

# 키리바시와 주변국 천문조위 특성 및 해수면 변동

김양오\* · 김종규\*\*† · 김현주\*\*\*

\* 전남대학교 조선해양공학과 석사과정, \*\* 전남대학교 조선해양공학과 교수, \*\*\* 선박해양플랜트연구소 책임연구원

## Characteristics of Astronomical Tide and Sea Level Fluctuations in Kiribati and Neighboring Countries

Yangoh Kim\* · Jongkyu Kim\*\*† · Hyeon-Ju Kim\*\*\*

\* Master Candidate, Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

\*\* Professor, Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

\*\*\* Senior Researcher, Sea Water Energy Center, Korea Ship and Plant Institute, Kosung 49112, Korea

**요 약 :** 남태평양 섬들인 키리바시와 주변국은 해수면 상승으로 섬의 면적이 점점 감소하고 있다. 해수면 상승의 원인으로 기온상승에 따라 감소하는 빙하와 해수의 열팽창정도에 따라 지속적으로 변화하며, 지구온난화는 해수의 양과 부피 모두에 영향을 주어 해수면 상승이 진행되고 있다. 조석현상은 달과 태양등 천체의 인력작용으로 해면이 1일 2회 나타나지만 달은 약 18.6년을 주기로 달의 공전 궤도면이 지구의 적도와 이루는 각도가 약 10° 정도 변화하는데 지구의 적도면과 달의 공전 궤도면의 거리에 따라 조석력의 크기가 변화한다. 하와이 대학교 해수면 센터에서 Kiribati의 Tarawa, Christmas, Kanton, Fiji의 Lautoka, Suva, Tuvalu의 Funafuti, Tonga의 Nuku'alofa, Vanuatu의 Port Vila을 선정하여 자료를 취득하였다. 19년간 각 연도별 조위를 비교하였을 때 차이를 이용하여 조석에 의한 수면의 변화를 확인하고 조석의 영향인지 파악하는데 중점을 두었다. 최고천문조위(HAT, Highest Astronomical Tide)와 최저천문조위(LAT, Lowest Astronomical Tide)는 각각 Trawa 297.0, 50.8 cm, Christmas 123.8, 19.9 cm, Kanton 173.7, 39.9 cm, Lautoka 240.7, 11.3 cm, Suva 213.4, 17.8 cm, Funafuti 328.6, 98.4 cm, Nukualofa 188.8, 15.5 cm, Port Vila 161.5, -0.5 cm로 파악하였다. 해수면 변동은 각각 Trawa 3.1 mm/year, Christmas -1.0 mm/year, Kanton 1.6 mm/year, Lautoka 3.1 mm/year, Suva 7.4 mm/year, Funafuti 1.4 mm/year, Nukualofa 4.2 mm/year, Port Vila -1.2 mm/year로 변화하였다.

**핵심용어 :** 키리바시, 해수면, 천문조, 최저천문조위, 최고천문조위

**Abstract :** Kiribati, a South Pacific island, and its surrounding countries are gradually submerging to rising sea levels. The sea level continues to change according to the degree of thermal expansion of glaciers and seawater that decreases with increase in temperature. Global warming affects both the amount and volume of seawater, thus increasing sea level. Tidal phenomena occur twice a day to the attraction of celestial bodies such as the moon and the sun. The moon changes the angle of orbiting surface with the Earth equator every 18.6 years, and the magnitude of the tidal force changes depending on the distance between the Earth equator and the moon orbital surface. The University of Hawaii Sea Level Center selected Tarawa, Christmas, Kanton of Kiribati, Lautoka, Suva of Fiji, Funafuti of Tuvalu, Nuklu'alofa of Tonga, and Port Vila of Vanuatu. When comparing tide levels for each year for 19 years, the focus was on checking the change in sleep to Tide levels, and rising sea levels was the effect of Tide levels. The highest astronomical tides (HAT) and lowest astronomical tides (LAT) were identified as Tarawa 297.0, 50.8 cm, Christmas 123.8, 19.9 cm, Kanton 173.7, 39.9 cm, Lautoka 240.7, 11.3 cm, Funafuti 328.6, 98.4 cm, Nuklu'alofa 188.8, 15.5 cm, Port Vila 161.5, -0.5cm, respectively. The Sea level rising speed was Tarawa 3.1 mm/year, Christmas -1.0 mm/year, Kanton 1.6 mm/year, Lautoka 3.1 mm/year, Suva 7.4 mm/year, Funafuti 1.4 mm/year, Nuklu'alofa 4.2 mm/year, and Port Vila -1.2 mm/year, respectively

**Key Words :** Kiribati, Sea level, Astronomical tide, Lowest astronomical tide, Highest astronomical tide

\* First Author : keelplate@nate.com

† Corresponding Author : kimjk@jnu.ac.kr, 061-659-7155

## 1. 서론

지난해 11월 영국 글래스고에서 열린 제26차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP26)에서 남태평양의 작은 섬나라 투발루 외교 장관은 ‘수중연설’을 하며 세계인의 이목을 집중시켰으며, 투발루 수도 푸나푸티 해안에서 허벅지까지 차오른 물속에서 사이먼 코페 장관은 “우리는 기후변화와 해수면 상승이라는 현실 속에 살고 있다”면서 “내일이 오기를 바란다면 오늘 과감한 대안을 내놔야 한다”고 적극적인 대응을 주문했다.

남태평양 섬나라 투발루는 9개의 산호섬으로 된 국가로 전 세계에서 4번째로 작은 나라로 국토의 제일 높은 곳이 해발 4.5m 정도이고, 대부분은 해수면보다 고작 1m 높은 것으로 알려져 있으며, 지구 온난화가 계속될 경우 2100년 전에 9개 섬 모두 수몰될 것이라는 관측이 나오는 실정이다. 현재 투발루 외에도 본 연구 지역인 키리바시와 마셜제도, 인도양 몰디브 등 다수의 섬나라가 해수면 상승으로 인해 국토가 잠식될 위기에 처해있다(Yonhap News, 2022.02.12).

특히, 2015년 5월 Cyclone Pam에 의해 총 1,034 MUSD의 피해가 발생했으며, 이는 투발루 GDP의 약 27%에 해당되는 규모로 기후변화로 인한 해수면 상승은 남태평양 섬나라들이 수몰위기에 처하고 있어 심각한 상황이라 할 수 있겠다(Koo, 2018).

IPCC 6차 보고서에 따르면 세기말에 해수면 상승이 1.1 m

정도 올라갈 것으로 예상하고 있어, 본 연구에서는 해수면의 상승에 있어 조석미치는 영향이 가장 크므로 키리바시와 주변국 조석특성을 파악하기 위하여 19년 자료를 사용하여 기본수준면의 최고 높이 값과 최저 높이 값을 산출하여 조석현상으로 인한 높이 변화를 확인하였다.

국제수로기구 조석위원회에서는 1997년에 18.6년의 완전한 조석주기 동안 조석현상에 의하여 나타날 수 있는 LAT를 국제수로기구(IHO, International Hydrographic Organization) 회원국들이 기본수준면으로 채택할 것을 권장하였으며, 2010년 현재 영국, 프랑스, 덴마크, 스페인, 호주 등12개국이 채택하고 있다(KHOA, 2012; ICSM, 2011).

2018년 국제수로기구(IHO)는 해도의 기준면으로 최저천문조위(LAT, Lowest Astronomical Tide)를, 항해 안전을 위하여 연육교 등을 통행하는 선박의 높이를 제한하기 위한 안전수척 높이(vertical clearances)의 기준면으로 최고천문조위(HAT, Highest Astronomical Tide) 또는 매우 유사한 높이의 기준면 사용을 결의하였다(IHO, 2018). 국제전기기술위원회(International Electrotechnical Commission)에서도 연안풍력 발전단지(offshore wind turbine system) 설계에 기초적으로 필요한 수위(water level)의 기준면으로 LAT와 HAT 사용을 제안하고 있다(Ko et al., 2018).

최고·최저 천문조위 산정을 위해서는 최소 1년 이상의 관측자료로부터 산정된 조화상수를 이용하여 최소 19년 이상 산정한 값을 사용하거나 신뢰성 있는 결과를 주는 검증된 방법으로 산정하여야 한다(FIG, 2006).

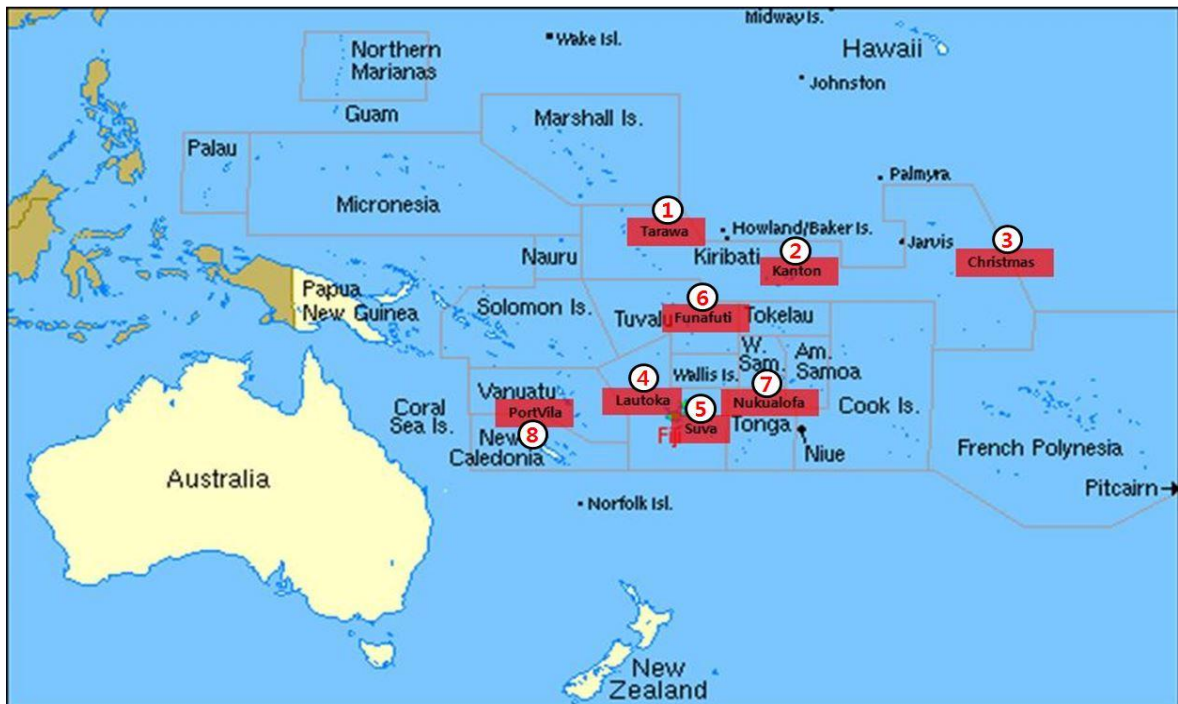


Fig. 1. Location map.

Table 1. Observation summary

No.	Country	City	Latitude	Longitude	Period	Use (%)
1	Kiribati	Tarawa	1° 19' 55.2" N	173° 00' 46.8" E	2002. 01 ~ 2020. 12	96.5
2	Kiribati	Christmas	1° 59' 06.0" N	157° 28' 37.2" O	1982. 01 ~ 2000. 12	97.9
3	Kiribati	Kanton	2° 48' 36.0" S	171° 43' 04.8" O	1982. 08 ~ 2000. 07	97.5
4	Fiji	Lautoka	17° 36' 00.0" S	177° 25' 58.8" E	1999. 01 ~ 2017. 12	99.5
5	Fiji	Suva	18° 07' 55.2" S	178° 25' 37.2" E	1999. 01 ~ 2017. 12	99.3
6	Tuvalu	Funafuti	8° 31' 30.0" S	179° 11' 42.0" E	1999. 01 ~ 2017. 12	98.2
7	Tonga	Nukualofa	21° 07' 58.8" S	175° 10' 01.2" O	1999. 01 ~ 2017. 12	98.7
8	Vanuatu	Port Vila	17° 46' 01.2" S	168° 18' 00.0" E	1999. 01 ~ 2017. 12	99.1

## 2. 연구 방법

### 2.1 연구 대상 지역 및 자료조사

본 연구는 하와이 대학교 해수면 센터에서 제공하는 Kiribati의 Tarawa, Christmas, Kanton와 남태평양의 섬들 중 해수면이 1m 상승 시 치명적인 피해를 받는 지역 중 19년 관측자료에서 결측률이 3% 미만인 관측소들을 기준으로 Fiji의 Lautoka, Suva, Tuvalu의 Funafuti, Tonga의 Nukualofa, Vanuatu의 Port Vila를 선정하여 자료를 취득하였다(Fig. 1).

Kiribati의 Tarawa는 2002년에서 2020년까지의 자료에서 결측률이 가장 낮게 나타나며, Christmas, Kanton는 1982년에서 2000년까지의 자료에서 결측률이 가장 낮게 나타났다. 선정한 지역에서 결측률이 낮은 1999년에서 2017년까지의 자료를 선정하였다. Table 1에 선정지역의 개요를 제시하였다.

### 2.2 분석 프로그램

우리나라에서 조화분석에 많이 사용되는 프로그램으로는 TASK2000(Tidal Analysis Software Kit)과 T\_Tide가 있으며, 특히 국립해양조사원에서 조석예보를 하기 위하여 사용하고 있는 Task2000 package는 예측 알고리즘이 간단하다는 장점을 가지고 있으나 1801~2099년까지만 추산과 예측이 가능하므로 적용기간에 대한 한계를 가지고 있다(Bell et al., 1999). 또한 1년 조화분해를 실시하면 반일주조성분 및 일주조성분, 장주기조성분의 6개 분조를 취득할 수 있다.

T\_Tide는 Foreman and Neufeld(1991)과 Godin(1991)이 Fortran 언어로 작성한 조화분석 프로그램을 MATLAB 언어로 변환하여 재작성한 프로그램으로 45개의 분조와 24의 천해 분조 총 69개분조를 이용하여 조위를 예측할 수 있다.

UTide(Codiga, 2011)프로그램은 18.6년의 자료를 분석 및 예측이 가능한 프로그램으로 MATLAB 언어를 기반으로 만들어졌다.

HAT와 LAT는 태음의 완전한 주기인 18.6년간 발생할 수 있는 최고극조위와 최저극조위이며, 수개의 분조에 의해 이론적으로 추정할 수 있다(IEC, 2009). 18.6년 조화분해 시 R2 성분이 추가된 68개 분조를 취득할 수 있으며 본 연구에서는 19년 자료를 사용하여 68개 분조를 취득할 수 있는 UTide를 적용하여 분석하였고 분석된 68개 분조를 사용하여 예측값을 산출하였다.

### 2.3 해수면 변화

키리바시와 주변국 8개 지역의 19년 자료를 1시간 간격으로 해수면 변화를 분석하기 위해 회귀분석하고 회귀직선의 기울기를 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 조화분해결과

키리바시와 주변국 8개의 지역을 대상으로 19년 조화분해를 실시한 결과 68개 분조를 산출하였다. 진폭이 큰 분조들은 M2(주 태음 반일주조), S2(주 태양 반일주조), N2(주 태음 타원 반일주조), K1(일월 합성 일주조), O1(주 태음 일주조), K2(일월 합성 반일주조), SA(태양 연주조), P1(주 태양 일주조) 순으로 나타났다. 키리바시와 주변국 모든 지역에서 반일주조성분인 M2분조가 가장 크게 나타나며, 장주기조성분인 Sa분조도 높게 나타났다. 조화분해결과에 대한 정보는 Table 2와 같다. 조화상수 총합의 순으로 Tarawa, Funafuti, Lautoka, Suva, Port Vila, Nukualofa, Kanton, Christmas 나타나며 Tarawa는 Christmas 보다 약 2배 정도 크다.

### 3.2 조위예측결과

조위예측은 68개 분조를 사용하였고, 분조별 조화상수를 이용한 그 지역 표준시 기준의 예측 조위는 다음과 같이 표현할 수 있다(Byun and Cho, 2009).

키리바시와 주변국 천문조위 특성 및 해수면 변동

$$H(t) = \sum_{i=1}^n \int_i(t) a_i \cos[Greenwich(V_0(t) + u(t))_i - g_i]$$

$$= \sum_{i=1}^n \int_i(t) a_i \cos[w_i \tau Greenwich(V_0(t_0) + u(t))_i - g_i]$$

여기서, n은 예측에 사용된 조석 분조 총 개수,  $f_i$ 와  $u_i$ 는 각각 달 교점의 경도에 따라 18.61년 주기로 변하는 분조 i의 평균진폭(ai)을 보정하기 위한 교점 인자와 교점 각이다.  $a_i$ 와  $g_i$ 는 각각 분조 i의 평균 진폭과 표준시간대 지각,  $w_i$ (°/hr)는 분조 i 각속도,  $\tau$ 는 기준 시각( $t_0$ )으로 부터 경과된 시각( $t-t_0$ ),  $V_0$ 는 가상천체분조 i의 위치를 나타내는 천문 위상각(astronomical argument)이다.

예측은 19년 동안 1시간 간격의 조위자료를 예측하였다. 이 자료는 취득한 동일 시간의 자료를 선형회귀분석으로 비교하여 자료의 정확도를 검토하였다. 선형성이라는 기본 가정이 충족된 상태에서 독립변수와 종속변수의 관계를 설명하거나 예측하는 통계방법으로서, 독립변수가 하나인 경우를 단순회귀분석, 여러 개인 경우를 다중회귀분석이라고 한다. 즉, 회귀분석에서 독립변수에 따라 종속변수의 값이 일정한 패턴으로 변해 가는데, 이러한 변수간의 관계를 나타내는 회귀선이 직선에 가깝게 나타나는 경우를 선형회귀분석이라고 한다. 각 지역의 배율과 상관관계를 Fig. 2에 제시하였다. 대부분의 지역에서 상관관계가 높게 나타났지만 Christmas지역에서 0.80으로 비교적 낮게 나타났다.

Table 2. The results of harmonic analysis

	Tarawa	Christmas	Kanton	Lautoka	Suva	Funafuti	Nukualofa	Port Vila
M <sub>2</sub> (cm)	59.2	26.1	36.7	63.0	56.6	57.8	51.4	36.6
S <sub>2</sub> (cm)	30.8	8.4	13.5	14.8	9.2	24.4	5.7	10.9
N <sub>2</sub> (cm)	12.5	4.2	8.2	14.8	12.8	13.8	12.5	7.9
K <sub>1</sub> (cm)	9.5	8.1	2.6	11.1	9.4	8.7	6.6	16.2
O <sub>1</sub> (cm)	5.9	3.8	2.1	6.0	4.6	5.3	3.6	8.3
K <sub>2</sub> (cm)	8.5	2.2	3.7	4.2	2.6	6.7	1.4	3.1
S <sub>a</sub> (cm)	3.2	4.6	3.9	3.1	3.8	5.0	4.5	4.3
P <sub>1</sub> (cm)	3.0	2.5	0.7	3.3	2.8	2.6	2.0	4.8
Total (cm)	132.6	59.9	71.4	120.3	101.8	124.3	87.7	92.1

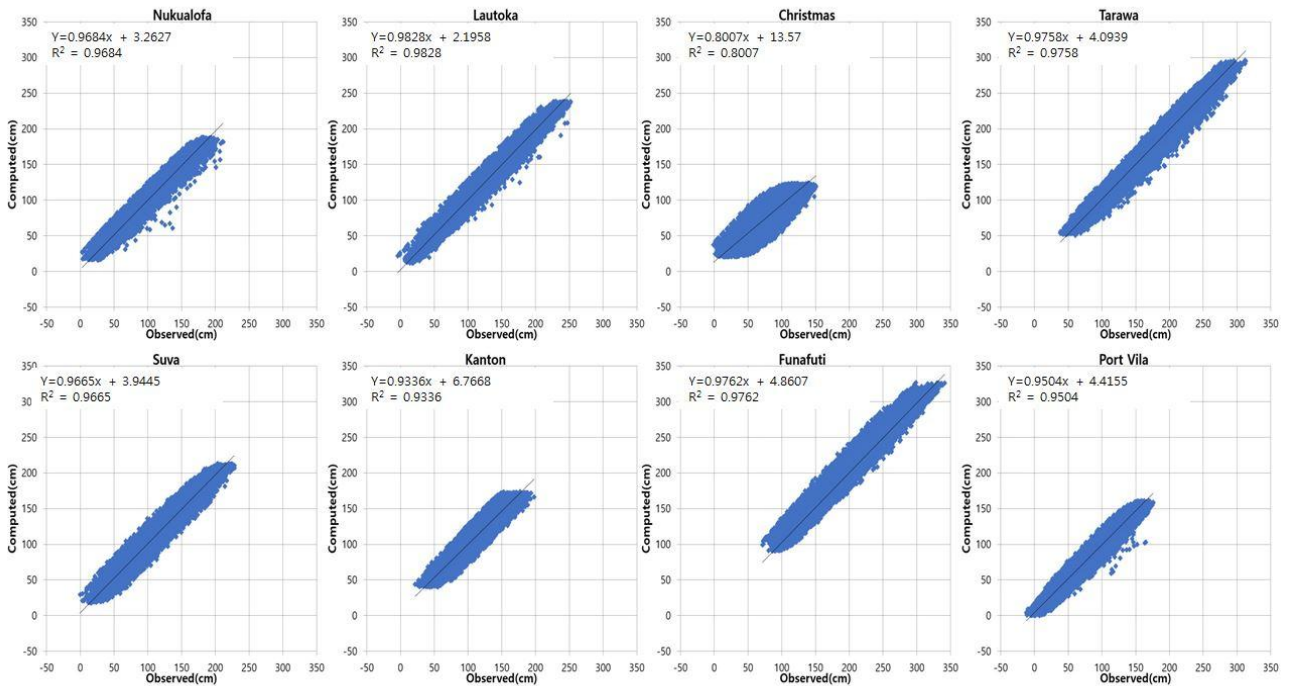


Fig. 2. Linear regression analysis.

Table 3. The results of tidal difference

	Tarawa	Christmas	Kanton	Lautoka	Suva	Funafuti	Nukualofa	Port Vila
HAT (cm)	297.0	123.8	173.7	240.7	213.4	328.6	188.8	161.5
Low of annual high tide (cm)	288.9	121.4	167.6	235.1	209.8	315.7	185.0	158.2
HAT - Low of annual high tide (cm)	8.1	2.4	6.1	5.6	3.6	12.9	3.8	3.3
LAT(cm)	50.8	19.9	39.9	11.3	17.8	98.4	15.5	-0.5
Height of annual low tide (cm)	60.5	22.6	42.1	20.4	26.8	99.1	21.0	8.1
LAT - Height of annual low tide (cm)	-9.7	-2.7	-2.2	-9.1	-9.0	-0.7	-5.5	-8.6
HAT - LAT (cm)	246.2	103.9	133.8	229.4	195.6	230.2	173.3	162.0

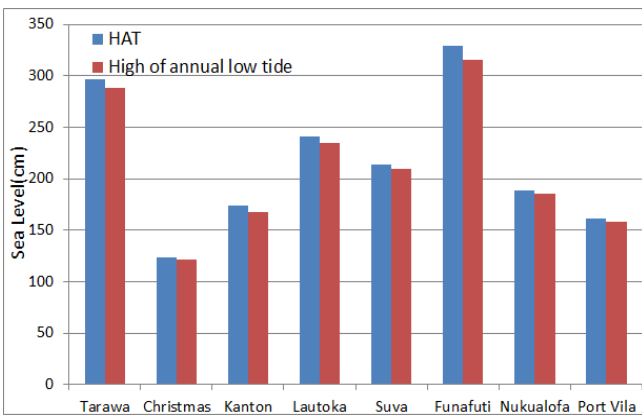


Fig. 3. HAT and annual maximum comparison.

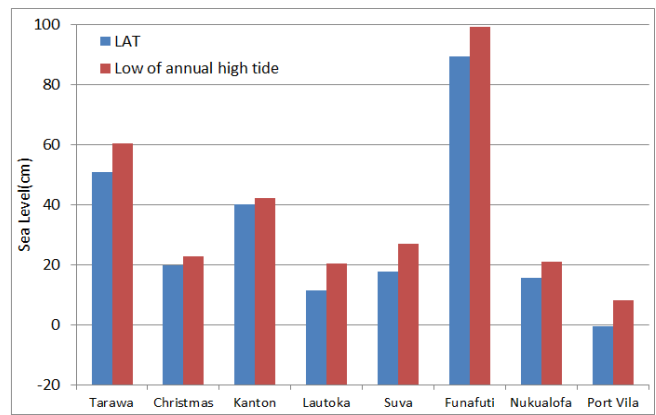


Fig. 4. LAT and annual minimum value comparison.

### 3.3 LAT 및 HAT 산출

예측조위에서 LAT와 HAT를 산출하고 하였다. 각 연도별 고극조위와 저극조위를 구하여 LAT와 HAT를 비교하였다.

LAT와 HAT, 각 연도별 고극조위 중 낮은 값, 각 연도별 저극조위 중 높은 값, HAT에서 각 연도별 고극조위 중 낮은 값을 뺀 값, LAT에서 각 연도별 저극조위 중 높은 값을 뺀 값, HAT에서 LAT를 뺀 값을 Table 3에 제시하였다.

HAT에서 각 연도별 고극조위 중 낮은 값을 뺀 값은 연간

고극조위 최대차이를 나타내며, LAT에서 각 연도별 저극조위 중 높은 값을 뺀 값은 연간 저극조위 최대차이를 나타내고, HAT에서 LAT를 뺀 값은 최대 조수간만의 차를 나타낸다.

### 3.4 해수면변화

지역별 일평균 값을 계산하였다. 일평균 값을 기반으로 19년 간 해수면 변화를 회귀분석한 후 회귀직선의 기울기는 해수면 상승 속도 증가를 의미한다. 이는 Table 4에 제시하였다.

Table 4. The results of harmonic analysis

City	Period	Sea level rise (cm)	Rising speed (mm/year)
Tarawa	2002. 01 ~ 2020. 12	5.8	3.1
Christmas	1982. 01 ~ 2000. 12	-1.9	-1.0
Kanton	1982. 08 ~ 2000. 07	3.1	1.6
Lautoka	1999. 01 ~ 2017. 12	5.8	3.1
Suva	1999. 01 ~ 2017. 12	14.1	7.4
Funafuti	1999. 01 ~ 2017. 12	2.6	1.4
Nukualofa	1999. 01 ~ 2017. 12	8.1	4.2
Port Vila	1999. 01 ~ 2017. 12	-2.2	-1.2

6개 지역인 Tarawa, Kanton, Lautoka, Nukualofa, Funafuti Suva에서 해수면상승이 나타나며 평균상승은 6.6 cm이며, 연간상승은 3.5 mm/year로 나타난다. Suva에서 7.4 mm/year로 가장 큰 해수면 상승이 나타나지만 인근 지역인 Nukualofa와 Lautoka에 비해 약 2배 차이를 보였다.

2개 지역인 Christmas와 Port Vila는 해수면하강이 나타나며 평균하강은 2.1 cm이며, 연간하강은 1.1 mm/year로 나타난다. 해수면 상승이 가속화되고 있는 추세에 2곳의 지역에서 해수면 하강이 나타났지만 이는 해수면 하강이 아닌 관측 시 결측과 오측으로 인하여 하강이 나타난 것으로 보인다.

조위자료는 관측환경과 기상 등의 원인으로 결측과 오측이 발생하고 있으며, 결측과 오측자료를 제거 또는 보간하는 방법이 필요하다고 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 키리바시와 주변국 19년 조위자료를 사용하여 조화분석을 실시하였다. Utide를 활용하여 68개 분조를 사용하여 19년 조위예측자료를 산출하여 LAT와 HAT를 산출하고 검토를 위해 1년 단위로 분석하여 비교하였다.

모든 지역에서 반일주조성분인 M2분조가 가장 강하게 나타나며, 2번째로 강한 분조는 S2 또는 N2로 지역별 차이가 있었다.

지구의 적도면과 달의 공전 궤도면을 포함한 관측기간에 조석력의 차이를 연간 고극조위와 연간 저극조위의 차를 최대값과 최소값의 차로 나타내면 Trawa 17.5 cm, Christmas 3.3 cm, Kanton 7.1 cm, Lautoka 8.2 cm, Suva 9.5 cm, Funafuti 19.1 cm, Nukualofa 7.0 cm, Port Vila 8.1 cm만큼 나타났다.

HAT와 LAT는 각각 Trawa 297.0, 50.8 cm, Christmas 123.8, 19.9 cm, Kanton 173.7, 39.9 cm, Lautoka 240.7, 11.3 cm, Suva 213.4, 17.8 cm, Funafuti 328.6, 98.4 cm, Nukualofa 188.8, 15.5 cm, Port Vila 161.5, -0.5 cm로 산출되었다.

해수면변화는 Trawa 3.1 mm/year, Christmas -1.0 mm/year, Kanton 1.6 mm/year, Lautoka 3.1 mm/year, Suva 7.4 mm/year, Funafuti 1.4 mm/year, Nukualofa 4.2 mm/year, Port Vila -1.2 mm/year로 산출되었다. Christmas와 Port Vila의 해수면은 하강하는 것으로 나타났지만 관측 시 결측과 오측으로 판단된다. 실제로 두 정점을 제외하면 다른 곳에서는 해수면 상승이 나타나고 있다.

조위자료는 결측과 오측자료를 보정하고, 시계열자료 또는 장주기조성분을 활용하여 조석자료로 매년 해수면의 변화와 기준면을 정확하게 파악하는 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

#### 사 사

본 논문은 해양수산부의 국가 R&D 사업인 “1MW급 해수 온도차발전 실증플랜트 개발(6/6)”(PMS4730)에 의해 수행되었습니다.

#### References

- [1] Bell, C., J. M. Vassie, and P. L. Woodworth(1999), POL/PSMSL Tidal Analysis Software Kit 2000 (TASK-2000). Permanent Service for Mean Sea Level, CCMS Proudman Oceanographic Laboratory, Bidston Observatory, Birkenhead, UK, 20pp.
- [2] Byun, D. S. and C. W. Cho(2009), Exploring conventional tidal prediction schemes for improved coastal numerical forecast modeling, *Ocean Modelling* 28, pp. 193-202.
- [3] Codiga, D. L.(2011), Unified tidal analysis and prediction using the UTide Matlab functions. University of Rhode Island Graduate School of Oceanography Tech. Rep. 2011-01, 59pp.
- [4] FIG(International Federation of Surveyors)(2006), FIG Guide on the Development of a Vertical Reference Surface for Hydrography.
- [5] Foreman, M. G. G. and E. T. Neufeld(1991), Harmonic tidal analyses of long time series, *International Hydrographic Review*, 68(1), pp. 85-108.
- [6] Godin, G.(1991), The analysis of tides and currents, In: Parker B. B., ed. *Tidal Hydrodynamics*. Wiley, New York, pp. 675-709.
- [7] ICSM(Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping) (2011), Permanent Committee on Tides and Mean Sea Level, 2011. *Australian Tides Manual SP9 V4.1*.
- [8] IEC(2009), IEC 61400-3: Wind turbines-Part 3: Design requirements for offshore wind turbines.
- [9] IHO(International Hydrographic Organization)(2018), Resolution on datums and benchmarks A2.5 3/1919. In: *Resolutions of the International Hydrographic Organization Publication M-3 (2nd Edn)*, Monaco. Retrieved from: [https://www.iho.int/iho\\_pubs/misc/M3-E-AUGUST18.pdf](https://www.iho.int/iho_pubs/misc/M3-E-AUGUST18.pdf).
- [10] IPCC(2021), Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Pean, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K.

Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekci, R. Yu and B. Zhou (eds.)). Cambridge University Press. In Press.

- [11] KHOA(Korea Hydrographic and Oceanographic Administration) (2012), Final Report on the re-consideration of the setup of the tidal data treatment system and the reference datum level (in Korean).
- [12] Ko, D. H., S. T. Jeong, H. Y. Cho and K. S. Kang(2018), Analysis on the estimation errors of the lowest and highest astronomical tides for the southwestern 2.5 GW offshore wind farm, Korea. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 10, pp. 85-94.
- [13] Koo, S. W.(2019), A Study for Mitigation Plan and Characteristic of Lagoon Beach Erosion due to Sea Level Rising of Tuvalu at the South Pacific, Ph.D. dissertation, Catholic Kwandong Univ., Gangwon-do, Korea
- [14] Yonhap News(2022), [Climate crisis and ocean] ④ “Bold Alternatives Needed” Call of a Disappearing Island Country, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20220207063400051> (accessed 2022.02.12.).

---

Received : 2022. 08. 03.

Revised : 2022. 08. 25.

Accepted : 2022. 08. 29.