

# RADARSAT 자료를 이용한 Wind Vector 추출기법 연구

김덕진, 강성철, 문우일

서울대학교 지구환경과학부 ESI<sup>3</sup> 연구실

서울시 관악구 신림동 산 56-1

(E-mail: [djkim@eos1.snu.ac.kr](mailto:djkim@eos1.snu.ac.kr); [sungchul@eos1.snu.ac.kr](mailto:sungchul@eos1.snu.ac.kr))

## 요약

해양 영역에 대한 SAR(Synthetic Aperture Radar) 자료는 좋은 해상도로 기상조건이나 주야에 상관없이 wind vector를 구할 수 있는 장점이 있다. 해안지역의 scatterometer 자료는 육지의 영향으로 인하여 정확한 자료를 얻을 수 없지만, SAR 자료를 이용하면, Scatterometer에 비해 좋은 해상도로 해안지역의 wind vector 추출이 가능하다.

본 연구에서는 SAR 자료로부터 풍속을 추출할 수 있는 CMOD\_4와 CMOD\_IFR2 알고리즘을 사용하였다. 이 알고리즘들은 정확한 sigma-naught 값과, 풍향, 그리고 local incidence angle을 입력변수로 요구한다. CMOD 알고리즘들은 ERS-1/2와 같이 C-band, VV-polarization을 위해 개발된 알고리즘이므로, C-band, HH-polarization을 가진 RADARSAT 자료에 바로 적용할 수가 없다. 이것을 해결하기 위해 본 연구에서는 두 CMOD 알고리즘을 몇 가지 polarization ratio와 같이 적용하여보았다.

각 연구지역에 해당하는 자료는 제주도 주변의 Fine mode 자료, 서해안과 제주도 근해의 Standard mode 자료, 그리고 동해안 지역의 ScanSAR 자료 등이다. 여러 가지 Polarization ratio와 CMOD 알고리즘의 조합, 그리고 2-D FFT로부터 추출된 풍향으로부터 각 연구지역의 풍속은 가까운 기상관측소 및, 부이의 관측값과 비교하였다.

그 결과 Fine mode 자료로부터 추출된 풍속은 실제 관측 값보다 항상 상당히 높게 나타나지만, Standard mode나 ScanSAR 자료로부터 추출된 풍속은 현지 기상관측소 관측 값과 잘 일치한다.

## 1. 서론

Synthetic Aperture Radar (SAR) 자료는 최근 많은 응용에 이용되고 있다. 특히, ERS-1 위성이 발사된 후, 해양에서의 SAR 자료로부터 해상의 바람자료를 얻기 위해 많은 연구가 이루어졌다. 지금까지 해상에서의 바람자료는 주로 ERS-1/2의 scatterometers로부터 얻어졌다. ERS-1/2의 scatterometer는 공간해상도가 25Km×25Km로 연안지역의 경우 육지의 영향으로 잘 맞지 않는다. 그러나 SAR 자료를 이용할 경우 1Km 이하의 공간 해상도로 연안지역의 바람자료를 정확하게 얻어낼 수 있다. 지금까지 이와 관련된 연구는 Wackerman et al. [1994]; Shuchman et al. [1994]; Korsbakken et al. [1997]; Vachon et al. [1996]; Won et al. [1998]; Kim et al. [1999] 등이 있으며 모두 ERS-1 SAR 자료로부터 바람자료를 얻는 것에 관하여 연구를 하였다. 그러나 ERS-1/2의 경우 고정된 Gain에 의해 ADC saturation이 발생할 수 있으며, incidence angle, swath 및 공간 해상도 등이 고정되어 특정지역에 발생하는 재해 현상을 적절한 시간에 연구하는데 있어 제약을 받는다. 이에 비해 RADARSAT 위성은 swath 폭 및 관측영역을 변경할 수 있어 태풍과 같은 악기상 바람관측에 활용될 수 있다.

본 연구에서는 해양의 바람자료를 C-band, HH-Polarization인 RADARSAT 자료로부터 얻기 위해 여러 가지 polarization ratio를 실험하고 적용하여, RADARSAT의 각 beam mode에 따라 바람자료의 정확성에 대해 알아보려고 한다. 특히, ScanSAR mode 자료를 이용하여 우리나라 동해안 지역의

바람벡터를 추출해 보려고 한다.

## 2. 방법

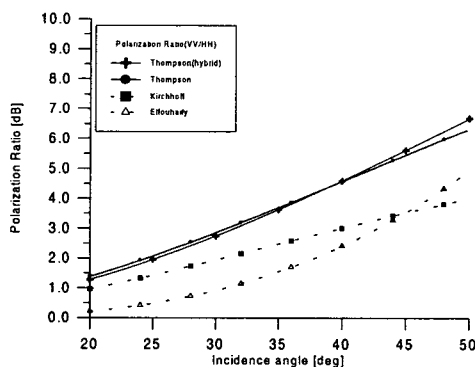
위성 자료로부터 해양의 풍속을 측정할 수 있는 알고리즘은 여러 가지가 있지만, 본 연구에서는 ERS-1 scatterometer 자료와 ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecasts) 의 바람벡터자료, 그리고 NOAA 의 부이자료 등으로부터 경험적으로 얻어진 CMOD\_4 model [Stoffelen and Anderson, 1993] 과, IFREMER-CERSAT 에서 개발된 CMOD\_IFR2 model [IFREMER-CERSAT, 1999] 을 이용하고자 한다. 이러한 CMOD 알고리즘들은 모두 ERS-1/2 의 scatterometer 자료로부터 풍속을 구하기 위해 개발된 알고리즘으로 backscattering coefficient, local incidence angle, radar look direction, 그리고 정확한 풍향을 입력변수로 요구한다.

Backscattering coefficient ( $\sigma^0$ ) 는 radar cross section ( $\sigma$ ) 을 물체의 수평면으로 나눈 것으로 정의하며, RADARSAT 의 경우 다음식과 같이 구한다.

$$\beta_j^0 = 10 \times \log_{10} [(DN_j^2 + A_3) / A_2] (dB)$$

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

여기서  $A_3$  는 output scaling offset 이고,  $A_2$  는 output scaling gain 으로 512 개의 LUT 로부터 interpolation 과 extrapolation 으로 구한다. 그리고 DN 은 RADARSAT 자료의 digital number 이며,  $I_j$  는 각 pixel 의 incidence angle 로서 위성의 geometry 와 지구반경으로부터 구한다 [Srivastava et al. 1998]. SAR 자료로부터 풍향을 추출하는 것은 SAR 영상에 나타나는 Langmuir circulation [Leibovich, 1983; Mastin et al. 1985] 이나 atmospheric roll vortices [Gerling, 1986; LeMone, 1973] 와 같은 km-scale 의 특징을 이용하는 것으로, 이러한 특징들이 주기적이고 바람이 부는 방향으로 배열하므로, 2-D FFT 를 하면, low wavenumber 부분에 바람의 방향에 수직으로 높은 에너지가 나타나게 된다 [Shuchman et al., 1994; Wackerman et al., 1994; Vachon et al., 1996]. CMOD\_4 나 CMOD\_IFR2 알고리즘들은 원래 C-band, VV-Polarization 을 가진 ERS-1/2 시스템을 위해 개발된 알고리즘이므로, C-band, HH-Polarization 을 가진 RADARSAT 자료에 이 알고리즘을 바로 적용할 수가 없다. 이를 위해 본 연구에서는 Thompson model (T), Kirchhoff model (K), 그리고 Elfouhaily model (E) 과 같은 몇 가지 Polarization Ratio 를 적용하여 보았다. <그림 1> [Thompson et al. 1998].

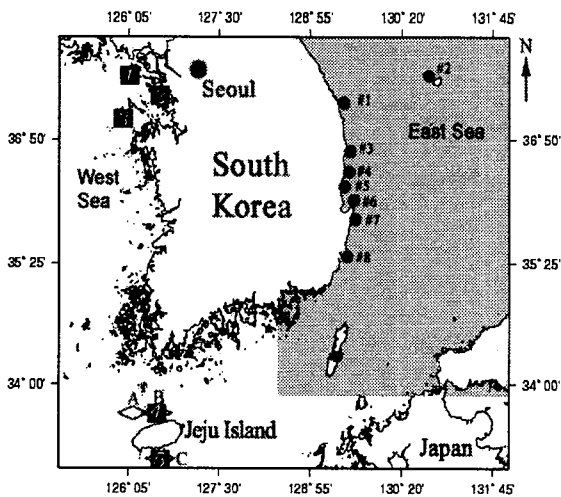


<그림 1> Incidence angle 에 따른 Polarization Ratio(VV/HH) 의 변화

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에 사용된 test 지역은 <그림 2>에 나타난 것처럼 한반도 주변 해역으로서 각 test 지역에 해당하는 RADARSAT 자료의 획득시각과 beam mode 등을 <표 1>에 표시하였다. 서해안의 경우 Standard mode 자료가, 제주도 근해의 경우에는 Fine mode 와 Standard mode 가 사용되었으며, 동해안의 경우는 ScanSAR mode 가 사용되었다.

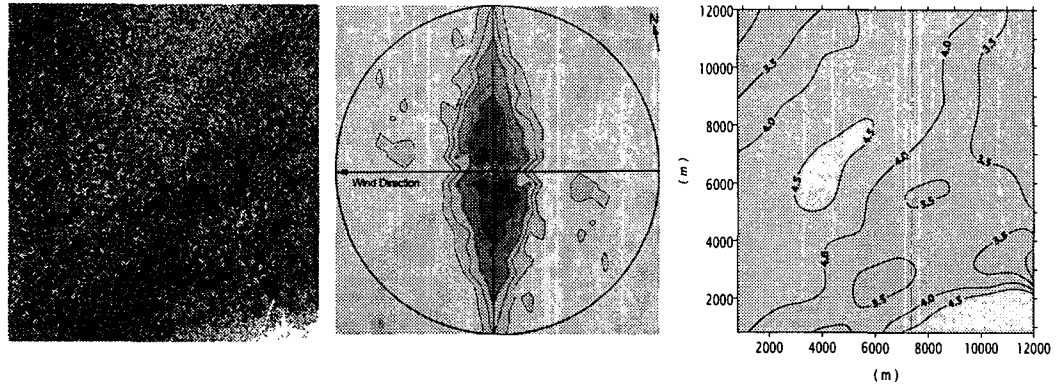
<그림 3>은 Jeju 지역에 대한 sigma-naught 이미지와 (a), SAR 영상을 2-D FFT를 한 후 low wavenumber ( $k < 2\pi/2\text{Km}^{-1}$ ) 부분에서 풍향을 추출 하였으며 (b), Kirchhoff polarization ratio 를 사용한 CMOD\_4 알고리즘으로 풍속분포를 나타내었다 (c). 이 지역의 풍향 추출 값은 279°, 평균 풍속은 4.1m/s 로 기상대의 관측 값 (풍향 270°, 풍속 3.7m/s)과 잘 일치한다. 나머지 다른 test 지역에 대해서는 <표 2>에 풍속 추출결과를 나타내었는데, 그 결과 Fine mode 자료는 어떠한 polarization ratio 와 알고리즘으로도 잘 맞지않고 관측 값보다 항상 상당히 높게 나왔지만, Standard mode 나 ScanSAR mode 자료의 경우 Thompson model 의 polarization ratio 는 다소 맞지 않지만, Kirchhoff model 이나 Elfouhaily model 의 polarization ratios 는 어떠한 CMOD 알고리즘을 사용하여도 관측 값과 유사하게 나왔다. <표 3>에서는 기상대에서 관측된 풍향과 SAR 영상의 2-D FFT 를 통해 추출된 풍향을 나타내었는데, Fine mode 로부터 추출된 풍향은 관측 값과 아주 잘 일치하며, Standard mode 의 경우 바람이 어느 정도이상 강하게 부는 경우 잘 일치한다. 동해안 지역에 대한 바람벡터 지도를 <그림 4>에 나타내었는데, 이것은 ScanSAR mode 자료를 Kirchhoff polarization ratio 와 CMOD\_4 알고리즘으로부터 구했으며, 풍향은 동해안 연안 8 곳의 자동기상관측소(<그림 2>) 자료를 전 지역에 interpolation 하여 나타낸 것이다.



<그림 2> Test 지역 (◇:Fine mode, □:Standard mode, O:ScanSAR mode)

Satellite	Test Site	Date Time (UTC)	Beam Type	Config./Orient	Product Type	
RADARSAT	ScanSAR (Large Gray box)	East sea #1	Date: 1997/09/18 Time: 21:20:07	SWB	DESCENDING /NORMAL	SCW
		East sea #2				
		East sea #3				
		East sea #4				
		East sea #5				
		East sea #6				
		East sea #7				
		East sea #8				
	Standard (Black box)	Incheon [1]	Date: 1997/11/4 Time: 09:30:41	S4	ASCENDING /NORMAL	SGF
		Incheon2 [2]				
		Duckjok Island [3]				
	Fine (Diamond)	Jeju1 [4]	Date: 1998/02/19 Time: 21:51:56	S7	DESCENDING /NORMAL	SGF
		Jeju2 [5]				
		Jeju_A <A>	Date: 1998/02/18 Time: 09:37:56	F2	ASCENDING /NORMAL	SGF
		Jeju_B <B>				
	Jeju_C <C>					

<표 1> 각 test 지역에 사용된 RADARSAT 자료의 획득시각 및 beam type.



(a) (b) (c)  
 <그림 3> Jeju 지역의 sigma-naught image(a), 2-DFFT를 한 image(b), 풍속분포(c)

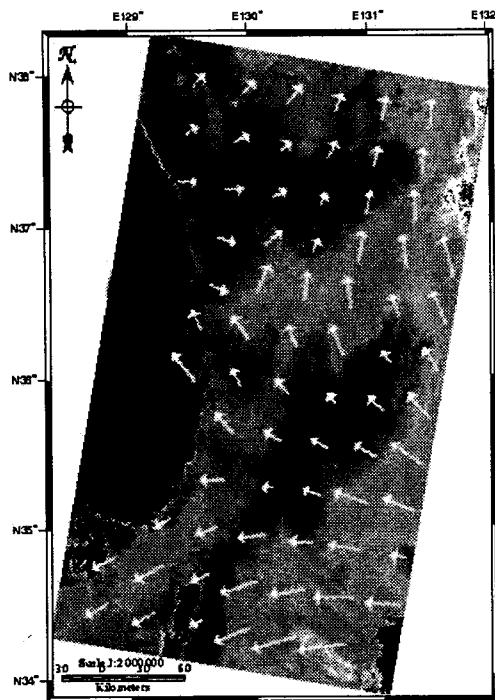
Satellite	Test Site	Observed Data [windspeed (m/s)]	Estimated Data [wind speed (m/s)]						
			CMOD_4			CMOD_IFR2			
			T	K	E	T	K	E	
RADARSAT	Standard	Inchon1 [1]	2.3m/s	5.1	4.1	3.4	5.1	3.6	2.5
		Inchon2 [2]	2.3m/s	4.8	3.8	3.2	4.5	3.0	2.1
		Jeju1 [4]	3.7m/s	5.3	4.1	4.3	6.2	4.5	4.9
		Jeju2 [5]	7.0m/s	13.4	10.4	10.8	13.9	11.2	11.5
	Fine	Jeju_A <A>	5.2m/s	15.6	12.8	12.0	16.4	13.8	12.9
		Jeju_B <B>	5.2m/s	14.9	12.1	11.4	15.7	13.1	12.4
		Jeju_C <C>	5.0m/s	19.1	16.1	15.3	18.7	16.1	15.4

Satellite	Test Site	Observed Data [wind speed (m/s), wind direction (°)]	Estimated Data [wind speed (m/s)]	
			CMOD_4	
			K	
RADARSAT	ScanSAR	East sea #1	3.4 m/s, 264.6 °	2.5 m/s
		East sea #2	8.5 m/s, 198.2 °	4.0 m/s
		East sea #3	5.7 m/s, 333.9 °	3.1 m/s
		East sea #4	2.6 m/s, 328.9 °	2.7 m/s
		East sea #5	3.4 m/s, 32.6 °	3.1 m/s
		East sea #6	6.0 m/s, 13.0 °	3.9 m/s
		East sea #7	2.3 m/s, 303.0 °	3.2 m/s
		East sea #8	6.3 m/s, 68.3 °	3.4 m/s

<표 2> RADARSAT beam mode 에 따른 풍속 추출 결과

Satellite		Test Site	Observed Wind direction	Estimated wind direction
RADARSAT	Standard	Inchon1 [1]	340°	252°
		Inchon2 [2]	340°	236°
		Jeju1 [4]	270°	279°
		Jeju2 [5]	200°	239°
	Fine	Jeju_A <A>	90°	82°
		Jeju_B <B>	90°	93°
		Jeju_C <C>	20°	NA

<표 3> RADARSAT beam mode 에 따른 풍향 추출 결과



<그림 4> RADARSAT ScanSAR 자료를 이용한 동해안의 바람벡터



#### 4. 결론

1) SAR 자료로부터 바람자료를 얻기 위해 CMOD\_4 와 CMOD\_IFR2 알고리즘을 이용할 경우 정확한 sigma-naught 값과, 풍향, 그리고 local incidence angle 등이 필요하며, 특히, C-band HH-Polarization 인 RADARSAT 자료를 이용하여 구할 때는 polarization ratio 를 적용해야 한다.

2) RADARSAT 자료로부터 풍속을 추출하기 위한 적당한 Polarization ratio 는 Kirchhoff model 과 Elfouhaily model 이다.

3) Fine mode 자료로부터 풍속을 구하면 관측 값보다 상당히 높게 나오지만, Standard mode 나 ScanSAR mode 자료로부터 추출된 풍속은 관측 값과 잘 일치한다.

## 5. 감사의 글

이 연구에 사용한 RADARSAT 자료의 일부는 Canadian Space Agency ADRO Program(#493)에 의하여 제공되었다.

## 6. 참고문헌

Gerling, T. W., Structure of the surface wind field from Seasat SAR., J. Geophys. Res., Vol. 91, No. C2, 2308-2320, 1986.

Kim, D. J., W. M. Moon, Estimation of Sea Surface Wind Speed and Direction From RADARSAT Data., Proc. International Symposium on Remote Sensing, 485-490, 1999.

Korsbakken, E. J., A. Johannessen, and O. M. Johannessen, Coastal Wind Field Retrievals from ERS SAR Images. the 3rd ERS symposium, Florence, Italy, Mar. 18-21, 1997.

Leibovich, S., The form and dynamics of Langmuir circulations., J. Fluid Mech., 15, 391-427, 1983.

Shuchman, R., J. Johannessen, and C. Rufenach, Determination of Wind Speed, Wind Direction And Atmospheric Structure Using ERS-1 SAR Data During NORCSEX'91. IGARSS'94, 537-539, 1994.

Srivastava, S., and N. Shepherd, Extraction of Beta Naught and Sigma Naught from RADARSAT CDPF Products. Rev.2-22 May. Contract No.:9F005-6-0025/001/SN, 1998.

Stoffelen, A., and D. Anderson, ERS-1 scatterometer data characteristics and wind retrieval skill. Adv. Space Res., 13, 1993.

Thompson, D. R., and R. C. Beal, Mapping Mesoscale and Submesoscale Wind Fields Using Synthetic Aperture Radar. IGARSS'98, 1382-1384, 1998.

Vachon, P. W., and F. W. Dobson, Validation of wind vector retrieval from ERS-1 SAR images over the ocean. The Global Atmosphere and Ocean System, Vol5, 177-187, 1996.

Wackerman, C., R. Shuchman, and F. Fetterer, Estimation of wind speed and wind direction from ERS-1 imagery. IGARSS'94, 1222-1224, 1994.

Won, J. S., I. S. Jeong, and T. R. Kim, Wind Field Estimation Using ERS-1 SAR Data : The Initial Report. 14th Fall Symposium of KSRS, 1998.