

한국 남해의 구난환경 위험성 분석을 위한 극치 조석 산정

이문진*

한국해양연구원 해양시스템안전연구소

Estimation of Extreme Tide for Risk Analysis of Marine Salvage in the Namhae (southern sea of Korea)

Moonjin Lee

Maritime and Ocean Engineering Research Institute

요 약 : 해난사고 선박의 구난환경 위험성 분석을 위한 극치조석 산정을 연구하였다. 본 연구에서는 표준항에서 관측된 해면변위에서 주요 4대 분조(M₂조, S₂조, K₁조, O₁조)의 진폭과 극치조석의 진폭을 산정하고, 조석 공간분포의 균일성에 근거한 유추(inference)방법을 이용하여 둘 간의 상관관계를 수치모델로 계산된 주요 4대분조의 공간분포에 적용함으로써 극치조석의 공간분포를 산정하였다. 극치조석의 분포는 한국 남해를 대상으로 산정하였으며, 50년 주기와 100년 주기의 극치조석을 각각 산정하였다. 한국 남해의 50년 주기 극치조석 진폭은 70cm~260cm의 분포를 보였으며, 100년 주기 극치조석 진폭은 80cm~270cm의 분포를 보였다. 극치조류의 유속은 100년 주기의 경우 평균상태 조류 유속에 비하여 약 1.55배 강한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 극치조석, 극치조류, 유추방법, 구난환경, 위험분석

Abstract : In marine salvage, extreme tide heights and tidal currents are necessary to anchor an accidental ship. In order to meet this requirement, a simple scheme was developed which yields the spatial information on the extreme tide from the distribution of approximate highest astronomical tide heights using a relationship between extreme and highest astronomical tides at the standard port. This method is the inference method based on horizontally homogeneity of tide. This scheme was applied to estimate extreme tide heights and tidal currents in the Namhae (southern sea of Korea). The highest astronomical tide heights are computed by amplitude of four major constituents (M₂, S₂, K₁, O₁ tide).

The estimated extreme tide heights are ranged from 70 to 260 cm for return period 50 years and from 80 to 270cm for return period 100 years, respectively. For return period 100 years, extreme tidal currents show value of 1.55 times as strong as those of normal state.

Key word : Extreme tide, extreme tidal current, inference, marine salvage, risk analysis

1. 서 언

해난사고시 사고선박의 안정된 고정을 위하여 앵커(anchor), 체결용 와이어 로프 및 체인 등과 같은 구난장비의 규격 및 수량의 선정이 필요하다. 구난장비의 규격 및 수량은 일차적으로 사고선박의 체원에 따라 결정되지만, 해역의 환경적 요소로서 해역의 해저수심 및 해수유동(currents) 특성 또한 충분히 고려되어야 한다(한국기계연구원 선박해양공학연구센터, 1997).

일반적으로 해저수심 정보는 해도상에 표기된 값을 이용하는데, 이는 실제 수심과 다소 차이가 있다. 해도상의 해저수심은 해수면이 가장 낮은 상태인 약최저조면(approximate lowest astronomical tide level)으로부터의 깊이를 나타낸다. 실제 수심은 해도상의 수심에 평균해수면(mean sea level)의 높이를 추가하여야 하며, 해수면 변동치를 고려하여야 한다.

해수면 변동은 바람, 조석, 해수 밀도 등에 의해 결정된다. 바람에 의한 변동은 바람에 의해 해수가 유동함에 따라 발생하는데, 단주기적으로 불규칙하게 변동하므로 장기적인 변동에는 크게 영향을 미치지 않는다. 또한 해수 밀도에 의한 해수면의 변동은 수개월 이상의 장주기를 가지나, 변동의 크기는 미미하다. 반면에 조석에 의한 변동은 약 12시간 정도의 주기를 가지고 변동하며, 변동의 크기에 있어서도 의미있게 나타난다. 구난작업시 조석에 의한 해면변동 및 해수유동의 변동은 정상상태(normal conditions)로서도 중요한 환경요소로 작용하지만, 극한상태(extreme conditions)로서 더욱 중요하게 작용한다.

조석에 의한 해면변위와 이에 기인한 흐름인 조류는 이미 많은 연구가 수행된 바 있다. 특히 정상상태의 조석특성은 관측치를 이용한 연구뿐만 아니라(Garrett, 1972; Godin, 1972), 수치모델을 이용한 공간적 분포구명을 위한 연구도 여러차례 수행된 바 있다(An, 1977; Choi, 1980). 그러나 극치 조석의 연구는 주로 관측치가 있는 연안에서만 이루어졌으며, 해역

* 정회원, Moonjin.Lee@moeri.re.kr, 042)868-7300

전반에 대한 공간적 분포는 거의 제시된 바 없다.

본 연구에서는 구난 작업시 고려해야 할 환경적 요소로서 조석에 의한 해수면 변동과 이에 수반된 해수유동인 조류 변동의 극치(extreme value)를 산정한다. 조석의 극치는 비교적 장기간의 관측자료가 가용한 표준항(standard port)에 대해 산정한다. 또한 산정된 표준항의 극치로부터 조석의 공간적 유사성에 근거한 유추(inference) 방법을 이용하여 남해 해역 전체의 조위 및 조류 변동의 극치분포를 제시한다.

2. 조석의 유추(inference) 방법

본 연구에서는 남해해역 전체의 극치조석 분포를 산정하기 위하여 조석의 공간적 유사성에 근거한 유추(inference) 방법을 적용하였다. 조석의 유추방법은 장기간의 관측자료가 가용한 연안의 1개지점을 표준항으로 선정하여 조석의 특성을 분석하고, 분석된 조석특성을 주변해역에 적용하는 방법이다. 공간적으로 인접한 해역의 조석 변동은 비교적 유사한 양상을 보이므로, 표준항의 조석 변동특성을 이용한 인접해역 조석특성의 유추는 가능하다. 유추방법은 관측자료가 미비한 해역의 조석특성을 파악에 주로 이용되는데(Munk and Cartwright, 1966), 비선형성이 강한 강하구 주변해역에서도 좋은 결과가 제시된 바 있다(George and Simon, 1984; Simon, 1991). 국내에서 조석의 유추는 단기 관측자료에서 분석된 조석조화상수의 동시성 보정에 응용된 바 있는데, 남해 해역 조석 변동은 공간적으로 수 십 km 범위내에서 유사하게 나타났다(이, 1996).

본 연구에서는 조석의 기본 특성인 약최고고조위(Approx. Highest High Water, Approx. HHW)와 극치조위(Extreme Tide Level, ETL)간의 비를 이용하는 유추방법을 적용하였다. 약최고고조위와 극치조위간의 비는 장기 관측자료가 가용한 표준항에서 산정하며, 이 비를 주변해역의 약최고고조위 값에 적용하여 해역 전체의 극치조위 분포를 추정한다. 표준항에서 약최고고조위와 극치조위간의 비 R 은

$$R = \frac{ETL}{Approx. HHW} \quad (1)$$

와 같이 계산된다. 여기서 극치조위는 관측 자료의 통계 분석을 통하여 산정하며, 약최고고조위는

$$Approx. HHW = 2 \times (A_{M_2} + A_{S_2} + A_{K_1} + A_{O_1}) \quad (2)$$

와 같이 조석의 주요 4대분조 진폭(Amplitude)의 합으로 계산한다. 표준항 및 주변해역의 약최고고조위 산정에 필요한 조석 4대분조의 진폭은 본 연구해역에서 실시간 조류를 계산한 이와 김(1997)의 조석 수치모델의 결과를 이용한다.

3. 표준항의 극치조석 산정

3.1 극치조석 산정의 통계적 방법

극치 조석은 통상 재현주기(return period) 50년과 100년에 대한 조위로서 산정한다. 따라서 극치 조석을 산정하기 위해서는 원칙적으로 재현주기의 기간인 50년과 100년에 해당하는 관측자료를 이용하여야 하나, 이와 같은 장기간의 관측자료는 거의 없으므로 수십년 정도의 기간동안 관측된 자료를 통계분석하여 산정하였다.

조석의 극치는 주로 고조시에 발생하므로 1년 동안 극치 조석이 발생할 수 있는 횟수는 고조위 발생횟수와 동일하게 취급될 수 있다(Graff, 1981; Pugh, 1987). 따라서 임의의 조위가 재현주기 T 인 해면변위의 극치 n 보다 작을 확률 P 는

$$P = 1 - \frac{1}{mT(n)} \quad (3)$$

이다. 여기서 m 은 1년간 발생하는 고조횟수로서 반일주조의 경우 m 은 약 705회이다. 재현주기 $T(n)$ 가 1년 이상이면, 확률분포 P 는

$$P = e^{-\frac{1}{T(n)}} \quad (4)$$

와 같이 근사될 수 있으며, 여기서 재현주기 $T(n)$ 는

$$T(n) = -\frac{1}{\ln P} \quad (5)$$

$$\ln T(n) = -\ln(-\ln P) \quad (6)$$

와 같이 확률분포 P 의 함수로서 계산될 수 있다. 본 연구에서는 $T(n) > 1$ 의 조건을 충족시키기 위해 시간별 자료로부터 추정된 년 최대 해면변위를 이용한다. 년 최대 해면변위의 분포를 등급으로 나누어 각 등급별 발생확률을 계산하면, 각 등급의 재현주기를 계산할 수 있다. 최대 해면변위의 각 등급별 재현주기를 근거로 둘간의 관계를 도출하면 임의의 재현주기를 갖는 해면변위의 극치를 산정할 수 있다. 최대 해면변위와 재현주기간의 관계는

$$n = n_0 + a(1 - e^{-kX}) \quad (7)$$

의 형태로 산정될 수 있다. 여기서 n 는 임의의 재현주기 X 를 갖는 해면변위의 극치이고 n_0 및 a 와 k 는 상수이며, X 는

$$X = -\ln(-\ln P) \quad (8)$$

와 같이 계산된 재현주기 $\ln T(n)$ 를 나타낸다.

3.2 표준항의 극치조석

본 연구에서 극치조석 산정을 위한 표준항으로는 여수항 (34°45'N, 127°46'E)을 선정하였다. 여수항은 Fig. 1에 제시된 바와 같이 연구해역의 중앙에 위치하며, 외양의 영향이 잘 나타나도록 개방되어 있다. 여수항 조위의 극치를 산정하기 위하여 1965년~1988년까지 24년 동안 매 시간마다 관측된 해면변위 자료를 이용하였다.

여수항의 조석은 여수항의 시간별 자료로부터 추정된 1965년부터 1988년까지의 매 1년간 최대 해면변위는 Table 1에 나타낸 바와 같이 202cm~258cm의 변동 폭을 보였다.

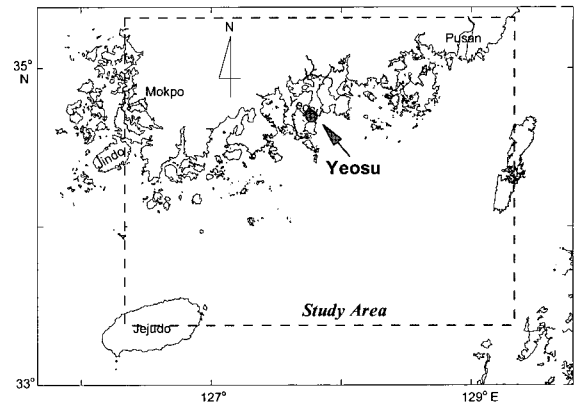


Fig. 1. Location of standard port.

Table 1. Annual extreme values of sea level above MSL at Yeosu, 1965-1988

year	annual extreme (cm)	year	annual extreme (cm)	year	annual extreme (cm)
1965	239	1973	221	1981	221
1966	258	1974	228	1982	212
1967	258	1975	230	1983	222
1968	208	1976	211	1984	214
1969	209	1977	212	1985	209
1970	214	1978	220	1986	202
1971	230	1979	212	1987	209
1972	208	1980	214	1988	212

24년간에 대한 각 년별 최대 해면변위의 크기별 발생빈도를 파악하기 위하여 200~260cm까지의 구간을 5cm 간격으로 구분하여 각 등급별 발생빈도를 산정하였으며, 발생빈도에 근거하여 최대 해면변위의 발생확률을 산정하였다. 24년간의 해면변위 자료로부터 산정한 여수항의 최대 해면변위 발생빈도 및 발생확률은 Table 2와 같다. Table 2에서 r 은 최대 해면변위 발생빈도의 누적치이며, P 는 발생확률이다. 해면변위 n 와 X 간의 관계식에서 n_0 및 a 와 k 는 Powell의 최적화 방법(Press et al., 1986)을 이용하여 계산하였다.

최적화 결과, 재현주기 X 에 대한 해면변위의 극치 r 는

$$n = 2.15 - 0.6 \times (1 - e^{-0.146X}) \quad (9)$$

와 같이 결정되었다. Fig. 2의 곡선은 관계식에 의해 계산된 n 의 변화를 나타낸다. 재현주기와 해면변위 극치간의 관계로부터 추정된 재현주기 50년 혹은 100년에 대한 해면변위 극치는 식(10), (11)과 같다.

$$n = 2.61\text{m} \quad \text{for } T = 50\text{years} \quad (10)$$

$$n = 2.73\text{m} \quad \text{for } T = 100\text{years} \quad (11)$$

Table 2. Ranking and probability calculations for N=24 Yeosu annual extreme values of sea level above MSL (1965-1988)

levels(cm)	frequency	r	P	X
205	1	1	0.0208	-1.3540
210	5	2- 6	0.1458	-0.3552
215	8	7-14	0.4167	0.1331
220	1	15	0.6042	0.3855
225	3	16-18	0.6875	0.3816
230	3	19-21	0.8125	1.3720
240	1	22	0.8958	2.2069
260	2	24	0.9792	3.3623

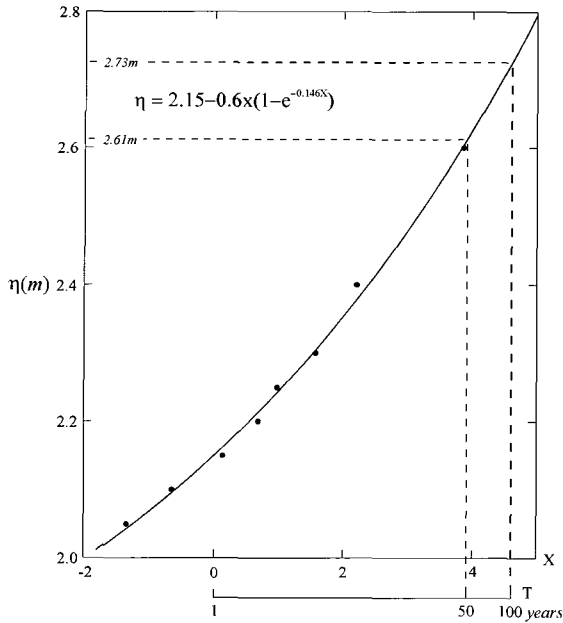


Fig. 2. Probabilities of annual maximum sea levels above MSL at Yeosu.

남해서부와 연안부근에서는 170cm 정도까지 나타난다. 이는 실제 수심이 170cm 정도 증가하거나 감소하게 됨을 의미하므로 수심이 얇은 연안부근에서는 구난작업에 심각한 영향을 줄 수 있다.

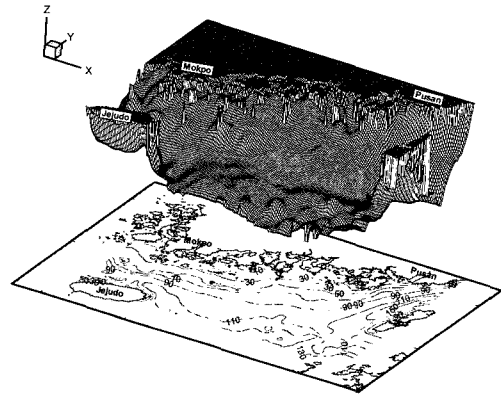


Fig. 3. Depths(m) distribution of the Namhae (southern sea of Korea).

4. 남해조석의 극치분포

4.1 표준항의 약최고고조위와 극치조위

남해 극치 조석의 공간적 분포는 표준항인 여수항의 약최고고조위와 극치조위간의 비를 이용하여 산정하였다. 조석 수치모델의 결과에서 여수항의 약최고고조위는 173.3cm로 제시된 바 있다.

계산된 여수항의 극치조위와 약최고고조위간의 비 R 은

$$R_{50} = 1.48 \quad \text{for} \quad T = 50\text{years} \quad (12)$$

$$R_{100} = 1.55 \quad \text{for} \quad T = 100\text{years} \quad (13)$$

와 같다.

4.2 조위의 극치분포

연구해역인 남해의 평균 수심분포는 Fig. 3과 같다. Fig. 3의 수심도는 수로국 해도 No.214, No.229, No.418을 참조하여 작성한 것으로서 평균해면을 기준으로 한 수심을 나타낸다.

남해 조석 수치모델에서 계산된 4대분조 조위의 진폭을 이용하여 작성한 남해의 약최고고조위 분포는 Fig. 4와 같다. Fig. 4의 약최고고조위는 평균해면을 기준으로 해수면의 상승치를 나타낸다. 연구해역에서 약최고고조위는 50~170cm 범위로 약 120cm의 공간적 차이를 보였다. 조석의 영향이 비교적 미약한 남해 동부에서 약최고고조위는 100cm 내외이나,

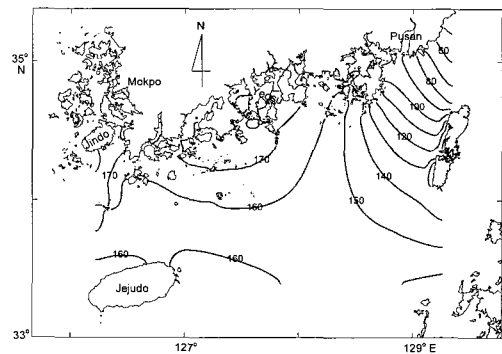


Fig. 4. Approximate highest astronomical tide levels(cm) above mean sea level(MSL) of the Namhae (southern sea of Korea).

여수항의 극치와 약최고고조위간의 비를 적용하여 계산한 남해전체의 재현주기 50년인 조위의 극치분포는 Fig. 5와 같으며, 재현주기 100년인 조위의 극치분포는 Fig. 6과 같다. 재현주기 50년인 조위의 극치는 70cm~260cm의 범위를 보였으며, 재현주기 100년의 극치는 80cm~270cm의 범위를 보였다.

4.3 조류의 극치분포

해수유동은 성인별로 해류(oceanic currents), 조류(tidal currents), 취송류(wind-driven currents)로 구분된다. 해류는 해양내부의 밀도분포에 따라 결정되는 밀도류(density-driven currents)이며, 비교적 장주기의 변동을 보인다.

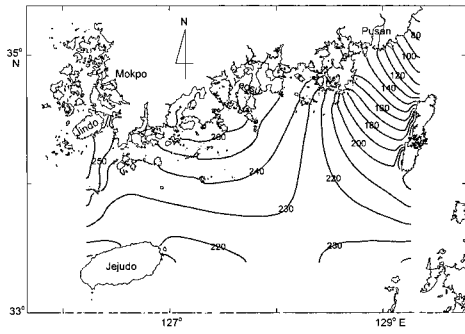


Fig. 5. Extreme Tide Levels above MSL of the Namhae (southern sea of Korea) for Return Period 50-years.

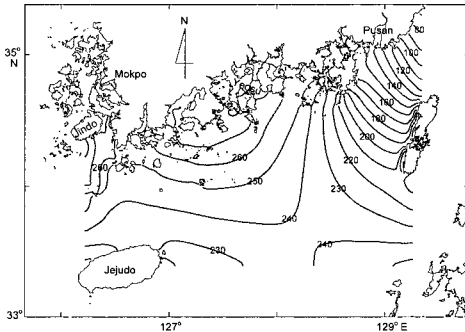


Fig. 6. Extreme tide levels above MSL of the Namhae (southern sea of Korea) for return period 100-years.

조류는 조석의 조위변동에 대한 수평적 유동의 형태로 발생되며, 조위변동과 유사한 변동을 보인다. 취송류는 바람에 의해 생성되므로 바람의 변동에 따라 불규칙하게 변동하며, 해수표면에서 가장 강하고 내부에서는 지수함수적으로 감소하는 특성을 보인다. 본 연구에서는 이러한 해수유동 요소들 중 연안에서 가장 우세하게 나타나는 조류만을 고찰하였다. 조류역시 조위와 마찬가지로 주기적 변동을 보이기는 하나, 시기적으로 변동의 양상이 달라진다. 조류의 특성은 조위의 변동과 동일하게 약최고조와 극치 조석으로 구분하여 고찰하였다.

약최고조때의 조류유속은 주요 4대분조인 M_2 조, S_2 조, K_1 조, O_1 조에 의한 조류유속의 산술합으로 계산하였다. 남해 조석 수치모델에서 계산된 주요 4대분조의 진폭을 이용하여 계산한 약최고조때 조류의 유속분포는 Fig. 7의 조류타원도에 제시한 바와 같다. Fig. 7의 조류타원도 작성에 있어서 주축의 방향은 M_2 조의 지각(phase)에 근거하였다. 남해에서 약최고조때 조류의 유속은 0.1~1.4m/sec의 범위로 나타났다.

조류의 극치는 약최고조때 조류의 유속에 표준항인 여수항에서의 약최고조위와 극치조위간의 비를 적용하여 추정하

였다. 추정된 재현주기 50년 및 100년에 대한 조류의 극치는 Fig. 8 및 Fig. 9와 같다. 재현주기 50년에 대한 조류의 극치는 0.2~1.7m/sec의 공간적 차이를 보였으며, 재현주기 100년에 대한 조류의 극치는 0.3~1.8m/sec의 크기를 보였다.

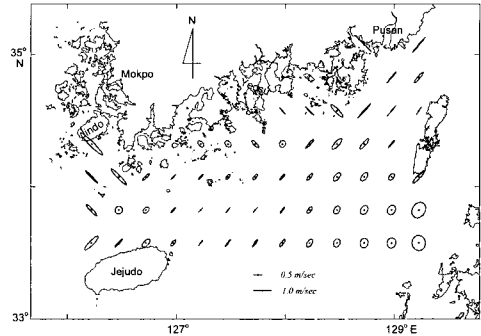


Fig. 7. Tidal currents of the Namhae (southern sea of Korea) at approximate highest astronomical tide.

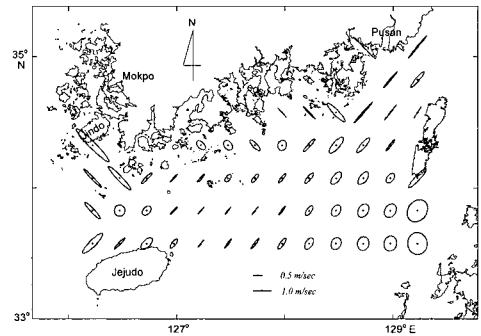


Fig. 8. Extreme tidal currents of the Namhae (southern sea of Korea) for return period 50-years.

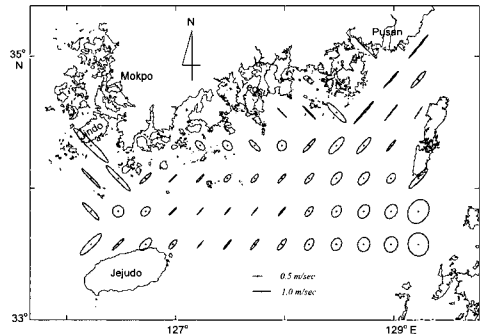


Fig. 9. Extreme tidal currents of the Namhae (southern sea of Korea) for return period 100-years.

5. 결론 및 고찰

해난사고 선박의 구난 작업시 고려해야 할 해양 환경적 위험요소로서 극치조석의 공간적 분포를 제시하였다. 극치조석의 공간적 분포를 추정하기 위하여 표준항의 조석특성을 이용한 유추방법을 적용하였다. 조석특성의 표준항은 연구해역내의 여수항을 선정하였으며, 조석의 특성은 극치조위와 약최고고조위간의 비를 적용하였다. 여수항에서의 극치조위는 24년 동안 관측된 시간별 해수면 자료를 통계분석하여 추정하였다. 표준항 및 연구해역내의 약최고고조위는 조석 수치모델에서 계산된 조석의 주요 4대분조 진폭을 이용하여 산정하였다.

조위의 극치는 재현주기 50년의 경우 공간적으로 70cm~260cm의 범위를 보였으며, 재현주기 100년의 경우 80cm~270cm의 공간적인 차이를 보였다. 재현주기 50년에 대한 조류의 극치는 0.2~1.7m/sec의 공간적 차이를 보였으며, 재현주기 100년에 대한 조류의 극치는 0.3~1.8m/sec의 크기를 보였다.

본 연구에서 계산된 결과는 조석의 공간적 균일성에 근거하고 있으므로, 비선형성이 강한 연안역에는 적용하기 어렵다. 특히 조류의 극치추정에 조위의 변동특성을 적용한 것은 실제와 다소 차이를 보일 수 있다. 그러나 연안에서 벗어난 외해역에서는 본 연구의 결과가 중요한 정보로 활용될 수 있다. 연안에 인접한 해역을 다루기 위해서는 보다 세밀한 격자의 조석 수치모델이 수립되어야 하며, 주변 해역에서 관측된 결과와 세밀한 검증이 필요하다.

후 기

본 연구는 공공기술이사회에서 2005년도 시행한 기본연구사업 “해난사고 예방 및 구난체계 구축사업”의 연구결과 중 일부이다.

참 고 문 헌

- [1] 이문진(1996), 프랙탈을 이용한 해양 확산모델 연구, 부경대학교 이학박사 학위논문.
- [2] 이문진, 김선영(1997), 남해 조류의 실시간 예측, 선박해양기술, 제24권, pp. 77-91.
- [3] 한국기계연구원 선박해양공학연구센터(1997), 선박 유류유출에 의한 오염 방지기술 개발: 유조선 구난 기술 개발, 한국기계연구원 보고서 UCN028-2054·D, 과학기술처.
- [4] An, H.S.(1977), A numerical experiment of the M2 tide in the Yellow Sea, J. Oceanogr. Soc. Japan, Vol. 33, pp. 103-110.
- [5] Choi, B.H.(1980), A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea, KORDI Report 80(2).
- [6] Garrett, C.(1972), Tidal resonance in the Bay of Fundy and Gulf of Maine, Nature, Vol. 238, pp. 441-443.
- [7] George, K.J. and B. Simon(1984), The species concordance method of tide prediction in estuaries, International Hydrographic Review (Monaco), Lx1(1), pp. 121-167.
- [8] Godin, G.(1972), The analysis of tides, University of Liverpool Press, 264pp.
- [9] Graff, J.(1981), An investigation of the frequency distributions of annual sea level maxima at ports around Great Britain, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 12, pp. 389-449.
- [10] Munk, W. and D. Cartwright(1966), Tidal spectroscopy and prediction, Phil. Trans. Royal Soc., Ser. A, Vol. 259, pp. 533-614.
- [11] Press, W.H., B.P. Flannery, S.A. Teukolsky and W.T. Vetterling(1986), Numerical Recipes, Cambridge university press.
- [12] Pugh, D.T.(1987), Tides, Surges and Mean Sea-Level, John Wiley & Sons.
- [13] Simon, B.(1991), The species concordance method of tide prediction, In: Parker, B.B.(Editor), Tidal Hydrodynamics, John Wiley & Sons, pp. 725-735.

원고접수일 : 2005년 10월 13일

원고채택일 : 2006년 2월 8일