

Topex/Poseidon 위성 고도계 자료에 대한 신호처리 및 한반도 주변해역에 대한 그 적용

윤 흥 주¹

Signal Treatment for Topex/Poseidon Satellite
Altimetric Data and Its Application near the Korean Seas

Hong-Joo Yoon¹

요 약

Topex/Poseidon 위성의 고도계 자료를 이용하여 한반도 주변해역에서의 해양 및 대기적 보정인자들의 특성과 평균 해수면 및 그 변화를 각각 알아 보았다. 이때 사용한 고도계 자료는 1992년 9월부터 1994년 8월(총 70개의 사이클)까지의 자료를 사용했다. 또한 동시에 고도계 자료의 추출 및 신호 처리를 통한 최종의 해양신호(해수면)를 쉽게 구할 수 있는 방법을 상세히 묘사하였다. 대기적 보정인자들로서 건조 및 습윤 대류층, 이온층 그리고 해면기압의 변화 범위의 폭은 수cm에 지나지 않았다. 그러나 전자기적 편차의 변화 범위의 폭은 약 10cm로서 앞선 세 보정인자들에 비해서 높게 나타났다. 해양적 보정인자들의 변화 범위의 폭을 보면, 해양조(궤적 127에서는 35cm 그리고 궤적 214에서는 60cm)는 탄성조(궤적 127에서는 5cm 그리고 궤적 214에서는 1cm)와 하중조(궤적 127에서는 1.8cm 그리고 궤적 214에서는 1cm)에 비해서 매우 높은 것을 알 수 있었다. 이상과 같이 해양에서 해수면의 변화에 크게 기여하는 주요 인자는 해양조 그리고 전자기적 편차의 순이라는 것을 잘 알 수 있다. 최종 해양신호인 해수면의 한반도 주변해역에서의 특성을 보면, 황해에서의 평균 해수면은 동해 및 서해에 비해서 높았다. 그리고 이때 약 100cm의 평균 해수면 값과 함께 -60cm에서 210cm의 변화 범위를 보였다. 한반도 주변해안의 평균 해수면은 황해 및 동지나해에서 변화 특성이 높게 나타났다. 특히 서해의 용암포의 경우는 RMS가 5.689cm인데, 이것은 이 지역의 국부적인 지형의 특성과 조류의 영향에 기인하는 것으로 보여진다.

주요어: 신호처리, 습윤 및 건조 대류권, 이온권, 해면기압, 전자기적 편차, 조석, 평균 해수면과 그변화

ABSTRACT

Topex/Poseidon satellite altimetric data are used to estimate characteristics on the oceanic and atmospheric correction factors, and the mean sea level and its variations in the Yellow Sea, the East China Sea and the East Sea from September 1992 through August 1994(70cycles). For the atmospheric correction factors, the variations of dry troposphere, humid troposphere, ionosphere and inverted barometer were very small as a few centimeters, but the variations of electromagnetic bias

1999년 2월 8일 접수 Received on Feb. 8, 1999

¹ 기상연구소 원격탐사연구실 (yoon@metri.re.kr)

Remote Sensing Research Laboratory, Meteorological Research Institute

were higher than other factors. For the oceanic correction factors, the variations of ocean tide(35cm in track 127 and 60cm in track 214) showed high ranges compared to elastic tide(5cm in track 127 and 1cm in track 214) and loading tide(1.8cm in track 127 and 1cm in track 214). It should be understood that the variations of ocean free surface is mainly under the influence of, firstly, ocean tide and, secondly, electromagnetic bias. Mean sea level in the Yellow Sea are higher than in the rest of Seas. Then its range generally comprised between -60cm and 210cm with mean value of about 100cm. Also its variations showed high values in the Yellow Sea and East China Sea, especially 5.689cm in Youngampo. This result is mainly due to the effects of local topography and tidal current

KEYWORDS: *Ionosphere, Humid & Dry troposphere, Electromagnetic bias, Inverted barometer, Tides, Mean sea level and its variations*

서 론

최근에 해양표면의 윤곽을 조사할 목적으로 만들어진 Topex/Poseidon 위성은 1992년 8월 11일에 아리안(Arian) 로켓에 의해서 적도상공의 고도 1336Km에 올려졌다. 이 위성은 2개의 고도계 레이더(altimeter radar)가 탑재되어 있는데, 수 cm의 정확도로 해수면 변화를 측정할 수 있는 아주 정도 높은 고도계(altimeter)와 정확한 위성 궤도(orbitography)를 가지는 최초의 위성이다. 이때 위성 궤도는 대기 마찰력의 영향과 지구 중력장의 변화를 최대한 줄는 방향으로 선택되어졌으며 위성의 경사도(inclination)는 남·북반구의 위도 약 66°에 근접하고 조석에 기인하는 고도 변화를 잘 결정할 수 있도록 설계되어져 있다. 운행 이후로, 같은 조사점을 약 10일 반복주기로 지나가며 해양순환에 의해서 생기는 해양표면의 높낮이와 해양표면의 흐름을 감지한다. 현재까지 이 위성은 해수면의 계절변화, 연변화(엘니뇨와 관련됨) 그리고 지구규모 변화를 지속적으로 조사 및 연구해왔다.

위성 Topex/Poseidon은 국제 WOCE (World Ocean Circulation Experiment) 계획의 일환으로 계속적으로 지구규모의 시·공간적인 스케일에 걸쳐서 해양 표면에서 일어나는 현상들 연구 조사하는데 있어서 방대한 정보를 제공해 준다. 지구 상공을 떠워진 이후 현재까지도 그 역할을 수행하고 있으며 근본적으로는 세

계 기후 현상과 관련해서 해양의 주요 역할을 이해하고 나아가서 지구적인 평균 해양순환 연구에 주 목적을 두고 있다.

따라서 본 연구는 이러한 위성 TOPEX/Poseidon의 고도계자료를 과학적 연구목적에 맞게 유용하게 추출 및 신호를 처리하는 방법을 설명하고 이를 토대로 한반도 주변해역에서의 해양기상학적인 보정 인자들의 특성 및 해수면 변화를 개괄적으로 알아보는 데 의의를 두었다.

위성 고도계

비행기는 지표면으로부터 자체의 거리(높이)를 측정할 수 있는 비행 고도계가 부착되어져 있다. 그러나 위성에 탑재된 위성 고도계는 요동하는 해양 표면을 조사할 목적으로 만들어졌기 때문에 위성 자체에서 지표면까지의 거리가 정해져 있다(일반적으로 1300Km 이하이다). 결국 이러한 거리 고정은 해양 흐름 및 대규모 기후학적 순환과 같은 지구규모의 조사를 가능하게 한다.

1. 위성 고도계의 원리

위성 고도계의 발신기(radar)가 보낸 임펄스(impulse)는 해양 표면에서 반사되어져서 메아리(echo) 형태의 임펄스로 위성 수신기(nadir)에 기록되어진다. 이렇게 반사된 신호로

부터 우리는 해양 표면과 관련된 3가지 특성을 구할 수 있다. 첫째는 위성-해수 표면간의 거리, 둘째는 해수 표면에서의 파의 진폭 그리고 셋째는 돌아오는 임펄스의 형태를 각각 알 수 있다. 그리고 레이더빔(beam)은 콘(cone)의 형태로 감지하는데, 지표면에서의 구경은 약 10km 정도가 된다.

위성-해수 표면간의 거리를 소위 경로(range) 혹은 고도측정(altimeter measurement)이라고 표현하는데(Yoon, 1997), 이것은 임펄스의 왕복 시간으로부터 구하여 진다. 이 경로(range) 내에서 여러 신호들이 고도계에 의해서 측정되어지며, 이때 이 경로 내에서 대기의 다른 여러 층들을 가로지르는 레이더파의 전파와 해양 표면에서의 파의 변형과 같은 환경 특성에 따르는 오차를 보정하게 된다. 이러한 환경 특성에 따르는 보정으로는 이온권(ionosphere)의 영향에 대한 보정, 건조 및 습윤 대류권(troposphere)의 영향에 대한 보정 그리고 전자기적 편차(bias)의 영향에 대한 보정이 있다. 그 외 측정에 영향을 미칠 수 있는 현상들로는 해수 표면에 대한 위성 안테나의 기울기(경사도)와 위성 거리의 요동(fluctuation)들이 있다.

이상과 같이 경로 내의 환경 특성들에 따르는 보정과 함께 조석 신호(tidal signal) 및 해면기압 신호(inverted barometer signal)의 영향을 제거하므로써 우리는 해양 순환에 관련하는 최종 신호인 역학고도(dynamic topography)를 구할 수 있다. 아울러 위성에 의해서 포착된 변형된 임펄스의 세기로부터 당시 조사된 점에서의 바람의 강도 및 파에 의해서 생기는 신호의 분산을 통해서 파의 높이를 각각 알 수 있다.

미국 항공우주국(NASA; National Aeronautic and Space Administration)의 고도계(Topex)는 13.6GHz & 5.3GHz의 두 주파수 대를 가지고 조사를 수행하는데, 이러한 주파수 대는 위성 고도의 측정과 관련하여 이온층 내의 자유 전자의 영향을 보정하는데 사용되어 진다. 이때 주파수에 따른 위상(phase)의 지연은 단위면적 당 레이더

의 진동에 반비례하고 2개의 주파수 대로부터 측정되어진 차이로부터 이온층의 자유 전자에 기인하는 지연을 알 수 있다. 그리고 또한 이 고도계는 다른 3개의 주파수대(18GHz, 21GHz & 37GHz) 내에서 자연 태양광을 측정할 수 있도록 마이크로복사계(microwave radiometer)가 갖추어져 있다. 이때 21GHz인 중간 주파수 대로부터 수증기의 누적 함량을 평가할 수 있다(수직적으로 40cm의 수증기의 영향에 대해서 수 cm 정도의 오차를 나타낸다). 또한 나머지 주파수 대들은 부가적으로 바람의 속도와 구름의 덮힘도에 대한 영향을 평가할 수 있게 해준다.

프랑스 항공우주국(CNES; Centre National d'Etudes Spatiales)의 고도계(Poseidon)는 단지 13.65GHz의 주파수 대만을 가지고 있는데, 이때 이온층의 교정은 DORIS(Determination d'Orbite et Radiocalisation Integree par Satellite: 복수 주파수 위성궤도반경 시스템)의 측정과 관련된 기본 모델에 따라서 수행되어진다.

2. 궤도 결정

지상 12개 점의 레이저망을 통해서 입수된 자료(이때의 오차는 약 2cm이다)들로부터 지구 중력장 모델을 사용하여 정확한 위성 궤도를 결정하고 나아가서 고도계를 조정한다. Doris 시스템은 이전에 여러 위성들에 사용되어졌는데, 이것은 지구 중력장 모델과 궤도 계산을 개선하는데 도움을 준다. 또한 GPS(Global Position System)는 위성의 위치를 포착하는데 이용되어 진다.

1) 위성궤도의 결정조건 및 특성

지구 표면을 전체적으로 잘 포괄하기 위해서는 위성의 기울기는 90°에 충분히 근접해야 한다. 상승 궤적과 하강 궤적이 만나는 교차점의 작은 표면 흐름의 두 성분을 잘 결정하기 위해서 가능한 클수록 좋다. 1336km의 위성 고도는 대기 마찰력을 최소화시키고 위성 궤도를 최적화시킨다. 신호와 관련하여 주 태양

조석 성분을 알리아징(aliasing)하지 않기 위해서는 태양을 중심으로 두개 이상의 세차운동(precession)을 가지는 것이 실용적이다.

이때 위성궤도의 특성은 장반경의 축은 7714.43km, 편평율(Excentricity)은 0.000095, 기울기(Inclination)는 66.04°, 적도에서의 기준 고도는 1336km, 결절점(Nodal) 주기는 6745.72sec, 반복 주기는 9.9156days, 사이클당 공전 횟수는 127, 적도 지상궤적 간의 거리는 315km, 지상궤적 오차범위는 ±1km, 적도 지상궤적 간의 교차각은 39.5°, 궤도 속도는 7.2km/sec 그리고 지상궤적 속도는 5.8km이다.

고도계로부터 추출되는 여러 신호들

만약 해양 표면이 정적인 상태라고 한다면, 그 자체의 표면 형태는 단지 지구 인력에만 의존하게 되고 따라서 해수면 변화는 기준 타원면(ellipsoid)과 같은 형태로 나타나게 될 것이다. 그러나 지구의 지각이 비 동질하고 해저의 바닥이 해능(dosal)과 해구(fosse)로 이루어져 있기 때문에 해양 표면의 형태는 불규칙적으로 나타난다. 시·공간에 걸쳐서 위성 고도계로부터 추출되는 해양 신호는 다음과 같은 광범위하고 복잡한 신호들로 구성되어져 있다는 것을 의미한다. 예를들어 해양 순환, 조석과파와 파랑, 대기환경 특성, 기상학적 잔차(기상 모델 관점이 아닌 해면대기압력 변화) 그리고 지오이드(geoid)를 결정할 때 생기는 오차 등이 있다.

고도계자료는 특히 해수의 상태(바람의 모델, 유의 파고)와 해양 표면의 윤곽조사에 탁월한 능력을 발휘한다. 또한 위성궤도가 결정되었을 때 고도계자료는 지오이드와 지균훈속(geostrophic velocity)를 결정하게 해주며 나아가서 해양의 3차원 순환 모델을 가능하게 한다.

1. 해양 순환

해양 순환은 해양 신호 성분들 중의 하나이다. 이것은 대규모 흐름(서방 경계류), 대규

모 난류 그리고 사행(meandering)의 형태 등으로 특성화되어지는데, 공간적으로 10-500km 그리고 시간적으로 수 일에서 수 년의 스케일을 가진다.

1일 이상 그리고 30km 이상의 스케일에서 해양은 지형류와 수력학방정식 간에 균형을 가지는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 우리는 국지 직교좌표계(local cartesian)로부터 다음과 같은 방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} -fv &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ +fu &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} &= 0 \end{aligned}$$

이때 $f = 2\Omega \sin \theta$ 는 코리올리계수(coriolis coefficient), Ω 는 지구자전속도, θ 는 위도, v 는 북쪽성분의 표면 속도 그리고 u 는 동쪽성분의 표면속도이다. 위의 식들로부터 우리는 온도풍(thermal wind)을 구할 수 있다.

$$v(x, z) = -\frac{g}{\rho f} \frac{\partial p}{\partial x} + u_0(x)$$

단면 높이 Z 는 온도 및 염분과 함께 현장(in situ)에서 측정되어지고 동시적으로 위성 고도계는 분산계(diffusimeter)를 사용해서 표면에서의 절대속도를 제공해 준다. 위의 식을 Z 인 기준 표면에서의 식으로 표현하면

$$vs = -\frac{g}{f} \frac{\partial s}{\partial x}$$

가 된다. 여기서 s 는 등포텐셜 표면(equipotential surface: geoid) 위의 높이이다. 해양은 하나의 난류며 여러 가지 다른 스케일에서 나타나는 정량적인 해양 운동과 해양 에너지간의 상호 교환 때문에 완전한 등균형을 이루지 않는다. 또한 앞의 방정식은 정적인 방정식이기 때문에 시간에 따른 요동(fluctuation)을 표현하지는 않는다.

2. 조석

해양에서의 해수면 진동(oscillation)의 주요 성분은 조석인데, 여기에는 주로 1일 주기와, 1/2일 주기와 그리고 장주기와(1/2일 주기와 이상)들이 있다. 조석은 수십cm에서 수m 정도의 진폭을 가지면서 규칙적인 진동을 하는데, 해양 표면의 윤곽에 대한 자료를 얻기 위해서는 정확한 조석 수위값이 결정되어야 한다. 다시 말하면 조석의 주요 성분인 만일조(M_2)가 일반적인 순환 및 그 변화와 관련해서 해양 신호 내에서 알리아징되지 않아야 한다. 따라서 조석의 정확한 진폭을 알기 위해서는 위성의 궤도 선택은 매우 중요하다.

3. 대기환경의 특성에 따른 인자들

대기는 그 자체의 총질량, 대류권 내의 수증기량 그리고 이온층 내에 함유되어 있는 자유 전자의 양에 비례해서 라디오파를 지연시키며 그리고 이 라디오파는 평균 해수면에 대해서 반사된다.

1) 건조 및 습윤 대류권의 영향

라디오파의 전파 속도는 대류권 내의 가스 및 수증기량에 의해서 지연된다. 가스의 경우는 그것을 충분히 예측할 수 있으며 약 -2.3cm의 간격으로 오차를 산출해 낼 수 있지만, 수증기량의 경우는 그 자체의 변화가 심하기 때문에 약 6-30cm 간격으로 오차를 계산한다.

대류권 내의 가스의 밀도 및 온도는 정역학 방정식과 이상 기체법칙을 적용했을 때, 수직 경로의 범위 내에서의 누적되어지는 지연은 단지 표면 압력의 함수로만 나타난다. 따라서 경로의 범위 내의 건조 대류권의 기상학적 보정은 표면 대기압에 -2.27mm/bar를 곱한 것과 같다. 이러한 보정 값은 수치 모델에 의해서 결정되는데 ECMWF(European Center for Medium Range Weather Forecast)에 의해서 6시간 간격으로 제공되어진다. 건조 대류권의 보정에 대한 오차는 0.7cm이다.

신호 레이더의 진행과 관련해서 수증기량

의 증가는 마찬가지로 지구 대기의 굴절 지수에 기여하는데, 이러한 기여도는 조사하고자 하는 주파수대(22.2356GHz의 수증기선 주변)에 있어서의 해양 저층(바다)으로부터 반사되어져 나오는 자연 복사광(radiation)의 측정을 가능하게 한다. 다시 말하면 앞의 결과로부터 우리는 해양에서 광과 광합성에 관련된 일차 생산량을 산출할 수 있는 정보를 얻을 수 있다.

마이크로파를 가지는 복사계는 온도의 밝기(명암)를 측정한다. 그리고 위성 수신기(nadir)는 18.21GHz 그리고 37GHz의 주파수대를 가지는데, 18GHz의 채널은 해양 표면에서의 풍속의 영향을 측정하고, 21GHz의 채널은 2kg/m^2 의 정밀도와 함께 수증기의 양을 측정하고 그리고 37GHz의 채널은 구름의 덮힘도와 같은 대기에서의 여러 가지 영향(현상)들을 각각 측정한다. 위의 모든 측정들은 수증기의 영향에 기인하는 고도계의 경로 오차를 정확히 결정하기 위해서 결합되어져 있으며 그리고 동시에적으로 수행되어진다. 최종적으로 이때의 보정 오차는 1.2cm이다.

2) 이온층의 영향

두개의 고도계에 의해서 사용되어지는 주파수 내에서 라디오파의 전파 속도의 지연은 이온층 내 자유 전자의 수에 비례하고 그리고 방출(emission) 주파수의 단위 면적에 반비례한다. 이러한 지연은 13.6GHz의 밴드에서 평가할 때 0.2-20cm 정도로 고도계의 높이를 변화시킨다. 그리고 태양 순환(solar cycle)이 최소화되었을 때 각각 작게 나타난다. 위의 결과들은 대체적으로 산만하기 때문에 보정치 계산은 두개의 주파수를 측정했을 때의 그 차이로부터 계산하며 이때 약 2cm의 고도계 보정이 있을 수 있다.

3) 파의 영향

해양 파와 관련된 현상들은 해양-대기간의 에너지 및 매질의 전달(transfer) 역학에 의해서 생긴다. 분산계의 측정은 모든 해양 순환의

원동력이 되는 해양 표면에서의 바람의 인장(tension)을 알게 해 준다. 이때 고도계레이다에 측정되어지는 큰 특징 중의 하나는 방출된 파가 해양 표면에서 분산되어져서 이 파가 다시 레이다를 향해서 전송되었을 때는 훌륭한 정보를 제공하지 못한다는 것이다. 결국 이것은 고도계에 의해서 방출된 전파는 파고 보다는 파저에서 더 잘 반사하는 경향이 있다는 것을 의미한다. 또한 반사된 평균 표면의 중심은 해수의 평균 수면과 관련해서 파저 쪽으로 이동을 한다. 전자기에 의한 편차는 해수면에 따르는 위성 고도와 관련해서 고도계에 의해서 구해지는 측정치를 과대 평가한다. 파에 의한 신호의 분산은 돌아오는 임펄스를 변형시킨다. 이때 분산계를 사용해서 파고를 구하고 신호를 결정한다. 소위 이것을 전자기적 편차의 보정이라 한다.

4) 강우의 영향

강우는 고도계의 파를 약화시킨다. 높은 강우는 해양 표면에서의 에코(echo)를 상당히 감소시킨다. 반면에 작은 강우는 고도계가 빗방울을 가로지를 때 급속한 에코의 변화를 가져다준다. 위의 두 가지 영향은 고도계의 작업 능력을 떨어지게 하며 강우에 기인하여 잘 못 조사된 자료들은 RMS_H_Alt 혹은 SigmaO_K와 같은 처리기법을 통해서 자동적으로 보정되어진다(AVISO, 1994b).

4. 기상학적 잔차로서의 해면기압

정확히 조석의 영향을 보정(제거)했다 하더라도 해수면은 기상 현상에 기인하는 기상학적 잔차의 영향을 일반적으로 내포하고 있다. 이러한 기상학적 잔차에는 해면대기 압력의 변화가 있다(단주기에서의 바람의 표면 인장, 장주기에서의 대기시스템의 계절적 변화 등). 특히 장주기의 경우에는 1년 이상에 걸쳐서 조사되어진 고도계의 자료가 절대적으로 필요하다.

대기 압력의 변화와 해수면간에는 밀접한

관계를 가진다. 기상학적 잔차의 변화에 대한 정역학적 반응(hydrostatic reponse)을 해면기압(inverted barometer)이라 하는데, 이것은 해수 질량의 순간 수평적 재 분포에 따르는 변화에 기인한다.

$$h = -\frac{p}{\rho g}$$

여기서 ρ 는 해수 밀도, g 는 중력 가속도를 각각 나타낸다. 이때 대기압력 p (hectopascal)는 1기압당 -1.01cm의 해수면 변화를 가져다준다. 전형적으로 이러한 1일-1주간의 시간 스케일에서 볼 때 1-10cm의 해수면 변화를 나타낸다. 해면기압의 반응은 평탄한 해양에서는 효율적으로 잘 조사되어질 수 있다. 그러나 이러한 반응이 해수면 분포의 윤곽에 의해서 영향을 받고 급속히 파의 형태로 전파(propagation)되어지는 해안 지역에서는 아주 복잡하게 일어난다. 해면기압의 순간 보정은 GDR(Geophysical Data Record) 내에서 계산되어져 있다. 이때의 표면 대기압력은 유럽 기상센터의 기상모델(ECMWF, 1993)을 통해서 1.125°의 규칙적인 격자(grid) 간격으로 매 6시간마다 제공되어진다. 따라서 해면기압의 보정(adjustment)은 다음과 같다.

$$\text{Inv_Bar} = -9.9948 * (p_{\text{atm}} - \bar{p}_{\text{atm}})$$

여기서 p_{atm} 은 대기압력(mbar), \bar{p}_{atm} 은 평균대기압력(1013.3mb) 그리고 Inv_Bar은 결과치(cm)를 각각 나타낸다.

5. 지오이드

지구 자체 내의 여러 매질들은 복잡한 분포들을 하고 있기 때문에 지면과 근접해서 기준 중력장의 등표면(equipotential surface; geoid)이 단순한 형태로 나타나지는 않는다. 그러나 자전축을 중심으로 공전하는 타원(ellipsoid)은 단순한 형태로 표현되어질 수 있다. 수많은 모델 이론을 통해서 위성의 궤적(trajector)과 관련된 지오이드의 장과장 변화에 대한 연구 그리고 고도계 및 중력계

(gravimeter)와 관련된 단파장 변화에 대한 연구가 수행되어졌다. 해양에서는 지오이드를 따르는 해수의 자유 표면의 위치가 이용되어진다. 지형류(geostrophic current)에 의해서 생기는 해양의 윤곽을 추출해 내기 위해서 지오이드는 고도계에 의해서 측정되는 해수면으로부터 직접 제외되어야 한다. 한편 만약에 우리가 지균속도(geostrophic velocity)의 시간적인 변화에만 단지 관심이 있다면, 위성 궤도가 매우 높은 분해도를 가지고 있기 때문에 지오이드를 절대적으로 인식할 필요는 없다.

GDR에서 제공하는 지오이드의 파동(ondulation)은 Rapp 등(1994)에 의해서 공식화된 포텐셜 모델로부터 계산되며, 이때 이것은 360° 에 대한 공간 포괄도(spatial coverage)로 나타난다. 해양 표면과 관련해서 지오이드의 점에서 평가되어지는 표준 편차는 26cm이다. 이러한 표준 편차는 해안에 근접할수록 그리고 남위 63° 이하로 내려갈수록 더욱더 작아진다. 거리 100km의 범위 내에서는 모델을 이용해서 지오이드의 파동을 4ppm의 오차 정도를 가지고 계산할 수 있다. 이때 중력에 대한 세부적인 자료가 제공되어 진다면 1ppm의 오차만을 나타낸다. 대규모 스케일에서 지오이드의 파동은 약 2000km의 파장을 가지면서 10cm의 표준 편차를 나타낸다.

신호처리 및 계산방법

1. 다각형 구역의 선정

지구규모의 정보가 들어 있는 자료파일로부터 조사하고자 하는 대상영역(geographical zone)에 한정해서 필요한 자료들을 추출할 수 있도록 처리해야 한다. 조사대상 영역 내 다각형 구역(그림 2)을 따라서 추출되는 자료는 고정되어 있기 때문에, 조사 영역의 지질학적인 특성에 따라서 자료를 아주 쉽고 효율적으로 추출할 수 있다. 각 다각형 구역에 대해서 자료 추출파일 내의 다각형 조사점(polygonal

contour; 최대 20개 점)의 갯수 및 이 점들에 대한 좌표의 값들이 설정되어져 있어야 한다. 또한 이때 조사 대상영역을 지나는 지상궤적(ground track)의 갯수 및 번호를 정해 주어야 한다.

2. 위성 궤적

Topex/Poseidon은 정확한 반복주기 미션(ERM; Exact Repetitive Mission) 형태의 운행을 수행한다. 소위 이 위성은 주기적으로 구형 지구에 대해서 같은 형태로 원호(arc)를 그리면서 운항한다. 그럼에도 불구하고 한 경로(passage)에 다음 경로로 운행할 때 마다 그것들에 대한 간격의 차가 존재하게 되는데, 그 원인으로서는 두 가지가 있다. 첫째는 운행의 오차에 기인하는 반복도에 대한 것으로서 수 100-1000km의 오차를 보이며, 둘째는 원호의 길이를 따라서 조사되는 조사점의 위치에 대한 요동이 각각 있다. 고도계 조사의 통계학적 처리와 해석을 위해서는 위성 자료(특히 지상궤적과 관련된 자료)가 사전에 결정되어진 점(기준점)에 갖게 투영되어야 한다. 이때 본 연구에서는 기준점에 대한 기준 사이클을 43 사이클로 정하여 사용하였다.

1) 위도에 대한 보간법

궤적 형태에 대한 위성 자료의 보간(interpolation) 처리는 주로 경도 보다 위도를 우선으로 한다. 일반적으로 위성 궤적의 기울기(inclination)는 45° 에 근접하며 적도에서는 이 보다 더 큰 각도를 나타낸다. 따라서 궤적 형태에 대한 직교 궤적의 보간 처리는 아주 엄격한 방법으로 처리되어야 한다는 것은 의심할 필요가 없다. 왜냐하면 전술한 것에 대한 개선 방법이 없다면 알고리즘 측면에서 아주 복잡한 문제를 일으킬 수 있기 때문이다. 기준 궤적과 위성 궤적간의 차는 1km 이하로서 심각한 문제를 일으키지 않지만 기울기 오차가 존재한다는 것을 잊어서는 안 된다.

3. 자료 추출

1) 위성자료의 기준

위성자료는 21개 기준에 따라서 추출되어져서 사용된다. 기준치 alt_bad1과 alt_bad2 그리고 기준치 geo_bad_1과 geo_bad_2는 동시에 자료 추출을 쉽게 할 수 있도록 하기 위해서 설정되어져 있다(AVIS0, 1994a). Poseidon의 고도계와 관련해서 위의 두 기준치(alt와 geo)는 많은 필수 자료들의 개선 덕분에 운행 초기부터 아주 높은 성능을 발휘하고 있다. 이것은 고도계의 기준치인 alt_bad의 이용을 위한 시험 보다는 자료추출 조작을 위한 시험에 더 많은 관심이 기울어져 있는 것으로 보여진다. 만약 복사계로 조사되는 지역이 해양 지역 혹은 침수된 지역(기준치 geo_bad_1의 bit n 2)이라면 여기에는 충분한 검토가 필요하다. 따라서 이러한 경우에 우리는 아래와 같은 시험들을 적용할 수 있다.

Nvalt_Halt > 5 for TOPEX
 Nvalt_Halt > 10 for POSEIDON
 RMS_Halt < 100mm(10Hz) for TOPEX
 RMS_Halt < 200mm(20Hz) for POSEIDON
 -13000mm < HP_Sat-H_Alt < 10000mm
 -5000mm < Terrestal tide < 5000mm
 -1000mm < Sold tide < 5000mmm
 -500mm < Loading tide < 500mm
 -2500mm < Correction of dry troposphere < -1900mm
 -500mm < Correction of humid trophosphere < -1mm
 -400mm < Correction of ionosphere < 0mm
 -400mm < Electromagnetic bias < 0mm
 0mm < SWH_K < 11000mm
 7dB < Sigma0_K < 25db
 0deg < Alt_Wvf < 0.4deg

여기서 마지막 시험인 0deg < Alt_Wvf 는 해안지역에서 종종 심각한 문제를 일으킨다.

특히 우리 나라 서·남 해안지역이 이와 같으며 또한 고도계 자료의 정확성을 비교할 만한 충분한 해면자료가 없었으므로 전 싸이클에 대해서 이 시험을 수행했다.

4. 보정 방법

1) 대기환경 인자들의 보정

대기환경 특성에 따른 인자들의 보정에는 건조 및 습윤 대류권의 보정, 이온권의 보정 그리고 전자기적 편차의 보정이 있다.

Dry_Corr: 건조 대류권의 보정

Wet_H_Rad: Topex의 마이크로파복사계와 관한 습윤 대류권의 보정

Iono_Cor: Topex의 고도계와 관한 이온권의 보정

Iono_Dor: DORIS의 복수진동 시스템과 관한 이온권의 보정

여기서 이온권의 보정은 위성이 조사를 수행하는 순간에 고도계의 기능에 따라서 차이를 나타낸다. 특히 Topex의 고도계와 관련되는 이온권의 보정(Iono_Cor)은 반드시 기본지침을 따라야 한다. 즉 신호 자체가 잡음이거나, 자료가 많은 잡음을 가지고 있거나 그리고 분석이 어려운 자료들에 대해서는 란크조 필터(Lanczos filter)를 적용해서 이러한 자료들을 스무딩(smoothing)해 주어야 한다.

고도계 측정과 관련해서 해수의 상태에 기인하는 전자기적인 편차의 보정은 두 고도계 자료들에 대한 통계학적인 해석을 통해서 개선한다. Gaspar 등(1994)은 Topex의 고도계 자료를 이용해서 이 자료에 대한 전자기적 편차를 평가했는데, 여기서 그들은 고도계의 조사와 관련해서 매우 좋은 결과를 산출해 낼 수 있는 경험모델로서의 알고리즘(algorithm)을 아래와 같이 구했다.

$$SSB=SWH \times (-0.0193-0.00368 \times u + 0.000141 \times u^2 + 0.00268 \times SWH)$$

여기서 SSB는 전자기적 편차, SWH는 유의파고 그리고 u 는 풍속이다. 같은 방법이 Poseidon의 고도계에도 다음과 같은 알고리즘이 적용된다.

$$SSB = SWH \times (-0.0512 - 0.00233 \times u + 0.000111 \times u^2 + 0.00176 \times *SWH)$$

2) 조석들의 보정

해양에서 높은 진폭을 나타내는 해양조를 제외한 나머지 조석들의 보정에는 탄성조, 하중조, 고체조 그리고 극조 같은 보정 인자들이 있다. 본 연구에서는 고도계 신호에 대해서 하중조와 탄성조 만을 보정 하였다(여기서 고체조와 극조는 무시해도 될 정도로 매우 낮은 진폭을 가진다).

해양조와 관련해서 Cartwright 와 Ray(1990)의 모델, Schwiderski(1980)의 모델 그리고 Le Provost(1994)의 모델을 각각 이용할 수 있는데, 이러한 해양조 보정은 결국 장주기파의 영향을 제외시키는 보정을 말한다. 이때 장주기파는 극과 적도에서 최대를 나타내며 위도 36° 근처에서는 최소를 보인다. 본 연구에서는 해양조 보정에 Cartwright & Ray 모델을 사용했다.

$ot_cr = H_Eot_CR - H_Lt_CR$: Cartwright & Ray 모델에 의한 해양조의 보정

3) 보정된 후의 해양 신호

앞에서 논의된 여러 보정들을 함으로서 정확한 고도계의 경로를 구할 수 있다. 따라서 위성의 기준점에서 해양 표면까지의 거리(완전히 보정된 후의 고도계의 경로)는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$range_cor = H_Alt + wet_tro + dry_tro + iono + em_bia$$

여기서 $range_cor$ 는 보정 후의 고도계의 경로, H_alt 는 보정 전의 고도계의 경로, wet_tri & dry_tro 는 건조 및 습윤 대류권의 보정, $iono$ 는 이온권의 보정 그리고 em_bia 는 전자기적 편차의 보정이다.

해양 신호(해수면, 역학고도, 해양 순환 등)

와 관련된 현상을 식별하고 그리고 해면 자료와 위성 자료간의 상호 비교를 위해서는 조석 신호가 제거되어야 한다. 즉, 해양 신호에 대한 대부분의 신호 잡음은 조석 성분인데 해면자료에서 얻은 진폭과 같은 진폭의 값을 위성 자료도 동반하고 있다. 따라서 NASA와 CNES에서 제공하는 기준 타원과 마찬가지로 기준 해면(HP_sat)에 대한 보정된 고도계 신호($range_cor$, 보정 후의 고도계의 경로)를 제거하고 나면 아래와 같은 해면 변화를 구할 수 있다.

$$h_cor = HP_sat - range_cor + bias$$

이때 두 고도계 간의 측정에 따르는 편차($cor + bias$)는 Topex의 경우는 $bias = 0cm$ 그리고 Poseidon의 경우는 $bias = 16.5cm$ 이다. 본 연구에서는 Gaspar et al.(1994)의 방법을 사용했는데, 이때의 $bias$ 는 $-16.5 \pm 2cm$ 이다.

최종적인 해양 신호는 탄성조(H_Set)와 하중조(H_Lt_CR)의 영향에 의한 해양저 바닥의 높이 변화와 이와 관련되는 지오이드(H_Geo)를 보정 한 후 이어서 해양조(ot_cr) 성분을 제거 시키므로써 얻을 수 있다. 따라서 우리가 구하고자 하는 순수한 해양 신호는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$h_tot = h_cor - (H_Geo + H_Lt_CR + H_Set) - ot_cr$$

5. 이동 평균의 계산

우리들의 궁극적인 목적은 평균 해수면에 대한 시간에 따른 해수면의 높낮이를 아는 것이다. 이러한 평균해수면은 일반적으로 지오이드 모델의 오차로 인하여 만족스러운 결과를 가져다 주지는 못한다. 따라서 통계학적인 방법을 통해서 평균 해수면을 결정할 필요가 있다. 위의 통계학적 방법은 보정된 고도계 신호의 궤적 형태에 대한 모든 점들을 평균하는 것으로서, 이때 장시간에 걸쳐서 조사된 해양 신호의 평균 값은 영(zero)라는 가설을 전제로 한다.

계절 변화의 영향을 최소화하기 위해서는

약 1년 주기에 대한 평균화가 필요하다. 따라서 우리는 1싸이클에서 36싸이클(약 360일로서 거의 1년에 걸친 측정값)까지에 대한 이동 평균값을 계산하였다. 본 연구에서는 1싸이클에서 70싸이클까지의 자료를 사용했는데, 최종적으로 이동 평균화된 35개의 새로운 평균값을 얻을 수 있다. 따라서 N개의 싸이클 측정에 대한 이동 평균화 식은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$h_0(k,j) = \frac{1}{36} \sum h_{\text{tot}}(i,j)$$

$$H_0(j) = \frac{1}{N-35} \sum h_0(k,j)$$

여기서 $h_{\text{tot}}(i,j)$ 는 고려된 궤적 내 j점의 i 싸이클에서의 해수면, $h_0(k,j)$ 는 k 싸이클에서 36개 이동 평균화를 했을 때의 해수면 그리고 $H_0(j)$ 는 고려된 궤적 내 j점의 지오이드와 관련된 평균 해수면을 각각 나타낸다. 만약 잔존 해수면(계절적 변화에 기인하는 해수면의 차)과 여러 가지 환경에 기인하는 오차를 무시한다면, $H_0(j)$ 는 지오이드에 기여하는 보정 인자가 된다. 따라서 j점에서의 순수 지오이드는 아래와 같이 주어진다.

$$\text{Geoid}_{\text{pure}}(j) = \text{Geoid}(j) + H_0(j)$$

아울러서 H_0 의 신뢰도 평가와 관련해서 우리는 $H_0(j)$ 의 최종 결과에 대한 이동 평균의 편차 $h_0(k,j)$ 를 결정할 수 있는데, 궤적의 각 점들에 대해서는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{RMS}_0(j) = \frac{1}{N-35} \sum \sqrt{(h(k,j) - H(j))^2}$$

여기서 $\text{RMS}_0(j)$ 는 총평균 $H_0(j)$ 에 대한 이동 평균의 편차 $h_0(k,j)$ 와 관계되는 값이다.

결과 및 고찰

1. 한반도 주변해역에서의 여러가지 보정인자들

위성 지상궤적을 따른 고도계 자료로부터

얻어지는 여러 보정 인자들의 수치값과 그 변화의 범위를 알 필요가 있는데, 싸이클 43(기준 싸이클)에 대한 상승 궤적 127(동해 및 남해)과 하강 궤적 214(서해 및 남해)를 임의로 선정하여 보정인자들의 특성을 파악해 보았다(그림 1).

대기보정 인자들과 관련해서 볼 때(그림 2와 3), 두 궤적들에 대한 건조 및 습윤 대류권의 보정 그리고 이온권의 보정은 단지 수 cm 정도의 변화 범위를 보일 뿐이다. 궤적 214에서 이온권의 보정과 관련해서(그림 3c) 남쪽과 북쪽 끝 부분에 특별한 잡음이 존재하는데, 이것은 서해안의 복잡한 지형적 특성 때문이다. 이러한 잡음을 제거하기 위해서는 일반적으로 Lanczos filter를 사용한다. 해수 표면의 상태와 관련해서 보정되어지는 전자기적 편차는 두 궤적 내에서 그 변화 범위의 정도가 약 10cm로서 앞선 두 보정인자들에 비해 상대적으로 높은 변화 범위를 보인다(그림 2d와 3d). 따라서 우리 나라 주변해역의 해수면 변화는 전자기적 편차의 영향을 상당히 받는다는 것을 잘 알 수 있다.

해양 보정인자들과 관련해서 볼 때(그림 4와 5), 탄성조 및 하중조는 해양조의 보정에 비해서 덜 중요하다. 즉 탄성조는 궤적 127이 약 5cm 및 궤적 214가 약 1cm(그림 4a와 5a) 그리고 하중조는 궤적 127이 약 1.8cm 및 궤적 214가 약 1cm(그림 4b와 5b)의 변화 범위를 각각 보일 뿐이다. 그러나 해양조는 궤적 127이 약 35cm(그림 4c)의 변화 범위를, 그리고 궤적 214에서는 약 60cm(그림 5c)의 변화 범위를 각각 보여준다. 따라서 우리나라 주변해역의 해수면 변화와 관련해서 해양조가 여러 보정인자들 중에서도 가장 큰 기여자로 작용한다는 것을 알 수 있다. 특히 동해보다는 서해에서 해양조가 해수면 변화에 큰 영향을 미친다는 것을 잘 알 수 있다. 해수표면에 순간적으로 작용하는 대기압력의 해수면 변화에 대한 기여도도 알 필요가 있는데, 즉 해면기압

의 보정이 부가적으로 요구되어 진다. 궤적 127의 경우는 약 6cm(그림 4d)의 변화 범위를, 그리고 궤적 214의 경우는 약 5cm(그림 5d)의 변화 범위를 각각 보인다.

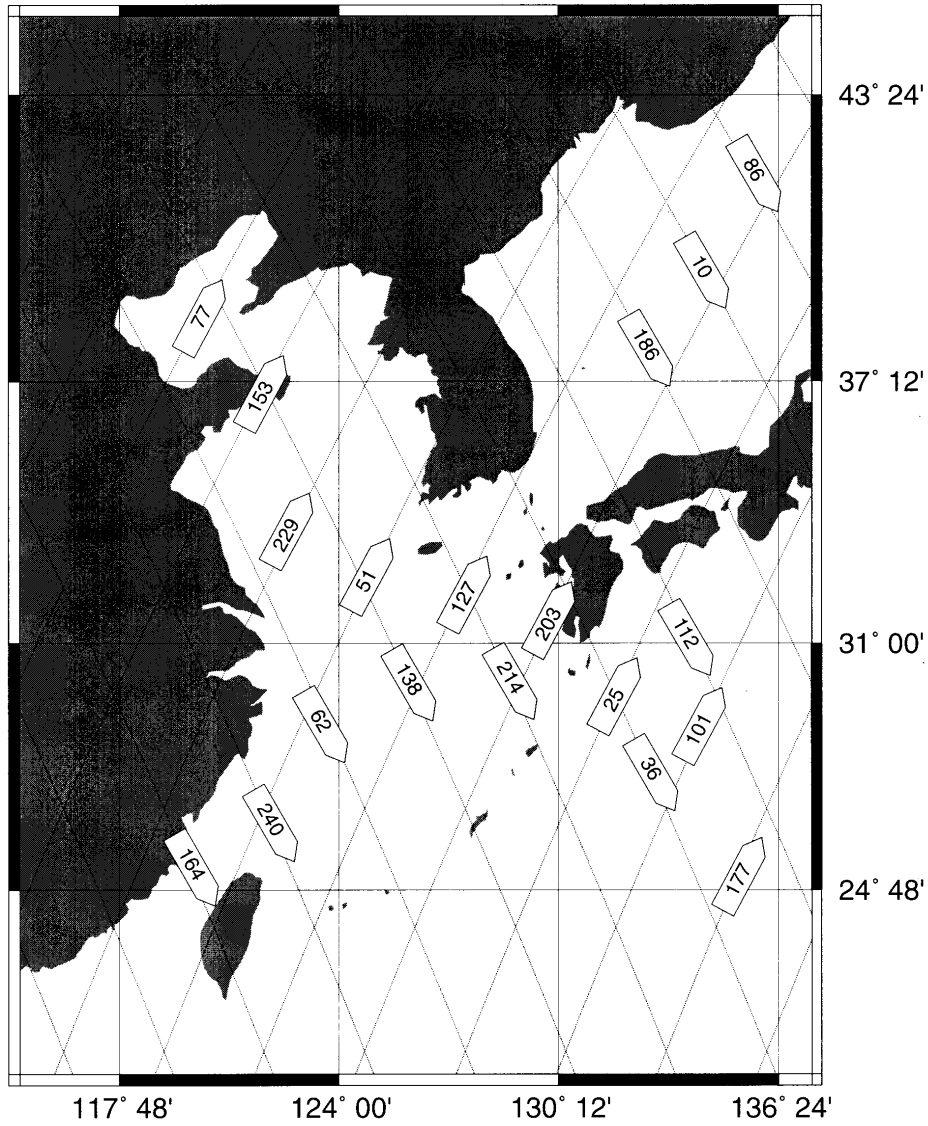


FIGURE 1. Topex/Poseidon altimetric ground tracks in the Yellow, the East China Sea and the East Sea.

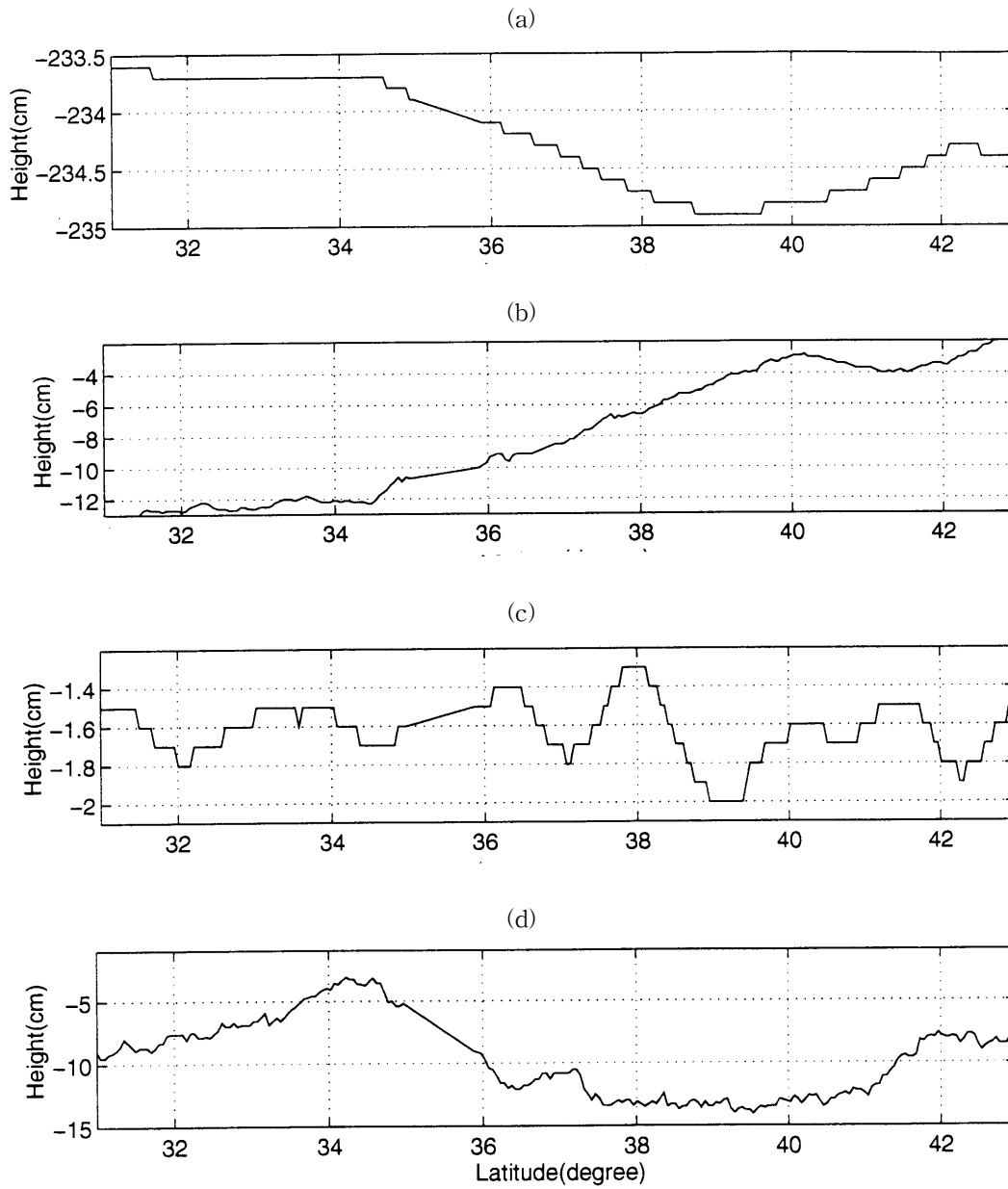


FIGURE 2. Variations of (a) dry troposphere, (b) humid troposphere, (c) ionosphere and (d) electromagnetic bias in the ascending ground track 127, respectively.

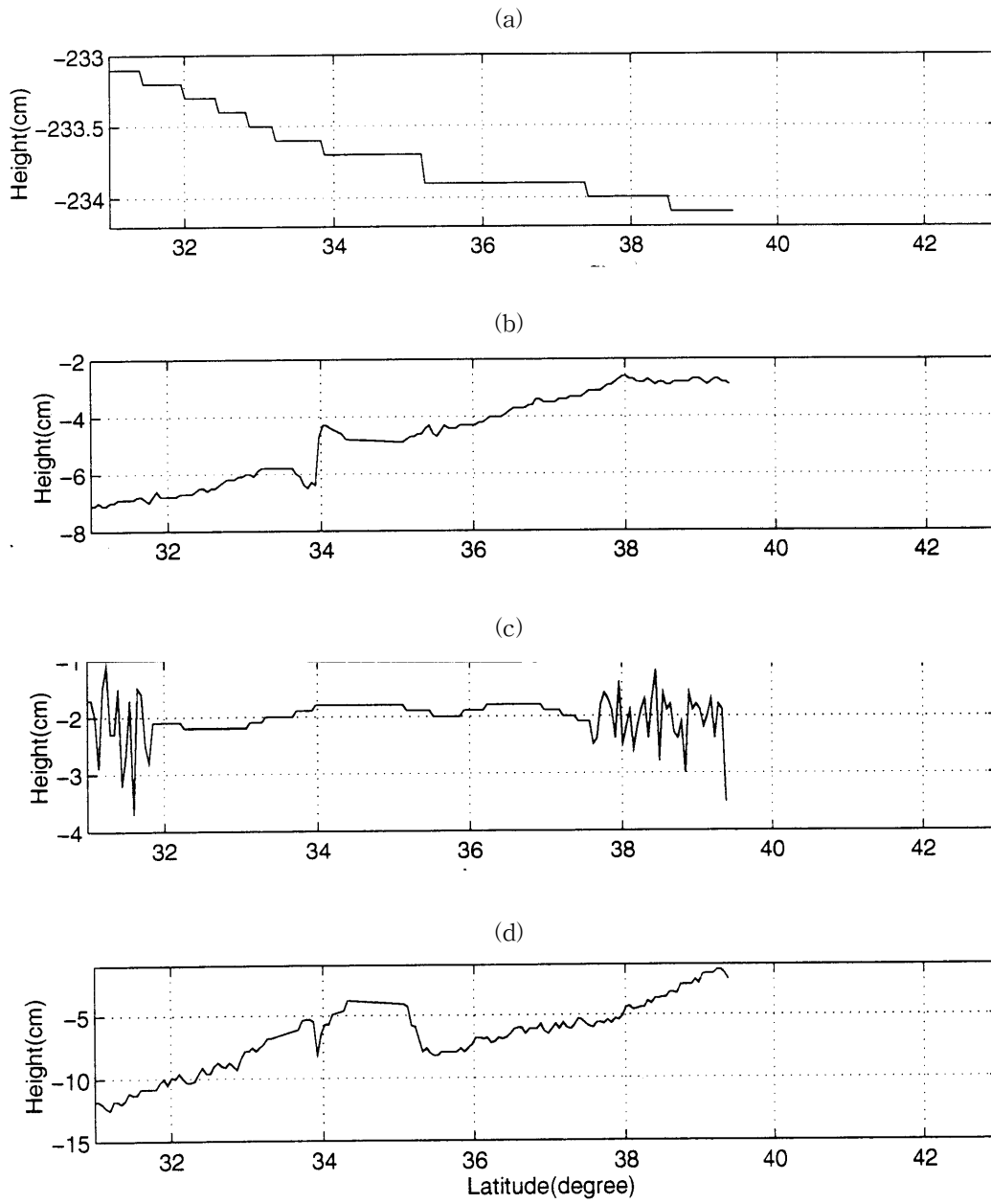


FIGURE 3. Same as Fig. 2, but for in the descending ground track 214, respectively.

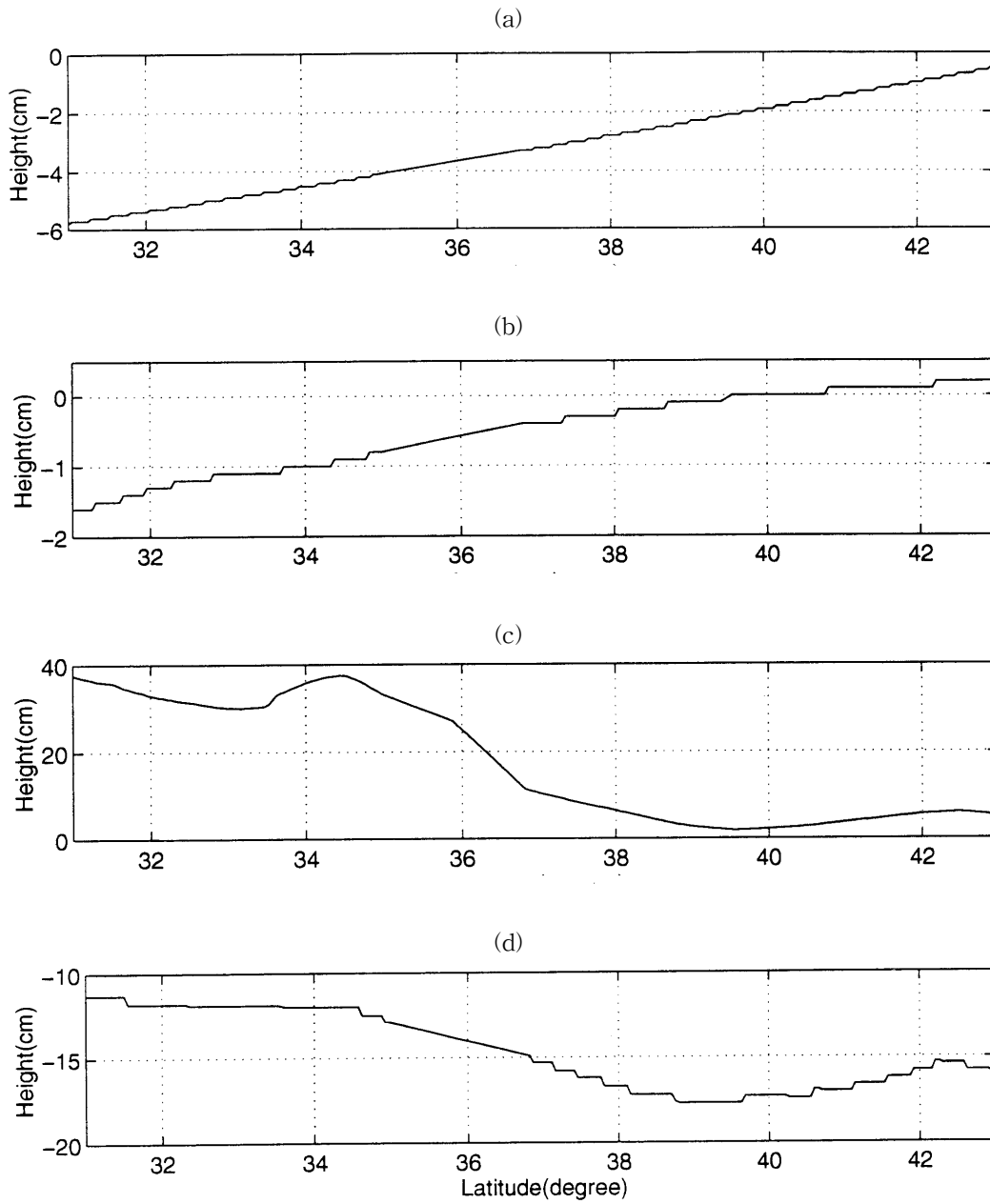


FIGURE 4. Variations of (a) elastic tide, (b) loading tide, (c) ocean tide and (d) inverted barometer in the ascending ground track 127, respectively.

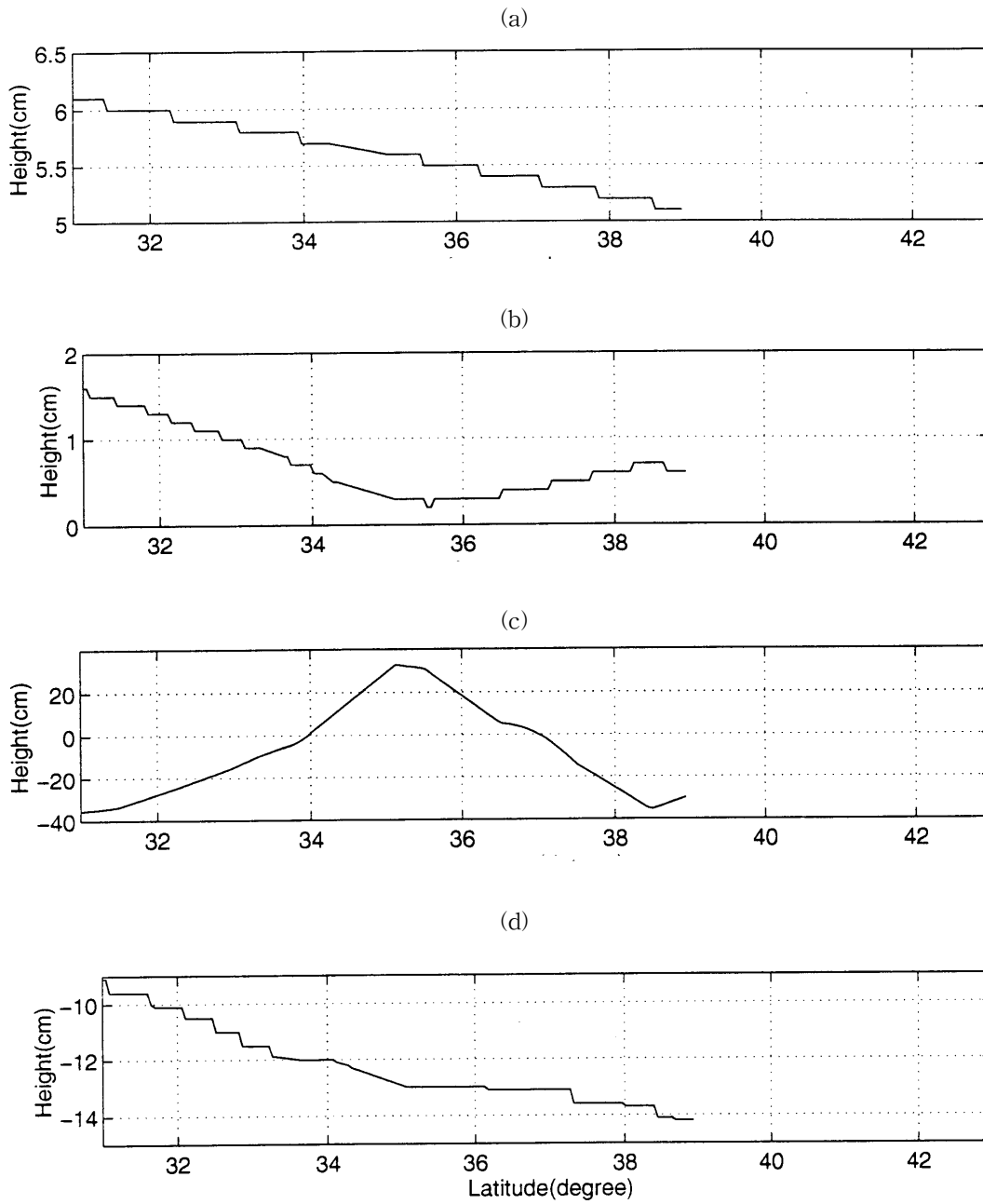


FIGURE 5. Same as Fig. 4, but for in the descending ground track 214, respectively.

2. 한반도 주변해역에서의 평균 해수면

상방향 지상궤적 내의 평균 해수면을 보면 (그림 6), 서해에서의 평균 해수면(그림 6a와 6b) 은 서부 지역(중국의 동해안)이 동부 지역(우리

나라 서해안)에 비해서 상대적으로 약간 높다. 서부 지역의 35.5°N 및 120.5°E 근처(산둥 반도의 남서 해안)에서부터 33.5°N 및 122.5°E 근처 까지의 평균 해수면은 약 2.1m의 높은 값을 보

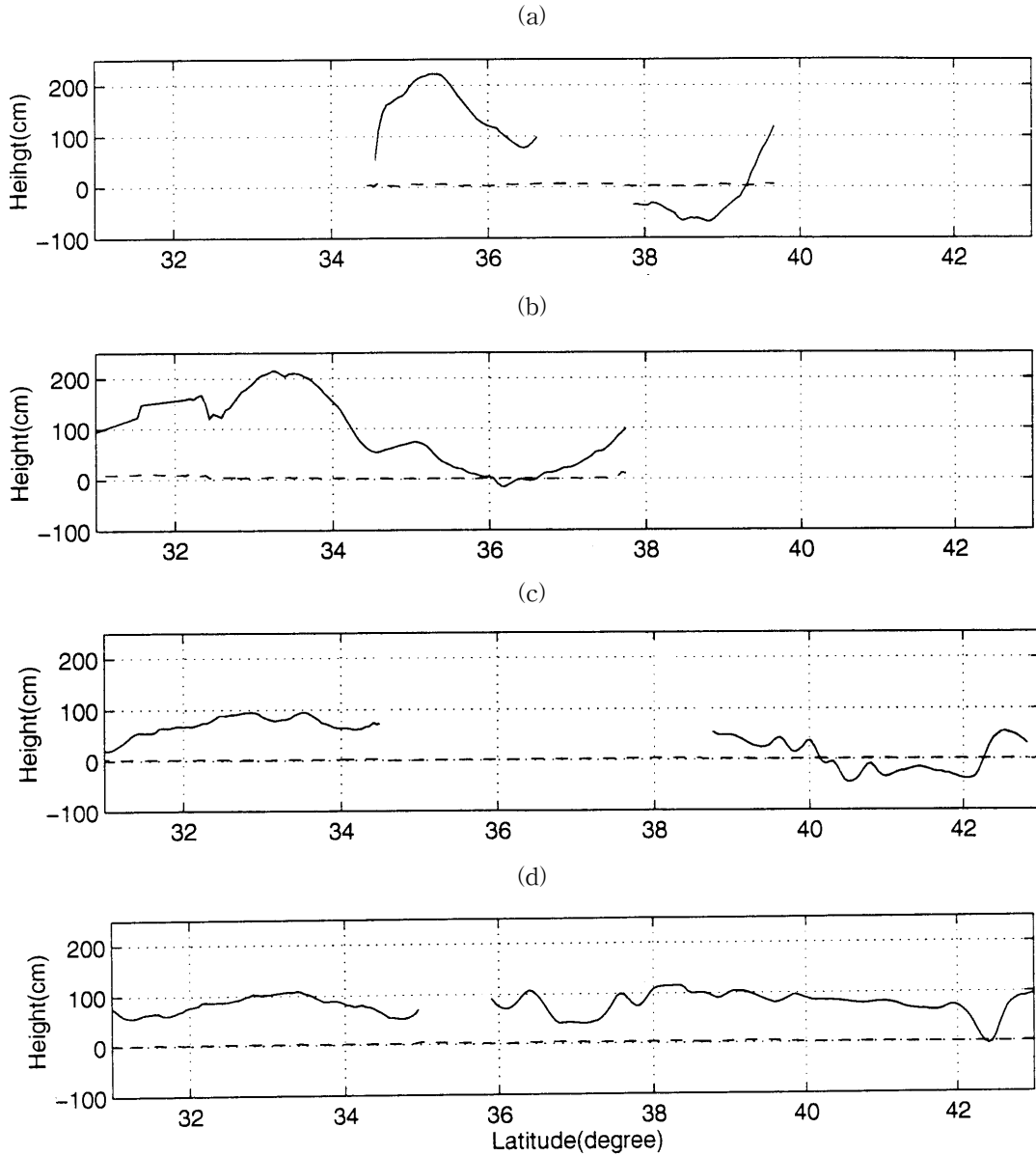


FIGURE 6. Mean sea level in the ascending ground track (a) 153, (b) 229, (c) 051 and (d) 127, respectively.

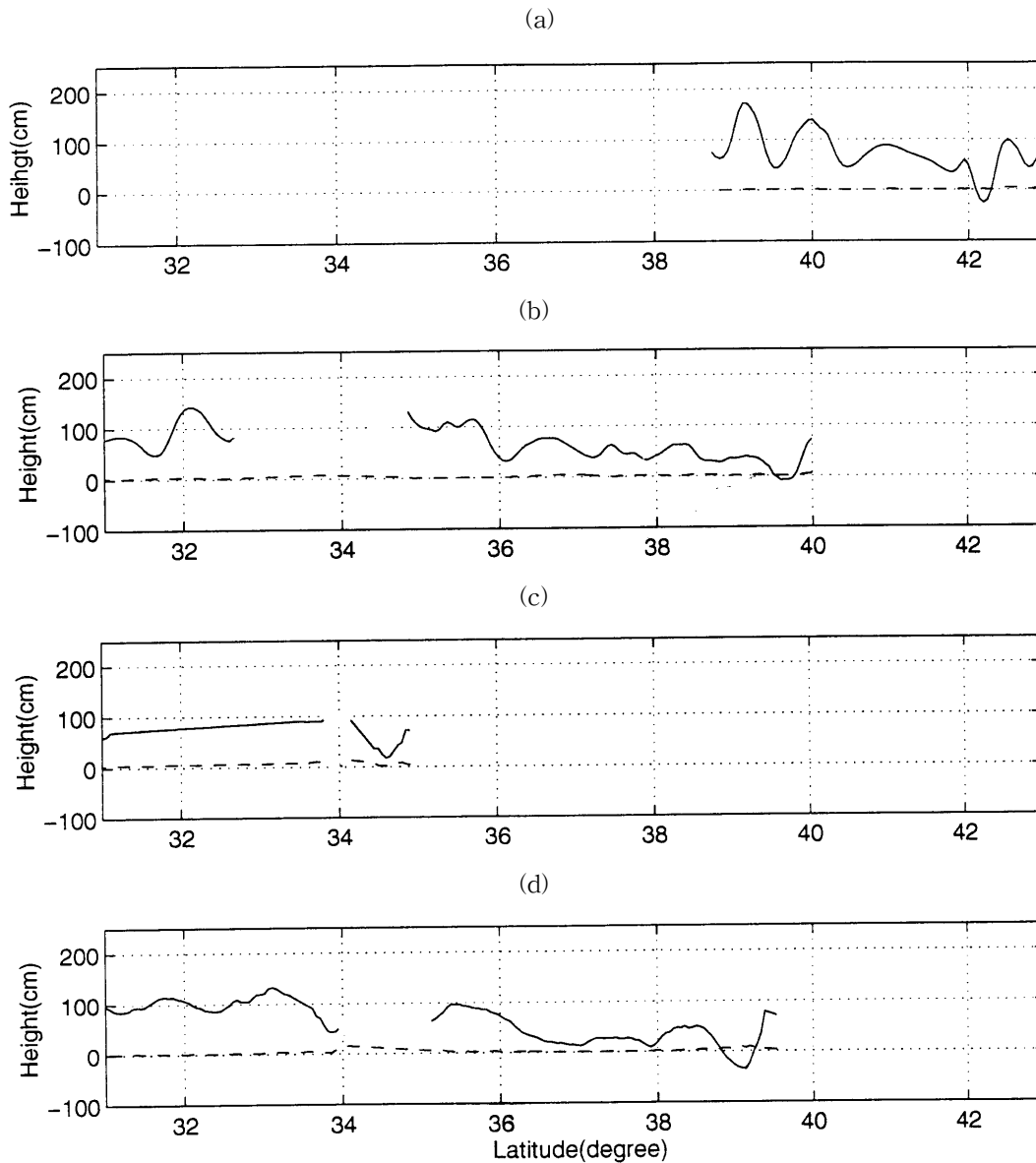


FIGURE 7. Same as Fig. 6, but for descending ground track (a) 010, (b) 112, (c) 036 and (d) 214, respectively.

이다. 반면에 중부 지역에서의 평균 해수면은 38.9°N 및 123°E 근처(산둥 반도의 북동 해안)에서는 약 -60cm 를 그리고 36°N 및 124°E 근처에서는 영(zero)을 나타낸다. 한반도를 경계로 서해의 남부 해안(목포 해안근처)이 동해의 북부 해안(고성-성진-나진 해안근처)에 비해서 비교

적 높은 평균 해수면을 나타낸다(그림 6c). 동지나 해역과 동해의 중부 지역은 약 1m 를, 그리고 동해의 서부 지역은 구룡포 해안과 울릉도 사이에서 약 $30\text{-}40\text{m}$ 의 평균 해수위를 각각 보인다(그림 6d).

하방향 지상궤적 내의 평균 해수면을 보면(그

림 7), 동해에 있어서 중부 지역 (39.1°N 및 134.6°E 근처)은 서부 지역(동해의 북부 해안)에 비해서 상대적으로 높은 평균 해수면을 가진다(그림 7a). 그리고 서부 지역(동해의 동해안)은 대체적으로 약 40-60cm의 평균 해수면을 보이며, 이때 일본의 연안 지역이 상대적으로 높다는 것을 알 수 있다(그림 7b). 부산-대마도 해안간의 평균 해수면은 최저값 약 20cm를, 대마도 해안-일본 해안간의 평균 해수면은 약 90cm를 각각 나타낸다(그림 7c). 그리고 우리 나라 서해안의 평균 해수면은 남해 해역에서 서해 해역으로 북상하면서 그 값이 대체적으로 줄어든다(그림 7d).

3. 한반도 주변해안에서의 평균 해수면

해수면 변화는 해양 순환과 관련해서 지형류의 요동에 의해서 생기는 높낮이에 의해서 생긴다. 표 1은 9개 조사지역에 대한 위치, 평균 해수면 및 해수면 변화(RMS의 변화폭)들의 값을 각각 나타낸다. 전체적으로 볼 때, 우리 나라 주변해안에서의 평균 해수면은 삼면이 모두 1m를 넘지 않는다. 이때 가장 높은 값은 용암포가 약 1.7m, 가장 낮은 값은 고성이 약 0.51m를 보인다.

서해 및 남해안 지역이 동해안 지역에 비

해서 높은 해수면의 변화를 나타낸다. 이때 서해의 용암포가 RMS=5.689cm로서 가장 높은 값을 보인다. 이것은 서해 및 남해는 수심이 낮고 해안선이 복잡한 지형적 특성과 조류의 영향 등에 기인하는 것으로 보여진다. 끝으로 동해는 신호를 제외하고 대체로 작은 해수면 변화를 보인다. 신호의 경우는 이 지역의 지형적인 영향에 우선적으로 좌우되는 것으로 생각되어진다.

결 론

1992년 후반에 위성 궤도에 올려진 Topex/Poseidon 위성은 도구적 정확도와 해수면 자료 보정에 대한 효율적인 개선을 통하여 현재까지 관련 과학자들에게 수많은 정보를 제공해 주었다. 앞으로 더욱 개선된 새로운 Topex/Poseidon이 1999년 초반에 정해진 궤도에 띄워질 것이다. 본 연구는 원시자료에 대한 보정 및 신호 처리를 한 후, 한반도 주변해역에서의 해양기상학적 보정인자, 평균해수면 및 그 변화 특성에 대한 간단한 적용 연구를 목적으로 수행되어 졌다. 이때 자료가 사용된 기간은 1992년 9월부터 1994년 8월까지로서 2

TABLE 1. Locations, mean sea level (MSL) and sea level variabilities (RMS) at 11 observed stations

Station	Location	MSL	RMS	Remark
Yongampo	39.6148° N 123.6544° E	101.663cm	5.689cm	
Baikryungdo	37.6370° 125.1343°	85.245	5.679	
Mokpo	34.4630° 129.9831°	71.010	2.731	
Jejudo	33.6708° 126.8513°	74.710	3.882	
Pusan	34.9767° 129.0647°	73.568	5.110	
Guryongpo	35.9757° 129.6141°	77.125	1.098	
Ulryungdo	37.6643° 130.7570°	88.352	2.729	
Gosung	38.7859° 128.5423°	50.862	1.430	
Sinpo	39.9882° 128.4307°	72.042	4.944	
Sungjin	40.6463° 129.9999°	-32.607	1.572	
Najin	41.9560° 130.9537°	-36.410	0.628	

년(1-73cycles)이다. 프랑스 항공우주국이 제공한 사용자 지침서에 따라 CD-ROM에 내장된 해수면 자료를 추출하였다. 이때 기준 사이클은 43 사이클로 선정하였다. 이 사이클은 전 조사기간에 걸쳐 다른 사이클에 비해서 지상 궤적이 설정된 기준 궤적에 정확히 위치했으며 그리고 궤적을 따른 각 조사점 내에서 거의 완전한 자료를 제공해 주었기 때문에 선택하였다.

본 연구에서는 한반도를 중심으로 하여 동해를 지나는 상승 궤적 127과 서해를 지나는 하강 궤적 214로 크게 대별하여, 서해, 동지나해 그리고 동해에서의 해양 및 대기적 보정인자들의 특성, 평균 해수면 및 그 변화의 양상을 조사하였다. 대기적 보정인자들에 있어서, 건조 및 습윤 성층권, 이온권 그리고 해면기압은 전체적으로 수 cm이하로 나타났다. 그러나 전자기적 편차는 앞선 여러 인자들에 비해서 상대적으로 높은 값을 보였는데, 이때 두 궤적 모두가 약 10cm정도의 변화 범위를 나타내었다. 해양학적 보정인자들에 있어서는, 해양조의 변화 범위가 각각 궤적 127에서 35cm 그리고 궤적 214에서 60cm로서, 탄성조 및 하중조에 비해서 매우 높은 값을 보였다. 이상과 같이 한반도 주변해역에서의 최종 해양학적 신호와 관련하여 주로 해양조 및 전자기적 편차의 영향이 크다는 것을 잘 알 수 있다. 평균 해수면은 서해가 다른 해역에 비해서 높게 나타났다는데, 이때의 변화 범위는 -60cm ~ 210cm였으며 평균값은 100cm였다. 또한 평균 해수면의 변화는 서해 및 동지나해에서 대체로 높게 일어났는데, 특히 용암포에서는 5.689cm의 RMS변화를 보였다. 이러한 결과들은 주로 지역적 지형특성과 강한 조류에 기인하는 것으로 생각되어진다.

위성 고도계 자료를 사용할 때의 어려움은 반드시 필수적으로 요구되어지는 수 많은 복잡한 인자들의 보정에 있다는 것을 잘 알 수 있다. 현장 자료와 고도계 자료와의 비교는 궁

극적으로 우리들이 알고자 하는 오차에 대한 평가를 명확히 알 수 있게 해준다. 이러한 두 자료 간의 오차를 최소화로 줄일 수 있는 새로운 연구들이 지금도 지속적으로 수행되어지고 있다. 해수면의 특성 연구와 관련하여 본 연구에서는 연구목적 상 단지 위성 자료만을 이용했으나 차후 현장 자료와의 비교 연구를 수행하게 될 것이다. 이상 과같이 위성 고도계 자료는 해양, 기상, 수산 및 공학적인 연구에 다방면으로 활용되고 그리고 본 연구에서 제시한 자료의 추출 및 처리 기법이 앞으로 실질적으로 독자들이 쉽게 사용할 수 있도록 범용화되어질 것이다. **KAGIS**

참고문헌

- 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.
- Cartwright, D. E. and R. D. Ray. 1990. Oceanic tides from Geosat altimetry. *J. of Geo. Res.* 95:3069-3090.
- European Center for Medium-Range Weather Forecasts. 1993. The description of the ECMWF/WCRP Level. III-A Global Atmospheric Data Archive.
- Gaspar, P., F. Ogor, P. Y. Le Traon and O. Z. Zanife. 1994. Estimating the sea state bias of the Topex and Poseidon altimeters from crossover differences. *J. of Geo. Res.* 99(C12):24981-24994.
- Le Provost, C., Genco, M. and L., Lyard, F.. 1994. Spectroscopy of the world ocean tides from a finite element hydrodynamic model. *J. of Geo. Res.* 99(C12):24777-24797.
- Rapp, R. H., Y. Yi and Y. M. Wang. 1994.

- Mean sea surface and geoid gradient comparisons with Topex altimeter data. *J. of Geo. Res.* 99(C12):24657-24667.
- Schwiderski, E. W.. 1980. On charting global ocean tides, *Rev. Geophys.* 18:243-268.
- Yoon, H. J.. 1997. La variation du niveau de la mer sur la region d'Amsterdam-Crozet- Kerguelen au Sud de l'Ocean Indien. Memoire de these, Universite Joseph Fourier. **KAGIS**