

[Note]

우리나라 조석지각 기준 표기에 대한 고찰

변도성

국립해양조사원 해양조사연구실

Overview of Tidal Phase-lag References Used in Korea

DO-SEONG BYUN

Ocean Research Laboratory, National Oceanographic Research Institute

현재까지 우리나라에선 연구자마다 각기 다른 세 가지 조석지각 기준(관측지점 경도 기준 지각, 표준시 자오선 기준 지각, 그리니치 자오선 기준 지각)을 사용하여 오고 있다. 이처럼 통일되지 않는 조석지각 정보체계는 전체적인 우리나라 조석의 특성이나 변화를 이해하는데 장애가 되고 있다. 이 연구에서는 올바른 조석지각 기준의 상호전환과 관련하여, 세 가지 지각기준에 관하여 자세히 살펴보았다. 이에 앞서 조석 조화분해 과정에서 분조의 지각이 어떻게 계산되며, 조석예측프로그램에선 계산된 지각이 어떻게 사용되게 되는지 살펴보았다. 또한 이것을 바탕으로 과거 일부 연구에서 불명확하게 기술된 조석지각의 정의에 관하여 논의하였다.

Three different tidal phase-lag references have been used by the tidal research community of Korea: Greek kappa (κ), Local standard time zone (135°E) phase-lag (g) and Greenwich phase-lag (G). This ununified tidal information system may induce confusion in understanding tidal characteristics and their variability and impede the development of tidal knowledge in Korea. In this study we closely explore the three phase-lag reference definition with respect to their mutual conversion. We also identify an incorrect phase-lag reference definition used in previous works and discuss what has led to this misunderstanding.

Keywords: Phase-lag Reference, Harmonic Analysis, Tidal Prediction, Nodal Correction, Nodal Factor, Nodal Angle

서론

해수면의 주기적인 변동을 정량적으로 표현해주는 조석분조(tidal constituents)의 조화상수(harmonic constants)는 그 해역의 조석특성을 나타내는 중요한 요소이다. 그러나 조석분조에 대한 지각(phase-lag)의 기준을 관측 기관과 연구자 별로 다르게 적용하고 있어, 우리나라의 조석에 관한 연구 성과들을 정리하고 축적하여 장차 발전시켜나가는 데 큰 걸림돌이 되고 있다. 현재 국내에서는 세 가지 지각기준 즉, 한국표준시 자오선 기준(g, 135°E 기준), 그리니치 자오선 기준(Greenwich Meridian, G), 관측지점 경도 기준(κ , kappa)이 사용되고 있다. 관측자료가 절대적으로 부족한 해양에서 시·공간적 조석특성의 변화를 파악하기 위해서 기존의 연구 결과들을 활용하는 것은 필수적이다. 따라서 각 조석 지각기준 간의 상호 전환에 대하여 이해하는 것은 매우 중요하다.

특히 우리나라의 서해안은 조석 현상이 우세한 해역으로 연안수심측량·준설, 간척과 매립 등 해상교통 안전 및 연안 개발 등과 관련하여 조석과 조류에 관한 많은 연구가 이루어져왔다. 조석 조화상수는 관측된 해역의 조석예보에 활용될 뿐만 아니라 만과 하구, 넓게는 황해와 동중국해를 대상으로 한 조석 수치모델의 경제

값 및 모델 검증·보정 등에도 쓰이기 때문에 조석 조화상수를 체계적으로 정리하는 일은 매우 중요하다.

이와 관련하여 Choi(1980)는 황해를 포함한 동중국 해역을 대상으로 광역 2차원 조석 수치모델을 수행하여 황해 주요지점에 대한 135°E 기준과 부록으로 카파(kappa) 기준의 주요 분조들의 진폭과 지각 정보를 제공하는 선구적인 연구결과를 발표하였다. 한국해양 연구원은 조석관련 연구자나 관련 업무 종사자의 편의를 위하여 국립해양조사원 수로기술연보(현, 해양조사기술연보), 한국해양연구원 연구보고서, 기타 용역회사 조석관측 보고서 등에 수록된 조석 조화분해 결과들을 모아 '한반도 주변 조석 조화상수 자료집'(한국해양연구소, 1996)을 발간하였고, 인터넷으로 서비스하고 있다(<http://www.kordi.re.kr/odmd/harmonic2004/>). 국립해양조사원은 현재까지 공식적으로 κ (kappa)지각 기준을 사용하고 있으며, 한국해양연구원은 과거 그리니치자오선 기준의 지각 분석결과를 발표하였다. Teague *et al.*(2001)은 그리니치 자오선 기준의 지각을 사용하여 대한해협에서 조류를 분석한 결과를 제시하였으며, 가장 최근에 Ro(2007)도 그리니치 자오선 기준의 지각을 사용하여 강진만의 조류 분석결과를 발표되었다. 그러나 Kang *et al.*(2002), Moon(2005), Byun *et al.*(2005) 등 최근 대부분의 연구에선 135°E를 기준으로 한 수치모델 분석결과나 관측 분석결과를 제시하고 있다.

위의 사례에서 보듯이 과거부터 각 연구기관이나 연구자마다 서

*Corresponding author: dsbyun@nori.go.kr

로 다른 조석(조류) 지각 기준을 사용하여 오고 있다. 또한 조석과 관련하여 발표된 여러 연구 논문들 중에는 지각 기준의 표기가 없는 경우(예를 들면, 정 등, 1994; 오와 강, 1998; 권과 이, 1999)도 종종 있어 관련 연구에 어려움을 주고 있다. 이러한 현실적인 여러 문제점이 이 연구를 하게 된 직접적인 동기가 되었다.

따라서 이 연구에서는 현재까지 우리나라에서 다양하게 정의되고 있는 위에서 언급한 세 가지 조석지각 기준에 관하여 구체적으로 살펴 본 후, 이들 조석지각 기준의 전환식에 대한 문제점을 논의하고자 한다.

조석지각 기준들 간의 관계

조석 조화분해에 의해서 계산된 각 분조의 세 가지 형태의 지각 기준(κ , g , G)에 대한 정의와 이들의 상호 전환에 관하여 자세히 살펴보기로 하자. 정력학적 조석론에서 설명하는 평형 조석(equilibrium tide)과 달리 실제 해수면은 (가상)천체가 관측지점을 남중하였을 때 곧바로 고조(high tide)에 이르지 못한다. 일반적으로 어느 지역에서 표준시로 동일 시각에 관측된 분조의 위상과 평형 조석분조의 위상 사이의 차이를 지각(phase-lag 또는 epoch)이라 부르며, 보통 그리스 문자 κ (kappa)로 표기한다(Schureman, 1976).

κ 를 계산하는 방법에 관하여 좀 더 구체적으로 살펴보기로 하자. 먼저 평형 조석(equilibrium tide) 이론에서 사용되는 각 분조의 위상(the phase of an equilibrium constituent)을 일반적으로 평형 인수(equilibrium argument)라 부르며, $(V+u)$ 로 표현한다. 임의 지역의 관측시작 시각(initial instant of time)의 평형 인수(local equilibrium argument)를 $Loc(Vo+u)$ 라 하고, 관측시작 시각에서부터 관측된 분조의 위상이 고조가 되는 시각까지 관측된 각 분조의 지각(phase-lag)을 $(-\zeta)$ 라 하면, κ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\kappa = Loc(Vo + u) - (-\zeta) = Loc(Vo + u) + \zeta \quad (1)$$

여기서 Vo (즉, Local Vo)와 u 는 각각 그 지역 표준자오선 기준의 각 태음 분조(lunar constituent)의 평형 위상각(equilibrium phase angle)과 18.61년 주기로 달 교점의 경도에 따라 변하는 각(nodal angle)을 의미한다. 식 (1)의 국지적 평형 인수 $Loc(Vo+u)$ 는 값이 계산되어 표로 주어지거나 또는 계산식이 존재하는 그리니치 평형 인수 $Green(Vo+u)$ 사용하여 표현할 수 있다. 이를 표현하는 방법으로, 먼저 두 평형 인수(equilibrium argument)의 공간적 경도 차이를 나타내는 식이 필요하다. 즉, 짧은 주기의 모든 분조들의 인수식(argument formula)은 평균태양 시간각과의 곱으로 이루어져 있어서 각 분조의 평형 인수는 동일 시각에 경도가 다른 곳에서 다른 값을 가진다. 또한 관측이 이루어진 지역의 표준시 자오선(time meridian)에 따라 각 분조의 위상 값이 다르기 때문에 발생하는 즉, 관측이 이루어진 절대 시각(즉, 그 해역 표준시)의 차이를 들 수 있다. 이 두 사항을 고려하면, 어떤 분조에 대한 국지적 평형 인수($Loc(Vo+u)$)와 그리니치 평형 인수($Green(Vo+u)$) 사이의 관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$Loc(Vo + u) = Green(Vo + u) - pL + aS/15 \quad (2)$$

여기서 p 는 평균태양(mean Sun)의 시간각(hour angle) 계수로 주기가 일주조 이하인 분조의 하루당 고조의 수(cycle)를 나타낸다. 예를 들어, 일주조보다 긴 장주기 분조의 경우 0, 일주조의 경우 하루에 한번의 고조를 가지므로 1이고, 반일주조의 경우 하루에 두번의 고조를 가지므로 2의 값을 가진다. L 과 S 는 각각 관측 장소의 경도와 표준시의 경도이며 그리니치 자오선을 기준으로 서쪽으로는 양(+의) 값을 동쪽으로 음(-)의 값을 갖는다. 그리고 a 는 각 분조의 각속도(degree/hour)이다. 따라서 식 (2)을 식 (1)에 대입하면, κ 는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\kappa = Green(Vo + u) - pL + aS/15 + \zeta \quad (3)$$

그러나 조석 조화분해 결과는 결국 그 지역 표준시에 대한 조석 예측을 위하여 사용되고 있기 때문에, 편의상 경도와 표준시 자오선(time meridian, S) 그리고 κ 를 합친 g 가 일반적으로 조화분해 결과로 주어진다. 즉, g 는 다음과 같이 정의된다.

$$g = \kappa + pL - aS/15 \quad (4)$$

또한 식 (3)을 식 (4)에 대입하면, 식 (4)의 g 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$g = Green(Vo + u) + \zeta \quad (5)$$

특히 여기서 주목할 점은 식 (4)와 달리 식 (5)을 사용하면 관측 지점의 경도(L)와 표준시 자오선(S)에 대한 정보 없이 그리니치 평형 인수($Green(Vo+u)$)와 관측된 분조의 위상(ζ) 만으로 그 지역 표준시 자오선에 대한 지각을 구할 수 있다는 사실이다. 이 때문에 대부분의 조석 조화분해 프로그램 [예를 들면, IOS tidal package (http://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/sci/osap/projects/tidpack/tidpack_e.htm), Task-2000 package (<http://www.pol.ac.uk/psmsl/training/task2k.html>)]에선 식 (5)로부터 지각을 구한다. 이처럼 g 는 관측이 이루어진 곳의 표준자오선 기준이므로 우리나라에서 표준시로 기록된 해수면 자료를 조석 조화분해한 결과의 지각은 135°E 기준이다.

마지막으로, 세계 다른 곳의 동일 조석 분조의 지각을 그 해역의 표준시 자오선 기준의 지각(g) 또는 관측지점의 경도 기준 지각(κ)과 직접적으로 비교하기 위해서는 일반적으로 경도와 표준시 자오선(time meridian)에 독립적인 그리니치 자오선 기준의 지각(G)을 사용하면 편리하다. 지각 기준 G 와 g , κ 와의 관계식은 다음과 같다.

$$G = g + aS/15 = \kappa + pL \quad (6)$$

지각에 관한 좀 더 자세한 설명은 Schureman(1976)을 참고하기 바란다.

조화분해를 이용한 조석예측

앞에서 조석지각 기준의 정의에 관하여 자세히 살펴보았다. 실제 지각정보의 이용과 관련하여 조석 조화분해 과정에서 지각이

어떻게 계산되며, 조석예측에는 그 결과가 어떻게 이용되는지 간단히 살펴보기로 하자. 어느 해역에서 그 지역 표준시로 임의 시각(t)의 조위 $H(t)$ 는 다음과 같이 알려진(추산된) 조석 분조들의 코사인(cosine) 함수의 합으로 표현할 수 있다(Boon, 2004).

$$H(t) = H_0 + \sum f_n H_n \cos[a_n t + Loc + (V_0 + u)_n - \kappa_n] \quad (7)$$

여기서, H_0 는 평균해수면(mean sea level) 또는 어떤 정의된 기준면(datum) 상의 평균수위(mean water level), H_n 는 분조 n 의 평균 진폭, a_n 은 분조 n 의 각속도($^\circ/hr$), κ_n 은 분조 n 의 지각(phase-lag), f_n 과 u_n 는 각각 임의 시각(t)에 달 교점(node)의 경도 변화에 따라 18.61년의 주기로 변하는 태음 분조(lunar constituent) n 의 평균진폭(H_n)을 보정하기 위한 교점 인자(nodal factor)와 태음 분조 n 의 교점각(nodal angle), V_0 (즉, Local V_0)은 그 지역 표준자오선 기준의 각 태음 분조 n 의 평형 위상각(equilibrium phase angle)으로 임의 기준 시각에 (가상)천체의 이론적 위치를 나타내므로 초기 지각(initial epoch)이라 부른다. Fig. 1은 한 예로 2001년부터 2019년까지 19년 동안 M_2 분조의 f 와 u 의 변화를 보여주고 있다. 이 기간 중에 M_2 분조의 f 는 2006년에 최소값 0.9636을 가지고, 2016년에 최대값 1.0383을 가진다. u 의 경우 2001년에 -2.0644° 를 가지고, 2011년에 2.294° 를 가져 19년 동안 변화폭은 5° 미만으로 작기 때문에 경도에 따른 차이를 무시하고 보통 그리니치 자오선을 기준으로 계산된 값을 모든 해역에 적용한다. $Loc(V_0 + u)_n$ 는 임의 해역의 초기 시각(initial instant of time)에 태음 분조 n 에 대한 평형위상인수(equilibrium phase argument)이다. 위의 M_2 분조의 경우에서 볼 수 있듯이, f 와 u 모두 1년 내에서 변화하는 폭이 작으므로 과거 초기에는 변화를 고려하지 않고, f_n 과 함께 매해 첫날의 그리니치 자오선에 대해 미리 계산되어 표로 제시되어 주어진 분조별 평형위상인수($Green(V_0 + u)_n$ 즉, $Green(V_0)_n + u_n$) 값을 조석예측에 사용하였다. 식 (7)은 식 (2)와 식 (4)로부터 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$H(t) = H_0 + \sum f_n H_n \cos[a_n t + Green(V_0 + u)_n - g_n] \quad (8)$$

그러나 최근에는 하나의 기원시(the reference time origin) (예를 들어, IOS tidal package의 경우 1899년 12월 31일 12시)로부터 계산된 날짜 수(day number)를 사용하여 해당 시각 t 에 따라 그

리니치 자오선에 대한 기초력(tide-generating force)의 이론적 위치 값을 계산하여 조석을 예측한다. 즉, $Green(V_0 + u)_n$ 은 t 의 함수로 식(8)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$H(t) = H_0 + \sum f_n(t) H_n \cos[Green(V_0(t) + u(t))_n - g_n] \quad (9)$$

일반적으로 어느 한 해역에서 장기간 관측한 자료를 동일기간 단위로 조석조화분해(harmonic analysis)한 결과는 관측시기에 관계없이 각 태음 분조의 진폭과 지각이 거의 일정한 값을 갖도록 $f_n(t)$ 와 $Green(V_0 + u)_n$ 에 대하여 달의 교점 보정(nodal correction)이 이루어진 값들이다. 즉, 조화분해에 의해 산출된 태음 분조별(평균)진폭과 지각의 결과는 각각 $H_n = h_n / f_n(t)$ 와 $g_n = Green(V_0 + u)_n + \zeta_n$ 이다. 여기서 h_n 과 ζ_n 은 각각 관측 자료로부터 최소제곱법(least squares method)에 의하여 계산된 각 분조의 진폭과 위상이다. 단, 교점 보정은 태양과 관련된 조석 분조에는 적용하지 않는다. 즉, 이들 분조는 $V_0 = 0, u = 0, f = 1$ 의 값을 갖는다. 이처럼 산출된 각 분조의 평균진폭과 지각은 관측이 이루어진 해역의 지형변화 등이 없는 한 조화분석에 사용된 자료의 관측시기(년도)와 상관없이 거의 고유한 상수값을 가지므로 조화상수라 부른다.

Fig. 2는 위에서 설명한 조화분해프로그램으로부터 조석상수가 어떤 과정으로 계산되며, 조석예측프로그램에서 어떻게 사용되는 지에 관한 전체적인 흐름도이다. 18.61년 주기를 가지는 $f_n(t)$ 는 일년 범위 내에서 시간에 따른 변화율이 작기 때문에 보통 조화분해를 할 때 시계열 자료의 중간 시기의 값을 분조의 평균진폭을 계

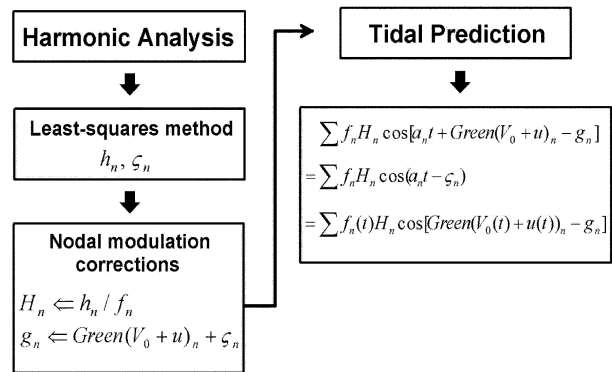


Fig. 2. Flow diagram of the tidal prediction process.

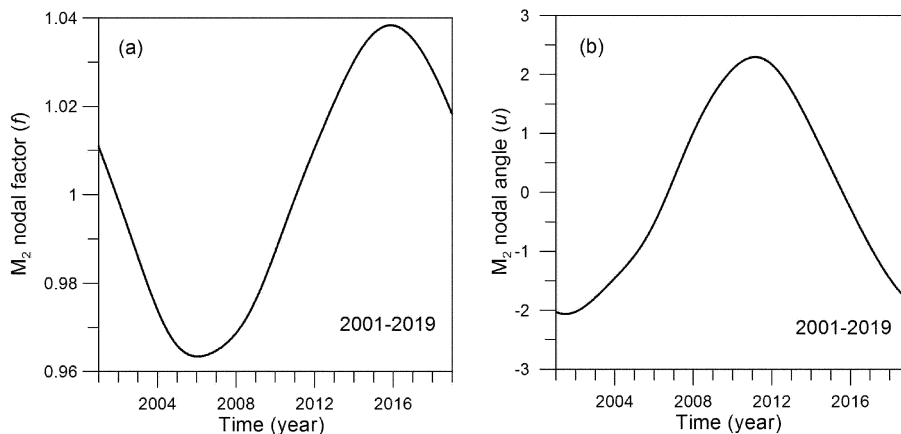


Fig. 1. The amplitude modulation (nodal factor, f) (a) and the phase modulation (nodal angle, u) (b) of the M_2 tidal constituent for beginning of years 2001 through 2019 due to the revolution of the moon's node.

산할 때 사용한다. 반면에 식 (9)에서처럼 IOS tidal package 조석예측프로그램(Foreman, 1996)에선 더 정확한 해수면 변화를 고려하기 위하여 <15일 마다 계산된 값을 사용한다. 유의할 점은 각 조화분해 프로그램마다 약간씩 다르게 정의된 분조를 사용하고 있기 때문에 조석예측 프로그램도 조화분해 프로그램과 같은 계열이나 동일한 모듈을 사용한 분석프로그램을 사용해야 한다는 것이다.

결과 및 토의

기존 여러 연구에서 각기 다른 지각 기준을 사용하여 제시한 분조의 지각을 상호 비교를 통하여 지각 표기나 다른 지각 기준으로의 전환에 있어서 근본적인 문제점을 구체적으로 살펴보고자한다. 이를 위하여, 하구연과 방조제 건설 등과 같은 연안 개발로 인한 조석 특성변화와 관련하여 비교적 많은 연구결과가 발표(e.g. 최(Choi), 1984; 이(Lee), 1994; Kang, 1999; Byun *et al.*, 2004)된 목포항을 연구해역으로 선정하였으며, 분석하여 보고된 결과 중 상대적으로 진폭이 가장 큰 M₂ 분조의 조화상수에 관하여 살펴보았다. 국립해양조사원에 의한 조석 조화분해 결과는 MDC(Marine Data Center) 해양정보센터(<http://mdc.nori.go.kr/>)에서 제공한 1999년 분석자료를 제시하였다. 또한 이들 결과와 비교하기 위하여 기존 연구들에서 사용된 자료들이 얻어진 해들(1975, 1976, 1977, 1982, 1985, 1999)에 대하여 IOS tidal package를 사용하여 조석 조화분해를 실시하였다. Table 1에서 제시된 것처럼 이 연구에서 분석된 M₂ 분조의 진폭 차이는 기준에 발표된 결과와 거의 차이가 없다. 그러나 지각의 경우, 기준에 보고된 κ (Kang, 1999; NORI)와 계산된 κ 와는 차이가 거의 없으나 G의 경우 95° 이상의 많은 차이를 보인다. 흥미롭게도 보고된 G(i.e. 최(Choi), 1984; 이(Lee), 1994)가 이 연구에서 계산된 g와 거의 같은 값을 갖는다.

이런 결과를 보여주는 이유는 무엇일까? 식 (6)으로부터 계산되어 전환된 G와 기준에 보고된 G 사이에 95° 이상의 큰 차이를 보여 계산에 사용된 전환식에 오류가 있었음을 알 수 있다. 이와 같

은 지각표기의 오류는 식 (5)의 $\text{Green}(V_0 + u) + \zeta$ 를 표준자오선 기준인 g가 아닌 그리니치 자오선 기준의 지각 G로 생각함으로써 발생한 것으로 보인다. 이 주장을 뒷받침하기 위하여 우리나라에서 표준시로 관측된 자료를 조석 조화분해 프로그램(예를 들면 IOS tidal package 또는 Task-2000 package)을 사용해서 분석한 결과가 g가 아닌 G라고 가정하고, 이 경우 g와 κ 가 어떻게 계산되는지 구체적으로 살펴보았다.

식 (4)의 g를 G라고 생각하면, 식 (4)은 다음과 같이 표현될 것이다.

$$G = \kappa + pL - aS/15 \quad (10)$$

식 (10)로부터 κ 는 다음과 같이 쓸 수 있을 것이다.

$$\kappa = G - pL + aS/15 \quad (11)$$

또한 g를 식 (11)의 κ 와 비슷하게 정의하여 사용하는 경우도 있다(中野猿人, 1940).

$$g = G - pS + aS/15 \quad (12)$$

식 (12)를 G에 대하여 정리한 후 식 (11)에 대입하면, g는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$g = \kappa + p(L-S) \quad (13)$$

위에서 설명한 지각 기준의 전환과 관련하여 Table 2에 1982년 목포항 M₂조석 분석 결과를 예를 들어 정리해 놓았다. $\text{Green}(V_0 + u) + \zeta$ 와 위의 g에 대한 틀린 정의가 결과적으로 κ 의 결과에는 영향을 미치지 않는다는 것은 다행한 사실이다. 그러나 Table 1에서 보았던 것처럼, G와 g의 값에 대해서는 큰 차이를 보여준다. 이와 비슷한 오류는 Choi(1980)의 66쪽에 정의되어 있는 그리니치 자오선 기준의 지각에 대한 식에서도 확인할 수 있다. 이러한 오류는 최근 발표되는 조석관련 연구논문에서는 거의 보이지 않고 있으며, 135°E 기준의 지각 g를 사용한 결과가 지배적이다.

Table 1. Comparison of the M₂ tide harmonic constants at Mokpo Tidal Station reported in papers versus those estimated in this study

Year	Kang(1999)		Choi(1984)		Lee(1994)		NORI		This study			
	a	κ	a	G	a	G	a	κ	a	g	G	κ
1975	1.22	60.1	1.22	68.2	-	-	-	-	1.22	68.3	167.5	60.2
1976	1.22	59.4	1.22	67.5	-	-	-	-	1.22	67.6	166.7	59.4
1977	1.23	57.6	1.23	65.6	-	-	-	-	1.23	65.7	164.9	57.6
1982	1.36	46.0	1.36	54.1	1.36	54.1	1.36	45.9	1.36	54.0	153.2	45.9
1985	1.37	46.0	-	-	-	-	-	-	1.37	53.7	152.8	45.5
1999	-	-	-	-	-	-	1.42	29.5	1.41	38.1	137.3	30.0

a is amplitude (m), and g, G and κ are phase-lag(°) references of 135°E, Greenwich Meridian, and the observed station longitude, respectively.

Table 2. Comparison of incorrect and correct phase-lag equations and of their results for the M₂ tide when $\text{Green}(V_0+u)+\zeta=54^\circ$, $p=2$, $L=126.366^\circ\text{E}$, $S=135^\circ\text{E}$ and $a=28.984104156^\circ/\text{hr}$ for the M₂ angular frequency

Incorrect Equation	Applied wrong answer	Correct Equation	Applied correct answer
$G = \text{Green}(V_0 + u) + \zeta$	54° as given	$g = \text{Green}(V_0 + u) + \zeta$	54° as given
$\kappa = G - pL + aS/15 = g + p(S-L)$	45.9°	$\kappa = g - pL + aS/15 = G - pL$	45.9°
$g = G - pS + aS/15 = \kappa + p(L-S)$	63.1°	$G = g + aS/15 = \kappa + pL$	153.1°

Note that L and S are negative for the east longitude.

결론

그 동안 조석관련 국내 여러 연구기관에서 해수면 관측자료를 조화분해하여 그 결과를 보고할 때, 조석지각 기준에 대한 정확한 언급이 없거나 서로 각기 다른 기준을 사용하여 조석변화나 특성을 종합적으로 이해하는데 어려움이 있는 실정이다. 특히 최근에 황해연안의 대규모 연안개발로 인하여 조석특성이 뚜렷하게 변화하였다. 따라서 우리나라 주변의 조석특성 변화를 정량적으로 이해하기 위해서는 조석관련 공식 기관에서 체계적인 조석 조화상수의 정리가 필수적이라고 생각된다.

또한 해양관련 국내·외 학계에서 관례처럼 사용되고 있듯이 지구적인 조석특성 비교가 필요한 경우에 그리니치 자오선 기준(G)을 사용하고, 우리나라 주변 해역에 대한 조석 현상을 연구하는 경우에는 한국표준시 자오선(135°E) 기준(g)을 사용하는 방향으로 조석 표현기준이 정착되어야 할 것이다. 이와 함께 지각에 대한 명확한 기준 정의가 제시되어야 할 것이다. 한편 우리나라 조석예보기관인 국립해양조사원에서 공식적으로 사용하고 있는 κ 는 과거 초창기에 널리 사용되었으나(Easton, 1977), 경도가 서로 다른 지역의 분조들의 지각을 서로 비교하기가 어렵기 때문에 현재 해양 조석에서는 사용하지 않고 있다(Pugh, 1987). 이러한 사실들을 종합적으로 고려하여 불 때, 향후 국립해양조사원은 조석 지각 기준을 κ 에서 g로 변경하는 일이 필요하며, 과거 혼란을 정리하는 차원에서 기존에 보고된 조석 조화상수의 체계적인 정리가 필요하다. 이 때 분석된 지각 결과를 세 가지 조석지각 기준(κ , g, G)에 따라 함께 표기하여 제공하는 방법도 고려하여 볼 일이다.

감사의 글

이 논문의 심사를 맡아 세심하게 검토해 주시고, 많은 조언을 주신 강용균 교수님과 강석구 박사님께 진심으로 감사드립니다. 또한 이 논문을 검토해 주시고 세심한 조언을 주신 조양기 교수님, 최병주 교수님과 연구 초기에 유익한 조언을 주신 Institute of Ocean Sciences의 M. G. G. Foreman 박사님께 감사드립니다. 마지막으로 이 논문의 작성에 있어 귀중한 자료를 제공해주신 우리원 허룡 사무관님께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

권효근, 이상호, 1999. 하구언 수문작동으로 인한 금강 하구역의 물리적 환경변화 I. 평균해면과 조석, 한국해양학회 4: 93-100.
 이석우, 1994. 한국항만수리지, 집문당, pp. 93-116.
 오남선, 강주환, 1998. 목포해역에서의 조석모형 적용, 한국항만학회 12: 105-111.
 정신태, 소재귀, 채장원, 1994. 인천해역 개발에 따른 조석변화 추정, 한국연안·해양공학회지 6: 266-274.

최병호, 1984. 영산강하구의 방조제건설에 따른 조위변화, 대한토목학회 4: 113-124.
 한국해양연구소, 1996. 한반도 주변 조석 조화상수 자료집, 282 pp.
 中野猿人, 1940. 潮汐學, 潮汐의調和分解と豫報, 古今書院 528 pp.
 Boon, J.D., 2004. Secrets of the tide: Tide and tidal current analysis and applications, storm surges and sea level trends, Horwood Publishing Limited, 212 pp.
 Byun, D.-S., Wang, X.H., and Holloway, P.E., 2004. Tidal characteristic adjustment due to dyke and seawall construction in the Mokpo Coastal Zone, Korea. *Estuarine, Coastal Shelf Science* 59: 185-196.
 Byun, D.-S. and Wang, X.H., 2005. The effect of sediment stratification on tidal dynamics and sediment transport patterns. *Journal of Geophysical Research* 110, C03011, doi:10.1029/2004JC002459.
 Choi, B.H., 1980. A tidal model of the Yellow Sea and the eastern China Sea, Korea Ocean Research and Development Institute Report 88-02, 72 pp.
 Easton, A.K., 1977. Selected programs for tidal analysis and prediction. Computing Report 9. The Flinders Institute for Atmospheric and Marine Sciences, Flinders University of South Australia, 81 pp.
 Foreman, M.G.G., 1996. Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction, Pacific Marine Science Report 77-10, 58 pp.
 Kang, J.W., 1999. Changes in Tidal Characteristics as a Result of the Construction of Sea-dike/Sea-walls in the Mokpo Coastal Zone in Korea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 48: 429-438.
 Kang, S.K., Foreman, M.G.G., Lie, H.-J., Lee, J.-H., Cherniawsky, J., and Yum, K.-D., 2002. Two-layer tidal modeling of the Yellow and East China Seas with application to seasonal variability of the M_2 tide. *Journal of Geophysical Research* 107, C3, doi: 10.1029/2001JC000838.
 Moon, I.-J., 2005. Impact of a coupled ocean wave-tide-circulation system on coastal modeling. *Ocean Modelling* 8: 203-236.
 Pugh, D.T., 1987. Tides, Surges and Mean Sea Level. John Wiley, New York, 472 pp.
 Ro, Y.J., 2007. Tidal and sub-tidal current characteristics in the Kangjin Bay, South Sea, Korea. *Ocean Science Journal* 42: 19-30.
 Schureman, P., 1976. Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides, United States government printing office, Washington 317 pp.
 Teague, W.J., Perkins, H.T., Jacobs, G.A., and Book, J.W., 2001. Tide observations in the Korea-Tsushima Strait. *Continental Shelf Research* 21: 545-561.

2007년 5월 1일 원고접수

2007년 7월 27일 수정본 채택

담당편집위원: 홍철훈