

조위자료의 빈도분포함수 추정

Estimation of Frequency Distribution Function of Tidal Elevation Data

조홍연¹, 정신탉², 김정대²

Hong Yeon Cho¹, Shin Taek Jung² and Jung Dae Kim²

1. 서 론

조위자료의 빈도분포 정보는 생태학적인 측면에서 조간대의 생물상이 대기에 노출되는 시간 또는 비율 산정에 필요한 매우 중요한 요소이다(Pugh, 1987). 또한, 해안 및 항만구조물의 신뢰성 설계, 즉 설계인자에 대한 분포함수 추정에 관한 연구가 중요한 사안으로 부각되고 있는 시점에서 조위자료의 빈도분포 함수에 대한 추정은 파랑자료의 빈도분포에 대한 추정과 동등한 중요성을 가지고 있다(星谷 勝, 石井 清, 1986). 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 된다(Pugh, 1987). 그러나, 조석자료의 빈도분포함수에 대한 연구는 도시적인 형태(graphical form)로 한정되어 제안되고 있으며, 신뢰성 설계 과정에서도 조위의 빈도분포함수를 보통 정규분포 형태로 가정하여 수행하는 경우가 대부분이다. 또한, 파랑의 빈도분포 함수, 파랑 및 조위의 극치분포 함수 추정에 관한 연구는 활발하게 추진되고 있으나, 조위의 빈도분포 함수에 대한 연구는 미흡한 실정이다(Goda, 2000; Table 1 참조).

따라서, 우리나라 연안 조위자료의 극치분포 해석과 더불어 원시함수의 빈도분포 함수에 대한 적절한 추정 및 추정된 빈도분포 함수의 신뢰성에 대한 검토연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 우리나라 연안 조위자료의 빈도분포를 분석하여 적절한 원시분포 함수형태를 제안하고, 매개변수

추정 및 적합성 검증과정을 통하여 제안된 빈도분포 함수의 적용에 대한 신뢰성 검토를 수행하였다. 또한, 추정된 매개변수와 조석의 비조화상수의 관계를 분석하여 매개변수에 대한 물리적인 의미를 검토하였다.

2. 분석 조위자료의 선정

조위자료의 빈도분포 함수 추정은 우선 우리나라 연안에 설치된 검조소 자료 중, 서해안 3개지점(인천, 군산, 목포), 남해안 3개지점(여수, 마산, 제주), 동해안 2개지점(포항, 속초), 그리고, 최근 부산신항 개발사업이 진행되고 있는 가덕도 지점 및 부산 지점을 포함, 총 10개 지점에 대하여 수행하였다. 빈도분포 함수 추정에 사용된 자료는 한국해양조사원에서 제공되는 1시간 조위자료를 이용하였다(Table 2 참조). 자료분석에 포함된 기간은 검조소의 조화상수 및 비조화상수 추정에 사용된 기간과 동일한 기간으로 하였으며, 조화상수 추정에 사용된 기간의 자료가 가용하지 않은 인천 및 가덕도는 분석기간을 동일하게 유지한 상태에서 다른 기간의 자료를 이용하여 분석하였다(국립해양조사원 Homepage - 조석자료제공시스템).

3. 조위자료의 처리 및 원시 분포함수 제안

3.1 조위자료 처리

검조소별 조위자료는 조위자료의 범위 및 상대적인 비교를 용이하게 하기 위하여 Zero-mean (평

1 한국해양연구원 연안항만공학연구본부

2 원광대학교 토목환경도시공학부

균값=0) 자료로 변환하였으며, 변환된 자료의 뒳수분포를 도시하여 빈도분포함수의 개략적인 형태를 분석하였다(Fig. 1). 빈도분포함수의 빈도자료를 분석에 사용된 자료의 총 갯수로 나누어 확률분포 함수로도 계산하였다. 빈도분포 함수를 표현하기 위한 계급의 수(k)는 분석자료 갯수(n)의 함수로 표현되는 관계식을 이용하여 인접한 정수로 결정하였다(식 (1), Haldar and Mahadevan, 2000).

$$k = 1.00 + 1.43 \cdot \ln(n) [= 1.0 + 3.3 \log_{10}(n)] \quad (1)$$

조위가 우세한 인천 및 군산 검조소자료의 뒳수분포도(histogram, frequency diagram)는 뚜렷한 대칭-쌍봉형의 분포를 보이고 있는 반면, 목포 검조소 자료의 뒳수분포는 비대칭-쌍봉형 분포를 보이고 있다. 한편, 제주, 마산, 여수, 가덕도, 부산 검조소 자료의 뒳수분포는 뚜렷한 쌍봉형이라기 보다는 봉우리가 완만한 형태를 보이고 있으며, 포항 및 속초 검조소 자료의 뒳수분포도는 뚜렷한 단봉형 분포를 보이고 있다. 해석으로 구분하면, 조석의 영향이 강한 서해안 지역의 조위자료 뒳수분포도는 뚜렷한 쌍봉형을 보이는 반면, 조석의 영향이 약한 동해안 지역은 단봉형 형태를 보이고 있는 것으로 분류할 수 있다.

전반적인 뒳수분포도 형태에서 보이는 것처럼, 우리나라 연안의 조위자료 뒳수분포도는 단봉형에서 쌍봉형까지 다양한 형태를 보이고 있다. 따라서, 일반적으로 분포추정에 광범위하게 이용되고 있는 정규분포 함수 형태만으로 추정하기에는 조석의 영향이 뚜렷한 서·남해안 해역에서는 무리가 있는 것으로 사료된다.

3.2 원시분포 함수의 제안

조위자료의 빈도분포 함수(확률밀도함수, $p_T(x)$)는 단봉형의 경우에는 정규분포 함수 형태(식 (2) 참조)로 추정할 수 있으나, 쌍봉형의 경우에는 보다 복잡한 빈도분포 함수를 사용하여야 함수의 형태가 적절하게 표현될 수 있을 것으로 사료된다.

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

여기서, x =조위(cm), A =축척변수(scale parameter)

로 식 (2)를 모든 구간에서 적분할 경우의 값이 1.0이라는 제약조건을 이용하면 해석적으로 계산되며, 물리적으로는 분석자료의 계급간격(class interval)에 해당한다. μ =자료의 평균, σ =자료의 표준편차에 해당하는 값이나, 본 연구에서는 비선형 최적 매개변수 추정과정을 통하여 계산된다.

본 연구에서는 쌍봉(double peak) 형태에 중점을 두어 평균과 분산이 서로 다른 2개의 정규분포함수의 합의 형태, 즉 4개의 매개변수를 가진 쌍봉형 정규분포 함수형태를 제안하였다(식 (3) 참조). 보다 복잡하고 다양한 함수에 대하여 적용·검토할 수도 있으나, 본 연구에서는 일반적으로 널리 사용되는 정규분포 함수에 중점을 두어 제안하고, 빈도분포 함수에 가장 적합한 매개변수를 추정하였다.

$$p_T(x) = \frac{A}{2} \left\{ \frac{1}{\sigma_1\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_1}{\sigma_1}\right)^2\right] + \frac{1}{\sigma_2\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_2}{\sigma_2}\right)^2\right] \right\} \quad (3)$$

여기서, A =축척변수(scale parameter)로 식 (2)에 제시된 값 및 계산과정이 동일하다. $\mu_1, \mu_2, \sigma_1, \sigma_2$ = 제안된 분포함수의 매개변수이다.

매개변수 추정은 임의의 비선형함수로 표시되는 함수와 조위자료의 확률밀도함수의 불일치도(오차 제곱합)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 최소자승법을 이용한 비선형 Curve Fitting 방법에 해당한다. 조위 분석에 사용된 10개의 검조소 자료에 대하여 매개변수 및 빈도분포 함수를 추정하였다(Table 3 참조).

본 연구에서 제안한 2개의 정규분포 함수의 합의 형태로 주어지는 빈도분포함수(쌍봉형 정규분포함수; double-peak Gaussian distribution function)를 이용하여 조위자료의 빈도분포 함수와 비교한 결과, 매우 우수한 일치결과를 보이고 있는 것으로 파악되었다(Fig. 2). 일반적으로, 조위분포에 대한 특별한 분석없이 단봉형의 분포함수를 사용하는 경우와 본 연구에서 제안한 쌍봉형 분포함수를 사용하는 빈도분포 형태 재현의 우수성을 파악하기 위하여 RMS 오차 및 R^2 값을 계산하였다(박,

1987; Table 3 참조). 계산된 RMS 오차 및 R^2 값에 의하면, 본 연구에서 제안된 쌍봉형 정규분포 함수가 단봉형 정규분포 함수보다 조위자료의 확률밀도함수 형태표현이 우수한 것으로 파악되었다.

본 연구에서 제안한 쌍봉형 정규분포 함수 형태가 조위자료의 빈도분포 함수에서 침두형태 재현에는 우수한 결과를 보이고 있으나, 분포의 꼬리에 해당하는 부분에서는 재현성이 떨어지고 있다 (Fig. 2). 이 부분은 꼬리부분의 표현이 우수한 다양한 함수형태에 대하여 다각적으로 검토할 필요가 있을 것으로 사료된다.

4. 추정 매개변수의 물리적인 의미

조위자료를 이용하여 추정된 매개변수는 조석의

조화상수 또는 비조화상수와 밀접한 관련성을 보일 것으로 판단된다. 따라서, 한국해양조사원에 제시된 검조소의 비조화 상수 자료에서 제안된 빈도분포함수의 매개변수와 밀접한 관련성을 보일 것으로 판단되는 상수를 선택하여 매개변수와의 상관관계를 분석하였다(Table 5).

분포함수의 매개변수는 약간의 편차는 있으나 분석대상 검조소의 비조화상수와 밀접한 관련을 보이고 있는 것으로 판단된다. 쌍봉형 빈도분포 함수형태를 이용하여 최적추정된 매개변수 μ_1 , μ_2 인자는 소조평균고조위 및 소조평균저조위와 직접적인 관계(동일한 크기)를 보이고 있으며, σ_1 , σ_2 인자는 평균조차와 밀접한 관련을 보이고 있는 것으로 파악되었다(Fig. 3, Fig. 4 참조).

Table 1. Frequency distribution of the wave height, tidal elevation and wind velocity.

Distribution Fn. Items	Initial Variate Distribution	Extreme Distribution	Joint PDF Items
Wave height	Rayleigh, β -Rayleigh	Gumbel, Weibull etc.	Wave direction, Wave period
Tidal elevation (Water level)	-	Gumbel, Weibull etc.	Tidal currents
Wind velocity	Gaussian (Normal)	Gumbel, Log-Pearson III etc.	Wind direction

Table 2. Tidal elevation data and periods of the tidal stations

Gauging stations	Periods (Non-tidal constants)	Data download periods (Frequency distribution)
Incheon	1975-06-01 ~ 1977-06-01	1999-06-01 ~ 2001-06-01
Kunsan	1996-01-01 ~ 1998-12-31	1996-01-01 ~ 1998-12-31
Mokpo	1999-01-01 ~ 2002-12-31	1999-01-01 ~ 2002-12-31
Cheju	1973-01-01 ~ 1976-01-01	1973-01-01 ~ 1976-01-01
Yeosu	1983-01-01 ~ 1984-12-31	1983-01-01 ~ 1984-12-31
Masan	2003-01-01 ~ 2003-12-31	2003-01-01 ~ 2003-12-31
Gadeokdo	1976-01-01 ~ 1979-01-01	1977-01-01 ~ 1980-01-01
Pusan	1974-01-01 ~ 1975-01-01	1974-01-01 ~ 1975-01-01
Pohang	1973-01-01 ~ 1975-12-31	1973-01-01 ~ 1975-12-31
Sokcho	1974-01-01 ~ 1976-01-01	1974-01-01 ~ 1976-01-01

Table 3. Values of the parameters, RMS errors and R²

(a) Gaussian distribution function

Gauging stations	μ (cm)	σ (cm)	RMS error	R ²
Incheon	8.77	271.85	0.0738	0.7892
Kunsan	-1.45	224.42	0.0867	0.7339
Mokpo	10.42	129.69	0.0511	0.9293
Cheju	2.45	66.54	0.0302	0.9901
Yeosu	-0.72	90.68	0.0372	0.9714
Masan	0.00	53.66	0.0308	0.9869
Gadeokdo	0.23	56.87	0.0450	0.9683
Pusan	-0.58	37.71	0.0332	0.9750
Pohang	-0.90	11.73	0.0240	0.9907
Sokcho	-0.39	13.41	0.0132	0.9972

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

Gauging stations	μ_1 (cm)	μ_2 (cm)	σ_1 (cm)	σ_2 (cm)	RMS error	R ²
Incheon	-187.71	193.26	144.03	134.23	0.0157	0.9857
Kunsan	-159.09	159.42	105.93	108.8	0.0130	0.9902
Mokpo	-88.91	87.17	88.60	70.78	0.0091	0.9973
Cheju	-43.01	42.81	47.25	42.73	0.0075	0.9995
Yeosu	-60.04	59.90	57.21	58.43	0.0072	0.9984
Masan	-34.67	35.40	35.00	35.40	0.0055	0.9994
Gadeokdo	-38.63	37.93	36.09	35.03	0.0214	0.9871
Pusan	-24.51	24.92	23.98	25.25	0.0106	0.9959
Pohang	-6.89	6.15	8.79	9.95	0.0172	0.9940
Sokcho	-7.21	7.02	10.67	11.33	0.0079	0.9984

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)

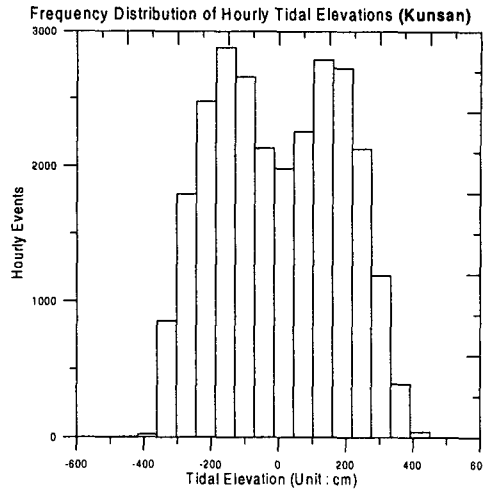
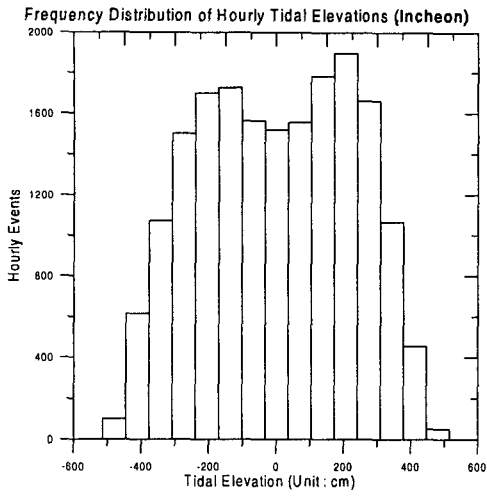


Fig. 1. Frequency diagram of the Tidal elevation data

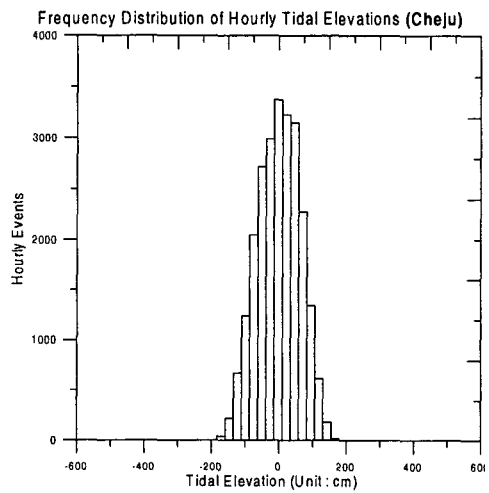
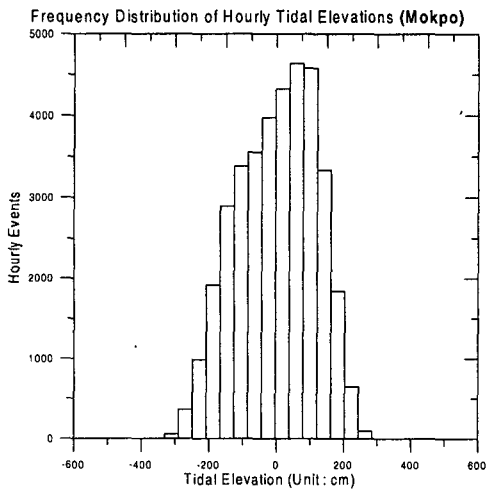


Fig. 1.(계속)

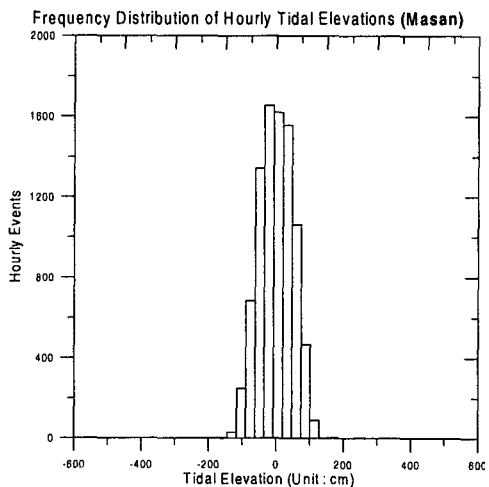
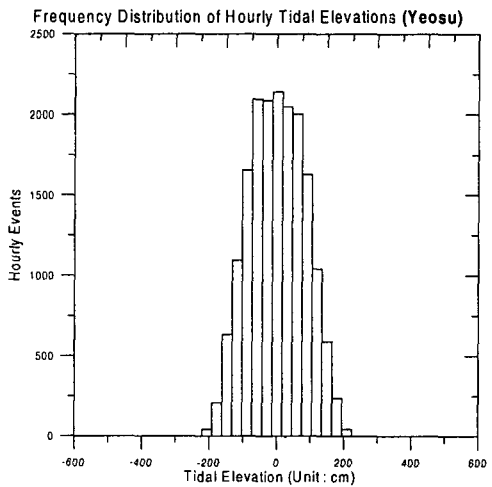


Fig. 1.(계속)

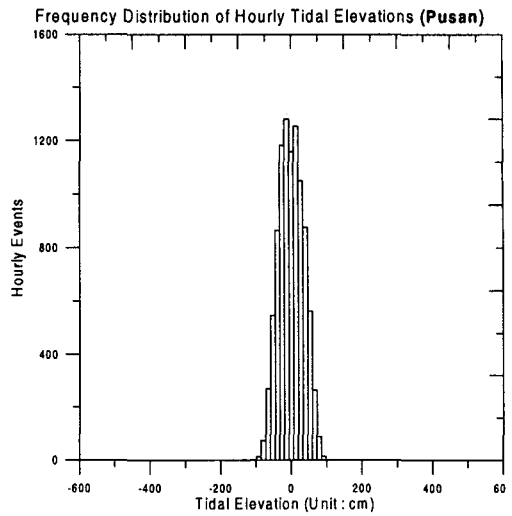
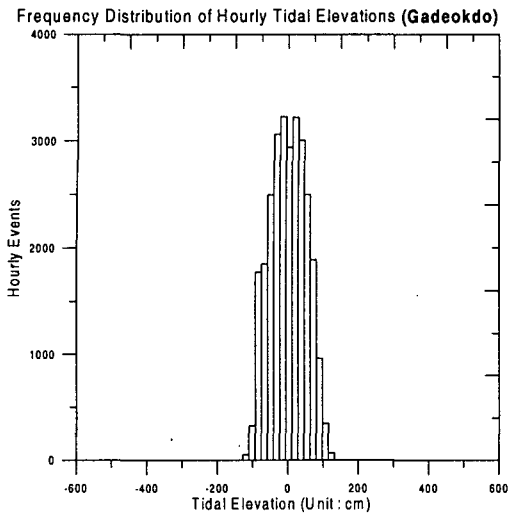


Fig. 1. (계속)

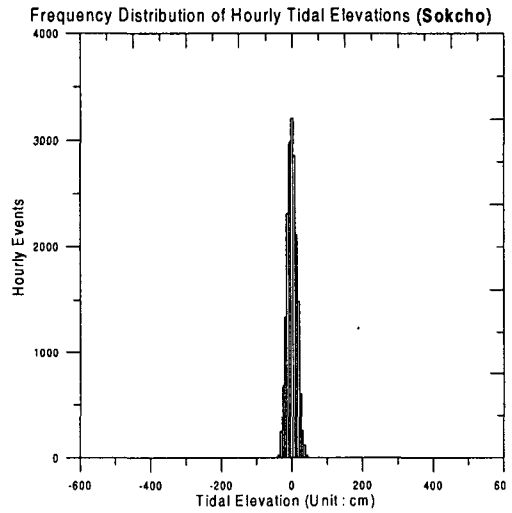
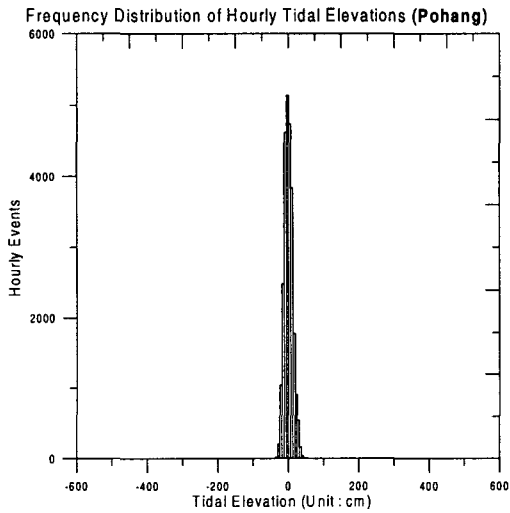


Fig. 1. (계속)

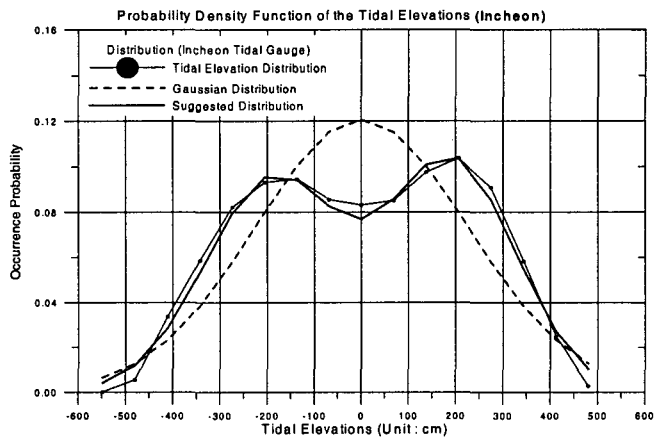


Fig. 2. Comparison of the normal and double-peak normal distribution function

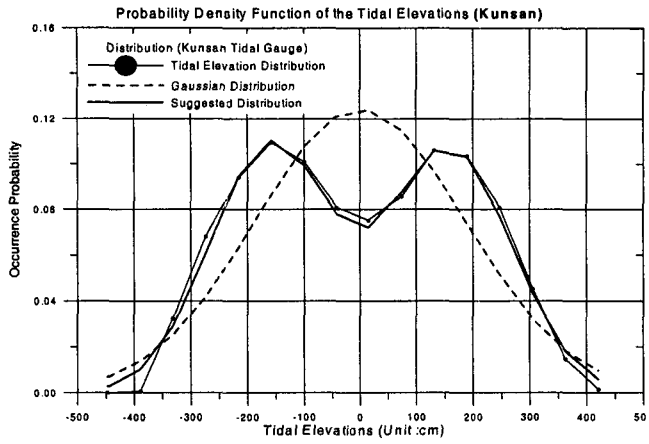


Fig. 2. (계속)

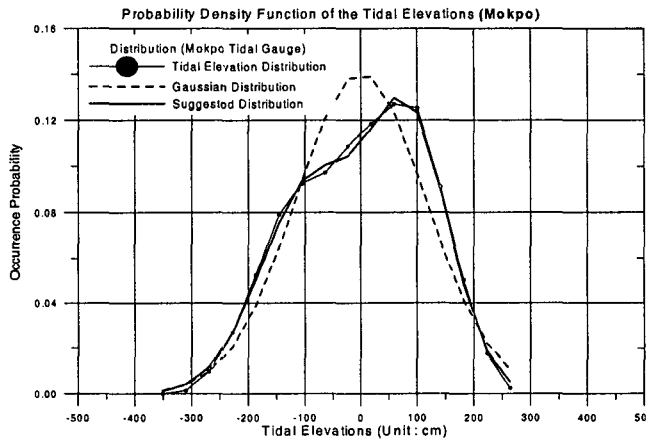


Fig. 2. (계속)

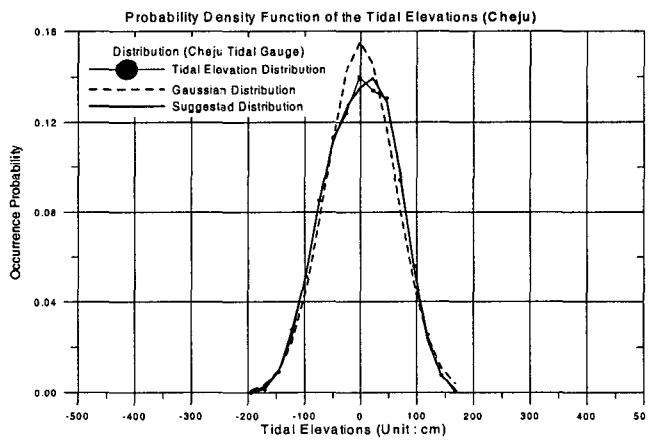


Fig. 2. (계속)

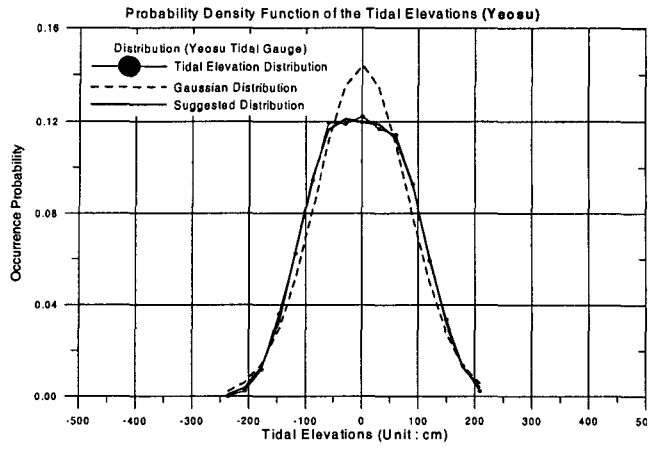


Fig. 2. (계속)

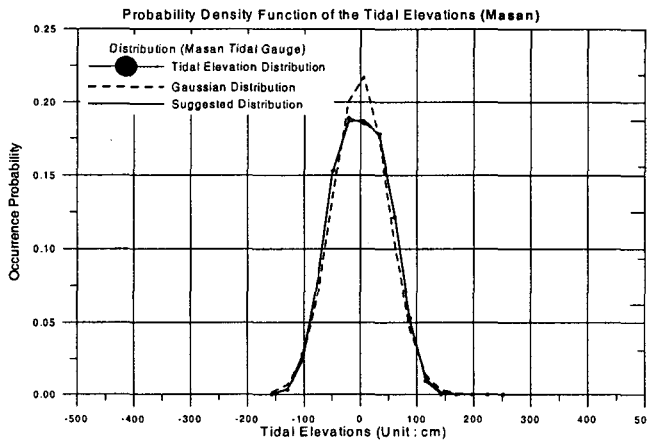


Fig. 2. (계속)

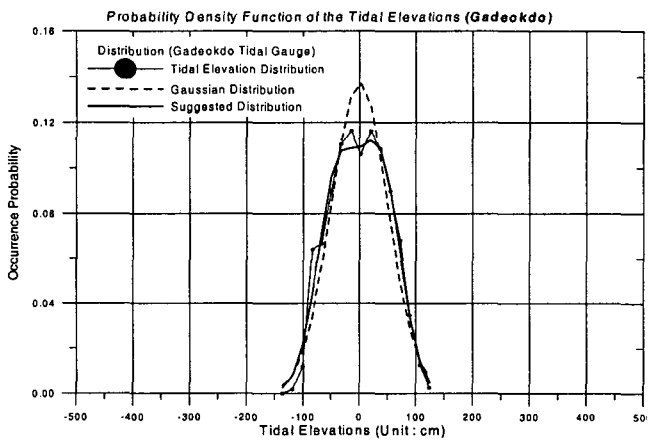


Fig. 2. (계속)

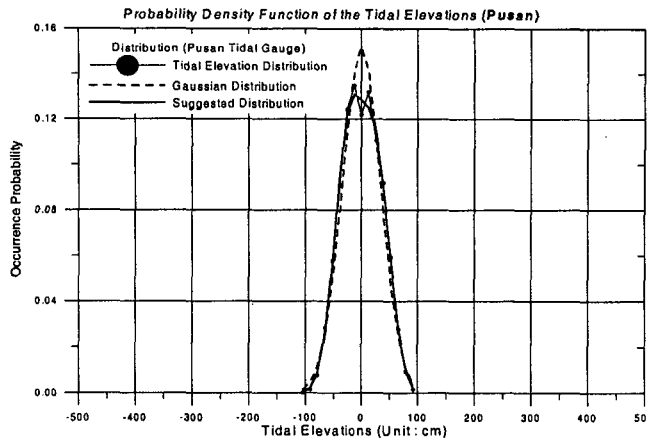


Fig. 2. (계속)

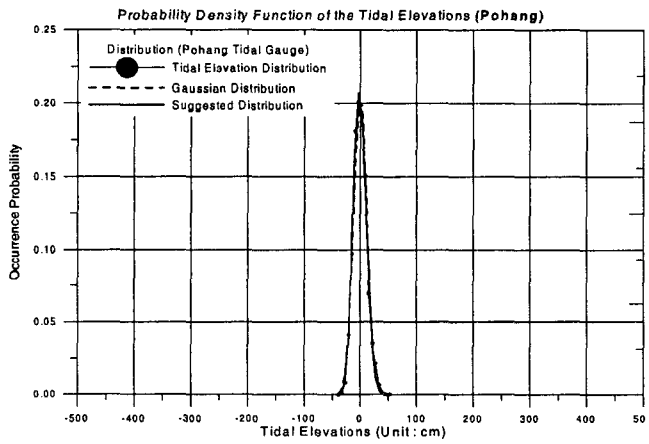


Fig. 2. (계속)

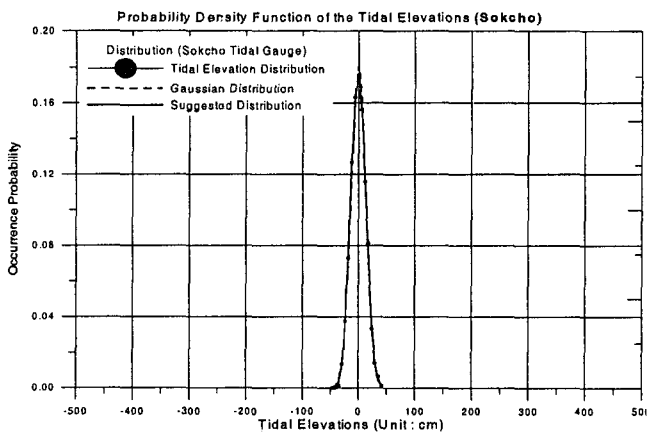


Fig. 2. (계속)

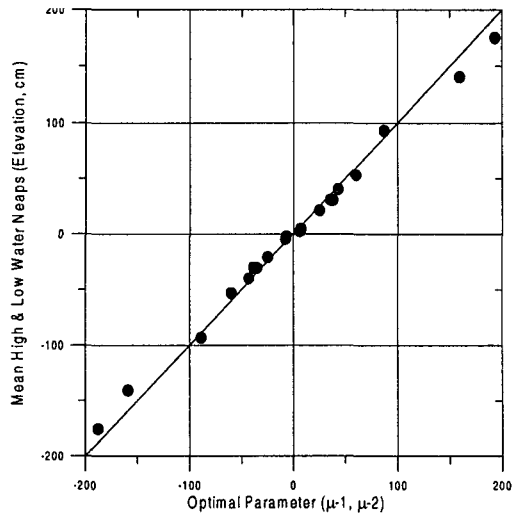


Fig. 3. Scatter plot of the μ_1, μ_2 parameters and HWONT, LWONT

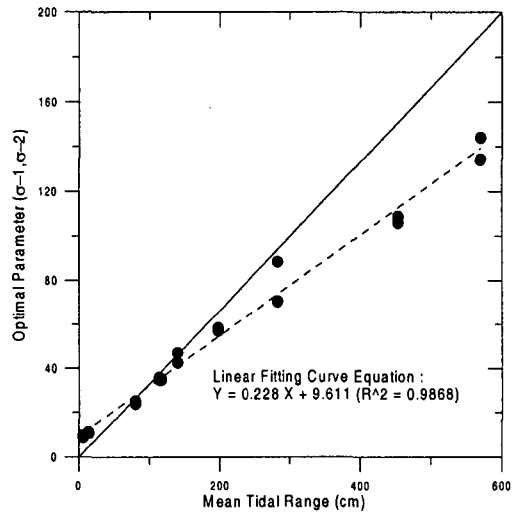


Fig. 4. Regression Curve of the σ_1, σ_2 parameters and mean range

5. 결론 및 제언

본 연구에서 우리나라 연안의 조위자료 빈도분포 함수로 제안한 쌍봉형 정규분포 함수는 조위자료의 빈도분포 함수에 매우 적합한 형태로 파악되었다. 또한, 쌍봉형 빈도분포 함수형태를 이용하여 최적추정된 매개변수 μ_1, μ_2 인자는 소조평균고조위 및 소조평균저조위와 직접적인 관계(동일한 크기)를 보이고 있으며, σ_1, σ_2 인자는 평균조차와 밀접한 관계를 보이고 있는 것으로 파악되었다.

한편, 본 연구에서 제안한 쌍봉형 정규분포 함수 형태가 조위자료의 빈도분포 함수에서 첨두형

태 재현에는 우수한 결과를 보이고 있으나, 분포의 꼬리에 해당하는 부분에서는 재현성이 떨어져 있다. 이 부분은 꼬리부분의 표현이 우수한 다양한 함수형태에 대하여 다각적으로 검토하는 연구가 필요가 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 국립해양조사원 Homepage <http://www.nori.go.kr/kr/>
- 조석자료제공시스템 <http://oceandata.nori.go.kr>, 1시간 자료 및 조석 조화상수 및 비조화상수
- 박성현 (1986). 회귀분석, 대영사.
- 星谷 勝, 石井 清 (1986). 構造物の信頼性設計法,

鹿島出版會.

Bazaraa, M.S., Sherail, H.D. and Shetty, C.M. (1993). Nonlinear Programming : Theory and Algorithms, Second Edition, John-Wiley & Sons.
Goda, Y. (2000). Random Seas and Design of Maritime Structures, Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 15, World Scientific.

Haldar, A. and Mahadevan, S. (2000). Probability, Reliability and Statistical Methods in Engineering Design, John-Wiley & Sons.

Pugh, D.T. (1987). Tides, Surges and Mean Sea-Level, A Handbook of Engineers and Scientists, John-Wiley & Sons.