

해수면 상승에 따른 해안지역 생태환경 변화*

김남신¹ · 이창석^{2*}

A Study on the Eco-Environmental Change of Coastal Area by the Sea Level Rise*

Nam-Shin KIM¹ · Chang-Seok LEE^{2*}

요 약

전지구적인 해수면상승은 해안지역에 침수와 침식을 일으켜 생태환경 변화에 영향을 미친다. 해수면 변화에 따른 지형·생태환경 변화에 관한 예측모델은 다가올 수 있는 미래의 환경변화를 예측함으로써 해안지역 관리를 위한 정보를 제공해 줄 수 있을 것이다. 본 연구는 해안지역에서 해수면 상승에 따른 생태환경 변화를 예측하고자 하였다. 예측모델은 IPCC 시나리오에 따라 해안변화를 예측할 있도록 개발된 SLAMM 모델을 사용하였다. 모델은 한강과 낙동강 하구, 순천만과 함평만을 사례지역으로 100년간의 환경변화를 예측하였다. 연구결과를 요약하면, 한강하구는 갯벌이 2075년부터 점차 사라졌고, 관목습지와 염생식생대가 발달하였다. 낙동강 하구에서는 2025년부터 관목습지가 감소하였고, 2050년부터 갯벌이 발달하였으며, 김해 평야가 부분적으로 침수되었고, 습지가 형성되었다. 함평만에서 2025년에 염생습지가 퇴적되었고, 2050년까지 확장되었던 갯벌은 그 이후에 부분적으로 침수되었다. 순천만의 갯벌은 2025년 이후 침수로 사라졌으며, 염생습지가 만입 지역에 발달하였다.

주요어 : 해수면상승, 생태환경 변화, 예측모델, SLAMM 모델, 갯벌, 염생습지

ABSTRACT

The global sea level rise has an effect on eco-environmental change by the inundation and erosion in the coastal area. Forecasting model on the change of morpho-ecological environments by the sea level change will give us information for coastal area management by predicting environmental changes of the up-coming future. This research aimed to foresee eco-environmental changes by the sea level rise in coastal area. Prediction model used SLAMM model developed to forecast coastal changes by IPCC

2010년 6월 7일 접수 Received on June 7, 2010 / 2010년 7월 25일 수정 Revised on July 25, 2010 / 2010년 9월 5일 심사완료 Accepted on September 5, 2010

* 본 연구는 환경부 “국가장기생태연구” 사업의 지원으로 수행되었음.

1 전남대학교 지리교육과 Dept. of Geography Education, Chonnam National University

2 서울여자대학교 환경생명과학부 School of Environment & Life Sciences, Seoul Women's University

* 연락처 E-mail : leecs@swu.ac.kr

scenario. The model predicted centennial environmental changes in the mouth of Han river and Nakdong river, Suncheon and Hampyeong bay as case areas. To sum up the research findings, in the estuary of the Han river, tidal flat was gradually disappeared from the year 2075, scrubmarsh and saltmarsh belts were developed. In the Nakdong River estuary, scrubmarsh was decreased from the year 2025, tidal flat was deposited from the year 2050, and also, the Gimhae plain was partially inundated, and wetlands were formed. In the Hampyeong bay, saltmarsh was deposited in the year 2025, tidal flat expanded until 2050 was partially submerged after that time. Tidal flat of Suncheon bay was disappeared by the inundation after 2025, and saltmarsh was developed in the embayment.

KEYWORDS : *Sea Level Rise, Eco-Environment Change, Forecasting Model, SLAMM Model, Tidalfat, Saltmarsh*

서 론

지구온난화는 세계 여러 지역에서 사람들의 생활과 정치·경제·사회면에서 영향을 미치고 있어, 기후난민이 발생할 정도까지 인류의 운명을 결정할 만큼 중요한 문제로 받아들여지고 있다. 온난화에 따른 영향은 지구상에서 다양한 스케일로 반영되어 나타나고 있기 때문에, 그에 대한 크고 작은 결과를 찾고 원인 규명을 통해 대안을 제시하고자 하는 연구가 진행되고 있다.

온난화는 지구상에 존재하는 빙하의 해빙을 일으켜 해수면 상승을 유발하는 효과로 나타난다. 해수면 상승은 해안지대의 지형·생태환경 뿐만 아니라, 지구환경 체계에 영향을 미치게 되기 때문에 중요한 모니터링 대상이다.

지구 온난화에 있어 해수면 상승문제는 포괄적인 접근이 필요하다. 해수면상승 결과 침수 지역의 파악도 중요하지만 침수과정에서 지형과 해안의 지형·생태·환경의 변화를 살펴야 한다(이홍로와 이재봉, 2005; 신동훈과 이규석, 2006). 해수체계는 호수나 댐과 같이 정체가 되어 있는 수체와 달리, 파랑과 해류의 작용으로 해안지역에 변화를 일으킨다(박의준, 2000; 강주환 등, 2005; 하경자 등, 2006; 장동호와 김장수, 2009; Titus and Richman, 2001).

해수면 상승 속도는 자연계에서 일 년에 몇

mm 단위로 천천히 진행된다. 따라서 해수면 상승이 자연환경에 직접적인 변화를 주기까지는 오랜 시간이 걸린다. 하지만 오랜 기간 누적적으로 해수면상승이 지속되면 침수지역이 넓어질 뿐만 아니라 해안수리 체계의 변화로 인해 해수침입의 영향을 받는 지역에는 새로운 습지지형, 식생의 정착, 그리고 염분 농도에 따라 다양한 식생들이 정착하게 된다.

따라서, 지구온난화에 따른 해수면 상승에 대한 대안을 마련할 수 있게 하기 위해 침수 과정에서 발생하는 해안습지대의 지형과 생태환경의 변화에 대한 예측이 필요하다(Park *et al.*, 1986a; Park *et al.*, 1986b; Lee *et al.*, 1992; Galbraith *et al.*, 2003).

본 연구는 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 기후변화 A1b 시나리오 해수면상승률을 적용할 수 있도록 개발된 SLAMM(Sea Level Affecting Marshes Model)모형을 이용하여, 한국 주요 해안지역의 해수면 상승에 따른 지형·생태환경 변화를 예측하고자 하였다.

SLAMM 모델

SLAMM 모델은 해수면의 상승에 따라 해안 저지대의 지형과 습지 및 식생 등에서 일어날 수 있는 변화를 예측하기 위해 Park *et al.*(1986a)에 의해 개발된 모델이다

(<http://warrenpinnacle.com/prof/SLAMM/index.html>). SLAMM 모델은 해안지역의 구조를 육상지역(Dry Land), 습지지역(Various Wetlands), 만입 외해지역(Open Water)으로 단순화시켜, 연안생태환경의 중심이 되는 습지지역(Various Wetlands)에서의 변화를 예측하려는 모델이다.

SLAMM 모델은 해수면상승에 따라 해안지역에 분포하는 경관요소들, 즉 만입 외해지역(Open Water), 간석지(Tidal Flat), 염생습지(Saltmarsh), 기수지역(Scrub Brackish), 육상영역(Tidal Fresh and Dry Land) 등의 경관요소가 침수 또는 침식이 진행되면서 내륙으로 이동한다는 가정 하에 습지지역의 변화를 예측한 것이다(그림 1).

SLAMM 모델의 보완과 실증적 연구는 Lee *et al.*(1991)과 Park *et al.*(1991)에 의해 플로리다 반도의 11개 해안지역의 습지지역을 대상으로 실험연구와 응용연구를 통해 보완되어왔다(<http://warrenpinnacle.com/>). 또한 Craft *et al.*(2008)의 연구에서는 미국 조지아 해안 습지지역에 SALMM 모델을 적용하여, 해수면 상승에 따른 해안지역 생태환경 변화를 예측한 결과 염생습지가 2100년까지 20%에서 45%로 감소하는 것으로 예측되었다. Glick *et al.*(2007)은 워싱턴 주 북서쪽의 퓨젯만에 발달한 습지지역에서, 해수면

상승이 습지대 야생동물 서식지에 미치는 영향을 살펴보기 위해 SALMM 모델을 적용하여 해안지역 변화를 예측하였다. 2100년까지 연안 습지지역은 65%가 침수와 침식을 받게 될 것이며, 갯벌은 44%가 사라지고, 갯벌지역의 습지는 25%, 내륙습지의 11%는 해수로 침수될 것으로 예측되었다. 이에 따라 퓨젯만의 동물 생태계가 교란을 받을 것으로 판단하고 있다.

SLAMM 모델에서는 해수면 상승에 따라 해안지역의 지형과 습지들을 변화시키는 범람(Inundation), 침식(Erosion), 침수(Overwash), 포화(Saturation), 부착(Accretion) 5가지 작용을 모델에 적용하고 있다. 범람작용은 해수면 상승에 따라 해안 저지대에서 범람에 의한 변화를, 침식작용은 조류와 파랑의 침식에 의한 변화를, 침수작용은 열대성 저기압과 같은 태풍이나 폭풍으로 인한 해안지역의 침수작용을, 그리고 포화작용은 해수면 상승에 따라 지하에 수압이 증가하면서 지하수면이 확대되어 토양 포화도를 높이기 됨으로써 습지지역이 이웃한 주변으로 확대되는 작용을, 부착작용은 습지에 유기물과 무기물이 퇴적되면서 수직적 상승에 의한 변화를 일으키게 한다. 이상 5가지는 해수면 상승에 따른 해안지역 변화는 물론 현재의 해안지역 환경의 동적평형을 유지하는데 중요한 역할을 한다.

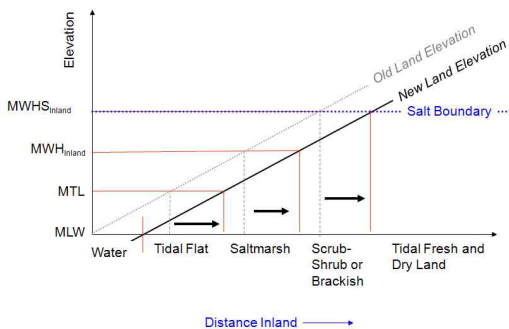


FIGURE 1. 해수면 상승에 따른 생태환경시스템의 변화

(<http://warrenpinnacle.com/prof/SLAMM/index.html>)

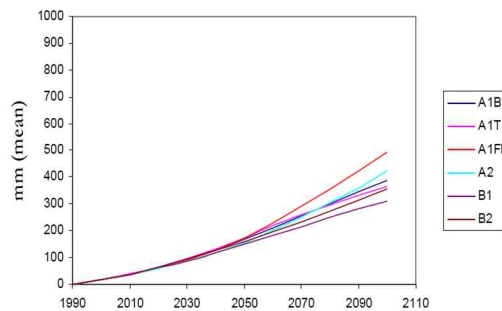


FIGURE 2. 시나리오별 평균해수면 상승

SLAMM 모델은 해안지역의 범람, 침식 그리고 그에 따른 식생, 토양, 유기물 등의 변화에 따라 해안저지대의 지형생태환경 변화를 과학적으로 예측할 수 있는 모델이라고 할 수 있다. SLAMM은 기후변화 모델인 A1b 시나리오에 따라 2100년까지 평균해수면이 약 40cm 상승하는 것을 전제로 하고 있다(그림 2). 해수면 상승률은 해안지역의 수심과 해저경사도, 만(Bay)과 도서의 유무, 해안선의 복잡성 등 지형환경에 따라 다르지만 모델 적용을 위해 평균 상승률을 적용하고 있다.

SLAMM 생태환경 변화 모델은 해안지역의 지표피복 요소들의 변화를 예측하기 때문에, 이를 적용하기 위해 지표피복 분류 정보가 필요하다. SLAMM 모델은 미국의 습지분류 목록(NWI:National Wetlands Inventory)에 따라 연안 습지지역의 경관요소를 23가지로 세분화하여 예측에 적용하고 있다(표 1). 이는 해안지역의 지형과 생태 수리적인 특성에 따라 지표피복을 세분화시켜 모델에 응용하는 것이기 때문에 일반적인 목적의 지표피복의 범주와는 차이가 있을 수 있다. 대분류 항목은 육상지역(Dry Land), 늪지(Swamp), 전이습지(Transitional Marsh), 습지(Marsh), 망그로브(Mangrove), 해변(Beach), 평지(Flats), 만입 외해지역(Open Water) 8가지 영역으로 나누고 있다. 여기서 해수면상승에 영향을 받지 않는 것으로 가정하고 있는 지역은 육상지역(Dry Land) 지역이다. 육상지역은 산지 및 구릉지, 도시지역을 의미한다. 대분류는 크게 지형영역(Beach, Flat, Swamp, Marsh)과 식생영역(Swamp 및 Marsh와 이에 연관된 요소, Mangrove), 그리고 이에 영향을 미치는 만입 외해영역으로 나누고 있다.

모델 적용시 미국의 습지분류체계는 해안지역 특성에 따라 발달하는 경관요소가 나라와 지역마다 차이가 있기 때문에 재구성할 필요가 있다. 분류항목은 표 2와 같이 한국 해안지역에 실재하는 지형과 생태적 요소를 중심으로 6개의 대분류와 10개 세분류로 재구성하여 적용하였다(이기철 등, 2010).

TABLE 1. 미국의 NWI 해안습지지역 생태환경 정보 분류체계

대분류	세분류
육상지역(dry land)	Developed and Undeveloped
늪지(swamp)	Cypress, Tidal
전이습지 (transitional marsh)	Occasionally Inundated, Scrub Shrub
습지(marsh)	Salt, Brackish, Tidal Fresh, Inland Fresh, Tall Spartina
망그로브(mangrove)	Tropical Settings Only
해변(beach)	Estuarine, Marine, Rocky Intertidal
평지(flats)	Tidal Flats & Ocean Flats
만입 외해 (open water)	Ocean, Inland, Riverine, Estuarine, Tidal Creek

TABLE 2. 습지피복분류 재분류

대분류	세분류
육상지역	미개발지(Undeveloped and Forest), 개발지(Developed Land)
농경지	농경지(Rice Field)
전이습지	관목습지(Scrubmarsh)
습지	염생습지(Saltmarsh), 갯벌담수습지(Tidalfreshmarsh), 담수(Inlandwater), 습지식생(Palustrine Forested), 내륙습지(Inlandmarsh)
평지	갯벌(Tidalflat)
만입외해	만입외해수(Estuarinewater)

모델에 사용된 자료와 적용기준

SLAMM 모델은 공간자료와 임계치가 필요하다. 공간자료는 수치고도 모델, 경사도, 습지피복분류도가, 그리고 해수면 상승억제 요소로서 도로, 제방, 방파제 등의 자료가 필요하다.

수치고도모델은 Lidar 측량으로 정밀한 고도정보를 확보하는 것이 합리적이지만 연구의 제약으로 인해 기존 자료를 활용하여 제작하였다. 고도정보의 정밀성과 정확성을 높이기 위해 수치고도모델은 1:5,000 수치지도에서 등고선과 표고점과, 해도에서 수심자료를 그리고, 미기록의 지형은 Landcover burning 기법을 적용하여 수치고도모델을 제작하였다

(김남신, 2009). 수치고도모델은 해수면 상승에 따른 해안지역에서의 해수의 침수, 침수범위, 침식 등의 계산에 적용된다. 또한, 수치고도모델을 통해 계산되는 경사도는 조류와 파랑에 따라 해수면의 상승률과 침식 및 퇴적률 계산에 적용된다.

습지피복분류도는 환경부에서 제공되는 토지이용도, Landsat을 기본도로 하여, Daum에서 제공되는 항공사진을 육안으로 판독하여 피복분류도를 작성하였다. 해수면 상승 억제 요소는 해수면 상승시 침수와 침식에 대해 보호하는 역할을 하는 것으로 도로, 제방, 방과제, 육상지역 등이 모델의 변수로 적용된다. 본 연구에서는 억제요소로 육상지역 요소들과 간척과 각종 해안 시설과 같은 도로, 제방, 방과제 등을 변수로 입력하였다. 해안지역 인공 시설물은 보호시설물이지만 해수면 상승 과정에서 태풍이나 해일이 발생할 경우 침수가 일어날 수 있기 때문이다.

모델적용 임계기준은 침식과 퇴적 범주별로 분류하여 각각에 대해 연간변화율을 적용하여 사용하였다(표 3).

TABLE 3. 모델에 적용된 변화율

침식과 퇴적 범주	변화율
Historic_trend (mm/yr)	2.0
Marsh Erosion (horz meters/year)	2.0
Swamp Erosion (horz meters/year)	1.0
Tidal Flat Erosion (horz meters/year)	0.2
Salt Marsh Vertical Accretion (mm/yr)	3.6
Brackish Marsh Vertical Accretion (mm/yr)	3.75
Tidal Fresh Vertical Accretion (mm/yr)	4.0
Beach/Tidal Flat Sedimentation Rate (mm/yr)	0.5

모델 적용

1. 연구지역

연구지역은 한강과 낙동강 하구, 순천만, 함평만을 대상으로 적용하였다(그림 3). 연구지역의 지형환경은 강의 유입 유무에 따라 다르다.

강이 유입하는 한강과 낙동강 하구는 육상에서 공급되는 토사와 조류 및 조석의 영향으

로 만입 주변에 퇴적지형이 발달해 있다. 한강 하구의 경우는 임진강과 한강이 유입을 하고 있어 방대한 양의 토사가 한강 하구를 통해 조류를 따라 확산되어 인천, 강화도 일대의 해안지역에 대규모의 갯벌을 형성하였다. 그 동안 이 지역의 갯벌은 간척 및 시가지 확대에 의해 감소되어 왔다. 낙동강 하구는 낙동강에서 공급되는 토사와 파랑의 영향으로 삼각주 평야가 발달되어 있다. 낙동강 삼각주 지역은 하구 쪽으로 막혀 있어 해수의 유입이 차단된 상태이다. 반면에 함평만과 순천만 지역은 만입지역으로써 만 주변의 해안과 조수를 따라 이동되는 토사로 인해 지형이 발달된 곳이다.

예측모델링은 강이 바다로 유입되는 지역에서는 강에서의 유출수와 토사가 해수면 상승에 과정에서 어떠한 영향을 받는지 파악할 수 있다. 반대로 순천만과 함평만은 강이 유입하지 않기 때문에 모델 적용시 해안지역의 조류와 파랑의 작용으로 발달하는 환경변화의 특성을 파악할 수 있다.

연구지역에 대한 예측적 분석에 앞서, 그간 실측된 자료를 바탕으로 평균해수면 상승을 1960년대 이후 현재까지 국립해양조사원에서 제공하는 자료를 이용하여 예비 분석을 실시하였다.

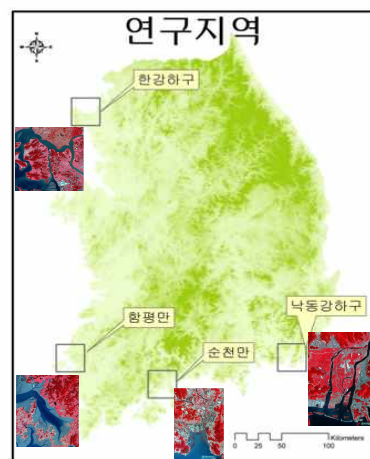


FIGURE 3. 연구지역

해당지역은 조위관측소가 없기 때문에 가장 가까운 지역, 즉, 한강 하구는 인천 조위관측소, 낙동강 하구는 부산 조위관측소, 함평만은 목포 조위관측소, 순천만은 여수 조위관측소 자료를 분석하였다(그림 4, 5, 6, 7). 1960년대 이후 2000년 년대까지 전체적으로 해수면이 상승된 것으로 나타났다. 평균해수면 상승률은 목포가 가장 높았으며 부산, 여수, 인천 순으로 낮아졌다.

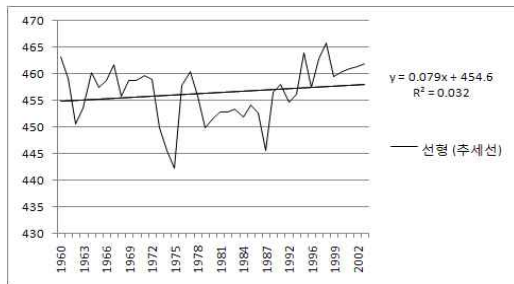


FIGURE 4. 인천조위 관측소 평균해수면 변화
자료: 국립해양조사원(<http://www.khoa.go.kr/>)

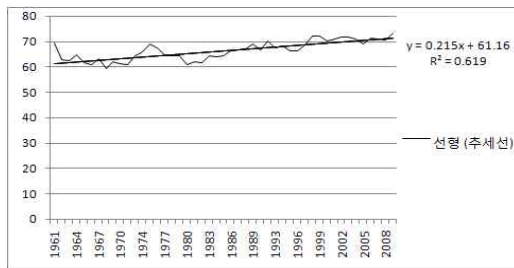


FIGURE 5. 부산조위 관측소 평균해수면 변화
자료: 국립해양조사원(<http://www.khoa.go.kr/>)

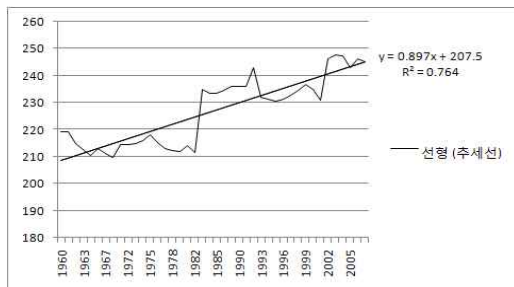


FIGURE 6. 목포조위 관측소 평균해수면 변화
자료: 국립해양조사원(<http://www.khoa.go.kr/>)

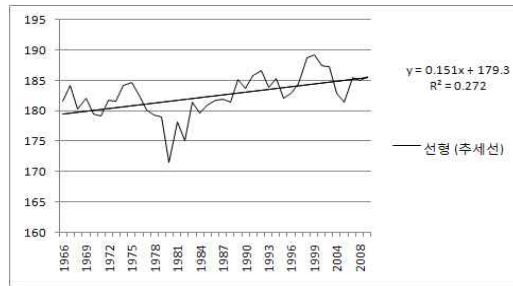


FIGURE 7. 여수조위 관측소 평균해수면 변화
자료: 국립해양조사원(<http://www.khoa.go.kr/>)

이 결과는 국립해양조사원이 분석한 남해안은 3.4mm/yr, 서해안은 1.0mm/yr 상승률과도 부합되며 지난 10년간 상승률은 더 빨라진 것으로 분석하고 있다(<http://www.khoa.go.kr/main.asp>). 한국의 평균해수면 상승률은 Church *et al.*(2004)이 1964~2006년의 해수면 자료를 분석한 결과 1.9mm/yr으로 상승하고 있는 것으로 분석되었다.

이상의 결과로 볼 때, 한국에서 해수면 상승은 앞으로 지속될 것으로 예측되기 때문에, 미래에 발생할 수 있는 해안지역의 지형·생태 환경 변화와 자연재해에 대한 대응 방안을 마련을 위해 예측이 필요하다.

2. 모델의 적용 결과

SLAMM 모델 적용은 25년 간격으로 100년간 예측분석을 실시하였다. 한강하구에서는 2009년에 갯벌은 6.94%를 차지하고 있었으나, 2050년에 7.27%로 약간 증가하다 2075년 이후에 0.07%로 크게 감소한 것으로 예측되었다. 이와 반대로 해수영역은 2009년에는 22.05%를 차지했지만, 2075년 이후에는 30.81%로 증가하면서 해안 저지대(농경지)와 갯벌지역으로 확대되었다(그림 8, 표 4). 한편 2009년에는 초분류 중심의 관목습지와 염생습지가 한강하구에 분포하지 않았지만, 2025년부터 작은 면적이지만 새롭게 발달한 것으로 나타났다. 농경지는 2009년에는

22.62%에서 2025년부터 감소하여 2100년에는 21.79%로 면적이 감소하였다.

낙동강 삼각주 지역에서 예측결과는, 2009년에 초본류 중심의 관목습지가 15.06%, 2025년부터 크게 감소하여 1.88%, 2100년에는 1.98%로 예측되었다(그림 9, 표 5). 이 지역에서 갯벌은 2009년과 2025년에는 분포하지 않았지만, 2050년부터 발달하기 시작하여 8.3% 차지했고 2100년에는 5.21%로 분석되었다. 반면에 해수지역은 2009년에 15.73%를 차지했지만, 2050년에는 16.83%로 증가하여 2100년에는 23.03%까지 확대된 것으로 예측되었다. 염생습지는 2009년에는 4.33%를 차지했지만 2025년에는 17.64로 증가했다 2050년부터 9%를 유지하는 것으로 예측되었다. 해수지역은 2009년에 15.73%에서 2100에 23.0%까지 증가된 것으로 나타났다.

함평만의 갯벌은 2009년에는 11.38%를 차지했으나, 2050년에는 17.97%까지 증가했으며 2100년까지 감소하여 13.25%를 차지하는 것으로 예측되었다(그림 10, 표 6). 반면

에 2009년에 염생습지는 존재하지 않았지만, 2025년에 11.65%까지 발달한 후 2050년 이후에는 4%정도를 차지하는 것으로 예측되었다. 뿐만 아니라 2009년에 농경지는 16.14%였지만 2025년부터 4.68%로 감소하여 2100년에는 3.39%까지 면적이 축소되었다. 해수지역은 2009년에 15.37%에서 2025년에 17.54%로 꾸준히 넓어지고 2100년에는 24.48%를 차지하는 것으로 예측되었다.

순천만에서는 2009년에 갯벌이 10.91%를 차지했지만, 2025년부터 감소하여 3.67%, 2100년까지 3.55%로 감소하였다(그림 11, 표 7). 염생습지는 2009년에 분포하지 않았지만 2025년에 2.19%로 새롭게 발달하여 2100년까지 약간 감소하는 것으로 나타났다. 관목습지 역시 2009년에 존재하지 않았지만 2025년에 0.62%로 발달하기 시작하여 2100년까지 0.73%를 차지하는 것으로 나타났다. 해수지역은 2009년에 15.53%를 차지하였지만 점점 증가하여 2100년에는 25.02%까지 확대된 것으로 예측되었다.

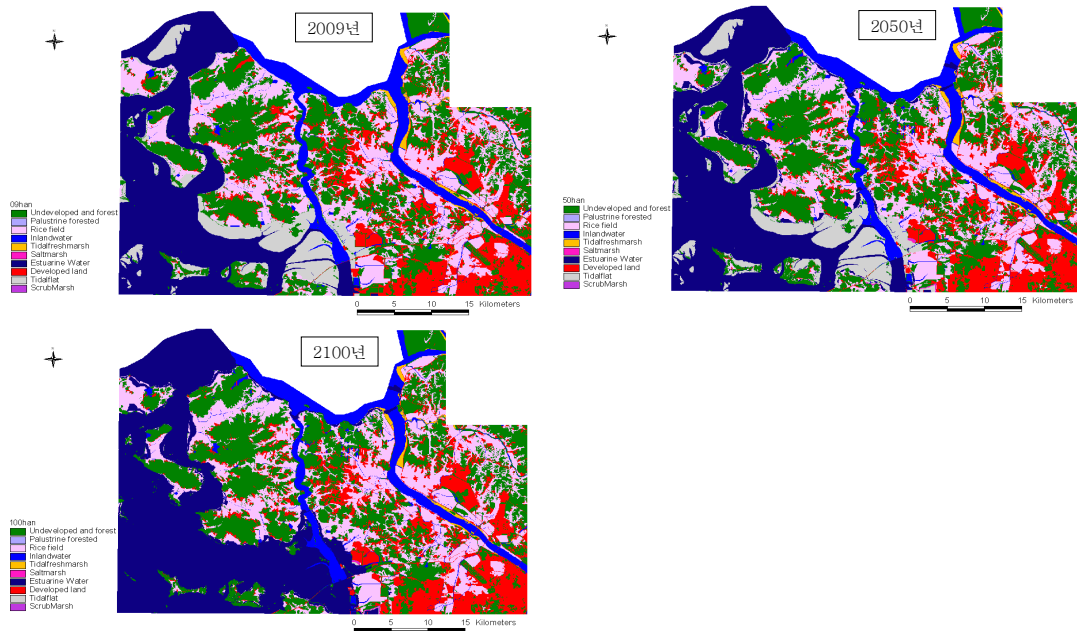


FIGURE 8. SLAMM 모델링에 의한 한강 생태환경변화

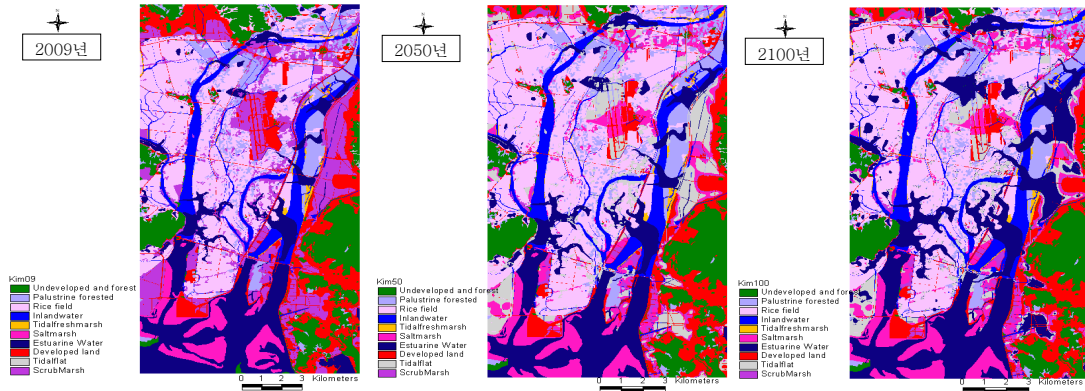


FIGURE 9. SLAMM 모델링에 의한 낙동강 생태환경변화

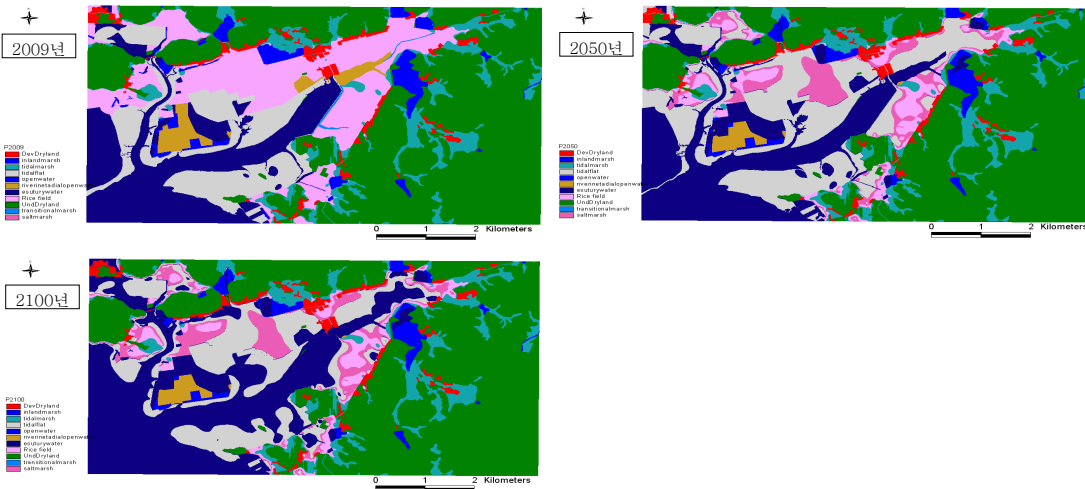


FIGURE 10. SLAMM 모델링에 의한 함평만 생태환경변화

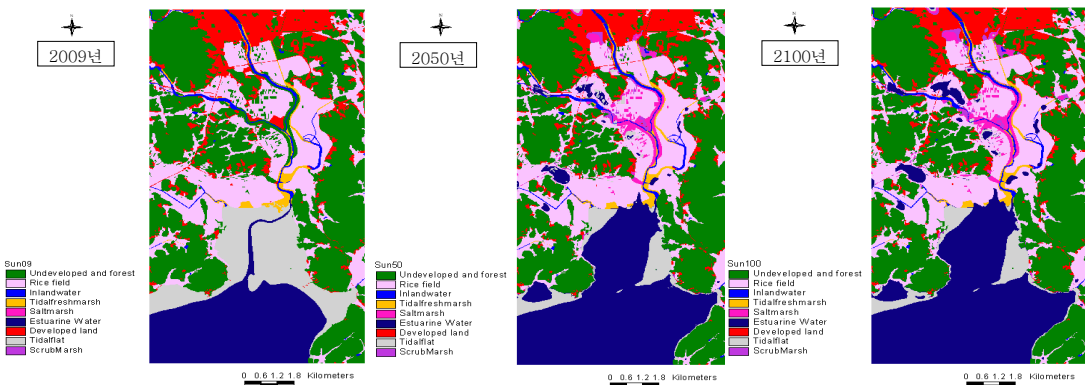


FIGURE 11. SLAMM 모델링에 의한 순천만 생태환경변화

TABLE 4. 한강 하구 모델링 결과 면적 변화량(%)

Category	2009년	2025년	2050년	2075년	2100년
미개발지(Undeveloped Forest)	27.28	26.84	26.85	26.84	26.82
개발지(Developed Land)	13.06	12.34	12.34	12.33	12.32
농경지(Rice Field)	22.62	21.86	21.84	21.82	21.79
담수(Inlandwater)	7.45	7.47	7.47	7.47	7.47
갯벌담수습지(Tidalfreshmarsh)	0.59	0.57	0.57	0.57	0.57
관목습지(Scrubmarsh)	0.00	0.03	0.03	0.04	0.04
염생습지(Saltmarsh)	0.00	0.52	0.07	0.08	0.06
갯벌(Tidalflat)	6.94	6.90	7.27	0.05	0.07
만입외해수(Estuarinewater)	22.05	23.46	23.56	30.81	30.86

TABLE 5. 낙동강 모델링 결과 면적 변화량(%)

Category	2009년	2025년	2050년	2075년	2100년
미개발지(Undeveloped Forest)	11.66	11.64	11.59	11.55	11.51
개발지(Developed Land)	13.90	12.34	12.04	11.75	11.50
습지식생(Palustrine Forested)	7.76	8.20	7.99	7.83	7.62
농경지(Rice Field)	23.85	24.47	24.09	23.60	22.87
담수(Inlandwater)	7.16	7.33	7.17	6.98	6.77
갯벌담수습지(Tidalfreshmarsh)	0.55	0.55	0.54	0.52	0.51
관목습지(Scrubmarsh)	15.06	1.88	1.98	2.01	1.98
염생습지(Saltmarsh)	4.33	17.64	9.46	9.27	9.01
갯벌(Tidalflat)	0.00	0.00	8.30	5.14	5.21
만입외해수(Estuarinewater)	15.73	15.94	16.83	21.35	23.03

TABLE 6. 함평만 모델링 결과 면적 변화량(%)

Category	2009년	2025년	2050년	2075년	2100년
미개발지(Undeveloped Forest)	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61
개발지(Developed Land)	41.18	41.13	41.13	41.13	41.12
농경지(Rice Field)	16.14	4.68	4.20	3.78	3.39
담수(Inlandwater)	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05
갯벌담수습지(Tidalfreshmarsh)	7.57	7.60	7.52	7.39	7.27
점이습지(Transitionalmarsh)	0.20	0.01	0.01	0.01	0.01
염생습지(Saltmarsh)	0.00	11.65	4.63	4.63	4.53
갯벌(Tidalflat)	11.33	11.19	17.97	14.33	13.25
만입외해수(Estuarinewater)	15.37	17.54	18.42	22.69	24.48

TABLE 7. 순천만 모델링 결과 면적 변화량(%)

Category	2009년	2025년	2050년	2075년	2100년
미개발지(Undeveloped Forest)	38.76	36.78	36.72	36.67	36.61
개발지(Developed Land)	9.62	8.55	8.49	8.41	8.32
농경지(Rice Field)	22.48	21.84	21.73	21.57	21.39
담수(Inlandwater)	1.49	1.45	1.45	1.44	1.43
갯벌담수습지(Tidalfreshmarsh)	1.22	1.09	1.08	1.06	1.04
관목습지(Scrubmarsh)	0.00	0.62	0.66	0.69	0.73
염생습지(Saltmarsh)	0.00	2.19	1.79	1.86	1.91
갯벌(Tidalflat)	10.91	3.67	3.97	3.66	3.55
만입외해수(Estuarinewater)	15.53	23.81	24.11	24.65	25.02

요약 및 결론

본 연구는 SLAMM 모델을 이용하여 해수면 상승에 따른 해안지역의 생태환경 변화에 대해 예측분석을 실시하였다. SLAMM은 해안 지역에서 지구온난화 결과, 해수면 상승에 따라 침수 및 침식 작용으로 나타나는 해안지역의 습지환경 요소들의 변화를 예측하기 위해 개발된 모델이다. SLAMM 모델은 점진적인 해수면 상승에 의한 해안저지대의 침수뿐만 아니라 조류와 파랑에 의한 침식과 퇴적 작용으로 인한 갯벌, 염생식물 및 전이 식생대, 각종 습지 등의 변화를 예측하기에 적합하다.

연구결과, 전 지역에서 갯벌의 감소와 해수의 침수가 크게 확대되었으며 염생습지와 관목 습지가 발달하는 것으로 예측되었다. 갯벌 지역의 감소와 해수 침수지역이 확대된 원인은 해수면 상승에 따른 해수체계와 토사공급의 불균형, 그리고 지형적 조건에 의한 해수면 상승 속도가 빨라진데 기인한 것으로 해석될 수 있다. 갯벌은 육상에서 공급되는 부유성 토사가 조류와 조석의 영향으로 동적균형을 이루며 퇴적된다. 하지만 해수면 상승은 조류와 조석의 물질운반력 또는 침식 에너지를 강화시켜 시간의 경과에 따라 토사의 퇴적보다는 분산작용과 지역적 침식을 가속화시킬 수 있으며, 이는 결과적으로 퇴적작용에 불균형을 일으켜 침수지역을 확대시킨 것으로 본다. 여기에 지형적 조건으로써 만입지역이고 수심과 해저경사가 낮은 지역에서는 해수면 상승이 지속되면 침수 속도가 빨라지기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 이 과정에서 조류와 해수에 변동이 자주 발생하게 되며 그 결과 국지적 규모의 미지형들이 발달하게 한다. 이러한 미지형 기복의 저지대를 따라 염생습지, 담수습지가 형성되며 식생의 정착으로 지형·생태공간이 만들어지게 된 것으로 해석된다.

연구수행 결과는 지구온난화와 해수면 상승

이 해안지역 환경에 미치는 영향에 대해 예측적 정보를 제공해 줄 수 있기 때문에 자연재해 대비 및 해안지역 관리를 위한 정보를 제공해 줄 수 있을 것이다. 하지만 예측에 대한 신뢰도를 높이기 위해 해수면 상승에 따른 해안 수리체계의 변화가 해안지역의 지형, 식생, 기후, 조류, 파랑, 인공구조물 등에 미치는 영향에 대해 심도있는 연구가 진행되어야 할 것이다. **KAGIS**

참고문헌

- 강주환, 문승록, 오남선. 2005. 해안 및 항만공학 : 서남해안의 해수면 상승. 대한토목학회 논문집B. 25(2):151-157.
- 김남신. 2009. 미기복 지형 표현을 위한 DEM 개선. 한국지리정보학회지 12(1):64-72.
- 박익준. 2000. 해안습지 성장물의 공간적 특성에 관한 연구-순천만 염하구 해안습지를 사례로. 한국지역지리학회지 6(3):153-168.
- 신동훈, 이규석. 2006. 방조제 건설에 의한 해수면 온도 변화 추정. 한국지리정보학회지 9(4):224-231.
- 이기철, 이재원, 김용석. 2010. GIS에 기반한 습지목록의 제작과 활용. 한국지리정보학회지 13(1):50-61.
- 이홍로, 이재봉. 2005. 다중시기 위성영상을 이용한 새만금 방조제 내측 해수면에 의한 심포항 연안의 간석지 지형 변화 탐지. 한국지리정보학회지 8(1):13-22.
- 장동호, 김장수. 2009. 충남 연안 지역에서 기후변화에 의한 해수면 상승에 따른 취약성평가. 한국지형학회지 16(2):1-13.
- 하경자, 정기용, 장새롬, 김기영. 2006. 복합위성자료(Topex/Poseidon, Jason-1, ERS, Envisat)를 이용한 한반도 주변해역에서의 해수면 고도 변화와 해수면 온도의 상관성

- 연구. 대한원격탐사학회지 22(6):519-531.
- Church, J.A., N.J. White, R. Coleman, K. Lambeck and J.X. Mitrovica. 2004. Estimate of the regional distribution of sea-level rise over the 1950 to 2000 period. *Journal of Climate* 17:2609-2625.
- Craft, C., J. Clough, J. Ehman, S. Joye, R. Park, S. Pennings, H. Guo and M. Machmuller. 2008. Forecasting the effects of accelerated sea-level rise on tidal marsh ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7(2):73-78.
- Galbraith, H., R. Jones, R.A. Park, J.S. Clough, S. Herrod-Julius, B. Harrington and G. Page. 2003. Global climate change and sea level rise: potential losses of intertidal habitat for shorebirds. 19-22 in N. J. Valette-Silver and D. Scavia, eds. *Ecological Forecasting: New Tools for Coastal and Marine Ecosystem Management*. NOAA, Silver Spring, Maryland.
- Glick, P., J. Clough and B. Nunley. 2007. Sea-level rise and coastal habitats in the Pacific Northwest an analysis for Puget Sound, Southwestern Washington, and Northwestern Oregon. <http://www.nwf.org/sealevelrise/pdfs/PacificNWSeaLevelRise.pdf>.
- Lee, J.K., R.A. Park, P.W. Mausel and R.C. Howe. 1991. GIS-related modeling of impacts of sea level rise on coastal areas. *Proceedings of GIS/LIS '91 Conference* 1:356-367.
- Lee, J.K., R.A. Park and P.W. Mausel. 1992. Application of geoprocessing and simulation modeling to estimate impacts of sea level rise on the northeast coast of Florida. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 58:1579-1586.
- Park, R.A., T.V. Armentano and C.L. Cloonan. 1986a. Predicting the impact of sea level rise on coastal systems. In *supplementary proceedings for the 1986 Eastern Simulation Conference* pp.149-153.
- Park, R.A., T.V. Armentano and C.L. Cloonan. 1986b. Predicting the effects of sea level rise on coastal wetlands. In *effects of changes in stratospheric ozone and global climate. 4: sea level rise*, edited by J.G. Titus, Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. pp.129-152.
- Park, R.A., J. Lee, P.W. Mausel and R.C. Howe. 1991. Predicting impacts of sea level rise with a GIS-based simulation model. *State of Indiana Geographic Information System Conference Proceedings* 15-16:74-83.
- Titus, J.G. and C. Richman. 2001. Maps of lands vulnerable to sea level rise: modeled elevations along the U.S. Atlantic and Gulf coasts. *Climate Research* 18(3):205-228.
- <http://warrenpinnacle.com/prof/SLAMM/index.html>
- <http://www.khoa.go.kr/>
- <http://warrenpinnacle.com/KAGIS>