

## 陰解潮汐模型의 木浦港 隣近海域에의 適用 Application of FIT Model to Near Kokpo Harbor

강 주 환\*  
Ju Whan Kang\*

**要 旨** : PCGS(preconditioned conjugate gradient squared)방법을 사용한 음해법적 조석모형인 FIT (fully implicit tidal)모형을 개발하여 목포항 인근해역에 적용하였다.  $M_2$ 분조에 따른 유속과 조위에 대한 검증결과 만족할 만한 결과를 얻었으며, 빠른 유속을 갖는 협수부와 수심과 지형이 복잡한 곳에서도 모형의 타당성이 입증되었다. 개발된 모형은 봉해 목포구의 완충효과를 규명하여 하구언 및 방조제 건설에 따른 목포항 부근의 조석 회복현상을 파악할 수 있었다.

**Abstract** : The FIT(fully implicit tidal) model which adopts PCGS (preconditioned conjugate gradient squared) method is developed and is applied to near Mokpo Harbor. Comparing computational results with observed velocities and elevations for the  $M_2$  tidal constituent, agreeable correspondence is detected. The validity of the model is also proven by applying it to such areas which have narrow width (therefore showing rapid velocity), irregular topography and complex geometry. Tidal amplification phenomenon according to the constructions of seadike and sea-walls is considered by analyzing the 'filter effect' of Mokpo-ku using the model.

### 1. 서 론

부궁한 관광자원과 수산자원을 보유하고 있으며 장차 활발해질 것으로 예견되는 중국과의 교역을 감안해 볼 때, 한국의 서남해안의 중심이 되는 목포 인근해역의 중요성이 새삼 대두되고 있다. 이러한 배경하에 목포를 구심점으로 하는 전남권의 광역개발사업으로서 영산강 하구언 축조를 필두로 하여 영암방조제와 담호방조제가 완공되었고, 인근의 대불공단 조성사업도 완료단계에 있으며 전남도청 이전계획과 함께 무안 국제공항과 목포 신외항의 청사진도 계획되어 있다. 앞으로 계획되어 있는 해남 인근의 국제관광단지와 기존의 호남 곡창지대를 포함하면 이 지역은 공업, 상업, 행정, 관광 및 농업 등 모든 면에서 명실상부한 국가의 중요한 핵으로 자리잡을 것이다. 그러나 아직까지 목포지역은 매우 낙후되어 있으며 개발도 되기 전에 침수와 환경오염과 같은 환경영향을 받고있는 실정인 바 하구언과 방조제의 축조와 시기를 같이 하여 목포내항 부근의 만조시 수위가 크게 상

승하여 목포시 저지대 곳곳에 침수문제를 야기시키고 있으며, 저조위는 하구언 건설 이전보다 낮아져 연안해운이 발달된 목포항에서 선박의 항해에 지장을 받고 있다. 이와 더불어 목포구의 조류속이 건설전에 비해 급격히 감소됨에 따라 외해수와 내해수의 해수교환이 원활하지 않게 되었으며, 최근 크게 문제시되고 있는 영산호의 수질과 목포시의 폐수발생량을 감안하면 장차 목포항 인근의 해수오염이 크게 우려되고 있다.

이에 대처하기 위해서는 영산강을 포함한 목포 인근해역에 대한 전반적인 해수 유동상태를 철저한 해양관측과 더불어 파악하는 작업이 선행되어야 하며 이를 기초로 하여 예견되는 문제점을 규명하여 해결책을 강구해야 하는 과업이 시급하다.

### 2. 목포항의 조석특성

하구언 건설이전의 목포항과 관련된 각종 조석자료를 종합하여 정리하면 다음과 같다. 우선 목포항

\*木浦大學校 土木工學科 (Department of Civil Engineering, Mokpo National University, Muan-Gun, Cheon Nam 534-729, Korea)

Table 1. Harmonic constants at Mokpo Harbor

	M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>
H(cm)	122.6	36.7	31.6	23.9
K(°)	59.7	108.3	262.1	235.6

Table 2. Tidal datum planes at Mokpo Harbor

Name	Elevation (cm)
Ob. H.H.W.	445.0
App. H.H.W.	429.6
H.W.O.S.T.	374.1
H.W.O.M.T.	337.4
H.W.O.N.T.	300.7
M.S.L.	214.8
L.W.O.N.T.	128.9
L.W.O.M.T.	92.2
L.W.O.S.T.	55.5
App. L.L.W.	0.0
Ob. L.L.W.	-84.0

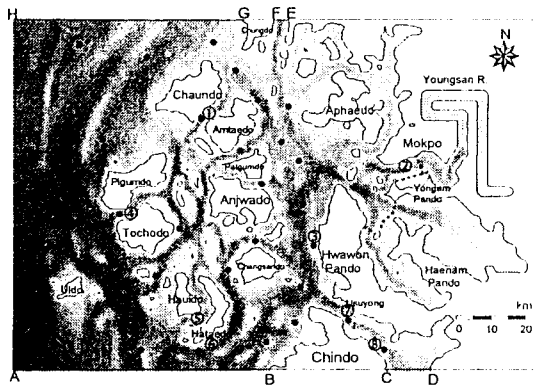


Fig. 1. Model domain and bottom topography.

검조소의 주요 4개분조의 조화상수를 Table 1에, 각종 조위면을 Table 2에 각각 제시하였다. 또한 목포항에서의 평균고조간격은 목포구의 2시에 비해 약 30분 후인 2시29분이며 평균저조간격은 목포항에서 8시04분이다. 조석의 형태수는 0.35로서 반일주조가 우세한 혼합조이고 일반 감조하천과는 달리 창조시간이 낙조시간보다 1시간 가량 길다(이, 1994).

본 연구의 해석대상 영역인 목포 인근해역의 수심도를 Fig. 1에 도시하였는데, 동서로는 영산강 일부와 나주군도까지 80 km, 남북으로는 진도로부터 증도까지 55 km의 영역 내부에 자은도, 비금도 및 장산도 등을 비롯한 수많은 크고 작은 섬들이 산재해 있으며,

사퇴 및 해저협곡의 발달이 두드러진 수심이 매우 복잡한 수역이다. 1981년 완공된 영산강하구연과 1991년 완공된 영암방조제, 그리고 1994년 완공된 금호방조제를 점선으로 표시하였으며, 영산강의 선형은 고려치 않고 감조구역의 총길이만 감안하여 도시하였다.

목포항으로 통하는 수로는 북구, 중구 및 목포구의 세 수로가 있으나 북구와 중구는 수심이 얕아 해수의 주유입구는 목포구로 대표될 수 있는데 목포구 역시 내부의 드넓은 감조해역의 해수 유출입을 담당하기에는 단면이 그리 크지 않아 이곳에서는 매우 강한 조류속이 관측되고 있다. 또한 화원반도 남단에는 조석위상차에 기인하여 국내에서 조류속이 가장 빠른 울돌목이 해석대상영역에 포함되어 있으며, 자은도와 암태도를 비롯한 여러 섬들이 서로 인접해 있어서 섬사이의 좁은 단면을 통과하는 해수도 역시 강한 유속을 보이고 있다. 한편 천수효과로 인해 내륙쪽으로 갈수록 조차가 커지는 일반적인 경향과는 달리 목포항에서의 대조차는 318.6 cm로 목포구에서의 340 cm보다 오히려 약 20 cm 작다고 알려져 있는데(이, 1994), 후술하겠지만 이는 목포구가 조석과의 완충기능을 하고 있기 때문이며, 산재한 도서 및 복잡한 수심에 기인하여 조석과의 파고와 위상이 공간적으로 매우 큰 변화양상을 보이고 있는 수역인 것이다.

### 3. 관련연구 및 모형개발의 필요성

목포항 인근해역과 관련된 국내의 연구로서 박 등(1982)이 목포해역의 지형적 특성과 관련되어 해일의 피해가 크게 우려된다는 연구결과를 발표한 바 있고, 최(1984)가 영산강 하구연 건설전후의 실제 관측자료로부터 하구연 건설에 따른 조위변화에 대하여 보고한 바 있다. 또한 하구연 건설전에 네덜란드 기술용역단(NEDECO)은 영산강하구 목포외항으로부터 양수표가 있는 나주까지를 1차원 조석수치모형을 이용하여 1963년 8월 대조기의 조석상황이 방조제 건설 후 어떻게 변할 것인가에 관하여 예측한 바 있는데, 최(1984)는 그 결과가 실제보다 과소평가된 것으로 추정하고 있으며 과소평가된 요인으로 외해경계조건 부적합성과 제한된 조석상황만이 검토된 것을 들고 있으며 더욱이 1차원 모형임을 감안하면 정확한 예측결과를 기대하는 것 자체가 무리인 것으로 보고한

바 있다.

또한 영암방조제와 금호방조제 건설에 따른 환경 영향평가를 위하여 농어촌진흥공사에서 2차원 조석 수치모형을 적용한 바 있는데, 이들 방조제 건설에 따른 조위변화가 1-2 cm 이내로 극히 적다는 결론을 내리고 있다. 그러나 실제로는 영암방조제 건설만으로도 목포항에서 평균만조위가 14 cm 이상 상승되었음을 감안하면 이 모형 역시 목포항의 정확한 수치 해석과는 다소 거리가 있는 듯 하다. 이 해역과 관련된 또다른 연구로는 한국해양연구소에서 울돌목의 강한 조류를 이용한 조류발전소 건설의 타당성 검토를 위하여 양해법적 알고리즘을 채택한 2차원 수치모형을 적용한 것이 있다(과학기술처, 1986). 그러나 이 모형은 울돌목에 초점을 맞추고 있어서 목포항 인근의 해석결과는 신빙성이 떨어지고 있다고 할 수 있다.

최근 목포시 저지대의 침수가 매우 심각해지자 이 문제의 해결을 위한 연구의 일환으로 전라남도(1993)에서 연구용역을 의뢰한 바 있는데, 여기서도 역시 2차원 양해법적 수치모형을 적용하여 영암방조제와 금호방조제 건설에 따른 목포항 인근의 조위변화를 예측하고 있으나 외해경계가 목포구 바로 외곽에 설정되어 있어 방조제 건설에 따른 경계부근의 조위변화가 우려되고 있는 등 다소간의 문제점을 내포하고 있다(이, 1994). 이밖에도 해운항만청은 고하도항만 개발을 위한 조석수치모형을 하구언과 방조제가 모두 완성된 상태에서 수행하였는데 여기서 사용된 모형은 프랑스 전력공사와 SOGREAH사가 공동으로 개발한 K-Cythere모형으로서 국내에서도 광양제철소 SLAG 처리장 조성, 금강하구 수리현상 조사 및 아산항 항만조사 등 여러번의 성공적인 적용사례가 있으며 가변격자를 채택하고 있다.

이와 같이 목포해역과 관련된 조석수리학적 연구는 충분하지 못하여 이 해역의 보다 정확한 수치해석을 위해서는 외해와의 좁은 통로에서의 유출입 유량을 정확히 산정해야 하며, 불규칙한 수심을 갖고 섬이 많은 복잡한 지형에서도 정확한 결과를 제시할 수 있는 수치해석 알고리즘이 필요한 것이다. 기존의 수치해석방법을 사용할 경우 외해로부터의 유입구인 좁은 해협에서 상당히 빠른 조류속의 수치모의시 부정확한 결과와 공간적 불안정성이 우려되며, ADI방법을 사용할 경우 수많은 섬이 산재해 있는 목포해역에 적용할 경우 ADI효과(Weare, 1979)를 피할 수

없이 정확한 결과를 기대하기 어렵게 된다.

본 연구에서는 이러한 사항을 감안하여 목포해역의 조석특성분석을 위한 수치모형인 FIT(fully implicit tidal)모형을 개발하였는데, 조간대 모의가 포함된 본 모형은 복잡한 영역의 수치해석에 특히 장점이 있다고 알려진 완전음해법을 채택하였고 음해법에 수반되는 행렬식의 효율적 계산을 위해 PCGS(preconditioned conjugate gradient squared) 방법을 사용한 모형이다. 이러한 수치해석기법은 Bayliss 등(1983)이 파랑변형 문제에 관한 완경사방정식(mild slope equation)의 유한차분해석에 도입한 것이 효시로서 후에 Panchang 등(1991)이 이를 보완한 바 있으며, 천수방정식의 해석에도 Wilders 등(1988)에 의해 연구된 바 있다. 국내에서는 강 등(1993)이 모형의 검증을 위해 서해안의 새만금수역에 적용하여 정확성을 입증한 바 있다.

#### 4. FIT 모형의 구성

##### 4.1 지배방정식

수심적분된 2차원 천수방정식의 형태는 다음 식 (1)과 같다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0 \tag{1a}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \lambda u - f v = 0 \tag{1b}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \lambda v + f u = 0 \tag{1c}$$

여기서 t, x, y는 시간과 공간에 대한 독립변수, η는 수면변위, u, v는 각각 x, y방향 유속, H(=η+h)는 총수심, h는 기준면으로부터의 수심, 마찰계수 λ = g(u<sup>2</sup>+v<sup>2</sup>)<sup>1/2</sup>/(C<sup>2</sup>H), g는 중력가속도, C=H<sup>1/6</sup>/n, n은 Manning의 조도계수, f(=2ωsinφ)는 Coriolis계수, ω는 지구의 자전각속도로 0.0000728 rad/sec이며 φ는 위도이다.

##### 4.2 수치해석 알고리즘

이 식에 대한 유한차분방법은 Wilders 등(1988)이 제시한 바 있는 방법을 채택하였다. 즉, 매시간단계를 두 단계로 나누어 1단계에서는 연속방정식을 양해법으로 차분하여 수면변위를 구하고 운동방정식을 음

해법으로 차분하여 유속을 구하게 된다. 2단계에서는 운동방정식을 유속에 대한 양해법으로 차분하여 연속방정식에 대입한 후 연속방정식을 수면변위에 대한 음해법으로 표현하여 반복계산에 의해 해를 구하게 된다. 1단계에서 유속을 구하는 경우와 2단계에서 수면변위를 구하는 과정에서 양방향음해법이 도입되었기 때문에 각각에 대한 행렬식을 풀어야 한다. 구성된 행렬식은 sparse matrix의 해를 구할 경우 많이 쓰이는 CG(conjugate gradient)방법으로 풀 수 있지만 이 방법은 대칭행렬일 경우에만 수렴성이 보장되므로 직접 적용할 수 없고 전치행렬을 곱해준 CGS(conjugate gradient squared)방법을 사용해야 한다. CGS 방법은 비대칭 행렬식에도 수렴성이 보장되는 방법으로 1단계의 유속을 계산할 때 사용될 수 있지만 행렬식의 형태에 따라 수렴속도는 큰 차이를 보이게 된다. 2단계의 수면변위 계산시 수렴속도가 현저하게 떨어지므로 preconditioning을 통한 PCGS(preconditioned CGS)방법을 사용하게 되며 SSOR(symmetric SOR) 방법으로 해를 구하게 된다. 자세한 차분내용은 강 등(1993)에 수록되어 있으므로 재술치 않기로 한다.

## 5. 모형의 검증

### 5.1 입력자료의 선정

해석영역 내부에서 식 (1)과 같은 천수방정식의 해를 구하기 위해서는 초기조건과 경계조건이 필요하다. 수면변위에 관한 초기조건은 경계조건에 대한 내삽법을 사용하였고 유속에 관한 초기조건은 모든 격자점에서 0으로 하는 것이 일반적이지만 이 경우 본모형에서는 특이행렬이 형성되므로 0에 가까운 0.001 m/sec의 값을 부여하였다. 육지와외의 폐경계조건은 경계에 수직한 방향의 유속이 0이라는 조건을 사용하였으며, 외해의 개경계조건은 다음 식과 같은 분조의 합을 Fig. 1의 경계점 A~H에 부여하였고 사이값은 선형보간하였다.

$$\eta(x,y;t) = A_0 + \sum f \cdot A_i \cdot \cos(V_0 + u + \omega t - k_i) \quad (2)$$

여기서  $A_0$ 는 평균해수면,  $f$ 는 천문학적으로 결정되는 1에 가까운 값으로서 약 18.6년의 주기를 갖는 값,  $A_i$ 는 분조별 반조차,  $V_0 + u$ 는 기원시  $t=0$ 에서의 인수,  $\omega$ ,  $k_i$ 는 각각 분조별 위상속도와 지각이다.

목포 인근해역의 수치해석시 지형이 복잡하다는 단점외에 가용자료가 많지 않다는데에 또다른 문제점이 있다. 기준검조소인 목포외항 검조소 외에는 장기적인 조위관측지점이 없으며, 단기적으로는 농어촌진흥공사가 영산강유역종합개발계획에 따른 하구언 및 방조제 축조를 위해 1963년 이후 9개 지점에서 단기검조를 실시한 바 있고, 수로국은 1965년 5월

Table 3. Harmonic constants of  $M_2$  constituent for near Mokpo Harbor (Choi, 1980)

No.	Locality & Position	Amplitude (Phase lag)	No.	Locality & Position	Amplitude (Phase lag)
1	Chaundo 35°03'N 126°05'E	145.1 cm ( 34°)	9	Hampyung B. 35°09'N 126°21'E	187.0 cm ( 57°)
2	Mokpo 34°47'N 126°23'E	122.6 cm ( 60°)	10	Imzado 35°03'N 126°05'E	142.0 cm ( 45°)
3	Sihado 34°42'N 126°15'E	129.2 cm ( 29°)	11	Sangmado 34°27'N 126°25'E	116.0 cm ( 315°)
4	Pigumdo 34°43'N 126°32'E	124.0 cm ( 20°)	12	Pangmokri 34°22'N 126°08'E	103.7 cm ( 349°)
5	Hauido 34°34'N 126°03'E	110.6 cm ( 14°)	13	Hajodo 34°18'N 126°03'E	97.0 cm ( 345°)
6	Hataedo 34°32'N 126°03'E	109.0 cm ( 5°)	14	Seogochado 34°15'N 125°55'E	105.8 cm ( 340°)
7	Usuyong 34°35'N 126°19'E	116.0 cm ( 15°)	15	Taiheuksando 34°41'N 125°26'E	102.0 cm ( 29°)
8	Pyukpajin 34°32'N 126°21'E	131.6 cm ( 324°)	16	Eoranjin 34°21'N 126°29'E	109.1 cm ( 312°)

Table 4. Harmonic constants of  $M_2$  constituent for open boundaries

	Cell No. (x,y)	Amplitude (cm) Phase lag (°)		Cell No. (x,y)	Amplitude (cm) Phase lag (°)
A	(1,1)	104.0, 6.0	E	(121,111)	153.0, 43.0
B	(79,1)	110.0, 5.0	F	(80,111)	153.0, 43.0
C	(116,1)	154.0, 309.0	G	(69,111)	156.0, 40.0
D	(134,1)	154.0, 309.0	E	(1,111)	145.0, 38.0

Table 5. Comparison of observed and calculated amplitude and phase for the M<sub>2</sub> tide

No.	Locality	Observed		Calculated		Difference	
		A (cm)	k (°)	A (cm)	k (°)	A (cm)	k (°)
1	Chaundo	145.1	34	143.4	34	-1.7	0
2	Mokpo	122.6	60	122.9	62	0.3	2
3	Sihado	129.2	29	127.8	27	-1.4	-2
4	Pigumdo	124.0	20	125.2	19	1.2	-1
5	Hauido	110.6	14	113.8	13	3.2	-1
6	Hataedo	109.0	5	109.2	6	0.2	1
7	Usuyong	116.0	15	109.5	8	-6.5	-7
8	Pyukpajin	131.6	324	130.4	323	-1.2	-1

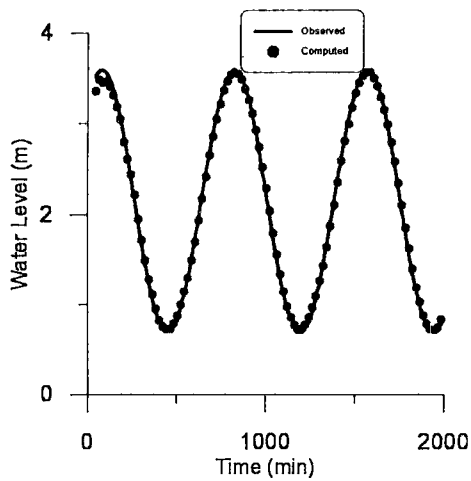


Fig. 2. Comparison of water level at Pt. 1.

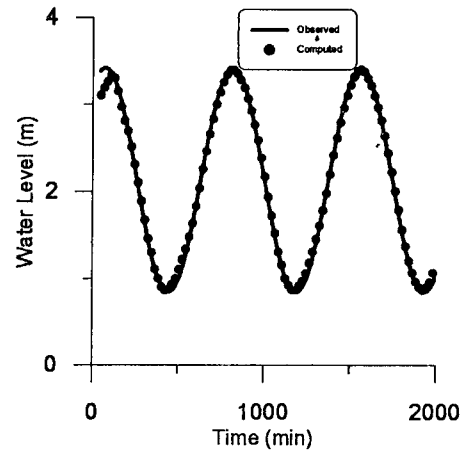


Fig. 4. Comparison of water level at Pt. 3.

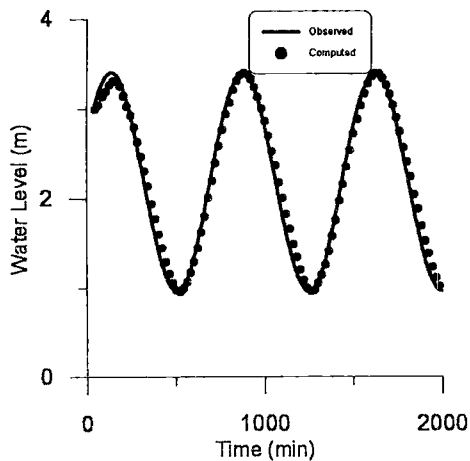


Fig. 3. Comparison of water level at Pt. 2.

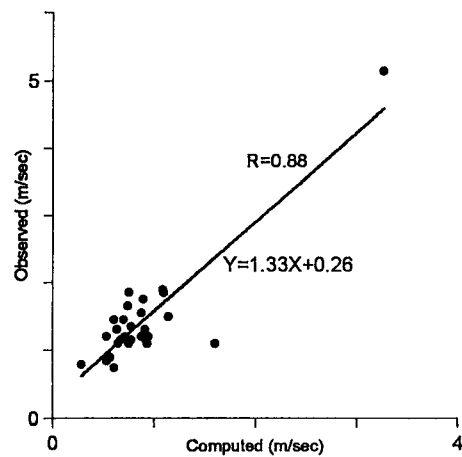


Fig. 5. Comparison of velocity at flood.

목포구의 양구에서 각각 2개월의 단기검조를 실시한 바 있다. 또한 Choi(1980)는 황해와 동지나해 및 일

본열도의 약 400개 관측지점의 주요 4개분조에 관한 자료를 여러 문헌에서 발췌 정리한 바 있다. 그러나

이러한 자료들은 하구내부와 인근 도서에 집중적으로 위치하고 있어 이 자료들을 모형의 외해경계조건 부여에 직접적으로 이용할 수는 없다. 본 연구에서는  $M_2$ 분조에 대해서만 해석하였는데 개경계조건으로 상기 8개지점의 조화상수를 부여하기 위해서 Choi(1980)에 수록된 황해 및 동지나해의 조화상수 중 우리나라 서남해안의 값을 이용하였다. 즉 Table 3에 제시한 자은도 등을 비롯한 영역 내부의 8개지점(1~8)과 함평만을 비롯한 영역 인근 외부 8개지점(9~16)에 대한  $M_2$ 분조의 조화상수를 감안하여 내부의 8개 지점에서 관측치와 계산치와의 오차가 최소가 되도록 시행착오방법에 의해 8개 경계점의 개경계조건을 수립하였으며, 그 결과를 Table 4에 제시하였다.

격자수는 x, y방향 각각 160개와 110개이며 공간격자간격은 양방향 모두 500m이고 시간격자간격은 경계성을 고려하여 60 sec로 하였다.

5.2 검증

하구언 및 방조제 건설 이후의 관측자료가 많지 않기 때문에 개발된 모형의 검증은 1981년 이전인 하구언 건설전 상황에 대해서 실시하였다. 우선 영역내부의 8개지점에서의 조위에 대한 계산치와 관측치를 비교한 결과를 Table 5에 제시하였으며 이 중 외해경계에서 가장 먼 세 곳인 No.1(자은도), No.2(목포항)와 No.3(시하도)에서는 시간에 따른 조위의 변화를 관측치와 함께 Fig. 2, Fig. 3과 Fig. 4에 도시하였다. 이를 보면 약 반 주기 후부터는 초기조건의

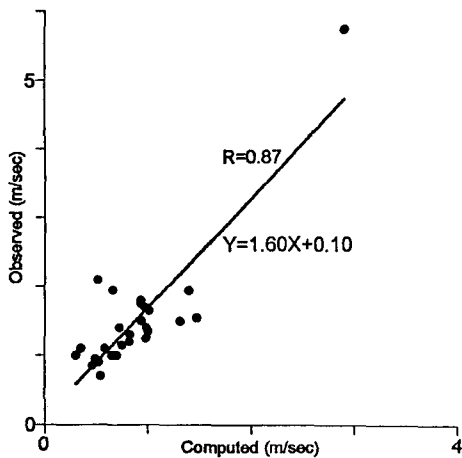


Fig. 6. Comparison of velocity at ebb.

영향이 나타나지 않고 있으며, 울돌목과 인접한 No.7(우수영) 지점을 제외하고는 진폭과 지각 모두 계산치가 관측치와 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

계산된 유속장의 정확성을 검증하기 위하여 수로국에서 1986년에 발간한 조류도를 이용하였다. 이는 하구언 건설이후의 자료이므로 하구언 인근해역을 제외한 Fig. 1에 표시한 29개 지점에서 유속계산치와 비교하였다. 조류도에 제시된 유속은 평균대조기의 경우이고 계산유속은  $M_2$ 분조만을 고려한 평균조에 대한 것이므로 직접적인 비교는 문제가 있겠지만 위치별 유속크기의 상대적 비교는 의미가 있으므로 최강창조류를 Fig. 5에, 최강낙조류를 Fig. 6에 각각 도시하였다. 이를 보면 몇개 지점을 제외하고는 관측치와 계산치에서 상대적인 유속크기가 전반적인 일치를 보이고 있다.

달의 동경 135° 통과시각과 그로부터 달시간(lunar hour)으로 3, 6, 9시간 후의 계산된 전체적인 유속장을 Fig. 7~Fig. 10에 각각 제시하였다. Fig. 1의 수심도와 비교해보면 자은도 서쪽에 형성된 해저협곡 부근에서

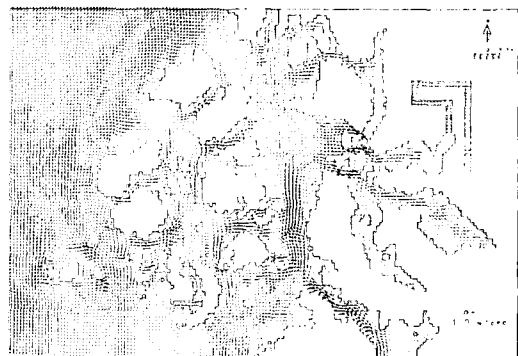


Fig. 7. Tidal flow pattern at 0 lunar hour of 135°E.

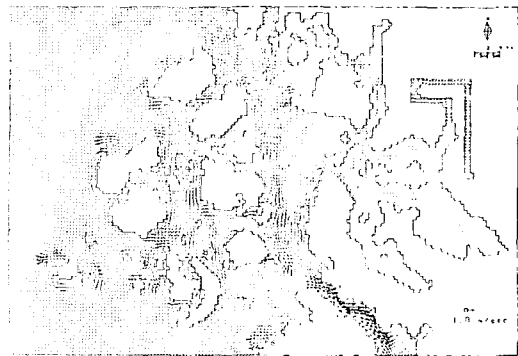


Fig. 8. Tidal flow pattern at 3 lunar hour of 135°E.

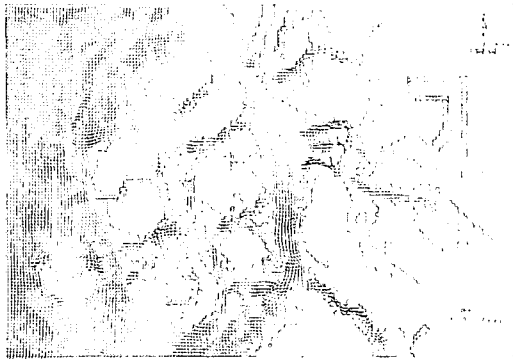


Fig. 9. Tidal flow pattern at 6 lunar hour of 135°E.

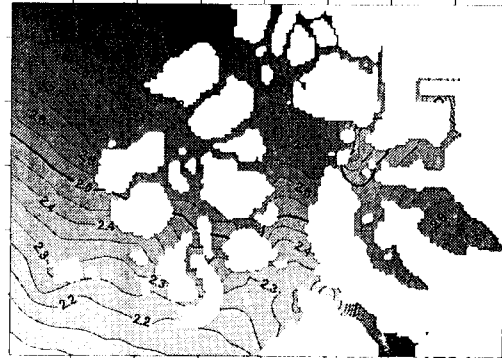


Fig. 11. Computed equi-amplitude chart.

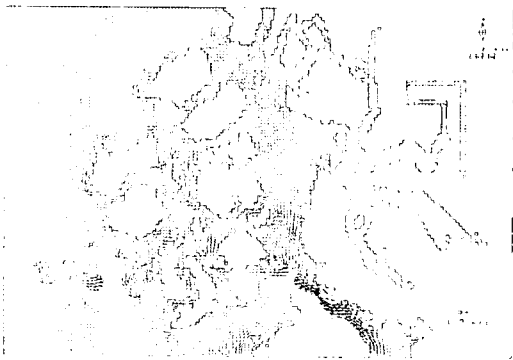


Fig. 10. Tidal flow pattern at 9 lunar hour of 135°E.

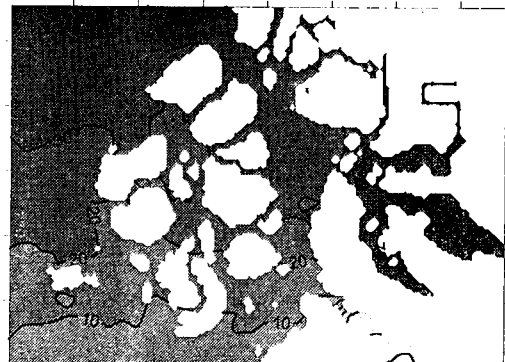


Fig. 12. Computed equi-tidal chart.

빠른 유속을 보이고 있으며 사퇴부근에서는 느린 유속을 보이고 있는 등 실제현상과 부합하고 있음을 알 수 있다. 또한 시시각각 변하는 폐경계도 잘 묘사하고 있어 목포구 내부에 광범위하게 형성된 조간대의 수치적 모의도 무리없이 이루어지고 있다.

영역내의 등조차도와 등조시도를 Fig. 11과 Fig. 12에 각각 도시하였는데 조차는 남서쪽의 2.1m로부터 북동쪽으로 갈수록 커져 중도에서는 3.1m를 보이고 있으며, 우수영 부근에서 2.3m로 주변에 비해 가장 작은 값을 보이다가 울돌목을 지나 진도의 동쪽 부근인 경계부근으로 갈수록 급격히 커지는 양상을 나타내고 있다. 또한 목포구를 전후해서도 큰 차이를 보이고 있는데 목포구 서쪽에서 2.7m인 조차가 목포구 동쪽에서는 2.5m로 감소되고 있으며 목포항 일대에서 최소의 조차를 보인 후 내륙쪽으로는 또다시 증가하여 영암호 안쪽에서는 3m 정도를 보이고 있다. 목포항 일대의 조차가 최소가 되는 까닭은 진술한 바와 같이 목포항으로의 주된 통로가 되고 있는 북

포구의 단면이 안쪽의 넓은 수역으로의 유출입 유량을 감당하기에는 너무 협소하기 때문에 목포구가 조석파의 진행에 있어서 일종의 완충기능을 하기 때문이다. 또한 Fig. 12의 등조시도를 보면 전체적인 조석파의 진행방향은 남쪽에서 북쪽을 향하고 있으며 울돌목 부근과 목포구 부근에서 조석파의 실제현상을 보이고 있다.

현재 목포항 일대에는 Fig. 1에 점선으로 표시한 바와 같이 하구언과 영암방조제 및 금호방조제로 안쪽의 넓은 수역이 외해와 차단된 상태인데 이로 인해 목포구를 통과하는 조류속이 현저히 감소되어 목포항 일대의 오염문제가 심각하게 대두될 전망이고, 목포구의 완충기능도 더이상 기대할 수 없어 목포항의 조차가 목포구에서보다 오히려 더 커지게 된 까닭에 목포항 일대의 침수문제가 야기된 것이다. 이에 대한 자세한 내용은 후속연구에서 충분히 검토될 것이다.

## 6. 결론 및 토의

목포항 인근해역의 조석특성 분석을 위하여 양방향 모두 음해법적으로 차분한 후 PCGS방법을 사용하여 SSOR방법으로 해를 구하게 되는 FIT모형을 수립한 후 목포해역에 적용하여 모형을 검증하였다. 수심이 복잡한 해역에서 특히 장점이 있다고 알려진 본 모형의 조위와 유속에 대한 검증을 통해 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다.

개발된 모형을 사용하면, 하구언과 방조제 건설 후 목포구의 조석소산효과가 둔화됨에 따라 목포항 일대 조석의 확폭현상을 규명할 수 있으며, 목포구의 조류속 감소에 따른 목포해역 오염실태 파악 및 예측에도 필요한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 강주환, 박상현, 이길성, 1993. 음해법을 이용한 천수방정식의 수치해석, 대한토목학회 논문집, 13(3): 119-127.
- 과학기술치, 1986. 한국해역 종합자원도 작성연구, 447-523.
- 박수남, 정창희, 1982. 1981년 7월 2일 목포해역에 발생한 해일에 관한 연구, 한국기상학회지, 18(1): 64-73.
- 이석우, 1994. 영산강하구둑 건설에 따른 목포항의 조위의 변화, 항만, 27-37.
- 이석우, 1994. 한국항만수리지, 집문당, 93-116.
- 전라남도, 1993. 목포항주변 조위상승 원인분석 및 항구대책 연구용역보고서.
- 최병호, 1984. 영산강하구의 방조제 건설에 따른 조위변화, 대한토목학회 논문집, 4(2): 113-124.
- Bayliss, A., Goldstein, C.I. and Turkel, E., 1983. An iterative method for the Helmholtz equation, *J. of Computational Physics*, 49.
- Choi, B.H., 1980. A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea, *KORDI REPORT* 80-02.
- Panchang, V.G., Pearce, B.R., Wei, G. and Cushman-R., B., 1991. Solution of the mild-slope wave problem by iteration, *Applied Ocean Research*, 13(4): 187-199.
- Weare, T.J., 1979. Errors arising from irregular boundaries in ADI solutions of the shallow-water equations, *Int. J. for Numerical Methods in Engineering*, 14: 921-931.
- Wilders, P., van Stun, L., Stelling, G.S. and Fokkema, G.A., 1988. A fully implicit splitting method for accurate tidal computations, *Int. J. for Numerical Methods in Engineering*, 26: 2707-2721.