

# 국내 주요항 조석표상 조석 차이에 관한 연구 - 영국과 한국 조화상수 비교를 중심으로 -

전재호\* · 문성배\*\*†

\* 한국해양수산연수원 교수, \*\* 한국해양대학교 교수

## A Study on the Tide Differences in the Tide Tables of Major Ports in Korea - Focusing on the Comparison of UK and Korean Harmony Constants -

Jae-Ho Jeon\* · Serng-Bae Moon\*\*†

\* Professor, Korea Institute Maritime Technology and Fisheries, Busan, 49111, Korea

\*\* Professor, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112, Korea

**요 약** : 선박이 항구를 안전하게 입·출항 하기 위해서는 고려해야할 요소들이 많지만, 특히, 선박의 좌초 위험을 줄이기 위해 항구의 조석을 파악하는 것이 중요하다. 기존의 선행연구는 주로 조화상수를 찾고 분석하는 연구가 대부분이었으나, 타 수로국의 조석표상 조화상수 분석 및 정확성에 관한 연구는 부족하였다. 본 연구는 인천, 군산, 여수, 부산, 울산 및 속초, 총 6곳의 항구를 대상으로, 실측정보를 기준으로 영국조석표와 한국의 조석표를 비교하였으며, 조석의 차이가 발생하는 원인을 찾기 위하여 조화상수를 사용하여 조고, 조시, 조석형태수를 계산한 후 영국과 한국의 정보를 비교하였다. 실측정보와 조석표의 차이 분석 결과 대상 항구 모두 실제 조고와 조시가 차이가 있었으며, 그 원인은 영국과 한국의 조화상수, 조석 기준값, 조석 형태수에서 차이가 있는 것을 발견하였다. 따라서 이 논문에서는 영국 조석표에 우리나라 표준항을 추가해야 하며, 조석표를 만드는데 필요한 기준이 되는 조화상수가 지속적으로 최신정보로 업데이트 되어야 하고, 영국 조석표 보다는 각 국가에서 제작하는 조석표가 더 정확하다는 것을 제시하고자 한다.

**핵심용어** : 조석표, 조화상수, 영국 조석표, 한국 조석표, 조석 형태수, 표준항

**Abstract** : There are several factors to consider for a ship to enter or depart a port safely. It is particularly important to identify the tides in the port to reduce the risk of stranding the ship. Most previous studies have focused on finding and analyzing harmonic constants. However, the research on the analysis and accuracy of harmonic constants in other hydrographic agencies is lacking. In this study, six Korean ports (Incheon, Gunsan, Yeosu, Busan, Ulsan, and Sokcho) were compared to the British and Korean tide tables based on actual information. To find the cause of tidal difference, the tide height, tide time, and form factor were calculated using harmonic constants. The information was then compared with British and Korean data. As a result of the difference in analysis of actual information and tide tables, there was a difference between the actual tide height and time at each port. The cause was found to be the difference in the harmonic constant, tide, and form factor between the UK and Korea. Therefore, this study, the Korean standard port should be added to the British tide table, and harmonic constants, which are the criteria for creating tides, must be constantly updated with the latest information. Additionally, the tide tables produced in each country are more accurate than the tide tables produced in UK.

**Key Words** : Tide table, Harmonic constant, British tide table, Korea tide table, Form factor, Standard port

### 1. 서 론

선박이 항구를 안전하게 입출항 하기 위해서는 고려해야 할 요소들이 많지만, 특히, 선박의 좌초 위험을 줄이기 위해

항구의 조석을 파악하는 것이 중요하다. KMST(2018)에 의하면 최근 5년간 발생한 충돌 등 5대 주요 해양사고 2,636건 중 좌초사고는 608건으로 23.1%를 차지하고 있다. 특히, 좌초사고는 충돌사고에 1,142건 이어서 가장 많은 부상사고를 일으키는 사고로 조사되었다.

이러한 좌초사고를 예방하기 위해서는 조석표를 만들어서 조고와 조시의 파악하는 것이 중요하고, 선박에 항해사

\* First Author : singiro@seaman.or.kr, 051-620-5828

† Corresponding Author : msbae@kmou.ac.kr, 051-410-4280

는 주로 영국 수로국의 조석표 또는 각국의 수로국에서 발간한 조석표를 참고하는 것이 보통이다.

기존의 선행연구는 주로 조화상수를 찾고 분석하는 연구가 대부분이었다. Pawlowicz et al.(2002)는 해수유동관측소에서 수집되는 자료를 조화 분해하여 조화상수를 찾고, 이를 이용하여 해당 지역을 조석을 계산할 수 있다고 하였고, KHOA(2006)과 Jung(2009)은 조화 상수를 정밀하게 분석하여 조위와 조류의 예측 정확도를 높이는 연구를 수행하였으며, Jung(2016)은 이러한 조화상수의 시간적 변화 추세와 그 원인에 대한 연구를 수행하였다. 하지만 이러한 연구들은 해당 수로국의 조화 상수 분석에만 초점을 맞춘 연구였고, 타 수로국의 조석표상 조화 상수 분석 및 정확성에 관한 연구는 부족하여 Jeon et al.(2018)은 이에 대한 문제를 발견하였다.

이에 본 연구에서는 연구 대상지역의 수로국 조석표와 대표적인 타 수로국 조석표인 영국 조석표 상의 조화상수를 기반으로 예측한 조석과 연구대상 지역의 조석 실측 정보를 비교하여 해당 수로국과 타 수로국의 조화상수 신뢰성을 검증하고, 주요한 차이가 발생한 경우 그 원인 및 대응방안에 대해 연구하였다.

## 2. 연구대상 및 방법

### 2.1 연구대상 항구와 조화상수

Fig. 1과 같이 우리나라 서해, 남해, 동해상 항구 중 영국 조석표상 표준항인 인천과 외국적 선박의 입출항이 잦은 무역항인 군산, 여수, 부산, 울산 및 속초, 총 6곳의 항구를 연구 대상 항만으로 선정하였으며, 조석정보는 2018년 1월 1일 00시 부터 1월 31일 24시까지의 데이터를 분석하였다.



Fig. 1. Standard and Secondary Port Information of Map.

서해에서는 영국 조석표에서 표준항인 인천항과 인천을 표준항으로 하는 항구 중 가장 먼 곳에 위치한 군산항을 선택하였고, 남해와 동해에서는 영국 조석표상 표준항이 없

므로, 해상교통량이 많은 여수항과 부산항, 울산항과 속초항을 각각 대상 항만으로 선정하였다.

Table 1은 연구대상 항만의 한국 조석표와 영국 조석표상 표준항과 종속항과의 관계를 정리한 것이다. 인천항은 영국 조석표상 유일한 표준항이며, 나머지 항구는 우리나라 조석표 상에서는 모두 표준항 이지만 영국 조석표 상에서는 모두 종속항이다.

Table 1. Standard Port Information in British and Korea

Port	Standard Port	
	British	Korea
Incheon	Incheon	Incheon
Gunsan	Incheon	Gunsan
Yeosu	Changjiang (China)	Yeosu
Busan	Changjiang (China)	Busan
Ulsan	Moji (Japan)	Ulsan
Sokcho	Kamaishi (Japan)	Sokcho

정확한 조석표를 만들기 위해서는 해수면의 주기적 변동을 정량적으로 기술하는 조석분조(Tidal constituents)의 조화상수(harmonic constants)를 구하여야 한다. 조화상수는 조위관측소에서 측정된 실측조위 정보로 표준조석적용 시스템 등으로 계산하면 조석의 주요 4분조( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ )를 분석할 수 있으며, 조석의 조화상수 4대 분조 특성과 기호는 Table 2와 같다.

Table 2. Harmonic constant

	Angular velocity (°/hr)	Period (hr)	Harmonic Constant	
			Amplitude	Phase
$M_2$	28.9841042	12.4206012	$H_m$	$g_m$
$S_2$	30.0000000	12.0000000	$H_s$	$g_s$
$K_1$	15.0410686	23.9344696	$H_k$	$g_k$
$O_1$	13.9430356	25.8193417	$H_o$	$g_o$

$M_2$ 분조(주태음 반일주조)는 달의 일주운동에 의해 약 12시간 주기로 일어나는 조석이며,  $S_2$ 분조(주태양 반일주조)는 태양이 일주운동에 의해 일어나는 12시간 주기로 발생하는 조석이다. 또한  $K_1$ 분조(일월합성 일주조)는 해와 달의 위치에 따라 약 24시간 주기로 발생하는 조석이며,  $O_1$ 분조(주태음 일주조)는 달의 일주운동에 의해 약 26시간 주기로 일어나는 조석이다.

조화상수는 조석표 부록에 수록하고 있으며 사용자는 필요할 경우 부록에서 찾을 수 있으나, 사용자가 직접 조화상수로 조석을 계산할 필요는 없다. 왜냐하면 수로국은 조화상수로 계산된 조고와 조시를 제시하여 조석표를 만들 수 있도록 하였기 때문이다. Table 3은 한국조석표와 영국조석표에서 찾은 조화상수 정보이다.

Table 3. Harmonic constant comparison of Korea Port

Harmonic Constant		M <sub>2</sub>		S <sub>2</sub>		K <sub>1</sub>		O <sub>1</sub>		Standard Port
		H <sub>m</sub>	g <sub>m</sub>	H <sub>s</sub>	g <sub>s</sub>	H <sub>k</sub>	g <sub>k</sub>	H <sub>o</sub>	g <sub>o</sub>	
Incheon	Korea	283	130	113	187	40	302	30	264	Standard
	UK	285	138	109	196	39	305	28	265	
Gunsan	Korea	215	84	83	136	35	280	27	243	Incheon
	UK	220	90	82	143	34	281	26	243	
Changjiang	UK	120	286	53	331	27	193	16	151	Standard
Yeosu	Korea	93	259	43	294	19	182	13	150	Changjiang
	UK	98	259	45	295	19	182	13	149	
Busan	Korea	38	236	18	272	5	143	2	104	Changjiang
	UK	40	236	19	273	4	143	2	109	
Moji	UK	68	259	30	290	16	233	14	219	Standard
Ulsan	Korea	12	212	6	253	3	50	3	347	Moji
	UK	16	214	8	258	3	51	3	346	
Kamaishi	UK	30	89	14	135	23	162	19	136	Standard
Sokcho	Korea	5	86	2	114	5	123	5	322	Kamaishi
	UK	7	85	3	115	5	3	5	319	

Source: Korea Hydrographic Office Agency(2018a), United Kingdom Hydrographic Office(2018)

## 2.2 연구방법

영국 조석표에서 우리나라 표준항은 인천항 한 곳 뿐이며, 그 외 주요항구는 영국 조석표의 중국과 일본의 표준항 데이터를 사용하여 조석표를 계산하여야 한다. 표준항으로부터 종속항의 조시와 조고는 식(1), (2)로 구할 수 있다.

$$T_r = T_s + T_d \quad (1)$$

여기서,  $T_r$ 은 종속항의 조시,  $T_s$ 는 표준항의 조시,  $T_d$ 는 조시차이다.

$$H_r = (H_s - Z_s) \times H_o + Z_r \quad (2)$$

여기서  $H_r$ 은 종속항의 조고,  $H_s$ 는 표준항의 조고,  $Z_s$ 는 표준항의 평균해면,  $H_o$ 는 조고비,  $Z_r$ 은 종속항의 평균해면이다.

영국 조석표와 한국 조석표의 차이를 분석하기 위한 방법으로 첫 번째, 국립해양조사원에서 실시간해양관측을 통하여 측정된 실제 조석정보를 기준으로 한국 조석표와 영국의 조석표에서 차이를 구한 후 그 분포도를 그림으로 표현한 것으로 가로축은 조석의 시간차, 세로축은 조고의 높이 차이를 표현 하였다. 파란색 원으로 표시된 KR Tide 정보는 조위관측소에서 측정된 실제 조석 값과 한국 조석표의 차이를 표현한 것이다. 주황색 X표시로 된 BA Tide 정보는 조위관측소에서 측정된 실제 조석 값과 영국 조석표의 차이를 표현한 것이다.

실제 조석과 조석표와의 차이가 거의 없다면 좌표의 중앙으로 수렴할 것이다. 그러나 실제 조석과 조석표의 차이가 클

수록 중앙에서 멀어지는 것으로 표현될 것이다. 가로축으로 멀어진다면 조시차가 큰 것을 의미하며, 세로축으로 멀어진다면 조고차가 큰 것을 의미하는 것이다. 즉, 각각의 정보가 중앙으로 수렴 할수록 조석표의 신뢰도가 높다고 할 수 있다.

두 번째, 조석의 차이가 발생하는 원인을 찾기 위해서 조화상수를 사용하여 조고와 조시를 계산한 후 조석표 상의 조고와 조시를 비교하였다.

조고는 조화상수를 사용하여 대조평균고조면(Mean High Water Spring), 소조평균고조면(Mean High Water Neaps), 소조평균저조면(Mean Low Water Neaps), 대조평균저조면(Mean Low Water Spring)을 계산한 후 표준항을 기준으로 계산하여 종속항의 조고를 구할 수 있다. 이것은 식(3), (4), (5), (6)으로 알 수 있다.

$$MHWS = 2(H_m + H_s) + H_k + H_o \quad (3)$$

$$MHWN = 2H_m + H_k + H_o \quad (4)$$

$$MLWN = 2H_s + H_k + H_o \quad (5)$$

$$MLWS = H_k + H_o \quad (6)$$

조시 또한 조화상수를 사용하여 평균고조간격(Mean High Water Interval), 평균저조간격(Mean Low Water Interval)을 계산한 후 표준항을 기준으로 계산하여 종속항의 조시를 알 수 있다. 이것은 식(7), (8)로 알 수 있다.

$$MHWI = g_m / 29.98 \quad (7)$$

$$MLWI = g_m / 28.98 + 6^h 12^m \quad (8)$$

세 번째, 임의 장소의 조석 특성을 분류하는 형태수(Form factor)를 분석 하였으며, 이것은 식(9)로 알 수 있다. 조석 형태수는 작을수록 반일주조가 우세하며, 값이 클수록 일주조가 우세하다.

$$Form\ Factor = (H_k + H_o) / (H_m + H_s) \quad (9)$$

일반적으로 종속항은 조석 형태수가 비슷한 항구를 표준항으로 선택하여 조석표를 만들어야 오차가 작다. 그렇지 않을 경우 조석표에 오차가 발생하여 실측 정보와 조석표와의 차이가 커질 수 있으므로 형태수 비교 분석도 연구하였다.

### 3. 실측정보와 조석표 비교 결과

#### 3.1 실측정보와 조석표의 차이 분포 분석

먼저 우리나라에서 조석 간만의 차이가 제일 큰 서해의 인천항 및 군산항의 조석을 비교 하였다. 인천항은 영국 수로국에서 발간하는 조석표에서 한국에서 유일하게 표준항으로 등록된 항구이다.

Fig. 2은 인천의 실측자료를 기준으로 KHOA(2018b)와 UKHO(2018)의 조시와 조고를 비교한 것이다. 우리나라 조석표의 경우 조시차는 -18분에서 +14분 내외이며 조고차는 -30 cm에서 +60 cm 정도이다. 이에 반하여 영국 조석표의 경우 조시차는 -18분에서 +37분 내외이며 조고차는 -79 cm에서 +62 cm 정도이다.

즉 한국 조석표가 영국 조석표 보다 상대적으로 중앙에 가깝게 수렴하는 것을 쉽게 확인 할 수 있다. 이것은 한국의 조석표가 영국보다 신뢰도가 더 높다는 것을 의미한다. 인천항이 표준항 임에도 불구하고 조석표의 차이가 있다는 것은 인천항 조석표를 구하는데 필요한 조화상수가 잘못되어 있다는 것을 의미한다.

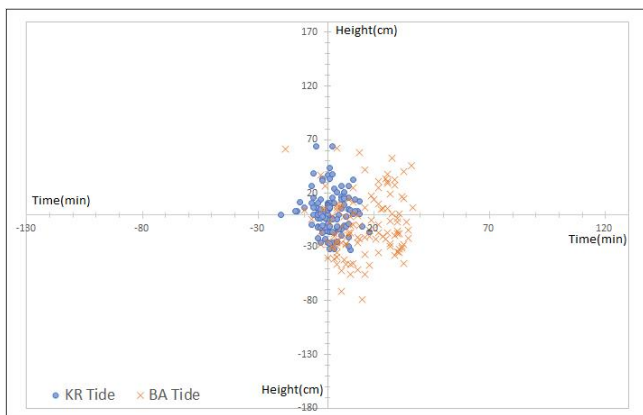


Fig. 2. Difference comparison on Height and Time of Tide in Incheon.

군산항은 영국 수로국에 표준항으로 등록되지 않아, 표준항인 인천항의 자료를 이용하여 종속항으로 계산하여야 한다. 즉, 표준항의 데이터 정확성이 높아야 종속항의 데이터 정확성이 높아진다. 즉, 군산항은 인천항의 오차가 합산되어 계산되게 된다.

Fig. 3은 군산의 실측자료를 기준으로 한국 조석표와 영국 조석표의 조시와 조고를 비교한 것이다. 우리나라의 경우 조시차는 -17분에서 +17분 내외이며 조고차는 -30 cm에서 +45 cm 정도이다. 이에 반하여 영국 조석표의 경우 조시차는 -10분에서 +68분 내외이며 조고차는 -162 cm에서 +61 cm 정도이다.

인천항 조석표와는 다르게 영국 조석표 조시와 조고 차이가 중앙에서 떨어진 것을 확인 할 수 있다. 특히 오차의 크기도 상선에서 신뢰할 수 있는 정보인가에 대한 의문이 생길 수 있다.

상선의 경우 UKC(Under Keel Clearance)를 1미터 내외를 가지고 출입항 하는 선박의 경우 이러한 편차는 대단히 크다고 할 수 있다. 서해 두 곳의 항구를 비교해 본 결과 한국에서 제공하는 조석데이터의 신뢰성이 더 높은 것을 확인할 수 있다.

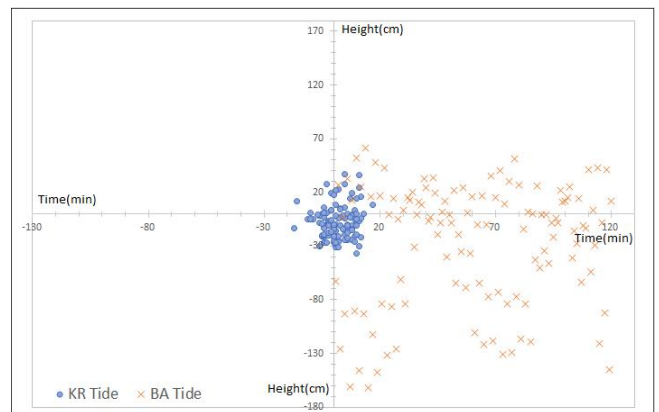


Fig. 3. Difference comparison on Height and Time of Tide in Gunsan.

Fig. 4은 여수항의 실측자료를 기준으로 한국 조석표와 영국 조석표의 조시와 조고를 비교한 것이다. 우리나라는 조시차는 -16분에서 +24분 내외이며 조고차는 -20 cm에서 +22 cm 정도이다. 이에 비하여 영국은 조시차는 -55분에서 +33분 내외이며 조고차는 -75 cm에서 +36 cm 정도이다.

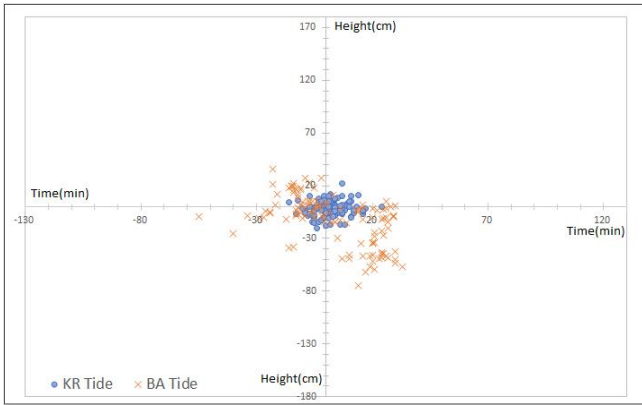


Fig. 4. Difference comparison on Height and Time of Tide in Yeosu.

여수항은 남해안에 있어 서해와는 다르게 조석 간만의 차이가 상대적으로 작은 곳이다. 그림에도 불구하고 영국 조석표 조시와 조고 차이가 한국 조석표와 비교하여 상대적으로 중앙에서 많이 떨어진 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 5은 부산항의 실측자료를 기준으로 한국 조석표와 영국 조석표의 조시와 조고를 비교한 것이다. 우리나라는 조시차는 -30분에서 +29분 내외이며 조고차는 -9 cm에서 +21 cm 정도이다. 이에 반하여 영국은 조시차는 -53분에서 +45분 내외이며 조고차는 -13 cm에서 +28 cm 정도이다.

다른 항구들과 마찬가지로 한국 조석표와 비교하여 상대적으로 중앙에서 많이 떨어진 것을 확인 할 수 있으며, 특히 하게 조시차가 상대적으로 조금 더 큰 것을 볼 수 있다.

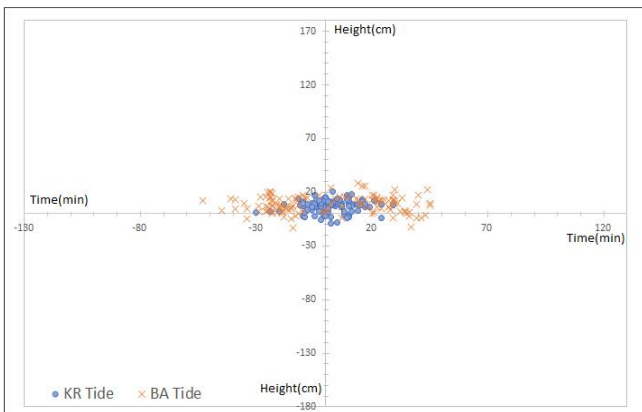


Fig. 5. Difference comparison on Height and Time of Tide in Busan.

다음으로 우리나라 동해안 울산항, 속초항 두 곳을 비교하였다. 울산항과 속초항은 또한 영국 수로국에 표준항으로 등록되어있지 않다. 속초는 표준항은 일본의 Kamaishi이고, 울산의 표준항은 일본의 Moji이다. 이곳 또한 거리차이가 크고, 지역적 특성이 다르기 때문에 조석 형태수 비교 등을 통한 추가적인 검증이 필요하다.

Fig. 6은 울산항의 실측자료를 기준으로 한국 조석표와 영국 조석표의 조시와 조고를 비교한 것으로 우리나라의 경우 조시차는 -38분에서 +33분 내외이며 조고차는 -17 cm에서 +7 cm 정도이다. 이에 반하여 영국 조석표의 경우 조시차는 -21분에서 +261분 내외이며 조고차는 -10 cm에서 +30 cm 정도이다.

영국의 정보가 한국과 상대적으로 가로축으로 중앙에서 많이 떨어진 것으로 보아 조시차가의 편차가 많이 큰 것을 확인 할 수 있다. 특히 조시 편차가 282분으로 4시간 이상 차이가나는 것을 확인할 수 있다. 조석표로서의 의미가 없을 정도로 오차가 크다고 판단된다.

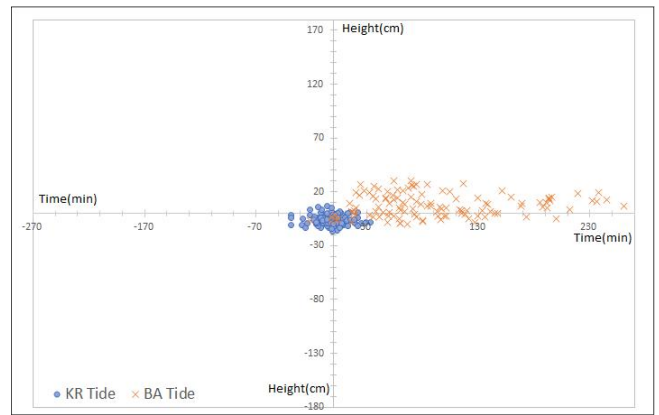


Fig. 6. Difference comparison on Height and Time of Tide in Ulsan.

Fig. 7은 속초항의 실측자료를 기준으로 한국 조석표와 영국 조석표의 조시와 조고를 비교한 것으로 우리나라의 경우 조시차는 -50분에서 +48분 내외이며 조고차는 -25 cm에서 +21 cm 정도이다. 이에 반하여 영국 조석표의 경우 조시차는 -161분에서 +61분 내외이며 조고차는 -52 cm에서 +25 cm 정도이다. 울산과 비슷하게 조시가 상대적으로 차이가 큰 것을 확인 할 수 있다.

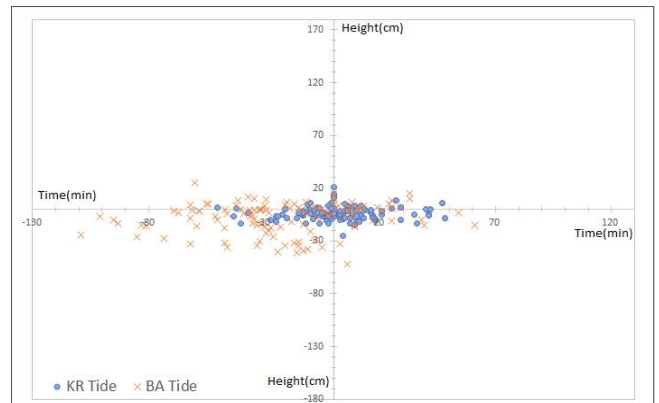


Fig. 7. Difference comparison on Height and Time of Tide in Sokcho.

이상으로 동해안 두 곳의 항구를 비교해 본 결과 서해 및 남해와 마찬가지로 한국에서 제공하는 조석데이터의 신뢰성이 더 높은 것을 확인할 수 있다.

**3.2 조화상수를 이용한 조석 기준 값 계산 분석**

앞서 2절에서 영국 조석표에서 표준항인 인천항의 조석이 오차가 있는 것을 확인하였다. 실측정보와 한국 조석표와 영국 조석표 차이의 분포를 검토하여, 조석의 오차가 발생한 원인을 분석해 보기 위하여 Table 3의 조화상수로 조석표를 계산하는데 기준이 되는 조고와 조시를 계산하였다.

먼저 영국 조석표상 우리나라의 유일한 표준항인 인천항과, 이곳을 종속항으로 하는 군산항의 조석 기준 값과 계산된 기준 값을 비교하였으며 그 결과는 Table 4와 같다.

인천항을 기준으로 영국의 조화상수와 한국의 조화상수로 계산한 조고 기준 값을 비교해 보면 MHWS의 한국 값은 6.3이고, 영국 값은 6.4 이다. MLWN의 한국 값은 3.0이고 영국 값은 2.9로 약간 다른 것을 확인할 수 있다.

그리고 영국 조석표에서 조고 기준 값과 계산한 조고 기준 값을 비교하면 MLWS의 기준 값은 0.4이고, 계산한 조고 기준 값은 0.7로 다른 것을 확인할 수 있다.

군산항 또한 영국과 한국의 조석표 조고의 기준 값과, 계산한 조고의 기준 값 또한 조금씩 다른 것을 확인할 수 있다. 그래서 영국 조석표 상 표준항인 인천항 조고 기준 값으로 군산항의 조석표를 만들면 오차가 발생 할 수밖에 없는 것이다.

다음으로 영국 조석표상 우리나라에 표준항이 없는 종속항인 여수, 부산, 울산, 속초의 조석표 조고 기준 값과 계산된 조고 기준 값을 비교하였으며 그 결과는 Table 5와 같다. 영국의 조화상수와 한국의 조화상수로 계산한 조고 기준 값을 비교해 보면 Moji와 Kamaishi는 값의 차이가 거의 없지만, Changjiang의 경우 MHWS, MHWN, MLWN, MLWS 모두 0.5 정도의 차이가 있는 것을 확인할 수 있다. 즉, 오류가 있는 영국 조석표 표준항인 Changjiang을 조고 기준 값으로 종속항 여수, 부산의 조석표를 계산 할 경우 오차가 더해져서 조고의 오차가 더 커지게 되는 것이다.

조시의 오차는 한국과 영국의 계산된 조시 기준 값을 비교하면 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 그러나 조시를 구하기 위해서 표준항이 잘못 선택될 경우 조시차가 커질 수 있다. 이를 확인하기 위해서는 조석 형태수 비교가 필요하다. 영국 조석표상 속초항의 표준항인 Kamaishi의 조석 형태수

Table 4. Height Difference and Time Difference comparison of Korea Standard Port

Harmonic Constant		UK Tide Table Data						Calculation Data						form factor
		Time Difference		Height				Time		Height				
		MHW	MLW	MHWS	MHWN	MLWN	MLWS	MHW	MLW	MHWS	MHWN	MLWN	MLWS	
Incheon	Korea							0428	1040	8.6	6.3	3.0	0.7	1.79
	UK			8.5	6.4	2.9	0.4	0445	1057	8.6	6.4	2.9	0.7	1.71
Gunsan	Korea							0254	0906	6.6	4.9	2.3	0.6	2.36
	UK	-0151	-0118	6.6	4.9	2.2	0.6	0306	0918	6.6	5.0	2.2	0.6	2.25

Source: Korea Hydrographic Office Agency (2018a), United Kingdom Hydrographic Office (2018)

Table 5. Height Difference and Time Difference comparison of Korea Secondary Port

Harmonic Constant		UK Tide Table Data						Calculation Data						form factor
		Time Difference		Height				Time		Height				
		MHW	MLW	MHWS	MHWN	MLWN	MLWS	MHW	MLW	MHWS	MHWN	MLWN	MLWS	
Changjiang	UK			4.3	3.3	2.0	0.9	0951	1563	3.9	2.8	1.5	0.4	0.56
Yeosu	Korea							0855	1507	3.0	2.2	1.2	0.3	0.60
	UK	-0055	-0052	3.3	2.3	1.3	0.3	0855	1507	3.2	2.3	1.2	0.3	0.60
Busan	Korea							0808	1420	1.2	0.8	0.4	0.1	0.49
	UK	-0150	-0137	1.2	0.9	0.4	0.1	0808	1420	1.2	0.9	0.4	0.1	0.50
Moji	UK			2.3	1.7	0.9	0.3	0855	1507	2.3	1.7	0.9	0.3	0.82
Ulsan	Korea							0718	1330	0.4	0.3	0.2	0.1	0.85
	UK	+1059	+1036	0.5	0.4	0.2	0.1	0722	1334	0.5	0.4	0.2	0.1	0.84
Kamaishi	UK			1.3	1.1	0.8	0.3	0304	0916	1.3	1.0	0.7	0.4	1.33
Sokcho	Korea							0257	0909	0.2	0.2	0.1	0.1	2.23
	UK	+1155	+1200	0.3	0.2	0.2	0.1	0255	0907	0.3	0.2	0.2	0.1	1.61

Source: Korea Hydrographic Office Agency (2018a), United Kingdom Hydrographic Office (2018)



는 1.33으로 반일주조가 우세한 성질을 가지고 있고, 종속항인 속초항의 경우 2.23으로 일주조가 우세하여 성질이 전혀 다른 것을 알 수 있다. 그리고 인천항의 조석형태수 1.79와 군산항 조석형태수 2.25도 성질이 전혀 다른 것이 확인된다.

이상의 결과로 성질이 다른 표준항을 기준으로 계산된 종속항인 Fig. 3의 군산항 분포도와 과 Fig. 7의 속초항 분포도의 편차가 비정상적으로 큰 이유가 설명이 된다.

서해, 남해, 동해 6곳의 항구의 데이터를 분석하여 본 결과 서해의 경우 인천항은 표준항 임에도 영국 조석표의 조화상수가 최신화 되지 않아 조석 오차가 큰 것을 확인 하였으며, 군산항의 경우 영국 조석표상 표준항인 인천항 조석 기준 값의 오류가 누적되어 조고와 조시 오차가 더 커지는 것을 확인하였다.

남해와 동해의 경우 서해와 비교하여 영국조석표와 한국 조석표의 조화상수와 조고의 차이는 상대적으로 적었지만, 조시 오차는 큰 것으로 확인 되었으며 조시 오차를 줄이기 위해서 영국 조석표에서 표준항을 조석 형태수가 비슷한 다른 항구로 변경되어야 하는 것으로 분석되었다.

즉, 영국 수로국이 각 국의 조화상수 정보를 지속적으로 최신화 하지 않으면, 과거 조화상수로 조석표를 만들게 되어 오차가 발생할 수밖에 없는 것이다.

#### 4. 결론 및 제언

본 연구를 통하여 한국 조석표와 영국 조석표를 비교하여 오차가 발생하는 원인을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

첫째, 표준항과 종속항의 조석 형태 차이가 클 경우 표준항이 추가 되어야 한다. 조석형태의 특성이 비슷하면 조석 오차가 적겠지만, 특성이 다르면 오차가 커지기 때문이다. 특히, 군산항과 속초항의 경우 표준항과 조석형태가 많이 다르므로 다른 항구를 표준항으로 지정하거나 두 항구를 각각 표준항으로 지정할 필요가 있다.

둘째, 영국 수로국이 제작하는 조석표에서 각 국의 조화상수가 최신화 되도록 해야 한다. 조석의 특성을 결정하는 조화상수의 경우 시간이 지날수록 변하기 때문에 조화상수가 지속적으로 갱신되지 않는다면 조석표와 실제 조석과 차이가 커지기 때문이다. 이 문제를 해결하기 위하여 한국을 포함한 각 수로국은 영국 수로국에 조화상수 정보를 주기적으로 제공하여 영국 조석표가 오차가 발생되지 않도록 하여야 한다.

셋째, 조석표를 사용하는 항해사는 영국 조석표 보다는 각 국가에서 제작하는 조석표가 더 신뢰할 수 있는 정보라는 것을 고려하여, 입·출항하는 해당 국가의 최신 조석 정보

를 확보할 필요가 있다.

본 연구는 우리나라 6개 항만을 중심으로 연구하였기 때문에 모든 항구에 대하여 일반화 하는데 무리가 있다. 그러나 영국 조석표가 오류가 있다는 사실을 이해하고, 조석표를 만들 때 영국 조석표와 각 국가에서 제작하는 조석표를 비교하여 정확한 조석 정보를 확인하기 위한 방법을 고려하여야 한다.

#### References

- [1] Jeon, J. H., J. K Kim, and Y. J. Ahn(2018), A Study on the Tidal Difference in Domestic Major Ports, The Journal of Korean Association of Ocean Science and Technology Societies, pp. 53-54.
- [2] Jung, T. S.(2009), A Study on Accuracy of Tide and Tidal Currents Prediction, The Journal of Korean Association of Ocean Science and Technology Societies, pp. 2564-2571.
- [3] Jung, T. S.(2016), Inter-annual Variation of Tides on the Western Coasts of Korea, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers 28(2), pp. 81-91.
- [4] KHOA(2006), Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, Improvement Study on Tide Correction of Sounding Depth, pp. 473-483.
- [5] KHOA(2018a), Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, Annual Report of Korea Oceanographic Observation Network.
- [6] KHOA(2018b), Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, Tide Table (Coast of Korea).
- [7] KMST(2018), Korean Maritime Safety Tribunal, <https://www.kmst.go.kr/kmst/statistics/annualReport/selectAnnualReportList.do#a> (18th Nov. 2019).
- [8] Pawlowicz, R., B. Beardsley, and S. Lentz(2002), Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T TIDE, Computers & Geosciences, Vol. 28, pp. 929-937.
- [9] UKHO(2018), United Kingdom Hydrographic Office, Tide Table (North Pacific Ocean).

Received : 2019. 08. 21.

Revised : 2019. 09. 25. (1st)

: 2019. 10. 28. (2nd)

Accepted : 2019. 12. 27.