

## 한반도 연안 비조석 성분자료의 통계적 특성 Statistical Characteristics of the Non-tidal Components Data in Korean Coasts

조흥연\* · 정신탉\*\* · 윤종태\*\*\* · 김창일\*

Hong Yeon Cho\*, Shin Taek Jeong\*\*, Jong Tae Yoon\*\*\* and Chang Il Kim\*

**요 지** : 우리나라 연안 비조석 성분자료의 확률밀도함수 형태로 쌍봉형 정규분포 함수 형태를 제안하였다. 비조석 성분 자료는 국립해양조사원에서 제공하는 인천, 군산, 목포, 제주, 여수, 마산, 가덕도, 부산, 포항, 속초, 김조소의 1시간 간격 조위자료에서 64개 분조성분을 이용하여 합성된 성분을 제외한 잔차성분이다. 제안된 분포함수와 비조석 성분자료 분포함수의 RMS 오차 및 결정계수( $R^2$ ) 값을 비교·분석한 결과, 비조석 성분자료의 확률밀도함수로 본 연구에서 제안한 쌍봉형 함수가 기존에 사용하던 정규분포형 함수보다 더 적합한 함수로 파악되었다. 본 연구에서 제안된 확률밀도함수의 매개변수는 Newton 방법을 수정한 Levenberg-Marquardt 방법으로 추정하였으며, 비조석 성분 자료의 표준편차 및 왜곡도 계수는 목포, 제주, 속초 지점을 제외하고는 분석지점 김조소 자료의 비조화 상수와 밀접한 관계가 있는 것으로 파악되었다.

**핵심용어** : 조위자료, 천문조, 비조석성분, 쌍봉형 정규분포, 왜곡도

**Abstract** : Double-peak normal distribution function was suggested as the probability density function of the non-tidal components (NTC) data in Korean coastal zone. Frequency distribution analysis of the NTC data was carried out using hourly tidal elevation data of the ten tidal gauging stations, i.e., Incheon, Gunsan, Mokpo, Jeju, Yeosu, Masan, Gadeokdo, Busan, Pohang, and Sokcho which were served through the Internet Homepage by the National Ocean Research Institute. NTC data is defined as the difference between the measured tidal elevation data and the astronomical tidal elevation data using 64 tidal constituents information. Based on the RMS error and  $R^2$  value comparison analysis, it was found that this suggested function as the probability density function of the NTC data was found to be more appropriate than the normal distribution function. The parameters of the double-peak function were estimated optimally using Levenberg-Marquardt method which was modified from the Newton method. The standard deviation and skewness coefficient were highly correlated with the non-tidal constants of the tidal gauging stations except Mokpo, Jeju and Sokcho stations.

**Keywords** : tidal elevation data, astronomical components, non-tidal (meteorological) components, double-peak normal distribution, skewness

### 1. 서 론

김조소에서 측정한 조위자료는 조화분석 과정을 통하여 파악이 가능한 천문조 성분(astronomical components)과 수온, 기압, 지진 및 미지의 영향에 의한 장주기 성분을 포

함한 비조석 성분으로 구성되어 있으며, 비조석 성분은 관측된 조위자료에서 천문조 성분을 제거한 잔차성분을 의미한다(Pugh, 1987; 2004). 비조석 성분은 주로 기상변화에 의한 영향이 대부분이기 때문에 기상조 성분(meteorological components)으로 기술되고 있으나, 본 연구에서는 기타 요

\*한국해양연구원 연안개발연구본부(Coastal Development Research Division, KORDI, Ansan P.O. Box 29, Seoul, 425-600, Korea)

\*\*원광대학교 토목환경도시공학부(Corresponding author: Shin Taek Jeong, School of Civil, Environmental and Urban Engineering, Wonkwang Univ., Shinyong-Dong 344-2, Iksan-Si, Chollabuk-Do 570-749, Korea. stjeong@wonkwang.ac.kr)

\*\*\*경성대학교 건설환경공학부(School of Civil and Environmental Engineering, Kyung Sung Univ., Daeyeondong 110, Namgu, Busan, Korea)

소를 모두 포함하여 비조석 성분으로 정의하였다.

모든 천문조를 포함한 정밀한 방법으로 예보한 조위자료도 일시적인 기상 및 기타 영향에 의한 수위상승으로 인하여 실제 관측자료와 차이가 발생한다. 조석 및 비조석 성분의 상대적인 중요도는 해당년도, 기상, 수심 또는 해저 지형 등에 따라서 결정된다. 기상학적인 교란현상은 특히 수심이 얇은 해역에 작용할 때 가장 큰 영향을 미친다. 과도하게 수위가 상승하면 심각한 연안 범람이 발생할 수 있다. 특히 폭풍이 연안 해역에 작용하여 수위가 상승하는 동안, 대조 고조시와 일치할 경우에는 수위 상승이 증폭될 수 있으며, 주위의 지형이 낮고, 인구밀도가 높은 경우에는 범람으로 인명 피해를 야기할 수 있다. 일반적으로 해일고(strom surge height)는 식 (1)과 같은 관측치와 예보치(천문조 성분)의 수위 차이  $S(t)$ 로 정의할 수 있다.

$$X(t) = Z_o(t) + T(t) + S(t) \tag{1}$$

여기서,  $X(t)$ 는 관측 수위,  $Z_o(t)$ 는 평균 해수위,  $T(t)$ 는 천문조 성분,  $S(t)$ 는 비조석 성분(대부분의 경우, 폭풍 해일에 의한 영향성분)을 의미한다. 관측된 조위자료의 조석성분과 비조석 성분은 물리적으로 서로 다른 원인에 의하여 발생하므로, 서로 독립 사상(event)이라고 가정할 수 있다.

폭풍해일(storm surge)은 폭풍에 의한 극심한 수위 상승을 의미하며, 비조석성분(non-tidal component) 또는 잔차(residual), 기상조 성분(meteorological residual components)으로 간주된다. 한편, 비조석성분 자료의 표준편차 및 왜곡도 계수는 기상의 영향을 측정할 수 있는 요소이다. 표

준편차의 크기는 수심이 깊은 해역의 수 cm에서, 폭풍이 자주 발생하는 수심이 얇은 해역에서의 수십 cm에 이르기까지 다양하다(Table 1참조; Pugh, 2004). 또한, 비조석 성분은 전체적으로는 정규분포 형태를 보이고 있으나, 지점에 따라 왼쪽 또는 오른쪽으로 치우친 왜곡된 분포를 가지고 있기 때문에 빈도분포를 정규분포로 근사화하는 경우에는 왜곡된 형태 재현에 한계를 가지게 된다.

해안 및 항만구조물의 신뢰성 설계, 즉 설계인자에 대한 분포함수 추정에 관한 연구가 중요한 사안으로 부각되고 있는 시점에서 조위자료의 빈도분포 함수에 대한 추정과 더불어 비조석 성분의 빈도분포 함수에 대한 추정도 설계조위 결정에 매우 중요한 요소로 작용하기 때문에 동등한 중요성을 가지고 있다(星谷 勝, 石井 清, 1986). 해역 물리인자에 대한 분포함수 연구는 주로 극치분포에 대한 연구가 설계관점에서 우세하였으나, 최근에는 신뢰성 설계 및 평상시의 대표적인 조건 분석 관점에서 일반 분포(평상시 자료 분포)에 대한 관심도 부각되고 있는 실정이다(Table 2참조). 일반적으로, 관측된 조위자료의 빈도분포함수 형태는 조석의 우세한 분조(반일주조 또는 일주조)에 따라 뚜렷한 쌍봉(double peak)형 또는 단봉(single peak)형의 형태를 보이게 되며(Pugh, 1987), 조 등(2004)은 쌍봉형 정규분포에 의하여 조위자료의 빈도분포 함수가 적절하게 표현될 수 있음을 제시한 바 있다. 반면, 비조석 성분의 빈도분포함수는 비조석 성분이 왜곡된 형태를 가지고 있는 것으로 제시되고 있으나, 일반적으로 정규분포 함수가 널리 사용되고 있다. 그러나, 비조석 성분자료는 왜곡된 형태가 분명하므로 왜곡도 계수=0 조건인 정규분포보다 왜곡도 계수 표현이 가능한 분포를 적용하는 것이 바

**Table 1.** Standard deviations of non-tidal components in the World (Pugh, 2004)

Location	Standard deviation	Description
Honolulu	6 cm	Ocean island surrounded by deep water
Mombasa	4 cm	East African estuary near deep water
Buenos Aires	49 cm	Extensive estuary of River Plate, Argentina
Newlyn	15 cm	Shallow site on northwest European shelf, England
Southampton	20 cm	Shallow site with strong non-linear interactions
Court-town	15 cm	Shallow site near Irish Sea amphidrome

**Table 2.** Frequency distribution of the wave height, tidal elevation and wind velocity

Items	Distribution Fn.		
	Initial variate distribution	Extreme distribution	Joint PDF Items
Wave height	Rayleigh, $\beta$ -Rayleigh	Gumbel, Weibull etc.	Wave direction, Wave period
Tidal elevation (Water level)	Double-peak Normal	Gumbel, Weibull etc.	Tidal currents
Wind velocity	Gaussian (Normal)	Gumbel, Log-Pearson III etc.	Wind direction

본 연구에서는 국립해양조사원에서 제공하는 1시간 간격의 우리나라 연안 조위자료를 이용하여, 64개 분조를 조화분석과정을 통하여 추출하고, 64개 분조 정보를 이용하여 관측자료에서 천문조 성분을 제거한 비조석 성분을 추출하였다. 64개 분조를 모두 적용한 이유는 검조소 조위 자료에서 천문조에 의한 성분, 천해에서의 배조 성분 등을 모두 제거하여 순수한 비조석 성분을 추출하고자 하는 목적이며, 일반적으로 비조석 성분 추출에 범용적으로 이용되는 방법이다. 추출된 비조석 성분의 빈도분포 함수로 쌍봉형 정규분포 함수를 제안하였으며, 매개변수 추정 및 적합성 검증과정에 근거하여 제안된 확률밀도 함수의 적용에 대한 신뢰성 분석을 수행하였다. 또한, 제안된 확률밀도 함수와 비조석 성분자료 분포함수의 불일치를 최소화하는 매개변수를 추정하여 검조소 조석자료의 비조화상수(평균조차 등)와 최적 추정된 매개변수 및 통계적 변수와의 관계를 검토·분석하였다.

## 2. 분석대상 조위자료의 선정 및 비조석 성분 추출과정

비조석 성분자료의 빈도분포 함수 추정은 우선 우리나라 연안에 설치된 검조소 자료 중, 서해안 3개 지점(인천, 군산, 목포), 남해안 3개 지점(여수, 마산, 제주), 동해안 2개 지점(포항, 속초), 그리고, 최근 부산신항 개발사업이 진행되고 있는 가덕도 지점 및 부산 지점을 포함, 총 10개 지점에 대하여 중점적으로 수행하였다. 빈도분포 함수 추정에 사용된 자료는 국립해양조사원에서 제공되는 1시간 조위자료를 이용하였다(Table 3참조). 자료분석에 포함된 기간은 검조소의 조화상수 및 비조화상수 추정에 사용된 기간과 동일한 기간

으로 하였으며, 조화상수 추정에 사용된 기간의 자료가 사용하지 않은 인천 및 가덕도는 분석기간을 동일하게 유지한 상태에서 다른 기간의 자료를 이용하여 분석하였다(국립해양조사원 Homepage - 조석자료제공시스템).

본 연구에서 대상으로 한 검조소 자료에서 비조석 성분을 추출 분석하는 과정은 다음과 같으며, 추출된 비조석 성분의 표준편차 및 왜곡도 계수, 평균해수면 정보는 Table 3에 제시하였으며, 기본적인 1년간의 비조석 성분의 시계열도시(time-series plot) 및 도수분포도(histogram, frequency diagram)는 Fig. 1, Fig. 2에 제시하였다.

- 제1단계: 검조소 조위 관측자료 Plotting : 결측자료 및 이상자료[outlier] 검토
- 제2단계: 64개 분조를 이용한 조화분석 시행(분조의 진폭 및 지각정보 도출)
- 제3단계: 조화분석 정보를 이용하여 천문조 성분 발생(Generation)
- 제4단계: 검조소 조위 관측자료에서 천문조 성분을 제거하여 비조석 성분 생성
- 제5단계: 비조석 성분의 발생빈도 분석 및 확률밀도함수 추정(적합성 검증)
- 제6단계: 비조석 성분의 통계적인 분석(왜곡도 계수 및 자기상관함수 등)

## 3. 비조석 성분 자료의 확률밀도함수 적합성 검증

비조석 성분자료의 빈도분포 함수를 표현하기 위한 계급의 수( $k$ )는 분석자료 갯수( $n$ )의 함수로 표현되는 관계식 (2)를 이용하여 인접한 정수로 결정하였다(Haldar and

Table 3. Tidal elevation data and periods of the tidal stations

Gauging stations	표준편차 (cm)	Skewness Coefficient	평균해면 (cm)	Data Download periods (Frequency distribution)
Incheon	14.82	-0.416	473.50	1999-06-01 ~ 2000-05-31
Kunsan	12.34	-0.321	371.64	1996-01-01 ~ 1997-12-31
Mokpo	12.38	0.030	249.60	1999-01-01 ~ 2000-12-31
Cheju	7.58	-0.078	139.39	1973-01-01 ~ 1974-12-31
Yeosu	9.37	0.156	171.48	1983-01-01 ~ 1984-12-31
Masan	8.55	0.569	100.83	2003-01-01 ~ 2003-12-31
Gadeokdo	7.63	0.444	91.82	1977-01-01 ~ 1978-01-01
Pusan	7.52	0.578	61.67	1974-01-01 ~ 1975-01-01
Pohang	7.29	0.727	12.58	1973-01-01 ~ 1973-12-31
Sokcho	7.80	-0.023	19.44	1974-01-01 ~ 1974-12-31

(참고) Skewness 계수 의미 : 왜곡도 계수는 분포함수의 비대칭성을 판단하는 계수이다. (-) 값은 왼쪽으로 더 많이 분산되어 있음을 의미하며, (+) 값은 오른쪽으로 더 많이 분산되어 있음을 의미한다. 또한, 왜곡도의 절대치는 비대칭성의 크기를 의미한다.

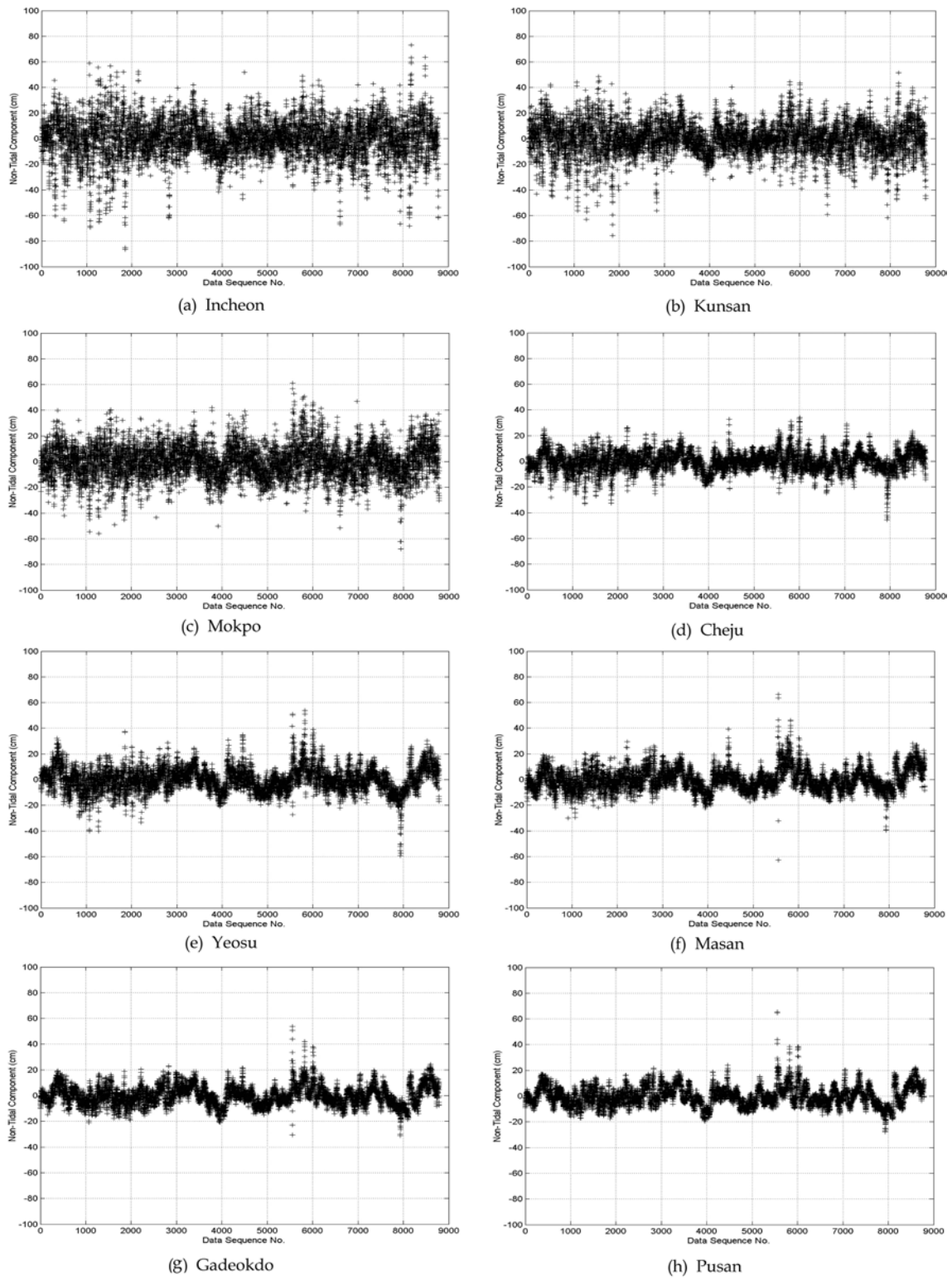


Fig. 1. Time-series plot of the non-tidal components.

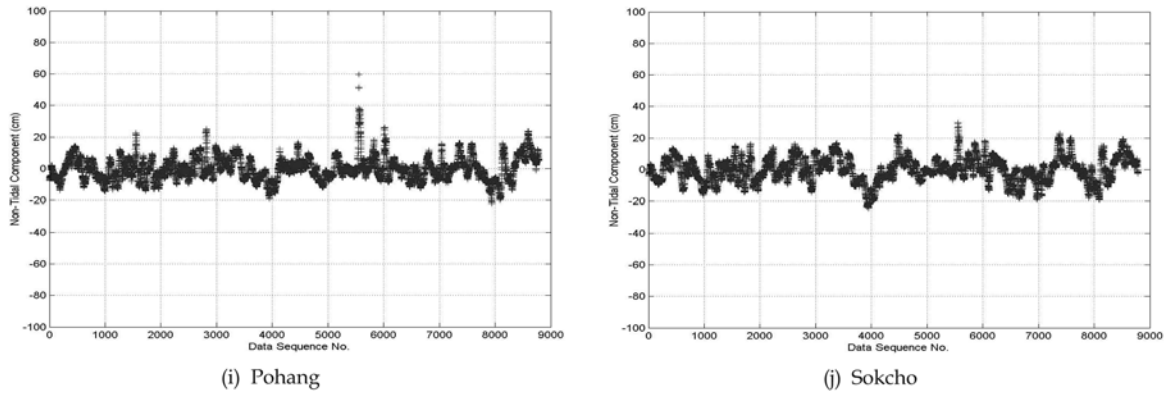


Fig. 1. (Continued).

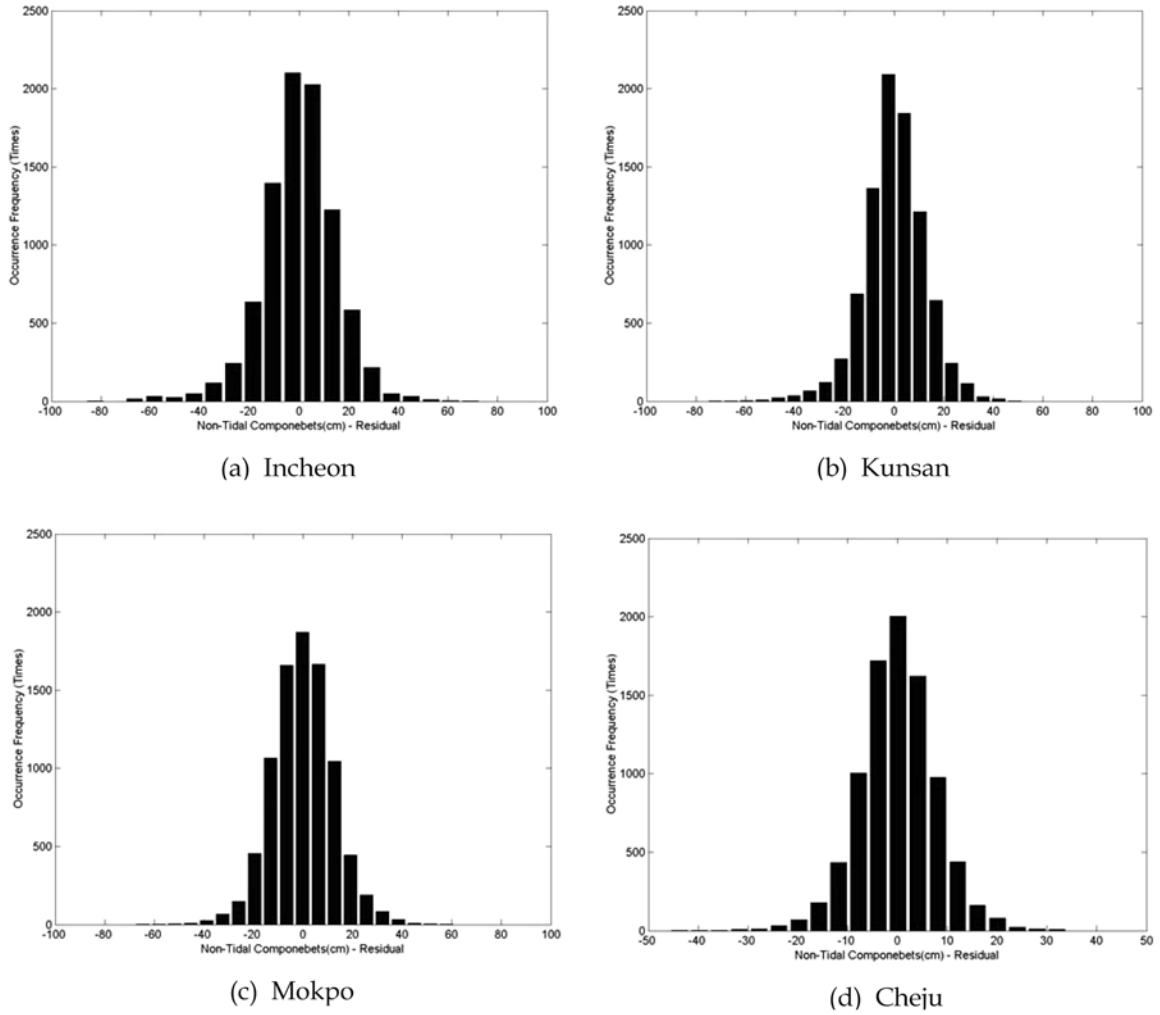
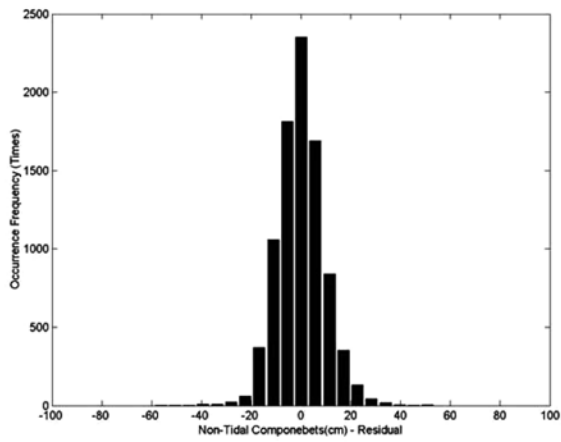
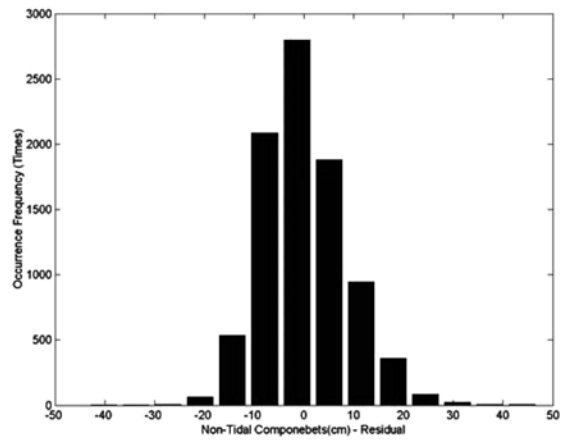


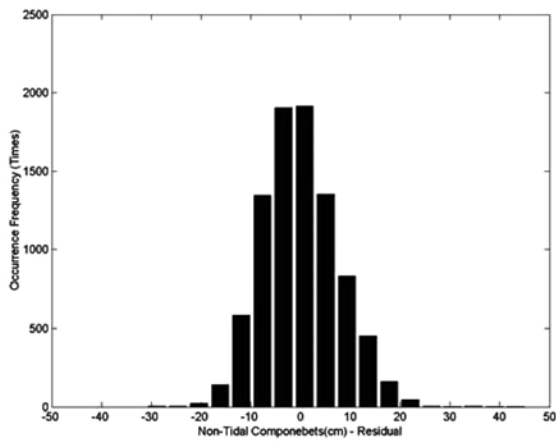
Fig. 2. Histogram of the non-tidal components.



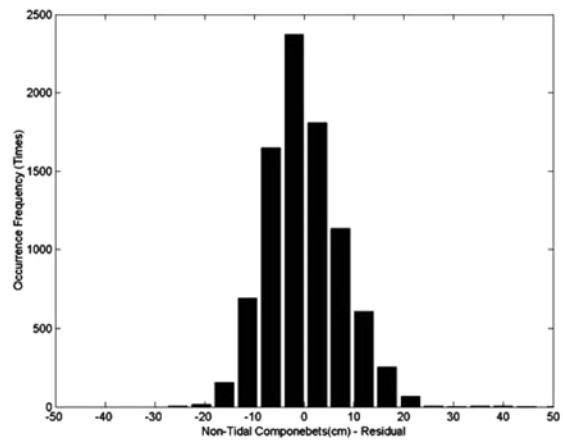
(e) Yeosu



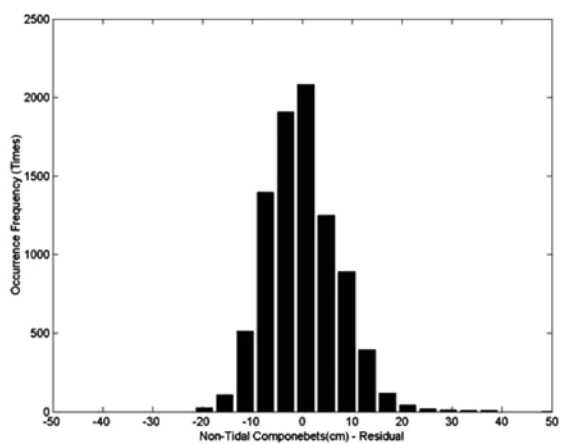
(f) Masan



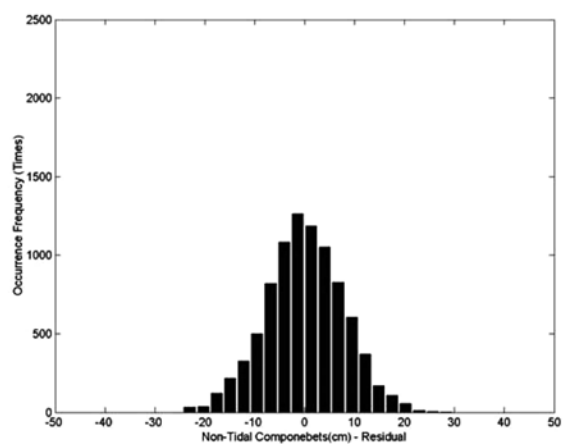
(g) Gadeokdo



(h) Pusan



(i) Pohang



(j) Sokcho

Fig. 2. (Continued).

Mahadevan, 2000).

$$k = 1.00 + 1.43 \cdot \ln(n) = 1.0 + 3.3 \log_{10}(n) \quad (2)$$

비조석 성분자료의 도수분포도(histogram, frequency diagram)는 뚜렷하게 보이지는 않으나, 왜곡도 계수에 의하면 서해안 지점에서는 왼쪽으로 치우친, 동해안 지점에서는 오른쪽으로 치우친 분포형태를 가지고 있는 것으로 판단할 수 있다. 반면, 목포, 제주 및 속초 지점은 예외적인 형태를 보이고 있음을 알 수 있다.

조위자료의 비조석 성분자료의 빈도분포 함수(확률밀도 함수,  $p_T(x)$ )는 정규분포 함수 형태(식 (3)참조)로도 근접한 형태 재현이 가능하나, 왜곡된 형태이기 때문에 보다 복잡한 빈도분포 함수를 사용하여야 함수의 형태가 적절하게 표현될 수 있다.

$$p_T(x) = \frac{A_S}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (3)$$

여기서,  $x$  = 비조석 성분의 값(cm),  $A_S$  = 축척변수(scale parameter)로 식 (3)을 모든 구간에서 적분할 경우의 값

이 1.0이라는 제약조건을 이용하면 해석적으로 계산되며, 물리적으로는 분석자료의 계급간격(class interval)에 해당한다.  $\mu$  = 자료의 평균,  $\sigma$  = 자료의 표준편차에 해당하는 값이다.

본 연구에서는 조위분포 함수형태로 제시한 바 있는 평균과 분산이 서로 다른 2개의 정규분포함수의 합의 형태, 즉 4개의 매개변수를 가진 쌍봉형 정규분포 함수형태를 제안하였다(식 (4)참조). 보다 복잡하고 다양한 함수에 대하여 적용 · 검토할수도 있으나, 본 연구에서는 일반적으로 널리 사용되는 정규분포 함수에 중점을 두어 제안하고, 빈도분포 함수에 가장 적합한 매개변수를 추정하였다.

$$p_T(x) = \frac{A_D}{2} \left\{ \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_1}{\sigma_1}\right)^2\right] + \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_2}{\sigma_2}\right)^2\right] \right\} \quad (4)$$

여기서,  $A_D$  = 축척변수로 식 (2)에 제시된  $A_S$  계산과정과 동일하다.  $\mu_1, \mu_2$  = 각각 평균에 해당하는 매개변수,  $\sigma_1,$

**Table 4.** Values of the parameters, RMS errors and R<sup>2</sup>

(a) Gaussian distribution function

Gauging stations	$\mu$ (cm)	$\sigma$ (cm)	RMS Error (Unit : 10 <sup>-4</sup> )	R <sup>2</sup>
Incheon	0	13.12	5.95	0.9954
Kunsan	0	11.06	8.81	0.9931
Mokpo	0	11.88	3.39	0.9989
Cheju	0	7.04	7.78	0.9979
Yeosu	0	8.87	7.29	0.9969
Masan	0	8.54	18.89	0.9800
Gadeokdo	0	7.71	17.68	0.9877
Pusan	0	7.60	20.21	0.9834
Pohang	0	7.27	21.25	0.9842
Sokcho	0	7.72	12.57	0.9946

(b) Double-peak normal distribution function (Suggested pdf)

Gauging stations	$\mu_1$ (cm)	$\mu_2$ (cm)	$\sigma_1$ (cm)	$\sigma_2$ (cm)	RMS error (Unit : 10 <sup>-4</sup> )	R <sup>2</sup>
Incheon	0.3417	0.6869	17.3089	10.2949	1.83	0.9996
Kunsan	-0.6928	1.9730	8.3642	15.0536	4.04	0.9985
Mokpo	-0.7676	0.6842	10.2798	13.8486	2.23	0.9995
Cheju	-0.4081	0.6665	5.79096	8.72879	4.65	0.9992
Yeosu	-1.1153	0.9219	7.3570	10.7460	2.46	0.9997
Masan	-3.7161	3.6437	6.1199	9.2106	0.52	0.9999
Gadeokdo	-3.4614	3.3635	5.9139	7.8563	1.94	0.9999
Pusan	-3.6929	3.6988	5.5146	7.6039	0.88	0.9999
Pohang	-4.1539	3.9104	5.0944	6.4505	0.25	0.9998
Sokcho	-0.0858	0.2507	6.5850	9.1524	11.75	0.9953

$\sigma_2$  = 각각 표준편차에 해당하는 매개변수로  $\mu_1, \mu_2$ 는 각각 비조석 성분 자료의 분포함수의 첨도가 위치하는 조위와 유사하다.

매개변수 추정 은 임의의 비선형함수로 표시되는 함수와 비조석 성분 자료의 확률밀도함수의 불일치도(오차제곱합)를 최소화하는 함수를 목적함수로 선정하여 수행되었으며, 초기 매개변수 값을 이용하여 다음 단계의 매개변수 값을 반복적으로 추정하는 기법은 비선형 최적화 매개변수 추정에 범용적으로 이용되는 Newton 방법을 수정한 Levenberg-Marquardt 방법(Bazaraa 등, 1993; Sec. 8.7)을 이용하였다. 전체적인 과정은 최소사승법을 이용한 비선형 Curve Fitting 방법에 해당한다. 비조석 성분 분석에 중점적으로 사용된 10개의 검조소 자료에 대하여 식 (3) 및 식 (4)를 이용하여 매개변수 및 확률밀도함수를 추정하였다(Table 4 참조).

본 연구에서 제안한 2개의 정규분포 함수의 합의 형태로 주어지는 빈도분포함수(쌍봉형 정규분포함수; double-peak Gaussian distribution function)와 비조석 성분자료의

도수분포다각형과 비교한 결과, 매우 우수한 일치결과를 보이고 있는 것으로 파악되었다. 일반적으로, 비조석 성분의 왜곡된 형태에 대한 특별한 분석없이 정규분포함수를 사용하는 경우와 본 연구에서 제안한 쌍봉형 분포함수를 사용하는 빈도분포 형태 재현의 우수성을 파악하기 위하여 RMS 오차 및 R<sup>2</sup> 값을 계산하였다(박, 1986; Table 4참조). 10개 검조소 자료로부터 추출된 비조석 성분의 분포함수 형태로 부터 계산한 RMS 오차 및 R<sup>2</sup> 값에 의하면, 본 연구에서 제안된 쌍봉형 정규분포 함수가 정규분포 함수보다 비조석 성분자료의 확률밀도함수 형태표현이 모든 지점에서 우수한 것으로 파악되었다.

#### 4. 비조석 성분자료 통계정보와 비조화상수의 관계

비조석 성분자료를 이용하여 추정된 매개변수는 각 검조소의 비조화상수와 밀접한 관련성을 보일 것으로 판단된다. 따라서, 국립해양조사원에서 제시한 검조소의 비조

**Table 5.** Non-tidal constants of the tidal gauging stations

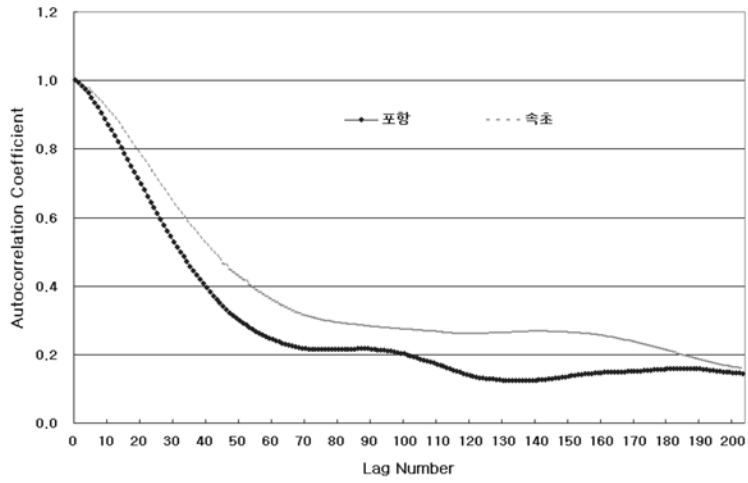
Gauging stations	HWOSt (cm)	LWOSt (cm)	HWONt (cm)	LWONt (cm)	Spring Range (cm)	Neap Range (cm)	Mean Range (cm)
Incheon	393.62	-393.62	175.44	-175.44	784.24	350.88	569.06
Kunsan	312.06	-312.06	140.78	-140.78	624.12	281.56	452.84
Mokpo	188.94	-188.94	93.26	-93.26	377.84	186.52	282.18
Cheju	99.27	-99.27	40.19	-40.19	198.54	80.38	139.46
Yeosu	143.76	-143.76	53.24	-53.24	287.52	106.48	197.00
Masan	85.87	-85.87	30.61	-30.61	171.74	61.22	116.48
Gadeokdo	82.97	-82.97	30.41	-30.41	165.94	60.82	113.38
Pusan	58.81	-58.81	21.09	-21.09	117.62	42.18	79.9
Pohang	3.79	-3.79	2.37	-2.37	7.58	4.74	6.16
Sokcho	9.61	-9.61	4.61	-4.61	19.22	9.22	14.22

\*HWONt, LWONt, HWOSt, LWOSt (Datum : Mean Sea Level)

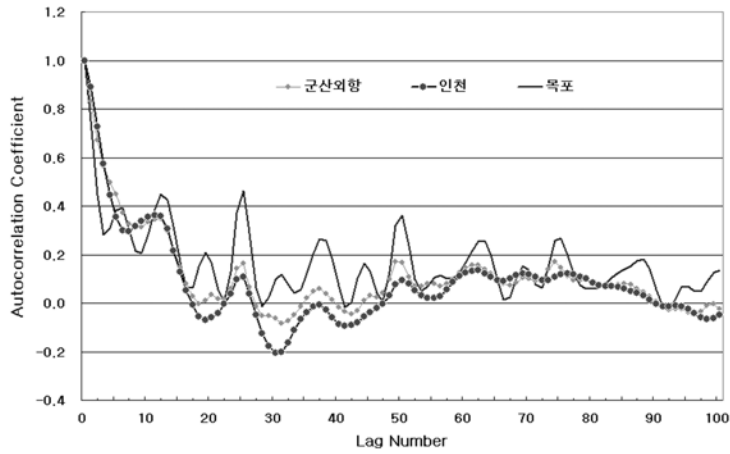
**Table 6.** Statistical information and autocorrelation coefficient of the Non-tidal components

Gauging Stations	Data Numbers (1 Hour Interval; 1 Year)	Standard Deviation	Skewness	Autocorrelation (Lag No, Hour)		
				1	12	48
Incheon	8,764	14.82	-0.416	0.889	0.360	0.030
Gunsan	8,764	12.34	-0.321	0.831	0.347	0.097
Mokpo	8,764	12.38	0.030	0.750	0.447	0.129
Cheju	8,764	7.58	-0.078	0.928	0.668	0.412
Yeosu	8,764	9.37	0.156	0.950	0.619	0.260
Masan	8,764	8.55	0.569	0.912	0.706	0.430
Gadeokdo	8,764	7.63	0.444	0.951	0.760	0.435
Busan	8,764	7.52	0.578	0.970	0.799	0.413
Pohang	8,764	7.29	0.727	0.993	0.838	0.314
Sokcho	8,764	7.80	-0.023	0.996	0.889	0.445

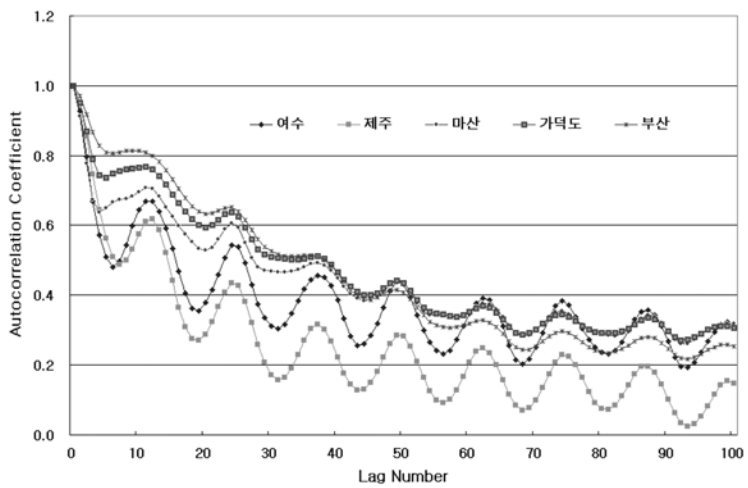




(a) Auto-correlation function of the Non-tidal components (East Coast)



(b) Auto-correlation function of the Non-tidal components (West Coast)



(c) Auto-correlation function of the Non-tidal components (South Coast)

Fig. 3. Change pattern analysis of the auto-correlation function.

화 상수 자료와 비조석 성분의 표준편차 및 왜곡도 계수와 관련을 보일 것으로 판단되는 상수(평균 조차)를 선택하여 매개변수와의 상관관계를 분석하였다(Table 5, 6) 또한, 비조석성분자료의 자기상관계수를 분석하여 비조석 성분 시계열 자료의 상관관계의 지속기간을 분석하였다.

비조석 성분 자료의 왜곡도 계수는 목포, 제주, 속초 지점(Skewness 계수  $\approx 0.0$ )을 제외하고는 분석지점 검조소 자료의 비조화 상수와 밀접한 관계가 있는 것으로 파악되

었다. 또한, 비조석 성분자료의 자기상관함수를 분석한 결과, 동해안의 속초 및 포항지점에서는 비조석 성분이 큰 상관관계(0.4 이상)를 가진 상태에서 50시간 정도 지속되는 경향을 보였으며, 서해안의 인천, 군산 지점에서는 비조석 성분이 작은 상관관계(0.4 이하)를 가진 상태에서 그 영향이 10시간 이내로 제한되는 경향을 보였다(Fig. 3).

한편, 왜곡도 계수는 평균조차와 음의 상관관계를 보이고 있는 것으로 파악되었으며, 표준편차와는 양의 상관관계를 보이고 있는 것으로 파악되었다. 목포, 제주 및 속초

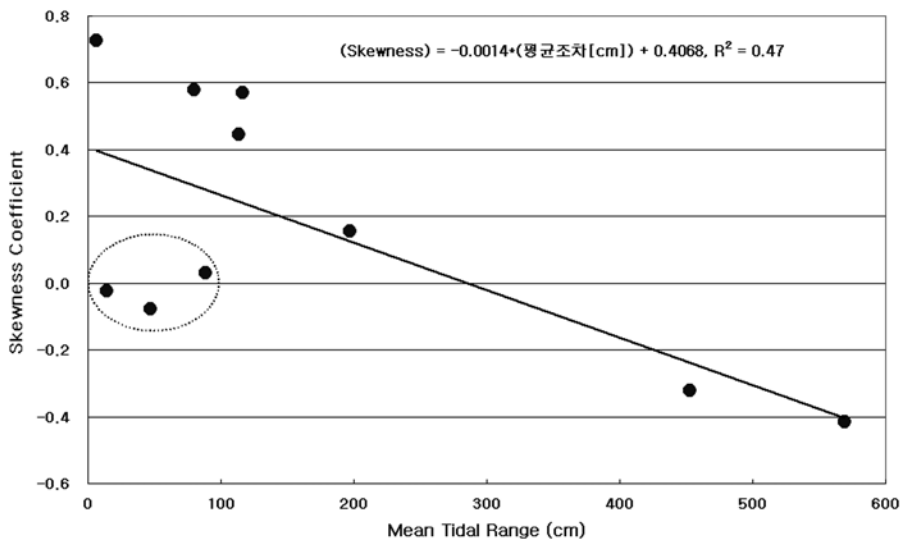


Fig. 4. Relationship between the mean tidal range and skewness coefficient of the non-tidal components.

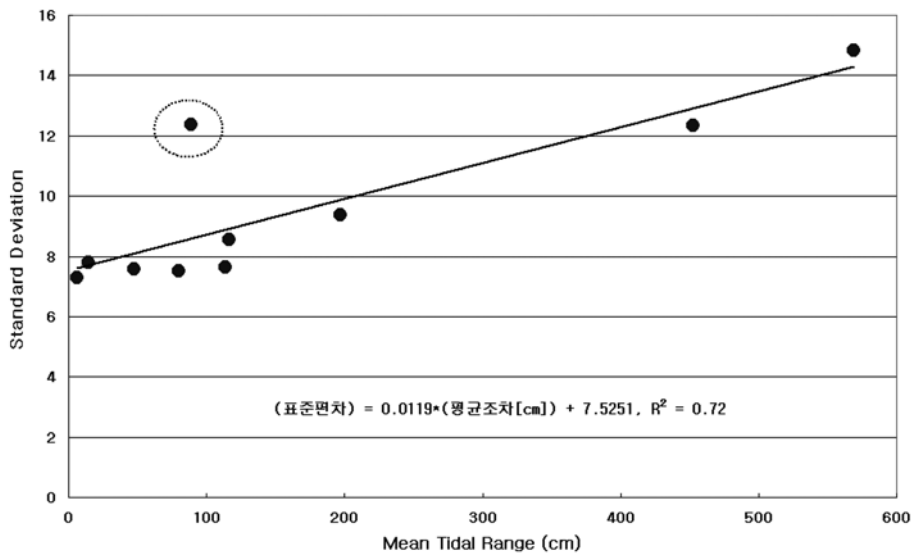


Fig. 5. Relationship between the mean tidal range and standard deviation of the non-tidal components.

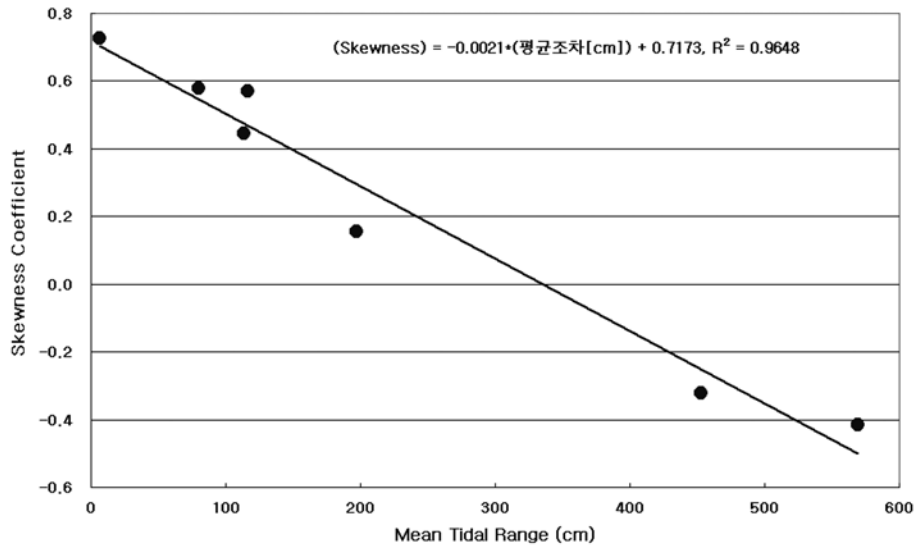


Fig. 6. Relationship between the mean tidal range and skewness coefficient of the non-tidal components (except Sokcho, Cheju and Mokpo gauging stations).

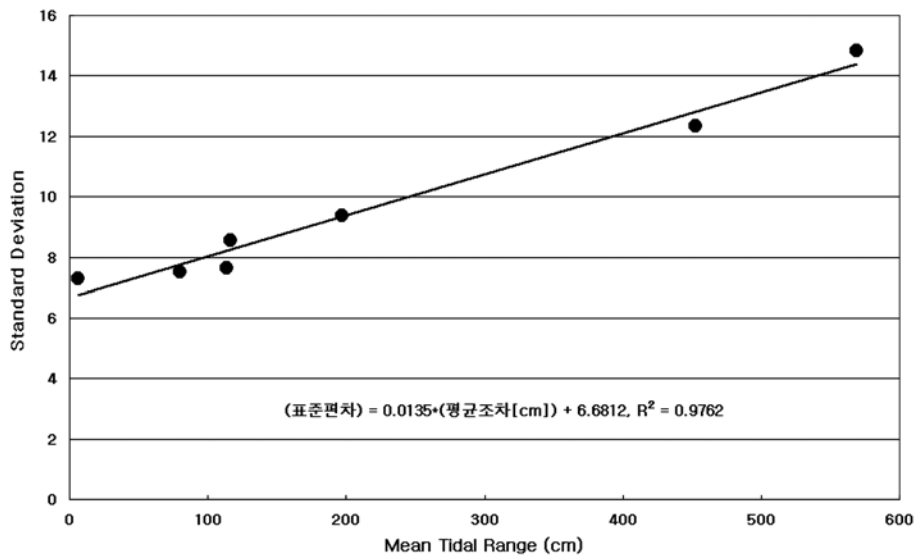


Fig. 7. Relationship between the mean tidal range and standard deviation of the non-tidal components (except Sokcho, Cheju and Mokpo gauging stations).

지점은 통계적인 특성이 약간 특이한 자료로 판단되며, 상관관계 분석에 포함할 경우에는 상관계수가 크게 감소하게 된다(Fig. 4-Fig. 7). 영국 Newlyn 지점 및 항만 비조석성분 자료 분석결과에 의하면 잔차성분(비조석성분)의 분포함수가 큰 음의 왜곡도계수를 가지는 경우보다 양의 왜곡도계수를 가지는 경우가 빈번하며, 양의 해일(positive surge)인 경우에는 표준편차의 5배를 상회하

는 크기가 1년에 1회 정도 발생하고, 음의 해일(negative surge)인 경우에는 표준편차의 4배를 상회하는 크기가 2년에 1회 정도 발생하는 것으로 보고되고 있다(Pugh, 2004). 따라서, 왜곡도 계수가 평균조차와 상관관계를 가지는 것은 다양한 해역 특성 및 일시적인 자료의 특성에 의한 영향에 기인할 수 있기 때문에, 보다 장기적인 자료, 보다 많은 검조소 자료를 이용하여 분석할 필요가 있

으며, 본 연구결과는 제한된 자료를 이용하였기 때문에 일반적인 내용으로 확장하기에는 다소 한계가 있는 것으로 판단된다.

## 5. 결론 및 제언

비조석 성분의 빈도분포 함수로 쌍봉형 정규분포 함수를 제안하였으며, 제안된 분포함수가 정규분포 함수보다 우수하게 분포형태를 재현하는 것으로 파악되었다. 한편, 평균조차와 비조석 성분의 표준편차 및 왜곡도 계수는 목포, 속초, 제주 지점을 제외하고는 강한 상관관계를 보였으며, 자기상관함수를 분석한 결과, 동해안의 속초 및 포항지점에서는 비조석 성분이 큰 상관관계(0.4 이상)를 가진 상태에서 50시간 정도 지속되는 경향을 보였으며, 서해안의 인천, 군산 지점에서는 비조석 성분이 작은 상관관계(0.4 이하)를 가진 상태에서 그 영향이 10시간 이내로 제한되는 경향을 보였다. 자기상관함수가 12~13시간 정도의 주기를 보이는 경향은 검조자료에서 반일주조 성분 등을 포함한 천문조의 완벽한 제거가 수행되지 못하였기 때문인 것으로도 추정할 수 있는 바, 조화분석에 의한 천문조 성분의 제거기능을 검토하는 연구가 필요할 것으로 사료된다. 한편, 조석주기를 포함하는 장기간의 기상영향으로 인하여 비조석 성분이 조석주기와 관련될 수 있다는 심층적인 추정 연구도 필요할 것으로 사료된다. 또한, 잔차의 상관관계 분석(residual analysis)을 통하여 천문조가 기상조에 미치는 영향(상호작용 등)을 분석하는 연구도 필요할 것으로 사료된다.

비조석 성분의 표준편차와 왜곡도 계수의 상관성은 본 연구에서 분석한 자료와는 통계적인 상관성이 분명하게 나타났으나, 보다 많은 지점의 조위자료 및 보다 장기간의 자료를 이용·분석하여 비조석 성분의 장기적인 변화 특성(시기적인 특성) 및 연안해역의 천해효과에 의한 분석 등에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 따라서, 본 연구에서는 비조석 성분의 통계적인 분포형태에 중점을 두어 연구를 수행하였으나, 비조석 성분과 해역의 기상자료와 관련지어 통계적인 분포를 분석하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2005-000-11177-0)지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

- 국립해양조사원 Homepage <http://www.nori.go.kr/kr/> - 조석 자료제공시스템 <http://oceandata.nori.go.kr>, 1시간 자료 및 조석 조화상수 및 비조화상수.
- 박성현 (1986). 회귀분석, 대영사.
- 조흥연, 정신택, 오영민 (2004). 조위자료의 확률밀도함수 추정. 한국해양해양공학회지, 16(3), 152-161.
- Bazaraa, M.S., Sherali, H.D. and Shetty, C.M. (1993). Nonlinear Programming: Theory and Algorithms. Second Edition, John-Wiley & Sons.
- Boon, J.D. (2004). Secrets of the Tide, Tide and Tidal Current Analysis and Applications, Storm Surges and Sea Level Trends. Horwood Publishing.
- Goda, Y. and Takagi, H. (2000). A reliability design method of caisson breakwaters with optimal wave heights. Coastal Engineering Journal, 42(4), 357-387.
- Goda, Y. (2000). Random Seas and Design of Maritime Structures. Advanced Series on Ocean Engineering, 15, World Scientific.
- Haldar, A. and Mahadevan, S. (2000). Probability, Reliability and Statistical Methods in Engineering Design. John-Wiley & Sons.
- Kawai, H., Fujisaku, H. and Suzuki, Y. (1996). Occurrence probability of tidal level and its effect on stability of breakwater. Proc. of Civil Engineering in the Ocean, JSCE, 12, 261-266 (in Japanese).
- Kawai, H., Takayama, T., Suzuki, Y. and Hiraishi, T. (1997). Failure probability of breakwater caisson for tidal level variation. Report of the Port and Harbor Research Institute, 36(4), 3-41 (in Japanese).
- Pugh, D.T. (1987). Tides, Surges and Mean Sea-Level, A Handbook of Engineers and Scientists. John-Wiley & Sons.
- Pugh, D.T. (2004). Changing Sea Levels, Effects of Tides, Weather and Climate. Cambridge University Press.
- 星谷 勝, 石井 清 (1986). 構造物の信頼性設計法. 鹿島出版會.

Received December 23, 2005

Accepted March 10, 2006