

해수면 상승에 따른 경제적 피해 비용 및 최적 해안 방어 비율 추정 -제주도를 대상으로-[†]

민동기*·조광우**

요약 : 본 연구는 FUND모형을 이용하여 우리나라의 제주도를 대상으로 해수면 상승에 따른 경제적 피해 비용 및 최적 해안 방어 비율을 도출하였다. 대부분의 기존 연구들은 기후변화에 따른 해수면 상승의 경제적 피해 및 이를 방어하기 위한 최적 해안 방어 비율을 분석하기 위한 연구 대상을 전 세계나 대륙 중심으로 분석하여 개별 국가의 대응 정책에 활용하기에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 우리나라를 대상으로 해수면 상승에 따른 경제적 피해 비용 및 최적 해안 방어 비율을 분석하기 위한 시도로 FUND모형을 우리나라에 적용하기 위한 지표 값들을 도출하고 이를 토대로 제주도를 대상으로 해수면 상승에 따른 경제적 피해 비용 및 최적 해안 방어 비율을 분석하였다. 2100년까지의 분석기간 동안 시나리오별로 해수면 상승에 따른 범람 면적은 약 2.01%~2.25%이고 토지 가치로는 6.4%~7.2%로 상대적으로 높아 범람 지역이 경제활동이 활발한 지역임을 보였다. 추정된 최적 해안 방어 비율을 보면 제주시가 87.16%~87.92%로 서귀포시 73.32%~75.47%보다 높다. 비록 제주시의 해안선의 길이가 서귀포시에 비하여 더 길어 해안 방어 비용이 더 필요하지만 제주시의 경제적 피해 규모가 더 크기 때문에 해안 방어 가치가 더 큼을 보여주었다.

주제어 : FUND 모형, 기후변화, 해수면 상승, 적응 경제적 파급효과

JEL 분류 : Q2, R1, A1

접수일(2013년 1월 7일), 수정일(2013년 1월 28일), 게재확정일(2013년 1월 31일)

[†] 본 연구는 기상청 기후변화감시예측 및 국가정책지원강화사업(CATER 2012-7140) 및 한국환경정책·평가연구원 협동연구과제 “국가 해수면 상승 사회·경제적 영향평가(II)” 지원으로 수행되었습니다.

* 건국대학교 경제학과 교수(주저자)

** 한국환경정책·평가연구원 연구위원(교신저자)(e-mail: kwcho@kei.re.kr)

Economic Impacts of Sea-level Rise and Optimal Protection on Jeju Island

Dongki Min* and Kwangwoo Cho**

ABSTRACT : This study estimates the economic impact of sea-level rise on Jeju island and suggests the optimal protection level based on the FUND model. There exist a number of studies that estimate the impacts of sea-level rise on global scale, but their results are of limited use for local scale such as Korea. Therefore, this study applies some specific indicators and data of Korea into to FUND model for deriving site specific estimates. The results show that 2.01%~2.25% of land could be inundated by sea-level rise until 2100. The value of affected land is about 6.4%~7.2% of total land value. The discrepancy between the figures indicates that the area affected by sea-level rise is much more valuable than the rest of Jeju island. The optimal protection level in Jeju city is higher than that in Seguiipo city, even though the coastal length of Jeju city is longer than that of Seguiipo. This is due to the fact that the economic value of Jeju city is much higher than that of Seoguiipo city.

Keywords : FUND model, Climate Change, Sea-level Rise, Adaptation, Economic Effect

Received: January 7, 2013, Revised: January 28, 2013, Accepted: January 31, 2013.

* Dept. of Economics, Konkuk University

** Korea Environment Institute(e-mail: kwcho@kei.re.kr)

I. 서론

해안 지역은 생물학적 다양성(biodiversity) 및 사회·경제적 활동이 활발한 지역이다. 이러한 해안지역이 20세기부터 가속화되고 있는 기후변화로 인하여 해수면 상승 압박을 받고 있다(IPCC, 2007a, 2007b). 우리나라도 주요 도시들이 해안 지역에 위치하여 이들 해안지역을 중심으로 사회·경제적 활동이 활발히 이루어지고 있다. 따라서 해안 지역은 인구 집중도가 높고 항만 및 어항, 도로, 산업단지, 발전소(원자력 및 화력), 관광 등 국가 경제에 상당 부분의 역할을 담당하고 있다. 또한 해안이 가지는 다양한 사회·경제적 중요성을 반영하여 항만개발, 도시개발, 관광개발 등의 개발 수요가 증가하고 있다(환경부, 2011). 그러나 이와 같이 해안에 인접한 지역의 개발은 기후변화로 점차 강해지고 있는 파랑과 태풍 등에 의하여 일차적인 피해가 가시화되고 있으며 기후변화 및 해수면 상승 가속화로 인한 피해 또한 급격히 증가할 것으로 예상하고 있다.

최근 지구온난화로 인한 해수면 상승은 기후 변화에 관한 정부간 패널(IPCC) 4차 보고서(IPCC, 2007a)의 예측치 2.0mm/yr를 초과하여 최근 지구 평균 해수면 상승률은 약 3.2mm/yr이고 여러 연구들에 의하면 앞으로 해수면 상승률은 급격히 증가하여 금세기 말에는 해수면 상승이 1m를 초과할 수 있을 것으로 예상하고 있으며(Vermeer and Rahmstorf, 2009; Rahmstorf et al., 2007), 우리나라의 경우 지구 평균치보다 높은 4.0mm/yr이상을 기록하고 있다(한국환경정책·평가연구원, 2009). 그러나 경제적 효율성 측면에서 해안이 활발히 개발되어 왔으며 최근에는 지자체의 해안 개발 수요를 반영하여 ‘연안역개발특별법’을 제정하는 등 해안의 사회·경제적 이용이 증가하는 추세에 있다(환경부, 2011). 이와 같은 해안 이용방식에 대하여 기후변화는 해안지역 사회·경제 활동에 큰 피해를 초래할 것으로 예상된다. 따라서 현재 가속되고 있는 해수면 상승과 기후변화에 의한 해안의 사회·경제 활동에 대한 영향을 평가하고 이에 대한 정책 대안을 마련하는 것이 시급한 과제이다.

현재 기후변화에 따른 해수면 상승 영향 분석은 전 지구적 차원에서 평균적인 영향을 분석하는 수준에 있다. 그러나 기후변화에 따른 해수면 상승에 대응하는 개별 국가들의 정책 방안을 도출할 경우에는 보다 구체적인 접근 방법이 필요할 것이다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 해안을 대상으로 금세기말까지의 예상되는 해수면 상승 시나리오 하에서 해수면 상승에 따른 경제적 피해를 추정하기 위한 적용 방법론을 제시하고 제주도 지역을 사례로 해수면 상승에 따른 경제적 피해규모 및 최적 해안 방어 수준을 추정하고자 한다.

II. 기존 연구 동향

해수면 상승에 따른 경제적 영향에 대한 연구는 다양한 형태로 이루어지고 있다. 기후변화에 따른 해수면 상승은 점진적으로 이루어지므로 1세기 정도의 분석기간을 대상으로 연구가 진행되고 있으며 향후 사회·경제 여건의 변화를 어떻게 가정하느냐에 따라 해수면 상승의 경제적 영향은 큰 차이를 보이고 있다. 지금까지의 해수면 상승에 따른 경제적 영향은 대부분 전 지구나 대륙 수준으로 분석되어 개략적이고 포괄적인 분석이 이루어지고 있다. 이 경우에 사용되는 한 방법은 연산가능 일반균형 모형(CGE: Computable General Equilibrium)이다.¹⁾ 전 세계의 경제 구조를 한 모형에 포함하여 해수면 상승이 피해지역을 포함한 전 세계 경제에 미치는 영향을 분석한다. 이 경우 장기 분석 기간(약 100년)에 이루어질 경제성장, 산업 구조 및 무역 구조 등에 관한 여러 가정들의 미세한 변화가 추정결과에 큰 영향을 미치게 되어 추정 결과의 신뢰도에 의문이 제기될 수 있다. 따라서 경제영향 보다는 피해 지역의 토지 가치를 피해 비용으로 산정하는 연구들도 이루어지고 있다. 경제적 영향 평가와 함께 해수면 상승 피해를 막기 위하여 해안 방어를 어느 정도할 것인가를 분석하는 모형으로 FUND(The Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution) 모형이 이용되고 있다²⁾. 이 모형에서는 기후변화에 따른 해수면 상승을 포함한 다양한 형태의 기후변화 영향을 분석한다. 그리고 해수면 상승에 따른 경제적 피해규모 및 피해를 최소화하기 위한 최적 해안 방어 수준을 제시한다. 범람

1) Bosello, F., Nicholls, R.J., Richards, J., Roson, R., Tol, R., "Economic Impacts of Climating Change in Europe:sea-level rise," *Climatic Change*, 2012.

2) Anthoff, David, and Richard S. J. Tol, "The Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution (FUND), Technical Description, Version 3.5," 2010.
Fankhauser, "Protection versus retreat: Estimating the Costs of Sea Level Rise," CSERGE Working Paper GEC, 1994.

예상지역의 여러 자산에 대한 피해 비용 및 이주민들의 이주관련 비용의 합과 해안 방어가 이루어질 경우 갯벌 손실 및 해안 방어 시설 건설·운영 비용 등 해안 방에 수반되는 비용을 추정하여 적정 수준의 해안 방어 수준을 결정한다. 이 방법 또한 미래의 경제·사회 여건 변화에 대한 가정이 필요하므로 추정 결과가 이들 가정에 영향을 받을 수 있다.

본 연구에서는 FUND모형을 토대로 우리나라에 적용할 수 있는 해수면 상승에 따른 경제적 피해 규모 및 최적 해안 방어 수준을 결정하기 위한 모형을 설정하고 이를 토대로 제주도를 대상으로 해수면 상승에 따른 경제적 피해 규모 및 최적 해안 방어 수준을 분석하고자 한다.

다음 장에서는 최적 해안 방어 비율 모형 설정과 적용에 필요한 경제적 피해 비용 및 해안 방어 비용 산정 방법을 분석하고 4장에서는 제주도를 대상으로 최적 해안 방어 비율을 도출하며 5장에서는 본 연구의 결론을 제시한다.

III. 최적 해안 방어 비율 모형 및 경제적 영향 평가 방법론 분석

1. 최적 해안 방어 비율 모형

해수면 상승에 따른 경제적 피해를 최소화하기 위한 최적 해안방어 비율은 해안 방어가 이루어지지 않았을 경우에 발생하는 경제적 피해 비용과 이를 막기 위한 해안방어 비용을 토대로 한계 해안방어 비용과 한계 경제적 피해 비용이 일치하는 수준에서 해안방어 비율이 결정된다. 경제적 피해 최소화를 위한 최적 해안 방어 비율 추정은 아래 식 (1)을 이용한다. 식 (1)의 Z 는 해안 방어 비율(h)에 따른 경제적 피해 비용을 나타낸다. 따라서 식 (1)은 경제적 피해 비용(Z)을 최소화하는 해안 방어 비율(h)을 추정하는 식이다.

$$\min_h Z = [h \cdot PC + (1-h)^2 DL + WL - (1-h)WG] \quad (1)$$

h : 해안 방어 길이 비율

PC: 전 해안선 방어 비용

DL: 해안 방어가 이루어지지 않은 육지 지역의 침수 피해 비용

WL: 해수면 상승에 따라 유실되는 갯벌의 가치

WG: 해안방어가 이루어지지 않았을 경우 해수면 상승으로 습지가 내륙으로 이동함에 따라 신규로 발생하는 습지의 가치

식 (1)에서 $h \cdot PC$ 은 해안 방어 비율이 h 인 경우의 해안 방어에 필요한 비용을 나타낸다. 그리고 해안 방어 비율이 h 이면 방어되지 않은 육지지역 피해 비용은 $(1-h)^2 DL$ 이 된다.³⁾ $(1-h)WG$ 는 해안 방어가 이루어지지 않은 지역에서 신규로 발생한 습지의 가치를 의미한다. 결국 $WL - (1-h)WG$ 는 해안방어가 h 의 길이만큼 이루어질 경우에 발생하는 갯벌 유실에 따른 피해 비용이다.

해수면 상승에 따른 경제적 피해 비용을 최소화하는 최적 해안 방어 비율(h)을 도출하기 위하여 h 로 식 (1)을 미분하면

$$\frac{\Delta Z}{\Delta h} = PC - 2(1-h)DL + WG = 0$$

$$\therefore h = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{PC + WG}{DL} \right)$$

해안 방어 비율은 0 이상이 되어야 하므로 최적 해안 방어 비율(h) 식은 식 (2)와 같다.

$$h = \max\left(0, 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{PC + WG}{DL} \right)\right) \quad (2)$$

식 (2)에 의하면 FUND모형에서는 해수면 상승에 대한 적응(방어) 전략도 포함

3) 해안 방어는 경제적 가치가 가장 큰 지역부터 방어가 이루어지므로 해안 방어가 이루어지면 해안 방어가 이루어지지 않은 지역의 총 피해 비용 감소 비율은 방어 비율보다 더 크게 감소하게 된다. 토지 가격이 최소 가격 0부터 최대가격까지 균등(uniform) 분포를 가정하고 해안 방어가 토지가치가 가장 큰 지역부터 이루어진다고 가정하여 도출함.

되어 있음을 보여준다.

2. 해안 방어 비용 및 경제적 피해 비용 산정 방법

FUND 모형에서 각 세부 항목에 대한 연도별 추정 값의 현재가치를 도출하는 방법은 다음과 같다. 첫째, 해안방어 비용(PC)은 매년 필요한 해안 방어비용이 일정하다는 가정 하에 계산되었다. 이 분석에서 사용되는 할인율 중 시간 선호율 ρ 는 연 1%로 가정하여 실제 할인율은 시간 선호율(1%)에 1인당 소득 증가율(g)을 합한 값으로 현재가치화 하였다. 따라서 해안방어비용의 현재가치 산정 식은 식 (3)과 같다.

$$PC_t = \sum_{s=t}^{\infty} \left(\frac{1}{1+\rho+g_t} \right)^{s-t} PC^a = \frac{1+\rho+g_t}{\rho+g_t} PC^a \quad (3)$$

PC^a : 연간 해안방어 비용

WG 는 해수면 상승에 따라 배후 육지지역에서 새로이 발생하는 신규 갯벌의 가치인데 해안 방어가 이루어지는 지역에서는 신규 갯벌이 발생하지 않게 되어 해안 방어에 따라 포기되는 신규 갯벌의 가치가 해안방어 비용과 함께 방어 비용에 포함된다. W_t 는 t 시점에 해수면 상승에 따라 신규로 발생하는 갯벌의 가치이다. 갯벌의 가치(W_t)는 1인당 소득 증가율과 같은 비율로 증가하는 것으로 가정하여 해수면 상승에 따라 발생하는 신규 갯벌의 순 현재가치는 다음 식과 같다.

$$WG_t = \sum_{s=t}^{\infty} \left(\frac{1+g_t}{1+\rho+g_t} \right)^{s-t} W_t = \frac{1+\rho+g_t}{\rho} W_t \quad (4)$$

WG_t : 신규 갯벌의 순 현재 가치

DL_t 은 해안 방어가 이루어지지 않은 지역에서 발생하는 경제적 피해의 순현재가

치이다. 경제 성장에 따라 경제적 피해 비용도 같은 비율로 증가하는 것으로 가정하면 유실된 육지지역에서 발생하는 경제적 피해비용의 순현재가치는 다음 식과 같다.

$$DL_t = \sum_{s=t}^{\infty} \left(\frac{1+g_t}{1+\rho+g_t} \right)^{s-t} D_t = \frac{(1+\rho+g_t)}{\rho} D_t \quad (5)$$

육지 침수에 따른 경제적 피해비용(D_t)은 <식 6>과 같이 5가지 항목으로 가정하여 산정한다.⁴⁾

$$D_t = DL_{e1} + DL_{e2} + DL_{i1} + DL_{i2} + DL_p \quad (6)$$

DL_{e1} : 침수지역 주민의 재산상 손실비용

DL_{e2} : 침수지역 주민의 이주 비용

DL_{i1} : 이주민을 받아들이는 지역에서 발생하는 정착지원 등 추가비용

DL_{i2} : 이주지역의 인구증가로 발생하는 비용

DL_p : 침수된 토지 비용

FUND 모형에서는 각 피해 비용 항목에 대한 산출 식을 아래 식들과 같이 가정하였다. 첫째, 침수 지역 주민의 재산상 피해비용(DL_{e1})은 식 (7)과 같이 주민(P) 1인당 연간소득(G)의 3배로 한다. 둘째, 침수지역 주민의 이주 비용(DL_{e2})은 식 (8)과 이 이주 첫 해에는 개인소득의 30%의 비용이 발생하고 그후 정착 과정에서 추가 비용이 발생하지만 비용이 점차 감소(연 7%)하는 것으로 가정한다. 셋째, 이주민을 받아들이는 지역에서 발생하는 정착지원 등 추가비용(DL_{i1})은 식 (9)와 같이 이주민 1인당 이주지역 주민 1인당 국민소득(G_2)의 40%로 가정한다. 넷째, 이주지역의 인구증가로 발생하는 비용(DL_{i2})은 식 (10)과 같이 식 (9)의 이주비용에서 매년 33%씩 감소하는 것으로 가정한다. 마지막으로 침수된 토지의 가치(DL_p)는 본 연구에서

4) 환경부, 『우리나라 기후변화의 경제학적 분석(1)』, 2009.

는 실제 토지 감정가격을 이용하여 추계한다.

$$DL_{e1} = P \times G \times 3 \quad (7)$$

$$DL_{e2} = \sum_{n=1}^n \{(P \times G \times 0.3) \times (1 - 0.07)^{n-1}\} \quad (8)$$

$$DL_{i1} = \sum (P \times G_2 \times 0.4) \quad (9)$$

$$DL_{i2} = \sum_{n=1}^n \sum \{X \times P \times G_2 \times 0.4 \times (1 - 0.33)^{n-1}\} \quad (10)$$

IV. 사례 연구

본 연구에서는 제주도를 대상으로 기후변화에 따른 해수면 상승이 제주도 지역에 미치는 경제적 피해 규모 및 최적 해안 방어 수준을 분석한다. 해수면 상승에 따른 육지 지역의 연도별 범람 범위는 우리나라를 대상으로 향후 100년간 해수면 상승에 따른 육지의 범람 과정을 분석한 김태운·조광우(2013)의 연구 결과를 이용한다. 이 연구에서는 해수면 상승에 대한 4가지 시나리오를 설정하여 시나리오별로 분석기간 중 육지 지역의 범람 정도를 분석하였다. 본 연구에서는 연도별 범람지역에 대하여 이들 지역의 경제활동, 인구 구조 현황 및 향후 변화 추이를 토대로 해수면 상승에 따른 시나리오별로 범람지역의 경제적 피해 규모 및 최적 해안 방어 수준을 분석한다.

김태운·조광우(2013)의 연구에서는 최근에 기상청 국립기상연구소가 국제표준 온실가스 배출 시나리오에 근거한 대표농도경로(RCP:Representative Concentration Pathway) 4종류(RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5)의 시나리오별로 2100년까지의 해수면 상승 수준을 추정하였다.⁵⁾ 시나리오별로 각 연도별 예상 해수면 상승은 <표 1>과 같다. RCP 2.6의 경우 2100년도에 이르면 해수면이 0.87m 정도 상승하는 것으로 예상하고 RCP 8.5의 경우에는 해수면이 1.36m까지 상승하는 것으로 예상하였다. IPCC RCP 4개 시나리오 숫자는 온실가스 농도 증가에 의한 태양복사

5) 김태운·조광우, “반경험적법을 이용한 미래 해수면 상승 예측” 해양환경안전학회지, 2013.

〈표 1〉 시나리오별 해수면 상승 예측결과

시나리오	2030년	2050년	2070년	2100년
RCP 2.6	0.21m	0.36m	0.57m	0.87m
RCP 4.5	0.22m	0.43m	0.70m	1.21m
RCP 6.0	0.20m	0.35m	0.56m	1.02m
RCP 8.5	0.21m	0.38m	0.67m	1.36m

자료: 김태운·조광우, “반경험식법을 이용한 미래 해수면 상승 예측” 해양환경안전학회지, 2013.

강제력의 변화를 의미하며, 각각의 시나리오는 미래 대기 중 온실가스 농도를 420 ppm, 540ppm, 670ppm, 940ppm으로 설정하고 있다. 준경험적방법에 의한 해수면 시나리오 계산은 해양 및 빙하 시스템의 높은 관성으로 기온 상승에 대하여 누적적으로 반응하는 특성을 나타낸다. RCP 6.0의 해수면이 RCP 4.5보다 적게 나타는 것도 2100년까지 기상청 RCP 6.0 기온시나리오가 RCP 4.0보다 누적적으로 작게 산출되었으며 이에 대한 해양 및 빙하의 관성 반응으로 해수면이 작게 산출되고 있다.

1. 범람 지역 경제적 피해 비용

해수면 상승에 따른 범람지역의 경제적 피해 규모를 추정하기 위해서는 우선 해당 지역의 경제활동 현황 및 향후 1인당 국민소득 추이, 경제성장율, 인구 변화 추이와 같은 사회·경제적 변수들의 추이를 자료가 필요하다. 2100년까지의 제주도 지역의 인구 규모를 산정하기 위하여 통계청의 인구, 가구 및 주택자료⁶⁾를 이용하였다. 통계청 인구 통계는 5년 주기로 집계하므로 본 연구의 기준 연도인 2006년도 지역별 인구는 2005년 및 2010년 지역별 인구 자료를 토대로 선형으로 변화한 것으로 가정하여 2006년 지역별 인구 규모를 추정하였으며 2006년 제주시의 인구는 394,073명이고 서귀포시의 인구는 140,742명 산정하였다. 그리고 환경부(2010)에서 추정한 2100년도까지의 전국 평균 인구 감소율 -14.7%를 적용하여 2100년까지 제주도 지역의 연도별 인구 규모를 추계하였다. 제주도의 1인당 국민소득은 통계청 및 각 광역시·도의 국민계정 및 지역계정⁷⁾ 자료를 이용하였으며 제주특별자치도

6) 통계청 조사관리국 인구총조사과. <http://kosis.kr>

7) 통계청(<http://kosis.kr>) 및 각 광역시·도 홈페이지 지역소득 자료

의 2006년 1인당 13.92백만원이다. 국민소득의 연간 증가율은 한국개발원(2007)에서 제시한 2100년까지의 1인당 GDP 증가율과 같은 비율로 증가하는 것으로 가정하였다. 이와 같은 사회·경제 지표의 변화 추이를 토대로 분석기간 중 해수면 상승 시나리오별 경제적 피해 규모 및 해안 방어 비용을 추정하였다.

<표 1>의 해수면 상승 시나리오를 토대로 추정한 기간별 범람 면적은 <표 2>에 정리하였고 해당 범람 지역의 공시지가 자료를 이용하여 범람 지역 토지 가치를 산정하였다.⁸⁾ RCP 8.5시나리오의 경우 2100년까지의 총 범람 면적은 41.69km²로 총 제주도 면적의 2.25%를 차지하고 범람지역의 토지가치는 2조 6,577억으로 총 토지

<표 2> 시나리오별 범람 면적 및 범람 토지 가치

		범람면적 (단위:km ²)			침수토지가치 (단위:십억원)		
		제주시	서귀포시	계(비율:%)	제주시	서귀포시	계(비율:%)
총 면적 및 가치		1,846.85			36,827.54		
RCP 2.6	'06~'30	17.60	12.81	30.41(1.65)	1,101.59	846.73	1,948.32(5.29)
	'31~'50	0.79	0.80	1.59(0.09)	52.23	50.13	102.36(0.28)
	'51~'70	0.99	1.11	2.10(0.11)	63.46	69.96	133.42(0.36)
	'71~'100	1.69	1.21	2.90(0.16)	107.81	76.99	184.80(0.50)
RCP 4.5	'06~'30	17.60	12.81	30.41(1.65)	1,101.70	846.91	1,948.61(5.29)
	'31~'50	1.03	1.18	2.21(0.12)	64.29	74.61	138.90(0.38)
	'51~'70	1.31	1.12	2.43(0.13)	85.17	71.47	156.64(0.43)
	'71~'100	2.76	2.11	4.87(0.26)	176.10	131.05	307.15(0.83)
RCP 6.0	'06~'30	17.56	12.81	30.37(1.64)	1,100.81	846.72	1,947.53(5.29)
	'31~'50	0.63	0.79	1.42(0.08)	36.73	50.06	86.79(0.24)
	'51~'70	1.17	0.80	1.97(0.11)	78.78	50.22	129.00(0.35)
	'71~'100	2.41	1.99	4.40(0.24)	155.09	125.38	280.47(0.76)
RCP 8.5	'06~'30	17.60	12.81	30.41(1.65)	1,101.59	846.73	1,948.32(5.29)
	'31~'50	0.80	0.80	1.60(0.09)	52.41	50.13	102.54(0.28)
	'51~'70	1.46	1.51	2.97(0.16)	94.15	95.04	189.19(0.51)
	'71~'100	3.78	2.93	6.71(0.36)	236.46	181.21	417.67(1.13)

8) 범람면적은 지적도를 기준으로 현재 사회경제활동 기준 해수면 + 미래해수면 시나리오를 이용하여 산출함. 2030년까지의 범람면적이 상대적으로 큰 이유는 해안방어시설을 고려하지 않는 것과 지적도를 기준으로 현재의 기준 해수면에 대해서도 우리나라 연안의 범람 잠재력이 크다는 것을 나타내고 있음.

<표 3> 범람 지역 연간 이주 인구

(단위: 명)

		'06~'30	'31~'50	'51~'70	'71~'100
제주시	RCP 2.6	1,262	71	81	86
	RCP 4.5	1,262	88	108	141
	RCP 6.0	1,261	52	99	124
	RCP 8.5	1,262	72	120	189
서귀포시	RCP 2.6	245	27	38	26
	RCP 4.5	245	41	38	44
	RCP 6.0	245	27	27	42
	RCP 8.5	245	27	51	63
계	RCP 2.6	1,507	98	119	112
	RCP 4.5	1,507	129	146	185
	RCP 6.0	1,506	79	126	166
	RCP 8.5	1,507	99	171	252

가치의 7.22%로 추정되었다. 범람 예상지역에는 해안 주변의 경제활동이 활발한 지역이 많아 면적 비율에 비하여 토지 가치는 상대적으로 높게 나타났다.

2100년 기준 범람 예상지역의 인구 규모는 <표 3>과 같다. 김태윤·조광우(2013) 연구에서는 시나리오별로 2100년까지의 분석기간을 4단계(2030년, 2050년, 2070년, 2100년)로 세분화하여 단계별 해수면 상승 정도를 분석하였다. 따라서 본 연구에서는 시나리오별로 4단계 기간 중 해수면 상승 정도를 감안하여 범람 지역에 거주하는 인구 규모를 추정하였다. 범람예상지역의 인구 규모는 해당 지역의 인구밀도가 동일하다는 가정하에 연도별 해당 지역의 총 주거지 면적 대비 범람 주거지 면적 비율을 해당 지역의 총인구에 곱하여 추정하였다.

<표 1>~<표 3>에서 도출한 분석기간 중 연간 예상 범람지역, 인구 규모 추이 및 1인당 국민소득 자료를 토대로 식 (8)에서 제시한 5가지 항목의 피해 비용을 분석한다. 범람 면적이 연도별로 다르므로 연간 피해 비용도 서로 다르며 경제성장 추이에 따라 그 크기도 변화한다. 따라서 경제성장율을 반영하여 각 연도별 연간 피해 비용을 추계하고 이들 비용의 현재가치를 추정한다. <표 4>~<표 5>에서는 시나리오별로 항목별 육지 범람에 따른 연간 피해 비용을 추계하였다. 범람 면적이 넓은 2030년

해수면 상승에 따른 경제적 피해 비용 및 최적 해안 방어 비용 추정 -제주도를 대상으로-

〈표 4〉 범람 지역 연간 재산손실 비용 및 연간 주민 이주 비용
(단위:백만원)

		연간 재산손실 비용				연간 주민 이주 비용			
		'06~'30	'31~'50	'51~'70	'71~'100	'06~'30	'31~'50	'51~'70	'71~'100
제주시	RCP 2.6	52,699	2,981	3,394	3,585	75,284	4,259	4,849	5,122
	RCP 4.5	52,705	3,693	4,507	5,908	75,293	5,276	6,439	8,440
	RCP 6.0	52,647	2,191	4,119	5,191	75,210	3,131	5,885	7,416
	RCP 8.5	52,699	3,015	4,990	7,894	75,284	4,307	7,129	11,277
서귀포시	RCP 2.6	10,217	1,139	1,569	1,067	14,595	1,628	2,242	1,524
	RCP 4.5	10,217	1,702	1,600	1,856	14,595	2,432	2,286	2,651
	RCP 6.0	10,217	1,132	1,111	1,744	14,595	1,617	1,587	2,492
	RCP 8.5	10,217	1,139	2,121	2,647	14,595	1,628	3,030	3,781
계	RCP 2.6	62,916	4,120	4,963	4,652	89,879	5,887	7,091	6,646
	RCP 4.5	62,922	5,395	6,107	7,764	89,888	7,708	8,725	11,091
	RCP 6.0	62,864	3,323	5,230	6,935	89,805	4,748	7,472	9,908
	RCP 8.5	62,916	4,154	7,111	10,541	89,879	5,935	10,159	15,058

〈표 5〉 범람 지역 이주민 정착 비용 및 이주 지역 인구 증가 비용
(단위:백만원)

		범람 지역 연간 이주민 정착 비용				이주 지역 연간 인구 증가 비용			
		'06~'30	'31~'50	'51~'70	'71~'100	'06~'30	'31~'50	'51~'70	'71~'100
제주시	RCP 2.6	7,027	398	453	478	21,292	1,205	1,371	1,449
	RCP 4.5	7,027	492	601	788	21,295	1,492	1,821	2,387
	RCP 6.0	7,020	292	549	692	21,272	885	1,664	2,098
	RCP 8.5	7,027	402	665	1,053	21,292	1,218	2,016	3,189
서귀포시	RCP 2.6	1,362	152	209	142	4,128	460	634	431
	RCP 4.5	1,362	227	213	247	4,128	688	647	750
	RCP 6.0	1,362	151	148	233	4,128	457	449	705
	RCP 8.5	1,362	152	283	353	4,128	460	857	1,070
계	RCP 2.6	8,389	550	662	620	25,420	1,665	2,005	1,880
	RCP 4.5	8,389	719	814	1,035	25,423	2,180	2,468	3,137
	RCP 6.0	8,382	443	697	925	25,400	1,342	2,113	2,803
	RCP 8.5	8,389	554	948	1,406	25,420	1,679	2,873	4,259

까지의 재산 손실 비용, 이주 비용, 이주민 정착 비용 및 이주지역 인구증가 비용은 다른 기간에 상대적으로 크게 나타났다. 그리고 해수면 상승 정도가 제일 큰 RCP 8.5 시나리오에서 연간 피해 비용이 가장 크게 추정되었다.

2. 해안 방어 비용

해수면 상승에 따른 범람을 방어하기 위한 해안 방어 시설의 여러 형태가 있다. 방호벽 형식으로는 설치 공간이 좁은 해안가에 옹벽을 쌓는 옹벽식이 있으며 조망권 확보 및 데크를 설치하는 등 다양한 형태의 친수형 옹벽식도 있다. 해안가 표고를 높이고 수변 접근을 용이하게 하는 계단식이 있고 하천이나 수로와 연결된 지역에는 해일 등을 방어하는 기립식 등이 있다.

각 방어시설의 공사비는 <표 6>에 정리하였으며 본 연구에서는 해수면 상승 수위를 감안하여 높이 1.5m의 친수형 옹벽식 방어시설을 설치하는 경우로 가정하여 해안 방어시설 건설비용을 길이 1m당 199만원으로 산정하여 해안 방어 비용을 산정하였다. 분석 대상 기간이 약 100년 정도이므로 방어시설의 내구연수를 일반 사회

<표 6> 해안방어시설 공사비 산정 (1m당)

(단위: 원)

구조 형식	순공사비	제경비	부가세	합계	
옹 벽 식	H=1.0m	614,564	245,826	86,039	950,000
	H=1.5m	731,955	292,782	102,474	1,130,000
	H=2.0m	903,427	361,371	126,480	1,390,000
상부투명옹벽식	H=1.5m	990,564	396,226	138,679	1,530,000
	H=2.0m	1,118,564	447,426	156,599	1,720,000
	H=2.3m	1,288,964	515,586	180,455	1,990,000
친수형옹벽식	H=1.5m	1,290,197	516,079	180,628	1,990,000
	H=2.0m	1,947,530	779,012	272,654	3,000,000
계 단 식	H=1.0m	455,340	182,136	63,748	700,000
	H=1.5m	543,010	217,204	76,021	840,000
매립+계단식	H=1.5m	3,148,071	1,259,228	440,730	4,850,000
기 립 식	H=2.0m	-	-	-	27,000,000

자료) 국토해양부, 「기후변화에 따른 항만구역내 재해취약지구 정비계획수립용역 보고서」, 2011

간접자본 시설의 내구연수와 같이 40년~50년으로 가정하는 경우 방어시설 건설은 분석 기간 중 2회하는 것으로 하여 연간 건설비용을 산정하였으며 방어시설의 연간 유지 비용은 4%로 가정하여 추계하였다.⁹⁾

방어시설의 연간유지비용은 Matthew Heberger et.al.(2009)에서는 건설시 기계화된 시설의 경우 연간 유지비용이 2%~4% 수준이고 기계화되지 않은 방어시설의 경우 5%~15%로 보고 있다. 본 연구에서는 국토해양부(2011)과 같이 방어시설의 연간 유지비용을 4%로 가정하여 방어비용을 추정한다.

3. 범람 지역 경제적 피해 비용 및 해안 방어 비용의 현재가치

식 (3)~식 (5)을 이용하여 해수면 상승 시나리오별로 도출한 연간 경제적 피해 비용의 현재가치와 해안방어 비용의 현재가치를 추정하였다. 제주시의 총 경제적 피해비용의 현재가치는 RCP 2.6 시나리오에서는 4조 9,421억으로부터 RCP 8.5 시나

〈표 7〉 시나리오별 경제적 피해비용 및 방어비용현가 (단위: 백만)

지역	시나리오	경제적 피해비용	방어비용
제주시	RCP 2.6	4,942,175	1,268,776
	RCP 4.5	5,158,592	
	RCP 6.0	5,015,133	
	RCP 8.5	5,251,757	
서귀포시	RCP 2.6	1,653,212	882,125
	RCP 4.5	1,752,534	
	RCP 6.0	1,675,048	
	RCP 8.5	1,798,026	
계	RCP 2.6	6,595,387	2,150,901
	RCP 4.5	6,911,126	
	RCP 6.0	6,690,181	
	RCP 8.5	7,049,783	

9) Matthew Heberger et. al., 『The impact of sea-level rise on the califonia coast』, California Climate Change Center에서는 연간 유지비용이 기계화된 시설은 2%~4%, 비기계화 시설은 5%~15%로 제시하였으며 국토해양부(2011)에서는 4%를 제시하였다.

리오에서 5조 2,517억으로 추정되었다. 이러한 경제적 피해비용을 막기 위한 해안 방어 비용의 현재가치는 1조 2,687억원으로 추정되어 해안방어비용이 경제적 피해비용의 24%~26% 수준으로 추정되었다.

서귀포시의 경우 총 경제적 피해비용의 현재가치는 RCP 2.6 시나리오에서는 1조 6,532억으로부터 RCP 8.5 시나리오에서 1조7,980억으로 추정되었다. 이러한 경제적 피해비용을 막기 위한 해안 방어 비용의 현재가치는 8,821억원으로 추정되어 해안방어비용이 경제적 피해비용의 49%~53% 수준으로 추정되어 제주시의 경우보다 이 비율이 더 높은 것으로 추정되었다. 이는 해안선의 길이가 제주시(312km)가 서귀포시(217km)보다 길어 방어비용이 크지만 경제적 활동이 서귀포시보다 제주시가 더 커서 제주시의 경제적 피해비용이 더 크게 나타난 결과이다.

4. 최적 해안 방어 비율

앞 절에서 추정한 경제적 피해 비용 및 방어 비용 추정결과를 토대로 식 (2)에서 제시한 최적 해안 방어 비율을 시나리오별로 도출한 결과를 <표 8>에 정리하였다. 각 시나리오별로 큰 차이는 없지만 지역별로는 경제활동 규모의 차이로 방어비율에 차이가 있다. 제주시의 경우 RCP 2.6 시나리오에서 87.16% 해안 방어가 최적 해안 방어 비율로 추정되었고 RCP 8.5시나리오에서는 87.92% 해안 방어가 최적해안방어 비율로 추정되어 가장 큰 비율을 보였다. 서귀포시의 경우 RCP 2.6 시나리오에

<표 8> 최적 해안 방어 비율

지역	시나리오	최적해안방어 비율
제주시	RCP 2.6	87.16
	RCP 4.5	87.70
	RCP 6.0	87.35
	RCP 8.5	87.92
서귀포시	RCP 2.6	73.32
	RCP 4.5	74.83
	RCP 6.0	73.67
	RCP 8.5	75.47

서 73.32% 해안 방어가 최적 해안방어 비율로 추정되었고 RCP 8.5시나리오에서는 75.47% 해안 방어가 최적해안방어 비율로 추정되었다.

V. 결론

기후변화에 따른 해수면 상승의 영향은 전 지구적으로 심각한 문제로 대두되고 있다. 이에 따라 해수면 상승의 경제적 피해 및 최적 해안 방어 정책 방안들이 다양하게 연구되고 있다. 그러나 이러한 연구가 포괄적으로 이루어져 특정 국가의 해수면 상승 대응 정책 방안에 활용하기에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 전 세계를 대상으로 개괄적으로 분석한 기후변화에 따른 해수면 상승의 경제적 영향 및 최적 해안방어 비율 분석 모형을 우리나라에 적용하기 위해 필요한 각 지표들을 분석하여 우리나라에 적용 가능한 모형을 설정하고 이를 토대로 제주도를 대상으로 해수면 상승의 경제적 영향 및 최적 해안 방어 수준을 분석하였다.

제주도를 대상으로 분석한 결과를 보면 해수면 상승 시나리오별로 범람 면적은 총 제주도 면적의 약 2.01%~2.25% 정도로 추정되었으며 범람 토지의 가치를 보면 총 토지 가치의 약 6.4%~7.2%로 범람 면적 비율에 비하여 상대적으로 높게 추정되었다. 이는 주요 경제 활동이 이루어지는 지역이 해안에 위치하여 토지 가치가 상대적으로 높아 나타난 결과라 할 수 있다. 범람 지역의 경제적 피해 규모를 추정하기 위하여 각 연도의 피해 규모를 5가지 피해 항목을 설정하고 2100년까지의 인구 규모 및 경제성장율을 감안하여 연도별 해수면 상승에 따른 경제적 피해 규모를 추정하고 2006년 기준으로 현재가치화 하였다. 경제적 피해 비용의 현재가치와 이러한 피해를 막기 위한 해안 방어 비용의 현재가치를 토대로 FUND모형을 이용하여 도출한 최적 해안 방어 비율을 보면 제주시의 경우 시나리오별로 약 87.16%~87.92%의 해안을 방어하는 것이 최적 비율로 추정되었고 서귀포시의 경우에는 약 73.32%~75.47%의 해안을 방어하는 것이 최적 비율로 추정되었다. 해안선의 길이는 제주시가 더 길어 해안 방어 비용이 더 필요하지만 경제적 피해 비용이 서귀포시에 비하여 제주시가 더 커서 제주시의 최적 해안 방어 비율이 더 높게 나타난 것이다.

본 연구에서는 제주시와 서귀포시로 구분하여 분석을 하였으나 일부 자료를 제외

하고는 보다 세분화된 시·군·구 단위 자료도 활용이 가능하다. 따라서 지역 GDP 등 일부 자료를 시·군·구 단위로 도출한다면 보다 구체적인 시·군·구 단위의 해안 방어 정책 방안도 도출이 가능하여 향후 연구 과제로 제시한다. 그리고 본 연구에서는 해안 방어에 따라 훼손되는 신규 갯벌의 가치를 해당지역의 토지 감정 가격으로 가정하여 분석한 한계를 가지고 있다. 향후 연구에서는 이를 분리하여 분석할 필요가 있다.

[참고문헌]

1. 김태운·조광우, “반경험식법을 이용한 미래 해수면 상승 예측”, *해양환경안전학회지*, 2013.
2. 국토해양부, 「기후변화에 따른 항만구역내 재해취약지구 정비계획수립용역 보고서」, 2011.
3. 한국환경정책·평가연구원, 「해수면 상승에 따른 취약성 분석 및 효과적인 대응 정책 수립(II): 연안역 범람 평가 및 대응 방향」, 2009.
4. 환경부, 「우리나라 기후변화의 경제학적 분석(II)」, 2011.
5. 환경부, 「우리나라 기후변화의 경제학적 분석(I)」, 2009.
6. 한국개발원, 「고령화 사회의 장기 거시경제변수 전망」, 2007.
7. Anthoff, D., S. Richard, and J. Tol, “The Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution (FUND), Technical Description, Version 3.5,” 2010, downloaded from www.fund-model.org (17 August 2012).
8. Bosello, F., R. J. Nicholls, J. Richards, R. Roson, and R. Tol, “Economic Impacts of Climating Change in Europe:sea-level rise,” *Climatic Change*, 112: 63-81, 2012.
9. Fankhauser, “Protection versus retreat: Estimating the Costs of Sea Level Rise,” CSERGE Working Paper GEC., 1994.
10. IPCC, 2007a, 「Climate Change 2007: The Physical Science Basis」 Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S. et al. Eds. Cambridge, United Kingdom and New

York, NY, USA.

11. IPCC, 2007b, 「Climate Change 2007: Impacts, Adaptation & Vulnerability」 Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S. et al. Eds. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
12. Matthew Heberger et. al., 『The impact of sea-level rise on the califonia coast』, California Climate Change Center, 2009.
13. Rahmstorf, S. et al., “Recent climate observations compared to projections,” *Science*, 316: 709, 2007.
14. Vermeer, M. and S. Rahmstorf, “Global sea level linked to global temperature,” *PNAS*, 106(51), 2009.