

초고해상(2MHz급 이상)의 소나 개발을 통한 수중구조물 무인 안전진단 시스템 개발 최종보고서

2018.08.02.

주관연구기관 / (주)다음기술단
공동연구기관 / 세종대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'초고해상(2MHz급 이상)의 소나 개발을 통한 수중구조물 무인 안전진단 시스템 개발'(연구개발 기간 : 2015.06.23.~ 2018.06.22.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2018 . 08. 03.

주관연구기관명 : (주)다음기술단

(대표자) 박 철



공동연구기관명 : 세종대학교 산학협력단

(대표자) 김 선



주관연구기관책임자: 박 철

공동연구기관책임자: 이 종 재

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	17CTAP-C09786 7-03	해당 단계 연구 기간	2017.06.23. ~ 2018.06.22.	단계구분	3/3 (해당단계)/(총단계)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	사회이슈해결			
연구과제명	대과제명	초고해상(2MHz급 이상)의 소나 개발을 통한 수중구조물 무인 안전진단 시스템 개발			
	세부과제명	초고해상(2MHz급 이상)의 소나 개발을 통한 수중구조물 무인 안전진단 시스템 개발			
연구책임자	박 철	해당단계 참여 연구원 수	총: 12 명 내부: 12 명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부:300,000천원 기업:116,000천원 정부 외: 천원 계:416,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 12 명 내부: 12 명 외부: 명	총 연구개발비	정부:900,000천원 기업:335,000천원 정부 외: 천원 계:1,235,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)다음기술단 부설연구소			참여기업명 (주)다음기술단	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
요약				보고서 면수	
본 연구는 『초고해상(2MHz급 이상) 소나 개발을 통한 수중구조물 무인 안전진단 시스템 개발』임. 세부적으로는 2MHz급 고주파수 소나장비 개발 및 파랑에 영향이 적은 점검장비를 개발하고, 객관적이고 체계적인 소나데이터 이미지 프로세싱을 통한 무인 수중구조물의 건전성을 평가하는 기술을 개발				103 면	

〈 국문요약문 〉

연구의 목적 및 내용	수중 구조물 점검용 초고해상(2MHz급) 소나 및 안전진단 시스템 개발 • 2MHz급 이상 초고주파수 수중구조물 점검용 소나장비의 개발 • 고해상도 소나 전용 스마트 전동 프레임 개발 • 수중 구조물 DB 구축을 통한 손상을 검출하는 손상 분석 프로그램개발 • 2MHz급 이상 소나장비를 이용한 수중점검에 대한 매뉴얼 개발				
연구개발성과	• 2MHz급 이상 초고해상 소나 개발을 통하여 추가 잠수 조사 없이 미세 손상파악이 가능한 무인 안전진단 시스템 • 수심 20m 이상 가능한 고해상도 소나전용 스마트 전동 지그 및 프레임 • 너울 및 파랑에 의한 영상 왜곡 보정 프로그램 • 객관화 된 수중구조물 손상 검출 프로그램 및 DB 구축 • 현장검증 및 매뉴얼 개발				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	• 수중구조물의 상태평가 및 구조적 건전성을 파악하는 획기적인 시스템 제공 • 기존 수중구조물 점검 장비기술에서 초고주파수 침단 소나 장비 개발로 세계적인 기술 수준 확보 • 교량을 포함한 주요 댐, 제방, 항만시설물 등의 주요 구조물에 대한 건전성 감시에 적용 가능 • 국가적인 차원에서 교량을 비롯한 핵심시설의 사용성 안전성을 확보 • 사회간접자본의 수명 연장에 따른 경제성 제고 • 잠수부 수중조사에 비한 안전성과 객관성 확보				
핵심어 (5개 이내)	고해상도	소나	수중구조물	안전진단	재해방지

＜ SUMMARY ＞

Purpose & Contents	Development for Sonar(over 2MHz) and safety inspection system in underwater structure • Development of Sonar equipment super high frequency (over 2MHz) for underwater structure inspection • Development of Smart electric jig and frame for super high frequency Sonar • Development of analysis program for damage detection through construction database of underwater structure • Development of Inspection manual for using Sonar(over 2MHz)				
Results	• Unmanned safety inspection system that is possible to detect tiny damage in underwater structure without additional diver inspection • Smart electric jig and frame possible to use over 20m depth of water only for Sonar(over 2MHz) • Development of program for Sonar image distortion correction by wave and heaving • Objectified analysis program for damage detection and construction database of underwater structure • Test-bed and development of Inspection manual				
Expected Contribution	• Innovative system for condition evaluation and structural safety in underwater structure • Core technology secure such as world class technology through development of super high frequency Sonar • It is possible to apply any underwater structure such as bridge, dam, harbour etc for safety inspection • Increase of safety and serviceability for SOC (social overhead capital) • Increase economic efficiency as improving structural performance and structural life • It is ensure the safety and objectivity in comparison with diver inspection				
Keywords	High-resolution	SONAR	UNderwater Structure	Safety Insoection	Hazard Prevention

< SUMMARY >

1. Introduction of the research project	7
2. Status of the developments	14
3. Contents and results of the research project	18
4. Achievement and level of contribution	86
5. Plans for application of results	89
6. Previous report about related technologies	95
7. Security level of the results	99
8. Status of the equipments on NTIS	100
9. Information about safety	101
10. Representative results of the project	102
11. Additional notes	104
12. Reference	105

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	7
2. 국내외 기술 개발 현황	14
3. 연구 수행 내용 및 성과	18
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	86
5. 연구개발성과의 활용 계획	89
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	95
7. 연구개발성과의 보안등급	99
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	100
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	101
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	102
11. 기타 사항	104
12. 참고 문헌	105

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

가. 연구개발 최종목표

본 연구에서는 2MHz급 고주파수 소나장비 개발 및 파랑에 영향이 적은 점검장비를 개발하여, 객관적이고 체계적인 소나데이터 이미지 프로세싱을 통한 무인 수중구조물의 건전성을 개발하고자 하는데 목적을 둔다. 본 연구개발 목적을 달성하기 위한 최종목표는 『초고해상도(2MHz급 이상) 소나 개발을 통한 수중구조물 무인 안전진단 시스템 개발』이며, 최종목표를 달성하기 위한 주요 요소기술은 아래와 같다.



그림 2.1.1 연구개발의 목표

나. 최종목표의 성격 및 설정근거

- 초고주파수 소나장비 개발
 - 내용 : 2MHz급 이상 고주파수 수중구조물 점검용 소나장비의 개발
 - 현황 : 기존에는 저주파수(400kHz, 1250kHz) 소나장비가 주로 사용됨
 - 필요 : 현재 수중구조물의 국부적인 미세손상(3cm 이하)은 파악하기 어려움. 수중환경에서 구조물은 세굴 및 단면손상 뿐만 아니라 다양한 손상이 발생하며, 국부적으로 발생하는 미세한 손상의 경우 높은 해상도로 확인이 필요함. 구조물 건전성평가의 정확도 향상이 기대됨
- 고해상도 소나전용 스마트 지그 프레임
 - 내용 : 파랑에 영향이 적은 무인 스마트 지그 프레임 장비 개발
 - 현황 : 기존에는 수중점검용 소나 장비는 보트와 일체형 이거나 와이어 등을 이용한 예인식으로 운용되며, 파랑 및 보트운전 미숙 등의 영향으로 영상 왜곡이 발생됨. 따라서 소나를 이용하더라도 손상 의심부에 대해 정확한 손상파악을 위하여 잠수부가 투입되는 실정임

-
- 필요 : 고해상도 소나 이용 시 기존 소나 이용보다 촬영거리가 가까워지며, 초고주파수 Towfish에 적합한 전동지그 개발이 필요하며, 파랑에 영향이 적고, 부정확한 데이터를 상쇄시키는 장비 개발이 필요
 - 수중구조물 손상 검출 프로그램 개발
 - 내용 : 수중 구조물 DB 구축을 통하여 손상을 검출하는 자동 손상 분석 프로그램 개발
 - 현황 : 기존에는 소나장비로 인식된 화면에서 손상 의심부를 잠수부가 확인하고 수기로 야장을 기입하는 상태
 - 필요 : 수중구조물 손상에 대하여 DB구축을 바탕으로 보다 객관적이며 신뢰성 있는 조사를 위해 자동 손상 검출 프로그램 개발이 필요. 외관조사망도와 손상물량파악이 가능하며, 이를 통해 보다 정밀한 점검을 할 수 있을 것으로 기대됨
 - 현장검증 및 매뉴얼 개발
 - 내용 : 2MHz급 이상 소나장비를 이용한 수중점검에 대한 매뉴얼 개발
 - 현황 : 소나를 이용한 수중구조물 점검 매뉴얼은 개별적 연구과제를 통해 업체 및 기관별로 일부 보유하거나, 경험을 바탕으로 수행하고 있어 체계적인 매뉴얼은 없는 실정임
 - 필요 : 고주파수 소나를 이용할 시 보트의 운영과 장비의 운영이 기존 매뉴얼과 달라지며, 장비의 체계화 및 장비 활용을 위한 매뉴얼 개발은 필수적임
-

2. 연구개발의 필요성

가. 연구개발 배경

- 시설물의 노후화, 이상기후에 의한 강우빈도 증가 등에 따라 교량 및 수중구조물의 재해 발생 가능성이 증대되고 있으며, 경북 경주 산대저수지 붕괴('13. 01.), 여주읍 연양천 신진교 붕괴('10. 09), 부산 북구 구포교 붕괴('03. 09), 연천댐 붕괴('99. 08), 4대강보 세굴 및 파이프링 현상 발생 등 최근에도 수중구조물의 붕괴 사고 및 징후 포착이 이슈화 됨
- 통상, 교량의 수중점검을 위해서는 잠수인력에 의한 수중점검, 수심측량 등을 통한 재래의 방법을 사용하고 있으나, 유속과 탁도의 영향을 많이 받고, 점검시기의 제한이 커서 수중점검을 위한 첨단 장비의 개발 및 활용 필요성이 높아짐
- 기존 수중 음파 촬영법 중 사이드 스캔 소나 (Side Scan Sonar)와 로터리 소나 (Rotary Sonar)는 대규모 세굴 등 광역범위에서는 영상 취득이 가능하나 구조체의 박리 및 박락 등과 같은 국부적인 손상을 확인 하는 데에 한계가 있고, 현재 사용 중인 1MHz급의 사이드 스캔 소나는 최대 분해능이 3cm이므로 수중환경에서 발생할 수 있는 다양한 손상의 구분이 어려움
- 본 연구과제는 『초고해상(2MHz급 이상) 소나 개발을 통한 수중구조물 무인 안전진단 시스템 개발을 목표로, 세부적으로는 2MHz급 고주파수 소나장비 개발 및 파랑에 영향이 적은 점검장비를 개발하고, 객관적이고 체계적인 소나데이터 이미지 프로세싱을 통한 무인 수중구조물의 건전성을 평가하는 기술을 개발하고자 함

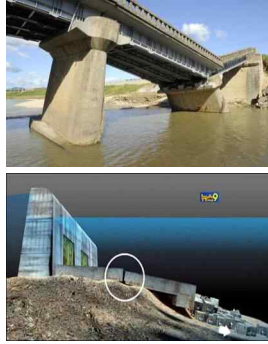


그림 1.1.2 연구개발 목표 개념도

나. 연구개발의 중요성

(1) 경제/산업적 측면

- 국내의 도로교량은 2016년 12월 말 기준으로 32,325개소(연장 3,244km)로 지난 10년간 평균 3.11%(연장 4.27%)가 증가하였으며, 정밀안전진단을 요하는 교량의 수가 지속적 증가할 것으로 추정됨 (출처 : 국토교통부 16년 12월31일 기준 작성)
- 시설물의 노후화, 이상기후에 의한 강우빈도 증가 등에 따라 교량 및 수중구조물의 재해 발생 가능성이 증대되고 있음
- 1964년부터 2007년까지 44년 동안 총 7,533개의 도로교가 홍수 시 붕괴된 것으로 조사되었으며, 특히 1995년, 1998년, 2002년, 2003년에는 태풍과 집중호우로 인하여 피해 교량이 한 해에 최대 296개소에 이르며, 최근 10년간의 기상재해 중 태풍과 호우에 의한 피해액이 가장 크며, 피해시설은 교량을 포함한 공공시설물이 가장 크고, 피해액은 평균 약 1조 1천억원이며, 복구액은 평균 약 2조원에 이름 (2012 재해연보, 행정안전부)



(a) 수중구조물 붕괴 현황

기준 년도	교량 개소		연장 (km)
'07년	24,923		2,289
'15년	30,983		3,077
'16년	32,325		3,244
비율 ('16 기준)	'07년 대비	증가수	7,402개소
		연간비율	2.94%(연평균)
	'11년 대비	증가수	1,342개소
		증가율	4.33%

(b) 교량의 연장 및 개소 증가



(c) 수중구조물 안전성 문제점 이슈

그림 1.1.3 수중구조물 붕괴 사고 및 교량의 증가율 현황



그림 1.1.4 서울시 수중조사 방법

- 교량의 붕괴는 인명피해 뿐만 아니라 교량의 교체와 보수 및 그로 인해 발생하는 교통시간의 증가, 경제활동의 피해 등 장기간에 걸쳐 사회와 경제에 막대한 손실을 일으키며, 특히 철도교는 도로교와 달리 우회노선을 이용하거나 부분적인 복구가 불가능하기 때문에 사고 발생 시에 국가 교통물류에 막대한 지장을 초래
- 홍수 및 폭우에 의한 유량 및 유속증가는 곧 교각 주위의 세굴현상, 교각표면의 박리·박락현상, 부유물에 의한 교각 손상을 가속화 하여 심한 경우 교각의 전도, 파손으로 인한 교량의 붕괴에까지 이르게 됨
- 이러한 문제점을 인지한 서울시에서는 수중 우물통 점검을 위하여 2000년 1월 상시 점검팀을 발족하여 2년 6개월간 잠수인력과 수중 촬영장비를 통한 수중점검을 실시
- 수중구조물의 관리 부실로 인한 재해발생, 사전 점검 및 예방을 위한 스마트 유지관리시스템 필요

(2) 기술적 측면

- 교량의 붕괴는 인명피해 뿐만 아니라 교량의 교체와 보수 및 그로 인해 발생하는 교통시간의 증가, 경제활동의 피해 등 장기간에 걸쳐 사회와 경제에 막대한 손실을 일으키며, 특히 철도교는 도로교와 달리 우회노선을 이용하거나 부분적인 복구가 불가능하기 때문에 사고 발생 시에 국가 교통물류에 막대한 지장을 초래
- 잠수부에 의한 수중부 교각 점검은 수중점검에 대한 전문 인력, 즉 토목기술자 (안전 점검 교육이수자) 이면서 잠수 자격을 동시에 갖춘 기술 인력이 부족하여 정확하고 객관적인 안전점검의 어려움 발생
- 잠수부에 의한 점검은 점검시기가 제한적이고, 신뢰성이 낮으며, 점검자의 안전사고 등 수중점검조사의 애로사항이 매우 크므로 초고해상도(2MHz급 이상) 수중구조물 점검 및 진단용 소나개발을 통해 무인 점검시스템 개발이 필요
- 수중 점검 장비를 이용하여 측정되는 데이터를 통하여 구조물의 건전성을 평가함에 있어 양질의 데이터 확보가 반드시 필요로 하고 수중 점검 장비 매뉴얼을 통하여 효율적인 수중 구조물에 대한 점검이 필요
- 손상 물량 파악 및 건전성 평가를 위해 소나 데이터를 이용한 이미지 프로세싱 프로그램 개발이 필요



그림 1.1.5 잠수부를 활용한 수중조사 문제점

다. 연구개발 단계

최종성과물	기술성숙도		설정근거
	유형	단계	
2MHz급 이상 초고주파수 수중구조물 점검용 소나장비	장비· 장치 유형	TRL 6	• 개발 기술이 실제 현장에서 구현 될 수 있도록 발전시키는 단계 • 1MHz급 소나를 이용한 수중점검기법에 관한 특허 보유 • 기 보유 기술을 개선하여 높은 분해능을 얻어 수중 구조물의 손상 구분의 정밀도를 높이하고자 하는 단계임
고해상도 소나전용 스마트 전동 프레임	장비· 장치 유형	TRL 6	• 개발 기술이 실제 현장에서 구현 될 수 있도록 발전시키는 단계 • 1MHz급 수중점검용 소나의 전동지그 특허 보유 • 2MHz급으로 개발 시 Towfish의 변경으로 기존 장비 사용이 불가 하며, 기 장비는이미지 영상 왜곡 보정에 대한 기능적 장치가 없으므로 개발 필요
수중구조물 손상 검출 프로그램	S/W 유형	TRL 5	• 1MHz급 소나기반의 이미지 분석프로그램은 일부 개발이 되었으나 분해능이 3~7cm 내외 이며, 손상에 대한 DB구축이 이뤄지지 않았음 • 2MHz급 이상의 소나 개발 시 이미지 개선에 따른 개발된 기술의 정확도와 신뢰도를 통합 성능 측면에서 향상시킬 필요가 있음
현장검증 및 매뉴얼 개발	공법 기법 유형	TRL 7	• 소나를 활용한 수중점검의 기본 매뉴얼은 기업 자체적으로 있으나 표준 매뉴얼 미비 및 2MHz급 이상 소나와 전동지그의 개발 시 고해상 이미지 확보를 위한 운영 알고리즘이 개발이 요구됨

구분		표기	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☐	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☐	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	☒	TRL 6	유사환경 기술시범 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☐	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	TRL 9	현장적용/사업화 단계

라. 타산업 연계 및 국제협력 가능성

- ‘시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법’ 대상 : 1,2,3종 시설물 → 국토교통부 한국시설 안전관리공단
- 재난 및 안전관리 기본법상 특정관리대상지역 → 지방자치단체
- 위 시설물 중 해당 수중구조물의 점검 및 진단에 적용
- 주관기관인 (주)다음기술단은 KOICA ODA 사업으로 연구기간 중 인도네시아 국가 시설물 안전역량 강화사업 참여, 시범 사업에 적용 가능
- 향후 국외의 기존 유지관리 영업망(중국, 동남아시아, 인도, 중동, 남미)을 통한 해외 marketing 추진(전시회 및 기술설명회 참여)

3. 연구개발 범위

- 2MHz급 이상 초고주파수 수중구조물 점검용 소나장비의 개발
 - 개발 기술이 실제 현장에서 구현될 수 있도록 발전시키는 단계
 - 1MHz급 소나를 이용한 수중점검기법에 관한 특허 보유
 - 기 보유 기술을 개선하여 높은 분해능을 얻어 수중 구조물의 손상 구분의 정밀도를 높이고자 하는 단계임
- 고해상도 소나전용 스마트 전동 프레임 개발
 - 개발 기술이 실제 현장에서 구현될 수 있도록 발전시키는 단계
 - 1MHz급 수중점검용 소나의 전동지그 특허 보유
 - 2MHz급으로 개발 시 Towfish의 변경으로 기존 장비 사용이 불가하며, 기 장비는 이미지 영상 왜곡 보정에 대한 기능적 장치가 없으므로 개발 필요
- 수중 구조물 DB 구축을 통하여 손상을 검출하는 손상 분석 프로그램 개발
 - 1MHz급 소나기반의 이미지 분석 프로그램은 일부 개발이 되었으나 분해능이 3~7cm 내외이며, 손상에 대한 DB구축이 이뤄지지 않았음
 - 2MHz급 이상의 소나 개발 시 이미지 개선에 따른 개발된 기술의 정확도와 신뢰도를 통합 성능 측면에서 향상시킬 필요가 있음
- 2MHz급 이상 소나장비를 이용한 수중점검에 대한 매뉴얼 개발
 - 소나를 활용한 수중점검의 기본 매뉴얼은 기업 자체적으로 있으나, 표준 매뉴얼 미비 및 2MHz급 이상 소나와 전동지그의 개발 시 고해상 이미지 확보를 위한 운영 알고리즘이 개발이 요구됨

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 연구동향

- 구조물의 안전진단 및 유지관리는 그동안 내구성 및 내하성에 집중되어 왔으나, 실제 교량피해 원인의 대부분을 차지하고 있는 홍수 시 기초세굴 및 교각부 손상 등에 의한 교량 피해예측 및 저감에 대한 연구와 투자는 미흡한 실정
- 교량의 붕괴원인은 세굴에 의한 교량 기초의 지지력 부족이라는 것은 많은 연구를 통해 알려졌으나 현재 교량의 안전점검 및 정밀안전진단은 주로 상부구조 위주로 안전성 검토가 수행되고 있고 교량 하부구조의 안전성 평가에 대해서는 지침 또는 세부지침에 그 내용이 없는 실정이므로 하부구조에 대한 상태평가 및 안전성평가 기법을 정립하고자 위 연구를 진행 중에 있음
- 잠수부의 육안조사의 대안으로 수중 음파 촬영법의 경우 1940 년대 초기의 기계적인 수신 측량과 Wide-Beam Acoustic Echo Sounder 등은 해상도가 낮은 해저면 화면을 제공하였으며, 60년대 후반 개발된 Side Looking Sonar는 현재 까지 해저면 물질에 대한 음향학적 반사 특성을 얻기 위해 폭 넓게 사용되고 있음
- 2000년 이전에는 아날로그식 소나장비를 사용하여, 광역적인 해수면조사에 주로 활용되어진 반면, 최근 기술의 발전으로 2002년부터 디지털 400KHz의 운영주파수를 이용한 분해능 5~7cm정도의 소나장비를 수중구조물의 세굴조사에 도입
- 최근 소나장비의 기술개발이 급속히 발전되고, 효율적인 수중구조물의 유지관리의 수요에 따라 1,350KHz의 고주파수를 활용한 정밀조사가 가능하도록 설계된 소나장비가 개발됨

표 13.1.1 Side Scan Sonar의 발전

년 도	내 용
2001년	• Analog S-100/120 • 예인식 • 사이드스캔소나 형식 • Towfish 1EA-multi beam
2002년	• Digital S-150 • 주파수 : 400KHz 전용 • swath : 300m • 분해능 : 7cm • 사이드스캔소나 형식 • 예인식 • Towfish 1EA-multi beam
2003년	• Combined Sys. SC-1500 • 주파수 : 400KHz 전용 • swath : 300m • 분해능 : 7cm • 사이드스캔소나 형식 • 예인식 • Towfish 1EA-multi beam
2004년	• Dual Freq. S-150D • 주파수 : 100, 400KHz 겸용 • swath : 1000m, 300m • 분해능 : 30cm, 7cm • 사이드스캔소나 형식 • 예인식 • Towfish 1EA-multi beam

년 도	내 용
2005년	• High Freq. S-170 • 주파수 : 1200KHz 전용 • swath : 60m • 분해능 : 3cm • 사이드스캔소나 형식 • 예인식 • Towfish 1EA-multi beam
2014년	• 수중구조물 전용 Dual scan sonar • 주파수 : 400, 1350KHz 겸용 • swath : 300m, 60m • 분해능 : 7cm, 3cm • 지그 장착식 • Dual Towfish - single beam 
2018년	• 1MHz / 2MHz Side Scan Sonar • 주파수 : 1MHz, 2MHz 겸용 • swath : 35m, 10m • 분해능 : 3cm, 0.8cm • 지그 장착식, 보트 예인식, 수직 인양식 • Towfish 1EA - single beam 

2. 사이드스캔소나 기술 응용

가. Single/Multi Beam Side Scan Sonar

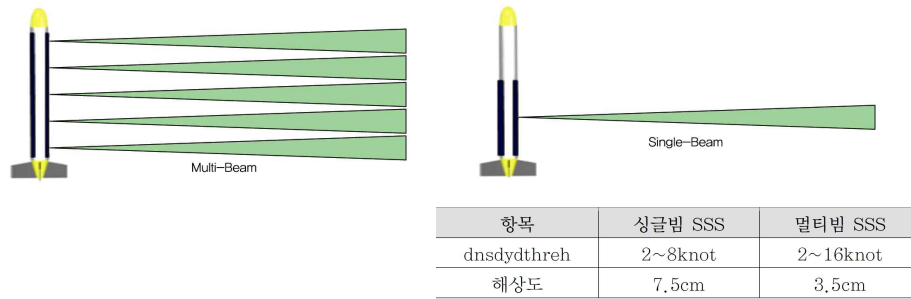


그림 2.1.1 Single/Multi beam SSS

그림 2.1.1과 같이 Single Beam SSS는 장비의 외형이 작아서 이동성이 좋으나 다중빔에 비해 운행속도의 제한이 있고, 해상도가 좋지 못한 단점이 있다. 또한 Multi Beam SSS 장비 외형이 커서 운용의 어려움이 존재하나, 다수의 빔을 수심함으로써 운행속도가 빠르고 수평해상도가 높으며 송수신 감도가 좋다는 장점을 가지고 있다.

나. Mounted Side Scan Sonar

‘선저부착형 Side Scan Sonar’로 트랜스듀서유닛, 컨트롤러, 신호처리장치 및 영상처리장치로 구성되며, 구성품 블록선도 및 촬영모식도는 그림 2.1.2와 같다.

주요 형상 및 특성으로서 센서인 트랜스듀서는 다중빔을 사용함으로써 고속운항에서도 단일빔과 동급이상의 향상된 해상도를 획득하고, 고속으로 장비 운용 시 수중탐색 데이터를 효과적으로 획득하며, 탐사/탐색 시간을 크게 단축할 수 있다.

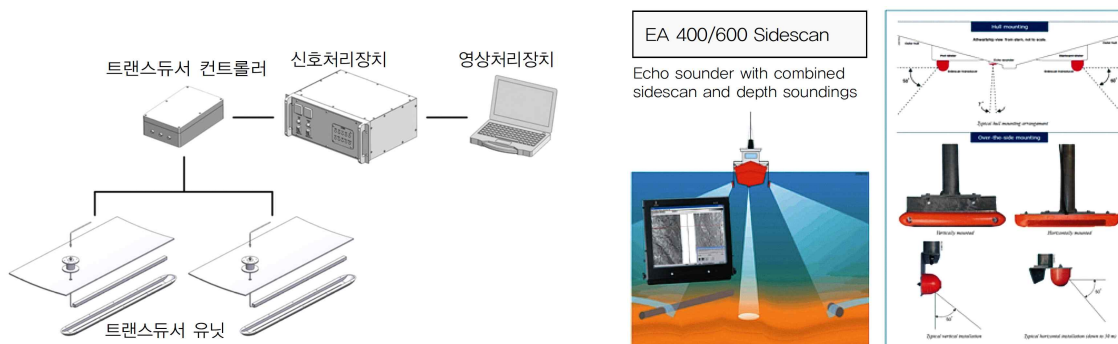


그림 2.1.2 Mounted SSS

다. SAS(Synthetic Aperture SONAR)

합성개구면소나는 수중의 물체를 원거리에서도 고해상도의 영상을 얻을 수 있는 기술이다. 측면주사 음탐기는 해저의 일정 지점에서 단일 신호를 송수신하지만 항공기의 SAR처럼 SAS는 앞으로 움직여 나가면서 동일한 지점을 반복적으로 탐색하면 개구면이 커져서 작은 물체에 대한 고해상도 영상을 얻을 수 있다. 그림 2.1.3은 합성개구면 소나(SAS)의 개념을 나타낸다.

특히, 합성개구면소나(SAS)는 국내 개발사례가 없고 원천기술이 매우 취약한 분야이므로 이에 대한 체계적인 연구개발 전략이 필요할 것이다. 표 2.1.2는 소나 종류 및 특성 비교를 나타낸다.

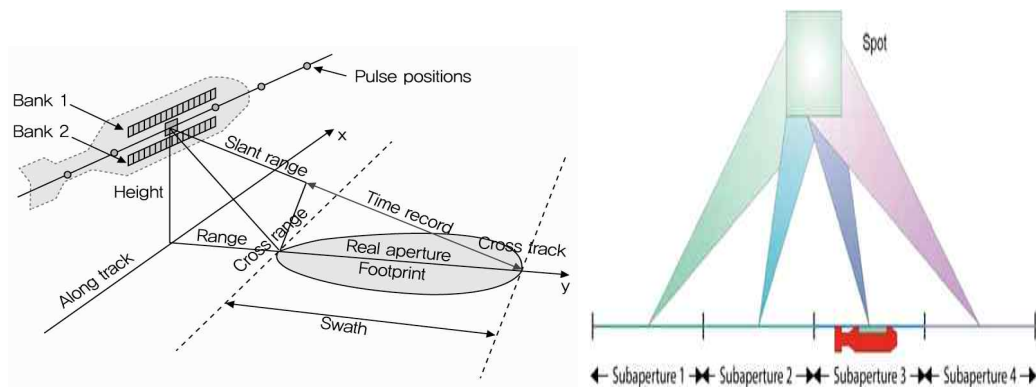


그림 2.1.3 합성개구면 소나(SAS)의 개념

표 2.1.2 소나 종류 및 특성 비교

구분	2D						3D	
	Single beam		Multi beam		Synthetic Aperture Sonar	Image sonar (Forward looking)	Multi beam 3D scan BlueView	3D image sonar
	다음기술단	Benthos	SonarTech	L3 Klein	Kongsberg	BlueView	BlueView	BlueView
모델	Dual Sonar, 1MHz/2MHz SSS	SIS1500	Seaview400 M	System 5000	HISAS	M900-2250 Dual Frequency	BV5000-2250 0-N / 2250-W	motion sensor + S/W + BV5000
주파수	400kHz, 1250kHz, 2000kHz	190~210kHz 보편적 (100kHz~1000kHz)	455kHz Multi type (5 beam per side)	455kHz Single type (5 beam per side)	60~120kHz	900kHz-2250 kHz	1.35MHz~2.25MHz	
정밀도 및 분해능	<3.0cm, 0.8cm	<4.0cm	3.75cm	3.75cm	2cm	1.3cm/0.6cm	1cm (time resolution)	
스캔 범위	60m, 15m	1000m	500m	500m	400~520m	100m	10 m	
개발 국가	대한민국	USA	대한민국	USA	노르웨이	USA	USA	USA
장점	- 조사 각도 조절 가능 - 높은 분해능 - 후처리 시간이 짧음	광범위 조사 가능	- 낮은 주파수에 상대적으로 높은 분해능 - 고속주행 가능		- 낮은 주파수로도 분해능이 뛰어남 - 조사 범위도 상대적으로 넓음	- 휴대성이 좋음 - 비디오 카메라처럼 스캔 없이 영상 처리 가능	3D모델링 가능 - 높은 정밀도	- 실시간 처리 가능 - ROV 탑재 가능
단점	- 운영 방법 및 노하우에 따라 데이터 품질 차이 2D 이미지 - 과도 영향이 큼	- 예인식 - 분해능이 낮음 - 구조물 조사가 어려움	- 예인식 - 장비가 크고 무거우므로 현재 고무보트로 사용 불가 - 조사 각도 조절 불가 - 구조물조사가 어려움		- 예인식 - 장비가 크고 무거우므로 현재 고무보트로 사용 불가 - 조사 각도 조절 불가 - 구조물 조사가 어려움	- 구조물 조사에 부적합함 - ROV or 다이버 투입이 필요함	3D 모델링 후처리 시간이 오래 걸림 - 실시간 분석 불가 - 여러 스왑스캔, 작업시간 증가	손상 분석 가능은 확인 불가

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 2MHz급 이상 초고주파수 수중구조물 점검용 소나장비 개발

가. 소나 해상도 및 성능분석

(1) 사이드스캔소나와 멀티에코사운더의 수중조사 적용성
9m 실내 수조에 수조 벽체를 수중구조물 벽체로, 수조 바닥을 하상으로 가정하고 시편을 두어 사이드 스캔소나와 멀티 에코 사운더의 영상을 비교하여 시편 간격 판단유무에 따라 분해능을 비교하였다.

표 3.1.1 실험에 사용된 장비의 비교

Features	Side scan sonar	Multi beam echo sounder
	S-150A	R2 Sonic 2024
Model		
Frequency	▪ 400, 1250 kHz	▪ 170 - 450kHz to 1Hz resolution ▪ Optional 700kHz
Pulse	▪ 400kHz : 25 - 150 μs ▪ 900kHz : 15 - 50 μs ▪ 1250kHz : 10 - 25 μs	▪ 15μsec-1ms
Radiation	▪ 400kHz : 0.3° Horizontal 40° Vertical ▪ 1250kHz : 0.3 Horizontal 30° Vertical	▪ 0.3° × 0.6°at 700kHz (Optional) ▪ 0.45° × 0.9°at 450kHz ▪ 1° × 2°at 200kHz
Depth	▪ 300 m More deep depth is optional. Up to 2000m	▪ 100m Optional 4000m**, 6000m**
Range Resolution	Down to 1.875cm	Down to 1.25cm



실내 수조 전경



시편



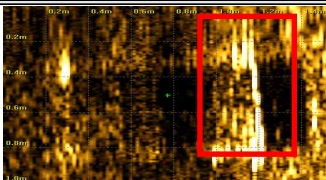
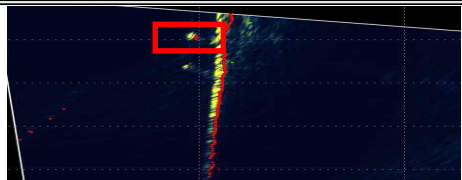
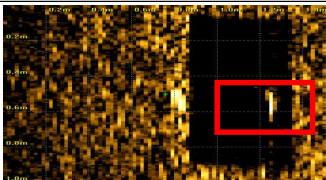
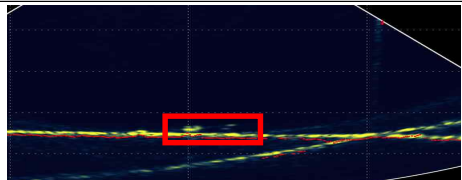
멀티에코사운더



사이드 스캔 소나

그림 3.1.1 실험진행 (보트 예인식)

표 3.1.2 실험결과 (보트 예인식)

설치 위치	시편 간격	소나 이미지	
		Side Scan Sonar (1250kHz)	Multi Beam Echo Sounder (400kHz)
벽체	3cm		
바닥	3cm		

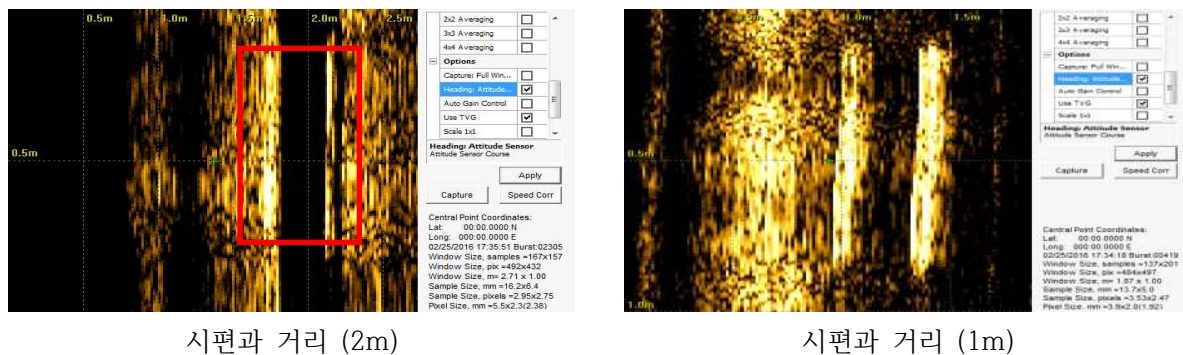


그림 3.1.2 실험결과 (수직 인양식)

(2) 사이드스캔소나 수직인양방법 적용성 분석

2MHz급의 소나 개발시 1MHz급의 소나보다 방사 폭이 좁아져서 조사거리가 좁게 나타날 것으로 예상된다. 2MHz급 소나 싱글빔의 일방향 폭이 35m 이며, 실제 조사시 20m의 유효폭을 가진다. 따라서, 댐 제체, 해상교량 등 수심이 깊은 곳은 기존 지그 방법으로 조사가 불가하므로 수직 인양식으로 소나의 촬영 기법을 변경해야 한다. 이에 대한 적용성 분석이 필요하다.

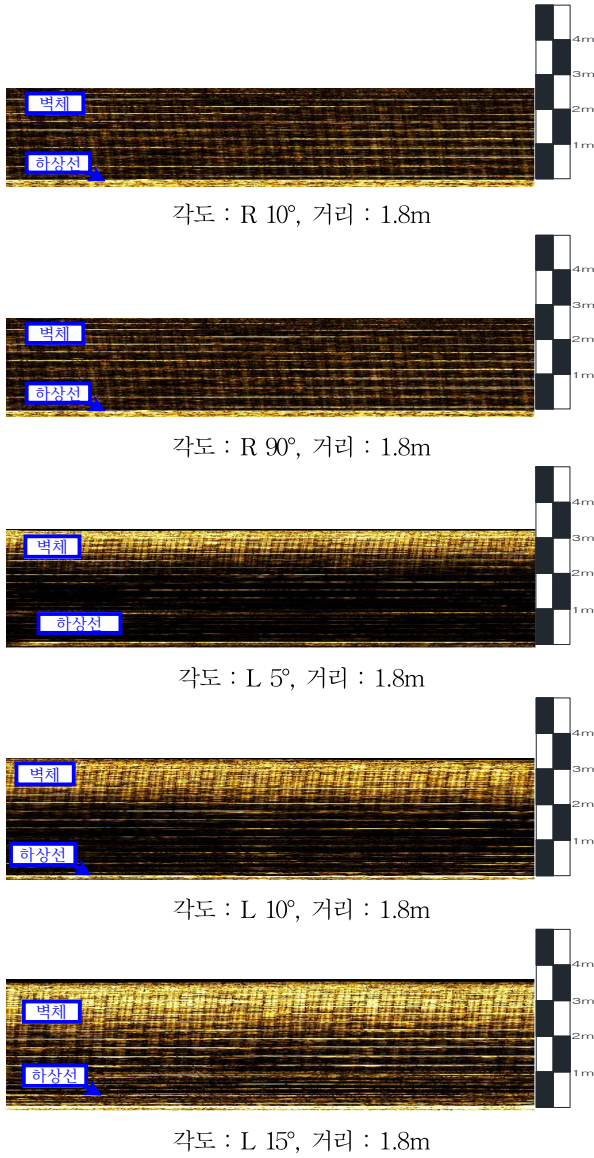
(3) 촬영 거리와 각도에 따른 해상도 분석

Side scan sonar, 수중구조물 벽체와 촬영에 영향이 있는 요소들을 파악하여 해상도에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 촬영 각도 및 구조물과의 이격거리를 변수로 하여 해상도를 분석한다. 수집된 데이터는 구조물과의 거리(m)와 투우피쉬 각도(°)에 따라 해상도 등급(A~D)과 Data등급(A~D)을 판정하고 비교 분석을 실시하였다.

표 3.1.3 등급 구분표

구분	해상도	Data등급
A	구조물에 대한 평가가 가능한 상태	전체적인 데이터의 정확성이 우수한 상태
B	전반적으로 구분이 가능한 상태	전반적인 데이터의 구분이 가능한 상태
C	일부구간에 대한 식별이 가능한 상태	일부구간에 대한 데이터의 구분이 가능한 상태
D	전반적으로 식별이 불가능한 상태	전반적인 데이터의 정확성이 떨어지는 상태

- 각도에 따른 해상도 분석 -



- 거리와 각도에 따른 해상도 분석 -

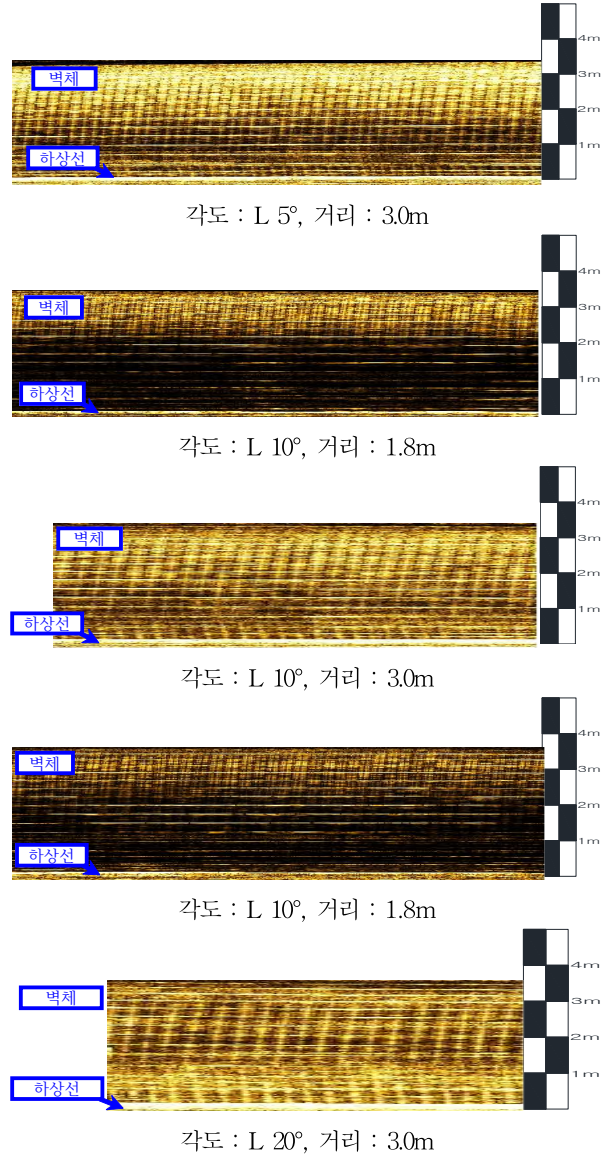


그림 3.1.3 촬영 거리와 각도에 따른 실험진행 (보트 예인식)

표 3.1.4 토우피쉬 각도별 실험 결과

case	구조물과의 거리	토우피쉬 각도	해상도 등급	Data 등급
1	1.8m	R 10°	B등급	B등급
2	1.8m	R 90°	B등급	B등급
3	1.8m	L 5°	D등급	D등급
4	1.8m	L 10°	C등급	C등급
5	1.8m	L 15°	B등급	C등급
6	1.8m	L 20°	B등급	C등급
7	1.8m	L 25°	A등급	B등급
8	1.8m	L 30°	B등급	B등급
9	1.8m	L 45°	C등급	D등급
10	3.0m	L 5°	A등급	B등급
11	3.0m	L 10°	A등급	B등급
12	3.0m	L 20°	A등급	B등급

표 3.1.5 구조물의 거리와 각도 관계 실험 결과

case	구조물과의 거리	토우피쉬 각도	해상도 등급	Data 등급
1	3.0m	L 5°	A등급	B등급
2	1.8m	L 10°	C등급	C등급
3	3.0m	L 10°	A등급	B등급
4	1.8m	L 20°	B등급	C등급
5	3.0m	L 20°	A등급	B등급
6	1.8m	L 30°	B등급	B등급
7	1.0m	L 30°	B등급	C등급
8	0.5m	R 90°	D등급	D등급
9	1.8m	R 90°	B등급	B등급
10	2.0m	R 90°	A등급	A등급

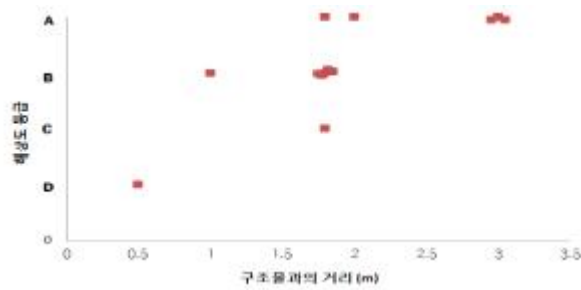


그림 3.1.4 구조물과의 거리와 해상도의 관계

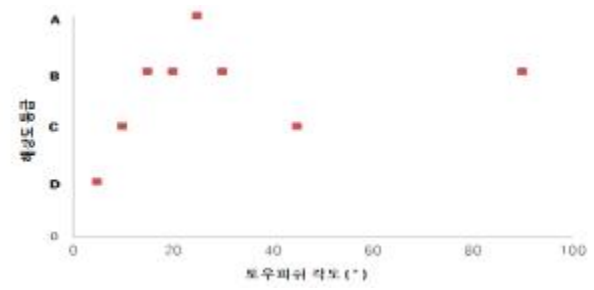


그림 3.1.5 토우피쉬 각도와 해상도의 관계
(구조물과의 거리 1.8m)

(4) 소나 해상도 및 성능분석 결과

- 1250kHz와 400kHz의 해상도 비교시험으로 1250kHz 해상도가 높게 나타났으며, 주파수가 높아질수록 해상도와 분해능은 높아지지만, 측정 가능 거리가 작아지므로 2MHz 소나 개발 시 기존 측정 방법 이외의 다른 방법을 강구할 필요가 있다.
- 멀티빔 에코 사운더는 송·수파 가능 범위의 해저 횡단면 전체를 동시에 측정할 수 있으며, 이에 반해 사이드 스캔 소나는 멀티 에코 사운더에 비해 측정 범위가 좁아 측정 범위의 섹션을 나누어 측정해야 한다. 사이드 스캔 소나는 지그를 통하여 원하는 부분의 촬영이 가능하나 멀티빔 에코 사운더는 일괄적인 횡단면 전체를 측정하기 때문에 정밀한 측정이 불가능하다고 판단되며, 수중구조물은 수중에 대부분 수직으로 있는 벽체를 조사해야하기 때문에 횡단면 전체를 동시에 측정하는 멀티빔 에코 사운더 보다 사이드 스캔소나가 적합하다고 판단된다.
- 2MHz급의 소나 개발시 1MHz급의 소나보다 방사 폭이 좁아져서 조사거리가 좁게 나타날 것으로 예상되어 댐 제체, 해상교량 등 수심이 깊은 곳은 기존 지그 방법으로 조사가 불가하므로 수직 인양식으로 소나의 촬영 기법의 가능성을 알아보고, 문제점을 파악하여 보완방법을 제시하였다.
- 구조물의 거리와 각도관계를 실험한 결과, 같은 거리에서 토우피쉬 각도에 따른 데이터수집의 차이가 발생된 것으로 확인되었으며, 구조물과의 거리에 따른 적정 각도가 있는 것으로 판단되며, 1MHz 급과 2MHz급은 빔의 방사 거리가 다르므로, 2MHz급 개발 후 구조물과의 거리와 각도의 상관관계 알고리즘을 실제 데이터를 바탕으로 개발할 필요가 있다.

나. 2MHz급 이상 소나장비 설계

(1) 2MHz급 소나 설계

SSS의 Along Track Resolution 은 Horizontal Beam Width, 운용속도와 관련 있으며, Across Track Resolution은 Pulse Width 와 Sampling 주파수에 따라 결정된다. Pulse Width는 $(L) = \lambda * n$ 이며, 여기서 $\lambda = c/f$, $n =$ 파장수 이다. 파장수(n) = 10ea로 가정하고, 수중에서의 음파속도(c)는 평균 1500m/s 이므로, 10mm 이하의 분해능을 가지기 위한 계산은 식(1)과 같다.

따라서, 10mm 이하의 분해능을 갖기 위해서는 1.5MHz 이상의 운용 주파수가 필요하다. 이것은 이론상 분해능 이므로 현장의 운영방법에 의해 오차가 발생하는 것을 고려하여, 2MHz의 주파수로 설정 하였으며, 이론상 분해능은 7.5mm이다.

$$10\text{mm} > (n * c)/f \quad \therefore f > 1.5\text{MHz} \quad (1)$$

압전 세라믹 길이 선정하기 위해서는 센서의 각도를 결정해야 한다. Along Track Resolution은 Horizontal Beam Width 와 직접적으로 연관이 있으며, 각도로 표현되기 때문에 거리에 따라 분해능이 달라지며 수중예인체 근처에서 resolution이 향상된다. Along Track Resolution은 통상적으로 각도로 표현한다. 이론적으로 거리 10m에서 면적 1cm^2 의 분해능을 갖기 위해서는 삼각함수를 이용하여 설계한다. 탐색 폭 = 거리*2*sin($\theta/2$) 이므로 센서의 송신 각은 식 (2)와 같이 약 0.29° 로 계산된다.

$$1\text{cm}^2 > 10\text{m} * 2 * \sin(\theta/2) \quad \therefore \theta/2 < 0.2865^\circ \quad (2)$$

센서의 송신각이 설정되면, 센서의 Along Track 방향 각($\theta/2$)이 0.29° 가 되도록 센서의 길이를 선정해야 한다. 센서의 각도에 따라 센서의 길이를 구하는 식은 (3)과 같다.

$$\sin\theta = 1.22 * (\lambda/d) \quad \therefore d = 185.59\text{mm} \quad \because f=2\text{MHz}, \lambda=7.55\text{mm} \quad (3)$$

수평방향 resolution은 across-track의 길이와 입사각에 영향을 받으며, 음파의 입사각 때문에 towfish 근처에서는 resolution이 길어진다. towfish에서 멀어질수록 across-track resolution이 향상된다. 압전 세라믹의 폭은 SSS의 이미지를 얻기 위해 약 50° 의 빔이 형성되도록 설계한다. 센서의 Along Track 방향 각($\theta/2$)을 0.29° 가 되도록 센서의 길이를 선정해야 한다.

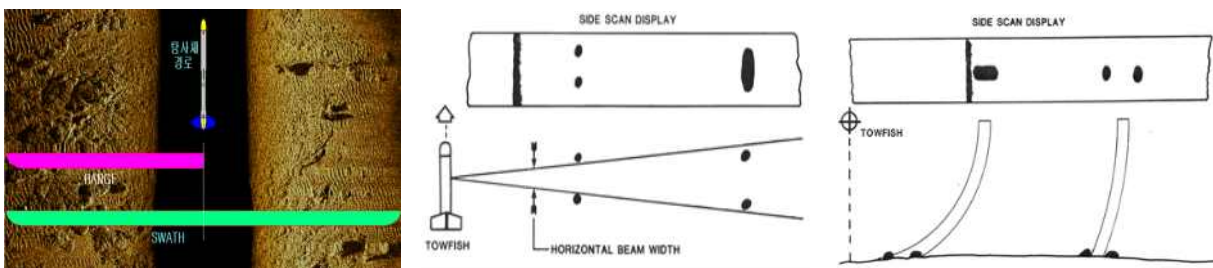


그림 3.1.6 SSS Resolution, 수평방사각, Across-track 입사각

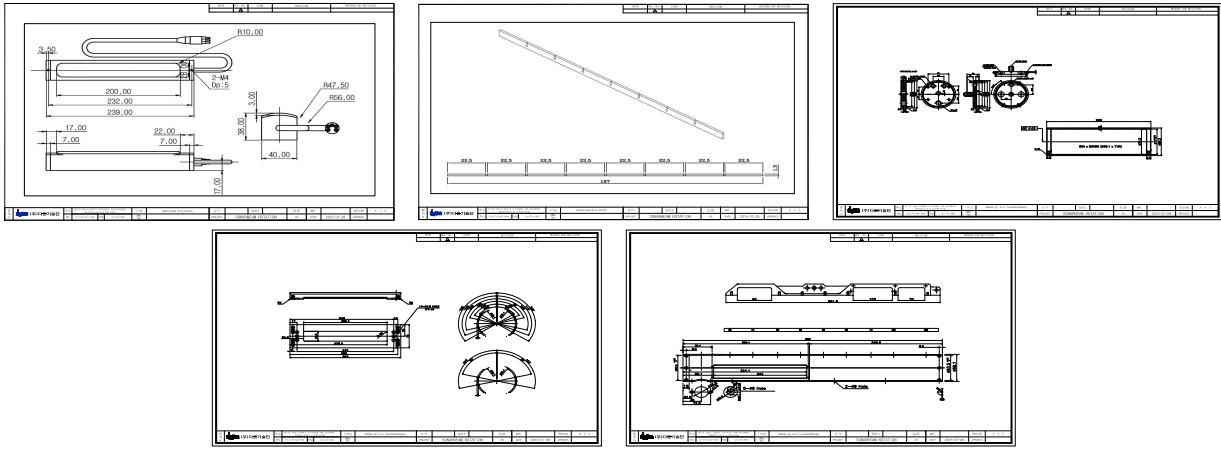
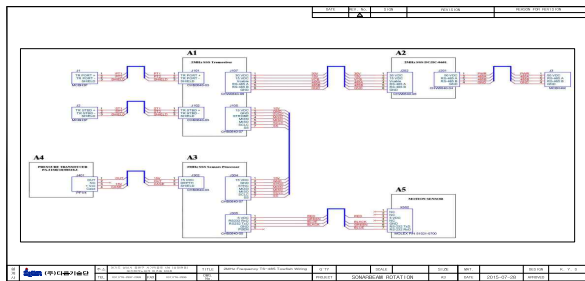
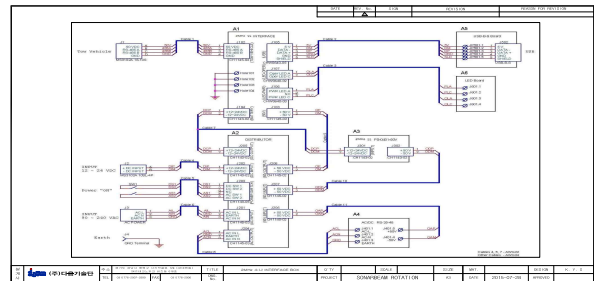


그림 3.1.7 Transducer array 설계도

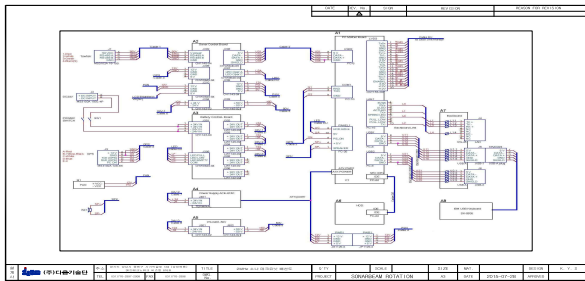
다. 소나 제어시스템 설계



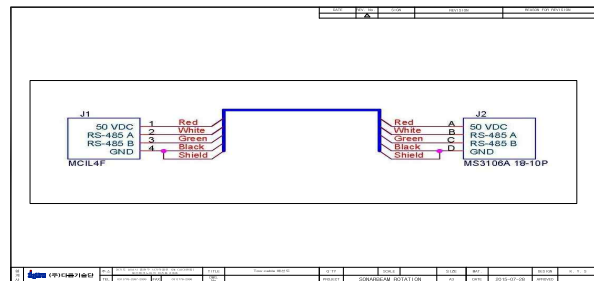
2MHz Frequency TS-485 Towfish Wiring



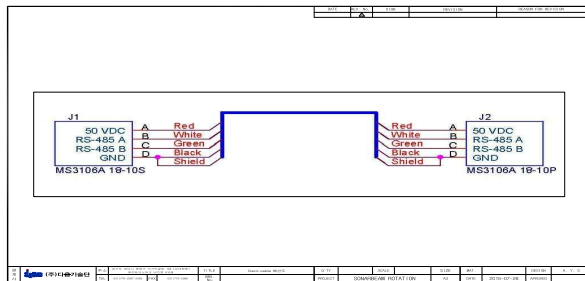
2MHz 소나 Interface Box



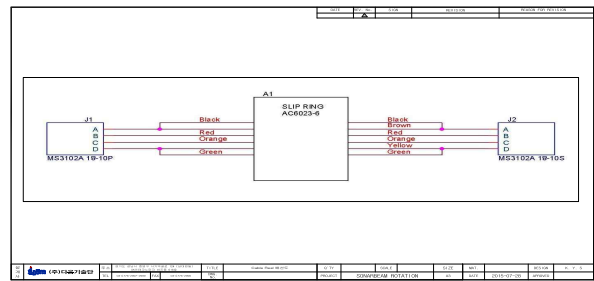
2MHz 소나 데크유닛 배선도



Tow Cable 배선도



Deck Cable 배선도



Cable Reel 배선도

그림 3.1.8 소나시스템 설계도

라. 2MHz급 이상소나장비 개발 및 제작

(1) 2MHz Side Scan Sonar 시작품



그림 3.1.9 2MHz Side Scan Sonar (Transducer array + Towfish Body)

(2) 2MHz Side Scan Sonar 주파수 검사

(가) 시료 준비

아래의 그림과 같이 Interface unit, 2MHz Towfish, 신호처리장치와 검교정된 오실로스코프를 설치한다.

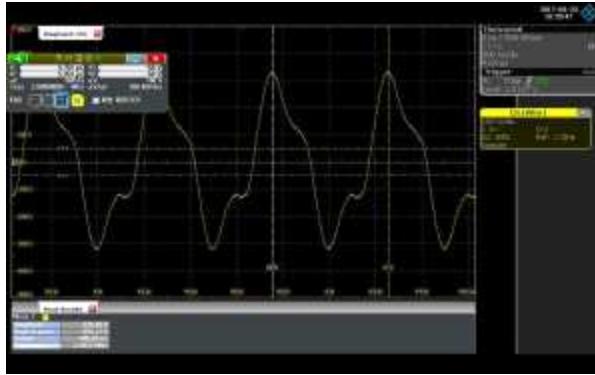


그림 3.1.10 시험 시스템

(나) 시험 절차

- 운용 S/W를 실행하여 2MHz SSS를 실행한다.
- 오실로스코프를 이용하여 Towfish의 트랜스듀서 커넥터의 출력 Pin의 신호를 측정한다.
- 오실로스코프를 이용하여 출력된 신호의 주파수를 분석한다.
 - ※ 2MHz 주파수의 주기는 500ns이므로, 수동으로 출력된 신호의 Peak에서 Peak까지의 시간 측정 및 오실로스코프의 주파수 기능을 사용하여 분석한다.

(다) 시험 결과 (오실로스코프 결과 및 판전 기준 결과표)



순번	항목	기준치	측정치	만족 여부
1	Period	500ns ± 10%	499.43ns	만족
2	출력 주파수	2MHz ± 10%	2.0023M Hz	만족

시험 보고서

항 목 : 2MHz Side Scan Sonar 주파수 검사
적용장비 : 2MHz Side Scan Sonar

시험일자 : 2017.03.24
매 수 : 3 대중 1 대
담당자 : 권리부장
분쟁용

1. 시험일자

2.1 시험 장비

- 신호처리장치(운용 S/W), Interface Unit, 2MHz SSS TowFish, 오실로스코프

2.2 시료 구성

- 모듈 성능시험 시스템 구성.

그림 1. 시험 시스템 구성

```

graph LR
    A[Interface Unit] -- "2MHz S/W" --> B[신호처리 장치  
(운용 S/W)]
    A -- "신호" --> C[2MHz SSS TowFish]
    C -- "2MHz S/W" --> D[오실로스코프]
    
```

소나테크(주)

매 수 : 3 대중 2 대

2.3 시료 준비

- 아래의 그림2 와 같이 Interface Unit, 2MHz SSS TowFish, 신호처리장치와 정교한 오실로스코프를 설치한다.
- TowFish 와 Interface Unit, 신호처리장치를 케이블로 연결한다.
- 신호처리 장치의 운용S/W를 실행한다.

그림 2. 시험 시스템 설치

2.4 시험 절차

- 운용 S/W를 실행하여 2MHz SSS를 실행한다.
- 오실로 스크로프 이용하여 TowFish의 트랜스듀서 커넥터의 출력 Pin의 신호를 측정한다.
- 오실로 스크로프를 이용하여 출력된 신호의 주파수를 분석한다.
- ※ 2MHz 주파수의 주기는 500ns 이므로, 수동으로 출력된 신호의 Peak 에서 Peak 까지의 시간 측정 및 오실로스코프의 주파수 기능을 사용하여 분석한다.

소나테크(주)

매 수 : 3 대중 3 대

그림 3. 오실로스코프 출력 화면

1.3 판정 기준

표 1.1 2MHz 주파수 검증 확인 항목.

순 번	항 목	기준치	측정치	만족 여부
1	Period	500ns ± 10%	499.43ns	만족
2	출력 주파수	2MHz ± 10%	2.0023MHz	만족

수 장 내 용 : 2017.03.25

작성부서 : 소나테크(주) 성능연구팀

작성자 : 권리부장

승인일자 : 2017.03.25

그림 3.1.11 2MHz Side Scan Sonar 주파수 검시 시험 보고서

마. 소나제어시스템 개발 및 제작

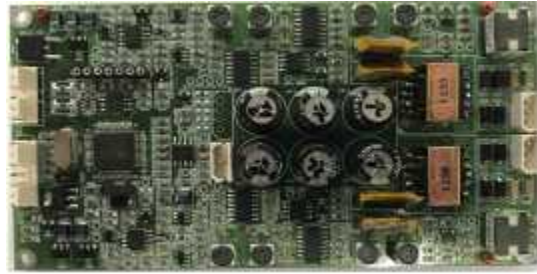
(1) 2MHz급 소나 제어시스템 제작



TowFish 보드
전면부



TowFish 보드
후면부



TRCV 보드



압력, 고도계 보드



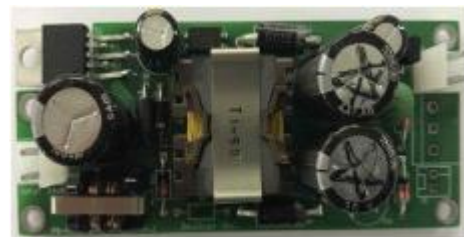
전원 보드

그림 3.1.12 Towfish 보드

(2) 인터페이스 장치(Interface Unit)



인터페이스 보드



전원보드



전원 분배 보드



전원공급기

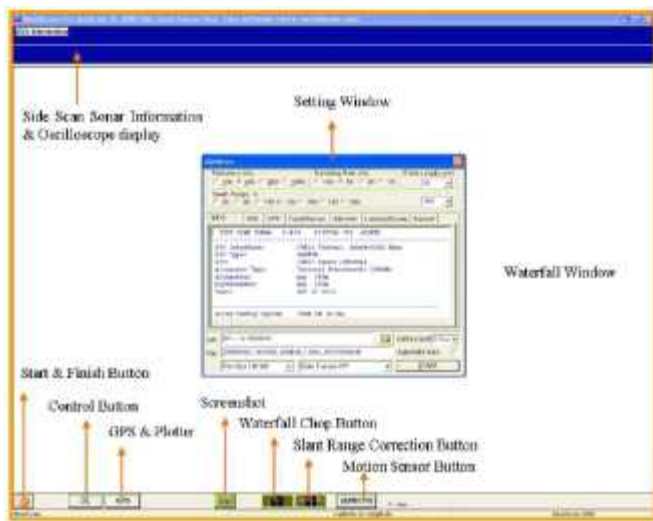
그림 3.1.13 인터페이스 장치(Interface Unit)

(3) 2MHz Side Scan Sonar Operating program

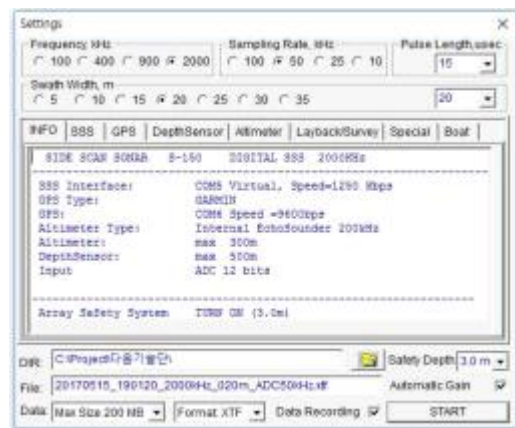
2MHz SSS 운용 소프트웨어는 운영 프로그램(2MHz RealScan®), 후처리 프로그램(2MHz PostScan®)으로 구성된다.

2MHz RealScan®은 Towfish에서 획득한 신호 정보를 실시간으로 보여주며, 소나 신호를 수신, 신호 처리, 출력, 및 저장을 담당하는 프로그램이다.

2MHz PostScan®은 취득한 데이터를 바탕으로 취득 영상을 좀더 자세한 분석을 가능하게 하는 프로그램이며, 2MHz PostScan®에 포함되어 있는 기능으로는 확대, 영상 빨리 돌려보기, 뒤로 돌려보기, 정지, 프린트, GPS 보정위치 확인, 경사거리 보정, 모자이크, 고도정보 수정 등, 실제 운영에서 확인 할 수 없었던 세밀한 부분까지 확인 할 수 있는 다수의 기능들이 포함되어 있다.



RealScan® 기본 화면



2MHz SSS Real Settings

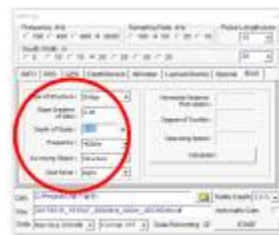
그림 3.1.14 RealScan®



2MHz SSS Real Settings



Settings → Boat



구조물, 수심, 주파수
설정 → Calculation



적정 거리, 각도, 속도

그림 3.1.15 보트 운영프로그램

바. 실내테스트 및 현장검증

(1) 실내테스트

(가) 테스트 목표

본 실내 테스트는 2MHz급 초고해상 사이드스캔소나를 통해 구조물의 수중부 음파영상 촬영에 있어 실제 현장 적용 이전에 적용성을 검증하기 위해 수행하였다. 기존 1MHz급 사이드스캔소나의 최대 분해능인 3cm에서, 본 연구를 통해 개발된 2MHz급 초고해상 사이드스캔소나의 경우 1cm로 성능이 향상되었고, 이를 자체 제작한 시편을 통해 검증하였다. 그림 1.1은 실험에 사용된 2MHz급 초고해상 사이드 스캔 소나이다.

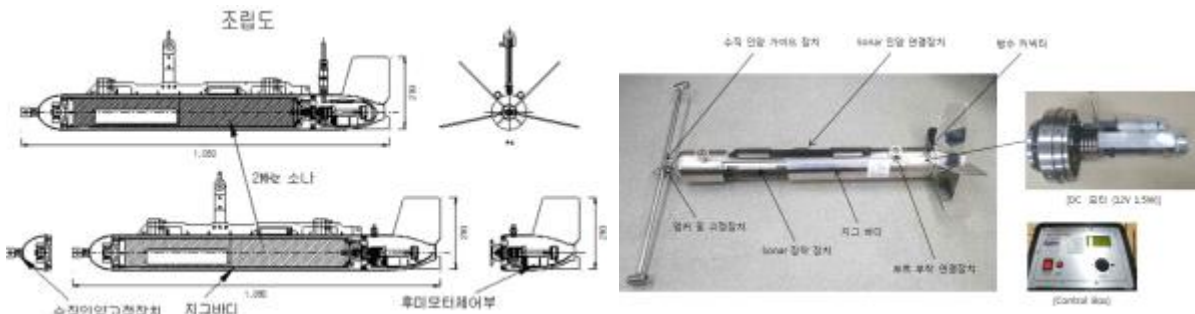


그림 3.1.16 실험에 사용된 2MHz급 초고해상 사이드스캔 소나

(나) 테스트 방법

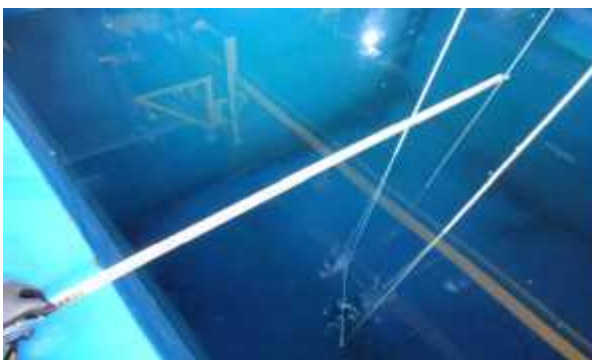
실내 수조 벽면에 설치한 시편의 간격 (1cm, 3cm, 5cm, 10cm)을 조정하여 2MHz급 초고해상 사이드스캔 소나의 분해능을 확인하였다.



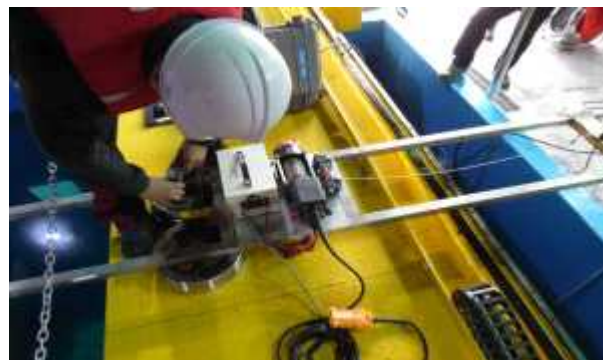
실내 수조-1 (수직인양)



2MHz급 초고해상 사이드스캔 소나



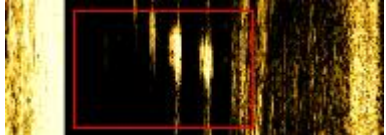
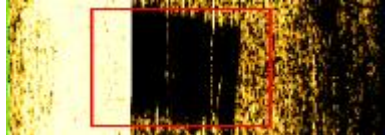
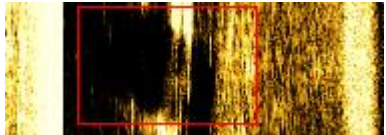
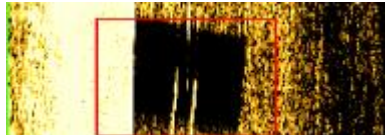
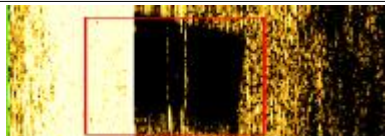
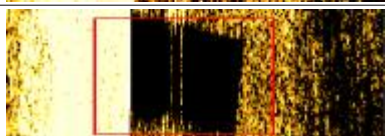
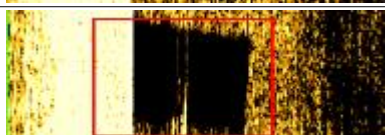
가이드를 통한 수직 인양



사이드스캔 소나 수직인양장치

그림 3.1.17 실내테스트

(가) 테스트 결과

시편과 소나의 간격	시편 간격	이미지	시편과 소나의 간격	시편 간격	이미지
1m	30cm		3m	30cm	
	10cm			10cm	
	5cm			5cm	
2m	5cm			3cm	
	3cm			1cm	
	1cm			0.8cm	

실내 수조 테스트 결과 시편을 벽체에 설치하였을 때 2MHz급 초고해상 사이드스캔 소나의 분해능은 촬영되는 물체와 소나와의 간격에 따라 결정됨을 알 수 있었다. 또한 3m 지점에서는 자체 제작한 시편을 육안으로 구분할 수 있을 정도로 뚜렷하게 나타났으며, 연구목표 분해능인 1cm 보다 이하인 0.8cm에서도 분해능을 확인할 수 있었다. 따라서 실내 수조 테스트 결과 2MHz급 초고해상 사이드 스캔 소나의 음파촬영 적정거리는 3m 이내로 하는 것이 적정하다고 판단된다.

2MHz급 초고해상 사이드스캔소나의 경우 1MHz급 사이드스캔소나에 비해 분해능은 향상되었지만, 거리와 파장이 짧아지므로 기존 전동지그를 사용할 수 없고, 또한 댐, 저수지와 같은 구배형 수중구조물과, 교량과 같은 수직형 수중구조물 등 구조물 타입별 조사가 가능한 지그 및 프레임 개발이 필요하다. 때문에 반복적인 실내 수조 및 현장 테스트를 통해 소나 음파촬영의 적정거리를 선정해야 하며, 2MHz급 초고해상 사이드스캔소나 운용에 적절한 전동 지그 및 수직인양 장치를 이용하여 실험역 적용성 분석 실험이 필요하다고 판단된다.

(2) 2MHz급 사이드스캔소나 검증

(가) 소나설치 소요시간

수중조사를 하기 전 기 진단자료, 준공도서 분석, 데크유닛 거치대, 수중 케이블 등과 같은 장비를 준비하여, 순서에 맞도록 장비결합을 실시해야 한다. 인원은 3~4명이 적당하며 높은 파고와 풍량이 있을 시 품질 저하뿐만 아니라 안전사고 우려로 인해 파고는 0.5m 이하의 조건에서 실시하는 것을 원칙으로 한다.



그림 3.1.17 소나설치 소요시간

2MHz급 초고해상 사이드스캔소나 운용을 위한 준비단계에서 총 소요시간은 ‘4분 00초 86’으로 나타났으며, 소나의 수중 초음파를 이용하여 수중 교각의 상태를 조사할 수 있다.

(나) 2MHz급 초고해상 사이드스캔소나 현장 운용

현재 사용 중인 1MHz급의 사이드스캔소나는 최대 분해능이 3cm이므로 침식 및 콘크리트 구조물의 단면결손, 손상을 구분하기 어렵기 때문에 분해능 1cm 이하를 목표로 2MHz급 초고해상 사이드스캔소나를 개발하였다. 실내 테스트를 통해 현장 적용성을 검토하였고, 실내 테스트에서 사용한 동일 시편을 이용하여 현장 테스트를 수행하였다. 아래 그림은 현장 운용에 따른 적용 장비와 운용 결과를 나타낸다.

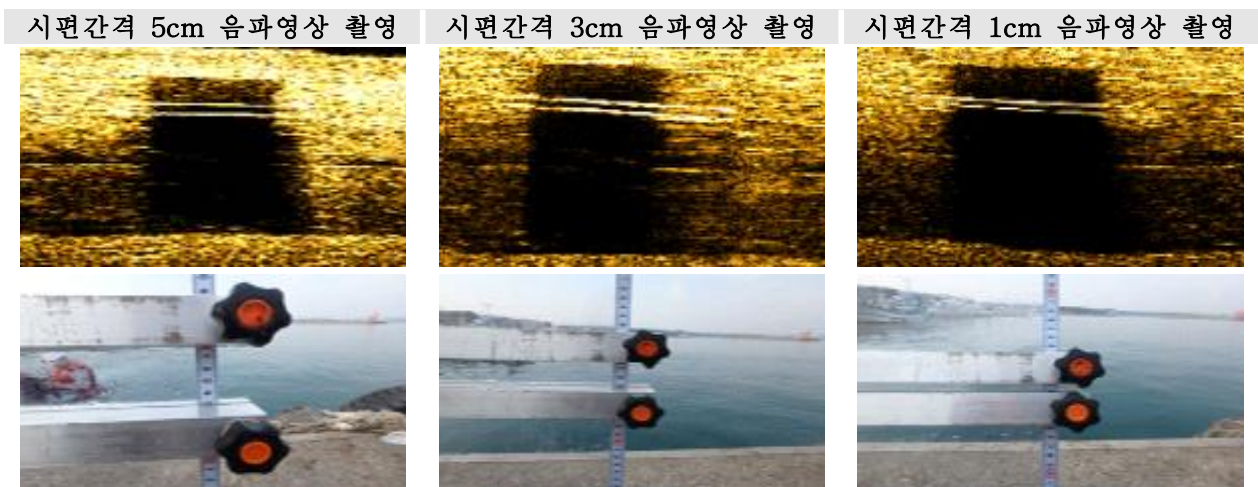


그림 3.1.18 현장검증 결과

(3) 실내테스트 및 현장검증 결과

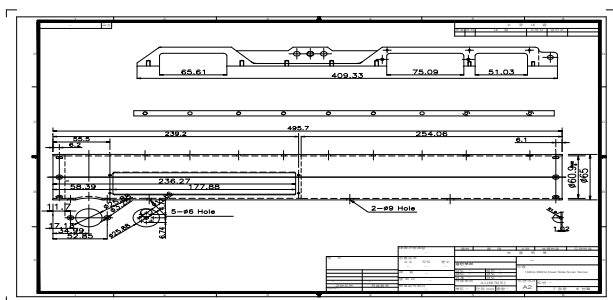
2MHz급 초고해상 사이드스캔소나의 연구 목표 분해능은 1cm이며, 실내 테스트를 통해 구조물과 소나와의 거리 3m일 때 이론상 최대 분해능인 1cm를 판독할 수 있었으며, 1cm 이하인 0.8cm도 판독할 수 있었다.

수중조사 실시 전에 기 진단자료, 준공도서 분석 등을 충분히 분석하고, 현장에서는 데크유닛 거치대, 수중 케이블 등과 같은 장비를 준비하여, 순서에 맞도록 장비결합을 실시해야 한다. 인원은 3~4명이 적당하며 높은 파고와 풍량이 있을 시 품질 저하뿐만 아니라 안전사고 우려가 있으므로 파고는 0.5m 이하의 조건에서 실시하는 것을 원칙으로 한다. 2MHz급 초고해상 사이드스캔소나 운용을 위한 준비단계에서 총 소요시간은 '4분 00초 86'으로 나타났으며, 소나의 수중 초음파를 이용하여 수중 교각의 상태를 조사하여 초음파 영상에서 손상이 의심되는 부분이 발견될 경우에는 2차적으로 잠수부가 투입되어 상세조사를 실시한다.

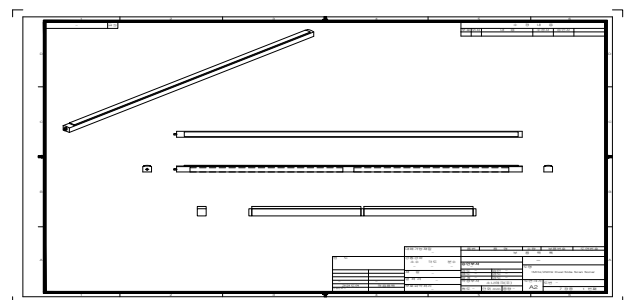
개발된 2MHz급 소나의 경우 현장 운용 실험을 통해 현장에서도 목표 분해능인 1cm 판독이 가능한 것으로 나타났으며, 실내 테스트에 비해 현장 운용 결과 대체적으로 양호한 품질의 음파영상을 얻을 수 있었다.

기존 소나를 활용한 수중점검기술 개발 과정에서 사이드스캔소나를 활용한 음파영상 촬영 시에는 구조물의 거리와 촬영각도에 따라 데이터수집의 차이가 발생한 것으로 나타났으며, 구조물과의 거리에 따른 적정 각도가 있는 것으로 판단되었다. 따라서 개발된 2MHz급 사이드스캔소나 역시 반복적인 실내·외 실험을 통한 적정 거리 및 각도를 취득할 필요가 있으며, 이를 기반으로 다른 방식의 운용방법을 개발할 필요가 있다.

1MHz/2MHz 듀얼 소나 모듈 및 Towfish 개발 : 2차년도 2MHz 시작품으로 테스트 결과, 2MHz는 구조물 조사가 적합하며, 1MHz는 하상조사에 적합한 결과를 얻어, 조사 대상에 따라 주파수 혼용의 필요함. 따라서, 듀얼 주파수의 소나 개발 및 제작을 연구 범위에 추가하였다.



[1MHz/2MHz towfish 설계]



[1MHz/2MHz 듀얼 트랜스듀서 설계]

사. 현장적용 및 검증

(1) 점검 속도 검증

(가) 성과지표 개요 - 점검속도

현장실험을 통하여 3차년도에 개발한 1/2MHz의 주파수를 가진 소나를 이용하여 초음파데이터를 취득하였으며, 일산대교의 MP12~MP26 구간의 총 15교각에 대해서 현장실험을 수행하였다.

(나) 현장 실험

일산대교 수중부에 위치한 MP12~MP26(총 15기)에 대하여 수중초음파조사를 실시하였으며, 조사 방향을 0°면(시점측), 90°면(하류측), 180°면(종점측), 270°면(상류측)으로 구분하여 조사하였다. 교각 표면과 하상을 조사하기 위해 개발된 스마트 전동지그를 이용하여 교각표면과 하상면으로 구분하여 각도를 변경하고 수중구조물 표면에서 적절한 간격을 유지하면서 평행스캔으로 수중초음파Data를 수집하였다. 아래와 같은 항적도로 수중조사를 실시하여, DATA를 확보했을 때의 시간을 1/2MHz Postscan 프로그램으로 확인하였다.

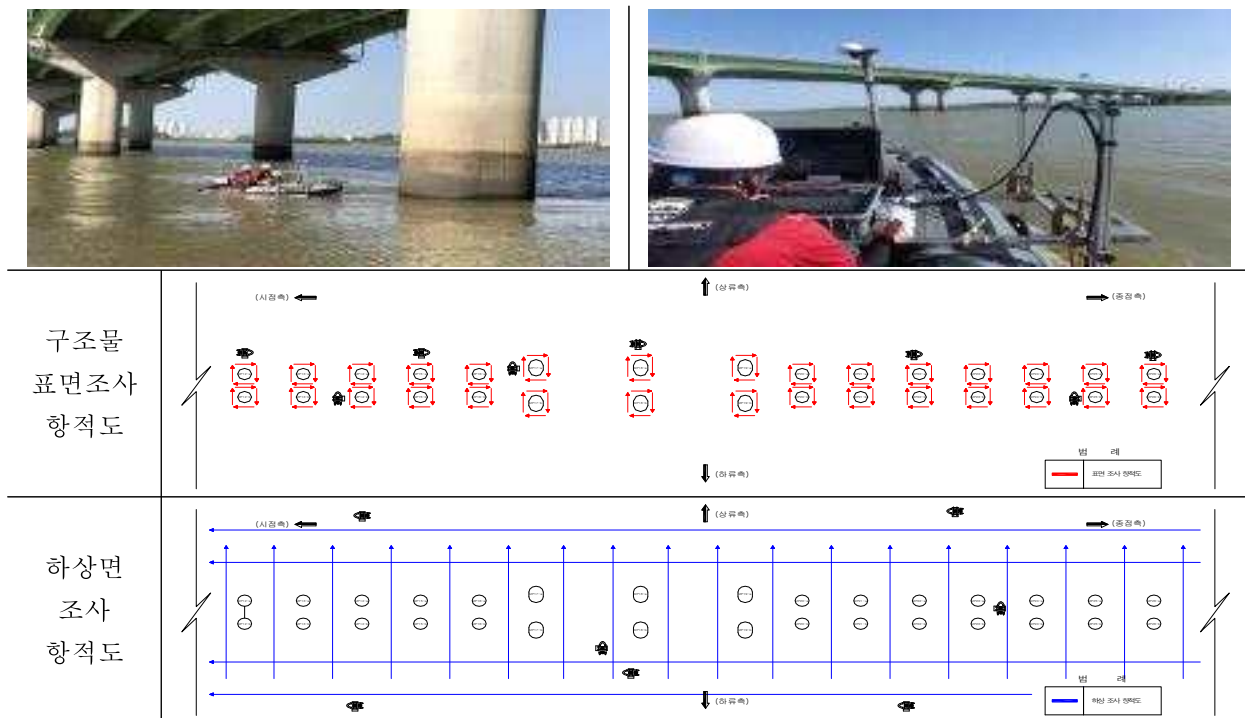


그림 3.1.19 현장실험 및 항적도

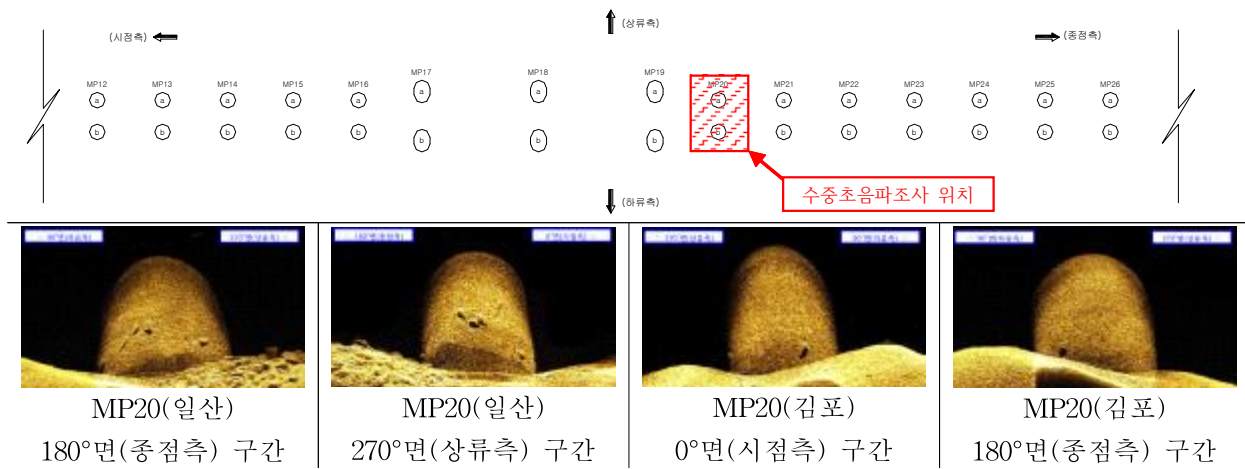
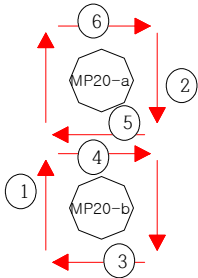


그림 3.1.20 MP20 구간 수중초음파조사

표 3.1.5 MP20 구간 수중초음파조사 결과

조사 방법	번호	조사시간	번호	조사시간
	1	Date 05/23/2018 <u>Start Time 13:47:02</u> End Time 13:47:59 Total Time 00:00:57 Current 13:47:11	4	Date 05/23/2018 Start Time 13:50:31 End Time 13:50:58 Total Time 00:00:27 Current 13:50:39
	2	Date 05/23/2018 Start Time 14:00:28 End Time 14:01:04 Total Time 00:00:36 Current 14:00:42	5	Date 05/23/2018 Start Time 13:51:12 End Time 13:51:44 Total Time 00:00:32 Current 13:51:18
	3	Date 05/23/2018 Start Time 13:49:45 End Time 13:50:14 Total Time 00:00:29 Current 13:49:50	6	Date 05/23/2018 Start Time 13:51:59 <u>End Time 13:52:26</u> Total Time 00:00:27 Current 13:52:12
MP20 총 조사시간			5분 18초	

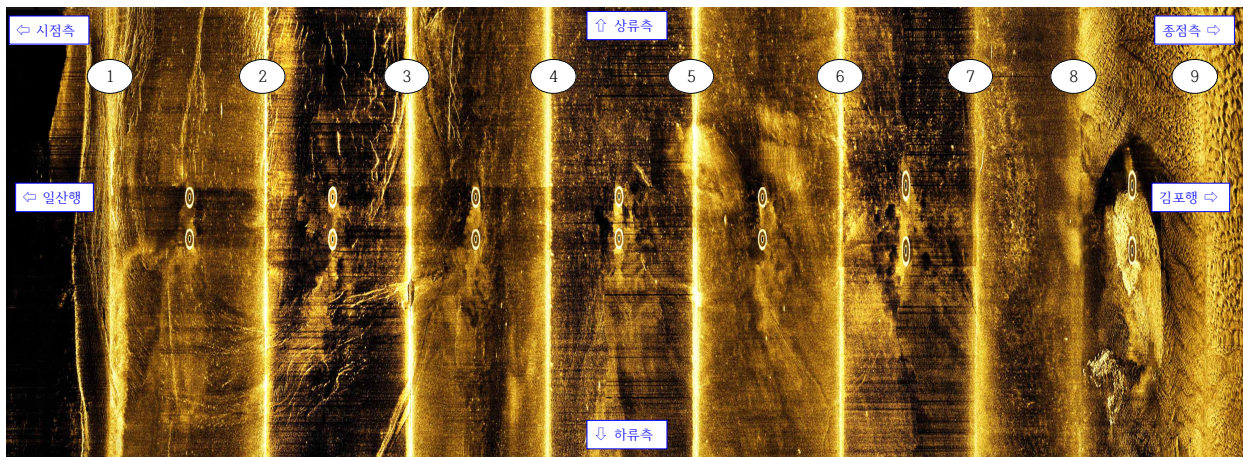


그림 3.1.21 일산대교 MP12~ MP18 구간 하상면 조사

(다) 수중초음파조사 점검 속도 결과

조사구역	구조물 조사시간	조사구역	하상면 조사시간
MP12	5분 09초	1	21분 44초
MP13	7분 05초	2	
		3	
MP14	4분 52초	4	
		5	
MP15	5분 22초	6	
MP16	6분 01초	7	
MP17	4분 59초	8	
MP18	5분 29초	9	
MP19	5분 18초	8	22분 48초
MP20	5분 18초	9	
		10	
MP21	5분 42초	11	
		12	
MP22	6분 21초	13	
		14	
MP23	8분 27초	15	
		16	
MP24	6분 00초	17	
MP25	5분 35초	18	
MP26	6분 05초	19	
구조물 조사시간	87분 43초	하상면 조사시간	44 분 32초
점검 속도 연구 목표			교각 10기 / 4시간
현장 실험 조사 시간			교각 15기 / 2시간 12분 15초

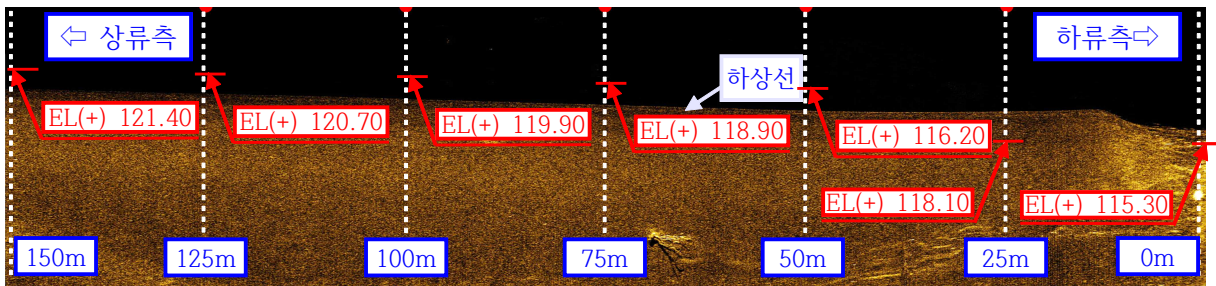
(2) 점검 항목 검증

(가) 성과지표 개요 - 점검항목

수중 교각의 다양한 손상 유형들에 대해 소나를 이용하여 점검 가능한 항목들을 알아보기 위하여 현장실험에서 취득된 손상 이미지를 유형별로 DB화 하였다. 현장실험 결과 영상을 세굴, 침식, 단차, 철근노출, 박락, 재료분리, 유송잡물 적치 등의 유형으로 분류하고, 소나 영상 및 잠수부 촬영 영상을 함께 정리하였다.

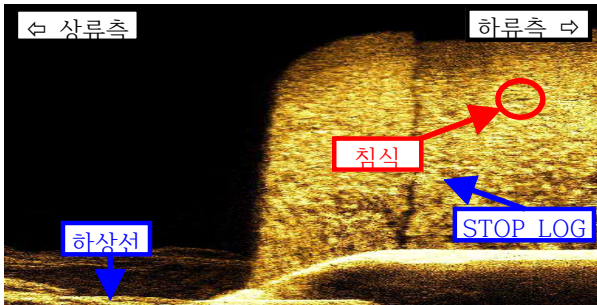
(나) 외관조사(수중초음파조사) 결과

① 세굴



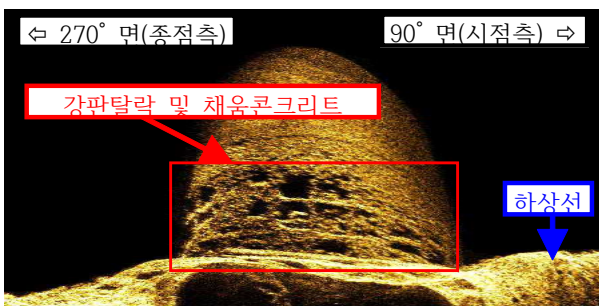
상류측 수문 3 구간(A-A') 종단면 수중초음파 데이터

② 침식



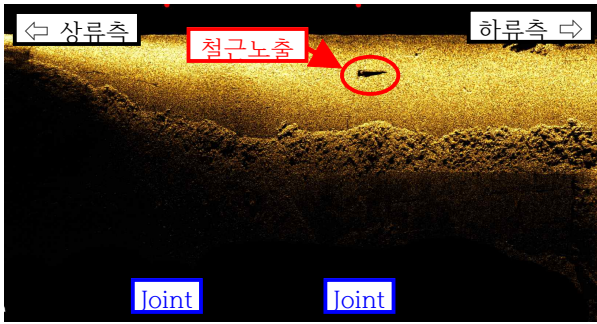
침식(A=0.3m × 0.2m, T=100mm)

③ 강판탈락 및 채움콘크리트 유실



강판탈락 및 채움콘크리트 유실

④ 철근노출



침식 및 철근노출(A=2.0m × 0.7m, T=300mm)

(다) 실험결과 및 고찰

수중 구조물에 소나 수중점검 시스템을 적용하여 각각의 손상유형(세굴, 단면결손, 재료 분리, 철근노출 등)에 대한 잠수부 영상 자료와 소나를 이용하여 획득된 수중 영상 자료를 비교한 결과, 수중 구조물의 다양한 손상 유형과 크기 및 위치를 확인 할 수 있었다.

표 3.1.7 수중초음파조사 분석 결과표

구 분		결합 및 손상내용	손상물량			비 고
			물량	단위	개소	
일간대교 기초부 하단	MP18	하상세굴	2,274.49	m ³	1	주의관찰
	MP19	하상세굴	3,604.00	m ³	1	주의관찰
	MP20	하상세굴	4,914.77	m ³	1	주의관찰
	MP21	하상세굴	1,863.39	m ³	1	주의관찰
	MP22	하상세굴	2,833.28	m ³	1	주의관찰
	MP23	하상세굴	7,282.55	m ³	1	주의관찰
	MP24	하상세굴	5,703.07	m ³	1	주의관찰
	MP25	하상세굴	1,773.50	m ³	1	주의관찰
합 계			30,249.05	m ³	8	
의암댐 상류측 구간	P1	침식	0.14	m ³	3	
	P2	침식	0.15	m ³	1	
	P6	침식	0.12	m ³	1	
합 계			0.41	m ³	5	
청평댐 상류측 구간	PR3	침식	0.12	m ³	1	
	PR5	침식	0.56	m ³	1	
	PR12	침식	0.07	m ³	1	
합 계			0.75	m ³	3	
강화대교 기초부 하단	P3	강판탈락 및 채움콘크리트 유실	110.2	m ³	1	
	P5	강판탈락 및 채움콘크리트 유실	275.5	m ³	1	
	P6	강판탈락 및 채움콘크리트 유실	192.7	m ³	1	
합 계			578.4	m ³	3	
의암댐 양안부 옹벽 및 도류벽 구간	좌안 옹벽	철근노출	6.42	m ³	2	
합 계			6.42	m ³	2	

※ 하상세굴의 손상물량은 설계지반선과 비교 시 최대수심차를 적용함

(3) 점검 속도 검증

(가) 성과지표 개요 - 점검수심

현장실험을 통하여 소나로 점검 가능한 점검수심을 확인하였다. 우리나라 교량의 경우 수심 20m 이상인 곳에 건설된 교량은 해상교량을 제외하고는 그 수가 매우 적기 때문에 점검수심의 성과지표 달성 검증을 위하여 다목적댐 및 항만시설에서 현장실험을 실시하였다.

(나) 현장실험

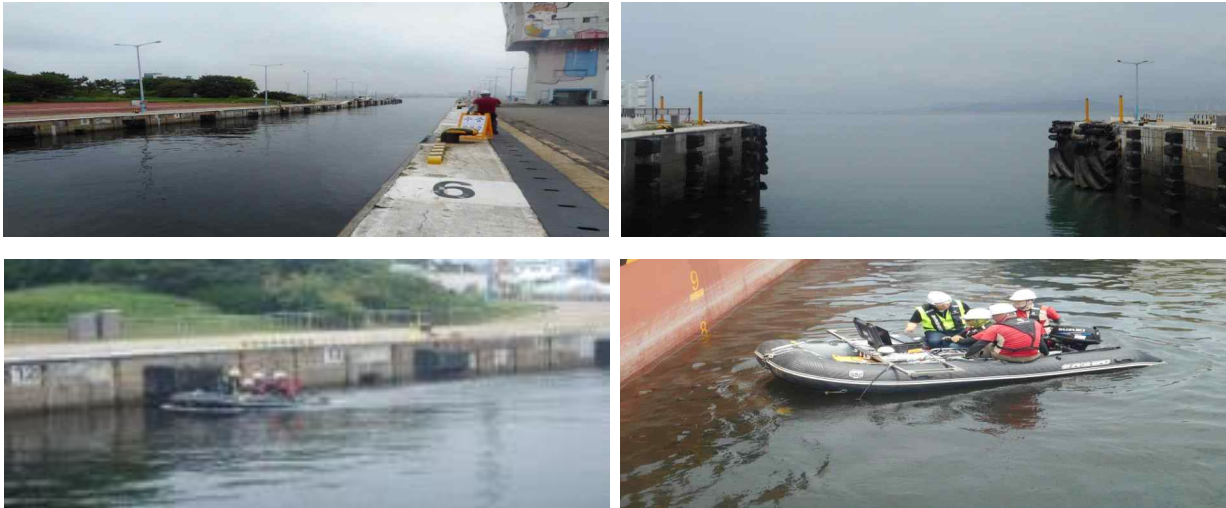


그림 3.1.22 수중초음파조사 현황

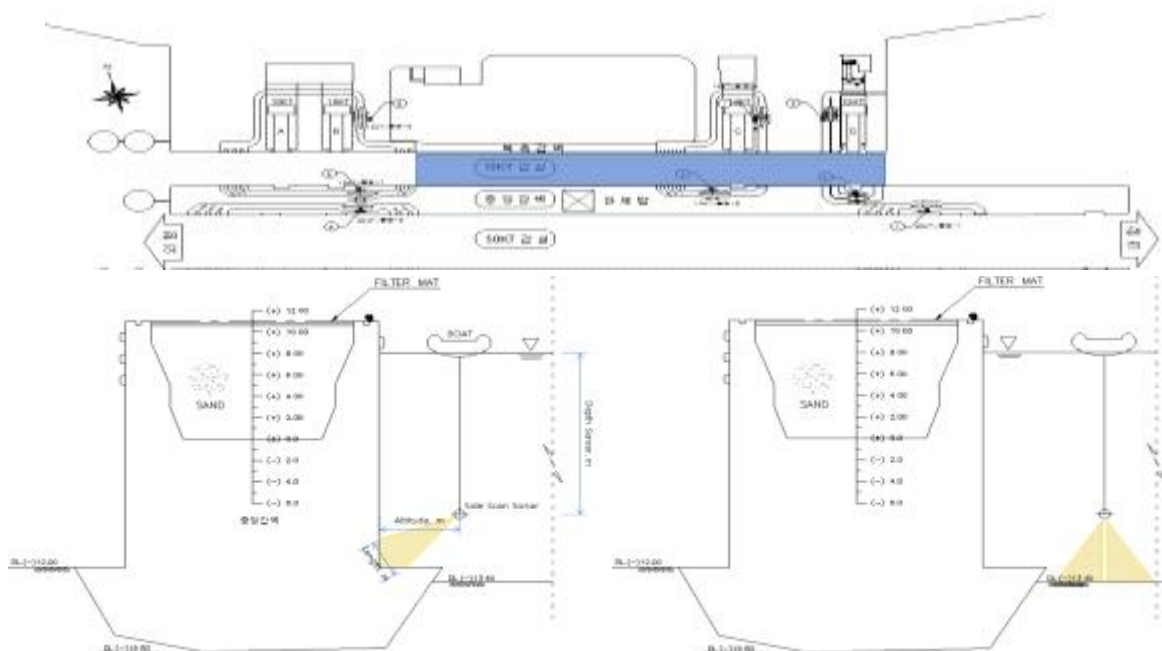


그림 3.1.22 현장실험 및 항적도, 수심측정

(다) 실험결과 및 고찰

최대 점검가능 수심을 확인하기 위하여 항만시설물 및 다목적댐의 일정 부근의 소나 초음파 영상 데이터를 취득하였으며, 항만시설물 수심 15m이상과 다목적댐 수심 20m이상에서 구조물의 벽체 및 하상의 영상을 개발된 소나 장비를 이용하여 뚜렷하게 확인이 가능함을 확인하였다.

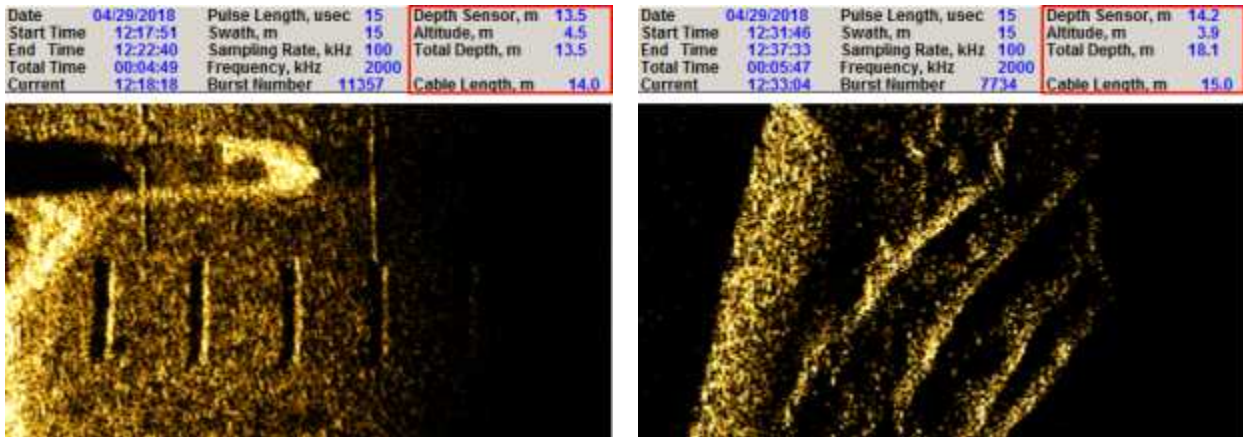


그림 3.1.22 항만시설 소나 초음파영상 및 점검수심 확인 (좌 벽체, 우 하상면)

(4) 실제 손상 오차율 검증

(가) 성과지표 개요 - 실제손상오차율

현장실험을 통하여 소나로 수집되는 데이터의 분해능(1cm 이상) 및 손상 오차율(5% 이내)을 확인하였다. 본 시험은 ‘한국조선해양기자재연구원’에 의뢰하여 현장시험을 실시하였다.

(나) 현장시험

시험장소 : 부산광역시 기장군 일광면 칠암리 2-13 칠암항
시험환경 및 소프트웨어 : 1/2MHz Side Scan Sonar Realscan, Postscan
시험환경 : 온도(시작22℃/종료33℃), 습도(시작59%RH/종료52%RH)



그림 3.1.23 분해능 및 오차율 판별시편



그림 3.1.24 1MHz / 2MHzSSS 보트에 설치

(다) 시협성적서(KOLAS)

[illegible]

2. 고해상도 소나전용 스마트 전동 프레임

가. 소나거동 및 환경요인 분석

(1) 기존 수중 점검용 듀얼 소나

(다) 수중 점검용 듀얼소나 개념

듀얼소나 기반의 수중 구조물의 점검 및 진단 기법으로 고해상도 1MHz급 듀얼소나와 전동지그 프레임세트, 소나장비 운용을 위한 제어시스템, 듀얼 소나장비 운영 프로세스(듀얼소나 운영프로그램, 흔들림 보정기법, 후처리 프로그램)등 하드웨어 및 소프트웨어로 구성된 수중구조물 점검 및 진단 기법

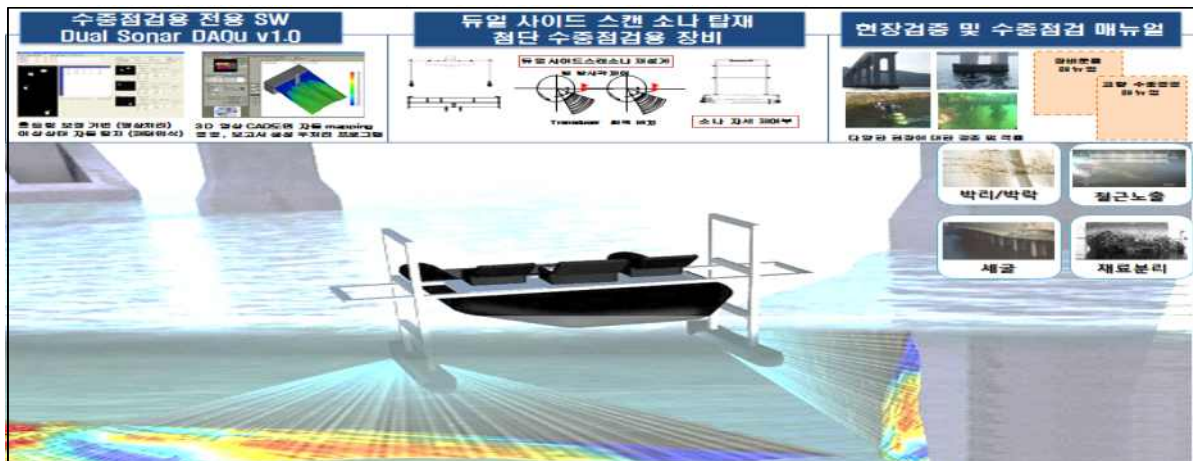


그림 3.2.1 듀얼소나를 이용한 수중조사 개념도

(라) 수중 점검용 듀얼소나의 구성

기존 사이드 스캔 소나는 하상과 벽체를 동시에 조사하기 위하여 Towfish 두 대를 조합한 듀얼 소나로 구성되어 있으며 촬영 각도를 조정하기 위하여 전동지그 세트와 이를 거치하기 위한 프레임으로 구성되어 있다. 또한 항적도의 기록에 의해 후처리로 영상을 처리하기 위하여 위치정보를 받는 DGPS로 구성되어 있다.



그림 3.2.2 기존 수중 점검용 듀얼 소나 장비의 구성

(2) 기존 소나의 적용 환경의 문제점 분석

구분	내 용	해결 방안
안전	• 듀얼소나를 전동 지그와 조립을 하여 보트에 거치를 함. • 수상에서 진행되며, 보트의 사이드 쪽에 진행되어 보트의 무게 중심이 기울 경우 보트 전복의 위험성이 있음. • 듀얼 소나는 유속에는 영향이 없지만, 파고 0.5m 이상 또는 빠른 풍속에 의해 생기는 너울에 의해 데이터의 왜곡이 발생. • 소형 고무보트에 맞게 제작 되어 있어 전복 우려가 발생.	• Towfish 및 전동지그를 일체형으로 설계를 하여 경량화를 시킴 • 거치식, 예인식, 수직인양식으로 환경에 따라 안전을 고려하여 설계 • 목표치를 3°/sec로 흔들림보정 프로그램을 설계 • 데이터 왜곡에 대한 보정을 진행 • 또한 안전상 파고 0.5m 이상의 운행 제한 사항을 매뉴얼에 명시해야 함
환경	• 전동지그를 통하여 촬영 각도를 조정하여 원하는 측정범위를 조정하고 있음. • 하지만 보트 운행에 따른 물의 저항이 전동지그와 토크피쉬의 체결부에 영향을 주므로 운행 중 촬영 각도가 고정이 불가함. • 지속적으로 점검 각도를 확인하며 운행하여야 함. • 듀얼소나 보트의 거치 또는 작업 완료 후 보트 정박 시 수심이 거치된 듀얼소나 보다 낮을 경우 소나의 파손이 우려 됨. • 저수지 및 소형 교량 같은 경우 보트 진입 불가 지역이 발생되어 듀얼 소나를 사용불가 함.	• 2MHz 급 소나의 Towfish 및 전동지그를 일체형 및 유선형으로 설계를 하여 유속 및 물의 저항에 의하여 각도가 상시 고정되도록 설계함 • 소나의 경량화를 통해 거치 작업은 수심이 깊은 곳에서도 진행할 수 있도록 설계함. • 소나의 사용 수심은 최소 2m이상은 되어야 하며, 현재 6인승 보트 외에 소형 보트 등 다양한 보트 형식에 적용할 수 있는 소나 및 지그를 설계해야 함

구분	내 용	해결 방안
사용	• 소나의 towfish 무게는 공기 중에 16kg, 물속에서 약 10.5kg, 데크 유닛 13kg, 전동지그 약 10kg, 거치 사다리 약 11kg 등 장비의 무게만 약 50kg임 • 운반의 문제와 설치 시 무게 중심의 이동으로 보트의 전복 문제가 발생. • 전동지그와 지그 프레임은 볼트로 고정되며, 지그 프레임과 사다리는 프로파일로 제작 됨. • 방수 코팅이 되어있으나, 사용 중 코팅에 손상이 되면 부식이 발생되어 내구성 문제가 발생 됨. • 지그프레임과 사다리는 운반의 편의를 위하여 볼트와, 링크로 체결됨. • 보트 운행 시 물의 저항으로 체결부가 변형이 되거나 느슨하게 되어 정확한 각도 조절이 어려움. • 토우피쉬와 전동지그는 각각 데크유닛과 컨트롤 박스로 케이블 및 방수 커넥터로 연결됨. • 두 개의 케이블이 수중에서 연결되므로 토우피쉬 각도 회전 시 꼬이는 현상이 발생됨. • 이에 따라 방수 커넥터 부분에 손상을 줌	• 2MHz급 소나는 1MHz급에 비해 센서의 크기가 작으며, 전동지그와 일체형으로 설계되어, 경량화가 예상됨. • 기존 지그 프레임은 프로파일로 제작이 되어, 무게와 부식에 취약했지만, 스테인레스 파이프를 이용하여 경량화와 부식에 내구성을 가지도록 하며, 구조검토를 통하여 적정 단면과 길이를 산정해야 함 • 지그프레임은 거치식, 예인식, 수직인양식으로 측정 방법을 달리하여 3가지 방법으로 설계하였음. • 2MHz급 토우피쉬와 전동지그를 일체형으로 설계하였으며, 유선형 설계로 물의 저항을 줄임 • 전동지그 컨트롤 박스와 데크유닛, 토우피쉬의 연결되는 케이블을 각각 연결하여 두 개의 케이블이 있었으나, 한 개의 케이블로 연결되도록 설계함 • 케이블 꼬임을 방지하기 위하여 전동지그 내부에 회전부를 설계하여 문제를 해결하고자 했음.

(3) 소나 거동 분석

(가) 동수압력 산정

소나의 거동을 분석하고 지그프레임을 설계하기 위해 소나가 부착된 지그프레임에 대해 유한요소해석을 수행하였다. 지그프레임이 수중에서 보트와 함께 이동함에 따라 지그프레임에 동수압력이 작용하게 된다. 물 속에 있는 지그프레임이 모든 방향에서 정수압이 작용하고 있으므로 정수압력은 하중으로 고려하지 않는다.

부재에 작용하는 하중은 수상레저안전법 시행령 제15조(운항규칙)에 따라 보트 속도가 최대속력 10노트로 제한되므로, 안전측 설계를 위해 보트가 최대속력으로 이동하는 경우에 대하여 물체에 수중부에서 작용하는 동수압을 아래와 같이 산정한다.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad \text{Bernoulli's equ.} \quad (1)$$

$$P_1 + \frac{V_1^2 \gamma}{2g} + \gamma z_1 = P_2 + \frac{V_2^2 \gamma}{2g} + \gamma z_2 \quad (2)$$

높이 위치가 동일하므로 $z_1 = z_2$, 지그프레임에 부착했을 때 물의 이동이 정지하므로 $V_2 = 0$, 지그프레임이 없는 경우에 부재에 작용하는 압력이 없으므로 $P_1 = 0$ 이 된다. 따라서, 식은 아래와 같이 간략히 정리된다.

$$P_2 = \frac{V_1^2 \gamma}{2g} \quad (3)$$

1노트가 1.852km/h = 0.514m/s 이며, 단위중량 $\gamma = 1000\text{kg/m}^3$ 이므로

$$P = \frac{V^2 \gamma}{2g} = \frac{0.514^2 \times 1000}{2 \times 9.81} = 13.2\text{kg/m}^2 \quad (4)$$

(보트가 10노트로 이동할 때 부재에 작용하는 동수압력)

(4) 유한요소해석

유한요소해석에 있어 경제적이고 신뢰할 수 있는 수치해석 결과를 얻기 위해서 해석 모델을 구성하는 요소의 종류와 크기를 적절히 선택하여야 한다. 전동지그 몸체와 토우퍼시는 빔(beam) 요소를 사용하였으며, 전동지그 상부 보트와 연결된 부분에 경계조건을 힌지로 설정하여 이동시 전동지그에 작용하는 동수압에 대한 해석을 수행하였다.

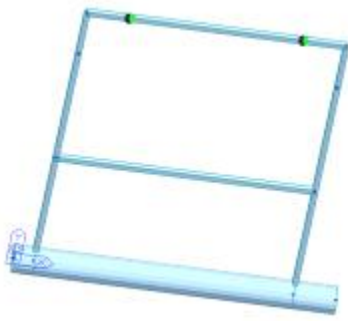
지그프레임으로 사용할 수 있는 부재로는 다양한 부재를 사용하기 위해 알루미늄 프로파일과 스테인레스 스틸을 사용하는 것을 계획하고 있다. 알루미늄 프로파일은 20x20mm의 각재로 된 솔리드 형태이며, 스테인레스 스틸은 지름 10.5mm, 두께 1.0mm인 원형부재로 중공관 형태이다. 토우퍼시는 지름 0.104m의 원형부재이다.

알루미늄 프로파일 부재에 작용하는 동수압력은 $13.2\text{kg/m}^2 \times 0.02\text{m} \times 10\text{노트} = 2.64\text{kg/m}$ 이며, 스테인레스 스틸에 작용하는 동수압력은 $13.2\text{kg/m}^2 \times 0.0105\text{m} \times 10\text{노트} = 1.39\text{kg/m}$ 이다. 토우퍼시에 작용하는 하중은 집중하중으로 $13.2\text{kg/m}^2 \times 3.14 \times (0.104\text{m})^2 / 4 \times 10\text{노트} = 1.12\text{kg}$ 이다.

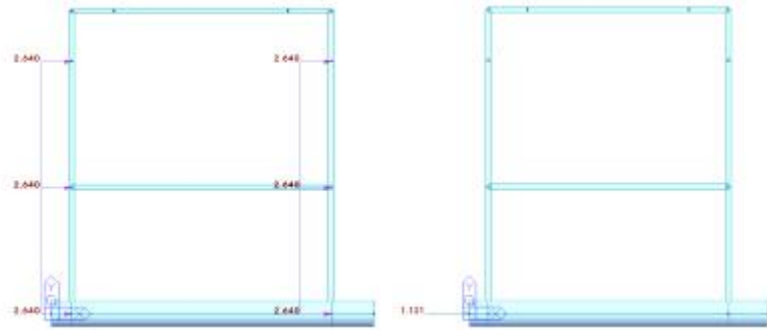
알루미늄 프로파일의 허용하중은 1000mm 길이인 단순 양단 지지보의 중앙집중하중으로 14.28kg을 제시하고 있어, 이를 허용휨모멘트로 환산하면 아래와 같다.

$$M_a = \frac{PL}{4} = \frac{14.28 \times 1}{4} = 3.57\text{kg} \cdot \text{m} \quad (5)$$

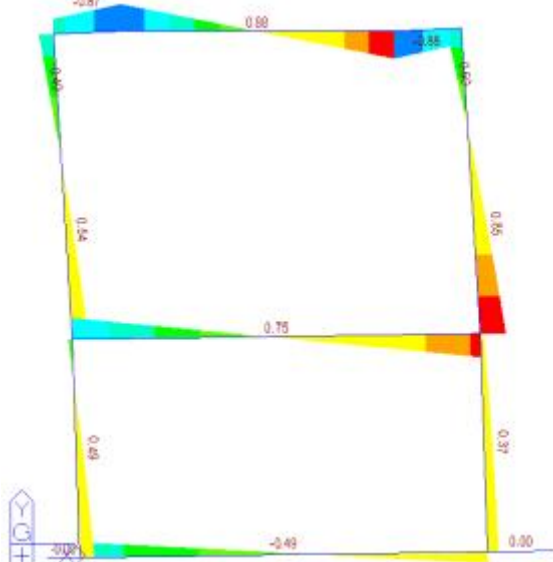
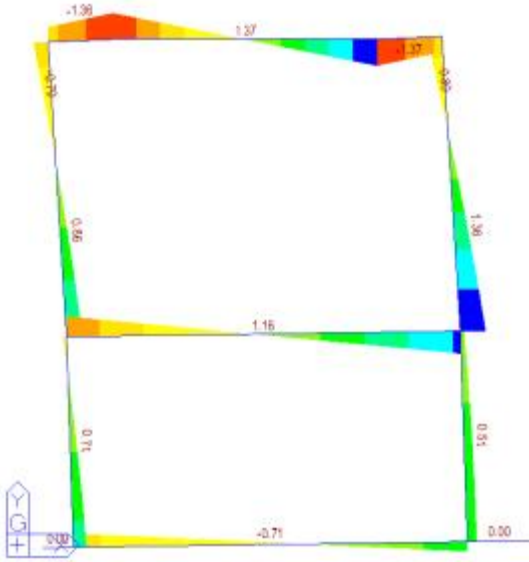
스테인레스 스틸은 항복강도가 205MPa로 주어지고 있어, 안전율 1.7을 적용해 허용응력을 산정하면 120.6MPa이 된다.



유한요소분석 모델 형상



하중작용



알루미늄 프로파일 부재의 휨모멘트 (kgf · m) 스테인레스 스틸 부재의 휨모멘트 (kgf · m)

그림 3.2.3 유한요소해석

알루미늄 프로파일 부재에 발생하는 휨모멘트는 그림 3.3과 같다. 최대 발생 휨모멘트가 1.37kg · m가 발생되어 허용휨모멘트 3.57kg · m 보다 적어 구조적 안전성을 확보하는 것으로 나타났다.

스테인레스 스틸 부재에 발생하는 휨모멘트는 그림 3.4와 같다. 최대 발생 휨모멘트가 0.88kg · m가 발생되고 최대 발생응력이 $0.88 \times 100 \times 1.05 / 2 \div (3.14 \times 1.054 / 64) = 774.7 \text{ kgf/cm}^2 = 77.5 \text{ MPa}$ 로 산정되어, 허용응력 120.6MPa 보다 적어 스테인레스 스틸을 적용해도 구조적 안전성이 확보되는 것으로 나타났다.

유한요소해석을 이용하여 진동지그 프레임을 설계하였다. 진동지그 프레임은 알루미늄 프로파일과 스테인레스 스틸 중에서 사용하는 것을 계획하고 있는데, 알루미늄 프로파일은 20x20mm의 각재, 스테인레스 스틸은 지름 10.5mm, 두께 1.0mm인 원형부재의 적용이 가능함을 확인하였다.

나. 스마트 전동프레임 설계

(1) 2MHz급 소나 운영 방안

(가) 2MHz 소나의 운영 개요

2MHz급의 소나 개발 시 1MHz급의 소나보다 방사 폭이 좁아져서 조사거리가 좁게 나타날 것으로 예상된다. 1250kHz급 소나 싱글빔의 일방향 폭이 35m 이며, 실제 조사 시 20m의 유효 폭을 가진다. 따라서, 댐 제체, 해상교량 등 수심이 깊은 곳은 기존 지그 방법으로 조사가 불가하므로 수직 인양식으로 소나의 촬영 기법을 변경해야 한다. 이에 따라 3가지 운영방안을 도출하여 스마트 전동프레임을 설계하였다. 또한 보트에서 전동지그에 장착된 2MHz급 소나의 점검각도를 제어할 수 있도록 설계하여 원하는 측정부를 조사 가능하도록 하였다.

(나) 연구의 정량적 목표

스마트 전동 프레임 설계 시 정량적 연구 목표를 아래와 같이 설정하였다.

표 3.2.1 스마트 전동프레임의 정량적 성과 목표 및 사유

구분	목표치	사유
제어속도	0.1m/sec	2MHz급 소나를 수직 인양방법으로 측정 시 일정속도가 확보되지 않으면, 소나 영상이 왜곡되어 지므로 최소한의 제어속도 확보가 필요함
제어 정확성	5% 이내	정확한 소나의 측정 각도를 제어하기 위하여 전동지그의 정확성 확보가 필요함. 모터의 오차율을 고려한 설계가 되어야 함

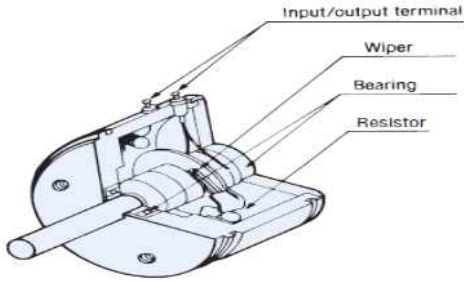
따라서 위의 목표를 충족하기 위하여 아래와 같은 장비를 선정하여 설계에 반영하였다.

표 3.2.2 수직인양장치(전동원치)의 제원

구분	내용
Model	DU-500S 
Capacity	500kg
Power	100~120V 220~240V
Speed	7 m/sec
Motor	1.3KW

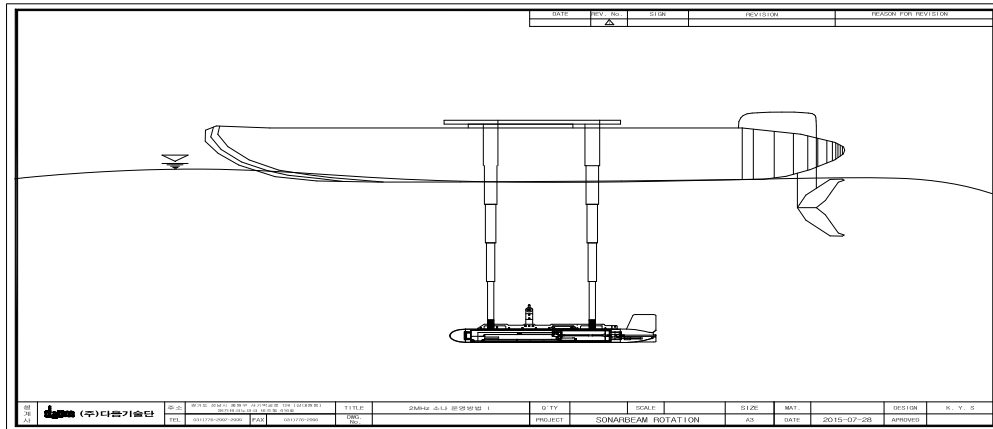
2MHz급 소나 수직인양 방법으로 촬영시 towfish를 수직으로 인양할 장치가 필요하다. 따라서 보트에 장착할 소형 윈치 선정이 필요하다. 연구 목표는 측정 속도 확보를 위하여 0.1m/sec의 제어 속도로 설정하였으며, 적용된 전동 윈치는 7m/min의 제어 속도를 가진다. 환산하면 0.12m/sec로서 연구 목표치를 상회한다. 하지만 1차년도 설계단계에서 2MHz급의 제어 속도를 정확히 지정 할 수가 없으므로 2차년도에서 2MHz급 소나의 개발 완료 후 실내 및 현장 실험을 통해 적정 제어 속도를 찾아내고 이에 부합하는 설계 변경과 연구 목표 변경이 필요할 것으로 판단된다.

표 3.2.3 전동지그 모터의 제원

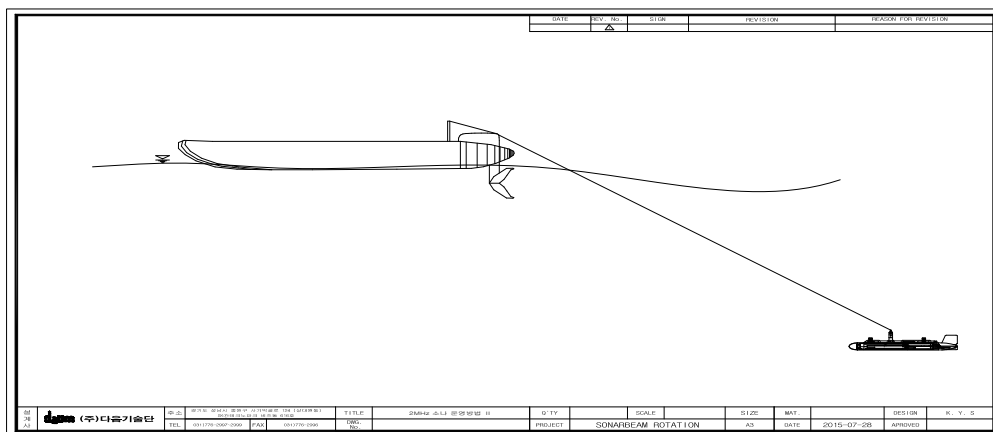
구분	내용
Model	WIREWOUND SINGLE TURN TYPE J45S 
Resistance tolerance %	± 5
Effective electrical angle	$353^{\circ} \pm 1.5^{\circ}$
Mechanical angle	360° continuous
Power rating (at 40 °C) W	1.3
Dielectric strength Vrms	1000 1 min
Insulation resistance MΩ minimum	1000 (at DC500 V)
Rotational torque mN·m{gf·cm} maximum	0.59 {6}
Maximum rotational speed min ⁻¹	200
Connecting accuracy	$\pm 1^{\circ}$ Based on No. 1 terminal

2MHz 소나의 전동지그에 적용된 모터의 저항 허용오차는 $\pm 5\%$, 유효 전기 각은 $353^{\circ} \pm 1.5^{\circ}$, 연계 정확성은 $\pm 1^{\circ}$ 이다. 따라서 제어의 목표치의 5%이내의 정확성에 부합될 것으로 판단된다.

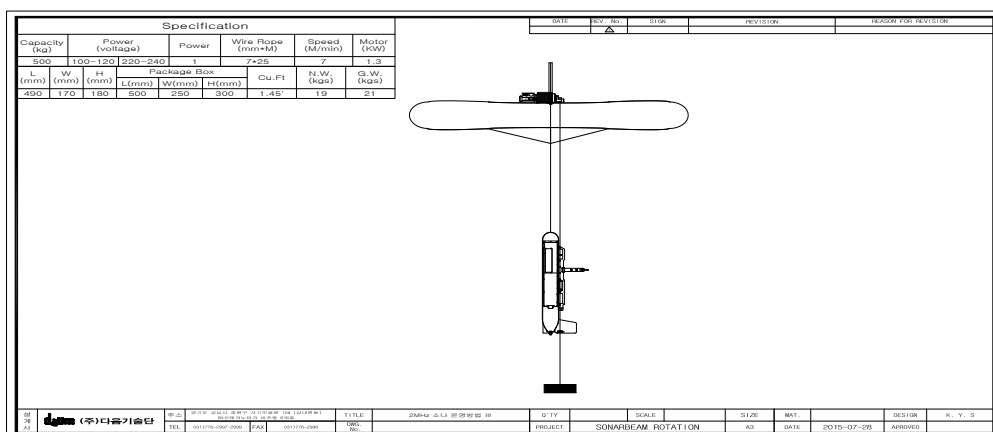
(2) 스마트 전동 프레임 설계



거치식 운영 기법



예인식 운영 기법



수직인양식 운영 기법

그림 3.2.4 2MHz급 소나 운영 기법

다. 자이로연동시스템 설계

(1) 흔들림 보정의 개요

수중구조물 점검에 사이드스캔소나의 사용 시 파랑에 의한 보트 롤링현상, 보트 운전자의 운영미숙 등과 같이 작업환경에 따라 일관적인 데이터를 얻지 못하는 경우가 빈번히 발생한다. 또한 고해상도, 즉 주파수가 높아질수록 흔들림의 영향에 의해 데이터의 품질 저하가 발생된다. 기존 기술은 2°/sec 이내의 소나데이터 흔들림에 대한 Matlab 기반의 알고리즘이 개발되어 있다. 본 연구 개발에서는 3°/sec 이상의 흔들림에 대한 흔들림 보정 알고리즘 뿐만 아니라 실제 소나 데이터 후처리 프로그램에 접목하여 현장에서 필터링을 통한 소나 이미지의 흔들림 보정 툴을 개발하고자 한다. 따라서 본 설계 보고서는 이론적 배경과 프로그램 설계에 대하여 진행하였다.

(2) 흔들림 보정의 이론

(가) 흔들림 보정의 이론적 배경

흔들림 보정기술은 흔들림을 검출하는 기술과 흔들림을 보정하는 기술의 조합이다. 흔들림 검출기술에 자주 사용되는 것은 각속도센서 방식과 화상의 움직임 벡터량을 검출하는 방식이 있다. 자이로센서 방식은 자이로센서에 의해 흔들림으로 발생하는 카메라의 흔들림에 따른 각속도를 전기신호로 검출하는 것이다. 각속도센서는 진동 중인 질량체에 각속도 벡터 회전운동이 더해지면 질량체에 코리올리 힘(Coriolis' force)이 발생하는 것을 이용해 이 회전각속도를 검출하는 것이다. 이 검출을 위해 피치(pitch) 방향성분과 요(yaw) 방향성분으로 나뉘서 각각 1개의 각속도센서를 대응시켜 검출, 2개의 성분을 합성하는 것으로 실제 흔들림 방향과 속도를 산출한다.

(나) 흔들림 보정의 설계 이론



그림 3.2.8 영상 보정 알고리즘 Flow Chart

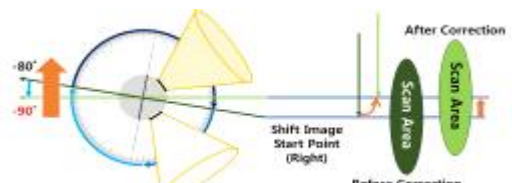
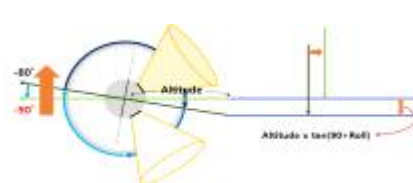
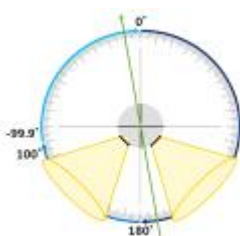
<SSS 롤 범위>

1

<SSS 롤 보정>

2

<보정 전후 소나 이미지 변화 (우현)>



- 롤이 -80°, 깊이가 1m일 경우의 예를 들면,
- 롤 보정 거리는 $\pm 1 \times \tan 10^\circ \times 100 = 17.63\text{cm}$
- 해상도=2.5cm 일때,
- 롤 보정 샘플수= $\pm 17.63 \div 2.5 \approx 7$

- 샘플당 픽셀수= $1333 \div 1916 = 0.69572026$
- 롤보정 픽셀수= $7 \times 0.69572026 \approx 4$

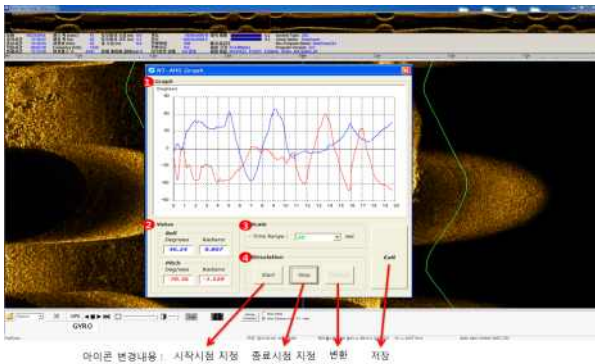
(3) 흔들림 보정의 설계

(다) 적용 센서 사양

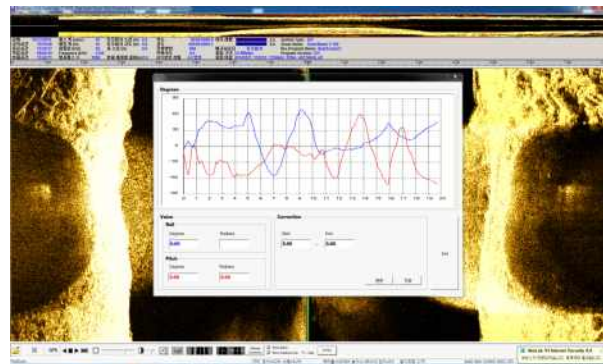
표 3.2.4 흔들림 센서 사양

	Azimuth accuracy	<0.5 degrees, 0.1 degrees resolution
	Inclination accuracy	Typical 1° accuracy <±30° tilt
	Inclination range	±80 degrees
	Temperature range	Accuracy specified for 0°C to 50°C, -40°C to +85°C
	Shock (Operating)	3,000 G, 0.5 ms, 10,000 G 0.1ms
	Data Refresh Rate	0.01 Hz to 40Hz sentence output rate

(라) Post SSS 프로그램 흔들림 보정 tool UI 설계



Post SSS 1차UI 도안



Post SSS 2차 UI 도안

그림 3.2.9 Post SSS 연동 흔들림 보정 설계 코딩

라. 스마트 전동프레임 개발 및 제작

(1) 전동지그 바디 및 전동지그 컨트롤 콘솔 제작



그림 3.2.10 전동지그 바디 및 전동지그 컨트롤 콘솔

(2) 2MHz급 소나 운영 방안 개발 및 시연

2MHz급 소나 수직인양 방법으로 촬영 시 Towfish를 수직으로 인양할 장치가 필요하다. 따라서 보트에 장착할 소형 윈치 선정이 필요하다. 연구 목표는 측정 속도 확보를 위하여 0.1m/sec의 제어 속도로 설정하였다. 그러나 적용된 전동 윈치는 7m/min의 제어 속도를 가진다. 환산하면 0.12m/sec로서 연구 목표치를 상회한다. 이에 실내 실험을 실시하여 Side Scan Sonar의 수직 인양 속도를 반복 측정 하였으며, 동시에 시편 간격을 측정하여 제어 속도가 적절한지 판단하였다.



그림 3.2.11 수직 인양 전동 윈치(전동 윈치 및 거치 사다리)



그림 3.2.12 전동지그 감압테스트

(3) 스마트 전동 프레임 보완사항

수심 10m이내의 실내·외 시험을 통해 제작된 전동지그의 성능은 목표치를 이루었으나, 감압테스트 및 현장 실험에서 장기 내구성 및 일부 문제점이 발견되어, 3차년도 연구를 통해 보완하였다. 5bar 감압으로 전동지그 누수여부를 테스트한 결과 누수가 발생하여 내구성을 보완하였다.

전동지그 후미 제어부와 2MHz Towfish 결합 시 누수방지를 위해 컨넥터(Connector)에 고무패킹을 장착하도록 설계하였으나, 결합과정에서 물림현상으로 고무패킹이 찢어져 누수가 발생해 3차년도 연구를 통해 보완제작하였다.



그림 3.2.13 컨넥터 고무패킹 및 전동지그 후미 제어부와 Towfish의 결합

마. 자이로연동프로그램 개발

(1) PostScan 흔들림 보정 Tool UI

흔들림 보정 툴을 사이드스캔소나 후처리 프로그램인 PostScan 프로그램 툴에 접목한 UI를 설계하였다.

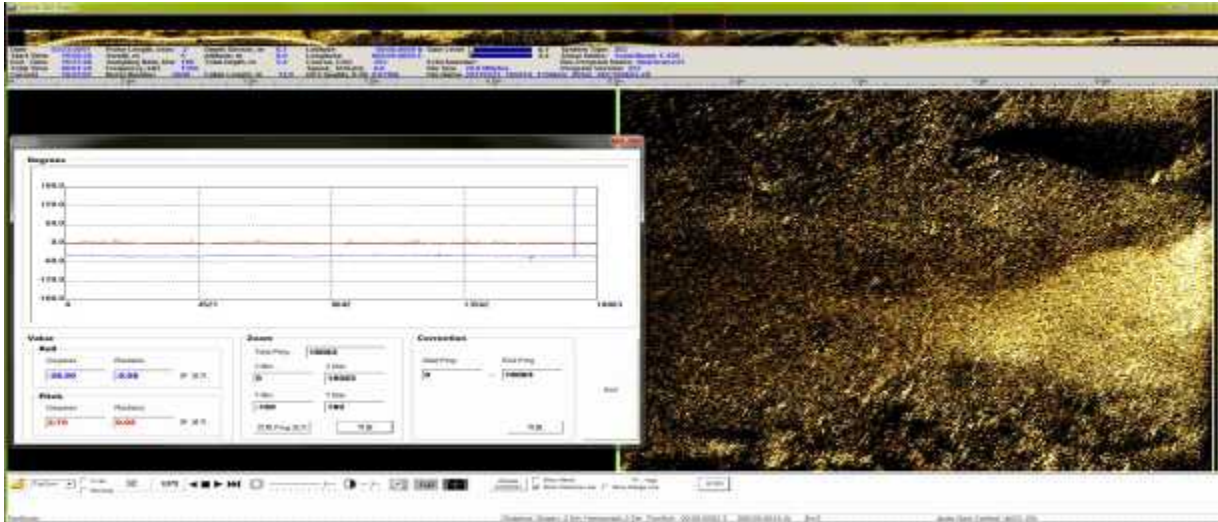


그림 3.2.14 PostScan 흔들림 보정 Tool UI (최종)



그림 3.2.15 흔들림 영상 보정

(2) 흔들림 보정 Data

표 3.2.5 흔들림 센서를 통한 수중구조물 음파영상 데이터 및 손상 비교

구분	위치	후처리프로그램 영상 확인	잠수부 촬영 영상	오차율
교량 위치				평균 오차율 2.75%
	손상 발생	#3. 단차 (L=2.1m)	#3. 단차 (L=2.0m)	5%
	(P7-a,b 90°)	수심 :2.5m	수심 :2.5m	0%

표 3.2.6 흔들림 센서 유무에 따른 현장 조사 오차율

구분	손상 위치	보정 전 (m)	보정 후 (m)	실제 길이 (m)	오차율	
					보정 전 오차율	보정 후 오차율
1	(P4-a 0°)	3.90	3.30	3.20	21.88%	3.12%
2	(P5-a 0°)	1.20	1.10	1.10	9.09%	0.00%
3	(P6-a 0°)	4.90	4.63	4.40	11.36%	5.23%
4	(P7-a,b 270°)	5.70	5.20	5.00	14.00%	4.00%
5	(P7-b 90°)	4.10	3.80	3.70	10.81%	2.70%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		
46	(P11-a 0°)	1.20	1.45	1.50	20.00%	3.33%
47	(P11-c 0°)	1.80	1.70	1.70	5.88%	0.00%
48	(P12-b 90°)	3.50	4.30	4.40	20.45%	2.27%
49	(P12-c 90°)	4.50	5.30	5.40	16.67%	1.85%
50	(P13-c 90°)	3.90	3.70	3.50	11.43%	5.71%
전체 평균 오차율					12.92%	2.45%

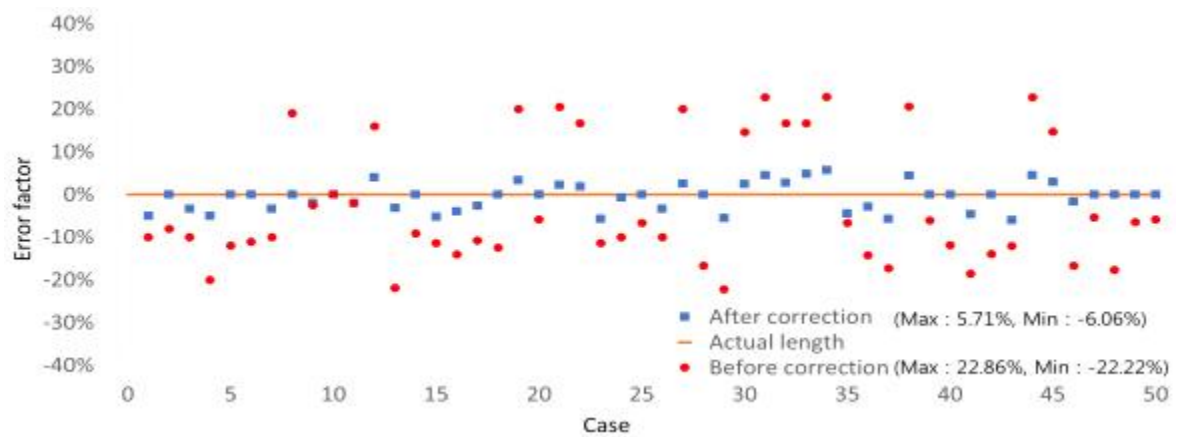


그림 3.2.16 후처리프로그램 및 잠수부 영상확인 오차율 산포도

현장조사를 통해 2MHz급 초고해상 사이드스캔소나 음파영상촬영 시 흔들림 센서 유무에 따른 오차율을 알기 위해 흔들림 센서가 미부착된 음파영상과 흔들림 센서가 부착된 음파영상을 비교하였다. 또한, 손상의심부에 잠수부를 투입하여 실제 손상길이 및 수심을 측정하여 분석하였는데, 사이드스캔소나를 통해 촬영된 음파영상을 PostScan으로 확인한 손상 길이 및 수심을 잠수사가 측정한 실제 길이에 대한 오차율을 구하였다. 보강 전과 보강 후 촬영된 음파영상을 PostScan으로 확인한 결과 평균 오차율은 각각 12.92%, 2.75%로 흔들림 센서를 통한 보정으로 오차율을 10.17%줄일 수 있었다. 표 1.3은 흔들림 센서 유·무에 따른 현장조사 오차율을, 그림 1.5는 보강 전·후 50개의 표본에 대한 오차율 분포도를 나타낸다. 보강 전 오차 범위는 -22.22%에서 22.86%를 나타내며, 보강 후 오차범위는 -6.06%에서 5.71%로 나타났다.

바. 실내테스트 및 검증

실내 테스트 및 현장 운용 실험을 위하여 자체 제작한 시편의 실제 길이와 실험과정에서 2MHz급 초고해상 사이드스캔소나로 촬영된 시편의 길이를 비교하였다. 사이드스캔소나로 음파촬영한 후 후처리프로그램인 '2MHz PostScan'을 이용하여 촬영된 시편의 길이를 측정할 수 있으며, 실제 길이 대비 음파촬영을 통해 나타난 측정 길이의 오차율을 계산하였다. 그림 1.1을 자체 제작한 시편의 길이를 나타내며, 실제 시편의 길이는 '55.0cm'이다.



그림 3.2.17 자체 제작한 시편 길이

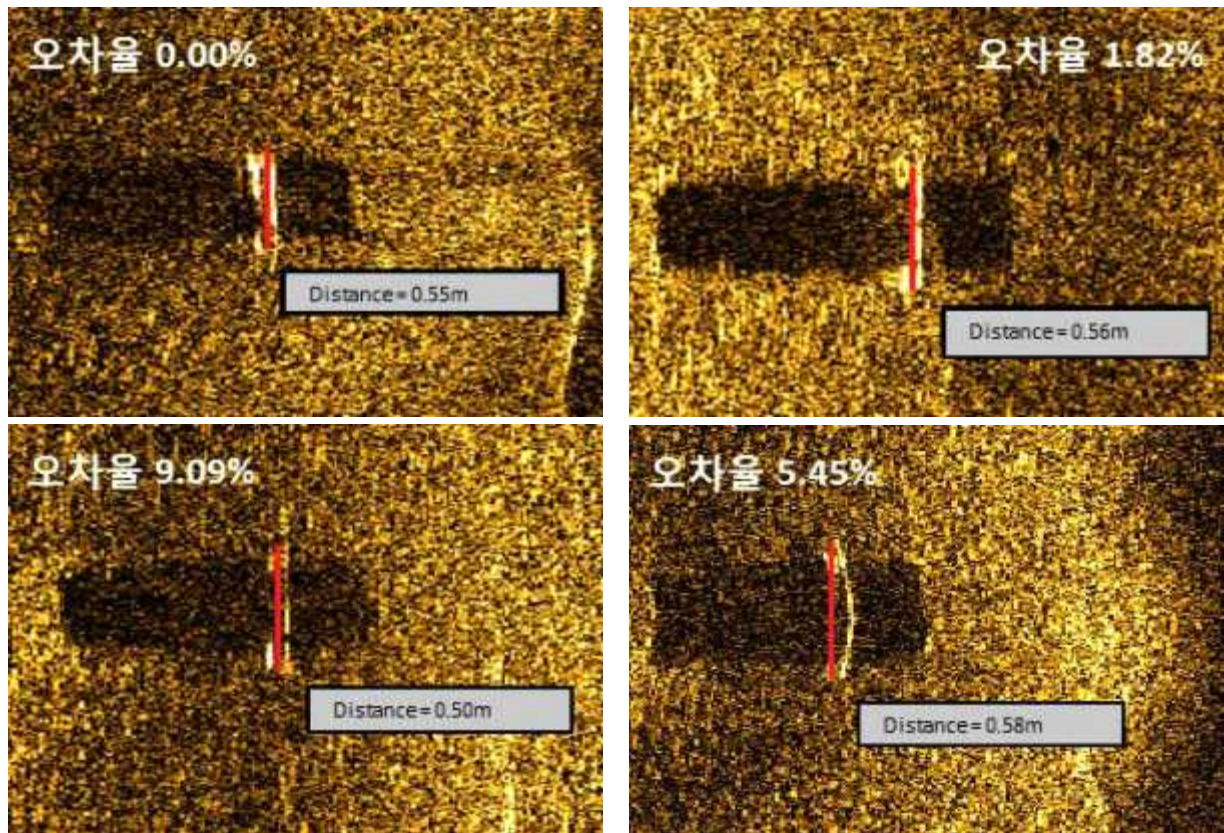


그림 3.2.18 2MHz PostScan을 통해 측정된 시편 길이

자체 제작한 시편의 길이는 0.55m이다. 2MHz급 초고해상 사이드스캔소나를 이용하여 촬영된 음파영상의 경우 후처리프로그램을 통해 25개의 음파영상에서 측정된 시편 길이의 평균 오차율은 4.65%로 목표 오차율인 '5% 이내'에 만족하는 결과를 얻을 수 있다.

표 3.2.7 음파영상 측정거리 오차율

순번	시편 측정거리 (m)	음파영상 측정거리 (m)	오차율	평균 오차율
1	0.55	0.55	0.00%	4.65%
2		0.56	1.82%	
3		0.50	9.09%	
4		0.58	5.45%	
5		0.56	1.82%	
6		0.54	1.82%	
7		0.55	0.00%	
8		0.49	10.91%	
9		0.58	5.45%	
10		0.54	1.82%	
11		0.52	5.45%	
12		0.58	5.45%	
13		0.56	1.82%	
14		0.55	0.00%	
15		0.59	7.27%	
16		0.54	1.82%	
17		0.53	3.64%	
18		0.55	0.00%	
19		0.55	0.00%	
20		0.58	5.45%	
21		0.54	1.82%	
22		0.53	3.64%	
23		0.63	14.55%	
24		0.60	9.09%	
25		0.45	18.18%	

사. 환경적용 및 검증

(1) 제어 속도 검증

(가) 성과지표 개요 - 제어 속도

2MHz급의 소나는 1MHz급의 소나보다 방사 폭이 좁아져서 조사범위가 좁게 나타난다. 2MHz급 소나 싱글빔의 일방향 폭이 35m 이며, 실제 조사 시 20m의 유효 폭을 가진다.

따라서, 댐 제체, 해상교량 등 수심이 깊은 곳은 기존 지그 방법으로 조사가 불가하므로 와이어를 이용한 ‘수직인양’으로 소나의 촬영 기법을 변경해야 한다. 이에 따라 3가지 운영방안을 도출하여 스마트 전동프레임을 개발하였다. 또한 보트에서 전동지그에 장착된 2MHz급 소나의 점검각도를 제어 할 수 있도록 설계하여 원하는 측정부를 조사 가능하도록 개발하였다.

보트 거치식



예인식



수직인양식



그림 3.2.19 2MHz SSS 환경요인에 따른 운영방법

표 3.2.8 전동원치의 제원

구분	내용
Model	DU-500S 
Capacity	500kg
Power	100~120V, 220~240V
Speed	7 m/sec
Motor	1.3KW

2MHz급 소나 수직인양 방법으로 촬영 시 towfish를 수직으로 인양할 장치가 필요하다. 따라서 보트에 장착할 소형 원치 선정이 필요하다. 연구 목표는 측정 속도 확보를 위하여 0.1m/sec의 제어 속도로 설정하였으며, 적용된 전동 원치는 7m/min의 제어 속도를 가진다. 환산하면 0.12m/sec로서 연구 목표치를 상회한다. 하지만 1차년도 설계단계에서 2MHz급의 제어 속도를 정확히 지정 할 수가 없으므로 2MHz급 소나의 개발 완료 후 2차년도에 실내실험을 하였고, 3차년도에 현장실험을 통해 제어 속도가 적절한지 평가하였다.



그림 3.2.20 Side Scan Sonar 수직 인양 속도 측정 (현장시험)

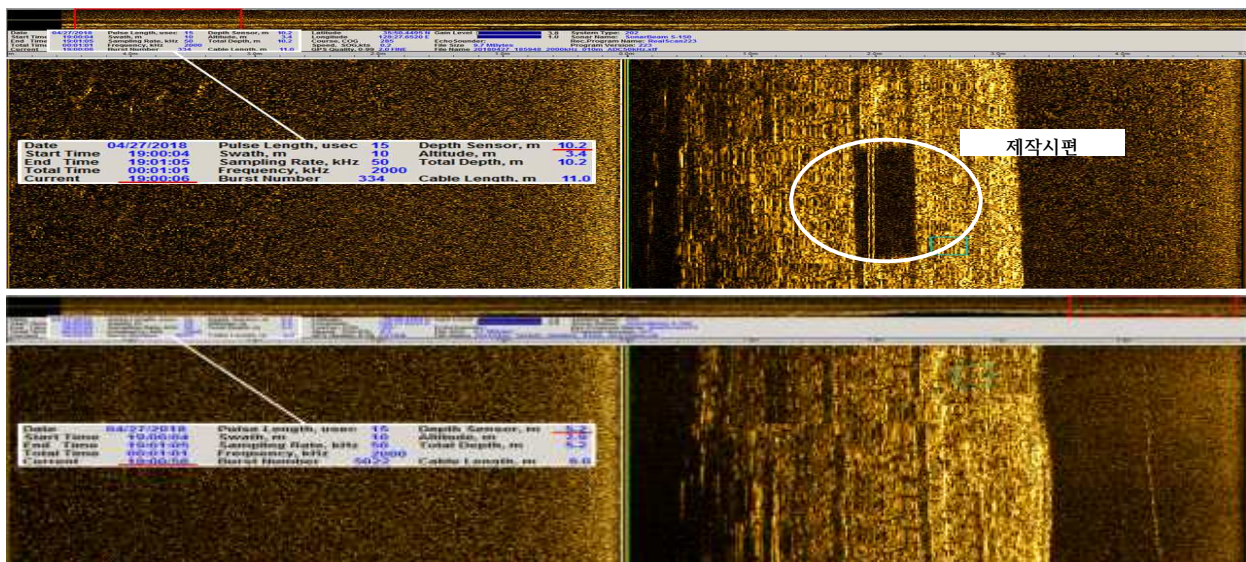


그림 3.2.21 Side Scan Sonar 초음파 영상 Data (현장시험)

표 3.2.9 Side Scan Sonar 수직 인양 속도 측정 (현장시험)

순번	수심 (m)	시간 (sec)	인양속도 (m/sec)	평균 인양속도
1	5.0	50.00	0.100	0.103m/sec
2	5.1	50.00	0.102	
3	5.2	51.00	0.102	
4	5.0	49.00	0.102	
5	4.9	47.00	0.104	
6	5.2	50.00	0.104	
7	5.1	48.00	0.106	
8	5.0	49.00	0.102	
9	5.0	49.00	0.102	
10	4.8	47.00	0.102	

(나) 실험결과 및 고찰

개발된 ‘고해상도 소나전용 스마트 전동 프레임’의 현장적용 및 검증 과정에서 제어속도 (0.1m/sec 이상)를 확인하기 위하여 항만시설물 일정 부근의 소나 초음파 영상 데이터를 취득하였다. 수직 인양 속도 측정은 실내 및 현장에서 각각 10회 실시하였으며, 실내 및 현장에서 각각 평균 0.101m/sec, 0.103m/sec의 인양속도가 나왔다. 수중 구조물의 다양한 손상 및 유형을 파악하기 위해 제작한 시편의 스캔결과 1cm간격이 명확히 측정된 것을 확인할 수 있었으며, 0.1m/sec 이상의 수직인양 속도가 확보되는 것을 본 실험을 통해 확인하였다.

(2) 점검 항목 검증

(가) 성과지표 개요 - 제어 가능 수심

현장실험을 통하여 소나전용 스마트 전동프레임의 제어 가능 수심을 확인하였다. 2MHz 급 이상 초고해상 소나의 경우 종래의 음파촬영 장비보다 조사범위가 좁아 구조물의 위치 및 형태에 따라 조사방법을 달리해야하며, 와이어를 이용한 ‘수직인양 및 보트예인’의 경우 운용 시 연결된 와이어의 길이에 따라 소나의 수심이 달라지기 때문에 수심에 따른 스마트 전동프레임의 ‘깊이에 따른 제어 가능여부 확인’이 필요하다. 성과지표 달성 검증을 위하여 항만시설에서 현장실험을 실시하였다.

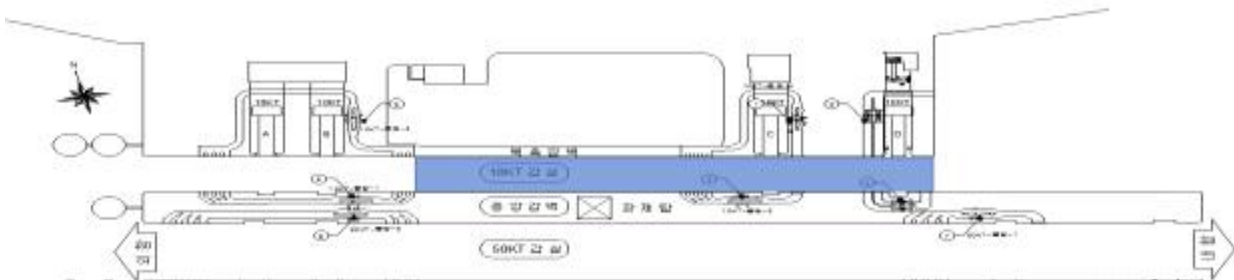


그림 3.2.22 항만시설 수심 측정 및 초음파 조사 범위

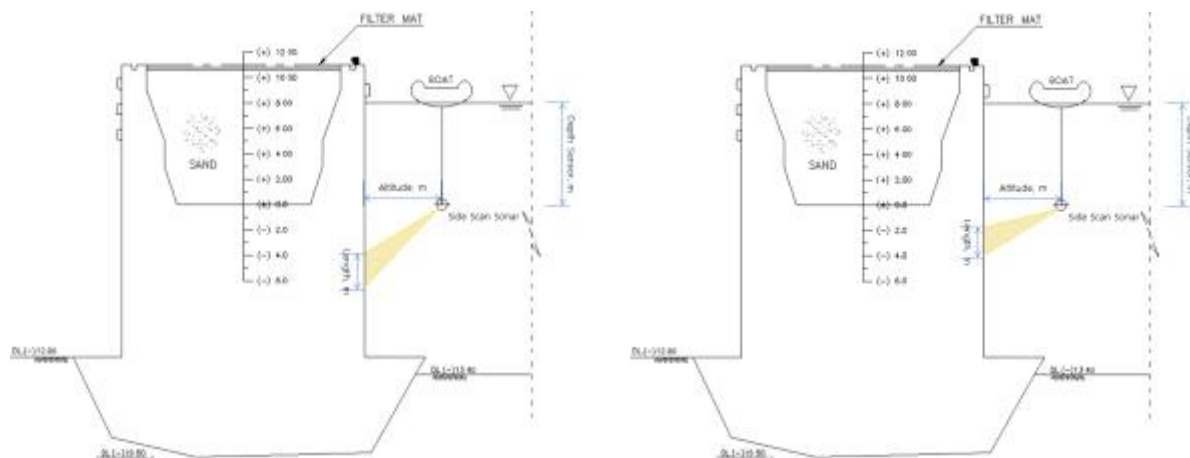


그림 3.2.23 항만시설 단면도 및 초음파촬영 모식도



그림 3.2.24 항만시설 소나 초음파영상을 통한 제어각도 및 수심 확인

(나) 실험결과 및 고찰

개발된 ‘고해상도 소나전용 스마트 전동 프레임’의 현장적용 및 검증 과정에서 수심 5m 이상에서 제어가능여부를 확인하기 위하여 항만시설물 일정 부근의 소나 초음파 영상을 촬영하였다. 전동 프레임 제어가능 수심을 확인하기 위하여 와이어를 이용한 보트예인으로 동일한 지점을 2회 이상 촬영하였으며, 수심 7m 동일한 지점에서 제어 각도 -87.4° 와 -53.2° 로 각각의 초음파 영상을 촬영하였다. 본 실험을 통해 수심 5m 이상에서 스마트 전동 프레임 제어가 가능한 것을 확인 하였다.

(3) 영상보정 검증

(가) 성과지표 개요 - 영상보정

현장실험을 통하여 소나전용 스마트 전동프레임의 영상보정을 확인하였다. 2MHz급 이상 초고해상 소나의 경우 종래의 음파촬영 장비보다 조사범위가 좁아 구조물의 위치 및 형태에 따라 조사방법을 달리해야하며, 본 연구과정에서 ‘2MHz급 이상 초고주파수 수중 구조물 점검용 소나장비’ 전용 전동지그가 개발되었고, 보트위에 소나장비가 부착된 전동 지그를 거치하여 운영하기 때문에 보트와 소나장비의 일체거동으로 파랑에 의한 보트 롤링현상, 보트운전자의 운전미숙 등의 요인으로 흔들림이 발생하여 소나장비로 촬영된 음파영상이 왜곡될 수 있다. 이러한 이유로 소나운용에 있어 발생할 수 있는 흔들림에 대한 영상보정이 필요하다. 성과지표 달성 검증을 위하여 현장실험을 실시하였다.

영상보정을 확인하기 위해 ‘2MHz급 이상 초고주파수 수중구조물 점검용 소나장비’를 이용한 음파촬영방법으로 수중조사를 실시하여 영상보정능력을 확인하였다.

(나) 실험결과 및 고찰

개발된 ‘고해상도 소나전용 스마트 전동 프레임’의 현장적용 및 검증 과정에서 영상보정 ($3^\circ/\text{sec}$ 이상)을 확인하기 위하여 항만시설물 일정 부근의 소나 초음파 영상 데이터를 취득하였다. 영상보정기술은 흔들림을 검출하는 기술과 흔들린 영상을 보정하는 기술의 조합으로써, 실험결과 수중구조물 음파조사 시 흔들림에 대하여 $3.2^\circ/\text{sec}$ 가 보정되었다. 본 연구의 목표치인 $3.0^\circ/\text{sec}$ 를 상회하는 결과를 얻어 종래의 수중초음파조사 방법보다 정밀하고 정확한 검사가 가능한 것으로 판단된다.

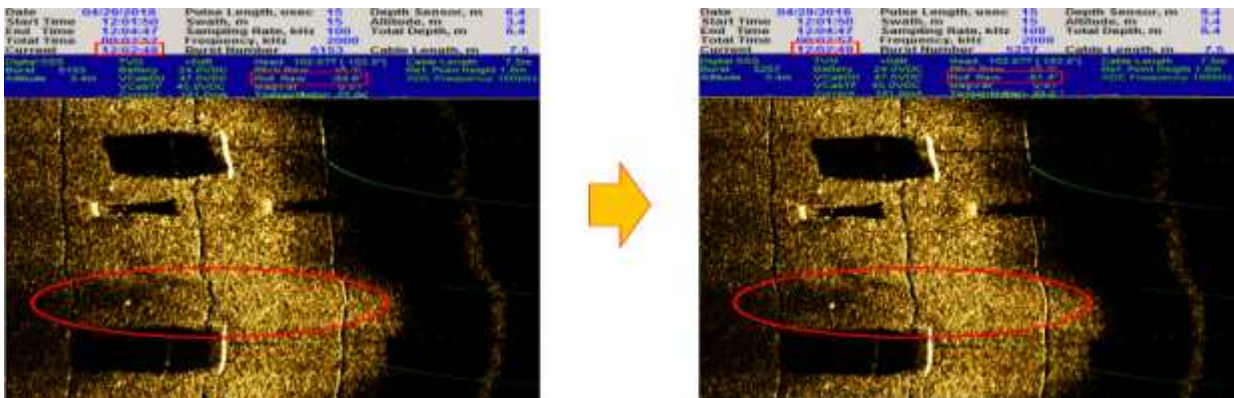
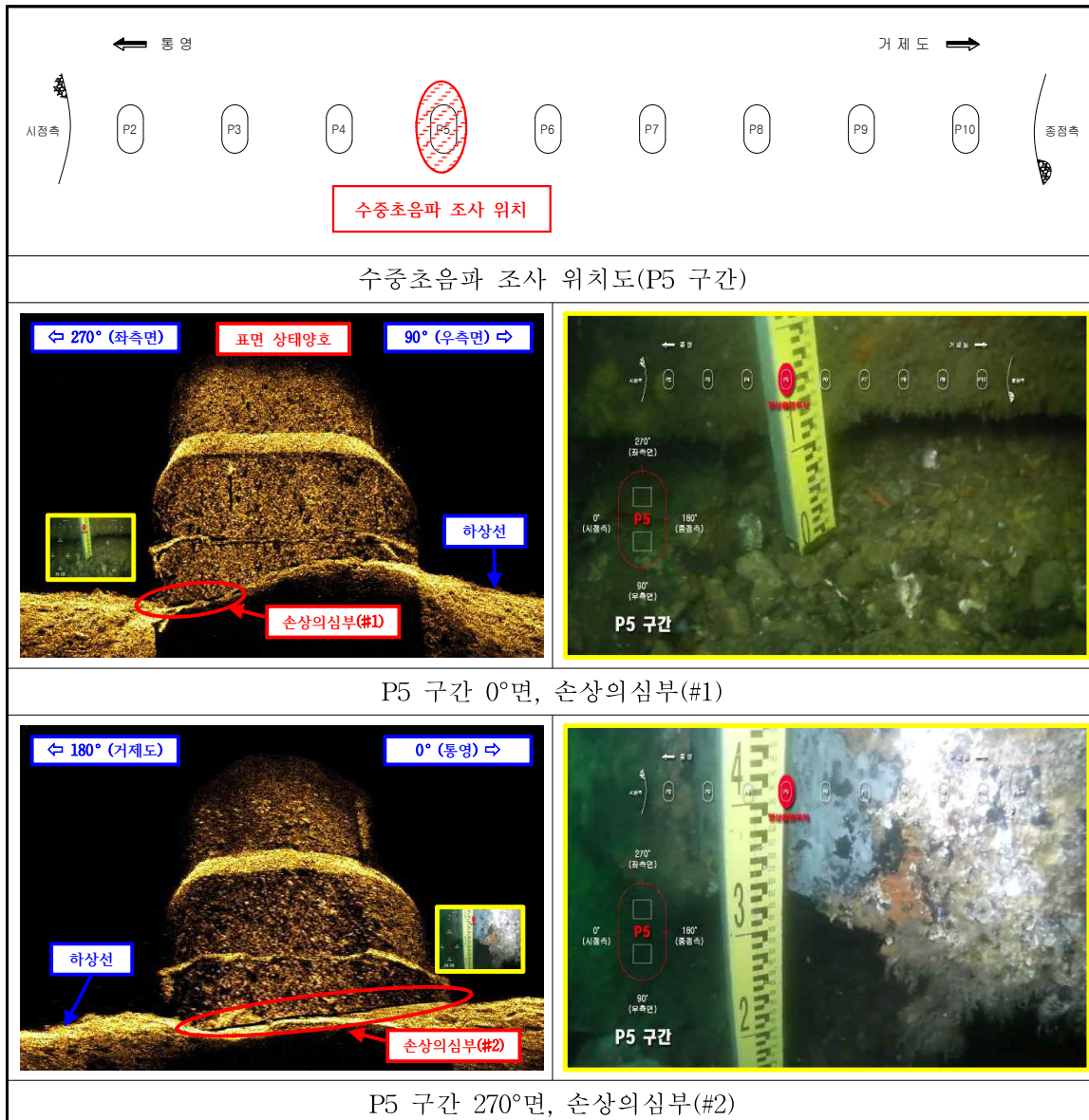


그림 3.2.25 수중초음파 영상보정

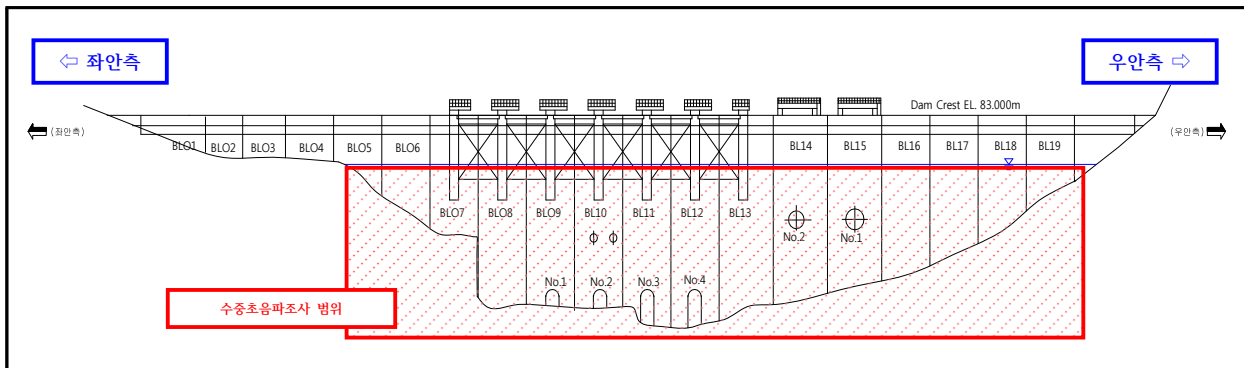
(2) 손상이미지 분석

교량

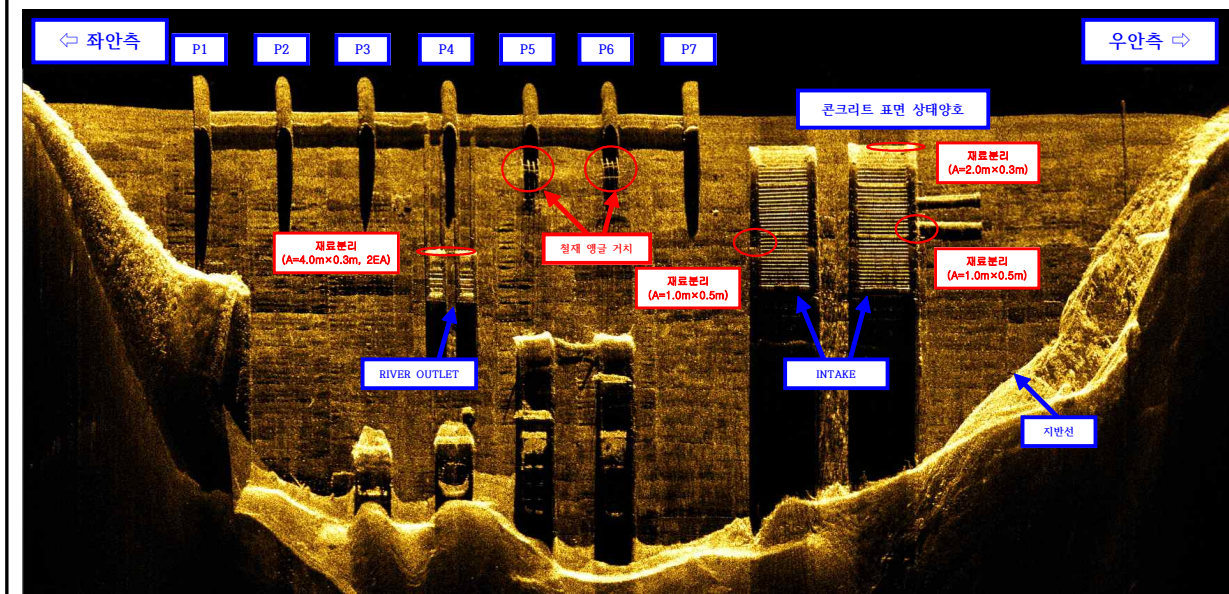


조사 결과	- 기초부 표면상태 - P5 수중부 구간에 확대기초의 형상이 분석되었으며 콘크리트 표면의 전반적인 상태는 파손, 철근노출 등의 손상이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다. - 하상면 상태 - P5 270°하상면 구간에 하상재료 유실로 인한 하상세굴 형상[손상의심부(#1, #2)]가 분석되어 잠수사를 통한 정밀영상촬영을 실시한 결과 P5 270°하상면 구간에 공용 중 빠른 유속에 의한 하상세굴(A=10.0m×0.3m, T=800mm)이 발생한 것으로 조사됨.
----------	--

• 댐



본댐 상류측 구간 수중초음파조사 범위 - 상류측 차수벽 구간



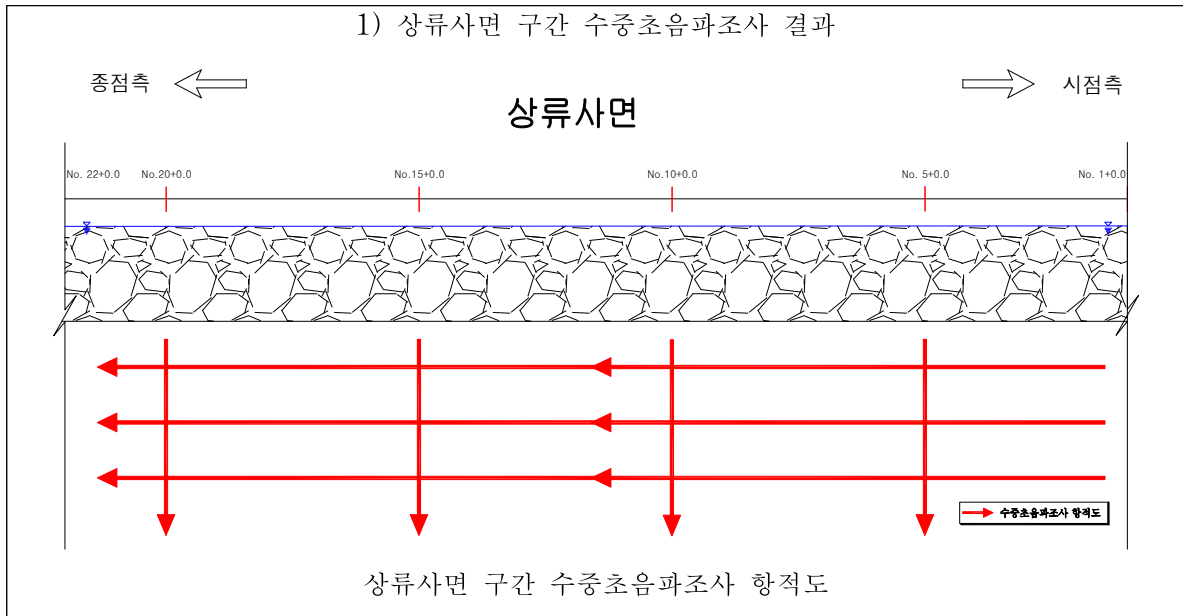
본댐 상류측 차수벽 구간 수중초음파 데이터 - 400kHz

조사
결과

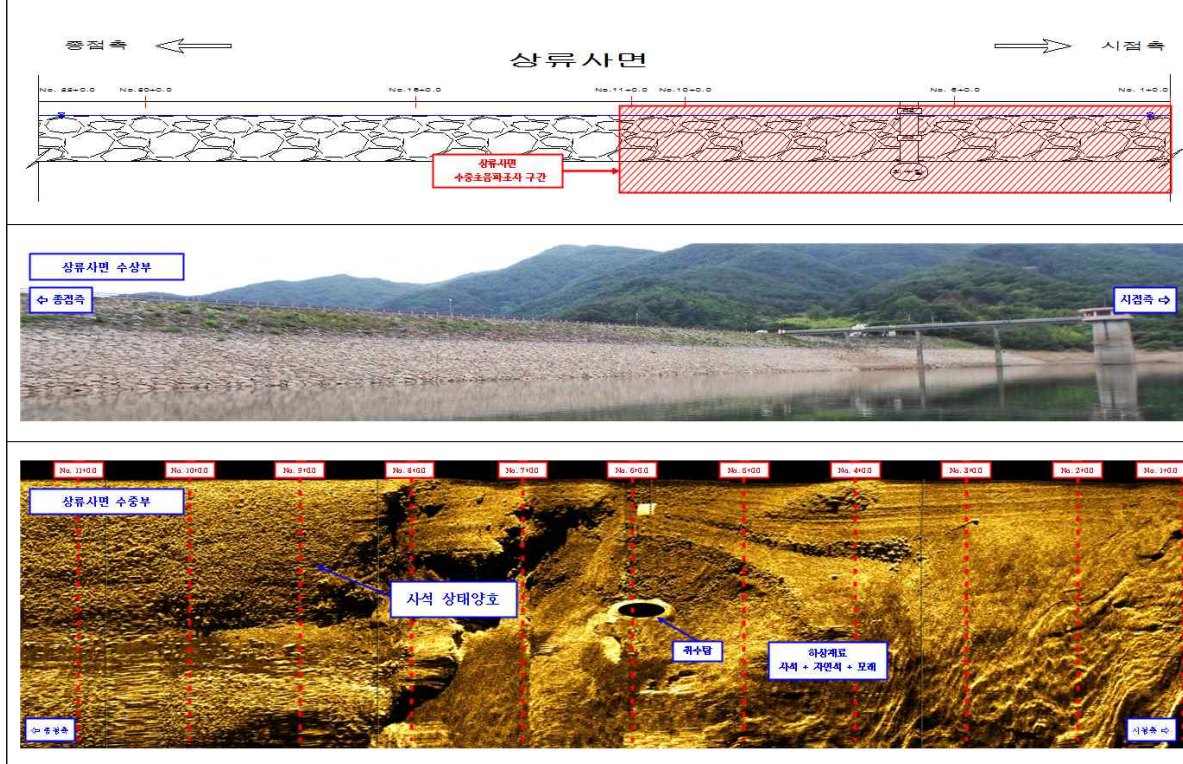
- 표면상태 : 본댐 상류측 차수벽 구간은 깊은 수심으로 인하여 1,250kHz의 초음파가 하상면까지 도달되지 않아 400kHz로 병행하여 전반적인 상태조사를 실시한 결과 RIVER OURLET 구간 및 INTAKE 구간에서 공용 중 노후화 및 빠른 유속에 의한 재료분리 형상의 손상의심부가 분석되어 잠수사를 이용한 정밀촬영을 실시한 결과 손상의 심부 구간은 대부분 재료분리 손상으로 확인되었으나 INTAKE No.1 구간의 상단에서 단면감소에 의한 철근노출이 발생된 것으로 조사되었다.

- 저수지

1) 상류사면 구간 수중초음파조사 결과



상류사면 No. 1+0.0 ~ No. 11+0.0 하상면 조사결과



- 항만

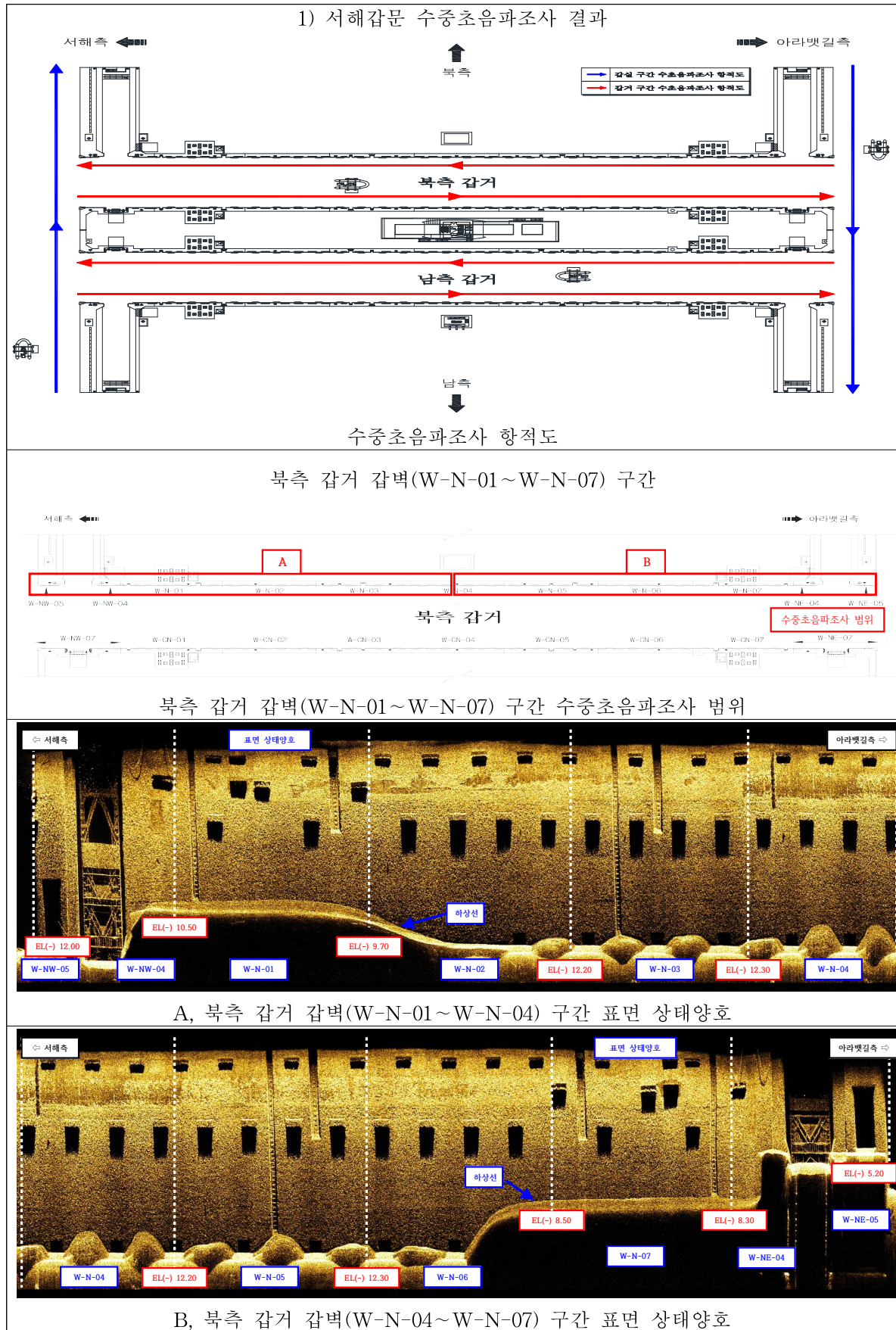


그림 3.3.2 UI 설계

그림 3.3.3 XTF 파일 연동

그림 3.3.4 응용 프로그램 동작 코딩

그림 3.3.5 손상 검출 툴 코딩

그림 3.3.6 상태평가 보고서 연동 코딩

다. 손상검출 및 상태평가 산출프로그램 개발, 2MHz급 이상 소나 DB구축

(1) 2MHz Sonarviewer - 손상 검출 프로그램

2MHz 소나 뷰어-손상 검출프로그램은 현장에서 2MHz소나를 이용하여 취득된 영상 데이터(XTF 파일)를 분석하여 측정 세부 정보, 영상 데이터, GPS 좌표 및 수심 등 추출 기능을 수행한다. 또한 2D의 이미지 처리된 영상정보에서 손상을 검출하고, 상태평가 및 보고서 작성을 수행하는 2MHz 소나 뷰어-상태평가 산출 프로그램에 데이터를 넘기는 기능을 수행한다.



그림 3.3.7 초기화면

시설물 등록 화면의 스크린샷입니다. 탭 메뉴에는 '교량', '항만', '담'이 있습니다. '교량' 탭이 선택된 상태에서, 시설물명, 노선번호, 소재지, 교장, 교폭, 보고서 파일명, 저장위치, 준공년도, 관리주체, 점검자수명, 점검종류, 점검기간 등의 입력 필드가 있습니다. '부재 구성' 버튼과 '확인', '취소' 버튼도 포함되어 있습니다.

시설물명	인천대교	준공년도	2009
노선번호	고속국도110	관리주체	인천대교(주)
소재지	인천 연수 송도	점검자수명	
교장	11,856	점검종류	
교폭	33.4	점검기간	2017-01-01 ~ 2017-02-28
보고서 파일명	인천대교_2017_01_01		
저장위치	G:\₩다을기술단₩다을기술단 본해동₩3cm ok		

그림 3.3.8 교량 시설물 정보 등록

부재 등록 화면의 스크린샷입니다. 좌측에는 'P수력댐'을 포함한 트리뷰가 있습니다. '상위 부재'와 '부재명' 입력 필드, '입력', '수정', '삭제' 버튼이 있습니다. 하단에는 '엑셀 불러오기', '엑셀 저장', '확인', '취소' 버튼이 있습니다.

트리뷰:

- P수력댐
 - 토목시설
 - 비월류부
 - 우안 비월류부
 - 취수구
 - 월류부
 - 갤러리
 - 방수로
 - 기전시설

그림 3.3.9 부재관리 화면

소나이미지의 전체 이미지를 표시한다. 손상 부위를 드래그앤드롭으로 영역으로 지정한다. 확대된 소나이미지를 표시한다. 줌인/줌아웃 버튼을 이용하여 소나이미지의 축소/확대된 이미지를 표시한다. 이미지 처리와 손상정보 등록을 위한 도구들을 표시한다. 손상정보에 대한 정보를 표시한다.



그림 3.3.10 손상정보 초기화면

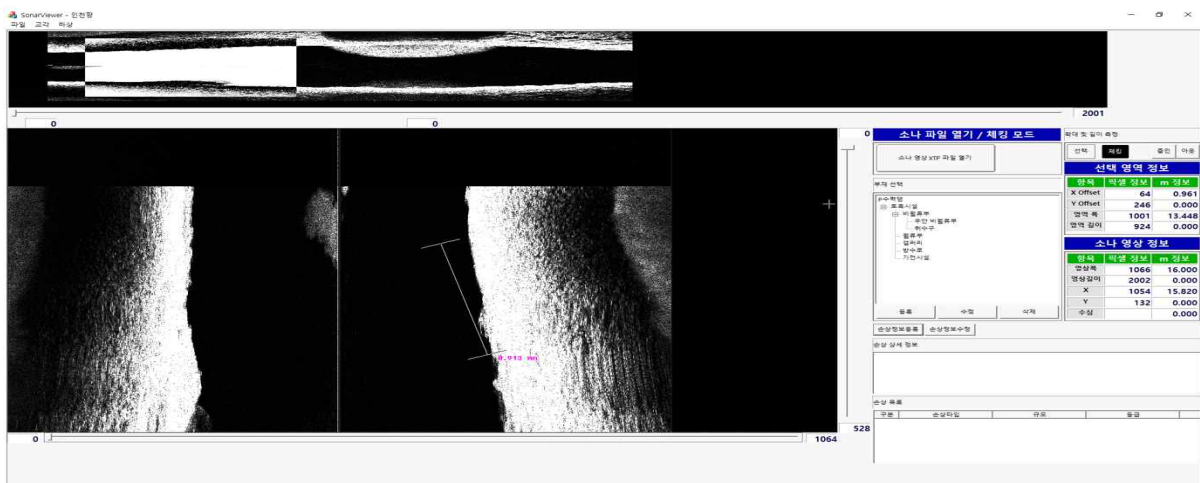


그림 3.3.11 소나 이미지 작업화면 예시

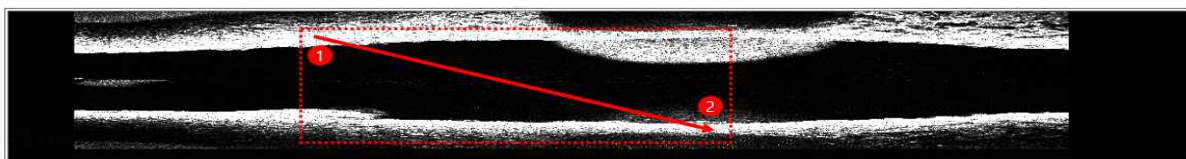


그림 3.3.12 영역 선택 방법

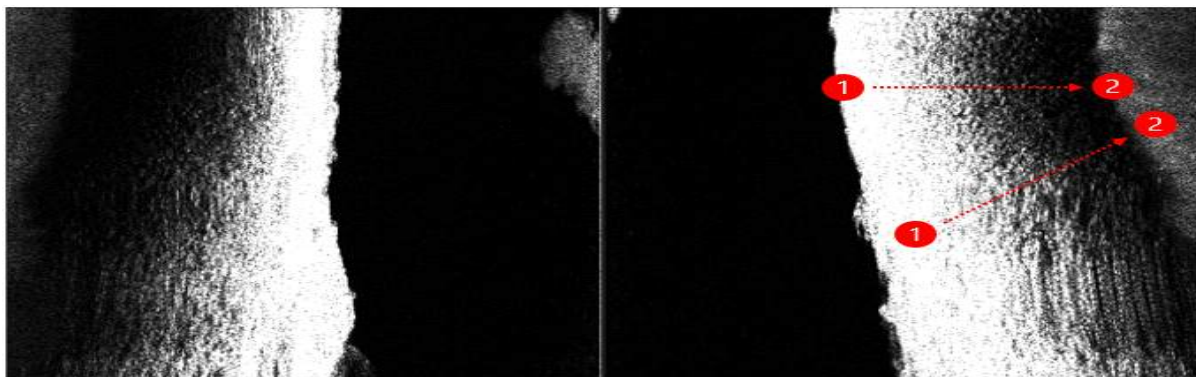


그림 3.3.13 길이 측정 방법

(2) 2MHz Sonarviewer - 상태평가 산출 프로그램

2MHz 소나뷰어-손상검출 프로그램을 활용하여 설치물의 손상영역 확인 및 이미지를 저장하였다. 2MHz 소나뷰어-상태평가 산출 프로그램은 저장한 이미지 영역에 자세한 손상정보를 입력하고 부재별 손상의 상태평가 등급을 산출하고 보고서로 내보내는 소프트웨어이다.

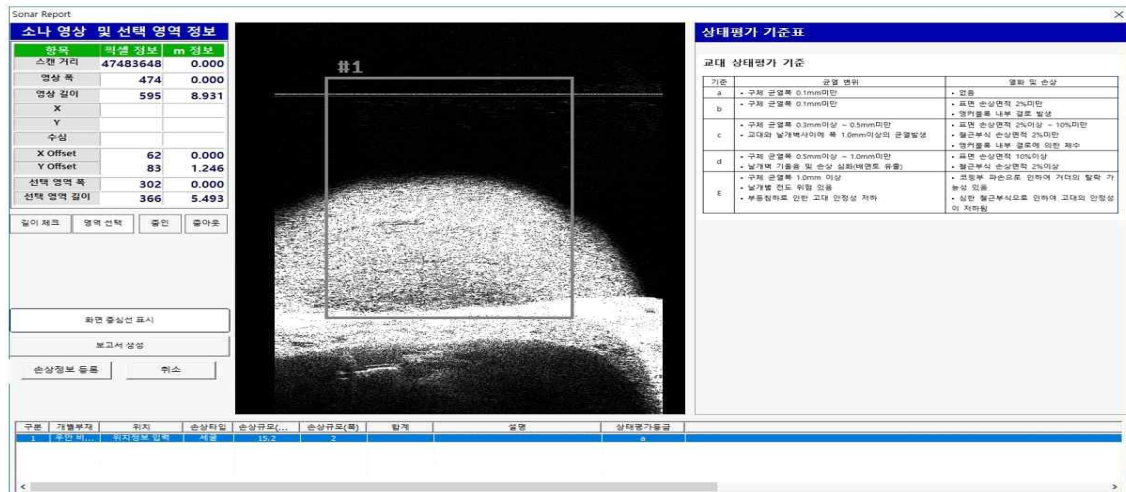


그림 3.3.14 전체화면

그림 3.3.15 결함정보 입력

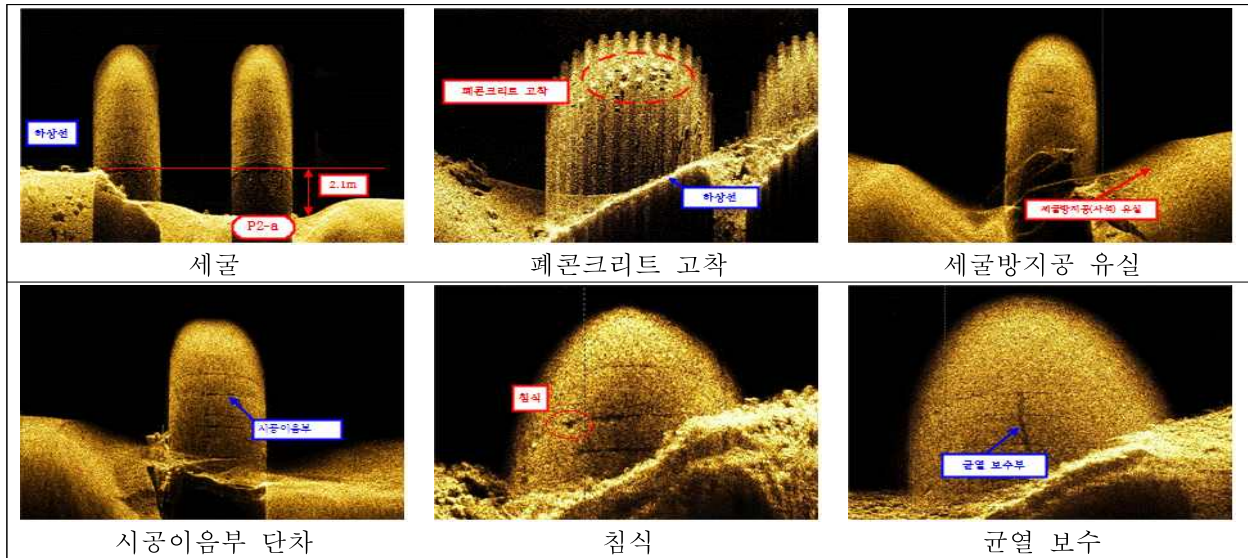
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	인천대교 결함정보 보고서									
2	시설물명	인천대교				교장		준공년도		
3	시설물 종류	교량				교폭		관리주체		
4	번호	소나이미지				손상내용		상태평가등급	결함영역크기	설명
5	1					개별부재: 우안비월류부 손상타입: 세굴 위치:		c	15.2 * 3 mm	침하가 20mm미만 발생
6	2					개별부재: 우안비월류부 손상타입: 세굴 위치:		c	10.4 * 5 mm	침하가 20mm미만 발생

그림 3.3.16 보고서 예시

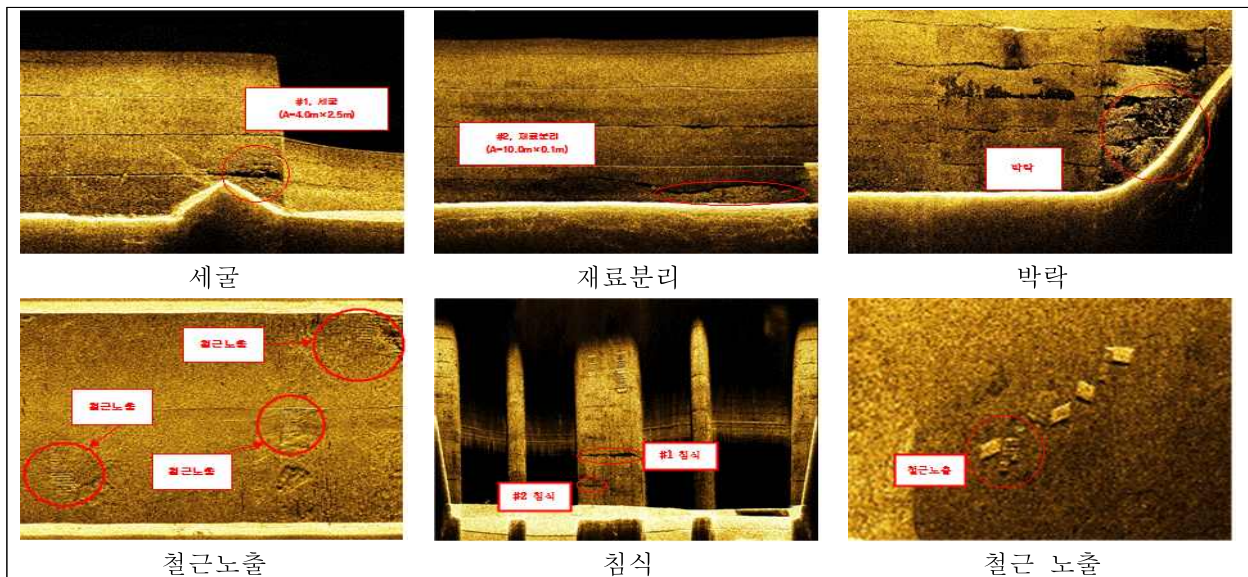
(3) 2MHz 소나를 이용한 손상 유형 DB 구축

2MHz 소나 영상의 효율적인 손상 탐지를 위하여 소나 장비를 통하여 수집한 교각의 하상 및 구조물 영상 중 손상이 확인되거나 의심되는 이미지들에 대하여 손상 유형별로 DB화 하였다. 소나 장비를 통하여 수집한 이미지의 손상 유형의 DB화를 통하여 수중 점검 시 구조물(또는 하상)의 이상상태 판별 시 더 효율적인 판단과 객관적인 기준 제공이 가능하도록 매뉴얼에 수록하였다.

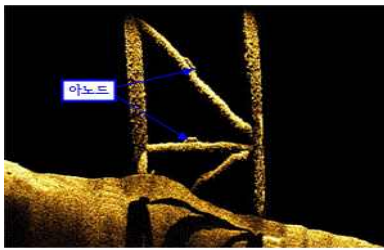
• 교량



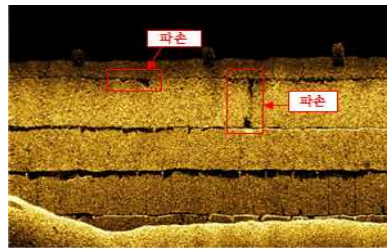
• 댐



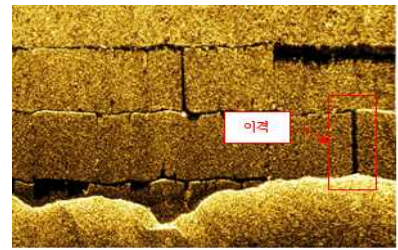
- 항만



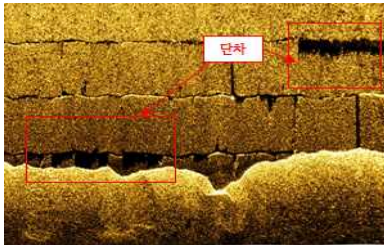
아노드



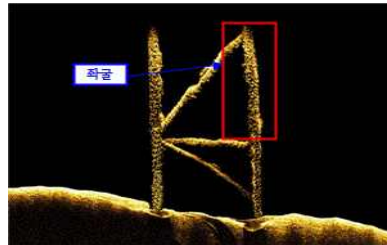
파손



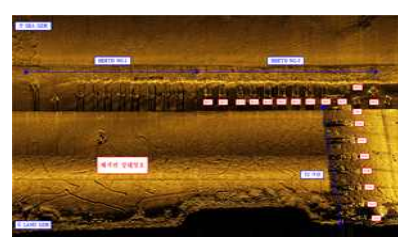
이격



단차



좌굴

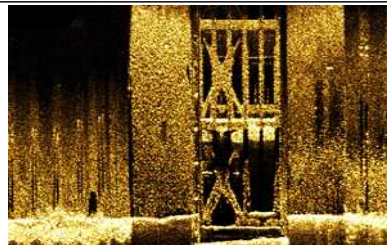


해저면 모자이크

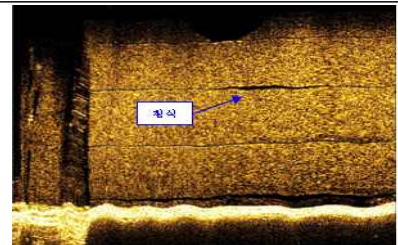
- 하구둑, 보



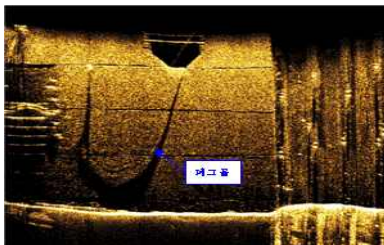
아노드 (시트파일)



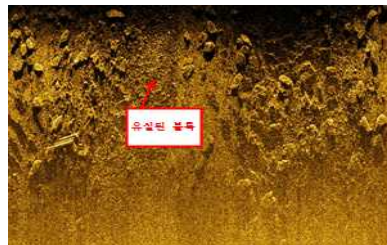
갑문



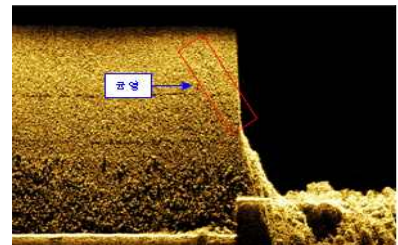
침식



폐그물

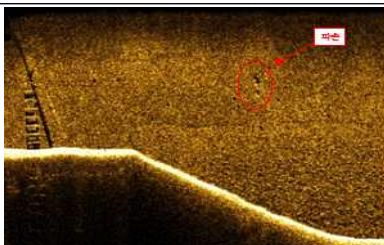


좌굴

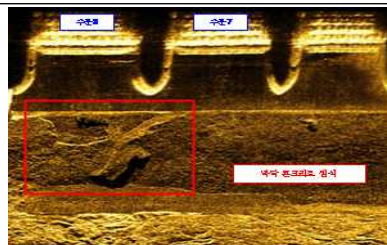


균열

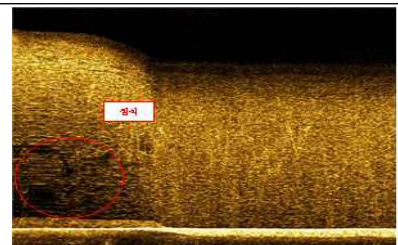
- 방조제



파손



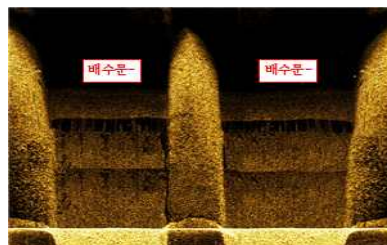
바닥 콘크리트 침식



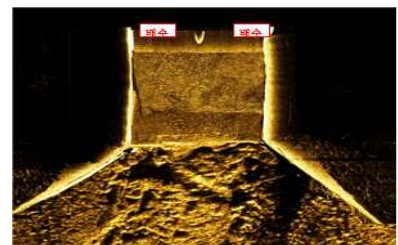
침식



바닥



배수문



배수문 하상면

라. 현장 적용 및 검증

(1) 손상 검출 오차율 검증

(가) 성과지표 개요 - 손상검출오차율

1MHz-2MHz 소나 뷰어-손상 검출프로그램은 현장에서 2MHz소나를 이용하여 취득된 영상 데이터(XTF 파일)를 분석하여 측정 세부 정보, 영상 데이터, GPS 좌표 및 수심 등 추출 기능을 수행한다. 또한 2D의 이미지 처리된 영상정보에서 손상을 검출하고, 상태평가 및 보고서 작성을 수행하는 1MHz-2MHz 소나 뷰어-상태평가 산출 프로그램에 데이터를 이관하는 기능을 수행한다.

현장실험을 통하여 검출된 손상부의 손상길이와 손상검출프로그램을 통해 검출된 손상길이를 비교하여 손상검출프로그램의 손상검출 오차율(5% 이내)을 확인하였다. 본 질적성과지표 검증을 위해 제2외관교 수중초음파조사 현장실험을 수행하였다.

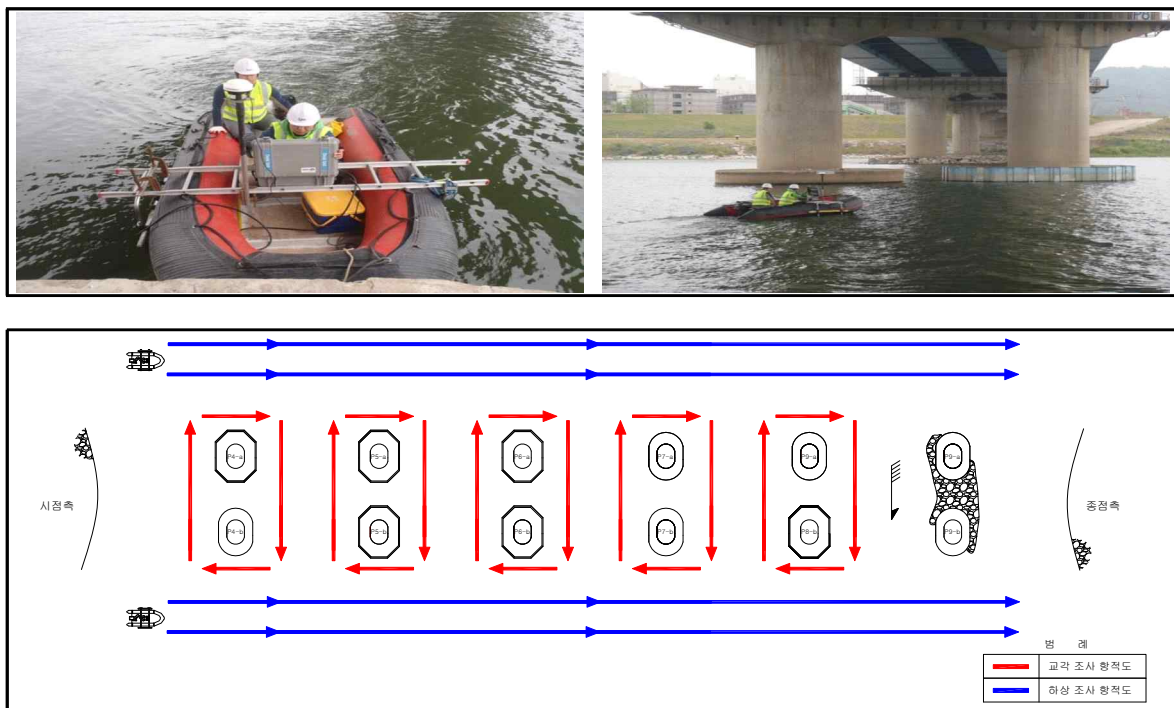
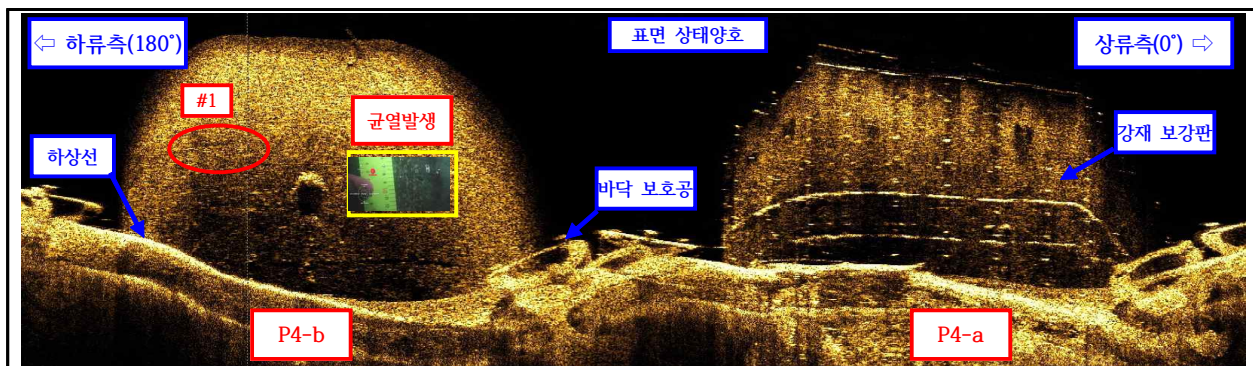
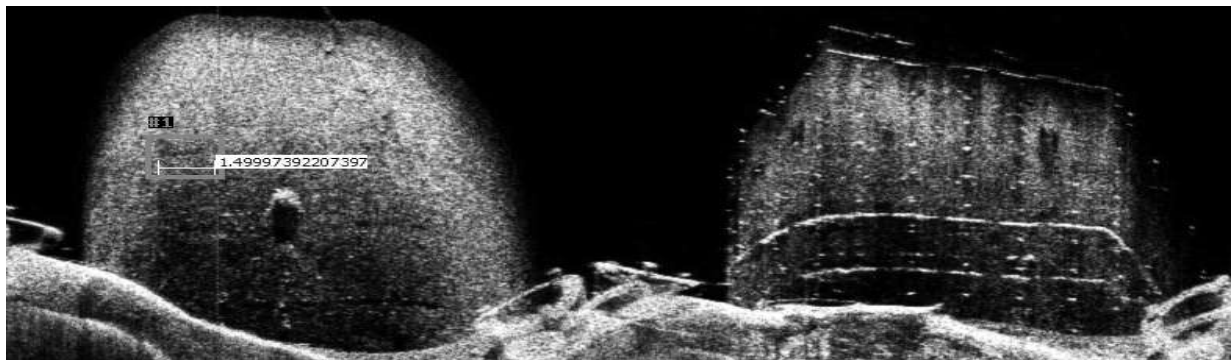


그림 3.3.17 수중초음파조사 현황 및 항적도



수중부 P4-b 교각 270°면, 박리·박락 (L=1.50m)

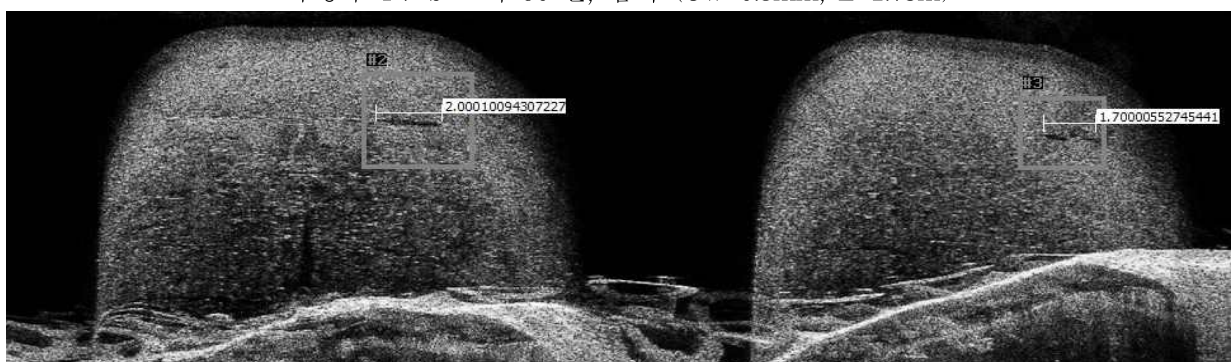


수중부 P4-b 교각 270°면, 박리·박락 (L=1.49997m), ※오차율 : 0.00 %



수중부 P7-a 교각 90°면, 침식 (Cw=0.3mm, L=2.10m)

수중부 P7-b 교각 90°면, 침식 (Cw=0.3mm, L=1.75m)



수중부 P7-a 교각 90°면, 침식 (L=2.00010m), ※오차율 : 4.76 %

수중부 P7-b 교각 90°면, 침식 (L=1.70001m), ※오차율 : 2.86 %

그림 3.3.18 소나 후처리 프로그램과 소나 손상 검출 프로그램

표 3.3.1 손상 검출 오차율

구분	실제손상	손상검출 프로그램	오차율
# 1	1.50 m	1.49997 m	0.00 %
# 2	2.10 m	2.00010 m	4.76 %
# 3	1.75 m	1.70001 m	2.86 %
# 4	2.60 m	2.59145 m	0.33 %
# 5	1.90 m	1.98975 m	4.72 %
# 6	2.70 m	2.66647 m	1.24 %
# 7	2.80 m	2.71182 m	3.15 %
# 8	3.00 m	3.00990 m	0.33 %
# 9	3.30 m	3.17596 m	3.76 %
평균 오차율			2.35 %

(나) 실험결과 및 고찰

‘수중구조물 손상검출 프로그램’의 손상검출 오차율을 확인하기 위해 제2외관교 수중초음파조사를 실시하여 교량의 손상을 검출·확인하였다. 실제손상 대비 손상검출 프로그램을 통해 얻은 손상크기의 평균오차율이 2.35%로 목표 손상검출 오차율(5%)을 상회하는 결과를 얻었다. 본 연구결과 ‘수중구조물 손상검출 프로그램’을 이용한 수중초음파조사에서 정밀하고 정확한 검사가 가능하다고 판단된다.

(2) 상태평가 신뢰도 검증

(가) 성과지표 개요 - 상태평가신뢰도

1MHz-2MHz 소나뷰어-손상검출 프로그램을 활용하여 설치물의 손상영역 확인 및 이미지를 저장하였다. 1MHz-2MHz 소나뷰어-상태평가 산출 프로그램은 저장한 이미지 영역에 자세한 손상정보를 입력하고 부재별 손상의 상태평가 등급을 산출하고 보고서로 내보내는 소프트웨어이다.

현장실험을 통하여 작성된 상태평가보고서와 ‘수중구조물 손상검출프로그램’으로 작성된 상태평가 보고서를 비교하여 소나프로그램의 상태평가보고서 신뢰도(95% 이내)를 확인하였다. 본 질적성과지표 검증을 위해 수중초음파조사 현장실험을 수행하였다.

(나) 현장실험



그림 3.3.19 대상시설물 전경 및 항적도

(다) 상태평가 결과

표 3.3.2 부재별 상태평가 결과 분석

구 분	손상항목 및 도출방법	평가된 사유	평가 결과	결합도 점수
교대 및 교각	▪ 균열폭, 변위, 표면손상 면적비, 철근부식손상 면적비 등에 대한 평가결과 중 최저값	▪ 폭 0.3mm 이상 균열(A1, P2, P3) ▪ 파손(P3, P4)	c	0.0260
기초	▪ 기초의 손상 및 지반의 안정성에 대한 평가결과 중 최저값	▪ 상태양호	a	0.0091

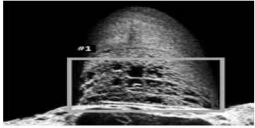
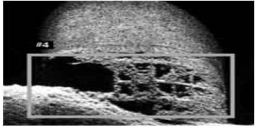
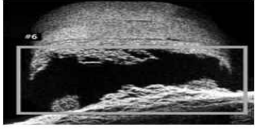
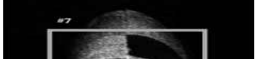
결함정보 보고서					
시설물명	(구)강화대교	교장	준공년도	1969년	
시설물 종류	교량	교폭	관리주체	상태평가등급	
번호	소나이미지	손상내용		결함면적크기	설명
P3 0°면		개별부재 : 교각 P3 0°면 손상타입 : 표면손상	b	0.5271 m ²	박리·박락
P3 270°면		개별부재 : 교각 P3 270°면 손상타입 : 양호	a	-	양호
P4 0°면		개별부재 : 교각 P4 0°면 손상타입 : 표면손상	b	2.075 m ²	침식
P4		개별부재 : 교각 P4 270°면			

그림 3.3.20 부재별 상태평가 결과(소나프로그램)

표 3.3.3 부재별 상태평가 결과 분석

구 분	시설물의 상태평가		소나운용프로그램	
	교대, 교각	기초	교대, 교각	기초
P3	b	a	b	a
P4	b	a	b	a
P5	b	a	b	a
P6	b	a	b	a
P7	b	c	b	c
P8	b	a	b	a
P9	b	a	b	a
P10	b	a	a	a
P11	b	a	b	a
P12	b	a	b	a
평균	0.20	0.13	0.19	0.13
가중치	13	7	13	7
(평균×가중치)/가중치 합	0.0260	0.0091	0.0247	0.0091
	0.034		0.0338 (96%)	

(라) 실험결과 및 고찰

‘수중구조물 손상검출 프로그램’의 상태평가신뢰도 검증을 위해 교각 및 교대, 기초 수중초음파조사를 실시하여 교량의 손상을 검출·확인하였다. 시설물의 상태평가와 소나프로그램을 통해 얻은 상태평가를 비교하여 목표 신뢰성(95%)을 상회하는 결과를 얻었다. 2MHz급 소나의 이론상 분해능은 0.8cm로 상태평가에서 요구하는 균열폭을 검출해낼 수 없기 때문에 질적성과목표를 신뢰성 95%로 계획하였다. 본 연구결과 ‘수중구조물 손상검출 프로그램’을 이용한 수중초음파조사에서 정밀하고 정확한 검사가 가능하다고 판단된다.

4. 현장검증 및 매뉴얼 개발

가. 2MHz급 이 상 소나 운영 알고리즘 정립

(1) 2MHz 소나 운영 알고리즘

2MHz 소나 운영 방법 중 보트 거치식의 현장실험 결과를 표본데이터로 하여, 수심변화에 따라 구조물과의 거리와 조사각도의 관계를 분석하였다.

표 3.4.1 보트 거치식 현장실험 결과

구분	보트 부착식 (벽체)			보트 부착식 (하상)	
	수심	각도(R)	거리	각도(R)	거리
1	4.3	-40.1	2.5	-2.7	6.5
2	3.8	-39.5	2.4	-2.9	4.3
3	4.4	-42.2	2.6	-2.1	5.1
4	2.0	-39.6	2.3	-2.3	4.3
5	1.4	-38.0	2.1	-2.1	3.5
6	5.0	-41.1	2.6	-3.4	6.8
7	7.0	-42.5	3.1	-3.2	8.5
8	9.0	-43.2	3.3	-4.5	9.6
9	5.5	-41.5	2.4	-2.5	6.3
10	6.2	-40.8	2.5	-2.9	6.5
11	6.7	-41.6	2.7	-3.6	9.1
12	8.9	-42.8	2.6	-4.1	9.0
13	9.5	-43.3	3.1	-3.6	9.9
14	7.5	-41.8	2.7	-4.1	7.9
15	7.3	-42.3	2.8	-3.7	9.2
16	3.9	-39.8	2.3	-3.4	5.2
17	4.8	-41.3	2.4	-2.7	6.3
18	8.2	-43.5	2.8	-4.2	9.1

2MHz 소나는 수심 10m내에서 수심과 구조물의 거리 또는 각도의 관계는 아래처럼 비선형회귀(nonlinear regression analysis)로 추정할 수 있다. 비선형 회귀에서는, 독립변수 X에 대한 Y평균값의 관계로서 특정 비선형 함수를 먼저 가정하고 그 비선형 함수의 필요 계수를 회귀분석을 통해결정한다. X에 대한 Y의 비선형 회귀 함수의 형식은 식(1)과 같다.

$$E = (Y|X = x) = \alpha + \beta g(x) \quad (1)$$

여기서, α 와 β 는 상수이고, $g(x)$ 는 비선형 함수이다. 산포된 데이터들로부터 Y의 분산은 X값에 의존하는 조건부 분산, 즉 $Var(Y|X=x)$ 이다. $Var(Y|X=x)$ 가 상수인 경우, 각 데이터 점 (x_i, y_i) 에서 관측된 값 y_i 와 후보직선 $y'_i = \alpha + \beta x_i$ 상의 값과의 차는 $|y_i - y'_i|$ 이다. 즉, 관측된 데이터의 쌍의 수가 n, $[(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)]$ 인 표본의 경우 모든 데이터 점에 대한 총 절대오차는 총 누적 자승 오차로 나타 낼 수 있다.

$$\Delta^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \alpha - \beta x_i)^2 \quad (2)$$

이때, 자승오차 Δ^2 의 최소화를 통하여 최소자승오차를 가진 직선의 방정식을 얻을 수 있고, 이에 따라 α 와 β 를 구하기 위한 다음 식이 구해진다.

$$\frac{\partial \Delta^2}{\partial \alpha} = \sum_{i=1}^n -2(y_i - \alpha - \beta x_i) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \Delta^2}{\partial \beta} = \sum_{i=1}^n -2x_i(y_i - \alpha - \beta x_i) = 0 \quad (4)$$

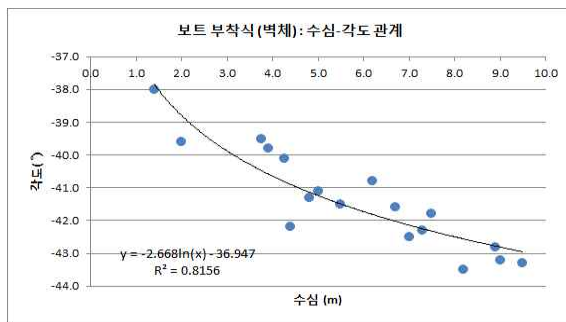
위의 절차는 최소자승법(method of least square)이며, 이로부터 크기가 n인 표본으로부터 α 와 β 의 최소자승 추정치를 다음과 같이 구할 수 있다. 위의 절차에 따라 n=18인 표본으로부터 다음과 같이 α 와 β 의 최소자승 추정치를 구하였고, 비선형 회귀식은 조건별로 아래 식과 같다.

보트 부착식 (벽체) : 수심-각도 $E = (Y|X = x) = \hat{\alpha} + \hat{\beta}g(x) = -36.947 - 2.668\ln(x)$ (5)

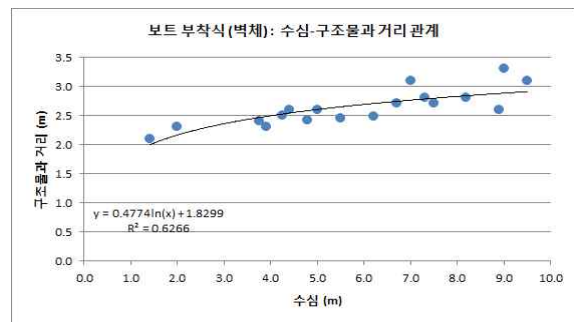
보트 부착식 (벽체) : 수심-거리 $E = (Y|X = x) = \hat{\alpha} + \hat{\beta}g(x) = 1.8299 - 0.4774\ln(x)$ (6)

보트 부착식 (하상) : 수심-각도 $E = (Y|X = x) = \hat{\alpha} + \hat{\beta}g(x) = -1.3579 - 1.122\ln(x)$ (7)

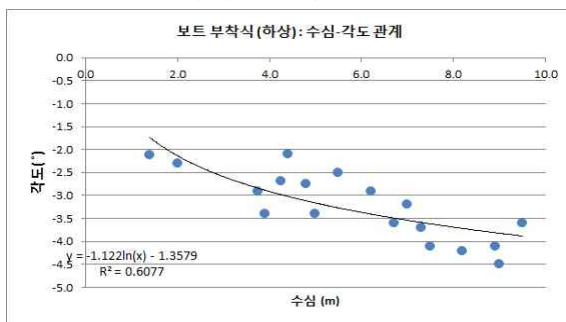
보트 부착식 (하상) : 수심-거리 $E = (Y|X = x) = \hat{\alpha} + \hat{\beta}g(x) = 1.0755 + 3.5993\ln(x)$ (8)



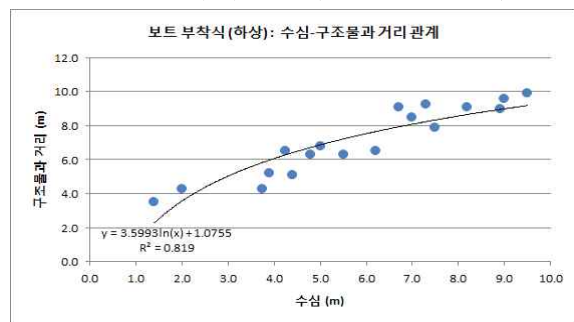
보트 부착식 (벽체) : 수심-각도



보트 부착식 (벽체) : 수심-거리



보트 부착식 (하상) : 수심-각도



보트 부착식 (하상) : 수심-거리

그림 3.4.1 조사 대상에 따른 회귀분석

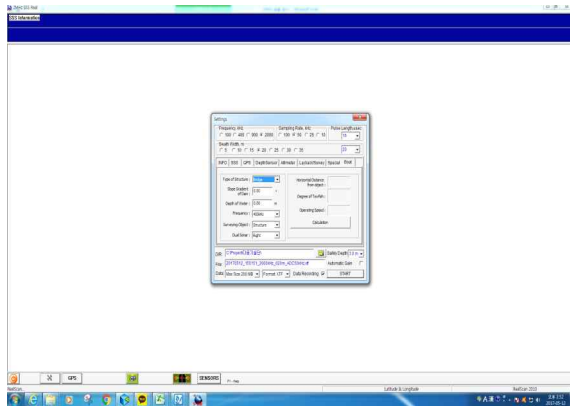


그림 3.4.2 2MHz Real scan

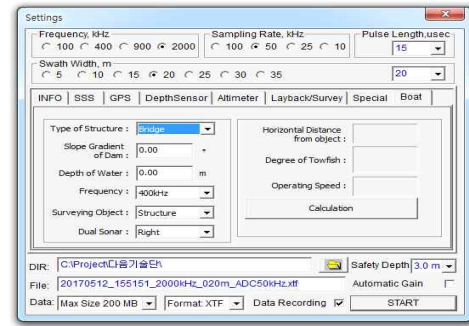


그림 3.4.3 보트 운영 프로그램

(2) 보트 운영 프로그램 개발

위의 실제 표본 데이터를 기반으로 도출된 수심과 구조물과의 거리 Towfish 각도의 상관관계를 소나 운영 프로그램을 툴로 개발하였다. ‘2MHz Real Scan’은 2MHz 소나의 Operating 프로그램이다. 실시간으로 소나를 운영하면서 데이터를 확인하고 저장하는 프로그램이다. 개발된 보트 운영 프로그램은 ‘2MHz Real Scan’의 세팅 창의 Tool로 개발되었다. 세팅 창에서 ‘Boat’ 툴을 클릭하면 정보 입력창과 운영방법에 대한 정보창이 나타난다. 정보입력창에서 수중구조물의 타입, 경사도, 수심, 조사대상(벽체, 하상)과 운영 주파수 등을 입력하면, 고해상 데이터를 획득 할 수 있는 소나의 조사거리와 각도 등의 소나 운영정보를 제공하도록 개발하였다.

(3) 2MHz 소나 운영방법에 대한 결론

- 구조물의 거리와 각도관계를 실험한 결과, 같은 거리에서 토우피쉬 각도에 따른 데이터 수집의 차이가 발생된 것으로 확인되었으며, 구조물과의 거리에 따른 적정 각도가 있는 것으로 판단되며, 1MHz 급과 2MHz급은 빔의 방사 거리가 다르므로, 2MHz급 개발 후 구조물과의 거리와 각도의 상관관계 알고리즘을 위해 실내 실험 및 현장실험을 실시하였다.
- 현장실험은 해상과 하천에의 수중구조물 벽체 및 하상면에 시편을 설치하였다. 본 연구 과제의 분해능 목표치가 1cm 이므로, 시편 간격 1cm의 구분 여부에 따라 수심, 구조물과의 거리, 조사각도 등의 표본 데이터를 획득하였다. 이러한 방법을 2MHz 조사 방법에 따라 구분하여 현장 실험을 실시하였다. 보트 거치식은 벽체와 하상면, 예인식은 하상면 그리고 수직인양식은 벽체로 조사대상을 구분하여 실험을 실시하였다.
- 2MHz 소나 운영 방법 중 보트 거치식의 현장실험 결과를 표본데이터로 하여, 수심변화에 따라 구조물과의 거리와 조사각도의 관계를 분석하여, 운영 방법에 대한 회귀분석 식을 도출하였고, 표본 데이터를 기반으로 도출된 수심과 구조물과의 거리 Towfish 각도의 상관관계를 소나 운영 프로그램을 툴로 개발하였다.
- 2MHz 소나 운영 방법인 보트 거치식, 예인식, 수직 인양식에 대하여, 현장실험에서 도출된 문제점을 개발된 전동지그의 재설계 및 보완개발을 통해 해결하고, 운영프로그램의 알고리즘을 각 운영 타입에 맞게 업데이트를 할 필요가 있다.

나. H/W, S/W매뉴얼 개발

(1) 1MHz/2MHz SSS H/W

(가) H/W 구성

1MHz/2MHz SSS의 H/W 구성은 Towfish, 전동지그, 예인 케이블, 인터페이스 장치로 구성되어 있다. Towfish 하우징 재질은 부식 방지를 위해 SUS재질로 구성되었으며, 보다 가볍고 내구성이 높다. Towfish 하우징 양쪽에 부착된 트랜스듀서(Transducers)를 이용하여 음파를 방사(Radiation)하여 되돌아오는 신호를 습득하여 예인 케이블(Towing Cable)을 통해 인터페이스 장치로 전달한다. 인터페이스 장치는 Towfish에 전원을 공급하며 Towfish로부터 받은 신호를 PC로 전달하는 역할 및 Towfish 내부의 모터에 전원을 인가하여 양쪽에 부착된 트랜스듀서(Transducers)의 각도를 변경하는 역할을 한다.

표 3.4.2 1MHz/2MHz SSS H/W 구성

1MHz/2MHz SSS	
	
Towfish	Electric jig
	
Interface unit	Cable
	

(2) 운용 소프트웨어 소개

DSSS 운용 소프트웨어는 운영 프로그램(RealScan®), 후처리 프로그램(PostScan®)으로 구성된다. RealScan®은 Towfish에서 획득한 신호 정보를 실시간으로 보여주며, 소나 신호를 수신, 신호 처리, 출력 및 저장을 담당하며 Towfish 내부의 모터 회전을 제어하는 프로그램이다. PostScan®은 취득한 데이터를 바탕으로 취득 영상을 좀 더 자세한 분석을 가능하게 하는 프로그램이며, PostScan®에 포함되어 있는 기능으로는 확대, 영상 빨리 돌려보기, 뒤로 돌려보기, 정지, 프린트, GPS 보정위치 확인, 경사거리 보정, 모자이크, 고도 정보 수정 등, 실제 운영에서 확인 할 수 없었던 세밀한 부분까지 확인 할 수 있는 다수의 기능들이 포함되어 있다.



그림 3.4.4 운용 소프트웨어

(가) 1MHz/2MHz RealScan®

RealScan®은 윈도우 기반 전용 프로그램으로 소나 신호를 수신, 신호 처리, 출력, 및 저장을 담당하며, Towfish의 상태 정보 및 Towfish에 장착이 된 각종 센서(Altimeter, Depth Sensor, Motion Sensor)들의 정보를 받아서 처리 및 제공한다. 또한 GPS를 연동하여 획득된 영상 정보에 네비게이션 및 플로터 기능도 적용이 가능하다.

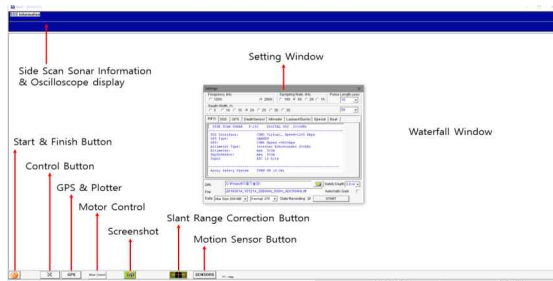


그림 3.4.5 RealScan® 기본 화면

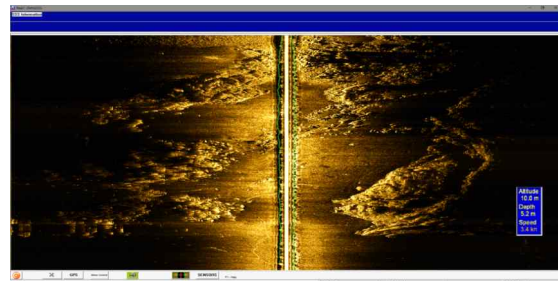


그림 3.4.6 소나 운용 프로그램 화면

(나) 1MHz/2MHz PostScan®

PostScan®은 취득한 데이터를 바탕으로 취득 영상을 자세하게 분석하여 최적의 이미지를 얻는 후처리 프로그램이다.



그림 3.4.7 PostScan® 기본 화면

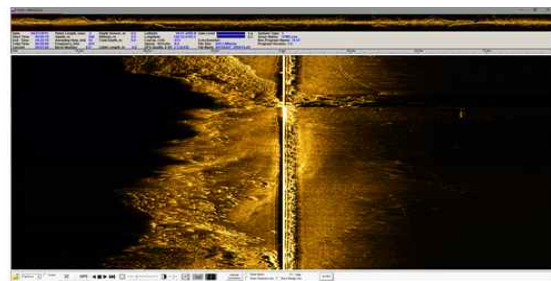


그림 3.4.8 경사 거리 보정

다. 기술이전 설명회

(1) 1MHz/2MHz SSS 기술전시 및 설명



그림 3.4.9 행사 브로셔



그림 3.4.10 국문 브로셔



그림 3.4.11 영문 브로셔

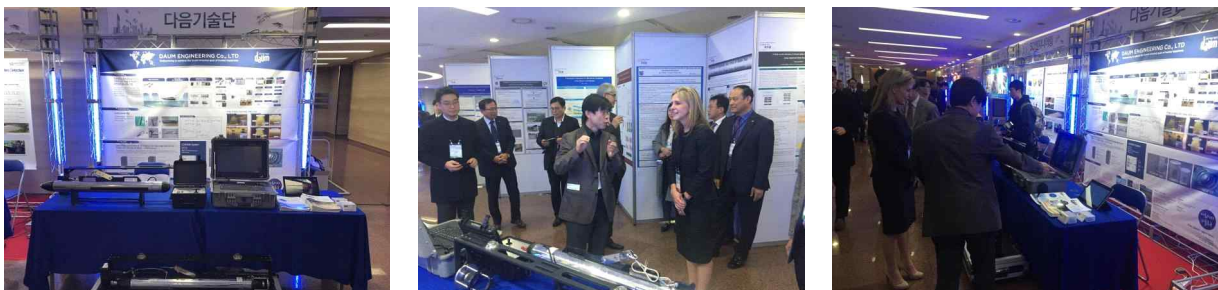


그림 3.4.12 전시부스 및 기술설명

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

핵심성과	단위성과	최종 성과점검기준		
		질적 성과지표	목표치	달성치
2MHz급이상 초고주파수 수중구조물 점검용 소나장비 개발	2MHz급이상 소나장비개발 및 제작	설계분해능	1cm이하	0.8cm 확인
		주파수	2MHz이상	2.0023MHz 확인 1,250kHz 추가
		시작품	1건	1건
	소나제어시스템 개발 및 제작	시작품	1건	1건
	실내테스트 및 검증	설치시간	10분 이내	4분 이내 확인
		분해능	1cm 이하	0.8cm 확인
	현장적용 및 검증	점검속도	교각10기/ 4시간	교각15기/ 2시간12분15초
		점검항목	세굴, 단면결손 등	세굴, 단면결손 등 확인 가능
		점검수심	20m 이상	20m 이상 확인
		실제손상 오차율	5% 이내	평균 1% 확인
고해상도 소나전용 스마트 전동 프레임 개발	실내테스트 및 검증	설치시간	10분 이내	4분 이내 확인
		제어정확성	오차율 5%이내	오차율 평균 4.65 %
		제어속도	0.1m/sec 이상	0.101m/sec 확인
	현장적용 및 검증	제어속도	0.1m/sec 이상	0.103m/sec 확인
		제어가능수심	5m 이상	7m 이상 확인
수중 구조물 손상 검출 프로그램	소나손상이미지분 석 및 1MHz급 소나DB구축	1MHz급 손상 DB 구축	1건	교량, 댐, 항만, 저수지에 대한 DB구축
		2MHz급 손상 DB 구축	1건	교량, 댐, 항만, 하구둑, 보, 방조제에 대한 DB구축
	H/W, S/W 매뉴얼 개발	매뉴얼	2건	H/W매뉴얼 1건 S/W매뉴얼 1건
		기술이전 설명회	세미나	기술설명회 1건 기술전시회 1건

<본 과제의 주요목표 및 달성>

-
- 본 과제에의 주요달성 목표인 ‘2MHz급 이상 초고주파수 수중구조물 점검용 소나장비 개발’에 대한 구체적인 성과결과는 다음과 같다.
 - Side Scan Sonar의 Across Track Resolution은 Pulse Width와 Sampling 주파수에 따라 결정되기 때문에 Pulse Width, 즉 펄스 길이(L) = $\lambda \cdot n$ 이며, 1cm이하의 분해능을 갖기 위해선 펄스의 길이(L)또한 1cm이하가 되어야하기 때문에, $1\text{cm} > (n \cdot c) / f$ (과장수 $n = 10\text{ea}$, 음속 $c = 1500\text{m/s}$ 로 가정)에서 1cm 이하의 분해능을 갖기 위해서 1.5MHz 이상의 주파수를 계획함
 - 2MHz 주파수의 주기는 500ns이므로 수동으로 출력된 신호의 Peek에서 Peek 까지의 시간 측정 및 오실로스코프의 주파수 기능을 사용하여 분석한 결과 측정치 499.43ns, 2.0023MHz로 목표치에 상회하는 성능을 달성하였고, 1,250kHz(1MHz급)의 Dual H/W로 구성함
 - 실내테스트 및 검증을 통해 설치시간은 보트진수 후 지그부와 소나 체결부의 연결을 시작으로 지그거치대와 사다리의 결합 후 출항 전 최종점검까지 ‘총 소요시간 : 4분00초86’를 기록하였으며, 본 연구를 위해 제작된 시편을 통해 0.8cm 분해능을 확인함
 - 현장적용 및 검증을 통해 점검속도 목표치(교각10기/4시간)보다 상회하는 달성치(교각15기/2시간12분15초)를 기록하였으며, 점검항목은 ‘하상세굴, 침식, 강판탈락 및 채움콘크리트 유식, 철근노출 등을 확인할 수 있었으며, 점검수심 20m이상과 ‘한국조선해양기자재연구원’입회하 시험을 통해 0.8cm 분해능과 실제 손상오차율 평균 1%내외로 확인 됨

 - 본 과제에의 주요달성 목표인 ‘고해상도 소나전용 스마트 전동 프레임 개발’에 대한 구체적인 성과결과는 다음과 같다.
 - 실내테스트 및 검증을 통해 설치시간 ‘4분00초86’을 기록하였으며, 제어정확성 ‘4.65%’ 제어속도 평균 ‘0.101m/sec’로 목표치에 상회하는 결과를 확인함
 - 현장적용 및 검증을 통해 제어속도 평균 ‘0.103m/sec’와 7m이상에서 +34.2° 제어가 가능한 것을 확인하였으며, 영상보정 ‘3.2°/sec’를 확인함

 - 본 과제에의 주요달성 목표인 ‘수중 구조물 손상 검출 프로그램’에 대한 구체적인 성과결과는 다음과 같다.
 - 1MHz 및 2MHz 소나 영상의 효율적인 손상 탐지를 위하여 소나 장비를 통하여 수집한 교각의 하상 및 구조물 영상 중 손상이 확인되거나 의심되는 이미지들에 대하여 손상 유형별로 DB화하였으며, 소나장비를 통하여 수집한 이미지의 손상 유형의 DB화를 통하여 수중 점검 시 구조물(또는 하상)의 이상상태 판별 시 더 효율적인 판단과 객관적인 기준 제공이 가능하도록 매뉴얼에 수록함

 - 본 과제에의 주요달성 목표인 ‘현장검증 및 매뉴얼 개발’에 대한 구체적인 성과결과는 다음과 같다.
 - 1MHz/2MHz H/W인 Towfish, 전동지그, 인터페이스 장치, 케이블에 대한 설명과 장비 관리 및 운용 시 발생할 수 있는 문제에 대한 해결방안 등을 토대로 ‘1MHz/2MHz H/W매뉴얼’개발함
 - 1MHz/2MHz 운용 소프트웨어인 1MHz/2MHz RealScan®과 1MHz/2MHz PostScan®의 소개 및 사용방법에 대한 ‘1MHz/2MHz S/W매뉴얼’개발함
 - 기술설명회(2017 한국시설안전공단 국제컨퍼런스 행사)와 1MHz/2MHz SSS 기술전시 및 설명회 각 1회씩 참여함
-

2. 관련 분야 기여도

■ 사이드스캔소나

- 사이드 스캔 소나기술은 구조물의 수중부 및 해저면 영상을 실시간으로 탐색하는 장비로서 높은 해상도를 바탕으로 해양탐사 및 지질조사, 해저통신 및 어초조사, 기뢰 및 잠수정 탐사 등 해양탐사와 관련한 대표적인 장비로써, 폭넓은 산업 분야에 응용되는 기술로 발전하고 있다.
- 현재 국내에서는 사이드 스캔 소나기술이 다방면에서 활용되지 못하고 있으며, 본 연구개발을 통해 선진국과의 기술 간격을 좁히고 향후 고부가 수중음향센서 시장의 선점을 위하여 이 분야에 대한 적극적인 관심과 연구개발을 위한 투자가 가능할 것이다.
- 또한, 종래의 사이드 스캔 소나의 경우 특정한 목적에 따른 용도의 제한이 있었지만, 본 연구개발을 통해 항만시설점검을 포함한 전반적인 수중구조물에 적용 가능한 기술이 될 수 있다.

■ 수중조사

- 기존 사이드 스캔 소나 기술을 활용한 수중조사의 경우 1250kHz 주파수 기준 분해능은 3cm 이내로 자세한 점검이 불가능하여, 소나운용 후 손상 의심부에 잠수사를 직접 투입하여 육안조사를 실시하여야 했기 때문에, 잠수부에 의한 수중점검에 대한 전문 인력, 즉 토목기술자(안전점검 교육이수자)이면서 잠수자격을 동시에 갖춘 기술 인력이 부족하여 정확하고 객관적인 안전점검이 어려웠다.
- 또한, 잠수부에 의한 점검은 점검시기가 제한적이고, 신뢰성이 낮으며, 점검자의 안전사고 등 수중점검조사의 환경적 요인에 의한 애로사항이 매우 크다.
- 3D 초음파 촬영장치의 경우 다방면 수중구조물의 초고화질 음파영상을 취득할 수 있지만, 잠수부가 직접 설치해야 하므로 설치와 해체과정의 안전적인 문제가 있었다.
- 본 연구를 통해 개발된 수중구조물 점검 및 진단용 소나개발은 기술의 편의성과 안전성을 동시에 제공할 하고, 객관적이고 신뢰성있는 데이터를 제공할 수 있다.

■ 해외시장

표 4.1.1 국외 수중점검장비 주요 업체

업체명(국적)	업체별 능력	중점 분야
BAM (독일)	점검용 소형 로봇	설계/제작
Bamberg Univ.(독일)	점검용 장비	설계/제작
SeaBotix (미국)	점검용 소형 ROV	실시설계/제작
Cygnus inspection (영국)	수중 구조의 두께 측정 초음파 장비	실시설계/제작
Aquatic Sciences (미국)	수중 토목 구조물 점검 서비스	용역
Blueviewtech (미국)	저가형 고해상도 멀티빔 소나	실시설계/제작
Kongsberg Maritime (노르웨이)	수중 카메라, CCTV 수중 위치 인식 시스템	실시설계/제작
Tritek(영국)	해저면 프로파일, 사이드스캔소나	실시설계/제작
TWI Ltd(영국)	비파괴 실험과 구조물 점검	제작/교육

- 국내 진단업체의 해외 구조물에 대한 수주실적과 능력으로 볼 때 개발된 장비가 경제성 및 현장성만 갖춘다면 해외 수주를 통한 진출이 용이할 것으로 판단되며, 이와 같은 실적을 통하여 장비의 수출 판로도 개척될 것으로 기대된다.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

연구결과물	• 2MHz급 이상 초고주파수 수중구조물 점검용 소나장비의 개발 • 고해상도 소나전용 스마트 전동 프레임 개발 • 수중 구조물 DB 구축을 통하여 손상을 검출하는 자동 손상 분석 프로그램개발 • 2MHz급 이상 소나장비를 이용한 수중점검에 대한 매뉴얼 개발
활용 분야 및 방안	• 다양한 시설물에 대한 점검 - 하천 수중구조물 (수심 20m이내) 점검이외에 댐, 제방, 항만 시설물 등, 다양한 수중구조물에 대한 점검에 활용가능 - 수중 구조물에 대한 점검 및 건전성 평가 시, 객관적이고 체계적인 평가기준 제시 • 기업화 및 기술 교육 - 소나 탑재 첨단 수중점검 장비를 통한 계측 전문 기업 설립 - 안전진단회사 및 계측장비 회사에 기술교육 • 해당기술 개발에 따른 파급효과 - 댐, 항만구조물의 수중부 수중점검 확장 - 안전진단전문기관의 전문기술 향상 - 하천의 하상면 중·횡단면 측량에 따른 유지관리 필요성 증대 • 법·제도·시방서의 제정 및 개정 - 시설물의 안전관리에 관한 특별법 제 6조 「안전점검의 실시」 동 시행령 - 제6조 「안전점검의 실시시기」에 따르면 준공 후 50년이 경과하고 연장 100m 이상인 하천 교량에 대해선 필히 수중조사가 실시되어야 한다고 명시 되어 있음 - 자연재해와 육안으로 확인이 어려운 수중구조물의 특성에 따라 준공 후 정기적 수중 구조물 점검이 필요하여 개정이 필요 • 정부 및 관련 공공기관의 협조방안 - 국내는 토목잠수사 기술인력이 아주 적으므로 잠수기술과 토목기술을 융합한 기술대학 및 교육시스템이 절실히 필요함 - 수중부의 안전관리에 대한 발주기관의 적극성과 관심이 요구됨

<연구개발성과 활용방안>

- 기술적 측면
 - 수중구조물의 상태평가 및 구조적 건전성을 파악하는 획기적인 시스템 제공
 - 기존 수중구조물 점검 장비기술에서 초고주파수 첨단 소나 장비 개발로 세계적인 기술 수준 확보
 - 첨단장비를 활용하여 건전성평가를 위한 계측작업이 매우 간편해지고 정밀해짐
 - 비전문가도 손쉽게 사용 가능하므로 엔지니어 교육이 신속/용이
 - 계측-전산-물리-구조공학을 연계하는 융합 공학 분야의 발전
 - 미래 건설 산업의 변화에 대처하는 첨단기술과 이와 관련한 연구 인력의 육성에 기여
 - 하천 수중 구조물 및 해상 구조물에 적용할 수 있는 장비 및 소프트웨어 원천기술 확보

- 사회·경제적 측면
 - 새로운 패러다임의 수중구조물 점검 시장 개척
 - 관련 기술에 대한 대외 의존도를 감소시킴으로서 국가의 외화낭비를 방지
 - 첨단 점검시스템산업의 국산화로 수출산업 육성
 - 국가적인 차원에서 교량을 비롯한 핵심시설의 사용성과 안전성을 확보함으로써, 국가신임도를 높여 산업경쟁력을 강화할 수 있으며, 기타 사회불안요인으로 인한 안전사고 예방차원에서 막대한 국고의 낭비를 방지할 수 있을 뿐만 아니라 인명손실 등의 인재를 방지할 수 있음
 - 교량을 포함한 주요 댐, 제방, 항만시설물 등의 주요 구조물에 대한 건전성 감시에 적용 가능
 - 일체화형 무인 점검시스템에 의한 시설물의 이상유무 판정을 통해 효율적인 유지관리 및 보수·보강 계획을 수립할 수 있으므로, 사회간접자본의 수명 연장에 따른 경제성 제고
- 전략적 측면
 - 교량 유지 보수 관련 전문 인력 양성에 크게 기여
 - 손상 검출 프로그램을 통해 시설물 유지 관리 기술의 자동화 도입
 - 현재 서울특별시에서 진행 중인 한강교량 수중구조물관리 사업과 연계하여 첨단장비를 통한 수중부 교각 점검 시스템의 전문인력 양성에 기여
 - 계측 및 점검 기술 분야의 표준화 기틀 마련

■ 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

- 국내 시장 현황 및 예측
 - SOC예산은 정부의 SOC 분야 구조조정과 투자 효율화 방침에 따라 향후에도 지속적으로 감소할 것으로 보임.
 - 향후 SOC는 신규 건설사업을 최소화하고, 기존 발주된 계속 사업 위주로 투자 방침이 정해져있음. 또한 SOC 투자는 도시재생, 안전 및 유지보수, 4차 산업혁명 등 미래 대응 분야에 집중될 것으로 판단됨.

표 5.1.1 2018년 SOC 예산안 세부 계획

구 분	2017년	2018년(안)	비 고
도로	74,089	54,424	국도 건설(2.7조 → 1.8조)
철도 및 도시철도	71,437	47,143	일반철도 건설(4.4조 → 2.0조)
해운 및 항만	17,607	17,021	항만개발 및 관리(1.5조 → 1.3조)
수자원	18,108	16,762	하천관리 및 홍수예보(1.6조 → 1.5조)
지역 및 도시	12,028	15,536	도시정책(0.2조 → 0.5조)
물류, 항공 및 산단	28,086	26,272	산업단지(0.5조 → 0.3조)
합 계	221,355	177,158	전년대비 20% 감소

참고 : 기획재정부

- 수중조사 결과, 일관적이지 못한 점검자의 판단기준, 수중조사 현장여건(탁도, 유속 등), 장비 부족, 육안관찰의 한계 등 여러 가지 문제점이 발생함. 정확한 조사를 위해서는 수중 정밀탐지장비(고해상도 소나 등)를 활용한 수중 정밀조사 용역 발주가 크게 증가할 것으로 예상됨.

- 본 신청 기술을 통해 현장적용 건수를 늘리고, 매뉴얼을 통한 기술 보급이 이루어진다면, 발주처(한국도로공사, 수자원공사, 철도공사 등), 수중검사 장비 제조 및 판매회사, 전문 안전진단업체 등으로부터의 기술 수요가 크게 증가 할 것으로 예상됨.

• 국외 기술 및 산업 동향

- 세계 각국에서는 기후변화 및 시설물 노후화와 관련되어 재난의 방지와 피해의 최소화를 목표로 첨단 기술간 융합을 통한 신기술 개발을 추진 중임.
- 전 세계적으로 교량 건설이 급증하고 있으며 신규 교량의 건설뿐만 아니라 노후화된 교량이 급속도로 증가함에 따라, 이들 교량의 유지관리 시장은 급속히 확대될 것으로 예상됨.

표 5.1.2 세계 센서시장을 선도하는 주요 업체

업체명(국적)	업체별 능력	중점 분야
Chelsea Tech. (영국)	- 해양 탐사 장비	Acoustic, Sonar
Tritech (영국)	- 사이드스캔소나, 레이저장비, 3D 이미지 장비	사이드스캔소나
Materials Systems Inc. (미국)	- 해양탐사용, 군사용 등의 다양한 소나 transducer	해양탐사용 소나
S+R Sontotec GmbH(독일)	- 철근 콘크리트 구조물 부식 감지 시스템 개발/판매/분석	부식감지시스템/ Consulting분야
RST Instruments(캐나다)	- 다양한 지반공학적 계측기기 개발/판매/분석 - 전세계적으로 다수의 현장적용 사례 보유	계측기기 판매 및 Consulting분야
POLYU Technology & Consultancy(홍콩)	- Multi antenna GPS 시스템 개발 및 분석	GPS 소프트웨어 분야

- 수중조사의 경우, 통상적으로는 국내 환경과 유사하게 점검자에 의한 육안 점검을 위주로 수행되고 있으므로, 첨단 소나 장비를 이용한 수중영상취득 통합 솔루션을 개발할 경우 수출 가능성이 높음. 해당국가의 안전진단 업체와의 기술 제휴를 통한 용역사업 수행, 통합 솔루션 제품 수출 등 예상. 소나 관련 핵심 기술은 국내 업체가 세계적인 수준을 확보하고 있음.

■ 사업화 모형 제시

• 사업화 모형 수립(BM) 배경

- 일반적으로 교량의 수중점검을 위해서는 잠수인력에 의한 수중점검, 수중조사 등으로 재래의 방법을 사용하고 있으나, 유속과 탁도의 영향을 많이 받고, 점검시기의 제한이 커서 수중점검을 위한 첨단 장비의 개발 및 활용 필요성이 높아짐.
- 기존 수중 음파 촬영법 중 사이드 스캔 소나 (Side Scan Sonar)와 로터리 소나 (Rotary Sonar)는 대규모 세굴 등 광역범위에서는 영상 취득이 가능하나 구조체의 균열 및 박리 등과 같은 세밀한 균열을 확인 하는 데에 한계가 있고, 현재 사용 중인 1MHz급의 사이드 스캔 소나는 최대 분해능이 3cm이므로 균열 및 콘크리트 구조물의 단면결손을 구분하기가 어려움.
- 본 연구를 통해 세부적으로는 2MHz급 고주파수 소나장비 개발 및 파랑에 영향이 적은 점검장비를 개발하고, 객관적이고 체계적인 소나데이터 이미지 프로세싱을 통한 수중구조물의 건전성을 평가하는 기술을 개발하여 사업화하고자 함.

- 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인
 - 본 개발기술의 목표는 장비를 개발하여 장비를 판매하고, 장비를 활용하여 안전점검 서비스를 판매하는 것임.
 - 2MHz급 고주파수 소나장비는 수중구조물의 안전을 확인하는데 있어 안전진단 분야에 꼭 필요한 장비로 안전진단 전문기관과 수중조사 사업자에게 장비를 판매하거나, 구조물 전체의 안전성 확인과 점검시간 단축 및 점검비용 감소를 경쟁력으로 하여 장비를 활용한 안전진단 서비스를 각 지자체와 구조물 관리주체에 수행하여 수익을 창출하고자 함.
 - 2MHz급 고주파수 소나 수중조사 시스템은 전기·전자·기계 등 과학기술분야의 기술발전에 따른 것으로 안전진단 분야의 수중조사 방법을 획기적으로 개선하여 조사자의 안전성 확보와 점검비용 감소를 가능하게 하는 경쟁력을 갖고 있음.

- 목표 시장 구조
 - (가) 경쟁 기업 현황
 - 본 기술의 경쟁 기업은 기존 수중조사를 수행하는 기업이 될 것이나, 기존의 수중조사를 수행하던 회사도 본 장비를 구입하여 수중조사를 수행함으로써 인건비 절감과 점검의 신뢰성 향상으로 오히려 이익이 증가하게 될 것임.

 - (나) 시장 진입 장벽
 - 본 장비의 안전진단 시장 진입에 있어 문제점은 기존의 수중조사의 문제점으로 인해 제한적인 부분에 대해서만 수중조사를 수행하는 관행을 향후 안전에 대한 의식이 발전하고 유지관리의 중요성이 부각됨에 따라 수중구조물 전체에 대한 전수 조사의 필요성이 대두될 것이며, 이를 통해 수중조사의 신속성과 간편성 및 손상검출 신뢰성을 확보하여 시장을 확보하도록 할 것임.
 - 주관기관인 (주)다음기술단은 안전진단 전문기관으로 현재 안전진단 업무를 진행하고 있으며, 본 기술의 개발 필요성을 관련자로서 절실히 느끼고 있음. 본 기술이 개발되면 안전진단에 있어 점검 업무의 편리성과 신속성을 직접 적용하고 홍보하게 될 것임.

- 수익 확보 전략
 - (가) 주요 고객군
 - 안전진단 전문기관 (2015년 기준 등록업체 763개사)
 - 한국시설물안전진단협회 (2017년 기준 회원사 879개사)
 - 시공사 (2012년 기준 종합건설업체 11,304개사)
 - 감리사 (2017년 기준 한국건설기술관리협회 회원사 428개사)
 - 한국시설안전공단

 - (나) 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안
 - 안전진단 전문기관과 수중조사 사업자에게 장비 판매
 - 안전진단 시 개발된 소나장비를 이용한 효율적인 안전진단 서비스를 수행하여 수익 향상

■ 해외전시 및 홍보 계획

- Concrete Asia 2018 (2018.09.06. ~ 08. in Bangkok, Thailand 참석완료)



• 기타 해외전시 및 홍보 일정

구분	전시회명	일정	분야	접수유무
1	Intertraffic Indonesia 2018	2018.10.31. ~11.02	도로 인프라 프로젝트, 대중교통 및 유료도로, 민간 부문의 운송사업, 교통 당국 등	신청완료
	- 한국도로공사 국제협력 및 중소기업 해외진출 지원사업 일환 - Kotra 해외전시회 지원지침, 중소기업중앙회 무역촉진단 파견사업 운영 지침 운용			
2	World of Concrete 2018 상하이	2018.11.19. ~21	콘크리트, 건설기계, 석재 등 건설에 필요한 총체적인 것들을 모두 포함	신청완료
	- Raw Space (36 sqm minimum) RMB 1,400/sqm, plus 6% VAT - 중국 업체 위주 임(전시업체 리스트참고)			
3	World of Concrete 2019 라스베이거스	2019.01.22~25	콘크리트, 건설기계, 석재 등 건설에 필요한 총체적인 것들을 모두 포함	신청예정
	- 매년 개최 - 세계 최대 규모의 콘크리트 재료/부품/장비, 골재 파쇄 기술 및 장비, 건설기계, 건설기자재, 몰탈, 케미컬, 강화제, 보수제, 방수제, 혼화제, 그라우팅재, 거푸집, 가설재, 비계, 시멘트, 석재 산업 관련 전문 박람회 - 에이전시: 글로벌비즈니스박람회(주) Global Business Exhibitions 정 서 연 Soyon Jeong, Tel.+82-2-6671-6005, soyon@gbexhibition.com			

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 합성 개구면 소나 SAS(Synthetic Aperture Sonar)의 연구 적용성 분석

가, 목 적

초고해상 (2MHz급 이상)의 소나 개발을 통한 수중구조물 무인 안전진단 시스템의 개발의 연구과제 목표는 1cm 미만의 분해능을 가지는 소나 장비 개발을 통해 수중구조물 안전진단의 정확성을 높이고자 함이 목표이다. 최근 수중탐색 음탐기 기술의 발전으로 최근 합성개구면음탐기의 기술발전이 두드러짐에 따라 본 연구에 적용가능한지 여부를 분석하고자 한다.

나. 합성 개구면 소나의 원리

합성개구면소나는 수중의 물체를 원거리에서도 고해 상도의 영상을 얻을 수 있는 기술이다. 측면주사 음탐기는 해저의 일정 지점에서 단일 신호를 송수신하지만 항공기의 SAR처럼 SAS는 앞으로 움직여 나가면서 동일한 지점을 반복적으로 탐색하면 개구면이 커져서 작은 물체에 대한 고해상도 영상을 얻을 수 있다. SAS 신호처리는 UUV등에서 운용되기 때문에 소나 신호처리를 용이하게 하기 위해서는 집적도가 높은 저전력 소모의 플랫폼이 요구된다. 이를 위해서 많은 연산량이 요구 되는 SAS의 핵심 신호처리 모듈인 빔형성기 구현기술은 차기 핵심기술 확보를 위한 중요한 요소이다.

고해상도의 SAS 영상을 얻기 위해서는 Synthetic Aperture의 형상을 정확하게 얻는 것이 필수적이다. 물속에서 운동체는 원하지 않는 방향으로 움직이기 때문에 운동체의 정확한 motion estimation을 얻기 위해 acoustic micronavigation 에 결합된 INS 시스템을 채택한다. SAS 신호처리는 광대역 소나 plse를 사용하기 때문에 mtched filter를 사용하여 거리, 방위 분해능을 얻는다.

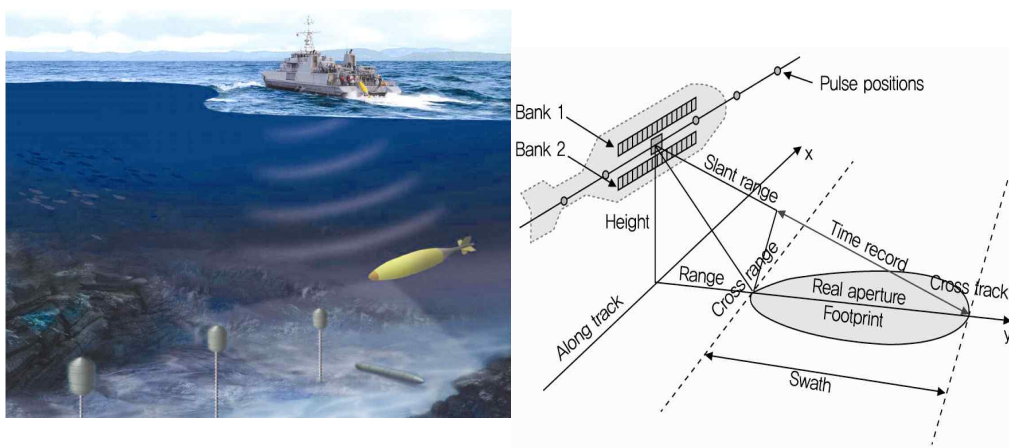


그림 6.1.1 합성개구면 소나 운영 개념

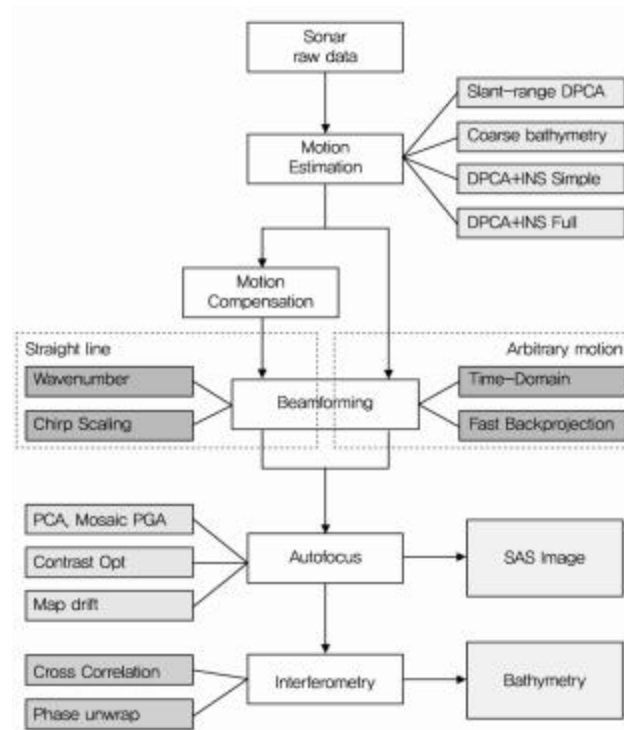
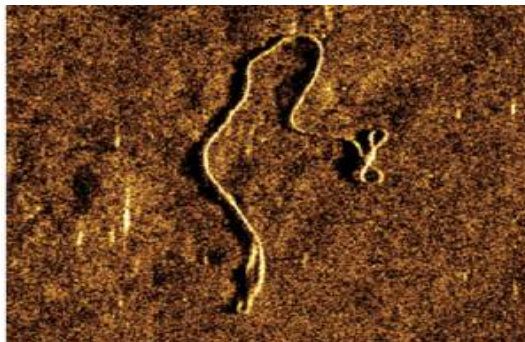
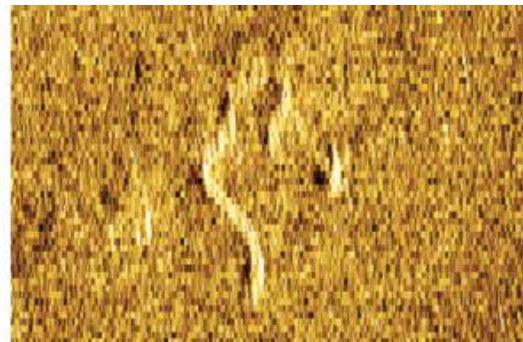


그림 6.1.2 SAS 신호처리 개념

합성개구면소나(SAS)의 신호처리 개념을 살펴보면 96개의 센서 엘리먼트로 구성된 2개의 along-track receiver array와 phased array transmitter (4×5)로 구성된다. 센서로부터 수신된 펄스 신호를 실시간으로 수신하고 acoustic navigation 데이터를 수신하여 합성개구면 소나 빔 형성 처리를 하여 영상을 획득하게 된다.



SAS(Synthetic aperture SONAR) 이미지



SSS(Side Scan SONAR) 이미지

그림 6.1.3 이미지 비교

다. 사이드 스캔 소나와 SAS 제조사 별 비교

Type	Side Scan Sonar		Synthetic Aperture Sonar		
Manufacturer Description	SonarTech	SonarTech	Kongsberg	KRAKEN	
MODEL	S-150A	SeaView400M	HISAS 1030	KATFISH 180	AquaPix
Frequency	• Single : 400, 1250 kHz • Dual : 400/1250 kHz	455kHz multi type	60~120kHz	337kHz	200kHz to 400kHz
Number of beams	1 beam per side	5 beam per side	Number of elements: 16 elements per side		
Beam width	• 400 kHz: 0.3°(H), 40°(V) • 1,250 kHz: 0.3°(H), 30°(V)	0.5°(H), 40°(V)@455kHz	Multi-aspect field of view:30°		20°
Along Track Resolution		• 10cm at 38m, • 20cm at 75m, • 40cm at 150m, • 65cm at 250m	2cm(theoretical)	3.3cm	2.5cm unshaded, 3cm shaded
Across Track Resolution		3.75cm at minimum pulse length	2cm(theoretical)	3cm	
Swath Range	• 400 kHz: 300 m • 1250 kHz: 60 m	Max 500m	• Max 400m@4knots • Max 520m@3knots	• Dual : 200m at 8kts (440m at 4kts) • Single : 100m at 8kts (220m at 4kts)	• Single : 132.5m at 3kts • Dual : 1km/hr
Tow speed	2 ~ 8 knots	Max 12 Knot		Max 8 Knot	
Towfish Size	1,026×ø89 (mm)	120cm(L) × 12cm(Dia)	128cm(L)× 11.6cm(Dia)	2.9m×32.4cm(Dia)	
S/W	• Real Scan • Post Scan • 호환 가능 : SonarWiz, GeoDAS, Hypack	STM5			

라. 소나 종류 및 특성 비교

구분	2D						3D	
	Single beam		Multi beam		Synthetic Aperture Sonar	Image sonar (Forward looking)	Multi beam 3D scan BlueView	3D image sonar
	다음기술단	Benthos	SonarTech	L3 Klein	Kongsberg	BlueView	BlueView	BlueView
모델	Dual Sonar, 1MHz/2MHz SSS	SIS1500	Seaview400 M	System 5000	HISAS	M900-2250 Dual Frequency	BV5000-225 0-N / 2250-W	motion sensor + S/W + BV5000
주파수	400kHz, 1250kHz, 2000kHz	190~210kHz 보편적 (100kHz~100 0kHz)	455kHz Multi type (5 beam per side)	455kHz Single type (5 beam per side)	60~120kHz	900kHz-2250 kHz	1.35MHz~2.2 5MHz	
정밀도 및 분해능	<3.0cm, 0.8cm	<4.0cm	3.75cm	3.75cm	2cm	1.3cm/0.6cm	1cm (time resolution)	
스캔 범위	60m, 15m	1000m	500m	500m	400~520m	100m	10 m	
개발 국가	대한민국	USA	대한민국	USA	노르웨이	USA	USA	USA
장점	• 조사각도 조절 가능 • 높은 분해능 • 후처리 시간이 짧음	• 광범위 조사 가능	• 낮은 주파수에 상대적으로 높은 분해능 • 고속주행 가능		• 낮은 주파수로도 분해능이 뛰어남 • 조사범위도 상대적으로 넓음	• 휴대성이 좋음 • 비디오 카메라처럼 스캔 없이 영상처리 가능	• 3D모델링 가능 • 높은 정밀도	• 실시간 처리 가능 • ROV 탑재 가능
단점	• 운영방법 및 노하우에 따라 데이터 품질차이 • 2D 이미지 • 파도 영향이 큼	• 예인식 • 분해능이 낮음 • 구조물 조사가 어려움	• 예인식 • 장비가 크고 무거우므로 현재 고부트로 사용 불가 • 조사각도 조절 불가 • 구조물조사가 어려움		• 예인식 • 장비가 크고 무거우므로 현재 고부트로 사용 불가 • 조사각도 조절 불가 • 구조물조사가 어려움	• 구조물 조사에 부적합함 • ROV or 다이버 투입이 필요함	• 3D 모델링 후처리 시간이 오래 걸림 • 실시간 분석 불가 • 여러 스캔, 작업시간 증가	• 손상 분석 가능한 확인 불가

마. 결 론

합성개구면 소나를 명명되며, 수중의 물체를 원거리에서도 고해상도의 영상을 얻을 수 있는 기술이다. 측면주사 음탐기는 해저의 일정 지점에서 단일 신호를 송수신하지만, 앞으로 움직이면서 동일한 지점을 반복적으로 탐색하면 개구면이 커져서 작은 물체에 대한 고해상도 영상을 얻는 기술로서 측면 주사 음탐기와 동일 주파수로 비교 시 뛰어난 분해능을 가진다. 현재 합성개구면소나는 400kHz 이하 대역의 주파수를 이용하여 3cm 미만의 분해능을 가지고 있는 것으로 조사되었다.

하지만 합성개구면소나(SAS)는 국내 개발사례가 없고 원천기술이 매우 취약한 분야이며, 원천기술의 국산화 준비단계인 것으로 조사되었다. 그리고 해외 원천기술을 본 연구에 도입 시 연구 지원금의 범위에 벗어나며, 연구 준비 기간으로도 부족하다고 판단된다. 향후 1Mhz급 이상의 주파수를 이용한 SAS가 개발 시 구조물 손상 조사에 대한 활용도가 높을 것으로 보이며, 원천기술 확보가 필요하다고 판단된다.

2D Multi Beam SSS의 경우 낮은 주파수에 상대적 높은 분해능을 갖지만 장비가 크고 무거워 주로 예인식으로 운용되며, 구조물조사가 어렵다. 또한, 3D Scan Sonar의 경우 높은 정밀도를 가진 3D모델링이 가능하지만, 3D모델링 후처리 시간이 오래 걸려 실시간 확인이 불가능하고, 여러 스캔을 반복적으로 스캔해야하기 때문에 작업시간이 증가한다.

조사각도 조절이 가능하며, 높은 분해능 및 후처리 시간이 짧은 1MHz/2MHz SSS를 개발하였다.

제7장. 연구개발성과의 보안등급

본 과제는 국토교통기술과학기술진흥원에서 국토교통기술촉진연구사업 창의도전연구 공고시게시한 보안등급에 따라 일반과제로 분류되었으며, 이에 따라 본 연구 과제의 연구개발성과 또한 일반과제의 보안등급에 따름

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천 원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

해당사항 없음.

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허	사이드 스캔 소나의 영상 흔들림 보정 방법	(주)다음 기술단	발명 자	대한민국	-	2017.05.22.	단독 사사	-
2	특허	해상도 개선을 위한 2MHz 사이드 스캔소나 및 그 운용방법	(주)다음 기술단	발명 자	대한민국	-	2017. 11.08	단독 사사	-
3	논문	수중구조물 안전진단 적용을 위한 고해상 사이드스캔소나 의 운영기법 연구	(주)다음 기술단	저자	대한 민국	-	2016.04	단독 사사	-
4	논문	흔들림 보정을 통한 고해상 사이드스캔소나 의 데이터 관리기법 연구	(주)다음 기술단	저자	대한 민국	-	2017.09	단독 사사	-
5	논문	A study for Optimum Survey Method of Underwater Structure Using Dual Sonar Sensor	(주)다음 기술단	저자	United Kingdom	2.057	2017.05	단독 사사	SCIE
6	논문	항만구조물 안전진단을 위한 2MHz 사이드스캔소나 적용성 분석	(주)다음 기술단	저자	대한 민국	-	2018.04	단독 사사	-
7	논문	Development of a 2 MHz Sonar Sensor for Inspection of Bridge Substructures	(주)다음 기술단	저자	스위스	2.475	2018.04	단독 사사	SCIE

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
8	S/W 저작권	듀얼소나 보트 운영 프로그램	(주)다음 기술단	저작 권자	대한민국		2017.05.12.	단독 사사	
9	S/W 저작권	흔들림 보정 프로그램	(주)다음 기술단	저작 권자	대한민국		2017.05.12.	단독 사사	
10	S/W 저작권	1MHz/2MHz SSS Damage Detector	(주)다음 기술단	저작 권자	대한민국		2018.05.03	단독 사사	
11	S/W 저작권	1MHz/2MHz SSS Viewer	(주)다음 기술단	저작 권자	대한민국		2018.05.03.	단독 사사	

제11장. 기타 사항

해당사항 없음.

제12장. 참고 문헌

2. 한국도로공사 도로교통기술원 (2006), “교량 수중부 하부 실태조사 및 무인 잠수점검 로봇 파일럿 설계연구용역”
3. 정지승, 박 철, 배인환, 하강희(2008), “고해상(1250KHz)소나를 이용한 영종대교 하부구조의 수중점검에 관한 연구”, 2008년 진단학회 학술발표회
4. 박철, 정지승, (2010) “고해상 수중음파탐지기를 활용한 수중점검에 대한 연구”, 2010년 진단학회 학술발표회
5. John Kattel, Merv Eriksson, Bridge Scour Evaluation : Screening, Analysis, & Countermeasures, USDA Forest Service San Dimas Technology and Development Center San Dimas, California, September 1998
6. 2017 재해연보 행정안전부, (2017)
7. 박 철, 정근순, 윤진용, 백영만, 정호섭 (2007) “이드스캔소나를 이용한 교량 수중부의 안전점검”, 2007년 대한토목학회 정기학술대회
8. 강한모, 전귀현 (2002), “교량 유지관리 매뉴얼”, 한국시설안전기술공단
9. 김영진, 진규남, 이상훈, 박선규, 윤정방, 박승희 (2011), “상시계측 시스템과 보수/보강 신기술에 의한 교량의 성능평가 및 유지관리기법 개발”, 연구지원 2011-15호, 한국토지주택공사 토지주택연구원
10. 이의호 (1998), “철근 콘크리트 교각의 수중보수방법의 문제와 대책”, 한토목학회지 제46권 제5호
11. 박병철 (2004), “홍수로 인한 교량 하부구조의 손상평가에 관한 기초연구”, 소방방재청 국립방재연구소
12. 전경수 “미국의 세굴 대책사례”, EX기술동향 Brief-004, 한국도로공사 도로교통연구원
13. 건설교통부 안전정책과 (2012), “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침” 한국시설안전기술공단
14. Alfredo H-s. Ang and Wilson H. Tang. (2007), Probability Concepts in Engineering-Empahsis on Applications in Civil & Environmental engineering, Wiley
15. Central Disaster and Safety Countermeasure Headquarter (2012), Disaster Annals, in Korean
16. Ho, Hoai-Nam., Lee, Jong-Jae., Park, Chul., Jo Byung-Wan. (2013), AN EFFICIENT IMAGE ENHANCEMENT ALGORITHM FOR SONAR DATA, International Journal of Latest Research in Science and Technology, Volume 2, Issue 6: Page No.38-43
17. Park, Chul (2015), A Study on the Development of Safety Inspection Method in Underwater Structures Using a High Resolution SONAR, Ph.D. Thesis, Hanyang Univ.
18. Park, Jung-Hoon., Park, Young-Soo., Park, Chul., Lee, Jong-Jae. (2013), Development of SONAR-based Smart Underwater Inspection System, Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection Conference Vol. 17 No. 2 pp.126~129.
19. Park, Chul., Kim, Youngseok. and Choi, Sangsik. (2016), A Regression Analysis Study of the Applicability of Side Scan Sonar based Safety Inspection of Underwater Structures, 18th International Conference on Nondestructive Testing and Evaluation
20. Kim, Y.S., Lee, H.S., Park, C., Choi, S.S.(2017), A Study for Optimum Survey Method of Underwater Structure Using the Dual Sonar Sensor, Journal of Sensors. Volume 2017, Article ID 9206898, 10 pages

-
21. Moon, I.H.(2012), Development of SONAR-based Smart Underwater Inspection System, Sejong University, Seoul, 1-3.
 22. Park, J.H., Park, Y.S., Park, C., Lee, J.J.(2013), Development of SONAR-based Smart Underwater Inspection System, Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection Conference Vol. 17 No. 2, 126~129.
 23. Yi, J.H., Park, C., Lee, H.S., Kim, Y.S.(2016), A method development of correctly SONAR image distortion for diagnosis in underwater structure, Korean Society of Civil Engineers, KSCE 2016 CONVENTION PROGRAM, 248-249
 24. Agdas, D., Rice, J., Martinez, J., and Lasar, I. (2015) Comparison of Visual Inspection and Structural-Health Monitoring As Bridge Condition Assessment Methods. Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol.30, Issue3,
 25. Alfredo H-s. Ang and Wilson H. Tang. (2007), Probability Concepts in Engineering-Empahsis on Applications in Civil & Environmental engineering, JohnWiley & sons, Inc.
 26. Cha, Kyunghwa et al. (2015) Development of the Deterioration Models for the Port Structures by the Multiple Regression Analysis and Markov Chain, Computational Structural Engineering Institute of Korea, Vol. 28(3), pp.229~239
 27. Chelgani, S.Cetal.(2011) Study Relationship between Inorganic and Organic Coal Analysis with Gross Calorific Value by Multiple Regression and ANFIS, INTERNATIONAL JOURNAL OF COAL PREPARATION AND UTILIZATION, Vol.31, No.1-6, pp.9-19.
 28. Cleopatra Petroutsatou, Sergios Lambropoulos and John-Paris Pantouvakis (2006) Road Tunnel Early Cost Estimates Using Multiple Regression Analysis. Operational Research. An International Journal, Vol. 6, pp311-322.
 29. Ho, Hoai-Nam et al. (2013), AN EFFICIENT IMAGE ENHANCEMENT ALGORITHM FOR SONAR sensor DATA, International Journal of Latest Research in Science and Technology, Volume 2, Issue 6: Page No.38-43
-

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.