

# 발전기 통합제어장치 개발

유영석, 권혁, 이상정, 이선희, 최용실  
이천전기공업(주) 중앙연구소

## A Development of Unified Digital Generator Controller

Young-Suk Yoo, Hyuk Kwon, Sang-Jeong Lee, Sun-Hee Lee, Yong-Sil Choi  
Leechun Electric MFG. Co., R&D Institute

### ABSTRACT

This system is an unified Digital Generator Controller. It has an Electronical Generator Sequencer which control the sequence of a generator, an AVR(Automatic Voltage Regulator) which perform the regulation of generator terminal voltage optimally to user's needs, and an Auto Synchronizer, it can switch the power source on from generally used an the generator to load automatically. It also possesses a Battery Charger which charge a storage battery to appropriate voltage level. Here we describe it's configuration, specifications, the way of control, figure, functions and waveforms.

### 1. 서론

최근 대형빌딩, 공장, 아파트단지 등의 대단위 수요가가 늘어남에 따라 신뢰성 있는 전원을 공급하기 위한 방안의 하나로 발전기의 수요가 점차 증가하고 있는 추세이며 제어장치의 국산화가 진행되고 있기는 하지만 대부분 외국 제품 수입에 의존하고 있는 실정이다. 또한 발전기의 제어장치가 개별적인 유니트로 되어있어 조립기술의 어려움, 취부공간의 제약, 가격상승등의 문제점이 발생되고 있다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 개발된 본 장치는 발전기의 시퀀스를 처리하는 전자식 시퀀스 제어기능과 자동전압조정기능(Automatic Voltage Regulator), 병렬운전시 자동동기투입기능(Auto Synchronizer), 축전지의 자동충전기능(Battery Charger)이 내장되어 있는 발전기 통합제어장치로서 이에대한 구성도와 개발품의 사양, 제어방식, 완제품의 외관 및 기능, 자동전압조정기에 의한 실제 출력에 대하여 기술하였다.

### 2. 발전기 통합제어장치

#### (1) 구성도

본 제품은 AVR과 Auto-Synchronizer, Battery Charger 및 발전기 제어판넬의 타이머, 릴레이에 의한 Sequence 기능이 별도의 유니트로 되어 있던 것을 사용자의 편의성, 취부공간의 협소화, 경제성 등을 고려하여 만든 통합제어장치로써 그 구성도는 그림1에 나타내었다.

평상시 상용전원으로 운전되고 있을 때에는 축전지를 충전하는 기능으로 동작하고 상용전원이 OFF되었을 경우

엔진을 구동시키기 위한 Starting Motor를 가동, 속도 정보를 입력받는다. 또한 발전기의 초기여자신호를 출력, 발전기의 자동전압조정(AVR)기능을 수행하고 병렬운전시나 상용전원이 복구되었을 때 자동동기투입기능까지 행하며 이 모든 기능을 자동시퀀스에 의해 순차적으로 동작한다.

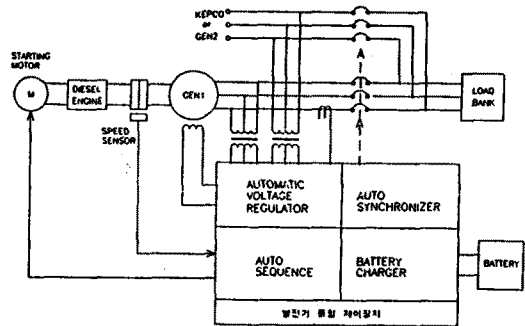


그림 1. 발전기 통합제어장치의 구성도

#### (2) 제품사양

본 연구에서는 현장시험과 사용자 검증을 통해 최종적으로 발전기 통합제어장치를 개발 완료하였으며 본장치의 사양은 표1에 나타내었다.

사양	특성	비고
CPU(8097BH)	16bit	INTEL사
ROM(27C256)	32k bytes	2개
RAM(6264)	8k bytes	2개
EEPROM(2864)	8k bytes	1개
A/D 변환기	입력채널수	8
	분해능	10 bits
	입력전압 범위	0 ~ +5V
	변환시간	22μs(12MHz에서)
접점입력수	13	-
접점출력수	13	-
전원입력사양	+6 ~ +40V	축전지 전원사용
통신 Interface	RS232C	-
의 함	크기	310W×294D×144H
	재질	Steel(1.5t)
표시장치	LCD Module	16×2(Line)
Keyboard 갯수	4개	-

표1. 발전기 통합제어 장치의 사양.

### (3) 주요기능

발전기를 단독적으로 운전할 경우에는 엔진의 정속제어와 발전기의 출력전압제어의 단순한 기능만이 필요하지만 발전기와 발전기의 병렬운전 또는 발전기와 계통의 연계 운전등이 요구되는 시스템에서는 보다 고기능의 제어 시스템이 필요하게 된다. 본 시스템은 기본적인 발전기의 자동전압조정기능 외에 운전상태를 감지하여 자동적으로 운전, 조정되는 전자식 시퀀스 제어기능과 발전기와의 병렬 운전이나 계통과의 연계운전시 동기절제를 위한 자동동기 투입기능, 별도의 H/W추가없이 평상시 축전지의 충전을 조절하는 자동충전기능으로 구성되어 있으며 각각의 기능에 대하여 간단히 설명하면 다음과 같다.

#### 가) 자동전압조정기능(Automatic Voltage Regulator)

발전기용 자동전압조정장치(AVR)의 기본적인 기능은 발전기의 여자전압을 제어함으로써 발전기의 단자전압을 조정하는 것이다. 본 시스템의 AVR은 기존의 아날로그 AVR에서는 구현하기 힘든 특수한 제어기능과 부가기능을 가지고 있으며 이를 다음과 같이 요약할 수 있다.

- o 정상상태 및 과도상태에서 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 안정화 신호 부가기능.
- o MMI를 통한 상위시스템과의 연계운전.
- o 다양한 제어방식의 선택기능.
- o 제어기 변수의 용이한 변경기능.

#### 나) 자동동기투입기능(Auto Synchronizer)

자동동기투입장치는 기준모선과 투입될 발전기의 위상, 전압, 주파수를 자동으로 맞추어 절제하여 주는 장치로 동기투입조건은 다음과 같다.

- o Slip Frequency  $\leq 0.1$  Hz
- o Phase Angle  $\leq \pm 5^\circ$
- o Voltage Differential  $\leq \pm 5\%$

기존제품은 AVR과 Synchronizer가 별도의 Unit로 되어 있어 Interface상의 문제나 조작상의 문제가 있었으나 본 시스템은 이들 기능이 통합되어 자체 시퀀스에 의해 발전기의 전압과 엔진의 속도를 조정한 후 동기투입범위이면 투입신호를 발생하여 기존의 문제점을 해결하였다.

#### 다) 축전지 자동충전기능(Battery Charger)

Battery Charger는 발전기 운전시 필요한 축전지 전원을 일정한 범위의 전압으로 충전시키는 장치로써 기존제품은 별도의 Unit로 되어 있어 가격상승 및 공간적인 제약상의 문제점을 유발하였다. 하지만 본 장치에서는 별도의 H/W부담없이 내부적으로 운전모드를 전환시켜 계통운전시에는 자동전압조정기능, 자동동기투입기능 등을 수행한다. 또한 축전지의 전원은 본 장치의 Control 전원으로 사용되며 축전지 전압의 유지범위는 +23V ~ 25 V이다.

#### 라) 전자식 시퀀스 제어기능(Auto Sequence)

자동시퀀스는 엔진-발전기의 상태를 감지하여 순차적으로 시퀀스를 처리하는 것으로써 기존 발전기제어반에서는 다수의 타이머나 릴레이를 사용하던 것을 본 장치에서는 소수의 IC소자와 간단한 회로로 구성하여 소프트웨어로 기능을 구현하였으며 그 기능을 요약하면 다음과 같다.

- o 한전전원정전검출에 의한 Starting Motor의 구동
- o 엔진의 속도정보입력
- o 발전기의 초기여자신호출력
- o 다수의 엔진-발전기 보호기능 등

### 3. 제어방식

#### (1) PID제어기

비례-적분-미분 제어기(Proportional-Integral-Derivative Control, PID)의 표현식은 아래와 같다.

$$u(t) = K_p \cdot [e(t) + r_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + \frac{1}{r_i} \int e(t)dt] \quad (1)$$

$$= K_p \cdot e(t) + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + K_i \cdot \int e(t)dt$$

여기서  $K_d = K_p \cdot r_d$ ,  $K_i = K_p/r_i$

이것을 Backward Difference Method를 사용하여 등가의 이산치 식으로 변환하면 다음 식과 같이 표현된다.

$$u(k) = K_p \cdot e(k) + T_s \cdot K_i \cdot \sum_{n=0}^k e(n) + \frac{K_d}{T_s} \cdot (e(k) - e(k-1)) \quad (2)$$

여기서  $T_s$ : 샘플링 시간

컴퓨터를 이용한 디지털 제어에서도 PID제어는 여전히 그 계산의 용이함으로 선호되지만 가장 근본적인 문제는 각각의 이득 조정이 어렵다는 점이다.

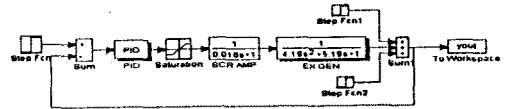


그림 2. PID제어기

#### (2) Smith Predictor 적용

발전기의 여자 제어에 있어서는 근본 문제는 부하 외란에 대한 출력의 안정에 있다. 발전기의 특성상 부하 외란에 대한 출력의 변동은 빠르나 이를 보상하기 위한 여자는 유도성 시간 지연을 포함하므로 좋은 과도 응답을 얻을 수 없다. 전기자의 시정수에 비해 여자기의 시정수는 수 초 정도로 길어 결과적으로 과도 현상을 지연시키거나 최대오버슈트를 증가시키게 된다. 여자제어기에 스미스 예측기를 적용하기 위해 발전기-여자의 전달 함수를 수송 지연과 1차 시간지연 전달함수로 근사시키면 아래와 같다.

$$G_p(s) = \frac{1}{(1+s \cdot T_b)(1+s \cdot T_c)} \quad (3)$$

$$= e^{-r \cdot s} \cdot \frac{1}{(1+T_3 \cdot s)}$$

여기에 스미스가 제안한 보상의 일반적인 식에 대입하면

$$G_c(s) = (1 - e^{-r \cdot s}) \cdot G(s) \quad (4)$$

가 된다. 해석상 수송 지연  $e^{-r \cdot s}$ 를 Pade의 1차근사법을 적용하면 아래와 같다.

$$e^{-r \cdot s} = \frac{1 - \frac{r \cdot s}{2}}{1 + \frac{r \cdot s}{2}} \quad (5)$$

따라서 이것을 식(4)에 대입하면

$$G_c(s) = \frac{r \cdot s}{1 + \frac{r \cdot s}{2}} \cdot \frac{1}{1 + T_3 \cdot s} \quad (6)$$

되며 이는 시간지연을 포함한 미분기의 형태를 띠게 된다.

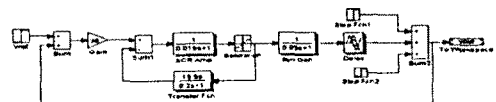


그림 3. SP제어기

#### 4. 시뮬레이션 및 실험결과

##### (1) 시뮬레이션

출력제한에 의한 PID제어와 SP제어의 성능을 비교하기 위해 MATLAB 프로그램으로 시뮬레이션 하였다.

MATLAB의 보조프로그램인 SIMULINK를 이용한 시뮬레이션 결과는 그림4, 5에 나타나 있으며 외란의 인가, 제거시에 있어서 PID제어보다 SP제어가 우수한 응답성을 보여주고 있다.

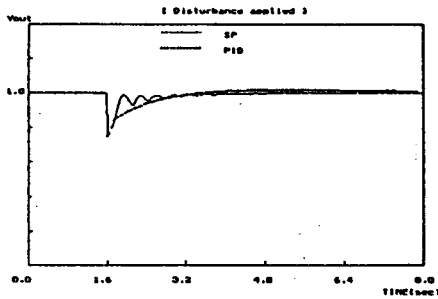


그림4. Response for disturbance application

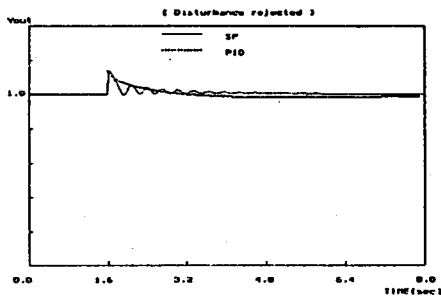


그림5. Response for Disturbance removal

##### (2) 실험결과

정격의 60% 정도에 해당되는 40[kw]의 저항부하를 순시에 투입, 제거했을 때의 각부 파형은 그림6, 7에 나타나 있으며 실험결과값은 표2에 표시하였다.

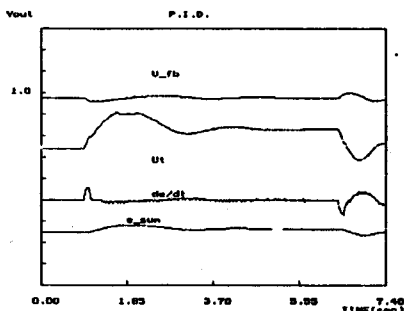


그림6. Response of PID Controller for disturbance

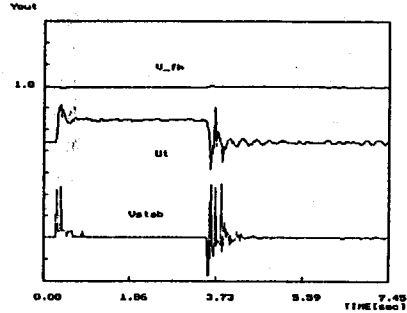


그림7. Response of Controller for disturbance

		PID	S · P	비 고
부하 인가시	Undershoot[%]	5.94	2.30	▼3.64[%]
	정정시간[sec]	2.35	0.23	▼2.12[sec]
	정상상태오차[%]	0.0	0.9~1.4	▼0.9~1.4[%]
부하 제거시	Overshoot[%]	7.92	1.38	▼6.54[%]
	정정시간[sec]	1.10	0.64	▼0.64[sec]
	정상상태오차[%]	0.0	0.0	

표2. Response comparison for disturbance

표2에서 보는바와 같이 PID에 비해 SP는 부하에 대한 응답이 상당히 개선되었음을 알수 있었다.

##### 5. 결론 및 향후계획

본 논문에서는 우선 기존 PID 제어기와 본 장치에서 사용된 SP제어기에 대하여 간단히 소개하였고 시뮬레이션과 실험과형을 통해 SP제어기의 우수성을 보여주었으며 외국 제품수입에 의존하던 제어장치를 사용자의 편의성과 취부 공간의 제약성 및 경제성, 기존제품의 엔지니어링 기술의 문제점을 고려하여 순수국내기술로서 국산화 제작되었다.

본 장치 개발과정에서 축적된 설계자료와 현장적용기술은 관련분야의 기초자료로 활용할 것이며, 향후 속도제어 기와의 통합제어, 최적의 자동동조, 제어정밀도의 향상 (Fuzzy Control등)등을 목표로 계속 연구해 나갈것이다.

##### 6. 참고문헌

- [1] J.B.X. Devotlat, "A dynamic Model of the Synchronous Generator Excitation Control System", IEEE Trans Industrial Electronics, Vol IE-34, pp429~432, 1987
- [2] L.W.Matsch, J.D.Morgan, "Electromagnetic and Electromagnetical Machines", John wiley & Sons, pp214~215, 1987
- [3] K.J.Astrom, B.Wittemnajk, "Adaptive Control", Addison Wesley, 1989
- [4] "Voltage Regulator Influence on Generator System Stability Electric Technical note"
- [5] D.R.Coughanowr, "Process Systems Analysis and Control", McGraw-hill, 1991
- [6] B.Shahian, M.hassul, "Control System Design using MATLAB", Prentice Hall, 1993
- [7] 安種善 "A Study on Automatic Voltage Regulator for the Diesel Engine Driven Synchronous Generator", KAIST, 1995