

## 선박 냉각시스템의 에너지 절감기법에 관한 연구

오진석† · 임명규\*

(원고접수일 : 2005년 5월 13일 , 심사완료일 : 2005년 6월 30일)

### A Study on the Method of Energy Saving in a Marine Cooling System

Jin-Seok Oh† · Myoung-Kyu Lim\*

**Abstract** : The ESS(Energy Saving System) is designed to have functions of controlling, monitoring for cooling system, etc. ESS consists of the I/O module, CPU module and Display module. I/O module detects various ESS data on local area and treats signals via I/O interface system. The interface system receives various status data and outputs control signals. ESS is tested with dummy signal to verify proposed functions and is shown good results. For future study ESS will be tested under real condition in the ship.

**Key words** : Method of energy saving(에너지 절감기법), Marine cooling system(선박냉각시스템), ESS(Energy Saving System, 에너지절감시스템), Pump control(펌프 제어), Inverter control(인버터 제어)

#### 1. 서 론

선박을 운항하는데 소요되는 비용 중에서 유류비가 차지하는 비율은 전체 비율의 상당수를 차지하고 있는 것이 현실이다. 이러한 문제점을 조금이나마 극복하기 위하여 ESS(Energy Saving System)에 대한 연구가 진행되고 있다.

현재까지의 냉각시스템의 경우 펌프가 일정하게 회전하면서 제어밸브에 의해 냉각수(유)의 온도를 제어하는 시스템을 구성한다.

본 연구에서의 ESS는 대형선박 냉각시스템의 대

용량 펌프에 적용할 수 있는 인버터를 적용한 펌프 시스템과 기존의 시퀀스 방식의 펌프시스템을 에너지 절약모델로 구현하기 위하여 선박운용 특성에 적합한 하드웨어 및 소프트웨어를 구축하는 것이다. 또한 운전효율 개선을 통한 에너지 절감 효과를 향상시키고, 시스템 안전을 위한 제한압력 조절 기능 및 해수온도 등의 환경요소에 능동제어가 가능하도록 청수계통 밸브제어기능에 대한 연구도 병행하고자 한다. 더불어 제어시스템을 구현하여 동작상태를 파악하고 분석하여 ESS 시스템의 제어관리 성능과 선박 적용성을 제시하고자 한다.

† 책임저자(한국해양대학교 대학원 선박전자기계공학부), E-mail: ojs@hhu.ac.kr Tel: 051)410-4283

\* 한국해양대학교 대학원 메카트로닉스공학과

## 2. ESS(Energy Saving System)의 개요

### 2.1 ESS 원리

펌프 회전차의 상사성 또는 펌프 특성 및 형식의 결정 등에 대하여 설명하는 경우에 이용되는 값에 비속도( $N_s$ )가 있다. 회전차의 형상 치수 등을 결정하는 요소는 펌프 전양정, 토출량, 회전수 세가지가 있으며 비속도( $N_s$ )는 이들 세가지 요소로 다음의 식에서 계산된다.

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

여기서,  $N$ 은 펌프의 회전수(rpm),  $Q$ 는 토출량( $m^3/min$ ),  $H$ 는 전양정(m)이다.

변속 전동기를 사용하여 펌프의 회전속도( $N$ )를  $N_0$ 에서  $N_1$ 으로 변화시킨 경우의 유량( $Q$ ), 양정( $H$ ), 동력( $L$ ), 필요 흡입 수두( $NPSH_{re}$ )는 다음의 과정을 통하여 얻을 수 있다.

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \frac{N_1}{N_0} \quad (2)$$

$$\frac{H_1}{H_0} = \left(\frac{N_1}{N_0}\right)^2 \quad (3)$$

$$\frac{L_1}{L_0} = \left(\frac{N_1}{N_0}\right)^3 \quad (4)$$

$$\frac{NPSH_{rel}}{NPSH_{rel0}} = \left(\frac{N_1}{N_0}\right)^2 \quad (5)$$

Fig. 1은 일반적인 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.

필요 유량이  $Q_1$ 인 경우에는 펌프의 회전속도를  $N_0$ 라고 한다면 밸브를 닫아서 저항곡선을  $R_3$ 에서  $R_1$ 으로 변화시켜야 한다. 이 경우에 펌프의 운전점은  $A_3$ 이고, 축동력은  $L_1$ 가 된다. 펌프의 회

전속도를  $N_2$ 로 바꾸면 저항곡선이  $R_3$ 인 경우에 운전점은  $C_3$ 로 변하지 않으나 축동력은  $L_1$ 이 되므로 변속 전동기를 채용하므로써 ( $L_1' - L_1$ )의 전력을 절감 할 수 있다.

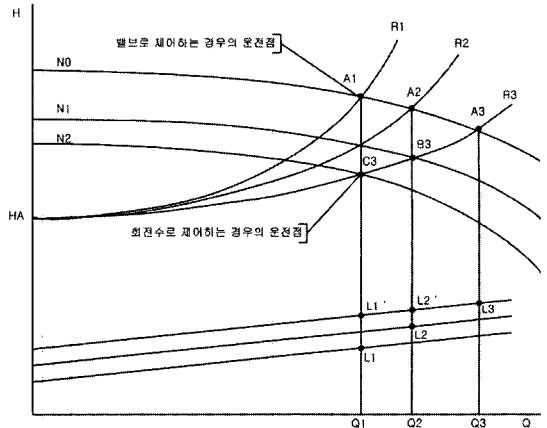


Fig. 1 Characteristic curves for pump

### 2.2 펌프의 병렬운전

필요 수량이 연간 시간에 따라 변동하는 경우나 혹은 하루 중에도 주간이나 야간과 같이 시간에 따라서 변화하는 경우에 대용량 펌프 1대를 설치하여 밸브로 유량을 제어하면서 사용하거나 변속 전동기로 회전수를 제어하면서 사용하여도 Fig. 2에 나타나 있는 바와 같이 펌프의 최고 효율점이 사양점 부근에 있으므로 소유량 영역에서 운전되는 경우에는 효율이 상당히 낮은점에서 운전될 수 밖에 없다. 이와 같은 경우에는 펌프의 대수를 분할하여 대용량을 필요로 하는 경우에는 병렬운전을 행하고 소유량이여도 좋은 경우에는 1대 혹은 2대의 펌프를 운전시키므로써 언제나 효율이 좋은 영역에서의 운전이 가능하다. Fig. 2의 효율 A는 대용량 펌프 1대를 운전시키는 경우의 유량에 대한 효율을 나타낸 것이다. 효율 B는 펌프를 2대로 분할한 경우의 유량에 대한 효율을 나타낸 것으로 대유량 영역에서의 효율은 대유량 펌프 1대의 경우보다는 약간 낮지만 소유량 영역에서는 효율이 좋은 영역에서 운전이 가능하다.

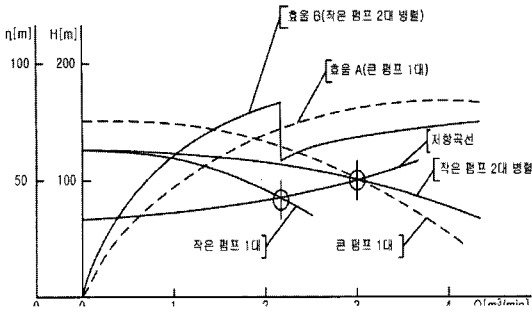


Fig. 2 Characteristic curves for the parallel operation of two pumps

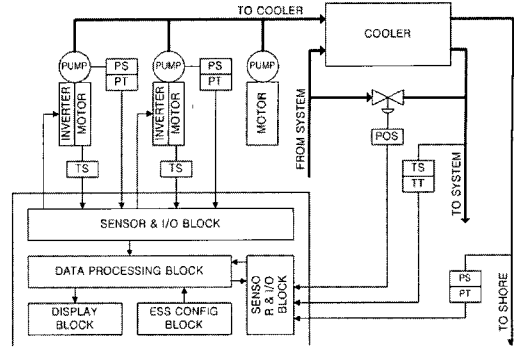


Fig. 3 Schematic diagram for ESS

2.3 선박냉각시스템의 ESS 구성

ESS는 시스템의 온도, 밸브의 개폐상태, 해수 압력을 감시하고 분석하는 시스템과 감시분석결과에 따라 인버터를 제어하는 시스템으로 나눌 수 있다.

본 연구에서는 3대의 모터를 기본 모델로 하여 설계하였으며, 3대의 모터 중에서 2대의 모터에 인버터를 채용하여 제어할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

본 연구의 ESS는 시스템을 감시분석하는 제어부, 각종 시스템 파라미터를 설정할 수 있는 시스템 설정부, 시스템의 각종 상태를 표시하는 표시부, 그리고 각종 데이터 입출력을 담당하는 센서 및 I/O 시스템으로 나눌 수 있다. Fig. 3은 ESS 냉각시스템을 개략적으로 도시한 것이다.

ESS의 제어부는 각종 제어 파라미터에 따라 실시간으로 시스템의 온도, 밸브, 해수 압력등을 감시하면서 인버터를 제어한다.

시스템 설정부는 키패드를 이용하여 시스템의 각종 제어 파라미터를 설정할 수 있도록 구성되어 있다. 시스템의 운전 중 ESS의 각종 상태는 표시부를 통하여 확인할 수가 있도록 구성되어 있다.

센서 및 I/O시스템에서는 각종 데이터의 신호변환 및 입출력을 관리하는 역할을 하며 구현된 시스템에서는 상용화된 TS(Temperature Switch), TT(Temperature Transmitter), PS(Pressure Switch), PT(Pressure Transmitter), POS(Positioner)를 통하여 각각의 신호를 시스템의 입력으로 사용하였다.

3. H/W 와 S/W 시스템의 설계 및 구성

3.1 H/W 시스템의 설계 및 구성

ESS는 CPU MODULE, I/O MODULE 및 DISPLAY MODULE로 구성되어 있다. Fig. 4는 ESS의 H/W 구성도를 나타내었다.

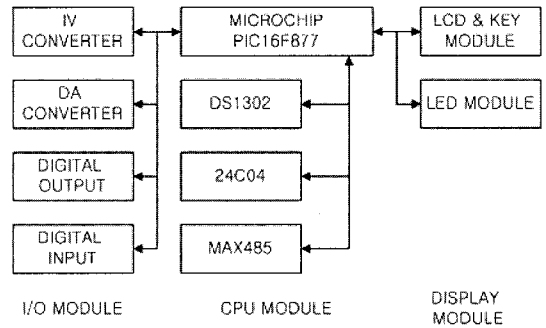


Fig. 4 Hardware configuration for ESS

가. CPU MODULE

CPU MODULE에서는 ESS의 제어를 담당한다. ESS의 CPU MODULE은 주제어기(main controller)로서 각각의 I/O MODULE을 제어하며, Microchip사의 PIC16F877을 사용하여 구현하였다. ESS의 각종 파라미터를 설정하면 이 설정된 값은 24C04에 저장되어 시스템정비 등으로 전원이 차단되어도 설정된 값을 계속해서 기억할 수 있도록 하였다. ESS에 필요한 아날로그 데이터들은 I/V변환기를 거쳐 PIC16F877에 내장되

어 있는 10BIT A/D변환기를 통하여 입력된다. ESS의 각종 상태신호는 DI MODULE을 통하여 입력하고, 각종 제어신호는 DA변환기와 DO MODULE을 통하여 출력한다.

나. I/O 모듈

입출력 모듈에서는 선박냉각시스템의 ESS에 필요한 데이터를 센서시스템으로부터 입력받아 메인 콘트롤러에 맞도록 신호를 정형한다.

입력된 신호를 근거로 의사결정시스템이 판단하여 출력하는 제어신호를 릴레이 구동에 적합하도록 구동신호로 변환한다. 또한 메인보드를 보호하기 위하여 포토커플러(photocoupler)등으로 격리한 후 입출력되도록 구성되어 있다. 센서시스템의 전류신호를 전압신호로 변환하고, AD converter를 통하여 디지털데이터로 변환한다. Fig. 5는 I/V변환기의 회로도이다.

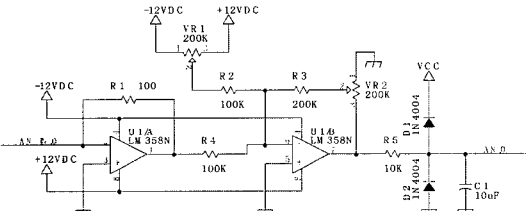


Fig. 5 Circuit for I/V converter module

다. DISPLAY MODULE

DISPLAY MODULE에서는 ESS의 상태를 표시할 수 있도록 LCD와 LED MODULE로 구성되어 있다.

3.2 SAW 시스템의 설계 및 구성

주제어 루틴은 소프트웨어 타이머 인터럽트 서브루틴에 의해서 제어된다. 소프트웨어 타이머 인터럽트는 일정시간마다 설정된 시간을 체크하고 인터럽트 상태에 따라 ESS 제어기의 I/O MODULE로부터 수신된 아날로그 신호를 A/D 변환하고 외부 키패드로부터의 키 상태를 체크한다.

또한, 설정된 시스템 파라미터에 따라 제어를 수행하며, 시스템의 온도, 밸브의 개도상태, 해수압

력 및 인버터의 상태에 따라서 시스템의 온도제어를 수행하게 된다. Fig. 6은 자동모드시의 시스템 온도가 증가하는 경우에 관한 제어 흐름도이다. 감소하는 경우에는 Fig. 6에서 설정치를 변경하면 가능하다. 인버터의 주파수를 증감하면서 주의해야 할 것은 시스템이 안정한 범위에서 운전될 수 있도록 설정치를 조정하는 것이다.

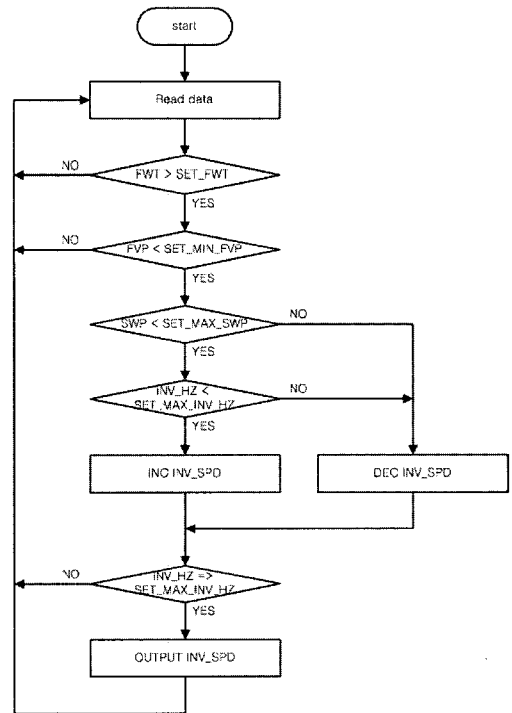


Fig. 6 Flow chart with increasing system temperature at auto method

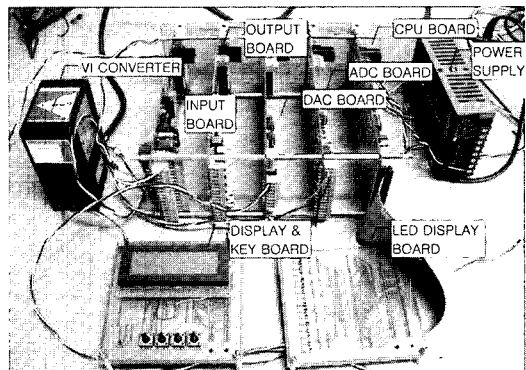
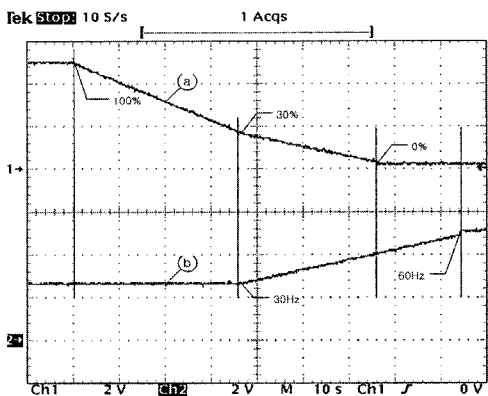


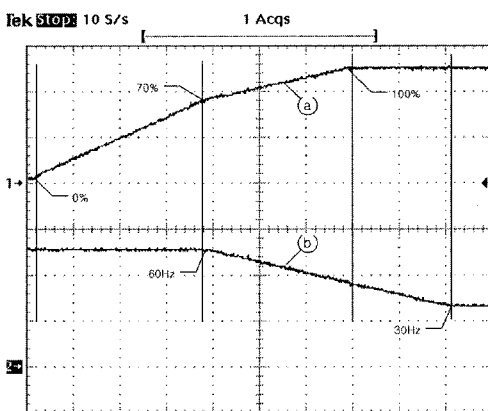
Fig. 7 Controller for ESS

### 4. 실험 및 고찰

Fig. 7은 ESS의 제어기의 외형도이다. ESS 제어기의 성능을 확인하기 위하여 시뮬레이션 장치를 이용하여 Fig. 8 및 Fig. 9와 같은 시뮬레이션 결과를 얻었다.



(a) The FWT is higher than the set point



(b) The FWT is lower than the set point

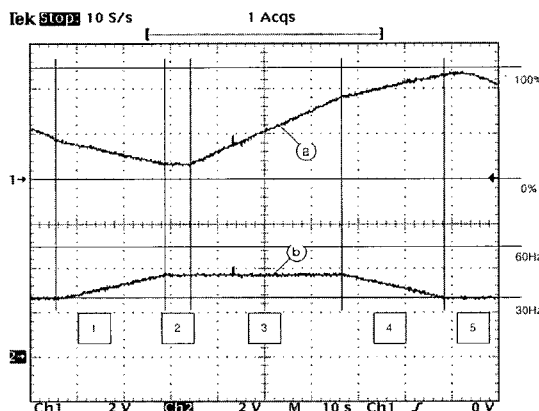
**Fig. 8 Characteristic waveforms of FW valve position and inverter frequency**

Fig. 8과 Fig. 9에서 ①은 청수밸브케도의 변화를 표시하며, ②는 인버터의 주파수 변화를 나타내고 있다.

Fig. 8(a)는 청수온도가 설정온도 이상으로 계속해서 유지될 경우의 제어기의 동작 파형이다. 초기에는 청수밸브가 닫히기 시작하고, 청수밸브

케도가 30%(초기설정치)되는 지점에서 인버터가 제어되기 시작한다.(30Hz : 시뮬레이터의 확인을 위하여 30Hz로 설정함. 모터의 발열상태에 따라 조정되어야 함.)

Fig. 8(b)는 청수온도가 설정온도미만으로 계속해서 유지될 경우의 제어기의 동작 파형이다. 초기에는 청수밸브가 열리기 시작하고, 청수밸브케도가 70%(초기설정치)되는 지점에서 인버터가 제어되기 시작하여 30Hz까지 제어하게 된다(30Hz : 시뮬레이터의 확인을 위하여 30Hz로 설정함. 모터의 발열상태에 따라 조정되어야함.)



**Fig. 9 Characteristic waveforms of FW valve position and inverter frequency with variable FWT**

Fig. 9는 청수온도가 변하고 있을 때 각 모드별로 나타나는 청수밸브와 인버터파형이다.

- ① 구간은 청수온도가 설정온도보다 높게 유지되고 있는 곳으로서, 에너지 절약모드에서 냉각모드로 넘어가는 구간이다.
- ② 구간은 냉각모드로 운전되고 있는 구간이다.
- ③ 구간은 냉각모드에서 에너지 절약모드로 넘어가는 전단계로서 청수밸브가 제어되고 있는 구간이다.
- ④ 구간은 에너지 절약모드로 넘어가는 단계로서 인버터가 제어되는 구간이다.
- ⑤ 구간은 에너지 절약모드로 운전되고 있는 구간으로 청수 밸브가 설정치(30%이하)로 제어될 때까지 에너지 절약모드로 운전하게 된다.

## 5. 결 론

운항조건 및 외부환경에 능동적으로 대처하는 ESS 시스템을 활용하면 전력 소모량을 효과적으로 줄일 수 있고, 모터 및 펌프를 효율적으로 제어할 뿐만 아니라 기기의 고장빈도를 줄일 수 있다. 또한, 중앙 집중식 냉각시스템을 활용할 경우 보다 효과적으로 전기에너지를 절감할 수 있을 것으로 사료된다.

향후, 선박의 SCMS와 연동될 수 있는 모니터링시스템과 ESS시스템을 현장에 적용하여 최적의 운전점을 찾는 것이 과제로 남아 있다.

## 후 기

본 논문은 수중운동체기술 특화연구센터의 지원으로 수행됨.

## 참고문헌

- [1] 효성펌프편람, 효성EBARA주식회사, 정문출판사, 1996
- [2] S.Lazarkiewicz and A. t. Trokolanski, Impeller pumps, PERGAMON PRESS, 1965

- [3] 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
- [4] CCS-C 실전가이드, 컴파일 테크놀로지 주식회사, 2001

## 저 자 소 개



### 오진석 (吳珍錫)

1960년 3월생, 1983-1986년 영국 ZODIAC 선박회사엔지니어, 1989-1992년 국방과학연구소 연구원, 1992-1996년 양산대학 전임강사, 조교수, 학과장, 1996-현재 한국해양대학교 전임강사, 조교수, 부교수, 2001-2002년 영국 CARDIFF 대학 교환교수, 2002-현재 산학연컨소시엄사업단 단장, 2002-현재 한국박용기관학회 편집위원, 2002-현재 한국산학연 논문집 편집위원, 2003-현재 영국 K. O. Tech 연구원, 당학회 종신회원.



### 임명규 (林明奎)

1974년 7월생, 1997년 한국해양대학교 기관시스템공학부 전기전자제어 전공 졸업, 현재 한국해양대학교(원) 메카트로닉스공학과 석사과정