

X-band 레이다를 이용한 파랑모니터링시스템의 현장 적용 및 해상관제시스템 구축 활용방안

박창욱* · 안경모** · 안성모*** · 김종훈****

*,****(주)오서너 대표 및 이사, **한동대학교 공간환경시스템공학부 교수, ***(주)한국항만기술단 부사장

요약 : 항만 및 해안구조물의 안정성이나 연안지형 변화 등에 가장 주요한 외력조건 중 하나인 파랑의 효율적인 관측을 위하여, 선박용 X-band 레이다를 이용한 파랑 모니터링 시스템을 활용할 수 있다. 과거 해외 시스템의 국내 적용시 문제점을 개선한 3S-system (한동대학교 개발)의 건설현장 실적용 사례를 통해 실시간 공간관측 가능한 파랑 시스템 운영을 소개하고, 이를 해상공사 중 작업선박에 대한 관제시스템으로 확장 사용하는 안에 대하여 제시하였다. 향후 추가적인 확장성에 대해서도 공유하고자 한다.

핵심용어 : 레이다 파고계, 모니터링, 연안지형, 항만 안정성, 해상관제

1. 파랑 관측의 역사

1.1 파랑의 예측

- 제2차 세계대전 노르망디 상륙작전(1943)시..
- Sverdrup & Munk가 파고예측을 통해 상륙작전 --- SMB법
- 유의파(Hs) 도입

최대파 H_{max}
 1/10최대파 $H_{1/10}$
 1/3최대파 $H_{1/3}$
 평균파 H_{mean}

1. 파랑 관측의 역사

파고계는 1950년 이후 비약적인 발전

- ① 조음파식 파고계 (해저설치용)
- ② Micro 파식 파고계
- ③ Buoy식 파고계
- ④ Radar식 파고계

1. 파랑 관측의 역사

1.2 파랑 관측법

직접관측법

- 목시적 방법 : 육안관측
- 광학적 방법 : 표주법, 실체사진법
- 음향적 방법 : 수중발사형 초음파 파고계, 공중발사형 초음파 파고계
- 기계적 방법 : Float식
- 전기적 방법 : 평행선식 파고계, 저항선식 파고계, Step식 파고계, 용량식 파고계

간접관측법

- 기압변화를 이용하는 방법
- 가속도 변화를 이용하는 방법 : Buoy식 파고계
- 부력변화를 이용하는 방법 : 부력식 파고계
- 수압변화를 이용하는 방법 : 습동저항형, 직기형, 차동변압기형, Strain gage 형, 차압검출형 압전소자형, 각 수압식 파고계

2. 레이다 파랑관측 시스템

2.1 기존 파랑관측시스템 비교

	Buoys	P-u-v gage	ADCP	Radar
Accuracy	high	medium high	high	very low
Durability	low	medium high	medium high	very high
Initial Cost	high (\$80,000)	low (\$25,000)	low (\$30,000)	very high (\$120,000)
Maintenance Cost	high	medium	medium	very low
Water Depth	20~100 m	< 20 m	< 50 m	distance from the system
Spectrum	frequency	frequency	frequency	frequency & wave number
Currents	No	bottom currents	current profile	surface currents
Data transmission	direct	data link to shore	data link to shore	direct

* cwpark@oceaniccnt.com
 ** kmahn@handong.edu 054)260-1421
 *** smahn1@naver.com 02)3670-7114
 **** jhkim@oceaniccnt.com 02)6515-4210

2. 레이더 파랑관측 시스템

2.2 항만공사시 파랑모니터링의 목적

- 해안항만 공사 수행 중 외력 실시간 모니터링
 - ✓ 파랑을 상시 실시간 관측하여 현장피해시 정확한 외력 조건 제공
 - ✓ 실시간 관측에 의한 공사현장 안전·재해 예방 및 관리기준 수립
- 향후 설계입력 자료의 고도화
 - ✓ 현장의 실시간 파랑 모니터링 자료의 DB 구축에 의한 설계입력 정보 고도화
 - ✓ 신뢰성 설계를 위한 외력 확률분포함수 분석가능
 - ✓ 해황에 따른 공정 실적치 축적 및 분석을 통한 시공계획 현실성 제고

03

2. 레이더 파랑관측 시스템

2.5 항만 및 연안 활용

실시간 파랑관측 시스템

- 레이더 파고계 육상설치 운영
- 파랑산출시 보정을 위한 풍향풍속계 설치
- 캘리브레이션용 초음파식 파고계 설치운영
- 실시간 파랑자료 처리 프로그램 운영

인터넷기반 서비스

- 현장 공사관리 활용
- 비상시 활용가능한 실측자료 DB

전문가 자료 검증 후 DB 시스템 자동 이관

05

2. 레이더 파랑관측 시스템

2.3 레이더형 파랑관측 시스템 비교

항목	3S-system			WAMOS II(OceanWave5社)			SM-050(MIROS社)		
	Range	Resolution	Accuracy	Range	Resolution	Accuracy	Range	Resolution	Accuracy
유의파고(H)	0~30m	0.1m	±5%	0.75~20m	-	±10%	0~30m	0.1m	±5%
평균파주(T _m)	3~30sec	0.1sec	±10%	4~20sec	-	±5sec	3~30sec	0.1sec	±5%
첨두파주(T _h)	3~30sec	0.1sec	±10%	4~20sec	-	±5sec	3~30sec	0.1sec	±5%
평균파장(L _m)	0~360°	1°	±10%	0~360°	-	±2°	1~360°	1°	±7°
첨두파장(L _h)	0~360°	1°	±10%	0~360°	-	±2°	1~360°	1°	±7°

- 비교 레이더 파고계 장비의 Offshore에서 심해파 관측용으로 개발됨
- 국지적인 바람이 없을 때 파고 측정의 정확성을 개선하고
- 한국 연안의 파랑관측을 위해 최적화된 시스템 사용 (최대탐지거리 1.2km)
- 인공지능경량(Artificial Neural Network)을 적용하여유의파고 관측 정확도를 개선

04

3. 계측 및 운영 사례

3.1 레이더형 파고계 설치

1. 안테나 기초 및 거치대 설치
2. 레이더 안테나 설치
3. 제어기 메인반 설치
4. 수행 프로그램 설치

[마스트]

18

2. 레이더 파랑관측 시스템

3S System Hardware/Software

A: 파랑 측정 정보 B: Polar Radar Image C: 시간 영역 범위 조정 변수

D: 파랑 분석 주요 정보(유의파고, 첨두파주, 첨두파장) E: 파랑 에너지 주파수 스펙트럼 F: 풍향/풍속 정보 G: 파랑 분석 결과 장

Sea Surface Scanning 3S-system

전원부, A/D 변환부, USB3.0

3. 계측 및 운영

3.2 레이더 계측 파고 분석

레이더 정보 관측 → 관측영역 지정 및 저장, 레이더 제어, 디스플레이 → 이미지 파일로부터 파랑 스펙트럼 및 매개변수 분석 → 디스플레이 및 운영 유지

실시간 레이더 데이터 → 이미지 파일 저장 → 파랑 정보 가시화

· 레이더 시스템에서 얻은 해수면 영상분석 절차

Radar Image → 3D Image Spectrum $I^{(3)}(\omega, k_x, k_y)$ → 3D Image Spectrum $f^{(3)}(\omega, k_x, k_y)$ → 3D Image Spectrum $F^{(3)}(\omega, k_x, k_y)$ → 2D Image Spectrum $F^{(2)}(\omega, \theta)$

3D FFT, Pass Band Filter, MTF Function (Modulation Transfer Function)

22

3. 계측 및 운영

3.2 레이더 계측 파고 분석

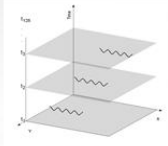
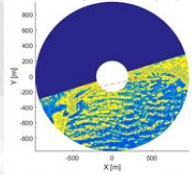
X-band 레이더 파랑속정 알고리즘

$$SNR = \frac{\text{Signal}}{\text{Noise}} \quad (\text{Signal to Noise Ratio})$$

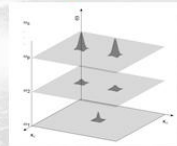
$$\text{Signal} = \int_{-\infty}^{\infty} I^{(s)}(\omega, k, k_r) d\omega dk dk_r$$

$$\text{Noise} = \int_{-\infty}^{\infty} I^{(n)}(\omega, k, k_r) d\omega dk dk_r - \int_{-\infty}^{\infty} I^{(s)}(\omega, k, k_r) dk dk_r d\omega$$

$$H_s = A = B \sqrt{SNR} \quad (\text{Alpers and HesseImann, 1982})$$



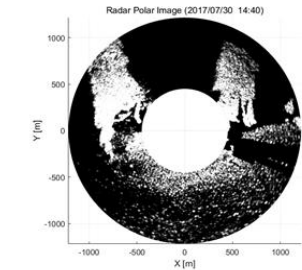
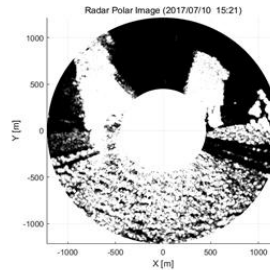
$$\omega_r = \max(S(k_r, k_r))$$



23

3. 계측 및 운영

3.3 캘리브레이션 - 날씨에 따른 signal 차이



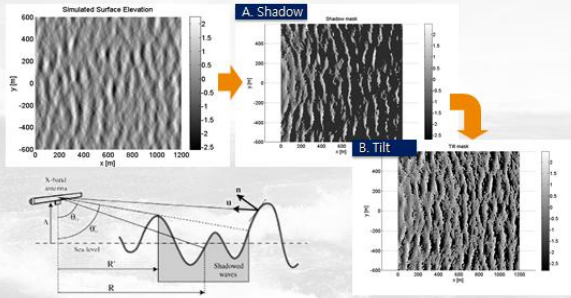
C. Good condition for Bragg resonance ($H_s = 2.36[m]$) D: Bad condition for Bragg resonance ($H_s = 2.40[m]$)

26

3. 계측 및 운영

3.2 레이더 계측 파고 분석

레이더 이미지 보정



24

3. 계측 및 운영

3.4 파랑관측성과 가시화

정밀연안파랑예보시스템 서비스 (제안사항)

- ✓ 과업수행과 병행하여 기상청 및 미국 NOAA 파랑예보시스템 연계 국지파랑예보 시스템 서비스 제공
- ✓ 레이더를 이용한 파랑 모니터링 및 향후 3일 내 다가올 해양예보를 제공하여 현장 관리 및 재해 예방 대비에 실질적인 도움이 될 수 있음



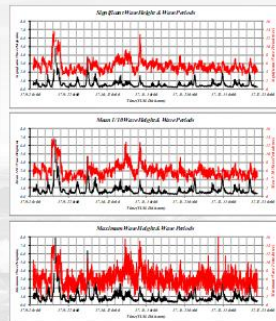
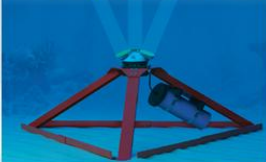
28

3. 계측 및 운영

3.3 캘리브레이션

초음파 파고계(AWAC) 관측

- 레이더 설치와 동시에 관측을 시작하여 전체 6개월간 파고, 파향 값을 제공
- 사업해역 파랑에 대한 이해와 전문성을 갖춘 전문가에 관측자료 분석 확인
- 1차 검증 3개월 수행 후 필요시 정점 이동가능



25

4. 해상작업 관제시스템 구축

