해양기상인자를 고려한 조위 예측함수 개발

Development of Tidal Prediction Functions Considering Ocean Meteorological Factors

추태호* · 심상보** · 전해성*** · 추연문****

Choo, Taiho*, Sim, Sangbo**, Jeon, Haesung***, and Choo, Yeonmoon****

Abstract

The accurate calculation of tide levels is important in the design, construction, and management of structures associated with the sea or water areas. However, conventional tidal predictions only consider astronomical factors. Therefore, it is difficult to predict based on storm surges, oceanic weather and other factors. Herein, we presented a predictive function to accurately determine tide levels by considering marine factors. For the eastern coastal area, past forecasts and survey data were collected from three tide stations at the Korea Hydrographic and Oceanographic Administration. In addition, data of maritime factors such as wind speed, wave height, and wave period were collected from domestic buoy stations at the Korea Meteorological Administration. Logistic regression analysis was conducted to predict the occurrence of abnormal tides, and a new tidal prediction function was proposed through multiple regression analyses. The Bayesian Information Criterion (BIC) method was used to select variables, and accuracy verification through k-division cross-validation and Normalized-Root Mean Square Error (N-RMSE) was performed. For the latter, the values ranged from 3.37% to 12.03%. If continuous meteorological data are accumulated and marine meteorological data are acquired near the tidal observation point, tidal levels can be predicted more accurately.

Key words : Abnormal Tidal, Multiple Linear Regression, Logistic Regression, Tidal Prediction

요 지

해상이나 친수영역에서 구조물의 설계, 시공, 관리에 있어서 정확한 조위의 산정은 매우 중요하다. 그러나 종래의 조위예측은 천문학적 인자만을 고려하여 예보하고 있으며 이는 폭풍 해일, 해양기상 등에 의해 발생하는 이상조위를 예측하는 것은 어려움이 따른다. 그리하여 본 연구에서는 해양의 인자들을 고려한 정확한 조위의 예측을 위한 예측함수를 제시하였다. 동해연안지역을 연구대상지로 하여, 국립해양조사원의 조위관측소 3곳에서 수집한 과거의 예측 데이터와 실측 데이터를 사용하고 기상청의 국내등표, 국내부이 관측소에서 풍속, 파고 및 파주기 등의 해양인자를 고려하였다. 로지스틱 회귀분석을 통하여 관측소별 이상조위 발생여부를 예측하였고, 다중회귀분석을 통해 새로운 조위예측함수를 제안하였다. 변수를 선정하기 위하여 Bayesian Information Criterion (BIC)기법을 활용하였고, k-분할 교차검증과 Normalized-Root Mean Square Error (N-RMSE)를 통한 정확도 검증을 수행하였으며, N-RMSE값은 3.37%~12.03%로 나타났다. 향후 지속적인 기상자료의 축적과 조위관측지점 인근 해양기상자료를 취득한다면 보다 정확한 조위예측이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 이상조위, 다중회귀분석, 로지스틱회귀분석, 조위예측

*정회원, 부산대학교 사회환경시스템공학과 교수(E-mail: thchoo@Pusan.ac.kr)

Member, Professor, Department of Civil Engineering, Pusan National University

**부산대학교 사회환경시스템공학과 석사

Master Class, Department of Civil & Environmental Engineering, Pusan National University

***부산대학교 사회환경시스템공학과 박사과정

Ph.D Candidate, Department of Civil & Environmental Engineering, Pusan National University

****교신저자, 정회원, 부산대학교 BK21+사업단 계약교수(Tel: +82-51-510-7654, Fax: +82-51-513-9596, E-mail: chooyean@naver.com)

Corresponding Author, Member, Contract Professor, Brain Korea 21 Plus, Pusan National University

1. 서 론

일반적으로 연안지역 시설물 및 방파제 등의 경우 예측조위를 이용하여 설계를 하게 된다. 그러나 국내에서의 현행 조위 예측은 천문학적 인자만을 고려하고 있으며, 이로 인하여 태풍, 혹은 풍랑 등의 재해 시 이상조위에 대한 예측은 매우 어려운 실정이다. 조위편차 변동에 관한 연구로 Cho and Kang (2012)은 해안 구조물의 안전 및 기능검토를 위한 연구를 수행한바 있고, Kim and Kim (2013)은 황해 연안의 일평균 조위편차의 시공간적 변동 특성은 기압변동보다는 남-북 방향의 바람 영향이 우세하다고 보고했다. Kim et al. (2016)은 이상조위는 저기압의 이동에 따른 바람에 의해 발생한다고 보고했으며, Kang et al. (2011)은 30 cm 이상의 해일고만 선정하여 태풍에 의한 해일고와 계절풍에 의한 해일고를 분리하고 해일강도 분석을 수행하여 해역별 해일 발생의 계절 특성은 서해안에서 8월과 9월에 집중되는 태풍에 의한 해일강도에 비해 동계 계절풍에 의한 해일강도가 훨씬 크며, 남해안과 동해안에서는 태풍에 의한 해일고가 큰 반면에 계절풍에 의한 해일고는 미미하다는 결론을 내었다. 또한 Sim et al. (2019)은 국립해양조사원의 예측조위를 활용하는 풍랑피해예측함수를 개발하였으며, 풍랑을 예측하는 특수성에 따라 이상조위의 예측이 중요한 요소인 것으로 확인된다.

Sohn and Kim (2006)은 태풍이 발생한 기간을 선택하여 1993년부터 2003년까지의 3시간 간격 관측조위자료, 천문조위자료, 기상인자들을 사용하여 자기회귀오차모형을 적합하여 제주지점의 조위예측을 분석하였으며, Kwon and Kang (2007)은 Environmental Fluid Dynamic Code (EFDC) 모형을 이용하여 두 개의 격자망을 구축하고 조석 보정용 모델인 NAO.99의 기존결과를 위해 개방경계 조건에 적용하여 남해안의 조위 및 조류에 대한 수치모의를 실행 하였다. Jung (2010)은 제한된 분조의 위해 개방경계에서 조화상수를 가지고도 연안에서 관측된 조위자료를 활용하여 실시간으로 정확하게 조위 및 조류분포를 예측할 수 있는 방법을 제안하였다.

외국의 경우 Yen et al. (1996)은 칼만 필터링을 이용하여 단기 조위 예측을 통한 장기간의 조위를 예측하고자 하였고, Deo and Chaudhari (2002)는 신경망 모델을 이용하여 조류에 대한 예측을 실행하였다. 그리고 Vivekanandan and Singh (2003)은 신경망 모델과 유체의 특성을 이용하여 인도의 나블레이키에서의 조류를 예측하였으며, Tajfirooz et al. (2018)은 GIS를 이용한 페르시아 만의 조류예측을 위한 연구를 진행하였다.

기존의 연구들은 천문학적 인자만을 고려하여 조위 예측을 진행하여 대조기, 소조기 등 조위의 발생주기 예측에 매진하였다. 이상조위 예측을 수행하기 위하여 계절풍과 풍랑, 태풍에 의해 조위의 영향분석을 실시한내용이 있으나

이상조위의 발생유무 및 조위 예측을 고려하지는 않았다. 그리하여 본 연구에서는 기존의 조위예측자료와 해양기상 인자를 고려하여 통계기법을 적용한 이상조위의 발생유무 및 조위예측 함수를 개발하여 기존 개발된 조위예측의 정확도 향상을 도모하고자 한다.

2. 연구방법

본 연구에서는 국립해양조사원에서 제공하고 있는 시 단위 실측조위와 예측조위를 2017년까지 수집하였으며, 기상청에서 제공하는 해양기상부이 및 등표자료를 관측개시일로부터 2017년까지 수집하였다. 등급분류 사례조사를 통해 조위예측에 적용 가능한 인자를 선별하여 함수식 산정을 위한 설명변수로 사용하였다. 수집된 자료를 바탕으로 관측소별 이상조위 발생여부를 예측하고, 이상조위 발생시의 회귀계수를 산정하여 Normalized-Root Mean Squared Error (N-RMSE)를 통한 예측력 평가를 실시하여 동해연안 지역 3개 조위관측소에 대한 조위예측 함수식을 개발하였다. 조위예측함수의 연구개발 흐름도는 Fig. 1과 같다. 연구 흐름도에 따라 조위예측함수를 개발한 후 기존 개발된 풍랑피해예측함수의 예측조위에 활용하여, 최종적으로 풍랑피해예측함수의 정확도 향상에 도모하는 것이 연구의 목표이다.

Fig. 1. Tidal Prediction Function Flow Chart

2.1 기상자료 구축

국립해양조사원에서 제공하는 조위관측소별 과거 실측조위(관측 개시일~2017)와 스마트조석예보의 관측소별 예측조위(1956~2017)를 수집하였고, 기상청에서 관리하는 해양기상부이와 등표기상관측소의 풍속 및 풍향, 기압, 파고, 파주기, 파향 등의 자료 중 유의성이 높아 변수로 활용되고 있는 파주기 및 최대파고, 평균파고, 풍속, 해면기압의 자료를 각 관측소별 관측개시일부터 2017년까지 시 단위 자료로 수집하였다. 조위 관측소별 가장 인접한 기상청 자료를 선정하여 두자료를 가공해 데이터베이스화 하였다(Table 1).

Table 1. Tidal & Oceanographic Data Base

Station Name	Measurement Period	Oceanographic station / Measurement Period
Ulsan	1995.10 ~ 2017.12	Pohang / 2008.11 ~ 2017.12
Pohang	1970.12 ~ 2017.12	Pohang / 2008.11 ~ 2017.12
Hupo	2002.10 ~ 2017.12	Leedeokseo / 2009.08 ~ 2017.12

2.2 구간분류 및 독립변수 설정

본 연구에서는 조위예측함수의 성능을 검증하기 위하여 예측력 평가를 수행하였다. 예측력 평가를 위하여 우선적으로 시간의 순서를 고려하여 실측조위의 수집일자 3분의 2지점 이전의 자료를 학습용 데이터로 하여 회귀분석을 수행하고, 그 이후의 자료를 평가용 데이터로 하여 모형의 예측력을 평가하였다(Fig. 2).

Fig. 2. Classification of Prediction & Learning Section

독립변수의 선정을 위하여 Bayesian Information Criterion (BIC) 기법을 통해 독립변수를 선정하였다. BIC 기법이란 모델별 잔차와 변수의 개수로 Mean Squared Error (MSE)를 추정하는 방법으로 변수의 개수가 일종의 벌점 및 패널티의 형태로 작용하며, Eq. (1)과 같다.

$$BIC = n \times \ln\left(\frac{SSE}{n}\right) + (p+1)\ln(n) \quad (1)$$

이때 n 은 표본의 수이며, p 는 변수의 수, Error Sum of Square (SSE)는 모델이 가지는 오차이다.

BIC값은 모델의 잔차에 대한 값이기 때문에 BIC값이 작을수록 더 정확한 모델로 볼 수 있다. 다음의 Fig. 3은 속초 조위관측소의 독립변수에 대한 BIC 그래프이며, Table 2는 조위 관측소 세 곳의 변수 선정 결과이다. 모든 값을 변수로 사용할 경우 BIC값이 가장 작은 것으로 나타나, 지정한 모든 변수를 활용하여 조위예측함수 개발에 활용하였다.

Fig. 3. Selecting Variables Using BIC

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	
Wave	Mean wave period	
P_pre	Predict tidal (M)	

2.3 예측력 평가

예측력 평가의 지표로써는 Root Mean Square Error (RMSE)를 사용하였다. Normalized-Root Mean Square Error (N-RMSE)의 경우 예측력 분석에서 실제 값의 범위를 고려하기 때문에 객관성이 확보된다는 장점을 가지고 있으며, Eq. (2)와 같이 표현한다. 이 때 N-RMSE는 오차를 나타내는 지표로서 0과 1사이의 값을 가지기 때문에 0에 가까울수록 더 높은 예측력을 나타내며, 여기서 $y_{\max}$ 는 실제 값의 최댓값이고, $y_{\min}$ 은 실제 값의 최솟값으로 두 개의 차이를 통한 실제 값의 범위를 나타내고 있다.

$$NRMSE = \frac{SE}{(y_{\max} - y_{\min})} = \frac{\sqrt{\sum (Real - Predict)^2 / s \text{ average}}}{(y_{\max} - y_{\min})} \quad (2)$$

3. 조위예측함수 개발

앞서 구축한 기상자료를 기반으로 이상조위의 발생여부를 예측할 수 있는 로지스틱 회귀분석을 수행하고, 이상조위 발생 시 예측을 위한 다중회귀분석을 수행하였다. 연구지역은 동해 남동해역에 위치한 울산, 포항, 후포 조위관측소를 선정하였으며 각각의 관측소의 전체 데이터의 2/3 지점을 기준으로 학습구간과 예측구간을 분류하였다.

학습된 조위예측함수의 정확도를 검증한 후 최종적으로 전체 데이터를 활용한 최종 예측함수를 개발하였다.

3.1 회귀분석 기법

3.1.1 로지스틱 회귀분석

본 연구에서는 기상정보에 따른 이상조위 발생여부를 예측하기 위하여 로지스틱 회귀분석을 활용하였다. 로지스틱 회귀분석은 종속변수가 이진인 경우 사용되는 회귀분석 방법으로 본 연구에서는 이상조위의 발생, 미 발생으로 구분지어 분석하였다.

로지스틱 회귀분석의 기본 모형은 Eq. (3)과 같으며, 이상조위의 발생을 1, 미 발생을 0으로 설정하여 회귀분석을 수행하였으며, 발생여부의 기준이 되는 확률-경계값의 설정은 k-분할 교차검증을 통해 최적의 확률-경계값을 설정하였다(Fig. 4).

$$odds = \frac{P(A)}{P(A^c)} = \frac{P(A)}{1 - P(A)} \quad (3)$$

Fig. 4. K-Fold Cross Validation

3.1.2 다중회귀분석

다중 회귀분석은 두 개 이상의 설명변수들을 사용하여 반응변수를 예측하는 선형모형이다. 반응변수를 y , 설명변수 집합을 $X = (x_0, x_1, \dots, x_p)$, 회귀계수를 $\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)$ 라고 했을 때 반응변수는 설명변수와 회귀계수 사이의 선형결합에 의해 다음 Eq. (4)와 같이 표현된다.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p + \epsilon \quad (4)$$

앞서 수행한 BIC기법을 통하여 가장 적합한 변수를 선정하고, 해당 변수들을 설명변수로 설정하여 다중회귀분석을 수행하였다.

3.2 이상조위 예측함수 개발

Table 3은 앞서 설명한 독립변수 선정과 구간 분류를 활용하여 오픈소스 프로그램으로 통계 또는 데이터마이닝에 많이 활용되는 R프로그램의 로지스틱회귀분석을 통하여 이상조위 발생여부를 예측하고, 다중회귀분석을 통해 관측소별 회귀계수를 나타낸 표이다.

여기서 Intercept는 회귀계수의 상수를 의미하며, P_pre, Wind, T_max, T_ave, hPa, Wave_ave는 각각 예측조위, 평균 풍속, 최대파고, 평균파고, 해면기압, 평균 파주기를 의미한다.

Table 3의 회귀계수를 적용하는 식은 Eq. (3)과 같으며, 이때의 확률-경계(pcut)는 0.809로, 로지스틱 회귀분석을 통해 나타난 값이 0.809보다 작을 경우 일반조위로 분류하고, 0.809보다 높을 경우 이상조위로 분류하여 다중회귀분석을 실시하였다.

Table 3. Logistic Regression Coefficient

Variable Name	Station Name		
	Ulsan	Pohang	Hupo
Intercept	2.03E+01	6.77E+00	1.24E+00
month	6.30E-03	6.30E-03	6.30E-03
Wind	-7.39E-04	-4.24E-04	3.46E-04
T_max	-1.77E-02	-1.77E-02	-1.77E-02
T_ave	9.24E-02	2.75E-02	2.26E-02
hpa	-2.04E-02	-6.11E-03	-2.48E-04
Wave_ave	9.01E-04	9.01E-04	9.01E-04
P_pre	2.68E-02	1.12E-02	-4.81E-04
N-RMSE	3.37%	12.03%	11.02%
p-cut: 0.809			

Tables 4와 5는 이상조위의 발생여부 예측에 따른 다중회귀분석 결과이다. 이상조위 예측 회귀모델과 일반조위 예측 회귀모델에 대한 회귀계수를 나타내었다.

여기서 변수들은 로지스틱 회귀분석의 변수들과 대부분 동일하며, 'Month'가 포함된 변수들은 해당 변수에 월별 변화량 반영하기 위하여 추가한 변수들이다. N-RMSE를 통한 예측력평가 결과 울산 3.37%, 포항 12.03%, 후포 11.02%로 나타났다.

Table 4. Multiple Linear Regression Coefficient (Normal Tidal)

Variable Name	Normal Tidal		
	Ulsan	Pohang	Hupo
Intercept	3.E+01	2.E+01	1.E+01
month	-1.E+00	-1.E+00	-1.E+00
Wind	1.E-03	2.E-03	2.E-03
T_max	-4.E-02	-4.E-02	-4.E-02
T_ave	3.E-02	-4.E-02	-4.E-02
hpa	-3.E-02	-1.E-02	-7.E-03
Wave_ave	3.E-02	3.E-02	3.E-02
P_pre	-9.E-03	-9.E-03	-9.E-03
month:P_pre	3.E-03	3.E-03	3.E-03
month:hPa	1.E-03	1.E-03	1.E-03
month:T_max	3.E-03	3.E-03	3.E-03
month:Wave_ave	-2.E-03	-2.E-03	-2.E-03
month:Wind	-8.E-04	-8.E-04	-8.E-04

Table 5. Multiple Linear Regression Coefficient (Abnormal Tidal)

Variable Name	Abnormal Tidal		
	Station Name		
	Ulsan	Pohang	Hupo
Intercept	3.E+00	-1.E+01	-2.E+01
month	1.E+00	1.E+00	1.E+00
Wind	2.E-03	2.E-03	3.E-03
T_max	-1.E-02	-1.E-02	-1.E-02
T_ave	6.E-02	-7.E-03	-1.E-02
hpa	-2.E-04	1.E-02	2.E-02
Wave_ave	8.E-03	8.E-03	8.E-03
P_pre	1.E-02	-1.E-03	-1.E-02
month:P_pre	-1.E-04	-1.E-04	-1.E-04
month:hPa	-1.E-03	-1.E-03	-1.E-03
month:Wind	2.E-04	2.E-04	2.E-04
month:T_ave	-8.E-04	-8.E-04	-8.E-04

Tables 4와 5의 조위예측함수 원형은 Eq. (5)와 같으며, 다시 안티로그를 취하여 최종적으로 Eq. (6)을 통해 각 관측소 별 조위를 산정하였다.

$$\text{Log}(y) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p + \epsilon \quad (5)$$

$$\hat{Y} = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p + \epsilon) \quad (6)$$

여기서 β_0 는 산정된 회귀계수 중 Intercept를 의미하며, $\beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p + \epsilon$ 은 각각의 독립변수를 의미한다.

산정된 식과 회귀계수를 통하여 분석한 결과 다음의 Fig. 5와 같이 나타났다. Fig. 5는 산정된 함수식을 이용하여 울산 지역 2015년 1월~11월의 조위자료를 비교한 그래프로, 상단의 그래프는 파란색의 실측조위 데이터와 주황색의 스마트 조석예보에서 과거에 제공했던 예보조위 및 회색의 본 연구에서 제안한 함수식을 통해 예측하게 되는 조위를 비교한 그래프이고 아래의 그래프는 이 중 조위 값에 이상치를 보였던 일부분을 확대한 그래프이다. 결과를 보게 되면 본 연구에서 제안하는 예측조위의 결과가 전체적으로 국립해양조사원에서 제공하는 데이터보다 상대적으로 잘 맞는 것을 확인할 수 있으며, 4월, 5월 및 9월 등의 순간적인 해상의 영향으로 상승하게 되는 이상조위에 대해서 비교적 잘 예측하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 조위를 예측할 때 해수면의 변화를 반영할 수 있도록 현행 예측조위에 해양인자를 함께 고려하는 새로운 형태의 조위예측 함수를 제시하였다. 또한 이상조위의 발생여부를 로지스틱 회귀분석을 통해 예측하고, 이에 따른 다중회귀분석을 수행하여 조위예측함수를 개발하였다. 일반적으로 조류에 의한 조위를 예측하는 것은 쉽지 않은

Fig. 5. Ulsan Tidal Station Comparative Analysis (2015.01.01~2015.11.30)

일이나, 본 연구에서 제안한 식을 통해 산정된 조위와 실제조위를 비교한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 예측력 평가를 통해 가장 적합한 모델을 선택함으로써 조위예측모형에 대한 신뢰도를 향상시켰으며 지점별 N-RMSE는 울산: 3.37%, 포항: 12.03%, 후포: 11.02%로 나타났다.
- (2) 정확도가 가장 낮은 포항지점은 조위 관측소와 해양기상관측소의 거리가 가장 멀었으며, 이로 인하여 실제 이상조위 발생 시 정확한 기상자료의 부재로인해 정확도가 낮은 것으로 확인되었다.
- (3) 통계기법을 바탕으로 조위예측 기술개발을 통해 조위 자료를 활용하는 관련 연구개발에 연계활용이 가능하고 해양구조물의 설계 시 적용 가능할 것으로 판단된다.
- (4) 조위관측소와 해양기상인자 수집 위치가 상이하여 정확도가 부족한 것으로 판단되며, 이에 대한 자료의 추가 수집 등을 통해 더욱 정확한 조위예측으로 재해 발생 이전에 사전대비가 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정부(행정안전부)의 제원으로 재난안전기술사업단의 지원을 받아 수행된 연구임(MOIS-재난-2015-05).

References

Cho, H., and Kang, J.W. (2012). Probability density function of the tidal residuals in the Korean coast. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol. 24, No. 1, pp. 1-9.

Deo, M.C., and Chaudhari, G. (2002). Tide prediction using neural networks. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 13, No. 2, pp. 113-120.

Jung, T.S. (2010). A method for improvement of tide and tidal current prediction accuracy. *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, Vol. 13, No. 4, pp. 234-240.

Kang, J.W., Kim, Y.S., Cho, H.Y., and Shim, J.S. (2011). Characteristics of nearshore surge-intensity. *Journal*

of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Vol. 23, No. 6, pp. 458-465.

Kim, H.K., and Kim, Y.T. (2013). Characteristics of spatio-temporal variability of daily averaged tidal residuals in Korea coasts. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 19, No. 6, pp. 561-569.

Kim, H.K., Kim, Y.T., and Lee, D.H. (2016). The cause of abnormal tidal residuals along the coast of the Yellow Sea in November 2013. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 22, No. 4, pp. 344-353.

Kwon, S.J., and Kang, T.S. (2007). Numerical simulation for behavior of tidal elevation and tidal currents in the south sea. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol. 19, No. 3, pp. 253-265.

Sim, S., Kim, Y., and Choo, Y.M. (2019). A study on the prediction function of wind damage in coastal areas in Korea. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 20, No. 4, pp. 69-75.

Sohn, K.T., and Kim, B.S. (2006). Prediction of tide heights in Jeju using multiple regression model with autoregressive error process. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, Vol. 8, No. 1, pp. 215-225.

Tajfirooz, B., Arabsheibani, R., and Behnia, S. (2018). GIS-based seamless tide prediction framework in the Persian Gulf. *Annals of GIS*, Vol. 24, No. 2, pp. 139-150.

Vivekanandan, N., and Singh, C.B. (2003). Prediction of tides using hydrodynamic and neural network approaches. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, Vol. 32, No. 1, pp. 25-30.

Yen, P.H., Jan, C.D., Lee, Y.P., and Lee, H.F. (1996). Application of Kalman filter to short-term tide level prediction. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 122, No. 5, pp. 226-231.

Received	October 11, 2019
Revised	October 15, 2019
Accepted	November 4, 2019