Regular paper

Journal of the KIECS. pp. 891-898, vol. 12, no. 5, Oct. 31 2017, t. 85, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2017.12.5.891

관측치를 이용한 적응적 조위 예측 방법

박상현*

Adaptive Sea Level Prediction Method Using Measured Data

Sang-Hyun Park*

요 약

기후변화 등으로 해안 침수 등의 피해가 증가하고 있으며, 이러한 피해를 줄이기 위해 해양을 지속적으로 모니터링하기 위한 연구들이 진행되고 있다. 본 논문에서는 해수면의 변화를 모니터링하기 위한 조위 센서에 적용할 수 있는 조위 예측 모델을 제안한다. 기존의 조위 예측 모델은 장기적인 예보를 위한 것으로 많은 데이터와 복잡한 알고리즘이 필요하다. 반면, 제안하는 알고리즘은 조위 센서에 탑재되어 동작할 수 있는 간단하지만 정확한 알고리즘으로, 센서에 의해 측정된 데이터를 기반으로 한 시간 또는 두 시간의 비교적 짧은 시간 후의 조위를 예측한다. 실험 결과는 제안하는 알고리즘이 간단하지만 정확하게 조위를 예측하는 것을 보여준다.

ABSTRACT

Climate changes consistently cause coastal accidents such as coastal flooding, so the studies on monitoring the marine environments are progressing to prevent and reduce the damage from coastal accidents. In this paper, we propose a new method to estimate the sea level which can be applied to the tidal sensors to monitor the variation of sea level. Existing sea level models are very complicated and need a lot of tidal data, so they are not proper for tidal sensors. On the other hand, the proposed algorithm is very simple but precise since we use the measured data from the sensor to estimate the sea level value in short period such as one or two hours. It is shown by experimental results that the proposed method is simple but predicts the sea level accurately.

키워드

Sea Level Prediction, Ocean Environment Monitoring, Ocean Sensor, Real-Time Prediction
조위 예측, 해양 환경 감시, 해양 센서, 실시간 예측

Ⅰ. 서 론

우리나라는 바다와 인접해 있어 환경적으로 바다로부터 많은 영향을 받고 있다. 최근 예측할 수 없는 기후변화에 대응하기 위해 세계적으로 해양에 대한 정보를 수집하고 이를 분석하는 노력이 이루어지고 있으며, 우리나라도 해양 환경을 모니터링하기 위한 시설을 갖추고 정보를 수집하여 분석하고 이를 실시간으로 제공하고 있다. 최근에는 센서 기술의 발달과 통신 기술을 발달로 이를 활용한 센서 네크워크 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 이를 해양에 적용한 해양 센서 네트워크도 활발히 연구가 진행되고 있다[1-4]. 이 연구들에서는 다양한 해양 정보를 수집하는 센서들이 지능적으로 네트워크를 형성하여 수집된 정보를 중앙 관리 시스템으로 전송함으로써 환경에 대한 모니터링과 제어가 가능하게 하는 방법들이 논의되고 있다[1].

해양 정보를 수집하고 분석하기 위한 노력들이 이

* 순천대학교 멀티미디어공학과 교수
• 접 수 일 : 2017. 08. 08
• 수정완료일 : 2017. 09. 13
• 게재확정일 : 2017. 10. 18
• Received : Aug 08, 2017, Revised : Sep 13, 2017, Accepted : Oct 18, 2017
• Corresponding Author : Sanghyun Park
Dept. Multimedia Engineering, Sunchon National University,
Email : shark@scnu.ac.kr

루어지고 있으나 아직 해양을 분석한 자료가 미비한 수준이고 많은 부분들이 현재 미개척지로 남아있는 상황이다. 기후변화로 인한 해수면 상승 등으로 전 세계적으로 태풍, 해일 등의 풍수해 피해가 발생하지만 정확한 예측이 이루어지지 않아 피해를 미리 예방하지 못하고 있는 실정이다. 우리나라의 경우도 해수면의 높이를 의미하는 조위를 측정하기 위해서 전국 해안지역에 46개의 조위관측소만 설치하고 있는 실정이다. 이들 관측소에서 수집된 정보는 무선 인터넷망을 이용하여 실시간으로 제공하고 있지만 조위는 해당지역의 지형과 해류의 영향을 받기 때문에 지역마다 편차가 있어 각 지역에 맞는 정확한 정보를 제공하는 데는 한계가 있다[5].

최근에는 간단한 형태의 다양한 조위 측정 장치들이 개발되고 있어 필요한 지역에 설치하는 데는 큰 어려움이 없는 실정이다[6-8]. 다만, 이 장치들을 활용하기 위한 응용에 대한 관심이 부족한 상황이다. 또한, 현재 연구되고 있는 조위 예측 알고리즘은 매우 복잡하고 많은 데이터를 필요로 하기 때문에 실시간으로 조위를 예측하여 위험을 알려주는 센서 네트워크 응용에는 적절하지 않다. 본 논문에서는 해안 지역에 설치된 조위 측정 센서들에 적용 가능한 간단한 형태의 조위 예측 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 많은 데이터와 복잡한 알고리즘을 적용하지 않았지만 해안 침식 등의 재해를 예보하기에는 충분한 정확도를 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 조위의 특성과 기존 조위 분석 알고리즘들에 대해서 설명한다. 3장에서는 간단한 형태의 조위 센서에 적용될 수 있는 조위 예측 방법을 제안하고, 4장에서는 제안하는 알고리즘의 성능을 분석한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

우리나라는 현재 46개의 조위관측소에서 조위를 측정하여 정보를 제공하고 있다. 조위 예측 정보의 경우 조위관측소에서 관측된 정보를 1시간 단위로 보정한 365일 분의 데이터를 바탕으로 조화분석을 통하여 예보조위를 생성한다. 조화분석은 주기 함수의 합의 형태로 조위를 표현하는 것으로 실측 데이터를 이용하여 조화상수를 구하고 이를 이용하여 예측함수를 결정하는 방법이다. 우리나라에서는 64개의 주기 함수를 이용하며 조위를 예측하고 있으며 그 식은 다음과 같다[9-11].

$$x(t) = S_0 + \sum_{n=1}^{64} f_n h_n \cos[w_n t + (V_n + u_n) - k_n] \quad (1)$$

여기서 $x(t)$는 예보조위, S_0는 1년 동안의 평균해수면을 나타낸다. f_n 은 기조력의 장주기를 보정하기 위한 변수이고 h_n은 각 주기함수의 진폭을 위한 변수이다. 주기와 관련된 파라미터로 각 속도를 나타내는 w_n과 위상을 나타내는 V_n, 위상을 보정하기 위한 u_n, 그리고 각 주기함수의 지각을 의미하는 k_n이 사용된다.

실측 자료가 없는 지역에 대한 예보조위는 격자 모델을 이용한 수치모델을 적용하여 값을 구하게 되는데 이때는 8개의 주기함수를 이용하여 계산하게 된다. 이 경우 예측치가 평균 15%에서 최대 20%까지 오류를 발생시키는 것으로 조사되고 있다[9]. 또한, 식(1)에 의한 예보조위는 기조력에 의한 예측으로 실제 조위가 지역 특성에 따른 해일 성분과 기후에 따른 파랑 성분이 더해져서 최종적으로 결정되기 때문에 추가적인 오차를 발행시키게 된다. 따라서 조위관측소 데이터를 기반으로 한 예측 정보는 참고할 가치는 있지만 신뢰하기에는 어려움이 있는 실정이다.

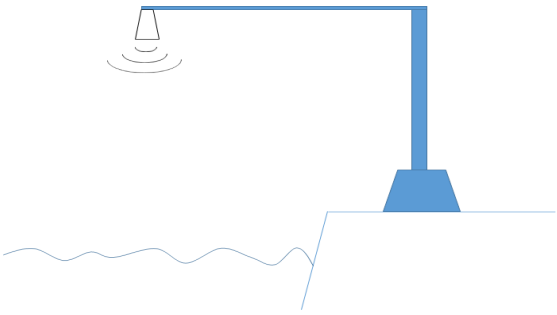


그림 1. 센서를 이용한 조위 측정 장치
Fig. 1 Sea level measurement equipment with sensor

최근 기술의 발달로 조위를 측정하기 위한 간단한 장비들이 개발되고 있다. 그림 1과 같이 연안 부두에 간단한 구조물 설치하고 레이더나 레이저 또는 초음파를 이용하여 조위를 측정하는 장치가 사용되고 있으며, GPS 수신기와 이동 단말기를 이용한 부표 형태의 저렴한 조위 측정 장치도 제안되었다[6-8].

이상 기후에 따라 해안 침수 등의 피해가 자주 발생하는 것을 고려하면 간단한 형태의 센서를 이용하여 조위를 측정하고 측정된 데이터를 바탕으로 조위를 예측하여 필요한 경우 위험을 알리는 서비스가 필요하다. 하지만 식 (1)을 적용하기 위해서는 많은 데이터를 축적하여야 하고 조화상수를 계산하기 위해서는 많은 계산이 이루어져야 하기 때문에 추가 비용이 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 이동단말과 같은 간단한 장비에도 적용 가능한 관측 데이터를 이용한 조위 예측 알고리즘을 제안한다.

III. 제안하는 조위 예측 방법

조석은 주로 지구와 태양, 달의 상호 작용에 의하여 발생하며, 여러 가지 주기를 가지는 성분들로 구성되어 있다. 그림 2는 2017년 1월에 광양 조위관측소에 측정된 조위 데이터를 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 조위 데이터는 여러 주기 함수들로 구성되어 있는 것을 볼 수 있다.

일반적으로 조위에 영향을 주는 것은 네 가지 성분의 주기로 알려져 있다. 기조력에 가장 큰 영향을 미치는 것은 달에 의한 영향으로 그 주기가 24시간 50분이며 이를 주태음반일주조라고 한다. 나머지 세 가지는 달의 공전 주기에 의해 만들어지는 주태음일주조, 지구의 자전에 의해 태양이 일주 운동을 함으로써 발생하는 주태양반일주조와 태양과 달의 상대적인 위치변화로 인한 일월합성일조로 구성된다. 조위에 미치는 영향은 주태음반일주조의 영향을 1이라고 할 때 상대적으로 주태음일주조는 0.415, 주태양반일주조는 0.466, 일월합성일주조는 0.548의 영향을 미친다[11].

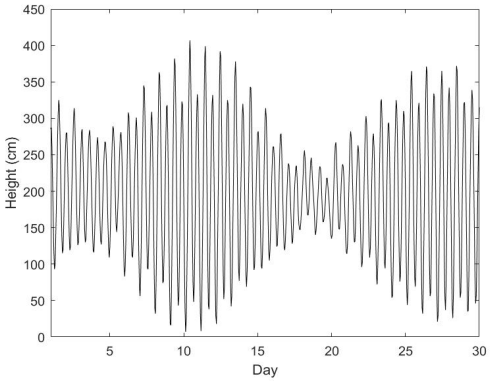


그림 2. 광양 조위관측소에서 측정된 2017년 1월 조위 데이터
Fig. 2 Measured data of Jan. 2017 from Gwangyang observatory

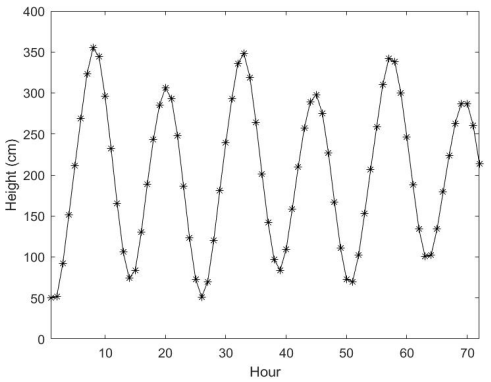


그림 3. 3일간의 시간별 조위 데이터
Fig. 3 Hourly sea level data for three days

본 논문에서는 조위에 가장 큰 영향을 미치는 24시간 50분의 주태음반일주조 성분만을 고려하고 관측값에 대한 지수평활법을 적용하여 짧은 시간에 대한 조위를 예측하는 알고리즘을 제안한다. 그림 3은 3일에 걸쳐 1시간 단위로 측정된 조위 데이터를 보여준다. 그림을 보면 하루에 두 번의 조석이 이루어짐을 알 수 있고 또한 첫 번째 파와 두 번째 파가 특성이 다른 것을 알 수 있다. 하지만 매일의 첫 번째 파들과 두 번째 파들은 각각 크기가 점진적으로 변하는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 조위를 예측할 때 현재의 값과 주태음반일주조의 주기인 24시간 50분 전의 조위 값을 이용한다. 즉, 시간 t에서 측정된 조

위 값 $x(t)$에 대해서 $t+k$ 시점에서의 조위 값 $\hat{x}(t+k)$을 수식 (2)와 같이 예측한다.

$$\hat{x}(t+k) = x(t) + \hat{\delta}(t,k), \quad (2)$$
$$\hat{\delta}(t,k) = x_p(t+k) - x_p(t). \quad (3)$$

여기서 $\hat{\delta}(t,k)$은 24시간 50분 전의 동일한 파형의 변화량을 의미한다. 본 알고리즘에서는 데이터의 수를 줄이기 위해서 시간 당 측정된 데이터를 저장한다. $\hat{\delta}(t,k)$을 구하기 위해서는 시간 t와 $t+k$에 24시간 50분을 뺀 시간의 조위 값이 필요하지만 매 시간에 대한 데이터만 있기 때문에 인터폴레이션을 적용하여 해당 값을 구한다. $x_p(t)$는 시간 t에서 24시간 50분을 뺀 시간의 조위 값으로 식 (4)와 같이 인터폴레이션을 적용하여 계산한다.

$$x_p(t) = \frac{5 \times x(t-25)}{6} + \frac{x(t-24)}{6}. \quad (4)$$

식 (2)는 전체 파형의 크기인 조차가 일정하게 유지된다는 가정 하에서는 잘 맞을 수 있다. 하지만 그림 2에서 볼 수 있듯이 전체 파형의 크기는 점진적으로 변하기 때문에 이에 대한 이에 대한 고려가 필요하다.

조차에 대한 점진적인 변화를 모델링하기 위하여 먼저 그림 4와 같이 하루에 해당하는 두 개의 파를 각각 w_1과 w_2로 구분하고 각각에 조차를 d_1과 d_2로 정의한다.

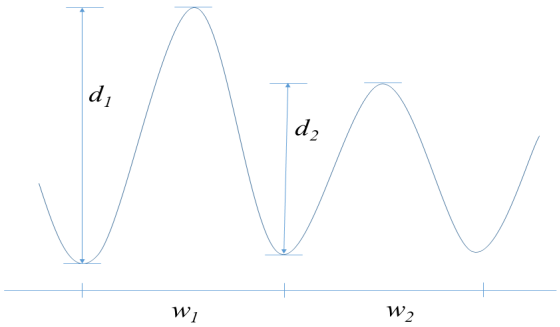


그림 4. 하루에 해당하는 두 개의 파와 조차
Fig. 4 Two waves of a day and tidal difference

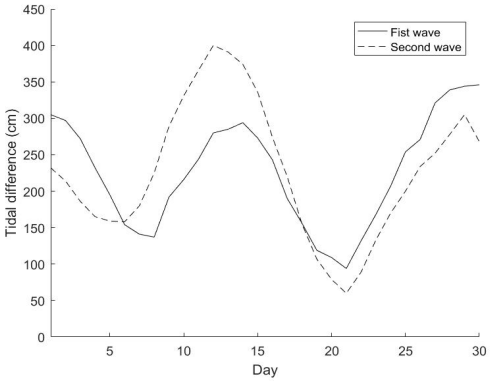


그림 5. 날짜별 첫 번째 파와 두 번째 파의 조차
Fig. 5 Daily tidal differences of the first and the second waves

다음으로, 조차 $d_1(n)$과 $d_2(n)$의 특성을 분석하였다. 그림 5는 1월 데이터에 대한 첫 번째 파와 두 번째 파의 조차를 날짜별로 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 처음에는 w_1의 조차가 크지만 점점 작아져서 w_2가 더 커지다가 다시 w_1이 커지는 과정이 반복되는 것을 알 수 있다. 이 결과를 통해 두 개의 파가 서로 다른 특성을 가지는 것을 확인할 수 있다.

다음으로 w_1과 w_2의 조차 변화율을 분석하였다. 조차의 변화율은 인접한 두 파의 조차비로 식 (5)와 같이 정의한다.

$$r_1(n) = \frac{d_1(n)}{d_1(n-1)}, \quad (5)$$
$$r_2(n) = \frac{d_2(n)}{d_2(n-1)}.$$

그림 6은 조차변화율 결과를 보여준다. 조차의 경우 두 파의 값이 서로 다르게 변하였지만 조차변화율은 서로 유사한 것을 알 수 있다.

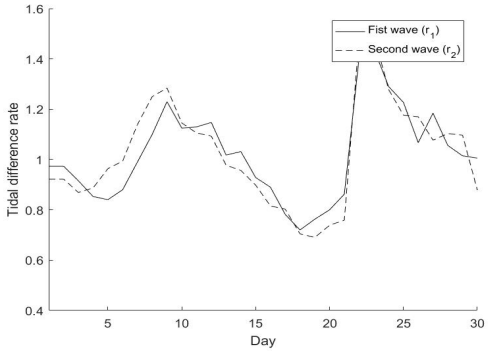


그림 6. 날짜별 첫 번째 파와 두 번째 파의 조차 변화율
Fig. 6 Daily tidal differences rate of the first and the second waves

본 논문에서는 조차의 변화를 지수 평활법을 이용하여 모델링하고 이를 조위 예측에 반영한다. 조차의 변화도 점진적으로 변하기 때문에 조차의 변화에 바로 지수 평활법을 적용할 수 있지만 이때는 24시간 50분 전의 데이터를 이용하게 된다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 조차변화율은 w_1과 w_2이 유사하기 때문에 조차 변화율에 지수 평활법을 적용하면 12시간 25분 주기로 조차 변화율을 갱신할 수 있어 보다 정확한 예측 결과를 얻을 수 있다. 따라서 제안하는 방법에서는 두 파형의 조차변화율을 합친 데이터에 지수 평활법을 적용한다. 하루에 두 번씩 측정된 조차값의 변화율에 지수 평활법을 적용하기 위하여 조차변화율에 대한 시계열 데이터를 다음과 같이 정의한다.

$$r = [r_1(1),\ r_2(1),\ \dots,r_1(i),\ r_2(i),\ \dots]. \quad (6)$$

첫 번째 파형과 두 번째 파형의 조차변화율을 시간별로 나열한 시퀀스 r에 대해서 식 (7)과 같이 이중 지수 평활법을 적용하여 s번째 파형의 조차변화율 $\hat{r}(s)$을 예측한다.

$$\begin{aligned} \hat{r}(s) &= \alpha \cdot r(s) + \\ &\quad (1-\alpha)(\hat{r}(s-1) - b(s-1)) \\ b(s) &= \beta(\hat{r}(s) - \hat{r}(s-1)) + \\ &\quad (1-\beta) \cdot b(s-1) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 α와 β는 모델 파라미터이다.

조차변화율은 식 (2)에서 $\hat{\delta}(t,n)$를 적용할 때 가중치 형태로 반영된다. 따라서 최종 조위 예측은 식 (2)에 조차변화율을 적용하여 식 (8)과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} \hat{x}(t+k) &= x(t) + \hat{r}(s) \cdot \hat{\delta}(t,k), \\ s &= ceil\left(\frac{t}{12+5/12}\right). \end{aligned} \quad (8)$$

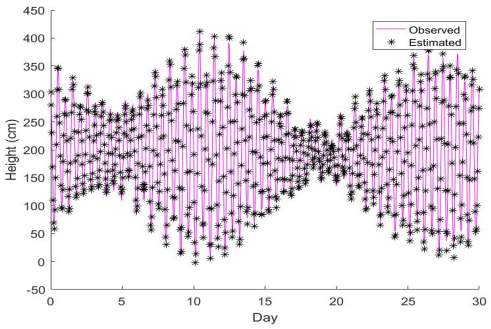
여기서 s는 예측할 조위가 속한 파형의 번호로 현재 시간을 12시간 25분의 주기로 나눈 뒤 올림하여 결정한다. 매 파형마다 조위변화율을 식 (7)을 이용하여 업데이트하고 이를 이용하여 조위를 예측한다.

Ⅳ. 실험결과

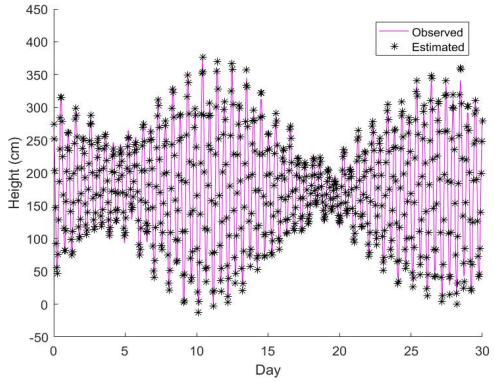
제안하는 알고리즘의 검증을 위해 국립해양조사원에서 제공하는 조위 관측값을 이용하였다. 광양 조위관측소와 여수 조위관측소에서 2017년 1월부터 3월까지 매 시간 측정된 값을 이용하여 제안하는 알고리즘을 적용하고 예측의 정확성을 확인하였다.

그림 7은 광양과 여수에서 측정된 1월 조위 데이터에 대해서 제안하는 알고리즘을 적용하여 예측한 결과를 보여준다. 비교적 정확하게 조위를 예측하는 것을 알 수 있다.

제안하는 알고리즘은 측정된 값에 대해서 한 시간이나 두 시간 정도 뒤의 조위를 예측하기 위한 알고리즘이다. 따라서 기존의 조화모델을 이용하여 장기적인 예측을 하는 것보다 간단하면서도 정확하다. 하지만 실제 조위의 변화 특성을 보면 짧은 시간 뒤의 조위 예측도 쉽지는 않다는 것을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 7. 1월 조위 데이터에 대한 예측치와 관찰치 비교 (a) 광양, (b) 여수

Fig. 7 Comparison of estimated values and observed values with sea level data of January (a) Gwangyang, (b) Yeosu

그림 8을 한 시간 단위로 측정된 조위의 변화량을 보여준다. 짧은 시간 단위에서도 조위가 일정하지 않은 속도로 변하기 때문에 예측하는 것이 쉽지 않다는 것을 알 수 있다. 실험에 사용된 광양에서 측정된 3개월 데이트를 분석해보면 조위의 시간당 변화율은 평균이 34.87 cm 이고 최대값은 84 cm 이며, 표준편차는 41.12의 값을 가진다.

표 1과 2는 제안된 알고리즘을 이용하여 각각 한 시간 후의 조위와 두 시간 후의 조위를 예측한 값과 실제 측정된 값과의 차이에 대한 평균을 보여준다. 식 (2)는 24시간 50분 주기의 주태음반일주조 성분만을 고려하여 조위를 예측하고 식 (8)은 가장 높은 조위와 가장 낮은 조위의 차인 조차의 변화율을 지수평활법으로 예측하고 그 값을 가중치로 형태로 예측에 반영한다. 제안하는 방법인 식 (8)의 경우 한 시간 후의 예측 결과를 보면 평균 5cm 미만의 오류가 발생하는 것을 알 수 있다. 두 시간 후의 예측에 대해서도 평균 10cm 미만의 오차만 발생하는 것을 알 수 있다.

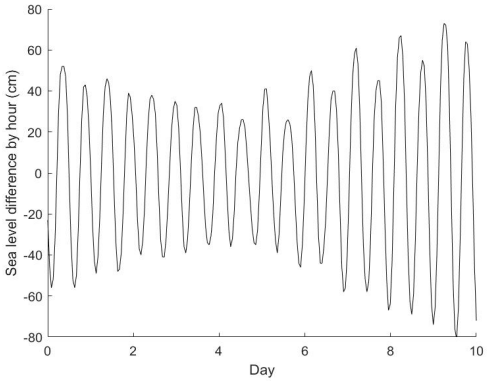


그림 8. 시간 당 해수면의 높이 변화

Fig. 8 Sea level difference by hour

표 1. 식 (2)와 식 (8)에 의한 1시간 후 예측에 대한 평균 오류 비교

Table 1. Comparison of average estimation error from the results of one hour estimation by Equation (2) and (8)

Observed Sea Level Data		Average Estimation Error (cm)	
		Equation (2)	Equation (8)
Gwang-yang	Jan.	7.18	3.28
	Feb.	8.60	4.36
	Mar.	9.09	4.40
Yeosu	Jan.	6.52	3.72
	Feb.	7.91	4.01
	Mar.	8.36	3.94

표 2. 식 (2)와 식 (8)에 의한 2 시간 후 예측에 대한 평균 오류 비교

Table 2. Comparison of average estimation error from the results of two hours estimation by Equation (2) and (8)

Observed Sea Level Data		Average Estimation Error (cm)	
		Equation (2)	Equation (8)
Gwang-yang	Jan.	13.68	7.82
	Feb.	16.42	9.08
	Mar.	16.12	8.93
Yeosu	Jan.	12.49	6.86
	Feb.	15.17	8.98
	Mar.	14.99	8.56

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 해안지역에 설치하여 침수피해 등을 미리 알려주는 조위 센서에 적용 가능한 조위 예측 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 방법은 파형의 주기함수 성분을 분석하여 장기적인 조위의 예측을 수행하는 것이 아니라 실제 측정된 값을 이용하여 비교적 짧은 기간에 대해서 조위를 예측하는 알고리즘이다. 광양과 여수에서 측정된 조위 데이터를 이용하여 알고리즘을 검정하였을 때 비교적 간단한 형태의 알고리즘이지만 비교적 정확하게 2시간 내의 조위를 예측하는 것을 확인할 수 있었다.

2017년 6월 슈퍼문 현상으로 전남의 여러 지역이 침수 피해를 입었다. 하지만 슈퍼문과 같은 동일한 현상에 대해서 지역적인 편차로 피해상황은 지역마다 매우 다르게 나타났다. 본 논문에서는 조위센서를 설치하고 관측된 값을 이용하여 예측하면 쉽게 단기간 조위 정보를 예측할 수 있음을 보였다. 따라서 본 알고리즘은 조위 센서에 적용되어 해안 지역에서 발생할 수 있는 침수 등의 사고에 대해서 주민 대피 등의 예방 활동을 수행하는 응용에 활용될 것으로 기대된다.

References

[1] S. Park, S. Park, S. Kim, and C. Kim, “Technologies on Underwater Communications and Ocean Oriented WSN,” *J. of Korea Information Science Society*, vol. 28, Jul. 2010, pp. 79-88.

[2] G. Xu, S. Weiming, and W. Xianbin, "Applications of Wireless Sensor Networks in Marine Environment Monitoring: A survey." *Sensors*, Sep. 2014, pp. 16932-16954.

[3] J. Jo, “Drone Based Sensor Network Scenario for the Efficient Pedestrian’s EEG Signal Transmission,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communications Sciences*, vol. 11, Sep. 2016, pp. 923-928.

[4] Y.-H. Tscha, “Generation of Dumy Message Depending Upon the Location Privacy Level in Sensor Networks,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communications Sciences,* vol. 11, Sep. 2016, pp. 861-867.

[5] S. Park, “A Study on Strategy for Building of USN for Coutermeasure of Changing Climate,” In *Proc. Symp. of the Korean Institute of communications and information Sciences*, Jun. 2009, pp. 895-897.

[6] S. Kim, “Laser Measuring Device for Tide Level and Laser Measuring Method for Tide Level,” *Korea Patent 1014385770000,* Sep. 2014.

[7] S. Erol, "Time-Frequency Analyses of Tide-Gauge Sensor Data." *Sensors,* Apr. 2011, pp. 3939-3961.

[8] B. Lee and J. Ko, “Appratus and Method for Measuring the Height of a Wave by Using a Mobile Phone,” *Korea Patent 1014426760000*, Sep. 2014.

[9] I. Moon, I. Oh, and Y. Youn, “A Numerical Study on the Real-time Sea Level Prediction along the Western Coast of Korea,” *Asia-Pacific J. of Atmospheric Sciences,* Apr. 2000, pp. 203-218.

[10] Y. Lee, “A Study on the Tidal Harmonic Analysis and Long-term Sea Level Ocillations at Incheon Bay,” *J. of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Oct. 2010, pp. 505-513.

[11] S. Lee, H. Kwak, J. Kim, E. Lee, J. kim, and K. Jeon, “The Study on Estimate of Tidal Power Using Matlab T-tide Based on Tide Prediction,” In *Proc. Korean Institute of Electrical Engineering Summer Conference*, Jun. 2015, pp. 1408-1049.

저자 소개

박상현(Sang-Hyun Park)

1995년 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1997년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
2002년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
2004년 순천대학교 멀티미디어공학과 교수
※ 관심분야 : 영상처리, 패턴인식