

로지스틱 회귀분석과 다중회귀분석을 활용한 부산, 가덕도, 거제도의 조위예측력 평가에 관한 연구

추태호, 김종구, 박원석, 최현구*
부산대학교 사회환경시스템공학과

A Study on the Evaluation of Tidal Prediction Capacity of Busan, Gadeokdo, and Geoje Island using Logistic Regression Analysis and Multiple Regression Analysis

Tai Ho Choo, Jong Gu Kim, Won Sek Park, Hyeon Gu Choi*
Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University

요약 전 세계는 기후변화에 따른 다양한 재해에 시달리고 있다. 자연 재해의 규모와 발생지점을 정확히 예측하기는 어려우며, 해마다 강도가 증가하는 추세이다. 특히, 최근에는 해안지역에 원자력 발전소를 포함한 중요한 사회기반시설의 건설이나 증축이 가속화되고 있다. 연안지역의 인명과 재산 피해에 영향을 주는 다양한 해안재해 요소들을 사전에 예측하여 방지할 수 있도록 조위에 관한 연구를 수행하였다. 본 논문에서는 유동인구와 사회 인프라 시설이 많은 부산, 가덕도, 거제도 등의 해양 수리인자들을 고려하여 정확한 조위 예측을 위해 조위 예측력 평가를 제시하였다. 남해 연안지역을 연구대상지로 하여, 국립해양조사원의 조위관측소에서 수집한 과거의 예측 및 실측 자료를 활용하여 기상청의 관측소에서 파주기, 파고, 풍속 등의 인자들을 고려하였다. 로지스틱 회귀분석과 다중회귀분석을 활용하여 관측소별 이상조위 발생여부를 수행하였고, 다중회귀분석을 통하여 조위예측함수를 제안하였다. 실측조위와 기존 예측조위, 본 연구결과의 예측조위를 비교해본 결과 기존 대비 R^2 4.9%의 정확도 개선이 이루어진 것을 확인하였다. 또한, 부산, 가덕도, 거제도의 조위예측함수 정확도는 각각 N-RMSE 3.5, 4, 4.3으로 준수한 정확도를 나타낸 것으로 확인하였다.

Abstract The world is suffering from various disasters caused by climate change. It is difficult to accurately predict the scale and occurrence point of natural disasters, and their intensity is increasing every year. However, in coastal areas, the construction or expansion of important infrastructure, including nuclear power plants, has been accelerating in recent years. Research on tide level was conducted to predict and prevent various coastal disaster factors that could affect human life and damage property in coastal areas. In this paper, a tidal predictive power evaluation is presented for accurate tide prediction in consideration of marine repair factors in places such as Busan, Gadeokdo, and Geoje, which have many floating populations and social infrastructure facilities. Past predictions and measurement data collected from the tidal observation station of the National Oceanographic Research Institute in the Namhae Coastal Area were used to consider factors such as wave period, wave height, and wind speed, which were measured at the Korea Meteorological Administration's observation stations. Logistic regression analysis and multiple regression analysis were used to analyze abnormal tide occurrence for each observation station, and multiple regression analysis was used to create a tide prediction function. Actual tide measurements, tide predictions from other methods, and the tide prediction obtained in this study were compared. The results confirmed that the accuracy was improved compared to the previous prediction method, and R^2 was improved by 4.9%. In addition, the tide prediction function showed good accuracy in Busan, Gadeokdo, and Geoje with N-RMSE of 3.5, 4, and 4.3, respectively.

Keywords : Abnormal Tidal, Multiple Linear Regression, Logistic Regression, Tidal Prediction, Busan

이 과제는 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Hyeon Gu Choi(Pusan National Univ.)

email: wolfgeng9@naver.com

Received June 2, 2023

Revised July 6, 2023

Accepted July 7, 2023

Published July 31, 2023

1. 서론

과거 산업화의 발달로 인한 이산화탄소 배출의 증가는 지구 온난화 현상을 유발하였다. 이로 인한 지구 기온 상승은 해수면 상승으로 이어졌으며, 이는 다양한 연안 재해의 증가로 이루어진다[1]. 해안지역의 방파제와 다양한 수리시설물은 예측된 조위를 활용하여 설계한다. 하지만, 조위 예측은 국내에서 일반적인 기상인자를 고려하여 분석하고 있으며, 이는 홍수, 호우, 강풍, 풍랑, 해일, 조수, 태풍 등의 재해가 발생시 이상조위에 대한 정확한 예측이 어려운 실정이다[2]. 세계의 인구 중 24% 이상이 해안 지역에 위치하고 있으며, 천만 이상의 대도시의 68%가 해안에 자리잡고 있다[3-6].

국내의 해안은 발전소, 주요산업단지 등을 보유하고 있지만, 해안의 다양한 재해로부터 연안 시스템 구축, 대비, 대책 등이 취약하다[7,8]. 특히, 국내에서는 일관되고 통일된 통계기반 정보체계의 시스템이 부족하기 때문에 해안 재해에 대한 명확한 피해 분석이 현실적으로 많이 힘들다[9]. 최근에는 국내에서도 큰 규모의 재해가 발생하고 있지만, 이에 대한 대책은 여전히 필요하며 예상 피해액과 발생 시기, 위치, 크기 등을 정확히 예측하기는 어려운 실정이다.

풍랑은 파랑과 해풍에 의해 발생하는 재해로 국내에서는 2005년 자연재해대책법이 개정되면서 지진, 호우, 태풍 등과 함께 자연재해로 분류되었다. 특히, 행정안전부에서는 2006년부터 발간하는 재해연보에 수록되기 시작했으며 기존의 재해보다 대비, 대책 등에 관한 연구가 상당히 적다. 기존의 연구들은 수치해석 모형을 활용하여 효율성, 정확도 등을 검증하는 연구들이 많다. 해일, 풍랑, 폭풍 해일 예측에 관한 연구는 각각 Kang et al.[10], Lee et al.[11], Lee et al.[12]이 수행하여 검증하였다. Wamdi[13]는 풍랑 예측 모델에 관한 연구를 진행하였으며, Soomere[14]는 풍랑에 대한 통계 연구를 진행한 바 있다. 또한, Arduin et al.[15]는 해류가 풍랑에 끼치는 영향을 연구하였다. 이와 같이 풍랑의 예측에 대한 연구는 있었으나 과거 피해 이력을 바탕으로 예측하는 기술은 미흡한 것으로 나타났다.

다음은 조위에 관한 연구로 Cho et al.[16]은 연안 수리구조물에 관한 연구를 수행한 바 있고, Kim et al.[17]는 국내 연안의 시공간 변동 특성에 관한 연구를 진행하였다. 그리고 Kim et al.[18]는 이상조위는 저기압이 이동함에 따라 바람에 의해 발생하는 연구결과를 도출하였으며, Kang et al.[19]는 30cm 이상의 해일고만 선별하

여 해일강도 분석을 수행하였다. Sim et al.[20]는 풍랑 피해 예측 함수를 개발한 바 있다. Shon & Kim[21]은 제주 지점의 조위 예측을 분석하였으며, Gwon & Kang[21]은 남해안의 조위 및 조류에 대한 분석을 실행한 바 있다. Jung[22]은 조위자료를 적용하여 조위 및 조류분포를 예측할 수 있는 연구를 실시하였다.

Yen et al.[23]은 단기 조위 예측을 장기 조위를 예측에 적용하였으며, Deo & Chaudhari[24]는 신경망 이론을 적용하여 조류 예측을 수행하였다. 또한, Vivekanandan et al.[25]은 신경망 모델과 유체의 특성을 활용하여 조류 예측하고자 하였으며, Tajfirooz et al.[26]은 GIS를 이용하여 조류예측을 위한 연구를 진행한 바 있다.

본 연구에서는 천문학적 인자와 함께 풍속, 파고 및 해면기압편차 등의 해상인자를 함께 고려하여 통계기법을 적용한 새로운 형태의 조위예측 함수를 개발하여 부산, 가덕도, 거제도 지역의 기존에 연구된 피해예측함수의 정확도 향상을 제안하고자 한다(Fig. 1).

부산, 가덕도, 거제도의 기본 자료를 구축하여 구간 분류와 독립변수를 산정하였다. 산정된 데이터는 로지스틱 회귀분석과 다중회귀분석을 통해 조위 예측 함수를 평가하였다. 학습이 완료된 조위 예측 함수의 정확도를 검증한 후에, 전체 실측 및 예측 자료를 적용하여 최종 조위 예측 함수를 제안하였다.

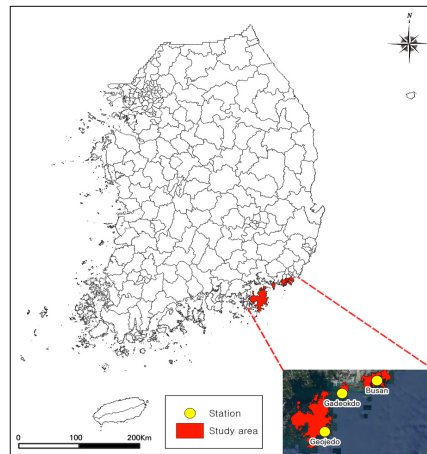


Fig. 1. Study Area

2. 연구방법

부산, 가덕도, 거제도 연안지역을 연구대상지로 하여, 조위 예측력 평가를 위해 국립해양조사원에서 배포하고

있는 시간 별 과거조위와 예측조위를 2021년까지 수집하였다. 기상청의 관측소에서 파주기, 파고, 풍속 등의 인자들을 관측 개시일로부터 2021년까지 수집하여 데이터베이스화하였으며, 등급분류 사례조사를 통해 조위 예측에 적용 가능한 요소를 선별하여 함수식 산정을 위한 독립변수로 사용하였다.

국립해양조사원 관측소의 이상조위를 체크하였고, 이때의 회귀계수를 분석하여 N-RMSE를 통하여 조위 예측력 평가를 실시하였다. 평가를 통해 부산, 가덕도, 거제도 연안지역의 조위관측소에 대한 조위 예측 함수식을 제안하였으며, 연구 흐름도는 Fig. 2와 같다.

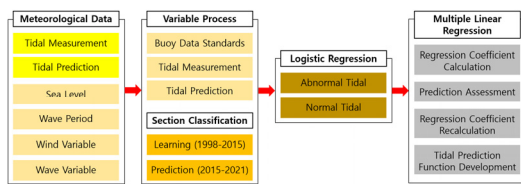


Fig. 2. Tidal Prediction Capacity Flow Chart

2.1 부산, 가덕도, 거제도 자료 구축

국립해양조사원의 조위 관측소별 과거 조위는 관측 개시일부터 2021년 12월을 사용했으며, 스마트 조석예보 관측소별 사전 조위는 1956년부터 2021년 12월을 수집하여 정리하였다(Table 1).

기상청에서 기상인자 자료를 관리하는 해상 기상부이와 등표 기상관측을 활용하였다. 관리하는 자료의 종류는 파향, 파고, 파주기, 기압, 풍속, 풍향 등이 있다. 유의성이 높은 변수인 풍속, 해수면 기압, 파주기, 최대파고, 그리고 평균파고는 관측개시일로부터 2021년 12월까지 시간 단위의 데이터로 수집하여 정리하였다.

Table 1. Tidal Measurement Station

Station Name	Measurement Period (year.month)	Observation Equipment
Busan	1956.01 ~ 2021.12	Lazer
Gadukdo	1970.12 ~ 2021.12	Buoy / Lazer
Gujaedo	2006.01 ~ 2021.12	Buoy / Lazer

2.2 조위 예측력 평가 지표

본 연구에서는 조위 예측력 회귀 모델의 평가를 위해 평균 제곱근 오차(RMSE)를 적용하였으며, 예측력 평가에서 실제 값의 범위를 고려해야 함으로 객관성을 가지

는 장점을 활용하여 Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$NRMSE = \frac{SE}{(y_{max} - y_{min})} \tag{1}$$

$$= \frac{\sqrt{\text{average}(\sum (Actual - Predict))}}{(y_{max} - y_{min})}$$

여기서, Eq. (1)은 오차를 나타내는 지표로써 0~1의 값을 가진다. 1에 가까울수록 더 낮은 예측력을 나타낸다. y_{max} 는 Actual 값의 최댓값이고 y_{min} 은 Actual 값의 최솟값으로 $y_{max} - y_{min}$ 를 통해 Actual 값의 범위를 나타내고 있다.

2.3 구간의 분류와 독립변수

제한한 조위예측 함수를 평가하고 검증하기 위해서는 예측력 평가를 실행하였다. 이를 위해서는 시간의 순서를 고려한 과거 조위의 Fig. 3의 2/3지점 이전의 데이터를 Learning 자료로 지정하여 회귀분석을 산정하였다. 그리고 남은 데이터를 Prediction 자료로 지정하여 모델의 예측력을 평가하였다.

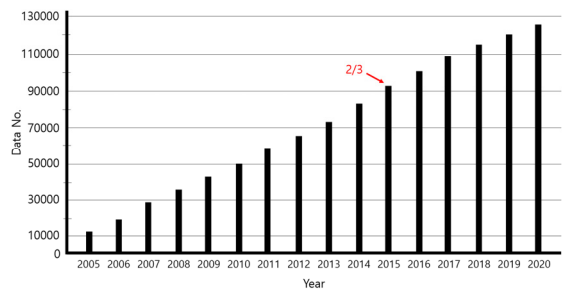


Fig. 3. Classification of Learning & Prediction Section

회귀분석에 앞서 본 연구에 활용된 독립변수들의 상관관계 분석을 확인하기 위하여 변수들간의 유의성 평가를 진행하였다. 유의성 평가를 진행하는 변수는 아래의 Table 2와 같으며 P는 실측 조위 값, month는 해당 조위값의 측정 월, T_max는 최대파고, T_ave는 평균파고, hpa는 해면기압, Wind_max는 최대풍속, Wind_ave는 평균풍속, Wind_dir은 풍향, Water_lev는 해수위, P_pre는 현재 예보되고 있는 예측조위를 의미한다.

변수간 유의성 평가결과 는 아래의 Fig. 4와 같으며, 평균파고와 최대파고간의 유의성이 가장 높고 현행 예측 조위와 가장 연관성이 높은 인자는 해수위와 기온인 것으로 나타났다.

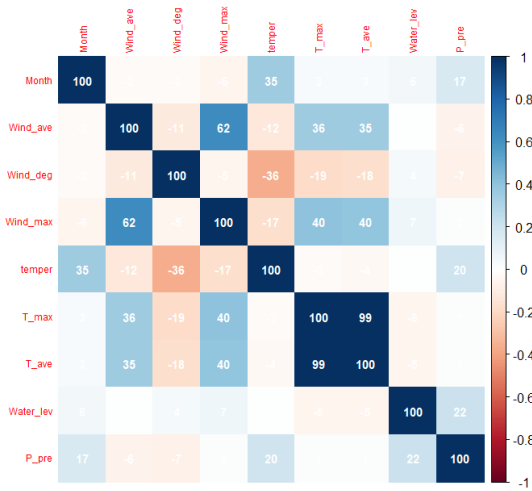


Fig. 4. Variables Correlation Analysis

Table 2. Tidal Measurement Variable Selection

Variable Name	Variable Descriptions	Category
P	Measured tidal (M)	Subordination variable
month	Month (Number)	Independent variable
T_max	Maximum wave height (M)	
T_ave	Average wave height (M)	
hPa	Sea level pressure	
Wind_max	Maximum Wind(M)	
Wind_ave	Average Wind(M)	
Wind_dir	Direction of Wind (Number)	
Water_lev	Water level of sea(M)	
P_pre	Predict tidal (M)	

3. 조위 예측력 평가

구축된 천문학적 자료를 바탕으로 로지스틱 회귀분석은 이상조위 발생여부, 다중회귀분석은 이상조위가 발생할 경우 예측을 위해 사용되었다. 연구 대상지역은 남해 동남해역에 위치한 부산, 가덕도, 거제도 조위관측소를 선정하였으며 각각의 관측소의 전체 데이터의 2/3 지점을 기준으로 Learning과 Prediction 구간을 분류하였다.

학습이 완료된 조위 예측 함수의 정확도를 검증한 후에, 전체 실측 및 예측 자료를 적용하여 최종 조위 예측 함수를 제안하였다.

3.1 로지스틱 회귀분석

본 연구에서는 이상조위 발생 여부를 판단하기 위해 로지스틱 회귀분석을 적용하였다. 로지스틱 회귀분석은 예측 분석을 위한 회귀분석 중에서 특히 종속 변수가 이분형일 때 수행할 수 있는 회귀 분석 기법의 한 종류로 본 논문에서는 이상조위의 발생 여부로 구분하여 수행하였다.

로지스틱 회귀의 뼈대가 되는 승산(odds)이란 임의의 사건 A가 발생하지 않을 확률 대비 일어날 확률의 비율을 뜻하는 개념으로 아래의 Eq. (2)과 같으며, 이상조위의 발생을 1, 미발생을 0으로 설정하여 회귀분석을 수행하였다.

사건 A의 발생확률 P(A)가 1에 가까울수록 승산은 높아지게 되고, P(A)가 0이면 승산도 0이 된다. 즉 승산이 커질수록 사건 A가 발생할 확률이 커지게 된다. 확률-경제값의 설정은 k-분할 교차검증을 통해 최적의 확률-경제값을 설정하였다(Fig. 5).

$$odds = \frac{P(A)}{P(A^c)} = \frac{P(A)}{1 - P(A)} \quad (2)$$

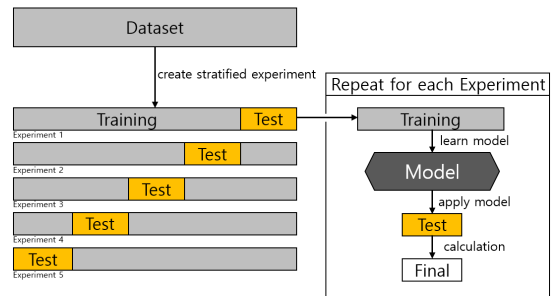


Fig. 5. K-Fold Cross Validation

3.2 다중회귀분석

다중회귀분석은 독립변수가 2개 이상인 추정식을 사용하는 회귀분석을 의미한다.

종속변수를 y , 독립변수집합을 $X = (x_0, x_1, \dots, x_p)$, 회귀계수를 $\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)$ 라고 했을 때 종속변수는 독립변수와 회귀계수 사이의 선형결합에 의해 다음 Eq. (3)와 같이 표현된다.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p + \epsilon \quad (3)$$

앞서 수행한 조위 예측력 평가 지표를 통하여 가장 적합한 변수를 선정하였고, 해당 변수들을 독립변수로 설정하여 다중회귀분석을 수행하였다.

3.3 조위 예측 함수 선정

Table 3은 독립변수 선정과 구간 분류를 선정된 값을 활용하여 R 프로그램의 로지스틱 회귀분석을 이용하여 이상조위 발생 여부를 확인하였고, 다중회귀분석을 통해 각 관측소의 회귀계수를 나타내었다.

여기서, 회귀계수의 상수는 Intercept, 월별 변화량을 반영하기 위한 추가변수 month, 최대파고는 T_max, 평균파고는 T_ave, 해면기압은 hPa, 최대풍속은 Win_max, 평균풍속은 Win_ave, 평균 파주기는 Wave_ave, 해수면은 Water_lev, 예측조위는 P_pre을 나타낸다. Eq. (3)에 Table 3의 회귀계수를 적용한 확률-경계값은 y-cut과 p-cut을 나타낸다.

확률-경계값이 y-cut과 p-cut보다 작을 경우에는 일반적인 조위로 분류하였고, 높을 경우에는 이상조위로 분류하여 다중회귀분석을 수행하였다.

Table 3. Logistic Regression Coefficient

Station Name Variable Name	Busan	Gaduk-do	Gujae-do
Intercept	4.668	7.566	4.661
month	6.E-03	-0.00882	-0.00882
T_max	-3.E-03	0.013553	0.013553
T_ave	-8.E-06	-0.00088	-8.E-06
hPa	2.E-03	-1.2E-05	2.E-03
Wind_max	2.E-03	-0.00062	2.E-03
Wind_ave	5.E-02	0.002913	2.E-02
Wave_ave	-3.E-02	0.078291	5.E-03
Water_lev	5.E-03	0.046909	-0.00062
P_pre	0.008	0.008625	0.002913
y-cut	4.87	4.83	4.34
p-cut	0.7531	0.8264	0.7654

Table 4, 5는 이상조위의 발생여부 예측에 따른 다중 회귀분석 결과이며, 일반조위 및 이상조위 예측 회귀모델에 대한 회귀계수를 표시하였다.

Table 4. Multiple Linear Regression Coefficient (Normal Tidal)

Normal Tidal			
Station Name Variable Name	Busan	Gaduk-do	Gujae-do
Intercept	17.56661	17.56661	4.668
month	-0.00882	-0.00882	6.E-03
T_max	0.013553	0.013553	-3.E-03
T_ave	-0.00088	-0.00088	-8.E-06
hPa	-1.2E-05	-	2.E-03
Wind_max	-0.00062	-	2.E-03
Wind_ave	0.002913	-1.2E-05	5.E-02
Wave_ave	0.078291	-0.00062	-
Water_lev	0.046909	0.078291	2.E-02
P_pre	0.008625	-0.03872	5.E-03

Table 5. Multiple Linear Regression Coefficient (Abnormal Tidal)

Abnormal Tidal			
Station Name Variable Name	Busan	Gaduk-do	Gujae-do
Intercept	-2.44E+01	17.56661	4.668
month	1.35E-02	-0.00882	6.E-03
T_max	5.27E+00	0.013553	-3.E-03
T_ave	-1.66E-02	-0.00088	-8.E-06
hPa	2.09E-05	-	2.E-03
Wind_max	9.10E-03	-	2.E-03
Wind_ave	1.42E-02	-1.2E-05	5.E-02
Wave_ave	1.29E-01	-0.00062	-
Water_lev	-8.76E-03	0.078291	2.E-02
P_pre	1.36E-02	-0.03872	5.E-03

일반조위와 이상조위 예측함수는 Eq. (4)와 같으며, 다시 역 로그를 취하면 Eq. (5)를 통해 각 관측소의 조위를 산정할 수 있다.

$$\text{Log}(y) = \beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_px_p + \epsilon \quad (4)$$

$$Y = \exp(\beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_px_p + \epsilon) \quad (5)$$

Eq. (4), (5)에서 Intercept는 β_0 , 독립변수는 $\beta_1x_1 + \dots + \beta_px_p + \epsilon$ 을 나타낸다. 제안된 식과 회귀계수를 통해 분석 정리하면, 부산, 가덕도, 거제도의 조위 예측 함수는 순서대로 N-RMSE 3.5, 4, 4.3으로 나타났다. 또한, 기예측되고 있는 예측조위 값과 비교해본 결과 기존 R^2 85.5%, 본 연구를 통해 개발한 예측조위 R^2 90.4%보다 약 4.9% 높은 정확도를 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 기존의 조위를 예측할 때 활용한 다양한 해양인자와 함께 해수면의 변화까지 반영할 수 있는 새로운 방식의 조위예측 함수를 제시하였다. 로지스틱 회귀분석을 통해 이상조위 발생 유무를 확인한 뒤, 다중회귀분석으로 조위 예측함수를 제안하였다. 이때, 일반조위와 이상조위를 구분하여 제시하였다. 해양 인자와 그 주변 요소를 통한 조위 예측은 어려운 일이나, 본 논문에서 제안한 방법을 통해 실제 조위를 비교하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 조위관측소별로 이상조위 발생지점이 상이하여, 전국 조위관측소를 대상으로 개별 회귀공식이 필요할 것으로 판단되었다.
2. 실측조위와 기존 예측조위, 본 연구결과의 예측조위를 비교해본 결과 기존 대비 R^2 4.9%의 정확도 개선이 이루어진 것을 확인하였다.
3. 부산, 가덕도, 거제도의 조위예측함수 정확도는 각각 N-RMSE 3.5, 4, 4.3으로 매우 준수한 정확도를 나타낸 것으로 판단되었다.

본 논문의 조위 예측 함수를 통하여 사전대비 차원의 피해 예측이 가능할 것으로 판단되며, 제해 관련 법·제도 개선에도 활용 가능할 것으로 판단된다.

향후, 본 연구결과를 조석의 영향이 큰 감소하천 권역의 도십지 내수침수분석에 활용하여 재난 담당자의 의사결정에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 과정은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Core Writing Team, Pachauri, R.K., Meyer, L.A. (eds.), "Climate Change 2014: Synthesis Report", IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 151, 2014.
https://www.un.org/en/climatechange/reports?gclid=CjwKCAjw-7O1BhB8EiwAnoOEK7LFY6Cwobep1EX1jiCg0_tr2XmASyiXPWWk3xokE746rZB7T1X2BoCMHAQA vD_BwE
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), "IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change, 2007 (AR4): The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
DOI: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/30761>
- [3] H. S. Kim, Y. K. Kim, S. K. Song, J. H. Jeong, G. E. Son, D. S. Kim, H. S. Kim, J. W. Kim, "A Study on the Design of Customized Coastal Weather Contents Based on the Demand Survey with Coastal Industry Fields", J. of Environmental Science International, vol. 22, no. 4, pp. 481-492, 2013.
DOI: <http://doi.org/10.5322/JESI.2013.22.4.481>
- [4] J. E. Cohen, C. Small, A. Mellinger, J. Gallup, J. Sachs, "Estimates of Coastal Populations", Sciences, vol. 278, no. 5341, pp. 1209-1213, 1997.
DOI: <http://doi.org/10.1126/science.278.5341.1209c>
- [5] C. Small, R. J. Nicholls, "A Global Analysis of Human Settlement in Coastal Zones", J. of Coastal Research, vol. 19, no. 3, pp. 584-599, 2003.
<https://www.istor.org/stable/4299200>
- [6] M. L. Martinez, A. Intralawan, G. Vazquez, O. Perez-Maqueo, P. Sutton, R. Landgrave, "The Coasts of our World: Ecological, Economic and Social Importance", Ecological Economics, vol. 63, no. 2, pp. 254-272, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.10.022>
- [7] T. H. Choo, K. S. Kwak, S. H. Ahn, D. U. Yang, J. K. Son, "Development for the function of Wind wave Damage Estimation at the Western Coastal Zone based on Disaster Statistics", J. of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, vol. 18, no. 2, pp. 14-22, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.2.14>
- [8] Y. S. Jo, "Earthquake tsunami and disaster prevention measures", Special Issue: Water for Future, J. of Korea Water Resources Association, , vol. 44, no. 4, pp. 8-15, 2011.
<https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=JAKO201119342679016&dbt=JAKO&koi=KIST11.1003%2FJNL.JAKO201119342679016>
- [9] J. S. Lee, C. H. Choi, H. S. Kim, "Development of Regional Flood Damage Functions for Public Facilities Based on Disaster Statistics and Impact Assessment of Climate Change", 2017 Korean Society of Hazard Mitigation Conference, pp. 1, 2017.
<https://scholar.kyobobook.co.kr/article/detail/4010025929864>
- [10] 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.
<https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE00938468>
- [11] 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.
<https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE02511834>
- [12] S. S. Lee, C. H. Won, Y. M. Kim, "Numerical Prediction of Typhoon Storm Surge using Ocean-Meteorology Coupled Model", J. of the Wind Engineering Institute of Korea, vol. 18, no. 4, pp. 207-214, 2014.
<https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artilId=ARTO01950015>
- [13] The Wamdi Group, "The WAM Model-A Third Generation Ocean Wave Prediction Mode", J. of Physical Oceanography, vol. 18, pp. 1775-1810, 1988. DOI:[https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1988\)018<1775:TWMTO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1988)018<1775:TWMTO>2.0.CO;2)
- [14] T. Soomere, "Wind Wave Statistics in Tallinn Bay", Boreal Environment Research, vol. 10, no. 2, pp. 103-118, 2005.
https://www.researchgate.net/publication/228816591_Wind_wave_statistics_in_Tallinn_Bay
- [15] F. Ardhuin, S. T. Gille, D. Menemenlis, C. B. Rocha, N. Rasche, B. Chapron, J. Molemaker, "Small-scale Open Ocean Currents have Large Effects on Wind Wave Heights", J. of Geophysical Research Oceans, vol. 122, no. 6, pp. 4500-4517, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016JC012413>
- [16] H. Cho, J. W. Kang, "Probability Density Function of the Tidal Residuals in the Korea", J. of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, vol. 24, no. 1, pp. 1-9, 2012. DOI: <https://doi.org/10.9765/KSCOE.2012.24.1.001>
- [17] H. K. Kim, Y. T. Kim, "Characteristics of Spatiotemporal Variability of Daily averaged Tidal Residuals in Korea Coasts", J. of the Korean Society of Marine Environment & Safety, vol. 19, no. 6, pp. 561-569, 2013. DOI: <https://doi.org/10.7837/kosomes.2013.19.6.561>
- [18] H. K. Kim, Y. T. Kim, D. H. Lee, "The Cause of Abnormal Tidal Residuals Along the Coast of the Yellow Sea in November 2013", Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 22, No. 4, pp.344-353, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2016.22.4.344>
- [19] J. W. Kang, Y. S. Kim, H. Y. Cho, J. S. Shim, "Characteristics of Nearshore Surge-Intensity", J. of Korean Society of Coastal And Ocean Engineers, vol. 23, no. 6, pp. 458-465, 2011. DOI: <https://doi.org/10.9765/KSCOE.2011.23.6.458>
- [20] S. B. Sim, Y. K. Kim, Y. M. Choo, "A Study on the Prediction Function of Wind Damage in Coastal Areas in Korea", J. of the Korea Academia-Industrial, vol. 20, no. 4, pp. 69-75, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.4.69>
- [21] K. T. Sohn, B. S. Kim, "Prediction of Tide Heights in Jeju using Multiple Regression Model with Autoregressive Error Process", J. of the Korean Data Analysis Society, vol. 8, no. 1, pp. 215-225, 2006.
<https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artilId=ARTO01146334>
- [22] S. J. Kwon, T. S. Kang, "Numerical Simulation for Behavior of Tidal Elevation and Tidal Currents in the South Sea", J. of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, vol. 19, no. 3, pp. 253-265, 2007.
<https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artilId=ARTO01063814>
- [23] T. S. Jung, "A Method for Improvement of Tide and Tidal Current Prediction Accuracy", J. of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, vol. 13, no. 4, pp. 234-240, 2010.
https://koreascience.kr/article/JAKO20100394997072_2.page
- [24] P. H. Yen, C. D. Jan, Y. P. Lee, H. F. Lee, "Application of Kalman filter to short-term tide level prediction", J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, vol. 122, no. 5, pp. 226-231, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1996\)122:5\(226\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1996)122:5(226))
- [25] M. C. Deo, G. Chaudhari, "Tide Prediction using Neural Networks", Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, vol. 13, no. 2, pp. 113-120, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1111/0885-9507.00091>
- [26] N. Vivekandan, C. B. Singh, "Prediction of tides using hydrodynamic and neural network approaches", Indian Journal of Marine Sciences, vol. 32, no. 1, pp. 25-30, 2003.
<http://nopr.niscares.in/handle/123456789/4227>

추 태 호(Tai Ho Choo)

[정회원]



- 1990년 12월 : Pittsburgh 대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 1998년 12월 : Pittsburgh 대학교 토목환경공학과 (공학박사)
- 1984년 2월 ~ 2002년 9월 : K-Water 책임연구원
- 2002년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 교수

<관심분야>

수공학, 엔트로피수리학, 방재공학

김 종 구(Jong Gu Kim)

[정회원]



- 1999년 2월 : 한국해양대학교
해양공학과 (공학사)
- 2021년 2월 : 부산대학교 사회환
경시스템공학과 (공학석사)
- 2021년 3월 ~ 현재 : 부산대학교
사회환경시스템공학과 (박사과정)
- 2010년 7월 ~ 현재 : 주식회사
대신종합기술 대표이사

<관심분야>

수자원, 해양공학, 방재공학, 재해협의

박 원 석(Won Sek Park)

[정회원]



- 2022년 2월 : 동아대학교 학사
- 2022년 3월 ~ 현재 : 부산대학교
사회환경시스템공학과 (석박사통
합과정)
- 2015년 8월 ~ 현재 : 한국피티피
(주) 대표

<관심분야>

수자원, 방재공학

최 현 구(Hyeon Gu Choi)

[정회원]



- 2014년 2월 : 한국해양대학교
건설공학과 (공학사)
- 2022년 8월 : 부산대학교 산업대
학원 토목공학전공 (공학석사)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 부산대학교
사회환경시스템공학과 (박사과정)

<관심분야>

수자원, 하천공학, 방재공학, 재해대책