

# Topex/Poseidon에서 관측된 동해 해수면의 주기특성 연구

이준우<sup>1)</sup> · 민정덕<sup>2)</sup> · 황종선<sup>2)</sup> · 원중선<sup>2)</sup> · 김정우<sup>3)</sup>

## 1. 서 론

인공위성 레이더 고도(Satellite radar altimetry, SRA)탐사는 비영상 원격탐사 기술로, 인공위성에 탑재된 고도계에서 발사된 레이더파가 해양 표면에서 반사되어 되돌아오는 원리를 이용, 위성과 해수면 사이의 거리를 계산함으로써 지구타원체(reference ellipsoid) 위의 해수면 고도(sea surface height, SSH)를 계산하여 이를 지구물리학이나 해양학에 이용한다. 1978년부터 현재까지 Seasat, Geosat, ERS-1, Topex/Poseidon(T/P) 위성이 레이더 고도계를 이용하여 해수면 및 지오이드를 성공적으로 측정하였다. 이중 T/P는 고도와 측정에 대한 보정에서 다른 위성들보다 가장 향상된 기술을 사용하여 탑재된 고도계로 해수면까지의 거리를 RMS 오차 3.2cm의 정확도로 측정하였다[Fu et al., 1994]. 1992년 8월에 지구궤도로 발사된 T/P는 전지구 규모의 해류순환을 연구하기 위하여 미국의 NASA와 프랑스의 CNES에 의해 공동 수행되는 연구로, 궤도는 1,336km를 약 10일마다 같은 지점의 측정을 반복하도록 설계되었다. 본 연구에서는 T/P로부터 해수면을 정확히 추출하여 동해의 조위계(tide gauge, T/G)와 비교함으로써 추출된 해수면의 정확성을 검증하고, T/G와 T/P 해수면을 후리에 변환에 의한 파동수영역(wavenumber domain)에서의 필터링과 대비법을 이용하여 비교한 후 T/P자료의 유용성을 동해에서 입증하였다.

## 2. 연구방법

인공위성에 탑재된 고도계로부터 발사된 전자기파의 왕복 시간으로부터 인공위성과 해수면 사이의 거리(altimeter height)를 측정하여 해수면이나 지오이드 높이를 계산할 수 있다. 즉, 우리가 이미 알고 있는 지구타원체로부터 인공위성까지의 거리(Orbit Height)로부터 관측된 고도계의 높이를 제거함으로써 평균해수면 (Mean SSH, MSSH)를 계산할 수 있다.

$$\text{MSSH} = \text{Orbit Height} - \text{Altimeter Height} \quad (1)$$

MSSH는 두 성분으로 이루어져 있는데 하나는 정적인(static) 면이고 다른 하나는 동적인(dynamic) 면이다. 정적인 성분은 지오이드이며 동적인 성분은 바람, 조석, 그리고 코리올리 효과 등의 의한 영향이다. 그런데 관측값인 Altimeter Height는 시간과 공간에 따라 변하는 많은 오차를 지니고 있다. 여기에는 전리층, 대기권, 전자기파에 의한 영향, 대류권 내의 물분자와 기체분자에 의한 시간 지체 현상 등이 포함되며, 따라서 그와 같은 보정을 통해 인공위성과 해수면 사이의 거리(Corrected Altimeter Height)는

$$\begin{aligned} \text{Corrected Altimeter Height} = & \text{Altimeter Height} \\ & + \text{Wet Troposphere Correction} + \text{Dry Troposphere Correcti} \\ & + \text{Ionosphere Correction} + \text{Electromagnetic Bias} \end{aligned} \quad (2)$$

이다. 끝으로 해수면의 잔류값(residual SSH)을 계산하기 위해서는 식 (3)과 같이 지오이드와 조석 모델 및 기압에 의한 영향을 제거한 후 본 연구에 사용하였다.

$$\text{Residual SSH} = \text{SSH} - \text{Geoid} - \text{Tide Effects} - \text{Inverse Barometer} \quad (3)$$

우선 T/P와 T/G로부터 관측된 해수면을 통계적으로 비교하기 위하여 상관계수를 계산하였다. T/P 자료처리에 사용된 조석모델이 주기적인 알리아싱(aliasing)을 갖기 때문에[Schlax and Chelton, 1994]

이들의 파악하기 위해 후리에변환을 이용, 이들의 주기성을 파악한 후, 알리아싱을 일으키는 고주파를 제거하기 위해 200일 저역통과필터를 사용하였다. 또한 T/P와 T/G의 해수면이 관측상의 오차와 함께 파도나 해류에 의해 불안정한 성분을 지니게 되므로, 이러한 성분을 제거하기 위하여 파동수영역(Wavenumber Domain)에서 스펙트럼대비법(Spectral Correlation Analysis)를 적용하였다. 스펙트럼대비법[von Frese et al., 1997; Kim, 1996]은 데이터 상의 상관계수를 공간영역이 아닌 파동수영역에서 각 파동수에 상관계수를 구하는 방법으로 포텐셜자료의 대비 연구에 매우 효과적이다. 본 연구에서는 이를 이용, T/P와 T/G 해수면이 더 잘 일치할 수 있음을 보였다.

### 3. 자 료

본 연구에서는 T/P MGDR (Merged Geophysical Data Record)을 사용했는데, 이는 Topex (GDR-T)와 Poseidon(GDR-P)의 양쪽 기록을 모두 보유하고 있다. 또한 1992년부터 1997년까지 국립해양조사원에서 관측한 울릉도(37° 29' 34" N, 130° 54' 53" E), 포항(36° 01' 04" N, 129° 23' 57" E), 속초(38° 12' 15" N, 128° 35' 48" E), 묵호(37° 32' 51" N, 129° 07' 07" E) 조위관측소의 조위계(Tide Gauge, T/G)자료를 이용하였다.

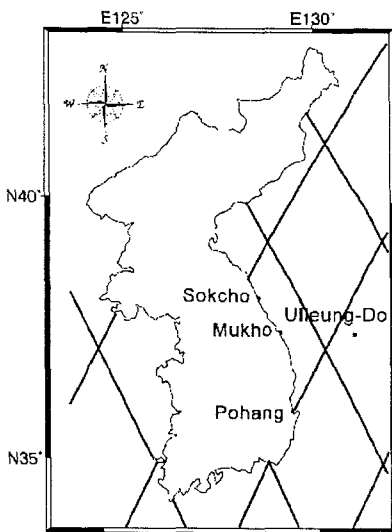


Fig. 1. Location of tide gauges and T/P passes.

다. 비교 분석에 사용된 이들 각 관측점에 대한 위치는 Fig. 1에 도시되어 있다. 실선은 연구지역을 지나는 T/P의 궤도이다. 본 연구에 사용된 조사대상 해역은 조석현상이 강한 지역으로 조석변형에 의한 오차를 적절히 제거하는 작업이 중요하다. Bell et al. [1998]의 방법으로 조화(harmonic) 분석된 T/G 자료를 T/P의 조석모델(CSR3.0)로 보정해 준 T/P 자료와의 비교에 사용하였다. 해수면 고도의 객관성을 검증하기 위한 목적으로, T/P 고도자료는 시간적으로는 1992년 10월부터 1997년 12월까지, 공간적으로는 T/G 자료의 조위관측소에 대해서 위·경도  $\pm 0.5^\circ$  (약 55km)의 범위 내에서 선택하여 평균한 값을 사용하였다.

한편 T/P로부터 추출한 SSH를 동해에 설치된 T/G에 의한 해수면과 비교하기 위해 1992년 10월부터 1997년 12월까지 총 64개의 T/P MGDR로부터 10일 간격으로 되어 있는 총 192개의 사이클에서 자료를 추출하였다. 울릉도, 포항, 속초, 묵호의 조위관측소에 대해서 위·경도 반경  $\pm 0.5^\circ$  (약 55km)의 범위 내의 T/P 관측값으로부터 해수면을 추출하였다. 속초와 묵호의 T/G 값은 지리적으로 인접하므로 두 곳의 관측값을 평균내어 사용하였다.

### 4. 결 과

아무런 처리과정을 거치지 않은 초기 T/P와 T/G의 해수면의 상관계수는 (a), (b), (c) 세 지역에서 각각 0.46, 0.26, 0.15로 모두 0.5 이하를 보인다(Fig. 2). 울릉도에서 비교적 높은 상관계수가 나타나는 이유는 결과에 큰 영향을 주는 조석모델이 근해보다는 대양에서 정확하기 때문인 것으로 사료된다. 울릉도의 경우 사이클 20과 사이클 60주변에서 T/G의 해수면들이 T/P보다 20cm 이상 높게 나타났고 사이클 40주변에서는 10cm 이상 낮게 나타났고, 포항의 경우 T/G의 해수면들이 사이클 20, 사이클 40과 사이클 60주변에서 20cm 이상 높게 나타났다. 속초/묵호의 경우 T/G의 해수면들이 사이클 50과

싸이클 60주변에서 20cm 이상 높게 나타났고 싸이클 185에서는 20cm 이상 낮게 나타났다.

본 연구에서는 200일 기준의 지역통과필터링 및 스펙트럼대비법의 두 가지 방법을 동시에 적용하여 T/G와 T/P 해수면의 공동 성분을 추출하였다. 알리아싱에 의한 고주파 성분을 제거하기 위해 푸리에 변환을 이용하여 저주파 통과 필터를 사용하였으며 T/G와 T/P 해수면이 일치한다는 전제하에 모든 파동수에서 이들 성분은 서로 양(+)의 대비 관계를 가져야 한다. 그러나 표에서 음영으로 표시된

Table 1. Amplitudes of ocean T/P tide in the frequency domain at Ulleung, Pohang, Sokcho/Mukho. Values in the dark boxes correspond to the periods of the six major tidal constituents.

Area Days	Ulleung	Pohang	Sokcho/ Mukho	Area Days	Ulleung	Pohang	Sokcho/ Mukho
1930.00	63.535	7.127	15.697	71.481	106.673	128.881	12.523
965.000	30.815	27.551	33.958	68.929	72.101	73.500	195.215
643.333	58.576	39.060	31.61	66.552	48.592	106.860	166.411
482.500	27.748	22.956	18.246	64.333	182.910	212.807	299.298
386.000	38.656	9.178	33.134	62.258	901.429	836.245	1023.029
321.667	32.767	27.223	27.042	60.313	166.441	11.920	70.373
275.714	31.447	33.216	21.472	58.485	165.245	227.141	325.801
241.250	42.141	37.144	13.424	56.765	29.612	87.801	110.985
214.444	16.963	27.218	20.48	55.143	67.763	96.243	81.674
193.00	7.031	36.828	15.049	53.611	44.814	45.848	49.886
175.455	397.308	357.796	420.703	52.162	75.497	69.552	55.119
160.83	36.754	9.115	52.972	50.789	114.608	106.707	113.239
148.462	32.667	18.670	58.038	49.487	143.562	151.827	238.466
137.857	12.599	32.060	24.336	48.250	54.609	68.394	110.443
128.667	27.268	44.338	40.219	47.073	51.946	35.813	81.149
120.62	25.011	9.383	52.378	45.952	421.795	439.277	443.274
113.529	6.400	34.608	34.267	44.884	28.614	74.801	40.260
107.222	30.191	26.652	67.065	43.864	19.849	18.310	23.884
101.579	26.489	13.930	22.469	42.889	18.629	41.507	26.681
96.500	14.849	38.769	40.119	41.957	24.413	43.632	4.852
91.905	51.247	40.312	86.205	41.064	19.581	28.196	21.758
87.727	99.811	46.153	176.446	41.064	32.037	29.908	32.436
83.913	41.026	75.519	59.978	39.388	4.762	40.778	22.982
80.417	31.485	46.232	58.790	38.60	18.288	0.667	27.465
77.200	50.317	47.610	37.474	37.843	23.522	18.325	26.773
74.231	77.911	62.175	61.064	37.115	15.919	14.621	9.814

부분의 경우는 상관계수가 음(-)으로, 이는 두 관측으로부터의 해수면이 서로 역으로 대비됨을 의미한다(Table 1). 따라서 본 연구에서는 울릉도에서 384일, 320일 주기, 포항에서 960일, 480일, 384일, 320일, 274.3일 주기, 그리고 속초/묵호에서 480일과 384일 주기의 성분을 제거하여 두 해수면의 상관관계를 향상시켰다. 특히 384일과 320일 주기가 역으로 높게 대비 됐는데 이는 173.19일 주기의 알리아싱

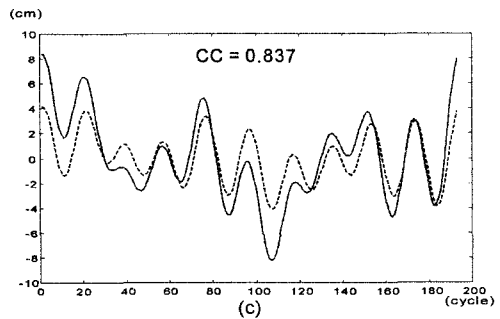
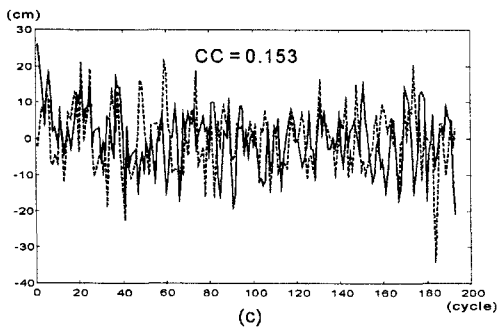
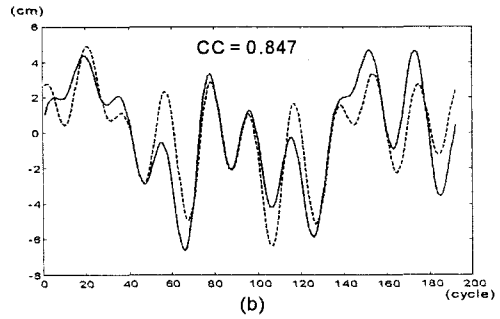
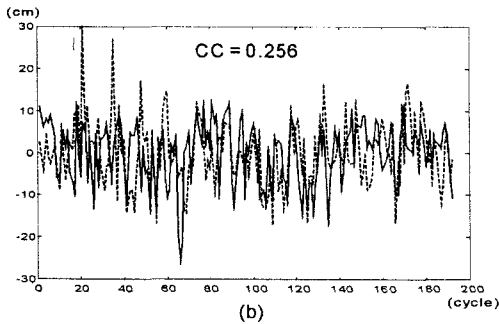
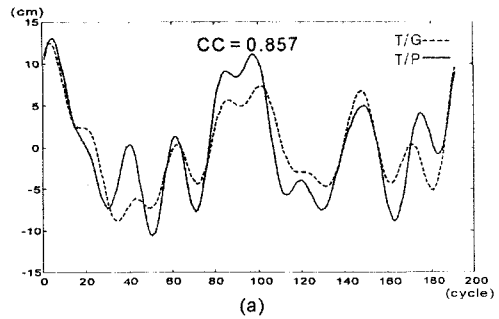
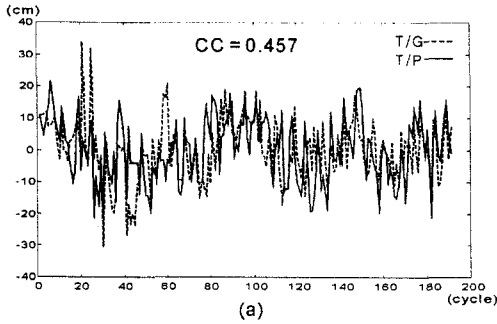


Fig. 2. Original sea surface height from T/P and T/G measurements at (a) Ulleung, (b) Pohang, and (c) Sokcho/Mukho sites.

Fig. 3. WCF with  $CC > 0$  after 200-day filtered sea surface height from T/P and T/G measurements at (a) Ulleung, (b) Pohang, and (c) Sokcho/Mukho sites.

을 나타내는 조석 분조가 173.19일의 두배인 346.38일 주기도 알리아싱을 나타내기 때문인 것으로 사료된다. Fig 3은 그 결과로 울릉도, 포항, 속초/묵호에서 두 해수면 사이의 상관계수는 각각 0.86, 0.85과 0.84로 87%, 227%, 460% 향상되었다. 울릉도, 포항, 속초/묵호 지역 모두에서 0.8이상의 상관관계를 보였으며 T/G와 T/P의 해수면들은 전 사이클에서 양(+)으로 대비되며 유사하게 나타났다. 그림 (a)울릉도인 경우 사이클 0~사이클 30과 사이클 140~사이클 160, 그림(b)포항인 경우 사이클 70~사이클 90과 사이클 130~사이클 140, 그리고 그림(c)속초/묵호인 경우 사이클 50~사이클 70과 사이클 170~사이클 180에서 거의 일치하였다.

## 5. 결론 및 토의

본 연구에서는 Topex/Poseidon(T/P) Merged Geophysical Data Record(MGDR)로부터 해수면을 추출한 후 이를 동해에서 Tide Gauge(T/G)의 결과와 비교하였다. T/P로부터 추출한 동해의 해수면을 동해 T/G로부터 추출된 해수면과 대비한 결과 관계수가 울릉도, 포항과 속초/묵호 각각 0.46, 0.26과 0.15 이었다. 울릉도가 해안에서 비교적 멀리 위치하기에 상관계수가 가장 높게 나온 것으로 사료되어 지며 해안보다는 대양에 보다 적절히 T/P자료가 사용될 수 있다. 저역통과필터를 이용하여 조석 모델에 의한 알리아싱을 제거하기 위해 200일을 기준으로 필터링을 적용하고 T/P와 T/G의 해수면들이 파도나 해류에 의해 불안정한 성분을 포함하므로 불안정한 성분을 제거하고 공통된 성분만을 선택하기 위해 스펙트럼대비법을 동시에 적용한 결과 울릉도, 포항과 속초/묵호의 상관계수가 0.86, 0.85와 0.84로 87%, 227%와 460% 향상되었다.

본 연구에서는 조석 알리아싱의 주기를 분석한 결과 Schlax and Chelton[1994]이 제시한 T/P의 조석 알리아싱 주기와 잘 일치함을 밝혔으며 저역통과필터링 적용 시 200일을 기준으로 하였기 때문에 알리아싱을 보이지 않는 성분들도 함께 제거하였다. 이러한 200일 필터링은 해수면 연구에서 일반적으로 사용되며 [Youn et al., 2000], 본 연구의 결과로부터 200일 이하의 조주파 성분을 일괄적으로 제거하기 보다는 각 각의 경우에 따라 제거되어야 할 성분들만을 골라서 제거하는 것이 바람직한 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서는 제시하지 않았으나, 저역통과필터링과 스펙트럼대비에 의해 제거된 성분들에 대한 정성, 정량적인 연구가 이루어져야 한다. 본 연구에서는 저역통과필터링을 적용하고 조석 알리아싱에 의한 성분을 제거한 경우 T/P 위성으로부터 추출된 해수면이 조석계의 결과와 잘 일치함을 보였고, 스펙트럼대비법을 동시에 적용할 경우 두 해수면이 가장 잘 대비될 수 있음을 밝혔다.

## 6. 참고문헌

- 윤용훈, 오임상, 김기현, 박용향, 동아시아 지역에서의 TOPEX/POSEIDON 고도 자료와 현장 해수면 자료와의 비교, Journal of the Korean Society of Oceanography, Vol. 5, No. 4, pp. 267-275, 2000.
- Bell, C., POL/PSMSL Tidal Analysis Software Kit 2000, Natural Environment Research Council, 1998.
- Fu, L.-L., and G. Pihos, Deyerming the response of sea level to atmospheric pressure forcing using Topex/Poseidon data, J. Geophysics. Res., v99, p24633-24 642, 1994.
- Fu, L.-L., E. J. Christeen, C.A. Yamarone, M. Lefebvre, Y. Menard, M. Dorrer, and P. Escudier, Topex/Poseidon mission overview, J. Geophys. Res., v99, p24369-24 382, 1994.
- Kim, J.W., Spectral correlation of satellite and airborne geopotential field measurements for lithospheric analysis, Ph.D. Dissertation (unpubl.), Dept. of Geological Sciences, The Ohio State University, 171p., 1996.
- Schlax, M.G., and D.B. Chelton, Aliased tidal errors in Topex/Poseidon sea surface height data, J. Geophys. Res., v99, p24761-24775, 1995.

---

주요어 : Altimeter, Topex/Poseidon, 해수면, 스펙트럼대비법

- 1) 세종대학교 지구정보과학과, 지구정보연구소
- 2) 연세대학교 지구시스템과학과
- 3) 현재 세종대학교 지구정보연구소