

# 해군작전시 단파(HF) 레이더 자료의 효과적 활용방안

임세한\* · 김윤배\*\*

\*해군사관학교 · \*\*포항공대

## Efficient Operational Uses of High Frequency Radar for Naval Operations

SeHan Lim\* · Yun-Bae Kim\*\*

\*Republic of Korea Naval Academy · Pohang Science and Technology Institute

E-mail : sehan.lim@gmail.com

### 요 약

해양환경정보를 필요로 하는 어떠한 분야보다도 정확하고 신속한 의사결정이 요구되는 해군작전분야에서는 실시간으로 정확한 해양환경정보를 제공받을 수 있는 효과적인 자료 수집 수단이 필요하다. 현재 국내에서 시험운영중인 단파 레이더는 연안으로부터 약 10-220km의 해역에 대해 약 0.3-12km의 해상도를 가지며 실시간으로 표층해수의 해류와 파랑을 관측할 수 있다. 단파 레이더를 이용한 표층해수 관측망이 구축되면 다양한 일반 해양 활동과 군사 해양 활동을 지원할 수 있다. 장차, 우리나라 전 연안에 설치되는 단파 레이더를 활용하여 해군작전 임무 수행능력을 향상시킬 수 있는 방안을 제시한다.

### ABSTRACT

Exact and rapid acquirement of ocean environment information is going to become more of an indispensable source of naval operations. Ocean surface measurements using High Frequency (HF) radar, which covers about 10-220km and has spatial resolution of 0.3-12km, have being operated in our country. It remotely observe and transmit realtime sea surface currents and waves. In the near future, the HF radar systems will be established along the whole coastal area. A performance of network of HF radar will support various marine and naval activities. Operational uses of HF radar for enhancing naval operation ability are suggested.

### 키워드

HF Radar, 해양환경정보, 실시간 관측, 해군작전

### Key word

HF Radar, Ocean environment information, Realtime Monitoring, Naval Operations

## 1. 서 론

최근 해군작전 중 해양환경정보의 중요성을 절감하게 하는 사건들이 연이어 일어나고 있다. 이에 해군은 작전현장에서 즉각 사용가능하며 믿을 수 해양환경정보 확보에 많은 노력을 기울이고 있으며 해양관련 유

관기관들과 활발한 협력관계를 구축하여 중장기적인 해양환경예보와 해양현상 분석에는 어느 정도 성과를 거두고 있다. 그러나 해양의 시 공간적 변동성은 매우 다양하여 수 초에서 수 십 년에 이르는 주기와 수 센티미터에서 수 십 킬로미터에 이르는 규모의 현상들이 같은 시간과 공간에 혼재되어 있기 때문에 실시간/준시간에 준하는 해양환경예보는 여전히 미흡한 실정이다.

한편, 해양환경정보를 수집하여 실시간/준실시간으로 정보를 제공할 수 있는 수단은 대부분의 원격 해양 탐사 장비들이 해당되며 해양기상(기온, 풍향, 풍속 등), 해수 표면의 물성 및 수심에 따른 물성(수온, 염분, 압력, 밀도 등), 표층 및 중층 해수 유동 및 조석(조시, 조차 등)과 같은 자료들이 제공되고 있다. 우리나라에서도 국립해양조사원(이하 해조원), 한국해양연구원(이하 해연원), 국립수산과학원(이하 수과원), 기상청 기상연구소 등에서 다양한 원격 해양관측정보를 제공하고 있으며 (해당 기관 홈 페이지 참조) 최근에는 우리나라 최초의 전문 해양과학탐사위성인 천리안 위성에서 수집된 광대역 고해상도의 해양환경자료도 제공되고 있다. 이와 더불어 해조원과 일부 대학들을 중심으로 활발하게 추진되고 있는 원격 해양탐사는 단파 레이더를 이용한 광대역 표층해수유동의 관측이다.

단파(High Frequency, HF) 레이더는 2차 대전 당시 영국군이 독일공군의 공습을 장거리에서 탐지하기 위해 고안된 무기체계의 하나였으나 항공기를 탐지하는데 방해요소였던 배경잡음이 해수 표면에 의한 산란으로 발생하며, 이 잡음신호를 분석하면 해양 상태에 대한 정보를 얻을 수 있다는 사실이 밝혀짐에 따라 해양 원격탐사의 한 수단으로 많은 발전을 거듭하고 있다. 여러 해양 선진국에서 지난 수 십 년간 단파 레이더를 이용한 표층해수유동에 대한 원격관측기술을 연구해왔다. 미국은 1980년대 후반에 탐지거리가 3,300km에 이르는 초수평선 레이더를 설치하고 수치기상모델의 검증 및 초기화, 지구 규모의 기상변화에 영향을 미치는 해양순환을 관측하기 위해 사용하고 있으며 전 연안에 관측체계를 구축하여 자료를 제공하고 있다. 호주와 일본의 경우 연안에서 선박의 안전운항과 운항비 절감, 연안 해상 유류오염 사고시 정확한 유류확산 예측, 연안 어업 활동 지원 등을 위해 사용하고 있다(송 등, 2010). 우리나라에서는 1999년부터 울산, 군산 및 여수, 부산에 설치되어 운용 중이며 해조원은 제주도를 포함한 우리나라 전 연안으로 단파레이더를 확대 설치할 계획이다. 다른 해양정보 수집수단과 비교하였을 때 단파레이더의 가장 큰 장점은 상업적인 활동과 군사 활동이 가장 활발한 연안해역의 광범위한 범위를 실시간으로 관측이 가능하다는 점이다. 그리고 기존에 구축된 통신망을 이용하여 관측자료를 쉽게 최종 수요자에게 전파할 수 있다.

해양환경정보를 필요로 하는 어떠한 분야보다도 정확하고 신속한 의사결정이 요구되는 해군작전분야

에서는 실시간으로 정확한 해양환경정보를 제공받을 수 있는 효과적인 자료 수집 수단이 필요하다. 이에 본 연구에서는 앞으로 우리나라 전 연안에 설치되는 단파레이더의 여러 활용분야 중 효용성과 파급 효과가 매우 큰 해군작전에서의 활용방안을 제시하고자 한다. 내용의 전개는 제 1장 서론, 제 2장 단파레이더의 기본원리 및 특성, 제 3장 해군해양정보 현황 및 단파레이더 필요성, 제 4장 해군작전시 효과적 활용방안, 제 5장 요약 및 결론 순이다.

## II. 단파 레이더의 기본원리 및 특성

### 2.1 단파 레이더의 기본원리

단파 레이더는 3-30 MHz (10m - 100m 의 파장)의 주파수를 사용하며 50 MHz의 주파수가 최대치이다. 수직적으로 양극화된 HF 신호는 전기적으로 도체인 해수 표면을 전파하게 되며 비나 안개도 HF 신호에 영향을 주지 않는다. 해수 표면에는 서로 다른 주기를 갖는 수 많은 파들이 혼재되어 있다. 해수 표면으로 전송된 전파는 이러한 파들에 의해 산란되며 그중 일부는 전송된 지점으로 다시 되돌아오게 되는데 이것을 후방산란(Back-scattering) 신호라고 하고 반사되는 신호의 위상이 동일하면 공명현상이 발생하는데 이것이 Bragg 산란의 원리이다 (그림 1).

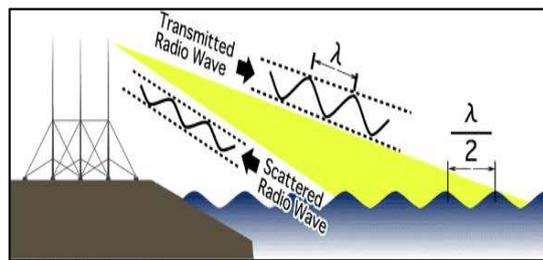


그림 1. 단파 레이더의 해면유동 관측 개념

되돌아온 신호는 도플러 주파수 전이(Doppler frequency shift)가 생기는데 해조류가 없다면 도플러 주파수 전이는 주파수 스펙트럼 상에 알고 있는 위치에 있게 된다. 그러나 관측된 도플러 주파수 전이는 이론적인 파속과 맞지 않으며 이는 도플러 주파수 전이에 이론적인 파속과 해조류의 영향이 더해져 있기 때문이다.

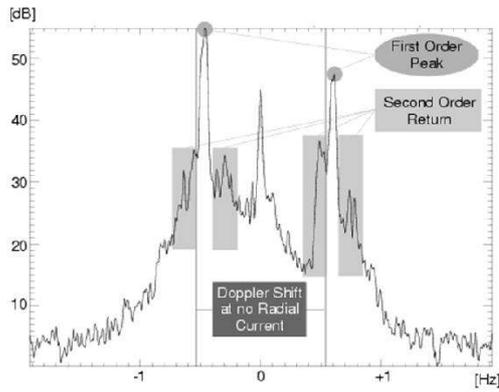


그림 2. 단파 레이더의 전형적인 도플러 스펙트럼

그림 2에서 보는 바와 같이 도플러 스펙트럼(Doppler spectrum)에는 두 개의 제 1차 첨두(First order peak)가 나타나며 여러 개의 2차 첨두가 존재한다. 제 1차 첨두는 해양의 표층유속과 풍향들에 대한 정보를 담고 있으며, 제 2차 첨두는 해파(ocean wave) 스펙트럼에 대하여 분석할 수 있다. 제 1차 첨두가 두 개로 나타나는 이유는 해수 표면에는 레이더의 시선방향으로 진행되는 파와 반대방향으로 멀어지는 파가 공존하기 때문이며 표층유속에 의한 도플러 효과만큼 이동하게 된다. 이때 첨두위치의 이동거리는 유속에 비례하므로 스펙트럼 분석 결과로부터 도플러 전이를 계산하면 바로 표층유동의 레이더 시선방향 성분을 구할 수 있다.

해수 표면의 변위(displacement,  $\zeta(x, t)$ )는 다음과 같은 푸리에 급수(Fourier series)로 나타낼 수 있다.

$$\zeta(x, t) = \sum_k [\eta_k e^{i(kx - \omega t)} + \eta_k^* e^{-i(kx - \omega t)}] \quad (1)$$

여기에서  $\eta_k$ 는 복소 랜덤 푸리에 진폭(Complex random Fourier Amplitudes,  $\eta_k^*$ 는 켈레복소수)은, 다음과 같은 성질을 가진다.

$$\langle \eta_{k_1} \eta_{k_2} \rangle = \langle \eta_{k_1} \eta_{k_2}^* \rangle = 0 \text{ for } k_1 \neq k_2 \quad (2)$$

여기에서 괄호는 앙상블 평균을 의미한다.

식 (1)에서 푸리에 계수가 1차 항에서 영 평균 가우시안 랜덤변수(zero means Gaussian random variables)가 되면 후방산란된 전기장은 다음과 같은 푸리에 계수로 표현할 수 있다.

$$\varepsilon = \Lambda \eta_{\pm}(k_r) e^{-i(\omega_r \mp \Delta\omega)t} \quad (3)$$

여기서  $\Lambda$ 는 안테나와 지형적인 요소에 의한 경사각도와 산란면적에 관계된 전달손실상수, 계수  $\eta_{\pm}(k_r)$ 은 Bragg 공명파가 radar로부터 가까워지거나(+) 멀어지는(-) 것에 따른 푸리에 계수,  $\omega_r$ 과  $k_r$ 은 전파되는 레이더 신호의 각속도 및 파수이다. 후방산란의 주파수 전이(Frequency shift,  $\Delta\omega$ )는 다음과 같은 도플러 식으로 주어진다.

$$\Delta\omega = 2k_r c_p' \quad (4)$$

여기서  $c_p'$ 는 레이더에 대한 상대적인 Bragg 공명파 위상속도이며, 일반적으로 다음과 같다.

$$c_p' = c_p + \Delta v_{ph} \quad (5)$$

여기서  $c_p$ 는 잔잔한 물에 대한 Bragg 공명파 위상속도이고,  $\Delta v_{ph}$ 는 물의 유동에 따라 공명파 위상속도가 전이(shift)된 것이다. 이 유동은 지형류와 바람의 영향 및 해파에서 기인한 해류 등을 모두 포함하는 표층 유동들의 영향이 합해진 것이다. 잔잔한 물에 대한 Bragg파 위상속도는 심해중력파에 대한 분산관계(dispersion relation)에 의해 결정되고, 해파의 파수 항으로 주어져 식 (6)과 같이 표현된다.

$$c_p = \sqrt{g/k} \quad (6)$$

위상속도 전이  $\Delta v_{ph}$ 는 수평 유속  $U(z)$ 와 관련이 있으며 이는

$$\Delta v_{ph} = \int_{-\infty}^0 U_x(z) e^{2kz} dz \quad (7)$$

로 쓸 수 있다. 여기서  $U_x(z)$ 는 주어진 파군(Wave train)의 진행방향과 평행한 방향으로의 수평 유속 성분이며  $z$ 는 해수면으로부터 상대적 깊이이다. 식 (7)로부터 위상속도 전이가 깊이에 따른 수평유속에 대한 가중평균이며 가중치는 Bragg 공명파의 파수에 의해 결정됨을 알 수 있다. 레이더 운용 주파수로 Bragg 공명파의 파수를 선택하기 때문에 레이더 유

속 측정의 깊이는 사용되는 레이더 운용 주파수의 함수가 된다. 이러한 이유 때문에 여러 주파수 대역의 단파 레이더 시스템으로 다양한 깊이의 표층 유속 관측이 가능한 것이다. 또한 두개 이상의 서로 다른 지점에 다른 방향으로 레이더를 설치하여 얻어지는 방사형 속도성분을 합성하면 최종적으로 표층 유속의 속도벡터를 구할 수 있다(Crombie, 1955; Barrick, 1972; Barrick et al., 1974; Stewart and Joy, 1974).

### 2.2 단파 레이더의 특성 및 제한점

단파 레이더의 관측범위는 외부잡음, 유의파고, 조류속도 등의 환경적요소와 운용주파수에 따라 해상도와 해수로부터의 거리 등이 달라지며 설치에 있어도 몇가지 제한사항이 있다. 해수면 관측 레이더의 안테나는 관측해역 해안선과의 거리가 사용 주파수 파장( $\lambda$ )을 고려하여 최대 100~250 m 내에 위치되어야 하며(표 1), 해안가에서 절벽보다는 고도가 완만한 평지에 설치를 권장한다.

표 1. 단파 레이더의 주파수에 따른 유효관측반경 및 해상도(국립해양조사원, 2004)

주파수 (MHz)	4~6	12~14	24~27	40~44
유효관측반경 (km)	160~220	50~70	30~50	10~20
해상도 (km)	3~12	2~3	1~2	0.3~1
해수로부터의 최대거리(m)	250	150	150	100

안테나 주변에는 전파에 영향을 주는 전도성 물체(금속막대, 전선, 고압선 등) 또는 높은 시설(전신주, 건물, 나무 등)이 그 높이의 최소 5배 이상의 거리만큼 이격되어야 한다(Seasonde, 2009).

단파 레이더는 3 ~ 30MHz의 단파를 사용함으로써 다른 레이더와는 구별되는 독특한 특성이 나타난다. 그중 대표적인 것이 원거리 탐지 능력과 해양정보 탐지능력이라 할 수 있다. 첫째, 원거리 탐지능력에 대해 살펴보면, 일반 레이더는 초단파(VHF) 또는 마이크로파를 사용하므로 가시거리 내에서만 표적 탐지가 가능하나 단파 레이더는 단파가 지구를 에워싼 전리층과 지표면에 반사되므로 수 천 Km 거리에도 전파 도

달이 가능하다. 따라서 레이더와 표적사이에 장애물이 존재하여도 장애물 너머의 표적 획득이 가능하며, 특히 대공레이더에서는 탐지하기 어려운 저고도 비행기 또는 선박의 탐지에 효과적이다. 둘째, 해양의 파랑이 단파 레이더를 산란시킴으로써 나타나는 해양정보 탐지능력은 1차적으로 해양 표층의 유동, 바람의 방향 및 파고에 대하여 관측할 수 있으며, 이를 이용하여 태풍의 위치, 해류의 위치와 속도, 와동류(Eddy)의 위치와 이동 방향, 지진해일(Tsunami)과 폭풍해일(Storm surge) 정보, 연안에서의 용승류와 침강수 발생 여부 등을 분석할 수도 있다. 이외에도 공중파를 이용하는 단파레이더는 주야간 전리층 변화에 따라 송신 특성이 변화하므로 시간과 장소에 따라 적합한 주파수로 수시로 변화 시켜주어야 한다. 도플러 효과에 의해 표적을 측정하기 때문에 움직이는 물체만 식별이 가능하며, 근거리 표적에 대해서는 탐지가 제한된다(CODAR, 2000).

유속의 정확도는 레이더 제조사에 따라 조금씩 틀리나 대부분 조류의 경우 1 ~ 2cm/s, 해류의 경우 6 ~ 8cm/s 정도이다(CODAR, 2000; WERA, 2010; NICT okinawa). 일반적으로 단파 레이더로 관측된 유속의 검정은 단파 레이더 보다 유속 측정 정확도가 우수한 RCM(Rotary Current Meter)이나 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)에서 측정된 자료와 비교한다. 2002년 우리나라 황해 새만금 방조제 인근에 설치된 RCM 및 단파 레이더와 대마도 양안에 설치된 단파 레이더 및 대마도를 오가는 선박과 대한해협 동수로 쪽에 설치된 ADCP에서 측정된 유속자료의 비교 결과에 따르면 두 자료 간 상관계수는 각각, 0.91 ~ 0.96, 0.70 ~ 0.82, RMS(Root-Mean-Square)는 3.83 ~ 5.69 cm/s, 6.62 ~ 11.4 cm/s 정도로 나타나고 있다(Kim et al., 2006; Yoshikawa et al., 2006).

단파 레이더의 운용 주파수 대역은 방송, 전파천문, 고정 및 이동무선 통신 등의 다양한 전파 소요로 인해 간섭이 일어날 수 있다. 따라서 단파 레이더를 운용하기 위해서는 운용가능 주파수에 대한 전파사용허가를 받아야하며 설치 지역에 따라 유관기관의 전파환경 측정 결과를 고려해야한다(송 등, 2010).

### III. 해군 해양정보체계 현황 및 단파 레이더 자료의 필요성

해군 작전의 성공은 정확한 해양환경정보의 활용과



표 3. 해군 해양환경정보 목록

분야	자료 출처	관측 요소
해양 물리	해군 작전세력, 한국해양연구원, 국립해양조사원, 국립수산과학원, ARGO 자료	수온, 염분
	인공위성	해수면 온도
	해양 특성조사	수온, 염분, 해류, 조류
해양 음향	한국 해양연구원	음파 전달손실, 수중소음, 해저손실 등
해양 지질	한국 해양연구원	정밀 수심, 해저면 영상, 해저 퇴적물, 시추 퇴적물, 부유 퇴적물, 지자기 등
해저 장애물	국립해양조사원	해저돌출부, 침선, 수중어초, 정치어망, 해저 케이블 등

IV. 해군작전시 효과적 활용방안

대잠전의 시작점인 대잠탐지는 아직 음파에 의존하고 있으며, 현재 사용되고 있는 대잠 음향탐지 방법으로는 수상함의 경우 선저장착형소나(HMS) 혹은 예인 선배열소나(TASS; Towed Array Sonar System)를 이용한 탐지, 항공기에서 투하되는 음향부표(Sonobuoy)와 헬기에 장착된 디핑소나(Deeping sonar)를 이용한 탐지, 항만 등 주요 해역 감시를 위한 수중항만감시체계(HUSS: Harbor Underwater Surveillance System) 등 다양한 SONAR 활용 장비가 이용되고 있다. 그러나 수중에서 음파의 전달이 음탐장비에 의해서가 아닌 수온, 염분, 압력 등 시공간적으로 변동하는 해양특성에 의해 주로 결정되기 때문에, 정확한 감시 체계를 위해서는 해양특성을 고려한 대잠 감시 체계가 보완적으로 구축될 필요가 있다. 특히 동해의 경우, 잠수함 잠항심도에 해당하는 약 200~300m 이내의 상층 해류는 HF 레이더에 의해 측정되는 표층 해류에 의해 파괄적인 흐름의 특성을 파악할 수 있고, 음파전달특성을 이해하기 위하여 필수적으로 요구되는 수온, 염분의 공간적인 분포 및 변동 특성을 파악에 매우 유용한 장비라 할 수 있다. 특히,

장비를 육상에 설치하므로 장비의 유지 관리가 수월하다는 장점이 있다.

탐색 및 구조작전은 생명과 직결되어 있는 경우가 많기 때문에 신속하게 조난위치를 찾아내는 것이 매우 중요하다. 그러나 강한 조류와 해류, 급변하는 해양기상 등으로 인해 지속적으로 통신이 유지되는 경우를 제외하면 조난위치를 파악하기란 쉬운 일이 아니다. 더욱이 대부분의 해난사고는 해상상태가 좋지 않은 상황에서 발생하기 때문에 탐색작전의 어려움을 가중시키고 있다. 최근 해군이 수행했던 일련의 탐색 및 구조작전은 표층해수의 유속과 유향정보를 활용하여 조난위치를 예측하는 것이 매우 중요함을 인식시켜주었다. 일정시간이 경과한 후의 예상위치를 판단할 수 있는 유동장모형이 개발되어 있으므로 단파 레이더 정보와 이러한 모형을 활용한다면 조난 예상위치를 추측하는 것이 그리 어려운 일은 아닐 것이다.

기뢰전(Mine Warfare)이란 기뢰의 전략적 및 전술적 활용과 그에 대한 대항책으로서 이는 기뢰부설과 기뢰에 대한 방어를 위하여 가능한 모든 공격적 및 방어적인 방법을 포함한다(해군본부, 2011). 기뢰전의 두 가지 분야인 기뢰부설과 기뢰대항전은 대부분 수심이 비교적 낮은 연안에서 이루어진다. 그러므로 연안의 복잡한 해저지형과 저질, 바람, 조석 및 조류 등의 영향으로 매우 복잡한 해수 유동이 나타나기 때문에 효과적인 기뢰전을 수행하기 위해서는 정확한 해수유동 확인이 요구된다. 즉 강한 해수 유동은 기뢰가 예정 수심보다 깊거나 얕은 곳에 부설되게 하거나, 정확한 위치에 부설이 불가능할 수도 있으며 기뢰 자체가 뺄 등에 의해 매몰되는 등의 문제점을 야기시킬 수 있기 때문이다.

미국을 비롯한 선진국 해군에서는 90년대 중반부터 오늘에 이르기까지 다양한 형태와 크기의 무인잠수정을 개발하여 일부는 실전에 운용되고 있다. 군사용 무인잠수정은 기뢰대항전, 신속환경평가와 같은 조사/식별 업무와 해양정보수집 및 정보 감시 정찰 등에 주로 활용되고 있다. 우리 해군도 무인잠수정의 군사적 활용에 주목하고 있으며 특히 연안작전의 중요성이 부각되면서 수심이 낮은 천해영역에서 무인잠수정에 의한 정찰 및 감시의 유용성이 증가되고 있다. 이러한 무인잠수정의 일반적인 형태와 크기는 어뢰 모양이며 길이는 약 2m 내외, 무게는 탑재장비 등에 따라 달라지지만 성인남자가 운반할 수 있는 정도(37~65kg)의 소형도 개발이 되어있는 상태이다(이 등, 2011). 우리나라의 무인잠수정 관련 기술성숙도와 해군작전환경을 고려시

소형(휴대급) 무인잠수정이 다양한 임무수행에 높은 활용도를 보일 것으로 예상된다. 한편 우리나라의 해양환경은 동/서/남해가 매우 상이한 해양물리적 특성을 가지고 있다. 특히 서해의 경우에는 조석과 조류의 영향이 매우 커 무인잠수정의 정상적인 운용을 위해서는 실시간 표층 해수의 유향 및 유속에 대한 정보가 필수적이다. 소형 무인잠수정의 특성상 운용시간과 항속능력에 제한을 받으므로 투입해역의 실시간 유향/유속 정보는 임무의 성패를 좌우하는 중요한 요소가 될 것이다.

유관기관들간의 단파레이더 설치 협의체를 구성하는 등 협력강화 조치가 요구된다. 또한 해군작전임무 수행에 잘 활용할 수 있도록 자료전파체계에 대한 기술적인 검토와 보완작업도 필요하다.

후 기

본 연구는 생산과학기술원의 연구과제 “생체모방형 로봇 시스템 개발”의 연구지원을 일부 받아 수행되었습니다.

V. 요약 및 결론

참고문헌

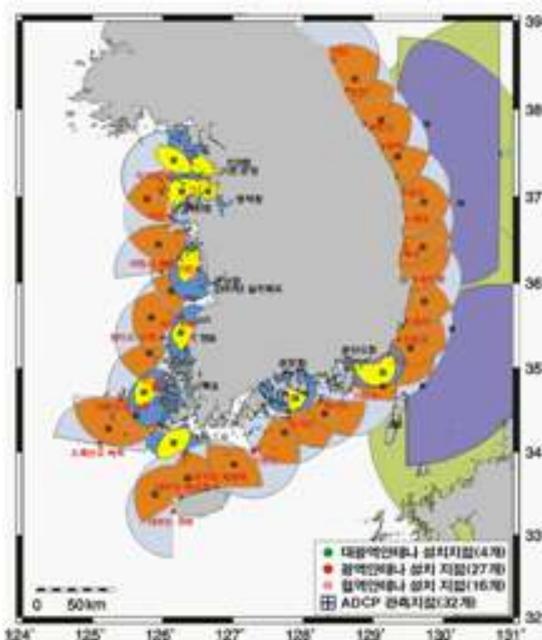


그림 4. 단파 레이더 설치 현황 및 향후 설치 지점(해양조사원 제공 자료)

표층해류를 관측하는 HF 레이더는 1) 육지에 장비 설치, 2) 광범위의 해역을 동시에 관측, 3) 실시간 관측가능하다는 점에서 매우 유용한 장비이다. 단파 레이더는 현재 국립해양조사원이 중심이 되어 그림 4와 같이 우리나라 전 연안역을 상시 관측할 수 있는 체계로 발전될 예정이다. 단파 레이더 자료의 활용도는 앞서 언급한 바와 같이 민간부문 뿐만 아니라 군사적으로도 매우 높다. 한편 단파 레이더를 설치하면서 예상되는 어려움은 적합한 설치 부지의 확보와 주파수 할당문제이다. 이는 주관기관과 자료를 필요로 하는 관련기관들간의 적극적인 협력이 필요한 문제이므로

[1] Crombie, D.D., 1955: Doppler Spectrum of Sea Echo at 13.56 Mc/s. Nature, 175, 681-682.

[2] Barrick, D.E. (1972). First-order theory and analysis of MF/HF/VHF scatter from the sea. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, AP-20(1), 2-10.

[3] Barrick, D.E., Headrick, J.M., Bogle, R.W. and Crombie, D.D. (1974). Sea backscatter at HF: Interpretation and utilization of the echo. Proc. of IEEE, 62(6), 673-680.

[4] Stewart, R.H., and J.W. Joy, 1974: HF radio measurements of surface currents. Deep-Sea Res., 21, 1039-1049.

[5] 국립해양조사원, 2004. 연안 해수유동 실시간 모니터링 시스템 구축, p. 4.

[6] Seasonde (2009). Remote unit operator's manual

[7] CODAR제작사 (2000). Characteristics Codar ocean sensor. <http://www.codar.com>.

[8] WERA제작사 (2010). Characteristics WERA ocean sensor. <http://www.helzel.com>.

[9] NICT okinawa (2004). Long-range ocean radar. <http://okinawa.nict.go.jp>.

[10] 김창수, 이상호, 손영태, 권효근, 이광희, 김영배, 정우진, 2006. 새만금 4호 방조제 완성 전·후 HF 레이더로 관측된 표층 M<sub>2</sub> 조류의 변화, 한국해양학회지 『바다』 11(2), 37-48

[11] Yoshikawa, Y., Matsuno, T., Marubayashi, K.

- and Fukudome, K.(2007). A surface velocity spiral observed with ADCP and HF radar in the Tsushima Strait, *J. Geophys. Res.*, 112, C06022, doi:10.1029/2006JC003625.
- [12] 송규민, 조철호, 정경태, 이홍재, “해수면 관측레이더의 국내 현황 및 운용에 관한 연구”, 한국해양학회 논문집, 제22권 제6호, pp.437~445. 2010.
- [13] 김범영, “해양환경정보의 해상전파 실태 및 개선에 관한 연구,” 『해양연구논총』, 제32집 제2호 (진해 : 해군해양연구소, 2004), p. 209.
- [14] 해군본부, 2011, 『해군용어사전』, p. 101.
- [15] 이기영, 서주노, 홍순국, 임세한, 김수범, 송창희, 2011. 무인해양로봇 기반 MCM 체계 동향, 한국군사과학기술학회 2011년 종합학술대회 논문집, 2327-2332