



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](#)

공학석사 학위논문

해수면 상승을 고려한
순천만 습지 복원



2017 년 2 월

부 경 대 학 교 대 학 원

생 태 공 학 과

문 보 라

공학석사 학위논문

해수면 상승을 고려한
순천만 습지 복원

지도교수 이 석 모

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2017 년 2 월

부 경 대 학 교 대 학 원

생 태 공 학 과

문 보 라

문보라의 공학석사 학위논문을 인준함.

2017 년 2 월



주 심 공학박사 김 동 명



위 원 공학박사 성 기 준



위 원 공학박사 이 석 모



목 차

I. 서 론	1
II. 이론적 배경	3
1. 해수면 상승	3
2. 습지의 간척과 복원	4
III. 연구 방법	6
1. 연구 대상지역	6
2. SLAMM 모델	8
가. 모델소개	8
나. 연구사례	9
다. 입력인자	11
라. 모델 검정	13
3. 습지 변화 예측	14
IV. 결과 및 고찰	16
1. 파일 생성	16
2. 모델 검정	18
3. 습지 변화 예측	19
가. 제방이 있는 현재의 순천만	19
나. 제방을 제거하였을 때의 순천만	21
다. Case 별 예측 및 비교	25

4. 고찰	34
V. 결론	37
참고문헌	38



표 목 차

Table 1. Wetlands Category in Suncheon Bay	13
Table 2. Case of the Wetlands change prediction	15
Table 3. Change of wetlands category in Suncheon Bay by SLAMM with Levee (%)	19
Table 4. Change of wetlands category in Suncheon Bay by SLAMM without Levee (%)	24
Table 5.1 Change of the Vegetation wetlands area considering Levee, Sea level rise and Accretion rate in 2100 (Unit:%)	27
Table 5.2 Change of the Tidal flat area considering Levee, Sea level rise and Accretion rate in 2100 (Unit:%)	28
Table 5.3 Change of the Rice field area considering Levee, Sea level rise and Accretion rate in 2100 (Unit:%)	29

그림 목 차

Fig. 1. Suncheon Bay.	7
Fig. 2. Classification hierarchy of wetlands and deepwater habitats, showing Systems, Subsystems and Classes (Federal Geographic Data Committee, 2013).	10
Fig. 3. Change of wetlands category according to sea level rise (http://warrenpinnacle.com/prof/SLAMM/index.html).	11
Fig. 4. DEM, Slope, and Wetlands category in Suncheon Bay.	17
Fig. 5. Aerial photograph and wetlands reappearance map in 1948.	18
Fig. 6. Change of wetlands category in Suncheon Bay by SLAMM with Levee.	20
Fig. 7.1 Change of wetlands category in Suncheon Bay by SLAMM without Levee.	22
Fig. 7.2 Change of wetlands category in Suncheon Bay by SLAMM without Levee.	23
Fig. 8.1 Change of the Vegetation wetlands, Tidal flat, Rice field and Total wetlands area with Levee considering Sea level rise and Accretion rate in 2100.	30
Fig. 8.2 Change of the Vegetation wetlands, Tidal flat, Rice field and Total wetlands area without Levee considering Sea level rise and Accretion rate in 2100.	31
Fig. 9.1 Change of the Tidal-fresh marsh, Trans. salt marsh,	

Regularly-flooded marsh and Irregularly-flooded marsh area with
 Levee considering Sea level rise and Accretion rate in 2100. 32

Fig. 9.2 Change of the Tidal-fresh marsh, Trans. salt marsh,
 Regularly-flooded marsh and Irregularly-flooded marsh area without
 Levee considering Sea level rise and Accretion rate in 2100. 33



Wetlands Restoration of Suncheon Bay

Considering the Sea Level Rise

Bora Moon

*Department of Ecological engineering,
Pukyong National University*

Abstract

Sea level rise caused by climate change has become a global issue. Sea level rise seems to be an important factor of the research for coastal areas as it affects topography and vegetation of coasts and especially for the plan of coastal wetlands restoration which needs to be carried out for a long term, it has to be considered sufficiently.

The coastal wetlands in Korea was damaged by the land reclamation project but recent concerns on the restoration have increased as its value is evaluated highly. Suncheon Bay had also reclaimed from wetlands to rice field once however this site is very active for restoration nowadays.

This study estimated an effect according to sea level rise by 2100, reappearing the none dike condition of Suncheon Bay so that it can be taken account of a future plan of wetland restoration. The Sea Level Affecting Marshes Model(SLAMM) was selected as predicting model. The input data such as DEM(Digital Elevation Model), slope, wetlands category, sea level rise senario, tidal range and accretion rate was applied

for the simulation.

The change of wetlands category was produced differently by levee, sea level rise and accretion rate. All case showed a decrease in tidal flat however in case of non levee condition showed not only a decrease in tidal flat but also an increase in sea area and a change of the rice field to transitional salt marsh consistently by 2100. These results of this study could be used as baseline data in the future plan of ecological restoration in Suncheon Bay.



I. 서론

기후변화로 인한 해수면 상승의 영향이 전 세계적인 문제로 대두됨에 따라 국·내외의 연구에서 많은 관심을 보이고 있다. 기후변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 보고서에서는 전 세계 해수면의 높이가 2100년까지 평균 0.63m, 최소 0.45m에서 최대 0.812m까지 상승 될 것으로 전망하고 있으며, 장기 조위자료를 이용한 우리나라의 해수면 상승 예측(이 외 2, 2014)에서는 각 지역별로 뚜렷한 해수면 상승의 경향성을 보여 주었다. 해수면 상승의 영향에 관해 연구한 김과 이(2010)의 연구에서는 해수면의 상승이 연안지역의 식생과 생태계의 변화에 영향을 미치기에 연안지역을 연구함에 있어 이를 중요한 요인으로 고려해야 함을 말하였다.

특히 연안습지는 수질 정화와 생물 다양성 유지 등의 기능을 가지며 내륙과 해양 생태계 사이의 전이지대 역할을 하는 중요한 지역이다(임병선, 1998). 하지만 과거에는 습지의 가치가 낮게 평가되었으며, 대규모 해안 개발 사업 등이 이루어지며 갯벌을 비롯한 우리나라의 연안습지는 상당 부분의 면적이 손실 되었다. 최근 연안습지의 가치에 대한 연구가 활발해짐에 따라 훼손된 습지의 복원에 대한 관심도 높아져 왔으며, 본 연구의 대상지인 순천만 역시 2016년부터 별량 장산과 해룡 노월 일대 지역(약 78ha)의 부지를 매입하여 습지로 복원하는 사업을 추진하는 습지의 복원에 대한 관심이 높은 지역이다. 하지만 순천만의 이런 모습에도 불구하고 기존의 연구들은 지형적 특성(박의준, 2000), (김종규와 김동주, 2008)이나 관리방안 연구(김경원 외 2, 2011) 또는 생태복원에 따른 경제적 가치 평가(황민섭 외 2, 2014)와 같은 연구들에 국한되어 있어, 복원사업을 말하기 위해 향후의 해수면 상승과 그

영향을 고려한 연구는 미미하였다. 그 중 해수면 상승을 고려한 사례가 있었으나 순천만과 함평만 그리고 한강과 낙동강 하구에 침식·퇴적 변화율을 동일하게 적용함으로서 반폐쇄적 내만 형태인 순천만의 퇴적 특성이 잘 반영되지 못하였으며, 단순히 현재 상태를 재현한 예측을 함으로써 복원가능성을 말하기에는 부족함이 있었다.

따라서 본 연구는 향후 순천만 복원 계획에 있어 해수면 상승과 그 영향이 고려되게 하고자 진행되었으며, 순천만의 특성을 반영할 수 있는 퇴적물의 적용과 함께 연안지역의 지형과 식생변화의 예측이 가능하게 개발된 SLAMM 모델을 사용하여, 현재 상태와 제방을 철거하였을 경우를 가정한 순천만의 해수면 상승 정도와 퇴적물 변화에 따른 변화를 각각 예측해 보고자 한다.

II. 이론적 배경

1. 해수면 상승

기후변화와 그로 인한 해수면 상승에 대한 관심이 높아짐에 따라 해수면의 상승 정도와 그 영향에 대한 연구가 다양하게 진행되어 왔다. 먼저 기후변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에서는 전 세계적인 해수면 상승 추이에 관해 연구하였으며, IPCC의 보고서에서 나타난 전 지구적 해수면 상승 추이는 1901~2010년 동안 평균 1.7(1.5~1.9)mm/yr 상승된 것으로 측정되었으며, 1971~2010년에는 평균 2.0(1.7~2.3)mm/yr, 가장 최근인 1993~2010년에는 약 3.2(2.8~3.6)mm/yr로 상승 폭이 점점 증가 해온 것으로 나타났다. 또한 IPCC(2013)에서는 2100년까지 전 세계 해수면의 높이가 평균 0.63m, 최소 0.45m에서 최대 0.812m까지 상승될 것으로 예측하였으며, 이를 통해 앞으로도 계속해서 해수면 상승이 일어날 것임을 예측 할 수 있다.

한편 해수면 변화에 관련한 국내의 연구 동향은 2000년대 초반 연간 관련 논문수가 5편이하였던 반면 2009년 이후 연간 15편 이상으로 증가하였으며, 2011년에는 20편 이상까지도 증가하였다(신영호, 2016). 이를 통해 해수면 상승에 관한 국내 연구의 관심이 근래에 들어 높아져 온 것을 알 수 있다. 또한 IPCC의 해수면 상승률과 비교해 국내의 해수면 상승 정도를 예측한 연구(이 외 2, 2014)에서는 우리나라의 각 지역별로 뚜렷한 해수면 상승의 경향성을 보여주었으며, 우리나라의 해수면 상승률이 전 세계 해수면 상승률의 수치보다 높게 나타날 수 있음을 보여주었다. 또한 해수면 상승의 영향에 관해 연구한 김과 이(2010)의 연구에서는 해수면의 상승이 연안지역의 식생과 생태

계의 변화에 영향을 미치기에 연안지역을 연구함에 있어 이를 중요한 요인으로 고려해야 함을 말하였다. 따라서 연안지역 습지의 관리와 복원계획을 수립하는데 있어 해수면 상승의 영향을 고려하는 것이 필요할 것이라 보여진다.

2. 습지의 간척과 복원

연안습지란 습지보전법 제2조 3항의 정의에 따라 만조선과 간조선의 경계 사이의 조간대 지역을 의미한다.

연안습지는 육상으로부터의 오염물질을 분해하여 수질을 정화하며, 생물들의 서식지가 되어 종 다양성과 생산성이 높은 지역으로 내륙과 해양 생태계 사이의 전이지대 역할을 하는 중요한 지역이다(임병선, 1998). 또한 높은 생산력을 바탕으로 하는 수산자원 제공의 기능, 철새 및 물새들의 휴식처가 되어주는 도래지의 기능, 수분 조절을 통한 자연 방파제로서의 기능 그리고 아름다운 자연 경관을 통해 사람들에게 휴식과 안정을 제공하는 심미적인 기능(윤희정, 2015)등을 바탕으로 다양한 서비스를 제공하여 있으며 우리의 삶을 풍부하게 해주는 아주 중요한 생태계이다.

하지만 갯벌을 비롯한 우리나라의 연안습지는 과거 그 가치가 낮게 평가되었으며 대규모 해안 개발 사업으로 인해 상당 부분의 면적에서 손실이 일어났다. 간척으로 사라진 습지에 관해 연구한 박의준(1996)에 따르면 1945~1961에는 소규모로 진행되었던 간척사업이 1960년대 이후 대규모로 이루어졌으며, 1993년 말까지 1,616개 지역, 59,000ha에 이르는 연안습지 면적이 간척으로 인해서 사라진 것을 알 수 있다. 이렇게 간척이 된 지역은 주로 농지, 도시용지 그리고 공업용지로 조성되었으며, 간척으로 인해 간척지는 어획량의 파괴로 인한 어획량 감소, 해양 오염으로 인한 수질 악화 그리고 지형 변

화로 인한 자연재해 가능성 유발 등 다양한 문제점을 가지게 되었다.

최근 갯벌의 가치에 대한 연구가 활발해짐에 따라 훼손된 갯벌의 복원과
역간척에 대한 관심이 높아졌으며, 순천만 역시 갯벌의 가치와 복원에 대한
관심이 높은 지역으로 2016년부터 별량 장산과 해룡 노월 일대 지역(약
78ha)의 부지를 매입하여 갯벌로 복원하는 사업을 추진 중이다.



Ⅲ. 연구 방법

1. 연구 대상지역

본 연구는 육지와 해양이 만나는 염하구 해안습지인 순천만과 그 일대 유역을 대상으로 선정하였다. 순천만은 고흥반도와 여수반도 사이에 있는 여자만의 최북단에 위치한 작은 만을 가리킨다. 순천만을 기준으로 북쪽으로는 간척하여 일군 경작지가 제방으로 경계 지어져 있고 동과 서는 가파른 산지 지형으로 삼면이 막힌 반폐쇄적인 만입형태이다(Fig. 1). 순천만 염하구 지역은 동천과, 이사천이 교량동에서 합류하여 하구로 유입되며 1991년 축조된 주암조절지택에 의한 유량 조절을 받는다. 대상지의 식생은 대부분 갈대(*Phragmites australis*) 순군락이며 모새달, 칠면초, 천일사초등이 서식한다(이 외 3, 2008). 순천만은 수려한 갈대경관과 더불어 흑두루미 월동지역으로 많은 주목을 받았으며, 2006년 한국 연안습지 최초로 람사르에 등록된 습지이다. 이러한 순천만 역시 과거 갯벌의 가치가 낮게 평가되던 시절 4단계에 걸쳐 농경지로 점진적인 간척사업이 진행되었으나 현재 장산과 해룡 노월 일대 지역 (약 78a)의 부지에 역간척 및 복원사업을 계획하고 있으며 앞으로 습지복원과 보전에 대한 사업이 활발할 것으로 보여 지는 지역이다.

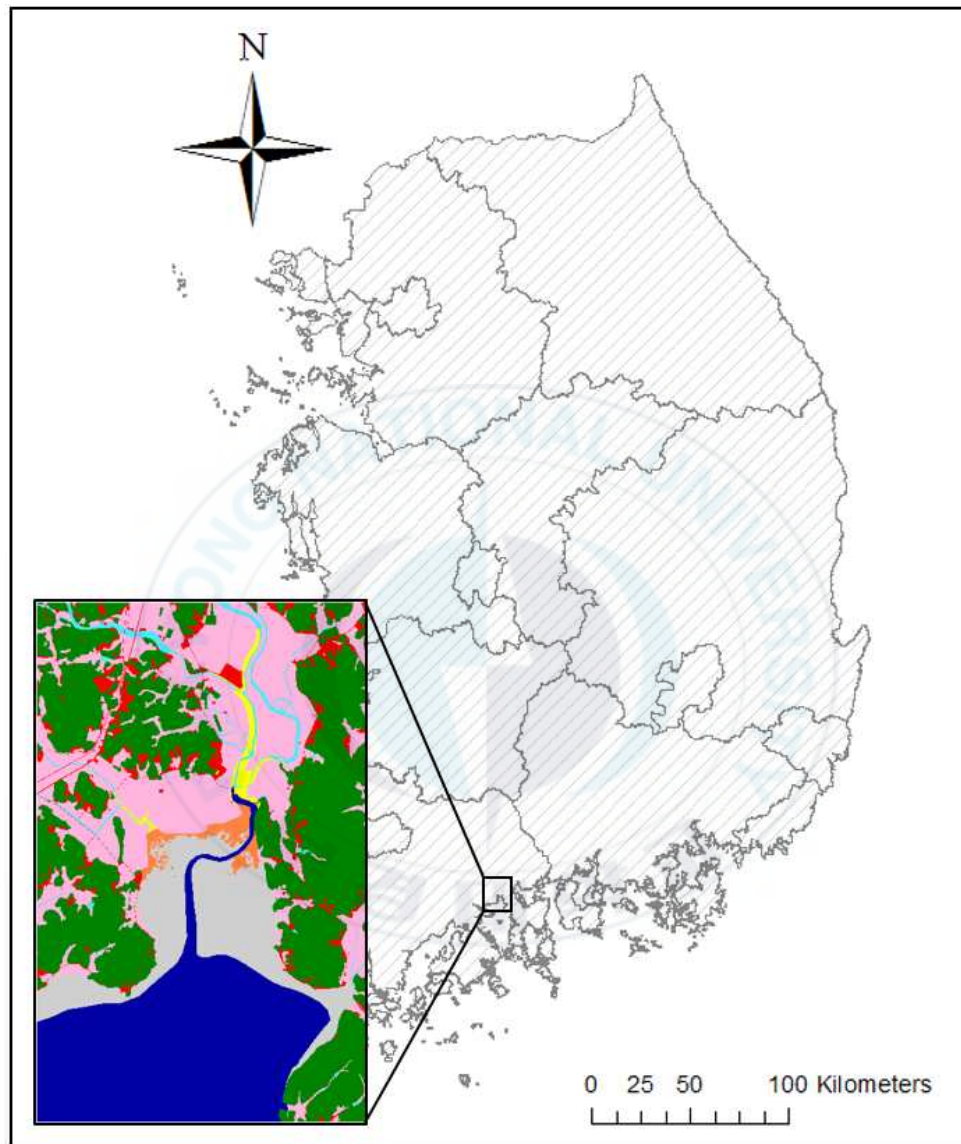


Fig. 1. Suncheon Bay.

2. SLAMM 모델

가. 모델소개

본 연구에서는 해수면 상승에 따른 순천만의 습지 변화를 보기 위하여 (Park et al, 1986)에 의해 개발된 SLAMM 모델을 사용하였다. SLAMM은 해수면 상승에 따라 발생하는 연안지역 습지의 변화를 예측하는 모델로 대상지를 일정한 간격의 셀로 구분하며 각각의 셀에는 고도, 경사도, 습지피복 분류 등의 정보가 들어가게 된다. SLAMM은 이를 바탕으로 대상지의 조차와 침식·퇴적의 변화율 등을 고려해 해수면 상승 시 연안지역 습지의 변화를 예측한다. 이 때, SLAMM은 단순히 침수되는 면적만으로 계산되는 것이 아니라, 해수면 상승의 과정에서 발생하는 범람(Inundation), 침식(Erosion), 침수(Overwash), 포화(Saturation), 퇴적(Accretion), 그리고 염분(Salinity)의 6가지 작용을 모델에 적용하며, 해수면 상승 시 발생하는 침수와 범람에 의해 저지대가 받는 영향, 조류와 파랑에 의해 발생하는 침식율과 유·무기물에 의한 퇴적률의 영향, 지하수압의 증가로 인한 토양 포화도 증가로 습지 면적에 발생하는 영향 그리고 염분의 영향 등을 고려하여 습지 변화를 예측할 수 있다(Clough et al, 2012). 또한 SLAMM 모델에는 기본적으로 IPCC의 해수면 상승 시나리오가 내장되어 있으며 필요에 따라 Custom을 설정하여 원하는 대로 해수면 상승 시나리오를 조정할 수 있다. SLAMM은 Fig. 2와 같이 Federal Geographic Data Committee(2013)의 분류체계에 따라 System과 Subsystem 그리고 기질과 식생 등으로 습지의 피복분류를 나누며 그 분류 코드는 총 23가지로 나뉜다. 이렇게 분류된 습지는 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 해수면이 상승함에 따라 침수에 의해 그 분포가 해역에서 갯벌, 규칙적 침수

습지 그리고 불규칙적 침수습지 순으로 점차 내륙으로 이동하는 것을 가정하여 예측된다(김과 이, 2010).

나. 연구사례

SLAMM 모델의 적용해서 연구한 국외 사례로는 (Craft et al, 2008)의 미국 조지아 해안 습지 연구, Glick et al.(2007)의 워싱턴 주 북서쪽 퓨젓만의 습지 연구, Heng et al.(2014)의 중국 양쯔강 하구 연안습지의 변화 연구 등이 있다. Craft et al..(2008)의 연구에서는 SLAMM 모델을 적용하여 2100년 조지아 해안의 염생습지 면적의 감소를 예측하였으며, Glick et al.(2007)의 연구에서는 SLAMM 모델을 적용하여 2100년 퓨젓만에 발달한 염생습지와 갯벌의 감소로 야생동물 서식지의 생태적 교란을 예측하였다. Heng et al.(2014)은 퇴적물의 감소와 해수면 상승의 영향을 함께 고려하여 중국 양쯔강 하구 연안습지의 면적변화를 보기 위해 SLAMM 모델을 적용하였으며, 그 결과 2100년 조하대의 습지뿐만 아니라 조간대 상부 지역까지 폭넓게 영향을 받으며 연안 습지의 감소가 예측되었다. 국내 연구사례(김과 이, 2010)에서는 한강과 낙동강 하구, 함평만과 순천만 네 곳을 대상으로 SLAMM 모델을 적용하였으며, 그 결과 전 지역에서 갯벌의 감소와 염생습지의 증가가 예측되었다.

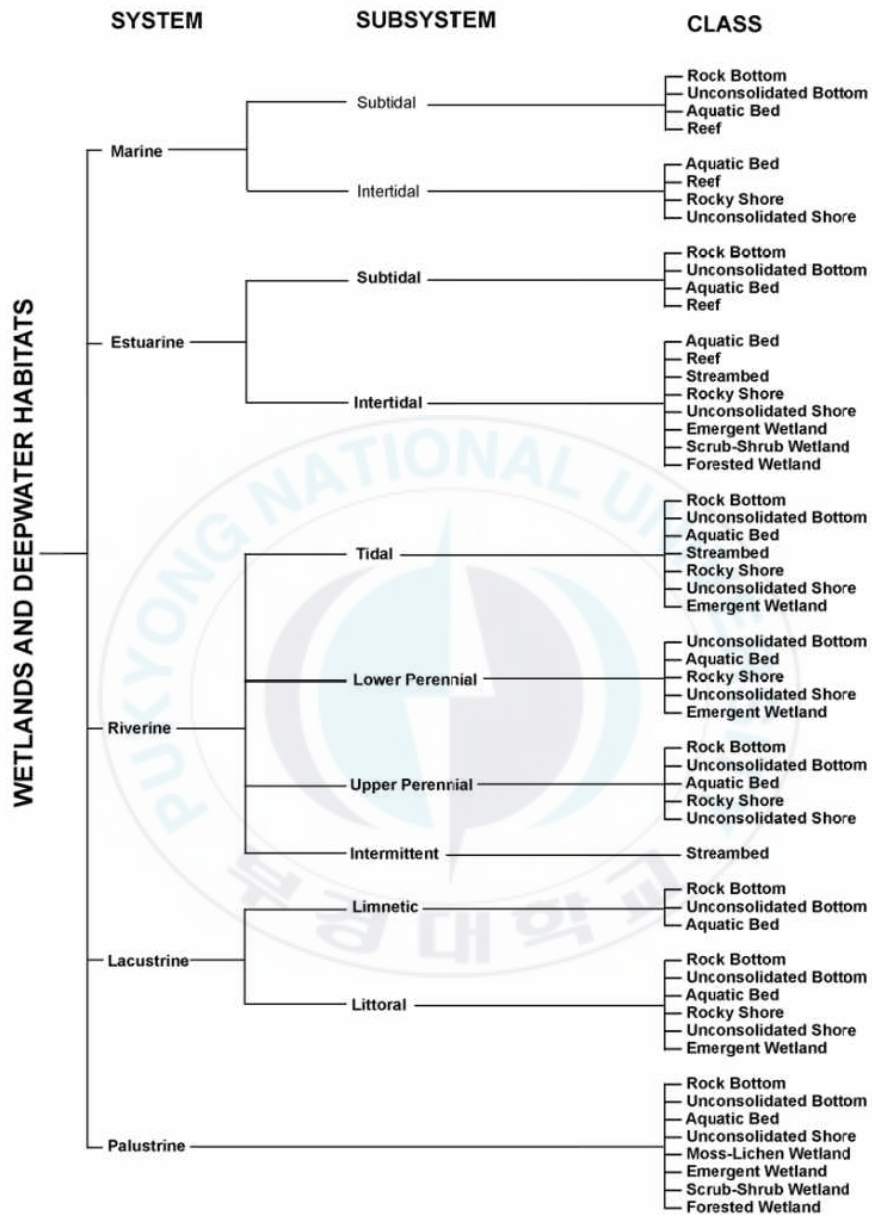


Fig. 2. Classification hierarchy of wetlands and deepwater habitats, showing Systems, Subsystems and Classes(Federal Geographic Data Committee, 2013).

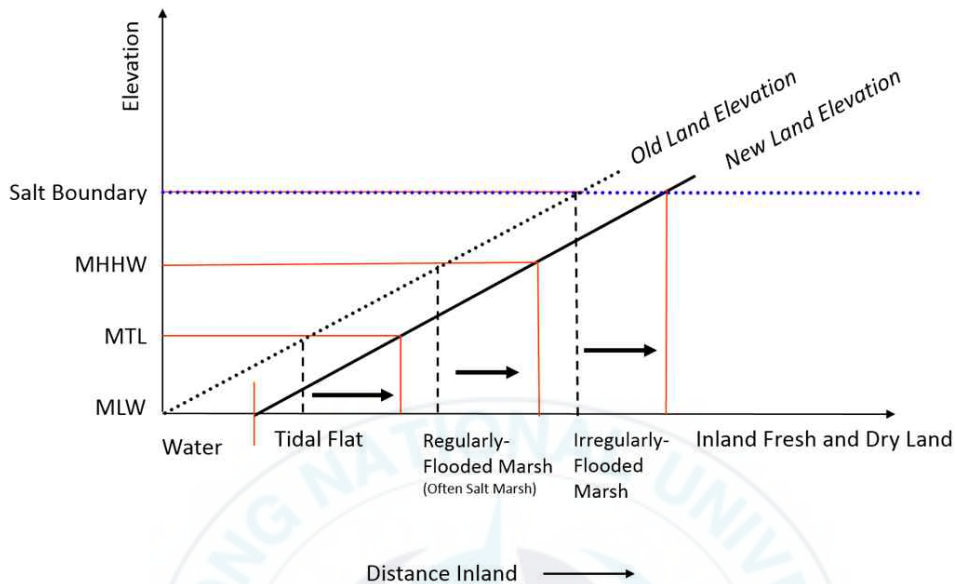


Fig. 3. Change of wetlands category according to sea level rise
(<http://warrenpinnacle.com/prof/SLAMM/index.html>).

다. 입력인자

SLAMM 모델의 시뮬레이션을 위해서는 대상지의 DEM(Digital Elevation Model), 경사도, 습지피복분류도 파일 및 해수면 상승 예측 값, 조석 간만의 차, 침식·퇴적 변화율 등의 자료가 필요하다. 순천만 지역의 DEM과 경사도 파일은 국토지리정보원의 1:5000 수치지형도의 등고선과 해안선 자료를 이용해 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS) 프로그램을 사용하여 만들었다. 습지피복분류도는 국토지리정보원의 토지이용현황도와 환경부의 중분류 토지피복지도 그리고 항공사진을 육안 관독하여 작성하였으며 기존 SLAMM의 분류체계와 비교하여 코드를 지정하였다. 이렇게 모델에

들어가는 DEM, SLOPE, 습지피복분류도의 파일은 GIS 프로그램을 사용하여 만들 수 있으며, ASCII 또는 TXT 파일 형태로 저장된다. SLAMM의 습지피복분류체계는 연안지역의 식생과 기질 그리고 투수율 등에 의해 다양하게 분류되었으며 본 연구에서는 대상지의 특성에 맞는 습지의 코드를 선정하여 습지피복분류 카테고리를 다음과 같이 작성하였다(Table 1). 습지분류 카테고리는 크게 육상지역(Dry land), 농경지(Rice-Field), 식생습지(Vegetation Wetlands), 갯벌(Tidal Flat), 하천 및 호소(River or Lake) 그리고 해역(Sea Area)으로 나뉜다. 육상지역은 투수율에 따라 개발지(Developed Dry Land)와 미개발지(Undeveloped Dry)로 나뉘며 순천만 인근의 주택 및 상업지구는 개발지, 산지와 나지 등의 지대는 미개발지로 분류하였다. SLAMM의 카테고리 분류체계에 따라 농경지(Rice Field)는 Inland Fresh Marsh로 분류하였으며 식생습지는 갈대 군락지를 포함하는 불규칙적 침수습지와 하천을 따라 있는 조수 담수습지로 분류하였다(Clough et al., 2012), (Federal Geographic Data Committee, 2013).

순천만의 퇴적률은 기존 문헌들을 참고하여 갈대가 서식하는 불규칙적 침수 습지:14.58mm/yr(김신, 2009), 농경지:1mm/yr(Clough et al., 2015), 갯벌: 4.7mm/yr(고 외 4, 2016)의 값을 적용시켰으며, 해수면 상승률은 IPCC 보고서의 내용에 따라 평균값인 3.2mm/yr, 순천만의 조석 간만의 차는 국립해양조사원(2013)의 조석관측 자료에 따라 2.1m의 값을 적용시켰으며, 염분의 영향이 미치는 범위는 약최고고조면부터 평균해면까지의 높이 차인 1.8m를 적용하였다. 이 외 2(2014)의 연구에서는 속초, 보령, 부산, 여수 및 제주 5곳을 대상으로 조위관측소의 장기 조위자료를 이용해 미래 해수면 상승의 정도를 통계적으로 추정하였다. 그 결과 여수 조위관측소의 해수면 상승이 2100년 기준 1.0m 상승 시나리오와 가장 유사한 값을 나타내었으며, 이는 IPCC 5차 보고서의 RCP 시나리오에 의한 전지구적 해수면 상승보다 대상지역의 해수

면 상승 영향이 크게 나타날 것임을 말해주고 있다. 따라서 본 연구에서는 대상지의 이러한 특성을 반영하고자 해수면 상승 예측 값을 IPCC 5차 보고서에서 나타난 평균값인 2100년을 기준 0.63m 상승과 이 외 2(2014) 연구의 예측 값1.0m 상승을 적용하여 그 변화를 비교해 보고자 하였다.

Table 1. Wetlands Category in Suncheon Bay

Suncheon Bay Wetlands Category		SLAMM Code	SLAMM Category
Dry land	Developed Dry Land	1	Developed Dry Land
	Undeveloped Dry Land	2	Undeveloped Dry Land
Vegetation Wetlands	Rice-Field	5	Inland Fresh Marsh
	Tidal Fresh Marsh	6	Tidal Fresh Marsh
	Irregularly Flooded Marsh	20	Irregularly Flooded Marsh
	Tidal Flat	11	Tidal Flat
	River or Lake	15	Inland Open Water
	Sea Area	17	Estuarine Open Water

라. 모델 검토

모델의 검토를 위해 과거 순천만의 항공사진과 현재 상태를 과거로 재현한 습지피복분류도의 비교를 실시하였다. 이를 위해 국토지리정보원의 해방이후 항공사진을 사용하였으며, 비교를 위해 현재 상태를 과거로 재현한 습지피복분류도는 과거 순천만 농경지의 고도가 간척으로 인해 갯벌보다 30cm 가량 높아졌다는 결과(박의준, 2000)를 바탕으로 현재의 순천만에서 고도를 조정하고 제방을 없앤 상태를 재현하여 작성하였다. 1948년의 항공사진에서는 당시의 간조, 만조 상황을 확인할 수 없어 정확한 갯벌 면적 산정이 힘들

다고 판단하였기에 두 습지피복분류도에서 육안으로 확인 가능한 전체 면적에 대한 육상지역의 비율을 서로 비교해 보았다.

3. 습지 변화 예측

먼저 현재와 같이 계속해서 제방이 존재할 경우와 제방이 없을 경우의 습지피복분류의 변화를 보기 위해서 앞에서 선정한 퇴적률을 적용하여 2015년을 기준으로 2025년, 2050년, 2075년 그리고 2100년의 습지변화 값을 예측해 보았다. 또한 퇴적률의 변화와 해수면 상승치의 변화에 따라 습지피복분류의 변화가 어떻게 차이 나는지 알아보기 위하여 갯벌과 갈대군락지의 퇴적률을 현재보다 80%, 60%, 40%, 20%로 감소시켰을 때와 두 가지 해수면 상승치 값을 대입하여 각 각의 경우에 대한 변화를 예측해 보았으며, 결과 비교를 위해 2100년의 변화 값을 적용해 비교해 주었다.

$$\begin{aligned} & \text{제방의 유무(2)} * \text{퇴적률 변화(5)} * \text{해수면 상승치(2)} \\ & = 20 \end{aligned}$$

각 각의 Case는 다음과 같이 총 20가지로 분류되었다(Table 2).

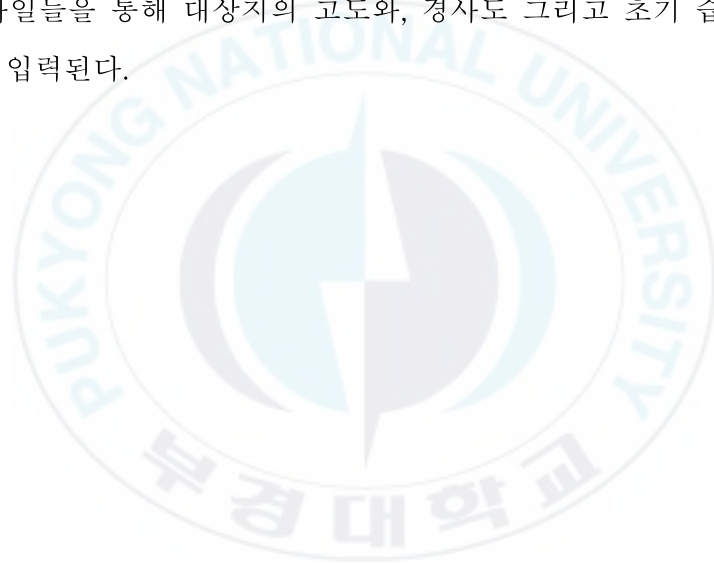
Table 2. Case of the Wetlands change prediction

		Accretion Rate Initial Condition	Accretion Rate 80%	Accretion Rate 60%	Accretion Rate 40%	Accretion Rate 20%
Levee (O)	SLR 0.63m	Case 1. 1	Case 1. 2	Case 1. 3	Case 1. 4	Case 1. 5
	SLR1m	Case 1. 6	Case 1. 7	Case 1. 8	Case 1. 9	Case 1. 10
Levee (X)	SLR 0.63m	Case 2. 1	Case 2. 2	Case 2. 3	Case 2. 4	Case 2. 5
	SLR1m	Case 2. 6	Case 2. 7	Case 2. 8	Case 2. 9	Case 2. 10

IV. 결과 및 고찰

1. 파일 생성

DEM, SLOPE, 습지피복분류도의 파일 생성 결과는 Fig. 4와 같이 나타났으며, 이 파일들을 통해 대상지의 고도와, 경사도 그리고 초기 습지피복정보가 모델에 입력된다.



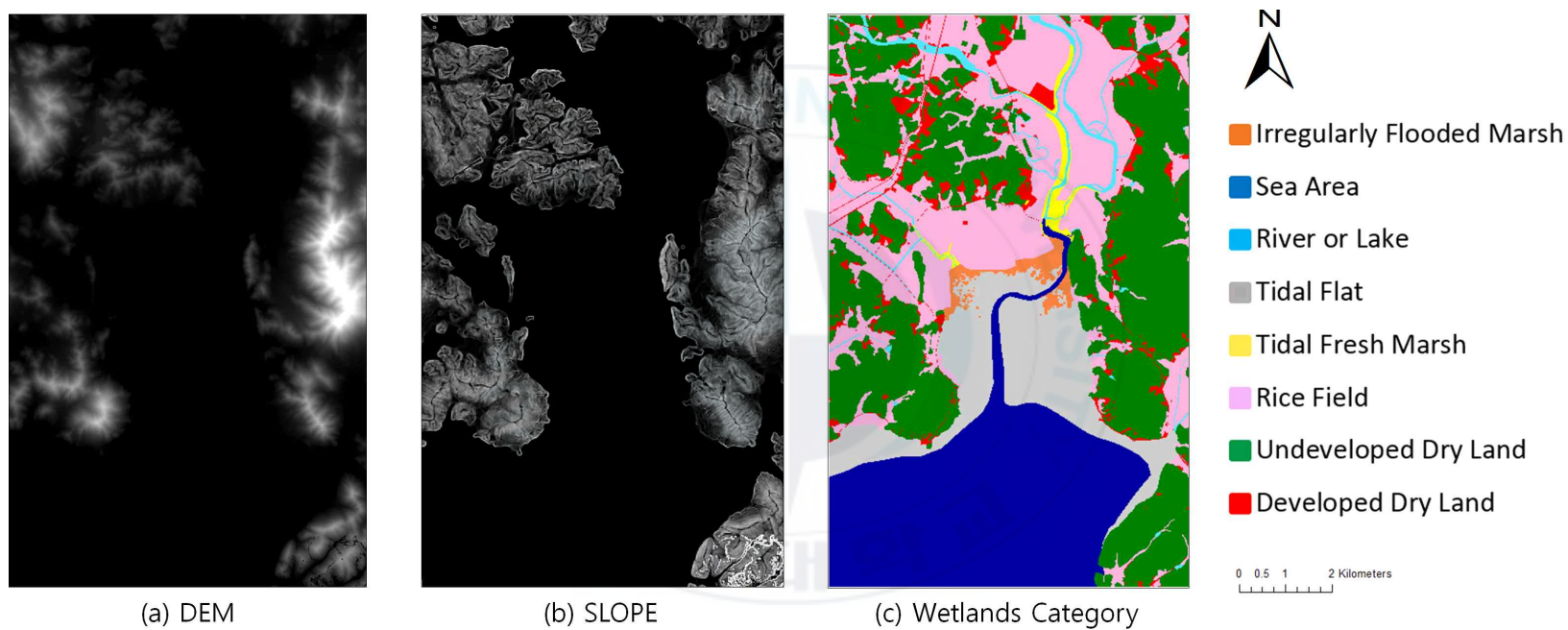


Fig. 4. DEM, Slope, and Wetlands category in Suncheon Bay.

2. 모델 검증

과거 순천만의 습지피복도와 현재 상태를 과거로 재현한 습지피복도의 비교에서 습지와 해역을 제외한 육상지역의 면적 비율이 각각 39.59%, 42.11%를 나타내었다. 이 두 면적 비율의 비교를 통해 과거 순천만의 습지피복도와 SLAMM으로 재현한 습지피복도의 육상지역 면적 비율이 약 94.01% 유사한 것을 알 수 있다(Fig. 5).

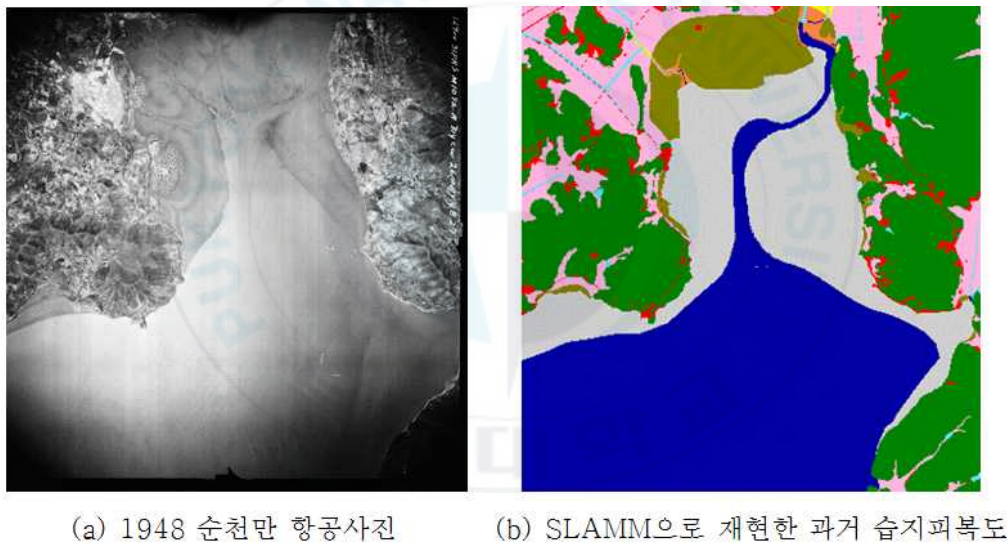


Fig. 5. Aerial photograph and wetlands reappearance map in 1948.

3. 습지 변화 예측

가. 제방이 있는 현재의 순천만

제방이 있는 현재 상태의 순천만의 모습을 재현하여 25년 단위로 시물레이션을 한 결과 Fig. 6과 같이 나타났다. 제방을 없앤 직후와 2025년까지는 큰 차이가 없었으나, 2050년부터 2075년, 2100년에 걸쳐 약간의 식생습지 지역의 면적이 증가하였다. 또한 2100년, 갯벌의 면적 비율이 30% 가량 감소하였으며 해역의 면적 비율이 약 13% 증가하는 것을 확인할 수 있다(Table 3).

Table 3. Change of wetlands category in Suncheon Bay
by SLAMM with Levee (%)

SLAMM Category	Initial Condition	2050	2075	2100
Dry Land	38.96	38.45	38.37	38.25
Developed Dry Land	4.52	4.52	4.52	4.52
Undeveloped Dry Land	34.44	33.93	33.86	33.73
Rice Field	23.94	24.18	24.15	24.15
Vegetation Wetlands	2.02	2.28	2.38	2.52
Tidal Fresh Marsh	0.92	0.92	0.92	0.88
Transitional Wetlands	0.00	0.17	0.20	0.25
Regularly Flooded Marsh	0.00	0.09	0.16	0.26
Irregularly Flooded Marsh	1.10	1.09	1.09	1.13
Tidal Flat	10.99	9.86	8.93	7.99
River or Lake	1.92	1.91	1.91	1.90
Sea Area	22.16	23.33	24.26	25.22

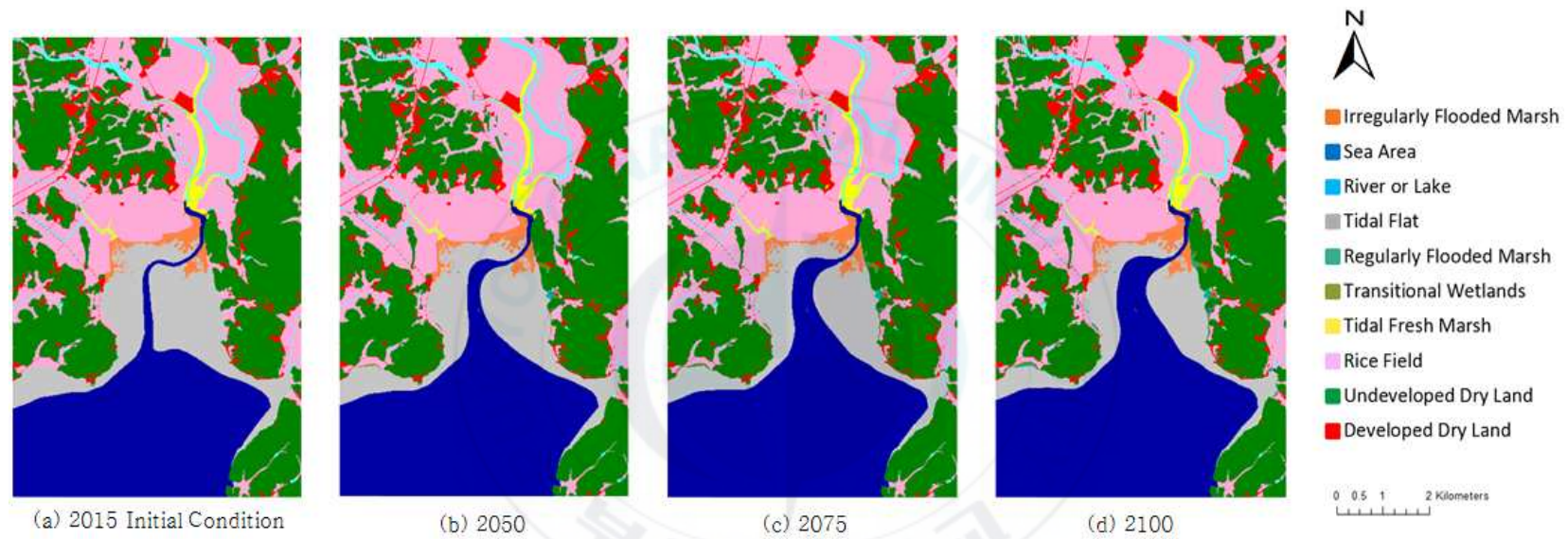


Fig. 6. Change of wetlands category in Suncheon Bay by SLAMM with Levee.

나. 제방을 제거하였을 때의 순천만

제방이 없는 순천만의 모습을 재현하여 25년 단위로 모델의 시뮬레이션을 한 결과 Fig. 7과 같이 나타내었다. 제방을 허문 직후 염분의 침투로 농경지 면적의 약 6.7%가 염분의 영향을 받아 전이습지로 변화하였으며, 전이습지의 면적은 해수면 상승에 따라 2025년, 2050년, 2075년, 2100년 지속적으로 증가하는 모습을 나타내었다. 또한 조수 담수습지의 면적이 조금씩 감소되었고 기존에는 없던 전이습지와 규칙적 침수습지 지역의 출현과 지속적인 증가로 습지 지역의 총 면적이 전체 지역의 2.12%에서 2100년에는 6.53%로 약 3배 정도 증가될 것으로 예측되었다. 해수면이 상승함에 따라 전체지역에서 해역의 비율이 꾸준히 늘어난 반면 갯벌 면적은 27% 정도 감소하였으며 2100년 해역은 전체지역에서의 비율이 3% 증가, 갯벌의 면적은 전체지역에서 3% 가량 감소하였다(Table 4).

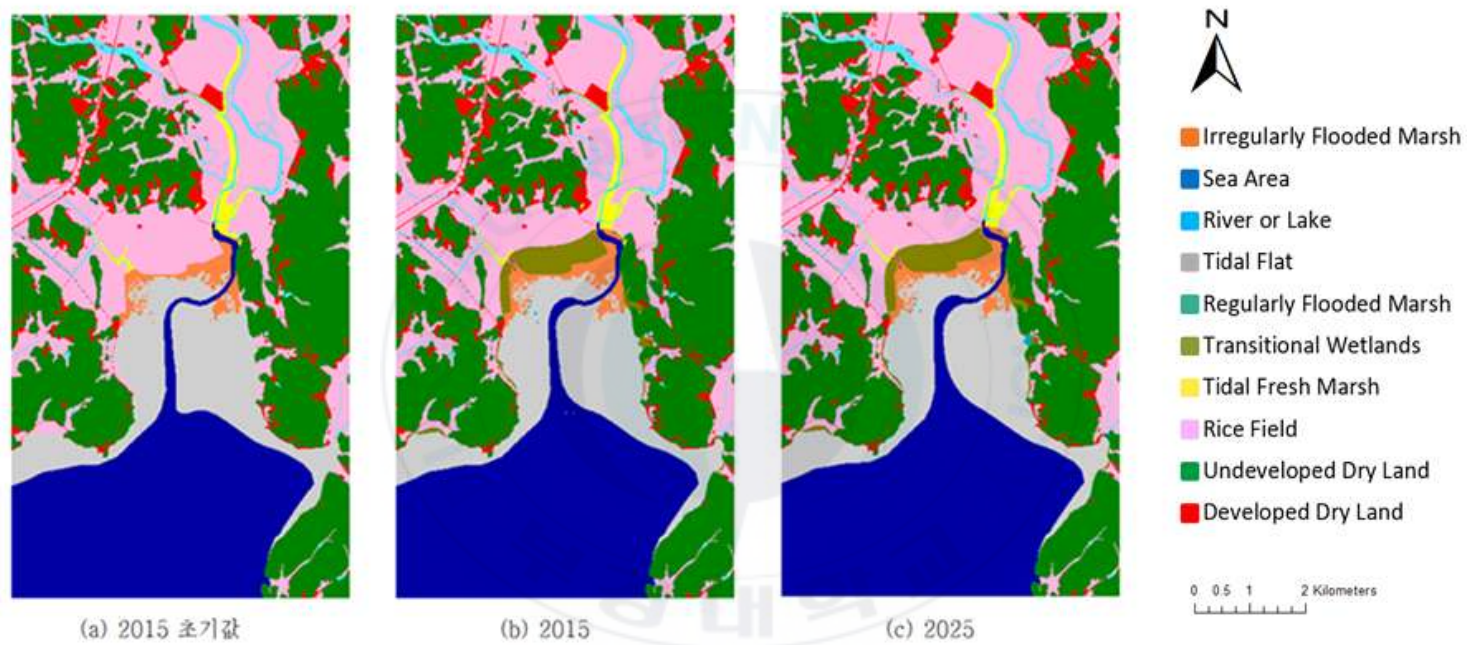


Fig. 7.1 Change of wetlands category in Suncheon Bay by SLAMM without Levee.

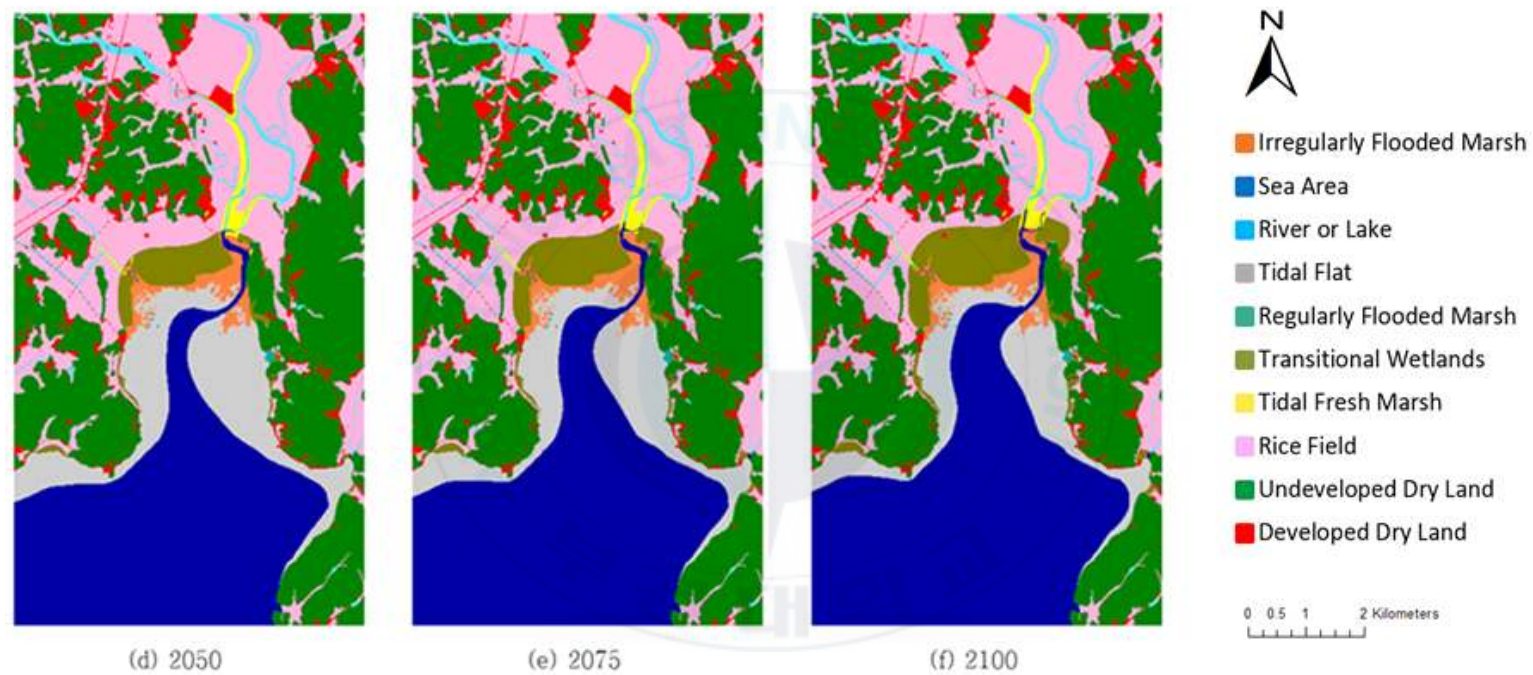


Fig. 7.2 Change of wetlands category in Suncheon Bay by SLAMM without Levee.

Table 4. Change of wetlands category in Suncheon Bay by SLAMM without Levee (%)

SLAMM Category	Initial Condition	None Dike	2025	2050	2075	2100
Dry Land	38.96	38.73	38.52	38.51	38.50	38.49
Developed Dry Land	4.52	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51
Undeveloped Dry Land	34.44	34.22	34.01	34.00	33.99	33.98
Rice Field	23.94	22.30	22.38	21.84	20.99	19.91
Vegetation Wetlands	2.02	3.90	4.02	4.58	5.44	6.53
Tidal Fresh Marsh	0.92	0.82	0.82	0.78	0.74	0.71
Transitional Wetlands	0.00	1.78	1.86	2.41	3.27	4.36
Regularly Flooded Marsh	0.00	0.02	0.06	0.06	0.06	0.06
Irregularly Flooded Marsh	1.10	1.28	1.28	1.32	1.36	1.40
Tidal Flat	10.99	10.64	10.51	9.83	8.91	7.96
River or Lake	1.92	1.91	1.90	1.88	1.86	1.85
Sea Area	22.16	22.52	22.66	22.36	24.30	25.26

다. Case 별 예측 및 비교

제방의 유무와 퇴적물의 변화 그리고 해수면 상승 값에 따른 20가지 Case에 대한 습지피복분류 결과가 Table 5와 같이 나타났다.

Table 5.1에서는 2100년 식생습지 면적 변화를, Table 5.2에서는 2100년 갯벌 면적 변화를, 마지막으로 Table 5.3에서는 2100년 농경지 면적 변화의 비율을 비교한다.

먼저 제방이 있을 때 식생습지는 18~24% 증가, 갯벌의 면적은 15~27% 감소하며 농경지는 1% 안팎으로 증가하는 반면 제방이 없을 때 식생습지는 약 180~220% 증가, 갯벌은 15~27% 감소하며 농경지는 11~16% 감소하는 것으로 나타났다.

퇴적물 감소에 따른 변화에서 먼저 식생습지는 제방이 있을 때는 변화가 거의 없었으며, 제방이 없을 때는 퇴적물이 20%감소할 때 마다 면적이 2%씩 증가한다. 갯벌은 제방의 유무에 상관없이 퇴적물 감소에 따라 약 4%씩 더 감소한다. 농경지는 퇴적물 변화에 거의 영향을 받지 않는다.

마지막으로 해수면 상승에 따른 변화에서 해수면 상승 정도가 0.63m에서 1m로 증가하면 식생습지는 제방이 있을 때는 5% 더 증가, 제방이 없을 때는 15% 더 증가하였다. 갯벌은 제방의 유무에 상관없이 16% 정도가 더 감소하며, 농경지는 제방이 있을 때는 변화가 거의 없으며, 제방이 없을 때 해수면이 상승하면 약 6% 더 감소하는 것으로 나타났다.

또한 Fig. 8.1과 Fig. 8.2에서는 Case 별 식생습지, 갯벌, 농경지의 면적을 막대그래프로, 식생습지와 갯벌 면적의 합인 전체 연안습지 면적을 꺾은선그래프로 나타내었다. 제방이 있을 때인 Fig. 8.1에서는 큰 변화가 없으나, 제방을 제거한 경우인 Fig. 8.2에서는 녹색 막대그래프의 높이로 식생습지 면적의 증가를 확인할 수 있다. 꺾은선그래프를 통해서는 S1A100과 S2A100이

각 각 14.95%, 14.79%로 전체 연안습지의 면적이 가장 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 순천만의 갯벌과 갈대군락지의 퇴적률이 높게 유지될 때 해수면 상승에 상관없이 습지면적이 가장 많이 증가함을 나타낸다.

Fig. 9.1과 Fig. 9.2에서는 식생습지를 구성하는 강가의 조수담수습지, 전이염습지, 규칙적 침수습지 그리고 갈대군락지의 면적 변화를 막대그래프로 나타내었으며, 특히 Fig. 9.2에서 전이염습지와 규칙적 침수습지 면적의 증가로 전체 식생습지 면적이 두드러지게 증가함을 알 수 있다.

이러한 결과를 종합하였을 때, 제방의 유무는 갯벌에는 별다른 영향이 없으나 농경지와 식생습지 면적 변화에 많은 영향을 미치며, 퇴적률의 감소는 농경지에는 별다른 영향을 미치지 못하며, 식생습지와 갯벌에 각각 2%, 4%의 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 마지막으로 해수면 상승 정도는 제방이 없을 때 식생습지와 농경지에 영향을 미치게 된다. 이를 통해 식생습지와 농경지에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 제방의 유무이며, 갯벌 면적에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 해수면 상승 정도라는 것을 알 수 있다. 또한 전체 연안습지의 면적이 가장 높게 나타나는 경우는 제방이 없으며 갯벌과 갈대군락지의 퇴적률이 지금처럼 높게 유지될 때 라는 것을 알 수 있다.

Table 5.1 Change of the Vegetation wetlands area considering Levee, Sea level rise and Accretion rate
in 2100 (Unit:%)

Levee	Sea Level Rise	Current Vegetation Wetlands Area	Accretion Rate Initial Condition	Accretion Rate 80%	Accretion Rate 60%	Accretion Rate 40%	Accretion Rate 20%
Levee (O)	SLR 0.63m	2.02	2.40	2.41	2.41	2.41	2.41
	SLR 1m		2.52	2.50	2.50	2.50	2.48
Levee (X)	SLR 0.63m		5.65	5.70	5.75	5.80	5.85
	SLR 1m		6.53	6.90	6.97	7.03	7.09

Table 5.2 Change of the Tidal flat area considering Levee, Sea level rise and Accretion rate in 2100 (Unit:%)

Levee	Sea Level Rise	Current Tidal Flat Area	Accretion Rate Initial Condition	Accretion Rate 80%	Accretion Rate 60%	Accretion Rate 40%	Accretion Rate 20%
Levee (O)	SLR 0.63m	10.99	9.31	8.97	8.62	8.29	7.95
	SLR 1m		7.99	7.62	7.28	6.96	6.64
Levee (X)	SLR 0.63m		9.31	8.97	8.63	8.29	7.95
	SLR 1m		7.96	7.62	7.28	6.96	6.65

Table 5.3 Change of the Rice field area considering Levee, Sea level rise and Accretion rate in 2100 (Unit:%)

Levee	Sea Level Rise	Current Rice Field Area	Accretion Rate Initial Condition	Accretion Rate 80%	Accretion Rate 60%	Accretion Rate 40%	Accretion Rate 20%
Levee (O)	SLR 0.63m	23.94	24.21	24.19	24.17	24.15	24.14
	SLR 1m		24.15	24.13	24.11	24.10	24.09
Levee (X)	SLR 0.63m		21.16	21.10	21.03	20.97	20.92
	SLR 1m		19.91	20.01	19.93	19.85	19.76



Fig. 8.1 Change of the Vegetation wetlands, Tidal flat, Rice field and Total wetlands area with Levee considering Sea level rise and Accretion rate in 2100.

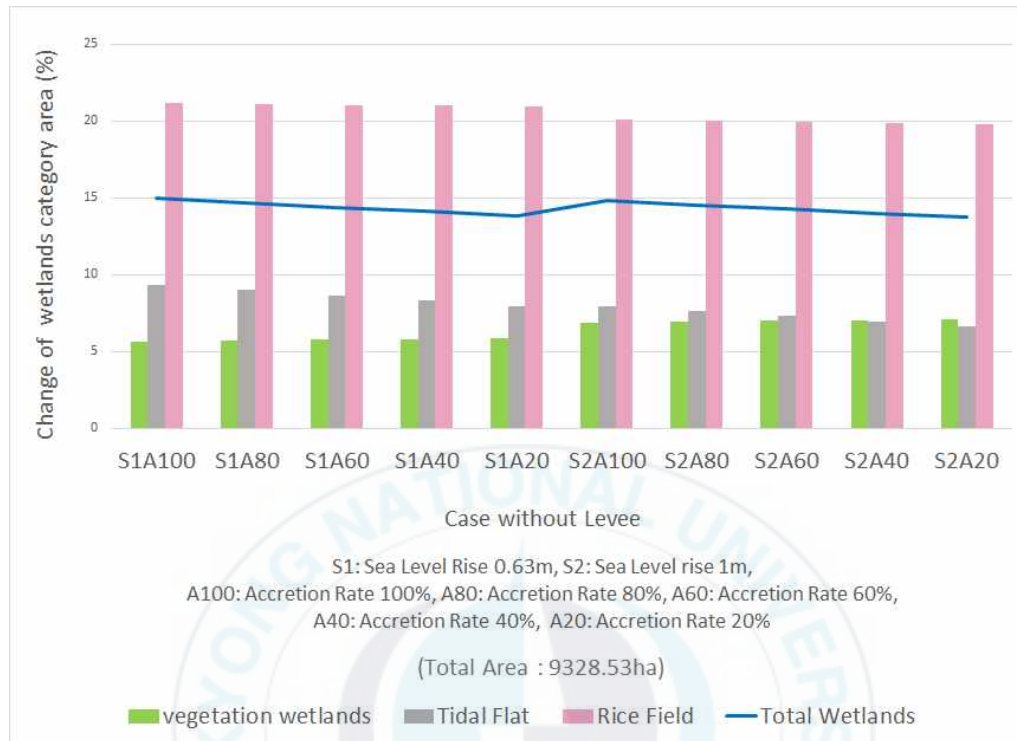


Fig. 8.2 Change of the Vegetation wetlands, Tidal flat, Rice field and Total wetlands area without Levee considering Sea level rise and Accretion rate in 2100.

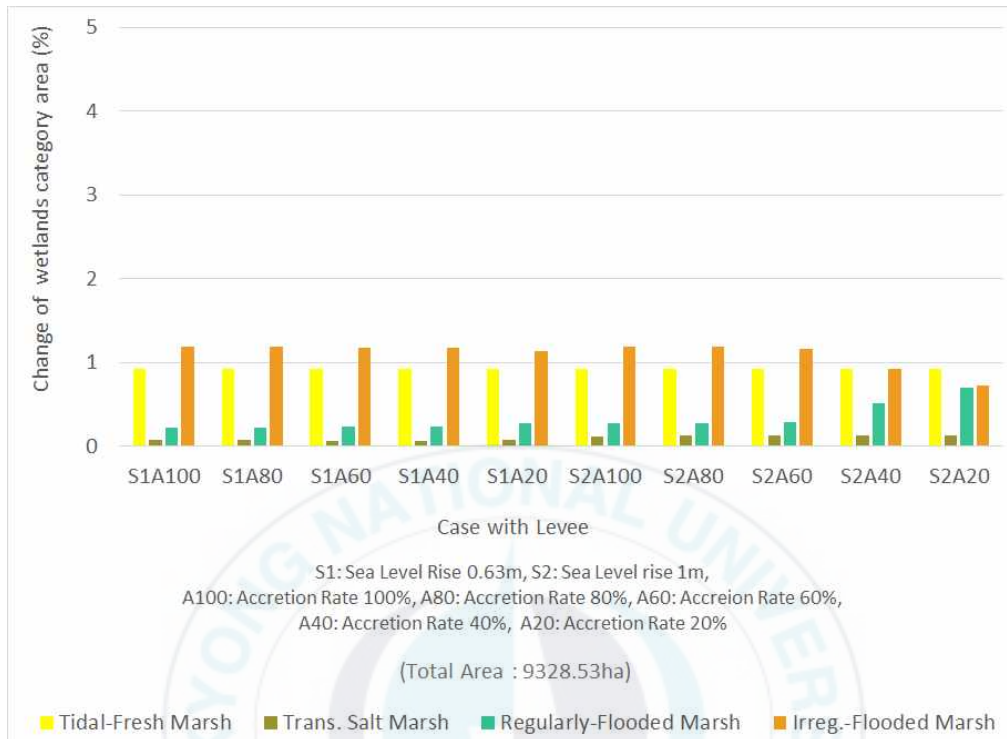


Fig. 9.1 Change of the Tidal-fresh marsh, Trans. salt marsh, Regularly-flooded marsh and Irregularly-flooded marsh area with Levee considering Sea level rise and Accretion rate in 2100.

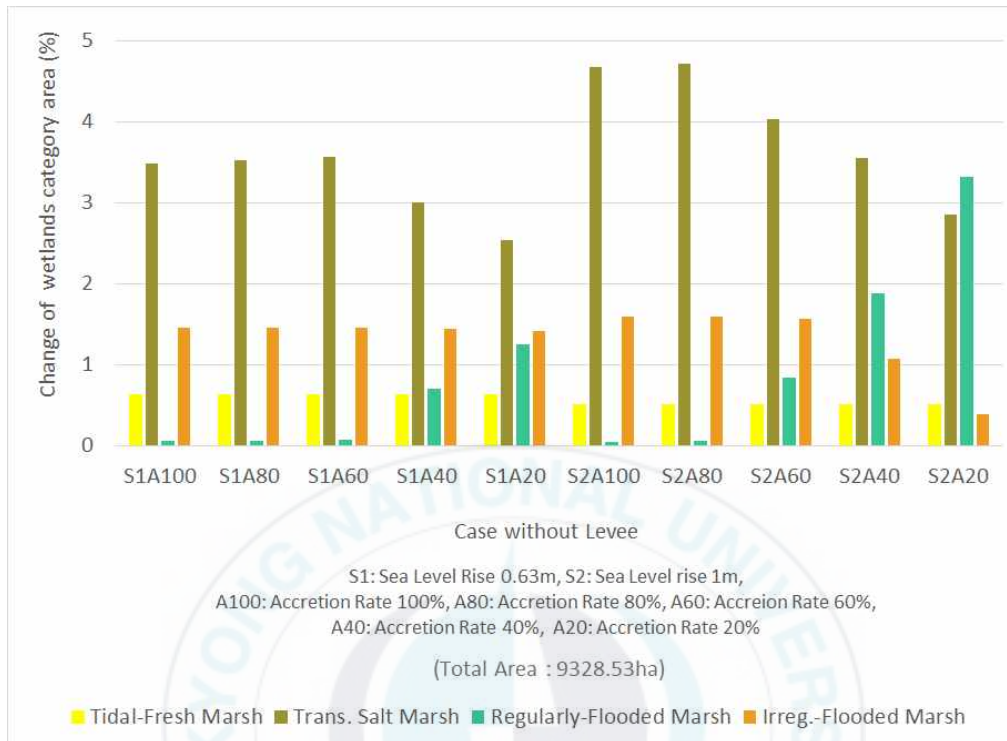


Fig. 9.2 Change of the Tidal-fresh marsh, Trans. salt marsh, Regularly-flooded marsh and Irregularly-flooded marsh area without Levee considering Sea level rise and Accretion rate in 2100.

4. 고찰

해수면 상승에 따른 순천만의 습지 변화를 알아보고자 제방의 유무와 해수면 상승의 정도 그리고 퇴적률을 다르게 설정한 20가지 경우에 대하여 시뮬레이션을 하였으며, 그 결과를 크게 제방이 있을 때와 없을 때의 두 가지로 나누어서 볼 수 있다. 먼저 두 경우의 공통점은 모두 제방 바깥의 갯벌 면적이 현저히 줄어든다는 것이며, 퇴적률이 감소할수록 그리고 해수면 상승 값이 높아질수록 감소하는 면적이 증가한다. 이를 통해서 제방의 유무와 상관없이 해수면 상승이 일어나면 갯벌의 면적이 감소하여 연안습지가 줄어들 수 있음을 알 수 있다. 반면 제방 안쪽 지역에서는 제방의 유무에 따라서 그 결과가 확연히 차이가 나게 된다. 제방이 존재할 때는 특별한 변화가 없었으나, 제방이 없을 경우 해수면이 상승함에 따라 해수가 연안역의 농경지로 유입되며 농경지의 염습지화가 예측되었다. 이로 인해 농경지의 면적이 줄어들었으며, 그 줄어든 면적만큼 전염습지가 증가하여 전체 식생습지 면적이 증가하는 것을 알 수 있다. 이 때 갯벌과 갈대밭의 퇴적률이 감소할수록 그리고 해수면 상승 정도가 높을수록 농경지가 줄어들고 식생습지가 늘어나는 모습이 보였으나 그 차이는 미미하여 농경지와 육상지역에는 갯벌과 갈대밭의 퇴적률이 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 해석된다.

이러한 결과를 종합하였을 때, 지금처럼 제방이 존재하는 현재 상태를 유지한다면 퇴적률 변화와 해수면 상승 정도에 따라 약간의 차이만 있을 뿐 결과적으로 갯벌 일부 면적을 잃음으로서 전체 습지 면적이 줄어들 것임을 알 수 있다. 반면 제방을 허물어 물길을 터준다면 갯벌의 면적 손실은 불가피하나, 해수면이 상승하며 농경지까지 자연스럽게 염수가 들어가며 많은 면적이 염습지화 되어 전체 습지면적이 증가할 것임을 알 수 있다. 이를 통해 만약

해수면 상승에 의해 순천만의 습지가 줄어들어는 것을 막고 연안습지 면적을 지키고 싶다면, 간척되었던 농경지를 습지로 되돌리는 방법이 있으며, 이 때 단순히 물길을 뚫어주는 것으로도 시간에 따라 일부 농경지가 점진적으로 염습지화 함으로써 전체 연안습지의 면적이 증가함을 고려 할 수 있을 것이라 보여 진다.

앞의 결과를 바탕으로 기존 순천만을 대상으로 연구하였던 결과와 비교 고찰해 보았다. 순천만을 대상으로 해수면 상승의 영향을 연구한 기존연구(김과 이, 2010)에서는 총 식생습지의 면적이 전체면적의 1.22%에서 2100년 3.72%로 증가한 것으로 나타났다. 본 연구에서 초기 식생습지 면적은 2.02%이며 2100년의 면적 비율 값은 5.65~7.09%로 나타났다. 이런 차이의 이유는 이전 연구에서 순천만의 갈대밭을 식생습지 지역으로 따로 분류해주지 않았기 때문에 모델에서 인식하는 식생습지의 범위가 달랐기 때문인 것으로 보여 진다. 또한 기존 연구에서는 2100년에 갯벌면적이 약 67% 감소하는 것으로 나타났으며, 본 연구의 갯벌면적 감소 비율 예측보다 큰 수치였다. 이러한 결과는 대상지에 대한 기존연구의 해수면 상승 시나리오도 달랐을 뿐 아니라 갯벌 퇴적률 0.5mm/yr과 본 연구의 갯벌 퇴적률 4.7mm/yr이 다르게 적용되기 때문으로 보여 진다. 기존연구에서는 순천만, 함평만, 낙동강 그리고 한강 하구 네 곳의 대상지에 동일한 퇴적률을 적용하여, 순천만을 대상으로 퇴적률을 선정한 본 연구의 결과와 차이를 보여주는 것으로 볼 수 있다.

본 연구의 결과에서 전체 식생습지면적은 조수담수습지, 전이습지, 규칙적·불규칙적 침수습지 네 종류를 모두 합한 값으로 전체면적에 대한 그 비율이 2100년, 약 3배 정도 증가하였으나, 각각의 습지피복종류 별로는 서로 다른 변화량을 가진다. SLAMM은 습지피복분류의 종류에 따라 서식가능한 식생의 종류를 알려주지만 이는 미국의 기준이며 우리나라의 기후환경과는 맞지 않는 분류이다. 따라서 우리나라의 기후환경 아래에서 각각의 습지피복종

류별로 서식 가능한 식생에 대한 연구가 필요하며, 특히 기존에는 없었으나 농경지의 염습지화로 생겨난 전이습지 지역에 적용 가능한 식생에 대한 연구가 더 진행된다면, 본 연구의 적용 가능성을 높일 수 있을 것이라 보여 진다.



V. 결론

본 연구는 향후 순천만 복원 계획에 해수면 상승과 그 영향이 고려되게 하고자 진행되었다. 이를 위해 제방의 유무와, 해수면 상승 정도, 퇴적물의 변화의 같은 다양한 Case에 대해, 대상지의 수리체계 특징을 반영하여 예측이 가능한 SLAMM 모델을 사용하여 25년 단위로 시뮬레이션을 하였다. 그 결과 모든 경우에서 해수면 상승으로 인한 갯벌의 감소와 해역의 면적 증가가 두드러지게 나타났으며 퇴적물의 감소 시와 해수면 상승 정도 증가 시 갯벌 면적이 더 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 또한 Case 2.1~2.10에서는 염분 침투로 인한 농경지의 염습지화와 그로 인한 전체 식생습지 면적의 증가를 예측 할 수 있다. 이 때 식생습지 면적과 갯벌 면적의 합인 전체 연안습지의 면적은 제방을 제거하였을 경우가 제방이 있는 현재보다 모든 경우에서 높게 나타났으며 이를 통해, 해수면 상승의 상황에서도 연안습지의 면적을 현재와 같이 유지하거나 더 늘리고자 한다면 농경지 지역을 다시 습지로 복원하는 방법이 있음을 알 수 있다.

또한 SLAMM에서는 각각의 습지피복 종류별 서식 가능한 식생의 종류를 알려주지만 이는 미국의 기준으로 우리나라의 기후환경과는 맞지 않다고 판단된다. 따라서 연구의 적용 가능성을 높이기 위해서는 모델에서 나타난 습지피복분류별로 우리나라의 기후환경에 맞는 식생 선정에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것이며, 이러한 결과는 향후 순천만 연안의 복원과 보전 계획의 기초자료로 사용될 수 있을 것이라 보여 진다.

참고문헌

- Clough, J., Park, R.A., Propato, M. and Polaczyk., Fuller, R., 2012, "SLAMM 6.2 Technical Documentation", 1-54.
- Clough, J., Polaczyk, A. and Propato, M., 2015, "Application of SLAMM to coastal Connecticut Final Report", 15-23.
- Craft, C., Clough, J., Ehman, J., Joye, S., Park, R., Pennings, S., Guo, H. and Machmuller, M., 2008, "Forecasting the effects of accelerated sea-level rise on tidal marsh ecosystem services", *Front Ecol Environ* Vol. 7, No. 2, 73-78.
- Federal Geographic Data Committee, 2013, Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. FGDC-STD-004-2013. Second Edition. Wetlands Subcommittee, Federal Geographic Data Committee and U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, DC, 1-46.
- Glick, P., Clough, J. and Nunley, B., 2007, "Sea-level Rise and Coastal Habitats in the Pacific Northwest An Analysis for Puget Sound, Southwestern Washington, and Northwestern Oregon", National Wildlife Federation National Wildlife, 1-89.
- Heng, W., Zhenming, G., Lin, Y. and Liquan, Z., 2014, "Evaluation of the combined threat from sea-level rise and sedimentation reduction to the coastal wetlands in the Yangtze Estuary, China", *Ecol. Eng.*, Vol. 71, 346-354.
- Hwang, M., Lee, M.K., and Jung, T.Y., 2014, "The Economic Valuation of Ecosystem Restoration in Suncheon Bay", *J. Korean Env. Res.*

- Tech., Vol. 17, No. 4, 69-79.
- IPCC, 2013, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535p.
- Park, R.A., Armentano, T.V. and Cloonan, C.L, 1986, "Predicting the Effects of Sea Level Rise on Coastal Wetlands", In supplementary proceedings for the 1986 Estern Simulation Conference, 149-153.
<http://warrenpinnacle.com/prof/SLAMM/index.html>.
- 김신, 2009, 순천만 염습지 퇴적물의 시·공간 변화, 51p.
- 김남신, 이창석, 2010, 해수면 상승에 따른 해안지역 생태환경 변화, 한국지리정보학회지, 제 13권 3호, 53~63p.
- 김경원, 이경재, 한봉호, 2011, 세계자연유산 지정을 위한순천만 연안의 관리 방안 연구, 한국환경생태학회 학술대회논문집 21(1), 124~127p.
- 김종규, 김동주, 2008, 순천만 습지의 효율적 관리 전략, 해양환경공학회 2008년도 추계학술대회 논문집
- 고영구, 오강호, 윤석태, 박성남, 차성식, 2016, 순천만과 보성벌교 연안습지의 퇴적환경과 퇴적물, 한국도서연구학회, 제 28권 1호 통권 54, 189~202p.
- 박의준, 1996, 간척사업으로 사라져 가는 습지, 한국공간환경학회, 제 7호, 194~211p.
- 박의준, 2000, 순천만 염하구 퇴적과정의 시·공간적 변이, 서울대학교 박사학위논문, 1~8p.

- 신영호, 2016, 해수면 상승 대응의 지식간극(Knowledge Gap): 해수면
상승률, 해안지형 반응, 대응 전략의 불확실성, 과학기술정책,
Vol.26 Iss. 3, 44~51p.
- 순천시, 2016, 2016주요업무계획, 947~949p.
- 습지보전법, 2016, 제1장, 제2조
- 이연규, 김신, 이혜원, 민병미, 2003, 순천만 갈대군락의 면적 증가와 저토의
이화학적 특성, 한국습지학회, 10(3), 9~26
- 이철웅, 김상욱, 이영섭, 2014, 장기 조위자료를 이용한 한반도 권역별 미래
해수면 상승 추정, 한국수자원학회, Vol. 47 No. 9, 753~766p.
- 임병선, 1998, 연안해역 보전을 위한 해안습지 생태계의 구조와 기능에 관한
연구.
- 윤희정, 2015, 연안습지의 생태적 접근을 통한 공공디자인 가이드라인에
관한 연구, 창원대학교 석사학위논문, 5~9p
- 황민섭, 이명균, 정태용, 2014, 순천만 생태복원에 따른 경제적 가치 평가,
환경복원녹화학회, 17(4), 69~79p.
- 국토해양부, 한국해양수산기술진흥원, 2010, 갯벌복원을 위한 기술지침 및
계획수립, 23~24p.