

南西 아시아海域의 潮汐 模型

A tidal model of Southwestern Asia Sea

金 德 九*, 金 東 勳*, 崔 秉 昊**

1. 緒論

前回の 연구(최와 고, 1994)에서 1/6° 經·緯度 해상도를 갖는 東아시아 海域의 8개 分潮의 潮汐體系를 수치 시뮬레이션으로 산정하였다. 본 연구에서는 DBDB5 database의 5분 격자 해상 수심을 그대로 적용하는 5분 격자 체계의 Gulf of Siam(Thailand), 남중국해, 자바해(Java Sea)를 포함하는 모형을 수립하였다. 서측경계는 Malacca해협 서측안이며 북측 경계는 대만 해협, 동측경계는 대만남측-루손섬북측, 만다나오남측과 Celebes(Sulawesi)의 북동단의 Manado, Celebes 섬의 Makasar부근과 Flores섬의 북단을 연결하는 5개소의 개방 경계를 택하였다. 이 海域의 既存 모형들은 일부 海域만을 포함하는데 Delft수리 연구소의 Sunda해협 모형은 50km격자, Rahman, Isoda 및 Yanagi(1990)의 West Malaysia모형은 20km격자 체계 및 Fang의 남중국해모형은 이보다 더 큰 격자 체계를 취하였다. 이 海域은 아시아 대륙의 동남단의 해안과 Sumatra, Java섬을 연결하는 원호형 열도와 필리핀 제도에 의해 둘러 쌓인 半開된 海域인데 全球海洋模型 및 위성 고도계 자료를 토대로 한 全球潮汐圖 역시 상세한 潮汐 정보를 제공하지 못하고 있다. 본 연구에서는 5분 간격의 상세 격자망 모형을 수립하여 이 海域의 潮汐 추정을 공간적으로 수행할 수 있는 모형을 수립하여 이 海域의 潮汐力學은 물론 위성 고도계 자료에서 潮汐成分을 제거하여 海面變位(Sea Surface Topography)를 조사하여 循環力學을 규명하는데 궁극적인 도움을 주고자 한다. 근년에 이 모형 海域의 남측에서 빈번한 地震과 쓰나미연구에 있어서 특히 쓰나미 발생후 越波調査(Post-tsunami runup survey)에서는 공간적인 潮位 예측이 필요한데 이에 유용할 수 있으며 暴風 海溢 산정에 있어서도 기본 모형으로 이용될 수 있다.

2. 潮汐 模型

大洋 潮汐에 대한 支配 方程式은 지구의 曲率 및 偏向力을 고려하여 球面座標系 상에 수립되었으며 動水力學의 非線形 移流項과 自乘摩擦項, 起潮力項을 포함한 수직 적분된 방정식으로 그 형태는 다음과 같다.

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

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

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

* 成均館大學校-韓國海洋研究所 學研 大學院 課程

** 成均館大學校 工科大學 土木工學科 教授

여기서 각 기호는 다음과 같다.

x, ϕ : 經度, 緯度

t : 時間

ξ : 정지 해수면 상의 해면 수위

h : 정지 수면 기준의 수심

H : 전체 수심 ($H = h + \xi$)

R : 지구 반지름

f : Coriolis 계수 (균일한 것으로 가정, $f = 2\omega \sin \phi$)

ω : 지구 회전 각속도

k_b : 해저 마찰 계수 (0.0025 채택)

g : 重力 加速度

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

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

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

$u(z), v(z)$: 정지 해면 하 수심 z 에서의 x, ϕ 방향의 유속 성분

ξ_0 : 平衡潮汐

α, β : 潮汐포텐셜, 地球潮汐 및 大洋潮汐 賦與로 인한 질량 재배치에 따른 계수

모형의 개방 경계에는 흐름이 없다고 가정하고 전술된 5개소의 개방 경계의 潮汐은 Schwiderski의 1° GOTD(Global Ocean Tidal Data)에서 취하였다.

모형에 있어서 지배적 인자는 起潮力, 地球潮汐과 大洋潮汐 賦與로 인한 영향이 지배적으로 작용하며 지구가 탄성체라 가정할 때 두 전자의 영향은 平衡潮汐에 대해 $\beta\xi_0$ 로 나타내는 데 (Schwiderski 등, 1978) 여기서

$$\beta = 1 + k - h$$

이고 k, h 는 重力攪亂 등을 地球潮汐 상관계수로 표현할 때의 계수로 Love number라 칭하며 일반적으로 모든 分潮에 대해 $k=0.30, h=0.61$ 을 취하고 있으므로 여기서도 이와 같이 취하였다. ξ_0 는 平衡조석(equilibrium tide)으로서 반일주조와 일주조의 경우 각각 다음 식으로 주어진다. (Schwiderski, 1979)

$$\text{半日週潮} : \xi_0 = K \cdot \cos^2 \phi \cos(\sigma t + 2x)$$

$$\text{日週潮} : \xi_0 = K \cdot \sin 2\phi \cos(\sigma t + x)$$

이때 x, ϕ 는 경·위도를 나타내고 각 분조에 대한 진폭(K)과 각속도(σ)는 다음과 같다.

Tidal mode	K(m)	$\sigma(10^{-4}/\text{sec})$
M ₂	0.242334	1.40519
S ₂	0.112841	1.45444
K ₁	0.141565	0.72921
O ₁	0.100574	0.67598

Ray와 Sanchez(1989)의 연구에 따르면 大洋潮汐의 賦與로 인한 질량재배치에 따른 탄성체 지구의 변형을 유발하는 大洋潮汐力은 大洋潮汐의 位相과 그 값의 일정비율을 가정함으로써 산정하였고 Foreman 등(1992)은 위성고도계 관측자료로 부터 潮汐成分 제거를 위한 연구에서 Ray와 Sanchez(1989)의 연구결과에서 日週潮인 경우는 0.94, 半日週潮인 경우는 0.953의 값을 각각 제시함에 따라 모든 分潮에 대해 $\alpha=0.946$ 을 취하였는데 본 연구에서도 이 값들을 적용하였다.

상기식(1)~(3)은 시간 t 에서 전 격자 체계에 있어서 ξ, u, v 의 값으로부터 $t+\Delta t$ 시각에 이들 변화 값들을 산정하는 양해법인 유한 차분 기법을 이용하였는데 Flather와 Heaps(1975)와 Choi(1980)의 해석 방법인 매 격자 중심에서의 공간차분과 시간에 따른 前進 및 後進差分法으로 해석하였다. 본 모형에서 유한 차분 격자 체계는 해상도가 높은 $1/12^\circ \times 1/12^\circ$ 체계로서 구성하였다. CFL 안정조건이 안정된 계산을 위한 지침으로 이용되어 채택된 Δt 는 15.5250초로서 1조석주기당 2880개의 timestep을 형성하였다. 해저마찰계수 k_b 는 일정한 값으로 0.0025를 취하였으며 모형에 의한 ξ, U, V 의 산정은 $t=0$ 일때 $U=V=0$ 인 초기정지상태로부터 출발하였다. 본 모형은 半日週潮나 日週潮일 경우 모두 안전한 값을 얻기 위해 실행 시간을 動水力學的으로 평균한 10일간 실행을 하였다. 振幅과 位相을 계산하는데 있어서는 마지막 潮汐 주기의 값을 이용하여 Fourier분석을 통하여 분석 처리하였다.

3. 模型의 算定 結果

우선 M_2 分潮의 潮汐 체계를 潮汐數值模型으로 산정하였다.

3.1 Co-Oscillating Tide에 의한 M_2 分潮의 算定

개방경계에서의 大洋朝夕은 Schwiderski(1978)의 朝夕模型 결과로부터 M_2 分潮에 대한 振幅과 位相을 개방경계조건으로 입력하여 潮汐波及이 전반적으로 안정된 20번째 潮汐週期에 대한 Fourier 분석을 통해 振幅과 位相을 구하여 그림1과 같은 潮汐圖를 작성하였다. 또한 그림2는 潮流方向을 알수 있는 潮流타원도로서 Malaysia해협에서 강한 潮流가 발생됨을 잘 나타내고 있다. 그림3은 연안 관측치의 위치를 나타낸 것으로서 그림4에서 이러한 각지점에 대한 관측치와 산정치의 비교 그래프를 나타낸 것이다.

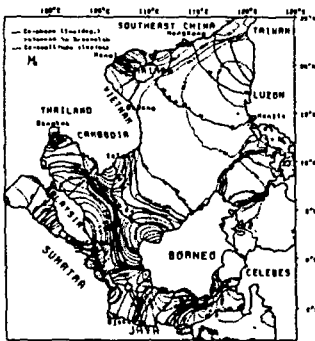


그림1 起潮力項이 제거된 潮汐圖

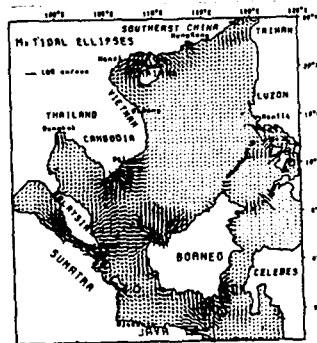


그림2 起潮力項이 제거된 場合의 潮流타원도

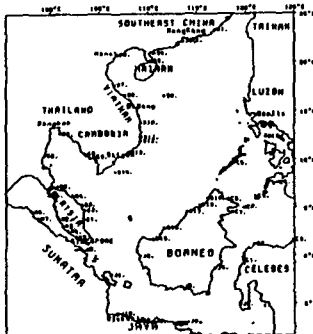
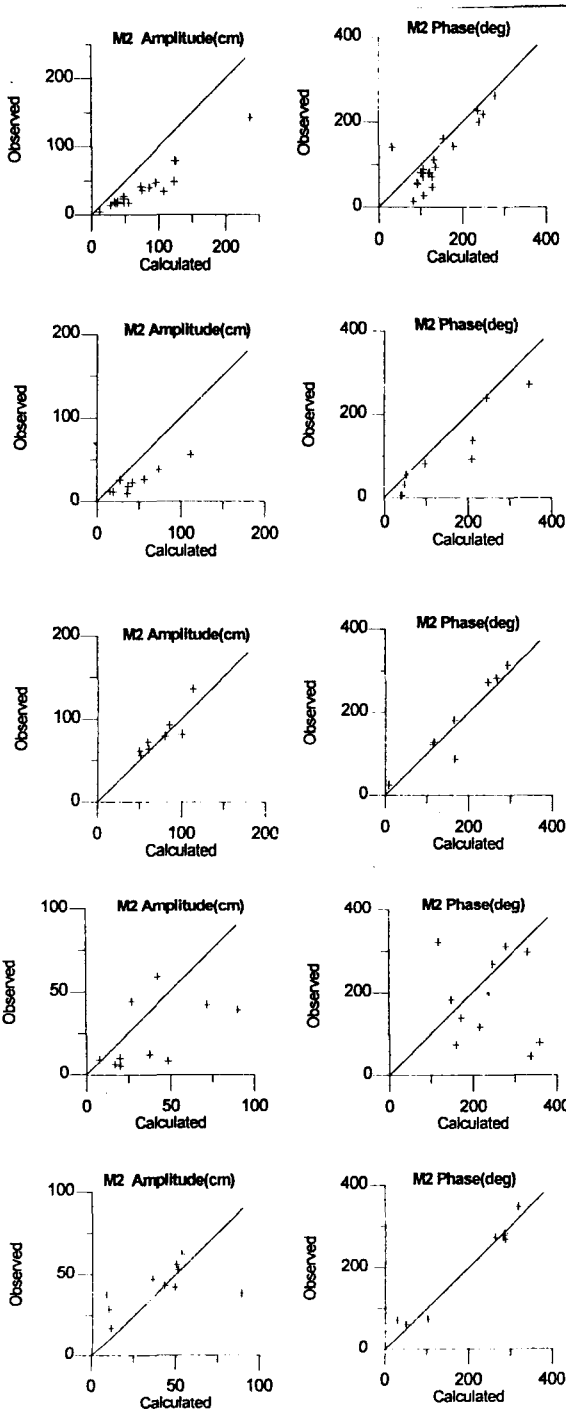


그림3 觀測지점 위치

여기서 그림의 순서대로 남중국해, Gulf of Siam, Malaysia해협, Java해, Sulu 와 Celebes해의 순서로 비교표와 비교그래프를 나타낸다. 전반적으로 조차의 산정치가 관측치보다 2배가량 크고 위상은 비교적 잘 일치하고 있다.



STATION	CODE	LAT (N)	LONG (E)	AMP (cm)		PHASE (deg.)	
				OBS	CAL	OBS	CAL
SWATOW	S1	23.33	116.75	41.8	72.64	141.0	31.22
HONG KONG	S2	22.28	114.18	40.4	85.58	27.8	106.78
MACAO	S3	22.20	113.55	47.4	94.99	48.2	127.86
CHANCHIANG	S4	20.95	110.60	78.8	125.17	72.5	127.13
HAI KOU	S5	20.05	110.32	14.0	27.87	14.5	82.50
HAIPHONG	S6	20.87	106.67	4.4	11.87	219.8	251.00
DONG HOI	S7	17.70	106.47	17.6	54.41	161.4	155.88
HUE	S8	16.57	107.62	17.7	47.99	112.4	131.70
LES PARACELS	S9	16.55	111.62	16.8	35.16	57.9	91.25
QUI NHONE	S10	13.75	109.22	17.3	37.62	82.0	99.98
NHA TRANG	S11	12.27	109.30	17.2	37.42	81.3	103.39
CAM RANH	S12	11.88	109.20	19.5	38.14	89.5	105.82
PHAN THIET	S13	10.70	107.98	36.4	74.63	143.9	177.91
CON SON IS.	S14	8.68	106.60	79.7	123.44	200.7	241.10
KUICHING	S15	1.57	110.35	143.1	236.85	262.1	278.74
KUALA IGAN	S16	2.82	111.70	49.0	122.65	228.0	236.77
MIRI	S17	4.58	113.98	17.0	35.21	95.0	135.56
VICTORIA HAR.	S18	5.27	115.25	27.4	47.74	82.4	121.14
KOTA KINABALU	S19	5.98	116.07	23.8	47.64	79.0	119.06
CALAPAN	S20	13.48	121.18	34.4	106.88	72.5	105.53
MANILA	S21	14.58	120.97	19.1	33.73	54.5	92.95

STATION	CODE	LAT (N)	LONG (E)	AMP (cm)		PHASE (deg.)	
				OBS	CAL	OBS	CAL
KUANTAN HARBOUR	G1	3.83	103.33	55.7	112.38	31.2	49.66
KUALA DUNGUN	G2	4.78	103.43	37.7	74.04	6.0	42.77
KUALA TRENGGANU	G3	5.35	103.13	26.8	56.74	4.1	40.54
KOTA BAHARU	G4	6.20	102.17	18.0	37.03	55.0	53.79
SONGKHLA	G5	7.23	100.62	22.6	42.41	82.0	98.89
CHUM PHORN	G6	10.45	99.25	12.2	15.60	93.0	209.79
SATTAHIP	G7	12.65	100.88	25.7	27.71	271.4	345.34
KOMPONG-SOM	G8	10.63	103.48	11.3	19.86	137.3	211.75
HATIEN	G9	10.37	104.47	9.8	36.38	236.9	243.87

STATION	CODE	LAT (N)	LONG (E)	AMP (cm)		PHASE (deg.)	
				OBS	CAL	OBS	CAL
LANGKAWI	M1	6.30	99.78	72.9	59.59	122.4	114.85
TELOK ANSON	M2	4.03	101.00	92.7	84.91	272.0	245.24
PORT SWETTENHAM	M3	3.00	101.38	136.2	113.43	282.1	265.83
PORT DICKSON	M4	2.52	101.78	81.5	100.54	313.3	292.96
MUAR	M5	2.05	102.57	63.4	60.64	25.0	8.12
SINGAPORE	M6	1.27	103.85	79.6	80.02	87.4	166.90
BELAWAN DELI	M7	3.83	98.72	61.0	49.55	181.0	165.19
LANGSA B.	M8	4.50	98.00	56.0	51.44	128.4	117.73

STATION	CODE	LAT (N)	LONG (E)	AMP (cm)		PHASE (deg.)	
				OBS	CAL	OBS	CAL
PANGKAL PINANG	J1	-2.08	106.18	6.0	16.87	322.5	118.76
PONTIANAK	J2	-0.02	109.33	12.0	37.56	310.7	279.54
MENDAWAI RIVER	J3	-3.28	113.35	42.0	71.97	296.7	331.48
BALIK PAPAN B.	J4	-1.27	116.80	59.0	42.64	268.8	247.67
MAKASSER	J5	-5.15	119.40	8.0	48.31	183.1	149.49
KALIANGET	J6	-7.05	113.92	39.0	90.41	74.0	160.17
SOFERABAJA	J7	-7.22	112.73	44.0	27.16	117.9	217.15
SEMARANG	J8	-6.97	110.42	10.0	19.94	46.0	338.09
TEGAL	J9	-6.85	109.13	9.0	7.66	79.0	359.21
DIJAKARTA	J10	-6.10	106.87	5.0	20.11	139.6	172.94

STATION	CODE	LAT (N)	LONG (E)	AMP (cm)		PHASE (deg.)	
				OBS	CAL	OBS	CAL
DONGGALA	C1	-0.62	119.73	47.0	35.90	271.4	262.86
TOLI TOLI B.	C2	1.03	120.82	42.0	49.28	271.2	281.32
MENADO	C3	1.50	124.83	56.0	49.62	278.2	284.23
MARGOSATUBIG	C4	7.58	123.17	61.9	53.10	282.5	285.56
JOLO	C5	6.07	121.00	17.3	11.07	346.6	318.86
PORT BONGAO	C6	5.03	119.77	43.1	42.83	267.3	286.50
SIMPORNA	C7	4.48	118.62	52.7	51.05	278.0	283.65
SANDAKAN	C8	5.83	118.12	37.9	8.35	72.3	28.70
PUERTO PRINCESA	C9	9.73	118.70	28.6	9.70	61.5	49.34
LOOC, LOOC BAY	C10	12.27	121.98	38.3	88.93	74.9	102.22

그림4 起潮力項이 제거된 경우 각지점별 관측치와 산정치의 비교표 및 그래프

3.2 Co-Oscillating Tide와 起潮力에 의한 M_2 分潮의 산정

그림5는 起潮力項을 포함한 경우의 潮流圖로서 起潮力項을 포함하지 않았을 경우보다 無潮點의 위치가 좀더 명확하게 나타났다. 그리고 그림6에서 보는 바와 같이 潮流타원도는 起潮力을 포함한 것이나 포함하지 않은 것이나 큰 차이가 없다. 그림7은 그림3에서 제시된 관측위치에서의 관측치와 산정치의 비교표 및 그래프이다.

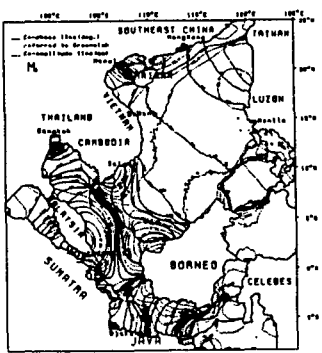


그림5 起潮力項이 포함된 潮流圖

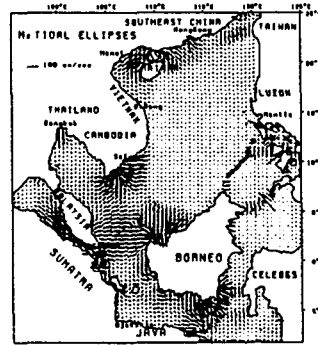
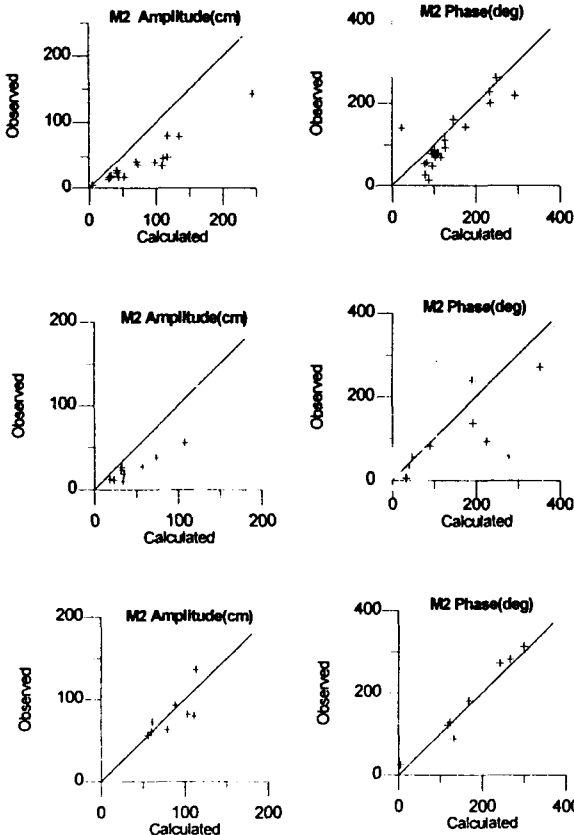


그림6 起潮力項이 포함된 潮流타원도

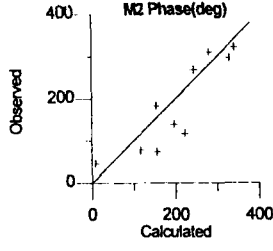
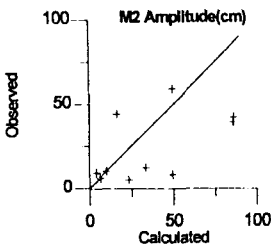


STATION	CODE	LAT (N)	LONG (E)	AMP (cm)		PHASE (deg.)	
				OBS	CAL	OBS	CAL
SWATOW	S1	23.33	116.75	41.8	70.39	141.0	23.18
HONG KONG	S2	22.28	114.18	40.4	98.42	27.8	79.54
MACAO	S3	22.20	113.55	47.4	110.41	48.2	97.03
CHANCHIANG	S4	20.95	110.60	78.8	134.13	72.5	117.27
HAI KOU	S5	20.05	110.32	14.0	29.73	14.5	87.82
HAI PHONG	S6	20.87	106.67	4.4	5.19	219.8	292.51
DONG HOI	S7	17.70	106.47	17.6	52.64	161.4	146.47
HUE	S8	16.57	107.62	17.7	44.39	112.4	127.07
LES PARACELS	S9	16.55	111.62	16.8	30.65	57.9	83.73
QUI NHONE	S10	13.75	109.22	17.3	31.94	82.0	95.61
NHA TRANG	S11	12.27	109.30	17.2	32.01	81.3	99.44
CAM RANH	S12	11.88	109.20	19.5	32.82	89.5	102.19
PHAN THIET	S13	10.70	107.98	36.4	73.03	143.9	176.13
CON SON IS.	S14	8.68	106.60	79.7	116.58	200.7	234.55
KUCHING	S15	1.57	110.35	143.1	243.85	262.1	249.37
KUALA IGAN	S16	2.82	111.70	49.0	116.56	228.0	232.62
MIRI	S17	4.58	113.98	17.0	29.99	95.0	128.14
VICTORIA HAR.	S18	5.27	115.25	27.4	41.55	82.4	110.14
KOTA KINABALU	S19	5.98	116.07	23.8	42.19	79.0	107.77
CALAPAN	S20	13.48	121.18	34.4	109.13	72.5	103.33
MANILA	S21	14.58	120.97	19.1	33.26	54.5	77.91

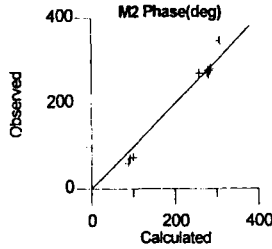
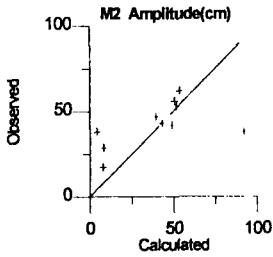
STATION	CODE	LAT (N)	LONG (E)	AMP (cm)		PHASE (deg.)	
				OBS	CAL	OBS	CAL
KUANTAN HARBOUR	G1	3.83	103.33	55.7	107.39	31.2	40.24
KUALA DUNGUN	G2	4.78	103.43	37.7	73.32	6.0	33.66
KUALA TRENGGANU	G3	5.35	103.13	26.8	57.33	4.1	32.33
KOTA BAHRU	G4	6.20	102.17	18.0	35.08	55.0	46.76
SONGKHLA	G5	7.23	100.62	22.6	31.54	82.0	90.06
CHUM PHORN	G6	10.45	99.25	12.2	18.01	93.0	225.04
SATTARHIP	G7	12.65	100.88	25.7	32.50	271.4	352.74
KOMPONG-SOM	G8	10.63	103.48	11.3	23.21	137.3	192.25
HATIEN	G9	10.37	104.47	9.8	33.74	238.9	191.03

STATION	CODE	LAT (N)	LONG (E)	AMP (cm)		PHASE (deg.)	
				OBS	CAL	OBS	CAL
LANGKAWI	M1	6.30	99.78	72.9	61.11	122.4	118.72
TELOK ANSON	M2	4.03	101.00	92.7	88.54	272.0	241.90
PORT SWETTENHAM	M3	3.00	101.38	136.2	113.15	282.1	265.87
PORT DICKSON	M4	2.52	101.78	81.5	103.01	313.3	298.41
MUAR	M5	2.05	102.57	63.4	78.90	25.0	3.84
SINGAPORE	M6	1.27	103.85	79.6	111.09	87.4	131.86
BELAWAN DELI	M7	3.83	98.72	61.0	60.18	181.0	168.07
LANGSA B.	M8	4.50	98.00	56.0	55.80	128.4	122.85

그림7 起潮力項이 포함되었을 경우 관측치와 산정치의 비교표 및 그래프



STATION	CODE	LAT (N)	LONG (E)	AMP (cm)		PHASE (deg.)	
				OBS	CAL	OBS	CAL
PANGKAL PINANG	J1	-2.08	106.18	6.0	6.41	322.5	340.89
PONTIANAK	J2	-0.02	109.33	12.0	33.57	310.7	280.85
MENDAWAI RIVER	J3	-3.28	113.35	42.0	85.99	296.7	329.39
BALIK PAPAN B.	J4	-1.27	116.80	69.0	49.58	268.8	244.11
MAKASSER	J5	-5.15	119.40	8.0	49.47	183.1	153.38
KALIANGET	J6	-7.05	113.92	39.0	85.92	74.0	156.33
SOERABAJA	J7	-7.22	112.73	44.0	16.40	117.9	222.64
SEMARANG	J8	-6.97	110.42	10.0	10.18	46.0	8.83
TEGAL	J9	-6.85	109.13	9.0	4.20	79.0	117.05
DJAKARTA	J10	-6.10	108.87	5.0	23.29	139.6	196.59



STATION	CODE	LAT (N)	LONG (E)	AMP (cm)		PHASE (deg.)	
				OBS	CAL	OBS	CAL
DONGGALA	C1	-0.62	119.73	47.0	39.58	271.4	257.79
TOLI TOLI B.	C2	1.03	120.82	42.0	49.30	271.2	277.77
MENADO	C3	1.50	124.83	56.0	50.63	278.2	282.74
MARGOSATUBIG	C4	7.58	123.17	61.9	53.71	282.5	285.68
JOLO	C5	6.07	121.00	17.3	7.70	346.6	307.37
PORT BONGAO	C6	5.03	119.77	43.1	43.39	267.3	280.82
SIMPORNA	C7	4.48	118.62	52.7	51.84	278.0	278.87
SANDAKAN	C8	5.83	118.12	37.9	4.29	72.3	91.64
FUERTO PRINCESA	C9	9.73	118.70	28.6	8.11	61.5	88.08
LOOC, LOOC BAY	C10	12.27	121.98	38.3	92.08	74.9	99.74

그림7(계속)

4. 結論

본 연구에서는 南西아시아 海域에서의 기존의 경험적 潮汐圖와 동수역학적 潮汐數值模型을 이용한 潮汐圖들이 해상도가 낮은 大洋 潮汐圖와 국지역역에 국한된 潮汐圖들로 인해 南西아시아 海域 전반에 대한 潮汐特性을 파악함에 있어 충분한 자료를 제시하지 못하고 있음에 따라 大洋 潮汐과 地球潮汐이 고려된 起潮力의 영향을 포함하는 2차원 동수역학적 潮汐模型으로부터 調和常數 dataset을 구성하고 潮汐圖를 작성함으로써 南西아시아 海域에서의 전반적인 潮汐거동을 파악할 수 있는 토대를 마련하였다. 그러나 전체적으로 潮差가 沿岸域의 관측위치에서 산정치와의 차이가 크므로 향후 이에 대해 개선할 예정이며 起潮力이 포함된경우가 起潮力을 제거한 것보다는 좀 더 나은 결과를 제시하고있다. 따라서 본 모형의 개선을 위해서는 淺海地域에있어 細格子體系構成과 起潮力에서의 Love number 및 海底摩擦計數등에 대한 검토를 통해 신뢰성 있는 調和常數 dataset을 제시하여 위성고도계 자료에서 潮汐成分을 제거하여 海面變位를 조사하여 循環力學을 규명하는데 이용할 수 있도록 해야 할 것이다.

參考文獻

- 崔秉昊, 高珍錫. 1994. 東아시아 海域의 潮汐模型. 韓國海岸·海洋學會誌 第6卷 第1號. pp. 94-108.
 崔秉昊, 高珍錫. 1994. 甯갈灣의 潮汐. 韓國海岸·海洋學會誌 第6卷 第3號. pp. 290-297.
 崔秉昊, 李昊俊. 1993. 東海의 潮汐數值模型. 韓國海岸·海洋學會誌 第5卷 第3號. pp. 250-262.
 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.

- Foreman, M.G.G., Bennett, A.F., Egbert, G.V. and Hagelberg, C., 1992. The removal of tidal elevations from satellite altimeter measurements, Proceedings of IX International Conference on Computational Methods in Water Resources, Denver, Colorado, USA.
- Ray, R.D. and Sanchez, B.V., 1989. Radial Deformation of the Earth by Oceanic Tidal Loading, NASA Technical Memorandum 100743.
- Schwiderski, E.W., 1978. Global Ocean Tides, Part No. : A Detailed Hydrodynamical Interpolation Model, NSWC/DL TR-3866 Naval Surface Weapons Center, Dahlgre, Virginia.
- Schwiderski, E.W., 1979. Global Ocean Tides, Part II: The semidiurnal principal lunar tide(M_2), Atlas of tidal charts and maps, NSWC/TR 81-142.
- Rahman, A. A., Isoda Y., Yanagi T., 1990. M_2 Tide Around west Malaysia.