

- 2) 森村英典・大前義次：應用待期行列理論，日科技連出版社，東京，pp.55~62, 1977.
- 3) Morse, P.M: Queues, Inventories and Maintenance, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1958.
- 4) Saaty, T.L: Mathematical Methods of Operations Research, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, p.361, 1959.
- 5) Gulf Publishing Company: Port Engineering per brum, Book Publishing Division, Houston, pp.245~255, 1976.
- 6) 朴振根：微視經濟學，法文社，서울，pp. 40~47, 1981.
- 7) Saaty, T.L: Elements of Queueing Theory, McGraw-Hill Book Co., Inc New, York, 1961.
- 8) Hillier, F.S. and Lieberman, G.J.: Introduction to Operations Research, Holden-day, Inc., San Francisco, pp.400~449, 1980.
- 9) Borins, S.F.: Pricing Policy and the Optimum timing of Transport Investments, Journal of Transport Economic & Policy, Vol. No.2, May, 1981.
- 10) Dan Shieerson: Investment in Port Systems, Journal of Transport Economics & Policy, Vol. No.3, Sep., 1981.
- 11) P.I. Collier: Simulation as an aid to the study of a Port as a System, the 3rd International Symposium on Ship Operation Automation, 1979.
- 12) J.H. Jones, W.R. Blunden: Ship turn-around time at the Port of Bang-kok, ASCE, Journal of the Waterways and Harbours Divisions 94 (WW 2), 135-48, 1968.
- 13) 山田猛敏：港灣・船舶系の設計，管理の最適化に關する考察，日本航海學會論文集，第67號，8月，1982.
- 14) 從井 哲：海上問題への交通輻輳の經濟性の應用，日本航海學會論文集，第47號，10月，1975.
- 15) LYON ASSOCIATES INC. : 韓國港灣 第三段階妥當性調査，海運港灣廳，1981.
- 16) 葉時輝・孫聖彬：一般散積貨物船舶 經濟性에 關한 研究，韓國航海學會誌，第9號，1982.
- 17) 李若榮：시스템工學概論，文昌出版社，釜山，pp.1~95, 1981.
- 18) 羅維培・李載寬：經營計量分析論，博英社，서울，pp.352~379, 1980.
- 19) 鄭漢永：現代統計學，螢雪出版社，서울，1981.
- 20) 金基永・郭魯均：計量意思決定論，法文社，서울，pp.597~634, 1981.
- 21) 釜山地方海運港灣廳：釜山港 港灣施設 運營細則，第8號，1月，1982年

# 洛東浦의 潮汐特性에 關한 研究

田 承 桓

## A Study on the Tidal Characteristics of the Nakdongpo Estuary

*Jun Sunghang*



〈目 次〉

Abstract

1. 序 論
  2. 調和分析의 理論
    - 2.1 調和分析
    - 2.2 調和常數
    - 2.3 調和分析의 原理
  3. 調和分析의 方法
    - 3.1 G. H. Darwin에 依한 潮汐의 調和分析 方法
  4. 潮汐 및 流速觀測資料分析
    - 4.1 觀測資料
    - 4.2 潮汐의 調和分析
    - 4.3 기압 변동에 따른 潮位變化
    - 4.4 流向 및 流速資料의 分析
      - 4.4.1 潮流橢圓
      - 4.4.2 流速의 南北成分의 特性
      - 4.4.3 流速의 東西成分의 特性
  5. 結 論
- 參考文獻  
謝 辭

## Abstract

In this paper, we have investigated the tidal characteristics of the Nakdongpo estuary. We have carried out the analysis of harmonic constant with the use of the recorded data on tidal level at the Gadeog Do tide station and analyzed the flow velocity data obtained by ourselves at two points in the Nakdongpo estuary. In addition, we have analyzed the variation of the mean-sea level.

Typical items of the characteristics we have found are;

- (1) The principal harmonic constants and non-harmonic constants are shown in table 2.
- (2) Tide in this area shows the semidiurnal inequality.
- (3) The mean-sea level is shown to be depressed at rate of about 1 cm to the rise of 1 mbar of the atmospheric pressure.

- (4) (i) At  $K_2$  point,

The E-W component of the velocity reveals the nature of progressive waves.

The N-S component reveals the nature of stationary waves.

- (ii) At  $K_3$  point,

The E-W component shows the characteristics of progressive waves to some degree.

Abstract

In this paper, we have investigated the tidal characteristics of the Nakdongpo estuary. We have carried out the analysis of harmonic constant with the use of the recorded data on tidal level at the Gadeog Do tide station and analyzed the flow velocity data obtained by ourselves at two points in the Nakdongpo estuary. In addition, we have analyzed the variation of the mean-sea level.

Typical items of the characteristics we have found are;

- (1) The principal harmonic constants and non-harmonic constants are shown in table 2.
- (2) Tide in this area shows the semidiurnal inequality.
- (3) The mean-sea level is shown to be depressed at rate of about 1 cm to the rise of 1 mbar of the atmospheric pressure.

- (4) (i) At  $K_2$  point,

The E-W component of the velocity reveals the nature of progressive waves.

The N-S component reveals the nature of stationary waves.

- (ii) At  $K_3$  point,

The E-W component shows the characteristics of progressive waves to some degree.

The N-S component shows a weak hint of stationary waves.

- (5) At  $K_2$  point, S-component is predominant due to the flow of river.

At  $K_3$  point, E-component is predominant due to the Tsushima current.

## 1. 序 論

本 論文에서 著者는 交通部 수로국 소속의 加德島檢潮所에서 매 시  
간 측정된 360 일간의 潮位資料를 분석하여 各 分潮에 대한 調和分  
析을 실시하였고, 다른 한편 1982年 9月 28日~30일까지 3일간  
에 걸쳐 海洋관측지점  $K_2$  ( $1120^{\circ}57'0'' E, 35^{\circ}02'0'' N$ ) 및  $K_3$  ( $128^{\circ}54'$   
 $5E, 35^{\circ}01'0'' N$  그림 1)에서 1時間 간격으로 25시간 연속측정한 해  
류의 流向·流速의 資料를 이용하여 潮汐에 따른 流況·流速의 變化를  
分析함으로써 洛東浦에 있어서의 潮汐의 특징을 알아보았다.

이와같은 潮汐特性에 관한 지식은 同 海域의 海水순환 및 혼합과  
정을 이해하는데 있어서는 물론, 洛東江 河口堰 건설에 따른 影響을  
연구함에도 중요한 기여를 할 것으로 생각된다.

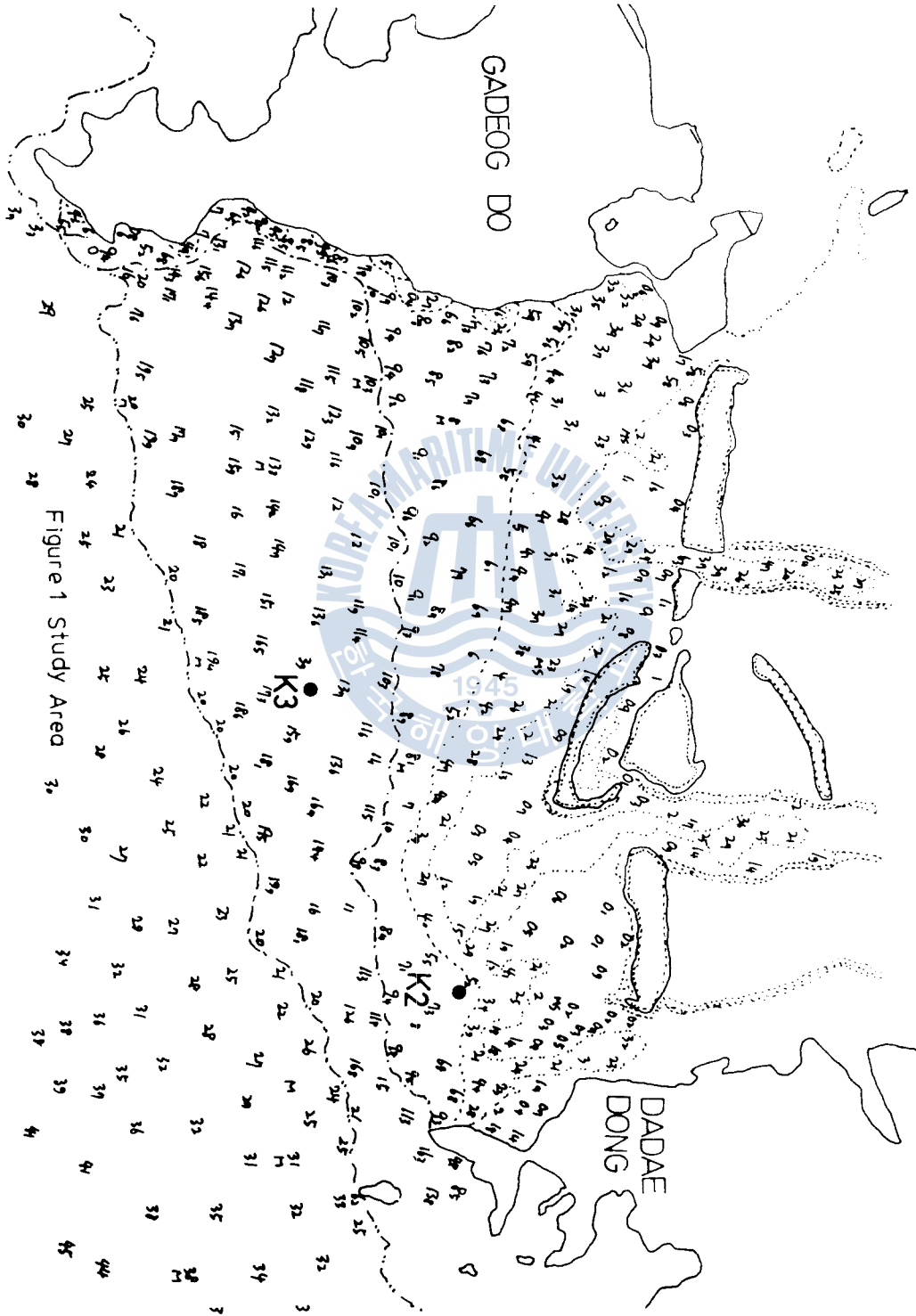


Figure 1 Study Area 30.

## 2. 調和分析의 理論

### 2.1 調和分析

潮汐은 알려진 바대로 달(太陰), 해(太陽) 및 기상등의 여러가지 복합적인 요인들이 결합되어 유발하는 복잡한 현상이다. 예컨대, 大陰潮의 경우만 하더라도 다음과 같은 복잡한 식으로 그 潮位가 계산된다.<sup>1)</sup>

$$\bar{\eta} = \frac{3}{4} \cdot \frac{M}{E} \cdot \left(\frac{R}{D}\right)^3 \left\{ \begin{array}{l} \cos^2 \varphi \cdot \Sigma C_2(I, e) \cdot \cos(2t, s, h, p, \nu, \xi) \\ + \sin 2\varphi \cdot \Sigma C_1(I, e) \cdot \cos(t, s, h, p, \nu, \xi) \\ + (1 - 3\sin^2 \varphi) \cdot \Sigma C_0(I, e) \cos(s, h, p, \nu, \xi) \end{array} \right\} \quad - (1)$$

여기서  $\bar{\eta}$ 는 潮位를,  $M$  및  $E$ 는 각각 달 및 지구의 質量을,  $R$  및  $D$ 는 지구의 반경 및 달과 지구사이의 平均距離를,  $\varphi$ 는 지구상의 觀測點의 緯度를 나타낸다.

$s$ 는 태양의 平均黃經,  $t$ 는 지방평시,  $h$ 는 태양의 平均黃經,  $p$ 는 달의 近地點의 平均黃經을 나타내는데 이들은 시간과 더불어 일정하게 변하는 量들이다.

$I, \xi, \nu$ 는 달軌道の 昇交點위치에 관한 양들로서 약 18.6년의 週기로 변화하는데 변화율은 대단히 작아서 1년간에는 거의 일정하다고 보아도 좋다.

$e$ 는 달궤도의 離心率이다. 따라서 (1)식의 각 항은, 일정한 율로 변화하는 각의  $\cos$  함수들이라 볼 수 있다. 이와 같이 조석을 규칙 바른 많은 성분의 조석으로 나누어서 分析하는 것을 調和分析 (Harmonic analysis of tides)이라 하며, 나뉘어진 일정한 주기, 일정한 진폭을 갖는 조석을 分潮(Component tide)라 일컫는다.  $\omega$ 의 ( ) 내의 양을 引數(Argument)라 하고 그것이 일정한 率로 시간에 따라 변화하는 것으로 보고 시간당의 변화율을 속도라 일컫는다.

(1)식의 우변의  $C_2$ 를 包含하는 항들은 半日周潮群,  $C_1$ 을 包含하는 항들은 日周潮群,  $C_0$ 를 包含하는 각 항들은 長周潮群이라 부른다.

太陽潮에 대하여도 같은 모양의 식이 유도되는데 달과 태양에 의한 起潮力으로 일어나는 조석을 이른바 天文潮라 부른다. 分潮의 수는 대단히 많이 알려져 있으나 그중 중요한 것들만을 표 1에 소개하였다.

표 1 중에서 가장 중요한 것은 마지막 란에 실린 진폭의 값에서 알 수 있는 바와 같이  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ , 의 4개의 分潮이다. 한편 조석이 淺海에 들어오면 天文潮의 2배, 3배, 4배의 속도를 갖는 분조들이 나타내게 된다.  $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_6$  등의 분조들은 이와같은 분조로서 倍潮라 불리우며 또 속도가 분조들의 和 또는 差로서 나타나는 분조들도 생기는데 이들을 複合潮라 부른다. 이들 倍潮와 複合조를



Table 1. Principal Tidal Harmonic Constants.

Sumbol	Names of Partial Tides	Speed (degrees per mean solar hour)	Period in solar hours	Coefficient
	<b>Semidiurnal Component</b>			
$M_2$	Principal lunar	28.98410	12.42	0.45426
$S_2$	Principal solar	30.00000	12.00	0.21137
$N_2$	Larger lunar elliptic	28.43973	12.66	0.08796
$K_2$	Lunisolar semidiurnal	30.08214	11.97	0.05752
	<b>Diurnal Component</b>			
$K_1$	Lunisolar diurnal	15.04107	23.93	0.26522
$O_1$	Principal lunar diurnal	13.94304	25.82	0.18856
$P_1$	Principal solar diurnal	14.95893	24.07	0.08775
$Q_1$	Larger lunar elliptic	13.39867	26.87	0.03651
$S_1$	Meteorological diurnal	15.00000	24.09	
	<b>Over Tide</b>			
$M_4$	Lunar $1/4$	57.96821	6.21	
$S_4$	Solar $1/4$	60.00000	6.00	
$M_6$	Lunar $1/6$	115.93642	4.14	
	<b>Compound Tide</b>			
$MS_4$	$(M_2 + S_2)$	58.98410	6.01	
$2MS_2$	$(M_4 - S_2)$	27.96821	12.81	
$2MN_2$	$(M_4 - N_2)$	29.52848	12.19	
$2SM_2$	$(S_4 - M_2)$	31.01590	11.59	
	<b>Long-period Component</b>			
$M_f$	Lunar fortnightly	1.09803	327.86	0.07827
$M_m$	Lunar monthly	0.54437	661.30	0.04136
$S_{sa}$	Solar semiannual	0.08214	4382.76	0.03643
$S_a$	Solar annual	0.04107	8765.52	

\* G.H.Darwin (1907) : Scientific Papers, vol.1.p.20-21,  
Cambridge University Press.

淺海潮라고도 부르는데 표 1 에는 이와 같은 천해조들이 함께 실려있다.

## 2.2 調和常數

(1)식에서 계수  $3/4 \cdot (M/E) \cdot (R/\bar{D})^3$  은 지구상의 어느 곳에서든 일정한 상수인 바 이것을  $G_1$  이라 놓자, 위도  $\phi$  를 포함하는 삼각함수의 항을  $G_2$  로,  $C_0, C_1, C_2$  등을  $C$  로 놓고  $\cos$  함수의 인수 중에 시간과 더불어 일정하게 변하는 양을  $v$  로,  $\nu, \xi$  를 포함하는 시간에 따라서 거의 변하지 않는 나머지 항들을  $u$  로 놓으면 (1) 식은

$$\bar{\eta} = G_1 \cdot \Sigma G_2 \cdot C \cdot \cos(v + u) \quad (2)$$

의 형태를 쓸 수 있게 된다. 따라서 4 차 분조는  $G_1 \cdot G_2 \cdot C \cdot \cos(v + u)$  로 표현되며  $v + u = 0^\circ$  일때 고조,  $v + u = 180^\circ$  일때 저조가 된다.

그런데, 이상의 이론은 靜力學的 潮汐論에서 유도된 식이므로<sup>2)</sup> 실제 관측되어지는 조석과 그 주기는 일치되지만 진폭과 위상은 달라진다.

따라서 어떤 지점에서의 실제 조석은 실측에서 얻어지는 분조의 진폭과 위상에 맞도록 적당한 補正을 가해 주어야만 된다. 보정해 주어야 할 각을 遲角 (Phase lag) 이라 부르는데 이것을  $K$  로 표시하기로 한다. 이 값은 한 정점에서는 일정한 값이 된다.

따라서 일정 지점에서의 실제 관측된 분조의 진폭을  $R$  이라 하면

각 분조의 潮高 ( $\eta$ ) 는

$$\eta = R \cdot \cos (v + u - K) \quad (3)$$

로 표시된다.

R은 해마다 약간 변화하게 되는데 그 平均을 H라 하면  $R = f \cdot H$ 로 놓을 수 있으며 따라서 (3)식은

$$\eta = f \cdot H \cdot \cos (v + u - K) \quad (4)$$

로 바꾸어 쓸 수 있게 된다. 여기서 K, H는 각 관측지점에서의 고유한 상수이며 이들을 이른바 조석의 조화상수 (Harmonic constant of tide)라 부른다. 그리고 突測值를 이용하여 각 분조의 조화상수를 산출하는 과정을 조석의 調和分析이라 부른다.

$t = 0$ 가 되는 紀元時에 있어서의 天文引數를  $v_0 + u = v + u$ 라 두고 분조의 속도를  $n$ 이라 하면 (4)식은

$$\eta = f \cdot H \cdot \cos (v_0 + u + nt - k) \quad (5)$$

로 바꾸어 쓰여진다. 여기서  $f$  및  $v_0 + u$ 는 미리 계산할 수 있는 양으로서 표로 (Doodson, 1928)<sup>3)</sup> 주어져 있다. (中野<sup>4)</sup>, 1940, P. Schureman, 1941)<sup>5)</sup>; IHB, 1953)<sup>6)</sup>

### 2.3 調和分析의 原理

平均 수면상의 潮高는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \eta &= H_0 \cdot \cos (n_0 t - \zeta_0) + \sum H_i \cdot \cos (n_i t - \zeta_i) \\ &= B_0 \cdot \cos n_0 t + C_0 \cdot \sin n_0 t + \sum H_i \cos (n_i t - \zeta_i) \\ & \text{( 단, } B_0 = H_0 \cdot \cos \zeta_0, \quad C_0 = H_0 \cdot \sin \zeta_0 \text{ )} \end{aligned}$$

여기서  $H_0$  와  $\zeta_0$  는 구하는 분조의 상수(진폭과 위상)이며 다른 분조는  $\Sigma$  의 기호로 표시하였다.

因數  $f$  는 관측점의 특성이 아니라 분조만의 특성이며 각 분조에 대한 값이 이미 계산되어 표로 나와 있으므로 조화분석의 논의에서는 생략하고 생각하기로 한다.

$P$  를 整数,  $T_0$  를 구하는 분조의 주기로 하고 (6)식에  $\cos n_0 t, \sin n_0 t$  를 곱하고  $t = 0$  에서  $t = P \cdot T_0$  까지 적분하면

$$\begin{aligned} & \int_0^{PT_0} \eta \cdot \cos n_0 t \cdot dt \\ &= \frac{B_0}{2} PT_0 + \sum H_i \frac{n_i}{(n_i^2 - n_0^2)} \cdot \{ \sin \left( \frac{n_i}{n_0} 2\pi P - \zeta_i \right) \\ & \qquad \qquad \qquad + \sin \zeta_i \} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & \int_0^{PT_0} \eta \cdot \sin n_0 t \cdot dt \\ &= \frac{C_0}{2} PT_0 + \sum H_i \frac{n_0}{(n_i^2 - n_0^2)} \cdot \{ \cos \left( \frac{n_i}{n_0} 2\pi p - \zeta_i \right) \\ & \qquad \qquad \qquad - \cos \zeta_i \} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{( 단, } n_0 = \frac{2\pi}{T_0} \text{ )}$$

가 된다. 위 식으로부터  $PT_0$  가 크면 클수록  $\Sigma$  로 표시된 다른 분

조들은 서로 상쇄될 가능성이 커지며 결국

$$H_0 \cdot \left\{ \frac{\cos}{\sin} \zeta_0 \right\} = \frac{2}{PT_0} \int_0^{PT_0} \eta \cdot \left\{ \frac{\cos}{\sin} n_0 t \right\} dt \quad (9)$$

로 나타낼 수 있고 따라서

$$H_0 = \frac{2}{PT_0} \left\{ \left( \int_0^{PT_0} \eta \cdot \cos n_0 t \cdot dt \right)^2 + \left( \int_0^{PT_0} \eta \cdot \sin n_0 t \cdot dt \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

$$\zeta_0 = \tan^{-1} \frac{\int \eta \cdot \cos n_0 t \cdot dt}{\int \eta \cdot \sin n_0 t \cdot dt} \quad (11)$$

로 되어 조화상수가 구해진다.



### 3. 調和分析의 方法

調和分析方法으로 여러가지 方法이 開發되어 사용되어지고 있는데 이들을 열거하면 다음과 같다.

Darwin 의 方法 ( G . H . Darwin , 1883 )<sup>3)</sup>

Doodson 의 方法 ( A . T . Doodson , 1928 , 1954 )<sup>8)</sup>

Graph 에 의한 方法 ( C . T . Suthons , 1959 )<sup>9)</sup>

高 · 低潮의 潮高와 時刻을 이용하는 方法 ( G . H . Darwin , 1890 )<sup>10)</sup>

最小自乘法에 의한 계산 ( W . Horn 1960 )<sup>11)</sup>

Fourier 해석에 의한 방법 ( D . E . Chartwright , D . B . Calton , 1963 )<sup>12)</sup>

등이 있는데 저자는 조화분석을 위하여 Darwin 의 방법을 채택하였다.

#### 3.1 G . H . Darwin 에 의한 潮汐의 調和分析方法

潮汐曲線에서 1分潮時마다의 조고를 읽는 것은 거의 불가능하며, 조석관측은 보통 1 평균태양시의 간격으로 행해짐으로 각 분조시마다의 조고를 구하는 대신에 Darwin (1883)은 분조시에 가장 가까운 평균태양시의 조고에서 이들 조고의 근사치를 구하는 방법을 제시하였다. 그 경우에 조고는 1 분조시가 1 평균태양시보다 크거나

작음에 따라 다르게 된다.

(a) 1 분초時가 1 平均太陽時보다 긴 경우

$M_2$  분조를 생각해 보면 1 평균태양시 = 0.966137 분초時가 되므로 관측의 시작부터 평균태양시 (S時라 부르자) 1시는  $M_2$  분조시 (C時라 부르자) 1시에 상당한다고 할 수 있다. 그리고 S時的 2시는 1.932274 C時 즉  $M_2$  분조의 2時에 상당한다. 그러나 S時的 14時は C時的 13.525918時, S時的 15時は C時的 14.492055時가 되어 평균태양시의 14時와 15時は 모두  $M_2$  분조에서는 14時에 상당하게 된다. 이와같이 분조시가 태양시보다 긴 경우에는 분조시의 어떤 시각에 대하여 평균태양시의 연속적인 2개의 시각이 대응하게 된다.

(b) 1 분조시가 1 평균태양시보다 짧은 경우

$K_1$  분조를 고려해 보면 1 평균태양시는 1.00274 분조시가 되므로 (a)의 경우와 같이 S시의 1시는 C시의 1시, S시의 2시는 C시의 2시에 상당한다. 그러나 S시의 182시는 C시의 182.49863시이므로 C시의 18시에 가까우나 S시의 183시는 C시의 183.50142시 즉 C시의 184時에 가장 가깝다.

그러므로 C시의 183시에 상당하는 S시는 없어지게 된다. 이와

같이 분조시가 태양시보다 짧은 경우에는 분조시에 상당하는 평균태양시가 없을 경우가 생긴다.

이와같이 해서 각 분조에 대한 1분조일의 분조시마다 평균한 潮高가 24 개 얻어진다. 이것으로부터 (10), (11)식에 의하여 각 분조와 그것들의 倍潮의 조화상수가 구해진다.

그런데 위의 방법에서 구한 매시의 조고는 엄밀히 매 분조시의 조고를 구한 것이 아니라 각 분조시의 30분전부터 30분후 사이의 평균치를 구한 것이다. 따라서 이에 대한 보정이 必要하다.

어떤 분조가  $\eta = H \cdot \cos (nt - \zeta)$ 로 표시될때 H는 분조의 실제 진폭이며 n은 이 평균태양시로서 표시된 속도,  $\zeta$ 는 지각이다.  $\tau$ 를 평균태양시로 표시한 1분조시라 하면,

분조시마다의 조고  $\eta'$ 는

$$\begin{aligned} \eta' &= \frac{1}{\tau} \int_{t-\frac{\tau}{2}}^{t+\frac{\tau}{2}} H \cdot \cos (nt - \zeta) dt \\ &= \frac{360 \cdot H}{\pi \cdot n \cdot \tau} \cdot \cos (nt - \zeta) \cdot \sin \frac{n\tau}{2} \end{aligned} \quad (12)$$

로 된다.

이제 p를 日周潮에 대하여 1, 半日周潮에 대하여 2, 1/3 일주조에 대하여 3, ……………이라 하면  $n\tau = 15 p$  이므로

$$a = \frac{\eta}{\eta'} = \frac{\pi \cdot p}{24 \cdot \sin \frac{15 p}{2}} \quad (13)$$



가 된다.

$a$  를 割増係數 (Augmenting factor)<sup>13)</sup> 라 부른다. 위 식에서 알 수 있듯이  $a$  는  $p$  에 관계한다. 다음 표는 分潮群에 대한 할증계수를 나타낸 것이다.

단, S군에 속하는  $S_1, S_2, S_3, \dots$ 의 분조의 할증계수는 당연히 1 이므로 이와같은 보정은 必要없다. (13) 식에 의해 계산되는 할증계수는 다음과 같다.

p	1	2	3	4	6	8
할증계수	1.00286	1.01152	1.02617	1.04720	1.11072	1.20920

## 4. 潮汐 및 流速觀測資料分析

### 4.1 觀測자료

본 論文에서 이용한 洛東浦 조석자료는 加德島 檢潮所에서 1981년 10월 1일부터 1982년 9월 30일까지 매시간 觀측한 자료이다.

조석觀측에 사용된 기구는 Fuss型 自己記錄檢潮器이다. 유항·유속 자료는 1982년 9월 28일부터 30일까지 해양觀측점 K<sub>2</sub> 및 K<sub>3</sub>에서 각각 25시간에 걸쳐 매 시간마다 觀측한 자료를 이용하였다.

유항·유속측정에는 TSURUMISEIKI의 CM<sub>2</sub> 유항·유속계를 이용하였다.

### 4.2 조석의 조화분석

1981년 10월 1일부터 1982년 9월 30일까지의 1년간의 매시 觀측한 檢潮자료를 (10), (11)식에 의하여 단기 조화 분해한 결과는 표 2와 같다. 한편, 이 결과에 의하여 아래와 같이 정의되는 非조화상수를 구하여 그것도 함께 표 2에 실었다. 그림 2에서는 1982년 1월 1일의 각 분조를 그리고 조위에 대한 계산치 및 觀측치를 비교하여 보았다.

14)

$$\text{平均高潮間隔 (M.H.W.I.)} = km/29 \text{ 時}$$

$$\text{平均低潮間隔 (M.L.W.I.)} = km/29 \text{ 時} + 6 \text{ 時 } 12 \text{ 分}$$

$$\text{大潮昇 (Spring Rise)} = 2(H_m + H_s) + H' + H_0$$

$$\text{小潮昇 (Neap Rise)} = 2H_m + H' + H_0$$

$$\text{平均海面 (Mean Sea Level, M.S.L.)} = M_2 + S_2 + K_1 + O_1$$

$$\text{大潮差 (Spring Range, Sp.R.)} = 2(M_2 + S_2)$$

$$\text{小潮差 (Neap Range, Np.R.)} = 2(M_2 - S_2)$$

$$\text{最高高潮面 (Highest, H.W.)} = A_0 + (H_m + H_s + H' + H_0)$$

Table 2. Principal Harmonic Constants and Non-Harmonic Constants (I)

			Year		1981		1981		1981		1982	
			Month		10		11		12		1	
Harmonic Constants	Component Symbol		Semi-range	Phase angle	Semi-range	Phase angle	Semi-range	Phase angle	Semi-range	Phase angle		
	M <sub>2</sub>	Hm Km	cm 54.7	° 239.4	cm 55.9	° 238.8	cm 56.1	° 241.3	cm 58.1	° 236.2		
	S <sub>2</sub>	Hs Ks	cm 26.3	° 262.4	cm 26.1	° 263.5	cm 25.9	° 267.2	cm 28.0	° 262.1		
	K <sub>2</sub>	H' K'	cm 7.2	° 262.4	cm 7.1	° 263.5	cm 7.0	° 267.2	cm 7.6	° 262.1		
	K <sub>1</sub>	H' K'	cm 8.0	° 159.2	cm 7.6	° 155.6	cm 6.8	° 159.5	cm 7.5	° 147.9		
	P <sub>1</sub>	Hp Kp	cm 2.7	° 159.2	cm 2.5	° 155.6	cm 2.3	° 159.5	cm 2.5	° 147.9		
	O <sub>1</sub>	H <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	cm 4.5	° 142.1	cm 5.2	° 132.8	cm 4.0	° 141.7	cm 4.5	° 121.9		
	Non-Harmonic Constants	M.H.W.I.		h m s 8 15 19	h m s 8 14 04	h m s 8 19 14	h m s 8 08 41					
M.L.W.I.		h m s 14 27 19	h m s 14 26 04	h m s 14 31 14	h m s 14 20 41							
Spring Rise		cm 174.5	cm 176.8	cm 174.8	cm 184.2							
Neap Rise		cm 121.9	cm 124.6	cm 123.0	cm 128.2							
M.S.L.		cm 93.5	cm 94.8	cm 92.8	cm 98.1							
Spring Range		cm 162.0	cm 164.0	cm 164.0	cm 172.2							
Neap Range		cm 56.8	cm 59.6	cm 60.4	cm 60.2							
Highest H.W.		cm 194.8	cm 187.4	cm 178.3	cm 183.7							

Table 2. Principal Harmonic Constants and Non-Harmonic Constants (II)

		Year		1982		1982		1982		1982	
		Month		2		3		4		5	
Component	Symbol		Semi-range	Phase angle	Semi-range	Phase angle	Semi-range	Phase angle	Semi-range	Phase angle	
	Harmonic Constants	M <sub>2</sub>	H <sub>m</sub> K <sub>m</sub>	cm 60.5	° 230.4	cm 59.2	° 236.3	cm 59.9	° 241.0	cm 60.3	° 241.3
S <sub>2</sub>		H <sub>s</sub> K <sub>s</sub>	cm 23.4	° 266.2	cm 26.9	° 270.7	cm 21.9	° 271.1	cm 23.7	° 255.3	
K <sub>2</sub>		H'' K''	cm 6.4	° 266.2	cm 7.3	° 270.7	cm 5.0	° 271.1	cm 6.4	° 255.3	
K <sub>1</sub>		H' K'	cm 6.4	° 134.4	cm 8.7	° 149.4	cm 6.9	° 143.5	cm 8.2	° 152.1	
P <sub>1</sub>		H <sub>p</sub> K <sub>p</sub>	cm 2.1	° 134.4	cm 2.9	° 149.4	cm 2.3	° 143.5	cm 2.7	° 152.1	
O <sub>1</sub>		H <sub>o</sub> K <sub>o</sub>	cm 4.5	° 121.5	cm 3.5	° 131.2	cm 5.1	° 129.8	cm 5.3	° 141.0	
Non-Harmonic Constants	M.H.W.I.		h m s 7 56 41	h m s 8 08 54	h m s 8 18 37	h m s 8 19 14					
	M.L.W.I.		h m s 14 08 41	h m s 14 20 54	h m s 14 30 37	h m s 14 31 14					
	Spring Rise		cm 178.7	cm 184.4	cm 175.6	cm 181.5					
	Neap Rise		cm 131.9	cm 130.6	cm 131.8	cm 134.1					
	M.S.L.		cm 94.8	cm 98.3	cm 93.8	cm 97.5					
	Spring Range		cm 167.8	cm 172.2	cm 163.6	cm 168.0					
	Neap Range		cm 74.2	cm 64.6	cm 76.0	cm 73.2					
	Highest H.W.		cm 178.3	cm 183.2	cm 185.8	cm 194.4					

Table 2. Principal Harmonic Constants and Non-Harmonic Constants (III)

		Year		1982		1982		1982		1982	
		Month		6		7		8		9	
Harmonic Constants	Component	Symbol		Semi-range	Phase angle	Semi-range	Phase angle	Semi-range	Phase angle	Semi-range	Phase angle
	M <sub>2</sub>	Hm	Km	cm 55.6	° 247.4	cm 55.0	° 230.7	cm 54.0	° 240.0	cm 54.0	° 249.3
	S <sub>2</sub>	Hs	Ks	cm 23.5	° 271.5	cm 27.9	° 248.1	cm 23.7	° 265.5	cm 25.1	° 269.2
	K <sub>2</sub>	H''	K''	cm 6.4	° 271.5	cm 7.6	° 248.1	cm 6.4	° 265.5	cm 6.8	° 269.2
	K <sub>1</sub>	H'	K'	cm 7.3	° 150.9	cm 7.5	° 148.0	cm 7.5	° 154.9	cm 9.1	° 160.8
	P <sub>1</sub>	Hp	Kp	cm 2.6	° 150.9	cm 2.5	° 148.0	cm 2.5	° 154.9	cm 3.0	° 160.8
	O <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	K <sub>0</sub>	cm 4.5	° 137.5	cm 4.6	° 115.8	cm 4.2	° 119.9	cm 3.0	° 139.9
Non-Harmonic Constants	M.H.W.I.			h m s 8 31 52	h m s 7 57 19	h m s 8 16 33	h m s 8 35 48				
	M.L.W.I.			h m s 14 43 52	h m s 14 09 19	h m s 14 28 33	h m s 14 47 48				
	Spring Rise			cm 170.0	cm 177.9	cm 167.1	cm 170.3				
	Neap Rise			cm 123.0	cm 122.1	cm 119.7	cm 120.1				
	M.S.L.			cm 90.9	cm 95	cm 89.4	cm 91.2				
	Spring Range			cm 158.2	cm 165.8	cm 155.4	cm 158.2				
	Neap Range			cm 64.2	cm 54.2	cm 60.6	cm 57.8				
	Highest H.W.			cm 191.1	cm 199.0	cm 197.8	cm 201.1				

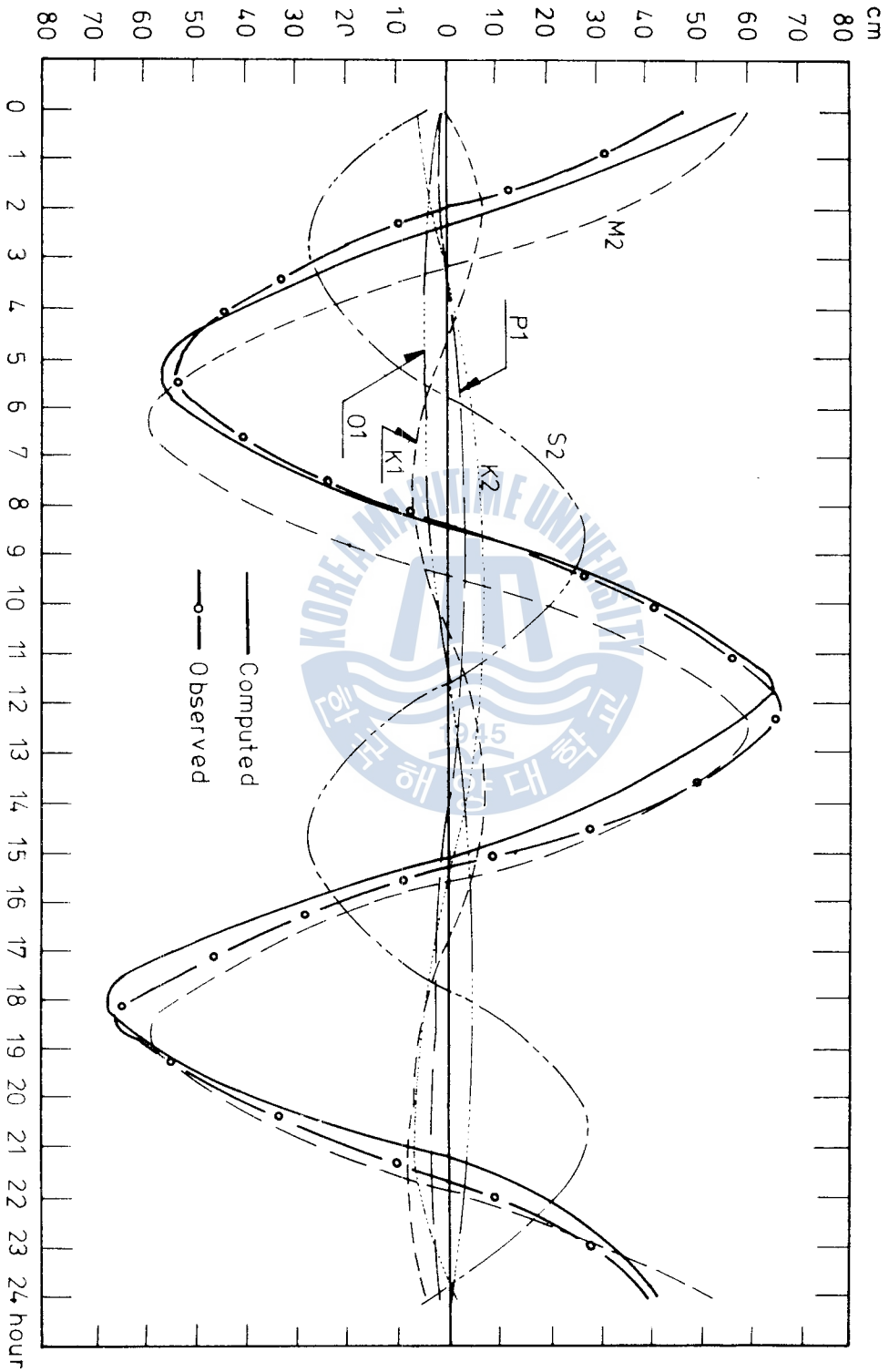


Figure 2 The Principal Component Curves

## 4.3 氣壓變化에 따른 潮位變動

조위변화에는 天文潮 以外的 영향력중 중요한 것으로 기상에 의한 해면의 승강 즉, 氣象潮 (Meteorological tide)에 관하여 고찰하였다.

일반적으로 평균기압치에서 기압변화에 따른 해면변화율은  $-1\text{cm/mbar}$ <sup>15)</sup>인 것으로 알려져 있다. 부산기상대에서 관측한 기상 자료를 그림 3에서 조위와 비교해 보았다.

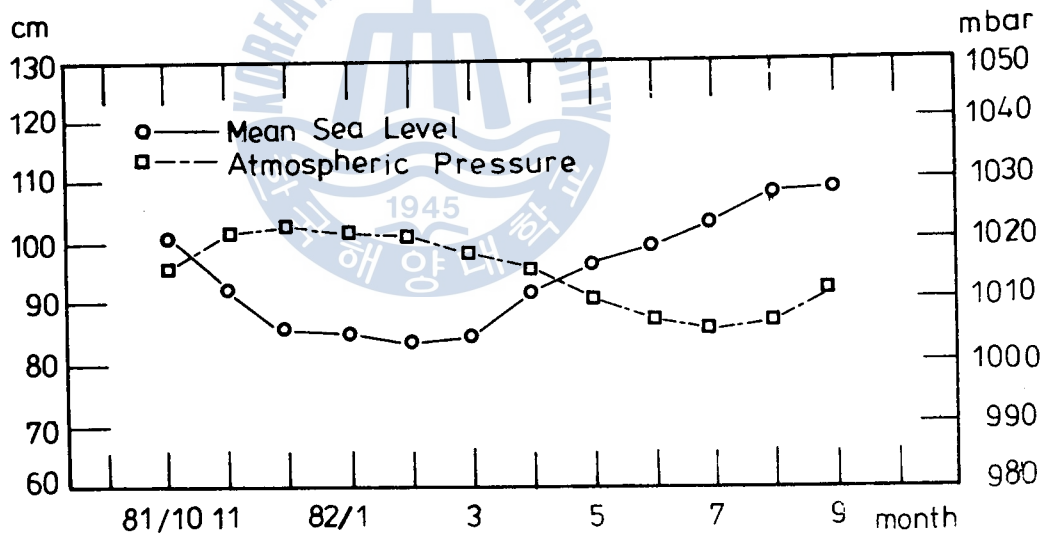


Figure 3 Averaged Monthly Variation of Mean Sea Level versus Atmospheric Pressure

加德島의 경우 여름철에는 潮位의 상승이, 겨울철에는 하강이 나타나며 약  $-1\text{cm}/\text{mbar}$ 의 변화율은 일반적인 예상과 잘 일치됨을 보여주고 있다.

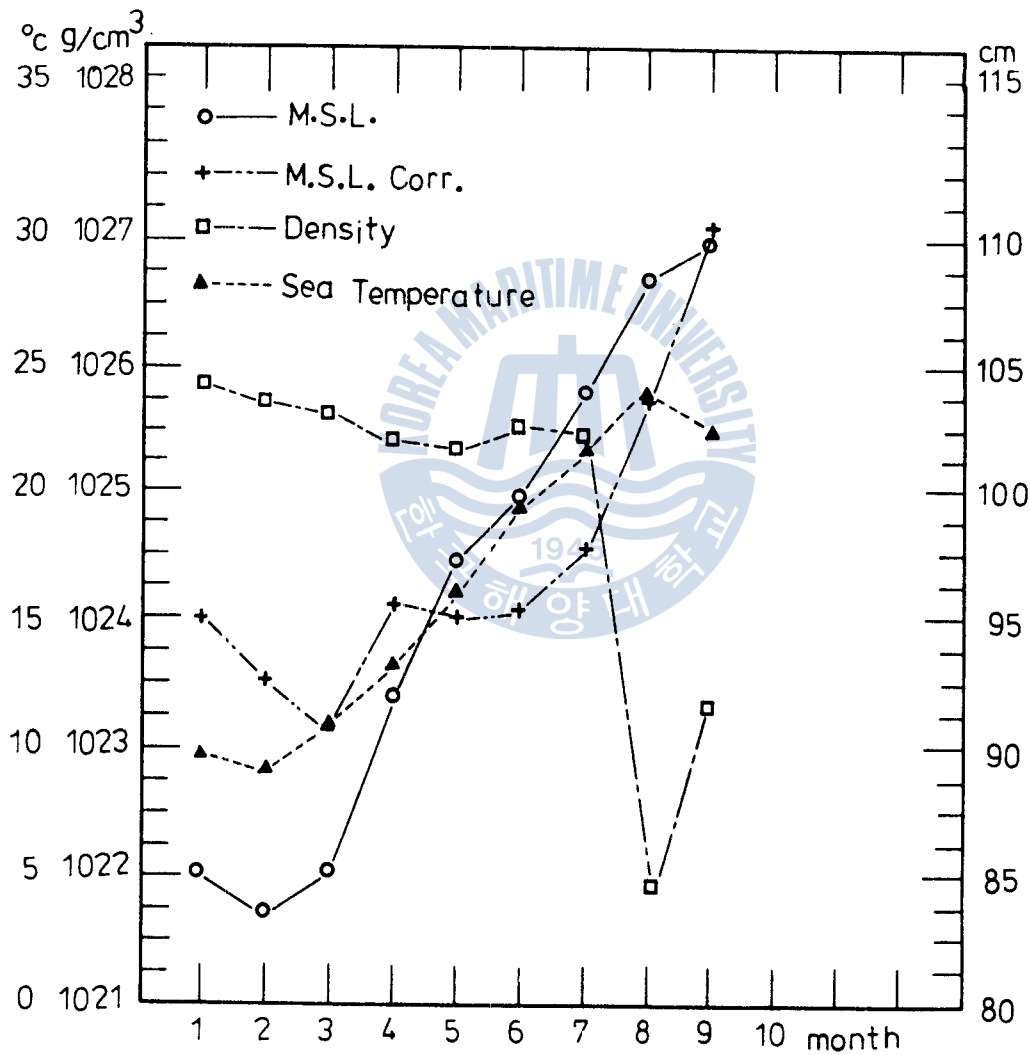


Figure 4 Averaged Monthly Variation of Mean-Sea Level, M.S.L.corrected, Density and Sea-Temperature



그림 4는 월평균한 평균해면, 기압을 보정한 평균해면, 비중 및 해수온도와의 관계를 나타낸 것이다.

#### 4.4 流向·流速資料의 分析

앞서 말한 두 관측점  $K_2$  및  $K_3$ 에서 얻은 유향·유속 자료로부터 이 해역의 조석특성을 알아보기 위하여 조석 타원을 그려보았고 또 해류의 南北 및 東西成分의 시간변화곡선을 그려 조석곡선과 비교하여 보았다.

##### 4.4.1 潮流橢圓

1982년 9월 28일 ~ 30일까지  $K_2$  및  $K_3$  지점에서 관측한 유향 및 유속자료로 hodograph를 그려서 그림 5와 같은 결과를 얻었다.

이 graph는 달리지 않은 2개의 다른 橢圓(潮流橢圓)으로 나타나는데 이것은 이 해역의 조석이 日潮不等의 半日周潮特性을 가졌음을 뜻한다. 아울러 流向은 남동쪽으로 치우쳐있음을 보이고 있는데 이는 쓰시마해류(Tsushima current)와 강물 흐름의 영향이 겹쳐서 作用하고 있기 때문이라고 생각된다.

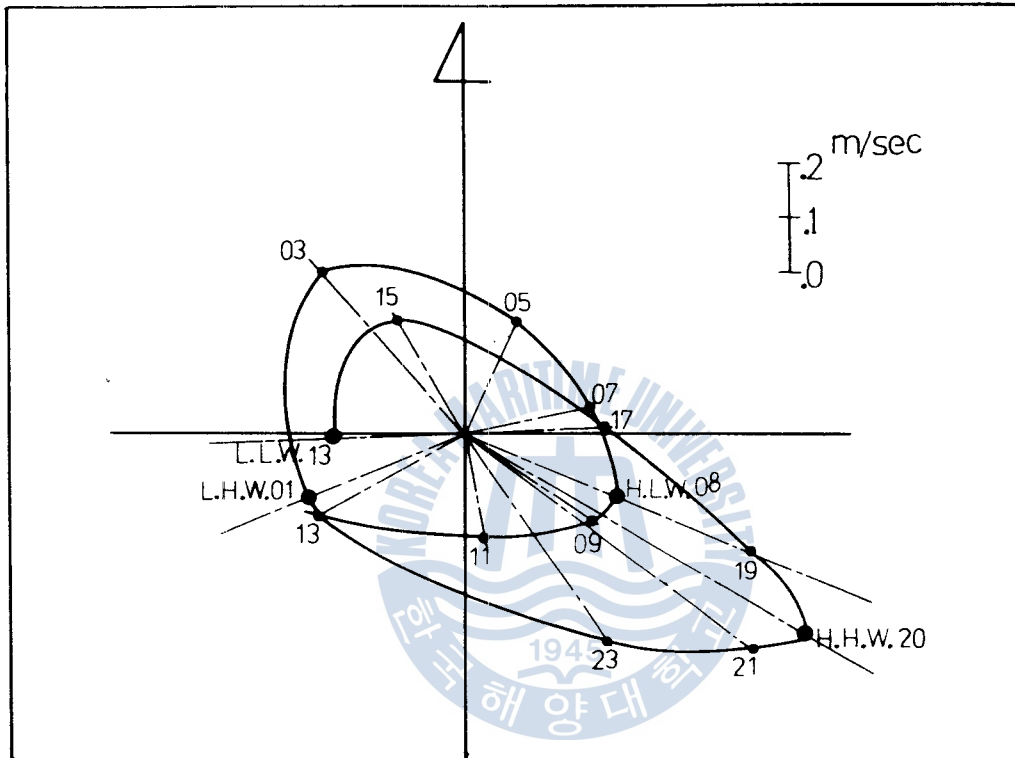


Figure 5 Current Ellipse at K2

4.4.2 流速의 南北成分의 特性

洛東江 조석과의 南北成分은 북쪽의 反射壁과 남쪽에 개구가 있는 지형적 특성(그림 1) 때문에 북쪽 벽에 배(Antinode), 남쪽 개구에 마디(node)가 형성되는 정상파를 나타낼 것으로 짐작된

다. 정상파의 특성은 潮位와 潮速의 위상이  $90^\circ$  차가 생기는 것으로 조석파의 진행 방향에  $x$  축을 잡고 조석의 진폭을  $\eta_0$ , 조위를  $\eta$ , 유속을  $v_x$  라 놓으면,<sup>16)</sup>

$$\eta = \eta_0 \cdot \cos kx \cdot \cos nt \quad (14)$$

$$v_x = \sqrt{\frac{g}{h}} \cdot \sin kx \cdot \sin nt \quad (15)$$

( 단,  $k$  : 조석파의 波數,  $g$  : 중력가속도,  $h$  : 수심 )

$g$  : 중력가속도,  $h$  : 수심 )

로 주어진다.

$K_2$  지점에서는 이와같은 정상파의 특성이 현저하게 나타났다.

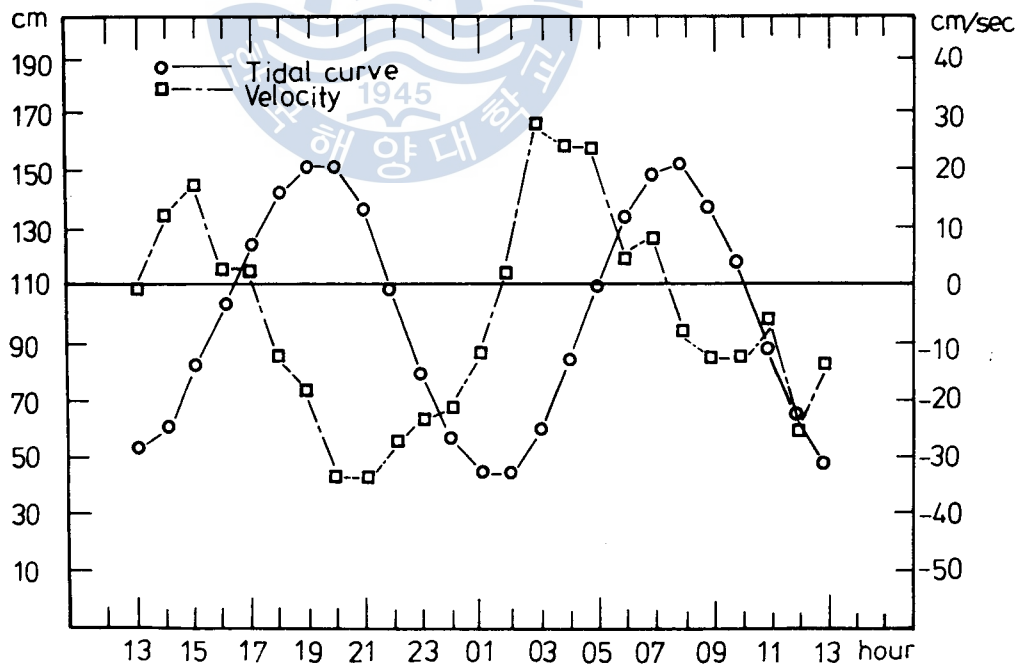


Figure 6 Time Variation of Velocity (N-S Comp) at K2

그러나 K<sub>3</sub> 지점에서는 이러한 특성이 뚜렷하게 나타나지 않았다.

이는 K<sub>2</sub> 지점의 경우 북쪽은 해저지형이 급경사이고 또 이 해저 급경사가 관측지점에 가까이 있음으로써 반사파의 영향이 커서 이로 인해 정상파의 특성이 강한 것으로 생각된다. 그러나 K<sub>3</sub> 지점에서는 북쪽 해저지형이 완만하게 되어 있어서 반사파가 약하고 따라서 정상파적 특성이 현저하게 나타나지 않는 것 같다.

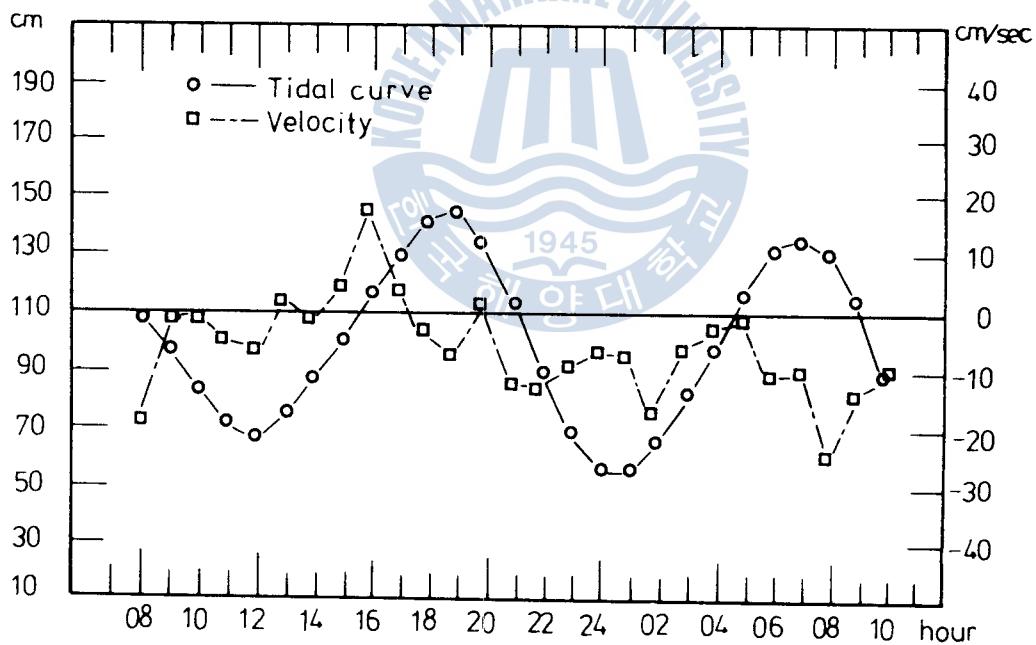


Figure 7 Time Variation of Velocity (N-S Comp) at K3

$K_2$  지점에서의 남북성분이 남쪽으로 치우치는 경향이 강할때 이것은  $K_2$  지점에서는 강물 흐름의 영향이 강함을 나타내는 것으로 볼 수 있다.

#### 4.4.3 유속의 동서성분의 특성

낙동포 유속의 동서성분의 경우  $K_2$ 에서는 진행파적 특성이 나타나고  $K_3$ 에서는 어느정도 정상파적 특성이 나타났다.

진행파는 그 조위 및 유속이<sup>17)</sup>

$$\eta = \eta_0 \cdot \cos(Kx - nt) \quad (16)$$

$$v_x = \sqrt{\frac{g}{h}} \cdot \eta_0 \cdot \cos(Kx - nt) \quad (17)$$

와 같이 표현되어 그 위상이 일치하는 것이 특징이다.

그림 8은  $K_2$ 에서의 유속의 동서성분이 진행파적 특성을 가졌음을 명확히 보여 준다. 이 이유는 多大浦쪽에서는 해저경사가 완만하여 반사파가 약하고, 가덕도쪽은 멀어서 반사파가 도중에서 감소되어 없어짐으로 정상파가 이루어지지 않고 진행파적 특성을 나타내는 것이라 생각된다.

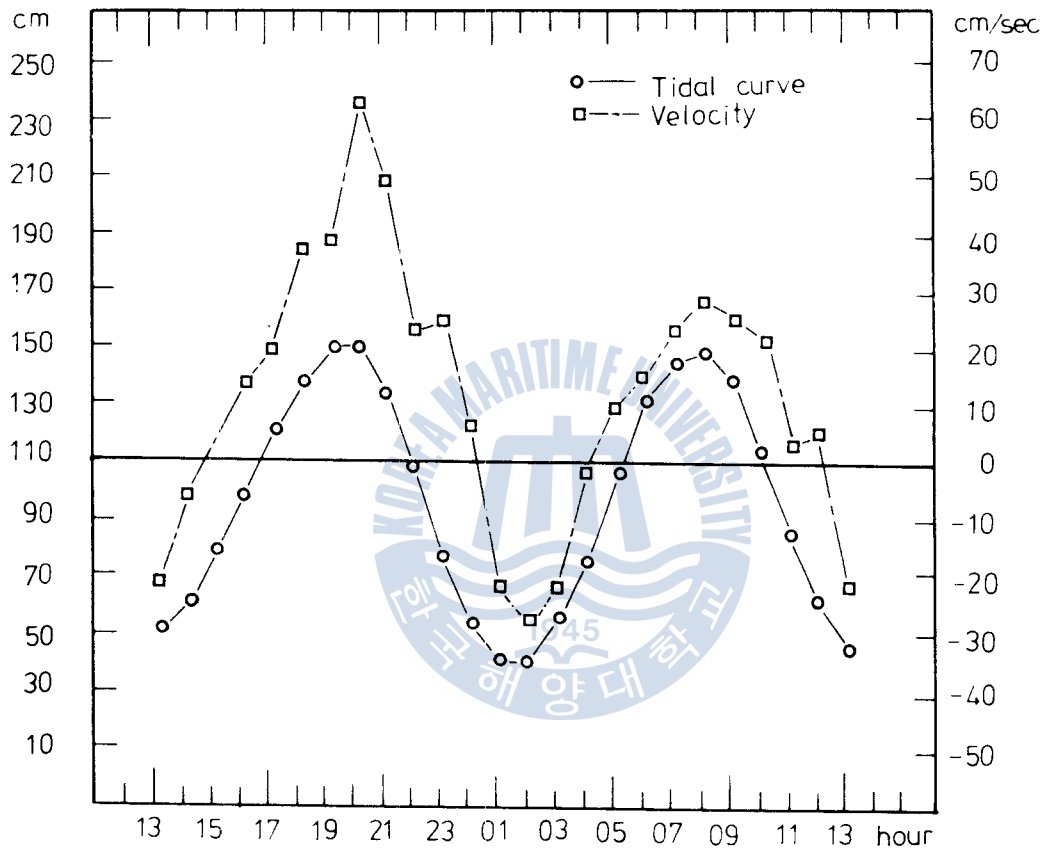


Figure 8 Time Variation of Velocity (E-W Comp) at K2

K<sub>3</sub> 지점에서는 그림 9에서 보이는 것과 같이 정상파적 특성이 나타나는데 이는 가덕도에서의 반사파가 약하게나마 작용하여 간섭하므로써 발생하는 현상으로 해석된다. 또한 K<sub>3</sub> 지점에서는 K<sub>2</sub> 지점에

비하여 동쪽성분이 아주 크게 나타나는데 이는 쓰시마 해류 (Tsushima current)의 영향이  $K_2$  지점보다 크게 작용하기 때문에 생기는 현상으로 볼 수 있다.

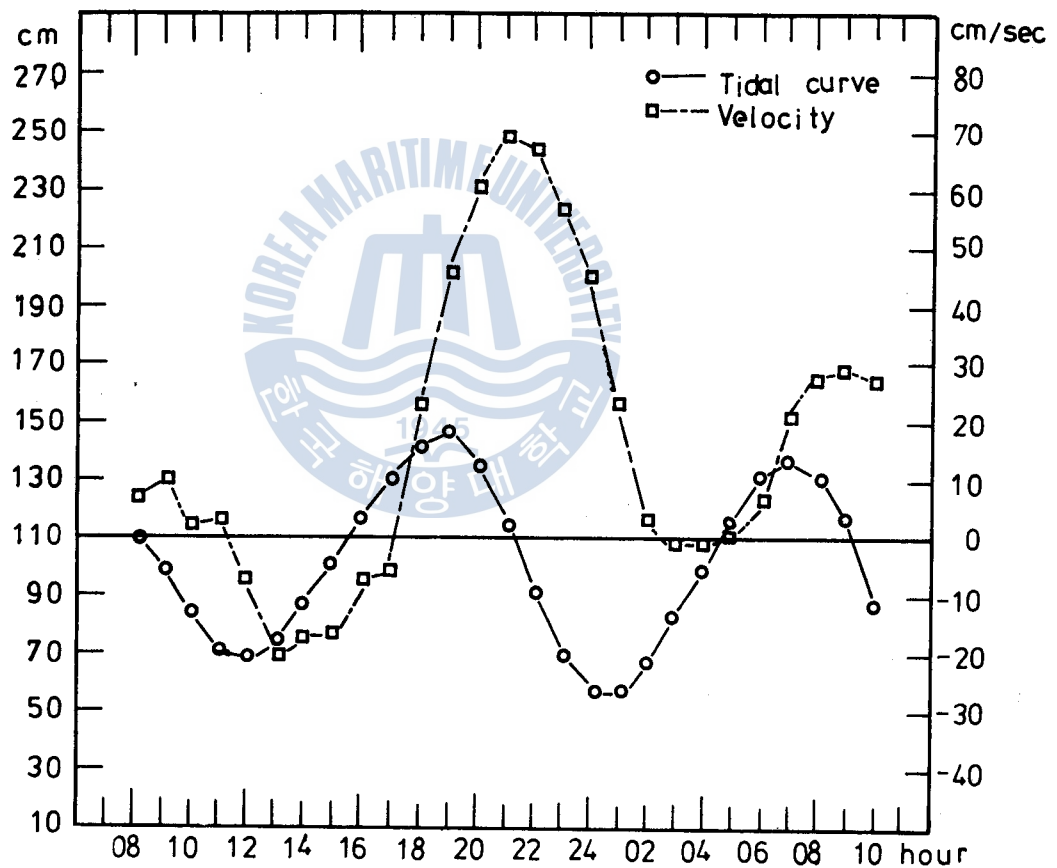


Figure 9 Time Variation of Velocity (E-W Comp) at K3

## 5 . 結 論

1 . 洛東浦의 主要調和常數 및 非調和常數를 구한 結果 表 2 와 같았다.

2 . 프랑스에서는 
$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} < 0.25,$$

미국에서는 
$$f = \frac{K_1 + O_1}{M_2} < 0.5$$
 일때의

조석을 半日周潮型이라 부르는데 洛東浦의 경우  $F = 0.15,$   $f = 0.24$  이므로 半일주조형의 조석이라 할 수 있다.

3 .  $K_3$  지점의 潮流橢圓은 완전히 닫히지 않은 2개의 다른 타원으로 나타나므로 洛東浦의 潮汐은 日潮不等型임을 알 수 있으나 그다지 심한 不等은 아니었다.

4 . 기압에 대한 洛東浦의 平均海面 변화율은 약  $-1cm/mbar$  이며 이것은 일반적인 경우와 일치하고 있다.

5 .  $K_2$  지점에서의 南北成分은 正常波, 東西成分은 進行波의 性格을 나타내었다.  $K_3$  지점에서의 南北成分은 정상파의 특성이 明確하지 않으나 東西成分은 어느정도 正常波的인 특성이 나타났다. 이상의 特性은 해저지형의 영향때문임을 알아내었다.



6.  $K_2$  지점에서는 강물 흐름의 영향으로 남향 성분이 우세함을 나타내고,  $K_3$  지점에서는 쓰시마 해류의 영향으로 東向成分이 강함을 밝혔다.



## 參 考 文 獻

1. 彦坂 繁雄, 永田 豊, 宮山奇 正衡 (1970) : 海洋物理Ⅲ, 東海大学出版会, 128.
2. 前掲書(I) 134 ~ 135.
3. DOODSON, A. T. (1928) : The analysis of tidal observations, Phil. Trans. Roy. Soc., London, 227 A, 223~279.
4. 中野猿人. (1940) : 潮汐学, 古今書院, 518 pp.
5. P. SCHUREMAN. (1941) : Manual of harmonic analysis and prediction of tides, U.S. Coast and Geodetic Survey, Washington, D.C., Sp. pub. No. 98.
6. I. H. B. (1953) : Sp. pub., No. 26. 9 ~ 12.
7. 前掲書(1) 137.
8. DARWIN, G. H. (1883) : Report of a committee for the harmonic analysis of tidal observations, Brit. Ass. for Adv. Sci., 49~118.
9. SUTHONS, C. T. (1959) : The Admiralty semigraphic method of harmonic tidal analysis, Admiralty Tidal Hand Books, No. 1.
10. DARWIN, G. H. (1890) : On the harmonic analysis of tidal observations of high and low water, Proc. Roy. Soc., 48, 278 ~ 340.

11. HORN, W. (1960) : Some recent approaches to tidal problems, *Int. Hydrogr. Rev.*, 37(2), 65 ~ 84.
12. CARTWRIGHT, D. E., and D. B. CATTON, (1963) : On the Fourier analysis of tidal observations, *Int. Hydrogr. Rev.*, 40(1), 113 ~ 125.
13. 前掲書 (1) 140.
14. HYDROGRAPHIC OFFICE OF KOREA : Tide Tables  
Vol. 1. (1982)
15. EUGENIE LISITZIN VOL. 8. (1973) : Sea - level Changes,  
59.
16. 能澤源右衛門著 (1978), 兪洪善譯 (1982) : 海洋物理学概論, 集文堂,  
248.
17. 前掲書 (16) 249.

