



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](#)

碩士學位論文

해수면 상승 시나리오에 따른
제주연안지역 건설시설물의 영향 분석

濟州大學校 大學院

土木海洋工學科

夫 陽 守

2011年 2月

해수면 상승 시나리오에 따른
제주연안지역 건설시설물의 영향 분석

指導教授 李 東 昱

夫 陽 守

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2011年 2月

夫陽守의 工學 碩士學位 論文으로 認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2011年 2月

**Analysis on Effect of Construction
Facilities depending on a Scenario of Sea
Level Rise around Jeju Coastal Area**

Yang Su Bu

(Supervised by Professor Dong Wook Lee)

**A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for
the degree of Master of Engineering**

2011. 2

This thesis has been examined and approved by

Thesis director, Byung-Gul Lee, Prof. of Civil & Ocean Engineering

Thesis director, Sang-Jin Kim, Prof. of Civil & Ocean Engineering

Thesis director, Dong-Wook Lee, Prof. of Civil & Ocean Engineering

February. 2011

Department of Civil & Ocean Engineering

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목 차	i
표 목 차	iii
그림 목차	iv
Summary	vi
I. 서 론	1
1.1 연구 배경 및 목적	1
1.2 연구 절차	2
II. 기존 연구 동향	4
III. 기후변화에 따른 영향분석	7
3.1 기후변화와 건설산업	7
1) 기후변화가 건설현장에 미치는 영향	7
2) 기후변화가 건설구조물에 미치는 영향	8
3) 건설분야가 기후변화에 미치는 영향	9
3.2 해수면 상승 요인	10
3.3 해수면 상승 시나리오	11
1) 해수면 상승 현황 및 예측	11
2) 조석	14
3) 해일	15
4) 해수면 상승 시나리오	17

IV. 해수면 상승에 따른 침수예상지역 영향 분석	19
4.1 수치표고모델 기본정보	19
4.2 침수 영향 분석	20
1) 침수면적	20
2) 침수도로	29
3) 침수시설물	29
V. 결론 및 대응방안	34
VI. REFERENCES	36

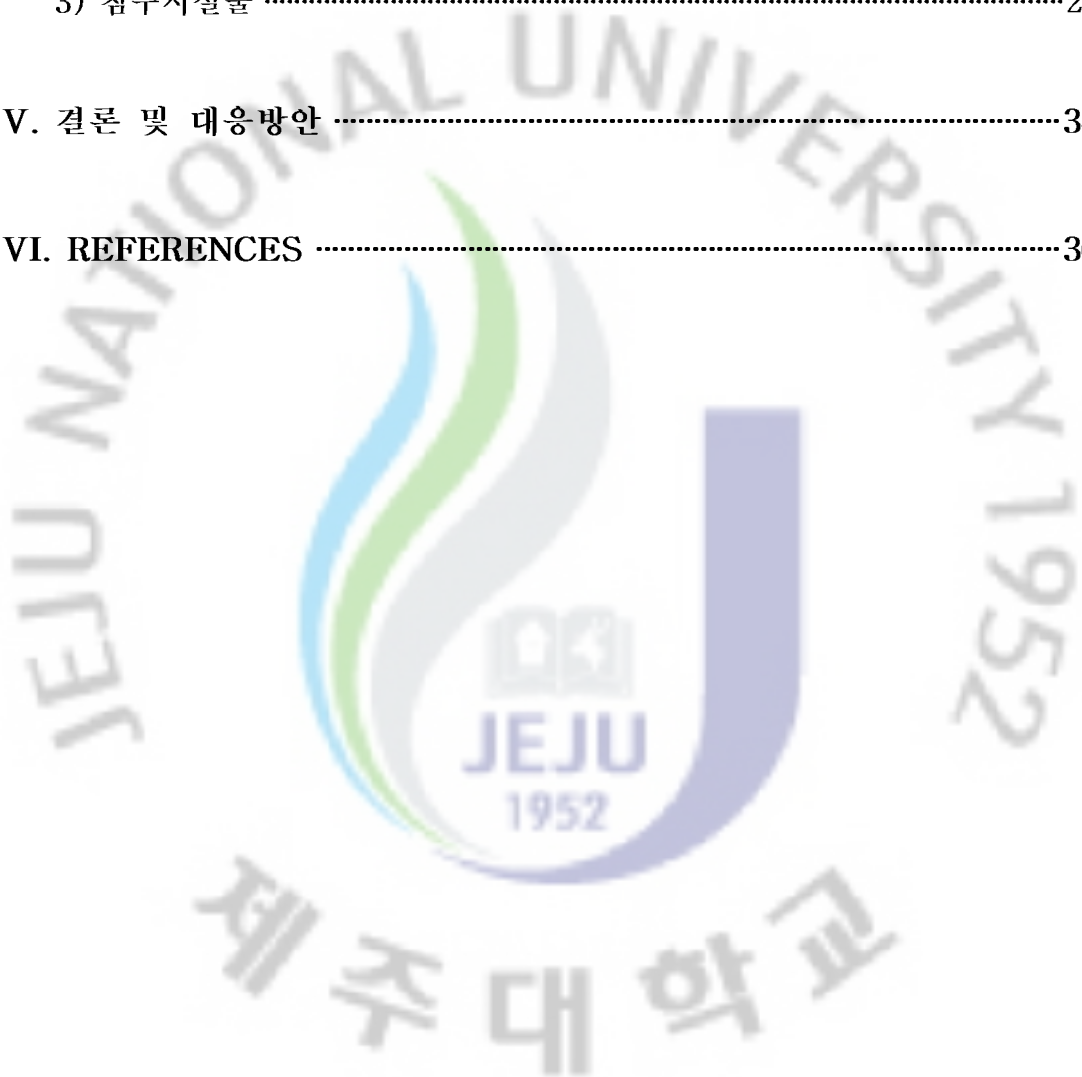


표 목 차

표 3.1	21세기말 지구평균 지표온난화와 해수면 상승 전망	12
표 3.2	제주특별자치도 검조소	14
표 3.3	제주특별자치도 기준조석	15
표 3.4	가상태풍에 따른 해일고	17
표 3.5	해수면상승 시나리오	18
표 4.1	해수면상승 시나리오에 따른 행정구역별 침수면적(m ²)	25
표 4.2	해수면상승 시나리오별 도로침수 길이(m)	28
표 4.3	해수면 상승시나리오별 행정구역 침수시설물 영향분석	30

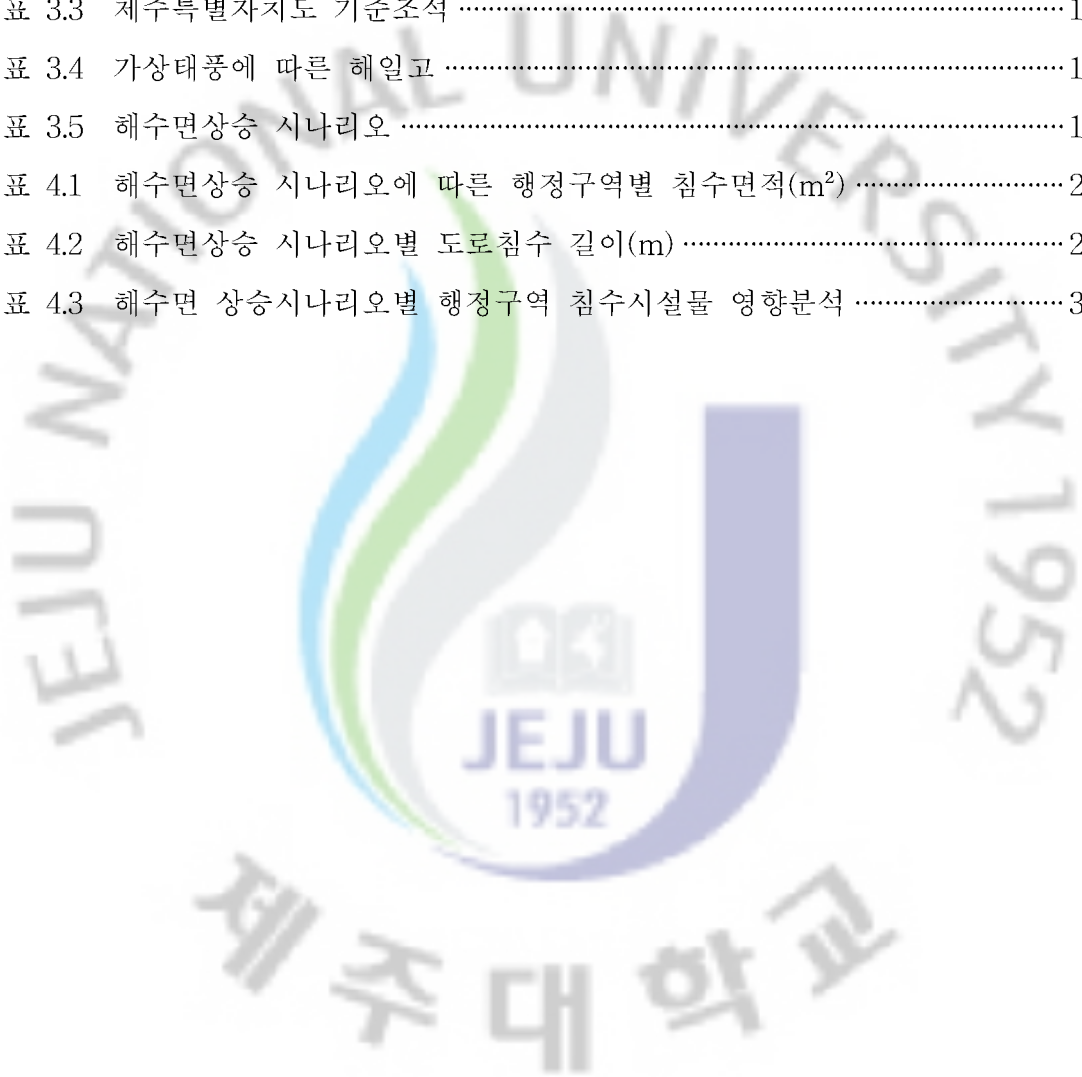


그림 목 차

그림 1.1	탐동 월파 피해사례	2
그림 1.2	서귀포 용머리해안 침수사례	2
그림 3.1	제주 및 서귀포 해수면 상승 현황	13
그림 3.2	제주시 해수면상승 시나리오	18
그림 3.3	서귀포시 해수면상승 시나리오	19
그림 4.1	해안선과 5m등고선의 수치표고모델	20
그림 4.2	해수면 상승 시나리오별 침수 등고선	21
그림 4.3	해수면 상승시나리오별 제주특별자치도 시군구 침수면적	22
그림 4.4	제주특별자치도 수치표고모델 경사도분석	23
그림 4.5	A지역 경사도분석 (좌 : 제주시 조천읍, 우 : 제주시 구좌읍)	23
그림 4.6	B지역 경사도분석 (좌 : 서귀포시 안덕면, 우 : 서귀포시)	24
그림 4.7	제주특별자치도 행정구역도	24
그림 4.8	해수면 상승 시나리오별 침수예상지역	25
그림 4.9	A(제주시 건입동 일부지역)	26
그림 4.10	B(제주시 조천읍 일부지역)	26
그림 4.11	C(제주시 구좌읍 일부지역)	26
그림 4.12	D(제주시 구좌읍 일부지역)	26
그림 4.13	E(서귀포시 성산읍 일부지역)	27
그림 4.14	F(서귀포시 표선면 일부지역)	27
그림 4.15	G(서귀포시 대정읍 일부지역)	27
그림 4.16	H(서귀포시 한경면 일부지역)	27
그림 4.17	I(제주시 한림읍 일부지역)	27
그림 4.18	J(제주시 이호동 일부지역)	27
그림 4.19	해수면 상승 시나리오별 침수시설물 수	29
그림 4.20	해수면 상승 시나리오별 침수시설물 면적	29
그림 4.21	해수면 상승 시나리오에 따른 시설물용도별 침수영향	30

그림 4.22	2040	시나리오 : 제주시 구좌읍일부지역 건설시설물 침수현황	32
그림 4.23	2070	시나리오 : 제주시 구좌읍일부지역 건설시설물 침수현황	32
그림 4.24	2100b	시나리오 : 제주시 구좌읍일부지역 건설시설물 침수현황	32
그림 4.25	2040	시나리오 : 제주시 화북동지역 건설시설물 침수현황	33
그림 4.26	2070	시나리오 : 제주시 화북동지역 건설시설물 침수현황	33
그림 4.27	2100b	시나리오 : 제주시 화북동지역 건설시설물 침수현황	33



Summary

In this study, around Jeju area where climatic change is most considerably appearing in Han Peninsula, we prepared sea level rise height caused by sea level rise (Seogwipo 5.6 mm/yr, Jeju 5.3 mm/yr) and a sea level rise scenario for the case when an enlarged typhoon attacks during high water ordinary spring tide, and evaluated flooding area and effect on road and facility using Digital Elevation Model and GIS Spatial Analysis Technique. As a result, the flooding areas of Jeju-si and Seogwipo-si were shown to be 1.93 km² and 0.97 km² in 2040, 2.68 km² and 1.39 km² in 2070, and maximum 3.53 km², 1.84 km² in 2100 respectively. As the slope at the coastal area in Seogwipo-si is comparatively steeper than that in Jeju-si, the result of the study showed the effect of flooding area was less on Seogwipo-si. As to the effect of flooding on each type of road, the local roads (Gun-do) distributed over the coastal area were shown to be mostly affected and the total length to be flooded was shown to be 35.2 km in 2040, 39.8 km in 2070, and 43.1 km in 2100b. As local road (Jibang-do) and local road (Si-do) are mainly distributed over inland area, the effect of flooding caused by sea level rise on these roads is shown to be small. The areas of facilities to be flooded in accordance with the sea level rise scenario were shown to be 321,017 m² in 2040, 496,256 m² in 2070, and 484,427 m² in 2100b and about 82 % of the facilities of Jeju-do was shown to be the facility which belong to Jeju-si. Most of the facilities to be flooded were shown to be individual houses and what followed were warehouse facilities and fish farming facilities in order. Especially, as there is a possibility for casualties to occur due to disaster in Hwabuk-dong because the effect of flooding on individual houses in this area was shown to be high, we judge that it is required to analyze the effect and construct additional shore protection facility considering the effect of

breakwater and revetment. Also, the main facilities to be flooded are shown to be Udo Harbor, Seongsanpo Harbor and Jeju Port and we think that it will considerably affect logistic and marine activities.

This study is thought to be a basic data which can be utilized for establishment of strategic coping measures and policies of government affiliated organizations through analysis of effect of sea level rise on construction field.



I. 서론

1.1. 연구 배경 및 목적

해수면 상승은 인간사회에 악 영향을 줄 수 있는 요소 중의 하나로서 평가되고 있으며, 건설 분야에서도 이와 무관하지 않다. 해수면 상승은 사회기반시설인 항만, 연안도로, 공항, 교량, 빌딩 등과 연안산업인 석유 및 석유화학공장, 그리고 서비스업인 관광에 대한 위협으로 나타나고 있으며, 토지 및 시설물의 노후화로 인한 재산 가치 하락과 해수면 상승에 따른 보호 비용 증대, 구조물의 급속한 노후화에 따른 유지관리 비용의 증가뿐만 아니라 정치적 제도적 불안 및 사회 동요 등을 유발할 수 있다(강운산, 2004).

최근 IPCC(기후변화에 관한 정부 간 패널) 제4차 평가보고서에 따르면 금세기 말 지구 평균기온은 최대 6.4℃, 해수면은 59cm 상승할 것으로 전망하고 있다. 해수면 상승 관측기록에 의하면 지난 100년(1906~2005)간의 전 지구 평균온도는 0.74(0.56~0.9)℃가 상승한 것으로 나타났고, 지구의 평균 해수면은 1961년 이후 검조기록에 의하면 매년 1.8 ± 0.5 mm/yr 상승, 1993년 이후 인공위성 고도계 관측을 통한 평균 해수면 상승은 3.1 ± 0.7 mm/yr으로 보고되었다.

특히, 제주지역은 한반도에서 기후변화가 가장 현저하게 나타나는 지역으로, 높은 해수면 상승(서귀포 5.6 mm/yr, 제주 5.3 mm/yr로 전 지구 해수면 상승 보다 3배 빠르게 상승)으로 인하여, 대표적인 관광지인 용머리 해안 산책로가 침수되는 사례가 발생되고 있다. 또한 제주도는 지리적 특성상 태풍의 이동궤목에 위치하여 태풍이 북상하면서 바람 및 해일에 직접적인 영향을 받을 가능성이 높으며, 특히 이상기후로 인해 상륙하는 태풍의 강도가 점차 강해지고 있어 해수면 상승에 취약한 지대라는 것을 직접적으로 보여주고 있다.



출처 : 연합뉴스 기사(2009.11.11)

그림 1.1 탑동 월파 피해사례



출처 : 경향신문 기사(2008.04.08)

그림 1.2 서귀포 용머리해안 침수사례

해수면 상승은 해수의 범람으로 이어지기 때문에, 연안지역의 침수를 유발할 가능성이 높다. 해수면 상승에 영향을 미칠 수 있는 대조평균고조위시, 기후변화로 대형화된 태풍이 내습한다면 해수면 높이는 일시적으로 상당히 증가될 것으로 예상된다. 이러한 복합적인 요인에 의한 해수면 상승은 미래에 제주 연안지역의 건설시설물에 대하여 큰 영향을 미칠 수 있으므로, 과학적인 예측을 통한 영향 분석을 제시하는 것이 필수적으로 생각된다. 이로 인해, 사전 재해를 예방할 수 있을 뿐만 아니라, 피해 정도의 정량적인 예측이 가능할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 기후변화에 민감하고 환경적 특성이 가장 잘 나타나는 제주지역을 중심으로 기후변화에 따른 해수면 상승에 대한 전략을 수립하고자 한다. 연안지역 주요 시설물의 효율적인 관리 및 개발이 가능하게 하는 기초자료를 제시하고자 한다.

1.2. 연구 절차

본 연구는 해수면 상승에 따른 제주 연안지역의 잠재적인 위험정도를 파악하기 위하여 해수면 상승 요인에 따른 시나리오를 작성하고, 침수면적, 도로 및 시설물의 영향정도를 분석하여 제주지역 연안개발에 장기적인 전략을 제시하고자

다음과 같은 방법으로 연구를 진행하였다.

- 1) 기존의 문헌자료를 활용하여 기후변화 정책 및 현황을 고찰하고, 기후변화와 건설분야의 관계에 따른 영향 요인을 분석하였다.
- 2) 기존 연구결과를 운용하여 기후변화에 따른 해수면 상승 시나리오를 작성하였다. 해수면 상승 시나리오의 주요 요인인, 제주특별자치도 검조소 자료를 이용한 해수면 상승과 대조평균고조위시 대형화된 태풍의 내습으로 발생한 해일고의 영향을 분석하였다.
- 3) 제주도 3차원 수치표고모델(DEM)을 생성하여 시나리오별 산출된 침수높이에 따른 등고선을 작성하고, GIS 공간분석기법을 활용하여 해수면 범람 고도에 따른 침수 예상지역을 산정하였고, 예상지역에 속하는 도로 및 시설물 정보를 추출하였다.
- 4) 도출된 결과를 분석하여 기후변화에 따른 제주특별자치도의 효율적, 장기적인 전략 및 대응방안을 제안하였다.

II. 기존 연구 동향

기후변화에 따른 건설분야의 영향분석에 관한 연구 동향으로는, 설계기준의 개정 및 건설시설물의 손괴에 따른 책임소재에 관한 정책연구, 건설공사기간의 연장 및 지연에 따른 예측과 관련된 연구, 기후변화에 따른 건설생산성 관련연구, 건축물에 대한 친환경인증제도와 관련된 연구, 온실가스 저감에 대한 연구 등 활발히 진행되고 있다(제주발전연구원, 2009). 특히, 기후변화에 관련된 연구로서 가장 많은 관심이 집중되고 있는 분야인 재해 및 재난에 따른 예측과 피해 및 복구비용을 산정하는 분야이며, 그 중 해수면 상승에 따른 영향분석에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

조광우 등(2001, 2002)은 지구 온난화에 따른 한반도 주변의 변화와 그 영향 분석에 관한 기초연구를 수행하였다. 21세기 지구의 온난화로 일어나는 해수면 상승에 따른 범람 면적과 범람 인구를 선정하기 위하여, IPCC에서 제공하는 SRES의 배출 시나리오에 따라 해수면 상승을 예측하고, 더불어 고조시 태풍해일에 의한 해수면 상승효과를 고려하여 14개 시나리오를 산출하였다. 그 결과, 조석 및 태풍 해일을 고려한 해수면 1m 상승 시, 한반도 최대 범람 가능 면적은 약 2,643km²로서 한반도 전체 면적의 약 1.2%, 범람 가능 인구는 약 1,255,000명으로 한반도 전체 인구의 약 2.6%가 취약함을 조사하였다. 이에 따라, 해수면 상승에 따른 기본 전략으로 온실가스 감축과 적응 두 가지 면에서 동시에 접근이 필요하다고 제시하였다. 특히, 우리나라와 같은 지역적인 차원에서의 가장 중요한 대응 노력은 계획적인 적응 전략에 초점을 맞추어야하며 적응전략 개발 및 수립은 저감 방안을 보완하는 필수적인 요소로 판단하였다.

이한수(2003)는 조광우 연구와 유사하지만 지구온난화로 인하여 가속화된 해수면 상승과 약 기상 상황(최고극조위시 태풍내습)하의 조건을 통해 각각 기존의 GCM 모델의 운용결과를 활용하여 한반도 연안의 취약성 및 범람역을 산정하고 이에 따른 침수면적 및 피해 가능 인구를 제시하였다.

장동호와 김장수(2009)는 SRES 시나리오별 해수면 상승(0.2m, 0.4m, 0.5m, 0.6m)과 과거 충남지역에서 침수 피해가 발생했던 백중사리(2002년 8월 23일:1m, 2005년 8월 21일:2m)때 해수면 상승을 감안하여 해수면 상승시나리오를 작성하였다. 원격탐사를 이용하여 충남 연안지역의 토지피복 현황을 파악하고 해수면 상승에 따른 토지피복별 침수예상 면적 및 현장조사를 바탕으로 연안 침식 취약 지역을 추출하였다.

이와 같이 해수면 상승 시나리오를 작성하여 예측 및 영향을 분석하고 있으며, 해수면 상승에 영향요인 중 태풍발생에 따른 해일고를 예측하기 위하여 대형화된 가상의 태풍을 생성하고 이에 따른 영향을 분석하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

한종규 등(2009)은 지구 온난화 현상으로 인해 기상현상이 변화하고 있는 상황에서 태풍 Maemi의 이동경로에 태풍 Maemi를 비롯한, Vera, Durian, Katrina의 특성을 갖는 슈퍼태풍이 내습한다는 가정으로 해수면 상승고를 산출하고, 항공 LiDAR 자료를 기반으로 GIS 공간분석기술을 이용하여 해운대 해수욕장 인근 도심지역의 침수등고, 침수면적 및 시설물피해액을 추정하였다. 그 결과 최대 해수면 상승고 400.1cm(Katrina), 평균침수등고는 263cm로서 침수면적이 태풍 Maemi에 비해 Katrina가 약 7배가 넓은 지역이 침수되는 것으로 분석되었으며, 또한 시설물에 대한 침수피해액 산정 결과를 보면 Katrina에 의한 피해는 Maemi의 약 40배에 이르는 1,500억원으로 추산하였다.

오상명(2010)은 IPCC 4차보고서의 기후 예측 모델 결과를 이용하여 미래 해양·대기 변동을 모두 고려한 온난화 환경에서의 태풍과 폭풍해일의 강도변화를 모의하였다. 온난화로 인한 태풍의 강도 비교를 위하여 과거태풍 MAEMI(0314)와 RUSA(0215)에 대하여, 기준(Control)실험과 SST(Sea Surface Temperature)변화를 고려한(Exp.1)실험과 해양·대기 변수를 고려한(Exp.2) 실험으로 나누어 태풍의 강도 비교, 폭풍해일 모델을 수행하여 과거 한반도 영향을 미친 태풍의

폭풍해일과 온난화로 인한 폭풍해일의 해일고 차이를 비교하였다. 그 결과, 태풍 RUSA나 MAEMI가 온난화 환경에서 다시 한반도로 상륙할 경우, 태풍의 경로상의 SST(Sea Surface Temperature) 상승으로 인해 태풍이 더욱 강화되어 우리나라 연안에서 해일의 강도가 크게 상승 될 것으로 예상하였다. 특히, 제주지역 태풍 RUSA의 모의결과 최대 79cm의 폭풍해일고가 발생하였다.

본 연구에서는 해수면 상승이 가장 취약한 제주도를 중심으로 해수면 상승에 따른 건설분야의 영향을 분석하기 위하여, 침수 예상지역에 속하는 도로 및 시설물의 잠재적인 위험정도를 판단하고자 한다.



III. 기후변화에 따른 영향분석

3.1. 기후변화와 건설 산업

건설 산업은 특정한 개개의 이익이나 사용을 목적으로 만들어지는 것이 아니라 불특정 다수의 생활을 편리하게 하고, 쾌적하고 안전하게 할 시설물을 구축하는 것을 목표로 하고 있다. 또한, 시설물을 최적의 성능을 갖도록 함과 동시에 지진이나 태풍 등 각종 재해로부터 안전하도록 설계하고 시공 및 유지관리하기 위한 기술을 다루는 산업이다(이철규 외, 2006).

1) 기후변화가 건설현장에 미치는 영향

건설공사는 현장에서 생산이 이루어지기 때문에, 지형, 지질, 기후, 토지사정 등 자연 조건에 영향을 많이 받는 특징이 있으며, 최근 들어 공사 목적물이 시공되는 현장의 경우 자연 조건 뿐만 아니라 기후 조건에 많은 영향을 받는 경향이 있다.

기후변화로 인한 폭염일수, 폭한일수, 강우일수의 증가 및 현장 침수는 작업 불능일수의 증가로 이어질 수밖에 없으며, 결국 일반관리비의 증가의 요인이 된다. 이로 인해, 공사비 증가 및 공기지연 문제가 발생하여 시공자와 발주자의 분쟁 발생가능성이 증가될 수 있으므로, 기후변화에 따른 공사 불능일의 예측을 통해, 공사비 산정에 반영할 필요가 있다(제주발전연구원, 2009).

강수량의 증가는 대기의 수분을 증가시켜 금속자재 부식을 초래하여 건축물의 구조에 영향을 미치며, 강우, 폭풍우 등에 의한 습도 상승으로 인한 미생물 번식, 자재의 변형이 예상되기 때문에, 기후변화에 민감한 건설 자재를 보관 및 관리하는 추가적인 작업이 요구될 것으로 생각된다. 또한, 강우량의 증가는 건설현장의 지질 조건의 변화를 초래하기 때문에 건설현장의 장비의 변화, 작업수행 방법 및 건설인부의 능률저하 등의 문제가 발생한다.

또한, 건설현장의 안전에도 지대한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 기후변화로 인해 건설현장의 높은 습도와 풍속의 증가로 현장 사고의 발생 가능성이 높아질 수 있으며, 특히 하절기 온도 상승으로 현장의 비산먼지의 발생 가능성 증가, 특정 화학물질의 폭발 가능성 증가, 자재의 경우 기온 상승으로 시멘트 자재의 경화를 촉진시켜 현장에서 타설에 소용되는 작업시간을 단축시켜야 하는 문제점 발생한다(강운산, 2004).

2) 기후변화가 건설구조물에 미치는 영향

구조물 시공 시 품질이 좋지 않은 콘크리트를 사용하거나, 설계가 부실한 구조에서는 철근콘크리트 부식, 습기 피해, 황산염의 영향 등의 문제가 발생한다. 도로의 결빙 시 제설작업에 사용되는 염화물 및 대기의 이산화탄소 농도의 증가는 콘크리트의 산화를 촉진시킬 뿐만 아니라 콘크리트의 균열을 유발한다. 기후변화는 내구성 저하를 촉진 하는 매개체 역할 하기 때문에, 구조물의 노후화에 따른 유지보수 비용이 기하급수적으로 증가할 것으로 예상되며, 건설 구조물의 수명 단축에 따라 단순한 유지보수의 차원을 넘어서 재시공해야 하는 사례가 증가할 것으로 예상된다.

자연재해 증가는 기후변화에 가장 직접적으로 인지되는 요인으로 구조물에도 미치는 영향이 크다. 태풍의 풍속증가는 구조물의 풍하중에 영향을 미치며, 집중호우의 빈번으로 인한 홍수 피해 등에 따라 저수시설 및 제방시설 등의 설계기준의 변화가 요구된다. 또한 자연재해로 인해 교량, 도로, 댐, 시설물 등의 붕괴가 발생하여 생명과 재산 피해가 발생하였을 경우 이에 대한 책임의 부담 문제가 발생하게 되며, 적정공사의 수행 여부 및 부실공사에 대한 책임 논란이 증가됨이 예상되어, 기후변화로 인한 피해의 면책 범위 및 조항을 명확하게 할 필요가 있다(제주발전연구원, 2009).

특히, 해수면 상승은 연안지역의 사회기반시설인 항구, 도로, 철도, 빌딩 등과 연안산업의 침수에 대한 직접적인 피해뿐만 아니라, 토지 및 시설물 재산 가치 하락과 해수면 상승 영향에 대한 보호 비용 증대, 보험료의 증대, 정치적 제도

적 불안 및 사회 동요(강운산, 2004) 등 2차적인 피해에 대한 대비가 필요한 실정이다. 미 해군에서 집계한 자료에 따르면 기후변화에 따른 해군기지 주요 시설물의 이전 및 재시공에 따르는 비용으로 \$103Billion가 소요되며, 약 54,590 여개의 시설물의 이전 및 재시공이 불가피한 것으로 추정하고 있다. 일본의 경우, 해수면 상승으로 인하여 부두 접안시설을 높이고 수문 및 배수시설 등을 설치하는 것이 필요한 것으로 조사되었으며, Kitajima 등 (1993)은 1 m 해수면 상승에 대한 일본의 인프라 시설의 유지 보호를 위하여 11조 5천 엔의 비용이 드는 것으로 추산하였으며, Mimura 등 (1993)은 전 일본 연안을 보호하기 위한 비용은 20조 엔 이상이 드는 것으로 추산하였다. 이와 같이, 해수면 상승으로 인해 천문학적인 재해복구비용이 발생할 것으로 예상되며, 장기적인 관점에서 기후변화 및 자연재해 대한 설계기준 변화 및 재시공 검토가 필요한 실정이다. 또한, 구조물 시공 시 기후변화를 고려한 설계기준의 강화가 요구된다.

3) 건설분야가 기후변화에 미치는 영향

기후변화의 원인으로 지목되고 있는 온실가스 환경오염물질에 대한 규제 움직임이 범지구적 차원에서 일어나고 있으며, 국내에서도 환경부를 중심으로 각 지자체의 정책수립 및 저감방안을 제시하고 있는 실정이다. 건설분야에서 발생하는 환경영향은 전 세계 목재소비량의 25%, 자원 및 에너지 소비량의 40%, 이산화탄소 배출량의 30~40%, 물 소비량의 17%에 해당할 정도로 큰 비중을 차지하고 있다(이필재, 2002). 또한, 국내 건설부분에서의 온실가스 배출량은 전체 배출량의 약 25%에 상응하며, 지금 추세(연평균 2.6% 증가)가 계속되면 2030년에는 전체 배출량의 약 34% 예상('05년 대비 약 1.9배 증가)된다.

이에 따라, 건설 전 과정동안 발생하는 온실가스를 최소화할 수 있는 설계방법의 검토 및 도입이 절실히 요구된다. 건설자재별, 장비별, 공정별 온실가스 발생 현황에 대하여 분석하고, 현장별 온실가스 발생 현황을 모니터링하여, 건설 구조물의 에너지 사용을 최소화할 뿐만 아니라, 건설폐기물에 대한 재활용 및 발생 저감 등 규제가 가능할 것으로 예상된다. 또한, 건설 구조물별 폐기물

발생량을 정량적으로 예측하여, 폐기물의 재활용 방안 수립을 계획할 수 있다.

3.2. 해수면 상승 요인

IPCC 연구결과에 따르면, 기후변화에 따른 해수면 상승의 영향요인은 기온의 상승으로부터 비롯되며, 대표적으로 해양의 열팽창, 빙하 및 빙모의 해빙, 그린란드 및 남극빙상 등에 의해서 해수면이 상승되고 있다.

해수면 상승에 가장 큰 요인은 해양의 열팽창이다. 기후변화로 인한 해수의 수온 상승은 해양의 밀도 감소, 즉 해양의 체적을 증가시킴으로써 해수면의 상승에 영향을 미치게 된다. 해양은 열용량이 매우 크기 때문에 대기 중 온실가스 농도를 안정화 시켜도 해양에서의 온도는 오랫동안 온도가 유지되므로 해양의 열팽창 효과로 인해 해수면 상승은 지속적으로 상승될 전망이다. 육상에 저장되어 있는 대부분의 물은 빙하나 빙상의 형태로 존재하며, 지구 온난화로 인한 기온 상승은 빙하 및 빙상의 해빙을 초래한다. 빙하 및 빙모에 함유되어 있는 물의 양(그린란드 및 남극빙상 제외)은 지구 해수면 약 0.5m에 상응하며 육상 빙하 및 빙모의 질량손실은 1961~2003년의 관측결과 $0.50 \pm 0.18 \text{mm/yr}$, 20세기 및 21세기 해수면 상승에 큰 기여를 하는 것으로 평가되고 있다. 그린란드 및 남극빙상은 연간 해수면의 약 6.5mm에 해당되는 강설에 의한 유입과 결빙, 빙산 분리 형태의 유출에 의하여 질량 수지가 거의 균형 이루고 있어, 그린란드 빙상이 지구 평균 해수면에 기여한 비율은 미비하나, 기후변화로 인하여 질량수지의 균형이 깨진다면, 그린란드와 남극 빙상에 함유되어 있는 물의 양은 해수면 70m에 해당 되므로 해수면 상승에 상당한 영향을 미칠 것이다.

해수면 상승에 장기적으로 영향을 주는 요인이 있는 반면, 태풍 및 온대성 저기압 등의 기상요인에 의해 야기되는 바람과 기압의 변화에 의해서 발생하는 해일로 인해 해수면이 일시적으로 상승한다. 발생 원인에 따라 조석해일,

폭풍해일, 지진해일로 구분되며, 폭풍해일은 태풍과 같은 이동성 저기압의 접근 및 통과함에 따라 발생된다. 최근 지구온난화 영향으로 인해 거의 모든 열대 해양의 수온이 증가하고 있어, 태풍의 규모가 대형화 되고 있는 추세이며, 이는 폭풍해일로 인한 연안지역 해일피해가 높아질 것으로 예상된다. 그 밖에도, 지각 밑의 마그마의 이동에 의한 해면 변동, 퇴적물의 퇴적, 엘리뇨, 대규모 연안공사 등 단기적인 해수면 상승 요인에 기여한다(도병덕, 1999).

3.3. 해수면 상승 시나리오

해수면 상승의 영향요인에 의해 기후변화에 따른 해수면 정적 상승과 연안에 영향을 주는 기상외력에 대한 영향이 독립적으로 발생할 때 해수면 상승 시나리오를 작성하였다.

1) 해수면 상승 현황 및 예측

기후변화를 예측하기 위해선 여러 가지 요인과 변동성이 존재하기 때문에 국제적 연구기관 및 전문가들은 보다 정확한 예측을 하기 위해 여러 가지 모델을 개발하고 있으며, 특히 기후모델의 예측 분야 중 가장 취약한 분야가 해수면 상승이다. 이로 인해, 대부분의 연구에서는 해수면 상승에 의한 예측을 IPCC 연구 결과에 준하여, 해수면 상승고가 최대 1m 이내로 가정한 영향평가가 주를 이루고 있다.

IPCC 4차 보고서에서는 총 배출시나리오(SRES)를 주요 대기해양결합모델(AOGCM)에 적용하여 21세기 말 해수면 상승을 예측하였다. 그 결과는 A1F1(빠른 경제적 성장 및 새로운 기술 발달과 함께 화석 에너지가 주로 이용되는 사회, 인위적 온실가스 및 에어러솔의 복사강제력에 상당하는 이산화탄소 농도는 1550ppm) 시나리오에서는 21세기 말 최대 평균기온은 최대 6.4°C, 해수면은 59cm 상승할 것으로 전망하고 있다. 이러한 결과는, 최적추정치로서 기후-탄소

순환 피드백의 불확실성이나, 그린랜드와 남극대륙에서의 빙상의 유출증가에 의한 기여가 포함된다면 해수면 상승 상한 범위는 예측 결과에서 0.1m~0.2m의 높이가 상승될 것으로 보고되고 있다.

표 3.1 21세기말 지구평균 지표온난화와 해수면 상승 전망

시나리오	기온 변화(1980-1999년과 비교한 2090-2099년의 차이(°C))		해수면 상승(1980-1999년과 비교한 2090-2099년의 차이(m))
	최적추정치 (Best estimate)	가능범위 (Likely range)	모델에 의한 범위(얼음 유출에서 미래의 급격한 역학적 변화 제외)
2000년 농도 유지	0.6	0.3-0.9	자료 없음
B1 시나리오	1.8	1.1-2.9	0.18-0.38
A1T 시나리오	2.4	1.4-3.8	0.20-0.45
B2 시나리오	2.4	1.4-3.8	0.20-0.43
A1B 시나리오	2.8	1.7-4.4	0.21-0.48
A2 시나리오	3.4	2.0-5.4	0.23-0.51
A1F1 시나리오	4.0	2.4-6.4	0.26-0.59

출처 : IPCC 4차보고서

조광우(2001)는 한반도에서 IPCC 지구 평균치를 사용하는 문제를 검토하기 위하여 해수면 상승의 지역적인 분포를 검토하여 본 결과, 현재의 GCM의 결과는 배출시나리오 및 기후모델의 감도에 따라 지역적인 차이가 매우 크게 나타남을 연구하였다. Gregory(2001) 연구에서는 해수면 상승 공간분포 예측에 대한 현재의 모델 상태를 비교하기 위하여 세계를 12개 지역으로 나누어 지구온난화에 따른 한반도 주변의 각 지역의 평균치와 지구전체 평균치와 비교한 결과 대부분의 지역들이 지구 평균치와 크게 달랐으며 단지 두 지역(북극해 및 남빙양)만이 모델간 동일한 결과로 나타났다.

지역적 해수면 상승 예측 공간분포가 매우 상이하기 때문에 지구기후 모델의 낮은 공간 분해능으로 인하여 제주도 연안에서 나타나는 다른 해양의 물리적 메커니즘을 분석하는데 있어 어려움이 있으며, 관측데이터의 부족으로 인해 지역적 기후모델의 개발도 어려운 과정에 있다.

본 연구에서는 IPCC의 지구 평균 해수면 상승치의 활용보다는 지역적인 특성이 반영된 해수면 상승 현황을 통해 해수면 상승을 예측하였다.

해수면 상승현황을 관측하는 방법은 위성 및 조위를 이용한 다양한 관측방법이 있으며, 대부분 조석관측소 자료를 중심으로 연구가 이루어지고 있다. 그러나 관측 자료의 부족 및 질 저하, 조위자료의 불확실성을 내포하는 육지의 수직 운동에 대한 정보 부족, 해류 및 기압 등 해수면에 영향을 미치는 영향에 대한 종합적인 고려에 대한 연구 부족 등으로 인해 우리나라 주변의 해수면 상승에 관여하는 정확한 연구결과가 도출되지 못하고 있는 실정이다(조광우, 2002). 이로 인해, 한반도 주변 해역의 해수면 변화의 수치는 연구자와 자료 사용 기간에 따라 각각 다르게 나타나고 있어, 제주지역의 해수면 상승현황을 고려해 볼 필요가 있다.

본 연구에서는 제주지역의 해수면 상승 특성을 반영하기 위하여 국립해양조사원의 조위 자료를 이용하여 해수면 상승을 예측하였다. 제주특별자치도 연안에는 4개 검조소(제주, 서귀포, 성산포, 모슬포)가 존재하고 있다. 성산포 및 모슬포 검조소의 조위자료는 관측기간이 10년 미만으로서 관측데이터가 부족하여, 제주 및 서귀포의 조위자료만을 추세분석 하였다. 제주 검조소의 관측 데이터는 1964~2008년까지의 평균해면 데이터, 서귀포 검조소는 1985~2008년까지의 평균해면 데이터를 이용하였다.

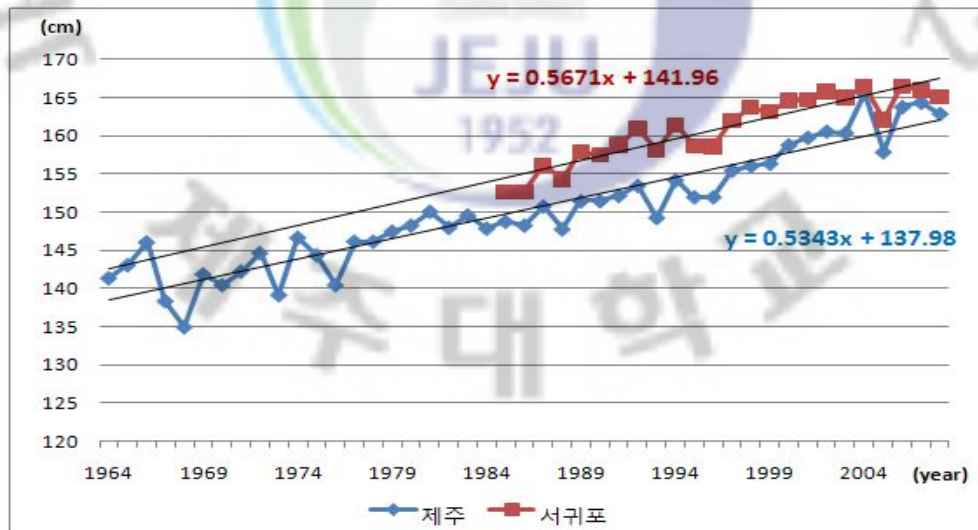


그림 3.1 제주 및 서귀포 해수면 상승 현황

제주지역의 해수면 상승은 제주 5.3mm/yr, 서귀포 5.6mm/yr로서, 우리나라 연안의 해역별 평균해수면 상승(서해연안 1mm/yr, 동해연안 1.4mm/yr, 남해연안 3.4mm/yr)에 비해 매우 높은 해수면 상승 현황을 보이며, 전 지구 해수면 상승(1.8mm/yr)보다 약 3배에 빠르게 상승하는 추세이다. 현재의 추세로 해수면이 지속적으로 상승한다면 금세기 말 제주 53.4mm, 서귀포 56.7mm으로 예측된다.

2) 조석

조석은 지구와 달 두 천체가 그들의 공통 질량 중심으로 회전운동을 할 때 생기는 원심력과 인력 합에 의해 기조력이 발생한다. 달과 태양의 지구에 대한 인력은 지구상의 각 지점에서 조금씩 다르며, 이것이 해수의 이동과 지구의 변형을 가져와 조석을 일으킨다. 이러한 연유로, 지역마다 조석의 특성이 다르게 되어 지역마다 기준면을 설정해야 한다. 기준면을 설정하기 위해 1개월 이상의 조석관측을 실시한 후 그 자료를 조화분해하게 되면 그 지역에 대한 조화상수가 나오게 된다. 이 조화상수는 그 지역의 조석에 관한 특성들이 들어간 자료이므로 반조차를 이용하여 관측된 기간의 평균해면에서 4개 분조(M2, S2, K1, O1)의 반조차 만큼 아래로 내려간 면이 조석관측의 기준면이 되는 기본수준면(DL: Datum Level)이다.

국립해양조사원에서는 제주지역에 대하여 기본수준점 성과표를 제공하고 있으며 제주와 서귀포 검조소의 조화상수와 비조화상수는 표 3.3과 같다.

표 3.2 제주특별자치도 검조소

		제주	서귀포
관측기간		1973.1.1 ~ 1976.1.1	1974.9.2 ~ 1974.10.1
위치	위도	33°30'39" N	33°14'07" N
	경도	126°31'50" E	126°33'58" E
관측기기		LFT-V	압력시 자기검조의(6m)

출처 : 국립해양조사원

표 3.3 제주특별자치도 기준조석

항목/검조소		제주		서귀포	
조 화 상 수	분 조	반조차 (cm)	지각 (K.)	반조차 (cm)	지각 (K.)
	M ₂	69.7	303.50	75.70	274.10
	S ₂	29.5	324.10	33.70	293.90
	K ₁	23.0	210.20	24.50	200.80
	O ₁	16.8	278.10	17.70	177.10
비 조 화 상 수 (cm)	평균고조간격 (M.H.W.T)	10 h 28 m		09 h 27 m	
	약최고고조위 (APPROX.H.H.W)	278.0		303.2	
	대조승 (H.W.O.S.T)	238.3		261.0	
	소조승 (H.W.O.N.T)	179.2		193.6	
	평균해수면 (M.S.L)	139.1		151.6	

출처 : 국립해양조사원

본 연구에서는 기후변화에 따른 해수면 상승에 중점을 두고 있으므로 조석의 영향은 대조승(대조의 평균고조)시 태풍이 내습한다는 가정 할 때의 영향을 분석하고자 한다. 제주 전 지역에 대한 조석 자료가 부족하므로, 제주와 서귀포 검조소의 자료만을 이용하여 선형 보간을 실시하였다. 또한, 해상의 조석관측 기준면은 기본수준면이며 육상에서의 측지 기준면의 차이를 고려하였다.

3) 해일

태풍 내습 시 수반되는 강풍, 고파랑, 집중호우 및 폭풍해일이 발생하고 이는 연안지역에서의 피해로 이어진다. 특히, 폭풍해일은 정역학적 균형을 유지하기 위해 해면이 부풀어 올라 해수면이 이상적으로 높아진 현상으로 기압의 변화, 풍파나 너울의 효과, 지구의 자전효과 등의 복합적인 작용에 따라 해일이 형성된다. 또한, 해일은 연안의 지형적인 영향과 조석의 영향에 의해 연안지역 및 건설

시설물의 범람을 초래하기 때문에 해일고 예측은 해수면 상승의 영향 분석에서 중요한 요인이다.

최근 기후변화로 인해 해수면 온도가 상승되고 북태평양 고기압에 영향에 따라 태풍의 강도는 꾸준히 감소하였다. 1970년대 이후 평균적으로 25hPa 낮아졌으며, 최대풍속의 극값도 꾸준히 증가하고 있다(문일주, 2007). 태풍이 점점 대형화됨에 따라 태풍 내습 시 해일에 의한 피해는 가중 될 전망이다. 또한, 제주도는 지리적 특성상 태풍의 이동궤목에 위치하여 태풍이 북상하면서 바람 및 해일에 직접적인 영향을 미치는 지역으로, 해일 발생으로 인한 재해 위험에 노출되어 있다.

태풍 내습 시 발생하는 해일고를 산정하기 위해, 강주환(2010)의 연구 결과를 인용하여, 불확실한 미래 환경에서의 태풍발생에 따른 해일고를 예측하였다. 강주환(2009)은 태풍의 특성상 이동경로, 중심기압, 영향반경, 내습각도 및 진행속도 등의 예측이 어렵고, 태풍의 내습 시 발생하는 해일의 크기 및 양상 또한 지역별로 매우 상이 때문에, 이러한 주요 매개변수 변화에 따른 해일 변화 양상을 고찰하고자 가상태풍 모의를 수행하였다. 역대 각종 기록을 갱신하며, 큰 피해가 발생한 태풍 MAEMI를 대상으로 기존의 경로를 직선화하고 주요 매개변수를 변화시켰다. 수위 상승효과의 모의가 가능한 MIKE21 모델을 이용하여 제주 천해역의 지형이 재현될 수 있도록 400m의 격자간격을 구성하고, 태풍 MAEMI의 직선화된 경로에 경도 0.5°, 내습각도(약 55°) 10°씩 변화시켜 가상경로를 설정하였다. 또한, 주요 매개변수인 중심기압, 최대풍반경, 최대풍속을 변화시켜 태풍의 특성 변화에 따른 제주해역의 해일고를 산정하였다.

그 결과, 기존의 태풍 MAEMI에 비해 태풍강도가 5% 증대될 경우 20~40% 가량 해일고가 상승하며, 제주 및 서귀포 해역 발생 가능한 최대 해일고는 각각 1.03m, 1.31m으로 추정했다. 태풍강도가 10% 증대될 경우 50~110% 이상의 해일고 상승하여, 제주 및 서귀포 해역의 최대 해일고는 각각 1.42m, 1.74m(기존 MAEMI 해일고의 3배 이상)의 결과를 도출하였다(강주환, 2010).

표 3.4 가상태풍에 따른 해일고

태풍의 주요매개변수		제주	서귀포
Case 0	중심기압, 최대풍반경, 최대풍속 동일하게 적용	0.7m	0.9m
Case 5	중심기압 5%감소, 최대풍 반경 및 최대풍속 5%증가	1.03m	1.31m
Case 10	중심기압 10%감소, 최대풍 반경 및 최대풍속 10%증가	1.42m	1.74m

출처 : 강주환(2010)에서 인용

본 연구에서는 기 수행된 연구결과를 이용하였으며, 해일발생에 영향을 주는 주요인자인 기압, 바람, 파랑 등 에 의한 수위 상승효과와 조석 해일 상호간의 비선형 효과는 생략하고, 기압과 바람에 의한 영향 효과만을 고려하였다.

4) 해수면 상승 시나리오

불확실한 미래의 해수면 상승 영향을 분석하기 위해 기후변화에 따른 해수면 상승, 조석 및 폭풍해일고의 요인이 각각 독립적으로 발생할 조건으로 해수면 상승 시나리오를 작성하고, 장기적인 대응방안을 수립하고자 시간의 흐름에 따라 해수면 상승고를 예측하였다.

국립해양조사원에서 관측된 평균해면 데이터를 이용하여 추세분석한 결과 제주지역의 해수면 상승 현황은 제주 5.3 mm/yr, 서귀포 5.6 mm/yr으로 나타났으며, 해수면 상승이 선형적으로 상승할 때 2040년, 2070년, 2100년의 해수면 상승고를 예측하였다. 해수면 상승에 기인한 결과 금세기말 제주 48.1cm, 서귀포 51cm로 나타났으며, IPCC연구의 결과(21세기 말 해수면은 최대 59cm 상승)에 준한다. 조석자료는 대조 평균고조면에서의 영향에 따라 제주와 서귀포 검조소의 조석 데이터를 이용하였으며, 해상의 조석관측 기준면과 육상에서의 기준면의 차이를 고려하였다. 본 연구에서는 해안선¹⁾을 기준으로 범람 고도를 산정하

1) 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」 제6조 제1항 제4호에 정의되어 있는 해수면이 약최고고조면(일정 기간 조석을 관측하여 분석한 결과 가장 높은 해수면)에 이르렀을 때의 육지와 해수면과의 경계로 표시

였으므로, 조석 영향은 약최고고조면과 대조평균고조면의 차이이다. 해일고는 기존의 태풍 매미(Case 0)의 특성을 이용하여, 중심기압이 5% 감소되고 최대풍속 및 반경이 5% 상승(Case.5)된 가상태풍과, 중심기압이 10% 감소되고 최대풍속 및 반경이 10%(Case 10)가 상승된 가상태풍을 생성하여 해일고를 산정하였다. 각각의 영향이 독립적으로 발생할 때 작성된 시나리오는 표3.5와 같다.

표 3.5 해수면 상승 시나리오

	2040	2070	2100(a)	2100(b)
해수면 상승	30년 후	60년 후	90년 후	90년 후
조석	대조평균고조면			
해일고	Case. 0	Case. 5	Case. 5	Case. 10

해수면 상승 시나리오에 따른 해수면 상승고는 그림 3.2, 그림 3.3과 같으며, 위에서부터, 해수면 상승이 지금과 같이 지속적으로 상승 할 때 미래의 해수면 상승고, 기존 매미 태풍에서 주요매개변수의 변화에 따른 해일고, 해상의 조석기준면인 기본수준면으로부터 대조평균고조면시 태풍의 내습 조건과 육상의 기준면의 차이를 고려했다. 그 결과, 제주시와 서귀포시 각각 2040년 46.2cm, 64.8cm, 2070년 95.3cm, 122.8cm, 2100a년 111.3cm, 139.8cm, 2100b년 최대 150.3cm, 182.8cm로 나타났다.

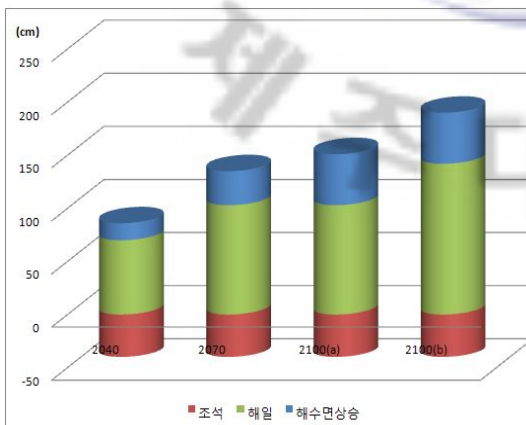


그림 3.2 제주시 해수면 상승 시나리오

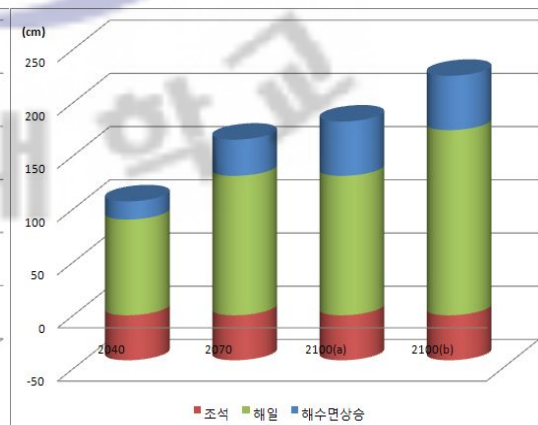


그림 3.3 서귀포시 해수면 상승 시나리오

IV. 해수면 상승에 따른 침수예상지역 영향 분석

4.1. 수치표고모델 기본정보

해수면 상승 시나리오에 따른 일차적인 영향을 분석하기 위해, 수치표고모델 및 GIS 공간분석기법을 활용하여 해수의 범람으로 인한 침수예상지역의 면적, 도로 및 시설물을 추출하였다. 일반적으로 수치지도를 이용한 지형분석은 정확한 데이터 산정이 어려우나, 신속하며 간결하기 때문에 제주특별자치도 전 지역을 분석하는데 효과적이다. 유체의 유동성으로 인해 해수의 침투경로 및 파랑의 형태, 특성을 예측하여 구현하기엔 큰 어려움이 따르며, 연안역의 방파제 시설에 의한 파고의 감쇄효과가 발생한다면 실제 해일고는 낮아질 수 있다.

본 연구에서는 해수면 상승 시나리오에서 산출된 해수면 상승고 이하의 지역은 범람한다고 가정하여 침수 예상지역을 추출하였다.

본 연구에서는 제주특별자치도 1 : 5000의 수치지형도, 인공해안선(항만시설, 방조제, 사석해안 등을 포함), 2006년부터 최근 2010년 7월에 갱신된 시설물 및 도로 수치지도를 이용하였다. 1 : 5000의 수치지도는 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」 제6조 제1항 제2호에 따라 제주도는 별도의 수준원점을 정하여 고시하고 있으며, 수준원점을 기준으로 5m 높이의 간격으로 등고선이 구축되어 있다. 일반적으로 정확하고 신뢰성 높은 등고 데이터 산출을 위해서는, 항공 LiDAR 측량을 실시하여 DEM을 제작하고 침수 예상지역을 추출하지만, 이 방법은 제주특별자치도 전체에 적용해 분석하기에는 다소 무리가 있다. 해수면 상승 시나리오에서 산출된 등고선을 작성하기 위해, 해안선과 5m 등고선을 중첩하였다. 또한, 해안선과 5m 등고선 사이에 산출된 높이가 존재하므로 침수 등고선을 생성하는 작업이 필요하다. 등고선을 생성하기 위한 방법으로는 해안선과 5m 등고선을 이용하여 디지털화 하는 방법이 존재하나, 이러한 방법은 등고선을 디지털화 하는 동안 생긴 에러와 등고선 생성 과정 중 생기는 에러는 데이터의

결과에 영향을 미치며, 시나리오별 등고선을 생성하는데 많은 시간과 노력이 요구된다. 따라서 GIS프로그램을 활용하여 지형분석에 매우 효과적인 불규칙삼각망(TIN)을 이용하여 해안선과 5m 등고선의 수치표고모델을 생성(그림 4.1)한 뒤 해수면 상승시나리오별 침수등고선을 하였다. 생성된 침수등고선과 해안선, 도로 및 시설물의 수치지도를 중첩하여 침수지역의 데이터를 추출하였다.

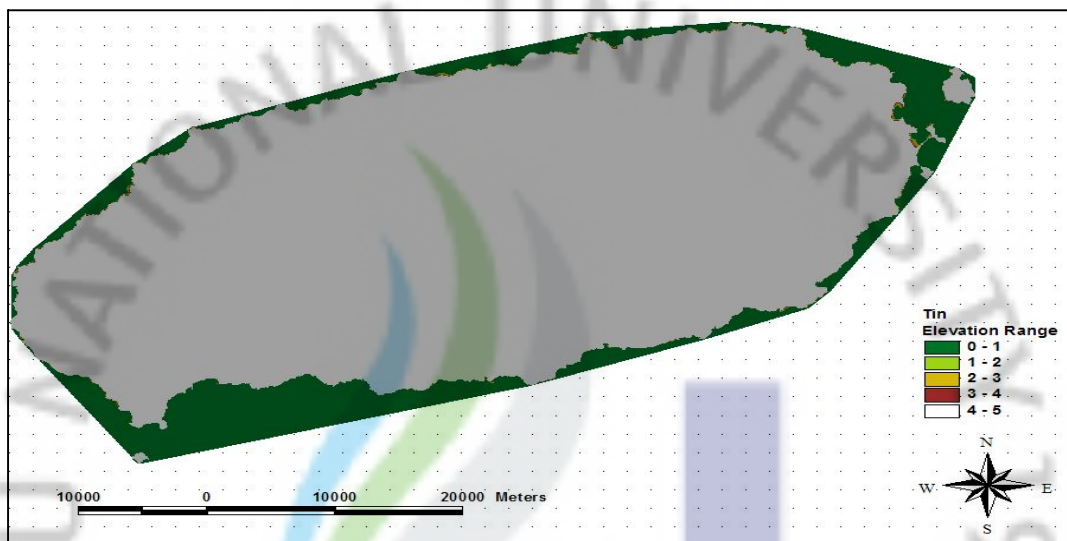


그림 4.1 해안선과 5m 등고선의 수치표고모델

4.2. 침수 영향 분석

1) 침수 면적

해수면 상승시나리오별 침수면적을 분석하기 위해, 그림4.2와 같이 해안선에 해수면 상승 시나리오별 침수등고선을 중첩하여 침수 예상지역을 추출하였다. 시각화를 위해 등고선을 폴리곤으로 표현하였으며, 각각의 폴리곤과 해안선사이의 면적이 침수 예상지역에 해당된다.

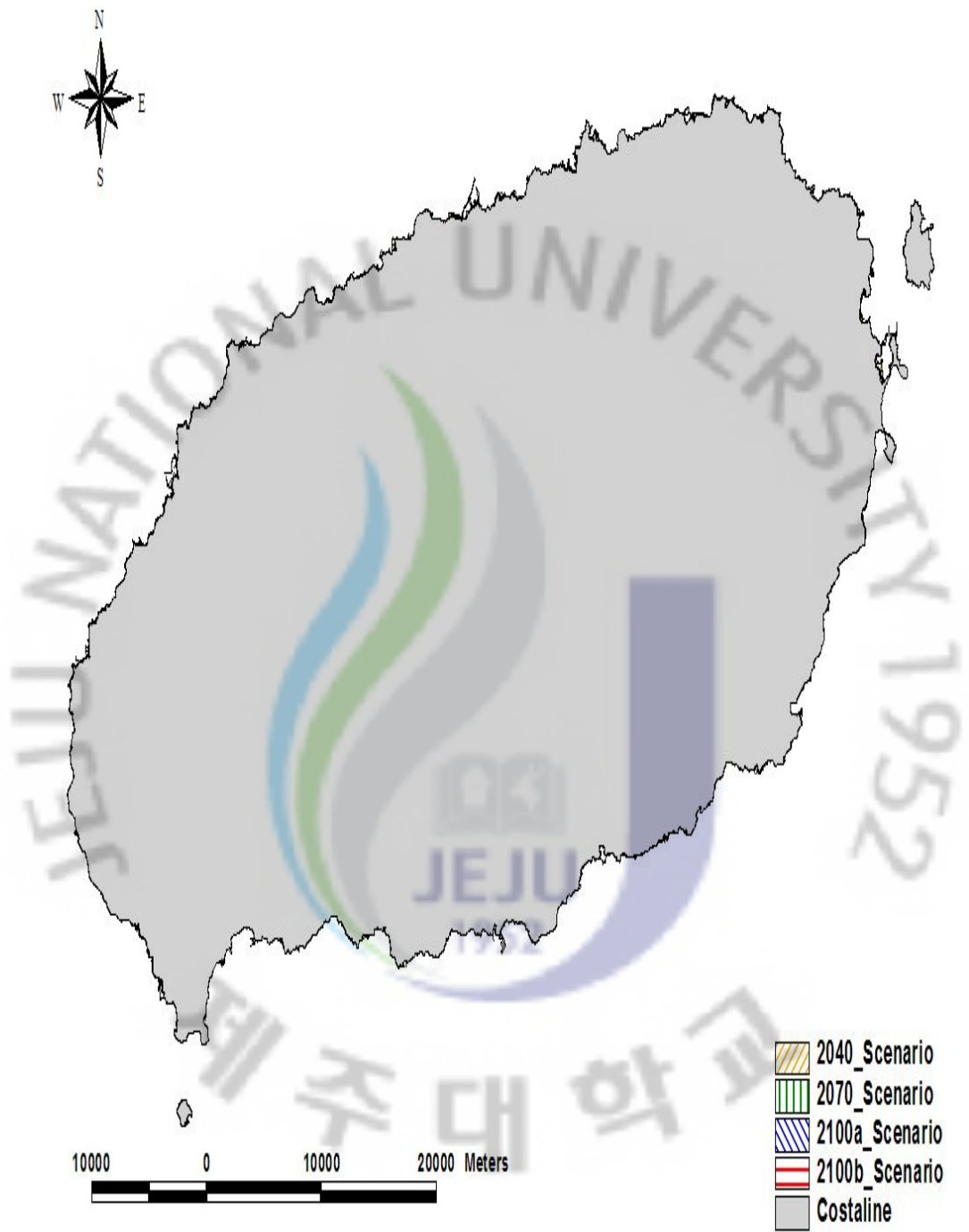


그림 4.2 해수면 상승 시나리오별 침수 등고선

제주특별자치도 해수면 상승 시나리오별 침수면적은 2040년 2,901,283m², 2070년 4,062,648m², 2100년 최대 5,362,153m²으로 조사되었으며, 시군구별 시나리오에 따른 침수가능 면적은 그림 4.3과 같다. 침수면적의 결과로부터 제주시는 서귀포시에 비해 침수면적이 약 2배 정도 크을 알 수 있다.

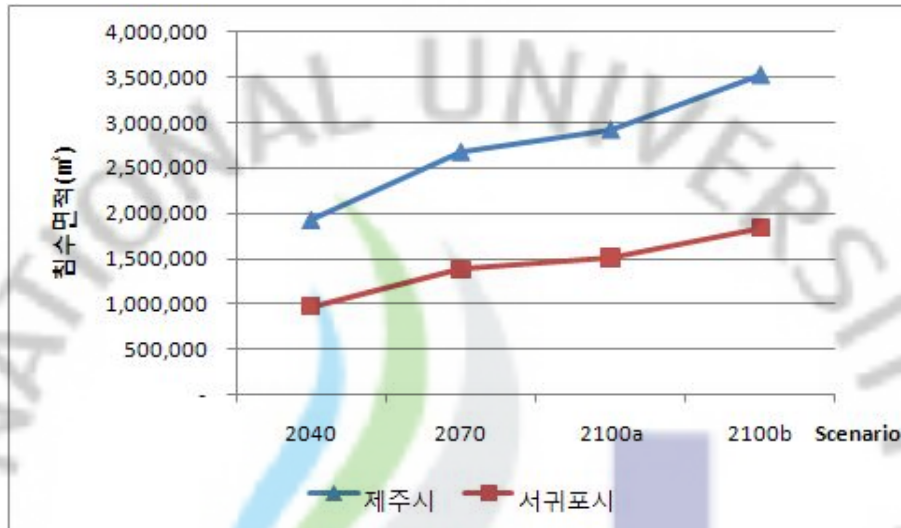


그림 4.3 해수면 상승시나리오별 제주특별자치도 시군구 침수면적

이러한 이유를 살펴보기 위해, 수치표고모델의 경사도 분석을 실시한 결과 그림 4.4와 같으며, 제주특별자치도내 연안 지역을 B지역(서귀포시 안덕면, 서귀포시 12개 동)과 A지역(제주시 구좌읍, 제주시 조천읍)으로 확대하였다. 그 결과, 행정구역을 나눈 검은색 선을 제외한 해안가는 B지역이 A지역보다 경사도가 상대적으로 높음을 알 수 있다. 이러한 이유로, 제주시가 서귀포시에 비해 침수에 대한 영향이 크다고 나타났다.

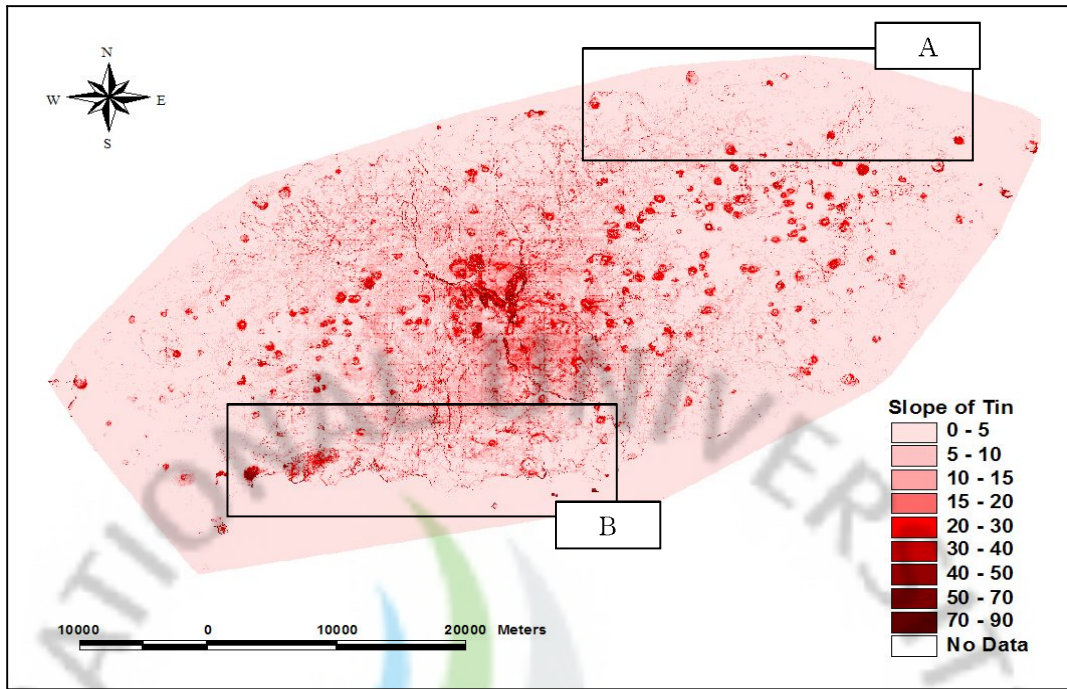


그림 4.4 제주특별자치도 수치표고모델 경사도분석

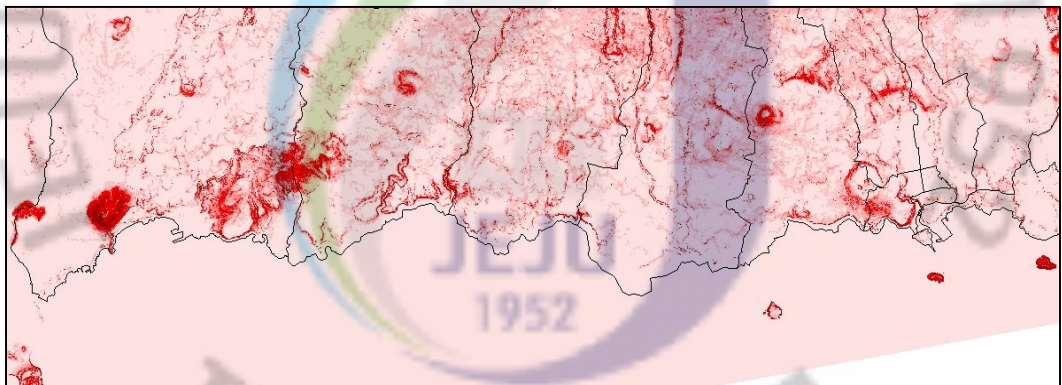


그림 4.6 B지역 경사도분석 (좌 : 서귀포시 안덕면, 우 : 서귀포시)

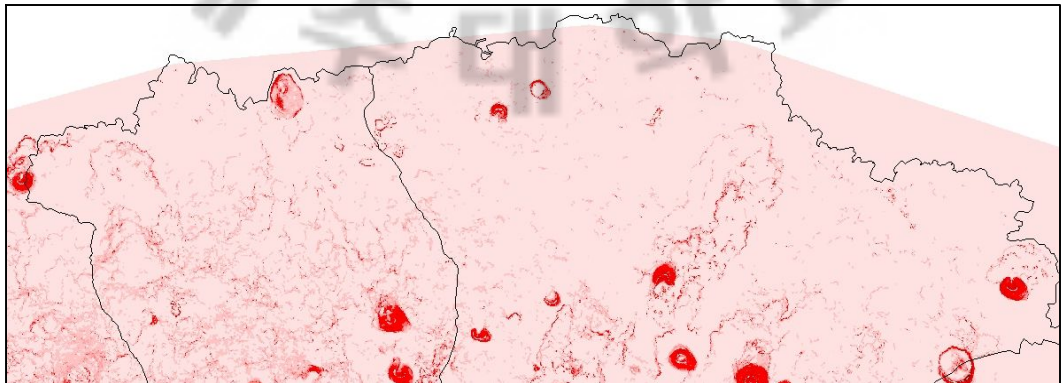


그림 4.5 A지역 경사도분석 (좌 : 제주시 조천읍, 우 : 제주시 구좌읍)

제주특별자치도는 행정구역을 7개 읍, 5개 면, 31개 동으로 분류되어 있다. 제주시는 4개 읍(구좌읍, 애월읍, 조천읍, 한림읍), 3개 면(우도면, 추자면, 한경면) 19개 동으로 구성되어 있으며, 서귀포시는 3개 읍(대정읍, 남원읍, 성산읍), 2개 면(안덕면, 표선면), 12개의 동으로 구성되어 있다.

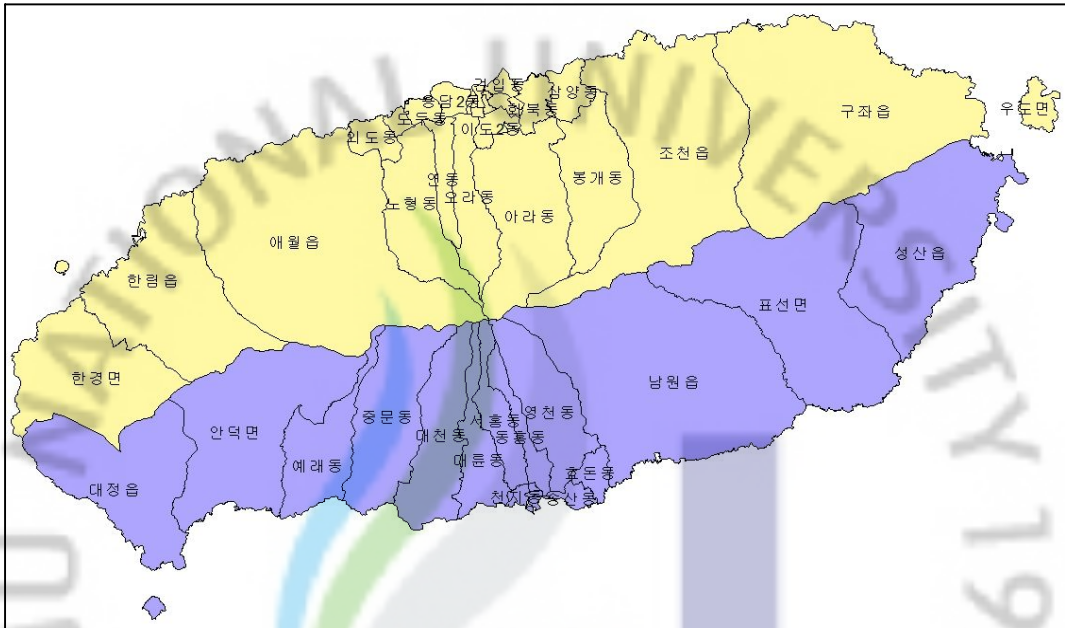


그림 4.7 제주특별자치도 행정구역도

북제주군 추자면을 제외한 행정구역별 침수면적의 결과는 표 4.1과 같다. 침수면적 크기는 주로 제주시지역의 구좌읍, 한림읍, 조천읍, 서귀포지역의 성산읍, 대정읍 순으로 나타났으며, 동지역 단위로서 건입동의 침수면적이 상대적으로 높게 나타났다. 안덕면의 경우 경사도가 높기 때문에 침수면적이 적으며, 효돈동을 포함한 서귀포시 동지역은 해안선 길이가 짧기 때문에 침수면적이 적은 것으로 판단된다.

표 4.1 해수면 상승 시나리오에 따른 행정구역별 침수면적(m²)

시군구	행정동	2040	2070	2100a	2100b(m ²)
제주시	애월읍	141,427	200,127	218,660	264,619
	조천읍	276,780	377,344	410,658	492,721
	구좌읍	506,572	736,552	813,049	1,004,890
	한림읍	333,620	472,945	517,206	625,974
	한경면	129,864	188,480	207,515	253,295
	우도면	85,061	112,723	121,806	143,996
	삼도2동	54,051	85,166	95,258	119,702
	용담1동	2,258	3,788	4,295	5,529
	용담2동	9,764	16,210	18,356	23,696
	건입동	223,273	260,889	273,196	303,184
	화북동	46,173	62,334	67,673	80,752
	삼양동	23,859	34,989	38,689	47,796
	외도동	19,453	32,280	36,582	47,158
	이호동	12,098	17,579	19,351	23,653
	도두동	63,859	75,702	79,599	89,028
서귀포시	대정읍	229,811	333,764	364,859	443,463
	남원읍	72,464	105,773	116,091	142,661
	성산읍	439,263	622,476	681,062	830,055
	표선면	90,047	138,220	153,074	190,427
	안덕면	26,925	40,329	44,029	53,190
	송산동	88,387	104,197	108,724	120,004
	천지동	7,029	10,951	12,157	15,359
	효돈동	430	799	896	1,179
	대륜동	3,455	5,812	6,493	8,340
	대천동	8,512	11,126	11,965	14,287
	중문동	5,023	7,337	8,033	9,923
예래동	1,825	4,756	5,427	7,272	

그림 4.8은 침수에 대한 영향이 상대적으로 큰 지역을 나타낸 지점이며, 확대한 그림은 그림 4.9에서부터 그림 4.18까지 침수예상지역을 확대한 그림이다. 주로 항만시설의 침수에 대한 영향이 높게 나타났다.

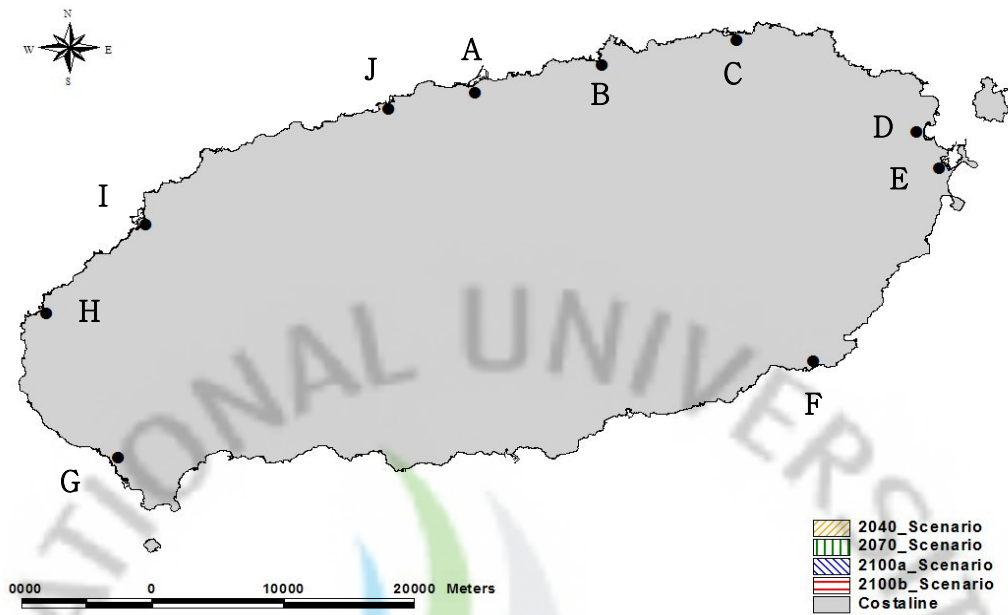


그림 4.8 해수면 상승 시나리오별 침수예상지역



그림 4.9 A(제주시 건입동 일부지역)

그림 4.10 B(제주시 조천읍 일부지역)

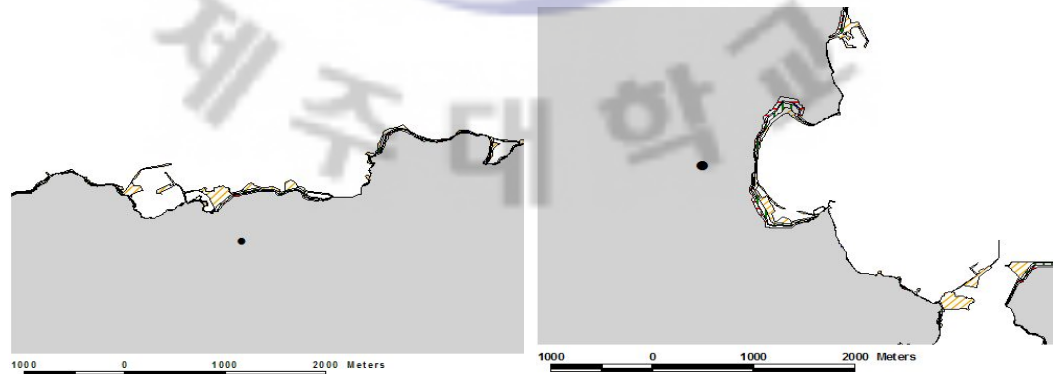


그림 4.11 C(제주시 구좌읍 일부지역)

그림 4.12 D(제주시 구좌읍 일부지역)

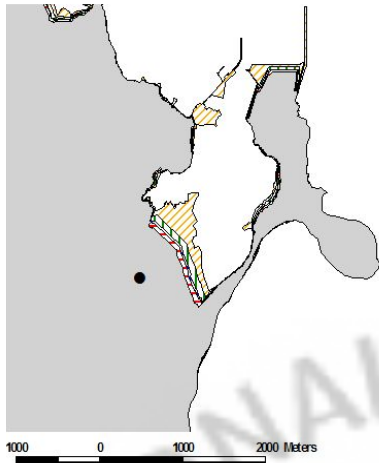


그림 4.13 E(서귀포시 성산읍 일부지역)

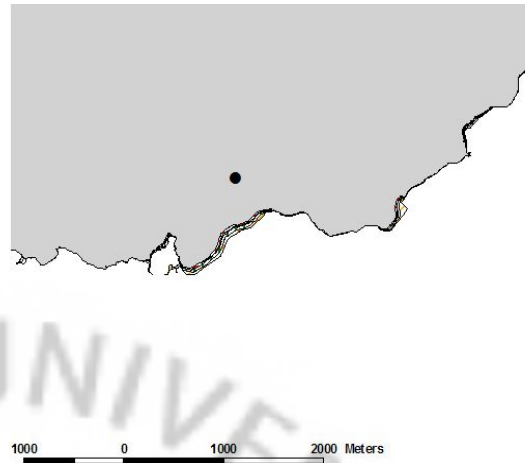


그림 4.14 F(서귀포시 표선면 일부지역)

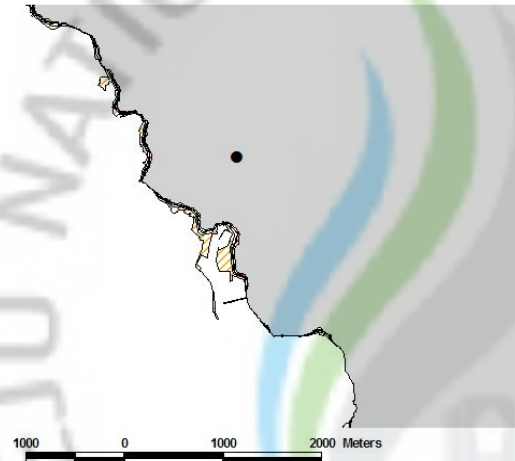


그림 4.15 G(서귀포시 대정읍 일부지역)

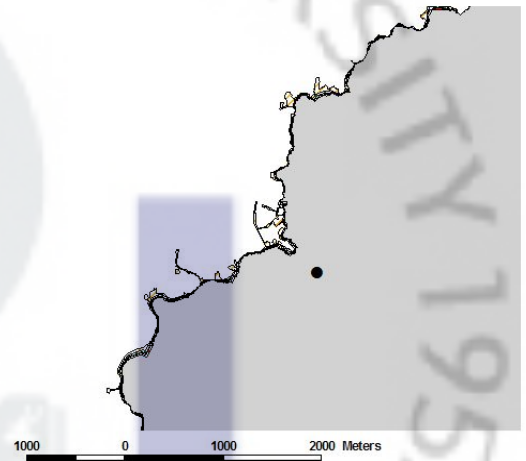


그림 4.16 H(서귀포시 한경면 일부지역)

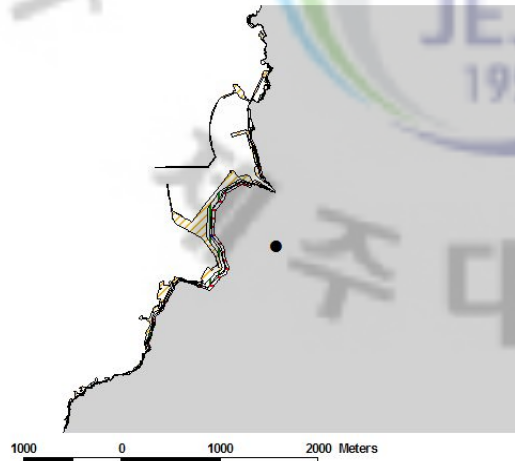


그림 4.17 I(제주시 한림읍 일부지역)

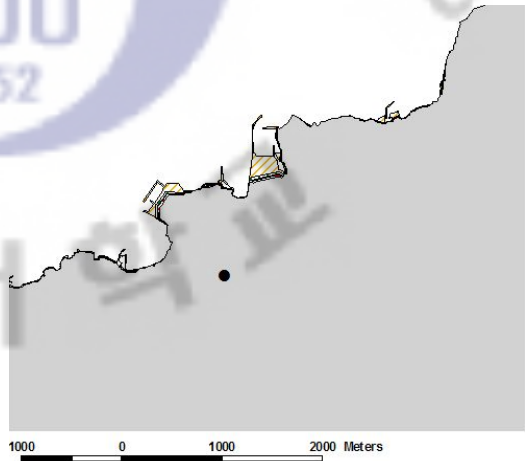


그림 4.18 J(제주시 이호동 일부지역)

2) 침수 도로

해수면 상승 시나리오별 해수면 높이와 도로 수치지도를 중첩하였다. 도로에 침수가 발생하면 침수 영향 도로구간으로 설정하고, 도로중심선을 생성하여 도로 종류별 도로의 침수길이를 추출한 결과 표 4.2와 같으며, 지방도와 시도는 대부분은 내륙지역에 분포되어 있기 때문에 해수면 상승에 따른 침수영향은 적은 것으로 판단된다. 군도의 경우 도로의 용도 특성상 접근성이 용이하도록 건설되어 있어 침수도로의 주를 이루고 있다.

표 4.2 해수면 상승 시나리오별 도로침수 길이(m)

	2040	2070	2100a	2100b
지방도	884	1,311	1,453	1,805
시도	220	254	261	294
군도	35,215	39,760	40,504	43,108

3) 침수시설물

해수면 상승시나리오에 따른 해수면 높이와 시설물 수치지도와 중첩하여, 침수 등고선에 속하는 시설물을 추출하였다. 그림4.19에서는 침수시설물 수는 시나리오별 평균비율이 제주시가 제주특별자치도의 약 82%를 차지하는 것으로 조사되었다. 그림 4.20 시군구별 해수면 상승 시나리오에 따른 침수시설물 면적의 결과이며, 제주특별자치도는 2040년 321,017m², 2070년 496,256m², 2100년 최대 484,427m²으로 조사되었다.

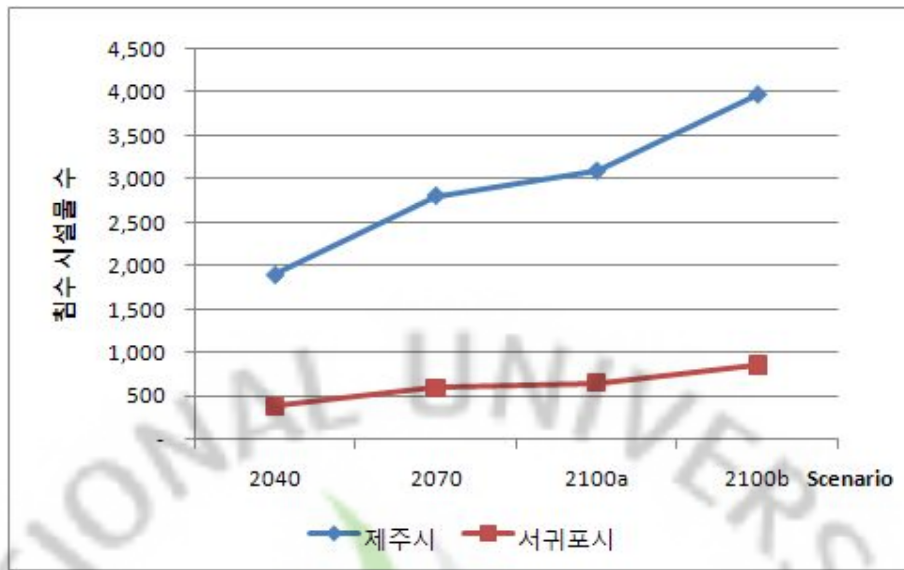


그림 4.19 해수면 상승 시나리오별 침수시설물 수

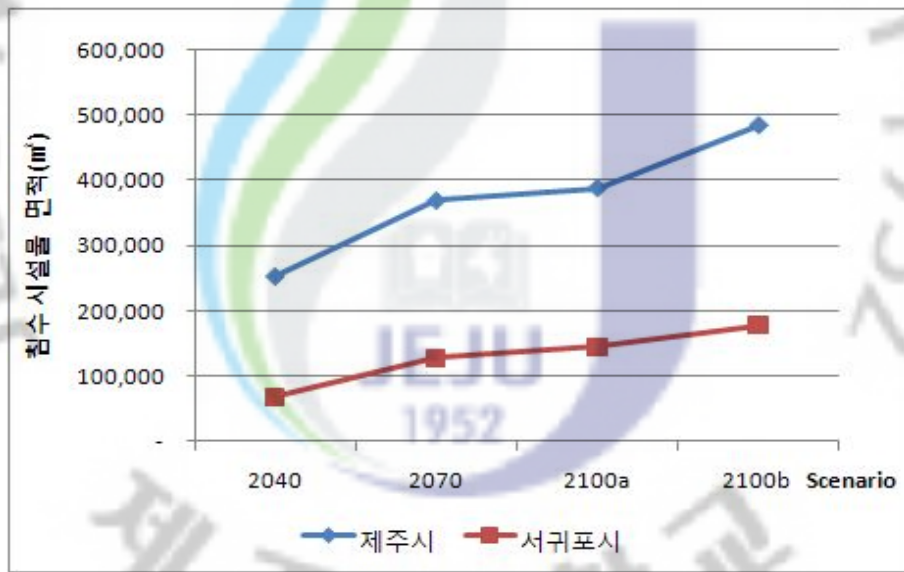


그림 4.20 해수면 상승 시나리오별 침수시설물 면적

그림 4.21은 해수면 상승 시나리오에 따른 침수시설물의 용도별 현황이며, 대부분 단독주택(52%), 창고시설(23%), 양어시설(3.32%), 기타 시설물로 나타났다.



그림 4.21 해수면 상승 시나리오에 따른 시설물용도별 침수영향

침수시설물의 면적이 비교적 큰 순으로 나열하면, 탐동 E빌딩, R호텔, 양어시설, 창고시설 등이 있으며 특히, 우도항, 성산포항, 제주항 터미널 시설(제주항 국제 고속훼리 화물 터미널, 제주항 여객선 1호 터미널, 제주항 여객선 2호 터미널, 제주항 국제 여객선 터미널) 등이 포함되었다. R호텔의 경우 태풍 '나리'의 내습으로 침수로 인한 피해가 발생되었으며, 여객터미널의 침수는 항만시설 및 해운 활동에도 상당한 영향을 미칠 것으로 사료된다.

표 4.3에서 해수면 상승 시나리오에 따른 행정구역별 침수시설물 수는, 구좌읍, 조천읍, 한림읍이 비교적 침수 시설물의 수가 많은 것으로 조사되었다. 또한, 동 지역으로는 제주시 화북동의 경우 침수된 시설물의 수는 많은데 비해, 시설물의 침수면적이 적음을 알 수 있다. 화북동의 경우 주로 주택시설이 밀집되어 있기 때문에 단독주택이 침수에 대한 영향이 크게 나타났다.

표 4.3 해수면 상승시나리오별 행정구역 침수시설물 영향분석

시군구	행정동	침수시설물 수				침수시설물 면적(m ²)			
		2040	2070	2100a	2100b	2040	2070	2100a	2100b
제주시	애월읍	140	228	252	330	29,477	40,371	41,531	50,826
	조천읍	430	598	654	824	38,288	50,012	53,342	78,622
	구좌읍	472	667	723	917	40,583	76,102	80,299	105,385
	한림읍	356	552	615	793	40,780	73,690	78,525	92,728
	한경면	51	95	110	138	22,799	31,084	31,730	36,052
	우도면	73	73	73	73	5,301	5,301	5,301	5,301
	삼도2동	40	70	83	122	21,723	24,928	25,738	34,217
	용담1동	14	28	31	41	357	749	808	1,161
	용담2동	5	6	8	12	828	842	1,027	1,391
	건입동	61	96	104	125	27,702	33,431	34,528	36,680
	화북동	138	219	237	297	5,790	9,462	10,322	12,130
	삼양동	36	49	58	89	1,904	2,405	2,819	4,240
	외도동	39	70	84	118	4,290	6,075	6,581	8,432
	이호동	3	4	4	7	480	514	514	739
도두동	58	70	73	83	12,454	14,016	15,310	16,521	
서귀포시	대정읍	153	229	247	315	25,660	45,582	47,444	57,993
	남원읍	27	42	50	72	3,021	4,778	5,574	7,119
	성산읍	112	191	206	270	17,589	28,166	34,158	38,671
	표선면	63	99	108	137	17,349	42,098	50,953	59,937
	안덕면	3	3	4	5	641	641	675	906
	송산동	14	21	26	36	2,730	4,327	4,512	10,883
	천지동	5	6	6	6	623	630	630	630
	효돈동	1	1	1	1	29	29	29	29
	대륜동	2	3	5	15	283	684	837	1,201
대천동	1	1	1	1	338	338	338	338	

그림 4.22에서부터 그림 4.27까지 구좌읍 일부 지역과 화북동 지역으로 상대적으로 침수 시설물의 피해가 큰 지역을 확대하였으며, 빨간색은 침수된 시설물을 나타낸다.

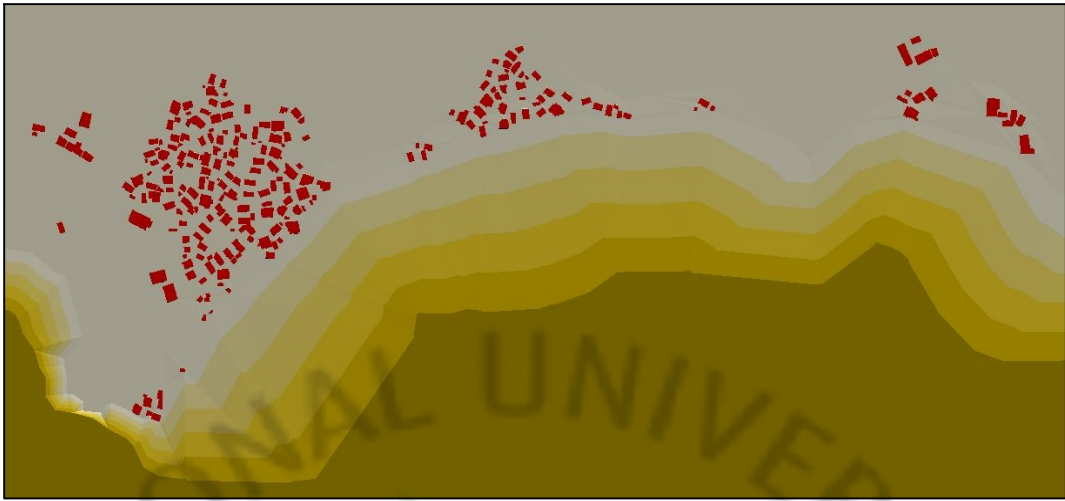


그림 4.22 2040 시나리오 : 제주시 구좌읍일부지역 건설시설물 침수현황

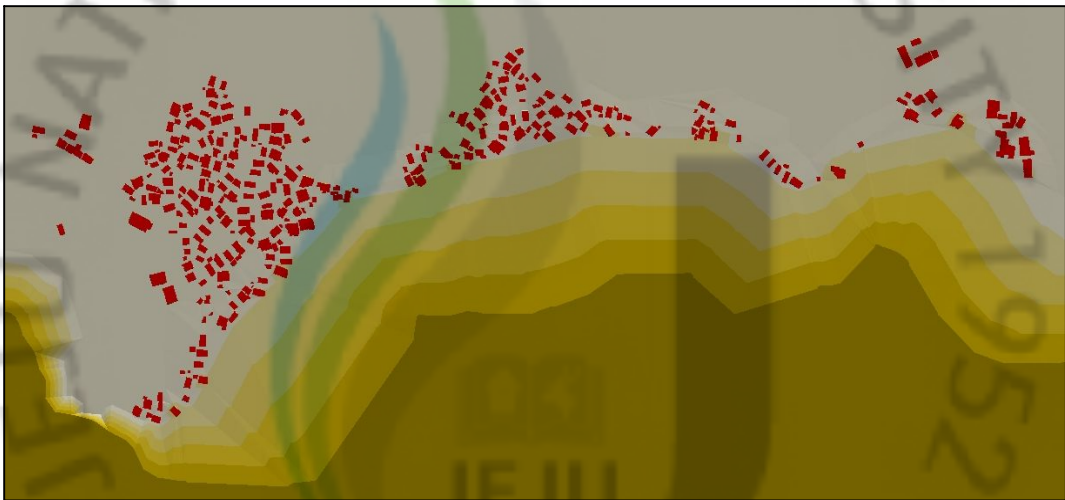


그림 4.23 2070 : 시나리오 제주시 구좌읍일부지역 건설시설물 침수현황

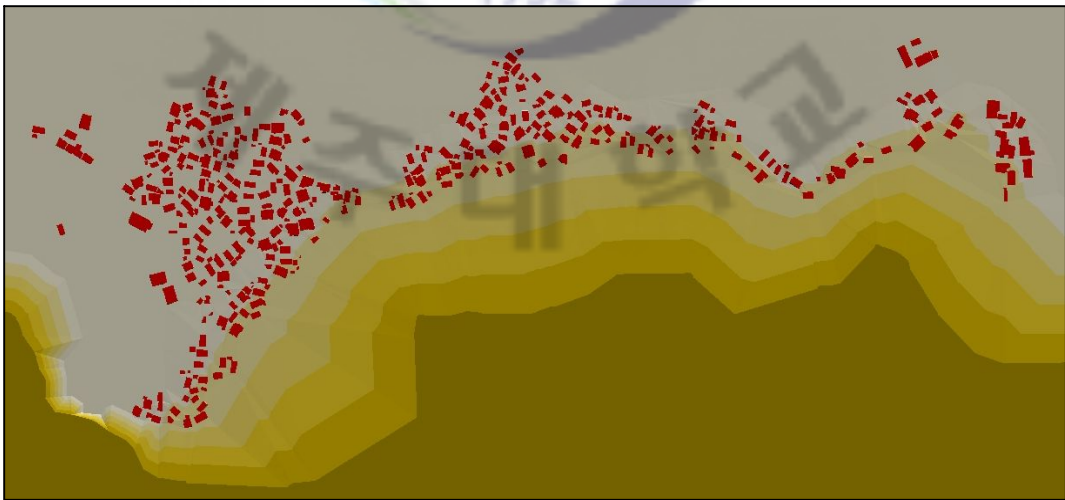


그림 4.24 2100b : 시나리오 제주시 구좌읍일부지역 건설시설물 침수현황

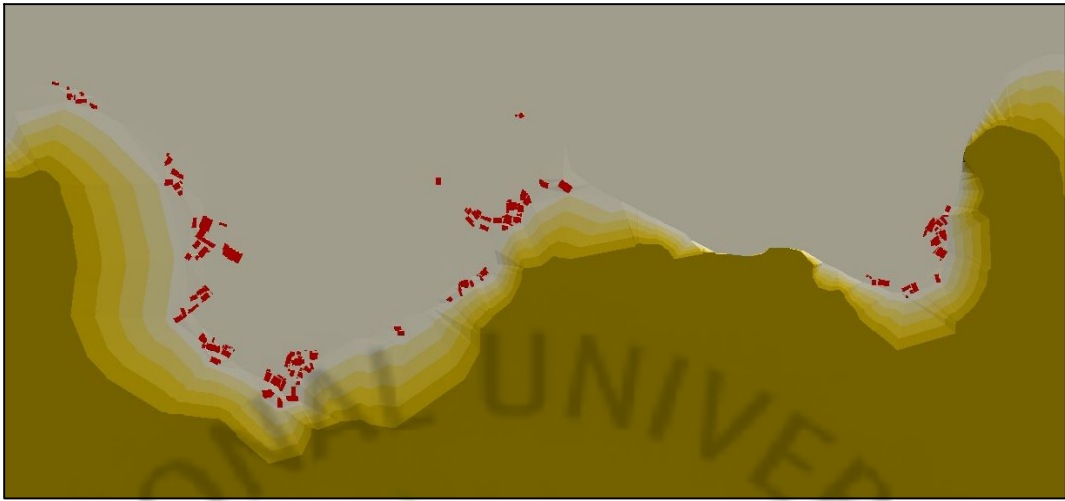


그림 4.25 2040 : 시나리오 제주시 화북동지역 건설시설물 침수현황

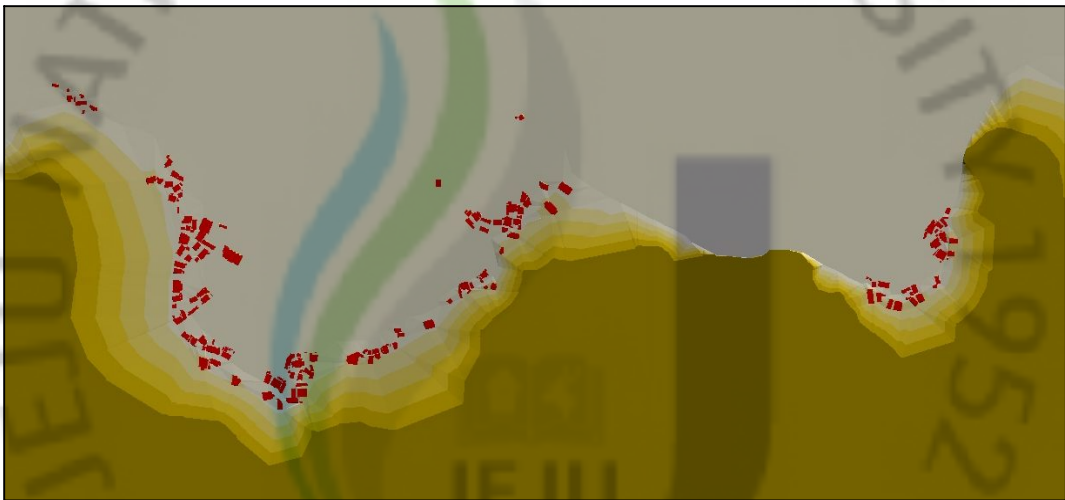


그림 4.26 2070 : 시나리오 제주시 화북동지역 건설시설물 침수현황



그림 4.27 2100b : 시나리오 제주시 화북동지역 건설시설물 침수현황

V. 결론 및 향후 보완사항

본 연구에서는 기후변화에 민감하고 환경적 특성이 가장 잘 나타나는 제주지역을 중심으로 재해 예방 및 연안지역 주요시설물의 효율적 개발을 위해 해수면 상승에 따른 영향을 분석하였다. 해수면 상승 현황을 통한 추세분석과 대조평균 고조면시 가상 태풍 내습으로 인한 해일고를 주요 영향요인으로 설정하여 해수면 상승 시나리오를 작성하였다. 또한, 제주도 수치표고모델 생성 및 GIS 공간분석 기법을 이용하여 일차적인 해수의 범람에 따른 침수 면적, 도로 및 시설물의 영향을 분석하였다.

그 결과, 제주시와 서귀포시의 침수면적은 각각 2040년 1.93km², 0.97km², 2070년 2.68km², 1.39km², 2100b년 최대 3.53km², 1.84km²인 것으로 나타났으며, 서귀포시는 제주시에 비해 상대적으로 해안지역의 경사가 높기 때문에 침수면적에 대한 영향이 적게 나타났다. 행정구역별 침수영향을 살펴본 결과, 구좌읍, 성산읍, 한림읍 순으로 침수에 대한 영향이 높게 나타났으며, 건입동 또한 동 단위로는 2100b년 최대 0.3km²으로 조사되었다. 도로종류별 침수영향은 해안지역에 분포되어 있는 군도에 대한 영향이 높게 나타났으며, 군도의 침수영향 총 길이는 2040년 35.2km, 2070년 39.8km, 2100b년 43.1km로 조사되었다. 지방도와 시도는 주로 내륙지역에 분포되어 있기 때문에 해수면 상승에 따른 침수 영향은 적은 것으로 나타났다. 해수면 상승 시나리오에 따른 침수시설물의 면적은 2040년 321,017m², 2070년 496,256m², 2100b년 484,427m²로, 제주특별자치도의 약 82%가 제주시에 속하는 시설물로 나타났다. 침수시설물의 용도를 살펴보면 단독주택이 52%의 가장 높은 비율을 보였으며, 창고시설 23%, 양어시설 3.32%로 나타났다. 화북동의 경우, 단독주택의 침수영향이 높게 나타났으며 이는 추후 재해에 따른 인명피해가 발생할 가능성이 있으므로 방파제 및 호안시설의 영향을 고려한 영향분석 및 추가적인 연안 보호시설의 건설이 필요하다고 판단된다. 주요시설로서는 우도항, 성산포항, 제주항 등 항만시설이 침수지역에 포함된 것으로 나타났으며, 이는 물류 및 해운활동에 상당한 영향을 미칠 것으로 사료된다.

기후변화는 매우 다양한 변동성을 내포하고 있기 때문에 예측은 불확실하다. 해양의 측정 자료 부족으로 인해 해수면 상승의 장기적인 예측은 더 어려우며, 또한 태풍으로 인한 일시적인 해일의 발생에 따른 변동성이 매우 크기 때문이다. 이에 따라, 지속적인 데이터 구축을 통해 신뢰성이 높은 모델 개발과 조석, 해일, 방파제로 인한 해일 감쇄효과, 태풍의 내습각도 등 종합적인 요인을 고려한 영향 분석이 필요하다. 또한, 해수면 상승에 대한 영향이 상대적으로 큰 지역을 중심으로, 고정밀 LiDAR 측량을 통해 보다 신뢰성 높은 등고 데이터를 이용하는 방법이 현실적인 GIS 분석으로 판단된다. 향후, 개선된 영향분석 연구는 재해 위험 예상지구의 정보 DB화를 함으로써 피해정도의 정량적인 예측이 가능할 뿐만 아니라, 주요시설 이전 및 유지관리에 따른 효율적인 의사결정의 도구로 활용 가능할 것으로 사료된다.

본 연구는 해수면 상승에 따른 건설 분야의 영향분석을 통해 정부 산하기관의 전략적인 대응방안 및 정책수립에 활용될 기초자료로 생각된다.

VI. REFERENCES

- 강운산(2004), 기후변화가 건설업에 미치는 영향과 대응 방안, 한국건설산업연구원
- 강주환, 박선중, 문승록, 윤종태(2009), 태풍의 특성변화에 따른 경남해역 해일양상 고찰, 한국해안·해양공학회논문집, 21(1), 1-14
- 강주환 외(2010), 제주권 풍재해 저감을 위한 태풍 재해대응 공동워크숍 자료, 내풍기술연구단/국가태풍센터
- 국립해양조사원, <http://www.khoa.go.kr/uoc/study/tide/change.asp>
- 도병덕, 허룡, 임관창(1999), 우리나라 연안의 해수면 변화, 국립해양조사원
- 문일주, 권석재, 이은일, 오상명(2008), 한반도 주변 해수면 상승과 해일강도 변화, 한국기상학회 봄 학술대회 논문집
- 오상명(2010), 지구온난화로 인한 한반도 연안 태풍 및 폭풍해일 강도 변화 연구, 제주대학교 석사학위논문
- 이철규, 김성근, 김경주(2006), 토목공학개론, 구미서관
- 이필재(2002), 지속가능한 개발과 건축, 친환경건축물(그린빌딩) 인증제도 합동 설명회자료
- 이한수(2003), 가속화된 해수면 상승에 의한 한반도 해안의 취약성 평가, 성균관대학교 석사학위논문
- 장동호, 김장수(2009), 충남 연안 지역에서 기후변화에 의한 해수면 상승에 따른 취약성평가, 한국지형학회지, 16(2), 1-13
- 제주발전연구원(2009), 기후변화 영향평가 및 적응모델 개발, 제주발전연구원 1차년도 연구보고서
- 조광우, 김지혜(2001), 지구온난화에 따른 한반도 주변의 해수면변화와 그 영향에 관한 연구1, 한국환경정책·평가연구원 연구보고서
- 조광우, 김지혜, 정휘철, Nobuo Mimura, Robert J.Nicholls(2002), 지구온난화에 따른 한반도 주변의 해수면변화와 그 영향에 관한 연구2, 한국환경정책·평가연구원 연구보고서

- 한종규, 김성필, 장동호, 장태수(2009), 항공 LiDAR 자료를 이용한 슈퍼태풍 내습시 해운대 해소육장 인근 도심지역 침수 피해 규모 추정, 한국 GIS 학회지, 17(3), 341-350
- Gregory, J.M. and J.A. Lowe.(2000), Predictions of Global and Regional Sea Level Rise Using AOGCMs with and without Flux Adjustment. Geophys. Res. Lett. 27: 3069-3072.
- IPCC(2007), Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge Univ. Press.
- IPCC(2001), Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge Univ. Press.
- Kitajima, S., Ito, T., Mimura, N., Tsutsui Y. and Izumi K.(1993), Impacts of Sea-level Rise and Cost Estimate of Countermeasures in Japan, Proceedings of the IPCC Eastern Hemisphere Workshop, 115-123.
- Kojima, H(2001), Vulnerability and adaptation strategies to sea-level rise in Japanese coast region, Proceedings of Coastal and Ocean Engineering in Korea, 12: 6-14.
- Mimura, N., Isobe, M. and Hosokawa Y.(1993), Coastal Zone in the Potential Effects of Climate Change in Japan, edited by Nishioka et al. Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, 57-69pp.
- Perez, R.T., Amadore, L.A. and Feir, R.B.(1999), Climate change impacts and responses in the Philippines coastal sector, Clim Res12: 97-107

감사의 글

대학원 과정을 마치게 되는 지금, 본 논문이 완성되기까지를 되돌아보면 그 동안의 시간들이 아쉽게만 느껴집니다. 보다 더 만족스러운 논문이 미련으로 남아 있기는 하지만 그래도 이 논문이 있기까지 많은 관심과 격정으로 주위에서 있어 준 고마운 분들께 진심으로 감사의 말씀을 드리고 싶습니다.

우선 지금의 제가 있도록 언제나 관심과 사랑으로 이끌어주신 이동욱 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 학문과 지식뿐만 아니라, 인간적으로 부족한 저에게 많은 가르침을 주셨습니다. 또한 석사과정동안 많은 가르침과 격려로 지도해주신 양성기 교수님, 김남형 교수님, 남정만 교수님, 이병걸 교수님, 김상진 교수님께 감사의 말씀을 드립니다.

연구실 만형으로써 아낌없는 격려와 도움을 주신 홍준이형, 2년 동안 연구실에서 함께하며 힘이 되어준 준영이형에게 고마움을 전합니다. 연구실 생활을 하면서 학문적 발전뿐만 아니라 보람된 대학원 생활을 할 수 있었습니다. 연구에 몰입양면으로 지원해주신 진우이노베이션 이무용사장님, 오상규부장님과 여러 가지 기술적으로 가르침을 주신 우열이형, 정우형에게 감사의 말씀을 드립니다.

정신적 지주이자 항상 저를 지켜주는 정운이형과 무근이형, 대학원 생활을 함께한 용현이형, 석현이형, 수민이형, 서리, 주경에게 고맙다는 말을 전하고, 이번에 입학한 도한이형, 준혁이형에게 축하의 말을 전합니다. 대학원 생활 동안 자주 만나지도 못하면서 항상 곁에서 언제나 밝은 모습으로 힘이 되어준 친구들과 토목과 형들에게도 고맙다는 말을 전합니다.

마지막으로, 항상 걱정스런 마음으로 당신의 아들을 보살펴주신 사랑하는 부모님과, 동생에게 저의 작지만 소중한 결실을 바칩니다.

2010년 12월

부 양 수