

연근해 어선용 해수냉각장치의 열부하특성

한인근* · 문훈근** · 김재돌*** · 윤정인****

Heat Load Characteristics of Sea Water Cooling Apparatus on Inshore Fishing Boat

I-G Han, C-G Moon, J-D Kim and J-I Yoon

Key words : Fish Hold Storage(어창), Sea Water Cooling Apparatus(해수 냉각 장치), NaCl Solution(염화나트륨 수용액), Evaporating Temperature(증발온도), Load Characteristic(부하특성)

Abstract

The circumstance is giving the blow against fishermen with the incoming-decreasing and the difficulty of crew's supply & demand and management. In addition, the depression of the external situation like the departure of WTO system and the plan of EEZ proclaim is forcing fishery into improving their fishing condition. By this international and domestic circumstance, development of the sea water cooling apparatus for fish hold storage is demanded sincerely. First of all, we investigated load characteristics which based on development of sea water cooling system and optimum fish hold storage. The experimental results is as follows. In creasing the speed of compressor and mass flow rate of refrigerant, the temperature of NaCl solution is low. And the load characteristics experiment on fish hold storage outlet is as follows. As time goes by, increasing the mass flow rate of NaCl solution, temperature difference between inlet and outlet is small in a model of fish hold storage. These results provide many useful informations applicable to an actual design of sea water cooling system and optimum fish hold storage.

1. 서 론

최근 연근해 어장의 황폐화로 일시 다획성 어종의 어획량이 감소하고 있을 뿐만 아니라, 배타적 경

제수역 신포로 연근해어장의 상실에 따른 어획량의 감소가 예상되고 있다. 현행 어획물 중 정어리, 갈고등어, 소메가리 등의 일시 다획성 어종은 해수와 육상 빙을 50 : 50으로 하는 수빙식으로 저장·

* (주)에이안

** 부경대학교 대학원 냉동공조공학과

*** 동명대학교 건축기계설비과

**** 부경대학교 기계공학부(냉동공조전공)

수송함에 따라 선도유지가 어려워 대부분이 사료로 이용되고 있는 실정이다. 고품어, 정어리 등 소위 등푸른 생선들은 기능성의 **DHA**와 **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⁽⁴¹⁻⁴³⁾. 따라서, 기존의 저장 운반 방식 외에 선량 운반선 자체에 어창용 해수 냉각시스템을 설치하여 이용 할 수 있는 냉각시스템 개발이 필요하다.

어창용 해수 냉각시스템을 개발하기 위해서는 어류 저장법의 선도보존 효과에 관한 연구⁽⁴⁾, 최적 해수 냉각시스템의 개발⁽⁴⁴⁻⁴⁸⁾, 해수 냉각시스템용 어창의 개발⁽⁹⁾, 선량 운반선에서의 적용성 검토⁽⁴⁰⁾ 등에 관한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 연근해 어선용 해수 냉각시스템 개발에 있어 가장 기본이 되는 기기의 열부하 특성에 대한 기초 자료를 얻고자 압축기 회전수, 냉매 유량, 어창 출구위치 등을 파라미터로 하여 이들이 어창 내의 온도분포 및 냉각장치의 특성등에 미치는 영향을 밝혔다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도를 나타내며, Fig. 2는 실험에 사용된 모형 어창의 상세도를 나타낸다.

실험장치는 크게 냉각시스템과 어창부분으로 구성되며, 냉각시스템은 압축기, 응축기, 팽창밸브 및 증발기와 액분리기, 수액기, 관촬창(sight glass), 건조여과기(filter-dryer) 등의 부속기와 온도·압력 측정부로 구성되어 있으며, 각 기기들은 동관으로 연결되어 있다.

모형 어창은 실제 어창의 제작을 축소한 것으로 600×600×600의 크기로 제작하였으며, 모형 어창 내에는 Fig. 2와 같이 해수가 순환할 수 있도록 상부에 분배기(distributor)를 설치하여 냉각시스템인 냉동기의 증발기에서 냉각된 해수가 어창 내

로 일정하게 순환될 수 있도록 하였다.

어창 내는 **NaCl** 수용액을 해수로 가정하여 사용하였으며, 유량은 분배기 앞에 유량조절 밸브를 설치하여 조절하였다. 그리고 출구에도 측면에 높이 별로 20cm, 40cm, 가로 방향으로 15cm, 30cm, 45cm의 위치에 유출구를 설치하고, 유량 조절이 가능하도록 하였다. 그리고 응축기 입출구, 팽창밸브 입구, 증발기 입출구, 모형어창, 압축기 입출구에서의 압력과 온도를 측정하기 위해 압력계와 T형 열전대를 설치하였으며, 측정된 온도는 다채널 온도기로 기록하였다.

또한, 수액기와 액관 사이에는 체적식 냉매 유량계[0.8~8 l/min]를 설치하여 응축에서 응축된 냉

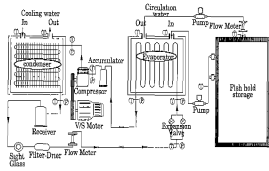


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

매유량을 측정할 수 있도록 하였다. 압축기는 반밀폐형으로 실린더의 내경이 45mm, 피스톤 행정 38mm, 회전수 범위 500~1800rpm이며, 회전수가 1450rpm 일 때, 토출량이 10.53m³/h인 HCFC-22용 왕복동식 압축기를 사용하였다. 압축기 구동용 모터는 정격출력이 3.7kW[5HP]이고, 회전수는 150~1500rpm까지 조절이 가능한 가변모터를 사용하였다.

응축기는 헬렌튜브식용 사용하였으며, 냉각수입출구에 C-C 열전대를 설치하여 입출구 온도를 측정하였고, 수유량계로 냉각수 유량을 측정하였다.

2.2 실험방법

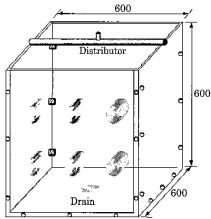


Fig. 2 Schematic diagram of fish hold storage

본 실험에서는 연근래 해수의 평균농도가 3.5wt%인 점을 감안하여 어창과 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 바꾸어가면서 실험을 한 경우이며, Test 2는 부하를 고정시킨 후 모형 어창의 출구위치에 대하여 실험을 한 경우이

Table 1 Experiment conditions

| Parameter | | Test 1 | Test 2 |
|---------------------------|---------------|----------------------|-------------------|
| | | Range | Range |
| Refrigerant | | HCFC-22 | |
| Storage temperature, [°C] | | 0 | |
| Compressor speed, [RPM] | | 1000~1400 | 1200 |
| | | 200 | |
| Flow rate, [kg/s] | Refrigerant | 0.016~0.022 0.003 | 0.019 |
| | Cooling water | 0.33 | |
| | NaCl solution | 0.33 | 0.27~0.33 0.33 |
| Inlet temp., [°C] | Cooling water | 27.0±0.4 | |
| | NaCl solution | 27.0±0.4 | |

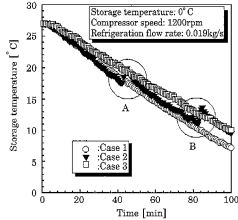


Fig. 3 Change in storage temperature with respect to time (Test 1)

다. 상기 2가지 경우 모두 어창 내 염화나트륨 수용액의 온도는 0°C가 될 때까지 냉각 시스템을 운전하였다.

전자인 Test 1의 경우는 다시 3가지 경우로 나누어 실험을 하였으며, 이들의 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 이 결과는 시간에 따른 모형어창 내 해수의 온도변화를 부하별로 나타낸 것으로 Case 1은 어창 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 연근래 어선이 조업을 할 경우 어획물 확보시를 고려한 경우로 실제 상황에 가깝게 하기 위해서이다. 그림에서와 같이 무부하 상태로 운전한 Case 1의 경우가 부하를 2번에 걸쳐서 투입한 Case 2의 부하를 처음부터 동시에 투입한 Case 3의 경우보다 어창 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, 어창 내 해수의 온도는 상승하는 것으로 나타나고 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축기 회전수 변화의 영향

Fig. 4는 시간에 따른 증발온도의 변화를 압축기 회전수를 파라미터로 나타낸 것이다. 그림과 같이 압축기 회전수가 증가할수록 냉매의 증발온도는 다소 낮아짐을 알 수 있다. 이것은 압축기 회전수가 증가되면, 압축기에서 냉매를 흡입하는 힘이 증대되고, 이는 증발기 관내 냉매증발압력을 강하게 만든다. 이때, 포화상태에 있는 냉매의 증발압력이 낮아지면 이에 비례하여 냉매의 증발온도도

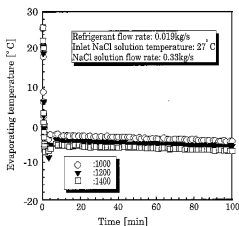


Fig. 4 Change in evaporating temperature with respect to time(Test1)

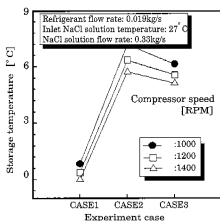


Fig. 5 Change in storage temperature with respect to compressor speed (Test1)

감소하는 것으로 판단된다. 따라서, 본 결과는 실제 연근해 어선에 있어 압축기의 구동 동력을 선택의 주 인자에 의해 벨트 구동에 의해 압축기를 구동할 경우에는 주 엔진의 회전수에 따라 냉각장치의 증발온도도 영향을 받는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 부하특성에 따른 어창 내 해수의 온도 증감 압축기 회전수 변화를 파라미터로 나타낸 결과이다. 이 경우 어창 내 해수 온도는 Fig. 4의 Case 1의 조건을 기준으로 하였으며, 그림에서와 같이 압축기 회전수가 증가할수록 어창 내 해수의 온도는 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 압축기 회전수가 증가할수록 냉매의 증발온도가 낮아지고, 순환하는 해수와 열교환량이 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. 4에서와 같이 증발기 관내 냉매의 증발온도에 영향을 미치고, 이는 어창 내 해수의 온도에도 영향을 미치며, 투입되는 부하의 형태에 따라서도 달라짐을 알 수 있었다.

3.2 냉각장치 냉매유량 변화의 영향

Fig. 6은 시간에 따른 증발온도의 변화를 냉각장치의 냉매유량을 파라미터로 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 냉매유량이 증가할수록 증발온도는 상승함을 알 수 있다. 이것은 압축기 회전수를 일정하게 고정된 상태에서 증발기 관내 냉매유량이 증가하면 관내 냉매의 증발압력이 상승하게 되고, 이에 비례하여 증발온도가 상승하는 것으로 판단된다. 따라서 냉각장치의 냉매의 유량변화는 냉매의 증발온도를 변화시키는 요인으로 작용하는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 어창 내 해수의 온도를 냉매유량을 파라미터로 나타낸 것이다. 이 경우 어창 내 해수의 온도는 Fig. 6과 같은 조건에서 Case 1을 기준으로 한 온도들이다. 그림에서와 같이 냉매유량이 증가할수록 해수의 온도는 낮아짐을 알 수 있다. 이것은 냉매유량이 증가할수록 Fig. 6에서와 같이 냉매의 증발온도가 상승하여 냉매와 해수와의 온도차는 작아지지만 상대적으로 냉매유량 증가에 따른 냉동능력의 상승으로 해수의 온도는 오히려 감

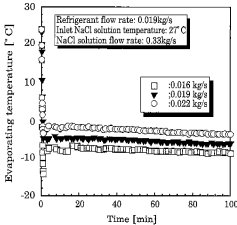


Fig. 6 Change in storage temperature with respect to compressor speed (Test1)

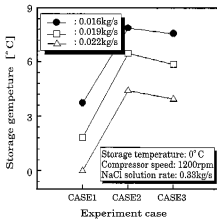


Fig. 7 Change in storage temperature with respect to compressor speed (Test1)

소하는 것으로 판단된다. 따라서 냉매유량도 증발 온도와 어창 내 해수의 온도변화에 영향을 미침으로 해수 냉각장치 설계시 중요한 인자가 되는 것으로 판단된다.

그리고 Case 2, 3의 비교에 있어서는 Case 3의 경우가 그리고 3가지 경우에 있어서는 Case 1의 경우가 가장 낮은 온도를 나타내었다.

3.3 어창 내 투입 열부하의 영향

Fig. 8은 압축기 회전수와 냉매유량을 고정시킨 상태에서 어창 내에 Case 1, 2, 3의 경우를 대상으

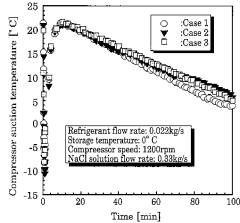


Fig. 8 Change in compressor suction temperature with respect time

로 어창 내 부하를 투입한 경우 시간에 따른 압축기 흡입측 냉매온도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 시간이 경과할수록 압축기 흡입측 냉매 온도는 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 통한 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 압축기의 압축일량 및 응축압력에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

3.4 어창 해수 출구위치의 영향

Fig. 9는 시간에 따른 어창의 입출구 온도차 변화를 냉각기와 어창 내로 순환하는 해수의 유량을 파라미터로 어창 바닥 기준으로부터 무차원 깊이 0.66을 기준으로 나타낸 결과이다. 그림에서 해수의 유량이 0.27, 0.30, 0.33[kg/s]인 3가지 경우 모두 전반부에서는 어창 입출구 온도차가 크게 나타나지만 시간이 경과함에 따라 작아지는 경향을 나타내었다. 그리고 전반부에서는 순환해수량이 작은 쪽이 상대적으로 큰 쪽보다 입출구 온도차가 컸지만 시간이 경과할수록 오히려 작아지는 경향을

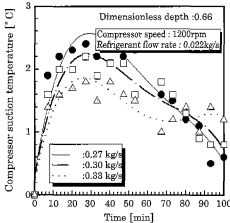


Fig. 9 Change in temperature difference of inlet and outlet in storage with respect to time(Test 2)

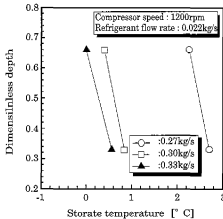


Fig. 10 Change in storage temperature with respect to storage depth (Test 2)

나타내었다. 이는 초기에는 유량의 영향보다 이에 따른 어창 입 출구 위치의 영향으로 유량이 작은 쪽이 상대적으로 유량이 큰 쪽보다 온도가 작아지며, 따라서 시간이 경과할수록 유량이 작은 쪽이 상대적으로 유량이 큰 쪽보다 어창 내의 입출구 온도차가 작아지는 것으로 판단된다.

Fig. 10은 어창 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]의 경우가 전체 무차원 깊이에 대해 가

장 낮은 온도를 나타내었으며, 어창의 깊이가 깊을수록 높은 온도를 나타내었다.

이는 전자의 경우, Fig. 9에서 알 수 있듯이 후반부로 갈수록 해수의 유량에 따른 영향으로 판단된다. 그리고 후자의 경우는 Fig. 2에서와 같이 입구쪽에 낮은 온도의 해수가 유입되어 어창 상하의 깊이 따라 즉, 깊이가 깊을수록 높은 온도를 나타내는 것으로 생각된다. 그리고 이 결과는 어창 내 저장되는 해수의 수량이나 출구의 위치 및 상부 유입 해수의 온도에 따라 어창 내부의 온도분포는 달라질 것으로 판단된다. 따라서 상기의 결과는 활어의 생존율을 높이기 위한 어창 설계시 중요한 인자가 될 것으로 판단된다.

4. 결 론

선박용 최적 해수 냉각시스템 개발을 위해 압축기 회전수와 냉매유량, 그리고 어창의 해수 출구 위치가 연근해 어선용 어창 및 냉각장치에 미치는 영향을 파악한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 압축기 회전수와 냉매유량을 파라미터로 냉각장치의 냉매 증발온도 및 도형어창 내 해수의 온도변화를 파악한 결과 어창 내 냉매의 증발온도 및 어창 내 온도분포에 영향을 미치므로 어획물의 선도유지나 활어 생존을 증대 및 장기 보존을 위한 장치 설계시 중요한 인자로 작용할 것으로 판단되었다.
- (2) 어창 내 투입 열부하 및 출구위치를 파라미터로 압축기 흡입온도 및 어창 내 해수의 온도변화를 파악한 결과 시간 경과에 따라 흡입온도는 감소하였으며, 출구 위치에 따라 어창 내 상하 수직 온도분포에 영향을 미침으로 출구 위치선정에 있어 유의해야 할 것으로 판단되었다.
- (3) 실제 어획물이 어획되는 경우를 고려한 어창 내 부하의 케이스별 투입 및 선박의 주 엔진에 의해 냉각장치들 구동하는 경우를 대상으로 냉각장치와 어창 내 온도분포에 영향을 미치는 인자들의 상관관계 및 특성을 실험을 통하여 확인할 수 있었으며, 이들 결과는 연근해 어선용 최적 해수 냉각시스템 및 어창 개발시 실질적인 기초 자료를 확보할 수 있었다.

후 기

본 연구는 2000, 2001년 해양수산부 수산특정 과제외 연구비 지원으로 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 정효민, 1998, "최적 양식 환경을 위한 수조식 양식 장내의 유동특성에 관한 연구", 한국학술진흥재단, pp. 20~23.
- (2) 조영제, 1997, "윗감용 축삼판어의 저온 수송 장치 개발에 관한 연구", 농림부, pp. 256~259.
- (3) 윤정인, 조영제, 1998, "해수 냉각시스템 성능에 미치는 냉매 배관길이의 영향", 한국어업기술학회지, pp. 346~351.
- (4) 한인근, 김재물, 윤정인, 2000, "소형 펌프지 팔어 조 냉각시스템 개발", 수산관련학회 공동학술대회, pp. 58~59.
- (5) 송찬호, 이대영, 노승탁, 2000, "중발식 열교환기에서 열과 물질전달과정의 해석", 공기조화 냉동공학회 학술간담회", pp. 257~261.
- (6) Cheng, K. C. and Takeuchi, M, 1976, "Transient Natural Convection of Water in a Horizontal Pipe With Constant Cooling Rate Through 4°C ", J. Heat Transfer, Vol. 98, pp. 581~587.
- (7) 이성호, 김경훈, 양시영, 2000, "압축기 회전수에 따른 파냉각 응축기 특성에 대한 연구", 공기조화 냉동공학회, pp. 46~51.
- (8) Spethmann, D. H., 1989, "Optimal control for cool storage", ASHRAE Trans., pp. 1009~1015.
- (9) 윤정인, 이종득, 김재물, 1999, "해수 냉각장치를 어장 내의 열 및 유동특성", 대한기계학회 춘계학술간담회, pp. 885~890.
- (10) 김경교, 1996, "장어종발 어선 활어창 냉각시스템 개발", 한국어선협회, pp. 150~178.

저 자 소 개



한인근(韓寅根)

1962년생 1988년 부산수산대학교 냉동공학과 졸업. 1993년 수산대학교 대학원 냉동공학과 졸업(공학석사). 1999년 동대학원 박사수로, 현재 (주)에이안 대표이사



문곤(文春根)

1971년생. 1997년 부경대학교 냉동공조공학과 졸업. 1999년 부경대학교 대학원 냉동공학과 졸업(공학석사). 현재 동대학원 냉동공조공학과 박사과정.



김재물(金在物)

1967년생 1991년 부산수산대학교 냉동공학과 졸업. 1993년 부산수산대학교 대학원 냉동공학과 졸업(공학석사). 1996년 동대학원 졸업(공학박사). 현재 동명대학 건축기계설비시스템과 조교수



윤정인(尹政仁)

1962년생. 1988년 부산수산대학교 냉동공학과 졸업. 1990년 부산수산대학교 대학원 냉동공학과 졸업(공학석사). 1995년 동경농공대학교 대학원 졸업(공학박사). 현재 부경대학교 기계공학부 냉동공조에너지전공 부교수