

국내 해안지역의 풍랑피해 예측함수에 관한 연구

심상보, 김윤구, 추연문*
부산대학교 사회환경시스템공학과

A Study on the Prediction Function of Wind Damage in Coastal Areas in Korea

Sang-bo Sim, Yoon-ku Kim, Yeon-moon Choo*

Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University

요 약 전 세계적으로 발생하고 있는 이상기후현상으로 자연재해의 발생빈도와 피해규모가 증가하고 있는 추세이다. 특히, 일본의 대지진, 미국의 허리케인 카트리나, 한국의 태풍 매미 등 세계적으로 연안지역에서 발생하는 자연재해에 의한 피해는 막대하다. 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. 국내의 연안지역을 대상으로 재해연보(1991~2017)의 풍랑 및 태풍피해 이력을 수집하였으며, 물가상승률을 반영하기 위해 2017년을 기준으로 피해액을 환산하였다. 또한, 풍랑 및 태풍피해가 발생했을 때의 해양기상인자 자료를 수집하였다. 수집된 자료를 통하여 회귀분석을 실시하였으며, 최종적으로, 연안의 지역특성을 반영하여 전국 74개 지역의 해역별 풍랑 피해예측함수를 개발하였다. 개발된 풍랑피해 예측함수를 통하여 사전대비 차원의 피해예측이 가능할 것으로 판단되며, 재해통계관련 법·제도 개선에 활용 될 것으로 기대된다.

Abstract The frequency of natural disasters and the scale of damage are increasing due to the abnormal weather phenomenon that occurs worldwide. Especially, damage caused by natural disasters in coastal areas around the world such as Earthquake in Japan, Hurricane Katrina in the United States, and Typhoon Maemi in Korea are huge. If we can predict the damage scale in response to disasters, we can respond quickly and reduce damage. In this study, we developed damage prediction functions for Wind waves caused by sea breezes and waves during various natural disasters. The disaster report (1991 ~ 2017) has collected the history of storm and typhoon damage in coastal areas in Korea, and the amount of damage has been converted as of 2017 to reflect inflation. In addition, data on marine weather factors were collected in the event of storm and typhoon damage. Regression analysis was performed through collected data, Finally, predictive function of the sea turbulent damage by the sea area in 74 regions of the country were developed. It is deemed that preliminary damage prediction can be possible through the wind damage prediction function developed and is expected to be utilized to improve laws and systems related to disaster statistics.

Keywords : Abnormal Climate, Damage Estimation Function, Disaster Statistics, Regional Characteristics, Wind Wave

1. 서론

전 세계의 지구온난화 가속과 더불어 호우발생 빈도의 증가, 태풍, 허리케인 강도의 강화 등으로 인하여 거

대 자연재해의 발생횟수와 그 피해액은 지속적으로 증가하는 추세이다. 이러한 자연재해의 경우 사회의 다양한 재산에 피해를 입힐 뿐만 아니라, 심각한 경우에는 인명 피해에 직·간접적인 영향을 끼치며, 특히 사회방재시설

본 논문은 정부(행정안전부)의 제원으로 재난안전기술사업단의 지원을 받아 수행하였음

*Corresponding Author : Yeon Moon Choo(Pusan Univ.)

Tel: +82-10-8512-4085 email: chooyean@naver.com

Received November 20, 2018

Revised December 20, 2018

Accepted April 5, 2019

Published April 30, 2019

이나 재해에 대한 예비 시스템이 부족한 국가의 경우 대규모 재산피해 및 인명피해가 지속적으로 증가할 수 있다.

자연생태계가 점차 파괴되고 이상기후와 해수면 변동의 충격에 대한 완충작용이 제대로 이루어지지 않고 고스란히 전달됨에 따라, 연안지역의 취약성은 더욱 증가하고 있다[1]. 전 세계의 23% 인구가 해안지역에 위치하고 있으며, 천만 이상의 대도시의 경우 66%가 해안지역에 거주하고 있다[2-4]. 자연재해 중 해풍과 파랑에 의해 발생하는 풍랑은 우리나라에선 2005년 자연재해대책법이 개정되며 호우, 태풍, 지진 등과 함께 자연재해로 분류되었으나, 다른 자연재해보다 피해예측에 관한 연구가 매우 적은 실정이다(2006년부터 국민안전처에서 발간하

는 재해연보에 수록되기 시작). 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 수치적으로 산출하여 국지해일모형에 의한 태풍 매미의 마산만에 내습한 해일을 예측한 바 있으며[5], 이혜우 등(2014)은 위험기상을 예측하도록 풍랑 예측 모델을 생성하여 풍랑 예측의 정확도를 측정하였다[6]. 또한, 이승수 등(2014)은 기상-해양 연계 수치 모형을 통한 폭풍 해일 예측으로 해양 조사원에서 제공하는 실측 자료와의 유용성을 입증하였다[7].

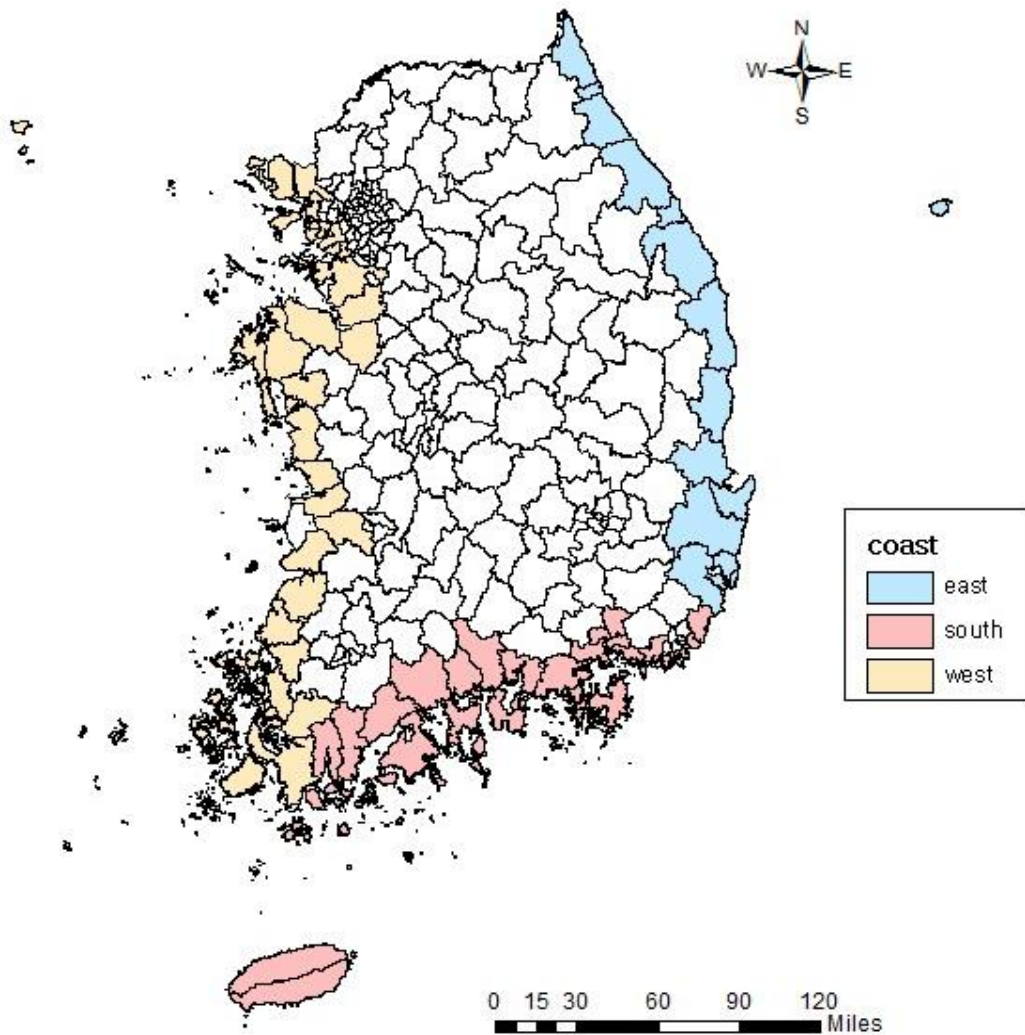


Fig. 1. Cluster map by sea area

국가기후변화적응센터(2013)는 국외 기후변화 취약성 평가 분야를 분석하고 국내 기후변화 취약성 평가 분야 재분류하여 기후변화를 적용한 지자체 취약성을 평가한 바 있다[8]. Wamdi(1988)는 3세대 풍랑 예측 모델인 WAM을 개발하여 풍랑에 대한 연구를 하였다[9]. Soomere(2005)는 탈린 만에서 풍랑에 관한 통계 연구를 진행하였으며[10], 최근에 Arduin 등(2017)은 작은 크기의 해류가 풍랑에 미치는 영향에 대한 연구를 진행하였다[11].

위와 같이 풍랑예측에 관한 기술개발이 다양하게 이루어져 왔으나, 과거의 피해이력을 기반으로 예측하는 연구는 미흡한 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.

2. 방법론

상대적으로 작은 풍랑 피해가 발생하는 경우 기존 연구에서 제시한 식의 경우 피해액을 과다산정 하여 인근 주민의 불안 유발 및 예산의 과대집행 등의 문제점이 발생할 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 재해연보상의 풍랑 및 태풍 피해이력을 1991년부터 2017년까지 수집한 후 물가상승률을 고려하여 환산하였고, 풍속, 파고 등의 기상자료를 수집 및 분석하였으며, 등급분류 사례조사를 통하여 풍랑재해에 적용 가능한 인자를 선별하여 지역별 특성을 반영하는 설명변수로 사용하였다. 이렇게 구축된 행정구역별 풍랑피해이력, 기상자료, 지역등급을 이용하여 Fig. 1과 같이 전국 74개 연안지역에 대하여 해역별 군집화를 진행하고 피해액 예측 함수식을 개발하였으며 연구개발 흐름도는 Fig. 2와 같다.

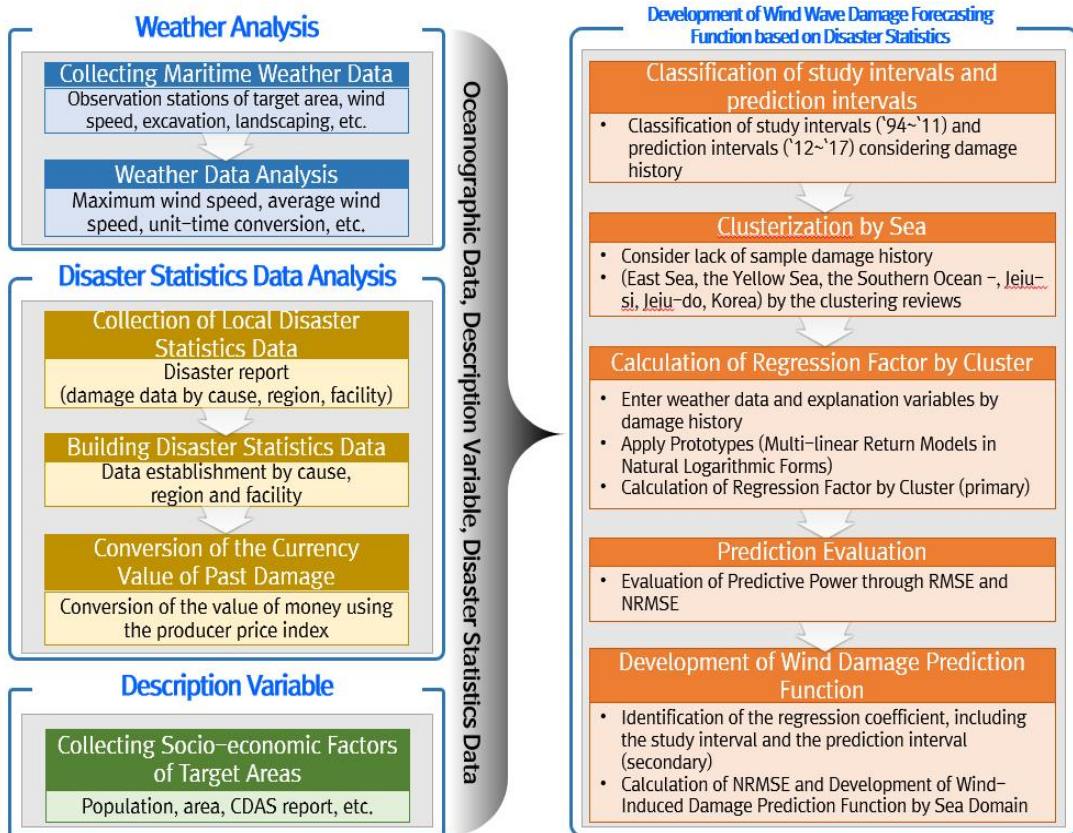


Fig. 2. Research flow chart

2.1 피해이력 자료수집

2.1.1 풍랑피해 이력조사

행정안전부에서 발행한 재해연보 보고서의 풍랑에 대한 피해이력을 2006년부터 2017년까지 검토하였다. 조사결과와 재해발생 일자에 해당하는 시군구에 대하여 인명, 침수, 건물, 선박, 농경지, 농작물, 공공시설, 기타 총 8가지의 범주로 피해이력을 구분하고 있다. 그러나 함수식의 개발에 있어 2006년부터 2017년까지 풍랑피해 데이터는 통계 분석의 유의성을 찾기에 어려움이 있어 본 연구에서는 1991년부터 2017년까지 태풍피해이력중 유사풍랑피해이력을 추가로 구축하였다. 구축된 데이터를 기반으로 태풍 피해 중 해안지역에서 해풍과 파랑에 의한 어망, 선박, 방파제와 같은 피해이력을 추가로 추출하여 이를 DB화 하였다.

2.1.2 기상자료 수집

풍랑피해와 기상상황의 상관관계를 분석하기 위해 해상기상을 관측하고 정보를 제공하는 기상청과 국립해양조사원의 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, 파주기, 파향, 풍향, 풍속, 기압, 습도, 기온, 수온을 관측한다. 또한, 파고부이 관측소에서는 파고, 파주기, 수온을 관측하고, 국내등표 관측소에서는 파고, 파주기, 수위, 풍향, 풍속, 기압, 기온, 수온, 습도를 관측한다. 본 연구에서는 이들 관측소의 자료를 관측개시일 부터 2017년까지 시단위로 수집하여 DB화 하였다.

국립해양조사원에서는 47개소의 조위관측소를 운영하고 있으며, 홈페이지를 통하여 자료를 공개한다. 본 연구에서는 풍랑피해 당시 조위를 검토하기 위해 관측개시일 부터 2017년까지 47개 조위관측소를 대상으로 시단위 관측자료를 수집하고 이를 DB화 하였다.

2.1.3 가용 피해이력 분류

수집된 풍랑 및 유사풍랑 피해이력은 총 868건으로 집계되었으나, 해당 피해기간의 기상자료(국내등표, 국내부이, 조위관측소)의 부재(관측개시일, 교체시기일), 기상청 제공 국내등표의 조위관측내용의 오류 등으로 인하여 실제 가용 피해이력은 413건으로 확인되었다. 연도별 피해이력 수는 아래 Table 1과 같다.

Table 1. Yearly damage history

Year	Number of damage	Year	Number of damage
1998	5	2009	32
1999	13	2010	41
2000	2	2011	33
2002	20	2012	67
2003	16	2013	6
2004	42	2014	10
2005	9	2015	12
2006	35	2016	28
2007	34	2017	6
2008	2	total	413

2.2 예측력 평가

본 연구에서 개발이 완료된 풍랑피해 예측함수의 성능을 검증하기 위하여 예측력 평가를 수행하였다. 우선 표본의 전체를 10이라고 하였을 때 학습을 위해 활용하는 자료는 6이고, 예측을 위해 활용하는 자료는 4이다. 이와 같은 번거로운 과정을 하는 이유는 전체 10의 자료를 모두 학습에 활용한다면, 이는 모두 학습에 활용했기 때문에 예측력 평가 자체가 무의미해진다. 본 논문에서는 시간의 순서를 고려하여 전체피해건수의 3분의 2지점인 2011년 이전의 자료를 학습용 데이터로 하여 모형을 적합하고, 2012년 ~ 2017년 자료를 평가용 데이터로 하여 적합된 모형의 예측력을 한번의 교차검증을 통해 평가하였다. 예측력 평가의 지표로써 RMSE를 표준화한 값인 N-RMSE(Normalized Root Mean Squared Error)를 사용하였다. N-RMSE는 식 (1)과 같이 표현한다. 실제값의 범위를 고려하기 때문에 객관성이 확보된다는 장점이 있다.

여기서 y_{max} 는 실제값의 최대값이고, y_{min} 은 실제값의 최소값으로 두 개의 차이는 실제값의 범위를 나타낸다. 또한 NRMSE는 0과 1사이의 값을 갖으며, 오차를 나타낸 지표이기 때문에 0에 가까울수록 더 높은 예측력을 나타낸다.

$$NRMSE = \frac{SE}{(y_{max} - y_{min})} = \frac{\sqrt{\sum(\text{실제값} - \text{예측값})^2 \text{의 평균}}}{(y_{max} - y_{min})} \quad (1)$$

2.3 풍랑피해액 환산

물가 변동으로 인한 피해액 산정 가치가 해마다 다르

기 때문에 특정 기준시기를 정하여 물가차이를 환산할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 과거와 현재의 물가 가치가 다르므로 정확한 피해액 산출을 위해 한국은행 경제통계시스템의 생산자물가지수를 이용하여 2017년 기준으로 배수를 산정하였고, 1991년부터 2017년까지의 피해액을 Table 2와 같이 물가상승배수를 고려하여 풍랑 및 태풍 피해액을 환산하였다.

Table 2. Price value conversion

Year	Yearly Inflation Multiples	Year	Yearly Inflation Multiples
1991	1.737	2005	1.180
1992	1.700	2006	1.169
1993	1.675	2007	1.153
1994	1.630	2008	1.062
1995	1.558	2009	1.064
1996	1.510	2010	1.025
1997	1.454	2011	0.961
1998	1.296	2012	0.953
1999	1.323	2013	0.970
2000	1.296	2014	0.974
2001	1.302	2015	1.015
2002	1.306	2016	1.034
2003	1.278	2017	1.000
2004	1.204		

3. 풍랑피해 예측함수 개발

본 연구에서는 재해연보를 기반으로 풍랑피해이력과 유사풍랑피해이력(태풍피해이력 중 풍랑피해로 간주할 수 있는 이력)을 수집하고, 피해기간의 해양기상자료와 다양한 설명변수를 구축한 다음, 해역별 군집화를 진행하여 정확도를 향상하였다. 동시에 피해예측함수의 예측력평가를 위해 학습구간과 예측구간으로 분류하였다.(예측구간 : 2012년 ~ 2017년) 마지막으로 전체 피해건수 중 피해액이 1억 4천만 원 이하의 피해에 대한 함수식 산정을 진행하였다.

3.1 종속변수와 독립변수의 설정

독립변수는 설명변수라고도 불리며 설명, 예언해 주거나 원인이 되는 기능을 하는 변수이며 종속변수는 서로 관계가 있는 둘 이상의 변수가 있을 때 어느 한쪽의 영향을 받아 변하는 변수를 의미한다. 즉 독립변수는 종속변수를 설명하는 설명변수를 의미한다. 본 연구에서 종속변수는 풍랑피해액으로 설정하였고 독립변수는 해양기상자료와 지역특성을 반영할 수 있는 지역변수로 선정하였다. 독립변수 선정에 있어 해양기상인자의 경우

실제 예보되고(기상청 날씨누리, 국립해양조사원 스마트 조석예보)있는 기상인자를 선출하여 활용하였다. 해당 해양기상인자는 평균풍속, 최대파고, 유의파고, 최대조위이다. 본 연구에서 사용한 독립변수와 종속변수는 아래 Table 3과 같이 정리하였다.

Table 3. Resources of Prediction Function of Wind Damage

Variable name	Variable Description	Remarks
Y	Natural logarithm to the amount of storm damage	Dependent variable
W	Average wind speed(m/sec)	Independent variable
P1	Maximum wave(m)	
P2	Significant wave height(m)	
T1	Maximum tide(m)	
T2	Average tide(m)	
CODI	Coastal disaster index	
COSI	Coastal sensitivity index	
CPII	Coastal potential impact index	
area	Area(ha)	
pop	Population by year(thousand)	

연안재해노출지수, 연안민감도지수, 연안재해영향지수 지표들은 1등급에서 5등급까지 5단계로 등급이 분류되어 노출 및 민감도를 구분하였다. 각 지수에 대한 평가 결과에서 5등급은 재해노출정도가 높거나 민감도가 큰 것을 의미한다. 인구수는 통계청에서 1년 단위로 제공하는 시군구 단위별 인구수를 1994년부터 2017년까지 구축하여 피해예측함수 개발에 활용하였다.

3.2 회귀계수 산정 및 예측력 평가

다음 Table 4는 해역별 회귀계수 산정 결과이다. 여기서 intercept는 회귀식의 상수를 나타내고, 다른 변수들은 Table 3과 같다. 학습구간인 1991년부터 2010년 피해이력을 통해 개발한 피해예측 함수식으로 2011년부터 2017년까지의 피해금액을 예측하여 실제피해액과 예측피해액을 N-RMSE지표를 통해 분석하였고 그 결과가 15.05%로 나타났다. 본 연구는 자연재해의 피해액을 추정하여 사전대비 차원의 재난예측을 하는것에 목적이 있으므로 학습구간으로 개발된 피해예측식이 적합하다 판단하여 전체기간인 1991년부터 2017년 피해이력을 활용하여 최종 피해예측함수식을 개발하였다.

아래 Table 4의 회귀 계수를 살펴보면 전체 해역기준 CODI(연안민감도지수)가 가장 높은 영향을 끼치며,

pop(연도별 인구수)가 가장 적은 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 이는 연안지역별 가장 중요한 인자가 연안민 감도지수인 것을 의미한다.

Table 4. Calculation of regression coefficient and prediction power

Division	Regression coefficient		
	East	West	South · Jeju
Intercept	9.050	12.415	12.415
W	0.460	0.184	0.460
P1	0.210	0.021	0.448
P2	-1.917	-0.240	-1.447
T1	4.817	1.343	-0.133
T2	0.142	0.142	0.142
CODI	0.963	0.963	0.963
COSI	0.173	0.173	0.173
CPII	-0.767	-0.767	-0.767
area	2.E-04	-3.E-03	2.E-04
pop	-2.E-06	2.E-06	-1.E-06

3.3 피해예측함수 개발

위의 Table 4의 회귀계수는 오픈소스 프로그램으로 통계 또는 데이터마이닝에 많이 활용되는 R프로그램을 활용하여 다중선형회귀분석을 통해 산정하였다. 식의 원형은 아래 식 (2)와 같다.

$$\text{Log}(y) = \beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_px_p + \epsilon \quad (2)$$

여기서 β_0 는 산정된 회귀계수 중 Intercept를 의미하며, $\beta_1x_1 + \dots + \beta_px_p + \epsilon$ 은 W~pop를 의미한다. 회귀계수는 피해이력부족문제를 해결하기 위해 전체 해역의 피해이력을 활용하고 해역별 구분을 통해 구분 지었다.

아래 Table 5는 실측값과 예측값을 해역별로 가장 잘 맞는 지역과 잘 맞지 않는 지역을 대상으로 분석하였다. 개발된 풍랑피해예측함수식을 식 (2)에 역로그를 취하여 아래 식 (3)을 통해 산정하였다.

$$Y = \exp(\beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_px_p + \epsilon) \quad (3)$$

아래 Table 5를 살펴보면 실제피해이력이 적은금액일 수록 예측금액의 정확도가 높은 것을 알 수 있다. 전체 피해이력 중 상대적으로 피해이력이 작은집단의 수가 많기 때문에 과소추정이 일어나고 있다고 판단된다. 이와 같은 문제는 향후 피해이력의 추가수집과 연구를 더욱

진행함에 따라서 해결될 문제로 판단된다.

Table 5. Accuracy comparison of damage prediction function

State	coast	Measure	Actual
Gyeongsangbuk-do ulleung-gun	east	12,175	11,301
Gangwondo yangyang-gun		558,261	46,577
Gyeongsangnam-do changwon-si	south	7,005	7,024
Gyeongsangnam-do tongyeong-si		10,077	46,088
Inchun gwangyeoksi seo-gu	west	9,749	9,645
Inchun gwangyeoksi ganghwa-gun		37,800	12,402

Unit : 1,000Won

4. 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 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 해역별 군집을 통해 표본수 부족 문제를 해결했고 총 피해이력 413건에 대하여 해양기상인자 및 사회경제적 요소를 고려한 풍랑피해예측모형을 개발함.

둘째, 예측력 평가를 통해 가장 적합한 모델을 선택함으로써 피해예측모형에 대한 신뢰도를 향상시켜 비교적 높은 수준의 정확도를 가진 피해예측모형을 개발하였으며 N-RMSE 분석결과 15.05%로 나타남.

그리하여 본 연구에서 개발된 풍랑피해예측함수는 간편하고 신속하게 피해금액을 예측하여 그 상황에 맞는 적절한 초기대응을 취함으로써 피해 저감에 기여할 것으로 판단된다. 또한 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 Social Policy Review, Vol.22, No.1, pp.84, 2015. DOI: <https://doi.org/10.17000/kspr.22.1.201503.83>

[4] F. Townsend, "The federal response to Hurricane Katrina: Lessons learned", Washington DC : The White House, 2006.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] Korea Adaptation Center for Climate Change(KACCC), "Local government vulnerability evaluation support report", 2013.

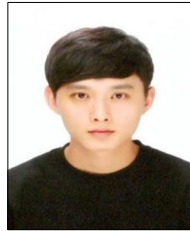
[9] WAMDI Group. The WAM model - A Third Generation Ocean Wave Prediction Model. J. Phys. Oceanogr, 18, pp1775 - 1810. 1988. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1988\)018<1775:TWMTGO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1988)018<1775:TWMTGO>2.0.CO;2)

[10] T. Soomere, "Wind Wave Statistics in Tallinn Bay" Boreal Env. Res, Vol.10, No.2, pp.103-118, 2005.

[11] F. Ardhuin, S. T. Gille, D. Menemenlis, C. B. Rocha, N. Rasle, B. Chapron, & J. Molemaker, "Small-scale Open Ocean Currents have Large Effects on Wind Wave Heights" Journal of Geophysical Research Oceans, Vol.122, No.6, pp.4500-4517, 2017. DOI : <https://doi.org/10.1002/2016JC012413>

심 상 보(Sang-Bo Sim)

[준회원]



- 2015년 3월 : 유한대학교 컴퓨터공학과 (전문학사)
- 2016년 3월 : 국가평생교육진흥원 정보통신공학전공 (공학사)
- 2017년 8월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 석사과정

<관심분야>

수리수문, 도시방재, 댐

김 윤 구(Yoon-ku Kim)

[정회원]



- 1984년 2월 : 경상대학교 농공학과 (공학사)
- 2005년 8월 : 아주대학교 경영대학원 경영학과 (경영학석사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 박사과정

<관심분야>

수리수문, 하천, 수리학

추 연 문(Yeon-Moon Choo)

[정회원]



- 2011년 8월 : 서울과학기술대학교 토목공학학과 (공학사)
- 2013년 8월 : 영남대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2018년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2018년 10월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 연구교수

<관심분야>

수리학, 수리수문, 댐