

# 장어통발어선 활어창 냉각시스템 개발

김 경 교/한국어선협회 기술개발부 차장

## I. 서론

장어통발어업은 어획한 장어를 활어상태로 수송하여 총어획량의 약70%이상을 수출하고 있는 수출주력 업종으로서 연중조업이 가능한 업종이나 하절기에는 해수온도의 상승으로 활어창내 온도상승으로 인하여 운송도중 장어의 치사율이 높아 근해에서의 장기조업이 불가능하여 연안에서 1일 조업을 하므로서 하절기 생산량이 극히 저조하여 이로 인한 소득감소와 선원의 이직율이 높은 실정이다.

또한 WTO 체제출범으로 수산업에도 무한 경쟁시대가 다가왔고 배타적 경제수역(EEZ)선 포계획은 열악한 연근해 수산환경을 더욱 압박하고 있어 어로장비의 현대화, 자동화등 보다 앞선 기술만이 우리 수산업의 대외 경쟁력 회복과 인력난 등을 극복 할 수 있는 유일한 활로가 되는 것으로 예상되지만 어민 스스로가 이러한 기술개발을 감당하기엔 역부족인 실정이다.

장어통어업의 이러한 하절기 조업저조로 인한 소득감소와 선원수급의 어려움을 극복하고자 활어창의 수온을 관리할 수 있는 활어창냉각장치의 개발이 절실히 요구되어 농림수산특정연구사업의 '95 현장애로 기술개발사업으로 동 과제가 선정되어 추진하게 되었으며 연구결과를 다음과 같이 간략하게 소개하고자 한다.

## II. 본론

### 1. 연구개발 목표

현재, 외국의 경우 어선용 해수냉각장치의 개발로 소득증대 등 생산성 향상의 효과를 보고 있으나, 국내의 경우 근해통발어선은 95년 연간 총생산량은 14,378톤에 이르며 그중 하절기인 8월의 생산량은 약 3%에 불과한 실정으로 이는 현행의 활어창 냉각시스템으로는 조업의 한계성때문에 하절기에는 출어를 포기하고 있는 경우가 많기 때문이다.

따라서, 하절기에도 조업이 가능하도록 하고자 장어를 각종 해수온도 및 수용밀도에 두었을때 일어나는 장어의 생리변화실험 등을 통하여 장어의 치사율을 최소화 할 수 있는 활어창 냉각시스템을 개발하여 통발어업의 생산성 향상에 따른 소득증대와 어선원의 안정적인 생활기반을 조성하는데 기여코져 한다.

또한, 어선 냉각장치 제작사들의 설계기술 부족 및 영세성으로 장어 생리변화실험등에 의한 적정수온 유지 조건등의 이론적인 기초설계기준 없이 냉각장치를 제작 공급하여 제 기능을 발휘하지 못하고 실패함으로서 어민이 직접적으로 피해를 보는 현실에서 이러한 연구를 통하여 기초설계조건 및 설계모델 제시를 통하여 다양한 규모의 통발어선 냉각장치 및 기타 용도의 냉각장치 개발의 기술향상에 이바지 하고져 한다.

## 2. 연구개발 내용

### 가. 실선 및 현장조사

○ 통발어선의 실선 및 현장조사는 기존 목선과 신조 FRP어선을 조사하여 목선과 FRP어선에서의 냉각장치 설치현황 및 사용상 문제점 등을 조사하여 개발하고자 하는 냉각시스템에 참고토록 하였으며 조사내용은 다음과 같다.

#### ○ 실선조사 결과 및 문제점

끼 및 부식용 냉동시스템(냉동기 30PS)에 연결하여 사용하고 있으나 냉동기 용량 부족으로 적정수온 유지가 곤란하여 얼음을 활어창에 투입하는 방법을 병행하여 사용하고 있으나 장기 조업은 불가능하여 1일 조업이 가능한 연안지역에 국한하여 조업하고 있는 실정이었고, 장기조업시는 폐사율도 약 20%이상에 이르는 등 문제점이 많았으며 활어창내에 설치된 냉매관의 부식등에 의한 냉매누설 사례도 종종 발생하고 있는 실정이었다.

장어통발의 경우 종래 목선이 FRP선보다

조사항목	제302수덕호	제311태남호
총 톤 수	60톤	69톤
선 질	목선	FRP선
주요제원	등록장(L)	22.40M
	형 폭(B)	5.94M
	형 심(D)	3.15M
어 창 수 량 어 창 용 적	활어창 : 6개 미끼창 : 1개 활어창 : 56.1m <sup>3</sup> 미끼창 : 5.3m <sup>3</sup>	활어창 : 12개 미끼창 : 2개 활어창 : 145.9m <sup>3</sup> 미끼창 : 26.0m <sup>3</sup>
	주 기 관 보 조 기 관	563PS x 1800rpm 1대 185PS x 1800rpm 1대 105PS x 1800rpm 1대
냉 동 기	30PSx1대(19.4 R/T) 냉매 : R-22	50PSx1대(40.2 R/T) 냉매 : R-22
응 축 기	355.6D x 1350L 1조	508D x 1930L 1조
증 발 기	355.6D x 1540L 1조	508D x 2200L 2조
액 분 리 기	165.2D x 350H 1조	318.5D x 500H 1조
유 분 리 기	165.2D x 420H 1조	318.5D x 600H 1조
냉각해수펌프	2.2KW x 1750rpm 1대	5.5KW x 1750rpm 1대
냉각해수공급펌프	-	7.5KW x 1750rpm 1대

기존 목선인 제302수덕호의 경우, 하절기조업을 위하여 활어창에 냉매관을 가설하여 미

열전달계수가 작아 활어창 보온에 유리해 장어폐사율이 적은 목선을 선호하므로 FRP선

보급이 이루어지지 않았으나 하절기에 목선에 미끼 및 부식용 냉동시스템을 사용하여 1일 조업이 가능케됨에 따라 FRP선에 냉동장치를 설치하면 폐사율을 줄일 수 있다는 확신을 얻고 FRP선으로 건조하게 되었다.

FRP 신조선인 제311태남호의 경우는, 냉각시스템 설계 및 제작에 있어 장어의 생리변화 실험등에 의한 적정수온 및 순환량 설정 등 이론적인 기초설계조건 없이 경험에 의한 설계제작으로 인하여 증발기용량 부족에 의한 냉각수 토출량 부족으로 적정시간내 냉각수 공급이 불가능하여 조업에 상당한 어려움이 많았다.

또한 활어창내 용존산소량 유지를 위하여 양 어선 공히 액화산소를 이용한 산소공급으로 용존산소량 부족에 의한 폐사를 방지하고 있었으며 활어창내 노폐물 제거는 1일 조업인 관계로 활어창내 냉각해수 교환등의 작업은 하지 않고 있었다.

#### 나. 개발시작품 설치 대상어선 선정

시작품 설치 대상어선으로서 기존선과 신조선을 검토한 결과 기존선으로 할 경우 시작품과 관련이 있는 기존 발전기등의 교체와 시작품 설치에 따른 선각구조의 절단, 복구등으로 투자비용의 과대가 예상되어 기존선은 검토범위에서 제외하고 신조선을 대상으로 선정키로 하였다.

그러나 배타적경제수역(EEZ) 선포계획에 따른 통발어선의 어장상실이 예상되어 신조선 건조수요가 격감되고 일부 건조예정 선박도 건조포기하는등 대상선박 선정에 어려움이 있었으나 FRP어선으로 건조하는 69톤급 제311태남호 및 제35성창호가 동일선형으로 건조추진 되어 시작품 제작일정과 건조공정을 비교 검토한 결과 제35성창호를 선정하게 되었다.

#### 다. 장어의 생리적인 변화 실험

##### ○ 생리변화 실험

- 비폭기 상태로 각종 온도 및 밀도에 봉장어를 저장하고 있을때의 용존산소량의 변화실험

봉장어를 각종 밀도(10%, 20%, 30%, 40%) 및 각종 온도(0℃, 5℃, 10℃, 18℃, 25℃)에 비폭기 상태로 저장하면서 저장 온도 및 수용밀도에 따른 해수중의 용존산소량의 감소를 측정 한 결과 0℃에 저장한 경우에는 수용밀도에 관계없이 저온 shock에 의하여 약 1시간30분까지는 치사하였고, 5℃에 저장한 경우에는 호흡량의 억제효과가 뚜렷하였으며, 0℃저장에서와 같은 저온 shock현상은 관찰되지 않았다.

- 폭기상태로 각종 온도 및 밀도에 봉장어를 저장하고 있을때의 암모니아 생성량의 변화실험

저장온도가 높을수록 그리고 수용밀도가 높을수록 암모니아 생성속도가 빨랐다.

- 해수중 용존산소량의 영향 실험

비폭기 상태로 각종 온도 및 밀도에 봉장어를 저장한 경우에 용존산소량이 1ppm에 도달한 일정시간 후에 봉장어가 치사하므로, 해수중의 용존산소량을 약 4ppm으로 조정하면서 봉장어가 받는 stress정도를 혈액성분 및 근육성분의 변화와 함께 실험함.

- 해수중의 암모니아 영향 실험

폭기상태로 각종 온도 및 밀도에 봉장어를 저장한 경우에 일반어류의 치사한계 값인 암모니아농도 30ppm과는 달리, 암모니아 생성량이 40ppm에 도달한 일정시간 후에 봉장어가 치사하므로, 해수중의 암모니아량을 30ppm으로 조정하면서 봉장어가 받는 stress정도를 혈액성분 및 근육성분의 변화와 함께 실험함.

○ 장어의 생리변화실험을 한 결과 최적 생존조건으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 장어의 적정저장온도 : 12~13℃

- 적정 장어 수용밀도 : 30%

- 활어창 냉각해수 교환횟수 및 교환량 : 1 일 어창용적의 1.5배 냉각수 교환
- 어창 산소공급방안 및 공급량 : 액화산소를 통하여 용존산소량을 4ppm이상 유지

#### 라. 활어창 냉각시스템 개발

##### ○ 냉각시스템 구성

- 해수냉각방식은 활어창내 장어의 수용량, 치사율 및 냉매누설 등을 고려하여 간접 냉각방식으로 개발
- 활어창내 냉각해수 공급은 최대 28℃의 해수를 증발기를 통하여 최저 5℃로 냉각하여 공급될 수 있도록 외부온도 증가 및 증발기의 열효율 감소에 대한 여유를 고려하였으며 활어창내 냉각해수가 적정 온도를 유지할 수 있도록 증발기를 통하여 냉각해수가 다시 순환될 수 있도록 함.
- 하절기에 어획된 장어가 활어창내 냉각해수에 갑자기 접하게 되면, 장어의 생리상 분비물이 많아져 호흡에 장애를 일으키므로 분비물이 많은 활어창의 해수는 완전히 선외로 배출하고 또다시 새로운 냉각수를 공급할 수 있도록 함.
- 압축기, 증발기, 응축기 및 펌프류 등의 냉각기기류는 온도조절기와 압력스위치등에 의해 보호될 수 있도록 하고, 인력절감을 위하여 상호 연계하여 자동운전이 가능토록 개발함.
- 본 시스템의 냉동사이클은 압축기, 응축기, 증발기, 액분리기, 유분리기, 건조기, 팽창밸브 등으로 구성되어 있으며 냉매는 R-22를 사용하였다.
- 시작품 기기류 사양 결정
- 냉각장치 기기류 사양은 협동연구기관(부경대학 부설 수산식품연구소)의 장어생리 변화에 대한 연구결과와 관계규정 및 대상어선 도면을 바탕으로 냉동능력 133,400kcal/h로 계산하였으며,

- 증발기와 냉각해수공급펌프는 어창 1실을 약 100분 정도에 28℃의 해수를 5℃로 냉각하여 채울수 있도록 하고, 응축기는 냉동능력과 압축기의 압축열을 동시에 만족할 수 있도록 하였으며, 응축기와 증발기는 SCALE에 의한 열전달효과를 고려한 전열면적으로 형상은 보수유지에 편리한 SHELL AND TUBE TYPE으로 함.
- 기타 액분리기, 유분리기, 건조기, 냉각해수펌프 등은 관계규정에 의거 안전을 감안하여 동판두께와 용량을 계산함.
- 냉각장치 시작품의 각 기기류의 사양과 형식은 장어의 생리실험에서 추출한 제조건과 활어창 용적, 어로 조건 및 선박의 설치공간을 고려하여 다음과 같이 결정하였다.
- 압축기  
형식 : 단단 압축식  
냉동능력 : 약 40.2RT x 1000rpm x 37kW  
증발온도 : 0℃  
응축온도 : 35℃
- 응축기  
형식 : HORIZONTAL SHELL AND TUBE TYPE(수액기 겸용)  
냉각해수 입구온도 : 28℃  
크기 : 508φ x 2437 l
- 증발기  
형식 : HORIZONTAL SHELL AND TUBE TYPE(만액식, 열교환기 부착)  
냉각해수 입, 출구온도 및 유량 : 28/5℃, 5.54m<sup>3</sup>/h  
크기 : 508φ x 2632 l
- 액분리기  
형식 : VERTICAL AND CYLINDRICAL TYPE  
크기 : 318.5φ x 500H
- 유분리기  
형식 : VERTICAL AND CYLINDRICAL TYPE  
크기 : 318.5φ x 600H

· 건조기

형식 : HORIZONTAL AND CYLINDRICAL TYPE

· 냉각수펌프

형식 : 원 심 식 , HORIZONTAL, COMMON BED TYPE

용량 및 수량 : 72 m<sup>3</sup>/h x 15m x 5.5kW x 1대  
 5.54 m<sup>3</sup>/h x 20m x 2.2kW x 2대

마. 시작품 제작 및 설치

○ 시작품 제작은 당초 설치대상 선박이 40톤급에서 69톤급으로 규모 증대로 인하여 시작품 제작비가 예산보다 증가되어 근해통발수산업협동조합이 추가금액을 부담기로 하여 추진하게 되었다.

○ 주관연구기관이 작성한 시작품 제작에 대한 시방서 및 시스템 도면에 의거 제작 도면을 참여기업인 청강냉동공업사에서 작성, 주관연구기관의 검토 및 기술지도하에 제작하여 한국어선협회의 예비검사(성능검사)후 설치대상 어선에 설치함.

- 대상어선 : 69톤급 근해통발어선
- 선명 : 제35성창호
- 선적항 : 통영
- 설치일자 : 1996. 5. 15 ~ 7. 10

바. 시험조업 및 결과분석

○ 시험조업

시작품을 설치한 어선에 승선하여 1박2일간 시험조업을 통하여 제작된 냉각시스템의 성능 및 조업상의 문제점등을 조사하였다.

- 시험조업일시 : 1996. 7. 31 ~ 8. 1
- 시험조업지역 : 장승포 동남쪽 20마일 해상
- 해수온도 : 약 28℃
- 출항지 : 거세 지세포항

- 입 항 지 : 거세 지세포항

○ 현장승선 실험

- 용존산소량 및 암모니아량 계측조사 시험조업시 활어창에 장어 입고시부터 용존산소량 및 암모니아량을 계측한 결과 다음과 같다.

시간(hr)	용존산소량(ppm)	암모니아산소량(ppm)
0	9.5	0.47
2	19.99	1.04
4	19.99	1.62
6	19.99	2.07
7	19.99	2.96
8:30	19.99	3.97
10	19.99	4.03
10:3	19.99	4.86

- 활어창 온도 계측조사

활어창 냉각해수 적재시의 증발기(EVAPORATOR)출구온도 및 적재 완료 시까지의 활어창 온도변화와 장어 입고시부터 완료시까지의 온도를 시간대별로 계측한 결과 다음과 같다.(뒷 페이지 표 참조)

○ 시험조업 결과 분석

- 냉각장치 성능시험 결과 증발기(EVAPORATOR)의 냉각능력(28℃의 해수를 5℃까지 냉각가능)과 냉동기의 안전 운전에 관련된 경보장치와 보호장치(고저압 차단장치 및 유압보호장치)의 작동상태는 양호함.

- 활어창의 냉각해수는 장어 입고시 적정 유지온도인 12~13℃를 유지하기 위하여 증발기 출구 온도 약 9℃로 자동팽창밸브를 조정하여 가동하였으며, 1개 어창 적재(어창용적의 60%) 소요시간을 약 1시간15분 소요됨.

- 시험조업 현장실험 결과 수온, 용존산소량, 암모니아생성량 등이 충분히 관리되는 것으로 사료되며, 하절기 장어조업시에 치사문제를 해결한 것으로 사료된다.
- 냉각해수온도 : 제시한 온도인 12℃ 전후보다 조업중의 해수온도는 약간 높은 수온을 나타내었지만, 용존산소량과 비교 고찰하면 치사에는 아무런 영향이 없는 것으로 사료됨.
- 용존산소량 : 제시한 용존산소량인 4ppm 이상이었으나 조업기간중에 액체산소 공급으로 포화상태로 유지되므로, 액체산소의 공급량을 약간 줄여서 8ppm 전후로 유지하는 것이 바람직한 것으로 사료됨.
- 암모니아생성량 : 해수순환량을 어창용적의 1.5배이상 매일 순환시켜서 일반어류의 치사농도인 암모니아생성량 30ppm을 넘지 않도록 해야 한다는 조건을 충분히 만족시키고 있다. 즉, 10시간30분 후에도 암모니아생성량이 약 5ppm정도의 값이므로 치사농도인 30ppm까지는 충분한 여유가 있음.
- 시험조업 결과 어획량은 620kg이며 수용밀도는 약 12%(적정 수용밀도 30%)로 다소 어획이 부진한 편임(1일 평균어획량 800~900kg)
- 입항후 하역결과 행동이 둔화된 장어가 약 30kg 발생하였으나 이는 장어의 먹이

시 간	어창온도	내 용
7/31 17:15	9.5℃ (증발기출구온도)	냉각해수 적재시작, 해수온도 28℃
17:30	9.5/11.0℃ (CLR출구/어창온도)	
18:00	9.0/10.0℃ (CLR출구/어창온도)	
18:30	9.0/9.9℃ (CLR출구/어창온도)	냉각해수 적재완료, 활어창용적의 60%(약 5.3톤)
22:10	11.4℃	양승시작
24:00	12.3℃	장어입고 1시간50분 경과후
8/1 01:00	12.8℃	장어입고 2시간50분 경과후
03:00	13.3℃	장어입고 4시간50분 경과후
05:00	14.3℃	장어입고 6시간50분 경과후
06:00	14.7℃	장어입고 7시간50분 경과후, 연승절단사고
07:50	15.1℃	장어입고 9시간40분 경과후, 양승종료
08:00	15.1℃	장어입고 9시간50분 경과후, 어장출발
09:30	15.8℃	장어입고 11시간20분 경과후, 항구도착
10:05	16.2℃	하역종료, 어획량 620kg

과식에 기인한 것으로 평상시 동절기에도 발생하는 사항으로 수온에 의한 치사율은 거의 없는 것으로 판명됨.

### 3. 연구개발 추진

본 기술개발은 산·학·연으로 구성되어 주 관연구기관은 어선을 담당하는 한국어선협회가, 장어의 생리실험을 담당하는 부경대학교(구 부산수산대) 수산식품연구소가 협동연구기관이 되고, 참여기업인 청강냉동에서 본 개발품의 시작품을 제작했다. 또한, 실수요자인 근해통발수산업협동조합에서는 시작품을 통발어선에 설치할 수 있도록 대상어선을 선정하고 시험조업에 관련한 제반사항을 담당했다.

주관연구기관에서는 통발어선의 주요장비 및 어창배치, 구조 등 제반사항을 조사분석하여 냉각시스템 적용에 관한 사항을 선정하여 활어창 냉각시스템도를 작성했고, 협동연구기관은 장어의 생리실험으로 장어의 생존에 적합한 활어창의 최적조건을 제시했다. 참여기업은 주관연구기관과 협의하여 관련 기기류 사양 및 제작도를 작성, 시작품을 제작하여 대상어선에 설치하였다. 본 연구사업의 관계자 입회하에 시험조업을 행하여 시작품의 성능을 검토, 분석하였다. 이러한 연구과정을 통하여 최종 개발된 활어창 냉각시스템에 대한 연구개발을 완료코져 했다.

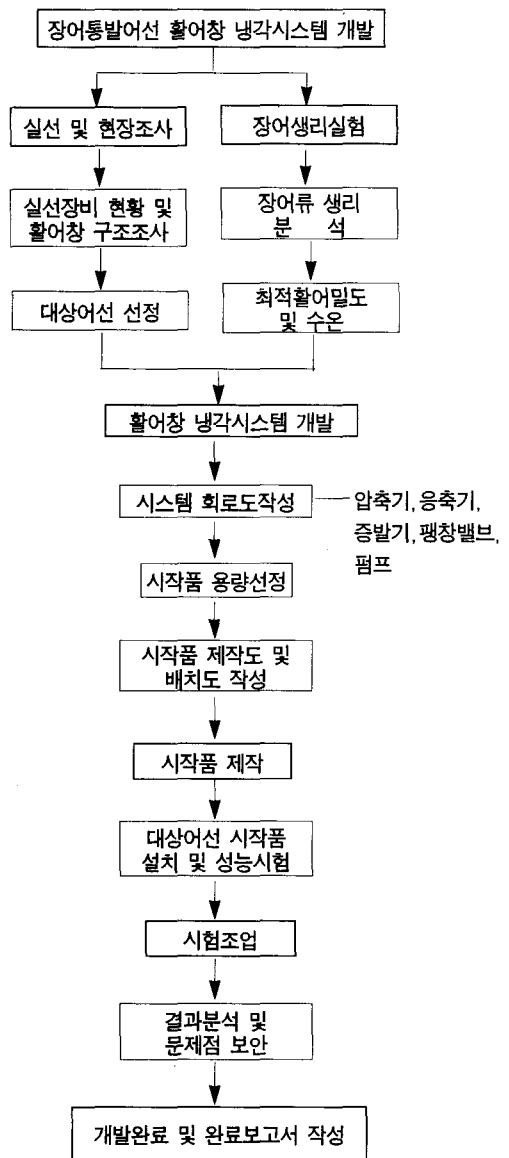
### 4. 연구개발 결과

사업추진체계에 따라 본 연구사업을 성실히 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 장어의 생리실험을 토대로 한 장어 생존의 최적조건 검출
  - 장어의 적정저장온도 : 12~13 ℃
  - 적정장어 수용밀도 : 30%이하
  - 활어창 냉각해수 교환횟수 및 교환량 : 하루에 어창용적의 1.5배의 냉각수를 교환.
  - 어창 산소공급 방안 및 공급량 : 액화산소를 공급하여 용존산소량이 8ppm이상 유지.

지.

- 활어창 냉각시스템 개발로 장어 치사율 최소화
- 시작품 탑재어선인 제35성창호의 8~9월 하절기 41일 조업에 대한 분석 결과 평균 치사율이 0.6%로서 대단히 만족할 만한 결과 획득



- 냉각장치 제작사(참여기업)의 설계기술 능력 향상  
냉각장치 제작사들이 영세하고 기술수준이 미흡하여 체계적인 이론 및 설계기준 없이 설계 제작하였으나 본 연구개발로 기초설계기준 정립 및 설계기술 능력 향상

### 5. 기대효과 및 활용방안

- 장어통발어선 활어창 냉각시스템 개발로 연중조업이 가능하게 되어 어민의 소득 증대와 선원 수급의 난제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다.
- 시작품을 대상어선에 설치, 시험조업을 행한 결과 매우 만족할 만한 성과를 달성하게 되어 일선 어민들의 연구사업에 대한 신뢰성을 갖게 될 것으로 기대된다.
- 통발어선 활어창 냉각장치에 관한 어민의 기술지도 및 홍보시 활용이 기대되며, 장비 개량에 관한 정부지원사업시에 활용.
- 본연구는 장어통발어선의 일정규모(69톤급FRP)에 국한되었지만, 다양한 규모의 통발어선이나 활어운반차에서도 응용 가능.
- 냉각장치 제작자들에게 실제 문제해결을 위한 좋은 참고자료로 활용.
- 장어통발어선은 하절기 치사율 문제로 FRP선 보급이 이루어지지 않았으나 본

냉각 장치의 개발로 FRP선 보급이 증대 예상(목제의 수입 대체효과)

- 목선이 FRP어선으로 선질 개량됨에 따라 유지관리비 절감 및 수명연장(10년→20년)으로 어민 경비지출 절감 기대.

### Ⅲ. 결론

본 연구과제 수행중 배타적 경제수역 선포 계획 발표로 인하여 동 경제수역 적용시 장어통발어선의 대부분 어장이 상실될 것으로 예상되어 장래 조업상황이 불투명하여 건조예정 이던 통발어선이 건조포기 또는 계획연기로 인하여 과제수행에 어려움이 많았으나 제35성창호의 건조로 본 선박을 시제품 탑재어선으로 선정 본 연구과제를 성공리에 마무리 하게 되어 다행으로 생각하며, 동 활어창 냉각시스템 개발이 장어통발 업계의 소득증대 및 경쟁력 강화에 이바지 할 수 있기를 기원하며, 또한 동 연구과제에 참여기업으로 참여한 청강냉동의 기술력 향상과 발전에 본 연구결과가 많은 도움이 될 수 있기를 바랍니다.

본 연구에 적극 협조하여 주신 근해통발수산업 협동조합 관계자 여러분과 협동 연구로 장어의 생리변화실험을 담당하여주신 부경대학의 조영제교수님께 감사드리며, 시작품을 본선에 탑재 운영하게된 제35성창호의 안전조업과 만선의 기쁨이 넘치기를 기원합니다.

『맑은어장 자연보호

황금어장 복지어촌』