18TBIP
-C1129
27-03

외래어종 침입과 수공구조물 주변 어류폐사 방지를 위한 ICT기반 어류유인 및 차단 시스템 개발 최종보고서

2018

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )

국토교통기술사업화지원사업 제3차연도 최종보고서

외래어종 침입과 수공구조물 주변 어류폐사 방지를 위한 ICT기반 어류유인 및 차단 시스템 개발 최종보고서

2019. 03. 25.

주관연구기관 / 주식회사 자연과기술

공동연구기관 / 한국건설기술연구원

㈜프라임음향

국 토 교 통 부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘외래어종 침입과 수공구조물 주변 어류폐사 방지를 위한 ICT기반 어류유인 및 차단 시스템 개발’(연구개발 기간 : 2016. 04. 27 ~ 2018. 12. 26) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2019. 03. 25.

주관연구기관명 : 주식회사 자연과기술 (대표자) (인)

공동연구기관명 : 한국건설기술연구원 (대표자) (인)

㈜프라임음향 (대표자)

주관연구기관책임자: 김종태
공동연구기관책임자: 정상화, 최기정

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>18TBIP-
C112927-03</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>2018-01-01 ~
2018-12-26</td><td>단계구분</td><td>3/3</td></tr>
<tr><td>연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통기술사업화지원사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">외래어종 침입과 수공구조물 주변 어류폐사 방지를 위한 ICT기반 어류유인 및 차단 시스템 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">외래어종 침입과 수공구조물 주변 어류폐사 방지를 위한 ICT기반 어류유인 및 차단 시스템 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">김종태</td><td>해당단계
참여
연구원 수</td><td>총: 13명
내부: 1명
외부: 12명</td><td>해당단계
연구개발비</td><td>정부:310,000천원
기업:214,400천원
정부 외: 천원
계:524,400 천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여
연구원 수</td><td>총: 15명
내부: 1명
외부: 14명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부:949,000천원
기업:643,200천원
정부 외: 천원
계:1,592,200천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="3">주식회사 자연과기술
기업부설연구소</td><td colspan="2">참여기업명 주식회사 자연과기술
㈜프라임음향</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약
▪ ICT 기반의 어류 유인/차단 시스템 개발
▪ 실험실증을 통한 원천기술(음원/광원) 확보
▪ 어류 반응 및 거동 실험 시스템 구축
▪ 개발제품의 현장적용을 통한 사업화</td><td colspan="2">보고서 면수</td></tr>
</table>

국문 요약문

연구의 목적 및 내용	▪ ICT 기반(수리수문, 생태, 음향, IoT, 영상처리 분야 융합)의 어류 차단시스템 개발 및 사업화 ▪ 어류 반응 실험을 통한 원천기술 확보 및 한계반응 요소기술 개발 ▪ 수공구조물 주변 음향 반응 수치해석 기법 개발				
연구개발성과	▪ 제품의 현장적용을 통한 사업화 ▪ ICT 기반의 어류 차단 시스템 ▪ 실험실증을 통한 원천기술(음원/광원) 확보 ▪ 음향-수리 연계 수치해석 기법 ▪ 어류 반응 및 거동 실험 시스템 구축				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	▪ 발전시설의 취수구 및 방수구에 대한 어류 유입 문제 해결을 위해 활용 가능 ▪ 어도, 보 등 수공구조물을 활용한 어류 유인 및 차단 ▪ 양식장 및 어업활동에 어류 차단/유인 시설 활용 ▪ 관련 융합 기술에 대한 중소기업 기술 지원 및 공동연구에 활용 ▪ 소형화 및 경량화에 대한 기술 공유 ▪ 어류서식처 및 하천 환경 분야 사업화 추진 ▪ 융ㆍ복합 기술을 활용한 어류 보전 ▪ 스마트기능 탑재 시스템 개발				
핵심어 (5개 이내)	소리	수중음향 발생기	어류유인 시스템	어류차단 시스템	정보통신기술

SUMMARY

Purpose & Contents	■ Development and commercialization of ICT-based fish attraction and blocking system ■ Fundamental technology secure and elementary technology through fish reaction experiment ■ Development of numerical analysis technique for acoustic reaction around hydraulic structure ■ Development and commercialization of fish attracting and blocking system ■ Development of fundamental technology secure and elementary technology ■ Manufacture of underwater sound generator and improvement of the performance ■ Numerical analysis of fish habitat and surrounding structures				
Results	■ Commercialization of product through field application ■ ICT-based fish attraction and blocking system ■ Obtain fundamental technology through laboratory demonstration ■ Linked Numerical analysis method ■ Construction of Fish reaction and behavior experiment				
Expected Contribution	■ Utilize to solve the problem of fish inflow to water hole ■ Fish attract and block using artificial structures ■ Use os fish screening/attraction facilities for farm ■ Sharing technology for miniaturization ■ Promotion of fish habitat and stream environment business ■ Fish conservation using convergence technology ■ Development of system with smart function				
Keywords	Sound	Underwater Sound Generator	Fish Reading System	Fish Barrier System	ICT (Information and Communications Technologies)

〈 목 차 〉

제 1장 연구개발과제의 개요 ····· 01

제 2장 국내외 기술 개발 현황 ····· 05

제 3장 연구 수행 내용 및 성과 ····· 22

제 4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 88

제 5장 연구개발성과의 활용 계획 ····· 90

제 6장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 92

제 7장 연구개발성과의 보안등급 ····· 93

제 8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ····· 94

제 9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 95

제 10장 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 96

제 11장 기타 사항 ····· 97

제 12장 참고 문헌 ····· 98

제 1장 연구개발과제의 개요

제 1절 연구개발 개요

1. 연구배경

외래어종 침입과 수공구조물 어류 폐사에 대한 문제가 전 세계적으로 증가하고 있으며 국내·외 관련 법률 및 규정이 개정되면서 어류보호에 대한 관심도 증가하고 있다. 그러나 어류서식처 유지 등 환경을 고려한 어류관리 방법은 전무하다. 특히 생물종 감소, 외래종 침입 및 생태계 단절 등으로 인한 환경문제가 심각하므로 어류보존을 위한 어류차단기술 개발 및 기술적용 산업화 도입은 반드시 필요하다.

기존의 직접적인 차단 구조물(철망 등)은 어류가 구조물에 걸려 폐사하게 되는 원인이 되므로, 어류의 감각을 자극함으로써 어류의 능동적인 행동을 유발하여 어류의 이동 경로를 우회시키거나 어류를 퇴치시키는 기술이 필요하다. 소리를 이용한 어류 유인 및 차단 기술은 하천, 해안 등에 설치되는 에너지 공급을 위한 시설의 취수구로 어류가 이동하는 것을 제한하여 어류를 보호하고 관리할 수 있는 기술이다.

그림 1.1.1 외래어종 생태계 교란(MBC 뉴스데스크, 2014.6)

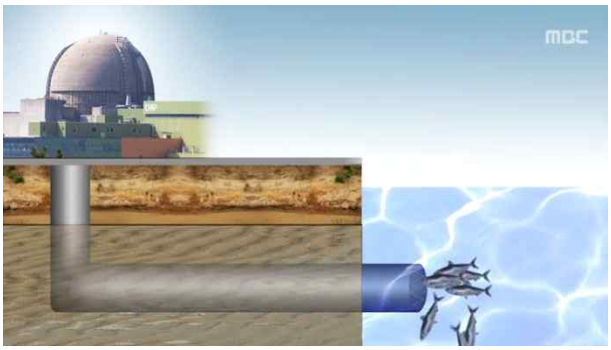


그림 1.1.2 발전소 취수구 어류폐사(MBC 뉴스데스크, 2014.11)

그림 1.1.3 외래어종 침입 확산(SBS 8시 뉴스, 2014.10)

그림 1.1.4 회귀성 어류 폐사(MBC 뉴스데스크, 2013.4)

2. 연구필요성

외래어종 침입에 의한 하천생태계 파괴 문제는 지속적으로 제시되고 있으나 현실적인 대책 및 해결책이 없는 실정이다. 또한 기존 어류차단 기술은 대부분 직접차단시설(그물, 메쉬 등)을 이용하기 때문에 수류에 의한 끼임 현상 등으로 어류폐사 및 구조물 안정성 등에 문제가 발생한다. 따라서 소리 등 간접차단시설을 이용한 어류 유인 및 차단시설의 적용 및 사업화가 필요하다.

3. 어류차단기술 정의 및 방법

가. 사업화 대상기술

사업화 대상기술은 주파수 및 데시벨을 이용하여 어류를 차단하는 기술로써 그림 1.1.5와 같다. 어류 유인의 경우 주파수 0 ~ 20000 Hz까지 50단위로 반응실험을 한 결과 유인을 위한 주파수는 확인할 수 없었으며 향후 어류 스트레스 실험 등 구체적인 실험을 통해 유인에 대한 주파수 확인이 가능할 것으로 판단된다.

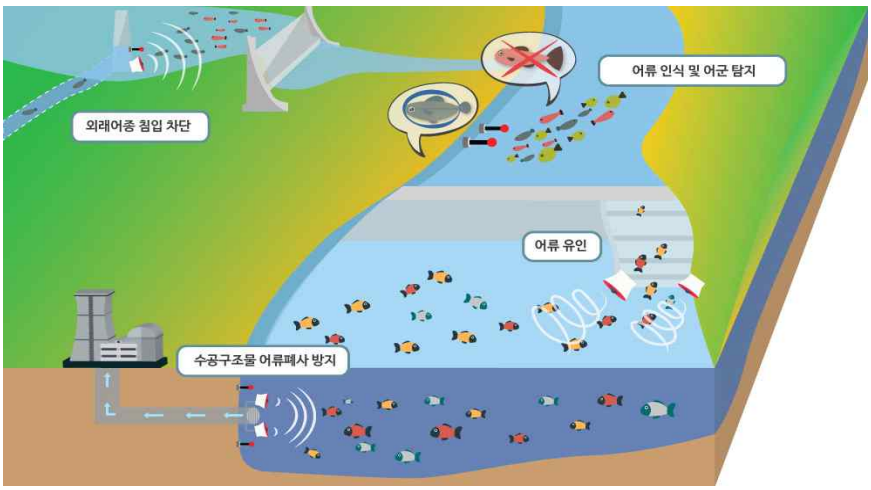


그림 1.1.5 사업화 대상기술

나. 핵심 성과물

과제 수행에 따른 핵심성과물은 어류 유인 및 차단 음원/광원, 어류 유인 및 차단 수중음향 발생장치, ICT 기반 스마트 시스템(어류 인식 장치, 어군 탐지 장치 등)이다.

- 제품의 현장적용을 통한 사업화
  - 매출 및 기술료
  - 신규채용을 통한 고용효과
- ICT 기반의 어류 유인/차단 시스템
  - 고효율(고수압, 고수심) 수중스피커 개발
- 실험실증을 통한 원천기술(음원/광원) 확보
  - 국내·외 어종의 기피 및 유인 음원/광원 확보
  - 논문(SCI 등) 게재 및 학술발표
  - 원천기술에 대한 추가 특허 출원 및 등록
- 음향-수리 연계 수치해석 기법
  - 어류 서식처 및 수공구조물 주변 음향 반응 수치해석 기법
- 어류 반응 및 거동 실험 시스템 구축
  - 어종별 빛, 버블, 소리에 대한 행동반응 결과의 D/B화
  - 어류반응에 대한 표준화

제 2절 연구개발의 중요성

1. 기술적 측면

고심도에서 적용이 가능한 수중음향발생기는 기술적인 측면에서 크게 3가지로 구분된다. 첫 번째는 융·복합 기술을 활용한 어류 보전 분야로써 수리수문, 생태, 음향, IoT, 영상처리 분야의 융합을 통한 어류 유인 및 차단시스템 개발과 사업화이다. 두 번째는 과학적 검증을 통한 기술의 진보이다. 기존 제품(국외기술 대비)에 비해 소형화, 경량화를 통해 설치를 간편하게 하였으며 실험실증, 수치해석 등을 통한 IoT 환경의 음향차단시스템을 개발하였다. 또한 제품 하드웨어의 국산화 기술 개발이며 다양한 수공구조물에 어류차단시설 적용(형태의 다변화)이 가능하다. 세 번째는 스마트기능 탑재 시스템 개발로써 제품의 모듈화를 통한 단계적 운영 시스템을 개발하였다.

2. 사회·경제적 측면

사회·경제적 측면에서 본 기술의 중요성은 다음과 같다.

가. 사회적 측면에서 중요성

- 환경보호대책(고유종, 보호종, 멸종 위기종 등 국내어족자원 보호)에 따른 대처 방안 제시
- 외래어종 차단 및 유인방법 확보를 통한 사회적 갈등 해결
- 환경규제 및 법제화에 대한 대책방안 확보
- 회귀 어류에 대한 어도 유인 가능 및 활성화
- 선박 평형수 유입부 생물유입 저감 시스템 구축 및 해양생태계 교란 억제 가능

나. 경제적 측면에서 중요성

- 고급 및 특이 어종의 유인 및 이동통로 확보를 통한 어류산업의 활성화
- 정부(미래부) 정책인 환경을 접목한 신산업 개발로 인한 관련시장 주도
- 음향 발생기 자체제작, 산업용 음원개발 등에 대한 기술력 향상으로 비용 절감(국외 기술 대비 50% 이상 예산 절감)
- 내수면(양식) 어업 사업 활용

제 3절 연구개발의 범위

1. 어류 유인 및 차단 시스템 개발 및 사업화

- **ICT 기반 어류 유인 및 차단 시설 시제품 개발**
  - 다양한 조건에 적용이 가능한 음향발생기 개발(소형/대형, 고심도/저심도 등)
  - 음향 제어 및 다출력 수중음향 발생 시스템 구축
  - 어류차단을 위한 음원선정 및 어류 인식 시스템 개발
  - 어군 탐지(어류 크기 등) 시스템 개발
  - 제품 운영을 위한 시스템(중앙 제어 및 컨트롤 가능 시스템) 구축
- **개발 시스템의 성능시험**
  - 어종, 크기 등에 따른 적용 방식 분석 및 평가
  - 현장 조건을 고려한 실규모 실험 실증 및 현장 적용
  - 현장 모니터링 방법 검토 및 시스템 개발
  - 개발 제품 성능 검토를 위한 댐 및 발전소의 시범 사업

- **개발제품의 사업화**
  - 개발제품의 시장규모 정밀 분석
  - 어류 유인 및 차단장치 완성품 제작 및 시범사업
  - 제품 유지·보수(시스템 업그레이드) 방안 검토
  - 어류 유인/차단 관련 추가 음원/광원 입력방식 검토

2. 원천기술 확보 및 요소기술 개발

- **음향에 대한 어류 행동 반응 분석**
  - 소리 종류(주파수, 데시벨 등)에 따른 어류 반응 및 어류 거동분석
  - 어류반응의 표준화 및 매뉴얼 개발
  - 고유종 및 외래어종의 크기(치어 등)에 따른 행동 지표 개발
  - 어류 행동반응에 대한 실험실증 기법 개발
  - 어류 반응평가 및 한계반응 요소기술 개발
- **어류 유인 및 차단을 위한 음원(광원) 개발**
  - 음원 및 광원 시스템 구축 사례 조사
  - 어류 행동반응 실험 및 거동실험 결과를 활용한 어종별 선호 및 기피 음원 DB 구축
  - 어종별 기피 광원 등 조도 분석
  - IoT, 영상처리 등을 이용한 수중음향발생기 전용 어류차단 음원 제작
  - 수공구조물에 대한 음원 및 광원의 적용 방법 검토

3. 수중음향발생기 제작 및 성능 향상

- **고효율의 수중음향발생기 제작**
  - 높은 압력의 수심에서 안정적 동작의 강력한 자계회로 Simulation 및 설계
  - 수중의 고압을 견딜 수 있는 최적화된 방수구조 설계
  - 여러 음향기를 동시 및 효율적 제어하기 위한 최적화된 Main Control System 개발
  - 음향기 Main Control System과 결합하여 고수심에서의 시제품 검증작업
  - 고효율 저비용 제품의 양산 준비
  - IEC318 기준의 표준 규격에 대한 인증 진행

4. 어류 서식처 및 수공구조물 주변 수치해석 기법 개발

- 거리에 따른 음압(dB)감소 분석 등을 위한 수치모델 개발
- 수공구조물 주변 수치모의 기법 개발(음향-수리 연계 기법)

제 2장 국내외 기술 개발 현황

제 1절 기술개발 현황

일반적인 어류차단은 철망(mesh)과 같이 직접적인 차단 시설을 이용하여 어류의 이동을 물리적으로 차단하였으나 어류가 구조물에 걸리게 되면 폐사의 원인이 되며 유속에 따라 서식처의 변화 발생 및 어류 보호에 비효율적이다. 최근 어류의 행동반응을 이용한 간접차단시설의 경우 기술 부족 및 연구개발 단계이므로 자연물질(소재)과 어류의 행동반응을 고려한 어류의 유인 및 차단시설의 개발이 필요하다(김성민 외, 1998; 윤종락 외, 2006).

1. 직접 차단시설

직접 차단시설은 어류차단을 위한 가장 대표적인 방법으로써 고정된 메쉬스크린(mesh screen)을 많이 사용한다. 아래의 그림 2.1.1은 연어류를 막기 위해 설치된 판넬스크린(panel screen)을 나타내며 그림 2.1.2는 주로 작은 수로에서 많이 설치되는 스크린으로 오염물질 및 어류크기에 따라 메쉬의 크기 및 회전식 원통의 크기를 조절할 수 있다.

그림 2.1.3은 crest에서 어류 및 오염물질을 차단하는 시설이며 그림 2.1.4는 치어 등을 차단하기 위해 사용하는 차단시설로써 저수지 등에서 펌프를 이용해 물을 이용할 때 많이 사용하고 있는 시설이다. 이 시설은 보통 원통형으로 구성되며 어류를 비롯한 오염물질은 메쉬에 걸려서 취수구로 들어오지 못하게 설계되어 있다.

또한 메쉬에 부유물질 등이 걸려서 차단시설의 기능이 어려워지면 공기압을 이용해 재사용이 가능하며 메쉬의 조절이 가능하므로 환경에 따라 적절하게 조절할 수 있는 장점이 있다(강준구 외, 2013).

그림 2.1.1 어류차단을 위해 설치된 고정용 판넬 스크린(Environment Agency, 2005)

그림 2.1.2 작은 수로에 사용되는 메쉬 및 원통형 스크린(Environment Agency, 2005)

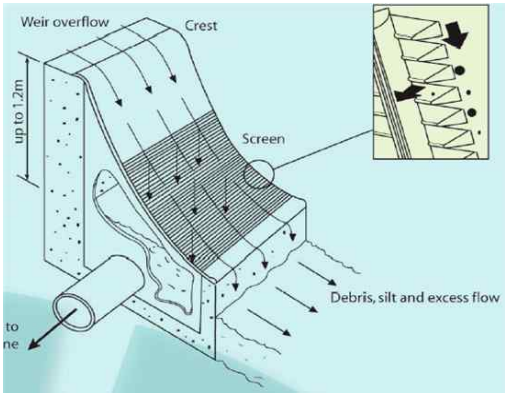


그림 2.1.3 Crest에서 오염물질 및 어류 차단시설(Environment Agency, 2005)

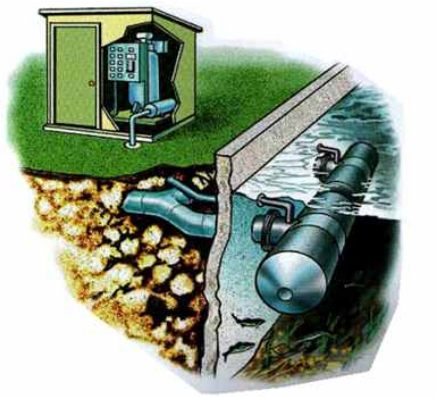


그림 2.1.4 취수구를 이용한 차단시설(Environment Agency, 2005)

격자망(메쉬)을 이용한 차단구조물 외에 그물을 이용한 차단시설도 오염물질 제거 및 어류차단 등을 위해 사용되어 진다. 그림 2.1.5는 그물을 이용한 차단시설로써 취수구 부분에 여과 기능을 가지는 그물을 설치하며 앵커 등을 이용해서 고정을 시킨다. 빠른 유속이 발생 할 경우 물리적인 안정성이 비교적 낮지만 그물망의 조절이 용이하며 확실한 차단을 할 수 있는 장점이 있다.

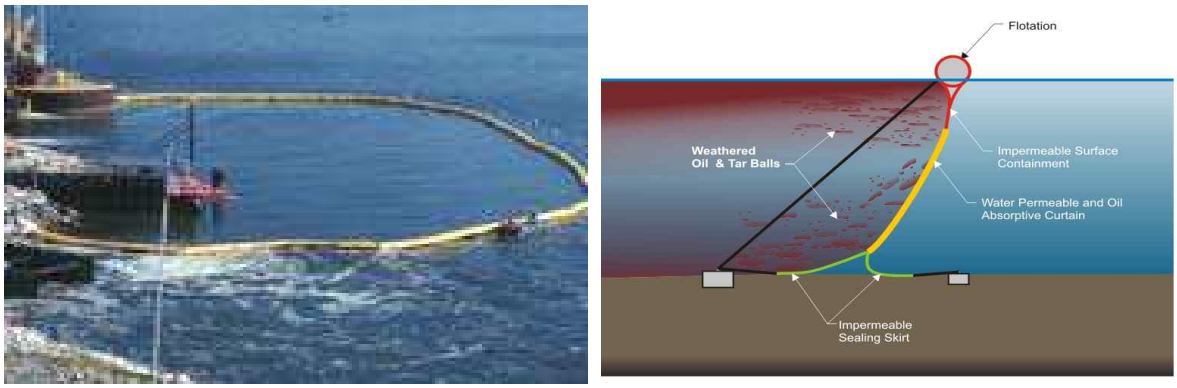


그림 2.1.5 그물을 이용한 여과 및 차단(Environment Agency, 2005)

2. 간접 차단시설

대형 발전소의 취수구 및 냉각수 사용을 위한 수로는 대규모로 건설되기 때문에 부유물 및 그물에 걸리는 어류의 양도 많으므로 직접적인 차단시설 뿐만 아니라 어류의 특성을 고려한 차단시설도 필요하다. 특히 소리를 이용한 차단방법 등 어류의 행동장애를 이용한 유도방법은 효율성이 뛰어나므로 메쉬스크린 등의 설치가 어려운 지역에서 많이 시도되고 있다(Amy 와 Hong, 2002; Robert 등, 2003; Popper, 2003; Sonja 와 Friedrich, 2004; Magnus 와 Hakan, 2005; John 등, 2009; Giuseppa 등, 2010).

그림 2.1.6은 어류가 소용돌이를 피하려는 성질을 이용한 차단시설로써 칸막이를 이용하여 강제 소용돌이를 형성시켜 발전소에 어류의 유입을 차단하는 장치이다. 그림 2.1.7은 가장 대표적인 차단시설 중 하나인 버블을 이용한 방법으로 특히 다른 차단방법(빛, 음향)과 함께 사용하면 효율성이 더욱 뛰어나다. 전기를 이용한 방법은 역류하는 어류가 취수구쪽으로 유입되는 것을 방지하기 위해 설치되었으며 단계적으로 전류의 차이를 두어 모든 어류에 적용이 가능하며 인체에는 무해하게 설계되었다(그림 2.1.8). 빛을 이용한 차단시설의 경우 어류에 따라 반응하는 밝기가 다르므로 다양하게 사용이 가능하다(그림 2.1.9). 또한 지속적인 빛보다는 섬광이 더 효율적이며 어류의 크기에 따라 반응이 달라지기도 한다.

그림 2.1.6 소용돌이를 이용한 어류 차단시설(Environment Agency, 2005)

그림 2.1.7 버블을 이용한 어류 차단시설(Environment Agency, 2005)

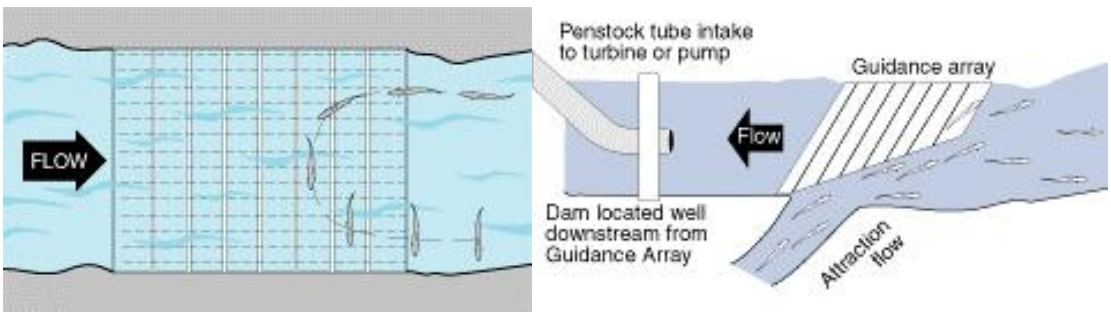


그림 2.1.8 전기를 이용한 어류 차단시설(Environment Agency, 2005)

그림 2.1.9 빛을 이용한 어류 차단시설(Environment Agency, 2005)

3. 복합 차단시설

어류의 행동장애를 이용한 차단시설의 경우 효율성은 있지만 어종 및 크기에 따라 반응정도의 차이가 크다. 따라서 2개 이상의 차단구조물을 복합적으로 사용하는 경우가 대다수이다. 그림 2.1.10 ~ 그림 2.1.11은 2개 이상의 차단시설을 이용한 복합차단시설을 보여준다.

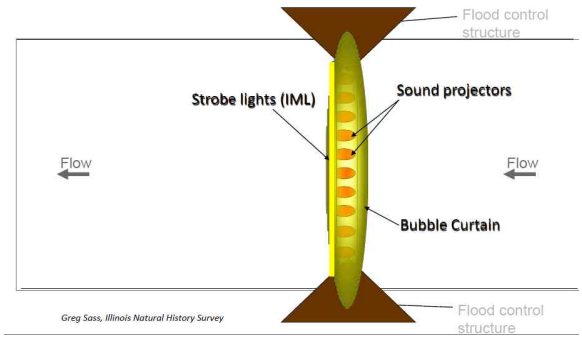


그림 2.1.10 복합차단시설
(빛+음향+버블)(Environment Agency, 2005)

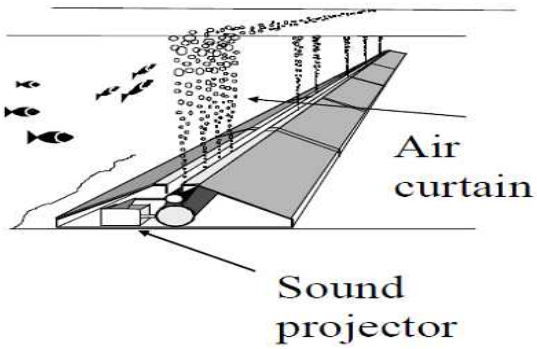


그림 2.1.11 복합차단시설
(음향+버블)(Environment Agency, 2005)

4. 차단구조물의 장단점 분석

어류차단구조물은 차단어류의 특성 및 주변 환경을 고려하여 적절한 방법의 차단구조물을 사용해야한다. 직접차단시설은 메쉬 및 그물을 이용하여 차단하기 때문에 차단효과가 매우 뛰어나다. 그러나 나뭇잎을 비롯한 부유물질도 스크린으로 인해 차단되므로 오염물질의 지속적인 수거 및 회수가 필요하다. 또한 유속이 빠른 경우 차단구조물의 안정성을 확보하기가 어렵기 때문에 충분히 고려가 된 후 설치되어야 한다. 직접 스크린 설치는 어류와 스크린 충돌과 급류로 인한 어류의 상처 및 압사도 발생하므로 주의가 필요하며 치어 등에 대한 문제도 고려되어야한다(그림 2.1.12).

어류반응 특성을 고려한 차단 방법은 크게 버블, 빛, 음향을 활용한 형태로 나누어진다. 이런 시설물들은 직접 차단시설에 비해 효율성은 떨어지지만 행동장애를 이용한 차단구조물들은 환경 친화적인 시설이다. 어류 반응을 이용한 차단시설은 어류에 대한 스트레스가 적어 다양한 방법들이 시도되고 있는 실정이다.

또한 적용 물질(버블, 빛, 음향)에 따라 어류의 반응 정도가 다르게 나타나므로 필요한 환경에 따라 다양하게 적용이 가능하며 크기에 상관이 없이 적용 가능한 장점이 있다. 전기를 이용한 차단시설의 경우 차단효과는 높으나 어류에 상처를 줄 수 있고 심하면 죽기까지 하며 수정률 및 사망률에 영향을 미치기도 한다. 따라서 대상 어종에 따라 반응하는 정도도 다양하고 반복적인 실험을 통해 어류의 특성을 파악해야 한다.

그림 2.1.12 직접차단시설의 단점(오마이뉴스(좌), 2013; ASCE, 1995(우))

제 2절 국내외 기술개발 동향

1. 국내

국내에서 음향에 대한 연구는 1990년대 후반부터 시작되었으며 초기 연구는 해양어업 또는 양식을 위해 특정어종의 음반응, 유집, 음향탐사 등의 연구가 수행되었다. 특히 인위적인 음향에 따른 어류의 스트레스 반응을 검토하는 연구가 주로 수행되었으며 수산업 등의 목적성을 띈 연구가 주로 수행되었다. 그러나 어류의 행동장애를 이용한 어류 간접차단시설에 대한 연구는 전무하다.

최근에는 한국건설기술연구원에서 유일하게 소리와 어류에 대한 연구를 수행하여 어류반응 및 차단실험을 수행(국내어종, 외래어종 대상)하였으며 고출력 수중음향발생장치 R1(500 W)을 개발하였다.

그림 2.2.1 최종결과물 고출력 수중음향발생장치 R1(500 W) (좌: 후면, 우: 전면)

2. 국외

가. 국외동향

국외에서는 잉어과 물고기에 백색소음(0.3-4.0kHz, 142dB)에 노출되었을 때 영향 및 노출 후 회복에 대한 연구가 수행되었다. 연구 결과 백색소음 노출 24시간 후 8마리 중 5마리의 threshold가 조절군보다 증가되며 회복기간은 소음노출기간과 빈도에 따라 달라지는 것으로 나타났다. 또한 해양 수중소음 중 하나로 석유탐사를 들 수 있으며 수중 air-gun에 노출된 물고기의 상피조직 및 손상된 청각세포를 관찰한 연구도 수행되었다. 청어과 어류들이 최소 180kHz 이상의 초음파소리까지 반응하나 몇몇 청어과 어종은 4kHz소리도 반응하지 못하는 것으로 나타났다.

또한 고밀도, 저주파수의 수중음파탐지기(sonar)에 노출된 무지개송어의 영향을 연구를 수행하였으며 여기서 노출된 물고기의 뇌간을 분석하였으며 현미경으로 내이의 형태 및 비청각조직도

분석한 결과 193dB로 324~648초 노출시킨 물고기의 생리학적인 변화가 없는 것으로 나타났다.

농업과 관련된 소음발생에 따라 무지개 송어의 성장, 생태 조건 요인, 사료요구율의 영향에 대한 연구도 수행되었으며 2개 어종에 대하여 소음에 따른 운동 반응 및 혈액반응을 평가하였으며 운동반응의 증가와 함께 젖산칼슘 및 적혈구 용적률이 증가되는 것을 확인하였다.

나. 국외 관련 기관

(1) Pembroke Power Station 방문 및 회의

영국 웨일즈 서남부에 위치하고 있으며 R.E.W에서 관리하는 가스발전소로써 2012년 9월부터 전체 운전을 시작했으며, 약350만 가정에 전력을 공급하기 위해 2000MW를 생산한다. 유럽에서 가중 큰 규모의 가스발전소이며 발전소 터빈의 냉각수를 끌어올릴 때, 물고기의 유입을 방지하기 위하여 SILAS 시스템을 도입하여 운영 중이다.

- 취수부는 17개의 유입구가 있으며, 유입부의 총 길이는 약 70 m
- 취수량은 40 ㎥/s , 유입속도는 0.2 m/s
- 가스발전소로 터빈가동을 위한 냉각수가 필요하며 냉각수를 취수할 때, 어류가 유입되는 것을 방지하기 위해 차단시스템을 도입(어류보호목적)
- 일차적으로 비물리적 차단 시스템을 통해 물고기 성어들을 제어하고 차단되지 않은 물고기들은 회전식 매쉬드럼 스크린을 통해 차단하여 강으로 우회하는 시스템을 운영 중
- 현재 유럽은 개체수가 급감하고 있는 연어와 장어에 관심이 많음, 그래서 본 발전소도 연어와 장어가 주요 어종

그림 2.2.2 어류차단시설 및 SILAS 시스템

(2) F.G.S/T.H.A

F.G.S(Fish Guidance Systems)는 영국 사우스햄스턴에 위치하고 있으며 어류유입방지 장치를 연구/개발 하는 회사이다. 1994년에 설립하여 현재 전세계 100개 이상의 장소에 시스템을 설치(영국, 유럽, 미국, 중국 등) 하였다. 강렬한 빛과 소리를 이용한 SILAS 시스템 특허를 보유하고 있다. T.H.A(Turnpenny Horsfield Associates)의 경우 영국 사우스햄스턴에 위치, 2010년에 설립되었으며, 환경 및 엔지니어링 컨설턴트 전문회사이다. 아래의 그림 2.2.3은 사운드프로젝터 및 음파실험을 나타낸다.

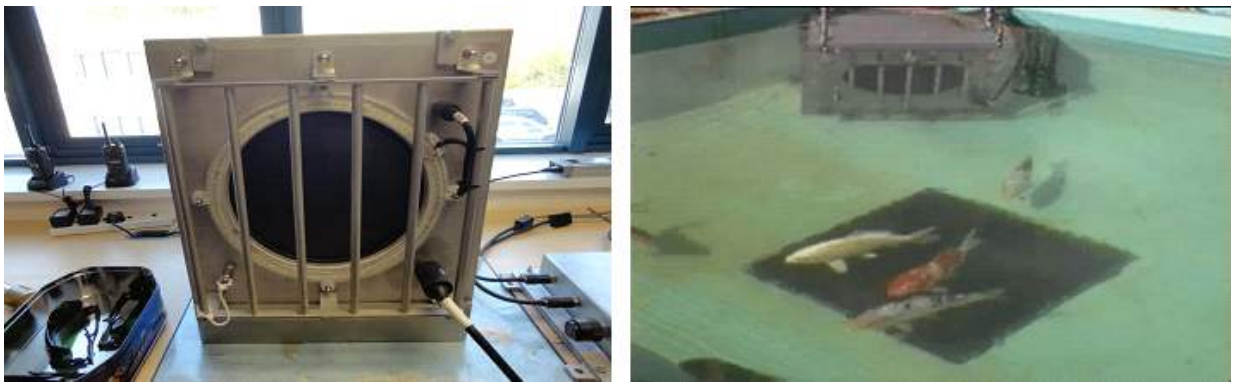


그림 2.2.3 사운드 프로젝터 및 음파실험

(3) Marchwood Power Station

Marchwood Power Station은 영국 사우스햄스턴에 위치하고 있는 천연가스 화력복합 발전소로써 2009년 12월부터 전기 생성을 시작했으며, 약 1만 가정에 전력을 공급하기 위해 842MW를 생산하고 있다. 발전소 터빈의 냉각수를 끌어올릴 때, 물고기의 유입을 방지하기 위하여 SPA 시스템을 도입하여 운영 중이다. 아래의 그림 2.2.4는 SPA 시스템 및 Marchwood Power Station을 나타낸다.

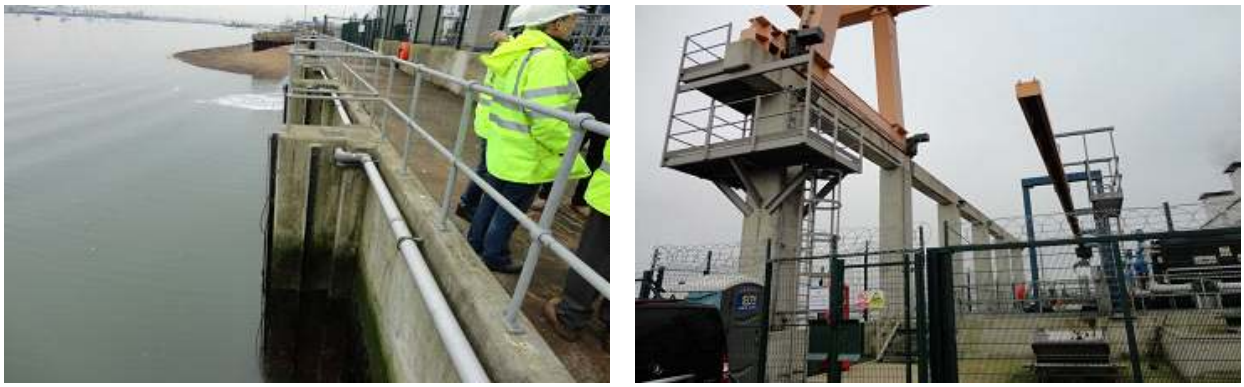


그림 2.2.4 SPA 시스템 및 Marchwood Power Station

제 3절 특허 동향

1. 분석 목적 및 범위

어류의 시각, 청각, 촉각, 후각, 미각 및 이 중 둘 이상의 감각을 포함하는 복합 감각을 자극하는 유인 및 차단기술, 어류의 행동을 관찰하기 위한 장치 및 하천에 설치되어 어류를 유인하거나 차단하는 구조물에 대하여 특허 동향분석을 실시하였다.

특허 동향분석을 통해 국제 특허현황 및 국가별 기술경쟁력 등의 분석을 실시하고, 최근 부상기술 등을 도출하여, 전략적인 사업화 계획 수립에 활용할 수 있도록 하였다. 특허 분석 범위는 출원 및 특허 등록된 한국, 미국, 일본, 유럽, 중국 공개특허 및 등록 특허를 분석 대상으로 하였다.

표 2.3.1 분석대상 기술 분류 기준

대분류	중분류	소분류	검색개요(기술범위)
외래어종 침입과 수공구조물 주변 어류 폐사 방지를 위한 ICT 기반 어류 유인 및 차단 시스템 개발	행동반응 관련 기술	시각 자극에 대한 행동반응	빛 등 시각 자극에 대한 어류의 행동 반응에 대한 설명이 있는 기술
		청각 자극에 대한 행동반응	소리 등 청각 자극에 대한 어류의 행동 반응에 대한 설명이 있는 기술
		촉각 자극에 대한 행동반응	버블 등 촉각 자극에 대한 어류의 행동 반응에 대한 설명이 있는 기술
		후각 자극에 대한 행동반응	냄새 등 후각 자극에 대한 어류의 행동 반응에 대한 설명이 있는 기술
		미각 자극에 대한 행동반응	맛 등 미각 자극에 대한 어류의 행동 반응에 대한 설명이 있는 기술
		복합 자극에 대한 행동반응	5개의 감각 중 2개 이상의 자극에 대한 어류의 행동 반응에 대한 설명이 있는 기술
		관측 장비	어류의 행동 반응을 관측하는 장비에 관한 기술
	구조물 관련 기술	유인 구조물	어류를 능동적으로 유인하는 기능을 가지며, 하천 등에 설치 가능한 구조물에 관련된 기술
		차단 구조물	하천 등에 설치 가능하며, 어류의 접근 및 이동을 차단할 수 있는 구조물에 관련된 기술

2. 특허 분석

가. 국내 관련 특허 분석

국내 관련 기술은 1990년대 후반까지는 특별한 특징이 없었으나 2000년대 초반부터 특허 출원 증가 추이가 관찰되고, 증가된 출원 규모가 2010년대 초반까지 유지되었다. 이는 2003년부터 시행된 청계천 복원 사업과 2008년부터 시행된 4대강 사업의 영향에 따른 것으로 판단된다. 대규모 국가 사업이 진행됨으로써 하천 구조물과 하천의 생태계 보호의 연구 및 개발이 활발해지고, 이러한 추세가 특허 출원 규모에 반영된 것으로 보인다.

나. 국외 관련 특허 분석

미국과 일본의 경우 1990년대 이전에 관련 기술에 대한 관심이 다른 국가들에 비해 높아졌으나, 그 이후에 관심을 증가시킬만한 특별한 이슈가 없는 것으로 나타났다. 유럽의 연도별 동향을 살펴보면, 2000년대 초반까지는 주목할 만한 출원 규모를 보이지 않다가, 2003년부터 급격한 증가세를 보인다. 그러나, 상기 증가세가 계속 유지되지는 않고 2000년대 중반 이후에는 지속적으로 감소하였다. 출원 규모의 증가 및 감소 추이는 2003년과 2006년 사이에 러시아의 집중적인 출원이 큰 영향을 끼쳤다고 판단되며, 그 배경에는 대학 등의 연구 기관에 대한 러시아의 정책적인 지원이 있었다. 중국의 연도별 동향을 살펴보면, 2000년대 중반까지는 미미한 수준의 출원 규모를 보이다가 2011년경부터 최근까지 급격한 성장기를 보이고 있다. 이는 2011년 시행된 신해양오염방지법 환경보호 12.5 규획에 따른 영향에 의한 것으로 판단된다.

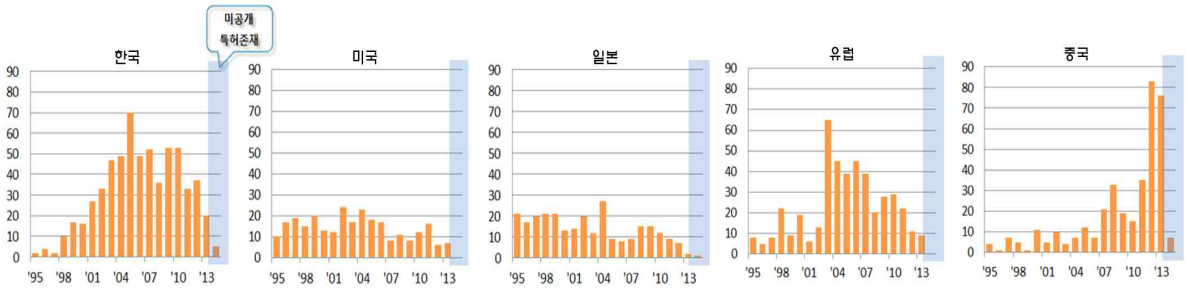


그림 2.3.1 각 주요시장국에서의 연도별 특허 동향

표 2.3.2 국내·외 관련 특허 건수

대분류	소분류	특허 검색건수				
		KR	JP	US	EP	CN
어류 행동반응 관련 기술	시각 자극에 대한 행동반응	390	413	868	774	793
	청각 자극에 대한 행동반응	148	278	552	441	412
	촉각 자극에 대한 행동반응	1169	599	1114	1400	1116
	후각 자극에 대한 행동반응	95	40	78	57	146
	미각 자극에 대한 행동반응	625	561	926	835	1016
	복합 자극에 대한 행동반응	-				
	관측 장비	840	1017	1026	647	797
구조물 관련 기술	유인 구조물	1545	802	1182	1811	2172
	차단 구조물	1907	1071	773	1672	3168
합계						35276

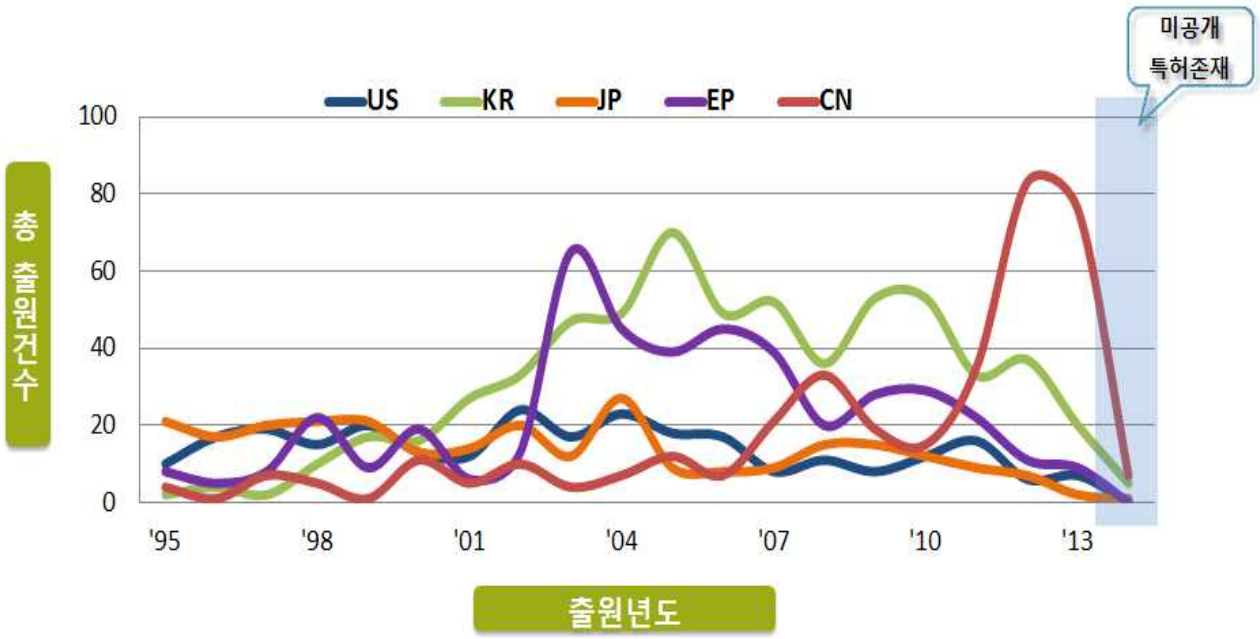


그림 2.3.2 국내·외 연도별 특허동향

다. 특허분석 결과

생태계 보호를 위한 어류 차단·유인 분야는 2000년대에 접어들며 출원 건수와 출원인 수가 증가하였다. 이는 친환경적이며 생태계를 보호하며 다른 생물과 공존할 수 있는 구조물에 대한 전 세계적인 관심이 지속적으로 이루어지고 있다는 것을 반증한다.

시장 경제 논리보다는 국가 정책에 따라 출원 동향이 움직이며, 국가 기간사업으로서의 기술 특성이 반영되어 내국인 출원이 큰 비중을 차지하고 타국의 특허출원 동향에 큰 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 한국의 경우 현재 4대강 사업 이후의 환경 문제에 대한 관심이 높아져있음을 고려하면, 향후 환경 보호 측면에서의 관련 기술 연구가 필수적으로 수반되고 활성화될 것으로 기대된다. 2010년대로 접어들면서 지적 재산권에 대한 관심이 폭증하는 중국을 제외한 대부분의 국가에서 본 기술 분야에 대한 관심이 쇠퇴하고 있는 것으로 보이는데 반해, 한국에서는 시각 자극 행동반응 연구, 행동 관측 장치, 차단 구조물 분야에서 관심이 증가하는 경향을 보이고 있다. 결론적으로, 전 세계적으로 본 과제 기술의 필요성에 대해서는 꾸준히 요구가 있어 왔던 것으로 보이며, 특히 한국에서는 국가적, 정책적으로 본 과제 기술에 대한 관심이 재차 활성화되는 재성장기로의 진입 단계에 있다고 판단된다.

라. 중요특허 분석

개발과제인 어류 유인 및 차단기술 분야와 연관성이 깊은 유효특허 1966건을 14개의 중요특허로 정리·선정하고 현황, 한계, 문제점 등을 집중 분석하였다.

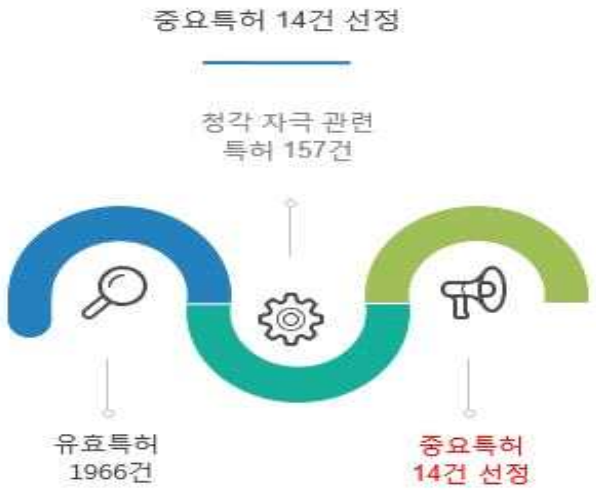


그림 2.3.3 중요특허 14건 선정

표 2.3.3 중요특허 분석

번호	출원번호	출원인	발명의 명칭	법적상태
1	KR10-1998-0049014	한국원자력연구소(KR)	수생생물의 선택적 접근 억제 장치	자유기술
2	KR10-1999-0020022	주식회사 한국원자력엔지니어링(KR)	해양생물 퇴치 시스템	자유기술
3	JP1999-156820	EBARA CORP 외 (JP)	유어 장치	자유기술
4	JP1999-219103	AOKI SHIGERU(JP)	음향식 몰이 어법	자유기술
5	US2001-821635	Kane(US)	Electronic fish attractor	자유기술
6	US2002-045381	Nestler 외 1명(US)	Natural cue surface bypass collector	자유기술
7	US2002-212835	Trube 외 1명(US)	Paddlewheel fish deterrent and guide	자유기술
8	JP2003-158125	YANMAR CO(JP)	어류의 방제 장치 및 방법	자유기술
9	KR10-2008-0029514	장경수(KR)	해양구조물용 어도	자유기술
10	US2006-0268664	Bioxonix Systems(US)	System, method and apparatus for attracting and stimulating aquatic animals	특허등록
11	KR10-2010-0089975	주식회사 지주(KR)	수중생물 유입 차단장치	특허등록
12	CN2011-10228187	Chinese Academy of Fishery Sciences(CN)	Sound control fish luring device	특허등록
13	US2011-817282	FISH GUIDANCE SYSTEMS(GB)	System for Deterring Underwater Animals from and Underwater Region	심사 중
14	CN2013-10356161	SICHUAN UNIV(CN)	Experimental device for attracting fish and replenishing water at fishway inlet of hydropower station	심사 중

마. 중요특허 분석 결과

중요특허에 대한 분석 결과 하천 구조물의 구조 변경과 관련된 특허는 없는 것으로 나타났다(하천 구조물과 일체로 설치). 현재 점차적으로 시장이 형성되고 있는 상황이고, 중국의 성장으로 인해 향후 경쟁이 예상되는 분야라고 판단되며 국내의 기업에는 관련 기술을 개발할 연구인력과 예산이 부족한 것이 원인이다. 국가지원을 통해 적극적인 연구 개발을 하여 관련 기술 시장에서 기술선점 할 필요가 있으며 추후 관련 기술 개발에 있어서, 중요특허 내의 자유기술 중 KR10-1998- 0049014(1번), KR10-1999-0020022(2번), JP1999-219103(4번), JP2003-158125 (8

번) 및 KR10-2008-0029514(9번)와 같은 특허들의 개시내용을 참조 가능하다. 다만, US2002-212835(7번)의 경우 모출원이 등록특허로서 현재 유효하게 존속 중이므로, 해당 특허를 침해하지 않도록 주의가 필요하다.

국가차원에서 적극적인 연구 개발 및 사업화를 지원함으로써 해외 기술에 종속되지 않고 자체적으로 성장할 수 있는 기틀을 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 기타

가. 국가연구개발사업 유사연구 검토

관련분야 연구동향 분석 결과, 소리와 어류 관련 2개의 연구가 검색되었으나 상기 과제의 경우 본 제안과제의 연구책임자가 주도한 연구로써 사업화 기술을 위한 기초 연구이다. 특히 "음향과 수리특성을 연계한 하천기술 개발"연구의 경우 하천 현장조사를 통한 여울, 소의 소리 영역 분석에 대한 연구로써 현장의 소리서식처 분석이 중심이며 "소리를 이용한 어류 유인 및 차단구조물 기술개발"연구는 소리를 이용한 차단 및 유인기술의 초기 기술개발 단계로써 어류에 대한 소리 반응에 대해 연구 하였으며 기초연구 수준으로 판단된다.

표 2.3.4 연구동향 분석 (단위 : 억원)

부처명	사업명	과제명	예산	비 고
미래창조 과학부	한국건설기술연구원 기관고유사업	음향과 수리특성을 연계한 하천기술 개발	1.1	2012.1~ 2012.12
미래창조 과학부	한국건설기술연구원 기관고유사업	소리를 이용한 어류 유인 및 차단구조물 기술개발	2.5	2013.1~ 2014.12

NTIS에서 유사도 60으로 유사과제 검색 시 유사과제는 없는 것으로 나타났으며 NTIS에서 유사도 30으로 유사과제 검색 시 타인 등록과제로 1건 (복합자극(레이져광+소음))에 대한 어류의 구집반응 행동 연구)이 검색되었다. 검색된 등록과제는 그물에 레이져로 시각적인 상을 형성하여 어류 반응을 분석하는 내용으로써 기 수행과제나 공공 R&D 과제는 아닌 것으로 판단된다. 또한 다른 사용자가 유사과제 여부를 판단하기 위해 등록한 과제이며 단순히 어류의 행동반응에 대한 연구이므로 중복성 및 유사성은 없는 것으로 판단한다.

유사과제 검색결과

검색일시	2016.03.28 23:21	
검색범위	기 수행과제 + 타인등록과제 + 공공R&D과제	
기준유사도	60	
검색결과 요약	등록과제 수	유사과제 수
	1 건	0 건

세 부 검 색 결 과

순번	과 제 명	연구 책임자	유사과제여부		
			기수행과제	타인등록과제	공공 R&D과제
1	외래어종 침입과 수공구조물 어류 폐사 방지를 위한 ICT 기반 어류 유인 및 차단시스템 개발	강준구	X	X	X

주1) 기수행과제 : 국가연구개발사업으로 이미 수행됐거나 수행되고 있는 과제(조사분석 수집 과제)
주2) 타인등록과제 : 다른 사용자가 유사과제 여부를 판단하기 위해 등록한 과제
주3) 공공R&D과제 : 공공기관에서 수행하는 과제 중 국가R&D 예산으로 수행된 과제를 제외한 그 외 R&D 과제
주4) 기준유사도 : 유사과제라고 판단할 최소 기준이 되는 유사도 점수

상기 내용은 과제개요 내 주요 텍스트 비교를 통한 1차적인 유사과제 결과이며, 최종적인 과제의 유사여부는 발주기관의 연구심의위원회에서 결정됩니다.

국 가 과 학 기 술 지 식 정 보 서 비 스

그림 2.3.4 유사과제 검색결과 (유사도 60)

유사과제 검색결과

검색일시	2016.03.28 23:44	
검색범위	기 수행과제 + 타인등록과제 + 공공R&D과제	
기준유사도	30	
검색결과 요약	등록과제 수	유사과제 수
	1 건	1 건

세 부 검 색 결 과

순번	과 제 명	연구 책임자	유사과제여부		
			기수행과제	타인등록과제	공공 R&D과제
1	외래어종 침입과 수공구조물 어류 폐사 방지를 위한 ICT 기반 어류 유인 및 차단시스템 개발	강준구	X	O	X

주1) 기수행과제 : 국가연구개발사업으로 이미 수행됐거나 수행되고 있는 과제(조사분석 수집 과제)
주2) 타인등록과제 : 다른 사용자가 유사과제 여부를 판단하기 위해 등록한 과제
주3) 공공R&D과제 : 공공기관에서 수행하는 과제 중 국가R&D 예산으로 수행된 과제를 제외한 그 외 R&D 과제
주4) 기준유사도 : 유사과제라고 판단할 최소 기준이 되는 유사도 점수

상기 내용은 과제개요 내 주요 텍스트 비교를 통한 1차적인 유사과제 결과이며, 최종적인 과제의 유사여부는 발주기관의 연구심의위원회에서 결정됩니다.

국 가 과 학 기 술 지 식 정 보 서 비 스

그림 2.3.5 유사과제 검색결과 (유사도 30)

나. 사업화 과제의 차별화 방안

유사과제 검색 결과 기 수행과제 및 공공 R&D 과제는 없는 것으로 나타났다(타인등록과제 1건). 타인등록과제 “복합자극(레이저광+소음)에 대한 어류의 구집반응 행동 연구”는 그물에 레이저를 이용해 형상을 만들어 어류의 행동반응을 연구하는 것으로써 단순 내용 검색 과제인 것으로 판단된다.

- 기초연구분야(연구책임자가 수행한 기초연구)
  - “음향과 수리특성을 연계한 하천기술 개발”은 하천 내 현장조사를 통한 여울, 소의 소리 영역 분석에 대한 연구로써 현장 소리서식처 분석임
  - “소리를 이용한 어류 유인 및 차단구조물 기술개발”은 소리를 이용한 어류 차단기술의 초기 기술개발 단계로써 어류에 대한 소리반응에 대해 연구하였으며 기초연구 수준임
- 사업화 과제의 차별화 방안
  - 과학적 검증 기반(실규모 실험실증)의 어류특성 분석과 어류반응 평가 및 음원/광원 개발
  - ICT 기반 어류 차단시스템의 제품화
  - 어류 서식처 환경에 맞게 제품의 다양화 가능(국외 기술과 차별화)
  - 연구자의 역량 및 자료 수집의 한계를 극복하기 위해 융·복합 연구를 수행함

그림 2.3.6 연구과제의 차별성

제 3장 연구수행 내용 및 성과

제 1절 연구개발 목표 및 추진내용

1. 연구개발의 최종목표

사업화 과제의 최종 목표는 외래어종 침입과 수공구조물 어류 폐사 방지를 위한 ICT 기반 어류 유인 및 차단 시스템 개발 및 사업화이며 최종성과물은 어류 유인 및 차단 음원/광원, 어류 서식처 및 수공구조물 주변 음향-수리 연계 수치기법, 어류 유인 및 차단 수중 스피커(음향발생장치), ICT 기반 시스템(어류 인식 및 어군 탐지 장치 등)이다.

최종 기술심화 수준은 융·복합 기술을 접목한 제품 개발 및 사업화이므로 연구기간(4년) 내 사업화 단계인 TRL 9를 달성하는 것이 최종 목표이다.

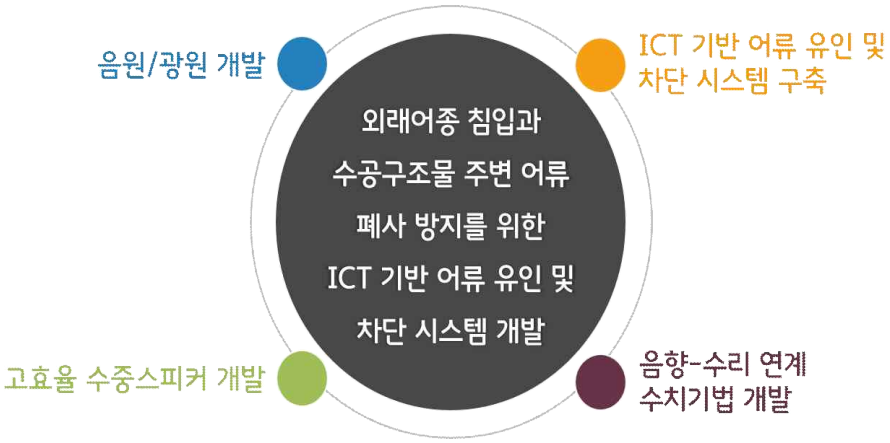


그림 3.1.1 사업화 대상 기술의 최종 목표

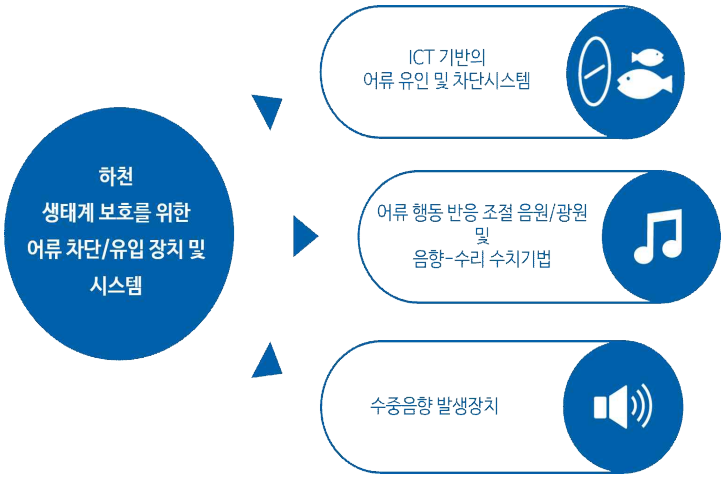


그림 3.1.2 최종 연구 성과물

2. 최종목표의 성격 및 설정근거

가. 최종목표(성과물)의 성격

본 과제의 최종 성과물은 원천기술을 바탕으로 한 어류 차단 구조물 제품의 개발과 사업화이며 수리분야, 생태분야, IoT 및 영상처리 분야 등 각 분야별 융·복합 기술을 접목하여 제품을 개발하는 것이다.

나. 최종목표 설정의 근거

어류 반응 및 원천기술을 확보한 상태이므로 연구기간 및 연구비 절약이 가능하다. 특히 연구기간(3년)동안 시작품 및 제품 개발과 사업화가 가능할 것으로 판단된다. 또한 원천기술에 대한 특허 등록이 완료되었으며 안동-임하댐 도수터널 어류 차단실험을 수행하면서 어류 차단을 위한 기초기술과 연구자의 경험을 확보하였다(사회 현안문제 대처 및 해결방안 제시).

실규모 실험을 통해 소리에 대한 어류 반응 및 특성 자료를 구축하였으며 연구자의 역량 및 자료 수집의 한계를 극복하기 위해 융·복합(생태, 음향, IoT, 영상처리) 연구 수행하였다. 또한 제품 개발을 위해 각 분야의 전문가 및 수중스피커 전문 중소기업이 연구개발에 참여하였다.

현 단계의 국내·외 기술 수준 분석 결과 2000년대 이후 환경기술산업, 하천 환경, 정부정책 등이 확대되면서 특허도 증가하고 있다. 그러나 국내는 개발할 연구 인력과 예산이 부족하므로 국가지원을 통한 적극적인 연구 개발을 실시하여 관련 기술 시장에서 기술선점 할 필요가 있다.

3. 추진내용

본 기술의 사업화는 자료수집 및 실험실증, 모델정립 및 평가, 시작품 개발 및 제작, 개발 제품의 사업화 순으로 추진할 계획이다.

그림 3.1.3 사업화 추진 내용

가. 단계(연차)별 추진내용

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도 (2016.4.27 ~ 2017.2.26)	- ICT 기반 어류 유인 및 차단 시스템 개발	· 제작된 시제품을 이용한 고유종 및 외래어종의 음향에 대한 감각 반응 분석 · 국내 · 외 어류인식기술 및 어군탐지 적정기술 분석 및 적용 · 어류 인식 및 어군탐지 프로그램 개발
	- 실험을 통한 원천기술 개발 및 요소기술 확보	· 어류 반응 및 거동 실험 장치 구축 · 고유종 및 외래어종의 음향 등에 대한 어류 반응 실험 · 실규모 어류 거동실험을 통한 실증기법 개발
	- 수중음향발생기 제작 및 성능 테스트	· 기 개발 수중음향발생기 성능 테스트 및 분석 · 심도별 적용 범위 분석 및 부식방지방법 검토
2차년도 (2017.2.27 ~ 2018.2.26)	- ICT 기반 어류 유인 및 차단 시스템 개발	· 어류 차단용 음원/광원 개발 · 어류 서식처 및 수공구조물 주변 수치해석 기법 개발 · 어류인식 및 어군 탐지 기술에 대한 스마트시스템 개발 · 제품 운영을 위한 시스템(중앙 제어 및 컨트롤 가능 시스템) 구축 · 개발 시스템의 디자인 개발
	- 실험을 통한 원천기술 개발 및 요소기술 확보	· 실규모 실험 실증을 통한 어류 거동 평가 및 현장 적용 · 고유종 및 외래어종의 행동반응 지표개발 · 실험실증 기법 및 매뉴얼 개발
	- 수중음향발생기 제작 및 성능 테스트	· 수중음향발생기 내구성(방수성 등) 및 다출력 성능보강 · 과전류, 과전압 protect 회로 설계
3차년도 (2018.2.27 ~ 2018.12.26)	- ICT 기반 어류 유인 및 차단 시스템 개발	· ICT 기반의 어류인식 및 탐지 시스템 개발 및 실험 적용 · 시제품 현장 테스트(성능실험) · 어류 유인 및 차단 시스템 현장 검증 및 파일럿 테스트 · 제품 유지 · 보수 및 업그레이드 방법 검토 · 개발제품 성능 검토를 위한 댐 및 발전소의 시범사업
	- 음향해석에 대한 요소기술 확보	· 수공구조물 거리에 따른 음압(dB)감소 분석 및 수치모의 · 어류 서식처 적용 수리해석 수치기법 개발 · 어류반응에 대한 실험기법 및 표준화 · 비접촉식 어류 차단에 대한 요소기술 확보
	- 수중음향발생기 제작 및 성능 테스트	· 고수심 내의 고압, 고밀도의 수중에 효율적이고 안정적인 음향기의 전기적, 기계적 해석 및 Simulation · 고심도 적용(1000W이상) 수중 스피커 개발 및 시제품 시험 검증 · 고효율 저비용의 음향기(저수심용, 고수심용) 전제품의 양산 · IEC318 기준의 표준 규격에 대한 인증 진행

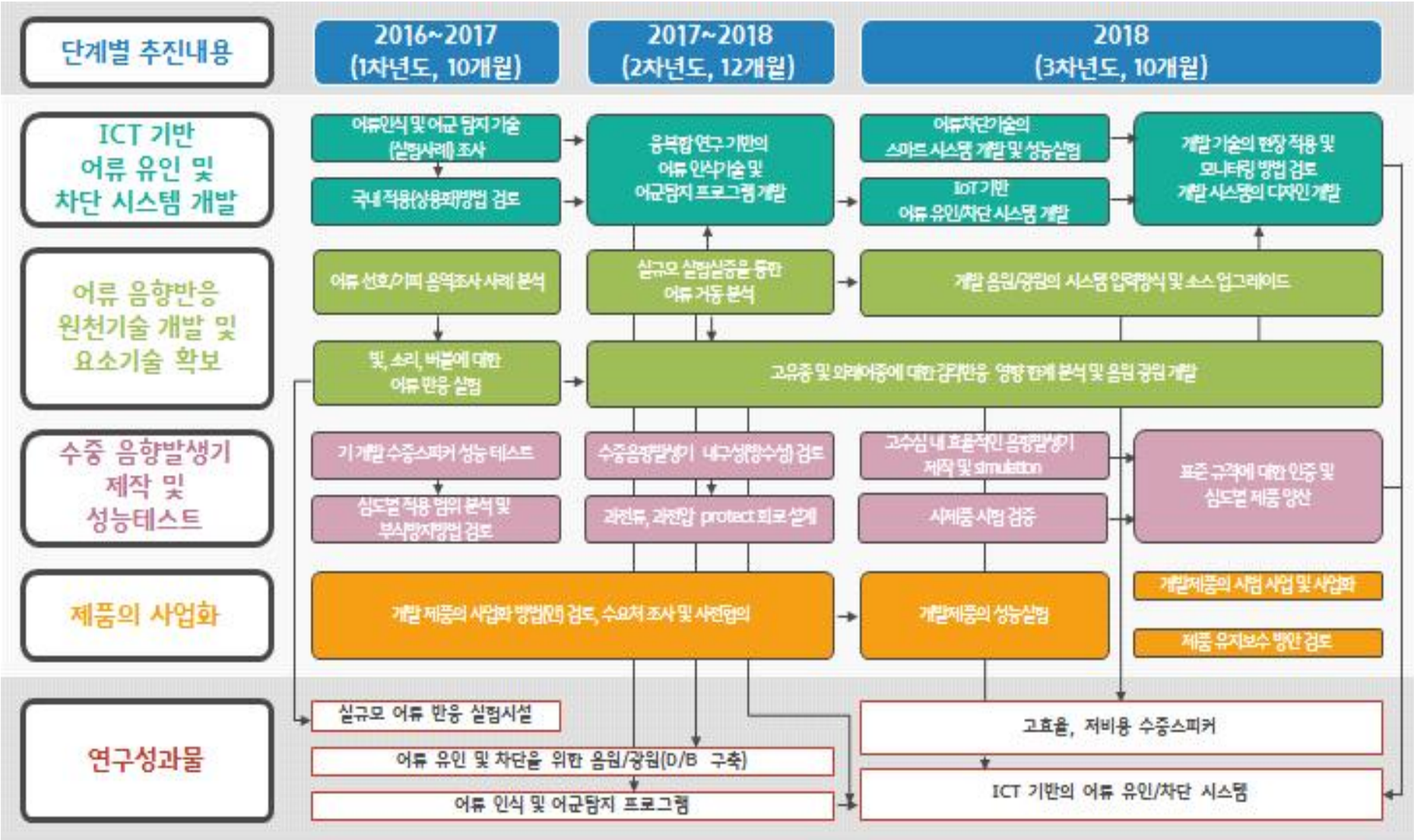


그림 3.1.4 단계(연차)별 추진내용

나. 개발 단계에 따른 세부내용

(1) 1세부 : 주식회사 자연과기술

기간	단계별 주요 연구활동	세부추진내용
1단계 (2016.4~2017.2)	■ 제품 사례 분석 및 상용화 방법 검토	· 국내외 제품 특성 조사(장단점 및 사양 분석) · 어류인식 및 어군 탐지 기술 조사 및 국내 적용 방법 검토 · 국내 적용(상용화)방법 검토
	■ 고유종 및 외래어종의 음향에 대한 감각 반응 분석	· 음원 및 광원 시스템 구축 사례 조사 · 어종별 선호 및 기피 음원 DB 구축
	■ 유인/차단 시스템 개발 및 성능실험	· 융 · 복합 연구 기반의 어류인식기술 개발 · 어류 인식 및 어군 탐지 시스템 구축
2단계 (2017.2~2018.2)	■ 음원 및 광원 제작	· 음향, IoT, 영상처리 등을 연계한 어류차단 음원/광원 제작
	■ 유인/차단 시스템 개발 및 성능실험	· 어종, 크기 등에 따른 적용 및 평가 · 어류 인식 및 어군탐지 프로그램 개발
3단계 (2018.2~2018.12)	■ 개발제품의 사업화	· ICT 융합 어류 유인/차단 시스템 개발 · 다양한 조건에 적용이 가능한 음향발생기 개발(소형/대형, 고심도/저심도 등) · 음향 제어 및 다출력 수중음향 발생 시스템 구축 · 지능형 음원선정 및 어종분류 분별 시스템 개발 · 제품 운영을 위한 시스템(중앙 제어 및 컨트롤 가능 시스템) 구축 · 어류 유인 및 차단장치 완성품 제작 및 사업화 · 개발제품 성능 검토를 위한 댐 및 발전소의 시범사업
	■ 제품 유지 및 보수	· 제품 유지 · 보수 방안 검토 · 어류 유인/차단 관련 추가 음원/광원 입력방식 검토 · 개발 시스템의 디자인 개발

(2) 2세부 : 한국건설기술연구원

기간	단계별 주요 연구활동	세부추진내용
1단계 (2016.4~2017.2)	■ 국내·외 실험 사례 분석	· 어류 선호/기피 음역조사 사례 분석 · 빛, 소리, 버블에 대한 어류 반응 실험 사례 조사
	■ 어류 반응 실험 및 평가 수행	· 고유종 및 외래어종의 빛(색 종류), 소리(주파수 및 데시벨), 버블(강도 및 크기) 등에 대한 어류 반응 평가 · 고유종 및 외래어종의 빛, 소리 버블에 대한 감각 반응 영향 한계 특성 파악 및 한계반응 요소기술 개발
2단계 (2017.2~2018.2)	■ 어류 거동 분석 및 평가	· 고유종 및 외래어종의 행동반응 지표개발 · 실험실증을 통한 어류 거동 분석 및 평가 · 어종별, 크기별 실험결과 비교 분석
	■ 수공구조물 주변 음향 해석	· 거리에 따른 음압(dB)감소 분석 및 수치모의 · 어류 서식처 적용 수리해석 수치기법 개발
	■ 실규모 실험 실증	· 어종, 크기 등에 따른 적용 방식 분석 · 현장 조건을 고려한 실규모 실험 실증
3단계 (2018.2~2018.12)	■ 실험실증 기법 개발	· 실규모 실험실증 기법 및 매뉴얼 개발
	■ 현장 성능시험	· 개발 시제품 성능실험 · 현장 모니터링 방법 검토 및 시스템 개발
	■ 음향해석에 대한 요소기술 확보	· 실험실증 기법 및 매뉴얼 개발 · 어류반응에 대한 실험기법 및 표준화 · 비접촉식 어류 차단에 대한 요소기술 확보

(3) 3세부 : ㈜프라임음향

기간	단계별 주요 연구활동	세부추진내용
1단계 (2016.4~2017.2)	■ 저수심 음향기의 최적화 방안 해석 ■ 최적의 자계회로 설계 ■ Diaphragm 설계 ■ 500W급 저수심용 시제품개발	· 저수심용 500 W급 적용의 고효율 음향기기 해석 (Fo : 100~5KHz 대역의 높은 SPL구현 방안검토) · 높은 압력의 수심에서 안정적 동작의 강력한 자계회로 Simulation 및 설계 · 수중내에서도 견딜수 있는 고강도 고분자수지계열의 Diaphragm 설계, 부식 방지의 최적화 설계 및 simulation 검토 · Simulation 결과를 토대로 저수심용 음향기 제작
2단계 (2017.2~2018.2)	■ 저수심음향기 장시간 사용에 적용될 보호회로(Protect)설계 ■ 음향기제어용 Control System 개발 ■ 음향기 Main Control system 시제품 제작	· 수중의 고압을 견딜 수 있는 최적화된 방수구조 설계 · 장시간 음향기의 사용시 발생되는 연속부하의 피로에 견딜수 있는 과전류, 과전압 Protect 회로 설계 · 여러대의 음향기를 동시 및 효율적 제어 하기위한 최적화된 Main Control System 개발
3단계 (2018.2~2018.12)	■ 1,000W 이상의 고수심용 음향기의 물리적 해석검토 ■ 저수심용 500W급 양산 설계 ■ 고수심용 음향기의 시제품 제작	· 고수심내의 고압, 고밀도의 수중에 효율적이고 안정적인 음향기의 전기적, 기계적 해석 및 Simulation · 저수심용 제품의 각종 시험 데이터를 통해 미비점 보완 및 양산 부품류의 양산 설계, 검증 · 음향기 Main Control System과 결합하여 고수심에서의 시제품 검증작업
	■ 고수심(1,000W) 음향기의 양산설계 ■ 음향기의 IEC318 기준의 규격에 의거 규격화 작업 및 인증 검토	· 고효율 저비용의 음향기(저수심용, 고수심용) 전제품의 양산 준비 · IEC318 기준의 표준 규격에 대한 인증 진행

제 2절 연구개발 내용

1. 국내·외 시장분석 및 사업화 전망

- 세계 환경시장은 지속적으로 증가하고 있음(환경부, 2014)
- 생물종 감소, 외래종 침입, 생태계 연속성 단절 등의 환경문제 심각(OECD 2050 환경전망 보고서, 2012) 및 이에 따른 환경규제 확대

	[청신호]	[황신호]	[적신호]
기후변화		·GDP당 온실가스 배출량 감소	·지구전체 온실가스 배출 ·기후변화의 증거 증가
생물다양성 및 재생가능 자연자원	·OECD 회원국의 산림지역	·산림관리 ·보호지역	·생태계의 질, 생물종 감소 ·외래종 침입, 열대림 ·불법 벌목 ·생태계 연속성 단절
물	·OECD 회원국의 점오염원에 의한 수질 오염(산업, 지자체)	·지표 수질 및 하수처리	·물 부족 ·지하수질 ·농업용 물이용 및 오염

그림 3.2.1 OECD 2050 환경전망보고서 및 내용

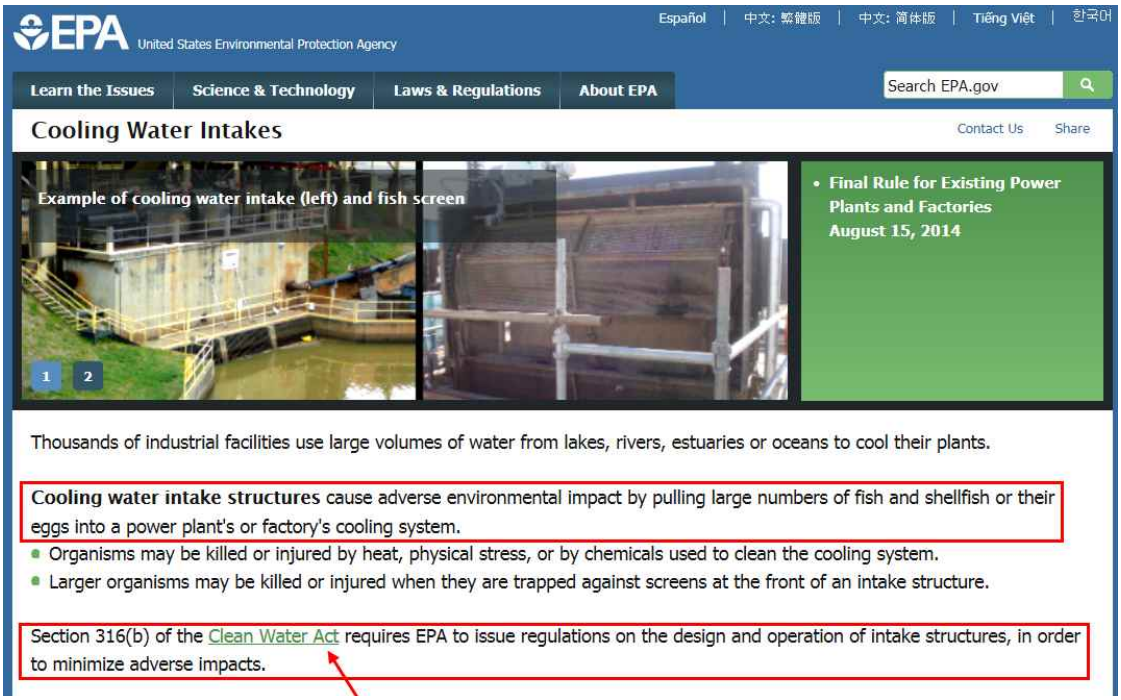


그림 3.2.2 미국 환경보호청 수질환경법(Clean Water Act.) 홈페이지

동물보호법

[시행 2015.1.20.] [법률 제13023호, 2015.1.20., 일부개정] 최종공포내용

농림축산식품부(방역총괄과), 044-201-2355, 2357

제1장 총칙

□ 제1조(목적) 이 법은 동물에 대한 학대행위의 방지 등 동물을 적정하게 보호·관리하기 위하여 필요한 사항을 규정함으로써 동물의 생명보호, 안전 보장 및 복지 증진을 꾀하고, 동물의 생명 존중 등 국민의 정서를 함양하는 데에 이바지함을 목적으로 한다.

□ 제2조(정의) 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. <개정 2013.8.13.>

1. "동물"이란 고통을 느낄 수 있는 신경체계가 발달한 척추동물로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 동물을 말한다.
   가. 포유류
   나. 조류
   다. 파충류·양서류·어류 중 농림축산식품부장관이 관계 중앙행정기관의 장과의 협의를 거쳐 대통령령으로 정하는 동물
1의2. "동물학대"란 동물을 대상으로 정당한 사유 없이 불필요하거나 피할 수 있는 신체적 고통과 스트레스를 주는 행위 및 굶주림, 질병 등에 대하여 적절한 조치를 게을리하거나 방치하는 행위를 말한다.
2. "등록대상동물"이란 질병의 관리, 공중위생상의 위해 방지 등을 위하여 등록이 필요하다고 인정하여 대통령령으로 정하는 동물을 말한다.
3. "소유자등"이란 동물의 소유자와 소유자를 위하여 동물의 사육·관리 또는 보호에 종사하는 사람을 말한다.
4. "동물실험"이란 「실험동물에 관한 법률」 제2조제1호에 따른 동물실험을 말한다.
5. "동물실험시행기관"이란 동물실험을 실시하는 법인·단체 또는 기관으로서 대통령령으로 정하는 법인·단체 또는 기관을 말한다.

□ 제3조(동물보호의 기본원칙) 누구든지 동물을 사육·관리 또는 보호할 때에는 다음 각 호의 원칙이 준수되도록 노력하여야 한다.

1. 동물이 본래의 습성과 신체의 원형을 유지하면서 정상적으로 살 수 있도록 할 것
2. 동물이 갈증 및 굶주림을 겪거나 영양이 결핍되지 아니하도록 할 것
3. 동물이 정상적인 행동을 표현할 수 있고 불편함을 겪지 아니하도록 할 것
4. 동물이 고통·상해 및 질병으로부터 자유롭도록 할 것
5. 동물이 공포와 스트레스를 받지 아니하도록 할 것

그림 3.2.3 동물보호법 개정(어류 포함) 내용

- 세계 환경시장 규모 확대
  - 2010년 7천967억 달러에서 연평균 3.2%씩 성장해 2020년에는 2배 이상의 규모인 1조 865억 달러로 확대될 것으로 전망됨
  - 하천생태계 보호를 위한 어류 유인 및 차단 분야는 크게 외래어종 침입 차단분야, 발전시설 취수구 어류차단분야, 고유종 및 희귀어종 보호분야, 외해어류양식 유지관리 적용분야, 회귀 어류에 대한 어도 유인 분야, 선박 평형수 관리 분야로 구분됨

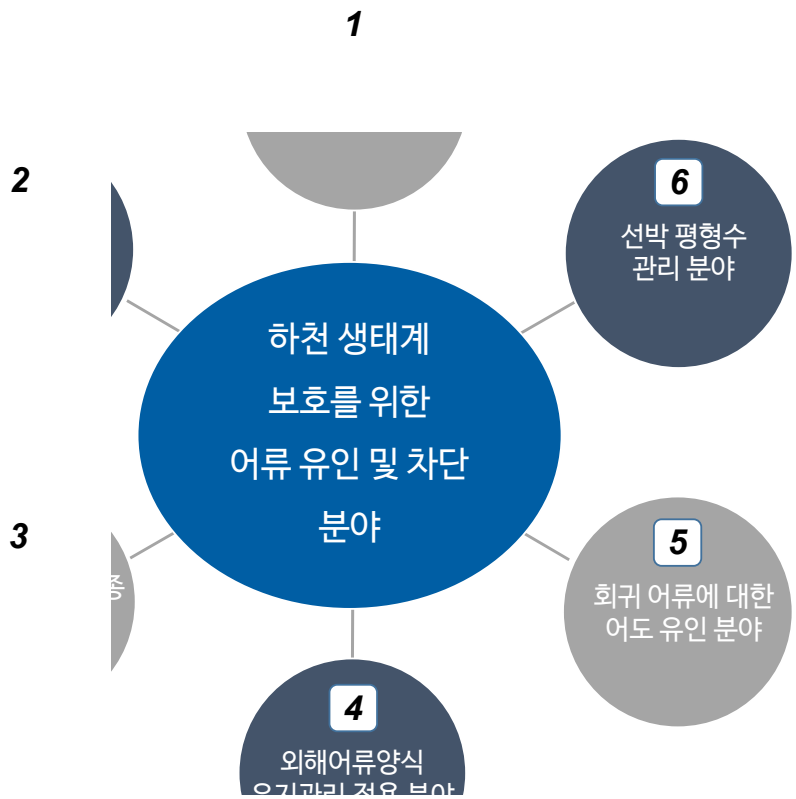


그림 3.2.4 본 사업화 대상 기술의 적용 분야

- 발전시설 어류차단분야(원자력, 화력, 수력 등)
  - 발전소 취수구 어류유입으로 인한 어족자원감소 및 발전설비 유지관리 문제 발생
  - 어류차단시스템 구축비용 발전소 당 10억 이상 예상(수중음향발생기 10기, 어류자동감지 시스템, 컨트롤 시스템)
  - 국내 총 발전시설 현황(풍력, 태양열 등 제외) : 58 개소
  - 국내 시장 규모 : 최소 580 억 이상
  - 세계 발전시설 현황(풍력, 태양열 등 제외) : 8639 개소
  - 세계 시장 규모 : 최소 8조 6390억 이상
  - 출처 : Global Energy Observatory(2016년 2월 기준)

그림 3.2.5 국내 발전소 현황

그림 3.2.6 세계 발전소 현황

- 외래침입어종(Invasive fish) 어류차단분야(아시안잉어, 배스, 블루길 등)
  - 아시안잉어(Asian carp)는 1970년대 미국에서 양식업자들이 부유물처리를 위해 수입
  - 외부 유출 후 급속히 확산되어 미시시피강 일대 토종어류 90% 감소
  - 현재 미국 미시시피강에서 5대호 확산을 방지를 위하여 전기장벽(Electronic barrier)설치, 한화 약 107.5 억 소요
  - 아시안잉어 퇴치를 위하여 향후 25년간 21.4조 소요 예상
  - 출처 : The US Army Corps of Engineers
  - 국내에서 배스 및 블루길 등 생태계위협 외래어종의 퇴치를 위하여 수매사업 실시(2003년부터 1 Kg 당 5000원 수매, 2015년 관련예산 2.7억이나 역부족)

그림 3.2.7 아시안 잉어 문제

의암호 어민들, 냉동고에 쌓인 배스?블루길 어쩌나

[중앙일보] 입력 2015.07.22 00:27 | 종합 21면 지면보기

박진호 기자

호수나 강에서 물고기를 잡는 강원도 어민들이 블루길·배스 등 생태계 교란 어종을 포획하고도 처리할 방법이 없어 골머리를 앓고 있다. 생태계 보호를 위해 이들 어종을 수매하던 시·군 예산이 바닥나서다.

지자체 교란어종 수매 예산 바닥
잡은 것 처분 못한 어민만 발 동동

21일 강원도 등에 따르면 춘천·원주·횡성·화천·양구·인제 등 6개 시·군은 2003년부터 외래종인 블루길·배스와 토종 누치·강준치 등 생태계 교란 어종을 kg당 5000원에 사들였다. 이를 위해 6개 시·군이 올해 편성한 예산은 모두 2억7333만원이다. 하지만 이들 시·군의 수매 예산이 대부분 바닥났다. 왕성한 번식력 때문에 이들 생태계 교란 어종이 워낙 많이 잡혀서다. 춘천시는 예산 7333만원을 지난달까지 모두 썼고, 원주시는 이보다 두 달 앞선 지난 4월 예산 7200만원을 소진했다.

그러다보니 어민들은 포획한 생태계 교란 물고기를 냉장고 등에 보관하거나 밭에 거름으로 쓰고 있다. 춘천 의암호 주변 호반어촌계 어민 8명이 냉동고에 보관 중인 물고기 량은 약 3t이다. 어민 송홍섭(75)씨는 "올해 수매가 끝나 배스누치 등을 내년까지 보관해야 할 판"이라고 말했다. 한진규 강원도 내수면연합회장은 "생태계 교란어종이 급격히 늘면서 수매 관련 예산이 갈수록 부족해지고 있다"며 "강원도에 예산 증액을 건의하겠다"고 말했다.

박진호 기자 park.jinho@joongang.co.kr

장수군, 생태계교란 외래어종 수매사업 실시

(아시아뉴스통신=김성수기자)

기사입력 : 2016년 02월 29일 14시 41분

장수군, 생태계교란 외래어종 수매사업 실시 모습.(사진제공=장수군)

장수군이 생태계교란 외래어종 큰입배스퇴치를 위해 작년에 이어 올해 3월부터 10월까지 수매사업을 재개한다.
이번 수매 사업은 외래어종인 큰입배스가 관내 저수지등에 넓게 분포돼 있어 내수면 생태계를 교란시킴에 따라 토종 어종을 보호하고 건전한 생태계를 유지하기 위함이다.

이에 군은 큰입배스 퇴치를 위해 수매사업과 함께 산란철인 3월 중순부터 일부 저수지에 큰입배스 인공산란장 설치하고 산란을 유도해 배스 알을 제거할 예정이다.

이번 수매사업은 10월까지 뜬봉샘생태공원에서 실시되며 수매대상은 관내에서 장수군민이 포획한 큰입배스로 가격은 1kg당 5,000원으로 예산 소진 시까지 선착순으로 지급된다.

군 관계자는 "관내에 서식중인 큰입배스는 강한 번식력과 천적 부재로 개체수가 증가해 토종어류의 알과 치어 포식으로 토종어류의 개체수를 감소시키는 생태계 교란종이다"며 "생태계 회복을 위해 큰입배스 수매사업에 군민 여러분의 적극적인 참여와 협조를 바란다"고 말했다.

한편 자세한 사항은 뜬봉샘 생태공원(063-350-2515)으로 문의하면 된다.

그림 3.2.8 국내 외래어종 문제(중앙일보, 2015.7; 아시아뉴스, 2016.2)

- 선박 평형수(Ballast Water Treatment; BWT) 관리분야
  - 최소 7000여 종의 해양생물이 선박 평형수를 통하여 무분별하게 이동
  - 국제해사기구(International Maritime Organization; IMO)에서 2004년 평형수처리에 관한 국제협약체결
  - 2009년부터 순차적으로 평형수 처리장치 탑재 혹은 공해상 교환하도록 규정
  - 선박평형수 유입부 생물유입 저감시스템 구축 및 해양생태계 교란 억제
  - BWT기술 시장규모 2013년 기준 5538.5억

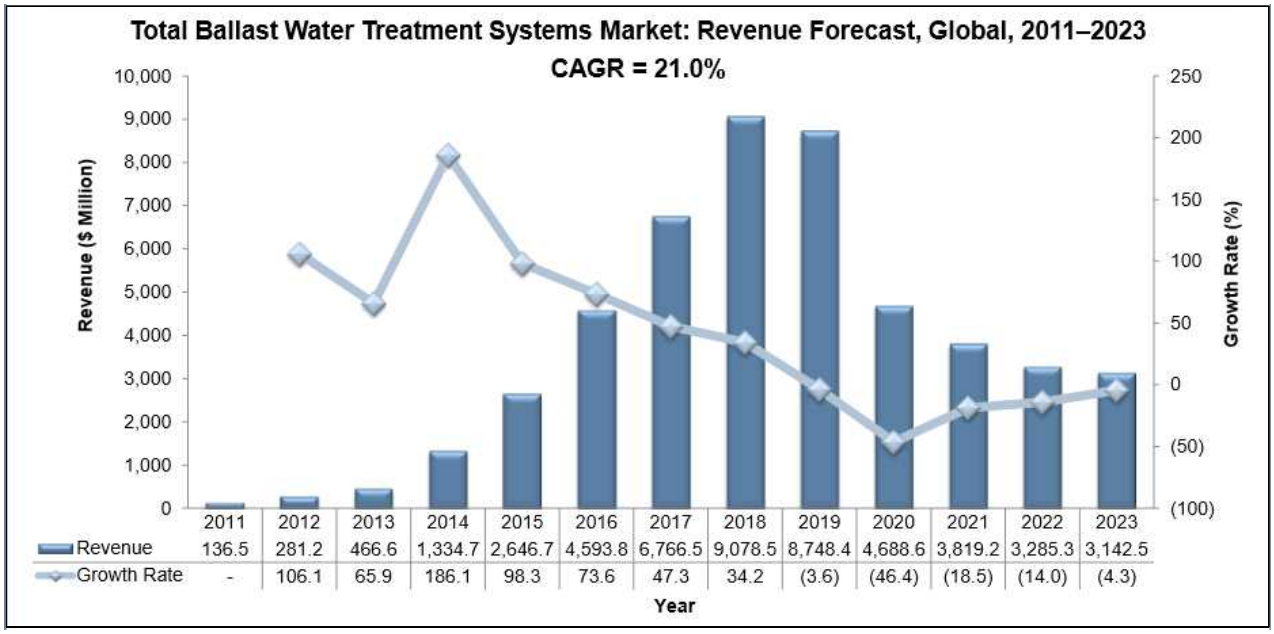


그림 3.2.9 BWT 기술 시장규모(출처: Frost & Sullivan analysis)

- 고유종 및 희귀어류 보호분야
  - 선박에 의한 추돌 등으로 인하여 고래 및 희귀 해양포유류 감소
  - 호주 정부는 고래 및 해양포유류 보존을 위해서 2008년부터 6년간 약 388억 예산 투입
  - 출처 : Department of the Environment, Australian Government
- 국내 외해어류양식 유지관리 적용분야
  - 어류양식 산업의 생산량 증대효과
  - 국내 양식장 운영 어가 : 1,905 가구
  - 총 어류양식면적 : 1,739.375 ha(출처 : 해양수산부)
- 회귀 어류에 대한 어도 유인 분야
  - 하천생태계 안정과 수산자원 증강을 위해 어류 유인을 통한 어도 활용성 증대 필요
  - 국내 하천 어도 : 총 5081 개(출처 : 해양수산부)

가. 국내·외 주요 업체 분석

- 국내에서는 한국건설기술연구원에서 유일하게 소리와 어류에 대한 연구를 수행함
  - 어류반응 및 차단실험 수행(국내어종, 외래어종 대상)
  - 음원 제작 및 개발, 고출력 수중음향발생장치 R1(500 W) 개발

그림 3.2.10 최종결과물 고출력 수중음향발생장치 R1(500 W)(좌: 후면, 우: 전면)

- 국외의 경우 F.G.S(Fish Guidance Systems, 영국)에서 어류유입방지 장치를 연구/개발함
  - 1994년에 설립하여 현재 어류 차단시스템 연구 분야를 확대하고 있음
  - 강렬한 빛과 소리를 이용한 SILAS 시스템 특허를 보유하고 있음
  - 어류방지 장치는 시설설치와 함께 계속적인 운영을 수행하고 있음
  - 2010년대부터 미국 내 외래종 문제해결을 위한 방안으로 활용됨
  - 중국 LNG 터미널에 제품을 적용하였으며 중국 내 제품 확대 추진 중

그림 3.2.11 어류차단시설 및 SILAS 시스템

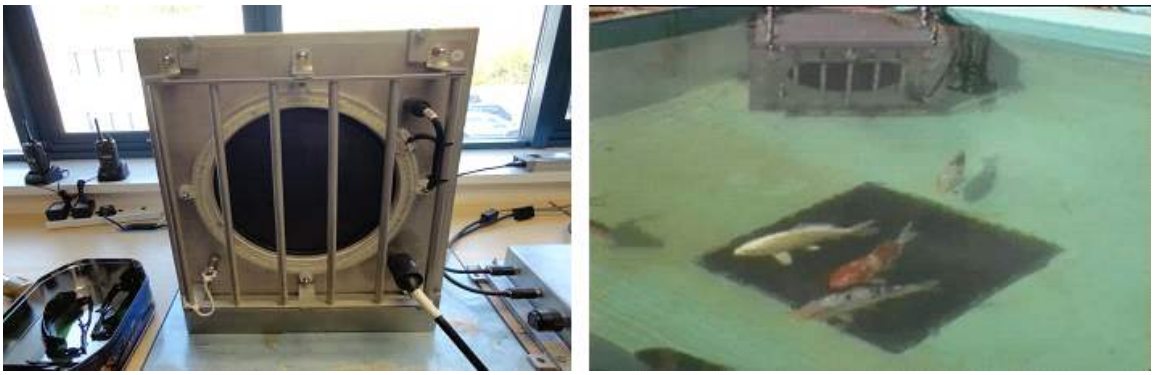


그림 3.2.12 사운드 프로젝터 및 음파실험

표 3.2.1 영국 F.G.S사의 실적 내용

연도	국가/지역	설치시설	비고
2012	California, USA	Georgiana Slough	하천
2011	Scotland	Firth of Forth Blasting for Crossing Bridge	교량
2011	Liaoning Province, China	Dalian LNG Terminal	LNG 터미널
2011	Canada	Lower Bear Creek	수력발전
2010	California, USA	Head of Old River Central Valley	하천
2009	Illinois, USA	Quiver Creek	하천
2009	London, UK	Beckton Desalination Plant	담수화시설
2000	Lake District, UK	Backbarrow Hydro Electric Power Station	수력발전
1997	Belgium	Doel Nuclear Power Plant	핵발전
1995	York, UK	River Foss Pumping Station	취수장
-	Hampshire, UK	Otterbourne Drinking Water Intake	식수탱크

그림 3.2.13 중국 LNG 터미널의 제품 적용

나. 시장 예측 및 사업화 전망

최근 외래어종 침입, 발전시설 내 어류 유입 문제 등이 지속적으로 제기되고 있다(규제 및 법률). 본 과제는 환경을 접목한 신산업 분야로써 해당 시장은 꾸준히 성장하고 있는 것으로 나타났다. 국내 발전시설(251 기) 대상으로 적용 사례가 없으며 국외 기술 도입 시 약 2,500억원 소요(취수구 별 20대 적용기준) 된다. 국내기술을 바탕으로 원천기술을 확보하고 제품을 개발할 예정이므로 유지보수 및 관리가 용이하다(경제성 및 경쟁력 확보). 음향 발생기 자체제작, 산업용 음원개발 등에 대한 기술력 향상으로 비용 절감(50% 이상 예산 절감 기대)이 가능하므로 사업화 전망이 밝은 것으로 판단된다.

다. 종합결론

(1) 종합분석

공공 기술의 중소기업 이전 및 사업화를 통한 기술의 양적 및 질적 확장이 필요하다. 현재 국내에서 관련 기술의 개발은 정출연에 의해 주도되는 상황이며 국내 중소기업에는 관련 기술을 개발하고 사업화 할 연구 인력과 예산이 부족한 현실이다. 따라서 국가지원을 통해 적극적인 연구 개발을 수행 및 관련 기술 시장에서 기술선점이 필요하다.

또한 기초연구를 통한 사업화 준비환경이 완료되었기 때문에 사업화가 용이할 것으로 판단된다. 특히 기초 실험 및 연구가 완료되었으며 시작품 제작 완료뿐만 아니라 실험실증을 마무리하였기 때문에 어류보전 및 환경시장의 확대로 성공 가능성이 높을 것으로 판단된다.

(2) SWOT 분석

- 강점 (Strength)
  - 국내·외 기준 최고의 기술력 확보(시제품 개발을 통한 기존 기술의 진보)
  - 국외 기술 대비 가격경쟁력 높음
  - 실험실증, 어류실험을 통한 다양한 음원 개발 가능(국내어종, 외래어종 대상으로 기술 확보)
  - 특허 보유(신수종 연구로 환경 및 방재분야의 미래가치 창출 가능)
  - 어류 관련 유사 실험 경험자 다수 확보
- 약점 (Weakness)
  - 환경 분야 법률 및 시행령 미진
  - 중소기업-공공기관 연계 부족, 하천환경산업분야 기술 경험 부족
  - 국가차원의 예산 지원 부족
- 기회 (Opportunity)
  - 환경산업에 대한 전 세계적인 관심 및 기대 증가
  - 댐 연결(도수터널) 등으로 인한 외래어종 차단 요구(시민단체, 환경단체) 증가
  - 어류 관련 국내외 환경규제법 증가
  - 공공기술의 중소기업 이전 및 사업화 시행
- 위협 (Threat)
  - 중국 등 국외 기술 개발 증대
  - 환경산업 및 제반 시설에 대한 관심이 확대되면서 경쟁국 및 경쟁사(자) 증가

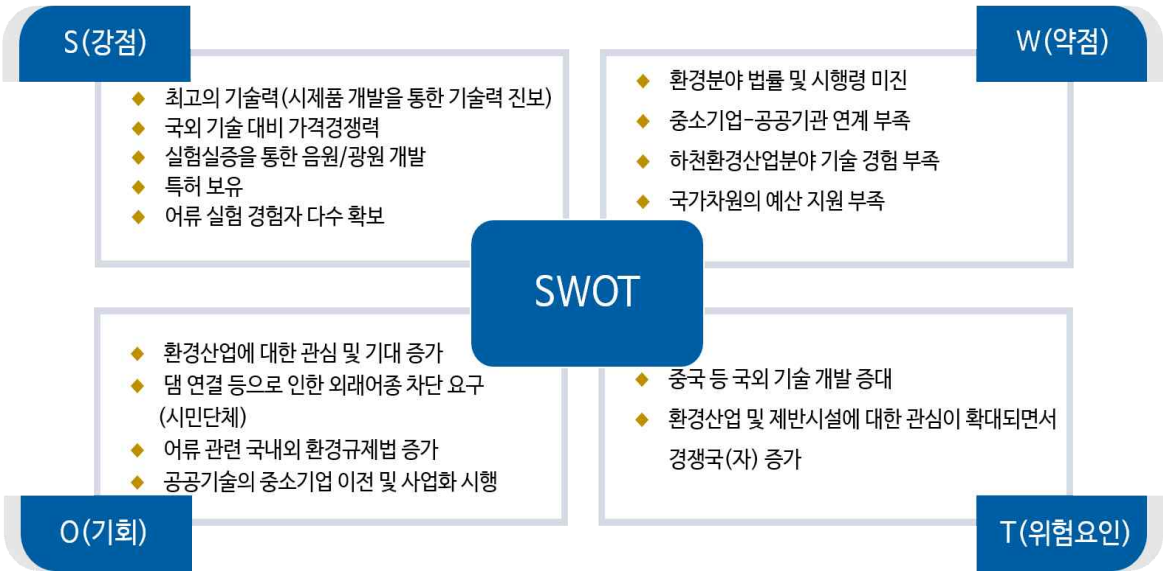


그림 3.2.14 연구 과제의 SWOT 분석 결과

2. 적용성 평가

가. 현장조사 및 사전테스트

자연 여울과 소의 음역대를 조사하고 비교하였다. 자연하천의 여울과 소가 형성된 지역으로 자갈하천을 대상으로 수행하였으며 수리특성 측정 및 수중 소리를 획득하였다.

현장조사를 통해 유속 및 소리의 차이가 발생하는 여울과 소 23개 지점을 비교분석하였다. 조사지역 여울은 물의 흐름이 빠르며 수심이 비교적 얕으며, 유속이 빨라 물 표면이 깨지면서 소리 내어 흐르는 형태이다. 소는 여울에 비해 깊으며 유속이 느려 매끄러운 물 표면을 가지고 있는 형태이다. 유속은 1차원 프로펠러유속계(VO1000, KENEK)를 사용하였으며 표면유속을 측정하였다. 여울의 수심은 0.11 m ~ 0.47 m 이며 소의 수심은 0.12 ~ 2 m 이상으로 나타났다. 소리 측정은 사이트별 3분이며 측정위치는 여울의 경우 수면 아래 0.05 m ~ 0.10 m이고 소는 수면 아래 0.20 m ~ 0.30 m 사이이다.

여울 8개 사이트에 대한 측정결과는 아래의 표 3.2.2와 같다. 측정결과 주파수 범위는 거의 동일하게 나타났으며 주파수가 높아질수록 음압은 감소하는 경향을 보이고 있다. 유속은 평균 0.658 m/s 이며, 음압은 176.8 dB로 나타났다. 여울에서는 최대음압 발생 시 주파수 범위는 200 Hz ~ 250 Hz로 일정한 범위였으며 평균 231.3 Hz로 나타났다.

표 3.2.2 여울에서의 측정결과

	Site	Maximum sound pressure (dB)	Maximum frequency (Hz)	Flow velocity (m/s)
Riffles	1	178.0	200.0	0.571
	4	179.0	250.0	0.565
	5	177.0	250.0	0.630
	9	174.5	200.0	0.940
	10	177.0	250.0	0.800
	11	175.1	200.0	0.560
	20	177.0	250.0	0.637
	21	177.0	250.0	0.560
	Averages	176.8	231.3	0.658

소 15개 사이트에 대한 측정결과는 표 3.2.3과 같다. 측정결과 주파수 범위는 거의 동일하게 나타났으며 주파수가 높아질수록 음압은 감소하는 경향을 보이고 있다. 여울에 비해 소의 경우 유속이 느려 자갈 움직임 등 다양한 소리가 측정되어 불규칙한 양상을 보였다. 유속은 평균 0.143 m/s 이며, 음압은 168.2 dB로 나타났다. 소에서는 최대음압 발생 시 주파수 범위는 200 Hz ~ 1,000 Hz로 다양한 범위를 보였으며 평균 566.3 Hz로 나타났다.

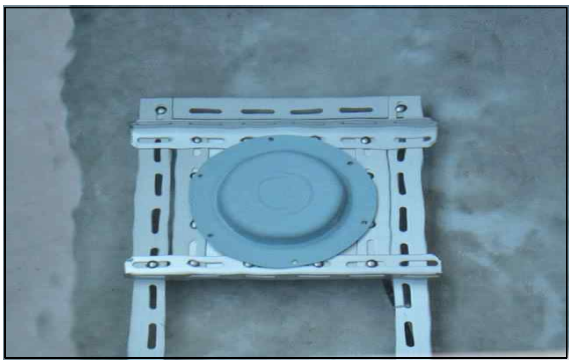
표 3.2.3 소에서의 측정결과

	Site	Maximum sound pressure (dB)	Maximum frequency (Hz)	Flow velocity (m/s)
Pools	2	165.5	1000.0	0.040
	3	164.5	400.0	0.138
	6	167.0	400.0	0.226
	7	171.0	250.0	0.084
	8	171.5	315.0	0.051
	12	167.0	1000.0	0.170
	13	169.0	250.0	0.180
	14	167.0	315.0	0.200
	15	168.2	250.0	0.240
	16	166.0	1000.0	0.260
	17	171.0	200.0	0.130
	18	170.0	1000.0	0.280
	19	168.5	800.0	0.100
	22	168.0	315.0	0.020
	23	169.0	1000.0	0.030
	Averages	168.2	566.3	0.143

소리에 대한 사전 어류 반응 실험을 수행하였다. 음향발생 시스템, 실험수조, 영상분석 시스템을 이용하여 진행하였다. 음향발생 시스템은 EV사 수중음향발생장치(UW30), EV사 파워엠프(Q44) 및 YAMAHA사 오디오믹서(MG124CX)를 결합하여 수중에서 안정적으로 실험 음원을 재생할 수 있도록 제작하였다.

그림 3.2.15 1 m 수조 내 어류 반응 실험

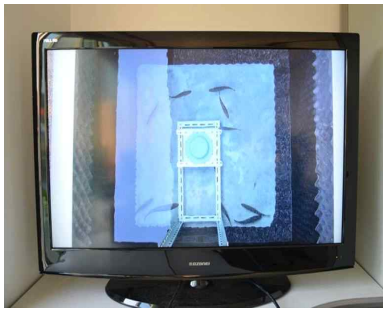
(a) 음향발생시스템



(b)수중음향발생장치 설치

(c) 영상촬영 캠코더

(d) 수중촬영장비(Gopro)



(e) 어류반응 실시간 모니터링

그림 3.2.16 어류거동 측정장치

(a) 칼납자루

(b) 붕어

(c) 큰입우럭

(d) 파랑볼우럭

그림 3.2.17 실험대상어류

그림 3.2.18 주파수 검증(400Hz - 700Hz)

- 특정소리 재생을 통한 어류거동 분석

음향에 대한 어류의 반응실험을 위해 특수한 음향반응 실험수조 제작하였다. 음향 차단실험의 경우 실험수조에서 일정간격의 주파수(Frequency)에 대한 반응을 모니터링 하여 어종별 가장 민감한 주파수를 분석하였다. 민감 주파수를 이용하여 차단실험 수행한 결과 가청주파수의 민감도는 칼납자루>붕어>파랑볼우럭>큰입우럭 순서로 나타났다. 대부분의 거동반응은 회피반응으로 판단되었으며 큰입우럭의 실험 시 특이하게 1,000Hz에서 선호반응을 보인다.

주파수 0 ~ 20000 Hz까지 50단위로 반응실험을 한 결과 유인을 위한 주파수는 확인할 수 없었으며 향후 어류 스트레스 실험 등 구체적인 실험이 필요한 것으로 판단된다.

- 외래어종에 대한 분석

큰입우럭(배스)에 대한 분석 결과 100Hz ~ 150Hz 까지 그리고 1000Hz 음원발생 시 반응을 보였으며 대체적으로 회피하는 반응이나 1000Hz 에서는 스피커 주위로 근접하는 경향을 보였다. 이외의 주파수에서는 별다른 거동변화를 관찰하지 못했다. 파랑볼우럭은 50Hz ~ 250Hz 까지 음원발생 시 반응을 보였으며 대체적으로 회피하는 반응이 나타났다. 이외의 주파수에서는 별다른 거동변화를 관찰하지 못했으며 실험 중에는 활동성이 좋지 않아 반응하는 주파수 외에는 거의 움직임이 없었다.

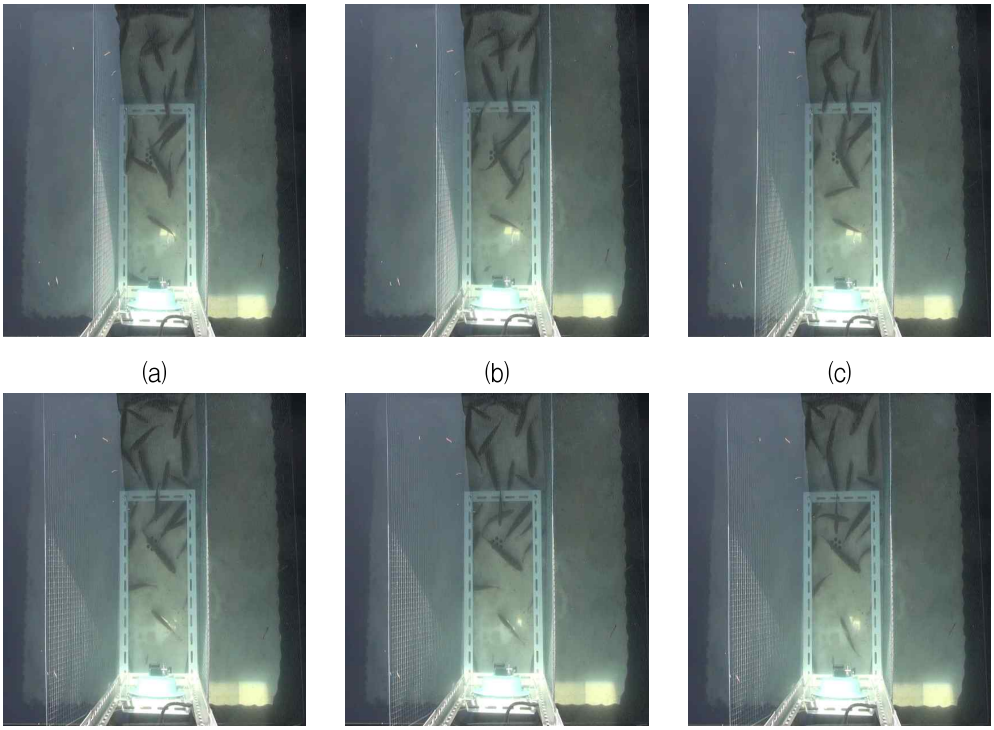


그림 3.2.19 큰입우럭의 음향반응정도 1 (a, b, c, d 순서대로)

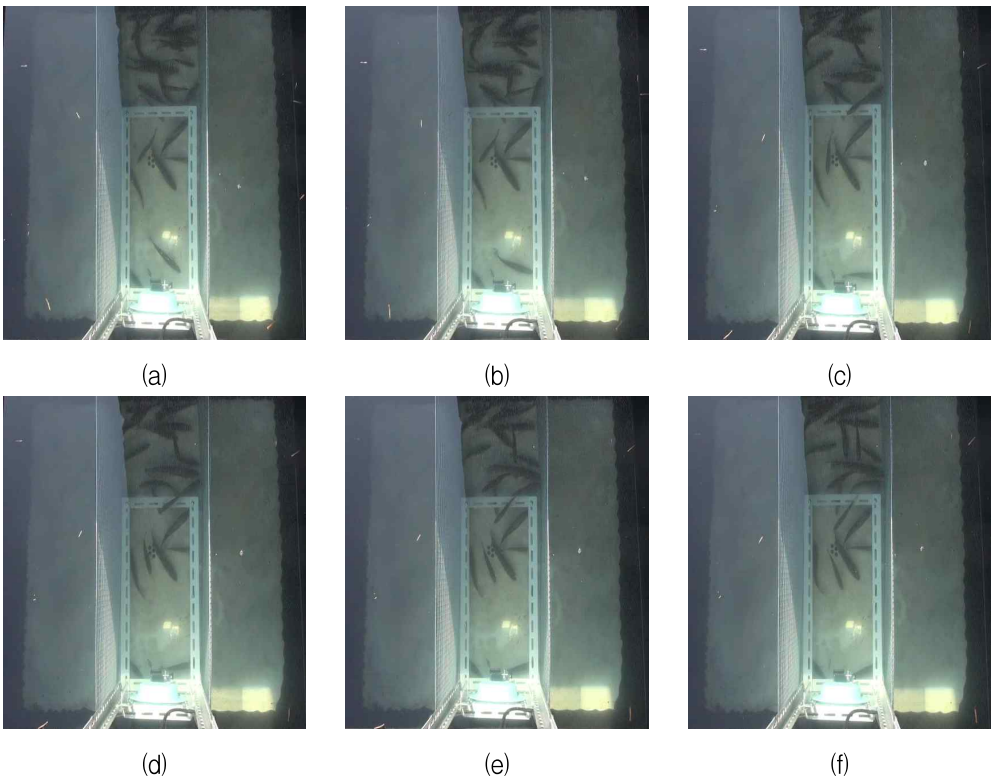


그림 3.2.20 큰입우럭의 음향반응정도 0 (a, b, c, d 순서대로)

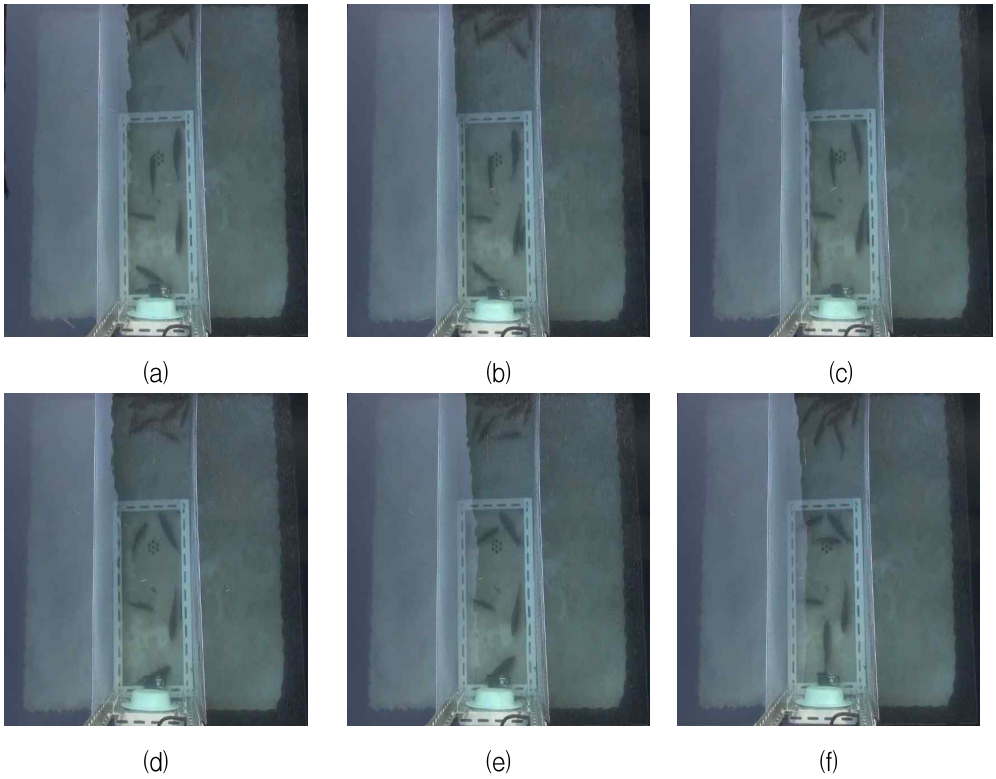


그림 3.2.21 파랑볼우럭의 음향반응정도 1 (a, b, c, d 순서대로)

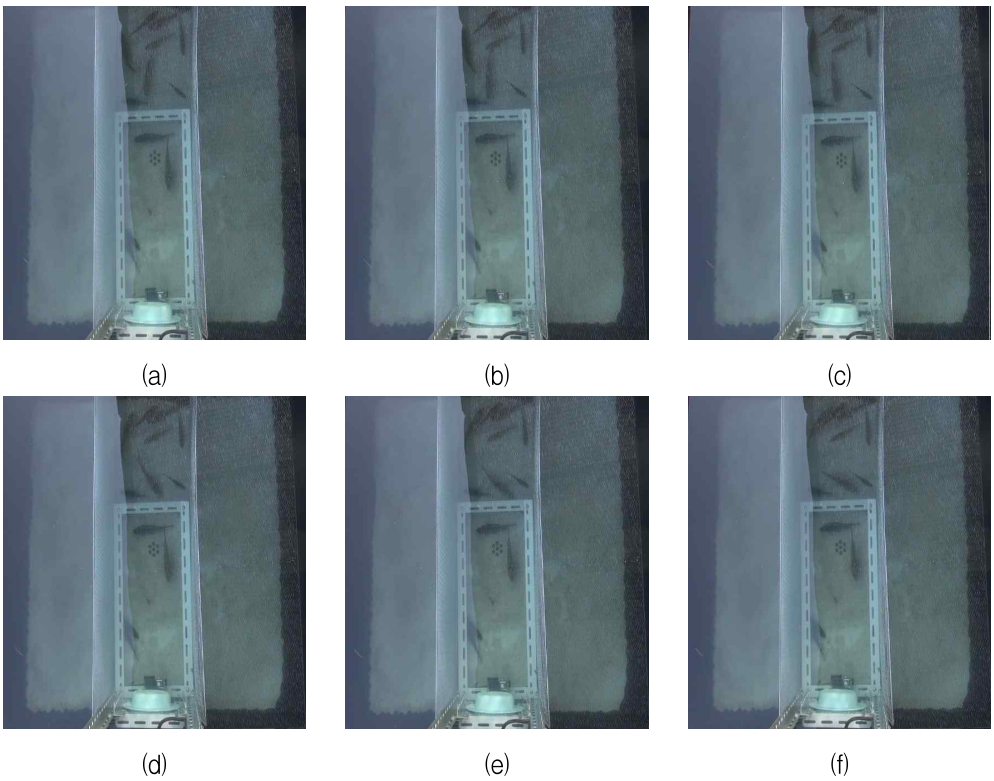


그림 3.2.22 파랑볼우럭의 음향반응정도 0 (a, b, c, d 순서대로)

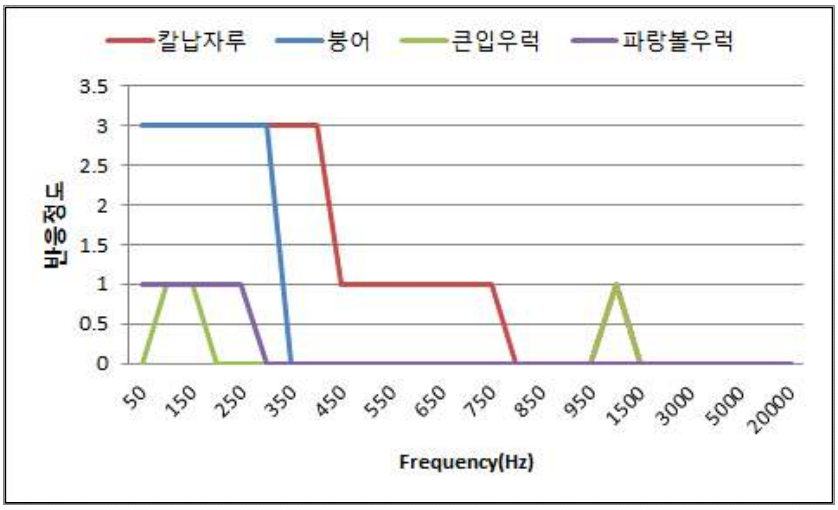
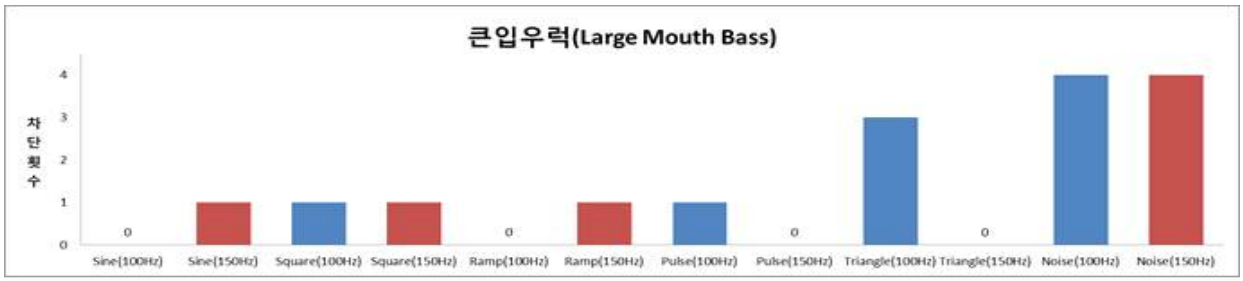


그림 3.2.23 전체 실험어종의 음향반응

- 수로 내 차단시설 적용 시 어류거동 분석
  - 실험장소: 순환수로 50 m(L) × 2 m (W)
  - 100Hz 및 150Hz에 대하여 Waveform(Sine, Square, Ramp, Pulse, Triangle, Noise)에 따른 차단효과 분석
  - 복잡한 패턴의 Noise의 차단효과가 가장 뛰어나다.

그림 3.2.24 어류거동 실험수로 및 음향발생기



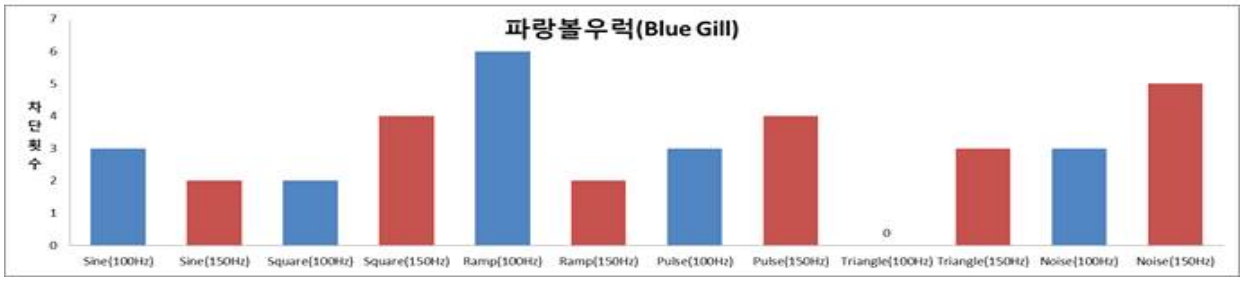


그림 3.2.25 큰입우럭과 파랑볼우럭의 waveform 변화에 따른 차단효과 실험결과

그림 3.2.26 어류차단실험(큰입우럭, Noise 150 Hz)

그림 3.2.27 어류차단실험(파랑볼우럭, Noise 150 Hz)

- 수로 내 차단시설 적용 시 어류거동 분석(버블, 광원 적용)
  - 실험어종: 파랑볼우럭(Blue Gill), 큰입우럭(Large Mouth Bass)
  - 실험장소: 순환수로 50 m(L) × 2 m (W)

그림 3.2.28 버블 적용 시 배스 움직임(with barrier)

그림 3.2.29 빛 적용 시 배스 움직임(with barrier)

나. 어군 탐지 및 인지프로그램 비교 분석

(1) 어군탐지기 비교

- 배에 이용 시 어군탐지기 비교

고정된 선박용 장치는 느리고 설치가 복잡하지만 Deeper PRO는 Deeper Flexible Arm을 사용해 수 초 만에 설치되며, 다른 배로 쉽게 옮길 수 있다. 또한 천공이 필요 없다. 표 3.2.4는 Deeper PRO와 Raymarine Dragonfly의 설치에 필요한 장비와 도구를 비교한 표이다. Deeper 소나는 설치가 쉽고 기능이 다양하다고는 하나, 가격이 비싼 탑재 장치와 비교하였다. Deeper Smart Sonar PRO+와 Humminbird Helix 10을 함께 사용해 봤을 때 어군의 깊이, 구조 및 표시에 있어 두 장치의 기능은 동일하였으며 HELIX 10은 필요한 마운트 및 케이블을 포함하여 1,000 달러 이상의 비용이 필요한 것으로 나타났다.

표 3.2.4 Deeper PRO와 Raymarine Dragonfly의 설치에 필요한 장비와 도구 비교

Deeper PRO	Raymarine Dragonfly
1. Deeper Flexible Arm 장착 2. 맨손	1. 파워 드릴 2. 포지드리브 드라이버 3. 3 mm (5/32) 앨런 키 4. 해양 등급 실란트 5. 적절한 크기의 드릴 비트 6. 접착 테이프 7. 18mm (23/32") 구멍 톱 디스플레이 장착용: 1. 실톱 2. 32mm (1 1/4") 구멍 톱 3. 7mm (9/32) 스패너 4. 파일

- 카약을 이용 시 어군탐지기 비교

Deeper PRO는 카약에 추천되는 장치이며, 가볍고 설치가 쉬우며 천공이 필요 없다. 외부 배터리가 없으므로 카약 내 공간을 차지하지 않으며 무엇보다도, 해당하는 주(State)의 차트를 무료로 다운로드 할 수 있으며 심도 등고선 데이터를 추가할 수 있다.

Deeper PRO는 다른 카약용 어류 탐지기와 나란히 비교한 결과 Deeper에는 기존 장치에는 있는 기능은 모두 가지고 있는 것을 확인하였다. Deeper PRO를 Garmin Striker 4cv 및 Lowrance Hook 4와 비교해 본 결과는 아래의 표 3.2.5와 같다.

표 3.2.5 Deeper PRO를 Garmin Striker 4cv 및 Lowrance Hook 4와 비교 결과

구분	Deeper PRO	Garmin Striker 4cv	Lowrance Hook 4
이중 주파수 소사	O	O	O
모든 스캔 기록	O	X	O
GPS 기능	O (앱 사용자 휴대전화기의 GPS를 활용)	O	O
호수 및 강을 보여주는 차트	O	X	O (비용 지불 후 업그레이드)
수중 등고선 지도 만들기	O	X	X
경유지 표시하기	O	O	O
데이터 전송	O (자동 동기화)	X	O (마이크로 SD 카드 구매해야 함)
모든 컴퓨터에서 지도를 보고 공유하기	O	X	X
무료 업그레이드	O (일반 무료 앱 업그레이드)	X (업그레이드 불가)	X (업그레이드를 위해 마이크로 SD카드 구매해야 함)
A-스코프, 어류 ID, 어류 깊이 및 원형 플래셔 디스플레이	O	O	O
외부 배터리 필요	X (마이크로 USB 포트를 통해 재충전)	O	O

- 얼음 위에서 이용 시 어군탐지기 비교

얼음 위에서 사용할 경우, Deeper 소나가 합리적인 가격으로 흠잡을 데 없는 훌륭한 사양을 제공하는 것으로 조사되었다. 얼음 위에서 사용할 권장 모델인 Deeper Smart Sonar PRO를 기존 얼음 플래셔와 비교해 봤을 때 Humminbird ICE 35, Marcum showdown 5.6 및 FL - 18 Vexilar Genz Pack과 같이 가격 면에서 비교할 수 있는 가장 잘 알려진 아이스 플래셔 중 세 가지를 선택하였다. 비교 결과 세 가지 모두 다 가격이 높은 것으로 나타났다.

- 종합 결과

아래의 표 3.2.6은 어군탐지기 제품들에 대한 분석결과를 나타낸다. 본 연구에서는 Deeper PRO가 가 가장 적절한 것으로 판단된다.

표 3.2.6 어군탐지기 제품들에 대한 분석 결과

구분	Deeper PRO	Humminbird ICE 35	Marcum showdown 5.6	FL - 18 Vexilar Genz Pack
최대 스캔 깊이	약 79 m	약 61 m	약 73 m	약 91 m
줌 기능	O	X	O	O
타겟 분리	0.4″	2.5″	0.5″	2.65″
중량	0.1 kg	5.2 kg	4.2 kg	0.5 kg
GPS 얼음 구멍 표시	O	X	X	X
모든 얼음 구멍에 대한 데이터 로그	O	X	X	X
원형 플래셔, 수직 플래셔 및 수중 탐지기 디스플레이	O	원 한정	수직 한정	원 한정
케이블 필요 유무	X	O	O	O

(a) Deeper PRO

(b) Humminbird ICE 35

(c) Marcum showdown 5.6

(d) FL - 18 Vexilar Genz Pack

그림 3.2.30 어군탐지기 비교

(2) 어군 탐지 프로그램의 테스트 및 적용 가능성 평가 수행

- 어군탐지시스템 테스트 장비
  - 제조사 : Deeper
  - 모델명 : Smart Sonar Pro+
  - 특 징 : 수중 초음파 센서를 활용한 어군탐지시스템으로 스마트패드, 스마트폰 등의 어플리케이션으로 구동 가능, 초음파는 290 kHz, 90 kHz를 사용하며 수심 1.3 m 부터 80 m 까지 어류탐지 가능, 초음파 센서를 통하여 바닥지형, 수심, 어군의 크기와 규모 탐지 가능, 초음파센서 외에도 GPS와 온도센서를 탑재하여 측정지점과 수온 등의 기록 가능

표 3.2.7 어군탐지시스템 특성

Sonar type	Dual beam
Depth Range Max/Min	80 m / 1.3 m
Connection	Wireless Wi-Fi connection
Wi-Fi range	100 m
Size	6.5 cm diameter
construction	ABS
Weight	100 g
Temperature	Water Temprature Sensor
Temperature Unit	Celsius/Fahrenheit
Operational Temperature	-4F to 104F/-20℃ to 40℃
Battery	Lithium Polymer 3,7V Rechargeable
Frequency	290 kHz(15°) / 90 kHz(55°)

- **현장테스트 및 가능성 검토**

어류탐지의 효과와 실제 적용가능성을 평가하기 위하여 한국건설기술연구원 하천실험센터 저류지에서 고무보트를 활용한 실규모 필드테스트 수행하였다. 실제 어군의 규모와 크기가 탐지되었으며 부가적인 측정위치, 하상구조, 수온 등의 데이터수집이 가능하다. 향후 시범사업(경남 창원 산남저수지)을 통하여 실제 투입된 어군에 대하여 정확도 평가 예측 계획하였다.

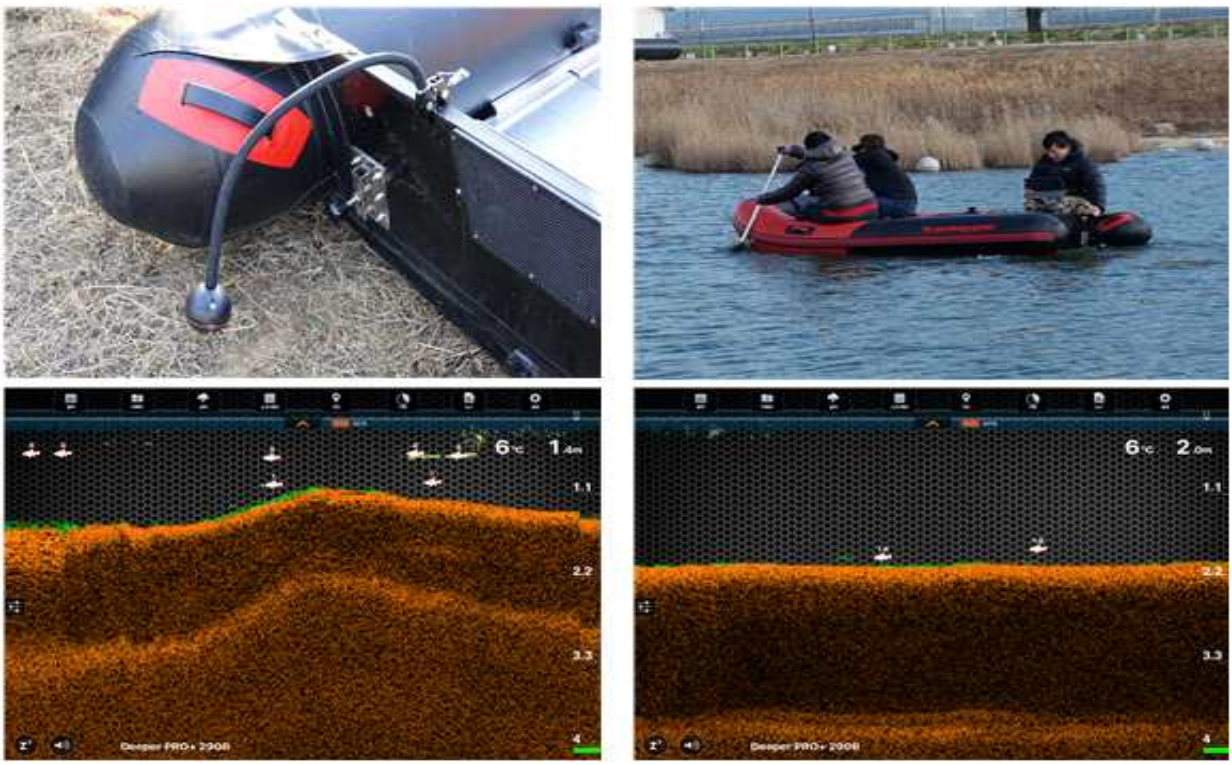


그림 3.2.31 어군탐지시스템 필드테스트 및 어군탐지화면

3. 어류 반응실험

가. 어류 반응 및 실규모 실험 장치 구축

본 연구에서는 어류 반응 분석을 위한 실험수조를 제작하였다. 수조는 알루미늄 프로파일 및 강화유리를 이용하여 제작하였으며 음원 및 광원 제작을 위한 실험시설을 구축하였다. 그림 3.2.32는 실험수조 제작을 위한 도면을 보여주며 그림 3.2.33은 제작 완료된 실험수조이다.

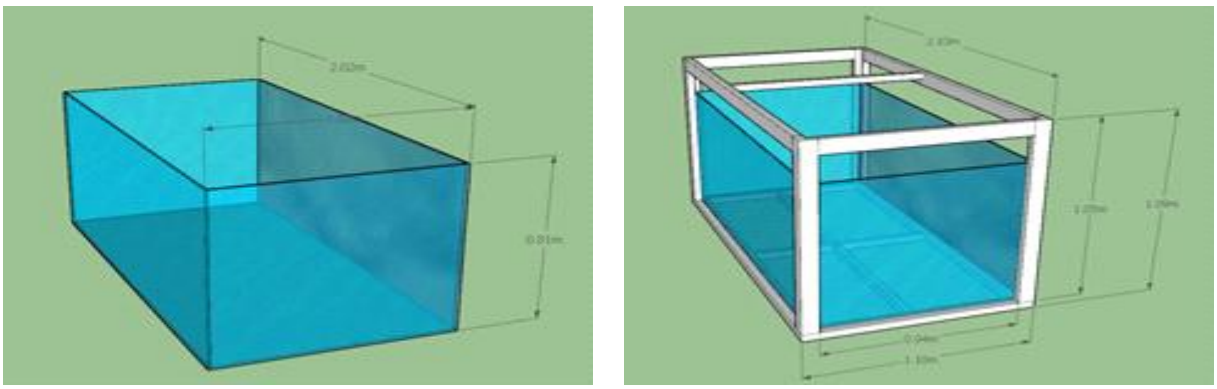


그림 3.2.32 프로파일 및 강화유리를 이용한 실험수조 제작

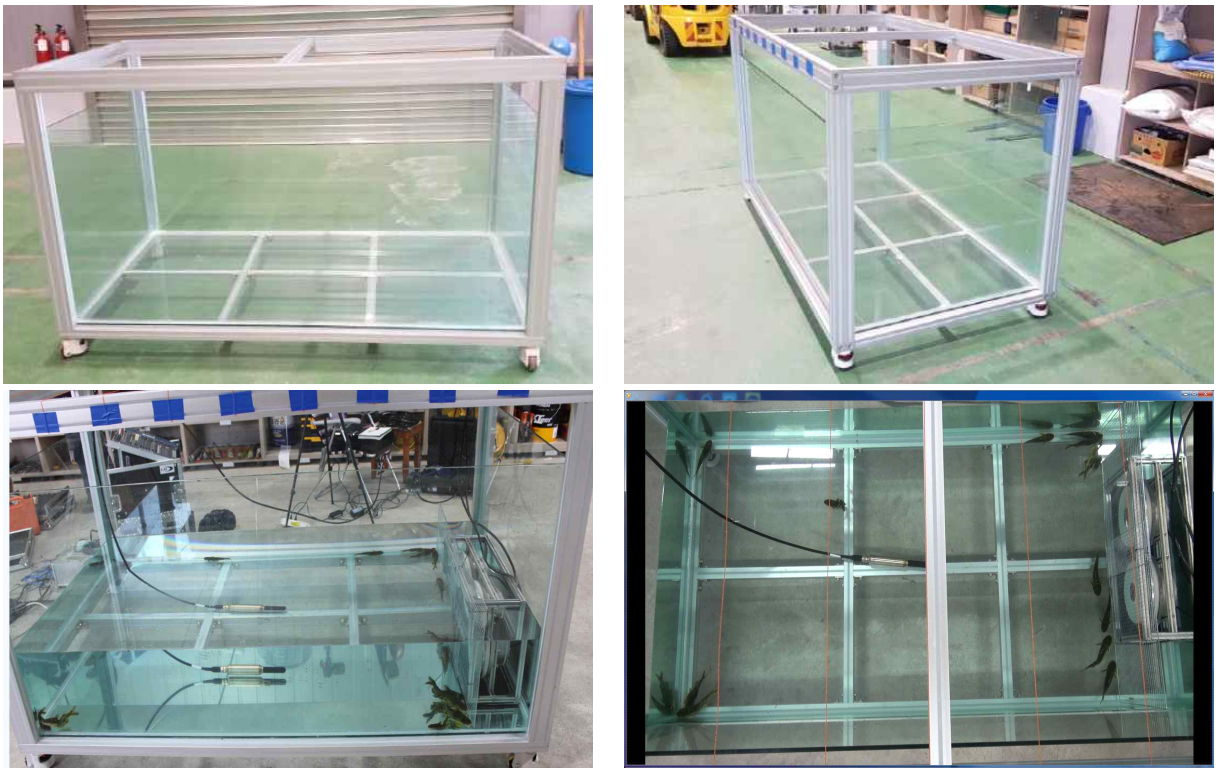


그림 3.2.33 어류반응 실험수조

나. 어류반응 및 거동실험

- 어류 반응 문헌조사

- 어류는 평시에 적응하고 있는 배경 소음보다 수중에서 발생하는 인위적인 원인 소음의 크기가 높게 되면 인간과 마찬가지로 도피반응이나 손상 등을 보이게 됨
- 수중음원에서 발생한 음은 전파과정을 거치면서 주파수별로 서로 다른 감쇄를 가지며 배경소음과 합쳐서 어류의 청각기관 혹은 기타 조직에 도달되어 수신됨
- 경골어류가 음을 감지하는 방식은 포유류의 귀에 대응되는 어류의 측선이나 달팽이관의 신경구조를 갖는 종류도 있고, 부레와 같은 독특한 고유의 기관을 갖기도 함
- 많은 어류는 부레에 'Weberian ossicle'이라는 소골이 연결되어 부레에서 감지된 음향 에너지는 진동에너지로 내이의 미로(labyrinth)로 전달되어 포유류의 귀의 청각기능과 유사함
- 광어류와 같은 저서어는 부레를 갖지 않고, 등에 있는 섬모를 이용하는데 이들 섬모는 대부분의 어류에서 측선의 형태로 집중되어 있음
- 송어는 귀를 가지고 있으나 외부로 열려있지 않으며, 이 귀로 저주파의 소리를 들을 수 있고 주로 측선이 소리를 감지하는 기관으로 중요하게 작용함
- 어류는 100Hz ~ 2000Hz 범위에서 대부분의 어류가 음반응을 갖고 인간에 비해 청감이 약 40dB 둔한 감도를 보임(윤종락 외, 2006)

- 국내외 어류 반응 문헌조사 및 관련 자료 D/B화

국내의 음향에 대한 연구는 1990년대 후반부터 시작되었으며 초기 연구는 해양어업 또는 양식을 위해 특정어종의 음 반응, 유집, 음향탐사 등의 연구가 진행되었다. 인위적인 음향에 따른 어류의 스트레스 반응을 검토하는 연구가 주로 수행되었다. 이는 도입단계로 판단되며 수산업 등의 목적성을 띈 연구가 주로 수행되었다.

최근 고수온 양식어류 집단폐사 막는 기술 세계 최초 개발(한국해양대, 2016)되었으며 특정 발광다이오드(LED) 빛을 이용해 넙치의 스트레스를 최대 40%까지 줄이는 기술을 개발되었다. 국외의 경우 잉어과 물고기에 백색소음(0.3-4.0kHz, 142dB)에 노출되었을 때 영향 및 노출 후 회복에 대한 연구를 수행하였으며 청어과 어류들이 최소 180kHz 이상의 초음파소리까지 반응하나 몇몇 청어과 어종은 4kHz 소리도 반응하지 못하는 것을 제시하였다.

- 실험내용

수중 가청음은 어군의 행동 제어를 위한 중요한 기술로서 수중 가청음에 의한 어군 행동 해석을 위해 어류의 청각 능력을 정확히 파악할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 실험장 주변 양식장에서 구할 수 있는 체장 30 cm ~ 40 cm 가량의 송어, 연어, 장어, 동자개를 실험어로 선정하여 실험수조로 옮겨 수중음향에 따른 반응을 실험하였다. 수중음향은 주파수 발생기와 개발된 수중스피커를 이용하여 특정주파수 대역을 순차적으로 방성하면서 어류의 반응을 관찰하였다.

- 실험결과

송어의 경우 100Hz에서는 반응성이 적었으나 200Hz에서는 더 많은 반응성을 보였다. 300Hz에서는 반응성이 떨어지는 것으로 나타났으며 동자개의 경우 50Hz에서 가장 큰 반응성을 보이고 높은 주파수에서는 반응성이 떨어지는 것을 확인하였다. 연어와 장어의 경우 대부분 500Hz이하에서 회피하는 것으로 나타났다. 실험결과 대부분의 어류는 수중음향의 주파수 뿐 아니라 음파에 의해 발생하는 파동의 영향도 있는 것으로 판단되며 향후 좀 더 세밀한 어류 반응성 평가가 필요할 것으로 판단된다.

또한 수조 내 실험 결과 어류 회피는 일회성이며 학습효과에 대한 문제가 발생하였으며 스트레스로 인해 어류의 유영능력도 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 개발제품이 설치되는 저수지 등의 현장은 넓은 공간이므로 학습효과가 나타나기 어려운 것으로 판단된다. 그러나 향후 어류의 생물학적인 분석(어류 스트레스 실험)등을 통해 넓은 공간에서 학습효과의 가능성에 대한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

그림 3.2.34 송어의 음향에 대한 반응실험

그림 3.2.35 동자개의 음향에 대한 반응실험

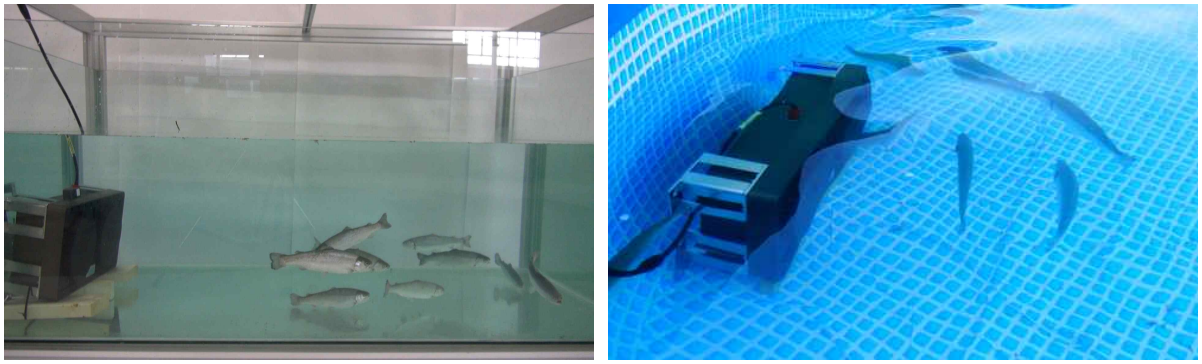


그림 3.2.36 연어 및 장어의 음향에 대한 반응실험

4. 어류 서식처 및 수공구조물 주변 수치해석 기법 분석

가. 음향-수리 해석 수치기법

수중에서의 거리에 따른 음압 및 전달을 분석하기 위해 개발한 스피커를 이용하여 주파수를 100 ~ 1000Hz까지 수중에 방성하였을 때 거리에 따른 음압을 Hydrophone을 이용하여 측정하고 분석하였다. 분석 결과 각 주파수의 음압은 거리가 멀어질수록 감소하는 경향을 보였으나, 1000Hz의 경우 다른 주파수에 비해 먼 거리까지 높은 음압이 유지되는 것을 확인하였으며 각 주파수의 방성거리에 맞게 개발제품의 설치가 필요한 것으로 판단된다.

그림 3.2.37 수중스피커 현장 실험

표 3.2.8 주파수 별 방성거리

스피커와 하이드로폰 거리	수중배경음 (스피커 없음)		1 m		6 m		12 m		1 8m	
Frequency (Hz)	전압	Sound Level (dB)	전압	Sound Level (dB)	전압	Sound Level (dB)	전압	Sound Level (dB)	전압	Sound Level (dB)
100	-	75.2	8.4V	150.1	-	-	8.4V	103.6	8.4V ~ 8.0V	96.6
200	-	69.9	8V	149.2	8V	117.7	8.4V	110.2	8.4V	109
300	-	78.1	8V	146.1	8V	114.1	8.4V	106.5	8.4V	102.2
400	-	65.3	8V	145.3	8V	107.9	8.4V	108.3	8.4V ~ 8.0V	107.3
500	-	66.1	8V	143.1	8V	107.5	8.4V	101.9	8.4V	99.1
1000	-	68.8	8.4V	132.6	8.3V, 8.4V	133.2	8.4V	119.2	8.4V	125.4

나. 유체 내 음향 모델링 방법

- 음파전파해석

조사해역의 수중음향 전달손실 모델을 사용하여 주파수별, 거리별 전달손실을 예측하여 발생하는 수중소음원원의 전파범위 추정한다.

- 수중음파 전달 특성

수중소음은 직접파와 더불어 해면과 해저반사들에 의해 원거리까지 전파해 간다. 단일 주파수에 대해 수직방향으로 간섭이 일어나 여러 개의 정재파가 형성되며 각각의 정재파는 각각의 수평방향 전파속도를 갖는다. 정재파의 주파수가 너무 낮으면 수평방향으로 전파해 가지 못하며 이러한 주파수의 하한치를 차단주파수로 정의한다. 따라서 음원에서 발생한 주파수가 아래의 식으로 주어지는 차단 주파수 이하이면 원거리까지 전파하지 못하게 된다.

$$f_{cut} = \frac{C_w}{4h\sqrt{1 - C_w^2 / C_s^2}}$$

여기서, C_w와 C_s는 각각 물과 해저저질에서의 음속이고 h는 수심이다.

※ 수심이 얕은 해역에서의 일반적인 음파전달 특성에 대한 이론 및 수치모델을 이용한 조사대상 해역의 음파전달 특성

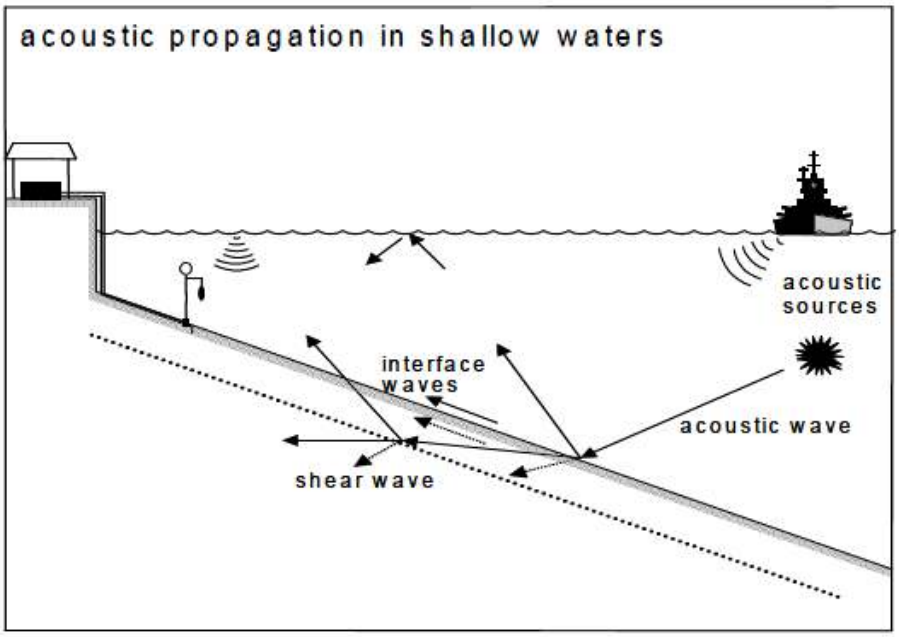


그림 3.2.38 천해에서의 수중 음파전달 모식도

※ 음파전달 모델 중 Averaged Decay Law를 이용하여 조사대상 해역의 저질 특성인 모래바닥에 대하여 수심 20 m와 40 m인 경우에 대하여 음원과 수신기 사이 거리가 변할 때 전달손실

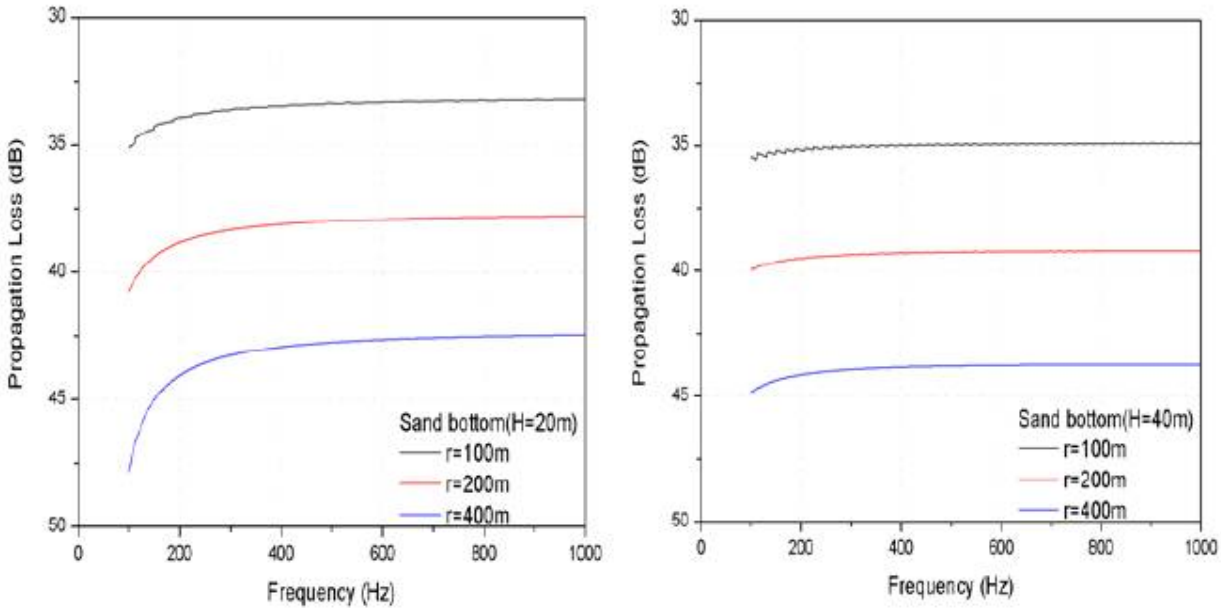


그림 3.2.39 Averaged Decay Law를 이용하여 계산한 전달 손실

다. 발생음의 음향출력

- 수리적인 에너지와 음향출력의 관계

유량이 시설물을 만나 발생하는 난류는 에너지의 일부가 열과 음으로 변환됨에 따라 감쇄효과가 발휘된다. 도수될 때의 발생음의 에너지 즉 음향출력은 유입수맥의 운동에너지 및 유속에 크게 의존한다.

도수 시단부를 선(線)음원이라고 간주하면, 측점에서의 음압실효값으로 음원의 단위폭당 출력은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$W - 2\pi r I = 2\pi r \frac{p^2}{\rho_a c}$$

여기에서

W : 단위폭당 출력 [w/m]

I : 음의 세기(w/m^2), p: 음압실효값[Pa]

r : 음원과 측점간 거리 [m]

ρ_a : 공기의 밀도 [kg/m^3], c : 음속 [m/s]

단위시간 단위폭당 유입에너지는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$E = \frac{\rho_w q \upsilon^2}{2}$$

여기에서,

E : 단위시간 단위폭당 유입에너지[J/s/m]

q : 단위폭유량 [m^3/s/m]

υ : 유입유속 [m/s]

ρ_w : 물의 밀도 [kg/m^3]

여기에서 다음과 같이 유입에너지와 음원의 음향출력 비율을 α로 하면 이 α는 도수시의 유수흐름의 에너지를 음에너지로 변환하는 효율로 생각할 수 있다.

$$\alpha = \frac{W}{E}$$

방류조건을 프루드 상사식으로 하면 변화효율 α는 규모모형과 상관없이 일정한 값을 가진다.

음(소리)발생은 도수로 인하여 수맥이 지닌 수리학적인 에너지의 일부를 음에너지로 변환함에 따라 발생하는 것으로, 도수로 인한 에너지감쇄의 일부분이다.

라. 유체 내 음향 모델링 방법

- 흐름으로 인해 발생하는 음향 모델링

3차원 유동장 내에서 전파되는 소리는 Navier-Stokes 방정식과 음향 파동방정식을 지배방정식으로 갖는다. Mach수(유속과 음파속도의 비)가 큰 경우에는 압축성 Navier-Stokes 방정식으로부터 유도된 음향 파동방정식을 해석해야 하지만, Mach수가 낮은 흐름, 즉 유속이 음파의 속도에 비해 현저히 낮은 경우에는 보다 간단한 파동방정식을 해석할 수 있다 (J. Comput. Physics, 2006).

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j}=0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t}+u_j\frac{\partial u_i}{\partial x_j}=-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial x_i}+\mu_0\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j}+\frac{\partial U_j}{\partial x_i}-\tau_{ij}\right) \tag{2}$$

$$\frac{\partial \rho'}{\partial t}+u_j\frac{\partial \rho'}{\partial x_j}+\rho_0\frac{\partial u_j'}{\partial x_j}=0 \tag{3}$$

$$\frac{\partial u_i'}{\partial t}+\frac{\partial(u_j u_j')}{\partial x_i}+\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p'}{\partial x_i}=0 \tag{4}$$

$$\frac{\partial p'}{\partial t}+u_j\frac{\partial p'}{\partial x_j}+\rho c^2\frac{\partial u_j'}{\partial x_j}+u_j'\frac{\partial p}{\partial x_i}=-\frac{Dp}{Dt}+s' \quad \text{(i=1,2,3)} \tag{5}$$

위 식에서 u_i는 속도벡터, p는 압력, ρ는 밀도, c는 매질 내 소리의 전파속도, s는 음향 source, $()'$는 변동성분, τ는 LES 모형의 subgrid stress를 의미한다. 식(1)은 연속방정식, (2)는 운동량 방정식, (3)-(5)는 선형화된 음향파동방정식이다. 식(1)-(5)는 유한차분법 등의 수치해석 기법을 이용하여 해석할 수 있고 밀도 정보가 필요치 않은 경우에는 (3)의 계산을 생략하는 것이 가능하다.

식(1)-(5)의 해석을 통하여 계산된 변동압력성분(p')을 아래 식을 이용하면 dB 단위를 갖는 음압레벨, 즉 SPL(sound pressure level)로 변환할 수 있다.

$$SPL=20\log_{10}\frac{p'}{p_{ref}} \quad \text{(단위: dB)} \tag{6}$$

흐름지배방정식 (1)-(3)의 방정식을 해석하는 방법은 Kang et al. (2011)에 의해 제안된 바가 있으며, 음향방정식 (4)-(5)와 결합 해석은 Seo and Mittal (2011)에 의해 연구된 사례가 있다. 3차원 흐름과 음향을 동시에 해석하는 결합해석을 수행하기 위해서는 1개의 연속방정식, 3개의 운동량방정식, 1개의 변동밀도 방정식, 3개의 변동속도 방정식, 1개의 변동압력방정식, 총 9개의 방정식이 필요하며 이를 위해서는 상당히 높은 연산비용이 소요될 것으로 예상할 수 있다.

그림 3.2.40은 흐름-음향 결합 해석을 통하여 원통형 실린더 주위를 지나는 흐름이 발생시키

는 음향장을 계산한 사례이고, 그림 3.2.41은 인간의 성대를 통하여 공기중을 전파하는 음향장을 해석한 사례이다.

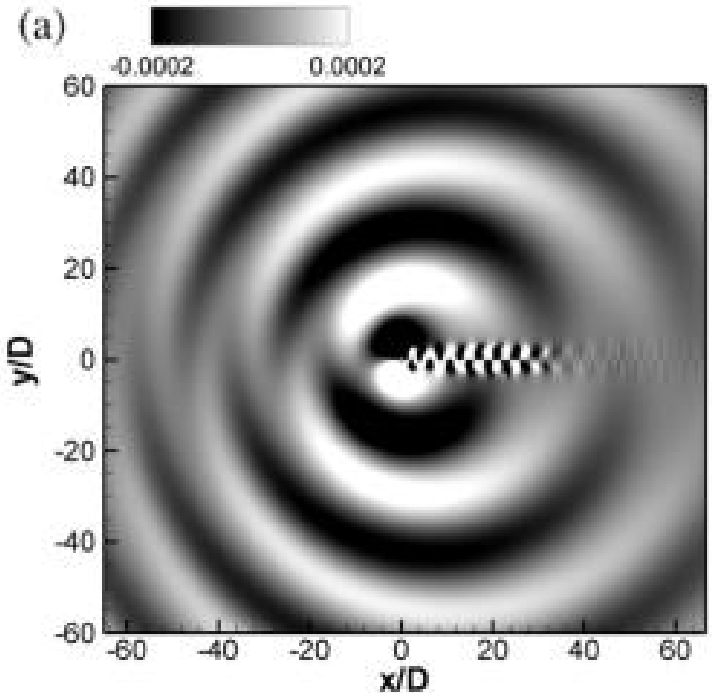


그림 3.2.40 실린더 주위의 흐름으로 인해 발생하는 음향 해석 사례 (J. Comput. Physics, 2011).

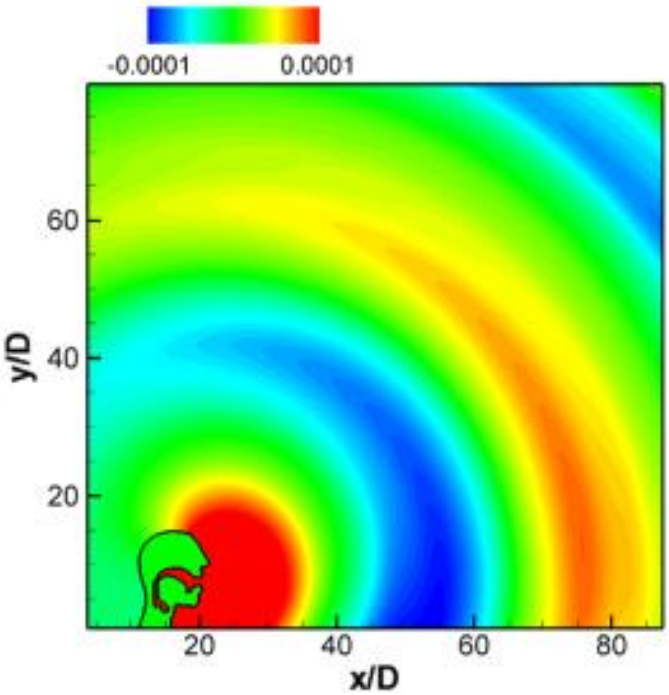


그림 3.2.41 인간의 성대에서 공기 중으로 전파되는 음향 해석 사례 (J. Comput. Physics, 2011).

- 하천 내 수중음향 발생요인 및 해석방법

하천에서는 Mach수가 0.01이하인 흐름이 발생하므로 식(1)-(5)에 제시된 모델링기법을 적용할 수 있다. 수중에서 발생하는 음향은 대부분 수중에 위치한 구조물이나 복잡한 지형으로 인한 난류가 발생시키는 압력진동에 기인한 것으로 볼 수 있다. 또 다른 음향 발생 요인으로는 수면에서 발생하는 공기 혼입이나, 펌프, 터빈, 프로펠러 등 날개 구조물의 회전 및 공동(cavitation) 현상 등이 있을 수 있다. 이러한 음향발생 요인들을 적절한 경계조건으로 처리하면 수치모델링 기법을 이용하여 수중에서 발생하는 음압레벨분포를 정확하게 해석하는 것이 가능하다.

만약 청취자가 하천 내부가 아닌 외부에 위치한 경우, 즉 하천에서 발생한 음향이 공기를 통해 하천 외부에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 (1)-(5)에 나타난 방정식 이외에 공기와 물의 흐름을 동시 해석에 사용되는 아래의 Level Set 방정식을 추가로 해석해야 한다.

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + u_j \frac{\partial \phi}{\partial x_j} = 0 \tag{7}$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \tau} + S(\phi_0)(|\nabla \phi| - 1) = 0 \tag{8}$$

$$\rho_0 = \rho_{air} + (\rho_{water} - \rho_{air}) h(\phi) \tag{9}$$

$$\mu_0 = \mu_{air} + (\mu_{water} - \mu_{air}) h(\phi) \tag{10}$$

그러나 위 방법의 단점은 총 12개의 편미분방정식을 해석해야한다는 점에 있다.

- 간략화된 음향 해석방법

유체흐름 내에서 발생하는 음향은 대부분 압력변동으로 인해 발생하게 되며 Mach수가 낮은 흐름에서는 음향자체가 유동장을 변화시키는 feedback 성분이 매우 작다. 다시 말해, 흐름이 음향을 발생시키는 주 원인이지만 음향장의 변화는 흐름에 거의 영향을 미치지 않는다는 뜻이다. 이러한 가정이 성립하는 흐름에서 음향 발생원에서 충분히 멀리 떨어진 위치에서의 음향장 정보를 취득하고자 하는 경우에는 (3)-(5)의 음향파동방정식을 직접 해석하지 않고 1955년에 제안된 Curle-Lighthill 식을 이용하여 유동장 정보로부터 음향장을 직접 추출할 수 있다.

$$p'(y,t) = \frac{1}{4\pi c} \frac{x_i}{r^2} \frac{\partial}{\partial t} \int_S p(y, t - r/c) n_i dS \tag{11}$$

위 식에서 x_i는 음향원의 위치, y_i는 청취자의 위치이고 $r = |x_i - y_i| \approx |x_i|$, S는 고체면이다. 이때 적분구간은 음향원 위치를 포함하여야 하며, 좌표의 원점은 음향원 위치에 충분히 가까워야 한다. 식 (11)과 같은 음향원을 dipole 음향원이라고하며 이는 고체면에 작용하는 유체의 압력진동에 의해 발생한다. Mach수가 낮은 흐름에서는 Dipole 음향원이 지배적 인자로 알려져 있으며 흐름의 회절로 인해 발생하는 Quadrupole 음향원은 Dipole 값에 비해 그 값이 작아 무시

할 수 있다.

식 (11)은 편미분방정식이 아닌 단순 적분식이므로 음향파동 방정식을 직접 해석기법에 비해 연산비용을 절감할 수 있다. 그림 3.2.42는 Curle-Lighthill 식을 이용한 펌프에서 발생하는 소음 해석사례이다.

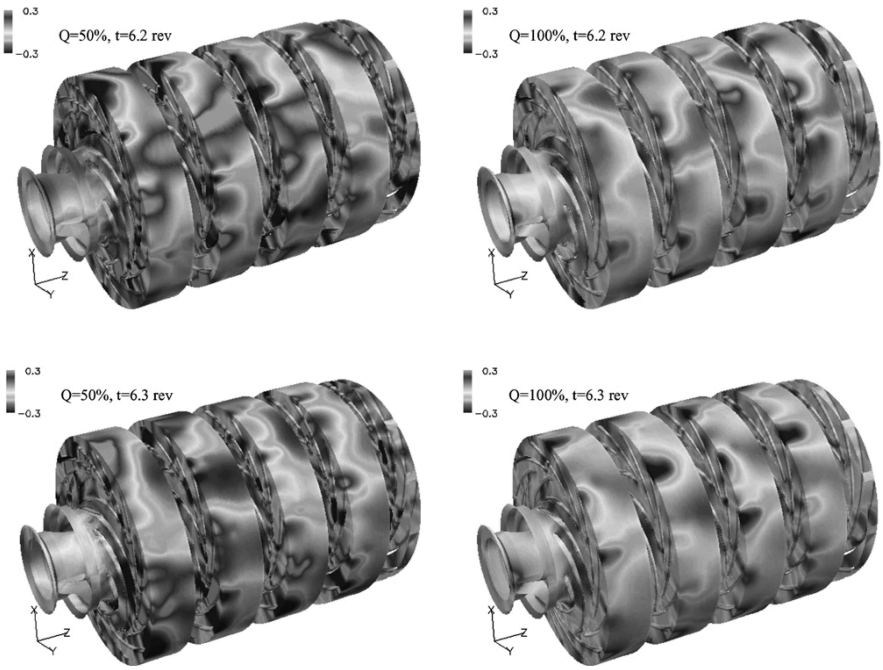


그림 3.2.42 펌프에서 발생하는 소음해석 사례 (Computers & Fluids, 2007)

- 모델링 기법의 선택

앞서 살펴본 바와 같이 음향원과 청취자의 위치가 가까운 경우에는 음향 파동방정식의 직접적 해석을 통한 수치모델링이 보다 정확한 결과를 제공할 수 있을 것으로 예상할 수 있으나, 음향원과 청취자간 거리가 충분히 먼 경우에는 Curle-Lighthill 식을 활용하여 별도의 음향해석 없이 3차원 유동장 수치해석 결과로부터 음향장을 직접 추출하는 방법을 고려해 볼 수 있을 것이다.

주어진 흐름조건과 음향원으로부터 청취자까지의 거리를 고려하여 모델링 기법을 선택하여야 할 것으로 본다.

마. 현장 성능시험

(1) 현장 모니터링을 위한 실험

- 본 실험은 안동의 하천실증연구센터에서 진행된 실험으로 폭 11 m, 하상폭 3 m, 총길이 600 m 인 실규모 수로를 이용, 수로의 하상경사는 1/100이고 둑 경사는(bank slope)는 1:2 (V:H)의 비를 가지고 있음

- 식생은 2014년에 버드나무(willow)를 실규모 수로에 교차된 4 m 길이 1.5 m폭의 직사각형 형태로 식재하여 3년간 생장한 84그루의 버드나무로 구성된 식생패치를 대상으로 측정
- 측정 시 식생의 높이는 평균 약 126.78 cm 정도이며, 잎수는 최소 22개에서 최대 901개 까지 다양하게 조성되어 있으며 5개의 표본을 대상으로 하여 식생의 특성 조사. 식생의 밀도(d_s)는 14 주/m^{2}이며, 줄기의 직경은 약 23.06 mm 임

표 3.2.9 식생의 특징

Patch (89)	Willow1	Willow 2	Willow 3	Willow 4	Willow 5
Height of plants (cm)	114	155	140	138	108
# of Leaf	22	901	205	265	94

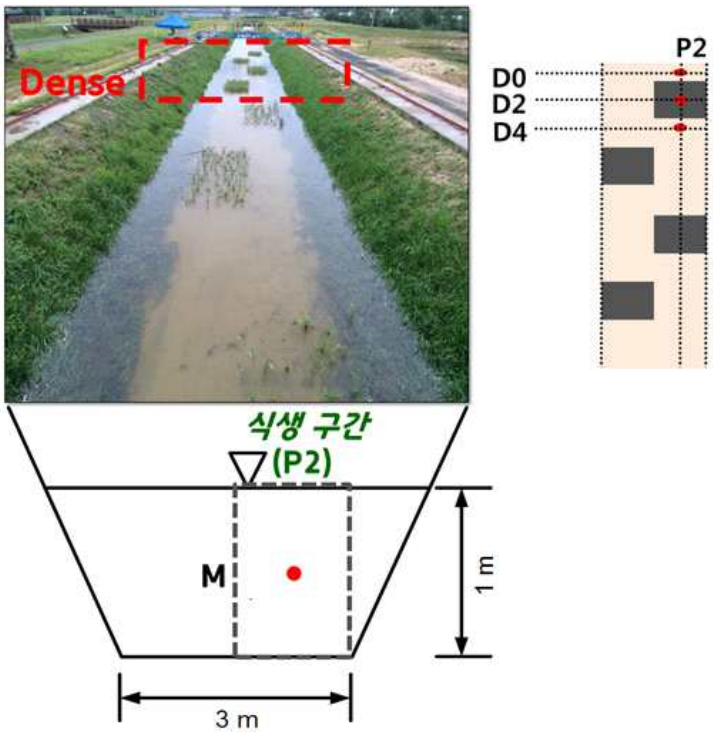


그림 3.2.43 식생수로와 측정지점

- 수중음향 측정시 식생수로의 수심과 유량의 조건으로 1 m의 수심에서 기온이 높은 낮시간에 5 m^3/s, 2.6 m^3/s 유량과 기온이 낮은 밤시간에 5 m^3/s, 2.6 m^3/s, 1.2 m^3/s 유량으로 진행
- 표 3.2.10은 초음파 수위계와 ADCP를 이용하여 측정한 수심과 유량을 나타내었으며, 그 값은 5.4, 3.0, 4.9, 2.4, 0.9 m^3/s의 유량과 수심 약 99.06 ~ 99.88 cm 로 측정되었다.

표 3.2.10 식생수로의 수리적 조건

No.	Temperature (℃)	Water Depth(cm)	Discharge(m^3/s)
Day 1	23.8	99.25	5.4
Day 2	24.8	99.06	3.0
Night 1	20.5	99.24	4.9
Night 2	21.3	99.06	2.4
Night 3	21.3	98.88	0.9

- 수중음향 측정은 식생이 있는 구간(D2)과 비식생구간으로 식생구간의 전단(D0)과 후단(D4)에서 이루어졌으며, 4 m의 식생구간에서 4 m 떨어진 전단과 3 m 떨어진 후단에서 측정. 측정지점은 식생의 가운데 지점을 기준으로 하여 측정
- 수중음향은 5 Hz에서 120 kHz 까지 측정이 가능하며 수신감도는 -170dB re 1V/mPa을 가진 Hydrophone (TS-4032, Prosig)과 Prosig P8004 시스템을 이용하여 취득.
- 각 지점별 수중음향은 상류에서 하류로 이동하면서 측정하였고, 각 지점의 가운데 지점 하천바닥에 Hydrophone을 위치시켜 60초 동안 5회 반복하여 측정.
- 측정된 수중음향은 DATs Analysis 프로그램을 이용하여 분석
- 각 지점의 수중 음향을 평가하기 위해 주파수(Frequency)에 따른 음압레벨(Sound Pressure Level, SPL)을 분석하였으며, 분석을 위해 음향신호는 실효치(Root Mean Square, RMS)로 계산되었다. SPL은 측정된 주파수 범위에 걸친 에너지를 표시하며, 음향의 실효치 크기는 파형 X(t)과 측정시간 폭 T를 이용한 아래 식(1)에 의해서 정의됨.

$$s = \left[\frac{1}{T} \int_0^T X^2(t)dt \right]^{0.5} \qquad \text{식(1)}$$

- 사람의 가청주파수는 20 ~ 20,000 Hz 로 1Hz 분해능을 이용하는 것은 인간이 인식하는 것과 차이를 보이게 되므로 인간의 귀에 비슷하게 표현하는 방법으로 옥타브 대역 분석 방법이 흔히 사용되는데 본 연구에서는 분석을 위해 1/3 옥타브 밴드를 사용하여 비교

- 등가소음도는 환경소음 측정치 중의 하나로 이용되는 값으로 선정시간동안 변화하는 소음의 평균 혹은 제곱평균의 제곱근을 사용.
- 서식처에 따른 수중 배경음의 정도를 비교하기 위해 등가소음도(Leq)를 이용하였으며 아래 식(2)에 의해서 정의. T는 측정시간, P(t)는 변화하는 소음의 음압, P0는 1μPa로 수중 기준음압을 나타냄. 60초간 측정된 등가소음도를 5회 반복측정한 값의 평균을 이용하여 각 서식처의 배경음을 비교

$$L_{eq} = 10\log_{10}\frac{1}{T}\int_0^T\left(\frac{P(t)}{P_0}\right)^2 dt \qquad \text{식(2)}$$

유속측정결과 낮시간 동안 유량이 2.6 m^3/s(24.8℃) 일 때 평균적으로 식생전단(D0), 식생구간(D2), 식생후단(D4)의 유속은 0.60 m/s, 0.33 m/s, 0.26 m/s로 나타났으며, 유량이 5 m^3/s(23.8℃)일 때는 각각 0.80 m/s, 0.49 m/s, 0.49 m/s로 나타났다.

밤시간 동안 유속은 유량이 1.2 m^3/s(21.3℃) 일 때 평균적으로 식생전단, 식생구간, 식생후단의 유속은 0.36 m/s, 0.18 m/s, 0.20 m/s로 나타났으며, 유량이 2.6 m^3/s(21.3℃)일 때는 각각 0.58 m/s, 0.30 m/s, 0.34 m/s로 나타남. 유량이 5 m^3/s(20.5℃)일 때는 각각 0.78 m/s, 0.52 m/s, 0.51 m/s로 나타났다.

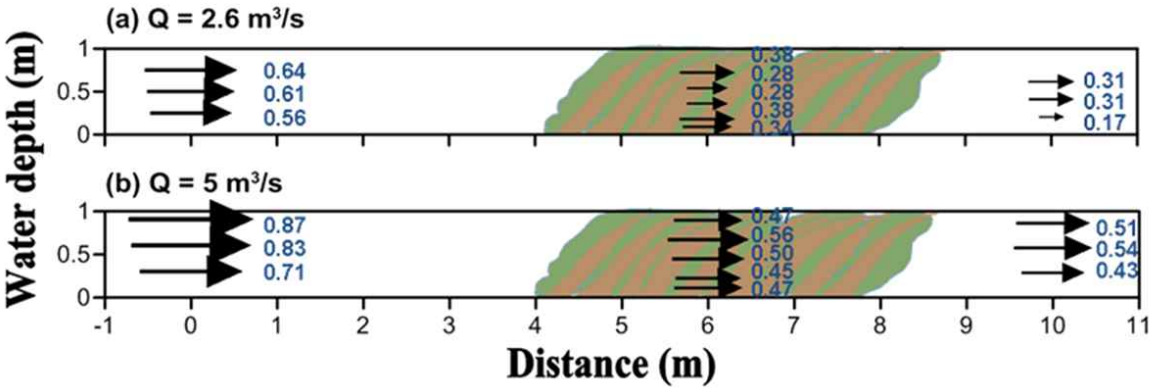


그림 3.2.44 식생구간과 식생구간 전/후단에서의 낮 동안의 유량에 따른 유속특성

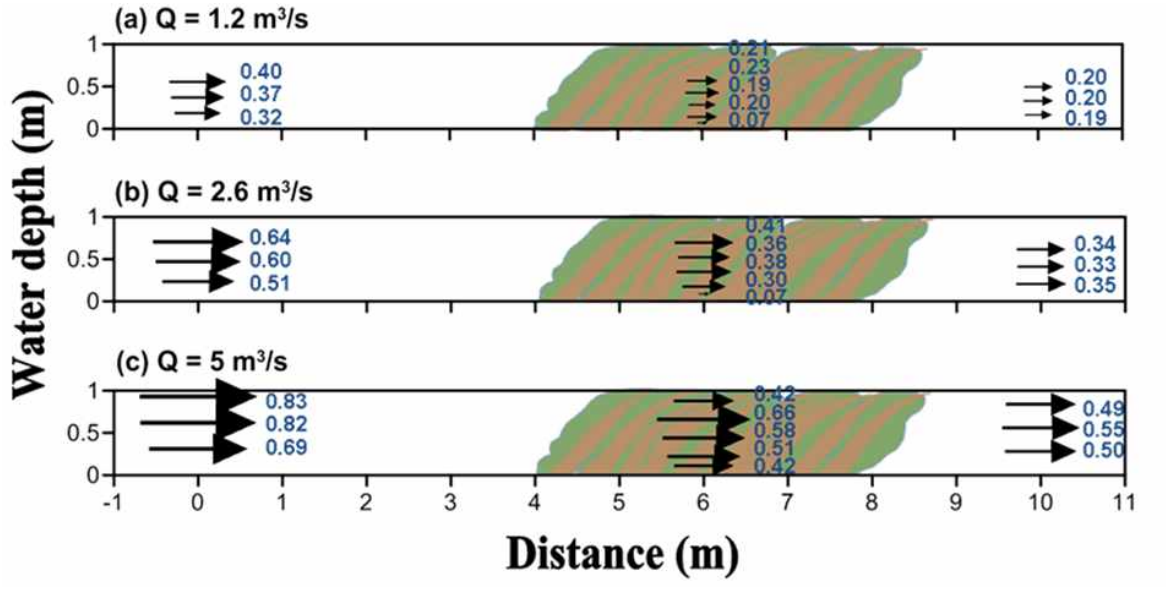


그림 3.2.45 식생구간과 식생구간 전/후단에서의 밤 동안의 유량에 따른 유속특성

- 수중음향 측정결과 낮시간 동안에는 유량 2.6 m^3/s일 때 유속이 빠른 D0구간에서 저주파수에서의 음압이 높게 나타나고 식생구간을 지나면서 유속감소와 함께 음압도 감소하는 경향을 보임. 식생후단인 D4에서도 유속감소와 식생과의 마찰감소로 인해 음압이 감소하는 것으로 나타남.
- 유량 5 m^3/s 일 때 DO 구간에서 저주파수에서의 음압이 높게 나타나고 주파수에 따라 음압수준이 다르게 나타남. D2구간에서는 저주파수에서 D0구간보다는 안정된 음압수준을 나타냄. D4구간에서는 유속감소와 식생과 유속에 의해 발생하는 소리의 감소로 음압이 감소하여 나타남.

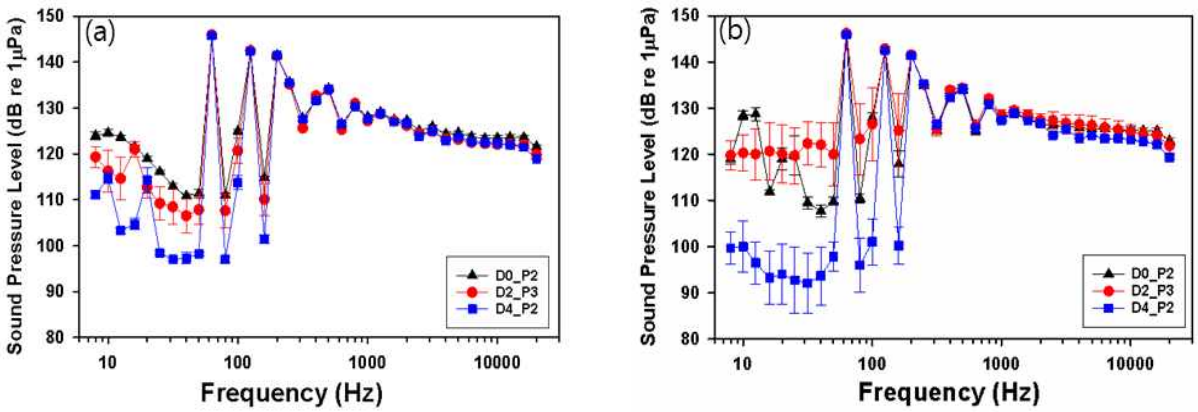


그림 3.2.46 식생구간과 식생구간 전/후단에서의 낮 동안의 음향특성 ((a) 2.6 m^3/s, (b) 5m^3/s)

- 밤시간 동안에는 저주파수에서 유량 1.2 m^3/s일 때 D0, D2, D4구간이 매우 낮은 음압을 나타내었고, 유량이 2.6 m^3/s으로 증가하였을 때 전체적으로 음압이 증가하였음. 특히 D0

구간에서 음압이 증가하였으나 식생구간인 D2를 지나면서 음압이 감소하여 나타남. 유량 5 m^3/s 인경우에도 유속증가로 저주파수의 음압이 증가하여 나타나며, D2구간에서는 식생으로 인한 유속감소로 음압이 감소하고 D4에서도 식생과 유속의 마찰에 의한 소리감소로 인해 음압이 낮게 나타남.

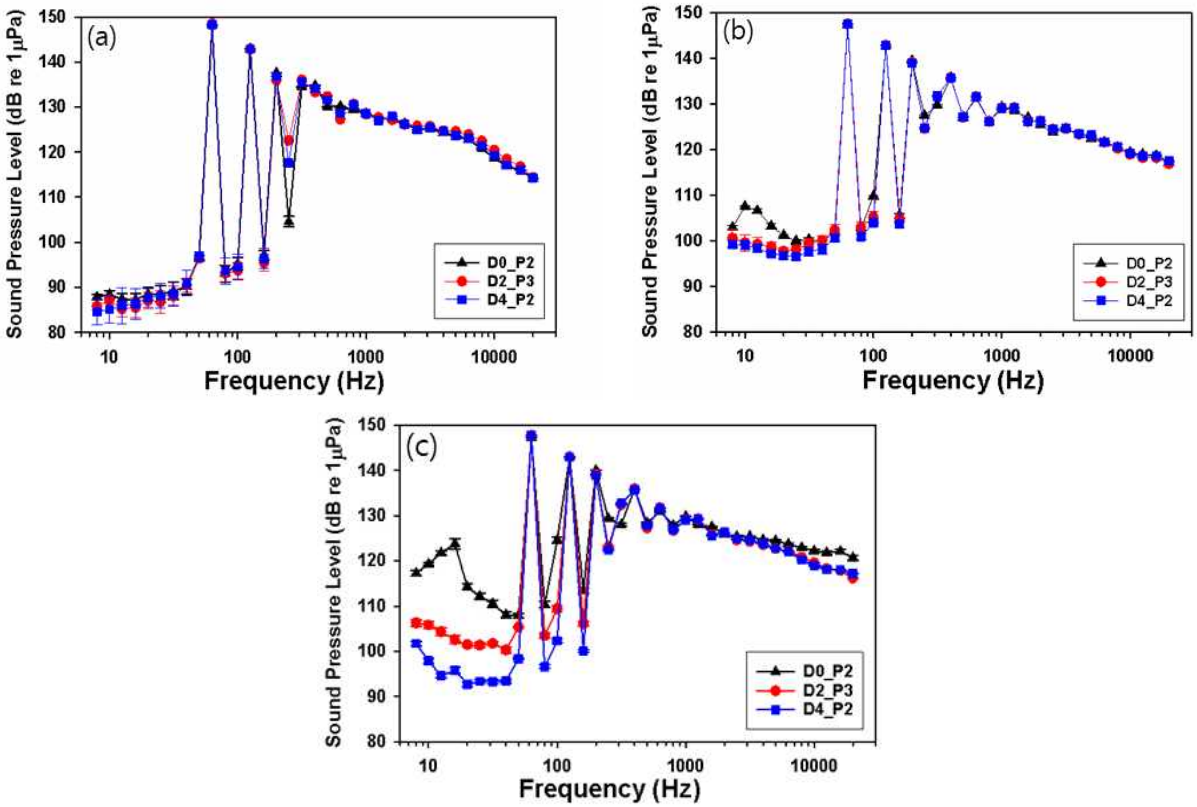


그림 3.2.47 식생구간과 식생구간 전/후단에서의 밤 동안의 음향특성
((a) 1.2 m^3/s, (b) 2.6 m^3/s, (c) 5 m^3/s)

(2) 소리의 굴절

굴절은 알려진 소리파장의 방향속도의 급작스러운 큰 변화로 인해 발생. 소리의 속도는 매체 온도와 밀도에 영향을 받으며, 해당 매체의 속도에도 영향을 받음. 대기 내에서 속도는 1℃시 증가 당 0.6 m/s(약 0.2%) 증가하며, 맑은 날 지표면에서 떨어진 지점의 기온은 소리속도와 마찬가지로 떨어진다.

그러므로 소리파장은 위쪽을 향해 굽어져 있고, 저녁에는 기온이 지면에서 떨어진 지점에서 흔히 증가하고 소리파장은 그로인해 지표면 채널에 머무르게 됨. 그로 인해 소리는 밤시간에 더욱 먼 거리에서도 들을 수 있으며, 이러한 채널은 수중에서도 발생할 수 있다.

위의 실험 결과 저온인 밤시간동안 수중음향은 낮시간에 비해 매우 안정적인 음압수준을 보여주는데 이는 소리파장이 저온인 수중에서도 소리를 잘 전달하기 때문인 것으로 파악된다.

실험결과를 통해 유속과 수중음압, 그리고 수온과의 관계를 파악할 수 있으며, 이들의 관계를 통해 수중음향을 통한 현장 모니터링이 가능할 것으로 생각된다.

바. 음향해석에 대한 요소기술 확보

수많은 사례에서 동종 종족간 노래와 같은 특정 소리 신호에 해당 동물의 귀가 적응되어 있으며, 의사소통이 효율적일 경우, 음향 생성 원리와 청각기관은 명백히 서로에게 적응되어 있다.

한 동물이 사용하는 소리 신호의 형태가 동물이 살아가는 환경의 음향적 특성에 의존할 수 있으며, 동물들의 음향 소통 메커니즘의 풍부한 다양성을 설명하기 위한 원인으로 ①소리 파장에 관한 동물의 몸집, ②환경의 음향특성들에 의한 소리 신호 특성, ③소리 생성체와 청각기관이 세 가지 요소가 될 수 있다.

(1) 음파특성

소리파장은 종파이며, 특히 매체의 입자는 파장의 전파 방향 내에서 위아래로 진동. 소리파장은 특정속도로 소리 근원지에서 전파가 이동하면서 압력 파동으로 관측. 그러므로 현존하는 소리는 압력에 민감한 기기를 통해 감지 될 수 있다.

소리압력은 소리파장이 방향특성을 가지고 있음에도 스칼라 양임을 유념해야 하며, 매체 입자 이동은 방향성을 가지고 있다.

소리파장은 원래 음원과 유사하게 복잡한 형태를 가지고 있으며, 실제 음원과 가까운 영역은 이상적 음원의 것보다 더욱 복잡한 형태일 수 있으며 가까운 영역내에선 소리압력이 소리근원지와의 거리에 따라 급속하게 달라지고 파장의 다른 요소(매체 입자의 압력경사와 진동속도)는 소리 근원지까지의 거리 및 기하학적 구조에 영향을 받는다.

자유음향역역에선 음향수신기기에 감지되는 방향성을 가진 파장의 앞 부분은 거의 평면이라 간주하며, 여기서 매체 입자의 진동속도(v)와 소리압력(p) 간의 단순관계는 식(1)과 같고, c는 소리파장의 방향속도, ρ는 매체밀도

$$v = p/c\rho \qquad (1)$$

수중에서 c=약 1430 m/s, ρ=1000kg/m^3 인데 반해 공기 중에선, c=약 340 m/s, ρ=1-2kg/m^3

$c\rho$는 공기 중에서보다 수중에서 약 3,500배 크며, 특정 소리압력(ρ)에서 입자의 진동속도(v)는 수중이 공기 중보다 3,500배 더 작다.

공식(1)에서 표현된 관계는 물이 공기보다 압축하기 더욱 어렵다는 사실을 입증한다.

방향성을 가진 소리파장에 유도되는 힘은 $p \cdot v$로 주어짐. 음의 세기(I)는 단위 시간당 음파 전송 방향으로 수직인 단위 면적을 통과하는 소리에너지이며, 자유음향영역에서 음의 세기는 p의 측정만으로도 쉽게 산출될 수 있으며 식(2)와 같다.

$$I = p \cdot v = p^2/c\rho \qquad (2)$$

v와 p값의 관계가 $c\rho$값 하나로만 결정되지 않을 경우엔 이러한 단순방식으로 힘이 측정될 수 없으며, 공식(1)과 (2)는 재전송되는 소리파장이 없을 경우에만 유효하다.

소리강도는 일반적으로 dB(데시벨)로 표기. 통상적으로 활용되는 기준압력은 2 x 10-5 N m-2 (= 2 x 10-4 dyn cm-2,1 kHz영역 내 대략적 인간의 청력 임계값)이며, 소리압(p)의 SPL 값은 아래의 공식(3)을 이용해 쉽게 산출 가능하다.

$$SPL = 20\log_{10} p/pr \text{ dB} \qquad (3)$$

여기서 pr은 기준압력이다. 압력값 10배 변화량은 20dB 과 일치하며 100배는 40dB. dB 값은 음원에서 방출된 에너지, 마이크 혹은 귀를 통해 수신 받은 에너지에도 활용가능. 에너지는 P^2와 비례하며 소리 세기에 대한 dB의 정의는 이러한 비례관계를 참작하고, 소리세기 레벨(IL)은 다음과 같이 정의된다.

$$IL = 10\log_{10} I/Ir \text{dB} \qquad (4)$$

I는 논의되는 음의 세기, Ir은 기준 음 세기, Ir은 흔희 $10^{-12} Wm^{-2}$ 로 상정. 표준 대기상태에서 그리고 자유소리영역에서는 본 기준은 일반적으로 적용되는 기준소리압력($2\times10^{-5} Nm^{-2}$)에 대략적으로 일치한다. 즉, SPL과 IL값은 dB 값 기준치가 서로 일치한다는 전제하에 동일 소리 레벨을 의미할 수 있다.

(2) 소리방출

한 주기 중 1/4가량 지속되는 표면파동이 진행되는 동안 각 영역에서 초래되는 부분압축은 λ /4 멀리 확산. 이 시간 동안 크고 작은 영역은 동일한 공기량에서 압축을 유발시키지만 압축 규모는 영역크기 증가에 의존하며 이는 (작은 이동에 대해) 이동에 영역 표면을 곱한 값. 표면은 $4\pi r^2$, r은 반경이므로 압축(그럼으로 인한 해당영역에서 일정거리 떨어진 소리압)은 직경 2 제곱 값에 의존된다.

이와 같은 관계는 직경이 약 λ /3보다 더 작은 상태를 유지. 영역직경이 λ 값과 동일하거나 혹은 보다 더 클 경우 생성된 소리압은 직경 1제곱 값에 의존한다. 영역직경을 다양화하는 대신 파장(특히, 소리 주파수)을 다양화 할 수 있다.

바. 실규모 실험

(1) 실규모 실험 및 실험검증

- 실규모 실험을 위한 준비과정으로 실제 하천서식처의 소리분포를 현장조사를 통해 수행
- 양양 남대천을 대상으로 하였으며, 양양 남대천은 유로연장 54.0 km, 유역면적 474.8 km^2으로 영동지역에서 유역면적이 가장 크며, 강릉시 연곡면 삼산리 두로봉(1,422 m) 동쪽 계곡에서 발원하여 양양읍에서 후천과 합류해 북동방향으로 동해로 흘러듦(국토해양부, 2011)
- 남대천은 크게 사행하며 여울과 소로 이루어진 곡류하천의 특성을 나타내며, 현장조사는

아래 그림에서 표시한 것과 같이 A지점과 B지점 각각 12개 site와 10개 site로 선정하여 서식처의 수중음향 특성을 조사함

- 여울(riffle)의 하상재료는 매우 큰 전석(very large boulders)에서 굵은 자갈(coarse gravel)까지 크기와 형상이 다양하며, 소(pool)의 경우 큰전석(large boulders), 모래(sand), 아주 잔자갈(very fine gravel)로 하상이 이루어짐

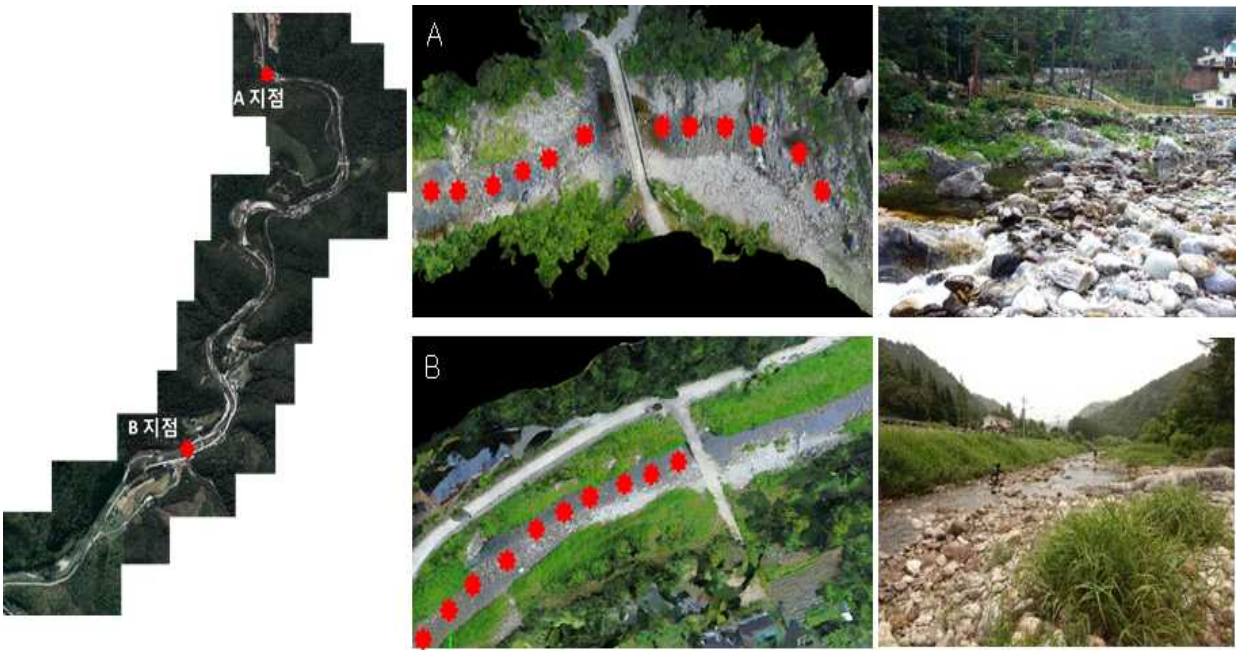
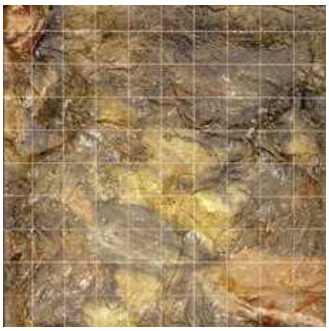


그림 3.2.48 양양 남대천 현장 조사 지점



(여울)

(소)

(계단식 여울)

그림 3.2.49 조사지점의 하상물질

- 측정결과

- 남대천 A지점과 B지점의 유속과 수심, 수온을 측정하였으며, 소(Pool)의 경우 70 cm ~ 92 cm의 수심과 1.2~35.5 cm/s의 유속을 나타내고, 여울(Riffle)의 경우 7.4 cm ~ 38.7 cm 수심과 18.8~95.8 cm/s의 유속을 나타내며 수온은 대체로 21 ~ 24℃로 나타남

- 하천서식처의 수중음향 측정을 위해 5Hz에서 120kHz까지 측정이 가능하며, 수신감도는 -170dB re 1V/mPa을 가진 Hydrophone (Prosig)을 사용하였으며, DATs 분석프로그램을 통해 1/3옥타브로 분석하였음
- 서식처 유형별 소리분포를 조사하였으며 아래 그림에서 주파수에 따른 음압레벨을 나타냄
- 여울에서는 40Hz이하에서 주로 110~153 dB re 1μPa의 높은 음압레벨을 보였으나, 소에서는 130 dB re 1μPa 이하의 낮은 음압레벨을 나타냄
- 여울에서는 50 ~ 300Hz까지는 점진적으로 감소하는 음압레벨을 보이다가 이후에는 2000Hz까지 다시 증가하는 경향을 보임
- 소에서는 100 Hz이하에서는 측정지점에 따라 음압레벨이 큰 차이를 보였으며, 100 ~ 800 Hz에서는 주파수가 높을수록 음압레벨이 증가하는 경향을 보였으며, 800 Hz이상에서는 거의 일정한 음압레벨을 보임
- 서식처 유형별 평균 음압레벨을 비교해 보면 계단형여울>여울>소의 서식처 순서로 낮은 값을 보였으며, 소는 전체적으로 낮은 음압레벨을 보이며, 여울은 100 Hz이하에서 높은 음압수준의 특성 peak이 나타나고, 소에서는 100 Hz이상에서 110 dB re 1μPa이하의 음압레벨을 보임
- 계단형 여울은 200 ~ 800 Hz에서 다른 유형에 비해 높은 음압수준을 나타내는 특성 peak이 나타나는 것으로 보임
- 현장 조사를 통해 서식처유형에 따른 음향 특성을 분석 하였으며, 이러한 음향 특성을 이용하여 실규모 실험에서의 기본 음향 조건을 설정하고자 함

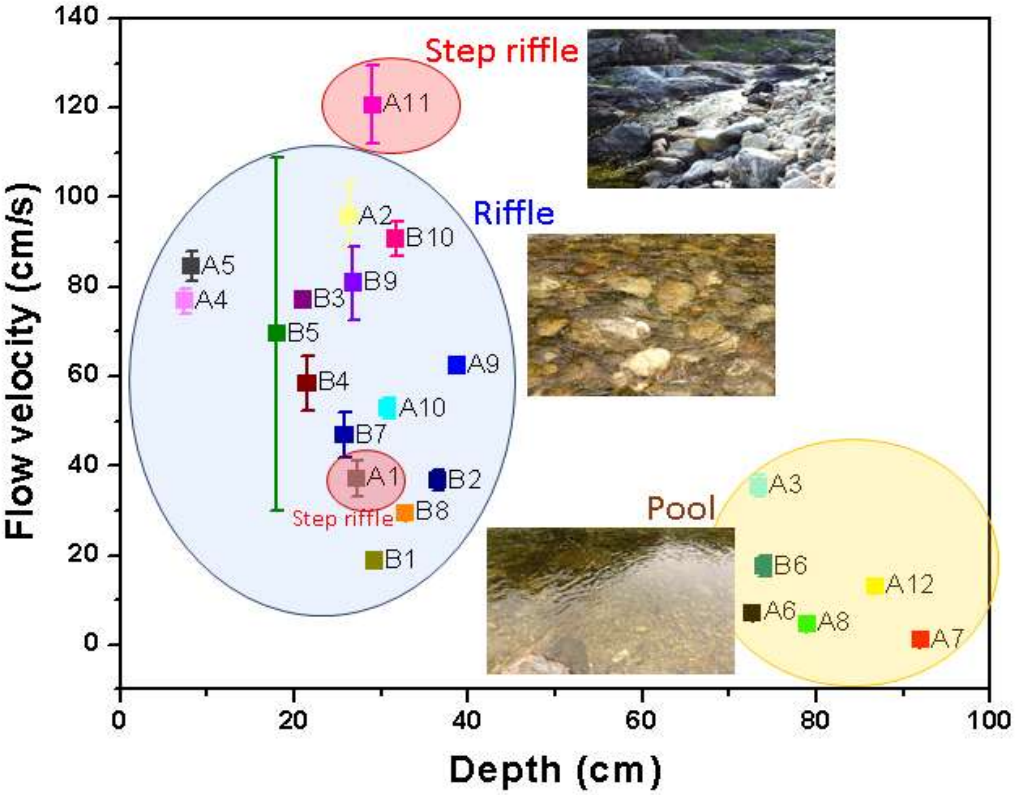


그림 3.2.50 조사지점의 수심과 유속 특성

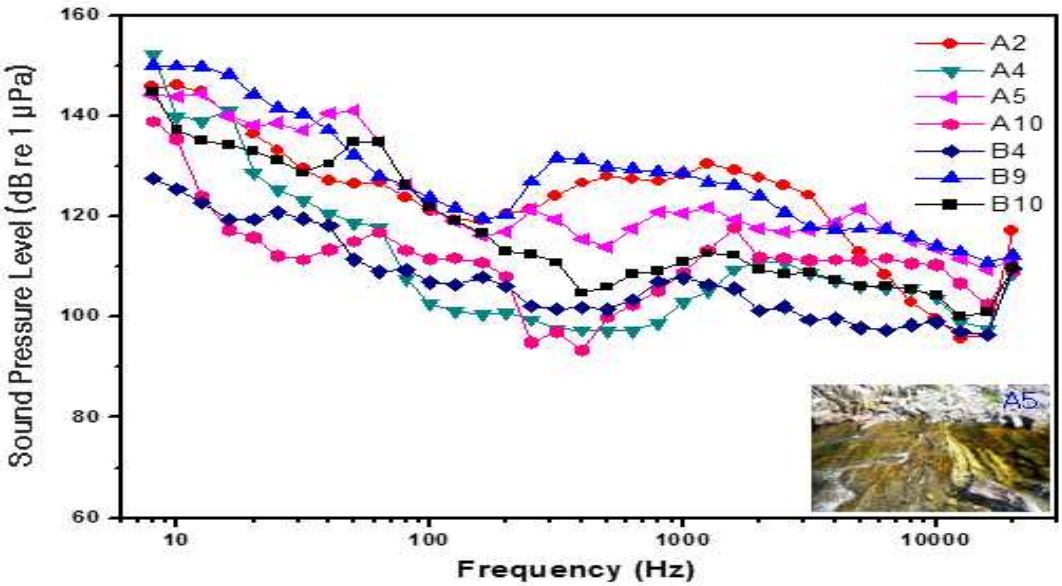


그림 3.2.51 여울에서의 소리분포 특성

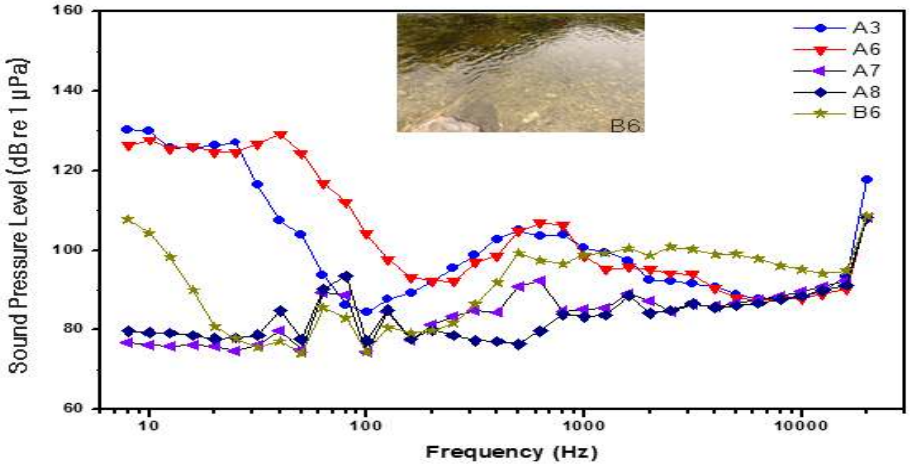


그림 3.2.52 소에서의 소리분포 특성

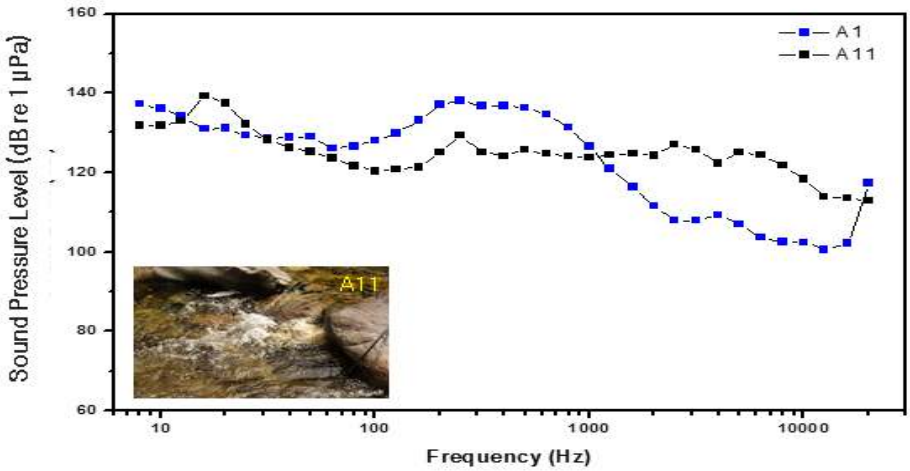


그림 3.2.53 계단식 여울에서의 음향 특성

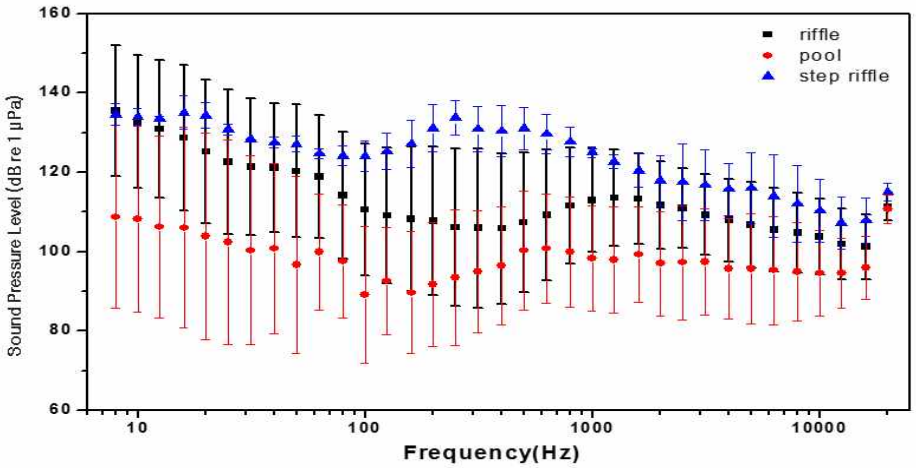


그림 3.2.54 여울, 소, 계단식 여울에서의 음향 특성 비교

5. 음원 및 광원 개발

가. 어류기피 음원개발

(1) 음원 개발의 필요성

실험 초기에는 차단효과가 있으나 반복적인 실험에서 순응반응이 일어난다. 특히 불규칙적이고 변동성이 있는 Frequency 및 dB 을 활용한 음원개발이 필요하다. 차단효과의 도달거리가 2 m 이하로 실험에 활용한 수중음향발생장치(UW30)는 실제 현장에 적용하기 어렵다고 판단되므로 고출력 수중음향발생장치 개발 및 선호 음역대 음원개발은 반드시 필요하다.

(2) 음원 제작 및 개발

어류음향반응실험 수행 후 기피 주파수 및 데시벨에 대한 음원을 제작하였다. 어류음향반응실험에서 각각의 실험어종마다 반응의 정도와 민감도의 차이가 있지만 대부분 민감주파수의 영역대의 분포는 100 ~ 1,000 Hz 이내로 다소 중첩되었다.

따라서 본 연구에서는 문헌조사 및 어류실험 결과를 토대로 어류차단용 음원개발(개발음원 1,2,3)을 완료하였으며 특정 민감 영역의 주파수를 0.5초 간격으로 반복적인 변화(sweep)를 통해서 방성하는 방식으로 개발하였다.

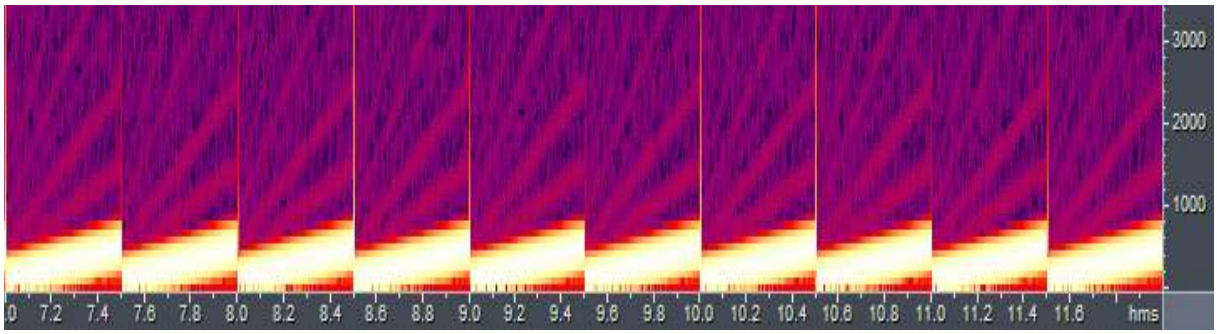


그림 3.2.55 기피음원1(100 ~ 500 Hz)의 스펙트럼

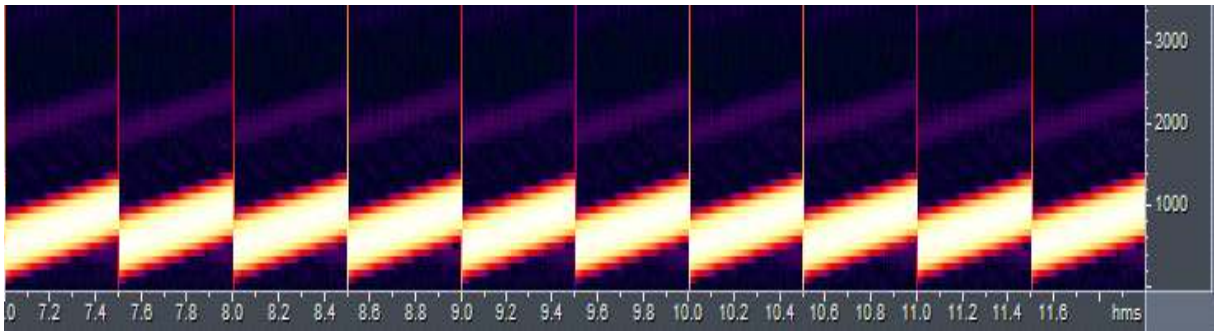


그림 3.2.56 기피음원2(500 ~ 1,000 Hz)의 스펙트럼

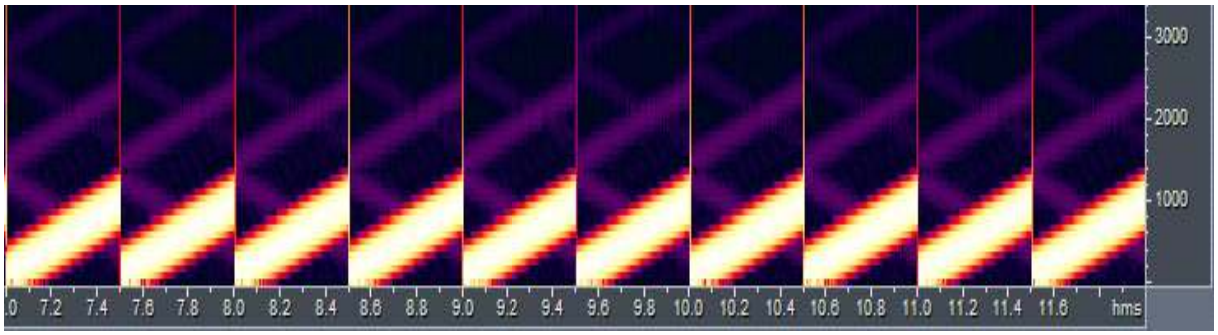


그림 3.2.57 기피음원3(100 ~ 1,000 ㎐)의 스펙트럼

나. 어류기피 광원개발

(1) 광원 개발의 필요성

어류는 빛에 대해 시각적으로 매우 민감한 반응을 보이므로 이를 이용한 어류 관리 기술 개발이 필요하다. 특히 발광 다이오드(LED, Light Emitting Diode)는 전기에너지를 빛에너지로 변환시키는 방식으로 친환경적 소재가 많이 개발되고 전력소모가 적다는 장점으로 어류와 해조류의 어획량 증대를 위한 양식 분야에 적용이 되고 있다.

빛에 대한 어류 반응 연구 중 Nemeth and Anderson의 연구에서는 수은등(mercury light)에 비해 섬광(strobe light)이 어류의 반응에 더 효과적이며 낮보다 밤에 효과가 있었다. Mueller et al.은 고휘도 빛에 대한 연어의 반응에 대해 실내실험을 수행하였으며 실험 결과 연어는 섬광에 대해 회피 반응을 보이는 것으로 나타났다. Patrick and Christie는 담수어 3개 어종(Alosa pseudoharengus, Osmerus mordax, Dorosoma cepedianum)을 대상으로 수조에서 빛과 버블에 대한 반응 실험을 수행하였다. 실험 결과 단일 차단에 비해 빛과 버블을 이용한 복합 차단시설의 효과가 높은 것으로 나타났다. 또한 빛의 색은 어류의 성장 및 장애에 영향을 주며 특히 녹색 빛은 양식을 위해 효과가 있다는 연구도 발표되었다.

수중 환경 조건에 따른 어류 스트레스 반응에 대한 연구도 수행되었다. Nakano et al.은 빛의 밝기 정도에 따른 은연어(coho salmon)의 회피반응 및 스트레스 회복시간 등에 대해 연구하였으며 어종별 환경에 따른 스트레스 반응에 대한 연구도 수행되었다. 또한 구조물 설치에 따른 어류 소상 가능성과 도수터널 내 유속 및 압력에 대한 어류 반응에 대한 연구도 수행되었다.

그러나 기존 연구는 대부분 수조에서 실험이 수행되었으며 어류 양식 및 유인을 위한 내용이 주를 이룬다. 따라서 본 연구에서는 도수터널 내 외래어종을 차단하거나 저수지 어종별 관리를 위해 준 실규모 실험을 실시하였으며 어류 반응 뿐만 아니라 거동 분석을 위해 빛을 이용한 차단시설을 개발하였다. 실험대상은 국내 대표 외래어종인 배스(Large mouth bass, Micropterus salmoides)와 블루길(Blue gill, Lepomis macrochirus)을 대상으로 하였으며 실험 개체별 차단시설 통과 유무 및 조도 차이를 이용한 차단효과와 차단율을 분석하였다.

(2) 실험시설 및 장치

실험 수로는 콘크리트를 이용하여 직사각형 단면(50.0 m × 2.0 m)으로 제작하였으며 최대공급유량은 0.3 m^3/s이다. 실험수로의 측면은 어류거동 분석을 위해 강화유리를 이용하여 제작하였으며 지미집(Jimmy Jib)을 이용해 모든 실험 과정을 촬영하였다. 빛은 LED 조명을 이용해 발생시켰으며 수로 간격을 고려하여 총 8개의 조명장치에서 빛을 발생시킬 수 있게 제작하였다.

빛 발생장치는 컨트롤 박스를 이용하여 각각의 조명을 조절 할 수 있게 하였으며 전원은 DC 24V이다. 광원은 3W LED를 이용했으며 조명은 바닥에서 수직방향으로 향하게 설치하였다. 빛 차단시설에 대한 설계 제원은 아래의 표와 같다. 그림 3.2.60은 광원장치에 대한 설계도면을 나타낸다.

표 3.2.11 빛에 대한 제원

type	Power supply	Illuminant	Housing	Etc.
Light	DC 24V	3W LED×18 ea	130(W) × 110(D) × 70(H)mm	Control Box

그림 3.2.58 실험수로

그림 3.2.59 빛 실험 장치

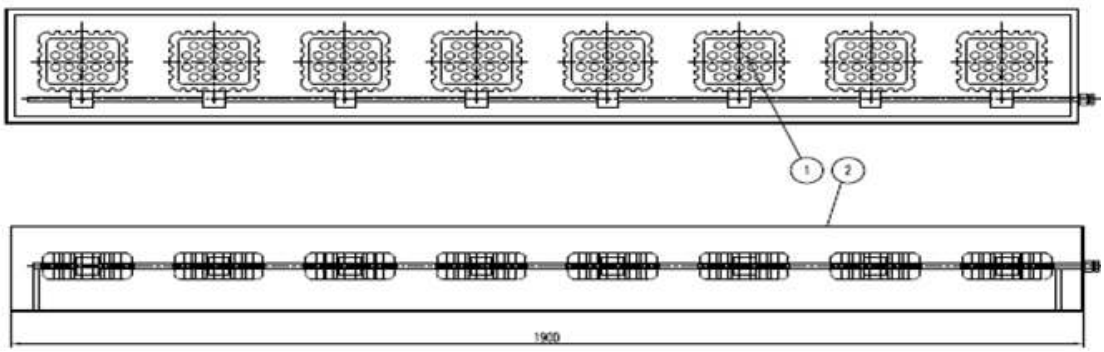


그림 3.2.60 광원 장치

(3) 조도 측정

본 실험 전 실험수로의 조도(Illuminance)를 측정하였다. 조도 측정은 광계측기인 T-10WA를 이용하였으며 3회 측정하여 평균값을 사용하였다. 조도의 물리적 정의는 양초 1개의 밝기인 1 촉광(candle-power)의 광원(光源)으로부터 1 m 떨어진 곳에서 그 빛에 직각인 면의 밝기정도를 의미하며, 그 단위는 룩스(lux)이다. 다시 말해 광원으로부터의 빛이 주변에 방사되어 외부 조건에 의해 산란, 흡수, 굴절되는 빛의 특성이 반영된 밝기 정도를 일컫는다.

따라서 본 연구에서는 광원에 대한 직접적인 밝기보다 인간의 시각적 인지측면의 밝기에 초점을 둔 상대적 밝기 개념인 조도를 판단기준으로 적용하였다. 표 3.2.12는 각 실험 조건 별 조도 측정 결과를 나타낸다. 수중 조도(조명 위 0.1 m)의 경우 평균 2855.6 lx(최대 2900 lx, 최소 2795 lx) 로써 일정한 값을 보였으나 수로 밖은 일몰 후 어두워짐에 따라 조도 차이가 발생하였다.

조도 측정 결과 배스는 수로 밖에서 1085 lx(2단계 case 1)이하부터 효과가 있으며 조도차이는 1787 lx(2단계 case 1)이상이 되면서 차단효과가 나타났다. 블루길은 수로 밖에서 1110 lx(1단계 case 1)이하부터 효과가 있으며 조도차이는 1714 lx(1단계 case 1)이상이 되면 차단효과가 나타났다.

표 3.2.12 조도측정결과

Stages	Velocity (m/s)	Case	Illuminance (lx)			
			Large mouth bass		Blue gill	
			Out of water	Underwater (10 cm above the light)	Out of water	Underwater (10 cm above the light)
1	0.20	1	955	2795	1110	2824
		2	352	2900	854	2836
		3	216	2830	369	2823
		4	105	2855	217	2850
		5	35	2850	37	2855
2	0.10	1	1085	2872	1032	2884
		2	747	2880	750	2863
		3	255	2875	428	2880
		4	136	2867	269	2874
		5	45	2855	67	2870
3	0.05	1	843	2850	972	2855
		2	650	2864	705	2862
		3	407	2875	456	2835
		4	286	2869	251	2840
		5	120	2837	74	2843

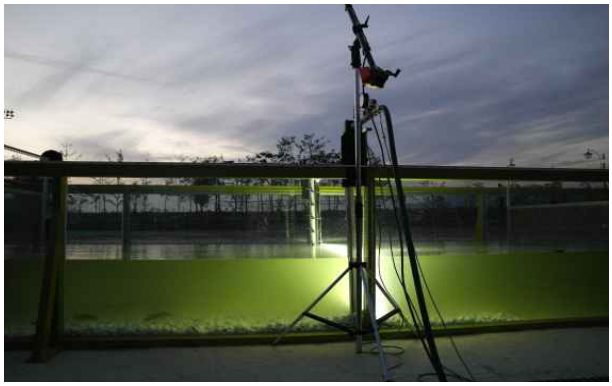


그림 3.2.61 배스에 대한 조도실험

그림 3.2.62 블루길에 대한 조도실험

(4) 빛을 이용한 차단실험 결과

전체 실험 대상 어류 중 빛 적용 유무와 상관없이 소상하지 않는 개체도 있기 때문에 본 연구에서는 빛 적용 시 소상한 개체와 빛이 종료된 후 소상한 개체를 비교하여 차단율을 선정하였다. 분석결과 유속에 따른 차단율 변화는 판단하기 어렵지만 어종별 차단율의 차이는 있는 것으로 나타났다. 전체 실험개체수를 기준으로 하면 배스의 차단율은 96.33%이며 블루길의 차단율은 99.00%로 나타났다. 소상 개체수를 기준으로 하면 배스는 91.73%, 블루길은 98.73%로 나타났다. 전반적으로 배스의 차단율이 블루길보다 낮은 것으로 나타났으며 이는 배스의 실험개체 크기 등 어류 특성에 따른 소상능력이 다르기 때문인 것으로 판단된다.

그림 3.2.63과 그림 3.2.64는 어종별 대표 움직임을 보이는 개체의 움직임을 영상분석을 통해 분석한 결과이다. 분석 결과 어류 특성상 상류로 거슬러 올라가려는 움직임을 보이지만 빛에 의해 회귀하는 움직임을 보였으며 차단시설 종료 후 다시 소상하는 것으로 나타났다. 이는 빛을 이용한 차단시설이 배스와 블루길에 시각적으로 영향을 미치는 것을 의미한다.

빛을 이용한 차단시설은 조도 차이를 이용해 어류를 차단하는 방식으로 일몰 후 효과가 발생하므로 향후 차단시설 설치 시 심도에 따른 조도변화, 일출 및 일몰시간 등을 고려한 설치가 필요하며 환경 조건별 최적의 차단효과를 위해서는 버블, 소리 등 복합적인 어류 차단시설의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

표 3.2.13 조도에 의한 어류 차단실험 결과

Stages	Velocity (m/s)	Blocking ratio (%)			
		A (Total population)		B (Ascending population)	
		Large mouth bass	Blue gill	Large mouth bass	Blue gill
1	0.20	97.00	100.00	96.25	100.00
2	0.10	92.00	98.00	78.93	98.00
3	0.05	100.00	99.00	100.00	98.18
AVG.		96.33	99.00	91.73	98.73

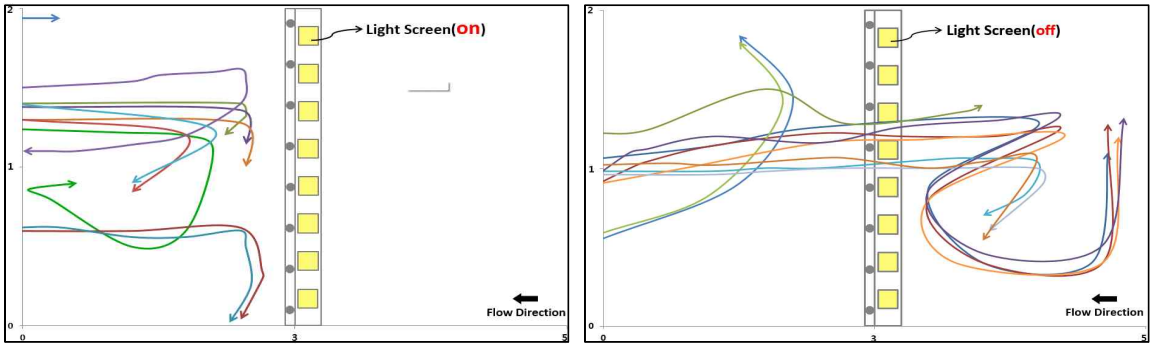


그림 3.2.63 빛에 의한 배스의 거동평가

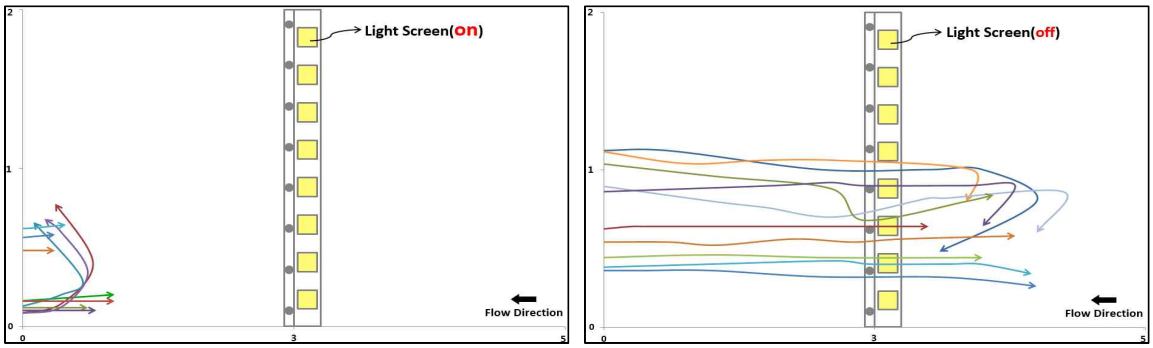


그림 3.2.64 빛에 의한 블루길의 거동평가

6. 수중음향발생기 제작

가. 시제품(저비용 수중스피커) 개발

(1) 제작과정

국내 여러 음향발생장치 제작업체와 협의를 거쳐 프로토타입의 수중음향발생장치 P1(60W) 및 P2(100W) 2종을 개발하였다. 또한 프로토타입 수중음향발생장치를 보완하여 최종결과물 초고출력 수중음향발생장치 R1(500W) 개발하였으며 10 m 이상의 수심에 적용이 가능하도록 고수압 환경에 견딜 수 있는 수중 음향발생장치 R2(100Hz 특화) 및 R3(200Hz 특화) 개발하였다.

그림 3.2.65 수중음향발생장치의 개발과정

(2) 최종결과물 고출력 수중음향발생장치 R2(500W)의 사양

- 출력은 보장되나 고수심 및 수압을 보완한 2차 시제품 제작
- 10 미터 이상의 고수압의 환경에서 적용이 가능하도록 일반적인 진동판 형태의 수중음향 발생장치 대신에 수압에 유리한 진동자 모델을 개발함
- 고수심 수중음향발장치의 경우 일반 방식과 비교하여 진동판이 없기 때문에 적은 출력으로 고효율의 음파를 방성시킬 수 있을 것으로 판단됨

그림 3.2.66 최종결과물 고출력 수중음향발생장치 R2(500 W)

나. 제품 최적화방안 설계

(1) 스피커 설계

현재까지 기술은 어류 퇴치의 중요 주파수인 100Hz에서의 연속 사용 시 5분 이내 발열로 인해 제품의 심각한 차손이 발생하였다. 이에 저·고수심 수중 사용 시 밀폐된 공간 내의 저주파 대역 발생장치인 수지 계열 고탄성 진동판을 개발하였으며 오랜 기간 수중 사용 시 높은 내방수성 및 내구성 실현이 가능하다.

▣ ELECTRICAL CHARACTERISTICS

PARAMETER	SPECIFICATION	UNIT
Impedance At 8.0KHz / 1.0Vrms	**8 ± 1.2**	Ω
Power Rating (Nor / Max)	**500W ~ 1,000**	Watt
Polarity	When a positive DC current is applied to the marked (+), diaphragm shall move forward.	

▣ ACOUSTIC CHARACTERISTICS

PARAMETER	SPECIFICATION	UNIT
Sound Pressure Level At **1.0W** / **1.0M**, Free Field Air	**93 ± 3** Avg (150, 200, 300, 400)Hz	dB
Total Harmonic Distortion	Less than 10% at 8KHz, **1W**	%
Resonance Frequency (Fo) At 1.0 Vrms	**150 ± 15**	KHz
Frequency Range	Fo ~ 3.5	KHz

▣ ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS

PARAMETER	SPECIFICATION	UNIT
Operating Temperature Range	-20 ~ 65	℃
Storage Temperature Range	-25 ~ 70	℃

그림 3.2.67 수중음향발생기 제원

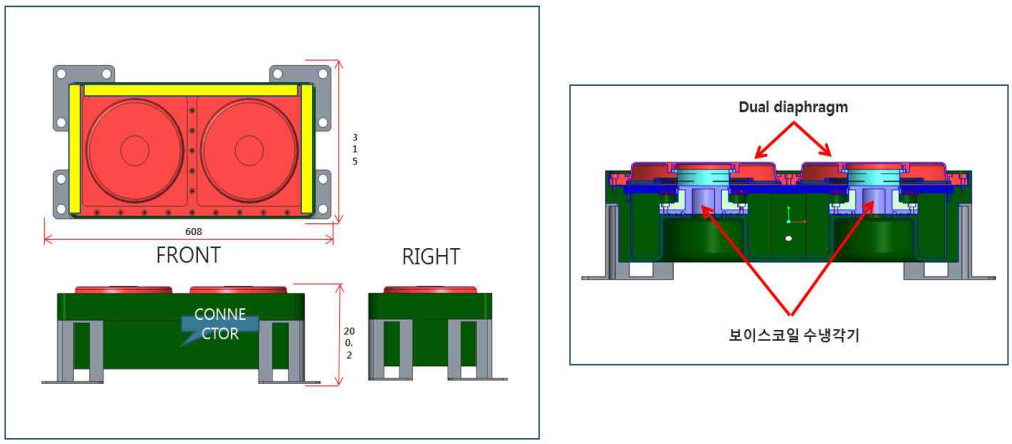


그림 3.2.68 수중음향발생기 도면

다. 구조물 유형(수공구조물 및 어류서식처)에 따른 시제품 개발

- 수중음향발생기 시제품 개발 완료(2018년 1월)
- 구조물 유형에 따른 시제품 개발[문제점(무게, 고심도 적용 등) 보완]
- 저음역대 음원의 교차발생 적용

그림 3.2.69 수중음향발생기 전면 구조(Dual diaphragm type)

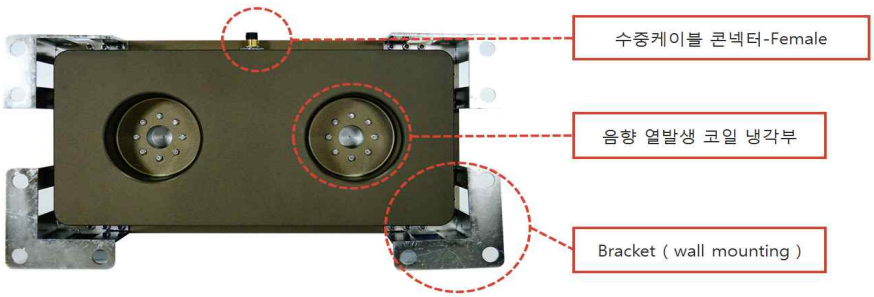


그림 3.2.70 수중음향발생기 후면 구조(수중 냉각구조 및 거치 Bracket)

7. 현장검증 및 시범사업

가. 테스트베드 현황

- 설치지역 : 경남 창원시 의창구 동읍 대산면 산남저수지 수문
- 주요시설 : 수중음향발생기 등 어류차단시스템
- 설치시기/규모(금액) : 2018년 8월 / 2대(42백만원)
- (계획) 모니터링을 지속적으로 수행하여 어군탐지 수행
- (계획) 추가 사업을 위한 기초자료 확보 필요 및 수요처에 맞게 사업화 계획 수립

위 치 도	사 업 개 요		
	공 사 명	산남[유휴]저수지 자원화사업 세부설계	
	위 치	경상남도 창원시 의창구 동읍 금산리 4-8번지 일원	
	공 사 기 간	2016.12.16 ~ 2017.12.30	
	공 사 금 액	3,140백만원 (VAT포함, 전체분)	
	주 요 물 량	1. 식생 및 퇴적물제거	: 31,725㎡
		2. 수변부자연식재	: 1,800㎡
		3. 어족자원증대시설	: 4,515㎡ (관급)
		4. 부유식 어선계류장	: L=35.82m (관급)
		5. 계류장 전압시설	: L=38.00m
		6. 어족자원보호시설	: 수중음향발생기 설치 (관급)
		7. 치어방류	: 붕어, 뱀장어 (관급)
		8. 외래어종수매	: 10,000kg (관급)
		9. 모니터링	: 최소2개년, 연4회 (관급)

그림 3.2.71 사업개요

그림 3.2.72 산남저수지 수문, 어류차단시스템 설치 장소

나. 설치내용

- 시공내역 : 수동형 조절레일(자체제작), 수중음향 발생장치, 음향장치 컨트롤러, 홍보용 입간판

표 3.2.14 제품 설치계획

날짜	내용
2018. 8. 1 ~ 2018. 8. 14	시공계획물 준비 및 사전 점검, 홍보용 입간판 내용보고 및 수정 후 제작
2018. 8. 16 ~ 2018. 8. 24	최저 수위인 주간에 현장 설치작업 및 모니터링
2018. 8. 27 ~ 2018. 9. 7	검수보고 및 사용메뉴얼 전달 및 사후관리계획 보고

제 3절 연구수행 성과 및 결과

1. 제품(수중음향발생기) 개발

- 판매를 위한 제품 개발 및 제작 완료
- 수중음향발생기 및 컨트롤러로 구성

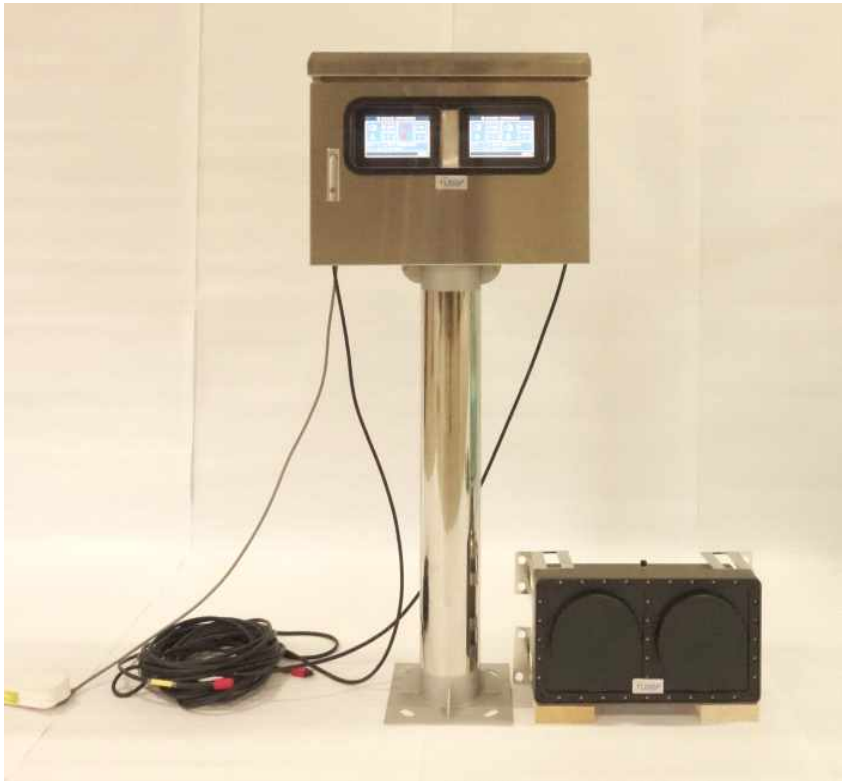
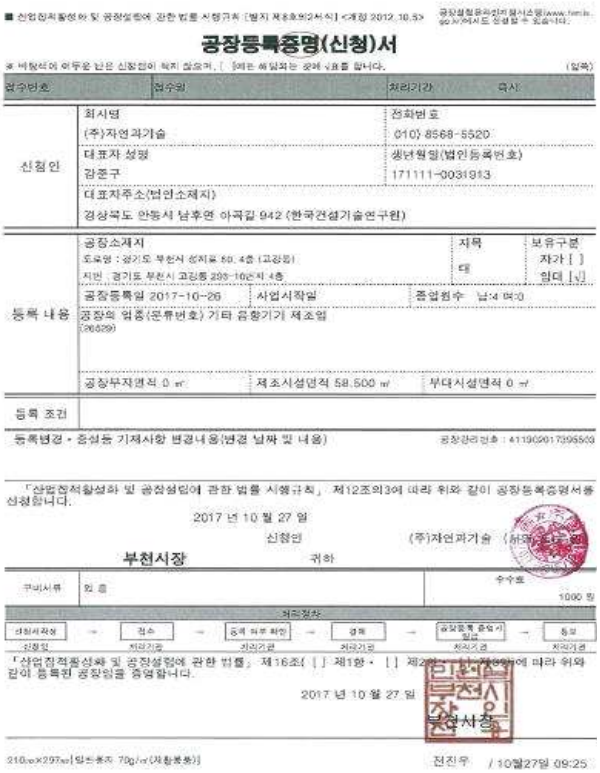


그림 3.3.1 수중음향발생기 및 컨트롤러

2. 공장등록

- 제품 제작을 위한 공장등록
- 수중스피커 제작에 대한 생산라인 마련
- 부천시 일대에 공장을 등록하여 스피커 제작 공간 마련

그림 3.3.2 제품 제작공장 내부



공장등록증명(신청)서

접수번호	접수일	처리기간	즉시

신청인	회사명 (주)자연과기술	전화번호 010) 8568-5520
	대표자 성명 김준구	생년월일(법인등록번호) 171111-0031913
	대표자주소(법인소재지) 경상북도 안동시 남후면 아곡길 942 (한국건설기술연구원)	
등록 내용	공장소재지 도로명 : 경기도 부천시 성지로 58, 4층 (고강동) 지번 : 경기도 부천시 고강동 203-10번지 4층	지목 대 / 보유구분 자가 [ ] 임대 [√]
	공장등록일 2017-10-26 / 사업시작일 / 종업원수 남:4 여:0	
	공장의 업종(분류번호) 기타 음향기기 제조업 (26429)	
	공장부지면적 0 ㎡ / 제조시설면적 58.500 ㎡ / 부대시설면적 0 ㎡	
등록 조건		

등록변경 · 중설등 기재사항 변경내용(변경 날짜 및 내용) 공장관리번호 : 4119020173955003

「산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률 시행규칙」 제12조의3에 따라 위와 같이 공장등록증명서를 신청합니다.

2017 년 10 월 27 일

신청인 (주)자연과기술 (서명 또는 인)

부천시장 귀하

구비서류 없 음 / 수수료 1000 원

처리절차

대표자작성 → 접수 → 등록 여부 확인 → 결재 → 공장등록 증명서 발급 → 통보

신청인 / 처리기관 / 처리기관 / 처리기관 / 처리기관 / 처리기관

「산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률」 제16조[ ] 제1항 · [ ] 제2항 제3항에 따라 위와 같이 등록된 공장임을 증명합니다.

2017 년 10 월 27 일

부천시장 부천시장 인

210mm×297mm[일반용지 70g/㎡(재활용품)] 전진우 / 10월27일 09:25

그림 3.3.3 공장등록 증명서_주식회사 자연과기술

3. 조달청 제품 등록

- 사업화를 위한 제품등록 추진 및 완료
- 직접생산 신고서, 생산 공정, 생산시설, 검사설비 1식을 포함한 물품 제조사실 확인서를 조달청에 신고

품명별 세부 직접생산확인 기준

* 세부품명[세부품명번호]	음향발생장치 [4111551301]

[일반사항] 이전기준조회

* 적용일자	2017/01/24 이후 입찰참가자격 신규등록 또는 갱신등록에 적용됨
* 중기간경쟁제품	아니오 ※ 「중소기업제품 구매촉진 및 판로지원에 관한 법률」에 따른 중소기업자간 경쟁 제품에 해당할 경우 「중소기업자간 경쟁제품 직접생산 확인기준(중기청 고시)」에 의함

[직접생산확인기준]

항목	내용	비고
* 제조공장	① 사업자등록 - 업태 : 제조 - 종목 : 해당품명의 관련 업종 ② 공장등록 - 한국표준산업분류번호 : 26521 26529 28901 산업분류번호 개수 = 3 「소기업 및 소상공인 지원을 위한 특별 조치법」에 따른 공장면적이 500㎡ 미만으로 공장을 미등록한 소기업은 건축물관리대장 상 해당 면적의 용도가 '공장' 또는 제1종, 제2종 근린생활시설의 용도로 기재되어 있어야 함 ※ 단, 해당 생산공장에 대한 현장실사를 통해 직접생산 여부를 확인한 후 적합할 경우 직접생산 제조업체로 인정	- 사업자등록증명 - 공장등록증명서 - 건축물관리대장
* 생산시설	[제조설비] ① 작업대 ② 납땜설비 ③ 조립설비 [검사설비] ① 전원공급장치 ② 오실로스코프 ③ 디지털멀티미터 ④ 신호발생기 ※ 2종이상 보유시 인정 ※ 공인기검사기관의 검·교정 성적서 확인	검교정 대상이 아닌 검사설비는 확인기준 설정에도 불구하고 검교정성적서 제출 생략 가능.
* 생산인력	상시근로자(대표자제외) : 1 명이상	- 4대 보험 가입증명으로 확인 - 관련보험 증빙서류 (보험금 납부 서류 및 내역 등)
* 생산공정	자체공정	
기타	**※ 주의사항 1** 제조공장, 생산시설, 생산인력, 생산공정은 '조달청 제조물품 등록 직접생산확인기준' 제 6조 내지 제 9조, 제12조 1항에 따라 직접생산 여부를 판정함 **※ 주의사항 2** '조달청 제조물품 등록 직접생산확인기준' 제12조 2항에 따라 예외적으로 직접생산이 인정될 수 있음	- 결산서 중 제조원가명세서, 세금계산서, 매입장 등 - 원자재 수급 여부, 전기 및 수도사용 영수 내역 - 생산능력(특정품목에 한함) - 납품실적 - 소명자료 등

[첨부문서]

No.	문서명	파일명
	첨부파일이 없습니다.	

내용출력 목록

그림 3.3.4 세부 직접생산확인 기준표

4. 매출 실적

- 매출 발생(2018년 5월, 한국농어촌공사, 42백만원)
- 2018년 9월 설치 완료 예정

KONEPS

물품계약서(승인통보)

※원본확인용QR코드

별첨 계약물품명세서, 물품구매계약 추가특수조건, 물품구매계약 특수조건 및 물품구매계약 일반조건을 완전히 숙지하고 이에 따라 다음과 같이 물품 구매계약을 체결하며 이를 충실히 이행할것을 확약한다.

계약일자 : 2018/05/16

<계 약 자>

<발 주 처>	**<계약상대자>**
한국농어촌공사 경남지역본부 창원지사	상 호 : 주식회사 자연과기술
지사장 이상용	주 소 : 경상북도 안동시 남후면 아곡길942-0
	대 표 자 : 강준구
	사업자등록번호 :
담 당 자 명 :	주민 등록 번호 :
담 당 전 화 :	전 화 번 호 :
담 당 팩 스 :	팩 스 번 호 :

계 약 방 법 :	수의계약	국가(지방)계약 법시행령 :	제공고입찰등과 수의계약		
계 약 번 호 :		구매관리번호 :		기관관리번호 :	창원농지-1540
계 약 건 명 :					
품 명 :	음향발생장치	수 량 :	2.000	단 위 :	식
계 약 금 액 :	41,800,000 원			수 수 료 :	
계 약 기 간 :	계약일~2018.11.30			지체상금율 :	0.15
납 품 기 한 :	2018/11/30			인 도 조 건 :	현장설치도
수 요 기 관 명 :		분할납품 :	불가	납 품 장 소 :	유휴(산남)저수지 자원화사업 현장
검 사 기 관 :	한국농어촌공사 경남지역본부 창원지사			검 수 기 관 :	한국농어촌공사 경남지역본부 창원지사
지 급 방 법 :	직불			계 약 구 분 :	총액
하자담보책임 기간(비고) :	2년 간(2%)				

[부가정보]

인지세액(과세대상여부) :	0 원(N)	지역개발/도시철도채권 :	0 원(해당없음)
계약보증서 전자제출여부 :	전자접수 및 직접수납	계약보증금 :	

그림 3.3.5 계약서 내용

제 4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제 1절 목표 달성도

성과 목표			목표 달성도
질적 성과	ICT 기반의 어류 유인/차단 시스템 개발 및 실용화와 기술 선점	어군 탐지 및 인지프로그램	<목표 달성> ·기존 어군탐지 프로그램 비교·분석 및 선정
		음향시설 자료조사 및 최적화 방안 설계	<목표 달성> ·국내 적용 가능한 최적 프로그램 선정 및 시스템설계 완료 ·제품 제조 및 설계를 위한 공장 등록 완료
		구조물 유형(수공구조물 및 어류 서식처)에 따른 시제품 개발	<목표 달성> ·시제품 개발 완료 ·제품등록 완료(조달청)
	실험실증을 통한 원천기술 (음원/광원) 개발	어류반응 기초자료 D/B화	<목표 달성> ·국내·외 소리에 대한 음향반응 자료 조사
		어류 기피 및 선호 음원 개발	<목표 달성> ·실험실증을 통한 원천기술(음원/광원) 확보 ·음원 및 광원 개발을 하여 개발된 시제품에 탑재
		어류 기피 및 선호 광원 개발	
		음향-수리 해석 수치 기법 개발 및 매뉴얼	<목표 달성> ·주파수 전파범위 선정 중
	어류반응 및 거동 실험실증 시스템	어류 반응 및 실규모 실험 장치 구축	<목표 달성> ·어류 거동 분석을 위한 실험 수로 구축 (알루미늄 프로파일 및 강화유리를 이용하여 실험 수조 제작)
		어류 반응 및 거동 실험	<목표 달성> ·실규모 실험을 위한 준비과정으로 실제 하천 서식처의 소리분포를 현장조사를 통해 진행
		실규모 실험 및 실험검증	
	사업화를 위한 현장 검증 및 시범사업	현장 검증 및 시범사업	<목표 달성> ·경남 창원 산남저수지 내 시제품 적용 중 (계약완료 및 2018년 11월 초 설치 완료)
양적 성과	특허 3건(출원2건, 등록1건)		<목표 초과 달성> **·수중음향발생기 관련 특허 출원 2건, 등록 1건 완료** ·1건에 대한 등록 심사 중(2019년 2월 등록 예정)
	논문 8건		<목표 달성> **·게재 완료 : 6건** **·심사 중 : 2건(sci 급 및 국내논문)** **·국내외 학술발표 : 3건**
	S/W 등록		<목표 달성> **·S/W 등록**
기타	홍보 및 수상		<목표 초과 달성> ·한국수자원학회 홍보부스 운영(2018년 4월, 경주) ·대한토목학회 홍보부스 계획(접수완료, 2018년 10월) ·국토교통기술대전 참가(2018년 6월, 서울) ·해외기술로드쇼 참가(2018년 4월, 말레이시아) ·방송(YTN, 도시, 사람을 품다) 홍보 ·건설기술신문 언론홍보 ·홍보 동영상 및 홍보 브로셔 제작 ·한국일보 디지털이노베이션 환경기술분야 대상(2018년 8월)

제 2절 관련 분야 기여도

- 외래어종 차단 및 유인방법 확보를 통한 지역사회 갈등 해결
  - 안동-임하 도수터널 건설에 따른 외래어종 문제 해결책 제시
- 음향 발생기 자체제작, 산업용 음원개발 등에 대한 기술력 향상으로 비용 절감(국외 기술 대비 50% 이상 예산 절감)
- 지역 중소기업의 해외 진출
  - 기술설명회 완료 및 공동연구 추진 중(말레이시아)
- 기술 개발 후 매출 발생 및 지역인재 신규 채용(2명)
- 고급 및 특이 어종의 유입 및 이동통로 확보를 통한 도내 어류산업의 활성화
- 정부 정책인 환경을 접목한 신산업 개발에 대한 관련시장 주도
- 회귀 어류에 대한 어도 유인 가능 및 활성화
- 내수면(양식) 어업 사업 활용

제 5장 연구개발성과의 활용계획

제 1절 활용방안 및 계획

- 발전시설의 취수구 및 방수구에 대한 어류 유입 문제 해결을 위해 활용 가능(국내 발전시설:58개소, 국외 발전시설:8,639개소)
  - 수력, 화력, 원자력 발전소, 한국수자원공사, 한수원과 현장 적용 및 공동연구에 활용
  - 한수원 원자력발전소 취수구 입구 현장설치
  - 도수터널 어류차단시설 적용 추진
- 어도, 보 등 수공구조물을 활용한 어류 유인 및 차단
  - 회귀어류에 대한 유인 및 차단
- 양식장 및 어업활동에 어류 차단/유인 시설 활용
  - 외래어종 대책방안 관련 어류 및 음향 전문기관과 공동연구
- 관련 융합 기술에 대한 중소기업 기술 지원 및 공동연구에 활용
  - 수중음향 발생장치, 빛 및 버블 시스템 및 제어시스템 등에 대한 기술지원 및 공동연구
- 소형화 및 경량화에 대한 기술 공유
  - 어류의 생활 및 행동특성을 고려한 수공구조물 설계 방안
- 어류서식처 및 하천 환경 분야 사업화 추진
  - 어류보존 설계기술(수치해석 등)과 개발제품 적용
- 하천 생태계 보호를 위해 기술 수요처에 현장 적용 가능
- 해외진출을 위한 기술세미나 개최 및 현장설치 및 모니터링 자료 확보
- 향후 진동, 초음파 등과 연계하여 다양한 수요처를 확보하고 사업화 계획을 수립

2. 활용계획

- 어류차단기술 분야
  - 한국수자원공사, 한국수력원자력, 한국전력 등
- 어류유인기술 분야
  - 국립수산과학원, 중앙내수면연구소 등
- 외래종 차단 및 서식처 구조물
  - 국립생태원, 지방환경청 등

표 5.1.1 최종성과물의 기술수요처 및 현장적용 계획

활용분야	예상 기술수요처	현장적용 계획
어류차단 기술	수자원공사	댐 및 도수터널 내 어류자원 보호를 위한 차단 시스템 구축
	한국수력원자력	원자력발전소 취수구, 방수구 등으로 어류 유입 차단
	한국전력	화력발전소 취수구 등으로 어류 유입 차단
어류유인 시스템	국립수산과학원	어류 유인을 통한 어업활동 촉진 및 양식장 적용
	중앙내수면연구소	
외래종 차단 및 서식처 구조물	국립생태원	생태계 보호를 위한 외래종의 효과적인 차단 및 고유종, 보호종 등 국내 어족 보호
	지방환경청	

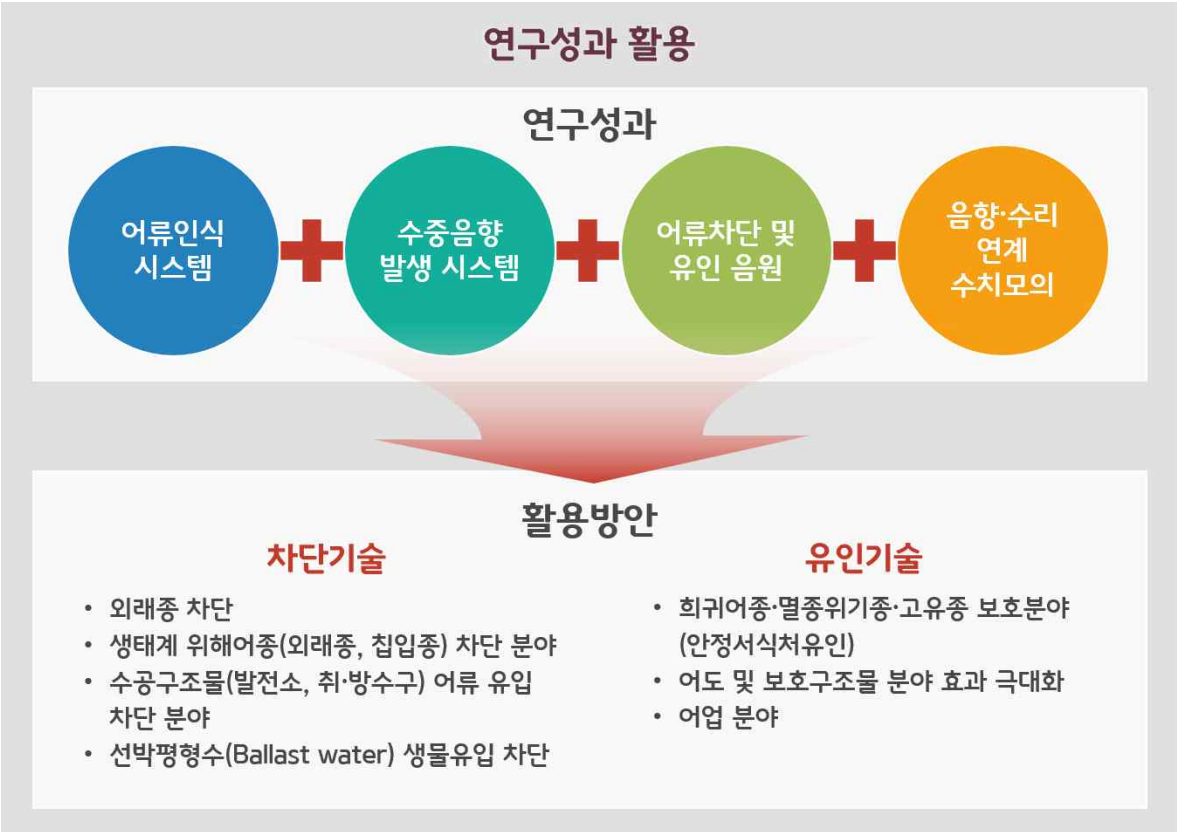


그림 5.1.1 연구성과의 활용계획

제 6장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

제 7장 연구개발성과의 보안등급

1. 보안등급의 분류

보안과제	일반과제
	○

2. 결정사유

○ 특허출원완료 및 학회, 국토대전 등에서 홍보를 실시하였으며 관련 실무자들에게 공개되는 연구개발 기술이므로 보안을 요하지 않음 ○ 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제 24조의 4(분류기준) 제1항 보안과제에 해당하지 않은 일반과제임

제24조의4(분류기준) ① 연구개발과제 보안등급은 다음 각 호와 같이 분류한다.

<개정 2014.11.28.>

1. 보안과제: 연구개발성과 등이 외부로 유출될 경우 기술적·재산적 가치에 상당한 손실이 예상되어 보안조치가 필요한 경우로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 과제

가. 세계 초일류 기술제품의 개발과 관련되는 연구개발과제

나. 외국에서 기술이전을 거부하여 국산화를 추진 중인 기술 또는 미래핵심기술로서 보호의 필요성이 인정되는 연구개발과제

다. 「산업기술의 유출방지 및 보호에 관한 법률」 제2조제2호의 국가핵심기술과 관련된 연구개발과제

라. 「대외무역법」 제19조제1항 및 같은 법 시행령 제32조의2에 따른 수출허가 등의 제한이 필요한 기술과 관련된 연구개발과제

마. 그 밖에 중앙행정기관의 장이 보안과제로 분류되어야 할 사유가 있다고 인정하는 과제

2. 일반과제: 보안과제로 지정되지 아니한 과제

가. 연구개발과제 수행 과정 중 산출되는 모든 문서에는 제1항에 따라 분류된 보안등급을 표기하여야 한다.

나. 「보안업무규정」에 따른 Ⅰ급비밀, Ⅱ급비밀, Ⅲ급비밀 또는 이에 준하는 대외비로 분류된 과제와 「군사기밀보호법 시행령」에 따른 군사 Ⅰ급비밀, 군사 Ⅱ급비밀, 군사 Ⅲ급비밀 또는 이에 준하는 대외비로 분류된 과제에 대해서는 제1항 및 제2항에도 불구하고 관련 법령에서 정하는 바에 따른다.

http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=193727&efYd=20171109#0000

제 8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

제 9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

○ 사무실 안전조치

1) 실험 연구실의 안전점검 및 정밀안전진단 실시

2) 참여연구원들의 교육훈련 및 건강검진 실시

3) 참여연구원들의 산재보험가입

4) 연구실의 위험 요소 자체를 근본적으로 없애기 위해 노력

5) 현실적으로 위험 요소 자체를 100% 없애거나 어려운 경우 이를 완화할 수 있는 방법 강구

6) 심리적 갈등이나 휴먼에러 등이 발생해도 사고로 이어지지 않게 하는 방호장치(안전장치) 부착

7) 사고가 발생할 가능성이 있거나 사고가 발생하는 경우 조처를 위한 경보장치 부착

8) 위험요소에 노출을 막기 위한 개인보호구 구비

9) 참여연구원 스스로 심리적으로 안정된 환경유지로 안전 규칙 등을 준수할 수 있도록 권고

○ 안전관리대책

1) 방호장치(안전장치) 활용

: 방호장치 혹은 안전장치는 연구실에서 사용하는 기구·기구·설비 등에 사고를 예방하기 위한 장치로 위험한 구역에 무의식적으로 손을 넣을 경우 광센서에 의해 자동으로 기계를 멈추게 하는 등 구비되어 있는 방호장치를 적절히 활용함

2) 경보장치 활용

: 경보장치는 사고가 발생하려는 징후가 있거나, 사고가 발생한 경우에 이를 알려주는 장치로 실험 설비 등에 이상이 있을 때 경보를 알려주는 역할을 하며, 실험동에 설치되어 있는 경보시스템 또는 안전표지판 등을 이용함

3) 개인보호구 이용

: 사고가 나거나, 위험 요인에 노출될 때를 대비해 참여연구원들에게 헬멧이나, 보안경 등을 착용하도록 함

4) 참여연구원들의 규칙 준수

: 위에 언급한 조치들에 의해 위험요소가 완화되거나 각종 방호장치, 경보장치, 개인보호구가 갖추어지더라도, 최종적으로 안전에 대해서도 각 참여연구원이 안전 규칙을 준수해 행동하도록 주지함

제 10장 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	논문	조도 차이를 이용한 어류 차단 효과 분석	한국건설기술연구원, 자연과기술	주저자	대한민국		2017.11.30	단독	
2	논문	버블을 이용한 파랑볼우럭 차단 효과 분석	한국건설기술연구원, 자연과기술	주저자	대한민국		2017.02.28	단독	
3	논문	외래어종 관리를 위한 소상 실험 및 평가	한국건설기술연구원	주저자	대한민국		2016.10.30	단독	
4	특허	수중 전자음향변환 시스템	자연과기술, ㈜프라임음향	발명자	대한민국		2018.01.18.(등록)	단독	
5	특허	수중 전자음향변환 장치	자연과기술, ㈜프라임음향	발명자	대한민국		2017.04.26.(출원)	단독	

제 11장 기타 사항

제 12장 참고 문헌

Seo, J.H. and Moon, Y.J., 2006. Linearized perturbed compressible equations for low Mach number aeroacoustics. Journal of Computational Physics, 218(2), pp.702-719.

Seo, J.H. and Mittal, R., 2011. A high-order immersed boundary method for acoustic wave scattering and low-Mach number flow-induced sound in complex geometries. Journal of computational physics, 230(4), pp.1000-1019.

Kang, S., Lightbody, A., Hill, C. and Sotiropoulos, F., 2011. High-resolution numerical simulation of turbulence in natural waterways. Advances in Water Resources, 34(1), pp.98-113.

Lighthill, M.J., 1952, March. On sound generated aerodynamically. I. General theory. In Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences (Vol. 211, No. 1107, pp. 564-587). The Royal Society.

Curle, N., 1955, September. The influence of solid boundaries upon aerodynamic sound. In Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences (Vol. 231, No. 1187, pp. 505-514). The Royal Society.

Kato, C., Yamade, Y., Wang, H., Guo, Y., Miyazawa, M., Takaishi, T., Yoshimura, S. and Takano, Y., 2007. Numerical prediction of sound generated from flows with a low Mach number. Computers & Fluids, 36(1), pp.53-68.

Sakurai, T., Kashwai, J., Ono, M., Sound characteristics generated by Hydraulic Jump-type energy dissipaters and those estimating methods

윤종락, 이성욱, 안수용, 박지현, 배종우, 안명석, 2006, 수중소음이 어류에 미치는 영향, 한국소음진동공학회, KSNVE06A-21-02.

나정열, 2004, 해양 탐사를 위한 수중 음파의 이용, 물리학과 첨단기술

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 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.