

다차원 홍수피해산정기법(MD-FDA)을 이용한 기후변화 대비 항만 재난방재시설의 경제성 분석 방법 - 목포항과 마산항을 중심으로 -

Economic Feasibility Study of Port Disaster Prevention Facility from Climate Change Storm Surge Using MD-FDA

신승식*
Shin, Seung Sik

목 차

- I. 머리말
- II. 기후변화에 따른 폭풍해일(storm surge) 발생 문헌 검토
- III. 항만 방재시설의 경제적 가치 추정 방법: 다차원 홍수피해산정기법
- IV. 실증분석: 목포항과 마산항의 항만내 재해방지시설 경제성 분석
- V. 맺음말

Abstract: Recently, there are many studies about shortening frequency and increasing strength of storm surge due to worldwide climate change. Many studies emphasize that “super typhoons” will arrive in Korea in a few year. Because storm surge is very closely linked with super typhoon, so Korea can not be a free country any more. From this background, this paper evaluated damages from 30, 50, and 100-year frequency storm surges using MD-FDA(Multi-Dimension Flood Damage Assessment). Using this results and government’s port disaster prevention facilities costs, this paper also suggested the economic feasibility studies for Mokpo and Masan ports area. The B/C ratio for Mokpo is 2.95 and that of Masan is 1.28, the economic feasibility of both ports are very high. This paper can be used to make a

* 전남대학교 경상학부 물류교통학전공 부교수, shin2han@chonnam.ac.kr

guide line for government's preliminary feasibility study for the port disaster prevention systems.

Key words: MD-FDA, storm surge, economic feasibility, climate change, port disaster prevention

I. 머리말

2003년 9월 12일에 한반도를 기습한 태풍 매미(태풍번호: 0314, 국제명: MAEMI, 필리핀 기상청 지정이름 Pogi)는 영남지방을 중심으로 막대한 피해를 일으켰다. 태풍 매미에 의한 피해는 사망·실종 132명, 이재민 61,000명, 재산 피해액 4조 7,000만 원(2003년 화폐가치 기준)이었고 수도권 일대를 제외한 전국 대부분의 지역이 “특별재해지역”으로 선포되었다. 태풍 매미는 “Super Typhoon” 급에 속하는 것으로 한반도에 영향을 준 태풍 가운데 상륙 당시 기준으로 가장 강력한 급이었으며, 태풍 매미의 폭풍역에 해당했던 지역의 최대순간풍속은 제주도 초속 60.0m, 전남 여수 초속 49.2m, 부산 초속 42.7m 등 대부분의 지역에서 관측사상 최대의 풍속기록을 유지하였다. 그러나 태풍 매미의 경우 다른 태풍에 비해 폭풍해일(storm surge)을 동반하여 피해 범위를 가중시켰다. 태풍이 상륙한 마산지역의 경우 해안 지역을 강타한 폭풍해일에 의한 침수로 지하 노래방에 갇힌 10여명이 그대로 익사하는 참사가 발생하였다. 당시 기상청은 태풍 매미에 의한 마산만의 해수면 증가를 180cm로 예측했으나 실제로는 폭풍해일의 동반으로 해수면 증가가 439cm에 달해 피해액이 크게 증가하였다. 부산에서도 폭풍해일에 따른 높은 파도가 해안을 휩쓸어 부산 아쿠아리움이 침수되고 해안가의 많은 건물들이 폐허로 변해 재산 피해가 크게 증가하였다.¹⁾

폭풍해일이란 강한 저기압과 바람의 영향으로 해수면이 순간적으로 상승하면서 해안 저지대가 광범위한 침수 피해를 입는 경우를 의미한다. 주로 열대성 저기압인 태풍과 동반하면서 광범위한 해일 피해를 야기한다. Nicholls(2003)의 연구에 따르면 지난 200년간 폭풍해일로 인해 약 260만 명이 사망한 것으로 나타났다. UN(2007)에 따르면 2007년 11월에 방글라데시를 강타한 사이클론(Sidr)에 의한 폭풍해일로 3,000명이 넘는 사망자와 5만 명의 부상자가 발생하였으며, 150만 채의 가옥이 파괴되고 700만 명이 넘는 사람들의 생계가 위협받

1) 인터넷 위키백과(www.wikipedia.org)에서 인용.

기도 하였다. 또한 UNISDR(2009)에 따르면 2008년 5월에 미얀마의 일라와디 삼각주를 강타한 사이클론(Nargis)으로 8만 명의 사망자와 700만 명이 넘는 사람들의 생계가 위협당하는 등 미얀마 역사 이래 최악의 피해를 야기하였다.

그러나 무엇보다 큰 문제점은 지구 기후온난화에 따른 해양에너지 증가로 태풍과 동반한 폭풍해일의 규모가 보다 강화되고 그 빈도도 더욱 증가할 것이라는 점이다. Dasgupta *et al.*(2009)와 Rahmstorf(2007) 등은 최근의 연구 결과를 인용하여 급세기 말까지 해수면이 1m 이상 상승될 것이며, 해수의 열팽창과 빙하의 용해에 의해 폭풍해일도 극도로 강해질 것으로 전망했다.

이에 따라 우리나라에서도 항만지역을 중심으로 지구온난화에 따른 폭풍해일 피해 저감대책 수립 필요성이 제기되고 있다. 국토해양부는 기후변화에 따른 해수면 상승과 폭풍해일 등으로부터 항만구역 내의 재해 취약지구를 보호하기 위해 2011년에 「기후변화에 따른 항만구역 내 재해 취약지구 정비계획 수립 용역」을 수립한 바 있으며, 이를 통하여 기후변화에 따른 항만구역 내 재해 취약지구 정비계획을 수립하기도 하였다. 또한 이러한 정책의 하나로 2012년 상반기에는 목포항 지역에 항만방재시설을 설치하기 위해 기획재정부에 「간이 예비타당성조사」를 의뢰하기도 하였다.

이와 같이 최근 정부를 중심으로 폭풍해일로부터 항만지역의 재해취약지역 보호를 위한 방재시설의 설치 필요성이 제기되고 일부 지역에서 이의 사업화가 구체화됨에 따라 이의 타당성 검토를 위한 경제적 방법론 수립이 필요한 시점이다. 이에 따라 본 연구에서는 폭풍해일이 순간적 해수면 상승에 따른 침수 피해를 유발한다는 점에서 수자원분야의 홍수피해산정에 주로 이용되는 다차원 홍수피해산정기법(MD-FDA)을 이용하여 폭풍해일의 피해규모를 산정하고 항만방재시설물 건설시 이의 방재를 통한 편익 산출의 기법을 제시한다. 이를 위해 본 연구에서는 2장에서 기후변화와 폭풍해일에 대한 선행 연구 결과를 살펴보고, 3장에서는 항만지역에서 다차원 홍수피해산정의 적용 방법론을 검토한 후, 4장에서는 목포항과 마산항, 삼척항을 대상으로 항만방재시설 건설의 편익과 경제성 검토를 시도해 보았다.

II. 기후변화에 따른 폭풍해일(storm surge) 발생 문헌 검토

1. 폭풍해일의 정의

폭풍해일이란 ‘태풍이나 심한 폭풍, 또는 강한 저기압의 영향으로 해안에서 해수면이 이상적으로 높아지는 현상’을 말한다.²⁾ 저기압에서는 해수면과 대기압의 정역학적 균형을 맞추기 위해 해수면이 부풀어오르는데, 통상 대기압이 1헥토파스칼(hPa) 낮아지면 해수면이 약 1cm 높아지는 정역학적 관계가 있는 것으로 알려졌다. 특히 태풍이 접근할 때에는 바람에 의한 해일(wind-driven surge)과 대기압에 의한 해일(pressure surge)이 겹쳐 더욱 큰 폭풍해일이 발생하며, 해안의 만조시간과 겹쳐질 경우 광범위한 피해를 발생시킨다.

Pielke and Pielke(1997)에 따르면 폭풍해일로 인한 침수 면적과 홍수위는 해일의 높이와 지속시간, 방어물, 지표면의 높이 등에 의해 결정된다. 미국 동부와 같이 해안 방어물이 거의 없는 환경의 경우 6m 해일에도 내륙 안쪽으로 11~16km까지 피해를 발생시키는 것으로 알려졌다. 박정재(2009)에 따르면, 유럽에서는 해안의 경우 제방이나 방조제 등의 경성 방어물을 이용하여 침수를 예방하고 있으며, 미국의 경우 최근에 세워지는 모든 건물은 100년 주기의 해일 수위보다 높이 세워지도록 의무화하고 있다.

폭풍해일의 빈도, 규모, 영향은 해수면 상승, 간척과 같은 해안 지형의 변형, 사회 경제적 변화 등에 의해 좌우되지만 특히 해수면 상승은 전 세계에서 공통적으로 직면하고 있는 뚜렷한 환경변화로 해일의 위험성을 가중시키고 있다. 인도 동부, 방글라데시 인근, 태평양 섬들, 미국 동부, 유럽 해안, 중국과 일본 등이 기후변화에 의한 폭풍해일의 피해를 가장 많이 받고 있는 지역으로 알려

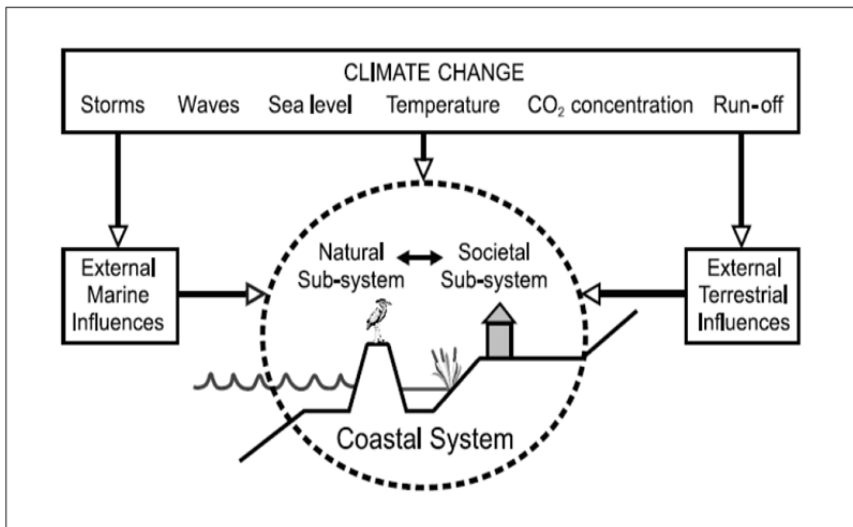
2) 네이버 지식백과.

져 있다. 우리나라의 경우 3면이 바다로 둘러싸여 있지만 저지대의 비율이 높지 않아 폭풍해일의 위험성이 중국이나 일본에 비해 상당히 낮은 편에 속한다. 그러나 침수 가능성이 높은 국내 저지대의 경우 앞으로 증가할 폭풍해일에 의한 피해를 예방하기 위해 제반 조치가 필요한 것으로 알려져 있다(박정재, 2009).

2. 지구온난화와 해수면 상승

해수면 상승이 해안 지역의 임계치를 초과하지 않는 경우 퇴적물의 공급과 지형의 변화가 서로 균형을 이루어 인간 생활에 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나 Burkett *et al.*(2005)에 따르면 해수면 상승이 임계치를 초과할 정도로 급속히 발생되는 경우 전체 해안 시스템의 교란이 불가피하다.

■ 그림-1. 해안의 자연 및 사회·경제 시스템과 기후 변화의 관계 ■



자료: Bindoff, N.L., Willebrand, V., Artale, A., Cazenave, J., Gregory, S., Gulev, K., Hanawa, C., *et. al.*, "Observations: Oceanic climate Change and Level." in Climate Change 2007: *The Physical Science Basis*, 2007

Gomits *et al.*(2002)의 연구에 따르면 2080년대에 이르면 미국 뉴욕에 미치는 폭풍들이 현재 100년 주기에서 40~60년 주기로 단축될 것으로 전망된다. Nicholls *et al.*(1999)의 연구에 따르면 해수면 상승으로 2080년까지 전세계 해안 습지의 22%가 영향을 받을 것으로 전망된다. 또한 Shriner and Street(1998)는 21세기에 해수면이 50cm 이상 상승하면 해안습지의 50%가 범람하게 될 것으로 예측하였다. El-Raey(1997)는 이집트에서 해수면이 50cm 상승되면 200만 명 이상이 거주지를 잃게되며 21만 개의 일자리와 350억 달러에 해당하는 토지가 사라질 것으로 전망했다. Anthoff *et al.*(2006)은 해수면 상승에 따른 대륙별 피해액을 다음 표와 같이 예측하였다.

■ 표-1. 해수면 상승에 따른 대륙별 침수 피해 예측치 ■

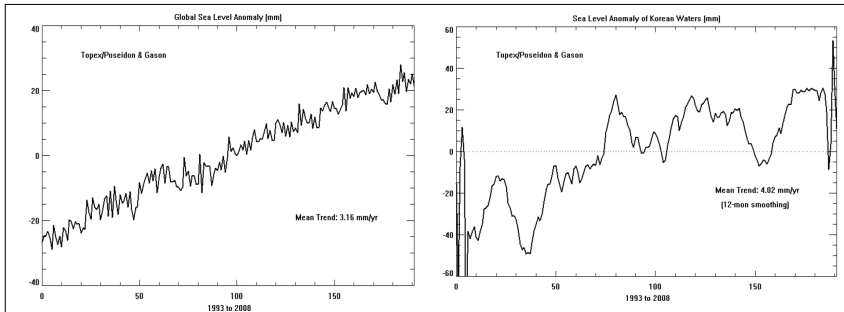
해수면상승 지역	피해 면적(km ²)			피해 인구(백만)		
	1m	5m	10m	1m	5m	10m
아프리카	118	183	271	8	14	22
아 시 아	875	1,548	2,342	108	200	294
호 주	135	198	267	2	3	4
유 럽	139	230	331	14	21	30
중 남 미	317	509	676	10	17	25
북 미	640	1,000	1,335	4	14	22
전 세 계	2,223	3,667	5,223	145	268	397

자료: Anthoff, D., Nicholls, R.J., Tol, R.S., and Vafeidis, A.T., "Global and Regional Exposure to Large Rises in Sea Level: A Sensitivity Analysis," Working Paper 96, Tyndall Center for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, Norfolk, p. 31

미국 NASA에 따르면 1993년~2008년의 15년간 Topex/Poseidon and Jason 위성고도계 자료를 이용하여 추정된 전 지구적 해수면 상승 경향은 연간 3.16mm 인 것으로 나타났다. 반면 같은 기간동안 동일한 고도계를 이용하여 추정된 우리나라 주변의 해수면 평균 상승률은 연간 4.02mm로 지구 평균에 비해 30% 높은 것으로 나타났다. 해역별로는 동해 연간 3.86mm, 서해 연간 4.18mm, 남해 연간 4.66mm로 남해안이 상대적으로 높게 나타났다. 더욱이 우

리나라 해안은 해수면 상승과 더불어 파랑 및 태풍의 강도도 증가추세를 보이고 있는 것으로 조사되었다.

■ 그림-2. 전 지구(좌측)와 한반도 주변(우측)의 해수면 상승 경향(1993년~2008년) ■



자료: 한국환경정책평가연구원, 『해수면 상승에 따른 취약성 분석 및 효과적인 대응정책 수립: 해안침식 영향 평가』, 2009

3. 지구온난화와 폭풍해일의 관계

많은 과학적 연구에 의하면 다음 두 가지 측면에 의해 기후변화가 폭풍해일을 크게 강화시킬 것으로 판단하고 있다. 첫째로 폭풍해일은 해수 열팽창과 빙하의 용해에 따른 해수면 상승에 의해 더욱 강력해질 것이라는 점이다. 둘째로 온도가 상승된 해양은 태풍의 활동을 강화시키고 폭풍해일을 더 크게 야기할 것이라는 점이다. 즉, 지구온난화로 인해 폭풍해일은 더욱 강력해지고 더욱 빈도가 증가한다는 의미이다. 실제로 Michaels *et al.*(2005)과 Knutson and Tuleya (2004)은 해수 온도 28℃가 3~5등급의 대형 허리케인이 발생하는 임계점으로, 지구온난화에 의해 해양의 온도가 상승될 경우 초대형 허리케인의 발생 가능성이 매우 높아진다는 것이다. 즉 이전의 중형급 태풍도 상승된 해양 온도로 인해 쉽게 초대형 허리케인으로 발달한다는 것이다.

실제로 Emanuel (2005), Webster *et al.*(2005), Bengtsson *et al.*(2006) 등의 연구에서도 지난 35년간 관측된 열대성 태풍의 빈도와 강도 증가는 부분적으로

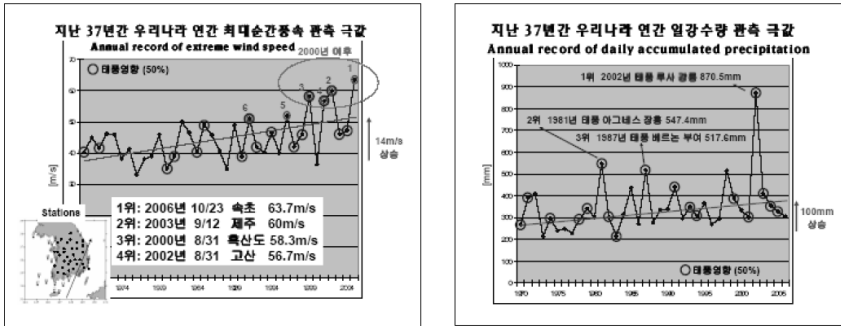
전 지구적인 기후변화에 영향을 받은 것으로 나타났으며, 세계기상기구(WMO, 2006)도 기후변화가 폭풍해일에 의한 피해를 증가시킬 것이라고 주장하였다. WMO는 해수면 온도가 1℃ 증가할 때 풍속은 3~5% 증가된다는 연구결과를 발표하였다.

한편 IPCC(기후변화에 관한 정부간 패널)에서도 IPCC(2007)에서 1970년대 중반부터 폭풍해일의 지속기간이 길어지고 강도가 더욱 강력해지는 추세를 제시하면서 열대지역의 해수온도와 폭풍해일의 이러한 추세 사이에는 높은 상관관계가 존재한다는 연구 결과를 발표하였다. IPCC는 자체의 예측모형에 의거하여 지속적인 해수면 온도상승으로 순간 최대풍속이 더욱 증가하며, 더욱 많은 강수량을 동반하는 열대성 사이클론의 발생 가능성이 66% 증가한다고 주장하였다.

또한 Klotzbach(2006)의 연구에서는 해수면 온도가 허리케인의 분포와 형성에 매우 중요한 역할을 한다는 연구 결과를 발표하였으며, Webster *et al.*(2005)은 카테고리 4와 5에 상응하는 허리케인이 1970년에서 1989년까지보다 1990년 이후 더욱 빈번하게 발생하고 있다는 연구 결과 제시하였다. Emnuel(2005)과 Webster *et al.*(2005, 2006) 등도 북태평양지역에서 태풍의 강도가 점점 증가하고 있는 추세에 있으며, 열대성저기압의 규모를 가늠하는 또 다른 지수인 PDI(Power Dissipation Index; 파워손실계수)도 1950년 이후 두 배로 증가했다는 연구 결과를 발표하였다. 특히, 카테고리 4와 5에 해당하는 폭풍의 수가 1975년에서 1989년보다 1990년에서 2004년 사이에 약 30% 증가했다고 주장하였다.

국내 연구의 경우 문일주(2009)는 우리나라에서도 태풍의 상황 변화가 감지되고 있다는 연구 결과를 발표하였다. 이 연구 결과에 따르면 1970년~2006년에 우리나라에 내습된 태풍의 최대순간풍속 극값은 계속 증가하고 있으며, 한반도에 미국 남부나 방글라데시와 같은 슈퍼태풍(Super Typhoon)의 내습가능성이 매우 높다고 주장하였다.

그림-3. 우리나라 태풍의 최대풍속과 일강수량의 극값 변화 추이(1970~2006년)



자료: 문일주, 「기후변화에 따른 한반도 상륙 태풍 강도 변화」, 『제2차 연안해양환경포럼 발표자료』, KEL, 2009, p. 48

III. 항만 방재시설의 경제적 가치 추정 방법: 다차원 홍수피해산정기법

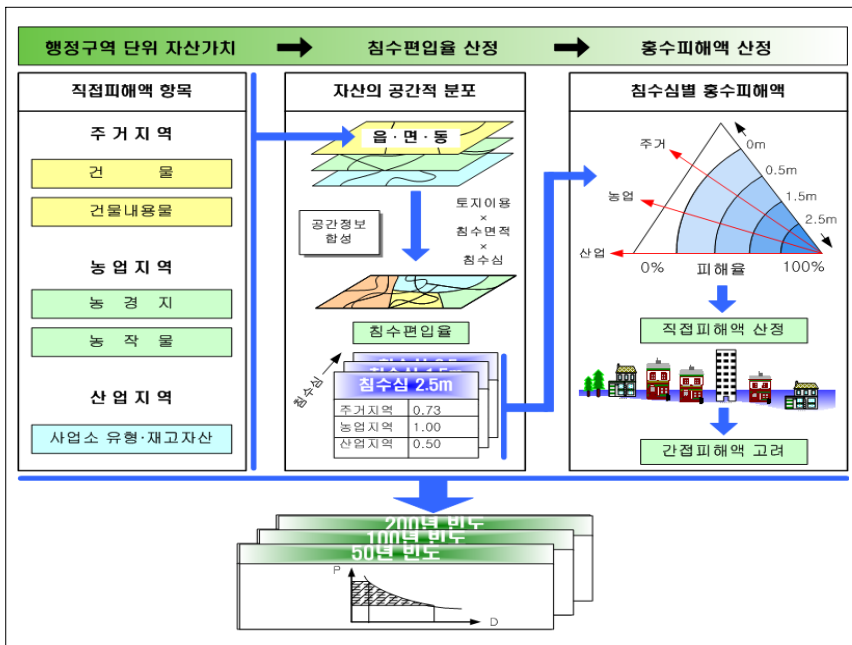
1. 다차원 홍수피해산정기법(MD-FDA)의 기본 이론

홍수 피해는 공학적 측면과 경제적 측면이 모두 고려되어야 하기 때문에 매우 복잡한 과정을 거치게 된다. 공학적 과정에서는 시뮬레이션 등을 통해 침수심을 예측하며 경제적 과정은 예측된 침수심에 의해 발생하는 각종 경제적 피해를 계량화하는 과정을 거치게 된다. 이러한 과정들은 기존의 연구를 통한 방법론의 확립에도 불구하고 통계자료의 미흡 등으로 수치를 구체화하는 작업은 그동안 매우 어려웠다. 그러나 최근에는 각종 통계지표의 개발과 지리정보시스템(GIS) 등을 통해 모든 정보를 공간정보화 함으로서 정밀한 분석이 이루어지게 되었다.

이러한 추세에 힘입어 세계 각국에서는 홍수에 의한 정확한 피해액 산정을 위해 다양한 모형을 개발하여왔다. 일본에서는 GIS와 연계한 FDAM(Flood

Damage Assessment Methodology) 모형을 개발하였으며, 미국은 육군공병단을 중심으로 HEC-FDA 모형을 개발하였다. 우리나라에서도 국토해양부가 홍수피해의 정량화를 위해 2004년에 「치수사업 경제성분석 연구」를 수행하였으며, 이 연구를 바탕으로 우리 실정에 부합하는 다차원 홍수피해산정법(MD-FDA; Multi-Dimension Flood Damage Analysis)을 개발하였다.

■ 그림-4. 다차원 홍수피해산정법(MD-FDA)의 개념도 ■



다차원 홍수피해산정법(MD-FDA)은 일반자산피해액에 해당하는 직접피해액을 주거지역과 농업지역, 그리고 산업지역에 대해 세부 항목화 하여 총 5개의 항목으로 구분하고 각 항목별로 자산가치를 산출한다. 일반자산 피해 5개 항목은 실제 행정구역의 자산 평가액을 근거로 산정하며, 홍수피해 발생 후 같은 장소에서 다시 생활을 하기 위해서 사람들은 가옥이나 가재 등을 재조달하는 경우가 많기 때문에 실제로 사람들이 지출하는 피해액에 가까운 재조달 가

격 또는 복구비를 근거로 직접적인 피해액을 산정한다³⁾. 피해지역의 읍·면·동 단위 행정구역, 침수구역 및 침수심, 토지이용상태 등의 공간정보를 지리정보시스템(GIS)과 연계하여 행정구역 내에서도 침수피해지역의 침수심에 따라 주거지역, 농업지역, 산업지역별로 침수편입율을 산정하여 자산가치 적용함으로써 직접피해액 산정한다.

다차원 홍수피해산정법은 홍수피해로 인한 직접편익만을 다루고 있으며, 간접편익은 자산고도화나 교통피해방지 등을 별도로 고려하여야 한다.

■ 표-2. 다차원 홍수피해산정법의 행정구역별 일반자산 피해항목 조사 대상 ■

지역특성	대 상 자 산
주거지역	<ul style="list-style-type: none"> • 건물: 일반세대의 주거용 건물 • 건물내용물: 일반세대의 주거용 가정용품
농업지역	<ul style="list-style-type: none"> • 농경지: 전·답 • 농작물: 홍수 시에 있어서의 대표작물
산업지역	<ul style="list-style-type: none"> • 사업소 유형·재고자산: 사업소자산 중 토지를 제외한 생산설비나 재고자산

자료: 건설교통부, 『치수사업 경제성분석 방법 연구』, 2004

2. 홍수피해 경감효과 산정 방법

건설교통부가 2004년에 수립한 『치수사업 경제성분석 방법 연구』는 2008년에 수자원공사 등과 같이 『수자원사업의 타당성분석 개선방안 연구』를 통해 다차원법의 각종 통계수치, 원단위, 피해항목별 산정방법 등의 내용을 수정·보완하였다. 본 과업의 주요 대상인 폭풍해일에 의한 항만 재해취약시설의 침수 피해 역시 홍수와 유사하다는 관점에서 본 경제성 분석에서는 2004년의 건설교통부 방법론과 2008년의 한국수자원공사의 수정안을 적용하여 항만의 재해방재시설 편익을 산출한다. 국토해양부에서 적용하고 있는 치수사업 경제성 분

3) 국토해양부·한국수자원공사, 『수자원사업의 타당성분석 개선방안 연구』, 2008, p.179에서 인용.

석방법은 다음과 같이 다섯 단계로 구성된다.

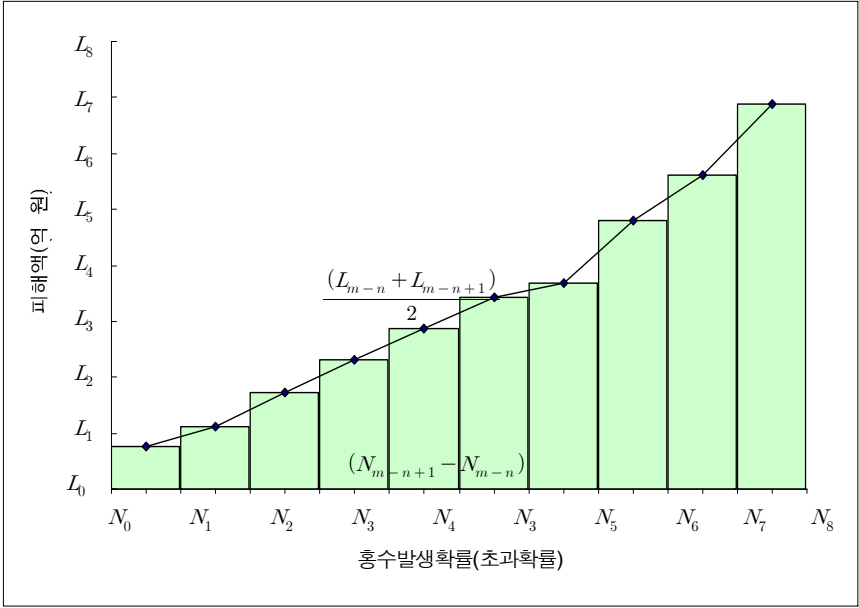
- 1단계
 - 빈도별(10년, 20년, 30년, 50년, 80년, 100년, 200년) 홍수량을 설정하고, 유량규모별 예상범람 침수구역도를 작성함
- 2단계
 - 다차원법을 이용하여 유량규모별 피해액을 작성함
 - 행정구역별로 주거, 농업, 산업지역의 자산가치 및 침수편입률 산정, 침수심별 피해액 산정 순으로 산정함
- 3단계
 - 유량규모별 연평균 초과확률과 피해경감액으로 부터 연평균 피해경감 기대액을 산정함
- 4단계
 - 매년의 비용과 편익을 기준년도의 가격으로 할인한 후 모두 합하여 현재가치화함
 - 매년의 편익은 경제성장에 따른 자산가치 증대효과를 고려하여 산정
- 5단계
 - 경제성 분석지표(B/C, NPV, IRR)를 분석함

한편 3단계의 연평균 피해경감기대액의 산정은 다음 산출도표에 따른다. 즉, 다음 <그림 6>에서 사각형의 면적의 총합이 연평균 피해경감기대액에 해당한다고 할 수 있다.

표-3. 연평균 피해경감 기대액 산정방법

홍수규모	연평균 초과확률	$Q_{N-1} \sim Q_N$ 의 연평균 생기확률	유량규모에 상응하는 예상피해액	$Q_{N-1} \sim Q_N$ 의 예상피해액	생기확률 × 구간평균피해액	해당 유량규모까지의 연평균 피해경감액 (누계피해액)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=(3)×(5)	(7)=Σ(6)
Q_o	N_o	-	0	-	-	-
Q_1	N_1	$N_o - N_1$	L_1	$(L_o + L_1)/2$	$d1=(3) \times (5)$	d1
Q_2	N_2	$N_1 - N_2$	L_2	$(L_1 + L_2)/2$	$d2=(3) \times (5)$	d1 + d2
...
Q_m	N_m	$N_{m-1} - N_m$	L_m	$(L_{m-1} + L_m)/2$	$dm=(3) \times (5)$	d1+d2+ ... +dm

그림-5. 연평균 피해경감 기대액 산정방법 도해



IV. 실증분석: 목포항과 마산항의 항만내 재해방지시설 경제성 분석

1. 분석 지역의 선정

본 연구에서는 앞에서 언급한 다차원 홍수피해산정기법(MD-FDA)을 이용하여 목포항과 마산항에 항만 내 재해방지시설의 건설 시 경제성 분석을 수행하였다.

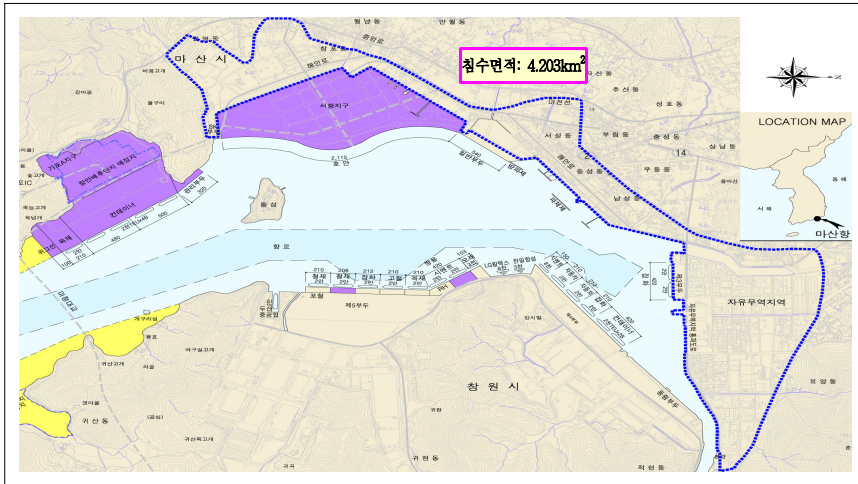
목포항의 경우 내항지역은 지형여건상 폭풍해일 및 고조위 시 전면수위에 비해 항만시설 및 배후지역의 지반고가 낮아 잦은 침수가 발생하는 지역이다. 2004년 7월 태풍 ‘민들레’ 내습 시 DL.(+)5.50m의 고조위 발생으로 북항 및 내항 일부 지역에서 외해조위 상승으로 침수가 발생되었고, 2004년 8월 태풍 ‘메기’ 내습 시에 일부 해안 저지대 침수피해가 발생되었다. 목포시의 침수원인은 기존 도심지가 주로 만조위보다 낮은 저지대에 많이 분포하고 있고, 태풍 또는 집중호우가 만조위와 겹쳐 내수배제 불량으로 침수피해가 가중되었었다. 향후 폭풍해일 내습 시에는 막대한 침수피해가 우려되는 지역이므로 근원적인 해일대책의 수립이 절실하다고 하겠다.

■ 표-4. 목포항 인근 지역의 재해위험지구 현황 ■

지 구 명	위 치	면적 (ha)	유형별	지정일	지정사유
하당지구	석현들	15	상습 침수	'00.1.10.	석현들 농경지와 하당지역 저지대가 바닷물 만조 시 집중호우로 인해 침수피해가 우려되어 지정
북항지구	죽교·북항 저지대	28	"	'02.4.16.	조위상승기간과 집중호우가 겹칠 경우 북항 저지대 주택침수와 기존 북항빗물펌프장 노후로 비상 시 정상가동이 되지 않음에 따른 재해피해가 우려되어 지정
백련지구	연산동 용해동	68	"	'04.8.23.	집중호우 시 배수지연으로 대양 44ha, 용해 24ha 농경지의 상습적인 침수로 반복적인 농작물 피해가 발생되어 지정
용당지구	용당1·2동 산정동일부	28	"	'04.8.23.	2·3호광장 일대 지반이 해수면 만조위보다 낮아 시우량 30mm 이상 강우 시 침수되어 '99.6.19. 경계구역으로 관리가 되고 있었으나, 매년 침수 피해(주택 450동, 도로 등)가 반복되어 지정

한편 마산항의 경우 지형 여건상 폭풍해일에 매우 취약한 지역으로 태풍 ‘매미’ 내습 시 대규모 침수피해로 인명 및 재산 피해가 발생하였고 향후 대형 태풍 내습 시 피해 재발 우려가 있으므로 근원적 차단대책 수립이 필요한 지역이다. 2000년 이후에만 태풍 ‘사오마이’, 2002년 태풍 ‘루사’, 2003년 태풍 ‘매미’에 의해 많은 피해를 입은 곳이다. 특히 2003년 태풍 ‘매미’의 경우 폭풍해일이 마산항 배후도시에 급습하여 지하실을 중심으로 많은 인명피해와 재산피해를 유발하였다.

그림-6. 2003년 태풍 매미 내습 시 마산항 침수 현황도



자료: 마산시, 『마산만 방재언덕설치 및 재해방지대책 타당성조사』, 2005

2. 다차원 홍수피해액 산정

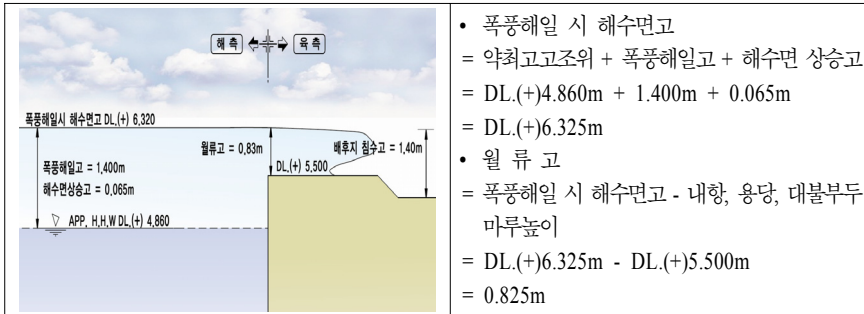
1) 설계조위

다차원 홍수피해액의 산정을 위해서 본 연구에서는 목포항과 마산항의 폭풍해일 시 해수면고를 산출하였다. 약최고고조위(Approx.H.H.D)에 100년빈도 폭풍해일고 및 해수면 상승고를 더한 값을 이용하였다. 목포항의 경우 설계조위는 6.265m 였으며, 내항, 용당, 대불부두의 마루높이 5.500m를 감안하면 약 0.83m의 월류가 발생할 것으로 예측되었다.

표-5. 목포항의 설계조위 산정 결과

구 분	약최고고조위 (Approx. H.H.W)	해수면상승고	폭풍해일고 (100년빈도)	설계조위
목 포 항	DL.(+)4.860m	0.065m	1.400m	DL.(+)6.265m

그림-7. 목포항의 폭풍해일 시 해수면고 및 월류고



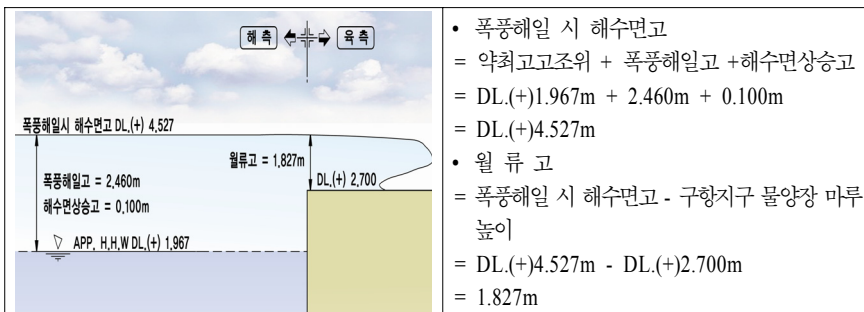
자료: 폭풍해일고(100년빈도) - 해일피해예측 정밀격자 수치모델 구축 및 설계해면 추산 연구(국토해양부, 2010. 8.)

한편, 마산항의 경우 100년빈도 폭풍해일고는 2.46m에 이를 것을 나타냈으며, 이에 따라 설계조위도 약최고고조위 1.967m보다 훨씬 높은 4.527m가 될 것으로 예측되었다. 여기에 구항지구 물양장의 마루높이 2.7m를 가정하면 월류고는 1.827m가 될 것으로 판단된다.

표-6. 마산항의 설계조위 산정 결과

구 분	약최고고조위 (Approx. H.H.W)	해수면상승고	폭풍해일고 (100년빈도)	설계조위
목 포 항	DL.(+)1.967m	0.100m	2.46m	DL.(+)4.527m

그림-8. 마산항의 폭풍해일 시 해수면고 및 월류고



자료: 폭풍해일고(100년빈도) - 해일피해예측 정밀격자 수치모델 구축 및 설계해면 추산 연구(국토해양부, 2010. 8.)

2) 폭풍해일에 따른 침수 피해

위에서 산정된 월류고에 의해 침수되는 목포항 및 마산항 배후지역의 면적은 GIS를 이용하여 추정하였다. 목포항의 경우 0.825m의 월류고에 5.378km²의 면적이 침수되며, 마산항의 경우 1.827m의 월류고에 6.585km²의 면적이 침수되는 것으로 나타났다.

■ 표-7. 목포항과 마산항 재해취약지역의 예상 침수면적에 따른 예상 침수 주택 및 침수 인원수 ■

항만명	예상침수 면적(km ²)	예상 침수가구수				가구당 평균인원	예상 이재민 수	주택밀도 (㎡/가구)
		주 택	아파트	기 타	소계			
목포항	5.378	10,727	119	91	10,937	2.58	57,811	492
마산항	6.585	2,045	101	186	2,332	2.70	13,225	2,824

자료: 가구당 평균인원 산정은 각 시군별 2009년 통계연보 자료임

3) 피해액 추정의 원칙

앞에서 산출된 침수 피해에 대해 다차원 홍수피해산정방법(MD-FDA)에 의한 피해규모를 산정하였다. 이 산출법에서는 다음 표와 같이 폭풍해일에 의한 직접피해에 대해서만 산출한다. 피해액의 추정은 각 항목 내용에 대해 자산가치를 산정하고, 여기에 침수심의 깊이를 적용하여 피해액을 산출한다.

■ 표-8. 다차원 홍수피해 산정법에 의한 항만 재해취약지역 피해 산정 내용 ■

항목 분류		항목 내용	비 고
직 접 피 해	자산피해	• 주거자산(건물+건물내용물)피해경감	일반자산
		• 농업자산(농경지+농작물) 피해경감	
		• 산업자산(유형자산+재고자산) 피해경감	
		• 선박 피해경감	
		• 공공시설물(항만시설물, 도로 등) 피해경감	
	인명피해	• 인명 손실 경감	
		• 이재민 경감	

본 연구에서는 일반홍수피해에 적용된 위의 방법론 외에 해당 지역의 부가 가치 감소와 항만지역의 경우 항만하역지체비용을 반영하여 추정하였다.

4) 자산가치의 산정

① 건물자산액

다차원 홍수피해산정법에서는 건물자산의 경우 다음과 같은 수식에 의해 자산가치를 평가한다. 수식에서 요구되는 원단위는 각각 다음 표와 같이 산출되었다.

$$\begin{aligned} \circ \text{ 건물 자산가치(원)} &= \text{단위면적별 건축형태별 건축단가(원/㎡)} \\ &\quad \times \text{건축 연면적별 가구수비} \\ &\quad \times \text{건축형태별 평균 연면적(㎡)} \\ &\quad \times \text{주택형태별 가구수(개수)} \\ &\quad \times \text{기준년 건설업 Deflator} \end{aligned}$$

가. 건축형태별 건축 단가

목포항과 마산항 배후 재해취약지역의 건축형태별 건축 단가는 시멘트 벽돌조의 다세대 주택 및 철근콘크리트조의 아파트 단가를 적용하였다. 한국감정원의 2006년 자료에 건설업의 디플레이터 108.0을 적용하여 2010년 값으로 환산하였다.

표-9. 건축형태별 건축 단가

주택구조 \ 주택형태		일반주택	고급주택	다세대 주택	다가구 주택	연립주택	아파트
목조	목조지붕	364,555	-	-	-	-	-
	한식지붕	458,545	-	-	-	-	-
시멘트 벽돌조	목조지붕	442,418	-	-	-	-	-
	슬래브(기와)	617,255	-	-	-	-	-
	슬래그지붕	491,286	-	-	-	485,405	-
	슬래브(싱글)	-	-	514,841	-	-	-
블록조	목조지붕	321,624	-	-	-	-	-
	슬래브지붕	397,779	-	-	-	-	-
치장 벽돌조	목조지붕	524,975	-	-	-	-	-
	슬래브(기와)	633,890	897,557	-	-	515,746	-
	슬래브지붕	566,761	1,524,816	-	-	-	-
	슬래브(싱글)	-	1,176,241	-	467,560	-	-
철근 콘크리 트조	슬래브(기와)	-	-	-	-	931,704	-
	슬래브지붕	-	-	-	-	-	484,296
	슬래브(싱글)	693,202	-	573,813	468,530	-	504,369

자료: 한국감정원, 『건물건축단가표』, 2006

나. 전국평균 건축 연면적별 가구수비

건축 연면적별 가구수비는 통계청의 2005년도 『주택총조사보고서』 자료를 인용하였으며, 가구수비가 가장 많은 19~29평형을 적용하였다.⁴⁾ 건물자산액은 아파트와 다세대주택에 한정하였다.

4) 원칙적으로 '해당지역의 평균 건축 연면적 및 가구비'를 사용하여 추정하여야 하나, 본 연구에서는 통계 확보의 어려움으로 인해 전국 평균 연면적 가구수비를 사용하였다. 또한 최빈값을 대표평형으로 사용하였으나, 보다 정밀한 측면에서는 가중평균값을 대표평형으로 사용되어야 할 것이다.

■ 표-10. 전국 평균 건축 연면적별 가구수비 ■

면적(m ²)		30~46	46~63	63~96	96~129	129~162	162~228
주택형태		(9-14평)	(14-19평)	(19-29평)	(29-39평)	(39-49평)	(49-69평)
아파트	읍	0.0780	0.4110	0.4265	0.0586	0.0163	0.0042
	면	0.1102	0.4370	0.3883	0.0458	0.0100	0.0007
	동	0.0939	0.3349	0.4031	0.0846	0.0461	0.0125
다세대주택	읍	0.0839	0.2612	0.5193	0.1159	0.0076	0.0034
	면	0.0711	0.2508	0.5326	0.1168	0.0073	0.0047
	동	0.2210	0.3312	0.3635	0.0467	0.0080	0.0036

자료: 통계청, 『주택총조사 보고서』, 2005

위의 결과를 이용하여 목포항과 마산항의 항내 재해취약지역의 건물자산액은 다음과 같다. 대상지역의 건축단가는 2010년 12월 현재의 지역별 평균단가를 적용하였으며, 주택당 평균가구수를 2가구로 가정하였다.⁵⁾

■ 표-11. 목포항과 마산항 내 재해취약지역의 건물자산액 (다세대주택) ■

구분	건축단가 (원/㎡)	평균 연면적(㎡)	주택수 (건물수)	주택당 평균가구수	Deflator	자산가치 (억 원)
목포항	514,841	80	10,727	2	1.08	9,543
마산항	655,208	80	2,045	2	1.08	2,144

■ 표-12. 목포항과 마산항 내 재해취약지역의 건물자산액 (아파트) ■

구분	건축단가 (원/㎡)	평균 연면적(㎡)	주택수 (건물수)	주택당 평균가구수	Deflator	자산가치 (억 원)
목포항	680,000	80	119	8	1.08	519
마산항	1,100,000	80	101	8	1.08	711

5) 본 연구에서는 주택 수와 주택당 평균가구수를 별도로 산출하였으나, 통계연보상의 행정구역별 주택유형별 가구 수를 그대로 사용하는 것이 보다 합리적인 것으로 판단됨.

② 건물 내용물 자산액

다차원 홍수피해산정법에서는 건물 내용물의 경우 다음과 같은 수식에 의해 자산가치를 평가한다. 수식에서 요구되는 원단위는 각각 다음 표와 같이 산출되었다.

$$\begin{aligned} \text{○ 건물 내용물 자산가치(원)} &= \text{가정용품평가액(원/세대수)} \\ &\quad \times \text{세대수} \\ &\quad \times \text{소비자물가지수} \end{aligned}$$

통계청의 2006년도 『국부통계』에 의하면 광역시도별 세대당 재산액은 다음과 같다. 또한 소비자물가지수는 2006년대비 105.6으로 환산하였다.

■ 표-13. 광역시·도별 세대당 재산액 ■

지역	가재자산액	지역	가재자산액
경기도	6,390,419	경상남도	7,183,060
인천광역시	8,696,657	부산광역시	8,523,426
충청남도	6,960,839	울산광역시	7,942,345
전라북도	8,198,622	경상북도	6,876,580
전라남도	7,324,173	강원도	7,502,612

자료: 통계청, 『국부통계』, 2006

위의 추정식에 의해 목포항과 마산항의 재해취약지역 건물자산액을 산정하면 다음 표와 같다.

■ 표-14. 목포항과 마산항 내 재해취약지역의 건물 내용물 자산액 ■

구분	가정용품 평가액(원)	피해 세대수	소비자 물가지수	자산가치 (억 원)
목포항	7,324,173	22,408	1.05	1,723
마산항	7,183,060	4,898	1.05	369

③ 산업자산액

목포항과 마산항 내 재해취약지역에 입지한 산업자산의 자산가치는 다차원
홍수피해산정법에 의거 다음 식과 같이 산출된다.

$$\begin{aligned} \text{○ 산업지역 자산가치(원)} &= \text{광역시도별} \cdot \text{산업대분류별 유형자산 및 재고} \\ &\quad \text{자산의 비율} \\ &\quad \times \text{해당년도 전국단위} \cdot \text{전체산업의 유형고정} \\ &\quad \text{자산 및 재고자산} \\ &\quad / \text{해당년도 광역시도별} \cdot \text{산업대분류별 종사자수} \\ &\quad \times \text{대상지역(읍면동) 산업대분류별 종사자수(인)} \\ &\quad \times \text{소비자물가지수} \end{aligned}$$

본 연구에서 항만 배후지역의 산업시설은 제조업으로 가정하고, 대상항별
침수구역에 대한 산업자산가치이므로 대상지역의 종사자 1인당 유형 및 재고자
산을 평균 종사자수에 적용하여 산정하였다.

■ 표-15. 전라남도와 경상남도의 산업대분류별 종사자 1인당 유형 및 재고자산(2006년) ■

(단위: 천 원)

산업분류	전라남도		경상남도		비 고
	유형자산	재고자산	유형자산	재고자산	
제조업(D)	591,736	63,810	215,202	37,204	

자료: 통계청, KOSIS DB

■ 표-16. 목포항과 마산항 내 재해취약지역의 산업자산액 ■

구분	공장 수	종사자 수	유형자산 (천 원)	재고자산 (천 원)	소비자 물가지수	자산가치 (억 원)
목포항	91	47	591,736	63,810	1.05	29,458
마산항	186	52	215,202	37,204	1.05	25,633

5) 일반자산 침수 피해액 산정

① 건물피해액 산정

건물의 피해액은 앞서 산정된 건물의 자산가치에 주거지역 침수편입율과 침수심별 건물침수 피해율을 적용하여 산정한다.

$$\text{건물피해액} = \text{건물자산 가치(원)} \times \text{주거지역 침수편입율} \times \text{침수심별 건물침수 피해율}$$

주거지역 침수편입률은 행정구역별 침수편입율에 의해 1을 적용하였으며,⁶⁾ 침수심별 건물침수 피해율은 국토해양부와 한국수자원공사(2008)의 『수자원사업의 타당성 분석 개선방안 연구』에 의거하여 다음 표를 적용한다.

표-17. 침수심별 건물 침수피해율

(단위: %)

침수심(해일고)	0~0.5m	0.5~1.0m	1.0~2.0m	2.0~3.0m	3.0m이상
단독주택	15	32	64	95	100
아 파 트	15/n1	32/n1	64/n1	95/n1	100/n1
연립주택	15/n2	32/n2	64/n2	95/n2	100/n2

주: n1) 아파트 층수, n2) 연립주택 층수

자료: 국토해양부·한국수자원공사, 『수자원사업의 타당성분석 개선방안 연구』, 2008

표-18. 목포항과 마산항 내 재해취약지역의 건물피해액

구분	건물자산 가치(억 원)	침수 편입률	침수심 (해일고)	침수심별 침수피해율	건물피해액 (억 원)
목포항	10,062	1.00	1.39	0.64	6,440
마산항	2,855	1.00	2.03	0.95	2,712

주: 침수심의 경우 육지지역의 높이가 방파제보다 낮기 때문에 월류고보다 높으며, 침수심의 깊이는 GIS를 통해 평균 수심을 측정한 결과임

6) 본 조사는 GIS에 의해 실제 침수될 것으로 예상된 지역에 대한 자산피해를 적용하였기 때문에 침수편입률을 1로 보았음.

② 건물 내용물 피해액 산정

건물 내용물의 피해액 산정은 국토해양부와 한국수자원공사(2008)의 『수자원사업의 타당성 분석 개선방안 연구』에 의거 앞서 추정된 건물 내용물의 자산가치에 주거지역 침수편입율과 침수심별 건물 내용물 침수피해율을 적용하여 산출한다.

$$\begin{aligned} \text{건물내용물 피해액} &= \text{건물내용물 자산가치(원)} \\ &\times \text{주거지역 침수편입율} \\ &\times \text{침수심별 건물내용물 침수피해율} \end{aligned}$$

■ 표-19. 침수심별 건물 내용물 침수피해율 ■

(단위: %)

침수심(해일고)	0~0.5m	0.5~1.0m	1.0~2.0m	2.0~3.0m	3.0m이상
단독주택	14.5	32.6	50.8	92.8	100
아 파 트	14.5/n1	32.6/n1	50.8/n1	92.8/n1	100/n1
연립주택	14.5/n2	32.6/n2	50.8/n2	92.8/n2	100/n2

주: n1) 아파트 층수, n2) 연립주택 층수

자료: 국토해양부·한국수자원공사, 『수자원사업의 타당성분석 개선방안 연구』, 2008

■ 표-20. 목포항과 마산항 내 재해취약지역의 건물 내용물 피해액 ■

구분	건물자산 가치(억 원)	침수 편입률	침수심 (해일고)	침수심별 침수피해율	건물피해액 (억 원)
목포항	1,723	1.00	1.39	0.508	875
마산항	369	1.00	2.03	0.928	342

③ 농업피해액 산정

목포항과 마산항의 항만 배후지역은 항만구역일대는 주거, 상업, 공업지대를 형성하고 있으므로 농업피해액은 거의 없으며, 일부 농경지에 대한 피해는 고려하지 않았다.

④ 산업피해액 산정

산업피해액 역시 유형 및 재고 자산가치에 국토해양부와 한국수자원공사(2008)의 『수자원사업의 타당성 분석 개선방안 연구』에서 제시한 산업지역 침수편입율과 침수심별 유형·재고자산 침수피해율을 적용하여 산출한다.

표-21. 침수심별 유형자산·재고자산 피해율

단위: %

침수심(해일고)	0~0.5m	0.5~1.0m	1.0~2.0m	2.0~3.0m	3.0m이상
유형자산	23.2	45.3	78.9	96.6	100.0
재고자산	12.8	26.7	58.6	89.7	100.0

자료: 국토해양부·한국수자원공사, 『수자원사업의 타당성분석 개선방안 연구』, 2008

표-22. 목포항과 마산항 내 재해취약지역의 산업 피해액

구분	유형자산 (천 원)	재고자산 (천 원)	침수 편입률	침수심 (해일고)	침수심별 침수피해율		산업피해액 (억 원)
					유형자산	재고자산	
목포항	27,811,592	2,999,070	1.00	1.39	0.790	0.590	237
마산항	11,190,504	1,934,608	1.00	2.03	0.970	0.900	125

⑤ 선박 피해경감

본 연구의 해당지역인 목포항과 마산항의 경우 선박피해액이 보고된 것이 없어 본 연구에서는 선박 피해경감액 부분을 고려하지 않았다.

6) 인적피해액 및 공공시설물 피해액 산정

인적피해액은 사망자와 부상자 1인당 순평균 비용을 산출하여 전체 피해당사자의 수에 적용한다.

$$\begin{aligned} \text{인명 피해액} &= \text{침수면적당 손실(사망) 인명수(명/ha)} \times \text{침수면적(ha)} \\ &\quad \times \text{손실(사망) 원단위(원/명)} \end{aligned}$$

$$+ \text{침수면적당 손실(부상) 인명수(명/ha)} \times \text{침수면적(ha)} \\ \times \text{손실(부상) 원단위(원/명)}$$

■ 표-23. 사망자 1인당 순평균 비용 ■

구분	위자료	장례비	생산손실	의료비 및 기타	합 계
금액	41,998	1,996	409,349	7,634	460,977
비율(%)	9.10	0.40	88.80	1.70	100.00

자료: 도로교통안전공단, 『('08) 도로교통사고비용의 추계와 평가』, 2010

■ 표-24. 부상자 1인당 순평균 비용 ■

구분	의료비	휴업손해	생산손실	위자료	문병비용	기타	합계
금액	1,222	287	1,302	264	764	100	3,938
비율(%)	31.0	7.3	33.1	6.7	19.4	2.5	100.0

자료: 도로교통안전공단, 『('08) 도로교통사고비용의 추계와 평가』, 2010

■ 표-25. 단위 침수면적당 손실 인명수 ■

구분	대도시	중소도시	전원도시	농촌지역	산간지역
금액	0.004	0.004	0.001	0.002	0.002
비율(%)	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002

자료: 건설교통부, 『치수사업 경제성분석 개선방안 연구』, 2001

■ 표-26. 목포항과 마산항 내 재해취약지역의 인명 피해액 산정 ■

구분	침수면적 (ha)	침수면적당 사망수 (명/ha)	사망 원단위 (천 원/명)	침수면적당 부상수 (명/ha)	부상 원단위 (천 원/명)	인명피해액 (억 원)
목포항	537.8	0.004	460,977	0.002	3,938	10.0
마산항	658.5	0.004	460,977	0.002	3,938	12.2

■ 표-27. 목포항과 마산항 내 재해취약지역의 이재민 피해액 산정 ■

구분	침수구역 이재민수 (명)	대피일수 (일)	일평균 국민소득 (원/명·일)	이재민피해액 (억원)
목포항	57,811	10	48,000	277.5
마산항	13,225	10	48,000	63.5

한편, 공공시설물의 피해액은 피해액을 직접 산정하는 것이 원칙이지만, 산정 자체가 불가능할 경우 일반자산피해액에 대한 공공토목시설의 피해비율을 사용하는 것이 일반적이다. 일반자산 피해액에 대한 공공시설물의 피해액 비율은 다음 표와 같다.

■ 표-28. 일반 자산피해액에 대한 공공시설물의 피해액 비율(일본) ■

시설	도로	교량	하수도	도시시설	공익	합계	비 고
피해율	0.616	0.037	0.004	0.002	0.086	0.745	

자료: 일본 건설성 하천국, 『치수경제조사 매뉴얼』, 2000

■ 표-29. 목포항과 마산항 내 재해취약지역의 공공시설물 피해액 산정 ■

구분	일반자산 피해액			소 계	공공시설물 (억 원)
	건물	건물내용물	산업		
목포항	6,439.7	875.3	237.0	7,552.0	5,626.2
마산항	2,712.3	342.4	125.0	3,179.7	2,368.9

7) 침수로 상실된 기회비용 추정

지금까지 추정한 피해액은 다차원 홍수피해산정법에 의한 직접피해 산출이었고, 이러한 단순 피해액 이외에도 폭풍해일에 따라 완전 복구 시까지 산업시설의 가동중단 등으로 인한 부가가치 상실액과 같은 국민경제적 기회비용의 추정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 다차원 홍수피해산정법에서는 적용하지 않았던 생산중단에 따른 부가가치 상실 부분을 피해액으로 포함시켰다. 여기에 서는 목포시와 창원시(마산시 통합)의 1인당 부가가치 생산액을 원단위로 하여

침수지역의 예상 피해 인구수에 적용하였다. 침수지역의 생산시설이 완전 복구 되는데 소요되는 시간은 1년으로 간주하였다.

■ 표-30. 목포항과 마산항의 부가가치 피해액 산정 ■

구분	부가가치 (백만 원)	인구(명)			부가가치 감소 (백만 원)
		지역전체(A)	피해지역(B)	비율(B/A)	
목포항	296,437	244,339	57,811	23.66%	70,138
마산항	1,514,609	406,307	13,225	3.25%	49,298

자료: 통계청, 『광공업조사통계-산업편』, 2010 : 통계청, 『전국시군구의 인구센서스 통계』, 2010

8) 항만의 추가적 하역비용

항만 배후지역의 침수는 항만 내 장치장의 화물 피해 외에도 하역장비의 침수로 항만의 하역기능이 일시 중단된다. 항만하역능력이 복구된다고 하더라도 하역장비의 점검 및 수리 등으로 일정기간 접안하역보다는 부선하역에 의존해야 한다. 따라서, 화물이 항만에 접안하역 하는 대신 부선하역 하는데 따른 추가적인 비용이 소요되며, 여기에서는 항만과 배후 창고 및 시설 등이 완전 회복되는 기간으로 1개월을 산정하였다.

■ 표-31. 접안하역과 예부선하역의 비용 차이 ■

잡화	접안하역(A)	해상하역				차이 (B-A)
	선내	선내	부선양적	예부선	계(B)	
컨테이너	37,385	37,385	31,425	46,061	114,871	77,486
잡화	2,256	2,256	5,172	3,724	11,152	8,896

자료: 해양수산부, 항만하역요금표, 2008. 3. 21.

■ 표-32. 일반화물 처리부두의 추가비용 발생 ■

항만	2009년 물동량(RT)	피해물동량(RT)	피해액(백만 원)
목포항	2,500,463	208,372	1,854

자료: 해양수산부, SP-IDC

9) 목포항과 마산항 재해취약지역 침수 피해액 산정 결과

앞에서 산출한 목포항과 마산항 재해취약지역 침수 피해액 산정 결과를 합산하면 다음 표와 같이 도출될 수 있다. 이 결과에 따르면 100년빈도 폭풍해일에서 목포항의 경우 1조 4,186억 원의 피해액이 발생되며, 마산항의 경우 6,117억 원의 피해액이 발생하는 것으로 나타났다.

■ 표-33. 목포항과 마산항 내 재해취약지역의 100년 빈도 폭풍해일 침수 피해액 산정 결과 ■

(단위: 백만 원)

구분	일반자산 피해액			인명	이재민	공공 시설	부가가치 감소	항만지체	총 피해액
	건물	건물 내용	산업						
목포항	6,440	875	237	10	278	5,626	701	19	14,186
마산항	2,712	342	125	12.2	63.5	2,369	493	0	6,117

3. 연평균 피해경감 기대액 산정

1) 빈도별 피해액 산정

다차원 홍수피해액산정(MD-FDA)을 올바르게 추정하기 위해서는 1년빈도부터 100년빈도까지 연속적으로 폭풍해일의 피해액을 산정하는 것이 원칙이다. 그러나 이는 현실적으로 어려움이 많으므로 본 연구에서는 피해액 계산의 편리성과 보수적 추정치의 도출을 위해 30년, 50년, 100년 등 3개 빈도에 대해서만 피해액을 고려하였다. 피해액의 산정은 30년빈도와 50년빈도에 대한 침수심에 대해서도 동일한 과정을 적용하여 추정하였다.

■ 표-34. 목포항과 마산항 내 재해취약지역의 주요 빈도별 피해액 산정 결과 ■

구분	100년빈도 피해액	30년빈도		50년빈도	
		피해액	비율	피해액	비율
목포항	14,186	11,226	79.1%	12,451	87.8%
마산항	6,117	4,129	67.5%	4,942	80.8%

2) 연평균 피해 기대액 산정

앞에서 작성한 연평균 피해경감 기대액을 기반으로 <표-3>의 연평균 피해경감 기대액 산정법에 의해 대상항만의 피해 기대액을 산정한 결과는 다음과 같다. 목포항의 경우 재해방재시설의 건설로 매년 384억 6,000만 원의 기대 피해액이 발생할 것으로 예측되며, 마산항의 경우 매해 연간 150억 2,000달러의 피해방재편익이 발생할 것으로 예측된다.

■ 표-35. 목포항 재해취약시설의 연평균 기대 피해액 산정 ■

발생빈도	연평균 초과확률	발생빈도별 피해경감액	구간평균 피해경감액	구간확률 (생기확률)	구간 연간 피해경감액	피해경감액 누계(연간)
30년	0.0333	11,226	5,613	0.0167	93.6	93.6
50년	0.0200	12,451	11,839	0.0133	157.8	251.4
100년	0.0100	14,186	13,318	0.0100	133.2	384.6

■ 표-36. 마산항 재해취약시설의 연평균 기대 피해액 산정 ■

발생빈도	연평균 초과확률	발생빈도별 피해경감액	구간평균 피해경감액	구간확률 (생기확률)	구간 연간 피해경감액	피해경감액 누계(연간)
30년	0.0333	4,129	2,064	0.0167	34.4	34.4
50년	0.0200	4,942	4,535	0.0133	60.5	94.9
100년	0.0100	6,117	5,530	0.0100	55.3	150.2

4. 경제성 분석

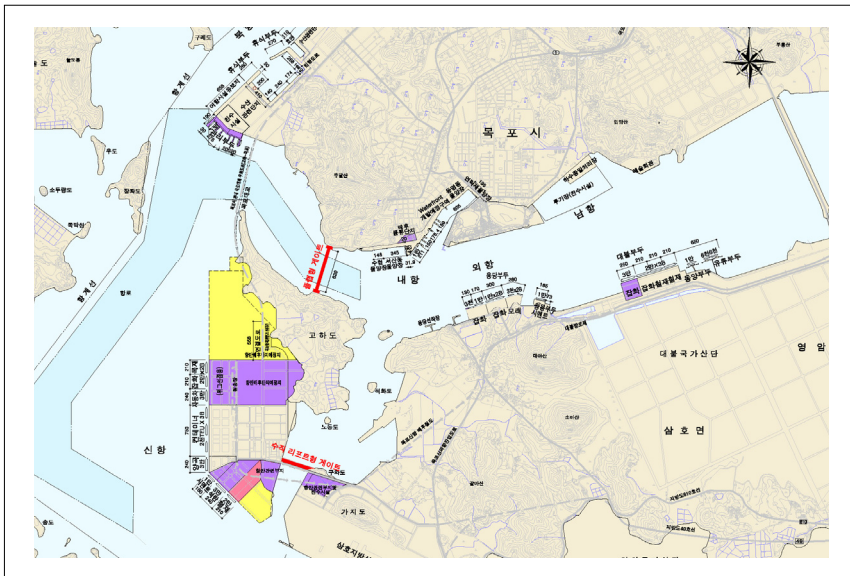
본 연구에서는 다차원 홍수피해액산정법(MD-FDA)을 이용하여 항만 내 재해방재시설의 구축이 미치는 경제적 편익을 추정하는 한편, 국토해양부에서 계획하고 있는 항만 내 폭풍해일 방재시설의 개략 설치비용을 적용하여 경제성 분석을 수행하였다.⁷⁾

7) 개략설치비용은 기본설계 이전에 추정된 개략적인 산출내역이므로 실제 적용 시 차이가 발생할 수 있음.

1) 항만 내 방재시설 설치비용

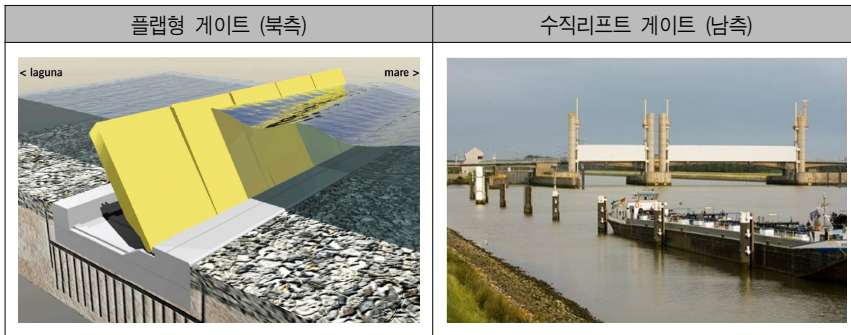
국토해양부는 2011년에 연구한 『기후변화에 따른 항만구역내 재해 취약지구 정비계획 수립』 용역에서 폭풍해일 발생 시 저지대인 목포시 중심가 전구역과 외항의 용당부두 및 대불부두에 침수피해가 발생할 것으로 예상하고 재해의 근원적 차단을 위해 목포 내·외항 입구부인 고하도 북측과 남측에 각각 플랩형 게이트와 수직리프트형 게이트를 설치하여 폭풍해일에 대응한다는 계획을 수립한 바 있다. 동 사업에는 개략사업비가 약 3,858억 원 소요되는 것으로 추산되었다.

그림-9. 목포항 재해취약지역의 폭풍해일 방재를 위한 게이트 설치 계획도



자료: 국토해양부, 『기후변화에 따른 항만구역내 재해 취약지구 정비계획 수립』, 2011

그림-10. 목포항에 설치 계획 중인 재해 대응시설



자료: 국토해양부, 『기후변화에 따른 항만구역내 재해 취약지구 정비계획 수립』, 2011

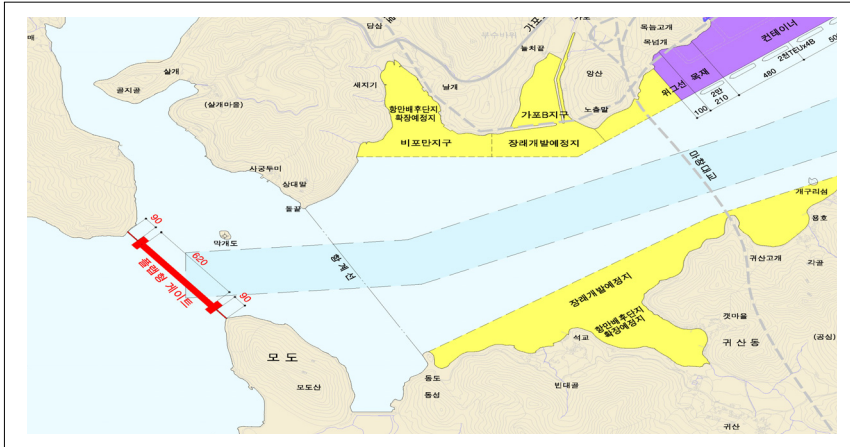
표-37. 목포항 폭풍해일 방재시설의 개략 사업비

구 분	시설규모	금액(억 원)	비 고
1. 토목공사비		3,400.00	
플랩형 게이트	1식	3,080.00	
수직리프트 게이트	1식	320.00	
2. 부대비		289.80	
조사 및 측량, 평가		40.50	
설계비		128.50	
감리비		120.80	
3. 예비비		167.70	
총 사업비		3,857.50	

자료: 국토해양부, 『기후변화에 따른 항만구역내 재해 취약지구 정비계획 수립』, 2011

한편, 마산항의 경우에도 마산만의 형상이 좁고 긴 형태로 폭풍해일에 매우 취약한 지형으로 해수유통이 원활하지 못하여 특별관리해역으로 지정되어 연안오염총량제를 실시하고 있다. 국토해양부는 마산항의 입지적 여건을 고려하여 재해로부터 근원적인 방지를 위해 항 입구부에 게이트를 설치하여 항내 유입 해일고를 차단하는 형식의 대응방안을 수립한 바 있다. 이에 소요되는 예산은 3,485억 원인 것으로 산출되었다.

그림-11. 마산항 재해취약지역의 폭풍해일 방재를 위한 게이트 설치 계획도



자료: 국토해양부, 『기후변화에 따른 항만구역내 재해 취약지구 정비계획 수립』, 2011

표-38. 마산항 폭풍해일 방재시설의 개략 사업비

구 분	시설계획	시설규모(m)	금액(억원)	비고
1. 토목공사비			3,067.10	
플랩형게이트		1식	2,920.00	
방파제		180	147.10	
2. 부대비			265.90	
조사 및 측량, 평가			37.20	
설계비			115.90	
감리비			112.80	
3. 예비비			151.50	
총 사업비			3,484.50	

자료: 국토해양부, 『기후변화에 따른 항만구역내 재해 취약지구 정비계획 수립』, 2011

2) 항만 내 방재시설의 경제성 분석

본 연구에서 항만 내 재해취약시설의 폭풍해일 방재시설 건설의 경제적 타당성 분석은 KDI의 예비타당성 조사 방법론을 적용하였다. 대상 사업이 항만 지역 내의 수문 또는 안벽의 건설이므로 비용과 편익의 시장가치 도출이 비교적 용이하였다. 특히 다차원 홍수피해산정기법(MD-FDA)을 적용함으로써 폭풍해일로 인한 직접적인 피해액의 도출이 가능하였다. 다만, 재난방재시설의 경우

타 수익시설에 비해 시설 감가상각이 낮은 점을 고려하여 분석 내구연한을 도로 및 항만 30년, 수자원 40년에 비해 100년으로 적용하였다.⁸⁾

■ 표-39. 비용-편익 분석을 위한 전제 조건 ■

항 목	내 용
현가 기준가격	• 2010년 가격(비용 산출 연도 가격을 기준으로 함)
평가편익항목	• 홍수피해 절감 편익: 항만내 방재시설의 건설로 다차원 홍수피해산정법(MD-FDA)에 의해 추정된 피해액이 절감되는 편익
평가비용항목	• 시장가치편익: 재난대비항만시설 건설비, 유지보수비
사회적 할인율	• 5.5%(KDI 예비타당성 지침 기준)
평가기간	• 완공 후부터 100년
평가방법	• B/C분석, NPV분석, IRR 분석

이에 따른 목포항과 마산항의 재해취약지역 경제성 분석 결과는 다음과 같다.

목포항의 경우 비용편익비율(B/C)은 2.95로 1보다 매우 커서 경제성이 매우 높은 것으로 나타났다. 순현재가(NPV)는 1조 2,878억 원이었으며 내부수익률(IRR)은 7.89%로 사회적 할인율 5.5%를 크게 상회하였다. 이는 재난방재시설에 투자되는 비용에 비해 침수로 인한 피해를 방재하는 편익이 더욱 크기 때문으로 판단된다.

또한 마산항의 경우에도 비용편익 비율(B/C) 비율이 1.28로 경제성이 있는 것으로 나타났다. 순현재가(NPV)는 1,624억 원으로 0보다 매우 컸으며, 내부수익률(IRR)은 6.74%로 사회적 할인율 5.5%보다 큰 것으로 나타났다.

■ 표-40. 목포항과 마산항의 항만내 재해방재시설 설치의 경제성 분석 결과 ■

(단위: 억 원)

구분	할인율(%)	비용현재가	편익현재가	경제성 지표		
				순현재가	B/C	IRR
목포항	5.5%	6,490.1	19,166.3	12,676.2	2.95	7.89%
마산항	5.5%	5,860.1	7,484.0	1,624.0	1.28	6.74%

8) 아직 항만방재시설에 대한 정확한 내용연수가 파악되지 않은 상황에서 100년의 내구연한에 대해서는 이견이 있을 수 있음. 본 연구에서는 거가대교의 해양 구조물에 대해 100년의 내용연수를 적용한 근거를 이용하여 본 재해방지시설도 100년의 내용연수를 고려하였음.

V. 맺음말

본 연구는 최근 기후온난화에 따라 세계적으로 그 강도와 빈도가 크게 높아진 폭풍해일(storm surge)의 국제적인 연구 분석과 우리나라의 내습 가능성에 대한 선행 연구를 수행하였으며, 이를 통해서 우리나라의 경우에도 해안 지역을 중심으로 폭풍해일의 방재시스템 구축 필요성을 언급하였다. 특히 2003년에 우리나라에 내습하여 국가적으로 4조 7,000만 원의 피해를 야기한 태풍 매미의 경우 전형적인 폭풍해일로서 향후에도 ‘슈퍼태풍’과 연계된 폭풍해일의 내습 가능성이 매우 큰 것으로 파악되었다.

이에 따라 본 연구는 수자원개발사업 분야에서 홍수피해산정을 위해 국토해양부가 개발한 다차원홍수피해산정법(MD-FDA)을 이용하여 목포항과 마산항을 중심으로 항만 내 재해취약시설의 30년빈도, 50년빈도, 100년빈도 홍수피해규모를 추정하고, 폭풍해일로부터 항만 내 재해취약시설을 보호하기 위한 항만시설물(게이트)의 경제적 편익을 산출하였다. 그리고 이 결과를 2011년의 국토해양부 연구결과에서 나타난 항만 내 재해취약시설 방재시설물의 비용 자료에 적용하여 동 시설물 설치의 경제적 타당성을 검토해보았다.

추정결과 목포항의 경우 폭풍해일에 의한 피해액이 30년빈도 1조 1,226억 원, 50년빈도 1조 2,451억 원, 100년빈도 1조 4,186억 원 도출되었으며, 연평균 피해경감 기대액 산출법에 의해 재해방재시설 설치 시 연간 편익을 산출한 결과 연평균 384억 6,000만 원의 기대편익이 발생하는 것으로 분석되었다. 이를 국토해양부에서 개략 산정한 목포항 재해방지시설(플립게이트와 수직리프트) 건설규모와 비교하여 경제성 분석을 수행한 결과 비용편익비율(B/C)이 2.95로 매우 높은 것으로 나타났다. 또한 마산항의 경우 폭풍해일에 의한 피해액이 30년빈도 4,129억 원, 50년빈도 4,942억 원, 100년빈도 6,117억 원으로 나타났으며, 연평균 피해경감 기대액 산출법에 의해 재해방재시설 설치 시의 연간 편익을 도출한 결과 연평균 150억 2,000만 원의 기대편익이 발생하는 것으로 나타났다. 이를 국토해양부에서 개략 산정한 마산항 재해방지시설(플립게이트)의

건설규모와 비교하여 경제성 분석을 수행한 결과 비용편익비율(B/C)이 1.28로 경제성이 높은 것으로 나타났다. 이에 따라 항만 내 재해취약시설의 피해액을 산정하고 시설의 경제성 평가를 수행하는 데 있어서는 다차원 홍수피해산정기법(MD-FDA)의 적용이 매우 유용한 것으로 나타났다.

그러나 본문에서 언급한 바와 같이 다차원 홍수피해산정기법은 직접적 피해액만을 산출한다는 점에서 그 한계성도 있다. 즉, 직접적인 자료 활용이 어렵다는 이유로 사람들의 심적 고통이나 복구시까지의 잠재적 비용, 홍수로 인한 건강상의 문제 등 제반 비시장가치의 적용을 배제하고 있다는 점이다. 또한 침수심과 소요 피해액에 대한 정확한 정보의 적용이 경제성 분석에 매우 민감하게 반응할 수도 있다는 점이다. 이러한 점은 최근 공간정보 조사 기법의 향상과 조건부가치추정법(CVM) 등 비시장가치 측정법의 적용을 통해서 어느 정도 보완이 가능할 것으로 판단된다. 다만, 본 연구에서는 연구의 방향성만을 제시하며, 보다 정밀하고 자세한 연구는 추후의 연구 대상이 될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 분석한 목포항과 마산항 뿐 아니라 향후 국내 많은 해안지역에서 재해취약지역의 보호를 위한 방재시설 설치가 증가할 것으로 판단된다. 앞서 언급한 바와 같이 플립게이트 등 대부분의 항만재해방재시설은 건설비가 500억 원을 초과한다는 측면에서 예비타당성 조사 대상이 될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 조사방법론이 보다 많은 검토를 거쳐 향후 항만재난방재시설 편익 추정기법의 표준을 마련하는 데 밑바탕이 되었으면 한다.

투고일(2012년 11월 1일)

심사일(1차: 2012년 12월 7일, 2차: 2013년 1월 14일)

게재확정일(2013년 1월 24일)

■ ■ 참고문헌

1. 건설교통부, 『치수사업 경제성분석 개선방안 연구』, 2001.
2. _____, 『치수사업 경제성분석 방법 연구』, 2004.
3. _____, 『하천설계기준』, 2005.
4. 기상청, 『2009 기상연감』, 2010.
5. _____, 『2009년 WMO 전지구 기후 보고서』, 2010.
6. 기획재정부, 『민간투자사업 기본계획』, 2009.
7. 도로교통안전공단, 『08 도로교통사고비용의 추계와 평가』, 2010.
8. 문일주, 기후변화에 따른 한반도 상륙 태풍 강도 변화, 『제2차 연안해양환경포럼 발표자료』, KEI, 2009, p. 48.
9. 박년배 역, 『Stern Review on the Economics of Climate Change』, 2006.
10. 박정재, 「해수면 상승 및 해일로 인한 자연재해와 대응 방안」, 『국토지리학회지』, 제43권 제3호, 2009, pp. 435-454.
11. 『월간중앙』, 「슈퍼태풍 한반도 덮친다」, 2007.
12. 일본 건설성 하천국, 「치수경제조사 매뉴얼」, 2000.
13. 통계청, 『광공업조사통계-산업편』, 2010.
14. _____, 『국부통계』, 2006.
15. _____, 『전국시군구의 인구센서스 통계』, 2010.
16. _____, 『전국주택종조사 보고서』, 각 연도.
17. 한국감정원, 『건물신축단가표』, 2006.
18. 한국개발연구원, 『도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)』, 2004.
19. _____, 『수자원(댐)부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제3판)』, 2003.
20. _____, 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구』, 2004.
21. _____, 『항만부문사업의 예비타당성 표준지침 연구(개정판)』, 2001.
22. 한국수자원공사, 『수자원사업의 타당성분석 개선방안 연구』, 2008. 12.

23. 한국원자력안전기술원, 『원전 자연재해대책 연구팀 활동 소개』, 2010. 4. 20.
24. 한국해양연구원, 『해일피해 예측 정밀격자 수치모델 구축 및 설계해면 추산 연구보고서』, 2010. 8.
25. 한국환경정책평가연구원, 『해수면 상승에 따른 취약성 분석 및 효과적인 대응 정책 수립 I: 해안침식 영향평가』, 2009. 12.
26. 허동수 · 이현우 · 이우동 · 배기성, 『슈퍼태풍 내습 시 부산·경남 연안역의 폭풍 해일고』, 『한국해양 · 해양공학회논문집』, 제20권 제1호, 2008. 2., pp. 128-136.
27. Anthoff, D., Nicholls, R.J., Tol, R.S., and Vafeidis, A.T., “Global and Regional Exposure to Large Rises in Sea Level: A Sensitivity Analysis”, Working Paper 96, Tyndall Center for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, Norfolk, p. 31.
28. Bangladesh Disaster Management Information Centre (BDMIC), 2007 *Cyclonic Storm “SIDR”*, Nov. 2009.
29. Bengtsson, L., K.I. Hodges, and E. Roeckner. “Storm tracks and climate change.” *Journal of Climate*, vol. 19, pp. 3518-3543, 2006.
30. Bindoff, N.L., Willebrand, V., Artale, A., Cazenave, J., Gregory, S., Gulev, K., Hanawa, C., *et al.*, “Observations: Oceanic climate Change and Level.” in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, 2007.
31. Burkett, V.R. and Co-authors, “Nonlinear dynamics in ecosystem response to climate change: Case studies and policy implications.” *Ecological Complexity* vol. 2, 2005, pp. 357-394.
32. Dasgupta, S., Laplante, B., Murray, S., and Wheeler, D., “Climate Change and the Future Impacts of Storm-Surge Disasters in Developing Countries.” *Working Paper 182*, Center for Global Development, Sep. 2009.
33. Devoy, R.J., “coastal Vulnerability and the implications of Sea-Level Rise for Ireland.” *Journal of Coastal Research*, vol. 24, pp. 325-341.
34. El-Raey, M. “Vulnerability assessment of the coastal zone of the Nile delta of Egypt to the impacts of sea level rise.” *Ocean and coastal management*,

- vol. 37, 1997, pp. 29-40.
35. Emanuel, K., "Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years." *Nature*, vol. 436, Aug. 2005, pp. 686-688.
36. Emanuel, K., R. Sundararajan, and J. William. "Hurricanes and global warming: Results from downscaling IPCC AR4 simulations." *Journal of Climate*, vol. 89, 2008, pp. 347-367.
37. Few, R., Ahem, M., Matthies, F., and Kovats, S., *Foods, Health and Climate Change: A Strategic Review, Working Paper 63, Tyndall Center for Climate Change Research*, University of East Anglia, Norwich, Norfolk, 2004, p. 138.
38. Freeman, A. M., *The Measurement of Environmental and Resource Values*, Resources for the Future, Washington, D.C., 1993, pp. 27-33.
39. Gomitz, V., Couch, S., and Hartig, E.K., "Impacts of sea level rise in the New York City Metropolitan Area." *Global and Planetary Change*, vol. 32, 2002, pp. 61-88.
40. Goulder, L., & Pizer, W., "The Economics of Climate Change." *Discussion Paper*, Resources for the Future, Jun. 2006.
41. Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report*, 2007.
42. Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC), *Climate Change 2007: Synthesis Report*, Nov. 2007.
43. International Workshop on Tropical Cyclones (IWTC). *Statement on Tropical Cyclones and Climate Change*, November, 2006, p. 13.
44. Karaca, M., and Nicholls, R.J., "Potential implications of accelerated Sea-Level Rise for Turkey." *Journal of Coastal Research*, vol. 24, 2002, pp. 288-298.
45. Klotzbach, P.J., "Trends in global tropical cyclon activity over the past

- twenty years (1986-2005).” *Geophys. Res. Lett*, vol. 33, 2006.
46. Knutson, T.R., and R.E. Tuleya. “Impact of CO₂-induced warming on simulated hurricane intensity and precipitation sensitivity to the choice of climate model and convective parameterization.” *Journal of Climate*, vol.17, 2004, pp. 3477-3495.
47. Michaels, P.J., P. C. Knappenberger, and R.E. Davis. *Sea-Surface Temperatures and Tropical cyclones: Breaking the Paradigm*, Presented at the 15th Conference of Applied Climatology, 2005.
48. Milly, P. C. D., R. T. Wetherald, K. A. Dunne & T. L. Delworth, “Increasing risk of great floods in a changing climate.” *Nature*, vol. 415, Jan. 2002.
49. Murphy, R., “The Economics of Climate Change.” *Library Economics Liberty*, Jul. 2009.
50. Ng, W.S., and Mendelsohn, R. “Climate change and coastal management on Europe’s coast.” in Vermaat, J.E. Bouwer, I.M., Salomons, W., and Turner, R.K.(eds) *Managing European Coast: Past, Present and Future*, Springer, Berlin, 2005, pp. 199-226.
51. Nicholls, R.J., Hoozemans, F.M., and Marchand, M, “Increasing flood risk and wetland losses due to global sea level rise: regional and global analyses.” *Global Environmental Change* vol. 9, 1999, pp. 69-87.
52. NOAA, *FAQ / State of the Science: Atlantic Hurricanes & Climate*, Dec. 2006.
53. Ohno, E., “Economic evaluation of impact of land loss due to sea level rise in Thailand.” *Environmental Systems Research*, vol. 28, 2001, pp. 445-452.
54. Palmer, T.N. & Raelaenen, J., Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate, *Nature*, vol. 415, Jan. 2002, pp. 512-514.
55. Pielke, Jr., R. A., and R. A. Pielke, Sr., *Hurricanes: Their Nature and Impacts on Society*, John Wiley and Sons Press: London. 1997.

56. Rahmstorf, Stefan. "A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise." *Science*: 315, 2007, pp. 368-370.
57. Shriner, D.S., and Street, R.B., *The regional impacts of climate change*, Cambridge, Cambridge University Press, 1998.
58. Spash, C., "The economics of climate change impacts à la Stern: Novel and nuanced or rhetorically restricted?" *Ecological Economics*, vol. 63, 2007, pp. 706-713.
59. Stern, N., "The Economics of Climate Change." *American Economic Review*, 98: 2, 2008, pp. 1-37.
60. Sterr, H., "Assessment of vulnerability and adaptation to Sea-Level Rise for the coastal zone of Germany." *Journal of Coastal Research*, vol. 24, pp. 380-393.
61. The Congress of the United States & Congressional Budget Office, *The Economics of Climate Change: Aprimer*, CBO study, Apr. 2003.
62. Titus, J., Chapter 7: Sea Level Rise, *The Potential Effects of Global Climate Change on the United State-Report to Congress*, 1989.
63. Turner, A., *The Economics of Climate Change, Sustainable Development Commission*, Feb. 2007.
64. U.S. Environmental Protection Agency, *Coastal Zones and Sea Level Rise*, Climate Change Home page.
65. U.S. Naval Maritime Forecast Center, *Joint Typhoon Warning Center Pearl Harbor, Hawaii, Annual Tropical Cyclone Report 2009*, 2009.
66. United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat (UNISDR), *Global assessment report on disaster risk reduction*, 2009.
67. United Nations. 2007 Emergency Report, Sit Rep # 14. SIDR Cyclone Bangladesh, 2007.
68. Webster, P.J., G.J. Holland, J.A. Curry, and H-R. Chang. "Changes in tropical cyclone number, duration and intensity in a warming environment."

- Science: 309, 2005, pp. 1844-1846.
69. Webster, P.J., G.J. Holland, J.A. Curry, and H-R. Chang. "Response to comment on Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment." *Science*, 2005, p. 311.
70. Woodworth, P.L. and D.L. Blackman. "Evidence for systematic changes in extreme high waters since the mid-1970s." *Journal of Climate*, vol.17(6), 2004, pp. 1190-1197.
71. Woth, K., R. Weisse, and H. von Storch. "Climate change and North Sea storm surge extremes: An ensemble study of storm surge extremes expected in a changed climate projected by four different regional climate models." *Ocean Dynamics*, vol.56(1), 2006, pp. 3-15.