

# SAR 위성영상 해상풍 추출 소프트웨어 비교

김현구\*, 황효정, 강용혁, 윤창열

## Comparison of Offshore Wind Retrieval Software from SAR Satellite Imagery

Hyun-Goo Kim\*, Hyo-Jung Hwang, Yong-Heack Kang and Chang-Yeol Yun

**Abstract** Comparative evaluation of offshore wind retrieval software, which use the satellite images taken by Synthetic Aperture Radar sensor; SARTools of CLS-SOPRONO, France and SpaceEye of London Research and Development Corporation, Canada is carried out. For a reference satellite image, ENVISAT ASAR imagery of Jeollanam-do Wan-do area when the winter-time northwestern wind prevails is processed by CMOD\_IFR2, CMOD4, CMOD5 algorithms. Wind speed difference and its relative ratio are calculated to evaluate uncertainty of software selection.

### Key words

SAR(Synthetic Aperture Radar; 합성개구레이더), Offshore Wind Retrieval(해상풍 추출), CMOD\_IFR2, CMOD4, CMOD5, SARTools, Space-Eye

(접수일 2013. 6. 18, 수정일 2013. 9. 12, 게재확정일 2013. 9. 12)

\* 한국에너지기술연구원 신재생에너지센터 (Korea Institute of Energy Research / New & Renewable Energy Resource Center)  
■ E-mail : hyungoo@kier.re.kr ■ Tel : (042)860-3376 ■ Fax : (042)860-3462

## 1. 서론

합성개구레이더인 SAR(Synthetic Aperture Radar)를 탑재한 인공위성에서 촬영된 위성영상으로부터 해상풍을 추출하는 기술이 보편화되고 있다.<sup>(1)</sup> 일례로 최근에 SAR 위성영상을 이용하여 유럽 해역의 고해상도 해상 풍력자원지도가 작성된 바 있다.<sup>(2)</sup>

우리나라에서 SAR 위성영상으로부터 해상풍을 추출한 선행연구를 살펴보면, 윤홍주 등(2006)<sup>(3)</sup>은 인천, 완도 해상의 RADARSAT-1 SAR 위성영상으로부터 CMOD5 알고리즘으로 추출한 해상풍 풍속을 해양관측망 자료와 비교하였으며,

강문경 등(2007)<sup>(4)</sup>은 제주, 인천 해상의 RADARSAT-1 SAR 위성영상으로부터 CMOD4 및 CMOD\_IFR2 알고리즘으로 해상풍을 추출한 바 있다. 김현구 등(2009)<sup>(5)</sup>은 한반도 남해상에서 계절별 대표기상일에 촬영된 ENVISAT ASAR(Advanced SAR) 위성영상으로부터 해상풍을 추출하고 이를 한국에너지기술연구원의 국가바람지도와 비교·분석하였다. Kim et al. (2010)<sup>(6)</sup>은 동해상의 SIR-C SAR 위성영상으로부터 해상풍을 추출하여 ECMWF 재해석자료와 비교하였으며, Kim et al.(2011)<sup>(7)</sup>은 VV-편광에 적합하도록 개발된 CMOD 알고리즘을 HH-편광에 적용하기 위하여 편광비를 보정함으로써 동해상 및 남동해상 위성영상 분석시 해상풍 추출 정확도가

개선되었음을 보고하였다. 김태성 등(2012)<sup>(8)</sup>은 L-밴드의 ALOS PALSAR 위성영상에서 동해상 해상풍을 추출하고 QuikSCAT, ASCAT 해상풍 추출결과와 비교·분석하였다.

최근 SAR 위성영상으로부터 해상풍 추출기술을 해상 풍력자원평가에 본격적으로 활용하기 시작하면서 덴마크 Risø 연구소의 WEMSAR<sup>(9)</sup>, 캐나다 London Research and Development Corporation의 Space-Eye<sup>(10)</sup>, 캐나다 환경부의 MENTOR<sup>(11)</sup>, 프랑스 CLS-SOPRANO의 SARTools 등 SAR 위성영상으로부터 해상풍을 추출하는 소프트웨어가 개발되었으나, 이들 대부분은 내부적인 활용을 통하여 성능을 개선하는 과정에 있다.

본 연구에서는 이들 소프트웨어 중 북해, 아일랜드해, 발틱해의 고해상도 해상 풍력자원지도를 SAR 위성영상에 기반하여 구축하기 위해 유럽연합이 수행한 대규모 국제공동 프로젝트 NORSEWind(Northern Seas Wind Index Database)에 참여한 프랑스 CLS-SOPRANO SARTools와 캐나다 London Research Development Corporation의 Space-Eye 소프트웨어를 평가하고자 한다. 이를 위하여 한반도 남해상에서 촬영된 ENVISAT ASAR 위성영상을 선택하여 CMOD 알고리즘별로 해상풍을 추출하고 소프트웨어별 풍속차 및 상대 풍속차를 비교함으로써 SAR 위성영상으로부터 해상풍 추출 시 소프트웨어 선택에 따른 풍속 예측값의 불확도를 정량적으로 분석하였다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1 SAR 위성영상

해상풍 추출 소프트웨어의 비교평가를 위하여 사용한 위성영상은 2005년 12월 6일 01:41 UTC에 전라남도 고흥군 완도 외해상(34.28°N, 127.36°E)에서 촬영된 ENVISAT ASAR VV-편광 위성영상이다. Fig. 1과 같이, 이 영상은 미생물, 유류유출 등에 의해 왜곡된 영역이 없으며 전 영역에 걸쳐 동일한 풍향의 바람흔적(wind streak)이 확실하게 나타나므로 별도의 풍향정보가 없이도 CMOD 알고리즘으로 해상풍을 추출할 수 있는 경우이다. 촬영일의 기상상황은 대륙성 고기압의 확장으로 차고 건조한 중관풍이 강하게 발달함에 따라 한

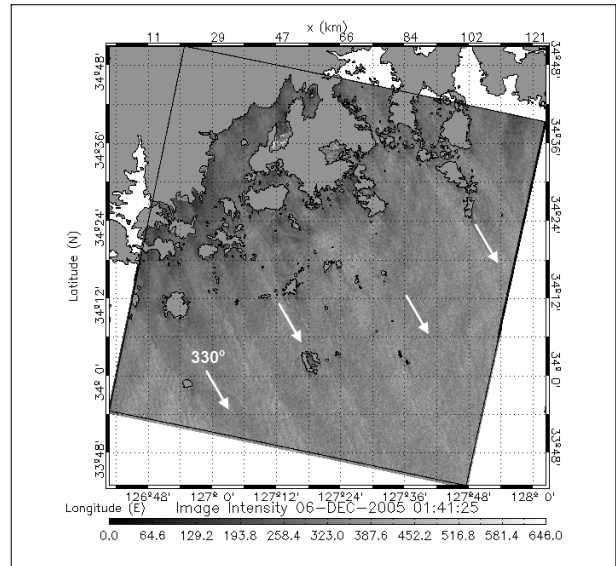


Fig. 1 ENVISAT ASAR satellite image taken at Jeollanamdo Wando offshore

반도 전체에서 탁월한 북북서풍이 발달한 겨울철 대기기상에 해당한다. 또한 내해에서는 5m/s 이하의 저풍속대가, 외해로 나가면서 15m/s 이상의 고풍속대가 형성되어 폭넓은 풍속대가 존재하는 영상으로 비교분석에 적합하다고 판단하였다.

### 2.2 해상풍 추출 알고리즘

해수면 위를 부는 바람에 의해 생성되는 표면장력파는 풍향, 풍속에 따라 그 거칠기가 변화하므로 해수면에 극초단파를 조사하면 후방산란계수의 강도가 거칠기에 비례하여 나타난다. 따라서 해수면 거칠기와 풍속의 상관관계를 이용하여 SAR 위성영상으로부터 해상풍을 추출한다.

SAR 위성영상의 후방산란계수 강도로부터 해상풍 풍속을 산출하기 위한 CMOD 알고리즘은 4GHz~8GHz 주파수대 C-밴드 VV-편광 이미지로부터 풍속을 계산하는 전달함수이다. 참고로 VV-편광은 수직으로 파를 송신하고 수직으로 반사되는 파를 수신함을 말하며, ENVISAT ASAR 이미지 모드의 VV-편광 입사각은 22°~23°이다.

CMOD 알고리즘으로는 보편적으로 가장 많이 사용되는 CMOD4<sup>(12)</sup>, ERS-1(European Remote Sensing Satellite 1), ERS-2 인공위성을 위해 개발된 CMOD\_IFR2<sup>(13)</sup>, CMOD4의 고

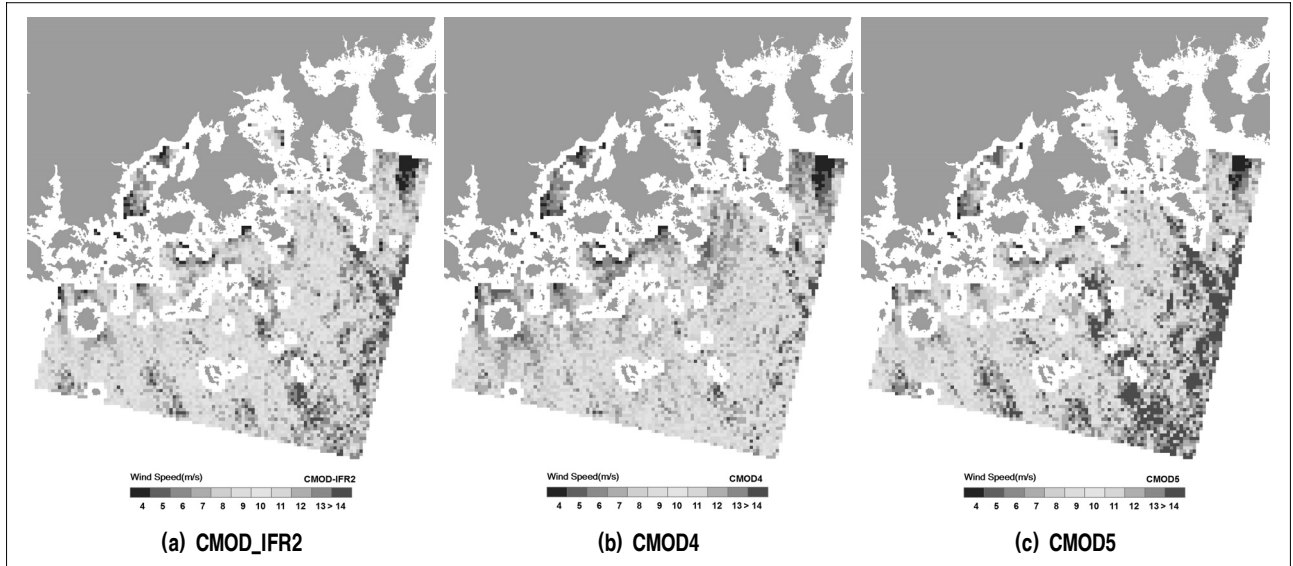


Fig. 2 Spatial distribution of offshore wind speed retrieved by Space-Eye

풍속 과소예측을 보정하기 위해 개선된 CMOD5<sup>(14)</sup> 등이 있다.

### 2.3 풍속차 비교분석

SARTools와 Space-Eye로 추출한 해상풍 풍속의 비교분석을 위해 다음과 같이 풍속차 및 상대 풍속차를 계산하였다. 단,  $V_{ST}$ 와  $V_{SE}$ 는 각각 SARTools와 Space-Eye 소프트웨어를 사용하여 추출한 해상풍 풍속이다. 참고로 CMOD 알고리즘으로 추출한 해상풍 풍속은 해수면 10m 높이에서 중립대기(neutral atmosphere) 상태의 풍속이다.

$$dV = V_{ST} - V_{SE} \quad (1)$$

$$dV_{\%} = \frac{V_{ST} - V_{SE}}{V_{ST}} \times 100(\%) \quad (2)$$

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 해상풍 분포도

Fig. 2는 Space-Eye 소프트웨어로 추출한 완도 외해상의

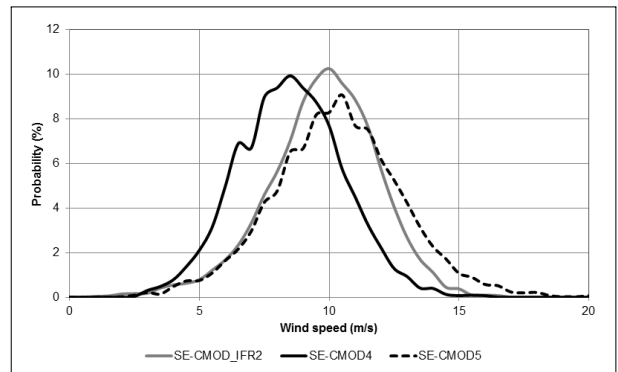


Fig. 3 Offshore wind speed distribution by CMOD algorithms (Space-Eye)

해상풍 분포를 보여주는 것으로, 각각 CMOD\_IFR2, CMOD4 그리고 CMOD5 알고리즘을 적용한 결과이다. 세 결과 모두 탁월한 복서풍이 육지를 거쳐 바다로 진출하면서 지형강제력이 사라지자 풍속이 가속되는 형태를 보이지만, CMOD\_IFR2와 CMOD5에 비하여 CMOD4가 전체적으로 낮은 풍속분포를 예측하고 있다.

CMOD 알고리즘에 따른 해상풍 추출결과의 차이를 보다 명확하게 비교하기 위하여 Fig. 3과 같이 풍속의 빈도 그래프를 작성하였다. CMOD4의 풍속분포는 CMOD\_IFR2와 유사한 정규분포 형태를 가지지만 중간값(median)이 8.5m/s로 CMOD\_IFR2 보다 1.5m/s 정도 낮게 이격된 형태를 보인다.

반면 CMOD5는 CMOD\_IFR2와 동일한 중간값과 정규분포 형태를 가지지만 12m/s 이상 고풍속대의 빈도가 높게 나타나고 있다. CMOD5에서 고풍속으로 예측한 영역은 Fig. 2 (c)의 우측 영역에 해당하는 것으로 확인되었다.

### 3.2 해상풍 풍속차

SARTools와 Space-Eye에 의한 해상풍 추출 결과를 비교하기 위하여 CMOD 알고리즘별 해상풍 풍속의 산포도를 Fig. 4에 도시하였다. 추세선을 보면, CMOD\_IFR2, CMOD4, CMOD5의 기울기가 0.95, 1.07, 1.09로 풍속 산출시 소프트

웨어에 따른 편향오차는 작다고 판단된다. 모든 경우에 있어 풍속이 커질수록 산포도 커지는 경향을 보이며, 특히 CMOD5의 산포는 결정계수( $R^2$ )가 0.06으로 CMOD\_IFR2, CMOD4의 0.47, 0.45에 비하여 매우 낮게 나타났다. 이는 소프트웨어에서 CMOD 알고리즘을 구현함에 있어 특히 CMOD5 알고리즘 적용방식에 차이가 있음을 시사한다.

Fig. 5는 CMOD 알고리즘에 따른 상대풍속차의 공간분포를 비교한 것으로, 공통적으로 Space-Eye가 SARTools에 비하여 서쪽 해상(좌측)에서는 과대예측을, 동쪽 해상(우측)에서는 과소예측을 하였음을 확인할 수 있다. Fig. 6은 풍속구간에 따른 차이를 보여주기 위해 상대풍속차 RMSE를 산출한

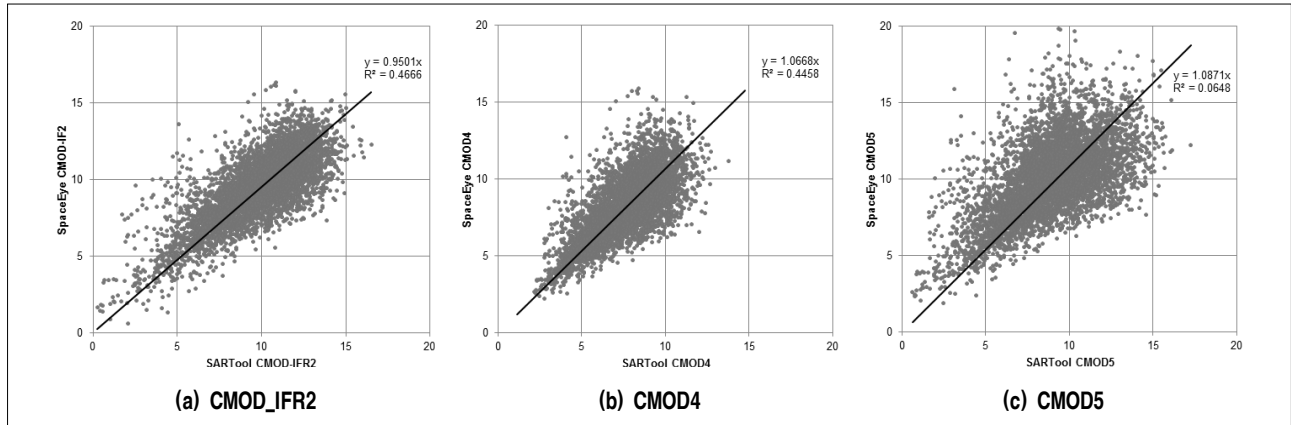


Fig. 4 Comparison of offshore wind retrieval between SARTools and Space-Eye

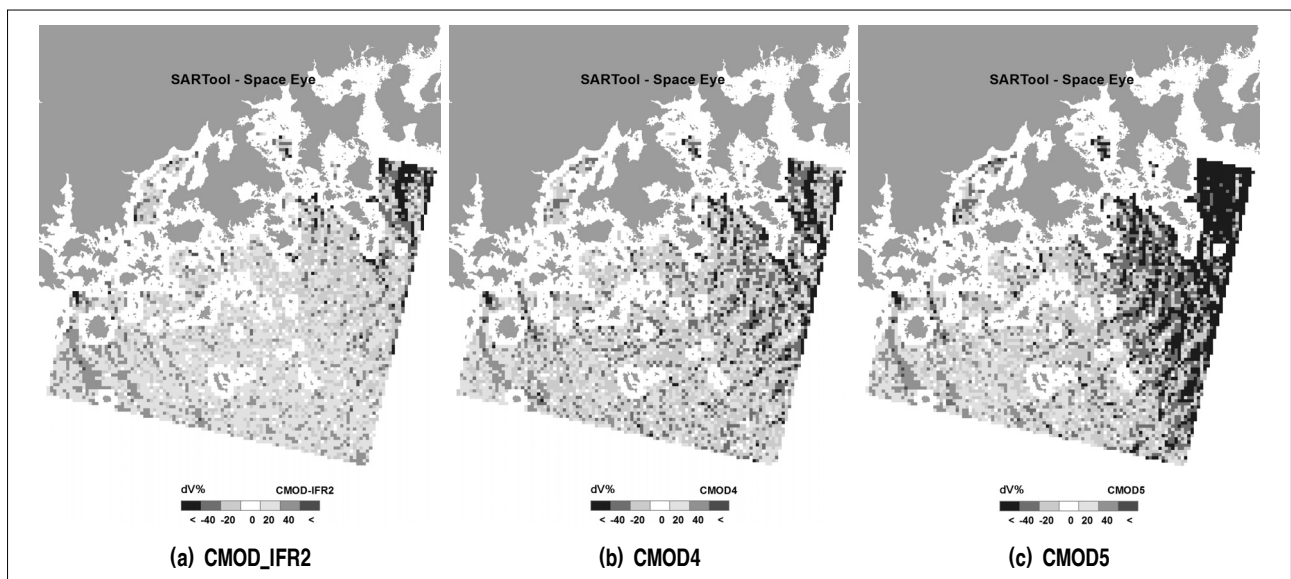


Fig. 5 Spatial distribution of relative wind speed difference between SARTools and Space-Eye

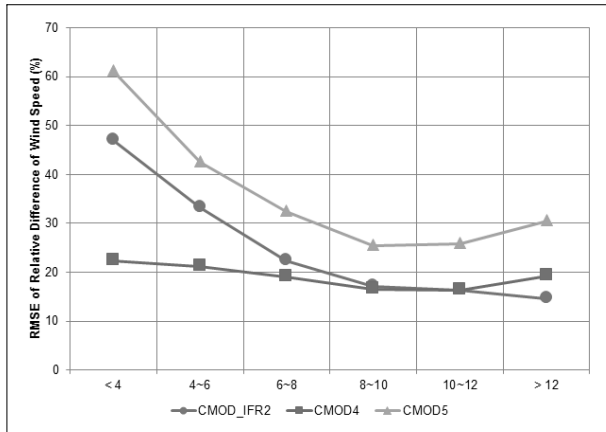


Fig. 6 RMSE of relative wind speed difference by wind speed range

그래프이다. CMOD4는 전 풍속구간에 대해 20% 수준의 RMSE를 보이는 반면 CMOD5는 CMOD\_IFR2에 비하여 10% 정도 높은 상대풍속차 RMSE를 유지하고 있다. 또한 저풍속으로 갈수록 RMSE가 커지는 형태를 보이고 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 SAR 위성영상으로부터 해상풍을 추출하기 위하여 개발 후 내부적으로 검증 중에 있는 소프트웨어인 SARTools와 Space-Eye의 비교분석을 실시하였다. 동계 북서계절풍이 탁월하게 나타나며 다양한 풍속대가 형성된 전라남도 완도 해상의 위성영상을 사용하여 CMOD 알고리즘별 해상풍 추출결과를 정량분석하여 다음과 같은 차이점을 확인하였다.

- 1) CMOD 알고리즘에 따라 해상풍 추출결과가 유의한 차이가 있음을 확인하였다. CMOD4가 가장 낮은 풍속대를 예측하였으며, CMOD5는 CMOD\_IFR2에 비해 12m/s 이상의 고풍속대 빈도가 높게 나타났다.
- 2) 소프트웨어에 따른 상대풍속차의 경우, CMOD4 알고리즘을 적용하였을 때 풍속구간과 상관없이 20% 수준의 일정한 RMSE를 보였으나, CMOD\_IFR2와 CMOD5는 저풍속으로 갈수록 상대풍속차의 RMSE가 급격히 커지는 양상을 보였다. 특히 CMOD5는 CMOD\_IFR2에

비하여 상대풍속차 RMSE가 전 풍속구간에서 약 10% 높게 나타났다.

- 3) 상대풍속차의 공간분포를 보면, 좌우 대칭적으로 서쪽 해상(좌측)에서는 Space-Eye가 과대예측을, 동쪽 해상(우측)에서는 SARTools가 과대예측하고 있음을 확인하였다. 사용한 위성영상은 전 영역에서 풍향이 일정하므로 이러한 체계적인 오차에 대한 원인규명이 필요하다.

종합하면, 현재로서는 SAR 위성영상으로부터 해상풍을 추출하는 소프트웨어에 대한 체계적인 불확도가 존재하기 때문에 본 연구와 같이 보다 많은 사례에 대한 비교분석을 통한 오차분석이 요구된다.

#### 후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원의 부처임무사업인 「신재생에너지 자원지도 활용시스템 구축사업」의 일환으로 수행되었습니다.

#### References

- [1] 황효정, 김현구, 2011, "SAR 위성영상을 이용한 해상풍 분석", 한국공공학회지, Vol. 15, No. 4, pp. 67-71.
- [2] Hasager, C.B., Badger, M., Pena, A., Larsen, K.G., Bingol, F., 2011, "SAR-Based Wind Resource Statistics in the Baltic Sea", Remote Sensing, Vol. 3, pp. 117-144.
- [3] 윤홍주, 박광순, 김상익, 2006, "SAR자료를 이용한 해상풍 산출 및 현장 자료간의 비교, 검증", 한국해양정보통신학회논문지, Vol. 10, No. 4, pp. 706-706.
- [4] 강문경, 박용욱, 이문진, 이훈열, 2007, "SAR를 이용한 해풍, 파랑, 해류 추출 기법 연구", 한국해양학회지, Vol. 31, No. 1, pp. 35-42.
- [5] 김현구, 황효정, 이화운, 김동혁, 김덕진, 2009, "위성영상 해상풍 추출에 의한 수치바람모의 검증", 한국환경과학회지, Vol. 18, No. 8, pp. 847-855.
- [6] Kim, T.S., Park, K.A., Moon, W.I., 2010, "Wind Vector Retrieval from SIR-C SAR Data off the East Coast of

- Korea”, 한국지구과학회지, Vol. 31, No. 5, pp. 475-487.
- [7] Kim, T.S., Park, K.A., 2011, “Estimation of Polarization Ratio for Sea surface Wind Retrieval from SIR-C SAR Data”, 대한원격탐사학회지, Vol. 27, No. 6, pp. 729-741.
- [8] 김태성, 박경애, 최원문, 홍성욱, 최병철, 신인철, 김경렬, 2012, “L밴드 인공위성 SAR를 이용한 동해 연안 해상풍 산출 및 오차 특성”, 대한원격탐사학회지, Vol. 28, No. 5, pp. 477-487.
- [9] Nansen Environmental and Remote Sensing Center, 2003, WEMSAR: Wind Energy Mapping using Synthetic Aperture Radar, NERSC Technical Report No. 237, Norway.
- [10] Tunaley, J.K.E., Higginson, A.J., 2007, “OceanSuite: RADARSAT-2 Exploitation Tool”, ASAR Conference, Canadian Space Agency.
- [11] Bradley, D., 2008, “SAR Wind Information for Environment Canada – Needs and Requirements”, MORSE User Consultation Workshop, St. John’s, Canada.
- [12] Stoffelen, A., Anderson, D.L.T., 1997, “Scatterometer Data Interpretation: Estimation and Validation of the Transfer Function CMOD4”, J. Geophysical Research, Vol. 102, No. C3, pp. 5767-5780.
- [13] CERSAT-IFREMER, 1999, “Off-line Wind Scatterometer ERS Products, WNF Products User Manual v2.1”, C2-MUT-W-01-IF, 86p.
- [14] Hersbach, H., 2002, “CMOD5: An Improved Geophysical Model Function for ERS C-band Scatterometry”, European Centre for Medium Range Weather Forecasts, Technical Memoranda, 45p.

## 김 현 구



1997년 포항공과대학교 기계공학과 공학박사  
 1998년 미국 아이오와대학교 IIHR 연구원  
 2000년 포항산업과학연구원 책임연구원  
 2005년 한국에너지기술연구원 책임연구원  
 2011년 과학기술연합대학원 재생에너지학과 교수

현재 한국에너지기술연구원 신재생에너지자원센터  
 (E-mail : hyungoo@kier.re.kr)

## 황 효 정



2006년 군산대학교 해양시스템공학과 공학사  
 2008년 군산대학교 해양산업공학과 공학석사  
 2008년 한국에너지기술연구원 위촉연구원

현재 한국에너지기술연구원 신재생에너지자원센터  
 (E-mail : hjhwang@kier.re.kr)

## 강 용 혁



1997년 인하대학교 기계공학과 공학박사  
 2007년 IEA SolarPACES 집행위원회(ExCo) 한국대표  
 2010년 한국태양에너지학회 회장  
 2013년 한국에너지기술연구원 신재생에너지자원센터 센터장

현재 한국에너지기술연구원 신재생에너지자원센터  
 (E-mail : yhkang@kier.re.kr)

## 윤 창 열



2005년 서울대학교 지구환경시스템공학부 공학석사  
 2005년 한국에너지기술연구원 선임연구원  
 2013년 서울대학교 건설환경공학부 박사 수료

현재 한국에너지기술연구원 신재생에너지자원센터  
 (E-mail : yuncy@kier.re.kr)