

## 중속 디젤 기관용 디지털 조속기 개발에 관한 연구

유 영 호\*

### A Study on the Development of Digital Governor for Medium Speed Diesel Engine

Y. H. Yu

**Key words** : Digital governor(디지털 조속기), Speed control of diesel engine (디젤기관의 속도제어), 3 Windows smoothing method(3 윈도우 평활 추정법)

#### Abstract

In this paper author develops digital governor for medium speed diesel engine. The system is composed of MPU, main control module, RPM measuring module, PWM driving module, driver module for F. O. rack, F. O. rack drive motor, key pad and display module. Experiment results of speed control on 6cyl., 1800rpm, 250kw Daewoo MAN diesel engine were satisfied for design specifications and system could be developed for commercial usage after taking more experiments and endurance tests under various environments.

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경

디젤 기관의 조속장치는 기계유압식 조속기(mechanical hydraulic governor)를 거쳐 현재는 전기전자식조속기(electric electronic governor)로 대부분 전환되고 있으며 그 전환속도가 점점 빨라지고 있다. 이러한 추세의 급변은 전자식 조속기가 기계식이나 기계유압식보다 월등히 저렴하면서 제어성능은 아주 우수하기 때문이다.<sup>2,3)</sup> 그 예로 선박용 주기관의 조속기는 80년대 말까지만 해도 대부분 기계유압식 조속기를 이용하였으나, 현재

는 대형기관의 경우 효율을 증대시키기 위해 행정(stroke)이 길어지고 회전수를 낮게 제작함으로써 저속에서의 회전수 헌팅방지와 고속에서의 속응성을 동시에 만족시키는 것이 기계유압식 조속기로서는 구현하기가 어렵게 되었다. 따라서 자연히 기계유압식 조속기에 비해 그 구현이 비교적 자유로운 전기전자식 조속기를 사용하게 되었으며 현재는 약 80%정도가 전기전자식 조속기를 채용하고 있다.<sup>5,6)</sup> 전기전자식 조속기의 초기단계에서 많이 사용되어온 아날로그 방식은 다양한 기관의 조속 조건에 맞게 조정하거나 운용하기가 매우 까다로우며 특히 잡음에 약하고 다른 제어장치와의 사

\* 성회원, 한국해양대학교(원고접수일 : 99년 7월)

료 공유가 불가능하므로 현재는 대부분 디지털 방식이 사용되고 있다.<sup>6,7,8)</sup>

1. 2 연구목적

본 연구의 목적은 주로 발전기 구동용으로 사용되는 중속 디젤기관의 속도를 제어하기 위하여 마이크로 프로세서를 근간으로 한 디지털 조속기를 개발함에 있다. 또한, 여러 가지 속도제어 알고리즘을 통합하여 각 제어알고리즘에 따라 속도제어 성능을 용이하게 비교할 수 있고 디젤기관의 속도와 제어량의 모니터링이 용이하도록 시스템을 구성하고자 한다.

이렇게 함으로서 디지털 조속기 단독 장비로서 디젤기관에 장착되어 사용될 수 있을 뿐만 아니라 디젤기관의 사용목적에 따라 제어알고리즘을 쉽게 변화시킬 수 있고 적용 디젤기관이 바뀌더라도 파라미터의 조종을 쉽게 할 수 있다.

2. 시스템의 구성

2 1 Hardware 구성

Photo. 1은 개발된 디지털 조속기의 외형도이며

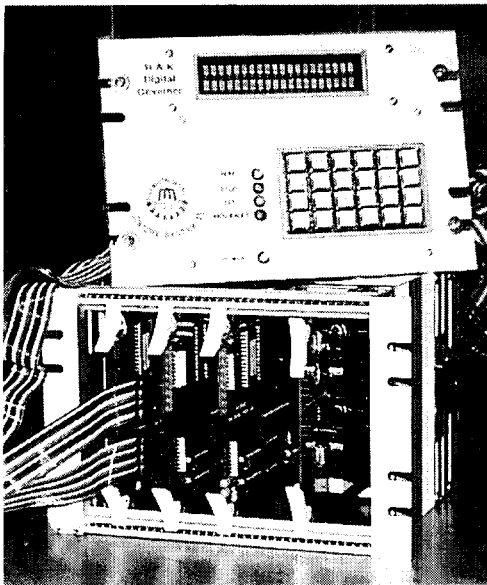


Photo. 1 Overview of developed digital governor system

Fig. 1은 H/W의 구성도이다. Fig. 1에서와 같이 디지털 조속기는 MPU, 주 제어모듈, 회전수계측모듈, PWM구동모듈, F.O. rack 구동모터 드라이브모듈, F.O. rack 구동모터, key pad 및 표시모듈로 구성되어 있고, 이들은 하나의 컨넥터에 의해 연결된다. 각 모듈은 인텔 80C196KC로 구성하였으며 기능별로 모듈화하여 시스템의 디버깅이 용이하고 F.O. rack 구동방식에 따라, F.O. rack 구동모듈만 교환함으로써 사용할 수 있도록 하였다.

key pad와 표시모듈은 대화식으로 디젤기관에 관한 정수와 제어파라미터를 변화시키는데 사용한다. 정상적으로 운전될 때는 회전수와 부하, 제어량을 실시간으로 표시한다. 신호의 전달은 전기적으로 절연시켜 서로 신호의 간섭이나 잡음의 영향을 적게 받도록 하였다. Fig.1에서 기관회전수에 따라 MPU에 의해 유도된 정현파신호는 회전수계측모듈에서 5V의 거형파로 정형하여 매 10[msec]마다 계수한 수를 3 windows moving average법으로 필터링하여 주제어모듈에 전달된다.

주제어 모듈에서는 set mode에서 정격회전수의 백분율로 입력된 목표회전수와 편차를 구하여 속도제어알고리즘에 따라 계산된 F.O. rack의 기준 위치를 PWM모듈로 출력한다. PWM 모듈에서는

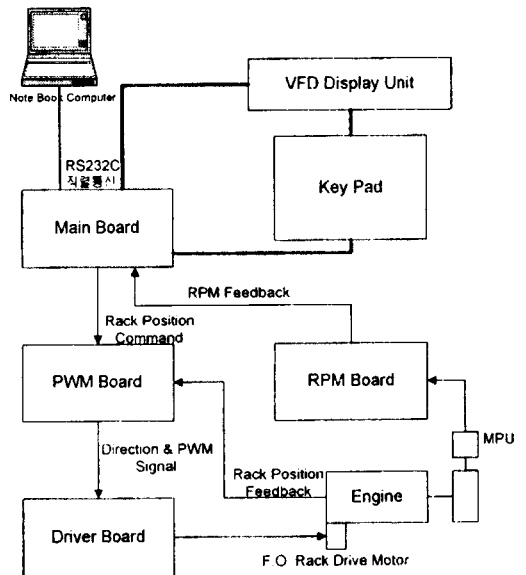


Fig. 1 Block diagram of developed system

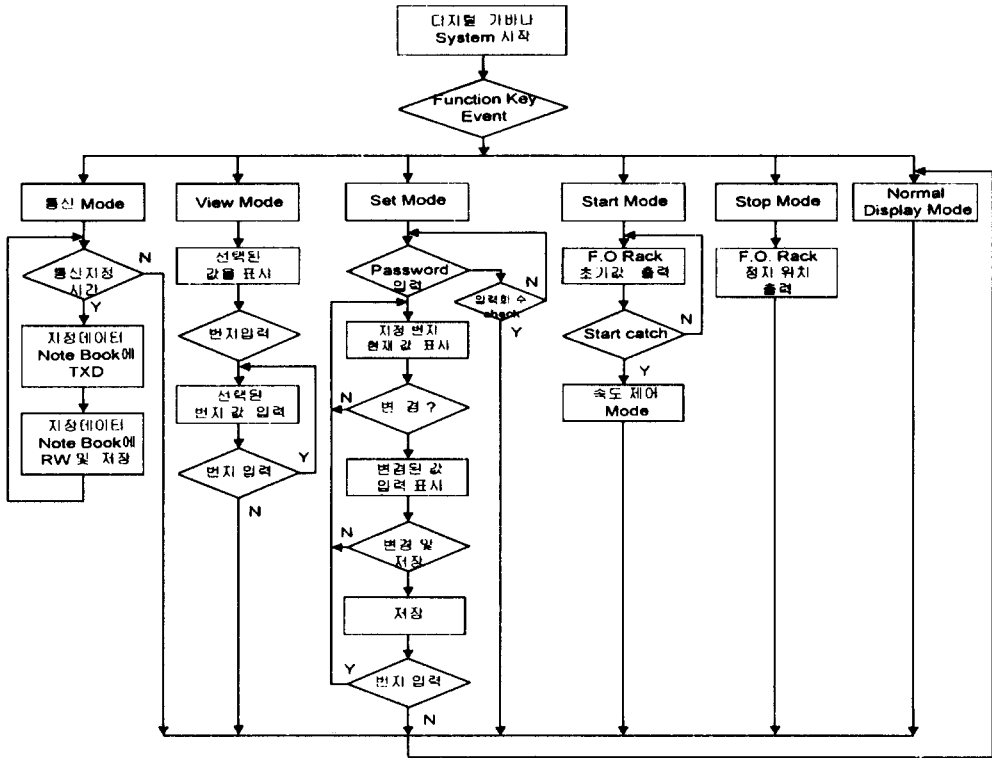


Fig. 2 Configuration Diagram of Software

F.O. rack 구동모터에 부착된 비접촉식 위치센서에 의해 rack 위치를 피드백 받아 주 제어 모듈로부터 입력된 rack의 기준위치와 편차를 계산하고 PWM의 duty cycle로 변환하여 12[KHz]의 조정된 PWM신호를 F.O. rack구동모터의 구동회로에 출력한다. F.O. rack구동모터 구동회로는 DC 24[V]로 구동되는 MOS FET로 구성되어 있어 조정된 PWM신호가 구동모터에 인가되어 F.O.rack의 위치를 조정하여 기관의 속도를 조정하게 된다. 주 제어 모듈은 회전수와 F.O. rack의 기준위치를 직렬포트에 의해 Windows 95 또는 NT운영체제로 구동되는 노트북으로 통신하고 노트북은 실시간으로 회전수와 F.O. rack기준위치를 그래프로 표시하여 모니터링한다.

2. 2 소프트웨어의 구성

개발된 시스템은 실시간 제어를 위하여 모두 이셈블리 언어로 작성되었다. Fig. 2는 S/W의 구성

도이다. 모든 시스템은 기능키(function key) 또는 시스템의 event에 의해 동작되거나 파라미터설정에 의해 동작된다. 예를 들면 통신mode는 set mode에서 모니터링을 가능하게 할 경우에만 동작한다. S/W는 key pad를 이용하여 파라미터를 수정하는 set mode, 이들 파라미터를 확인할 수 있는 view mode, 정상적으로 운전을 행하는 run mode, 운전대기상태의 stand by mode, 기관을 정지시키는 stop mode로 나눈다. run mode에서 기관은 매 10[msec]마다 인터럽트루틴에 의해 실시간으로 제어되고 있으므로 set mode에서 제어파라미터를 변경하기 위하여 key를 조작하더라도 속도제어에는 영향을 미치지 않는다. 따라서 운전 중에도 속도제어에 영향을 주지 않고 파라미터의 변경이 가능하므로 파라미터의 변경에 따른 성능 변화를 용이하게 파악할 수 있어 기관을 운전하면서 제어파라미터의 조정이 가능하다. 또 run mode에서는 표시정치가 기관회전수, F.O. rack의 기준 위치 및

백분율부하를 연속적으로 표시하므로 운전상태를 알 수 있다. start mode는 기관을 처음으로 시동하는 모드로 F.O. rack을 운전위치로 설정시키는 모드이다. 또한 사용자의 요구에 따라 start switch를 본 시스템에서 소프트웨어적으로 처리하거나 또는 별도의 시동 switch를 설치할 수도 있다.

### 3. 제어 알고리즘

제어알고리즘은 산업사회에서 많이 사용하고 있는 PID알고리즘을 바탕으로 채택하였다. 그러나 실제 엔진의 경우에는 많은 비선형 요소가 있어 이 알고리즘을 그대로 사용하면 부하변동에 따라 만족하게 제어할 수 없게 되어 상황이 급변하는 발전기와 같은 경우에는 제어가 잘 되질 않아 부하분담이 적절히 이루어지지 못하고 심한 경우에는 동기가탈까지 발생하는 경우가 있다.

#### 3. 1 회전수 계측 알고리즘

디젤기관은 증기터빈처럼 일정하게 돌지 않고 폭발순간에는 회전수가 증가하고 폭발과 폭발 사이에는 회전수가 감소하면서 회전하는, 즉 진동회전을 하므로 각 샘플링시간마다 측정된 순간 회전수는 실제 회전수와 같지 않다. 또한 어느 순간의 회전수가 실제 회전수인가 하는 것을 정의하기가 어려우므로 디젤기관의 속도제어에서 가장 어려운 점은 제어에 적절한 회전수를 검출하는데 있다.

본 연구에서는 디젤기관의 회전수를 마그네틱 픽업 유니트(MPU : magnetic pickup unit)에 의한 펄스를 계수하여 디지털 필터에 통과시켜 회전수를 추정한다<sup>1)</sup>. 회전수 샘플링시간  $T_s$ 을 10[msec]로 정하고 매 샘플링시간 동안 MPU에서 발생된 펄스를 계수하여 3 샘플링 시간의 연속평균을 계산하여 실제의 평균 회전수를 추정하는 3 windows moving average법을 사용하였다.

#### 3. 2 속도제어 알고리즘

본 연구에서 개발하는 디지털 조속기는 발전기와 같이 정속으로 운전되는 정속엔진 뿐만 아니라 선박의 주기와 같은 변속엔진에도 사용할 수 있도록 목표회전수를 임의로 조정할 수 있게 하였다.

발전기도 용량이 커지면 워밍업 기간이 필요하고 이 경우에는 일정속도에서 일정시간 동안 운전하여 워밍한 후 자동으로 정속운전 할 수 있도록 하였다. 변속의 경우에는 각 목표속도마다 원활한 속도 제어가 이루어져야 한다. 그러나 기관의 출력은 회전수의 3승에 비례하기 때문에 동일한 PID계수로서는 원활한 속도제어가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 속도제어를 각 속도구간마다 최적의 PID게인을 설정하고 각 회전수구간 마다 설정된 게인을 자동으로 선택하여 제어하는 gain scheduling법에 의해 적응제어를 한다. 즉, 저속에서는 low gain으로 회전수를 안정하게 제어할 수 있고 고속에서는 high gain으로 회전수에 민감하게 제어할 수 있도록 한다. 또한 발전기의 경우 부하의 변화에 따라 엔진의 시스템 파라미터가 변화하므로 정격속도로 운전될 경우에는 F.O. rack 위치에 따라 설정한 게인을 자동으로 선택하여 사용함으로써 어느 범위에서도 원활한 제어가 이루어지도록 한다.

#### 3. 3 Error Window 제어 알고리즘

발전기의 경우 큰 부하가 들어오거나 나갈 때 속도의 변화를 가져오고 주파수가 변화하여 전기의 질이 좋지 못하게 된다. 또한 병렬 운전의 경우에는 부하가 적절하게 분담되지 못하고 결국은 어느 한 발전기는 과부하를 어느 한 발전기는 아주 경부하만 분담하게 되는 경우가 발생한다. 따라서 목표회전수에 대한 error window를 설정하고 회전수가 이 error window를 벗어나면 PID 게인을 설정한 만큼 증가시켜 빠른 시간 내에 정상상태를 유지하도록 한다.

#### 3. 4 Dead Band 제어 알고리즘

주기관과 같이 운전속도를 자주 변화시켜야 하는 변속엔진의 경우, 일정한 회전수를 유지하기 위하여서 actuator는 끊임없이 움직여야 한다. 이때 actuator가 과민하게 움직일 경우 습동 부분을 과도하게 마모시키고 오히려 회전수의 헌팅을 유발하는 요소가 될 수도 있다. 이와 같이 0.1[rpm] 또는 그 이상의 수 rpm까지의 변동이 큰 의미가 없을 때 dead band 제어를 사용한다. 즉 일정한 오차까지는 오차가 없는 것으로 간주하고 그 이상의 오

차범위에서만 제어를 하도록 한다.

### 3. 5 시동제어 알고리즘

기관을 시동할 때 원활한 시동을 위하여서는 F.O. rack를 시동이 용이한 정도까지 올려놓은 상태에서 공기 또는 전기시동을 하여야 한다. 따라서 시동을 위한 초기 F.O. rack 위치를 계절이나 환경에 따라 임의로 조정할 수 있게 하였다. 또 안전한 시동을 위하여 공기 또는 전기모터에 의해 회전수가 증가하여 연료캐칭이 일어나는 회전수를 정하고, 연료캐칭 회전수 이하의 경우에는 초기 위치를 유지하고 있다가 연료캐칭에 의해 시동완료 회전수를 넘어섰을 때부터 속도제어를 시작하여 시동을 용이하게 한다.

### 3. 6 기타 안전 장치

기관이 운전중 MPU 또는 회전수계측 모듈의 이상으로 회전수 계측이 되지 않으면 속도제어 모듈은 F.O. rack를 증가시키도록 동작하게 되어 과속의 위험이 있다. 이를 방지하기 위하여 운전중 MPU 신호가 일정 수 이하가 되면 연료를 차단하여 기관을 정지시키도록 하여야 한다. 또한 기관회전수 계측모듈에서 두 개의 MPU 신호로부터 회전수를 계측하여 이들의 차가 일정 수 이상이면

MPU 오류 신호를 발생하고 두 신호 중 큰 신호를 택하여 속도제어 모듈로 출력함으로써 안전을 유지한다. 또한 F.O. rack가 최고 또는 최소가 되었을 때 F.O. rack 구동모터에 과대한 전류가 흐르지 않도록 PWM 구동 모듈에서 S/W적으로 처리를 하였다.

## 4. 운전시험

Photo. 2는 시운전 대상기관으로서 정격회전수 1800[rpm] 250[KW]의 Daewoo 디젤기관을 발전기 구동엔진으로 개조한 것이다. Fig. 3은 완전히

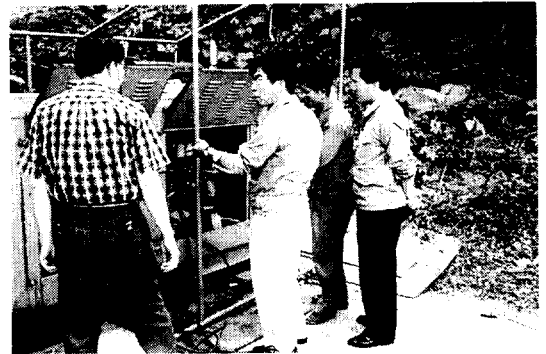


Photo. 2 Generator engine for experiments

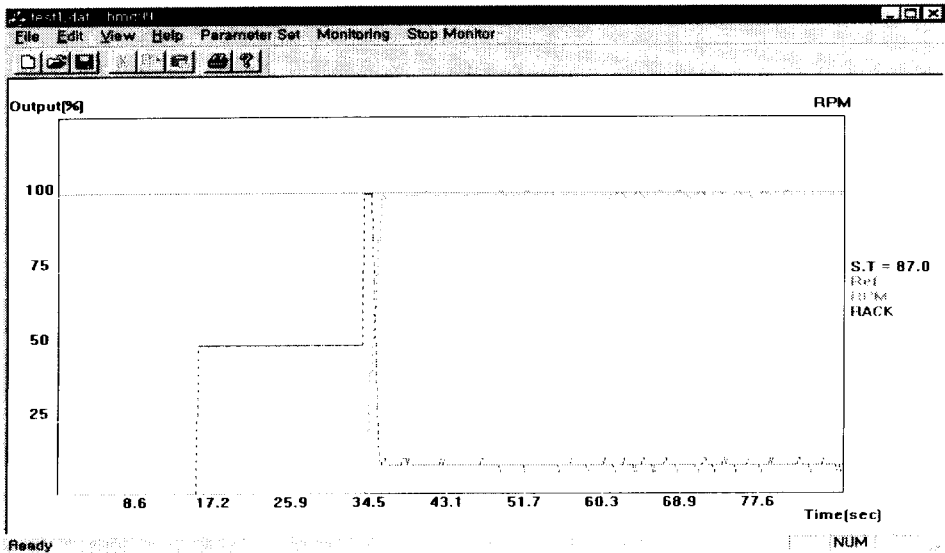


Fig. 3 Starting experiment

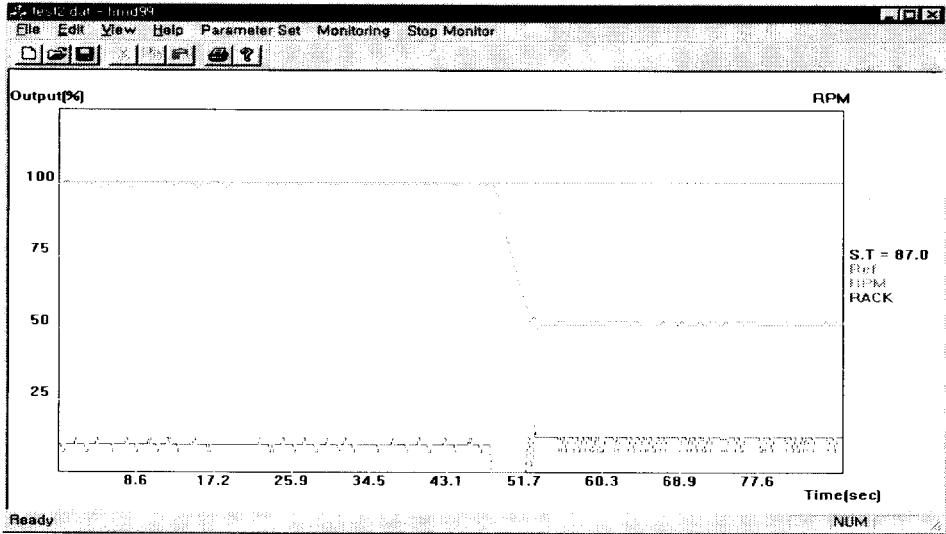


Fig. 4 Experiment of partial speed(reduced speed from 100% to 50%)

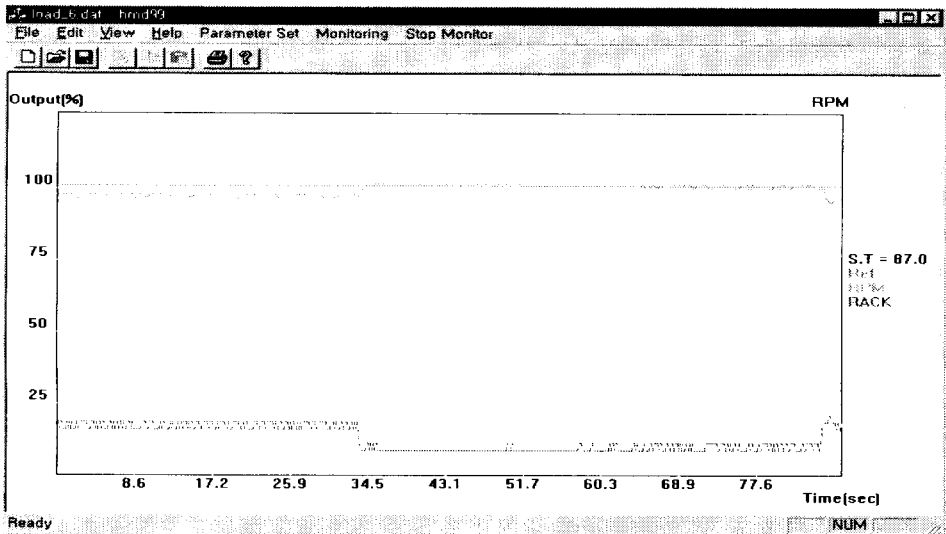


Fig. 5 Load on/off test(80KW load is off suddenly)

정지된 상태에서 100[%] 정격회전수를 목표회전수로 하여 시동시험을 한 것으로 노트북에서 모니터링한 것을 screen capture한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 시동스위치를 누르면 F.O. rack를 50[%]로 출력하고 시동모터에 의해 시동되어 회전수가 연료계칭회전수 이상이 되었을 때 속도제어를 행하는 것을 알 수 있다. 이때 연료계칭회전수는 정격회전수의 10[%] 180[rpm]으로, 시동완료회전

수를 188[rpm]으로 하였다. 시동시 오버슈트 없이 시동이 원활하게 이루어짐을 알 수 있다. Fig. 4는 정격회전수에서 50[%]정격회전수로 목표치를 변경하였을 때의 회전수와 F.O.rack의 기준치를 백분율로 표시한 것으로 50[%] 회전수에서 F.O. rack의 진동이 발생하였다. 이 경우 50[%]에서의 gain을 감소시켜 줌으로서 F.O. rack와 회전수를 안정되게 할 수 있었다. Fig. 5는 부하시운전으로

서 80[KW]의 부하를 On/Off하였을 때 회전수와 F.O. rack 의 기준치를 기록한 것이다. 부하를 걸었을 때 오프셋이 생기는 것은 I 동작이 작기 때문이며 I 동작을 크게 하였을 때 오프셋이 없어짐을 확인하였다.

### 5. 결 론

이상으로 중속 디젤기관의 속도제어를 위하여 인텔 80C196KC 마이크로 프로세서를 근간으로 H/W와 S/W를 개발하고 Windows 95 또는 NT 운영체제하에서 동작되는 note book 컴퓨터와 직렬 통신에 의해 실시간 모니터링하는 시스템을 구축하였다. 디지털 조속기는 기능별로 별도의 모듈로 개발하여 고장진단을 용이하게 하였고, 다른 디젤 기관에 적용할 경우 부분적으로 모듈을 교환함으로써 범용으로 사용할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 이로부터 비교적 양호한 시험결과를 얻었으며 추후 다양한 환경에서의 장시간 운전시험을 거쳐 각 회전수 구간에서 적절한 gain을 구하면 전 운전범위에서 안정된 운전이 가능할 것으로 판단된다. 또 다양한 기능을 삽입하여 디지털 조속기의 장점을 최대한 살려 상품화할 계획이다.

### 참고문헌

1. 유영호 "디젤기관의 속도제어를 위한 최적회 전수 측정에 관한 연구", 한국박용기관학회, 제21권, 제5호 P117-121, 1997.
2. 유영호, 하주식, 외 12명, "선박용 디젤기관의 디지

3. 유영호, "박용 디젤기관의 속도제어에 관한 연구", 한국해양대학교 대학원, 1990.
4. 차영배, "MICRO CONTROLLER 80196", 다다미디어, 1997.
5. "STG6 GOVERNOR", HEINZMANN GOVERNOR CO., 1995. P281-327.
6. "721 DIGITAL SPEED CONTROL FOR RECIPROCATING ENGINES", WOODWARD GOVERNOR CO., 1993.
7. Charles L. Phillips, H. Troy Nagle, "DIGITAL CONTROL SYSTEM ANALYSIS AND DESIGN", PRENTICE HALL, 1995.
8. Gene F. Franklin, J. David Powell, Michael L. Workman, "Digital Control of Dynamic Systems", ADDISON-WESLEY, 1990.
9. P.P Kanjilal, "Adaptive prediction and predictive control", IEEE control Engineering Series 52.

### 저 자 소 개



#### 유영호(劉永昊)

1951년 10월생. 1974년 한국해양대학교 기관학과 졸업. 1986년 한국해양대학교대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사). 1990년 동대학원 졸업(공학박사). 1급기관사. 1997.12~1998.12 영국 University of Wales Cardiff Systems Engineering Division 연구교수 1983~1991 한국해양수산연수원 부교수. 1992~현재 한국해양대학교 자동화정보공학부 부교수. 당학회 연구이사. 종신회원