

조화상수를 이용한 조간대 노출시간 추정공식 개발 Development of the Inter-tidal Exposure Duration Formulae Using Tidal Harmonic Constants

정신태* · 조홍연** · 고동희*
Shin Taek Jeong*, Hongyeon Cho** and Dong Hui Ko

요 지 : 조간대 저서생물들의 서식환경을 결정하는 중요한 인자 중의 하나인 노출시간을 추정하는 공식을 개발하였다. 이 공식은 기존의 1시간 간격, 1년 기간 조위자료를 이용하여 노출시간을 추정하는 방법과는 달리 대부분 연안의 기본 조석 정보에 해당하는 주요 4분조 조화상수들을 이용하여 노출시간을 간단하게 계산할 수 있다. 서해안의 관측 조위자료를 이용한 노출시간과 본 연구에서 개발한 공식에 의한 추정결과를 비교한 결과 RMS 오차는 0.8-1.4%로 파악되었다. 본 공식은 장기간의 조위자료가 없는 조간대 지역에서 간단하면서도 정확한 노출 시간 및 침수시간 추정에 활용할 수 있다.

핵심용어 : 조간대, 저서생물들, 노출시간, 조위자료, 조화상수들

Abstract : A new formulae for the estimation of the exposure duration in the inter-tidal zone are developed. The exposure duration is one of the most important factors influencing the habitat distribution of the benthic organisms. The formulae can estimate the exposure duration only using the four major tidal harmonic constants available in almost coastal areas. It is easier than the existing method using the frequency analysis of the hourly tidal elevation data. The estimation results by using the formulae suggested in this study are compared with the value by using the observed tidal elevation data analysis in the west coast, Korea. The mean RMS (root-mean squared) errors ranged from 0.8 to 1.4%. It can be used to simply estimate the accurate exposure duration in the region not having the long-term hourly tidal elevation data.

Keywords : inter-tidal zone, benthic organisms, exposure duration, tidal elevation, tidal harmonic constants

1. 서 론

조간대 및 해안 습지에 서식하는 생물은 다양한 물리인자의 복합적인 영향을 받고 있으나, 가장 두드러진 환경인자는 조간대 노출(또는 침수) 시간이다(Swinbanks, 1982; 안·고, 1992; 최 등, 2001; Pugh, 2004; Hartnoll and Hawkins, 1982). 이러한 조간대 노출시간은 주로 1시간 간격의 1년 이상 조위자료를 이용하여 추정하여 왔다. 그러나 1년 이상의 장기간 조위자료가 없는 지역은 이 방법을 이용한 노출시간 추정이 곤란하다. 우리나라 연안은 국립해양조사원에서 제공하는 1시간 간격 조위자료에 비하면 주요 4대 분조를 기본적으로 포함하는 조화상수 정보는 매우 풍부한 상황이다. 따라서 조화상수를 이용하여 노출시간을 추정하는 방법 개발이 필요하다.

조 등(2004)은 국립해양조사원에서 제공하는 조위자료를 통

계적으로 분석하여 우리나라 연안 조위자료의 확률밀도함수 형태로 Gaussian 혼합분포(Gaussian Mixture Distribution, GMD) 함수 형태로 제안하였다. 정 등(2008)은 이 분포함수에 경계조위 상한-하한을 설정하여 분포함수의 범위를 제한하는 이중절단 GMD 함수를 제안하였다. 한편, 정 등(2005)은 국립해양조사원에서 제공하는 인천(울도), 목포, 여수, 부산, 포항, 속초의 조화상수자료를 사용하여 조위의 발생확률분포를 추정·분석하였고, 조 등(2006)은 서해안 인천, 평택, 군산외항 및 목포 검조소의 1시간 간격 조위자료를 이용하여 조간대의 연속노출시간 특성을 분석하였다. 한편, 조 등(2010)은 Gaussian 혼합분포 함수 형태를 따르는 조위에 대하여 등가평균 및 등가표준편차를 산정하여 구조물 신뢰성 설계시 활용할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 조차가 큰 서해안을 대상으로 GMD 분포함수의 누적분포함수 형태를 기본으로 하여 최적 매개변수와

* 원광대학교 토목환경공학과 (Department of Civil and Environmental Engineering, Wonkwang University, Jeonbuk 570-749, Korea)
** 한국해양과학기술원, 해양환경보전연구부(Corresponding author: Hongyeon Cho, Marine Environments and Conservation Research Division, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Ansan PO Box. 29, Seoul 425-600, Korea. Tel: 031-400-6318, Fax: 031-400-7868, hych@kiost.ac)

Table 1. Information of the tidal gauging stations around the Korean west coast

Gauging stations	Location		Recording periods	Missing periods (Year, Month)
	Latitude(N)	Longitude(E)		
Incheon	37° 26' 57"	126° 35' 39"	1999.01-2011.12	'08(9), '09(3,10-11), '10(3,7,9-10)
Ansan	37° 11' 22"	126° 38' 57"	2003.01-2011.12	'07(8), '08(7,12), '09(2,7,9,11), '10(1-3), '11(1-3,7-10)
Pyungtaek	36° 57' 50"	126° 49' 29"	1993.01-2011.12	'96, '97, '98, '99(1), '07(4,8-9), '08(4,7,8,10-12), '09(1-5,8-11), '10(1-2,4-6,8,12), '11(1-3,7-8,11-12)
Anheung	36° 40' 15"	126° 08' 03"	1987.01-2011.12	'06(7), '7(4,6,10-11), '09(2,8), '10(9)
Boryung	36° 24' 13"	126° 29' 17"	1986.01-2011.12	'05(12), '06, '07(9)
Kunsan	35° 58' 21"	126° 33' 55"	1981.01-2011.12	'88(4), '08(7-8,12), '09(1,7)
Janghang	36° 00' 14"	126° 41' 23"	2006.03-2011.12	'08(11-12), '09(1-2,4-8,10-11), '10(4,10-12), '11(1-6,9-10,12)
Wido	35° 36' 54"	126° 18' 14"	1985.01-2011.12	'02(12), '03(1-3,6), '04(7-12), '05, '06(1-2,6-7,9-11), '09(4-6,8,10-12), '10(1,9,11-12), '11(1,8-12)
Yeonggwang	35° 25' 23"	126° 25' 22"	2002.01-2011.12	'04, '07(12), '08(1,6,9,11), '10(1)
Mokpo	34° 46' 36"	126° 22' 39"	1956.01-2011.12	'57(1-6), '79, '86, '88, '08(7,9), '09(1,7)
Jindo	34° 22' 28"	126° 18' 38"	2007.01-2011.12	'07(9), '08(6), '10(4-5,10,12), '11(4)
Daeheuksando	34°40' 51"	125° 26' 18"	1966.01-2011.12	'66(1), '69(3-5), '72(5-7), '76(2), '99(3-4), '06(2), '07(2), '08(12), '09(4-5,7,11)

조화상수의 관계분석을 수행하는 방법으로 노출시간 추정공식을 개발하였다. 또한 제안된 공식은 국립해양조사원에서 제시하는 조위자료를 이용하여 추정된 결과와 비교하여 정량적인 오차분석을 수행하였다.

2. 조위 자료 및 매개변수 추정과정

국립해양조사원에서는 1952년 8월 전라남도 목포에서의 조석관측을 시작으로 현재 조위관측소 46개소, 해양관측소 7개소, 해양과학기지 2개소를 운영하고 있다. 2012년 운영중인 조위관측소를 각 해역별로 분석하면 동해안은 속초, 묵호, 울릉도, 후포, 포항, 울산(총 6개소), 남해안은 부산, 가덕도, 마산, 통영, 여수, 고흥, 거문도, 완도, 제주, 서귀포, 성산포, 모슬포, 추자도, 거제도, 광양, 순천만, 진해(총 17개소), 서해안은 목포, 대흑산도, 영광, 위도, 장항, 군산외항, 보령, 안흥, 대산, 평택, 안산, 인천, 진도, 강화대교, 여청도, 대청도, 굴업도, 영흥도, 영종대교, 격렬비열도, 서천, 인천송도, 태안(총 23개소)이다. 조위관측소에서는 장기 조석관측을 실시하기 위해 조위계, 각종 관측센서, 자료 저장 장치, 기본수준점표(TBM), 표척 등을 설치하여 1년 365일 연속적으로 조석관측을 실시하여, 조석표(수로서지), ARS, InterNet 등 다양한 방법으로 조석 자료를 제공하고 있다.

본 연구에서는 조건대가 넓게 분포된 서해안의 1시간 조위 자료를 이용하여 노출시간 추정 공식 개발에 필요한 매개변수와 조화상수를 추정하였다. 분석에 사용한 조위관측소 위치는 서해안에 위치한 12개 지점으로 인천, 안산, 평택, 안흥, 보령, 군산외항(이하 군산), 장항, 위도, 영광, 목포, 진도, 대흑산도이다(Table 1 참조).

국립해양조사원 홈페이지(<http://www.khoa.go.kr>)에서 제공하는 1시간 조위자료는 1개월 동안의 자료이다. 이 자료를 엑

셀파일로 변환하여 전체 관측기간 동안의 자료로 정리하였으며, MATLAB 프로그램을 이용하여 도시한 후, 자료의 결측 및 이상자료(outlier) 여부를 확인하였다. 조위 자료는 조화분석을 통하여 조화상수를 도출하였으며, 조 등(2004)이 제시한 방법으로 GMD 분포함수의 매개변수를 추정하였다. 조화상수와 조위 매개변수의 관계는 다음과 같은 최소사승법을 이용하여 도출하였다. 즉 조위자료가 가용한 지점(본 연구의 경우, 12개 지점)의 분조별 조화상수(본 연구에서는 주요 4대 분조 사용) 행렬을 $H_{ij}(i = \text{지점 인자}, j = \text{조화상수 인자}; \text{known})$, 조위 분포함수의 매개변수 행렬을 $P_{ik}(i = \text{지점 인자}, k = \text{매개변수 인자}; \text{known})$ 라고 정의하고, 분포함수의 매개변수가 조화상수의 선형조합으로 표현된다고 가정하는 경우 다음과 같은 관계식이 성립된다.

$$HC = P \quad (1)$$

여기서, C_{jk} 는 선형조합 계수로 구성된 행렬(unknown)이다. 위 식을 정리하면, 다음 식 (2)를 이용하여 최적 선형조합 계수 행렬을 계산할 수 있다.

$$(H^T H)C = H^T P \rightarrow C = (H^T H)^{-1} H^T P \quad (2)$$

여기서, H^T 는 행렬 H 의 전치행렬이고, $(H^T H)^{-1}$ 는 $H^T H$ 의 역행렬이다.

3. 조화상수 추정 및 노출시간 추정 공식

3.1 조위자료의 조화분석 및 분포 매개변수 추정

관측된 조석자료(DL 기준 자료)로부터 규칙적인 조석성분을 분해하기 위하여 조화분석을 실시하였다. 조석을 이루는 많은 성분 중에서 실제로 중요한 것은 4개 분조(M_2, S_2, O_1, K_1)이나, 본 연구에서는 65개 분조를 이용하여 조화분석을 실

Table 2. Mean and four major harmonic constants of tidal elevation data

Gauging stations	MSL (cm)	H_m (cm)	H_s (cm)	H_o (cm)	H' (cm)
Incheon	461.72	285.60	114.85	28.95	38.93
Ansan	433.14	260.43	109.29	34.17	42.85
Pyungtaek	485.37	277.39	116.26	35.13	44.20
Anheung	356.17	210.29	83.00	26.51	35.14
Boryung	393.19	228.52	89.47	26.81	35.30
Kunsan	374.94	215.67	83.90	26.24	34.49
Janghang	367.07	216.29	86.87	30.59	38.18
Wido	335.25	204.29	72.84	22.44	30.79
Yeonggwang	345.79	202.37	78.78	28.89	36.91
Mokpo	245.31	136.87	48.81	27.50	33.86
Jindo	205.92	96.79	37.33	14.98	25.63
Daeheuksando	187.02	105.15	36.30	18.79	23.67

시하였으며, 최적 노출시간 추정공식 개발에는 실질적으로 65 개 분조 성분이 모두 제시되어 있지 않은 경우가 빈번하기 때문에 주요 4개 분조만 이용하였다. Table 2에는 평균 해면 (MSL)과 4개 분조 M_2, S_2, O_1, K_1 의 반조차인 H_m, H_s, H_o, H' 산정 결과를 정리하였다.

3.2 조위자료의 매개변수 추정 및 누적분포함수

조 등(2004)은 조위자료의 빈도분포 함수, $p_T(x)$ 로 평균과 분산이 서로 다른 2개의 정규분포함수의 합의 형태, 즉 4개의 매개변수를 가진 GMD 함수형태 식 (3)을 제안하였다.

$$\begin{aligned}
 p_T(x) &= \frac{1}{2} [f(x; \mu_1, \sigma_1) + f(x; \mu_2, \sigma_2)] \\
 &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_1}{\sigma_1} \right)^2 \right] \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_2}{\sigma_2} \right)^2 \right] \right\} \quad (3)
 \end{aligned}$$

여기서, μ_1, μ_2 는 각각 평균에 해당하는 매개변수, σ_1, σ_2 는 각각 표준편차에 해당하는 매개변수로 μ_1, μ_2 는 각각 GMD 함수의 첨두가 위치하는 조위와 유사하다. 인천 검조소 자료를 분석한 결과 도수분포도 형태는 Fig. 1과 같으며, Fig. 1의 HWOST, HWONT, LWONT, LWOST는 각각 대조평균고조위, 소조평균고조위, 소조평균저조위, 대조평균저조위를 의미하며, 전술한 조화분석과정에서 도출된 조화상수로부터 산정한 값으로, 조화상수를 이용한 조위분포 매개변수 추정의 이론적인 근거가 된다고 할 수 있다. 인천은 1일 2회 조의 조석이 우세하므로, Fig. 1과 같이 HWONT, LWONT 부근에서 각각 첨두값이 나타난다.

한편, 서해안 12개 조위관측소의 조위분포 함수 최적 매개변수는 Table 3과 같다. 최적 매개변수는 최소자승법을 이용하여 추정하였으며, 오차의 크기는 사용한 조위자료의 관측

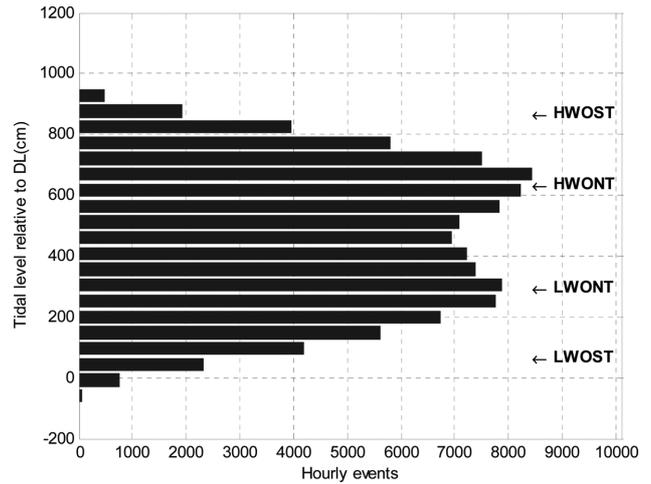


Fig. 1. Frequency diagram of the Incheon tidal gauging station.

Table 3. Optimal GMD parameters of tidal elevation data distribution

Gauging stations	μ_1 (cm)	μ_2 (cm)	σ_1 (cm)	σ_2 (cm)
Incheon	649.25	275.72	136.24	145.18
Ansan	607.45	259.79	130.85	137.96
Pyungtaek	670.49	297.79	141.81	148.85
Anheung	495.99	216.35	99.60	104.26
Boryung	542.49	239.71	110.88	110.33
Kunsan	512.83	220.93	106.81	104.62
Janghang	517.14	227.20	108.86	109.46
Wido	465.97	209.12	97.59	93.48
Yeonggwang	479.37	211.52	102.86	97.22
Mokpo	328.62	153.71	71.69	90.17
Jindo	267.25	135.25	56.56	64.78
Daeheuksando	256.86	121.60	54.52	53.98

기간에 따라 다소 차이를 보이고 있으며, 그 차이는 5% 이하로 미미한 정도이다.

3.3 조화상수와 GMD 분포 매개변수의 선형조합 계수 추정

식 (2)을 이용하면 주요 4개분조의 조화상수(반조차 성분)와 GMD 분포함수의 매개변수의 관계를 표현하는 최적 계수를 추정할 수 있다. 여기서, 조화상수 행렬 H_{ij} 은 (12×4) 행렬(여기서, 12 = 지점의 개수, 4 = 분조의 개수)이며, 매개변수 행렬 P_{ik} 도 (12×4) 행렬(여기서, 4 = 매개변수의 개수)이 되기 때문에 최적 선형조합 계수행렬 C_{jk} 은 (4×4) 행렬로 다음 식(4)와 같으며, 본 추정방법의 RMS(Root-mean squared) 오차는 5.7 cm이다(Fig. 2 참조).

$$C = \begin{bmatrix} 1.3457 & 0.5365 & 0.2027 & -0.1096 \\ 1.5793 & 0.4272 & 0.4549 & 0.9963 \\ -3.5554 & -3.1057 & -0.3631 & -0.5643 \\ 5.0903 & 4.3971 & 0.9632 & 1.7997 \end{bmatrix} \quad (4)$$

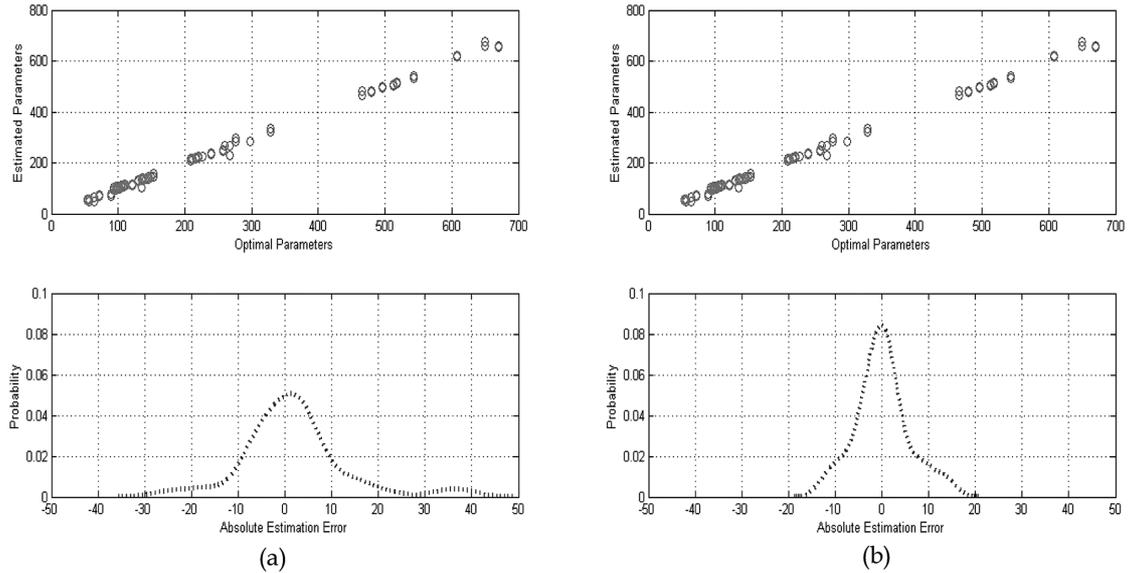


Fig. 2. Comparison plot of the parameters and the estimation error distribution ; (a) in case of using the M_2 and S_2 tidal harmonic constants, (b) in case of using the four major tidal harmonic constants.

따라서 GMD 분포함수의 매개변수는 각각 다음과 같은 식 (5)로 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \mu_1 &= 1.3457H_m + 1.5793H_s - 3.5554H_o + 5.0903H_f \\
 \mu_2 &= 0.5365H_m + 0.4272H_s - 3.1057H_o + 4.3971H_f \\
 \sigma_1 &= 0.2027H_m + 0.4549H_s - 0.3631H_o + 0.9632H_f \\
 \sigma_2 &= -0.1096H_m + 0.9963H_s - 0.5643H_o + 1.7997H_f
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

한편, M_2 , S_2 분조만을 사용하는 경우의 RMS 오차는 11.2 cm로 주요 4개 분조를 사용한 경우에 비하여 오차가 2배 정도 증가하지만 1달 이내의 단기간 관측 자료를 이용하여 M_2 , S_2 분조성분만이 가용한 경우에 사용할 수 있는 공식 (6)을 제안하였다.

$$\begin{aligned}
 \mu_1 &= 2.3146H_m + 0.1189H_s \\
 \mu_2 &= 1.3651H_m - 0.8245H_s \\
 \sigma_1 &= 0.4609H_m + 0.0892H_s \\
 \sigma_2 &= 0.4004H_m + 0.2801H_s
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

그러나, 대부분의 경우 주요 4개 분조가 가용하고, 단기간의 자료를 사용하는 경우 조위의 월별 편차에 따른 편기(bias) 오차가 불가피하기 때문에 노출시간 추정 오차분석은 수행하지 않았다.

3.4 노출시간 추정 및 오차분석

조위변화에 따라 노출 및 침수가 반복되는 조간대 영역은 노출 및 침수 특성에 따라 연안 생물의 서식환경이 결정된다. 따라서 조석 영향이 크게 나타나는 검조소의 조위자료를 이용하여 조간대 고도에 따른 노출시간(exposure duration; 침수 시간은 노출을 제외한 시간으로 간주할 수 있기 때문에 노출 시간 분석으로 본 연구범위를 제한)을 계산하는 것이 필요

하다. 조위변화에 따른 고도별 연속 노출시간 분석자료는 연안 개발사업 및 연안환경에서의 조위변화에 따른 조간대 서식환경 분석에 이용할 수 있으며, 공간적인 조간대 서식환경 차이 분석에도 활용할 수 있다. 노출시간은 GMD 분포함수로부터 다음과 같이 유도될 수 있다. 조위자료의 GMD 함수를 누적함으로써 조간대 생물이 대기 중에 노출 또는 해수에 침수되는 빈도를 통계적으로 구할 수 있다. 누출곡선의 빈도 분포 함수, $p_E(x)$ 는 쌍봉형 정규분포 함수형태 식 (3)을 이용하면 다음 식 (7)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 p_E(x) &= \frac{1}{2} \left[\int_{-\infty}^x f(\xi; \mu_1, \sigma_1) d\xi + \int_{-\infty}^x f(\xi; \mu_2, \sigma_2) d\xi \right] \\
 &= \frac{1}{2} \left\{ \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\xi - \mu_1}{\sigma_1} \right)^2 \right] d\xi \right. \\
 &\quad \left. + \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\xi - \mu_2}{\sigma_2} \right)^2 \right] d\xi \right\} \\
 &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x - \mu_1}{\sqrt{2} \sigma_1} \right) \right] + \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x - \mu_2}{\sqrt{2} \sigma_2} \right) \right] \right\}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

여기서, $\operatorname{erf}(x)$ 는 에리함수를 의미한다. 따라서 전술한 Table 3의 값을 이용하여 조간대 임의 고도(x)에서의 연속 노출시간을 산정할 수 있다. 본 연구에서는 조화상수를 이용한 조간대의 노출시간 추정공식의 오차를 평가하기 위하여 식 (5)에 제시된 방법으로 조화상수를 이용하여 조위분포 매개변수를 추정하고, 다음 단계로 식 (7)을 이용하여 노출시간을 추정하였다. 추정된 노출시간은 조위관측소의 1시간 조위자료를 이용하여 추정된 노출시간과 비교하여 오차를 분석하였다. 관측 자료를 이용한 고도별 노출시간과 본 연구에서

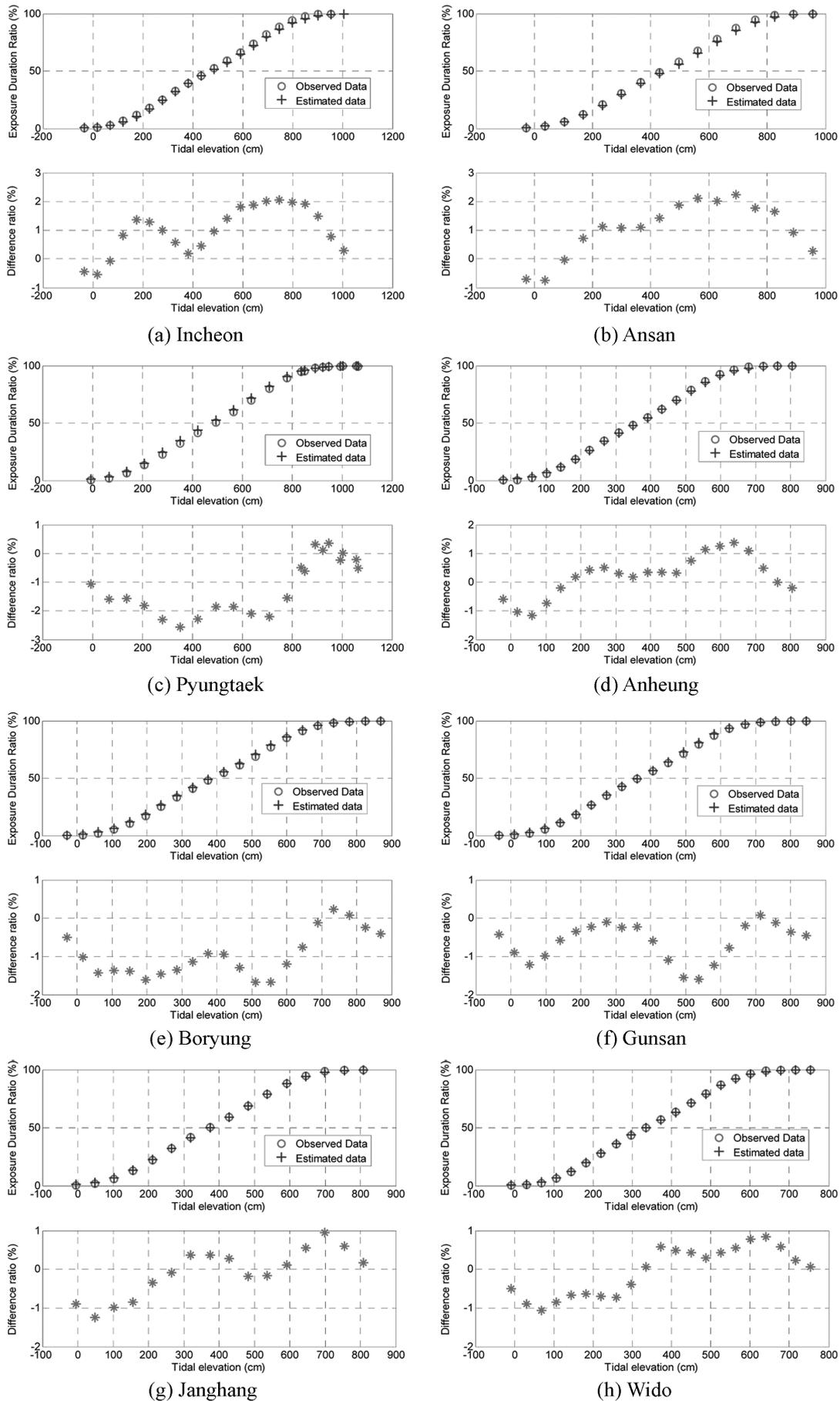


Fig. 3. Comparison plot of the exposure durations and difference error.

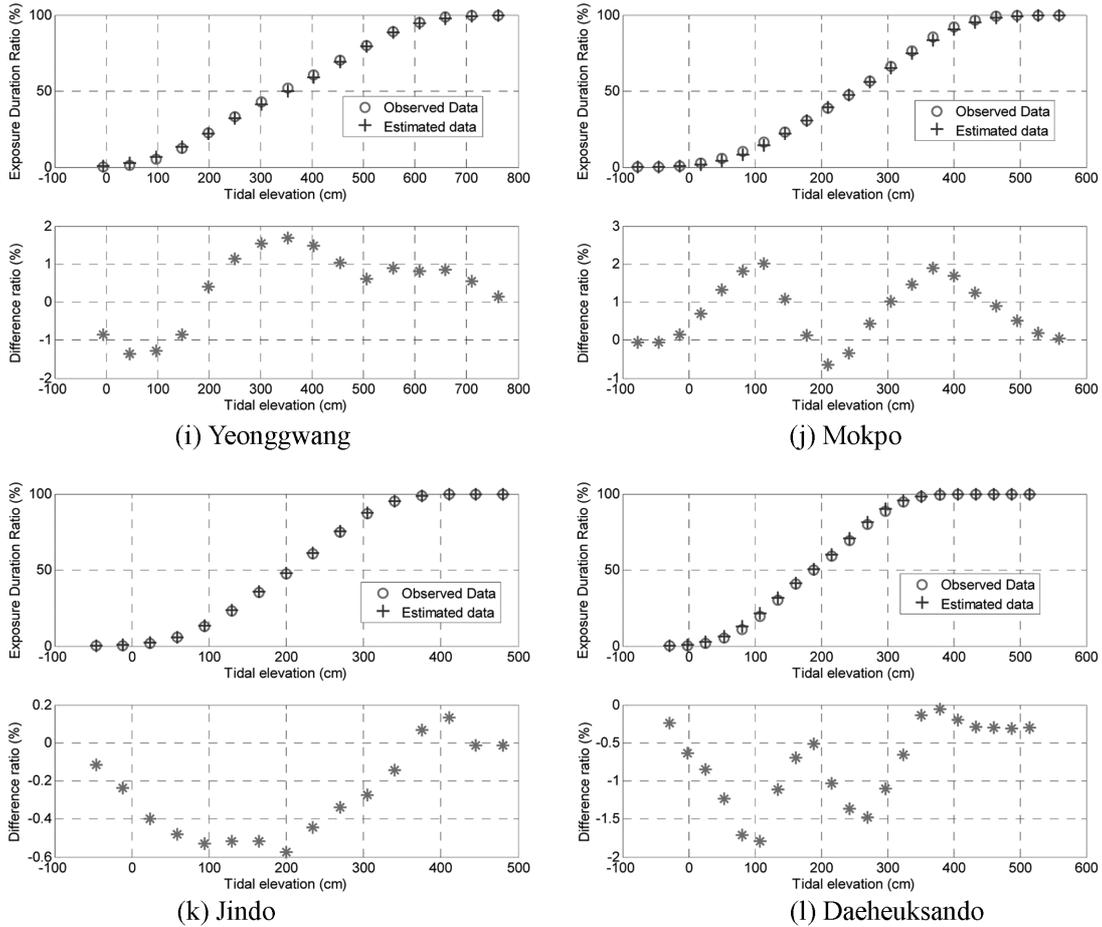


Fig. 3. Continued.

개발한 공식을 이용한 노출시간을 비교한 결과 전반적으로 매우 우수하게 일치하는 양상을 보이고 있다(Fig. 3 참조). Fig. 3의 y축은 노출 시간 비율(Exposure Duration Ratio, %)과 잔차비(Difference ratio, %)를 의미한다. 각 검조소별 조건대 노출시간 추정 평균 RMS 오차는 0.3-1.5% 정도이며, 1% 오차를 상회하는 지점은 인천, 안산, 평택, 보령, 영광, 목포로 1.1-1.5% 범위이다. 인천의 경우 1.3%로, 이 오차는 인천지점 조건대의 노출시간을 추정하는 경우, 1년 동안의 총 노출시간 8,760시간을 가정하는 경우에는 113시간, 1달 동안의 노출시간 9.4시간 정도(1일의 경우 0.31시간 = 약 19분)의 오차에 해당한다.

4. 결론 및 제언

조화상수를 이용한 노출시간 추정공식을 개발하였다. 개발된 추정공식은 평균 RMS 오차가 0.3-1.5% 정도로 관측 자료를 이용한 결과와 우수한 일치를 보이고 있다. 본 공식은 장기간의 1시간 간격 조위자료가 없는 경우, 주요 4대 분조의 조화상수 정보만을 이용하여 조건대의 노출시간을 간단하고 정확하게 추정하는 데 활용할 수 있다. 또한 본 연구에서 사용한 기법은 다양한 조위기준 관련 상수의 상호관계를 추

출하는데 활용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 해양에너지 및 자원이용기술개발사업인 “해양에너지 전문 인력 양성사업(과제번호:20110020)”과 지식경제 기술혁신사업인 “서남해 2.5 GW 해상풍력 개발을 위한 실증단계 연구(과제번호:20113040020010)”의 연구결과입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

국립해양조사원 (2012). <http://www.khoa.go.kr/>
 안순모, 고철환 (1992). 서해 만경·동진 조건대의 환경과 저서동물 분포, 한국해양학회지, 27(1), 78-90.
 정신탉, 조홍연, 김정대, 고동휘 (2008). 이중 절단 기법을 이용한 조위자료의 확률밀도함수 추정, 한국해양·해양공학회지, 20(3), 247-254.
 정신탉, 조홍연, 정원무, 양정석 (2005). 조화상수를 이용한 조위 발생확률분포 분석, 대한토목학회논문집, 25(1B), 51-57.
 조홍연, 김한나, 조범준 (2006). 서해안 조건대의 연속노출시간 특성 분석, 어촌어항연구, 제8집, 73-84.

- 조홍연, 정신탉, 오영민 (2004). 조위자료의 확률밀도함수 추정, 한국해양·해양공학회지, 16(3), 152-161.
- 조홍연, 정신탉, 이길하, 김태현 (2010). 조위의 확률밀도함수 변화에 따른 평균 및 표준편차 분석, 한국해양·해양공학회지, 22(4), 279-285.
- 최강원, 황중서, 지광재, 이은하 (2001). 우리나라 갯벌의 특성 연구, 농업기반공사 농어촌연구원, 2001-05-16.
- Hartnoll, R.G. and Hawkins, S.J., (1982). The emersion curve in semidiurnal tidal regimes, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 15, 365-371.
- Pugh, D., (2004). *Changing Sea Levels, Effects of Tides, Weather and Climate*, Chapter, 9, Cambridge University Press.
- Swinbanks, D.D., (1982). Intertidal exposure zones: A way to subdivide the shore, *J. of Experimental Marine Biology and Ecology*, 62, 69-86.
-
- 원고접수일: 2012년 9월 25일
수정본채택: 2012년 10월 17일
게재확정일: 2012년 10월 17일