공학박사 학위논문

해수냉각시스템의 성능특성 및 평가에 관한 연구

2002년 2월

부경대학교 대학원

냉동공조공학과

한 인 근

공학박사 학위논문

해수냉각시스템의 성능특성 및 평가에 관한 연구

지도교수 윤 정 인

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함

2002년 2월

부경대학교 대학원

냉동공조공학과

한 인 근

한인근의 공학박사 학위논문을 인준함

2001년 12 월 26 일

주 심 공학박사 금 종 수 ㊞

위 원 공학박사 최 광 환 ㊞

위 원 공학박사 정 석 권 ㊞

위 원 공학박사 윤 재 호 ㊞

위 원 공학박사 윤 정 인 ㊞

목 차

Study on Characteristic Performance and Evaluation of Sea Water Chilling System

In-Geun Han

Department of Refrigeration and Air Conditioning Engineering,
Graduate School, Pukyong National University

Abstract

Recently according to the new international oceanic law, the various nations are tilting a various policy and a diplomatic effort in order to exercise the profit and a right of the home country with each other.

Our cases which three-sided of the nation is in contact with ocean is not the exception, specially the several difficulty is caused by the geography quality which is an insurgent and the profit which conflicts with Japan and China which are contiguous in circumference. With this from under same international circumstance, it is a time that the development of new fishery equipment and the modernization is necessary to the domestic offshore fishery which is inferior. Especially, the fishermen operated by a small sized offshore fishing vessel under 10 tons are under difficult circumstance such as the difficulty of operation due to the fishermen insufficiency and the income decrease caused by the fishes reduction. The external environment pressure does to awake the necessary for improvement of fishery activity and know the necessary of the technical development for high value added creation of the new method. Recently the live fish consumption increases due to the

improvement of food culture so that the scientific technical development and the systematic research is demanded for sea water cooling system which can heighten being life of trapped fishes.

Therefore, it is studied about the performance characteristics for the development of sea water cooling system which is for the optimum circumstances furtherance of a land nursery and package typed sea water cooling system which can solve the installation difficulty caused by the small size of fishing vessel under 10 tons with an old typed live fish tank experimently. And it is a purpose of study to offer us essential data, environment construction effect about a physiological feature of live fish.

In this study we used depth of the fish hold and circulation water as parameter. and we proved that it is possible to maintain adequate water temperature by adequately controlling depth of the fish hold than change of circulation water. and concerning that maintenance of adequate water temperature, we have numerically given expression that a shallow depth of the fish hold within the limits of the possible is more economical than deeper and it is possible to secure condition of cleanness maintenance in the fish hold maintenance of adequate water temperature. and we experimentally demonstrated evaporation temperature of refrigerant in a cooling device and thermostatic change of sea water in a model fish hold, and the number of rotations and refrigerant flux in a compressor demonstrated a important factor, because it affect evaporation temperature of refrigerant and thermostatic change in the fish hold, when we design an apparatus about freshness maintenance of fish, a increase and a long period preservation of live fish viability. Also, a input heat load and output situation in the fish hold affect water temperature in the fish hold and with the passage of time reduce an inspiration temperature. and a output situation affects the spread of top and bottom · perpendicular temperature in the fish hold. so, we should have to pay attention to a selection. and we gave consideration to a heat load feature happened when real fish store in the fish hold. This with base, we experimentally verify mutual relation as well as feature about the spread of temperature in the fish hold and cooling device, and secure a essential foundation data about development of the fish hold as well as suitable sea water cooling system in a fishing boat.

Relative to valuation of sea water cooling system about a survival rate, fishes adapted to 25℃, water temperature of the summer season, have been kept up improvement of that to 19℃, lower temperature than 25℃. And fishes were generated change of physiological phenomena on account of stress of low water temperature to 16℃. But fishes adapted to 25℃ expose to 19℃ during six hours, and after that is kept up maintenance during a day and its water temperature reach to 16℃, a dead fish is not happen. Also, we found that generation of a dead fish was delayed to 13℃. This feature is worth consideration in order to hight density receptiveness and safe transportation about live fish. And because it adapt fishes to change of water temperature, adaption temperature and period operate as important factor, based on the inhabitation water temperature. In the summer season, it was on the increase resistance of high temperature, and in the winter, it was low temperature. And fishes adapted to the high water temperature is short of inner resistance to the low.

Therefore, the being life rate of trapped pagrus in the offshore can be heightened if the temperature of live fish tank become under 10℃ by investigation of low temperature influence. Also, it is thought that the method which the sea temperature falls about 10℃ comparing with sea temperature during summer can reduce a damage caused by low temperature of the trapped fish.

LIST OF FIGURES AND TABLES

FIGURES

TABLE

NOMENCLATURE

A	:	Area
d	:	Height of water tank
g	:	Gravity
L	:	Length
M	:	Mass
P	:	Pressure
Q	:	Water flow rate
T	:	Temperature
u	:	Velocity
w	:	Weight

Greek symbols

β	:	Momentum correction factor
μ	:	Viscosity $[\mathrm{mPa \cdot s}]$
ν	:	Kinematic viscosity $[\mathrm{m^2/sec}]$
ρ	:	Density $[\mathrm{kg/m^3}]$

Subscript

M_T	:	Transverse metacentric
$\overline{GM_T}$	:	Tansverse metacentric height
EEZ	:	Exclusive Economic Zone

제 1장 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 연근해 어장은 배타적 경제수역의 선포로 열악한 연근해 수산환경을 더욱 압박하고 있어 어로 장비의 현대화가 절실한 시점이다.

배타적 경제수역이란 자국 해안으로부터 200해리 범위 내의 수역을 의미한다. 영해가 연안으로부터 12해리인 데 비해, 일정한 주권적 권리를 행사할 수 있는 경제수역은 해안으로부터 200해리로 이는 약 370㎞에 해당된다.

1994년도부터 유엔 해양법 협약에 따라 연안국은 수역 내의 해면과 해저, 해상, 하층토와 그 상부 수역 외 생물, 비생물 천연 자원의 탐사, 개발, 보존 및 관리를 위한 경제적 활동에 관련한 모든 주권적 권리를 행사할 수 있다. 또, 인공섬 등 시설물의 설치, 사용과 해양에 대한 조사와 환경보존 등에 관한 관할권도 가진다. 다만 어업자원에 대해서는 연안국이 자국의 어획능력을 넘는 잉여자원에 대해 일정한 조건하에 타국의 입어를 인정해야 한다. 그러나 영해와 같이 완전 배타적인 주권과는 달리 항해나 상공비행의 자유, 해저케이블, 파이프라인 부설의 자유 등 공해적 성격을 함께 갖는다.

상기와 같은 새로운 국제적 해양법이 만들어짐에 따라 각국은 서로 자국의 이익과 권리를 행사하기 위해 다양한 정책과 외교적 노력을 기울이고 있다. 우리나라의 경우에도 예외는 아니며, 특히, 삼면이 해양으로 구성된 우리의 경우에는 반도라는 지리적 특성과 주변에 인접한 일본, 중국 등과 서로의 이익이 상충되고 있는 부분이 많아 여러 가지로 어려움을 겪고 있다.

Fig 1.1과 같이 1998년 한일어업협정에 의하면 한일 양국은 “자국영토를 기점으로 35해리(약 65㎞)의 배타적 경제수역을 갖는다. 동해에 한일 양국이 사실상 조업이 가능한 중간수역을 설정하였는데, 그 동쪽 한계선은 동경 135도 30분으로 하고 서쪽 한계선은 동경 131도 40분이다. 또한 독도주변

12해리는 중간수역에서 제외토록 한다."라는 새로운 어업협정을 체결함으로써 우리나라는 매년 22만톤의 어획량 손실을 보게 되었다.

이와 같은 새로운 해양법에 따라 가장 큰 고통을 받는 사람은 바다를 생계의 터전으로 살아가는 어민들이다. 특히, 소형 연안 조업선으로 생계를 유지하는 영세 어민들의 경우에는 연근해 어장의 소멸로 인하여 어획물이 감소하고, 이에 따른 소득감소와 어업 활동인구의 기피에 따른 선원수급의 어려움이 겹치는 등 대단히 어려운 여건 하에 있다. 이러한 대외적인 환경압박은 일선 선주들로 하여금 스스로 기존 어업활동의 체질 개선에 대한 필요성을 일깨워주고 있어 이를 뒷받침할 수 있는 새로운 방식의 고부가가치 창출을 위한 기술 개발이 절실한 실정이다. 그 가운데 하나로 소득증대에 따른 식문화 향상으로 신선도가 높은 활어의 소비가 증대되고 있어 조업된 어류 중 생존율을 높일 수 있는 해수냉각시스템에 대한 과학적이고, 체계적인 기술개발 및 연구가 절실히 요구되고 있다.

현행 10톤 이상의 중대형 선박들의 경우에는 어획물의 선도를 유지하기 위해 해수와 육상 얼음을 이용하여 어획물을 저장 운반하는 방법인 수빙식 또는 주 엔진으로부터 동력을 공급받아 해수냉각시스템이나 제빙 시스템을 가동하여 어획물의 선도유지 및 활어의 생존율을 높여 소득을 높이고 있다. 그러나, 10톤 이하의 소형 연안 조업선의 경우에는 해수냉각시스템이 갖추어져 있지 않고, 활어조의 바닥에 여러 개의 환수공을 설치하여 해수가 자연 순환되게 하거나 활어조에 얼음과 산소를 공급하여 활어의 생존율을 높이고 있다. 그러나 수온이 높은 하절기나 어획물이 많은 경우 또는 조업기간을 늘려 조업하고자 할 경우에는 상기의 방법에는 한계가 있어 활어의 생존율을 높일 수 있는 별도의 장치가 필요하다.

Fig. 1.2는 여름철에 대한 해역별 표층 수온분포를 나타내고 있다. 그림에서 표층온도는 22℃를 훨씬 넘는 온도를 보이고 있는데 이렇게 표층온도가 높은 것은 대기온도의 영향도 있겠으나 생활폐수 및 공장에서 흘러나오는 폐수 등에 의한 영향이 크다고 하겠다. 여름철 해저층의 수온은 약 15℃ 정

도로 해저층에서 적응된 어류는 어획되어 조업선의 수조 내로 옮겨지면 표층온도에 노출되게된다. 해저층과 표층온도의 차이가 7℃ 이상의 차이가 있으므로 수조 내에서 운동량 증가 및 산소량 부족으로 인하여 폐사하게 된다.

전국에 실제 조업하고 있는 연안어업의 총 어선수는 Fig. 1.3과 같이 40,633척이며 어업별로 보면 어업별로 보면, 유자망이 13,748척(34%), 연승 9,870척(24%), 통발 9,347척(23%), 외줄낚시 2,961척(7%) 등으로 이들 4개 어업이 전체의 88%를 차지하고 있다. Fig. 1.2에서 보여준 것과 같이 여름철 수온이 높아짐에 따라 해저층에서 서식하고 있던 어류가 어획되어 높은 표층수온에 노출됨에 따라 활어의 폐사율이 높게 된다. 활어의 폐사는 곧 어민의 소득과 직결되는 사항이므로 여름철 조업 시 폐사에 대한 불안감과 폐사에 대한 소득감소로 인해 조업을 기피하는 현상이 나타나고 있다.

지금까지 10톤 이하의 소형 선박에서는 선박의 구조상 보조발전기가 탑재되어 있지 않아, 해수냉각시스템을 주 엔진에 연결하여 가동하는 경우가 있다. 이 경우에는 계속적인 운전으로 인한 주 엔진의 수명을 감소시키며, 선박의 구조상 별도로 냉각시스템을 설치할 공간의 확보가 어려운 등의 문제로 지금까지 해수냉각시스템이 설치되지 않고 있어 어획된 어획물의 생존율이 매우 낮다. 어획물이 활어상태인가 아닌가는 가격면에서 큰 차이가 발생되며 상대적으로 어민들의 소득에도 많은 영향을 미친다. 그러므로 10톤 이하의 소형 연안 조업선의 조업일수도 늘리고, 활어의 생존율을 높여 어민의 소득증대에도 기여할 수 있는 별도의 엔진으로 구동이 가능한 패키지형 활어조 해수냉각시스템에 대한 연구가 반드시 필요하다.

또한, 육상 양식장의 경우에 있어서도 치어의 생존율이나 성장촉진 및 양식 어류의 질병이나 성장촉진을 위해서 여름철에는 해수냉각시스템에 의해 냉각된 해수를 공급하여 축양장 내의 온도를 일정하게 유지하고, 겨울철에는 반대로 해수의 온도를 높여 일정한 축양장 내의 온도를 유지하고 있다. 그러나 최근 양식 기술의 발전에는 상당한 발전이 이루어지고 있지만, 양식

어류의 품질향상을 위한 축양장 내의 최적 환경조성을 위한 부속설비들에 대한 수준은 대단히 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구는 현재 활어조 해수냉각시스템이 설치되어 있지 않는 재래식 활어조를 가진 10톤 이하의 소형 연안 조업선에 선박 구조상의 어려움을 해결할 수 있는 패키지형 해수냉각시스템 개발과 육상 양식장의 최적 환경조성을 위한 해수냉각시스템 개발을 위한 성능특성에 관한 실험적인 연구를 수행하였다. 그리고 이들 해수냉각시스템에 의한 환경조성이 활어의 생리적 특성에 어떠한 영향을 미치는 가에 대한 실질적인 자료를 제공하는데 본 연구의 목적을 두었다.

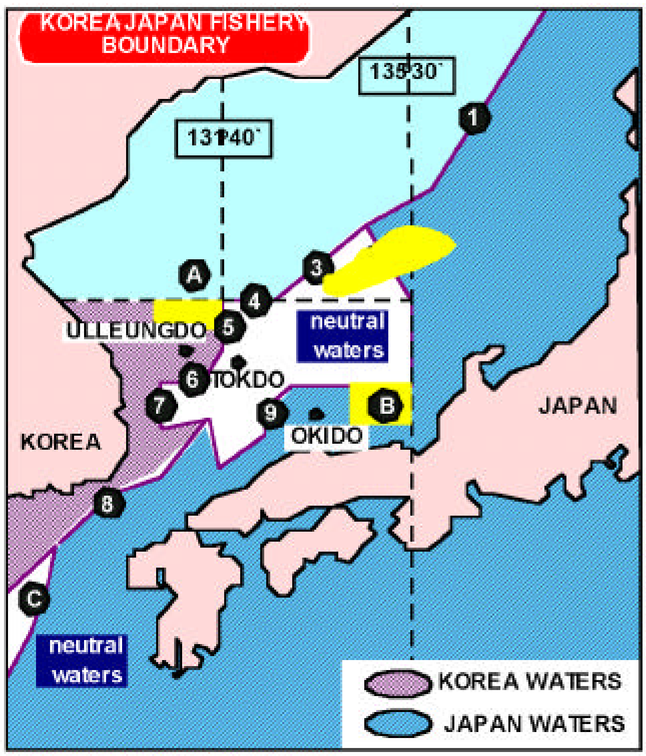


Fig. 1.1 EEZ(Exclusive Economic Zone)

Fig. 1.2 Temperature distribution of offshore in the summer

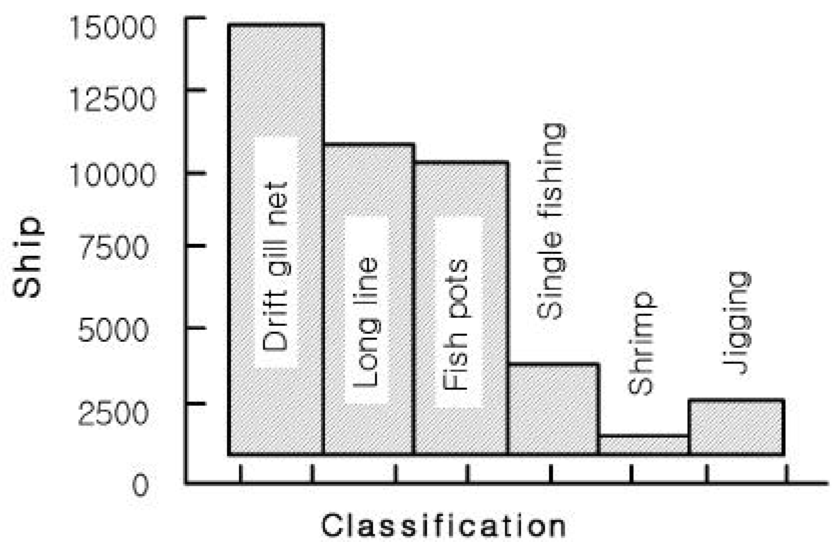


Fig. 1.3 Ship distribution used for coastal loading

1.2 종래 연구

해수냉각시스템은 냉동사이클의 기본 장치인 압축기, 응축기, 팽창밸브, 증발기로 구성되어 있다. 냉동사이클에 대해서는 사이클의 동적인 특성해석이나 사이클 시뮬레이션 및 열교환기의 전열특성에 관해서는 이전부터 많은 연구가 보고되어 있으며, 또한 기술개발도 상당한 수준에 있다. 그러나 해수냉각시스템은 냉각유체의 특성상 또는 냉각장치의 설치 여건 등에 일반 냉동시스템에 비해 아직 기술개발이 미약한 부분이 많다. 또한, 해수냉각시스템은 살아 있는 어류가 대상이 되므로 냉각장치에서 냉각된 해수가 활어조의 어류에 미치는 특성도 대단히 중요한 항목이다. 특히, 어류는 그 종류나 크기, 계절적 특성 등에 따라 생리적 반응도 다양하므로 각종 질병이나 성장률 및 생존율에 미치는 냉각기의 기능은 중요한 연구 항목 중의 하나이다. 해수냉각장치와 관련된 국내외 관련 연구들을 요약 정리하면 다음과 같다.

물의 열유동 특성에 관련된 연구들에 있어서 Katayama 등[1]과 Guceri 등[2]은 열 및 유체 역학적 유동현상은 상경계면의 이동을 수반하는 복잡성 때문에 그 해석이 대단히 어려워 간단한 기하학적 형상에 대하여서만 발표하였다. 그리고 열전달 현상에 대해서는 Ramachandran 등[3]은 평판에 대하여, Rieger 등[4]은 원관, Moore 등[5]은 구를 대상으로 그리고 Sparrow 등[6], Kabori 등[7]은 휜이 부착된 관에 있어서 여러 가지 기하학적 형상들을 대상으로 상변화 물질의 초기 온도조건의 변화, 용기 벽면온도 등의 인자에 대하여 열전달 현상에 대한 연구를 수행하였다. 이들은 상변화 물질의 열전달 과정에서 열전달이 진행되면서 시간경과에 따라 상경계면이 이동하며, 고상 영역에서는 전도 열전달이 일어나고, 액상 영역에서는 전도 및 자연대류에 의한 열전달이 복합적으로 발생하는 복잡한 현상을 가지고 있는 것으로 보고하였다.

최근의 연구 동향은 Goldman 등[8]과 Hastaoglu 등[9]이 실험적 방법과

해석적 방법을 병행하여 물의 유동특성 현상을 발표하였다. 또한, 1960년대부터 Hewis 등[10]과 Stephen[11, 12], Reiser 등[13], Barry등 [14]은 실험적 방법 및 수치적 방법으로 상변화 과정의 열전달과 관계된 이론적 해석을 수행하여, 상변화 물질의 초기 열적 조건에 따라서 Stefan문제와 Neumann문제가 있음을 밝혔다.

냉각장치의 성능특성에 관한 연구로는 정효민[15]은 최적 양식환경을 위한 수조식 양식장내의 유동특성에 관한 연구를 수행하여 기존의 양식장에서 타 어종 양식으로 전환할 경우, 수조내의 온도 및 유속의 변화를 예측할 수 있는 상관식을 도출하였다. 그리고 김경교[16]는 장어통발 어선을 대상으로 활어창 냉각시스템의 적용성을 검토하였다.

Cheng 등[17]은 4℃의 일정한 냉각율을 가진 수평 냉각관에서 물의 자연대류에 관한 연구를 발표하였으며, 윤정인 등[18]은 해수냉각 시스템 성능에 미치는 냉매 배관의 길이와 관경을 다양하게 적용하여 냉각시스템의 성능에 미치는 영향을 검토하였다. 냉매배관의 길이가 10 70m까지 변하는 경우에 대한 해수냉각시스템 능력의 변화는 냉매배관 길이 10m 때보다 70m일 때가 약 40% 감소함을 보여주고 있어 냉매배관의 길이를 짧게 하여야 함을 보여주고 있다. 송찬호 등[19]은 물을 냉각하는 증발식 열교환기에서 열과 물질전달 과정의 해석을 발표하였고, 이성호 등[20]은 냉각장치에서 압축기의 회전수 변화에 따른 과냉각 응축기의 특성 연구를 수행하였다. 이 연구에서 자동차 냉방장치에서 사용되고 있는 기존형 응축기보다는 건조기를 내장한 일체형 응축기가 과냉각도가 크게 나타나고 있으나, 압축기의 회전수가 증가함에 따라 건조기에서의 냉매가 충분히 저장되지 못하면 과냉각도가 줄어든다는 결론을 제시하였다.

윤정인 등[21]은 해수냉각장치용 어창 내의 열 및 유동특성에 대한 연구에서 어창의 온도를 적절히 유지할 수 있는 방법은 유입 순환수량의 변화보다는 어창의 깊이를 적절히 설계하거나 어창 내 충전되는 물의 양을 적절히 충전함으로서 어창의 온도를 적절하게 유지할 수 있는 방법을 제시하였다.

수온이 어류에 미치는 영향에 대한 연구는 Ishioka[22]가 수중생활을 하는 어류에 있어서 수온은 생존과 직결되는 일차적인 환경요인이고, 어류가 내성하는 수온 범위내에서도 급격한 수온변동은 심각한 스트레스를 수반하면서 단시간에 치사에 이르게 한다고 발표하였고, Davis 등[23]과 Tsuzuki 등[24]은 어류에 미치는 생리적 스트레스 요인으로는 그물작업, 감금(confinement), 수송 등 인위적 요인을 비롯하여 수온, 용존 산소와 염분 등 환경적 요인이라고 밝혔다. Barton 등[25]과 Pickering[26]은 특히 급격한 수온변동은 어체의 생리조건을 변화시키거나 체내 항상성을 붕괴시킬 수 있다고 하였고, Sindermann[27]은 어류가 스트레스를 받게 되면 질병에 대한 면역력이 저하될 뿐만 아니라 다른 수질환경 요인에 대한 저항력 감소가 어체에 가중되어 생존에 악영향을 미치는 것으로 보고하고 있다.

Schreck 등[28]은 수서어류에 있어서 환경변화에 대한 생리적 반응은 고등동물과 거의 비슷하며, 스트레스 강도와 지속시간에 따라 어체의 생리상태가 달라진다는 것을 연구하였고, Mazeaud 등[29]과 Schreck[30]는 어류가 스트레스를 받으면 1차적으로는 신경계와 내분비계가 자극을 받아 코티졸(cortisol) 등의 호르몬이 과다하게 분비되고 이로 인해 2차적으로는 클루코스와 같은 탄수화물 대사의 변화와 전해질의 농도변동에 따른 어체 삼투질 농도 변동이 수반되며, 3차적으로는 성장률 감소 및 질병 감염율 증가와 같은 현상으로 이어지는 일련의 현상은 보통 동시다발적인 것을 밝혔다.

1.3 논문 구성

본 논문은 총 6장으로 구성되어 있으며, 각 장의 개요는 다음과 같다.

제 1장에서는 해수냉각장치에 관한 본 연구의 배경과 목적을 밝혔으며,

성능특성에 관한 종래의 연구들을 조사 분석하였다.

제 2장에서는 10톤 이하의 연안 조업선용 소형 어선의 어창을 대상으로 활어조 내의 열 유동 특성을 수치해석을 통하여 수조의 깊이가 낮을수록 수조내의 상하 온도변화가 비교적 작음을 밝혔다.

제 3장에서는 연안 조업선용 소형 선박을 대상으로 해수냉각시스템의 운전 특성을 실험적으로 밝혔다. 이 장에서는 육상 축양장에 사용되는 해수냉각장치의 경우에는 냉각장치를 가변 할 수 있는 압축기를 사용하여 운전특성 변화에 따른 수조 및 냉각장치의 특성을 밝혔다. 또한, 소형 연안 선박의 해수냉각장치의 성능특성에 관한 연구에서는 선박의 구조상 및 동력 공급이 육상용과는 다른 냉각시스템을 대상으로 선박의 활어조 내 열 부하 특성 및 냉각장치의 성능특성을 실험적으로 수행하였다.

제 4장에서는 어류 생존율에 대한 해수냉각시스템의 평가를 하였는데 냉각 해수의 온도에 따른 어류의 활동량, 산소 요구량 등에 대한 자료를 획득하여 어류의 생존율 향상에 기여할 수 있는 각종 자료 및 해수냉각시스템 설계에 대한 자료를 제시하였다.

제 5장에서는 10톤 이하의 연안 조업선용 소형 선박을 대상으로 해수냉각시스템을 탑재할 경우 선박의 안정성에 대한 검토를 하였다. 중량이 약 150kg인 해수냉각장치를 탑재하였을 때 선박의 복원성 및 경사시험에서 안정성에 대한 문제는 없는 것으로 밝혔다.

제 6장에서는 본 논문의 최종 결론을 정리한 장으로서 각 장에서 도출된 소결론을 종합적으로 정리하여 최종 결론을 도출하였다.

제 2 장　해수냉각시스템의 활어조 열유동 특성

2.1 서 론

활어의 선도유지를 위해서는 활어조의 해수온도를 일정온도의 범위로 낮추어야 하며, 수온이 높은 하절기의 조업을 위해서는 활어조의 수온관리를 위한 냉각 장치가 필수적이다. 이를 위하여 소형 어선의 활어조용 해수냉각시스템의 개발은 어민의 생산성 향상뿐만 아니라 사회, 경제적인 파급효과가 크리라 생각한다. 어선이나 양식장의 해수냉각시스템에 관한 실험적 연구[31 34]는 일부 이루어지고 있으나 이론적인 접근은 거의 이루어지지 않고 있다.

해수냉각시스템용 활어조 내의 열 유체 유동의 해석을 위하여 기학학적 형상에 대하여 해석을 수행하였다. 유동 해석은 수조의 깊이와 순환하는 유속의 변화를 중심으로 수행되었다. 3차원 시뮬레이션에서 평균온도는 순환하는 유속에 의해 거의 변화하지 않고 수조의 깊이 변화에 의해 갑자기 변화하는 것으로 나타났다.

정 등[31]은 기존의 양식장을 운영하는데 있어 순환 수량을 변화시키게 되면 이에 따른 온도 및 속도 변화에 대해 검토하였는데 유입 환수량의 변화보다는 수조의 깊이를 적절히 제어함으로써 다어종 고품질의 양식환경을 유지할 수 있었다고 보고하였다. 윤 등[32]은 압축기 회전수, 냉매 유량, 활어조 출구 위치가 활어조용 해수냉각장치의 부하특성에 미치는 영향에 대해 파악하였는데, 활어조 출구 위치에 따른 부하 특성 변화에서는 출구 위치가 낮을수록 낮은 온도분포를 나타내었다.

본 장에서는 활어조의 열 및 유체유동을 파악하여 환수량과 활어조의 깊이에 따른 평균온도와 평균유속의 변화를 어류의 선도 유지 및 최적환경을 구축하기 위해 수치해석을 통해 밝히고자 한다.

2.2 수치해석

2.2.1 해석 모델

해수냉각시스템의 활어조 열 유체 유동의 해석을 위하여 3장의 실험 논문과 동일한 기하학적 형상에 대하여 해석을 수행하였다. Fig. 2.1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 모델수조의 크기는 가로, 세로가 0.6 m이고, 높이가 0.6 m이며 이 수조내의 유동은 폐회로로 구성되어 있다. 유입구의 크기는 한 변이 0.02 m의 정사각형이고, 유량을 균등하게 하기 위해서 디스트리뷰터에 의해 4곳에서 유입된다. 유출구는 오른쪽 벽면에 3개가 위치해 있으며 오버플로우 되어 유출되며 크기는 유입구와 같다.

계산조건은 유입 유량을 0.27 0.33 kg/s, 유입구 온도는 2.9 ℃, 수조 주위의 대기온도는 3.5 ℃의 조건으로 하였고 해수의 평균농도가 3.5 wt%인 점을 감안하여 순환수를 3.5 wt%의 염화나트륨수용액을 사용하였다.

2.2.2 지배방정식

수조 내 유동은 정상상태, 비압축성, 온도차에 의한 부력의 영향을 고려한 3차원 난류유동으로 가정한 지배방정식은 다음과 같다.

(1) 연속방정식;

$$\frac{\partial U_i}{\partial X_i} = 0 \tag{2.1}$$

(2) 운동량 방정식;

$$\frac{\partial (\rho U_i U_j)}{\partial X_i} = -\partial \frac{P}{\partial X_i} + \frac{\partial}{\partial X_j}\left[\mu\left(\frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i}\right)\right] - \frac{\partial}{\partial X_j}\left[\rho\, \overline{u_i u_j}\right] + \delta_{i2}\rho g \beta \Delta T \tag{2.2}$$

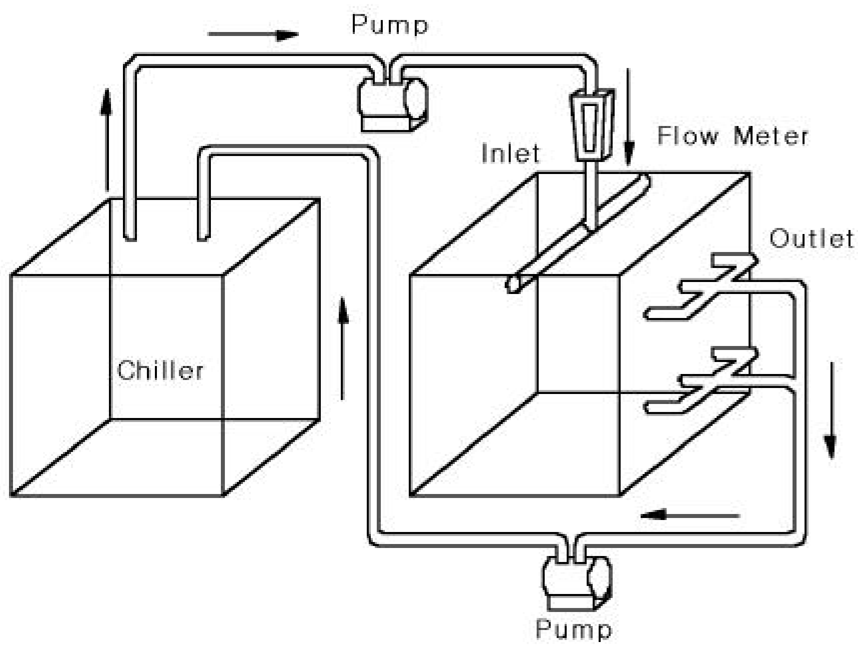


Fig. 2.1 Schematic diagram of aquarium model

난류계산을 할 경우 벽 근처의 점성 저층까지 포함하여 벽면까지의 상세한 계산을 위하여 제안된 저 레이놀즈수 모델이 있지만, 본 연구에서는 벽면의 효과를 충분히 고려할 수 있는 벽 벽칙을 이용하여 가장 가까운 격자점에 대하여 벽함수를 적용시켜 계산을 하였고, 난류모델로서는 공학적으로 가치가 인정되어 폭넓게 사용되고 있는 표준 k-ε모델[35]을 채택하였다.

(3) 난류에너지 방정식;

$$\frac{\partial(\rho U_j k)}{\partial X_j} = \frac{\partial}{\partial X_j}\left[\left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} + \mu\right)\frac{\partial k}{\partial X_j}\right] + G - \rho\varepsilon - g\beta\frac{\mu_t}{\rho_t}\frac{\partial T}{\partial X_2} \tag{2.3}$$

(4) 난류에너지 소산 방정식;

$$\begin{aligned}\frac{\partial(\rho U_j \varepsilon)}{\partial X_j} = & \frac{\partial}{\partial X_j}\left[\left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} + \mu\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial X_j}\right] + C_1\frac{\varepsilon}{k}G \\ & - C_2\rho\frac{\varepsilon^2}{k} - g\beta\frac{\mu_t}{\rho_t}\frac{\partial T}{\partial X_2}\end{aligned} \tag{2.4}$$

여기서 난류 생성항 G는 다음과 같다.

$$G = \mu_t\left(\frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i}\right)\frac{\partial U_i}{\partial X_j} \tag{2.5}$$

(5) 에너지 방정식;

$$\frac{\partial(\rho U_j T)}{\partial X_j} = \frac{\partial}{\partial X_j}\left[\left(\frac{\mu}{\mathrm{Pr}} + \frac{\mu_t}{\sigma_t}\right)\frac{\partial T}{\partial X_j}\right] \tag{2.6}$$

또한, 위의 방정식에서 사용된 모델정수는 다음과 같은 값을 사용하였다.

$$C_1 = 1.44,\ C_2 = 1.92,\ \sigma_\varepsilon = 1.3,\ \sigma_k = 1.0,\ C_\mu = 0.09,\ \sigma_t = 0.7$$

2.2.3 경계조건 및 수치계산법

위의 지배방정식을 풀기 위하여 사용된 경계조건은 입구속도를 유입환수량 Q로부터 환산한 값으로 하였으며, 유입속도의 수평성분 유속은 0으로 하였다. 또한 유출구의 방향과 수직인 모든 변수의 기울기는 항상 0이 되는 Neumann조건을 적용하였다. 유입구의 온도는 2.9 ℃로 하고, 대기면에 접하는 부분은 대기의 온도 3.5 ℃로 하였으며 그 외 5면에 대한 온도는 단열 조건으로 하였다.

이상의 경계조건과 주어진 방정식으로부터 각각의 변수를 구하기 위하여 유한체적법을 채택하였으며, 입력항의 계산은 Simple 알고리즘[36]을 채택하였고, 격자수는 X×Y×Z=32×(8 32)×32로 하였다. 여기서, Y방향의 격자는 3방향 모두 등간격 격자를 사용하기 위함과 동시에 깊이에 따라서 격자수가 변하기 때문이다.

구체적인 변수로는 유입 환수량을 2.7 3.3 kg/s로 변화시킴과 동시에 수조의 깊이를 0.1 0.43 m로 하여, 공간의 경제적 활용도가 높은 사각형에 대하여 한 변의 길이가 0.6 m인 수조(유입구 및 유출구의 한변이 0.02 m)에 대하여 환수량과 수조의 깊이를 변화시켜 각각에 대한 수치계산을 하여 유동 및 온도 환경에 대하여 비교 검토한다.

2.3 결과 및 고찰

Fig. 2.2는 Y/d=0.5의 수평단면에서 수조의 유동을 나타내었다. 유출구쪽으로 움직이는 유동이 지배적이며 사각형의 모서리에서는 유동이 정체되어

있음을 알 수 있다.

Fig. 2.3은 X/d=0.5의 수직단면에 대한 유동을 나타내었다. 유입구로부터의 주류가 바닥면으로 하향하는 유동특성이 나타나고 양옆벽으로 상승하는 유동이 나타남을 알 수 있다.

Fig. 2.4, Fig. 2.5, Fig. 2.6은 환수량 Q=0.3 kg/s인 경우, 수조깊이 d=0.43 m에 대한 수조 Y/d가 0.5 되는 단면에 대한 속도와 온도를 나타낸 것이다. 속도벡터의 크기는 유입환수량에 의해 정해지는 유입속도로 각 단면에 대한 속도를 무차원화 시켰으며 온도는 다음의 식에 의한 무차원화 된 값을 나타낸다.

$$\frac{T_{i,j,k} - T_{sur}}{T_{inp} - T_{sur}} \tag{2.7}$$

여기서, Ti, j, k는 계산된 임의의 위치에 대한 온도, Tsur은 수조표면의 대기온도, Tinp는 유입구측의 온도를 각각 나타낸다.

수조 깊이가 일정하고 유입 환수량이 변할 경우 속도분포, 온도분포는 거의 상사적인 분포를 하였다. 그러나 동일 환수량일지라도 수조 깊이에 따라서는 유동패턴은 물론이고 온도분포도 크게 변동하였다.

Fig. 2.7은 유입 환수량에 따른 수조 Y/d가 0.5가 되는 단면평균속도를 나타낸 것이다. 종축의 무차원 속도는 Y/d가 0.5가 되는 X-Z평면에 대한 각 위치의 $\overline{U} = \sqrt{(U^2 + W^2)}$의 단면 평균치를 의미한다. 즉, 단면 평균 유속은 유입 환수량에 따라서 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 그리고 동일 환수량에 대해서는 수조 깊이의 비 d/L이 작을수록 수조내의 평균유속이 상승함을 나타낸다.

Fig. 2.8은 유입 환수량 변화에 따른 수조 중간(Y/d=0.5)의 단면 평균온도를 나타낸 것이다. 수조깊이의 비 d/L이 일정할 때 단면평균온도는 유입 환수량에 따라서 거의 변화가 없는 것으로 나타났고, 동일 환수량에 대해서는 수조 깊이의 비 d/L이 작을수록 수조 내 평균온도가 낮아지는 것으로 나타내

고 있다. 이것은 유입 환수량이 증가하면 수조 전체의 유속이 증가하기 때문에 유입된 찬 해수의 온도가 수조 전체에 영향을 미치게 됨을 의미한다.

Fig. 2.9는 수조의 깊이가 변화 할 때의 수조 중간(Y/d=0.5)의 단면평균속도 분포를 나타낸 것이다. 수조깊이의 비 d/L이 작아질수록 평균유속이 상승함을 나타내고 있다. 또 수조내의 유속의 크기는 유입 환수량에 의한 것보다는 수조의 깊이가 큰 영향을 미치는 인자임을 알 수 있고, 실제 수조의 설계에 있어서 수조 깊이의 설정이 대단히 중요함을 나타내었다.

Fig. 2.10은 Fig. 2.9의 유속분포에 해당하는 부분에 대한 단면 내 평균온도 분포를 나타낸 것이다. 이 단면에서의 온도는 수조 깊이의 비가 작아짐에 따라서 급격하게 낮아지는 것을 알 수 있다.

Fig. 2.11에서는 수조의 깊이와 환수량이 변할 때의 수조 중간(Y/d=0.5)에서 단면평균온도 분포를 나타낸 것이다. 이 그림에서 수조의 단면평균온도의 변화는 거의 없지만 수조깊이의 비 d/L에 의한 온도 변화는 급격한 변화를 보이고 있다.

Fig. 2.12와 Fig. 2.13은 각각 Y/d가 각각 0.25, 0.75인 값을 가지며, Fig. 2.11과 비슷한 경향을 나타내고 있다. 즉 Fig. 2.12는 수조의 Y/d=0.25, Fig. 2.13은 Y/d=0.75 일 때의 단면평균온도를 나타내며, 수조의 상하온도가 비슷한 경향을 가지고 있다. 어획물을 운반선에 의해 운반할 때에 선도관리를 위한 활어조를 설계하기 위해서 활어조의 환수량에 의한 제어보다는 활어조의 깊이를 낮게하여 저온을 유지할 수 있는 것이다.

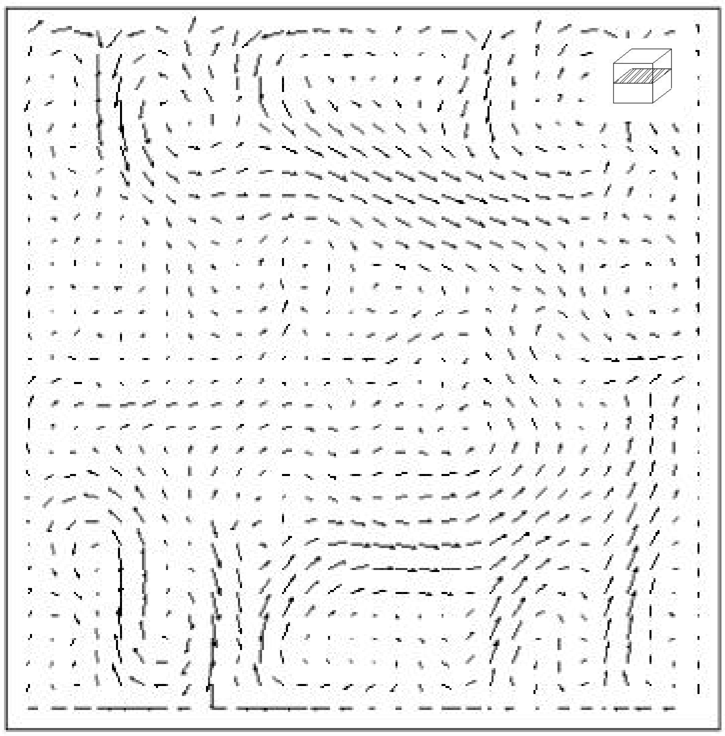


Fig. 2.2 Visualization phenomenon and velocity vectors by calculation, X-Z plane, Y/d=0.5

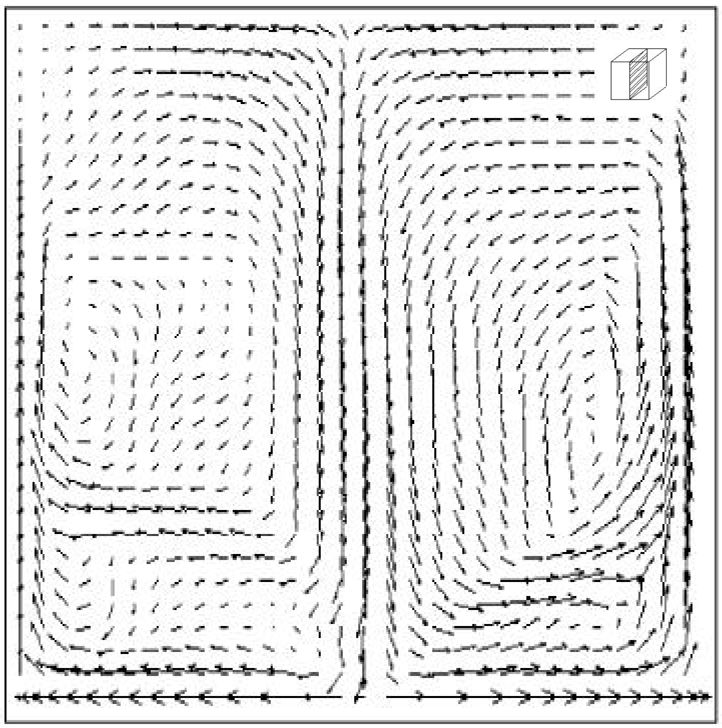


Fig. 2.3 Visualization phenomenon and velocity vectors by calculation, Z-Y plane, X/d=0.5

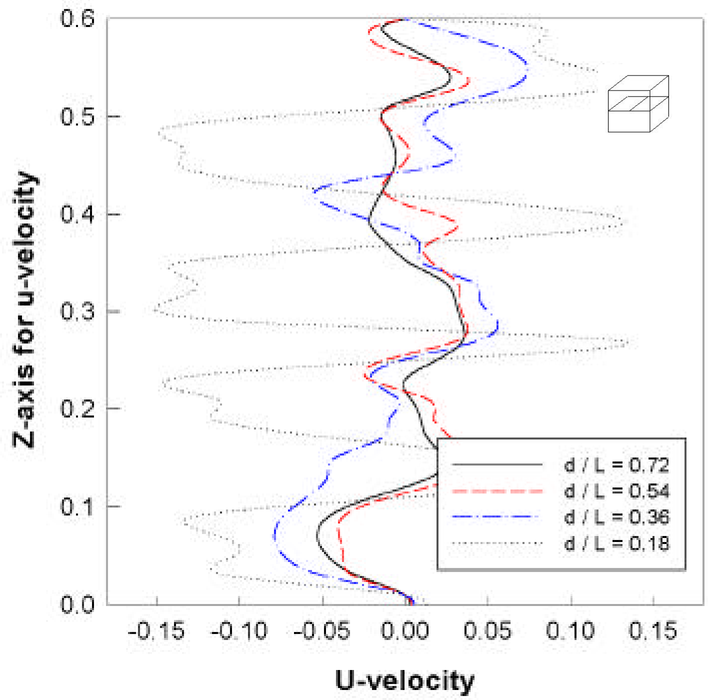


Fig. 2.4 Velocity distribution on X-Z plane with fish hold storage, Y/d=0.5, Q=0.3 kg/s

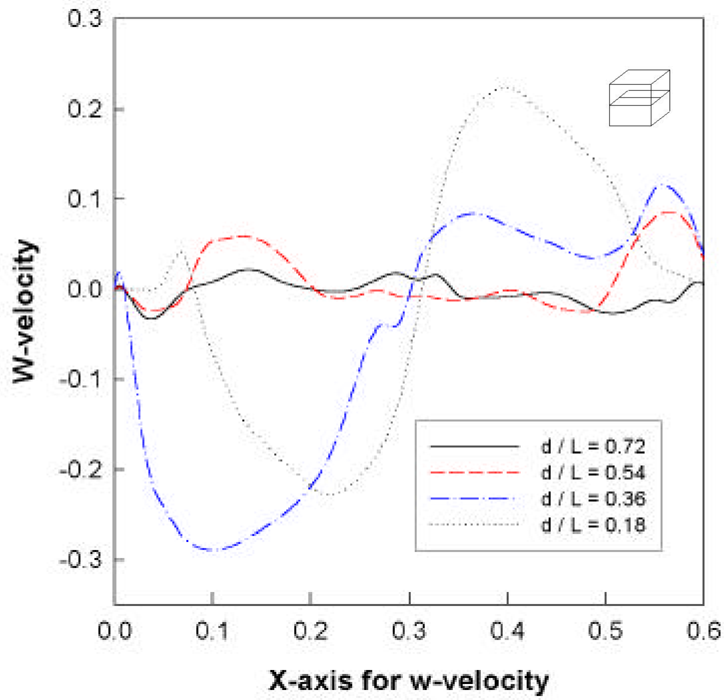


Fig. 2.5 Velocity distribution on X-Z plane with fish hold storage depth, Y/d=0.5, Q=0.3 kg/s

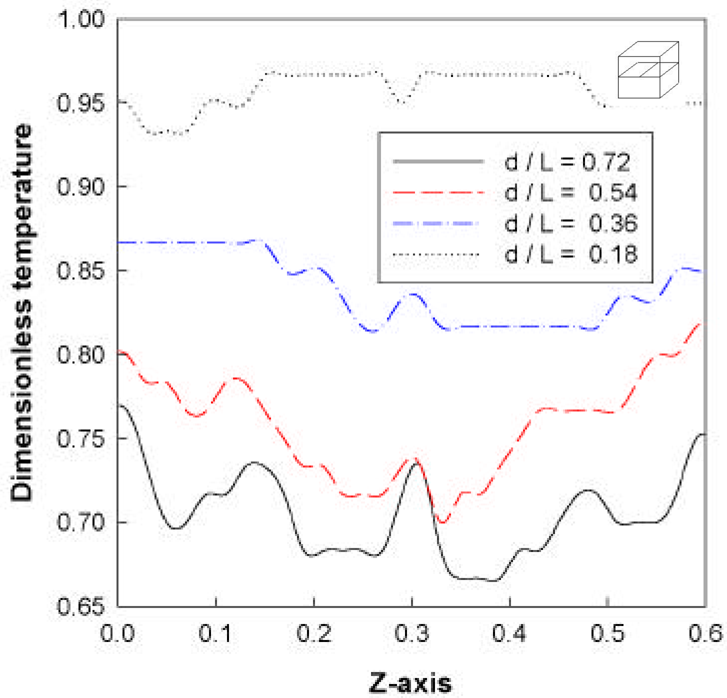


Fig. 2.6 Temperature distribution on X-Z plane with fish hold storage depth, Y/d=0.5, Q=0.3 kg/s

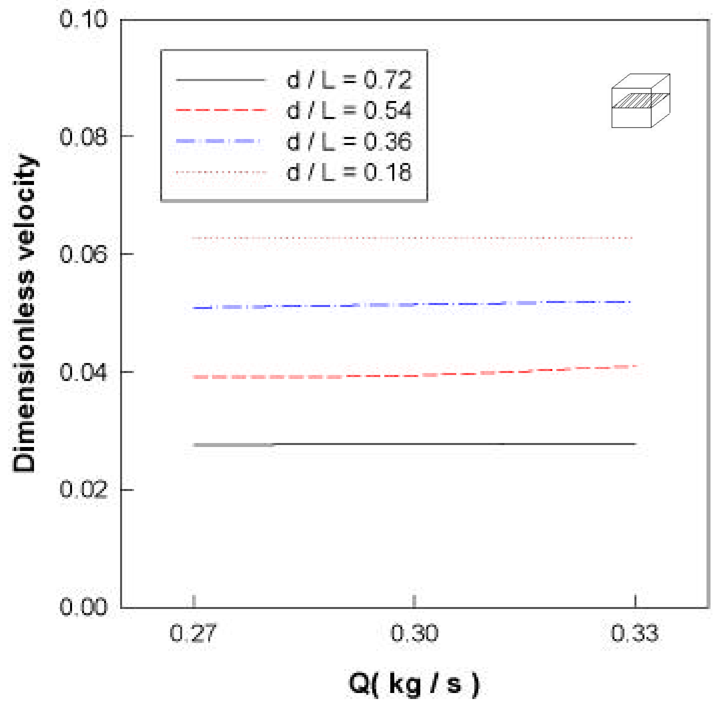


Fig. 2.7 Mean velocity distribution with flow rate, Y/d=0.5

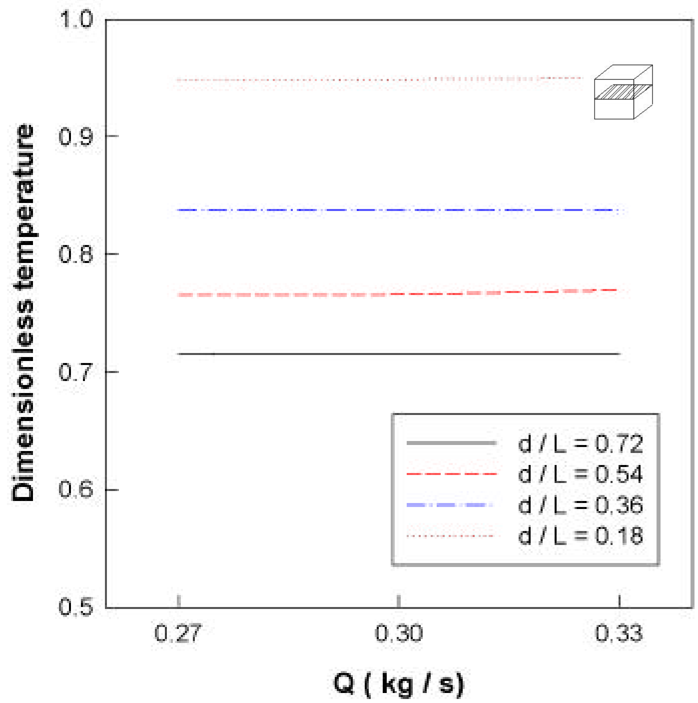


Fig. 2.8 Mean temperature distribution with flow rate, Y/d=0.5

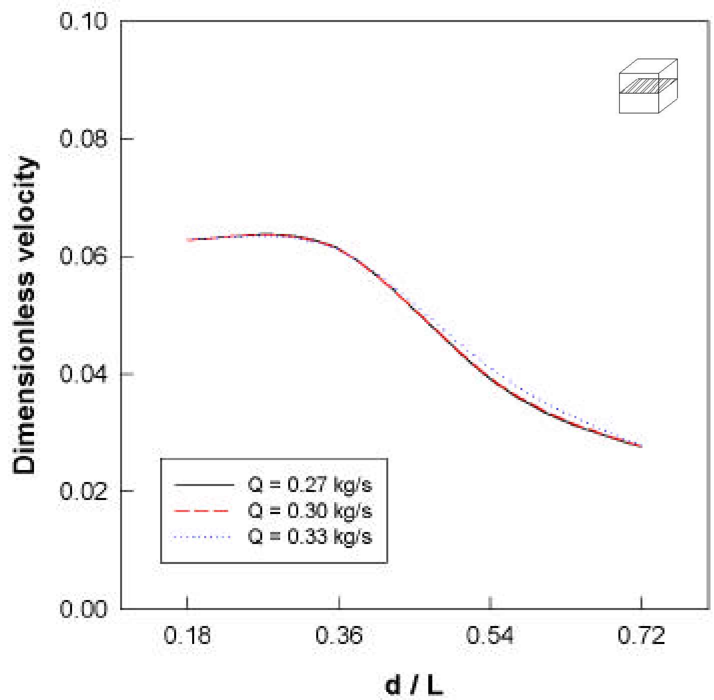


Fig. 2.9 Mean velocity distribution with fish hold depth, Y/d=0.5

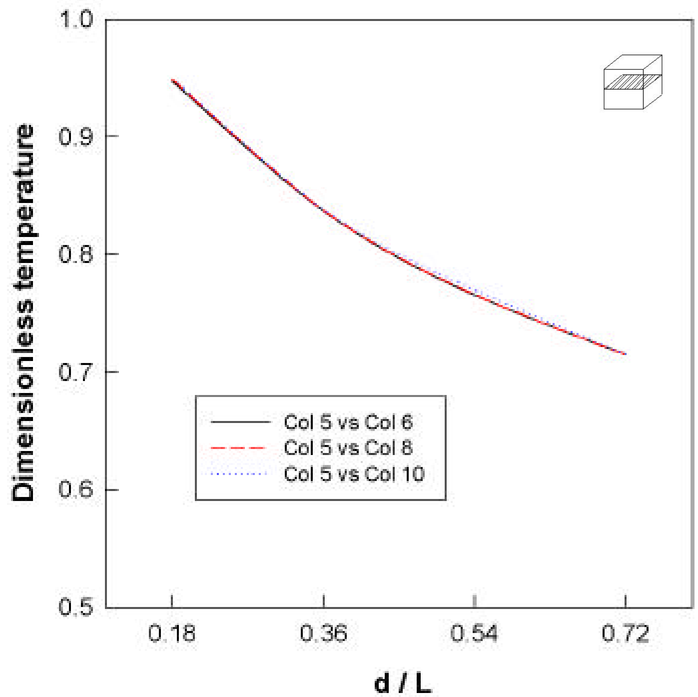


Fig. 2.10 Mean temperature distribution with fish hold depth, Y/d = 0.5

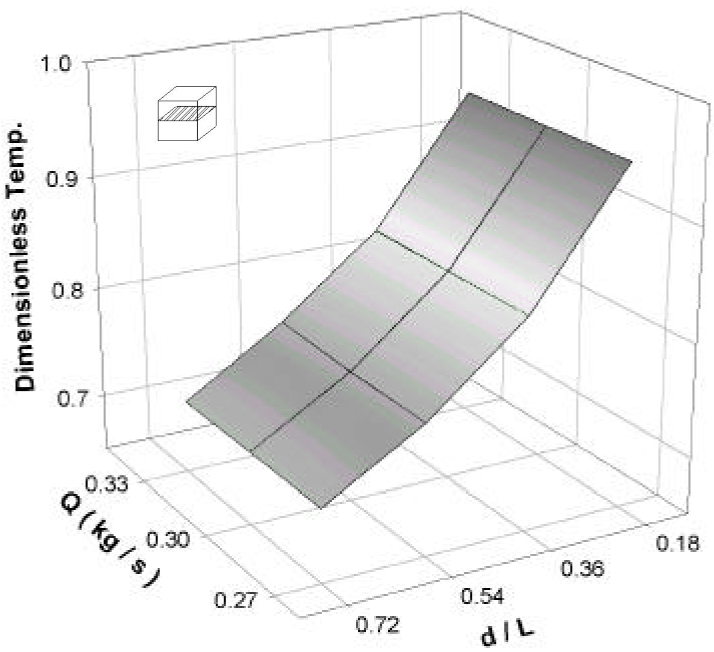


Fig. 2.11 Mean temperature distribution with fish hold depth and flow rate, Y/d=0.5

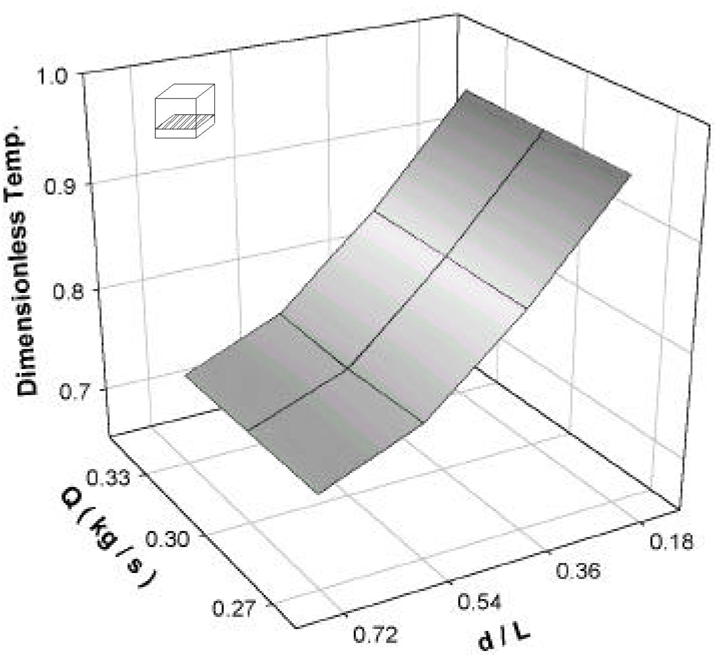


Fig. 2.12 Mean temperature distribution with fish hold depth and flow rate, Y/d=0.25

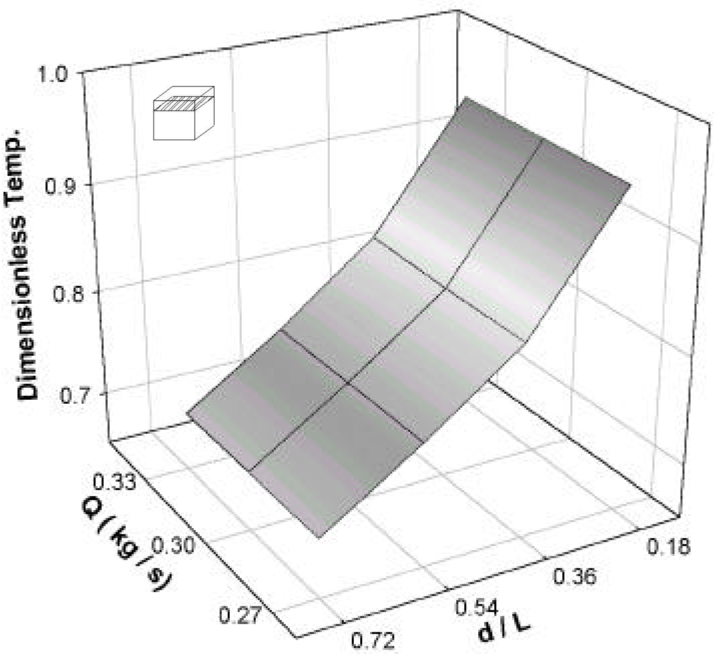


Fig. 2.13 Mean temperature distribution with fish hold depth and flow rate, Y/d=0.75

2.4 소결론

소형어선용 활어조 해수냉각시스템 개발을 위한 기초연구의 일환으로 활어조 내의 열 및 유동특성을 이론적으로 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 수조의 깊이와 유입 환수량을 파라미터로 유동에 대한 이론적 특성을 파악한 결과 유입 환수량의 변화보다는 활어조의 깊이를 적절히 제어함으로써 수조의 온도를 적절히 유지할 수 있었으며, 소조의 깊이는 수조 내의 수온과 유동변화에 영향을 미침을 알 수 있었다.

(2) 수조의 온도 조절은 유입 환수량의 변화보다는 활어조의 깊이를 제어함으로써 수조내의 온도차를 최소화 할 수 있었다.

(3) 여름철 활어조의 저온화 유지는 여름철 비브리오 패혈증 원인균의 성장이 억제되는 15℃를 유지하기 위함이고, 수조의 깊이를 가능한 낮게 취하는 것이 보다 경제적인 운전이며, 활어조 내의 청정유지를 확보할 수 있음을 알 수 있었다.

제 3 장 해수냉각시스템의 성능특성에 관한 실험적 연구

3.1 서 론

최근 연근해 어장은 일시 다획성 어종의 어획량이 감소하고 있을 뿐만 아니라, 한 · 중 · 일 어업협정으로 연근해 어장의 상실에 따른 어획량의 감소가 예상되고 있다. 현행 어획물 중 정어리, 갈고등어, 소메가리 등의 일시 다획성 어종은 해수와 육상 빙을 50 : 50으로 하는 수빙식으로 저장 · 수송함에 따라 선도유지가 어려워 대부분이 사료로 이용되고 있는 실정이다. 고등어, 정어리 등 소위 등푸른 생선들은 기능성의 DHA와 EPA 때문에 그 수요가 매년 증가하고 있으므로 단백질 자원의 고도이용 및 국민건강 증진을 위해서는 어획된 생선을 저장 운반시에, 적절한 선도관리 장치를 설치하여 선도저하 억제 및 기능성을 갖는 단백질 자원으로 이용해야 할 것이다.[37 39] 따라서, 기존의 저장운반 방식 외에 선망 운반선 자체에 활어조용 해수냉각시스템을 설치하여 이용 할 수 있는 냉각시스템 개발이 필요하다.[40, 41]

활어조용 해수냉각시스템을 개발하기 위해서는 어류 저장법의 선도보존 효과에 관한 연구, 최적 해수냉각시스템의 개발, 해수냉각시스템용 활어조의 개발, 선망 운반선에서의 적용성 검토 등에 관한 연구가 필요하다.[42 44]

본 연구에서는 연근해 어선용 해수냉각시스템 개발에 있어 가장 기본이 되는 기기의 열부하 특성에 대한 기초 자료를 얻고자 압축기 회전수, 냉매유량, 활어조 출구위치 등을 파라미터로 하여 이들이 활어조 내의 온도분포 및 냉각장치의 특성 등에 미치는 영향을 밝혔다.[45 47]

3.2 육상용 활어조 냉각시스템 열부하 특성

3.2.1 실험장치 및 방법

(1) 실험장치

Fig. 3.1은 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도를 나타내며, Fig 3.2는 실험에 사용된 모형 활어조의 상세도를 나타낸다.

실험장치는 크게 냉각시스템과 활어조 부분으로 구성되며, 냉각시스템은 압축기, 응축기, 팽창밸브 및 증발기와 액분리기, 수액기, 관찰창, 건조여과기 등의 부속기기와 온도, 압력 측정부로 구성되어 있으며, 각 기기들은 동관으로 연결되어 있다.

모형 활어조는 실제 활어조의 체적을 축소한 것으로 600×600×600 mm의 크기로 제작하였으며, 모형 활어조 내에는 Fig. 3.2와 같이 해수가 골고루 분포될 수 있도록 상부에 분배기를 설치하여 냉각시스템인 냉동기의 증발기에서 냉각된 해수가 활어조 내로 일정하게 순환될 수 있도록 하였다. 활어조 내에는 NaCl 수용액을 해수로 가정하여 사용하였으며, 유량은 분배기 앞에 유량조절 밸브를 설치하여 조절하였다. 그리고 출구에도 측면에 높이별로 20cm, 40cm, 가로 방향으로 15cm, 30cm, 45cm의 위치에 출구를 설치하고, 유량 조절이 가능하도록 하였다. 그리고 응축기 입·출구, 팽창밸브 입구, 증발기 입·출구, 모형 활어조, 압축기 입·출구에서의 압력과 온도를 측정하기 위해 압력계와 T형 열전대를 설치하였으며, 측정된 온도는 다채널 온도기록장치[DR-230 30ch]를 통해 PC로 전송 계측하였다. 또한, 수액기와 액관 사이에는 체적식 냉매 유량계[0.8 8ℓ/min]를 설치하여 응축기에서 응축되어 증발기로 흘러가는 냉매유량을 측정할 수 있도록 하였다.

압축기는 개방형으로 실린더의 내경이 45mm, 피스톤 행정 38mm, 회전수 범위는 500 1800rpm이며, 회전수가 1450rpm 일 때, 토출량이 10.53 m^3/h인 HCFC-22용 왕복동식 압축기를 사용하였다. 압축기 구동용 모터는

정격출력이 3.7kW이고, 회전수는 150 1500rpm까지 조절이 가능한 가변모터를 사용하였다.

응축기는 쉘엔튜브식을 사용하였으며, 냉각수 입·출구에 C-C 열전대를 설치하여 입·출구 온도를 측정하였고, 수 유량계로 냉각수 유량을 측정하였다.

(2) 실험방법

본 실험에서는 연근해 해수의 평균농도가 3.5wt%인 점을 감안하여 활어조와 증발기 사이의 순환수로 3.5wt%의 염화나트륨 수용액을 사용하였다.

Table 1은 본 실험에 사용된 실험조건을 나타내며, 실험은 크게 표에서와 같이 Test 1과 Test 2의 2가지로 나누어 수행하였다.

Test 1은 부하를 Case별로 바꾸어 가면서 실험을 한 경우이며, Test 2는 부하를 고정시킨 후 모형 활어조의 출구위치에 대하여 실험을 한 경우이다. 상기 2가지 경우 모두 활어조 내 염화나트륨 수용액의 온도는 0℃가 될 때까지 냉각 시스템을 운전하였다.

전자인 Test 1의 경우는 다시 3가지 경우로 나누어 실험을 하였으며, 이들의 결과를 Fig. 3.3에 나타내었다. 이 결과는 시간에 따른 모형 활어조 내 해수의 온도변화를 부하별로 나타낸 것으로 Case 1은 활어조 내에 해수를 일정 수면으로 유지한 상태에서 무부하 상태로 실험한 경우이고, Case 2는 Case 1의 무부하 상태에 일정 부하를 두 번에 걸쳐 투입하여 실험한 경우이며, 마지막으로 Case 3은 Case 2에서 2번에 걸쳐 투입한 부하를 초기 운전 시작부터 동시에 투입하여 운전한 경우이다.

이와 같이 3가지 경우로 나누어 실험한 이유는 실제 연근해 어선이 조업을 할 경우 어획물 확보 시를 고려한 경우로 실제 상황에 가깝게 하기 위해서이다. Fig 3.3에서와 같이 무부하 상태로 운전한 Case 1의 경우가 부하를 2번에 걸쳐서 투입한 Case 2와 부하를 처음부터 동시에 투입한 Case 3의

경우보다 활어조 내 해수의 온도변화가 크게 나타남을 알 수 있다. Case 2의 경우 부하의 투입 시기는 Case 1을 기준으로 운전시작 40분과 80분의 두 번에 걸쳐 투입하였으며, 그림에서는 A, B의 위치에 해당되고, 부하가 투입될 때, 활어조 내 해수의 온도는 상승하는 것으로 나타나고 있다.

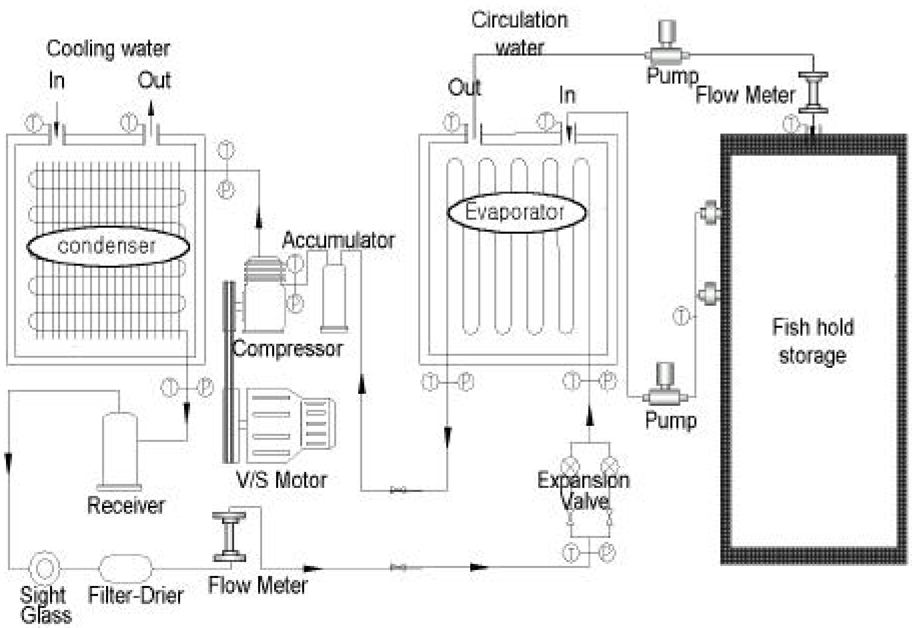


Fig. 3.1 Schematic diagram of experimental apparatus

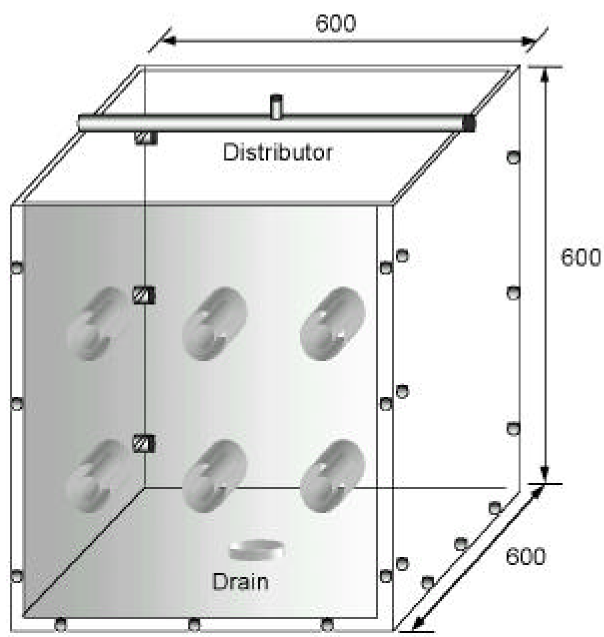


Fig. 3.2 Schematic diagram of fish hold storage

3.2.2 결과 및 고찰

Fig. 3.4는 시간에 따른 증발온도의 변화를 압축기 회전수를 파라미터로 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 압축기 회전수가 증가할수록 냉매의 증발온도는 다소 낮아짐을 알 수 있다. 이것은 압축기 회전수가 증가되면, 압축기에서 냉매를 흡입하는 힘이 증대되고, 이는 증발기 관내 냉매증발압력을 강하시키게 된다. 이때, 포화상태에 있는 냉매의 증발압력이 낮아지면 이에 비례하여 냉매의 증발온도도 감소하는 것으로 판단된다. 따라서, 본 결과는 실제 연근해 어선에 있어 압축기의 구동 동력을 선박의 주 엔진에 연결된 벨트 구동에 의해 압축기를 구동할 경우에는 주 엔진의 회전수에 따라 냉각장치의 증발온도도 영향을 받는 것을 알 수 있다.

Fig. 3.5는 부하특성에 따른 활어조 내 해수의 온도를 압축기 회전수 변화를 파라미터로 나타낸 결과이다. 이 경우 활어조 내 해수 온도는 Fig 3.3의 Case 1의 조건을 기준으로 하였으며, 그림에서와 같이 압축기 회전수가 증가할수록 활어조 내 해수의 온도는 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 압축기 회전수가 증가할수록 냉매의 증발온도가 낮아지고, 순환하는 해수와의 열교환양이 증가함으로써 해수의 온도는 낮아지는 것으로 생각된다. 3가지 경우의 비교에 있어서는 부하를 2번에 걸쳐 투입한 Case 2의 경우가 가장 높게 유지되었다. 따라서, 압축기의 회전수 변화는 Fig. 3.4에서와 같이 증발기 관내 냉매의 증발온도에 영향을 미치고, 이는 활어조 내 해수의 온도에도 영향을 미치며, 투입되는 부하의 형태에 따라서도 달라짐을 알 수 있었다.

Table 3.1 Experiment conditions

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="3">Parameter</th><th colspan="2">Test 1</th><th colspan="2">Test 2</th></tr>
<tr><th colspan="2">Range</th><th colspan="2">Range</th></tr>
<tr><th colspan="2">Step</th><th colspan="2">Step</th></tr>
<tr><td colspan="2">Refrigerant</td><td colspan="4">HCFC-22</td></tr>
<tr><td colspan="2">Storage temperature, [℃]</td><td colspan="4">0</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Compressor speed, [rpm]</td><td colspan="2">1000 1400</td><td colspan="2" rowspan="2">1200</td></tr>
<tr><td colspan="2">200</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Flow rate [kg/s]</td><td rowspan="2">Refrigerant</td><td colspan="2">0.016 0.022</td><td colspan="2" rowspan="2">0.019</td></tr>
<tr><td colspan="2">0.003</td></tr>
<tr><td>Cooling water</td><td colspan="4">0.33</td></tr>
<tr><td rowspan="2">NaCl solution</td><td rowspan="2">0.33</td><td colspan="3">0.27 0.33</td></tr>
<tr><td colspan="3">0.03</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Inlet temperature [℃]</td><td>Cooling water</td><td colspan="4">27.0±0.4</td></tr>
<tr><td>NaCl solution</td><td colspan="4">27.0±0.4</td></tr>
</table>

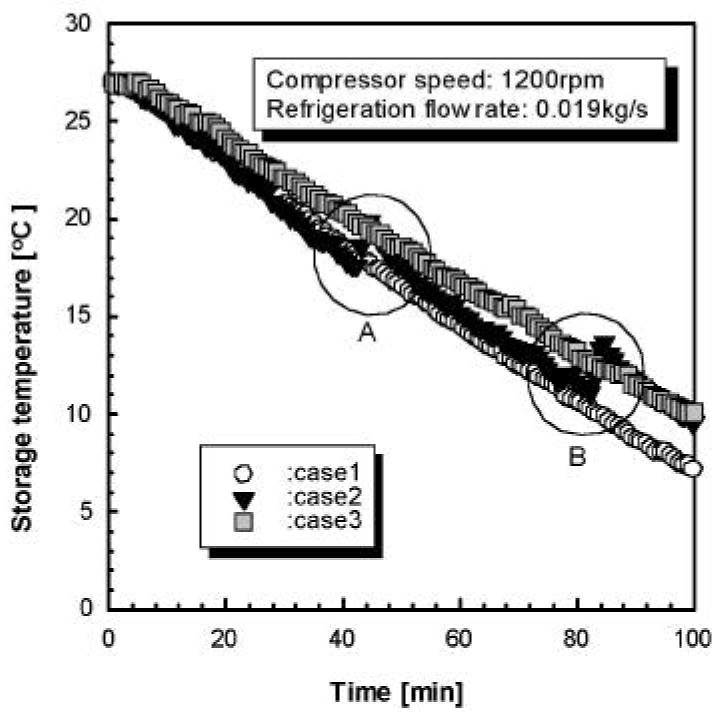


Fig. 3.3 Change in storage temperature with respect to time (Test 1)

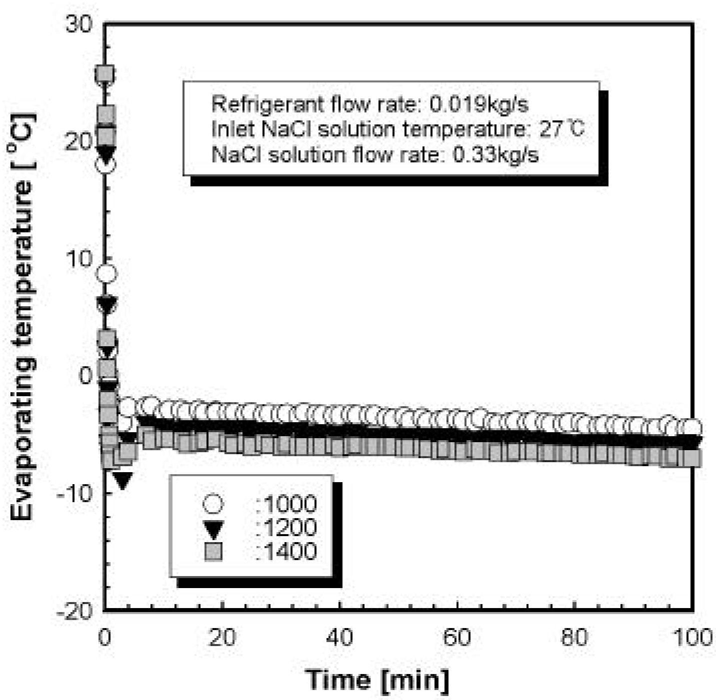


Fig. 3.4 Change in evaporating temperature with respect to time (Test1)

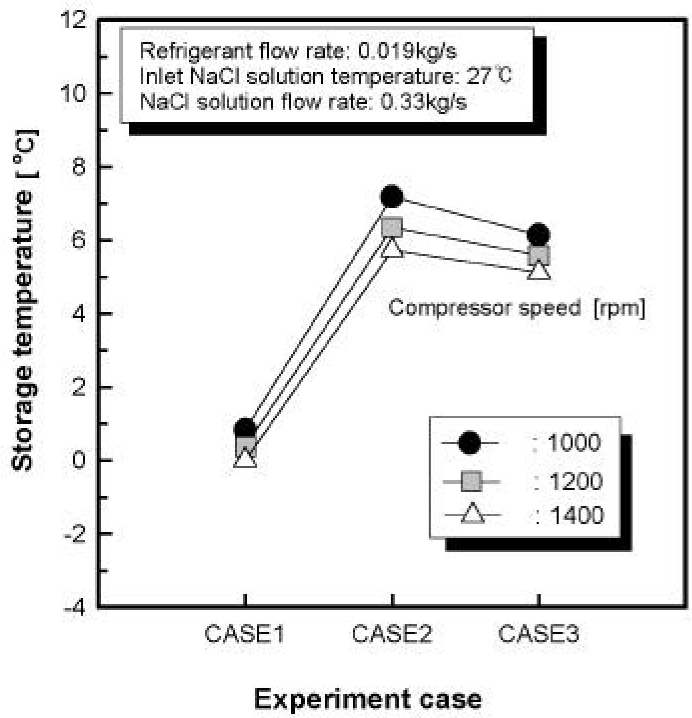


Fig. 3.5 Change in storage temperature with respect to compressor speed (Test 1)

Fig. 3.6은 시간에 따른 증발온도의 변화를 냉각장치의 냉매유량을 파라미터로 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 냉매유량이 증가할수록 증발온도는 상승함을 알 수 있다. 이것은 압축기 회전수를 일정하게 고정한 상태에서 증발기 관내 냉매유량이 증가하면 관내 냉매의 증발압력이 상승하게 되고, 이에 비례하여 증발온도가 상승하는 것으로 판단된다. 따라서 냉각장치 냉매의 유량변화는 냉매의 증발온도를 변화시키는 요인으로 작용하는 것을 알 수 있다.

Fig 3.7은 활어조 내 해수의 온도를 냉매유량을 파라미터로 나타낸 것이다. 이 경우 활어조 내 해수의 온도는 Fig 3.5과 같은 조건에서 Case 1을 기준으로 한 온도들이다. 그림에서와 같이 냉매유량이 증가할수록 해수의 온도는 낮아짐을 알 수 있다. 이것은 냉매유량이 증가할수록 Fig 3.6에서와 같이 냉매의 증발온도가 상승하여 냉매와 해수와의 온도차는 작아지지만 상대적으로 냉매유량 증가에 따른 냉동능력의 상승으로 해수의 온도는 오히려 감소하는 것으로 판단된다. 따라서 냉매유량도 증발온도와 활어조 내 해수의 온도변화에 영향을 미치므로 해수냉각장치 설계 시 중요한 인자가 되는 것으로 판단된다. 그리고 Case 2, 3의 비교에 있어는 Case 3의 경우가 그리고 3가지 경우에 있어서는 Case 1의 경우가 가장 낮은 온도를 나타내었다.

Fig 3.8은 압축기 회전수와 냉매유량을 고정시킨 상태에서 활어조 내에 Case 1, 2, 3의 경우를 대상으로 활어조 내 부하를 투입한 경우 시간에 따른 압축기 흡입측 냉매온도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 시간이 경과할수록 압축기 흡입측 냉매온도는 Case 1, 2, 3의 경우 모두 낮아지는 경향을 나타내었으며, Case 1의 경우가 Case 2, 3의 경우보다 더 낮은 경향을 나타내었다. 이는 전자의 경우, 냉각장치 내로 순환하는 해수와 냉매와의 계속된 열교환을 통해 열부하의 감소가 다른 두 경우보다 크고, 열부하의 감소는 냉각장치의 증발기 내로 순환하는 냉매의 상태를 변화시켜 증발기 출구측 냉매의 과열도를 감소시키며, 이와 같은 영향으로 압축기 흡입측 냉매온도가 낮아지는 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 또한 구동 압

축기의 압축일량 및 응축압력에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

Fig 3.9는 시간에 따른 활어조의 입·출구 온도차 변화를 냉각기와 활어조 내로 순환하는 해수의 유량을 파라미터로 활어조 바닥을 기준으로 무차원 깊이 0.66을 기준으로 나타낸 결과이다. 그림에서 해수의 유량이 0.27, 0.30, 0.33[kg/s]인 3가지 경우 모두 전반부에서는 활어조 입·출구 온도차가 크게 나타나지만, 시간이 경과함에 따라 작아지는 경향을 나타내었다. 그리고 전반부에서는 순환 해수량이 작은 쪽이 상대적으로 큰 쪽보다 입출구 온도차가 컸지만 시간이 경과할수록 오히려 작아지는 경향을 나타내었다. 이는 초기에는 유량의 영향보다 이에 따른 활어조 입·출구 위치의 영향으로 유량이 작은 쪽이 상대적으로 유량이 큰 쪽보다 온도가 작아지며, 따라서 시간이 경과할수록 유량이 작은 쪽이 상대적으로 유량이 큰 쪽보다 활어조 내의 입·출구 온도차가 작아지는 것으로 판단된다.

Fig 3.10은 활어조 출구 깊이에 따른 해수의 온도변화를 순환하는 해수의 유량을 파라미터로 나타낸 것이다. 여기서, 무차원 깊이의 기준은 바닥높이를 기준으로 하였다. 그림에서와 같이 해수의 유량이 0.33[kg/s]인 경우가 전체 무차원 깊이에 대해 가장 낮은 온도를 나타내었으며, 활어조의 깊이가 깊을수록 높은 온도를 나타내었다.

이는 전자의 경우, Fig. 3.9에서 알 수 있듯이 후반부로 갈수록 해수의 유량에 따른 영향으로 판단된다. 그리고 후자의 경우는 Fig. 3.2에서와 같이 입구 쪽에 낮은 온도의 해수가 유입되어 활어조 상하의 깊이에 따라 즉, 깊이가 깊을수록 높은 온도를 나타내는 것으로 생각된다. 그리고 이 결과는 활어조 내 저장되는 해수의 수량이나 출구의 위치 및 상부 유입 해수의 온도에 따라 활어조 내부의 온도분포는 달라질 것으로 판단된다. 따라서 상기의 결과는 활어의 생존율을 높이기 위한 활어조 설계 시 중요한 인자가 될 것으로 판단된다.

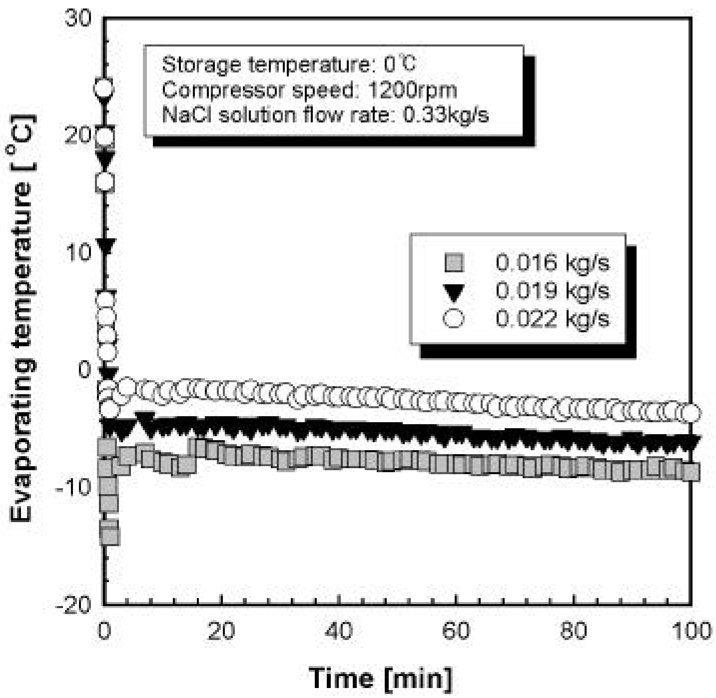


Fig. 3.6 Change in evaporating temperature with respect to time (Test 1)

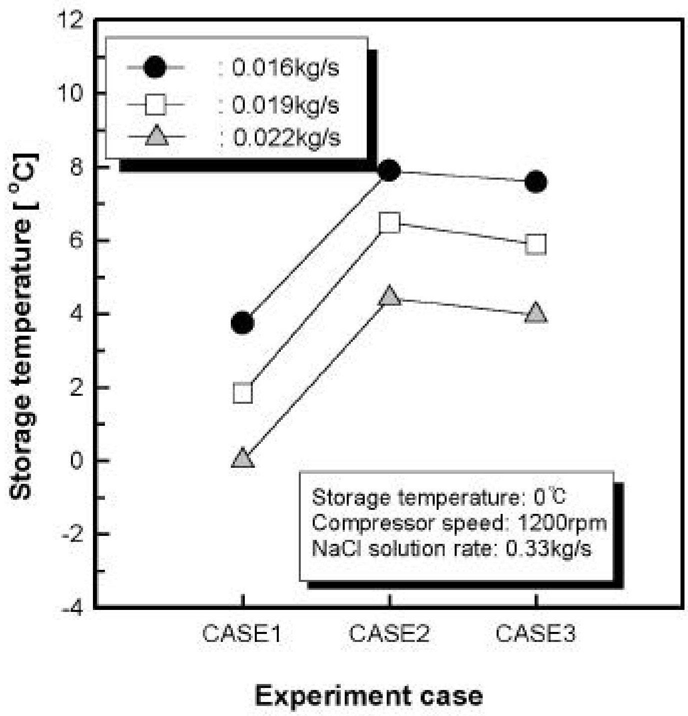


Fig. 3.7 Change in storage temperature with respect to mass flow rate of refrigerant(Test 1)

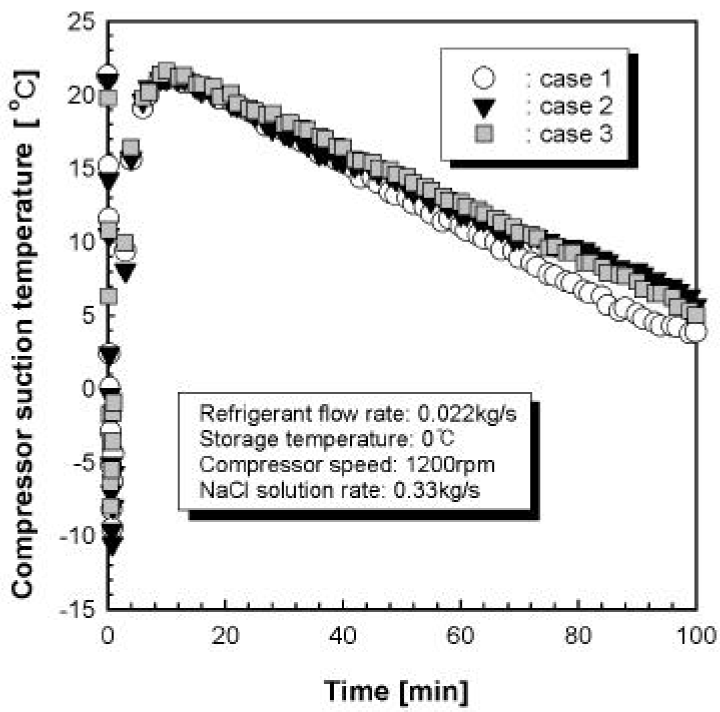


Fig. 3.8 Change in compressor suction temperature with respect time

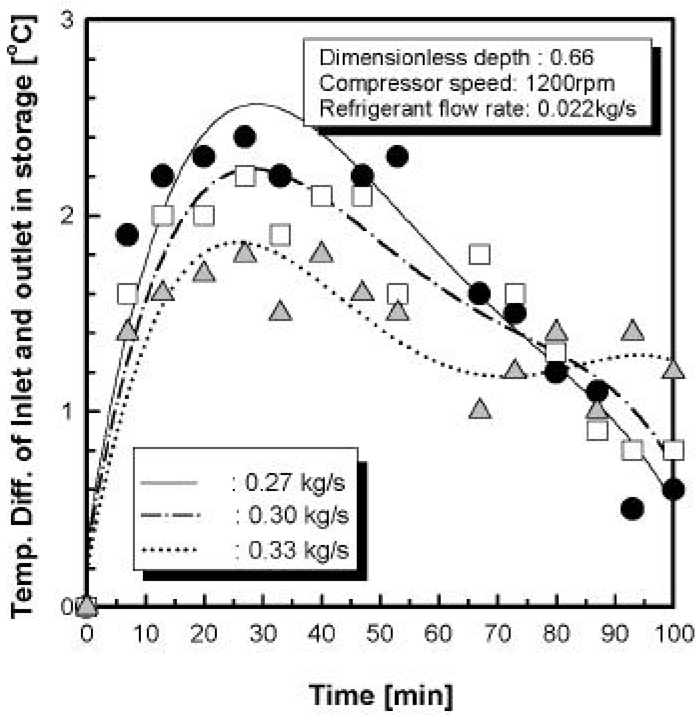


Fig. 3.9 Change in temperature difference of inlet and outlet in storage with respect to time(Test 2)

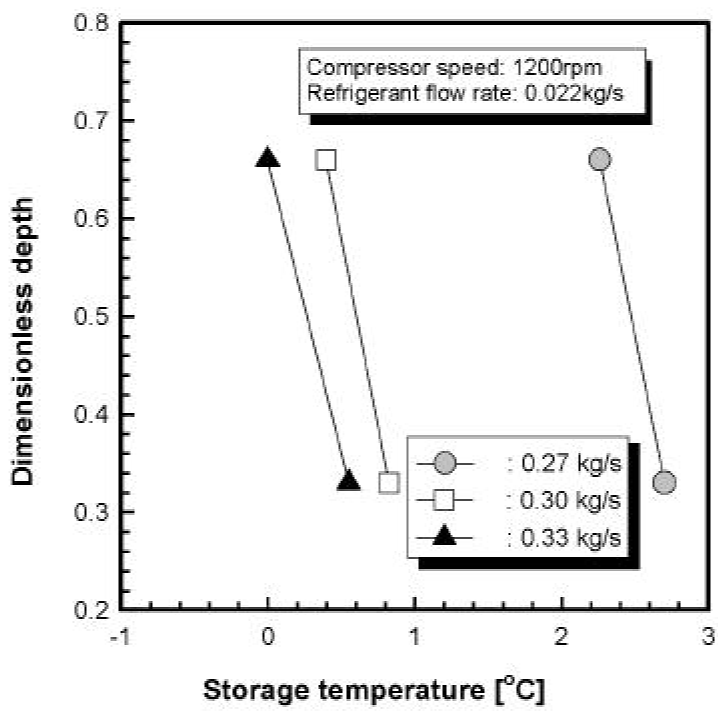


Fig. 3.10 Change in storage temperature with respect to storage depth (Test 2)

3.3 선박용 활어조 냉각시스템 성능특성

3.3.1 실험장치 및 방법

(1) 실험장치

10톤 이하의 소형 선박에 있어 냉각장치를 주 엔진 동력으로 압축기를 구동할 경우에는 주 엔진의 부하증대나 수명단축 등에 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 주 엔진과는 별도의 동력장치로 해수냉각시스템을 구동해야 한다.

Fig 3.11은 냉각시스템의 개략도를 나타내며, Fig 3.12는 소형 어선용 활어조 냉각시스템을 선박에 설치할 경우의 개략도를 나타낸다. 본 시스템에서는 압축기의 구동 동력원으로 5HP급 디젤엔진을 이용하였다. 그리고 엔진으로부터 발생된 동력을 압축기로 전달하기 위해서 압축기 좌측에 풀리를 설치하였으며, V-Belt를 통하여 동력을 전달할 수 있도록 하였다.

Fig 3.13은 실제 실험에 적용된 연근해 조업선으로 6.7톤급의 목선이다.

Fig 3.14는 압축기를 나타내고 있다. 사용된 압축기는 국내 M사에서 제작된 차량 에어컨용 압축기로써 토출량은 130cc급이다. 압축기의 운전은 증발기에 부착된 온도센서에 의해서 자동으로 클러치를 조작되도록 하였다.

Fig. 3.15는 냉각장치의 Control Box이다. 조작전원은 24V이며 장치의 운전상태를 조타실에서 볼 수 있도록 설치하였으며, Fig 3.16은 보조 엔진을 나타낸다. 보조 엔진은 연료의 단가를 고려하여 디젤엔진을 선정하였다. 본 시스템에서 필요로 하는 구동동력을 얻으면서 연료를 경유로 사용할 수 있는 디젤엔진은 현재 국내에서 생산되는 엔진 중 최소 용량의 것인 5마력용을 선정하였다.

냉각장치는 압축기, 응축기, 팽창밸브 및 증발기와 액분리기, 수액기, 관찰장, 여과기 등의 부속기기들로 구성하였다. 그리고 온도, 압력, 유량 측정을 위한 계측기기로 구성되어 있으며, 각 기기들은 Flexible 고압 hose로 연

결되어 있다. 실험에 있어서는 각 조건변화에 따라 응축기 입·출구, 활어조, 증발기 입·출구, 압축기 입·출구 등의 온도와 압력을 측정하였으며, 측정된 온도는 다채널 온도기록장치[DR230 30CH]를 통해 PC로 전송하였다.

응축기는 3RT급 수냉식 쉘 & 코일식으로 제작하였으며, 원통의 내부에 코일을 설치하여 코일 속으로 냉매를 흐르게 하여 코일 밖으로 설치된 경판에 다수의 냉각관을 설치하고, 그 내부에 냉각수를 펌프로 압송하여 관 외면에서 냉매가 응축되는 방식으로 설계하였다.

응축기의 응축능력 계산은 냉각수 입·출구에 열전대를 설치하여 입·출구 온도를 측정하였고, 유량을 측정하기 위해 수 유량계[4-40 ℓ/min]를 설치하여 계산하였다. 증발기는 2RT급 건식 코일형 증발기를 사용하였으며, 관내로 냉매가 흐르고, 관외의 외측에 냉수가 흘러 냉각이 되도록 설계하였다.

Fig 3.17은 구동엔진 및 냉각시스템이 일체화된 패키지 해수냉각시스템을 나타낸다.

(2) 실험방법

실험은 크게 두 가지로 나누어서 실시하였다. 첫 번째는 활어조 내 온도를 16℃로 유지하면서 응축기와 증발기의 냉각수 및 냉수의 온도와 유량을 변화시켰으며, 또한 압축기의 회전수를 변화시키면서 실험을 하였다. 그리고 두 번째는 활어조 내 온도가 20℃에서 16℃까지 떨어질 동안에 시스템 전체의 특성을 실험하였다. 즉, 원하는 냉수온도를 얻는 데까지 압축기 회전수와 해수인 냉각수 온도를 변화시키면서 연료소비량과 냉동능력 및 시스템의 성능계수를 파악하여 실제 적용 시 및 운전시의 최적 설계 자료를 얻고자 하였다.

Table 3.2는 실험조건을 나타낸다.

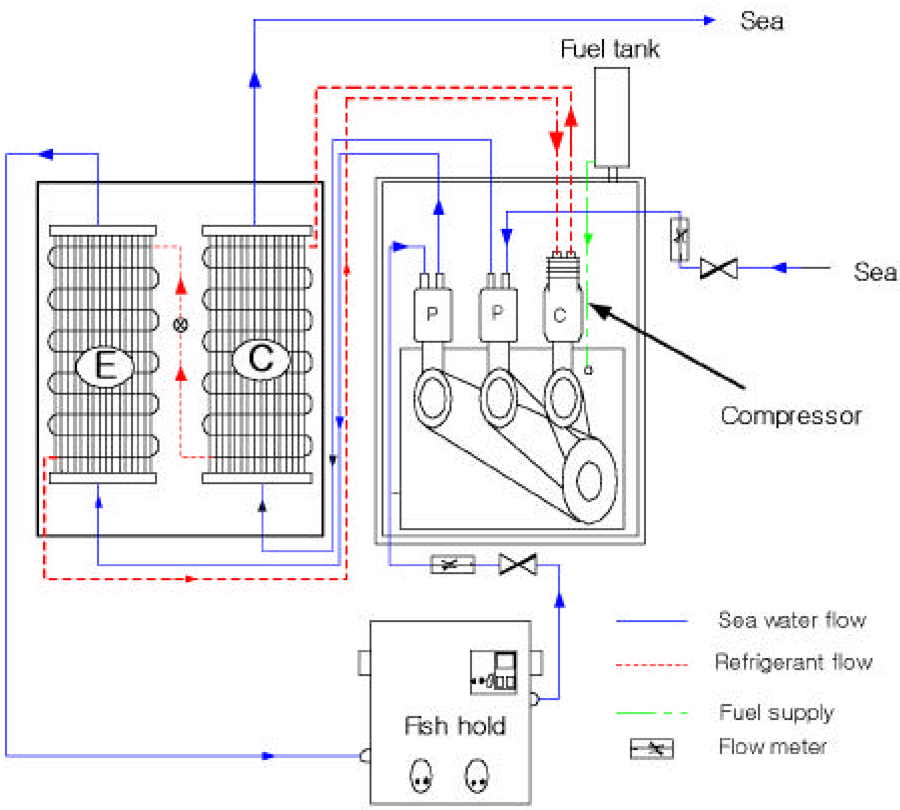


Fig. 3.11 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 3.2 Experiment condition

Parameter		Range
		Step
Refrigerant		R-134a
Storage temperature [℃]		16
Compressor speed [rpm]		2000 2500
		250
Flow rate [kg/s]	Cooling water	20 40
		10
	Chilled water	20 40
		10
Inlet temperature [℃]	Cooling water	23.5
		-
	Chilled water	22 26
		2

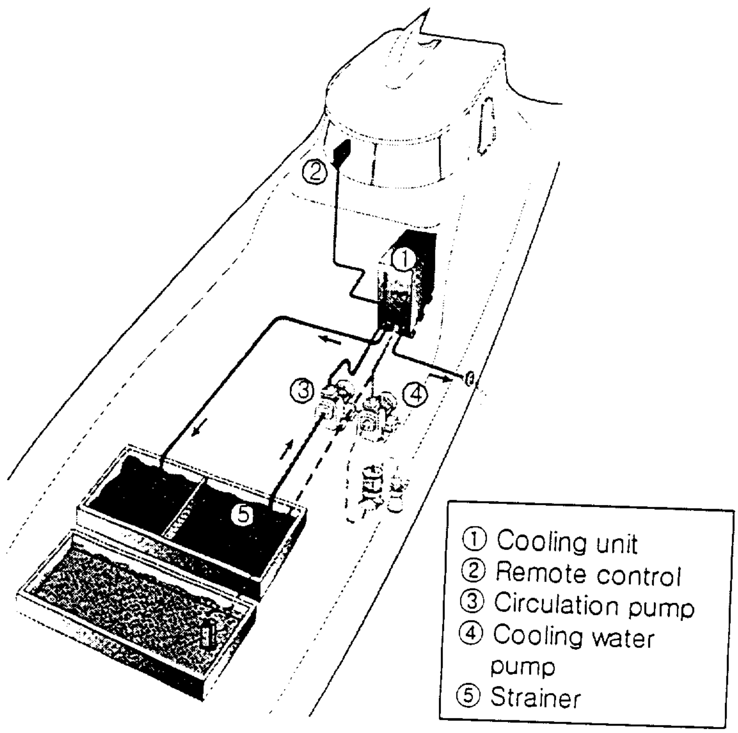


Fig. 3.12 Schematic diagram of live fish tank in refrigerant system

Fig. 3.13 Photograph of the fishing vessel

Fig. 3.14 Compressor for sea water chiller

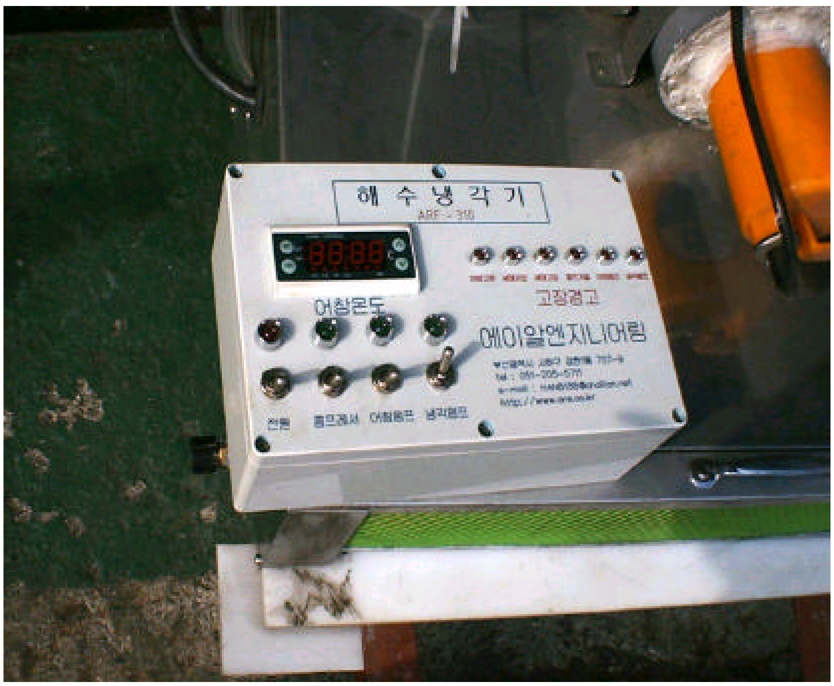


Fig. 3.15 Control box of sea water cooling apparatus

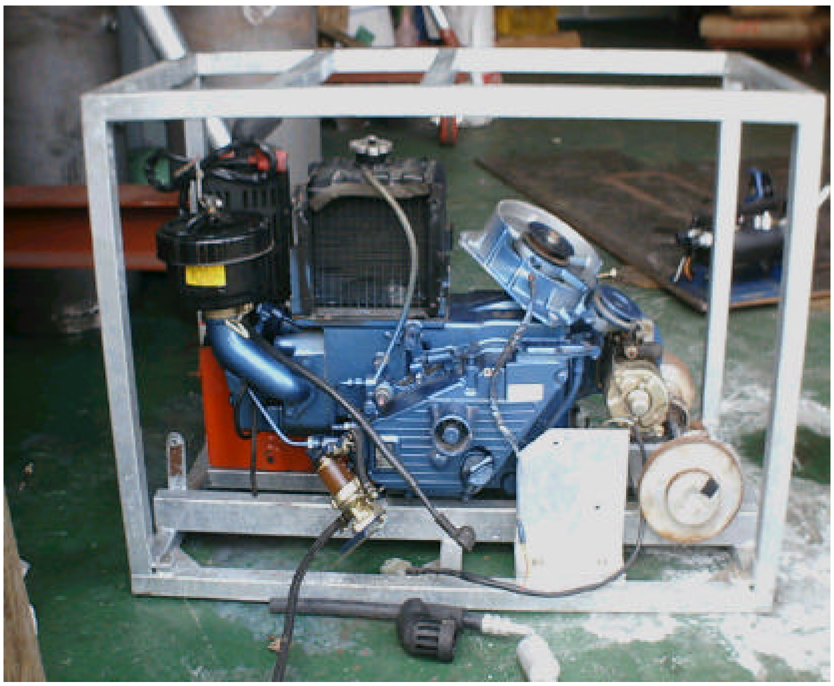


Fig. 3.16 Driving engine and compressor frame

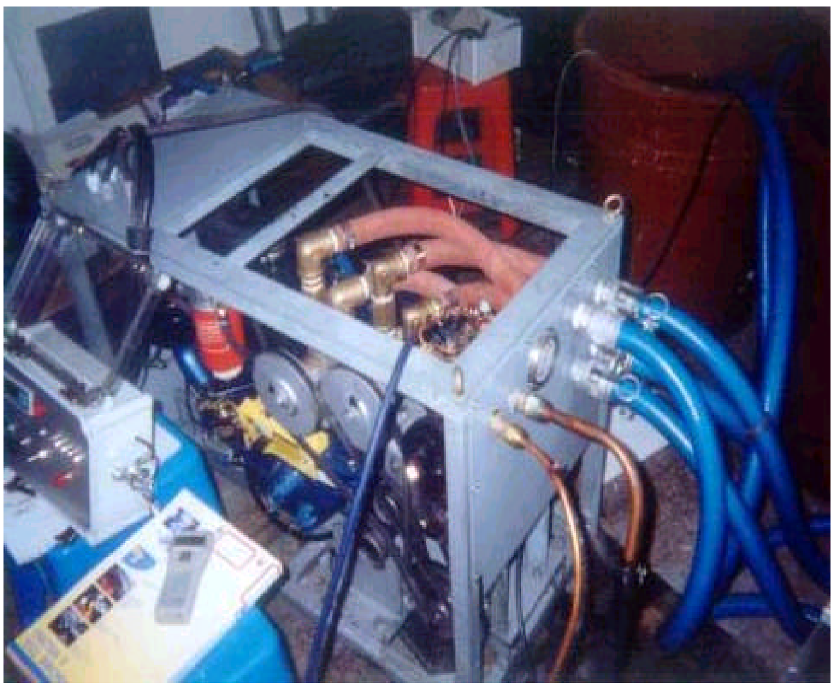


Fig. 3.17 Packaged sea water chiller

3.3.2 결과 및 고찰

Fig 3.18은 냉각수 온도 및 압축기 회전수 변화에 따른 시스템의 성능계수를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 냉각수 온도가 높아짐에 따라 또한, 압축기의 회전수가 감소함에 따라 장치의 성능계수는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 냉각수 온도가 증가할수록 팽창밸브 직전 냉매의 과냉각도가 감소하게 되고, 압축기 회전수가 감소할 수록 증발기 내로 냉매 순환량의 감소에 기인하는 것으로 판단된다.

Fig 3.19는 증발기로의 냉수 유량을 파라메터로 압축기 회전수에 따른 장치의 성능계수 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 냉수 유량이 증가함에 따라 성능계수의 증가는 미소하지만 압축기 회전수가 증가함에 따라서는 큰 증가폭을 나타내고 있다.

Fig 3.20은 증발기 냉수온도와 유량이 일정할 때, 응축기의 냉각수 유량을 파라메터로 압축기 회전수 변화에 따른 장치의 성능계수를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 냉각수 유량과 압축기 회전수가 증가할수록 장치의 성능계수는 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 냉각수 유량이 많아질수록 응축기내 냉매의 과냉각도가 증가하여 냉동효과가 증가하게 된다. 또한 Fig 3.19에서도 언급한 바와 같이 압축기의 회전수 증가는 증발기 내로의 냉매 순환량을 증가시켜 냉동능력이 증가됨으로써 장치의 성능계수는 증가하는 것으로 나타났다.

Fig 3.21은 냉각수 온도를 파라메터로 압축기 회전수 변화에 따른 냉동능력의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 압축기 회전수가 증가함에 따라 냉동능력은 증가하지만 냉각수 온도가 높을수록 냉동능력은 감소하는 것으로 나타났다.

이것은 냉매 순환량의 증가 및 냉매의 과냉각도의 감소에 따른 결과로 판단된다.

Fig 3.22는 압축기 회전수를 파라메터로 냉각 해수온도변화에 따른 성능

계수(COP)의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 압축기 회전수가 증가하고, 냉각수 온도가 낮아짐에 따라 냉동능력은 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 압축기 회전수가 증가함에 따라 증발기로의 냉매 순환량이 증가하고, 냉각수 온도가 낮아짐에 따라 냉매의 과냉각도가 증가하기 때문으로 판단된다.

Fig 3.23은 냉각수 온도를 파라메터로 압축기 회전수 변화에 따른 구동엔진의 연료 소비량의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 압축기 회전수가 증가함에 따라 냉매 순환량이 증가하고, 이에 따라 구동엔진의 소요 일량은 증가하게 된다. 또한 냉각수의 온도가 증가할수록 냉매의 응축온도가 증가하여 연료의 소비량이 증가하는 것으로 판단된다.

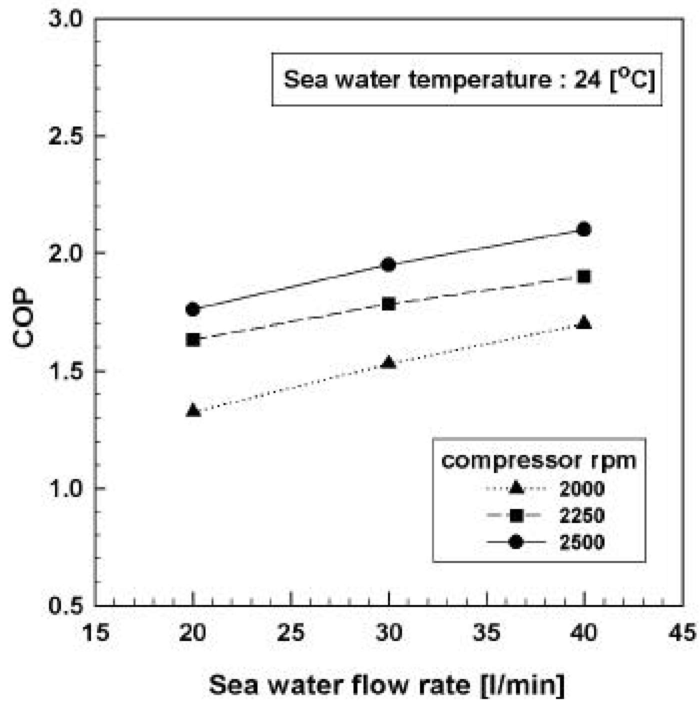


Fig. 3.18 Effect of sea water flow rate on COP

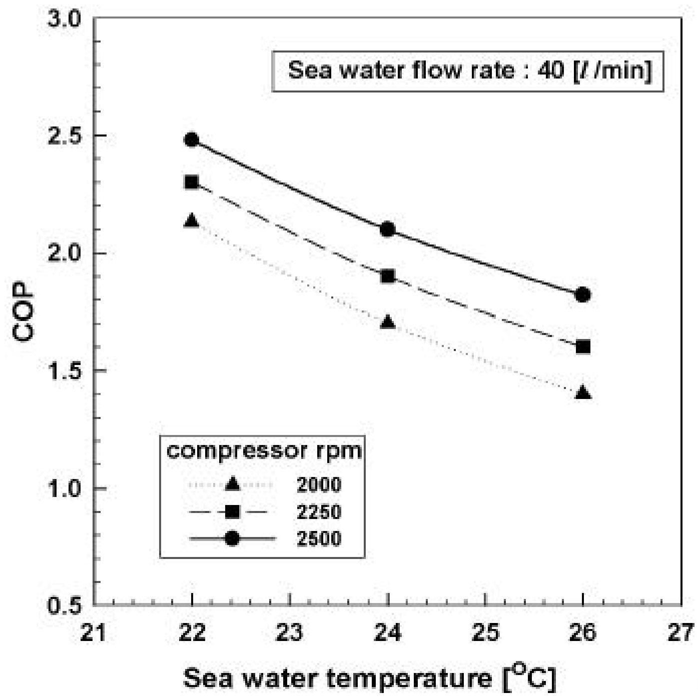


Fig. 3.19 Effect of sea water temperature on COP

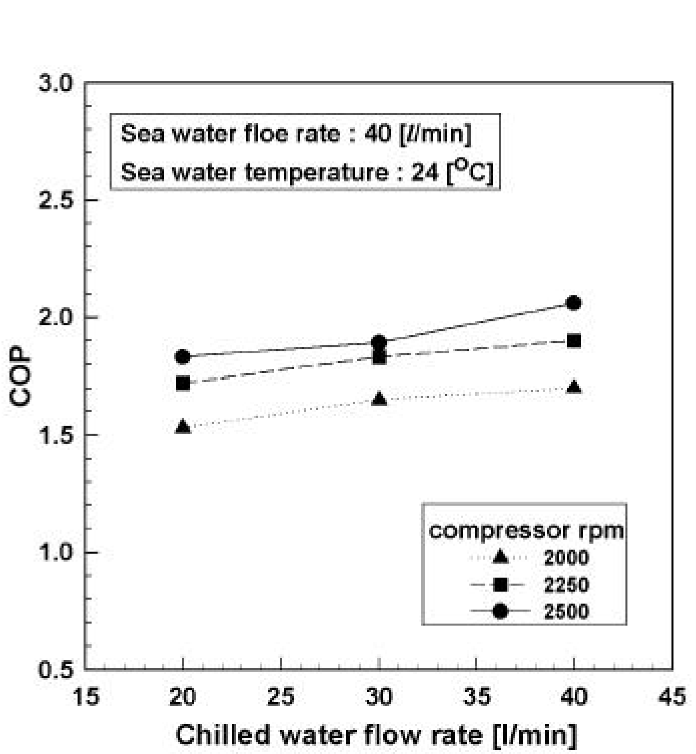


Fig. 3.20 Effect of chilled water flow rate on COP

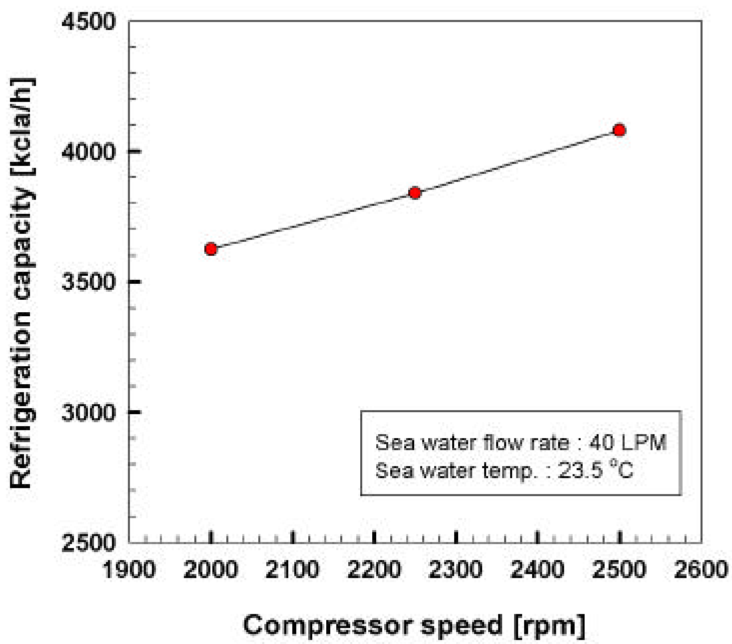


Fig. 3.21 Effect of compressor speed on refrigeration capacity

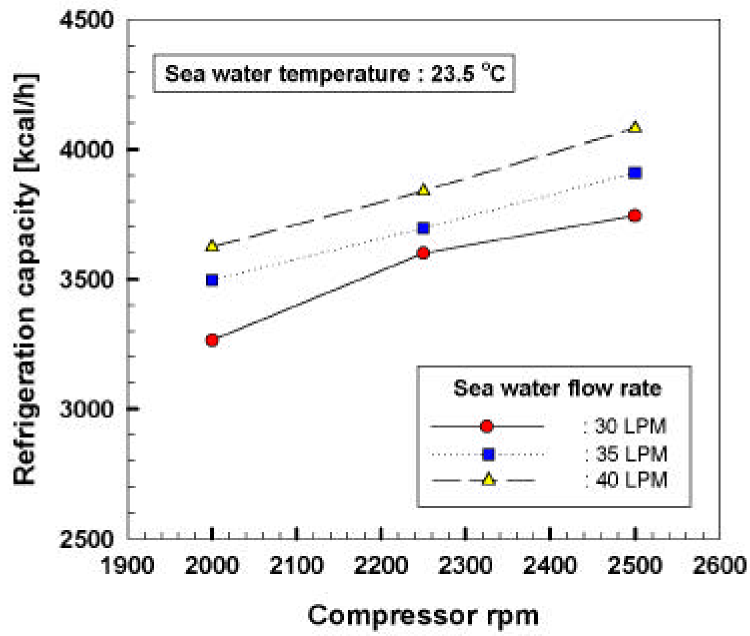


Fig. 3.22 Effect of sea water flow rate on refrigeration capacity

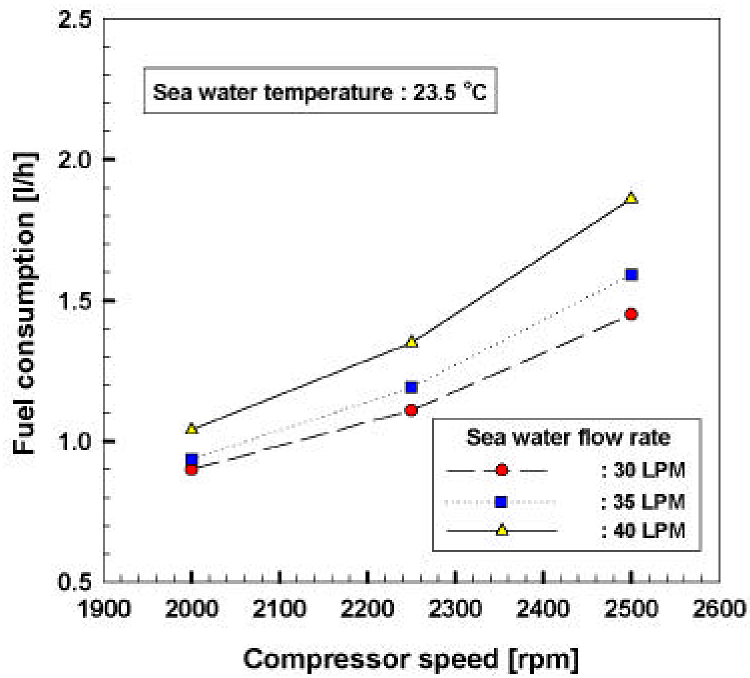


Fig. 3.23 Effect of fuel consumption on sea water temperature.

3.4 소결론

선박용 최적 해수냉각시스템 개발을 위해 압축기 회전수와 냉매유량, 그리고 활어조의 해수 출구위치가 연근해 어선용 활어조 및 냉각장치에 미치는 영향을 파악하였고, 별도의 엔진 구동형 소형 패키지 해수냉각시스템을 개발하기 위하여 압축기 회전수와 냉각수 유량 및 온도, 냉수 유량을 파라메터로 장치의 운전특성을 파악한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 압축기 회전수와 냉매유량을 파라미터로 냉각장치의 냉매 증발온도 및 모형 활어조 내 해수의 온도변화를 파악한 결과 이들은 냉매의 증발온도 및 활어조 내 온도 변화에 영향을 미침으로 어획물의 선도유지나 활어 생존율 증대 및 장기 보존을 위한 장치 설계 시 중요한 인자로 작용할 것으로 판단되었다.

(2) 활어조 내 투입 열 부하 및 출구위치를 파라미터로 압축기 흡입온도 및 활어조 내 해수의 온도변화를 파악한 결과 시간 경과에 따라 흡입온도는 감소하였으며, 출구 위치에 따라 활어조 내 상하 수직 온도분포에 영향을 미치므로 출구 위치선정에 있어 유의해야 할 것으로 판단되었다.

(3) 실제 어획물이 어획되는 경우를 고려한 활어조 내 부하의 케이스별 투입 및 선박의 주 엔진에 의해 냉각장치를 구동하는 경우를 대상으로 냉각장치와 활어조 내 온도분포에 영향을 미치는 인자들의 상관관계 및 특성을 실험을 통하여 확인할 수 있었으며, 이들 결과는 연근해 어선용 최적 해수냉각시스템 및 활어조 개발 시 실질적인 기초 자료를 확보할 수 있었다.

(4) 압축기 회전수와 증발기의 냉수 및 응축기의 냉각수 유량이 증가할수록 장치의 냉동능력은 증가하였으며, 압축기 회전수 및 냉각수 온도가 증

가할수록 구동엔진의 연료소비량도 증가하였다.

(5) 별도 엔진 구동용 소형 해수냉각장치 개발 및 운전조건 변화에 따른 시스템의 특성과 운전조건변화의 상관관계를 파악할 수 있었으며, 시스템 상용화 설계 및 운전 시 기초자료를 얻을 수 있었다.

제 4 장 어류 생존율에 의한 해수냉각시스템의 평가

4.1 서 론

수중생활을 하는 어류에 있어서 수온은 생존과 직결되는 일차적인 환경요인이고, 어류가 내성하는 수온 범위 내에서도 급격한 수온변동은 심각한 스트레스를 수반하면서 단시간에 치사에 이르게 한다[22]. 어류에 미치는 생리적 스트레스 요인으로는 그물작업, 감금(confinement), 수송 등 인위적 요인을 위시하여 수온, 용존 산소와 염분 등 환경적 요인을 들 수 있다[23, 24]. 특히, 급격한 수온변동은 어체의 생리조건을 변화시키거나 체내 항상성(homeostasis)을 붕괴시킬 수 있다[25, 26]. 어류가 스트레스를 받게 되면 질병에 대한 면역력이 저하될 뿐만 아니라 다른 수질환경 요인에 대한 저항력 감소가 어체에 가중되어 생존에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다[27].

수서어류에 있어서 환경변화에 대한 생리적 반응은 고등동물과 거의 비슷하며, 스트레스 강도와 지속시간에 따라 어체의 생리상태가 달라진다[28]. 어류가 스트레스를 받으면 1차적으로는 신경계와 내분비계가 자극을 받아 코티졸(cortisol) 등의 호르몬이 과다하게 분비되고 이로 인해 2차적으로는 글루코스와 같은 탄수화물 대사의 변화와 전해질의 농도변동에 따른 어체 삼투질 농도 변동이 수반되며, 3차적으로는 성장률 감소 및 질병 감염률 증가와 같은 현상으로 이어 지게 된다[29, 30].

최근, 수산물이 건강 증진식품으로 널리 인식되면서 수산물 소비량은 급증하고 있으며, 더욱이 생선회에 대한 국민적 기호성이 높아 활어 수요량도 크게 증가하고 있다. 생산지에서 소비지로 활어를 운반하는 과정에는 어류에 미치는 스트레스 요인이 복합적으로 작용하기 때문에 이로 말미암아 소비지에 도착하기 전에 폐사하는 경우가 있어 관련 종사자에게

경제적인 손실을 입히고 있다. 활어 운송시 어체에 대한 스트레스 완화 방법으로는 양식어류의 경우, 운반 전에 먹이공급을 중단하여 활어의 산소 소모 및 수질오염을 줄여 주거나 단위 면적당 고밀도 운송과 활어의 치사 예방책으로 여름철에는 수온상승을 방지하기 위하여 야간운송 및 액화산소 공급 등 여러 가지 방법이 적용되고 있다.

일반적으로 어류는 내성수온 범위 내에서 수온이 10℃ 상승하면 대사율이 2 3배 증가한다. 따라서 활어 운송 시에 일정 수온 범위의 수온하강은 어류의 대사활성을 낮추어 수중 산소 소모 속도가 늦어질 뿐 아니라 운송중인 어류가 배설하는 대사 최종산물에 의한 자가오염을 저하시켜 어체에 미치는 스트레스를 감소시키는 등 여러 가지 면에서 효과적인 방법의 하나이다. 그러나, 운송수온의 급격한 변화는 어체 생리상태를 크게 변화시켜 집단 폐사의 요인으로 작용할 수도 있어 어류의 저온 내성에 대한 검토가 선행되어야 한다.

본 연구는 해산어류의 저온 내성 및 고·저수온 노출에 따른 생리상태의 변화를 조사하여 활어조 냉각시스템에 수용한 어류의 안정적 수송과 적정 냉각 수온을 평가하기 위하여 저수온 내성이 비교적 낮은 어종으로 알려진 참돔을 대상으로 실험하였다.

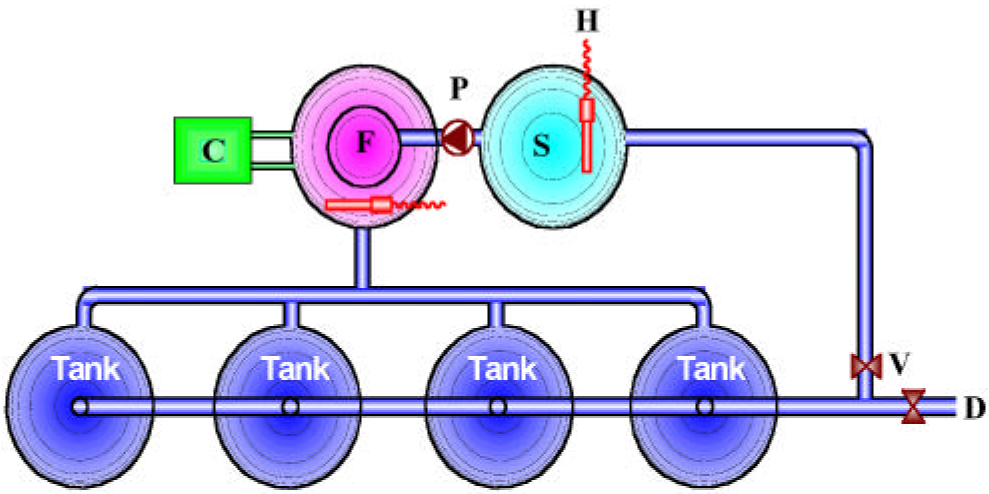
4.2 실험재료 및 방법

4.2.1 실험어 및 사육장치

실험어류인 참돔(*Pagrus major*)은 해상 가두리 양식장에서 사육중인 것을 실험실로 운반하여 순환여과식 사육수조(용량, 1톤) 3개에 수용하고 수온 25℃에서 사육하였다. 실험어 사육시 먹이는 시판되는 배합사료를 매일 1회 공급하였고, 사육해수는 저수탱크 내 해수 온도를 25℃로 맞추어 3일마다 거의 전량 교환하였다. 사육 동안 수온, pH, 염분 및 용존 산소는

각각 24.9±0.2℃, 7.9 8.2, 30.8 31.7‰ 및 5.4 6.2 mgO_2/ℓ의 범위였으며, 실험에 사용한 개체의 크기는 전장 11.1±20.4 cm(체중, 38.4 176.6 g)였다. 실험어는 실험개시 전에 2일 동안 절식시켰고, 외관상 어체에 질병 징후는 없었다.

수온조절 실험장치는 Fig. 4.1과 같이 재순환 사육시스템(순환수량, 1.2톤)으로서 실온을 조절할 수 있는 항온실에 시설하였다. 실험수조는 200ℓ 용량의 FRP 원형수조로 구성되었으며, 각 수조에는 어류의 도피방지를 위한 그물망과 통기 장치를 설치하였다. 실험기간 동안 사육수는 실험수온에 변화가 없는 범위에서 매일 순환수량의 약 20 30% 정도를 여과조에 주입하였고, 과다한량의 사육수는 침전조의 수위조절 배출구로 유수되도록 하였다.



C : Cooler D : Drain F : Filter
P : Pump V : Valve S : Sedimentation tank

Fig. 4.1 Schematic diagram of recirculation culture system used for the experiments

4.2.2 실험조건

실험수온은 Fig. 4.2와 같이 실험조건 1, 실험조건 2의 2가지 조건으로 나누어 수온을 6시간에 걸쳐 상승과 강하시키면서 실험하였다.

실험조건 1(Exp. Ⅰ)은 실험개시시의 수온 25℃에서 13, 16, 19[℃]로 온도를 낮추어 48시간이 경과한 후 6시간에 걸쳐 실험개시 수온인 25℃로 다시 수온을 올려주었고, 실험조건 2(Exp. Ⅱ)는 실험개시 후 19℃로 조절하여 72시간 유지시킨 조건과, 24시간째에 수온을 16과 13℃로 조절하여 72시간이 경과하는 시점에서 다시 25℃로 올려 주었다.

4.2.3 측정방법

(1) 생존율

실험개시 2일 전에 실험어를 각각 20 26마리 투입하여 경과시간별로 폐사한 개체수를 관찰하였다. 폐사 판정은 아가미 개폐운동이 정지된 실험어를 유리봉으로 자극하여 반응이 없는 개체를 기준으로 하였으며, 2회 반복 조사한 결과의 평균치로 표시하였다. 생존율 조사는 Exp.Ⅰ,Ⅱ의 수온변동 조건에서 실시되었다.

(2) 생리상태

생리상태 실험은 Exp.Ⅰ의 수온조건을 적용하였으며, 실험개시 2일전 각 수조에 실험어를 4마리씩 투입하여 실시하였다. 수온변화에 노출된 실험어의 혈액 채취는 노출시간별로 어류를 수조에서 포획한 즉시 미부 동맥에서 일회용 주사기로 1분내에 채혈하였다. 채혈한 혈액 중 일부는 혈액성상을 조사하기 위하여 항응고제(10% EDTA-Na)를 처리하여 4℃에 냉장 보관하면서 각 분석에 사용하였고, 혈액의 나머지는 원심분리용 튜브에 주입하여 실온에서 30분간 방치한 다음 5,000 rpm에서 20분간 원심하여 혈청을 분리하였다. 혈청은 -70℃에 동결 보관하여 혈청성분 분석에

사용하였다. 혈색소 농도(hemoglobin, Hb)는 cyanmethemoglobin법으로, 적혈구 용적(hematocrit, Hct)은 모세관법에 의한 microhematocrit법으로 측정하였다. 혈청 코티졸 농도는 cortisol RIA kit (DPC, USA)를 사용하여 항원·항체반응을 유도한 다음 γ-counter (COBRA-Ⅱ D501001, Hewlett Packard, USA)를 사용하여 radioimmunoassay (RIA)로 측정하였다. 글루코스 농도는 혈청에 o-Toludine 시약(Sigma 635)을 첨가한 뒤 중탕 가열하여 생성된 청록색 복합물을 630 nm에서 표준치에 대비하여 비색정량하였으며, 혈청 삼투질 농도(osmolality)는 삼투압측정기(Osmomat-030)로, 전해질(Na^+, Cl^-) 농도는 전해질분석기(FUGI DRI-CHEM 800)로 각각 측정하였다.

4.2.4 유의성 검정

유의성 검정에서 실험개시전의 대조군과 실험군 사이의 차이는 SPSS 프로그램으로 ANOVA를 실시한 후 실험군간의 다중비교는 최소유의차 검정으로 평균간의 차이($P<0.05$)를 검정하였다.

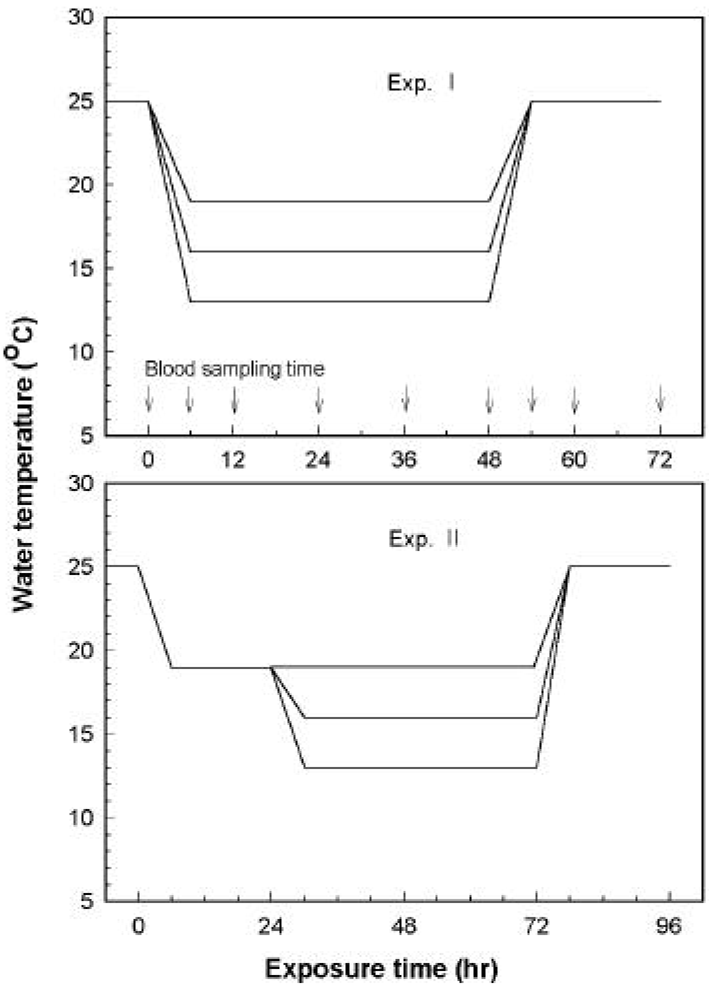


Fig. 4.2 Changes in water temperature applied for the experiment

4.3 결과 및 고찰

4.3.1 생존율

실험개시 수온 25℃에서 적응된 참돔을 실험수온별로 노출시키면서 생존율을 조사한 결과는 Fig. 4.3과 같다.

Exp. Ⅰ의 수온변화에 노출된 참돔의 경우, 실험수온 19℃에서는 저수온 노출에 뒤이어 실험개시시의 수온인 25℃로 상승하여도 폐사하는 개체는 없었다. 그러나, 실험수온 16℃에서는 48시간째에 평균 97%의 생존율을 보였으며, 이후 실험개시시의 수온인 25℃로 다시 수온이 상승하면 누적 생존율은 88%를 나타냈다. 또, 저수온 13℃에서는 36시간 이내에 모든 개체가 치사하였다. Exp. Ⅱ의 수온변화 조건에서 16℃와 19℃에 노출한 개체군은 실험기간 동안 폐사 개체가 발생하지 않았으며, 13℃에서는 36시간이 경과하면서 87%, 48시간에는 38% 및 72시간에는 생존하는 개체가 없었다.

4.3.2 혈청 코티졸(cortisol)과 글루코스(glucose)

Exp. Ⅰ의 수온변화 조건에서 참돔의 혈청 코티졸은 수온강하 폭이 클수록 농도 증가가 현저하였으며, Fig. 4.4에서 보는 바와 같이 실험개시 수온 25℃에서 측정한 참돔의 cortisol 농도는 5.6±2.1 ng/㎖였다. 저수온 19℃ 노출군은 6시간째에 12.1 ng/ml, 이후 노출시간과 수온변화에 따른 농도 변화는 없는 것으로 나타났다($P>0.05$). 16℃ 실험군에서는 19℃에 비해 높은 농도로 상승하여 12시간까지 지속되다가 감소한 다음 수온이 25℃로 상승된 후에 있어서도 높은 값을 보였다. 25℃에서 13℃로 수온이 내려간 조건에서 참돔의 코티졸 농도가 가장 높게 나타났다.

Fig. 4.5에서 혈청 글루코스 농도는 코티졸의 혈중 농도와 같이 수온이 낮을수록 높았으며, 경과시간별로는 양적 변동 패턴에 다소 차이를 보였다.

16℃ 실험군의 경우, 노출 후 48시간이 경과할 때까지 글루코스 농도는 실험개시 시에 비하여 현저히 높았고, 25℃의 고수온으로 환원하여도 혈당은 높아지는 결과를 보여 주었다. 25℃에서 19℃의 수온 변화에 노출된 참돔은 36시간이 경과하면 glucose 농도가 감소하였으며, 25℃로 수온이 다시 상승하여도 25℃에 적응시킨 실험개시 시의 혈당농도와 비슷하였다. 13℃ 실험군은 노출 후 24시간이 지나면 고혈당 증상이 현저하였다.

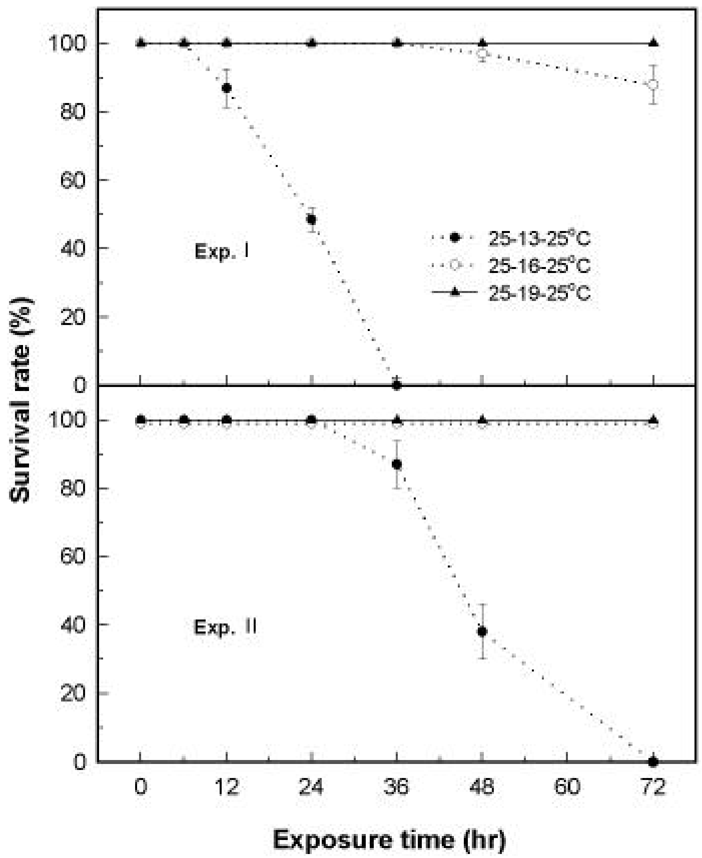


Fig. 4.3 Survival rates of red sea bream exposed to temperature changes of Exp. Ⅰ and Ⅱ

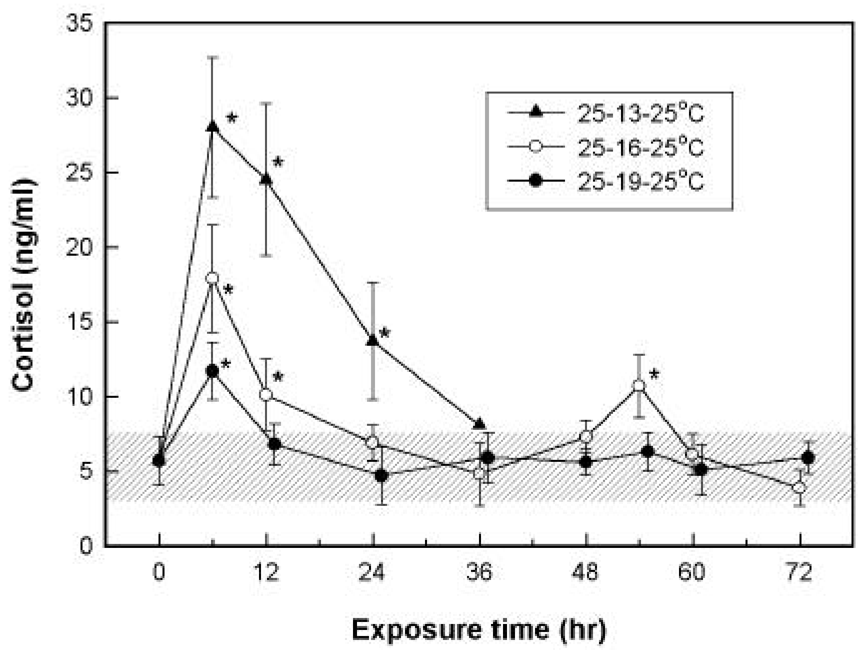


Fig. 4.4 Variations of sera cortisol levels of red sea bream exposed to the sharp water temperature during the time course of Exp. Ⅰ

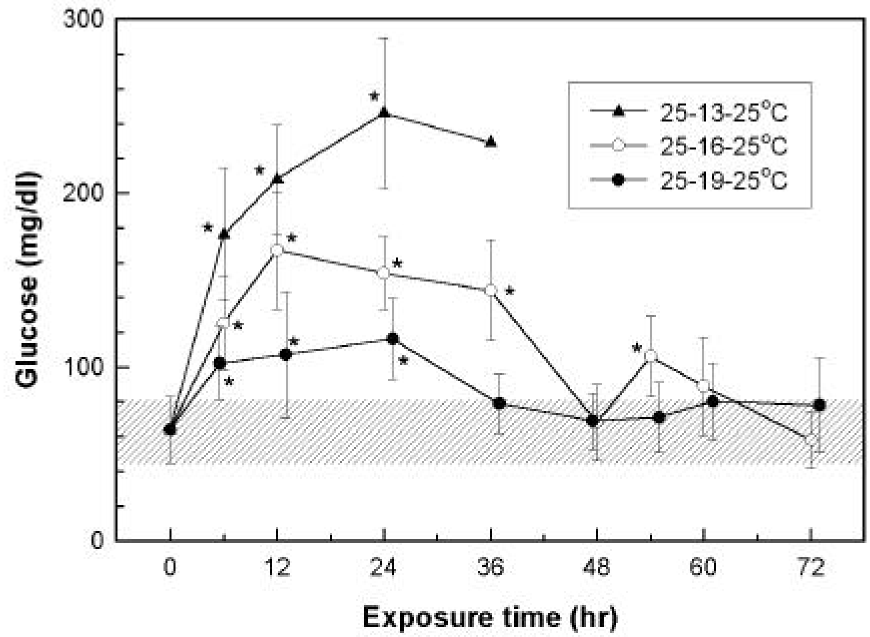


Fig. 4.5 Variations of sera glucose levels of red sea bream exposed to the sharp water temperature during the time course of Exp. Ⅰ

4.3.3 적혈구용적(Hct)과 혈색소(Hb)

저수온에 노출시킨 참돔의 Hct와 Hb의 경시적 변화를 조사한 결과는 Fig. 4.6과 Fig. 4.7에 각각 나타내었다. Hct와 Hb는 저수온 노출이 지속될수록 감소하고 고수온으로 환원된 후에는 증가하였는데 16℃와 13℃에서는 저수온에서 노출시간이 경과함에 따라 현저히 감소하였다($P<0.05$). 25℃에서 19℃로 수온을 변화를 가한 조건에서는 혈색소 용적은 변화가 없는 반면 혈색소 함량은 현저히 낮아지는 현상을 보였다.

4.3.4 혈청 삼투질 농도

Fig. 4.7에서 혈청 삼투질 농도는 실험개시전 25℃에 적응시킨 개체에서 평균 289±18 mOsm/kg 범위였다. 25℃에서 19℃의 저수온에 노출된 개체는 48시간 후에 다시 25℃로 수온이 상승하여도 삼투질 농도에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 16℃ 실험군은 36시간이 지나면 삼투질 농도가 현저히 증가하였고, 13℃에 노출된 개체에서는 실험개시 후 24시간이 경과한 시점에서 아가미 개폐운동이 지속되고 있지만 삼투질 농도는 약 460 mOsm/kg을 상회하여 어체내 삼투조절 기능은 거의 상실한 것으로 나타났다.

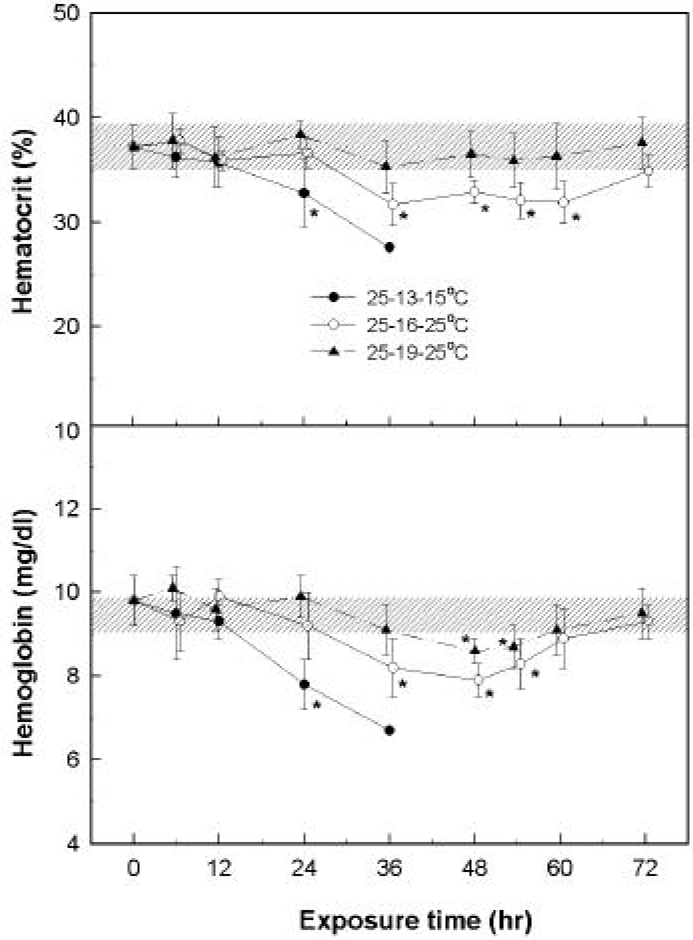


Fig. 4.6 Blood hematocrit and hemoglobin content of red sea bream exposed to the sharp water temperature during the time course of Exp. Ⅰ

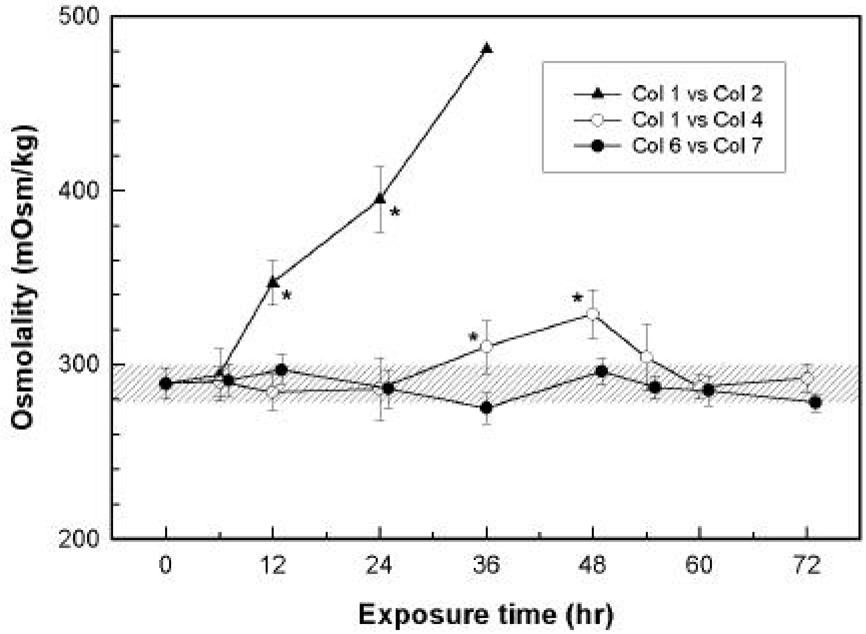


Fig. 4.7 Variations of osmolality in red sea bream exposed to the sharp water temperature during the time course of Exp. Ⅰ

4.3.5 고 찰

어체가 수온변화에 적응될 때에는 적응온도와 적응기간이 중요한 인자로 작용하며, 여름에는 고온에 대하여 겨울에는 저온에 대하여 저항력이 커지며, 고수온에 적응된 어류는 저수온에 약한 것으로 알려져 있다[48]. 본 실험에서 참돔은 수온 25℃에서 13℃의 저수온에 단기 노출된 Exp. Ⅰ과 24시간에 걸쳐 25℃, 19℃, 13℃에 단계적으로 노출시킨 Exp. Ⅱ의 수온조건에서도 실험개시 후 72시간에 이르면 모든 개체가 치사하였다. 그러나 24시간 동안 19℃에 유지시킨 뒤 13℃의 저수온에 노출된 실험군의 48시간이 지난뒤 생존율은 약 40%를 보였다. 이는 저수온에 단계적으로 노출되면서 어체에 미치는 저수온 충격이 다소 완화된 결과로 생각된다.

어류가 환경변화에 직면하게 되면 혈중에 글루코스 신합성을 촉진하는 코티졸 분비가 증가하게 되고, 이로인해 혈당이 증가하기 때문에 혈중의 코티졸 농도를 어체가 받는 스트레스의 1차 지표로, 포도당은 2차 지표로 활용되고 있다. 코티졸은 스트레스 반응 시 즉각적으로 농도가 증가하고, 혈당에 비해 농도변화 특성이 조기에 소멸되므로 혈당 측정을 병행하여 스트레스에 대한 어류의 생리적 반응을 조사하고 있다. 코티졸은 대부분의 경골어류에서 중요한 corticosteroid로서 스트레스 반응의 지표로 인정되고 있다[49].

본 연구에서 참돔의 혈중 코티졸과 글루코스 농도의 변화[50]는 넙치에 비해서는 높았으며, 동종에 대한 Ishioka [22]의 결과에 비해서는 다소 낮았다. 이것은 어종 및 실험 조건이 타 연구와 다르고, 종 특이성과 수온 변화폭의 차이 등으로 다른 어종의 연구 결과와 직접 비교하기는 어렵다. 세가지 수온조건, 25 19℃, 25 16℃ 및 25 13℃로 수온을 내려서 실험개시 후 48시간에 25℃로 상승시켰을 때 보이는 참돔의 생리상태는 비교적 명확하게 나타났다. 참돔에 대하여 25℃에서 19℃로 수온변화를 가하면 폐사 개체는 발생하지 않았으나 노출초기에 저수온 스트레스가

상존하는 것으로 나타났으며, 코티졸과 혈당의 농도로 볼 때 약 36시간이 지나면 생리상태는 회복하는 것으로 보였다. 또한, 이후에 수온을 25℃로 다시 상승시켜도 스트레스 반응은 관찰되지 않았다. 그러나 25℃에서 16℃로 수온 강하 폭을 크게 하면 저수온에 의한 스트레스는 지속적이었고, 25℃로 수온이 환원된 조건에 접하게 되면 코티졸과 혈당이 증가하는 점으로 보아 어체에 미치는 스트레스가 가중되는 것으로 추정된다. 한편 25℃에서 13℃로의 수온변화에 접한 어체는 생리상태의 변화가 심각하였으며, 생존율 감소가 급증하였다. 실험어가 6시간의 짧은 기간에 경험수온 보다 12℃ 낮은 수온변화에 노출되면 생리상태의 불균형으로 인하여 체내 항상성 유지가 어려운 것으로 사료된다.

어체가 치사에 도달하는 시점에 혈청 삼투질 농도가 현저하게 증가한 점은 생리상태 변화가 극심함으로써 아가미나 신장에서의 삼투조절 기능이 상실된 것으로 볼 수 있다. 한편, 외양성 어류는 환경변화가 다양한 연안에 서식하는 연안 정착성 어류에 비해 수온과 염분 변화에 대한 내성이 낮은 것으로 보고되고 있다[51]. 본 실험의 참돔은 넙치에 비하여 수온변화에 대한 스트레스가 큰 것으로 나타났다[22, 50]. 넙치의 경우 23℃에서 14℃의 저수온에 노출되어도 스트레스 반응은 비교적 미약하였으며, 연속적인 수온변화 조건에서도 내성능력이 높은 것으로 보고되었다. 넙치는 저서성이며 활동성 어류 보다 산소소비량이 적어 스트레스에 덜 민감하거나 수온하강에 대하여 일시적으로 낮아진 대사량 및 낮은 에너지 요구량 때문일 것으로 추정하고 있다.

4.4 소결론

넙치에 대한 저수온 스트레스 반응과 참돔의 저수온 노출에 따른 스트레스 반응패턴을 상호 비교하여 볼 때 참돔은 저수온 내성이 낮은

것으로 나타났다. 일반적으로 외양성 어류는 환경변화가 심한 곳에 서식하는 연안 정착성 어류에 비해 수온과 염분 등의 환경변화에 대한 내성이 낮은 것으로 알려져 있다. 이는 우리나라 연안 양식장에서 사육되고 있는 어류 가운데 동계 저수온으로 인한 폐사 피해는 참돔, 감성돔에서 빈발하고 있으며, 돔류 중에서 돌돔은 연안에서 멀리 떨어진 동계수온이 약 10℃ 이상 유지되는 외해나 제주도 인근에서만 양식되고 있는 점으로 보아 그 추정이 가능하다.

(1) 하계수온대인 25℃에 적응된 참돔은 그보다 6℃ 낮은 19℃에서는 어체의 항상성이 유지되고 있었으며, 참돔의 경우 16℃에서는 저수온 스트레스 영향으로 생리상태의 변화가 수반되었다. 그러나 25℃에 적응된 참돔을 19℃에서 6시간 노출시킨 뒤 24시간 유지시켜서 다시 16℃로 수온을 낮춘 경우에는 폐사 개체가 발생하지 않았으며, 13℃로 수온을 낮추었을 때에는 폐사되는 현상이 있었으나 폐사가 Exp. Ⅰ의 같은 온도 조건 때보다 지연되는 현상을 볼 수 있었다. 이러한 점은 활어의 고밀도 수용 및 안전수송을 위하여 고려되어야 할 것으로 판단된다.

(2) 어체가 수온변화에 적응하기 위해서는 직전의 서식수온을 기준으로 적응온도와 적응기간이 중요한 요인으로 작용하는데 여름에는 고온에 대하여, 겨울에는 저온에 대하여 저항력이 커지며, 고수온에 적응된 어류는 저수온에 대한 내성이 약하다. 따라서 하계 고수온 시기의 수온대를 기준으로 참돔의 생리상태에 미치는 저수온 영향을 조사해 본 바 하계에 연근해에서 어획된 돔류(참돔, 감성돔, 돌돔 등)는 활어조 수온을 10℃ 이내로 낮추어 수용하여야 활어 생존율을 높일 수 있으며, 또한 하계 수온대에 비해 수온을 5 6℃ 단계적으로 낮추어 10℃ 내외로 하강시키는 방법은 어획물의 저온 폐사 피해를 막을 수 있을 것으로 판단된다.

제 5 장 해수냉각시스템의 탑재시 선박의 안정성 검토

5.1 서 론

해수냉각시스템을 실제 소형 어선에 탑재하여 조업을 했을 때 조업기간을 늘리고, 적게 어획하더라도 활어상태나 선도를 잘 유지하여 어가의 부가가치를 높여, 연안자원의 보호 및 수산물 수입개방에 대비한 어민소득 증대에 기여할 수 있는 10톤 이하의 소형 연안 조업선용 패키지형 활어조 해수냉각시스템 개발하기 위해 제작된 패키지형 해수냉각 시스템의 탑재에 따른 중량변화가 선박의 안정성에 미치는 영향을 파악할 필요가 있다.

G/T 10톤급 어선의 중량물 추가에 따른 안정성의 판정은 일반적으로 경사시험을 통하여 판단하게 된다. 그러나, 10톤급 소형 어선의 경우 지금까지의 경험치로 복원성 기준을 마련하고 있으며 별도의 경사시험을 행하고 있지는 않다.

본 장에서는 중량 변화가 배수량과 중심에 미치는 영향과 중량변화가 복원성에 미치는 영향, 그리고, 중량변화에 의한 경사시험 등을 토대로 하여 해수냉각시스템을 선박에 적재하였을 때 선박의 안정성을 검토하였다.

5.2 연안 조업선의 구조

Fig. 5.1은 10톤급 연근해 조업 선박의 구조를 나타내고 있다. 선체는 FRP의 재질로 만들어져 있고, 선체의 앞쪽에 활어조가 있다. 해수냉각시스템이 설치되어 있지 않는 대부분의 선박의 경우 활어조 하부에는 해수가 유입될 수 있도록 여러 개의 환수공이 뚫어져있다. Fig. 5.2는 실제 조업에 사용되고 있는 선박이다. Fig. 5.3은 해수냉각시스템의 전체 배관도를 나타내고 있다. 압축기는 활어조의 온도조절기에 의해 자동으로 작동되며, 압축된

고온고압가스는 수냉식 쉘앤튜브형의 응축기에서 응축된다. 응축기의 냉각수는 해수냉각펌프에 의해 공급되며, 펌프의 측면에 온도센서를 부착하여 냉각수가 부족할 경우 상승되는 온도에 의해 냉각시스템을 자동 정지시킬 수 있도록 하였다.

증발기는 쉘앤튜브형으로 티타늄 튜브를 사용하였는데 해수에 대한 부식을 방지하며 튜브의 재질로 인해 어획물이 오염되지 않도록 설계하였다. 또한 산소의 공급은 증발기를 나온 냉수배관에 벤추리 효과를 적용하여 기포를 발생토록하여 원활한 산소 공급을 할 수 있도록 하였다.

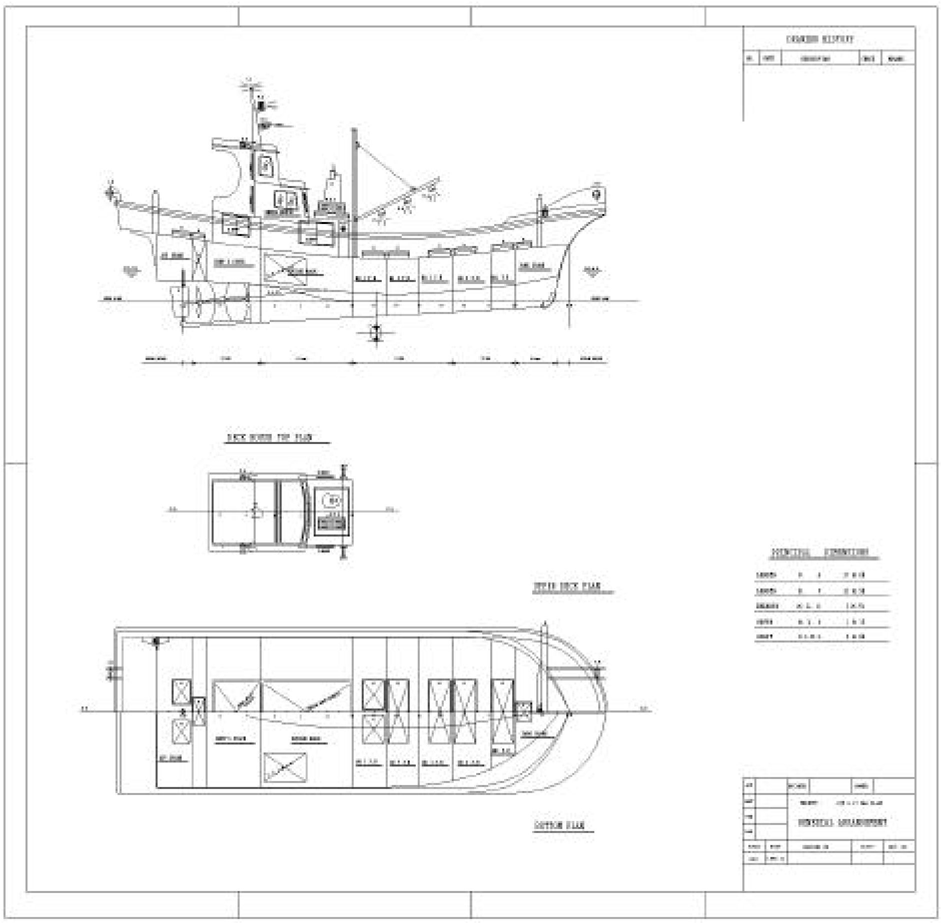


Fig. 5.1 Schematic diagram of design for 10tons fishing vessel

Fig. 5.2 Photograph of fishing vessel with a sea water cooling apparatus

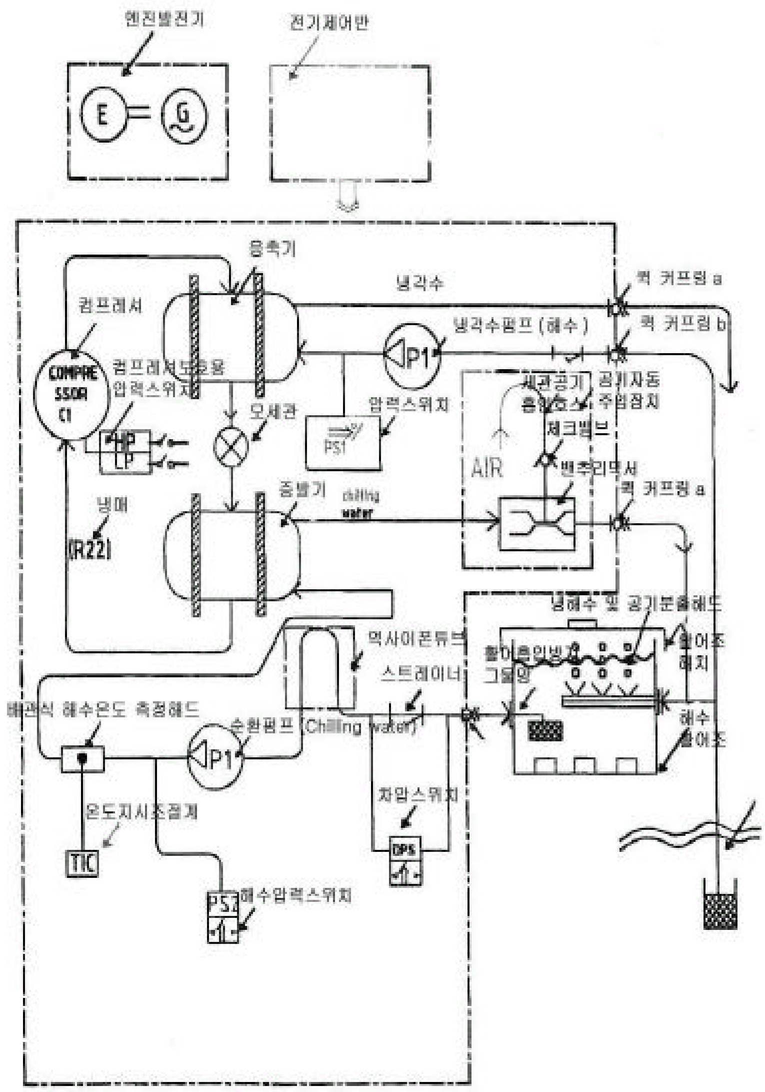


Fig. 5.3 Diagram of piping line and apparatus arrangement of sea water cooling system

5.3 선박의 안정성 검토

5.3.1 중량변화가 선박의 안정성에 미치는 영향 평가

(1) 중량 변화가 배수량과 중심에 미치는 영향

G/T 10톤급의 어선에서 중량의 변화가 선박의 배수량과 중심에 미치는 영향은 중량 추정 방법으로 계산하였다. 이 방법에서는 중량품의 목표를 선정하고, 그 위에 3개의 참고면으로부터 그들의 레버와 모멘트를 기입하여 이들 중량의 합과 모멘트의 합을 계산하였다. 현재 상태 선박의 중량 품목들과 그들의 모멘트를 표 속에 모두 기입하고 빼거나 더해진 품목들을 포함시키면, 총합계는 변화가 일어난 후의 선박의 중량과 모멘트를 나타내게 된다.

여기에 하나의 품목이 더해지면, 선박의 중심은 더해진 품목의 중심 쪽으로 이동하게 된다. 한편, 하나의 품목이 제거되면, 선박의 중심은 제거된 품목의 중심으로부터 멀어지는 쪽으로 이동하게 된다. 이 두 경우에, 선박의 중심은 선박과 품목의 중심들 사이의 거리에 품목의 중량과 그것이 더해지거나 제거된 후의 선박의 중량과의 비를 곱한 것과 같은 거리만큼 이동하게 된다.

$$\text{G의 이동 거리} = \text{중심들 사이의 거리} \times \frac{\text{밸러스트의 중량}(w)}{\text{밸러스트된 선박의 중량}} \qquad (5.1)$$

일반적으로 모든 선박에는 복원성이 있지만, 그 복원력의 크기는 선박에 따라서 차이가 있기 때문에 원상태로 되돌아오려는 힘의 크기에 따라 복원력의 좋고 나쁨을 판단하고 있다. Fig. 5.4에 나타낸 것과 같이 파랑 등의 외력에 의해서 선박이 작은 각도로 경사를 하였다면 중심 G에 대한 중력과 B'로 부력의 작용점이 이동하므로 선박은 직립상태(upright position)로 되돌아가려고 한다.

Z를 중심 G로부터 부력의 작용선에 있는 수선의 투영점이라고 하면, $\Delta \times \overline{GZ}$ 만큼의 우력이 작용하고 있다고 말할 수 있다. 이 우력을 복원우력(righting couple) 또는 복원 모멘트(righting moment)라고 말하는데 $\Delta \times \overline{GZ}$의 크기에 따라서 복원성능이 강하게 된다. 이 $\Delta \times \overline{GZ}$를 복원력이라 하고, 또한 $\overline{GZ}$를 복원팔(righting arm 또는 righting lever)이라고도 부른다.

$\overline{GZ}$의 값은 경사각 θ에 따라서 달라지므로, 이를 계산하여 복원력 곡선(stability curve)으로 나타내 주어야 한다. 만약, 선박의 경사각도 θ가 15°이내의 작은 각도라고 하면 가로 메타센터(transverse metacentric) M_T의 위치는 변하지 않는다고 가정할 수 있으므로, 초기 복원력은 Fig. 5.4에서와 같이 가로 메타센터 높이(transverse metacentric height) $\overline{GM_T}$에 의해서 표시될 수도 있다.

직각 삼각형 ΔGM_TZ에서

$$\sin\theta = \frac{GZ}{GM_T} \tag{5.2}$$

$$GZ = GM_T \sin\theta \tag{5.3}$$

경사각 θ가 작은 값을 갖는 경우라고 한다면 $\overline{GZ}$는 다음의 식으로써 구할 수 있다.

$$\text{stability} = \Delta \cdot \overline{GZ} = \Delta\overline{GM_T} \cdot \sin\theta \tag{5.4}$$

바꾸어 말하면, θ가 15°이내의 복원력을 초기 복원력(initial stability)이라고 부른다. 따라서, 식 (5.4)와 Fig. 5.4로부터 가로 메타센터 높이 GM_T가 초기 복원성능의 척도가 됨을 알 수 있으며, 중심 G와 가로 경심 M_T의 상

대적인 위치에 따라

$GM_T > 0$ **이면, 안정**

$GM_T = 0$ **이면, 중성평형**

$GM_T < 0$ **이면, 불안정**

인 것을 알 수 있다. 그러므로, 선박의 초기 복원성능을 판정하기 위한 가로 메타센터 높이 GM_T**는,**

$$GM_T = KM_T - KG = KB + BM_T - KG \tag{5.5}$$

로써 계산하였다.

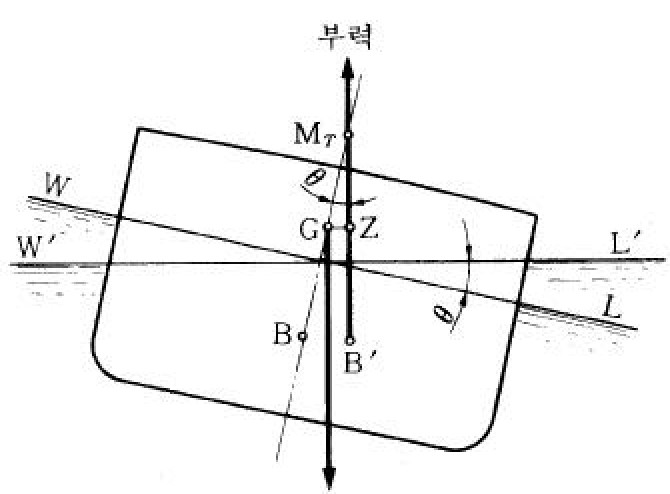


Fig. 5.4 Safety test of ship

(2) 중량변화가 복원성에 미치는 영향

선박의 중량 변화가 복원성에 미치는 영향을 산정하려면, 변화 후의 배수량에 대한 복원 아암과 메타센터 높이를 구하고, 중심의 수직 위치와 가로 방향의 위치를 다시 계산하면 된다. 이 계산에는 탱크 속의 유동 액체의 변화에 기인하는 효과도 포함되어야 한다. 선박의 배수량이 크게 변화하는 경우에는 탱크 용량에는 변화가 없더라도 유동 액체에 의한 복원 아암과 메타센터 높이의 감소 효과에 약간의 영향이 나타날 수 있는데, 그것은 그 감소량이 유동 액체의 모멘트를 배수량으로 나눈 것이기 때문이다.

다음의 해석은 주어진 중량 변화가 선박의 복원성을 증가시키는지 감소시키는지를 결정하는 데 사용된다. Fig. 5.5는 선박 안에서의 중량 이동으로 인하여 임의 각도로 경사한 선박을 보여 주고 있다. 이 선박의 점 p에 중량 w를 적재한 경우, 이 점에는 중량이 실려도 그 경사에서의 복원 모멘트에 변화가 일어나지 않는다고 가정한다. 이와 같은 중량이 적재되면, 그 선박은 WL로부터 평행 수선 WL까지 가라앉게 되고, 이들 수선 사이의 배수량은 w와 같을 것이다. 여기에서, 선박의 중량 W와 복원 아암 $\overline{GZ}$에 작은 하첨자(subscript) 1을 붙임으로써 중량 증가 후의 그 값들을 나타내면, 다음 식이 성립한다.

$$W \cdot GZ = W_1 \cdot \overline{G_1 Z_1} \tag{5.6}$$

이때, p와 G 사이의 수평 거리를 a라 하면, 중량 w의 적재에 따라 G는 수평 거리 $a \cdot w/W_1$ 만큼 이동하게 된다. 한편, WL과 W_1L_1 사이의 용적의 중심 q가 부심으로부터 수평 거리 b 만큼 떨어진 곳에 있다고 하면, 부심과 점 Z는 수평 거리 $b \cdot w/W_2$ 만큼 이동하게 된다. 따라서, 복원 아암(righting arm) $\overline{GZ}$는 G와 Z의 이동량의 합만큼 감소하여 $\overline{G_1Z_1}$ 로 되고, 윗 식은 다음과 같이 된다.

$$W \cdot \overline{GZ} = W_1\left(\overline{GZ} - a \cdot \frac{w}{W_1} - b \cdot \frac{w}{W_1}\right) \tag{5.7}$$

따라서,

$$W \cdot \overline{GZ} = \overline{W_1} \cdot GZ - w(a+b) \tag{5.8}$$

그런데, $W_1 = W + w$ **이므로, 다음의 결과를 얻게 된다**.

$$W \cdot \overline{GZ} = W \cdot \overline{GZ} + w \cdot \overline{GZ} - w(a+b) \tag{5.9}$$

$$a = \overline{GZ} - b \tag{5.10}$$

마지막 식은 점 p**와** q**가 동일한 세로 연직 평면 위에 있어야 만족된다는 것을** Fig. 5.5**로부터 알 수 있다**.

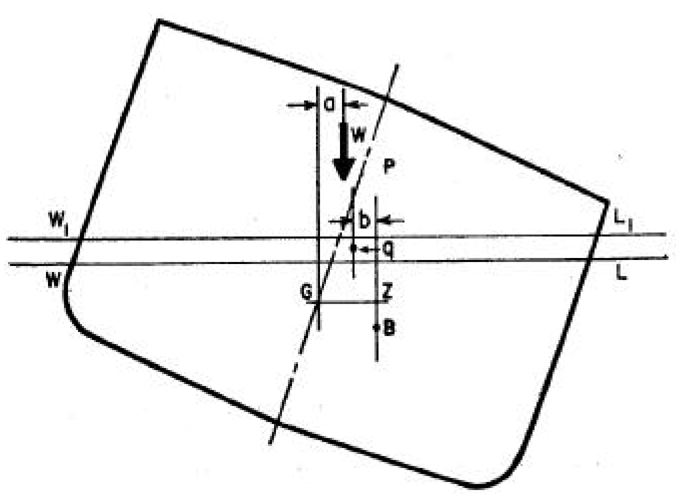


Fig. 5.5 Deactivation test of ship

Fig. 5.6은 점 q를 지나는 수직선이 그려져 있는데, 그 점은 추가된 중량으로 인하여 침하된 부분의 용적, 즉 WL과 W_1L_1 사이의 용적의 중심이다. 이 수직선과 반대 방향의 같은 경사각에 대응되는 연직선은 선박을 4구역 A, B, C 및 D로 나눈다. 이 횡경사각에서, 침하 증가에 대응되는 추가 중량을 각 구역에 적재하였다고 가정하면, 다음의 효과가 나타나게 된다.

구역 A : 복원 모멘트는 선박이 어느 쪽으로 그 각도까지 경사해도 감소하게 된다.
구역 B : 복원 모멘트는 선박이 어느 쪽으로 그 각도까지 경사해도 증가하게 된다.
구역 C : 복원 모멘트는 선박이 Fig. 5.6과 같이 경사하면 증가하고, 반대쪽으로 그만큼 경사하면 감소하게 된다.
구역 D : 복원 모멘트는 선박이 Fig. 5.6과 같이 경사하면 감소하고, 반대쪽으로 그만큼 경사하면 증가하게 된다.

실용의 목적으로는 대단히 큰 중량 변화가 일어나지 않는 경우에는 점 q가 수선면의 도심에 있다고 가정할 수 있다. Fig. 5.6로부터 알 수 있는 바와 같이, 갑판의 가장자리가 잠길 때까지 횡경사나 흘수가 증가했다면, 그들의 그 이상의 증가는 점 q를 빨리 왼쪽으로 움직이게 할 것이며, 이에 따라 구역 B의 높이가 상당히 감소될 것이다. 횡경사나 흘수가 계속하여 증가하면, 구역 B가 사라지는 단계에 도달될 수 있는데, 이 단계에서는 낮은 위치, 이를테면 용골의 위치에 중량물을 적재하여도 복원 모멘트는 증가하지 않는다.

경사각이 0에 접근함에 따라, Fig. 5.6의 구역 A와 B는 대단히 좁아질 것이며, 점 q는 선박의 중심선에 접근할 것이다. 크지 않은 중량물을 싣거나 제거하는 경우의 작은 경사각에서는 구역 A와 B의 정점들이 수선과 선박의 중심선의 교점에 극히 가까운 곳에 놓이게 된다.

중심이 선박의 중심선 위에 있고, 부력이 선박의 중심선에 관해서 대칭

적으로 분포한다. 즉, 그 선박은 손상되지 않은 상태에 있다. 외부 모멘트는 어느 방향에서도 작용할 수 있으므로, 어떤 방법이 사용되더라도 그것은 양쪽 방향으로의 복원 모멘트를 증가시켜야 하고, 작은 경사각에서도 유효해야 한다. 그러므로, 가능한 방법들은 수선보다 낮은 곳에 중량물을 적재하여 그 중심이 선박의 중심선 위 또는 그 근처에서 수선보다 낮은 위치에 놓이게 되는 것이다.

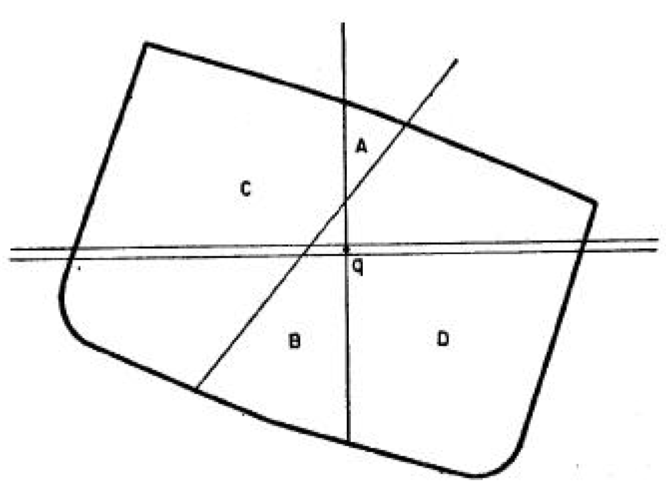


Fig. 5.6 Arrangement of cargo

(3) 중량변화에 의한 경사시험

선박의 중심의 수직위치는 초기 복원력의 관점으로 볼 때 중요하다. 그러므로 이 위치를 정확하게 아는 것이 필요하다. 경사상태의 선박의 중심의 위치는 강철, 의장품 및 기계류와 같은 모든 중량물들을 고려하여 그들 각각의 중심을 찾아냄으로써 결정될 수 있다. 어떤 특정한 하중상태에 대해서는 그 선박에 적재되는 모든 품목들을 그들의 중심을 적절하게 고려하여 더해 주어야만 하고 이렇게 해서 하중상태에서의 중심의 위치를 결정할 수 있

게 된다.

경사시험은 매우 간단한 것으로 미리 알고 있는 중량물을 갑판을 가로질러 기지의 거리만큼 이동시킨 후 그 때 일어나는 작은 경사각을 측정함으로써 수행된다. 동시에 그 선박이 떠 있는 흘수도 측정하는데 이로부터 중량이 결정될 수 있다. 그리하여 경사상태에 놓여 있는 선박의 메터센터 높이를 계산할 수 있으며 기선으로부터 메터센터까지의 높이는 그 선박이 떠 있는 평균 흘수에 대한 유체정력학적 특성곡선들로부터 알 수 있기 때문에 기선으로부터 중심까지의 거리를 결정할 수 있게 된다.

경사시험의 근거를 이루는 이론은 아주 단순하며 그 과정은 Fig. 5.7에 나타내었다. 각기 질량 m인 두 세트의 중량물 w를 선박의 중앙부에서 양쪽 측면 가까이에 놓는다. 여기서 좌·우현에 놓인 두 중량물들 사이의 거리는 h라고 한다.

이제 No.1의 중량물을 갑판을 가로질러 가로방향으로 이동시켜 No.3와 No.4쪽에 갖다 놓는다. 이 때 G는 G_1으로 이동되고 부심이 B_1으로 이동될 때까지 그 선박은 각도 θ만큼 경사지게 된다.

$$GG_1 = \frac{mh}{M} \text{ 또는 } \frac{wh}{W} \tag{5.11}$$

여기서, M은 선박의 질량이고, W는 그 선박의 무게이다. 또한

$$\frac{GG_1}{GM} = \tan\theta \tag{5.12}$$

$$GM = \frac{GG_1}{\tan\theta} = \frac{wh}{w}\cot\theta \tag{5.13}$$

여기서, θ의 값은 여러 가지 방법으로 구할 수 있는데 흔히 적용하는 방

법 중의 하나는 진자를 이용하는 방법으로 진자를 갑판에 매달아 그것을 선창 내로 길게 늘어뜨려 행하는 방법이다. 중량물을 이동시킬 때마다 변위 d를 측정하면, L을 진자의 길이라고 할 때, $\tan\theta = d/L$ 이 될 것이다. 또 한 가지 방법은 스태빌로그래프라 불리우는 기구를 사용하는 방법이며, 이 기구는 회전 원동(drum)에 부착된 종이 위에 시간에 따른 경사각을 기록해 준다.

메터센터의 높이가 결정되었을 때 기선으로부터 중심까지의 높이는 그 선박이 떠 있는 평균 흘수에 대하여 유체 정역학적 특성곡선들로부터 구한 KM의 값에서 이 메터센터의 높이를 빼줌으로써 구할 수 있다.

$$KG = KM - GM \tag{5.14}$$

경사시험상태에 있어서의 이 KG의 값은 경하중량에 대한 값을 얻기 위하여 경하중량과 차이를 나타내는 원인이 되는 각 중량물에 대하여 수정되어야만 한다. 경사시험은 주로 선박의 중심의 연직위치를 구하는데 사용되나 동시에 중심의 세로 위치를 계산하는 데도 마찬가지로 사용된다.

5.3.2 G/T 10톤급 어선의 중량물 증가에 따른 안정성

이상에서 살펴 본 바와 같이 중량과 중심의 높이는 그 선박의 복원성의 타당성 여부를 결정하는 중요한 요소가 된다. 중량과 중심의 세로 방향의 위치는 그 선박이 뜨게 될 흘수를 결정하게 된다.

G/T 10톤급 어선의 중량물 추가에 따른 안정성의 판정은 일반적으로 경사시험을 통하여 판단하게 된다. 그러나, 10톤급 소형 어선의 경우 지금까지의 경험치로 복원성 기준을 마련하고 있으며 별도의 경사시험을 행하고 있지는 않다.

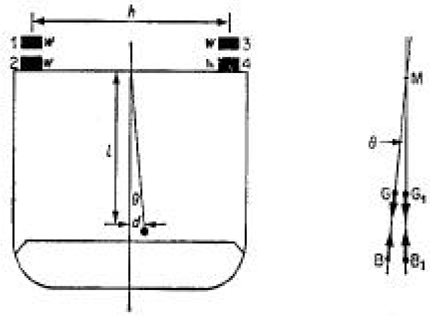


Fig. 5.7 Gradient test

5.4 소결론

Fig. 5.1과 같은 구조의 10톤급 어선에 설치하고자 하는 중량물은 크기가 89cm×46cm×63cm 정도이며 무게가 150kg 정도이다. 일반적으로 모든 선박에는 설계시에 중량과 중심의 여유를 두고 있다. 이들 여유의 양은 설계자의 경험에서 산출되며, 사용할 수 있는 지식의 정확성과 범위에 따라 다소 변화한다. 특별한 기능을 포함하지 않는 일반적인 어선 선박에 적용하는 경하중량의 여유량은 소형 어선의 경우 6 7%이다. 따라서 별도의 경사시험을 행하지 않고도 150kg 정도의 중량물을 10톤급 어선의 VCG(Vertical center of gravity)에 설치하면 선박의 안정성에는 문제가 없을 것으로 생각된다.

제 6 장 결 론

본 연구는 소형어선에서 어획된 활어의 수송 및 저장을 위한 해수냉각장치의 개발을 위한 기초연구로써, 실험에 사용된 냉각기의 주엔진으로는 5마력용 엔진을 사용하였고, 응축기와 증발기는 티타늄관을 사용한 수냉식 코일형 열교환기를 사용하였다. 냉각장치의 성능특성을 위한 실험에서는 실제 어획된 활어의 양을 열량으로 환산하여 투입하였을 때 발생하는 수온변화에 대한 장치의 특성을 살펴보았고, 수조의 깊이와 환수량을 파라미터로 사용하여 열 및 유동 특성을 수치해석을 통해 규명하였으며, 압축기의 회전수와 냉매유량을 파라미터로 정하여 활어조 내 열 부하 특성에 대해서도 실험을 통해 규명하였다. 압축기는 차량용 에어컨에 사용되는 M사 제품이며, 토출량은 130CC급으로 소형 승용차에 적용되는 모델을 사용하였다. 측정범위는 회전수 2000 2500rpm으로, 냉매는 R-134a를 사용하였다.

수온 변화에 따른 어류의 생존율에 관한 실험에 있어서는 내성이 가장 약하다는 참돔을 사용하여, 수온변화에 따른 생존율을 파악하여 최적의 수온관리에 대한 대책을 제시함으로써 활어의 고밀도 수용 및 안전수송에 대한 방향성을 제시할 수 있었다.

또한, 개발된 해수냉각장치가 소형 선박에 설치할 경우 선박의 복원성이나, 중량변화에 의한 경사 시험에서도 안전하다는 것을 밝혔다.

1. 열 및 유동특성

소형어선용 활어조 해수냉각장치 개발을 위한 기초연구의 일환으로 활어조내의 열 및 유동특성을 이론적으로 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 수조의 깊이와 유입 환수량을 파라미터로 사용하여 유입 환수량의 변화보다는 활어조의 깊이를 적절히 제어하므로써, 수조의 온도를 적절히 유지할 수조내의 염화나트륨수용액 온도와 유동변화를 알 수 있었다.
(2) 여름철 활어조의 온도를 유지함에 있어서 비브리오 패혈증의 원인균의 성장을억제 시키기 위한 온도 범위가 15℃ 미만인 점을 감한하였을 때 저온화 유지는 수조의 깊이를 가능한 작게 취하는 것이 온도차를 작게 할 수 있었고, 경제적인 운전을 할 수 있음을 알 수 있었다.

2. 활어조의 성능특성

선박용 최적 해수냉각시스템 개발을 위해 압축기 회전수와 냉매유량, 그리고 활어조의 해수 출구위치가 연근해 어선용 활어조 및 냉각장치에 미치는 영향을 파악한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 압축기 회전수와 냉매유량을 파라미터로 냉각장치의 냉매 증발온도 및 모형활어조 내 해수의 온도변화를 파악한 결과 이들은 냉매의 증발온도 및 활어조 내 온도변화에 영향을 미치므로 어획물의 선도유지나 활어 생존율 증대 및 장기 보존을 위한 장치 설계 시 고려해야할 중요한 인자로 작용할 것으로 판단되었다.
(2) 활어조 내 투입 열 부하 및 출구위치를 파라미터로 압축기 흡입온도 및 활어조 내 해수의 온도변화를 파악한 결과 시간 경과에 따라 흡입온도는 감소하였으며, 출구 위치에 따라 활어조 내 상하 수직 온도분포에 영향을 미치므로 출구 위치선정에 있어 유의해야 할 것으로 판단되었다.

3. 선박용 활어조의 성능특성

별도의 엔진 구동형 소형 패키지 해수냉각시스템을 개발하기 위하여 압축기 회전수와 응축기의 냉각수 유량 및 온도, 증발기의 냉수 유량을 파라미터로 장치의 운전특성을 파악한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 압축기 회전수와 증발기의 냉수 및 응축기의 냉각수 유량이 증가할수록 장치의 냉동능력은 증가하였으며, 구동엔진의 연료소비량도 증가하였다.
(2) 별도 엔진 구동형 소형 해수냉각장치 개발 및 운전조건 변화에 따른 시스템의 특성과 운전조건 변화의 상관관계를 파악할 수 있었으며, 시스템 상용화 설계 및 운전시 기초자료를 얻을 수 있었다.

4. 어류 생존율에 의한 해수냉각시스템의 평가

넙치에 대한 저수온 스트레스 반응과 참돔의 저수온 노출에 따른 스트레스 반응패턴을 상호 비교하여 볼 때 일반적으로 참돔은 저수온 내성이 낮은 것으로 나타났다. 따라서 수온 변화에 대한 어류의 생존율 평가에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 하계수온대인 25℃에 적응된 참돔은 6℃ 낮은 19℃에서는 어체의 항상성이 유지되고 있었으며, 16℃에서는 저수온 스트레스 영향으로 생리상태의 변화가 수반되었다. 그러나 25℃에 적응된 참돔을 19℃에서 6시간 노출시킨 뒤 24시간 유지시켜서 16℃로 수온을 낮춘 경우에는 폐사 개체가 발생하지 않았으며, 13℃에서는 폐사 발생이 지연되는 현상을 볼 수 있었다. 이러한 점은 활어의 고밀도 수용 및 안전수송을 위하여 고려되어야 할 것으로 판단된다.

(2) 하계 고수온 시기의 수온대를 기준으로 참돔의 생리상태에 미치는 저수온 영향을 조사해 본 바 하계에 연근해에서 어획된 돔류(참돔, 감성돔, 돌돔 등)는 활어조 수온을 10℃ 이내로 낮추어 수용하여야 활어 생존율을 높일 수 있으며, 또한 하계 수온대에 비해 수온을 5 6℃ 단계적으로 낮추어 10℃ 내외로 하강시키는 방법은 어획물의 저온 폐사 피해를 막을 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. K. Katayama & A. Saito, "Heat Transfer Characteristic of the Latent Heat Thermal Energy Storage Capsule", Solar Energy, Vol. 27, pp.91-97, 1981.
2. S. E. Guceri & S. F. Faunce, "Modeling of Thermal Panel Using Phase Change Material", Energy, Vol. 4, pp.695-699, 1979.
3. N. Ranachandran, Y. Jalurid and J. P. Gupta,"Thermal and Fluid Flow in one-Dimensional Solidification",Letters in Heat & Mass Transfer, Vol. 8, pp.69-77, 1981.
4. H. Rieger and Beer, "The Melting Process of Ice Inside a Horizontal Cylinder;Effect of Density Anomaly", Trans. ASME J. of Heat Transfer, Vol.108, pp.166-173, 1986.
5. F. E. Moore and Y. Bayzzitoglu, "Melting with a Spherical Closure", ASME J of Heat Transfer, Vol.104, pp.19-23, 1982.
6. E. M. Sparrow, E. D. Larson and J. W. Ramsey, "Freezing on a Finned Tube Conduction-Controlled or Natural-Conduction-Controlled Heat Transfer", Int.J. Heat Mass Transfer, Vol.24, pp.273-284, 1981.
7. B. Kabori and S. Ramadhyni, "Studies on Heat Transfer from a Vertical Cylinder with or without Fins, Embedded in a Solid Phase Change Medium", Trans. ASME J. of Heat Transfer, Vol.107, pp.44-51, 1985.
8. A. Goldman and Y. C. Kao, "Numerical Solution to a Two-Dimensional conduction Problem Using Rectangular and Cylinderical Body-Effected oordinate System", Trans. ASME J. of Heat Transfer, Vol.103, 1981.
9. M. A. Hastaoglu, "A Numerical Solution to Moving Boundary Problems Application to Melting and Solidification", int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 29, No.3, pp.495-499, 1986.

10. R. W Hewis, K. Morgan and O.C ZienKiewical, "Numerical in Heat Transfer", John Wiley 2Sons, 1981
11. Stephen B. Marks, "An Investigation of the Thermal Energy Storage Capacity of Glauber's Salt", Solar Energy, Vol. 25, pp. 255-258, 1980
12. Stephen B. Marks, "The Effct of Crystal Size on the Thermal Energy Storage Capacity of Thickened Glauber's Salt", Solar Energy, Vol. 30, No. 1, pp. 45-49, 1983
13. M. J, Reiser and F. J. Appl, "A Numerical Method for Heat Conduction Problems", Trans. ASME J. of Heat Transfer, pp. 307-312, August, 1974
14. G. W. Barry, J. S. Gooding, "A Stefan Problem with Contact Resistance", Int. J. Heat Transfer, Vol. 109, pp. 820-825, 1987
15. **정효민**, "**최적 양식환경을 위한 수조식 양식장내의 유동특성에 관한 연구**", **한국학술진흥재단**, pp.20-23, 1998.
16. **김경교**, "**장어통발 어선 활어창 냉각시스템 개발**", **한국어선협회**, pp.150-178, 1996.
17. Cheng, K. C. and Takeuchi, M, "Transient Natural Convection of Water in a Horizontal Pipe With Constant cooling Rate Through 4℃", J. Heat Transfer, Vol. 98, pp.581-587, 1976.
18. **윤정인**, **조영제**, "**해수냉각 시스템 성능에 미치는 냉매 배관길이의 영향**", **한국어업기술학회지**, pp.346-351, 1998.
19. **송찬호**, **이대영**, **노승탁**, "**증발식 열교환기에서 열과 물질전달과정의 해석**", **공기조화냉동공학회 학술강연회**, pp.257-261, 2000.
20. **이성호**, **김경훈**, **양시영**, "**압축기 회전수에 따른 과냉각 응축기 특성에 대한 연구**", **공기조화 냉동공학회**, pp.46-51, 2000.
21. **윤정인**, **임종극**, **김재돌**, "**해수냉각장치용 어창 내의 열 및 유동 특성**", **대한기계학회 춘계학술강연회**, pp.885-890, 1999.
22. Ishioka, H. 1980. Stress reactions in the marine fish-I. Stress

reactions induced by tenperature change. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 46, 523 532(in Japanese).

23. Davis, M.W., B.L. Olla and C.B. Schreck. 2001. Stress induced by hooking, net towing, elevated sea water temperature and air in sablefish: lack of concordance between mortality and physiological measures of stress. J. Fish. Biol., 58, 1-15.
24. Tsuzuki, M. Y., K. Ogawa, and C.A. Strussmann. 2001. Physiological responses during stress and subsequent recovery at different salinities in adult pejerrey *Odontesthes bonariensis*. Aquaculture, 200, 349-362.
25. Barton, B. A. and C. B. Schreck. 1987. Influence of acclimation temperature on interrenal and carbohydrate stress responses in juvenile chinook salmon(*Oncorhynchus tshawytscha*). Aquaculture, 62, 299-310.
26. Pickering, A. D. 1992. Rainbow trout husbandry: management of the stress response. Aquaculture, 100, 125-139.
27. Sindermann, C, J. 1996. Ocean pollution: effects on living resources and human (Kennish M.J. and Lutz P.L. eds), pp. 9-32. CRC Press.
28. Schreck, C. B., B. L. Olla, and M.W. Davis. 1997. Behavioral responses to stress. In Fish Stress and Health in Aquaculture (Iwama, G. K., Pickering, A. D., Sumpter, J. P. and Schreck, C. B., eds), pp. 145-170. Cambridge: Cambridge University Press.
29. Mazeaud, M. M., F. Mazeaud and E.M. Donaldson. 1977. Primary and secondary effects of stress in fish: some new data with a general review. Trans. Am. Fish. Soc., 106, 201 212.
30. Schreck, C. B. 1981. Stress and compensation in teleostean fishes: responses to social and physical factors. In Stress in fish, A. S. Pickering. ed. Academic Press, London, pp. 295 321.
31. **정효민** 1997, “**육상 수조식 양식장내의 열 및 유동특성**”, **공기조화 냉동공**

학회 '97하계학술발표회 논문집, pp 628 633

32. 윤정인, 1998, “어창용 해수냉각장치에 관한 실험적 연구”, 공기조화 냉동공학회 ‘98동계학술발표회 논문집, pp 66 71

33. 김경교, 1996, “장어통발어선 활어창 냉각시스템 개발”, 한국어선협회, pp. 150 178

34. 이종섭, 1994, “순환여과식 사육수조의 수리학적 연구”, 한국수산학회지, 27권, 2호, pp 173 182

35. 명현국, 1995, "수치유체역학“, 한미출판사, pp 125 140

36. 이재헌, 1988, “열전달 및 유체유동 수치해석”, 대한교과서주식회사, pp 129 155

37. 정효민, 1998, “최적 양식 환경을 위한 수조식 양식장내의 유동특성에 관한 연구”, 한국학술진흥재단, pp. 20 23.

38. 김경교, 1996, “장어통발 어선 활어창 냉각시스템 개발”, 한국어선협회, pp. 150 178.

39. 조영제, 1997, “횟감용 즉살활어의 저온 수송법 및 장치개발에 관한 연구”, 농림부, pp. 256 259.

40. 윤정인, 조영제, 1998, “해수 냉각시스템 성능에 미치는 냉매 배관길이의 영향”, 한국어업기술학회지, pp. 346 351.

41. 한인근, 김재돌, 윤정인, 2000, “소형 패키지 활어조 냉각시스템 개발”, 수산관련학회 공동학술대회, pp. 58 59.

42. 윤정인, 임종극, 김재돌, 1999, “해수 냉각장치용 어창 내의 열 및 유동특성”, 대한기계학회 춘계학술강연회, pp. 885 890.

43. 송찬호, 이대영, 노승탁, 2000, “증발식 열교환기에서 열과 물질전달과정의 해석”, 공기조화 냉동공학회 학술강연회“, pp. 257 261.

44. Cheng, K. C. and Takeuchi, M, 1976, “Transient Natural Convection of Water in a Horizontal Pipe With Constant Cooling Rate Through 4℃”, J. Heat Transfer, Vol. 98, pp. 581 587

45. **이성호**, **김경훈**, **양시영**, 2000, "**압축기 회전수에 따른 과냉각 응축기 특성에 대한 연구**", **공기조화 냉동공학회**, pp. 46 51.

46. Spethmann, D. H., 1989, "Optimal control for cool storage", ASHRAE Trans., pp. 1009 1015.

47. **윤정인**, **김재돌**, 1997, "**냉동설비공학**", **태훈출판사**, pp. 53 222.

48. Horning, W. B. I. and R. E Peatson. 1973. Growth temperature requirement and lower lethal temperature for juvenile snallnouth bass (*Mocropterus dolonieui*). J. Fish. Res. Bd. Can., 30, 1226 1230.

49. Donaldson, E. M. 1981. In *stress in Fish* (Ed. Pickering, A.D.), Academic Press, London, p. 11.

50. Chang, Y. J., M. R. Park, D. Y. Kang and B.K. Lee. 1999. Physiological response of cultured olive flounder (Paralichthys olivaceus) ob series of lowering seawater temperature sharply and continuously. J. Korean Fish. Soc., 32, 601-606.

51. Loeschcke, R. B. V. 1997. Enviromnental Stress, adaptation and evolution (Loeschcke, R. B. V. ed.), pp. 325. CRC Press.

감사의 글

결실이 다소 늦었지만 이제부터 다시 시작이라고 생각합니다.

본 논문이 결실을 맺도록 시종 지도 편달하여 주신 윤정인 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

논문을 심사하시고 유익한 조언을 하여 주신 금종수 교수님, 최광환 교수님, 정석권 교수님, 그리고 생산기술연구원 윤재호 박사님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 바쁘심에도 불구하고 본 논문을 완성하는 데 조언을 아끼지 않으신 오후규 교수님, 김종수 교수님, 김영수 교수님, 김은필 교수님께 감사드립니다. 그리고 어류 실험에 많은 도움과 조언을 해주신 부경대학교 식품공학과 조영제 교수님, 여수대학교 김흥윤 교수님께도 감사드립니다.

힘들고 어려울 때 많은 시간을 함께 하며 심기일전하도록 도와 준 최인수, 유선일 박사과정 동료와 동명대학 김재돌 교수에게 감사드리며, 앞서 학위를 받은 경험으로 조언을 아끼지 않은 설원실 박사님, 신진규 박사, 권오경 박사에게도 감사의 마음을 전합니다. 그리고 논문을 작성하는 데 여러 가지로 도움이 되는 말씀을 하여 주신 동명대학 건축설비과 장재은 교수님, 이철재 교수님, 가스냉동과 구학근 교수님께도 감사드립니다.

건강이 나쁜 상황에서도 실험장치 제작과 실험에 열과 성의를 다해 도와주시고 꾸준히 학업을 계속하도록 권유하신 서울에 계신 작은 자형께 감사드리며 빠른 쾌유를 바랍니다.

논문작성에 성심을 다하여 도와 준 문춘근, 실험과 자료정리를 도와 준 승문, 성호, 동휘, 멀리 베트남에서 유학 온 Phanthan Tong, 병진, 기석, 경현, 그리고 끝까지 논문정리에 애써준 이호생 후배에게 큰 고마움을 느낍니다.

어려운 여건하에서도 논문을 쓸 수 있도록 많은 시간을 할애해 준 (주)에이알 임직원들에게 감사함을 전하며 이번을 계기로 더욱더 멋진 회사를

만들 수 있도록 정진합시다.

끝으로 오늘의 제가 있기까지 항상 희생적으로 뒷바라지하여 주신 부모님께 머리 숙여 감사의 말씀을 올립니다. 또 장인·장모님, 형님, 누님, 자형, 형수님, 그리고 사랑과 인내로 오랜 시간을 견디고 도와 준 아내 영림, 딸 지수, 아들 창수에게 그 동안 못다한 사랑을 배가하여 줄 것을 약속하며 고마움을 전합니다.

2002년 1월 5일