

## 남인도양에서의 Topex/Poseidon sea surface heights와 tide gauge sea levels간의 비교

윤 홍 주  
기상연구소 원격탐사연구실

## Comparison of Topex/Poseidon Sea Surface Heights with Tide Gauge Sea Levels in the South Indian Ocean

Hong-Joo YOON

Remote Sensing Research Laboratory, Meteorological Research Institute, Seoul 156-720, Korea

Topex/Poseidon sea surface heights are compared to tide gauge sea levels in the South Indian Ocean in the period of January 1993 to December 1995. A user's handbook (AVISO) for processing sea surface height data was used in this study. Topex/Poseidon sea surface heights were obtained from satellite data at the proximity of tide gauge stations. These data were reproduced by a linear interpolation with the interval of 10 days and were processed by the Gaussian filter with a 60-day window. The tide gauge sea levels were obtained in the same manner as the satellite data. The main results on RMS (Root-Mean-Square) and CORR (CORrelation coefficient) in our study were shown as follows: 1) on the characteristics between two data (in-situ and model data), the results (RMS=2.96 cm & CORR=92% in the Amsterdam plateau, and RMS=3.45 cm & CORR=59% in the Crozet plateau) of the comparison of Topex/Poseidon sea surface heights with tide gauge sea levels, which was calculated by in-situ data of observed station, showed generally low values in RMS and high values in CORR against to the results (RMS=4.69 cm & CORR=79% in the Amsterdam plateau, and RMS=6.29 cm & CORR=49% in the Crozet plateau) of the comparison of Topex/Poseidon sea surface heights with tide gauge sea levels, which was calculated by model data of ECMWF (European Center for Medium-range Weather Forecasting), and 2) on the characteristics between two areas (Kerguelen plateau and island), the results (RMS=3.28 cm & CORR=54% in the Kerguelen plateau) of open sea area showed low values in RMS and high values in CORR against to the results (RMS=5.71 cm & CORR=38% in the Kerguelen island) of coast area, respectively.

**Key words:** signal treatment, Topex/Poseidon sea surface heights, tide gauge sea levels

### 서 론

Topex/Poseidon위성의 고도계 (altimeter radar)는 해양표면에서 위성까지의 거리 (altimeter range)와 기준 엘립소이드 (ellipsoid)에 대한 위성높이 (orbit height)간의 차이로부터 해수면높이를 측정한다. 따라서 해수면 (sea surface height) 혹은 역학고도 (dynamic topography height)는 해수면높이에 지오이드 (geoid)를 보정함으로써 구할 수 있다 (Yoon et al., 1998). 위성의 고도계자료 (altimeter data)는 연속 시간별로 해양표면 임의점에서 조사된 해수면을 측정한다. 그리고 해저에 설치된 압력계에 의해서 얻어진 자료와 해면기압 자료를 동시에 이용하여 임의 어떤 지역의 고려된 지점에 대한 해수면 (sea level) 를 알 수 있다. 이때 이 값은 위성고도계에 의해서 평가되는 값에 대해서는 독립적인 자료이다.

현재까지 본 연구와 관련되는 유사한 연구들로서는 Geosat위성의 고도계자료를 이용한 경우는 Tai et al. (1989), Cheney et al. (1989), Wyrski와 Mitchum (1990), Harangozo et al (1993) 그리고 Chao et al. (1993) 등이 있으며, 또한 Topex/Poseidon위성의 고도계자료를 이용한 경우는 Journal of Geophysical Research가 특별호로 발간한 Geophysical Evaluation (1994)이 있다. 이 특별호에는 Topex/Poseidon위성의 고도계자료와 관련된 많은 연구들이 보고되어져 있다.

본 연구의 목적은 남인도양지역내 위성자료와 현장자료 (혹은 모델자료)간의 비교를 통한 상관성을 파악하고 이해하는데 있다.

이때 위성해수면이란 위성이 제공해주는 해수면을, 현장해수면이란 현장 해저압력자료 (해저에 압력계를 설치하여 얻은 압력자료)와 현장 대기압자료 (현장에서 관측한 자료)로부터 구한 해수면 그리고 모델해수면이란 해저압력자료와 모델 대기압자료 (위성이 제공해주는 모델자료)로부터 구한 해수면을 각각 의미한다.

### 자료 및 방법

남인도양 암스테르담-크호제트-케르젤른지역 (Fig. 1)에서의 해수면변화를 연구하기 위하여, Topex/Poseidon위성 운행 (mission) 이후 3년 (11-121 cycles)동안의 위성해수면자료와 같은 기간동안에 대하여 계산한 현장해수면자료, 모델해수면자료 그리고 Argos 해수면자료를 상호비교하였다. 이때 조사대상지역을 대지지역 (plateau area)과 연안지역 (coast area)으로 나눌수 있는데 (Fig. 2), 대지지역의 경우에는 해저에 압력계를 설치하여 얻은 해저압력자료를 이용했다. 이때 대지지역은 연안지역과는 달리 현장에서 관측된 대기압력자료를 구할 수 없는 관계로 같은 지점에 대하여 위성이 제공해주는 모델값인 대기압력자료 (혹은 프랑스기상국 [METEO-FRANCE] 기상관측소에서 현장 관측한 대기압력자료)을 이용하여 대지지역에서의 해수면을 구하였다. 이때 ECMWF (European Center for Medium-range Weather Forecasting)의 모델이 사용되었다. 그리고 연안지역의 경우에는 Argos위성이 동시에 제공해주는 대기압력자료 및 해저압력자료를 이용해서 연안지역에서의 해수면을 구하였다.

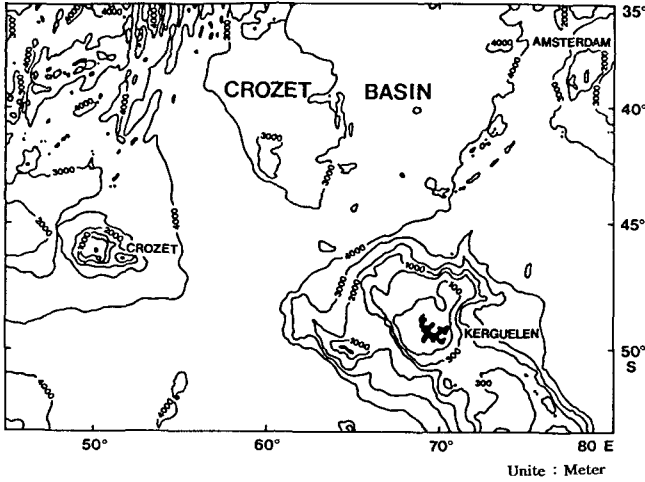


Fig. 1. Amsterdam-Crozet-Kerguelen area of the South Indian Ocean.

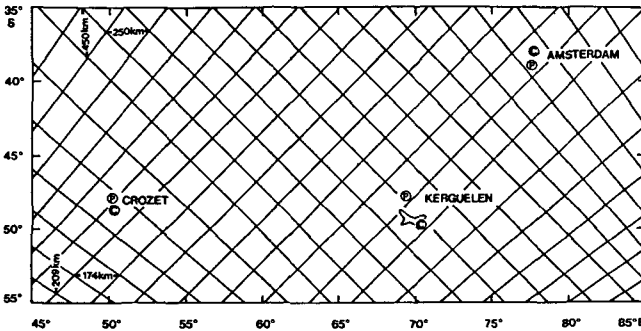


Fig. 2. Ground tracks of Topex/Poseidon and positions of observed stations. © and □ present tide gauge in coast and plateau area, respectively.

위성자료로부터의 해수면 (Topex/Poseidon sea surface height:  $\zeta^{TP}$ )을 구하기 위해서는 여러 가지의 잡음 신호들을 제거하여야 한다. 위성 고도계는 위성으로부터 마이크로파를 발사하고 이 파가 해양표면에 도달 및 반사되어 다시 위성으로 돌아오는 왕복시간을 계산하여 최종적으로 해수면을 계산한다. 이때 대기의 영향에 의하여 해수면이 왜곡되므로 이러한 오차를 보정해주어야 한다. 즉 마이크로파가 이온권, 건조 및 습윤 성층권 그리고 대류권을 각각 지나면서 발생하는 신호적인 잡음가지게 되는데 개발된 여러 가지 알고리즘들을 사용하여 이러한 대기 기인하는 오차들을 제거하여야만 한다. 또한 해양-대기 경계층에서 발생하는 전자기적 잡음도 제거하여야 한다. 이렇게 함으로써 해수면을 구하게 된다. 그러나 우리의 관심 거리는 장주기에 걸친 해수면 변화를 알고자하는 것이므로 해수면에 직접적으로 영향을 미치는 여러 가지 조석에 기인하는 해수면의 변화값 (일반적으로 순수한 해수면 변화 양상을 파악하기 위해서 해양조, 극조, 고체조 등등은 제거하여야 한다. 해수면 변화를 연구할 때는 조석 신호를 하나의 신호적 잡음으로 처리한다. 이때 물론 해면에 작용하는 대기압도 잡음으로 생각한다)들을 제거하여야 한다. 이 중 해양조는 해수면 변화에 가장 큰 기여를 하기때문에 해양조에 대한 정확한 변화값을 산출하여 이 값을 해수면으로부터 제거함

으로서 최종적으로 원하는 순수 해수면을 구할 수 있게 된다 (AVISO, 1994a, 1994b, Yoon et al., 1998). 본 연구에서는 연안 지역 및 원해지역에 관계 없이 정도 높은 값을 제공해주는 불란서 그르노블대학의 해양조모델인 CEFMO (Code d'Element Finis pour Maree Oceanique)모델을 이용했다 (Le Provost et al., 1994a, 1994b). 위성자료는 위도상 해저압력자료 조사지점의 가장 근접한 곳에서 조사된 값이다 (Mitchum, 1994). 해저에 설치된 압력계로 구한 해저압력자료를 가지고 해수면을 알기 위해서는 대기압력자료가 필요한데, 본 연구에서는 세종류의 대기압력자료 (기상관측소의 현장자료, ECMWF의 모델자료 그리고 Argos의 위성자료)들을 사용했는데, 이때 계산된 해수면 높이 (Tide Gauge sea level)를 각각 그리고  $\zeta^{in-situ}$ ,  $\zeta^{Model}$  그리고  $\zeta^{Argos}$ 로 나타내었다. 이와같이 3가지로 나누어서 해수면을 구한 것은 Argos위성은 연안지역에서 해저압력자료와 대기압력자료가 동시에 제공하므로 해수면을 구하는데 어려움은 없으나 대지지역의 경우는 해저압력자료 뿐이므로 위성이 이 지역을 근접하여 지날 때 제공하는 ECMWF모델의 대기압력자료 혹은 이 지역에 근접한 기상관측소의 현장 대기압력자료를 사용할 수밖에 없었다.

해저압력과 대기압력의 관계로부터 해수면을 구할 수 있다. 해저압력  $P_b(t)$ 는 대기압력  $P_a(t)$ 에 의존하는데, 정수압방정식 (hydrostatic equation)은 다음과 같이 표현된다.

$$P_b(t) = \rho g H + P_a(t)$$

$$H = \bar{h} + h_s(t)$$

여기서  $\rho$ 는 해수밀도,  $g$ 는 중력가속도,  $\bar{h}$ 는 해수평균수심,  $h_s(t)$ 는 시간함수로서의 해수면변화 그리고  $H$ 는 해수의 총수심이다. 따라서  $h_s(t)$ 와  $h_i(t)$ 는 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$h_s(t) = \frac{P_b(t) - P_a(t)}{\rho g} - \bar{h}$$

$$= \frac{P_b(t) - P_a(t)}{\rho g} - \frac{\bar{P}_b(t) - \bar{P}_a(t)}{\rho g}$$

$$\bar{h} = \frac{\bar{P}_b(t) - \bar{P}_a(t)}{\rho g}$$

$$= \frac{dP_b(t) - dP_a(t)}{\rho g}$$

$$h_i(t) = - \frac{P_b(t) - \bar{P}_a(t)}{\rho g}$$

$$= - \frac{dP_a(t)}{\rho g}$$

$$dP_b(t) = P_b(t) - \bar{P}_b(t)$$

$$dP_a(t) = P_a(t) - \bar{P}_a(t)$$

즉, 위성해수면과 함께 위의 정수압방정식을 이용해서 각 조사지점에 따른 여러 해수면들을 편의상 Argos해수면, 현장해수면 그리고

모델해수면들로 표현하여 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\zeta^{T/P}$$

$$\zeta^{Argos} = \zeta_b^{Argos} + \zeta_a^{Argos}$$

$$\zeta^{In-situ} = \zeta_b^{Plateau} + \zeta_a^{In-situ}$$

$$\zeta^{Model} = \zeta_b^{Plateau} + \zeta_a^{Model}$$

여기서  $\zeta^{T/P}$ 는 Topex/Poseidon에 의한 해수면,  $\zeta^{Argos}$ 는 Argos조사점에서의 해수면,  $\zeta_b^{Argos}$ 는 Argos조사점의 해저압력에 의한 해수위변위,  $\zeta_a^{Argos}$ 는 Argos조사점의 대기압력에 의한 해수위변위,  $\zeta^{In-situ}$ 는 기상관측소 조사점에서의 해수면,  $\zeta_b^{Plateau}$ 는 해저대지 조사점(암스테르담은 350 m, 크호제트는 150 m 그리고 케르젤른은 180 m이다)의 해저압력에 의한 해수위변위,  $\zeta_a^{In-situ}$ 는 기상관측소 조사점의 대기압력에 의한 해수위변위,  $\zeta^{Model}$ 는 ECMWF모델에 의한 해수면 그리고  $\zeta_a^{Model}$ 는 ECMWF모델의 대기압력에 의한 해수위변위들을 각각 나타낸다.

이어서 위성해수면 및 현장해수면을 선형보간법 (linear interpolation)을 사용하여 두자료를 같이 10일간격으로 표본 추출한 다음, 60일창의 가우시안필터 (gaussian filter)로 처리하여 최종적으로 두자료를 상호비교하였다. 이때 60일을 적용한 것은 두가지 이유로 설명할 수 있다. 첫째로 Topex/Poseidon 위성은 그 반복주기가 약 10일인데 이러한 10일간격의 자료를 가지고 해수면 변화에 우세하게 기여하는  $M_2$ 성분을 구하기 위해서는 최소한 60일 이상의 조사된 자료가 필요하게 된다. 다시말해서 상호비교하고자 하는 두자료에 대해서 60일창을 가지고 동시에 필터링을 하므로써  $M_2$ 성분 이하의 단주기 조석성분들이 제거되어 같은 조건하에서 상호비교가 가능하게 된다. 둘째로 본 연구의 근본적인 목적은 기후변화와 관련하여 장주기에 걸친 해수면 변화의 특성을 알고자 하는 것으로서 60일 이하의 단주기에 대한 해수면 변화는 고려대상에서 제외되기 때문이다 (Yoon, 1997).

결과 및 고찰

암스테르담 대지지역과 썬썰섬 지역

Fig. 3a는 암스테르담 대지지역과 썬썰섬 지역에서의 여러 조사지점들을 나타낸다. AMSTERDAM은 암스테르담대지의 해저압력 조사점 (37.90°S, 77.58°E), METEO는 기상관측소의 대기압력 조사점 (37.80°S, 77.57°E) 그리고 N°422 조사점 (37.9105°S, 77.4228°E)은 Topex/Poseidon위성의 지상궤적 (ground track) 내의 해수면 조사점들을 각각 나타낸다. St. PAUL은 썬썰섬연안지역에서의 Argos위성에 의한 해저 및 대기압력 조사점 (38.70°S, 77.53°E) 그리고 N°406 (38.7000°S, 76.8904°E)과 N°115 (38.7232°S, 79.0280°E)는 Topex/Poseidon위성의 지상궤적 내의 해수면 조사점들을 각각 나타낸다. 이때의 지상궤적은 track 103이 상승궤적 (ascending ground track), track 118이 하강궤적 (descending ground track)을 각각 나타낸다. 그리고 Fig. 3b와 3c는 60일창을 가지는 가우시안필터로 처리한 후의 암스테르담대지와 썬썰섬에서의

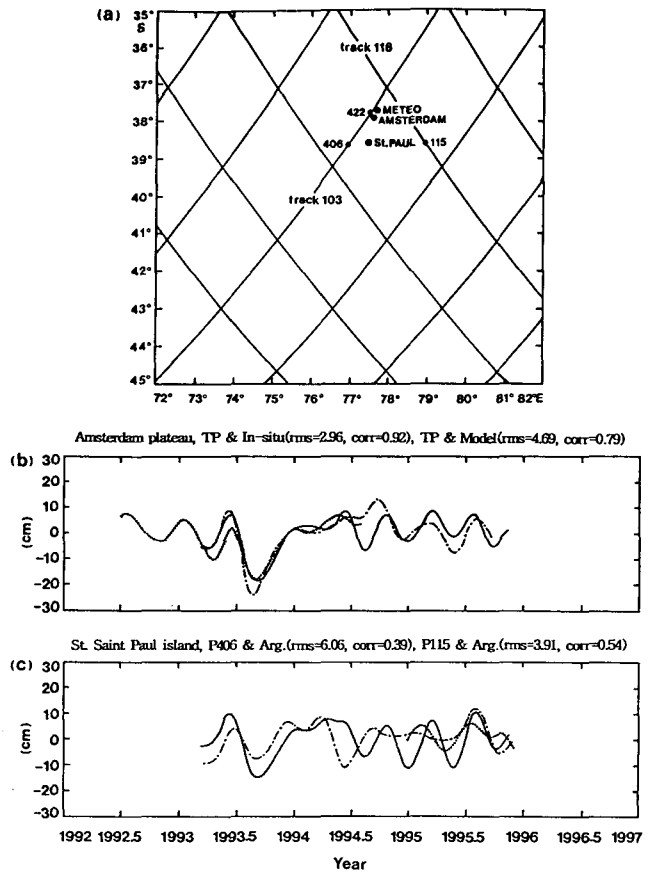


Fig. 3. (a) Positions of observed points in Topex/Poseidon (N°422 and 406 of ascending ground track N°103, and N°115 of descending ground track N°118), plateau station (AMS) and coast station (METEO and St. Paul-ARGOS), respectively. (b) Comparison of Topex/Poseidon sea surface heights ( $\zeta_{AP}^{T/P}$ , —) and Tide Gauge sea levels ( $\zeta_{AP}^{In-situ}$ , .....;  $\zeta_{AP}^{Model}$ , -.-) in Amsterdam plateau area. (c) Comparison of Topex/Poseidon sea surface heights ( $\zeta_{SC}^{T/P406}$ , —;  $\zeta_{SC}^{T/P115}$ , -.-) and Tide Gauge sea levels ( $\zeta_{SC}^{Argos}$ , ..... ) in St. Paul island area. Here, TP, ME and EC are T/P as satellite data, METEO as in-situ data and ECMWF as model data, respectively.

위성해수면과 계산된 해수면 (현장해수면 혹은 모델해수면)간의 비교를 위한 시간별 시리즈를 각각 나타낸다.

암스테르담 대지지역의 경우를 보면 (Fig. 3b), 위성해수면  $\zeta_{AP}^{T/P}$ 와 현장해수면  $\zeta_{AP}^{In-situ} = \zeta_b^{Plateau} - \zeta_a^{In-situ}$ (암스테르담대지의 해저압력 및 최근접점에 위치한 기상관측소의 대기압력들로부터 구한 해수면) 간의 비교에서는 RMS가 2.96 cm, 상관계수는 0.92, 그리고 위성해수면  $\zeta_{AP}^{T/P}$ 와 모델해수면  $\zeta_{AP}^{Model} = \zeta_b^{Plateau} + \zeta_a^{Model}$ (암스테르담의 해저압력과 ECMWF의 대기압력들로부터 구한 해수면)간의 비교에서는 RMS가 4.69 cm, 상관계수는 0.79로 각각 나타났는데 전체적으로 좋은 상관성을 보여주었다. 위성해수면  $\zeta_{AP}^{T/P}$ 와의 비교에 대해서, 기상관측소의 대기압력으로 계산된 현장해수면  $\zeta_{AP}^{In-situ}$ 가 ECMWF의 대기압력으로 구한 모델해수면  $\zeta_{AP}^{Model}$ 보다 더 좋은 상관성을 보인다는 것을 잘 알 수 있다. 즉, 이것은

기상관측소의 대기압력자료가 실제 현장에서 관측되어졌고 그리고 암스테르담대지의 저층압력 관측점에 매우 근접했기 때문에 좋은 상관성을 보인 것으로 생각되어 진다. 반면에 ECMWF모델이 제공한 대기압력자료가 상대적으로 낮은 상관성을 보이는 것은 모델자료 자체의 부정확한 값 때문인 것으로 사료된다.

쌍뿔섬지역의 경우를 보면 (Fig. 3c), 암스테르담대지에 비해서 상대적으로 좋은 상관성을 보이지 않았다. 이때 N°406의 위성해수면  $\zeta_{sc}^{T/P}$ 와 Argos해수면  $\zeta_{sc}^{Argos} = \zeta_b^{Argos} + \zeta_a^{Argos}$  (Argos 위성의 해저 및 대기압력들로부터 구한 해수면)간의 비교에서 RMS는 6.06 cm, 상관계수는 0.39, 그리고 N°115의 위성해수면  $\zeta_{sc}^{T/P}$ 와 Argos해수면  $\zeta_{sc}^{Argos}$ 간의 비교에서는 RMS는 3.91 cm, 상관계수는 0.54를 각각 나타내었다. Argos해수면을 기준으로 할때, Topex/Poseidon에 의한 조사점 간에 그 결과가 다르게 나타난다는 것을 잘 알 수 있는데, 이것은 Argos해수면 조사점과 위성해수면 조사점 간 거리의 차에 기인한 것으로 보여진다. 즉, N°406은 Argos조사점에 대해서 55.41 Km의 거리를, N°115는 164.78 Km의 거리를 각각 나타내기 때문이다. 부가적으로 Argos해수면  $\zeta_{sc}^{Argos}$ 의 변화 (oscillation)가 대체로 두 위성해수면  $\zeta_{sc}^{T/P}$  (N°406과 N°115)의 변화 보다 작은 것을 알 수 있다. 이것은 쌍뿔섬 주변해안의 지형적 특성때문으로 사료된다.

크호제트 대지지역

Fig. 4a는 크호제트 대지지역과 관련된 조사지점들을 나타내는데, CROZET는 크호제트 해저대지의 해저압력 조사점 (46.399°S, 51.942°E), METEO는 기상관측소의 대기압력 조사점 (46.43°S, 51.87°E), 그리고 N°223 (46.4081°S, 51.1934°E)은 Topex/Poseidon위성의 해수면 조사점을 각각 나타낸다. 이때 지상궤적에서 track 222는 하강궤적을 나타낸다. 위성해수면  $\zeta_{CP}^{T/P}$ , 모델해수면  $\zeta_{CP}^{Model} = \zeta_b^{Plateau} + \zeta_a^{Model}$  (크호제트대지의 해저압력과 위성조사점 N°223의 모델대기압력들로부터 구한 해수면) 그리고 현장해수면  $\zeta_{CP}^{In-situ} = \zeta_b^{Plateau} + \zeta_a^{In-situ}$  (크호제트대지의 해저압력과 기상관측소의 현장대기압력들로부터 구한 해수면)들에 대한 시간에 따른 해수면변화를 Fig. 4b에 나타내었다.  $\zeta_{CP}^{T/P}$ 와  $\zeta_{CP}^{In-situ}$  간의 비교에서 RMS는 3.45 cm, 상관계수는 0.39를, 그리고  $\zeta_{CP}^{T/P}$ 와  $\zeta_{CP}^{Model}$  간의 비교에서 RMS는 6.39 cm, 상관계수는 0.49를 각각 나타내었다. 위성해수면 조사점과 모델해수면 조사점 간의 거리가 57.3 Km나 떨어져 있음에도 불구하고 전 조사기간에 걸쳐서 두 해수면의 변화는 대체로 유사한 형태를 보였다. 이것은 해양에서 최소한 거리가 110 Km (1° 범위 내의 같은 위도에서는 역학적 특성 (특히 해수면의 변화)이 일반적으로 유사하게 나타난다는 것을 의미한다.

케르겔른 대지지역

Fig. 5a는 케르겔른 대지지역과 관련된 여러 조사지점들을 나타낸다. KERGUELEN은 케르겔른 해저대지의 해저압력 조사점 (47.66°S, 69.36°E) 그리고 N°302 (47.6471°S, 69.4208°E)는 하강지상궤적 track 170 내에서의 위성해수면 조사점을 각각 나타낸다.

위성해수면  $\zeta_{KP}^{T/P}$ 와 모델해수면  $\zeta_{KP}^{Model} = \zeta_b^{Plateau} + \zeta_a^{Model}$  (케르겔른 대지의 해저압력과 ECMWF의 모델대기압력들로부터 구한 해수면) 간의 비교 (Fig. 5b)에서 RMS는 3.28 cm 그리고 상관

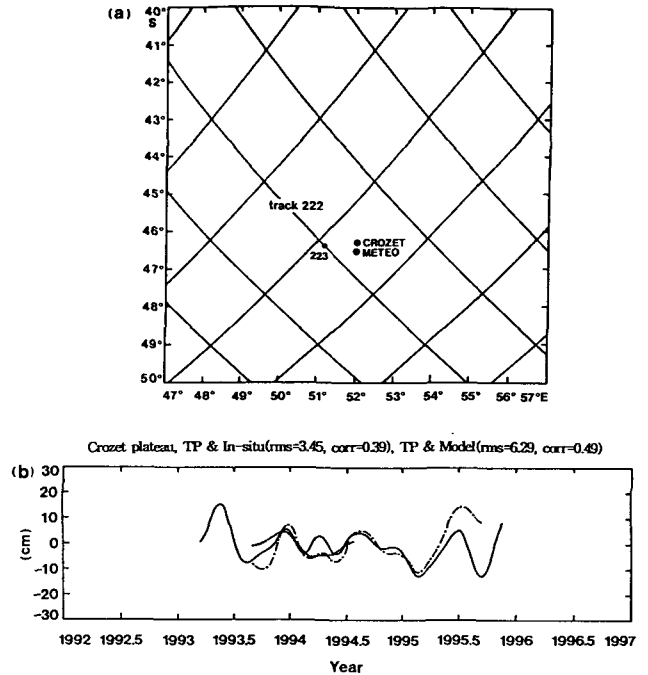


Fig. 4. (a) Positions of observed points in Topex/Poseidon (N°223 of descending ground track N°222), plateau station (CRO) and coast station (METEO), respectively. (b) Comparison of Topex/Poseidon sea surface heights ( $\zeta_{CP}^{T/P}$ , —) and Tide Gauge sea levels ( $\zeta_{CP}^{In-situ}$ , .....;  $\zeta_{CP}^{Model}$ , -·-) in Crozet plateau area. Here, TP, ME and EC are T/P as satellite data, METEO as in-situ data and ECMWF as model data, respectively.

계수는 0.54로 나타났다. 이때 두점간의 거리는 약 4.33 Km로서 매우 근접한 위치에 서로 접해있음을 알 수 있다. 이처럼 좋은 비교조건이 주어졌음에도 불구하고, 불행히도 해저압력자료의 조사기간이 일년밖에 되지않은 관계로 그 이상의 장기간 비교는 불가능하였다. 앞으로 지속적으로 이 지역에 대한 해저압력자료들이 조사되어 질 것인데, 이렇게 추가될 자료의 비교를 통해서 이들 간의 상호관계를 더욱 잘 이해할 수 있을 것으로 보여진다.

케르겔른 섬지역

Fig. 6a는 케르겔른 섬지역과 관련된 여러 조사지점들을 나타내는데, ARGOS는 Argos해수면 조사점 (49.33°S, 70.22°E) 그리고 N°173은 상승지상궤도인 track 179 내의 위성해수면 조사점 (49.2694°S, 70.5859°E)들을 각각 나타낸다.

이 지역에서의 조사점들은 그 거리가 27.31 Km로서 매우 근접해 있음에도 불구하고, N°173의 위성해수면  $\zeta_{KC}^{T/P}$ 와 Argos해수면  $\zeta_{KC}^{Argos} = \zeta_b^{Argos} + \zeta_a^{Argos}$ 간의 비교에서 RMS가 5.71 cm 그리고 상관계수가 0.38로서 이때까지 비교된 다른 지역에 비해서 결과가 나쁜 것을 알 수 있다 (Fig. 6b). 이것은 위성이 제공하는 자료의 정도가 해안에 근접할수록 떨어지고 해안선으로부터 최소한 4 Km 이내에서는 자료의 결손이 많이 발생한 것과 관계되는 것으로 보여진다. 케르겔른섬을 둘러싸는 다이아몬드형의 4개 지상궤적 내의 전 위성해수면자료들을 평균한 평균위성해수면  $\zeta^{T/Pmean}$ 와 Argos해수면

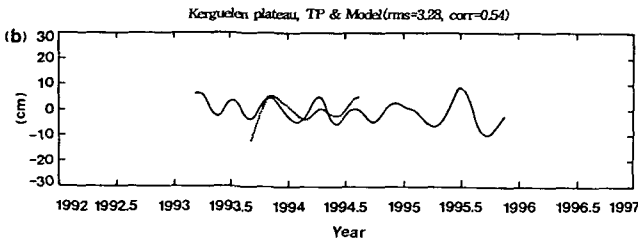
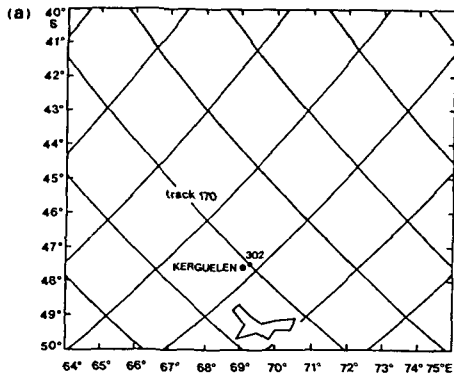


Fig. 5. (a) Positions of observed points in Topex/Poseidon (N°302 of descending ground track N°170) and plateau station (KER), respectively. (b) Comparison of Topex/Poseidon sea surface heights ( $\xi_{KP}^{T/P}$ , —) and Tide Gauge sea levels ( $\xi_{KP}^{Model}$ , ..... ) in Kerguelen plateau area. Here, TP and EC are T/P as satellite data and ECMWF as model data, respectively.

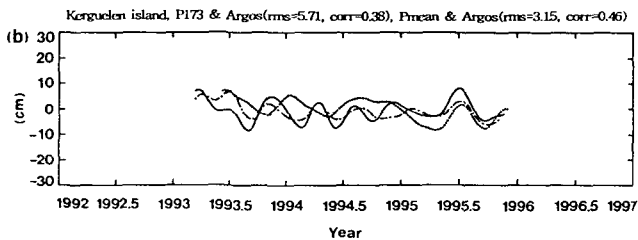
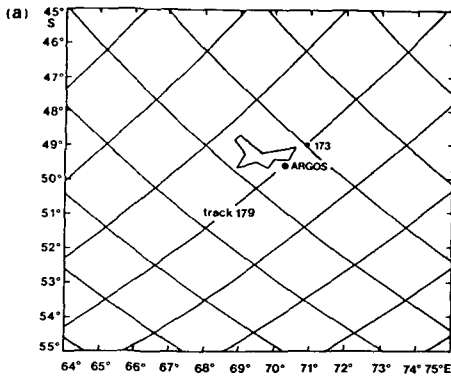


Fig. 6. (a) Positions of observed points in Topex/Poseidon (N°173 of ascending ground track N°179) and coast station (METEO and KER-ARGOS), respectively. (b) Comparison of Topex/Poseidon sea surface heights ( $\xi_{KC}^{T/P173}$ , —;  $\xi_{KC}^{T/Pmean}$ , -.-) and Tide Gauge sea levels ( $\xi_{KC}^{Argos}$ , ..... ) in Kerguelen island area. Here, P173 and Pmean are  $\xi_{KC}^{T/P173}$  and  $\xi_{KC}^{T/Pmean}$ , respectively.

$\xi_{KC}^{Argos}$  간의 비교에서는 RMS는 3.15 cm 그리고 상관계수는 0.46를 나타내므로서, 앞선 비교에 비해서 결과가 개선된 것을 알 수 있다. 이것은 당연한 결과이지만 케르젤른섬 주변지역의 전체적인 해수면 변화의 양상을 파악하는데 도움을 줄 수 있다. 따라서 현실적으로 우리가 직접 현장자료를 얻을 수 없는 거의 근접이 불가능한 어떤 조사대상 지역에 대한 일반적인 특성을 알고자 할 때는 이러한 개략적이 방법을 통해서 규칙적이고 방대한 자료를 가지고 연구를 신속하게 수행할 수 있다. 이것이 바로 위성이 제공하는 장점 중의 하나라 할 수 있겠다.

결 론

Topex/Poseidon 고도계의 3년간 위성해수면자료와 같은 기간의 현장해수면자료, 모델해수면자료 그리고 Argos해수면자료를 이용하여 남인도양 암스테르담-크호제트-케르젤른지역에 있어서의 해수면변화를 상호 비교연구하였다.

환경학적 영향 (마이크로파가 대기권 내에 전파하는 과정에서 발생하는 이온권, 습윤 및 건조성층권, 대류권 그리고 대기-해양 경계층에서의 발생하는 여러 가지 상호적 오차)에 기인하는 오차들을 보정하기 위하여 GDR Topex/Poseidon이 제공하는 알고리즘들을 이용하여 상호적인 잡음들을 제거하였다. 그리고 이때 구해진 해수면에 가장 큰 영향을 미치는 해양조의 성분을 제거함으로써 본 연구에 필요한 최종 위성해수면자료를 구하게 되는데, 최근에 원해 및 연안지역을 포함하여 가장 좋은 정도의 결과들을 제공하는 것으로 알려진 불란서 그르노블대학의 해양조석모델로부터 구한 수치값들을 가지고 해수면에 대하여 해양조의 영향을 보정하였다 (Yoon et al. 1998). 위성해수면자료는 현장해수면자료, 모델해수면자료 그리고 Argos해수면자료가 계산된 조사점에서 위도상 가장 가까운 곳을 지나는 지상궤도의 한점에서 취하였으며, 이 자료처리는 선형으로 10일 간격의 자료들로 재배열하여 가우시안 60일창으로 필터링을 하였다. 이 위성해수면자료와 관련하여 현장해수면자료, 모델해수면자료 그리고 Argos해수면자료들도 앞선 같은 방법으로 자료들을 재배열하였다. 따라서 최종적으로 처리된 위성해수면 ( $\xi^{T/P}$ )과 현장해수면, 모델해수면 그리고 Argos해수면 ( $\xi^{n-situ}$ ,  $\xi^{Model}$  그리고  $\xi^{Argos}$ )들을 각각 상호비교하였다. 그리고 그 결과들을 아래에 Table 1로 나타내었는데, 여기서 RMS는 표준편차를, CORR는 상관계수를 각각 나타낸다.

최종적으로 우리는 다음과 같이 두가지 결론을 내릴 수 있다. 첫째 위성해수면변화 ( $\xi^{T/P}$ )와의 비교에 대해서, ECMWF의 모델 대기압력으로 구한 해수면 ( $\xi^{Model}$ ) 보다는 기상관측소의 현장대기압력을 사용하여 구한 해수면 ( $\xi^{n-situ}$ )이 더 좋은 상관값과 낮은 편차값을 나타낸다. 일반적으로 두자료간의 비교에 있어서 두자료간의 표준편차가 5 cm이하를 나타내고 상관값이 80% 이상이면 위성자료는 현장자료를 대신할 수 있는 범용성을 가진다고 이야기한다 (Mitchum, 1994). 둘째 전체적으로 볼때, 연안 혹은 섬지역 (coast and island area) 보다는 대지지역 (plateau area)에서 특히 더 좋은 상관값과 낮은 편차값들을 나타낸다. 다시말해서 위성해수면자료는 육지와 연안지역의 지형적인 영향을 전혀 받지

**Table 1. Comparison of Topex/Poseidon sea surface heights and Tide Gauge sea levels in three zones as Amsterdam, Crozet and Kerguelen region of the South Indian Ocean. RMS is root-mean-square and CORR is correlation coefficient**

	$\xi^{T/P}$ and $\xi^{In-situ}$		$\xi^{T/P}$ and $\xi^{Model}$		$\xi^{T/P}$ and $\xi^{Argos}$	
	RMS	CORR	RMS	CORR	RMS	CORR
Amsterdam Plateau	296 cm	92%	4.69 cm	79%		
St Paul Island					6.06 cm	39% (point 406)
					3.91 cm	54% (point 115)
Crozet Plateau	345 cm	59%	6.29 cm	49%		
Kerguelen Plateau			3.28 cm	54%		
Kerguelen Island					5.71 cm	38% (point 173)
					3.15 cm	46% (mean)

않는 해안선에서 4 Km 이상의 원해지역으로 나아갈 수록 좋은 자료를 제공한다는 것을 의미한다.

향후 과제로는 Topex/Poseidon 위성을 이용한 한반도 주변해역을 중심으로 한 1) 위성자료와 해면자료간의 비교 및 검증, 2) 위성자료를 이용한 장주기 해수면변화의 연구, 3) 위성자료를 이용한 해양순환 연구 그리고 4) 대기압력이 해수면변화에 미치는 영향 등의 연구들을 지속적으로 수행하게 될 것이다.

### 참 고 문 헌

AVISO, 1994a. 'AVISO CD-ROM User Manual: Merged Topex/Poseidon Products', AVI-NT-02-100-CN, Edition 2.1.  
 AVISO, 1994b. 'AVISO User Handbook: Merged Topex/Poseidon Products', AVI-NT-02-101-CN, Edition 2.1.  
 Chao, Y., D. Halpern, and C. Perigaud. 1993. Sea surface height variability during 1986-1988 in the tropical Pacific Ocean, *J. Geophys. Res.*, 98, pp. 6949~6960.  
 Cheney, R., B. Douglas, and L. Miller. 1989. Evaluation of Geosat altimeter data with application to tropical Pacific sea level variability, *J. Geophys. Res.*, 94, pp. 4737~4748.

European Center for Medium-range Weather Forecasts, 1993. The description of the ECMWF/WCRP Level, III. Global Atmospheric Data Archive.  
 Harangozo, S., P. Woodworth, R. Rapp, and Y. Wang, 1993. A comparison of monthly mean sea level variability determined from Geosat altimetry and a global tide gauge dataset, *Int. J. Remote Sens.*, 14, pp.789~795.  
 Le Provost, C., M. Genco, and F. Lyard. 1994a. Spectroscopy of the world ocean tides from a finite element hydrodynamic model, Reprinted from *J. of Geophys. Res.*, Topex/Poseidon: Geophysical Evaluation, Vol. 99, No. C12, pp. 24777~24797.  
 Le Provost, C., M. Genco, and F. Lyard. 1994b. Modeling and prediction tides over the World Ocean, *Coastal and Estuarine, Geophys. Res. Lett.*, pp. 845~848.  
 Mitchum, G.A. 1994. Comparison of Topex sea surface heights and tide gauge sea levels, TOPEX/POSEIDON: Geophysical Evaluations, Vol. 99, No C12, pp. 24565~24583.  
 Park, Y.H. and B. Saint-Guily. 1992. Sea Level variability in the Crozet- Kerguelen- Amsterdam Area from Bottom Pressure and Geosat Altimetry, *Geophysical Monograph 69. IUGG Vol. 11*, pp. 117~131.  
 Tai, C.-K., W. White, and S. Pazan. 1989. Geosat crossover analysis in the tropical Pacific, 2, Verification of altimetric sea level maps with expendable bathythermograph and island sea level data, *J. Geophys.*, 94, pp. 897~908.  
 Topex/Poseidon: Geophysical Evaluation. 1994. Reprinted from *J. of Geophys. Res.*, Vol. 99, No. C12, December 15.  
 Yoon, H.J., 1997. The variation of sea level in the Amsterdam- Crozet- Kerguelen region of South Indian Ocean, PhD. thesis, Joseph Fourier University - Grenoble I, "chap. III", pp. 31~32.  
 Yoon, H.J., Y.S. Kim, and J.-C. Lee. 1998. On characteristics of environmental correction factors in the South Indian Ocean by Topex/Poseidon satellite altimetric data, *J. of the Korean Society of Remote Sensing*, Vol. 14, No. 2, pp. 117~128.  
 Wyrki, K., and T. Bongers. 1987. Sea level at Tahiti-A minimum of variability, *J. Phys. Oceanogr.*, 17, pp. 164~168.

1998년 9월 26일 접수  
 1999년 5월 15일 수리