기후변화 시나리오에 따른 충남지역의 해수면 상승 취약성 평가[1)]

장동호(공주대학교 지리학과)
김장수(공주대학교 지리정보학과)

1. 서 론

지구온난화로 인한 기후변화 중 인간사회에 가장 큰 악영향을 줄 수 있는 요소 중의 하나가 해수면 상승이다. 즉, 해수면 상승은 저지대 및 습지의 범람, 연안역의 부식, 강이나 지하수로의 해수 유입, 강 수위 증가, 조석과 파동의 변화, 퇴적물의 변화 등을 유발하며, 그 결과 인간거주지, 자연생태계, 수자원, 수송, 관광 및 각종 산업시설에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다(한국환경정책·평가연구원, 2002). 또한 해안지역은 지구온난화로 인한 강수 및 태풍의 강도 및 빈도의 변화에도 영향을 받게 되어 지구온난화와 기후변화의 가장 취약지대로 인식되고 있다.

충남 해안지역은 독특하고 대체 불가능한 자연생태계(사빈, 간석지, 해양생물 등)를 보유하고 있을 뿐만 아니라 수송, 산업시설, 자원, 관광 등 사회경제적으로도 매우 중요한 지역이다. 특히 이 지역은 여름철 백중사리 기간 중 해수면 상승에 의한 해안 저지대의 침수가 빈번한 지역으로 기후변화에 의한 해수면 상승에 따른 취약성 및 영향평가와 적응방안이 필요하다. 이러한 연유로 황해와 접한 충남 연안지역에 대한 기후변화 영향평가는 과학적인 예측에 근거한 해수면 상승에 따른 피해 예상지역 추출 및 그 피해에 대한 대응전략의 수립이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 원격탐사 자료를 이용하여 충남 연안지역의 토지피복 현황을 파악하고, IPCC SRES 시나리오별 해수면 상승에 따른 토지피복별 침수예상 면적을 정량적으로 추출하였다. 또한 각 시나리오별 해수면 상승에 따른 해안선의 변화를 GIS기법을 이용하여 정량적으로 분석하고, 해수면 상승에 따른 연안 침식 취약지역을 현장조사를 바탕으로 추출하고자 하였다.

2. 연구지역 및 방법

충청남도는 우리나라 중부지방의 서쪽에 위치하며, 지형은 전체적으로 저평하여 해발고도 1,000m 이상의 산지는 없다. 전반적으로 농경지와 구릉지가 발달되어 있고, 도 전체의 평균고도는 100m로서 전국에서 가장 낮다. 즉 충남지역은 지형상으로 우리나라의 대표적인 저지형 구릉성 산지를 형성하고 있다. 해안선은 리아스식 해안으로 복잡하며, 해빈이 비교적 넓게 발달하였다. 또한 내륙 깊숙이 연결되는 천수만, 가로림만 등 내만의 발달이

1) 이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2009-3115)의 지원으로 수행되었습니다.

두드러지며, 연안지역의 경사가 완만할 뿐 만 아니라 해안선의 총연장이 길며, 저고도의 도서가 다수 분포한다.

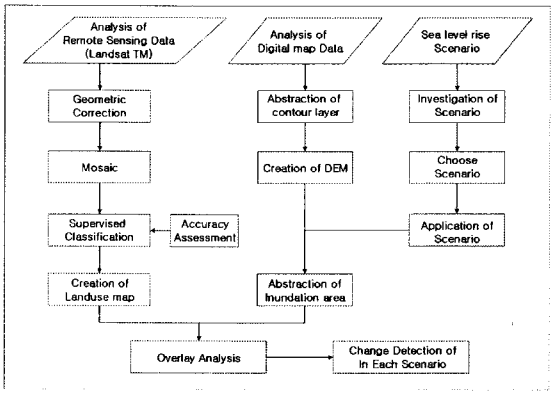
충청남도의 연안지역은 주민의 생활 터전으로서 그 경제적 이용률이 높은 공간일 뿐 아니라, 인구밀도가 높다. 또한 산업기반이 들어설 수 있는 입지조건을 고려해 보면 내륙지역보다 연안지역이 산업입지에 유리한 조건을 갖추고 있고, 실제 대죽산업단지(대산산업단지), 아산산업단지, 석문산업단지 등이 조성 되어 있다. 우리나라에서 기후변화에 의해 일정 수준의 해수면 상승이 발생 할 경우, 본 연구지역은 해안선의 후퇴와 연안지역의 침수가 가장 두드러지게 나타나 그 피해가 큰 지역으로 예상된다.

해수면의 상승이 미래에 어느 정도의 규모로 일어날지에 대한 예상은 정확히 산출하기가 어렵다. 그러나 지난 수 십 년간 국제적인 많은 환경단체들은 여러 개의 가정과 시뮬레이션 모델을 통해 많은 예측을 하였다. 본 연구에서는 지구온난화로 인한 해수면 상승이 충남 연안지역에 어떤 영향을 미칠지를 평가하고자 다음과 같은 연구방법을 수행 하였다(그림 1).

첫째, 해안선 및 연안지역의 변화 추이, 경제적인 피해현황을 분석하고자 향후 충남 연안지역에서 해수면이 얼마나 상승할 것인가를 평가하고자 하였다. 이를 위하여 해수면 상승 시나리오를 선정하고 과거 침수 피해가 발생했던 백중사리 때의 해수면 상승치(2002년 8월 23일: 1m, 2005년 8월 21일: 2m)를 감안하여 충남 서해 연안지역에 대한 상대적인 해수면 상승 시나리오를 정량적으로 산정하였다.

둘째, 해수면 상승 시나리오에 의한 실험에서 해수면 상승의 추이를 정확히 예측 할 수 없다는 제약을 줄이기 위하여, IPCC 4차 보고서에서 보고된 2100년까지의 시나리오별 해수면 예상 상승치인 0.2m 0.4m, 0.5m, 0.6m와 과거 침수피해가 발생했던 서해안의 조석환경을 고려해 해수면이 각각 1m, 2m 상승한다고 가정하고, 각 해수면 상승 예측치를 이용하여 시나리오별 해안선 후퇴양상과 연안지역의 변화를 분석하였다.

셋째, GIS를 이용하여 수치표고모델을 작성하고, 각 시나리오별로 해수면이 상승하였다고 가정한 후 예상 수치별로 침수지역의 면적과 해안선의 변화추이를 산출하였다. 특히, 원격탐사 기법을 이용하여 침수예상지역의 토지피복도를 작성하여 해수면 상승에 따른 시나리오별 피해정도를 추출하였다.



<그림 8> 연구 흐름도

3. 결과 및 고찰

충남 연안은 최대조차가 평균 8.5m정도로 나타나고 있으며, 최대 조위 또한 대부분의 검조소에서 7m이상 나타나서 조차가 매우 크다. 특히, 최대조차가 발생하는 시기에는 해안 저지대에서 해수 역류에 의한 침수피해가 빈번히 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 IPCC 4차 보고서 SRES 각 시나리오별 상승치를 감안해 최저 0.2m 0.4m, 0.5m 그리고 최고 0.6m의 해수면 상승치와 과거 침수재해가 발생 백중사리 때의 해수면 상승치인 1.0m, 2.0m 고려하여 작성하였으며, 인공제방의 고도는 자료획득의 어려움으로 본 연구에서는 고려하지 않았다.

국립지리정보원에서 발행된 1:25,000 수치지도에서 추출한 본 연구지역 해안선의 길이는 760.9㎞경우 해수면이 0.2m 상승할 경우 해안선의 총연장은 753.4㎞로 7.5㎞로 줄어들며, 0.4m 상승할 경우 해안선의 총연장은 755.7㎞로 증가되며, 0.5m 상승 시 755.8㎞, 0.6m 상승 시 758.9㎞, 1.0m 상승 시 현해안선에서 772.6㎞, 2.0m 상승 시 현해안선에서 88.9㎞가 증가된 849.7㎞로 나타났다. 해수면이 0.6m까지 상승할 때 까지는 현 해안선 보다 그 길이가 감소하였으나, 1.0m 이상 상승 시 해안선의 길이는 급속히 증가하는 것으로 나타났다(표 1).

특히 태안군 안면도의 해안선 변화가 가장 두드러지게 나타났는데, 이는 해안사구 및 구릉지 등의 지형적인 요인과 과도한 간척에 의한 육지부의 저평한 고도에 의한 것으로 사료된다. 각 해수면 상승 시나리오별 침수 면적은 0.2m 상승 시 29.0㎢, 0.4m 상승 시 37.5㎢, 0.5m 상승 시 41.6㎢, 0.6m 상승 시 45.5㎢, 1.0m 상승 시 60.5㎢, 2.0m 상승 시 106.1㎢ 인 것으로 나타났다.

충남 서해안은 경사가 완만한 지형적인 요인과 높은 조차로 간석지가 많이 분포하고 있다. 이러한 간석지는 인위적인 제방 건설을 통한 소규모의 간척이 과거부터 이루어졌으며, 최근에는 토목기술의 발달로 대규모의 간척사업이 행해졌다. 해수면 상승에 따라 해수욕장 및 갯벌이 우선적으로 침수 피해를 받는 것으로 나타났으며, 해수면 상승 예상치가 올라갈수록 간척한 지역에 대한 대규모적인 침수피해가 발생하는 것으로 나타났다. 해수면 상승 예상치가 높아질수록 금강 하류지역 및 삽교천 하류지역과 같은 과거 감조하천구간에 위치한 지역들의 침수피해가 더 크게 발생할 것으로 예상된다.

<표 11> 해수면 상승에 따른 해안선 변화 및 침수면적 변화

	current	0.2m	0.4m	0.5m	0.6	1.0m	2.0m
shoreline	760.9㎞	753.4㎞	755.7㎞	755.8㎞	758.9㎞	772.6㎞	849.7㎞
variation	(-)	(▽ 7.5)	(△2.3)	(△ 0.1)	(△ 3.1)	(△ 13.7)	(△ 77.1)
flood area	0	29.0㎢	37.5㎢	41.6㎢	45.5㎢	60.5㎢	106.1㎢

각 시나리오별 해수면 상승에 따른 토지피복별 침수예상지를 살펴보면, 0.2m 상승 시나리오에서는 호소의 침수면적이 8.88㎢로 가장 크게 나타났으며, 다음으로 습지(8.31㎢), 시가화지역(5.47㎢) 순으로 나타났다. 0.4m 상승 시나리오 역시 호소(11.95㎢)가 가장 큰 침수피해를 받을 것으로 나타났으며, 다음으로 습지(9.74㎢), 시가화지역(7.12㎢) 순으로 나타났다. 0.5m 상승 시나리오와 0.6m 상승시나리오, 1.0m 상승시나리오 또한 면적의 변

화는 있으나 호소, 습지, 시가화지역 순으로 침수피해가 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 2.0m 상승 시나리오에서는 호소(34.68㎢), 논(20.89㎢), 습지(18.40㎢) 순으로 침수피해를 받을 것으로 나타났다(표 2). 이러한 결과는, 충남의 지형이 저구릉지 이기도 하지만, 충남 전 연안지역에 걸쳐 행해진 간척사업으로 만들어진 인공호소 및 농경지의 재침수와 해안에 위치한 각종 위락시설의 침수로 기인한 것으로 판단된다.

<표 12> 해수면 상승 시나리오별 토지피복별 침수예상면적

(단위 : ㎢)

class	current landcover	0.2m	0.4m	0.5m	0.6m	1m	2m
water	136.0	8.88	11.95	13.35	14.64	19.67	34.68
forest	2,034.9	1.90	2.41	2.66	2.88	3.73	5.90
paddy	782.7	2.42	3.44	4.15	4.86	7.92	20.89
urban	516.9	5.47	7.12	7.82	8.51	11.07	17.31
marsh	130.7	8.31	9.74	10.39	10.92	13.10	18.40
dryfield	1,311.5	1.41	1.96	2.22	2.45	3.38	6.10
bareland	76.1	0.55	0.81	0.93	1.06	1.50	2.61
Total	9,963.0	28.94	37.43	41.52	45.31	60.38	105.88

해수면 상승에 따라 가장 먼저 침수가 발생되는 곳은 인공적으로 조성한 호소와 연안에 인접한 시가화지역이다. 연안지역에 인접한 시가화지역은 해수면 상승 시나리오의 첫 번째 단계부터 반응을 보이는데, 연안지역에 밀집한 항구와 방파제, 해수욕장에 인접하여 들어선 많은 인공시설물들은 그 피해를 상당히 받을 것으로 예상된다.

특히 본 연구지역의 해빈 및 해안사구는 해안지역의 경사가 완만하고 표고가 높지 않아 (강대균, 2003) 해수면 상승 시 그 피해 역시 매우 클 것으로 판단된다. 0.2m 상승 시나리오에서도 충남지역에 위치한 많은 해수욕장들이 침수피해 권역에 들어온다. 그중 몽산포, 연포, 대천, 춘장대 해수욕장 등의 휴양지와 태안군 해빈해안 일대는 해수면 상승 시 대부분 침수될 것으로 예상된다. 특히 대천해안 일대나 서산해안 주변이 침식에 대한 피해가 클 것으로 생각되며 이에 대한 적절한 조치가 필요할 것으로 판단된다.

해수면 상승에 따른 충남 연안지역의 침수취약지를 각 시군별로 살펴보면, 서천군의 경우 가장 큰 피해가 예상되는 지역은 금강의 지류인 길산천에 연하는 서천군 화양면 고마리, 장상리, 망월리 일대와 서천군 마서면 도삼리, 신포리, 산내리 일대와 서천군 기산면 내동리, 두남리, 두북리 일대로 나타났다. 보령시의 경우 남포방조제가 위치한 남포면의 양향리와 삼현리, 주교면 은포리 일대가 가장 큰 침수피해를 받을 것으로 예상된다.

홍성군의 경우 서산 A지구 간척지가 있는 서부면 광리 지역이 가장 큰 피해가 예상되며, 태안군의 경우 이원방조제가 있는 이원면 포지리, 내리 일대가 가장 큰 침수피해를 받을 것으로 판단된다. 특히 태안군에 속한 안면도는 전 연안에 걸쳐 침수취약지가 나타났다. 서산시의 침수취약지는 대산읍 독곶리, 대죽리 일대와 대호 방조제가 있는 화곡리, 운산리 일대가 가장 큰 침수피해가 발생할 것으로 나타났으며, 서산 A·B방조제 내부에 있는 농경지들 역시 큰 피해가 발생할 것으로 나타났다. 방조제 건설 등으로 자연해안이

거의 없는 당진군은 방조제가 건설된, 석문호, 대호, 삽교호 일대에서 가장 큰 침수피해가 발생할 것으로 보이며, 신평면 복운리, 전대리, 매산리 일대의 농경지도 침수 피해를 받을 것으로 나타났다. 아산시의 경우 삽교호에 접한 일대와 선장면 신문리, 가산리, 둔포리, 선창리 일대, 인주공단지방산업단지가 있는 인주면 걸매리와 공세리, 문방리 일대가 해수면 상승에 따른 침수취약지로 나타났다.

4. 결론

본 연구는 원격탐사 및 GIS기법을 이용하여 해수면 상승에 따른 충남 연안지역의 해안선 변화와 침수취약지의 토지피복별 침수면적 변화를 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

각 해수면 상승 시나리오별 침수 면적은 0.2m 상승 시 29.0㎢, 0.4m 상승 시 37.5㎢, 0.5m 상승 시 41.6㎢, 0.6m 상승 시 45.5㎢, 1.0m 상승 시 60.5㎢, 2.0m 상승 시 106.1㎢인 것으로 나타났다. 충남 서해안은 완만한 경사를 가진 간석지가 많이 분포하고 있다. 이러한 지역에 인위적인 제방을 통한 경지화가 과거부터 이루어져 왔다. 해수면 상승에 따라 해수욕장 및 간석지가 우선적으로 침수 피해를 받는 것으로 나타났으며, 해수면 상승 예상치가 올라갈수록 간척지의 대규모적인 침수피해가 발생하는 것으로 나타났다. 각 시나리오별 해수면 상승에 따른 토지피복별 침수예상지를 살펴보면, 0.2m 상승 시나리오에서는 호소의 침수면적이 8.88㎢로 가장 크게 나타났으며, 다음으로 습지, 시가화지역 순으로 나타났다. 0.4m 상승 시나리오 역시 호소가 가장 큰 침수피해를 받을 것으로 나타났으며, 다음으로 습지, 시가화지역 순으로 나타났다. 0.5m 상승 시나리오와 0.6m 상승시나리오, 1.0m 상승시나리오 또한 면적의 변화는 있으나 호소, 습지, 시가화지역 순으로 침수피해가 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 2.0m 상승 시나리오에서는 호소, 논, 습지 순으로 침수피해를 받을 것으로 나타났다. 이러한 결과가 나온 가장 큰 이유는, 충남의 지형이 저구릉지이기도 하지만, 충남 전 연안지역에 걸쳐 행해진 간척사업으로 만들어진 인공호소 및 농경지의 재침수와 해안에 위치한 각종 위락시설의 침수로 기인한 것으로 판단된다.

< 참고문헌 >

강대균, 2003, "해안사구의 물질 구성과 플라이스토세층-충청남도의 해안을 중심으로-", 대한지리학회지, 38(4), 505-517.

문승록, 강태순, 남수용, 황준, 2007, "폭풍해일에 의한 해안침수예상도 작성 시나리오 연구", 한국해안·해양공학회지, 19(5), 492-501.

한국환경정책평가연구원, 2002, 지구온난화에 따른 한반도 주변의 해수면 변화와 그 영향에 관한 연구.

IPCC, 2007, Climate Change 2007: The Physical Science Basis.

Knauss, J.W., 2001, Sea Level Rise, Academic Press.

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.