

Topex/Poseidon에서 관측된 동해 해수면의 주기특성 연구

황종선¹ · 민경덕¹ · 이준우¹ · 원종선¹ · 김정우^{2*}

¹연세대학교 지구시스템과학과, ²세종대학교 지구정보과학과 지구정보연구소

Spectral Characteristics of Sea Surface Height in the East Sea from Topex/Poseidon Altimeter Data

Jong Sun Hwang¹, Kyung Duk Min¹, Joon Woo Lee¹, Joong-Sun Won¹ and Jeong Woo Kim^{2*}

¹Dept. of Earth System Sciences, Yonsei University, Korea

²Research Institute of Geoinformatics & Geophysics and Dept. of Earth Sciences, Sejong University, Korea

We extracted sea surface heights(SSH) from the Topex/Poseidon(T/P) radar altimeter data to compare with the SSH estimated from in-situ tide gauges(T/G) at Ulleungdo, Pohang, and Sockcho/Mucko sites. Selection criteria such as wet/dry troposphere, ionosphere, and ocean tide were used to estimate accurate SSH. For time series analysis, the one-hour interval tide gauge SSHs were resampled at 10-day interval of the satellite SSHs. The ocean tide model applied in the altimeter data processing showed periodic aliasings of 175.5 day, 87.8 day, 62.3 day, 58.5 day, 49.5 day and 46.0 day, and, hence, the 200-day filtering was applied to reduce these spectral noises. Wavenumber correlation analysis was also applied to extract common components between the two SSHs, resulting in enhancing the correlation coefficient(CC) dramatically. The original CCs between the satellite and tide gauge SSHs are 0.46, 0.26, and 0.15, respectively. Ulleungdo shows the largest cc because the site is far from the coast resulting in the minimum error in the satellite observations. The CCs were then increased to 0.59, 0.30, and 0.30, respectively, after 200-day filtering, and to 0.69, 0.63, and 0.59 after removing inversely correlative components using wavenumber correlation analysis. The CCs were greatly increased by 87, 227, and 460% when the wavenumber correlation analysis was followed by 200-day filtering, resulting in the final CCs of 0.86, 0.85, 0.84, respectively. It was found that the best SSHs were estimated when the two methods were applied to the original data. The low-pass filtered T/P SSHs were found to be well correlated with the T/G SSHs from tide gauges, and the best correlation results were found when we applied both low-pass filtering and spectral correlation analysis to the original SSHs.

Key words: Topex/Poseidon, sea surface height, radar altimeter, ocean tide, spectral correlation analysis

Topex/Poseidon 위성의 레이더 고도계 관측값으로부터 동해의 해수면을 추출하여 울릉도, 포항과 속초/묵호의 조위계로부터 추출된 해수면과 비교하였다. 정확한 위성 해수면을 추출하기 위해 대류권, 전리층, 및 해양 조석값 등을 보정한 후, 한시간 간격의 조위계 자료를 위성자료에 맞추어 10일 간격으로 리샘플링하여 두 해수면의 시계열 분석을 실시하였고 이들을 통계적으로 비교하였다. 보정에 사용된 조석값에 대한 주기특성을 조사한 결과 175.5일, 87.7일, 62.3일, 58.5일, 49.5일과 46.0일 주기에서 알리아싱이 나타났고, 이들에 의한 영향을 제거하기 위해 200일을 기준으로 저역통과필터링을 적용하였다. 또한 파동수대비법을 적용하여 다양한 주파수를 주기별로 분석하고 두 해수면 사이의 공통된 성분을 추출하여 위성 해수면과 조위계 해수면과의 상관계수를 크게 향상시켰다. 울릉도, 포항, 속초/묵호에서 두 해수면 사이의 초기 상관계수는 각각 0.46, 0.26과 0.15로 울릉도에서의 값이 가장 큰 이유는 울릉도가 해안선에서 멀리 떨어진 곳이기 때문에 위성 관측값의 오차가 가장 작기 때문인 것으로 사료된다. 200일 기준의 필터링을 적용했을 때의 상관계수는 0.59, 0.30과 0.30으로 각각 28, 15, 100% 증가되었고, 두 해수면의 성분 중 서로 양(+)으로 대비되지 않는 성분을 제거한 후 상관계수가 각각 0.69, 0.63과 0.59로 50, 142, 293% 크게 증가되었다. 200일 필터링 및 파동수대비법을 동시에 적용한 결과 상관계수가 각각 0.86, 0.85와 0.84로 87%, 227%과 460% 증가되었다. 이로써 필터링과 파동수대비법을 동시에 사용하는 것이 정확한 해수면 추출의 가장 효과적인 방법으로 나타났다.

*Corresponding author: jwkim@sejong.ac.kr

동해에서 저역통과필터링을 적용할 경우 T/P 위성으로부터 추출된 해수면이 조석 알리아싱에 의한 성분을 제거한 경우 조석계의 결과와 잘 일치함을 보였고, 스펙트럼대비법을 동시에 적용할 경우 두 해수면이 가장 잘 대비될 수 있음을 밝혔다.

주요어: Topex/Poseidon, 해수면, 레이더 고도계, 조석, 스펙트럼대비법.

1. 서 론

인공위성 레이더 고도(Satellite radar altimetry, SRA)에 관한 연구는 1960년 초에 지구의 해양 환경을 연구하기 위하여 고안된 비영상 원격탐사 기술이다. 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 계산하고, 이를 지구물리학이나 해양학에 이용하는 것이 SRA이다. 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 3.2 cm의 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 1,336 km를 약 10일마다 같은 지점의 측정을 반복하도록 설계되었다. T/P를 이용한 기존의 연구는 전지구규모의 해수면변화에 대한 연구(Nerem, 1995), 기니아만에서의 T/P와 조위계의 비교 연구(Verstraete, 1995, 남인도양의 해수면 변화(Park and Gambèroni, 1995), 그리고 평균 해수면 결정에 관한 연구(Yi, 1995) 등이 있고, 국내 연구로는 동해 해수면 변화(Yoon, 1999) 등이 있는데, 주로 T/P 고도자료의 보정, 검증 그리고 유용성 평가 등을 다루고 있다.

본 연구에서는 T/P로부터 해수면을 정확히 추출하여 동해의 조위계(tide gauge, T/G)와 비교함으로써 추출된 해수면의 정확성을 검증하고, T/G와 T/P 해수면을 푸리에 변환에 의한 파동수영역(wavenumber domain)에서의 필터링과 대비법을 이용하여 비교한 후 T/P자료의 유용성을 동해에서 입증하였다.

2. 해수면 고도 계산

인공위성에 탑재된 고도계로부터 발사된 전자기파의

왕복 시간으로부터 인공위성과 해수면 사이의 거리(Altimeter height)를 측정하여 해수면이나 지오이드 높이를 계산할 수 있다. Fig. 1은 SRA의 원리를 모식적으로 그린 것으로, 우리가 이미 알고 있는 지구타원체로부터 인공위성까지의 거리(Orbit height)로부터 관측된 고도계의 높이를 제거함으로써 평균해수면(Mean SSH, MSSH)을 계산할 수 있다. 즉,

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

이다. 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(Ionosphere Correction), 대기권 내의 물분자와 기체분자에 의한 시간 지체 현상(Wet Troposphere Correction, Dry Troposphere Correction)등이 포함되며, 따라서 그와 같은 보정을 통해 인공위성과 해수면 사이의 거리(Corrected Altimeter Height)가 구해진다.

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

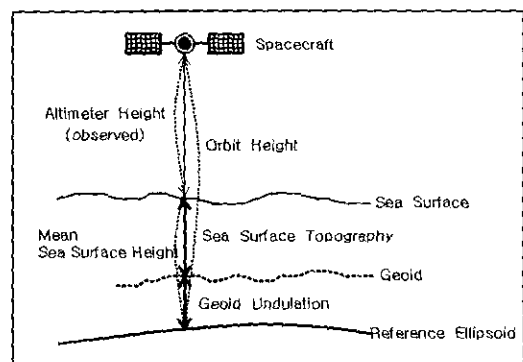


Fig. 1. Geometry of satellite radar altimetry (Kim, 1996).

+ Electromagnetic Bias

끝으로 해수면의 잔류값(residual SSH)을 계산하기 위해서는 식 (3)과 같이 지오이드와 조석 모델(Tide Effects) 및 기압에 의한 영향(Inverse Barometer)을 제거한 후 본 연구에 사용하였다.

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

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. 연구에 사용된 T/G 자료는 조위관측소 내에 설치된 우물형 조위계로 관측한 것으로, 이는 기계적으로 필터링 된 해수면 운동을 우물안 부표의 움직임에 따라 관측하는 방식이다. 비교 분석에 사용된 이들 각 관측점에 대한 위치는

Fig. 2에 도시되어 있다. Fig. 2에서 실선은 연구지역을 지나는 T/P의 궤도이다. 본 연구에서는 Bell(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 55 km)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 55 km)의 범위 내의 T/P 관측값으로부터 해수면을 추출하였다. 속초와 묵호의 T/G 값은 지리적으로 인접하므로 두 곳의 관측값을 평균내어 사용하였다.

4. 연구방법

본 연구에서는 T/P MGDR로부터 동해의 위의 수식을 적용하여 해수면을 추출하였고, 이를 검증하기 위하여 울릉도, 포항과 속초/묵호의 조위계(Tide Gauge, T/G)의 관측값과 비교하였다. 이때 자료의 신빙성을 높이기 위하여 T/P 관측값 중 Significant Wave Height가 0 m 이하이거나 15 m 이상인 경우의 값은 제거하였다(Yi, 1995).

우선 T/P와 T/G로부터 관측된 해수면을 통계적으로 비교하기 위하여 상관계수를 계산하였다. T/P 자료처리에 사용된 조석모델이 주기적인 알리아싱(aliasing)을 갖기 때문에(Schlx and Chelton, 1995) 이들의 파악하기 위해 푸리에변환을 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(Kim, 1996; von Frese *et al.*, 1997)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 일치

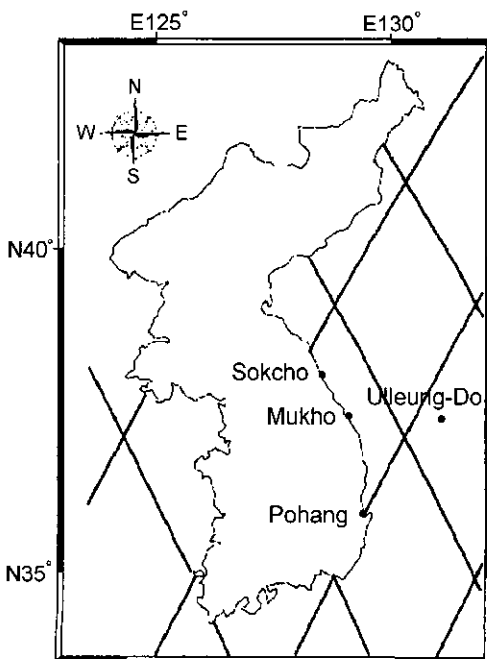


Fig. 2. Location of tide gauges and T/P passes.

할 수 있음을 보였다.

5. 결 과

본 연구에서는 위의 연구방법에서 언급했듯이 푸리에 변환을 이용한 저역통과필터링 및 파동수 대비법을 적용, 두 해수면을 비교 분석하였다. Figs. 3, 5, 6, 7은 T/G와 T/P로부터 계산된 해수면을 도시한 것으로 세 로축은 해수면(cm)이고 가로축은 사이클을 나타낸다. 각 사이클은 10일 동안의 관측값이고, 따라서 총 193 사이클, 즉 1992년 10월 8일과 1997년 12월 24일 사이의 1930일분의 관측값을 도시하였다. 또한 (a), (b),

(c)는 각 각 울릉도, 포항, 속초/묵호의 결과이다.

5.1. 초기 T/P 및 T/G 해수면의 대비

우선 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. 3). 울릉도에서 비교적 높은 상관계수가 나타나는 이유는 결과에 큰 영향을 주는 조석모델이 내해보다는 외해에서 정확하기 때문인 것으로 사료된다. 울릉도의 경우 사이클 20과 사이클 60주변에서 T/G의 해수면들이 T/P보다 20 cm 이상 높게 나타났고 사이클 40주변에서는 10 cm 이상 낮게 나타났고, 포항의 경우 T/G의

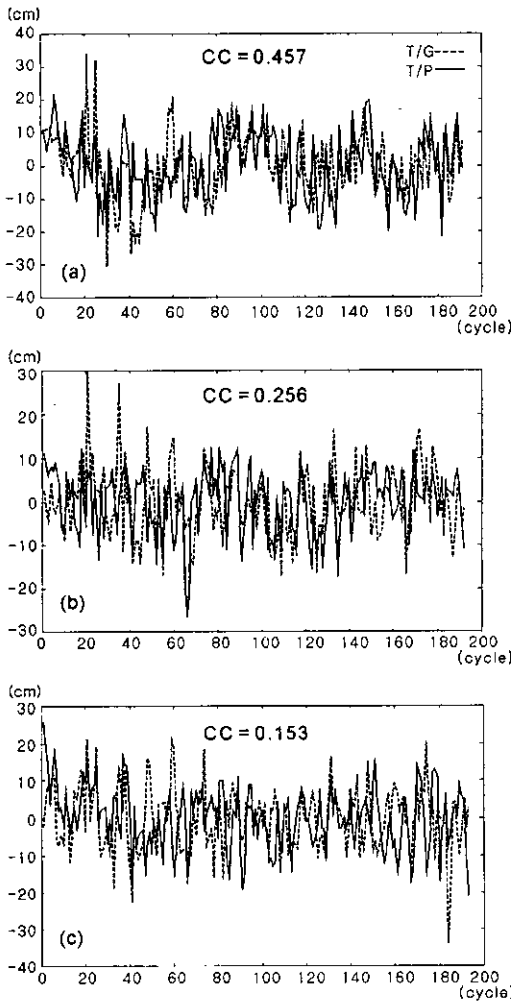


Fig. 3. Original sea surface height from T/P and T/G measurements at (a) Ulleungdo, (b) Pohang, and (c) Sokcho/Mukho sites.

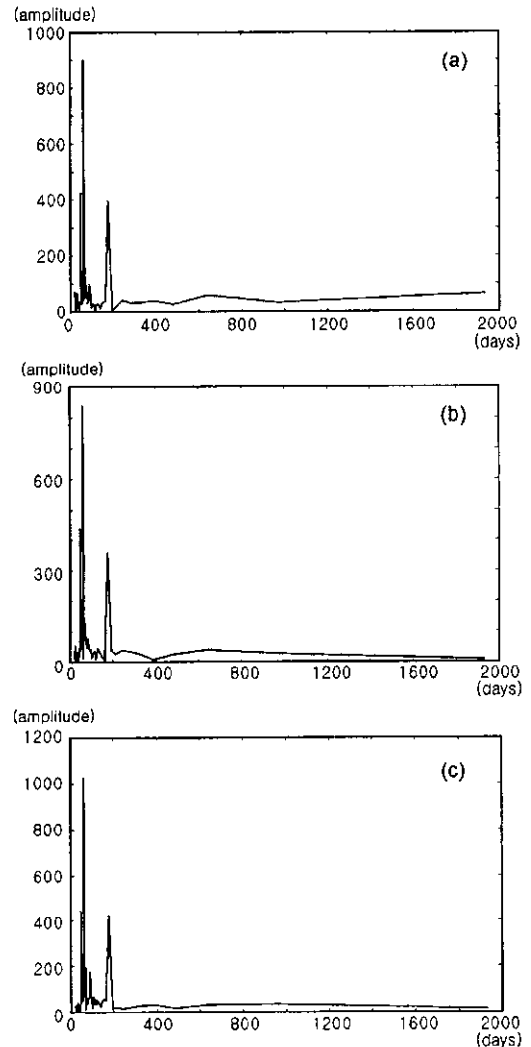


Fig. 4. Amplitude of T/P ocean tide in the frequency domain at (a) Ulleungdo, (b) Pohang, (c) Sokcho/Mukho sites.

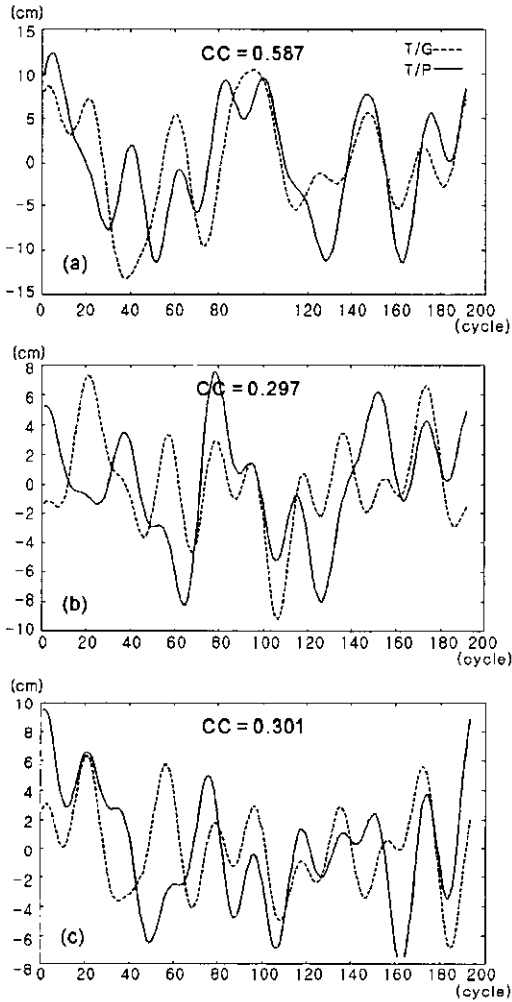


Fig. 5. 200-day filtered sea surface height from T/P and T/G measurements at (a) Ulleungdo, (b) Pohang, and (c) Sokcho/Mukho sites.

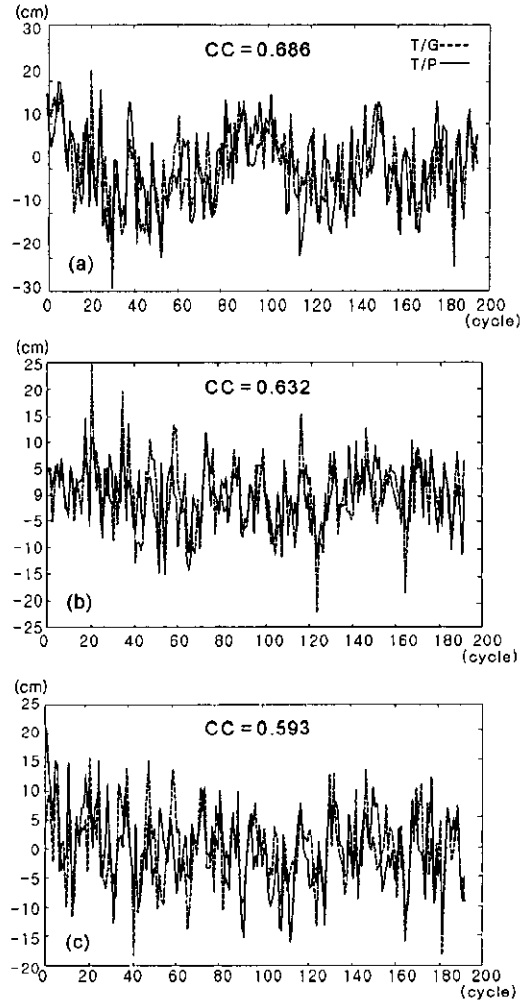


Fig. 6. Sea surface height after WCF with $CC > 0$ from T/P and T/G measurements at (a) Ulleungdo, (b) Pohang, and (c) Sokcho/Mukho sites.

해수면들이 사이클 20, 사이클 40과 사이클 60주변에서 20 cm 이상 높게 나타났다. 속초/묵호의 경우 T/G의 해수면들이 사이클 50과 사이클 60주변에서 20 cm 이상 높게 나타났고 사이클 185에서는 20 cm 이상 낮게 나타났다.

5.2. 저역통과필터링에 의한 조석 알리아싱 주기 제거 후의 대비

초기 T/G와 T/P의 상관계수를 비교해 본 결과 울릉도, 포항과 속초/묵호 모두 상관계수가 0.5이하로 T/P와 T/G가 차이를 보이는데 이는 T/P에 적용된 조석 모델이 중요한 원인으로 사료되어 울릉도, 포항, 속초/

묵호의 해수면 추출 시 T/P의 조석 모델(CSR3.0)을 푸리에변환을 이용하여 각 주기별로 조석의 진폭을 계산하였다. Fig. 4와 Table 1은 그 결과로, 세 지역에서의 조석의 진폭을 주기별로 나타내었다. 그림과 표에서 46, 62, 175일 주기에서 피크가 나타나고 나머지 주기는 비교적 안정된 성분을 나타냄을 알 수 있다.

한편 Table 2는 Schlax and Chelton(1994)이 제시한 T/P의 조석 알리아싱 주기(T_a)로, 이들이 Table 1의 결과에 매우 잘 반영되어 있음을 알 수 있다. Table 1에서 음영으로 표시된 175.455일 주기는 K_2 , 87.727일 주기는 P_2 , 62.258일 주기는 M_2 , 58.485일 주기는 S_2 , 49.487일 주기는 N_2 와 45.952일 주기는 O_2 와 일치한다. Fig. 4의 (a)울릉도에서 진폭이 901.4

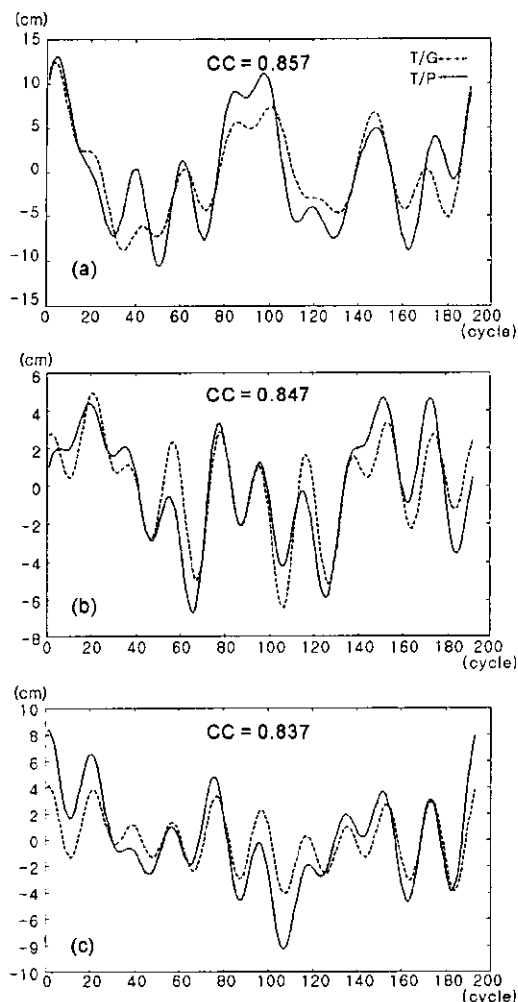


Fig. 7. WCF with $CC > 0$ after 200-day filtered sea surface height from T/P and T/G measurements at (a) Ulleungdo, (b) Pohang, and (c) Sokcho/Mukho sites.

mm로 가장 높게 나타나는 곳은 M_2 , 422.8 mm인 곳은 O_2 , 397.3 mm인 곳은 K_2 에 의한 알리아싱 영향으로 해석되고, (b)포항에서 진폭이 836.2 mm로 가장 높게 나타나는 곳은 M_2 , 439.2 mm인 곳은 O_2 , 357.8 mm인 곳은 K_2 에 의한 알리아싱 영향으로 해석되며, (c)속초/묵호에서 진폭이 1023.0 mm로 가장 높게 나타나는 곳은 M_2 , 443.2 mm인 곳은 O_2 , 420.7 mm인 곳은 K_2 에 의한 알리아싱 영향으로 해석된다. 따라서 알리아싱에 의한 고주파 성분을 제거하기 위해 푸리에 변환을 이용하여 저주파 통과 필터를 사용하였는데 M_2 , S_2 , N_2 , O_2 , K_2 와 P_2 에 의한 알리아싱을 제거하기 위해 가장 주기가 큰 K_2 의 알리아싱 주기인 173.19일

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

Days	Area	Ulleungdo	Pohang	Sokcho/Mukho
71.481		106.673	128.881	12.523
68.929		72.101	73.500	195.215
66.552		48.592	106.860	166.411
64.333		182.910	212.807	299.298
62.258		901.429	836.245	1023.029
60.313		166.441	11.920	70.373
58.485		165.245	227.141	325.801
56.765		29.612	87.801	110.985
55.143		67.763	96.243	81.674
53.611		44.814	45.848	49.886
52.162		75.497	69.552	55.119
50.789		114.608	106.707	113.239
49.487		143.562	151.827	238.466
48.250		54.609	68.394	110.443
47.073		51.946	35.813	81.149
45.952		421.795	439.277	443.274
44.884		28.614	74.801	40.260
43.864		19.849	18.310	23.884
42.889		18.629	41.507	26.681
41.957		24.413	43.632	4.852
41.064		19.581	28.196	21.758
41.064		32.037	29.908	32.436
39.388		4.762	40.778	22.982
38.60		18.288	0.667	27.465
37.843		23.522	18.325	26.773
37.115		15.919	14.621	9.814

보다 큰 200일을 기준으로 하였다. 200일보다 작은 주기의 고주파 성분을 제거하여 Fig. 5에 도시하였다. 울릉도, 포항, 속초/묵호에서의 T/P와 T/G의 해수면들 사이의 상관계수는 각각 0.59, 0.3, 0.3으로, 초기 T/G와 T/P의 해수면들에 대한 상관계수가 울릉도, 포항과 속초/묵호 세 곳 모두 28, 15, 100%의 상승을 보였다. Fig. 5에서 (a)울릉도의 경우 사이클 40 및 130 주변, (b)포항의 경우 사이클 20 및 60 주변, 그리고 (c)속초/묵호의 경우 사이클 50과 사이클 140주변에서 두 성분이 역으로 대비되었다.

5.3. 스펙트럼대비법에 의한 결과

200일 기준의 필터링 적용 후 T/G와 T/P의 상관계수가 울릉도가 0.59로 가장 높았지만 포항과 속초/묵호는 0.3으로 여전히 T/G와 T/P로부터 추출된 해수면에 차이가 있었다. 두 해수면의 차이를 일으키는 성분을

Table 1. Continued.

Days	Area	Ulleungdo	Pohang	Sokcho/ Mukho
1930.00		63.535	7.127	15.697
965.000		30.815	27.551	33.958
643.333		58.576	39.060	31.61
482.500		27.748	22.956	18.246
386.000		38.656	9.178	33.134
321.667		32.767	27.223	27.042
275.714		31.447	33.216	21.472
241.250		42.141	37.144	13.424
214.444		16.963	27.218	20.48
193.00		7.031	36.828	15.049
175.455		397.308	357.796	420.703
160.83		36.754	9.115	52.972
148.462		32.667	18.670	58.038
137.857		12.599	32.060	24.336
128.667		27.268	44.338	40.219
120.62		25.011	9.383	52.378
113.529		6.400	34.608	34.267
107.222		30.191	26.652	67.065
101.579		26.489	13.930	22.469
96.500		14.849	38.769	40.119
91.905		51.247	40.312	86.205
87.727		99.811	46.153	176.446
83.913		41.026	75.519	59.978
80.417		31.485	46.232	58.790
77.200		50.317	47.610	37.474
74.231		77.911	62.175	61.064

주기별로 분석하기 위해 스펙트럼대비법을 적용하였고, 결과는 Table 3과 같다. 이미 주기가 200일 보다 짧은 성분들은 제거되었으므로, Table 3에는 200일 보다 주기가 긴 성분들간의 상관계수만을 표시하였다. T/G 와 T/P 해수면이 일치한다는 전제하에 모든 파동수에서 이들 성분은 서로 양(+)의 대비 관계를 갖아야 한다. 그러나 표에서 음영으로 표시된 부분의 경우는 상관계수가 음(-)으로, 이는 두 관측으로부터의 해수면이 서로 역으로 대비됨을 의미한다. 따라서 본 연구에서

Table 2. Tidal periods and Topex alias periods (T_a) for the six major tidal constituents (modified from Schlax and Chelton, 1995).

Tide	Tidal Period (hour)	T_a (day)
M_2	12.420601	62.11
S_2	12.	58.74
N_2	12.658348	49.53
K_2	23.93447	173.19
O_2	25.819342	45.71
P_2	24.06589	88.89

Table 3. Correlation spectrum between T/P and T/G sea surface height.

Days (Periods)	Area		
	Ulleungdo	Sokcho/ Muckho	Pohang
1930	0.79	0.95	0.94
965	0.99	-0.84	0.05
643	0.96	0.79	0.91
482	0.79	-0.15	-0.06
386	-0.62	-0.97	-0.95
322	-0.65	-0.87	0.46
276	0.70	-0.25	0.97
241	0.50	0.99	0.93
214	0.95	0.92	0.95

는 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 알리아싱을 나타내는 K_2 조석 분조가 173.19일의 두배인 346.38일 주기에도 알리아싱을 나타내기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 6은 스펙트럼대비법을 적용한 결과로, 울릉도, 포항, 속초/묵호들의 상관계수는 초기값에 비해 각 각 0.68, 0.63와 0.59로 50%, 147%와 286%로 크게 향상되었다. Fig. 6(a)울릉도의 경우 사이클 20과 사이클

Table 4. The correlation between T/G and T/P sea surface height.

Data	Area		Ulleungdo		Pohang		Sokcho/Mukho	
	CC	Improvement(%)	CC	Improvement(%)	CC	Improvement(%)	CC	Improvement(%)
Original	0.46	0	0.26	0	0.15	0		
200-day filter	0.59	28	0.30	15	0.30	100		
WCA(CC>0)	0.69	50	0.63	142	0.59	293		
WCA(CC>0) after 200-day filter	0.86	87	0.85	227	0.84	460		

115주변에서 T/G의 해수면들이 T/P보다 약 20 cm 정도 높게 나타났고 싸이클 180주변에서 약 10 cm 정도로 낮게 나타났다. Fig. 6(b)포항의 경우 T/G의 해수면들이 싸이클 20, 싸이클 40, 싸이클 60과 싸이클 120주변에서 10 cm 높게 나타났고 싸이클 125와 싸이클 165주변에서 10 cm 낮게 나타났다. Fig. 6(c)속초/목호의 경우 T/G의 해수면들이 싸이클 50과 싸이클 60주변에서 10 cm 이상 높게 나타났고 싸이클 40에서는 10 cm 이상 낮게 나타났다. 초기값에서의 T/G와 T/P에서의 해수면들의 RMS오차가 울릉도, 포항과 속초/목호가 10.13, 9.12와 10.87 cm인 것에 비해 WCA 적용 후 6.93, 5.34와 5.96 cm으로 감소하였다.

5.4. 저역통과필터링과 스펙트럼대비법을 동시에 적용한 결과

이미 본 연구에서는 200일 기준의 저역통과필터링 및 스펙트럼대비법의 유용성이 입증된 만큼 이 두 가지 방법을 동시에 적용하여 T/G와 T/P 해수면의 공동 성분을 추출하였다. Fig. 7은 구 결과로 울릉도, 포항, 속초/목호에서 두 해수면 사이의 상관계수는 각각 0.86, 0.85과 0.84로 87%, 227%, 460% 향상되었다. 울릉도, 포항, 속초/목호 지역 모두에서 0.8이상의 상관관계를 보였으며 T/G와 T/P의 해수면들은 전 싸이클에서 양(+)으로 대비되며 유사하게 나타났다. Fig. 7(a) 울릉도인 경우 싸이클 0~싸이클 30과 싸이클 140~싸이클 160, Fig. 7(b)포항인 경우 싸이클 70~싸이클 90과 싸이클 130~싸이클 140, 그리고 Fig. 7(c) 속초/목호인 경우 싸이클 50~싸이클 70과 싸이클 170~싸이클 180에서 거의 일치하였다.

Table 5는 T/G와 T/P의 해수면의 RMS 오차를 나타낸 것으로 울릉도, 포항과 속초/목호의 T/G와 T/P의 해수면들의 RMS오차가 초기에는 10.13, 9.12 와 10.87 cm이나 저역통과필터링을 적용한 후 5.58, 4.13와 4.06 cm로 오차가 적어졌다. 또한 울릉도, 포항과 속초/목호의 T/G와 T/P의 해수면에 스펙트럼대비법을 적용

한 후의 RMS오차가 각각 6.93, 5.34와 5.96 cm로 저역통과필터링을 적용한 결과보다는 오차가 크게 나타났다. 끝으로 두 방법을 모두 적용한 결과 RMS오차가 각각 3.07, 1.59, 1.94 cm로 차이로 감소하였다.

6. 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 해수면을 T/G에 의한 해수면과 비교하기 위해 1992년 10월부터 1997년 12월까지 총 64개의 T/P MGDR로부터 10일 간격으로 되어 있는 총 192개의 싸이클에서 자료를 추출하였다. 울릉도, 포항, 속초, 목호의 조위관측소에 대해서 위?경도 반경 $\pm 0.5^\circ$ (약 55 km)의 범위 내의 T/P 관측값으로부터 해수면을 추출하였다.

T/P로부터 추출한 동해의 해수면을 동해 T/G로부터 추출된 해수면과 대비한 결과 상관계수가 울릉도, 포항과 속초/목호 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 조석모델에 의한 알리아싱을 제거하기 위해 200일을 기준으로 필터링을 한 결과 울릉도, 포항과 속초/목호의 상관계수가 각각 0.59, 0.30와 0.30로 28%, 15%와 100%로 상승하였다. T/P와 T/G의 해수면들이 파도나 해류에 의해 불안정한 성분을 포함하므로 불안정한 성분을 제거하고 공통된 성분만을 선택하기 위해 스펙트럼대비법을 적용한 결과 울릉도, 포항과 속초/목호의 상관계수가 각각 0.69, 0.63와 0.59로 50, 142와 293%로 증가하였다. 끝으로 저역통과필터링과 스펙트럼대비법을 동시에 적용한 결과 울릉도, 포항과 속초/목호의 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 밝혔다. 즉, 175.455일 주기는 K_2 , 87.727일 주기는 P_2 , 62.258일 주기는 M_2 , 58.485일 주기는 S_2 , 49.487일 주기는 N_2 와 45.952일 주기는 O_2 와 일치하였다. 그러나 저역통과필터링 적용 시 200일을 기준으로 하였기 때문에 알리아싱을 보이지 않는 성분들도 함께 제거하였다. 이러한 200일 필터링은 해수면 연구에서 일반적으로 사용되며 (윤용훈

Table 5. The root mean square (RMS) difference between T/G and T/P sea surface height (unit : cm).

Data \ Area	Ulleungdo	Pohang	Sokcho/ Mukho
Original	10.13	9.12	10.87
200-day filter	5.58	4.13	4.06
WCA (CC>0)	6.93	5.34	5.96
WCA (CC>0) after 200-day filter	3.07	1.59	1.94

등, 2000), 본 연구의 결과로부터 200일 이하의 조주파 성분을 일괄적으로 제거하기 보다는 각각의 경우에 따라 제거되어야 할 성분들만을 골라서 제거하는 것이 바람직한 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서는 제시하지 않았으나, 지역통과필터링과 스펙트럼대비에 의해 제거된 성분들에 대한 정성, 정량적인 연구가 이루어져야 한다. 본 연구에서는 지역통과필터링을 적용할 경우 T/P 위성으로부터 추출된 해수면이 조석 알리아싱에 의한 성분을 제거한 경우 조석계의 결과와 잘 일치함을 보였고, 스펙트럼대비법을 동시에 적용할 경우 두 해수면이 가장 잘 대비될 수 있음을 밝혔다.

사 사

자료 처리를 도와준 강성철, 김나영에게 감사하며, 본 연구는 과학기술부 기술개발용역사업의 결과임을 밝힙니다.

참고문헌

윤용훈, 오임상, 김기현, 박용향 (2000) 동아시아 지역에서 의 TOPEX/POSEIDON 고도 자료와 현장 해수면 자료와의 비교, *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 5권, pp. 267-275.

- Bell, C. (1998) POL/PSMSL Tidal Analysis Software Kit 2000, Natural Environment Research Council.
- Fu, L.-L., Christeen E.J., Yamarone C.A., Lefebvre M., Menard Y., Dorrer M., and Escudier P. (1994) Topex/Poseidon mission overview, *J. Geophys. Res.*, v. 99, p24369-24382.
- Kim, J.W. (1996) 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.
- Park, Y.H. and Gamberoni L. (1995) Large-scale circulation and its variability in the south Indian Ocean from Topex/Poseidon altimetry, *J. Geophys. Res.*, v. 100, p. 24911-24 929.
- Schlax, M.G. and Chelton D.B. (1995) Aliased tidal errors in Topex/Poseidon sea surface height data, *J. Geophys. Res.*, v. 99, p. 24761-24775.
- Verstraete, J.M. (1995) Comparison of Topex/Poseidon altimetry and in situ sea level data at Sao Tome Island, Gulf of Guinea, *J. Geophys. Res.*, v. 100, p. 25129-25134.
- von Frese, R.R.B., Jones, M.B., Kim, J.W. and Kim, J.-H. (1997) Analysis of anomaly correlations, *Geophysics*, v. 62, p. 342-351.
- Yi, Y. (1995) Determination of Gridded Mean Sea Surface from Topex, Ers-1 and Geosat altimeter data, Rep. 434, Dept. Geod. Sci. Surv., The Ohio State Univ., Columbus.
- Yoon, H.J. (1999) Sea level variations in the east asian marginal seas by Topex/Poseidon altimeter data, *Bull. Yosu Nat'l. Univ.* v. 14, p. 601-606.

2001년 6월 8일 원고접수, 2001년 8월 14일 게재승인.