

# 선박용 에너지 절감형 냉각시스템에 관한 연구

오진석<sup>+</sup> · 임명규<sup>++</sup> · 진선호<sup>++</sup> · 곽준호<sup>++</sup> · 조관준<sup>++</sup> · 유병량<sup>++</sup> · 배병덕<sup>+++</sup>

## A Study on the Energy Reduced Cooling System for the Ship

Jin-Seok Oh,<sup>+</sup> Kyu-Myung Lim<sup>++</sup>, Sun-Ho Jin<sup>++</sup>, Jun-Ho Kwak<sup>++</sup>, Kwan-Jun Jo<sup>++</sup>, Byung-Rang Yu<sup>++</sup>,  
Byung-Deok Bae<sup>+++</sup>

**Abstract** : Recently, the fuel charge is accounted for very high in the navigation cost. Therefore Shipowner is tried to find method for reducing oil consumption. ERCS(Energy Reduced Cooling System) is one of the method. The ERCS algorithm operates to decrease a power consumption of main sea water cooling pump through inverter control. We have developed ERCS controller with algorithm. The ERCS controller consists of CPU board, Digital I/O board, A/D board, D/A board and LCD/SW board. We tested with dummy signal to confirm the algorithm working correctly and achieved the good results. Before soon we will test under real condition in the ship and expect to get the result as forecasted.

**Key words** : Cooling system(냉각시스템), Envergy reducing(에너지 절감), Pump control(펌프 제어), Monitoring system(감시시스템), Inverter control(인버터 제어)

### 기호설명

ERCS : Energy reduced cooling system

n : 펌프의 회전수(rpm),

Q : 토출량( $m^3/min$ ),

H : 전양정(m)이다.

### 1. 서론

고유가시대인 현재 대부분의 선박에서 운용중인 해수냉각시스템은 밸브제어를 함으로서 냉각수온도를 제어하는 방식으로 되어있다.

밸브를 제어하여 온도를 조절한다는 것은 에너지를 절감한다는 면에서 보면 비효율적이다. 이런 비효율적인 해수냉각시스템을 개선하기위하여 해수냉각시스템에 인버터를 활용하여 전기에너지의 절약과 기계적

인 수명연장을 위하여 연구하게 되었다.

선박을 운용하는데 소요되는 비용 중에서 유류비가 차지하는 비율을 전체 비율의 상당수를 차지하고 있는 것이 현실이다. 이러한 문제점을 개선하고자 해수 냉각시스템의 에너지 절감 시스템에 대한 연구를 하게 되었다. 그리고 각종 설비에 사용되는 펌프의 소비 전력은 상당히 크므로 전력 절감을 위하여 이들 펌프 및 시스템운전의 효율 향상이 무엇보다도 중요하다. 각종 설비에 사용되고 있는 펌프는 요구 사양에 맞도록 설비하여야 한다는 것은 당연한 데도 실제로는 다음의 여러 가지 이유 때문에 필요로 하는 양정 유량보다 큰 성능을 가지는 펌프를 설치하여 사용하는 경우가 대부분이다.

- 1) 배관설비의 경년에 따른 관로 손실의 증대를 감안하여 전양정에 상당량의 여유를 주는 경우가 많다.

<sup>+</sup> 오진석(한국해양대학교 선박전자기계공학부), E-mail:ojs@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4283

<sup>++</sup> 임명규 · 진선호 · 곽준호 · 조관준 · 유병량, 한국해양대학교 대학원

<sup>+++</sup> 배병덕, 한국해양대학교

2) 장래의 송수량이나 배수량의 증대를 감안하여 유량이 여유를 갖도록 설비하는 경우가 많다.

그러므로 필요 이상으로 송수하거나 펌프의 토출압을 밸브로 조절하면서 운전하여 펌프 자체의 효율은 높더라도 운전되고 있는 펌프 설비 전체의 시스템 효율이 낮아지게 되어 불필요하게 많은 전력을 소비하는 경우가 있을 수 있다.

## 2. ERCS 구성

### 2.1 ERCS 원리

#### 2.1.1 펌프의 비속도

펌프 회전차의 상사성 또는 펌프 특성 및 형식의 결정 등에 대하여 설명하는 경우에 이용되는 값에 비속도가 있다. 회전차의 형상 치수 등을 결정하는 요소는 펌프 전양정, 토출량, 회전수의 세 가지가 있으며 비속도( $N_s$ )는 이들 세 가지 요소로 다음의 식에서 계산된다.<sup>[1]</sup>

$$N_s = \frac{n \times Q^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (1)$$

#### 2.1.2 펌프의 상사법칙

본 연구에서는 인버터를 이용한 연속제어가 가능하도록 펌프제어시스템을 구성한다. 펌프시스템을 이용하여 1차 냉각계통인 해수계통의 펌프 및 밸브 제어를 통하여 인버터에 연동된 전동기를 사용하여 펌프의 회전속도( $N$ )를  $N_0$ 에서  $N_1$ 으로 변화시킨 경우의 필요 흡입 수두( $NPSH_{re}$ ), 유량( $Q$ ), 양정( $H$ ), 동력( $L$ )은 다음의 과정을 통하여 얻을 수 있다.<sup>[2]</sup>

$$\frac{NPSH_{re1}}{NPSH_{re0}} = \left( \frac{N_1}{N_0} \right)^2 \quad (2)$$

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \frac{N_1}{N_0} \quad (3)$$

$$\frac{H_1}{H_0} = \left( \frac{N_1}{N_0} \right)^2 \quad (4)$$

$$\frac{L_1}{L_0} = \left( \frac{N_1}{N_0} \right)^3 \quad (5)$$

Fig. 1은 회전속도의 변화에 따른 펌프의 성능 변화를 나타내고 있다. 송수관의 저항곡선이  $R_3$ 인 경우 펌프의 회전속도를  $N_0$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ 로 변화시키면 펌프의 운전점은  $A_3$ ,  $B_3$ ,  $C_3$ 로 변하고 유량은  $Q_3$ ,  $Q_2$ ,  $Q_1$  이 된다.

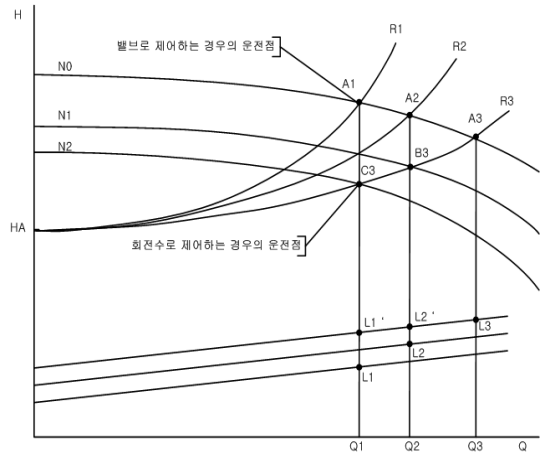


Fig. 1 Characteristic curves for pump

필요 유량이  $Q_1$ 인 경우 펌프의 회전속도를  $N_0$ 라고 한다면 밸브를 닫아서 저항곡선을  $R_3$ 에서  $R_1$ 으로 변화시켜야 한다. 이 경우에서 펌프의 운전점은  $A_3$ 이고, 축동력은  $L_1'$ 가 된다. 펌프의 회전속도를  $N_2$ 로 바꾸면 저항곡선이  $R_3$ 인 경우에 운전점은  $C_3$ 로 변하지 않으나 축동력은  $L_1$ 이 되므로 인버터에 연동된 전동기를 이용하여 ( $L_1' - L_1$ )의 전력을 절감 할 수 있다.

본 연구에서는 기존의 선박에서 운용하고 있는 100% 운용개념에서 발생하는 에너지 소모를 절약하기 위해 새롭게 제안하고자 하는 에너지 절약형 냉각시스템에 대하여 연구하고자 한다.

선박은 운항 특성상 환경변화(온도, 흡수 등)와 엔진의 부하에 따른 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 능동알고리즘을 갖춘 제어가 필요하다.

연구대상 냉각시스템은 50% 분담이 가능한 펌프 3

대로 구성한 냉각시스템을 활용하여 가장 효율적인 제어가 가능하도록 시스템을 구현하고자 한다. 또한 대형 선박의 중앙집중식 냉각체계(central cooling system)에 적용이 가능한 냉각시스템에 대하여 체계적으로 연구하고자 한다. 이러한 냉각체계는 Fig.2와 같이 인버터로 구동되는 펌프 2대와 시퀀스로 제어되는 펌프 1대로 구성되며, 전체 출력용량은 150%(50% 3대)로 냉각시스템을 구성한다.

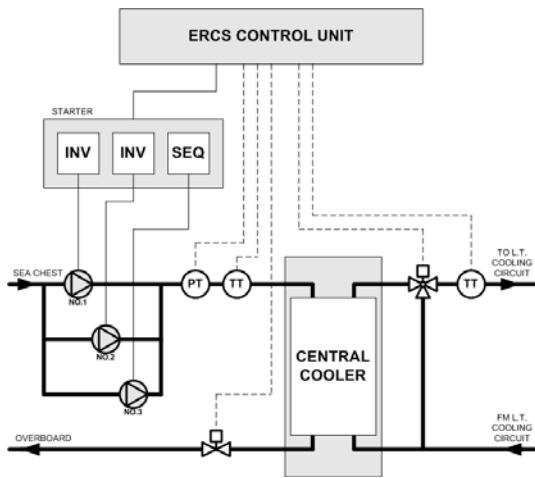


Fig. 2 Cooling system

본 연구에서는 냉각계통의 효율적인 냉각 및 에너지 절감효과를 극대화하기 위하여 청수계통의 밸브를 병행하여 제어한다.

### 3 제어시스템 구성

#### 3.1 제어시스템의 구성

기존의 선박용 냉각시스템은 시퀀스 기반의 제어체계를 갖추고 있다. 본 연구에서 구성하고자 하는 냉각시스템은 인버터를 제어하는 주제어기(master controller)를 중심으로 제어시스템을 구축한다. 그리고 제어기를 운용하는 소프트웨어는 환경특성 및 엔진부하 변동을 고려하여 구성한다.

##### 3.1.1 하드웨어

본 연구에서 구성한 제어기는 Fig. 3과 같이 5부분

으로 구성되어 있다.

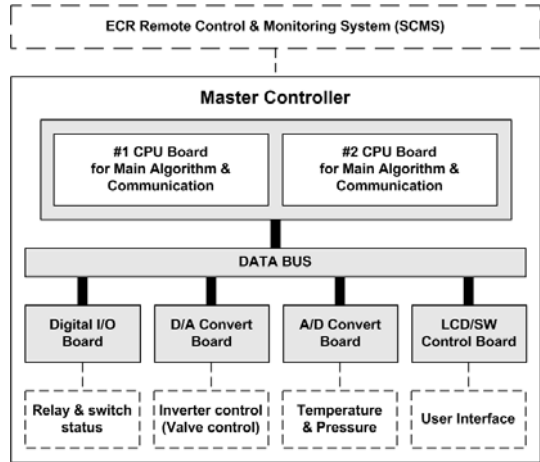


Fig. 3 Block diagram of ERCS controller

CPU board에는 ERCS 시스템의 알고리즘이 소프트웨어로 탑재되어 있으며 또한 선박의 SCMS 체계와 연동하기 위한 프로토콜도 내장되어 있다. MPU로는 마이크로칩사의 PIC계열을 사용하였으며, 외부 EEPROM을 사용하여 사용자가 설정한 값을 기억하여 사용할 수 있게 하였다. 또한 제어기의 신뢰성을 확보하기 위하여 Dual MPU 시스템을 구축하였다. 두개의 MPU는 평소 하나만 동작하고 있으나 시스템 다운과 같은 현상이 발생하였을 경우 10ms 이내에 다른 MPU로 시스템 제어권이 이양된다.

하위의 4개 보드는 각종 센서와 인버터, 컨트롤 판넬 등에 연결되어 Data bus를 통하여 CPU board와 정보를 교환하도록 하였다. Data bus는 8비트 구조를 가진 Data bus가 4개 뭉쳐 있는 개념으로 설계되어 있으며, MPU에서 프로그램적으로 16비트 Data bus가 2개 있는 것으로 변환하여 연산한다.

Digital I/O board는 컨트롤 판넬의 펌프 Start/Stop 버튼을 비롯한 각종 스위치와 밸브 접점의 상태를 수집하거나 판넬의 각종 릴레이를 제어하도록 구성되어 있다. 입력신호로는 NO.1, NO.2, NO.3 펌프 각각 6개, 일반공통신호 4개를 사용하였고, 출력신호로는 각 펌프당 4개씩 사용하였다.

D/A convert board는 ESS 시스템의 핵심부분 중 하나인 인버터의 제어신호를 출력하는 곳이다. CPU

board에서는 청수온도와 해수압력 등을 고려한 알고리즘을 포함한 프로그램을 실행한 후 D/A convert board에 적절한 인버터 제어신호 값을 넘겨주고 이 값을 이용하여 4~20mA의 인버터 제어 신호를 출력하게 된다.

A/D convert board는 CPU board에서 알고리즘을 수행하기 위한 각종 파라미터들을 디지털 값으로 변환하는 곳이다. 선박에 탑재되는 ERCS 시스템은 열교환기를 거친 후의 청수 온도와 메인 해수 펌프 출구측의 해수 압력 등을 기준으로 최소전력소비점을 찾아 운전하므로 정확한 값을 읽어내는 것이 중요하다. 여기에서는 12bit의 해상도를 가지는 A/D converter chip을 사용하여 해상도를 높였으며 다수의 샘플링을 통해 오차값을 극소화하였다.

LCD/SW control board는 LED와 LCD를 이용하여 제어기의 현재 운전상태를 사용자가 한눈에 파악할 수 있도록 하였으며, 제어기의 설정값을 수정할 수 있도록 Key pad를 장착하였다. 또한 Key lock 시스템을 구축하여 시스템 관리자만이 제어기 설정을 가능하도록 하였다.

### 3.1.2 소프트웨어

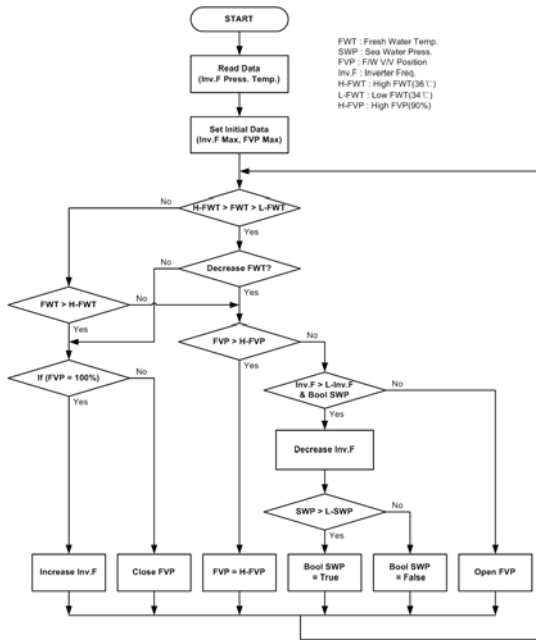


Fig. 4 Flowchart for control algorithm

냉각시스템이 우수한 성능을 갖기 위해서는 냉각시스템용 운용알고리즘이 체계적으로 수립되어야 한다. 본 연구에서 구축하고자 하는 ERCS 알고리즘은 궁극적으로 펌프의 소비전력을 최소화 하여 발전기 부하를 덜어주는 것이 핵심이다. 제어알고리즘에는 청수 밸브 및 펌프 회전수 제어 알고리즘이 포함되어야 한다. 또한 펌프의 회전수를 제어할 때에는 해수압력과 해수펌프의 최소 회전수, 그리고 청수온도가 고려되어야 한다. Fig. 4는 제어 알고리즘의 플로우차트를 나타낸 것이다.

제어알고리즘은 청수 온도에 따라 고온부, 적정온도부, 저온부의 3부분으로 나뉘어서 동작한다. 저온부와 적정온도부에서는 기존의 냉각수준을 유지하면서 에너지 절감을 할 수 있는 알고리즘으로 작성되어 있으며, 모든 동작부에서 청수 순환 밸브의 개도는 10%의 여유를 가질 수 있도록 하였다. 이는 청수 온도가 급변하는 경우 펌프 회전수 제어보다 밸브 제어를 우선시 하여 펌프의 맥동을 줄이고 에너지 손실을 막기 위한 것이다. 실제로 선박에서의 바우스러스터 운전 등과 같은 중부하 운전시 이 알고리즘은 매우 유용할 것으로 판단된다.

### 3.2 실험 및 고찰

냉각시스템의 에너지 절감효과를 파악하기 위하여 다양한 실험을 수행하였다. 제어대상은 청수 순환 밸브 개도와 1차 냉각수인 해수계통의 해수펌프 회전수이다. 에너지 절감효과를 극대화하기 해수펌프의 회전수가 에너지 절감효율이 최대가 되는 지점에서 운전되는 것이 가장 바람직하다. 이를 위해서는 먼저 해수압력은 최소설정압력이상 유지되어야 하며, 펌프 자체 냉각을 위해 설정된 최소 회전수 이상 운전해야 한다.

또한 청수 순환 밸브 제어를 수행하고, 이를 통한 청수온도 강하가 불가능할 때 해수펌프의 회전수를 상승시켜 청수온도를 하강시킴으로써 에너지 절약을 최대화 한다.

다음의 Fig. 5는 각각의 청수온도를 유지할 수 있을 때의 해수펌프 회전수와 청수 순환밸브 제어 개도를 측정하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림에 나타나듯이 청수 온도를 32℃로 유지할 때, 청수 순환 밸브

를 함께 제어함으로써 해수펌프의 회전수를 약 70% 까지 감소시킬 수 있다.

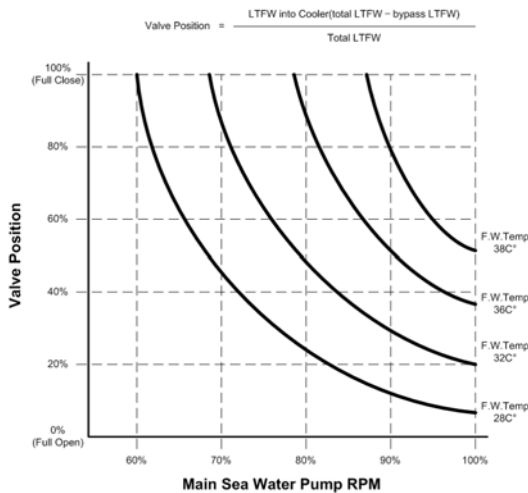
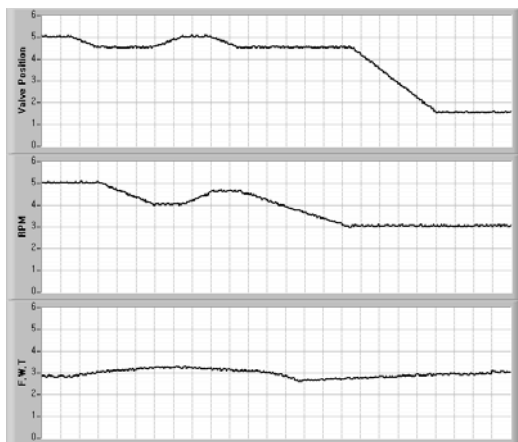
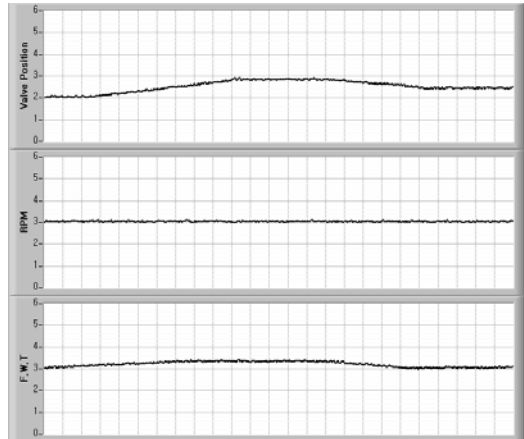


Fig. 5 Graph of FW V/V position and SW P/P RPM to holding FW Temperature

이와 같은 방법으로 고온부를 제외한 모든 부분에서 에너지 절감 효과를 가져올 수 있으며, 실제 시뮬레이션 장비를 이용하여 실험한 결과를 다음의 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6의 (a)는 ERCS 알고리즘이 처음 실행될 때의 모습을 나타낸 그래프이며 (b)는 ERCS 알고리즘 중 RPM을 유지한 채 청수 순환밸브 개도만을 제어하여 청수 온도를 추종해 가는 그래프이다.



(a) Initial of ERCS



(b) Control FW valve position with holding RPM  
Fig. 6 Characteristic waveforms of freshwater valve position, RPM and freshwater temperature

#### 4. 결론

본 연구에서 개발한 ERCS 제어기를 이용하여 시뮬레이션 및 가상신호를 이용한 실험 결과 만족할 만한 성능을 얻을 수 있었다. 향후 실제 선박에 탑재하여 선박의 SCMS 체계와 연동하는 기술을 접목시키고, 상용화 하는 것이 필요할 것이라 사료된다.

#### 참고문헌

- [1] S.Lazarkiewicz and A. t. Trokolanski, Impeller pumps, PERGAMON PRESS, 1965
- [2] M. LACHI, N.EL WAKIL and J. PADET, The Time constant of double pipe and ne pass shell-and-tube heat exchangers in the case of varying fluid flow rates, hf. .I. Hear Mars Trmsfer. Vol. 40, No. 9, pp. 2067-2079, 1997
- [3] 김진국, “냉각용수시스템 설계”, University of manchester, institute of science and technology, 2001
- [4] 오정원, “PIC 마이컴용 C언어 CCS-C 실전 가이드”, 컴파일 테크놀로지, 2001
- [5] 김재욱, “PIC18계열 마이컴 마스터링 북”, 컴파일 테크놀로지, 2004