

## 원격탐사자료와 이어도기지 해양관측자료를 이용한 상호 보정

김창오\* · 심재설\*\* · 황종선\*\*\* · 이재학\*\*\*\* · 김수정\* · 김정우\*

세종대학교 지구정보공학과\*, 한국해양연구원 연안·항만공학연구본부\*\*

연세대학교 지구시스템학과\*\*\*, 한국해양연구원 해양기후·환경연구본부\*\*\*\*

### Mutual Adjustment of Oceanographic Measurements from Ieodo Station and Satellite Data

Chang-Oh Kim\*, Jae-Seol Shim\*\*, Jong-Sun Hwang\*\*\*,  
Jae-Hak Lee\*\*\*\*, Soo-Jung Kim\*, and Jeong Woo Kim\*

Dept. of Geoinformation Engineering, Sejong University\*

Coastal & Harbor Eng. Res. Div., Korea Ocean Research & Development Inst.\*\*

Dept. of Earth System Sciences, Yonsei University\*\*\*

Ocean Climate & Env. Res. Div., Korea Ocean Research & Development Inst.\*\*\*\*

**Abstract :** Oceanographic measurements from Ieodo Ocean Research Station and its vicinity were compared for assessment and mutually adjusted with satellite data. From the Topex/Poseidon and ERS-1/2 radar altimeter and scatterometer data, sea surface height, wind speed and direction were extracted and analyzed. Shipborne wind direction data acquired in June 1995 show good coherence with the satellite data, while sea surface height and wind speed show differences, possibly resulting from the distance between the measurement points. This can be improved by analyzing more satellite data or using other available shipborne data. The recent 3 months of Ieodo Station data between December 2004 and February 2005 were also analyzed and compared with the satellite data. The Ieodo Station data were found to have considerable gaps during the period as well as seriously biased particular when the data were averaged with some abnormal data. The Ieodo Station and satellite data were then mutually adjusted on the basis of their statistics. Ieodo Station oceanographic measurements are very efficient for ground-truthing of satellite data because they are stationary and the station is located far from the coast. On the other hand, the satellite measurements are the only data to fill up gaps and adjust biases of the Ieodo Station data.

**Key Words :** Ieodo Station, Oceanographic Data Adjustment, Satellite Altimeter and Scatterometer Data.

**요약 :** 이어도 종합해양과학기지 및 주변에서 관측된 해수면고도, 해상풍향 및 풍속 자료와 인공 위성으로부터 관측된 자료를 비교하여 상호 신뢰도를 검증하고 보완하였다. 인공위성자료는

Topex/Poseidon 레이더고도계 및 ERS-1/2 고도계 및 산란계 자료를 이용하였고 이어도 기지 건설 당시 기지 부근 선상에서 관측된 자료 및 기지에서 최근 관측된 자료를 비교 분석하였다. 위성자료와 1995년 6월 해상탐사자료를 비교한 결과 대체적으로 잘 일치하며 이는 더 많은 위성 자료를 이용함으로써 보완 가능하다. 한편 거의 실시간으로 제공되는 이어도 기지의 2004년 12월부터 2005년 2월 까지 최근 3개월 간 자료를 분석한 결과 자료의 공백 및 비정상 값을 보이는 경우가 많았고 이들을 위성자료와 비교 한 후 통계적으로 상호 보정하였다. 이어도는 육지와 멀리 떨어져 있어 위성해양관측자료를 검증하기에 매우 적합한 반면 이어도 관측 자료를 검증 및 보완하는 가장 효율적인 방법은 위성자료를 이용하는 것이다.

## 1. 서론

인공위성으로부터 관측된 지구의 물리화학적 현상은 그 측정 범위나 빈도수 및 연속성 등에 있어서 지표 또는 해상탐사에 비하여 우수하다. 반면에 위성자료는 현장자료에 비하여 자료의 정확도 및 정밀도가 떨어지고, 기상상태와는 무관한 마이크로파 원격탐사를 제외하고는 일조 및 기상상태에 영향을 받을 수 있다는 단점이 있다. 그럼에도 불구하고 인공위성으로부터 관측되는 해수면, 풍향, 풍속 등의 해양자료들은 해양탐사가 범위 및 기간이 매우 제한적이므로 선박의 항해, 해양자원탐사, 지구환경 연구 등 다양한 분야의 의존도가 높다. 그러나 이들 해양 관측 자료는 현장 자료와의 비교 등을 통한 검증이 반드시 필요한데 이는 위성관측 결과가 센서 종류 및 관측방법에 따라 다른 결과를 초래할 뿐 만 아니라 궤도나 위성의 자세 등에 의한 오류가 포함되기 때문이다.

예를 들어 이 연구에서 사용한 레이더고도계(radar altimeter) 자료로 측정된 해수면의 경우 인공위성으로부터 해수면까지의 거리를 측정 한 후 이를 인공위성의 고도에서 제거함으로써 해수면의 기록을 계산하므로 아무리 레이더를 이용한 측정이 정확히 이루어진다 하더라도 위성자체의 고도에 오차가 있을 경우에는 오류가 포함된다(Fu and Cazenave, 2001). 특히 연안에서는 고도계의 작동이 열린 바다에서보다 원활하지 않는데 이는 해양관측위성이 상대적으로 기록이 심한 육지 위에 위치 할 경우에 발생하는 문제이며, 더구나 연

안에서는 조석 및 조류 변화로 인해 관측의 정확도가 떨어지게 된다. 또한 산란계(scatterometer)의 경우에는 관측에 입사각에 따라 해수면에서 되돌아오는 파가 달라지므로 경우에도 위성의 궤도와 자세 등에 의한 오차가 역시 포함 된다.

근본적으로는 위성 관측의 경우에는 현장 관측과는 달리 측정하고자 하는 물리적 현상을 직접 관측하는 것이 아니기 때문에 위성의 종류 및 그에 따른 관측 기법 및 해석 방법에 따라 다른 결과를 가져온다. 예를 들어 전술했듯이 산란계를 이용한 풍속 추출의 경우에는 바람에 의한 해수면에서의 후방산란계수의 변화를 측정하는 것으로 이는 현장 관측과는 전혀 다른 개념이다. 레이더고도계의 경우에는 풍속에 따라 해수면의 거칠기가 달라지고 이에 의해 레이더파의 반사도가 달라지는 원리를 이용하는 방식이며, 이 때문에 레이더고도계로부터는 풍향은 관측 할 수 없다. 따라서 인공위성 해양자료의 경우에는 반드시 현장자료를 이용한 검교정이 필요하다(김정우, 2003).

2003년 6월에 준공된 이어도 종합해양과학기지(이하 이어도 기지)는 제주도 남쪽의 마라도에서 서남방으로 149km 떨어진 동경 125도 10분 57초, 북위 32도 07분 23초 지점에 위치하는데, 이는 일본의 도리시마에서 서쪽으로 276km 중국의 통타오로부터 북동쪽으로 247km 떨어져 있다. 이는 육지에서 멀리 떨어져 있을 뿐 만 아니라 항시 이동하는 선박과는 달리 고정점에서의 연속된 관측값을 거의 실시간으로 제공한다는 장점이 있다(이어도 종합해양과학기지 URL 참조).

따라서 이 연구에서는 Topex/Poseidon(이하

T/P) 레이더고도계 및 ERS-1/2(이하 ERS) 고도계 및 산란계 자료를 이어도 기지 건설에 기지 부근 선상에서 관측된 자료 및 기지에서 최근 관측된 자료와 비교 분석함으로써 상호 보완하였다. 선상자료는 1995년 6월 이어도 기지 건설 현장탐사를 목적으로 관측한 자료를 이용하였고 이어도 기지 관측 자료는 거의 실시간으로 제공되는 2004년 12월부터 2005년 2월까지 최근 3개월 간 자료를 분석하였다. T/P 위성 레이더고도계로부터는 해수면 고도와 풍속을, ERS 위성의 고도계로부터는 해수면고도, 산란계로부터 풍향 및 풍속을 추출하였다.

## 2. 연구방법

### 1) Topex/Poseidon 레이더고도계를 이용한 해수면고도 추출

레이더고도 원격탐사는 항공기나 인공위성에 탑재된 고도계로부터 레이더파를 해수면에 수직하향으로 발사하여 되돌아오는 왕복시간을 기록하여 이를 거리로 환산하는 비영상 능동 원격탐사이다. 주로 5-13GHz의 주파수를 이용하는데, 이는 해수면이 이 주파수대의 전자기파를 잘 반사하기

때문이다. 1978년 미국의 Seasat이 최초의 성공적인 위성이며, 지금까지 10여 개의 고도계가 지구 궤도에 올랐고, 지구물리학, 지질학, 해양학, 기상학, 빙하학 등 다양한 분야에서 응용되고 있다 (Fu and Cazenave, 2001).

이 연구에서는 T/P Merged Geophysical Data Record(MGDR)를 이용하여 해수면고도를 추출하였다(Benada, 1997). 1992년 8월 10일에 발사된 T/P는 미국 NASA(National Aeronautics and Space Administration)와 프랑스 CNES(Centre National d'Etudes Spatiales)가 공동으로 제작한 첨단 위성으로 해수면 변화를 정확하게 관측하기 위해 만들어졌다. T/P 위성은 평균 고도 1336km의 상공에서 66.05°의 경사각으로 112.4분 만에 거의 원형궤도로 지구를 한바퀴씩 돌아 약 10일 만에 전 지구를 관측할 수 있게 설계되었다. T/P Cycle 001~036의 123개 CD로부터 자료를 추출하여 분석하였고, 이에 해당하는 기간은 1992년 10월 3일부터 2002년 9월 30일 까지 이다.

그림 1(A)는 이어도, 조사선의 위치 및 T/P 위성의 지상궤도 및 관측점의 위치를 나타낸다. 전술한대로 T/P위성의 경우에는 10일 주기로 궤도가 반복되며, 따라서 그림에 나와 있는 궤도상의 관측점에는 10일 간격으로 관측된 여러 관측 자료

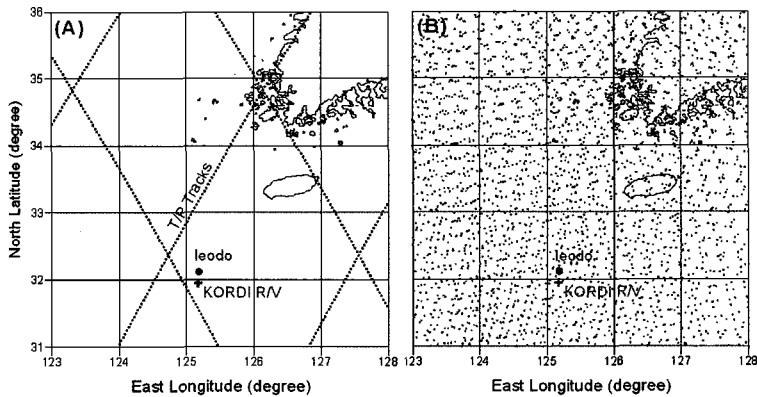


Fig. 1. (A) Location of leodo and Topex/Poseidon ground tracks (broken lines) and data acquisition point by KORDI's Research Vessel (cross). (B) ERS-1/2 measurement points with leodo (dot) and data acquisition point by KORDI's Research Vessel (cross).

가 중복되며 이로부터 시간에 따른 변화를 관측할 수 있다. 이 연구에서는 기지 건설을 위한 현장조사선 해양연구원의 온누리호(KORDI Research R/V) (그림에서 +로 표시)에서 가장 가까운 5개의 T/P 관측점을 선택한 후 선상측정이 이루어진 1995년 6월에 해당하는 자료를 추출하여 평균 내었다.

## 2) ERS-1/2 고도계 및 산란계를 이용한 해수면표고 및 풍속 및 풍향 추출

산란계는 마이크로파를 사용하여 지표에 반사되어 되돌아오는 신호를 측정함으로써 지표면의 기복 또는 해상풍을 연구하는 원격탐사이다. 산란계 신호의 입사각을 달리하면 되돌아오는 후방산란계수가 달라지고, 이로부터 해상의 풍향 및 풍속을 계산하는 원격탐사기술이다.

ESA(European Space Agency)의 ERS-1(First European Remote Sensing Satellite) 및 2 자료를 이용하였다(CLS, 1993). ERS-1은 1991년 7월 지구 궤도에 진입하여 1991년 8월부터 1996년 7월까지 성공적으로 지구를 관측한 극궤도 위성이다. 이후 1995년 4월 유사한 시스템인 ERS-2도 궤도에 올라 임무를 수행 중이다(French Processing and Archiving Facility, 1995). ERS-1 위성은 고도 782-785km 사이를 유지하며 98.52°의 경사각으로 100분 만에 거의 원형궤도로 지구를 한바퀴씩 도는데 3일, 35일 및 176일 주기로 지구를 관측하였다. ERS-2는 1995년 4월 약 785km 상공의 지구궤도에 진입하여 98.5°의 경사각으로 100분 만에 거의 원형궤도로 지구를 한바퀴씩 돌며 자료를 수집중이다.

이 연구에서는 ERS에 탑재된 레이더고도계로부터 관측된 해수면 고도를 분석하여 이를 T/P 관측값 및 현장자료와 비교 분석하였다. 한편 해상 풍속 및 풍향을 추출하기 위해서는 ERS-1 Cycle 294~519의 39개 CD 및 ERS-2 Cycle 520~898의 70개 산란계 CD로부터 자료를 추출하여 분석하였다. 연구기간은 ERS-1이 1991년 8월 4일부터 1996년 6월 1일, ERS-2가 1996년 3월 19일

부터 2001년 1월 17일 까지 이다.

그림 1(B)는 이어도 기지, 조사선의 위치 및 ERS 위성 관측점의 위치를 나타낸다. 이 연구에서는 조사선의 위치(그림에서 +로 표시)에서 가장 가까운 5개의 ERS 관측점을 선택한 후 선상측정이 이루어진 1995년 6월에 해당하는 자료를 추출하였다.

## 3. 결 과

이 연구에서는 T/P와 ERS 위성의 고도계 및 산란계를 이용하여 이어도 및 부근의 해수면고도, 해상 풍향 및 풍속을 추출하였고 이를 한국해양연구원 조사선에서 1995년 6월 측정된 값과 비교하였다. 조사선 해수면고도 관측기간은 1995년 6월 7일부터 21일까지이며, 10분 간격으로 측정된 자료를 이용하였다. 풍속 및 풍향은 1995년 6월 1일부터 30일까지 측정된 자료이다. 한편 이어도 기지 관측자료는 2004년 12월부터 2005년 2월까지 최근 3개월 동안 관측된 자료를 이용하였다.

### 1) 해양조사선 자료와의 비교

그림 2의 (A), (B), (C)는 각각 1995년 6월 해양조사선에서 관측된 해수면고도, 풍속 및 풍향에 대한 결과로서 조사선으로부터 관측된 자료는 실선으로 표시하였고 인공위성으로부터 관측된 자료는 원 또는 사각형의 점으로 도시하였다.

해수면고도를 측정된 T/P 위성의 경우는 그림 2(A)에서 보듯이 조사선의 위치에서 가장 가까운 5개의 관측값을 평균한 것으로(그림 1(A) 참조) T/P 위성의 관측 주기 및 자료의 품질 때문에 관측기간인 1995년 6월 7일부터 21일 동안 모두 다섯 번 비교만 가능하였다. 이중 마지막 두 번의 위성 관측값은 조사선 자료와 상당히 일치하나 나머지는 약간의 차이를 보인다. 그림에서 보듯이 위성 관측값이 조사선 관측값 보다 높게 나타나며 이로부터 둘 사이에 선형 기준면 보정이 필요하거나 아니면 T/P 위성의 관측점 부근의 해수면이

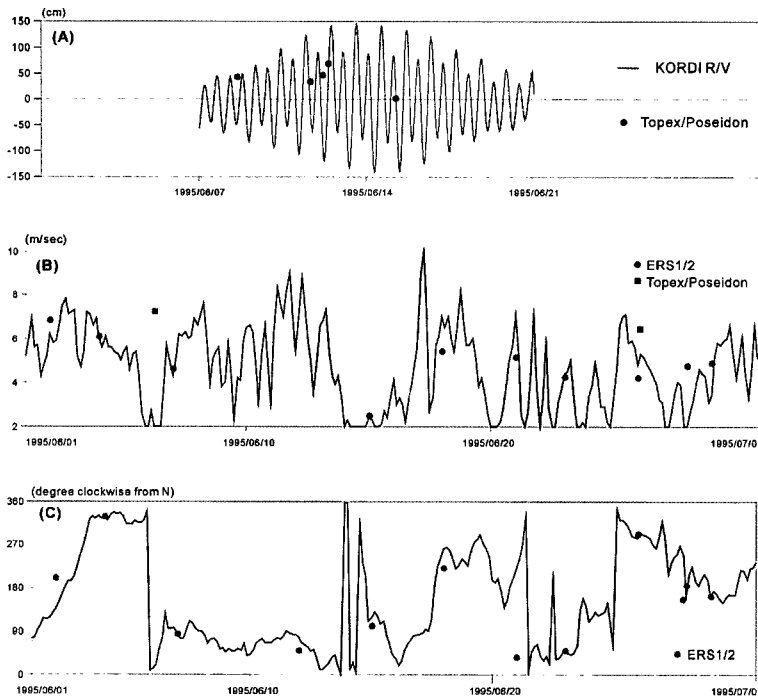


Fig. 2. (A) Sea surface heights (cm) measured by KORDI's R/V and T/P (dots). (B) Wind speed (m/sec) measured by KORDI's R/V (line), ERS-1/2 scatterometer (dots) and T/P (squares). (C) Wind direction (degree clockwise from N) measured by KORDI's R/V and ERS-1/2 scatterometer (dots). Measurements were taken in June 1995.

조사선 위치의 해수면에 비해 고도가 높음을 알 수 있다.

그림 2(B) 및 (C)는 풍속 및 풍향값으로 그림 (B)에서 T/P 위성의 관측값은 사각형으로, ERS 위성의 값은 원으로 나타냈고 기간은 1995년 6월 1일부터 30일 사이의 해상풍 값을 이용하였다. 주어진 기간 동안 T/P는 2회, ERS는 9회 비교되었다. ERS에서 관측된 풍속은 비교적 현장자료와 잘 일치한 반면 T/P로부터 관측된 자료는 상당한 차이를 보였다. 그림 (C)에서는 풍향을 비교한 것으로 ERS 관측값은 점으로 표시 되어있으며 모두 12회에 걸쳐 이루어진 비교 결과 풍향은 다른 자료에 비해 잘 일치함이 밝혀졌다.

## 2) 이어도 관측자료와의 비교

한편 이 연구에서는 T/P와 ERS 위성의 고도계 및 산란계를 이용하여 이어도 기지에서 2004년 12

월부터 2005년 2월까지 최근 3개월 동안 관측된 해수면고도, 풍속 및 풍향을 비교 분석하였다. 그림 3은 이어도 기지에서 관측된 값으로 (A), (B), 및 (C)는 각각 해수면고도(조위값), 풍속 및 풍향을 나타낸다. 각각의 값은 24시간 일일 평균값이며 (원으로 표시), 이와 함께 일일 최소(삼각형) 및 최대값(사각형)을 도시하였다.

그림에서 보듯이 거의 실시간으로 제공되는 이어도 기지의 관측값에는 상당한 자료의 공백이 있는데 이는 각 그림에서 0값으로 입력하였다. 특히 그림에서 P-2에 해당하는 부분의 경우에는 기지에서 관측된 모든 자료에 이상이 있는바, 이는 이어도 기지 자체의 문제(예를 들어 전원)인 것으로 보인다. 그 외의 공백은 각 관측 장비의 이상인 것으로 사료된다. 따라서 이러한 공백을 채우기 위해 인공위성 자료를 사용하였다. 또한 비정상적

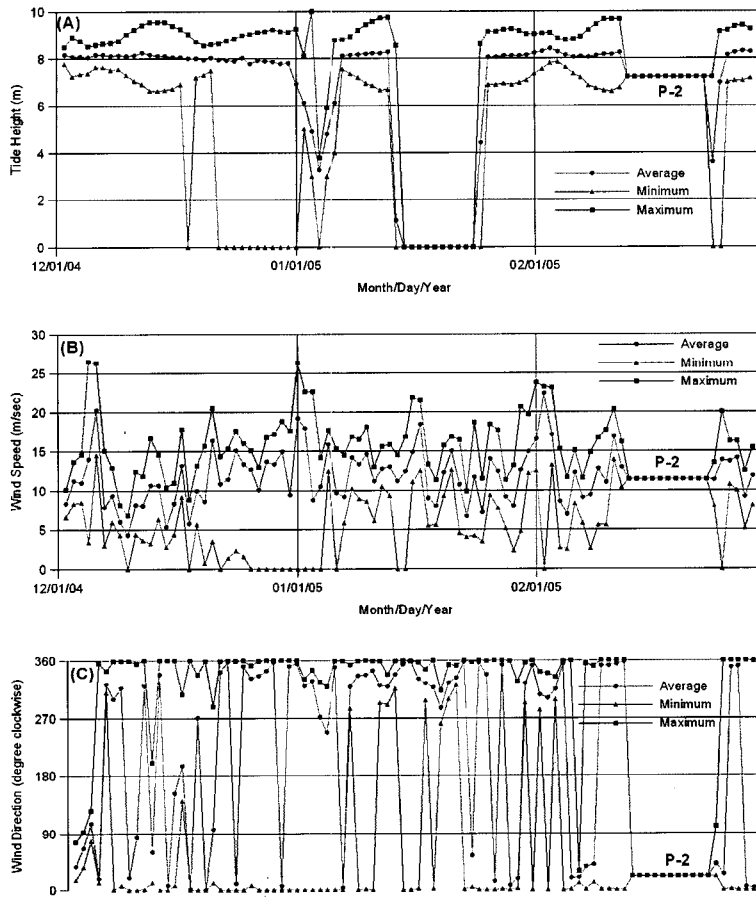


Fig. 3. (A) Sea surface height (tide height), (B) wind speed, and (C) wind direction measured at leodo Station between December 2004 and February 2005. Their daily maximum, minimum as well as the average values were plotted.

인 관측값에 의하여 일 평균값이 왜곡되는 경우가 자주 있는데, 예를 들어 2004년 12월 4일과 5일의 최대 풍속, 2005년 1월 3일 관측된 해수면의 최저값 등이 일평균을 왜곡시킨 예이다. 이러한 왜곡은 현장자료를 자세히 분석함으로써 어느 정도 보정이 가능하나 P-2와 같이 모든 장비에 10일 가까이 기간 동안의 자료 공백이 생긴 경우에는 위성 자료를 이용하는 것이 유일한 방법이다.

그림 4는 상호 비교에 의한 보정의 예로 (A)는 보정되지 않은 일평균 풍속을, (B)는 보정 풍속을 각각 나타낸다. 그림에서 이어도 기지 값은 원으로, 인공위성 값은 사각형 점으로 표시하였다. 그림 4(A)에서 보듯이 인공위성자료의 경우에는 P-1 으

로 표시된 부분이, 이어도 자료의 경우에는 대표적인 예로 P-2의 기간 동안 자료의 이상이 발생하였다. 이들을 통계적으로 0.73의 상관관계를 갖는다.

이들을 보정하기 위해서 이 연구에서는 이들의 평균 및 표준편차 등의 통계를 이용하였다. 그림 (A)에서 보듯이 연구기간 동안 이어도 기지에서 관측된 풍속의 평균값 11.72m/s는 위성에서 관측된 풍속의 평균값인 9.19m/s 보다 2.53m/s 높다. 이 경우에는 기지에서 관측된 값이 실제값에 가까우므로 위성 관측값에 일률적으로 2.53m/s를 더하여 서로의 평균을 같게 하였다. 그리고 P-1 처럼 위성 자료의 공백이 있는 부분에 대해서는 이어도 자료를, P-2처럼 이어도 자료의 공백이 있는 경우

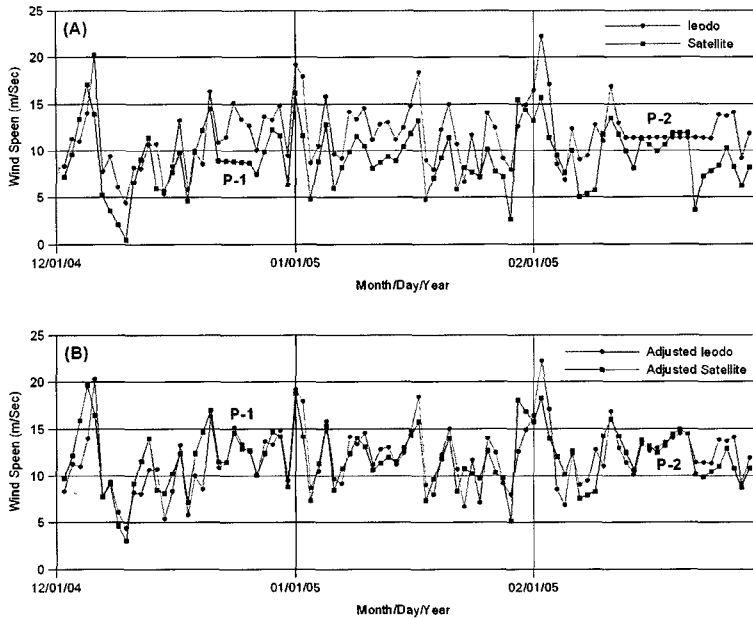


Fig. 4. (A) Daily average wind speed measured at leodo Station and the corresponding satellite data were compared between December 2004 and February 2005. (B) The two data were mutually adjusted on the basis of their statistics.

에는 위성자료를 대입하여 보정 하였다.

이러한 단순한 보정에 있어서의 가장 큰 문제는 자료의 주기이다. 예를 들어 이어도 기지의 경우 10분 간격의 풍속자료를 제공하지만 위성의 경우에는 일별 자료만이 확보 가능하다. 따라서 이 연구에서는 이어도 자료의 경우 일별 평균값을 이용하여 위성 자료와 비교한 것이다. 일단 두 자료의 주기가 동기화 되었고, 또 둘 사이의 평균이 동일함으로 자료 공백이 시작되기 직전의 이어도 및 위성 관측값과 공백이 끝난 직후의 값, 즉 신뢰할 만한 4개의 값을 이용하여 각각의 자료를 각각의 구간에 대해 관측값을 보간하였다. 그림 (B) 는 그 결과로서 각각 보정된 풍속 및 풍향을 나타내며 두 관측값 사이의 상관관계는 0.78로 약간 상승하였다.

### 5. 결론

이어도 종합해양과학기지 및 주변에서 관측된

해수면고도, 해상풍향 및 풍속 자료와 인공위성으로부터 관측된 자료를 비교하여 상호 신뢰도를 검증하고 보완하였다. 인공위성자료는 Topex/Poseidon 레이더고도계 및 ERS-1/2 고도계 및 산란계 자료를 이용하였고 이어도 기지 건설에 기지 부근 선상에서 관측된 자료 및 기지에서 최근 관측된 자료를 비교 분석하였다.

위성자료와 1995년 6월 해상탐사자료를 비교한 결과 대체적으로 잘 일치하나 현장관측점과 위성 관측점의 거리가 멀수록 차이를 보였고 이는 더 많은 위성 자료를 이용함으로써 보완 가능하다. 한편 거의 실시간으로 제공되는 이어도 기지의 2004년 12월부터 2005년 2월까지 최근 3개월 간 자료를 분석한 결과 자료의 공백 및 비정상 값을 보이는 경우가 많았고 이들을 위성자료와 비교 한 후 통계적으로 상호 보정하였다.

이어도는 육지와 멀리 떨어져 있어 위성해양관측자료를 검증하기에 매우 적합한 반면 이어도 관측 자료를 검증 및 보완하는 방법은, 이어도 과학 기지에서 직접 검증하는 방법을 제외하고는 위성

자료를 이용하는 것이 가장 효과적이다.

### 참고문헌

- 김정우, 2003. 이어도 보고서.  
이어도 종합해양과학기지 URL: <http://ieodo.kordi.re.kr>
- Benada, R., 1997. *Merged GDR(Topex/Poseidon) Generation B Users Handbook*, Physical Oceanography Distributed Active Archive Center, Jet Propulsion Lab., 124p.
- CLS, 1993. *Quality Assessment of CERSAT Altimetry OPR Products*, OCNT-93.005, CDs.
- French Processing and Archiving Facility, *Altimeter & Microwave radiometer ERS Products User Manual*, Ref. C2-MUT-A-01-IF v.1.2, 1995.
- Fu, L. L. and A. Cazenave, 2001. *Satellite Altimetry and Earth Sciences - A Handbook of Techniques and Applications, International Geophysics Series*, v.69, Academic Press, 463p.