

기획연구 2008-11

서해안 해수면 상승에 따른 영향 및 대책

장동호 · 정종관 · 손석원 · 홍기병

발 간 사

지구온난화로 인한 기후변화 중 인간사회에 가장 큰 영향 가운데 하나가 해수면 상승입니다. 해수면 상승은 저지대 및 습지의 범람으로 인간거주지, 자연생태계, 수자원 및 각종 산업시설에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되고 있습니다. 해안지역은 지구온난화로 인한 강수 및 태풍의 강도 및 빈도의 변화에도 영향을 받게 되어 지구온난화와 기후변화의 가장 취약지대로 인식되고 있습니다.

충남의 해안지역은 독특하고 대체 불가능한 사빈, 간석지, 해양생물 등의 자연생태계와 자연경관자원을 보유하고 있어서 산업시설, 자원, 관광 등 사회경제적으로도 매우 중요한 지역으로 기후변화에 대한 취약성 및 영향평가와 적응방안이 필요한 지역입니다. 따라서 황해와 접한 충남 해안지역에 대한 기후변화 영향평가를 통해 과학적인 예측에 근거한 해수면 상승에 따른 피해예상지역을 추출해내고, 그 피해에 대한 대응전략 수립이 필요한 상황입니다.

이러한 여건을 고려하여 서해안 해수면 상승영향을 예측하고 이에 대한 대책 수립을 위한 기초연구를 수행하는 것은 시의적절하다 하겠습니다.

이 연구과정에서 공동연구자로서 지리정보시스템을 이용하여 환경 및 자연지리학 관점에서 기후변화영향을 연구하신 공주대학교 장동호 교수님과 신석원, 홍기병 연구원님께도 감사드립니다. 연구과정에서 지식정보 생산의 네트워크 매니저로 우리 연구원의 정종관 연구위원의 노고에 감사의 뜻을 포함합니다.

2008년 12월 31일

충남발전연구원장 김용웅

연구요약

1. 연구 배경 및 목적

2007년 발표된 기후변화에 관한 정부간 위원회(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) 4차보고서는 21세기말까지 인간의 활동에 의한 지구 온난화로 지구평균기온이 최대 6.4℃, 해수면은 최대 59cm까지 상승할 것으로 예측하고 있다.

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 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 예상되고 있다. 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 지역으로 기후변화에 대한 취약성 및 영향평가와 적응방안이 필요한 지역이다. 따라서 황해와 접한 충남 해안지역에 대한 기후변화 영향평가는 과학적인 예측에 근거한 해수면 상승에 따른 피해예상지역 추출 및 그 피해에 대한 대응전략 수립이 필요하다.

본 연구는 지구온난화에 따른 서해 연안역의 해수면 상승 영향을 평가하고 적절한 대응방안을 제시함으로써 효율적인 연안역 관리 및 장기적인 국토관리 계획에 대한 기초 자료를 제공할 목적으로 IPCC 및 다른 국내·외 해수면 변동 예측 알고리즘을 이용 서해 연안역의 해수면 상승으로 인한 피해지역을 예측한 다음, 세계적으로 이용되고 있는 해수면 상승영향평가 방법론에 기초하여 충남 서해 연안역에 미칠 영향 중 사회·경제적으로 중요한 범람에 대한 취약성 평가(vulnerability assessment)를 정량적으로 실시하여 해수면 상승 영향에 대한 적절한 대응 방안을 제시하고자 하였다. 본 연구의 세부 연구 목표는 다음과 같다.

- 서해 연안역의 해수면 상승 시나리오별 최대 범람 가능 면적을 정량적으로 산출하여 통계 제시
- 해수면 상승 시나리오별 최대 침수 가능지의 경제적인 이용도를 산출하여 피해 정도 제시
- 해수면 상승에 대한 대응방안을 분석 제시하고 향후 과제 도출

2. 주요 연구내용

지리정보체계(GIS)를 이용한 분석은 다음과 같이 자료 수집 및 입력, 자료의 전처리, 데이터베이스 구축, 질의 및 분석, 결과물 작성 과정을 거쳐 분석하였다.

시스템 구축을 위한 공간 및 속성정보 준비를 위해 공간정보로 지도, 수치지도, 측량 성과품 등을, 속성정보로는 기존의 정보시스템에 의해 구축된 자료와 새로 입력되어야 할 자료로 다양한 표 형태의 자료를 준비하였다.

입력된 자료를 활용 가능하도록 하는 일련의 작업으로 자료의 형식변환, 오류수정, 도면접합, 투영, 일반화, 보간, 사진판독 등이 있다. 공간데이터와 속성데이터를 인식자에 의해 연결하여 데이터베이스를 완성한다. 이 과정에서 GIS 데이터는 방대하기 때문에 효율적으로 관리할 수 있는 체계를 만들어야 한다. 구축된 공간 및 속성데이터를 이용하여 사용자가 원하는 질의나 분석을 수행하는 단계로 데이터 확인, 통계분석, 재선택, 버퍼링, 중첩 등을 수행하였다. 결과물은 지도나 통계자료의 형태로 작성하여, 출력물을 통하여 그 결과물을 확인하였다.

본 연구 대상지역인 충남 해안의 경우 해수면이 0.5m 상승 시 해안선의 총연장은 761.15km에서 717.49km로 줄어들지만, 1m 상승 시 해안선의 총연장은 777.95km로 증가되며, 3m 상승 시 936.04km, 5m 상승시 1,015.12km로 증가될 것으로 예상되었다.

해수면이 0.5m 상승 시 연구지역내의 간석지 전 지역 침수가 예상되는데, 이로 인한 사회·경제·환경적인 손실이 매우 클 것으로 추정된다. 간석지는 생태계의 유지를 위한 공간, 바다의 정화를 위한 공간, 사회·경제활동의 공간으로 해안역 중에서 매우 중요한 부분을 차지하는 공간이다. 따라서 간석지의 감소는 생태계의 파괴, 어민의 생활터전 상실, 해양오염 등을 야기시키는 요인이 된다. 간석지의 침수는 양식, 수산물채취 작업을 위한 공간의 상실로 인

한 경제적 기반의 축소뿐만 아니라, 휴식공간의 상실을 의미한다. 몽산포, 연포, 대천, 춘장대 해수욕장 등을 비롯하여 삼시도, 원산도를 비롯한 휴양지와 태안군 해안 일대가 상실될 것이며, 이는 충남 해안 일대의 휴식기능을 갖춘 전 지역의 침수를 의미한다.

사빈이 침수된 주변 지역의 경제는 휴양지 기능의 상실로 인하여 많은 영향을 받을 것이며, 또 1차적 침수로 인하여 2차적인 침식이 발생할 경우 사빈에 인접해 위치한 건물은 침수와 침식의 위험에서 방심할 수 없는 범위에 놓이게 될 것이다. 특히 대천 일대나 서산해안 주변이 침식에 대한 피해가 클 것으로 생각되며 이에 대한 적절한 조치가 필요하다.

3. 결론 및 정책 제언

연안역은 경제 기반이 밀집되어 있는 공간으로 예로부터 이곳에 생활의 기반을 두고 생산 활동을 하는 인구가 많을 뿐 만 아니라 주거가 집중되어 있기도 하다. 따라서 온난화로 인한 해수면 상승이 어느 정도의 규모로 일어나든지 그 피해는 상당히 클 것으로 예상하고 있다. 기후변화에 따른 충남 연안역의 침수 취약지를 시군별로 도출한 결과는 다음과 같다.

해수면 상승에 따른 서천군의 침수취약지 중 가장 큰 피해가 예상되는 지역은 금강의 지류인 길산천에 연하는 화양면 고마리, 장상리, 망월리 일대와 마서면 도삼리, 신포리, 산내리 일대와 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 예상된다.

태안군의 경우 이원방조제가 있는 이원면 포지리, 내리 일대가 가장 큰 침수피해를 받을 것으로 예상된다. 특히 태안군에 속한 안면도는 전 연안에 걸쳐 침수피해지가 나타난다.

서산시의 침수취약지는 대산읍 독곶리, 대죽리 일대와 대호 방조제가 있는 화곡리, 운산리 일대가 가장 큰 침수피해가 발생할 것으로 나타났으며, 서산 A·B방조제 내부에 있는 농경지들도 큰 피해가 발생할 것으로 나타났다.

방조제 건설로 자연해안이 거의 없는 당진군은 방조제가 건설된 석문호, 대호, 삽교호 일대에서 가장 큰 침수피해가 발생할 것으로 보이며, 신평면 복운

리, 전대리, 매산리 일대의 농경지도 침수 피해를 받을 것으로 나타났다.

아산시의 경우 삽교호에 접한 일대와 선장면 신문리, 가산리, 둔포리, 선창리 일대, 인주면 걸매리와 공세리, 문방리 일대가 해수면 상승에 따른 침수취약지로 나타났다.

예산군은 해수면이 3m 이상으로 상승할 경우 침수취약지가 발생하며, 해수면이 5m 상승 시 삽교천 주변의 고덕면 상궁리, 구만리, 용리, 신암면 신태리, 예림리, 중예리, 별리, 삽교읍 하포리, 성리 일대까지 침수취약지로 나타났다.

최근 들어 연안의 무분별한 개발에 따른 후유증으로 인하여 개발지 인근 연안을 중심으로 침식(또는 퇴적)현상이 심각한 수준이다. 국토해양부의 조사에 따르면 1962년 이후 약 4,633개소 2,633km²가 간척 매립되었다.

한반도 서해안의 경우 조수간만의 차가 크고 동해안의 경우 단조로운 해안선을 따라 토사유동이 심해 침식(또는 퇴적)작용이 왕성하게 진행되고 있으며, 특히 여름철 태풍 내습, 해일 등이 빈번하여 세계 어느 지역보다 침식방지 예방책의 강구가 긴요한 시점이다

따라서 본 연구결과를 해수면 상승에 대한 예상시나리오 작성에 활용하여 취약지에 대한 자연재해 대처방안 메뉴얼 작성 기초자료로 이용할 수 있다.

차 례

제1장 연구의 개요 1

| | |
|--------------------------------|----|
| 1. 연구의 목적 및 필요성 | 1 |
| 1) 연구의 필요성 | 1 |
| 2) 연구의 목적 | 2 |
| 3) 연구 지역 개관 | 2 |
| 2. 연구 방법 및 선행연구현황 | 6 |
| 1) 연구방법 | 6 |
| (1) 원격탐사(Remote sensing) | 7 |
| (2) 지리정보시스템(GIS) | 11 |
| 2) 선행연구현황 | 15 |
| (1) 국외연구 | 15 |
| (2) 국내연구 | 15 |
| (3) 선행연구와의 차별성 | 16 |

제2장 해수면 상승과 온난화 19

| | |
|-----------------------------------|----|
| 1. 해수면 상승과 온난화 | 19 |
| 1) 해수면 상승의 원인 | 19 |
| 2) 온난화로 인한 해수면 상승 예측 | 22 |
| 2. 충남 서해 연안역에서의 해수면 변동 가능성 | 26 |
| 1) 한반도의 온난화와 해수면 상승의 가능성 | 26 |
| 2) 서해안에서의 제4기 후기(현세) 해수면 변동 | 29 |
| 3. 해수면 상승의 영향 | 32 |

| | |
|--|----|
| 1) 침수(Inundation) | 33 |
| 2) 침식(Erosion) | 34 |
| 3) 범람과 홍수(Inundation and flooding) | 34 |
| 4) 해수 유입에 따른 수질 변화 | 35 |

제3장 지구 온난화 및 해수면 상승 대응체제 36

| | |
|--------------------------|----|
| 1. 국제 대응 체제 | 36 |
| 1) WCRP | 37 |
| 2) IGBP | 37 |
| 3) IHDP | 38 |
| 4) IPCC | 38 |
| 5) 해안지역 연구를 위한 도구들 | 39 |
| 2. 주요국가 대응체제 | 39 |
| 1) 일본 | 39 |
| (1) 지구온난화 대응체제 | 40 |
| (2) 영향평가 대응체제 | 41 |
| 2) 영국 | 42 |
| (1) 지구온난화 대응체제 | 42 |
| (2) 영향평가 대응체제 | 43 |
| 3) 미국 | 44 |
| (1) 지구온난화 대응체제 | 44 |
| (2) 영향평가 대응체제 | 46 |
| 3. 우리나라 대응체제 | 46 |
| 1) 지구온난화 대응체제 | 46 |
| 2) 영향평가 대응체제 | 48 |

제4장 해수면 상승이 서해안에서 해안선의 변화와 연안역에 미치는 영향 50

| | |
|-----------------------------------|----|
| 1. 위성영상을 이용한 토지피복도 제작 | 50 |
| 2. 해수면 상승시나리오별 해안선 후퇴양상 | 53 |
| 3. 해수면 상승에 따른 침식취약지 및 침수취약지 | 55 |

| | |
|-----------------------------|----|
| 1) 침식취약지 | 55 |
| 2) 침수취약지 | 58 |
| 3) 시나리오별 간석지의 예상 침수면적 | 61 |
| 4. 충청남도 시군별 침수취약지 | 66 |
| 1) 서천군 침수취약지 | 66 |
| 2) 보령시 침수취약지 | 68 |
| 3) 홍성군 침수취약지 | 69 |
| 4) 태안군 침수취약지 | 70 |
| 5) 서산시 침수취약지 | 72 |
| 6) 당진군 침수취약지 | 73 |
| 7) 아산시 침수취약지 | 75 |
| 8) 예산군 침수취약지 | 76 |

제5장 요약 및 결론 78

| | |
|--------------------------|----|
| 1. 해수면 상승에 따른 영향평가 | 78 |
| 2. 활용효과 및 방안 | 80 |
| 3. 향후 과제 | 81 |

참고문헌 84

표 차 례

| | |
|---|----|
| <표 1> GIS 활용 및 현황 | 12 |
| <표 2> 선행연구와의 차별성 요약 | 18 |
| <표 3> 해수면 상승 비율과 그에 영향을 미친 요소들 | 20 |
| <표 4> SRES 스토리라인 정리 | 21 |
| <표 5> 온난화로 인한 해수면 상승 예측 | 24 |
| <표 6> SRES 표지 시나리오별 21세기 전망 | 25 |
| <표 7> 충청남도 최근 10년간(1997년~2006년) 자연재해 피해규모 | 35 |
| <표 8> 감독분류에 의한 2004년 6월 3일 영상의 토지피복분류 결과 | 50 |
| <표 9> 분류정확도 검정 | 51 |
| <표 10> 해수면 상승에 따른 해안선 변화 양상 | 55 |
| <표 11> 해수면 상승 시나리오별 토지이용별 침수예상면적 | 59 |
| <표 12> 해수면 상승시나리오별 간석지 침수면적 | 64 |
| <표 13> 해수면 시나리오별 서천군의 토지이용별 침수예상지 | 66 |
| <표 14> 해수면 시나리오별 보령시의 토지이용별 침수예상지 | 69 |
| <표 15> 해수면 시나리오별 홍성군의 토지이용별 침수예상지 | 69 |
| <표 16> 해수면 시나리오별 태안군의 토지이용별 침수예상지 | 72 |
| <표 17> 해수면 시나리오별 서산시의 토지이용별 침수예상지 | 72 |
| <표 18> 해수면 시나리오별 당진군의 토지이용별 침수예상지 | 74 |
| <표 19> 해수면 시나리오별 아산시의 토지이용별 침수예상지 | 76 |
| <표 20> 해수면 시나리오별 예산군의 토지이용별 침수예상지 | 76 |

그림차례

| | |
|---|----|
| <그림 1> 연구지역 위치도 | 3 |
| <그림 2> 연구지역 DEM | 4 |
| <그림 3> 충남 서해안 해저지형도 | 5 |
| <그림 4> 연구 흐름도 | 7 |
| <그림 5> 기하보정 개념도 | 8 |
| <그림 6> GIS의 구성요소 | 13 |
| <그림 7> 기온, 해수위, 북반구 빙설량의 변화 | 22 |
| <그림 8> SRES 시나리오별 21세기 전지구적 기후변화 예측 | 25 |
| <그림 9> 대기 구성물질의 농도 변화 | 26 |
| <그림 10> 지구평균 표면온도의 변화 | 27 |
| <그림 11> 위스콘신 빙하기의 LGM 때에 위치한 고해안선 | 30 |
| <그림 12> 한국 서해안에서의 후기 홀로세 동안의 해수면 변화 | 32 |
| <그림 13> 파랑의 영향에 의한 침식 | 34 |
| <그림 14> 폭풍에 의한 해안 침식과 인공제방의 파괴 | 34 |
| <그림 15> 지구온난화 대응을 위한 국제기구 체계도 | 36 |
| <그림 16> 일본의 지구온난화 대응체제 | 40 |
| <그림 17> 영국의 지구온난화 대응체제 | 43 |
| <그림 18> 미국의 지구온난화 대응체제 | 45 |
| <그림 19> 기후변화협약 범정부대책기구 | 48 |
| <그림 20> Landsat TM 영상을 이용한 충남연안역의 토지피복도 | 52 |
| <그림 21> 0.5m 상승시 해안선 | 54 |
| <그림 22> 1m 상승시 해안선 | 54 |
| <그림 23> 3m 상승시 해안선 | 54 |
| <그림 24> 5m 상승시 해안선 | 54 |
| <그림 25> 백중사리때 파랑에 의해 파괴된 방조제 | 56 |
| <그림 26> 해안침식에 따른 방호벽공사 | 56 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| <그림 27> 장구만내의 해창 부근 해안침식 | 57 |
| <그림 28> 삼봉해수욕장의 모래포집기 | 57 |
| <그림 29> 해수면 상승시 침식취약지 | 58 |
| <그림 30> 충남 해빈해안 위치도 | 60 |
| <그림 31> 각 시나리오별 침수취약지 | 61 |
| <그림 32> 충남의 간석지 분포도 | 63 |
| <그림 33> 해수면 상승시나리오별 간석지의 침수예상지역 | 65 |
| <그림 34> 서천군 침수취약지역 | 67 |
| <그림 35> 보령시 침수취약지역 | 68 |
| <그림 36> 홍성군 침수취약지역 | 70 |
| <그림 37> 태안군 침수취약지역 | 71 |
| <그림 38> 서산시 침수취약지역 | 73 |
| <그림 39> 당진군 침수취약지역 | 74 |
| <그림 40> 아산시 침수취약지역 | 75 |
| <그림 41> 예산군 침수취약지역 | 77 |

제1장 연구의 개요

1. 연구의 목적 및 필요성

1) 연구의 필요성

최근 발표된 UN 기후변화에 관한 정부간 위원회(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) 4차 평가보고서는 21세기말까지 인간의 활동에 의한 지구온난화로 지구평균 기온이 최대 6.4℃, 해수면은 최대 59cm까지 상승할 것으로 예측¹⁾하고 있다. 특히, 1961~2003년의 전 지구 해수면 상승률은 1.8(1.3~2.3) mm/yr 보고되고 있어서 지역적인 대책이 시급하다.

예상되는 지구온난화는 기후시스템을 구성하는 대기, 해양, 생물, 빙하, 육지 시스템에 다양한 경로로 영향을 줄 것으로 예상되며 그 영향은 대부분 악영향인 것으로 평가되고 있다. 다수의 선진국들은 지구온난화로 인한 기후변화의 영향이 자국의 지속가능발전과 밀접한 관계가 있음을 인식하고 예상되는 기후변화에 대한 영향을 사전에 평가하여 적절한 대응방안 수립에 많은 노력을 기울이고 있다.

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 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 예상되고 있다. 또한 해안지역은 지구온난화로 인한 강수 및 태풍의 강도 및 빈도의 변화에도 영향을 받게 되어 지구온난화와 기후변화의 가장 취약지대로 인식되고 있다. 한국은 해안지역을 중심으로 백중사리, 태풍이나 폭풍 등에 의한 해일과 같은 기상재해에 의하여 이

1) 미국 로렌스 리버모어 국립연구소(LLNL; Lawrence Livermore National Laboratory)의 기후과학자 Peter Gleckler의 국제연구팀은 기후모델과 개선된 관측결과를 비교하여, 1961~2003년 기간의 해면수위가 매년 약 1.5mm 상승하였다는 견해를 발표하였다. 이것은 IPCC 4차 평가보고서의 추정치보다 50%크다.

미 해수 범람 및 해안침식, 지하수로의 해수 유입 등의 문제로 상당한 피해를 주기적으로 경험하고 있으며, 지구온난화로 인한 해수면 상승 및 태풍, 강수 변동 등의 중첩으로 그 증가가 예상된다.

충남 해안지역은 독특하고 대체 불가능한 자연생태계(사빈, 간석지, 해양생물 등)를 보유하고 있을 뿐만 아니라 수송, 산업시설, 자원, 관광 등 사회경제적으로도 매우 중요한 지역으로 기후변화에 대한 취약성 및 영향평가와 적응방안이 필요한 지역이다. 따라서 황해와 접한 충남 해안지역에 대한 기후변화 영향평가는 과학적인 예측에 근거한 해수면 상승에 따른 피해에 상지역 추출 및 그 피해에 대한 대응전략 수립이 필요하다.

2) 연구의 목적

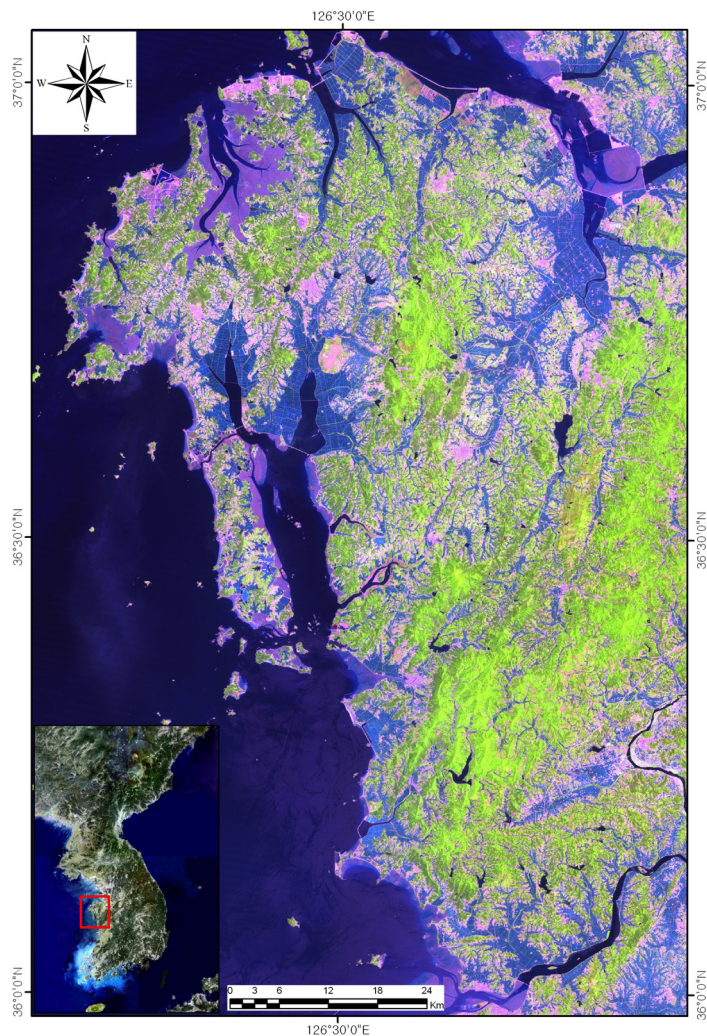
본 연구는 지구온난화에 따른 서해 연안역의 해수면 상승 영향을 평가하고 적절한 대응방안을 제시함으로써 효율적인 연안역 관리 및 장기적인 국토관리계획에 대한 기초 자료를 제공할 목적으로 IPCC 및 다른 국내·외 해수면 변동 예측 알고리즘을 이용 서해 연안역의 해수면 상승으로 인한 피해지역을 예측해보고, 세계적으로 이용되고 있는 해수면 상승영향평가 방법론에 기초하여 충남 서해 연안역에 미칠 영향 중 사회·경제적으로 중요한 범람에 대한 취약성 평가(vulnerability assessment)를 정량적으로 실시하여 해수면 상승 영향에 대한 적절한 대응 방안을 제시하고자 하였다. 본 연구의 세부 연구 목표는 다음과 같다.

- 서해 연안역의 해수면 상승 시나리오별 최대 범람 가능 면적을 정량적으로 산출하여 통계 제시
- 해수면 상승 시나리오별 최대 침수 가능지의 경제적인 이용도를 산출하여 피해 정도 제시
- 해수면 상승 영향에 대한 대응방안을 분석 제시하고 향후 과제 도출

3) 연구 지역 개관

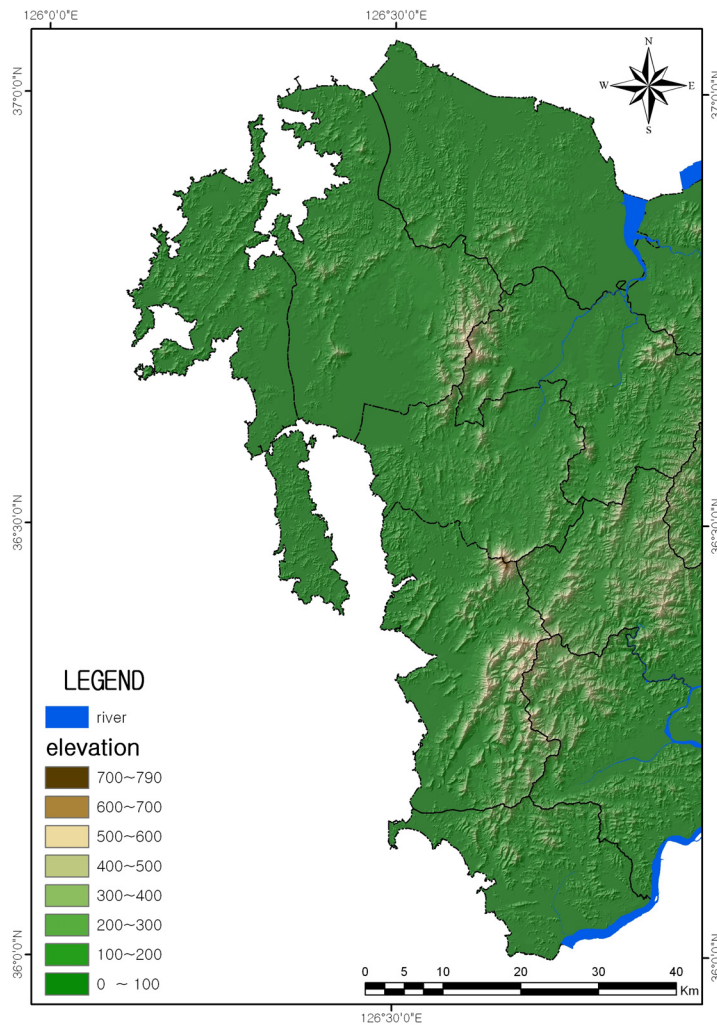
충청남도는 우리나라 중부지방의 서쪽에 위치하며, 동쪽으로는 충청북도, 서쪽으로는 황해, 북동쪽으로는 경기도, 북쪽으로는 경기만, 남쪽으로는 전라북도와 접하고 있다.

충청남도의 지형은 전체적으로 저평하여 해발고도 1,000m 이상의 산지는 한 곳도 없다. 전반적으로 농경지와 구릉지가 발달되어 있고, 도전체의 평균고도는 100m로서 전국에서 가장 낮다. 즉 충남지역은 지형상으로 우리나라의 대표적인 저지형 구릉성 산지를 형성하고 있다. 서해안은 중생대에 형성된 리아스식 해안으로 사빈이 비교적 넓게 나타나며, 해안선이 복잡하다. 또한 내륙 깊숙이 연결되는 천수만, 가로림만 등 내만의 발달이 두드러지게 나타나고, 연안역의 경사가 완만할 뿐 만 아니라, 해안선의 총연장이 길며, 저고도의 도서가 많이 형성되어 있다.



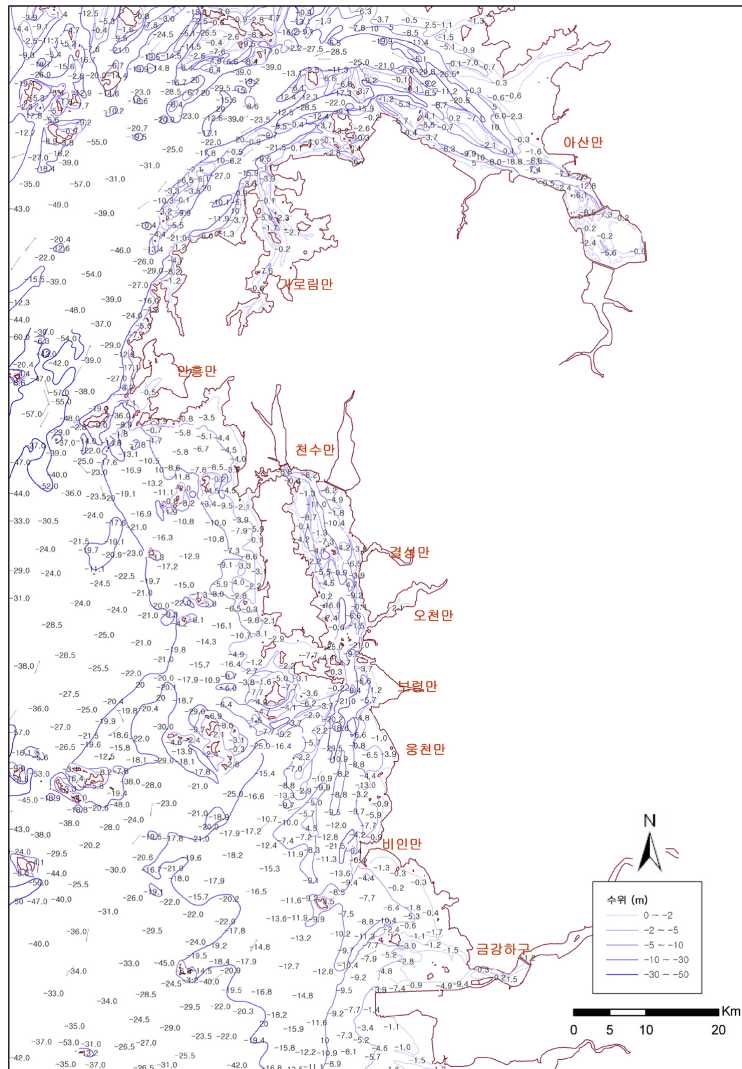
〈그림 1〉 연구지역 위치도

충청남도 북서부에 돌출되어 있는 태안반도는 그 규모가 우리나라에서 가장 크며, 대체로 고도가 낮다. 간척사업이 이루어진 서산 A지구·서산 B지구, 부사간척지, 남포간척지도 이 지역에 위치하는데 평균 고도가 1~2m 내외로 낮은 편이다. 연구지역의 총면적은 9,963.0km²이며 이중 경지는 약 2,094.2km²를 차지한다. 또한 금강하구 유역의 장항 주변 지역은 하천이 내륙 깊숙이 만입하고 있으며, 그 주변 지역은 특히 해발고도가 1~3m의 낮은 지역이 광범위하게 나타나고 있다.



〈그림 2〉 연구지역 DEM

충청남도의 여러 만과 도서는 후빙기의 해수면 상승에 의한 해진에 의해 침수되어 생긴 것으로 생각된다. 특히 태안반도 일대의 여러 만은 천수만에서와 같이 해진 이전에 구조선방향을 따라 차별침식에 의해 형성된 곡들이 침수되어 형성된 것으로 보인다. 연구지역의 수심은 최고 80m 이내이며, 연근해의 수심은 20~30m 정도로서 낮은 편이다. 충남해안의 조석간만의 차는 서해안에서 큰 편으로 아산만에서는 평균 대조차가 8.5m에 달하여 우리나라에서 가장 크다. 조차의 변동에 따라서 해안선은 모양은 주기적으로 변한다.



〈그림 3〉 충남 서해안 해저지형도

충청남도의 연안역은 주민의 생활 터전으로서 그 경제적 이용률이 높은 공간일 뿐 아니라, 인구밀도가 높다. 또한 산업기반이 들어설 수 있는 입지조건을 고려해 보면 내륙지역보다 연안역이 산업입지에 유리한 조건을 갖추고 있기 때문에, 우리나라에서 일정 수준의 해수면 상승이 발생 할 경우, 본 연구지역은 해안선의 후퇴와 연안역의 침수가 가장 두드러지게 나타나 그 피해가 큰 지역으로 예상된다.²⁾

2. 연구 방법 및 선행연구현황

1) 연구방법

과학기술의 급속한 발전과 더불어 인간 활동의 영역이 넓어지면서 자연환경의 파괴나 자원 고갈 등의 문제가 전 세계적으로 심각하게 대두되고 있다. 그러나 이들 각각의 상충되는 개발과 환경보전의 문제점들을 기존의 연구방법으로 감시, 분석하는 데는 한계가 있다. 따라서 이와 같은 문제점들을 종합적으로 분석하고 해결점을 구할 수 있는 하나의 대안으로서 원격탐사 및 GIS 기법이 도입되었다. 최근에는 토지이용, 지형분석, 광물자원탐사, 해양, 농업, 임업, 국토개발 및 관리, 환경변화의 감시 및 관리 등 광범위한 분야에서 이에 대한 응용연구가 진행되어 큰 효과를 얻고 있으며, 그 응용분야가 확대되어 가고 있다. 본 연구에서는 위성영상 자료를 이용한 토지피복분류를 실시하고, 1:25,000 축척의 수치지도를 이용하여 해수면의 변동에 따른 변화를 알아보고자 하였다.

본 연구에서는 지구온난화로 인한 해수면 상승이 충남 서해 연안역에 어떤 영향을 미칠지를 평가하고자 다음과 같은 연구방법을 수행 하였다.

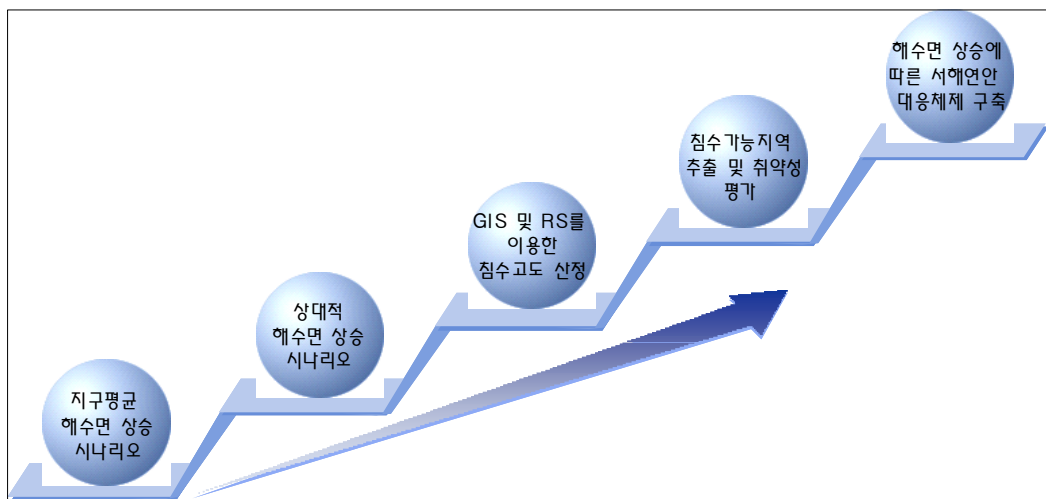
첫째, 해안선 및 연안역의 변화 추이, 경제적인 피해현황을 분석하고자 향후 서해의 해수면이 과연 얼마나 상승할 것인가를 평가하고자 하였다. 즉, 해수면의 상승은 침식, 침수, 홍수와 범람의 증가, 염도증가의 피해 등 많은 측면에서 연안역에 영향을 가져오겠지만 그 중 가장 큰 변화는 침수로 인한 국토의 유실일 것이다. 이를 위하여 해수면 상승 시나리오를 선정하고, 연안역 육지의 수직운동과 조석 및 태풍 해일에 의한 해수면 변화를 산출한 후 충남 서해 연안역에 대한 상대적인 해수면 상승 시나리오를 정량적으로 산정하고자 한다.

2) 해양연구소의 지구 온난화에 대한 해양학적 연구조사 최종보고서(1992)에 의하면 해수면 상승으로 인한, 침수 범람의 피해가 심한 지역으로 인천 부근, 장항-군산해안, 목포-여수해안, 충무-울산해안, 목호-속초해안, 제주해역의 일부 저지대 해안지역이 해당된다.

둘째, 해수면 상승 시나리오에 의한 실험에서 해수면 상승의 추이를 정확히 예측 할 수 없다는 제약을 줄이기 위하여, IPCC 4차 보고서에서 제출된 2100년까지의 해수면 예상 상승치를 서해안의 조석환경을 고려해 서해안의 해수면을 기준으로 각 0.5m, 1m, 3.0m, 5.0m case별 해안선 후퇴양상과 연안역의 변화를 파악하고자 한다.

셋째, 지리정보시스템(GIS: Geographical Information System)을 이용하여, 수치표고모델·경사분포도를 작성하여, 각 case별로 해수면이 상승하였다고 가정한 후 만조시에 각 예상 수치별로 침수지역의 면적과 해안선의 변화추이를 산출하며, 원격탐사(Remote Sensing) 기법을 이용하여 침수예상지역의 경제적인 이용도를 파악하고 해수면 상승에 따른 case별 피해정도를 파악하고자 한다.

마지막으로, 각국의 해수면 상승을 포함한 기후변화 영향평가 대응체제를 검토 후 충남 서해 연안에 맞는 해수면 상승 대응체제를 제시하고자 한다.



〈그림 4〉 연구 흐름도

(1) 원격탐사(Remote sensing)

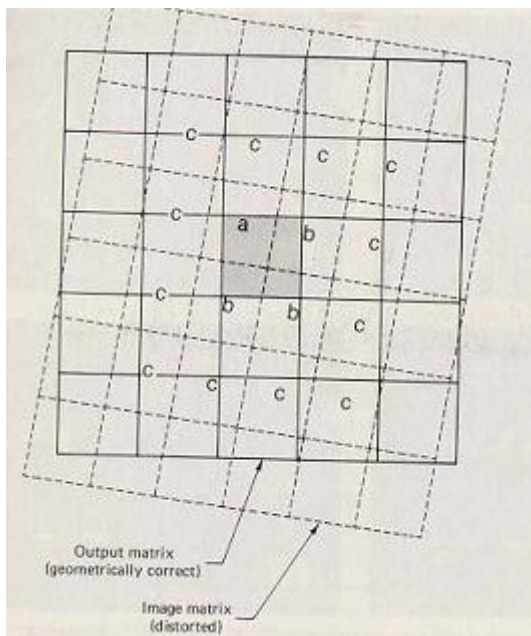
① 원격탐사 자료의 전처리

원본 디지털 영상은 통상적으로 기하학적 왜곡을 지니고 있기 때문에 이들 영상을 그대로 사용할 수 없다. 이러한 왜곡의 출처는 센서 플랫폼의 고도, 자세 및 속도의 변화에서부터 파

노라믹 왜곡, 지구 곡률, 대기의 굴절, 기복 변화 및 센서 IFOV 의 비선형적인 움직임 등과 같은 요소들까지 굉장히 다양하다. 기하 보정의 목적은 이들 요소에 의해 발생된 왜곡을 보정해서, 보정된 영상이 지도와 중첩하여 사용될 수 있도록 하는 것이다.

왜곡을 보정하는 방법은 일반적으로 두 가지 단계로 구성되어 있다. 우선, 시스템적인 혹은 예상 가능한 왜곡을 살펴보는 것이다. 그 다음, 근본적으로 무작위로 발생하거나 예측이 불가능한 왜곡을 보정하는 것이다.

시스템적인 왜곡은 잘 알려져 있으며, 왜곡의 출처를 수학적으로 모델링하여 추출한 공식을 적용하여 쉽게 보정을 할 수 있다. 예를 들어, 인공위성의 고도에서 Multi-spectral 스캐닝 과정에 포함된 가장 지배적인 시스템적 왜곡의 출처는 영상이 획득되는 동안 인공위성의 아래에 위치한 지구의 동쪽 방향으로 자전이다. 이러한 지구의 자전은 스캐너의 광학적인 Sweep을 이전 Sweep보다 미세하게 서쪽에 있는 대상지역으로 이동시킨다. 이러한 것을 통상 Skew 왜곡이라 부른다. 취득된 영상에 존재하는 Skew를 보정하는 기법(Deskewing Process)은 각각 모든 스캔 라인의 시작점을 조금씩 서쪽 방향으로 차감하는 것이다. 인공위성 Multi-spectral 스캐너 영상에서 비스듬한 평행사변형의 형태는 이러한 보정이 실행된 결과이다(Lillesand and Kiefer, 1994).



〈그림 5〉 기하보정 개념도(Lillesand and Kiefer, 1994)

무작위로 발생하는 왜곡과 나머지 알려져 있지 않은 시스템적인 왜곡들은 영상에 존재하는 잘 분포된 GCP(Ground Control Point)의 분석을 통해 보정된다. 왜곡된 영상에서 두 개의 영상좌표와 실제 지표좌표, 두 좌표체계에 수많은 GCP들이 보정 과정 중에 위치하게 된다. GCP는 위성영상과 지형도 양쪽에서 명확하게 인지되는 지점을 선정하여야 한다. 본 연구에서는 도로의 교차점, 저수지, 댐 및 다리의 가장자리 등을 선정하였다. 사용된 지형도는 1 : 25,000 지형도이며, 2004년 6월 3일 영상과 Image to Map 방법을 이용하여 정합(整合)시켰다.

변환식은 지도좌표($X_i, Y_i, i=1,n$)와 영상좌표($P_i, L_i, i=1,n$)을 이용하여 Affine 변환식으로 좌표 변환하였다.

$$\begin{pmatrix} P \\ L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ d & e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c \\ f \end{pmatrix} \quad (\text{식 - 1})$$

이 식에서 계수는 지상기준점의 지도좌표와 변환후의 지도좌표와의 오차자승법(RMS : root mean square)의 에러가 최소가 될 때까지 결정되는 최소자승법에 의해 구해지는데, 그 오차는 0.5화소(15m)이내가 되도록 하였다.

② 영상분류(classification)

영상 분류 작업의 개괄적인 목표는 영상내에 존재하는 모든 픽셀을 몇 개의 토지피복 항목이나 주제별로 자동 항목화 하는 것이다. 그것은 각각의 화소들이 지표면 피복형태 같은 지표면 실측치와 상관식이 성립됨을 의미한다. 따라서 영상분류는 영상 안에 존재하는 모든 픽셀을 몇 개의 토지피복 항목이나 주제별로 자동분류 하는 것이다. 일반적으로 분류에는 다중분광 영상자료가 사용되며, 모든 픽셀의 데이터 내부에 존재하는 분광패턴은 항목화 과정의 수치적인 근거로 사용된다. 즉 서로 다른 물체의 형태는 고유한 분광 반사특성과 복사정도에 따라 자신만이 지닐 수 있는 DN값들의 조합을 형성한다. 이러한 점에서 분광패턴은 영상의 기하학적 특성이 결코 아니다. 즉 패턴이라는 용어는 각 픽셀에서 다양한 파장의 밴드에 따라 취득된 복사량의 집합체라 할 수 있다. 분광패턴인식(spectral pattern recognition)이란 자동적인 토지피복 분류과정의 근거로 각 픽셀의 분광정보를 사용하는 분류과정의 집합을 말한다(Jensen, 1998).

위성영상을 분류하는 대표적인 방법은 크게 세 가지가 있다. 감독분류(supervised

classification)와 무감독분류(unsupervised classification)를 이용한 방법이 있고, 보조자료(ancillary data)를 이용한 혼성방법이 있다.

감독분류에는 Parallelepiped Classification(PLC), 최소거리 분류법(Minimum Distance to Means Classification : MDC), 최대우도분류법(Maximum Likelihood Classification : MLC)등이 있다. 이중에 어떤 기법을 선택할 것인가 하는 것은 분석할 영상의 특징과 분석가가 원하는 결과가 무엇인지에 따라 선택할 수 있다(Lillesand and Kiefer, 1994).

분류기법은 두 가지로 구별할 수 있다. 먼저 모수적(parametric) 분류기법으로 분류하고자 하는 클래스의 분광학적 특성에 대한 확률분포를 가정하고 몇몇 파라미터(평균, 분산)를 훈련 지역에서 추출하여 초기가정에 따라 확률함수를 구한 후 수행하는 기법이다. 다음으로 비모수적(non-parametric)분류 기법은 정규분포와 같은 일체의 초기가정을 하지 않고 수행하는 기법이다(Swain and Davis, 1978).

모수적 기법은 미리 설정한 가정이 자연현상과 일치할 경우 상당히 정확히 분류할 수 있다. 그러나 실제 자연현상을 완벽히 대표하는 가정을 하기가 어렵고, 분류를 훌륭히 수행하려면 더 복잡하고 많은 가정을 필요로 하며, 훈련지역이 초기가정을 따르지 않는 경우 세분화해야 하는 문제점이 있다. 한편 비모수적기법은 모수적 기법에 비해 확률함수를 더 정확히 추정할 수 있는 가능성이 있다.

최대우도분류법은 각 훈련지역(training set)의 클래스가 정규분포를 이루고 있다고 가정하고 분류하고자 하는 픽셀을 각 훈련지역 클래스에 대한 가능성 P_c 를 계산한 후 최대의 가능성을 갖는 클래스로 분류하는 방법이다. 만일 훈련지역의 클래스가 정규분포가 아닌 경우 훈련지역을 세분화 한 후 다시 선정해야 하며 훈련지역이 정규분포를 이루는지 확인해야 한다.

우선 각 훈련지역 클래스에 대한 평균픽셀 값 M_c 와 각 밴드에 대한 공분산행렬(covariance matrix)을 알아야 한다. 분류하고자 하는 픽셀의 값을 X라 할 때 다음과 같은 식에 대입하여 가장 높은 확률을 갖는 클래스를 찾아낸다(Swain and Davis, 1978).

$$P_c = \{-0.5 \log_e [\det(V_c)]\} - \left[0.5 (X - M_c)^T V_c^{-1} (X - M_c) \right] \quad (\text{식 - 2})$$

c : class

$\det(V_c)$: covariance matrix

M_c : covariance matrix of class c

X : measurement vector of an unknown pixel into class

최대우도분류법은 위 식에 의해 분류하고자 하는 픽셀의 클래스에 해당할 확률 P_c 를 각각의 훈련지역 클래스에 대해 계산한 후 가장 큰 확률을 갖는 클래스로 분류하는 방법이다. 그런데 위 식은 분류하고자 하는 영역에서 각 클래스들이 가질 분포 확률이 같을 때를 가정한 식이라는데 문제가 있다. 보통 상식적으로 생각해볼 때 특정영역에서 각각의 클래스의 분포가 같을 수가 없다. 이것을 보정한 식을 Bayer's 결정원칙(decision rule)이라 하며 다음과 같이 클래스의 분포량에 따라 가중치를 적용하게 된다(Hord, 1982).

$$P_c(a_c) = \log(a_c) - \{0.5 \log_e [\det(V_c)]\} \quad (\text{식 - 3}) \\ - \left[0.5 (X - M_c)^T (V_c^{-1}) (X - M_c) \right]$$

$P_c(a_c)$: weighted probability

a_c : priori probability

(2) 지리정보시스템(GIS)

지리정보 시스템(GIS: Geographical Information System)은 인간생활에 필요한 지리정보를 효율적으로 활용하기 위한 시스템이며 인간의 의사결정과정에 필요한 제반 과정으로서 각종 지리정보의 관측과 수집에서부터 보존과 분석, 출력에 이르기까지 일련의 조작을 위한 정보시스템이다.

GIS는 1950년대에 미국 워싱턴 대학에서 시작되어 1960년대 이후 주로 공공기관과 정부기관에 의해 주로 자원 관리에 이용되었다. 1970년대에는 컴퓨터와 그래픽처리기술의 발달로 저변이 확대되었으며 GIS전문회사가 설립되었다. 이 시기에는 격자방식위주의 자원관리에서 벡터방식 위주의 토지 및 공공시설물 관리로 확대되어 사용되었으며 특히 GIS의 필요성이 인식되기 시작한 중요한 시기이다. 1980년대는 개발도상국에서 GIS가 도입되어 급성장을 이루는 시기로 워크스테이션의 도입되었으며 GIS프로그램의 모듈화가 이루어져 GIS상품의 다용도화가 급진전되었다. 1990년대 이후 PC가 보급되어 하드웨어가 급성장하였으며 각종 표준화작업이 이루어져 자료의 호환성이 극대화되고 GIS효용성이 증대되었다.

GIS는 하드웨어(컴퓨터)와 일련의 소프트웨어, 각종 데이터(공간 자료와 속성 자료), 분석방

법과 전문화된 네 가지 요소를 직접 다루는 인력으로 구분되며, 인력은 성공적인 분석을 위하여 가장 중요한 요소이다.

GIS는 정부 및 공공기관에서의 공공안전이나 치안, 전기·가스·상하수도 등의 시설물 분야, 국방/정보 분야, 교통 분야, 농업·산림·해양·광업/지구과학·환경 등 자원환경 분야, 은행/보험·부동산·도소매사업 등의 비즈니스 분야, 인터넷 맵핑 등의 인터넷 솔루션분야, 건강/복지 분야, 위치기반서비스·통신 등의 커뮤니케이션 분야 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

〈표 1〉 GIS 활용 및 현황

| | |
|--------------|--|
| 지도제작분야 | <ul style="list-style-type: none"> ●국립지리정보원 : 국가 수치지도 제작 사업 ●지적공사 : 국가 지적도 제작 사업 ●지도창 : 국방 분야 지도 제작 사업 ●임업연구원 : 임상도 등 관련 지도 제작 사업 ●한국지질자원연구원 : 지질도 제작사업 |
| 시설물 관리 분야 | <ul style="list-style-type: none"> ●도로공사 : 고속도로 등 도로 시설물 관리 사업 ●수자원공사 : 수자원 관리 사업(댐, 광역상수도망) ●한국통신 : 통신 시설물 관리 사업 ●농촌공사 : 간척, 농지 등 관리 사업 ●한국전력 : 전력 시설물 관리 사업 ●가스회사 : 가스 시설물 관리 사업(권역별) ●도시철도공사 : 지하철 시설물 관리 사업 |
| 지방자치단체분야 | <ul style="list-style-type: none"> ●서울시, 광주광역시, 대구시, 인천시, 충북, 제주도, 전남, 청주시, 울산시, 창원시, 과천시 등 ●도로, 상하수도, 가스, 지적 등 주요 시설물 관리 사업이 중심 |
| 계획지원 분야 | <ul style="list-style-type: none"> ●국토개발연구원 : 국가 GIS 사업 계획 수립 등 ●한국전산원 : 국가 GIS 표준화 사업 계획 등 |
| 정보관리, 업무처리분야 | <ul style="list-style-type: none"> ●국립환경과학원 : 수질관리 사업 등 ●환경부 : 주요 강 유역별 환경 관리 사업 등 ●통계청 : 통계처리의 지도화 작업 |

① GIS 구성요소

● 지리(geographic)

지리는 산천, 수륙, 기후, 생물, 인구, 도시, 산업, 교통, 정치 등의 상태를 말한다. 이는 GIS에서 데이터 모형에 의해 정보로 조직화되어 지도로 표현되는 대상을 말한다. GIS에서는 공간

객체의 위치에 대한 정보가 실세계 단위의 수치형식으로 저장되어 기하학적인 조작으로 해당 지리 요소의 정확한 위치, 형상, 다른 지리 요소와의 관계를 정의할 수 있다.

- 정보(information)

정보는 보통 여러 형태로 표시된 자료를 말하며 특히 다양하고 방대한 자료에서 의미 있는 정보만을 가공하여 정리한 내용을 가리킨다. GIS에서 정보는 지리현상에 대한 정보의 획득에 의해 만들어진 공간데이터를 의미하며 공간 질의와 분석이 가능한 형태로 저장된다. 정보는 지리와 체계를 관계시켜주고 연결시켜주는 핵심이다.

- 체계(system)

체계는 특정 목적을 위해 기능이 모아진 조직이나 조직을 구성하는 각 부분을 계통적으로 통합한 전체의 지식과 지혜를 말한다. GIS에서 체계는 데이터가 사용자의 의도대로 조작되고 질의되도록 해주는 환경이라고 할 수 있다.



〈그림 6〉 GIS의 구성요소

② GIS의 분석방법

- 자료 수집 및 입력

시스템 구축을 위한 공간 및 속성정보를 준비한다. 공간정보에는 지도, 수치지도, 측량 성과품 등이 있다. 속성정보는 기존의 정보시스템에 의해 구축된 자료와 새로 입력되어야 할 자료로 다양한 표 형태의 자료가 있다.

- 자료의 전처리

입력된 자료를 활용 가능하도록 하는 일련의 작업으로 자료의 형식변환, 오류수정, 도면접합, 투영, 일반화, 보간, 사진판독 등이 있다.

- 데이터베이스 구축

공간데이터와 속성데이터를 인식자에 의해 연결하여 데이터베이스를 완성한다. GIS데이터는 방대하기 때문에 효율적으로 관리할 수 있는 체계를 만들어야 한다.

- 질의 및 분석

구축된 공간 및 속성데이터를 이용하여 사용자가 원하는 질의나 분석을 수행하는 단계로 데이터 확인, 통계분석, 재선택, 버퍼링, 중첩 등이 수행된다. GIS와 다른 CAD와 차별되는 특징을 보여주는 부분이다.

- 결과물 작성

결과물은 지도나 통계자료의 형태로 작성하여, online 또는 출력물을 통하여 그 결과물을 확인 할 수 있다.

2) 선행연구현황

(1) 국외연구

일본의 경우 해안지역을 포함한 기후변화 취약성 평가는 ‘환경성지구온난화문제검토위원회’를 중심으로 이루어지며 그 대응 전략 및 정책 수립은 관련 행정부서를 중심으로 이루어지고 있다. 기후변화에 대한 해안지역 보호에 대한 관련부서는 현재 일본국토건설성에서 주관하고 있으며, 연구의 주된 내용은 자연생태계에 대한 영향(습지에 대한 영향)을 평가, 수문·수자원 및 수환경에 미치는 영향(연안·해양환경), 사회기반시설 및 사회·경제 시스템에 미치는 영향(연안역, 거주지, 사회기반시설, 산업활동의 현상과 문제점 및 취약성)에 관한 연구를 수행하고 있다.

영국의 경우 해안지역을 포함한 지구온난화에 따른 기후변화 취약성을 평가하고 가능한 적응 전략 수립을 위한 조정기구인 영국기후영향프로그램(UKCIP: UK Climate Impacts Programme)을 UKCIP 활동의 일부로서 설립하였다. UKCIP는 다양한 기관들이 분야별, 국가별, 지역별 기후변화 영향평가 연구를 수행하고 있으며, 해안지역 연구는 영국연안의 취약성 평가, 연안 생물다양성 보호 전략, 해안지역 방어를 위한 공학적 대안(soft and hard), 연안역의 관리에 대한 새로운 제도적 접근 방안 연구 등을 포함하고 있다.

미국의 해안지역을 포함한 기후변화 취약성 평가는 기후변화 대응체제와는 별도로 운영되고 있다. 기후변화에 대한 취약성 평가는 국가적 통합 관리 및 조정이 필요하다는 인식이 증가함에 따라 다양한 의견 수렴과정을 거친 후 미국영향평가프로그램(USNS: US National Assessment)을 운영 중이다. 해안지역 연구는 해안지역, 해양 생태계, 해양 수산업에 대해서 기후변화가 미칠 수 있는 영향 등을 세분하여 연구되고 있다.

(2) 국내연구

우리나라는 해수면 상승을 포함한 지구온난화로 인한 기후변화의 영향을 종합적으로 전담하는 대응 체제는 갖추고 있지 못하다. 다만 기후변화협약 대응 체제하에서 정부 부처별 담당 업무를 나누어 대응하는 체제를 갖추고 있다. 해수면 상승과 관련한 정부 연구는 국토해양부를 중심으로 이루어지고 있다. 그러나 국토해양부의 기후변화 종합대책안(2001)은 현재 계획대로 수행되는 것이 아니라 예산 부족, 신규 과제 억제, 담당자의 교체 등으로 인하여 많은

대책들이 계획대로 수행되지 못하고 있는 실정이다. 이런 관점에서 우리나라의 기후변화 영향 평가 대응체제는 주요국가의 대응체제와 비교하여 대응체제의 합리적인 구성은 고사하고 체제 작동 면에서도 매우 취약한 실정으로 평가된다. 따라서 우리나라는 해수면 상승 영향에만 취약한 것이 아니라 이를 다루는 대응체제 역시 매우 취약한 것으로 판단된다.

주요 영향평가 분야와 관련한 부처의 연구 활동 상황을 살펴보면 기상청을 중심으로 지구온난화 및 기후변화 예측 문제를 다루고 있으며 환경부, 국토해양부 등을 포함한 정부 부처를 중심으로 관련 분야별 영향 평가를 수행하고 있다. 환경부는 현재 해수면 상승에 관한 예측 및 모니터링에 관한 프로젝트를 수행 중에 있으며, 한국환경정책평가연구원(2001, 2002)은 해수면 상승과 관련된 기후변화 영향평가 및 적응방안 연구를 수행하였다. 국토해양부(2001)는 지구온난화에 따른 수온 상승, 식물플랑크톤의 변화, 수중 용존산소 변화, 어류의 변동 등 자연생태계에 대한 연구에 초점을 맞추고 있으나 그 연구도 연구비 부족 및 관련 연구자들의 부족 등으로 인하여 매우 미비한 실정이다. 기상연구소(2006)는 기후변화 영향 평가를 위해 전라남도 동부 해안 지역을 대상으로 기후변화 취약성을 평가하였는데, 연구 내용 중 해수면 변동에 따른 재해 취약지를 선정하기도 하였다.

해수면 상승에 따른 기후변화 취약성 및 영향 평가기술은 해수 물질순환 규명기술, 자료 획득 네트워크 개발기술, 쓰나미 예·경보 개선기술, 기상/해수면 변동 연계기술, 해안지역 재해예보기술, 구조적/비구조적 대응연계기술 등으로 대별되며, 이에 대한 기초적인 기반기술과 원천기술은 어느 정도 확보된 것으로 판단된다. 현재 각 분야별로 잘 교육·훈련받은 전문 인력을 확보하고 있으며 필요한 기본적인 기법과 도구들이 비교적 잘 갖추어져 있지만, 필요한 요소기술들의 통합기술이 확립되지 않아서 선진국들보다 분야별로 3~5년 정도의 격차가 있는 것으로 평가된다.

(3) 선행연구와의 차별성

기존 국내 연구에서는 한반도 전역에 대한 해수면 변동 예측 기법의 개발과 해수면 상승에 대한 대응체제 개발에 그 초점이 맞추어져 있었다. 따라서 각 지방의 지역적 특색을 고려한 피해예상지역 도출과 경제적 피해정도 산출 및 대응체제가 갖추어지지 못한 실정이다. 최진영 외(2006)는 기후 변화에 의한 한반도 침수 가능 면적을 조석과 태풍해일이 동시에 일어났을 경우 고려하여 침수 가능면적을 구해 보았는데, 그의 연구에 의하면 서해안에서 2,200km²의 최

대 침수 면적이 나타난다고 하였다. 하지만 이 연구에서는 침수가능 면적만을 산출 하였을 뿐 지역적 특색을 갖춘 침수취약지에 대한 언급은 하지 않았다. 강주환 외(2008)는 한국 서남해안에서 최근 예측 고조위가 증가하는 경향이 있다고 밝히고, 대형 태풍의 내습시 이상고조 발생 가능성이 현격히 높아질 것이라고 내다보고 있다.

충남 해안지역은 독특하고 대체 불가능한 자연생태계(사빈, 간석지, 해양생물 등)를 보유하고 있을 뿐만 아니라 수송, 산업시설, 자원, 관광 등 사회경제적으로도 매우 중요한 지역으로 해수면 상승을 포함한 기후변화에 대한 취약성 및 영향평가와 적응방안이 필요한 지역이다. 충남 서해 연안역에 대한 기후변화 영향평가는 과학적인 예측에 근거한 해수면 상승에 따른 피해예상지역 추출 및 그 피해에 대한 대응전략 수립이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 지리정보시스템(GIS: Geographical Information System)과 원격탐사(Remote Sensing) 기법을 이용하여, 수치표고모델·경사분포도·토지이용도를 작성하여, 기존 보고된 해수면 상승치를 이용하여 각 case별로 충남 서해 연안역의 특성을 고려한 침수지역의 면적과 해안선의 후퇴양상 및 연안역의 변화추이를 산출하고, 그 피해정도를 파악하고자 한다.

또한 각국의 해수면 상승을 포함한 기후변화 영향평가 대응체제를 검토 후 충남 서해 연안역에 적용가능한 해수면 상승 대응체제를 제시하고 기존에 제시된 대응체제의 개선방향을 제시하고자 한다.

〈표 2〉 선행연구와의 차별성 요약

| 구 분 | 선행연구와의 차별성 | | |
|----------------|--|--|---|
| | 연구목적 | 연구방법 | 주요 연구내용 |
| 주요 선행 연구 | 1 <과제명: 해수면 변화 연구(2001), 해양수산부> | <ul style="list-style-type: none"> • 해수면 상승 관련 정부 정책을 수립하고 있으나 대응방안 연구 부진 | <ul style="list-style-type: none"> • 기후변화 영향평가 대응체 제 비교 연구 • 해수면 변화 및 예측 연구 |
| | 2 <과제명: 지구온난화에 따른 한반도 해수면 변화와 그 영향 연구(2001, 2002), 한국환경정책평가연구원> | <ul style="list-style-type: none"> • 한반도 해수면 상승 예측을 통한 영향평가를 수행 • 해수면 상승 관련 각종 현장관측자료의 수집, 분석 등 관측자료의 정확도 향상기술을 수행 | <ul style="list-style-type: none"> • 한반도 주변 해수면 상승 영향평가 및 대응책 연구 • 침수가능 지역 및 침수가 능인구 예측 |
| | 3 <과제명: 대규모 연안개발에 따른 조위예측 연구(2001), 국립해양조사원> | <ul style="list-style-type: none"> • 현장연구 및 모델구축을 통한 해수면 변동 연구를 수행 • 해수면 변동 예측 모델을 개발하여 적용 | <ul style="list-style-type: none"> • 지구온난화로 인한 장래 우리나라 주변해역의 해수면 변동 예측기법 개발 • GFDL MOM 기반으로 한 모델 개발 |
| | 4 <과제명: 기후변화 영향평가 및 적응을 위한 파일로트 연구(2006), 기상연구소> | <ul style="list-style-type: none"> • 현장연구를 통한 한반도 남서해안 지역의 기후변화에 따른 해수면 변화 및 분야별 기초자료 발굴 | <ul style="list-style-type: none"> • 기후변화에 따른 자연재해, 해안생태, 수산업 농업 분야 피해지역 조사 |
| | 5 <과제명: 남해안 지역의 기후변화에 대한 취약성평가(2007), 기상연구소> | <ul style="list-style-type: none"> • 한반도 남해안 지역에서 기후변화에 대한 피해를 저감하기 위한 기후변화 자료를 발굴하여 기후변화 취약성을 정량적으로 평가 | <ul style="list-style-type: none"> • 해안생태, 농업, 수산업 등의 여러 분야의 기후변화 관련 자료를 발굴하고, 이 지역의 기후변화 시나리오에 따른 각 분야별 취약성을 평가 |
| 본 연구 | 해수면 상승에 따른 영향 및 그 피해예상지역 도출 및 대응방안 도출 | <ul style="list-style-type: none"> • 기 보고된 자료별 해수면 상승 수치를 이용하여 GIS와 RS 기법을 이용하여 해수면 상승에 따른 피해 예상지역을 도출하고 그 대응 전략 마련 | <ul style="list-style-type: none"> • 피해예상지역 도출 • 피해 최소화를 위한 대응 전략 마련 |

제2장 해수면 상승과 온난화

1. 해수면 상승과 온난화

1) 해수면 상승의 원인

Mercer(1968)³⁾가 해수면 상승이라는 문제를 제기한 이후 많은 연구들이 이 과제에 대하여 관심을 갖게 되었는데, 해수면 상승의 주된 요인을 두 가지로 나누어 볼 수 있는데, 첫번째는 온난화로 인한 극지방과 고산지대의 빙하의 용융에 의한 상승이고, 두번째는 온도 상승에 의한 해수자체의 열적 팽창에 의한 상승이다.

해양의 열팽창(thermal expansion, steric sea level rise)이란 해양의 체적을 증가시킴으로써 해수면이 상승하는 현상을 말한다. 해양의 체적 변화는 해양의 밀도 변화에 의하여 일어나며 해양의 밀도 변화는 수온과 염분의 변화에 의존한다. 따라서 수온 및 염분 변화는 해양의 밀도 즉 체적을 변화시키게 되며 이에 따라 해수면이 변화하게 된다. 지구온난화에 따른 기온 상승은 해수의 수온 상승을 유발하여 해양의 밀도를 감소시킴으로써 해수면의 상승을 유발하는 것이다.

표 3은 IPCC 4차 보고서에서 밝힌 해수면 상승에 있어서의 요인을 분석한 것이다. 이 연구 결과들은 연구과정상의 시뮬레이션이나 조건이 다르기 때문에 일률적으로 비교 하는 데에 한계가 있지만 대체로 각 연구는 열팽창에 의한 해수면 상승을 가장 큰 요인으로 보고 있다.

이에 따라 지금까지 다양한 온난화의 시나리오를 설정하여 해수면상승의 장래 예측이 실험되어져 왔다. IPCC는 1992년에 기후변화 시나리오 개발을 위해 GCM에 사용될 IS92 배출 시나리오라고 불리는 6개의 시나리오를 작성하였다. 그러나 이 시나리오들은 1985년도 데이터에 기초하여 작성되었기 때문에 1990년 이후에 발생한 여러 가지 사회변화는 고려하지 못하였다. 이에 1996년에는 새로운 배출 시나리오 작성을 위한 특별 프로젝트팀이 구성되어, 새로운 배

3) Mercer, J. H., 1968, Antarctic ice and Sangamon sea level, Geological Society of America, Bulletin 79 : 471.

출 시나리오를 개발하기 위해 광범위한 과학적 조망, 지역과 각 부문 간의 상호연계를 고려한 ‘open process’⁴⁾ 접근법이 채택되었으며, 배출기준선이 개선되고, 전 세계적인 경제개편, 기술 변화 경향과 정도, 확장된 경제발전경로를 포함하게 된다.

〈표 3〉 해수면 상승 비율과 그에 영향을 미친 요소들

(단위:mm/yr)

| Source of sea level rise | Rate of sea level rise | |
|---|------------------------|------------------------|
| | 1961-2003 | 1993-2003 |
| Thermal expansion | 0.42 ± 0.12 | 1.6 ± 0.5 |
| Glaciers and ice caps | 0.50 ± 0.18 | 0.77 ± 0.22 |
| Greenland Ice Sheet | 0.05 ± 0.12 | 0.21 ± 0.07 |
| Antarctic Ice Sheet | 0.14 ± 0.41 | 0.27 ± 0.35 |
| Sum of individual climate contributions to sea level rise | 1.1 ± 0.5 | 2.8 ± 0.7 |
| Observed total sea level rise | 1.8 ± 0.5 ^a | 3.1 ± 0.7 ^a |
| Difference (Observed minus sum of estimated climate contributions) | 0.7 ± 0.7 | 0.3 ± 1.0 |

^a Data prior to 1993 are from tide gauges and after 1993 are from satellite altimetry.

자료: IPCC, 2007, 제4차 과학평가보고서, The Physical Science Basis.

특별 프로젝트팀은 연구 성과를 ‘배출 시나리오에 관한 특별 보고서(Special Report on Emission Scenarios: SRES)’로 정리하여 2000년에 정식 IPCC보고서로 발간하였다. SRES에서는 크게 4개의 서술적 스토리라인을 제시하였다. A1, A2, B1, B2가 그것인데 A, B는 경제지향적(Economic), 환경지향적(Environmental) 성향을 각각 표시하고, 1, 2는 전지구적지향(Global)과 지역주의지향(Regional)을 각각 표시하고 있다. 각각의 서술적 시나리오는 화석연료의 기술혁신, 신에너지의 도입 유무 등을 고려하여 여러 개의 시나리오로 다시 세분화되는데, 2001년 기준으로 총 40개의 시나리오가 제시되었으며 그 중 35개의 시나리오는 완전히 정량화된 상태이다.

SRES에서 제시한 네 개의 시나리오를 전제로 온실가스 배출 예측의 정량화를 시행한 결과

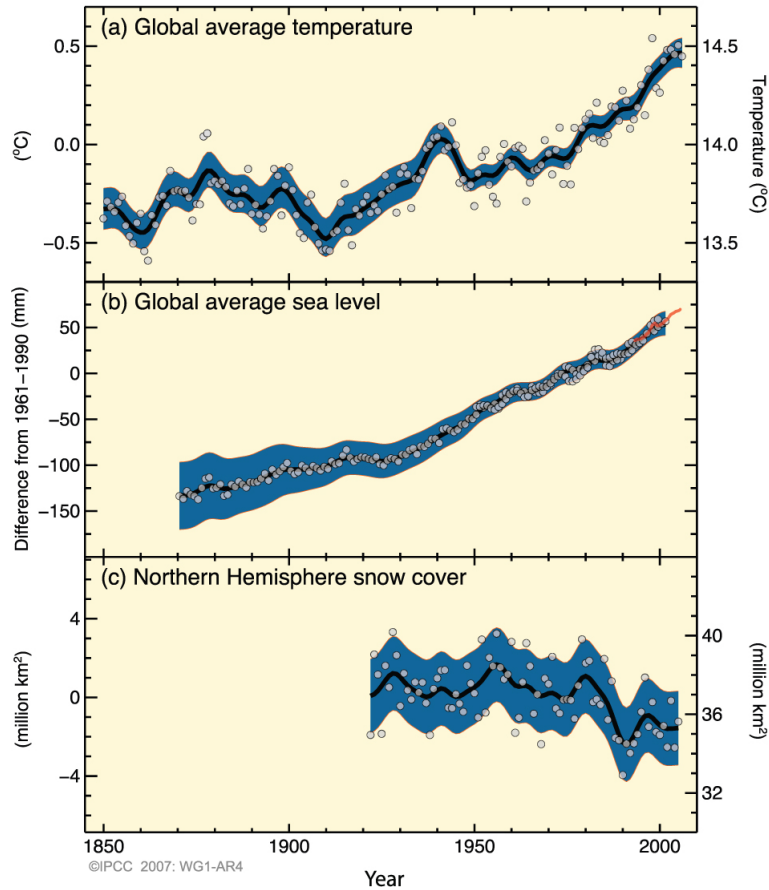
4) SRES에 정의된 바에 의하면, ‘open process’는 시나리오의 결과에 대한 폭넓은 의견과 검토를 수용하고 많은 공동체로부터의 투입(input)을 추구하는 다중모델들을 사용하는 것을 의미한다.

예상대로 환경에 대한 가치를 높게 두었던 B1 시나리오가 이산화탄소 배출량이 가장 적게 예측되었다. B1 시나리오대로 세계가 변화해 간다면 특별한 대책을 수립하지 않아도 지구온난화에 대한 억제 가능성이 된다. 환경보호론자의 이상사회에 가까운 B2 시나리오의 경우는 예상과는 달리 2100년의 이산화탄소 배출량이 경제발전 지상주의에 가까운 A1 시나리오와 거의 같게 예측되었다. 이는 지역중심으로 환경문제를 해결하려는 노력이 경제발전에 의한 기술 향상 및 개발과 유사한 효과를 이산화탄소 배출에 가져왔다고 해석할 수 있다. 반면 다원화 사회를 지향했던 A2 시나리오는 이산화탄소 배출량이 네 개의 스토리라인 중 가장 많게 예측되었다.

〈표 4〉 SRES 스토리라인 정리

| | |
|------------------------------|---|
| A1 (고성장 사회 스토리라인) | <ul style="list-style-type: none"> • 급속도의 경제성장과 인구증가가 2050년까지 지속되다 그 이후 감소하는 스토리라인 • 새롭고 효율적인 기술은 계속 도입된다고 가정 • 시장의 이점을 활용하여 전 세계가 눈부신 경제성장을 이루고 지역적인 불평등 및 1인당 소득 격차도 점차 좁혀짐 • 에너지시스템의 기술적 발전방향에 따라 화석연료의 집중적·효율적 사용을 하게 되는 A1F1그룹, 비화석연료 에너지를 이용하는 A1T 그룹, 모든 에너지원의 균형을 향해가는 A1B 그룹이 있음 |
| A2 (다원화 사회 스토리라인) | <ul style="list-style-type: none"> • 지역적인 자립과 지역의 정체성을 보전하자는 주제를 가진 스토리라인 • 세계 인구는 계속적으로 증가하게 되고 지역적인 격차도 좁혀지지 않음 • 경제 개발은 기본적으로 지역에 기반을 두며 1인당 경제성장 및 기술혁신도 지역에 따라 편차가 크며 다른 스토리라인에 비해 느린 편임 |
| B1 (지속발전형 사회 스토리라인) | <ul style="list-style-type: none"> • 환경이나 사회에 대한 관심이 높음에 따라 경제구조가 정보기반경제로 변화하게 되고 자원 이용의 효율이 높아지며 청정기술이 도입되는 스토리라인 • 경제, 사회, 환경의 지속가능성과 평등 분배를 중요시하지만 추가적인 기후 변화 정책은 수립되지 않음 |
| B2 (지역공존형 사회 스토리라인) | <ul style="list-style-type: none"> • 경제, 사회 및 환경의 지속가능발전을 지역의 분제와 공평성을 강조하여 모색하려 하는 스토리라인 • A2 스토리라인에 비하여 낮은 인구성장률을 가정하며 경제성장은 중간 정도 수준이고 A1, B1 스토리라인에 비하여 보다 다양하고 점진적인 기술의 변화를 가정 • 이 스토리라인은 환경보호와 사회적 분배에 중점을 두지만 지역수준에서의 해결에 초점이 있다는 점이 중요 |

CHANGES IN TEMPERATURE, SEA LEVEL AND NORTHERN HEMISPHERE SNOW COVER



〈그림 7〉 기온, 해수면, 북반구 빙설량의 변화

a: 지구 평균 표면온도

b: 조수와 풍력에 의한 지구 평균 해수면 높이상승(파란부분), 위성데이터(빨간선)

c: 3-4월 북반구 빙설량의 변화

2) 온난화로 인한 해수면 상승 예측

지구의 평균 해수면은 해양저분지의 형태와 크기, 대양에 분포하는 해수의 양, 해수의 평균 밀도 등에 의해 결정된다. 기후에 의한 해수면의 변동은 이 중 해수의 양과 평균밀도와 관계가 있는 것으로 온난화가 진행되면 해수표면 수온상승에 의해 해수가 열팽창을 하거나 산악의 빙하가 용융해서 세계의 평균 해수면이 상승하리라 예상되고 있다. 과거 빙하기에는 지구의

양극에 걸친 광범위한 빙하의 형성으로 인하여 대양의 해수를 제거함으로써 현재의 해수면보다 약 100m 정도 낮았다⁵⁾. Marcer의 주장에 의하면 지금보다 기온이 1~2℃ 높았던 지난 마지막 간빙기 동안의 해수면이 현재보다 약 7m 높았다고 한다. 현재 상당부분의 빙하는 후퇴되었으나 아직도 전 세계에 남아 있는 빙하는 해수면의 수위를 75m나 상승시킬 수 있는 정도의 분량이며 현재 산악의 빙하도 전 분량이 용융된다면 약 30~60cm의 해수면을 상승시킬 수 있다.

IPCC의 제4차 과학 평가 보고서(2007)에 의하면 지난 100년 동안의 해수면 상승은 약 1.17m로 밝히고 있다. 지난 100년간 해수위의 상승률은 연간 12~22mm 상승하고 있음을 알 수 있으나, 1961년 이후 관찰된 바에 의하면 해수면 상승 평균 비율은 1961년부터 2003년까지 연평균 1.8(1.3~2.4)mm 상승했다. 특히 지난 1993년부터 2003년간 그 상승률이 가속화되어 연평균 3.1(2.4~3.8)mm에 이르렀다. 1993년부터 2003년의 급속한 상승률은 10년간의 변이성과 해수면 상승률이 장기적으로 명확치 않음을 나타내고 있다.

IPCC(2007) 보고서에 의하면 지난 100년간 열팽창에 의해 연간 해수면이 평균 0.4mm정도 상승하였으며 빙하나 ice cap 의 후퇴에 의하여 현재의 해수면이 연간 0.2~0.5mm 상승하고 있다는 것을 산술적으로 계산해 낼 수 있다. 그러나 그린랜드나 남극 및 지표수의 영향은 미약한 것으로 밝히고 있다.

‘앞으로 온난화에 의해 해수면이 어느 정도 상승할 것인가?’ 그리고 ‘그 속도가 가속화 될 것인가?’라는 문제에 대해서는 명확하게 결론을 내리고 있지는 못하고 있다.

표 5를 보면 IPCC 1990년 보고서에서 2100년까지 66cm 상승하리라 예측하고 있으며 그 범위를 최저 31cm, 최고 110cm로 보고 있다. Titus & Narrayanan는 2100년 까지 해수면이 34cm 상승할 것으로 예측 해 그 상승의 폭을 가장 적게 보고 있으며 Wigley & Raper는 최고 124cm로 가장 크게 보고 있다. 이들 사이의 해수면 상승에 대한 예측은 온실가스 배출에 대한 가정과 그밖에 시뮬레이션 모델이 다르기 때문에 다소의 차이가 있기는 하지만 대체로 온난화로 인한 해수면의 상승은 필해 동반 될 것이며 그 정도는 2100년까지 최저 수cm에서 최고 1m내외라는데 인식을 같이하고 있다.

5) Donn, W. L., W. R. Farrand, and M. Ewing., 1962, Pleistocene ice volumes and sea-level lowering, *Jornal of Geology* 70 : 206-214.

Kennet, J., 1982, *Marine Geology*, Pentiss-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey: Pentess-Hall

Oldale, R., 1985, Late Quarternary sea level history of New England: a review of published sea level data, *Northeasten Geolgy* 7: 192-200.

〈표 5〉 온난화로 인한 해수면 상승 예측

(단위: cm)

| Source (emission scenario) | Sea Level Rise Component | | | | | Total rise | |
|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------|------------|--------------|
| | Thermal Expansion | Glaciers and ice caps | Greenland ice sheet | Antarctic ice sheet | Best Estimate | Range | To (Year) |
| IPCC-A | 43 | 18 | 10 | -5 | 66 | 31~110 | 2100 |
| Church et al.(1991) | 25 | all ice 10 | | | 35 | 15~70 | 2050 |
| Wigley & Raper(1993) | 25 | all ice 21 | | | 46 | 3~124 | 2100 |
| Titus & Narayanan | 21 | 9 | 5 | -1 | 34 | 5~77 | 2100 |
| IPCC 1995 | 28 | 16 | 6 | -1 | 49 | 20~86 | 2100 |

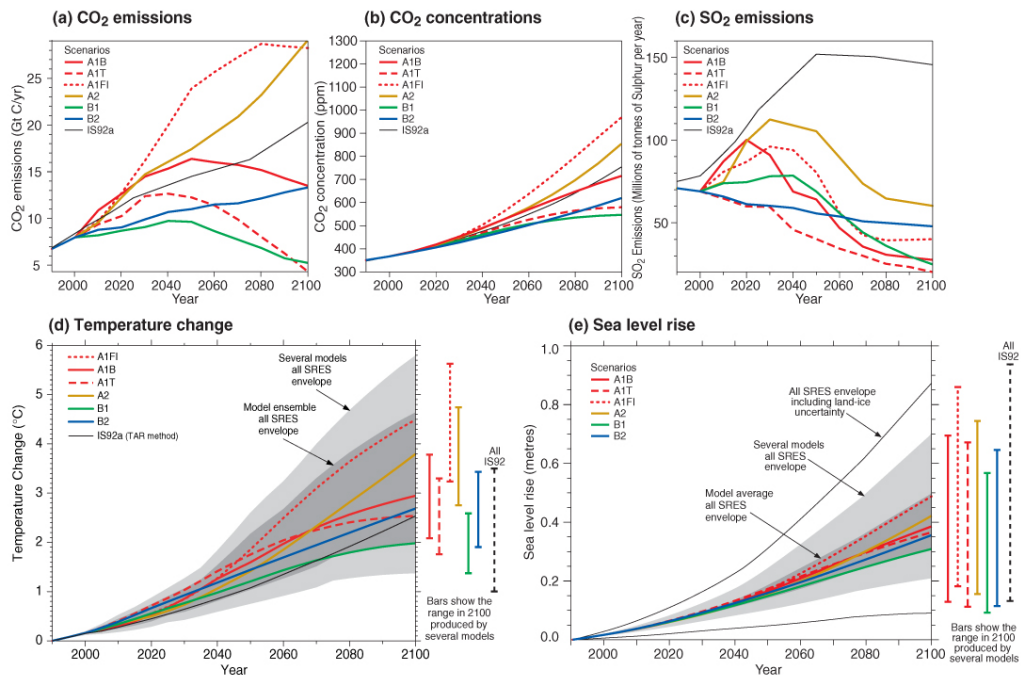
IPCC 4차보고서는 3차 보고서에 비해 더욱 광범위한 모델들과 관측 자료를 사용하여 더욱 정밀하게 정량화된 미래 기후변화 예측 시나리오를 만들어 냈다. SRES 서술적 표지 시나리오 (illustrative marker scenarios)를 토대로 한 모델 시뮬레이션 결과, 모든 SRES 배출 시나리오에서 지구 온도가 향후 20년간 0.4℃가량 상승할 것으로 예측되었다. 모든 온실가스 및 에어로졸의 농도를 2000년 수준으로 고정하더라도 0.2℃ 가량의 상승은 필연적인 것으로 나타났는데, 이는 대양에서의 반응이 느리기 때문이다. 다음 표는 온실가스 배출량이 현재 수준으로, 혹은 현재 수준을 상회해서 지속될 경우의 SRES 표지 시나리오별 21세기 말 전 지구 평균 CO₂농도, 기온과 해수면 상승률을 나타낸다.

최근 세계자연보호기금(WWF)은 성명⁶⁾을 통해, 현재처럼 지구온난화가 진행돼 평균기온이 2℃만 올라가도 그린랜드의 빙하가 녹아내리는 데는 충분하다고 밝혔다. WWF는 그린랜드의 얼음이 다 녹으면 해수면이 7m가량 상승하게 된다고 밝히고 있다.

6) www.wwf.org

〈표 6〉 SRES 표지 시나리오별 21세기 전망

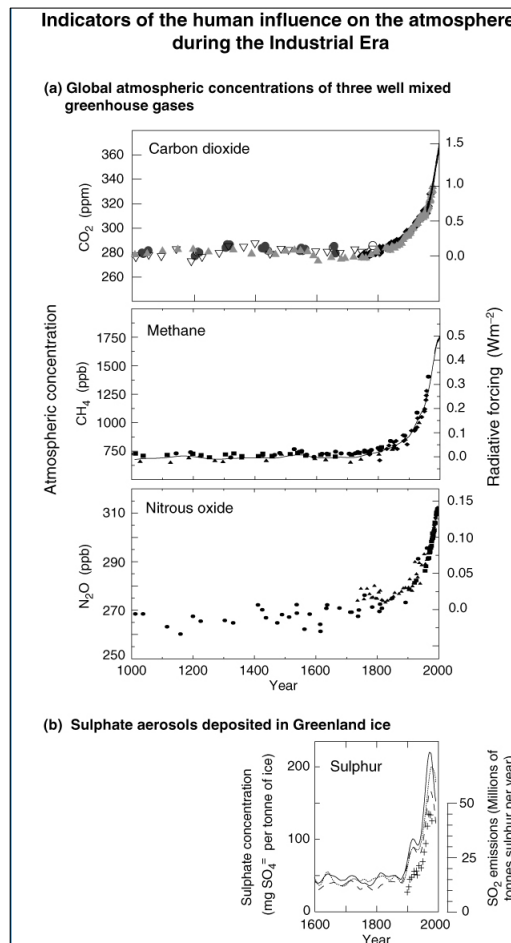
| case | CO ₂ concentrations (ppm) | Temperature Change (°C at 2090–2099 relative to 1980–1999) | | Sea Level Rise (m at 2090–2099 relative to 1980–1999) Model-based range excluding future rapid dynamical changes in ice flow |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--|--------------|---|
| | | Best estimate | Likely range | |
| Constant year 2000 concentrations | | 0.6 | 0.3–0.9 | NA |
| B1 | 550 | 1.8 | 1.1–2.9 | 0.18–0.38 |
| A1T | 540 | 2.4 | 1.4–3.8 | 0.20–0.45 |
| B2 | 600 | 2.4 | 1.4–3.8 | 0.20–0.43 |
| A1B | 720 | 2.8 | 1.7–4.4 | 0.21–0.48 |
| A2 | 830 | 3.4 | 2.0–5.4 | 0.23–0.51 |
| A1F1 | 970 | 4.0 | 2.4–6.4 | 0.26–0.59 |



〈그림 8〉 SRES 시나리오별 21세기 전지구적 기후변화 예측

2. 충남 서해 연안역에서의 해수면 변동 가능성

1) 한반도의 온난화와 해수면 상승의 가능성

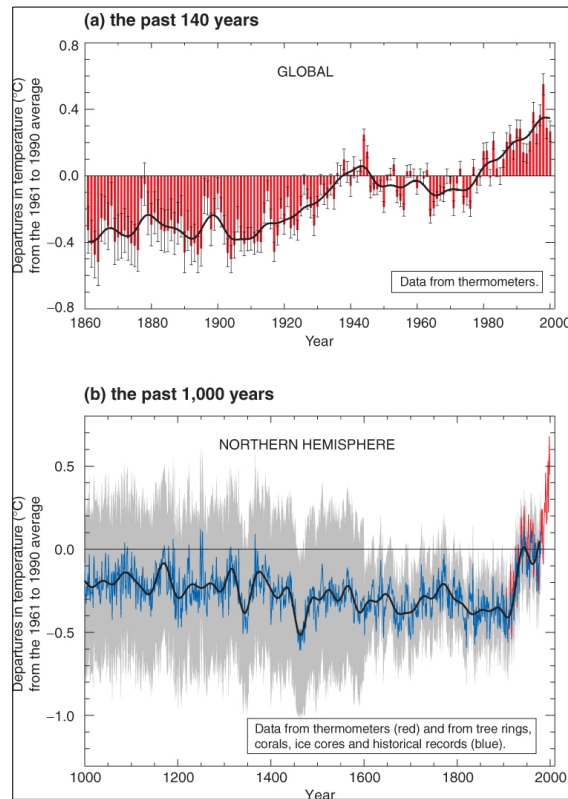


〈그림 9〉 대기 구성물질의 농도 변화

(a: 온실가스 변화, b: Greenland에어로졸 변화)

지구 대기는 대부분의 수증기(약 80%)와 CO_2 , SO_2 를 포함한 온실가스들로 구성되어 있다. 지구의 대기 중에 포함된 온실가스들은 태양 및 지구의 열을 흡수하는 온실효과(Greenhouse effect)를 통하여 지구의 온도를 일정 수준으로 유지시키고 있다. 현재의 지구 평균 온도는 약 15°C 이나 온실가스들의 온실효과 부재 시 온도는 -18°C 정도로 낮아지게 된다. 그러나 19세기

후반에 시작된 산업혁명 이후 화석연료 사용의 증가로 대기 중 온실가스가 급속히 증가하게 되었으며, 이에 따른 온실효과의 증대(enhanced greenhouse effect)로 지구의 온도 상승, 즉 지구온난화(global warming)를 유발한 것으로 규명되었다.



〈그림 10〉 지구평균 표면온도의 변화

- (a: 과거 140년간 지구평균 표면온도 변화
b: 과거 1,000년간 북반부 지구평균 표면온도 변화)

1957년 하와이의 Mauna Loa 관측소에서 이산화탄소의 농도증가가 관측된 이후 계속해서 대기 중의 이산화탄소 농도가 증가하고 있음이 확인되고 있다. 이에 따라 각 환경 연구 기관에서는 컴퓨터의 일반 순환모델에 기초를 둔 대기 순환 모델(GCM)을 사용하여 지구 온난화 경향의 추정치를 예측하였다.

1983년 미국 환경보호청(EPA: Environmental Protection Agency)의 보고서는 2050년경 대기 중 CO₂의 수치가 두 배로 될 것이라고 예측하고 2050년경 지구의 온도가 최고 4.5°C에서

최하 0.7℃로 추정하였으며, 2100년에는 2.1~9.0℃ 상승할 것이라고 전망하였다. EPA는 1995년 최근의 보고서에서는 2050년까지는 -0.1~2.9℃, 2100년까지는 -0.1~6.3으로 수정을 하였다. 그밖에 IPCC도 1990년 보고서에서 1.3~2.5℃의 범위(Range)로 상승할 것이라고 밝히고 있다.

또한 지구의 온도가 2℃ 상승할 것이라고 예상 되는 해는 EPA 1989년 보고서는 2035년, 1995년 보고서에서는 빠르면 2030년 늦으면 2200년 이후로 보고 있으며, 4℃ 상승할 것이라고 예측되는 해는 각각 1989년 보고서에는 2060년, 그리고 1995년 보고서에서는 빠르면 2065년 아니면 2200년 이상으로 예측하고 있다. IPCC의 1990년 보고서는 2060년경에 2℃정도가 2100년이 넘어서야 4℃정도가 상승할 것이라고 예측하고 있으며 2060년경에 대기상의 CO₂의 농도가 2배 정도에 이를 것으로 예측하고 있다. 물론 이 수치는 그 후 약간의 수정을 거쳤다. Wigley & Raper도 1992년 보고서에서 그 시기와 온난화의 진행 속도에 있어서는 정도 차는 있지만 대체로 인식을 같이 하고 있으며, 해수면 상승이라는 큰 과제를 안겨줄 것이라고 예측하고 있다.

과연 온난화가 우리나라에 어느 정도 규모로 일어 날 것인가? 그리고 앞으로 어느 정도의 기후 변화를 가져올 것인가에 대한 문제의 해결을 얻기 위하여 과기부와 환경부의 주도아래 기초적이기는 하나 지구 온난화 감시기술에 대한 연구가 행해졌으며, 미국 항공우주국(NASA)의 Goddard 우주연구소(GISS, Goddard Institute of Space Studies)에서 대기순환모델(GCM)로써 계산한 결과를 우리나라 부근에 적용시켜 얻은 몇 가지 연구결과를 토대로 우리나라 주변의 기후변화를 예측한 조하만(1993)의 연구가 있다.

여기서는 앞에서 언급한 연구들을 바탕으로 CO₂가 2배 증가 시 한반도 기후의 변화에 대하여 간략히 언급하고자 한다.

우리나라의 약 90년(1904~1990)동안의 기온 변화를 보면, 우리나라의 평균기온이 약 1.0℃ 정도 상승했음을 보여주고 있다. 이는 전 지구적 증가분 약 0.5℃보다 높은 수치인데, 이는 우리나라의 기후변화에 도시화에 따른 열섬효과와 해수 온도 값을 고려하지 않았기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 지난 90년 동안 우리나라에서는 꾸준히 기온이 상승하고 있음을 알 수 있다.

강인식은 4개 세계대기과학 연구기관의 대기대순환모델 연구결과와 IPCC의 지구평균 시나리오, 한반도의 지역별 기온변동 분석결과를 자료로 하여 CO₂ 2배 증가 시 한반도의 기상변화

시나리오를 작성하였다. 그는 먼저 4개의 대기순환모델(GCM)의 실험결과를 평균(Composite)하여 한반도 주변지역의 기후 변화를 산출한 후, 각 GCM들의 불확실성(uncertainty)을 고려하여 기온 변화의 가능한 폭(범위)을 구하였다. 또한 최근에 지적되는 IPCC 시나리오의 문제점을 고려하여 더욱 가능한 한반도 기온변화의 시나리오를 제시하였다.

그의 연구는 CO₂가 두 배로 증가하면, 한반도 기온은 1.0~4.0℃ 범위내에서 올라 갈 것이며, 기온변화의 최고값은 2.0℃를 다소 상회할 것으로 예측하였다. 지구기후가 IPCC의 Business as Usual⁷⁾에 따라 변화한다면, 한반도 기온은 10년에 0.15~0.5℃의 증가 경향을 나타 낼 것이며, 현재와 같은 추세로 CO₂가 증가한다면, 한반도에서는 21세기 초에 기후 변화가 감지되고 21세기 중반에는 뚜렷한 기후 변화가 나타날 것이라고 예상하였다.

결국 우리나라도 전 지구적인 현상인 온난화에서 제외 될 수는 없는 지역으로, 꾸준한 속도로 온난화가 진행되고 왔으며, 앞으로도 10년에 0.15~0.5℃ 정도의 속도로 기온이 상승 할 것으로 예상된다. 따라서 지구 온난화로 인한 해수면 상승은 당연한 결과라 할 수 있다.

2) 서해안에서의 제4기 후기(현세) 해수면 변동

한반도의 제4기 후기의 해수면 상승에 관한 연구내용을 살펴보면, 1969년 국내에서는 처음으로 서해의 조간대와 연안에서 획득한 시추 퇴적층의 퇴적학적 분석결과와 탄소연대 측정에 근거한 현세 해수면 변동(Holocene sea-level change of rise)에 대한 연구가 발표되었다(박용안, 1969). 전북 김제 신평천의 연안 조간대 지층이 기본적인 조사 대상으로 선정되었으며, 6m 이상의 깊이까지 주상시료의 채취가 이루어졌고, 이와 관계된 자료는 한국 서해(황해)가 현세 동안에 침수된 현상을 제시하였다. 이러한 초기의 연구 이후 국내의 여러 대학과 연구기관들에 의하여 국지적인 현세 해수면 변동의 과정이 설명되었다.

황해와 남해는 많은 염하구와 만 또는 도서를 포함하는 리아스식 침수해안이다. 해안선의 굴곡은 상당히 심하지만, 넓은 조간대와 인공적인 제방에 의해 그 모양이 점차 단순하게 변하고 있다. 황해와 남해의 현세 후기(Late Holocene) 침수의 증거는 20여 년 동안에 간헐적으로 밝혀지고 있다. 최대 빙하 발달시기(LGM) 동안 해수면이 최저로 낮았을 때, 즉 현재의 해수면보다 약 138m~143m 아래에 있었을 때 한반도는 반도의 형태가 아니라 아시아 대륙의 한쪽에

7) IPCC의 Business as Usual(BaU : 현재수준으로 CO₂가 방출 될 경우)에 가까운 예상치에 따라 1년에 온난화 가스가 약 1%씩 서서히 증가한다는 가정하에 나타나는 기온의 변화를 측정.

붙어 있는 대륙의 일부분이며, 그 당시에는 황해(서해), 동지나해 및 남해는 존재하지 않았고 일본열도와 중국 및 한반도는 하나의 대륙으로 존재하였다.



〈그림 11〉 위스콘신 빙하기의 LGM 때에 위치한 고해안선(paleocoastline)(박용안, 1987)

윤순옥(1994)은 한강 최하류부인 일산지역 “가와지곡”에 대한 충적층의 층상구조를 조사한 후 가와지곡의 퇴적환경과 해면변동의 경향을 밝혀내었다.

가와지곡은 외관상 우리가 서해안의 바닷가에서 흔히 볼 수 있는, 낮은 구릉지 사이의 골짜기에 끼어 있는 충적평야이다. 그러나 한강의 주기적인 범람에 의한 범람퇴적물로 구성된 표층의 퇴적물 밑으로는 후빙기의 해수면 상승과 관련된 퇴적물이 해면의 변동을 그대로 반영하며 퇴적되어 있음이 확인된다. 특히 후빙기 해진이 가와지곡에 도달된 6,000년경에 퇴적된 대화층에서는 외해성의 규조가 나타나는 것으로 보아, 대화층의 펄은 현재의 서해안에서 볼 수 있는 펄과 똑같은 펄이 오늘날 경지로 이용하고 있는 땅의 아래로 분포되어 있는 것임을 알 수 있다. 이러한 사실로 볼 때 후빙기 해진 때 해수의 도달범위는 현재의 해안선 보다 훨씬

내륙쪽까지 도달하였음을 알 수 있다.

한편 만경강 및 동진강 유역의 충적평야를 연구한 조화룡(1986)에 의하면 이러한 경향은 전 북해안에서도 나타남을 알 수 있다. 하곡충적평야는 만경강과 동진강의 하곡을 중심으로 발달되어 있으며, 만경강과 동진강의 하구부에서 갑자기 넓어진다. 이 하곡 평야의 충적층을 담고 있는 그릇인 매물곡은 최종빙기의 저해수면기의 침식으로 형성된 것으로 보인다. 따라서 후빙기의 해진이 이 골짜기에 도달하면서 생긴 만입은, 한강하류의 가와지곡에서와 같이, 내륙 쪽으로 훨씬 깊숙하게 들어가 있었을 것이다. 그러나 만경강의 퇴적작용으로 인하여 하도와 범람원이 바다 쪽으로 뺏어나가 현재의 상태에 이르게 되었다고 추측된다. 범람원 논에서 나타나는 간석지 퇴적물도 이러한 관점에서 이해되어야 한다.

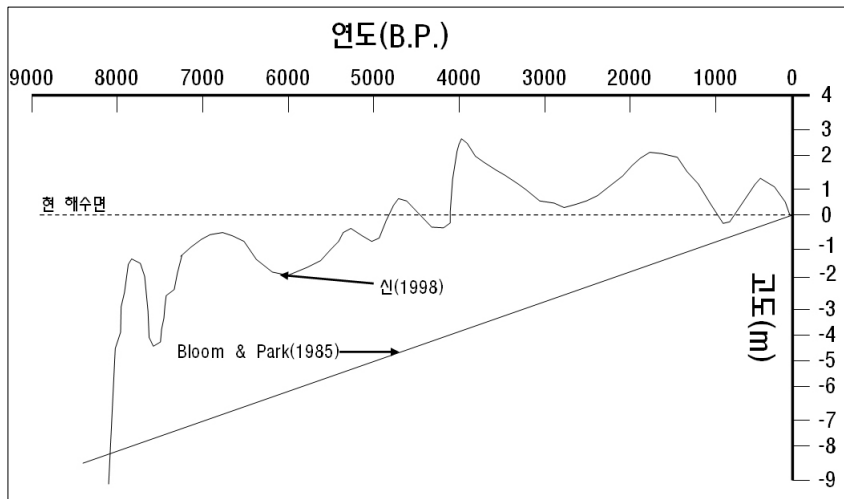
금강 하안에서 만경강 만입으로 연장돼 있는 충적지에서 얻어진 지질주상도로부터 서해안 일대의 해안평야의 발달과정을 이해하는데 도움을 얻을 수 있다. 퇴적층 하부에서도 사력이 나타나지만, 상부는 전부 점토나 세사로 구성돼 있다. 금강 같은 대하천 부근의 간석지는 모래가 많은 것이 보통이다. 그리고 특이한 것은 금강에서 약 3km 내륙에 위치한 주상도에 패각이 두루 포함되어 있다는 것이다. 패류의 종류가 어떤 것인지는 알려져 있지 않지만, 이곳이 과거에 해수 또는 조석의 영향권내에 있었다는 것을 의미한다.

그리고 또 전체 퇴적층의 두께가 매우 두껍다. 금강보다는 만경강 만입에 더 가까운데서 작성한 주상도에 의하면, 40m 깊이에서도 기반암이 나오지 않았다. 또한 구룡지 근처에서 작성한 주상도에서도 그 두께가 약 32m나 된다. 충적층 하부의 매물곡 심도가 깊고 펄층의 두께가 두껍다는 사실은 이 지역에서 해수면 변동의 폭이 컸음을 알 수 있다. 이렇게 두꺼운 펄층은 하곡충적평야의 하부까지 연장되어 있음이 이리부근과 삼례 부근의 만경강 연안 충적평야의 충적층 횡단 구조에서 밝혀졌다.

만경강 하구로부터 약 50km 상류쪽 만경강 북안에 위치하는 삼례 부근의 충적층 시추 주상도에서는 현 범람원 퇴적층 하부에 해성규조와 염생습지성 초본식물인 나문재와 갈대의 화분이 산출되는 조간대 퇴적층이 15m 두께로 나타난다.

박용안(1969)은 방사능 탄소연대 측정에 근거하여 국내 최초의 현세 해수면 곡선을 제시하였고, 한국 서해의 해수면은 지난 4,000년 이후 평균 4.3cm/100yr의 속도로 상승하였다고 보고하였다. 장진호(1996)는 한국 서해안 곰소만 해역에서 탄소연대 측정에 의한 해수면 변화를 제시하였는데, 이 자료에 의하면 지난 7,000년 전에 평균 해수면은 현재의 해수면 6.5m 아래에

위치하였고, 4,000년 전에는 3m 아래에, 그리고 2,000년 전에는 약 2.5m 아래에 위치하였다. 또한 해수면이 지난 5,000년까지 매우 빠르게 상승하다가 5,000~2,000년 사이에 매우 완만한 상승을 보였으며, 2,000년 이후에는 다시 빠르게 상승하였음을 나타낸다. 전반적으로 서해의 해수면은 적어도 지난 7,000여 년 동안 큰 진동이 없이 지속적으로 상승하여 현재의 수준에 도달한 것으로 해석된다.



〈그림 12〉 한국 서해안에서의 후기 홀로세 동안의 해수면 변화

한편 우리나라의 동해안에 있어서도 해수면이 10,000년 전 이후 급격히 상승하여 6,000년 전 경에 현재와 비슷한 위치에 도달하고, 그 이후 미변동을 거듭하였으며, 현재보다 다소 높은 시기도 존재하였음이 밝혀졌다.

3. 해수면 상승의 영향

해수면의 상승은 해안저지대와 습지의 침수, 해안선의 침식의 발생과 침식속도의 가속화, 해안역의 범람과 홍수의 심화, 염하구와 지하수의 염분도 증가 및 수질 악화, 하구와 만에서의 조차(tidal range)변화, 강에 운반되는 퇴적물의 집적지 변화, 파고의 증가, 해저면에 도달하는 일조량의 감소, 수온상승, 태풍의 세력증가 등의 기후변화 현상과 결합된 변화를 야기 시킨다. 이런 물리 현상의 변호는 인간의 사회·경제 활동과 문화 혹은 자연현상과 관련된 부분에 광범위한 영향을 미친다. 사회·경제적인 영향중에 가장 심각한 것은 침수에 의한 국토의 손실이며, 이와 연결되어 홍수와 범람의 증가의 가능성이다.

1) 침수(Inundation)

이중 침수는 연안환경에 미치는 가장 현저한 영향으로서 dryland가 wetland로 변하고, 습지가 바다로 변하는 현상을 말한다. 만일 해수면의 변동이 과거와 같이 수 천 년, 수 만년의 긴 시간을 가지고 변화하는 것이라면 이 환경의 변화에 보조를 맞추어 연안역의 모든 요소들은 적응을 할 수 있다. 즉 산호초 섬은 산호의 사립퇴적물에 의하여 해수위로 유지되며, 삼각주는 강이 운반해 오는 퇴적물의 집적으로 그 형태를 유지하고, 사주는 육지 쪽으로 이동하며 그 명맥을 유지하고 있는 것이다. 즉 해수면의 상승과 더불어 습지의 면적도 증가 되어야 하겠지만 급격한 해수면의 상승은 육지(비습지)가 습지로 변하는 속도가 습지가 해양으로 변하는 속도를 따라 올 수 없으므로 습지의 양은 줄어들게 된다. 그러나 지구의 온난화 현상에 의한 해수면의 상승의 경우 그 속도에 있어서 자연현상이 적응할 수 있는 범위를 넘어서기 때문에 이런 여러 가지의 현상들이 손실을 입게 되는 것이다.

Ali and Huq(1989)는 국토의 대부분이 10m 미만의 표고를 보이고 있으며 대부분 델타지대의 평원에 인구가 거주하는 방글라데시의 경우 해수면이 1m 상승한다면 전 국토의 1/6에 해당하는 17%가 침수 될 것이라고 밝히고 있다. 더구나 방글라데시는 벵골만을 통하여 열대성 저기압의 출현이 잦기 때문에 그 피해의 정도와 규모가 클 것이라 예상된다. 그밖에 미국의 경우 해수면이 1m 상승한다면 미시시피 삼각주가 침수되어 전 미국에서 해수면 상승에 의해 손실될 비습지대의 약 35%, 습지의 약 50%에 해당되는 부분이 침수될 것으로 예상되며, 몰디브 공화국의 경우 2m의 해수면 상승으로 거주지역의 1/2이 침수 될 것이다. 이는 비단 이 지역의 경우에만 해당되는 경우가 아니라, 남태평양에 위치한 마셜군도 같은 대부분의 산호섬들의 경우 그 국토의 대부분이 수 m이내이기 때문에 모두 해수면의 상승이라는 위험에 노출된 지역이라 하겠다. 특히 문제가 되는 것은 이집트인데 대부분의 경작지가 나일강 하구에 집중되어 있는 이곳은 1m의 해수면 상승으로 경작에 적합한 토지의 15%를 잃게 될 것이며 이 토지는 인구의 15%에게 거주지를 제공하고 있으며 국내 총생산의 14%를 차지한다.

대부분의 국가에서 해발 수m이하의 지역이 차지하는 면적은 그리 넓지 않다. 그러나 이 지역은 경작활동하기에 좋은 조건을 갖추고 있어 대부분의 경지가 집적되어 있으며 해상교통의 편의 그리고 해상활동의 증가 때문에 해안저지대의 인구와 경제력이 밀집되어 있다. 따라서 이 지역의 침수가 발생할 경우 그 피해가 심각하리라 예상된다. 본 연구에서는 침수범위에 초점을 맞추고 있다.

2) 침식(Erosion)

Bruun에 의하면 해수면이 상승할 경우, 단순히 해수면의 상승 분 만큼 해안역이 침수하는 것이 아니라 실제 지역은 침식이 함께 유발 되므로 그 범위가 매우 넓게 나타난다고 밝히고 있다. 즉 해수면이 상승 할 경우 해변(beach)이 침식되어 침식된 토사가 해저에 퇴적됨으로써 해변단면의 형태는 변하지 않고 그 형태를 유지해 나간다는 것이다. 아산만의 한진리, 안면도, 보령의 신항리, 웅천의 관당리 등 해안을 따라서 파랑의 침식을 직접 받는 지역의 곳(headland)전면의 중심에는 해식애와 파식대(shore platform)가 나타난다. 이러한 지역들은 해수면 상승으로 인해 파랑의 영향을 받는 범위가 더 상승하게 되며, 이러한 현상은 결국 해안침식의 강화를 가져오게 할 것이다.



〈그림 13〉 파랑의 영향에 의한 침식(태안군 둔두리)



〈그림 14〉 폭풍에 의한 해안 침식과 인공제방의 파괴

3) 범람과 홍수(inundation and flooding)

해수면의 상승은 해수위의 상승으로 인하여 범람을 야기 시키며 내륙 깊숙이 만입된 해수로 인하여 범람이 육지의 안쪽까지 광범위하게 영향을 미치게 된다. 해수면의 상승으로 유실된 사구(dune)와 사빈(beach)은 파랑으로부터 육지를 더 이상 보호하지 못하며, 습지에 자생하는 수초는 해파를 분산하여 해수의 범람 속도를 늦추는 역할을 하는데, 해수면의 상승으로 유실됨으로 인하여 범람을 증가시키게 된다. 또한 해수면의 상승은 해수의 하천 만입을 증가시켜 배수를 감소시키는데, 이는 태풍과 홍수, 집중호우가 함께 발생할 경우 범람의 위험이 가중된다. 특히 우리나라 서해안은 조석간만의 차이가 심함으로 이와 만조가 겹치게 되면 그 피해가 상당히 크리라 예상된다.

〈표 7〉 충청남도 최근 10년간(1997년~2006년) 자연재해 피해규모

| | 인명피해(인) | 침수면적(m ²) | 피해액(억원) |
|------|---------|-----------------------|----------|
| 충청남도 | 52 | 71,835.09 | 10,138.1 |
| 천안시 | 2 | 2,579.56 | 637.1 |
| 공주시 | 6 | 2,803.99 | 1,154.6 |
| 보령시 | 1 | 4,373.26 | 296.6 |
| 아산시 | 2 | 4,496.41 | 624.0 |
| 서산시 | 2 | 5,547.5 | 300.0 |
| 논산시 | 2 | 4,691.56 | 1,429.3 |
| 계룡시 | - | - | 48.8 |
| 금산군 | 8 | 1,081.9 | 518.5 |
| 연기군 | 1 | 721.7 | 548.6 |
| 부여군 | 1 | 9,107.56 | 1,429.8 |
| 서천군 | 1 | 5,123.6 | 277.8 |
| 청양군 | 0 | 1,085.47 | 475.3 |
| 홍성군 | 1 | 2,572.6 | 497.1 |
| 예산군 | 0 | 5,707.1 | 498.4 |
| 태안군 | 8 | 10,540.1 | 322.9 |
| 당진군 | 17 | 11,401.7 | 1,076.0 |

4) 해수 유입에 따른 수질 변화

염하구의 염분도는 해수와 담수의 유입으로 그 염도가 유지되며 해양의 염도보다 낮다. 그러나 해수면이 상승 할 경우 하구의 단면적을 증가시키고, 하천의 상류까지 진출하기 때문에 하구의 염도는 증가 할 것이다. 이는 염해를 동반하여 주변의 농경지에 영향을 주게 되어 경지의 면적을 감소시킬 뿐만 아니라 지하수로의 침투로 수질 오염을 초래할 수 있다. 또한 방조제나 하구언의 갑문을 다는 횟수가 증가함에 따른 배수량의 감소와 조석간만의 차가 큰 지역에서의 만조시의 수위를 감안 할 때 해수위는 한층 더 높아 질 것을 감안해야 할 것이다.

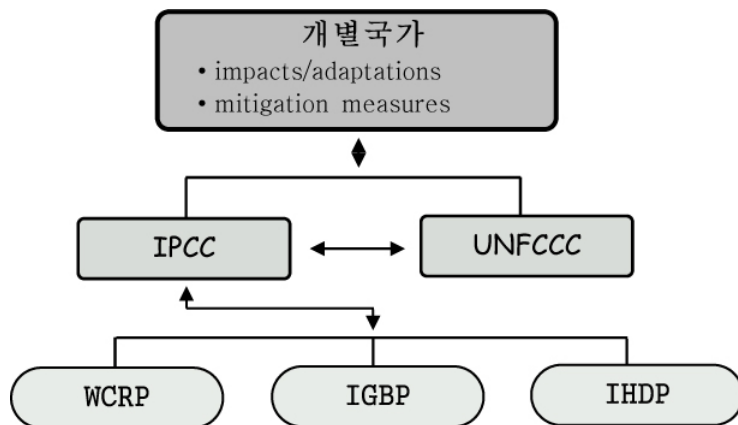
그밖에 해수면의 상승은 해저면에 도달하는 빛의 양 감소를 초래하여 수중식물의 생산성을 감소시킬 것이며, 수심이 깊으면 커지는 해파의 증가, 해수면 상승지역에서 더 빈번히 발생하는 태풍과 홍수의 범람⁸⁾, 갑작스러운 연안 환경의 변화에 대한 부적응에 오는 생태계의 파괴 등을 겪게 될 것이다.

8) Barth와 Titus의 연구(1984)에 의하면 100년에 한두번 홍수를 겪은 지역에서 해수면이 1m 상승한다면 이 지역은 1년에 10년에 한번씩 홍수를 겪게 될 것이라고 밝히고 있다.

제3장 지구 온난화 및 해수면 상승 대응체제

1. 국제 대응 체제

지구 온난화 및 기후변화의 이해 및 적절한 대응을 위해서는 기후시스템의 특성상 국제적인 협력이 필요하다. 다음 그림은 해수면 상승을 포함한 지구온난화의 문제 해결을 위한 국제기구의 체제를 보여주고 있다. 지구온난화 대응을 위한 국제기구들의 최종 결정(기후변화협약)은 기후시스템에 대한 최신의 과학적인 연구 결과에 그 기반을 두고 있다.



〈그림 15〉 지구온난화 대응을 위한 국제기구 체계도

이들 국제기구들은 3단계의 과정을 통하여 국제적인 정책을 수립하고 있으며 그 3단계의 과정은 과학적인 조사, 지구온난화와 관련한 최근 지식의 검토, 국제 정책 수립을 포함한다. 지구온난화와 관련 과학적인 연구를 담당하는 기구로는 세계기후연구프로그램(WCRP : World Climate Research Programme), 국제지권및수권프로그램(IGBP : International Geosphere Biosphere Programme), 지구환경변화에대한국제인간차원프로그램(IHDP : International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change)이 있으며

이들 세 프로그램은 지구온난화 및 기후변화와 관련한 기후변화의 전 과정 즉 과학적인 면, 영향 및 대응방안에 대하여 연구를 실시하고 있다. 기후변화에 관한 정부간 패널인 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 위의 국제연구기관 및 다른 기관들에서 수행된 최신의 연구결과를 종합적으로 수집하여 주기적으로 평가하는 역할을 하며 그 결과를 UN기후변화협약(UNFCCC : United Nations Framework Convention on Climate Change) 및 세계 모든 국가의 정책입안자들에게 제공하여 지구적, 지역적 및 국가적인 정책수립에 기여하고 있다.

1) WCRP

WCRP는 ICSU(International Council for Science)와 WMO(World Meteorological Organization)의 공동 지원 아래 1980년 창설되었으며, 1993년부터 정부간해양위원회(Intergovernmental Oceanographic Commission: IOC)도 참여하고 있다. WCRP의 설립 목적은 기후시스템 예측 능력 향상 및 인간이 기후에 미치는 영향의 정도를 결정하는데 필요한 기후과정과 물리학적 기후시스템에 대한 과학 지식을 향상시키는데 있다. 따라서 WCRP는 지구, 대기, 해양, 해빙과 육지 빙하, 지표와의 통합적인 연구뿐만 아니라 기후시스템의 각 성분에 대한 연구도 수행하고 있다. 기후변화와 관련한 WCRP의 구체적인 연구 분야는 해양의 열수송과 열저장, 전 지구적 에너지와 물 수지, 구름 생성과 복사전달 시스템에 미치는 영향, 빙권이 기후에 미치는 영향 등을 포함하며 이들은 지구기후시스템에 있어 과학적 불확실성이 매우 큰 분야이다. 이와 같은 WCRP의 연구 방향은 국제적 대응 행동을 결정하는 IPCC 및 UNFCCC가 필요로 하는 분야와 맥락을 같이하며, 기후변화협약 당사국회의에서 제기된 연구 추진 과제와도 그 내용이 일치하고 있다.

2) IGBP

IGBP는 ICSU에 의해 1986년에 설립되었다. IGBP의 설립 목적은 지구환경과 인간사회의 균형 잡힌 발전을 위한 과학적 지식을 제공하는 것이다. 과학적 목표는 지구 전체 시스템에 대한 물리, 화학, 생물적 과정을 이해하는 것이다. IGBP는 IHDP, WCRP, DIVERSITAS(생물 다양성에 대한 국제 프로그램)과의 긴밀한 협력을 취하고 있다.

3) IHDP

IHDP는 인간 행위가 지구환경변화에 중대한 영향을 미치며 또한 환경변화가 인류에 미치는 영향이 광범위하다는 인식이 확산된 1990년에 국제사회과학이사회(International Social Science Council: ISSC)가 지구환경에 관한 인간차원의 연구계획(Human Dimensions of Global Environmental Change Programme: HDP)으로서 출범시킨 비정부기구의 연구계획이며, 1996년 IHDP로 국제기구화 되었다. 각국의 IHDP 관련 활동은 국가별 HDP(National Human Dimensions Programme: NHDP)에서 다루어지고 있다. IHDP의 주요 연구 관심사는 인간 활동이 지구환경변화에 어떻게 기여하는가?, 이러한 인간 활동은 왜 취해졌는가?, 지구환경변화가 어떻게 인간생활에 피드백 되는가?, 지구환경변화의 영향 저감 문제에 책임이 있는 사람이 취할 수 있는 행동은 무엇인가? 등으로 나눌 수 있다.

4) IPCC

IPCC는 지구 기후변화 문제의 심각성에 기초하여 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)에 의하여 1988년 창설되었다. IPCC의 역할은 기후변화, 기후변화 영향 및 저감을 위한 최근의 과학적, 기술적, 사회경제적 정보를 평가하는 것이다. IPCC자체는 새로운 연구를 수행하거나 기후 관련 자료를 모니터링하지 않는다. IPCC는 주로 기후변화관련 보고서(IPCC 1차, 2차, 3차, 4차보고서 등) 발간과 관련 WCRP, IGBP, IHDP등의 과학 기술적 문헌을 상세히 검토하는 작업을 수행하고 있다. IPCC는 세 개의 실무그룹(Working Group: WG)과 하나의 특별조사단(Task Force)으로 구성되어 있다. 실무그룹 중 WG I은 기후시스템과 기후변화의 과학적 측면을 평가하며, WG II는 기후변화에 대한 사회경제적 분야 및 자연시스템의 취약성, 기후변화의 긍정적 영향과 부정적 영향, 기후변화에 적응하기 위한 방안에 대한 검토 작업을 수행하고 있으며, 마지막으로 WG III는 온실가스 배출 제한과 다른 기후변화 저감에 대한 방안을 평가한다. 국가온실가스에 대한 특별조사단은 국가온실가스프로그램(National Greenhouse Gas Inventories Programme)을 감시한다. IPCC 최고 의결기구는 회원국들의 대표로 구성된 총회(plenary session)이며, 총회에서는 IPCC 보고서를 수락, 실무그룹의 직무와 작업계획, 보고서의 구조 및 전체 내용, IPCC원칙과 절차, 예산 등을 결정한다. 또한 IPCC의장과 사무국을 선출한다.

5) 해안지역 연구를 위한 도구들

해안지역은 해수면 상승과 기후변화에 대한 적응에 초점을 두고 있으며, 해안을 위한 도구들은 이러한 노력의 일부분이다. 대표적인 해안지역을 위한 도구들을 살펴보면 다음과 같다.

- IPCC 일반적인 방법론
- UNEP 방법론
- 의사결정 지원 모델: 연안지역 모의 모델(COSMO)
- 남태평양 섬들의 방법론(SPIM)
- RamCo과 섬 모델
- 역학적으로 상호작용하는 취약성 평가(DIVA)
- 해안선 관리계획(SMP)

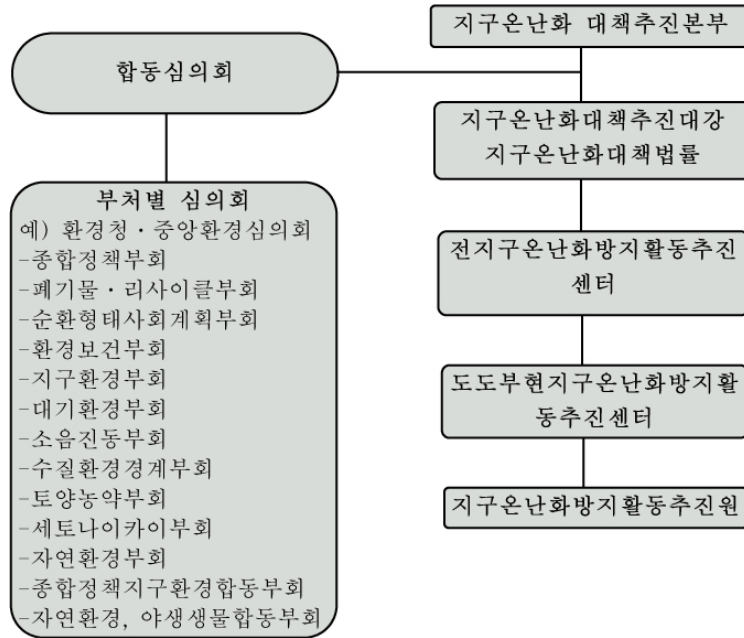
이 도구들은 의사결정을 지원하고 기후변화에 중점을 둔 정성적인 방법, 정량적인 방법들을 포함한다. 네덜란드의 해안 지역 관리센터(Coastal Zone Management Center)는 이와 관련된 다양한 도구들을 기술하고 있다.

2. 주요국가 대응체제

1) 일본

일본은 지구온난화 문제를 해결하기 위하여 자원순환형의 경제 사회를 건설하고, 국민의 이해와 각계 각층의 참여와 협력 및 모든 정책 수단을 동원하여 실질적인 목표가 달성되도록 기본적인 방향을 설정하고 있다. 일본 정부의 지구 온난화대책 추진 체계는 아래 그림과 같다. 일본 정부의 기후변화대책 추진의 주체는 지구온난화대책추진본부이며 위의 추진본부에 의하여 1998년 제정된 지구온난화대책추진대강 및 지구온난화대책추진법률이 그 핵심을 이루고 있다. 일본의 지구온난화 대응체제는 기후협약에서의 의무감축을 실현하기 위한 온실가스 감축에 초점을 맞추고 있으며 해수면 상승을 포함한 지구온난화의 영향에 대처하기 위한 대응체제는 환경성 중심으로 소규모로 활동하고 있다. 해수면 상승을 포함한 기후변화 영향에 대한 평가는 환경성지구온난화문제검토위원회를 중심으로 이루어지며 그 대응 전략 및 정책 수립

은 관련 행정부서를 중심으로 이루어지고 있다. 해수면 상승에 대한 연안역보호에 대한 관련 부서는 현재 일본국토건설성에서 주관하고 있다.



〈그림 16〉 일본의 지구온난화 대응체제(조광우, 2002)

(1) 지구온난화 대응체제

일본 정부는 기후변화협약 및 교토의정서의 원활한 수행과 지구온난화 방지와 관련한 구체적이고 실효성 있는 대책을 종합적으로 추진하기 위하여 내각에 지구온난화대책추진본부를 1997년 설립하였다. 추진본부의 구성은 내각총리대신을 본부장으로 하며, 부분부장은 내각관방장관, 환경청장관, 통산산업대신 3인이 맡고 있다.

지구온난화대책추진본부의 주요업무는 교토의정서상의 온실가스 의무감축 준수를 위한 이행방안 마련, 지구온난화 대책의 종합적 계획수립 및 추진, 온실가스 억제대책 추진, 산림 등 이산화탄소 흡수원 대책 추진, 환경·에너지부분 기술의 연구개발 강화, 국제 협력의 추진 등을 포함하고 있다. 위와 같은 지구온난화와 관련한 포괄적인 업무를 효율적이며 체계적으로 추진하기 위하여 추진본부는 1998년 지구온난화대책추진대강 및 지구온난화대책추진법률을 제정하였으며, 동 대강 및 법률에 의거 기후변화협약 대응을 해오고 있다. 추진본부에 의하여 제정된 지구온난화대책추진대강 및 지구온난화대책추진법률에 의한 일본 정부의 지구온난화

대책의 기본 방향은 에너지 효율 향상과 신재생에너지 도입 그리고 안전성 높은 원자력발전소 입지 확보 등을 중심으로 온실가스배출감축 대책을 추진하는 것을 골자로 하고 있으며, 지구 온난화 대책의 실효를 거두기 위해 정부의 출선수범, 섬머타임제와 같은 환경친화적 생활양식의 확립, 배출권거래, 공동이행, 청정개발체제 등의 교토메커니즘을 활용하고 개도국의 지구온난화대응 능력 강화 등을 포함하고 있다.

(2) 영향평가 대응체제

일본에서 해수면 상승을 포함한 지구온난화가 일본에 미치는 영향을 평가하기 위하여 일본 환경성은 1988년부터 전문가에 의한 「환경성지구온난화문제검토위원회」를 구성하였다. 1991년 산하에 「영향평가분과위원회」가 구성되어 일본의 기후변화 영향평가 연구가 「The Potential Impacts of Climate Change in Japan」(일본국립환경연구소 지구환경연구센터 출판, 1993)으로 출판되었다. 이 평가서는 일본 국내 및 해외에 보급되어 기후변화가 일본에 미치는 영향 및 향후 필요한 연구에 대한 정보를 연구자들 및 정책결정자들에게 소개함으로써 지구환경연구에 대한 예산 증가와 더불어 일본의 기후변화 영향 평가 연구를 학계를 중심으로 활발히 하는 계기가 되었다. 그 후 제2차 영향평가는 1995년 12월 환경청 지구온난화문제 검토위원회 산하에 지구온난화영향평가 워킹그룹을 설립하여 1차 평가 이후의 각 분야의 연구 결과를 요약 정리하였으며 향후 필요한 연구 내용을 정리하였다. 그 결과는 1998년 「Global Warming-The Potential Impact on Japan」(일본환경청, 국립환경연구소) 단행본으로 출판되었다. 제 3차 평가는 1차 및 2차 평가와 유사한 체제 하에서 평가 완료되어 2001년 3월 발간되었다. 연구결과 중 해안지역과 관련된 내용은 다음과 같다. 먼저, 자연생태계에 대한 영향(습지에 대한 영향)을 평가하였으며, 다음으로 수문·수자원 및 수 환경에 미치는 영향(연안·해양 환경), 마지막으로 사회기반시설 및 사회·경제 시스템에 미치는 영향(연안역, 거주지, 사회기반시설, 산업활동의 현상과 문제점 및 취약성)에 관한 연구를 수행하였다.

일본의 영향평가 결과는 학계, 행정부, 일반에게 주기적으로 제공되고 있다. 학계에서는 향후 영향 평가의 방향 및 연구 내용을 검토하여 영향평가 관련 연구를 지속적으로 수행하며 정부는 부서별로 대응 전략 및 정책을 개발하는 역할을 하고 있다.

해수면 상승에 대한 국토 보존과 관련하여 일본에서는 국토건설성에서 대응 전략 및 정책을 수립하고 있다. 일반 국민에게로의 정보 전달은 지역별로 구성되어 있는 지구온난화방지추진

원 및 지역주민에게 전문가에 의한 정보 전달 형식으로 이루어지고 있다.

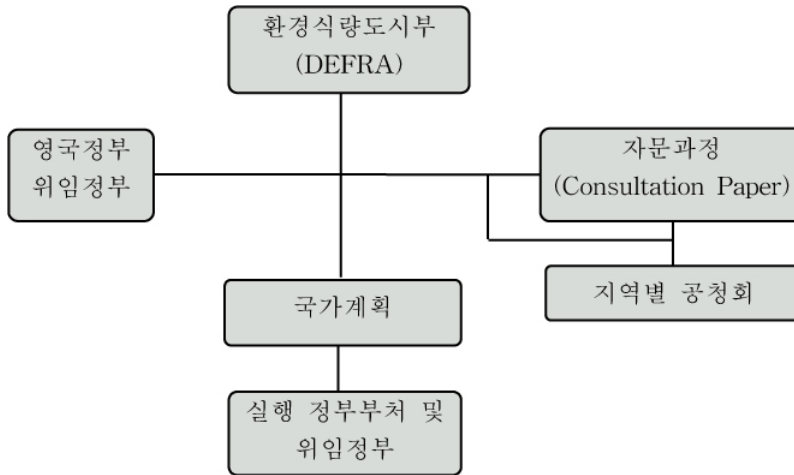
2) 영국

(1) 지구온난화 대응체제

영국의 지구온난화 대응은 영국기후변화프로그램(UK's Climate Change Programme)에 기초하고 있다. 이 국가계획은 영국 정부의 총괄적 주관 하에 지속적인 재검토와 정책 이행평가가 이루어지고 있다. 영국정부의 기후변화 대응체제는 환경식량도시부(Department for Environment, Food and Rural Affairs : DEFRA)의 책임 하에 영국 정부와 위임 정부가 참여하는 체제를 가지고 있다. 영국 기후계획의 수립은 DEFRA 중심으로 초안을 작성하고 다양한 이해당사자들로부터 광범위한 의견 수렴 과정을 거치는 것이 큰 특징이라 하겠다. 최종 수립된 국가계획은 DEFRA를 포함한 정부의 관련 부처들을 중심으로 이행되는 과정을 거치고 있다.

DEFRA는 구 환경교통지역부 및 농업수산물식품부가 통합되어 만들어진 부처로서 기존의 부처들에 분산되어 있었던 기후변화관련 프로젝트들을 통하여 주관하고 있다. 기후변화관련 국가 계획에 많이 관여하고 있는 DEFRA의 환경보호국은 에너지환경폐기물부, 환경·위험 및 대기부, 환경보호전략부, 수질 및 토양부가 있으며 각 부에는 주요업무별 팀으로 구성되어 있다. 환경식량도시부의 주요업무 및 대응분야에서 제외된 국가기후변화프로그램 정책관리 및 수립의 협력기관으로는 교통, 지자체, 지역부, 무역산업부, 재무부, 외무부, 임업위원회, 국제개발부 등이 있다. 각 협력부는 1명의 Green Minister를 위임하여 각 부처별 국가기후변화프로그램 및 기후변화관련 대책 프로그램의 운영을 관리한다.

영국의 국가기후변화 종합계획 수립 시 환경식량지역부의 책임하에 다른 정부 부처들과 협력을 통하여 매우 폭넓은 자문과정을 거치고 있다. 주요 자문 방식은 국가기후변화프로그램의 수립 시 10,000부 이상의 국가기후변화프로그램 초안을 정부 부처, 학계 및 연구소, 산업계, 지자체, NGO, 일반 대중 등 모든 이해 당사자에게 배포하여 다양한 의견을 수렴하는 형태를 띠고 있다. 수립된 국가계획은 지역별 공청회의 과정을 거치고 있다. 지역별 공청회는 각 지역의 이익과 대중교육, 전파 그리고 지역사회에 맞는 국가 정책 개발 및 대안 제시를 목적으로 하고 있다.



〈그림 17〉 영국의 지구온난화 대응체제

(2) 영향평가 대응체제

1997년 영국 정부는 해수면 상승을 포함한 지구온난화에 따른 기후변화 영향을 평가하고 가능한 적응 전략 수립을 위한 조정기구인 영국기후영향프로그램(UKCIP: UK Climate Impacts Programme)을 UKCCP 활동의 일부로서 설립하였다.

UKCIP의 주요 특징을 살펴보면 과학과 정책결정자 사이의 직접적인 연결을 통하여 연구 결과가 국가, 지방 및 지역 단계에서 필요한 정책으로 활용되고 연구가 수요자 중심으로 제공 되도록 하고 있다. 또한 기후변화 영향평가에 대한 이해당사자와의 새로운 파트너십을 형성하도록 하고 있다. UKCIP는 DEFRA에 의하여 주관하며 주요 정부 부서, 공공 기관, 국민 개인 및 NGO의 대표들로 구성된 조정위원회(Steering Committee)의 자문을 받는다. 과학자문패널(Science Advisory Panel)은 UKCIP의 통합을 감독하며, 이용자 패널은(User Panel)은 각종 기관이 기후변화 영향에 대하여 UKCIP와 상호 작업을 할 수 있도록 하고 있다.

UKCIP는 영국 Hadley Centre 지구 기후모델 결과에 의한 영국기후변화시나리오를 영향평가를 위한 기본도구로 제시하고 있다. 이 기후시나리오는 모든 UKCIP 영향평가 연구에 사용되어 왔으나, 대부분의 영향평가는 공간분해능이 더 높은 자료를 필요로 하는 이유로 2002년부터 Hadley Centre에서 개발한 지역기후모델 자료를 제공하고 있다. 여기에 더해 영국의 사회경제시나리오, 기후변화 영향 비용 계산 방법론, 정책결정자들이 기후변화 범주에서 정책결정시 위험 및 불확실성을 다루는 지침 등을 제공하고 있다.

영국은 세 개의 위원회 즉 자연환경연구위원회(NERC: National Environment Research Council), 경제사회연구위원회(ESRC: Economic and Social Research Council) 및 공학및물리과학위원회(EPSRC: Engineering and Physical Sciences Council)로 구성된 Tyndall Centre를 2000년 10월 발족시켰다. 이 센터는 온실가스 감축 및 기후변화 영향에 적응하는 전략 연구와 기후변화 문제를 자국의 지속발전과 연계시키는 문제에 초점을 맞추고 있다. 연구 인력은 경제학자, 환경과학자, 사회과학자 및 공학자 등 다양한 인력으로 구성되어 기후변화관련 종합 연구를 수행하고 있으며 연구자, 재계지도자, 정책자문가, 언론 및 일반 대중과 공동으로 작업을 수행하고 있다.

틴달센터의 연구 주제는 기후변화연구 통합체제 구성(Integrating Frameworks- a system approach), 현 사회의 감축방안 평가(Decarbonizing Modern Societies- a target approach), 기후변화 적응전략 연구(Adapting to Climate Change- a questions approach) 및 연안역 보호 연구(Sustaining the Coastal Zone- a place-based approach) 등 크게 네 가지를 포함하고 있다. 기후변화연구 통합체제 구성에 관한 연구는 기후변화 관련 정책 결정에 필요한 모든 분야(기후시스템의 물리적 및 사회경제적 요소)의 정보를 통합하여 정책 선택에 따라 미래의 사회, 경제 기후 여건에 어떤 영향을 줄 것인가에 대하여 연구를 수행하며, 온실가스 감축 방안에 관한 연구 분야에서는 온실가스 감축 방안에 대한 연구 및 평가를 실시한다. 이 분야에서는 특정 배출시나리오의 실현가능성, 유효성, 효율 및 의미를 조사하기 위하여 공학적인 접근과 사회과학적인 접근을 종합하여 실시하고 있다.

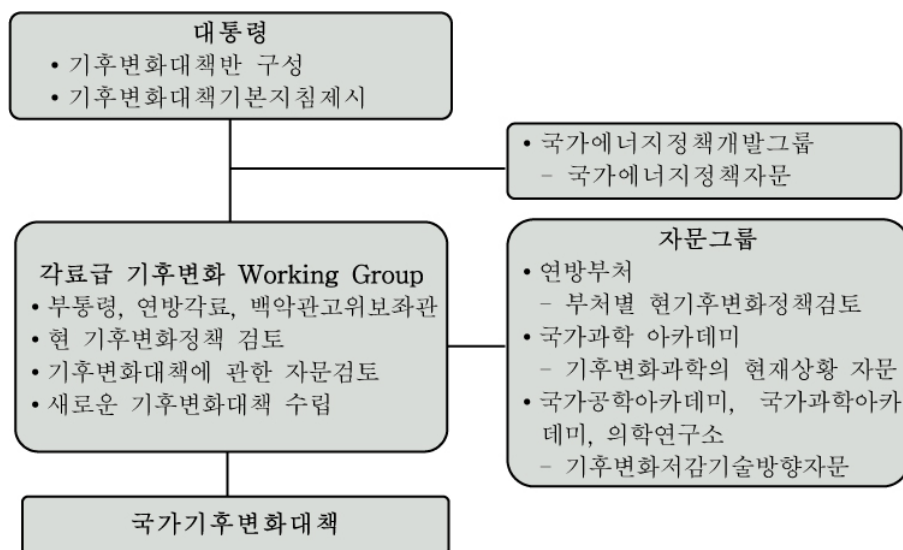
기후변화 적응 전략에 관한 연구는 회피할 수 없는 미래의 기후변화 및 과거의 경험에 의한 기후변화에 대한 영향에 대하여 적응하는 방안을 모색하며 기후변화는 사회의 여러 부분에서 다른 영향을 줄 수 있기 때문에 기후변화 영향의 정의와 평등차원의 문제도 함께 고려하며, 연안역 보호에 관한 연구 분야는 영국도 한국과 같이 연안역을 중심으로 각종 인프라가 집중되어 있어 연안역은 중요한 지역이라는 인식 하에 기후 변화와 관련된 연안역의 각종 과정에 대한 이해 증진 및 영향에 대한 적응방안을 연구한다.

3) 미국

(1) 지구온난화 대응체제

미국의 기후변화대책 추진체제는 행정부에 따라 다르며 클린턴 행정부 시기에는 국가 전체

적인 체계는 존재하지 않고 다만 백악관 내에 Task force가 존재하였다. 부시 행정부가 들어서면서 기후변화협약에 대한 국제적인 이행 압력이 가중됨에 따라 행정부를 중심으로 적극적으로 대처하고 있다. 부시 행정부는 각료급 기후변화 working group(Cabinet-level climate change working group)을 중심으로 하는 새로운 미국 기후변화대응체제를 구성하였다. Working group의 연안역에 대한 연구에서는 해수면 상승과 관련된 다양한 연구들이 수행되고 있다. 특히, 해안지역, 해양 생태계, 해양 수산업에 대해서 기후변화가 미칠 수 있는 영향 등을 세분하여 연구하고 있다.



〈그림 18〉 미국의 지구온난화 대응체제

각료급기후변화 Working Group은 부시 대통령에 의하여 설립되었으며 위원은 부통령, 연방정부각료(국무장관, 환경장관, 에너지장관, 농업장관 등) 및 백악관 고위보좌관들로 구성되었다. 이 Working Group은 각 연방정부 부처, 국가과학아카데미, 국가공학아카데미, 의학연구소, 국가에너지정책개발그룹 등 다양한 그룹으로부터 자문을 받고 있다. 기후변화 관련 기존 정책에 대한 검토 대상으로는 연방정부, 주정부 및 지방정부, 산업계 및 NGO를 포함하여 검토분야로는 전기, 수송, 산업분야, 건물, 농림, 연방정부 및 국가에너지 정책 등을 포함하고 있다. 위의 검토는 관련 각종보고서 검토 및 관련 연방 부서의 협조를 통하여 이루어지고 있다. 검토 결과 현재 미국은 온실가스 감축을 위한 다양한 전략을 추구하고 있는 것으로 파악하

였다. 그 주 내용으로는 에너지 효율 및 재생에너지 사용을 증대시키는 자발적인 파트너십 프로그램, 연구개발 투자 및 세금지원, 제품효율의 허용 최소기준 설정, 건물 및 수송부분에서 온실가스 감축프로그램을 포함하고 있다.

(2) 영향평가 대응체제

미국의 기후변화 영향평가 대응체제는 기후변화 대응체제와는 별도로 운영되고 있는 것으로 알려져 있다. 미국은 지구온난화를 포함한 기후변화가 자국에 미칠 영향에 대하여 USGCRP(US Global Change Research Program)을 중심으로 다양한 연구 기관 및 정부 부처에 의하여 산발적으로 수행해 왔다. 그러나 기후변화에 대한 영향 평가는 국가적 통합 관리 및 조정이 필요하다는 인식이 증가함에 따라 다양한 의견 수렴과정을 거친 후 미국영향평가프로그램(USNS: US National Assessment)을 USGCRP 주요 업무로서 1997년부터 발족시켰다. USNS의 설치 근거는 1990년 제정된 기후변화연구법(Global Change Research Act: GCRA)에 명시된 USGCRP의 연구 역할, 즉 기후변화 연구의 통합, 지구환경변화가 인간 및 자연 환경에 미치는 영향 분석 등에 기초 하고 있다. USNS 활동을 통하여 미국은 기후변화에 대한 미국의 향후 영향을 적절히 대처할 국가전략 수립 및 IPCC에 제공할 국가보고서로 활용하고 있다. USNS활동 방식은 기본적으로 지구환경 변화와 관련한 다양한 이해당사자(연방정부, 산업계, 노동계, 학계, 비영리기관, 일반대중 등)가 참여토록 하고 있으며, 영향평가는 과학자들과 이해당사자들과의 공동 작업을 통하여 수행되며 기후변화에 대처할 정보를 각계각층의 이해당사자들에게 제공하고 있다.

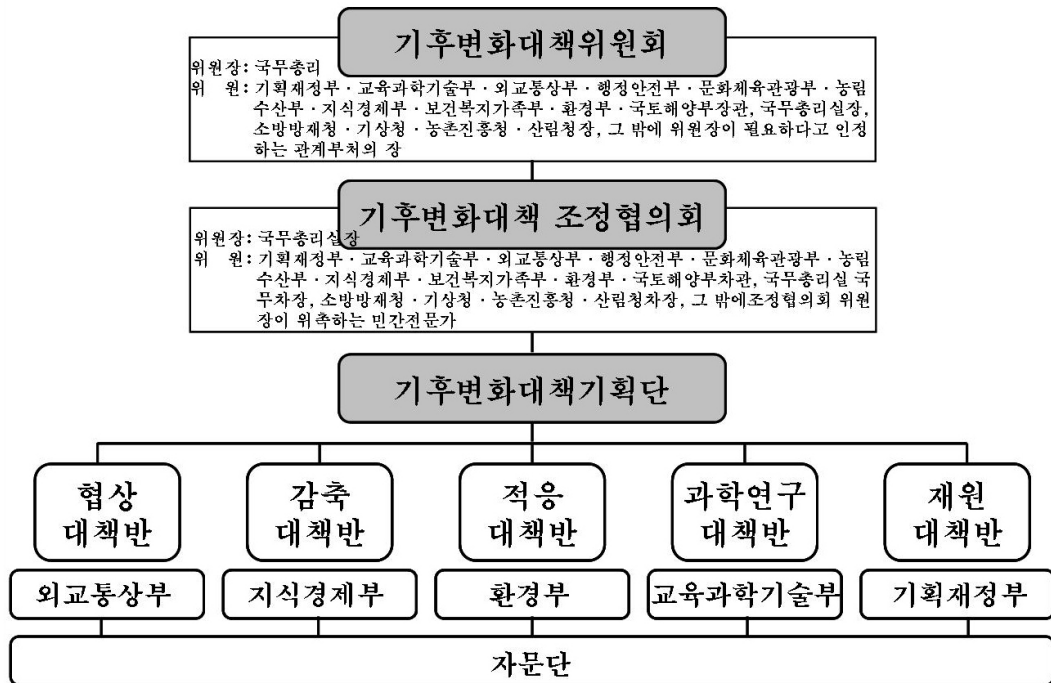
3. 우리나라 대응체제

1) 지구온난화 대응체제

1992년 기후변화협약이 채택된 이래 우리나라 정부는 기후변화협약에 효율적 대응을 위하여 1992년 8월 “지구환경관계장관대책회의”를 최초로 설치하였다. 지구환경장관대책회의는 1992년 리우회의 직후 “의제21”등에서 규정한 지구환경문제 즉 기후변화협약은 물론 교육, 여성, 빈곤, 보건 등이 전반적인 국가 정책과 연관되고 장기적으로는 무역규제와 에너지 사용,

생산 공정 등 국내 산업정책에 대한 규제로 발전 될 것으로 예상됨에 따라 이에 대한 합동 대책의 수립·추진 및 지구환경관련 주요 시책의 협의·조정을 위하여 1992년 8월 설치되었다. 그러나 지구환경관계장관대책회의는 1995년 6월 그 기능이 중단되었으며, 1996년 6월 정부의 위원회 축소 방침에 따라 폐지되었다. 그 후 1997년 12월 일본 교토에서 개최된 기후변화 협약 제3차 당사국 총회에서 선진 38개국의 온실가스 감축의무 부담을 결정한 교토의정서가 채택되고 우리나라를 포함한 선발개발도상국에 대한 선진국들의 자발적인 온실가스 감축 참여 압력이 가중되기 시작하였다. 이에 따라 1998년 1월 대외경제조정위원회는 기후변화협약에 대한 범정부 차원의 적극적인 대응방안 마련을 위하여 관계부처, 학계·산업계·연구기관 등이 참여하는 범정부대책기구 구성을 결정하였고, 이에 따라 관계부처의 조율을 거쳐 1998년 4월 기후변화협약 범정부대책기구가 설치되었다. 이후 2001년 9월에는 3단계 의사결정체계를 갖춘 기후변화협약대책위원회가 설치되었다.

우리나라에서 기후변화협약 대응을 위하여 구성된 정부의 대응 체계, 즉 1992년의 지구환경 관계장관회의 및 1998년의 기후변화협약 범정부대책기구는 모두 정부 부처간 협의체 형태의 대응체제로서 구성되었다. 우리정부는 협의체 대책기구를 통하여 기후변화협약에 대한 국내외 대책 수립 및 수립된 대책의 일관성 있는 추진을 그 목적으로 하고 있다. 협의체를 통한 기후변화협약 대응을 위한 대책 수립은 bottom-up 과정을 보이고 있다. 즉 관련 부처별로 기후변화 관련 담당자들이 주변의 기후변화 관련 전문가의 자문을 참조로 해당 부처의 대책을 수립하여 추진본부에 제출하고 추진본부에서는 관련 부처별로 제시된 대책 안을 취합하여 전문가로 구성된 자문단에 의한 자문 및 실무조정회의에서 협의 조정하는 과정을 취하고 있다. 조정된 대책 안은 실무위원회 및 위원회를 통하여 국내 대책으로 최종 결정되나 후자의 과정들은 일종의 형식적인 측면이 강하였다. 이상의 과정에서 알 수 있듯이 2001년 설치된 기후변화협약대책위원회 이전의 우리나라 기후변화협약 대응체제는 대응체제 자체가 기후변화 및 기후변화협약 대응을 위한 구체적인 대책을 수립하는 체제라기보다는 부서별로 수립된 대책을 종합적으로 조정 및 협의의 기능만을 담당하는 체제로 작동하고 있었다. 이에 정부는 2008년 5월 부처별 업무 중심으로 구분되어 있던 6개 실무대책반을 UN의 기후변화 논의 구조에 상응하도록 5개의 실무대책반(협상대책반, 감축대책반, 적응대책반, 과학연구개발반, 재원대책반)으로 개편하였다.



〈그림 19〉 기후변화협약 범정부대책기구

2) 영향평가 대응체제

우리나라는 해수면 상승을 포함한 지구온난화로 인한 기후변화의 영향을 종합적으로 전담하는 대응체제는 갖추고 있지 못하다. 다만 기후변화협약 대응 체제하에서 정부 부처별 담당 업무를 나누어 대응하는 체제를 가지고 있다. 기후변화협약 대응체제 안에서 기후변화영향에 대한 문제는 주기적(3년)으로 부서별 계획을 수립하고 그 계획을 종합하여 기후변화협약 종합대책을 발표하는 체제로 운영되고 있다. 해수면 상승과 관련한 정부 대책은 과거 해양수산부를 중심으로 이루어지고 있었다. 각 부처에는 기후변화와 관련 업무를 담당하는 공무원이 1-2명 정도 있으나 이들이 기후변화 업무만을 담당하는 것이 아니라 일반적으로 다양한 국제협약 관련 업무를 담당하고 있다. 또한 이들은 주기적으로 자리를 옮김으로 인해서 전문적인 지식 축적이 요구되는 기후변화 업무를 감당하기에는 매우 부족한 것으로 생각된다. 이로 인하여 부서별 종합대책은 진지하게 이루어지기보다는 주위의 전문가의 단편적 자문을 통하여 이루어지고 있다. 이러한 관점에서 우리나라의 영향평가 대응체제는 외국의 사례와 비교하여 대응

체제의 합리적인 구성은 고사하고 체제 작동 면에서도 매우 취약한 실정으로 평가된다. 따라서 우리나라는 해수면 상승 영향에만 취약한 것이 아니라 이를 다루는 대응체제 역시 매우 취약한 것으로 판단된다.

주요 영향평가 분야와 관련한 부처의 연구 활동 상황을 살펴보면 기상청을 중심으로 지구온난화 및 기후변화 예측 문제를 다루고 있으며 환경부, 국토해양부 등을 포함한 정부 부처를 중심으로 관련 분야별 영향 평가를 수행하고 있다.

제4장 해수면 상승이 서해안에서 해안선의 변화와 연안역에 미치는 영향

1. 위성영상을 이용한 토지피복도 제작

Landsat 위성영상 한scene으로는 충남 연안역 전체를 관찰할 수 없으므로, 충남 연안역을 관찰할 수 있는 Landsat 영상 중 path/row가 116-35, 116-34 두 scene을 mosaic 처리 후 감독 분류를 실시하였다. 두 개의 영상의 주사일은 2004년 6월 3일로 동일한 날짜에 촬영한 영상이다. Landsat 5호 영상을 감독분류 기법을 이용하여 연구지역의 토지피복을 water, forest, paddy, urban, marsh, dryfield, bareland 등 총 7개의 class로 분류하였다.

〈표 8〉 감독분류에 의한 2004년 6월 3일 영상의 토지피복분류 결과

| Class | Code | Pixels | 면적(km ²) |
|----------|------|-----------|----------------------|
| water | 1 | 151,121 | 136.0 |
| forest | 2 | 2,260,958 | 2,034.9 |
| paddy | 3 | 869,616 | 782.7 |
| urban | 4 | 574,388 | 516.9 |
| marsh | 5 | 145,246 | 130.7 |
| dryland | 6 | 1,457,266 | 1,311.5 |
| bareland | 7 | 84,568 | 76.1 |
| Total | - | 5,543,163 | 4,988.8 |

분류된 영상이 얼마나 정확도를 가지고 있는지를 측정하는 방법으로는 훈련지역(Training Site)을 이용하여 분류의 정확도를 추정하는 방법과 집단간의 분리도를 보는 방법 등이 있다.

일반적으로 각 분류클래스의 정확도를 알기 위해 검증자료로 사용할 픽셀의 개수를 결정하는 것은 간단한 일이 아니다. 대부분의 연구에서는 이항분포(binomial distribution)를 가정한 방정식을 사용하기도 한다. Fitzpatrick-Lins(1981)는 다음과 같은 식을 검증자료의 픽셀 수 결

정을 위해 제안하였다.

$$N = \frac{Z^2(p)(q)}{E^2} \quad (\text{식 - 4})$$

p : expected percent accuracy, q = 100 - p

E : allowable error, Z = 2

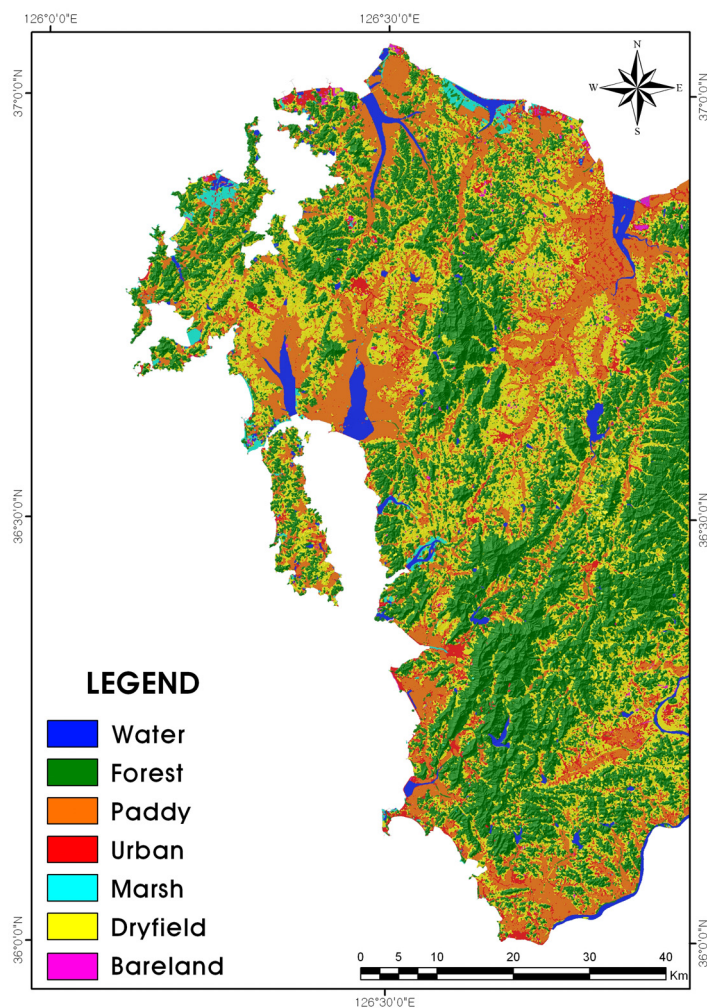
〈표 9〉 분류정확도 검정

| class | Code | Pixels | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------|------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| water | 1 | 13,193 | 99.26 | 0.09 | 0.64 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| forest | 2 | 7,243 | 0.00 | 98.91 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.09 | 0.00 | 0.00 |
| paddy | 3 | 2,885 | 0.00 | 0.00 | 99.55 | 0.31 | 0.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| urban | 4 | 2,332 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 90.18 | 2.10 | 5.83 | 1.89 | 0.00 |
| marsh | 5 | 1,536 | 0.00 | 0.13 | 0.00 | 8.40 | 89.71 | 1.76 | 0.00 | 0.00 |
| dryfield | 6 | 214 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.94 | 0.47 | 85.98 | 5.61 | 0.00 |
| bareland | 7 | 734 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.54 | 0.00 | 10.63 | 88.83 | 0.00 |
| noclass | 8 | 564,810 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| Average accuracy | | | 94.05 | | | | | | | |
| Overall accuracy | | | 99.88 | | | | | | | |
| KAPPA COEFFICIENT | | | 0.99883 | | | | | | | |

일반적으로 표본 추출은 통계적 신뢰성을 유지하기 위해 무작위적(random)으로 추출하게 된다. Congalton(1988)에 의하면 단순무작위 추출법(simple random sampling)은 표본의 수가 충분히 크기만 하면 결과를 적절히 표현한다는 사실을 알아냈다. 그러나 이 방법의 단점은 특정 클래스의 표본 수가 작아질 수 있다는 것이고 이는 분류 오차행렬의 결과에 영향을 미칠 수가 있다. 그리고 지표피복의 변화가 심한 지역은 체계적 추출법(systematic sampling)과 분류계층별 체계적 추출법(stratified systematic unaligned sampling)의 사용도 적절하나, 지표 피복의 변화가 심하지 않은 경우 정확도가 과장되어 나타나므로 사용에 주의를 기해야 한다. 현재 가장 많이 쓰이는 방법은 분류계층별 무작위 추출법(stratified random sampling)이다.

이 방법은 각 분류 클래스의 수를 충분히 획득 할 수 있으며 타당한 분류 오차행렬(error matrix)을 만드는 것으로 인정되었다(Congalton, 1991). 본 연구에서는 이 방법을 이용해서 분류정확도의 시기별 변화가 크지 않다는 가정 하에, 각 지표피복 클래스의 조합에 대한 변화탐지 정확도를 평가하였다.

훈련지역은 얼마나 지표특성을 잘 나타내고, 분광특성이 균일한가가 중요하며, 영상전체에 걸쳐 골고루 분포하여야 한다. 본 연구에서는 1:25,000 수치지형도를 이용하여 분류 정확도를 검증하였다.



〈그림 20〉 Landsat TM 영상을 이용한 충남연안역의 토지피복도
(2004년 6월 3일 촬영)

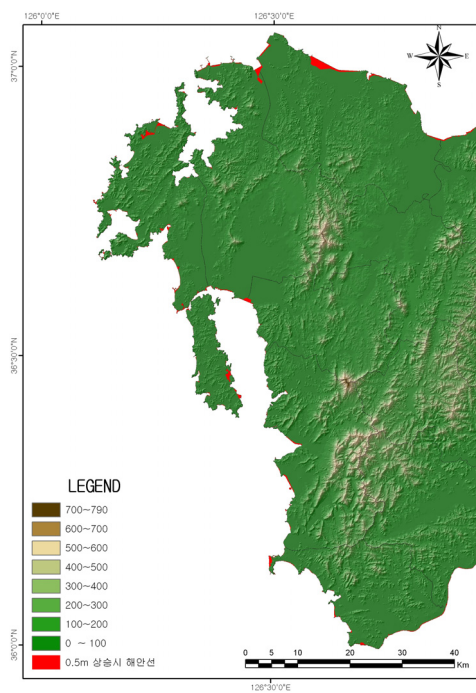
2. 해수면 상승시나리오별 해안선 후퇴양상

본 연구에서는 기존의 IPCC에서 예측하고 있는 해수면 상승치에 충남 서해연안역의 조차를 감안하여 최대 5m까지의 해수면 상승 영향 범위를 산출 하였다. 제1장에서 언급하였지만, 충남 연안의 최대 조차는 평균 8.5m정도로 나타나고 있으며, 최대 조위 또한 대부분의 검조소에서 7m이상 나타나는 것으로 알려져 있다. 충남 연안에 위치한 검조소의 평균해면하는 서천 마량리가 355cm으로 가장 낮고, 당진 한진리가 482cm로 가장 높으며, 평균은 387cm로 나타났다. 기존 해수면 상승예측치중 최고값인 124cm(Wigley & Raper(1993))를 감안해, 5m까지의 해수면 상승시나리오를 작성하였다.

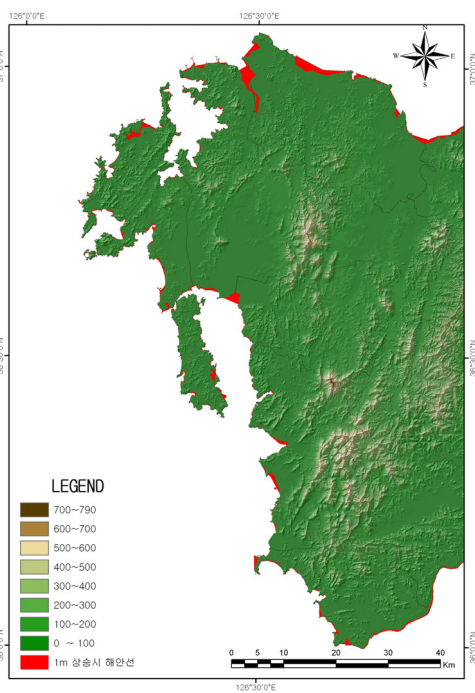
본 연구지역 해안의 경우 해수면이 0.5m 상승할 경우 해안선의 총연장은 761.15km에서 717.49km로 줄어들며, 1m 상승할 경우 해안선의 총연장은 777.95km로 증가되며, 3m 상승시 936.04km, 5m 상승시 253.97km증가된 1,015.12km로 나타났다.

그림 21을 보면 해수면이 0.5m 상승 시 연구지역내 간석지 전 지역의 침수가 예상되어지고 있는데, 이로 인한 사회·경제·환경적인 손실이 매우 클 것으로 추정된다. 간석지는 생태계의 유지를 위한 공간, 바다의 정화를 위한 공간, 사회·경제활동의 공간으로 해안역 중에서 매우 중요한 부분을 차지하는 공간이다. 따라서 간석지의 감소는 생태계의 파괴, 어민의 생활터전 상실, 해양오염 등을 야기 시키는 원인이 되는 것이다. 간석지의 침수는 양식, 수산물채취 작업을 위한 공간의 상실로 인한 경제적 기반의 축소뿐 만 아니라, 휴식공간(resort)의 상실을 의미한다. 몽산포, 연포, 대천, 준장대 해수욕장 등의 휴양지와 태안군 해안 일대가 상실될 것이며, 이는 충남 해안 일대의 휴식기능을 갖춘 전 지역의 침수를 의미한다. 사빈이 침수된 주변 지역의 경제는 휴양지 기능의 상실로 인하여 많은 영향을 받을 것이며, 또 1차적 침수로 인하여 2차적인 침식이 발생할 경우 사빈에 인접해 위치한 건물은 침수와 침식 의 위협에서 방심할 수 없는 범위에 놓이게 될 것이다. 특히 대천해안 일대나 서산해안 주변이 침식에 대한 피해가 클 것으로 생각⁹⁾되며 이에 대한 적절한 조치가 필요하리라 본다.

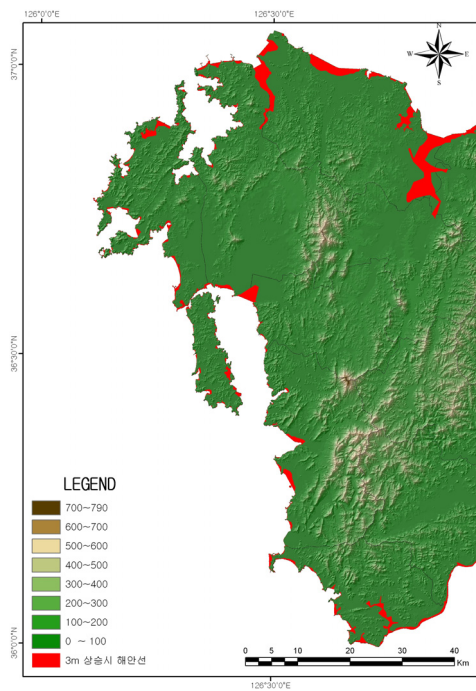
9) 암반이 노출 되거나 자갈로 이루어진 해안 지역보다 사질입자나 이토로 이루어진 해안지역이 보다 먼 거리로 운반되기 때문에, 사빈이나 간석지의 발달이 두드러진 곳의 피해가 더 클 것으로 예상된다.



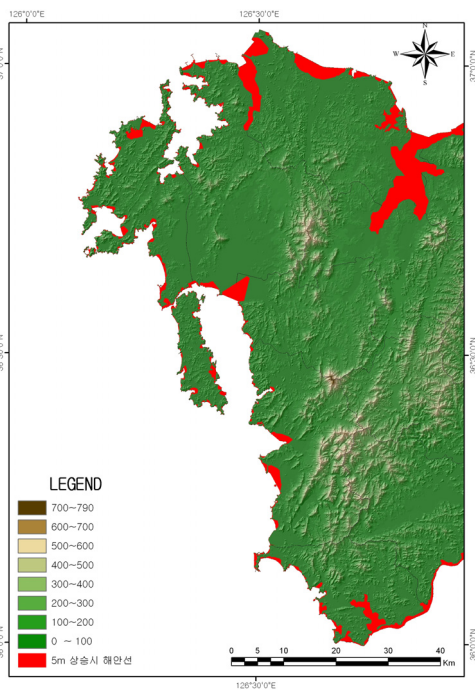
〈그림 21〉 0.5m 상승시 해안선



〈그림 22〉 1m 상승시 해안선



〈그림 23〉 3m 상승시 해안선



〈그림 24〉 5m 상승시 해안선

〈표 10〉 해수면 상승에 따른 해안선 변화 양상

(단위 : km)

| | 현 해안선 | 0.5m | 1m | 3m | 5m |
|----|---------------|---------------------|--------------------|----------------------|------------------------|
| 길이 | 761.15 (-) | 717.49 (▽ 43.66) | 777.95 (△ 16.8) | 936.04 (△ 174.89) | 1,015.12 (△ 253.97) |

3. 해수면 상승에 따른 침식취약지 및 침수취약지

1) 침식취약지

충청남도의 전 해안을 따라서 파랑의 침식을 직접 받는 지역의 헤드랜드 전면의 중심에는 해식애와 파식대가 나타난다. 파식대는 절애의 후퇴에 따라 성장하는 것이 일반적이므로 해식애와 파식대는 서로 밀접한 관련 하에서 발달한다. 해안지방의 산지 또는 구릉지의 사면경사가 완만하여 비교적 넓은 파식대가 형성될 수 있는데다가 간조시에는 전체적으로 수면상에 노출되기 때문에 그 발달상황은 인상적이다.

아산만의 한진리, 태안군의 안면도 둔두리, 보령의 신흥동, 웅천의 관당리 등지에서 행하여진 연구에 따르면, 충남의 파식대 생성·발달과정에 있어서의 주된 해성침식작용은 파랑에 의한 취거작용 및 마식작용에 의해 수행되는 것으로 보인다.

기반암의 풍화, 조밀한 절리의 발달, 취거침식에 약한 암석의 분포, 풍부한 마식력 등은 일상시의 낮은 파랑에너지에 의해서도 취거작용과 마식작용이 일어날 수 있게 하는 요인이 된다. 그러나 충남해안 지역에 있어서 절애의 후퇴와 파식대의 확장은 주로 태풍 등의 기상이변시에 출현하는 거파의 취거작용과 마식작용에 의하여 행해지는 것으로, 일단 확대된 파식대의 이차적·수직적인 침식·저하과정에 있어서도 파랑의 취거작용과 마식작용이 가장 큰 역할을 하는 것으로 보인다. 파식대의 형태는 큰 조차로 인하여 파식의 침식력이 특정한 부위에 집중되지 않고 고조위면에서 저저위면에 이르기까지 고르게 분산되며, 탁월한 취거 및 마식작용의 효과 등에 기인하여 일반적으로 고조위면에서 저저위면에 이르기까지 거의 직선적으로 완경사하는 조간대형의 파식대에 속한다. 고조위면 고도이상의 절애면의 후퇴과정과 대기에 노출되는 시간이 비교적 긴 상위 파식대면의 이차적인 침식·저하 과정에 있어서는 수면층 풍화작

용과 관련된 제 침식·풍화작용의 역할도 큰 것으로 보인다.

태안반도 일대 파식대의 발달과정에 대해서는 현재와 비슷하였던 지난 간빙기의 해수면 하에서 생성되었던 파식대면이 후빙기의 해수면 상승 이후에 거의 그대로 었다는 견해도 있다. 만리포와 안면도 일대의 해안에서는 현 해수면과 거의 비슷한 고도에서 지난 간빙기의 것으로 추정되는 사빈층과 파식대가 발견된다는 보고도 있다. 우리나라 서해안 일대에 널리 나타나는 대규모의 파식대는 현재와 비슷하였던 구해수면하의 해성침식도 고려되어야 할 것이다. 그러나 이들 고파식대의 잔편(殘片)은 파랑의 침식이 미약한 만입지를 중심으로 극히 단편적으로만 분포할 뿐, 곳의 전면에서는 전부 현재의 해수면하의 침식에 의하여 소멸되었다. 이와 더불어 충남 해안에 발달되어 있는 파식대면들의 고도와 절애~파식대의 점점고도들은 거의 일치한다. 이는 본 지역의 파식대들이 지난 간빙기의 파식대를 그대로 이어서 발달하였다 하더라도 현해수면과 관련된 재침식 과정이 충분히 적용된 지형임을 의미한다.

충남해안에 있어서, 최후빙기 이래 해수면이 현재의 위치에 도달한 짧은 기간 동안의 침식에도 현재의 해수면에 잘 적응된 넓은 파식대가 발달할 수 있었던 것은 환경사의 구릉능선이 바다 쪽으로 계속되며, 배후산지의 고도가 낮으므로 같은 파랑의 침식력에도 동해안에 비하여 넓은 해성침식면이 발달할 수 있는 점, 기반암층의 풍화와 대소절리의 발달에 기인한 파식의 용이성 등과 함께 현재와 비슷하였던 지난 어느 시기의 구정선하(舊汀線下)의 해성침식면을 그대로 이을 수 있었다는 점 등에 기인하는 것으로 보인다.



〈그림 25〉 백중사리때 파랑에 의해 파괴된 방조제



〈그림 26〉 해안침식에 따른 방호벽공사



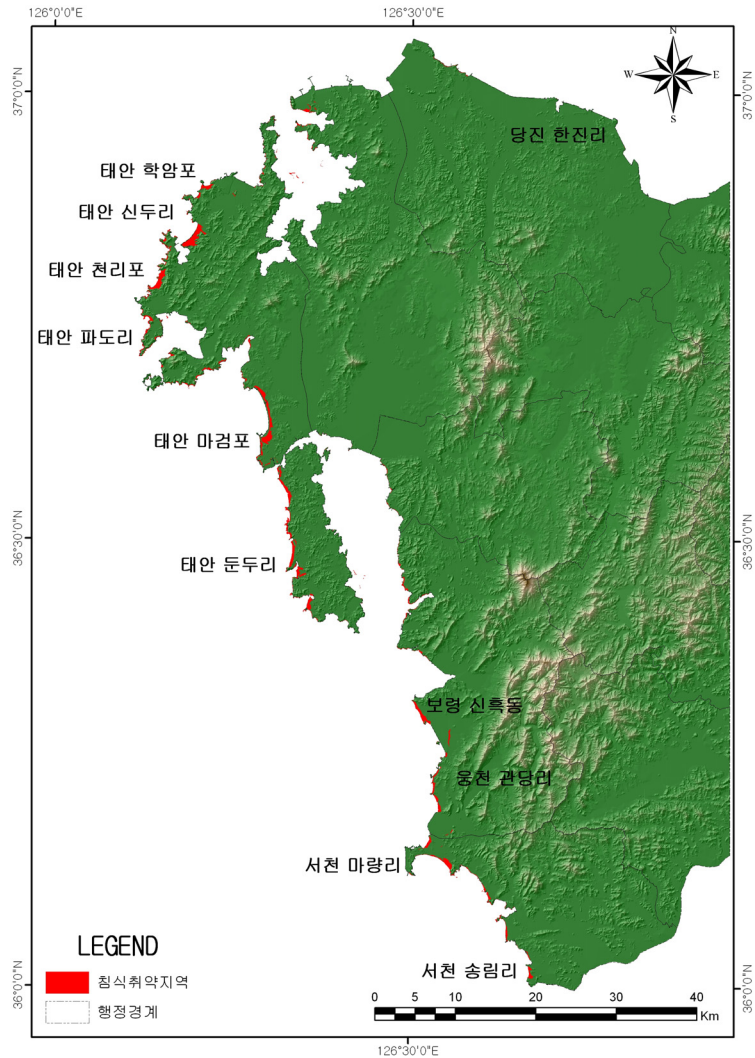
〈그림 27〉 장구만내의 해창 부근 해안침식



〈그림 28〉 삼봉해수욕장의 모래포집기

현재 헤드랜드 뿐만 아니라 만입지 내의 파랑에 의한 침식의 진행이 발견되고 있다. 특히 서천 송림리, 서천 해창리, 태안 천리포, 대산 독곶리 등은 해수에 의한 침식이 아주 빠르게 진행되고 있는 지역이다. 이러한 지역들은 파랑의 침식에 의한 방조제의 파괴, 모래의 유출을 막기 위해, 방조제를 건설하거나, 모래포집기를 설치하여 그 피해를 줄여보려 하고 있다. 기후 변화에 따른 해수면 상승이 동반된다면 현재 침식이 진행되고 있는 지역 외에도 해안 침수에 의해 형성된 헤드랜드에서도 해안 침식이 진행될 것으로 판단된다.

해수면 상승에 의한 해안침식 취약지의 증가는 방조제 또는 방파제의 손망실을 유도할 수 있으며, 해수욕장의 모래를 침식하여 해수욕장으로서의 기능 상실을 유도 할 수 있다.



〈그림 29〉 해수면 상승시 침식취약지

2) 침수취약지

각 시나리오별 해수면 상승에 따른 토지이용별 침수예상지를 살펴보면, 0.5m 상승 시나리오에서는 습지의 침수면적이 9.2km²로 가장 크게 나타났으며, 다음으로 시가지지역(7.4km²), 호소(6.9km²) 순으로 나타났다. 1m 상승 시나리오에서는 호소(22.1km²)가 가장 큰 침수피해를 받을 것으로 나타났으며, 3m 상승 시나리오와 5m 상승시나리오에서는 논(60.1km²)이 가장 큰 침수피

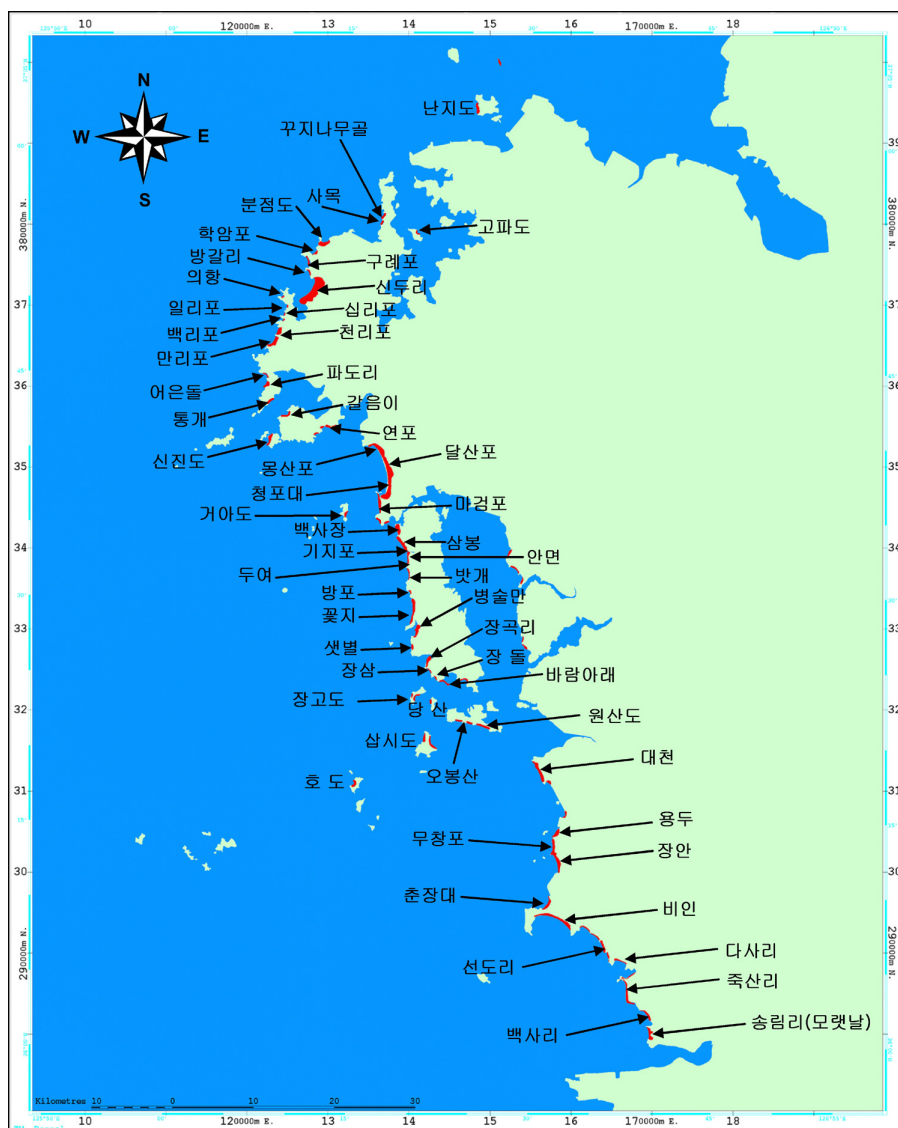
해를 받을 것으로 나타났다. 이러한 결과가 나온 가장 큰 이유는, 충남의 지형이 저구릉성 산지이기도 하지만, 충남 전 연안역에 걸쳐 행해진 간척사업으로 만들어진 농경지의 재침수로 기인한 것으로 보인다.

〈표 11〉 해수면 상승 시나리오별 토지이용별 침수예상면적

(단위 : km²)

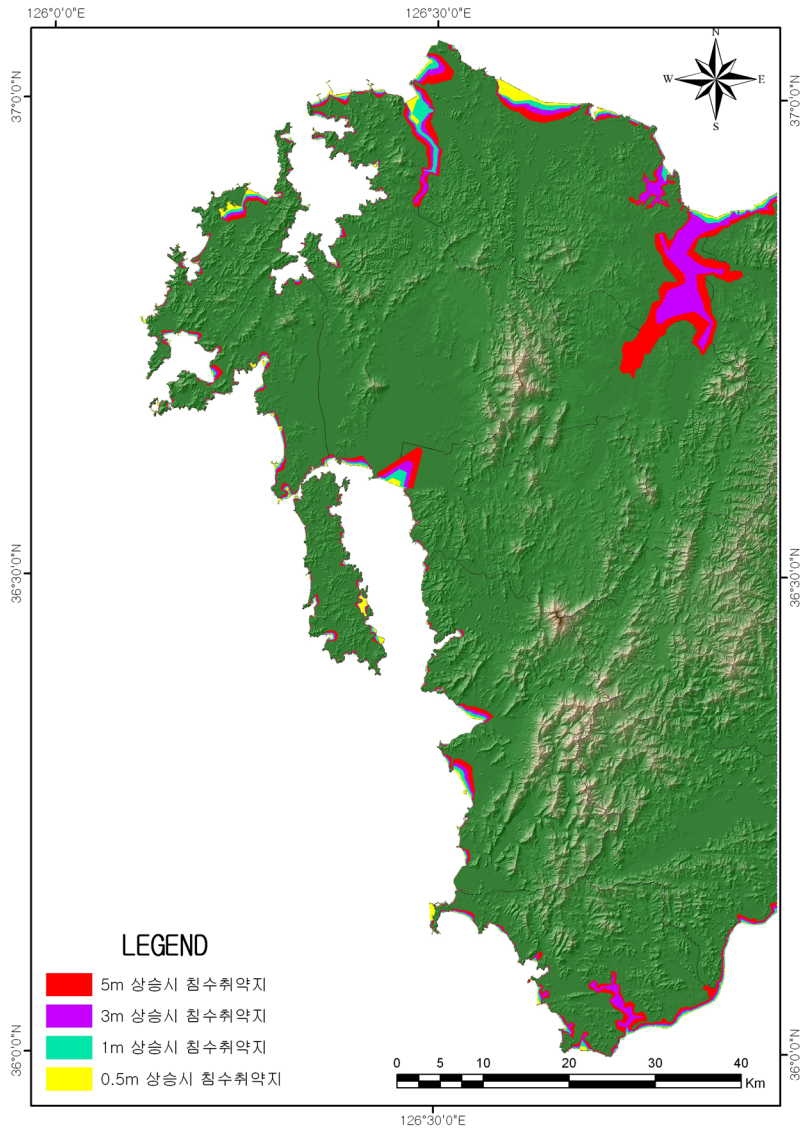
| 구분 | 현재수면 토지이용현황 | 0.5m | 1m | 3m | 5m |
|----------|----------------|------|------|-------|-------|
| water | 136.0 | 6.9 | 22.1 | 39.5 | 56.3 |
| forest | 2,034.9 | 2.2 | 4.5 | 7.2 | 11.7 |
| paddy | 782.7 | 2.5 | 12.6 | 60.1 | 134.8 |
| urban | 516.9 | 7.4 | 14.5 | 32.9 | 59.0 |
| marsh | 130.7 | 9.2 | 15.3 | 22.8 | 33.6 |
| dryfield | 1,311.5 | 2.2 | 5.0 | 9.2 | 18.3 |
| bareland | 76.1 | 0.9 | 2.3 | 4.1 | 6.5 |
| Total | 9,963.0 | 31.3 | 76.3 | 175.8 | 320.2 |

해수면 상승에 가장 먼저 반응을 보이는 곳은 인공적으로 조성한 호소와, 연안에 인접한 시가화지역이다. 우선 담수 호소에 해수의 침입이 발생하면 담수호소의 물을 농업용수로 사용하는 인근 경작지에 큰 타격을 입힐 것이며, 이는 충남 연안의 농촌가계의 경제적인 타격을 줄 것으로 예상된다. 연안에 인접한 시가화지역들도 해수면 상승 시나리오 첫 번째 단계부터 반응을 보이는데, 충남 연안에 밀집한 항구와, 방파제, 해수욕장에 인접하여 들어선 많은 시설물들이 그 피해를 고스란히 받을 것으로 예상된다. 특히 서해안은 겨울철에 북서계절풍에 노출되어 있으며, 해안지역의 경사가 완만하고 모래크기의 퇴적물이 비교적 넓게 분포하고 있어, 해안을 따라 사빈과 해안사구가 잘 발달되어 있다. 다음 두 그림을 보면 0.5m 상승시나리오만으로도 충남지역에 위치한 대부분의 해수욕장들이 피해권에 들어옴을 알 수 있다.



〈그림 30〉 충남 해빈해안 위치도

태안반도와 안면도의 사빈은 현재 침식을 받아 후퇴하고 있다. 서해안에 있어서 사빈의 침식은 일반적인 현상이다. 후빙기 해면상승 이후 해수면이 현재의 위치에 도달한 직후 다량의 육상의 풍화산물을 공급 받았을 때에는 현재의 위치보다 해안선은 훨씬 바다 쪽으로 전진하여 있었을 것이나 시간의 경과와 더불어 공급되는 양이 감소와 파랑의 영향으로 해안선은 후퇴하는 것이다.



〈그림 31〉 각 시나리오별 침수취약지

3) 시나리오별 간석지의 예상 침수면적

충청남도의 해안을 따라서 간석지가 가장 널리 나타난다. 조차가 큰 해안에 널리 나타나는 간석지는 조류의 운반물질이 쌓여 이루어지는 해안퇴적지형의 하나이다. 충남에 발달한 간석지의 대표적 특성은 간석지의 기저면이 아주 완만한 파식대로 되어 있다는 것이다. 간석지 중

에서도 상부는 특히 파식대위의 퇴적층의 두께가 얇아서 파식대가 그대로 노출된 곳도 다수 발견된다.

간석지의 퇴적물질은 장소마다 조성이 다르나 점토, 실트, 모래 등으로 구성되어 있다. 퇴적물질의 조성은 퇴적환경과 퇴적물공급원의 특성에 의하여 크게 좌우된다. 경기만으로 유입되는 안성천과 삽교천을 제외하고는 충남의 간석지에 퇴적물을 공급하는 큰 하천은 별로 없는 것 같다. 금강에서 공급되는 토사 및 뿔은 남쪽으로 이동하면서 금강하구 및 만경강, 동진강유역의 해안에 넓은 간석지를 발달시키는 것으로 알려져 있다. 하구가 나팔모양으로 벌려진 안성천과 삽교천의 퇴적물은 하구의 조류작용으로 바다로 잘 제거되며, 제거된 토사중 뿔과 같은 미립물질은 조류에 의하여 멀리까지 운반되면서 해수면이 잔잔한 후미진 해안에 퇴적된다. 아산만내 당진군 해안의 간석지는 주로 이 유형의 퇴적물로 이루어졌다.

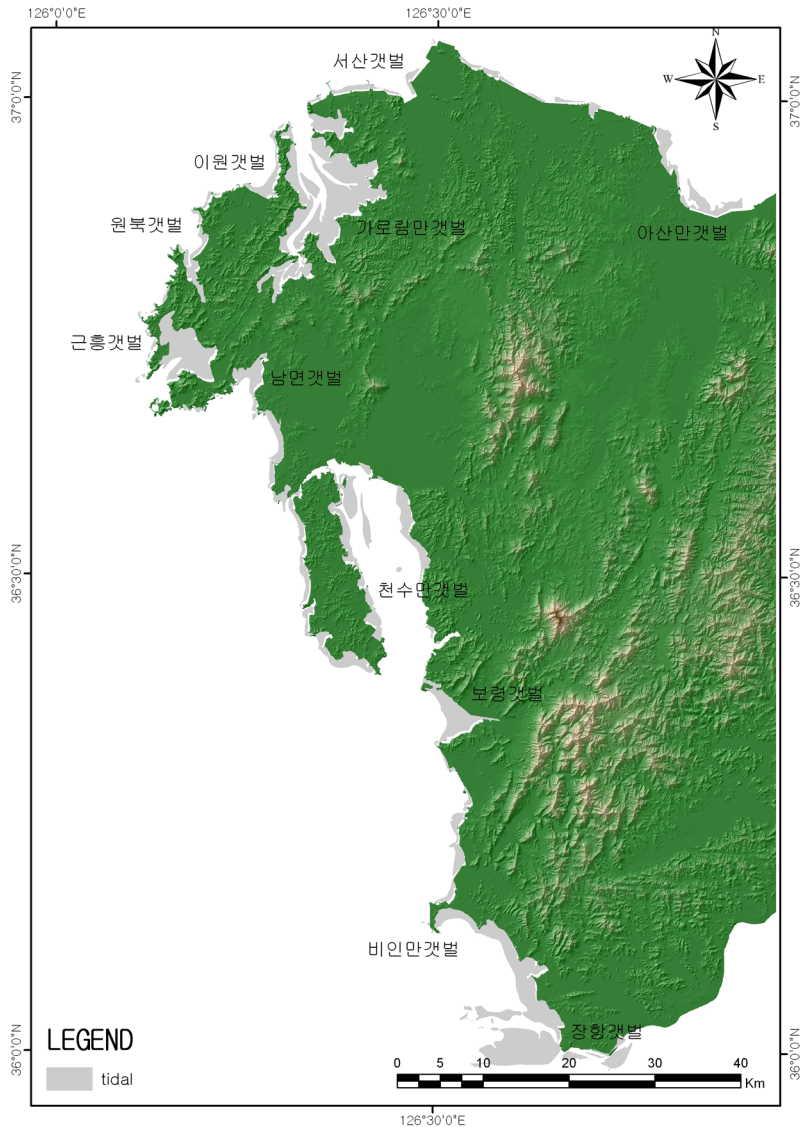
그러나 삽교, 안성천 하류지역을 제외한 도내의 거의 대부분의 해안에는 퇴적물공급원의 역할을 수행할 수 있는 대하천은 없다. 이 경우 간석지의 퇴적물의 공급원으로서 연안의 침식물질도 큰 비중을 차지한다. 이 경우에는 모래, 자갈 등의 조립물질이 풍부하다.

간석지의 퇴적물은 기반암 위의 육성풍화물 위에 퇴적되어 있으며, 여기에는 주변의 산지에서 운반된 주빙하성 퇴적물도 많이 포함되어 있다. 따라서 현재 간석지의 기반암표면이 육상영역에 의해서 풍화된 다음, 이 지역이 침수됨에 따라 점차 간석지 퇴적물로 덮힌 것으로 생각된다.

간석지를 실트와 점토의 함량에 따라 구분하면, 사빈의 전면이나 난류(亂流) 혹은 조류의 작용이 강한 곳에는 사질간석지(실트와 점토의 함량이 30%이하), 해저로부터 퇴적물 공급을 쉽게 받을 수 있는 곳에는 점토질간석지(80%이상), 그리고 양자의 중간인 혼성간석지로 구분할 수 있다. 하천의 영향을 거의 받지 않는 천수만의 경우 간석지 면적의 약 절반 내외는 혼성간석지에 속한다.

간석지상에 발달해 있는 갯골의 밀도는 간석지 퇴적물과 밀접한 관계가 있다. 퇴적물의 입경이 큰 곳일수록 갯골의 밀도가 높고, 주로 실트나 점토로 구성되어 있는 점토질간석지에서는 갯골이 형성되지 않는 것으로 보고되었다. 구하천의 하도와 무관하게 발달한 천수만간석지의 경우 차수에 따른 갯골 수는 하천과 비슷하게 부기하급수적(負幾何級數的)으로 증가하지만, 갯골의 길이는 기하급수적인 변화를 하지 않는다. 또한 갯골의 유폭/분기울의 비율은 하천과 하구(estuary)의 중간치를 나타내며, 분기울도 하천보다는 낮고 하구보다는 높게 나타

난다. 따라서 자연발생적인 갯골의 형태는 담수하천과 하구의 중간적인 형태임을 알 수 있다. 큰 하천이 없는 태안반도의 대소 만입지에 발달되어 있는 간석지도 천수만간석지의 경우와 유사하다.



〈그림 32〉 충남의 간석지 분포도(해양수산부 전자해도(2002)에서 추출)

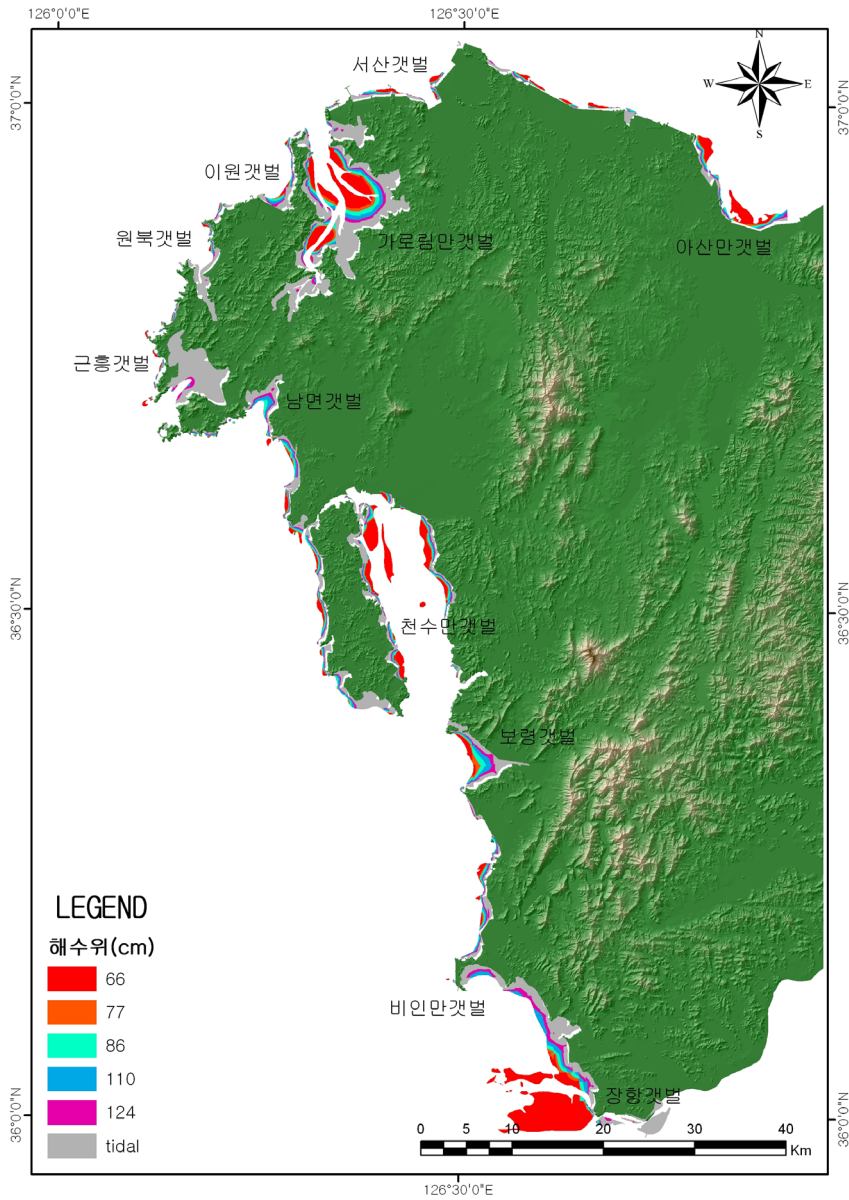
현재 충남의 간석지를 지도화하면 그림 32와 같다. 주요갯벌로는 아산만갯벌, 당진갯벌, 서산갯벌, 가로림만갯벌, 이원갯벌, 원북갯벌, 근홍갯벌, 남면갯벌, 천수만갯벌, 보령갯벌, 비인만

갯벌, 장항갯벌 등이다. 아산만의 갯벌들은 1970년대 중반에 완공된 아산방조제와 삼교방조제로 막혀져 지금은 농토나 산업단지 개발용지로 전환되었다. 대호·석문단지가 들어선 당진갯벌은 현재 산업단지 전면에서 일부 갯벌이 분포하며, 서산 간척지 A, B지구가 속한 천수만 갯벌은 전형적인 내만 갯벌이다. 그리고 태안화력발전소 배후부지로 매립되었던 이원 갯벌은 작지만 내만 갯벌이라 할 수 있다. 금강하구에 위치한 장항과 서천 주변 갯벌은 내만이 아닌 곳에 위치한 대형 모래 갯벌이지만 현재 간척·매립사업이 진행되고 있다. 충청남도의 갯벌은 1970년대 이후부터 지속적으로 개발되었고, 지난 십년 동안에만 충청남도 내의 갯벌 중에 약 40%가 사라졌다. 이제는 가로림만 갯벌이 거의 유일하게 남아 있는 대형 내만 갯벌이라고 할 수 있다. 이러한 간척지의 매립은 생태계 전반에 걸쳐 영향을 미치고 있어서 갯벌보호 대책이 시급한 실정이다. 충남서해안의 대표적인 간척사업으로는 천수만, 석문지구, 아산만, 가로림만, 보령시 일대의 홍보지구 간척사업 등이다.

해수면 상승에 따른 간척지의 침수범위를 구하는데 있어, 정확한 간척지의 고도값이 중요하다. 하지만 현재 국내에 구축되어 있는 어떠한 자료도 간척지의 고도를 나타내주고 있지는 않다. 이에 본 연구자는 해도의 수심도와 수치지형도의 고도를 이용하여, 육지와 바다의 중간지역인 간척지의 개략적인 고도값을 구하였다. 해양수산부에서 2002년 발행된 국제해도 W302, W323을 이용하여 추출한 충남서해연안의 간척지 면적은 총 339.3km²로 나타났다. 해도에서의 간척지 기준선은 충남연안지역 조위 중 약최저위를 기준으로 하였으며, 따라서 본 연구에서는 이 선을 0m 기준선으로 삼았다.

〈표 12〉 해수면 상승시나리오별 간척지 침수면적

| | 상승해수위(cm) | 예상침수면적(km ²) |
|----------------------|-----------|--------------------------|
| IPCC 1990 | 66 | 89.9 |
| Titus & Narayan | 77 | 103.0 |
| IPCC 1995 | 86 | 124.0 |
| IPCC-A | 110 | 152.1 |
| Wigley & Raper(1993) | 124 | 176.7 |



〈그림 33〉 해수면 상승시나오리별 간석지의 침수예상지역(해수부에서 발행된
국제해도(2002)와 수치지형도를 이용하여 추출 후 분석)

해수면 상승시 천수만 갯벌과 장항갯벌 가로림만 갯벌, 보령갯벌이 가장 많은 침수피해를 받을 것으로 예상되며, 예측수위가 올라갈수록 그 피해 범위가 비인만갯벌, 남면 갯벌 등으로 확산되는 것을 알 수 있다. 특히하게 원북갯벌과 근흥갯벌은 최고 상승치인 124cm에 와서야

침수피해가 발생하는 것으로 나타났다.

간석지에서의 침수면적을 산정하기에 앞서, 간석지 고도, 경사, 구성성분, 퇴적 또는 침식 양상에 대한 기본적인 DB 구축이 필요할 것으로 생각된다.

4. 충청남도 시군별 침수취약지

1) 서천군 침수취약지

해수면 상승에 따른 서천군의 침수취약지 중 가장 큰 피해가 예상되는 지역은 금강의 지류인 길산천에 연하는 화양면 고마리, 장상리, 망월리 일대와 마서면 도삼리, 신포리, 산내리 일대와 기산면 내동리, 두남리, 두북리 일대로 나타났다. 이들 지역은 서천군의 대표적인 경작지로 기온변화에 따른 해수면 상승이 계절적인 자연재해 또는 만조시 범람으로 인한 막대한 피해가 예상된다.

〈표 13〉 해수면 시나리오별 서천군의 토지이용별 침수예상지

(단위 : ha, %)

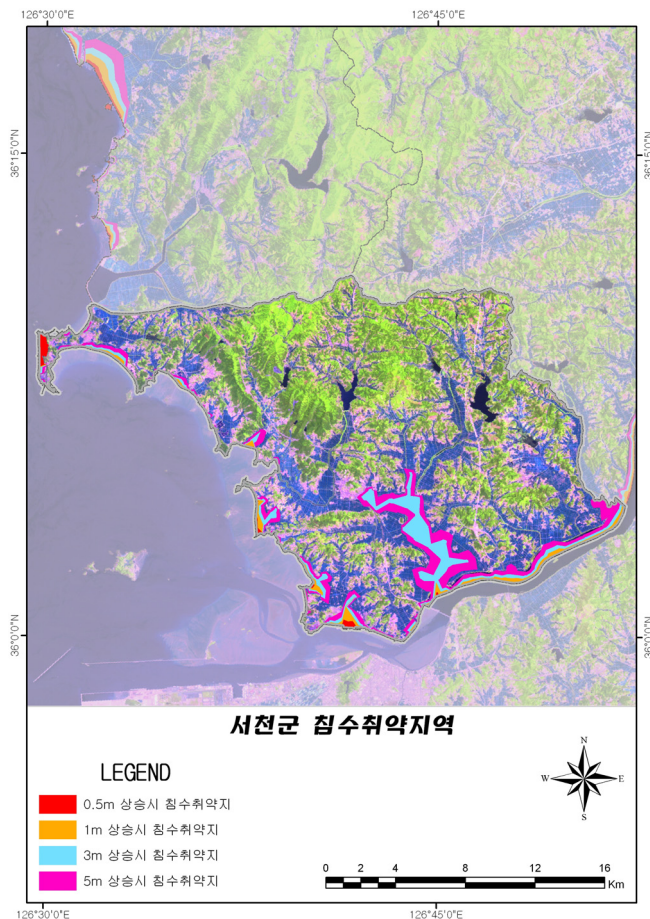
| | 0.5m 상승 | | 1m 상승 | | 3m 상승 | | 5m 상승 | |
|----------|---------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 |
| water | 112.9 | 31.6 | 282.5 | 34.0 | 440.6 | 22.3 | 596.6 | 16.2 |
| forest | 18.8 | 5.3 | 52.4 | 6.3 | 101.3 | 5.1 | 170.6 | 4.6 |
| paddy | 11.3 | 3.1 | 75.6 | 9.1 | 704.3 | 35.6 | 1671.9 | 45.3 |
| urban | 111.4 | 31.2 | 237.2 | 28.6 | 441.6 | 22.3 | 790.5 | 21.4 |
| marsh | 67.8 | 19.0 | 102.9 | 12.4 | 147.0 | 7.4 | 208.1 | 5.6 |
| dryfield | 28.1 | 7.9 | 66.1 | 8.0 | 122.9 | 6.2 | 220.4 | 6.0 |
| bareland | 7.1 | 2.0 | 13.9 | 1.7 | 21.9 | 1.1 | 34.3 | 0.9 |
| Total | 357.3 | 100.0 | 830.5 | 100.0 | 1979.6 | 100.0 | 3692.4 | 100.0 |

서해 연안에 위치한 사빈으로 구성된 해수욕장들의 기능이 마비 될 것으로 보이며, 이러한 휴양지의 배후에 위치한 시설물들은 해수의 직접적인 피해의 범위에 포함될 것으로 예상된다. 어민들의 바다경작지인 갯벌은 공기 중에 노출되는 공간과 시간이 줄어들게 됨으로써 소득원

의 감소 또는 소득자원의 변화에 대비해야 할 것으로 판단된다.

해수면이 0.5m 상승 시 전체 침수예상지역 중 시가화지역(31.2%)과 호소(31.6%), 습지(19.0)가 우선적으로 침수 피해를 입을 것으로 나타났으며, 해수면이 3m 상승시 경작지의 침수피해가 급속히 증가함을 볼 수 있다. 전체 침수예상면적 중 논(35.6%)과 밭(6.2%)이 차지하는 비율이 40%를 넘으며, 해수면이 5m 상승하면 그 비율이 50%를 넘는 것을 알 수 있다.

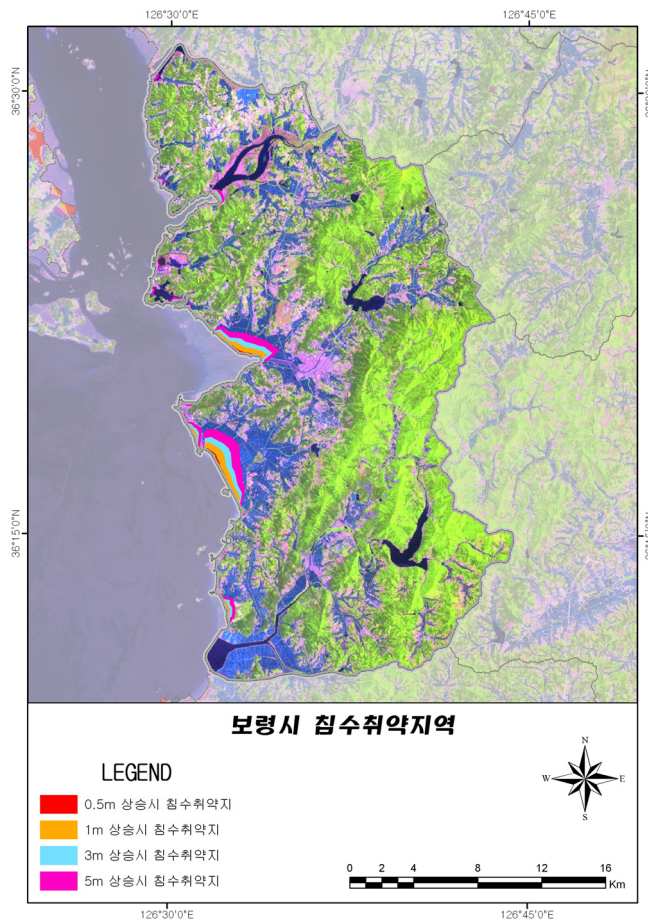
이런 결과가 나온 것은 금강하구둑 건설로 인해 만들어진 금강하구 주변의 간척지들이 해수면 상승에 의해 침수피해를 받을 것으로 예상되며, 시가화지역의 비율이 높은 것은 연안에 인접한 장항읍의 침수피해 발생가능성 매우 높다는 것을 말해준다.



〈그림 34〉 서천군 침수취약지역

2) 보령시 침수취약지

보령시의 경우 남포방조제가 위치한 남포면의 양향리와 삼현리, 주교면 은포리 일대가 가장 큰 침수피해를 받을 것으로 예상된다. 해수면 상승 시나리오에서 해수면의 고도가 1m를 넘어가면 경작지의 침수피해가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 간척사업으로 만들어진 간척지들이 낮은 해수면 상승에는 인공제방에 의해 보호를 받다가 일정수준의 해수면 상승이 이루어지면 급격히 침수해 들어가는 것을 볼 수 있다.



〈그림 35〉 보령시 침수취약지역

〈표 14〉 해수면 시나리오별 보령시의 토지이용별 침수예상지

(단위 : ha, %)

| | 0.5m 상승 | | 1m 상승 | | 3m 상승 | | 5m 상승 | |
|----------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
| | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 |
| water | 17.7 | 9.4 | 58.0 | 10.4 | 82.5 | 8.5 | 116.6 | 7.0 |
| forest | 16.9 | 9.0 | 46.9 | 8.4 | 68.0 | 7.0 | 99.2 | 5.9 |
| paddy | 6.1 | 3.2 | 135.9 | 24.4 | 363.0 | 37.3 | 780.8 | 46.7 |
| urban | 82.0 | 43.4 | 176.1 | 31.6 | 259.9 | 26.7 | 376.6 | 22.5 |
| marsh | 29.3 | 15.5 | 56.4 | 10.1 | 76.8 | 7.9 | 105.9 | 6.3 |
| dryfield | 20.5 | 10.9 | 56.7 | 10.2 | 88.7 | 9.1 | 154.2 | 9.2 |
| bareland | 16.2 | 8.6 | 26.6 | 4.8 | 34.0 | 3.5 | 39.0 | 2.3 |
| Total | 188.8 | 100.0 | 556.6 | 100.0 | 973.0 | 100.0 | 1,672.3 | 100.0 |

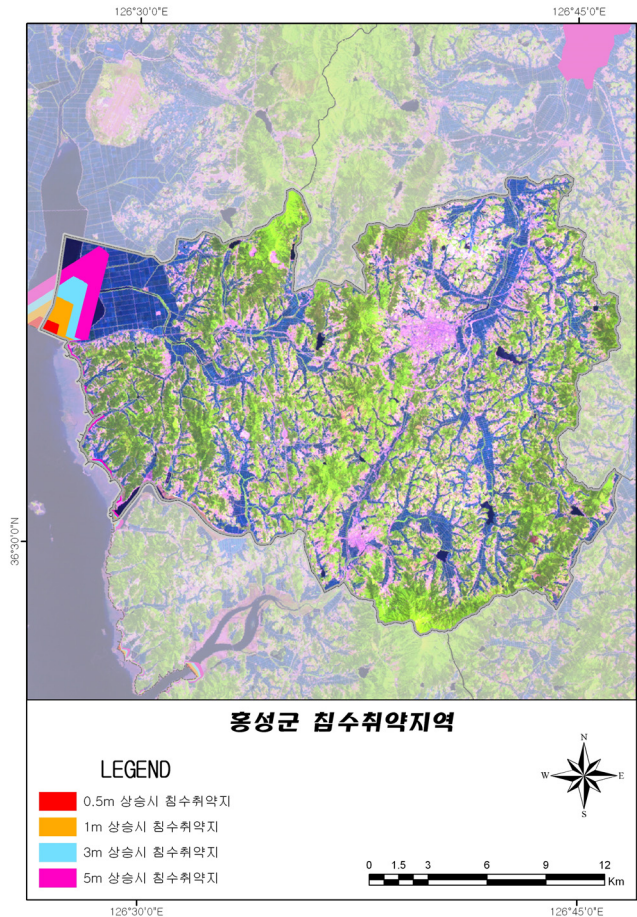
3) 홍성군 침수취약지

홍성군의 경우 서산 A지구 간척지가 있는 서부면 광리 지역이 가장 큰 피해가 예상된다. 그러나 충남의 타 시군에 비해 침수면적이 비교적 적게 나오는 곳으로 나타났다. 그렇지만 해수면 상승 시나리오가 진행될수록 서산A지구 내 호소에 해수의 침입이 두드러지게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 이러한 해수침입은 주변 농경지에 농업용수를 공급하는 인공호소의 기능에 큰 타격을 줄 것으로 예상된다.

〈표 15〉 해수면 시나리오별 홍성군의 토지이용별 침수예상지

(단위 : ha, %)

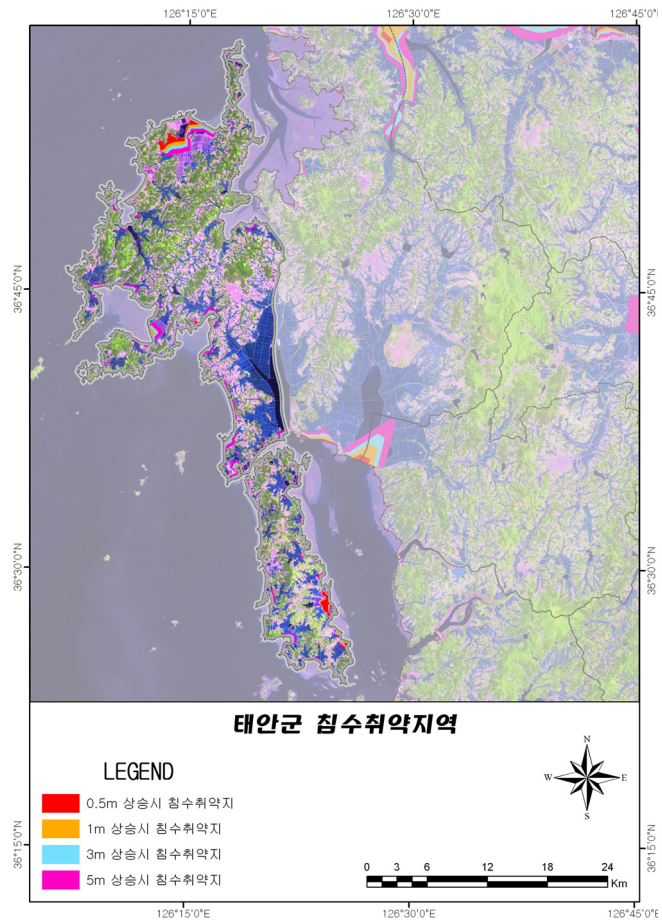
| | 0.5m 상승 | | 1m 상승 | | 3m 상승 | | 5m 상승 | |
|----------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
| | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 |
| water | 44.4 | 57.0 | 210.9 | 74.1 | 435.2 | 76.1 | 698.0 | 61.3 |
| forest | 1.7 | 2.2 | 2.6 | 0.9 | 4.1 | 0.7 | 11.1 | 1.0 |
| paddy | 2.2 | 2.8 | 6.6 | 2.3 | 27.8 | 4.9 | 253.0 | 22.2 |
| urban | 15.8 | 20.3 | 33.0 | 11.6 | 51.8 | 9.1 | 91.4 | 8.0 |
| marsh | 8.6 | 11.1 | 13.7 | 4.8 | 21.9 | 3.8 | 38.3 | 3.4 |
| dryfield | 4.6 | 5.9 | 14.5 | 5.1 | 26.6 | 4.6 | 40.7 | 3.6 |
| bareland | 0.5 | 0.7 | 3.3 | 1.2 | 4.5 | 0.8 | 5.6 | 0.5 |
| Total | 77.9 | 100.0 | 284.6 | 100.0 | 571.8 | 100.0 | 1,138.0 | 100.0 |



〈그림 36〉 홍성군 침수취약지역

4) 태안군 침수취약지

태안군의 경우 이원방조제가 있는 이원면 포지리, 내리 일대가 가장 큰 침수피해를 받을 것으로 예상된다. 특히 태안군에 속한 안면도는 전 연안에 걸쳐 침수피해지가 발생하는 것으로 나타났다. 해수면이 0.5m 상승 시 태안군 연안에 펼쳐져 있는 갯벌과, 사빈의 침수가 두드러지게 나타나고 있다. 조간대에 따라 공기 중으로 노출되거나, 수면 아래로 잠기는 갯벌의 생태계가 해수면 상승에 의해 수면 아래로 잠기게 되면 생태계의 교란이 발생할 수 있다. 태안군의 대표적인 관광산업인 해수욕장의 침수는, 사빈이라는 자연지형에 의존해 사는 지역민들의 경제력에 커다란 타격을 줄 수 있고, 침수와 함께 병행되는 침식에 의해 사빈 주변에 들어선 제방과 관광시설들의 내구력에 피해를 발생할 것으로 예상된다.



〈그림 37〉 태안군 침수취약지역

〈표16〉 해수면 시나리오별 태안군의 토지이용별 침수예상지

(단위 : ha, %)

| | 0.5m 상승 | | 1m 상승 | | 3m 상승 | | 5m 상승 | |
|----------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 |
| water | 77.7 | 8.2 | 169.0 | 8.9 | 245.8 | 8.4 | 369.2 | 8.0 |
| forest | 54.7 | 5.7 | 110.4 | 5.8 | 185.0 | 6.3 | 347.0 | 7.5 |
| paddy | 86.4 | 9.1 | 239.3 | 12.6 | 453.6 | 15.5 | 837.0 | 18.1 |
| urban | 237.9 | 25.0 | 435.1 | 22.8 | 627.1 | 21.5 | 918.8 | 19.9 |
| marsh | 371.6 | 39.0 | 705.0 | 37.0 | 1,001.9 | 34.3 | 1,451.3 | 31.4 |
| dryfield | 90.4 | 9.5 | 182.4 | 9.6 | 309.1 | 10.6 | 557.1 | 12.0 |
| bareland | 33.8 | 3.6 | 63.5 | 3.3 | 97.7 | 3.3 | 145.3 | 3.1 |
| Total | 952.5 | 100.0 | 1,904.8 | 100.0 | 2,920.1 | 100.0 | 4,625.7 | 100.0 |

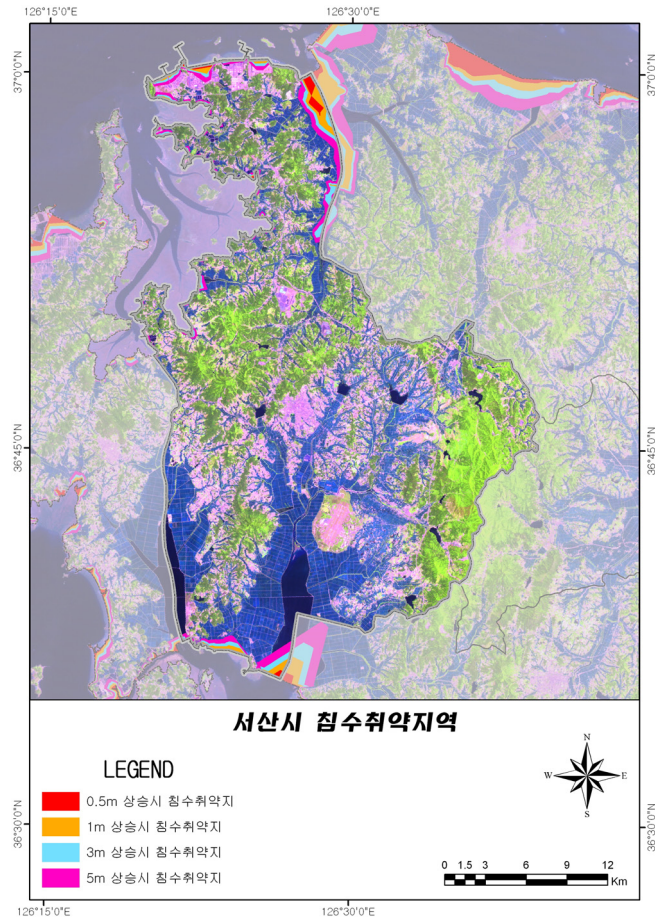
5) 서산시 침수취약지

서산시의 침수취약지는 대산읍 독곶리, 대죽리 일대와 대호 방조제가 있는 화곡리, 운산리 일대가 가장 큰 침수피해가 발생할 것으로 나타났으며, 서산 A·B방조제 내부에 있는 농경지들도 큰 피해가 발생할 것으로 나타났다. 0.5m의 해수면이 상승 시 약 105.8km²의 시가화지역이 침수 피해를 입는데, 특히 대산읍 대죽리 일대의 각종 공업시설과 항만 시설의 피해가 클 것 나타났다.

〈표 17〉 해수면 시나리오별 서산시의 토지이용별 침수예상지

(단위 : ha, %)

| | 0.5m 상승 | | 1m 상승 | | 3m 상승 | | 5m 상승 | |
|----------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 |
| water | 127.2 | 29.4 | 379.6 | 33.7 | 600.4 | 32.1 | 907.5 | 28.9 |
| forest | 15.2 | 3.5 | 42.8 | 3.8 | 68.8 | 3.7 | 115.4 | 3.7 |
| paddy | 72.0 | 16.7 | 257.0 | 22.8 | 537.3 | 28.7 | 1,028.8 | 32.8 |
| urban | 105.8 | 24.5 | 200.3 | 17.8 | 297.8 | 15.9 | 490.2 | 15.6 |
| marsh | 63.6 | 14.7 | 130.0 | 11.6 | 183.4 | 9.8 | 277.4 | 8.8 |
| dryfield | 28.2 | 6.5 | 71.1 | 6.3 | 115.4 | 6.2 | 203.8 | 6.5 |
| bareland | 19.8 | 4.6 | 44.3 | 3.9 | 69.8 | 3.7 | 111.8 | 3.6 |
| Total | 431.8 | 100.0 | 1,125.0 | 100.0 | 1,872.9 | 100.0 | 3,134.8 | 100.0 |



〈그림 38〉 서산시 침수취약지역

6) 당진군 침수취약지

방조제 건설 등으로 인해 자연해안이 거의 없는 당진군은 방조제가 건설된, 석문호, 대호, 삼교호 일대에서 가장 큰 침수피해가 발생할 것으로 보이며, 신평면 복운리, 전대리, 매산리 일대의 농경지도 침수 피해를 받을 것으로 나타났다. 특히 공단의 건설이 진행 중인 석문방조제 내 매립지의 경우 저수위의 해수면(0.5m) 상승에도 침수피해를 입는 것으로 나타났다. 당진군의 경우 해안선을 따라 들어선 각종 항구와 포구, 공단, 발전소등의 시설물 피해가 예상되며 그러한 결과는 다음 표의 피해면적을 통해 알 수 있다.

〈표 18〉 해수면 시나리오별 당진군의 토지이용별 침수예상지

(단위 : ha, %)

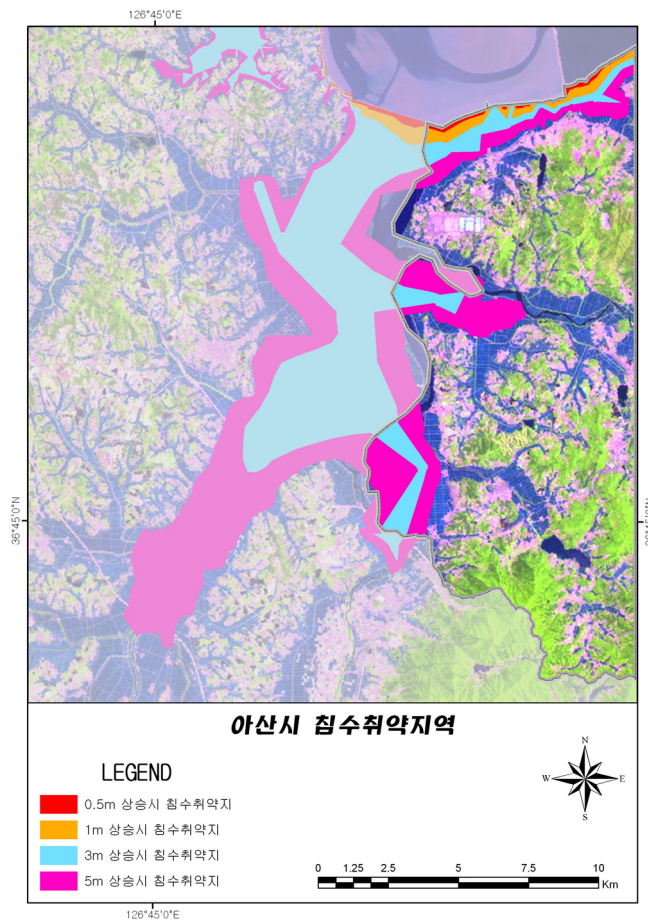
| | 0.5m 상승 | | 1m 상승 | | 3m 상승 | | 5m 상승 | |
|----------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|----------|-------|
| | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 |
| water | 269.1 | 29.3 | 919.4 | 38.6 | 1,836.5 | 23.9 | 2,457.9 | 19.4 |
| forest | 114.0 | 12.4 | 183.8 | 7.7 | 273.8 | 3.6 | 382.1 | 3.0 |
| paddy | 39.8 | 4.3 | 407.4 | 17.1 | 3,228.8 | 42.0 | 5,986.3 | 47.2 |
| urban | 120.7 | 13.1 | 273.3 | 11.5 | 1,291.3 | 16.8 | 2,189.2 | 17.3 |
| marsh | 325.7 | 35.4 | 479.9 | 20.1 | 762.8 | 9.9 | 1,136.7 | 9.0 |
| dryfield | 41.0 | 4.5 | 90.6 | 3.8 | 216.2 | 2.8 | 390.1 | 3.1 |
| bareland | 9.1 | 1.0 | 27.7 | 1.2 | 73.7 | 1.0 | 147.8 | 1.2 |
| Total | 919.4 | 100.0 | 2,382.2 | 100.0 | 7,683.1 | 100.0 | 12,690.0 | 100.0 |



〈그림 39〉 당진군 침수취약지역

7) 아산시 침수취약지

아산시의 경우 삼교호에 접한 일대와 선장면 신문리, 가산리, 둔포리, 선창리 일대, 인주공단 지방산업단지가 있는 인주면 결매리와 공세리, 문방리 일대가 해수면 상승에 따른 침수취약지로 나타났다. 이 지역은 삼교천 하류로 삼교호방조제 건설로 해수의 영향으로부터 벗어난 지역이 대부분을 차지하고 있다. 이 지역은 대부분 경작지로 이용되며, 경작지에 공급되는 농업용수는 해수면 상승의 영향과 함께 해수화가 진행될 것이며, 이러한 현상은 경작지에 대한 해수의 직접적인 피해보다, 경작에 필요한 용수의 오염이라는 간접적인 피해로 먼저 나타날 것으로 예상된다.



〈그림 40〉 아산시 침수취약지역

〈표 19〉 해수면 시나리오별 아산시의 토지이용별 침수예상지

(단위 : ha, %)

| | 0.5m 상승 | | 1m 상승 | | 3m 상승 | | 5m 상승 | |
|----------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 |
| water | 4.6 | 4.5 | 20.7 | 6.5 | 46.7 | 4.3 | 94.5 | 3.6 |
| forest | 0.8 | 0.8 | 0.4 | 0.1 | 0.7 | 0.1 | 2.4 | 0.1 |
| paddy | 30.1 | 29.6 | 143.4 | 44.9 | 606.2 | 56.2 | 1,698.9 | 64.8 |
| urban | 32.9 | 32.4 | 69.4 | 21.7 | 255.2 | 23.7 | 595.1 | 22.7 |
| marsh | 17.3 | 17.0 | 24.5 | 7.7 | 45.2 | 4.2 | 62.1 | 2.4 |
| dryfield | 6.2 | 6.1 | 11.8 | 3.7 | 30.4 | 2.8 | 58.0 | 2.2 |
| bareland | 9.6 | 9.5 | 49.4 | 15.5 | 94.5 | 8.8 | 111.3 | 4.2 |
| Total | 101.4 | 100.0 | 319.5 | 100.0 | 1,079.0 | 100.0 | 2,622.3 | 100.0 |

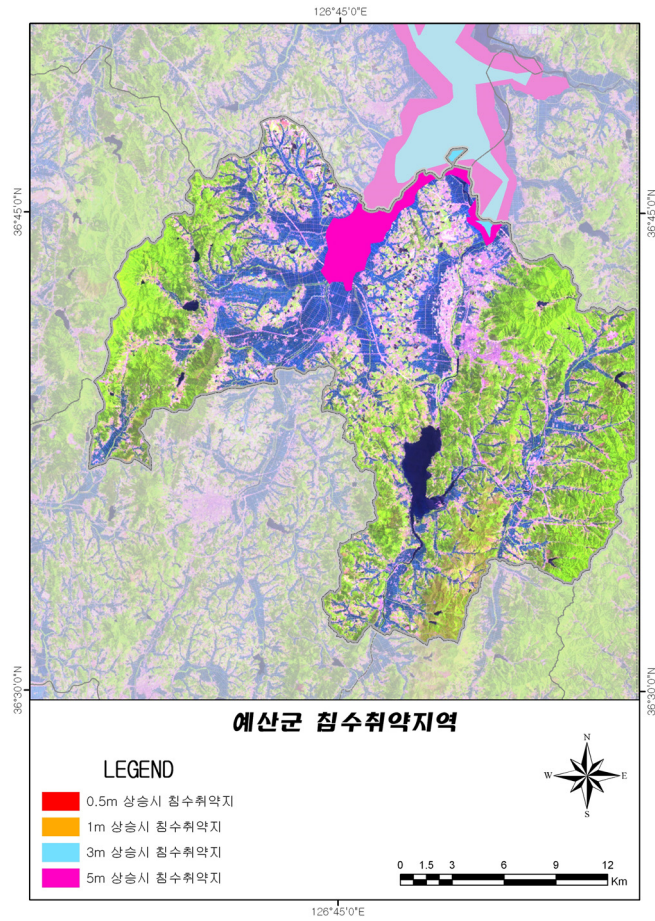
8) 예산군 침수취약지

예산군은 해수면이 3m 이상으로 상승할 경우 침수취약지가 발생하며, 해수면이 5m 상승 시 삽교천 주변의 고덕면 상궁리, 구만리, 용리, 신암면 신태리, 예림리, 중예리, 별리, 삽교읍 하포리, 성리 일대까지 침수취약지로 나타났다. 이 지역들은 대부분 경작지로 이용되고 있으며, 따라서 경작지가 면적상 가장 큰 피해가 발생할 것으로 여겨진다.

〈표 20〉 해수면 시나리오별 예산군의 토지이용별 침수예상지

(단위 : ha, %)

| | 0.5m 상승 | | 1m 상승 | | 3m 상승 | | 5m 상승 | |
|----------|---------|----|-------|----|-------|-------|---------|-------|
| | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 | 침수면적 | 비율 |
| water | - | - | - | - | 1.5 | 1.4 | 25.0 | 1.4 |
| forest | - | - | - | - | 1.1 | 1.0 | 9.5 | 0.5 |
| paddy | - | - | - | - | 71.6 | 66.1 | 1,148.7 | 64.0 |
| urban | - | - | - | - | 26.6 | 24.5 | 363.2 | 20.2 |
| marsh | - | - | - | - | 1.6 | 1.5 | 25.8 | 1.4 |
| dryfield | - | - | - | - | 3.5 | 3.2 | 1,84.1 | 10.3 |
| bareland | - | - | - | - | 2.5 | 2.3 | 39.5 | 2.2 |
| Total | - | - | - | - | 108.5 | 100.0 | 1,795.8 | 100.0 |



〈그림 41〉 예산군 침수취약지역

제5장 요약 및 결론

1. 해수면 상승에 따른 영향평가

온난화 현상의 영향은 많은 분야에서 광범위하게 나타날 것이라고 예상되지만 그 중에서도 해수면의 상승은 3면이 바다로 둘러싸인 우리나라의 경우 그 피해가 심각하리라 본다. 기상연구소(2006)에서 해안지역 기후변화, 해안생태, 농업, 수산업 분야에 대해 실시한 기후변화 취약성 및 영향평가 연구에 따르면 한반도 남서해안지역에서는 기후변화에 따른 영향이 벌써부터 나타나고 있는 것으로 나타났다. 이 연구에서는 기후변화에 따른 식생변화가 급격히 진행(침엽수림의 비율이 큰 폭으로 감소)되고 있음이 나타났고, 정선해양관측 자료를 통한 수온변화를 관측한 결과 관측 이후 수온은 꾸준히 상승하고 있는 것으로 밝혀졌다. 이러한 결과를 뒷받침해주는 것이 농업과 수산업 분야에서의 연구결과이다. 농업분야에서는 작물분포와 재배한계와 기후요소간의 관계를 규명하였는데, 온난한 곳에서 재배되는 작물들의 재배한계선이 내륙과 북쪽으로 확대되어 가는 것이 확인되었다. 수산업분야에서 수산업 어장의 분포, 어획량 등이 조사되었는데, 수온 상승에 의한 유해조류의 발생으로 양식장의 피해가 급증하고 있으며, 열대어의 출현, 해파리의 피해가 점차 증가하고 있는 것으로 나타났다.

연안역은 경제 기반이 밀집되어 있는 공간으로 예로부터 이곳에 생활의 기반을 두고 생산 활동을 하는 인구가 많을 뿐 만 아니라 주거가 집중되어 있기도 하다. 따라서 온난화로 인한 해수면 상승이 어느 정도의 규모로 일어나든지 그 피해는 상당히 클 것으로 예상하고 있다. 특히 천혜의 자연관광자원과 대규모의 매립형 경작지를 보유하고 있으며, 산업시설의 밀집화가 이루어지고 있는 충남 연안역은 그 피해가 더 심할 것으로 예상된다.

해수면 상승에 따른 서천군의 침수취약지 중 가장 큰 피해가 예상되는 지역은 금강의 지류인 길산천에 연하는 화양면 고마리, 장상리, 망월리 일대와 마서면 도삼리, 신포리, 산내리 일대와 기산면 내동리, 두남리, 두북리 일대로 나타났다. 보령시의 경우 남포방조제가 위치한 남

포면의 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 예상된다. 특히 태안군에 속한 안면도는 전 연안에 걸쳐 침수피해지가 나타난다. 서산시의 침수취약지는 대산을 독곶리, 대죽리 일대와 대호 방조제가 있는 화곡리, 운산리 일대가 가장 큰 침수피해가 발생할 것으로 나타났으며, 서산 A·B방조제 내부에 있는 농경지들도 큰 피해가 발생할 것으로 나타났다. 방조제 건설 등으로 자연해안이 거의 없는 당진군은 방조제가 건설된, 석문호, 대호, 삼교호 일대에서 가장 큰 침수피해가 발생할 것으로 보이며, 신평면 복운리, 전대리, 매산리 일대의 농경지도 침수 피해를 받을 것으로 나타났다. 아산시의 경우 삼교호에 접한 일대와 선장면 신문리, 가산리, 둔포리, 선창리 일대, 인주공단지방산업단지가 있는 인주면 갈매리와 공세리, 문방리 일대가 해수면 상승에 따른 침수취약지로 나타났다. 예산군은 해수면이 3m이상으로 상승할 경우 침수취약지가 발생하며, 해수면이 5m 상승시 삼교천 주변의 고덕면 상궁리, 구만리, 용리, 신암면 신태리, 예림리, 중예리, 별리, 삼교읍 하포리, 성리 일대까지 침수취약지로 나타났다.

충남 연안에는 침식지형인 파식대가 곳곳에서 관찰된다. 대표적인 곳으로 한진리 파식대, 둔두리 파식대, 보령 신흥동 파식대, 웅천 관당리 파식대 등이 있다. 이러한 지역은 headland에서 나타나는 특징이 있지만, 만입지내에서도 침식의 진행이 발견되고 있다. 특히 서천 송림리, 서천 해창리, 태안 천리포, 대산 독곶리 등은 해수에 의한 침식이 아주 빠르게 진행되고 있는 지역이다.

해수면 상승시 천수만 갯벌과 장항갯벌 가로림만 갯벌, 보령갯벌이 가장 많은 침수피해를 받을 것으로 예상되며, 예측수위가 올라갈수록 그 피해 범위가 비인만갯벌, 남면 갯벌 등으로 확산되는 것을 알 수 있다. 특이하게 원북갯벌과 근흥갯벌은 최고 상승치인 124cm에 와서야 침수피해가 발생하는 것으로 나타났다.

기후변화에 따른 해수면 상승으로 인한 충청남도 연안역의 침수취약지는 대부분 경작지와 경작지와 관련된 시설물(담수시설 또는 관개수로), 휴양지로 이용되는 연안지형, 어민들의 바다 발인 갯벌 등이 우선적인 피해를 받을 것으로 예상된다. 이러한 일차적인 피해와 해수면 상승과 동반되는 침식으로 인한 인공적인 구조물의 손절실이 발생할 것으로 예상된다.

2. 활용효과 및 방안

최근 들어 연안의 무분별한 개발에 따른 후유증으로 인하여 개발지 인근 연안을 중심으로 침식(또는 퇴적)현상이 심각한 수준에 이르렀다. 해양수산부의 조사에 따르면 1962년 이후 약 4,633개소 2,633km²(여의도 면적의 약 300배)가 간척 또는 매립되었다.

한반도 서해안의 경우 조수간만의 차가 크고 동해안의 경우 단조로운 해안선을 따라 토사유동이 심해 침식(또는 퇴적)작용이 왕성하게 진행되고 있으며, 특히 여름철 태풍 내습, 해일 등이 빈번(1992년~2001년 사이 10년간 총 383건의 연안재해가 발생하여 1조3천억원의 직접적인 경제적인 손실이 발생함)하여 세계 어느 지역보다 침식방지 예방책의 강구가 긴요한 시점이다. 또한 해수면의 상승은 우리나라의 연안역에 침수와 침식 등의 피해를 동반하여 국토를 유실시키고 경제·휴양공간을 빼앗아 갈 것이다. 따라서 우리는 신속하고 적절한 대책을 수립하여야 할 것이다.

이러한 환경 속에서도 우리나라의 기후변화에 따른 해수면상승에 대한 영향평가 또는 대응 전략은 미국·영국·일본과 같은 선진국에 비해 미흡한 형편이다. 또한 이러한 피해의 이해 당사자인 지자체 차원에서의 대응도 미비한 실정이다.

기후변화로 인한 영향이 우리나라에 지역적으로 나타나고 있고 그 영향 규모는 지역적인 특성에 따라 달리 나타나 지역차원의 적응대책 수립의 필요성이 제기되고 있다. 이러한 맥락에서 2007년 7월 7일에는 제주도가 「기후변화 대응 시범도¹⁰⁾」로 조성되면서 중앙정부와 지자체 간 협력 협약을 통한 기후변화 대응의 모델로 발전하게 되었다. 제주도는 해양생태계 및 고산지대 식생의 변화 등 일련의 기후변화 영향들이 여러 분야에서 관측되고 있어 기후변화로 인한 영향을 평가하고 적절한 영향 완화 및 적응대책을 수립하는 것이 시급하다는 지역적인 공감대가 형성되어 있었다. 기후변화 적응에 대처할 수 있는 협력분야로는 제주특별자치도 관내 및 주변지역의 기후변화 현상에 대한 조사·분석 및 장래의 기후변화 영향에 대한 예측, 예상되는 기후변화 영향의 완화 및 적응 대책의 수립·추진, 그리고 세계 지방자치단체 환경협의회(International Council for Local Environmental Initiatives: ICLEI) 등 관련 국제기구와

10) 기후변화 대응 시범도란 해당지역의 온실가스 배출량 감축을 통해 지구온난화의 완화에 기여하고 기후변화가 해당지역에 미치는 영향을 예측·평가하여 적응대책을 강구하는 등 지역차원의 종합적인 기후변화 대응대책을 수립·추진함으로써 기후변화 대응의 모범이 되는 광역자치자치단체를 말한다.

의 협력 등이 해당된다. 아울러 환경부와 제주도간에 ‘정책협의회’가 구성·운영되면서 중앙 정부와 지자체 간에 기후변화 대응 협력 네트워크 구축의 첫 번째 사례가 되었다. 특히 제주도 사례는 기후변화 영향의 과학적인 연구결과가 정책화되기 위한 중간 단계에 필수적인 실증연구의 좋은 대상지역이라는 점에서 앞으로 귀추가 주목된다. 무엇보다 지역의 현재 상황을 파악하기 위한 기초조사 분석에 보다 많은 노력을 기울여야 할 것이다.

이 외에도 광역지자체 중 서울과 경기도 등 7개 지자체에서 기후변화 대응을 위한 기본계획과 추진계획을 세운 것으로 파악되었다. 서울시는 2005년 지구환경팀을 구성하여 온실가스 줄이기를 전담하도록 하였고, 2006년에는 서울시와 주변지역의 기상과 대기질을 분석하여 ‘기후·에너지 지도’를 제작하였으며, 2007년 4월에는 친환경·에너지 선언을 하였다. 경기도는 2007년 2월 기후변화 대응 특별대책반을 출범시켰고, 울산시와 충청남도는 2007년 10월 기후변화 대응 기본계획을 마련하고 전담기구를 설치하였다. 부산시와 대구시도 2007년 내에 각각 전담부서 및 전담기구를 구성하였다. 하지만 현재 구축된 광역지자체 수준의 기후변화 대응은 적응에 대한 고려 없이 완화에만 치중되어 있다는 한계를 갖는다. 또한 나머지 광역지자체와 기초지자체 차원에서의 기후변화 적응 대책 마련이 필요한 실정이다.

해수면상승에 대한 예상시나리오를 작성하여 만들어진 해수면 상승에 대한 취약지에 대한 결과를 자연재해 대처방안에 대한 매뉴얼 작성을 위한 기초자료 또는 침수취약지에 대한 개발사업 시 반드시 고려해야할 항목으로 이용되어야 할 것이다.

3. 향후 과제

현재까지 우리나라는 기후변화 대응에 있어 적응부분이 완화에 비해 상대적으로 미흡한 것으로 나타나고 있다. 또한 충청남도와 같은 광역지자체의 기후변화 적응 대책 또한 미흡한 실정이다. 이에 충남 지역 연안역에 맞는 기후변화 적응 및 완화 기법의 균형적 발전을 위하여 다음과 같은 향후 과제를 제시하고자 한다.

현재 지자체 차원에서의 기후변화대응에 대한 pilot 연구가 거의 전무한 상태이므로 pilot 연구를 통한 연안의 현황을 정밀하게 파악하는 것과 과거의 관련 자료를 구축하는 것이 무엇

보다 중요하다. 그러므로 연구의 초기 단계에서 정밀한 현황 파악이 중요한 과제가 될 수 있다. 특히 간석지가 발달한 충남연안역에서 간석지에서의 침수면적을 산정하기에 앞서, 간석지 고도, 경사, 구성성분, 퇴적 또는 침식 양상에 대한 기본적인 DB 구축이 필요할 것으로 생각된다. 또한 외국의 연안역 연구에 대한 사례를 국내의 연구 내용 전개에 그대로 적용시키기에는 적지 않은 문제를 야기할 수 있으므로 주의가 요구된다.

연안역 기후변화 영향평가를 위한 피해위험성 산정기술 분야는 기존의 연구에서 개발된 기초기술과 일부 요소기술이 적용 가능단계에 있으므로 충남 연안역에 적용해 볼 필요가 있을 것으로 판단된다. 또한 현재 국내 정부기관 및 국책연구소에서는 해수면 상승 예측 연구 및 해안침수 취약성 연구와 GIS를 이용한 DB 설계 및 구축 기술, 이 기종 DB간의 자료 통합 기술, 각종 자료 통합 관리 기술, 정보 분석/관리시스템 개발 기술 등을 개발한 경험이 있어 이를 이용하는 것도 한 방법이라 할 수 있겠다. 연구수행기관과의 유기적 협력을 통해 실용적인 기술개발과 효율적인 연구성과 도출이 가능하고, 충남지역의 특성에 맞는 GIS기반 통합연안 관리시스템 구축이 가능할 것이다.

○ 충남해안지역에서의 기후변화영향평가를 시행하기에 적합한 가설과 연구 방법 수립

- 충남해안지역의 기후변화에 대한 취약성과 문제점 파악 후 가설 설정
- 충남해안지역에 적합한 기후변화 영향 평가와 적응방안에 대한 연구방법 개발

○ 충남 시군별 기후변화에 따른 농수산업 · 생태계 · 자연재해 · 사회경제 분야 취약성 평가

- 충남 각 시군에 대한 분야별 기후변화취약성 현황파악 및 DB구축
- 1:5,000 지형도에 기반한 침수재해 지도 및 위험지도 작성
- 각 분야별 기후변화에 대한 예측피해 현황 분석

○ GIS 기반 통합 충남 연안관리 시스템 구축

- 충남 연안역에서의 해수면 예측 모듈 개발
- 충남 해안 시군별 입체적 산술 통계적 S/W 개발
- 시나리오별 GIS 기반 연안통합 관리 시스템 구축

- 충남 해안지역의 기후변화 적응 및 완화 기법을 통한 대응 체제 구축
 - 충남 해안지역의 각 분야별 기후변화 적응 및 완화 기법 개발
 - 저감 전략 구축, 대응 시나리오의 S/W적 알고리즘 개발
 - 향후 기후변화 영향평가 과제 도출

참고문헌

- 강인식, 지구온난화와 동반된 한반도 기온변화의 시나리오 연구 I, 한국기상학회지, 제30권 2호, 1994
- 강주환, 박선중, 박민원, 서남해안의 해수면 상승과 해일고 증가 경향, 한국해양·해양공학회논문집, 제20권 제1호, 2008
- 국립환경과학원, 지구온난화에 따른 한반도 영향평가 및 적응전략 기술개발, 2000
- 국무총리실, 기후변화대응 종합기본계획, 2008
- 국무총리실, 기후변화대책위원회 구성 및 운영에 관한 규정, 2008
- 기후변화 대응 시범도 조성을 위한 환경부와 제주특별자치도 간 협력협약, 2007
- 기상연구소, 기후변화협약대응 지역기후시나리오 활용기술개발(II), 2006
- 노재식, 지구환경변화에 관한 연구현황분석: 지구온난화를 중심으로, 학술원 논문집, 2000
- 박용안, 방사성탄소 ^{14}C 에 의한 한국 서해안의 침수 및 침강현상 규명과 서해안에 발달한 반담수-염수습지 퇴적층에 관한 층서학적 연구, 한국지질학회지, 제5권, 1969
- 박용안, 한국 황해(서해)의 프라이스토세 후기 및 홀로세(현세)의 해수면 변동과 기후, 한국제4기학회지, 제6권 제1호, 1992
- 박용안, 공우석외, 한국의 제4기 환경, 서울대학교출판부, 2001
- 윤순옥, 화분분석을 중심으로 본 일산지역의 홀로세 환경변화와 고지형 복원, 대한지리학회지, 제32권 제1호, 1997
- 이명인·강인식, 한반도 기온변동성과 온난화, 한국기상학회지, 제33권 3호, 1997
- 장동호, 지표환경변화 평가 개선을 위한 원격탐사와 GIS 기법 연구-안면도와 천수만 지역을 중심으로, 건국대학교 대학원 박사학위논문, 2002
- 장진호, 한국 서해안 곰소만 조간대의 퇴적작용, 서울대학교 박사학위논문, 1995
- 전미숙, 지구온난화로 인한 해수면 상승에 따른 충남 서해안의 해안선과 연안역 변화에 관한 연구, 공주대학교 교육대학원 석사학위논문, 1997
- 조광우, 한화진, 강광규, 조승현, 김지혜, 이한수, 기후변화협약 대응체제 연구, 환경부. 2002

- 조하만, “지구온난화와 한반도 부근의 기온변화“ 생태계 위기와 한국의 환경문제, 도서출판 따님, 1993
- 조화룡, 만경강 연안 충적평야의 지형발달, 경북대 사대 교육연구지, 제28집, 1986
- 최진영, 김계월, 정일웅, 지구 온난화로 인한 해수면 상승과 한반도 침수 가능 면적의 전망, 한국기상학회 가을 학술대회 논문집, 2006
- 충청남도, 충청남도 통계연보, 2007
- 한국해양연구원, 지구환경변화에 대한 해양학적 조사연구, 1992
- 해양수산부, 전국연안 침식방지 종합대책, 2001
- 해양수산부, 국제해도(W302, W323), 2002
- Ali, S.I. and S. Huq., International Sea Level Rise: National Assessment of Effects and Possible Response for Bangladesh. College Park: University of Maryland Center for Global Change, 1989
- Barth, M. C. and J. G. Titus, eds, Greenhouse effect and sea level Rise: A challenge for this generation, New York: Van Nostrand Reinhold, 1984
- Bruun, C. R., Sea level rise as a cause of shore erosion, Journal of Waterways and Harbors Division(ASCE)1, 1983
- Congalton, R. G., "Using Spatial Autocorrelation Analysis to Explore the Errors in Maps Generated from Remotely Sensed Data", *Photo Eng. and Remote Sensing*, 54(5), 587-592, 1988
- Congalton, R. G., "A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remote Sensing Data", *Remote Sensing of Environment*, 37, 35-46, 1991
- Donn, W. L., W. R. Farrand, and M. Ewing., Pleistocene ice volumes and sea-level lowering, Journal of Geology 70, 1962
- EPA, The Probability of Sea Rise, 1995
- Fitzpatrick-Lins, K., "Comparison of Sampling Procedures and Data Analysis for a Land-Use and Land-Cover Map", *Photo, Eng. and Remote Sensing*, 47(3), 343-351, 1981
- Hansen, 고다드 연구소의 3차원 모델이 예측한 지구 기후변동, Journal of geophysical research, vol 93(D), 1988
- Hord, R. M., Digital Image Processing of Remotely Sensed Data, New York: Academic Press, 256, 1982

IPCC, Changinf Climate and the Coast, Report to the IPCC from the Miami Conference on Adaptive Response to Sea Level Rise and Other Impact of Global Climate Change, 1990

IPCC, Climate Change 2001: The Scientific Basis, Cambridge Univ. Press, 2001

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

Jensen, J.R., Introductory Digital Image Processing, Prentice Hall, Englewood Cliffs, News Jersey, 1998

Kennet, J., Marine Geology, Pentiss-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey: Pentess-Hall, 1982

Lillesand, T. M. and Kiefer, R.W., Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley & Sons, Inc, 1994

Mercer, J. H., Antarctic ice and Sangamon sea level, Geological Society of America Bulletin 79, 1968

Oldale, R. Late Quarternary sea level history of New England: a review of published sea level data, Northeasten Geolgy 7, 1985

Swain, P.H. and Davis, S.M., Remote Sensing: The Quantitative Approach, McGraw-Hill, 145-159, 1978

세계자연보고기금, <http://www.wwf.org>

통계청, <http://www.nso.go.kr>

■ 집 필 자 ■

연구책임 · 장동호 공주대학교 지리학과 교수
공동연구 · 정종관 충남발전연구원 환경생태연구부 연구위원
연구원 · 손석원 공주대학교 지리교육학과 박사과정
홍기병 공주대학교 지리정보학과 석사과정

기획연구 2008-11 · 서해안 해수면상승에 따른 영향 및 대책

글쓴이 · 장동호, 정종관, 손석원, 홍기병 / 발행자 · 김용웅 / 발행처 · 충남발전연구원
인쇄 · 2008년 12월 31일 / 발행 · 2008년 12월 31일
주소 · 충청남도 공주시 금홍동 101 (314-140)
전화 · 041-840-1200(직통) 041-840-1114(대표) / 팩스 · 041-840-1219
ISBN · 978-89-6124-073-4 93500

<http://www.cdi.re.kr>

© 2008, 충남발전연구원

- 이 책에 실린 내용은 출처를 명기하면 자유로이 인용할 수 있습니다.
무단전재하거나 복사, 유통시키면 법에 저촉됩니다.
- 이 연구는 본 연구원의 공식 견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.