

## 20kW Hybrid Type 동기 발전기 계자 제어 시스템

이화춘\*, 안재영\*, 김세민\*, 유기홍\*\*, 송성근\*, 최준호\*, 남순열\*, 박성준\*  
전남대학교\*, 썬테크발전기\*\*

### Filed Control System of 20kW Hybrid Type Synchronous Generator

Hwa-Chun LEE\*, Jae-Young Ahn\*, Se-Min Kim\*, Sung-Gun Song\*, Joon-Ho Choi\*, Ki-Heung Yoo\*\*, Soon-ryul Nam\*, Sung-Gun Park\*  
Chonnam University\*, SunTech Corporation\*\*

**Abstract** - This paper deals with the novel type DAVR(digital Automatic voltage Regulator) of the field control system for improving the response and efficiency. The proposed Hybrid type Synchronous Generator consists of permanent magnet which can generate the constant voltage with controlless and field winding. Using Buck-type PWM converter, the response can be improved in the proposed system.

The proper operation of the proposed excitation system was verified through the design and experiments.

#### 1. 서 론

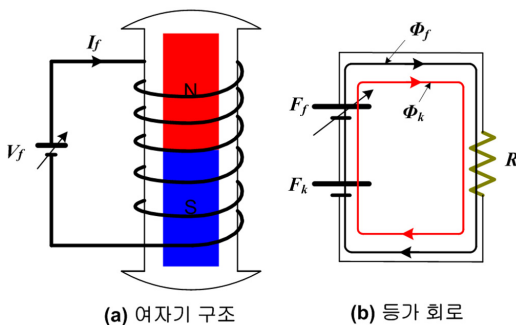
최근 전기에너지의 다양한 수요에 따라 발전기 여자 시스템(Generator excitation system)의 요구 성능은 전력 시스템의 보급 확대 및 성능 향상과 함께 그 중요성이 더욱 증가했다.<sup>[1]</sup> 이러한 여자시스템에 대한 연구로는 제어기의 속응성 증대 및 효율 증대에 대한 연구가 대표적이다. 제어기의 속응성 개선을 위한 연구로는 기존 아날로그 AVR(automatic voltage regulator)에서 파라미터 변경과 병렬 운전 및 고성능 제어가 용이한 DAVR(digital automatic voltage regulator)방식으로 전환되고 있다.<sup>[2]</sup> 최근 출력전압과 부하변동에 의한 발전기의 출력전압의 변화에 속응성을 개선하기 위한 PWM 컨버터를 사용한 여자시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한, 여자의 효율 증대를 위한 연구로는 여자시스템의 구성에 의한 효율 증대 방안에 대한 각종 연구가 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 DFIG 발전기 시스템에서 여자에 사용되는 전력은 전체 발전기의 용량의 약 5[%]정도를 차지하고 있음으로 인해 발전기의 효율증대에 큰 장애를 갖고 있다.

본 논문에서는 여자의 속응성 및 효율개선을 위한 새로운 타입의 DAVR 시스템을 제안한다. 제안된 DAVR은 기존의 DFIG 및 영구자석 발전기를 하이브리드화한 방식으로 여자에 영구자석과 여자코일을 혼합한 새로운 방식으로 구성하였으며, Buck-type PWM 컨버터를 사용하여 여자의 속응성을 개선하였다. 또한 20[kW]급 프로토타입 하이브리드 발전기를 제작 및 시스템 구성을 통하여 제안된 여자시스템의 타당성을 검증하였다.

#### 2. 제안된 Hybrid Type 동기발전기 및 제어 시스템

##### 2.1 Hybrid Type 동기 발전기

영구자석형 동기발전기는 출력전압을 제어할 수 없어 발전기로 사용될 경우, 출력전압을 제어할 수 있는 전력변환기가 필수적이다. 또한, 일반적으로 사용되는 DFIG 발전기는 초기 기동 시, 회전자의 잔류 자속에 의한 낮은 발전전압으로 여자시스템을 구동함으로써, 여자기 구성에 대한 부담이 크게 되고, 여자전류를 위한 전력소모는 발전기 시스템의 효율증대에 큰 제약으로 작용하고 있다.

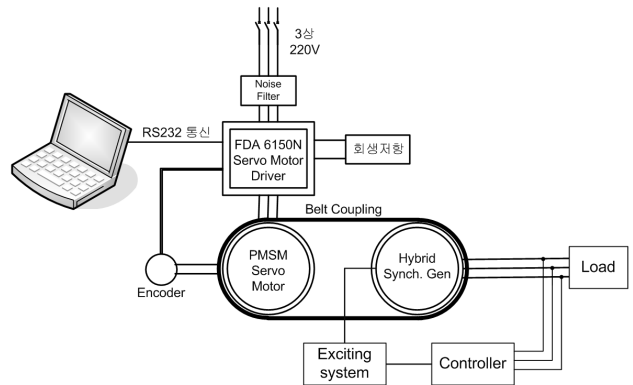


〈그림 1〉 제안된 하이브리드 타입 여자기의 구성도

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 영구자석 발전기 및 DFIG 발전기의 단점을 보완 할 수 있는 새로운 하이브리드 타입 여자기 제안하며, 하이브리드 타입 여자기의 구성은 그림 1에 나타나 있다. 그림 1(a)에서 보는바와 같이 제안된 하이브리드 여자기는 영구자석과 전자석으로 구성되어 있다. 그림 1(b)는 하이브리드 여자기의 등가회로도이다. 그림에서  $F_k$ 는 영구자석의 기자력이고,  $F_f$ 는 전자석의 기자력을 나타내고 있으며, R은 자기회로의 릴럭턴스 값을 나타내고 있다. 따라서  $F_k$ 는 일정한 기자력을 갖고 있고,  $F_f$ 는 여자코일의 전류에 의한 가변 기자력이 되어, 전체 기자력은 두 기자력의 합이 된다. 영구자석은 무부하에서 정격전압의 50[%] 정도가 되도록 착자하였으며, 전자석은 정격전압의 60[%] 정도 되게 여자코일을 설계하였다. 즉, 영구자석은 기저전압을 형성하는 것으로 사용하고, 전자석은 단자전압을 제어하기 위해 사용된다. 따라서 본 여자기는 기존여자에 비하여 여자를 위한 전력소모가 현저히 적어 발전기 시스템의 전체효율 향상에 큰 영향을 미친다.

##### 2.2 Hybrid Type 동기 발전기 계자 제어 시스템 구성

그림 2는 DAVR 시스템의 구성도를 보여주며, 동기발전기의 회전력을 발생하기 위해 동기발전기와 IPMSM형 서보모터를 벨트로 커플링 하였으며, 그 구동을 위해 서보모터 드라이버 FDA-6150N을 사용하였으며, RS232 통신을 통해 서보모터의 속도제어를 한다.

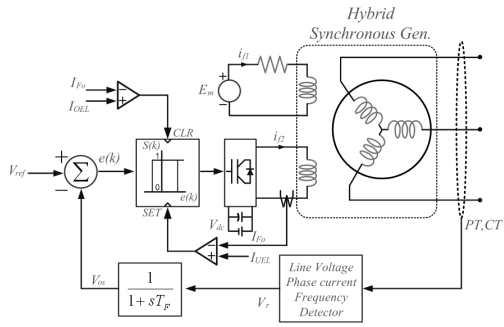


〈그림 2〉 DAVR 시스템 구성도

여자 제어기의 전원은 동기발전기의 출력단자로부터 사용하고, 이 전원은 기존의 DFIG와 달리 여자전류가 없는 상태에서도 충분한 단자전압을 형성할 수 있어 그 제어기의 구성이 간단하게 된다.

##### 2.3 Hybrid Type 동기 발전기 계자 제어기 구성

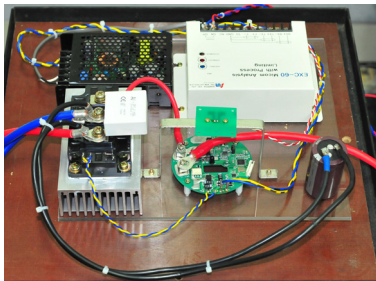
Hybrid Type 동기 발전기의 계자제어기 구성은 그림 3에 나타나 있다. Hybrid Type 동기 발전기는 일정전압을 형성하는 영구자석과 계자코일에 의한 전자석으로 구성되어 있고, 계자 코일은 DAVR로 구성된 제어기 통해, 발전기 출력단에서 피드백된 전압을 측정하고, 지령전압과의 오차 검출을 기초로 비례 적분 제어를 통해 IGBT 모듈의 gate 신호로 여자 되어 전압을 생성한다. 제어 블록에서  $T_f$ 는 발전기 단자에서 피드백 된 전압의 노이즈를 억제하기 위한 1차 필터의 시정수이며,  $I_{OEL}$  및  $I_{UEL}$ 는 발전기의 과여자 및 부족여자의 제한을 위한 계자 전류의 제한치를 나타낸다. 출력전압과 부하변동에 의한 발전기의 출력전압의 변화에 따른 속응성을 개선하기 위한 Buck 타입 PWM 컨버터를 사용하였으며, 전류제어기를 마이너스 루프를 둔 전압 제어기를 구성하였다.



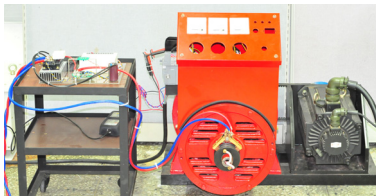
〈그림 3〉 DAVR 계자 제어기 구성도

## 2.4 실험 및 고찰

제안하는 하이브리드 동기발전기의 타당성 여부를 검증하기 위하여 20[kW]급의 시작품을 설계했다. 그림 4는 제작된 제안된 하이브리드 타입 DAVR의 시작품 사진이며, 그 구성은 동기발전기, 여자기, 엔진용 구동 드라이브, 및 제어부로 나눌 수 있다. Atmega128을 사용하여 단자전압의 측정 및 전압제어기를 구성하였고, Atmega48을 사용하여 전류제어기 및 Gate 구동제어기를 구성하였다.



(a) 여자제어기



(b) 발전기 시스템



〈그림 4〉 시작품 사진

그림 5는 하이브리드 발전기의 특성을 조사하기 위한 실험결과이다. 그림 5(a)는 정격부하에서 순간전압 및 전류를 나타내고 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 출력 전압은 220[V]로 양호하게 제어되나, 출력전압은 양호한 정현파가 되지 못하고 있다. 이는 발전기의 스릴을 주지 않은 결과로 사료된다. 그림 5(b)는 50[%]부하에서 발전기의 기동특성을 조사하기 위한 순간전압 파형이며, 영구자석에 의한 발전전압은 약 108 [V]이며, 여자제어기가 동작한 후 0.4 [sec] 이후 정상상태가 됨을 알 수 있었다. 그림 5(c)는 무부하에서 50 [%] 부하로 변할 때의 순간전압 및 전류 파형으로 변화변동에 강인하게 출력전압이 안정됨을 알 수 있었다.

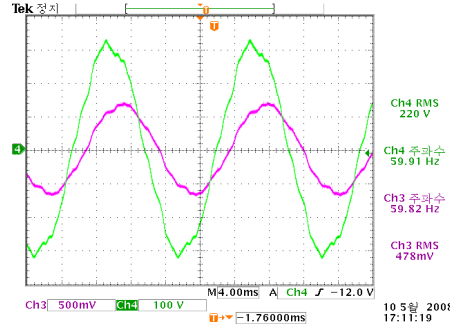
## 3. 결 론

본 논문은 하이브리드 타입의 새로운 발전기 여자시스템에 관한 연구로, 20[kW]급 프로토타입 하이브리드 발전기를 제작하여 실험 한 결과는 아래와 같은 결론을 얻었다.

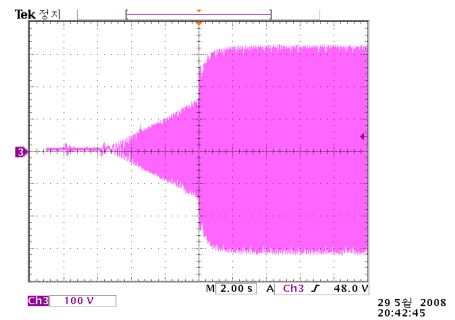
1. 영구자석과 전자석을 겸용으로 사용함으로써 여자 전류형성을 위한 전력 소모가 줄어들음을 알 수 있었다.
2. 속도성 개선을 위한 PWM 컨버터를 사용으로 부하 변동에 강인함을 알 수 있었다.
3. 영구자석을 사용함으로써 기동시 여자전류가 없는 상황에서도 발전

기 출력전압은 형성되어 여자제어기의 구성을 간략화 할 수 있었다. 4. 본 타입의 발전기의 효율을 측정된 결과 98[%]의 효율을 얻었다.

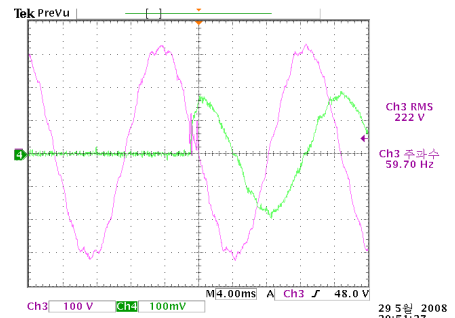
이상의 결과로부터 본 방식의 발전기가 산업에 적용된다며, 고 효율 발전기로 그 구실을 다할 것으로 사료된다.



(a) 정격시 순간전압 및 전류파형



(b) 기동특성 파형



(c) 부하변동 특성

〈그림 5〉 실험 결과 파형

## [참 고 문 헌]

- [1] 이동희, Huijun, 김태형, 안진우, "과도 응답 보상을 가지는 동기발전기의 고성능 여자 제어 시스템", KIEE, Vol. 21, No. 5, pp.82-89 June 2007
- [2] 홍현문, "동기발전기 디지털 여자 시스템 PSS 제어", KIEE, Vol. 18, No. 4, pp.144-148 July 2004
- [3] 이동희, Jianing Liang, 이상훈, 안진우, "직접 순시전압 제어기법에 의한 동기발전기의 고성능 여자 제어 시스템", KIEE, Vol. 21, No. 5, pp.68-74 June 2007
- [4] 장수진, 류동균, 서민성, 김준호, 원충연, 이진국, "전류제어형 PWM 컨버터를 이용한 동기발전기용 여자시스템에 관한 연구", KIEE, Vol. 17, No. 3, pp.32-39 June 2003
- [6] Jung-Chul Lee, "Sensorless Vector Control for High performance Drive of IPMSM", KIEE, Vol. 51P, NO 3, pp.126-131, 9 2002
- [7] Shigeo Morimoto, "Output Maximization Control for Wind Gen. System with Interior Permanent Magnet Synchronous Gen.", IEEE, Vol.1, pp.503-510, 10 2006
- [8] Bojan Stumberger, "Analysis of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor Designed for Flux Weakening Operation", IEEE, Vol.37, No. 5, 9 2001