

선택적 어획을 위한 어군탐사시스템 개발

Development of fish sizing echo sounder for selective fishing

초음파 음향변환기 및 송수신장치 제작

Development and design of ultrasonic transducer and transceiver system

체장추정 알고리즘 및 반사강도의 데이터 베이스 개발

Development of target strength data base and fish sizing algorithm

DSP 및 정보표시장치의 개발

Development of information display and DSP system for fish sizing

2004. 10

부경대학교

해양수산부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “선택적 어획을 위한 어군탐사시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004년 11월 일

주관연구기관명 : 부경대학교

총괄연구책임자 : 김 천 덕

연 구 원 : 이 대 재

연 구 원 : 김 무 준

요 약 문

I. 제 목

선택적 어획을 위한 어군탐사시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

현재 우리나라 주변수역에 있어서는 한국, 일본, 중국이 상호 어업협정을 체결하고, 자국의 경제수역내에 분포하는 어업자원을 보호하기 위해 타국어선에 대한 조업규제를 한층 강화하고 있어 우리나라 연근해 어업은 조업어장의 위축과 생산성의 저하에 따른 자구책 마련에 매우 많은 어려움을 겪고 있음. 한반도 주변수역에서의 새로운 어업질서가 점진적으로 체계를 갖추고 있는 가운데 우리나라로서는 자원관리형 어획기술의 정착을 통한 고부가가치의 어업경영을 추구해야 하는 문제에 직면해 있음. 이에 능동적으로 대처하기 위해서는 무엇보다도 체계적으로 어업자원을 관리하면서 어종별 적정 크기 이상의 어업생물을 적정한 어획강도로서 필요한 만큼 어획할 수 있는 소위 “선택적 어획”을 위한 어업기술의 개발과 그 보급이 절실하게 요구되고 있는 상황임. 본 연구 개발은 선택적 어획을 성공적으로 수행하기 위해 어업자가 어로현장에서 직접 어류의 크기 정보를 실시간으로 수집할 수 있는 장치, 즉, 체장어군탐지장치를 개발하여 어업자에게 저가에 공급하는 데 그 목적이 있음.

III. 연구개발 내용 및 범위(필요에 따라 제목을 달리할 수 있음)

(가) 초음파변환기 및 송수신 장치 설계 및 제작

- ① 진동 element 제작 : tonpilz형 or 단일 진동체형
- ② 음향 window 제작 : 폴리우레탄 window
- ③ weighting transducer 설계 : 측엽레벨(side lobe level)이 약 -20 dB 이상이 확보되도록 가중치를 산출하여 가중회로를 설계, 제작함.
- ④ transceiver(송수신장치) 설계(참여기업) : 5 채널 수신회로 설계
 - ㉠ 4 채널 : 어류의 방향각 검출을 위한 TVG 수신채널
 - ㉡ 1 채널 : echogram presentation을 위한 수신채널

- ⑤ transducer 특성평가 : 지향성, 송수파 감도, 대역폭 등의 평가
- ⑥ matching 회로설계 : split beam transducer와 transceiver 사이의 정합을 위한 정합회로 설계
 - (나) 체장추정 알고리즘 개발 및 어종별 TS 데이터 베이스 개발
 - ① 체장추정 알고리즘 개발
 - ② 어종별 TS 측정 및 평가
 - ③ 어종별 TS 데이터 베이스 개발
 - ㉠ echogram(기존어탐의 내용 및 방식) : 8bit 이상
 - ㉡ target strength histogram, A scope diagram(echo 파형) : -60dB ~ -40dB 범위
 - ㉢ 체장 histogram 변환기능 ⇔ 주요 어류의 체장과 TS 실험식 내장
 - ㉣ 해저 확대기능과 확대층의 target strength histogram : 5m
 - (다) DSP 설계 및 개발
 - ① echogram 처리회로 설계 : 어탐시스템의 echogram을 고속으로 전송 처리
 - ② 어류의 소재방향검출 회로 설계 : 4 채널의 transceiver의 출력신호를 받아 어류의 위치각을 검출함(DSP내장).
 - ③ monitor 및 driver 설계 : echogram 화상 데이터를 전송하여 표시하기 위한 hardware 장치
 - ④ 화상처리 software 개발 : echogram 화상 데이터를 전송하여 표시하기 위한 software
 - ⑤ 어류 방향각 검출 전용 신호처리장치(DSP) 구성 및 설계(4 채널)

IV. 연구개발결과

- split beam transducer의 성능평가 결과 dual beam transducer 등 다른 방식에 비해 월등한 성능을 확인하였음.
- 전용 transceiver를 설계하였음.
- 다수의 어종을 대상으로 어류 반사강도를 측정하여 정보를 확보하였음.
- A/D 변환보드를 사용한 신호처리 기법으로 체장의 추정이 가능함을 확인 하였음.
- 전용 A/D 보드를 제작하고 그에 따른 S/W를 개발하여 시험평가에 성공하였으며 알고리즘의 안정성을 검토하였다.
- 해수전용의 수조를 준비하여 각 어종별 TS를 측정하여 데이터 베이스를 구축하였고 그에 따른 함수를 도출하였다.
- 국내의 다른 기존어탐과는 근본적인 차이가 있음을 확인
- 조작 및 사용의 간편성
- 개발 시스템의 충분한 성능 확인

V. 연구개발결과의 활용계획

본 연구가 성공적으로 수행되면, ①split beam transducer의 설계 및 제작기술을 확보할 수 있어 현재 수입에 전적으로 의존하고 있는 어군탐지장치용 초음파 진동자의 국산화에 크게 이바지할 것임. ②어로현장에서 어류의 체장정보를 실시간으로 파악할 수 있어 어법의 과학화에 크게 기여할 것으로 판단됨. ③지금까지 수입에 전적으로 의존하던 체장어군탐지장치를 국산화할 수 있어 국내 어업기자재 산업의 활성화에 크게 이바지할 것임. ④본 연구개발기술을 활용하면 다른 저가형 어군탐지장치의 개발이 가능하여 관련산업기술에의 파급효과가 클 것으로 판단됨. ⑤저가형 체장어군탐지장치의 보급에 의해 TAC 제도의 시행을 위한 법적, 사회적 기반이 원활하게 조성될 것으로 기대됨.

가) 향후 연근해 해역에서 조업하는 모든 업종에 대해 중요 어종을 대상으로 TAC 제도를 시행하는 경우, 어업자는 자기가 할당받은 어획량을 어획하는 과정에서 그들이 희망하는 체장보다 작은 소형의 어류가 어획될 때에는 어획물을 그대로 바다에 폐기 해 버릴 우려가 있기 때문에 어로현장에서 체장어군탐지장치에 의해 수집한 어류의 체장정보를 토대로 대상 어류(어군)을 선별하여 선택적으로 어획하는 데 활용케 함으로서 자원관리형어업의 기반을 조성하는데 기여하고자함.

나) 근해 어선어업에 대해서는 선택적 어획을 위한 어업정보를 어로현장에서 실시간으로 제공하여 부가가치가 높은 대형 어류를 선별하여 어획하게 함으로서 어획능률의 향상과 조업의 효율화를 꾀하게 함.

다) 현재 외국에서 수입되는 체장어군탐지장치는 우선 가격이 비싸고, 모든 정보를 개발국의 어업자 및 어장환경을 기준으로 제공하고 있어 우리 연근해 소형어선의 어업자에게는 기술적인 내용에 대한 이해가 매우 어려운 문제가 있음. 따라서, 우리 어업자의 정서에 부각되는 체장어군탐지장치를 개발하여 저가에 공급함으로서 어민의 어가소득 증대와 어업경비를 절감시키는 데 활용하게 함.

라) 향후 선택적 어업의 제도적 기반이 조성되는 시점에서는 어업자가 무분별하게 고가의 외국산 체장어탐시스템을 도입할 우려가 있다고 전망되기 때문에 기업(삼영 ENC)과 공동으로 체장어탐시스템을 국산화하여 저가에 공급함으로서 연근해 어업경영기반의 안정성을 꾀하고자 함.

S U M M A R Y

I . Title

Development of fish sizing echo sounder for selective fishing

II. Object and importance of developing research

Now a days, in the sea area of the circumference of our country, the Republic of Korea, Japan, and China conclude a fisheries agreement, and the fish of its own country is protected. Because of that, the fishing in the circumference ocean space of our country has shrunk. Therefore, our country must also be established in resources management type fisheries. In order to cope with it there actively, the so-called "alternative fishing" is demanded. In this research, a fish finder which can search for the information directly was developed because a fisherman want to know the length and the size of a fish in real time in the field.

III. Research and development substance and sphere

(A) Ultrasonic transducer and transmitter-receiver design and manufacture

- ① vibration element manufacture : Tonpilz type or single vibration element type
- ② acoustic window manufacture : Polyurethane window
- ③ weighting transformer design : side lobe level - less than 20 dB
- ④ transceiver(transmitter-receiver) design(participation company) : 5 channel receiver design
 - ⓐ 4 channels : TVG receiver channels for direction of fish detecting
 - ⓑ 1 channel : receiving channel for echogram presentation
- ⑤ transducer characteristics estimation : Directivity, transmitting-receiving sensitivity, wide-band approximately estimation

⑥ matching circuit design : matching circuit design : for split beam transducer and transceiver

(B) development of estimation algorithm and development of TS data base for various fish

① development of fish length estimation algorithm

② measuring and estimation of TS

③ development TS data base

① echogram(conventional method) : over than 8bit

② target strength histogram, A scope diagram(echo wave) : - 60dB ~ - 40dB

③ histogram of fish length conversion function

④ bottom of the sea zoom function and target strength histogram of extension floor : 5

m

(C) DSP design and development

① echogram processing circuit design : the echogram of fishing system can be transmitted with high speed

② detection circuit of direction design : receiving the output signal of 4 channels, detect the direction of fish

③ monitor and driver design : Hardware for transmitting the echogram data and presentation

④ image processing software development to transmit and mark echogram : Software

⑤ construction and design for detection signal processing unit(DSP)

IV. Research and development result

○ As the estimation results of split beam transducer, it was confirmed excellent performance than other way such as dual beam transducer.

○ Planned exclusive use transceiver.

○ Measure the reflection intensity for many fish species and secured its information.

○ It was confirmed that length of fish can be estimated by signal processing method

using A/D conversion board.

- Exclusive use A/D board manufacture and develop its S/W and succeeded in examination estimation and examined stability of algorithm.
- Constructed data base and derived function accordingly measuring each kind of fish TS preparing sea water tank of exclusive use.
- It was confirmed that the researched fish finder is different to other conventional one and easy usage.

V. Practical use plan with research and development results

If this research is achieved successfully, ①split beam transducer's design and manufacture skill will can secure, and it may contribute greatly in domestic production of fish detection equipment that is depending entirely on import. ②It is judged to contribute greatly on science of fishery because it can take the information of length of fish by real time. ③It will contribute greatly on domestic fishery hardware industry because of domestic production of fish detection equipment.

④Using the developed technology in this research, other low-cost style fish finder also could be developed, and it affect to other concerned industry.

⑤Legal, social base for enforcement of TAC system is expected to be made up smoothly by diffusion of the low-cost style fish finder.

a) If the TAC system is enforced for all kind of fishery in near sea, small sized fishes would be trashed because the fisher man are allowed total weight of fish. Therefore, in the field of fishery, it can be useful that the information of length of fish can be obtained in real time by split beam transducer.

b) In order to increase the efficiency of fishery, high valued fish can be taken by the fish information.

c) The current selective fish finder, which is imported, is expensive, and it offer the information that is refered to environment of developing country. So that information is not

fittable to our conditions. Therefore, suitable selective fish finder is developed and is provided in low-cost to fisher man.

CONTENTS

Chapter 1 Outline of Project	12
Section 1 Necessity of Research	12
Section 2 Object and Contents of Research	15
1. Goal	15
2. Goals and Contents Order by Year	15
Chapter 2 Present Condition of Development	16
Section 1 Problems and Condition of Relative Researchs	16
1. Domestic	16
2. Other Countries	16
3. Difference and Common Feature	17
Section 2 Vision	18
Section 3 Propriety of Technology Transfer	19
1. Possibility of Improting Technology from Other Country	19
2. Economic Performance of Improting Technology	19
Chapter 3 Contnts and Results of Research	20
Section 1 Strategy and Method	20
1. Preparation of Information and Specialist	20
2. Research Method	20
Section 2 Research System	24
Section 3 Research Method Order by Year	25
1. First Year	25
2. Second Year	25
3. Third Year	26
Section 4 Research Contents in Details Assignment	27
1. First Details Assignment	27
2. Second Details Assignment	32
3. Third Details Assignment	38
Section 5 Results of Details Assignment	51
1. First Details Assignment	51
2. Second Details Assignment	75
3. Third Details Assignment	85
Chapter 4 Target Achievement and Contribution	95
Section 1 Contents and Goals of Research Order by Year	95
1. Details Plans of Research	95
2. Outputs of Research	96
Section 2 Object of Research and Estimation Points	98
1. Object of Research	98

2. Estimation Points	99
Section 3 Achievement of Research Object	101
1. Achievement of Research Object	101
2. Self Estimation of Achievement	102
Section 4 Plan vs Progress	103
Section 5 Technical Progress in Relative Fields	106
1. Technological side	106
2. Economic and Industrial side	107
Chapter 5 Plan of Practical Use	108
Chapter 6 Obtained Technical Information	109
Chapter 7 Reference	110

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	12
제 1 절 연구개발의 필요성	12
제 2 절 연구개발의 목표 및 내용	15
1. 최종 목표	15
2. 연차별 연구개발목표와 내용	15
제 2 장 국내외 기술개발 현황	16
제 1 절 국내·외 관련연구의 현황과 문제점	16
1. 국내의 연구동향과 문제점	16
2. 국외의 연구동향과 문제점	16
3. 국외 연구개발시스템의 공통점과 차이점	17
제 2 절 앞으로 전망	18
제 3 절 기술도입의 타당성	19
1. 외국기술의 도입 가능성	19
2. 외국 기술에 대한 기술료 수준과 경제성 여부	19
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	20
제 1 절 추진전략 및 방법	20
1. 연구정보수집 및 전문가 확보	20
2. 연구방법	20
제 2 절 연구개발 추진체계	24
제 3 절 연차별 연구수행 방법	25
1. 1차 년도	25
2. 2차 년도	25
3. 3차 년도	26
제 4 절 세부과제별 연구수행 내용	27
1. 제1 세부과제 : 초음파 음향변환기 및 송수신장치 제작	27
2. 제2 세부과제 : 체장추정 알고리즘 및 반사강도의 데이터 베이스 개발	32
3. 제 3 세부과제 : DSP 및 정보표시장치의 개발	38
제 5 절 세부과제별 연구결과	51
1. 제 1 세부과제 : 초음파 음향변환기 및 송수신장치 제작	51
2. 제2 세부과제 : 체장추정 알고리즘 및 반사강도의 데이터 베이스 개발	75
3. 제 3 세부과제 : DSP 및 정보표시장치의 개발	85
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	95
제 1 절 연차별 연구개발 목표와 내용	95
1. 연구세부계획	95
2. 연구 실적	96
제 2 절 연구개발목표 및 평가의 착안점	98
1. 연구개발 목표	98

2. 평가의 착안점	99
제 3 절 연구개발 목표의 달성도	101
1. 연구개발 목표의 달성도	101
2. 상기 평가의 착안점에 따른 달성도에 대한 자체평가	102
제 4 절 계획대비 진도표	103
제 5 절 관련 분야의 기술발전	106
1. 기술적 측면	106
2. 경제 · 산업적 측면	107
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	108
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	109
제 7 장 참고문헌	110

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

현재 우리나라 주변수역에 있어서는 한국, 일본, 중국이 상호 어업협정을 체결하고, 자국의 경제수역내에 분포하는 어업자원을 보호하기 위해 타국어선에 대한 조업규제를 한층 강화하고 있어 우리나라 연근해 어업은 조업어장의 위축과 생산성의 저하에 따른 자구책 마련에 매우 많은 어려움을 겪고 있음.

한반도 주변수역에서의 새로운 어업질서가 점진적으로 체계를 갖추고 있는 가운데 우리나라로서는 자원관리형 어획기술의 정착을 통한 고부가가치의 어업경영을 추구해야 하는 문제에 직면해 있음.

이에 능동적으로 대처하기 위해서는 무엇보다도 체계적으로 어업자원을 관리하면서 어종별 적정 크기 이상의 어업생물을 적정한 어획강도로서 필요한 만큼 어획할 수 있는 소위 “선택적 어획”을 위한 어업기술의 개발과 그 보급이 절실하게 요구되고 있는 상황임.

현재 세계 각국에서 널리 채택되고 있는 선택적 어획기법에는

① 우선 어업자가 어획대상어류의 체장정보를 현장에서 직접 파악하여 당해 어군의 어획 여부를 결정하는 방법과

② 사용어구에 혼획되는 각종 어류중에서 일부를 선별적으로 탈출시켜 목표대상 어류만을 선택적으로 어획하는 방법이 있음.

본 연구 개발은 선택적 어획을 성공적으로 수행하기 위해 어업자가 어로현장에서 직접 어류의 크기 정보를 실시간으로 수집할 수 있는 장치, 즉, 체장어군탐지장치를 개발하여 어업자에게 저가에 공급하는 데 그 목적이 있음.

가. 기술적 측면

① 과학적 어군탐사기술이 낙후하여 어업생물의 어획정보를 수집, 분석하는 응용기술의 기반이 취약하기 때문에 선택적 어획을 위한 탐사장비의 개발이 시급한 실정임.

② 현재 보급되고 있는 외국산의 어군탐사 및 계측장비는 가격이 매우 비싼 관계로 연근해 소형어선에서 장비하는 데에는 많은 어려움이 있으므로 저가형 어군탐사시스템의 개발이 절실히 요구되고 있음.

③ 종래의 어군탐지기는 어류의 생물학적 정보, 특히, TAC 제도의 시행과 관련하여 어업자가 어로현장에서 실시간으로 알아야할 어류의 체장에 관한 정보를 수집, 분석할 수 없기 때

문에 종래의 어군탐지장치를 대신할 과학적 어군탐지 장치¹⁾⁻⁷⁾의 개발이 시급히 요구되고 있음.

④ 어업생물자원의 적정한 관리를 위한 과학적인 어로기법을 실현하기 위해서는 어로현장에서 어류의 체장과 같은 어획정보를 실시간으로 평가할 수 있는 어군탐지시스템의 개발이 필요함.

⑤ 현재 선택적 어획을 위한 체장어군탐지장치의 개발에 관한 핵심기술, 즉, 음향변환장치³⁾, 체장추정 알고리즘의 개발과 시스템화, 어탐신호처리용 DSP의 개발⁸⁾⁻¹⁷⁾과 같은 핵심기술의 확보와 부분적으로 수행된 연구성과를 상업적인 시스템으로 상품화하기 위한 체계적 연구가 필요함.

나. 경제·산업적 측면

① 우리나라 연근해 해역에 대한 어족자원의 고갈현상이 해를 거듭함에 따라 심화되고 있어 어업자원의 적정관리를 위한 어업생물자원의 평가에 필요한 어군탐사시스템의 개발이 절실하게 요구됨.

② 연근해 어족자원의 안정적인 생산관리를 위해서는 어군의 분포실태 및 어류의 체장조성에 관한 정확한 정보를 수집 및 분석하기 위한 기술개발이 필요함.

③ 과거의 전통인적 자원관리방식을 보완하여 새로운 어업관리 제도를 도입 및 정착시키기 위한 과학적인 어업정보수집시스템의 개발, 보급이 필요함.

④ 주변국과의 어업협정체결에 따른 신어업질서에 능동적으로 대처하기 위해서는 우리나라 주변수역의 자원관리 및 보호를 위한 어획정보의 정량적 수집을 위한 탐사시스템의 개발이 시급히 요구됨.

⑤ 현재 우리나라의 어군탐지장치의 개발에 관한 기술수준은 주변관련산업(전자, 전기, 통신, 센서분야)의 기술수준에 비해 매우 낙후되어 있으므로 주변산업의 첨단기술을 적절하게 도입하여 접목시키면 과학화된 선택적 어군탐지장치의 개발이 가능함.

다. 사회·문화적 측면

① 최근 연안어장의 오염과 남획으로 인해 어업의 생산성 저하가 해를 거듭할수록 심화되고 있어 연안어장에 대한 자원관리의 필요성이 어촌현장에서 대두되고 있기 때문에 어민들이 어로 현장에서 자원관리에 대한 제도의 정착에 직접적이고 실제적으로 참여할 수 있는 장치, 즉, 저가형 어류 체장 측정시스템의 개발과 보급에 대한 사회적 요구가 증대되고 있음.

② 지금까지 관계기관에서 주도해온 어업생물자원의 보호에 대한 수많은 조치가 실효를 거

두지 못한 이유의 하나는 그 정책을 뒷받침할 수 있는 제도적 보완이 미흡했기 때문이란 점을 고려할 때, 조속히 과학적·신뢰성 있는 어업정보수집장치의 개발, 보급을 통해 어민들이 과학적인 자료를 토대로 자원보호에 참여할 수 있는 동기를 유발시키는 것이 필요함.

③ TAC 제도의 정착은 무엇보다도 어업생물을 선택적으로 어획할 수 있는 어로정보를 어로현장에서 실시간으로 어민에게 제공할 수 있을 때에만 비로서 가능한 것이므로 이를 위해서는 지금까지 어민들이 경험적으로 취득한 지식을 포괄적으로 포함하는 과학적인 어업정보수집장치의 보급이 선행될 필요가 있음.

④ 우리나라의 경우, 어민들의 어업기자재에 대한 외산 선호도, 특히, 일본산 어업 기자재에 대한 선호도가 매우 강하기 때문에 지금까지 파악된 어군탐지장치의 선호기능을 고려, 보완한 고성능의 고도화된 어군탐지장치를 국산화하여 어업기자재 산업을 육성, 보호할 필요가 있음.

제 2 절 연구개발의 목표 및 내용

1. 최종 목표

가. 어류의 체장측정을 위한 침전형 초음파 음향변환기 및 송수신 장치 설계 및 제작

나. 어류의 체장측정을 위한 저가형 어군탐지장치(fish sizing echo sounder)의 개발

2. 연차별 연구개발목표와 내용

구 분	목 표	내용 및 범위
1차 년도 (1 년)	1. 초음파 음향변환기 및 송수신 장치의 설계 및 제작 2. 체장추정 알고리즘 개발	1. 진동 element 제작 2. 음향 window 제작 3. weighting transducer 설계 4. transceiver 설계(참여기업, 5채널) 5. transducer 특성평가 6. 방향검출회로 설계 7. matching 회로설계(참여기업) 8. split beam transducer의 제작 9. 어류의 체장추정 알고리즘 개발 10. 어종별 TS 측정 11. 어류의 반사신호 식별 알고리즘 개발 12. 어종별 반사강도 데이터 베이스 구축
2차 년도 (2 년)	1. 체장추정 알고리즘 개발 2. 신호처리 software 개발 3. DSP 설계 및 개발	1. 어류의 체장추정 알고리즘 개발 2. 어종별 TS 측정 3. 어류의 반사신호 식별 알고리즘 개발 4. 어종별 반사강도 데이터 베이스 구축 5. Echogram 처리회로 설계(참여기업) 6. 어류방향각검출 DSP 설계(4채널) 7. monitor driver 설계(참여기업) 8. 화상처리 software 개발 9. DSP의 설계 10. transducer 교정 11. 방향검출회로 보완
3차 년도 (3 년)	1. 계측알고리즘의 시스템화 2. 현장 실용화 평가	1. transducer 평가 2. 화상처리 software 개발 3. 체장어탐 시제품 제작(참여기업) 4. 시스템의 완성 및 구동 평가 5. 시스템의 어로현장 평가 6. 시스템의 기능 보완 7. 시스템의 성능평가서 작성 8. 방향검출회로 제작

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내·외 관련연구의 현황과 문제점

1. 국내의 연구동향과 문제점

우리나라에 있어서는 국립수산진흥원을 비롯하여 각 수산계 대학에 SIMRAD AS 및 Biosonics Inc.의 계량어탐시스템이 도입되어 우리나라 주변수역 및 북태평양 해역에 대한 자원조사연구에 활용되고 있으나, 이 분야에 대한 연구인력이 절대적으로 부족하고, 또한, 정부의 관심이 미미하여 선택적 어획을 위한 체장어탐시스템의 국산화에 대한 연구가 일부 대학에서 진행되고 있을 뿐, 그 기반기술이 매우 취약한 실정임.

2. 국외의 연구동향과 문제점

① 일본

일본에서는 1999년도에 KAIJO corporation(구, 해상전기(주))과 수산청 수산공학연구소가 산학연 합동으로 공동연구팀을 구성하여 combination dual & split beam echo sounder(KFC-3000)를 개발하여 현재 보급하고 있음.

KFC-3000 시스템은 dual beam 방식과 split beam 방식에 의한 어류의 체장추정이 가능하면서 동시에 어업생물의 자원량 추정이 가능한 고가의 시스템임.

현재, 이 연구팀에서는 연근해 소형어선에서 선택적 어획정보를 실시간으로 수집하는 데, 사용할 수 있는 저가형 체장 어군탐지기의 개발을 완료하고, 자국 및 외국 시장의 출시를 앞두고 있는 상태임.

또한, 일본의 FURUNO에서는 ideal beam echo sounder를 개발하여 보급하고 있으나, 이 시스템은 전세계적으로 각국에서 널리 사용되고 있는 split beam 방식 체장 어군탐지기에 비해 신뢰도가 낮은 문제점 때문에 보급이 거의 중단된 상태에 있음.

② 미국

미국에서는 Biosonics Inc. 와 Hydroacoustic Technologies Inc.(HTI)에 의해 선택적 어획을 위한 첨단형 체장어군탐지시스템이 개발, 보급되고 있는 데, 이들 두 회사는 어류의 체장 및 자원량 추정에 대한 원천기술을 보유하고 있는 업체임.

먼저, HTI사에서는 split beam 방식의 체장추정 및 자원평가시스템으로서 연구조사선에 탑재하기 위한 digital split beam hydroacoustic system(model 240/242)과 연근해 소형어선의 어업자를 위한 portable split beam echo sounder(model 241)을 개발하여 보급하고 있음.

한편, Biosonics에서는 자사가 지금까지 국제특허권을 보유하고 있는 dual beam 방식 echo sounder (DT5000)와 자사의 연구원에 의해 세계에서 처음으로 split beam 방식 체장추정이론을 시스템화에 성공한 split beam echo sounder (DT6000)을 전세계에 보급하고 있음.

③ 노르웨이

노르웨이의 SIMRAD AS(현재, Kongsberg-Simrad)에서는 NATO의 방위산업기술을 응용하여 1980년대말에 세계 최초로 single beam 방식 계량어군탐지시스템의 개발에 성공한 후, 1990년대에 들어서 split beam 방식의 계량어군탐지시스템인 EK500과 EY500의 개발에 성공하였고, 현재, 이 계량어군탐지시스템이 전세계적으로 가장 널리 보급되어 있는 기종임.

그러나, 이들 어탐시스템은 어업자에게 보급하기 위해 개발된 시스템이 아니고, 주로 정부의 연구기관과 대학, 연구소에서 어업자원조사를 위해 사용할 수 있도록 설계되었기 때문에 매우 고가이고, 그 사용법 역시 난해하여 전문적인 지식이 요구됨.

현재, SIMRAD에서는 연근해 소형어선의 어업자를 위한 저가형 체장어군탐지시스템(ES60)을 개발하여 보급하고 있지만, 이 시스템 역시 가격이 매우 비싸 영세 어업자로서는 구입이 현실적으로 어려운 실정임.

3. 국외 연구개발시스템의 공통점과 차이점

(가) 공통점

㉠ 미국, 노르웨이, 일본에서 개발, 보급되고 있는 체장어탐시스템은 모두 split beam 방식을 채택하고 있음.

㉡ 모든 시스템이 범용 PC(대형 : desktop, 소형 : notebook)를 근간으로 개발되었고, 이 PC 시스템을 이용하여 자료를 수집, 분석, 저장, 재생하고 있음.

㉢ 소형 연근해 어선용 시스템은 cost down을 위해 어류의 체장측정에 국한된 전용 어군탐지시스템으로 개발되었음.

(나) 차이점

국외 체장어탐시스템의 주요한 차이점은 음향변환기의 설계에 있음.

미국의 Biosonics, HTI에서는 digital split beam transducer를 독자적으로 개발하여 한 개의 진동자로서 여러 주파수를 발생시킬 수 있는 시스템을 고안하였음.

일본의 KAIJO는 한 개의 진동자로서 dual beam과 split beam을 동시에 실현한 방식을 사용하고 있음.

노르웨이 SIMRAD는 진동자별로 고유의 단일 진동 주파수를 발생시키는 single frequency split beam 방식을 채택하고 있음.

제 2 절 앞으로 전망

1. 향후 우리나라 연근해 해역에서 조업하는 모든 업종에 대해 중요 어종을 대상으로 TAC 제도를 시행하는 경우, 어업자는 자기가 배당받은 어획량을 어획하는 과정에서 그들이 희망하는 체장보다 작은 소형의 어류가 어획될 때에는 어획물을 그대로 바다에 폐기 해 버릴 우려가 있음.

2. 따라서, TAC 제도의 성공적인 정착을 위해서는 어민들이 해상에서 어류를 선택적으로 선별하여 어획할 수 있는 체장 측정용 어군탐지기를 조속히 개발하여 보급하는 것이 시급함.

3. 본 계획서에서 지향하는 저가형 체장어군탐지장치가 성공적으로 개발된다면,

(가) 우선, 사회, 경제적인 측면에서는

㉠ TAC 제도의 시행을 위한 법적, 사회적 기반이 원활하게 조성될 것으로 전망되고,

㉡ 과학적 및 선택적 어획정보수집장치의 보급에 따른 TAC 제도 정착을 위한 어업자의 자율관리체제 구축의 필요성이 더욱 부각될 것으로 전망되며,

㉢ 어업자원의 합리적인 제도운영체제 구축과 선택적 어업의 제도적 기반조성에 대한 어업인의 인식을 제고시킬 수 있을 것으로 전망 됨.

(나) 기술적인 측면에서는

㉠ 현재 세계 각국에서는 자국의 경제수역내에서의 어업자원의 효율적인 관리체제의 구축과 선택적 어획을 위한 어업정보를 어업자가 직접 해상에서 실시간적으로 수집, 분석할 수 있도록 어류의 체장 측정용 어군탐지기를 널리 보급하고 있으나, 우리나라에서는 이에 대한 검토가 미진하여 향후 선택적 어획기술의 정착을 위한 시스템의 개발에 대한 사회적 요구가 증강할 것으로 전망됨.

㉡ 그러나, 이들 체장어군탐지시스템은 가격이 우선 비싸고, 모든 정보가 개발국의 어업자를 기준으로 표시되고 있어 우리 연근해 소형어선의 어업자에게는 기술적인 내용에 대한 이해가 매우 어려운 문제가 있기 때문에 우리 어업자의 정서에 부각되는 체장어탐의 개발에 대한 요구가 높아 질 것으로 전망됨.

㉢ 또한, 우리나라의 연근해 어업자의 지금까지의 성향을 고려할 때, 어로장비에 대한 외국산 의존도가 매우 심각하여 선택적 어업의 제도적 기반이 조성되는 시점에서는 어업자가 무분별하게 고가의 외국산 체장어탐시스템을 도입할 우려가 있다고 전망되므로 국산화가 시급히 요구됨.

제 3 절 기술도입의 타당성

1. 외국기술의 도입 가능성

(가) 외국기술은 OEM 발주형식으로 시스템을 조립하는 수준이므로 국내 어업기자재산업 으로서는 기술 및 경제성 확보가 불가능함.

(나) 우리나라 어장환경에 적합한 어군탐사장비의 개발이 필요한 시점이므로 기술도입은 결국 어군탐사장치의 개발을 지연시키는 문제를 초래함.

2. 외국 기술에 대한 기술료 수준과 경제성 여부

가) 현재 시판되는 체장어군탐지장치(노르웨이)의 공급가격은 35,000,000원 수준으로서 예상 기술료는

- ① DSP장치(split beam digital signal processor, GPT)를 노르웨이에서 OEM 수입할 경우, 예상 수입가 15,000,000원/GPT,
- ② split beam transducer를 수입할 경우, 10,000,000원/transducer,
- ③ 현재 외국산 split beam 진동자의 부엽레벨은 -18~-19dB정도이나 본 연구에서 개발 하는 진동자의 경우 -20dB이하의 부엽레벨을 유지하고 소자의 국산화를 통하여 가격을 낮출것임.
- ④ 기타의 관련장치(casing, monitor, transceiver, 기타)는 국내에서 조달생산할 경우, 예상가격 4,000,000/시스템)을 고려하여 시스템당 10%로 가정할 때, 국산화에 성공 하여 가격을 그 절반 이하로 낮추는 경우라도 기술료의 수준은 경제성에 비추어 지나치게 높다고 판단됨.

따라서, 국내기업이 OEM으로 조립 생산하는 경우, 전체 시스템의 수입가에 비해 확실한 마진이 보장되지 않기 때문에 국내기업으로서의 양산을 위한 초기투자가 불가능한 형편임.

이상으로부터 현재 국내에서 사용되고 있는 노르웨이 SIMRAD사의 동종 제품은 35,000,000 40,000,000원 수준이나 본 연구에서 개발하는 제품은 이것의 1/2 수준의 가격에 판매가 가능할것으로 판단됨.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 추진전략 및 방법

- (1) 부경대학교와 업계(삼영 ENC)가 각 기능별로 협조 체제를 구축하여 목표를 달성함.
- (2) 각 연구 항목별로 학계, 업계가 협력토록 기본전략을 구성함.

1. 연구정보수집 및 전문가 확보

- 가. 현재 외국에서 개발된 고가의 체장어탐시스템에 대한 분석을 위해 국내 전문가를 초정하여 세미나를 개최함.
- 나. 어탐의 DSP 설계에 대한 기술 수집을 위하여 이 분야의 세계적 권위자인 일본 이와테 대학의 Abe 교수를 방문하여 관련자료수집 및 기술이전을 받아올것임.

2. 연구방법

본 연구 제안서에서는 다음의 성능 특성을 구비한 체장어군탐지시스템을 개발하고자 함.

가. 개발 예상시스템의 사양

- (1) 어탐 시스템 : split beam 방식의 초음파 음향변환기 및 송수신 장치의 개발에 의한 체장어탐시스템

- ① 주파수 : 75 kHz(or 50 kHz)
- ② 체장추정방식 : split beam 방식
- ③ 주된 성능특성
 - ㉠ echogram(기존어탐의 내용 및 방식)
 - ㉡ target strength histogram, A scope diagram(echo 파형 presentation)
 - ㉢ 체장 histogram 변환기능 ⇔ 주요 어류의 체장과 TS 실험식 내장
 - ㉣ 해저 확대기능과 확대층의 target strength histogram
 - ㉤ 기타
- ④ 표시방식 : LCD 표시방식

- (2) 송수파 장치(split beam transducer 및 transceiver)

- ① 주파수 : 75 kHz(or 50 kHz)

- ② 송수파 방식 : split beam 방식
- ③ 주된 성능
 - ⓐ 소형, 경량, 연근해 어선용
 - ⓑ 주파수대역폭 : 약 3.5 kHz at -3 dB
 - ⓒ 송파감도, 수파감도 : 외국산 성능에 준하는 규격
 - ⓓ 기타

나. 연구개발내용 및 방법

(1) 초음파변환기 및 송수신 장치 설계 및 제작

체장어탐시스템의 split beam transducer 및 transceiver는 다음의 사항에 초점을 두고 제작함.

- ① 진동 element 제작 : tonpilz형 or 단일 진동체형
- ② 음향 window 제작 : 폴리우레탄 window
- ③ weighting transducer 설계 : 측엽레벨(side lobe level)이 약 -20 dB 이상이 확보되도록 weighting factor를 산출하여 가중회로를 설계, 제작함.
- ④ transceiver(송수신장치) 설계(참여기업) : 5 채널 수신회로 설계
 - ⓐ 4 채널 : 어류의 방향각 검출을 위한 TVG 수신채널
 - ⓑ 1 채널 : echogram presentation을 위한 수신채널
- ⑤ transducer 특성평가
 - 지향성, 송수파 감도, 대역폭 등의 평가
- ⑥ matching 회로설계(참여기업)
 - split beam transducer와 transceiver 사이의 정합을 위한 matching 회로 설계
- ⑦ split beam transducer의 설계 및 제작
 - 상기 연구를 통해 목적하는 split beam transducer가 설계된 후 제작함.

(2) 체장추정 알고리즘 개발 및 어종별 TS 데이터 베이스 개발

체장어군탐지기에 내장될 체장추정 알고리즘 및 어류 반사강도 측정치를 체장으로 변환하기 위한 데이터 베이스를 다음 사항에 초점을 두고 연구, 개발함.

① 체장추정 알고리즘 개발

앞서 설계한 split beam transducer 방식의 초음파 음향 변환기 및 송수신 장치에 수신되는 선수미 방향과 정횡 방향의 어류 echo 신호의 거리차 및 위상차를 동시

검출하여 음축에 대한 어류의 위치각을 추출하는 알고리즘을 개발함.

② 어종별 TS 측정 및 평가

우리나라 연근해에서 어획되는 주요 어류에 대한 체장별 음향반사강도를 측정하여 어종별 TS 정보를 수집함.

③ 어종별 TS 데이터 베이스 개발

상기의 방법에 의해 수집한 어류의 반사강도를 어종별, 체장별로 구분하여 어류 반사강도의 데이터 베이스를 작성하고, 어탐시스템의 memory에 내장시킴.

이상의 결과로부터 개발이 예상되는 어업정보의 종류 및 목표치는 다음과 같다.

㉠ echogram(기존어탐의 내용 및 방식) : 8bit 이상

㉡ target strength histogram, A scope diagram(echo 과형 presentation) : -60dB ~ -40dB 범위

㉢ 체장 histogram 변환기능 ⇔ 주요 어류의 체장과 TS 실험식 내장

㉣ 해저 확대기능과 확대층의 target strength histogram : 5m

다. DSP 설계 및 개발

(1) echogram 처리회로 설계(참여기업)

어탐시스템의 echogram을 고속으로 전송 처리할 수 있는 회로를 설계, 개발함.

(2) 어류의 소재방향검출 회로 설계

4 채널의 transceiver의 출력신호를 받아 어류의 위치각을 검출함(DSP내장).

(3) monitor(전시기) 및 driver 설계(참여기업)

echogram 화상 데이터를 전송하여 표시하기 위한 hardware 장치를 개발함.

(4) 화상처리 software 개발

echogram 화상 데이터를 전송하여 표시하기 위한 software를 개발함.

(5) 어류 방향각 검출 전용 신호처리장치(DSP) 구성 및 설계(4 채널)

위치각 검출용 전용 DSP 구현은 하드웨어의 설계 제작 및 소프트웨어 기술 확보임. 선저에 설치된 총 36개의 수신용 split beam transducer는 선수, 선미, 좌현, 우현 방향에 각각 9 개씩 4분할 되어 있고, 이 수신 transducer에 입력되는 신호를 TVG 증폭기와 대역 여과기를 통과시켜 12 bit A/D 변환기를 이용하여 300kHz~500kHz로 샘플링함. A/D 변환된 이산신호로부터 어류의 체장 검출 중심폭의 설정은 아날로그 신호에 의해 표시되는 에코그램상에서 사용자가 설정하도록 함.

이렇게 A/D 변환된 이산 데이터는 메모리에 입력되고, ①선수+선미 group ②좌현+

우현 group ③선수+좌현 group ④선미+우현 group 각각에 대해 구한 상관함수와 시간차에 의해 각 수신 transducer에 대한 어류의 방향각 $\theta_a, \theta_b, \theta_c, \theta_d$ 를 검출한 후, 선저에 설치된 transducer의 음축에 대한 어류의 최종적인 위치각을 검출함. 선저에 설치된 split beam transducer의 지향성 패턴은 미리 DSP 보드내에 저장해 두고, 음축으로부터 벗어난 θ_l 을 자동 검출한 후, 어류의 반사강도를 산출함.

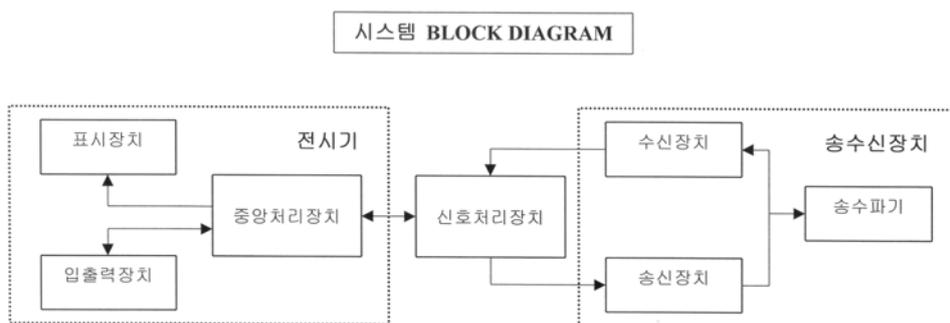
본 연구에서 어류의 체장 추정 수심구간은 150m이고, 신호처리는

- ① 시뮬레이션을 통해 4 채널 수신 센서에 수신되는 신호의 위상차와 시간차를 구해 대상 목표물의 위치 및 방향을 검출하는 위치 동정 실험을 한 후, 그 다음 상호상관기의 구성을 통해 두 개 이상의 다중 target에 대한 동정 실험을 함.
- ② 각각의 group transducer에 입력되는 신호처리의 데이터량이 100,000개 이상이 될 때에는 실시간 처리와 하드웨어 규모가 방대하게 되는 문제가 발생함. 따라서, 본 연구개발에서는 어류에 의한 반사신호가 다중으로 존재하더라도 방향추출이 가능한 최적의 알고리즘의 개발에 대한 연구를 병행함.

라. 계측알고리즘의 시스템화 및 현장 평가

(1) 체장어탐시스템 시작품제작(참여기업)

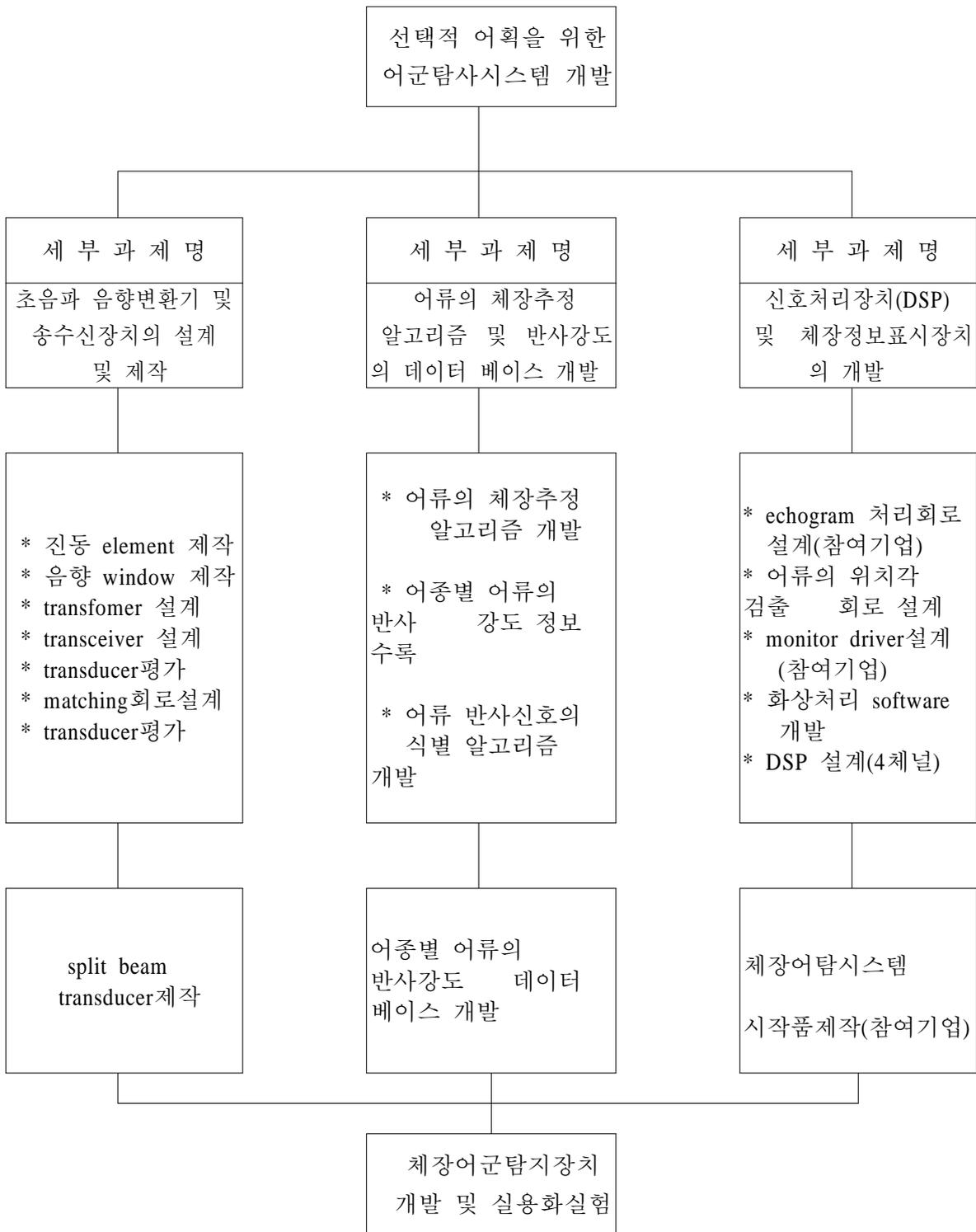
시작품의 제작은 다음의 block diagram에 준하여 제작함.



(2) 현장평가

- ① 이상에서 개발된 체장어탐 시스템에 대한 현장 실용성평가를 실시하여 성능특성표를 작성함.
- ② 시작품 완성시점에 선체에 탑재하여 어민들이 참여한 가운데 실용화를 위한 성능평가를 현장에서 시행하고 설명회를 가질 계획임.
- ③ 최종년도에 각종 관련학회 및 산업박람회등에서 전시회를 가질 계획임.

제 2 절 연구개발 추진체계



제 3 절 년차별 연구수행 방법

1. 1차 년도

가. 제 1 세부과제 : 초음파 음향변환기 및 송수신장치 제작

element와 window의 설계는 전송선로 이론을 바탕으로 하였으며 재료는 압전 세라믹과 우레탄고무를 사용하여 제작 weighting transformer 설계에 있어서는 가중치 이론을 기초로 최적의 빔패턴을 구현. matching 회로설계는 최대전력 전송의 법칙에 따라 임피던스 정합회로 설계. split beam transducer는 BeamCad라는 최적화 프로그램을 사용하여 설계. transducer 특성평가를 위한 시뮬레이션 프로그램 구축.

나. 제 2 세부과제 : 체장추정 알고리즘 및 반사강도의 데이터 베이스 개발

- 어류의 체장추정 알고리즘 개발
- 어종별 TS 측정
- 어류 반사신호의 식별 알고리즘 개발
- 어종별 어류 반사강도 데이터 베이스 개발

라. 제 3 세부과제 : DSP 및 정보표시장치의 개발

2. 2차 년도

가. 제 1 세부과제 : 초음파 음향변환기 및 송수신장치 제작

- 우레탄 고무의 몰딩에 있어서 진공챔버에서 탈포하는 기법으로 음향 window제작.
- 대형수조에서 음향변환기의 지향특성측정

나. 제 2 세부과제 : 체장추정 알고리즘 및 반사강도의 데이터 베이스 개발

- 해수 전용의 대형수조를 준비하여 각 어종별 반사강도 측정
- 반사강도패턴에 어체의 유평자세의 통계적인 정규분포를 적용시켜 각각의 어체에 대한 평균반사강도를 추정하고, 이들 값과 체장과의 관계를 함수로 도출
- 어류의 체장추정 알고리즘 개발
- 어종별 TS 측정
- 어류 반사신호의 식별 알고리즘 개발
- 어종별 어류 반사강도 데이터 베이스 개발

라. 제 3 세부과제 : DSP 및 정보표시장치의 개발

- 대상어류의 위치각 검출회로 설계는 대상어류로부터 반사된 4채널 echo-level신호를 샘플링주파수 300kHz로 A/D한 디지털신호에 의해 위치각을 검출하는 검출회로는 DSP시스템에서 수행
- 화상처리 Software 는 어군에 관한 화상처리용 소프트웨어는 비주얼C++에 의해 작성.
- 단일어체 및 군체어체의 echo-gram과 일정구역의 수심만을 확대하는 echo-gram을 작성.
- DSP시스템은 A/D 5채널, D/A 4채널, TTL레벨 D0 2채널로 설계하여 제작.
- 대상어류가 선저와 해저간 직선의 음축상으로 벗어난 위치각(θ, ϕ)계산은 상호상관법에 의해 TMS320C6711DSK보드에 의해 수행.

3. 3차 년도

가. 제 1 세부과제 : 초음파 음향변환기 및 송수신장치 제작

- 대형수조에서 음향변환기의 특성평가

나. 제 2 세부과제 : 체장추정 알고리즘 및 반사강도의 데이터 베이스 개발

- 어류의 체장추정 알고리즘 개발
- 어종별 TS 측정
- 어류 반사신호의 식별 알고리즘 개발
- 어종별 어류 반사강도 데이터 베이스 개발

다. 제 3 세부과제 : DSP 및 정보표시장치의 개발

- echogram 처리회로 설계 (참여기업)
- 어류의 위치각 검출회로 설계
- monitor driver설계 (참여기업)
- 화상처리 software 개발

제 4 절 세부과제별 연구수행 내용

1. 제1 세부과제 : 초음파 음향변환기 및 송수신장치 제작

가. element/window 제작

- 분포정수형 등가회로에 의한 해석

본 연구에서는 음향 정합층의 특성 해석을 위하여 그림 4-1-1과 같이 단면적이 S' 인 압전층과 하나의 음향 정합층을 가지며 흡음층의 길이가 무한히 긴 트랜스듀서를 가정하였다.

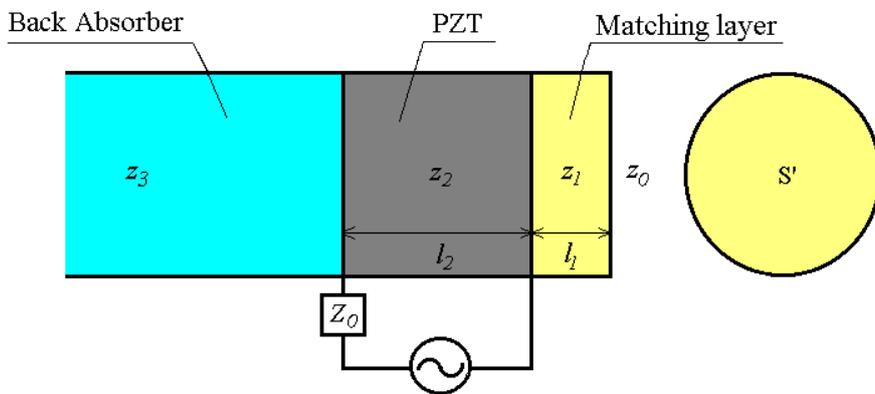


그림 4-1-1. 트랜스듀서의 단면

그림 4-1-1의 트랜스듀서를 이론적으로 해석하기 위하여 분포정수형 등가회로와 회로식으로 나타내면 각각 그림 4-1-2 및 식4-1-1과 같다.

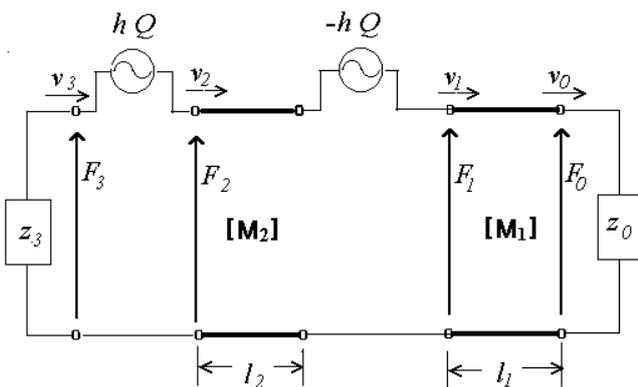


그림 4-1-2. PZT에 의한 송신시의 분포정수형 등가회로

이 트랜스듀서가 진동할 때 전기단에서 트랜스듀서를 본 자유임피던스는 다음과 같이 주어진다.

$$Z_f = Z_d - \frac{A^2}{z_t + z_l} \quad (4-1-1)$$

여기서

$$z_t = \frac{F_0}{v_0} = \frac{D_3 z_3 - B_3}{-C_3 z_3 + A_3},$$

$$A = -\frac{z_t}{I} v_0 = \frac{h}{j\omega} (z_t \beta + a),$$

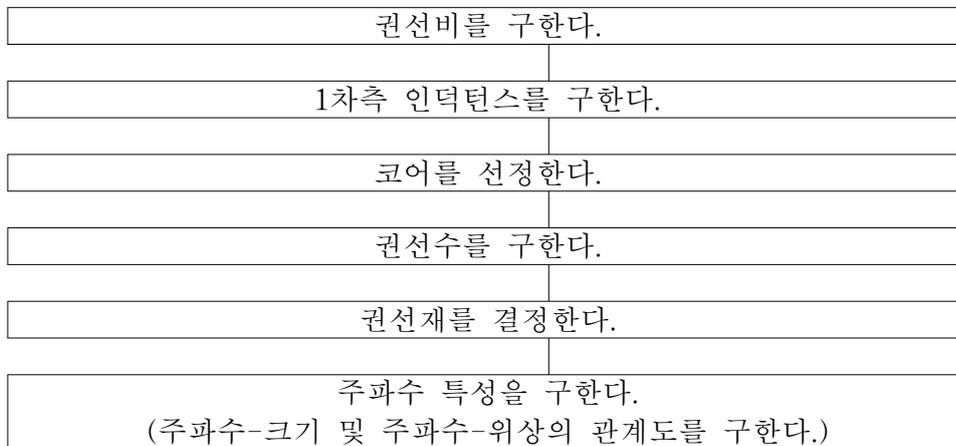
$$Z_d = \frac{V}{I} = \frac{1}{j\omega C} + \left(\frac{h}{\omega}\right)^2 (z_t \beta^2 + a\beta + C_2),$$

$$\begin{bmatrix} A_* & B_* \\ C_* & D_* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta_* l_* & jzS' \sin \beta_* l_* \\ j\frac{1}{zS'} \sin \beta_* l_* & \cos \beta_* l_* \end{bmatrix}, \quad C = \varepsilon^S \frac{S'}{l_2}$$

단, z_* : * 층의 고유 음향 임피던스, S' : 단면적, l_* : * 층의 두께, β_* : * 층의 전파정수

나. weighting transformer 설계

- weighting transformer를 가중 회로에 사용하기 위해서 고려 해주어야 할 요소는 다음과 같다.



위와 같은 단계적인 고려사항을 위해서 사용 주파수 사용 ping의 길이 사용 신호의 크기, 복소 가중치 등을 입력으로 해서 여러 코어의 각종 재질을 데이터 베이스화하여 모듈화하고 권선재에 대한 각종 데이터를 데이터 베이스화하여 모듈화한다. 이같이 데이터 베이스화된 데이터와 입력으로부터 최적의 가중회로를 구성할 수 있는 권선수를 얻고 코어 물질을 결과로 내놓도록 하며 또한 각 가중회로에 쓰일 transformer의 주파수 특성을 결과의 하나로 내놓는다.

과제의 특성상 두 가지의 독립 소과제로 나누어서 접근한다.

*상호 간섭의 효과 해석

상호 간섭 효과 해석을 위해서 다음 두 가지의 접근방법을 생각할 수 있다.

1) 기계적 결합 연구

- 해석학적 접근
- 수치 해석적 접근

2) 전기적 결합 연구

센서간의 상호결합에는 음향학적(또는 기계적)으로 서로에게 미치는 영향뿐만 아니라 센서에서 발생하는 전기적 현상이 직접적으로 다른 센서에게 영향을 줄 수 있다. 전자파의 파장이 음파의 파장에 비해 배수의 크기이기 때문에, 전기적 결합을 주로 근거리장에서 발생한다고 볼 수 있다. 근거리장에서는 크게 용량성 결합(Capacitive coupling)과 유도성(Reactive coupling)으로 나누어 생각될 수 있다. 용량성 결합은 센서와 다른 센서 사이에 형성되는 커패시턴스를 구함으로서 해석될 수 있으며, 유도성 결합은 두 센서간의 인덕턴스를 구해서 해석될 수 있다.

다. split beam transducer의 제작 및 transducer 특성평가

- Split Beam Transducer의 설계를 위하여 다음과 같은 좌표를 설정하고 그 방사특성을 해석할 계산 알고리즘을 작성하였다.

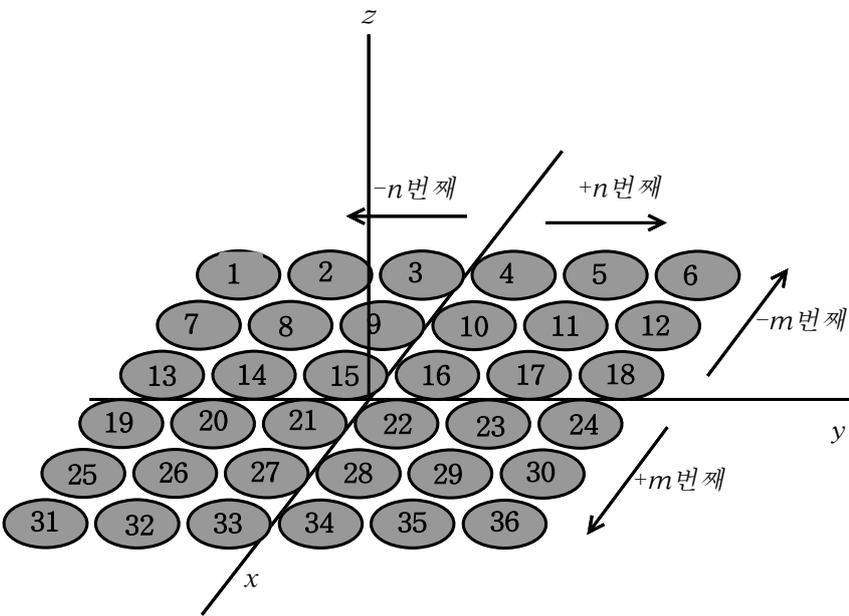


그림 4-1-3 압전진동자의 배열 및 좌표설정

그림 4-1-3과 같은 트랜스듀서 어레이의 방사음압은 다음과 같이 구할 수 있다. 그림 4-1-4의 좌표계와 같이 음축방향을 z축으로 두고 xy평면상에 놓인 중심으로부터 mn번째 임의의 단일 트랜스듀서로부터 방사된 음압은 트랜스듀서를 반경 a인 원형 피스톤 진동면으로 가정할 때, 다음과 같이 구할 수 있다.

$$p_{mn} = 2Q_{mn} \frac{e^{-jkr_{mn}}}{r_{mn}} \frac{J_1(ka \sin \alpha)}{ka \sin \alpha} \quad (4-1-2)$$

여기서 k 는 방사음파의 파수, Q_{mn} 은 트랜스듀서의 음원강도이다.

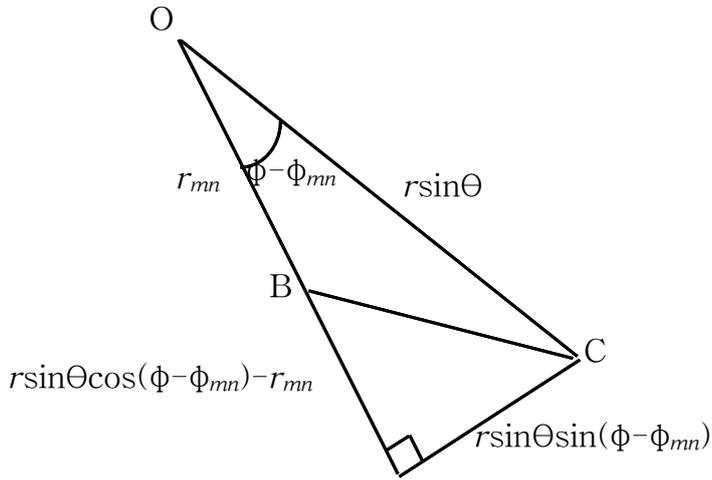


그림 4-1-4(a) 거리의 관계

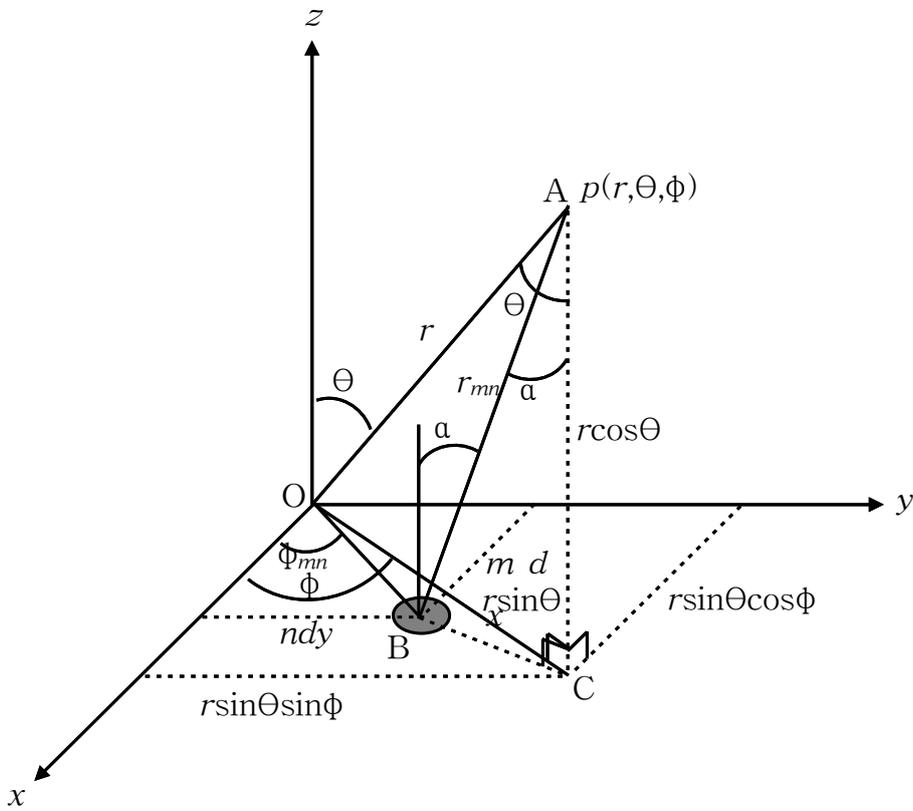


그림 4-1-4(b) 단일 진동자로 부터의 음압

그림 4-1-4에서 r_{mn} 및 α 는 다음과 같이 구해진다.

A점의 좌표를 직각좌표로 쓰면

$$(r \sin \Theta \cos \Phi, r \sin \Theta \sin \Phi, r \cos \Theta)$$

B점의 좌표를 직각좌표로 쓰면

$$(mdx, ndy, 0)$$

따라서 선분 AB 즉, r_1 의 길이는 다음과 같이 계산된다.

$$r_{mn} = \sqrt{(r \sin \Theta \cos \Phi - mdx)^2 + (r \sin \Theta \sin \Phi - ndy)^2 + (r \cos \Theta)^2} \quad (4-1-3)$$

$\triangle ABC$ 에서 선분 BC의 길이를 g 라 두면

$$g^2 = r_{mn}^2 + (r \cos \Theta)^2 - 2r_{mn}r \cos \Theta \cos \alpha$$

또한 그림 4-1-4(b) 중 $\triangle OBC$ 를 그림 4-1-4(a)에 나타내었다. 여기서 g 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$g^2 = \{r \sin \Theta \cos (\Phi - \Phi_{mn}) - r_{mn}\}^2 + \{r \sin \Theta \sin (\Phi - \Phi_{mn})\}^2$$

선분 BC의 길이는 다음과 같다.

$$\cos \alpha = \frac{r \sqrt{1 - u^2 - v^2}}{\sqrt{r^2(1 - u^2 - v^2) + (mdx - ru)^2 + (ndy - rv)^2}} \quad (4-1-4)$$

단, $u = \sin \Theta \cos \Phi$, $v = \sin \Theta \sin \Phi$

따라서

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{r^2(1 - u^2 - v^2)}{r^2(1 - u^2 - v^2) + (mdx - ru)^2 + (ndy - rv)^2}} \quad (4-1-5)$$

(4-1-3)식 및 (4-1-5)식을 (4-1-2)식에 대입하면 단일 음원에 의한 방사음압이 계산되고 전체 어레이에 의한 방사음압은 다음식으로 구할 수 있다.

$$p = \sum_{m=-M/2}^{M/2} \sum_{n=-N/2}^{N/2} 2Q_{mn} \frac{e^{-jkr_{mn}}}{r_{mn}} \frac{J_1(k a \sin \alpha)}{k a \sin \alpha} \quad (4-1-6)$$

2. 제2 세부과제 : 체장추정 알고리즘 및 반사강도의 데이터 베이스 개발

가. split beam 방식 체장추정 알고리즘의 개발

S_i 는 송파기의 송파감도, R_i 는 수파기의 수파감도, r_i 은 송파기에서 i 번째 어체까지의 거리, a 는 흡수감쇠계수, $b(\theta)$ 는 지향성계수, σ 는 어체의 음향 산란 단면적이다. 또한, 이 식은

$$EL = SL + VR + 10 \log(b(\theta)) + TS$$

이 되고, 여기서, EL , SL , VR , TS 은 각각 $EL = 20 \log(V_{rms})$, $TS = 10 \log(\frac{\sigma}{4\pi})$,

$SL = 10 \log(S_i)$, $VR = 10 \log(R_i)$ 이다.

여기서, split beam transducer의 「左舷과 右舷」, 「船首와 船尾」의 진동자군에 대한 어체 위치의 방향각을 각각 θ_1 , θ_2 라 하면, 음속축에 대한 어체 방향의 합성적인 방향각 θ 는

$$\theta = \sin^{-1} [\sqrt{(\sin^2 \theta_1 + \sin^2 \theta_2)}]$$

에 의해 구할 수 있다.

이 때, split beam transducer의 「左舷과 右舷」 진동자군에 대한 어류의 방향각 θ_1 은 다음의 방법에 의해 구할 수 있다. 먼저, 「左舷과 右舷」의 대칭 진동자군에 각각 수신되는 어체 echo 신호의 거리차는 수중음속을 C , 시간차를 ΔT 라 할 때, $C \cdot \Delta T$ 이다. 여기서, 송신신호의 주파수 (f)에 대한 수중파장을 $\lambda(C = \lambda f)$ 라 하면 「左舷과 右舷」의 진동자군에 수신된 반사신호의 전기적 위상각 $\Delta \theta_e$ 는 $\Delta \theta_e = \frac{2\pi \cdot C \cdot \Delta T}{\lambda}$ 이 되고, $C = \lambda f = (\frac{\lambda}{2\pi})\omega$ 에서

$C \cdot \Delta T = \frac{C \cdot \Delta \theta_e}{\omega}$ 가 된다. 따라서, 음속축에 대한 어체의 방향각 θ_1 은 「左舷과 右舷」의 진동

자군에 대한 음향중심 사이의 거리를 d 라 할 때, $C \cdot \Delta T = d \cdot \sin \theta_1$ 이 성립하기 때문에

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{C \cdot \Delta T}{d} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{\Delta \theta_e \cdot C}{\omega \cdot d} \right)$$

이 되고, 만일 $(\frac{\Delta \theta_e \cdot C}{\omega \cdot d})$ 의 값이 미소하다면

$$\theta_1 \doteq \frac{\Delta\theta_e \cdot C}{\omega \cdot d} = \left(\frac{\lambda}{2\pi d} \right) \cdot \Delta\theta_e$$

이 되고, 「左舷과 右舷」의 진동자군에 의한 반사신호의 기계적 위상각 θ_1 은 그 전기적 위상각 $\Delta\theta_e$ 를 측정하여 지향성을 보정하면 어류의 체적을 구할 수 있다.

나. 어종별 반사강도측정

(1) 실험장치의 구성 및 반사강도 측정

(가) 실험장치의 구성 및 어탐신호의 정량화

어류의 반사강도는 대형실험수조(L5m×W6m×H5m)에서 75 kHz의 주파수를 이용하여 현수법에 의해 측정하였다.

실험장치는 어류를 수중에 현수시켜 어체의 자세(tilt angle)를 목적하는 각도간격으로 정밀하게 제어하기 위한 어류위치제어장치, 어류 자세 변화에 따른 초음파 echo 신호를 측정하기 위한 어군탐지장치, 어류의 echo 신호를 정량적으로 처리하기 위한 신호처리장치, 어류의 반사강도를 산출 및 도식화, 측정 시스템의 종합적인 제어 및 관리를 위한 software 등으로서 구성하였다.

수중에 초음파 신호를 송수신하기 위한 장치로서는 현재 어선에 널리 보급되어 있는 어군탐지기(삼영ENC SF-7000)를 사용하였는데, 실험은 송수파기(직경 110mm, 75 kHz)를 차대의 현수창을 통해 수면하 0.2m 위치에 고정시킨 후, 송수파기의 음축상 2.05m의 위치에 현수시킨 공시어로부터 산란되는 초음파 신호를 수신하였다. 이 때, 어군탐지기의 송신신호의 펄스 폭은 0.5ms이었고, 공시어의 echo 신호는 수신부의 포락선 검파단에서 추출하여 트리거 신호와 함께 신호처리장치에 입력하였다. 본 실험에서는 체장의 차이가 큰 다수의 어체에 대해 실험을 해야하는 관계로 출력 echo 신호의 포화를 방지하기 위해 별도의 이득조정장치를 제작하여 수신부에 장치하였다.

대형수조에 현수되어 있는 어류의 $\pm 45^\circ$ 범위에 대한 자세각의 변화에 따른 echo 신호의 변동을 정량적으로 측정된 후, 이들 데이터를 전처리 과정을 거쳐 일차적으로 그림 4-2-1와 같이 도표화하였다. 이 때, 전처리 과정에서는 자세각의 변화에 따른 echo level의 변동과 반사강도의 빈도분포가 표시되도록 하였다. 이와 같은 과정을 통해 실험 데이터의 신뢰성이 인정되면 software 모듈의데이터 수록 명령을 실행하여 hard disk에 어종, 체장, 데이터의 수, 자세각별 echo 전압 등이 수록되고, 이들 데이터에 대해서는 후일 실험실에서 정량적인 분석을 행하였다.

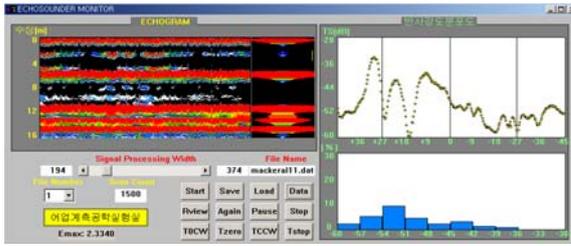


그림 4-2-1. 어류 반사강도 측정을 위해 본 연구에서 개발한 프로그램의 사용 일례

현수법에 의한 반사강도의 측정에서는 교정구(copper sphere $\Phi 45\text{mm}$)를 사용하여 간접법에 의해 반사강도를 측정하였는데, 대상어류의 반사강도 $TS_f(\text{dB})$ 는

$$TS_f = 20 \log \frac{V_f}{V_{ref}} + TS_{ref}$$

에 의해 구하였다. 여기서, TS_{ref} 는 교정구의 반사강도, V_f , V_{ref} 는 각각 실험어류 및 교정구에 대한 echo 신호의 전압(V)이다.

(2) 반사강도의 평균화

해중에서 어류에 입사하는 초음파 신호는 입사 부위에 따라 매우 불규칙한 반사지향성을 나타내기 때문에 어류의 유영자세를 변화시키면서 TS를 측정 후, 그 자세를 고려한 평균화처리가 필요하다.

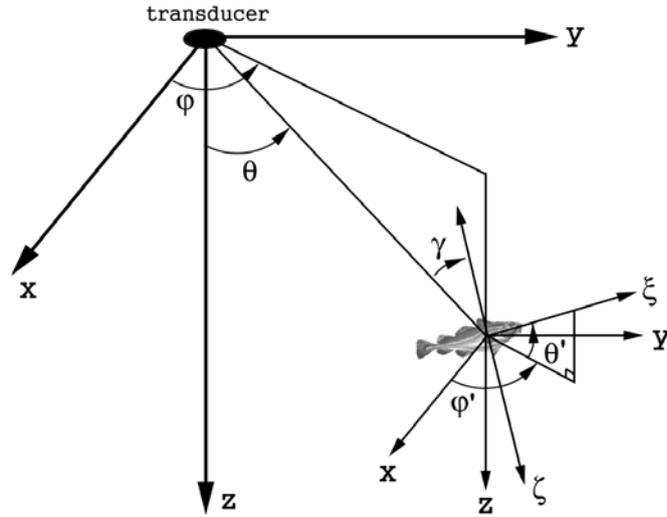


그림 4-2-2. 반사강도 평균화를 위한 어체의 좌표

즉, 그림 4-2-2과 같이 송수파기의 중심을 원점으로 했을 때, 송수파기에서 방위각 ϕ , 천정각 θ 인 위치에 있는 어체가 각각 ϕ' , θ' , ψ' 의 yaw, roll 및 pitch 각 만큼 회전한 경우, 어체와 송수파기를 연결한 직선과 어체의 정중선과 이루는 각도를 γ 라 두면 평균반사강도 $\langle TS \rangle$ 는

$$\langle TS \rangle = 10 \log \left(\frac{\langle \sigma \rangle}{4\pi} \right)$$

여기서

$$\langle \sigma \rangle = \frac{1}{\Psi} \cdot \int_0^{2\theta_h} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_0^{2\pi} b^2(\theta) \sigma \left(\frac{\pi}{2} - \gamma \right) f(\theta') \sin \theta \, d\psi \, d\theta' \, d\theta$$

$$\Psi = 2\pi \int_0^{2\theta_h} b^2(\theta) \sin \theta \, d\theta$$

어체의 정중선에 직각인 방향에 대한 pitch 각 θ' 에 대한 확률밀도함수를 $f(\theta')$, 송수파기의 지향성함수와 반감각을 각각 $b(\theta)$ 라 둔다. 따라서,

에 의해 구할 수 있고, 본 연구에서는 어류의 TS가 체장(L, cm)의 2승에 비례한다는 가정하에서 $\langle TS \rangle = 20 \log L + b_{20}$ 의 회귀직선식을 구하여 체장계수 b_{20} 을 산출할 수 있다.

다. 어류 반사 신호의 식별 알고리즘 개발

어류 echo 신호의 식별을 위한 알고리즘은 해당 시스템이 구성되어 송신 펄스신호가 결정되면 split beam transducer 및 송수신 시스템의 주파수 특성을 고려하여 개체어의 echo 신호

의 펄스 폭을 정밀 측정하고, 이로부터 펄스신호의 상한과 하한 폭을 결정한 후, 이 범위에 들어오는 echo 신호를 개체의 어류에 의한 echo 신호로서 판정하여 그 방향각의 추정을 수행하기 위한 알고리즘을 개발중인 데, 그 개요는 다음과 같다.

먼저, split beam transducer의 「船首와 船尾」의 진동자군에 수신되는 echo신호의 진동자군에 수신되는 신호의 변조출력신호 $S_1(t)$, $S_2(t)$ 는

$$S_1(t) = E_1(t) \cos[\omega_0(t - \frac{2r_1}{c}) + \theta_1]$$

$$S_2(t) = E_2(t) \cos[\omega_0(t - \frac{2r_2}{c}) + \theta_2]$$

이 된다. 이 때, 「船首와 船尾」의 진동자군에 수신되는 echo신호의 수신시간차 (ΔT)와 전기적인 위상차 ($\Delta\theta_e$)와의 사이에는

$$\Delta T = \frac{\Delta\theta_e}{\omega_0} \quad \therefore \Delta\theta_e = \omega_0 \cdot \Delta T$$

가 성립한다.

현재의 sampling 시각 t_1 , 다음 sampling 시각을 t_2 로 하면, 두 sampling의 위상차는 $\omega_0 t_1 - \omega_0 t_2 = 90^\circ$, 즉 $\omega_0 t_2 = \omega_0 t_1 - 90^\circ$ 가 된다.

만일, C_{ij} 을 i 진동자의 j 번째 sampling으로 하면,

$$C_{11}(t) = E_1(t) \cos[\omega_0(t_1 - \frac{2r_1}{c}) + \theta_1]$$

$$C_{21}(t) = E_2(t) \cos[\omega_0(t_1 - \frac{2r_2}{c}) + \theta_1]$$

$$C_{12}(t) = E_1(t) \cos[\omega_0(t_2 - \frac{2r_1}{c}) + \theta_1] = E_1(t) \sin[\omega_0(t_1 - \frac{2r_1}{c}) + \theta_1]$$

$$C_{22}(t) = E_2(t) \cos[\omega_0(t_2 - \frac{2r_2}{c}) + \theta_1] = E_2(t) \sin[\omega_0(t_1 - \frac{2r_2}{c}) + \theta_1]$$

이 되고, 여기서, $\phi = \omega_0 t_1 + \theta_1$ 라 놓으면,

$$C_{11} = \frac{E_1(t)}{2} [e^{j(\phi - \frac{2r_1}{c}\omega_0)} + e^{-j(\phi - \frac{2r_1}{c}\omega_0)}]$$

$$C_{21} = \frac{E_2(t)}{2} [e^{j(\phi - \frac{2r_2}{C} \omega_0)} + e^{-j(\phi - \frac{2r_2}{C} \omega_0)}]$$

$$C_{11} \cdot C_{21} = \frac{E_1(t)E_2(t)}{2} [\cos [2\phi - \frac{2(r_1+r_2)\omega_0}{C}] + \cos [\frac{2(r_1-r_2)\omega_0}{C}]]$$

$$C_{12} = \frac{E_1(t)}{2j} [e^{j(\phi - \frac{2r_1}{C} \omega_0)} + e^{-j(\phi - \frac{2r_1}{C} \omega_0)}]$$

$$C_{22} = \frac{E_2(t)}{2j} [e^{j(\phi - \frac{2r_2}{C} \omega_0)} + e^{-j(\phi - \frac{2r_2}{C} \omega_0)}]$$

$$C_{12} \cdot C_{22} = \frac{E_1(t)E_2(t)}{2} [-\cos [2\phi - \frac{2(r_1+r_2)\omega_0}{C}] + \cos [\frac{2(r_1-r_2)\omega_0}{C}]]$$

이 된다, 따라서, 이들 식으로부터

$$\begin{aligned} C_{11} \cdot C_{21} + C_{12} \cdot C_{22} &= E_1(t) \cdot E_2(t) \cdot \cos [\frac{2(r_1-r_2)\omega_0}{C}] \\ &= E_1(t) \cdot E_2(t) \cdot \cos [\Delta\theta_e] \end{aligned}$$

이 성립한다. 여기서, $\Delta\theta_e = \frac{2(r_1-r_2)\omega_0}{C}$ 이다.

위와 같은 방법에 의해 $C_{11} \cdot C_{22} - C_{12} \cdot C_{21}$ 을 구하면

$$\begin{aligned} C_{11} \cdot C_{22} - C_{12} \cdot C_{21} &= E_1(t) \cdot E_2(t) \cdot \sin [\frac{2(r_1-r_2)\omega_0}{C}] \\ &= E_1(t) \cdot E_2(t) \cdot \sin [\Delta\theta_e] \end{aligned}$$

이 되고, $C_{11} \cdot C_{21} + C_{12} \cdot C_{22}$ 과 $C_{11} \cdot C_{22} - C_{12} \cdot C_{21}$ 에 의해 $\tan(\Delta\theta_e)$ 는

$$\tan(\Delta\theta_e) = \frac{C_{11} \cdot C_{22} - C_{12} \cdot C_{21}}{C_{11} \cdot C_{21} + C_{12} \cdot C_{22}}$$

에 의해 추정할 수 있다. 따라서, 선수 진동자와 선미 진동자에 수신된 어체 echo 신호의 전기적 위상차 $\Delta\theta_e$ 는

$$\Delta\theta_e = \tan^{-1} \left(\frac{C_{11} \cdot C_{22} - C_{12} \cdot C_{21}}{C_{11} \cdot C_{21} + C_{12} \cdot C_{22}} \right)$$

에 의해 추정할 수 있다.

3. 제 3 세부과제 : DSP 및 정보표시장치의 개발

가. 방향검출 회로 설계

- Phase Mono Pulse 방향탐지 알고리즘 개요

아래그림과 같이 특성이 동일한 두 개의 초음파 센서에 대하여 원거리 음원으로 부터의 음파는 평행하게 입사한다고 가정할 수 있다. 이때 두 센서의 수신신호간의 경로차는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$dl = d \sin(\theta) = c \cdot t_d$$

이때 다음의 관계들이 성립하며,

$$\sin(\theta) = dl/d = c \cdot t_d/d$$

$$\theta = \sin^{-1}(dl/d) = \sin^{-1}(c \cdot t_d/d)$$

각 변수 및 계수는 다음과 같다.

dl : phase delay

d : distance between sensors

c : sound velocity

t_d : time delay

θ : incidence angle

외쪽과 오른쪽에서의 감도를 각각 다음과 같이 놓으면,

$$S_l(t) = \sin(w(t - t_d/2)) = \sin(wt - wt_d/2)$$

$$S_r(t) = \sin(w(t + t_d/2)) = \sin(wt + wt_d/2)$$

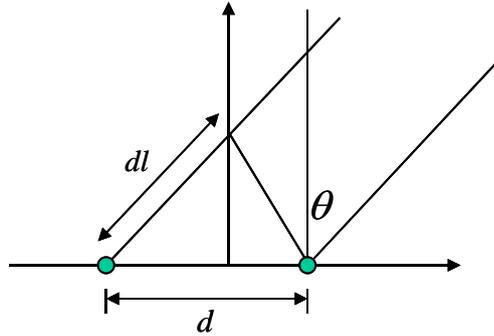
그 합은 다음식으로 나타낼 수 있고, 이로부터 Low Pass Filter를 이용하는것에 의해 두방향의 합성감도와 경로차에 의한 시간지연의 관계를 알 수 있다.

$$S_l(t) + S_r(t) = \sin(wt - wt_d/2) + \sin(wt + wt_d/2)$$

$$= 2 \sin(wt) \cos(wt_d/2) \xrightarrow{\uparrow} 2 \cos(wt_d/2) \equiv S_{lr}$$

Low Pass Filtering

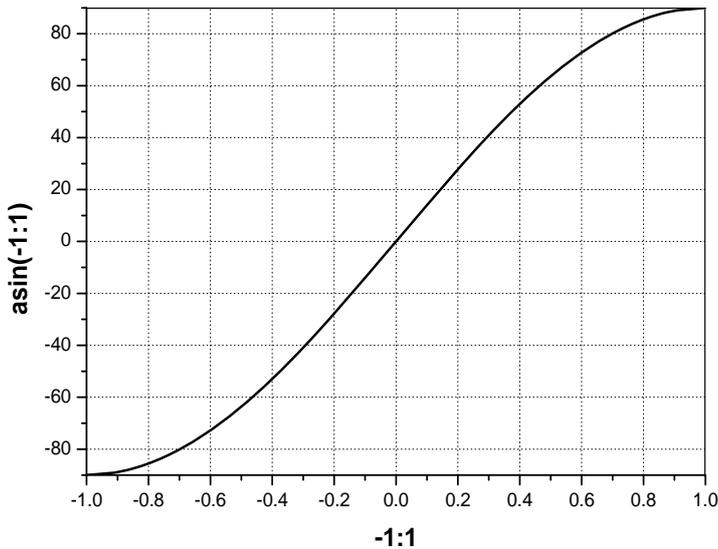
$$t_d = 2/w \cos^{-1}(S_{lr}/2)$$



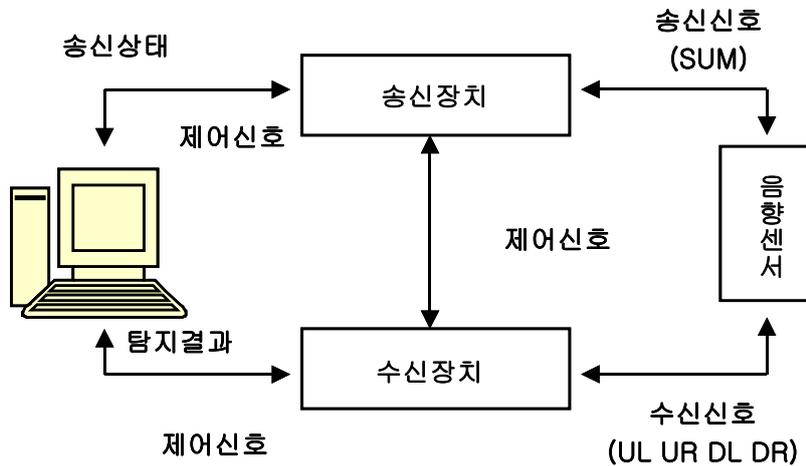
이로부터 위에서 구한 입사각에 시간지연을 대입하여 합성감도로부터 입사각을 검출할 수 있는 관계를 구할 수 있다.

$$\theta = \sin^{-1}(c/d^2/w \cos^{-1}(S_{br}/2)) = \sin^{-1}(\lambda/\pi d \cos^{-1}(S_{br}/2))$$

여기서 λ : wave length



Phase Mono Pulse Active Sonar의 구현을 위하여 다음과 같은 관계도를 작성할 수 있다.



본 연구에서 목표로 하는 어군 탐지의 송수신기용 75kHz 초음파 트랜스듀서는 소자 36개의 평면배열이다. 초음파 트랜스듀서 36소자는 4분할하여 9개 소자씩 4그룹화한다.

송수신 신호는 동일 트랜스듀서로써 방사 수음하며 송수신 신호제어의 개략도는 그림4-3-1과 같다.

먼저 송신 신호는 36개 소자를 동시에 구동시켜 신호를 발생시킨다. 그리고 수중의 목표물의 거리를 탐지하기 위하여 송신 신호 방사와 동시에 최소 $1\mu\text{s}$ 단위로 전파 시간을 카운팅(counter)한다. 초음파 트랜스듀서로 수중에 방사한 신호가 목표물에 접촉하여 반사되어 오는 수신 신호는 9개 소자로 구성된 각각의 4그룹과 36소자를 전부 합성한 수신 신호 채널을 합한 5채널 신호이다. 목표물로부터 반사되어온 4그룹 신호는 선수측(전방) 두 그룹 신호, 선미측(후방) 두 그룹, 좌측 두 그룹 신호와 우측 두 그룹 신호를 아날로그적으로 합성시켜 각각 신호를 400kHz의 Lowpass filter 통과시켜 샘플링 주파수 1 MHz로 A/D 변환시켜 DSP 보드 TMS 320C6711 보드에 저장하여 방향각을 검출할 수 있도록 A/D, D/A 디지털 출력 신호를 발생하는 하드웨어를 설계·제작한다. 그림4-3-1과 4-3-2에 나타낸 바와 같이 송수신 신호의 제어를 하고, 디지털 수신 신호로써 방향각을 측정한다. 그리고 그림4-3-3내에 FPGA보드에서는 수신 거리에 따른 감쇄를 보상하기 위하여 16비트 D/A 신호를 발생하여 TVG 보상 제어가 가능하도록 설계한다.

앞에서 기술한 초음파 트랜스듀서를 9소자를 한 그룹씩한 4그룹 수신 신호는 각각 $40\log(r)$ 로 그리고 36개 소자의 수신 신호는 $20\log(r)$ 로 증폭도를 조정하도록 한다. 그림4-3-2에 나타낸 바와 같이 초음파 트랜스듀서에 수신된 어체의 반사 신호는 A/D 5채널로써 DSP 보드내의 메모리에 입력시켜 방향검출 알고리즘으로 방향각을 계산하고 지향빔 패턴으로 보정할 수 있는 디지털 신호처리 시스템 구성의 주요 사양은 다음과 같이 정하였다.

- ① 최대 탐지 수심 300m
- ② 최대빔폭은 $\pm 12^\circ$ 이내
- ③ 초음파 트랜스듀서의 펄스폭 75kHz
- ④ A/D의 샘플링 주파수 1MHz(가변)
- ⑤ A/D 차단 주파수용 저역 통과 필터, 차단 주파수 400kHz(고정)
- ⑥ A/D 입력 레벨 100mV peak to peak
- ⑦ D/A 샘플링 주파수 50kHz 이내
- ⑧ D/A 출력 레벨 1V peak to peak
- ⑨ 방향각 검출 계산을 위한 TMS 320C6711 보드내에서 각 채널의 최대 데이터 수

Phase Mono Pulse Active Sonar의 구현

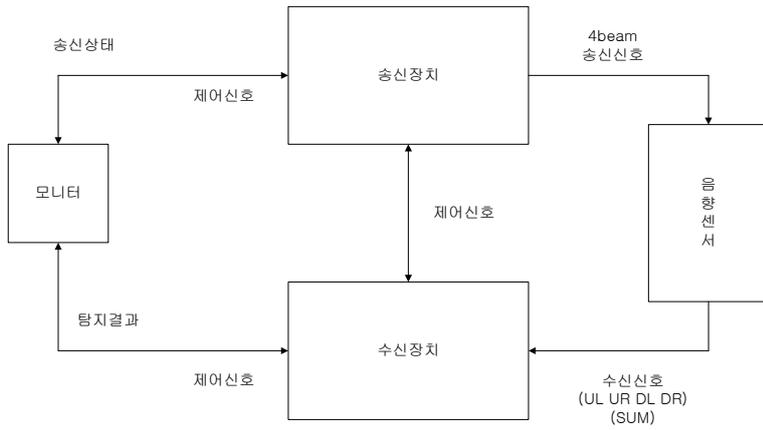


그림1

그림 4-3-1 Phase Mono Pluse Active Sonar의 구성

2-9. Fish sizing echo sounder 의 신호처리 모식도

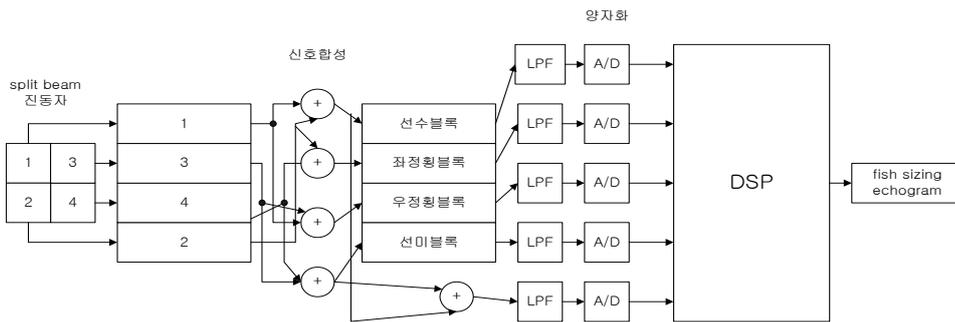


그림2

그림 4-3-2 신호처리 모식도

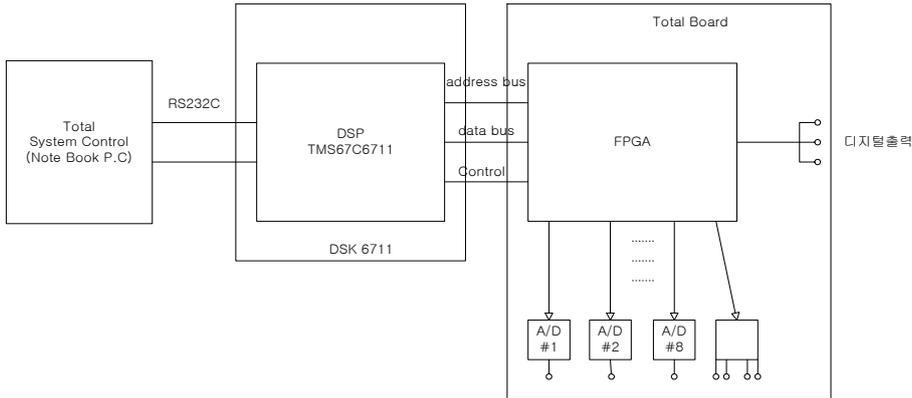


그림3

그림 4-3-3 TVG보상제어 모식도

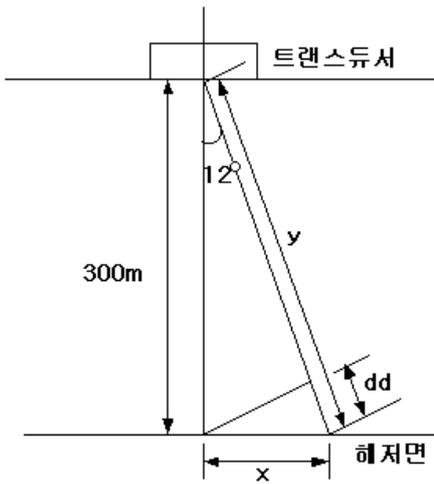


그림 4-3-4 트랜스듀서 반사면

$$x = 300 \tan 12^\circ$$

$$y = \frac{x}{\sin 12^\circ} = \frac{300}{\cos 12^\circ} = 307$$

$$dd = \frac{300(m)}{\cos 12^\circ} - 300(m) = 7m$$

$$\text{시간차 } Sd = \frac{dd}{1500 \text{ m/sec}} = 0.0047$$

$$\text{샘플차 } Sam N = \frac{Sd}{1/10^{-6}} = Sd \times 10^6 = 0.0047 \times 10^6 \doteq 4700 \text{ 점}$$

⑩ TMS 320C6711 4700점 ×1.2 ×5채널 = 28200점 보드에 입력되는 데이터 총 수,

Sam N × 5채널(20%여유)

- ⑩ TMS 320C6711 보드내에는 각 채널간의 상관함수를 구하여 방위각 검출을 한다.
그 원리는 다음과 같다.

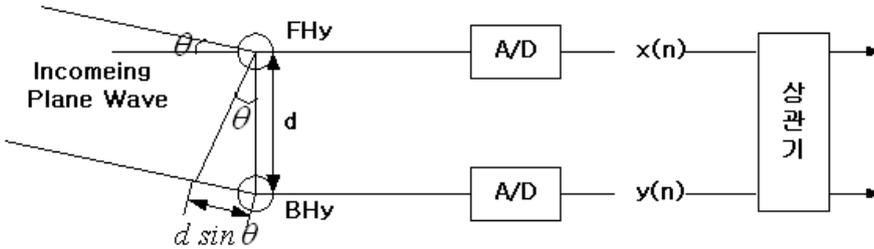


그림 4-3-5 방향각 계산을 위한 상관기 구성

시간지연(Time delay) τ_1 은 FHy 와 BHy 채널에서 신호의 도착으로 지연시간을 구하면

$$\tau_1 = \frac{d \sin \theta}{C}$$

여기서 d 는 트랜스듀서의 간격, C 는 입사음파의 수중전파속도
따라서 구하는

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{C\tau_1}{d}\right) \text{ 이다.}$$

이 시스템에서 구현하는 상관기는 선수와 선미, 좌현과 우현의 두 개의 상관기를 구현하여 계산한다.

본 세부과제는 선택적 어획을 위한 어군 탐지기의 신호처리장치 설계·제작과 체장정보표시 장치 및 시스템 운용 소프트웨어 제작으로 이루어져 있다.

신호처리장치는 어류의 위치 및 체장 정보를 포함하는 어군 탐지기의 신호를 취득하고 이러한 하드웨어의 제어를 담당하는 장치로서 본 연구진의 설계를 바탕으로 참여기업에서 시작품에 적용할 수 있도록 제작하였다. 체장정보표시 장치 및 시스템 운용 소프트웨어 개발 부분은 통상의 어군 탐지기에 표시되는 A-scope, Echo-gram과 목적으로 하는 어류의 위치 정보 및 체장정보 표시를 포함하는 시스템 운용 소프트웨어를 제작하여 시작품에 적용하였다.

(가) 신호처리장치(어군 탐지기 신호 취득 및 제어장치)

어군 탐지기 신호 취득 장치는 Split-Beam 방식의 트랜스듀서로부터 수신되는 아날로그의 전기적 신호를 증폭과 합성의 과정을 거친 후 디지털 신호로 변환하여 시스템 운용 소프트웨어가 탑재된 산업용 컴퓨터로 전달하는 하드웨어로 구성되어 있다.

그림 4-3-6은 설계·제작된 어군 탐지기 신호 취득 장치를 구성하는 하드웨어의 블록도를

나타낸 것이다. 신호 취득 장치는 크게 초단증폭부(Pre-Amp.), 위치정보 계산을 위한 신호조합부, STC (Sensitivity Time Control)증폭부, 주파수 변환부, 아날로그-디지털 변환부(A/D Converter), 디지털-아날로그 변환부(D/A Converter) 및 시스템 제어부인 FPGA(Field Programmable Gate Array)로 구성되어 있다. 각 부분의 동작과 역할은 다음의 표 4-3-1과 같다.

신호 취득 장치의 제어와 시스템 운용 소프트웨어의 제어 명령을 전달하고, 취득된 데이터를 시스템 운용 소프트웨어에 전달하는 시스템 제어부의 회로 구성은 그림 4-3-7와 같다. 또한 시스템 제어부를 동작별로 구분하여 표 4-3-2에 나타낸다.

표 4-3-1. 신호 취득 장치의 각 부분 동작 설명

초단증폭부	미세한 수신 신호를 증폭하는 초단 증폭 회로, 시스템 제어부에 의해 제어된다.
신호조합부	Spilt-Beam 방식에 의한 어체의 위치 정보를 계산하기 위한 신호를 조합하고 합성한다.
STC 증폭부	거리에 따른 반사 신호 감쇠를 하드웨어적으로 보상하는 증폭 회로이다. 시스템 제어부에 의해 거리 및 흡수감쇠계수에 따라 제어된다.
주파수 변환부	60kHz의 중간주파수를 가지는 헤테로다인 방식을 이용하여 75kHz의 어군 탐지기 신호를 10kHz의 낮은 주파수를 가지는 신호로 변환한다.
아날로그-디지털 변환부	아날로그 신호를 시스템 운용 소프트웨어에서 사용 가능하도록 디지털 신호로 변환한다. 시스템 제어부에 의해 제어된다.
디지털-아날로그 변환부	시스템 컨트롤러의 디지털 제어 신호를 아날로그 값으로 변환하여 제어부로 전달한다.
시스템 제어부	신호 취득부의 자체적인 제어 및 시스템 운용 소프트웨어의 제어 명령을 전달한다. 변환된 데이터를 시스템 운용 소프트웨어에 전달한다.

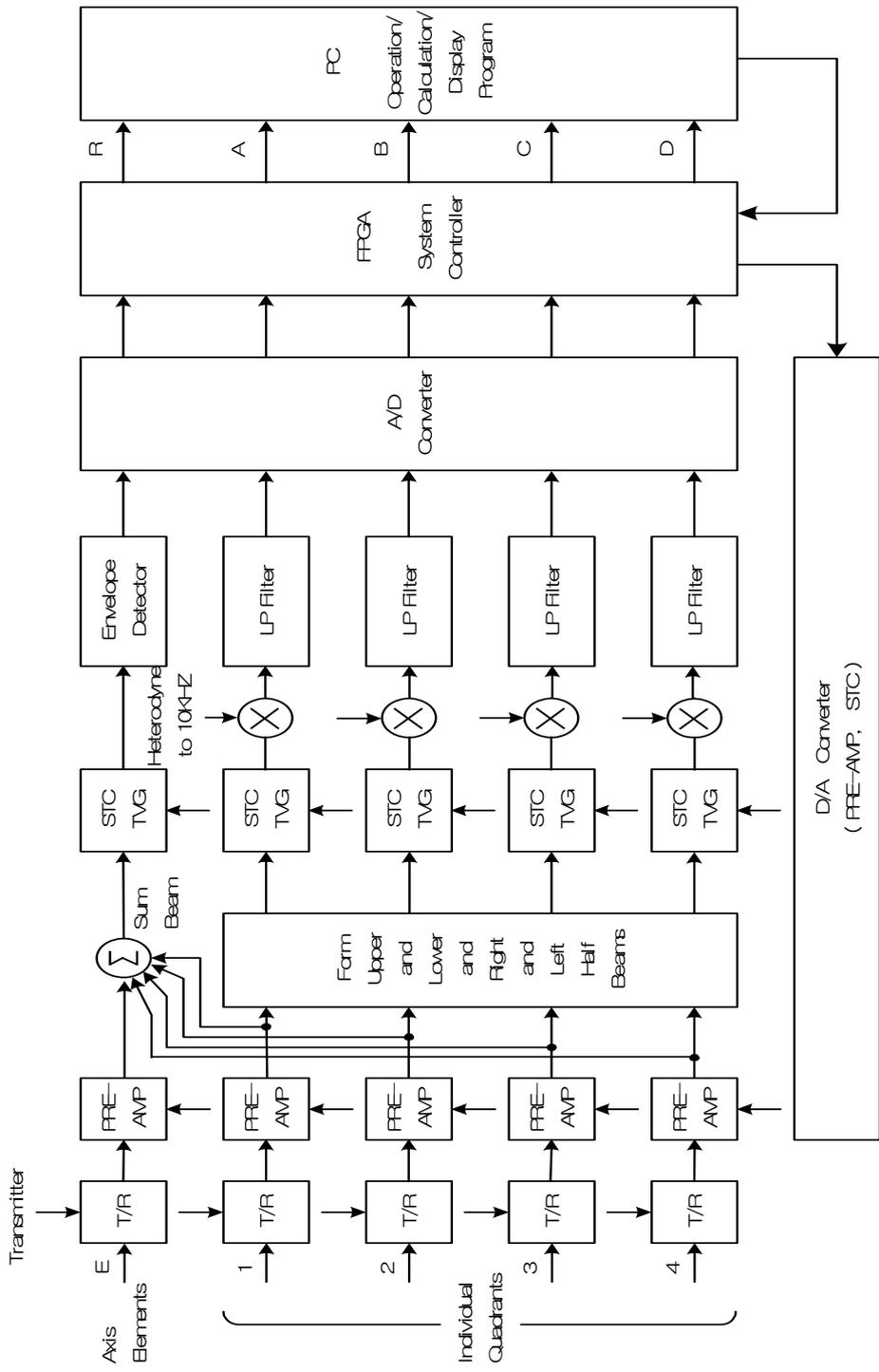


그림 4-3-6. 어군 탐지기 신호 취득 장치 블록도

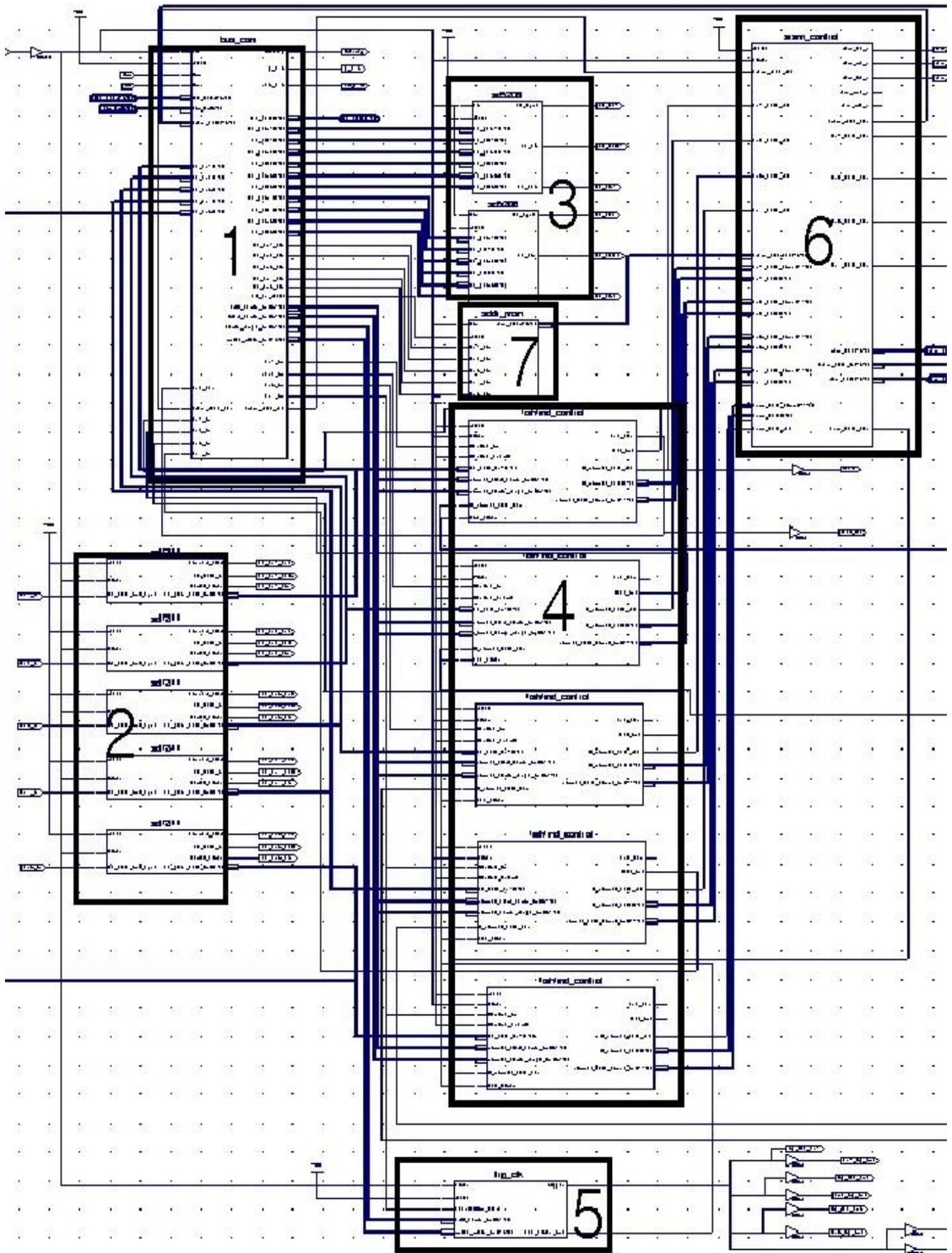


그림 4-3-7. 시스템 제어부의 회로 구성도

표 4-3-2. 시스템 제어부의 동작 설명

1. 인터페이스 제어	ISA 버스를 통해 연결되어 있는 CPU 와 FPGA 내부 모듈 간의 연결을 제어한다.
2. A/D 컨버터 제어부	각 채널별 어탐 데이터를 샘플링 하는 A/D 컨버터 AD7811을 제어한다. 10-bit 의 분해능을 가지며 하위 2-bit를 버린 상위 8-bit를 사용한다.
3. D/A 컨버터 제어부	각 채널별 전치증폭도 및 STC 전압을 공급하기 위한 D/A Convert AD5206을 제어한다.
4. 각 채널별 어군탐지기 제어부	산업용 컴퓨터로부터 주어지는 정보를 이용해 A/D 컨버터의 데이터를 관리한다.
5. 트리거 펄스 제어부	송수신부 On/Off 신호를 제어한다. 송수신부의 모든 동작 시작 시점을 제어하는 신호이다.
6. 외부 SRAM 제어부	산업용 컴퓨터에 실시간의 어군 탐지기 데이터를 제공하기 위해 FPGA 에서 임시로 데이터를 저장해두는 외부 SRAM IDT71V016을 제어한다. 실시간으로 5개 채널의 A/D 데이터를 읽어 갈수 없으므로 FPGA에서 정해진 데이터 갯수만큼 읽어 저장해 두면 나머지 시간에 데이터를 읽어 갈 수 있도록 한다. 1개의 RAM을 5개 채널의 어군 탐지기 제어부와 산업용 컴퓨터의 CPU 가 원활하게 이용할 수 있도록 중계한다.
7. Address 관리부	ISA 버스를 이용해 외부 I/O 에 액세스 가능한 어드레스 범위가 실제 필요한 어드레스 범위보다 좁기 때문에 CPU에서는 FIFO 액세스 방식으로 FPGA에 데이터를 요구하면 FPGA 내부에 있는 Address 관리부에서 RAM 어드레스를 계산해서 RAM 제어부로 전송한다.

(나) 측정정보표시 장치(시스템 운용 및 화상처리 소프트웨어)

시스템 운용 및 화상처리 소프트웨어는 시스템 운용 알고리즘과 일반적인 어군 탐지기에 표시되는 A-Scope, Echo-gram, 해저면 확대는 물론 어류의 위치 정보 및 측정 정보를 표시하는 알고리즘으로 구성되어 시작품에 제작되어져 있다.

시스템 운용 알고리즘은 수신기 및 전절의 신호처리장치로부터 디지털 신호를 획득하고, 제어 신호를 신호처리장치내의 시스템 제어부(FPGA)로 전송하여 전체적으로 어군 탐지기를 운용하는 알고리즘이다. 시스템 운용 알고리즘은 FPGA에서 외부 SRAM에 임시로 저장한 5채널의 데이터를 ISA버스를 통하여 받아들이며, Visual Basic 및 Visual C++ 언어로 작성된 16bit의 입출력 함수를 이용하여 데이터 및 제어 명령을 주고 받게 된다.

화상처리 알고리즘은 아래에 나타내는 어류의 위치각 정보 산출, 표적 강도 계산 및 측정 계산식을 통하여 산출되는 값을 이용하게 된다. 각각의 알고리즘을 통하여 산출된 값을 이용하여 화상처리 알고리즘은 A-Scope, Echo-gram, 해저면 확대, 어류의 위치 표시, 측정 표시 화면에 입력되는 때 Ping의 데이터를 동시에 전시하게 된다.

① 위치각 계산

어류의 위치각 정보는 그림 3과 같이 Split-Beam 방식 송수신기의 음향축으로부터 어류가 떨어져 있는 각도 θ_L 과 평면상에서의 각도 ϕ 를 4채널의 어탐기 신호 E_A , E_B , E_C 및 E_D 로부터 식 4-3-1~4-3-3을 이용하여 계산하는 것에 의해 구해진다.

$$\theta_L = \sin^{-1}(\sqrt{\sin^2 \theta_{e1} + \sin^2 \theta_{e2}})$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\sin^2 \theta_{e1}}{\sin^2 \theta_{e2}}\right) \quad (4-3-1)$$

$$\theta_{e1} = \tan^{-1}\left\{\frac{E_A(i) \cdot E_B(i+1) - E_A(i+1) \cdot E_B(i)}{E_A(i) \cdot E_B(i) + E_A(i+1) \cdot E_B(i+1)}\right\} \quad (4-3-2)$$

$$\theta_{e2} = \tan^{-1}\left\{\frac{E_C(i) \cdot E_D(i+1) - E_C(i+1) \cdot E_D(i)}{E_C(i) \cdot E_D(i) + E_C(i+1) \cdot E_D(i+1)}\right\} \quad (4-3-3)$$

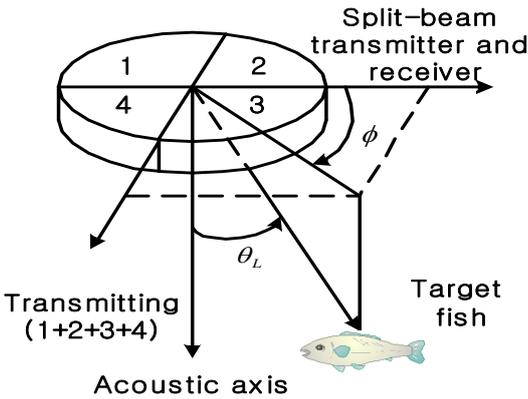


그림 4-3-8. 어류 위치각 정보

② 표적 강도(Target Strength) 계산

수중에 위치하는 어류의 정보와 표적의 정보를 나타내는 표적 강도는 식 4-3-4~4-3-6의 SONAR 방정식을 이용하여 계산된다. 표적 강도 계산에 사용되는 어탐기 신호는 위치 정보를 나타내는 신호와 달리 수신기에 수신된 신호의 전체 합이며, 신호처리장치에서 포락선 검파(Envelope Detection)되어진 신호를 이용하게 된다.

$$E_r^2 = P_0^2 M^2 G_R^2 \frac{1}{r_0^4} e^{-4\beta r_0} D^4 T_s = T_R^2 \frac{1}{r_0^4} e^{-4\beta r_0} D^4 T_s \quad (4-3-4)$$

$$T_s = E_r^2 r_0^4 e^{4\beta r_0} / T_R^2 D^4 \quad (4-3-5)$$

여기에서 E_r : 에코 신호 진폭, P_0 : 송신음압($\mu P_a/1m$), M : 수파감도($V/\mu P_a$), G_r : 수신증폭이득, β : 흡수감쇠계수($Neper/m$), D : 송수파기 지향성함수, T_R : 송수신계수이다.

식 (4-3-5)로 표현되는 T_S 를 log를 취하게 되면 식 (4-3-6)과 같은 형태의 SONAR 방정식으로 나타내어지고, 계산된 TS를 화상처리 알고리즘에서는 12등급으로 나누어 표현하게 된다.

$$\begin{aligned}
 TS &= 10 \log T_S \\
 &= 20 \log E_r + 40 \log r_0 + 2\alpha r_0 - \{20 \log P_0 + 20 \log M + 20 \log G_R\} - 20 \log \left\{ \frac{2J_1(ka \sin \theta_L)}{ka \sin \theta_L} \right\}^2 \\
 &= ES + TVG - \{SL + VR + RG\} - 20 \log(b(\theta_L)) \\
 &= ES + TVG - TR - G(\theta_L)
 \end{aligned}
 \tag{4-3-6}$$

여기에서 SL 은 송신음압(dB), VR 은 수파기감도(dB), RG 는 수신증폭이득(dB), $\alpha[dB/m] = 8.68\beta[Np/m]$ 는 흡수감쇠계수, a 는 송수신기 반경 및 J_1 는 제 1종 Bessel 함수이다. $G(\theta_L) = -\sqrt{G_{\theta_1}^2 + G_{\theta_2}^2}$ 는 송수신기의 지향성 함수이며, 일반적으로 실험을 통하여 구해진 값을 아래와 같은 다항식 근사를 이용하여 계산된다.

$$\begin{aligned}
 G_{\theta_1} &= a_1 + b_1\theta_1 + c_1\theta_1^2 + d_1\theta_1^3 + e_1\theta_1^4 \\
 G_{\theta_2} &= a_2 + b_2\theta_2 + c_2\theta_2^2 + d_2\theta_2^3 + e_2\theta_2^4
 \end{aligned}$$

③ 체장 계산

어종별 체장의 계산은 TS로부터 어종별로 추정되어진 체장변환계수를 이용하여 구하게 된다.

먼저 그림 4-3-9와 같은 대형 실험 수조(L5m×W6m×H5m)에서 현수법에 의해 7종류의 공시어에 대하여 어종별, 체장별로 음향반사강도를 측정함에 의해 음향 반사 강도의 데이터 뱅크를 구축하고, 체장변환계수를 추정하였다. 표 4-3-3은 음향 반사 강도의 데이터 뱅크 구축 및 체장변환계수 추정 결과를 나타내는 것으로 7종류의 어종에 대한 체장변환계수와 공통적인 체장변환계수를 산출한 것이다.

TS와 체장변환계수를 이용한 체장 L의 계산은 식 (4-3-7)과 같이 회귀직선식으로부터 역산되게 되며, 소프트웨어에서 어종을 선택하게 되면 해당하는 체장변환계수를 대입하여 계산된다.

$$TS = 20 \log L + b_{20} \quad (4-3-7)$$

$$L = 10^{\frac{TS - b_{20}}{20}} \quad (4-3-8)$$

여기서 L 은 체장(cm), b_{20} 는 체장변환계수(dB)이다.

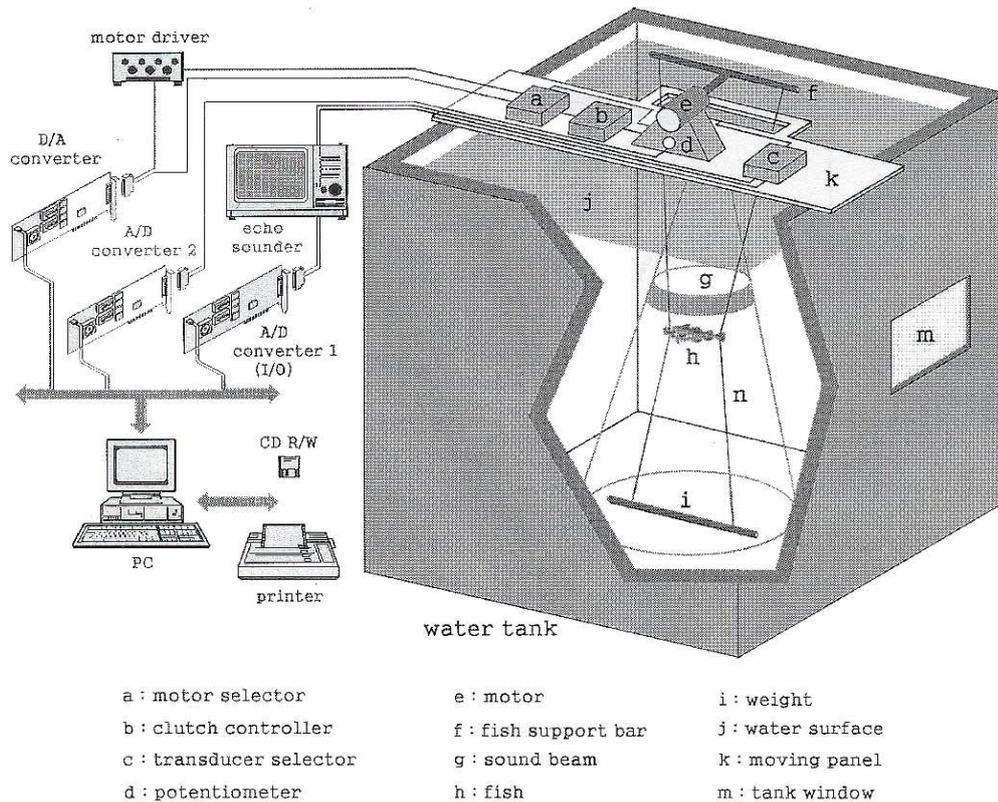


그림 4-3-9. 음향 반사 강도 측정 구성도

표 4-3-3. 음향 반사 강도의 데이터뱅크 구축 및 체장변환계수 추정

대상어종	체장[cm]	수량[마리]	체장변환계수[dB]
고등어	28.3-42.6	16	-69.72
전갱이	16.8-24.2	9	-68.89
부세	21.0-32.8	13	-67.35
청어	22.5-27.0	9	-73.95
참돔	19.4-42.5	10	-68.38
진어	12.4-26.0	13	-72.16
취치			-72.21
공통			-69.61

제 5 절 세부과제별 연구결과

1. 제 1 세부과제 : 초음파 음향변환기 및 송수신장치 제작

가. element/window 제작

- 진동 element로써 압전 트랜스듀서를 설계 및 제작하였다. 본 연구에서 계획된 사용 주파수 75kHz의 구동을 위하여 압전 세라믹 element는 다음과 같은 사양으로 설계되었다.

표 5-1-1 압전세라믹의 사양

전기기계결합계수	%	k_{33}	0.68
유전율		ϵ_{33}^S	10.62×10^{-6}
공진 및 반공진 주파수	kHz	f_r	82
		f_a	107
압전상수	$\times 10^{-12} \text{C/N}$	d_{33}	894
	C/m^2	e_{33}	550
탄성계수	$\times 10^{10} \text{N/m}^2$	c_{33}^E	6.3
음속	m/s	v	2875
밀도	$\times 10^3 \text{kg/m}^3$	ρ	7.66
단면반경	mm	r	5
길이	mm	l	17.5

- 음향원도우 및 배면체의 설계사양으로는 표 5-1-2 및 표 5-1-3과 같이 설계되어 완성된 트랜스듀서의 구동 주파수가 75kHz가 되도록 하였다.

표 5-1-2 음향원도우(우레탄 고무)

탄성계수	$\times 10^{10} \text{N/m}^2$	c_{33}^E	0.279
음속	m/s	v	1670
밀도	$\times 10^3 \text{kg/m}^3$	ρ	1.0
두께	mm	l	5.5

표 5-1-3 배면체(에폭시수지)

탄성계수	$\times 10^{10} \text{N/m}^2$	c_{33}^E	5.3
음속	m/s	v	2200
밀도	$\times 10^3 \text{kg/m}^3$	ρ	1.1

- 이러한 설계사양에 맞추어 국내 세라믹 제조사인 동일기연(주)에 샘플의 제작을 의뢰하여 그림 5-1-1 과 같은 2개의 샘플을 받았다. 이들 샘플의 특성을 해석한 결과 다음과 같은 결과를 나타내었다.



그림 5-1-1 압전 세라믹 진동자 샘플

특성의 재현성을 알아보기 위해 2개의 샘플에 대한 특성평가를 행한 결과 Sample 1에 대한 공진특성은 그림 5-1-2에서 그림 5-1-5까지에 나타낸 바와 같다.

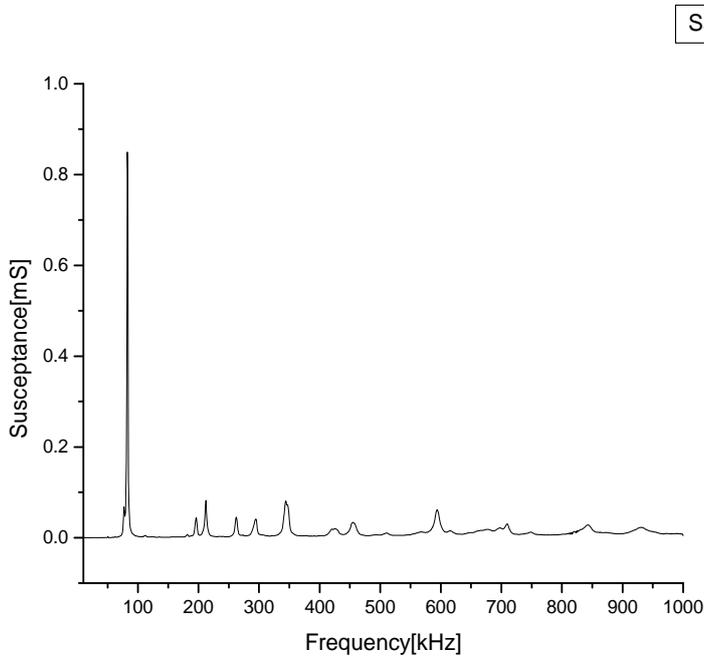


그림 5-1-2 Sample 1의 콘덕턴스

Sample[1]

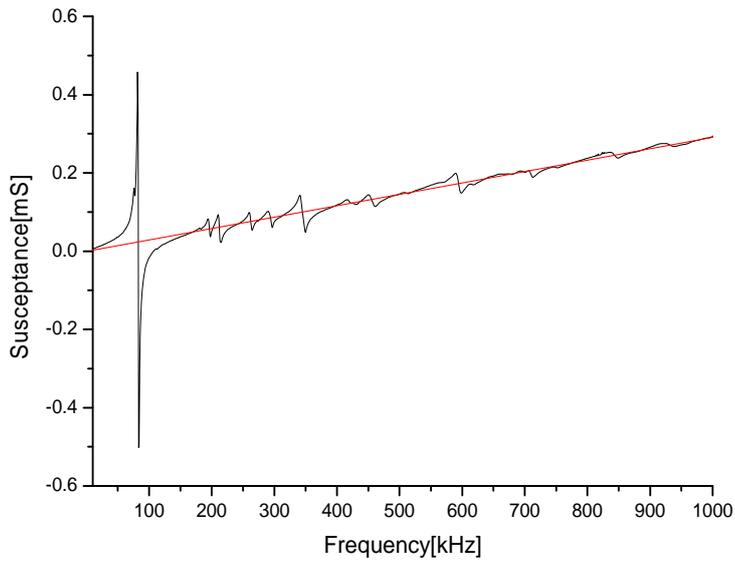


그림 5-1-3 Sample 1의 서셉턴스

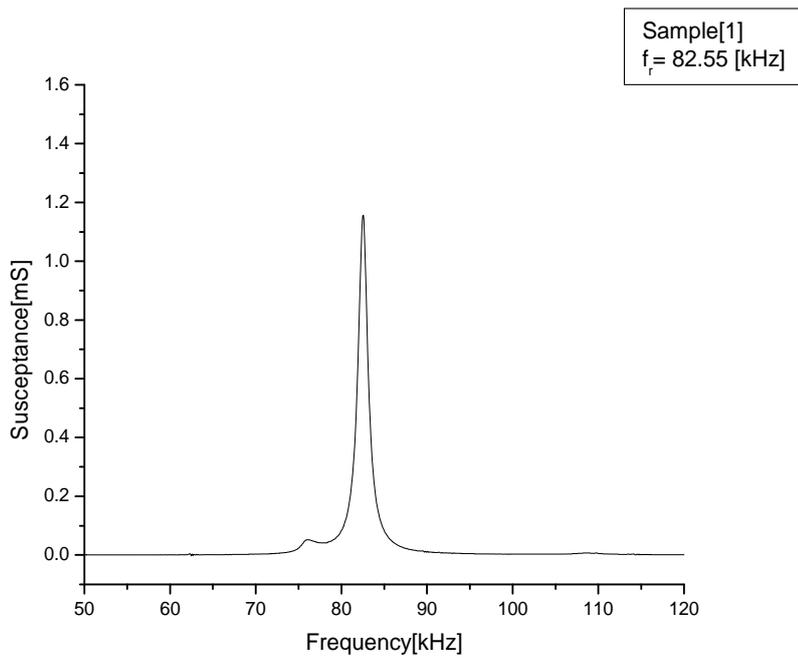


그림 5-1-4 기본공진부근의 콘덕턴스

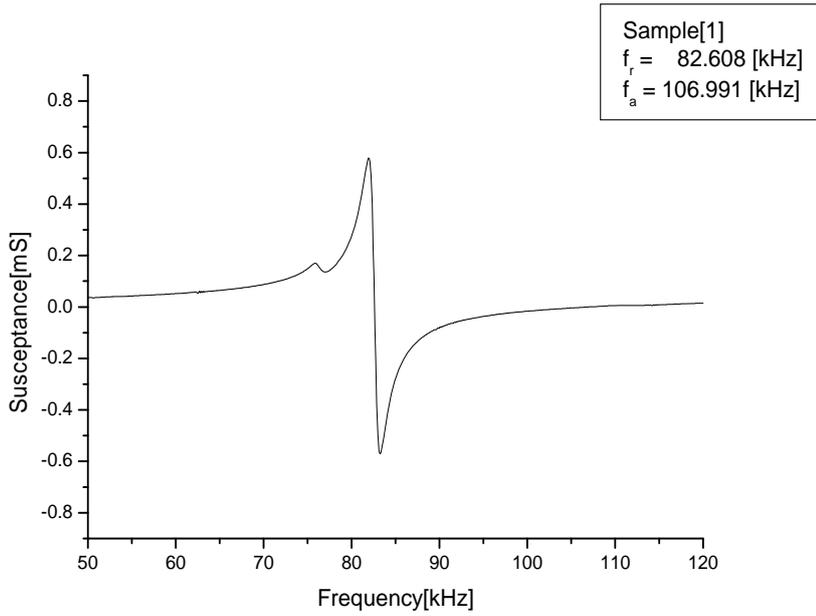


그림 5-1-5 기본공진부근의 서셉턴스

이상의 결과로부터 Sample 1의 특성을 정리하면 표 5-1-4와 같이 나타낼 수 있다.

표 5-1-4 Sample 1의 특성측정 결과

전기기계결합계수		k_{33}	0.67
유전율		ϵ_{33}^S	10.3425×10^{-6}
공진 및 반공진 주파수	kHz	f_r	82.608
		f_a	106.991
압전상수	$\times 10^{-12} \text{C/N}$	d_{33}	856
	C/m^2	e_{33}	548
탄성계수	$\times 10^{10} \text{N/m}^2$	c_{33}^E	6.4
음속	m/s	v	2891
밀도	$\times 10^3 \text{kg/m}^3$	ρ	7.658
단면반경	mm	r	5
길이	mm	l	17.5

같은 방법으로 Sample 2에 대한 측정결과를 다음에 나타내었다.

Sample[2]

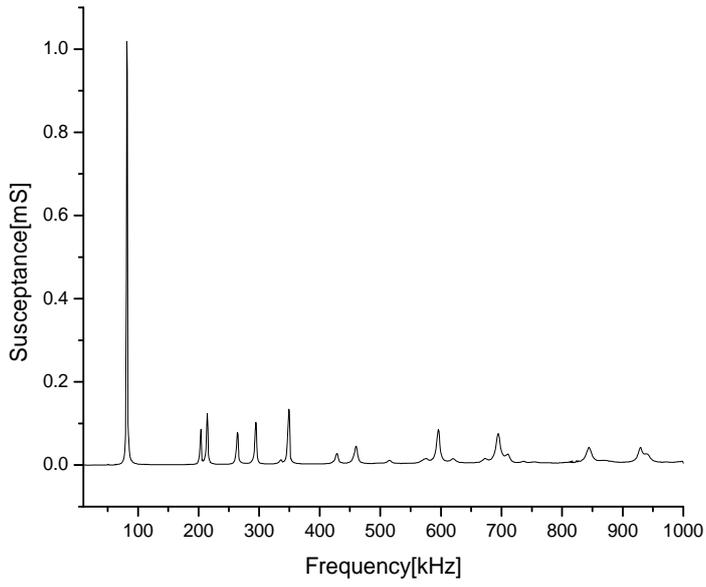


그림 5-1-6 Sample 2의 콘덕턴스

Sample[2]

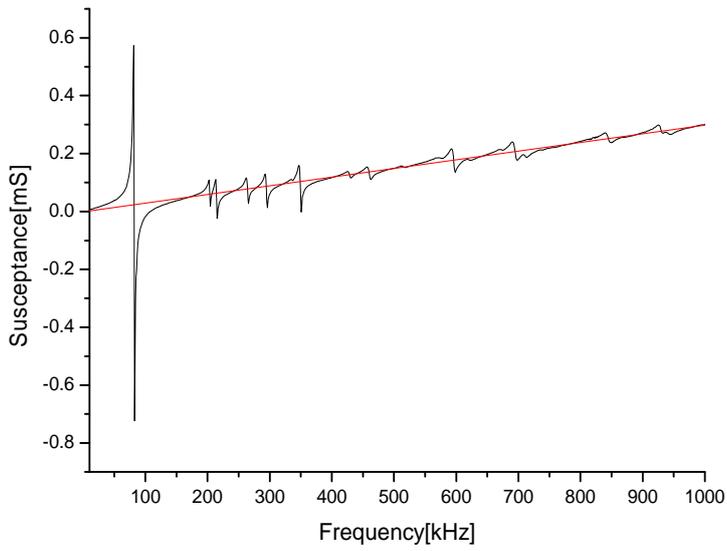


그림 5-1-7 Sample 2의 서셉턴스

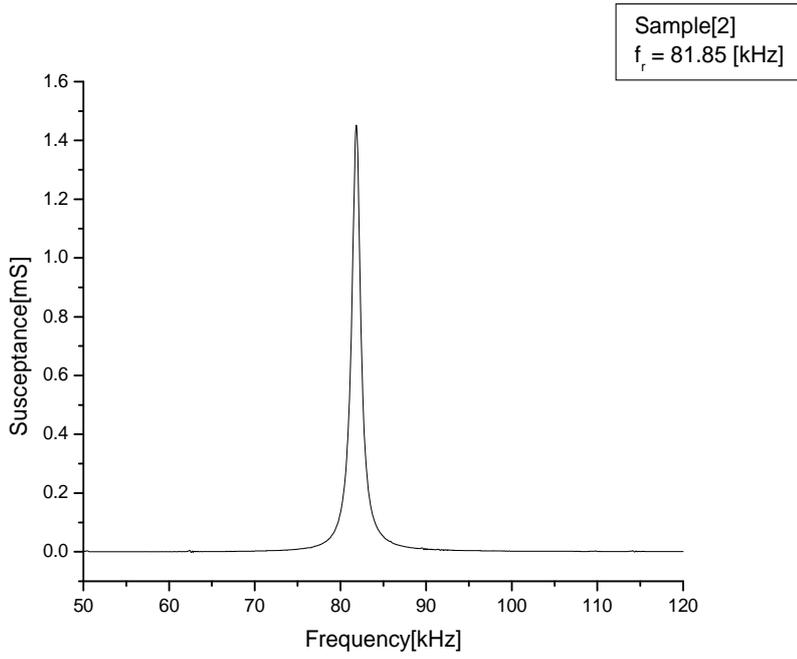


그림 5-1-8 기본공진부근의 콘덕턴스

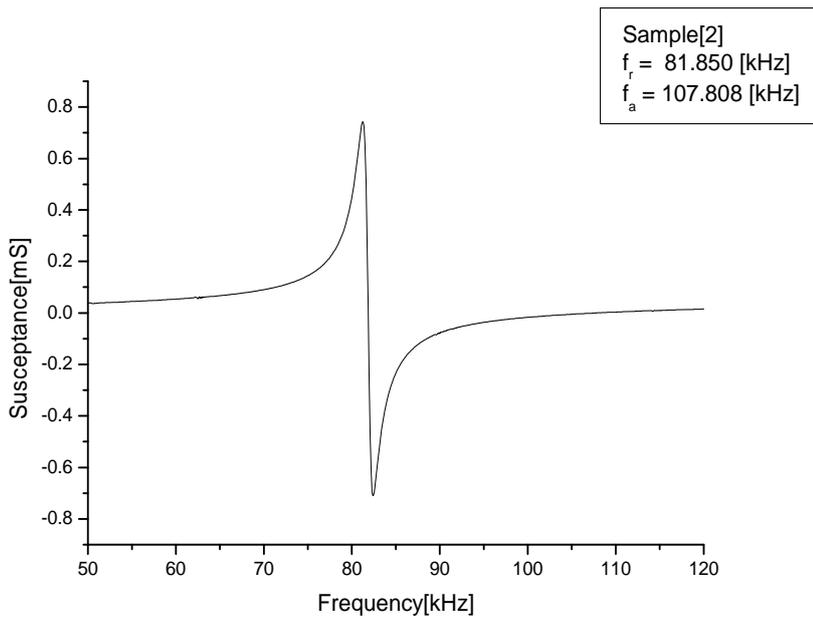


그림 5-1-9 기본공진부근의 서셉턴스

이상의 결과를 정리하면 표 5-1-5와 같이 나타낼 수 있다.

표 5-1-5 Sample 2의 특성측정 결과

전기기계결합계수		k_{33}	0.69
유전율		ϵ_{33}^S	10.3425×10^{-6}
공진 및 반공진 주파수	kHz	f_r	82.608
		f_a	106.991
압전상수	$\times 10^{-12} \text{C/N}$	d_{33}	856
	C/m^2	e_{33}	548
탄성계수	$\times 10^{10} \text{N/m}^2$	c_{33}^E	6.41
음속	m/s	v	2891
밀도	$\times 10^3 \text{kg/m}^3$	ρ	7.658
단면반경	mm	r	5
길이	mm	l	17.5

이상의 결과들로부터 당초 설계한 압전 진동자의 설계사양에 매우 잘 일치하는 특성을 나타내었으며 개별오차 역시 매우 근소해 본 연구에 사용할 진동element로써 적합함을 알 수 있었다.

- 외국산 제품과의 성능 비교를 위하여 노르웨이의 SIMRAD(현재, Kongsberg-Simrad)사에서 제작한 split beam 방식의 계량어군탐지시스템에 사용되는 진동소자에 대한 특성을 측정한 결과를 다음에 나타내었다.

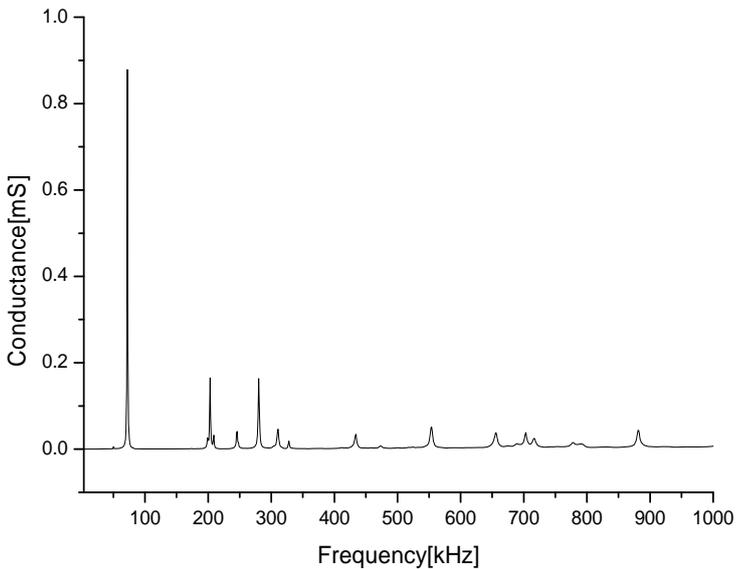


그림 5-1-10 SIMRAD의 진동자 콘덕턴스

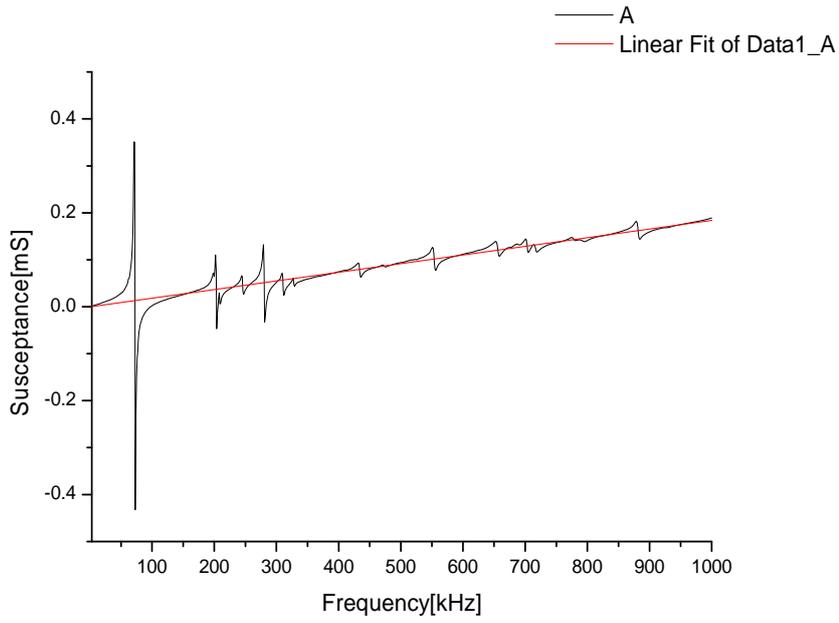


그림 5-1-11 SIMRAD의 진동자 서셉턴스

$f_r = 72.4$ [kHz]

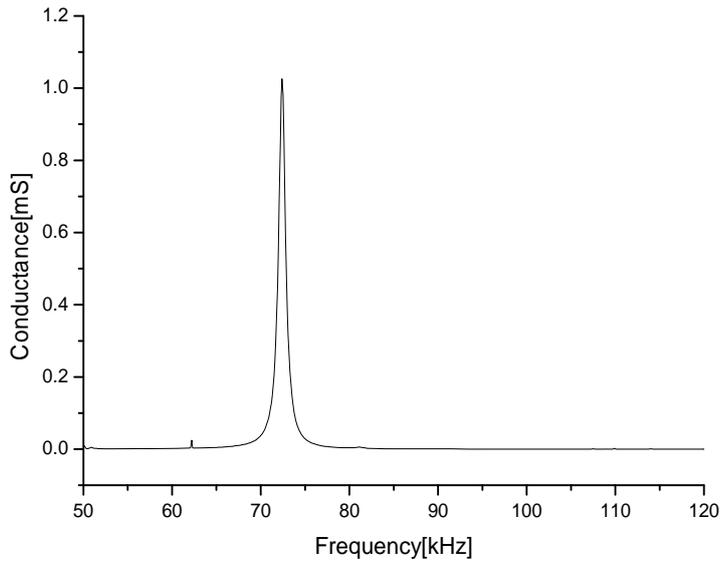


그림 5-1-12 기본공진부근의 콘덕턴스

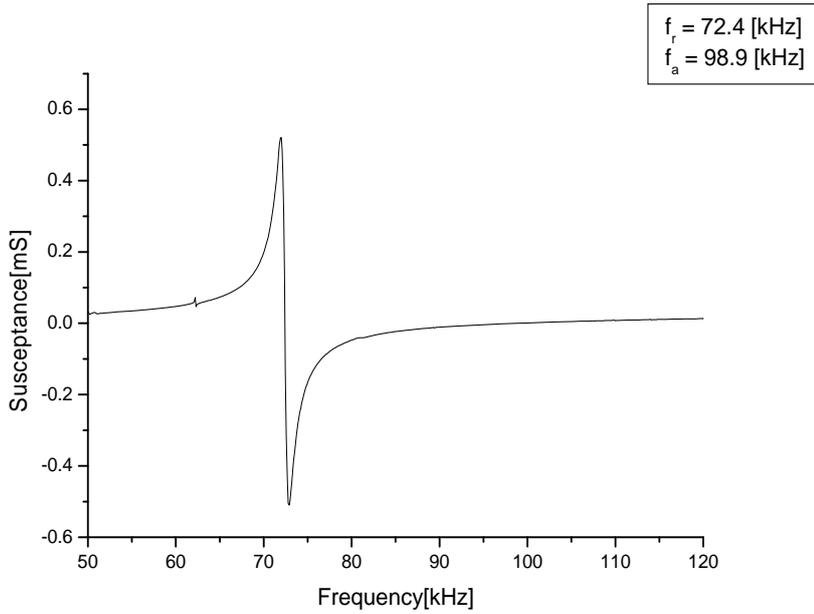


그림 5-1-13 기본공진부근의 서셉턴스

위의 결과로부터 특성표를 작성하면 표 5-1-6과 같다.

표 5-1-6 SIMRAD의 진동자에 대한 특성표

전기기계결합계수		k_{33}	0.71
유전율		ϵ_{33}^S	7.05544×10^{-6}
공진 및 반공진 주파수	kHz	f_r	72.6
		f_a	98.5
압전상수	$\times 10^{-12} \text{C/N}$	d_{33}	783
	C/m^2	e_{33}	548
탄성계수	$\times 10^{10} \text{N/m}^2$	c_{33}^E	5.83
음속	m/s	v	2744
밀도	$\times 10^3 \text{kg/m}^3$	ρ	7.747
단면반경	mm	r	5
길이	mm	l	18.9

이상으로부터 본 연구에서 제작한 압전 진동자의 전기-기계결합계수가 68%정도인 것에 비해 SIMRAD의 진동자는 71%로 약간 높은 수준을 나타내고 있으나 압전상수는 오히려 본 연구에서 제작한 진동자의 경우가 높게 나타나 충분히 사용 가능성을 알 수 있었다.

나. weighting transformer 설계

- 트랜스포머 설계

가중치 트랜스포머는 다음의 단계로 설계가 이루어진다.

(1) Output power 결정

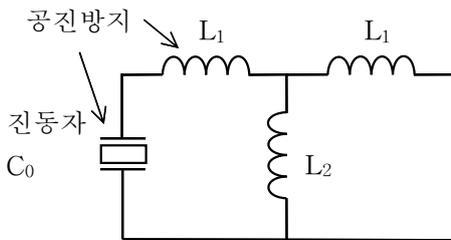
$$P_{out} \times 2.1$$

Total power 에 맞는 core, air gap, size, 등 결정

(2) 1차측 권선수 → 최대전류를 고려한 권선수

→ 가중치를 고려한 2차측 권선수 → 센서

(3) 트랜스포머 등가회로에서



설계 예)

$$V_2 = N_2 \omega B S$$

V_2 : 2차측(부하측) 전압

N_2 : 2차측 권선수

ω : 각주파수 = $2\pi f$

B : 자속밀도

S : 페라이트 코어의 단면적

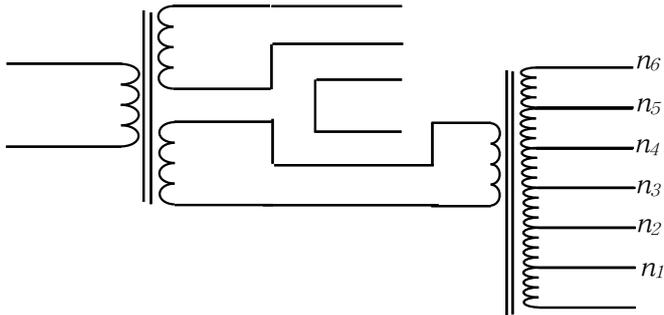
사용주파수가 $f = 75kHz$ 이고 단면의 한 변의 길이가 $3 \times 10^{-3}m$ 인 페라이트코어를 사용할 경우, 단위권선당 나타나는 전압은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{V_2}{N_2} &= 2\pi \times 75 \times 10^3 \times (3 \times 10^{-3})^2 \times 0.3 \\ &= 1.272 \end{aligned}$$

여기서 포화되지않는 자속밀도를 $B = 0.3$ 으로 잡았다*.

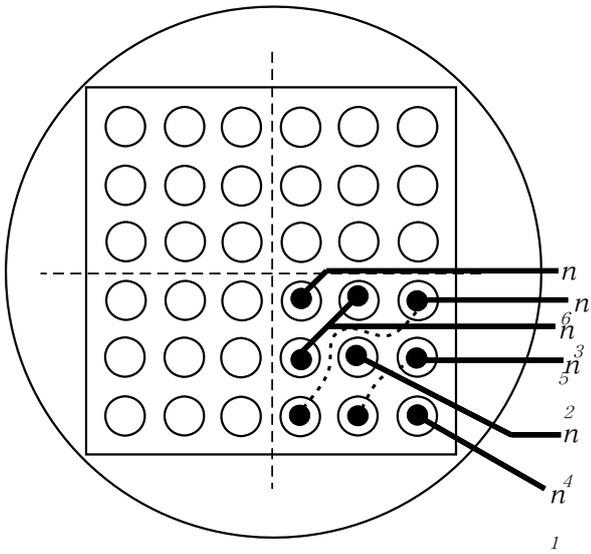
따라서 압전진동자에 $127V_{pp}$ 를 인가하려면 100회의 권선이 필요하게 된다.

본 연구에서 사용하게 될 가중치 트랜스포머의 출력권선비

$$\begin{bmatrix} 0.123 & 0.276 & 0.478 & 0.478 & 0.276 & 0.123 \\ 0.288 & 0.570 & 0.791 & 0.791 & 0.570 & 0.288 \\ 0.466 & 0.802 & 1 & 1 & 0.802 & 0.466 \\ 0.466 & 0.802 & 1 & 1 & 0.802 & 0.466 \\ 0.288 & 0.570 & 0.791 & 0.791 & 0.570 & 0.288 \\ 0.123 & 0.276 & 0.478 & 0.478 & 0.276 & 0.123 \end{bmatrix}$$


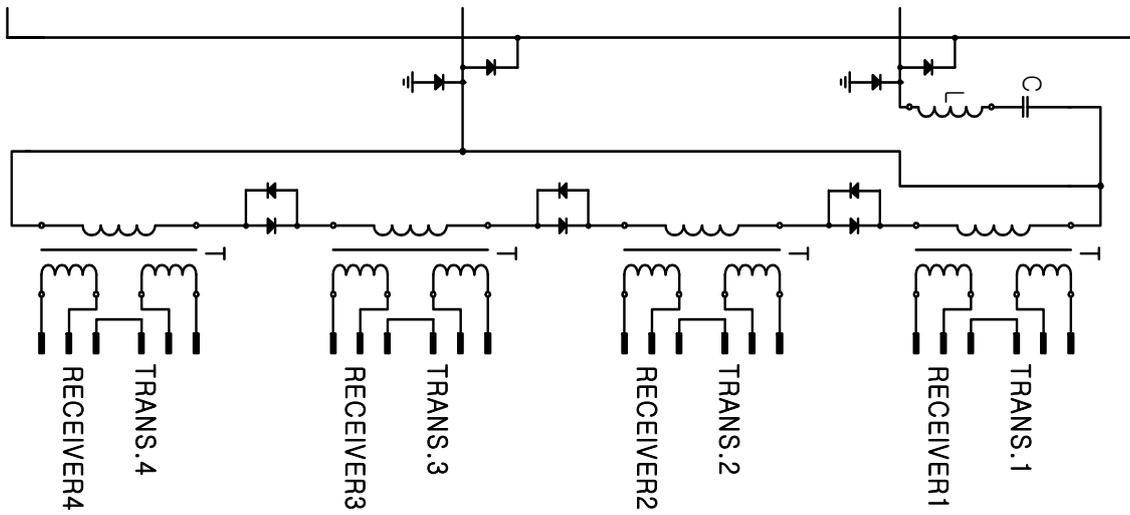
$$n_1 = 0.12 \times m \quad n_2 = 0.28 \times m \quad n_3 = 0.47 \times m$$

$$n_4 = 0.57 \times m \quad n_5 = 0.80 \times m \quad n_6 = 1.00 \times m$$



다. matching 회로설계(참여기업)

- 제4절에서 기술한 방법으로 다음과 같은 정합회로를 설계하였다.



그림에서 네 부분으로 구성된 트랜스듀서로의 송수신부와 각각의 송수신부의 전단에 위치한 트랜스포머 및 인덕터 L이 정합회로로써, 트랜스듀서와 송수신기간의 임피던스 정합을 수행하게 된다.

라. split beam transducer의 제작 및 transducer 특성평가

제4절의 이론으로부터 작성한 계산 프로그램으로 최적빔을 위한 가중치를 계산한 예를 아래와 같이 나타내었다. 그림 5-1-14에 나타낸 바와같이 6×6개의 진동소자로 구성된 Split Beam 어군탐지기에서 진동자간의 간격을 0.7λ 로 하고 부엽수준을 -20dB 이하로, 빔폭을 12° 로 설정한 후 이 조건을 만족하는 가중치를 구하고 이때의 빔패턴을 구하면 그림 5-1-15와 같이 된다.

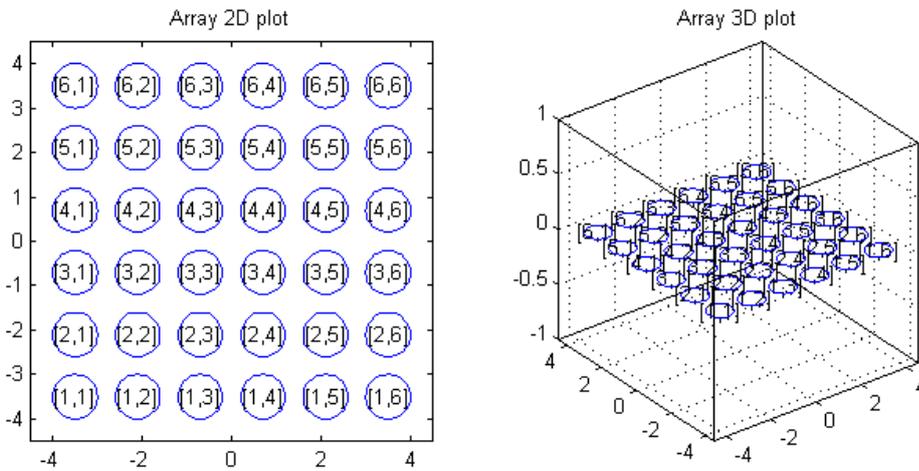


그림 1-1-14 진동자의 배열

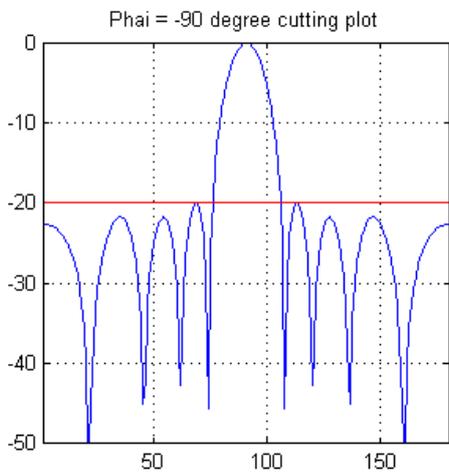
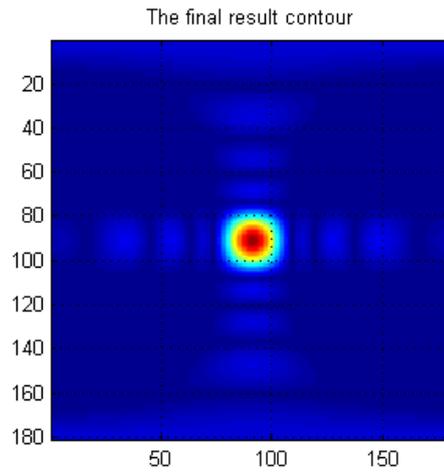
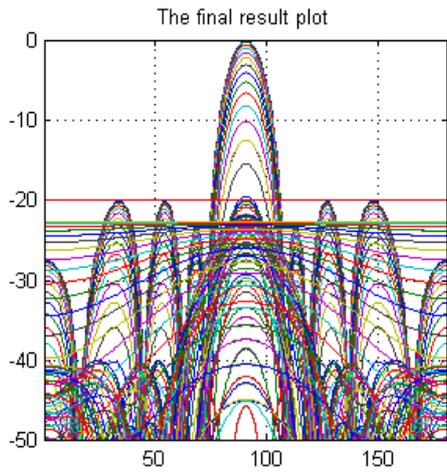


그림 5-1-15 최적화된 빔 패턴

이때 구해진 각 진동자의 가중치는 다음과 같다.

0.0120,	0.0177,	0.0258,	0.0258,	0.0177,	0.0120
0.0188,	0.0283,	0.0396,	0.0396,	0.0283,	0.0188
0.0243,	0.0358,	0.0488,	0.0488,	0.0358,	0.0243
0.0243,	0.0358,	0.0488,	0.0488,	0.0358,	0.0243
0.0188,	0.0283,	0.0396,	0.0396,	0.0283,	0.0188
0.0120,	0.0177,	0.0258,	0.0258,	0.0177,	0.0120

이상을 규격화 하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} 0.12 & 0.28 & 0.47 & 0.47 & 0.28 & 0.12 \\ 0.28 & 0.57 & 0.80 & 0.80 & 0.57 & 0.28 \\ 0.47 & 0.80 & 1 & 1 & 0.80 & 0.47 \\ 0.47 & 0.80 & 1 & 1 & 0.80 & 0.47 \\ 0.28 & 0.57 & 0.80 & 0.80 & 0.57 & 0.28 \\ 0.12 & 0.28 & 0.47 & 0.47 & 0.28 & 0.12 \end{bmatrix}$$

이상의 결과들로부터 3차원 빔패턴을 재구성 한 것을 다음그림에 나타내었다. 그림 5-1-16은 송신빔을 나타내고 있고 그림 5-1-17은 두 블록만으로 수신되는 수신빔에 대한 계산 결과이다.

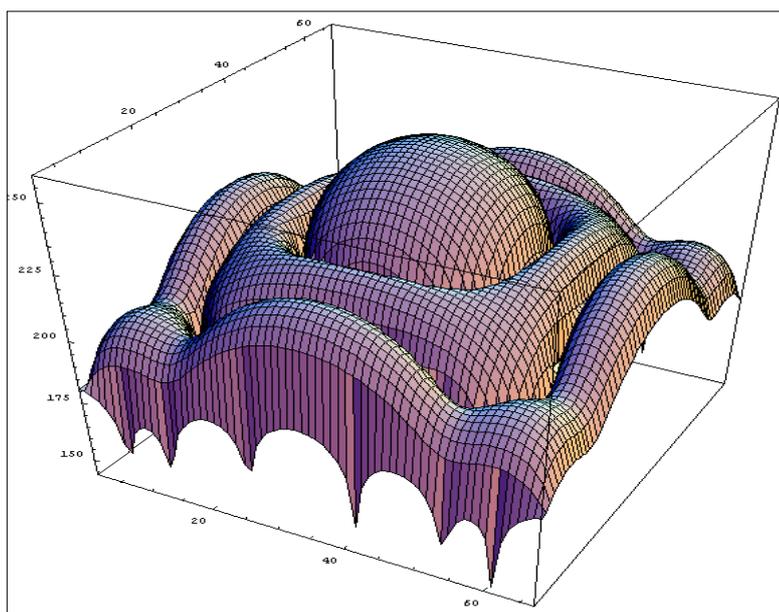


그림 5-1-17 송신빔 계산결과

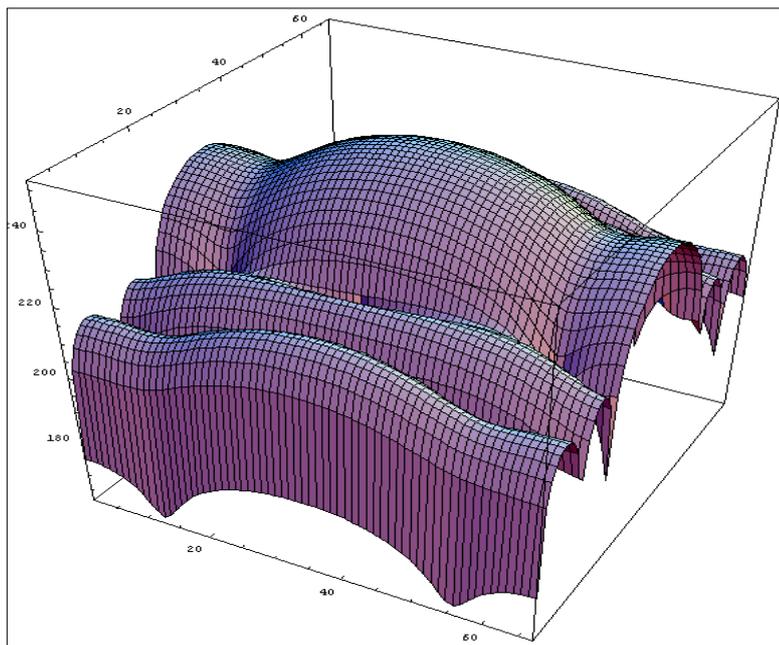


그림 5-1-18 수신빔 계산 결과

이상으로 설계한 split beam transducer의 동작특성을 이론적 검토한 결과 적절한 빔 특성을 나타내고 있음이 확인 되었다.

마. split beam transducer의 제작

split beam방식의 초음파 송수파기를 제작하였다. 그 외관을 그림 5-1-19에 나타내었다.

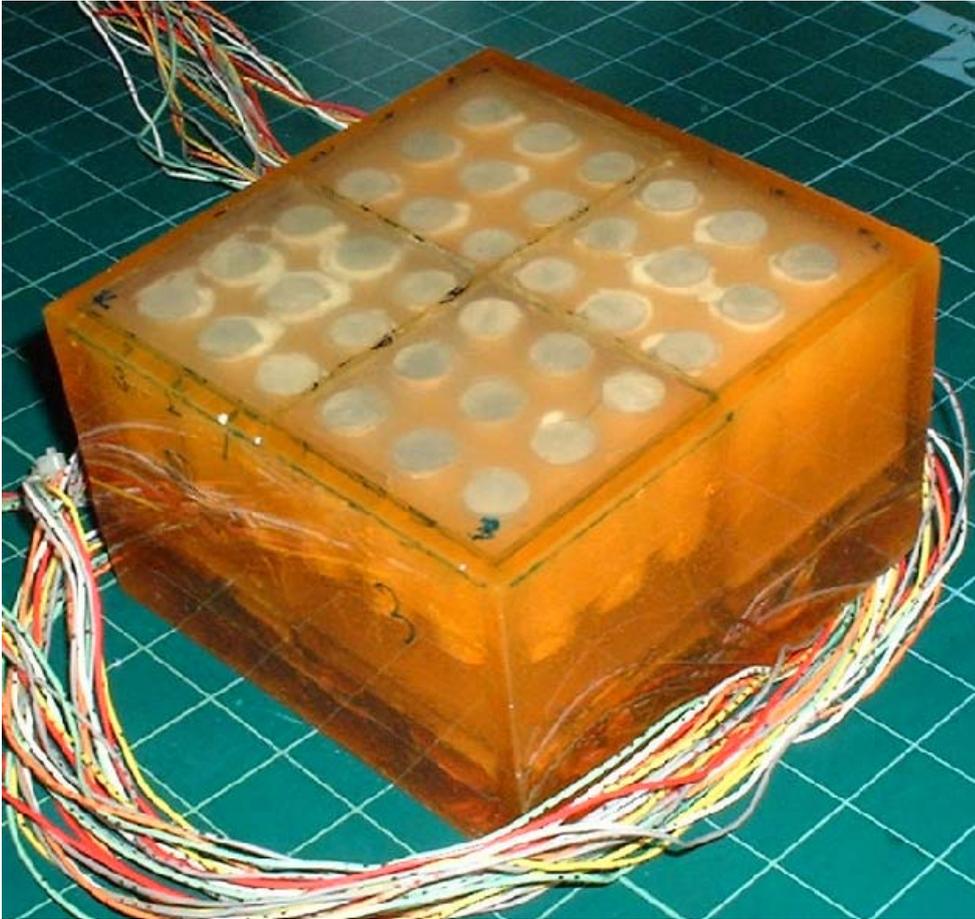


그림 5-1-19 split beam방식의 초음파 송수파기

바. transducer 특성평가

제작된 송수파기의 특성을 검토하기 위하여 구성한 실험 장치도를 그림 5-1-20에 나타내었다. Function Generator로부터 73[kHz]의 톤 버스트파를 수심 2.4[m]지점에 위치한 제작한 송수파기에 인가하고 송수파기의 방향을 stepping motor로 1.8도씩 회전시켜가며 송파하였다. 이 신호를 송수파기로부터 1[m]떨어진 지점에 위치한 하이드로폰(B&K8103)으로 수신하여 오실로스코프로 관찰하였다. 수면, 바닥, 벽면으로부터의 반사파의 영향을 줄이기 위하여 12m×8m×6m의 대형 수조를 사용하였다.

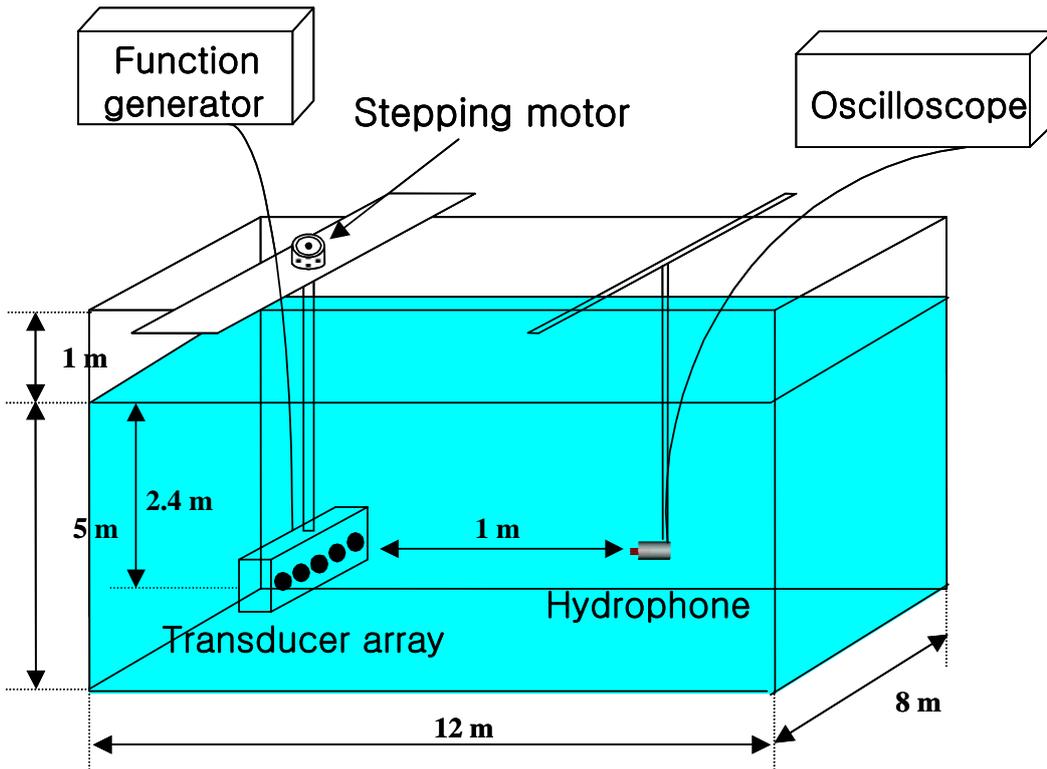


그림 5-1-20 지향성 측정에 사용한 수조 및 장치도

우선 4블럭으로 구성된 송수파기의 각 블록(3×3 element)에 대한 지향특성을 측정한 결과를 그림 5-1-21에 나타내었다.

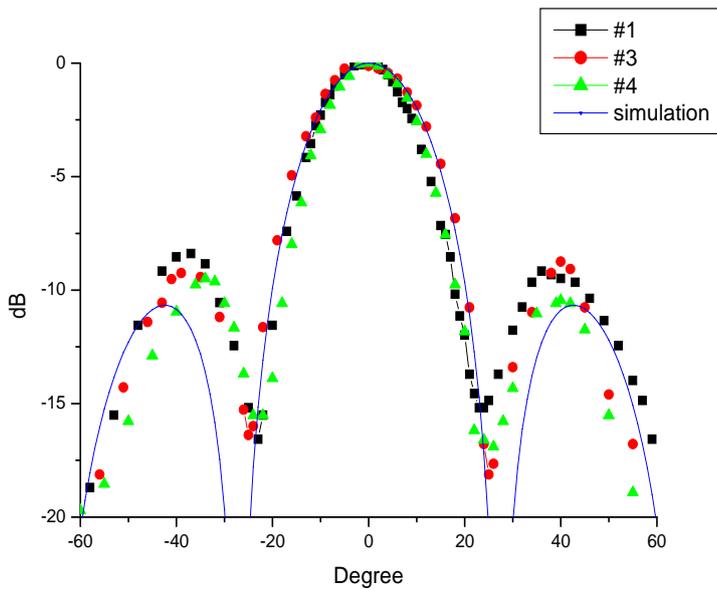


그림 5-1-21 송수파기의 각 블록에 대한 지향특성

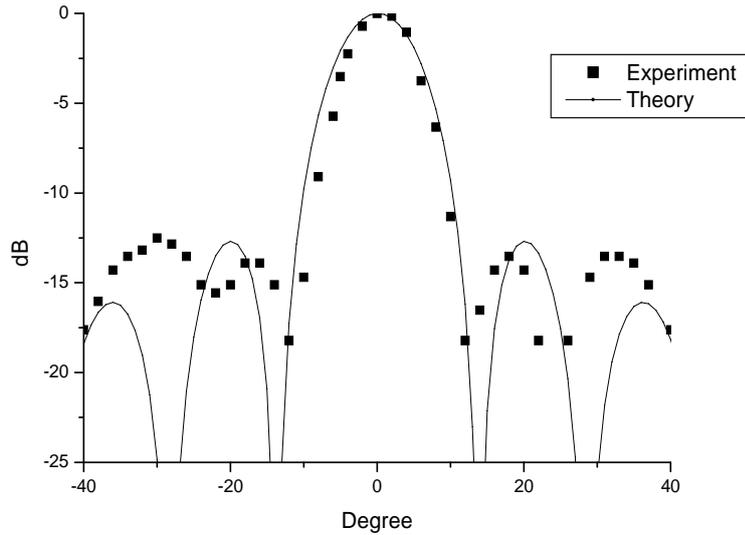


그림 5-1-22 전체 송수파기의 지향 특성

이 결과를 보면 1차년도에 구축한 시뮬레이션 프로그램으로 시뮬레이션한 결과와 매우 잘 일치하고 있음을 보이고 있으며 각 블록의 개별 오차 또한 크지 않음을 알 수 있다. 전체 송수파기의 방사특성을 알아보기 위하여 그림 5-1-20의 실험장치로 4블록 전체로 구성된 송수파기의 지향특성을 측정하고 그 결과를 시뮬레이션 결과와 함께 그림 5-1-22에 나타내었다. 이 결과를 보면 실험 및 이론 결과가 잘 일치하고 있음을 알 수 있고 3dB빔 폭이 약 8°를 나타내고 있어 목적인 지향성을 충분히 얻었음을 알 수 있다.

이 송수파기에 진폭가중치를 인가하지 않은 경우와 최적화 과정을 통하여 진폭가중치를 인가한 경우의 방사 특성을 그림 5-1-23 및 그림 5-1-24에 각각 나타내었다. 가중치를 인가함에 따라 부엽의 수준이 저감되고 음축에 대한 방사빔의 대칭성이 개선됨을 알 수 있다. 그림 5-1-25에 수신시에 작용되는 2블록에 의한 수신빔의 특성을 나타내었다.

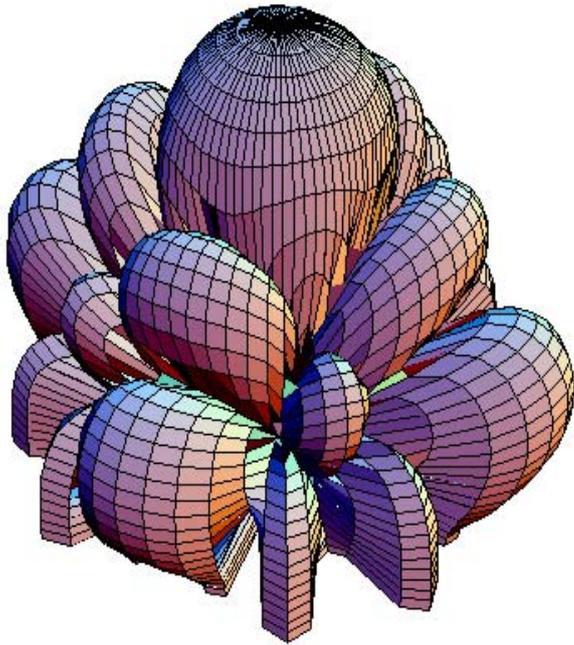


그림 5-1-23 가중치를 인가하지 않은 경우의 방사특성

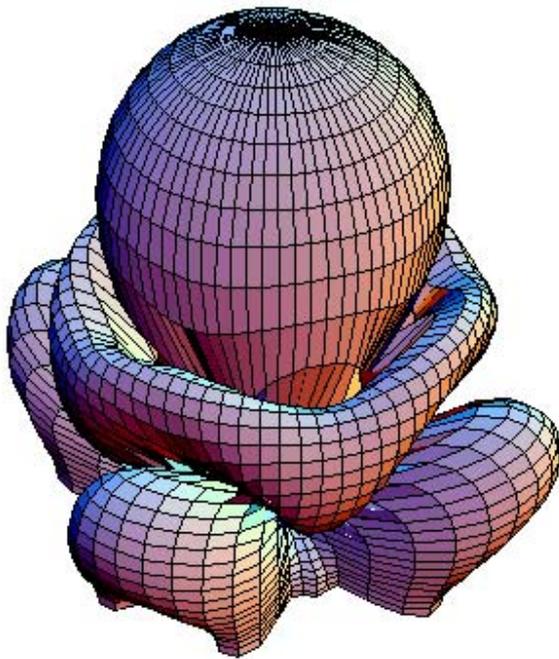


그림 5-1-24 최적화 가중치를 인가한 경우의 방사특성

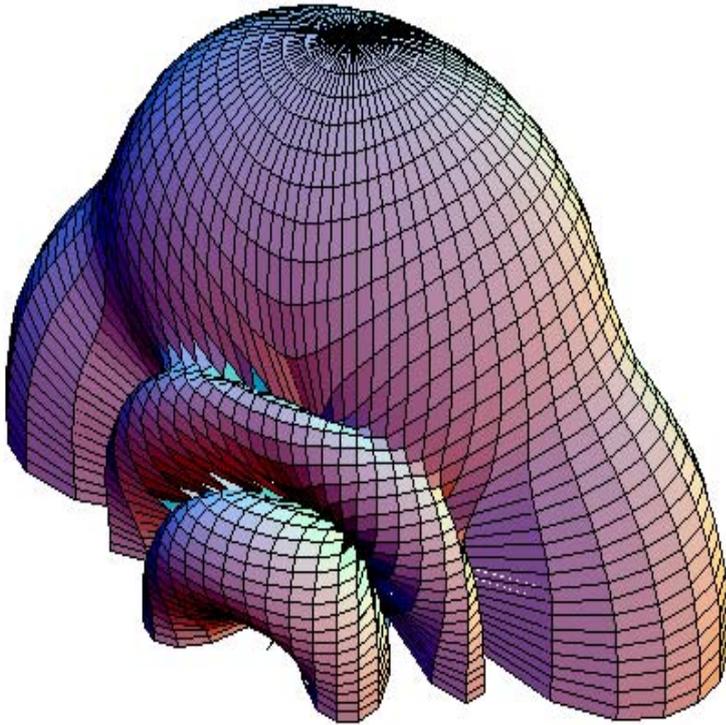


그림 5-1-25 수신빔 특성

이상에서 완성된 split beam transducer의 감도 특성 및 지향성 특성을 실험을 통해 확인한 결과를 아래에 나타내었다.

<실험조건>

입력신호 : 94Vrms, 10개의 burst, 72kHz

지향성 측정시 회전각도 : 1°씩 회전

수조크기 : 20m×20m×10m

트랜스듀서의 각 블록은 그림 5-1-26에 나타낸 것처럼 4부분으로 나누었다.

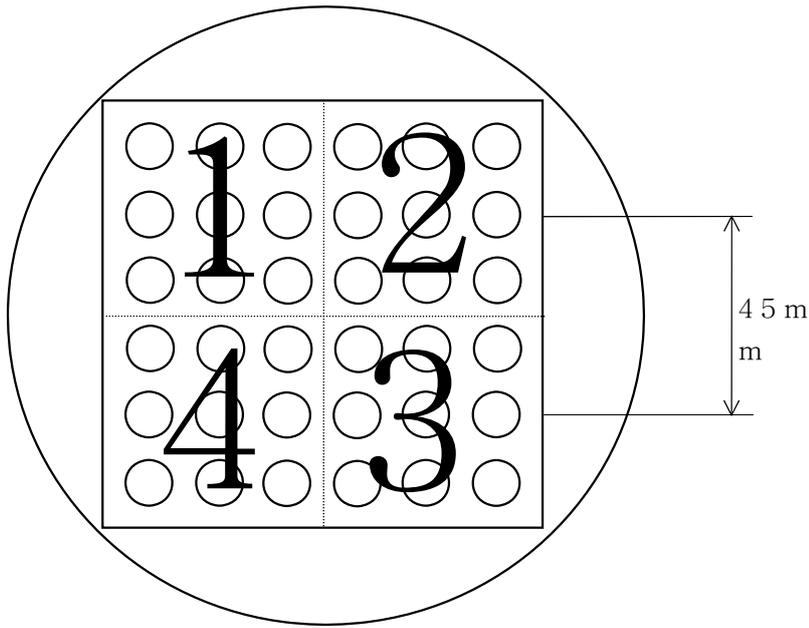


그림 5-1-26 트랜스듀서의 블록 배치도

이상의 조건으로 실험한 결과 다음 그림 5-1-27에서 그림 5-1-31과 같은 감도 특성과 지향특성을 얻었다.

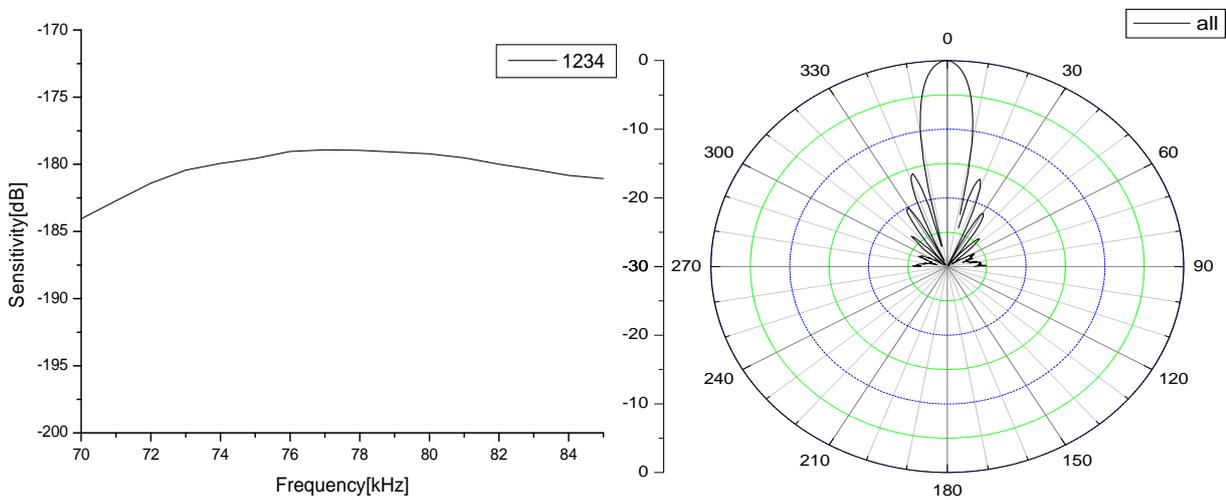


그림 5-1-27 4블럭 전체의 송수신감도와 송신 지향특성 측정 결과

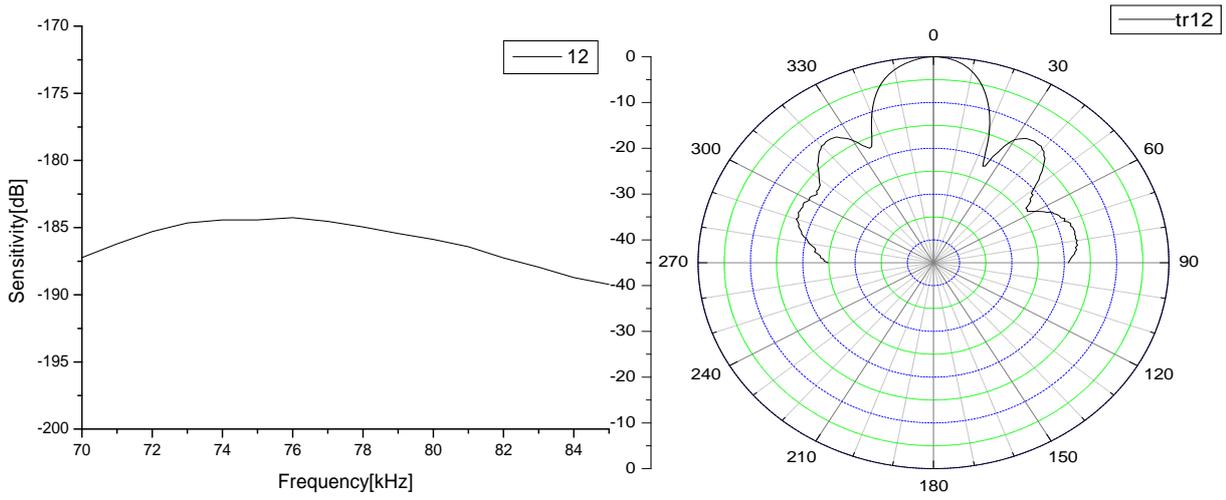


그림 5-1-28 블록 1과 블록 2 부분만의 송수신 감도와 송신 지향특성 측정결과

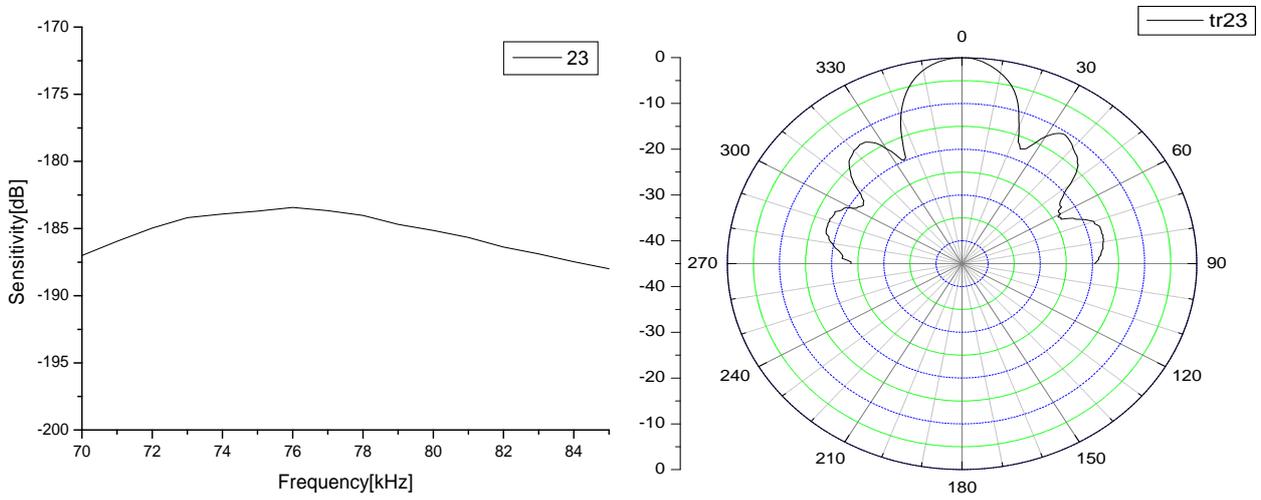


그림 5-1-29 블록 2와 블록 3 부분만의 송수신 감도와 송신 지향특성 측정결과

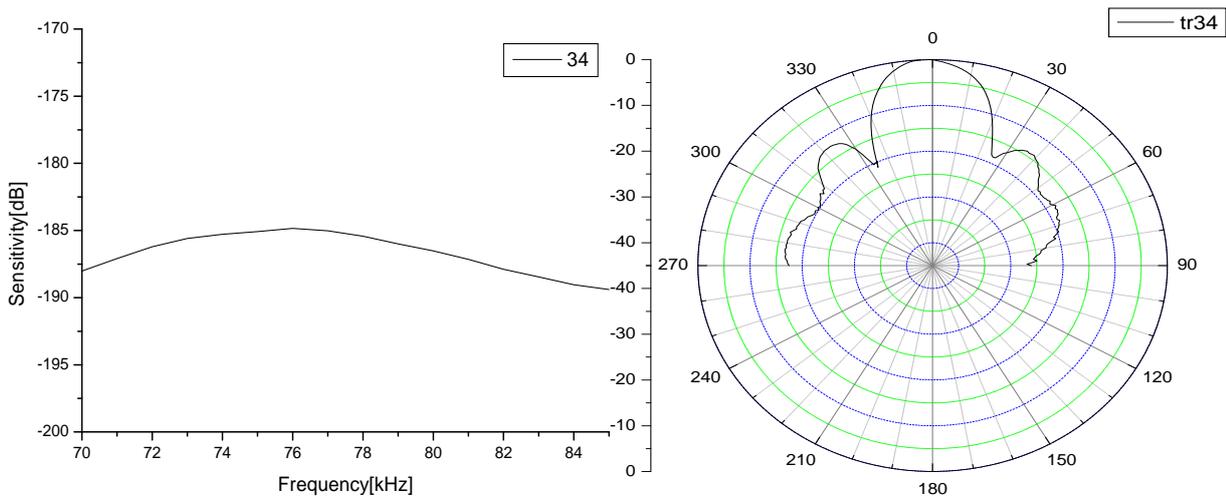


그림 5-1-30 블록 3과 블록 4 부분만의 송수신 감도와 송신 지향특성 측정결과

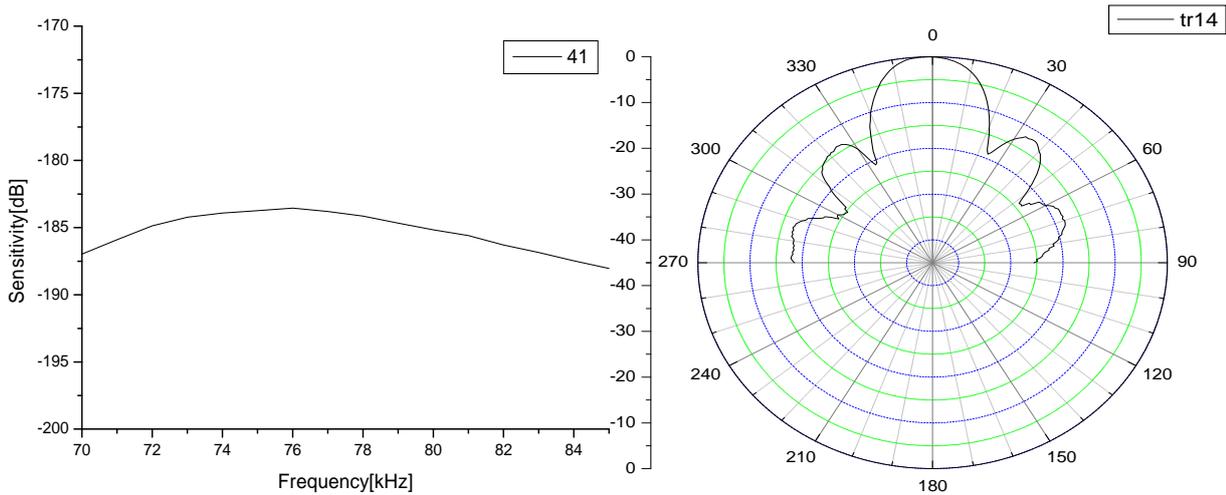


그림 5-1-31 블록 4와 블록 1 부분만의 송수신 감도와 송신 지향특성 측정결과

한편 이상의 결과로부터 송신 지향성에 대한 특성을 각도의 함수로 나타내어 수신된 반사강도를 방향보정해야만 된다. 따라서 그림 5-1-27에 나타낸 송신 지향성의 결과를 그림 5-1-32와 같이 직각좌표축에 나타 내었다. 그 결과로부터 -3dB빔폭은 약 11도 임을 알 수 있었고 함수화 하기위하여 이 결과의 -15도에서 +15도 까지의 결과를 그림 5-1-33과 같이 나타내었다.

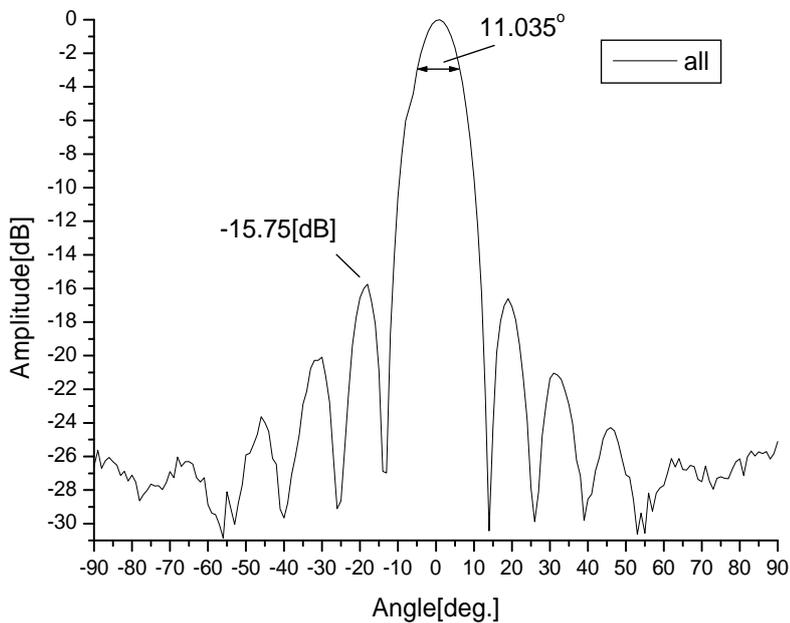


그림 5-1-32 송신 빔의 직각좌표 표시

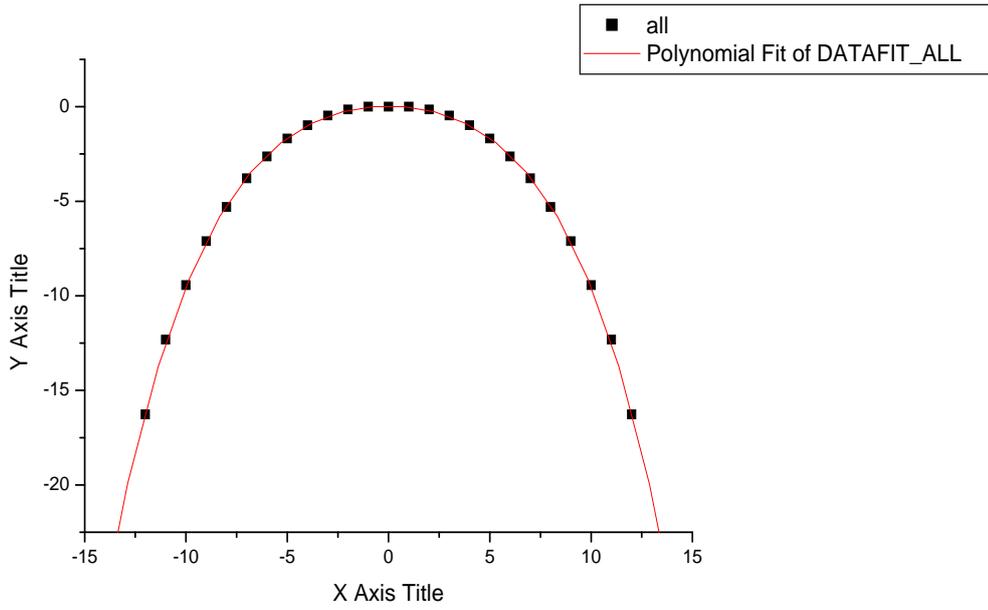


그림 5-1-33 주엽에 대한 함수추정

그림 5-1-33의 결과로부터 fitting함수를 추정한 결과 다음과 같이 구할 수 있었다.

$$y = 0.03638 - 0.05816x^2 - 0.00037492x^4 \quad (5-1-1)$$

2. 제2 세부과제 : 체장추정 알고리즘 및 반사강도의 데이터 베이스 개발

가. 어종별 어류 반사강도 데이터 베이스 개발

본 연구에서는 각각의 공시어류를 수중에 현수시켜 경각(tilt angle) 0.4° 의 간격으로 반사강도를 측정하였다. 먼저, 16 마리의 고등어를 대상으로 측정한 각각의 어체에 대한 반사강도 패턴에 어체의 유연자세의 통계적인 분포특성으로써 $[\theta_m, \sigma]$ 가 $[-5^\circ, 15^\circ]$ 인 정규분포를 적용시켜 각각의 어체에 대한 평균반사강도를 추정하고, 이들 값과 체장과의 관계를 나타낸 결과는 그림 5-2-1과 같다. 이 그림에서 \circ 은 반사강도의 측정치이고, 가는 실선 “—”은 $TS = a \log(L) + b$ 의 회귀직선, 굵은 실선 “—”은 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정하에서 구한 회귀직선이다. 그림 5-2-1에서 회귀직선식의 상수 a, b 는 각각 $a = 27.17$, $b = -80.69$ 이고, 고등어의 반사강도를 체장의 2승에 근사시킨 경우의 체장변환계수는 $b_{20} = -69.72$ 이다. 이 결과로부터 고등어의 반사강도는 체장의 2.717승에 비례하는 경향을 나타내었지만, 이 경우에 대한 체장변환계수는 체장의 2승에 근사시킨 변환계수보다 10.97 dB 더 작았다. 한편, 16 마리의 모든 고등어에 대해 $\pm 45^\circ$ 의 tilt angle의 범위에 걸쳐 측정한 반사강도의 빈도분포로부터 평균반사강도를 산출한 후, 이 평균반사강도가 평균체장의 2승에 비례한다는 가정하에서 유도한 회귀식으로부터 체장변환계수를 구하였는데, 그 결과는 그림 5-2-2와 같다.

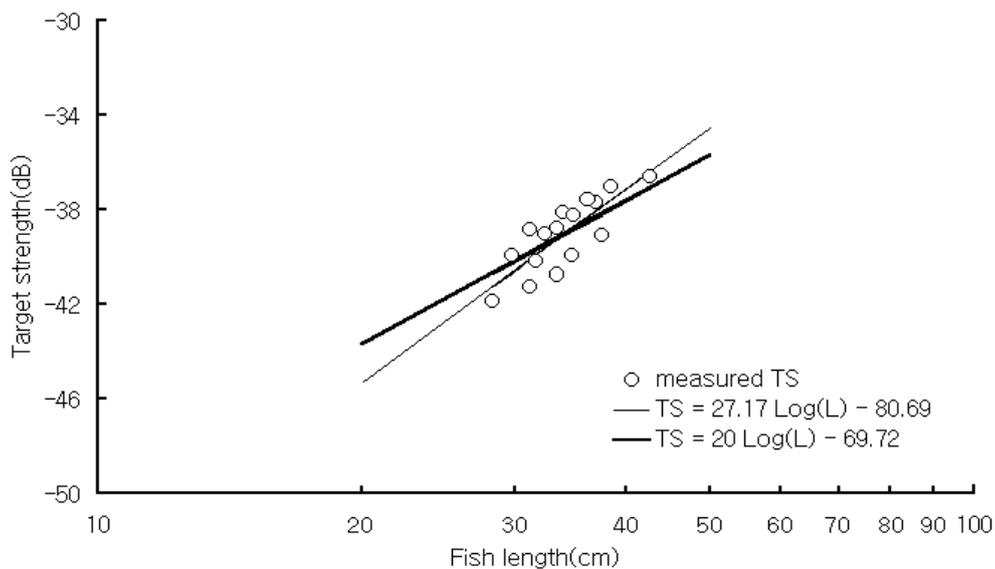


그림 5-2-1. 고등어의 체장과 음향반사강도의 관계

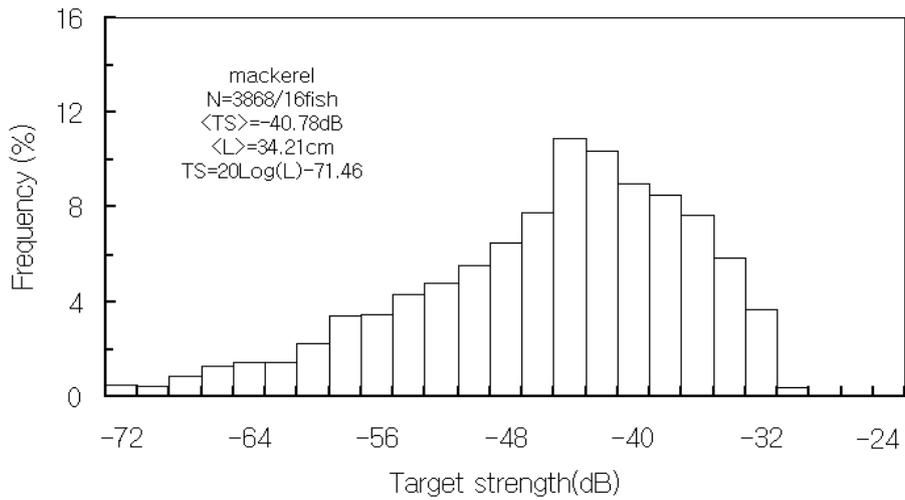


그림 5-2-2. 고등어에 대한 음향반사강도의 빈도분포와 체장변환계수의 추정

여기서 평균체장이 34.21cm인 16 마리의 고등어에 대한 총 6,868개의 반사강도의 평균치는 -40.78dB로써 이들 데이터에 의한 체장변환계수는 -71.46 dB이었다. 같은 방법으로 다음과 같은 공시어들에 대한 결과를 그림 5-2-3에서 5-2-12에 나타내었다.

그림 5-2-3 : 미차체장 16.8cm~24.2cm인 9 마리 전갱이, $a = 22.15$, $b = -71.93$, $b_{20} = -68.89$

그림 5-2-4 : 회귀식으로부터 체장변환계수를 구한 결과

그림 5-2-5 : 미차체장 21.0cm~32.8cm인 13 마리 부세, $a = 23.76$, $b = -73.45$, $b_{20} = -67.35$.

그림 5-2-6 : 회귀식으로부터 체장변환계수를 구한 결과

그림 5-2-7 : 미차체장 12.4cm~26.0cm 인 13 마리 전어, $a = 38.45$, $b = -97.31$, $b_{20} = -72.16$.

그림 5-2-8 : 회귀식으로부터 체장변환계수를 구한 결과

그림 5-2-9 : 미차체장 19.4cm~42.5cm 인 10 마리 참돔, $a = 18.89$, $b = -67.12$, $b_{20} = -68.38$.

그림 5-2-10 : 회귀식으로부터 체장변환계수를 구한 결과

그림 5-2-11 : 미차체장 22.5cm~27.0cm인 9 마리 청어, $a = 31.86$, $b = -87.19$, $b_{20} = -69.03$.

그림 5-2-12 : 회귀식으로부터 체장변환계수를 구한 결과

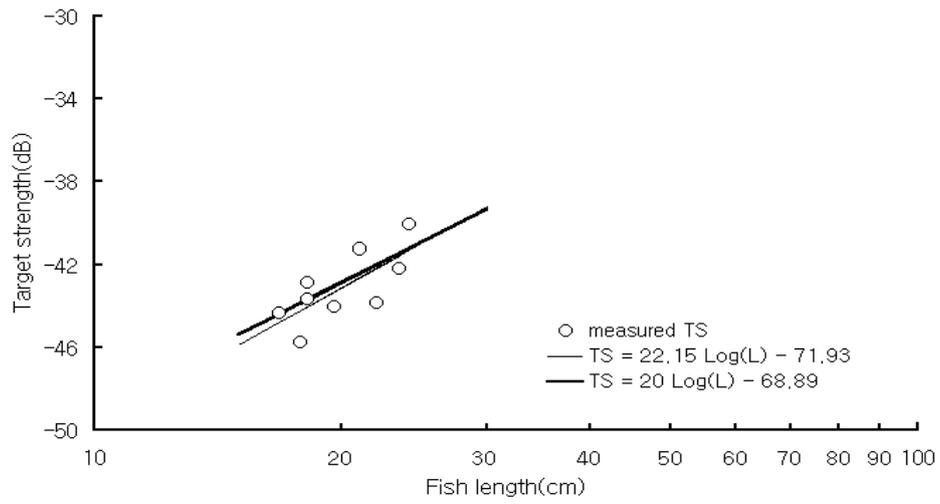


그림 5-2-3. 전갱이의 체장과 음향반사강도의 관계

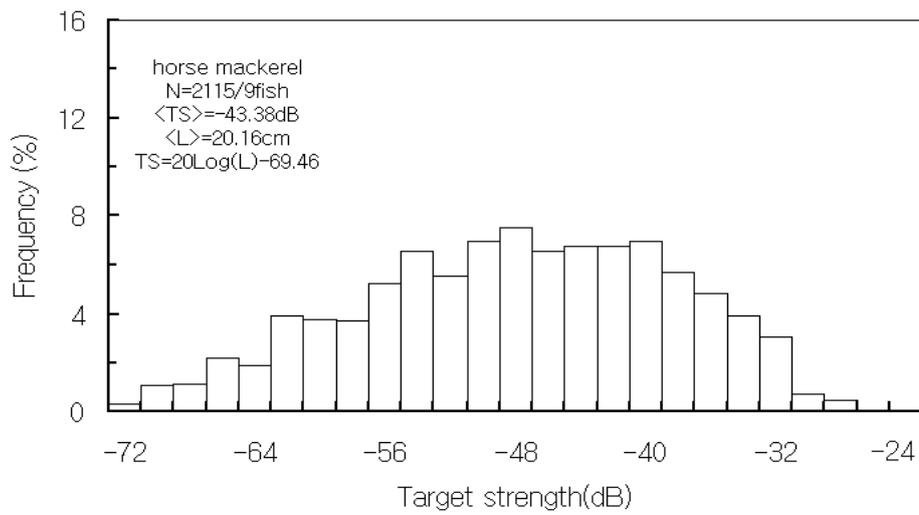


그림 5-2-4. 전갱이에 대한 음향반사강도의 빈도분포와 체장변환계수의 추정

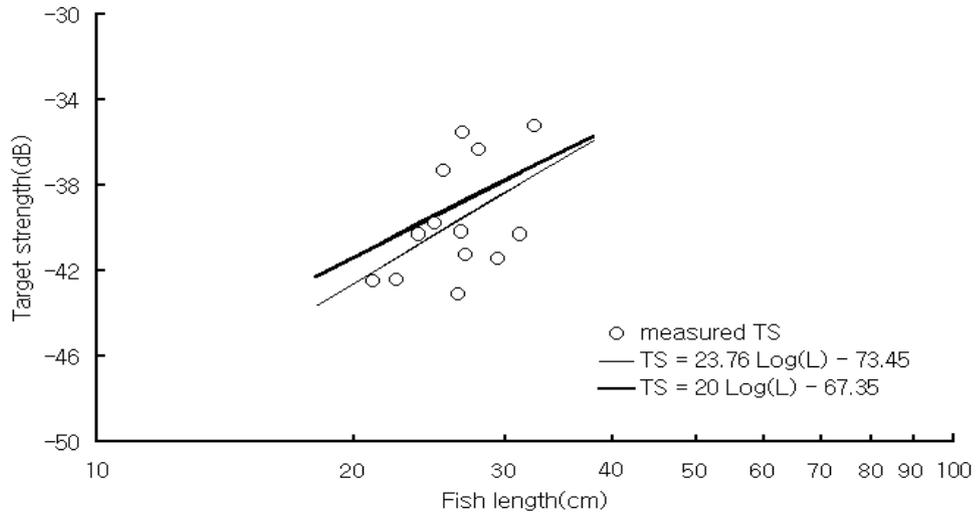


그림 5-2-5. 부세의 체장과 음향반사강도의 관계

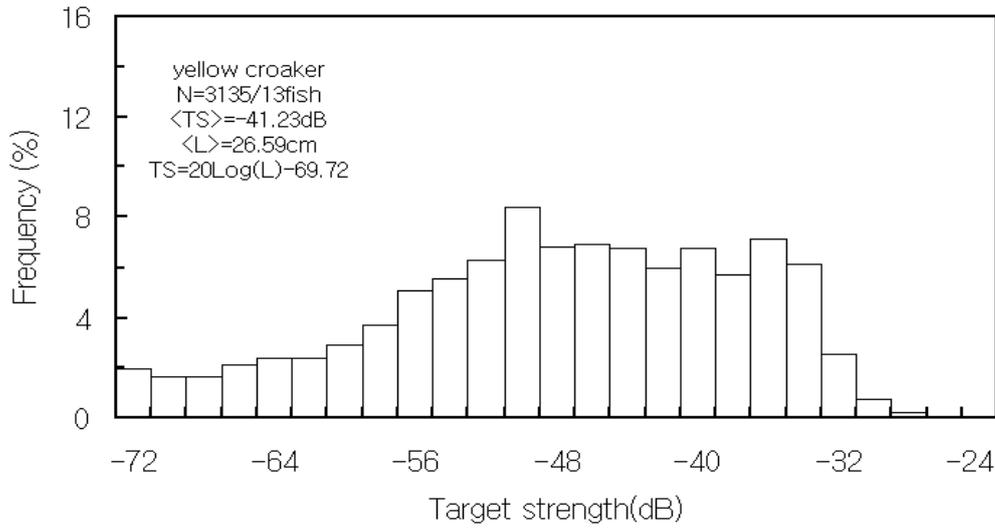


그림 5-2-6. 부세에 대한 음향반사강도의 빈도분포와 체장변환계수의 추정

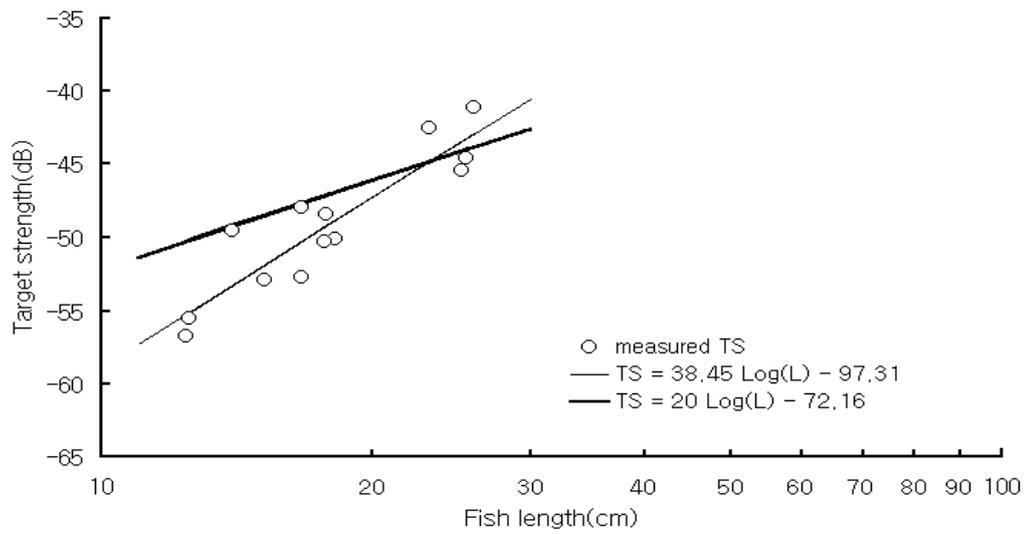


그림 5-2-7. 전어의 체장과 음향반사강도의 관계

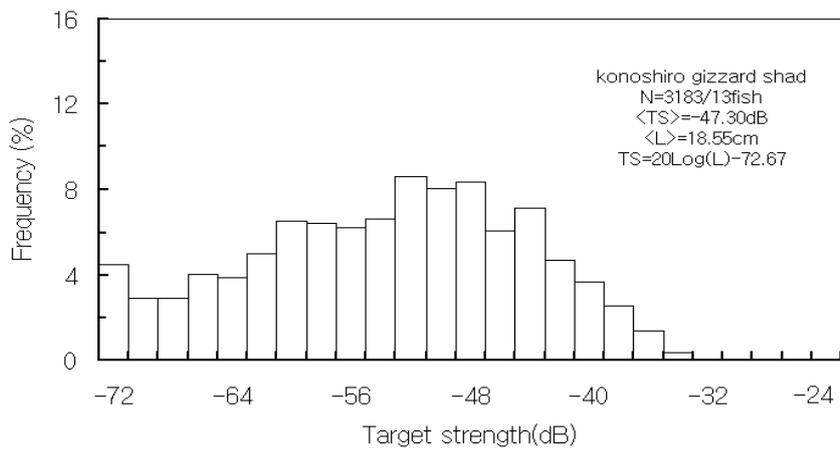


그림 5-2-8. 전어에 대한 음향반사강도의 빈도분포와 체장변환계수의 추정

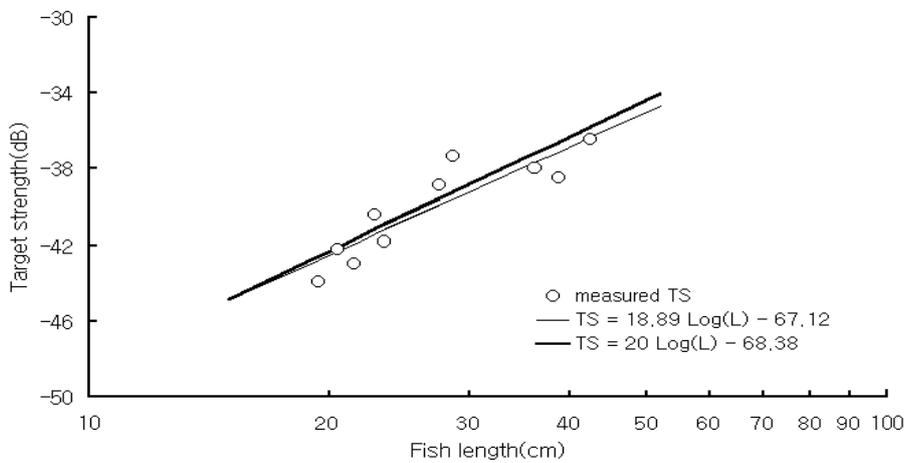


그림 5-2-9. 참돔의 체장과 음향반사강도의 관계

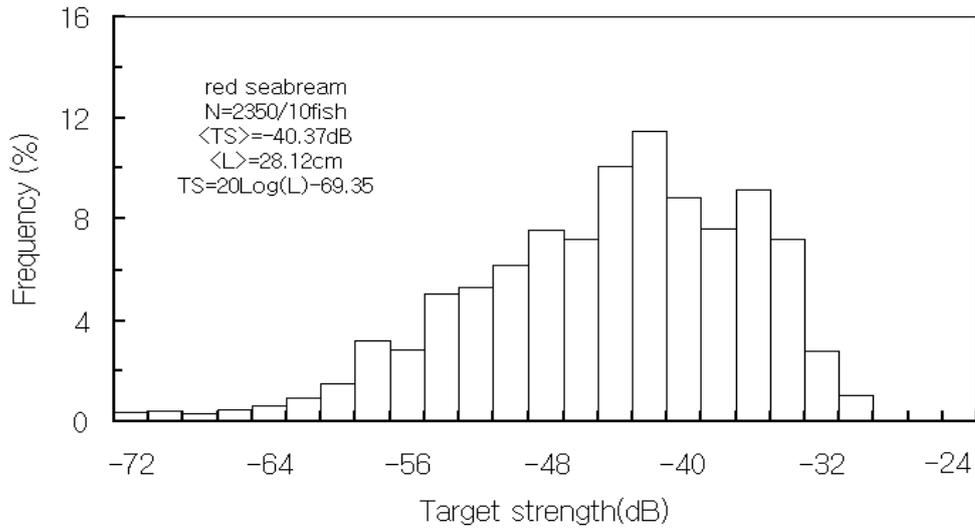


그림 5-2-10. 참돔에 대한 음향반사강도의 빈도분포와 체장변환계수의 추정

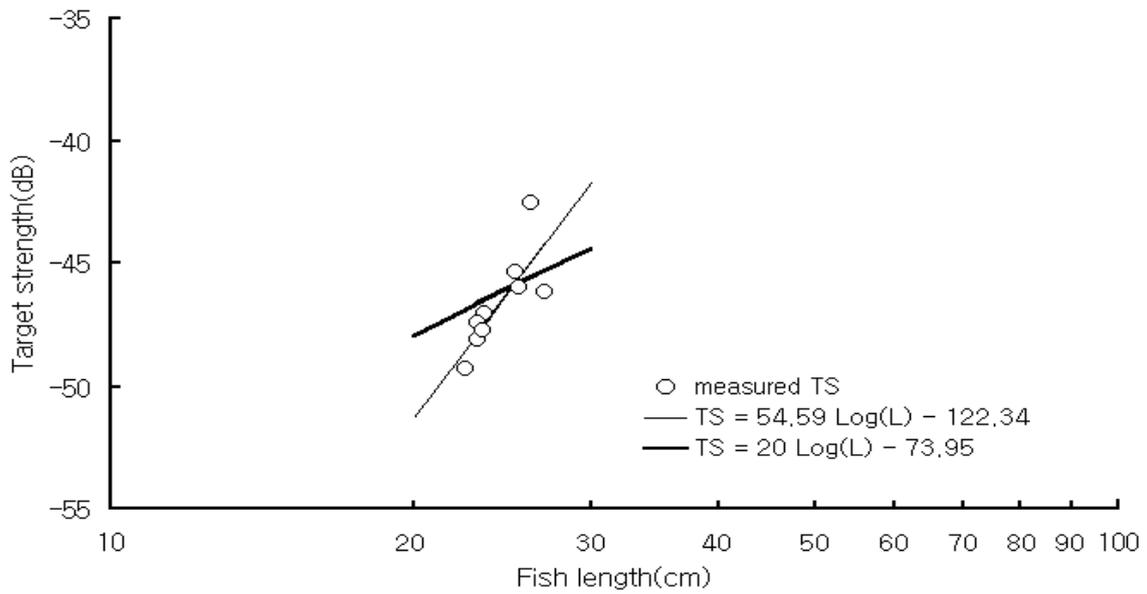


그림 5-2-11. 청어의 체장과 음향반사강도의 관계

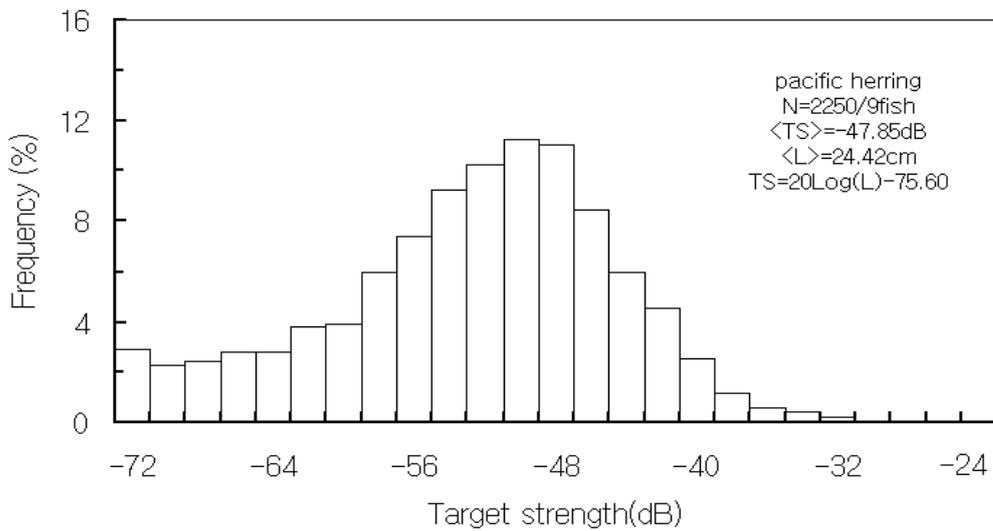


그림 5-2-12. 청어에 대한 음향반사강도의 빈도분포와 체장변환계수의 추정

한편, 고등어, 전갱이 부세, 전어, 참돔, 청어 등 6개 어종에 대한 총 70마리의 개체를 대상으로 음향반사강도의 체장 의존성을 검토한 결과는 그림 5-2-13과 같다. 여기서 회귀직선식의 상수 a, b 는 각각 $a = 31.86$, $b = -87.19$ 이고, 이들 6개 어종에 대한 음향반사강도를 체장의 2승에 근사시킨 경우, 그 체장변환계수는 $b_{20} = -69.03$ 이었다. 이 결과로부터 고등어, 전갱이 부세, 전어, 참돔, 청어 등 6개 어종에 대한 음향반사강도와 체장의 관계를 살펴볼 때, 이들 어종에 대한 반사강도는 체장의 3.186승에 비례하는 경향을 나타내었고, 이 경우에 대한 체장변환계수는 체장의 2승에 근사시킨 체장변환계수보다 18.16 dB의 큰 차이를 나타내었다. 이와 같이 큰 차이를 나타낸 이유는 전어와 같이 측편형 어류에 대한 음향반사강도의 체장 의존성이 고등어, 부세와 같은 방추형 어류의 체장 의존성과 큰 차이를 나타낸 것에 기인하는 것으로 판단된다.

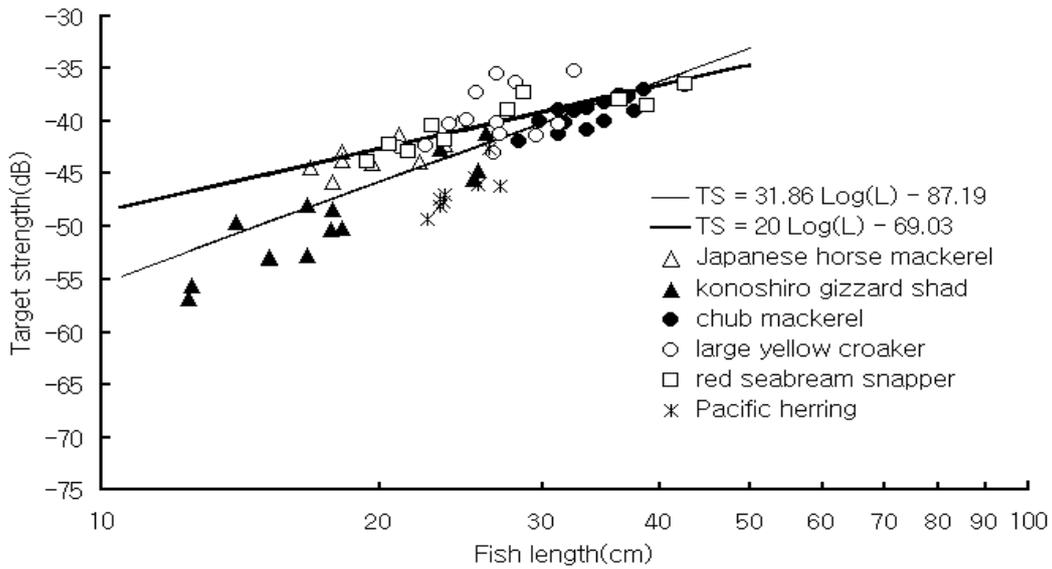


그림 5-2-13. 고등어, 전갱이 부세, 전어, 참돔, 청어의 6개 어종에 대한 음향반사강도와 체장의 관계

본 연구에서는 어법, 어류의 체형, 서식환경 등을 고려하여 선망의 주요 어획대상 어종인 고등어, 전갱이 부세 등을 비롯하여 전어, 참돔, 청어, 병어 등의 어종에 대한 각각의 조합에 대한 음향반사강도의 체장 의존성을 검토하고, 그 회귀직선식으로부터 산출된 체장변환계수를 정리, 요약한 결과는 표 5-2-1와 같다.

표 5-2-1. 고등어, 전갱이 부세, 전어, 참돔, 청어 등의 6개 어종에 대한 체장변환계수

Common name	Fish species						TS=mLog(L)-b		b ₂₀	No. of fish
	a	b	c	d	e	f	m	b		
a) Chub mackerel	●	●					18.65	-67.54	-69.18	25
b) Japanese horse mackerel	●	●	●				18.30	-66.58	-68.54	38
c) Large yellow croaker	●	●	●	●			32.77	-88.12	-68.75	51
d) Konoshiro gizzard shad	●	●	●	●	●		31.34	-85.93	-68.67	61
e) Red seabream snapper	●	●	●	●	●	●	31.86	-87.19	-69.03	70
f) Pacific herring	●	●	●	●	●	●				

표 5-2-1에서 고등어, 전갱이 부세, 전어, 참돔, 청어 등의 6개 어종에 대한 총 70마리의 개

체를 대상으로 음향반사강도의 체장 의존성을 검토한 결과, 음향반사강도는 이들 모든 어종에 대한 체장의 3.186승에 비례하는 경향을 나타내었고, 그 체장변환계수 -87.19 dB은 체장의 2승에 근사시킨 변환계수 -69.03dB과 큰 차이를 나타내었다. 그러나, 각각의 어군집단에 대한 체장변환계수 b_{20} 은 모두 -68dB~-70dB 범위에 집중되어 있는 점을 고려할 때, 음향반사강도의 체장 의존성에 대한 체장변환계수의 변동성을 억제시키는 효과를 갖는 b_{20} 의 체장변환계수를 체장어군탐지기에 도입함이 바람직하다고 판단된다.

3. 제 3 세부과제 : DSP 및 정보표시장치의 개발

가. 방향검출 회로 설계

신호 취득 및 제어장치를 포함하는 신호처리장치는 그림 5-3-1과 같이 제작하였다. 신호처리장치는 산업용 컴퓨터와 ISA 버스를 통하여 연결되어져 있으며, 기구적으로는 산업용 컴퓨터의 상부에 적층되어 위치한다. 그림 5-3-1에 표시된 부분은 어탐기 신호를 받아들이는 5채널의 A/D컨버터부와 5채널의 초단 증폭부와 STC 전압을 제어하는 D/A컨버터부를 가르키고 있다. 산업용 컴퓨터는 시스템 운용 및 화상처리 소프트웨어가 적재되어져 있으며, 신호처리장치로부터 데이터를 입력 받아 소프트웨어로 전달한다. 또한, 소프트웨어로 부터의 제어 명령이나 환경 설정 변수를 신호처리장치의 시스템 제어부에 전달하는 역할을 수행한다. 그림 5-3-2는 시스템 운용 및 화상처리 소프트웨어의 흐름도를 나타낸다. 소프트웨어가 실행되게 되면 먼저 시스템 운용에 필요한 환경 변수들을 사용자가 설정하게 되고, 설정된 환경에 따라 반복적으로 신호처리장치로부터 데이터를 입력받아 화상처리에 필요한 계산을 수행한 후 A-Scope, Echo-gram, 위치각 전시 및 체장 전시로 구성된 화면의 정해진 영역에 표시하게 된다. 또한 탐사되는 현재의 데이터는 동시에 시스템에 저장되며 추후 재생할 수 있도록 작성되었다. 그림 5-3-3~5-3-9는 시스템 운용 및 화상처리 소프트웨어의 실행예를 나타낸다. 프로그램이 사용자에게 의해 실행되게 되면 그림 5-3-3과 같은 초기화면으로 나타나게 된다. 전술한 바와 같이 전시 영역은 그림에서와 같이 A-Scope, Echo-gram, 해저면 확대 A-Scope, 해저면 확대 Echo-gram, 위치각 전시(표적 방위 정보) 및 표적 강도 및 체장 히스토그램 전시부로 구성되었다. 그림 5-3-4은 설정 메뉴에 있어서 환경 설정을 나타내고 있다. 설정 항목은 탐사 및 재생 깊이, 해저면 확대 탐색의 범위, 체장 계산 어종 선택, 전시할 표적 강도의 범위를 설정하게 된다. 그림 5-3-5는 설정 메뉴의 송수신 환경 설정을 나타내고 있다. 식 (6)에 설명한 표적 강도 계산에 필요한 송수신기의 이득값과 지향성 함수의 다항식 근사 계수 및 송신 펄스폭을 입력하게 된다. 그림 5-3-4과 5-3-5에서의 설정이 끝나게 되면 사용자는 탐사와 재생의 두 가지 동작 모드를 선택하여 어군 탐지기를 운용하게 되며, 탐사모드와 재생모드는 각각 그림 5-3-6과 5-3-7과 같이 나타나게 된다. 동작 모드는 구분되어져 오른쪽 상단에 표시되고 재생모드의 경우에는 초기에 재생할 파일을 선택하여야 한다. 그림 5-3-8와 5-3-9은 어군 탐지기 사용에 있어서 여러 가지의 부가 기능을 나타내고 있다. 표적 강도는 12등급의 색상으로 전시 부분에 공통적으로 적용되고, 중앙 상단에는 현재 마우스 포인터가 지시하는 깊이와 탐색된 해저면의 깊이를 나타낸다. 또한, 에코그램 전시 영역이나 체장 및 표적 강도 히스토그램 전시 영역에서는 마우스 포인터가 지시하는 부분에 각각 깊이와 체장 및 표적 강도가 문자로 표시된다. 표적 강도 및 체장 히스토그램 전시는 해당되는 표적의 강도 또는 체장

에 대하여 누적된 개체수를 전시할 수 있도록 제작되어 있다.



그림 5-3-1. 신호처리장치(신호 취득 및 제어장치)

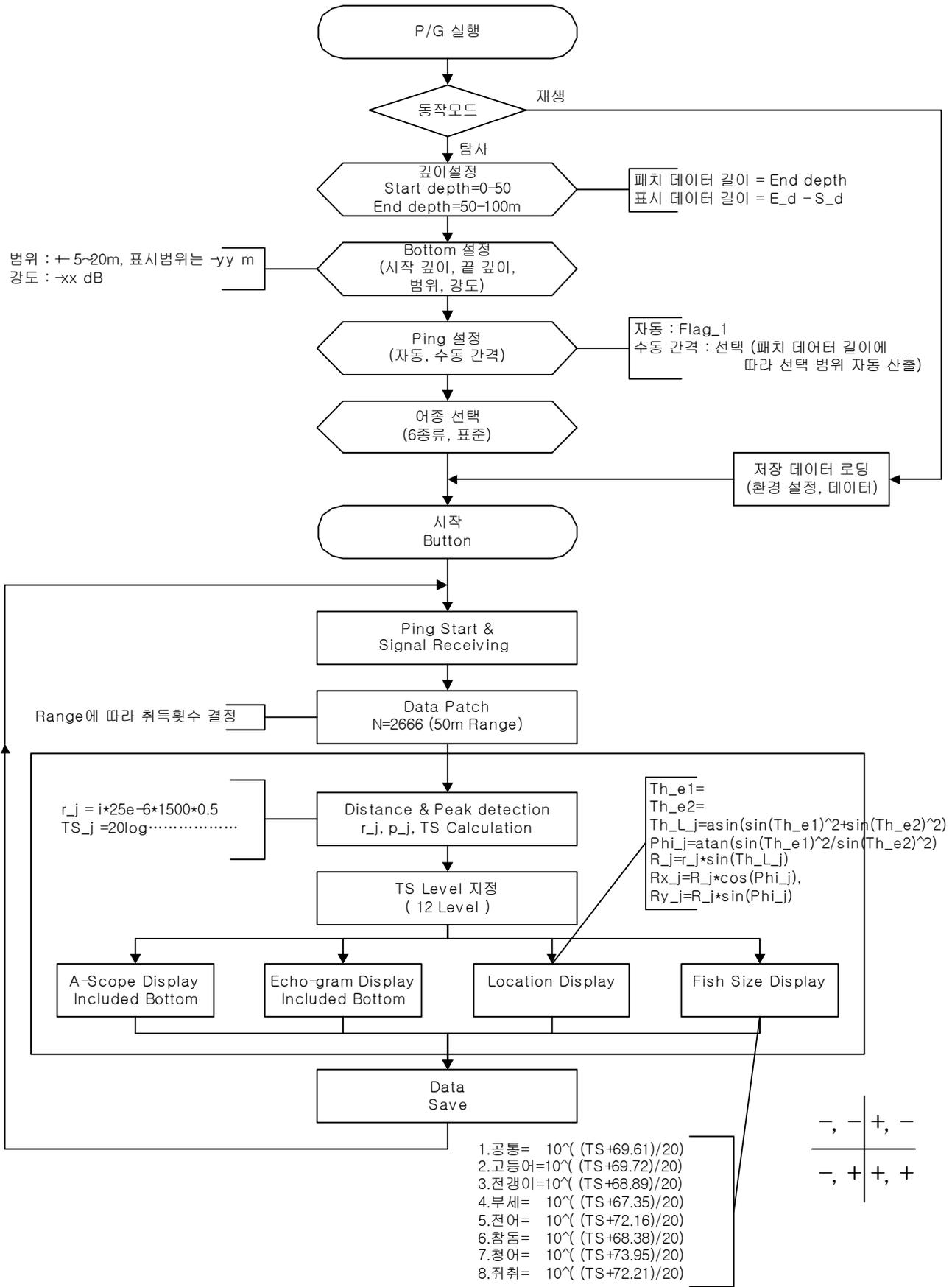


그림 5-3-2. 시스템 운용 및 화상처리 소프트웨어 흐름도

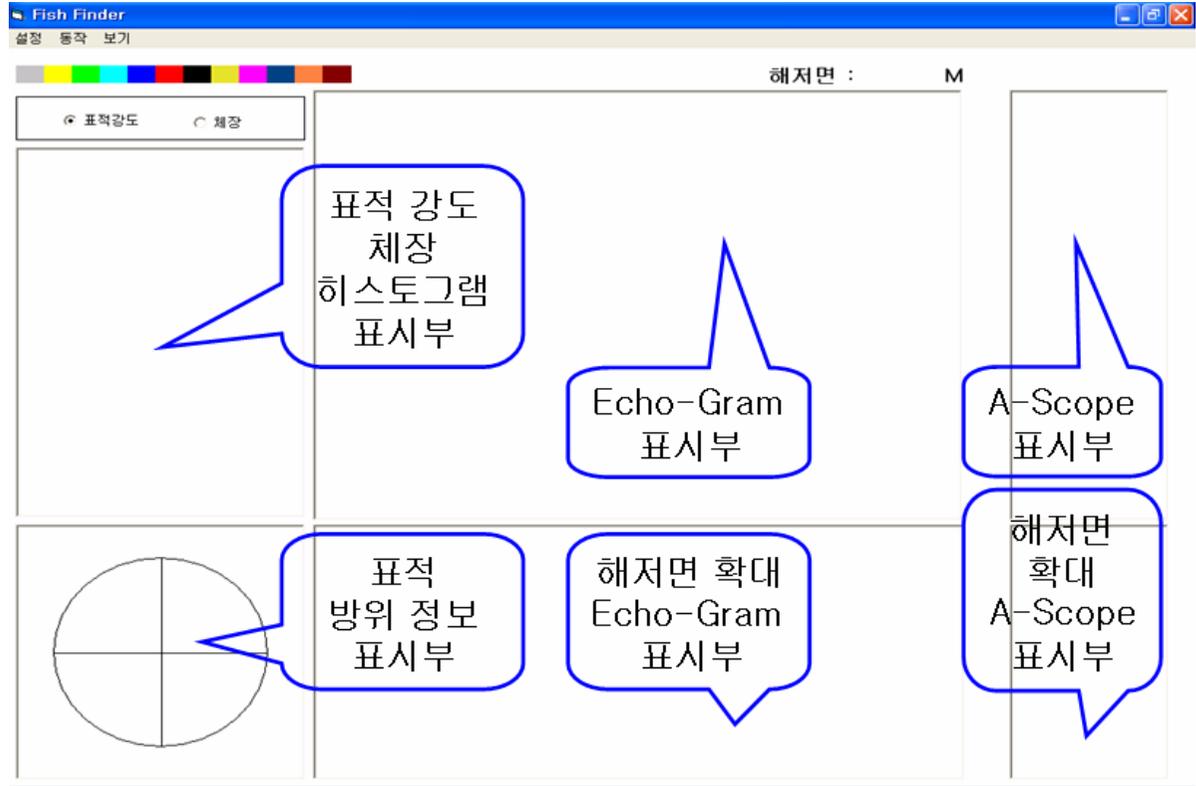


그림 5-3-3. 초기 화면

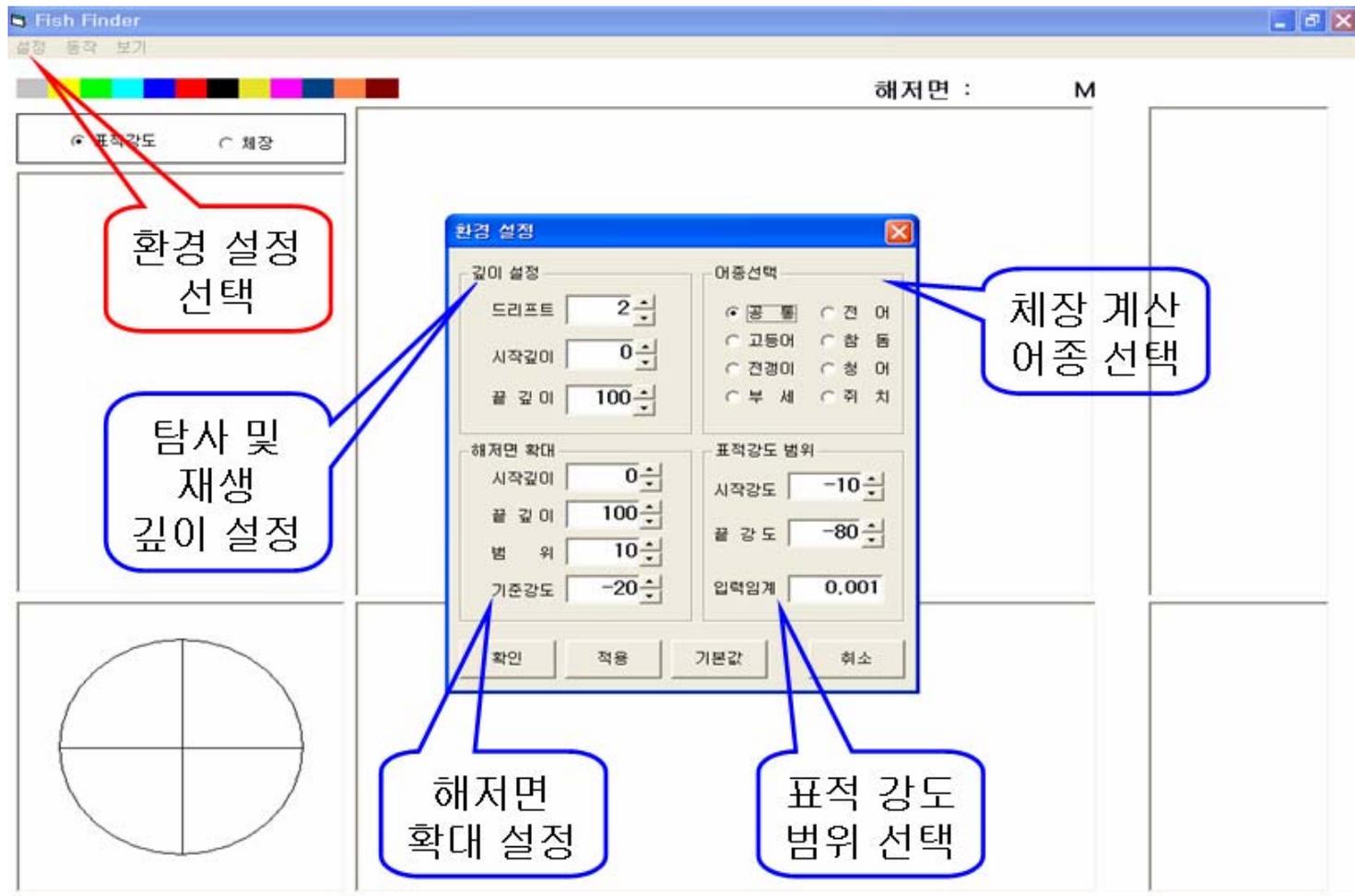


그림 5-3-4. 환경설정

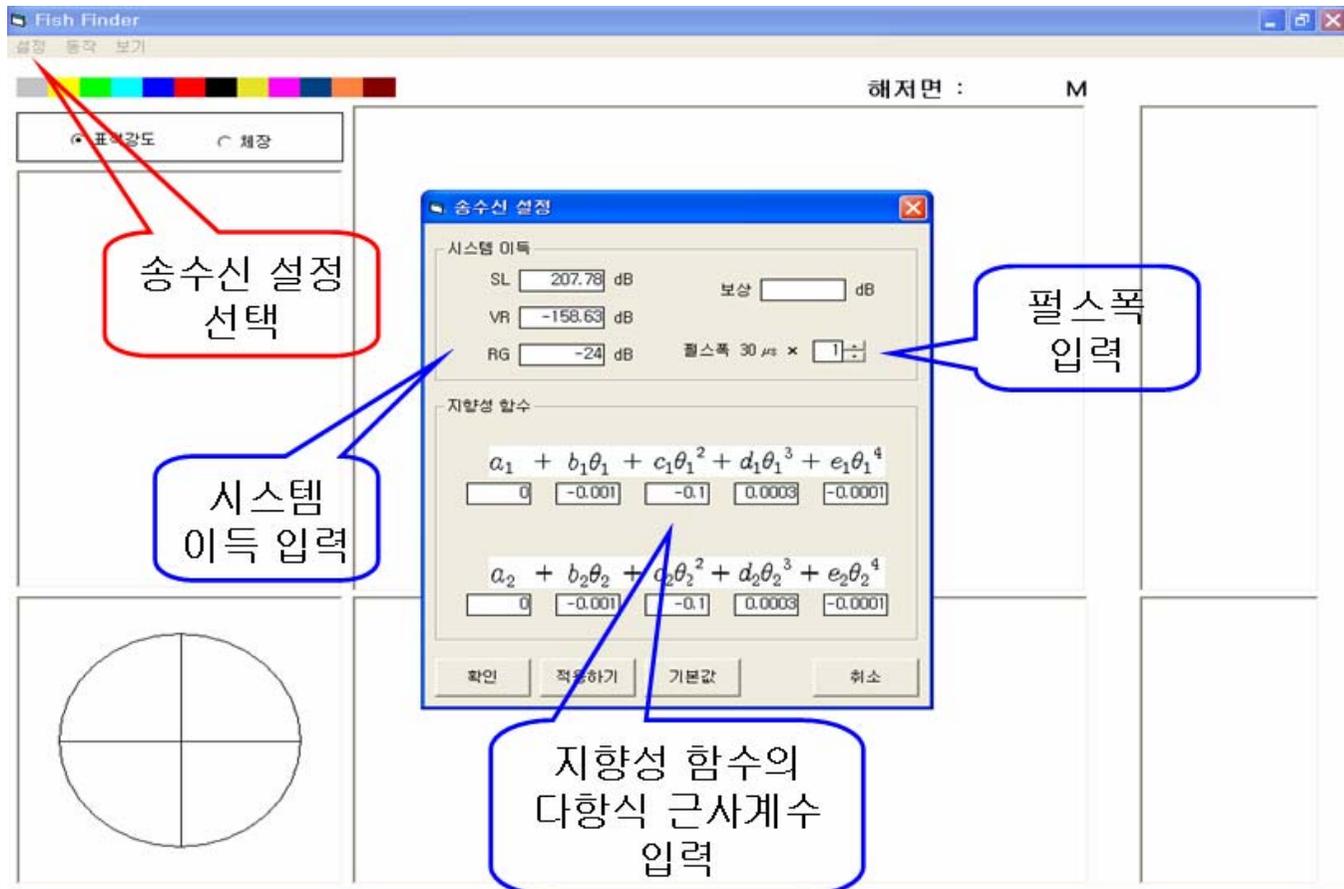


그림 5-3-5. 송수신 설정

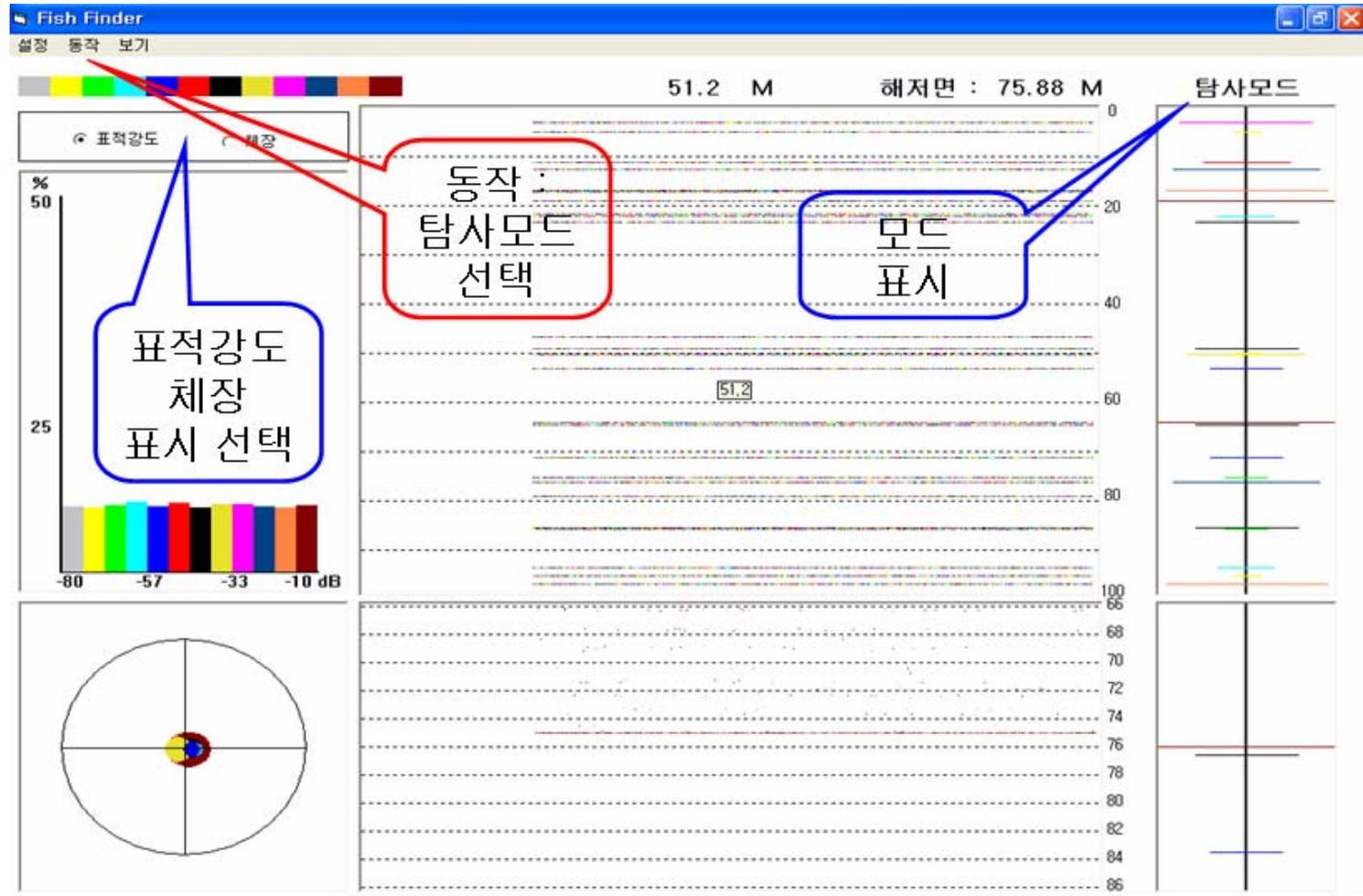


그림 5-3-6. 탐사모드

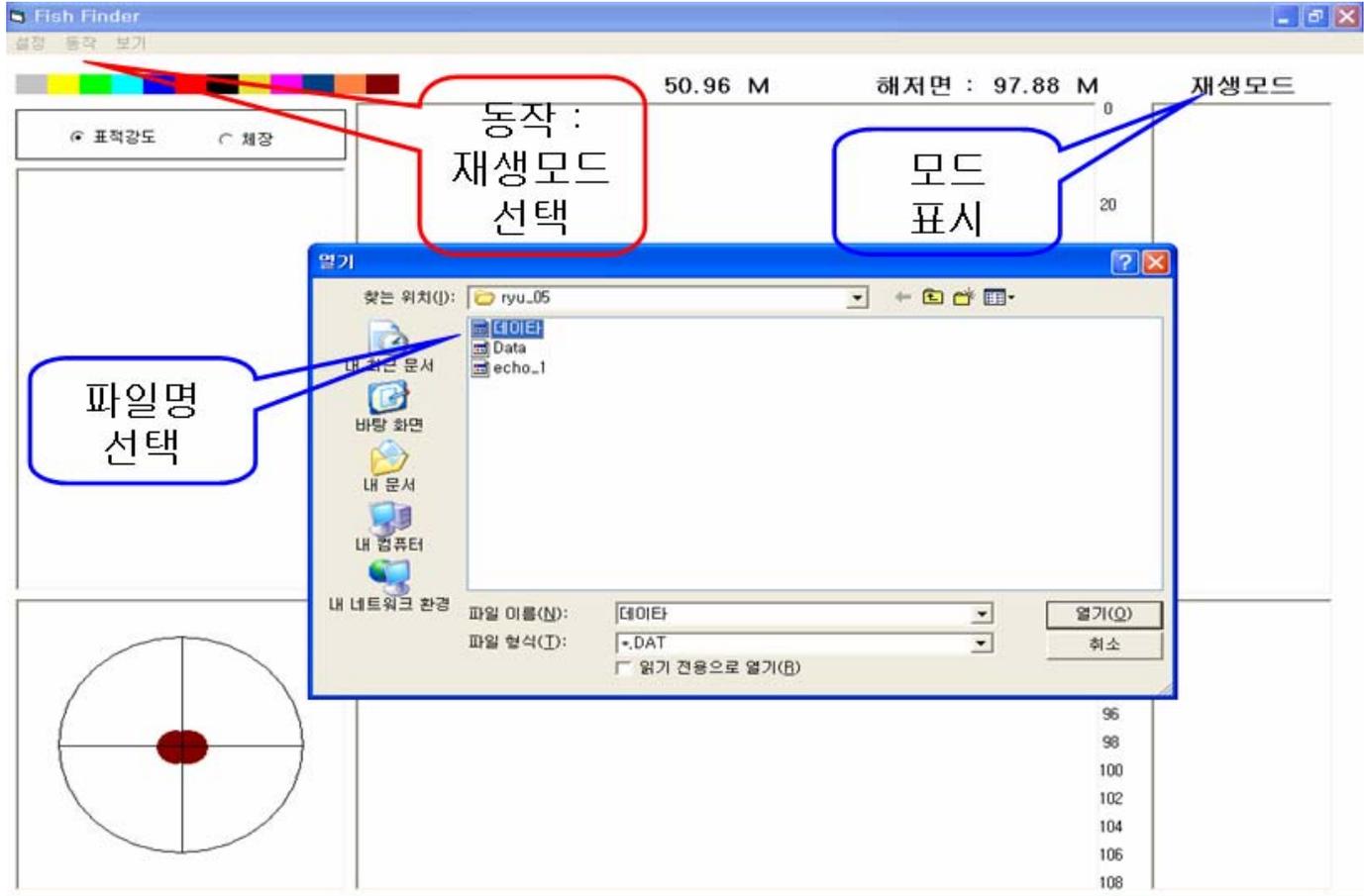
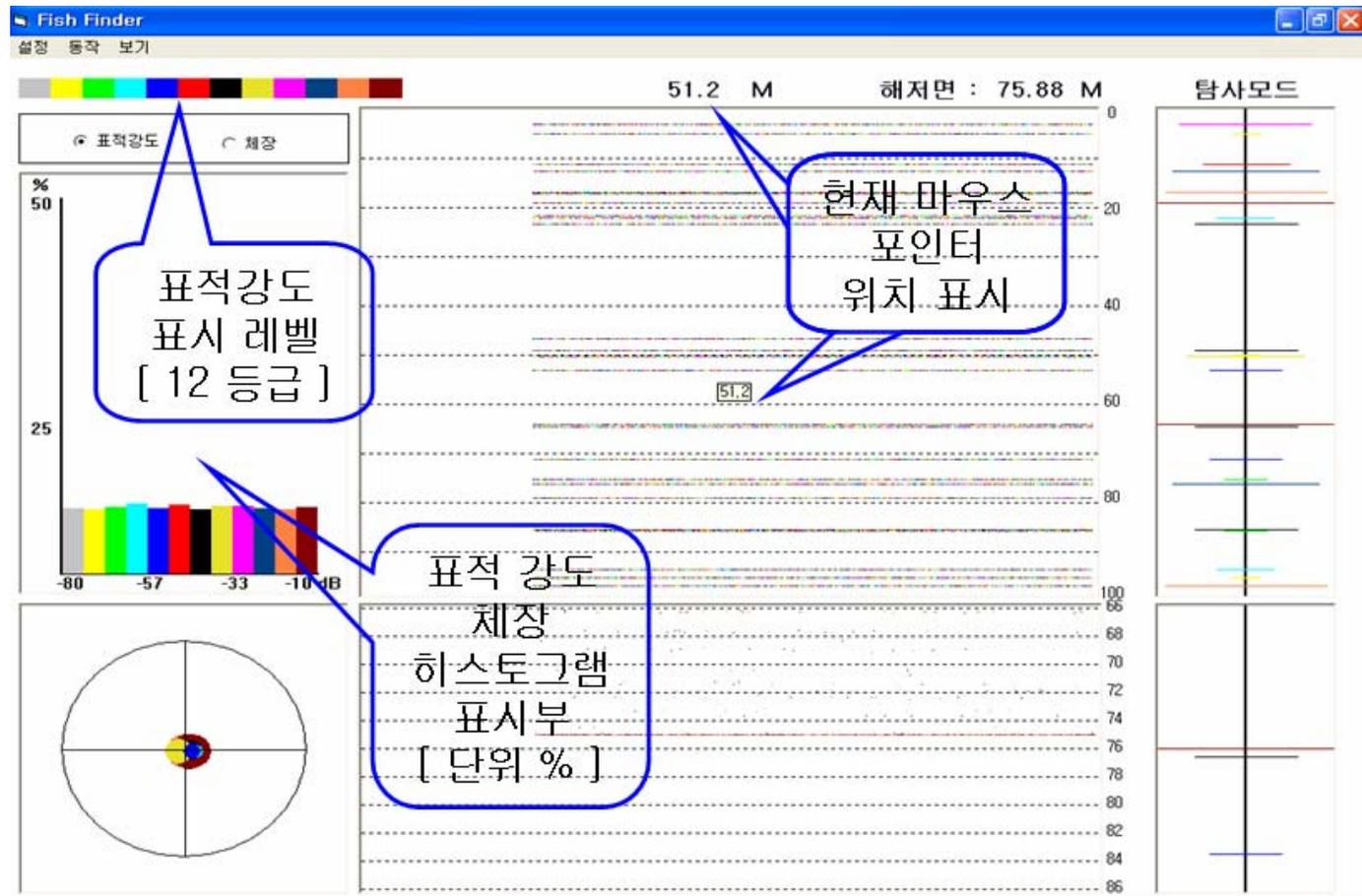


그림 5-3-7. 재생모드

그림 5-3-8. 상세 화면-1



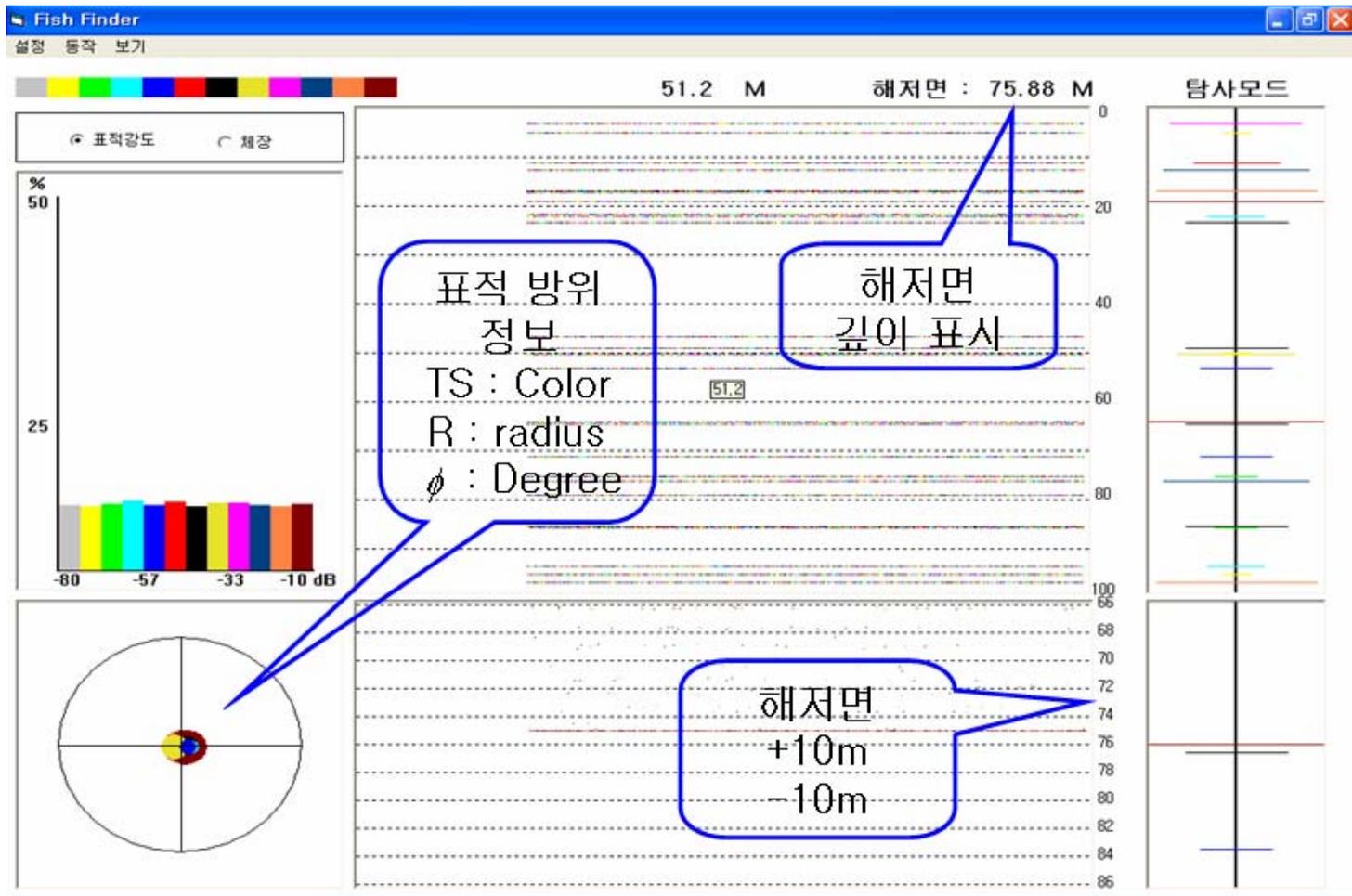


그림 5-3-9. 상세 설명-II

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연차별 연구개발 목표와 내용

1. 연구세부계획

가. 1년차

- (1) 제 1 세부과제 : 초음파 음향변환기 및 송수신장치 제작
 - element/window 제작
 - weighting transformer 설계
 - split beam transducer의 제작
 - transducer 특성평가
- (2) 제 2 세부과제 : 체장추정 알고리즘 및 반사강도의 데이터 베이스 개발
 - 어류의 체장추정 알고리즘 개발
 - 어종별 TS 측정
 - 어류 반사신호의 식별 알고리즘 개발
 - 어종별 어류 반사강도 데이터 베이스 개발
- (3) 제 3 세부과제 : DSP 및 정보표시장치의 개발
 - 방향검출 회로 설계

나. 2년차

- (1) 제 1 세부과제 : 초음파 음향변환기 및 송수신장치 제작
 - transducer평가
- (2) 제 2 세부과제 : 체장추정 알고리즘 및 반사강도의 데이터 베이스 개발
 - 어류의 체장 추정 알고리즘 개발
 - 어종별 어류의 반사 강도 정보 수록
 - 어류 반사신호의 식별 알고리즘 개발
 - 어종별 어류 반사강도 데이터 베이스 개발
- (3) 제 3 세부과제 : DSP 및 정보표시장치의 개발
 - echogram 처리회로 설계
 - 어류의 위치각 검출회로 설계

- monitor driver 설계
- 화상처리 software 개발
- DSP 설계(4채널)

다. 3년차

- (1) 제1 세부과제 : 초음파 음향변환기 및 송수신장치 제작
- (2) 제2 세부과제 : 체장추정 알고리즘 및 반사강도의 데이터 베이스 개발
- (3) 제3 세부과제 : DSP 및 정보표시장치의 개발

2. 연구 실적

가. 1년차

- (1) 제1 세부과제
 - element/window 설계S/W구축
 - weighting transducer 설계S/W
 - split beam transducer의 제작
 - transducer 특성평가S/W 구축
- (2) 제2 세부과제
 - 어류의 체장추정 알고리즘 개발
- (3) 제3 세부과제
 - 방향검출 회로 설계S/W

나. 2년차

- (1) 제1 세부과제
 - 센서의 배열기술확립
 - 국제학술지논문게재 : Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42 (2003)
Part 1, No. 5B, 30 May 2003, 3198-3199
- (2) 제2 세부과제
 - 어류의 체장 추정 알고리즘 개발
 - 어종별 어류의 반사 강도 데이터 베이스 구축
 - 어류 반사신호의 식별 알고리즘 개발

(3) 제3 세부과제

- echogram 처리회로 설계
- 어류의 위치각 검출회로 설계
- monitor driver설계
- 화상처리 software 개발
- DSP 설계(4채널)

다. 3년차

(1) 제1 세부과제

- transducer평가기술 확립

(2) 제2 세부과제

- 어종별 어류 반사강도 데이터 베이스 구축

(3) 제3 세부과제

- 어류의 위치각 검출회로 제작
- 화상처리 software 개발
- 체장어탐시스템 시작품제작
- 실용화실험

제 2 절 연구개발목표 및 평가의 착안점

1. 연구개발 목표

가. 년차별 개발 목표

(1) 1차년도

- 진동 element 제작
- 음향 window 제작
- weighting transducer 설계
- transceiver 설계(참여기업, 5채널)
- transducer 특성평가
- 방향검출회로 설계
- matching 회로설계(참여기업)
- split beam transducer의 제작
- 어류의 체장추정 알고리즘 개발
- 어종별 TS 측정
- 어류의 반사신호 식별 알고리즘 개발
- 어종별 반사강도 데이터 베이스 구축

(2) 2차년도

- 어류의 체장추정 알고리즘 개발
- 어종별 TS 측정
- 어류의 반사신호 식별 알고리즘 개발
- 어종별 반사강도 데이터 베이스 구축
- Echogram 처리회로 설계(참여기업)
- 어류방향각검출 DSP 설계(4채널)
- monitor driver 설계(참여기업)
- 화상처리 software 개발
- DSP의 설계
- transducer 교정
- 방향검출회로 보완

(3) 3차년도

- transducer 평가
- 화상처리 software 개발
- 체장어탐 시작품 제작(참여기업)
- 시스템의 완성 및 구동 평가
- 시스템의 어로현장 평가
- 시스템의 기능 보완
- 시스템의 성능평가서 작성
- 방향검출회로 제작

나. 세부과제별 개발 목표

- (1) 제 1 세부과제 : 초음파 음향변환기 및 송수신장치 제작
 - split beam transducer의 제작
 - transducer 특성평가
- (2) 제 2 세부과제 : 체장추정 알고리즘 및 반사강도의 데이터 베이스 개발
 - 어류의 체장추정 알고리즘 개발
 - 어종별 TS 측정
 - 어류 반사신호의 식별 알고리즘 개발
 - 어종별 어류 반사강도 데이터 베이스 개발
- (3) 제 3 세부과제 : DSP 및 정보표시장치의 개발
 - echogram 처리회로 설계
 - 어류의 위치각 검출회로 설계
 - monitor driver설계
 - 화상처리 software 개발
 - DSP 설계(4채널)

2. 평가의 착안점

- split beam transducer의 채용여부 및 성능
- split beam 방식 체장추정방식의 채택여부
- 전용 transceiver의 설계여부
- 어류 반사강도 측정정보확보여부

- 체장추정기법의 적정성
- 전용 DSP 설계 및 개발여부
- 어류의 반사강도 데이터베이스 확보여부
- 기존어탐과의 차이점의 명료성
- 조작 및 사용의 간편성
- 개발 시스템의 성능

제 3 절 연구개발 목표의 달성도

1. 연구개발 목표의 달성도

가. 1차년도

- 진동 element 제작 : 제작완료 100%
- 음향 window 제작 : 제작완료 100%
- weighting transducer 설계 : 설계완료 100%
- transceiver 설계(참여기업, 5채널) : 설계완료 100%
- transducer 특성평가 : 평가완료 100%
- 방향검출회로 설계 : 설계완료 100%
- matching 회로설계 : 설계완료 100%
- split beam transducer의 제작 : 제작완료 100%
- 어류의 체장추정 알고리즘 개발 : 개발완료 100%
- 어종별 TS 측정 : 측정완료 100%
- 어류의 반사신호 식별 알고리즘 개발 : 개발완료 100%
- 어종별 반사강도 데이터 베이스 구축 : 개발완료 100%

나. 2차년도

- 어류의 체장추정 알고리즘 개발 : 개발완료 100%
- 어종별 TS 측정 : 측정완료 100%
- 어류의 반사신호 식별 알고리즘 개발 : 개발완료 100%
- 어종별 반사강도 데이터 베이스 구축 : 개발완료 100%
- Echogram 처리회로 설계(참여기업) : 설계완료 100%
- 어류방향각검출 DSP 설계(4채널) : 설계완료 100%
- monitor driver 설계(참여기업) : 설계완료 100%
- 화상처리 software 개발 : 개발완료 100%
- DSP의 설계 : 설계완료 100%
- transducer 교정 : 교정완료 100%
- 방향검출회로 보완(참여기업) : 보완완료 100%

다. 3차년도

- transducer 평가 : 평가완료 100%
- 화상처리 software 개발 : 개발완료 100%
- 체장어탐 시작품 제작(참여기업) : 제작완료 100%

2. 상기 평가의 착안점에 따른 달성도에 대한 자체평가

- split beam transducer의 채용여부 및 성능 : split beam transducer의 성능평가 결과 dual beam transducer 등 다른 방식에 비해 월등한 성능을 확인하였음. 충분
- split beam 방식 체장추정방식의 채택여부 : 우수함 충분
- 전용 transceiver의 설계여부(참여기업) : 안정성등의 문제로 수정보완중 양호
- 어류 반사강도 측정정보확보여부 : 다수의 어종을 대상으로 확보하였음. 충분
- 체장추정기법의 적정성: A/D 변환보드를 사용한 신호처리 기법으로 체장의 추정이 가능함을 확인 하였음. 충분
- 전용 DSP 설계 및 개발여부 : 전용 A/D 보드를 제작 그에 따른 S/W를 개발하여 시험평가에 성공하였으며 알고리즘의 안정성을 검토하였다. 충분
- 어류의 반사강도 데이터베이스 확보여부 : 해수전용의 수조를 준비하여 각 어종별 TS를 측정하여 데이터 베이스를 구축하였고 그에따른 함수를 도출하였다. 충분
- 기존어탐과의 차이점의 명료성 : 국내의 다른 기존어탐과는 근본적인 차이가 있음. 충분
- 조작 및 사용의 간편성 : 조작 및 사용이 간편함 충분
- 개발 시스템의 성능 : 충분한 성능 확인 충분

제 4 절 계획대비 진도표

계획
 진도

개발내용	구 분	연구 개발 기간(1차 년도)												진도(%)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
제 1 세부과제 : 초음파 음향변환기 및 송수신장치 제작															
- element/window 제작															100
- weighting transducer 설계															100
- matching 회로설계(참여기업)															100
- split beam transducer의 제작															100
- transducer 특성평가															100
제 2 세부과제 : 체장추정 알고리즘 및 반사강도의 데이터 베이스 개발															
- 어류의 체장추정 알고리즘 개발															100
- 어종별 TS 측정															100
- 어류 반사신호의 식별 알고리즘 개발															100
- 어종별 반사강도 데이터 베이스 개발															100
제 3 세부과제 : DSP 및 정보표시 장치의 개발															
- 방향검출 회로 설계															100
- transceiver 설계(참여기업)															100
총진도율		5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100		

개발내용	구분	연구 개발 기간(1차년도)												진도(%)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
제 1 세부과제 : 초음파 음향변환기 및 송수신장치 제작															
- transducer 특성평가															100
제 2 세부과제 : 체장추정 알고리즘 및 반사강도의 데이터 베이스 개발															
- 어류의 체장추정 알고리즘 개발															100
- 어종별 TS 측정															100
- 어류 반사신호의 식별 알고리즘 개발															100
- 어종별 반사강도 데이터 베이스 개발															100
제 3 세부과제 : DSP 및 정보표시 장치의 개발															
- 방향검출 회로 설계															100
- transceiver 교정(참여기업)															100
총진도율		5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100		

개발내용	구분	연구 개발 기간(1차년도)												진도(%)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
제 1 세부과제 : 초음파 음향변환기 및 송수신장치 제작															
- transducer 특성평가															100
제 2 세부과제 : 체장추정 알고리즘 및 반사강도의 데이터 베이스 개발															
- 어류의 체장추정 알고리즘 개발															100
- 어종별 TS 측정															100
- 어류 반사신호의 식별 알고리즘 개발															100
- 어종별 반사강도 데이터 베이스 개발															100
제 3 세부과제 : DSP 및 정보표시 장치의 개발															
- echogram 처리회로 설계 (참여기업)															100
- 어류의 위치각 검출회로 설계															100
- monitor driver설계 (참여기업)															100
- 화상처리 software 개발															100
총진도율		5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100		

제 5 절 관련 분야의 기술발전

1. 기술적 측면

- 가) split beam transducer의 설계 및 제작기술을 확보할 수 있어 현재 수입에 전적으로 의존하고 있는 어군탐지장치용 초음파 진동자의 국산화에 크게 이바지할 것임.
- 나) 어로현장에서 어류의 체장정보를 실시간으로 파악할 수 있어 어법의 과학화에 크게 기여할 것으로 판단됨.
- 다) 지금까지 수입에 전적으로 의존하던 체장어군탐지장치를 국산화할 수 있어 국내 어업 기자재 산업의 활성화에 크게 이바지할 것임.
- 라) 국산 어군탐사장비의 기술기반을 향상시킬 수 있어 각종 초음파 어로장치의 시스템 개선에 크게 이바지할 것으로 판단됨.
- 마) 현재 우리나라 연근해 어선에 보급되고 있는 어군탐지장치의 대부분은 수입에 의존하고 있는 형편이나, 본 연구개발에서 지향하는 체장어군탐지장치가 성공적으로 개발되면 각종 어군탐지장치에 대한 기술수준을 고도화시킬 수 있어 침체의 늪에 빠져있는 우리나라 어업기자재 산업의 발전에 크게 이바지할 것으로 판단됨.
- 사) 본 연구개발기술을 활용하면 다른 저가형 어군탐지장치의 개발이 가능하여 관련산업 기술에의 파급효과가 클 것으로 판단됨.

2. 경제 · 산업적 측면

- 가) 선택적 어획을 위한 어업정보를 어업자가 직접 해상에서 실시간적으로 수집, 분석할 수 있기 때문에 향후 선택적 어획기술의 정착 및 어업자원의 자원보호에 크게 이바지할 것임.
- 나) 저가형 체장어군탐지장치의 보급에 따른 어민의 어업경비의 절감에 크게 이바지할 것임.
- 다) 저가형 체장어군탐지장치의 보급에 의해 TAC 제도의 시행을 위한 법적, 사회적 기반이 원활하게 조성될 것으로 기대됨,
- 라) 현재 시판되는 체장어군탐지장치(노르웨이)의 공급가격은 35,000,000원 수준이지만, 국산화시킬 경우, 공급가격을 절반 이하로 낮출 수 있기 때문에 어민의 어업경비절감은 물론 수입대체의 효과와 더불어 향후 세계 각국이 TAC 제도의 시행을 앞두고 있어 과거와 같이 해외시장의 개척을 성공적으로 이룩한다면 수출에 대한 부가효과 역시 기대되므로 국내외적인 경제성이 매우 높다고 판단됨.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구가 성공적으로 수행되면, ①split beam transducer의 설계 및 제작기술을 확보할 수 있어 현재 수입에 전적으로 의존하고 있는 어군탐지장치용 초음파 진동자의 국산화에 크게 이바지할 것임. ②어로현장에서 어류의 체장정보를 실시간으로 파악할 수 있어 어법의 과학화에 크게 기여할 것으로 판단됨. ③지금까지 수입에 전적으로 의존하던 체장어군탐지장치를 국산화할 수 있어 국내 어업기자재 산업의 활성화에 크게 이바지할 것임. ④본 연구개발기술을 활용하면 다른 저가형 어군탐지장치의 개발이 가능하여 관련산업기술에의 파급효과가 클 것으로 판단됨. ⑤저가형 체장어군탐지장치의 보급에 의해 TAC 제도의 시행을 위한 법적, 사회적 기반이 원활하게 조성될 것으로 기대됨.

가) 향후 연근해 해역에서 조업하는 모든 업종에 대해 중요 어종을 대상으로 TAC 제도를 시행하는 경우, 어업자는 자기가 할당받은 어획량을 어획하는 과정에서 그들이 희망하는 체장보다 작은 소형의 어류가 어획될 때에는 어획물을 그대로 바다에 폐기 해 버릴 우려가 있기 때문에 어로현장에서 체장어군탐지장치에 의해 수집한 어류의 체장정보를 토대로 대상 어류(어군)을 선별하여 선택적으로 어획하는 데 활용케 함으로서 자원관리형어업의 기반을 조성하는데 기여하고자함.

나) 근해 어선어업에 대해서는 선택적 어획을 위한 어업정보를 어로현장에서 실시간으로 제공하여 부가가치가 높은 대형 어류를 선별하여 어획하게 함으로서 어획능률의 향상과 조업의 효율화를 꾀하게 함.

다) 현재 외국에서 수입되는 체장어군탐지장치는 우선 가격이 비싸고, 모든 정보를 개발국의 어업자 및 어장환경을 기준으로 제공하고 있어 우리 연근해 소형어선의 어업자에게는 기술적인 내용에 대한 이해가 매우 어려운 문제가 있음. 따라서, 우리 어업자의 정서에 부각되는 체장어군탐지장치를 개발하여 저가에 공급함으로서 어민의 어가소득 증대와 어업경비를 절감시키는 데 활용하게 함.

라) 향후 선택적 어업의 제도적 기반이 조성되는 시점에서는 어업자가 무분별하게 고가의 외국산 체장어탐시스템을 도입할 우려가 있다고 전망되기 때문에 기업(삼영 ENC)과 공동으로 체장어탐시스템을 국산화하여 저가에 공급함으로서 연근해 어업경영기반의 안정성을 꾀하고자 함.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. M. A. Chramiec and J. T. Kroenert, "A sonar for smaller ships", IEEE 1978.
2. R. E. Francois and G. R. Garrison, " Sound absorption based on ocean measurements. Part II: Boric acid contribution and equation for total absorption", J. Acoust. Soc. Am. 72(6), 1982.
3. 古澤昌彦, "水産資源の音響調査手法:計測方法計量魚群探知機", 海洋音響學會誌22卷第3號、1995.
4. J. H. Churnside, "A comparison of airborne LIDAR and echo sounder performance in fisheries", J. Marine Acoust. Soc. Jpn. Vol.28 No.3, 2001.
5. Masahiko Furusawa, "Designing quantitative echo sounders", J. Acoust. Soc. Am 90(1), 1991.
6. J. E. Ehrenberg, "Evaluation of a split beam transducer system for acoustic target strength measurement", research report. 1983.
7. J. J. Traynor and J. E. Ehrenberg, "Fish and standard sphere target strength measurements obtained with a split beam-dual beam system",
8. E. H. Hsieh, "A split beam target strength processor", Thesis of Master, 1986.
9. K. Sawada, "Study on the precise estimation of the target strength of fish", Thesis of doctor, Bull. Fish. Res. Agen.. No.2, 2002.

제 7 장 참고문헌

- 1) 김장근 (1988) : 알류산 해분의 하계명태자원의 풍도추정에 관한 연구, 부경대학교 대학원 박사학위 논문, 45-63.
- 2) 최석관 (2001) : Artificial neural network을 이용한 명태어장의 어군밀도 평가에 관한 기초적 연구, 부경대학교 대학원 박사학위논문, 32-49.
- 3) 이대재 (2002) : 1997년 춘계의 동중국해 및 황해에 대한 어군의 분포특성, 한국어업기술학회지 38(3), 241-248.
- 4) 이대재, 김진건, 신형호 (1998) : 한국 남해안의 잠재어업자원 조사연구, -저층트롤 어획물의 생물학적 조성-, 한국어업기술학회지 34(3), 241-258.
- 5) 이대재, 김진건, 신형호 (1998) : 한국 남해안의 잠재어업자원 조사연구, -어업생물자원의 음향학적 조사-, 한국어업기술학회지 34(3), 259-273.
- 6) 이대재, 이원우 (1996) : 제주도 동남해역의 저서어업자원 조사연구, -음향에 의한 어업생물의 분포 밀도 추정-, 한국어업기술학회지 32(3), 266-272.
- 7) 이대재, 신형일 (2001) : 어체 크기의 자동식별을 위한 split beam 음향변환기의 개발, 한국어업기술학회지 37(3), 196-213.
- 8) 이대재 (1999) : 어업계측공학, -이론과 실제-, 태화출판사, 180-215.
- 9) Love, R. H. (1971) : Measurements of fish target strength : a review, Fish. Bull. 69(4), 703-715.
- 10) Foote, K. G. (1980) : Averaging of fish target strength functions, J. Acoust. Soc. Am. 67(2), 504-515.
- 11) 宮野鼻洋一, 石井 憲, 古澤昌彦 (1986) : 魚體のターゲットストレンスの平均方法の検討, 水産工學研究所研究報告 7, 87-96.
- 12) 向井 撤, 佐野典達, 飯田浩二, 佐々木成二 (1994) : 東シナ海で漁獲された魚の背方向ターゲットストレン스와 鰾との關係, 日本水産學會誌 60(2), 215-222.
- 13) Murphy, B. M. and Willis, D. W. (1996) : Fisheries Techniques, American Fisheries

Society, Maryland, USA, 410-412.

- 14) Gallucci, V. F., Sails, S. B., Gustafson, D. J. and Rothschild, B. J. (1996) : Stock Assessment-Quantitative methods and application for small-scale fisheries-, Lewis Publishers, New York, 284-287.
- 15) 이대재(1999) : 어업계측공학, 태화출판사, 180-215.
- 16) 이대재(2000) : 선택적 어획을 위한 어군탐지기술 개발전망, 21C 어업자원관리 및 어업기술 산·학·연 심포지움, 해양수산부, 10-127.
- 17) Dae-Jae LEE and Kyoung-Hoon LEE(2000) : Underwater Radiation Characteristics of a Split Beam Acoustic Transducer, International Symp. on Advanced Tech. of Sampling Gear and Acoust. Surveys for Estimation of Fish Abundance and Behavior. PICES 9th Annual Meeting, P28.
- 18) SIMRAD(2000) : ES 60 instruction manual.
- 19) KAIJO(2000) : KFC-3000 計量魚群探知機 仕様書.
- 20) HTI(1997) : HTI model 241 split beam echo sounder manuals.
- 21) Biosonics(2000) : DT 6000 split beam echo sounder manuals.
- 22) 上田陸 “신호처리를 목적으로한 고속 연산장치에 관한 연구” TMS 320F243/F241/ C242 DSP controllers reference guide.
- 23) Texas Instruments inc.(2000) : DSP manuals.
- 24) 日野幹雄佳(1986) : 스펙트럼해석, 朝倉, 25-82.
- 25) H.V.Sorensen, D.L.Jones, M.T.Heideman and C.S.Burrus(1987) : Real Valued fast Fourier transform algorism”, IEEE, Trans, Acoust, Speech, and Signal processing, Vol, Assp-35, No.6, PP 849~864.
- 26) 국제 테크노 정보 연구소(1999) : 디지털 신호처리의 기초와 DSP 응용실무, 548.
- 27) Texas Instruments Inc.(1998) : TMS320c54x data sheet.
- 28) 瀬谷啓介(1996) : DSP プログラミング入門, 日刊工業新聞社, 549.

29) L.Tech Instrument(2000) : 초고속 High Speed A/D 보드 manual.

30) 세일(2000) : DSP TMS329 CSX DSP(S) manual.

주 의

1. 이 보고서는 해양수산부에서 시행한 수산특정연구개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 해양수산부에서 시행한 수산특정연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.

[별지 제8호서식]

최 종 보 고 서

2001 년도 수산특정연구개발사업에 의하여 완료한 선택적 어획을 위한 어군탐사 시스템 개발에 관한 연구의 최종보고를 붙임과 같이 제출합니다.

- 첨부 : 1. 최종보고서 8부
2. 최종보고서 디스켓 1매
* 최종보고서 파일은 인터넷(<http://rptf.kmi.re.kr>)으로 제출

2004년 11월 일

총괄연구책임자 김 천 덕 (인)

주관연구기관장 (직인)

해 양 수 산 부 장 관 귀 하

(뒷면)

(앞면)

<div data-bbox="183 1310 438 1400" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p style="text-align: center;">주의 (편집순서 8)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>↑ (15포인트 고딕계열) ↑ 6cm ↓</p> </div>	<p>수 산 물 수 급 에 관 한 연 구</p> <p>해 양 수 산 부 ↑ 3cm ↓</p>	<div style="text-align: center; margin-bottom: 20px;"> <p>↑ 5cm ↓</p> </div> <p>수산물 수급에 관한 연구(18포인트 고딕계열) (중점과제명) A Supply-Demand Analysis on Fisheries Products</p> <p>수산물 수요추정 (세부과제명) (17포인트 고딕계열) A Demand Analysis …………… (15포인트 명조계열)</p> <p style="text-align: center;">2000. 12 (16포인트 고딕계열)</p> <p style="text-align: center;">○○○○연구소(주관, 협동연구기관명) (17포인트 명조계열)</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>↓ 9cm ↑</p> </div> <p style="text-align: center;">해 양 수 산 부(17포인트 명조계열)</p> <div style="text-align: center;"> <p>↓ 4cm ↑</p> </div>
---	--	---

본문작성요령

1. 본문의 순서는 장, 절, 1, 가, (1), (가), ①, ㉠, 등으로 하고,
 - 장은 17 포인트 고딕계열
 - 절은 15 포인트 명조계열
 - 본문은 11 포인트 명조계열로 한다. 단, 본문의 내용 중 중요부문은 고딕계열을 사용할 수 있다.
2. 장은 원칙적으로 페이지를 바꾸어 시작한다.
3. 본문은 11 포인트 횡으로 작성한다.
4. 페이지 번호는 하단 중앙 끝에 11 포인트로 한다.
5. 각주는 해당 페이지 하단에 8포인트 활자로 표기하며, 본문과 구분토록 한다.
6. 페이지 수는 편집순서 2의 제출문부터 시작한다.
 - 단, 삽입물이 있을 때는 그 삽입물의 크기에 불문하고 1면을 한 페이지로 하여 일련 번호를 붙인다.
7. 한글, 한문, 영문을 혼용한다.
8. 뒷면지에 주의문을 넣는다.
9. 참고문헌(reference) 인용의 경우 본문 중에 사용처를 반드시 표시한다.

[부 표]

인 쇄 내 용

I. 인쇄규격

1. 크 기 : A₄ 용지
2. 제 본 : 좌철
3. 용 지 : ○ 표지 200 g/m. 양면 아트지
○ 내용 80 g/m. 모조지
4. 인쇄방식 :
 - 1) 표지 : 바탕 백색, 활자 흑색
 - 2) 내용 : 흑색 지정활자로 인쇄한다

II. 편집순서

1. 표 지
2. 제출문
3. 요약문
4. Summary
5. Contents
6. 목 차
7. 본 문
8. 연구결과활용계획
9. 뒷면지

III. 참고사항

- 전자조판 인쇄시에는 이 요령에 준한다.