

μ-processor를 이용한 폐쇄사이클 디젤추진시스템의 모니터링 및 제어모델에 관한 연구

유 춘 식†

(원고접수일 : 2003년 8월 25일, 심사완료일 : 2004년 7월 13일)

A Study of Monitoring and Control Model of Closed Cycle Diesel Propulsion System using Microprocessor

Choon-Sik Yu†

Abstract : The closed cycle diesel propulsion system is free from the problem of the intake air, exhaust gas and their control that are associated with the conventional diesel propulsion system. The system is composed of a main engine, an exhaust cooler, a CO₂ scrubber and a O₂ mixer. In this paper, a hardware using microprocessor is proposed in order to monitor and control the oxygen and ratio of specific heat for underwater diesel propulsion system. Also simulation is carried out to ascertain the performance of proposed system.

Key words : Closed Cycle Diesel Propulsion System(폐쇄사이클 디젤추진시스템), μ-processor(마이크로프로세서), Ratio of Specific Heat(비열비), Oxygen Control(산소제어), O₂ Mixer(산소혼합기), Argon Control(아르곤제어)

1. 서 론

근래에 들어 광범위한 해저 개발 또는 군사 목적상 수중 활동시 수심에 무관하게 장시간 독립적으로 동력을 발생할 수 있는 동력장치 개발의 필요성이 선진국에서 급증하고 있다.

보편적으로 이 분야의 추진방식으로는 모선으로부터 동력을 공급받는 탯줄형의 케이블 연결(Umbilical cable linking)방식과 연축전지(Lead-acid battery)를 이용한 방식 등이 사용되어 왔다. 전자는 수중 지속능력 및 출력 용량에

대한 제한은 없으나 비용이 많이 들고 케이블이 헝클어지고 조류에 밀리기 쉽다는 등의 문제점이 있으며 후자는 독립성 및 자율성은 보장되나 출력 및 운전시간에 큰 제약을 받는 문제점이 있다. 이러한 동력공급장치는 2차대전 이후 실험적으로 연구되어 왔으며 1960~1970년대 사이에 일시 중단되었다가 해저개발을 위해 주로 유럽 및 일본 등지에서 연구가 다시 활발히 수행되고 있다. 국내에서는 이에 대한 연구가 거의 이루어지지 않고 있으나, 해저 광케이블 설치나 해저개발을 위한 수중탐사정 개발의 필요성에 따라 이러한 동력장

† 책임저자(호남대), E-mail : chsyu@hanmail.net, T : 016-656-5613

치에 관한 연구는 시급히 이뤄져야 할 것으로 사료된다.

이 동력장치 개발시 야기되는 문제에 대한 해결 방법으로는 영국 뉴캐슬대학의 A. Fowler 등⁽¹⁾의 연구 결과에서 보는 바와 같이 종래의 디젤기관에서 흡기 및 배기 문제를 화학적 가스 세정 (Chemical scrubbing of exhaust gas)이나 산소보충 방법으로 해결한 폐쇄사이클 디젤기관 추진시스템이 대기와 격리된 상태에서 독립적으로 동력을 발생할 수 있는 장치로 유망하다고 판단된다. 실제 시스템의 구성은 대단히 복잡하며 고려할 요소들이 많기 때문에 효율적이고 신뢰성 높은 운전을 위해서는 자동화가 필수적이며, 마이크로프로세서를 이용하면 다수의 제어요소에 대한 모니터링과 제어를 효율적으로 수행할 수 있다.

이 연구에서는 폐쇄사이클 디젤기관 추진시스템의 핵심 부분인 산소(O₂)와 비열비(*r*)의 제어를 위하여 시스템의 제어특성과 제어모델을 고찰하고, 마이크로프로세서를 이용하여 제어시스템을 구현하고자 한다.

2. 가스 생성 Sub-system의 특성과 제어모델

2.1 폐쇄사이클 디젤추진 시스템의 구성

대기와 격리된 추진시스템은 1980년초부터 유럽 각국에서 연구가 다시 수행되어 현재는 실선에 적용되는 단계에까지 이르고 있다. 그 종류를 보면 폐쇄사이클 디젤기관 추진시스템, 스테어링기관 추진시스템, 연료전지 추진시스템 등이 있으며 이들은 단독 혹은 연속전지 추진시스템과 하이브리드로 운용 가능토록 연구되고 있고, 단독 시스템 보다는 하이브리드 시스템으로 발전하는 추세에 있다. 하이브리드 추진시스템의 경우 저속순항 및 탐색시에는 폐쇄사이클 추진시스템을 사용하고 고속 항해시에는 연속전지 전원을 사용한다.

특히 폐쇄사이클 디젤기관 추진시스템은 4개의 Sub-system 즉, 주기관, 배기냉각기(Exhaust cooler), CO₂흡수기(Scrubber) 그리고 산소혼합기(O₂ mixer) 등으로 구성된다.

그리고 작동유체(Working fluid)로는 기관의 최초 시동시 대기를 이용하는데 이 공기는 N₂(78%), O₂(21%) 기타 Ar, H₂O, CO₂ 등의 성분으로 이뤄지며 이때 공기의 비열비는 $r \approx 1.4$ 로 주어진다.

작동유체를 반복 사용할 경우 O₂는 연료의 연소에 의해 소모되며 결과적으로 N₂, Ar, O₂와 연소생성물인 CO₂, CO, SO₂ 등으로 된다. 또 N₂는 감소하고 CO₂ 성분은 증가하며 비열비(*r*)는 감소하게 된다.

이 때 작동유체의 비열비 감소현상은 기관성능 감소에 중요한 영향을 미치므로 Ar과 같은 불활성가스를 필요한 만큼 첨가하여 비열비를 높여주므로써 연소효율을 향상시켜 기관성능을 개선할 수 있다⁽²⁾.

이와 관련하여 가스성분 및 온도 변화에 따른 정압비열(C_p)의 변화는 식(1)과 같이 주어진다.

$$C_p = (a_1 + a_2 T + a_3 T^2 + a_4 T^3 + a_5 T^4)R \quad (1)$$

단, *R* : 기체상수

또한 실린더내에 분사된 연료가 완전연소하는데 적합한 상태로 만들어 주기 위해 CO₂ 흡수기를 통과한 배기가스에 산소와 아르곤가스를 혼합하여 주기관으로 보내주어야 하며 이 역할은 산소 혼합기가 수행한다.

그리고 산소혼합기에 유입되는 배기가스에 포함된 O₂의 잔존농도는 산소혼합기 입구에 부착된 산소 센서에 의해 측정되며, 연소에 알맞는 공기 상태로 만들어주기 위하여 적절한 양의 산소를 액화산소(LOX) 탱크로부터 공급한다.

이 시스템에서 유체의 흐름속도에 대한 온도가 일정하고 마찰손실이 없다고 가정하면 질량보존의 법칙에 따라서 유입되는 공기량은

$$V \frac{d(\rho)}{dt} = \rho_i F_i - \rho F + i m o_2 \quad (2)$$

단, *V* : 산소혼합기의 체적

ρ_i : 산소혼합기로 유입되는 배기가스내의 산소밀도

ρ : 산소혼합기 출구에서의 산소밀도

F_i, F : 산소혼합기 입구와 출구에서의 체적 유동량

\dot{m}_{O_2} : 액화산소탱크로부터 유입되는 산소 유동량

가 된다. 이식을 정리하면

$$V \frac{d\rho}{dt} + \rho F - \rho_i F_i = \dot{m}_{O_2} \quad (3)$$

$$F = F_i \text{ (assume)}$$

이 되며 식(3)으로부터 전달함수를 구하면,

$$\frac{\rho(s)}{MO_2(s)} = \frac{1}{V s + F_i} \quad (4)$$

가 된다.

2.2 산소혼합기의 제어모델

산소혼합기는 순환되는 배기가스에 산소를 공급하여 기관에서 요구되는 연비를 제어하는 역할을 담당하며, 배기가스의 유량과 공급되는 산소량에 따라 기관의 출력이 결정된다. 제어시스템에 대한 고려요소로서 산소혼합기 출구에서의 산소 농도의 측정, 혼합기 입구에 공급되는 배기가스 내의 산소농도의 측정 그리고 갑작스러운 기관출력의 증감에 따른 산소 요구량의 급속한 변동을 담당하기 위하여 기관의 출력명령을 감지하는 것 등이 있다. 여기서 산소혼합기 출구의 산소 농도에 의하여 주 제어시스템이 동작되고 나머지 고려요소에 의하여 부차적인 제어시스템이 동작되도록 한다

(3). 이 산소제어계통의 구성은 Fig.1과 같다.

그리고 산소센서의 응답특성은 밀도에 따라 구형파에 유사한 전압을 발생시키는 선형 특성을 나타낸다. 특히 센서의 임계점이 존재하여 임계점을 중심으로 스텝변화와 유사한 특성을 나타내고 있다. Fig.2는 실제 센서의 동작특성을 나타내며, 이 기관에 사용되는 센서(0-100mV at 0-25 concentration)는 3-5ms 정도의 시간지연요소를 포함하고 있다.

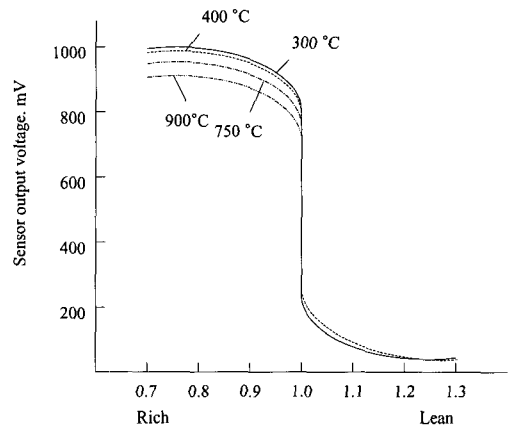


Fig. 2 O₂ sensor characteristic curve

또한 산소혼합기에 산소를 공급 조절하는 액추에이터의 동작시작으로부터 산소혼합기 입구에 산소공급이 이루어질때까지 시간지연요소가 존재하며 세부적인 고려요소는 다음과 같다.

가) 컴퓨터의 산소 공급명령으로부터 액추에이터의 구동밸브가 동작할 때까지의 시간

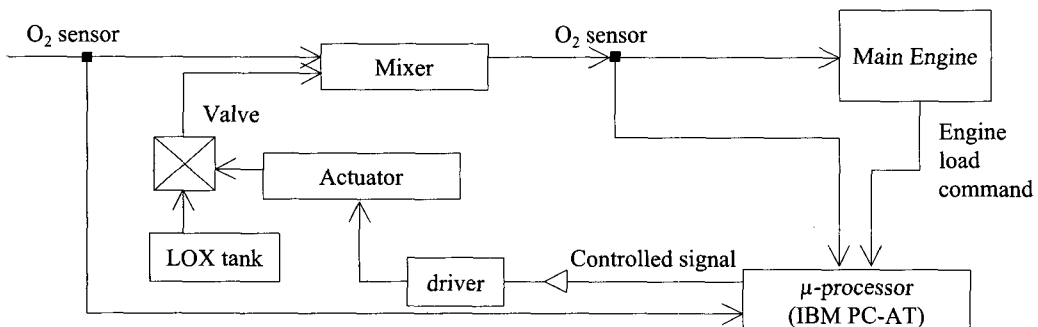


Fig. 1 O₂ control block diagram

* 구동전동기가 계자제어일 경우(스텝 모터 포함)

$$\frac{\theta(s)}{E_f(s)} = \frac{K_{T/R,B_s}}{(1+T_f s)(1+T_m s)} \quad (5)$$

단, θ : 각 변위량, K_T : 전동기토크 상수,
 R_f : 계자저항, B_s : 마찰제동계수
 T_f : 계자 시정수, T_m : 전동기 시정수

나) 액츄에이터가 구동되어 산소가 공급되기 시작할 때까지의 지연 ≈ 0

다) 공급된 산소가 산소혼합기에 들어갈 때까지의 시간지연

$$D(s) = e^{-r_0 s} \quad (6)$$

특히 다)항의 공급관 길이에 의한 시간지연은 관 길이를 조절하므로써 최소화 할 수 있다. 결과적으로 구동기에 의한 시간지연은 구동전동기의 시간지연으로 해석할 수 있으며, 본 연구에서 사용되는 구동기는 입력전압과 인가시간에 따라 밸브의 개폐각도가 조절되도록 한다. 그리고 제반요소(상승시간, 출력값, 정정시간 및 외란에 대한 안정성 등)를 고려하여 Ziegler-Nichols의 한계이득 결정법⁽⁴⁾에 의해 산소제어계통의 디지털 PID제어기의 제어파라미터 $k_p=1$, $k_d=0.1322$, $k_i=0.335$ 를 결정하고, 샘플링 주기 $T=1[s]$ 때 제어기의 식(7)을 얻었다.

$$U_0(Z) = \frac{Z^2 - 0.844Z + 0.1166}{Z(Z-1)} E_0(Z) \quad (7)$$

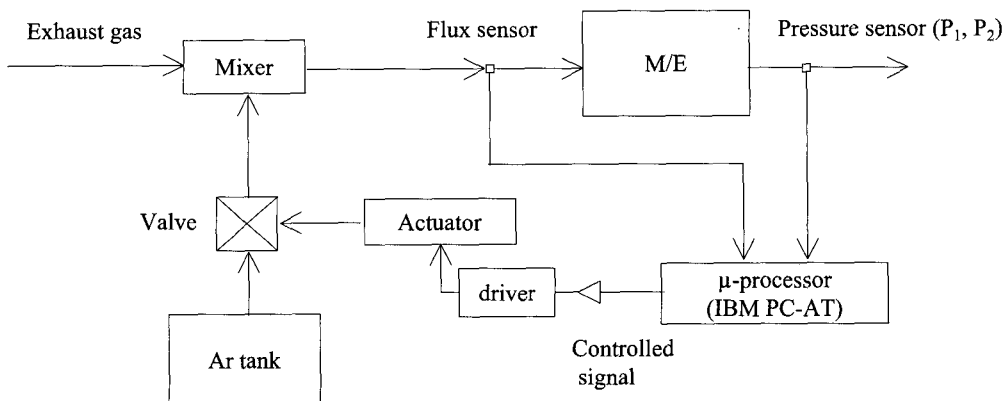


Fig. 3 Ratio of specific heat block diagram

2.3 아르곤공급기의 제어모델

비열비 제어는 비열비 방정식에 의거하여 현재의 기관상태에서 비열비를 계산하고 이것을 기준 비열비와 비교하므로써 과부족을 검출하여 아르곤 가스를 공급하도록 한다. 현재의 아르곤 가스의 공급량을 결정하기 위하여 기관 흡입구에서 배기 가스의 유량을 측정하고 피스톤의 상사점과 하사점에서 압력을 측정한다. 전체적인 비열비 제어계통은 Fig.3과 같다.

일반적으로 대기중의 공기를 이용할 경우 그 비열비(r)는 약 1.4이며 폐쇄사이클시스템에서 순환되는 배기가스의 대부분은 N_2 , CO_2 , O_2 및 Ar 등으로 구성된다. 그리고 요구되는 r 값의 범위 ($1.35 \leq r \leq 1.41$)를 설정하여 이 범위 내에 들어올 수 있도록 아르곤 첨가량 (\dot{m}_{AR})을 다음과 같이 결정하여 공급한다.

$$\dot{m}_{AR} = \frac{r_{set} \dot{m}_i - r_i \dot{m}_i}{r_{AR} - r_{set}} \quad (8)$$

단, r_{AR} : 아르곤의 비열비, r_i : 순환가스의 비열비, r_{set} : 비열비의 기준치,

m_i : 배기가스량

압력 센서는 일반적인 형태를 사용하나 동작조건이 단속적으로 고온고압이 발생하는 실린더 내부를 고려하여 고온상태에서 정밀도가 유지되고,

내구성이 있는 센서를 장치하여야 한다. 일반적인 압전형 센서의 전달함수는 다음과 같은 식으로 표시한다.

$$G_m(s) = \frac{K_p}{\tau_a s + 1} \quad (9)$$

그리고 산소혼합기 제어 파라미터와 동일한 방법으로 비열비제어계의 PID제어기의 제어파라미터 $k_p=18.6$, $k_d=27.9$, $k_i=1$ 를 구하고, 샘플링 주기 $T=1[s]$ 때 제어기의 식(10)을 얻었다.

$$\text{즉, } U_a(Z) = \frac{Z^2 - 1.57Z + 0.56}{Z(Z-1)} E_a(Z) \quad (10)$$

3. 마이크로프로세서를 이용한 제어 하드웨어의 구성

본 연구에서는 전체시스템중 산소와 아르곤만을 대상으로 80486 마이크로프로세서 1대를 이용하여 제어를 행하고 추후 전체시스템을 관제하는 감독 컴퓨터(Supervisory computer)와의 데이터 교환을 위하여 직렬통신포트를 준비해 두기로 하였다.

실시간 제어를 행함에 있어서 무엇보다도 중요

한 사항은 센싱 및 제어가 일정한 시간 간격으로 이뤄져야 한다.

따라서 80486 마이크로프로세서, A/D 및 D/A 변환기, 8259 인터럽트 제어기, 8253 인터벌 타이머 등을 이용하여 시스템을 구성하고, 일정한 시간 간격으로 CPU에 인터럽트를 걸리게 함으로써 실시간 제어를 행하였다.⁽⁵⁾

Fig.4는 마이크로프로세서 하드웨어 인터페이스 블록선도이다.

여기서 산소농도 및 압력등의 아날로그량은 A/D 변환기에서 디지털량으로 변환된다. 변환기는 미국 Advantech사의 PCL-812 PG를 사용하였으며 내장된 D/O 포트를 통하여 액츄에이터 회전방향제어신호를 출력한다.

변환기의 채널 0과 채널 1로부터는 혼합기 입구와 출구의 산소 농도를, 그리고 채널 2와 채널3 으로부터는 실린더 상상점 압력(P₁)과 실린더 하상점 압력(P₂)을 입력 받는다.

여기서 사용된 8253 타이머는 원하는 주파수의 구형파 발생과 원하는 일정시간마다 인터럽트를 발생시키기 위한 소프트웨어 트리거 스트로브 및 밸브 구동 전동기에 원하는 시간동안만 전원을 공급함으로써 밸브를 제어하기 위한 프로그래머블

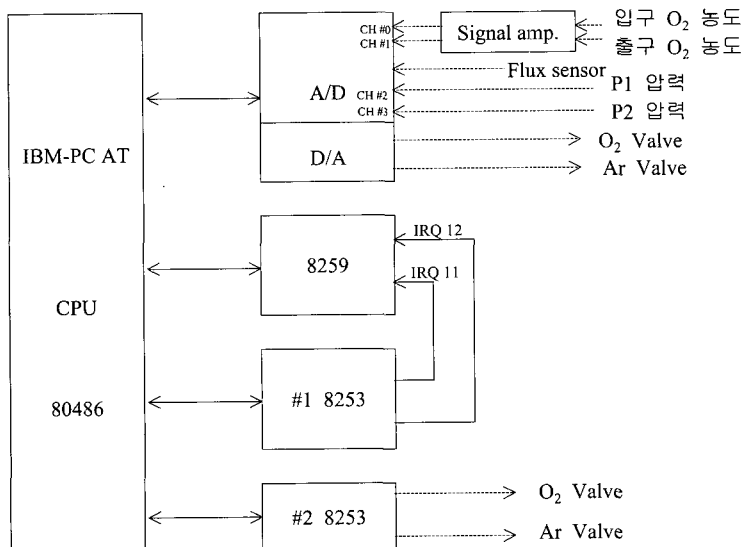


Fig. 4 Microprocessor H/W interfacing block diagram

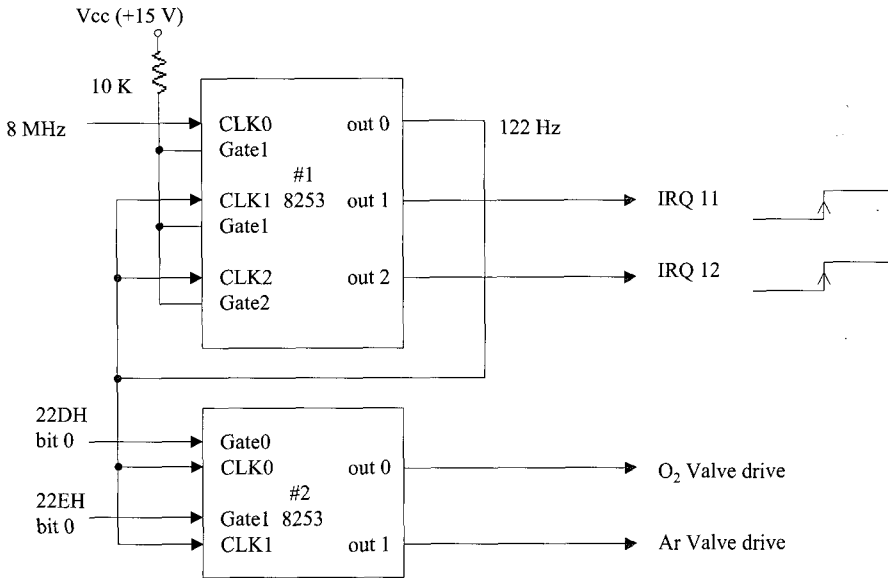


Fig. 5 8253 circuit for interrupt request generation and valve drive

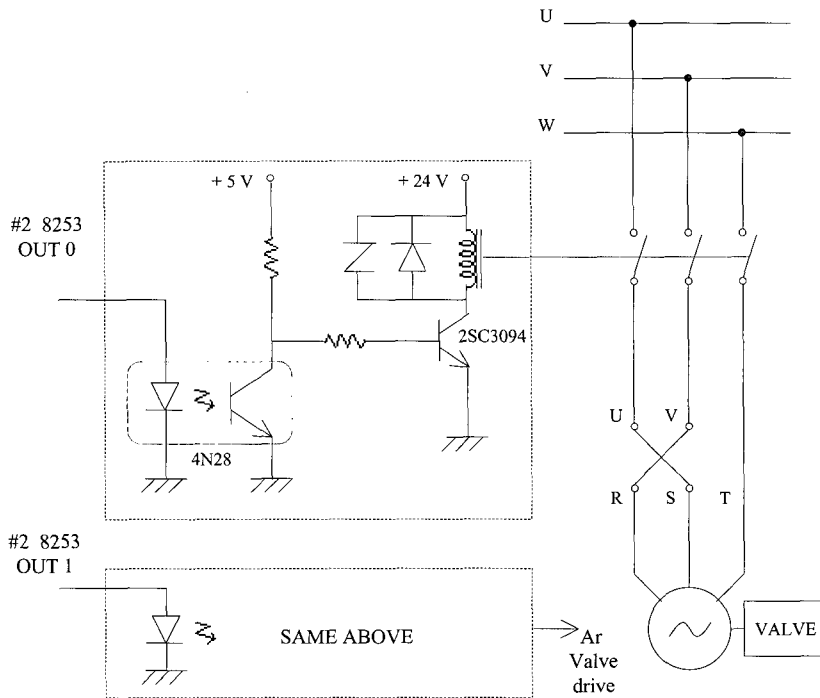


Fig. 6 Actuator drive circuit

Table 1 Sensor and actuator constants of O₂ and Ar control system

	sensor	actuator
O ₂	<ul style="list-style-type: none"> · ZrO₂ · 0-100mV at 0-25% concentration · select ×100 gain → 0-10V · time lag : 3~5ms 	<ul style="list-style-type: none"> · 3∅ induction motor · ball type valve · 90° rotation(full open) at 10 sec operation
Ar	<ul style="list-style-type: none"> · 0-5V or 0-10V selectable(signal amp 부착) at 0-100 bar · shaft position : tdc, bdc 	<ul style="list-style-type: none"> · 4 pole step motor · full open(45°) at 180 pulse · stroke : 9.5mm · cone type valve

원 샷(one shot)으로서의 용도를 갖는다.

Fig.5는 인터럽트 발생 및 밸브 구동신호 발생 회로로서 2개의 8253을 사용하여 이뤄진다.

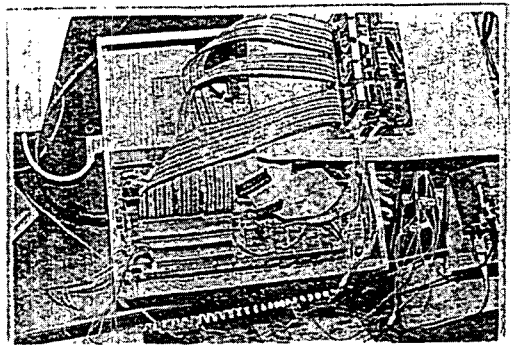
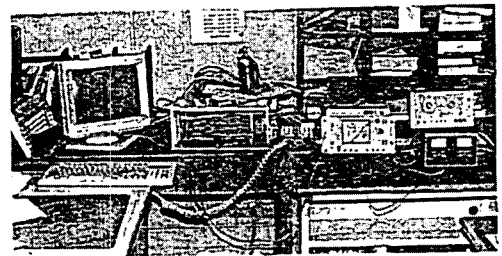
먼저 #1 8253 카운터 타이머는 8 Mhz의 시스템 클럭을 받아서 구형파 제너레이터로 설정하여 out 1 및 out 2로 소프트웨어 트리거 스트로브로서 주어지는 샘플링 시간마다 인터럽트를 요구하는 IRQ 11 및 IRQ 12 신호를 발생시킨다. 또한 #2 8253의 out 0 및 out 1은 프로그래머블 원샷으로 설정되어 밸브 구동전동기의 구동신호로 만들어 주는 기능을 맡고 있다.

Fig.6은 산소 및 아르곤 밸브구동 액츄에이터 회로로서 3상 유도전동기에 연결된 전원을 제어하는 전원스위치와 전동기 회전방향을 제어하는 방향전환스위치를 #2 8253의 out 0 및 out 1의 원샷 신호와 I/O번지 22DH bit 0 및 22EH bit 0를 사용하였다.

그리고 프로그램이 가능한 인터럽트 카운터 8253에 의하여 발생한 인터럽트 요구신호는 상승엣지(rising edge) 트리거 펄스로서 IBM PC의 #2 8259의 IR3, IR4 단자에 연결되어 있는 확장 슬롯의 IRQ 11, IRQ 12 단자에 입력되어 73번 및 74번 인터럽트를 발생시킨다. 이때 73번 인터럽트는 산소 및 아르곤의 센싱용이고, 74번 인터럽트는 직렬통신용이다.

다음 Table 1은 산소 및 아르곤 제어시스템의 센서와 액츄에이터의 제원 및 특성을 나타낸다.

그리고 Fig.7은 마이크로프로세서를 이용한 제어 H/W 실물사진이다.

**Fig. 7 Microprocessor experimental apparatus**

4. 모니터링 및 제어 소프트웨어의 구현

이 연구에서는 초기화를 행하고 인터럽트를 기다리는 주 프로그램 루프에 일정 주기로 서비스되는 인터럽트 서비스 루틴들로 프로그램을 구성하였다. 시스템의 계측 및 제어는 인터럽트 서비스 루틴에서 이뤄지며 제어동작은 속도형 디지털 PID 제어기 기법을 사용하였으며 제어 소프트웨어는 C언어로 작성하였다. Fig.8은 제작된 제어용 H/W를 폐쇄사이클 디젤기관에 부착한 전체 기관

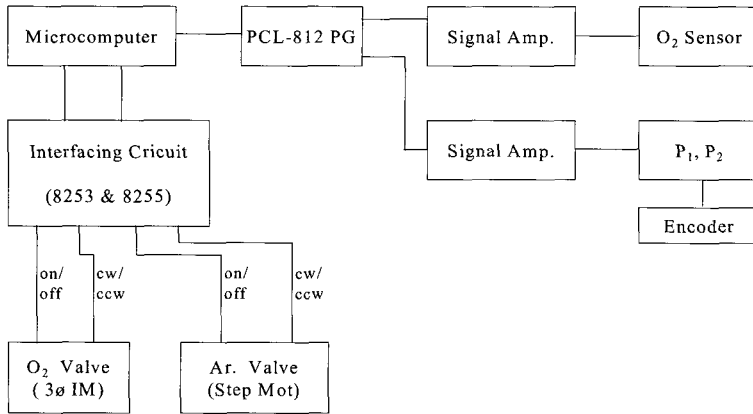


Fig. 8 Control and flowchart of closed cycle diesel propulsion system

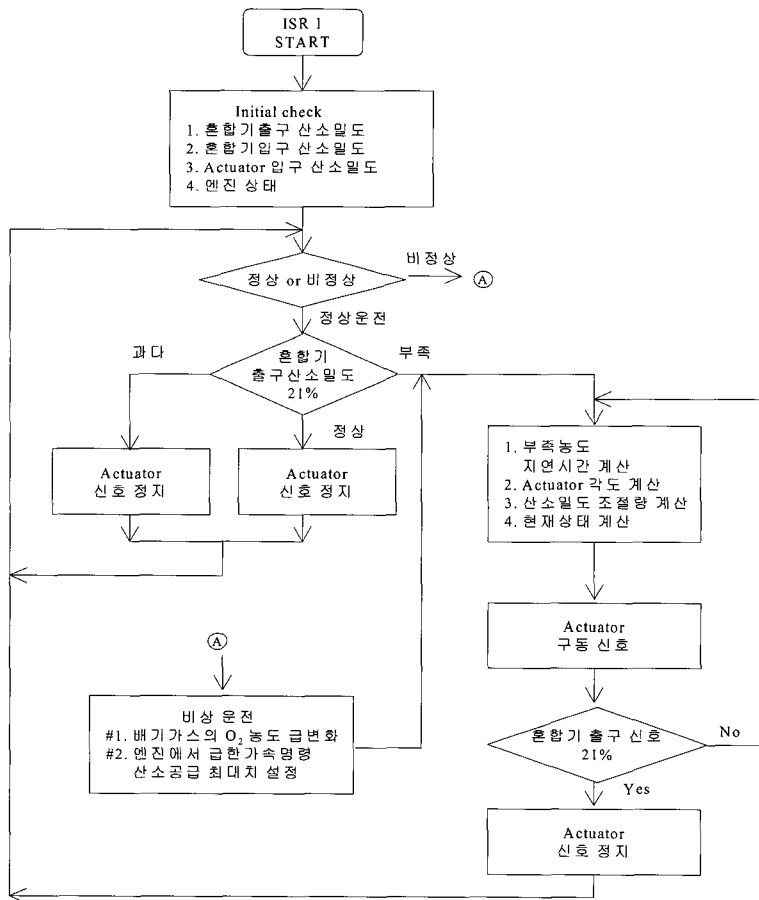


Fig. 9 Interrupt service routine 1 system

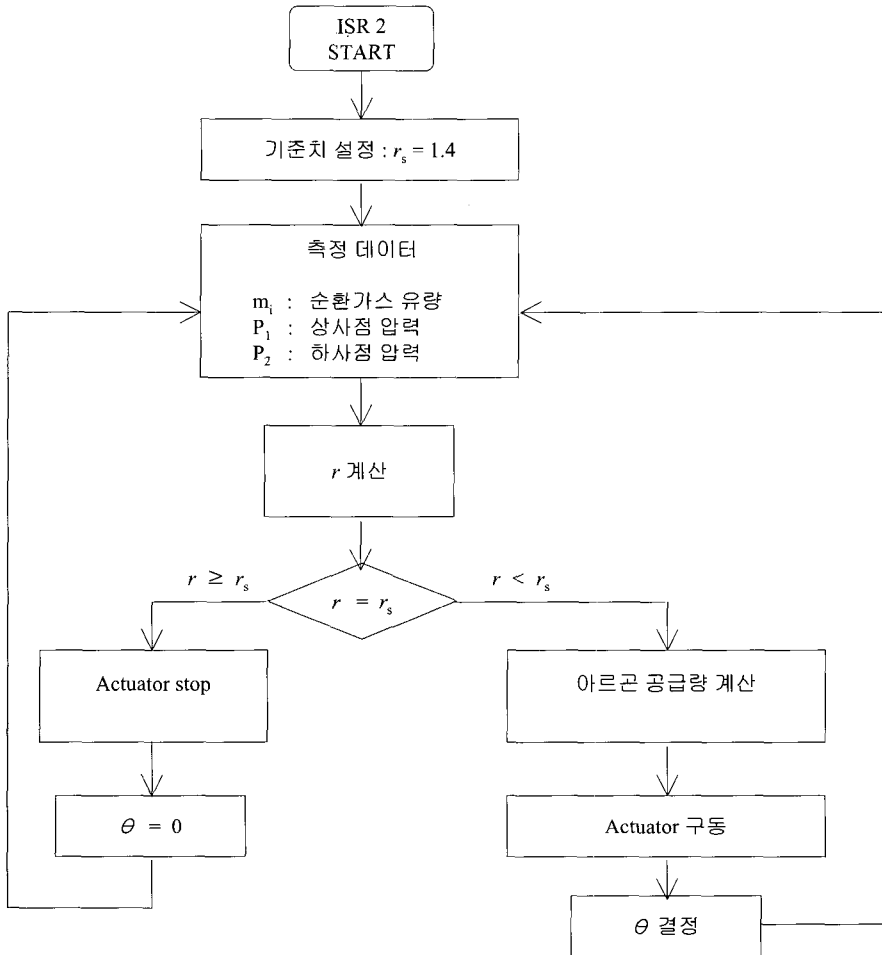


Fig. 10 Interrupt service routine 2 system

제어시스템의 계통도와 제어흐름을 나타낸다
(6)-(8).

그리고 인터럽트 서비스 루틴1이 작동되면 산소 농도의 변화에 대한 제어가 시작되며, 인터럽트 서비스 루틴2가 작동되면 아르곤의 흐름이 제어된다.

인터럽트 서비스 루틴1과 2에 대한 상세한 흐름도는 Fig.9와 Fig.10에 나타나 있다.

S/W의 작동순서는 디젤기관을 작동시켜 기관의 상태가 정상상태에 이르게 되면 각종 센서와 구동기들이 작동되며 그 다음에 컴퓨터의 S/W를 작동시켜 화면메뉴에서 제어방법을 선택함으로써 필요한 제어가 이뤄지게 된다.

5. 실험 및 결과 고찰

식(7)과 식(10)에 근거한 디지털 제어를 구현하기 위하여 샘플링 주기 설정에 유의하였다. 특히 산소센서의 지연시간이 3~5ms가 되고, 아르곤 공급기 계통에서도 기관을 통한 동작시간의 시간지연요소가 발생하여 입력신호의 앨리어싱(Aliasing)⁽⁴⁾ 현상을 억제하기 위한 최적의 샘플링 시간을 해석적으로 구하기에는 어려움이 뒤따랐다. 그리하여, 고찰된 시스템 특성과 제어모델을 기초하여 시뮬레이션에서 적합한 샘플링 주기를 결정하기 위해 연속시스템에서 Ziegler-Nichols 한계 감도법에 따라 최적 파라미터를 구

하고 샘플링 주기를 1[s], 0.5[s], 0.1[s]로 변경하여 시뮬레이션을 행하여 Fig.11~Fig.18을 얻었다.

이 시뮬레이션을 위해 고려된 요소는 다음과 같다.

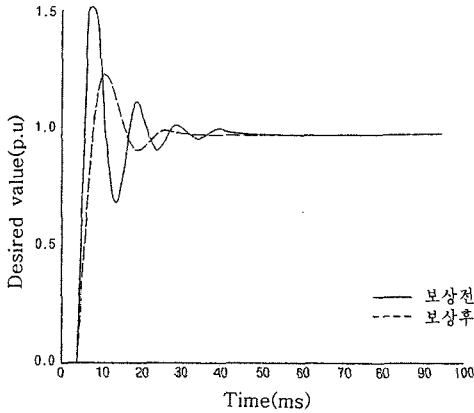


Fig. 11 Control response characteristic of O₂ mixer (T=1[s])

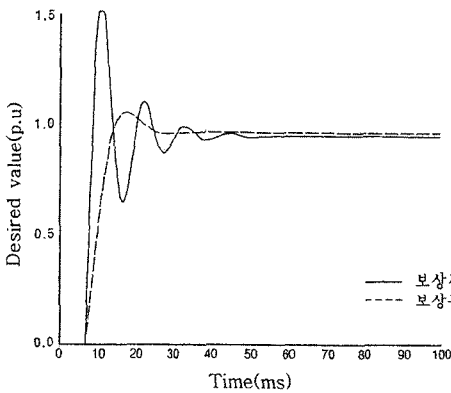


Fig. 12 Control response characteristic of O₂ mixer (T=0.5[s])

1) 산소혼합기 제어계통에서는 시간지연요소 때문에 샘플링 주기를 최대 T=1[s] 이내로 제한하였으며, 시뮬레이션 결과 T=1[s]일때 산소혼합기 시스템의 응답특성으로 과도상태에서는 약간의 진동을 포함하나 양호한 특성을 나타내었고 (Fig.11 참조), T=0.5[s]일때의 응답은 비교적 안정된 특성을 나타내었다(Fig.12 참조). T=0.1[s]

인 경우 응답시간은 다소 느리지만 과도상태의 출력이 진동이 없이 매우 안정적으로 제어 목표치에 도달하였다(Fig.13 참조).

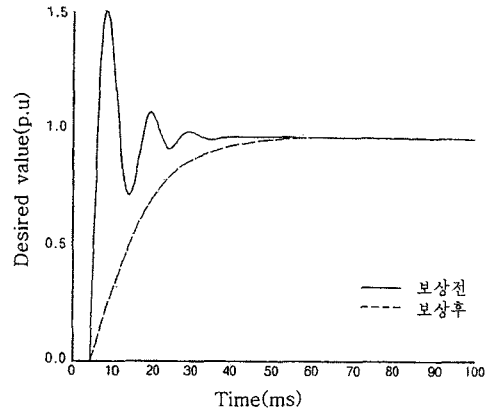


Fig. 13 Control response characteristic of O₂ mixer (T=0.1[s])

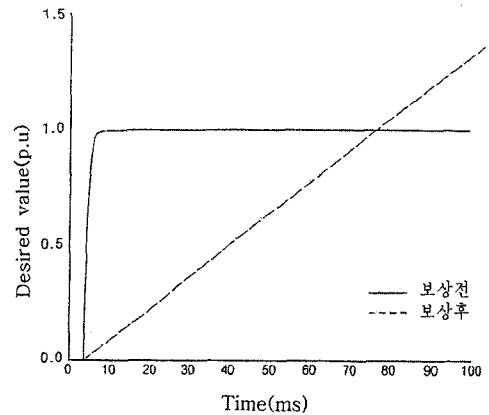


Fig. 14 Control response characteristic of Ar supplier (T=1[s])

2) 아르곤(비열비) 제어계통도 산소혼합기 제어계통에서의 동일한 방법으로 시뮬레이션을 실시하였으며 샘플링 주기 T=0.1[s]일때, 아르곤 공급시스템의 응답특성이 가장 좋은 결과를 보였다 (Fig.14 참조). 그리고 비보상시스템의 응답특성은 발산하게 되어 불안정한 경향을 보이니, 보상기를 사용하면 안정되고 속응성 좋은 응답특성을 나타내었다(Fig.15 및 Fig.16 참조).

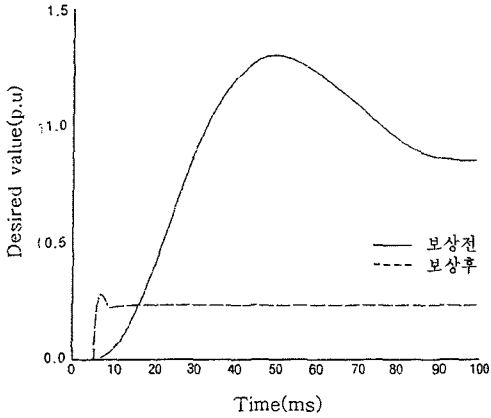


Fig. 15 Control response characteristic of Ar supplier ($T=0.5[s]$)

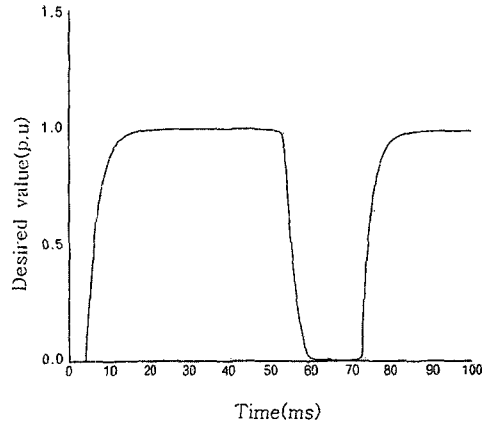


Fig. 18 The characteristic of Ar supplier in a quick start and stop ($T=1[s]$)

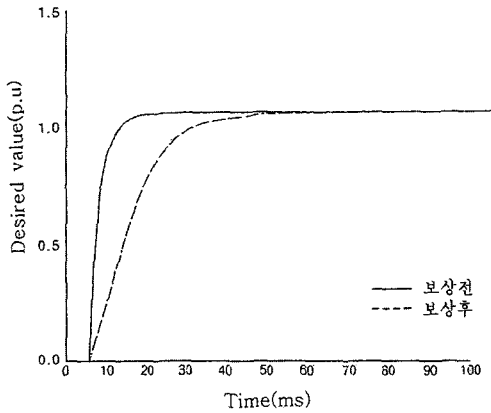


Fig. 16 Control response characteristic of Ar supplier ($T=0.1[s]$)

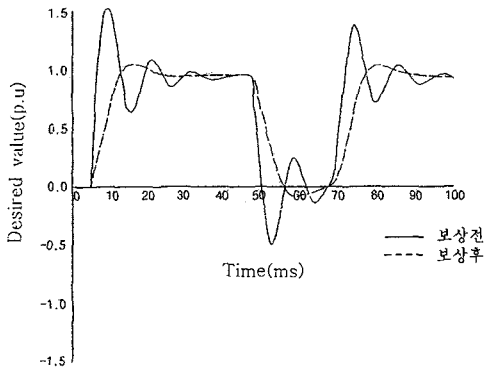


Fig. 17 The characteristic of O_2 mixer in a quick start and stop ($T=1[s]$)

그리고 폐쇄사이클 기관시스템은 수중의 밀폐된 환경에서 운전되므로 다양한 운전상태를 경험하게 된다. 이러한 상황을 고려하여 급속운전 및 정지상태를 시뮬레이션하고 그 특성을 살펴본 결과 산소혼합기계통에 대해서는 정상운전상태에서 20초동안 급속정지한 후 다시 급속시동했을때 높은 서지파형이 Fig.17에서처럼 발생하는 현상이 관찰되나 PID 보상기를 설치한 후 현저히 향상된 응답특성을 나타내었다.

Fig.18은 아르곤공급기계통에 대한 급속정지 및 급속시동시의 시뮬레이션 결과로서 이 계통은 아주 양호한 동작특성을 나타내었다.

6. 결 론

대기로부터 완전히 차단된 환경상태에서 운전되는 수중 동력용 폐쇄사이클 디젤추진시스템의 산소농도와 비열비 제어를 위해 제어시스템을 모델링하고 마이크로프로세서를 이용하여 디지털제어시스템을 구현하여 시뮬레이션을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 폐쇄사이클 디젤추진시스템의 핵심요소인 산소(O_2)와 비열비(r) 제어의 특성 및 제어모델 고찰을 통해 운전상태 및 파라메타 변화에 대한 제어성능과 안정성 향상을 기대할 수 있었다.

2) 마이크로프로세서 인터페이스를 포함한 모니터링과 제어를 위한 H/W를 설계 및 제작하여 전체시스템을 구현하였으며 효과적으로 제어됨을 확인할 수 있었다.

참고문헌

[1] Fowler. A., "A Closed-cycle Diesel Engine for Underwater Work", Lecture in Marine Engineering. Newcastle University. Oct. 1983.

[2] Fowler. A., "A Closed-cycle Diesel Engine for Underwater Power", Trans. I. Mar. E.(TM). Vol. 96. 1984.

[3] Nagai, M. and Asada. T. et al. "Investigations on Recycle and Closed-cycle Diesel Engines(2nd Report : Performance of Recycle Diesel Engines", Trans of the J.S.M.E. Oct. 1978.

[4] Bela G.Liptak, "Process Control Instrument Engineering Handbook", Chilton Puvlish Co, 1975

[5] Katz. P., "Digital Control Using Microprocessors", Prentice-Hall International London. UK. 1984.

[6] Auslender. D.M. and Tham S.H. "Real-time Software for Control", Prentice Hall. Englewood Cliffs. New Jersey 07632. 1990.

[7] Alfordimos. C., "Design of a Digital Controller for a Temperature Control System", Vol.18. Part 4. 1987.

[8] Bennett. s., "Real-time Computer Control", Prentice Hall. International (UK) Ltd.1988.

저 자 소 개



유춘식 (兪春植)

호남대학교 공과대학 전기공학과 교수, 한국박용기관학회 정회원, 해군사관학교 명예교수. 저서 : 박용내연기관공학개론 박용보조기계, 전기전자공학 총론.