

地中海의 潮汐 算定

Tidal Computations for the Mediterranean Sea

최병호*, 김양근**

1. 서론

지중해의 조석 현상은 그 크기가 수 cm 정도로서 큰 관심을 갖지 못했는데 근해의 위성 고도계에 의한 순환 연구가 활발해짐에 따라 조석 모델링이 시작되고 있다(Tsimplis 등, 1995; Kantha, 1994). 지중해는 Sicily 해협을 중심으로 두 개의 분지로 나뉘어져 서측 분지는 지브랄타 해협을 통해 대서양과 연결되며 아드리아해와 에게해는 오토란드 해협과 크레테 해협을 통해 동측 분지와 연결되고 있다. 지중해의 조석은 지브랄타 해협을 통한 조석과 평형 조석의 직접적인 영향에 의해 발생되는데 우리나라의 동해와 유사성을 갖는다. 그러나 지브랄타 해협을 통한 조석 입력의 기여에 대해서는 상당히 미약한 것으로 제시되고 있다. 기존의 모형들은 1/3°의 구면 격자(Dressler, 1980), 10~20km의 유한 요소 격자망(Canceil 등, 1993), 1/12°의 구면 격자(Tsimplis 등, 1995; Kantha, 1994)를 채택하여 지중해의 조석을 산정하는데 이용하였다. Tsimplis 등은 연안 조석 자료를 이용하는 자료 동화 기법(Data Assimilation)이 조석 전파의 물리현상을 제한한다는 점과 이 외력점들의 자료 신뢰성 때문에 이용하지 않은 반면 Kantha는 간단한 Data Assimilation 기법을 적용하였다. 이 모형들의 결과는 지중해의 조석에 기여하는 지브랄타 해협의 역할에 대해 서로 다른 결과들이 제시되었다. 본 연구에서는 수심에 따른 조석 산정의 영향을 살펴보기 위해 미국 NODC의 5분 수심 자료(DBDB5)와 영국 수로국의 해도(Admiralty Chart No. 4300)를 각기 이용하였으며 또한 지브랄타 해협의 영향을 조사하였다. 본 연구는 성균관대학교/한국 해양 연구소의 연해 조석 산정 프로그램으로 전지구, 남중국해, 아라비아해, 뱅갈만, 아라비아 걸프에 이어서 수행한 것으로 접근방법의 검토에 따라 궁극적으로 동해의 조석 모형을 개선시키는데 있다.

2. 조석 산정

대양 조석에 대한 지배 방정식은 지구의 곡률 및 편향력을 고려하여 구면좌표계 상에 수립되었으며 동수역학적 비선형 이류항과 자승마찰항, 기조력항을 포함한 수직 적분된 방정식으로 그 형태는 다음과 같다.

$$\frac{1}{R \cos \phi} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (Hu) + \frac{\partial}{\partial \phi} (Hv \cos \phi) \right\} + \frac{\partial \xi}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{R \cos \phi} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{v}{R \cos \phi} \frac{\partial (u \cos \phi)}{\partial \phi} - \frac{uv \tan \phi}{R} - 2\omega \sin \phi v + \frac{k_B u \sqrt{u^2 + v^2}}{H} \\ + \frac{g}{R \cos \phi} \frac{\partial (\alpha \xi - \beta \xi_0)}{\partial x} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{R \cos \phi} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{v}{R} \frac{\partial v}{\partial \phi} + \frac{u^2 \tan \phi}{R} + 2\omega \sin \phi u + \frac{k_B v \sqrt{u^2 + v^2}}{H} \\ + \frac{g}{R \cos \phi} \frac{\partial (\alpha \xi - \beta \xi_0)}{\partial \phi} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

* 성균관대학교 공과대학 토목공학과

** 성균관대학교-한국해양연구소 학연과정

x, ϕ : 경도, 위도

t : 시간

ξ : 정지 해수면 상의 해면 수위

h : 정지 수면 기준의 수심

H : 전체 수심 ($H = h + \xi$)

R : 지구 반지름

ω : 지구 회전 각속도

k_b : 해저 마찰 계수

g : 중력 가속도

u, v : 수심 평균된 유속 성분(depth-mean current)

$$u = \frac{1}{h + \xi} \int_{-h}^{\xi} u'(z) dz$$

$$v = \frac{1}{h + \xi} \int_{-h}^{\xi} v'(z) dz$$

$u'(z), v'(z)$: 정지해면하 수심 z 에서의 x, ϕ 방향의 유속 성분

ξ_0 : 평형조석

α, β : 조석포텐셜, 지구조석 및 대양조석부여로 인한 질량 재배치에 따른 계수

3. 모형의 산정결과

DBDB5 수심자료를 근거한 8개 주요분조(4개의 반일주조와 4개의 일주조)의 산정결과가 그림 1과 그림 2에 제시되었다. 전반적인 진폭과 위상의 분포는 Tsimplis 등(1995)의 결과와 유사하나 그림 3과 그림 4의 M_2, S_2 조석의 산정결과를 연안관측치와 비교할 때 분산도가 높게 나타나는데 Tsimplis 등(1995)은 DBDB5의 수심을 직접 이용하기 보다 해도의 수심을 digitizing 하여 수심 입력으로 사용하였으며 지브랄타 입구의 관측결과를 적용하여 보다 나은 결과를 보인 것으로 생각된다. 그림에서 제시된 바와 같이 지중해의 조석은 기조력과 지브랄타 입구의 cooscillating 조석을 동시에 고려하여야 만족스러운 결과를 도출할 수 있다. 현재 해도의 수심입력에 의한 각 분조의 조석도의 개선이 시도되고 있으며 또한 개선된 지구수심자료(Geosat GM Mission 및 ERS-1에 근거한 Sandwell과 Smith의 predicted topograph dataset)를 이용하는 과업이 계속되고 있다. 연안관측지점의 조석을 삽입하여 data assimilation 시키는 접근방법은 조석의 자유로운 파급을 억제시킴으로서 현 초기단계의 조석 시뮬레이션에서는 시도되지 않았으나 조석의 크기가 크지 않은 지중해, 동해의 경우에는 시도될 만한 방법으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 지중해의 조석을 DBDB5 수심을 이용하여 산정하고 이를 연안의 관측자료와 비교하여 결과를 제시하였다. 산정결과를 보면 Tsimplis 등(1995)이 제시한 조석도와 유사한 결과를 나타내고 있으나 연안관측치와는 상당한 정도의 분산도를 보인다. 이의 개선을 위하여 영국 수로국의 해도(Admiralty Chart No. 4300)를 digitizing하여 수심입력으로 사용한 모형을 수립하고 이를 연안관측치와 비교하여 제시한다.

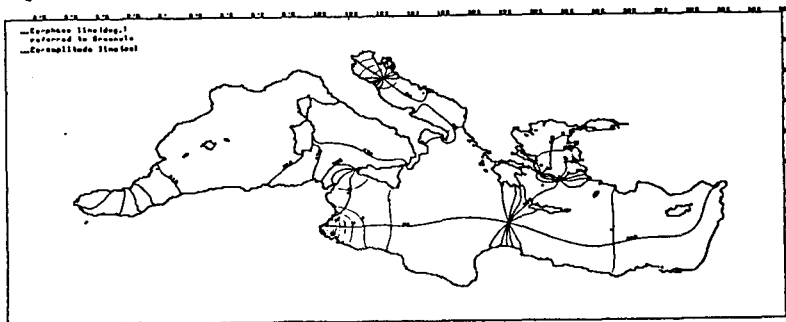
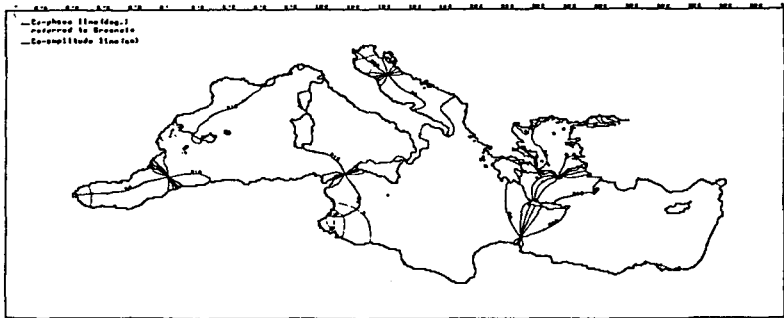
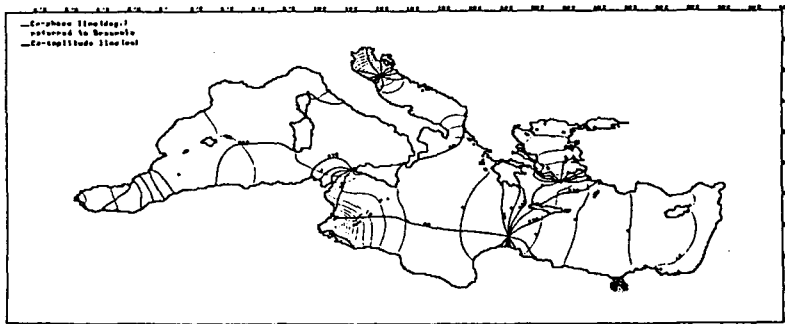
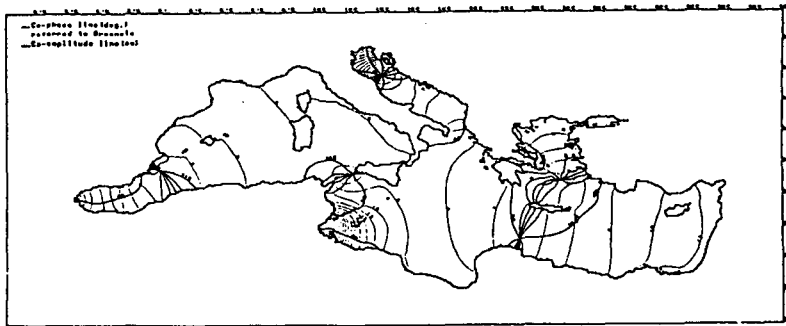


그림 1. 반일주조(M2, S2, N2, K2)의 조석도

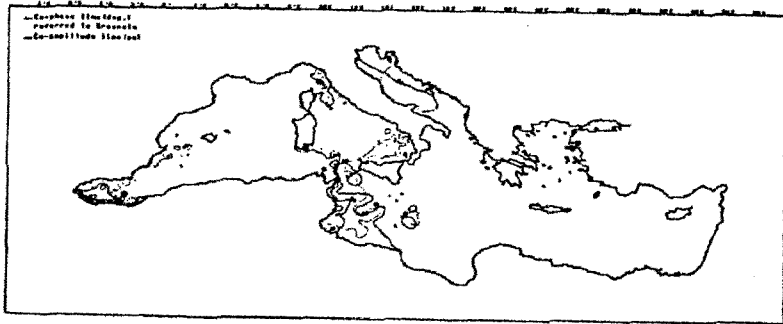
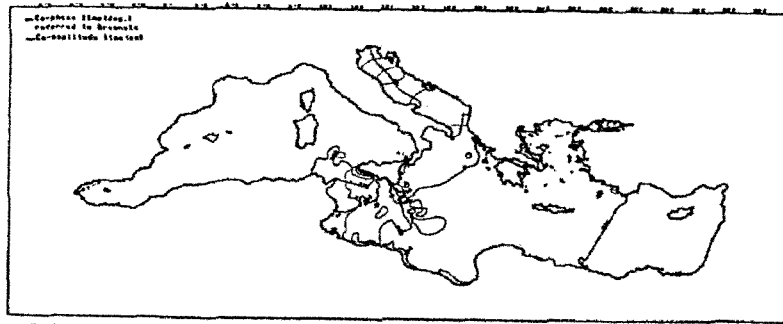
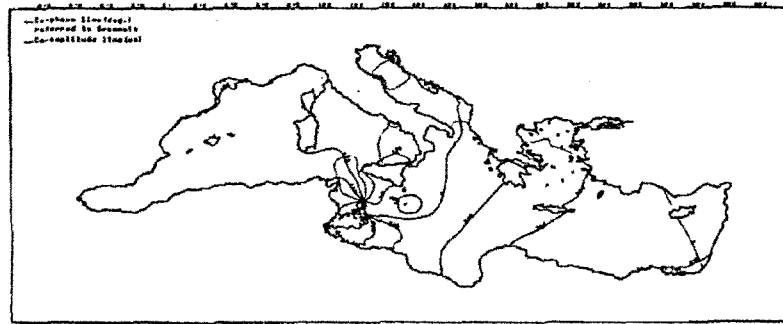
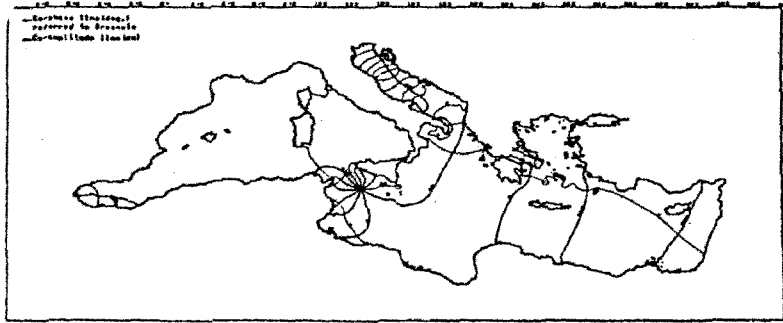


그림 2. 일주조(KI, OI, PI, QI)의 조석도

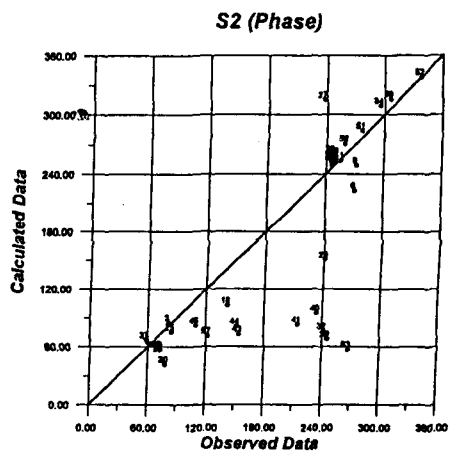
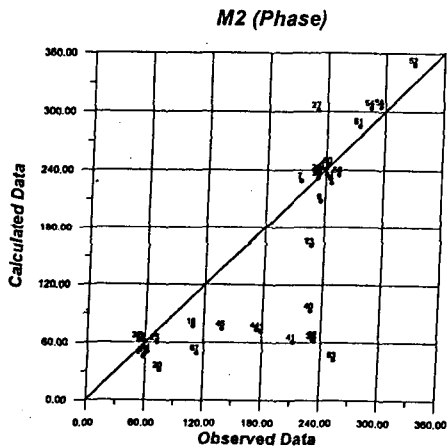
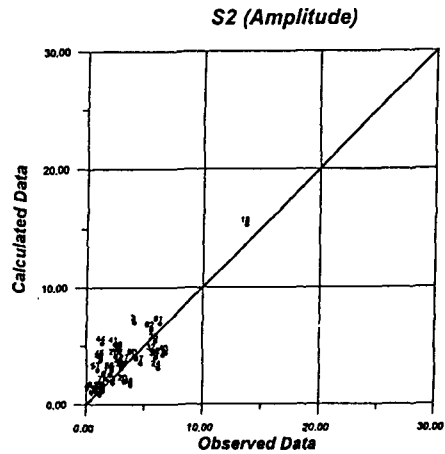
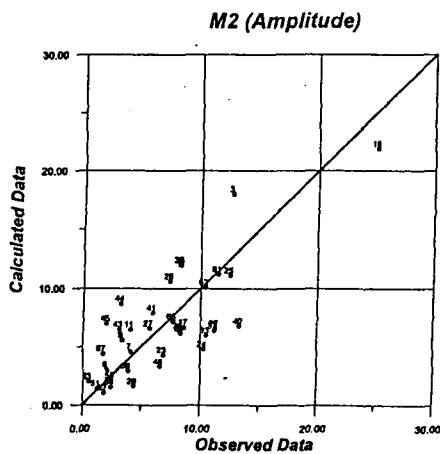


그림 3. 관측치와 계산치의 비교(M₂)

그림 4. 관측치와 계산치의 비교(S₂)

參考文獻

- Choi, B.H., 1980. A Tidal Model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea, Korea Ocean Research and Development Institute, Report No. 80-02.
- Flather, R.A. and Heaps, N.S., 1975. Tidal computations for Morecambe Bay, Geophys. J. r. Astr. Soc., 42: 489-517.
- Schwiderski, E.W., 1978. Global Ocean Tides, Part No. : A Detailed Hydrodynamical Interpolation Model, NSWC/DL TR-3866 Naval Surface Weapons Center, Dahlgren, Virginia.
- Schwiderski, E.W., 1979. Global Ocean Tides, Part II: The semidiurnal principal lunar tide(M₂), Atlas of tidal charts and maps, NSWC/TR 81-142.
- Tsimplis, M.N. and Proctor, R. and Flather, R.A., 1995. A two-dimensional tidal model for the Mediterranean Sea., J. Geophysical Research, Vol.100, No. C8 16,223-16239