

부산항 조석의 장기 월별 변동 특성

김종규* · 강태순**

*여수대학교 해양시스템학부, **(주)지오시스템리서치 부설 수환경연구소

Long-term Monthly Variations of Tide in Pusan Harbour

JONG-KYU KIM* AND TAE-SOON KANG**

*Division of Ocean System, Yosu National University, Yosu, Korea

** HydroEnvironment Research Institute, GeoSystem Research Corp., Kyonggido, Korea

KEY WORDS: Long-term Monthly Variations 장기 월별 변동, Mean Sea Level 평균해면, Tidal Harmonic Analysis 조석조화분해, Tidal Constituents 조화상수, Pusan Harbour 부산항

ABSTRACT: The long-term monthly variations of tide with tidal harmonic analysis in Pusan Harbour are investigated. The present spring tidal range decreased 1.4 cm and the variation of phase lag increased than 1974. The high and low water level of yearly mean sea level is shown during the February to March and August to September, respectively. It is important to note that the larger lunar elliptic N2 is large in comparison with lunisolar diurnal K1 and principal lunar diurnal O1. The ratios (Correction Factors) of monthly mean sea level and the main 4 tidal constituents are evaluated to correct the shortly (monthly) observed tide for the design of harbour facilities.

1. 서 론

우리나라 최대의 항만인 부산항은 1876년 개항 이래 1945년 해방전까지 1911년 부산 축항 제1기 공사를 시작으로 제2기 및 제3기 공사로 대규모 해안매립사업과 북방파제가 건설되어 오늘날의 부산 북내항의 형상을 갖추게 되었다. 또한 해방이후에는 1960년대 제 1, 2차 경제개발 5개년 계획의 성공적 추진으로 해상교역량이 급증함에 따라 항만시설의 확충이 요구되어져 1974년 부산항 개발 제1단계사업을 시작으로 제2단계, 제3단계 및 제4단계 개발사업을 거치면서 부산항의 형상 및 항만수역은 크게 변모되었다(부산광역시, 1998; Fig. 1).

부산항의 체계적인 조위관측은 1961년부터 시작되었으나 항만의 이용, 개발 및 효율적 관리에 필요한 조석, 평균해면 및 이상해면에 대한 연구가 필수적이지만, 이에 대한 연구성과는 미흡한 실정이다. 한편, 부산항의 조석에 관한 연구로서 홍승명(1975)은 1909년부터 1911년까지의 2년간 임시검조자료와 1924년부터 1925년 1년간의 임시검조자료를 이용하여 28개 분조의 진폭과 위상차를 구하였으며, 송철호(1981)은 1974년 1년 동안의 조석관측자료로부터 60개 분조의 진폭과 위상차를 구하였고, 이종섭 등(1999)은 부산항 제3단계 개발사업이 완료된 1992년부터 1996년 5년간의 검조자료를 이용한 조석조화분해를 통하여 부산항의 조석과 조위편차의 장기적 변동특성을 연구한 바 있다. 국립해양조사원은 1955년 2월 이후 부산항의 영도대교 하에 압력식 검조의(배율 1:65)로 조석관측을 실시한 이

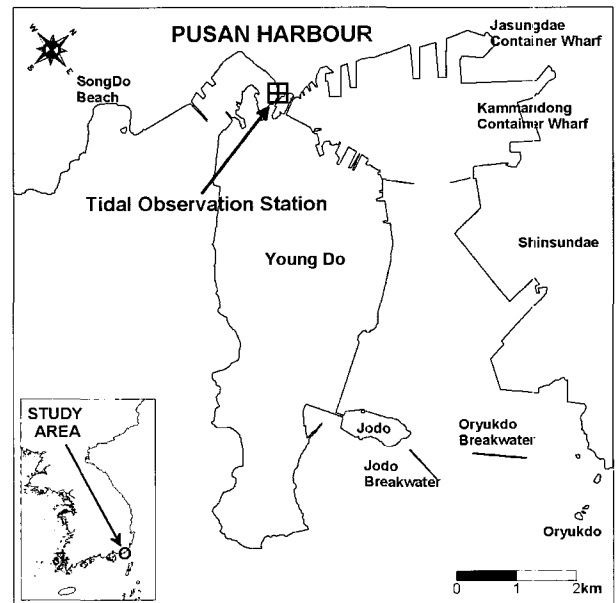


Fig. 1 Map of Pusan Harbour.

래, 1973년 2월에 대교동 해안에 콘크리트 검조탑을 구축하고 본격적인 기준 검조(Fuess 형; 1:10)를 계속하고 있다(이석우, 1994).

한편, 부산항의 표준 조석자료는 1974년 1월부터 1년간의 조위자료를 분석한 자료가 이용되고 있다(송철호, 1981). 조석특성은 M_2 분조와 S_2 분조의 반조차는 각각 40.0cm와 18.9cm이고, 대조차는 117.8cm, 소조차는 42.2cm이다. 일주조성분인 K_1 과 O_1 분조의 반조차는 각각 4.4cm와 1.6cm로 나타났으며, 조석형

제1저자 김종규 연락처: 전라남도 여수시 둔덕동 산 96-1
061-659-3150 kjk6153@komet.net

태수는 0.10으로 반일주조형으로 통상적으로 1일 2회조이고 일조부등은 매우 작다. 1961~1990년의 월평균해면은 2월에 최저로 54.1cm 이고, 9월에 최고 76.6cm이며 연교차는 22.5cm로서 전국적으로 가장 적다. 연변화는 1971년에 최저 62.51cm 이고, 1962년에 최고 65.0cm로 그 차는 3.49cm 밖에 안되며, 연평균해면은 64.1cm로 4개 분조의 합 65.0cm 보다 0.9cm 낮다(이석우, 1994).

본 연구에서는 부산항 조석의 월별 장기적 변동 특성을 파악하여 해역개발에 따른 연안재해방지 및 항만구조물의 설계에 필요한 기초자료를 제공하고자 하는데 그 목적이 있다. 또한, 기준검조소 인근에서 단기 조석관측이 수행되었을 때 기준검조소 조석의 월별 변동특성을 파악하여 단기관측에서 배제될 수 있는 계절적 조석특성을 고려할 수 있는 조석보정치를 제시하고자 한다.

2. 조석조화분해

부산항 기준검조소에서 1989년부터 2000년까지 12년간 관측된 조석자료를 월별로 구분(144개월)하여 각각의 월별로 조석조화분해를 실시하였다. 관측된 자료는 매시간 자료로서 최소 672개(28일)에서 최대 744개(31일)자료로 구성되며 조석조화분해 프로그램(TASK-2000)의 입력자료로 제공된다. 계산되어진 조석조화분해 결과는 8개의 상대분조(Relative Constituents)와 27개의 주요분조(Main Constituents)로 구성된다.

본 연구에서 사용한 조석조화분해 프로그램은 영국의 Proudman 해양연구소(Proudman Oceanographic Laboratory, POL; Permanent Service for Mean Sea Level, PSMSL)의 Bell 등에 의해 개발되어진 POL/PSMSL TASK-2000 (Tidal Analysis Software Kit 2000)을 이용하여 부산항의 조석조화상수를 계산하였다. TASK-2000 Kit는 엄밀조화해법인 TIRA(Tidal Institute Recursive Analysis)해법에 의하여 조석조화분해 및 조위예측이 가능한 프로그램으로서 현재 세계의 많은 연구기관에서 사용되고 있으며 그 신뢰성 또한 높기 평가되고 있다(이종섭 등, 1999).

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 부산항의 1989년부터 2000년까지 12년간의 매시간별 검조자료를 POL/PSMSL TASK-2000 (Tidal Analysis Software Kit 2000)을 이용하여 부산항의 월별 조석조화상수를 구하여 부산항의 장기 월별 조석 특성을 분석하였다.

Table 1은 주요 조석조화상수의 비교를 위하여 1992년~1996년 자료에 의한 이종섭 등(1999)의 계산값과 1974년 자료에 의한 송철호(1981)의 계산값 및 1924년 자료에 의한 홍승명(1975)의 계산값을 비교하여 나타낸 결과이다. Table 1에서 홍승명(1975)의 결과는 현재와는 조석관측체계가 다른 임시 조위관측 자료를 사용하였기 때문에 최근의 결과와 직접 비교하기는 곤란할 것으로 여겨진다. 주요 조석조화상수를 비교하면 M₂분조의 진폭은 1974년보다 0.8cm 작아지고, S₂분조의 진폭은 0.6cm 작아지고 있음을 볼 수 있으며, 현재의 각 분조의 조석진폭은

부산항의 기준연도인 1974년보다 약간씩 작아지고 있으며 위상차는 커지고 있음을 알 수 있다.

Table 1 Comparisons of main 4 tidal constituents

Constituents	Present Study 1989~2000년		Lee et al.(1999) 1992~1996년		Song(1981) 1974년		Hong(1975) 1924년	
	H(cm)	K(deg)	H(cm)	K(deg)	H(cm)	K(deg)	H(cm)	K(deg)
M ₁	39.2	235.9	39.6	236.0	40.0	232.8	39.4	234.1
S ₂	18.3	272.7	18.2	273.1	18.9	261.3	18.8	263.1
K ₁	4.4	143.7	4.3	143.2	4.4	137.1	4.3	137.9
O ₁	1.6	105.9	1.6	104.9	1.6	112.0	1.6	104.0

한편, 한국해양연구원(1996)의 자료집에 의하면, 1974년이 포함된 13년간의 M₂분조에 대한 진폭의 평균치는 40.4cm 이고 위상차는 237.3°로 나타났었다. 본 연구에서는 최근 12년간의 M₂분조의 진폭은 1.2cm 작아졌으나 위상차는 235.9°로 1.4°느려진 것으로 나타났으나, 1974년의 위상차 232.8°와는 다소 차이를 나타내었다. 일반적으로 조석조화상수도 연도별 및 계절별로 약간씩 변동하는 양상을 나타내기 때문에 1974년의 조석조화상수를 기준으로 하여 최근의 조석조화상수의 정량적인 변화를 논의하는 것은 다소 문제점이 있을 것으로 사료된다.

따라서, 보다 정확한 조석현상의 변화추이를 연구하기 위해서는 장기적인 조석조화분해를 통한 비교 검토 및 수치모델링에 의한 해석 등이 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

부산항 기준검조소에서 관측된 1989년에서 2000년까지 12년간의 조석자료를 이용하여 분석된 평균해면변화를 Fig. 2에 나타내었다.

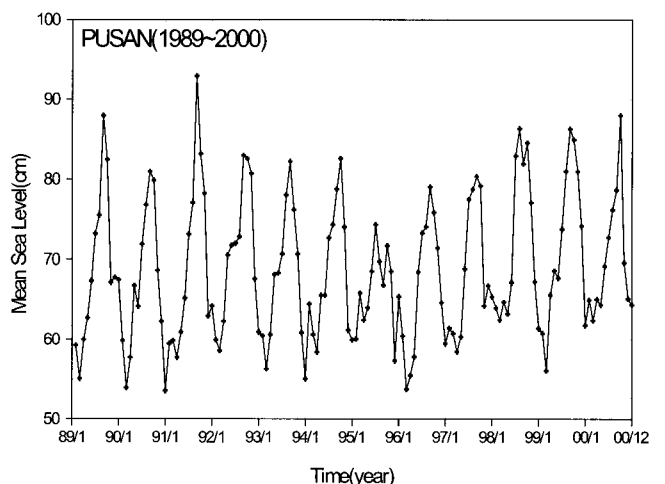


Fig. 2 The variations of mean sea level from 1989 to 2000.

매 월별 조석의 평균해면 변화를 파악하기 위하여 월별로 조석조화분해를 실시하여 평균해면치(Z0)를 표기하였다. 매년 2~3월의 평균해면치가 가장 낮은 분포를 나타내고 있으며 8~9월의 평균해면치가 가장 높은 분포를 나타내는 주기적인 경향성을 나타내었다. 이러한 원인으로서는 계절별 기압변화, 태양, 달과의 거리에 의한 인력증가 및 해수면 상승에 의한 해수

부피증가 등의 영향을 들 수 있을 것으로 사료된다. 연별 평균 해면의 변화폭은 53.5~92.9cm(평균치 68.8cm)로서 그 월별 변화폭은 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서, 기준검조소에 인근에서 관측되는 단기조석관측의 경우 기준검조소의 월별 변동특성에 따라 계절적인 조석보정치를 고려해 주어야 할 것으로 사료된다.

Fig. 3은 조석조화분해된 결과를 나타낸 것으로서 분조중 주요 4대분조(M_2 , S_2 , K_1 , O_1)의 합은 점으로, 12개월 이동평균(moving average)은 선으로 나타내었다. 월별 변동양상은 봄과 여름 사이에 가장 크게 나타나며 가을과 겨울 사이에 가장 작게 나타나고 있지만 뚜렷한 경향성은 나타내지 못하고 있다.

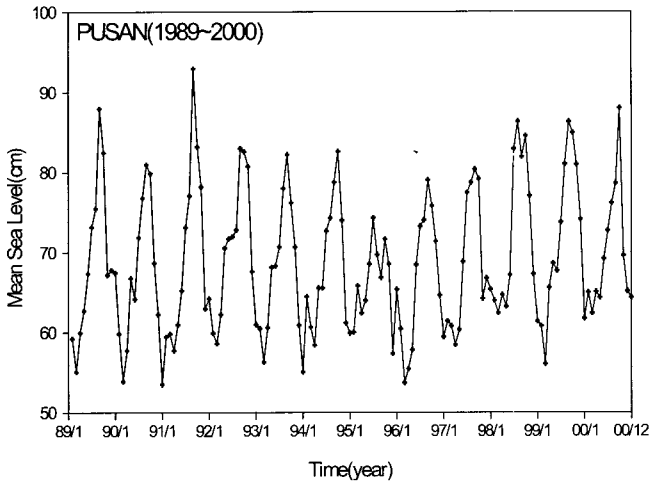


Fig. 3 The variations of sum of main 4 tidal constituents from 1989 to 2000.

Fig. 4는 조석조화분해된 각 분조의 크기를 나타낸 것으로 M_2 , S_2 , N_2 , K_1 그리고 O_1 의 크기순으로 나타냈다. 특히, 반일주조 성분인 N_2 분조의 크기가 일주조 성분인 K_1 및 O_1 보다 크게 나타나 조석현상의 기술시 무시할 수 없는 분조로 파악되었다(Table 2). 월별 변동양상은 반일주조의 대표성분인 M_2 의 경우 하계에 작고 동계에 크게 나타났으며 일주조의 대표성분인 K_1 의 경우 반대로 하계에 크고 동계에 작은 양상을 나타내었다.

Table 3은 부산항의 12년간 월별 평균해면과 주요 4대분조 합의 비교결과를 나타낸 결과로서 매 월별 조석보정치(Tidal Correction Factor)를 의미한다. 평균해면의 최저치는 2월에 나타나고 최고치는 8월에 나타났으며, 이들 결과는 기존의 연구 결과들과 일치하는 경향을 나타냄을 알 수 있다. 그리고 주요 4대 분조합은 11월에 최저값을 나타내고 6월에 최고값을 나타내었다. 이들 결과들을 도시한 그림이 Fig. 5이다. 한편, 평균해수면과 주요 4대분조합의 차이는 장주기 조석성분(18.6년) 및 기상 변동 등에 의한 평균해수면 변화에 기인한 것으로 사료된다.

한편, Table 3에 제시된 조석보정치는 기준검조소 인근에서 단기관측이 수행되었을 때 기준검조소의 월별 변동특성에 따라 단기조석결과를 연중 조석값으로 보정할 수 있어 해역의 효율적인 이용 개발에 대한 기초자료를 제시하는 데 유용하리

라 기대된다.

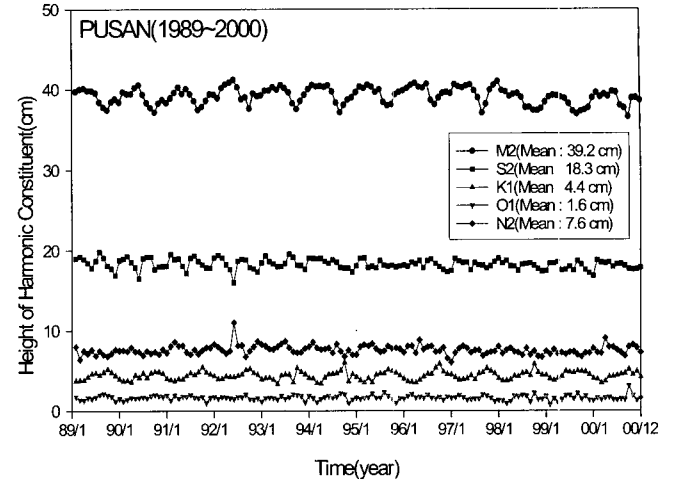


Fig. 4 The variations of height of harmonic constituents from 1989 to 2000.

Table 2 Comparison of harmonic constituents (unit : cm)

	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	Mean
M_2	39.0	39.7	38.9	38.9	39.9	40.6	40.4	40.1	40.6	39.9	39.9	39.6	39.8
S_2	18.5	19.0	19.5	19.4	19.3	19.0	19.0	18.0	19.0	18.4	18.4	18.8	18.9
N_2	7.2	7.5	8.1	8.0	8.1	8.5	8.0	8.0	7.2	7.1	7.0	7.2	7.7
K_1	4.4	3.7	3.9	3.9	4.1	4.0	3.8	3.6	4.1	3.7	4.0	3.9	3.9
O_1	1.7	1.2	1.3	1.5	1.6	1.6	1.5	1.8	1.6	1.3	0.8	1.6	1.5

Table 3 The ratio (Correction Factor) of monthly mean sea level and the main 4 tidal constituents

Month	Ratio(Correction Factor)	
	Mean Sea Level	Main 4 Tidal Constituents
1	1.0419	1.0226
2	1.0000	1.0219
3	1.0325	1.0197
4	1.0959	1.0189
5	1.1516	1.0167
6	1.2589	1.0305
7	1.3048	1.0130
8	1.3875	1.0043
9	1.3764	1.0044
10	1.2350	1.0011
11	1.1028	1.0000
12	1.0474	1.0089

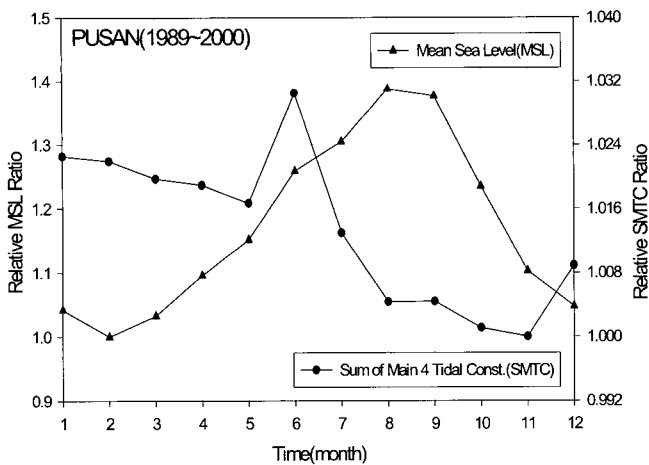


Fig. 5 The ratio of relative mean sea level and sum of main 4 tidal constituents

4. 요약 및 결론

부산항의 효율적 해역이용 개발에 필요한 항내 조석변동 특성을 파악하기 위하여 1989년에서 2000년까지의 12년간의 검조자료를 매 월별로 구분하여 조석조화분해를 수행하여 기존의 연구결과들과 평균해수면 변동을 비교하고, 부산항 내 조석의 장기적인 월별 조위변동 특성을 고찰하였다. 이상의 결과들을 요약 정리하면 다음과 같다.

송철호(1981)의 결과와 비교해볼 때 대조차는 1.4cm 정도 작아졌으며, 분조의 조석 진폭은 1974년보다 약간씩 작아지고 있으며, 위상차는 커지고 있음을 알 수 있었다.

평균해면변화는 매년 2~3월에 가장 낮은 분포를 나타내고 8~9월에 가장 높은 분포를 나타내었으며, 평균해면의 변화폭은 53.5~92.9cm로서 월별 변화폭이 크게 나타남을 알 수 있었다. 한편, 월별 변동양상은 봄~여름 사이에서 가장 크고 가을~겨울 사이에 가장 작게 나타났지만 주기적 경향성은 나타나지 않았으므로 향후 이에 대한 연구검토가 수반되어야 할 것으로 사료된다. 반일주조성분인 N_2 조석분조의 크기가 일주조성분인 K_1 및 O_1 보다 크게 나타나 부산항의 조석현상의 기술시에는 이에 대한 검토가 필요하리라 사료된다.

또한, 기준검조소의 월별 변동특성을 파악하여 단기조석관측에 대한 조석보정치를 제시함으로써 연중 조석값으로 보정할 수 있어 조석에 대한 효율적인 기초자료를 제공할 수 있으리라 기대된다.

이들 결과들은 부산항의 항만수역 변동양상에 따른 만내 해수면 변동특성을 파악함으로써 효율적 항만개발 및 이용과 관리 및 재난재해방지에 필요한 기초자료로 활용할 수 있으리라 기대된다.

후 기

본 논문을 세심하게 심사해 주시고 유익한 토의를 해 주신 두 분의 심사위원께 감사드립니다.

참 고 문 헌

국립해양조사원 (1988~2001). 수로기술연보, 서지 제820호.
 국립해양조사원 (1988~2001). 조석표(한국연안), 서지 제510호.
 부산광역시 (1998). 환경백서, pp 146-48.
 서병덕, 허룡, 임관창 (2000). 우리나라 연안의 해수면변화, 국립해양조사원, 수로기술연보, pp 3-8.
 송철호 (1981). 한국연안 7개항의 조화상수, 국립해양조사원, 수로기술연보, pp 3-13.
 송철호 (1992). 조석·조류개론, 국립해양조사원, pp 22-37.
 이석우 (1994). 한국항만수리지, 집문당, pp 155-178.
 이종섭, 강태순, 박명원 (1999). "부산항 조석과 조위편차의 장기 변동특성", 대한토목학회논문집, 제19권 제II-1호, pp 91-100.
 정명선, 정대덕, 신승호, 이중우 (1997). "목포해역 개발에 따른 항내 조석변화", 한국항만학회지, 제11권 제1호, pp 1-8.
 한국해양연구원 (1996). 한반도 조석조화상수집(1).
 홍승명 (1975). 부산항의 조석과 조류, 국립해양조사원, 수로기술연보, pp 3-15.

2001년 10월 24일 원고 접수

2001년 12월 11일 수정본 채택