

# 복수위성자료(Topex/Poseidon, ERS1)를 이용한 남인도양의 해수면 변화와 와동류 연구

윤홍주

부경대학교 위성정보과학과

Sea level Variability and eddy in the South Indian Ocean  
by Multi-satellite data(Topex/Poseidon, ERS 1)

Hong-joo Yoon

Department of Satellite Information Sciences, Pukyong National University

E-mail : yoonhj@pknu.ac.kr

## 요 약

복수위성자료 신호처리기술을 사용해서 남인도양지역을 중심으로 한 해수면변화와 사행(meandering)을 연구하였다. 해수면변화는 아프리카 남부(46°E)에서 크호제트 대지(Crozet basin)의 35°~46°S대를 걸쳐서 암스테르담-케르겔렌 경로(Amsterdam-Kerguelen Passage)까지 확장된다. 이때 가장 강한 해수면변화(20~30cm)가 2개의 좁은 지역에서 발생하는데, 하나는 경도 49°~57°E(약 700Km) 및 위도 38°~42°S(약 450Km) 나타났고 그리고 나머지 하나는 경도 58°~64°E(약 450Km) 및 위도 42°~44°S(약 200Km)에서 각각 나타났다. 이것은 해저지형과 관련된 강한 와동류의 형성 때문이다. 전체적으로 볼 때 와동류 발생지역은 아굴라스반류(Agulhas Return Current) 및 남극순환해류(Antarctic Circumpolar Current)와 관련하여 강한 흐름이 형성되는 지역에서 발생했다. 그리고 복수위성자료는 단수위성자료에 비해서 만족스럽게 표층순환과 해수면변동 특성을 잘 나타내었다.

## ABSTRACT

Sea level variability and eddy in the Amsterdam-Crozet-Kerguelen region of the South Indian Ocean were studied during 1 year(October 15, 1992~October 15, 1993) using multi-satellite data(Topex/Poseidon, ERS1) produced by signal treatment. We found that generally sea level variabilities(>10cm) exist along the Antarctic Circumpolar Current in the area of 35°~46°S and especially strong sea level variabilities(20~30cm) were occurred by the effects of eddy due to bottom topography in two small area: 49°-57°E and 38°-42°S, and 58°-64°E and 42°-44°S.

## I. 서 론

TOPEX/POSEIDON과 ERS1은 시간 및 공간해와 관련하여 서로 매우 다른 궤도(orbit) 특성을 각각 가진다. TOPEX/POSEIDON은 적도에서 ground track간의 거리가 315Km이며 반복 주기는 약 10일 인데 시간 스케일에 관련하여 매우 좋은 해를 제공해 준다(Fig. 1a). 반면에 ERS1은 적도에서 ground track간의 거리가 80Km, 반복 주기는 약 35일 이며 공간 스케일에 대하여 좋은 해를 가져다 준다(Fig. 1b). 여기서 우리가 명확히 알 수 있는 것은 이러한 복합위성자료의 사용은 시.공간적으로 아주 완전한 해를 제공해준다는 것이다(Fig. 1c). 따라서 본 연구는 이러한 유용한

복합위성자료를 이용해서 이 지역에서의 남극순환류(Antarctic Circumpolar Current)와 관련된 해수위 변화(sea level variability)와 와동류(eddy) 현상을 명확히 시각적으로 알아보는데 그 목적을 두었다.

## II. 자료 및 방법

### 1. 위성신호처리와 지구물리적 보정

TOPEX/POSEIDON의 뛰어난 궤도특성은 위성

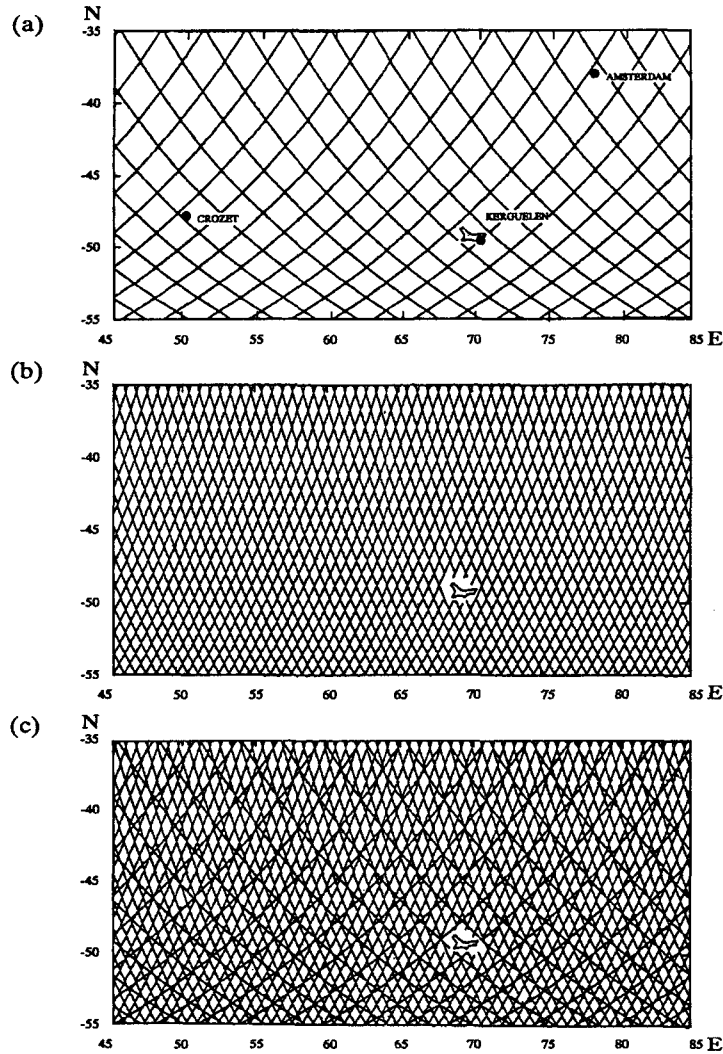


Fig.1. Ground track of (a)TOPEX/POSEIDON satellite, (b)ERS1 satellite and Multi-ground of track of (c)TOPEX/POSEIDON & ERS1 satellite in the Amsterdam -Crozet- Kerguelen region of the South Indian Ocean.

ground track의 교차점과 관련하여 ERS1의 궤도 error를 줄이는데 사용되어 진다[1].

- 1) 조석보정은 미국 텍사스대학의 조석모델을 사용하였다[2].
- 2) 기압보정(inverted barometer)은 TOPEX/POSEIDON에 대해서는 ECMWF(European Center for Medium range Weather Forecasting)모델을 그리고 ERS 1에 대해서는 ARPEGE(French meteorological model)모델을 각각 사용하였다.
- 3) 전자기 bias보정은 TOPEX/POSEIDON에 대해서는 BM4 공식[3]을 그리고 ERS1에 대해서는

significant height(5.5%)를 각각 사용하였다[3].

- 4) Ionosphere보정은 POSEIDON에 대해서는 Doris를 TOPEX에 대해서는 Dual-frequency measurement 그리고 ERS1에 대해서는 Bent model을 각각 사용하였다.
- 5) Radiometer에 의한 습윤troposphere 보정은 TOPEX/POSEIDON에 대해서는 TMR을 그리고 ERS 1에 대해서는 ATSR을 각각 사용하였다.
- 6) Troposphere보정은 TOPEX/POSEIDON에 대해서는 ECMWF모델을 그리고 ERS1에 대해서

는 ARPEGE을 각각 사용하였다.

2. 궤도보정과 filtering

- 1) TOPEX/POSEIDON과 ERSI의 두 위성에 대한 SLA계산을 위해서 공통기준 track을 설정하였다. SLA의 값은 14개월(1992.10.15-1993.10.15) 평균값에 대한 편차값으로 각각 계산하였다.
- 2) 작은 스케일에 대한 잡음을 제거하기 위해서 공간필터를 처리했다. 이때 필터의 길(주기)는 위도의 함수로 변화한다(적도에서는 200Km, 70oS에서는 50Km). 필터 후에 시간에 대해서는 5일간격으로 그리고 공간에 대해서는 21Km간격으로 자료를 재sampling 하였다.

3. 위성자료의 해석

우리는 일반 목적 해석(general objective analysis) 법를 근간으로하는 De Mey와 Menard의 알고리즘을 사용하였다[4]. 이 목적해석법은 기본적으로 다음과 같은 상관함수로 다시 재표현된다[5].

$$C(r) = \left[ 1 + ar - \frac{1}{3} ar^3 \right] e^{-ar}$$

$$L_0(\lambda, \phi) = L_0(\phi) = 50Km + 205Km \frac{\phi_0^2}{\phi^2 + \phi_0^2}$$

$$\phi_0 = 30^\circ$$

여기  $a = 2.1038 / L_0$ ,  $L_0$ 는 first zero crossing의 위상 범위 값으로서 적도(255Km)부터 50oS(90Km)에 걸쳐서 위도의 변화에 따라 천천히 변화한다. 이때 공간에 대한 자기상관함수는 Stationary gaussian decay ( $D(t) = \exp(-t^2 / T^2)$ ,  $T = 5days$ )의 gaussian 함수에 의하여 모델화 되어졌다.

4. RMS의 계산

RMS는 meso-scale에 있어서의 주요 해양역학적 현상들(meander, mixing turbulence, eddy, sea level variability, 해류의 deplacemence와 속도변화, mass transport 등등)에 대한 변화특성들을 잘 이해할 수 있게해준다. RMS식은 다음과 같이 주어진다.

$$RMS(i, j) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum h_k(i, j) - h(i, j)}^2}$$

여기서  $h_k(i, j)$ 는 고려된 점에서 위성의 각 cycle에 대한 해수위,  $h(i, j)$ 는 고려된 점에서의 평균 해수위,  $N$ 는 cycle의 횟수이다. 따라서 RMS는 해수위(hk)의 평균 수위(h)에 대한 차의 값이다.

III. 결과 및 고찰

1. 전통적 hydrological data로 표현된 표층 순환

Fig. 2는 남인도양 Amsterdam-Cozet-Kerguelen지역의 해저지형과 Crozet basin 내에서의 개략적인 표층순환을 나타낸다. 이 그림에서 AF는 Agulhas Return Current, STF는 Subtropical Front, SAF는 Subantarctic Front, PF는 Polar Front, AAIW는 Antarctic Intermediate Water 그리고 MW는 Moder Water를 각각 나타낸다.

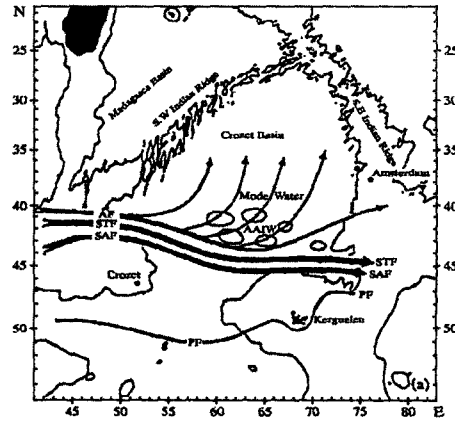


Fig. 2. Schmatic presentation of sea surface circulation in the Crozet basin. Isobathis 3500 m.

2. 신호처리를 통한 multi-satellite data로 표현된 표층 순환

Fig. 3a는 복합위성자료를 사용해서 구한 이 지역에서의 해수위 변화를 나타낸다(즉 1년 동안에 대한 5일 간격의 SLA변화에 대한 RMS의결과를 의미한다). 전체적으로 볼 때 와동류의 발생지역은 Agulhas Return Current 및 남극극순환류와 관련하여 강한 흐름이 형성되는 지역에서 주로 발생한다는 정보를 복합위성자료는 잘 제공해 주었다. 그러나 단수위성자료로 구한 해수면 변화를 보면(Fig.3b), 앞서 복수위성자료에서 본 것처럼 강한 흐름이 형성되는 지역을 따라서 전체적으로 발생하는 것이 아니라 특정지역에 한정되어서 연속성없이 부분적으로 표출되는 것을 잘 알 수 있다.

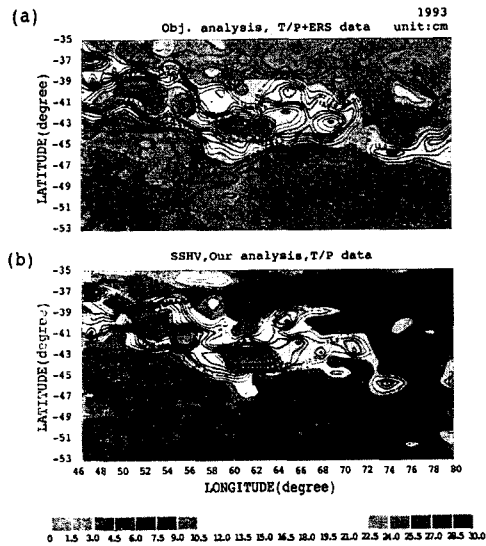


Fig. 3. Sea level variability in 1993 (cm RMS) in the Amsterdam-Crozet-Kerguelen region of South Indian Ocean by satellite multi-data (TOPEX/POSEIDON & ERS1). Amsterdam, Crozet and Kerguelen Island were presented as A, C and K, respectively.

#### IV. 결 론

복합위성자료를 통해서 명확히 알 수 있는 것은 높은 값을 나타내는 해수위 변화는 남극극순환류를 따라서 발생한다는 것과 이때 와동류 system의 존재를 명확히 식별할 수 있다는 것이다. 결론적으로 본 연구에서 처리한 신호기법으로 산출된 복합위성자료는 만족스럽게 표층해양순환 및 해양수의 mass transports 수송을 잘 이해하게 해주고 그리고 해류의 강도와 특성을 정량적 및 정성적으로 파악할 수 있게 해주었다.

#### 사 사

본 연구는 한국 과학 재단 특정 기초연구 (R01-2002-000-00369-0) 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

[1] Le Traon, P. Y., P. Gaspar, F. Ogor, and J. Dorandeu, Global adjustment of ERS 1 data using TOPEX/POSEIDON as a reference.

Technical Report, CNES/CLS/GO/94/522 1995.

- [2] Ma, X. C., C. K. Shum, R. J. Eanes, and B. D. Tapley, Determination of ocean tides from the first year of TOPEX/POSEIDON altimeter measurements, *J. Geophys. Res.*, 99(24):809-280. 1994.
- [3] Gaspar, P., Ogor F., P. Y. Le traon, and O. Z. Zanife, Joint estimation of the TOPEX and POSEIDON sea-state biases, *J. Geophys. Res.*, 99,(24):981-994. 1994. 6
- [4] De Mey, P., and Y. Menard, Synoptic analysis and dynamical adjustment of GEO 3 and Seasat altimeter eddy fields in the northwest Atlantic, *J. Geophys. Res.*, 94, C5 (62):221-231. 1989.
- [5] Oschlies, A., Assimilation of satellite altimeter data into an eddy-resolving primitive equation model of the North Atlantic Ocean, PhD.thesis, ber, Inst.f. meersk. Kiel, Nr. 256, 131 .1994.