



해수면 상승으로 인한 해안도시의 단·장기적 침수피해액분석 : 부산시 명지동 주거지역을 중심으로^{*,**}

Analysis of Short-term and Long-term Effects of Sea Level Rise on Coastal Cities : Case of Myeongji City, Busan

황세원***·유종현****

Hwang, Sewon · Yoo, Jonghyun

Abstract

When planning coastal areas, sea level rise (SLR) is often overlooked because planners typically expect the effects of SLR to occur in the distant future, i.e., approximately a century later, and because the assessment of SLR is challenging. However, SLR is likely to affect coastal cities even in the short term via an increase in tide and storm surge heights. Using a spatial tool, we estimate the short- and long-term effects of SLR on houses in Myeongji City, Busan. Results show that old towns at low elevations of the city are particularly susceptible to flooding in the short term. The expected annual damage by SLR in 30 years is 0.3–0.4 billion KRW, which will increase exponentially to 0.9–15.0 billion KRW in 2100. When planning coastal cities, this non-negligible short-term damage by SLR should be considered.

주제어 기후변화, 해수면 상승, 도시계획, 해안침수피해

Keywords Climate Change, Sea Level Rise, Urban Planning, Coastal Flood Damage

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

기후변화는 이상고온 및 이상저온, 폭우와 가뭄, 해수면 상승 등 다양한 자연재해를 일으킬 것으로 예측된다. 그중에서도 해수면 상승은 역사적으로 인구가 집중되고 사회·경제 규모가 큰 해안 도시에 직·간접적인 피해를 입힐 것으로 예상된다(Dilley et al., 2005; Stern, 2006; Seto, 2011). 특히 오늘날 내륙 지역과 비교해 해안 지역으로의 인구집중 현상은 전 세계적으로 관찰되고 있으며 이러한 경향은 향후 수십 년간 더욱 심화될 것으로 전

망된다(Mcgranahan et al., 2007; Neumann et al., 2015). 이와 같이 해수면 상승 위험에 노출된 자산 및 인구 증가가 예상됨에 따라 전 세계 많은 국가에서는 해수면 상승에 따른 장기적인 영향을 평가하고 이를 해안 도시계획 수립 및 관리 시에 적극적으로 반영하고 있다(Walsh et al., 2004; European Commission, 2007; McEvoy et al., 2021).

전 지구 평균 해수면은 빙상의 얼음 손실 속도 증가, 해양 열팽창의 지속 등으로 최근 수십 년간 그 상승률이 가속화되고 있다(IPCC, 2019). 해수면의 상승과 함께 열대성 저기압에 의한 강우가 늘어나고 극한의 파도가 많아지면서 해안 지역들의 환경적·사회적·경제적 피해 증가 또한 예상되고 있다(Nicholls, 2011;

* 이 논문은 2021년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 지원되었음.

** 이 논문은 주저자 황세원의 2021년 10월 추계학술발표대회에서 발표한 논문을 수정·보완하여 작성하였음.

*** Bachelor, Department of Urban Planning and Design, The University of Seoul (First Author: uosupnd@gmail.com)

**** Assistant Professor, Department of Urban Planning and Design, The University of Seoul (Corresponding Author: jyoo@uos.ac.kr)

Hinkel et al., 2014). 국립해양조사원(2020)에 따르면 우리나라 전 해안의 평균 해수면은 지난 30년(1990~2019년)간 매년 3.12mm씩 상승했다. 이는 동일 기관에서 이전에 발표했던 해수면 상승률(1990~2018년, 연 2.97mm)과 비교해 소폭 상승한 수치로, 국내 해안의 해수면 상승 속도가 점차 빨라지고 있음을 시사한다. 박윤경 외(2020)는 이러한 해수면 상승률의 가속화를 고려해 2040년까지의 국내 해안의 평균 해수면 상승률을 약 6.1mm/년으로 추정하고, 국내 대부분 해역들의 침수피해 및 자연재해 규모가 현재 학계에서 전망되는 규모를 크게 상회할 것으로 예측하였다.

지속적으로 증가하는 해수면 상승 위험 요인에도 불구하고 우리나라는 현재 도시 차원에서 해수면 상승에 따른 영향 평가 및 적응 대책을 제한적으로 고려하고 있다. 해수면의 매우 느린 상승 속도로 인해 해안 도시의 영구적 침수피해 발생 시점이 약 100여 년 이후로 예상되기 때문에 이를 분석하는 데 한계가 있기 때문이다. 그러나 해수면 상승 현상은 장기적으로 영구적인 침수피해를 발생시키는 동시에 단기적으로도 폭풍 해일고의 높이 및 빈도를 상승시켜 일시적인 침수피해 규모를 증가시킨다(민동기·조광우, 2013; 강주환 외, 2009; 박정재, 2009; 육근형 외, 2011; 김지숙 외, 2015; 김아정 외, 2021). 이러한 이유로 다수의 국외 연구는 해수면 상승의 경제적 영향 평가 시 해일고 상승에 따른 단기적 영향을 포함해 추정한다(Nicholls et al., 2008; Neumann et al., 2015; Diaz, 2016; Mendelsohn et al., 2020).

이러한 측면에서 본 연구는 해안 도시에 대한 해수면 상승의

단·장기적 영향을 공간적·계량적으로 평가 및 분석하는 종합적인 방법론을 마련하고, 인구 및 경제 규모의 빠른 성장이 전망되는 부산의 명지동을 대상으로 사례분석을 진행했다. 3면이 바다인 우리나라는 해수면 상승의 영향을 받는 해안 도시가 다수 존재해 해수면 상승에 대한 기존 해안 도시의 지구단위계획의 재검토와 해안 도시 계획에서의 선제적 대비책은 필수적으로 마련되어야 할 것이다. 본 연구에서 제시된 방법론과 분석 결과는 향후 해안 도시계획 및 설계 시 해수면 상승에 따른 영향을 평가하고 반영하는 데 유용한 자료로 사용될 수 있을 것이다.

2. 선행연구검토 및 차별성

국내에서는 해수면 상승 추세를 지역별로 분석하고 이에 따른 취약 지역과 피해 정도를 파악하는 연구가 다수 진행되었다(Table 1). 이해미(2017)는 전국 해안을 대상으로 침수예상피해도를 작성하고 침수피해를 입을 것으로 예상되는 전국의 주택 수와 면적을 산정하였으며, 이수연·최진무(2011)는 부산 해운대구에 소재한 아파트를 대상으로 예상 침수피해액을 산출했다. 민동기·조광우(2014)는 동·남해안 및 제주도를 대상으로 해수면 상승의 취약 지역에서 발생하는 경제적 피해까지 고려한 최적의 해안 방어 비율을 계량적으로 제시하였으나, 동 분석은 국외에서 개발된 기후변화 시물레이션 모형(FUND)에 기반하여, 지역별로 상이한 지리적·공간적 특성을 상세하게 반영하지 못한 한계점을 갖고 있다.

Table 1. Examples of sea level rise studies in Korea

Type	Author	Objective
Sea level rise, Economic analysis	Lee (2017)	Creates a sea level rise map of Korea and estimates the number and area of houses at risk
	Yeo and Lee (2017)	Estimates damages of sea level rise, such as loss of lives, building damages, loss of transportation infrastructure, along the coast of Busan
	Lee and Choi (2011)	Estimates direct damages of sea level rise to lands, apartments and roads and indirect damages to the logistics and tourism industry
	Min and Cho (2014)	Estimates costs of sea level rise such as property losses, resident migration costs, settlement costs, and costs of coastal defense facilities in East and South Coast of Korea
	Shin et al. (2013)	Suggests an index to evaluate the vulnerability to sea level rise and calculates impacts on lands through an integrated topographic modeling
Sea level rise, Architectural influence	Song and Lee (2015)	Calculates social and economic impacts on coastal areas in Korea
	Hwang et al. (2020)	Evaluates socioeconomic factors such as roads and buildings by the risk of mixed disaster and predicts impacts of floods in Busan New Town
	Park et al. (2009)	Estimates costs of rebuilding infrastructures in Jeju due to sea level rise
Sea level rise	Kim et al. (2019)	Analyzes the sea level variation based on tidal data from three stations near Busan
	Park et al. (2020)	Estimates rates of sea level rise in Korean coastal cities and proposes flood defense standards
	Lee and Bu (2011)	Predicts inundated areas and infrastructures in Jeju under sea level rise scenarios

반면, 본 연구는 분석 지역의 지리적·공간적 특성을 상세하게 반영하여 해수면 상승에 따른 예상 피해액을 계량적으로 도출한다. 구체적으로 본 연구는 분석 지역에 소재한 모든 주택의 공간 정보(건물별 위치, 표고, 높이)와 가치정보(공시가격)를 바탕으로 해수면 상승에 따른 예상 피해액을 건축물별로 파악하여 합산한다. 해수면 상승에 따른 침수 예상 지역 및 건물은 수치표고모형(DEM)을 이용해 건물 위치별로 상이한 지리적인 특성을 고려한다. 이와 같은 개별 건축물별 피해 추정 방식은 자연재해의 경제성 분석에서 널리 사용되고 있는 다차원법과 비교하여 실제 피해액과의 오차를 크게 줄일 수 있다(나유경·최진무, 2019).

이수연·최진무(2011)와 이해미(2017)는 공간데이터를 이용해 지역별 지리정보를 반영하고 건물 및 토지 가치정보를 사용해 해수면 상승의 영향을 계량적으로 분석하였으나, 극단적인 시나리오인 3~8m의 해수면 상승 혹은 RCP 8.5하에서의 장기(2100년경) 피해액을 예측한다. 이는 매년 해수면이 전국 연평균 3.12mm씩, 매우 느린 속도로 상승함에 따라 영구적인 침수로 인한 피해가 단기적으로는 발생되지 않기 때문이다. 이와 비교해 본 연구는 해수면 상승과 이에 따른 해일고 상승을 함께 고려함으로써 단기적 시점 및 장기적 시점에서의 침수피해액을 산정하며, 이를 위해 분석 지역의 조위 자료를 바탕으로 통계적 기법인 빈도 분석을 실시한다. 이에 따라 분석 지역에서 2100년경에 본격적으로 나타나는 영구적인 침수피해뿐 아니라, 즉각적으로 발생하는 폭풍 해일고 상승으로 인한 일시적인 침수피해를 모두 고려한 피해액을 추정한다.

II. 연구 설계

1. 연구 모델 설계

해수면의 상승은 해일고를 상승시켜 기존에 발생하던 해일의 일시적 침수피해를 증가시킨다(민동기·조광우, 2013; 강주환 외, 2009; 박정재, 2009; 육근형 외, 2011; 김지숙 외, 2015; 김아정 외, 2021). 이러한 침수피해는 즉각적으로 발생되기 때문에 본 연구에서는 해수면 상승의 단기적 영향이라 정의한다. 기후변화 등의 요인으로 해수면이 지속적으로 상승할 경우 장기적으로 해수면이 지역의 표고와 같거나 더 높은 현상이 발생할 수 있으며, 해수면이 다시 하락하지 않는 이상 이로 인한 침수피해는 항구적으로 발생된다. 예를 들어 해수면의 상승으로 인해 건축물 바닥의 높이가 해수면보다 낮아질 경우 건축물에 대한 침수피해가 발생되며 이는 항구적으로 지속된다. 그러나 매우 느린 해수면 상승 속도로 인하여 이러한 항구적 영향은 최소 수십 년 이후에 시작될 것으로 예측되며, 본 연구에서는 이를 해수면 상승의 장기적 영향이라 정의한다.¹⁾

해수면 상승 혹은 해일 현상은 해안 도시의 건축물, 차량, 산업

시설, 공공시설, 도로, 인명 등 다양한 범위에 걸쳐 침수피해를 발생시킨다. 동 분석은 이 중 주거용 건축물의 침수피해만을 대상으로 하며, 선행연구는 주거용 건축물의 침수피해액이 전체 침수피해액 대비 약 50%임을 밝히고 있다(이수연·최진무, 2011; de Moel et al., 2013).

분석 지역의 공간적·지리적 특성을 반영하기 위해 대상 지역의 표고, 건물별 위치, 건물별 높이 및 건물별 가치 등 공간데이터를 이용한다. 공간인벤토리 구축을 위해 수집한 공간데이터 분류는 이명진 외(2018)의 공간정보 활용 체계 구축 연구를 참고 및 수정하여 진행한다. 첫째, 분석의 기본속성자료는 각 데이터의 자료 명칭, 발행 연도, 발행 기관으로 분류한다. 둘째, 상세속성자료는 대상 지역, 자료의 형태, GIS 분석 활용 분야에 대한 정보를 조사한다. 대상 지역의 표고 데이터를 수치표고모형(DEM)을 활용하여 구축하고 대상 지역의 건물 위치, 건물 높이 등 주거용 건축물의 정보는 도로명주소 건물 데이터와 건물 통합 정보 데이터를 활용한다. 이후 GIS 공간 분석을 통해 분석대상 지역에 해수면 상승 및 해일고 발생 시 영향을 받는 건축물을 지역 및 건축물별 표고와 해수면 높이(해일고)를 비교해 추출한다. 지역 및 건축물별 표고는 수치표고모형을 활용해 파악하고, 해수면 높이 및 해일고는 국립해양조사원(2021)의 조위자료를 통해 파악한다.

마지막으로 추출된 건축물을 대상으로 건축물별 침수심과 건축물별 가치 데이터(공시가격)를 병합하여 침수로 인한 피해액을 산정한다(심명필, 2004; 한국개발연구원, 2008). 건축물별 침수심은 건축물별 표고와 해수면 높이(해일고)의 차이로 정의한다. 실제 침수피해액은 침수심뿐만 아니라 해일의 강도나 해안으로부터의 거리 등 다양한 요소의 영향을 받을 수 있으나, 선행연구에서 밝히듯 침수심은 침수피해액을 구성하는 가장 주요한 요인이다. 피해율 함수(침수피해곡선)로는 FEMA(2003)와 사유경·최진무(2019), 신지에 외(2014)를 참고해 <Figure 1>과 같은 2차 다항함수 식으로 구성하며, 침수심에 따른 피해율에 가치 데이터를 곱하여 침수피해액을 산정한다. 단, 국내 침수피해 자료 기반의

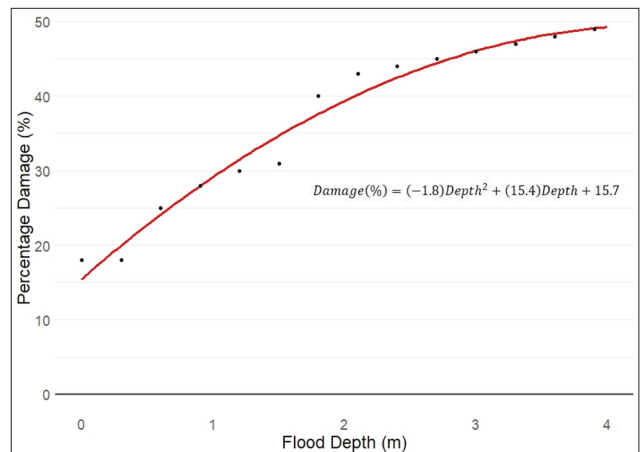


Figure 1. Damage function (%)

침수피해곡선이 부재한 탓에 동 함수는 미국 보험금 지불보상 청구 자료 기반으로 추정되었으며, 미국과 국내의 주거 건축물 특성 차이를 감안할 때 피해액 추정에 편의가 발생할 수 있다. 또한 실제 침수피해 규모는 주택유형, 건물구조, 건물연령 및 주변지역(하천주변 혹은 해안주변) 등의 특성에 따라 상이할 수 있으나 동 분석에서는 이를 고려하지 않았으며 이에 따른 편의의 발생 가능성이 있다.

동 분석에서는 최종적으로 해수면 상승에 따른 영향 평가를 위해 예상 침수피해액을 연도별로 추정한다. 단, 사회·경제적 장기 전망에 대한 불확실성을 고려해 분석 지역의 토지이용 불변을 가정하며, 해수면 높이 변화(상승)만을 고려한다. 이로 인해 연도별 침수피해액의 차이는 해수면 상승에 따른 효과로 해석할 수 있다.

2. 연구 방법론

선행연구와 비교해본 연구의 차별성은 해수면 상승의 피해액 산정 시 단계적인 해일고 상승을 고려한 데 있다. 사례분석 대상 지인 명지동은 해수면 상승으로 인한 주거용 건축물의 영구적인 침수가 현재로부터 최소 85년 이후에 시작될 것으로 전망되며, 만약 해일고 상승에 따른 단기적 영향을 고려하지 않을 경우 향후 85년간 해수면 상승에 따른 영향은 전혀 나타나지 않는다. 그러나 해일고 상승에 따른 일시적인 침수피해 증가를 고려할 경우 해수면 상승에 따른 부정적 효과는 즉각적으로 발생한다. 해수면 상승에 따른 해일고 상승(혹은 해일 빈도 증가)은 빈도분석(extreme value analysis)을 통해 모형화한다. 대상 지역의 조위 데이터를 분석해 해일고별 발생 빈도를 먼저 추정한 이후, 해수면 상승률에 비례해 해일고 및 해일의 빈도가 상승하는 것으로 가정한다. 명지동을 대상으로 한 사례분석에서는 부산 지역의 1956~2020년 사이 562,893개의 1시간 단위 관측 데이터(국립해양조사원, 2021)를 활용해 해일고별 발생 빈도를 추정했다. 이후 추정된 일반극치분포(General Extreme Value distribution)의 모수 중 위치모수가 해수면 상승률만큼 매년 움직이는 것으로 모형화했다. 이와 같은 방법은 비정상성(non-stationary)을 고려하기 위해 빈도분석에서 가장 널리 쓰이는 방법이며(Coles, 2001; McInnes et al., 2003; Katz, 2010) 선행연구에서도 다음 방법을 활용하여 해수면 상승에 따른 해일고 상승을 모형화하였다(Mendelsohn et al., 2020).

상술한 분석 모형을 수식으로 나타내면 다음과 같다. 높이 x 의 해일고 발생 시 개별 건물 i 의 피해액은 해당 건물 가치 v_i 에 피해를 $\gamma(x)$ 를 곱한 것과 같다. 이후 대상 지역에 소재한 모든 건물의 피해액을 합산할 경우, 해일고 x 에 따른 침수피해액 $D(x)$ 을 계산할 수 있다.

$$D(x) = \sum_i v_i \gamma(x) \quad (1)$$

앞서 계산한 해일고별 침수피해액 $D(x)$ 에 연간 발생 빈도 $freq_t(x)$ 를 곱해 합산할 경우, 대상 지역에서 발생하는 모든 빈도의 해일고를 고려한 연간 예상피해액(annual expected damage)을 계산할 수 있다.

$$\Omega_t = \sum_x freq_t(x) D(x) \quad (2)$$

해일고별 연간 발생 빈도 $freq_t(x)$ 는 조위데이터를 바탕으로 빈도분석을 실시해 구한다. 해수면 상승에 따른 해일고 상승 및 해일 빈도 증가는 추정된 위치모수의 이동으로 나타난다. 따라서 연간 발생 빈도 $freq_t(x)$ 는 시간 t 에 의존하며, 같은 높이의 해일이라도 시간이 갈수록 빈도가 증가하게 된다.

마지막으로 할인율 r 을 적용해 현재가치 기준 예상피해액(Net Present Value)을 산출한다. 할인율은 국가 예비타당성조사에서 사용되는 4.5%를 사용한다.

$$\Omega_t = \sum_x \Omega_t e^{-(t-t_0)r} \quad (3)$$

III. 사례분석

1. 연구대상

사례분석 지역은 부산광역시 강서구의 명지동으로 선정하였다. 부산광역시 강서구(Figure 2)는 부산의 3개 부심 도시 중 하나로 김해공항, 부산신항, 가덕도가 모두 인접한 입지적 장점을 지니고 있으며, 지난 2013년 대비 2019년 인구가 81% 증가하여, 부산 내에서 인구가 가장 많이 증가한 지역이다. 해당 지역은 2030년까지 인구 38만 명의 친환경 복합 도시 조성을 목표로 명지국제신도시, 부산에코델타시티, 부산연구개발특구, 국제산업물류도시 등의 여섯 가지 핵심 프로젝트가 진행되고 있다(부산광



Figure 2. Myeongji City in Busan

역시 강서구, 2016; 부산광역시, 2019).

사례분석 지역인 강서구 명지동에는 남측에 사업비 4천억 원, 계획인구 35,000명의 명지오션시티가 자리 잡고 있고, 북측에는 사업비 3조 1,193억 원, 계획인구 83,583명 규모의 명지국제신도시가 개발 단계에 있으며, 북동측에는 개발이 진행되지 않은 다수의 구축 건물이 소재해 있다. 명지오션시티는 2014년 완공되어 도시 내 모든 아파트의 입주가 완료되었으며, 명지국제신도시는 현재 1단계 개발이 완료되었고, 2단계 개발이 진행 중이다. 본 연구는 명지오션시티와 명지국제신도시의 1단계 개발지, 그리고 북동측의 미개발 지역을 대상으로 분석하였다.

2. 대상지의 방재시설

명지동은 표고가 낮아 여름철 집중 호우 및 풍수해의 영향을 많이 받는 지역이다. 게다가 해안과 접해 있는 명지동 일대는 상당 부분의 해안 매립지가 포함되어 있어 해일 범람의 취약성이 크며, 장기적인 지반 침하가 발생하고 있다(이재원, 2007; 강태순 외, 2010; 배지열, 2020). 부산광역시는 지진해일(쓰나미) 피해를 감소시키기 위해 2012년 명지오션시티 남측 해안가에 방파제 및 방재림을 설치했다(부산시보, 2012; 이성현 외, 2018). 해안방재림은 바다에서 발생하는 해일, 지진해일, 풍랑에 의한 피해를 감소시키기 위하여 해안과 연결된 지역에 조성하는 숲으로(산림청 지침, 2011. 4. 12., 일부개정) 대상지 일대의 신도시 조성에 맞춰 약 10.3ha 규모로 시범 조성된 완충녹지이다. 명지오션시티의 해안 방재림은 길이 2.3km 폭 40~60m 규모의 국·시비 14억 원을 들여 염해에 강한 나무 8종 24,940그루를 심어 조성되었으며(부산시보, 2012), 해안가에는 방파제와 해안방벽이 설치되어 있고, 그 옆을 산책로와 방재림, 차도가 위치하고 있는 구조이다. 평소에는 시민들의 휴식공간으로 활용되며 현재 부산 강서구의 관광 코스 중 하나로 자리 잡기도 하였다. 또한 과거 낙동강변의 제방과 이어지는 명지방조제가 해안을 감싸고 있어 농토를 보호하고 진해와 부산 간의 국도가 섬의 중앙을 동서로 관통함에 따라 제방구실을 하였으나, 현재는 명지주거단지과 진입도로가 완공되어 방조제 역할을 하고 있다(부산광역시 강서구, 2018). 명지오션시티 인근에는 하신 및 명지 펌프장이, 명지국제신도시의 동측에는 명지동진 배수펌프장이 설치되어 있으며 해당 시설 모두 유수지와 함께 배치되어 있다. 그러나 송교욱·이창현(2015)은 매미급 태풍이 내습하거나 2m 이상의 해수면 상승 시 명지오션시티 일대가 여전히 침수위험에 취약할 것으로 예측하였으며, 해당 방재시설들은 현재의 해수면 높이와 해일고를 기준으로 설치되어 있어 추후 해수면이 상승할 경우를 고려하여 추가 설치될 필요가 있다.

3. 대상지의 건축물

공공데이터포털(2021)²⁾에서 제공하는 도로명주소 건축물 GIS 데이터에 따르면, 명지동의 전체 건축물 개수는 3,680개이며 이 중 공사가격데이터 기반의 공동주택은 399개, 개별주택은 1,068개가 위치해 있는 것으로 나타났다. 본 연구는 3,680개 모든 주거용 건축물을 대상으로 분석하였다. 전체 건축물 대비 주택의 비율은 약 39.9%이며, 현재 대상지를 기준으로 중심부와 상단부에는 각각 명지국제신도시 2단계 개발과 에코델타시티의 산업 및 공업시설, 단독주택지 개발이 진행 중에 있다. 추후 명지국제신도시 2단계 개발과 에코델타시티 남측부근의 개발이 완료될 경우, 대상지의 주거지역 및 주택의 비율은 현재보다 훨씬 증가할 것으로 예상된다.

IV. 분석 결과

1. 해일고별 발생 빈도

대상 지역의 해일고별 발생 빈도를 국립해양조사원에서 제공하는 1시간 조위 자료를 기반으로 추정된 결과, 대상지역 약최고 고조면을 기준으로 1년 빈도의 해일고는 0.37m, 10년 빈도의 해일고는 0.66m, 100년 빈도의 해일고는 1.02m로 나타났다.³⁾ 단, 상기 추정치는 2021년 현재 해수면 높이 기준의 해일고이며, 해수면이 상승함에 따라 해일고가 상승한다. 국립해양조사원(2020)이 추정한 대상 지역의 평균 해수면상승률(3.0mm/년) 적용 시, 100년 빈도 해일고는 2050년 기준 1.11m, 2100년 기준 1.26m, 2150년 기준 1.41m로 상승한다. 만약 국립해양조사원(2020)의 최대 해수면상승률(4.2mm/년)을 적용할 경우 100년 빈도 해일고는 2100년 기준 1.35m, 2150년 기준 1.56m로 크게 상승한다.

2. 해수면 상승에 따른 침수위험지역

〈Table 2〉와 〈Figures 3~6〉은 우리나라를 비롯해 전 세계 많은 국가에서 자연재해 방어목표로 설정하는 100년 빈도 기준 침

Table 2. Houses at risk by surge height

Surge height (m)	Number of houses at risk (#)	Fraction of houses at risk (%)
1.02 (100-year flood in 2021)	61	1.7
1.11 (100-year flood in 2050)	91	2.5
1.26 (100-year flood in 2100)	108	2.9
1.41 (100-year flood in 2150)	162	4.4

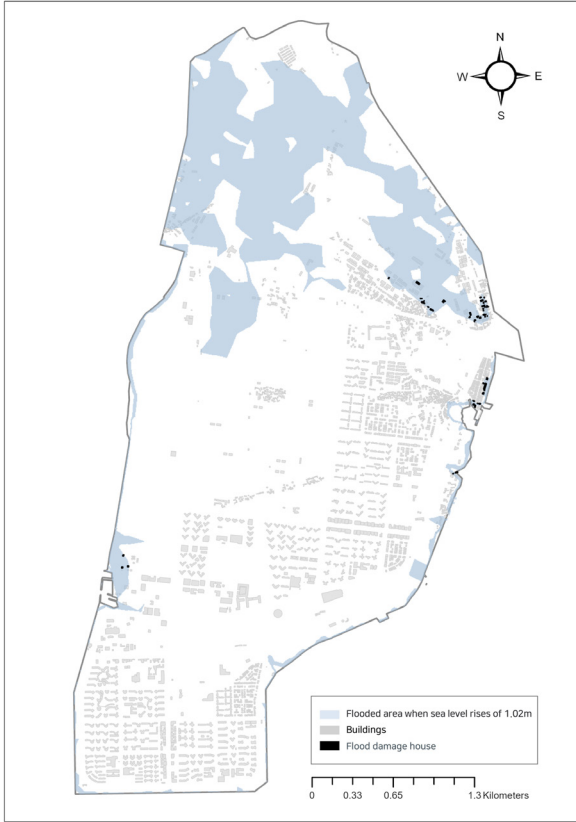


Figure 3. Areas and buildings at risk of a 100-year flood in 2021 (1.02m)

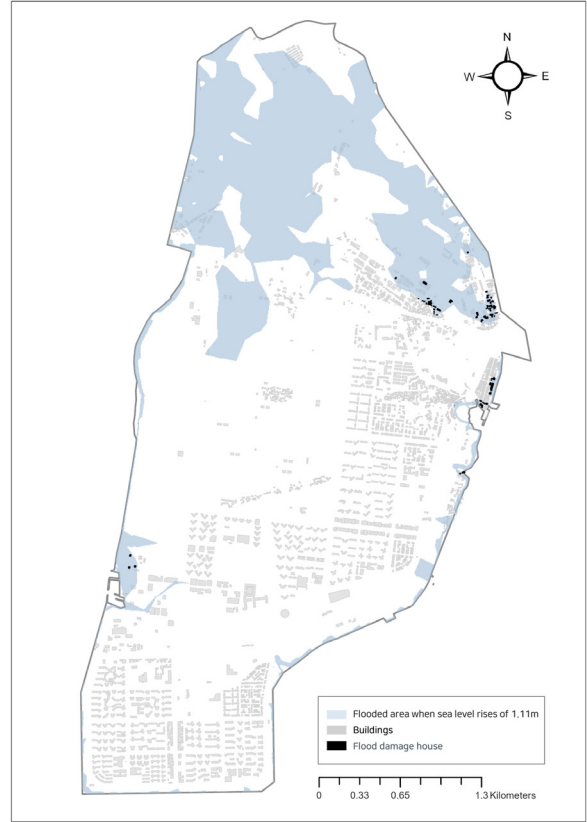


Figure 4. Areas and buildings at risk of a 100-year flood in 2050 (1.11m)

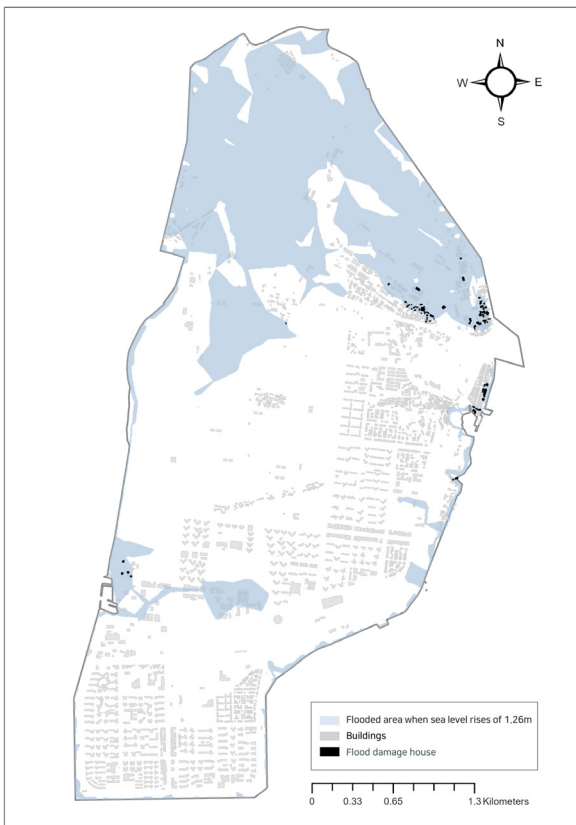


Figure 5. Areas and buildings at risk of a 100-year flood in 2100 (1.26m)

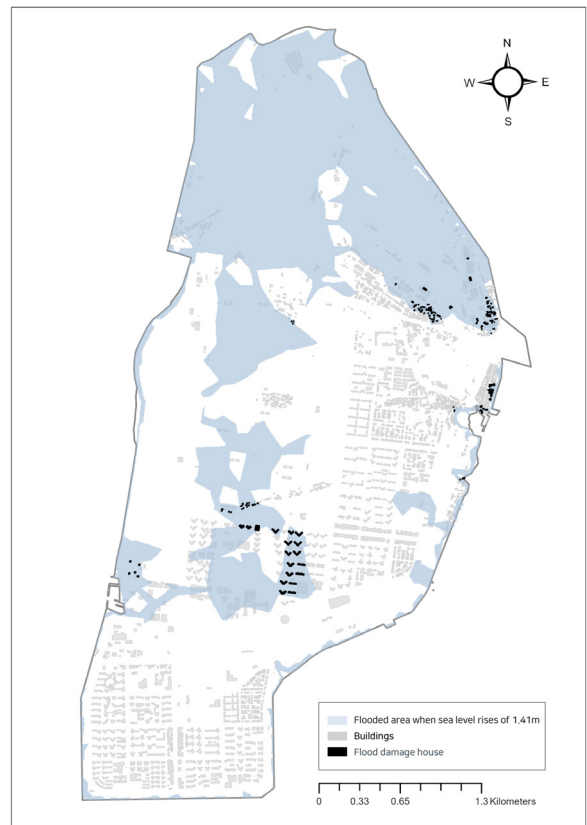


Figure 6. Areas and buildings at risk of a 100-year flood in 2150 (1.41m)

Table 3. Surge height by return period (m)

	2021	2050	2100	2150
10-year flood	0.66	0.76	0.91	1.06
50-year flood	0.91	1.00	1.15	1.30
80-year flood	0.98	1.07	1.22	1.37
100-year flood	1.02	1.11	1.26	1.41

수예상지역 및 침수예상주택을 나타낸다.⁴⁾ 해수면 기준 연도가 현재(2021년)에서 2050년, 2100년, 2150년으로 진행됨에 따라 침수예상지역 및 예상주택 수가 증가함을 확인할 수 있다(Table 3).

해수면 상승에 따른 위험은 표고가 낮은 명지동의 북동측에 집중된 것으로 분석된다. 신도시 개발 시 재해취약성을 고려한 설계가 적절하게 이뤄진 타 지역과 비교해 명지동의 북동측 상당 지역은 개발제한구역에 속해 기존 재해(해일)로 인한 피해가 지속적으로 예측되며, 해수면 상승으로 인해 이러한 영향이 심화될 것으로 분석된다. 구체적으로 신포길과 영강길 일대는 해수면 상승과 함께 잦은 침수피해가 심화될 것으로 예상되고, 새 동네 일대의 공동 및 개별주택은 해안가와 매우 인접한 위치 특성을 지니고 있어 해일고 상승 시 직접적인 피해를 입을 것으로 보인다. 이에 따라 방파제 설치와 같은 구조물을 이용한 방재대책이 단기적으로 미개발지역에 집중되어야 할 것으로 분석된다.

장기적으로는 해수면 상승(해일고 상승) 시 북동측의 미개발지역 외에도 개발이 완료된 신도시의 일부 지역 역시 해수면 상승의 영향을 받을 것으로 예측된다. 특히 개발이 완료된 명지국제신도시의 남측이 해수면 상승에 따른 위험에 노출될 가능성이 있을 것으로 분석되는데, 이는 신도시의 계획 수립 및 설계 단계에서 기존 재해에 대한 취약성은 고려되었을지라도 해수면 상승의 영향은 충분히 고려되지 못했음을 시사한다. 해수면 상승에 따른 위험이 점차 심화되고 있음을 감안할 때 향후 도시계획 단계에서 해수면 상승의 취약 지역을 선별하고 취약 지역에 대한 적절한 방재 시설 설치 혹은 토지이용계획 수립(방재림 조성, 녹지 조성 등)이 더욱 중요할 것으로 분석된다.

3. 예상 침수피해액

해수면 상승에 따른 연간 예상피해액은 지속적으로 증가한다(Figure 7). 예를 들어, 100년 빈도 해일(1.02m) 발생 시 현재(2021년) 해수면 높이 기준 예상피해액은 약 20억 원이나, 30년 이후인 2050년 해수면 높이 기준은 약 30억 원, 80년 이후인 2100년 해수면 높이 기준은 약 41억 원의 피해액이 예상된다. 만약 최대 해수면상승률(4.2mm/년)로 가정할 경우, 2100년 기준 100년 빈도 해일(1.35m)로 인한 예상 피해액은 약 72억 원으로, 현재와 비교해 3.5배 이상이다.

해일고별 침수피해액을 해일고별 연간 발생 빈도와 합산해 연

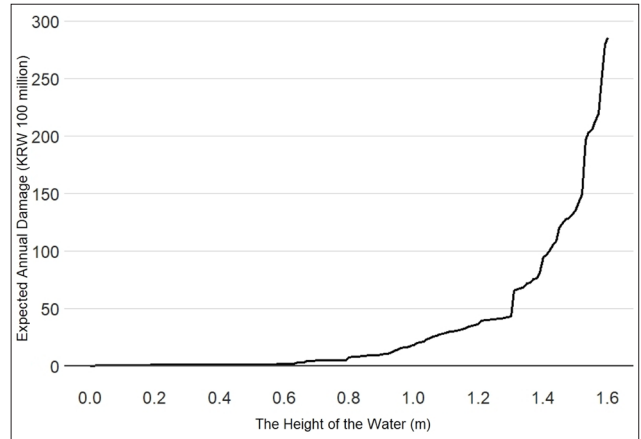


Figure 7. Estimated flooding damage (KRW 100 million)

간 예상 피해액(annual expected damage)을 추정된 결과는(Figure 8)과 같다. 2021년 현재 명지동에서 예측되는 연간 침수피해액은 약 10억 원으로 추정된다. 그러나 해수면 상승 시 2050년 기준 연간 예상 피해액은 약 13~14억 원, 2100년의 예상 피해액은 19~25억 원 수준으로 크게 증가한다. 최대 해수면 상승을 가정 시 2100년경부터 예상피해액이 크게 증가하는 이유 중 하나는 해수면 높이가 건축물의 바닥 높이와 같아져서 발생하는 항구적 침수피해가 시작되는 데 있다. 이러한 침수피해는 항구적이기 때문에 일시적 침수와 비교해 큰 피해를 발생시킨다.

동 분석은 장기적인 토지이용의 변화나 사회·경제적 변화를 고려하지 않았으며, 장기적으로 해수면의 높이 상승만 가정했다. 따라서 연도별 예상 침수피해액의 차이는 해수면 상승에 따른 영향으로 해석할 수 있다. 즉, 2050년 기준 해수면 상승의 영향은 약 3~4억, 2100년 기준 해수면 상승의 영향은 9~15억으로 추정된다. 특히 단기적(향후 30년 내)으로도 매년 수억 원으로 예측되는 해수면 상승의 영향은 현재 도시계획수립 및 관리 단계에서의 해수면 상승 영향 고려의 중요성을 시사한다.

마지막으로 해수면 상승의 단·장기적 영향을 할인율(4.5%/년)을 적용해 현재가치로 환산할 경우 평균 해수면 상승률 가정 시(3.0mm/년) 48억 원, 최대 해수면 상승률 가정 시(4.2mm/년)

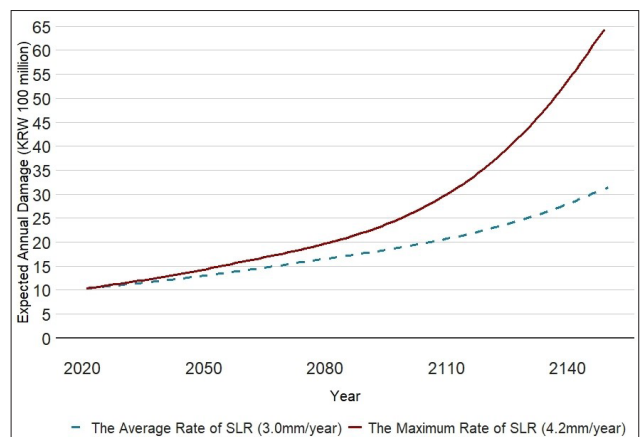


Figure 8. Expected damage over time (KRW 100 million)

75억 원으로 추정된다.⁵⁾ 이를 달리 해석하면, 도시 계획 및 관리 차원에서 해수면 상승의 영향을 고려하지 않을 경우 예상되는 사회적 비용이라 할 수 있으며, 다시 한번 해수면 상승 고려의 중요성을 시사한다.

V. 요약 및 결론

해안 도시계획 수립 및 관리 시에 해수면 상승에 따른 영향을 적극적으로 평가 및 반영하고 있는 전 세계 많은 국가들과는 달리 우리나라는 현재 도시차원에서 해수면 상승을 제한적으로 고려하고 있다. 해수면 상승의 매우 느린 속도로 인해 해수면 상승에 따른 영향이 장기(100여 년 이후)에 걸쳐 발생함에 따라 이를 분석하는 데 한계가 있기 때문이다. 그러나 최근 많은 연구에서 나타나듯이 해수면 상승에 따른 영향 평가 대상은 장기적 피해뿐 아니라 일시적인 침수로 인한 단기적 피해가 함께 포함되어야 한다.

이러한 측면에서 본 연구는 부산광역시 강서구 명지동 주거지역을 대상으로 해수면 상승의 단·장기 영향을 분석했다. 명지동에서 폭풍 해일로 인한 주거용 건축물 침수피해는 해수면 상승(혹은 해일고 상승)에 따라 연 1%씩 증가할 것으로 예측된다. 이에 따라 2050년 기준 침수피해 규모는 현재 대비 약 30~40% 증가한 연간 3~4억 원으로 추정된다. 공간적으로 명지동의 북동측이 특히 해수면 상승에 따른 단기적 위험에 취약할 것으로 분석되며, 해당 지역이 개발제한구역이라는 점을 감안할 때 정부 주도의 적절한 방재정책 마련이 시급할 것으로 분석된다. 단, 명지동이 속한 부산광역시 혹은 강서구의 2030 장기 플랜(부산광역시, 2019; 부산광역시 강서구, 2016)에서 해수면 상승(혹은 해일고 상승) 관련 방재계획은 언급되지 않고 있으며, 해당 지역에 대한 면밀한 리스크 평가와 함께 알맞은 규모의 방재 시설 설치 고려가 필요할 것으로 판단된다.

분석 범위를 장기(수십~수백 년)로 넓힐 경우, 명지동의 미개발지역뿐만 아닌 최근 대규모 개발이 완료된 신도시 지역 일부도 해수면 상승에 취약할 것으로 예측된다. 이러한 사실은 해당 신도시의 계획 수립 및 설계 단계에서 해수면 상승에 따른 영향이 충분히 고려되지 못했을 가능성을 시사하며, 향후 해안 도시계획·설계 시 해수면 상승에 따른 취약지역을 선별하고 영향평가를 실시해 적절한 수준의 방재 및 적응 대책의 마련이 필요함을 보여 준다. 구체적인 방법으로, 해수면 상승에 따른 위험구역을 사전에 식별해 해안방재림 조성, 해안방호 구조물 추가설치, 건축선 후퇴 등의 방재계획을 수립 혹은 토지이용계획상 완충지역을 우선 설정함으로써 해수면 상승에 따른 장기적인 재산·인명 피해를 사전에 방지하거나 최소화해야 할 것이다.

본 연구의 계량적 영향평가 방법론은 현재 개발 초기 단계의 모형으로서 여러 한계점을 갖고 있으며, 향후 연구에서 보완·발전되어야 할 것이다. 특히 향후 연구에서는 침수피해 범위를 확장

하고 장기적인 토지이용 변화, 부동산 가치 변화뿐 아니라 해안 지역으로의 인구집중 경향을 고려해 해수면 상승의 단·장기 영향을 보다 면밀하게 평가해야 할 것이다. 상기 항목을 보완할 경우, 해수면 상승의 부정적 영향을 보다 정확하게 평가할 수 있을 것으로 예상되며, 추후 실제 정책 수립을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

-
- 주1. 장기적으로는 항구적 침수피해와 일시적 침수피해가 동시에 발생된다.
 - 주2. 국가공간정보포털(<http://www.nsdi.go.kr>)의 도로명주소 건물 데이터를 활용함.
 - 주3. 추정된 모수값은 다음과 같다. 위치모수 140.00(0.40), 척도모수 10.11(0.29), 형상모수 0.07(0.02). 괄호 안은 평균오차를 의미한다.
 - 주4. 동 분석은 최종적으로 모든 빈도의 해일을 고려해 해수면 상승에 따른 영향을 추정하나, 본문에서 시간적인 설명을 위해 100년 빈도 해일 발생을 예시로 사용하였다.
 - 주5. 할인율 3% 적용 시, 예상 피해 비용은 105~177억이며, 5% 적용 시 39~59억이다.

인용문헌 References

1. 강주환·박선중·문승록·윤종태, 2009. “태풍의 특성변화에 따른 경남해역 해일양상 고찰”, 『한국해안·해양공학회논문집』, 21(1): 1-14.
Kang, J.H., Park, S.J., Moon, S.R., and Yoon, J.T., 2009. “Effects of Typhoon’s Characteristics on the Storm Surge at Gyeongnam Coastal Zone”, *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 21(1): 1-14.
2. 강태순·문승록·남수용·심재설, 2010. “해일/범람에 따른 해안 매립지의 취약성”, 『한국해양학회지』, 24(1): 68-75.
Kang, T.S., Moon, S.R., Nam, S.Y., and Shim, J.S., 2010. “The Vulnerability of the Reclaimed Seashore Land Attendant Upon Storm Surge/Coastal Inundation”, *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 24(1): 68-75.
3. 국립해양조사원, 2020. “지난 30년 동안 우리나라 해수면 매년 3.12mm씩 높아져”, 부산.
Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, 2020. “Korea’s Sea Level Has Risen By 3.12 mm Every Year Over The Past 30 Years”, Busan.
4. 김민수·윤한삼·김경희, 2019. “기후변화에 따른 부산 연안 장기 해수면 변화량 비교 연구”, 『수산해양교육연구』, 31(1): 83-93.
Kim, M.S., Yun, H.S., and Kim, K.H., 2019. “A Comparative Study of Long-term Sea-level Changes along the Busan Coast due to Climate Change”, *The Korean Society Fisheries And Sciences Education*, 31(1): 83-93.
5. 김아정·이명희·서승원, 2021. “하계 해수면 상승이 폭풍해일고 분석에 미치는 영향”, 『한국해안·해양공학회논문집』, 33(6): 298-307.
Kim, A.J., Lee, M.H., and Suh, S.W., 2021. “Effect of Summer

- Sea Level Rise on Storm Surge Analysis”, *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 33(6): 298-307.
6. 김지숙·김호용·이성호, 2015. “System Dynamics-GIS 모델을 이용한 해수면 상승 침수 영향 분석”, 「한국지리정보학회지」, 18(2): 92-104.
Kim, J.S., Kim, H.Y., and Lee, S.H., 2015. “Analysis on Inundation Impacts of Sea Level Rise Using System Dynamics-GIS Model”, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 18(2): 92-104.
 7. 나유경·최진무, 2019. “객체기반법을 이용한 침수피해액 추정 방안 연구”, 「대한지리학회지」, 54(6): 637-649.
Na, Y.G. and Choi, J.M., 2019. “A Study on the Flood Damage Estimation Using Object-based Analysis”, *Journal of the Korean Geographical Society*, 54(6): 637-649.
 8. 민동기·조광우, 2013. “해수면 상승에 따른 경제적 피해 비용 및 최적 해안 방어 비율 추정 -제주도를 대상으로-”, 「자원환경경제연구」, 22(1): 127-145.
Min, D.G. and Cho, K.W., 2013. “Economic Impacts of Sea-level Rise and Optimal Protection on Jeju Island”, *Environmental and Resource Economics Review*, 22(1): 127-145.
 9. 민동기·조광우, 2014. “기후변화에 따른 해수면 상승의 경제적 피해비용 및 최적 해안 방어비율 추정 -동·남해안 지역을 대상으로-”, 「자원환경경제연구」, 23(1): 21-42.
Min, D.G. and Cho, K.W., 2014. “Economic Damage of Sea-level Rise and The Optimal Rate of Coastal Protection in the Korean Eastern Southern Areas”, *Environmental and Resource Economics Review*, 23(1): 21-42.
 10. 박윤경·정병순·김이호, 2020. “기후변화에 따른 해수면 상승을 고려한 연안도시 침수위험성 평가”, 「한국방재학회」, 20(6): 323-332.
Park, Y.K., Jung, B.S., and Kim, R.H., 2020. “Flood Risk Assessment for Coastal Cities Considering Sea Level Rise due to Climate Change”, *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, 20(6): 323-332.
 11. 박정재, 2009. “해수면 상승 및 해일로 인한 자연재해와 대응 방안”, 「국토지리학회지」, 43(3): 435-454.
Park, J.J., 2009. “Vulnerability and Adaptation to Sea Level Rise and Storm Surge”, *The Geographical Journal of Korea*, 43(3): 435-454.
 12. 박준영·부양수·이동욱, 2009. “해수면 상승에 따른 연안 건설시설물의 영향 분석”, 한국산학기술학회 2009년 춘계학술발표논문집, 제주: 제주대학교, 825-828.
Park, J.Y., Bu, Y.S., and Lee, D.W., 2009. “Analysis of Influences on the Coast Construction Facilities Depending on Sea Level Rise”, Paper presented at Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 2009 Spring Conference, Jeju: Jeju National University, 825-828.
 13. 배지열, 2020.11.15. “명지신도시 1년 만에 또 지반침하... 도로 갈라지고 횡단보도 내려앉고”, 국제신문.
Bae, J.Y., 2020, November 15. “The Ground Subsides Again after A Year in Myeongji New Town... The Road Splits and The Crosswalk Falls”, *The Kookje Daily News*.
 14. 부산광역시, 2019. “2030 부산광역시 도시·주거환경정비기본계획”, 부산.
Busan Metropolitan City, 2019. “2030 Busan Metropolitan City Basic Plan for Urban and Residential Environment Improvement”, Busan.
 15. 부산광역시 강서구, 2016. “강서구 2030 장기발전계획”, 부산.
Gangseo-gu, Busan Metropolitan City, 2016. “Gangseo-gu 2030 Long-term Development Plan”, Busan.
 16. 부산광역시 강서구, 2018. “명지1동 행정복지센터 소개”, 부산.
Gangseo-gu, Busan Metropolitan City, 2018. “Introduction of Myeongji 1-dong Administrative Welfare Center”, Busan.
 17. 부산시보, 2012.10.30. “부산 해안, 쓰나미 막는 ‘방패 숲’ 등장”, 다이내믹 부산.
Busan News Agency, 2012, October 30. “Busan Coast, ‘Shield Forest’ to Prevent Tsunami”, *Dynamic Busan*.
 18. 송교욱·이창현, 2015. 「부산 연안역의 기후변화 적응방안」, 부산: 부산발전연구원.
Song, K.W. and Lee, C.H., 2015. *Climate Change Adaptation Measures in Busan Coastal Areas*, Busan: Busan Development Institute.
 19. 신영섭·안순명·나영우·김옥남·최병길, 2013. “공간정보를 활용한 인천 도서지역의 해수면 상승에 따른 영향 분석”, 2013 한국측량학회 춘계학술발표회, 부산: 부산대학교.
Shin, Y.S., Ahn, S.M., Na, Y.W., Kim, W.N., and Choi, B.G., 2013. “Impact Analysis of Sealevel Rising in Incheon Islands Area Using Spatial Information”, Paper presented at 2013 Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry and Cartography Spring Conference, Busan: Busan National University.
 20. 신지예·임성민·김중훈·김태웅, 2014. “내수침수시나리오와 침수피해곡선을 활용한 도시지역 내수침수피해특성 분석”, 「한국방재학회논문집」, 14(1): 291-301.
Shin, J.Y., Lim, S.M., Kim, J.H., and Kim, T.W., 2014. “Analysis of Urban Flood Damage Characteristics Using Inland Flood Scenarios and Flood Damage Curve”, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 14(1): 291-301.
 21. 심명필, 2004. 「치수사업 경제성분석 방법 연구: 다차원 홍수피해산정방법」, 건설교통부.
Shim, M.P., 2004. *(A) Study on the Economic Analysis n Flood Control Projects: Multi-Dimensional Flood Damage Analysis*, Ministry of Construction & Transportation.
 22. 여성준·이창현, 2017. “시나리오별 부산시 연안 침수 분석 및 피해 규모 산정 연구”, 「IDI 도시연구」, 11: 143-174.
Yeo, S.J. and Lee, C.H., 2017. “A Study of Coastal Flooding and Calculation of Damage Scale by Scenario”, *Incheon Development Institute Urban Research*, 11: 143-174.
 23. 육근형·정치호·안용성, 2011. 「해수면 상승에 따른 연안 취약성 평가모형 연구」, 한국해양수산개발원.
Yook, G.H., Jung, J.H., and Ahn, Y.S., 2011. *A Study on the Coastal Vulnerability Assessment Model to Sea Level Rise*, Korea Maritime Institute.
 24. 이명진·맹준호·이영준·윤정호·이정호·이선민·조남욱, 2018. 「환경영향평가 고도화를 위한 공간정보 활용 체계 구축 (I)」, 세종: 한국환경정책·평가연구원.
Lee, M.J., Meang, J.H., Lee, Y.J., Yun, J.H., Lee, J.H., Lee, S.M., and Jo, N.U., 2018. *Establishment of Spatial Information Applica-*

- tion System For Advanced Environmental Impact Assessment (I), Sejong: Korea Environment Institute.
25. 이성현·김보람·임준혁·오국열·심우배, 2018. “기후변화를 고려한 연안지역 재해예방기법 적용방안 연구”, 『한국기후변화학회지』, 9(4): 369-376.
Lee, S.H., Kim, B.R., Im, J.H., Oh, K.R., and Shim, O.B., 2018. “A Study on the Application of Coastal Disaster Prevention Considering Climate Change”, *Journal of Climate Change Research*, 9(4): 369-376.
 26. 이동욱·부양수, 2011. “해수면 상승 시나리오에 따른 건설 시설물의 영향 분석”, 『대한토목학회논문집D』, 31(2D): 267-274.
Lee, D.W. and Bu, Y.S., 2011. “Analysis on Effect of Construction Facilities depending on a Scenario of Sea Level Rise around Jeju Coastal Area”, *KSCCE, Journal of the Korean Society of Civil Engineers D*, 31(2D): 267-274.
 27. 이수연·최진무, 2011. “해수면 상승에 따른 경제적 손실 분석 -부산시 해운대구를 사례로-”, 『대한지리학회지』, 46(5): 597-607.
Lee, S.Y. and Choi, J.M., 2011. “Analysis for Economic Cost of Sea Level Rise -Case Study: Haeundae Gu, Busan-”, *Journal of the Korean Geographical Society*, 46(5): 597-607.
 28. 이재원, 2007. “3차원 공간정보를 이용한 해안 매립지역 침수예상도 제작”, 『한국지형공간정보학회지』, 15(4): 97-102.
Lee, J.W., 2007. “Production of Flood Expectation Map in the Reclaimed Land Using 3-D Spatial Information”, *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, 15(4): 97-102.
 29. 이해미, 2017. “기후변화에 따른 해수면 상승 범람지역 영향평가 및 적응전략 연구”, 성신여자대학교 박사학위논문.
Lee, H.M., 2017. “A Study on the Assessment of the Impact of Rising Sea Levels Caused Climate Change on Flood-prone Area and Adaptation Strategy”, Ph.D. Dissertation, Sungshin Women’s University.
 30. 한국개발연구원, 2008. 『수자원부문사업의 예비타당성조사 표준 지침 수정·보완 연구 (제4판)』, 세종.
Korea Development Institute, 2008. *Revised Standard Guidelines for Preliminary Feasibility Study for Water Resources Sector Projects (Fourth Edition)*, Sejong.
 31. 황순미·오형민·남수용·강태순, 2020. “부산 마린시티 해안의 복합재난 위험성 평가”, 『해양환경안전학회지』, 26(5): 506-513.
Hwang, S.M., Oh, H.M., Nam, S.Y., and Kang, T.S., 2020. “Coastal Complex Disaster Risk Assessment in Busan Marine City”, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, 26(5): 506-513.
 32. Coles, S., 2001. *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*, London: Springer.
 33. de Moel, H., Botzen, W., and Aerts, J., 2013. “Economic and Direct Losses from Hurricane Sandy”, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1294: 81-89.
 34. Diaz, D., 2016. “Estimating Global Damages from Sea Level Rise with the Coastal Impact and Adaptation Model (CIAM)”, *Climatic Change*, 137: 143-156.
 35. Dilley, M., Chen, R.S., Deichmann, U., Lerner-lam, A.L., and Arnold, M., 2005. *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*, Washington, DC: World Bank.
 36. Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2003. *A Citizen’s Guide to Disaster Assistance*, Washington, D.C.: U.S. Department of Homeland Security, FEMA, Emergency Management Institute.
 37. Hinkel, J., Lincke, D., Vafeidis, A.T., Perrette, M., Nicholls, R.J., Tol, R.S.J., Marzeion, B., Fettweis, X., Ionescu, C., and Levermann, A., 2014. “Coastal Flood Damage and Adaptation Costs Under 21st Century Sea-level Rise”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9): 3292-3297.
 38. IPCC, 2019. “Summary for Policymakers”, in *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, edited by H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N.M. Weyer, Cambridge University Press.
 39. Katz, R.W., 2010. “Statistics of Extremes in Climate Change”, *Climatic Change*, 100: 71-76.
 40. McEvoy, S., Haasnoot, M., and Biesbroek, R., 2021. “How Are European Countries Planning for Sea Level Rise?”, *Ocean & Coastal Management*, 203: 105512.
 41. Mcgranahan, G., Balk, D., and Anderson, B., 2007. “The Rising Tide: Assessing The Risks of Climate Change and Human Settlements in Low Elevation Coastal Zones”, *Environment and Urbanization*, 19(1): 17-37.
 42. Mcinnes, K.L., Walsh, K.J.E., Hubbert, G.D., and Beer, T., 2003. “Impact of Sea-level Rise and Storm Surges on A Coastal Community”, *Natural Hazards*, 30: 187-207.
 43. Mendelsohn, R., Rajaoberison, A., and Yoo, J., 2020. “A Coastal Resilience Analysis of a Heterogeneous Landscape”, *Journal of Environmental Protection*, 11(6): 441-456.
 44. Neumann, B., Vafeidis, A.T., Zimmermann, J., and Nicholls, R.J., 2015. “Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding – A Global Assessment”, *PLoS One*, 10(6).
 45. Nicholls, R.J., 2011. “Planning for the Impacts of Sea Level Rise”, *Oceanography Society*, 24(2): 144-157.
 46. Nicholls, R.S., Hanson, S., Herweijer, C., Patmore, N., Halle-gatte, S., Corfee-Morlot, J., Château, J., and Muir-Wood, R., 2008. *Ranking Port Cities with High Exposure and Vulnerability to Climate Extremes*, OECD Environment Working Papers No. 1, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/011766488208>
 47. Seto, K.C., 2011. “Exploring the Dynamics of Migration to Mega-Delta Cities in Asia and Africa: Contemporary Drivers and Future Scenarios”, *Global Environmental Change*, 21(Supple. 1): S94-107.
 48. Stern, N., 2006. “Stern Review: The economics of climate change”, Cambridge University Press.
 49. Walsh, K.J.E., Betts, H., Church, J., Pittock, A.B., Mcinnes, K.L., Jackett, D.R., and McDougall, T.J., 2004. “Using Sea Level Rise Projections for Urban Planning in Australia”, *Journal of Coastal Research*, 20(2): 586-598.
 50. 국립해양조사원, 2021.7.19. “국립해양조사원 1시간 조위자료”, <http://www.khoa.go.kr/oceangrid/khoa/intro.do>

Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, 2021, July 19. "Korea Hydrographic and Oceanographic Agency 1 Hour Tide Data", <http://www.khoa.go.kr/oceangrid/khoa/intro.do>

- 51 European Commission, 2007, November 6. "Directive 2007/60/EC of The European Parliament and of The Council of 23 October 2007 on The Assessment and Management of Flood Risks", EUR-Lex, <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2007/60/oj>

Date Received 2021-12-27
Reviewed(1st) 2022-02-21
Date Revised 2022-05-10
Reviewed(2nd) 2022-05-24
Date Accepted 2022-05-24
Final Received 2022-06-30