

---

# 위성원격탐사를 활용한 해양표면 바람장 자료 분석

윤 홍 주\*

Analyses on the sea surface wind field data by satellite remote sensing

Hong-Joo Yoon\*

---

이 논문은 2006학년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었음 (0012000200610600)

---

## 요 약

SAR의 마이크로파를 이용하면 악기상환경 및 주야간에도 해양의 관측이 가능하다. SAR의 해양표면에 대한 영상은 표면바람장과 관련된 대기 현상에 관한 많은 정보를 가지고 있다. SAR로부터 추출되는 풍속의 정보는 다양하게 이용된다. SAR 영상으로부터 해상풍을 산출하기 위해서는 바람산출모델에 SAR 영상으로부터 추출한 풍향 자료와 후방산란계수 값을 입력하여 풍속을 산출한다. 이때 풍속은 CMOD5 모델에 풍향의 값을 적용하여 구할 수 있다. CMOD5 모델에 사용할 Azimuth angle 값은 SAR 자료로부터 구해지는 Look angle 값에  $90^\circ$ 를 더함으로써 구해진다. SAR 영상으로부터 구한 파향 스펙트럼은 항상 파향에 있어서  $180^\circ$ 의 상반된 두 정점을 보여주는데 이는 영상에 적용한 2차원 FFT의 결과이다. 파향에 있어서의 이러한 모호성은 육지의 위치라든지, 바람의 방향 혹은 수치모델 결과 등을 이용하여 결정하여야 한다. 이러한 2D-FFT를 통해 구해진 풍향은 실측자료와  $3^\circ \sim 7^\circ$  정도의 차이를 나타내고 있다. CMOD5 모델을 통해 얻어진 풍속의 값은 각각 실측자료와 2m/s 이하의 유사한 값들을 나타냈다.

## ABSTRACT

If we use the microwave of SAR, we can observe ocean in spite of severe weather or night time. The sea surface image of SAR has numerous information about atmospheric phenomena related to surface wind field. The extracted wind information from SAR can be used diversely. In order to extract sea wind speed from SAR image, a generated wind direction from SAR and sigma nought should be input into wind model. Therefore, wind speed can be obtained by input wind direction into CMOD5 Model. Azimuth angle using CMOD5 Model is generated by added  $90^\circ$  to Look angle which is extracted from SAR data file. A gained wind direction spectrum from SAR image has  $180^\circ$  ambiguity because of 2D-FFT. This ambiguity should decide to use the location of land, wind direction in field or the result of numerical model. Consequently, wind direction using 2D-FFT is  $3^\circ \sim 7^\circ$  differences with actual surveying data. Wind speed by CMOD5 model is similar to actual surveying data as below 2m/s.

## 키워드

SAR, Ocean Wind, CMOD5, 2D-FFT

### I. 서론

SAR data는 최근 다양한 지구관측 적용분야에 많이 사용되고 있다. ERS-1이 발사된 이래, SAR data로부터 wind vectors를 추정하기 위한 많은 시도가 있어왔다. 해양에서 wind vector information는 보통 현장관측 데이터나 scatterometer data를 사용하여 얻어졌다. ERS-1 scatterometers는 wind vector를 공간분해능 50×50km로, 풍속은 ±2m/s 그리고 풍향은 ±50°의 정밀도로 측정할 수 있다[1]. 그러나 scatterometer data의 낮은 해상도 때문에 연안이나 연안에 가까운 지역에서의 wind vector information은 scatterometer sensor로서 측정하기 어렵다. 그러나 SAR는 마이크로파를 이용하여 모든 기상 환경에서 해양의 관측이 가능한 능동 센서이다. 관측 대상에 있어서 기상 및 일조 조건에 관계없이 해양을 관측할 수 있다. 따라서 해양에서 wind vectors를 추정하기 위한 수 많은 조사가 최근 수행되었다 [2],[3],[4],[5],[6],[7],[8].

해양에서의 SAR의 응용 예로는 파랑 스펙트럼을 통한 파랑 분석과 표면의 거칠기 차이로 나타나는 내부파 및 유류 오염 탐지, 해수 표면에 나타난 해양 및 대기의 전선 감지, 해저 지형의 유추 등을 들 수 있으며 최근에는 scatterometer 보다 공간분해능이 좋은 SAR 영상으로부터 바람 자료를 추출하기 위한 연구도 진행되고 있다 [9].

SAR의 해양표면에 대한 영상은 표면바람장과 관련된 대기 현상(atmospheric phenomena)에 관한 많은 정보를 가지고 있다. SAR로부터 추출되는 풍속의 정보는 다양하게 이용된다. 예를 들어 선박탐지, oil slick 탐지, 해상재난 시 인명구조 등과 같은 SAR 영상을 해석하는데 부가적인 정보로 사용된다. 또한 해안이나 하구역과 같은 지역에 대한 적절한 해양기상예보를 개선시킬 수 있으며, 소규모 공간스케일에 걸쳐 연안을 따라 부는 바람의 기후학적 특성을 이해하는데 도움을 준다. SAR로부터 추출되는 해양파(파고)의 정보와 함께 해양-대기 결합모델의 동화자료로 이용할 수 있다. 그리고 대기중력과, 태풍 등과 같은 각종 대기적 현상과 관련하여 해양표면에서의 대기적 과정을 연구하는데 이용될 수 있다 [10]. 따라서 본 연구에서는 초기단계로 우리나라 근해를 연구대상지역으로 첫째로 Radarsat SAR 자료를 이용하여 해상풍을 산출하고, 그리고 둘째로 기 산출된 해상

풍자료와 한국해양연구소의 현장관측 자료를 상호 비교하고 검증하고자 한다.

### II. 자료 및 연구방법

#### ● 자료

Table 1은 Radarsat SAR products의 종류를 나타낸 것이다. 이런 Radarsat SAR products는 위성이 사용된 beam mode와 beam position에 의해 구분되어진다. 이 중 본 논문에서는 Level 1 data인 SGX(SAR Georeferenced Extra-Fine Resolution) data를 사용하였다.

SGX products는 SGF products보다 더 조밀하게 샘플링 되어 만들어진다. 각각의 픽셀 사이즈는 beam mode에 따라 다르다.

- 8m pixel size : Standard and Extended High beam mode(4 looks)
- 10m pixel size : Wide and Extended Low beam mode(4 looks)
- 3.125m pixel size : Fine beam mode(1 look)

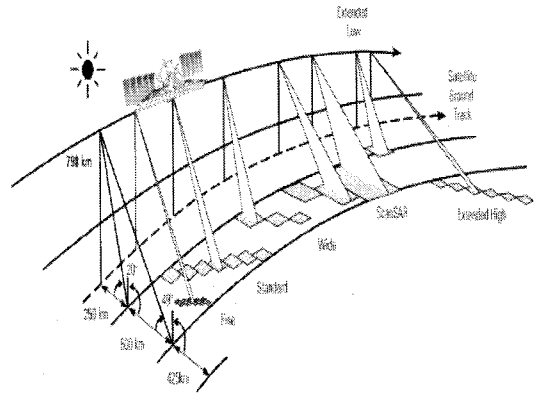


그림 1. Radarsat-1 SAR 빔 모드  
Fig. 1. Radarsat-1 SAR Beam Modes

Fig. 1은 Radarsat-1의 beam modes를 나타낸 것이다. 각각의 beam modes의 특성들은 beam elevation angle와 profile에 의해 구분되어진다. 본 연구에서는 Standard mode와 Fine mode를 사용하였다.

● 연구해역

우선 비교 대상 위치를 통해, 서해, 남해에 해당하는 지점인 속초, 광안탑, 출운초 그리고 인천 지점 한국해양 연구원에서 관측하고 있는 실시간 해양 및 해양기상관

측자료와 비교하였다. Fig. 2에서 보여 지는 사각형 박스는 각 비교 정점을 포함하는 실제 Radarsat-1 위성의 이미지 크기를 나타내며, 이 이미지와 현장관측정점에서의 풍향과 풍속을 비교하였다.

표 1. RADARSAT Products 용어  
Table 1. List of RADARSAT Products in Various Terminology

Processing Level	Product Type in RADARSAT Mnemonics	Product Type in RSI Terminology	Product Level in Network Station Certification
RAW(Signal Data)	RAW	RAW Signal data	Level 0
Georeferenced data (Satellite path oriented)	SLC	Single look complex	Level 1
	SGF	Path Image	
	SGX	Path Image Plus	
	SCN	ScanSAR Narrow	
	SCW	ScanSAR Wide	
Geocoded data (Map oriented)	SSG	Map Image	Level 2
	SPG	Precision Map Image	

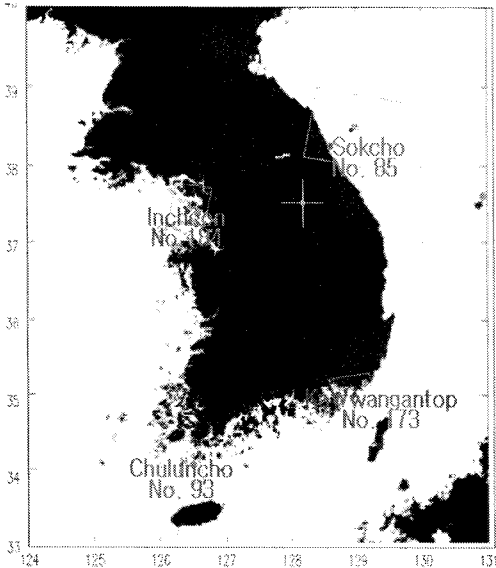


그림 2. 연구대상지역  
Fig. 2. Location map showing the study sites

표 2. 연구에 사용된 Radarsat-1 SAR image 세부사항

Table 2. Parameters of Radarsat-1 SAR images which were ordered for detailed study

Scene No	Incidence angle(°)	Line×Pixel spacing(m)	Number of lines×pixels	Beam type	Look angle(°)
85	36.677	8×8	12556×14039	S4	31.854
93	40.903	3.125×3.125	20007×17832	F2	35.294
173	44.187	3.125×3.125	17857×16079	F4	38.685
184	46.545	3.125×3.125	18069×15633	F5	39.973

Table 2는 연구에서 사용된 Radarsat-1 SAR image 의 세부사항을 나타내었다. Scene No. 85 는 S4의 beam mode이고, 다른 image 들은 beam mode F4이다. Table 4

는 시간적·공간적 오차를 줄이기 위하여 현장관측 자료와 가장 근접한 시간·공간의 데이터를 정리하였다. 관측시간은 4분 이내의 차이를 보임으로서 각각의 데이터의 비교에 큰 차이가 없으므로 생각된다.

표 3. 위성데이터와 현장관측 자료  
Table 3. The parameters of real-time ocean observatory and satellite data

In-situ Data			Radarsat-1 Data		
Site	Date (Time)	Position	Scene No.	Data (Time)	Frame Center
Sokcho	2003.03.30 (21:30:00)	N38.20 E128.62	85	2003.03.30 (21:27:10)	N38.42 E128.95
Chuluncho	2003.05.23 (09:40:00)	N34.07 E126.52	93	2003.05.23 (09:36:46)	N34.08 E126.32
Kwangan-top	2003.09.10 (09:30:00)	N35.14 E129.13	173	2003.09.10 (09:28:23)	N34.98 E128.97
Incheon	2003.08.21 (21:30:00)	N37.33 E126.60	184	2003.08.21 (21:27:21)	N37.44 E126.48

● 풍향 산출

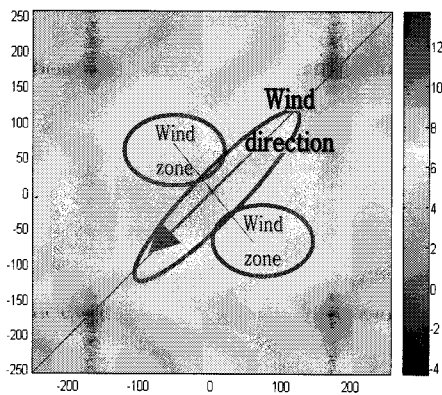


그림 3. 2D-FFT를 통한 이미지스펙트럼과 풍향과의 관계

Fig. 3. The relationship between image spectrum and wind direction through 2D-FFT

[6]은 Langmuir circulation(LC) 패턴을 분석함으로써 풍향을 영상으로부터 자동으로 산출하였다. LC는 바람으로 인하여 해수와 대기의 경계인 해수 표면에 나타나는 현상으로 수 km의 스케일을 갖으며 주기적으로 나타나게 된다[11],[12]. 따라서 해상풍을 구하고자 하는 영역의 영상에 대하여 2차원 푸리에 변환을 함으로서 원점 근처에서 나타나는 높은 에너지와 낮은 파수의 방향을 추산, 이에 대한 직각 방향으로의 풍향을 계산해 내는 것이다(Fig. 3).

그러나 이러한 방법을 우리나라의 SAR 영상에 적용하는 것은 많은 문제점이 있을 것으로 사료된다. 즉 우리나라와 같이 복잡한 연안에서는 지속적으로 동일한 특성의 바람이 존재하지 않는 경우가 많으며 영상에서도 LC의 양상을 발견할 수 없는 경우가 많다. 테스트 및 분석 결과 이 방법 외에 바람으로 인하여 발생하는 파랑 정보를 이용하여 풍향을 산출하는 방법도 고려하여야 하는 것으로 보인다.

● 풍향산출 Diagram

1) Beta Nought 값 추출

$$B_j = 10 * \log_{10} [(DN_j^2 + A3) / A2] dB$$

$DN_j$ : j 번째 픽셀의 Digital number

$A2_j$ : j 번째 픽셀의 scaling gain value

$A3$ : offset(Appendix-B-15 의 field 531)

2) 추출된 Beta Nought 값으로 부터 Sigma Nought의 변환

$$\sigma^0 = \beta_j^0 + 10 * \log_{10} (\sin I_j) dB$$

그러나 변환된 Sigma Nought 값을 그대로 사용하는 것은 아니다.

$\sigma^0$ (Sigma Nought) 으로부터 풍속( $U_{10}$ : 해상 10m 풍속)을 계산하기 위해서는 CMOD5 모델을 사용하였다. CMOD5 모델은 ERS위성의 산란계 자료와 같이 C 밴드 VV 편광을 사용하는 산란계에 적용하는 모델이기 때문에 본 연구에서 사용하는 RADARSAT-1 SAR 영상과 같

이 C 밴드 HH 편광을 사용하는 경우에는  $\sigma^0$  영상의 편광값을 Thompson 식을 이용하여 교정한 후 CMOD-5 모델을 적용하여야 한다. 즉 Thompson 식을 이용한 HH편광에 대한 교정은 아래와 같다.

$$\sigma^0 = \sigma_H^0 + 101g \left[ \frac{(1 + 2 \tan^2 \Theta)^2}{(1 + 0.6 \tan^2 \Theta)^2} \right]$$

여기서  $\sigma_H^0$ 는 HH편광된 SAR 영상의 표준화된 레이 다 단면을 의미한다.

● 풍속산출

CMOD5 모델은 풍향과 풍속값으로부터 Sigma Nought 값을 구하는 공식이다.

$$\sigma^0 = b_0(1 + b_1 \cos \phi + b_2 \cos 2\phi)^{1.6}$$

여기서,  $b_0, b_1, b_2$ 은 풍속  $v$ 의 함수이고,  $\phi$ 는 풍향에서 방위방향Azimuth angle 값을 뺀 값이다. Azimuth angle 값은 Table 4에서 Look angle 값에 90°더 한 값을 취한다. 방위방향(Azimuth direction)이란 항공기가 비행하는 직선방향을 말한다. 레이더 안테나로부터 발생하는 극초단파 펄스는 항공기가 진행되는 방향과 수직인 방향으로 지표면에 보내진다. 이와 같이 항공기가 진행되는 방향과 수직인 방향을 거리방향(Range Direction) 혹은 시야방향(look direction)이라고 하기 때문에 거리방향각인 Look angle 값에 90를 더함으로써 구해진다.

본 논문에서는 CMOD5 모델을 사용하여 풍속을 구하고자 한다. 따라서 이미 구한 Sigma Nought 값으로부터 0m/s ~ 50m/s 의 풍속 table 을 작성한 후 각각에 해당하는 Sigma Nought 값을 대입하여 풍속을 산출하였다.

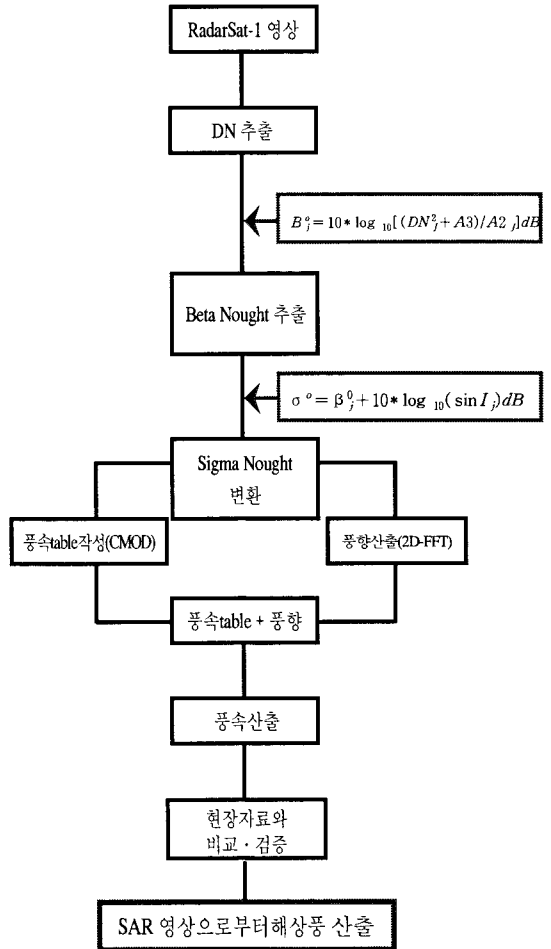


그림 4. 해상풍 산출 흐름도  
Fig. 4. The flow chart for generating ocean wind

III. 결 과

현장관측 데이터와 비교하기 위해 그 지점을 지나는 위성이미지를 선택한 후 현장 관측 지점을 중심으로 1.5km 씩 총 길이 3km×3km 의 이미지를 원래의 이미지로부터 추출하였다. 그 후 자른 이미지에 대해 Sigma Nought 값을 산출한 후 풍향을 산출하기 위해 2d-FFT 를 사용하였다.

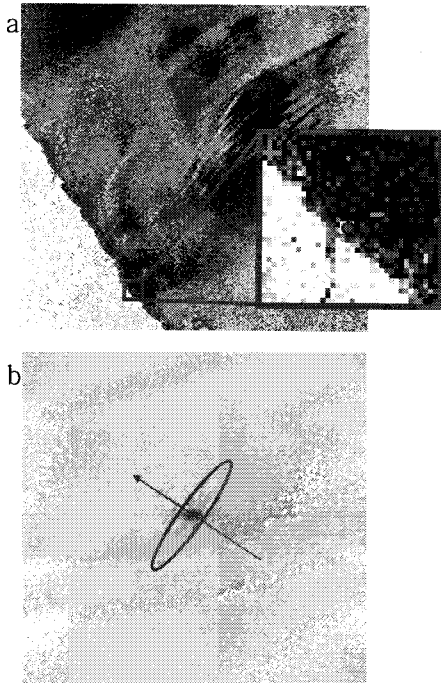


그림 5. a) RADARSAT에서 얻어진 SAR image 와 속초관측지점에서의 풍향산출 스펙트럼  
 Fig. 5. a) SAR image acquired by RADARSAT and the enlarged image extracted from box on the main image(Red box) and b) wind direction spectrum at Sokcho

Fig. 5는 2003년 3월 30일 21시 27분에 획득된 RADARSAT 영상과 해상관측 시스템이 설치된 속초 등표를 포함하는 부분의 SAR 영상을 확대한 것이다. 전체 영상의 경우 12,556의 화소샘플과 14,039의 라인으로 이루어져 있으며 화소의 간격은 8m 이다. 이 영상은 북극에서 남극방향으로 하강하면서 촬영한 descending 영상으로 입사각은 36.677°이다. 속초 등표 주위를 포함하는 확대한 사각형(3km×3km)의 Sigma Nought 값에 2차원 푸리에 변환을 실행하여 산출된 스펙트럼 나타내었다 (Fig. 5(b)). 앞에서 설명한 바와 같이 주 바람 띠에 의한 축과 그 축에 수직으로 나타나는 풍향이 화살표로 추정되어 있다. 북극에 대한 위성의 진행 방향과 각도를 고려하여 볼 때 SAR 영상에서 추정되는 풍향은 310°로서 현장관측 풍향인 303°와 약 7°가량의 차이를 보이고 있다. 또한 확대된 sigma nought 영상에 대해 각각 현장 관측 풍향인 303°와 SAR 영상에서 추정한 310°를 이용하여

CMOD-5 모델을 수행하였을 때의 풍속은 각각 1.5m/s 와 2.5m/s 로 나왔으며 현장 관측 값인 풍속 1.2m/s 와 비교했을 때 풍향에 의해 풍속 값이 차이가 난다는 걸 알 수 있었다. 즉 입력되는 풍향 값에 따라 풍속이 다르게 나타났다.

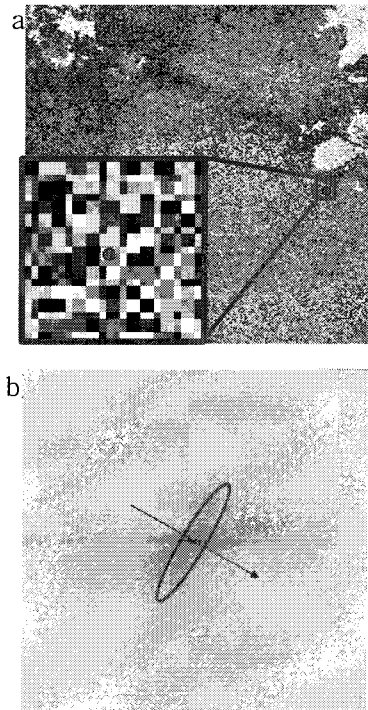


그림 6. a) RADARSAT에서 얻어진 SAR image 와 출운초 관측지점에서의 풍향산출 스펙트럼  
 Fig. 6. a) Same as Fig. 5, except for at Chuluncho

Fig. 6는 2003년 5월 23일 09시 36분에 획득된 RADARSAT 영상과 해상관측 시스템이 설치된 출운초 등표를 포함하는 부분의 SAR 영상을 확대한 것이다 (20,007 pixels × 17,832 lines). 화소의 간격은 3.125m 이다. 남극에서 북극방향으로 상승하면서 촬영한 ascending 영상으로 입사각은 40.903°이다. Fig. 6(b)는 출운초 등표 주위를 포함하는 확대한 사각형(3km × 3km)의 Sigma Nought 값에 2차원 푸리에 변환을 실행하여 산출된 스펙트럼 나타내었다. 앞에서 설명한 바와 같이 주 바람 띠에 의한 축과 그 축에 수직으로 나타나는 풍향이 화살표로 추정할 수 있었다.

SAR 영상에서 추정되는 풍향은  $118^\circ$ 로서 현장관측 풍향인  $112^\circ$ 와 약  $6^\circ$ 가량의 차이를 보이고 있다. 또한 확대된 Sigma Nought 영상에 대해 각각 현장 관측 풍향인  $112^\circ$ 와 SAR 영상에서 추정한  $118^\circ$ 를 이용하여 CMOD-5 모델을 수행하였을 때의 풍속은 각각  $6.5\text{m/s}$ 와  $7.6\text{m/s}$ 로 나왔다. 이때의 현장 관측 풍속은  $6.1\text{m/s}$ 이다. SAR 영상에서의 풍향이 더 크기 때문에 풍속 값도 현장관측 값보다 큰 값을 보이고 있다.

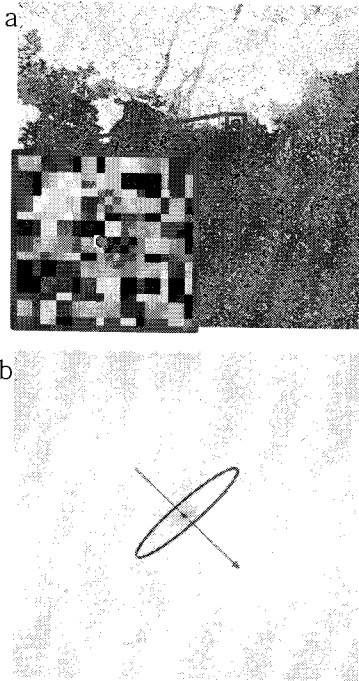


그림 7. a) RADARSAT에서 얻어진 SAR image 와 광안탑 관측지점에서의 풍향산출 스펙트럼  
Fig. 7. a) Fig. 6 a) Same as Fig. 5, except for at Kwangantop

Fig. 7은 2003년 9월 10일 21시 27분에 획득된 RADARSAT 영상과 광안탑 등표 주변의 SAR 영상을 확대한 것이다. 전체 영상의 경우 17,857의 화소샘플과 16,079의 라인으로 이루어져 있으며 화소의 간격은  $3.125\text{m}$ 이다. 이 영상은 ascending 영상으로 입사각은  $44.187^\circ$ 이다.

SAR 영상에서 추정되는 풍향은  $130^\circ$ 로서 현장관측 풍향인  $120^\circ$ 와 약  $10^\circ$ 가량의 차이를 보이고 있다. 현장

관측 풍향인  $120^\circ$ 와 SAR 영상에서 추정한  $130^\circ$ 를 이용하여 CMOD-5 모델을 수행하였을 때의 풍속은 각각  $2.5\text{m/s}$ 와  $5.9\text{m/s}$ 로서 실측 풍속 값인  $3.1\text{m/s}$ 와 현장관측 풍향으로 구한 풍속 값은 유사하게 나왔지만 SAR 영상에서 추정한 풍향 값을 이용하여 구한 풍속과는 큰 차이를 보였다.

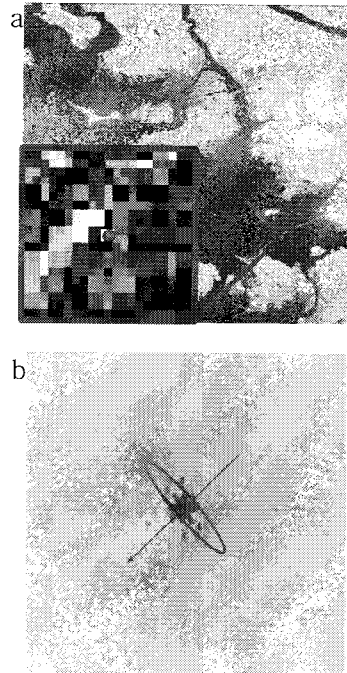


그림 8. a) RADARSAT에서 얻어진 SAR image 와 인천 관측지점에서의 풍향산출 스펙트럼  
Fig. 8. a) Fig. 6 a) Same as Fig. 5, except for at Incheon

Fig. 8 a)는 2003년 8월 21일 21시 27분에 획득된 RADARSAT 영상이다. 영상의 크기는  $18,069\text{ pixels} \times 15,633\text{ lines}$ 이다. 화소의 간격은  $3.125\text{m}$ 이다. 이 영상은 남극에서 북극방향으로 상승하면서 촬영한 입사각은  $46.545^\circ$ 의 Ascending 영상이다.

2D-FFT를 실행한 결과 다른 지점에서의 풍향의 차이를 나타내는 것과는 다르게 SAR 영상에서 추정되는 풍향은  $226^\circ$ 로서 현장관측 풍향인  $227^\circ$ 와 약  $1^\circ$ 가량의 차이로 가장 유사한 값을 보이고 있다. 또한 확대된 Sigma Nought 영상에 대해 각각 현장 관측 풍향인  $227^\circ$ 와 SAR

영상에서 추정된 226°를 이용하여 CMOD-5 모델을 수행하였을 때의 풍속은 각각 4.8m/s 와 4.1m/s 로 나왔다. 현장관측 풍속 값은 3.9m/s를 나타냄으로서 가장 유사한 결과 값을 보이고 있다.

Table 4는 속초, 출운초, 평안탑 그리고 인천지점에서 얻어진 결과값들을 정리하여 나타내었다. SAR image로부터 구한 풍향은 실측값과 약간의 차이를 보이고 있지만 대체 유사한 값을 나타내었다.

표 4. RADARSAT data로부터 구해진 풍향, 풍속과 현장관측 데이터의 값 비교

Table 4. Wind speed and wind direction results obtained from the RADARSAT data and the observed value at real-time oceanographic data

Station	Wind direction		Wind speed		
	SAR image	in-situ	CMOD5		in-situ
			SAR image	in-situ	
Sokcho	310°	303°	2.5m/s	1.5m/s	1.2m/s
Chuluncho	112°	118°	7.5m/s	6.5m/s	6.1m/s
Kwangantop	130°	120°	5.9m/s	2.5m/s	3.1m/s
Incheon	226°	227°	4.1m/s	4.9m/s	3.9m/s

#### IV. 결론

해상풍을 구하기 위해 본 연구에서 사용한 RADARSAT Product Type은 SGX(SAR Geofenced Extra-Fine Resolution)만을 사용하였다. 각각의 SAR image에서 현장관측지점을 둘러싼 주위 3km 부분을 잘라내어 풍향을 구하기 위해 2D-FFT를 실행하여 CMOD5 모델을 사용하여 풍속을 구하였다. 이때 구해지는 풍속의 값은 풍향에 의해 크게 좌우된다는 것을 알 수 있었다. 따라서 정확한 풍속을 구하기 위해서는 2D-FFT를 통하여 정확한 풍향을 구해야 한다. 본 연구에서는 3km 주위를 잘라서 사용했지만, 좀 더 넓은 범위를 단계적으로 잘라내어 풍향을 구해야 할 것으로 사료된다. 또한 현재 사용한 자료의 제약으로 다양한 Product Type의 자료를 사용하지 못했지만, 여러 종류의 Product Type을 사용한다면 풍향

을 구하는데 있어서 각각의 Type 들과의 상관성을 알 수 있을 것이라 생각된다.

본 연구에서는 네 지점(동해, 동해 남부, 서해 그리고 서해 남부)의 자료를 사용하였다. 전 지점에서 CMOD5 모델을 사용하여 풍속을 구할 때 현장관측 값을 이용하여 얻은 값이 실제 풍속 값과 유사하게 나타났고, SAR image 로부터 얻은 풍향 값을 사용하였을 때는 실제 관측 값과 다소 큰 차이를 보였다. 이러한 이유는 앞에서 설명한 것처럼 풍향 값에 의한 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

- [1] Wismann, V. (1992). A C-band wind scatterometer model derived from the data obtained during the ERS-1 calibration/ validation campaign. Proc. First ERS-1 Symp.
- [2] Kim, D. J., & Moon, W. M. (2000). Estimation of sea surface wind vector in coastal areas using RADARSAT data. IGARSS'2000, Honolulu, HI, July, 2000.
- [3] Korsbakken, E., Johannessen, J. A., & Johannessen, O. M. (1998). Coastal wind field retrievals from ERS synthetic aperture radar images. Journal of Geophysical Research, 103 (C4), 7857~7874.
- [4] Shuchman, R., Johannessen, J., & Rufenach, C. (1994). Determination of wind speed wind direction and atmospheric structure using ERS-1 SAR data during NORCSEX'91. International Geoscience and Remote Sensing Symposium 1994, 537~539 (In. Geosci. Remote Sens. Symp.).
- [5] Vachon, P. W., Campbell, J. W. M., & Dobson, F. W. (1997). Comparison of ERS and RADARSAT SARs for wind and wave measurement. Proc. 3rd ERS Symp., ESA SP-414 (3 vols.).
- [6] Vachon, P. W., & Dobson, F. W. (1996). Validation of wind vector retrieval from ERS-1 SAR images over the ocean. Global Atmosphere and Ocean System, 5, 177~187.
- [7] Wackerman, C. C., Rufenach, C. L., Shuchman, R. A., Johannessen, J. A., & Davidson, K. L. (1996). Wind



vector retrieval using ERS-1 synthetic aperture radar imagery. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 34 (6), 1343 ~ 1352.

- [ 8 ] 윤홍주, 박광순, 김상익, 2006. SAR 자료를 이용한 해상풍 산출 및 현장 자료간의 비교검정, 한국해양정보통신학회, 10(4), 708 ~ 711.
- [ 9 ] Korsbakken, E., J.A. Johannessen and O.M. Johannessen, 1998. Coastal wind field retrievals from ERS synthetic aperture radar images, J. Geophys. Res., 103: 7857 ~ 7874.
- [10] 김태림, 1999. 한국 주변 해역에서의 SAR 영상 응용 예, 대한원격탐사학회지, 15(1):61 ~ 71.
- [11] Leibovich, S. (1983). The form and dynamics of Langmuir circulations. Journal of Fluid Mechanics, 15, 391-427.
- [12] Mastin, G. A., Harlow, C. A., Huh, O. K., & Hsu, S. A. (1985). Methods of obtaining offshore wind direction and sea-state data from X-band aircraft SAR imagery of coastal waters. IEEE Journal of Oceanic Engineering, OE-10, 84 ~ 113.

## 저자소개

윤홍주(Hong-JooYoon)



부경대학교 환경해양시스템공학부  
위성정보과학과  
위성원격탐사공학 박사(프랑스 Grenoble  
대학, 1997)

※ 관심분야: 위성해양학, 위성기상학, GIS, GPS