BSPE99361-11100-1

이사부 창의과제

'한반도 주변 영역의 유의파고 정보 제공을 위한 위성 활용 연구'

# Satellite Application Research on Sea Surface Wave Height Information around the Korean Peninsula

2016. 09. 30.

한 국 해 양 과 학 기 술 원

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “한반도 주변 영역의 유의파고 정보 제공을 위한 위성 활용 연구”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016. 9.

과제책임자 : 홍 성 욱

참 여 연 구 원 : 권 영 주

“ : 신 하 얀

# 보고서 초록

<table>
<tr><td>과제번호</td><td></td><td>연구기간</td><td colspan="3">2015. 8. 1. ~ 2016. 7. 31.</td></tr>
<tr><td>과제명</td><td colspan="5">한반도 주변 영역의 유의파고 정보 제공을 위한 위성 활용 연구</td></tr>
<tr><td>과제책임자</td><td>홍성욱</td><td>참여연구원수</td><td>총 : 3 명<br>내부: 3 명<br>외부: 명</td><td>연구비</td><td>40,000,000 원</td></tr>
<tr><td>연구기관명<br>및<br>소속부서명</td><td colspan="5">세종대학교<br>환경에너지공간융합학과</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서<br>면수</td><td>65</td></tr>
<tr><td colspan="6">○ 과제 목표<br>- 한반도 주변 영역의 유의파고 정보 제공을 위한 위성 활용 연구<br><br>○ 과제 내용<br>- 마이크로파 위성기반 유의파고 정보 산출기술 개발<br><br>○ 과제 결과<br>- GCOM-W1/AMSR-2 활용한 해상풍 정보와 유의파고 관계식 도출<br>- 한반도 주변 해상 부이 관측자료를 이용한 산출된 유의파고 정보의 검증<br>• 산출된 유의파고는 오차는 약 -0.29m, RMSE는 약 0.58m 정도임<br><br>○ 연구 성과<br>- SCI급 국제논문 1편 게재<br>- 국내특허 1건 출원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색인어<br>(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">한반도, 유의파고, 마이크로파, 위성, 원격탐사</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">Korean Peninsular, Significant Wave Height, Microwave, Satellite, Remote Sensing</td></tr>
</table>

# 요 약 문

Ⅰ. 제 목

- 한반도 주변 영역의 유의파고 정보 제공을 위한 위성 활용 연구

Ⅱ. 과제의 목적 및 필요성

○ 과제의 목적
- 국내외적으로 모델기반의 유의파고 정보 산출에 비해, 직접적인 광범위 위성관측 유의파고 정보 생산할 수 있는 기술 확보
- 한반도 주변 영역의 유의파고 정보 제공을 위한 위성 활용 연구 (위성자료로부터 해상의 유의파고 정보 산출)

○ 과제의 필요성
- 유의파고 정보 직접 관측은 주로 우리나라 연안에서 실시간 이루어지고 있음
- 대부분 유관기관들은 WAM 같은 파랑모델을 기반으로 주로 파고정보를 생산중임
- 위성 고도계는 매우 낮은 시간 해상도와 매우 좁은 영역만 관측가능하기에, 10일 평균자료를 이용한 사후분석에 유용함

Ⅲ. 과제의 내용 및 범위

○ 과제의 내용
- 위성에 탑재된 마이크로파 복사계(Radiometer) 관측을 이용한 한반도 주변 유의파고 정보 생산기술 연구

○ 과제의 범위
- GCOM-W1/AMSR-2 활용한 해상풍 정보와 유의파고 관계식 도출
- 한반도 주변 해상 부이 관측 자료를 이용한 산출된 유의파고 정보의 검증

Ⅳ. 과제결과

○ GCOM-W1/AMSR-2 활용한 해상풍정보와 유의파고 관계식 도출 및 적용

- 널리 사용되는 Beaufort scale과 유사하한 형식으로, 한반도 주변에 최적화된 GCOM-W1/AMSR-2의 6.9 및 10GHz 파장에 적합한 새로운 해상풍 정보와 유의파고 사이의 관계식 (Hong scale) 도출

○ 한반도 주변 해상 부이관측자료를 이용한 산출된 유의파고 정보의 검증

- 한반도 주변 동해, 서해, 남해에서 직접 관측한 유의파고와 본 연구에서 산출된 유의파고 정보 사이의 비교 검증 실시

## Ⅴ. 과제결과의 활용계획

○ 해양정보 모니터링

- 모델, 부이관측, 위성관측을 통한 유의파고 정보 시너지 효과를 통해, 한반도 주변 유의파고 정보 모니터링 및 현업에 활용

○ 재해 및 안전

- 태풍 및 쓰나미 등 파고가 높아질 때 조기 모니터링하여 대비하는 데 활용

○ 기후변화 감시

- 기후변화에 따른 서해, 남해, 동해의 유의파고 변동성 분석에 활용

# SUMMARY 및 KEY WORDS


Ⅰ. Title

○ Satellite Application Research on Sea Surface Wave Height Information around the Korean Peninsula

Ⅱ. Purpose

○ Research on satellite application for providing the significant wave height around the Korean Peninsular

III. Contents

○ Development on the retrieval technique for significant wave height information based on microwave satellite observations
  - Derivation of a relationship between significant wave height and sea surface wind speed using GCOM-W1/AMSR-2 observations
  - Validation of the retrieved significant wave height information using buoy-based observations

IV. Expected Contribution

○ Application for public and private users

○ Application for climate change studies as a basic parameter



(KEY WORDS : 한반도, 유의파고, 마이크로파, 위성, 원격탐사; Korean Peninsular, Significant Wave Height, Microwave, Satellite, Remote Sensing)

# C O N T E N T S

Chapter 1. Introduction

Chapter 2. Previous Works

Chapter 3. Methods and Results

Chapter 4. Achievements

Chapter 5. Expected contribution and applications

Chapter 6. References

Chapter 7. Patent

# 목 차

제 1 장 서론

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 3 장 과제수행 내용 및 결과

제 4장 과제목표 달성도 및 대외기여도

제 5 장 과제결과의 활용계획

제 6 장 참고문헌

제 7 장 특허명세서

# 제 1 장 서론

## 1절. 과제의 목적

본 연구과제의 목적은 다음과 같이 분류하여 기술할 수 있다.

1. 중·장기적 목적
   가. 국내외적으로 모델기반의 유의파고 정보 산출에 비해, 직접적인 광범위 위성관측 유의파고 정보 생산할 수 있는 기술 확보
2. 단기적 목적
   가. 한반도 주변 영역의 유의파고 정보 제공을 위한 위성 활용 연구 (위성자료로부터 해상의 유의파고 정보 산출)

## 2절. 과제의 필요성

본 연구과제의 필요성을 국내외 동향 및 기존 연구의 문제점을 기술하여 보완하는 방식으로 다음과 같이 기술하고자 한다.

1. 국내·외 연구동향 및 기존연구의 문제점

가. 국내외 연구동향

(1) 기상청, 해양연구원, 국립해양조사원 등 유관기관들이 유의파고 정보 활용에 관련 있다.
   (가) 직접 관측은 주로 우리나라 연안에서 실시간 이루어지고 있음
   (나) 국립해양조사원은 파고정보를 0.18미만, 0.18~0.36m, 0.36~0.54m, 0.54~0.72m, 0.72m이상으로 구별하고 제공중임
   (다) 해양연구원에서는 주로 WAM (WAMDI group, 1988)과 같은 파랑모델기반으로 장기파랑산출자료를 만들고 있음
   (라) 파랑모델의 입력 자료로는 ECMWF(Uppala et al., 2016)와 같은 수치모델자료가 많이 활용되고 있음
   (마) 따라서 위성기반 준 실시간 모니터링 기술은 매우 부족한 상황임

(2) 유의파고 관측 및 예측 자료
   (가) 많은 연구 및 현업기관에서 국내와 마찬가지로 WAM같은 파랑모델을 기반

으로 주로 파고정보를 생산중임

(3) 위성 고도계 기반 유의파고 정보

(가) 주로 Jason, TOPEX/POSEIDON, ERS-1/-2등 고도계(Altimeter)의 위성자료를 이용함

(나) 이들 위성에 탑재된 고도계 관측 자료로부터 유의파고 정보를 산출하며, 부이자료들을 이용하여 검증을 하고 있음

(다) 선행 연구들에 의하면, 알려진 위성 고도계의 정확도는 약 10%이내이며, 대략 0.25m~0.5m정도의 에러를 가지는 것으로 알려져 있음

나. 기존연구의 문제점

(1) 해상관측 장비 부족

(가) 한반도 주변 해상에서의 직접관측 장비가 부족하여, 넓은 해상에 비해 매우 적은 직접관측 정보만 획득 가능함

(나) 값비싼 해상 직접관측 장비의 확대가 어려운 예산상의 문제가 존재

(2) 위성 산란계 및 복사계의 약점

(다) 직접적 유의파고 산출자료 부재: 해상풍의 풍속이나 풍향관측에 유용하나 직접적으로 유의파고 정보를 산출하지는 못함

(3) 위성 고도계의 약점

(가) 매우 낮은 시간 해상도: 10여일 지나야 동일 지역을 관측할 수 있는 시간해상도 때문에 준 실시간 활용이 어려움

(나) 매우 좁은 공간 관측폭: 매우 좁은 영역만 관측가능하다는 약점이 존재

(다) 따라서 10일 평균자료를 이용한 사후분석에 유용

다음 그림은 2012년에 우리나라에 영향을 주었던 태풍 볼라벤에 대한 트루 칼라 영상(왼쪽 그림)과 볼라벤이 지나간 태풍 경로를 따라 관측이 가능했던 Jason-2의 시공간 위치를 표시한 그림(오른쪽 그림)을 나타냄. 태풍 볼라벤이 발생하여 우리나라로 발달 하면서 진행 중이어서 유의파고 정보가 매우 중요한 상황임에도 불구하고, Jason-2자료는 시간적로 관측 횟수가 매우 부족할 뿐만 아니라, 공간적으로 관측 폭도 매우 좁아서 광범위 관측 및 실시간 정보로써 가치가 매우 적음을 알 수 있음.

그림 1 태풍 볼라벤 (2012)

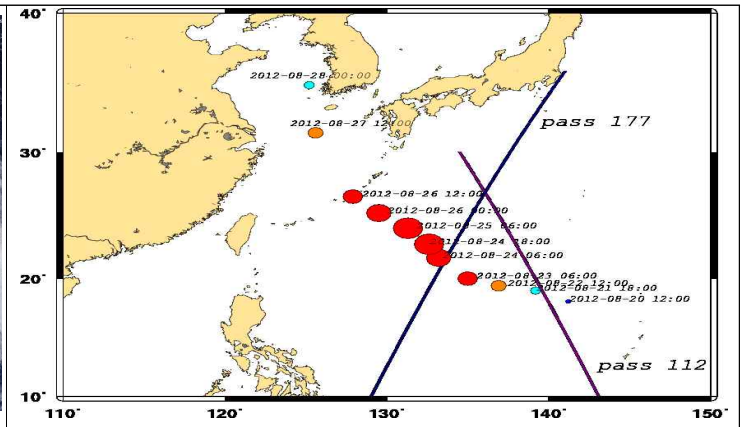



그림 2 태풍 볼라벤(2012년)때 위성고도계(Jason-2) 자료

## 3절. 과제의 범위

국내외에 이전에 없던 독창적 위성활용 기술개발을 하기 위해서, 본 연구 과제에서 개발될 내용의 범위는 다음과 같다.

1. 마이크로파 위성기반 유의파고 정보 산출기술 개발
2. GCOM-W1/AMSR-2 활용한 해상풍정보와 유의파고 관계식 도출

이를 위해서 마이크로파 위성은 복사계(Radiometer)를 탑재한 위성을 활용하고, 복사계를 탑재한 위성의 장점인 기존 고도계가 탑재된 위성보다 월등히 향상된 시공간 관측 범위(Swath)에서 유의파고 정보가 산출될 수 있도록 하고, 기존 위성 고도계의 약점임 10여일 만에 재관측이 가능하던 것을 일 1회 이상 유의파고 정보가 산출될 수 있도록 하려 한다. 다음 그림은 본 연구과제에서 사용될 GCOM-W1 위성이 한 번에 관측하고 지나가는 폭(Swath)와 위성고도계인 Jason-1 위성이 관측하고 지나가는 폭을 나타낸 그림이다. 상대적으로 매우 넓은 범위의 관측이 수행될 수 있음을 공간적으로 보여주고 있다.

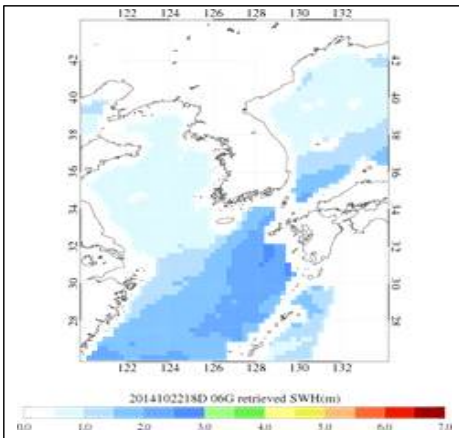



그림 3 GCOM-W1 복사계 관측 폭

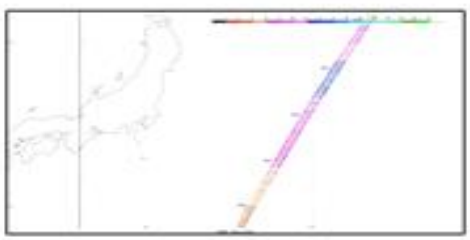


그림 4 Jason-1(고도계) 관측 폭

# 제 2 장 국내외 기술개발 현황

## 1절. 국내외 기술조사

### 1. 국내외 선행연구

#### 가. 해상풍과 파고의 특성

해상풍과 파고 정보는 지역적 특성 즉, 바다의 깊이(depth)와 해안가(coastline)의 특성에 따라 다른 분포를 보인다.

(1) 해상풍 (Wind speed)

(가) 주요 특성

북해(North sea) 같은 경우, 0 ~ 20 m/s 정도의 풍속 분포를 가지고 있으며, 5m/s 정도에서 피크를 보인다. 다른 바다인 하와이 연안과 같은 경우는 0에서 15m/s 정도의 풍속 분포를 가지고 있으며, 7m/s 정도에서 피크를 보인다.

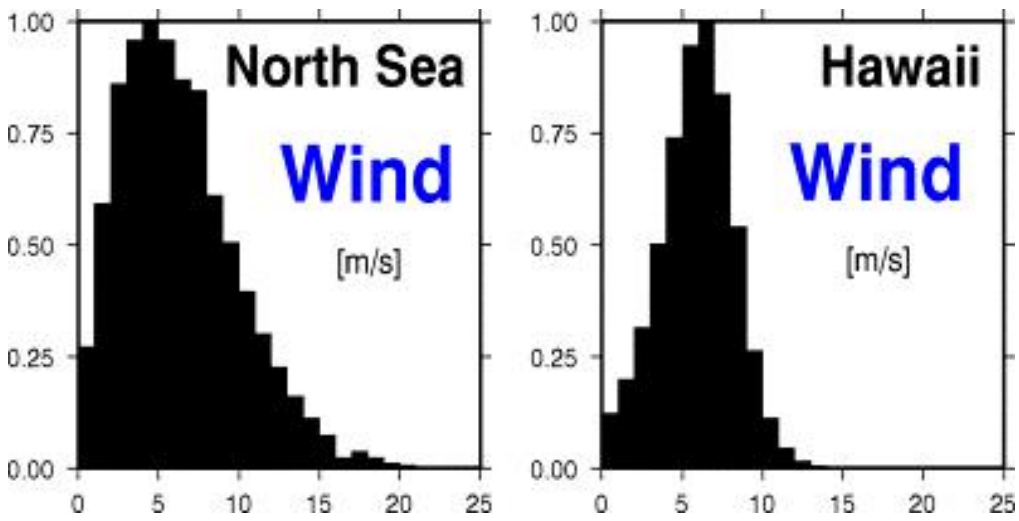



그림 5 Normalized distribution of wind speed in the North Sea (Elbe estuary) and offshore Hawaii

(2) 유의파고 (Significant Wave Height (SWH))

(가) 주요 특성

북해(North sea) 같은 경우, SWH는 주로 0.5 m 이하이다. 반면에 하와이 연안과 같은 경우는, SWH는 약 2m 정도이다 (Schöne and Eickschen, 2000).

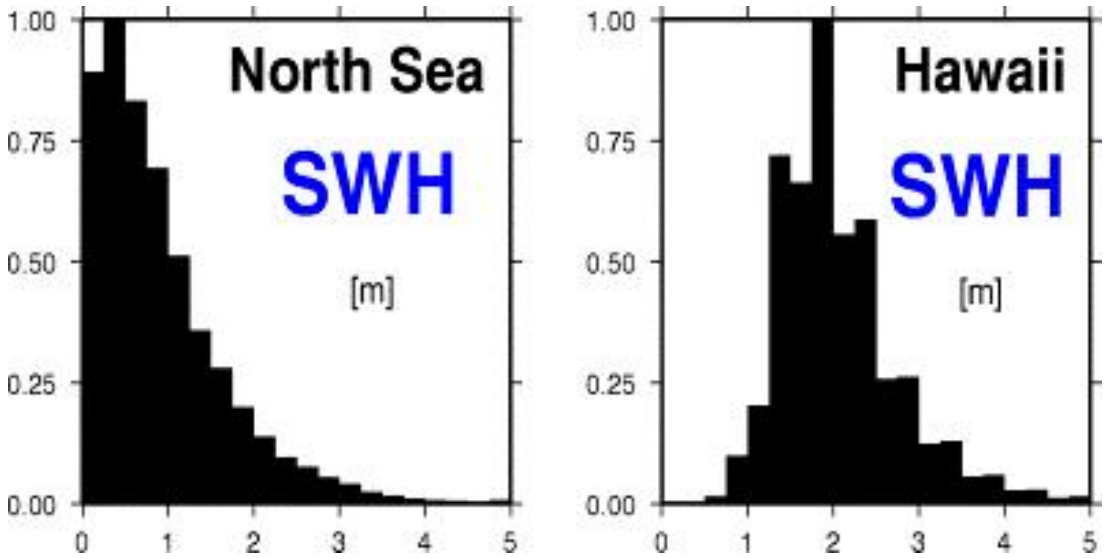



그림 6 Normalized distribution of SWH in the North Sea (Elbe estuary) and offshore Hawaii

(나) 부이자료를 이용한 파고정보 직접관측

① NDBC buoy data (SWH):

㉮ 주요 관측요소

- 해상풍(Wind speed)와 파고(SWH)

㉯ 주요 관측지점

- 해상풍(Wind)만 산출하고 파고(SWH) 관측없음

㉰ 주요 특징

- 각기 다른 유형의 부이를 사용중이며,
- 하와이근처에서만 6미터 NOMAD 부이들을 현업적으로 사용중이다.

* 원격탐사용 위성의 SWH 조견표 생산을 위해, 다른 부이자료들 보다는 깊이가 깊은 하와이 주변의 부이자료를 주로 사용한다.

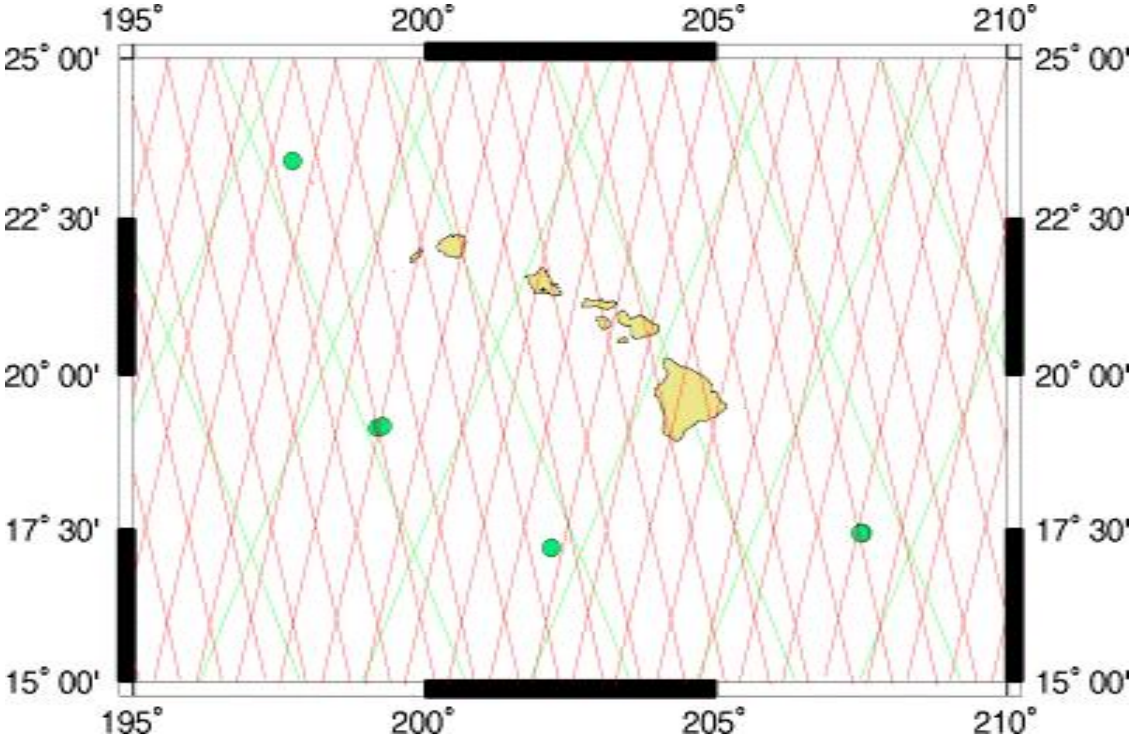


그림 7 하와이 주변의 부이 위치(녹색 점). 빨간 선들은 ERS-2위성의 궤적이며, 녹색 선들은 TOPEX/Poseidon의 궤적을 나타냄 (Schöne and Eickschen, 2000)

(다) 위성(Satellite)을 이용한 파고 측정

① 복사계(Radiometry)

㉮ 주요 활용 위성

- GCOM-W1, GPM, SMOS, SMAP, TRMM 등

㉯ 관측 결과

- 해상풍(Wind)만 산출 파고(SWH) 관측없다.
- 본 연구에서 새롭게 개발중이다.

② 고도계(Altimetry)

㉮ 주요 활용 위성

- ERS-1, ERS-2 and TOPEX/Poseidon
- Envisat
- Gesosat: 최초의 해수면고도 측정 위성 (1985년)

㉯ 관측 결과

- 해상풍(Wind)과 파고(SWH)를 관측

㉰ 관측원리

- 위성에서 발사된 신호가 해수면에서 부딪친 후에 되돌아오는 정보를 이용하는 레이다 고도계(Radar altimetry)의 원리 이용

㉱ 위성 관측 원시정보

- 후방산란계수(Backscattering coefficients, $\sigma_0$)

㉲ 해상풍(Wind): 산출을 위한 물리적 특징(Schöne and Eickschn, 2000)

- $\sigma_0$는 해상풍속의 크기에 반비례함
- 바람으로 인해 해수면에서는 작은 규모(Small-scale)의 거칠기(roughness)가 발생하고, 이로 인해 위성으로 되돌아오는 신호의 크기 $\sigma_0$가 변함

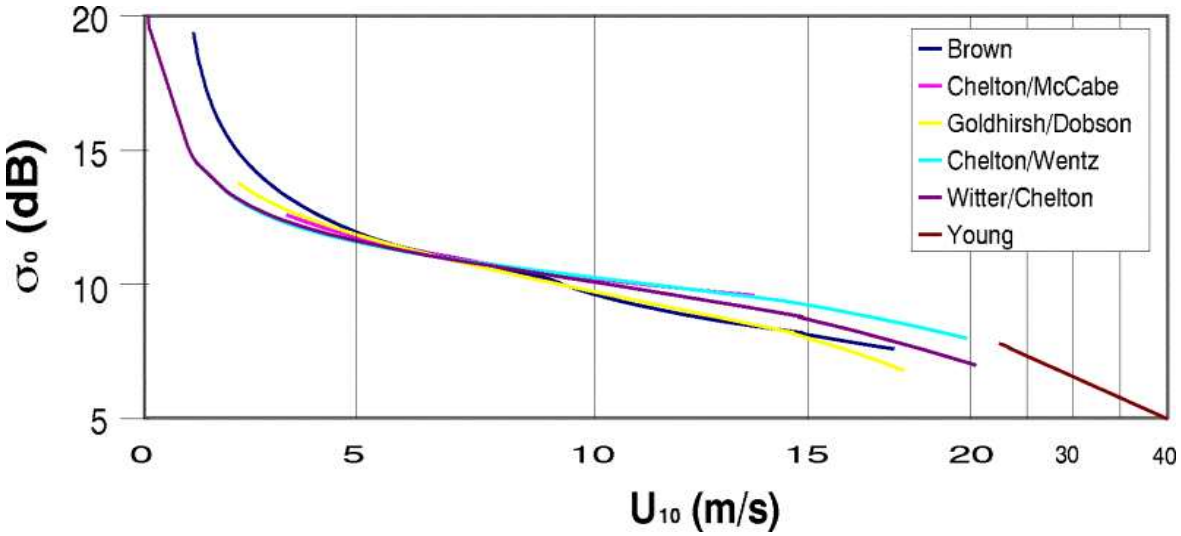



그림 8 $\sigma_0$는 해상풍속의 크기사이의 다양한 알고리즘들.

㉳ 유의파고 (SWH): 산출을 위한 물리적 특징

- 되돌아오는 파의 폭(Width)는 유의파고가 커질수록 넓어진다.
- ERS-1, ERS-2 등의 SWH는 ECMWF wave model (WAM)과 비교를 통해 만들어진 조견표(lookup table)을 이용하여, 관측된 파의 폭을 가지고 SWH를 생산한다.

나. 기술 검증

(1) 국내기술

(가) 위성(Satellite)을 이용한 파고 측정 (Park et al., 2013)

① 고도계(Altimetry)

㉮ 주요 위성

- Satellite altimeters (Topex/Poseidon, Jason-1, Envisat, and Jason-2)

㉯ 방법

- Satellite altemeter와 한반도 주변의 부이자료 관측 유의파고 비교

㉰ 비교 시공간 matchup 자료수

- 공간범위 : 50km 이내
- 시간범위 : 30분 이내
- 1,070 개 (for Ku-band)
- 1,086 개 (for C- and S- bands)

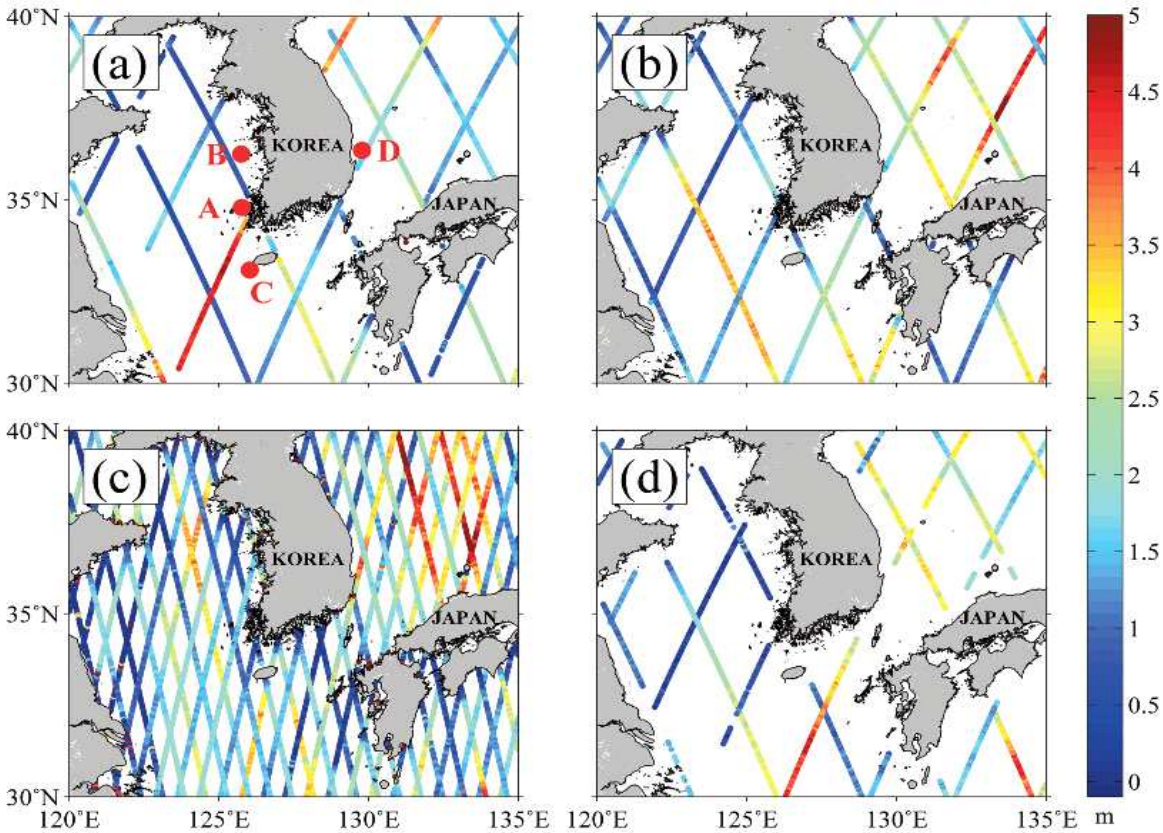



그림 9 Significant wave height (m) along the tracks of satellite altimeters of (a) Topex/Poseidon, (b) Jason-1, © Envisat, and (d) Jason-2 on an arbitrary date, where A (Chilbaldo), B (Oeyeondo), C (Marado), and D (Pohang) denote the marine meteorological buoy stations of KMA

㉱ 위성자료 기간 및 특성

- Topex/Poseidon: 1992년 8월 10일 - 2005년 10월 18일
- Jason-1: 2001년 12월 7일 ~ present

- Envisat: 2002년 3월 1일 ~ 2012년 4월 8일
- Jason-2: 2008년 6월 20일 ~ present

| | Topex/Poseidon | Jason-1 | Envisat | | Jason-2 |
|---|---|---|---|---|---|
| Operational Period | 10 Aug 1992 – 18 Oct 2005 | 7 Dec 2001 – present | 1 Mar 2002 – 8 Apr 2012 | | 20 Jun 2008 – present |
| Band (GHz) | Ku (13.575), C (5.3) | Ku (13.575), C (5.3) | Ku (13.575), S (3.2) | | Ku (13.575), C (5.3) |
| Altitude (equatorial) (km) | 1,336 | 1,336 | 799.8 | 782.4 | 1,336 |
| Repeat Period (days) | 9.9156 | 9.9156 | 35 | 30 | 9.9156 |
| The Number of Passes per Cycle | 254 | 254 (280 since May 2012) | 1,002 | 862 | 254 |
| Agency | NASA, CNES | NASA, CNES | ESA | | CNES, NASA, EUMESAT, NOAA |

㈐ 부이자료 기간 및 특성

| Station | Symbol | Latitude (°N) | Longitude (°E) | Distance (km) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Topex/Poseidon | Jason-1 | Envisat | Jason-2 |
| Chilbaldo | A | 34.78 | 125.77 | 27.9651 | 27.3244 | 3.3946 | 27.8921 |
| Oeyeondo | B | 36.25 | 125.75 | - | 10.8897 | 7.6489 | 37.3557 |
| Marado | C | 33.08 | 126.03 | - | 22.7196 | 10.2208 | - |
| Pohang | D | 36.35 | 129.78 | - | 9.4030 | 2.5960 | 9.8862 |

㈑ 결과

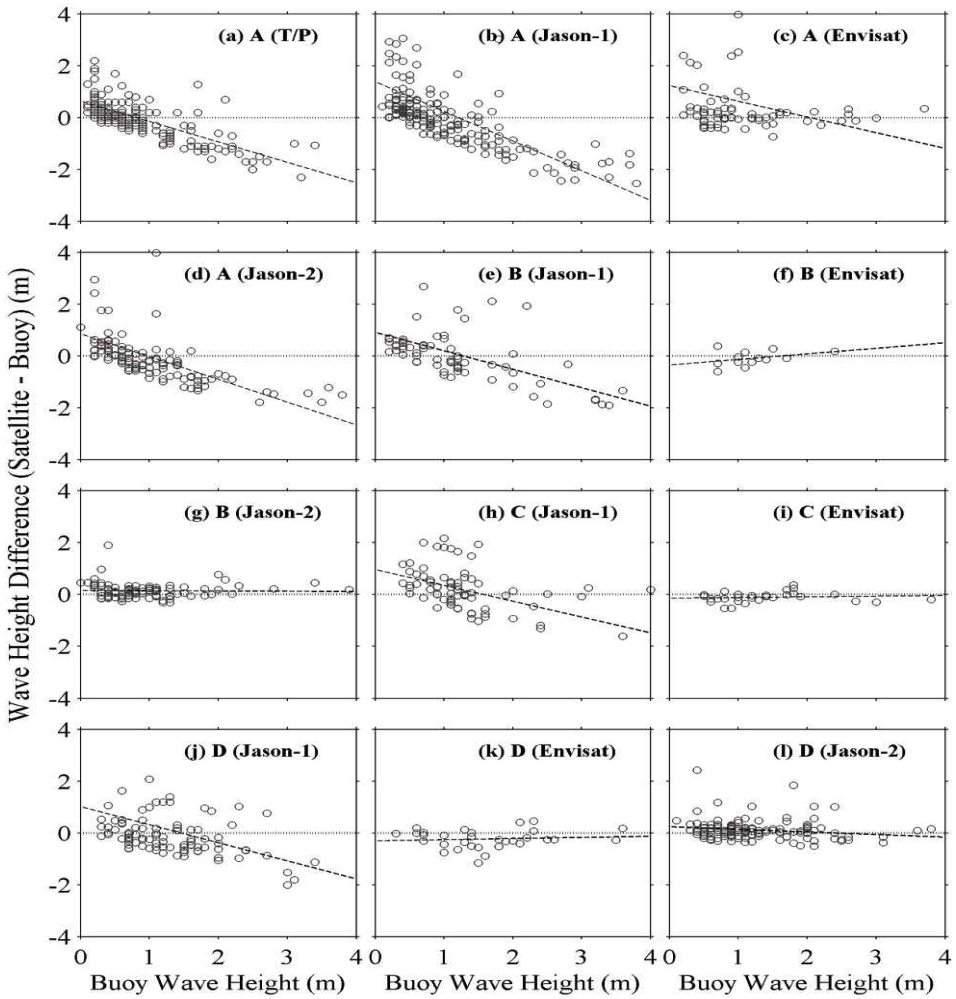
- 결론적으로 대략 0.2 ~ 2.1m 파고에서 일치를 보임
- Ku 밴드

| Buoy | Satellite | The number of matchups | Distance(km) | RMS(m) | Bias(m) | SI | correlation |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A (Chilbaldo) | Topex/Poseidon | 168 | 36.9048 | 0.9594 | -0.0432 | 1.0657 | 0.1831 |
| | Jason-1 | 191 | 36.5492 | 1.7553 | 0.2128 | 2.9539 | -0.0857 |
| | Envisat | 69 | 9.8984 | 2.0573 | 0.5980 | 3.7291 | 0.1483 |
| | Jason-2 | 114 | 36.5036 | 1.1310 | -0.0420 | 1.2565 | 0.0967 |
| | Subtotal | 542 | 33.2570 | 1.4761 | 0.1289 | 2.2168 | 0.0512 |
| B (Oeyeondo) | Jason-1 | 64 | 11.9923 | 1.0960 | 0.0357 | 0.9846 | 0.2685 |
| | Envisat | 13 | 13.3485 | 0.2886 | -0.0938 | 0.0613 | 0.9076 |
| | Jason-2 | 88 | 38.0957 | 0.3304 | 0.1413 | 0.0933 | 0.9161 |
| | Subtotal | 165 | 26.0210 | 0.7285 | 0.0818 | 0.4860 | 0.5832 |
| C (Marado) | Jason-1 | 75 | 24.1366 | 0.9078 | 0.1425 | 0.6029 | 0.3741 |
| | Envisat | 29 | 14.6854 | 0.2252 | -0.1122 | 0.0270 | 0.9713 |
| | Subtotal | 104 | 21.5012 | 0.7801 | 0.0715 | 0.4454 | 0.5313 |
| D (Pohang) | Jason-1 | 96 | 24.4290 | 1.4190 | 0.0693 | 1.4811 | 0.1795 |
| | Envisat | 31 | 10.6628 | 0.4239 | -0.2363 | 0.0769 | 0.9203 |
| | Jason-2 | 132 | 10.8465 | 0.4047 | 0.1080 | 0.1186 | 0.8729 |
| | Subtotal | 259 | 15.8589 | 0.9227 | 0.0524 | 0.6289 | 0.5116 |
| Total | | 1,070 | 26.7873 | 1.2045 | 0.0975 | 1.2884 | 0.2651 |

- C- and S- 밴드

| Buoy | Satellite | The number of matchups | Distance(km) | RMS(m) | Bias(m) | SI | correlation |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A (Chilbaldo) | Topex/Poseidon | 157 | 39.9783 | 0.7982 | 0.0694 | 0.7230 | 0.2123 |
| | Jason-1 | 241 | 36.2531 | 7.9635 | 5.1170 | 37.7834 | -0.1074 |
| | Envisat | 31 | 10.5970 | 2.9989 | 1.5903 | 5.1515 | -0.0464 |
| | Jason-2 | 141 | 36.2029 | 10.9316 | 8.2448 | 54.8273 | -0.0103 |
| | Subtotal | 570 | 35.8714 | 7.5524 | 4.3086 | 40.1508 | -0.0347 |
| B (Oeyeondo) | Jason-1 | 70 | 12.0161 | 1.2799 | 0.2020 | 1.3602 | 0.1843 |
| | Envisat | 5 | 11.0641 | 11.1623 | 8.1926 | 66.8348 | 0.1170 |
| | Jason-2 | 94 | 38.0691 | 2.6062 | 0.7762 | 6.7974 | 0.0738 |
| | Subtotal | 169 | 26.4790 | 2.8536 | 0.7578 | 7.4322 | 0.0477 |
| C (Marado) | Jason-1 | 75 | 24.1271 | 0.9166 | 0.2719 | 0.5765 | 0.3551 |
| | Envisat | 9 | 18.5569 | 2.5213 | 1.9284 | 1.8263 | 0.4793 |
| | Subtotal | 84 | 23.5303 | 1.1964 | 0.4493 | 0.9163 | 0.3281 |
| D (Pohang) | Jason-1 | 108 | 24.6005 | 3.7748 | 1.2762 | 9.8553 | -0.1595 |
| | Envisat | 18 | 15.0803 | 5.0561 | 3.3875 | 9.1888 | -0.0714 |
| | Jason-2 | 137 | 10.9121 | 2.4384 | 0.6803 | 4.3853 | 0.0691 |
| | Subtotal | 263 | 16.8185 | 3.2708 | 1.1103 | 7.3827 | -0.0315 |
| Total | | 1,086 | 28.8411 | 5.8229 | 2.6830 | 24.8284 | -0.0631 |

- 파고가 2m이상일 때, underestimate
- 파고가 2m이하일 때, overestimate



(나) 위성(Satellite)을 이용한 파고 측정 (Kim, 2012)

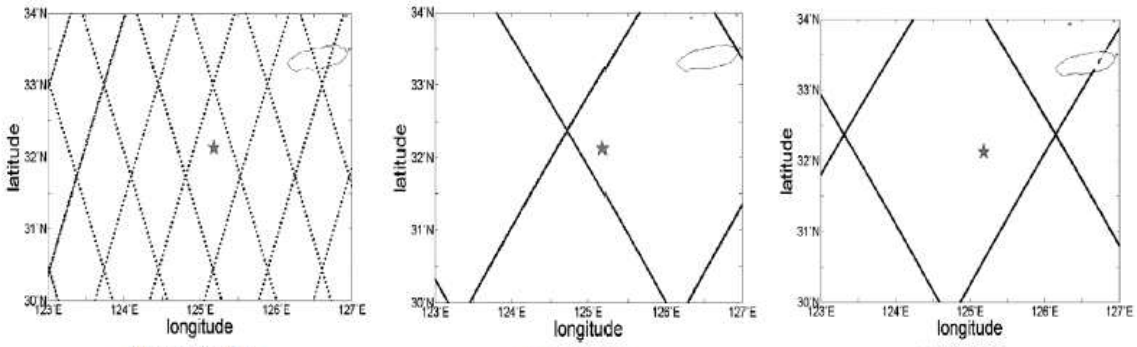
① 고도계(Altimetry)

㉮ 주요 위성

- Satellite altimeters (Envisat, Jason-2, Topex)

㉯ 방법

- 이어도 해양과학기지 인근해역에서의 고도계 파고 자료 검증




(a) ENVISAT1 (b) JASON-2 (c) TOPEX

㉰ 시공간 matchup

- 공간범위 : 50km 이내
- 시간범위 : 30분 이내

㉱ 결과

- 이어도 해양과학기지 인근해역에서의 고도계 파고 자료 검증
- 결론적으로, RMSE는 대략 0.65 ~ 1.22m이다.

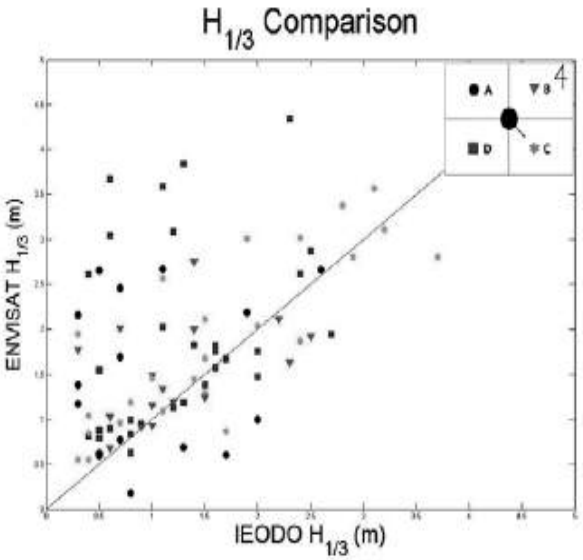



Table 1. RMS errors according to the wave direction.

| Wave Dir. | RMSE(m) |
|---|---|
| ● A | 1.108 |
| ▼ B | 0.682 |
| ★ C | 0.648 |
| ■ D | 1.219 |

(2) 국외기술

(가) 부이 자료를 이용한 파고정보 직접 관측

① NDBC buoy data (SWH):

㉮ 주요 문제점

- 표준 높이인 10m 고도에서의 해상풍정보가 나와야 하는데, 각기 다른 유형의 부이를 사용함으로써, 검보정이 필요하고 매우 어려움
- 실제 밝혀진 문제점들로는, 잘못된 좌표, 다르거나 없는 풍속계의 고도정보, 10m 높이에 보정된 해상풍 정보도 있는 반면에 보정이 안된 해상풍 정보가 섞여 있음

(나) 위성(Satellite)을 이용한 파고 측정

① 고도계(Altimetry)

㉮ 주요 위성

- ERS-1, ERS-2 and TOPEX/Poseidon
- Envisat
- Gesosat: 최초의 해수면고도 측정 위성 (1985년)

㉯ 선행 연구결과

- 태평양 영역에서의 평균 RMSE: 0.30 - 0.35m (Gower, 1996)
- Gulf of Mexico에서의 평균 RMSE: 0.15 - 0.18m (Hwang et al.,1998)
- 동해 및 북태평양영역에서의 평균 RMSE (JMA)
  : 0.31 - 0.54m (Ebuchi and Kawamura, 1994)

# 제 3 장 과제수행 내용 및 결과

## 1절. 과제수행 이론적 및 실험적 접근 방법

### 1. 이론적 방법

인공위성에 탑재된 수동형 마이크로파 센서는 편광관측이 가능하며, 그 값은 밝기온도(Brightness temperature)로 기록된다. 유의파고 산출을 위해서는 해상풍 정보가 필요하며, 대표적으로 많이 사용되는 관계식은 경험적으로 구해진 Beaufort 스케일 이다. 한반도 주변에 최적화된 관계식을 구하고 이를 적용하여 유의파고 정보를 다시 산출하는 것이 본 연구의 목표이다.

이론적으로 마이크로파 위성의 밝기온도는 주야간 관측이 가능하며, 대기의 영향을 거의 받지 않고, 표면의 영향을 받는다. 또한 위성에 탑재된 마이크로파 복사계는 수편 및 수직 편광 관측이 가능하다.

해양의 표면에서 반사된 편광 전자기파는 반사되어 위성에서 관측이 되는데, 표면의 상태에 따라 편광 반사도의 정도가 변하게 된다. 해수면에서는 해상풍의 세기에 따라 잔물결이 일게 되고, 이에 따라서 해수면에서 반사되는 편광 전자기파의 성격이 바뀌게 된다. 물리적으로 설명을 하자면, 해상풍 세기에 따라 반사도가 변하게 되며 (Hong et al., 2015), 이 효과를 이용하여 유의파고를 간접적으로 산출할 수 있게 된다.

본 연구에서는 이러한 물리적 관계 및 절차를 다음과 같이 나누어 수행하여 유의파고 정보를 산출하게 된다.

인공위성 복사계에서 관측된 수직 편광 밝기온도와 모의 밝기온도와는 매우 높은 상관성을 가지고 있다 (Hong et al., 2015). 위성관측 밝기온도는 해수면 반사도의 영향을 받는다. 해수면 반사도는 해수면 거칠기에 의해 영향을 받는다 (Hong, 2010a). 거칠기는 해상풍의 크기와 비례한다 (Hong and Shin, 2013). 유의파고는 해상풍과 높은 상관성을 가지고 있다.

### 2. 실험적 접근 방법

본 연구에서는 기술된 이론적 배경 (Hong et al., 2015; Hong and Shin 2013)을 바탕으로 하여, 실험절차를 다음과 같이 구성한다.

가. 수직 편광 밝기온도($T_{B,V,O}$) 관측에서 모의 밝기온도($T_{B,V,S}$)로 변환

관측된 수직 편광 밝기온도를 다음 수학식 1에 의해 모의 밝기온도로 변환된다.

$$T_{B,V,S} = a_{1,V} \cdot T_{B,V,O} + a_{2,V}$$
$$T_{B,H,S} = a_{1,H} \cdot T_{B,H,O} + a_{2,H} \quad (1)$$

여기서, $T_{B,V,S}$는 모의 밝기온도를 나타내고, $T_{B,V,O}$는 수직 편광 밝기온도를 나타내며, $\alpha_{1,V}$, $\alpha_{2,V}$, $\alpha_{1,H}$, $\alpha_{2,H}$는 회귀관계식의 편광별 회귀 계수와 기울기를 나타내며, 첨자 V는 수직편광, 첨자 H는 수평편광을 나타낸다.

나. 반사도 산출

다음 식(2)를 이용하여 변환한다.

$$R_{R,V} = b_{1,V} \cdot T_{B,V,S} + b_{2,V} \quad (2)$$

여기서, $R_{R,V}$는 수직 편광 반사도를 나타내고, $b_{1,V}$, $b_{2,V}$는 회귀관계식의 회귀계수이고 기울기와 절편을 각각 의미한다.,

다. 거칠기 (σ) 산출

다음 식(3)을 이용하여 거칠기를 산출한다 (Hong, 2010a,b,c; Hong and Shin, 2011; Hong and Shin, 2013; Hong et al., 2013; Hong et al., 2015).

$$\sigma = \frac{\lambda}{4\pi\cos\theta}\sqrt{\ln\left(\frac{R_{R,H}^{\sec^2\theta}}{R_{R,V}}\right)} \quad (3)$$

여기서, σ는 해수면 거칠기를 나타내고, $R_{R,V}$는 수직 편광 반사도를 나타내며, $R_{R,H}$는 수평 편광 반사도를 나타내며, Θ는 위성천정각을 나타낸다.

라. 해상풍과 거칠기와의 관계식 도출 (Hong and Shin, 2013; Hong et al., 2015)

다음 식(4)을 이용하여 거칠기 정보로부터 해상풍 정보를 산출한다.

$$\sigma = c_1 \cdot W_S + c_2 \quad (4)$$

여기서, σ는 해수면 거칠기를 나타내고, $C_1$, $C_2$는 회귀관계식의 회귀 계수로서 기울기와 절편을 나타내며, $W_S$는 해상풍의 풍속을 나타낸다.

마. 해상풍에서 유의파고 정보와의 관계식 도출

다음 식(5)을 이용하여 거칠기 정보로부터 해상풍 정보를 산출한다.

$$SWH = d_0 + d_1 \cdot W_S + d_2 \cdot W_S^2 \quad (5)$$

여기서, SWH는 유의파고를 나타내며, $W_s$는 해상풍 풍속을 나타내며, $d_0$, $d_1$ 및 $d_2$는 회귀관계식의 회귀 계수를 나타낸다.

## 2절. 과제수행 내용

### 1. 과제 수행 절차

가. 해상풍 산출

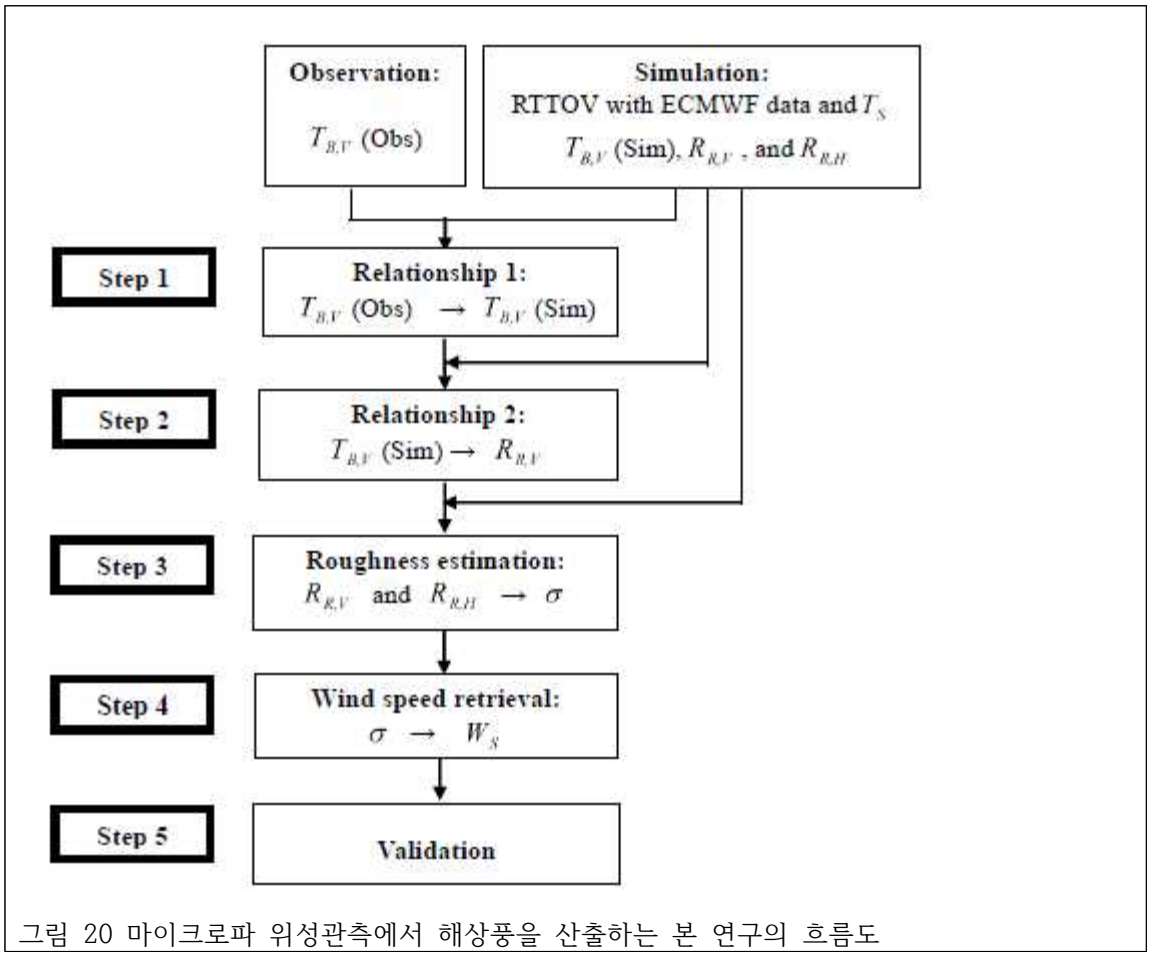



그림 20 마이크로파 위성관측에서 해상풍을 산출하는 본 연구의 흐름도

나. 유의파고 산출

(1) Beaufort scale 적용

(2) 새로운 회귀식 (유의파고와 해상풍의 관계식) 적용

| | |
|---|---|
| Step 6 | Ws → SWH (유의파고) |
| Step 7 | SWH Validation |

2. 연구 자료

가. 위성자료 (수직 편광성분을 위한)

(1) GCOM-W1위성에 탑재된 AMSR-2 (Wentz and Meissner, 2000) 센서 관측 자료

(2) GCOM-W1/AMSR-2 자료중에서 daily 레벨 3(L3) 자료를 활용하였음

(가) 시간해상도: 하루에 2번 지나감

(나) 공간해상도: 0.25도 간격 (중위도에서는 25km 해상도)

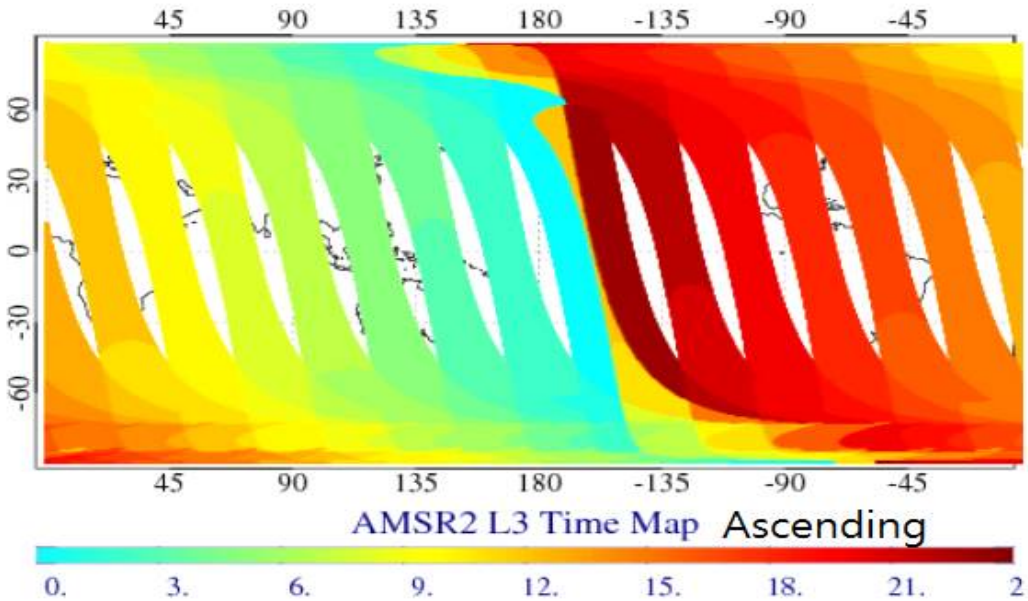



그림 25 AMSR-2 L3 자료가 통과하는 시간 및 관측폭 (오후, Ascending mode)

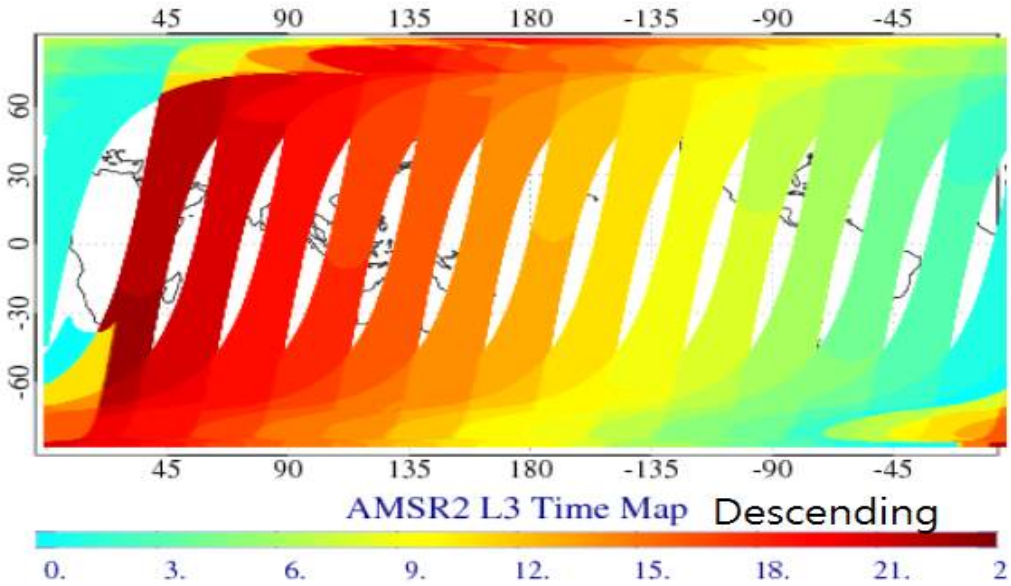



그림 26 AMSR-2 L3 자료가 통과하는 시간 및 관측폭 (오전, Descending mode)

(3) GCOM-W1/AMSR-2 L3 daily 평균 자료의 정보

(가) 관측한 시간과 위경도 값별로, 수직(V) 및 수평(H) 편광(Polarization) 관측센서에서 55도의 입사각으로 지구의 표면에서 방출되는 밝기온도(Brightness temperature)를 관측한 정보를 제공

| No. | Data | Samples | Bytes/ Sample | Type | Bytes/ Record | Records | Sum(bytes) | Scale factor | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ProductMeta Data | 25 | 100 | - | 2,500 | 1 | 2,500 | - | - |
| 2 | Brightness Temperature (V) | 790 | 2 | unsigned int | 1,580 | 830 | 1,311,400 | 0.01 | K |
| 3 | Brightness Temperature (H) | 790 | 2 | unsigned int | 1,580 | 830 | 1,311,400 | 0.01 | K |
| 4 | Time Information | 790 | 2 | signed int | 1,580 | 830 | 1,311,400 | 1.00 | min |
| | Total(Bytes) | | | | | | 3,936,700 | | |
| | ***Total(MB)*** | | | | | | *3.75* | | |

그림 27 AMSR-2 L3 자료의 내용

나. 수치모델 자료 (수평 편광성분을 위한)

(1) ECMWF 모델 자료

(가) 세계적으로 가장 정확하다고 알려진 모델 자료이며,
정확도 순위는 ECMWF(유럽) > UM (영국) > NCEP (미국) > 일본 순임
(나) 기상자료인 수직 온도와 습도 정보를 25개의 층별로 제시하고 있으며,
(다) 해상의 경우, 해수면 온도, 바람 성분 (수직, 수평) 등 정보도 제공

(라) 복사모델의 입력자료로 ECMWF (Uppala et al., 2016)의 온습도 프로파일 정보와 해수면과 관련된 정보를 활용하였음

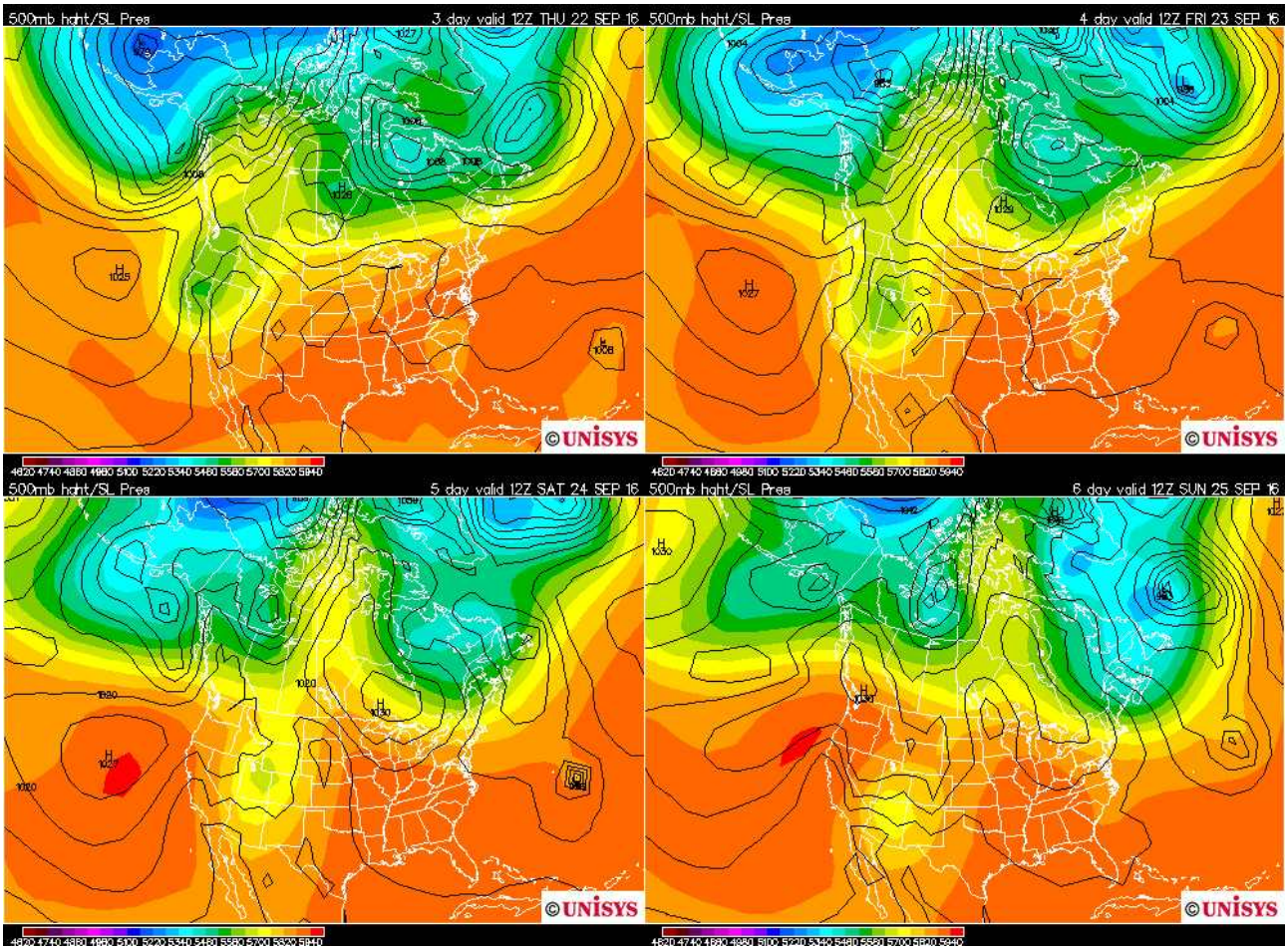



그림 28 ECMWF 자료의 예- 500 hPa에 해당하는 높이의 변화

(2) 시공간 해상도

(가) 시간해상도: 하루에 4번 제공 (00, 06, 12, 18 UTC)
(나) 공간해상도: 0.25도 간격 (중위도에서는 25km 해상도)

다. 복사 모델 수행 (수평 반사도 모의(Simulation))

(1) RTTOV 버전 11

(가) 세계적으로 예보에 활용되는 핵심적인 현업용 복사전달모델 (Radiative Transfer Model)임. 미국의 경우는 CRTM (Community Radiative Transfer Model) (Ding et al., 2011)을 사용하나, RTTOV(English and J. Hewison, 1998; Saunders et al., 2007)와 CRTM의 성능의 차이는 거의 없음

(나) 기상자료인 수직 온도와 습도 정보를 25개의 층별로 제시하고 있으며,
(다) 해상의 경우, 해수면 온도, 바람 성분 (수직, 수평) 등 정보도 제공

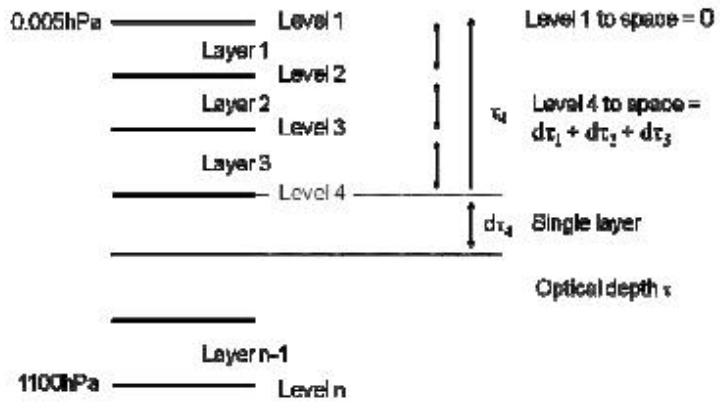



그림 29 RTTOV 복사모델의 대기에 대한 입력 구조

(2) 유의파고 산출을 위한 복사모델 수행
(가) 수행시간: 1타임 복사모델 수행시간은 약 14분 정도임
(나) 수행방법: AMSR-2의 전체 관측파장에 대해 ECMWF 자료를 입력자료로 하여, RTTOV 복사모델 수행

```
COEF_FILENAME="rtcoef_gcom-w_1_amsr2.dat"
NPROF=100000  # Number of profiles defined in prof.dat
NLEVELS=23     # Number of profile levels
DO_SOLAR=0     # 0 = solar off / 1 = solar on
```

```
# 6GHz,V,H 순서 amsr2는 14채널이지만, 일단 2개만 돌린다
$BINDIR/example_fwd.exe << EOF
${COEF_FILENAME}, Coefficient filename
${PROF_FILENAME}, Input profile filename
${NPROF}         , Number of profiles
${NLEVELS}       , Number of levels
${DO_SOLAR}      , Turn solar radiation on/off
 1, 1, 0.0, 0.0 , channel 1, valid, emissivity=0.0, BRDF=0.0
 2, 1, 0.0, 0.0 , channel 2, valid, emissivity=0.0, BRDF=0.0
 3, 1, 0.0, 0.0 , channel 3, valid, emissivity=0.0, BRDF=0.0
 4, 1, 0.0, 0.0 , channel 4, valid, emissivity=0.0, BRDF=0.0
 5, 1, 0.0, 0.0 , channel 5, valid, emissivity=0.0, BRDF=0.0
 6, 1, 0.0, 0.0 , channel 6, valid, emissivity=0.0, BRDF=0.0
 7, 1, 0.0, 0.0 , channel 7, valid, emissivity=0.0, BRDF=0.0
 8, 1, 0.0, 0.0 , channel 8, valid, emissivity=0.0, BRDF=0.0
 9, 1, 0.0, 0.0 , channel 9, valid, emissivity=0.0, BRDF=0.0
10, 1, 0.0, 0.0 , channel 10, valid, emissivity=0.0, BRDF=0.0
11, 1, 0.0, 0.0 , channel 1, valid, emissivity=0.0, BRDF=0.0
12, 1, 0.0, 0.0 , channel 2, valid, emissivity=0.0, BRDF=0.0
13, 1, 0.0, 0.0 , channel 3, valid, emissivity=0.0, BRDF=0.0
14, 1, 0.0, 0.0 , channel 4, valid, emissivity=0.0, BRDF=0.0
EOF
```

그림 30 RTTOV 복사모델 수행과정의 예

# 3절. 과제수행 결과

## 1. 한반도 주변 유의 파고

### 가. 자료

(1) 기간
(가) 2014년 10월 1일 ~ 10월 31일 (1 개월)

(2) 영역
(가) 동해, 서해, 남해를 포함하는 한반도 주변 영역 선택
* 육지와 해안 연안 지역을 제외함
(가) AMSR-2 SST 자료의 flag를 이용하여 해양 부분만 선택

(3) 강수조건
- 비강수 지역만 선택하였음 (Rain-free condition)

(4) 위성자료
(가) AMSR-2 6.9와 10 GHz에서 관측된 밝기온도
(나) 궤도모드: Descending mode

(5) 시공간 일치법
(가) 공간일치: 위성결과와 Buoy 자료 거리차 < 0.1°(약 10km이내)
(나) 시간일치: 위성결과와 Buoy 자료 시간차 < 10분 이내

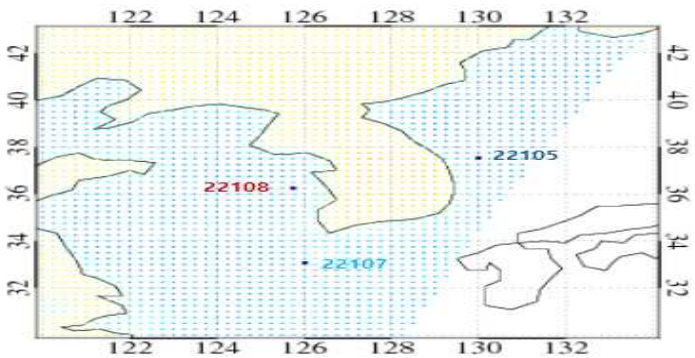



그림 31 KMA buoy 지점번호 (station)

22105 : 동해 (동해) 130.0000 37.5333
22107 : 마라도 (남해) 126.0167 33.0667
22108 : 외연도 (서해) 125.7500 36.2500

(6) 자료처리시간

(가) 위성자료와 복사모의자료 시공간 일치 및 결과 도출 후 그림 생산까지 걸리는 시간은 이 경우에 약 5분 정도 소요.

나. 결과

(1) 6.9GHz에서의 관측 밝기온도 (TB) vs. 모의 밝기온도(TB)

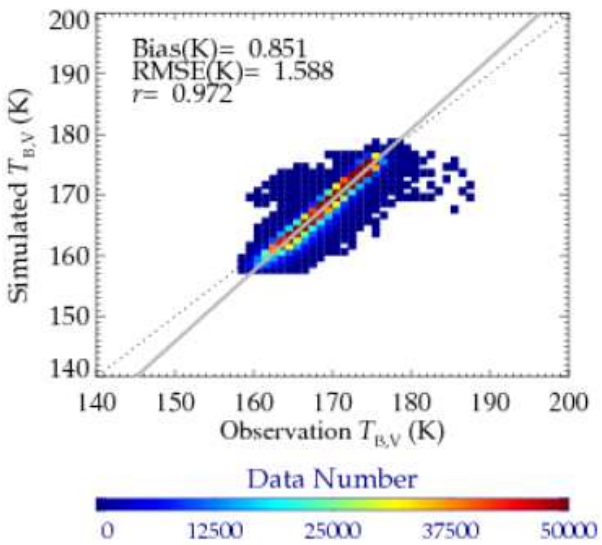



그림 32 수직편광(V)에 대한 밝기온도 비교결과

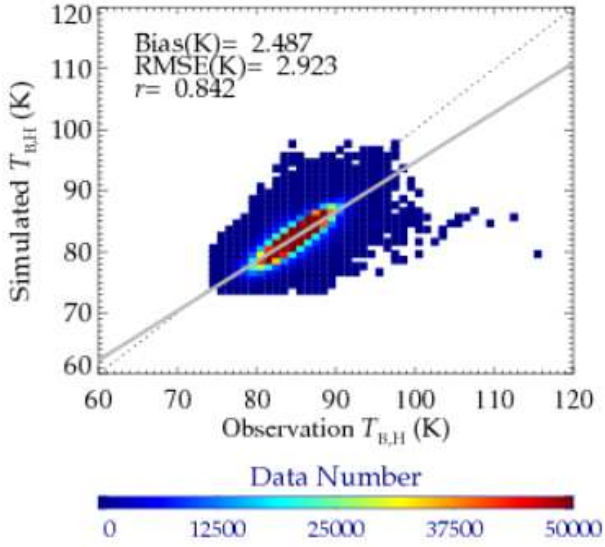



그림 33 수평편광(H)에 대한 밝기온도 비교결과

(가) 수직편파성분(V)

바이어스가 0.851m/s, RMSE가 1.588m/s이고, 상관계수가 0.972로, 매우 정확하게 복사모의를 하고 있음을 알 수 있음.

(나) 수평편파성분(H)

바이어스가 2.478m/s, RMSE가 2.923m/s이고, 상관계수가 0.842로, 역시 매우 정확하게 복사모의를 하고 있음을 알 수 있음.

(2) 6.9GHz, 수직편파에서 모의 밝기온도 (TB) vs. 반사도 (R)

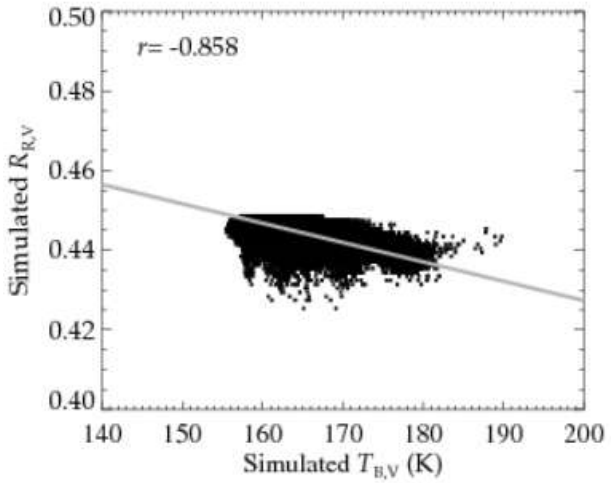



그림 34 수직편광(V)에 대한 밝기온도와 반사도 사이의 비교결과

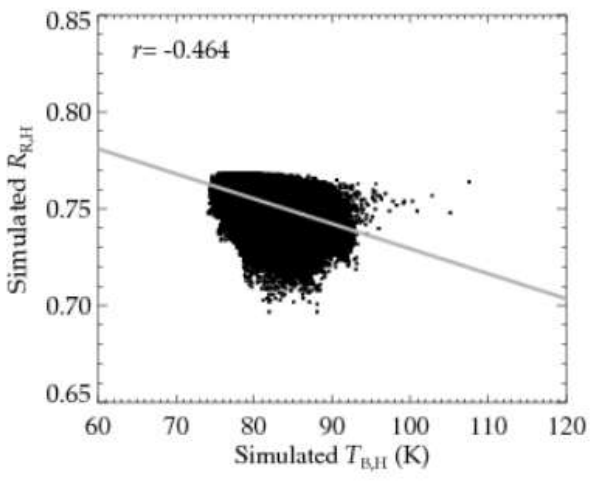



그림 35 수평편광(H)에 대한 밝기온도와 반사도 사이의 비교결과

(가) 수직편파성분(V)

상관계수가 -0.858로, 매우 높은 상관관계를 보이며, 해상풍과 유의파고를 산출하기 위해 사용됨

(나) 수직편파성분(V)

상관계수가 - 0.464로, 상대적으로 낮은 상관관계를 보이나, 본 연구의 알고리즘에서는 사용되지 않음

(3) 해상 거칠기 (σ) vs. ECMWF 해상풍

5m/s를 전후로 회귀 관계식 (해상풍과 거칠기)이 구해졌으며, 약한 바람일 때 좀 더 불확실성이 높지만, 풍속이 강해질수록 더욱 선형관계식을 보임. 상기 과정에서 산출된 반사도들(Rv와 RH)을 이용하여, 거칠기(σ)를 구하고, 이 회귀관계식을 이용하여 해상풍(Ws)을 산출함

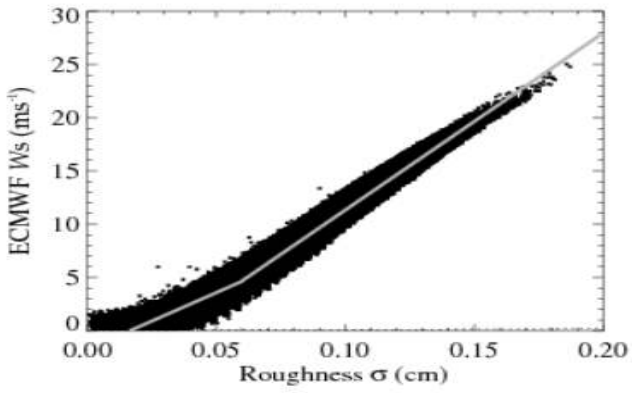



그림 36 바람에 의한 거칠기와 풍속 사이의 관계

(4) 산출된 해상풍(Ws) vs. ECMWF 해상풍

바이어스가 거의 0m/s이고, RMSE가 0.713m/s이고, 상관계수가 0.975로, 매우 높은 상관관계를 보이며, 매우 정확하게 해상풍을 산출할 수 있음을 보여줌

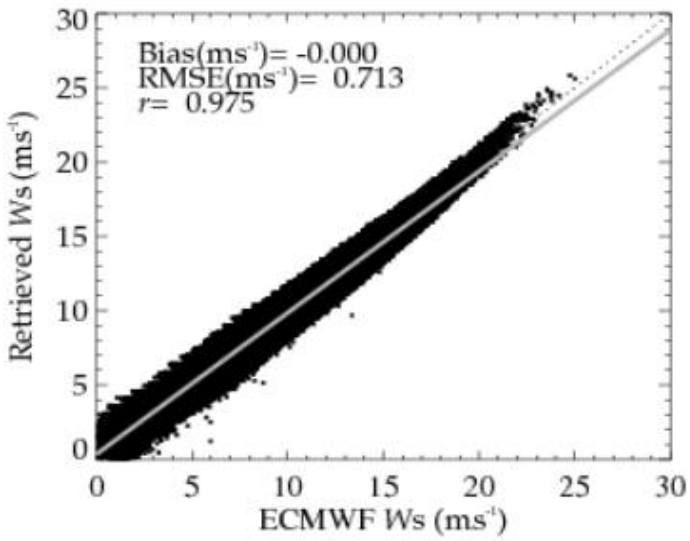



그림 37 본 알고리즘에서 산출된 Ws vs. ECMWF Ws

(5) 유의파고 정보 산출

(가) 산출방법

① Beaufort scale (해상풍 vs 유의파고) 적용시

㉮ 일반적으로 많이 사용되는 Beaufort scale을 회귀식으로 근사하여 적용
㉯ 이차함수(SWH=a*(Ws)^2+b*Ws+c)로 회귀식을 구함.
㉰ 이 경우, a=0.0093, b=0.1463, c=0.1995

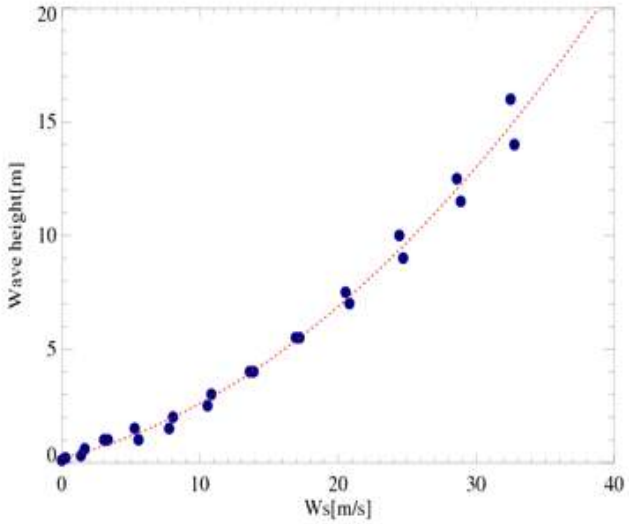



그림 38 Beaufort scale.

② 새로운 scale (본 연구에서 제시하는 Hong scale) 적용시

㉮ 새롭게 풍속과 유의파고사이(Ws-SWH)의 관계식을 구함
㉯ 이 경우, 부이자료 102개를 사용
㉰ 기간: 2013년 10월 관측자료
㉱ 이차함수(SWH=a*(Ws)^2+b*Ws+c)로 회귀식을 구함.
㉲ 이 경우, a=0.0158, b=0.0536, c=0.7885

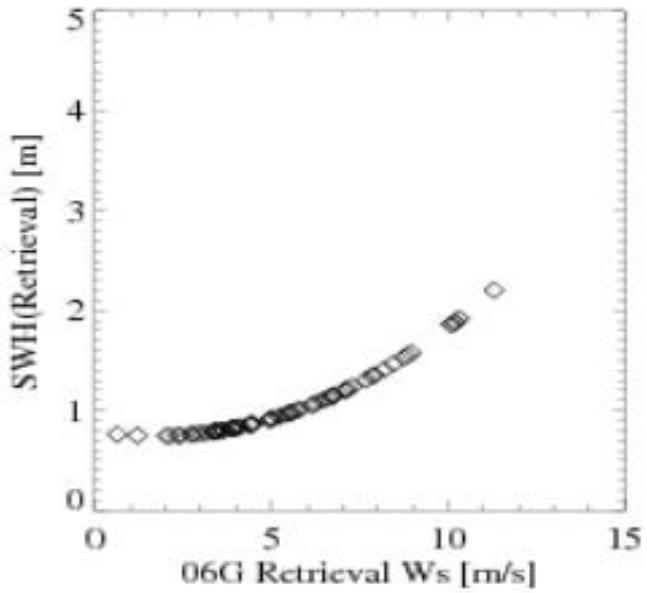
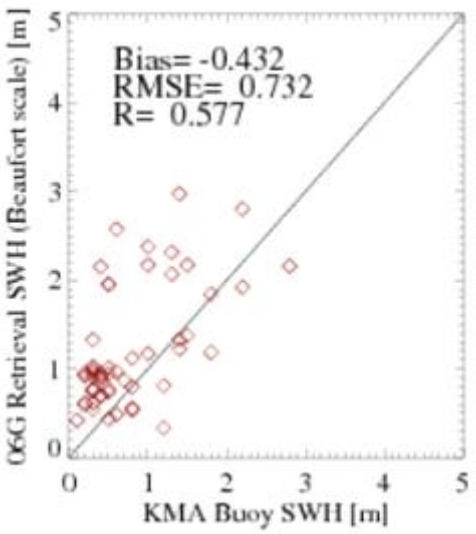
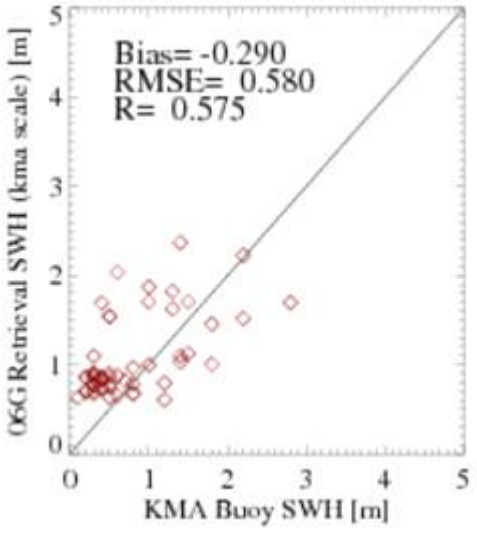



그림 39 Hong scale - 한반도 주변에 최적화

(6) 검증결과

① 유의파고 산출 결과 - 통계적 분석

| Beaufort Scale 적용시 | 본 연구 Scale (Hong Scale) 적용시 |
|---|---|
|  |  |
| 그림 40 부이 유의파고 vs 산출된 유의파고 (6.9 GHz, Beaufort scale) | 그림 41 부이 유의파고 vs 산출된 유의파고 (6.9 GHz, Hong scale) |

㉮ Beaufort scale와 Hong scale을 적용했을 때, 각각 RMSE 값은 0.73m, 0.58m 사이의 분포를 보였음.

㉯ Beaufort scale을 적용했을 때보다 Hong scale을 적용했을 때, RMSE 값이 향상되었음

㉰ 국내외 사전 연구를 통해 살펴본 위성 고도계를 사용한 검증결과 (대략 0.15m~0.54m)에 비해 본 연구 예비결과에서 나타난 RMSE 분포는 상대적으로 약간 커 보임. 하지만 전반적으로 0.54m임을 고려하면 매우 유사한 정확도를 보임을 알 수 있음

② 유의파고 산출 결과의 비교 예시

㉮ 다음 그림은 본 연구를 통해 개발된 위성 유의파고와 모델 기반인 기상청(KMA)의 파랑모델 결과를 정성적으로 비교한 그림이다. 날짜는 2014년 10월 24일 18UTC이다.

㉯ 이때는 태풍이 일본 동쪽에서 원해에 있을 때임. KMA 모델과 정성적으로 비교해 봤을 때 전반적인 파고의 높이는 매우 유사한 패턴을 보임. 하지만 제주도 부근에서 모델은 갑자기 매우 좁은 영역에서 높은 유의파고 값을 보임. 주변과 비교해 볼 때 정상적인 파고 값으로 보이지는 않지만, 추후 정량적인 검증이 필요함.

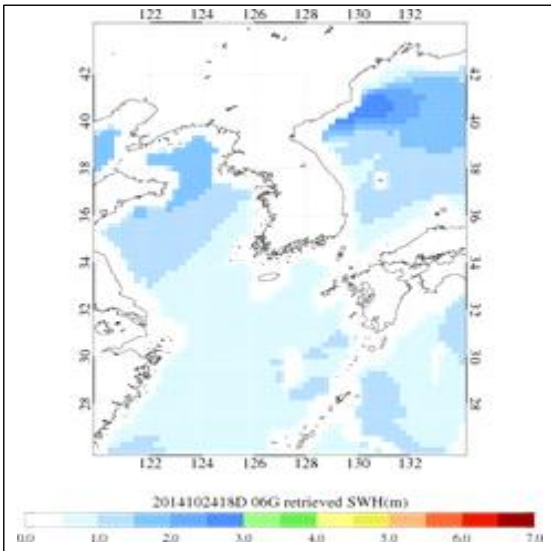



그림 42 산출된 유의파고(2014년 10월 24일 18UTC)

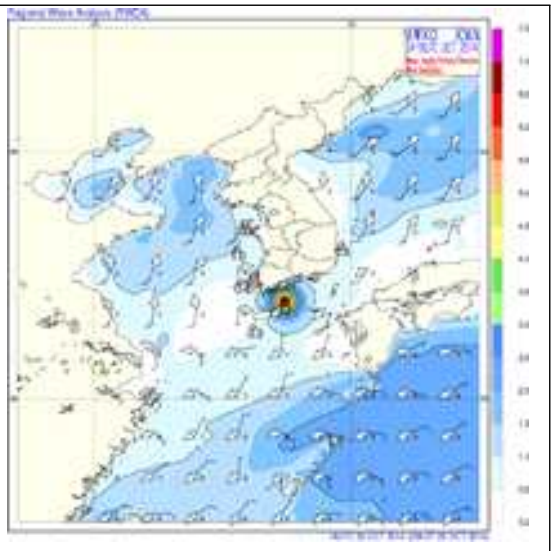


그림 43 KMA 지역파랑모델 유의파고(2014년 10월 24일 18UTC)

③ 유의파고 산출 결과의 예시 (동영상)

㉮ 다음 동영상은 본 연구 결과에 의해 산출되는 한반도 주변 유의파고 정보의 예로써, 기간은 2014년 10월 1일~30일 한달간임.

㉯ 제18호 태풍 판폰(PHANFONE)이 9월 29일 오후 3시에 중심기압 998hPa, 최대풍속 18m/s, 강풍 반경 330km, 크기 '중형'의 열대폭풍으로 미국 괌 동쪽 약 690km 부근 해상에서 발생하였음 (일본 기상청 태풍정보 기준).

㉰ 발생 이후 서~서북서진하며 발달해서 10월 2일 오후 3시에 미국 괌 북서쪽 약 990km 부근 해상에서 태풍으로 최성기를 맞이한 후, 일본 오키나와에 근접하면서 서서히 북북동진을 시작하며 약화되기 시작했고, 10월 6일 이즈 반도을 관통, 도쿄 만을 통과하며 이바라키 현 가시마 시 북동쪽 해상에 진출하였고, 그 이후  온대저기압으로 변질되었음.

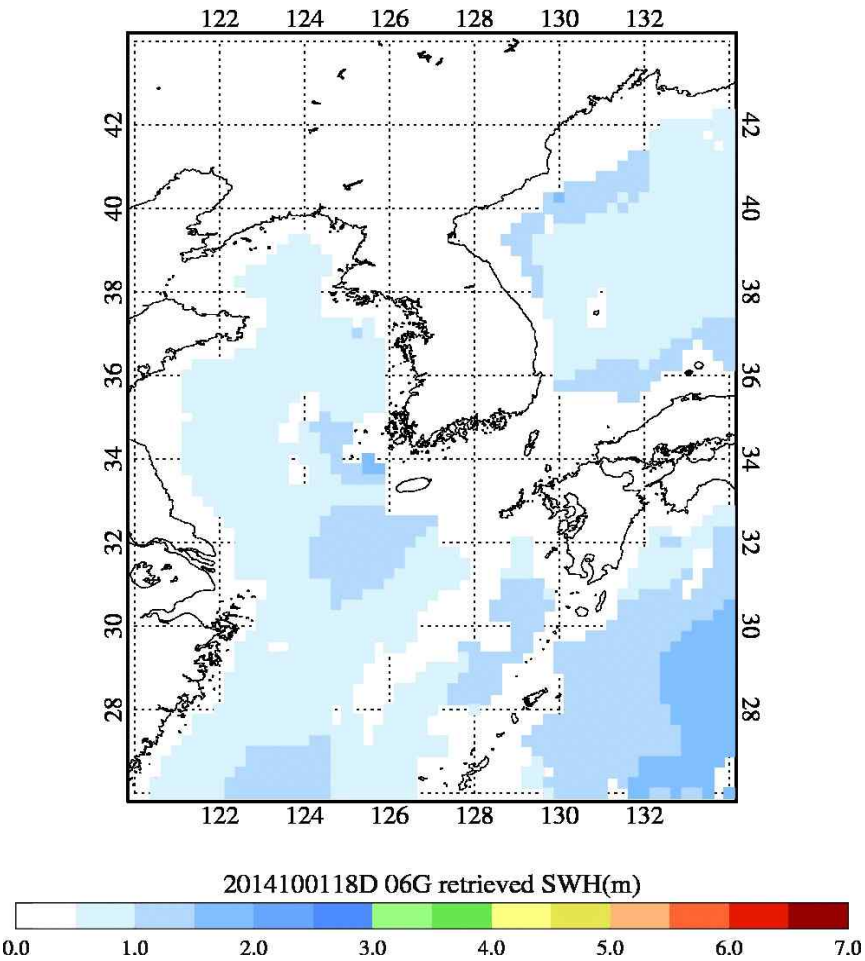



그림 44 본 연구에 의해 산출되는 한반도 주변 유의파고 정보의 예 - 기간: 2014년 10월 1일~30일

(7) 해결방안

① 풍속 크기에 따른 RMSE 분포를 더 분석해 볼 필요 있음

② 부이자료의 제작사나 관측 높이가 다른 경우가 많기에, 고도에 따른 부이자료 관측 풍속보정을 실시

③ 본 연구 자료의 기간을 늘리고 (데이터 수 확대), 위성자료와 해상관측자료의 시간 일치도를 보다 엄밀히 한다면, Bias와 RMSE를 줄일 수 있을 것으로 예상됨

# 제 4장 과제목표 달성도 및 대외기여도

## 1절. 과제목표 달성도

1. 목표 달성도

| 구 분 | % | 성취도 판단 | | | 특기사항<br>(우수성 또는 부진사유 등) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 부진 | 정상 | 우수 | |
| 목표 달성도 | 100 | | | ○ | ○ 우수성: 전례없는 최초의 연구결과 |

가. 정성적 성과

| 목표 | 달성내용 | 달성도 | 비고 |
|---|---|---|---|
| ○ 한반도 주변 영역의 유의파고 정보 제공을 위한 위성 활용 연구 | ○ 한반도 주변 위성 유의파고 산출<br>- 유의파고 산출 알고리즘 개발<br>- 알고리즘 적용한 유의파고 정보 검증 및 통계적 분석 결과 도출 | 100 % | |

나. 정량적 성과

| 구 분 | | 목표(건) | 달성 실적(건) | 주저자 실적 | 달성도 | | 증빙자료(제출)* | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 국외 논문 | SCI | 1 | 1 | 주저자 1건 | 100 | % | 증빙1(게재) | 1건 투고 예정 (과제종료후 3년이내) |
| | SCIE | | | | | % | | |
| 국내 논문 | SCI | | | | | % | | |
| | SCIE | | | | | % | | |
| 특 허 출 원 | | 1 | 1 | 1 | 90 | % | 특허명세서(안) | 1건 출원예정 (출원비용문제 해결 이후 출원) |
| 기 타 | | | | | | | | |

다. 목표달성을 위한 과제수행 방법(효율성, 우수성 중심으로 기술)

| 목표 | 과제수행방법<br>(이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용* |
|---|---|---|
| 한반도 주변 위성기반 유의파고 정보 산출 | 위성관측 ⇒ 복사모의 밝기온도 (실험) | 위성관측 밝기온도를 복사모의한 밝기온도와의 변환 |
| | 거칠기 산출 (독자적 이론) | 해상풍 영향에 따른 해수면의 거칠기 정보 산출 |
| | 해상풍 산출 (독자적 이론 및 실험) | 위성기반 해상풍속 정보 산출 |
| | 해상풍 ⇒ 유의파고 변환식 도출 (이론 및 실험에 의한 회귀식) | 한반도 주변 유의파고와 위성산출 해상풍과의 관계식 도출 |
| | 유의파고 산출 및 검증 (실험) | 개발된 기법 적용한 유의파고 산출 및 부이 관측자료를 이용한 검증 |

라. 결과의 우수성

(1) 기존에 없던 한반도 주변 위성기반 유의파고 정보 제공 기술 개발

(가) 독자적 기술 개발로 선진 외국과 차별화된 기술임

(나) 누적된 자료를 이용한다면 우리나라 주변 파고의 기후변화적 특성 분석에도 적용 가능

(다) 동일한 방법을 적용하여 글로벌 유의파고 정보 생산 가능

(2) 일별 한반도 주변 위성기반 유의파고 정보 제공 가능

(가) 1일 1회 이상 동해, 서해, 남해 영역 (약 1,000 km 관측폭) 파고정보 제공 가능

* 매일 관측영역이 조금씩 바뀜 (위성의 궤도에 의존)

(나) 향후 가용한 위성을 추가한다면, 1일 2~3회 이상 유의파고 정보 생산 가능

(3) 연구비에 비해 우수한 연구실적 확보

(가) 관련 국제논문 게재 1편 및 추가로 1편 제출 예정

(나) 국내특허 출원 1건 중

2. 과제 결과

가. 국제전문학술지 게제 1건

(1) SCI 급

(가) 저널명: Journal of Atmospheric and Oceanic Technology

(나) 제목: A unique satellite-based sea surface wind speed algorithm and its

application into tropical cyclones intensity analysis, 33, 1363-1375. doi=10.1175/JTECH-D-15-0128.1

(다) 저자: 홍성욱, 서화정, 권영주

(라) 현황: 게제 (2016년 7월)

(마) 사사 표기

**Acknowledgments**

The authors thank anonymous reviewers for constructive comments on the manuscript. This study is supported by the Meteorological Satellite Center (Project No. 153-3100-3137-302-210-13) and the **ISABU project of Korea Institute of Ocean Science and Technology (PE99361)**.

나. 특허출원 1건

(1) 국내특허 (2016)

(가) 특허명

: 인공위성을 이용한 유의파고 산출 기법 및 이를 구현한 시스템 (Method and system for retrieving significant wave height using satellites)

(나) 발명자

: 홍성욱, 신하얀

# 제 5 장 과제결과의 활용계획

## 1절. 활용방안

본 연구과제의 결과를 다음과 같이 활용할 것을 제안한다.

1. 예상 활용분야 및 활용방안

가. 해양정보 모니터링

(1) 모델, 부이관측, 위성관측을 통한 유의파고 정보 시너지 효과를 통해, 한반도 주변 유의파고 정보 모니터링 및 현업에 활용

나. 재해 및 안전

(1) 태풍 및 쓰나미 등 파고가 높아질 때 조기 모니터링하여 대비하는 데 활용

다. 기후변화 감시

(1) 기후변화에 따른 서해, 남해, 동해의 유의파고 변동성 분석에 활용

2. 추가연구, 기업화, 기술이전 등의 가능성

가. 추가연구

(1) 본 연구 기술의 개선 및 실용화를 위해서 다년도(2~3년) 사업으로 추가 연구 필요

(2) 관측위성 수를 확대(예를 들어, 1개 ⇨ 2개)로 한반도 주변 위성관측 파고정보를 보다 자주(하루 2번 ⇨ 하루4번) 확보할 수 있음

나. 기업화 및 기술이전

(1) 개발한 기술을 이용하여 특정 지역에 특화

(2) 산업분야에 특화된 정보로 재가공하여 서비스

다. 과제수행에 따른 문제점 및 개선방향

(1) 예산 총액

(가) 연구원 추가하기에 비용이 과소하기에 향후 연구비 상향 조정 필요

(2) 연구기간

(가) 안정적 기초기술 개발을 위해 단년도 사업에서 다년도(2~3년) 사업으로 확장 필요

(3) 학술발표

(가) 국외학술발표 여건 부족

라. 기타 건의사항

(1) 계속과제 여부

(가) 본 과제 성과를 바탕으로 실용화를 위해 다년도(2~3년) 사업으로 확장 필요

(나) 관측위성 수 확대(예를 들어, 1개 ⇨ 2개)로 한반도 주변 위성관측 파고정보를 보다 자주(하루 2번 ⇨ 하루4번) 확보하여 활용해야 함

## 2절. 기대효과

1. 국내 해양연구에 발전에 미칠 수 있는 영향

가. 수동형 마이크로파를 이용한 파고 정보 새로운 기술 개발을 통해, 관련 해양 모델 및 관측 연구 발전에 중요한 기여가 있을 것으로 예상됨

2. 해당분야 학문발전에의 기여효과

가. 위성관측 결과와 비교 및 합성 등 해당 분야의 모델 및 파고 관련 학문분야에 매우 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대됨

나. 장기간 유의파고의 변화 모니터링을 통해 기후변화 연구에 기여 가능

3. 산업 발전에의 기여도 등 국가 경제에 미치는 효과

가. 위성 1기당 일 2회 유의파고 정보의 사용자(어업관련자, 해양교통분야 등 다양한 사용자에게 정보 제공을 통한 관련분야에 기여

나. 서해, 동해, 남해 권역별 및 맞춤형 유의파고 정보 웹기반 제공 등 중소규모 산업체 발전에 기여 가능

4. 과제수행 과정을 통한 연구 인력 양성 효과 등

가. 위성을 이용한 파고 정보 생산 및 분석이 가능한 전문인력 양성

## 3절. 연구 총평에 대한 답변

| ○ 우수한 점(성과의 우수성 및 긍정적 측면) | ○ 답변 |
|---|---|
| • 복사계를 이용하여 유의파고를 추정하는 새로운 시도임<br>• 당초 연구목표를 달성한 것으로 사료됨<br>• 대양연구를 하는데 인공위성자료를 활용하는 측면에서 과제 추진이 가능할 것으로 사료됨<br>• 파고 관측자료가 부족한 현실에서 본 연구의 결과가 활용이 된다면 향후 파고 예측의 정확도를 높일 수 있을 것으로 기대함<br>• 공동연구 및 기술이전 조치가 필요함<br>• 위성을 이용한 유의파고 정보를 알 수 있다면 추후 해양 활동에 많은 도움이 될 것으로 판단됨 | • 추후 연구과제가 계속되어 해양연의 모델과 결합하여 시너지 효과를 낼 수 있는 공동연구가 진행되길 기대함<br>• 기술 이전부분은 특허출원을 통해 상당부분 전수가 될 예정이며, 공동 연구가 추진되면 보다 효율적인 기술이전이 가능할 것임 |
| **○ 미흡한 점 및 보완사항** | **○ 답변** |
| • 정확도 검증 및 개선을 위한 방안이 필요함<br>• 해양과기원의 KOOS와 연계한다면, 과제의 추진 필요성에 대한 재검토가 필요함<br>• 결과 검증을 위한 비교 자료가 추가되어야할 것으로 사료됨<br>• 연구결과의 활용을 높이기 위해 수요처와의 긴밀한 협력이 요구됨<br>• 여러 위성자료를 활용해서 결과를 낼 수 있다면 더 정확하고 많은 자료를 만들 수 있을 것으로 사료됨 | • 추후 연구과제를 통해, 모델 관측자료와 정량적 검증이 추가될 예정임<br><br>• 추후 연구과제를 통해, SMOS, SMAP 등 더 긴 파장 관측이 가능한 위성자료 활용한 유의파고 산출이 가능하여, 보다 정확하고 많은 자료가 산출될 수 있을 것임 |

# 제 6 장 참고문헌


Ding, S., P. Yang, F. Weng, Q. Liu, Y. Han, P. Van Delst, J. Li, and B. Baum, 2011: Validation of the community radiative transfer model. *J. Quant. Spectro. Radiative Transfer*, 112, 1050-1064.

English, S. J., and T. J. Hewison, 1998: A fast generic millimeter-wave emissivity model, Microwave Remote Sensing of the Atmosphere and Environment. *Proc. SPIE* (3503), 288 - 300.

Hong, S., 2009a: Retrieval of refractive index over specular surfaces for remote sensing applications. *J. Appl. Rem. Sens.,* 3, 033560.

Hong, S., 2010a, Surface roughness and polarization ratio in microwave remote sensing, *Int. J. Rem. Sens.,* 31, 2709 - 2716.

Hong, S., 2010b, Global retrieval of small-scale roughness over land surfaces at microwave frequency, *J. Hydrol.,* 389, 121 - 126.

Hong, S., 2010c: Detection of small-scale roughness and refractive index of sea ice in passive satellite microwave remote sensing, *Rem. Sens. Environ.,* 114(5), 1136 - 1140.

Hong, S., 2013: Polarization conversion for specular components of surface reflection, *IEEE Geosci. Rem. Sens. Lett.*, 10, 1469 - 1472.

Hong, S. and I. Shin, 2010: Global trends of sea ice: small-scale roughness and refractive index, *J. Climate,* 23, 4669 - 4676.

Hong, S. and I. Shin, 2011: A physically-based inversion algorithm for retrieving soil moisture in passive microwave remote sensing. *J. Hydrol.,* 405, 24 - 30.

Hong, S. and I. Shin, 2013: Wind speed retrieval based on sea surface roughness measurements from spaceborne microwave radiometers. *J. Appl. Meteorol. Climatol.,* 52, 507 - 516.

Hong, S., H.-J. Seo, and N. Kim, I. Shin, 2015: Physical retrieval of tropical ocean surface wind speed under rain-free conditions using spaceborne microwave radiometers. *Rem. Sens. Lett.*, 6, 380 - 389.

Hong, S., I. Shin, Y. Byun, H.-J. Seo, and Y. Kim, 2014: Analysis of sea ice surface properties using ASH and Hong approximations in satellite remote sensing. *Rem. Sens. Lett.*, 5, 139 - 147.

Kim, T., 2012, Examination of Altimeter Wave Data in the Sea Around Ieodo Ocean Research Station, 대한원격탐사학회지, 29, 95-100.

Park, K.-A., H.-J. Woo, E.-Y. Lee, S. Hong, K.-L. Kim, 2013: Validation of Significant Wave Height from Satellite Altimeter in the Seas around Korea and Error Characteristics, 대한원격탐사학회지, 29, 631-644.

Saunders, R., P. Rayer, T. Blackmore, M. Matricardi, P. Bauer, and D. Salmond, 2007: A new fast radiative transfer model – RTTOV-9, In *Joint 2007 EUMETSAT Meteorological Satellite Conf. and the 15th Satellite Meteorology and Oceanography Conf. of the American Meteorological Society*, Amsterdam, Netherlands, 2007.

SchÖne, T. and S. Eickschen, 2001: Wind Speed and SWH Calibration for Radar Altimetry in the North Sea. Proceedings of the ESA – ERS/ENVISAT Symposium, Gothenburg, Sweden, Oct. 2000, 2001.

The WAMDI group, S. Hasselmann, K. Hasselmann, E. Bauer, P.A.E.M. Janssen, G. J. Komen, L. Bertotti, P. Lionello, A, Guillaume, V. C. Cardone, and J. A. Greenwood, 1988: The WAM model – a third generation ocean wave prediction model, *J. Phys. Ocean.,* 18, 1775-1810.

Uppala, S. M., P. W. Kållberg, A. J. Simmons, U. Andrae, V. da Costa Bechtold, M. Fiorino, J. K. Gibson, J. Haseler, A. Hernandez, G. A. Kelly, X. Li, K. Onogi, S. Saarinen, N. Sokka, R. P. Allan, E. Andersson, K. Arpe, M. A. Balmaseda, A. C. M. Beljaars, L. van de Berg, J. Bidlot, N. Bormann, S. Caires, A. Dethof, M. Dragosavac, M. Fisher, M. Fuentes, S. Hagemann, E. Hólm, B.J. Hoskins, L. Isaksen, P. A. E. M. Janssen, A. P. McNally, J.-F. Mahfouf, R. Jenne, J.-J. Morcrette, N. A Rayner, R. W. Saunders, P. Simon, A. Sterl, K.E. Trenberth, A. Untch, D. Vasiljevic, P. Viterbo, and J. Woollen, 2006: The ERA-40 Re-analysis. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, **131**, 2961 – 3012.

Wentz, F. J., and T. Meissner, 2000: *AMSR ocean algorithm theoretical basis document-Version 2*, Remote Sensing Systems, Santa Rosa, CA.

# 제 7 장 특허명세서

【명세서】

【발명의 명칭】

인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치 및 방법{SYSTEM AND METHOD FOR RETRIEVING SIGNIFICANT WAVE HEIGHT USING SATELLITES}

【기술분야】

본 발명은 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치 및 방법에 관한 것으로, 특히 인공위성에 탑재된 수동형 마이크로파 센서에 의해 관측된 밝기온도를 이용하여 해상풍 풍속 정보를 산출하고 이 산출된 해상풍 풍속 정보로부터 해수면 위의 유의파고(SWH: Significant Wave Height) 정보를 산출하는, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치 및 방법에 관한 것이다.

【발명의 배경이 되는 기술】

일반적으로 바다 표면의 유의파고는 특정시간 주기 내에서 일어나는 모든 파고 중 가장 높은 파고 1/3의 평균 파고를 말하며, 기상, 기후, 해양, 어업 등 다양한 분야에서 매우 중요한 기본 정보중 하나이다. 대한민국이나 외국을 포함한 대부분의 나라에서는 근해 부근에 해상부이(buoy) 등을 설치하거나, 선박 등을 이용하여 파고의 높이를 정기적, 부정기적으로 측정하여 바다의 상태에 대한 정보를 국민 등 필요한 사용자에게 제공하고 있다. 대표적인 자연재해인 태풍이 대한민국에 접근할 때에는 높은 파고가 발생하여, 국민들에게 재산상 재해 또는 인명 재해를 발생시키기도 한다. 또한 선박들의 출입항에도 영향을 주기 때문에, 경제적으로도 파고 정보는 매우 중요하다.

종래의 파고 계측용 부이는 예컨대, 국내 실용신안 등록 제432985호 공보에 개시된 바와 같이, 제 1 길이와 제 1 직경을 갖는 원통형 몸체부와, 상기 제 1 길이에 비해 상대적으로 긴 제 2 길이와, 상기 제 1 직경에 비해 상대적으로 작은 제 2 직경을 가지며 상기 원통형 몸체부의 하단부로부터 연장하는 원통형 다리부와, 상기 원통형 다리부의 하단부에 연결된 와이어와, 상기 와이어의 하단부에 연결된 무게추와, 상기 원통형 몸체부의 내부에 배치되는 가속도 센서와, 상기 가속도 센서의 신호를 처리하는 연산부를 포함하는 파고 계측용 부이를 포함하여 구성된다.

그러나 이와 같은 종래의 파고 계측용 부이는 설치되어 있는 해상 부이 들이 주로 해안가를 따라서 설치되어 있으므로 매우 넓은 범위의 바다에 대해 관측 공백이 존재한다. 도 10은 미국해양대기청(NOAA, Natioanl Oceanic and Atmospheric Administration)에서 활용하고 있는 해상 부이 자료 들의 분포도를 나타내며, 넓은 범위의 바다에 대해 큰 관측 공백이 존재함을 알 수 있다.

한편, 대부분 국가들에서는 해양조건을 모의 할 수 있는 해양모델을 이용하여 파고 정

보를 예측하고 있다. 인공위성을 이용한 기법에는 주로 고도계(Altimeter) 센서가 장착된 위성들이 인공위성에서 해수면 위로 직접 발사한 신호가 되돌아와서 다시 탐지된 신호를 분석하여 유의파고 정보를 제공하고 있으나, 단점으로는 이러한 인공위성 들은 바다 위의 동일 지점을 다시 관측하는데 약 10일 정도나 걸리고, 관측 순간에도 매우 좁은 영역만 관측할 수 있다는 문제점이 있다. 도 11은 2012년도에 우리나라를 강타한 태풍 볼라벤(a)과 그 시기에 위성고도계가 관측한 지점을 나타내며(b), 태풍의 특성을 분석하기에는 위성 고도계가 절대적으로 부족한 자료 수 및 시공간 해상도를 가짐을 알 수 있다.

【발명의 내용】

【해결하고자 하는 과제】

따라서 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 이루어진 것으로서, 본 발명의 목적은 광역적 관측 공백 영역을 커버하고, 유의파고정보를 자주 제공할 수 있는, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치 및 방법을 제공하는 데에 있다.

【과제의 해결 수단】

상기의 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 일실시형태에 의한 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치는 인공위성에 탑재된 수동형 마이크로파 센서에 의해 관측된 수직 편광 밝기온도를 입력받아 모의 밝기온도로 변환하도록 구성된 수직 편광 밝기온도 관측부; 상기 수직 편광 밝기온도 관측부에서 모의 밝기온도를 입력받아 수직 편광 반사도를 산출함과 아울러 수치모델 자료를 복사전달모델에 입력하여 수평 편광 반사도를 산출하도록 구성된 반사도 산출부; 상기 반사도 산출부에 의해 산출된 수직 편광 반사도 및 수평 편광 반사도로부터 해수면의 거칠기(Roughness)를 산출하도록 구성된 해수면 거칠기 산출부; 상기 해수면 거칠기 산출부에 의해 산출된 해수면의 거칠기로부터 해상풍 풍속 정보를 산출하도록 구성된 해상풍 산출부; 및 상기 해상풍 산출부에 의해 산출된 해상풍 풍속 정보로부터 다음 수학식 5

[수학식 5]

$$SWH = a_0 + a_1 \cdot W_S + a_2 \cdot W_S^2$$

[여기서, SWH는 유의파고를 나타내며, $W_s$는 해상풍 풍속을 나타내며, $\alpha_0$, $\alpha_1$ 및 $\alpha_2$는 회귀관계식의 회귀 계수를 나타냄]

에 의해 유의파고를 산출하도록 구성된 파고 정보 산출부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

상기 일실시형태에 의한 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치에 있어서, 상기 수직 편광 밝기온도 관측부는, 상기 관측된 수직 편광 밝기온도를 다음 수학식 1

[수학식 1]

$$T_{B,H,Sim} = a_{1,H} \cdot T_{B,Obs} + a_{2,H}$$

$$T_{B,V,Sim} = a_{1,V} \cdot T_{B,Obs} + a_{2,V}$$

[여기서, $T_{B,Sim}$는 모의 밝기온도를 나타내고, $T_{B,Obs}$는 수직 편광 밝기온도를 나타내며, $\alpha_{1,V}$, $\alpha_{2,V}$, $\alpha_{1,H}$, $\alpha_{2,H}$는 회귀관계식의 편광별 회귀 계수와 기울기를 나타내며, 첨자 V는 수직편광, 첨자 H는 수평편광을 나타냄]

에 의해 모의 밝기온도로 변환하도록 더 구성될 수 있다.

상기 일실시형태에 의한 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치에 있어서, 상기 반사도 산출부는 상기 모의 밝기온도로부터 다음 수학식 2

[수학식 2]

$$R_{R,V} = b_{1,V} \cdot T_{B,V,Sim} + b_{2,V}$$

[여기서, $R_{R,V}$는 수직 편광 반사도를 나타내고, $b_{1,V}$, $b_{2,V}$는 회귀관계식의 회귀계수이고 기울기와 절편을 각각 의미하며, $T_{B,V,Sim}$은 모의 밝기온도를 나타내며, 첨자 V는 수직편광을 나타냄]

에 의해 수직 편광 반사도를 산출하도록 더 구성될 수 있다.

상기 일실시형태에 의한 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치에 있어서, 상기 해수면 거칠기 산출부는, 상기 수직 편광 반사도 및 수평 편광 반사도로부터 다음 수학식 3

[수학식 3]

$$\sigma \approx \frac{\lambda}{4\pi \cos\theta} \cdot \sqrt{\ln\left(\frac{R_{R,H}^{\sec^2\theta}}{R_{R,V}}\right)}$$

[여기서, σ는 해수면 거칠기를 나타내고, $R_{R,V}$는 수직 편광 반사도를 나타내며, $R_{R,H}$는 수평 편광 반사도를 나타내며, Θ는 위성천정각을 나타냄]

에 의해 해수면의 거칠기를 산출하도록 더 구성될 수 있다.

상기 일실시형태에 의한 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치에 있어서, 상기 해상풍 산출부는 상기 해수면 거칠기로부터 다음 수학식 4

[수학식 4]

$$\sigma = c_1 \cdot W_S + c_2$$

[여기서, σ는 해수면 거칠기를 나타내고, $C_1$, $C_2$는 회귀관계식의 회귀 계수로서 기울기

와 절편을 나타내며, $W_S$는 해상풍의 풍속을 나타냄]

에 의해 해상풍 풍속 정보를 산출하도록 더 구성될 수 있다.

상기의 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 다른 실시형태에 의한 인공위성을 이용한 유의파고 산출 방법은 수직 편광 밝기온도 관측부가 인공위성에 탑재된 수동형 마이크로파 센서에 의해 관측된 수직 편광 밝기온도를 입력받아 모의 밝기온도로 변환하는 단계; 반사도 산출부가 상기 모의 밝기온도 변환 단계에서 변환된 상기 모의 밝기온도를 입력받아 수직 편광 반사도를 산출함과 아울러 수치모델 자료를 복사전달모델에 입력하여 수평 편광 반사도를 산출하는 단계; 거칠기 산출부가 상기 산출된 수직 편광 반사도 및 수평 편광 반사도로부터 해수면의 거칠기를 산출하는 단계; 해상풍 산출부가 상기 해수면 거칠기 산출 단계에서 산출된 상기 해수면의 거칠기로부터 해상풍 풍속 정보를 산출하는 단계; 및 파고 정보 산출부가 상기 해상풍 산출 단계에 의해 산출된 해상풍 풍속 정보로부터 다음 수학식 5

[수학식 5]

$$SWH = a_0 + a_1 \cdot W_S + a_2 \cdot W_S^2$$

[여기서, SWH는 유의파고를 나타내며, $W_S$는 해상풍 풍속을 나타내며, $\alpha_0$, $\alpha_1$ 및 $\alpha_2$는 회귀관계식의 회귀 계수를 나타냄]

에 의해 유의파고를 산출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

상기 다른 실시형태에 의한 인공위성을 이용한 유의파고 산출 방법에 있어서, 상기 모의 밝기온도 변환 단계는, 상기 관측된 수직 편광 밝기온도를 다음 수학식 1

[수학식 1]

$$T_{B,H,Sim} = a_{1,H} \cdot T_{B,Obs} + a_{2,H}$$

$$T_{B,V,Sim} = a_{1,V} \cdot T_{B,Obs} + a_{2,V}$$

[여기서, $T_{B,Sim}$는 모의 밝기온도를 나타내고, $T_{B,Obs}$는 수직 편광 밝기온도를 나타내며, $\alpha_{1,V}$, $\alpha_{2,V}$, $\alpha_{1,H}$, $\alpha_{2,H}$는 회귀관계식의 편광별 회귀 계수와 기울기를 나타내며, 첨자 V는 수직편광, 첨자 H는 수평편광을 나타냄]

에 의해 모의 밝기온도로 변환하는 단계를 포함할 수 있다.

상기 다른 실시형태에 의한 인공위성을 이용한 유의파고 산출 방법에 있어서, 상기 반사도 산출 단계는, 상기 모의 밝기온도로부터 다음 수학식 2

[수학식 2]

$$R_{R,V} = b_{1,V} \cdot T_{B,V,Sim} + b_{2,V}$$

[여기서, $R_{R,V}$는 수직 편광 반사도를 나타내고, $b_{1,V}$, $b_{2,V}$는 회귀관계식의 회귀계수이고 기울기와 절편을 각각 의미하며, $T_{B,V,Sim}$은 모의 밝기온도를 나타내며, 첨자 V는 수직편광을 나타냄]

에 의해 수직 편광 반사도를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

상기 다른 실시형태에 의한 인공위성을 이용한 유의파고 산출 방법에 있어서, 상기 해수면 거칠기 산출 단계는, 상기 수직 편광 반사도 및 수평 편광 반사도로부터 다음 수학식 3

[수학식 3]

$$\sigma \approx \frac{\lambda}{4\pi \cos\theta} \cdot \sqrt{\ln\left(\frac{R_{R,H}^{\sec^2\theta}}{R_{R,V}}\right)}$$

[여기서, σ는 해수면 거칠기를 나타내고, $R_{R,V}$는 수직 편광 반사도를 나타내며, $R_{R,H}$는 수평 편광 반사도를 나타내며, Θ는 위성천정각을 나타냄]

에 의해 해수면의 거칠기를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

상기 다른 실시형태에 의한 인공위성을 이용한 유의파고 산출 방법에 있어서, 상기 해상풍 풍속 정보 산출 단계는, 상기 해수면 거칠기로부터 다음 수학식 4

[수학식 4]

$$\sigma = c_1 \cdot W_S + c_2$$

[여기서, σ는 해수면 거칠기를 나타내고, $C_1$, $C_2$는 회귀관계식의 회귀 계수로서 기울기와 절편을 나타내며, $W_S$는 해상풍의 풍속을 나타냄]

에 의해 해상풍 풍속 정보를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

【발명의 효과】

본 발명의 실시형태에 의한, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치 및 방법에 의하면, 수직 편광 밝기온도 관측부가 인공위성에 탑재된 수동형 마이크로파 센서에 의해 관측된 수직 편광 밝기온도를 입력받아 모의 밝기온도로 변환하고, 반사도 산출부가 상기 모의 밝기온도를 입력받아 수직 편광 반사도를 산출함과 아울러 수치모델 자료를 복사전달모델에 입력하여 수평 편광 반사도를 산출하며, 거칠기 산출부가 산출된 상기 수직 편광 반사도 및 수평 편광 반사도로부터 해수면의 거칠기를 산출하며, 해상풍 산출부가 산출된 상기 해수면의 거칠기로부터 해상풍 풍속 정보를 산출하며, 파고 정보 산출부가 산출된 상기 해상풍 풍속 정보로부터 수학식에 의해 유의파고를 산출하도록 구성됨으로써, 종래의 파고 계측용 부이를 해안가를 따라서 설치함으로써 발생하는 매우 넓은 범위의 바다에 대한 관측 공백 현상을 해소할 수 있으며 광역적 관측 공백 영역을 커버할 수 있다는 뛰어난 효과가 있으며, 인공위성의 관측 정보를 이용

하여 수학식으로 유의파고정보를 산출할 수 있으므로 정확한 유의파고정보를 하루 1회 이상 자주 제공할 수 있다는 뛰어난 효과가 있다.

또한 이와 같은 유의파고 정보는 태풍과 같은 재난재해 및 기후연구, 파력 에너지, 어업 등 다양한 분야에 응용될 수 있는 기초 정보로서, 국민의 생명과 재산을 보호하는데 매우 유용하게 사용될 수 있다.

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명의 실시예에 의한, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치에 대한 제어 블록도이다.

도 2는 도 1의 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치를 이용한, 인공위성을 이용한 유의파고 산출방법을 설명하기 위한 플로우챠트이다.

도 3은 수동형 마이크로파 위성의 관측자료와 약 1개월 정도 시공간을 일치시킨 부이 자료를 나타내는 도면이다.

도 4는 위성 관측 자료와 부이 자료의 일치를 나타내는 도면이다.

도 5는 보버트 풍력 계급(Beaufort scale)을 나타내는 도면이다.

도 6은 마이크로파 위성을 이용한 해상풍 풍속 정보와 이를 이용하여 산출된 파고의 관계를 나타낸 도면이다.

도 7은 도 1의 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치를 이용하여 산출한 파고를 검증한 결과를 나타낸 도면이다.

도 8은 도 1의 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치를 이용하여 산출한 대한민국 주변의 파고 정보를 예시한 도면이다.

도 9는 도 1의 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치를 소프트웨어로 구현한 예를 나타낸 도면이다.

도 10은 NOAA에서 활용하고 있는 해상 부이 자료 들의 분포도이다.

도 11은 2012년에 대한민국을 강타한 태풍 볼라벤(a)과 그 시기에 위성고도계에 의해 관측된 지점(b)을 나타내는 도면이다.

【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】

이하, 본 발명의 실시예를 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

도 1은 본 발명의 실시예에 의한, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치에 대한 제어 블록도이다.

본 발명의 실시 예에 의한, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치는, 도 1에 도시된 바와 같이, 수직 편광 밝기온도 관측부(100), 반사도 산출부(200), 해수면 거칠기 산출부(300), 해상풍 산출부(400) 및 파고 정보 산출부(500)를 포함한다.

수직 편광 밝기온도 관측부(100)는 인공위성에 탑재된 수동형 마이크로파 센서(도시되

지 않음)에 의해 관측된 수직 편광 밝기온도($T_{B,Obs}$)를 입력받아 모의 밝기온도($T_{B,Sim}$)로 변환하는 역할을 하며, 수동형 마이크로파센서에 의해 관측된 수직 편광 밝기온도($T_{B,Obs}$)를 다음 [수학식 1]

[수학식 1]

$$T_{B,H,Sim} = a_{1,H} \cdot T_{B,Obs} + a_{2,H}$$

$$T_{B,V,Sim} = a_{1,V} \cdot T_{B,Obs} + a_{2,V}$$

[여기서, $T_{B,Sim}$는 모의 밝기온도를 나타내고, $T_{B,Obs}$는 수직 편광 밝기온도를 나타내며, $\alpha_{1,V}$, $\alpha_{2,V}$, $\alpha_{1,H}$, $\alpha_{2,H}$는 회귀관계식의 편광별 회귀 계수와 기울기를 나타내며, 첨자 V는 수직편광, 첨자 H는 수평편광을 나타냄]

에 의해 모의 밝기온도($T_{B,Sim}$)로 변환한다.

반사도 산출부(200)는 수직 편광 밝기온도 관측부(100)에서 획득된 모의 밝기온도($T_{B,Sim}$)를 입력받아 다음 [수학식 2]

[수학식 2]

$$R_{R,V} = b_{1,V} \cdot T_{B,V,Sim} + b_{2,V}$$

[여기서, $R_{R,V}$는 수직 편광 반사도를 나타내고, $b_{1,V}$, $b_{2,V}$는 회귀관계식의 회귀계수이고 기울기와 절편을 각각 의미하며, $T_{B,V,Sim}$은 모의 밝기온도를 나타내며, 첨자 V는 수직편광을 나타냄]

에 의해 해상풍 산출을 위하여 반드시 필요한 수직 편광 반사도($R_{R,V}$)를 산출하며, 수치모델 자료를 복사전달모델에 입력하여 수평 편광 반사도($R_{R,H}$)를 산출하는 역할을 한다.

해수면 거칠기 산출부(300)는 반사도 산출부(200)에 의해 산출된 수직 편광 반사도($R_{R,V}$) 및 수평 편광 반사도($R_{R,H}$)로부터 다음 [수학식 3]

[수학식 3]

$$\sigma \approx \frac{\lambda}{4\pi \cos\theta} \cdot \sqrt{\ln\left(\frac{R_{R,H}^{\sec^2\theta}}{R_{R,V}}\right)}$$

[여기서, σ는 해수면 거칠기를 나타내고, $R_{R,V}$는 수직 편광 반사도를 나타내며, $R_{R,H}$는 수평 편광 반사도를 나타내며, Θ는 위성천정각을 나타냄]

에 의해 해수면의 거칠기(σ)를 산출하는 역할을 한다.

해상풍 산출부(400)는 해수면 거칠기 산출부(300)에 의해 산출된 해수면의 거칠기(σ)로부터 다음 [수학식 4]

[수학식 4]

$$\sigma = c_1 \cdot W_S + c_2$$

[여기서, σ는 해수면 거칠기를 나타내고, $C_1$, $C_2$는 회귀관계식의 회귀 계수로서 기울기와 절편을 나타내며, $W_S$는 해상풍의 풍속을 나타냄]

에 의해 해상풍 풍속($W_S$) 정보를 산출하는 역할을 한다.

파고 정보 산출부(500)는 해상풍 산출부(400)에 의해 산출된 해상풍 풍속($W_S$) 정보로부터 다음 [수학식 5]

[수학식 5]

$$SWH = a_0 + a_1 \cdot W_S + a_2 \cdot W_S^2$$

[여기서, SWH는 유의파고를 나타내며, $W_s$는 해상풍 풍속을 나타내고, $\alpha_0$, $\alpha_1$ 및 $\alpha_2$는 회귀관계식의 회귀 계수를 나타냄]

에 의해 유의파고(SWH)를 산출하는 역할을 한다.

이하, 상기한 바와 같은 구성 요소로 이루어진 본 발명의 실시예에 의한 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치를 이용한, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 방법을 설명하기로 한다.

도 2는 도 1의 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치를 이용한, 인공위성을 이용한 유의파고 산출방법을 설명하기 위한 흐름도(Flowchart)로서, 여기서 S는 스텝(step)을 의미한다.

먼저, 수직 편광 밝기온도 관측부(100)가 인공위성에 탑재된 수동형 마이크로파 센서에 의해 관측된 수직 편광 밝기온도($T_{B,Obs}$)를 입력받아 다음의 [수학식 1]

[수학식 1]

$$T_{B,H,Sim} = a_{1,H} \cdot T_{B,Obs} + a_{2,H}$$

$$T_{B,V,Sim} = a_{1,V} \cdot T_{B,Obs} + a_{2,V}$$

[여기서, $T_{B,Sim}$는 모의 밝기온도를 나타내고, $T_{B,Obs}$는 수직 편광 밝기온도를 나타내

며, $\alpha_{1,V}$, $\alpha_{2,V}$, $\alpha_{1,H}$, $\alpha_{2,H}$는 회귀관계식의 편광별 회귀 계수와 기울기를 나타내며, 첨자 V는 수직 편광, 첨자 H는 수평편광을 나타냄]

에 의해 모의 밝기온도($T_{B,Sim}$)로 변환한다(S10)

이어서, 스텝(S20)에서는 반사도 산출부(200)가 상기 스텝(S10)에서 획득된 모의 밝기 온도($T_{B,Sim}$)를 입력받아 다음 [수학식 2]

[수학식 2]

$$R_{R,V} = b_{1,V} \cdot T_{B,V,Sim} + b_{2,V}$$

[여기서, $R_{R,V}$는 수직 편광 반사도를 나타내고, $b_{1,V}$, $b_{2,V}$는 회귀관계식의 회귀계수이고 기울기와 절편을 각각 의미하며, $T_{B,V,Sim}$은 모의 밝기온도를 나타내며, 첨자 V는 수직편광을 나타냄]

에 의해 수직 편광 반사도($R_{R,V}$)를 산출함과 아울러, 수치모델 자료를 복사전달모델에 입력하여 수평 편광 반사도($R_{R,H}$)를 산출한다.

스텝(S30)에서는 해수면 거칠기 산출부(300)가 상기 스텝(S20)에서 산출된 수직 편광 반사도($R_{R,V}$) 및 수평 편광 반사도($R_{R,H}$)로부터 다음 [수학식 3]

[수학식 3]

$$\sigma \approx \frac{\lambda}{4\pi \cos\theta} \cdot \sqrt{\ln\left(\frac{R_{R,H}^{\sec^2\theta}}{R_{R,V}}\right)}$$

[여기서, σ는 해수면 거칠기를 나타내고, $R_{R,V}$는 수직 편광 반사도를 나타내며, $R_{R,H}$는 수평 편광 반사도를 나타내며, Θ는 위성천정각을 나타냄]

에 의해 해수면의 거칠기(σ)를 산출한다.

스텝(S40)에서는 해상풍 산출부(400)가 상기 스텝(S30)에서 산출된 해수면의 거칠기(σ)로부터 다음 [수학식 4]

[수학식 4]

$$\sigma = c_1 \cdot W_S + c_2$$

[여기서, σ는 해수면 거칠기를 나타내고, $C_1$, $C_2$는 회귀관계식의 회귀 계수로서 기울기와 절편을 나타내며, $W_S$는 해상풍의 풍속을 나타냄]

에 의해 해상풍 풍속($W_S$) 정보를 산출한다.

스텝(S50)에서는 파고 정보 산출부(500)가 상기 스텝(S40)에서 산출된 해상풍 풍속($W_S$) 정보로부터 다음 [수학식 5]

[수학식 5]

$$SWH = a_0 + a_1 \cdot W_S + a_2 \cdot W_S^2$$

[여기서, SWH는 유의파고를 나타내며, $W_s$는 해상풍 풍속을 나타내며, $\alpha_0$, $\alpha_1$ 및 $\alpha_2$는 회귀관계식의 회귀 계수를 나타냄]

에 의해 유의파고(SWH)를 산출한다.

이하, 위와 같이 구성된 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치에 의해 산출된 유의파고의 정확성에 대해 검증하기로 한다.

수동형 마이크로파 위성인 GCOM-W1의 AMSR2 센서 (Wentz and Meissner, 2000)의 관측자료와 우리나라 주변 해상 부이자료(기상청에서 제공됨)를 약 1 개월(2014년 10월 1일 ~ 10월 30일) 정도 시공간 일치를 시켰다. 부이 자료는 동해, 서해, 남해를 대표할 수 있도록 하였고, 도 3은 각각의 부이 자료를 설명한다.

도 4는 위성 관측 자료와 부이 자료의 일치를 예시하는 도면이다.

다음의 [표 1]은 본 발명에서 제시하는 파고-해상풍 관계식의 계수들을 나타낸다.

[표 1]

| 계수 | $a_0$ | $a_1$ | $a_2$ | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 값 | 0.5792 | 0.0179 | 0.0129 | |

도 5는 보버트 풍력 계급(Beaufort scale)을 나타내는 도면이다.

도 5에 도시된 보버트 풍력 계급과 본 발명에 의한 [수학식 5]를 모두 테스트 해보았을 때, 두 경우 모두 유의미한 결과를 나타내었으나, 본 발명에서 제시된 파고-해상풍 관계식인 [수학식 5]가 더욱 정확하게 파고 정보를 산출할 수 있음이 확인 되었다.

도 6은 마이크로파 위성을 이용한 해상풍 풍속정보와 이를 이용하여 산출된 파고의 관계를 나타낸 도면이며, 도 7은 도 1의 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치를 이용하여 산출

한 파고를 검증한 결과를 나타낸 도면이다. 파고-해상풍 관계식은 상기 [수학식 5]와 [표 1]을 이용하였다. 검증을 위해 동일한 부이 자료를 기간을 늘려서, 약 1년에 해당하는 기간(2014년 1월 1일 ~ 11월 20)의 위성 자료와 부이 자료를 이용하였다. 위성 자료의 밝기온도로부터 본 발명에서 제시된 [수학식 5]까지 적용하여 산출된 유의파고와 각각의 부이에서 관측된 파고 정보를 시공간 일치시켜서 비교하였다. 오차(Bias)는 약 0.29m 였고, 불확정도(RMSE)는 0.58m 였으며, 상관계수(R)는 약 0.575 정도로 나왔다. 이 정도이면 강한 상관관계가 있다는 의미이며, 대략∓58cm 정도의 오차범위내에서 정확하다는 것을 의미한다. 현재 기상청에서 관측이 아닌 해양모델로 계산되어 발표되는 파고의 정보가 미터(m) 단위임을 고려하고, 기존 연구를 통해서 알려진 파고정보의 정확도를 볼 때, 유사한 정확도를 가지며, 매우 유용함을 알 수 있다.

도 8은 도 1의 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치를 이용하여 산출한 대한민국 주변의 파고 정보를 예시한 도면이다. GCOMW-1 위성에 탑재된 AMSR-2 센서의 6.9GHz 채널에서 관측된 밝기온도를 이용하였고, 대한민국 주변의 파고의 예는2014년 10월 2일에 18UTC에 대해 본발명에 의해 산출된 유의파고의 결과[도 8의 (a)]와 동일시간에 대한 기상청 수치모델 결과[도 8의 (b)]를 나타낸다. 간접적인 정성평가를 통해서 볼 때 매우 정확하게 유의파고 정보를 산출해 내는 것을 알 수있다. 도 8의 (c)의 지구파고의 예는 2011년 8월 4일에 대해 전 지구영역에 대해 산출된 파고정보이다.

한편, 도 9는 도 1의 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치를 소프트웨어로 구현한 예를 나타낸 도면으로서, 본 발명의 실시 예에 의한 위성을 이용한 유의파고 산출 장치는 소프트웨어를 통해 구현 가능함을 알 수 있다. 이에 따라 본 발명의 실시 예에 의한 위성을 이용한 유의파고 산출 장치 및 방법은 소프트웨어적인 구성으로 컴퓨터에서 처리 가능한 프로그램으로 제작 가능함을 알 수 있다.

본 발명의 실시 예에 의한, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치 및 방법에 의하면, 수직 편광 밝기온도 관측부가 인공위성에 탑재된 수동형 마이크로파 센서에 의해 관측된 수직 편광 밝기온도를 입력받아 모의 밝기온도로 변환하고, 반사도 산출부가 상기 모의 밝기온도를 입력받아 수직 편광 반사도를 산출함과 아울러 수치모델 자료를 복사전달모델에 입력하여 수평 편광 반사도를 산출하며, 거칠기 산출부가 산출된 상기 수직 편광 반사도 및 수평 편광 반사도로부터 해수면의 거칠기를 산출하며, 해상풍 산출부가 산출된 상기 해수면의 거칠기로부터 해상풍 풍속 정보를 산출하며, 파고 정보 산출부가 산출된 상기 해상풍 풍속 정보로부터 수학식에 의해 유의파고를 산출하도록 구성됨으로써, 종래의 파고 계측용 부이를 해안가를 따라서 설치함으로써 발생하는 매우 넓은 범위의 바다에 대한 관측 공백 현상을 해소할 수 있으며 광역적 관측 공백 영역을 커버할 수 있으며, 인공위성의 관측 정보를 이용하여 수학식으로 유의파고정보를 산출할 수 있으므로 정확한 유의파고정보를 하루 1회 이상 자주 제공할 수 있다.

또한 이와 같은 유의파고 정보는 태풍과 같은 재난재해 및 기후연구, 파력 에너지, 어업 등 다양한 분야에 응용될 수 있는 기초 정보로서, 국민의 생명과 재산을 보호하는데 매우

유용하게 사용될 수 있다.

도면과 명세서에는 최적의 실시 예가 개시되었으며, 특정한 용어들이 사용되었으나 이는 단지 본 발명의 실시형태를 설명하기 위한 목적으로 사용된 것이지 의미를 한정하거나 특허청구범위에 기재된 본 발명의 범위를 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다. 그러므로 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

【부호의 설명】

100: 수직 편광 밝기온도 관측부
200: 반사도 산출부
300: 해수면 거칠기 산출부
400: 해상풍 산출부
500: 파고 정보 산출부

【특허청구범위】

【청구항 1】

인공위성에 탑재된 수동형 마이크로파 센서에 의해 관측된 수직 편광 밝기온도를 입력받아 모의 밝기온도로 변환하도록 구성된 수직 편광 밝기온도 관측부;

상기 수직 편광 밝기온도 관측부에서 모의 밝기온도를 입력받아 수직 편광 반사도를 산출함과 아울러 수치모델 자료를 복사전달모델에 입력하여 수평 편광 반사도를 산출하도록 구성된 반사도 산출부;

상기 반사도 산출부에 의해 산출된 수직 편광 반사도 및 수평 편광 반사도로부터 해수면의 거칠기를 산출하도록 구성된 해수면 거칠기 산출부;

상기 해수면 거칠기 산출부에 의해 산출된 해수면의 거칠기로부터 해상풍 풍속 정보를 산출하도록 구성된 해상풍 산출부; 및

상기 해상풍 산출부에 의해 산출된 해상풍 풍속 정보로부터 다음 수학식 5

[수학식 5]

$$SWH = a_0 + a_1 \cdot W_S + a_2 \cdot W_S^2$$

[여기서, SWH는 유의파고를 나타내며, $W_s$는 해상풍 풍속을 나타내며, $\alpha_0$, $\alpha_1$ 및 $\alpha_2$는 회귀관계식의 회귀 계수를 나타냄]

에 의해 유의파고를 산출하도록 구성된 파고 정보 산출부를 포함하는, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치.

【청구항 2】

제 1 항에 있어서,

상기 수직 편광 밝기온도 관측부는,

상기 관측된 수직 편광 밝기온도를 다음 수학식 1

[수학식 1]

$$T_{B,H,Sim} = a_{1,H} \cdot T_{B,Obs} + a_{2,H}$$

$$T_{B,V,Sim} = a_{1,V} \cdot T_{B,Obs} + a_{2,V}$$

[여기서, $T_{B,Sim}$는 모의 밝기온도를 나타내고, $T_{B,Obs}$는 수직 편광 밝기온도를 나타내며, $\alpha_{1,V}$, $\alpha_{2,V}$, $\alpha_{1,H}$, $\alpha_{2,H}$는 회귀관계식의 편광별 회귀 계수와 기울기를 나타내며, 첨자 V는 수직편광, 첨자 H는 수평편광을 나타냄]

에 의해 모의 밝기온도로 변환하도록 더 구성된, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치.

【청구항 3】

제 1 항에 있어서,

상기 반사도 산출부는,

상기 모의 밝기온도로부터 다음 수학식 2

[수학식 2]

$$R_{R,V} = b_{1,V} \cdot T_{B,V,Sim} + b_{2,V}$$

[여기서, $R_{R,V}$는 수직 편광 반사도를 나타내고, $b_{1,V}$, $b_{2,V}$는 회귀관계식의 회귀계수이고 기울기와 절편을 각각 의미하며, $T_{B,V,Sim}$은 모의 밝기온도를 나타내며, 첨자 V는 수직편광을 나타냄]

에 의해 수직 편광 반사도를 산출하도록 더 구성된, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치.

【청구항 4】

제 1 항에 있어서,

상기 해수면 거칠기 산출부는,

상기 수직 편광 반사도 및 수평 편광 반사도로부터 다음 수학식 3

[수학식 3]

$$\sigma \approx \frac{\lambda}{4\pi\cos\theta} \cdot \sqrt{\ln\left(\frac{R_{R,H}^{\sec^2\theta}}{R_{R,V}}\right)}$$

[여기서, σ는 해수면 거칠기를 나타내고, $R_{R,V}$는 수직 편광 반사도를 나타내며, $R_{R,H}$는 수평 편광 반사도를 나타내며, Θ는 위성천정각을 나타냄]

에 의해 해수면의 거칠기를 산출하도록 더 구성된, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치.

【청구항 5】

제 1 항에 있어서,

상기 해상풍 산출부는 상기 해수면 거칠기로부터 다음 수학식 4

[수학식 4]

$$\sigma = c_1 \cdot W_S + c_2$$

[여기서, σ는 해수면 거칠기를 나타내고, $C_1$, $C_2$는 회귀관계식의 회귀 계수로서 기울기와 절편을 나타내며, $W_S$는 해상풍의 풍속을 나타냄]

에 의해 해상풍 풍속 정보를 산출하도록 더 구성된, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치.

【청구항 6】

제 1 항에 기재된 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치를 이용한, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 방법으로서:

수직 편광 밝기온도 관측부가 인공위성에 탑재된 수동형 마이크로파 센서에 의해 관측된 수직 편광 밝기온도를 입력받아 모의 밝기온도로 변환하는 단계;

반사도 산출부가 상기 모의 밝기온도 변환 단계에서 변환된 상기 모의 밝기온도를 입력받아 수직 편광 반사도를 산출함과 아울러 수치모델 자료를 복사전달모델에 입력하여 수평 편광 반사도를 산출하는 단계;

거칠기 산출부가 상기 산출된 수직 편광 반사도 및 수평 편광 반사도로부터 해수면의 거칠기를 산출하는 단계;

해상풍 산출부가 상기 해수면 거칠기 산출 단계에서 산출된 상기 해수면의 거칠기로부터 해상풍 풍속 정보를 산출하는 단계; 및

파고 정보 산출부가 상기 해상풍 산출 단계에 의해 산출된 해상풍 풍속 정보로부터 다음 수학식 5

[수학식 5]

$$SWH = a_0 + a_1 \cdot W_S + a_2 \cdot W_S^{\,2}$$

[여기서, SWH는 유의파고를 나타내며, $W_s$는 해상풍 풍속을 나타내며, $\alpha_0$, $\alpha_1$ 및 $\alpha_2$는 회귀관계식의 회귀 계수를 나타냄]

에 의해 유의파고를 산출하는 단계를 포함하는, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 방법.

【청구항 7】

제 6 항에 있어서,

상기 모의 밝기온도 변환 단계는,

상기 관측된 수직 편광 밝기온도를 다음 수학식 1

[수학식 1]

$$T_{B,H,Sim} = a_{1,H} \cdot T_{B,Obs} + a_{2,H}$$

$$T_{B,V,Sim} = a_{1,V} \cdot T_{B,Obs} + a_{2,V}$$

[여기서, $T_{B,Sim}$는 모의 밝기온도를 나타내고, $T_{B,Obs}$는 수직 편광 밝기온도를 나타내며, $\alpha_{1,V}$, $\alpha_{2,V}$, $\alpha_{1,H}$, $\alpha_{2,H}$는 회귀관계식의 편광별 회귀 계수와 기울기를 나타내며, 첨자 V는 수직편광, 첨자 H는 수평편광을 나타냄]

에 의해 모의 밝기온도로 변환하는 단계를 포함하는, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 방법.

【청구항 8】

제 6 항에 있어서,

상기 반사도 산출 단계는,

상기 모의 밝기온도로부터 다음 수학식 2

[수학식 2]

$$R_{R,V} = b_{1,V} \cdot T_{B,V,Sim} + b_{2,V}$$

[여기서, $R_{R,V}$는 수직 편광 반사도를 나타내고, $b_{1,V}$, $b_{2,V}$는 회귀관계식의 회귀계수이고 기울기와 절편을 각각 의미하며, $T_{B,V,Sim}$은 모의 밝기온도를 나타내며, 첨자 V는 수직편광을 나타냄]

에 의해 수직 편광 반사도를 산출하는 단계를 포함하는, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 방법.

【청구항 9】

제 6 항에 있어서,

상기 해수면 거칠기 산출 단계는,

상기 수직 편광 반사도 및 수평 편광 반사도로부터 다음 수학식 3

[수학식 3]

$$\sigma \approx \frac{\lambda}{4\pi\cos\theta} \cdot \sqrt{\ln\left(\frac{R_{R,H}^{\sec^2\theta}}{R_{R,V}}\right)}$$

[여기서, σ는 해수면 거칠기를 나타내고, $R_{R,V}$는 수직 편광 반사도를 나타내며, $R_{R,H}$는 수평 편광 반사도를 나타내며, Θ는 위성천정각을 나타냄]

에 의해 해수면의 거칠기를 산출하는 단계를 포함하는, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치.

【청구항 10】

제 6 항에 있어서,

상기 해상풍 풍속 정보 산출 단계는,

상기 해수면 거칠기로부터 다음 수학식 4

[수학식 4]

$$\sigma = c_1 \cdot W_S + c_2$$

[여기서, σ는 해수면 거칠기를 나타내고, $C_1$, $C_2$는 회귀관계식의 회귀 계수로서 기울기와 절편을 나타내며, $W_S$는 해상풍의 풍속을 나타냄]

에 의해 해상풍 풍속 정보를 산출하는 단계를 포함하는, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 방법.

【요약서】

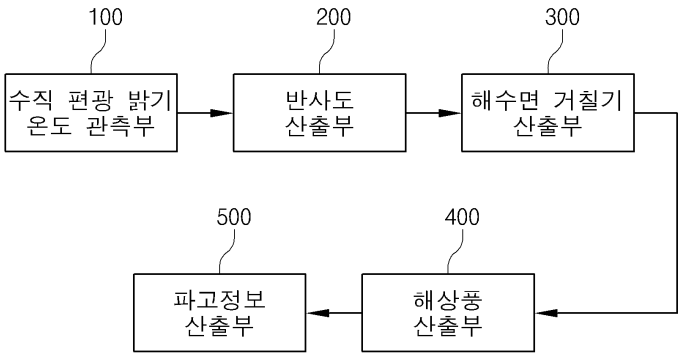
【요약】

본 발명은 인공위성에 탑재된 수동형 마이크로파 센서에 의해 관측된 밝기온도를 이용하여 해상풍 풍속 정보를 산출하고 이 산출된 해상풍 풍속 정보로부터 해수면 위의 유의파고(SWH: Significant Wave Height) 정보를 산출하는, 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치 및 방법에 관한 것이다. 본 발명의 인공위성을 이용한 유의파고 산출 장치는 인공위성에 탑재된 수동형 마이크로파 센서에 의해 관측된 수직 편광 밝기온도를 입력받아 모의 밝기온도로 변환하도록 구성된 수직 편광 밝기온도 관측부; 상기 수직 편광 밝기온도 관측부에서 모의 밝기온도를 입력받아 수직 편광 반사도를 산출함과 아울러 수치모델 자료를 복사전달모델에 입력하여 수평 편광 반사도를 산출하도록 구성된 반사도 산출부; 상기 반사도 산출부에 의해 산출된 수직 편광 반사도 및 수평 편광 반사도로부터 해수면의 거칠기를 산출하도록 구성된 해수면

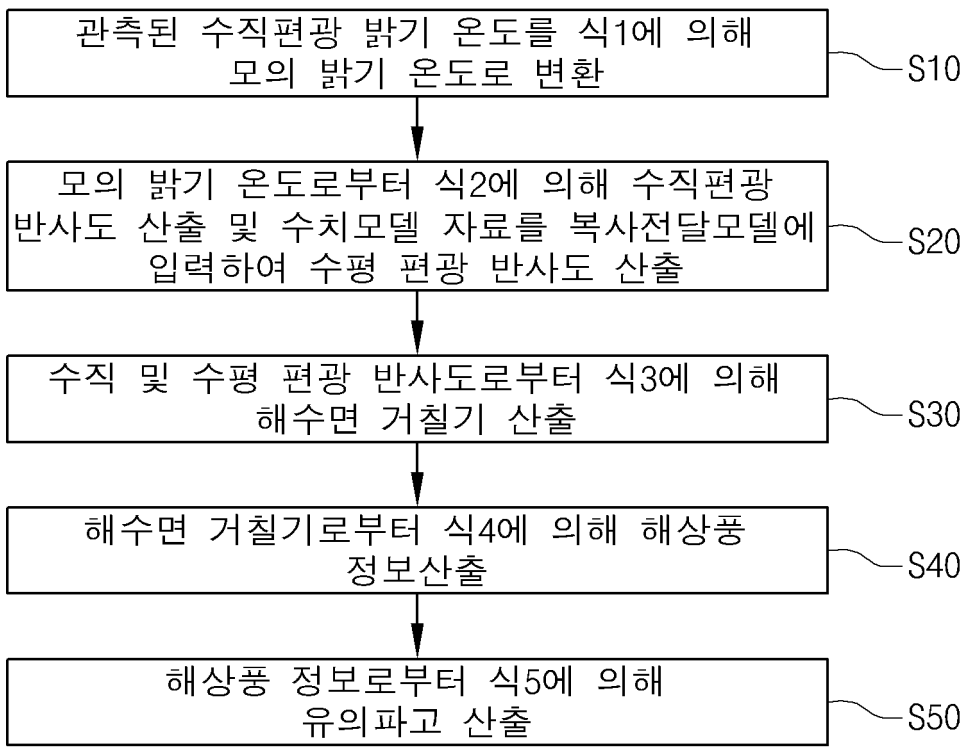
거칠기 산출부; 상기 해수면 거칠기 산출부에 의해 산출된 해수면의 거칠기로부터 해상풍 풍속 정보를 산출하도록 구성된 해상풍 산출부; 및 상기 해상풍 산출부에 의해 산출된 해상풍 풍속 정보로부터 수학식을 이용해 유의파고를 산출하도록 구성된 파고 정보 산출부를 포함한다.

【대표도】

【도 1】




【도 2】

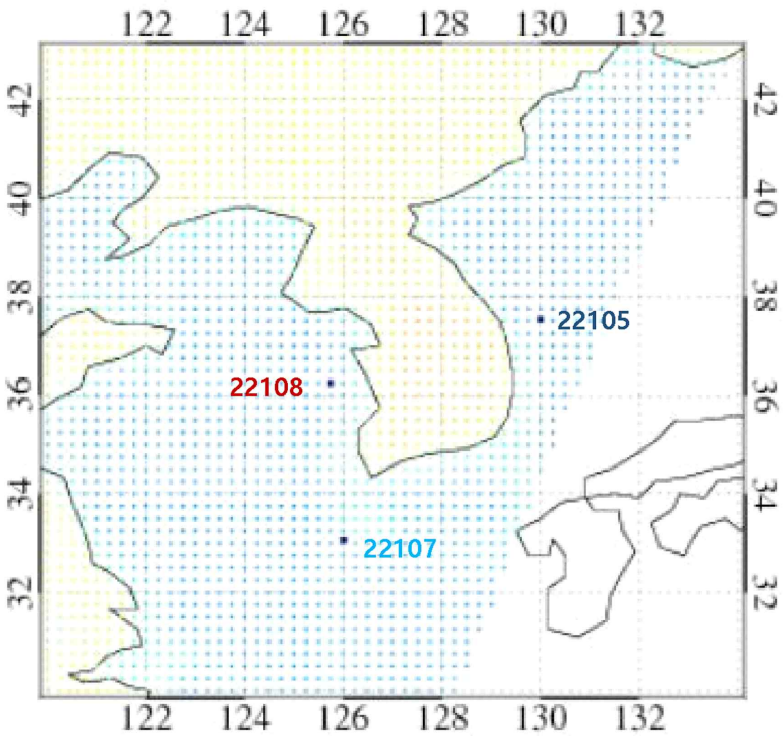


【도 3】

<KMA buoy 지점번호 (station)>)

| 지점번호 | 이름 | 경도 | 위도 |
|---|---|---|---|
| 22105: | 동해 (동해) | 130.0000 | 37.5333 |
| 22107: | 마라도 (남해) | 126.0167 | 33.0667 |
| 22108: | 외연도 (서해) | 125.7500 | 36.2500 |

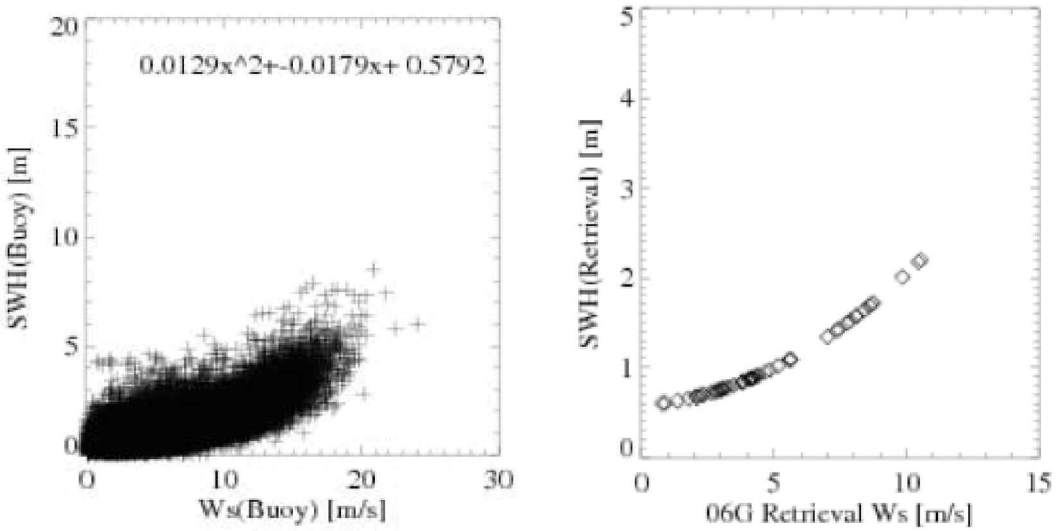
【도 4】



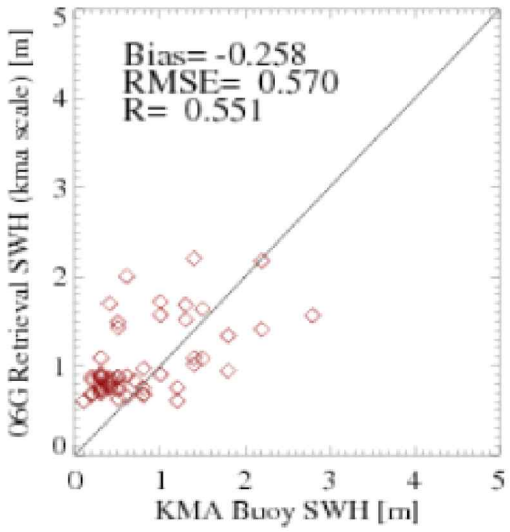
【도 5】

| The Beaufort Scale | Beaufort force | Mean winds (km/hr) | Knots | Explanatory titles | Open sea international code | Probable wave heights (metres) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| The Beaufort Scale is useful in providing a relationship between wind strength, sea state and wave height. The scale allocates numbers to various ranges of wind speed and descriptions of the sea. | 0 | 0 | 0 | Calm | mirror like | 0.1 |
| | 1 | 1 - 5 | 1 - 3 | light air | ripples | 0.2 - 0.3 |
| | 2 | 6 - 11 | 4 - 6 | Light Breeze | Small wavelets | 0.6 - 1.0 |
| | 3 | 12 - 19 | 7 - 10 | Gentle Breeze | Large wavelets | 1.0 - 1.5 |
| | 4 | 20 - 28 | 11 - 16 | Moderate Breeze | Small waves | 1.0 - 1.5 |
| | 5 | 29 - 38 | 17 - 21 | Fresh Breeze | Moderate waves, many white horses | 2.0 - 2.5 |
| | 6 | 39 - 49 | 22 - 27 | Strong Breeze | Large waves - rough | 3.0 - 4.0 |
| | 7 | 50 - 61 | 28 - 33 | Near Gale | Very rough - Sea heaps up | 4.0 - 5.5 |
| | 8 | 62 - 74 | 34 - 40 | Gale | Moderately high waves | 5.5 - 7.5 |
| | 9 | 75 - 88 | 41 - 47 | Strong Gale | High waves - crests begin to topple | 7.0 - 10 |
| | 10 | 89 - 103 | 48 - 55 | Storm | Very high waves, overhanging crests | 9.0 - 12.5 |
| | 11 | 104 - 117 | 56 - 63 | Violent Storm | Exceptionally high waves, foam covered | 11.5 - 16.0 |
| | 12 | 118 - 133 | 64+ | Cyclone, Hurricane | Air filled with foam driving spray | 14.0 |

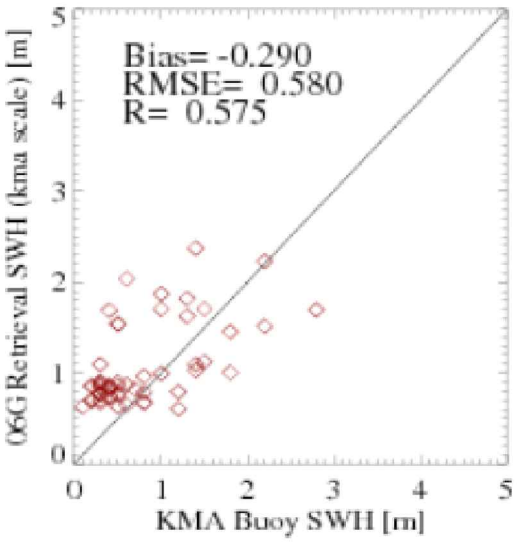
【도 6】



【도 7】

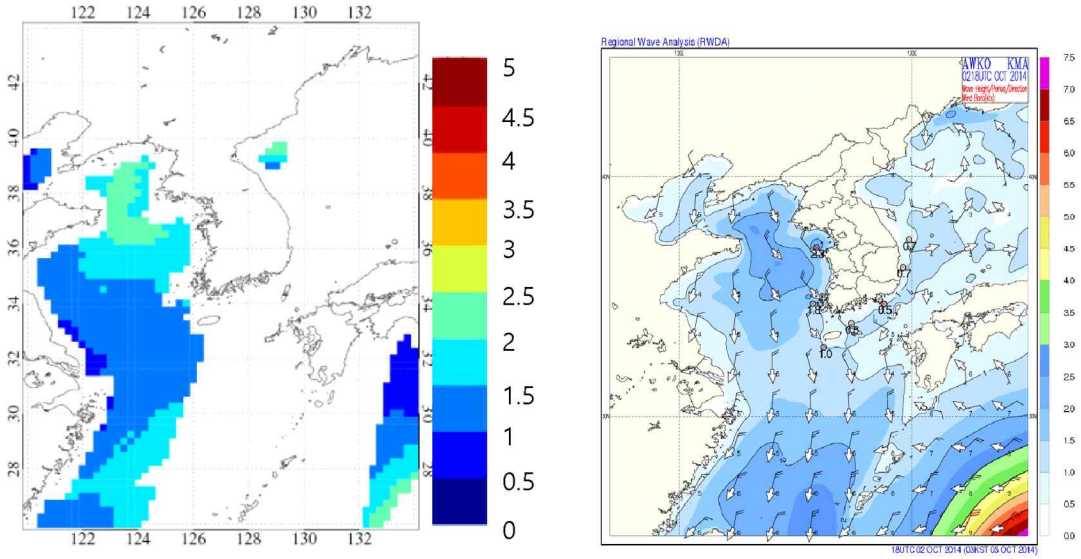



<파고-해상풍 (6.9GHz에서 관측)>

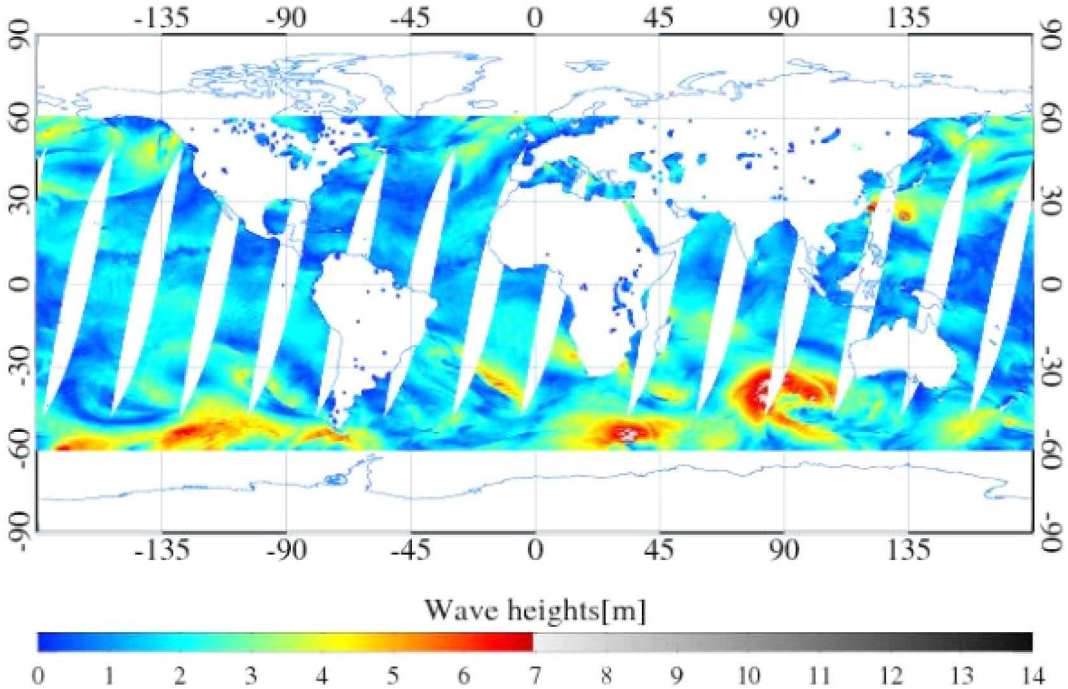



<파고-해상풍 (10GHz에서 관측)>

【도 8】

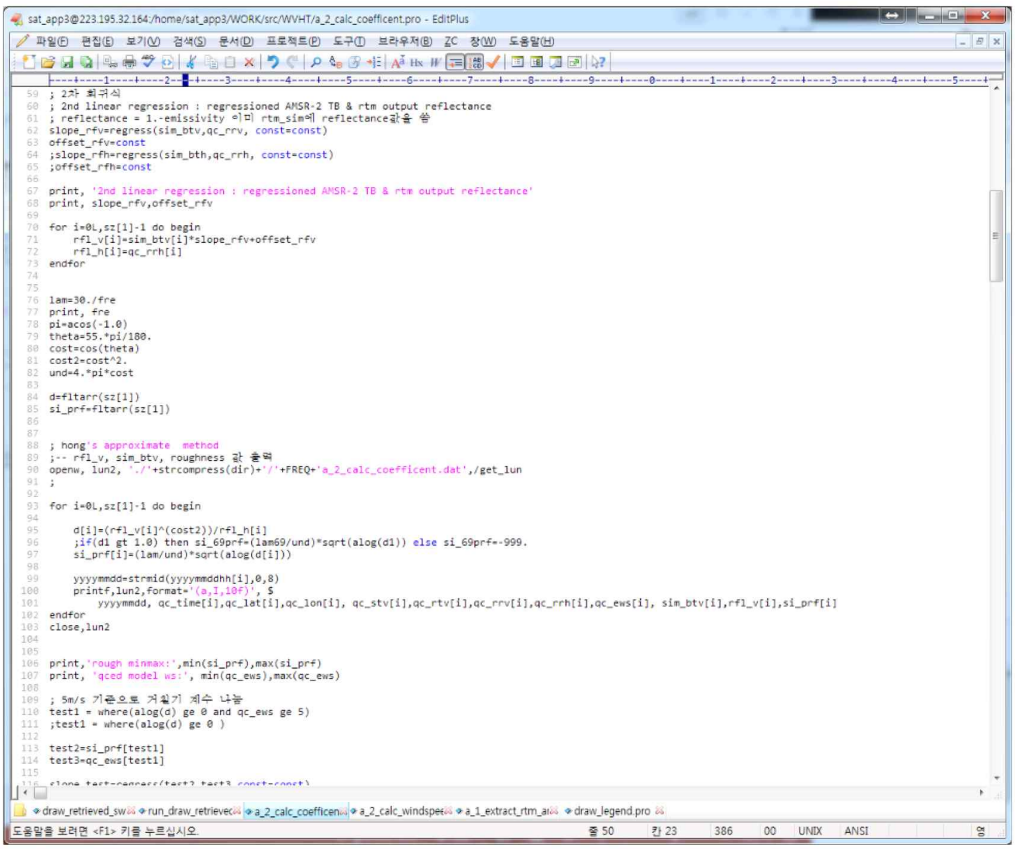

122 124 126 128 130 132
42 40 38 36 34 32 30 28
5 4.5 4 3.5 3 2.5 2 1.5 1 0.5 0
Regional Wave Analysis (RWDA)
AWKO KMA
02 18UTC OCT 2014
18UTC 02 OCT 2014 (03KST 03 OCT 2014)

(a) (b)

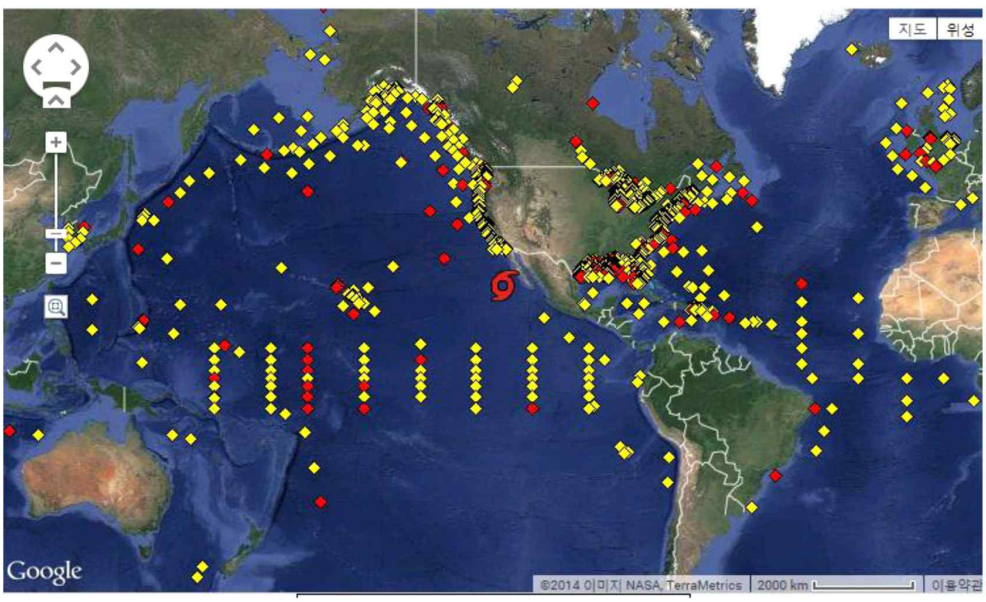

-135 -90 -45 0 45 90 135
90 60 30 0 -30 -60 -90
Wave heights[m]
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

(c)

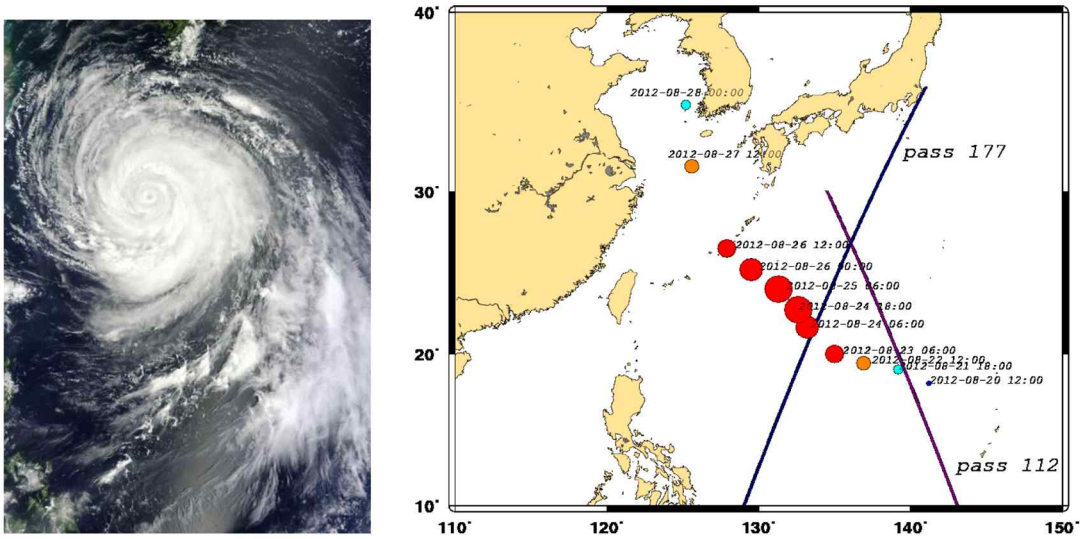
【도 9】


sat_app3@223.195.32.164:/home/sat_app3/WORK/src/WVHT/a_2_calc_coefficent.pro - EditPlus
; 2차 회귀식
; 2nd linear regression : regressioned AMSR-2 TB & rtm output reflectance
; reflectance = 1.-emissivity 이미 rtm_sim에 reflectance값을 씀
slope_rfv=regress(sim_btv,qc_rrv, const=const)
offset_rfv=const
;slope_rfh=regress(sim_bth,qc_rrh, const=const)
;offset_rfh=const
print, '2nd linear regression : regressioned AMSR-2 TB & rtm output reflectance'
print, slope_rfv,offset_rfv
for i=0L,sz[1]-1 do begin
rfl_v[i]=sim_btv[i]*slope_rfv+offset_rfv
rfl_h[i]=qc_rrh[i]
endfor
lam=30./fre
print, fre
pi=acos(-1.0)
theta=55.*pi/180.
cost=cos(theta)
cost2=cost^2.
und=4.*pi*cost
d=fltarr(sz[1])
si_prf=fltarr(sz[1])
; hong's approximate method
;-- rfl_v, sim_btv, roughness 값 출력
openw, lun2, './'+strcompress(dir)+'/'+FREQ+'a_2_calc_coefficent.dat',/get_lun
;
for i=0L,sz[1]-1 do begin
d[i]=(rfl_v[i]^(cost2))/rfl_h[i]
;if(d1 gt 1.0) then si_69prf=(lam69/und)*sqrt(alog(d1)) else si_69prf=-999.
si_prf[i]=(lam/und)*sqrt(alog(d[i]))
yyyymmdd=strmid(yyyymmddhh[i],0,8)
printf,lun2,format='(a,I,10f)', $
yyyymmdd, qc_time[i],qc_lat[i],qc_lon[i], qc_stv[i],qc_rtv[i],qc_rrv[i],qc_rrh[i],qc_ews[i], sim_btv[i],rfl_v[i],si_prf[i]
endfor
close,lun2
print,'rough minmax:',min(si_prf),max(si_prf)
print, 'qced model ws:', min(qc_ews),max(qc_ews)
; 5m/s 기준으로 거칠기 계수 나눔
test1 = where(alog(d) ge 0 and qc_ews ge 5)
;test1 = where(alog(d) ge 0 )
test2=si_prf[test1]
test3=qc_ews[test1]
draw_retrieved_sw
run_draw_retrieve
a_2_calc_coefficen
a_2_calc_windspe
a_1_extract_rtm_at
draw_legend.pro
도움말을 보려면 <F1> 키를 누르십시오.
줄 50
칸 23
386
00
UNIX
ANSI

【도 10】


지도
위성
Google
©2014 이미지 NASA, TerraMetrics
2000 km
이용약관

【도 11】


40°
30°
20°
10°
110°
120°
130°
140°
150°
2012-08-28 00:00
2012-08-27 12:00
2012-08-26 12:00
2012-08-26 00:00
2012-08-25 06:00
2012-08-24 18:00
2012-08-24 06:00
2012-08-23 06:00
2012-08-22 12:00
2012-08-21 18:00
2012-08-20 12:00
pass 177
pass 112

(a) (b)