

재해통계기반 서해 연안지역의 풍랑피해예측함수 개발

추태호, 곽길신, 안시형, 양다운, 손종근*
부산대학교 사회환경시스템공학부

Development for the function of Wind wave Damage Estimation at the Western Coastal Zone based on Disaster Statistics

Tai Ho Choo, Kil Sin Kwak, Si Hyung Ahn, Da Un Yang, Jong Keun Son*

Dept. of Environmental and civil Engineering, Pusan National University

요약 전 세계적으로 지구온난화에 의한 이상기후현상으로 자연재해의 발생빈도와 규모가 증가하고 있는 추세이다. 태풍, 지진, 홍수, 폭우, 가뭄, 폭염, 풍랑, 쓰나미 등과 같은 다양한 자연재해는 현재까지 인간생활에 피해를 주고 있다. 특히, 일본의 대지진, 미국의 허리케인 카트리나, 한국의 태풍 매미 등 세계적으로 자연재해에 의한 피해는 막대하다. 현 단계에서 자연재해로 인한 피해규모를 정확히 예측하고, 그에 대처하는 것은 어려운 실정이다. 그러나 재해대응 차원에서 피해 규모를 예측할 수 있다면 신속하게 대응하여 피해를 저감할 수 있다고 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 여러 가지 자연재해 중 해풍과 파랑에 의해 발생하는 풍랑에 관한 피해예측함수를 개발하였다. 서해 연안지역을 대상으로 국민안전처에서 발간하는 재해연보('91~'14)의 풍랑 및 태풍피해 이력을 수집하였으며, 물가상승률을 반영하기 위해 2014년 기준으로 피해액을 환산하였다. 또한, 풍랑 및 태풍피해가 발생했을 때 기상청 및 국립해양조사원 홈페이지에서 파고, 풍속, 조위, 파향, 파주기 등의 자료를 수집하였다. 최종적으로, 연안의 지역특성을 반영하여 서해안의 9개 지역의 풍랑 피해예측함수를 개발하였다.

Abstract The frequency and scale of natural disasters due to the abnormal climate phenomena caused by global warming have been increasing all over the world. Various natural disasters, such as typhoons, earthquakes, floods, heavy rain, drought, sweltering heat, wind waves, tsunamis and so on, can cause damage to human life. Especially, the damage caused by natural disasters such as the Earthquake of Japan, hurricane Katrina in the United States, typhoon Maemi and so on, have been enormous. At this stage, it is difficult to estimate the scale of damage due to (future) natural disasters and cope with them. However, if we could predict the scale of damage at the disaster response level, the damage could be reduced by responding to them promptly. In the present study, therefore, among the many types of natural disaster, we developed a function to estimate the damage due to wind waves caused by sea winds and waves. We collected the damage records from the Disaster Report ('91~'14) published by the Ministry of Public Safety and Security about wind waves and typhoons in the western coastal zone and, in order to reflect the inflation rate, we converted the amount of damage each year into the equivalent amount in 2014. Finally, the meteorological data, such as the wave height, wind speed, tide level, wave direction, wave period and so on, were collected from the KMA (Korea Meteorological Administration) and KHOA (Korea Hydrographic and Oceanographic Agency)'s web sites, for the periods when wind wave and typhoon damage occurred. After that, the function used to estimate the wind wave damage was developed by reflecting the regional characteristics for the 9 areas of the western coastal zone.

Keywords : Abnormal climate, Damage estimation function, Disaster statistics, Regional characteristics, Wind wave

본 연구는 정부(국민안전처)의 재원으로 재난안전기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임 [MPSS-자연-2015-79]

*Corresponding Author : Jong Keun Son(Pusan National Univ.)

Tel: +82-51-510-7654 email: ksca1043@hanmail.net

Received October 11, 2016

Revised November 28, 2016

Accepted February 3, 2017

Published February 28, 2017

1. 서론

재해는 인간생활을 구성하고 있는 물리적 혹은 비 물리적 사회 시스템에서 일반적으로 존재하지 않는 외부의 힘이 불시에 발생하여, 인간생활의 구성요소를 위협하는 사고로 인한 피해를 의미하며, 통상적으로 이상적인 자연현상 또는 인위적인 사고가 원인이 되어 발생하는 사회적, 경제적 피해를 의미한다. 인간생활을 구성함에 있어, 우리는 자연스럽게 사고에 노출되고 그로 인해 신체적, 재산적인 피해를 받게 되는데, 이는 크게 인위적사고로 발생하는 산업재해와 자연현상에 의해 발생하는 자연재해로 나타난다. 산업재해는 예측을 통한 초기대응으로 피해를 줄이거나 발생을 차단할 수 있지만, 이와 달리 자연재해는 예측이 어려우며, 초기대응과 관계없이 피해가 발생한다. 이러한 자연재해는 태풍, 지진, 홍수, 풍랑 등 여러 가지 형태로서 현재까지 인간생활에 피해를 주고 있다. 또한, 전 세계적으로 지구온난화에 의한 이상기후현상으로 자연재해의 발생빈도가 잦아지고 있으며, 최근에는 이상기후로 인한 재해의 발생과 규모가 증가하고 있다.

해외의 경우 2011년 일본 동북부 지방을 강타한 대지진에 의해 심각한 인명과 재산피해가 발생하였고, 2차적으로 지진으로 발생한 해일에 의해 수소폭발로 인한 피해도 발생하였다. 미국의 경우 자연재난 중 90% 정도는 홍수와 관련되며, 재난비용의 대부분이 홍수와 관련된 것이다[1-2]. 허리케인 카트리나는 역대 최대 피해를 기록했다. 1,330명이 사망하고, 약 150만 명의 이재민이 발생하고, 제방이 무너지면서 뉴올리언스의 80%가 침수되었고, 물에 잠긴 도시는 귀중한 생명과 재산을 앗아갔다. 파괴된 주택은 30만 채가 넘었고, 경제적 손실은 1,250억 달러에 달했다[3-6]. 국내의 경우 2003년 태풍 매미 내습 시 부산에서 정박 중인 해상 호텔이 해일에 의해 전복되었으며 마산시내 해안의 적치 중이던 원목이 유입됨으로 대규모 인명 및 재산 피해가 발생하였다. 또한 태풍이나, 해풍에 의해 발생하는 파도를 풍랑이라 하는데, 우리나라에서는 2005년부터 태풍, 해일, 지진과 같은 자연재해로 풍랑을 포함시켰다. 사례와 같이 해일과 풍랑뿐만 아니라 자연재해는 재해 발생에 의해 대량의 피해규모를 유발하지만, 발생지점의 예측, 재해의 규모, 예상피해액을 즉각적으로 알기 힘들다. 또한 적절한 계획과 구조적, 혹은 비구조적 대책이 부족하여 자연재해 발생 시 빠른 초동대책이 불가하다. 특히, 지진해일은

태풍 등과 같은 다른 재해들과 달리 발생시점의 예측이 더 어렵고, 한번 발생하게 되면 엄청난 피해를 야기할 수 있기 때문에 지진해일에 대한 방재는 매우 어려운 일이다[7].

국제해양기상위원회(2007)는 풍랑 피해 관측과 예측 기술개발을 위해 바다와 연안지역에 관측망을 늘리고, 분석 및 예측시스템 개발 분야에 지속적인 투자가 필요함을 밝힌 바 있다[8]. 자연재해의 피해규모를 어느 정도 예측할 수 있다면, 그에 대한 초기 대응이 가능하므로 이러한 연구의 필요성이 존재한다.

2. 연구동향

풍랑은 해상에서 바람에 의해 일어나는 파도를 의미하며, 그 형상은 마루가 뽀족하고 파장과 주기가 비교적 짧다. 보통 해상에서 풍속이 1~2m/s 이상 불게 되면 파도가 형성된다. 풍랑은 자연재해대책법이 2005년 개정됨에 따라 호우, 태풍, 지진, 해일, 홍수, 폭설, 가뭄, 폭풍과 함께 풍랑이 자연재해에 포함되었으며, 2006년부터 국민안전처(구 소방방재청)에서 발간하는 재해연보에 수록되기 시작하였다.

현재 풍랑의 피해를 예측하기 위한 방법으로는 과거 자료를 기록한 일기도를 이용하거나, 기상관측소에서 수집한 기상변수들의 값을 수치 모델에 입력해 예측하는 방법으로 이루어진다. 하지만 일기도를 이용하는 방법은 누적된 양을 모두 비교하여야 하므로 시간이 오래 소요되고, 수치모델을 이용한 방법은 관측 변수들을 해석하는 모델에 따라 예측정확도가 크게 차이난다. 기존 풍랑이나 해일 등의 피해예측 연구는 대부분 수치해석모형을 이용하여 해일고 예측 및 예측의 효율성, 정확도를 검증하는 연구들이 주를 이루고 있다. 강시환 등(2004)은 태풍의 속도영향을 경험적으로 다루지 않고 수치적으로 산출하여 국지해일모형에 의한 태풍 MAEMI시의 마산만에 내습한 해일을 예측 한 바 있으며[9], 한국해양연구원(2001)은 수리모형실험을 수행하여 입사파의 주기, 파고에 따른 반사율, 투과율, 제체 내의 간극수압을 측정하여 풍랑의 특성을 규명하였다[10]. 오성탁(2013)은 6시간 간격의 기상 데이터를 이용하여, 한국에 해당하는 지역의 기후 변수와 기압표면 값을 Support Vector Machine(SVM)의 입력값으로 사용하여 풍랑 예측의 효율성을 검증하였고[11], 이혜우 등(2014)은 한 시점에서의 기상

변수를 이용해 6시간 이내 풍랑 발생 여부를 예측하는 시스템을 구현하기 위해 특징추출에 강한 Convolutional Neural Network(CNN)을 이용해 위험기상을 예측하도록 풍랑 예측 모델을 생성하여 풍랑 예측의 정확도를 측정하였다[12]. 또한, 이승수 등(2014)은 기상-해양 연계 수치 모델을 통한 폭풍 해일 예측으로 해양 조사원에서 제공하는 실측 자료와의 유용성을 입증하였다[13]. 이창훈 등(2007)은 파랑이 다수의 투수층의 상부 및 내부로 파랑이 전파하는 현상을 예측하는 환경사 방정식을 개발했지만, 풍랑의 비선형성과 불규칙성이 완전히 고려되지 않아 예측에 한계가 있음을 발표하였으며[14], 국가기후변화적응센터(2013)는 주요 취약분야 검토 및 개선을 위해 국외 기후변화 취약성 평가 분야를 분석하고 이를 기반으로 국내 기후변화 취약성 평가 분야 재분류하여 기후변화를 적용한 지자체 취약성을 평가하였다[15].

해외사례로는 Kobayashi(1986)가 풍랑이 항만구조물의 상부 및 내부로 전파하는 현상을 예측할 수 있는 천수 방정식 개발하였으며[16], Mase 등(1995)은 1개 투수층의 상부 또는 내부로 전파하는 현상을 예측하는 환경사방정식을 개발하였고[17], Cruz 등(1997)은 1개 투수층 위로 풍랑이 전파하는 현상을 예측하는 Boussinesq 방정식을 개발하였지만 다수의 투수층에서는 해석이 불가능함을 밝힌 바 있다[18].

위와 같이 풍랑예측에 관한 기술개발이 다양하게 이루어져 왔으나, 과거의 피해이력을 기반으로 예측하는 연구는 전무한 것으로 조사되었다. 따라서, 본 연구에서는 앞서 언급한 바와 같이 피해규모를 예측하고 이에 대해 초기대응을 취하기 위해 풍랑에 관한 피해이력을 바탕으로 기상청 및 국립해양조사원의 기상인자와 지역특성을 반영하여 풍랑피해예측함수를 제안하고자 한다.

3. 연구방법

본 연구에서는 재해연보 풍랑 및 태풍 피해이력을 1991년부터 2014년까지 수집 및 검토하여 DB화 한 후 물가상승률을 고려하여 환산하였고, 행정구역별로 수집한 피해이력 중 피해건수가 많은 지역을 대표지역으로 선정하였다. 또한, 풍속, 파고 등의 기상자료를 수집 및 분석하였으며, 지역별 특성을 반영하기 위해 등급분류 사례조사를 통하여 풍랑재해에 적용 가능한 인자를 선별하여 설명변수로 사용하였다. 이렇게 구축된 행정구역별

풍랑피해이력, 기상자료, 지역등급을 이용하여 Fig. 1과 같이 서해 연안지역에 대해 피해액 예측 함수식을 개발하였으며 그 흐름도는 Fig. 2와 같다.

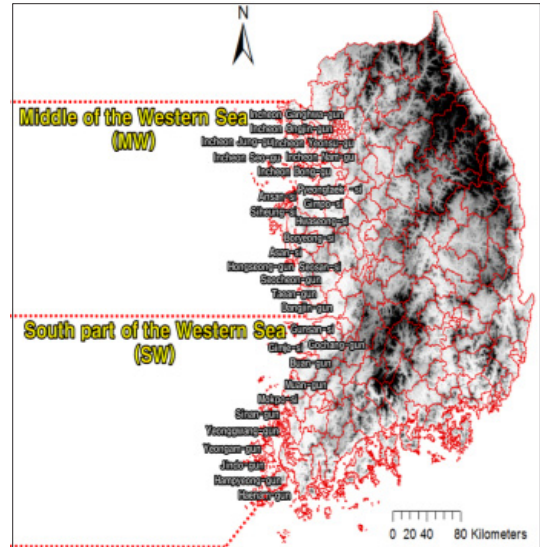


Fig. 1. wind wave damage occurrence district(the western sea)

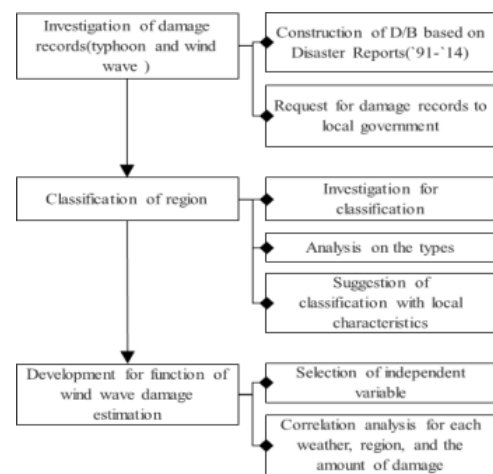


Fig. 2. Flow chart of the study

3.1 피해이력 자료수집

3.1.1 풍랑피해 이력조사

국민안전처(구 소방방재청 중앙재난안전대책본부)에서 발행한 재해연보 보고서의 풍랑에 대한 피해이력을 2006년부터 2014년까지 검토하였다. 조사결과 2008년,

2012년, 2014년에는 풍랑으로 인한 피해가 발생하지 않았던 것으로 나타났으며, 재해연보의 피해유형은 인명, 침수, 건물, 선박, 농경지, 농작물, 공공시설, 기타 총 8가지 범주로 구분하였다. 재해연보에는 풍랑피해일이 일단 위로 나타나있으며 국가재난정보센터와 마찬가지로 정확한 피해 장소가 명시되어 있지 않고 시군구로 구분하여 수록되어 있었다. 2006년부터 2014년까지 풍랑피해 건수는 총 132건으로 조사되었다. 그러나 합수식을 개발함에 있어서 132건의 데이터는 통계 분석의 유의성을 찾기에 어려움이 있어 본 연구에서는 1991년부터 2014년까지 태풍피해력을 추가로 구축하였다. 구축된 데이터를 기반으로 태풍 피해 중 해안지역에서 해풍과 파랑에 의한 어망, 선박, 방파제와 같은 피해력을 추가로 추출하여 이를 DB화 하였다. 해역별, 행정구역별로 구축한 결과 서해 중부에서는 피해건수가 인천 옹진군 16건, 태안군 15건, 인천 강화군 12건 순으로 많았고, 서해 남부에서는 전남 진도군 26건, 전남 신안군 24건, 전남 해남군 22건 순으로 집계되었다(Fig. 3, Fig. 4).

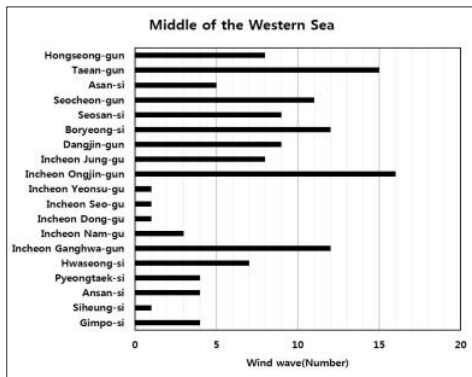


Fig. 3. The number of Provinces of storm damage occurred(Middle of the Western Sea)

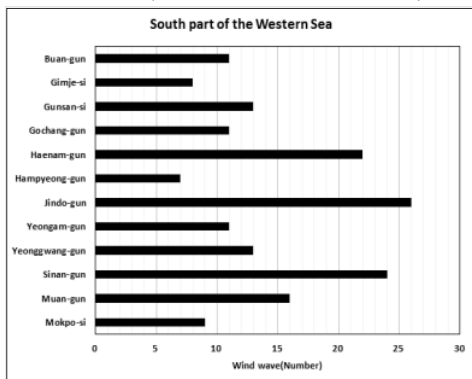


Fig. 4. The number of Provinces of storm damage occurred(South part of the Western Sea)

3.1.2 기상자료 수집

풍랑피해와 기상상황의 상관관계를 분석하기 위해 해상기상을 관측하고 정보를 제공하는 기상청(www.kma.go.kr)과 국립해양조사원(www.khogo.kr)의 홈페이지를 통하여 관측 자료를 수집하였다.

기상청에서는 국내부이 11개소, 파고부이 43개소, 국내등표 9개소의 관측소에서 해상의 기상을 관측하여 기상청 홈페이지에 그 자료를 공개하고 있으며, 국내부이 관측소에서는 파고(유의, 최대, 평균), 파주기, 파향, 풍향, 풍속, 기압, 습도, 기온, 수온을 관측한다. 또한, 파고 부이 관측소에서는 파고(유의, 최대, 평균), 파주기, 수온을 관측하고, 국내등표 관측소에서는 파고(유의, 최대), 파주기, 수위, 풍향, 풍속, 기압, 기온, 수온, 습도를 관측한다. 본 연구에서는 이들 관측소의 자료를 관측개시일부터 2014년까지 시단위로 수집하여 DB화 하였다.

국립해양조사원에서는 우리나라 해안에 47개소의 조위관측소를 운용하고 있으며, 홈페이지를 통하여 자료를 공개한다. 본 연구에서는 풍랑피해 당시 조위를 검토하기 위해 관측개시일부터 2014년까지 47개 조위관측소를 대상으로 시단위로 관측자료를 수집하고 이를 DB화 하였다.

3.2 지역등급분류

풍랑피해 발생 시 지역별 특성이 다르기 때문에 이를 반영하기 위해 지역 구성에 따른 등급분류 사례조사를 수행하였다. 여러 가지 재해 중 홍수나 태풍에 관련된 내용을 조사한 결과 홍수취약성지수기반 평가 시스템 개발(국립방재연구원, 2012), 지자체 취약성 평가 지원(국가기후변화적응센터, 2013), 태풍 내습으로 인한 연안역 해일 취약성 평가(강태순 등, 2015), 지역사회기반 홍수 피해저감지수 개발(국립방재연구원, 2011), 자연재해위험에 대한 2012년 지역안전도 진단결과(소방방재청, 2013), 연안재해취약성 평가체계(CDAS) 구축 결과보고서(국립해양조사원, 2015) 등이 조사되었다[19-23]. 이 중에서 연안특성을 잘 반영할 수 있으며, 풍랑에 관련된 국립해양조사원에서 발간한 『연안재해취약성 평가체계(CDAS) 구축 결과보고서』에서 제시한 연안재해노출지수와 연안민감도지수를 본 연구에 반영하기 위하여 검토하였다.

연안재해취약성 평가체계(CDAS) 구축 결과보고서에 따르면 연안재해노출지수(CODI : COastal Disaster

Index)는 연안지역에서 인간의 활동에 직접, 간접, 잠재적으로 발생할 수 있는 해양으로부터의 재해 및 자연현상의 위험성을 수치적으로 나타낸 것을 의미한다. Table 1과 같이 CODI의 대표적인 지표는 태풍, 해일 및 파랑, 조석, 해수면상승, 침식인자 총 5개가 있으며, 각각의 지표들은 내습빈도, 해면기압 등과 같은 지표와 관련된 평가인자로 구성되어 있다.

Table 1. Coastal Disaster Index(CODI)

Index	Factor
typhoon index	approach frequency, sea-level pressure, the maximum wind speed, hourly rainfall
Storm surge index and wind wave index	storm-wave height, significant wave height,
Tidal index	approximate highest high water, Spring range
Sea level rise index	Sea level rise rate
Erosion factor	Erosion factor

Ref : The construction results report of Coastal Disaster Assessment System(CDAS) (KHOA, 2015)

연안민감도지수(COSI : COastal Sensitivity Index)는 인명이나 인간활동, 지형적 특징 등 자연재해가 발생했을 시 그 피해를 증대시키는 요인들을 정량적으로 나타낸 지수를 의미한다. COSI의 지표와 인자들은 Table 2에 나타내었으며, 대표적으로 인적민감도, 물적민감도, 지형적 민감도가 있다. 재해노출에 대해 인적민감도는 인간의 생명 및 건강에 부정적인 영향을 받는 정도를 의미하며, 물적민감도는 재산 및 사회기반시설의 피해정도, 지형적 민감도는 지형적 요인과 관계된 잠재적인 피해정도를 의미한다. 이러한 각각의 지표들은 인구밀도, 연안건물 등 지표와 관련된 평가인자로 구성되어 있다.

Table 2. Coastal Sensitivity Index(COSI)

Index	Factor
Human Sensitivity Index	population density, vulnerability population index
Material Sensitivity Index	coastal building, ship and berth facility, industrial complex, road, farm, vulnerable coastal facility, officially assessed land price
Terrain Sensitivity Index	flooded area, coastline, altitude, slope

Ref : The construction results report of Coastal Disaster Assessment System(CDAS) (KHOA, 2015)

연안재해영향지수는 아래 Eq. (1)과 같이 연안재해노출지수, 연안민감도지수를 이용하여 산정한다.

$$CPII = 0.66 CODI + 0.34 COSI \quad (1)$$

연안재해노출지수, 연안민감도지수, 연안재해영향지수 이 3개 지수에 대해 해안지역의 특성을 반영하기 위하여 본 연구에 적용하였으며, 이 지표들은 노출 및 민감도를 1등급에서 5등급으로 분류하였으며, 각각 지수에 대한 평가결과에서 5등급은 재해노출정도가 높거나 민감도가 큰 것을 의미한다[23].

3.3 풍랑피해액 환산

물가 변동으로 인한 피해액 산정 가치가 해마다 다르기 때문에 특정 기준시기를 정하여 물가차이를 환산할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 과거와 현재의 물가 차이가 다르므로 정확한 피해액 산출을 위해 한국은행 경제통계시스템의 생산자물가지수를 이용하여 2014년 기준으로 배수를 산정하였고, 1991년부터 2013년까지의 피해액을 Table 3과 같이 물가상승배수를 고려하여 1991년부터 2014년까지의 풍랑 피해액 및 태풍 피해액을 환산하였다.

Table 3. Inflation factor by year(criteria for 14 years)

Year	Yearly inflation multiples	Year	Yearly inflation multiples
1991	1.782	2003	1.311
1992	1.744	2004	1.236
1993	1.718	2005	1.211
1994	1.673	2006	1.200
1995	1.598	2007	1.183
1996	1.548	2008	1.090
1997	1.491	2009	1.092
1998	1.329	2010	1.052
1999	1.357	2011	0.986
2000	1.330	2012	0.979
2001	1.336	2013	0.995
2002	1.340	2014	1.000

4. 풍랑피해예측함수 개발

앞서 조사한 풍랑피해이력 및 태풍피해 시 풍랑에 의한 피해이력, 기상상황(풍속, 파고, 파주기, 조위, 기온, 수온 등), 지역등급(연안재해노출지수; CODI, 연안민감도지수; COSI, 연안재해영향지수; CPII)을 고려하여 서

해안 지역을 대상으로 그 상관관계 분석을 수행하였다. Table 4는 행정구역별 연안재해노출지수, 연안민감도지수, 연안재해영향지수를 정리한 것이다. 본 연구에서는 이를 설명변수로 적용하여 피해예측함수를 개발하였다.

서해중부에 위치한 인천광역시, 충청남도 태안군, 서천군, 보령시를 대표지역으로 선정하였으며, 서해 남부의 경우 전라남도 무안군, 진도군, 해남군, 군산시, 신안군을 대표지역으로 선정하였다.

Table 4. Area grade(the western sea)

Area of the sea	Administrative division	CODI	COSI	CPII
middle of the western sea	Incheon	2.062	2.826	2.345
	Tae-an-gun	2.028	2.471	3.459
	Seocheon-gun	3.039	3.708	4.027
	Boryeong-si	2.678	3.351	4.034
southern part of western sea	Muan-gun	1.235	3.071	1.739
	Jindo-gun	2.270	2.362	1.556
	Haenam-gun	2.903	2.755	1.189
	Gunsan-si	1.807	2.301	4.015
	Sinan-gun	1.139	1.890	2.212

4.1 풍랑피해예측함수 개발 결과(서해중부)

피해예측함수를 통해 산정된 피해액과 실제피해액의 비교 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 서해 중부 4개 지역 중 가장 결정계수가 높은 충남 보령시에 대한 결과이며 그래프에서 점으로 표시된 것은 실제피해액, 선으로 표시된 것은 산정된 피해액이다. 결정계수 값은 인천광역시 0.5712, 충남 태안군 0.6742, 충남 서천군 0.6646, 충남 보령시 0.6683으로 분석되었다. 산정된 함수식은 아래 Table 5와 같다.

Table 5. Estimated equation for each area(southern part of western sea)

Administrative division	Estimated equation
Incheon	$y = \frac{(1.485 \cdot S_1)^9}{(11.762 \cdot M_1)} - e^{-3.011 \cdot D} \cdot (-7.957 \cdot S)^5$
Tae-an-gun	$y = \frac{(2.595 \cdot W_1)^7}{(6.253 \cdot S_1)^4} - e^{3.627 \cdot S} \cdot (-0.587 \cdot I)^5$
Seocheon-gun	$y = \frac{(197.307 \cdot M_1)^{2.2}}{(0.910 \cdot T_1)^{1.7}} - e^{-379.789 \cdot D} \cdot (-0.001 \cdot S)^2$
Boryeong-si	$y = \frac{(443.979 \cdot W_2)^{2.5}}{(4.166 \cdot T_2)^2} - e^{-117.757 \cdot S} \cdot (0.166 \cdot I)^{1.5}$

여기서, S_1 은 유의파고_{Max}, S_2 는 유의파고_{Mean}, M_1 은 최대파고_{Max}, M_2 는 최대파고_{Mean}, W_1 은 풍속_{Max}, W_2 는 풍속_{Mean}, T_1 은 조위_{Max}, T_2 는 조위_{Mean}을 나타낸다. 그리고 D 는 연안재해노출지수, S 는 연안민감도지수, I 는 연안재해영향지수이다. Table 6에 함수식에 사용된 설명변수와 산정된 결정계수를 지역별로 나타냈다.

Table 6. Variables and coefficient of determination (southern part of western sea)

Administrative division	Variables	Coefficient of determination
Incheon	S_1, M_1, D, S	0.5712
Tae-an-gun	W_1, S_1, S, I	0.6742
Seocheon-gun	M_1, T_2, D, S	0.6646
Boryeong-si	W_2, T_2, S, I	0.6683

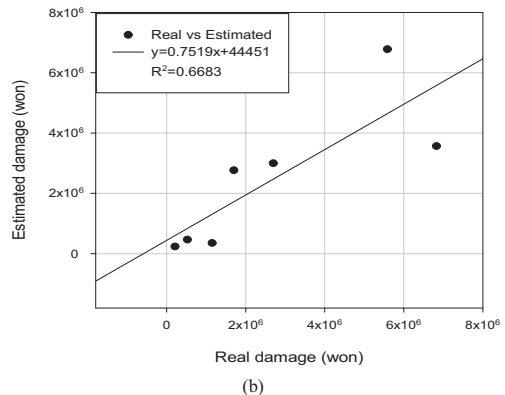
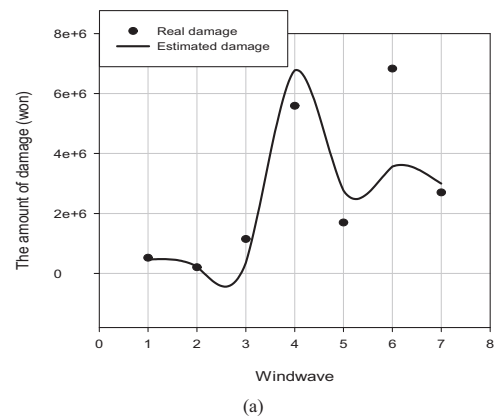


Fig. 5. The result for development of wind wave damage estimation(Boryeong-si in Chungcheongnam-do)
(a) estimated damage vs real damage
(b) result of correlation analysis

4.2 풍랑피해예측함수 개발 결과(서해남부)

피해예측함수를 통해 산정된 피해액과 실제피해액의 비교 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 서해 남부 5개 지역 중 가장 결정계수가 높은 전남 진도군에 대한 결과이며 그림에서 점으로 표시된 것은 실제피해액, 선으로 표시된 것은 산정된 피해액이다. 결정계수 값은 전남 무안군 0.5037, 전남 진도군 0.6205, 전남 해남군 0.5005, 전남 군산시 0.6042, 전남 신안군 0.8453으로 분석되었다. 산정된 공식은 아래 Table 7과 같다.

Table 7. Estimated equation for each area(southern part of western sea)

Administrative division	Estimated equation
Muan-gun	$y = \frac{(6.530 \cdot M_1)^{10}}{(68.670 \cdot S_1)^5} \cdot e^{-80.823 \cdot S} \cdot (0.478 \cdot I)^2$
Jindo-gun	$y = \frac{(1.261 \cdot W_1)^5}{(41.193 \cdot T_1)^{0.5}} \cdot e^{0.251 \cdot D} \cdot (-16.184 \cdot S)^3$
Haenam-gun	$y = \frac{(21.015 \cdot M_1)^{3.5}}{(437.331 \cdot W_2)^{0.05}} \cdot e^{90.036 \cdot D} \cdot (0.002 \cdot I)^{2.5}$
Gunsan-si	$y = \frac{(22.860 \cdot M_1)^{2.6}}{(3.685 \cdot T_2)^{0.03}} \cdot e^{-299.858 \cdot D} \cdot (0.037 \cdot I)^{3.5}$
Sinan-gun	$y = \frac{(2.623 \cdot W_1)^{6.5}}{(203.707 \cdot S_2)^{1.8}} \cdot e^{-4814 \cdot D} \cdot (-8.789 \cdot I)^7$

여기서, S_1 은 유의파고 $_{Max}$, S_2 는 유의파고 $_{Mean}$, M_1 은 최대파고 $_{Max}$, M_2 는 최대파고 $_{Mean}$, W_1 은 풍속 $_{Max}$, W_2 는 풍속 $_{Mean}$, T_1 은 조위 $_{Max}$, T_2 는 조위 $_{Mean}$ 을 나타낸다. 그리고 D 는 연안재해노출지수, S 는 연안감도지수, I 는 연안재해영향지수이다. Table 8에 함수식에 사용된 설명변수와 산정된 결정계수를 지역별로 나타냈다.

Table 8. Variables and coefficient of determination (southern part of western sea)

Administrative division	Variables	coefficient of determination
Muan-gun	M_1, S_1, S, I	0.5037
Jindo-gun	W_1, T_1, D, S	0.6205
Haenam-gun	M_1, W_2, D, I	0.5005
Gunsan-si	M_1, T_2, D, I	0.6042
Sinan-gun	W_1, S_2, D, I	0.8453

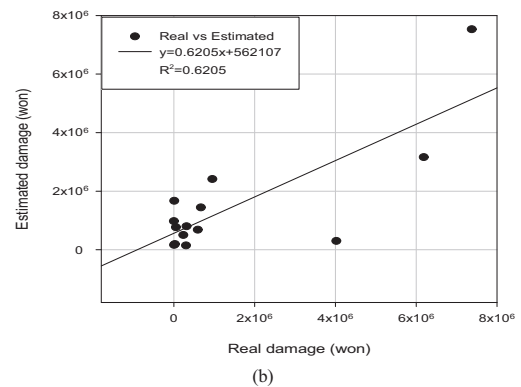
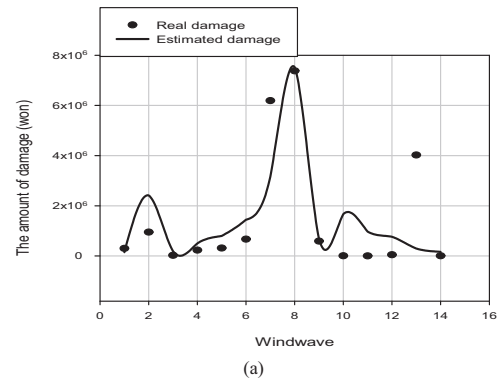


Fig. 6. The result for development of wind wave damage estimation(Jindo-gun)
(a) estimated damage vs real damage
(b) result of correlation analysis

5. 결론

본 연구에서는 풍랑에 따른 피해에 신속히 대응할 수 있도록 과거 피해이력을 기반으로 풍랑피해예측함수를 개발하였다. 피해예측함수는 재해연보의 피해이력, 당시 기상상황, 연안지역의 특성을 고려하였다. 자연재해를 예측하기란 쉽지 않은 일이나, 본 연구에서 개발한 식을 통해 산정된 피해액과 실제피해액을 비교한 결과 결정계수가 대부분 0.5 이상의 값을 얻었으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 실제피해액과 예측피해액을 비교한 결과 서해 9개(서해중부 4개, 서해남부 5개)의 지역에서 결정계수가 0.5 이상으로 분석되었다.

둘째, 풍랑에 의한 피해규모를 본 연구에서 제안한 피해예측함수를 통해 간편하고 신속하게 예측하여, 그 상

항에 맞는 적절한 초기대응을 취함으로써, 피해 저감에 기여할 것으로 판단된다.

셋째, 연안지역에서 풍랑이나 해일 피해에 취약한 지역을 분석하거나 관련된 사업 시행 시 기초 자료로 충분히 활용이 가능할 것으로 사료된다.

References

- [1] R. H. Platt, "Disaster and Democracy", *Washington Island Press*, 1999.
- [2] D. K. Park, "The Emergency Management System in the U. S. -The Lessons from the Hurricane Sandy", *The Korean Society of Private Security*, vol. 12, no. 1, pp. 77, 2013.
- [3] D. H. Ko, "Hurricane Katrina as Unnatural Disaster : Government Failure and Inequality of Risk", *Korea socail policy review*, vol. 22, no. 1, pp. 84, 2015.
- [4] F. Townsend, "The federal response to Hurricane Katrina: Lessons learned", *Washington DC : The White House*, 2006.
- [5] M. Garber, L. Unger, J. Whithe, L. Wohlford, "Hurricane Katrina's effects on industry employment and wages", *Bureau of Labor Statistics*, 2006.
- [6] Mitigation Assessment Team Report, "Hurricane Katrina in the Gulf Coast", *FEMA 549 pp. 4, Federal Emergency Management Agency(FEMA)*, 2006.
- [7] Y. S. Cho, "Facilities Safety", vol. 38, pp. 11, *Korea Infrastructure Safety Corporation*, 2011.
- [8] WMO Secretariat, "Recommendations for Wave Observations", *Joint WMO/IOC Commission for Oceanography & Marine Meteorology(JCOMM)*, 2007.
- [9] S. W. Kang, K. C. Jun, S. I. Kim, K. S. Park, "Storm surge prediction in Masan Bay using fine-scaled surge model for typhoon "MAEMI"", *Korean Meteorological Society Spring Conference*, pp. 178-179, 2004.
- [10] Korea Institute of Science and Technology, "2001 Report of the Study Construction of Ieodo Ocean Research Station", *Ministry of Coeans and Fisheries*, 2002.
- [11] S. T. Oh, J. D. Lee, J. H. Lee, "Heavy Seas Forecast in Korea using Support Vector Machine", *Proceedings of KIIS Fall Conference*, vol. 23, no. 2, pp. 69-70 2013.
- [12] H. W. Lee, J. H. Lee, "Heavy Seas Forecast using Convolutional Neural Network", *Korean Institute of Intelligent Systems Fall Conference*, vol. 24, no. 2, pp. 77-78, 2014.
- [13] S. S. Lee , C. H. Won, Y. M. Kim, "Numerical Prediction of Typhoon Storm Surge using Ocean-Meteorology Coupled Model", *Journal of the Wind Engineering Institute of Korea*, vol. 18, no. 4, pp. 207-214, 2014.
- [14] C. H. Lee, K. H. Kim, "Derivation of Extended Mild-Slope Equation Using Euler-Lagrange Equation", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, B vol. 29, no. 5, pp. 493-496, 2009.
- [15] Korea Adaptation Center for Climate Change(KACCC), "Local government vulnerability evaluation support report", 2013.
- [16] N. Kobayashi, "Closure to "Riprap Stability Under Wave Action" by Nobuhisa Kobayashi and Brian K. Jacobs (May, 1985, vol. 111, no. 3)." *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, vol. 112, pp. 673 - 681, 1986.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1986\)112:6\(673\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1986)112:6(673))
- [17] H. Mase, K. Takeba, S. I. Oki, "Wave equation over permeable rippled bed and analysis of Bragg scattering of surface gravity waves", *J. of Hydraulic Research*, vol. 33, no. 6, pp. 789-812, 1995.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00221689509498552>
- [18] E. C. Cruz, M. Isobe, & Watanabe, A. Watanabe, "Boussinesq equations for wave transformation on porous beds". *Coastal Engng* 30, pp. 125 - 156, 1997.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-3839\(96\)00039-7](https://doi.org/10.1016/S0378-3839(96)00039-7)
- [19] National Disaster Management Research Institute, "Development of Assessment System for Flood Vulnerability Index", 2012.
- [20] T. S. Kang, H. M. Oh, H. M. Lee, H. S. Eum, "Storm Surge Vulnerability Assessment due to Typhoon Attack on Coastal area in Korea", *Journal of The Korean Society of Marine Environment & Safety*, vol. 21, no. 5, pp. 608-616, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.7837/kosomes.2015.21.5.608>
- [21] National Disaster Management Research Institute(NDMI), "Development of Community-based Flood Disaster Risk Reduction Index", 2011.
- [22] National Emergency Management Agency, "Diagnosis result of 2012 Area Safety Degree for natural disaster risk", 2013.
- [23] Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, "The construction results report of Coastal Disaster Assessment System(CDAS)", 2015.

추 태 호(Tai Ho Choo)

[정회원]



- 1990년 12월 : Pittsburgh 대학교 일반대학원 토목공학과 (수리학 석사)
- 1998년 12월 : Pittsburgh 대학교 일반대학원 환경토목공학과 (환경수리학 박사)
- 1984년 2월 ~ 2002년 9월 : K-Water 연구원 책임연구원 등
- 2002년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학부 교수

<관심분야>

댐, 수리수문, 하천, 방재

곽 길 신(Kil Sin Kwak)

[정회원]



- 2006년 2월 : 울산대학교 토목공학과 (공학사)
- 2008년 2월 : 울산대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 박사과정

<관심분야>

댐, 수리수문, 하천

손 종 근(Jong Keun Son)

[정회원]



- 2006년 2월 : 밀양대학교 건설환경과 (공학사)
- 2008년 8월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 (공학석사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 박사과정

<관심분야>

댐, 수자원, 해안

안 시 형(Si Hyung Ahn)

[정회원]



- 2015년 8월 : 경남대학교 토목학과 (공학사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 석사과정

<관심분야>

댐, 수리수문, 기후변화, 풍수해

양 다 윤(Da Un Yang)

[정회원]



- 2016년 2월 : 동서대학교 토목공학과 (공학사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 석사과정

<관심분야>

수리수문, 해안, 통계분석