

해류 조사를 위한 HF해양레이더 개발 및 성능 검증

김정훈, 장병선, 최한규, 이철환, 이지혜, 홍순철, 노희선, 안지은
(주) 에스이티시스템

Abstract

HF해양레이더를 이용한 해류 성분의 원격 탐사는 적은 비용으로 넓은 영역의 해양을 감시할 수 있는 효율적인 도구로, 전 세계적으로 여러 국가에서 관심을 가지고 운용 중인 해류 조사의 한 방법으로 인식되고 있다. (주)에스이티시스템은 2014년부터 FMCW 방식을 이용한 HF 해양레이더의 개발을 시작하였으며, 2015년부터 2년간 본격적인 개발을 진행하였다. 성능검증을 위해 HF해양레이더 하드웨어의 Field test를 수행하여 45km 해역까지 1차 브래그 픽이 검출 됨을 확인하였다. 소프트웨어는 국립해양조사원의 조석자료와 비교를 통해 성능을 검증하였다. 최종적으로 HF해양레이더를 이용하여 추출한 해류 정보 데이터의 신뢰성 검증을 위하여 유속측정장비와의 비교를 수행하였다. 비교 분석 결과 상관계수는 0.82~0.95로 상관관계가 있음을 보였으나, RMS에 있어서는 편차가 존재함을 확인하였다. 2017년 4월부터 개발된 HF해양레이더를 이용한 장기관측을 수행 중에 있으며 앞으로도 지속할 예정이다. 장기관측을 통해 얻은 데이터는 향후 HF해양레이더 시스템 개선, Noise 및 Clutter 제거 알고리즘 개발, HF해양레이더를 이용한 파랑연구 등에 활용될 예정이다.

1. HF해양레이더 하드웨어 개발

1) 하드웨어 특징

- 송수신 시스템의 구성품을 모듈단위로 개발하여 시스템을 경량화 하였고 시스템의 확장성 및 유지보수의 편의성을 확보하였다.
- 각 모듈을 PCB 방식으로 구성하였으며, 이를 통해 시스템의 안정성을 확보하고 각 소자간 Cabling을 최소화 하여 신호 손실 및 외부잡음 유입을 최소화 하였다.
- 수신 채널을 4개로 구성하여 DF 안테나 뿐만 아니라 Phase Array 방식의 수신안테나의 사용도 가능하도록 개발하였다.
- 본 시스템은 송신 신호는 FMCW 방식을 기본으로 사용하지만, 사용자의 설정에 따라 FMCW 방식의 신호를 송출 가능하도록 개발하였다.
- FMCW 방식을 사용 시 Hard Gating 효과로 인한 불효방사를 최소화 하기 위하여 Soft Gating을 병행하여 사용하는 방식을 이용하였으며, 송수신 Gate 제어 신호 사이에 5us의 Time Delay를 두어 송신 신호가 수신 Path로 직접 유입되는 것을 방지하였다.

구분	내용	구분	내용
신호 송수신 방식	FMCW or FMCW	관측거리	~45km
수신 안테나	DF or Phase array	송신출력	~50W
관측 주파수	23~28MHz	초당 chirp 수	4Hz
송신 주파수 폭	100~200KHz	샘플링 속도	8192Hz

표 1. HF해양레이더 하드웨어 주요 제원



그림 1. 송수신기 전면

그림 2. 송수신기 후면

그림 3. 송수신기 내부

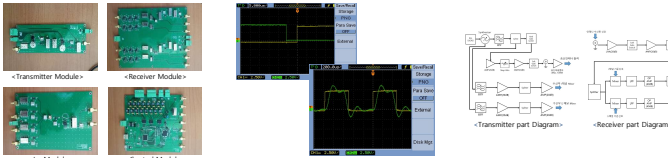


그림 4. PCB 모듈 사진

그림 5. 게이트 제어 신호

그림 6. 시스템 블록 다이어그램

2) Field Test 결과

- 개발된 HF 해양레이더 시스템을 검증하기 위하여 수차례의 Field Test를 실시하였다.
- Field Test 결과 45Km 해역까지 1차 브래그 픽이 검출 되는 것을 확인하였다.
- 지속적인 관측 결과 2차 브래그 픽을 확인하였으며 해상풍, 선박 등에 의한 효과도 확인하였다.

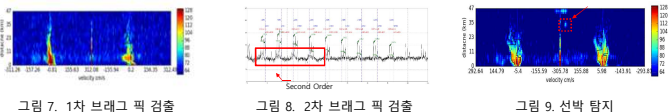


그림 7. 1차 브래그 픽 검출

그림 8. 2차 브래그 픽 검출

그림 9. 선박 탐지

2. HF해양레이더 소프트웨어 개발

1) 소프트웨어의 특징

- 해류 정보를 얻기 위해서 HF해양레이더를 제어하여 관측 자료를 생성하고 생성된 관측 자료를 방향 탐지, 벡터 합성 등으로 분석하는 과정이 필요하다.
- 이와 같은 과정을 수행하기 위하여 3개의 프로그램으로 구성된 HF해양레이더 소프트웨어를 개발하였다.
 - 해류 도플러 성분 추출 및 모듈 제어 소프트웨어 : HF해양레이더를 제어하여 해류 도플러 성분을 추출
 - 해류 속도 추출 프로그램 : 추출된 자료를 이용하여 HF해양레이더의 시선 방향 속도 벡터를 표시해 주는 Radial Velocity Map 생성
 - 벡터합성 알고리즘 및 소프트웨어 : 생성된 자료를 벡터 합성하여 해류 정보를 표출

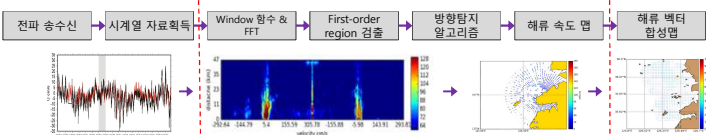


그림 10. 자료 처리 흐름도

2) 조석자료와 비교

- 소프트웨어 처리 결과의 직접적인 비교를 위해 국립해양조사원의 조석자료와 비교를 실시하였다. 그림 11은 2017년 4월 26일 15:00의 HF해양레이더 관측결과를 본사의 소프트웨어를 통해 처리한 결과로 해류 속도가 느리고 밀물과 썰물 방향의 해류가 섞여 있어 만조 혹은 간조의 상황임을 예측할 수 있다.
- 그림 12는 그림 11의 1시간 이후 자료로 해류의 흐름이 별불로 바뀌었음을 나타내고 있다. 이를 통해 15:00 경에 만조가 있었음을 확인할 수 있다. 국립해양조사원의 조석 자료에서는 4월 26일의 만조 시간이 14:51으로 본사의 결과와 일치함을 확인할 수 있다.

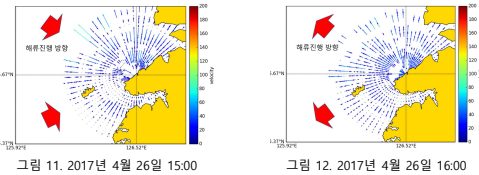


그림 11. 2017년 4월 26일 15:00

그림 12. 2017년 4월 26일 16:00

시간	구분
02:34	만조
09:12	간조
14:51	만조
21:29	간조

표 2. 2017년 4월 26일 조석자료 (국립해양조사원, 위도관측소)

3. 해류 정보 데이터 신뢰성 검증

1) 표류부이와 비교

- HF레이더를 통해 얻은 해류 정보의 신뢰성을 검증하기 위해 실제 유속측정 장비인 표류부이와 비교하였다. 비교는 2017년 5월 25일과 6월 8일 양일에 표류부이를 설치하여 실시하였다.
- 표류부이와 비교결과 상관계수는 0.95로 높은 상관관계에 있음을 확인하였고, RMS 값은 4.27~19.1(cm/s)값을 얻었다.

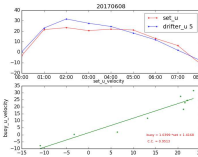


그림 13. 표류부이 비교자료(6월 8일)

표류부이 번호	5월 25일			6월 8일		
	상관 계수	Y=ax+b	RMSD (cm/s)	상관 계수	Y=ax+b	RMSD (cm/s)
df1	0.96	Y=0.49x+25.3	18.94	0.95	Y=1.09x+7.56	11.86
df2	0.97	Y=0.49x+25.1	18.91	0.95	Y=1.08x+6.63	8.78
df3	0.95	Y=0.52x+24.0	18.07	0.95	Y=1.32x+1.46	8.88
df4	0.95	Y=0.44x+25.3	19.10	0.97	Y=1.21x+1.40	4.27
df5	0.94	Y=0.42x+24.8	18.17	0.95	Y=1.04x+1.42	4.37

표 3. 상관분석 결과

2) 상양동도 고정부이와 비교

- 고정부이와의 비교는 2017년 6월 8일 부터 6월 18일까지 10일간의 데이터로 진행하였다. 상관계수는 0.82로 상관관계에 있음을 확인하였고, RMS값은 21.61(cm/s)값을 얻었다.



그림 14. 관측 환경

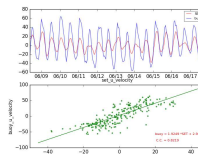


그림 15. 고정부이 비교자료

구분	내용
일시	2017년 6월 8일 ~ 2017년 6월 18일
거리	약 30km
상관계수	0.82
Y=ax+b	Y=1.92x+2.99
RMSD(cm/s)	21.61

표 4. 상관분석 결과

4. 결론

- HF해양레이더의 하드웨어는 유지보수의 편리성, 시스템의 안정성, 커스터마이징의 유연성 등을 고려하여 설계하였다. HF 해양레이더 하드웨어의 성능 검증을 위한 Field test에서는 1차 브래그 픽이 45km 떨어진 해역에서까지 검출 되는 것을 확인 하였다. 추가로 2차 브래그 픽의 검출, 선박의 탐지, 해상풍에 의한 효과 등도 확인할 수 있었다.
- HF해양레이더의 소프트웨어는 CODAR사의 처리결과와 비교하여 동일한 경향성을 확인함으로써 간접적으로 성능을 확인 하였고 직접적인 성능 확인을 위해 국립해양조사원의 조석자료와 비교하였다. 비교결과 소프트웨어 처리 결과상의 조석 시간과 국립해양조사원의 조석자료가 일치하는 것을 확인할 수 있었다.
- 해류 정보 데이터의 신뢰성 검증을 위한 표류부이와의 비교는 2017년 5월 25일과 6월 8일 양일에 걸쳐 실시하였다. 두 결과 모두 상관계수는 0.95이상으로 HF해양레이더를 이용해 얻은 해류 정보와 높은 상관관계가 있음을 확인할 수 있었다. RMS 편차의 경우는 5월 25일 자료에서 18cm/s 이상으로 상대적으로 높게 측정되었다. 5월 25일의 경우 기상악화로 인하여 표류부이의 운용 시간이 적었다. 이에 따라 비교 가능한 데이터 포인트 개수가 적어져서 RMS 편차에 영향을 끼친 것으로 추정된다.
- 고정부이와의 비교는 2017년 6월 8일 ~18일까지 10일간의 데이터를 이용하여 실시 하였다. 고정부이와의 비교를 통한 상관계수는 0.82로 HF해양레이더를 이용해 얻은 해류정보와 상관관계를 확인할 수 있었고 RMS 편차는 21.61cm/s였다. 이는 고정부이가 수심 2.5m 아래에 설치되어 있어 표층 해수와는 다른 해류의 속도를 보이는 데에서 기인하는 것으로 생각된다. 표층 해수와 수심 2.5m 아래의 해수의 속도는 해수 온도가 올라갈 수록 벌어지므로 6월에 실시한 비교에 영향을 끼쳤을 것으로 추정된다. 또한 고정부이와 관측소 사이의 거리가 30km로 거리에 의한 영향도 있었을 것으로 생각된다.
- (주)에스이티시스템은 2017년 4월 부터 HF해양레이더를 통해 장기관측을 수행하고 있다. 장기관측을 통해 얻은 데이터는 향후 HF해양레이더 시스템 개선, Noise 및 Clutter 제거 알고리즘 개발, HF해양레이더를 이용한 파랑연구 등에 활용될 예정이다.

5. 참고 문헌

- ★ Paper
 - R. O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation", IEEE Antennas and Propagation, vol. 34, pp. 276-280, 1986.
 - Honghao Tang, DOA estimation based on MUSIC algorithm, 2014.
 - Tony de Paolo, Eric Terrill, "Skill Assessment of Resolving Ocean Surface Current Structure", J. Atmos. Oceanic Technol., vol. 24, pp. 1277-1300, 2007.
 - K.-W. Gurgel, H.-H. Essen, S. P. Kingsley, "HF radars : Physical limitations and recent developments", Coastal Engineering, vol. 37, pp. 201-218, 1999.
 - Belinda Lipa, Bruce Nyden, "Directional Wave Information From the SeaSonde", IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 30, no. 1, pp. 221-231, 2005.
- ★ Codar Ocean Sensors - Inventions & Patents, Information Guides
 - CODAR Discovers and Implements MUSIC Direction-Finding Algorithm That Replaces Least Squares: D. E. Barrick, B. J. Lipa (1999), Radar angle determination with MUSIC direction finding, U. S. Patent 5 990 834
 - Defining First-Order region Boundaries, 2002.