

선박용 디지털가바나와 기관실감시제어용 분산제어시스템의 개발

유영호* · 류길수** · 양주호⁺ · 박진길⁺⁺ · 하주식⁺⁺

The Developements of Digital Governor for Marine Diesel Engine and Distributed Control System for Engine Room Control & Monitoring

Y.H. Yu, K.S.Rhyu, J.H.Yang, J.K.Park, J.S.Ha

Abstract

The ship automation tends to treat control and monitoring data as the informations of ship and make database with these informations for creterion and discision for ship operation as well as automatic operation of machinery by using the microprocessors or computers.

In this study we developed The Distributed Control System(DCS) for control and monitoring machinery on the ship with personal computer(PC) and the Embeded Microcontroller (Intel 8096 sreies), and so to ascertain the ability we applied to the digital governor and maneuvering system of main propulsion diesel engine, pressure and level control system of Aux. boiler and various pump control and monitoring system for pressure and temperature.

-
- * 한국해양대학교 이공대학 제어계측공학과 조교수
 - ** 한국해양대학교 이공대학 컴퓨터공학과 부교수
 - + 국립부산수산대학교 공과대학 기관공학과 부교수
 - ++ 한국해양대학교 해사대학 기관공학과 교수

1. 서 론

선박의 디젤 주기관이 저속, 장행정, 고출력화됨에 따라 저속에서 안정성과 고속에서 속응성이 문제되어 지금까지 사용되어져 오던 기계유압식 조속기로서는 안정된 속도제어가 어렵게 되어 디지털가바나가 개발되어 사용되고 있다.^{1,2,3,4)} 그러나 현재 개발되어 사용되고 있는 디지털 가바나는 단독적인 자동화 장치로서 가바나기능을 마이크로프로세서에 의해 디지털화 한 것으로 가바나의 정보를 실시간으로 모니터링하거나 조정할 수 없다.

현재 선박의 자동화는 각각의 기기를 자동화하는 것에 만 그치지 않고 기관실의 각종 기기를 비롯한 선박 내의 모든 기기의 상태나 항해정보 및 선박의 상태를 정보화하고 종합적인 정보처리를 통하여 본사의 Database에 Online으로 연결하므로써 선박은 본사의 거대한 컴퓨터 네트워크의 측면에서 보면 하나의 터미널로서의 개념을 가지는 경향으로 발전하고 있다.

이를 위하여서는 선박자체를 서로 다른 공정을 가진 여러 생산라인의 유기적 결합체로 보고 분산제어시스템을 구축하여 선박전체를 관리하는 관리컴퓨터가 위성통신을 통하여 본사의 컴퓨터 네트워크에 연결되는 것이 바람직하다.

이에 관하여서는 Database의 구조, 시스템의 H/W 및 S/W, 운영체제, 네트워크의 H/W 및 S/W 등 방대한 별도의 연구가 필요하겠으나, 본 연구에서는 개인용 컴퓨터를 주축으로 하여 통신전용 인텔 RUP1 8044 원칩 마이크로프로세서로 네트워크를 구축하고 하위레벨을 인텔 8096 원칩 마이크로프로세서로 기관실의 분산제어시스템을 구축하여 시험적으로 간략한 디젤 주기관운용 시스템과 디지털가바나, 보일러의 압력제어와 수위제어 시스템, 각종 압력,온도의 모니터링과 압력에 따른 주요 펌프의 제어를 더미신호에의해 실험하여 시스템의 성능을 확인하였다.

2. 개발된 기관실 분산제어시스템(KMU DCS Ver 1.0)

2.1 시스템의 하드웨어

시스템을 개발함에 있어 다음과 같은 주안점을 두었다.

- 가) PC급의 컴퓨터로 실시간제어가 가능한 분산제어시스템을 구축하여야 한다.
- 나) 제어시스템과 Man-Machine Interface(MMI)와는 별개로 하여 통신이나 제어지령, 감시등으로 인하여 실시간제어가 방해되지 않아야 한다.
- 다) 실시간 제어를 위하여 MMI와 제어시스템과는 고속(375KBPS)으로 통신이 가능하여야 한다.
- 라) 시스템의 확장성과 I/O확장성이 용이하여야 한다.

마) 어떠한 PC에도 용이하게 이식할 수 있어야 한다.

Photo. 1은 개발된 분산제어시스템(KMU DCS Ver1.0; Korea Maritime Uni. Distributed Control System Version 1.0)으로서 6개의 스테이브시스템으로 구성하였으나 32개의 시스템 까지 확장할 수 있다. 각 스테이브시스템의 윗부분은 해당 시스템의 제어신호의 출력이며, 아래 부분은 제어신호의 출력에 의해 기기가 작동한 경우를 가정하여 수동으로 스위치를 통하여 입력 하기위한 스위치군과 압력, 온도, 위치등의 아나로그 신호를 입력하기 위한 포텐쇼메터들로 구성되어 있으며 이에 의해 제어의 결과가 컴퓨터에 입력되도록 하였다.

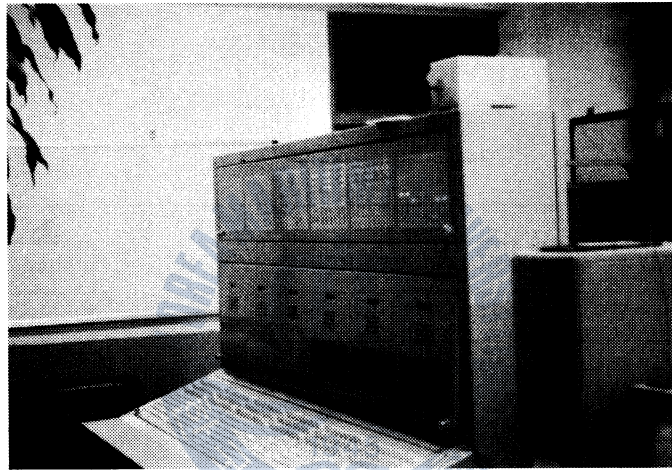


Photo.1 Overhaul view of the System

또한 주 컴퓨터의 마우스 또는 스크린 터치에 의한 원격제어를 하지 않은 경우 각각의 스테이브 시스템에 서 로컬제어가 가능하도록 24키와 2라인 16자의 LCD를 이용하여 시스템의 각종 파라미터의 조정, 기기의 제어 및 감시가 16진수로 이루어 지도록 하였다.

주시스템과 스테이브시스템의 제원은 표1과 같으며 주시스템은 PC의 사양에 따르고 사용 메모리는 주시스템의 메모리의 1MByte위에서 부터 본 시스템의 사용메모리가 DIP S/W에 의해 간단히 설정되어 지도록 하였다.

Fig.2.1은 KMU DCS의 구성도이고 Fig.2.2는 시스템의 메모리 맵이다. Fig.2.2에서 주시스템은 PC의 메모리 상위 1MByte위에서 8044와 32KByte의 DPRam(Dual Port Ram)을 공유한다. 이 DPRam은 각 스테이브 시스템의 수에 따라 256 Byte(100H) 씩 나누고 256 Byte는 다시 주 시스템에서 해당 스테이브 시스템으로의 명령영역(Command Area; CMD영역)과 스테이브시스템에서 제어의 결과를 저장하는 모니터영역(Monitor Area; MON영역)으로 나눈다. 스테이브시스템도 32KByte의 DPRam을 가지고 통신프로세서인 8044와 제어 프로세서인 8096이 이를 공유한다. 주시스템은 마우스나 터치스크린에서 입력된 데이터를 해당 스테이브의

표 1 개발된 기관실 분산제어시스템의 사양

항 목	Main System	Slave System
주 Processor	PC 사양에 따름	Intel 8096 계열
통신 모듈,프로토콜, 전송율,버스	Intel 8044,SDLC, 375KBPS,IEEE485	Intel 8044,SDLC,375KBPS,IEEE485
입력 장치	PC 사양에 따름(Mouse,터치스크린)	24 Key
표시 장치	PC 사양에 따름	16 Char x 2 Line LCD
Digital I/O	-	120 점
Analog 변환	-	65 점(AD 64점,DA 최소1점)

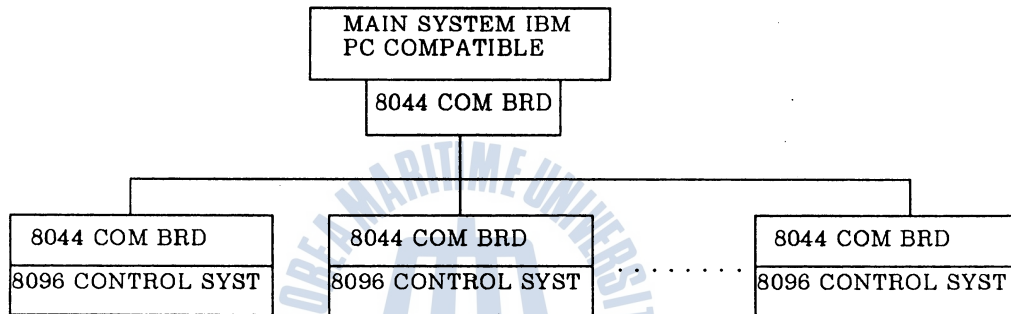


Fig.2.1 Configuration of KMU DCS Ver.1.0

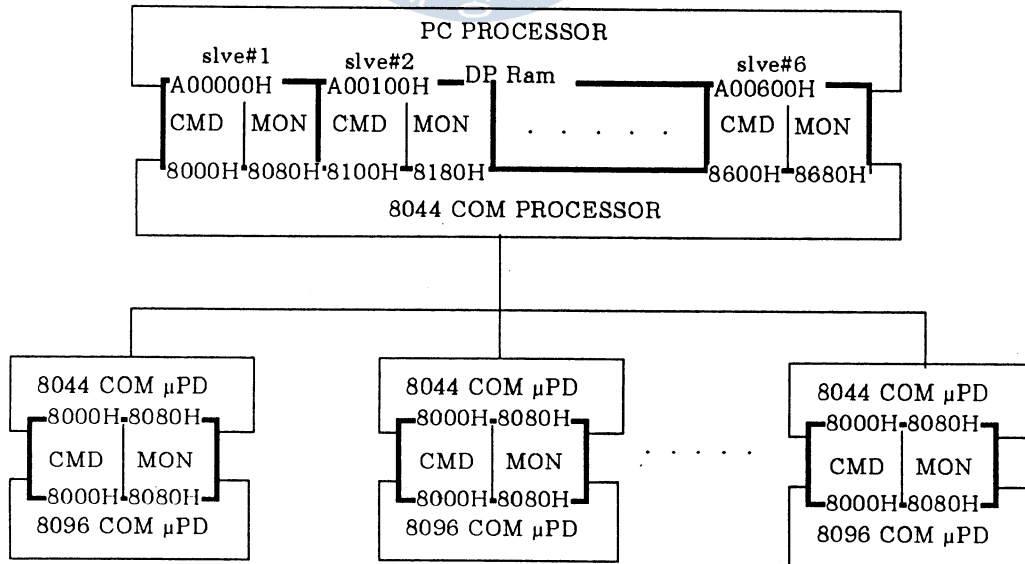


Fig.2.2 Memory Map of System

CMD영역에 데이터를 쓰고 8044는 이 영역의 데이터를 해당 스테이브시스템에 전달한다. 스테이브시스템의 8044는 주시스템에서 전달된 CMD데이터를 CMD영역에 쓰고 제어 프로세서인 8096은 이 영역의 데이터를 가져와 제어를 행하고 그 결과를 MON영역에 쓴다. 스테이브시스템의 8044는 MON영역의 데이터를 주시스템으로 전송하고 주시스템은 MON영역의 데이터를 그래픽화면에 출력하므로써 제어의 결과를 모니터링한다. 이렇게 하므로써 통신과 주시스템의 MMI 입출력에 의해 방해를 받지 않고 실시간 제어를 행할 수 있다.

2.2 시스템의 통신

통신시스템은 Fig.2.3과 같이 Multipoint Half Duplex으로 구성하여 주시스템이 먼저 스테이브 #1을 호출하면 호출 프래그에 의해 모든 시스템이 폴링하고 ID필드에 의한 주소가 같은 스테이브는 계속 수신상태로 되며 다른 시스템은 수신을 포기한다. 주소가 같은 시스템은 계속 수신하여 CMD영역에 저장하고 수신이 끝나면 자기의 데이터(MON 영역)를 송신한다. 주시스템의 수신이 끝나면 다시 다음 스테이브를 호출하여 같은 동작을 반복한다. Fig.2.4는 8044에 의한 데이터의 흐름을 나타내고 있다.

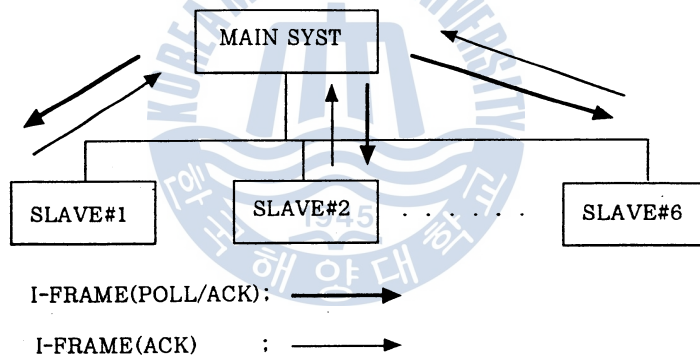


Fig.2.3 Communication of System

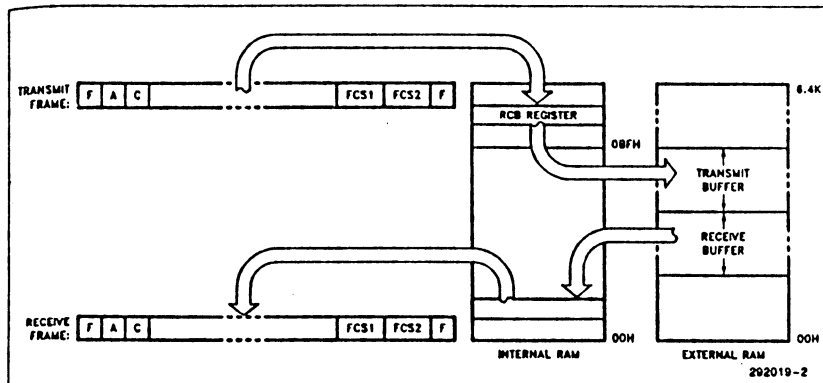


Fig.2.4 Data Flow by RUPI8044

2.3 시스템의 소프트웨어⁸⁾

시스템은 사용자의 편의를 고려하여 GUI(Graphic User Interface)로 하여 아이콘을 클릭(또는 터치)하므로써 시스템운용에 편리를 제공하였다.

본 시스템은 DOS를 사용하므로 기본적으로 640KByte의 메모리밖에 사용할 수 없으나 INT15H를 사용하여 확장된 메모리를 접근한다. INT15H는 메모리 관리를 하지 않기 때문에 연속확장 메모리를 이용하는 드라이버와 같이 사용해서는 안되며 단순히 확장메모리에 데이터를 써넣거나 읽는 동작은 전송할 메모리의 크기와 전송될 데이터가 있는 번지 및 수신될 연속확장메모리의 주소만 디스크립션테이블(블록의 이동 디스크립션)에 기록해주고 이 테이블의 번지를 ES:SI 레지스터에, 전송될 크기(2 바이트)를 한 단어로 해서 CX 레지스터에 써 넣은 후 INT15H를 실행하면 된다. 표 2는 SOURCE GDT 또는 TARGET GDT의 구성 예이다.

표 2 SOURCE GDT와 TARGET GDT의 구성 예

프로그램 구조	Description	비 고
SOURCE_TARGET_DEF struc	세그먼트한개 값(1-65536Byte)	전송할 데이터의 수(워드단위)
SEG_LIMIT DW ?	24비트 물리번지중 하위주소	전송,수신할 주소의 하위16비트주소
BASE_LO_WORD DW ?	주소의 범위 (0- 15M)	전송,수신할 주소의 상위8비트 주소
BASE_HI_BYTE DB ?		
DATA_ACC_RIGHT DB ?	Access Right Bytes	Data Access Rright(93H)
DATA_RESERVED DW ?	예약됨	
SOURCE_TARGET_DEF ENDS		

2.4 디지털가바나 시스템

장행정저속 박용 디젤 주기관은 Fig. 2.5와 같이 연소계통과 회전계통으로 나눌수 있고 회전계통은 메드타임을 가진 1차계통으로 회전계통은 1차계통으로 모델링할 수 있으나^{1,2,3)}, 회전수에 따라 각 정수는 표3과 같이 변화의 폭이 커져 기존의 기계유압식조속기로서는 저속에서 안정성과 고속에서 속응성이라는 상반된 제어성능을 동시에 만족시키기가 어려워 디지털가바나를 개발하여 사용하고 있다.

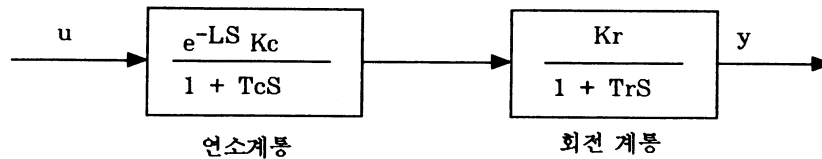


Fig.2.5 Block Diagram of Marine Diesel Engine

표3 B&W 4L 80MC기관의 회전수에 따른 정수의 변화

rpm 정수	20	30	50	60	70	80
L	1.500	1.000	0.600	0.500	0.430	0.380
Tc	0.074	0.050	0.030	0.025	0.021	0.019
Kc	16.345	22.860	58.190	81.870	103.230	122.470
KL	36.665	35.560	69.380	99.910	135.980	177.610
Kr	0.027	0.028	0.014	0.010	0.007	0.006
Tr	2.164	3.347	2.859	2.382	2.042	1.787

Fig. 2.5에서 dead time을 1차 근사하면 제어 출력 y 는

$$y''' = -a_1 y'' - a_2 y' - a_3 y + b_1 u \quad (2.1)$$

$$a_1 = \frac{(L+T_c)T_r + T_c L}{T_c T_r L}, \quad a_2 = \frac{L+T_c+T_r}{T_c T_r L}, \quad a_3 = \frac{1}{T_c T_r L}, \quad b_1 = \frac{K_c + T_r}{T_c T_r L}$$

이 된다. 또 황천시의 제어성능을 향상시키기 위해 부하 q 를 측정하여 이를 피드포워드하면

$$y''' = -a_1 y'' - a_2 y' - a_3 y + b_1 u - (d_1 q'' + d_2 q' + d_3 q) \quad (2.2)$$

$$b_1 = \frac{K_r K_c}{T_c T_r L}, \quad d_1 = \frac{K_r}{T_r}, \quad d_2 = \frac{(L+T_c)K_r}{T_c T_r L}, \quad d_3 = \frac{K_r}{T_c T_r L}$$

이 되고 부하를 피드포워드함에 의한 제어입력을 u_q 라 하면

$$u_q = \frac{d_1 q'' + d_2 q' + d_3 q}{b_1} \quad (2.3)$$

$$u^- = u - u_q$$

이며 식 (2.2)는

$$y''' = -a_1 y'' - a_2 y' - a_3 y + b_1 u^- \quad (2.4)$$

이를 상태 방정식으로 고쳐 쓰면

$$\dot{x} = Ax + Bu^- \quad (2.5)$$

$$y = Cx$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -a_3 & -a_2 & -a_1 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b_1 \end{bmatrix}, \quad C = [1 \ 0 \ 0]$$

또한 제어대상의 정수추정이 부정확하거나 목표치 또는 부하가 변동하는 경우에는 정상상태에서 출력 y 가 목표치 y_r 를 추종하지 않을 수도 있으므로 y 와 y_r 의 차의 적분을 새로운 상태 z 로 두고 시스템을 확장하면

$$\dot{x}^- = A^-x^- + B^-u^- + E^-y_r \quad (2.6)$$

$$y = C^-x^-$$

$$A^- = \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B^- = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C^- = [C \ 0], \quad E^- = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad x^- = \begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix}$$

이 된다. 정상상태가 되었을 때의 상태 x_r 과 정상상태의 제어입력 u_r^- 는 y 가 정상상태에서 y_r 이 되었다고 가정하면

$$\begin{bmatrix} x_r \\ u_r^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ y_r \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

로 구해지며 식(2.7)의 역행렬은 원래의 시스템이 가제어이고 폐회로전달함수행렬 $C(SI-A)^{-1}B$ 가 원점에 영점을 가지지 않는 경우에는 존재하므로 x_r , u_r^- 는 일의적으로 구할수 있다.^{9,10} 또한 시스템(2.6)은 확장하기 전의 시스템이 가제어이면 역시 가제어이다. 확장된 시스템(2.6)이 정상상태가 되었을 때 x^-, u^-, y 를 x_r^-, u_r^-, y_r 라 하고 이의 차를 $\Delta x^-, \Delta u^-, \Delta y$ 라 하면 시스템 (2.6)의 과도상태방정식은

$$\begin{aligned} \Delta \dot{x}^- &= A^- \Delta x^- + B^- \Delta u^- \\ \Delta y &= C^- \Delta x^- \end{aligned} \quad (2.8)$$

이 되며 이를 최적제어하기 위하여 평가함수 J_c 를 다음과 같이 도입하면

$$J_c = \int_0^{\infty} (\Delta x^{-T} Q \Delta x^- + r \Delta u^{-2}) dt \quad (2.9)$$

Q : Positive semi-definite, $r > 0$

시스템 (2.6)을 최소화하는 제어입력 Δu^* 는

$$\Delta u^* = -K \Delta x^- \quad (2.10)$$

$$K = 1/r B^{-T} P$$

이고 식(2.10)의 P 는 matrix riccati 방정식

$$A^{-T}P + PA^{-1} + Q - 1/rPB^{-T}P = P' \quad (2.11)$$

의 정상상태의 해행렬이다. 따라서 시스템의 최적제어 입력 u^* 는

$$u^* = \Delta u^{-*} + u_r^{-} + u_a \quad (2.12)$$

가 되며 이를 도시하면 Fig. 2.6과 같다.^{1,2,3)}

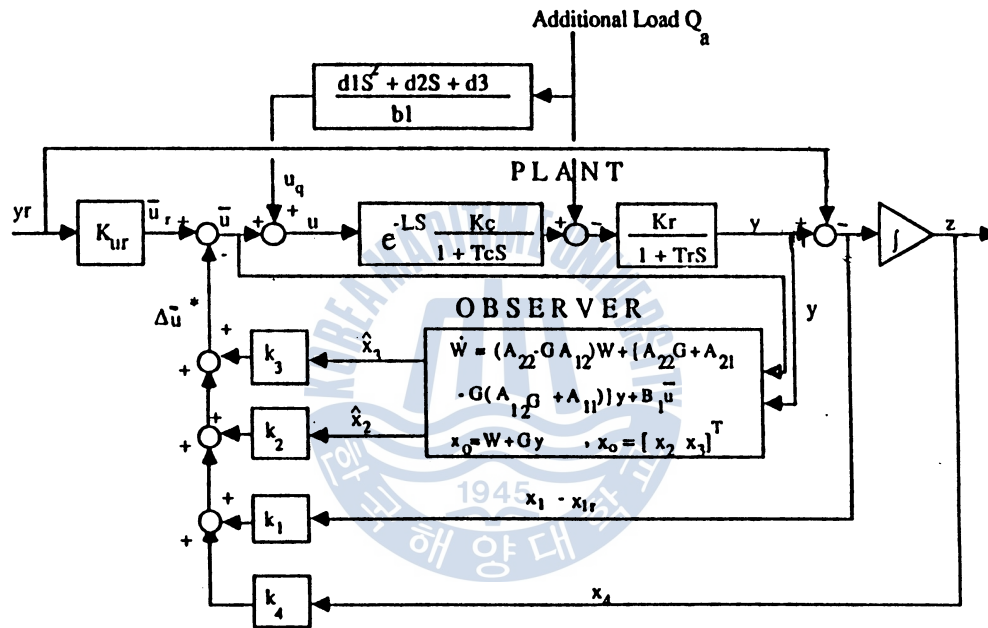


Fig.2.6 Optimal control system of Low speed. Large Size Marine Diesel Propulsion Engine

이와 같은 시스템을 실현하기 위하여 Fig.2.7과 같이 스테이브 시스템을 구성하였다. 그림에서 ADC#0,1,3에 의해 변환된 Ref(목표치 RPM),Iy(현재RPM),Iqa(측정된 부가 부하)가 1/6 초의 간격으로 시스템에 입력되면 OPTIMAL CONTROL BLOCK에 의해 최적 FUEL RACK POSITION이 결정되고 스위칭 콘트롤러에 의해 릴레이를 동작하여 공기압실린더를 움직인다. 이에 의해 연동되는 포텐쇼메터를 ADC#2로 시스템에 피드백 하여 FUEL RACK를 제어한다. 입력된 FUEL RACK POS.과 측정된 부가부하는 모델링한 저속 장행정 디젤 기관에 입력되어 회전수(RPM)을 계산하고 HSO CONTROLLER에 의해 STEP MOTOR가 계산된 회전수를 내기 위한 주파수를 발생한다. STEP MOTOR와 직결된 ENCODER의 출력은 F/V변환기에 의해 전압으로 변환되고 ADC#1에 의해 시스템에 입력된다. Photo. 2 는 디지털가바나를 포함한 주기관운용시스템의 화면이다.

선박용 디지털가바나와 기관실감시제어용 분산제어시스템의 개발

BLOCK DIAGRAM OF MARINE DIESEL DIGITAL GOVERNOR SYSTEM

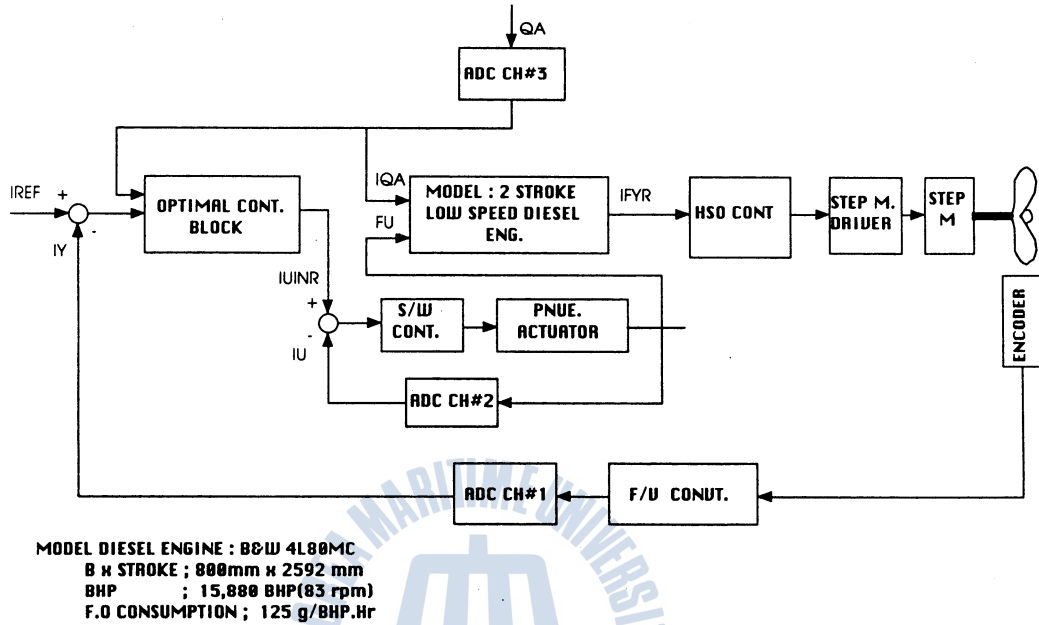


Fig.2.7 Configuration of Digital Gov. System for DCS Application

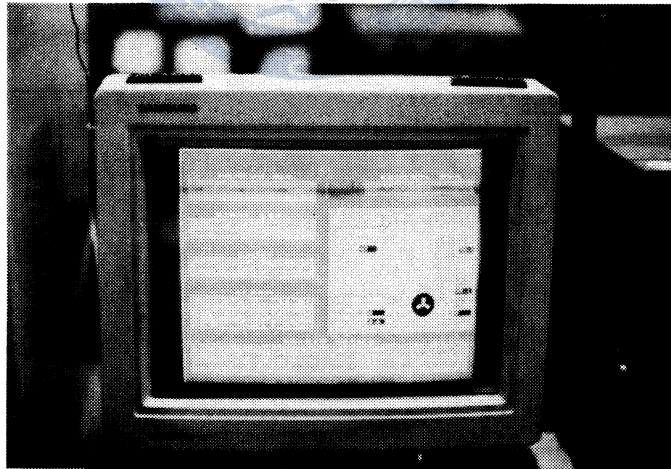


Photo.2 Maneuvering Window of Digital Gov. and Main Diesel Engine

2.5 보일러 압력 및 수위제어시스템

TURBO-GENERATOR을 구동하는 선박용 보조보일러(20TON/HR)를 모델로하여 포텐쇼미터에 의해 입

력되는 부하에 따라 압력과 수위를 제어하는 시스템을 구성하였다.

보일러의 증기압은

$$T_B P' + K_4 P = q + K_1 \Theta_W - K_2 g_W - K_3 g_S \quad (2.13)^{5,6)}$$

단,

$$T_B = \frac{P_o}{Q_o} \left[W_M C_M \left(\frac{\partial \Theta_M}{\partial P} \right)_o + W_o \left(\frac{\partial i}{\partial P} \right)_o - W_o \left(\frac{i'' - i'}{v''} \frac{\partial v''}{\partial P} \right)_o \right]$$

$$K_1 = \left(\frac{\partial \Theta_W}{\partial i'' - i'} \frac{\partial i_W}{\partial \Theta_W} \right)_o, \quad K_2 = r, \quad K_3 = 1 - r, \quad K_4 = 0$$

v', v'' : 포화수와 포화증기의 비체적 (M^3/Kg)

i', i'' : 포화수와 포화증기의 엔탈피 ($KCal/Kg$)

W', W'' : 포화수량, 포화증기량 (Kg)

Θ_M : 강제의 온도

W_M : 강제의 중량

C_M : 강제의 비열

Θ_W : 급수의 온도

i_W : 급수의 엔탈피

o : 첨자는 변동전의 치

이고 보일러의 수위(L)는

$$L = (g_W - g_S) \frac{t}{T_L} + (q - g_W - AP') B (1 - e^{-t/T_L}) \quad (2.14)^{5,6)}$$

단, AP' ; 일정으로 가정

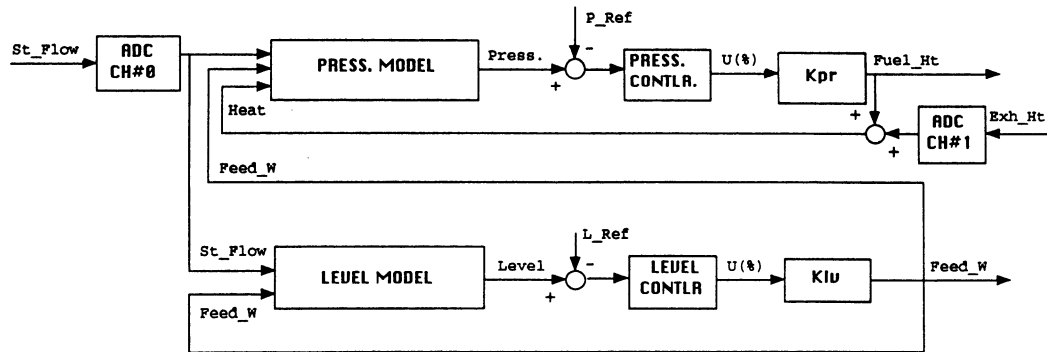
T_L ; 수순환의 시정수

g_W, g_S ; 급수, 증기유량

L, P ; 수위 압력의 무차원 편차

으로 모델링하였으며 압력은 PID제어기로, 수위는 1요소식으로 PI제어기를 사용하였다. Fig. 2.8은 보일러의 수위 및 압력제어시스템의 블록선도이며 Photo. 3은 보일러 제어시스템의 감시제어 화면이다.

BLOCK DIAGRAM OF MARINE BOILER SYSTEM



MODEL BOILER : 20 TON/HR

Fig.2.8 Block Diagram of Marine Boiler Control System



Photo. 3 Maneuvering Window of Press. & Level control of Aux. Boiler

2.6 펌프제어 및 압력,온도의 감시

Photo. 4는 펌프의 제어와 압력 및 온도의 감시화면으로 3개의 화면으로 나누어져 있다. 펌프의 제어는 마우스나 스크린터치로 해당펌프의 상위 반원을 터치하면 데이터로 입력되어 해당 스테이브시스템의 CMD 영역으로 전송되어 제어출력을 발하고 해당 펌프가 기동되면 기동입력 신호에 의해 기동된 데이터가 스테이브시스템에 의해 주시스템으로 전송되어 하반원에 표시된다. 1호기가 운전상태이며, 자동상태이고 2호기가

준비 (S/B)된 상태에서 압력이 저하하여 경보치 이하가 되면 경보를 발하고 펌프교환치 이하가 되면 운전중인 호기의 이상을 표시함과 동시에 준비된 호기를 자동기동하고 이상 호기를 정지시킨다. 압력의 표시는 아날로그식과 함께 디지털값을 병기하여 편의를 도모하였으며, 각종 펌프의 전원, S/B, 운전, 정지 등을 화면에서 조작 가능하도록 하였다. 각종 온도의 감시도 압력과 같이 아날로그표기와 디지털표기를 병기하였으며 고온, 저온 경보를 발할 수 있도록 하였다.

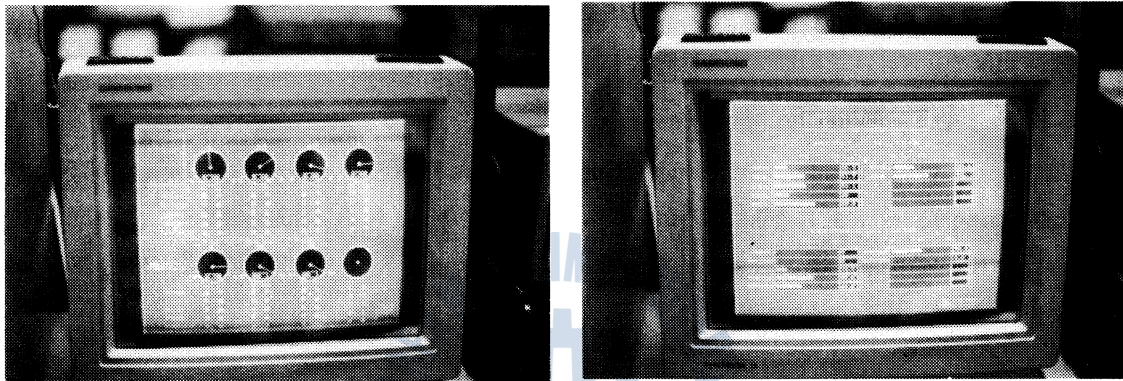


Photo.4 Maneuvering Windows of Various Pump Control and Press.,
Temperature Monitoring

3. 결 론

본 연구를 통하여 저렴한 PC를 이용하여 분산제어시스템을 구성하고 이를 이용하여 선박용 디젤 주기관의 디지털가바나와 주기운용시스템, 보일러의 압력 및 수위제어 시스템 및 펌프의 제어와 압력, 온도의 감시 시스템에 적용하여 이의 효용성을 입증하였다.

선박의 자동화는 날로 정도를 더하여 단순한 컴퓨터나 마이크로프로세서에 의한 자동화의 단계를 넘어 자동화기기 간의 정보를 공유하고 이를 Database화하여 선박전체를 정보화 하려는 경향으로 발전하고 있다. 이러한 경향에 비추어 본 연구의 결과는 기관실을 비롯한 선박의 각종기기의 자동화를 계층적으로 구성하고 선박전체를 정보화하는데 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

參考文獻

- 1) 하 주식, 유 영호 외 7인, “船舶 機關用 디지털가바나의 國産化를 위한 研究”, 1989. 7, 과학기술처
- 2) 유영호, 하주식, “低速 長行程 船用디젤 機關의 速度制御에 關한 研究 I”, 1988. 12 한국박용기관학회지

제 12권4호

- 3) 유영호,하주식, “低速 長行程 船用디젤 機關의 速度制御에 關한 研究 II”, 1989. 8 한국박용기관학회지 제 13권3호
- 4) 유영호, “船用 디젤 機關의 速度制御에 關한 研究”, 1990.2 博士學位 論文
- 5) 寺野壽郎. 竹內元, “ボイラの 自動制御” 1969, 오ム社
- 6) 佃俊雄, 內田義久, “火力發電所の 自動制御, 1961, 오ム社
- 7) 유영호, 류길수, 양주호, 박진길, 하주식, “선박용 디젤기관의 디지털가바나 및 주변기기 S/W개발”, 1994 상공자원부
- 8) “トラ技コンピュータ” 1992.10 CQ出版社
- 9) W.E.Hopkins, Jr., J.Medanic, W.R.Perkins, “Output Feedback Pole Placement in the Design of Suboptimal Linear Quadratic Regulators”, Int. J. Contr. 1981, Vol.34, No.3, PP593-612
- 10) Huibert Kwakernaak, Raphael sivan, “Linear Optimal Control System”, PP270-275, Wiley & sons, 1972

