

## 주파수 안정도 개선을 위한 디지털 조속기 제어기 개발

(Design of Digital Governor Controller for Frequency Stability Improvement)

이상훈\* · 최상규 · 이화춘 · 송성근\*\*

(Sang-Hun Lee · Sang-Gyu Choi · Hwa-Chun Lee · Seung-Gun Song)

### Abstract

The interest in wind power generation area such as developing and operating wind-diesel pilot complex in remote and island regions that have difficulty in having power plant and connecting to power system is growing rapidly in the world. We have installed and researched the hybrid system in Sekgok Pilot Complex to meet the new generation system. From the monitored data of the system, the performance of each diesel power plant is outstanding. However, step out problem was detected with respect to load sharing and synchronization with decentralized power supply. An advanced controller design having better response time and stability is needed to solve such problem. In this paper, we proposed the algorithm, through digital controller of Governor, which is applied to hybrid system. As a result, we obtained the stable frequency value in variable loading conditions. Also, we proved the advanced response time and stability through the simulation and experiment by applying additional current signal to the control algorithm.

Key Words : Governor, Digital Controller, Stability, Synchronization

### 1. 서 론

최근 현재 기계 기술과 전자 기술의 통합화가 이

- 
- \* 주저자 : 한국승강기대학 승강기 전기설계과
  - \*\* 교신저자 : 전자부품연구원 디지털컨버전스연구원
  - \* Main author : Korea Lift College Lift Electrical Design Dept. Assistant Professor
  - \*\* Corresponding author : KETI(Korea Electronics Technology Institute) Digital Convergence Research Center Headquarter
- Tel : 055-949-2289, Fax : 055-949-2254  
E-mail : sgsong@keti.re.kr  
접수일자 : 2012년 6월 14일  
1차심사 : 2012년 6월 19일, 2차심사 : 2012년 7월 10일  
심사완료 : 2012년 7월 18일

루어지면서, 기계 산업은 전자화 및 IT화를 이룩하게 되었고, 이에 따라 기계 산업이 고도화되면서 시스템의 성능이 보다 향상되었을뿐만 아니라 지능화 되었다. 또한 국내외적으로 점차 강화되는 배기규제는 디젤 엔진 및 연료분사장치의 분야에 새로운 도전적인 환경으로 다가오고 있다. 이러한 환경 변화에 대응하기 위해 디젤 연료분사장치의 기술개발 방향은 고압화, 전자화에 초점이 맞춰지고 있는 추세이다[1]. 디젤엔진은 그 자체의 우수한 효율특성으로 인해 독립형 분산전원 시스템의 원동기로 가장 많이 사용되는데, 기존의 디젤 엔진 발전기 시스템에서는 크랭크축과 동기되어 움직이

는 기계식 혹은 유압식 거버너를 이용하여 엔진을 일정한 속도로 운전하였다[2]. 이러한 기계, 유압식 거버너는 파라미터 값이 거의 고정되고, 비교적 단순한 제어 알고리즘만을 가지고 있기 때문에 보다 안정적이고 정밀한 속도제어를 행할 수 없게 되어 있다. 또한 기계식 거버너는 작동부분의 마모 혹은 주기적인 수리 후에 각 설정 값들의 변동이 문제가 될 수 있고, 제작 후 오랜 시간의 경과로 제작사의 부품 공급도 중단되는 문제점이 발생되고 있다[3]. 기계, 유압식 거버너의 이러한 문제점을 해결하는 수단으로 신조되는 대형 디젤엔진에서는 디지털 거버너가 개발되어 사용되고 있다. 우리나라의 각종 산업분야에서 동력원으로 많이 사용되고 있는 500마력 이하의 소형 디젤 엔진에 장착되는 기계식 거버너는 디젤엔진의 성능 향상을 위해 현재 기계식 거버너에서 전자식 거버너로 대체되는 변화가 일어나고 있고, 국내에서 사용되는 디젤엔진용 전자식 거버너는 디지털 거버너와 아날로그 거버너로 구분된다. 그러나 아날로그 거버너는 다양한 엔진의 조속 조건에 맞게 조정하거나 운용하기 때문에 매우 까다로우며, 특히 잡음에 약하고 다른 제어장치와의 데이터 공유가 불가능하기 때문에 디지털 거버너의 전환이 시급한 과제로 떠오르고 있다[4].

디지털 거버너는 근래의 전자산업 및 프로세서를 이용한 산업이 진보하면서 나타나게 되었는데, 이 거버너는 그 자체가 가지는 유용성, 효율성, 신뢰성, 경제성 및 정확한 성능 등의 다양한 장점을 지니고 있다. 또한 입력전류의 크기에 따라 연료의 양을 제어하는 디지털 거버너의 간단한 구조와 우수한 제어성능으로 인해, 이러한 디지털 거버너를 이용한 디젤 엔진의 속도 제어에 관련한 연구 역시 활발하게 진행되고 있다. 따라서 본 논문에서는 하이브리드 시스템 디젤 발전기의 연료 분사량을 조절하는 액추에이터의 전류제어를 위한 디지털 거버너의 제어 알고리즘을 구현하고, 제어기 개발을 통해 부하 가변 시에도 안정된 주파수 값을 얻어내어, 발전기의 운전영역에서 안정된 속도제어가 이루어지는 가를 실험을 통해 검증하였다.

## 2. 디젤 엔진 거버너 분류 및 기능

### 2.1 디지털 거버너의 기능

거버너라고 하는 이름을 해석하여 보면 엔진속도와 부하를 조절할 수 있도록 그 설계와 기능이 만들어졌음을 의미한다. 그러나 거버너 형식에 관계없이 어떤 특정한 기능을 가지고 있다하더라도, 다음 두 가지의 필수 기능을 갖추어야 한다. 즉 엔진 회전수를 측정할 수 있어야 하고, 연료 랙을 움직일 수 있는 힘이나 연료량 혹은 압력을 조종할 수 있어야 한다. 더 나아가 거버너는 다음의 기능을 지녀야 한다.

- ① 최대 속도를 제한하여 엔진이 과속이 되지 않도록 하여야 한다.
- ② 엔진의 정지를 방지하기 위해 공회전 속도를 조정하여야 한다.
- ③ 저속과 고속 공회전 사이에서 엔진속도를 조정할 수 있어야 한다.
- ④ 엔진이 최대 토크를 받아 엔진속도가 내려갈 때는 보다 많은 연료를 공급해 줄 수 있어야 한다.
- ⑤ 엔진을 정지시킬 수 있어야 한다.
- ⑥ 시동 시 연료를 공급해 줄 수 있어야 한다.

제어기의 기본 구성 요소로는 제어계에 입력되는 입력신호를 만들어 내는 센서, 센서로부터의 신호를 전달 받아 적절한 연산 및 처리 과정을 거쳐 출력신호를 내보내는 제어 유닛, 그리고 제어 유닛으로부터 출력신호를 받아 동작하게 되는 액추에이터를 들 수 있다.

### 2.2 디지털 엔진 거버너 모델

하이브리드 발전시스템에서 디젤발전기는 디젤엔진에 의해서 기계적 토크를 발생하고, 이를 동기발전기에 입력함으로써 전기적 출력을 발생하게 한다. 디젤발전기에서 디젤엔진의 출력조절은 거버너 계통에서 수행하는데, 궁극적으로 거버너 계통에 대한 적절한 제어동작을 통하여 하이브리드 계통에 필요한 유효전력을 제어할 수 있다. 본 과제에서 적용하고 있는 하이브리드 시스템에서는 전력-주파수 제어 동작을 수

행할 다른 요소가 없으므로 거버너의 역할이 매우 중요하다. 전력-주파수 목적의 보조 부하 제어는 디젤발전기의 거버너 계통의 제어 성능을 판단한 후, 충분한 제어 능력이 보장되지 않으면 보조적으로 보조 부하 제어를 수행하는 것으로 한다. 전력계통에 병렬로 운전되는 경우 디젤발전기의 거버너 계통과 전압제어 블럭도는 그림 1에 나타내었다.

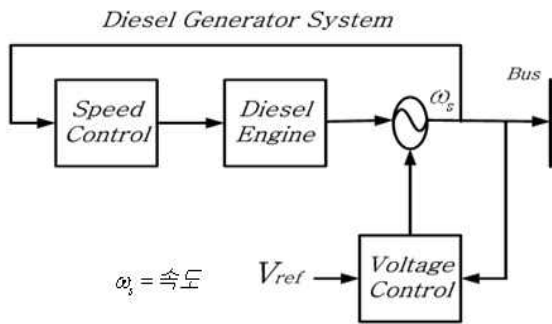


그림 1. 디젤 발전기 블럭도  
Fig. 1. The block diagram of diesel generator

### 2.3 부하 변화에 대한 발전기 응답

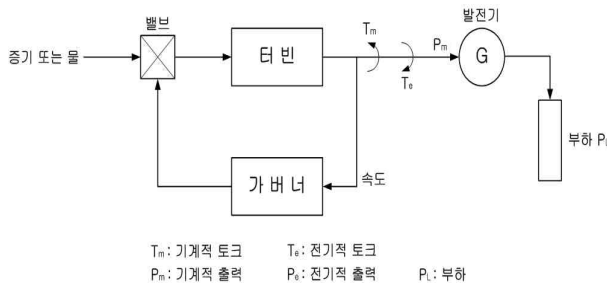


그림 2. 부하를 가진 동기발전기  
Fig. 2. Synchronous generator with a load

유도 전력계통에 연계되어 운전되고 있는 각 발전기는 서로 병렬운전 되어 연속적으로 변화하는 부하 수요에 응동하여 운전되며, 전력계통의 주파수 및 전압을 일정하게 유지하여 고품질의 전력을 소비자에게 공급하도록 운전한다. 가장 일반적인 형태의 발전기의 예로는 보일러-터빈-발전기 형식을 생각할 수 있는데, 이 경우 발전기의 유효전력분담 또는 출력주파수 제어는 터빈 속도를 제어함으로써 이루어진다. 그

런데 단독으로 전력을 공급하는 발전기의 경우를 살펴보면, 속도제어계통은 그림 2와 같이 나타낼 수 있다(그림 2의 G는 동기발전기를 표시한다).

그림 부하 변화에 따른 발전기의 동작을 살펴보면, 부하량에 변화가 생기면 이는 바로 발전기의 전기적 토크( $T_e$ ) 출력의 변화로 나타난다. 전기적 토크의 변화는 기계적 토크( $T_m$ )와의 불평형을 가져 오는데, 이러한 불평형은 발전기의 회전자의 회전속도에 변화를 발생시킨다. 발전기 회전자의 속도와 전기적 및 기계적 토크의 관계는 다음 식 (1)과 같이 표현될 수 있다.

$$\Delta\omega_r = T_a \left( \frac{1}{2Hs} \right) \quad (1)$$

$$T_a = T_m - T_e$$

여기서

s : 라플라스 연산자

$T_m$  : 기계적 토크(pu)

$T_e$  : 전기적 토크(pu)

$T_a$  : 가속토크(pu)

H : 관성 상수(MV-Sec/MVA)

$\Delta\omega_r$  : 회전자 속도 편차(pu)

전기적 출력(P)과 토크(T)와의 관계는 다음 식과 같이 표현된다.

$$P = \omega_r T \quad (2)$$

전기적 출력(P), 토크(T) 및 회전자속도( $\omega$ ) 각각에 대해서 초기 값에서 작은 변화가 발생한 것으로 가정하면, 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$P = P_0 + \Delta P \quad (3)$$

$$T = T_0 + \Delta T$$

$$\omega_r = \omega_0 + \Delta\omega_r$$

식 (3)을 식 (2)에 대입하면

$$P_0 + \Delta P = (\omega_0 + \Delta\omega_r)(T_0 + \Delta T) \quad (4)$$

식 (4)를 발전량, 토크 및 회전속도의 변화량에 대해서 정리하면

$$\Delta P = \omega_0 \Delta T + T_0 \Delta \omega_r \quad (5)$$

그러므로

$$\begin{aligned} \Delta P_m - \Delta P_e \\ = \omega_0 (\Delta T_m - \Delta T_e) + (T_{m0} - T_{e0}) \Delta \omega_r \end{aligned} \quad (6)$$

안정 상태에서 전기적 및 기계적 토크는 서로 같고, 즉  $T_{m0} = T_{e0}$  이고, 초기 회전자속도는  $\omega_0 = 1$  이므로

$$\Delta P_m - \Delta P_e = \Delta T_m - \Delta T_e \quad (7)$$

따라서 회전자속도와 토크와의 관계식 (1)은 다음과 같이 회전자속도와 발전기 출력의 관계식으로 표현할 수 있다.

$$\Delta \omega_r = \Delta P \left( \frac{1}{2H_S} \right) \quad (8)$$

$$\Delta P = \Delta P_m - \Delta P_e$$

식 (8)과 그림 2로부터, 발전기 터빈의 기계적 출력은 터빈 밸브 개도와 주파수의 함수로 결정됨을 알 수 있다.

### 2.4 제안된 디지털 거버너 시스템

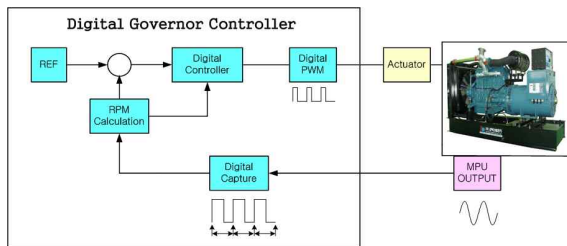


그림 3. 디지털 거버너 시스템의 개념도  
Fig. 3. The concept of a digital governor system

본 논문에서는 제안된 디지털 거버너 시스템의 개념도는 그림 3과 같다. 엔진이 회전하게 되면 픽업센서를 통해 현재 엔진의 속도를 검출할 수 있으며, 정현파

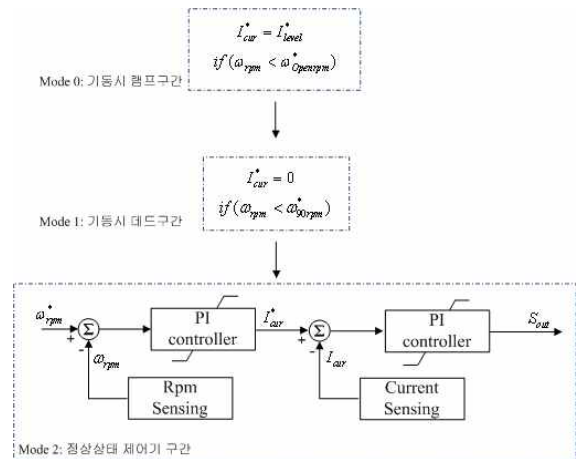


그림 4. 거버너제어기 내부 알고리즘  
Fig. 4. Governor controller internal algorithm

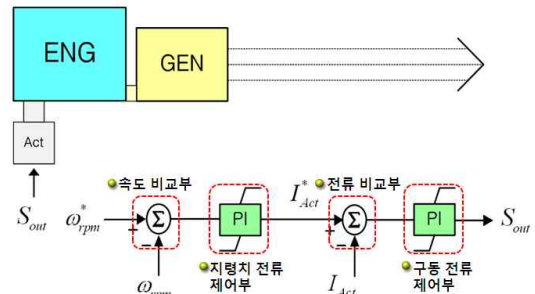


그림 5. 거버너 제어기의 기존 알고리즘  
Fig. 5. Conventional algorithm of the governor controller

가 발생한다.

그리고 제어기 내부에서 픽업센서 신호를 펄스파로 변환된 후 DSP내부의 캡처(Capture)기능을 이용하여 현재 속도를 계산하게 된다. 그리고 REF 속도 값과 비교한 후 제어기를 거쳐 PWM의 듀티비를 계산하고, 액추에이터에 인가된다. 액추에이터는 디젤 엔진 발전기의 연료 분사량을 조절하여 안정된 속도제어가 이루어진다. 개발된 디지털 거버너 제어기의 내부 알고리즘은 기본적으로 3가지 동작모드로 운전된다. 전류 지령치를 소프트 스타팅 하는 모드(Mode0)와 시정수가 낮은 엔진의 안정화를 위한 데드존 모드(Mode1), 그리고 제안된 정상상태 모드(Mode2)가 적용된다. 개발된 디지털 거버너 제어기에는 일반적으로 속도를 검출하는 픽업 센서부와 추가적인 전력 검

출부로 구성되어 있다. 그림 5는 개발된 디지털 거버너 제어기와 픽업센서부의 정상상태 제어 알고리즘을 나타낸 것이다. 기존 알고리즘은 디젤 엔진 발전기의 현재 속도와 레퍼런스 속도를 비교하는 속도 비교부, 속도 오차분을 액추에이터 전류 지령치로 출력하는 지령치 전류 제어부, 지령치 전류와 실제 액추에이터 전류를 비교하는 전류 비교부, 비교된 오차를 통해서 실제 액추에이터 구동전류를 출력하는 구동 전류 제어부로 구성되어 있으며, 제어부는 비례적분 제어를 통해 오차분을 제어신호로 출력하게 된다.

그림 6은 디젤 엔진 발전기의 전압, 주파수 특성을 분석하기 위하여 Tabula 계측장비를 사용하여 측정한 파형이다. 부하에 따른 전압, 주파수의 변동 폭을 살펴 보면 다음과 같다. 20kW 부하 투입 시, 주파수 및 전압 변동 폭은 0.75%, 3.3%이며, 40kW에서 10kW 추가 부하투입 시, 1.6%, 4.5%로 나타났다. 이는 개별적인 디젤발전기 특성은 우수하지만, 하이브리드 시스템에서 분산전원과의 동기 및 부하분담 측면에서는 속응성 및 안정도가 보다 더 향상된 제어기 설계가 요구된다. 본 논문에서는 전력정보에 대한 액추에이터 전류 지령치를 피드포워드 제어부로 추가하면서 다음과 같은 문제점을 해결하고자 한다.

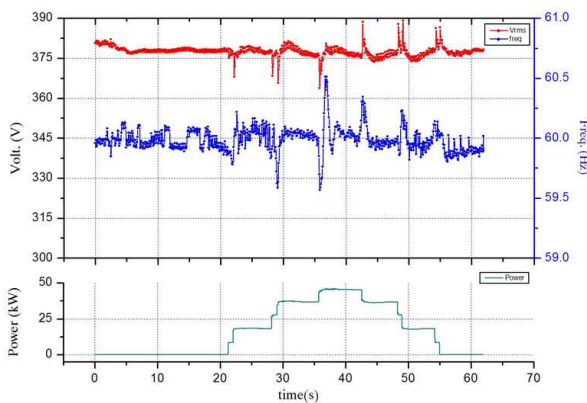


그림 6. 부하 가변 시 디젤 발전기 출력전압 및 주파수  
Fig. 6. Diesel generator output voltage and frequency with variable loading condition

그림 7은 디지털 거버너 제어기에 추가적으로 구성되어 있는 전력 검출부의 정상상태 제어 알고리즘이

다. 액추에이터는 기계적인 시정수를 가지고 있는데 부하 변동에 대해 액추에이터의 기계적 시정수가 상당히 빠르기 때문에 시정수에 대해 감당을 하지 못하는 문제점이 있다. 그래서 전기적인 부하변동을 바로 검출할 수 있다면 그 항을 피드포워드 항으로 추가하면서 기계적인 제어기의 시정수를 앞당겨 기존 제어기 보다 속응성 및 안정도가 향상된 제어기 성능을 갖게 될 수 있으며, 이로 인해 발전기를 효율적으로 운전할 수 있게 된다. 본 논문에서 제안하는 방법은 그림 7에서와 같이 기존 알고리즘에 추가적으로 피드포워드 제어부를 추가하였다. 개발된 거버너 제어기에서 피드포워드 제어부를 구성하기 위한 전력검출을 하기 위해서는 기본적으로 3상 전압, 전류를 검출해야 한다.

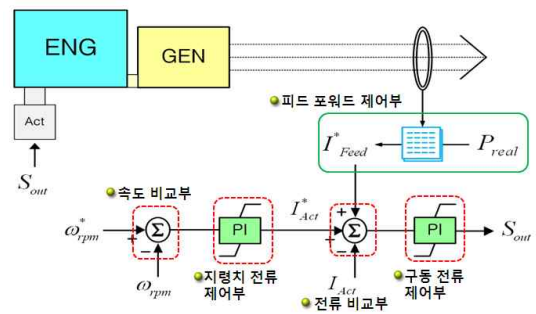


그림 7. 거버너 제어기의 제안된 알고리즘  
Fig. 7. Proposed algorithm of the governor controller

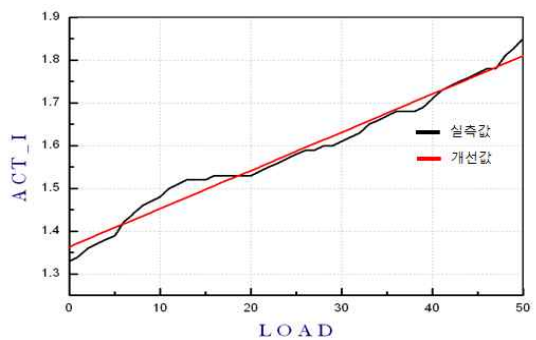


그림 8. 부하에 따른 액추에이터 전류  
Fig. 8. Actuator current according to the load

이 시스템은 전력정보를 얼마나 빨리 가지고 오느냐에 따라 시스템의 속응성이 결정되므로 전력검출이

상당히 중요한 부분이다. 전력 검출 방법은 발전기의 출력단을 제어기의 전압 센싱부에 연결하고, 전류센서를 통해 전류 센싱부에 연결한다. 그리고 출력되는 3상 전압과 전류를 알파, 베타 변환 그리고 디 큐 변환을 통하여 유효전력을 검출할 수 있다. 그림 8은 피드포워드 제어부의 록업 테이블을 만들기 위해 실험을 통해 다음과 같이 부하에 따른 액추에이터 전류 값을 실측한 후 개선한 데이터 값을 나타낸 것이다.

### 3. 시뮬레이션 및 실험

제안된 그림 9는 논문에서 PSIM을 이용한 시뮬레이션 회로도이다. 엔진부는 직류기로 대체하여 직류분권 전동기의 단자전압에 따라 속도의 변화가 발생함을 알 수 있고, 발전기는 3상 동기발전기로 설계하였다. 3상 전력계를 통하여 전력정보를 검출할 수가 있으며, 부하의 투입은 가상적으로 계통스위치, 단독 부하 스위치 1, 2로 나타내었다. 또한 발전기의 주파수 안정화를 위한 거버너, 전압 안정화를 위한 여자기 제어부는 DLL파일을 사용하였다.

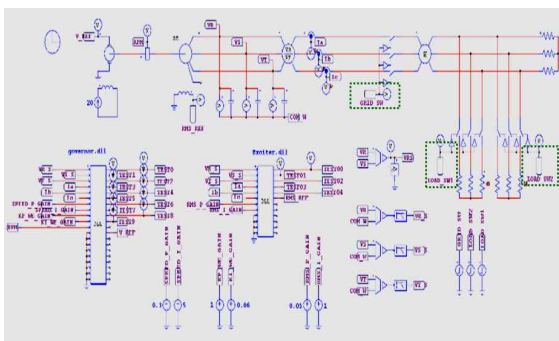


그림 9. 시뮬레이션 회로도  
Fig. 9. Schematic of the simulation

그림 10과 11은 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 시뮬레이션 파형을 비교하여 나타낸 것이다. 그림 9에서 나타낸 시뮬레이션 회로도에서 총 시간은 2s이며 부하의 투입은 가상적으로 Grid 스위치, Load 스위치 1, 2로 나타내었으며 투입시간은 0.1s, 0.6s, 0.9s이다. 이로부터 부하 투입 시 전류 및 전압의 변화를 확인할 수 있었으며, 또한 부하의 변동에 따른 속도의 변

화에도 액추에이터에 흐르는 전류제어를 통해 주파수 안정화를 이루어 어느 정도 시간이 지난 뒤에 속도 안정화가 이루어짐을 확인할 수 있었다. 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 시뮬레이션 파형을 살펴보면 부하 투입 후 오버슈트와 언더슈트가 일어나면서 어느 정도 시간이 지난 뒤에는 속도 안정화가 이루어짐을 확인할 수 있었다.

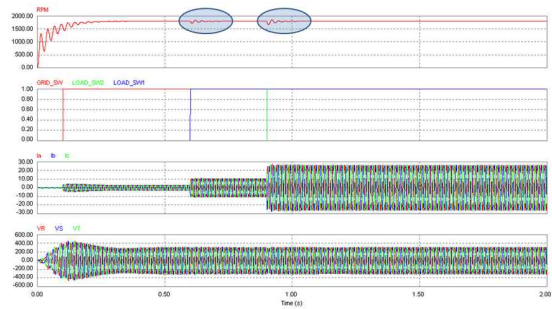


그림 10. 기존 알고리즘 시뮬레이션 파형  
Fig. 10. Simulation waveform of conventional algorithm

그림 12는 그림 10의 기존의 알고리즘 시뮬레이션 파형과 그림 11의 제안된 알고리즘 시뮬레이션 파형을 확대비교하여 나타내었다.

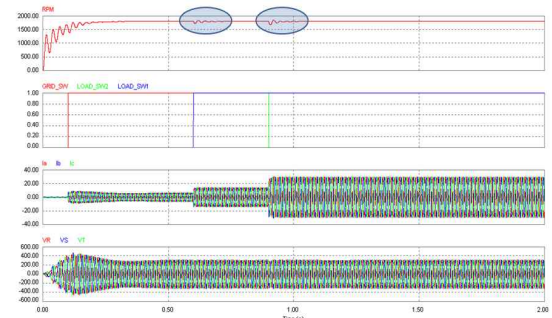


그림 11. 제안된 알고리즘 시뮬레이션 파형  
Fig. 11. Simulation waveform of the proposed algorithm

그림 12는 기존의 픽업 센서를 이용한 거버너 제어기와 본 논문에서 제안하는 전력정보에 의한 전류 지령치를 피드포워드 항으로 추가한 거버너 제어기의 부하 투입 시 속도의 변화를 비교한 파형이다. 이를



주파수 안정도 개선을 위한 디지털 조속기 제어기 개발

통해 제안된 알고리즘, 즉 전력정보에 의해 전류 지령치가 오차를 줄이는 역할을 하므로 제어기의 수렴속도 및 안정도가 향상됨을 확인할 수 있었다.

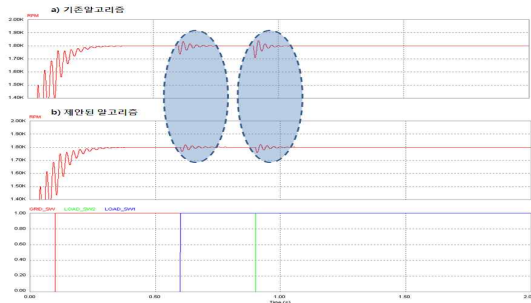


그림 12. 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 시뮬레이션 파형비교

Fig. 12. Comparison of the simulation waveforms from conventional and proposed algorithms

실험에서 사용된 디젤 엔진의 속도제어를 위해 디지털 거버너가 장착되어 있다. 연료펌프의 오른쪽 상단에 부착되어 있는 것이 거버너 액추에이터이다. 거버너 액추에이터의 로드가 연료펌프 랙의 변위변화되어져 디젤엔진의 노즐을 통해 분사되는 연료량이 조절되어 디젤엔진의 회전수가 제어된다. 실험에서 사용한 엔진은 독일 도이츠사의 TDS226B-3D 모델이며, 4행정 기관으로 디지털 거버너가 부착되어 있다. 다음 표는 주요 제원을 나타내고 있다.

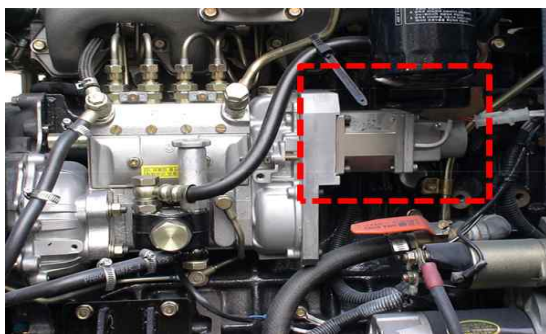


그림 13. 디젤엔진의 외형  
Fig. 13. Appearance of a diesel engine

개발된 거버너 제어기는 일반적으로 속도를 검출하는 픽업센서부와 추가적으로 전력정보 검출부로 구성

되어 있으며, 거버너 제어기 시스템에서 사용한 시스템 클럭=60MHz, 샘플링 주파수=10kHz, 스위칭 주파수=10kHz를 사용하였으며, 32bit eCAP를 이용하여 속도를 검출하였다. 단자대의 위에서 아래쪽으로 배터리 전원 연결부(BAT+, BAT-), 액추에이터 연결부(ACT+, ACT-), 속도검출기 연결부(MPU+, MPU-), SET 컨트롤로 이루어져 있다.

표 1. 발전기의 주요 사양

Table 1. Major specification of the generator

실린더 수	3	정격회전수	1,800rpm
실린더 내경×직경	105×120	총 배기량	3,116cc
압축비	16.4 : 1	연속 최대출력	50kw

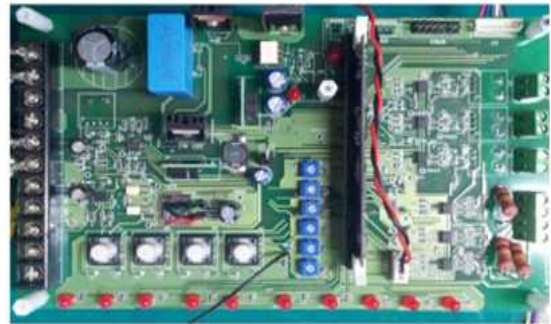
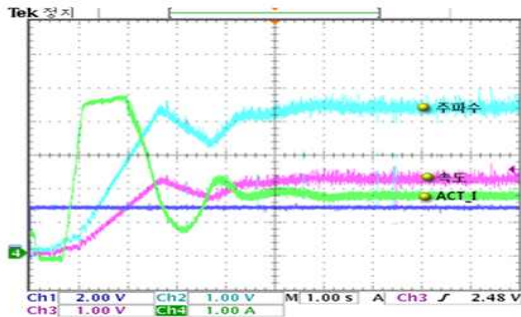


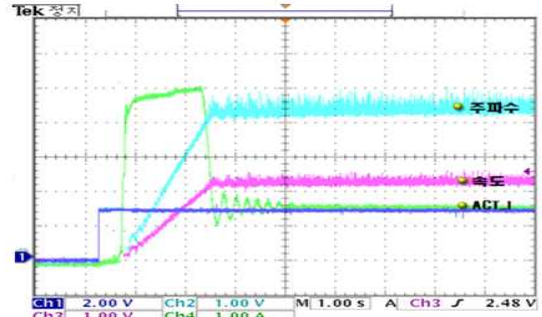
그림 14. 개발된 거버너 제어기  
Fig. 14. Developed governor controller

그림 15는 무부하시 기존의 알고리즘과 제안된 알고리즘을 나타낸다. 기존 알고리즘은 초기 기동 시부터 정상상태 동작까지 소프트 스타팅이 되지 않았으며, 주파수의 파형을 보았을 때 저 주파대의 진동을 감지할 수 있었다. 이는 주파수 변동에 액추에이터의 느린 대응으로 인한 현상으로 볼 수 있다.

제안된 알고리즘의 파형을 기존 알고리즘과의 비교를 해보면 정상상태에 도달하는 시간과 오실레이션의 폭, 그리고 저 주파수대의 진동도 상당히 줄어들었음을 확인할 수 있다. 특히 소프트 스타트 성능이 우수하다는 것이 기존과 제안된 알고리즘의 차별화라고 할 수 있다. 그림 16은 제안된 알고리즘의 주파수와 액추에이터 전류 파형의 데이터 파일을 검출하여 그에 따른 특성 파형을 나타낸 것이다. 그림에서 보는



(a) 기존 알고리즘



(b) 제안된 알고리즘

그림 15. 무 부하 파형  
Fig. 15. No-load waveform

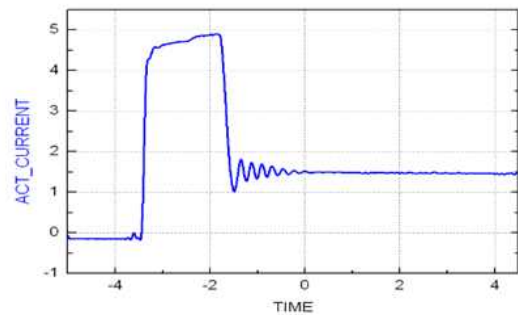
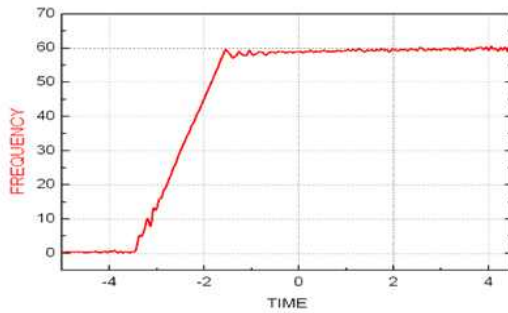
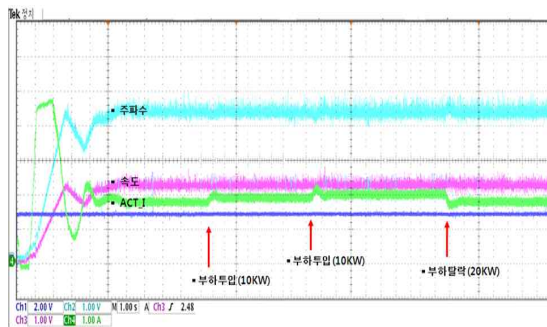
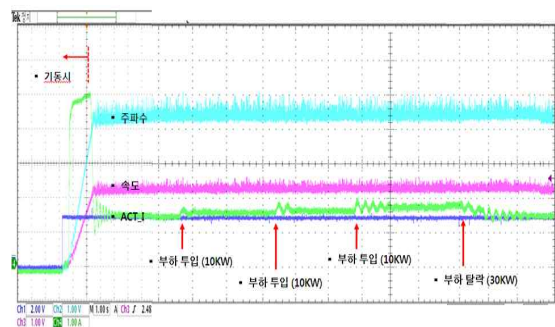


그림 16. 제안된 알고리즘의 여자전류 및 주파수 특성파형  
Fig. 16. Excitation current and frequency characteristics waveforms of the proposed algorithm



(a) 기존 알고리즘



(b) 제안된 알고리즘

그림 17. 부하 파형  
Fig. 17. Load input waveform

바와 같이 액추에이터의 흐르는 전류 제어를 통해 다음과 같이 주파수 안정화를 이루어 안정된 속도제어가 가능하다.

그림 17은 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 부하 투입 파형을 나타낸 것이다. 부하 투입에도 액추에이

터에 흐르는 전류 제어를 통해 주파수 및 속도 안정화가 이루어짐을 확인하였다. 정상상태 모드에서의 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 액추에이터 전류 값을 비교해 보면 피드포워드 제어부의 추가로 전류 비교부에서 오차를 줄여주어 액추에이터 구동전류의



값이 약 1.7A에서 1.5A로 줄어들었음을 확인할 수 있었다. 또한 소프트 스타팅으로 정상상태에 도달하는 시간이 짧아져 속응성이 증대되었고, 저주파 진동의 문제와 오실레이션의 폭도 감소하여 안정적인 제어가 가능해졌다. 이를 통해 발전기를 좀 더 효율적으로 운전할 수 있다. 또한 속응성 및 안정도의 개선을 통해 하이브리드 시스템에서 다른 발전 시스템의 출력변화분이 기존 발전기의 조속기 동작에 의한 출력조정분의 범위 내에 포함되는 경우에 동기 이탈의 가능성을 최소화하였다.

#### 4. 결 론

디젤 엔진 발전기의 회전속도를 검출하기 위해서 일반적으로 픽업 센서를 이용하고 있다. 본 논문에서 개발한 디지털 거버너 제어기는 하이브리드 발전 시스템의 분산전원과의 동기 및 부하분담 측면에서의 동기이탈의 문제점을 해결하기 위해 추가적으로 전력에 대한 정보를 검출하여 피드포워드 제어부를 추가하였다. 본 논문의 특징은 다음과 같다.

(1) 하이브리드 발전 시스템에서 디젤 엔진 발전기의 속도 제어는 중요한 의미를 지닌다. 본 논문에서는 하이브리드 시스템 디젤 엔진 발전기의 연료 분사량을 조절하는 액추에이터의 전류제어를 위한 디지털 거버너의 제어 알고리즘을 구현하고, 제어기 개발을 통해 주파수 안정화를 이루고자 함에 목적을 두었다.

(2) 픽업센서를 통한 일반적인 속도 검출 방법에 추가적으로 전력정보를 이용한 즉 발전기의 유효전력량에 의한 액추에이터 전류 지령치를 록업 테이블화 하여 피드포워드 항으로 구성함으로써 부하 가변 시 제어기의 속응성과 안정도가 향상됨을 확인할 수 있었다.

이를 통해 발전기를 좀 더 효율적으로 운전할 수 있었으며, 분산전원과의 동기 및 부하분담 측면에서는 동기이탈의 가능성을 최소화하였다.

본 연구는 지식경제부 한국산업기술진흥원 호남광역경제권 선도산업지원단의 광역경제권 선도산업 육성사업으로 수행된 연구결과입니다.

#### References

- [1] D.J. McGowan, D.J. Morrow, and Brendan Fox, "Integrated Governor Control for Diesel-Generating Set", IEEE Trans. On Energy Conversion, vol.21, pp.476-483, Jun.2006.
- [2] Qingwen Song, and Karolos M. Grigoriadis, "Diesel Engine Speed Regulation Using Linear Varying Control, Proc. American Control Conference, vol.1, pp. 779-784, Jun. 2003.
- [3] F.Karry, and E.Conrad, "Design of Intelligent Controllers for Electronic Speed Regulation of Diesel Engine", Int'l Conf. on Knowledge-Based Intelligent Electronic System, vol.2,pp.607-616, May.1997.
- [4] Mossad Mosleh, and Amier Al-Ali, "Discrete Speed Controller Design of a Marine Diesel Engine Including Sampling Effects due to Fuel Injections", Journal of Vibration and Control, vol.8,pp.659-671,2002.
- [5] John B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw Hill, 1998.
- [6] Governing Fundamentals, manul No. TA-442, Woodward Governor Company.

#### ◇ 저자소개 ◇



##### 이상훈 (李相勳)

1974년 8월 11일생. 2000년 경성대학교 전기공학과 졸업. 2006년 부산대학교 메카트로닉스협동과정졸업(박사). 2002~2004년 9월 KT전기 기술연구소 주임 연구원. 2007~2009년 삼성전기 Power 사업팀 책임연구원. 2010년~현재 한국승강기 대학 승강기 전기설계과 전임강사.



##### 최상규 (崔相圭)

1984년 04월 08일생. 2010년 전남대 전기공학과 졸업, 2012년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 LG 이노텍 연구원.



##### 이화춘 (李和春)

1980년 4월 30일생. 2006년 전남대학교 전기공학과 졸업. 2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



##### 송성근 (宋成根)

1975년 9월 16일생. 1998년 전남대 공과대학 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001~2004년 (주)프로컴 시스템 연구원. 2004~2005년 (주)세오전자 연구원. 현재 전자부품연구원 디지털컨버전스연구센터 센터장.