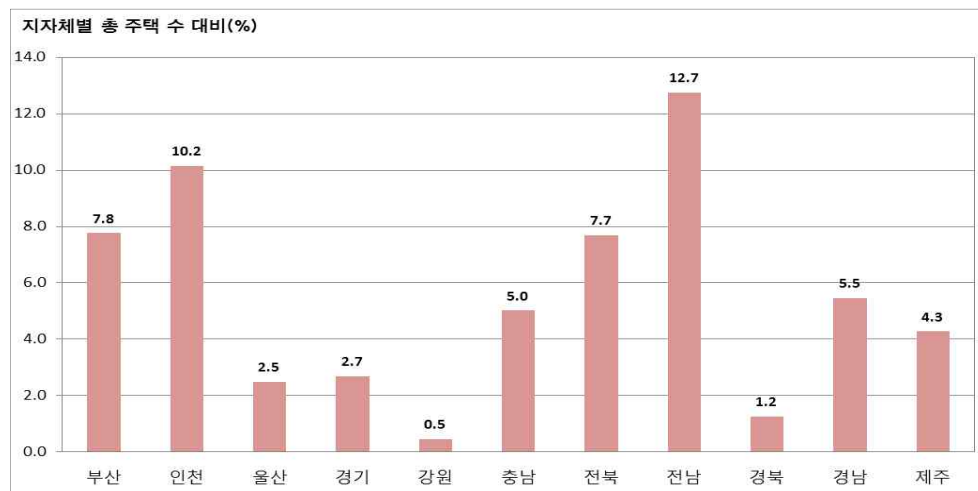
<그림 9> 시·도별 범람 예상지역 주택 개소

<표 7> 시·도별 범람 예상지역의 주택 면적

(단위: km², %)

시·도	총 주택 면적			범람 주택 면적			지자체별 총 주택 면적 대비(%)
	단독 주택	공동 주택	소계	단독 주택	공동 주택	소계	
서울	29.5	30.6	60.1	-	-	-	-
부산	16.0	10.0	26.0	1.8	0.1	2.0	7.6
대구	16.8	6.0	22.8	-	-	-	-
인천	10.1	9.2	19.4	1.1	1.6	2.7	14.0
광주	9.0	3.8	12.8	-	-	-	-
대전	9.4	3.9	13.3	-	-	-	-
울산	9.2	3.1	12.3	0.3	0.1	0.3	2.6
세종	2.4	0.6	3.0	-	-	-	-
경기	68.7	35.8	104.5	2.3	1.1	3.5	3.3
강원	29.3	3.7	33.0	0.1	0.0	0.1	0.3
충북	28.9	3.8	32.7	-	-	-	-
충남	47.6	5.2	52.8	2.4	0.1	2.6	4.9
전북	46.6	4.5	51.1	3.7	0.3	4.0	7.7
전남	53.5	3.5	57.0	6.7	0.7	7.4	13.0
경북	53.2	6.6	59.8	0.7	0.2	0.9	1.5
경남	58.3	7.9	66.2	3.6	0.6	4.1	6.2
제주	10.5	2.2	12.7	0.4	0.0	0.4	3.2
계	499.2	140.4	639.6	23.1	4.9	27.9	4.4

주 : 도로명주소기본도(2016) 자료 활용.



<그림 10> 시·도별 총주택 수 대비 범람 예상지역 주택 비율

해당 지자체의 총 주택 수에 대한 범람 예상지역 주택 수의 비율을 살펴보면, 전남 지역 총 주택 수(723,970개소)의 12.7%에 해당하는 92,242개소의 주택이 침수 피해를 입을 수 있을 것으로 나타났고, 다음으로는 인천 10.2%, 부산 7.8%, 전북 7.7%, 경남 5.5%, 충남 5.0%, 제주 4.3%, 경기 2.7%, 울산 2.5%, 경북 1.2%, 강원 0.5%의 주택이 범람 예상지역에 입지하고 있는 것으로 나타났다.

제주도 해안지역을 대상으로 현지조사를 통하여 범람 예상지역의 주거지가 미래 해수면 상승 시 피해를 입을 가능성이 있는지를 검토하였다. 제주도 지역은 동·북·서부 해안을 중심으로 예상 피해 주택의 수가 많고, 남부 해안은 예상 피해 주택이 적게 분포하는 특징이 있다. 이는 제주도의 지질 및 지형적인 특성과 연관이 깊다.

제주도는 동·북·서부 해안은 평탄한 지형 위에서 유동성이 큰 현무암질 용암류가 넓게 퍼져 흐르면서 형성된 지형으로, 일반적으로 바다 쪽으로 완만한 경사를 이루며 평탄한 해안이 발달하였고(환경부, 1997), 그 결과 평탄한 해안 지대를 중심으로 다수의 주거지와 시설물이 집중적으로 입지하게 되었다. 반면 서귀포를 중심으로 한 남부 해안은 점성이 크고 유동성이 작은 중성 용암이 상당한 두께로 흘러 비고가 큰 지형을 형성하였는데, 특히 조면암이 분포하는 해안에는 수직 절리가 잘 발달하여 급경사의 해식애가 형성되는 경우가 많다(환경부, 1997). 따라서 남부 해안은 육지와 바다와의 비고차가 크기 때문에 범람 예상지역도 좁게 나타나고, 침수 가능 주택의 수도 적게 나타난다.

<그림 11>은 제주시 구좌읍 김녕 해안 지역의 범람도와 범람주거지의 입지를 보여주고 있다. 제주 동·북·서부 해안 지역은 해안과 바로 인접하여 주거지 및 상업시설물 등이 입지해 있고 육지와 해안과의 비고차도 거의 없다. <그림 13>에서 보듯이 해안도로도 바다와 바로 인접해 있고, 모래해안의 폭 또한 넓지 않기 때문에 해수면 상승 시 넓은 지역에 걸쳐 다양한 피해가 발생할 수 있을

것으로 예상된다.



<그림 11> 제주시 구좌읍 김녕 해안의 범람 예상지역과 주택 분포



<그림 12> 제주시 구좌읍 김녕 해안의 주택 및 시설물 입지(2011.11.11)



<그림 13> 서귀포시 표선 해비치 해변의 해빈과 해안도로(2011.11.11)

2) 인구

범람 예상지역의 인구 산정은 해당 시·도별 총 주택(도로명주소 전자지도, 2016.09 기준)에 그 지역의 인구가 등질적으로 거주한다는 가정 하에, 총 주택 면적 대비 범람 예상지역 주택 면적의 비율을 범람 예상지역 인구 산정에 적용하였다.

시·도별 총 인구 자료는 국가통계포털(KOSIS)⁴⁵⁾의 2015년 기준 행정구역별 총 인구 자료를 이용하였으며, 2015년 현재 전국 총 5,106만 명이 거주하고 있다. 범람 예상지역의 인구를 산정한 결과, 전국 인구의 3.6%에 해당하는 약 185만 명의 인구가 범람 피해를 입을 것으로 파악된다. 지역별로는 경기와 인천 지역이 각각 41만 명, 40만 명으로 가장 많고, 다음은 부산으로 26만 명, 전남 23만 명, 경남 20만 명 등으로 예상된다.

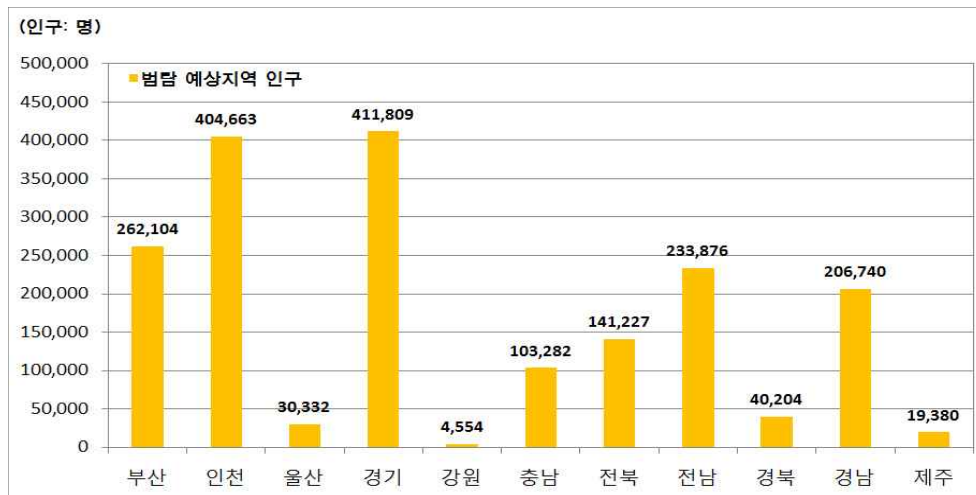
본 연구에서 사용한 범람 예상지역 인구 추정 방법은 주택 면적을 GIS 건물 폴리곤의 면적을 기준으로 계산한 것이다. 이에 일반 단독주택과 아파트 등의 공동주택이 동일한 면적이라면 같은 수의 인구가 거주하는 것으로 가정하였으므로, 실제 주택에 거주하는 인구 수를 반영하지 못한다는 한계가 있다.

45) 국가통계포털(KOSIS) (<http://kosis.kr>).

<표 8> 시·도별 범람 예상지역 인구

시·도	총 주택 면적(㎡)	범람 예상지역 주택 면적(㎡)	지자체별 총 주택 면적 대비(%)	총 인구 (2015) (명)	범람 예상지역 인구(명)
서울	60,135,560	-	-	9,904,312	-
부산	25,974,786	1,962,807	7.6	3,448,737	262,104
대구	22,783,134	-	-	2,466,052	-
인천	19,353,936	2,715,941	14.0	2,890,451	404,663
광주	12,844,874	-	-	1,502,881	-
대전	13,348,452	-	-	1,538,394	-
울산	12,263,716	313,733	2.6	1,166,615	30,332
세종	3,041,112	-	-	204,088	-
경기	104,521,539	3,459,443	3.3	12,479,061	411,809
강원	33,025,415	106,503	0.3	1,518,040	4,554
충북	32,687,324	-	-	1,589,347	-
충남	52,774,427	2,561,427	4.9	2,107,802	103,282
전북	51,114,839	3,950,223	7.7	1,834,114	141,227
전남	56,983,346	7,426,621	13.0	1,799,044	233,876
경북	59,837,905	890,932	1.5	2,680,294	40,204
경남	66,212,441	4,134,830	6.2	3,334,524	206,740
제주	12,741,156	410,683	3.2	605,619	19,380
계	639,643,962	27,933,143	-	51,069,375	1,858,171

주 : 총인구는 국가통계포털(KOSIS)의 2015년 기준 행정구역별 총인구 자료를 기준으로 함.



<그림 14> 시·도별 범람 예상지역 인구

3) 주요 시설물

범람 예상지역에 입지하고 있는 주요 시설물로는 공공시설, 의료시설, 발전시설 등 공공성이 큰 시설물들과 향후 범람 예상지역에 입지하고 있을 경우 해수에 의한 범람이 발생했을 때 화학물질이나 유독성물질 등의 위험물질이 노출되어 주변 거주지 및 생태계에 위험을 증가시킬 수 있는 위험물저장처리시설 등을 포함하였다. 이들 시설물의 공간자료는 주택 자료와 동일하게 행정안전부에서 구축한 도로명주소기본도(2016.09 기준) DB를 활용하였다.

먼저 공공시설의 종류는 공공시설(03100), 동사무소(03101), 경찰서(03102), 파출소(03103), 소방서(03104), 우체국(03105), 전신전화국(03106), 방송국(03107), 보건소(03108), 공공도서관(03109), 지역의료보험조합(03110), 기타공공시설(03199) 등이 포함된다. 의료시설의 종류는 의료시설(7000), 종합병원(07101), 산부인과병원(07102), 치과병원(07103), 한방병원(07104), 정신병원(07105), 격리병원(07106), 병원(07107), 요양소(07108), 기타병원(07199), 장례식장(07201), 전염병원(07301), 마약진료소(07302), 기타의료시설(07999) 등이 포함된다. 위험물저장처리시설로는 위험물저장처리시설(15000), 주유소(15001), 액화석유가스충전소(15002), 위험물제조소(15003), 위험물저장소(15004), 액화가스취급소(15005), 액화가스판매소(15006), 유독물보관저장시설(15007), 고압가스충전저장소(15008), 석유판매소(15009), 기타위험물저장처리시설(15999) 등이다. 발전시설은 발전시설(27000), 기타발전시설(27999) 등이다.

분석 결과, 전국 주요 시설물 수의 6.9%인 5,699개소가 범람 예상지역에 입지하고 있는 것으로 파악되었다. 지역별로는 전남이 전국 범람 예상지역 주요 시설물 수가 1,745개소로 가장 많고, 전체 범람 예상지역 주요 시설물 수의 약 30.6%를 차지한다. 다음으로는 경남 831개소, 전북 751개소, 인천 586개소 등이다. 지자체별 총 주요 시설물 수 대비 범람 예상지역 주요 시설물은 인천이

25.7%로 가장 많고, 전남 18.6%, 부산 12.6%, 전북 10.1% 등을 나타낸다.

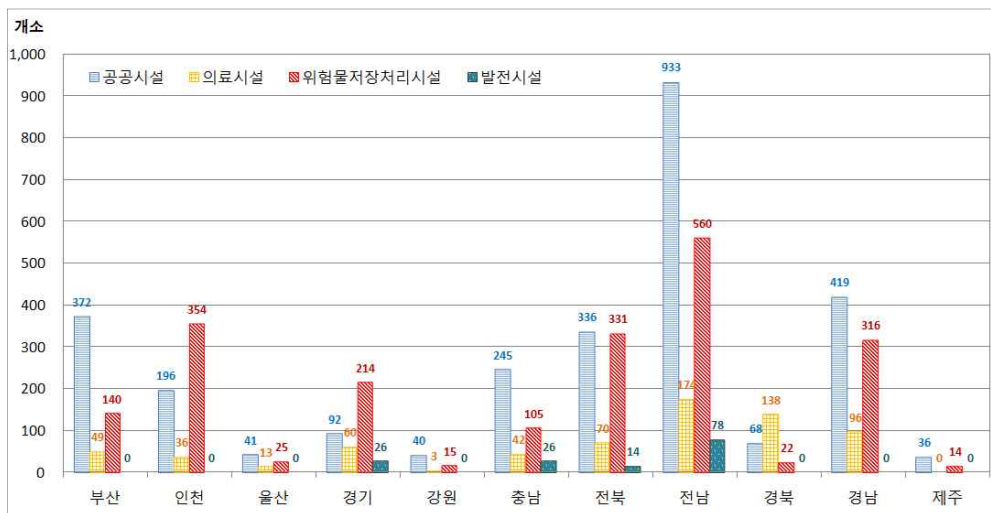
범람 예상지역 주요 시설물의 종류는 공공시설이 48.7%로 거의 대부분을 차지하고, 다음으로는 위험물저장처리시설 36.8%, 의료시설 11.9%, 발전시설 2.5%를 나타낸다. 각 주요 시설물의 범람이 가장 많이 발생하는 지역은 전남으로, 총 범람 공공시설물의 33.5%, 의료시설의 25.6%, 위험물저장처리시설의 26.7%, 발전시설의 54.2%가 모두 전남 지역에서 발생하는 것으로 나타났다.

<표 9> 시·도별 범람 예상지역 주요 시설물 현황

(단위: 개소)

시·도	주요 시설물 수					범람지역 주요 시설물 수					총주요 시설물 대비 (%)
	공공 시설	의료 시설	위험물 저장처리 시설	발전 시설	계	공공 시설	의료 시설	위험물 저장처리 시설	발전 시설	계	
서울	2,262	1,388	1,146	2	4,798	-	-	-	-	-	-
부산	1,693	1,255	1,492	0	4,440	372	49	140	0	561	12.6
대구	698	385	928	4	2,015	-	-	-	-	-	-
인천	1,041	261	975	0	2,277	196	36	354	0	586	25.7
광주	578	615	922	3	2,118	-	-	-	-	-	-
대전	410	213	606	0	1,229	-	-	-	-	-	-
울산	437	212	581	2	1,232	41	13	25	0	79	6.4
세종	132	41	119	1	293	-	-	-	-	-	-
경기	4,064	1,366	6,069	63	11,562	92	60	214	26	392	3.4
강원	2,138	553	2,163	18	4,872	40	3	15	0	58	1.2
충북	2,440	1,185	2,204	50	5,879	-	-	-	-	-	-
충남	2,512	640	2,698	174	6,024	245	42	105	26	418	6.9
전북	3,446	1,007	2,726	248	7,427	336	70	331	14	751	10.1
전남	5,067	1,113	3,053	157	9,390	933	174	560	78	1,745	18.6
경북	4,270	1,299	3,446	53	9,068	68	138	22	0	228	2.5
경남	3,619	1,132	3,704	19	8,474	419	96	316	0	831	9.8
제주	499	130	336	12	977	36	0	14	0	50	5.1
계	35,306	12,795	33,168	806	82,075	2,778	681	2,096	144	5,699	6.9

주 : 도로명주소기본도(2016) 자료 활용.



<그림 15> 시·도별 범람 예상지역 주요 시설물

4) 토지피복 현황

해수면 상승으로 인해 범람이 예상되는 지역에 대한 현재의 토지이용 현황을 파악하는 것은 향후 해수면 상승에 대비한 토지 이용 변경 등 적응대책 수립에 있어서 기초적인 정보로 이용할 수 있기 때문에 필요하다. 따라서 본 논문에서는 환경부 중분류 토지피복도를 이용하여 범람 예상지역의 토지이용 현황을 분석하였다. 토지피복도(land cover map)는 영상자료를 기준으로 지구표면 지형지물의 형태를 일정한 과학적 기준에 따라 분류하고 동질의 특성을 지닌 구역을 지도형태로 표현한 공간정보(환경부훈령 제1036호, 「토지피복지도 작성지침」)로, 지표면의 현상을 가장 잘 반영하기 때문에 기후변화 영향 및 취약성 평가나 환경영향평가, 기후대기 예측 모델링 등 다양한 연구에 활용되고 있다. 분석에 이용한 중분류 토지피복도는 7개 대분류 항목(시가화건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역)에 대해 22개 중분류 항목으로 세분되어 있다.

범람 예상지역의 토지피복 현황을 분석한 결과, 전국 범람 예상지역 토지피복의 중분류 항목 중 농업지역이 63.1%(2,902.41km²)로 가장 넓은 면적을 나타내고,

다음의 수역으로 12.7%(585.44km²), 시가화건조지역 9.5%(437.67km²), 습지 6.3%(291.09km²), 나지 5.1%(234.17km²), 초지 1.9%(88.44km²), 산림지역 1.4%(63.33km²)를 나타낸다.

<표 10> 시·도별 범람 예상지역 대분류 토지피복 현황

(단위: km², %)

	시가화 건조지역	농업지역	산림지역	초지	습지	나지	수역	계
부산	28.76 (21.4%)	66.05 (49.2%)	0.19 (0.1%)	5.49 (4.1%)	3.88 (2.9%)	7.64 (5.7%)	22.31 (16.6%)	134.32 (100%)
인천	80.80 (27.8%)	80.70 (27.8%)	3.07 (1.0%)	17.07 (5.9%)	41.13 (14.2%)	44.62 (15.3%)	23.15 (8.0%)	290.54 (100%)
울산	9.55 (48.0%)	2.33 (11.7%)	0.06 (0.3%)	0.59 (2.9%)	0.61 (3.1%)	1.72 (8.7%)	5.04 (25.3%)	19.90 (100%)
경기	67.81 (13.5%)	262.04 (52.2%)	3.35 (0.7%)	16.12 (3.2%)	47.74 (9.5%)	19.14 (3.8%)	86.16 (17.1%)	502.36 (100%)
강원	2.09 (8.4%)	6.28 (25.3%)	0.37 (1.5%)	1.05 (4.2%)	1.56 (6.3%)	5.05 (20.3%)	8.45 (34.0%)	24.85 (100%)
충남	40.70 (4.1%)	717.95 (72.7%)	14.78 (1.5%)	18.37 (1.9%)	56.98 (5.8%)	20.17 (2.0%)	118.48 (12.0%)	987.43 (100%)
전북	44.82 (5.9%)	617.26 (80.8%)	1.76 (0.2%)	6.68 (0.9%)	21.60 (2.8%)	21.97 (2.9%)	49.82 (6.5%)	763.90 (100%)
전남	101.21 (6.5%)	1,028.06 (66.4%)	29.82 (1.9%)	14.80 (1.0%)	99.37 (6.4%)	76.17 (4.9%)	199.92 (12.9%)	1,549.35 (100%)
경북	5.77 (23.9%)	5.33 (22.1%)	0.60 (2.5%)	0.38 (1.5%)	1.44 (6.0%)	4.91 (20.3%)	5.72 (23.7%)	24.15 (100%)
경남	51.21 (18.0%)	113.21 (39.8%)	9.17 (3.2%)	7.05 (2.5%)	14.03 (4.9%)	27.44 (9.7%)	62.16 (21.9%)	284.27 (100%)
제주	4.94 (23.1%)	3.20 (14.9%)	0.17 (0.8%)	0.84 (3.9%)	2.75 (12.8%)	5.33 (24.8%)	4.23 (19.7%)	21.46 (100%)
계	437.66 (9.5%)	2,902.41 (63.1%)	63.34 (1.4%)	88.44 (1.9%)	291.09 (6.3%)	234.16 (5.1%)	585.44 (12.7%)	4,602.53 (100%)

주 : 중분류 토지피복도(2009) 활용.

시·도별로 보면 인천, 울산, 경북 지역은 범람 예상지역 내에 시가화건조지역이 차지하는 비율이 다른 지역에 비해 대체로 높게 나타나고, 부산, 경기, 충남, 전북, 전남, 경남 지역 등은 농업지역이 다른 토지피복 항목에 비해 높게 나타난다. 특히 전북은 도내 범람지역의 80.8%가 농경지역이고, 충남도 72.7%,

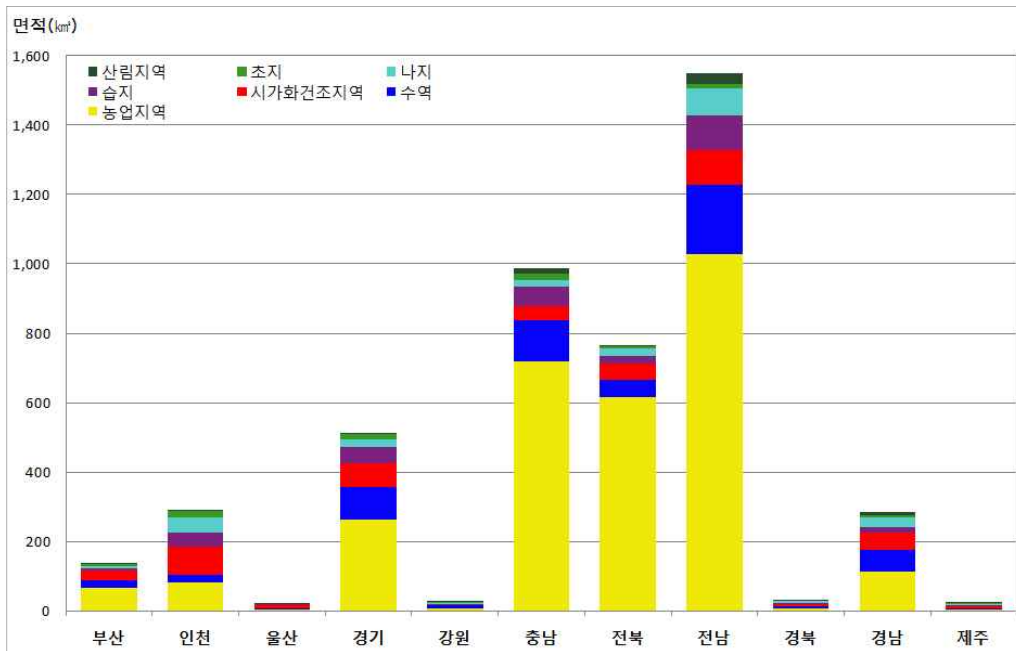
경기는 52.2%가 농업지역으로, 연안 저지대가 대부분 농경지로 이용되고 있는 것을 알 수 있다.

범람 예상지역에 분포하는 농업지역은 논, 밭, 하우스재배지, 과수원, 기타재배지로 세분될 수 있는데, 이 중에서는 논이 93.4%(2,710.44km²)로 거의 대부분을 차지하고, 밭이 5.2%(149.75km²)를 나타낸다. 이는 예로부터 서해안의 연안 저지대가 간척사업을 통해 대규모 농경지로 전환되었고, 밭 작물에 비해 내염성이 높은 벼를 재배하기 위해 논으로 이용해 왔기 때문이다. 2100년 해수면 상승 시에는 이들 저지대 농경지의 상당 부분이 침수되는 것으로 예상된다.

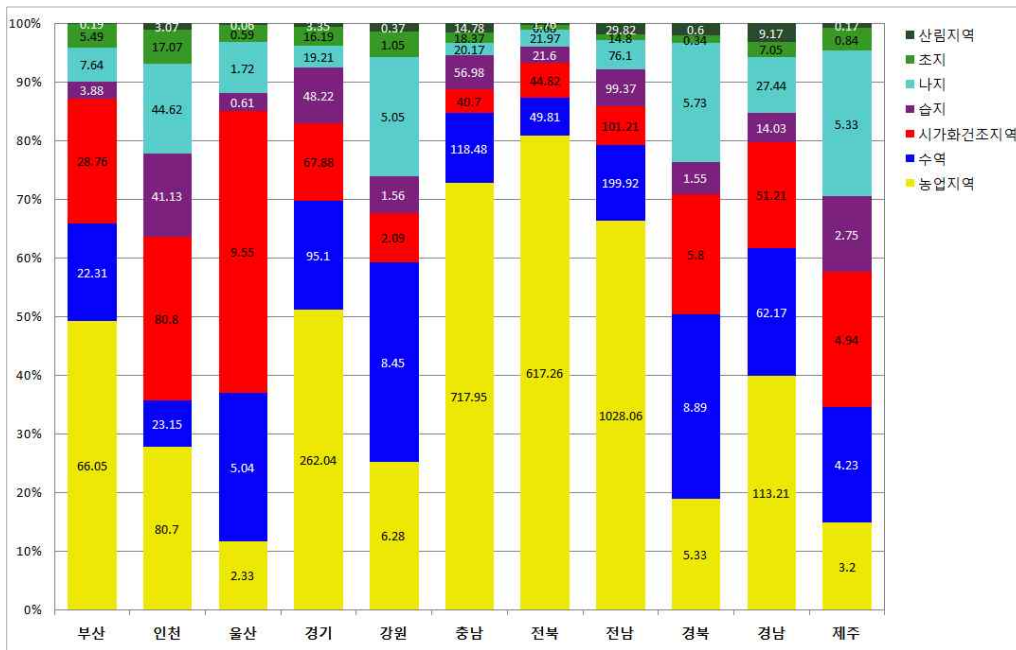
시가화건조지역의 중분류 항목은 주거지역, 공업지역, 상업지역, 위락시설지역, 교통지역, 공공시설지역으로 구성되어 있다. 이 가운데 가장 넓은 면적이 범람 피해를 입을 것으로 예상되는 곳은 교통지역으로 시가화건조지역의 약 30.0%를 차지하고, 다음으로 주거지역 28.9%, 공업지역 28.5%, 상업지역 6.6%, 공공시설지역 5.3%, 위락시설지역 0.7% 순이다. 시·도별로 시가화건조지역의 예상 침수 면적이 가장 넓은 지역은 전남으로 101.21km² 규모에서 피해가 예상되고, 경기 67.81km², 경남 51.21km² 지역에서 해수면 상승으로 인한 침수가 예상된다. 시·도별 예상 범람 면적에서 시가화건조지역 범람 비율이 큰 지역은 울산으로 48.0%가 시가화건조지역이며, 인천은 27.8%, 경북 23.9%, 제주 23.1%, 부산 21.4% 등이다.

범람 예상지역 내 중분류 토지피복 항목 중 높은 비중을 차지하는 세 가지 항목을 시·도별로 살펴보면 다음과 같다. 범람지역이 넓은 지역 순으로, 먼저 전남은 논(전남의 총 범람 예상지역 토지피복 현황 중 61.3%), 내륙수(10.5%), 기타 나지(4.9%), 충남은 논(69.4%), 내륙수(10.1%), 연안습지(3.5%), 전북은 논(79.4%), 내륙수(5.7%), 기타나지(2.9%), 경기도는 논(47.7%), 내륙수(16.6%), 공업지역(5.3%), 인천은 논(25.3%), 기타나지(15.4%), 공업지역(10.8%), 경남은 논(33.0%), 내륙수(18.8%), 교통지역

(5.7%), 부산은 논(37.1%), 내륙수(15.5%), 밭(8.1%), 강원은 내륙수(25.7%), 기타나지(20.3%), 논(19.6%), 경북은 기타나지(20.4%), 논(19.1%), 내륙수(15.6%), 제주는 기타나지(24.8%), 해양수(14.1%), 연안습지(11.9%), 울산은 공업지역(22.0%), 내륙수(14.8%), 교통지역(14.8%) 이다.



<그림 16> 시·도별 범람 예상지역 토지피복 현황(면적)



<그림 17> 시·도별 범람 예상지역 대분류 항목별 토지피복 비율

<표 11> 시·도별 범람 예상지역 중분류 토지피복 현황

(단위: 면적 km², 비율 %)

대분류 항목	중분류 항목	지표 특성	부산	인천	울산	경기	강원	충남	전북	전남	경북	경남	제주
시가화 건조지역	주거지역 (110)	불투수	6.6217 (4.93%)	9.1243 (3.14%)	0.5080 (2.55%)	16.5093 (3.29%)	0.4729 (1.90%)	13.8140 (1.40%)	20.1995 (2.64%)	40.3812 (2.61%)	2.4050 (9.96%)	14.3478 (5.05%)	2.2590 (10.53%)
	공업지역 (120)	불투수	5.9077 (4.40%)	31.4266 (10.82%)	4.3811 (22.02%)	27.0102 (5.28%)	0.1888 (0.76%)	9.5384 (0.97%)	8.1776 (1.07%)	24.2307 (1.56%)	0.2635 (1.09%)	13.4713 (4.74%)	0.2837 (1.32%)
	상업지역 (130)	불투수	1.6529 (1.23%)	4.5206 (1.56%)	1.3676 (6.87%)	4.0700 (0.81%)	0.5091 (2.05%)	3.3446 (0.34%)	2.7630 (0.36%)	5.3958 (0.35%)	1.1132 (4.61%)	3.7054 (1.30%)	0.1955 (0.91%)
	위락시설지역 (140)	불투수	0.8840 (0.66%)	0.8265 (0.28%)	0.0284 (0.14%)	0.1061 (0.02%)	0.0892 (0.36%)	0.2288 (0.02%)	0.1202 (0.02%)	0.3847 (0.02%)	0.00003 (0.00%)	0.1925 (0.07%)	0.0329 (0.15%)
	교통지역 (150)	불투수	9.9766 (7.43%)	31.2419 (10.75%)	2.9433 (14.79%)	17.5284 (3.49%)	0.5632 (2.27%)	10.9872 (1.11%)	11.5931 (1.52%)	26.9331 (1.74%)	1.8528 (7.67%)	16.0974 (5.66%)	1.5381 (7.17%)
	공공시설지역 (160)	불투수	3.7183 (2.77%)	3.6607 (1.26%)	0.3195 (1.61%)	2.5831 (0.51%)	0.2686 (1.08%)	2.7879 (0.28%)	1.9617 (0.26%)	3.8894 (0.25%)	0.1364 (0.56%)	3.3978 (1.20%)	0.6336 (2.95%)
농업지역	논 (210)	투수	49.7678 (37.05%)	73.5130 (25.30%)	1.7920 (9.01%)	239.8118 (47.74%)	4.8797 (19.64%)	685.2426 (69.40%)	606.3969 (79.38%)	949.6607 (61.29%)	4.6092 (19.08%)	93.9271 (33.04%)	0.8387 (3.91%)
	밭 (220)	투수	10.8353 (8.07%)	4.5783 (1.58%)	0.5280 (2.65%)	13.1199 (2.61%)	1.2526 (5.04%)	24.6843 (2.50%)	7.2518 (0.95%)	68.8111 (4.44%)	0.6123 (2.53%)	15.7891 (5.56%)	2.2920 (10.68%)
	하우스재배지	불투수	5.0212	2.0016	0.0073	6.2181	0.0423	2.3405	1.3743	5.4664	0.000001	2.3992	0.0092

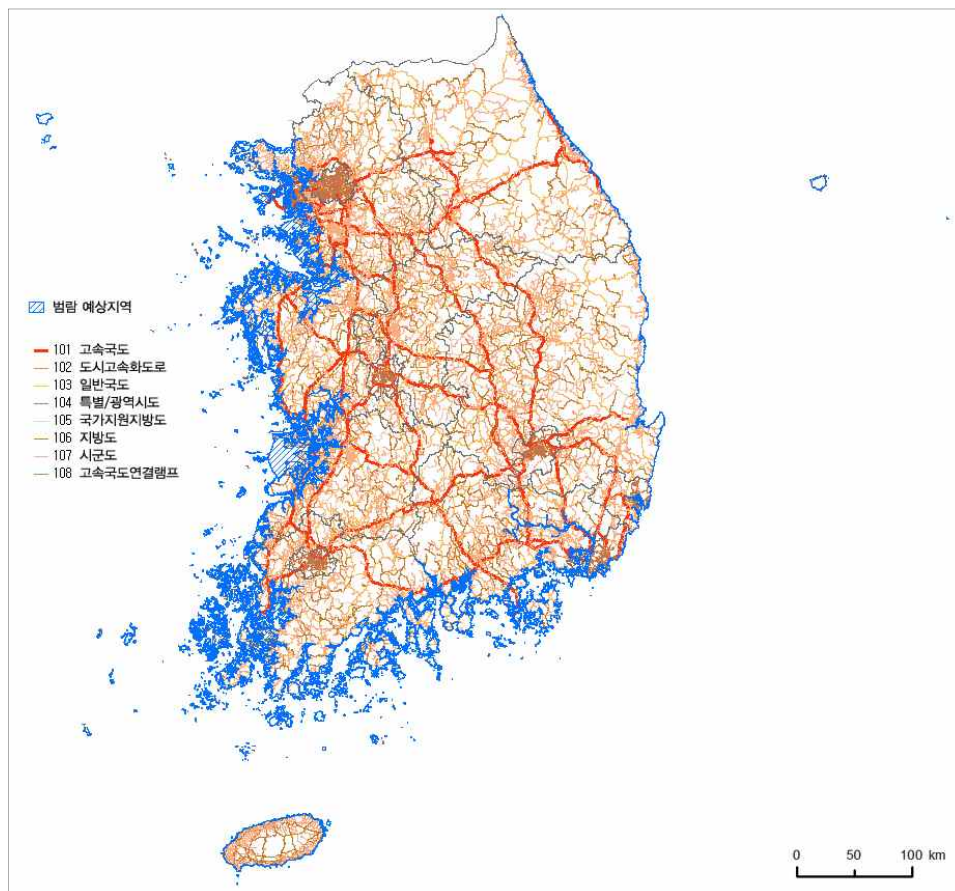
대분류 항목	중분류 항목	지표 특성	부산	인천	울산	경기	강원	충남	전북	전남	경북	경남	제주
	(230)	/투수	(3.74%)	(0.69%)	(0.04%)	(1.24%)	(0.17%)	(0.24%)	(0.18%)	(0.35%)	(0.00%)	(0.84%)	(0.04%)
	과수원 (240)	투수	0.0431 (0.03%)	0.0628 (0.02%)	0.0001 (0.00%)	1.1791 (0.23%)	0.0076 (0.03%)	0.5928 (0.06%)	0.0459 (0.01%)	0.6352 (0.04%)	0.0154 (0.06%)	0.3031 (0.11%)	0.0156 (0.07%)
	기타재배지 (250)	불투수 /투수	0.3788 (0.28%)	0.5430 (0.19%)	0.0037 (0.02%)	1.7143 (0.34%)	0.0971 (0.39%)	5.0864 (0.52%)	2.1944 (0.29%)	3.4904 (0.23%)	0.0953 (0.39%)	0.7918 (0.28%)	0.0408 (0.19%)
산림지역	활엽수림 (310)	투수	0.0143 (0.01%)	0.9105 (0.31%)	0.0100 (0.05%)	0.5318 (0.11%)	0.0226 (0.09%)	1.2501 (0.13%)	0.0477 (0.01%)	1.7358 (0.11%)	0.0016 (0.01%)	0.5246 (0.19%)	0.0219 (0.10%)
	침엽수림 (320)	투수	0.1475 (0.11%)	1.4406 (0.50%)	0.0351 (0.18%)	0.9150 (0.18%)	0.2265 (0.91%)	12.2781 (1.24%)	1.6206 (0.21%)	24.9028 (1.61%)	0.5926 (2.45%)	6.7105 (2.36%)	0.1480 (0.69%)
	혼효림 (330)	투수	0.0325 (0.02%)	0.7171 (0.25%)	0.0106 (0.05%)	1.8999 (0.38%)	0.1174 (0.47%)	1.2479 (0.13%)	0.0925 (0.01%)	3.1848 (0.21%)	0.0090 (0.04%)	1.9307 (0.68%)	0.0014 (0.01%)
초지	자연초지 (410)	투수	0.2346 (0.17%)	0.3763 (0.13%)	0.0789 (0.40%)	2.1501 (0.43%)	0.3590 (1.44%)	3.1579 (0.32%)	0.7583 (0.10%)	5.2577 (0.34%)	0.0401 (0.17%)	1.3627 (0.48%)	0.5859 (2.73%)
	인공초지 (420)	투수	0.1542 (0.11%)	1.5773 (0.54%)	0	0.1608 (0.03%)	0.0029 (0.01%)	0.0307 (0.00%)	1.7446 (0.23%)	0.9426 (0.06%)	0	0.4375 (0.15%)	0
	기타초지 (430)	투수	5.1056 (3.80%)	15.1136 (5.20%)	0.5073 (2.55%)	13.8124 (2.75%)	0.6925 (2.79%)	15.1849 (1.54%)	4.1786 (0.55%)	8.6038 (0.56%)	0.3355 (1.39%)	5.2449 (1.85%)	0.2494 (1.16%)
습지	내륙습지 (510)	투수	2.5217 (1.88%)	10.4179 (3.59%)	0.6046 (3.04%)	22.5137 (4.48%)	1.2593 (5.07%)	22.1612 (2.24%)	8.8415 (1.16%)	49.2549 (3.18%)	1.0702 (4.43%)	10.8439 (3.81%)	0.1985 (0.93%)

대분류 항목	중분류 항목	지표 특성	부산	인천	울산	경기	강원	충남	전북	전남	경북	경남	제주
	연안습지 (520)	투수	1.3611 (1.01%)	30.7152 (10.57%)	0.0064 (0.03%)	25.2277 (5.02%)	0.3033 (1.22%)	34.8172 (3.53%)	12.7547 (1.67%)	50.1116 (3.23%)	0.3676 (1.52%)	3.1900 (1.12%)	2.5504 (11.89%)
나지	자연나지 (610)	투수	0	0	0	0.1105 (0.02%)	0	0.1207 (0.01%)	0.1629 (0.02%)	0.1927 (0.01%)	0	0.0567 (0.02%)	0.0047 (0.02%)
	기타나지 (620)	투수	7.6382 (5.69%)	44.6232 (15.36%)	1.7236 (8.66%)	19.0303 (3.79%)	5.0503 (20.32%)	20.0536 (2.03%)	21.8025 (2.85%)	75.9794 (4.90%)	4.9146 (20.35%)	27.3859 (9.63%)	5.3212 (24.80%)
수역	내륙수 (710)	투수	20.7611 (15.46%)	11.9850 (4.13%)	2.9492 (14.82%)	83.1104 (16.55%)	6.3794 (25.67%)	100.1506 (10.14%)	43.8402 (5.74%)	162.6472 (10.50%)	3.7632 (15.58%)	53.4540 (18.80%)	1.2038 (5.61%)
	해양수 (720)	투수	1.5535 (1.16%)	11.1663 (3.81%)	2.0897 (10.50%)	3.0506 (0.61%)	2.0657 (8.31%)	18.3303 (1.86%)	5.9793 (0.78%)	37.2679 (2.41%)	1.9587 (8.11%)	8.7041 (3.06%)	3.0294 (14.12%)
계		-	134.3317 (100%)	290.5423 (100%)	19.8944 (100%)	502.3635 (100%)	24.8500 (100%)	987.4307 (100%)	763.9018 (100%)	1,549.3599 (100%)	24.1562 (100%)	284.2680 (100%)	21.4537 (100%)

주 : 중분류 토지피복도(2009) 활용.

5) 교통시설

도로와 철도는 사람과 물자의 이동에 있어서 중요한 역할을 담당하는 국가 주요 인프라로서 국가 경제 발전의 견인차 역할을 해 왔으며 국민의 일상생활에 막대한 영향을 끼치는 기간시설이다. 해수면 상승에 따른 범람지역의 교통 시설 현황은 국가교통DB센터⁴⁶⁾의 도로망 및 철도망 자료(2009년 기준)를 사용하였으며 이를 범람도와 중첩하여 범람지역의 시·도별 도로 및 철도연장, 도로 및 철도 밀도 현황을 파악하였다.



<그림 18> 범람 예상지역과 전국 도로망 현황

46) 국가교통DB센터 (<http://www.ktdb.go.kr/>).

현재 한국의 전체 도로연장은 90,637.8km(국가교통DB센터 2009년 기준 GIS 데이터 기준)로, 전반적으로 특별시 및 광역시에 도로가 집중되어 있다. 특히 서울의 도로밀도(국토면적당 도로연장(km/km²))가 평균 4.5로 가장 높고, 광역 시·도별로는 경기 1.3, 제주 1.2로 높은 편이다.

국가교통DB센터에서 제공하는 도로망은 고속국도(코드 101), 도시고속화도로(코드 102), 일반국도(코드 103), 특별/광역시·도(코드 104), 국가지원지방도(코드 105), 지방도(코드 106), 시군도(코드 107), 고속국도연결램프(코드 108)로 구성되어 있으며, 중앙선이 존재하는 2차선 이상의 도로 중 아파트 및 주택단지 내 도로, 노상주차장 구실을 하는 도시 내 이면도로, 건물이나 마을 진입도로 등과 같이 지역간 소통이 없는 도로⁴⁷⁾는 분석에는 제외하였다.

본 연구는 시·도 및 범람 예상지역 도로 현황을 국가교통DB센터의 GIS 자료에 기준하여 산출하였다. 분석 결과, 해수면이 상승함에 따라 2100년에는 6.4%의 도로가 침수되는 것으로 나타났다. 시·도별로는 인천의 경우가 지역 내 도로의 35.2%가 피해를 입을 것으로 예상되어 가장 많은 피해가 우려되고, 전남 17.0%, 부산 14.0%, 전북 10.3%로 침수 비율이 높다. 범람 예상지역의 도로밀도는 제주가 5.2로 가장 높고, 울산 3.8, 경북 2.8, 인천 2.6, 경남 2.3 등의 순서로 높게 나타났다.

47) 한국교통연구원 국가교통DB센터, 2009, 2010년도 교통네트워크 GIS DB 설명자료.

<표 12> 시·도별 범람 예상지역 도로 현황

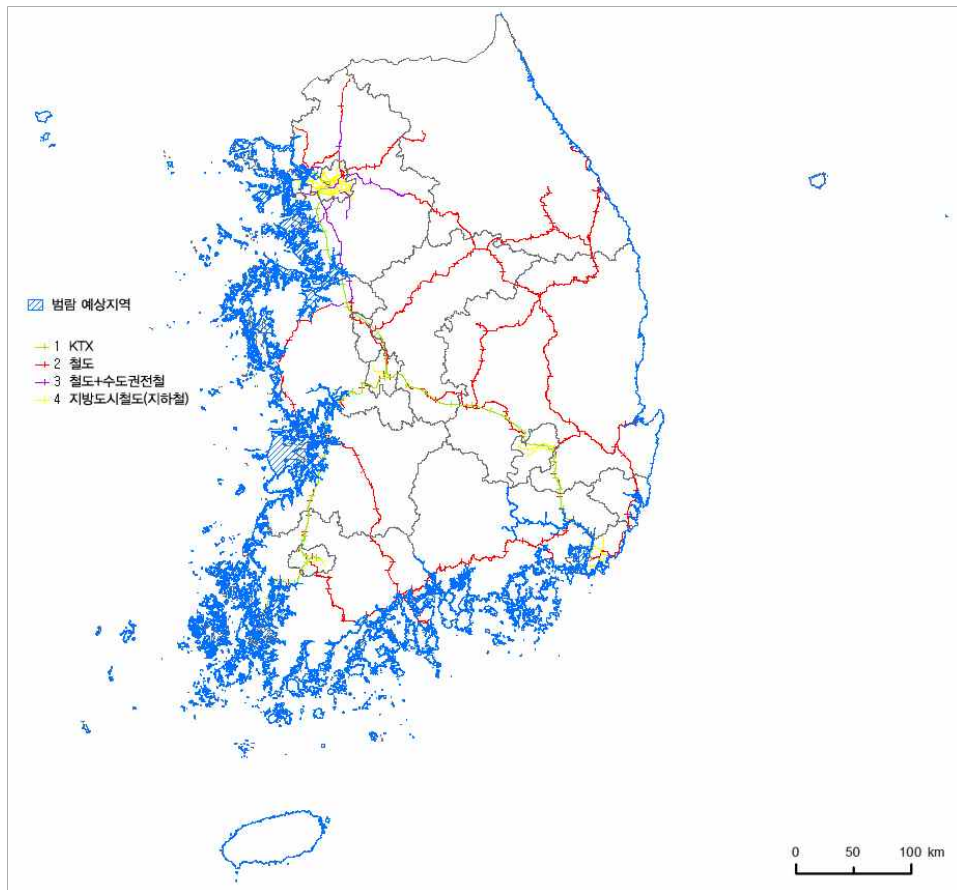
항목 시·도	시·도별 도로 현황 ⁴⁸⁾		범람지역 도로 현황		
	도로연장 (km)	도로밀도 (km/km ²)	도로연장 (km)	범람 비율 (%)	도로밀도 (km/km ²)
서울	2,739.1	4.5	-	-	-
부산	1,804.3	2.3	253.2	14.0	1.9
대구	1,625.0	1.8	0.2	0.01	0.0
인천	1,862.9	1.8	656.3	35.2	2.6
광주	1,327.7	2.6	-	-	-
대전	1,302.7	2.4	-	-	-
울산	1,474.0	1.4	68.1	4.6	3.8
세종	467.7	1.0	-	-	-
경기	12,789.3	1.3	851.1	6.7	1.7
강원	8,335.9	0.5	37.3	0.4	1.9
충북	6,249.8	0.8	-	-	-
충남	7,876.1	1.0	613.1	7.8	0.6
전북	8,089.4	1.0	833.0	10.3	1.0
전남	10,132.4	0.8	1,719.9	17.0	1.1
경북	12,508.5	0.7	64.0	0.5	2.8
경남	9,811.9	0.9	598.9	6.1	2.3
제주	2,241.2	1.2	57.4	2.6	5.2
계	90,637.8	0.9	5,752.5	6.4	1.3

주 : 국가교통DB 도로망도(2009) 활용.

철도 자료 또한 국가교통DB센터의 GIS DB를 사용하였으며, KTX(코드 1), 철도(코드 2), 철도+수도권전철(광역철도)(코드 3), 지방도시철도(지하철)(코드 4)로 구성되어 있다. 시·도별 철도밀도는 서울이 평균 0.73으로 가장 높고, 부산, 대전, 광주 등의 광역시가 다른 지역에 비해 대체로 높다. 총 4,434.2km의 철도연장 중 범람 예상지역을 지나는 철도는 전체의 5.7%에

48) 2014년 기준 행정구역도 내의 도로연장을 계산함.

해당하는 총 252.5km이며, 범람 예상지역 철도의 60% 이상의 철도가 전남·전북에 위치한 철도이다. 즉, 전북 군산시와 익산시를 지나는 장항선과 전라선, 익산시, 김제시를 지나는 호남고속선 및 호남선이 범람 예상지역에 위치하며, 전남의 경우 보성군, 순천시, 광양시, 여수시를 지나는 경전선과 무안군·영암군 일대의 호남선이 범람 예상지역에 속해 있다.



<그림 19> 범람 예상지역과 전국 철도망 현황

<표 13> 시·도별 범람 예상지역 철도 현황

시·도	시·도별 철도 현황 ⁴⁹⁾		범람 예상지역 철도 현황		
	철도연장 (km)	철도밀도 (km/km ²)	철도연장 (km)	범람 비율 (%)	철도밀도 (km/km ²)
서울	439.4	0.73	-	-	-
부산	199.1	0.26	11.3	5.7	0.08
대구	105.8	0.12	0.0	0.0	0.00
인천	73.1	0.07	24.4	33.4	0.10
광주	118.2	0.24	-	-	-
대전	128.5	0.24	-	-	-
울산	58.7	0.06	3.3	5.6	0.19
세종	80.3	0.17	-	-	-
경기	507.0	0.05	21.7	4.3	0.04
강원	358.2	0.02	0.7	0.2	0.04
충북	350.7	0.05	-	-	-
충남	284.6	0.03	13.5	4.7	0.01
전북	304.1	0.04	80.2	26.4	0.10
전남	457.8	0.04	78.0	17.0	0.05
경북	695.8	0.04	0.5	0.1	0.02
경남	272.9	0.03	5.7	2.1	0.02
제주	-	-	-	-	-
계	4,434.2	0.04	239.3	5.7	0.05

주 : 국가교통DB 철도망도(2009) 활용.

6) 산업단지

한국의 산업단지는 「산업입지 및 개발에 관한 법률(산업입지법 제2조 제5호)⁵⁰⁾」 규정에 따라 지정되어 있으며, 국가산업단지, 일반산업단지, 도시첨단산업단지,

49) 2014년 기준 GIS 행정구역도 내의 철도연장을 계산함.

50) 「산업입지법」 제2조 제5호 : 산업단지는 공장, 지식산업 관련 시설, 정보통신산업 관련 시설, 자원 비축시설과 관련 교육·정보처리·유통시설 및 이들 시설의 기능 제고를 위하여 시설의 종사자와 이용자를 위한 주거·문화·의료·관광·체육·복지시설 등을 집단적으로 설치하기 위하여 포괄적 계획에 따라 지정·개발되는 일단의 토지.

농공단지로 구성된다. 1960년대 초 경제개발계획의 시행과 더불어 조성되기 시작하였으며, 2012년 6월 말 현재 전국 산업단지는 총 973개소, 지정면적 1,353,278천㎡이다. 산업단지 유형별 지정 단지수는 국가산업단지 41개소, 일반산업단지 484개소, 도시첨단산업단지 11개소, 농공단지 437개소이다⁵¹⁾.

<표 14> 한국의 산업단지 현황

(2012년 06월말 현재, 단위: 천㎡)

유형	단지수	지정면적	개발면적	분양
계	973	1,353,278	537,614	520,407
국가산업단지	41	792,271	301,497	296,346
일반산업단지	484	488,722	186,935	176,576
도시첨단산업단지	11	2,272	292	211
농공단지	437	70,013	48,890	47,274

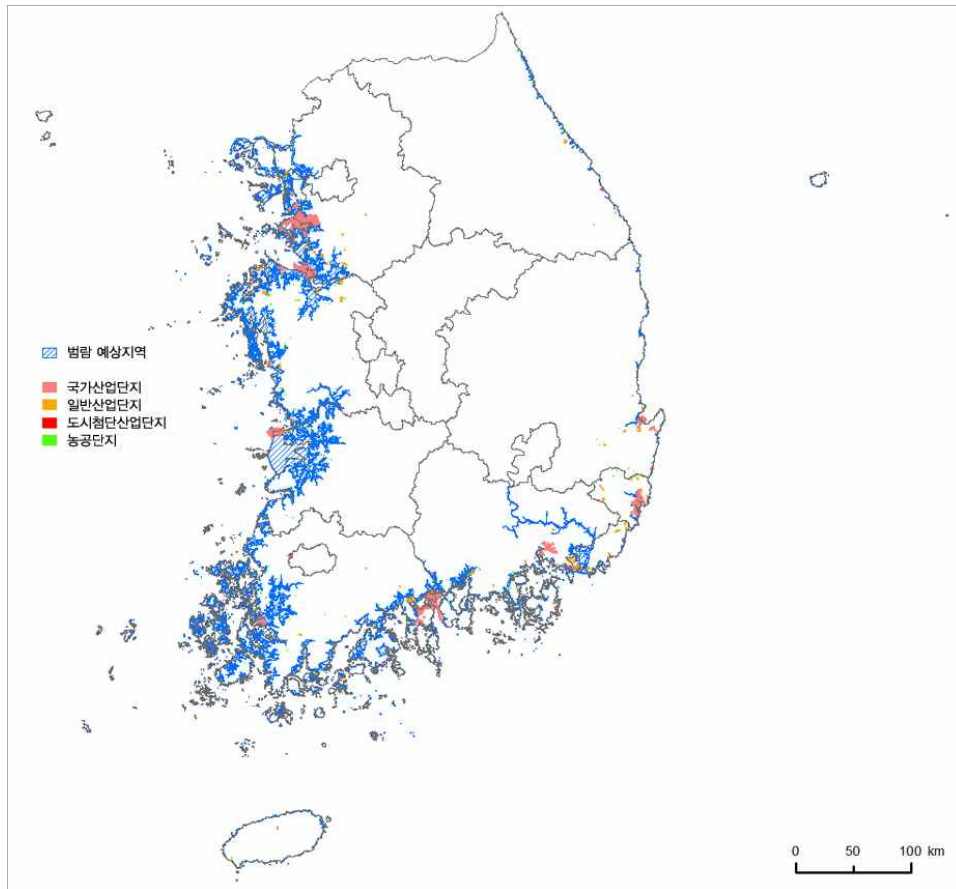
출처 : 산업입지정보시스템(<http://www.industryland.or.kr>).

해수면 상승에 따른 범람 예상지역의 산업단지 현황 분석은 국토해양부 연안포탈⁵²⁾의 GIS DB(2010년 기준)를 사용하였다. 범람 예상지역 산업단지 현황 분석 결과, 총 산업단지 면적의 43.1%(392.2km²)가 침수되는 것으로 나타났다. 침수지역 산업단지 면적의 77.9%는 국가산업단지이고, 12.6%는 농공단지, 그리고 나머지 9.5%가 일반산업단지이다. 산업단지의 시·도별 범람 면적을 살펴보면, 경기 45.1%, 전북 18.8%, 전남 18.2% 등으로 이 세 군데 지역에 집중되어 있다. 주요 입지 산업단지는 경기도 시흥시, 안산시 일대의 시화·반월 국가산업단지, 아산시 및 평택시 일대의 아산국가산업단지, 전라북도의 군장국가산업단지, 전라남도의 대불국가산업단지, 광양국가산업단지, 여수국가산업단지 등으로, 이들 산업단지는 주로 간척을 통해 조성된 해안 매립지에 대단위로 조성되어 있고 바다와 인접하여 해수면 상승 시 범람 피해면적이 넓게 나타날

51) 산업입지정보시스템(<http://www.industryland.or.kr>).

52) 국토해양부 연안포탈(<http://www.coast.kr>).

것으로 예상된다.



<그림 20> 범람 예상지역과 산업 및 농공단지 입지 현황

<표 15> 시·도별 범람 예상지역 산업단지 현황

(단위: 개소, 면적 km²)

지역	구분	국가산업단지		일반산업단지		도시첨단산업단지		농공단지		합	
		단지수	면적	단지수	면적	단지수	면적	단지수	면적	단지수	면적
서울	소계	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
부산	소계	2	11.2	13	18.8	-	-	1	0.3	16	30.3
	범람	2	5.1	5	4.9	-	-	-	-	7	10
대구	소계	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
인천	소계	2	10.9	7	7.5	-	-	-	-	9	18.4
	범람	2	10.4	6	6.4	-	-	-	-	8	16.8
광주	소계	1	4.1	-	-	-	-	-	-	1	4.1
대전	소계	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
울산	소계	2	73.9	7	9.3	-	-	4	0.9	13	84.1
	범람	2	10.4	1	0.2	-	-	-	-	3	10.6
경기	소계	6	309	20	12.9	-	-	-	-	26	321.9
	범람	6	175.1	6	1.6	-	-	-	-	12	176.7
강원	소계	1	1.8	4	4.6	-	-	7	0.6	12	7
	범람	0	0	0	0	-	-	-	-	0	0
충북	소계	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
충남	소계	6	26	10	22.7	-	-	33	6.6	49	55.3
	범람	6	15.3	8	3.6	-	-	3	0.2	17	19.1
전북	소계	2	57.6	2	6	-	-	12	1.9	16	65.5
	범람	2	20	1	5.5	-	-	1	48.1	4	73.6
전남	소계	4	181.9	10	24.9	-	-	21	3.6	35	210.4
	범람	4	57.7	8	12.8	-	-	4	0.9	16	71.4
경북	소계	3	39.5	10	5.6	-	-	8	1	21	46.1
	범람	2	1.8	0	0	-	-	-	-	2	1.8
경남	소계	6	54	12	9	1	0.1	14	2.2	33	65.3
	범람	6	9.8	6	2.3	-	-	3	0.1	15	12.2
제주	소계	1	1.1	-	-	-	-	3	0.3	4	1.4
	범람	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
계	전국	36	771	95	121.3	1	0.1	103	17.4	235	909.8
	범람	32	305.6	41	37.3	0	0	11	49.3	84	392.2

주 : 국토해양부 연안포탈(<http://www.coast.kr>) GIS DB(2010년) 활용.

7) 환경영향평가 개발사업

환경영향평가란 환경에 영향을 미치는 실시계획·시행계획 등의 허가·인가·승인·면허 또는 결정 등을 할 때에 해당 사업이 환경에 미치는 영향을 미리 조사·예측·평가하여 해로운 환경영향을 피하거나 제거 또는 감소시킬 수 있는 방안을 마련하는 것(「환경영향평가법」 제2조 2항)으로, 환경에 영향을 미치는 계획 또는 사업을 수립·시행할 때에 해당 계획과 사업이 환경에 미치는 영향을 미리 예측·평가하고 환경보전방안 등을 마련하도록 하여 친환경적이고 지속가능한 발전과 건강하고 쾌적한 국민생활을 도모함을 목적(「환경영향평가법(법률 제14232호)」)으로 한다. 환경영향평가 대상 분야는 총 17개 분야로 「환경영향평가법 시행령(대통령령 제27675호)」에 개발기본계획의 종류 등 세부 내용을 제시한다.

<표 16> 환경영향평가 대상 분야

	구분		구분		구분
1	도시의 개발	7	철도(도시철도 포함)의 건설	13	특정지역의 개발
2	산업입지·산업단지 조성	8	공항의 건설	14	체육시설의 설치
3	에너지 개발	9	하천의 이용 및 개발	15	폐기물·분뇨·가축분뇨 처리시설의 설치
4	항만의 건설	10	개간·공유수면매립	16	국방·군사시설의 설치
5	도로의 건설	11	관광단지의 개발	17	토석·모래·자갈·광물 등의 채취
6	수자원의 개발	12	산지의 개발		

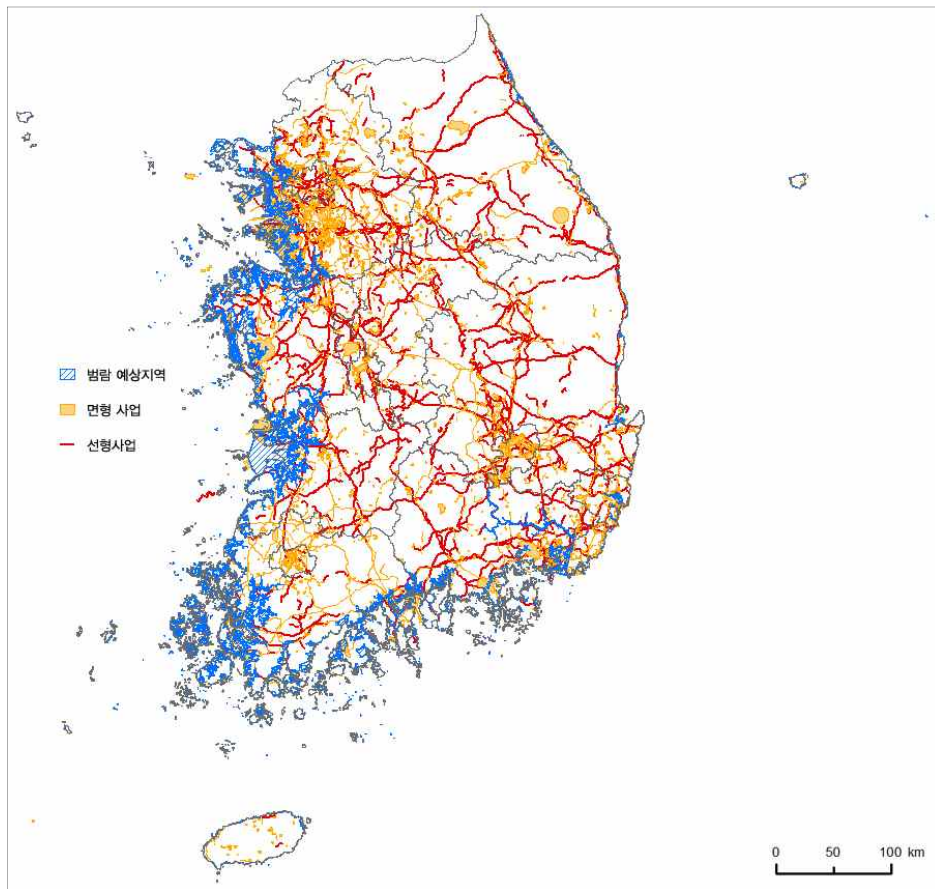
출처 : 「환경영향평가법 시행령」(대통령령 제27675호) (2016.12.23.).

범람 예상지역에서 이루어졌던 환경영향평가 개발사업에 대한 분석은 1983년부터 2011년까지 실시한 환경영향평가사업을 대상으로 하였으며, 「환경영향평가정보지원시스템⁵³⁾」의 GIS DB(2011년 12월 기준)를 기준으로 하였다.

환경영향평가 정보지원 시스템 GIS DB 기준 환경영향평가 사업 건수는 총 3,555건으로 이 중 ‘도로의 건설’과 관련된 사업이 23.5%로 가장 많고, 다음으로 ‘도시의 개발’ 관련 사업 18.7%, ‘산업입지·산업단지 조성’ 관련 사업이 12.2%를 차지한다. 사업면적을 기준으로 살펴보면, ‘도시의 개발’ 관련 사업 19.9%, ‘산업입지·산업단지 조성’ 관련 사업이 16.4%, ‘개간공유수면 매립’ 관련 사업이 15.3%를 차지하며 이들 관련 사업이 전체 사업면적의 51.6%를 나타낸다.

범람 예상지역의 환경영향평가 개발사업은 전체의 30.1%에 해당하는 총 1,071건의 사업이 범람 예상지역에 포함되어 있는 것으로 나타났다. 범람 예상지역에서의 사업 종류별 건수 기준으로 살펴보면 ‘도로의 건설’이 22.9%로 가장 많고, 다음으로 ‘항만의 건설’이 15.0%, ‘도시의 개발’ 12.4%, ‘산업입지·산업입지조성’이 11.9%를 차지한다. 면형 사업의 면적 기준으로 살펴보면 ‘개간·공유수면매립’이 29%로 가장 넓은 면적이 포함되어 있고, ‘산업입지·산업입지조성’이 25.9%, ‘공항의 건설’ 14.8%, ‘도시의 개발’ 9.8%를 나타낸다. 선형 사업의 길이 기준으로는 ‘도로의 건설’의 49.4%, ‘하천의 이용 및 개발’ 15%, ‘철도의 건설’ 14.2%, ‘에너지 개발’ 9.9% 등이다.

53) 환경영향평가정보지원시스템(<http://www.eiass.go.kr>).



<그림 21> 범람 예상지역과 환경영향평가개발사업 현황

<표 17> 환경영향평가 사업 현황

(단위: 길이 km, 면적, km², 비율 %)

구분	선형 사업			면형 사업			사업건수 합계 및 비율	
	건수	길이 (km)	길이 비율 (%)	건수	면적 (km ²)	면적 비율 (%)	건수	비율
1 도시의 개발	6	111.2	0.8	660	1,037.4	19.9	666	18.7
2 산업입지·산업단지 조성	-	-	-	433	856.5	16.4	433	12.2
3 에너지 개발	52	1,892.5	14.4	122	71.2	1.4	174	4.9
4 항만의 건설	13	46.2	0.4	197	190.1	3.6	210	5.9
5 도로의 건설	492	7,765.3	59.0	342	115.3	2.2	834	23.5
6 수자원의 개발	1	12.1	0.1	16	116.4	2.2	17	0.5
7 철도의 건설	65	1,671.7	12.7	62	21.8	0.4	127	3.6
8 공항의 건설	4	167.5	1.3	30	199.8	3.8	34	1.0
9 하천의 이용 및 개발	15	851.9	6.5	16	338.1	6.5	31	0.9
10 개간·공유수면매립	2	7.6	0.1	54	799.5	15.3	56	1.6
11 관광단지의 개발	-	-	-	206	430.6	8.3	206	5.8
12 산지의 개발	1	7.0	0.1	35	37.0	0.7	36	1.0
13 특정지역의 개발	12	527.0	4.0	34	196.6	3.8	46	1.3
14 체육시설의 설치	6	78.9	0.6	330	381.1	7.3	336	9.5
15 폐기물·분뇨·가축 분뇨 처리시설의 설치	-	-	-	121	77.5	1.5	121	3.4
16 국방·군사시설의 설치	2	10.7	0.1	24	226.2	4.3	26	0.7
17 토석·모래·자갈·광물 등의 채취	-	-	-	191	110.1	2.1	191	5.4
18 기타	1	13.5	0.1	10	4.0	0.1	11	0.3
계	672	13,163.1	100.0	2,883	5,209.2	100.0	3,555	100.0

주 : 환경영향평가정보지원시스템(www.eiass.go.kr) GIS DB(2011년 12월) 활용.

<표 18> 범람 예상지역 환경영향평가 사업 현황

(단위: 길이 km, 면적 km², 비율 %)

구분	선형 사업			면형 사업			사업건수 합계 및 비율	
	건수	길이 (km)	길이 비율 (%)	건수	면적 (km ²)	면적 비율 (%)	건수	비율
1 도시의 개발	2	9.1	1.0	131	102.6	9.8	133	12.4
2 산업입지·산업단지 조성	-	-	-	127	272.4	25.9	127	11.9
3 에너지 개발	9	93.6	9.9	60	14.2	1.4	69	6.4
4 항만의 건설	7	2.9	0.3	154	47.9	4.6	161	15.0
5 도로의 건설	135	468.8	49.4	110	7.4	0.7	245	22.9
6 수자원의 개발	-	-	-	3	8.3	0.8	3	0.3
7 철도의 건설	29	134.9	14.2	24	1.9	0.2	53	4.9
8 공항의 건설	3	48.5	5.1	16	155.1	14.8	19	1.8
9 하천의 이용 및 개발	8	142.6	15.0	4	23.6	2.2	12	1.1
10 개간·공유수면매립	2	3.9	0.4	47	304.5	29.0	49	4.6
11 관광단지의 개발	-	-	-	58	16.0	1.5	58	5.4
12 산지의 개발	1	0.03	0.0	1	0.4	0.0	2	0.2
13 특정지역의 개발	7	43.4	4.6	17	16.7	1.6	24	2.2
14 체육시설의 설치	2	0.7	0.1	39	24.9	2.4	41	3.8
15 폐기물·분뇨·가축 분뇨 처리시설의 설치	-	-	-	41	6.5	0.6	41	3.8
16 국방·군사시설의 설치	-	-	-	4	42.6	4.1	4	0.4
17 토석·모래·자갈·광물 등의 채취	-	-	-	26	5.4	0.5	26	2.4
18 기타	-	-	-	4	0.7	0.1	4	0.4
계	205	948.3	100.0	866	1,051.1	100.0	1,071	100.0

주 : 환경영향평가정보지원시스템(www.eiass.go.kr) GIS DB(2011년 12월) 활용.

V. 적응방안

1. 사례지역 분석

기후변화와 해수면 상승 영향에 대한 적응기술은 설비, 기술력, 지식, 제도 등을 통해 기후변화에 따른 위험을 감소시키는 일련의 과정을 말하며(Tol et al., 2008) IPCC CZMS(1990)는 적응을 크게 방어, 순응, 후퇴로 분류한다. 방어(Protection) 전략은 구조물에 대한 견고성을 개선하거나 강화하는 방안으로 간척이나 방조제 및 방파제 등의 구조물 설치, 해빈 및 사구 조성을 통해 현재의 해안 경계선을 전진 또는 유지하는 형태로, 취약한 지역을 경제적 활동이나 자연자원을 보전하도록 방어하는 것을 말한다. 순응(Accommodation) 전략은 취약지역을 회피하지 않으면서 토지이용 변화, 건설방법 변경 등을 통해 어느 정도의 변화를 감내하는 것을 의미한다. 후퇴(Retreat) 전략은 현재 취약지역의 용도를 포기하고 해안선으로부터 후퇴하여 새로운 용도지역을 만들어 내는 것을 의미한다.

해수면 상승에 대한 적응방안은 이러한 방어, 순응 후퇴의 기본적인 틀을 유지하고 있으나 대상지역의 환경적, 사회·경제적, 문화적 특성에 의하여 다양한 형태로 이뤄지고 있으며, 지역적 특성과 여건을 반영하여 합리적인 적응대책을 선택하는 것이 중요하다.

앞에서 살펴본 범람지역의 토지피복 현황은 대부분의 지역에서는 수역을 제외하고, 범람지역에서 농업지역이 차지하는 비율이 높게 나타난다. 특히, 전북, 충남, 전남은 수역을 제외하고 범람지역의 토지피복 현황에서 농업지역 비율이 70~80%를 나타내고, 경기와 경남, 부산 지역도 50~60%로 높게 나타난다. 반면 울산, 인천, 경북 지역은 시가화건조지역의 비율이 가장 높게 나타나며 범람지역의 시가화건조지역 비율은 대략 30%이고 울산은 64%를 넘는다.

토지피복도를 기반으로 한 범람지역의 토지이용 현황(수역 제외)은 농경지가 전체 범람지역의 72.1%로 대부분을 차지하고, 다음은 시가화건조지역 10.9%, 나지 5.9% 등을 나타낸다. 이를 기반으로 적응방안 제시를 위한 사례지역은 크게 3개 유형으로 지역을 분류할 수 있다. 즉, 범람 예상지역의 현재 토지이용 현황을 기반으로 인위적인 개발 정도에 따라 첫째는 해안사구와 사빈이 잘 보전되어 있는 자연습지 지역, 둘째는 연안 저지대를 매립하거나 경지정리를 통해 농경지로 이용하는 지역, 셋째는 대규모 매립사업 등을 통해 개발되거나 해안 인접지역까지 시가화가 진행된 도시화 지역으로 구분할 수 있다.

이에 기반하여 사례지역을 선정하였는데 첫 번째, 자연습지 지역으로는 해안사구가 잘 유지되고 있는 충남 보령시 웅천읍 소항리 소항사구 지역, 두 번째, 농경지 지역은 과거는 소하천의 자연적인 하구역에 해당하였으나 인위적인 매립 및 경지정리로 현재 하구역 주변을 농경지로 이용하고 있는 전북 고창군 법장천 지역, 그리고 마지막으로 도시화 지역으로는 도시개발 계획으로 간척지 위에 조성된 인천 연수구 지역을 구체적인 사례지역으로 채택하였다. 본 장에서는 현재의 지적도를 기반으로 하여 예상 범람 피해지역의 토지이용 현황을 검토하고 이들 지역에서 고려할 수 있는 적응방안을 제시하였다.

1) 자연습지 지역 : 보령시 소항사구

(1) 지역 개관

소항사구는 국내 해안사구 중 유일하게 해안사구 전체 구간이 훼손되지 않고 남아 있는 사구로서 사구의 면적은 좁지만 전형적인 사구식생의 형태를 잘 보여준다. 노랑부리백로와 매, 황조롱이 등 천연기념물과 멸종위기 야생 동·식물이 서식하는 등 보전가치가 뛰어난 곳으로 평가되어 2005년에 충남

보령시 웅천읍 소항리, 독산리 일대 약 0.121km² 면적이 생태·경관보전지역으로 지정되었다⁵⁴⁾.

생태·경관보전지역은 자연상태가 원시성을 유지하고 있거나 생물다양성이 풍부하여 보전 및 학술적 연구가치가 큰 지역이나 지형 또는 지질이 특이하여 학술적 연구나 자연경관의 유지를 위하여 보전이 필요한 지역 등을 「자연환경보전법 제12조」(법률 제13885호)에 의하여 지정·고시하는 지역을 말한다.



〈그림 22〉 소항사구 생태계보전지역 지정 도면

출처 : 환경부 보도자료(2005.10.26.).

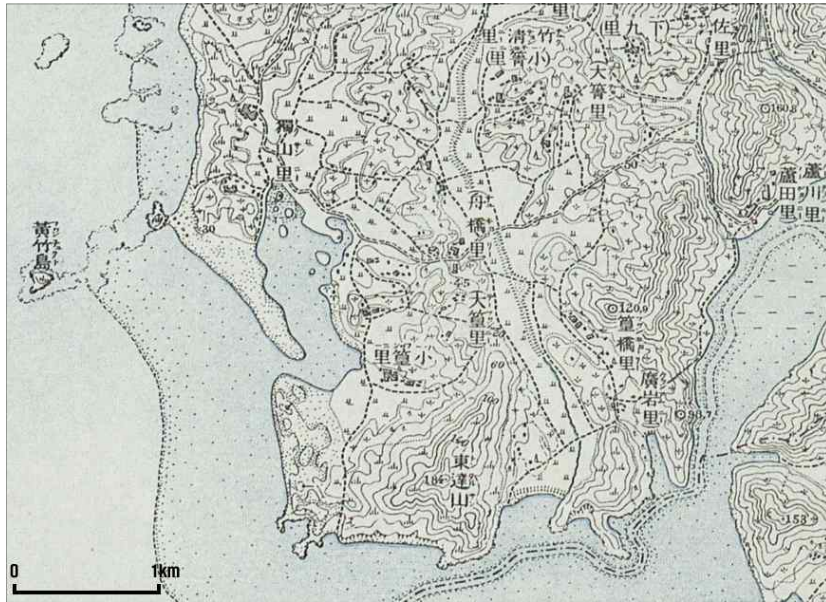
54) 환경부 보도자료(2005.10.26.).



〈그림 23〉 소황사구 전경

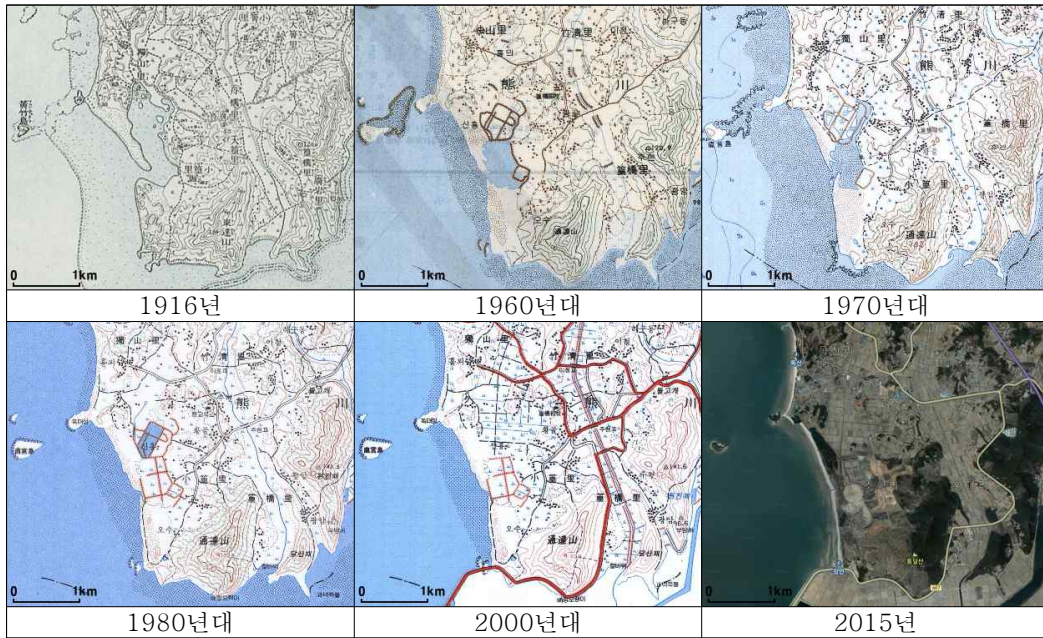
지형도에 근거하여 살펴보면, 현재의 소황사구는 100년 이내의 20세기의 어느 시점에서 모래가 집적되기 시작하면서 형성된 사구지형으로 볼 수 있다. 소황사구 일대가 1916년에 발행한 지형도에서는 사취(sand spit)로 표시되어 있는데, 연안류가 남-북 방향으로 흐르면서 모래의 이동 방향이 북에서 남으로 형성되면서 연안류에 의해 이동한 모래가 퇴적되면서 이를 만들었을 것이다⁵⁵⁾.

55) 금강유역환경청, 2007, 소황사구 생태·경관보전지역 관리기본계획 수립방안 연구, p.74.



<그림 24> 1916년 발간 지형도에서의 소황리 일원

출처 : 종로도서관 고문헌 원문검색 서비스(<http://jongnolib.koreanhistory.or.kr>).

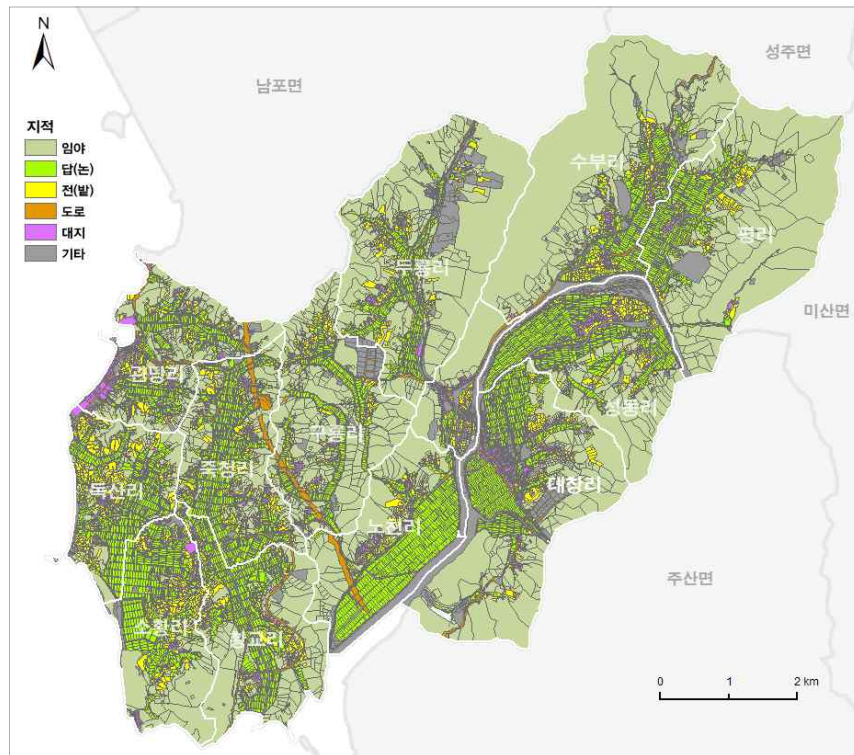


<그림 25> 소황사구의 시대별 지형 변화

출처 : 종로도서관 고문헌 원문검색 서비스(<http://jongnolib.koreanhistory.or.kr>), 국토지리정보원(<http://www.ngii.go.kr>) 제공 지형도 및 다음지도(<http://map.daum.net>) 활용.

사구의 최소 폭은 약 34m, 최대 폭은 약 118m, 평균 폭은 60m 정도이며, 사빈과 전사구, 2차 사구가 남북 방향으로 약 2km에 걸쳐 발달하고 있다. 사구의 배후에는 관목림대와 송림 등이 일부 정착해 있고 소황사구 배후지의 농경지 배수로가 사구 중앙 부분을 관통하고 있다⁵⁶⁾. 현재 사구 배후지는 군부대와 농경지로 이용되고 있으며, 군부대로 인해 출입이 제한되어 인위적 훼손을 막아주는 측면이 있다. 군부대에 나타나는 사구습지는 사구 배후에 형성된 석호성 습지로 추정하고 있다.

소황리가 포함된 웅천읍의 지목별 토지이용 현황을 살펴보면, 총 면적은 62.41km²이고 이 중 임야 면적이 54.4%로 가장 많은 면적을 차지하고 다음으로는 논과 밭의 면적이 29.0%(답 21.0%, 전 8.0%)를 차지한다.



<그림 26> 충남 보령시 웅천읍의 지역별 토지이용 현황(지적도 기준)

56) 금강유역환경청, 2007, 전계서, p.5.

<표 19> 충남 보령시 웅천읍 토지이용 현황(지적도 기준)

(단위 : km²)

웅천읍	임야	답	전	도로	대지	기타	계
관당리	1.47	0.76	0.40	0.27	0.29	0.24	3.43
구룡리	2.94	0.69	0.37	0.26	0.10	0.43	4.79
노천리	1.51	1.42	0.23	0.21	0.08	0.68	4.13
대창리	3.56	1.39	0.35	0.23	0.29	0.94	6.76
대천리	0.83	0.04	0.14	0.09	0.06	0.35	1.51
독산리	0.84	1.07	0.68	0.12	0.11	0.21	3.03
두룡리	5.02	0.76	0.39	0.18	0.10	0.78	7.23
성동리	1.67	1.35	0.44	0.11	0.14	0.82	4.53
소항리	1.37	1.28	0.52	0.08	0.13	0.23	3.61
수부리	5.92	0.83	0.40	0.21	0.13	0.58	8.07
죽청리	1.33	1.35	0.45	0.33	0.12	0.25	3.83
평리	5.37	0.94	0.28	0.07	0.08	0.52	7.26
황교리	2.09	1.21	0.36	0.23	0.09	0.25	4.23
계	33.92 (54.4%)	13.09 (21.0%)	5.01 (8.0%)	2.39 (3.8%)	1.72 (2.8%)	6.28 (10.1%)	62.41 (100%)

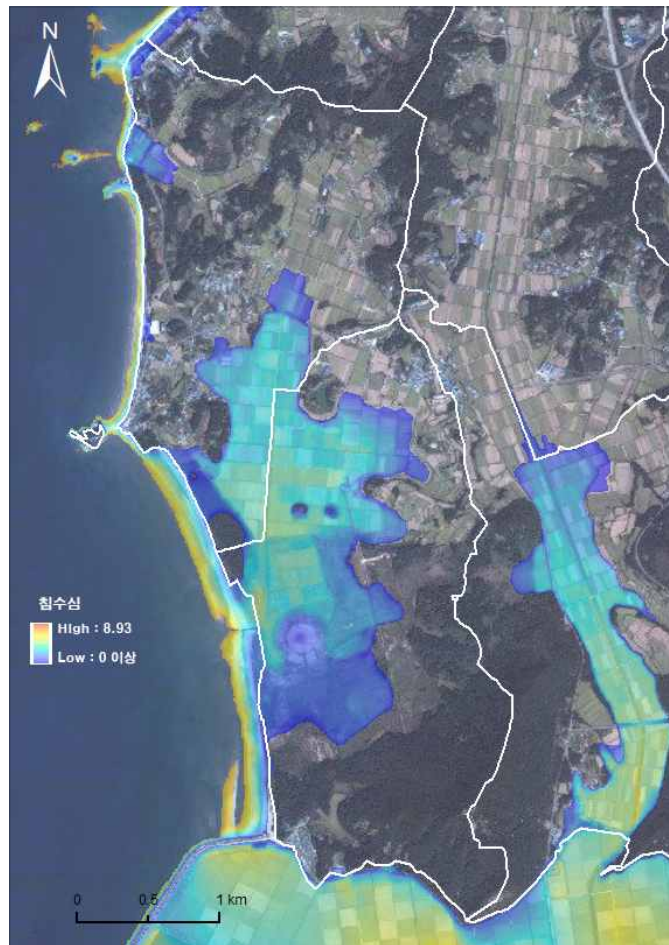
(2) 예상 범람 피해

소항사구가 위치한 충남 보령시 웅천읍 소항리, 독산리 일대의 예상되는 범람 피해를 살펴보면 다음과 같다. 2100년에는 사구가 위치한 사빈 지역은 모두 범람되는 것으로 나타났고, 주로 농경지로 이용되는 배후 저지대까지 넓은 범위가 범람되는 것으로 나타났다.

소항리와 독산리의 범람 예상 면적은 약 2km² 정도로 지역 면적의 약 30.1%에 해당한다.

<표 20> 소항사구 일대 범람 예상 피해 현황

웅천읍	지역 면적 (km ²)	범람 면적 (km ²)	범람비율 (%)	침수심(m)		
				최소	최대	평균
소항리	3.61	1.36	37.7%	0.000121	4.18	1.84
독산리	3.03	0.64	21.1%	0.001548	5.33	1.80



<그림 27> 소황사구 일대의 범람 예상도

소황리는 소황리 면적의 37.7%에 해당하는 1.36km² 범위가 범람되는 것으로 나타났고, 침수심은 최대 4.18m, 평균 1.84m 정도로 예상된다. 범람 지역 토지이용을 살펴보면 총 범람 면적의 70.1%는 현재 논(답)으로 이용되고 있고, 다음으로 임야가 8.8%, 구거 5.3%, 밭(전) 5.3% 등이다. 범람 지역 지표의 대부분이 투수면으로 이루어져 있고, 주로 지면이 불투수면을 이루고 있는 도로나 대지의 면적은 약 3% 정도인 것으로 보인다.

〈표 21〉 소항리 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)

소항리	답	임야	구거	전	유지	잡종지	도로	제방	대지	묘지	계
범람 면적 (㎡)	951,202	119,600	71,840	71,634	38,863	33,364	31,981	25,036	10,132	3,413	1,357,065
비율(%)	70.1	8.8	5.3	5.3	2.9	2.5	2.4	1.8	0.7	0.3	100

독산리는 지역 면적의 21.1%에 해당하는 0.64km² 범위가 범람되는 것으로 나타났고, 침수심은 최대 5.33m, 평균 1.80m 정도로 예상된다. 범람지역 토지이용을 살펴보면 총 범람 면적의 68.8%는 현재 논(답)으로 이용되고 있고, 다음으로 임야가 8.9%, 구거 6.0%, 잡종지 4.8%, 도로 4.6%, 밭(전) 4.1% 등이다. 소항리와 마찬가지로 범람지역의 거의 대부분이 투수면으로 이루어져 있고, 불투수면으로 이루어진 도로나 대지의 면적은 약 0.04km² 정도인 것으로 보인다.

〈표 22〉 독산리 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)

독산리	답	임야	구거	잡종지	도로	전	대지	제방	유지	기타	계
범람 면적 (㎡)	436,481	56,192	38,035	30,181	29,394	26,167	12,052	3,951	1,304	646	634,403
비율(%)	68.8	8.9	6.0	4.8	4.6	4.1	1.9	0.6	0.2	0.1	100

(3) 적응방안

해안사구는 현재도 태풍이나 폭풍해일 등으로부터 해안선과 농작물·주거지를 보호하고 해안가 식수원인 지하수를 저장하는 기능을 하며 육상생태계와 해양생태계의 전이지대로서의 특성 때문에 일반적으로 멸종위기종과 염생식물의 서식지, 조류의 산란장소로 활용되어 생태적으로도 보존가치가 높은 지역이다. 소항사구 지역은 현재 생태계보전지역으로 지정하여 생태계를 훼손할 수 있는 건축물의 신축이나 2배 이상의 증축, 토지의 형질변경, 토사채취, 동·식물의

포획 등의 행위가 제한되며, 관리요원을 배치하여 생태계 훼손 행위를 감시하고 국립환경과학원에 의한 주기적인 자연환경정밀조사와 모니터링을 통하여 체계적인 관리를 도모하는 지역이다⁵⁷⁾.

해안은 일정하게 변화하는 에너지의 유입이 있고, 이동 가능한 퇴적물이 준비되어 있기 때문에 매우 역동적인 지대이며, 유입량의 변화에 빠르게 반응하므로 지형학적 행위에 따른 해안의 변화도 짧은 시간 동안 쉽게 관측⁵⁸⁾되는 측면이 있다.

앞에서 살펴본 소황사구의 형성과정에서도 유추해 볼 수 있듯이 해안사구는 해안지대의 역동적 시스템으로 인해 인간의 예상 속도보다 단기간에 형성될 수도 있고, 또한 반대로 쉽게 파괴되기도 한다. 소황사구 지역은 파랑에 의한 사빈 및 해안사구 침식 문제가 현재도 발생하고 있다. 해안사구 보존에 가장 중요한 대책 중 하나는 전사구(前砂丘; Foredune)를 보호하는 것이다. 아직 식생이 활착되지 않은 전사구는 훼손에 취약하며 한번 훼손되면 모래의 안정까지 걸리는 시간이 길기 때문이다⁵⁹⁾.

따라서 소황사구와 같은 자연습지 지역에 있어서의 적응방안은 해안사구를 보호하고 관리하는 것에 중점을 둔 다양한 적응방안이 모색되어야 한다. 첫째는 해안사구 보호 대책으로 사구 지대의 인위적인 활동을 제한하고, 모래포집기 등의 설치로 사구의 훼손을 방지하고 전사구(前砂丘)의 형성을 유도하여 사구 지대를 확장하는 방법이다. 이는 현재에도 해상해안국립공원 관리방안이나 생태·경관보호지역의 관리방안으로 주요하게 활용되고 있다.

57) 환경부 보도자료(2005.10.26.).

58) I. D. 화이트, D.N. 모터세드, S.J. 해리슨 지음, 손명원 옮김. 2012, 환경시스템 그리고 자연지리학, 푸른길, p.363.

59) 금강유역환경청, 2007, 전계서, p.78



<그림 28> 모래포집기 복원 사례 : 태안 기지포 해안

출처 : 금강유역환경청 (2007), p.125.

두 번째는 사구 식재(植栽)를 통한 전사구의 침식을 방지하는 방안이다. 사구 식재는 어느 종의 식물이 사구의 유지관리에 가장 적합한 지와 식재 밀도와 식재 방식에 대한 연구를 통해 효율적인 방안을 적용하는 것이 타당하다.



<그림 29> 태안 기지포 사구의 관리 전(좌), 후(우) 모습

출처 : 금강유역환경청 (2007), p.124.

세 번째는 사구의 자연관찰로 및 데크 설치를 통해 사람이 다닐 수 있는 통로를 제한하여 사구 서식처가 훼손되는 것을 방지하는 방안이다. 구조물은 사구식생 성장 및 사구복원과 유지관리에 저해가 되지 않도록 목교의 형태로 설치하고 관찰로 바닥면의 목재간 간격은 3cm 정도로 사구식물의 수직방향 성장도 용이하도록 하며, 안내판 및 사구관련 교육자료를 관찰로 주변에 전시하는 방안이다(금강유역환경청, 2007).



〈그림 30〉 태안 기지포 사구 보호시설(2006년 9월)

출처 : 금강유역환경청(2007), p.40.

2) 농경지 지역 : 고창군 법장천 하구

(1) 지역개관

법장천은 전북 고창군 해리면에서 해리천과 분수계를 이루는 봉호재(114m) 서쪽의 방축리 일대에서 발원하여 서쪽으로 흘러 나성저수지를 지나 고창군 상하면 장호리 산28-8번지 장호배수갑문을 통과해 서해에 합류하는 유로연장 4.1km, 유역면적 8.4km²의 지방하천으로, 행정구역 상으로 전북 고창군 해리면 나성리, 사반리, 광승리와 상하면 장호리에 위치하고 있고, 명사십리 모래사장으로 유명한 구시포해수욕장과 동호해수욕장 사이에 위치한다⁶⁰⁾.

60) 환경부, 2014, 법장천·중천천 하구 생태복원 시범사업 타당성 조사 및 기본계획 수립, p.47.

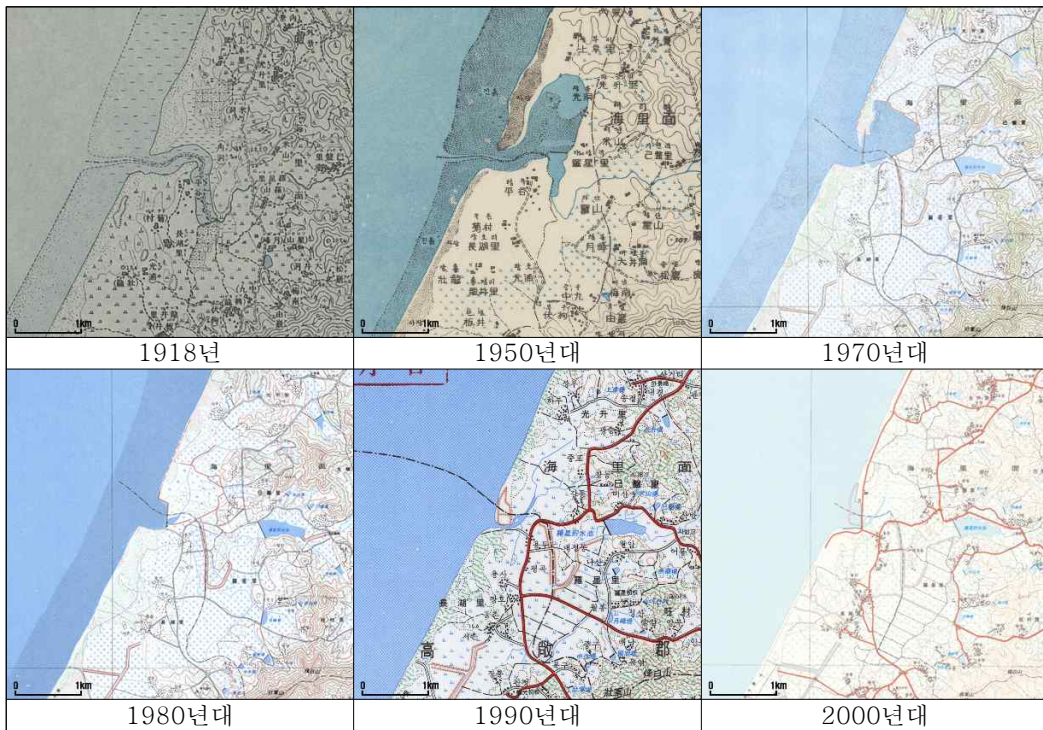
하구는 개방해역과 연결되어 있는 반폐쇄해역으로, 하천으로부터 흘러 내려 오는 민물과 조석주기에 따라 들어오고 나가는 바닷물이 서로 혼합되는 전이 지역으로 조석, 파랑 및 하천 유량의 영향을 받기 때문에 생물의 구성도 다양하게 나타나는 역동적인 생태계이다⁶¹⁾. 환경부(2012)의 「수생태계 훼손하구 건강성 개선을 위한 시범복원 대상하구 선정 연구」에서는 하구생태계의 가치를 수계가 바다와 연결되어 하구순환이 자유롭게 일어나는지 하구습지 등 하구생태계를 이루는 요소들이 잘 보전되어 있는지의 여부에 따라 결정되는 것으로 보고 일차적으로 지형적인 측면에서 과거의 하구형태와 현재의 하구형태를 비교하여 하구순환이 유지되는 하구를 열린하구(open estuary), 그렇지 않은 하구를 닫힌 하구(closed estuary)로 정의할 수 있다⁶²⁾.

법장천 하구는 닫힌 하구에 속하는데, 닫힌 하구는 하구이용 및 개발이 집중된 하구로서 인공구조물에 의해 하구순환이 차단되어 자연 상태의 하구 고유의 특성은 상실된 경우이다. 법장천 하구는 해수의 유입을 막기 위한 수문이 설치되어 있는데, 수문은 조수에 따라 자동으로 개폐되고, 간조 시 바다로 담수가 빠져나가며 만조 시 해수유통이 단절된다. 즉 해수역은 간조 시에는 담수가 유입되어 기수역이 형성되지만 만조 시에는 담수가 완전히 차단되어 해수역이 형성된다. 법장천 하구는 특별한 방조제는 존재하지 않으며, 갑문의 조절에 의해 조위가 경작지에 피해를 주지 않도록 운영을 하고 있으며 갑문상태는 비교적 양호한 상태를 유지하고 있다.

법장천 일대는 1910년대 지형도와 1950년대 지형도에서 볼 수 있듯이 해안을 따라 흐르는 연안류에 의해 모래가 이동하여 사취가 발달하였고, 시간이 지남에 따라 사취 안쪽의 석호성 습지는 매립과 경지정리를 통해 점차 농경지로 변화하였다.

61) 노백호 외, 2014, “하구유형에 따른 권역별 하구습지의 분포특성과 시계열 변동추이 분석”, 대한지리학회지, 49(3), pp.321-338.

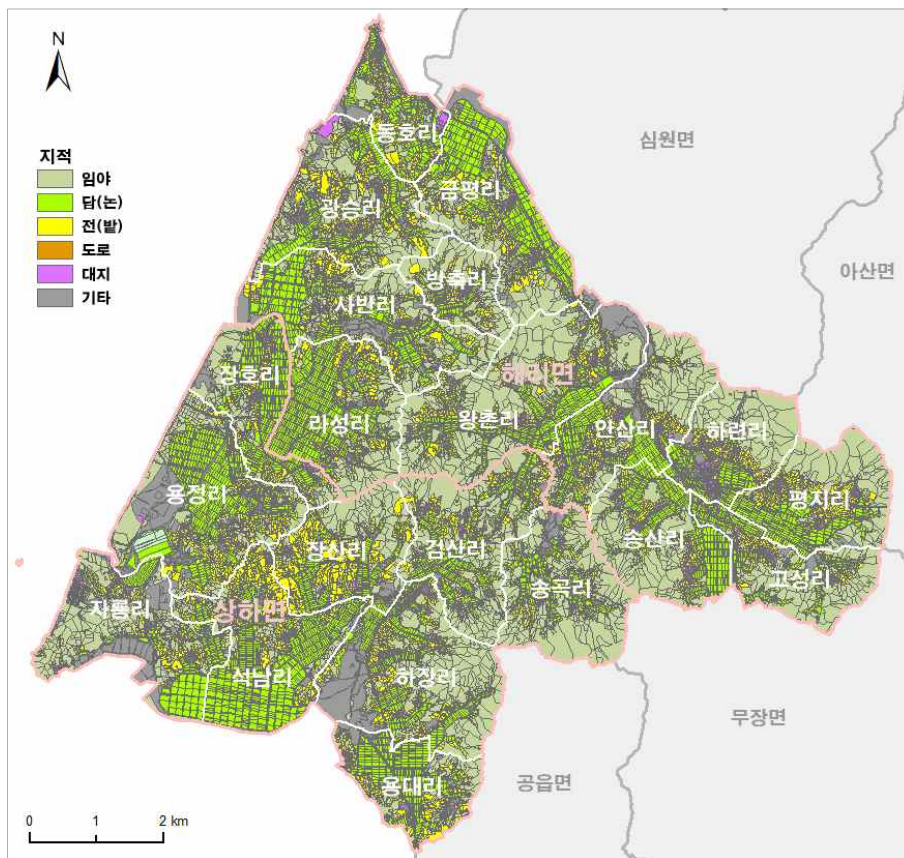
62) 환경부, 2012, 수생태계 훼손하구 건강성 개선을 위한 시범복원 대상하구 선정 연구, p.34.



〈그림 31〉 범장천 일대의 시대별 지형 변화

출처 : 종로도서관 고문헌 원문검색 서비스(<http://jongnolib.koreanhistory.or.kr>), 국토지리정보원(<http://www.ngii.go.kr>) 제공 지형도 활용.

전북 고창군 해리면, 상하면 일대의 토지이용 형태를 살펴보면 임야가 총 면적의 39.1%로 가장 넓은 면적을 나타내고, 다음으로 논(답)과 밭(전)으로 각각 27.4%, 15.0%를 차지한다.



<그림 32> 전북 고창군 해리면·상하면 일대의 지역별 토지이용 현황 (지적도 기준)

<표 23> 전북 고창군 해리면 일대 지역별 토지이용 현황(지적도 기준)

(단위 : km²)

해리면	임야	답	전	도로	대지	기타	계
고성리	1.31	0.54	0.26	0.11	0.08	0.23	2.51
광승리	1.56	0.91	0.80	0.19	0.15	0.36	3.97
금평리	1.15	1.56	0.53	0.24	0.10	0.61	4.20
동호리	0.33	0.60	0.45	0.11	0.12	0.32	1.93
나성리	1.00	1.56	0.44	0.15	0.08	0.26	3.49
방축리	0.89	0.24	0.24	0.04	0.04	0.07	1.52
사반리	1.38	1.29	0.63	0.18	0.08	0.59	4.14
송산리	1.45	0.97	0.31	0.11	0.11	0.17	3.13
안산리	1.52	0.83	0.53	0.14	0.09	0.40	3.51
왕촌리	2.85	1.04	0.75	0.22	0.13	0.62	5.59
평지리	1.42	0.75	0.46	0.12	0.08	0.19	3.02
하런리	1.34	0.49	0.23	0.11	0.17	0.17	2.50
계	16.2 (41.0%)	10.78 (27.3%)	5.63 (14.2%)	1.72 (4.4%)	1.23 (3.1%)	3.99 (10.1%)	39.51 (100%)

<표 24> 전북 고창군 상하면 일대 지역별 토지이용 현황(지적도 기준)

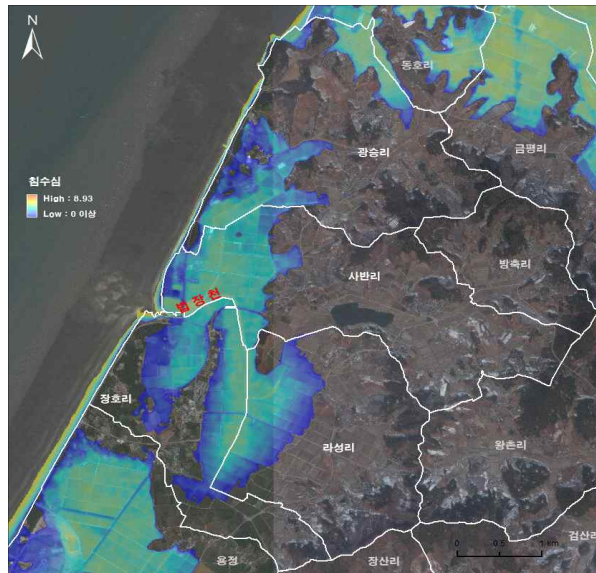
(단위 : km²)

상하면	임야	답	전	도로	대지	기타	계
검산리	1.98	0.79	0.56	0.15	0.10	0.22	3.80
석남리	0.53	2.03	0.80	0.23	0.10	0.35	4.03
송곡리	2.26	0.49	0.27	0.10	0.05	0.27	3.44
용대리	0.54	0.88	0.49	0.12	0.07	0.29	2.39
용정리	1.20	1.55	0.76	0.18	0.13	1.06	4.88
자룡리	1.72	0.80	0.38	0.14	0.13	0.78	3.95
장산리	1.08	0.54	0.93	0.13	0.07	0.21	2.97
장호리	0.77	1.09	0.36	0.17	0.08	0.21	2.68
하장리	2.03	0.93	0.66	0.16	0.16	0.89	4.83
계	12.11 (36.7%)	9.1 (27.6%)	5.21 (15.8%)	1.38 (4.2%)	0.89 (2.7%)	4.28 (13.0%)	32.97 (100%)

(2) 예상 범람 피해

범장천 하구 주변 범람 피해는 고창군 해리면 광승리, 사반리, 나성리와

상하면 장호리에 걸쳐 나타난다. 지역별로 예상되는 범람 피해를 살펴보면 다음과 같다.



<그림 33> 범장천 일대의 범람 예상도

<표 25> 범장천 일대 범람 예상 피해 현황

해리면/ 상하면	지역 면적 (km ²)	범람 면적 (km ²)	범람비율 (%)	침수심 (m)		
				최소	최대	평균
광승리	3.97	1.05	26.4	0.000011	3.77	1.79
사빈리	4.14	1.02	24.6	0.000337	4.23	2.36
나성리	3.49	0.82	23.5	0.000765	3.66	1.68
장호리	2.68	1.22	45.5	0.000036	5.46	1.65

해리면 광승리는 지역 면적의 약 26.4%인 1.05km² 범위가 범람되며, 침수심은 최대 3.77m, 평균 침수심은 1.79m 정도로 예상된다. 범람 예상지역의 현재 토지이용은 논(답)이 53.7%, 임야 17.3%, 구거 7.5%, 밭(전) 5.5%, 도로 5.1%, 대 4.6% 등으로 논과 임야의 비율이 높게 나타난다.

<표 26> 전북 고창군 해리면 광승리 일대 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)

광승리	답	임야	구거	전	도로	대	양어장	유지	기타	계
범람 면적 (㎡)	561,975	180,727	78,338	57,085	53,712	47,614	26,288	14,933	25,364	1,046,036
비율(%)	53.7	17.3	7.5	5.5	5.1	4.6	2.5	1.4	2.4	100

사반리의 범람 면적은 1.02km²로 지역 면적의 약 24.6%에 해당하고, 침수심은 최대 4.23m, 평균 2.36m로 주변지역에 비해서 평균 침수심은 다소 깊게 나타난다. 범람 예상지역의 토지이용은 현황은 논(답) 59.9%로 가장 높고, 구거 12.3%, 유지 9.0%, 전 7.8%, 도로 6.3%, 임야 2.4% 등이다.

<표 27> 전북 고창군 해리면 사반리 일대 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)

사반리	답	구거	유지	전	도로	임야	제방	양어장	기타	계
범람 면적 (㎡)	609,402	125,607	92,010	79,333	64,381	24,004	9,264	7,094	6,131	1,017,226
비율(%)	59.9	12.3	9.0	7.8	6.3	2.4	0.9	0.7	0.7	100

나성리는 지역 면적의 23.5%인 0.82km² 범위가 범람될 것으로 예상되며 침수심은 최대 3.66m, 평균 1.68m로 나타난다. 나성리는 바다와 연결하고 있지는 않지만, 바다와 연결된 범장천으로 부터 범람이 전달되어 범장천 주변 저지대 농경지가 범람되는 형태이다. 범람 예상지역 토지이용 현황은 논(답)이 87.2%로 대부분을 나타내고, 구거 5.7%, 도로 4.0%, 하천 2.4% 등이다.

<표 28> 전북 고창군 해리면 나성리 일대 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)

나성리	답	구거	도로	하천	전	임야	계
범람 면적 (㎡)	712,775	46,455	32,343	19,939	3,710	2,004	817,225
비율(%)	87.2	5.7	4.0	2.4	0.5	0.2	100.0

상하면 장호리는 지역 면적의 45.5%인 1.22km² 범위에서 범람이 예상된다. 침수심은 최대 5.46m이고 평균 1.65m를 나타낸다. 범람 예상지역 토지이용 현황은 논(답)이 66.8%로 가장 많고, 임야 14.6%, 도로 6.4%, 구거 6.0%, 밭(전) 4.3% 등이다.

<표 29> 전북 고창군 상하면 장호리 일대 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)

장호리	답	임야	도로	구거	전	대	잡종지	유지	묘지	계
범람 면적 (㎡)	817,372	178,576	78,236	73,774	52,104	17,832	5,503	228	179	1,223,804
비율(%)	66.8	14.6	6.4	6.0	4.3	1.5	0.4	0.02	0.01	100

(3) 적응방안

범장천 하구와 같이 과거 연안습지나 하천 하구습지였던 지역들은 해수면 상승 시 예상 범람도와 중첩하면 과거 사취로 하구가 막히기 전에 바닷물이 드나 들었던 하구 범위가 대부분 범람되는 경우가 많다. 이는 과거 갯벌 등의 연안 습지나 하천 하구습지였던 지역을 인위적으로 매립하여 농경지로 이용해 왔기 때문으로, 해수면 상승 시에는 이들 지역이 바닷물에 다시 잠길 가능성이 상당히 높게 나타난다. 또한 이러한 지역은 방조제나 하굿둑으로 인해 생태계 순환고리가 차단되고, 유속저하에 의한 오염물질 축적 및 용존산소 농도 저하로 인한 수생태계의 건강성 저하 등 다양한 문제가 발생하고 있다.

이러한 하천 하구 농경지 지역에서의 해수면 상승 적응방안으로는 해수면

상승과 폭풍해일에 대한 완충공간으로서의 연안습지를 복원하는 전략을 제시할 수 있다. 연안습지는 연안에 대한 파도와 폭풍의 충격을 줄이는 자연 장벽으로서의 기능을 하며, 해안선 보호, 퇴적물 유지, 수질 관리, 영양분 재순환, 생물다양성의 보전, 자연환경시설의 제공, 기후 조절, 탄소 격리 등의 다양한 서비스를 제공하는 것으로 알려져 있다. 하지만 이러한 연안습지는 과거 간척 등 인위적인 개발로 파괴되어 왔고, 미래 해수면 상승이 예측되는 상황에서는 빠른 속도의 습지 손실과 내륙으로의 이동(migration)이 예상된다(IPCC, 2014; Blankespoor et al., 2014).

해외의 주요 국가들은 이러한 연안습지의 중요성을 인식하여 연안습지를 복원하는 사업을 추진 중에 있다. 특히 미국의 루이지애나 주는 해수면 상승, 퇴적물 감소, 침식 증가 등으로 인해 연간 40제곱마일의 습지가 감소하고 연안습지의 50% 이상이 훼손되어, 1990년에 「연안습지 계획·보호·복원법」(CWPPRA)을 제정하여 연안습지를 복원하려는 노력을 기울이고 있으며, 샌프란시스코만의 경우 폐염전을 습지로 복원하는 등 약 64.7km² 면적의 복원 사업을 추진하고 있다. 네덜란드의 경우는 와덴해 주변 네덜란드의 갯벌이 1935년 이후 방조제 건설 및 간척지 조성으로 축소되었던 것을 2001년부터 방조제 제거(de-embankment) 및 갯벌 복원을 추진하고 있으며, 일본도 최근 50년간 연안습지의 약 40%에 해당하는 327km²가 훼손됨에 따라 80년대부터 복원 사업을 추진해 오고 있다(국토해양부 보도자료, 2009.02.17.).

한국도 최근 간척지의 경제성 등 효용 가치가 저하되고 육상 오염물질로 인한 환경피해가 가속화되고 있어 매립 등 당초 이용 목적이 실효를 거두지 못하며, 최근 생태관광에 대한 국민의 관심이 증대되고 갯벌의 가치 증진을 통해 지역 경제를 활성화하려는 지자체의 수요가 높아짐에 따라 2009년에 「갯벌복원종합 계획」을 수립하여 추진 중에 있다. 복원계획 수립 당시 7개 광역 시·도의 15개 시·군에서 81개소의 대상지(총 32.12km²)가 조사되었고, 복원 방식으로는 연육

도로로 인해 단절된 것을 교량화 등을 통해 해수 유통을 하는 방식이 가장 많은 유형을 차지하였다(국토해양부 보도자료, 2009.02.17.). 또한 최근에는 같은 맥락에서 갯벌의 경제적·생태적 가치를 인정하여 수십년 간 개발행위로 매립되거나 훼손했던 갯벌을 복원하는 계획을 수립하였다. 즉, 해양생태계의 건강성 회복과 지속가능한 생태관광 및 지역경제 활성화, 친환경 갯벌어업을 통한 어가 소득 증대의 3대 목표를 설정하여 갯벌 자원화를 추진하는 계획을 수립하였으며, 갯벌을 보전하는 것을 물론 갯벌 복원으로 갯벌의 경제적·생태적 가치를 극대화함으로써 갯벌을 새로운 성장 동력의 자원으로 활용할 계획을 추진하려는 시도이다(해양수산부 보도자료, 2015.08.24.).

법장천 하구는 현재 배수갑문이 해수 유통을 차단하고 있어 개방을 통한 해수 유통의 순환이 필요한 지역이다. 법장천 하구는 하천복원의 국내 첫 사례로 해리면 나성리 일대 법장천 주변 840,000㎡ 면적에 대해 「하구생태복원시범사업」(환경부, 2014)에 대한 타당성 조사가 수행된 사례가 있다. 이 연구에 따르면, 법장천의 옛 하구 지형을 대상으로 부분개방 및 전면개방 안을 설정하고 수리 검토를 통해 하구 생태복원 범위를 설정하고 타당성을 검토하였으며, 하구의 개방폭에 따른 수리영향 검토 결과와 경제성, 복원 효과 등을 고려해 50m로 개방규모를 결정하되 최종 위치는 기본설계 단계에서 측량 및 토질조사 후 검토를 통하여 결정하는 것이 필요하며, 고지형, 조위에 따른 범람도, 염수확산 등을 검토한 결과를 토대로 복원 범위를 결정하는 것으로 제시하고 있다⁶³⁾.

따라서 현재의 법장천 하구와 같이 배수갑문을 통해 하구역이 막혀 있는 지역은 해수 유통이 단절됨에 따라 식생, 어류 등의 종의 단순화로 생태적 다양성이 매우 낮아지고 또한 생태적으로 단절되어 있는 경우가 많다. 또한 미래 해수면 상승을 고려할 때 이들 지역의 상당 부분이 범람될 것으로 예상

63) 환경부, 2014, 전계서, pp.47-256.

되므로, 미래 기후변화 및 해수면 상승에 대한 적응방안으로는 하구 또는 갯벌 복원을 통해 하구 지형의 자연성 및 생태성을 회복하며, 해수면 상승 시 인간시스템을 보호하기 위한 완충공간으로서 보존하고 관리할 필요가 있다.

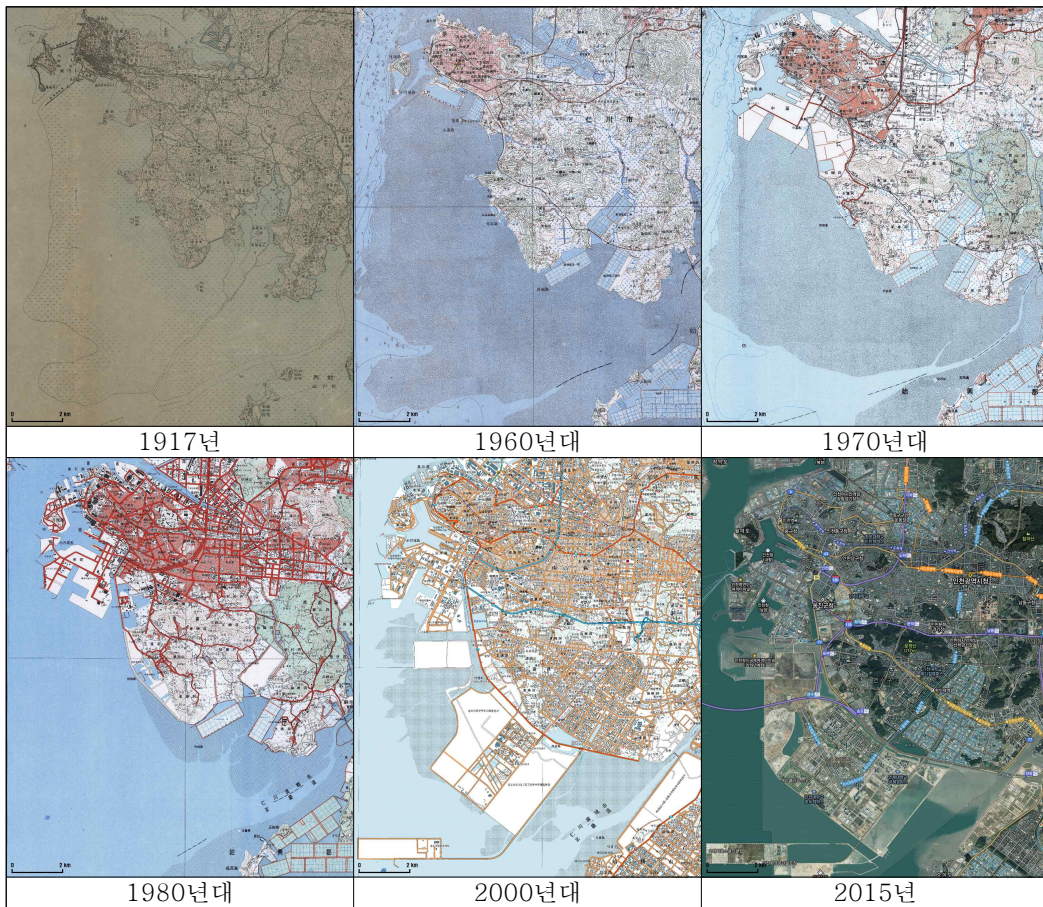
하구의 위치적 특성 상 정부의 여러 부처가 관련되어 있고, 또 지형 복원이 일회적으로 이루어질 수 없는 일인 만큼 복원에 대한 다양한 검토와 부처 간 협력, 그리고 지속적인 사후모니터링을 통해 지형 및 생태 복원을 이루어나 가야 할 것으로 판단된다.

4) 도시화 지역 : 인천광역시 연수구

(1) 지역개관

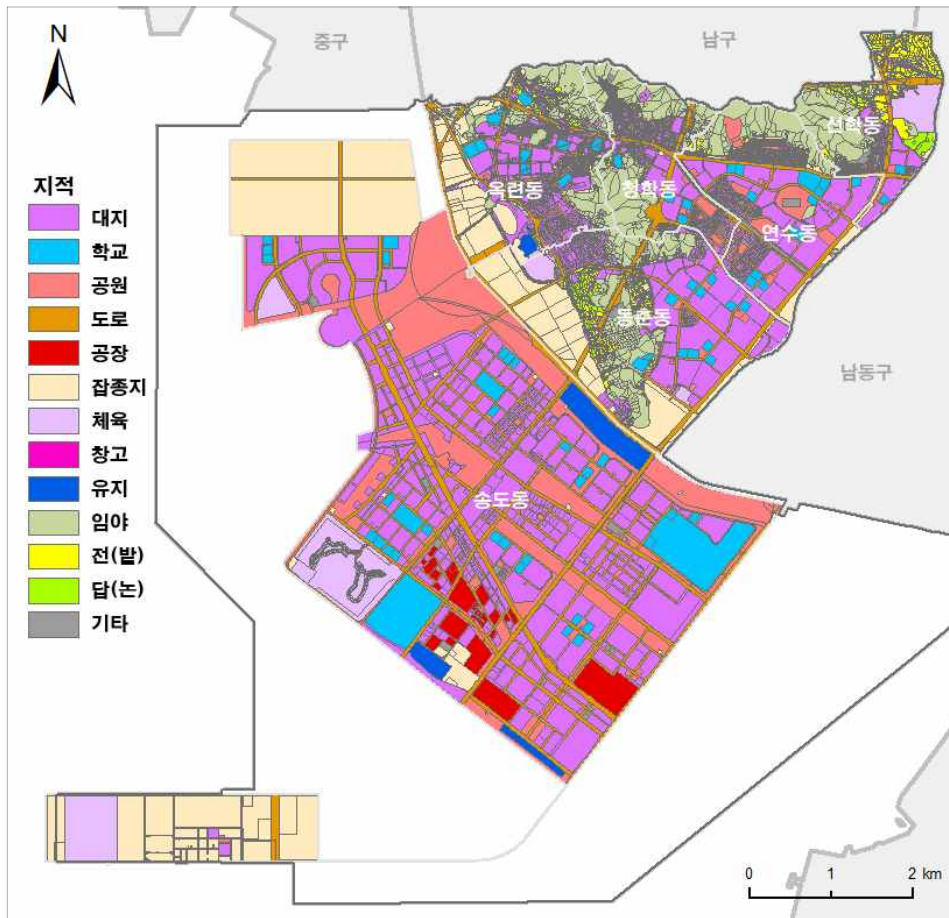
인천 연수구 지역은 인천광역시 남쪽에 돌출한 해안선을 따라 동쪽으로는 선학동, 연수동, 동춘동 지역이 승기천을 경계로 남동구와 접해 있고, 북쪽으로는 옥련동, 청학동, 선학동 지역이 문학산을 경계로 남구와 접해 있다.

인천 연수구의 동춘동, 선학동, 송도동, 연수동, 옥련동, 청학동 등 총 6개 동의 지적도를 기준으로 토지이용 현황을 살펴보면, 대지(영구적 건축물의 부지)가 31.0%로 가장 넓은 면적을 차지하고, 다음으로 도로 16.1%, 잡종지 15.4%, 공원 12.2%, 임야 8.8% 등으로, 지표가 불투수면으로 이루어진 토지이용 비율이 높게 나타난다.



<그림 34> 인천 연수구 일대의 시대별 지형 변화

출처 : 종로도서관 고문헌 원문검색 서비스(<http://jongnolib.koreanhistory.or.kr>), 국토지리정보원(<http://www.ngii.go.kr>)
 제공 지형도 및 다음지도(<http://map.daum.net>) 활용.



<그림 35> 인천 연수구 토지이용 현황(지적도 기준)

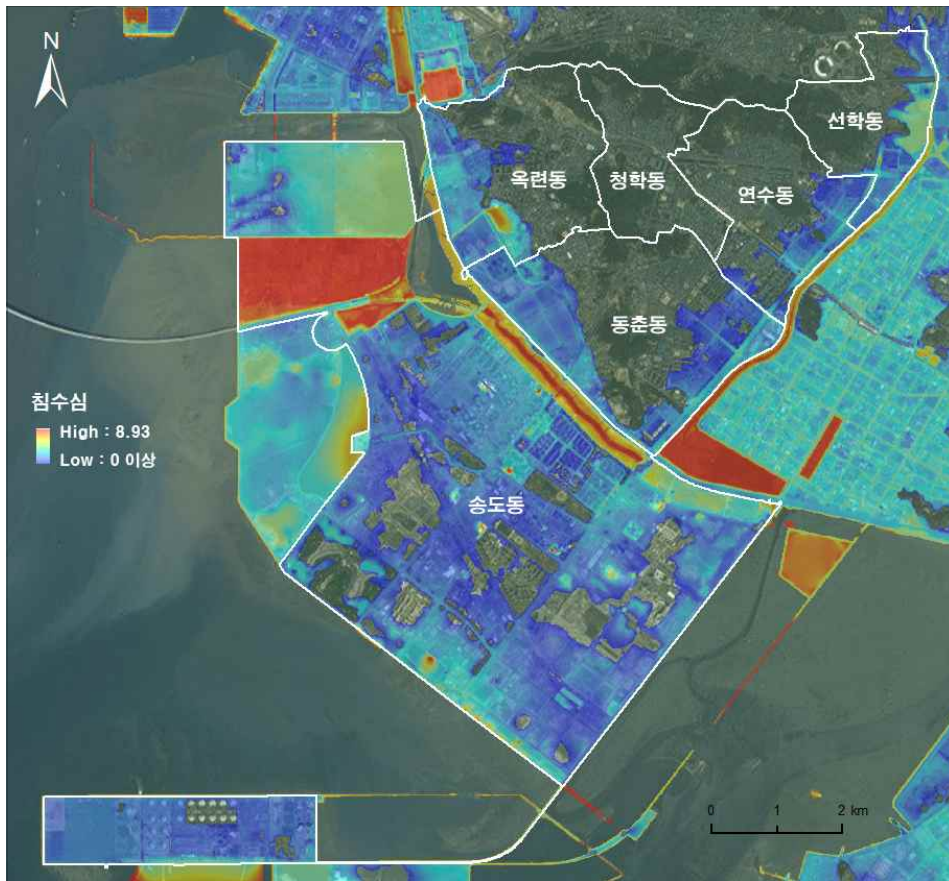
<표 30> 인천 연수구 지역별 토지이용 현황(지적도 기준)

(단위 : km²)

연수구	대	도로	잡종지	공원	임야	학교용지	체육용지	기타	계
동춘동	1.83	0.84	1.30	0.06	1.00	0.15	0.13	0.49	5.80
선학동	0.39	0.38	0.05	0.04	0.61	0.02	0.24	0.67	2.40
송도동	8.57	4.35	4.63	5.04	0.0002	1.63	1.59	1.55	27.36
연수동	1.48	0.62	0.18	0.31	0.57	0.19	0	0.15	3.50
옥련동	1.18	0.71	0.82	0.02	0.82	0.18	0.02	0.32	4.07
청학동	0.66	0.44	0.05	0.07	1.01	0.05	0	0.10	2.38
계	14.11 (31.0%)	7.34 (16.1%)	7.03 (15.4%)	5.54 (12.2%)	4.01 (8.8%)	2.22 (4.9%)	1.98 (4.4%)	3.28 (7.2%)	45.51 (100%)

(2) 예상 범람 피해

인천 연수구 일대의 예상되는 범람 피해를 살펴보면, 연수구의 6개 동 중에서 청학동을 제외한 나머지 5개 동은 모두 범람이 발생하며, 전체 면적의 약 65.4%에 해당하는 지역이 범람되는 것으로 나타났다.



<그림 36> 인천 연수구 일대의 범람 예상도

〈표 31〉 인천 연수구 일대 범람 예상 피해 현황

연수구	지역 면적 (km ²)	범람 면적 (km ²)	범람비율 (%)	침수심 (m)		
				최소	최대	평균
동춘동	5.80	2.57	44.3	0.00003	7.51	1.26
선학동	2.40	0.88	36.7	0.00005	7.46	1.92
송도동	27.36	22.48	82.2	0.000007	7.71	2.24
연수동	3.50	0.86	24.6	0.00008	6.60	1.19
옥련동	4.07	1.40	34.4	0.00007	6.73	1.07

동춘동은 동 면적의 44.3%에 해당하는 2.57km² 범위가 범람되는 것으로 나타났고, 침수심은 최대 7.51m, 평균 1.26m 정도로 예상된다. 범람지역 토지 이용을 살펴보면 범람 면적의 44.9%는 잡종지로 이용되고 있고, 다음으로 대지가 25.5%, 도로 17.9%, 체육용지 3.8%, 논(답) 2.2% 등이다.

〈표 32〉 인천 연수구 동춘동 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)

동춘동	잡종지	대지	도로	체육용지	답	학교용지	공원	기타	계
범람 면적 (m ²)	1,154,253	656,886	461,169	98,084	56,170	32,780	32,251	80,851	2,572,444
비율 (%)	44.9	25.5	17.9	3.8	2.2	1.3	1.3	3.1	100

선학동은 동 면적의 36.7%에 해당하는 0.88km²가 범람되는 것으로 나타났고, 침수심은 최대 7.46m, 평균 1.92m로 예상된다. 이 지역은 바다와 연결하고 있지는 않으나 주변지역에서의 범람이 전파되어 내륙까지 범람이 이루어진 경우이다. 범람지역 토지이용을 살펴보면 대지가 22.5%로 가장 넓은 면적을 나타내고, 다음으로 체육용지 21.8%, 밭(전) 15.8%, 도로 14.7%, 논(답) 9.5% 등이다.

〈표 33〉 인천 연수구 선학동 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)

선학동	대지	체육용지	전	도로	답	하천	잡종지	기타	계
범람 면적 (㎡)	197,482	191,340	138,837	129,108	83,329	40,699	31,046	65,548	877,389
비율(%)	22.5	21.8	15.8	14.7	9.5	4.6	3.5	7.5	100

송도동은 연수구에서 가장 넓은 면적이 범람되는 곳으로, 송도동 전체 면적의 82.2%인 22.48km²가 범람되는 것으로 나타났고, 침수심은 최대 7.71m, 평균 2.24m로 예상된다. 송도동 범람 예상지역의 현재 토지이용은 대지가 31.9%로 가장 넓은 면적을 나타내고, 잡종지 19.4%, 도로 17.5%, 공원 15.3%, 학교용지 4.8% 등으로 지표가 불투수면으로 이루어진 지역의 면적이 넓게 나타난다. 송도동은 <그림 34>의 지형 변화에서도 알 수 있듯이 입지 자체가 매립지에 조성된 도시지역이기 때문에 해발고도가 낮고 기복이 평탄하며, 불투수면 면적이 넓다. 이러한 지역은 연안 방어시설의 높이를 초과하여 범람이 발생하면 대규모 지역에 침수가 발생할 수밖에 없는 지형 조건을 갖추고 있다.

〈표 34〉 인천 연수구 송도동 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)

송도동	대지	잡종지	도로	공원	학교용지	체육용지	공장용지	기타	계
범람 면적 (㎡)	7,158,005	4,348,768	3,939,879	3,446,523	1,083,920	1,039,705	808,523	654,148	22,479,471
비율(%)	31.9	19.4	17.5	15.3	4.8	4.6	3.6	2.9	100

연수동은 동 면적의 24.6%에 해당하는 0.86km² 면적에서 범람이 예상되며, 침수심은 최대 6.6m, 평균 1.19m로 예상된다. 범람 예상지역의 현재 토지이용은 대지가 50.5%로 가장 넓게 나타나고, 도로 27%, 잡종지 11.3%, 학교용지 5.3%, 주차장 2.1%, 공원 1.8% 등이다. 연수동도 선학동과 마찬가지로 바다와 연결하지는 않지만, 주변지역에서의 범람이 전파되어 침수가 예상되는 지역이다.

<표 35> 인천 연수구 연수동 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)

연수동	대지	도로	잡종지	학교용지	주차장	공원	철도용지	기타	계
범람 면적 (㎡)	436,453	232,971	97,774	45,390	18,509	15,428	12,066	5,127	863,718
비율(%)	50.5	27.0	11.3	5.3	2.1	1.8	1.4	0.6	100

옥련동은 동 면적의 34.4%에 해당하는 1.4km² 범위가 범람될 것으로 예상되며, 침수심은 최대 6.73m, 평균 1.07m로 예상된다. 범람지역의 토지이용 현황은 잡종지가 50.9%로 가장 넓은 면적을 차지하고, 도로 19.4%, 대 15.9%, 학교용지 3.4%, 유지 3.2%, 임야 1.5% 등이다.

<표 36> 인천 연수구 옥련동 범람 예상지역의 토지이용(지적도 기준)

옥련동	잡종지	도로	대지	학교용지	유지	임야	구거	기타	계
범람 면적 (㎡)	713,572	271,344	222,850	47,520	44,548	21,194	18,861	61,861	1,401,750
비율(%)	50.9	19.4	15.9	3.4	3.2	1.5	1.3	4.4	100

(3) 적응방안

매립지는 지표 고도가 낮아 범람에 대한 위험성이 매우 높다. 매립을 통해 도시가 공간적으로 확장되어 온 지역, 특히 해안에 초고층 건물이 즐비한 지역은 현재 기후 하에서도 태풍해일 등에 대한 취약성이 크다. 이러한 연안 도시에 있어서는 방파제 등의 방어벽을 세우는 단기적 적응방안뿐만 아니라 중·장기적으로 도시계획이나 토지이용 계획에 기후변화 및 해수면 상승에 관련된 내용이 포함되어야 한다.

연안 도시지역에서의 해수면 상승 관련 주요 적응방안으로는 연안 방어벽 (coastal defense) 강화, 연안역 재해 완충역 (dryline) 설치, 건물고 증대 (freeboard), 건축물 Set-back 등 다양한 방안을 들 수 있다. 해수면 상승

적응과 관련하여 독일의 경우는 북부 해안에 대한 방어벽 설치 시, 방어벽의 형태가 미래의 해수면 상승을 반영할 수 있도록 설계하는 적응방안을 수립하도록 하고 있다. 이 적응방안은 방어벽增高(增高)가 막대한 비용이 드는 점을 감안하여 현재의 기준으로 방어벽을 설계·시공하되 미래의 해수면 상승에 대해서도 방어벽을 추가增高할 수 있도록 하는 adaptative(step_wise) coastal defense로 현재의 제도적, 사회·경제적 조건과 미래의 기후변화를 모두 수용하는 형태도 고려해 볼 수 있다. 범람 예상지역에서는 방어벽 외에, 해안완충지대 조성 및 성토(盛土)를 통한 건물 높이 보완, 주거지의 후퇴 등의 적응대책을 고려해 볼 수 있고, 재해 완충공간 확보, 1층 공간에 대한 주거지 입지 제한, 필로티 형식으로 한 침수 대비 공간 확보 등이 필요하다. 또한 빌딩코드(building Code)에 해수면 상승에 대한 위험성을 포함하는 방안이 마련되어야 한다.

따라서 사회·경제적 인프라가 집중되어 있는 연안 개발지역에서의 해수면 상승 및 태풍해일에 대한 적응방안은 단기적으로 방어 위주의 적응방안이 필요하며, 중·장기적으로는 재해 완충공간 확보, 빌딩코드 변경, 토지개발 및 토지이용 변경 등의 관리체계 구축을 통해 해수면 상승에 대해 순응 및 후퇴하는 형태로 나아가는 등 다양하고 포괄적인 전략을 고려해야 한다.

2. ‘연안 및 해수면 상승’ 관련 기후변화 적응대책 수립 현황

한국은 저탄소 녹색성장을 위한 국가 전략으로 채택한 「저탄소녹색성장기본법(제48조4항)」 및 「동법 시행령(38조)」(2010년 4월)에 의거하여 국가 및 지자체 단위 기후변화 적응대책 수립 및 시행이 의무화되었다. 동 법에 의거한 한국의 기후변화 대응은 감축과 적응 양대 축을 중심으로 하는 대책 추진의 제도적 기반이 구축되었고 이를 토대로 2010년 13개 부처 공동으로 제1차 국가 기후변화 적응대책(2011~2015)을, 2015년에는 21개 부처 공동

으로 제2차 적응대책(2016~2020)을 각각 수립하였다.

국가 적응대책은 기후변화의 불확실성을 감안한 5년 단위의 연동계획으로 기후변화 적응에 있어서 지역적 대응의 중요성을 감안하여 중앙정부 ↔ 광역 지자체 ↔ 기초지자체로 이어지는 유기적인 적응체계를 구축하였다. 2009년 기후변화 적응의 주관부처인 환경부는 국가 적응정책의 효율적 추진을 위하여 한국환경정책·평가연구원 산하에 국가기후변화적응센터(Korea Adaptation Center for Climate Change, KACCC)를 설립하여 기후변화 취약성 평가 및 적응 정책 개발, 국내·외 적응 협력 및 기술이전, 정보 수집 및 보급 등의 업무를 통하여 국가 기후변화 적응정책의 이행·촉진의 기능을 담당하고 있다.

본 절에서는 국가 및 지자체의 기후변화 적응대책 수립 내용 중에서 ‘연안 및 해수면 상승’과 관련된 적응대책을 검토하여 적응대책의 개선점을 제안하고자 한다.

1) 국가 기후변화 적응대책

제1차 국가 기후변화 적응대책(2011~2015)은 「저탄소녹색성장기본법」 시행에 따른 최초의 법정 적응대책이다. 동 국가 대책은 2050년 기온 2도 상승을 대비한 계획으로 3개 부문의 적응기반 대책(기후변화 감시 및 예측, 적응산업 및 에너지, 교육·홍보 및 국제협력)과 부문별 적응대책(건강, 재난/재해, 농업, 산림, 해양/수산업, 물관리, 생태계)으로 구성되어 있다.

○ 기후변화 관측 및 예측 프로그램

- 연안외력 정밀 관측 및 평가
- 기후변화 3차원 입체감시
- 국가표준기후시나리오 개발

- 지구시스템모델 및 지역기후모델 개발
- 해양기후변동 예측모델개발(해수면 예측)

○ 해수면 상승 영향 및 적응

- 연안재해 취약성 평가기법 개발
- 기후변화 대응 자연재해 기본 외력도 선진화 기술개발(빈도 변화 예측)
- 연안별·지자체별·사업별 맞춤형 적응 포트폴리오 구축
- 연안관리계획 및 해양환경 영향평가 보완
- 연안공간 복원 및 조성사업 추진
- 해안 지형변화 예측 및 적응방안 수립

○ 교육·홍보

- 기후변화 감시 및 예측정보 서비스 강화(교육 홍보 포함)
- 기후변화 교육 체험관 설치 운영
- 기후변화 적응 교육·홍보 콘텐츠 및 프로그램 개발·보급
- 기후변화 적응 실천 캠페인 및 언론 활용 기획 홍보

○ 국제협력

- 선진국 및 개도국과 적응분야 협력 확대
- 적응 분야별 국제협력 사업 추진
- 동아시아(개도국 포함), 선진 연구기관, 주요 국제기구와 협력 활성화

제1차 국가 기후변화 적응대책에서의 연안 및 해수면 상승 대책은 “해수면 상승에 대응하는 국토관리 방안 구축으로 사회안정성을 확보”하는 것을 목표로

① 해수면 상승 대응 연안 취약성 평가, ② 연안 외력변화 예측 및 대응을 위한 과학적 관리체계 구축, ③ 기후변화 대응 국토 해안 지형변화 및 적응방안 수립 등의 계획을 수립하였다.

<표 37> 제1차 국가 기후변화 적응대책(2011~2015)의 연안 및 해수면 상승 대책

분야	대책	사업구분	세부과제명
해양/수산	연안 및 해수면 상승 대책	기존보완	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해수면 상승 대응 연안 취약성 평가 - 한국형 연안재해 취약성평가 기법 개발 및 보급 - 연안 및 생태계별 취약성을 고려한 「맞춤형 적응 포트폴리오」 구축
		신규	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연안 외력변화 예측 및 대응을 위한 과학적 관리체계 구축 - 한반도 연안의 외력변화 정밀 관측 및 영향평가 - 연안외력 변화에 따른 연안시설 기준 보강대책
		신규	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기후변화 대응 국토 해안 지형변화 및 적응방안 수립 - 기후변화에 따른 해양 퇴적환경 변화 예측 - 육역 및 해역변화에 따른 해안지형변화 관리전략 구축 - 기후변화를 고려하는 연안공간 복원·조성 시범사업

출처 : 관계부처합동(2010), 저탄소 녹색성장 기본법 시행에 따른 국가 기후변화 적응대책(2011~2015).

제2차 국가 기후변화 적응대책(2016~2020)은 1차 대책의 성과를 보완·발전시켜 과학적인 기후변화 리스크 분석을 바탕으로 ‘기후변화 적응으로 국민이 행복하고 안전한 사회 구축’이라는 비전 하에 5대 적응원칙(지속가능발전 부합, 취약계층 고려, 과학기반, 통합적 접근, 참여활성화)과 4개 부문(과학적 위험관리, 안전한 사회건설, 산업계 경쟁력 확보, 지속가능한 자연자원관리), 1개 기반(국내·외 이행기반 마련), 20개 주요과제를 도출하였다(관계부처합동, 2015). 연안 및 해수면 상승 관련 대책으로는 「기후변화에 안전한 사회 건설」 부문 ‘기후변화 취약지역·시설 피해 최소화’ 대책에 (연안관리)연안지역 홍수취약성 분석 및 홍수침수예상도 작성 과제를 포함하고 있다.

2) 광역지자체 기후변화 적응대책

광역지자체 기후변화 적응대책은 해안과 연접하고 있는 한국의 11개 광역지자체 중에서 총 9개 지역, 즉 부산, 울산, 경기, 강원, 충남, 전북, 전남, 경북, 제주 지역을 대상으로 연안 및 해수면 상승 관련 기후변화 적응대책 수립 내용을 검토하였고 관련 적응대책이 수립되지 않은 인천, 경남은 제외하였다. 연안 및 해수면 상승 관련 대책은 재난/재해 부문이나 해양/수산 부문에 포함되어 있으며, 구체적인 광역지자체 연안 및 해수면 상승 관련 적응대책은 <표 38>에 제시하였다.

동해안권의 강원은 해수면 침식 대책과 관련한 토사매몰어항 준설, 연안 정비사업 추진을 계획하였고, 울산은 적응시스템 대책 분야에 해수면 상승에 따른 연안 영향분석 연구사업을 계획하였다. 경북은 연안 및 해수면 상승 대응 대책으로 해수면 상승 대응 연안 취약성 평가와 동해안권 연안지형 예측 및 적용방안 수립 과제를 도출하였다.

황해안권의 경기는 연안침식 모니터링 및 취약성 평가 대책과 관련하여 연안 어항 및 마리나항 시설 안전성 및 취약성 평가, 연안침식 모니터링 사업을 수립하였고, 충남은 해수면 상승에 의한 연안지역 피해 대책으로 연안의 친환경 복원·보전 및 해양환경 개선 과제를 도출하였다. 전북은 전라북도 해양관측 및 DB 구축 사업을, 전남은 해수면 상승에 따른 취약지역 분석 및 적용방안 마련, 연안환경 개선 및 복원사업, 해수면 상승에 따른 연안침식 방지시설과 완충시설 확보관리 사업을 도출하였다.

남해안권의 부산은 해수면 상승 관련 적응대책이 가장 구체적으로 수립된 지역으로, 관측 인프라 구축 및 연안역 관리, 해수면 상승 대응, 해안침식 방지 및 연안 침수·범람지역 재해 경감, 연안구조물 모니터링 및 안전성 평가·예측 시스템 개발, 연안시설물 재해경감, 연안재해 긴급복구 지원시스템 대책과 관련하여 총 10개의 세부과제가 수립되었다. 해수면 상승과 관련한 재해

취약성 실태조사 및 평가기법 개발, 침식 및 범람 대책, 연안구조물 및 시설물 재해 경감을 위한 사업들과 연안 해일위험지역의 건축물 후퇴선(Set-back) 기준을 마련하여 위험지역에 대한 건축물 Set-back을 실시하는 계획을 수립하였다. 제주는 해수면 상승에 의한 기반시설/연안시설 약화 대책으로 해수면 상승으로 인한 해일피해 예측 사업을 수립하였다.

<표 38> 광역지자체 연안 및 해수면 상승 관련 기후변화 적응대책

지역	분야	대책분야	사업구분	세부과제명	담당부처
부산	재난/재해	관측 인프라 구축 및 연안역 관리	신규	■ 연안 해일위험지역 건축물 Set-Back 사업	건설방재관실
				■ 해일위험지역 배수 및 전기설비 안전성 검토와 개량사업	건설방재관실
	해양	해수면 상승 대응	신규	■ 연안재해 취약성 실태조사 및 평가기법 개발	해양농수산물
					건설방재관실
		해안침식 방지 및 연안 침수·범람 지역 재해경감	기존/보완	■ 해안침식/퇴적환경조사 및 해변 유실방지대책 수립 ■ 해수범람에 의한 연안침수지역 보강 및 관리대책 수립	해양농수산물
					도시개발본부
		연안구조물 모니터링 및 안전성 평가·예측 시스템 개발	신규	■ 연안구조물 재해요소 관측시스템 구축	해양농수산물
					기존/보완
	연안시설물 재해경감	신규	■ 설계외력변화에 대응한 웹기반 연안방재 예측시스템 개발	건설방재관실	
				기존/보완	■ 연안시설물 설계기준강화 및 방재구조물 보강
연안재해 긴급복구 지원시스템	기존/보완	■ 연안재해 긴급대응 및 복구지원 시스템 구축	건설방재관실		
울산	-	적응시스템	-	■ 기후변화에 따른 농업·해양·수산업 영향분석 연구사업	농업기술센터 항만수산물과
경기	해양/수산	연안침식 모니터링 및 취약성 평가	신규	■ 연안 어항 및 마리나항 시설 안전성 및 취약성 평가	해양수산물과
			기존	■ 연안침식 모니터링	해양수산물과
강원	해양/수산	해수면 침식	기존	■ 토사매몰어항 준설	수산개발과
				■ 연안정비사업 추진	해양개발과
충남	해양/수산	해수면 상승에 의한 연안지역 피해 대책	기존/보완	■ 연안의 친환경 복원·보전 및 해양환경 개선	항만물류과
전북	해양/수산	해양	기존/신규	■ 전라북도 해양관측 및 DB 구축	해양수산물과 연안환경담당
전남	재난/재해	사회기반시설	기존/신규	■ 해수면 상승에 따른 취약지역 분석 및 적응방안 마련	전남도
				■ 연안환경 개선 및 복원사업	전남도 국토부
				■ 해수면 상승에 따른 연안침식 방지시설과 완충시설 확보관리	전남도
경북	해양/수산	연안 및 해수면 상승 대응	기존/보완	■ 해수면 상승 대응 연안 취약성 평가	해양개발과
				■ 동해안권 연안지형 예측 및 적용방안 수립	해양개발과
제주	해양/수산	해수면 상승에 의한 기반시설/연안시설 약화	신규	■ 해수면 상승으로 인한 해일피해 예측	해양개발과 (소방방재본부)

출처 : 부산광역시·울산광역시·경기도·강원도·충청남도·경상북도·전라북도·전라남도·제주특별자치도(2012), 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012-2016).

3) 기초지자체 기후변화 적응대책

본 절에서는 앞서 검토한 세 군데 사례지역이 속해 있는 충남 보령시, 전북 고창군, 인천 연수구를 대상으로 해당 기초지자체의 연안 및 해수면 상승 관련 적응대책을 검토하였다. 먼저 보령시는 해양/수산 부문 개선을 위해서 우선적으로 시행해야 할 사업으로 ‘연안 및 해수면 상승 대응(42.7%)’을 꼽았고, 그 다음으로 ‘수산업 피해 방지(41.9%)’, ‘수산업 생산성 증진(15.4%)’ 사업을 꼽았다. 이는 기후변화로 인한 해수면 상승과 더불어 발생할 수 있는 피해에 대한 예방 대책 강구를 더 중요하게 인식하고 있다는 것을 알 수 있다.

〈표 39〉 보령시의 연안 및 해수면 상승 관련 기후변화 적응대책

전략	세부과제	세부내용	관련부서
지속가능한 해양수산 환경 조성	연안 및 생태환경 보전	■ 갯벌 복원 및 지속가능한 갯벌 생태 관광 기반 마련	해양항만과, 수산과
		■ 연안환경 보전 및 환경훼손 차단	
		■ 무분별한 바다모래 채취에 대한 대책 마련	
		■ 방조제 복원 등 역간척 사업 추진	
기후변화로 인한 연안 피해 대책	연안환경 재해 취약성 평가	■ 연안재해 취약성 실태조사	해양항만과
		■ 연안의 지역별 재해원인과 취약성 지표 조사 및 취약성 평가	
		■ 연안재해 취약성 지도작성 및 공간 정보 실시간 제공시스템 활용 및 홍보	
	연안재해 긴급 대응·복구 시스템 구축 및 연안 시설물 강화	■ 연안재해 긴급대응 및 복구지원 시스템 구축	해양항만과, 안전재난과
		■ 연안 시설물 설계기준 강화 및 방재 구조물 보강	
	연안재해 대비 연안정비사업	■ 연안재해 대비 연안정비사업	해양항만과

출처 : 보령시(2016), 보령시 기후변화 적응대책 세부시행계획.

보령시에서는 해양/수산 부문 적응대책으로 「기후변화로 인한 연안 피해

대책」과 「지속가능한 해양수산 환경 조성」 전략으로 구분하고, 「기후변화로 인한 연안 피해 대책」 전략의 세부과제로 ① 연안환경 재해 취약성 평가, ② 연안재해 긴급 대응복구 시스템 구축 및 연안 시설물 강화, ③ 연안재해 대비 연안정비사업을 선정하였다. 「지속가능한 해양수산 환경 조성」 전략의 세부과제는 ① 연안 및 생태환경 보전, ② 경쟁력 있는 해양수산업 육성, ③ 수산생물 감염성 질병 대책 수립 사업을 선정하였다. 해수면 상승과 관련된 적응대책은 주로 「기후변화로 인한 연안 피해 대책」에 포함되어 있으며, 「지속가능한 해양수산 환경 조성 전략」의 ‘연안 및 생태환경 보전 사업’은 갯벌 복원이나 역간척, 해양환경 보전 및 환경훼손 차단, 무분별한 보전 및 환경훼손 차단 등의 내용을 포함하는데, 이는 수산 환경 조성뿐만 아니라, 해수면 상승 및 연안 피해 감소를 위한 적응대책과도 연관성이 있다.

고창군의 경우는 재난/재해 부문에 해수면 상승 관련 적응대책이 수립되어 있다. 최근 들어 증가하는 초대형 태풍으로 인한 태풍해일 및 기후변화에 따른 해수면 상승으로 연안 저지대의 해수범람에 따른 침수 피해 가능성이 크게 증가함에 따라 과거 해수범람 피해가 있었던 고창 연안의 고리포, 구시포, 동호지구에 대해서 기후변화에 따른 현재와 미래 침수 예상 분석을 수행한 결과 주거지가 포함된 지역이 해수 범람 가능성이 높은 것으로 나타났다. 현재 고창군의 고리포와 구시포의 경우에는 구시포연안정비사업을 통해 구조적 대책을 수립하여 추진 중에 있으나 이것으로 설계빈도(100년빈도) 이상의 해수면 상승에 따른 해수 범람 피해를 완전히 방지할 수 없으며 비구조적 대책으로 재해지도를 제작하여 적극적으로 대비할 필요성에 따라 ‘해안지역 해수범람 재해지도 작성’을 세부대책사업으로 선정하였다(고창군, 2013).

<표 40> 고창군의 연안 및 해수면 상승 관련 기후변화 적응대책

분야	적용대책	세부대책사업	관련부서
재난/재해	연안재해	■ 해안지역 해수범람 재해지도 작성	해양수산과

출처 : 고창군(2013), 고창군 기후변화 적응대책 세부시행계획(2013~2017).

인천 연수구는 도시의 상당 부분이 매립지에 조성된 만큼 기후변화에 따른 해수면 상승 및 홍수에 의한 기반시설의 취약성이 다른 지자체에 비해 상대적으로 높은 지역으로 평가되고 있고, 과거 태풍으로 인한 건물 침수 피해 사례가 발생하였다. 연수구에서는 해안 인접한 곳에 해수면 상승 모니터링을 할 수 있는 시설 및 시스템을 구축하여 향후 해수면 상승에 대비하는 것을 목표로 하고 있다. 또한 연수구 습지보호지역 관리 및 람사르 습지 등록 추진을 통하여 개발행위로부터 습지 훼손을 방지하여 효율적이고 체계적으로 보존·관리하는 것을 세부대책으로 수립하였다.

<표 41> 인천광역시 연수구의 연안 및 해수면 상승 관련 기후변화 적응대책

세부전략	세부과제	세부과제명	관련부서
미래 극한기후 대비 관리 시스템 강화	극한기후대비 관리체계 마련	■ 연수구 습지보호지역 관리	환경보전과
기후변화 감시체계 구축	해안지역 기후변화 감시 모니터링 시스템 구축	■ 해수면 상승 모니터링 시스템 구축	환경보전과 (해양수산과)

출처 : 연수구(2013), 연수구 기후변화 적응대책 세부시행계획.

3. 한국의 해수면 상승 적응대책 개선 방안

본 연구에서 해수면 상승에 대한 취약지를 유형별로 구분하여 구조적·물리적 적응방안을 제시하였다. 그러나 많은 예산과 사회적 합의가 필요한 이들 적응방안이 계획되고 실행되기 위해서는 기술적 적응방안의 발달과 더불어 사회적 제도적인 적응방안 또한 필요하다. 여기서는 국제사회가 제시하는 사

회적·제도적 적응방안을 제시하고 다음으로 한국의 제도적 적응 현황을 소개하고자 한다.

해수면 상승에 따른 국제기구의 적응전략은 <표 42>와 같이 광범위하다. 해수면 상승 기본 전략은 방어(protection), 순응(accommodation), 후퇴(retreat) 전략이며 이들 방안들은 사회·제도적 방안, 기술·공학적 방안, 생태계 기반 적응으로 구분할 수 있으며 본 연구에서 도입한 적응 전략 이외에도 다양한 옵션이 존재하고 있다. 이들 적응 대안들은 해당 취약지의 물리적, 사회·문화적, 경제적 상황에 따라 다른 형태로 채택될 수 있다. 해수면 상승과 관련하여 국제사회는 단기 전략(자발적 적응에 초점)과 장기 전략(계획적 적응에 초점)을 구분하여 양면의 중요성을 강조하고 있으며, 기후변화의 높은 불확실성을 감안하여 기후변화 적응정책은 과학적 정보 → 계획 → 이행 → 모니터링의 제 과정이 반복적으로 이행될 수 있도록 적응적인(adaptive) 대응체계 구축이 강조되고 있다.

IPCC(2014)는 이들 적응 조치들의 접근 방식으로 기후변화 노출 및 취약성 저감, 적응조치, 체제 변형(transformation)의 3단계를 제시하고 있으며, 특히 기후시스템의 높은 관성으로 21세기 기후변화 잔존 영향은 불가피하며 효율적인 적응을 위한 국가차원의 시스템 전환(transformation)이 필요함을 강조하고 있다. 시스템 전환 없이 기존 시스템에 점증적인(incremental) 기후변화 적응만을 한정하는 경우 비용과 희생의 증대, 적응 기회의 손실 가능성이 증가함을 경고하고 있다.

<표 42> IPCC AR5 적응방안의 범주 및 예시

분류	방안들과 관련된 예시
구조적/물리적	
공학적 및 구조적 환경	방파제 및 해안 보호구조물, 홍수제방 및 지하배수로, 물저장 및 양수저장, 하수처리장, 배수의 개선, 해빈 조성, 홍수 및 사이클론 대피소, 건축법규, 우수 및 오폐수 관리, 수송 및 도로 인프라 적응, 수상가옥, 발전소 및 전력망 조정
기술	신규 작물 및 동물 종, 유전자 기술, 전통적 기술 및 방법, 효율적인 관개, 물 절약 기술(빗물 이용 포함), 보존 농업, 식량저장 및 보존시설, 위험 지도 제작 및 모니터링 기술, 조기 경보 시스템, 건물 단열, 기계적 및 자연(수동) 냉각, 신재생에너지 기술, 2세대 바이오연료
생태계 기반	생태학적 복원(습지 및 범람원 보호 및 복원을 포함), 생물다양성 증가, 조림 및 재조림, 맹그로브숲 보호 및 재조성, 산불저감 및 권장화재, 그린인프라(예: 녹음수, 옥상녹화), 어류남획의 조절, 어장 공동관리, 더 적합한 환경으로 서식지 이전 또는 관리된 장소 이동, 생태이동통로, 현지 외 보존 및 종자은행, 지역사회기반 자연자원관리(CBNRM), 적용된 토지이용관리
서비스	사회적 안전망 및 사회적 보호(SP), 푸드뱅크 및 식량 초과분의 배분, 공공서비스(물 및 위생시설 포함), 예방접종 프로그램, 필수 공공보건서비스(생식 건강 서비스 및 강화된 응급 의료 서비스 포함), 국제무역
사회적	
교육	인식제고 및 교육으로의 통합, 교육에서의 성평등, 순회교육, 국지적 및 전통적 지식의 공유(적응계획으로 통합 포함), 참여적 활동연구 및 사회적 학습, 지역사회 조사, 지식공유 및 학습플랫폼, 국제 컨퍼런스 및 연구 네트워크, 미디어를 통한 소통
정보적	재난 및 취약성 매핑, 조기경보 및 대응시스템(건강 조기경보 시스템 포함), 체계적인 모니터링 및 원격감지, 기후관련 서비스(개선된 예보 포함), 기후 시나리오의 규모축소(downscaling), 종적 데이터, 토착적인 기후 관측의 통합, 지역사회 기반 적응계획(지역사회에 의해 유발된 슬럼지역 개선 및 참여적인 시나리오 개발 포함)
행동	숙박, 가정의 대비 및 대피계획, 후퇴, 인간의 건강과 인류 안보에 대한 고유한 의미를 지닌 이주, 토양 및 물 보전, 우수배수관 청소, 생계 다변화, 가축 및 양식 방법 변경, 작물교체, 작물재배 방법(패턴 및 정식기 변경), 조림 방안, 사회적 네트워크에 대한 의존
제도적	
경제	재정적 인센티브(세금 및 보조금 포함), 보험(지수에 기반한 날씨 보험 제도 포함), 재해 채권, 회전자금, 생태계 서비스에 대한 지불(PES), 물 관세, 저축 집단, 소액금융, 재해 비상 자금, 현금 지원
법 및 규제	토지구획법, 건축기준, 지역권, 물 규제 및 협정, 재난 리스크 저감을 위한 법, 보험구입을 장려하기 위한 법, 재산권 및 토지보유권의 보장, 보호지역, 해양 보호지역(MPAs), 어획 쿼터, 특허품 및 기술 이전
정부정책 및 프로그램	국가적 및 지역적 적응계획(기후변화의 주류화 포함), 준국가적 및 국지적 적응계획, 도시개선 프로그램, 공공 물관리 프로그램, 재해계획 및 대비, 도시 및 지역수준 계획(통합수자원관리(IWRM)이 포함될 수 있는 계획 부문), 경관 및 유역관리, 통합연안관리(ICZM), 적응적 관리(AM), 생태계 기반 관리(EBM), 지속가능한 산림관리(SFM), 어장관리, 지역사회 기반 적응(CBA)

주 : 이러한 적응방안들은 별개보다는 서로 중첩되는 부분을 고려해야 하며, 많은 경우 적응 계획의 일부로써 동시다발적으로 진행됨. 주어진 예시들은 하나 이상의 분류와 관련될 수 있음.

출처 : IPCC(2014).

한국은 앞에서 살펴본 바와 같이 제도적 기반 하에 국가 ↔ 광역지자체 (17개) ↔ 기초지자체(226개)로 연계되는 적응체제를 구축하였음에도 불구하고 적응대책의 실질적인 성과 부족, 전략적 기반체계가 미흡한 것으로 평가되고 있다(환경부, 2015). 여기서는 본 연구의 사례지역의 적응방안과 관련하여 개선되어야 할 내용과 관련하여 과학적 측면과 제도적 측면에서 주요 사항을 조명하고자 한다.

먼저 기후변화 취약성과 영향을 평가하고 적응대책을 수립하기 위해서는 지역 차원의 기후변화 시나리오가 개발되어야 한다. 연안지역의 취약성과 관련하여서는 국가 차원의 해수면 상승, 미래 태풍해일, 과량기후 시나리오가 구축되어 이를 통한 취약성 평가 및 적응대책 계획이 미비한 실정이다. 한국과 같이 개발사업에 대한 다양한 이해당사자 갈등이 매우 큰 국가에서는 과학적인 토대가 높은 견고한(robust)한 해양기후 시나리오 개발이 조속히 요구되는 실정이다. 다음으로는 기후변화 적응 예산 문제이다. 본 연구에서 사례지역의 경우 일반적으로 지자체(광역, 기초) 적응계획을 통하여 적응계획이 수립될 수가 있다. 그러나 현재의 적응체계에서는 예산을 해당 지자체가 조달하여야 하나 이는 현실적으로 많은 어려움이 상존하고 있다. 따라서 국가 적응대책과 지자체 적응대책의 제도적 연계 외에도 적응 예산도 함께 연계하는 제도적 정비가 필요할 것으로 판단된다.

더불어 본 연구의 적응대책을 시행하는 경우 부처간 상호협력 체계를 구축하는 제도적 주류화(mainstreaming)가 필요하다. 예를 들어 본 연구의 두 번째 사례지역(고창 법장천)의 경우 환경부(하천), 해양수산부(연안습지), 농경지(농림축산식품부), 도로(국토교통부), 주민 및 주거(지자체) 등 다양한 부처가 연계되어 있다. 본 연구에서 제시한 적응대책을 지자체에서 계획·이행하는 경우 이들 부처들의 이해관계가 서로 다를 수 있고 이로 인하여 부처간 장벽(barrier)이 발생할 수 있다. 이로 인하여 많은 국가에서 기후변화 관련 부처를

신설하고 있으며 한국도 최근 의원입법으로 기후변화처를 만드는 법안이 제안되고 있는 실정이다. 이외에도 해수면 상승 및 영향에 대한 국민의 인식 증진 등도 효율적인 적응 정책 수립을 위한 사회적 관심을 줄이는데 큰 역할을 할 것으로 사료된다.

VI. 결론

본 연구는 한국의 전 연안을 대상으로 2100년 해수면 상승에 대한 영향 평가를 통해 취약성을 모니터링하고 지역 현황을 고려한 해수면 상승 적응 방안을 제시하는 것을 목적으로 수행하였다. 본 연구의 목적을 달성하기 위해 첫째, 해수면 상승 시나리오를 선정하여 한국 전 해안을 대상으로 범람 예상 지역을 지도로 산출하였고, 둘째, 산출된 예상 범람도를 주택, 주요 시설물(공공시설, 의료시설, 위험물저장처리시설, 발전시설), 교통시설, 산업단지, 토지피복 현황, 환경영향평가 개발사업 등의 GIS 데이터와 중첩하여 범람 지역에 포함된 주요 사회·경제적 인프라 현황과 예상 피해 인구를 정량적으로 분석하여 연안 취약성을 판단하였으며, 셋째, 범람 예상지역의 토지피복 현황을 바탕으로 사례지역을 선정하여 지역 현황을 고려한 해수면 상승 적응방안을 제시하였다.

해수면 상승 시나리오 구축 및 범람도 산출은 2100년 RCP 8.5 해수면 상승치에 현재의 100년빈도 태풍해일과 조석을 반영하여 한국의 전 연안을 대상으로 해수면 상승 시나리오를 구축하였으며, 국토지리정보원 5M DEM을 이용하여 Bucket_fill 방법으로 2100년 해수면 상승으로 인한 범람 예상지역을 지도로 산출하였다. 범람 예상지역 산출 결과, 2100년 한국 전체의 총 범람 면적은 4,540.7km²(2014년 연속지적도 기준)로 이는 현재 국토면적(100,283.8km², 2014년 지적 통계 기준 국토 면적)의 약 4.5%에 해당한다. 시·도별로는 전남(1,527.2km²), 충남(984.2km²), 전북(828.2km²), 경기(479.3km²), 경남(265.7km²), 인천(253.7km²), 부산(134.6km²), 강원(19.7km²), 경북(19.4km²), 울산(17.7km²), 제주(11.0km²) 순으로 범람 예상지역이 넓게 나타난다. 조차가 크고 고도가 낮아 간석지의 발달이 탁월하고 평야가 발달한 황해안을 중심으로 범람이 내륙 안쪽 저지대까지 넓게 나타나고, 동해안으로 갈수록 범람 예상

지역은 해안선을 따라 선적으로 좁게 나타난다.

범람 예상지역의 주택 개소는 전국의 총 주택 6,473,995개소(단독주택 6,024,867개소, 공동주택 449,128개소)의 약 4.4%에 해당하는 285,762개소(단독주택 273,893개소, 공동주택 11,869개소)의 주택이 범람 피해를 입을 것으로 나타났다. 시·도별로는 전남 지역이 전국 총 범람 예상지역 주택 수의 32.3%에 해당하는 92,242개소(단독주택 90,814개소, 공동주택 1,428개소)의 피해가 예상되어, 전국에서 가장 많은 주택 피해를 입을 것으로 추정된다. 다음으로는 경남 48,348개소, 전북 43,660개소, 충남 25,656개소, 경기 21,036개소, 부산 20,394개소, 인천 15,382개소, 경북 8,805개소, 제주 6,123개소, 울산 2,540개소, 강원 1,575개소 순으로 나타났다.

범람 예상지역의 인구는 전국 인구의 3.6%에 해당하는 약 185만 명의 인구가 범람 피해를 입을 것으로 예상되고, 지역별로는 경기와 인천 지역이 각각 41만 명, 40만 명으로 가장 많고, 다음은 부산으로 26만 명, 전남 23만 명, 경남 20만 명 등으로 예상된다.

범람 예상지역의 주요 시설물은 공공시설, 의료시설, 발전시설 등 공공성이 큰 시설물들과 향후 범람 예상지역에 입지하고 있을 경우 해수에 의한 범람이 발생했을 때 화학물질이나 유독성물질 등의 위험물질이 노출되어 주변 거주지 및 생태계에 위험을 증가시킬 수 있는 위험물저장처리시설 등의 분포를 분석하였다. 전국 주요 시설물의 예상 피해 분석 결과, 전국 주요 시설물 수의 6.9%인 5,699개소가 범람 예상지역에 입지하고 있고, 지역별로는 전남이 전국 범람 예상지역 주요 시설물 수가 1,745개소로 가장 많고, 전체 범람 예상지역 주요 시설물 수의 약 30.6%를 차지한다. 다음으로는 경남 831개소, 전북 751개소, 인천 586개소 등이다. 지자체별 총 주요 시설물 수 대비 범람 예상지역 주요 시설물은 인천이 25.7%로 가장 많고, 전남 18.6%, 부산 12.6%, 전북 10.1% 등을 나타내었다. 범람 예상지역 주요 시설물의 종류는

공공시설이 48.7%로 거의 대부분을 나타내고, 다음으로는 위험물저장처리 시설 36.8%, 의료시설 11.9%, 발전시설 2.5%를 나타내었다. 각 주요 시설물의 범람이 가장 많이 발생하는 지역은 전남으로, 총 범람 공공시설물의 33.5%, 의료시설의 25.6%, 위험물저장처리시설의 26.7%, 발전시설의 54.2%가 모두 전남 지역에서 발생하는 것으로 나타났다.

환경부 중분류 토지피복도를 이용하여 범람 예상지역의 토지피복 현황을 분석한 결과, 전국 범람지역 토지피복 중분류 항목 중 농업지역이 63.1% (2,902.41km²)로 가장 넓은 면적을 나타내고, 다음이 수역으로 12.7% (585.44km²), 시가화건조지역 9.5% (437.67km²), 습지 6.3% (291.09km²), 나지 5.1% (234.17km²), 초지 1.9% (88.44km²), 산림지역 1.4% (63.33km²)를 나타낸다. 시·도별로는 인천, 울산, 경북 지역은 범람 예상지역 내에 시가화건조지역이 차지하는 비율이 다른 지역에 비해 대체로 높게 나타나고, 부산, 경기, 충남, 전북, 전남, 경남 지역 등은 농업지역이 다른 토지피복 항목에 비해 높게 나타난다.

교통시설의 해수면 상승에 따른 범람 예상 피해 분석 결과, 전국 도로연장의 6.4%가 범람되고, 철도연장의 5.7%가 피해를 입을 것으로 예상된다. 시·도별로는 인천의 경우가 지역 내 도로의 35.2%가 피해를 입을 것으로 예상되고, 전남 17.0%, 부산 14.0%, 전북 10.3%로 침수 비율이 높다. 범람 예상지역의 도로밀도는 제주가 5.2로 가장 높고, 울산 3.8, 경북 2.8, 인천 2.6, 경남 2.3 등의 순서로 높게 나타났다. 범람 예상지역 철도는 60% 이상이 전남과 전북 지역의 철도로 분석되었다.

범람 예상지역 산업단지 현황 분석 결과, 총 산업단지 면적의 43.1% (392.2km²)가 범람되는 것으로 나타났다. 범람 예상지역 산업단지 면적의 77.9%는 국가산업단지이고, 12.6%는 농공단지, 그리고 나머지 9.5%가 일반산업단지이다. 환경영향평가개발 사업은 전체의 30.1%에 해당하는 총 1,071건의 사업이 범람 예상

지역에 포함되는 것으로 나타났다.

범람 예상지역의 환경영향평가 개발사업은 전체의 30.1%에 해당하는 총 1,071건의 사업이 범람 예상지역에 포함되어 있는 것으로 나타났다. 범람 예상지역에서의 사업 종류별 건수 기준으로는 ‘도로의 건설’이 22.9%로 가장 많고, 다음으로 ‘항만의 건설’이 15.0%, ‘도시의 개발’ 12.4%, ‘산업입지·산업입지조성’이 11.9%를 차지한다. 면형 사업의 면적 기준으로는 ‘개간·공유수면 매립’이 29%로 가장 넓은 면적이 포함되어 있고, ‘산업입지·산업입지조성’이 25.9%, ‘공항의 건설’ 14.8%, ‘도시의 개발’ 9.8%를 나타내었다. 선형 사업의 길이 기준으로는 ‘도로의 건설’의 49.4%, ‘하천의 이용 및 개발’ 15%, ‘철도의 건설’ 14.2%, ‘에너지 개발’ 9.9% 등이다.

해수면 상승에 대한 적응방안 도출은 인위적인 개발 정도에 따라 해안사구와 사빈의 잘 보전되어 있는 자연습지 지역, 연안 저지대를 매립 및 경지정리를 통해 농경지로 이용되는 지역, 대규모 매립사업 등을 통해 개발되거나 해안 인접지역까지 시가화가 진행된 도시화 지역으로 구분하고 각각 충남 보령시 소항사구 지역, 전북 고창군 범장천 지역, 인천 연수구 지역에 대한 평가를 통해 지역별 적응방안을 제시하였다. 또한 한국의 국가 및 지자체 기후변화 적응대책에서 연안 및 해수면 상승 적응대책을 검토하고 과학적 측면 및 제도적 측면에서의 주요 개선점을 제안하였다.

미래 해수면 상승에 대한 영향평가와 적응대책 수립은 국가의 안보 및 자연과 인간의 공존, 인간시스템에 대한 보호 측면에서 중요한 의미를 가지며, 이에 본 연구를 통한 해수면 상승 피해 예측 영향평가 및 토지이용 특성을 고려한 적응방안에 대한 고민은 기후변화로 인한 자연재해 및 다양한 문제들이 가시화 되고 있는 현 시점에서 향후 지역별 해수면 상승 적응대책 수립에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

[국내 문헌]

- I. D. 화이트, D. N. 모터세드, S. J. 해리슨 지음, 손명원 옮김. 2012, 환경시스템 그리고 자연지리학, 푸른길, p.363.
- 강용균·이병돈, 1985, “한국연안 평균 해면의 년변화”, 한국해양학회지, 20(1), pp.22-30.
- 강원도, 2012, 강원도 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012-2016).
- 강주환 외, 2008, “서남해안의 해수면 상승과 해일고 증가 경향”, 한국해안·해양공학회논문집, 20(1), pp.14-24.
- 강태순 외, 2014, “평형해빈단면이론을 이용한 해수면 상승에 따른 해안후퇴율 산정”, 한국해안·해양공학회논문집, 26(4), pp.197-206.
- 경기도, 2012, 경기도 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012-2016).
- 경상북도, 2012, 경상북도 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012-2016).
- 고창군, 2013, 고창군 기후변화 적응대책 세부시행계획(2013-2017).
- 관계부처합동, 2010, 저탄소 녹색성장 기본법 시행에 따른 국가 기후변화 적응대책 (2011-2015).
- _____, 2015, 제2차 국가 기후변화 적응대책(2016-2020).
- 국립기상연구소, 2011, IPCC 4차 평가보고서 대응을 위한 기후변화 시나리오 보고서.
- 국립해양조사원, 2009, 해수면 변동 정밀분석 및 예측.
- _____, 2010, 해수면 변동 정밀분석 및 예측(2차).

- _____, 2011, 해수면 변동 정밀분석 및 예측(3차).
- _____, 2012, 해수면 변동 정밀분석 및 예측(4차).
- _____, 2013, 해수면 변동 정밀분석 및 예측(5차).
- _____, 2014, 한국형 해수면 변화 분석기법 개발 연구.
- _____, 2015, 해수면 변동 분석 및 예측 연구.
- 국토지리정보원, 2014, 전국 정밀 수치표고모형 제작 용역결과보고서, p.8.
- 금강유역환경청, 2007, 소항사구 생태·경관보전지역 관리기본계획 수립방안 연구, p.74
- 김지숙 외, 2015, “System Dynamics-GIS 모델을 이용한 해수면 상승 침수 영향 분석”, 한국지리정보학회지, 18(2), pp.92-104.
- 김태운·조광우, 2013, “반경험식법을 이용한 미래 해수면 상승 예측”, 해양환경안전학회지, 19(1), pp.1-8.
- 노백호·이창희, 2014, “하구유형에 따른 권역별 하구습지의 분포특성과 시계열 변동 추이 분석”, 대한지리학회지 49(3), p.321-338.
- 박태원·최정호, 2011, “우리나라 산업단지 개발과정의 시계열 분석 및 특성 연구”, 국토연구, 68, pp.99-119.
- 보령시, 2016, 보령시 기후변화 적응대책 세부시행계획.
- 부산광역시, 2012, 부산광역시 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012-2016).
- 서내덕 외, 2000, 우리나라 연안의 해수면 변화, 국립해양조사원.
- 서종철·손명원, 2007, “제주 사계해안의 지형시스템”, 한국지역지리학회지 13(1), pp.32-42.

- 손창배, 1999, “해수면 상승에 의한 해안선의 잠재적 후퇴거리 산정”, 한국해양·해양 공학회지, 11(1), pp.34-40.
- 신영호, 2011, “하구역 퇴적물의 대자율 변화와 기후변화의 연관성”, 한국지역지리학회지 17(5), pp.521-535.
- 연수구, 2013, 연수구 기후변화 적응대책 세부시행계획.
- 오상명 외, 2011, “지구온난화에 의한 북서태평양 및 한반도 근해의 해수면 상승”, 한국해양·해양공학회, 23(3), pp.236-247.
- 울산광역시, 2012, 울산광역시 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012-2016).
- 윤순옥·황상일, 2000, “한국 남동해안 해안단구의 지형형성 mechanism”, 대한지리학회지, 35(1), pp.17-38.
- 윤종주·김상익, 2012, “우리나라 조위관측소의 장기간 해수면 변화 분석”, 한국방재학회논문집, 12(3), pp.299-305.
- 이동욱·부양수, 2011, “해수면 상승 시나리오에 따른 제주연안지역 건설시설물의 영향 분석”, 대한토목학회논문집, 31(2D), pp.267-274.
- 이동주, 2008, “기원전 2000년경 해수면 상승에 대한 고고학적 검토 : 남해안 지역을 중심으로”, 동북아문화연구, 16, pp.57-81.
- 이석우, 1967, “한국연안의 월평균해면의 변화에 대하여”, 한국해양학회지, 2(1, 2), pp.24-33.
- 이수연·최진무, 2011, “해수면 상승에 따른 경제적 손실 분석 -부산시 해운대구를 사례로-”, 대한지리학회지, 46(5), pp.597-607.
- 장동호 외, 2009, “충남 연안 지역에서 기후변화에 의한 해수면 상승에 따른 취약성 평가”, 한국지형학회지, 16(2), pp.1-13.

- 장동호 외, 2009, 남해안 지역의 기후변화에 대한 취약성 평가, 기상청.
- 장동호 외, 2010, 충남 해안지역의 해수면 상승에 따른 기후변화 취약성 평가, 교육과학기술부.
- 전라남도, 2012, 전라남도 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012-2016).
- 제주특별자치도, 2012, 제주특별자치도 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012-2016).
- 조광우 외, 2010, 해수면 상승에 따른 취약성 분석 및 효과적인 대응 정책 수립 II - 연안역 범람 평가 및 대응 방향, 한국환경정책·평가연구원, p.65.
- 조광우 외, 2011, 국가 해수면 상승 사회·경제적 영향평가 I, 한국환경정책·평가연구원.
- 조광우 외, 2012, 국가 해수면 상승 사회·경제적 영향평가 II, 한국환경정책·평가연구원.
- 조광우·김지혜, 2001, 지구온난화에 따른 한반도 주변의 해수면 변화와 그 영향에 관한 연구 I, 한국환경정책·평가연구원.
- 최성길, 1995, “한반도 중부동해안 저위해성단구의 비교와 편년”, 대한지리학회지 30(2), pp.103-119.
- 충청남도, 2012, 충청남도 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012-2016).
- 하경자 외, 2006, “복합위성자료(Topex/Poseidon, Jason-1, ERS, Envisat)를 이용한 한반도 주변해역에서의 해수면 고도 변화와 해수면 온도의 상관성 연구”, 대한원격탐사학회지, 22(6), pp.519-531.
- 한국교통연구원 국가교통DB센터, 2009, 2010년도 교통네트워크 GIS DB 설명자료.
- 해양수산부, 2015, 연안기본조사.
- 홍성기 외, 2013, “부산 영도 해안의 해수면 상승에 따른 침수대책 연구”, 한국항해항만학회지, 37(4), pp.409-418.

- 환경부, 1997, 제주도 해안지역의 자연생태조사보고서.
- _____, 2012, 수생태계 훼손하구 건강성 개선을 위한 시범복원 대상하구 선정 연구.
- _____, 2014, 법장천·중천천 하구 생태복원 시범사업 타당성 조사 및 기본계획 수립.
- _____, 2014, 지자체 해수면 상승 영향평가 및 적응전략 개발.
- 환경부훈령 제1036호, 「토지피복지도 작성 지침」.
- 황도현 외, 2016, “위성고도계 자료를 활용한 한반도 해수면 높이 변동 연구”, 한국전자통신학회논문집, 11(3), pp.325-330.
- 황상일, 1998, “일산충적평야의 홀로세 퇴적환경변화와 해면변동”, 대한지리학회지, 33(2), pp.143-163.

[해외 문헌]

- 日本 環境省, 2014, S-8 地球温暖化 「日本への影響」
- Australian Government Department of Climate Change, 2009, *Climate Change Risks to Australia's Coast*.
- Bird, E. C. F., 1993, *Submerging Coast: The Effects of a Rising Sea Level on Coastal Environments*, John Wiley and Sons.
- Blankespoor, B. et al., 2014, Sea-Level Rise and Coastal Wetlands, *AMBIO*, 43, pp.996-1005.
- British Columbia Ministry of Environment, 2013, *Sea Level Rise Adaptation Primer: A Toolkit to Build Adaptive capacity on Canada's South Coasts*.
- Brunn, P., 1962, Sea Level Rise as a Cause of Erosion, *Journal of Waterways*

and Harbors Division—ASCE, 88, pp.117–130.

California Energy Commission, 2012, Coastal Flooding–Potential Projections: 2000–2100.

_____, 2012, *The Impacts of sea level rise on the San Francisco Bay*.

IPCC CZMS, 1990, *Strategies for Adaptation to Sea–level rise*. Report of the Coastal Zone Management Subgroup, Response Strategies Working Group of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC, 2001, *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

_____, 2007, *Climate Change 2007: Synthesis Report*, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

_____, 2013, *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

_____, 2014, *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Kang, S. K. et al., 2005, Patterns of recent sea level rise in the East/Japan Sea from satellite altimetry and in situ data, *Journal of Geophysical Research: Oceans(1978–2012)*, 110(C7), C07002.

Mimura, N., and E. Kawaguchi, 1996, Responses of Coastal Topography to

Sea-Level Rise, *Proc. of 25th ICGE*, pp.1349-1360.

Nicholls et al., 1999, Increasing Flood Risk and Wetland Losses due to Sea-Level Rise: Regional and Global Analysis, *Global Environmental Change*, 9, S69-S87.

Tol, R. S. J. et al., 2008, Towards successful adaptation to sea level rise along Europe' s coasts, *Journal of Coastal Research*, 24(2), pp.432-442.

U. S. Climate Change Science Program Synthesis and Assessment Product 4.1., 2009, *Coastal Sensitivity to Sea-Level Rise: A Focus on the Mid-Atlantic Region*.

van Vuuren, D. P. et al., 2011, The representative concentration pathways: an overview, *Climate Change*, 109, pp.5-31.

Vermeer, M. and S. Rahmstorf, 2009, Global sea level linked to global temperature, *PNAS*, 106(51), pp.21527-21532.

[인터넷 및 보도자료]

NAO.99b Tidal Prediction System(http://www.miz.nao.ac.jp/staffs/nao99/index_En.html).

국가교통DB센터(<http://www.ktddb.go.kr/>).

국가지표체계(<http://www.index.go.kr>).

국가통계포털(KOSIS) (<http://kosis.kr>).

국민재난안전포털(<http://www.safekorea.go.kr>), 「국민안전처, 2016년 11월 재난안전 종합상황 분석 및 전망」.

국토지리정보원(<http://www.ngii.go.kr>).

국토해양부 연안포탈(<http://www.coast.kr>).

기상청(<http://www.kma.go.kr>).

다음지도(<http://map.daum.net>).

미래 기상자원지도(<http://www.greenmap.go.kr>).

산업입지정보시스템(<http://www.industryland.or.kr>).

종로도서관 고문헌 원문검색 서비스(<http://jongnolib.koreanhistory.or.kr>).

환경영향평가정보지원시스템(<http://www.eiass.go.kr>).

국립해양조사원 보도자료, 2016.10.14., 10월 중순, 올해 최대 해수면 높이와 조차 발생
-연안 저지대 침수 대비 및 해양활동 시 고립주의-

국립해양조사원 보도자료, 2016.11.11., 11월 중순 ‘슈퍼문’ , 해수면 높이 상승에
주의해야 -저지대 해안 침수 대비 및 해양활동 시 고립주의-

국립해양조사원 보도자료, 2016.12.22., 우리나라 평균 해수면 상승 속도, 작년보다
다소 빨라져 -국립해양조사원, 해수면 상승률 산정 및 상승 원인 일부 규명-

국토해양부 보도자료, 2009.02.17., 갯벌 복원을 통한 녹색미래가치 창출 -국토부, 국립
중앙박물관에서 「갯벌복원종합계획(안)」 공청회 개최-

연합뉴스, 2016.12.14., ‘해일피해’ 해운대 마린시티 790억 들여 방파제 건설.

해양수산부 보도자료, 2015.08.25., 갯벌 복원을 통한 미래자원화 추진 -해수부, 25일
‘갯벌 복원을 통한 자원화 종합계획’ 발표...갯벌복원 확대, 생태관광 활성화, 친환경
갯벌어업 육성-

환경부 보도자료, 2005.10.26., 보령시 소항사구 생태계보전지역 지정.

ABSTRACT

A Study on the Assessment of the Impact of Rising
Sea Levels Caused Climate Change on Flood-prone
area and Adaptation Strategy

Lee, Hae Mi

Major on Geomorphic Geography

Graduate school

Sungshin Women's University

(Supervised by Professor Park, Kyoung)

This study aimed to calculate flood-prone coastal areas in Korea caused by rising sea levels under the RCP 8.5 emissions scenario, and to quantitatively assess the impact of rising sea levels on various social and economic infrastructure, land coverage status, and expected damage to the population. Based on the results of the analysis on the land coverage status of inundation areas, case areas were selected and measures to adapt to rising sea levels in consideration of regional characteristics were suggested.

The results of the assessment of the impact of rising sea levels on coastal areas in Korea showed that the social and economic vulnerability of the areas was high. Under the flood scenario, 4.5%

of Korean territory was expected to be flooded by rising sea levels, and by city and province, Jeonnam was found to have the largest flooded area(1,527.2km²), followed by Chungnam(984.2km²), Jeonbuk(828.2km²), Gyeonggi(479.3km²), Gyeongnam(265.7km²), Incheon(253.7km²) and Busan(134.6km²).

The number of houses located in the flood-prone areas was 285,762(around 4.4% of the total houses), and 3.6%(1.8 million) of the total population were expected to be damaged. By region, Gyeonggi and Incheon were found to have the highest flood-prone population—410,000 and 400,000 respectively—followed by Busan(260,000), Jeonbuk(230,000) and Gyeongnam(200,000).

In terms of the damage to infrastructure, 6.9% of the national key infrastructure was located in the flood-prone areas. Among them, public facilities accounted for the largest share(48.7%) of the key infrastructure in the areas, followed by hazardous materials storage and handling facilities(36.8%), medical facilities(11.9%), and power generation facilities(2.5%). Most of the key infrastructure was located in Jeonnam. Around 33.5% of the public facilities; 25.6% of the medical facilities; 26.7% of the hazardous storage and handling facilities; and 54.2% of the power generation facilities located in the total flood-prone areas were found to be placed in the coastal area in Jeonnam.

The results of the analysis on the land coverage status in the flood-prone areas showed that among the sub-categories of land coverage, agricultural land areas accounted for the largest(2,902.41

km², 63.1%), followed by waters(585.44km², 12.7%), urban dry land areas(437.67km², 9.5%), wetlands(291.09km², 6.3%), bare land areas(234.17km², 5.1%), grass land areas(88.44km², 1.9%), and forests(63.33km², 1.4%).

In terms of the damage to the transportation infrastructure, 6.4% of the total national road length, and 5.7% of the total railway length were found to be located in the expected flood-prone areas.

The results of the analysis on the industrial complexes showed that 43.1%(392.2km²) of the total industrial complexes were located in the flood-prone areas, and that 77.9% was national industrial complexes; 12.6%, agricultural industrial complexes; and 9.5%, general industrial complexes. It was found that 30.1%(1,071 projects) of the total development projects of the environmental impact assessment were located in flood-prone coastal areas.

To develop measures to adapt to rising sea levels, the expected flood-prone areas were divided, depending on the level of artificial development, into natural wetlands where coastal dunes and sand beaches were well preserved; agricultural lands that were developed by reclaiming or readjusting low-lying coastal areas; and urban areas that were developed through large-scale reclamation projects or urbanized up to areas close to coastlines. For each of the divided groups, one case area was selected: Sohwang Sand Dune in Boryeong, Chungnam; Beopjangcheon in Gochang, Jeonbuk; and Yeonsu-gu, in Incheon. Based on the results of the analysis on the characteristics of the case areas, adaptation measures were suggested by region.

The assessment of the impact of rising sea levels in the future, and the development of adaptation measures have significant implications in terms of national security, the coexistence of human and nature, and the protection of the human system. Against this backdrop, the approach used in this study to assess the damage caused by rising sea levels, and to develop adaptation measures in consideration of the characteristics of land uses can be utilized in developing regional adaptation measures to future rising sea levels at this point of time when a wide range of issues caused by climate change such as disasters are emerging.