지역 평균해수면을 고려한 태안지역의 해수면 상승에 따른 침수 취약성 평가

김장수 · 장동호

공주대학교 지리학과

(2013년 7월 12일 접수, 2013년 7월 26일 수정, 2013년 8월 9일 게재 확정)

Vulnerability Assessment under the Sea Level Rise Considering Regional Mean sea-level in Taean-gun, Korea

KIM, Jang-soo · JANG, Dong-Ho

Department of Geography, Kongju National University

(Received 12 July 2013, Revised 26 July 2013, Accepted 9 August 2013)

Abstract : In analyzing the inundation area attributed to the sea level brought about by climate change, previous researchers derived a different inundation area from the actual one by applying a uniform sea level rise without taking into account the regional mean sea level. This study has attempted to analyze the inundation area by devising a sea-level rise scenario that considers the regional mean sea level of the study area. In addition, a comparative analysis was conducted on the area of inundation vulnerabilities between the sea level rise scenario that takes into account the regional mean sea level and one that does not. As a result of study, an error between the actual mean sea level and topographic elevation was corrected by using the height of the tide observation data of the area. Next, a total of nine scenarios on the sea level rise of the Taean region (SLR-T 1.1~SLR-T 3.3) were devised using the IPCC SRES scenario, RCP 8.5 scenario, height of the tide data and storm surge height, among others. Finally, the results showed that the inundation area by scenario was at least 4.17km²(SLR-T 1.1) up to 168.41km²(SLR-T 3.3), which was about 45% less than that of the scenario devised without considering the mean sea level that reflects the regional differences. In other words, results of the analysis on the inundation area using conventional methods turned out to be wider than that of the actual inundation area.

Key Words : sea-level rise, inundation area, Taean, mean sea-level, scenario, climate change

1. 서론

지난 2007년 발표된 IPCC 제4차 평가보고서는 21세기말까지 인간의 활동에 의한 지구온난화로

지구평균기온이 최대 6.4℃, 해수면은 최대 59cm 까지 상승할 것으로 예측하였다(IPCC, 2007). 또한 곧 출간될 IPCC 제5차 평가보고서에서는 기존 평가보고서에서 예측되었던 값보다 더 높게 해

수면이 상승할 것으로 예측되고 있어 이에 대한 대책이 시급하다(국립기상연구소, 2011).

지구온난화로 인한 기후변화 중 인간사회에 가장 큰 악영향을 줄 수 있는 요소 중의 하나가 해수면 상승인 것으로 평가되고 있다. 즉, 해수면 상승은 저지대 및 습지의 범람, 연안역의 침식, 강이나 지하수로의 해수 유입, 하천의 수위 증가, 조석과 파동의 변화, 퇴적물의 변화 등을 유발하며, 그 결과 인간 거주지, 자연 생태계, 수자원, 수송, 관광 및 각종 산업시설에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다(한국환경정책·평가연구원, 2002). 특히, 해안지역은 지구온난화로 인한 강수 및 태풍의 강도와 빈도의 변화에 직접적인 영향을 받는 지역으로 기후변화의 가장 취약지대로 인식되고 있다. 한국은 해안지역을 중심으로 백중사리, 태풍이나 폭풍 등에 의한 해일과 같은 기상재해에 의하여 이미 해수 범람 및 해안침식, 지하수로의 해수 유입 등의 문제로 상당한 피해를 주기적으로 경험하였으며, 향후 지구온난화로 인한 해수면 상승 및 태풍, 강수 변동 등의 중첩으로 그 증가가 예상된다.

기후변화에 의한 해수면 상승에 따른 악영향 중 침수는 연안환경에 미치는 가장 큰 영향으로서 육지가 습지로 변하고, 습지가 바다로 변하는 현상을 말한다. 만일 해수면의 변동이 과거와 같이 수천 년, 수 만년의 긴 시간을 가지고 변화하는 것이라면 이 환경의 변화에 보조를 맞추어 연안역의 모든 요소들은 적응을 할 수 있을 것이다. 즉 산호초 섬은 산호의 사립퇴적물에 의하여 해수면 위로 유지되며, 삼각주는 강이 운반해 오는 퇴적물의 집적으로 그 형태를 유지하고, 사주는 육지 쪽으로 이동하며 그 명맥을 유지할 수 있을 것이다. 그러나 인간의 활동에 의해 유발되는 지구 온난화에 따른 해수면 상승의 경우 그 속도에 있어서 자연현상이 적응할 수 있는 범위를 넘어서기 때문에

문제가 되고 있는 것이다(한국환경정책·평가연구원, 2002).

해수면 상승에 의한 침수와 관련된 국외연구를 살펴보면, Perez *et al.*(1999)은 해수면 상승으로 인해 필리핀 마닐라만 연안의 생태시스템과 사회경제적 활동에 직접적으로 영향을 주고 있으며, 해수면이 1m 상승했을 때 200~300만 명이 악영향을 받을 것으로 예측하였다. Nicholls *et al.*(1999)은 Hadley Center의 GCM(General Circulation Model)을 이용하여 해수면 상승에 따른 전 세계 해안지역의 습지가 2080년까지 22% 정도 손실이 발생할 것으로 예측하였다. 또한 Schirmer and Schuchardt(2001)은 북부 독일의 Weser강 하구지역의 습지에 대해 해수면 상승에 따른 영향을 수문학, 사회경제학, 생물학적 이슈를 중심으로 평가하였다.

최근에는 IPCC 시나리오를 이용한 연안 침수 관련 다양한 연구들이 진행되고 있는데, Hall *et al.*(2003)은 UKCIP02(IPCC SRES(Special Report on Emissions Scenarios) B1, B2, A2, A1F1에 해당) 지역모델을 이용하여 영국의 잉글랜드 지방과 웨일즈 지방을 대상으로 기후변화에 의한 침수위험도를 작성하였다. Maria *et al.*(2008)은 모로코의 Tangier Bay 지역을 대상으로 IPCC IS92a 시나리오와 모로코 해안에서 발생했던 폭풍 해일의 파고를 이용하여 2050년과 2100년에 발생가능한 해수면 상승 시나리오별 침수지역 추출 및 토지이용에 따른 피해를 예측하였다. 또한 Poulter *et al.*(2009)은 North Carolina 해안지역을 대상으로 기후변화에 의한 해수면 상승에 따른 물리적, 생태학적, 사회·경제학적 영향을 IPCC SRES(A1F1, A2, B1)를 적용하여 예측하였다.

다음으로 항공 LiDAR(Light Detection And Ranging) 자료를 이용한 침수위험도 작성 연구도 진행되고 있는데, Kirwan and Murray(2008)은

Canada British Columbia의 Westham 섬 간석지의 염생습지를 대상으로 LiDAR 자료를 이용하여 간석지 고도를 구하고, AOGCMs(coupled Atmosphere-Ocean GCMs)와 IPCC SRES의 A1F1 시나리오를 이용하여 2100년까지 간석지 염생습지의 침수면적이 55%이상 증가한 것으로 예측하였다. 또한 Chust *et al.* (2010)은 Biscay만의 Gipuzkia 해안의 침수위험지도 작성을 위해 LiDAR 자료를 사용하였으며, 그들은 IPCC SRES 중 A1B와 A2 모델을 이용하여 2099년에 해빈의 폭이 평균 25%정도 짧아질 것으로 예측하였다. 이밖에 기후변화로 인해 태풍의 내습과 폭풍해일에 의한 침수 피해가 증가될 것이라는 우려 속에 폭풍해일과 파고 등의 자료를 이용하여 침수 위험지역을 추출하는 연구들이 다수 연구자들에 의해 이루어졌다(Blain *et al.*, 1994; Feyen *et al.*, 2000; Benavente *et al.*, 2006; Webster and Stiff, 2008).

국내에서도 기후변화에 의한 해수면 변동에 관한 연구가 다양한 분야에서 활발히 진행되고 있지만, 주로 해수면 상승에 영향을 미치는 여러 인자와의 상관성 연구에 그 초점이 맞춰져 있는 실정이다(하경자 등, 2006; Kang *et al.*, 2005). ‘해수면 상승이 한반도 연안역에서 어떠한 영향을 미칠 것인가?’에 대한 연구는 몇몇 연구자에 의해 수행되었다. 최진영 등(2006)은 IPCC 제3차 보고서에서 제시된 시나리오를 이용하여 한반도 침수 가능 면적을 예측하였는데, 그 결과 한반도 서해안이 동해안이나 남해안에 비해 20배가량 침수면적이 늘어날 것으로 전망하였다. 또한 장동호·김장수(2009)는 충남 연안지역을 대상으로 원격탐사 및 GIS 기법을 이용하여 IPCC SRES 시나리오별 침수 취약지를 분석하였다. 이밖에 백중사리나 폭풍해일에 의한 해안 침수예상도 작성에 관한 연구는 다양한 학문분야에서 여러 연구자들에 의해 현재 활발히 진행되고 있는 실정이다(원대희

등, 2004; 문승록 등, 2007; 김상봉, 2008; 한종규 등, 2009; 맹다혜·장동호, 2011; 정혜란·장동호, 2011; 장동호 등, 2012).

이상의 해수면 상승에 따른 연안지역 침수와 관련된 대부분의 기존 연구에서는 전 지구적인 해수면 상승 시나리오를 바탕으로 국가 단위 또는 광역지역의 해수면 상승에 따른 침수 취약지를 분석하였다. 또한 수치지형도를 이용한 기존 연구에서는 많은 연구자들이 조위를 고려하지 않고 침수 취약지를 분석하였다. 따라서 본 연구에서는 지역적으로 다르게 나타나는 해수면 상태를 고려한 해수면 상승시나리오를 작성하여 연구지역의 침수 취약지를 분석하였으며, 연구지역의 조위관측 자료를 이용하여 실제 평균해수면과 지형도 고도와의 오차를 보정하여 태안지역 해수면 상승 시나리오를 작성하고자 하였다.

2. 연구지역 및 방법, 사용자료

1) 연구지역

연구지역은 태안반도 지역에 위치한 행정구역상 충청남도 태안군을 포함하는 전체 지역이며, 지리적 좌표는 126°06′36″E~126°26′48″E, 36°23′47″N~36°58′42″N에 해당한다(그림 1). 연구지역의 해안선은 복잡한 리아스식 해안을 이루며, 연안 수심이 얕고 조차가 커서 간석지가 넓게 발달되고 있으나 배후지는 좁다. 수심은 최고 80m 이내이며, 연근해의 수심은 20~30m 정도로서 비교적 낮은 편이다. 지형은 태안반도의 동측인 가야산지에서 서쪽으로 뻗은 낮은 산지가 주축을 이루고, 중앙부의 팔봉산(321m)과 백화산(284m)에서 서쪽으로 산지가 연속되면서 침수되어 수많은 만입과 굿(串), 크고 작은 도서를 형성하였다. 하천과 평지의 발달은 아주 미약하며, 다만 해미읍,

그림 1. 연구지역 위치도

서산시까지, 태안읍으로 연결되는 남부지역에 비교적 넓은 평지가 발달하였다(태안군, 2012).

태안반도는 서쪽이나 북서쪽이 열려있어 북서계절풍의 영향을 크게 받아 해변 및 해안사구가 집중적으로 분포한다. 반면에 안면도 동측의 천수만과 태안반도 북측의 가로림만, 근흥만 등과 같은 만입지에는 간석지의 발달이 탁월해 이질적인 경관을 보여준다. 특히 천수만에 면한 안면도 동쪽 해안은 넓은 간석지가 발달해 있는데, 이는 천수만의 주요 조수로(tidal channel)와 갯골이 보령화력발전소가 입지한 보령시 쪽으로 치우쳐 지나가기 때문이다. 광범위한 간석지는 과거부터 지금까지 크고 작은 간척이 계속 이루어져 현재의 해안선은 직선화되어 있으며 바다로 상당히 전진

하였다(장동호 등, 2010).

2) 연구방법 및 사용자료

해수면의 상승이 어느 정도의 규모로 다가 올 것인지에 대한 예상은 앞으로 일어날 일이기 때문에 정확히 산출한다는 것이 불가능한 일이다. 그러나 지난 수 십 년간 여러 나라의 연구자들은 여러 개의 가정과 시뮬레이션 모델을 통해 해수면 상승치를 예측하고 있으며, 많은 연구자들이 이에 동의하고 있다. IPCC에서 발행된 제5차 보고서 내용 중 한반도 주변 해역의 해수면 상승 시나리오를 살펴보면, IPCC 제4차 보고서에서 예측된 21세기 말까지 최대 59cm보다 훨씬 높은 98cm(황해안)~128cm(동해안)를 예상하고 있다(국립기상연구소, 2011). 따라서 본 연구에서는 조위 및 폭풍해일고를 고려하여 기후변화로 인한 해수면 상승이 태안지역에서 어느 정도 발생할 것인지 분석하여 연구지역에 적용가능한 해수면 상승 시나리오를 작성하고자 하였다. 이를 위해 다음과 같은 연구방법으로 연구를 수행하였다.

먼저, 해안선 및 연안지역의 해수면 상승 변화 추이를 분석하고자 향후 태안지역에서 해수면이 얼마나 상승할 것인가를 평가하였다. 즉, 해수면 상승은 침식, 침수, 홍수와 범람의 증가, 염도 증가의 피해 등 많은 측면에서 연안지역에 영향을 가져오겠지만 그 중 가장 큰 변화는 침수로 인한 국토의 유실 및 토지이용의 제한일 것이다. 이를 위하여 IPCC 제4차 보고서에 수록된 SRES 시나리오와 IPCC 제5차 보고서에 수록될 RCP 8.5 (Representative Concentration Pathways 8.5) 시나리오를 이용하여 해수면 상승 시나리오를 선정하였다.

다음으로, 해수면 상승 시나리오에 의한 실험에서 해수면 상승의 추이를 정확히 예측할 수 없다는 제약을 줄이기 위하여 IPCC 제4차 및 5차 보

고서의 해수면 상승 시나리오를 이용하였다. 즉, 제4차 보고서의 2100년까지의 시나리오별 해수면 예상 상승치인 18cm, 43cm, 45cm, 48cm, 51cm, 59cm와 제5차 보고서에 수록될 한반도 해역의 상승치 중 연구지역이 위치한 황해의 예상 상승치 98cm를 사용하였다. 또한, 태안지역의 극조위 값과 대조승의 차 145.2cm, 과거 태풍 내습 시 관측된 최대 폭풍해일고 77cm를 이용하여 연구지역의 지역 해수면 상승 시나리오를 최종 작성하였다.

연구에 사용된 수치지형도는 국립지리정보원에서 제작된 1:5,000 수치지형도 148개 도엽을 이용하였으며, 연구지역의 조위 관측 자료 및 폭풍해일고 관측 자료를 수집하였다. 침수취약지 분석은 ArcMap 9.2를 이용하였다.

3. 지역 해수면 상승 시나리오 작성 및 시나리오별 침수면적 변화 분석

1) 지역해수면을 고려한 해수면 상승 시나리오 작성

본 연구에서는 태안지역의 지역 해수면 상승 시나리오를 작성하기 위해 IPCC SERS 시나리오 및 RCP 8.5 시나리오, 안흥지역의 조위자료 및 폭풍해일고 등을 고려하였다. 태안군은 남북으로 길게 늘어선 형태를 띠고 있다. 따라서 최남단인 고남면과 최북단인 이원면의 해안에서는 서로 다른 조위가 나타나고 있어 같은 태안지역 내에서도 평균해수면이 다르다. 이러한 이유로 본 연구에서는 연구지역 중앙부에 위치한 안흥지역의 조위자료를 이용하여 침수 취약지역을 분석하였다.

수치지형도를 이용한 해수면 상승에 따른 침수 지역 분석 시 대부분의 기존 연구자들은 지역 조위를 고려하지 않은 오류를 범하고 있다. 현재 우리나라의 지형도는 인천만 평균해수면을 기준으

로 작성되기 때문에 실제 인천이 아닌 지역에서 평균해수면과 지형도상의 고도차는 인천지역의 고도차와는 다르다. 이러한 문제는 해수면 상승에 따른 침수 취약지 분석 시 큰 오류를 포함하고 있을 가능성이 높으며, 인천에서 남쪽지방으로 갈수록 그 값이 커질 가능성이 크다.

본 연구지역의 중간 지점에 위치한 안흥지역의 평균해수면은 354.7cm이며, 대조승은 646.8cm이다. 인천검조소의 평균해수면은 463.5cm이므로 두 지역 간의 평균해수면으로부터의 고도차는 108.8cm이다(국립해양조사원, 1987; 1998). 즉 지형도를 사용하여 태안지역의 침수 취약지를 추출하기 위해서는 108.8cm를 지형도의 고도에 더해줘야 한다. 그러나 이러한 작업은 시간과 노력이 많이 들어, 본 연구에서는 해수면 상승 시나리오에서 인천지역의 평균해수면 값과 연구지역의 평균해수면 값의 차를 빼주는 방법을 사용하였다.

연구지역 해안은 조차가 크고 경사가 완만하여 간석지가 넓게 분포한다. 따라서 평균해수면을 기준으로 기존의 해수면 상승 시나리오를 바탕으로 침수 취약지를 분석하면 예상되는 침수지역이 대부분 간석지 내에 분포하게 된다. 이러한 결과로 인해 본 연구에서는 대조승, 최극조위 및 폭풍해일고를 바탕으로 3가지 시나리오를 작성하였다. 먼저, 안흥지역의 대조승 때의 조위를 기준으로 해수면 상승시나리오별 침수 위험지역을 산출하였다. 안흥지역의 대조승은 646.8cm으로 평균해수면보다 약 310cm가 더 상승하는 것으로 조사되었다(국립해양조사원, 1987). 다음으로, 현재도 백중사리와 같은 극조위 때 해안저지대에서는 침수피해가 발생하고 있다. 따라서 안흥지역의 과거 조위 관측자료 중 최극조위 값을 이용하여 침수 위험지역을 산출하였다. 과거 안흥지역의 최극조위 값은 1996년 8월 19일의 792cm이다(국립해양조사원, 2013). 마지막으로, 백중사리에 상

륙하는 태풍을 가정하여 분석하였다. 안흥지역의 폭풍해일고의 기록이 존재하는 1987년부터 2007년까지 한반도를 통과한 태풍 중 2000년 제 12호 태풍인 PRAPIROON이 한반도에 상륙했을 때 폭풍해일고가 77cm에 달했다(<http://www.kma.go.kr/>). 따라서 최극조위시 폭풍해일이 닳쳤을 때를 가정하여 예상되는 침수 위험지역을 분석하였다.

최종적으로 본 연구에서는 제4차 IPCC 보고서에 포함된 SRES 시나리오 중 가장 낮은 해수면 상승 값을 예상하는 B1과 가장 높은 해수면 상승 값을 예상하는 A1F1, 제5차 IPCC 보고서에 포함될 시나리오 중 가장 높은 값을 예상하는 RCP 8.5 시나리오를 바탕으로 총 9개의 태안지역 해수면 상승 시나리오(SLR-T; Sea-Level Rise at Taean)를 작성하였다. 각각의 시나리오별 해수면 상승 값 산출식은 다음 표 1과 같고, 다음 표 2는 시나리오별 해수면 상승 고도 값이다.

2) 해수면 상승 시나리오별 침수면적변화

기후변화에 의한 해수면 상승에 따른 연안지역의 침수 범위를 추출하여 침수취약지를 분석한 연구는 다수의 연구자 및 기관에서 행해졌다. 하지만 기존 연구 대부분이 각 지역의 조위를 고려하지 않고 지형도나 수치지형도, 혹은 원격탐사자료로부터 생성된 DTM자료를 이용하여 침수 범위를 산정하였다(전미숙, 1997; 원대희 등, 2004; 최진영, 2006; 문승록 등, 2007; 장동호와 김장수, 2009). 이러한 방법은 현재 우리나라에서 생산되는 지형도상의 고도를 잘못 이해한 것이다. 즉 지형도상의 고도는 인천만 평균해수면으로부터의 고도에 불과하지 어느 특정지역의 평균해수면으로부터의 고도는 아닌 것이다. 전술한 바와 같이 본 연구에서는 연구지역의 조위자료를 조사하여 작성된 평균해수면 자료를 이용하여 태안지역의 지역 해수면 상승 시나리오를 작성하고, 각 시나리오별 침수면적을 산출하였다.

작성된 해수면 상승 시나리오에 따른 침수 취약

표 1. 해수면 상승 시나리오 산출식

Base height	안흥(354.7cm) 및 인천검조소(463.5cm)의 차: - 108.8cm
SLR-T 1 height	- 108.8cm + 해수면 상승 시나리오 + 안흥검조소 대조승- 안흥검조소 평균해수면
SLR-T 2 height	SLR-T 1 + 극조위값(792cm) - 안흥검조소 평균해수면
SLR-T 3 height	SLR-T 2 + 폭풍해일고 극값(77cm)- 안흥검조소 평균해수면

표 2. 시나리오별 해수면 높이

(unit: cm)

Scenario	SLR-T 1(대조승)	SLR-T 2(최극조위)	SLR-T 3(폭풍해일고 포함)
B1	221.3	366.5	443.5
A1T	228.3	373.5	450.5
B2	226.3	371.5	448.5
A1B	231.3	376.5	453.5
A2	234.3	379.5	456.5
A1F1	242.3	387.5	464.5
RCP 8.5	281.3	426.5	503.5

표 3. 각 시나리오별 태안지역의 침수면적

Scenario		Inundation area(km ²)
SLR-T 1	SLR-T 1,1	4.17
	SLR-T 1,2	4.65
	SLR-T 1,3	5.66
SLR-T 2	SLR-T 2,1	8.04
	SLR-T 2,2	8.81
	SLR-T 2,3	9.92
SLR-T 3	SLR-T 3,1	10.59
	SLR-T 3,2	11.27
	SLR-T 3,3	168.41

지 면적은 표 3과 같다. 우선 SLR-T 1 시나리오의 침수 취약지 면적을 살펴보면, SLR-T 1,1 시나리오에서는 4.17km², SLR-T 1,2 시나리오에서는 4.65km², SLR-T 1,3 시나리오에서는 5.66km²가 침수되는 것으로 분석되었다. 다음으로 SLR-T 2 시나리오의 침수 면적은 SLR-T 2,1 시나리오에서 8.04km², SLR-T 2,2 시나리오에서는 8.81km², SLR-T 2,3 시나리오에서는 9.92km²가 침수되는 것으로 분석되었다. 마지막으로 SLR-T 3 시나리오에서의 침수면적은 SLR-T 3,1 시나리오에서 10.59km², SLR-T 3,2 시나리오에서는 11.27km², SLR-T 3,3 시나리오에서는 168.41km²가 침수되는 것으로 분석되

었다. 즉, 기후변화로 인해 해수면이 상승한 상태에서 백중사리나 태풍 내습으로 인한 일시적인 해수면 상승이 가해졌을 때 더 많은 면적이 침수되는 것을 파악할 수 있었다.

특히 SLR-T 3,3 시나리오에서는 약 169km²의 면적이 침수되는 것으로 분석되었는데, 과거 간척 전 태안지역의 형태와 비교적 유사한 모습을 보이고 있다. 이는 태안지역 대부분이 과거부터 이루어진 간척으로 대부분 제방으로 막혀 있으며, 고조위시 갑문을 닫으므로 5m(지형도상 약 6.09m) 이하의 해수면 상승으로는 해수면보다 낮은 땅이 존재할 수는 있지만 실제 해수에 의한 직접적인 침수는 발생하지 않기 때문으로 판단된다. 그러나 제방의 갑문이 닫혀 있는 상태에서 호우나 기타 기상재해로 인한 소하천 및 저수지의 범람이 발생한다면 낮은 해수면 상승으로도 2차 침수피해가 발생할 수 있을 것으로 예상된다.

표 4는 해수면 상승 시나리오에서 지역 평균해수면을 고려하지 않고 작성한 시나리오와 지역 평균해수면을 고려하여 작성한 시나리오와의 침수 취약지 면적 차이를 나타낸 것이다. 전체적으로 지역 평균해수면을 고려하여 작성한 본 연구의 시나리오가 약 45%정도 과소 추정되었다. 이는 지

표 4. 지역 평균해수면을 고려한 시나리오와 고려하지 않은 시나리오의 침수 면적 차이

Scenario	Inundation area(km ²)	Area variation(km ²)	Inundation area(km ²)	Scenario
SLR-T 1,1	4.17	▼ 4.12	8.29	SLR 1,1
SLR-T 1,2	4.65	▼ 4.19	8.84	SLR 1,2
SLR-T 1,3	5.66	▼ 4.32	9.98	SLR 1,3
SLR-T 2,1	8.04	▼ 4.60	12.64	SLR 2,1
SLR-T 2,2	8.81	▼ 4.46	13.27	SLR 2,2
SLR-T 2,3	9.92	▼ 161.48	171.40	SLR 2,3
SLR-T 3,1	10.59	▼ 161.45	172.04	SLR 3,1
SLR-T 3,2	11.27	▼ 161.89	173.16	SLR 3,2
SLR-T 3,3	168.41	▼ 5.85	174.26	SLR 3,3

그림 2. 지역 평균해수면을 고려하지 않고 작성한 SLR 시나리오별 침수 취약지

그림 3. 지역 평균해수면을 고려하여 작성한 SLR 시나리오별 침수 취약지

역별 평균해수면을 고려하지 않고 작성한 기존연구들이 해수면 상승에 따른 침수 취약지를 과대평가하고 있음을 보여주고 있는 것으로 판단된다.

그림 2는 본 연구에서 작성한 태안지역 해수면 상승시나리오에서 평균해수면을 고려하지 않고 작성한 해수면 상승 시나리오별 침수 취약지이며, 그림 3은 지역 평균해수면을 고려하여 작성한 해수면 상승 시나리오별 침수 취약지이다. 그림 2가 전체적으로 더 넓은 면적의 침수 취약지를 나타내고 있음을 분석할 수 있었다.

각 해수면 상승 시나리오별 침수 취약지를 보여주고 있는 그림 3을 소규모 지역별로 침수 취약지를 살펴보면, 대부분의 지역에서 침수 위험이 발생하지만 특히 안면읍과 고남면, 남면, 근흥면, 소원면, 이원면 지역에서 침수 취약지역이 나타난다. 침수 면적이 넓게 나타나는 지역은 고남면의 누동리, 안면읍의 중창리, 정당리, 창기리, 근흥면의 마금리, 소원면의 송현리, 이원면의 내리, 관리, 사창리, 태안읍의 어은리, 도내리 등이 해수면 상승 시나리오에 따른 침수 취약지역으로 나타났다.

이밖에 이원방조제가 있는 이원면 포지리, 내리 및 서산B지구 방조제가 위치한 남면 당암리, 양잠리 등도 대규모 침수피해가 발생할 것으로 예상되는데, 이들 지역은 대부분 경작지로 이용되고 있어 침수로 인한 그 기능을 잃을 것으로 판단된다. 특히 태안군 남단의 안면도는 전 연안에 걸쳐 침수취약지가 발생하는 것으로 분석되었다.

충남발전연구원(2008) 자료에서는 해수면이 0.5m 상승 시 태안군 연안에 펼쳐져 있는 갯벌과 해빈의 침수가 두드러지게 나타나고 있다고 분석하였다. 조간대를 따라 공기 중으로 노출되거나, 수면 아래로 잠기는 간석지의 생태계가 해수면 상승에 의해 수면 아래로 잠기게 되면 생태계의 교란이 발생할 수 있다고 보고하였다. 태안군의 대

표적인 관광산업인 해수욕장의 침수는 해빈이라는 자연지형에 의존해 사는 지역민들의 경제력에 커다란 타격을 줄 수 있고, 침수와 함께 병행되는 침식에 의해 해빈 주변에 들어선 제방과 관광시설들의 내구력에 피해가 발생할 것으로 예상하였다. 본 연구에서도 이와 마찬가지로 연구지역의 서쪽 지역에 탁월하게 발달한 해빈들이 SLR-T 2 시나리오에서 대부분이 침수 피해를 받을 것으로 나타났다. 따라서 해수면 상승에 따른 해빈의 침수로 인해 관광객들의 해빈 이용시간 감소와 해수면 상승으로 인한 해빈의 침식 및 후퇴, 그리고 이에 따른 제방(해빈 위에 축조된 제방)의 붕괴와 같은 2차적인 피해에 대한 대책이 필요한 실정이다.

4. 결론

현재 기후변화 취약성 평가는 특정한 시스템에 미치는 영향을 분석하는 평가에서 정책 대안을 제시하기 위한 평가로 변화하고 있는 추세이나, 아직까지 국내에서는 지역적인 특성을 고려한 해안 지역의 침수에 대한 연구가 미비한 실정으로 지역별 침수취약지의 파악이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 태안지역의 지역 평균해수면을 고려한 해수면 상승 시나리오를 작성하고, 기후변화에 의한 해수면 상승에 따른 태안 해안지역의 침수 취약지를 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

먼저, 수치지형도를 이용한 해수면 상승에 따른 침수지역 분석 시 많은 연구자들이 지역 평균해수면고를 고려하지 않은 오류를 범하고 있었다. 그러나 본 연구에서는 연구지역의 조위관측자료를 이용하여 실제 평균해수면과 지형도 고도와의 오차를 보정하였다. 최종적으로 IPCC SRES 시나리오 및 RCP 8.5 시나리오, 조위자료, 폭풍해일고 등을 이용하여 총 9개의 태안지역 해수면 상승 시

나리오(SLR-T 1.1~SLR-T 3.3)를 작성하였다.

다음으로, 시나리오별 침수면적은 최소 4.17km² (SLR-T 1.1)에서 최대 168.41km²(SLR-T 3.3)까지 침수되는 것으로 분석되었으며, 지역별로 차이를 나타내는 평균해수면을 고려하지 않고 작성한 침수 취약지 면적보다 약 45% 정도 과소 추정되었다. 즉 기존의 방식을 이용한 침수 취약지 분석은 실제 침수취약지보다 넓게 나타나는 것으로 분석되었다. 따라서 대조차 환경에 위치한 황해 주변 지역의 침수 취약지 분석에는 지역별 조위차를 반드시 고려해야 할 것으로 판단된다.

남북으로 길게 늘어선 태안지역의 특성상 태안 지역 내에서도 지역별로 평균해수면의 고도차가 발생하고 있다. 이는 본 연구에서 작성한 지역해수면 상승 시나리오가 안흥지역에서 멀어질수록 오차가 커진다는 것을 의미한다. 따라서 해수면 상승에 따른 침수 취약지 추출의 정확도를 높이기 위해서는 좀 더 세밀한 지역 해수면 상승시나리오 작성이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 향후 태안지역 내에 분포하는 다수의 검조소 자료를 활용하여 면단위 이하의 지역 해수면 상승시나리오를 작성하여 침수 취약지를 분석하여야 할 것이다.

본 연구를 통해 작성된 지역 해수면 상승 시나리오 및 침수 취약지는 태안 해안지역에서 기후변화 적응방안 마련을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 지역별 차이에서 오는 기후변화 취약성의 다양성을 인지하고, 기후변화 대응 전략 수립에 있어서 지역별 차이성을 대응 전략 수립의 밑바탕으로 적용해야 할 것으로 판단된다.

사사

이 논문은 기상청 기상지진기술개발사업(CA-

TER 2012-2068)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 국립기상연구소, 2011, IPCC 5차 평가보고서 대응을 위한 기후변화 시나리오 보고서.
- 국립해양조사원, 1987, 기본수준점성결과표(보령).
- 국립해양조사원, 1987, 기본수준점성결과표(안흥).
- 국립해양조사원, 1998, 기본수준점성결과표(인천).
- 국립해양조사원, 2013, 최극조위관측기록(안흥).
- 기상청, <http://www.kma.go.kr/>
- 김상봉, 2008, 제주도 연안해역의 폭풍해일고 산정, 제주대학교 대학원 석사학위논문.
- 맹다혜·장동호, 2011, 해운대 지역의 기후변화에 의한 해일고 변동에 따른 침수피해 평가, 한국지형학회지, 18(4), 141-152.
- 문승록·강태순·남수용·황준, 2007, 폭풍해일에 의한 해안침수예상도 작성 시나리오 연구, 한국해안·해양공학회지, 19(5), 492-501.
- 원대희·김계현·박태옥·최현우·곽태식, 2004, GIS를 활용한 연안침수지도 제작에 관한 연구, 한국지형공간정보학회지, 12(1), 69-77.
- 장동호·김장수, 2009, 충남 연안 지역에서 기후변화에 의한 해수면 상승에 따른 취약성 평가, 한국지형학회지, 16(2), 1-13.
- 장동호·김장수·윤정미, 2010, 지형도와 위성영상 자료를 이용한 태안반도 지역의 해안선 변화 분석, 한국사진지리학회지, 20(1), 57-70.
- 장동호·김찬수·박지훈, 2012, 다중시기 위성영상을 이용한 서산시의 토지피복 변화에 따른 침수 취약성 평가, 기후연구, 7(1), 82-97.
- 전미숙, 1997, 지구온난화로 인한 해수면 상승에 따른 충남 서해안의 해안선과 연안역 변화에 관한 연구, 공주대학교 석사학위논문.
- 정혜란·장동호, 2011, 사천만 지역의 해수면 상승 시나리오에 따른 침수지도 작성, 기후연구, 6(2), 143-158.
- 최진영·김계월·정일웅, 2006, 지구 온난화로 인한

- 해수면 상승과 한반도 침수 가능 면적의 전망, 한국기상학회 가을 학술대회 논문집, 198-199.
- 충남발전연구원, 2008, 서해안 해수면 상승에 따른 영향 및 대책.
- 태안군, 2012, 태안군지 1권.
- 하경자 · 정기용 · 장새롬 · 김기영, 2006, 복합위성자료 (Topex/Poseidon, Jason-1, ERS, Envisat)를 이용한 한반도 주변해역에서의 해수면 고도 변화와 해수면 온도의 상관성 연구, 원격탐사학회지, 22(6), 519-531.
- 한국환경정책 · 평가연구원, 2002, 지구온난화에 따른 한반도 주변의 해수면 변화와 그 영향에 관한 연구 II.
- 한종규 · 김성필 · 장동호 · 장태수, 2009, 항공 Lidar 자료를 이용한 슈퍼태풍 내습시 해운대 해수욕장 인근 도심지역 침수 피해 규모 추정, 한국 GIS학회지, 17(3), 341-350.
- Benavente, J., Rio, L. D., Gracia, F. J., and Martinez-del-Pozo, J. A., 2006, Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit(Cadiz Bay Natural Park, SW Spain), *Continental Shelf Research*, 26, 1061-1076.
- Blain, C. A., Westerink, J. J., and Luettich, R. A., 1994, The influence of domain size on the response characteristics of a hurricane storm surge model, *Journal of Geophysical Research*, 99(9), 18467-18479.
- Chust, G., Caballero, A., Marcos, M., Liria, R., Hernández, C., and Borja, Á., 2010, Regional scenarios of sea level rise and impacts on Basque(Bay of Biscay) coastal habitats, throughout the 21st century, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87, 113-124.
- Feyen, F. C., Atkinson, J. H., and Westerink, J. J., 2000, Issues in hurricane surge computations using a GWCE-based finite-element model, *Proceeding of 13th Conference on Computational Methods in Water Resources*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 865-872.
- Hall, J. W., Evans, E. P., Penning-Rowell, E. C., Sayers, P. B., Thorne, C. R., and Saul, A. J., 2003, Quantified scenarios analysis of drivers and impacts of changing flood risk in England and Wales: 2030-2100, *Environmental hazards*, 5, 51-65.
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. and Miller, H. L. eds.], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kang, S. K., Cherniawsky, J. Y., Foreman, M. G. G., Min, H. S., Kim, C. H., and Kang, H. W., 2005, Patterns of recent sea level rise in the East/Japan Sea from satellite altimetry and in situ data, *Journal of Geophysical Research*, 110, C07002, 1-10.
- Kirwan, M. L. and Murray, A. B., 2008, Ecological and morphological response of brackish tidal marshland to the next century of sea level rise: Westham Island, British Columbia, *Global and Planetary Change*, 60, 471-486.
- Maria, S., Tachfine, O., Abdou K., and Isabelle, N. D., 2008, Impacts of sea-level rise on the Moroccan coastal zone: Quantifying coastal erosion and flooding in the Tangier Bay, *Geomorphology*, 107, 32-40.
- Nicholls, R. J., Hoozemans, F. M. J., and Marcel Marchand, 1999, Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses, *Global Environmental Change*, 9, S69-S87.
- Perez, R. T., Amadore, L. A., and Feir, R. B., 1999,

- Climate change impacts and responses in the Philippines coastal sector, *Climate Research*, 12, 97-107.
- Poulter, B., Feldman, R. L., Brinson, M. M., Horton, B. P., Orbach, M. K., Pearsall, S. H., Reyes, E., Riggs, S. R., and Whitehead, J. C., 2009, Sea-level rise research and dialogue in North Carolina: Creating windows for policy change, *Ocean & Coastal Management*, 52, 147-153.
- Schirmer, M. and Schuchardt, B., 2001, Assessing the impact of climate change on the Weser estuary region: an interdisciplinary approach, *Climate Research*, 18, 133-140.
- Webster, T. and Stiff, D., 2008, The prediction and mapping of coastal flood risk associated with storm surge events and long-term sea level changes, *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, 39, 129-138.