

해수면 상승에 따른 연안 건설시설물의 영향 분석

박준영*, 부양수*, 이동욱*

*제주대학교 토목공학과

e-mail:jypark@jejunu.ac.kr

Analysis of Influences on the Coast Construction Facilities depending on Sea Level Rise

Jun Young Park*, Yang Su Bu*, Dong Wook Lee*

*Dept. of Civil Engineering, Jeju National University

요 약

기후변화는 기상재해뿐만 아니라 지속적인 해수면 상승의 원인이 되고 있으며, 자연 생태계와 인간 사회, 경제시스템 전반에 걸쳐 영향을 미치고 있으며, 건설분야도 이와 무관하지 않다. 특히 기후변화는 해수면 상승으로 이어져 사회기반시설인 항구, 연안도로, 철도, 빌딩 등과 연안산업인 석유 및 석유화학공장, 그리고 서비스업인 관광에 대한 위협으로 나타나고 있다.

이러한 해수면 상승은 토지 및 건물의 재산 가치 하락과 해수면 상승에 따른 보호비용 증대, 구조물의 급속한 노후화에 따른 유지관리비용의 증가뿐만 아니라 정치적·제도적 불안 및 사회동요 등을 유발할 수 있다.

우리나라의 경우, 지난 100년간 6대 도시 평균기온이 약 1.5℃ 상승하였으며, 해수면(제주기준)은 40년간 22cm가 상승하였다. 특히 제주의 경우 매년 5mm씩의 해수면 상승을 보이고 있으며 이는 전 지구 해수면 상승률보다 3배 높은 수치이다.

본 연구는 해수면의 상승에 따른 건설분야의 영향을 분석하기 위한 선도적인 연구로서, 연구의 범위를 제주지역에 국한하였으며, 해수면 상승에 따른 영향 지역을 추출하고, 영향 지역 내 건설시설물 정보를 추출하기 위한 절차를 규명하였다. 본 연구 결과는 유지보수 및 시설물 이설에 따른 공사비 산출의 근거가 될 뿐만 아니라 관련 예산 확보에 대한 근거 자료로 활용될 수 있을 것이다. 향후 관련 지역의 유지보수 및 이설 공사비 정보의 추출 및 DB 구축을 통해 연안 건설 시설물의 이설에 따른 공사비를 예측할 수 있을 것이다.

1. 서론

건설공사는 현장에서 생산이 이루어지기 때문에, 자연조건의 영향을 많이 받는 특징이 있다. 건설공사는 위치이동이 불가능하므로 - 직접 구조물이 만들어질 위치에서 시공이 이루어지기 때문에 - 지형, 지질, 기후, 토지사정 등 자연 조건에 영향을 많이 받는 특징이 있다. 특히, 최근 들어 공사 목적물이 시공되는 현장의 경우, 자연 조건 뿐만 아니라 기후 조건에 많은 영향을 받는 경향이 있다.

기후변화는 기상재해뿐만 아니라 지속적인 해수면 상승의 원인이 되고 있으며, 자연 생태계와 인간

의 사회, 경제시스템 전반에 걸쳐 영향을 미치고 있다. 건설분야도 기후변화와 무관하지 않으며, 특히 기후변화는 해수면의 상승으로 이어져 사회기반시설인 항구, 연안도로, 철도, 빌딩 등과 연안산업인 석유 및 석유화학공장, 그리고 서비스업인 관광에 대한 위협으로 나타나고 있다.

또한 토지 및 건물의 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.

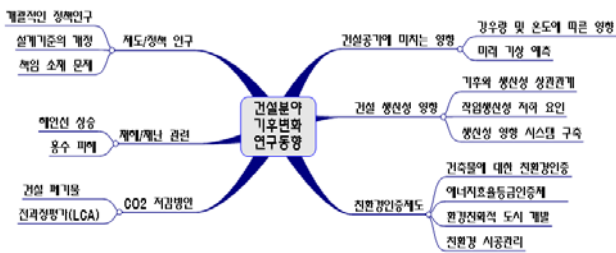
기후변화에 대한 불확실성이 증가하는 시점에서

많은 국가에서 기후변화에 따른 건설분야 영향 정도를 분석하고 있으며, 특히 해수면 상승으로 인한 시설물의 유지보수, 보강 및 이설에 따른 문제점을 분석하고 있다. 본 논문에서는 기후변화와 건설분야의 관련성을 살펴보고, 해수면 상승에 따른 영향 정도를 예측해 보고, 해수면 상승에 따른 건설시설물의 이설에 따른 영향 정도를 예측하기 위한 절차를 규명하고자 한다.

2. 연구동향 및 기후변화 대응현황

2.1. 연구 동향

해외 여러 국가가 정부 및 여러 연구기관에서 기후변화에 대해서 총체적으로 관심을 기울이고 있는 반면에, 우리나라의 경우에는 현 정부 들어서 녹색성장 정책의 추진과 함께 기후변화에 관심을 가지고 중앙부처에서 관련 정책을 쏟아내고 있는 실정이지만, 아직 체계적인 연구와 기후변화에 따른 영향 및 대응방안을 제시하지는 못하고 있는 실정이다.



[그림 1] 국내 기후변화 관련 건설분야 연구동향

기후변화에 따른 국내 건설분야의 연구는 6가지 측면에서 이루어지고 있다.

첫째, 제도 및 정책연구로서, 기후변화와 관련된 전반적인 개괄연구와 더불어 설계기준의 개정과 건설시설물의 손괴에 따른 책임소재에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 둘째, 건설공사기간의 연장 및 지연에 따른 예측과 관련된 연구로서, 강우와 폭풍뿐만 아니라 폭염과 혹한에 따른 공사의 불가능으로 인한 공기연장 및 지연 영향에 대한 연구이다. 셋째, 건설생산성 관련 연구로서, 기후와 생산성과의 관련성 규명에 대한 연구와 생산성 저하 영향 예측이 주를 이루고 있다. 넷째, 기후변화 관련 연구로서 가장 많은 관심이 집중되고 있는 분야는 재해 및 재난에 따른 예측과 관련 피해/복구 비용을 산정하는 분야이며, 다섯째, 건축물에 대한 친환경인증제도 관련된 분야는 가장 많은 연구가 진행되고 있는 분야로서, 건축물에 대한 친환경인증, 에너지효율등급제, 환경

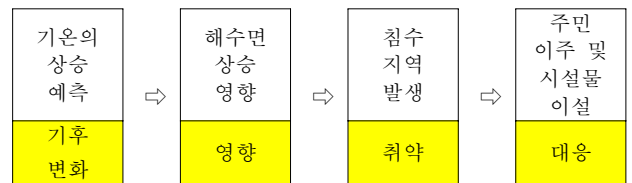
친화적 도시개발, 친환경 시공관리가 주요한 내용이다. 마지막으로 여섯째는 온실가스 저감에 대한 연구로서, CO2 저감을 위한 구체적인 사례로서 건설 폐기물에 대한 재활용 연구와 건설 구조물의 전과정에 걸친 온실가스 발생량을 측정하는 연구가 주를 이루고 있다.

2.2 각국의 기후변화 대응 현황

미국의 경우, 연방정부 뿐만 아니라 주정부차원에서 기후변화에 대응하는 위원회를 설치하고, 각 사회/경제분야별로 기후변화에 따른 영향과 대응방안을 모색하고 있다. 연방정부 차원의 가장 눈에 띄는 대응방안을 보면, 미 해군 시설물 관리를 관할하고 있는 Naval Facilities Engineering Command의 경우, 각 지역별 해수면 상승 추이를 분석하여 해수면 상승에 따른 해군 시설물 이전비용과 주요 시설물의 이전계획을 수립하고 있다.

영국의 경우, 기후변화와 해수면의 상승에 따른 영향을 전 지역에 따라 조사하였으며, 그 결과 전체 연안의 17% 정도 지역에서 침식이 일어나고 있으며, 그 결과 조간대의 2/3 이상이 과거 100년간 지속적으로 유실되어, 완만한 조간대가 가파르게 변화되고 있음을 파악하고 이에 대한 대비책을 마련하고 있다.

일본의 경우, 기후변화에 따른 시나리오를 작성하여 시나리오별 대응전략을 수립하고 있음. 특히 기온 상승에 따른 영향을 분석하여 그에 따른 취약 부문과 대응(적응)전략을 수립하고 있다.



[그림 2] 일본의 기후변화에 따른 대응 시나리오

3. 기후변화와 건설분야 영향

기후변화는 해수면 상승뿐만 아니라 해수 산성화, 염분 농도의 변화, 해일/태풍의 대형화, 연안의 침식 등 다양한 형태로 나타나고 있다. 대기 중의 이산화탄소 농도의 증가는 바닷물의 산성화를 가속화시키고 있으며, 기후변화로 인한 강수, 증발, 대양의 순환 및 해빙 등은 염분의 변화에도 영향을 미치고 있다. 또한 해수 온도의 증가에 따라 해일/태풍의 대형화를 초래함으로써 연안의 침식과 연안 건설

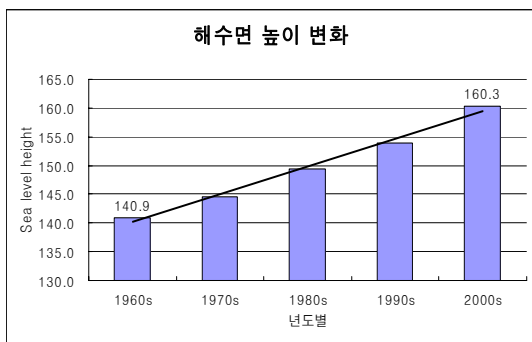
시설물의 노후화 등 지대한 영향을 미치고 있다.

이와 같이 기후변화 및 해수면의 상승은 침수지역의 확대, 연안 건설시설물의 노후화, 항만시설 및 해운활동에도 미치는 영향이 매우 크다. 특히 해수면의 상승이 심각하게 나타나고 있는 우리나라의 경우, 기후변화와 해수면 상승에 대한 면밀한 검토와 그에 따른 건설 시설물의 영향 분석, 나아가 도로 및 항만 등 건설시설물의 유지보수/이설에 따른 공사비의 예측이 필요한 시점이다.

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change, 기후변화에 관한 정부간 패널) 제4차 평가 보고서에 따르면 금세기말 지구 평균기온은 최대 6.4℃, 해수면은 59cm 상승할 것으로 전망하고 있다.

지난 100년(1906~2005)간의 전 지구 평균온도는 0.74(0.56~0.9)℃ 상승한 것으로 나타났고, 지구 온난화로 지구의 평균 해수면은 1961년 이후 매년 1.8(1.2~2.3)mm/yr 상승하고, 1993년 이후에는 3.1(2.4~3.8)mm/yr 상승한 것으로 관측되었다.

우리나라의 경우, 지난 100년간(1906~2005년) 6대 도시 평균기온은 약 1.5℃ 상승하였으며, 해수면(제주)은 40년간 22cm 상승(세계 평균 매년 1.8mm)한 것으로 관측되고 있다. 특히 우리나라 연안의 평균 해수면 상승률을 해역별로 살펴보면, 서해연안은 1 mm/year, 동해연안은 1.4 mm/year, 남해연안은 3.4 mm/year이며, 제주도의 경우, 서귀포 6 mm/year, 거문도 5.9 mm/yr, 제주 5 mm/yr로 전 지구 해수면 상승률(1.8 mm/yr)보다 3배에 빠르게 해수면이 상승하고 있는 것으로 조사되었다(부산은 매년 2.5 mm 해수면이 상승).



[그림 3] 제주의 평균 해수면 높이변화(1960-2000)

일본의 경우 해수면 상승으로 인하여 부두 접안 시설을 높이고 수문 및 배수시설 등을 설치하는 것이 필요한 것으로 조사되었으며, 이러한 방재대책을 위해 일본의 경우 1m 해수면 상승시, 11조5천엔의

비용과 연안보호를 위해 20조엔 이상(1993년 기준)의 비용이 필요할 것으로 추산하였다.

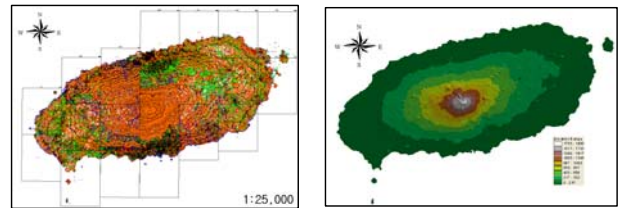
미국의 해군 시설물 관리를 관할하고 있는 Naval Facilities Engineering Command의 경우, 해수면의 상승으로 인한 해군 시설물의 이전비용으로 \$103 billion으로 소요되며, 약 54,590 여개의 시설물의 이전이 불가피한 것으로 추정하고 있다.

4. 연안시설물 영향 분석절차 도출

우선 제주지역에 국한하여 연안시설물의 영향 정도를 파악하고자 하며, 기후변화 및 해수면 상승에 따른 연안 건설시설물 유지보수 및 이설 비용 예측 절차는 다음과 같이 도출되었다.

① 수치지도를 이용한 제주도 수치표고모델 생성

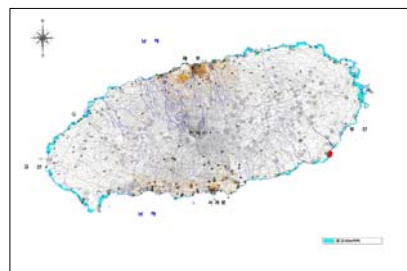
침수지역을 분석하기 위해서는 DEM(digital elevation model)을 생성할 것이 필요하며, 1:25,000 수치지도로부터 등고선을 추출하고 등고선을 TIN으로 연결하여 DEM을 나타낸다.



[그림 4] 1:25,000수치지도(좌), DEM(수치표고모델)(우)

② 3차원 수치표고모델을 이용한 침수예상지역추출

GIS 프로그램인 arcview로 3차원 DEM을 이용하여 GIS 공간분석기법으로 해수면 상승으로 인한 침수지역을 추출한다.



[그림 5] 수치지도에서의 침수예상지역 추출

③ 위성영상을 이용한 정사영상 생성

도로 및 시설물의 위치정보를 추출하기 위해서는 위성영상으로부터 정사영상을 만드는 것이 필요하며, 정사영상은 위에서 생성된 수치표고모델을 이용하여 정밀수치 편위수정방법에서 간접법을 이용하여 제작하고자 하며, 사용된 프로그램은 수치사진측량 모듈 중 ISBR(ImageStation Base Rectifier)를 사용

하며, 보간법으로는 공이차보간법을 사용한다.

④ 정사영상으로부터 도로 및 시설물 정보 추출

도로 및 시설물 정보를 정사사진으로부터 추출하며, 도로 및 시설물의 정보를 추출하기 위해서는 우선 경계선 추출연산자를 선택하여야 하는데 현재 가장 많이 사용되고 있는 연산자로는 Sobel 연산자, Log(Laplacian of Gaussian)연산자, Canny 연산자가 있으며 본 연구에서는 Log연산자를 이용하여 도로 및 시설물 경계선을 추출한다.

⑤ 침수예상지역에 속하는 도로 및 시설물 추출

침수예상지역에 속하는 도로 및 시설물을 추출하기 위해서는 정사영상으로부터 추출된 도로 및 시설물 지도를 GCP(ground control point)를 이용하여 기하적 보정을 실행하고 침수예상지역이 표시된 수치지도에 중첩시키며, 중첩된 지도에서 침수지역에 속하는 도로 및 시설물 정보만 GIS기법인 네트워크 분석기법으로 추출한다.

⑥ 도로 및 시설물 공사비 DB 구축

도로 및 시설물 공사비 DB는 기존의 건설공사에서의 공사비 자료정보를 통하여 도출 할 수 있으며, 정확도를 높이기 위해서는 많은 건설공사에 대한 공사비 자료가 필요하며, 해당 인접 지역의 공사비 자료를 활용할 수 있다.

⑦ 공사비 통계정보를 통한 공사비 예측

시설물별로 주요 공사비 영향 척도의 개발이 필요하며, 이를 토대로 침수 예정 지역의 시설물에 대한 공사비를 예측한다.

5. 결론 및 기대효과

건설공사는 현장에서 생산이 이루어지기 때문에, 자연조건의 영향을 많이 받는 특징이 있으며, 특히 기후변화에 따른 해수면 상승은 연안시설물의 노후화의 촉진뿐만 아니라 보수/보강 및 이설문제의 발생으로 공사비 증가를 초래하는 요인으로 대두되고 있다.

본 논문에서는 이러한 해수면 상승에 따른 연안 시설물의 영향 정도를 분석하기 위한 1차적인 연구로서, 연안시설물에 대한 영향정도를 분석하기 위한 절차를 제시하였으며 다음과 같다.

- ① 1:25000 수치지도를 이용한 제주도 수치표고모델 생성
- ② 3차원 수치표고모델을 이용한 해수면상승에 따른 침수예상지역추출
- ③ 위성영상을 이용한 정사영상 생성

- ④ 정사영상으로부터 도로 및 시설물 정보 추출
- ⑤ 침수예상지역에 속하는 도로 및 시설물 추출
- ⑥ 도로 및 시설물 공사비 DB 구축
- ⑦ 공사비 통계정보를 통한 공사비 예측

기후변화(해일, 해수면 급변동, 수해위험지구, 위험 시설물 지구 등)에 대한 재해 위험 예상지구의 정보를 DB화하여 관리함으로써, 기후변화에 따른 건설시설물의 실시간 모니터링(정보제공 및 예·경보)이 가능할 것으로 예상되며, 특히 기후변화 및 해수면 상승에 따른 연안 건설구조물에 대한 영향 분석을 통해 사전에 재해를 예방할 수 있을 뿐만 아니라, 피해 정도의 정량적인 예측이 가능할 것이다.

또한 해수면 상승에 따른 연안시설물에 대한 영향 분석은 기후변화 및 해수면 상승으로 인한 건설분야 예산 및 공사비 증가에 대한 증거 자료로 활용이 가능하며, 무엇보다도 정부와 지자체의 기후변화에 따른 정책적 예산확보 및 실무처의 정책수립에 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Construction Research Communications, "Impact of Climate Change on Building", 1998
- [2] Khaled El-Rayes and Osama Moselhi, "Impact of Rainfall on the Productivity of Highway Construction", Journal of Construction Engineering and Management, 127(2), pp.125-131, 2001
- [3] Thomas H. Randolph, David R. Riley, and Victor E. Sanvido, "Loss of labor productivity due to delivery methods and weather", Journal of Construction Engineering and Management, 125(1), pp.39-46, 1999
- [4] 강운산, "기후변화가 건설업에 미치는 영향과 대응 방안", 한국건설산업연구원, 2004
- [5] 김지혜, 차희성, 신동우, "건설현장의 폐기물 관리 성과 평가 틀 개발 : 2단계 - 폐기물 관리 성과 요인의 정량화 및 평가 틀 구축", 한국건설관리학회논문집, 제8권 제2호, 2007
- [6] 이근효, 김경래, 신동우, "국내 건설공사의 기후 조건에 의한 작업능력일 예측방법 개선", 한국건설관리학회논문집 제7권 제4호, 2006