

선배열형 파고-수온관측 케이블 시스템
성능 고도화

Upgrade of linear array system for observation
of the wave height and water temperature

2016. 12. 31

한 국 해 양 과 학 기 술 원

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “선배열형 파고-수온관측 케이블 시스템 성능 고도화” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016. 12.

총괄연구책임자 : 최 복 경

참 여 연 구 원 : 이용국, 전동철, 정섬규,
강돈혁, 김병남, 김 응, 조성호, 김성현,
이동완, 심민섭, 지호윤, 김미란

보고서 초록

과제고유 번호	PE99442	해당단계 연구기간	1단계 2016.03.01~ 2016.12.31	단계 구분	1단계 / 1단계
연구사업명	중사업명				
	세부사업명				
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	선배열형 파고-수온관측 케이블 시스템 성능 고도화			
연구책임자	최복경	해당단계 참여연구원수	총 : 13명 내부: 8명 외부: 5명	해당단계 연구비	정부: 183,000천원 기업: 천원 계 : 183,000천원
		총연구기간 참여연구원수	총 : 13명 내부: 8명 외부: 5명	총 연구비	정부: 183,000천원 기업: 천원 계 : 183,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 해양안전연구센터		참여기업명		
국제공동연구					
위탁연구					
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	62
<ul style="list-style-type: none"> • 목표 : 고강도 선배열형 파고-수온 관측 케이블 시스템 개발기술 고도화 • 파고-수온 관측 케이블 시스템 기능 고도화 <ul style="list-style-type: none"> - 고파랑에서 선형성 유지 가능한 고강도 케이블 설계 및 제작 - 파고 및 수온 관측자료 신호처리 하드웨어 성능 개선 - 파랑 실시간 재현 알고리즘 탑재 시스템 운용 프로그램 고도화 • 사업화 추진전략 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 파고-수온 관측 케이블 시스템의 구성요소를 재질 및 체계를 고도화하여 상용화 추진 - 현장에서 실질적으로 장기간 운용 가능한 기술 개발을 통한 실용화 가능성 확인 - 기술이전 대상 기업과 협의하여 개발기술이 잘 이전되도록 적극적 연구방향 설정 • 기대성과 및 활용방안 <ul style="list-style-type: none"> - 기술 개발과 실용화 연구를 통한 기업체 기술 이전 및 기술료 창출 기대 - 기술이전 대상업체와 협력하여 기술이전 확대를 위한 국가연구개발 사업 추진 기대 					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	선배열형, 파고, 수온, 실시간 관측시스템, 성능 고도화			
	영 어	Line array, Wave height, Temperature, Real time observation system, Performance upgrade			

요 약 문

제목 : 선배열형 파고-수온관측 케이블 시스템 성능 고도화

□ 추진 배경

- 파고 관측의 기존의 점(point) 조사를 벗어나 광역(regional)에서 실시간 해양환경(파고, 수온 등) 관측을 위한 신개념 관측시스템 도입이 필요함
- 2012~2014년 동안 수행한 “MT-IT 융합 실시간 관할해역 관측시스템 구축 시범사업”의 결과를 활용한 기술 실용화 방안 마련 필요하였음

□ 연구개발 필요성

- 기술적 측면
 - 광역 시스템을 통한 연안에서 갑작스럽게 발생하는 이안류와 연안 침식 모니터링에 유용하게 적용할 수 있는 관측 시스템 필요
- 경제적 측면
 - 연안에서 해양재난사고 발생 시 효과적으로 대처하기 위한 해양환경 모니터링 시스템의 구축을 위한 요소기술의 필요

□ 연구개발 목표

- 고강도 선배열형 파고-수온 관측 케이블 시스템 개발기술 고도화
 - 파고-수온 관측 케이블 시스템 기능 고도화
 - 고파랑 환경 하에서 “고강도 선배열형 파고-수온 관측 케이블 시스

템” 고도화

- 개발기술 실용화 검증을 통한 기업체 기술이전

□ 연구개발 추진체계 및 수행 방법

- 선배열형 케이블 형태로 파고 및 수온을 관측하는 기술은 KIOST 에서 최초로 개발한 기술이므로 국내를 비롯하여 전 세계적으로 경쟁기업은 존재하지 않음
- 국내에서 케이블 제작 및 계측기기 제어시스템을 제작가능하고 자체 R&D 역량을 갖추고 있는 (주)김스유비큐와 기술이전 협약을 맺어 기술 실용화 실현

□ 파고-수온 센서 고도화 수행 내역

- 기존에 대비하여 2~10배 이상의 성능 향상

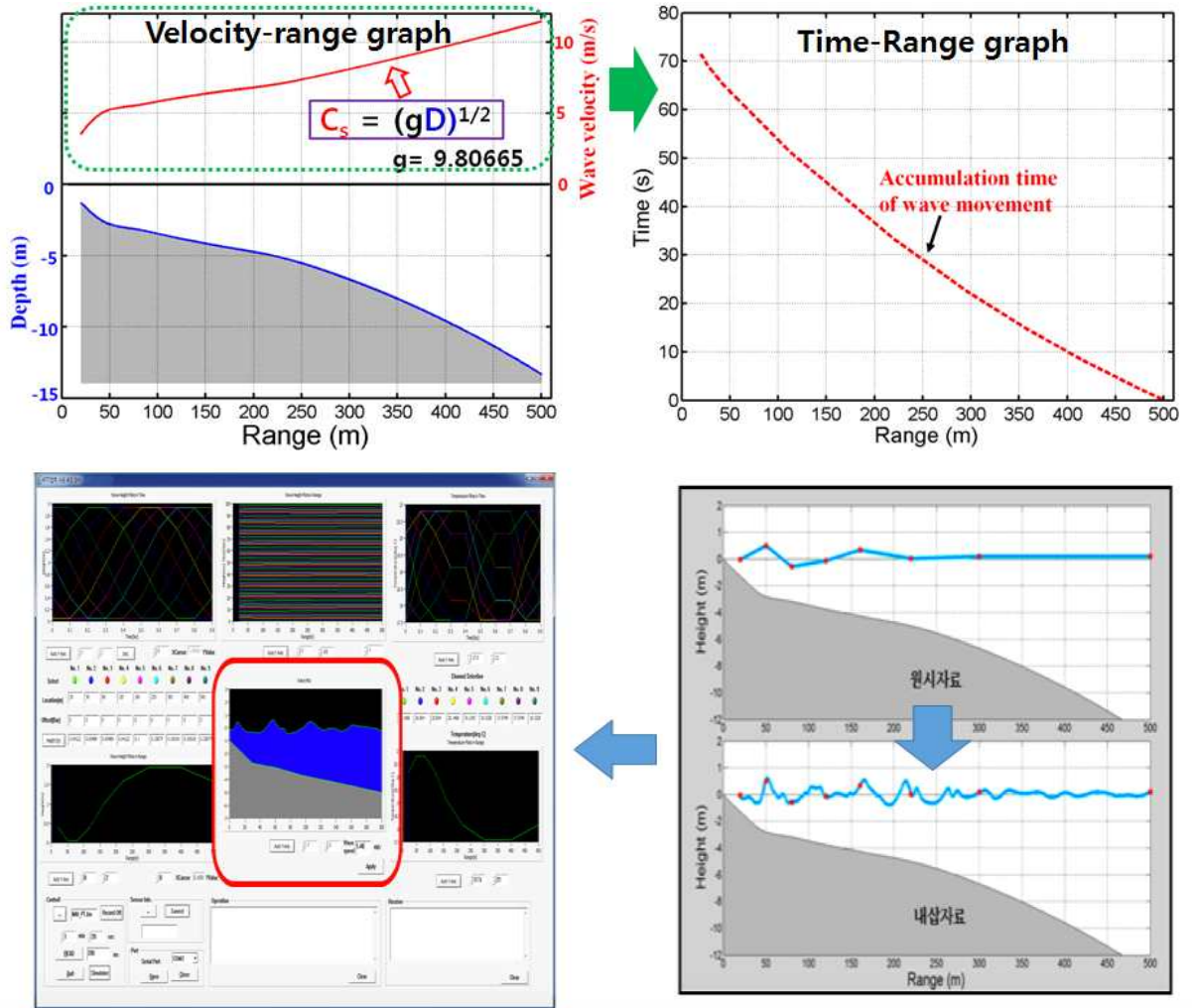


< 그림. 기존 시제품(좌)과 고도화된 시제품(우) >

< 표. 파고-수온 관측케이블 고강도 시스템 제작 완료 스펙 >

구분	기존	최종지표	개발품 성능
케이블	일반신호케이블 : 인장강도 0.5톤, 파장강도 1.0톤	인장강도 : 5 톤 파장강도 : 5 톤	아머드케이블 인장강도 5톤, 파장강도 10 톤
커넥터	스테인레스커넥터 인장강도 0.3 톤, 파장강도 0.6 톤	인장강도 : 5 톤 파장강도 : 5 톤	티타늄 커넥터 : 인장강도 5 톤, 파장강도 10 톤
센서 하우징	스테인레스 하우징 : 한계수심 50m	한계수심 : 200 m	SUS 하우징 : 한계수심 500m

- 파랑 재현 알고리즘을 각 수심별 파속을 구하여 알고리즘에 적용한 실시간 파랑 재현 프로그램 고도화 수행



< 그림. 실시간 파랑 재현 알고리즘이 적용된 운용프로그램 >

□ 연구결과 활용방안

- 해저에 광역적으로 매설되는 장거리 해저케이블(예:광케이블, 수중 음향케이블 등)과 결합하여 설치 또는 단독으로 설치 시 파고 및 쓰나미 관측을 위한 센서의 효율적인 거리별 배열안을 결정할 때 필요한 기술이 될 수 있음

- 기존의 부이를 이용한 점(point) 조사 방식의 시간적 파고 관측을 시공간적 관측으로 변환하고자 하는 경우에 필요한 기술이며 연안 침식 모니터링을 위하여 쇄파대에서 시공적인 파고를 관측할 때 유용한 기술이 될 수 있음
- 원자력 발전소 가동으로 인한 온배수가 해지면 수온환경 변화에 미치는 영향을 시공간적으로 실시간 모니터링 할 경우 본 기술이 적용될 수 있음. 원자력 발전소 쓰나미 피해 모니터링에도 적용할 수 있음

□ 기업 만족도

- 기존 시제품보다 인장강도 및 수밀안정 허용 심도가 10배 이상 증가하였으며, 이를 이용한 제품 생산이 가능할 것으로 판단하였음
- 현재 제품은 정부주도 사업을 통한 시스템 활성화가 필요할 것으로 판단됨

□ 사업화 계획

- 현재 원자력 발전소 및 한국수자원공사 등과 원전감시체계에 관한 사업 제안하여 협의 중에 있음.
- 정부 부처 간 협력사업 등에 선배열형 파고-수온 관측 케이블 시스템을 제안하였으며, 사업화 추진을 위하여 노력하고 있음.

목 차

제 1 장 서론	1
제 1 절 연구개발 추진 배경 및 필요성	1
1. 추진배경	1
2. 개발기술 개요	4
3. 개발기술의 국내·외 기술동향	7
4. 연구개발 필요성	9
제 2 절 연구개발 목표 및 추진체계	10
1. 연구개발의 목표	10
2. 세부목표	10
3. 연구개발 추진체계 및 수행 방법	11
제 2 장 개발 기술의 기존 연구 현황	13
제 1 절 파고-수온센서 케이블 사양	13
1. 파고-수온센서 케이블 개요	13
2. 파고-수온센서 케이블 사양	13
3. 파고-수온센서 케이블 설계	17
나. 육상분석장치	21
제 2 절 파고-수온센서 현장 설치 현황	25
1. 경북 울진 설치 결과	25
2. 부산 해운대 인근해역 파고관측 현장실험 현황	33

제 3 장 기술 실용화를 위한 연구수행 내역	37
제 1 절 기술이전 기업과 협력 방안	37
1. 기술이전 기업과 협력 방안	37
2. 파고-수온 관측 케이블 시스템 기능 고도화 방안	38
제 2 절 기술이전을 위한 연구 수행 내역	39
1. 기술의 완성도	39
제 3 절 연구결과의 우수성	44
제 4 장 활용가능성 및 파급효과	47
1. 연구결과의 활용성 및 실용성	47
2. 해당 기술의 기술적 파급효과 및 기대효과	47
3. 연구결과에 대한 기업 만족도 및 사업화 계획	48

표 차례

표 1. 컨트롤 보드 사양	14
표 2. 수온 센서 사양	14
표 3. 파고 센서 사양	15
표 4. 파고-수온 센서 사이 거리 구성	15
표 5. 구동 방식 및 시스템 사양	16
표 6. 센서 컨트롤 보드 사양	17
표 7. 파고-수온 센서 케이블 컨트롤 PC 사양	22
표 8. Power supply 사양	23
표 9. 파고-수온센서 설치 수심 및 해안선으로부터 거리 분포	26
표 10. 파고-수온 센서 케이블의 설치 수심	34
표 11. 연구개발을 통한 정량적 기술 스펙	39
표 12. 파고-수온 관측케이블 고강도 시스템 제작 완료 스펙	40

그림 차례

그림 1. 기상청에서 운용중인 파고관측 부이 위치도	2
그림 2. 국립해양조사원에서 운용중인 실시간해양관측정보시스템 위치도	3
그림 3. 선배열 파고-수온 관측 케이블 설치 개념도	4
그림 4. 파고-수온 관측용 복합센서 모듈	5
그림 5. 파고의 시공간적인 관측 예	5
그림 6. 각종 파고계 그림	7
그림 7. Datawell사의 Directional Waverider MkIII 사진	8
그림 8. 사업화 추진 체계 모식도	12
그림 9. 파고-수온 케이블의 흐름도	13
그림 10. 파고-수온 센서 간격	16
그림 11. 센서 모듈 모델링	18
그림 12. 센서 컨트롤 시스템 구성도	18
그림 13. 압력 센서 사진	19
그림 14. 수온 센서의 자료 전송 순서	20
그림 15. 수온 센서 사진	20
그림 16. 케이블 조립체 사진	21
그림 17. 육상분석 장치 신호 전송 흐름도	21
그림 18. 파고-수온 센서 케이블 컨트롤 PC	22
그림 19. Power supply	23
그림 20. Software UI	24

그림 21. 자료 처리 소프트웨어 흐름도	24
그림 22. 파고-수온센서 케이블 설치 위치와 수심	25
그림 23. 파고-수온 센서 케이블 설치한 위치의 수심 단면도	26
그림 24. 각각 파고 센서로부터 획득한 파고 신호 time series 자료	27
그림 25. 시계열 파고 자료에 대한 가중 평균 신호	27
그림 26. 시간에 따른 파동 변화의 공간 분포	28
그림 27. LiDAR를 이용한 파고 관측	29
그림 28. LiDAR를 이용한 파고 측정 단면도	29
그림 29. S01 지점에서 압력 센서(적색선)와 LiDAR(청색 선)의 파고 측정 값 비교	30
그림 30. S02 지점에서 압력 센서(적색선)와 LiDAR(청색 선)의 파고 측정 값 비교	30
그림 31. 압력 센서 (위쪽) 및 LiDAR (아래쪽)의 파고 측정 데이터의 단면도	31
그림 32. 센서 케이블과 해양 계류 부이에서 측정한 수온 값 비교	32
그림 33. 해운대 해수욕장 인근 파고-수온 관측 개념도	33
그림 34. 파고 케이블의 설치 사진	34
그림 35. 파고케이블 및 수심계(RBR)의 관측 값 비교	35
그림 36. 해운대 해수욕장에서 관측한 파고 자료(2014. 9. 16)	36
그림 37. 고강도 신호 케이블 센서부 및 신호 케이블 샘플	37
그림 38. 고도화를 위한 형상 설계 도면	40
그림 39. 기존 센서 하우징 및 케이블	41
그림 40. 고강도 케이블 고도화가 적용된 센서	41
그림 41. 수심별 파속 계산 그래프	42
그림 42. 실시간 파랑 재현 업그레이드 알고리즘이 적용된 운용프로그램	43

제 1 장 서론

제 1 절 연구개발 추진 배경 및 필요성

1. 추진배경

우리나라에서 파고 및 해양관측 시스템은 대부분 부이를 이용하여 운용하고 있다. 기상청은 49개의 파고관측 부이를 설치하여 표층수온 및 해면상태(유의파고, 최대파고, 파고 평균 및 파주기 등)에 대한 정보를 실시간으로 제공하고 있다(그림 1)¹⁾. 국립해양조사원에서는 해양의 효과적인 이용과 연구에 필요한 조류, 조석, 수온, 염분, 해류 등 해양현상을 관측하기 위하여 조위관측소, 해양관측소, 해양관측부이, 해양과학기지 등 126개소의 국가해양관측망을 구축하여 실시간으로 제공하고 있다(그림2)²⁾.

국내의 해양관측부이는 기상청 기상망, 지질자원연구원 지진망, 해양조사원 연안조위관측망 등은 주로 육지 및 연안에 위치하여 있으며, 점(point) 조사에 국한되어 있다. 기존의 점(point) 조사를 벗어나 광역(regional)에서 실시간 해양환경(파고, 수온 등) 관측을 위한 신개념 관측시스템이 필요하다.

이를 극복하기 위하여 한국해양과학기술원에서는 2012~2014년 동안 “MT-IT 융합 실시간 관할해역 관측시스템 구축 시범사업”을 수행하였다. 이 연구 중에서 『선배열형 파고-수온 관측 시스템』을 개발하였으며, 본 시스템은 신호선과 관측센서가 선배열형으로 연결되어 있기 때문에 실시간 자료 전송, 관측 센서 컨트롤 및 안정적인 전력 공급 등의

1) 기상청 바다관측자료 파고부이 :

http://www.kma.go.kr/weather/observation/marine_buoy_cosmos.jsp

2) 국립해양조사원 국가해양관측망 실시간 해양관측정보시스템 :

<http://www.khoa.go.kr/koofs/kor/introduce/observer.do?menuNo=02&link=>

장점이 있다. 그러나 이 과제에서 개발된 연구 장비는 시제품 수준으로 케이블 인장력이 부족하여 즉시 실용화하기에는 무리가 있다. 시제품의 단점을 극복하기 위하여 케이블의 인장력 강화, 센서 간 연결부 강화, 실시간 운용 프로그램의 고도화 등이 필요하다.

본 기술을 기업수요 맞춤형 실용화 기술 지원사업을 통하여 국내 케이블 제작 업체에 기술 이전하여 업체 주도의 실용화 방안이 요구된다.

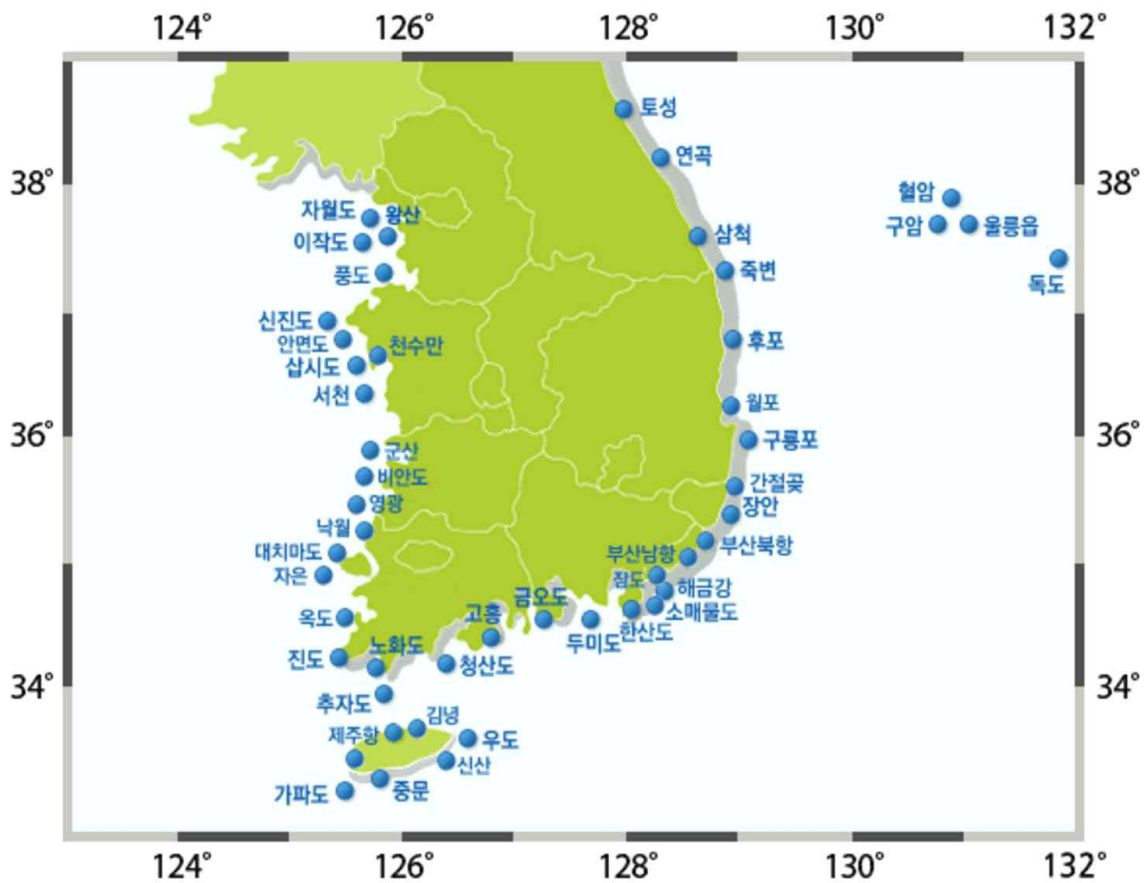


그림 1. 기상청에서 운용중인 파고관측 부이 위치도



그림 2. 국립해양조사원에서 운용중인 실시간해양관측정보시스템 위치도

2. 개발기술 개요

가. 기술정의 : 연안 파고 및 해저면 수온의 시공간 관측 기술

본 기술을 정의하면 연안에서 파고 및 해저면 수온의 시공간 관측 기술이다. 본 기술은 연안에서 파고와 수온을 관측할 수 있는 복합센서를 선배열 케이블 형태로 구성하여 연안 해저면에 설치함(또는 해저면 하부에 매설함)으로써 육상에서 파고 및 해저면 수온의 공간분포를 실시간으로 관측할 수 있도록 하는 기술이다.

또한, 실시간으로 파고를 관측할 때 센서 배치의 불연속성으로 인하여 거리에 따른 파랑의 역동감 있는 실시간 재현이 불가능한 문제를 가중평균기법을 이용하여 최적의 파랑관측 센서 배치안을 도출함으로써 파랑의 역동감 있는 실시간 재현 기술을 포함한다.

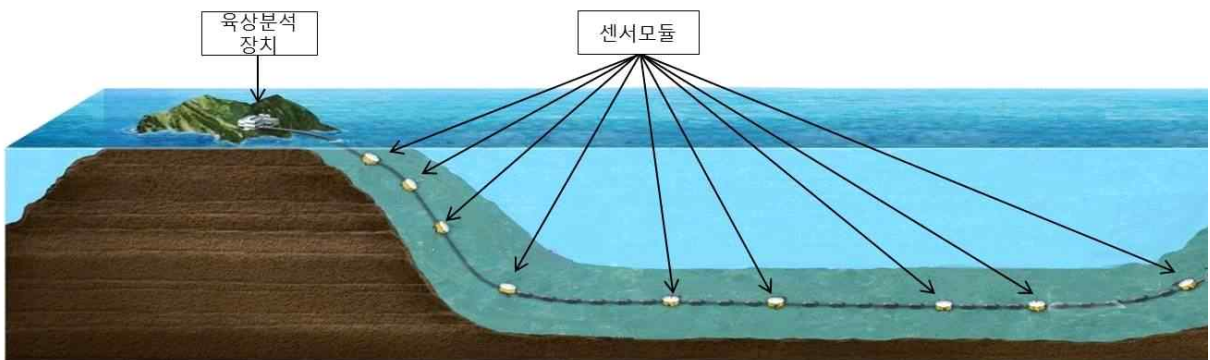


그림 3. 선배열 파고-수온 관측 케이블 설치 개념도

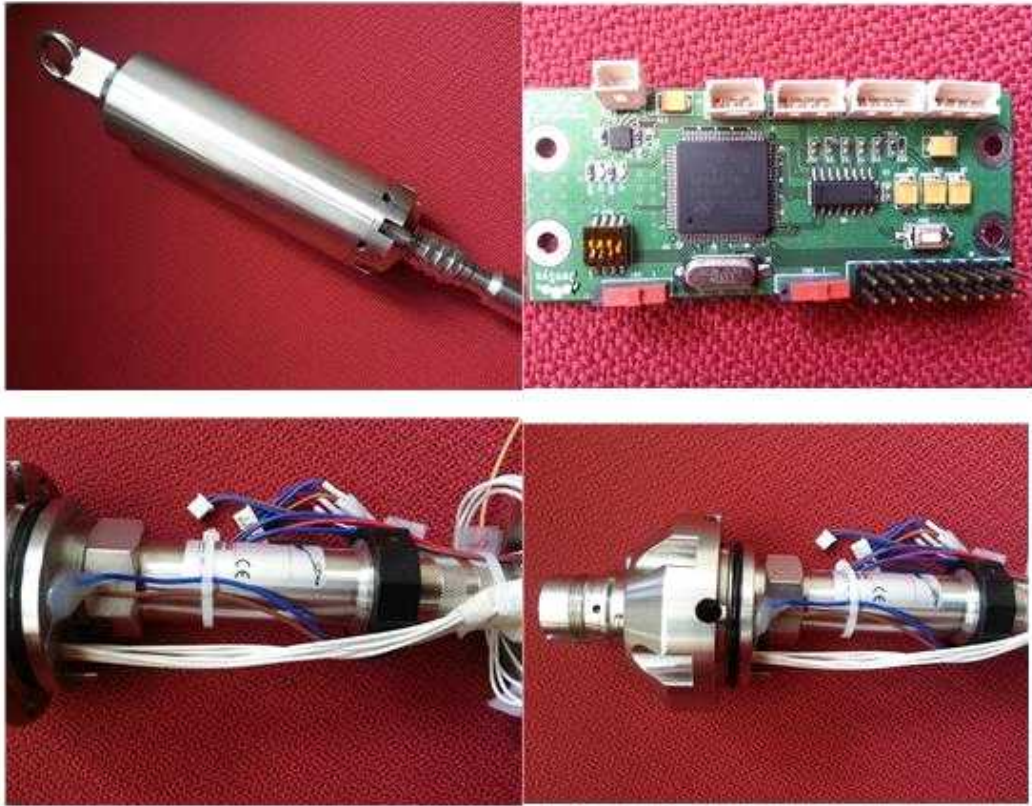


그림 4. 파고-수온 관측용 복합센서 모듈

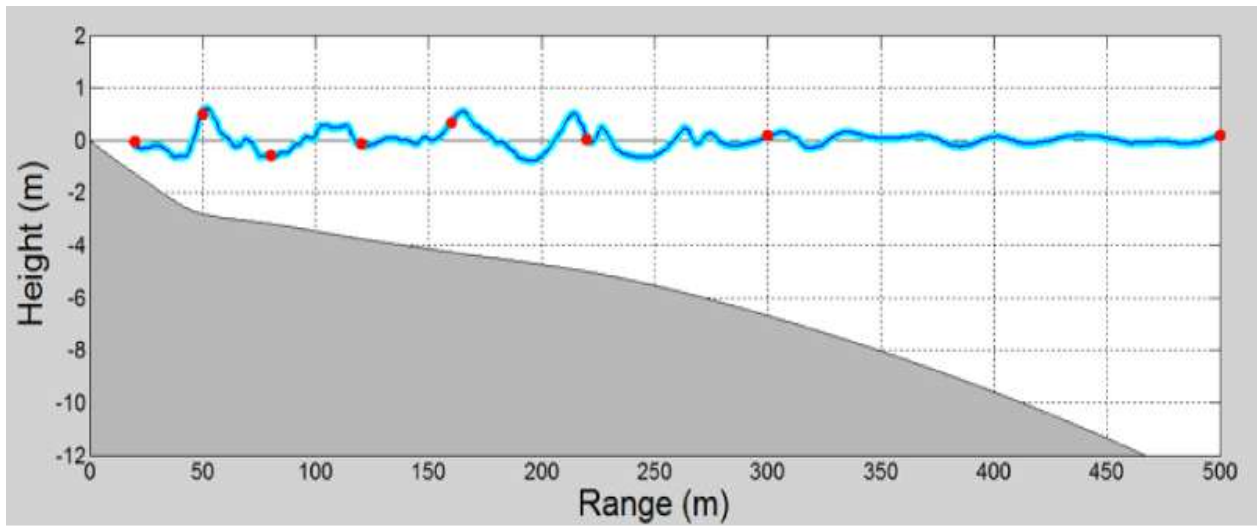


그림 5. 파고의 시공간적인 관측 예

나. 기술의 특징(우수성)

본 기술은 연안 파고 및 해저면 수온의 시공간 관측기술로서, 연안에서 부이를 이용하여 점조사 방식으로 진행되던 파고 및 해저면 수온 관측을 선배열형태로 변경함으로써 연안에서 시공간적으로 파고 및 수온을 실시간 관측할 수 있다.

연안에서 실시간으로 파고를 관측할 때 센서 배치의 불연속성으로 인하여 거리에 따른 파랑의 역동감 있는 실시간 재현이 불가능하다. 본 기술에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 가중평균기법을 이용하여 최적의 파랑관측 센서 배치안을 도출함으로써 파랑의 역동감을 실시간으로 재현하였다.

본 기술과 관련하여 현재, 2건의 국내특허 등록 및 1건의 PCT출원을 완료하였다.

- 선배열형 파고 및 해저면 수온관측 장치 (출원번호: PCTKR2014008567)
- 선배열형 파고 및 해저면 수온관측 장치 (등록번호: 10-1431120)
- 선배열형 파고 관측장치 (등록번호: 10-1548221)

또한 2015년에 미국에서 개최된 CWTM2015 (Current Wave Turbulence Measurement) 학회에서 “Real-time measurements of wave heights using the cable type wave monitoring system in shallow waters” 제목으로 발표를 하였으며, 외국학자들에게 많은 관심을 받았다.

3. 개발기술의 국내·외 기술동향

가. 국내 기술 동향

연안 파고관측에 대하여 국내의 경우 압력센서와 초음파 센서를 이용한 파고계가 개발되어 상용화 된 사례가 있다. 또한, 레이더와 가속도 센서를 이용하여 파고를 관측하는 기술이 개발된 바 있다. 그러나 대부분의 경우는 해외에서 개발된 장비를 주로 도입하여 파고관측을 수행하고 있다(그림 6)³⁾.



그림 6. 각종 파고계 그림

3) 기상청 홈페이지 자료 :

http://web.kma.go.kr/communication/encyclopedia/list.jsp;jsessionid=PC70wSnuwj7gzHIjAXcqnd8W3PG51L8AIXIJ6maAHWKm5ajRZcW4dQCQqMScDy4j?printable=true&schType=&schText=&schGroup=&schLang=&encyc_id=1173295&page=95

나. 국외 기술 동향

국내의 경우와 유사하게 일본 또는 미국의 경우도 대부분 파고관측에 압력센서, 초음파센서, 가속도계, 레이더를 이용한 기술이 주를 이루고 있다. 그러나 국내와는 달리 대부분의 기술이 제품상용화로 확대되어 세계시장을 선도하고 있다. 대표적인 제품 사용화 사례로는 Datawell사의 Directional Waverider가 있다(그림 7)⁴⁾.



The Directional Waverider DWR-MkIII: Three years of continuous operation

The Directional Waverider hardly needs any introduction: it is the world's standard for measuring wave height and wave direction. Its success is due to the proprietary well-proven and accurate Datawell stabilized platform sensor, enabling wave height measurements by a single accelerometer. For the wave direction, direct pitch and roll measurements are performed needing no integration. In combination with horizontal accelerometers and a compass this forms the complete sensor unit, the heart of the instrument.

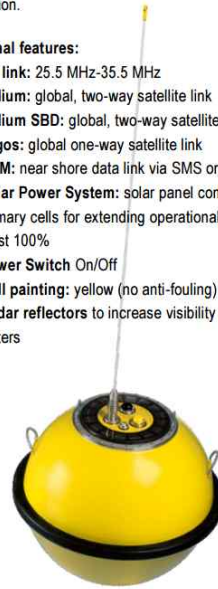
The highlights:

- **Real time** measurement of wave height with half-hourly heave and directional spectra updates.
- **HF link up to 50 km** over sea. The proprietary Datawell HF link module is easy replaceable if a different transmission frequency is required.
- **LED flashlight** integrated in the top of the antenna increasing the buoy's visibility.
- **GPS receiver** for buoy positioning has now become a standard feature of the DWR-MkIII, and facilitates its retrieval.
- **Integrated datalogger** based on the latest flash card technology.
- A **water temperature sensor** in the mooring eye providing sea surface temperature
- **High capacity primary cells** operating reliably and safely under all wave conditions and weather circumstances for **up to three years** without replacement.
- Built-in **energy meter** reports an accurate estimation of the remaining operating life.
- **Intelligent Test Box** enables sequential discharge of individual battery strings

The DWR-MkIII comes standard with the Datawell HF link for ranges up to 50 Km over sea. For larger ranges the HF link can be combined or replaced with Iridium, Argos or OrbcComm satellite communication. For near shore applications, a GSM link is also available. The MkIII can be supplied in a 70 cm hull offering easier handling and 1.2 years of continuous operation or a 90 cm hull for 3.5 years of continuous operation.

Optional features:

- **HF link:** 25.5 MHz-35.5 MHz
- **Iridium:** global, two-way satellite link
- **Iridium SBD:** global, two-way satellite link
- **Argos:** global one-way satellite link
- **GSM:** near shore data link via SMS or Internet
- **Solar Power System:** solar panel combined with primary cells for extending operational life by at least 100%
- **Power Switch** On/Off
- **Hull painting:** yellow (no anti-fouling)
- **Radar reflectors** to increase visibility in busy waters



DWR-MkIII with optional solar panels, power switch and painted hull

그림 7. Datawell사의 Directional Waverider MkIII 사진

4) datawell 사 홈페이지 자료 :

http://www.datawell.nl/Portals/0/Documents/Brochures/datawell_brochure_dwr-mk3_b-09-08.pdf

4. 연구개발 필요성

가. 기술적 측면

연안에서 파고 및 해저면 수온을 관측하기 위한 기존 점(Point)조사 방법을 탈피하여 광역에서 시공간적으로 실시간 관측할 수 있는 선배열 형태의 파고-수온 관측시스템의 개발이 필요하다.

이러한 기술은 연안에서 갑작스럽게 발생하는 이안류와 연안침식 모니터링에 유용하게 적용될 수 있다. 또한, 연안에 위치한 국가 중요 기간산업시설(예: 원자력발전소)의 해일 또는 고파랑에 의한 피해발생 또는 예방 시 해상상태 모니터링에 적용될 수 있다.

나. 경제적 측면

연안에서 해양재난사고 발생 시 효과적으로 대처하기 위한 해양환경 모니터링 시스템의 구축을 위한 요소기술의 필요하다.

연안해역의 해저면 수온변화 관측을 통한 어장환경변화 모니터링을 위한 기술개발이 필요하다. 예로 원자력 발전소에서 유출되는 온배수의 실시간 확산변화를 모니터링 함으로써 어장형성에 대한 기초정보를 제공할 수 있다.

제 2 절 연구개발 목표 및 추진체계

1. 연구개발의 목표

본 연구의 목표는 고강도 선배열형 파고-수온 관측 케이블 시스템 개발기술 고도화이며, 상세 목표는 아래와 같다.

- 파고-수온 관측 케이블 시스템 기능 고도화
- 고파랑 환경 하에서 “고강도 선배열형 파고-수온 관측 케이블 시스템” 고도화
- 개발기술 실용화 검증을 통한 기업체 기술이전

2. 세부목표

가. 정량적 목표

성과지표	구체적 내용	목표	평가(검증) 방법
기술스펙 (구체적 물성)*	파고-수온 관측케이블 선형성 유지 인장강도 [톤]	5톤	인장실험
	복합센서 수밀안정 허용 심도 (m)	200m	수밀실험
	파고센서 압력 분해능 [%FS]	0.002 %FS	기존파고계와 비교검증
	온도센서 분해능 [°C]	±0.05 [°C]	기존 수온센서와 비교검증
	실시간 파랑 재현 알고리즘	실시간 파랑재현 프로그램 개발	알고리즘 적용
기술이전(건)*	1건	1건	
기술료수입 (백만원)*	50백만원	50 백만원	
특허(건)	신규특허 창출	1건	
기술개발개량(건)	기존 시제품 성능 보완 및 고도화	1건	

나. 정성적 목표

이전된 기술이 업체에서 실용화 될 수 있도록 기술지도를 하고 이를 바탕으로 하여 공동으로 연구사업을 발굴할 수 있도록 연구기반 마련

3. 연구개발 추진체계 및 수행 방법

가. 해당 기술의 시장규모 및 주요 경쟁기업

본 기술은 과학적 관측을 위해 특화된 기술이므로 일반적으로 시장규모는 높다 할 수 없다. 그러나, 본 기술은 해양재난안전연구분야에서 활용도가 높으므로 정부 주도의 해양재난안전관련 대형 용역사업(연안침식 모니터링, 연안 이안류 모니터링, 원전감시 등) 추진 시 활용도가 높다 할 수 있다.

선배열형 케이블 형태로 파고 및 수온을 관측하는 기술은 KIOST에서 최초로 개발한 기술이므로 국내를 비롯하여 전 세계적으로 경쟁기업은 존재하지 않는다.

나. 수요기업 현황

- 업체명 : (주)김스유비큐 (KIMSUBQ)
- 법인설립일 및 대표이사 : 2005년 5월 18일 / 김태엽
- 주요사업 : 케이블 엔지니어링 및 서비스, 계측기기 및 제어시스템
- 사업분야 : Submarine Cable 및 기술지원, Sonar System, Towing, Umbilical Submarine Cables, Seismic & Tsunami, Defence, Specialty Cables, 해저 케이블용 Duct 관련, 특수 Cable Harness, 과적 차량 단속 System 등
- R&D 역량 : 자체 기술로 해저 광 전력 복합케이블 설계 및 제조, Submarine 케이블 디자인 및 제조의 핵심 기술 보유, 국내 최초 해저 광 복합 전력 신호전송 케이블의 국산화 개발 및 제조설비 확보, 양산기술 확보

다. 사업화 추진전략

기존 파고-수온 관측 케이블 시스템의 구성요소 가운데 고도화 부분이 필요한 신호케이블을 제작방안을 관련업체와 논의하여 케이블 제작안을 설계하여 제작한다. 기능이 고도화된 파고-수온 관측 케이블 시스템을 현장에서 장기간 실질적으로 운용하여 기술의 실용화 가능성 확인하도록 추진한다. 기술이전 대상 기업과 수시로 회의를 개최하여 개발기술이 잘 이전될 수 있도록 연구방향을 설정하여 추진한다.

라. 사업화 추진체계

기술이전 대상기업에 기술이전 후 기술의 수요가 예상되는 국가해양기관(기상청, 국립해양조사원, 국립수과원 등) 또는 지자체를 중심으로 기술을 홍보하여 실질적으로 기업체에 기술이전으로 인한 이익이 발생할 수 있도록 사업화 추진을 도모한다.



그림 8. 사업화 추진 체계 모식도

제 2 장 개발 기술의 기존 연구 현황

제 1 절 파고-수온센서 케이블 사양

1. 파고-수온센서 케이블 개요

파고/수온센서 케이블은 해안 1Km이내에 설치하여 실시간으로 파고 및 수온을 측정하도록 이동 가능한 구조로 설계되었다. 이에 설치 및 회수가 가능 하도록 각 센서 모듈과 케이블이 분리 가능한 구조를 가지며, 해안 포설시 정상 동작이 가능하도록 내해수성, 내수압성, 내수밀성을 갖는 해저환경에 대응해 제작되었다.

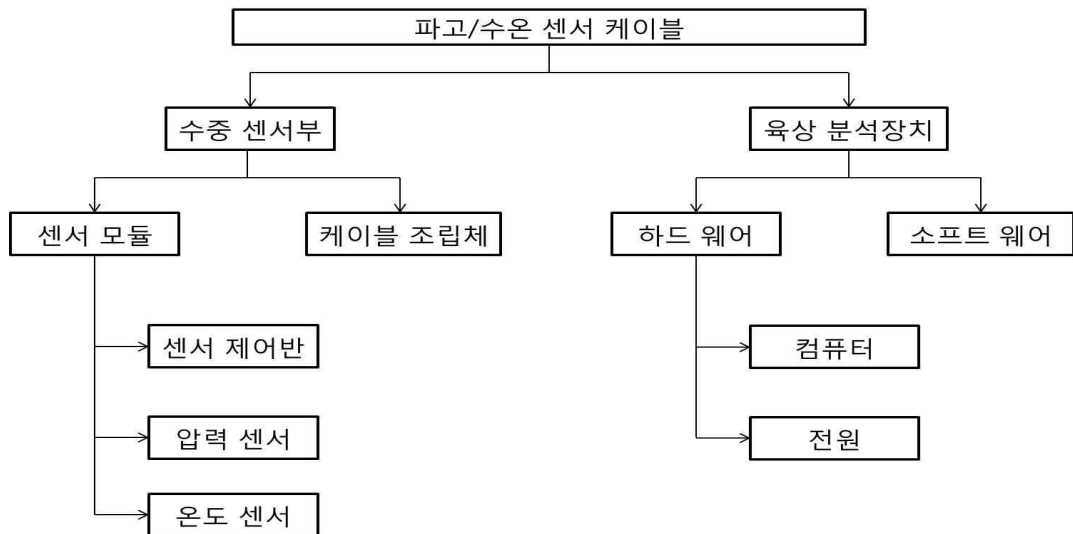


그림 9. 파고-수온 케이블의 흐름도

2. 파고-수온센서 케이블 사양

가. 수중 센서부

수중 센서부는 압력과 온도를 측정하는 센서모듈과 육상과 센서 모듈 간의 전기적 기구적 연결을 담당하는 케이블로 구성된다.

표 1. 컨트롤 보드 사양

구 분	사 양
메인 코어	ARM 32bit Cortex M3
메인 메모리	512Kbyte Flash , 64Kbyte SRAM
동작 클럭	72MHz, 1.25 DMIPS/MHz
RS485	Half Duplex , 50Kpbs
ADC	16bit / 125Hz
통신방식	RS232, RS485
압력전압	12VDC Supply
PCB Size	75*32mm Size
User IO	2 LEDs, 4pin DIP S/W
소모 전력	80mA
운용 온도	-3.45 ~ 37.8

표 2. 수온 센서 사양

구분	사양
Part	PR503J2
RESISTANCE @ +25°C	50,000 Ω NOMINAL
ACCURACY (0 to +50°C)	±0.05°C
RESISTANCE/TEMPERATURE CURVE	"J"
TEMPERATURE COEFFICIENT @ +25°C	-4.4%/°C NOMINAL
BETA "β" (0 to +50°C)	3.892
DISSIPATION CONSTANT	1mW/°C NOMINAL
THERMAL TIME CONSTANT	10 SECONDS MAXIMUM(STILL AIR)
THERMAL TIME CONSTANT	1 SECONDS MAXIMUM(WELL STIRRED OIL)
TEMPERATURE RATING	-55 to + 80°C

표 3. 파고 센서 사양

구 분	사 양
True OutPut Rate	400Hz
Resolution	0.002%FS
Long Term Stability typ Gauges	1mbar or 0.05%FS
Absolute	0.5mbar or 0.025%FS(10 ~ 40°C)
Load Resistance	(Ω)< (U-8V)/0.025A(2-wire) >5'000(3-wire)
Electrical Connection	MIL C-26482-Plug (6pole) - Binder-Plug 723(5pole) - DIN 43650 Plug(4pole)
Insulation	10MΩ / 50V, optional 300V (2-wire only)
Storage-/Operating Temperature Range	-40 ~120°C
Pressure Endurance	10 Million Pressure Cycles 0 ~.100%FS @25°C
Vibration Endurance	20g (5~2000Hz, max. amplitude ± 3mm), according to 68-2-6
Shock Endurance	20g(11ms) Protection IP 65 optional : IP67 or IP 68(with cable) CE-Conformity EN61000-6-1 to -6-4 / En 61326-2-3
Material in Contact with Media	Stainless Steel AISI316L / Viton
Weight	Series33X≈ 140g, Series35X≈ 160g, Series PD-33X≈ 500g

표 4. 파고-수온 센서 사이 거리 구성

시작	끝	길이(m)	전체길이(m)
육상원치	센서1	220	220
센서1	센서2	30	250
센서2	센서3	30	280
센서3	센서4	40	320
센서4	센서5	40	360
센서5	센서6	60	426
센서6	센서7	80	500
센서7	센서8	100	600
센서8	센서9	100	700

1 2 3 4 5 6 7

8 9 10

그림 10. 파고-수온 센서 간격

(2) 육상 분석 장치

표 5. 구동 방식 및 시스템 사양

구분	사양
입력 데이터	온도 및 압력 센서의 측정 데이터
출력	9개의 센서 데이터를 종합하여 그래프로 출력
동작 주기	100ms ~ 1000ms
통신 방식	RS485 / 9600~115200 baudrate

표 6. 센서 컨트롤 보드 사양

구분	사양
메인코어	ARM 32bit Cortex M3
Main Memory	512Kbyte Flash , 64Kbyte SRAM
동작 클럭	75MHz , 1.25 DMIPS/MHz
RS485	Half_Duplex , 10Mbps
ADC	16bit / 125Hz
통신방식	RS232, RS485
입력전압	12VDC Supply
PCB Size	75*32mm Size
User IO	2 LEDs, 4pin DIP S/W
소모전력	60mA
운용온도	-3.45 ~ 37.8

3. 파고-수온세서 케이블 설계

파고/수온센서 케이블은 해양환경에서 실시간 정보 수집이 가능도록 수압과 수온을 측정하는 수중 센서부와 이의 정보를 분석하는 육상 정보 장치로 나뉘어 있다. 수중 센서부는 내해수성, 내수압성, 내수밀성을 갖는 해저환경에 대응해 설계/제작되었다.

육상 분석 장치는 방습이 가능한 산업용 컴퓨터로 설계 되었다. 실시간 정보 수신을 위하여 RS485 통신을 적용하였다.

가. 수중 센서부

(1) 개요

압력과 온도를 측정하는 센서모듈과, 육상과 센서 모듈간의 전기적 기구적 연결을 담당하는 케이블로 구성되고 내해수성, 내수압성, 내수밀성을 갖는 해저환경에 대응해 설계/제작되었다.

(2) 센서 모듈

- 센서 모듈 모델링



그림 11. 센서 모듈 모델링

- 센서 제어반

센서제어반은 압력센서와 온도센서 측정을 제어한다. 온도센서 측정은 ADC(16bit)를 주기적으로 수행하여 low데이터를 수집하고, 수집된 데이터 값은 내부 메모리에 저장된다. 압력 센서부는 PA-35X압력 센서와 RS485통신을 통해 압력 데이터를 수신 후 내부메모리에 저장한다. 각 센서 데이터는 제어반에서 데이터 구조체 배열에 저장되고 육상 제어 장치에서 데이터 요청명령이 들어오면 메모리에 수집된 데이터를 전송한다.

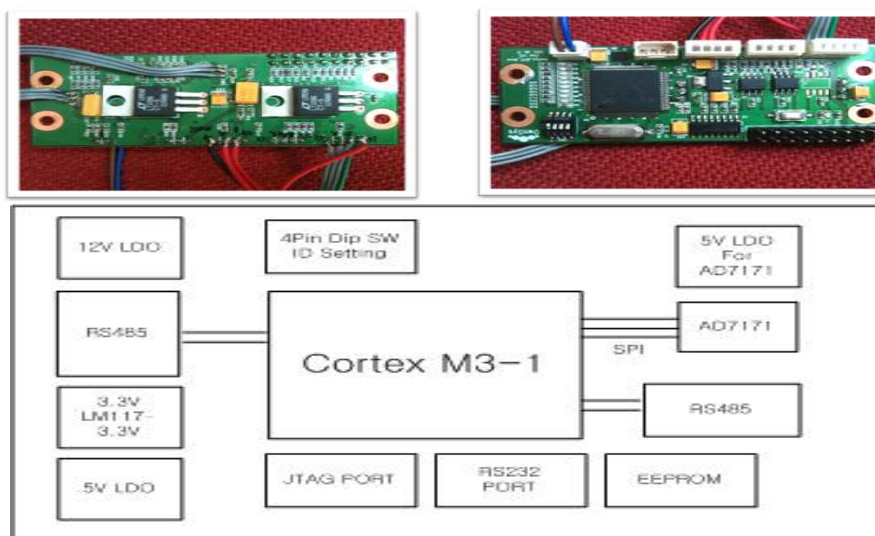


그림 12. 센서 컨트롤 시스템 구성도

- 압력센서

압력센서(PA-35X)의 동작은 압력센서에 물리적인 힘이 가해지면 압력 대비 변하는 전기적 신호를 ADC하여 압력데이터를 측정하고, 측정된 데이터에 대한 보상기능도 수행한다. 센서제어반과 RS485통신으로 연결되어 있고, 센서제어반에서 요청하는 특정주기마다 측정된 압력데이터를 센서제어반으로 출력한다.

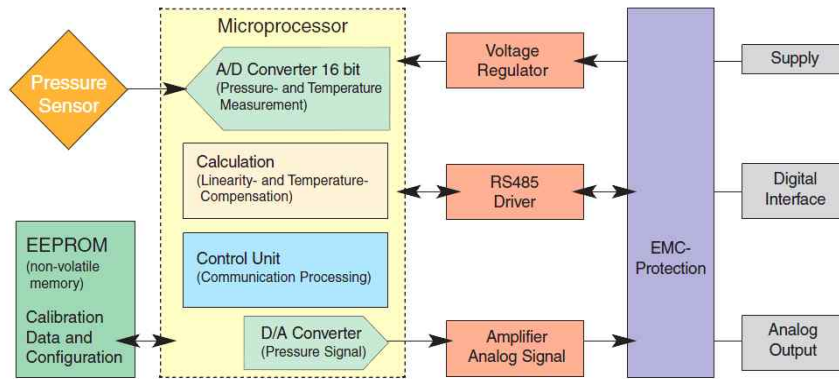


그림 13. 압력 센서 사진

- 온도 센서

온도 센서(PR503J2)는 NTC방식의 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 정밀도로 동작된다. 센서 동작온도 범위는 -55 to 80°C 이지만 운영온도를 $-3.45 \sim 37.8^{\circ}\text{C}$ 에서 동작하도록 설정되었다. 외부 온도변화에 변경된 온도센서의 전압 값을 16bit ADC를 통해 비트단위의 디지털 값으로 변환하고 센서제어반의 메모리에 저장된다. 육상분석 장치의 데이터 요청 명령에 따라 10Mbps의 통신 속도를 갖는 RS485통신 모듈을 통해 측정된 데이터가 육상분석 장치로 전송된다.



그림 14. 수온 센서의 자료 전송 순서

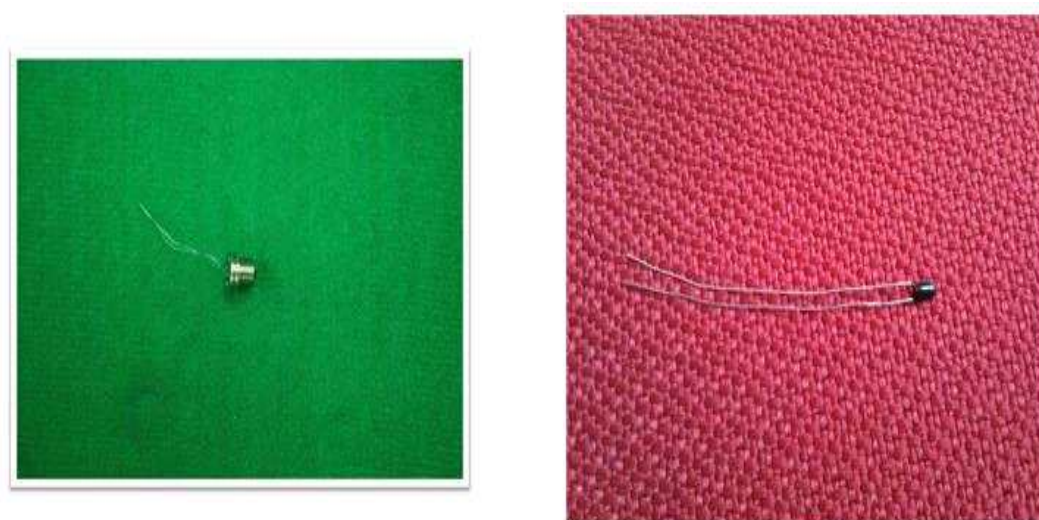


그림 15. 수온 센서 사진

(3) 케이블 조립체



그림 16. 케이블 조립체 사진

나. 육상분석장치

(1) 개요

육상에서부터 바다까지 약 700m 떨어진 구간에 위치한 9개의 센서들로부터 측정된 압력 및 온도 데이터를 수집하여 데이터 처리를 하고, 현재 파고의 높이 및 온도 데이터를 디스플레이 한다.

(2) 하드웨어

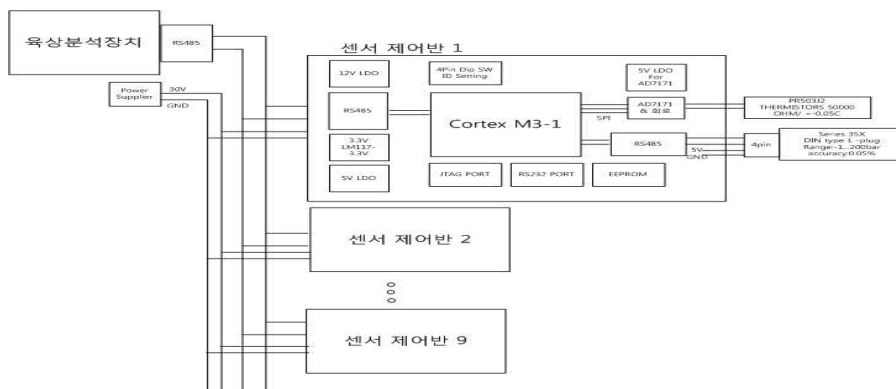


그림 17. 육상분석 장치 신호 전송 흐름도

- 컴퓨터



그림 18. 파고-수온 센서 케이블 컨트롤 PC

표 7. 파고-수온 센서 케이블 컨트롤 PC 사양

구 분	사 양
CPU	인텔 코어 i7-4세대 4770
RAM	삼성램 DDR3 8G PC3-12800
그래픽 카드	VGA 내장형
메모리	Seagate 1TB Barracuda ST1000DM003

- 전원



그림 19. Power supply

표 8. Power supply 사양

구 분	사 양
Input Voltage	1 1 0 / / 2 2 0 V ± % , 50Hz~60Hz
Source effect	$CV \leq 1 \times 10^{-4} + 3\text{mV}$, $CC \leq 2 \times 10^{-4} + 6\text{mA}$
Loard effect	$CV \leq 2 \times 10^{-4} + 3\text{mV}$, $CC \leq 2 \times 10^{-4} + 6\text{mA}$
Ripple & Noise	$CV \leq 0.5\text{mVrms}$
Protection	Current Limiting
Voltage Accuracy	Reading $\pm 1\%$ ± 1 digit
Current Accuracy	Reading $\pm 2\%$ ± 2 digit
Environment	Ambient Temperature : 0~40°C, Humidity: <90%

(3) 소프트웨어

- 저장 : READ버튼에 설정된 샘플링 주기마다 센서제어반에서 측정되어 들어온 데이터를 파일에 저장한다.
- 디스플레이: 압력 및 온도 데이터를 설정된 주기마다 센서제어반에서 수신된 로우데이터인 이진데이터를 가공하여 그래프에 표시한다.

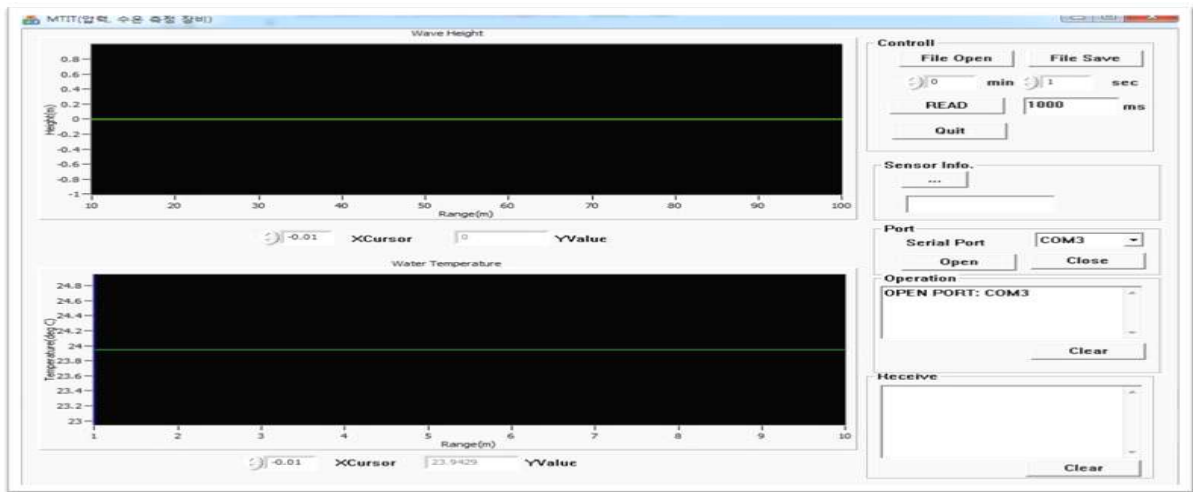


그림 20. Software UI

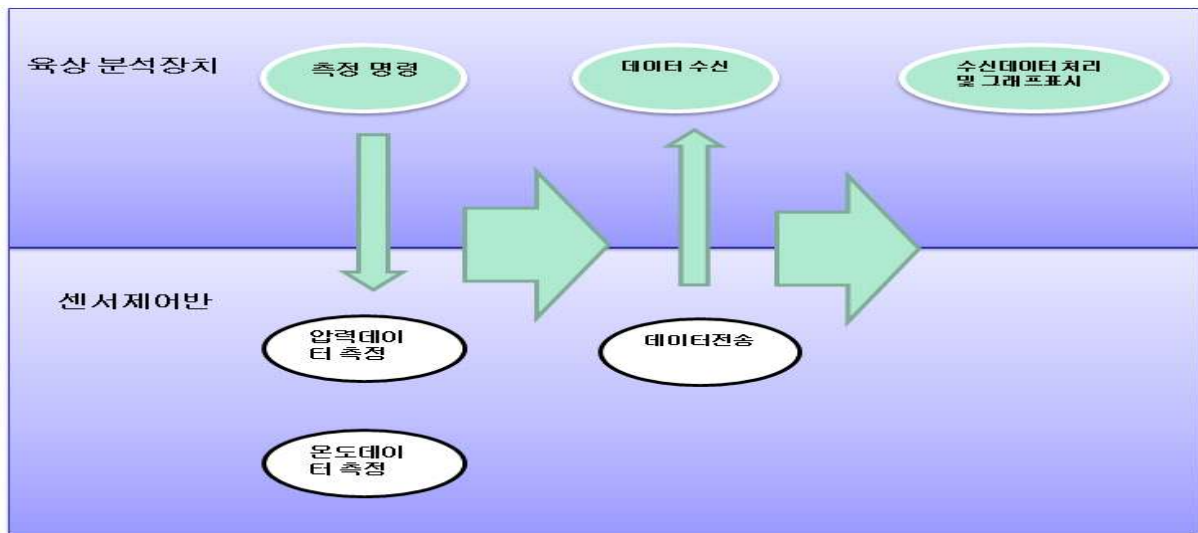


그림 21. 자료 처리 소프트웨어 흐름도

제 2 절 파고-수온센서 현장 설치 현황

1. 경북 울진 설치 결과

가. 파고-수온센서 케이블 설치

경북 울진군 한국해양과학기술원 동해연구소 앞 해역에서 파고/수온 센서가 달린 관측 케이블을 설치하였다(그림 22).

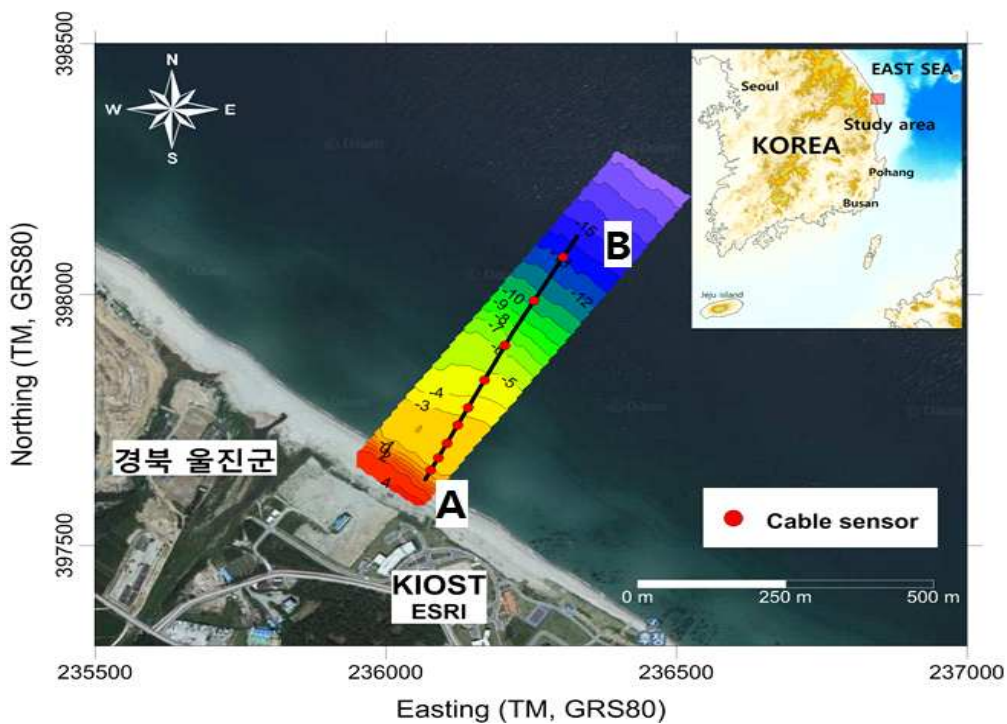


그림 22. 파고-수온센서 케이블 설치 위치와 수심

케이블 설치 전에 해저지형조사와 해빈지형조사를 통하여 케이블 센서 위치를 결정하고, 그림 23과 같이 9개의 파고센서를 설치한 케이블을 설치하였다.

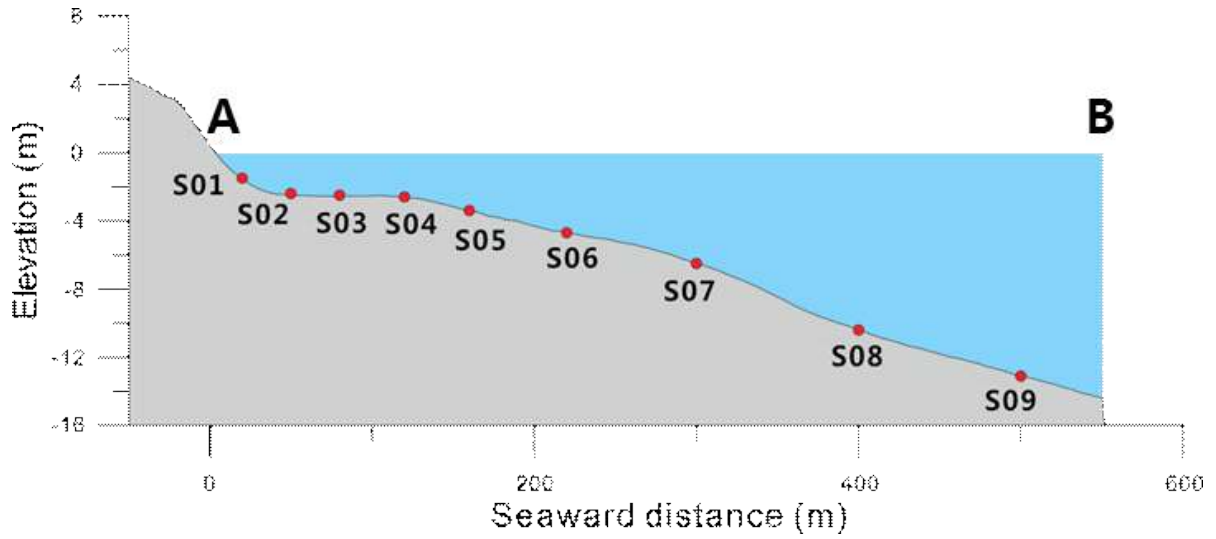


그림 23. 파고-수온 센서 케이블 설치한 위치의 수심 단면도

표 9는 파고/수온 센서의 해안선으로부터의 거리, 지형에서의 해당 수심 그리고 파고센서에 장착한 압력센서로부터의 수심을 표시하였다.

표 9. 파고-수온센서 설치 수심 및 해안선으로부터 거리 분포

파고센서	해안선으로부터 센서까지 거리 (m)	표고 (m)	압력센서에서 측정한 수심 (m)
S01	20	-1.5	측정값 불량
S02	50	-2.4	-
S03	80	-2.5	-
S04	120	-2.6	2.8
S05	160	-3.4	3.1
S06	220	-4.7	4.8
S07	300	-6.5	6.7
S08	400	-10.4	-
S09	500	-13.1	13.3

나. 파고/수온센서 케이블 운용

(1) 파고관측케이블에서 관측한 시계열 신호

각 센서별 파고변동 시계열 신호를 그림 24에 나타내었으며, 사선직선은 동일파봉의 시간/공간적 움직임을 대표적으로 표현한 것이다.

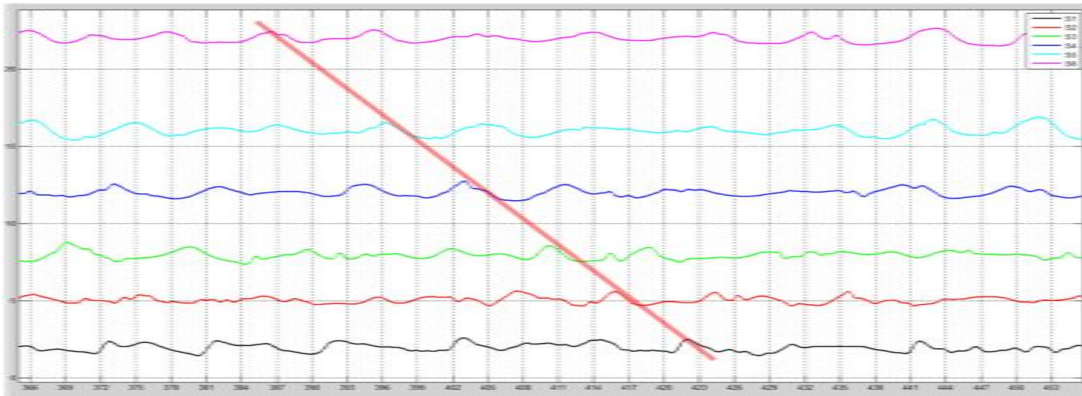


그림 24. 각각 파고 센서로부터 획득한 파고 신호 time series 자료

파고센서는 수십 미터씩 공간적으로 떨어져 있으므로 그 사이의 파랑을 추출하기 위해서 각 두 센서 간 가중평균을 1m씩 취하여 거리 1 m 간격으로 시계열 신호를 추정해내었다. 결과적으로 그림 25와 같이 표현되며, 마치 센서가 공간적으로 1m 간격으로 배열되어있는 것과 같은 효과를 보인다. 이로부터 한 시점에서의 공간파동을 보기 위해서는 세로 축을 취하면 공간적인 파랑형상을 추출하게 되는 것이다.

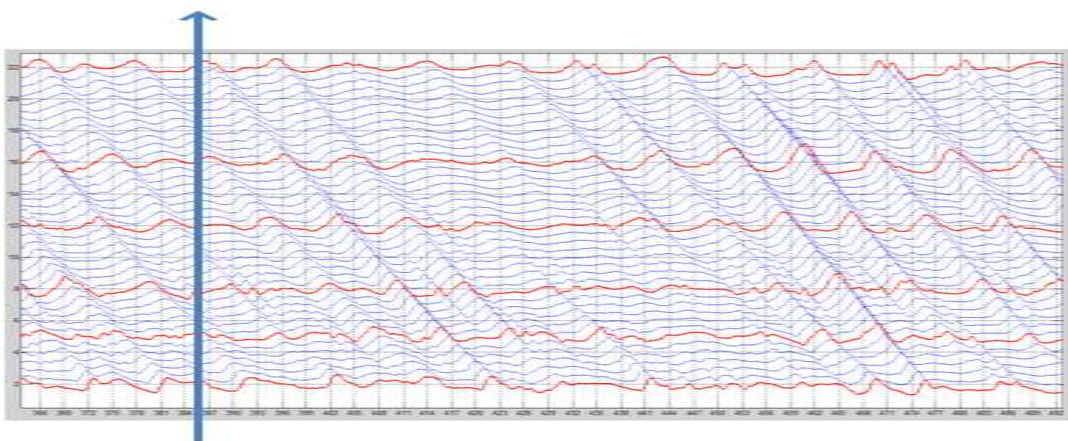


그림 25. 시계열 파고 자료에 대한 가중 평균 신호

(2) 센서별 시계열신호로부터 파랑의 공간분포 추출 결과

시간에 따른 파랑의 공간적인 분포를 그림 26에 나타내었다. 관측시간은 2013. 10. 18 16:10:00~16:10:12로 시간에 따라 파랑이 연안으로 이동하는 형태를 볼 수 있다(그림 26).

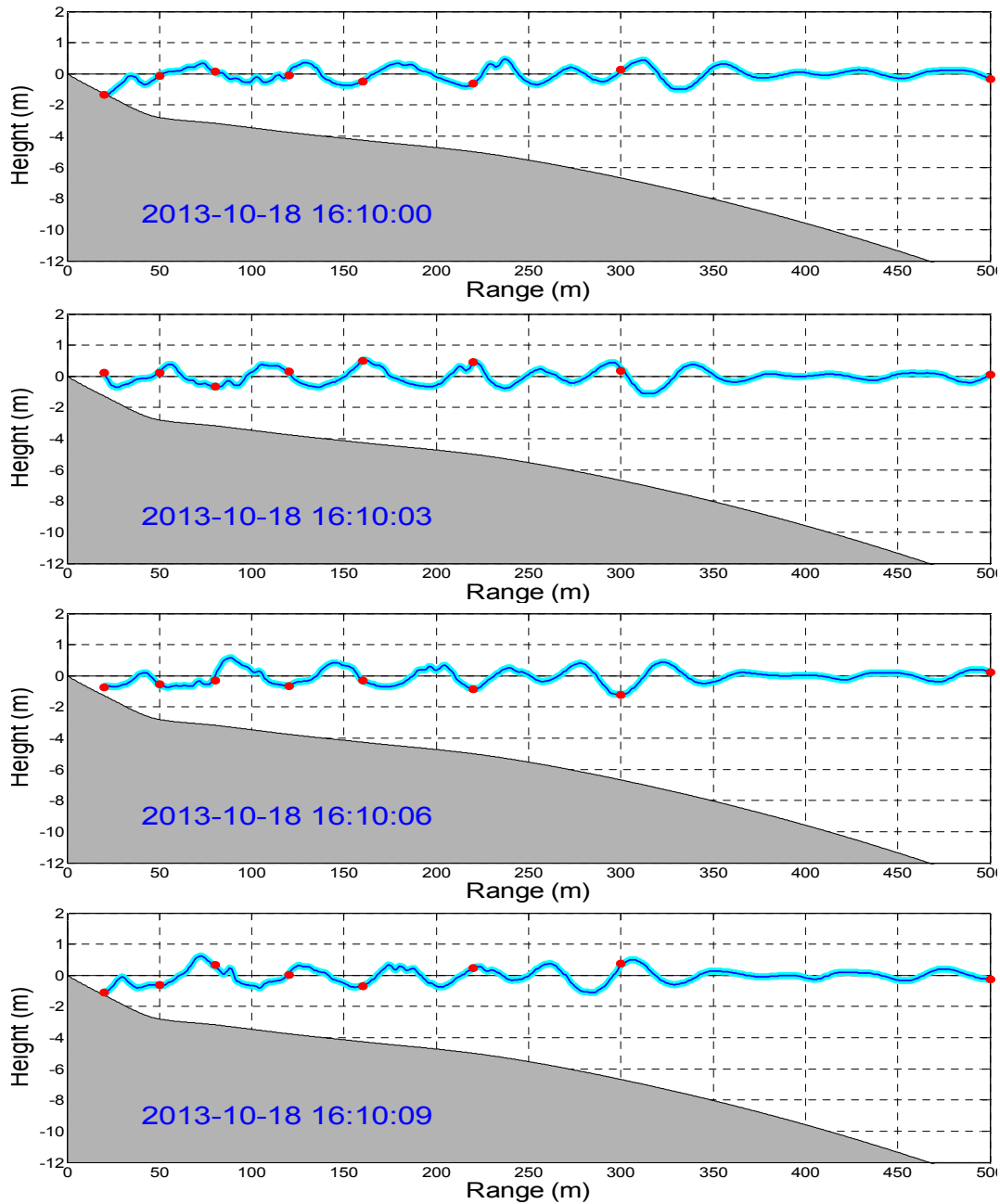


그림 26. 시간에 따른 파동 변화의 공간 분포

(3) LiDAR와 관측케이블의 파고자료 비교

지상 LiDAR는 일반적으로 레이저를 이용하여 육상의 3차원 지형값을 정밀하게 얻는데 사용된다. 넓은 지역의 정밀한 3차원 지형값을 빠른 시간 안에 얻을 수 있는 장점이 있는 반면에 물은 레이저를 흡수하여 측정이 불가능하다는 단점을 가지고 있다. 쇄파대의 파랑은 쇄파가 되면서 포말이 생기는데 이를 LiDAR가 감지하는 특성을 이용하여 파랑 관측이 가능하다. 파랑관측 케이블 옆에 LiDAR를 설치하여 약 15분 동안 파랑관측을 수행하였으며 (그림 27), 그림 28과 같은 파랑관측 단면도를 얻을 수 있었다.



그림 27. LiDAR를 이용한 파고 관측

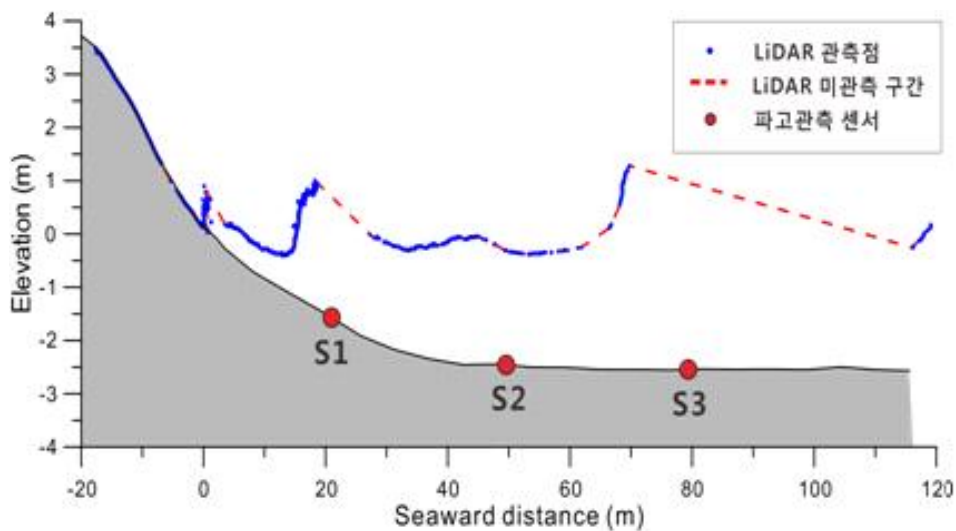


그림 28. LiDAR를 이용한 파고 측정 단면도

LiDAR를 이용하면 파랑이 왜곡되어 나타나는 포말의 위치가 거리와 높이의 값으로 얻어질 수 있으나, 감지할 수 있는 거리에 제한이 있어 이번 조사에서는 평균적으로 S02와 S03 사이까지 (해안선에서 약 70 m 떨어진 곳) 파랑관측이 가능하였다. 2013년 10월 18일 16시 42분 30 초~16시 44분까지의 LiDAR에 의한 파랑관측값과 파고센서에 의한 파랑관측값을 비교하였는데, 그림 29는 센서 S01 (수심 약 1.5 m)에서의 관측값 비교이며, 그림 30은 센서 S02 (수심 약 2.4 m)에서의 관측값 비교이다.

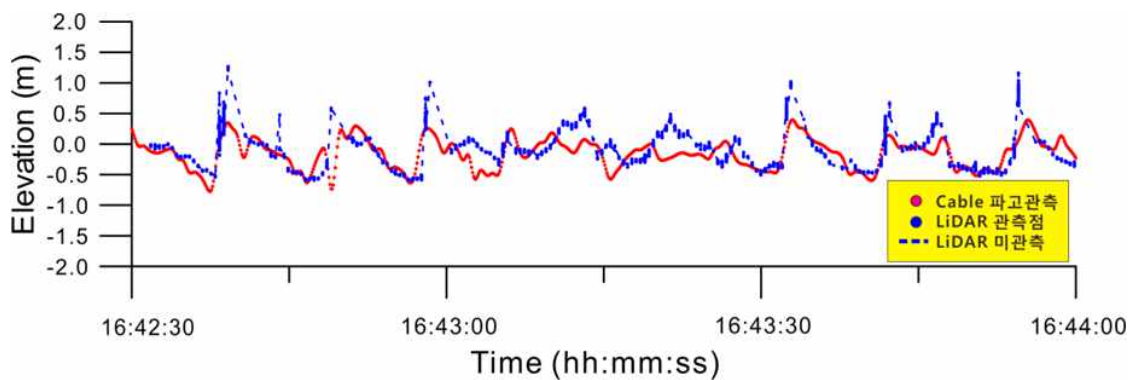


그림 29. S01 지점에서 압력 센서(적색선)와 LiDAR(청색 선)의 파고 측정 값 비교

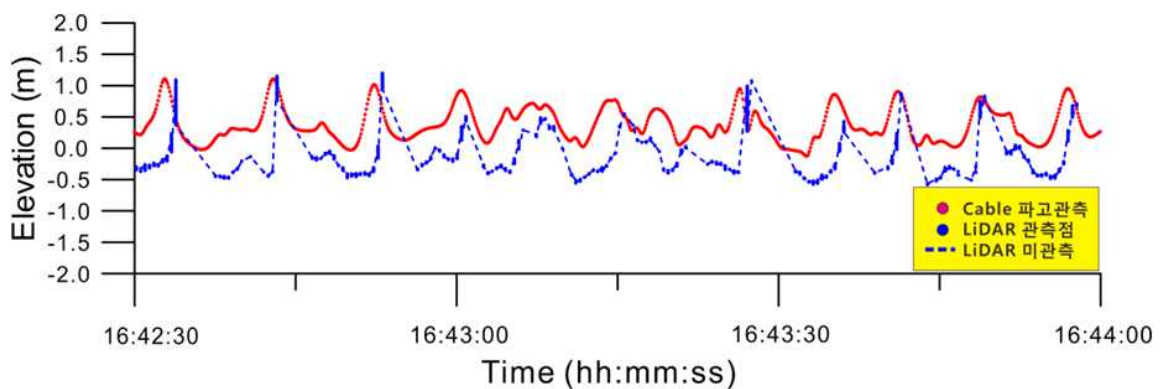


그림 30. S02 지점에서 압력 센서(적색선)와 LiDAR(청색 선)의 파고 측정 값 비교

두 그래프에서 파랑관측값의 같은 위치의 파동을 가지고 있음을 보여주며, S01의 파랑은 LiDAR에 의한 파랑과 거의 유사한 값 (상관계수 0.6)값을 가지고 있는데 반하여 S02의 파랑은 LiDAR의 파랑과 약 0.4

m의 오차를 보인다(상관계수 0.41). 이를 보정하기 위하여 S02 센서의 정확한 설치수심을 확인할 필요가 있다. LiDAR에 의한 파랑관측은 쇄파의 포말을 탐지하는 방법이므로 실제 파랑의 높이와 차이가 있을 수 있으나 파동의 형태로 케이블 파랑관측값을 검증할 수 있었다.

(라) 파고/수온 관측케이블 자료의 공간 분포 비교

그림 31은 2013. 10. 18. 16:42:29에 파고 관측케이블과 LiDAR 관측자료이다. 관측된 파고 자료를 이용하여 파의 공간 분포를 파악하고, LiDAR 자료와 비교하여 파봉의 공간적 위치가 일치하는 것을 확인하였다. 파 형상의 공간상 분포를 보면 220 m에서 장파(저주파) 형태이고, 수심이 낮은 연안역으로 접근하면서 단파(고주파)가 발생하였다.

그림 31. 압력 센서 (위쪽) 및 LiDAR (아래쪽)의 파고 측정 데이터의 단면도

(4) 해저면 수온 자료 분석

파고/수온케이블의 수온 자료와 물리 부이의 수온 자료 중 2013. 10. 18. 16:00 ~ 16:40 자료를 20분 간격으로 비교하였다. 연안에서 센서 4번 (거리 120 m, 수심 2.6 m) 까지는 저층 수온이 일정하게 나타나고, 센서 5번(거리 160 m, 수심 3.4 m)과 센서 6번(거리 220 m, 수심 4.7 m)에서는 10분 간격으로 미세하게 차이를 보였다. 물리 부이에서 측정한 자료와 비교하여 동일한 수심에서 비슷한 수온 값을 확인하였다(그림 32).

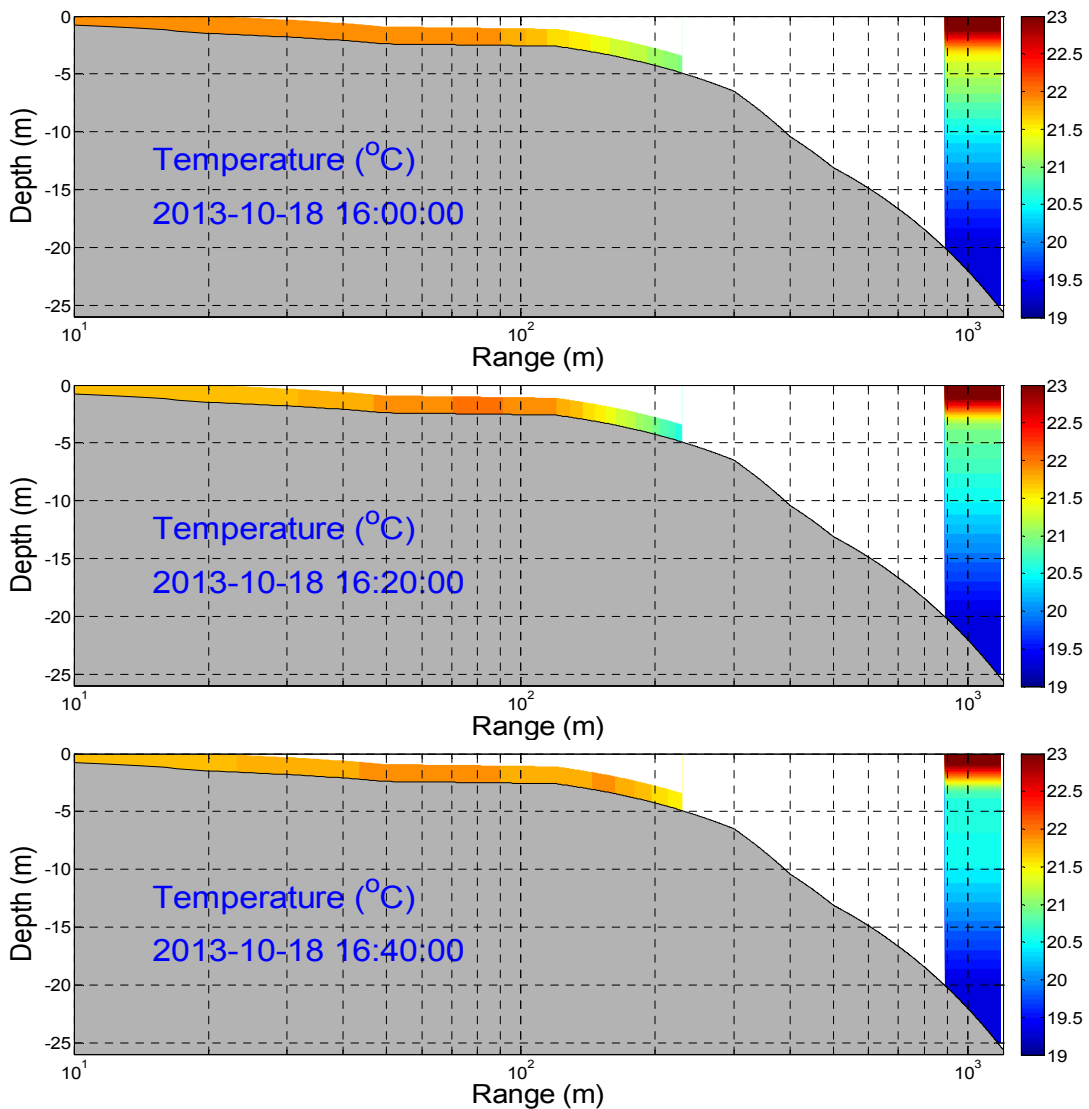


그림 32. 센서 케이블과 해양 계류 부이에서 측정한 수온 값 비교

2. 부산 해운대 인근해역 파고관측 현장실험 현황

가. 해운대 해수욕장 해역 파고관측 개요

관할해역 중에서 해운대해수욕장은 파랑에 의한 해빈 침식 및 이안류가 형성되는 해역이다. 파고관측 케이블의 실패역 적용을 위해 파고 관측이 중요한 부산 해운대해수욕장 해역에서 파고관측을 수행하였다. 해운대 해수욕장에서는 파고/수온 케이블, 파고계, ADCP를 설치하여 운용하였다(그림 33).



그림 33. 해운대 해수욕장 인근 파고-수온 관측 개념도

나. 해운대 해수욕장 해역 파고센서 관측 케이블 설치 및 자료 분석

해저지형조사 결과를 기반으로 2014. 09. 16~18일까지 해운대 해역에서 파고센서 케이블을 현장에 설치하였다(그림 34). 부산 해운대해수욕장 부근 해역에서 파고관측 케이블은 해빈을 기준으로 500m까지 설치하였다. 표 10에는 파고센서의 해빈~센서 거리, 케이블 압력센서로 관측한 수심, 파고센서 주변 케이블에 장착한 depth meter의 수심이 동일하게 나타났다.



그림 34. 파고 케이블의 설치 사진

표 10. 파고-수온 센서 케이블의 설치 수심

파고센서	해빈~센서 거리 (m)	cable 수심 (m)	Depth meter 수심 (m)
S01	20	-1.5	-1.5
S02	50	-2.7	
S03	80	-4.0	-3.9
S04	120	-5.8	-
S05	160	-7.0	7.0
S06	220	-7.9	
S07	300	-8.8	-8.7
S08	400	-9.4	
S09	500	-9.4	-9.4

다. 파고관측케이블과 수심계 자료 비교

파고 관측케이블의 센서 검정을 위해서 파고관측케이블 1, 3, 5, 7번에 각각 수심계(RBR, depth meter)를 부착하여 관측 자료를 비교하였다 (그림 35). 파고관측케이블 파고값과 수심계 파고값의 상관계수는 0.99로 일치하였다. 이를 통하여 파고관측케이블의 측정값에 대한 검정을 완료하였다.

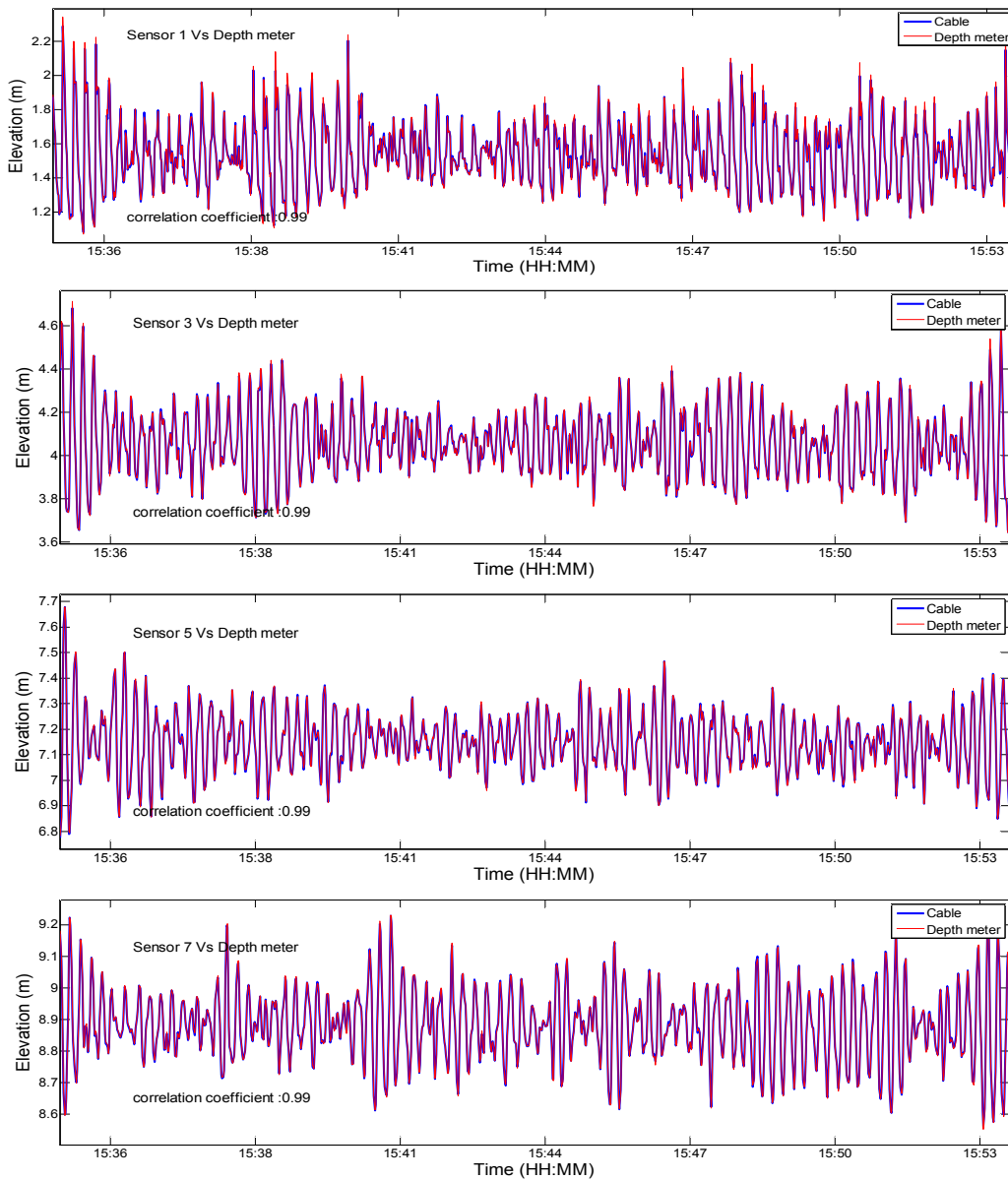


그림 35. 파고케이블 및 수심계(RBR)의 관측 값 비교

라. 파고관측케이블 관측 자료의 시공간 변화

2014년 9월 16일 해운대 해수욕장에서 관측한 파고 자료를 보면 빨간 점은 파고센서의 관측 자료이고, 파랑실선은 센서 자료로부터 1m 단위로 유추한 파고 자료이다. 측정 자료와 유추한 자료가 일치하였으며, 시·공간적으로 파도의 형상을 잘 재현하고 있다(그림 36).

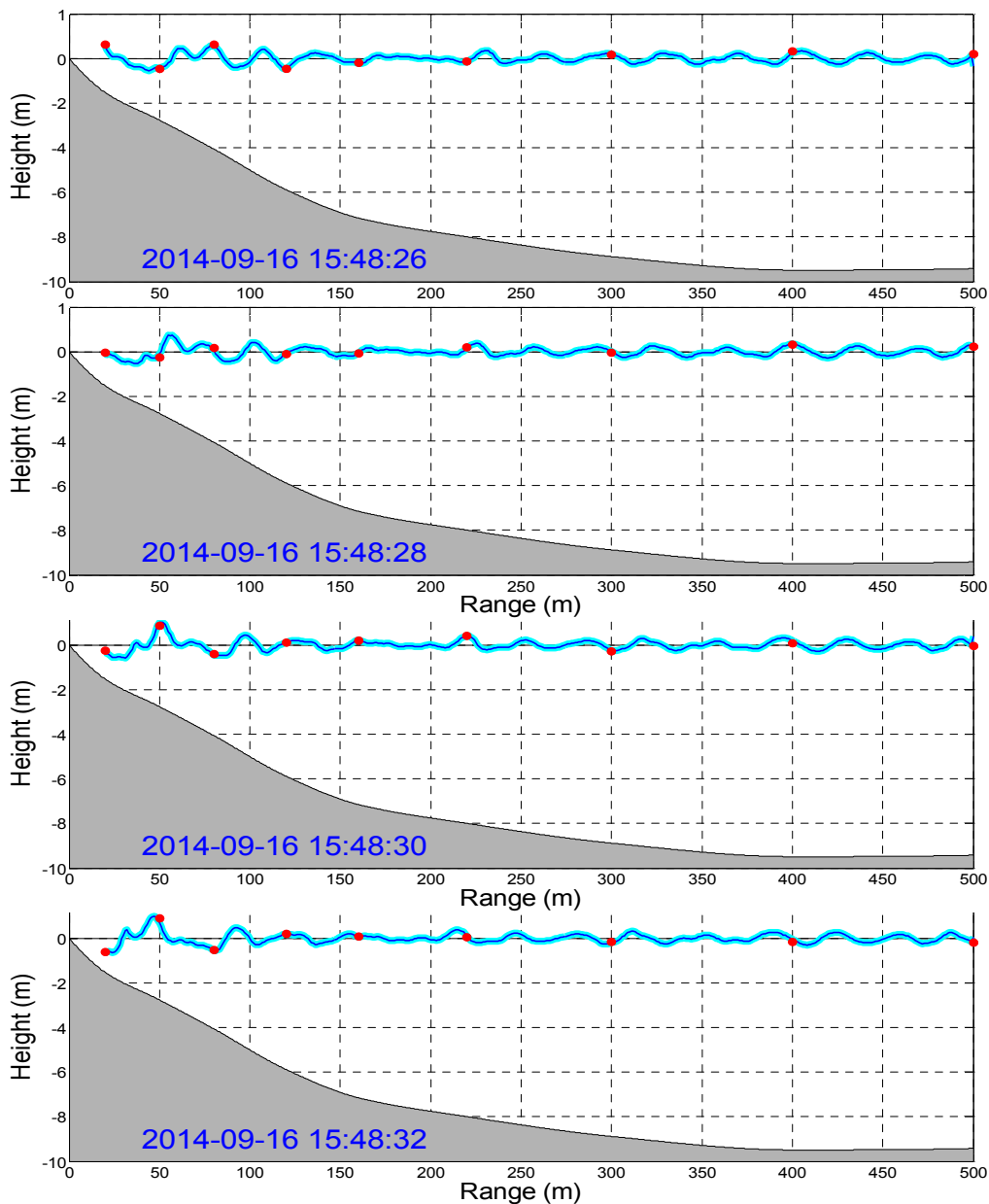


그림 36. 해운대 해수욕장에서 관측한 파고 자료(2014. 9. 16)

제 3 장 기술 실용화를 위한 연구수행 내역

제 1 절 기술이전 기업과 협력 방안

1. 기술이전 기업과 협력 방안

○ 기술이전 기업과 협력 방안 1차 논의

- 일시 : 2016. 04. 28
- 과제착수보고 및 기술이전 협력 기업인 KIMS UBQ와 기술이전 협력 1차 논의
- 기존 기술에 대한 설명 및 기술 이전 후 활용방안 등에 관한 논의

○ 기술이전 기업과 협력 방안 2차 논의

- 일시 : 2016. 07. 13
- 기존 시제품의 고도화를 위한 자재 및 디자인 등 논의
- 유사 제품의 활용 방안 토의
- 기존 프로그램에 대한 업그레이드 방안 논의
- 고강도 신호케이블 및 센서부 샘플 결정(그림 37)
- 목표 인장강도 성능인 5톤을 견딜 수 있는 재료 및 디자인 결정
- 인장 강도가 높은 아머드 케이블을 사용하기로 결정
- 인장강도가 약한 커넥터 부분에 대한 고강도를 위한 디자인 결정



고강도 신호 케이블 센서부 샘플



고강도 신호 케이블 샘플

그림 37. 고강도 신호 케이블 센서부 및 신호 케이블 샘플

2. 파고-수온 관측 케이블 시스템 기능 고도화 방안

- 파고-수온 관측 케이블 시스템 기능 고도화
 - 파고-수온 케이블 고도화를 위한 커넥터 및 아머드 케이블을 이용하여 설계 및 제작
- 파고 및 수온 관측자료 신호처리 하드웨어 성능 개선
 - 전용 컴퓨터 성능 개선 및 신호처리 PCB 수정을 통한 하드웨어 성능 개선 완료
- 파랑 실시간 재현 알고리즘 탑재 시스템 운용 프로그램 고도화
 - 알고리즘 업그레이드 연구를 통한 운용 프로그램 업그레이드 수행
- 고파랑 환경 하에서 “고강도 선배열형 파고-수온 관측 케이블 시스템” 현장 시험은 실행예산 부족으로 시제품 제작 불가능
 - 9개 센서 결합을 위해서는 약 3억 원 이상이 필요함
 - 따라서 센서 1개 결합체를 완성하여 센서 성능시험으로 대체하기로 결정하였음
- 기술실용화 가능성 확인
 - 2차에 걸친 실용화 토의를 통한 기술이전 확인 완료

제 2 절 기술이전을 위한 연구 수행 내역

1. 기술의 완성도

가. 연구개발을 통한 정량적 기술 스펙

파고-수온센서 케이블 고도화 사업을 통하여 표 11과 같이 정량적 기술 스펙을 완료하였다.

인장강도는 목표 5톤을 완료하였으며, 수밀안정 허용 심도는 목표 200m보다 2배 이상 높은 500m를 달성하였다.

실시간 파랑재현 프로그램 개발 분야에서는 수심별 파속 계산을 적용한 고도화된 알고리즘을 적용하여 현실에 가까운 자료를 획득할 수 있도록 하였다. 그리고 2월 현재 기술이전 협약이 완료된 상태로 기술료 지급 예정이다.

표 11. 연구개발을 통한 정량적 기술 스펙

성과지표	구체적 내용	목표	최종지표
기술스펙 (구체적 물성)*	파고-수온 관측케이블 선형성 유지 인장강도 [톤]	5톤	인장강도 : 5톤 파장강도 : 10톤
	복합센서 수밀안정 허용 심도 (m)	200 m	500 m
	실시간 파랑 재현 알고리즘	실시간 파랑재현 프로그램 개발	알고리즘 적용 완료
기술이전(건)*	1건	1건	과제 종료 후 1건
기술료수입(백만원)*	50백만원	50 백만원	과제 종료 후 기술료 지급 예정
특허(건)	신규특허 창출	1건	1건
기술개발/개량(건)	기존 시제품 성능 보완 및 고도화	1건	1건

나. 선형성 유지 및 인장강도를 위한 형상 설계

인장강도 5톤 이상을 견디기 위한 아머드 케이블 및 커넥터 부분 연결부를 고려한 타원형의 형상으로 설계하였다(그림 38). 복합센서 수밀 안정성 허용 심도 목표 200m보다 깊은 500m로 제작하였다.

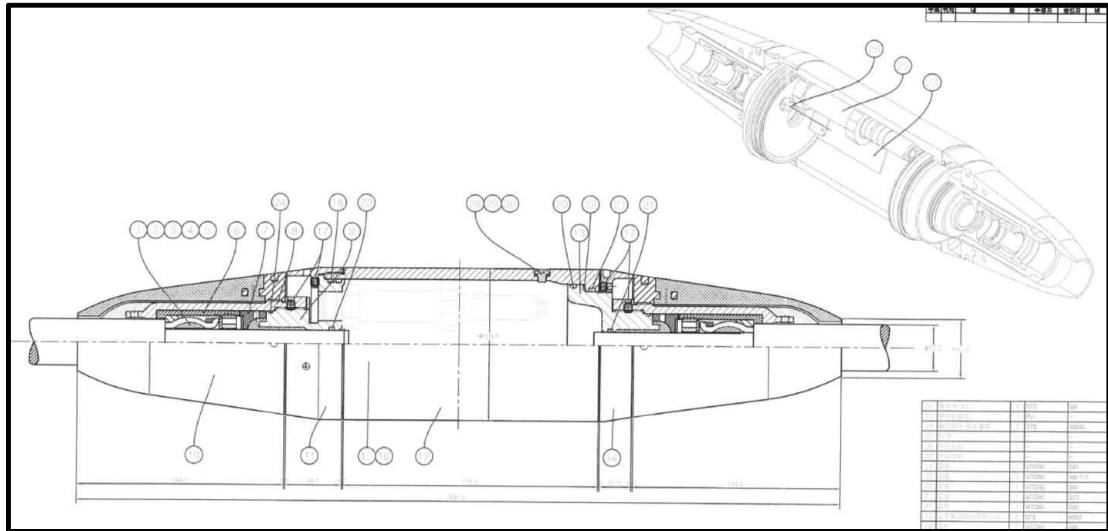


그림 38. 고도화를 위한 형상 설계 도면

다. 파고-수온 관측케이블 고강도 시스템 제작 완료

표 12를 보면 기존 인장강도 0.5톤에서 개발된 시제품은 5톤의 성능 향상을 하였다. 기존에 대비하여 2~10배 이상의 성능이 향상되었다(그림 39, 40).

표 12. 파고-수온 관측케이블 고강도 시스템 제작 완료 스펙

구분	기존	최종지표	개발품 성능
케이블	일반신호케이블 : 인장강도 0.5톤, 파장강도 1.0톤	인장강도 : 5 톤 파장강도 : 5 톤	아머드케이블 인장강도 5톤, 파장강도 10 톤
커넥터	스테인레스커넥터 인장강도 0.3 톤, 파장강도 0.6 톤	인장강도 : 5 톤 파장강도 : 5 톤	티타늄 커넥터 : 인장강도 5 톤, 파장강도 10 톤
센서 하우징	스테인레스 하우징 : 한계수심 50m	한계수심 : 200 m	SUS 하우징 : 한계수심 500m



그림 39. 기존 센서 하우징 및 케이블



그림 40. 고강도 케이블 고도화가 적용된 센서

라. 실시간 파랑 재현 알고리즘 적용한 프로그램 고도화 수행

현실적인 파랑 재현을 위한 알고리즘 수정 후 프로그램 업그레이드를 수행하였다.

- 천해파 파속 계산식

$$c = \sqrt{gD} , \quad c=\text{파속}, g=\text{중력가속도}, D=\text{수심}$$

기존 파랑 재현 알고리즘에서는 각 센서에서 파속을 천해파 파속을 균속도로 계산하여 적용하였다. 다시 말해서 측정해역에서 이동하는 파랑의 파속을 동일하게 적용하여 계산하였다.

위 방법은 균속도 개념으로 접근하면 문제가 없으나, 연연역은 수심이 급격하게 변화하므로, 수심별 파속이 상이하게 나타난다. 이를 보완하기 위하여 파랑 재현 알고리즘을 각 수심별 파속을 구하여 알고리즘에 적용하였다(그림 41).

그림 42는 실시간 파랑 재현 알고리즘이 적용된 운용프로그램의 결과를 나타낸 것이다. 수심이 낮아지는 쇄파대로 이동하면서 파고가 높아지는 일반적인 현상을 잘 재현하고 있다.

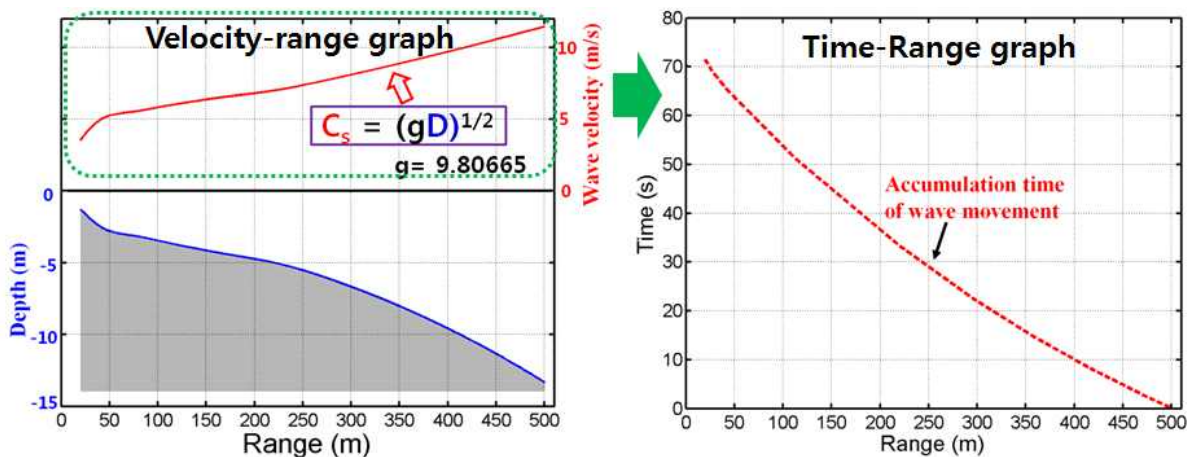


그림 41. 수심별 파속 계산 그래프

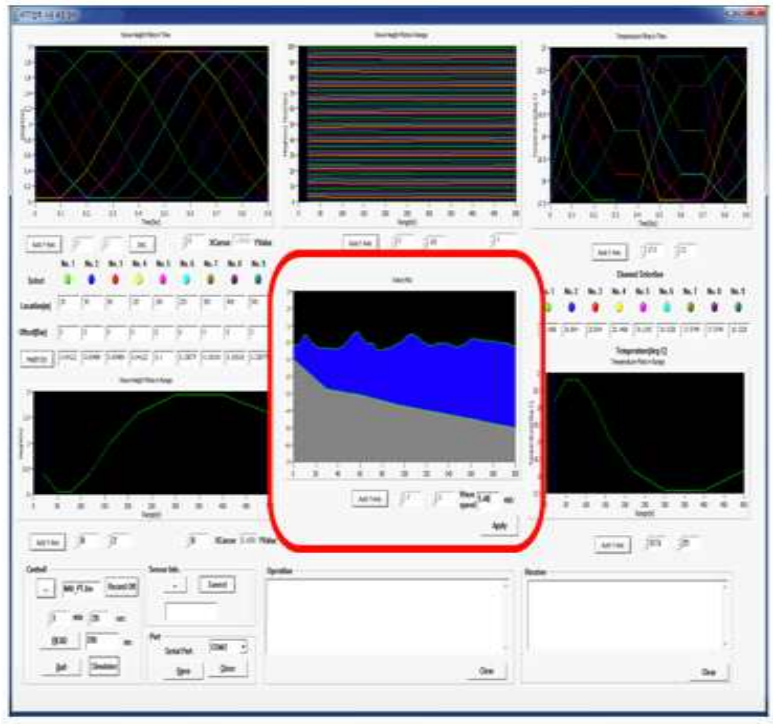
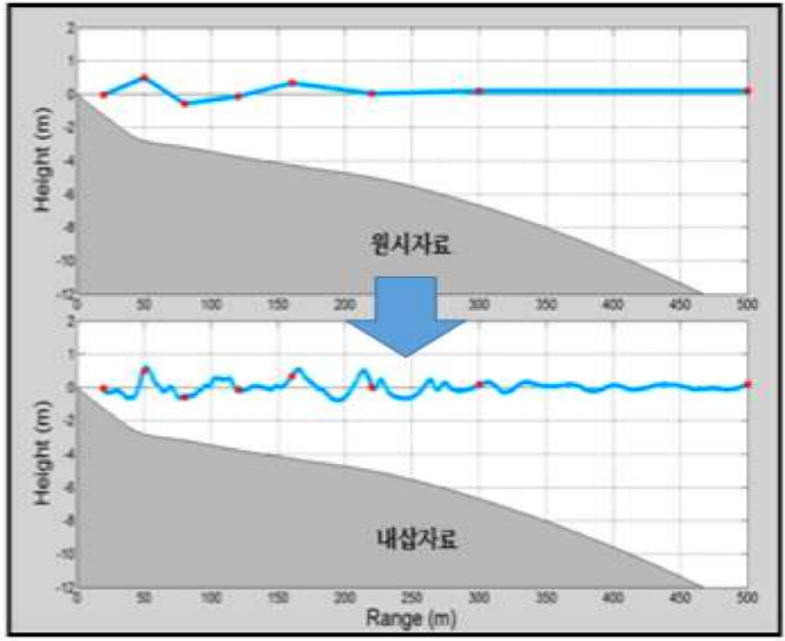


그림 42. 실시간 파랑 재현 업그레이드 알고리즘이 적용된 운용프로그램

제 3 절 연구결과의 우수성

□ 고파랑 환경에서 관측 가능한 시스템으로 고도화 수행

- 현장 관측 운용수심 10배 증가된 한계수심 500m로 제작됨
- 인장강도 및 파장강도의 고도화로 고파랑 환경에서도 신호케이블 손상 없이 운영 가능
- 선배열 파고-수온 관측 시스템의 고도화를 통한 장기간 연속 관측 가능

□ 실시간 파랑재현 알고리즘 고도화 수행

- 파랑 재현을 위한 기존의 알고리즘에서 파속을 균속도로 계산
- 수평적으로 진행되는 공간적 파랑 재현을 위하여 각 수심별 파속을 계산한 파고 재현 알고리즘 적용

□ 선배열형 파고-수온 관측 시스템은 KIOST에서 최초로 개발한 기술

- 국내 및 세계적으로 최초로 개발한 시스템으로 기술
- 국내특허 2건, PCT 출원 1건, 국외발표 1건
 - 선배열형 파고 및 해저면 수온관측 장치 (출원번호 : PCTKR2014008567)
 - 선배열형 파고 및 해저면 수온관측 장치 (출원번호 : 10-1431120)
 - 선배열형 파고 관측 장치 (등록번호 : 10-1548221)
 - CWTM 2015 국제 학회 발표 (2015. 03)
“Real-time measurements of wave heights using the cable type wave monitoring system in shallow waters”

□ 기존 관측 방법과 차별성

○ 기존 관측 방법

- 연안에서 부이를 이용한 점조사 방식으로 진행됨
- 센서 배치의 불연속성으로 인한 파고 자료의 시공간적인 불일치 현상 발생 (시간 동기화 어려움)
- 고정식, 단일 센서, 실시간 통신 문제 발생(기상 및 통신 네트워크 이유)

○ 기존 관측 방법과 차별성

- 선배열 형태로 구현하여 연안에서 실시간 관측 가능
- 여러 개 센서의 시간동기화 가능으로 시공간적인 양질의 자료 획득 가능

○ 본 기술의 우수성

- 센서 사이의 파고 값을 계산하는 알고리즘 국내외 최초 개발
- 가중평균기법을 이용하여 다수의 센서를 배치한 효과 도출

제 4 장 활용가능성 및 파급효과

1. 연구결과의 활용성 및 실용성

□ 활용방안

- 해저에 광역적으로 매설되는 장거리 해저케이블(예:광케이블, 수중 음향케이블 등)과 결합하여 설치 또는 단독으로 설치시 파고 및 쓰나미 관측을 위한 센서의 효율적인 거리별 배열안을 결정할 때 필요한 기술이 될 수 있음.
- 기존의 부이를 이용한 점(point) 조사 방식의 시간적 파고 관측을 시공간적 관측으로 변환하고자 하는 경우에 필요한 기술이며 연안 침식 모니터링을 위하여 쇄파대에서 시공적인 파고를 관측할 때 유용한 기술이 될 수 있음.
- 원자력 발전소 가동으로 인한 온배수가 해지면 수온환경 변화에 미치는 영향을 시공간적으로 실시간 모니터링할 경우 본 기술이 적용될 수 있음. 원자력 발전소 쓰나미 피해 모니터링에도 적용할 수 있음.

2. 해당 기술의 기술적 파급효과 및 기대효과

□ 기대성과

- 파고-수온 관측 케이블 시스템 고도화 기술 개발과 실용화 연구를 통한 기업체 기술 이전 및 기술료 창출 기대
- 기술이전 대상업체와의 협력하여 기술이전 확대를 위한 국가연구 개발 사업 추진 기대

3. 연구결과에 대한 기업 만족도 및 사업화 계획

□ 기업 만족도

- 기존 시제품보다 인장강도 및 수밀안정 허용 심도가 10배 이상 증가하였으며, 이를 이용한 제품 생산이 가능할 것으로 판단하였음.
- 현재 제품은 정부주도 사업을 통한 시스템 활성화가 필요할 것으로 판단됨.

□ 사업화 계획

- 현재 원자력 발전소 및 한국수자원공사 등과 원전감시체계에 관한 사업 제안하여 협의 중에 있음.
- 정부 부처 간 협력사업 등에 선배열형 파고-수온 관측 케이블 시스템을 제안하였으며, 사업화 추진을 위하여 노력하고 있음.

주 의

1. 이 보고서는 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.