

분산전원용 동기발전기의 제어기 모델링에 대한 연구

김창순, 김태웅, 김재언  
차세대전력기술연구소, 충북대학교

황진수, 류지윤  
유니슨산업(주) 기술연구소

A Study On the Controller of Synchronous Generator for Distributed Generation

C. S. Kim, T. E. Kim, J. E. Kim  
NPT Center, Chungbuk National University

J. S. Hwang, J. Y. Ryu  
R & D Center, Unison Industrial Co., Ltd.

**Abstract** - DG(Distributed Generation) devices such as co-generation systems, fuel cells and photovoltaic power generation systems, etc. is introducing into the distribution systems by the deregulation. In this paper, the controller of synchronous generator used for DG is newly designed in order to regulate the real & reactive power and the effect on the islanding phenomenon compared with the traditional controller.

1. 서 론

전 세계적으로 전력구조개편과 규제완화, 그리고 환경과 에너지 문제 등의 영향에 의해 분산전원에 대한 관심이 전력회사(발전사업자, 판매사업자, 배전사업자) 및 투자자 등을 통하여 고조되고 있다. 분산전원은 그 용량이 20MW정도 이하의 규모로 전력소비지에 가까이 있는 배전계통에 도입되어 운용되고 있으며, 그 발전기에는 대부분 동기발전기가 주로 활용되고 있다. 그러나, 부하만이 존재하고 있던 기존의 배전계통에 이와 같은 분산전원(발전기)가 연결되어 운전될 경우, 분산전원의 계통연계는 설치자와 배전계통운영자 모두의 충족 조건을 만족시켜주어야 한다. 즉, 전자에 대해서는 전력거래 및 전력수요절감이, 후자에 대해서는 기존 운영체제에 영향을 미치지 않고 안전하고 신뢰성 있게 운전되어야 할 것이 각각 요구되고 있다. 이 양 쪽의 요구 조건을 모두 충족시켜줄 수 있는지의 여부는 분산전원의 제어를 어떻게 설계하느냐에 달려 있다.

본 연구에서는 전술의 배경에 입각하여 분산전원용 동기발전기의 제어기설계방법에 대하여 논하고자 한다. 지금까지 발전기라고 하면, 대부분 비상용발전기 또는 전력계통에 연결되어 운전하고 있는 대용량발전기를 생각하는 경우가 많았고, 또한, 전력계통 엔지니어 및 전문가들조차도 발전기가 연결되어 있는 BUS는 당연히 PV 노드로 처리하는 기능의 제어를 생각하는 것이 일반적이었다. 그러나, 분산전원의 발전기는 그 용량이 비교적 작은 중소규모(5kW~20MW)이므로 무한모선에 연결된 발전기로 보아야 하기 때문에 발전기 단자전압은 계통에 의해 결정되는 것으로 보고, 단지, 그 유효 및 무효전력을 제어하는 PQ 노드로 처리해야 한다. 따라서, 배전계통에 도입되어 계통과 병렬운전하는 분산전원용 동기발전기의 제어기는 단자전압을 제어하지 않고 유효전력과 무효전력을 제어하는 형태로 설계되어야 한다. 지금까지 제안된 발전기의 제어기는 대용량발전기와 같이 PV노드처리가 대부분이며, 계통연계운전용 분산전원 발전기의 제어기로서는 소수이며, 있더라도 거의가 이를 근간으로 한 약간의 응용된 형태의 것이 고작이었다. 이 예로서 여기서는 IEEE에서 권고되고 있는 일반 발전기의 AVR(Automatic Voltage Regulator)<sup>(1)</sup>과 Speed Governor<sup>(2)</sup>, 그리고 일본의 전력계통연계기술

요건가이드라인 '98에서 조사된 분산전원용 동기발전기의 AVR과 Speed Governor<sup>(3)</sup>를 소개하고, 본 논문에서 제안하고 있는 제어기 설계방법에 대하여 기술하기로 한다. 그리고, 분산전원이 도입된 모델배전계통을 설정하여 제안된 제어기의 동작에 대하여 시뮬레이션하고 그 결과에 대하여 고찰하기로 한다.

2. 기존의 DG용 동기발전기의 제어기 모델

2.1 IEEE에서 권고되고 있는 제어기 모델

그림 1과 2는 IEEE에서 제안되고 있는 일반적인 동기발전기의 AVR과 Speed Governor의 모델이다.

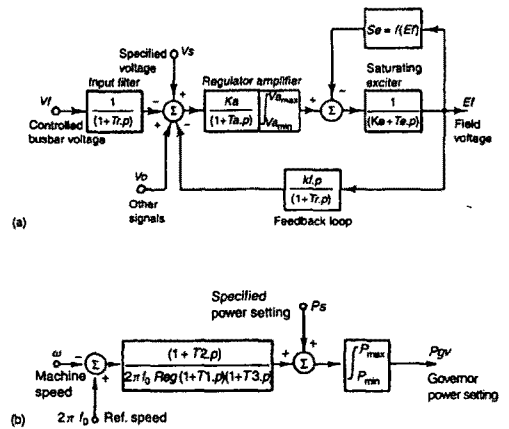


그림 1. IEEE의 일반 계통발전기의 AVR모델<sup>(1)</sup>

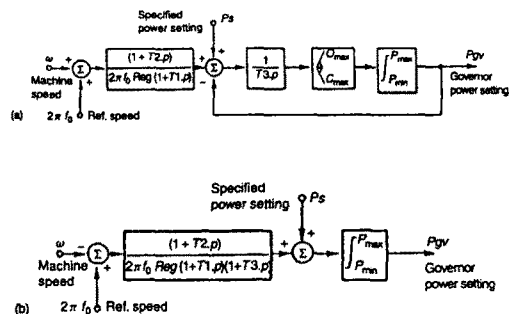


그림 2. IEEE의 일반 계통발전기의 Gov.모델<sup>(2)</sup>

## 2.2 일본의 전력계통연계기술요건 가이드라인에서 조사된 제어기 모델

그림 3과 4는 일본의 전력계통 연계기술요건 가이드라인 '98에서 조사된 분산전원용 동기발전기의 AVR과 Speed Governor이다.

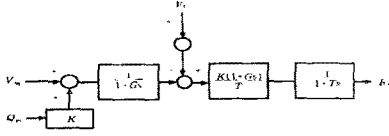


그림 3. 일본 계통연계기술요건가이드라인에서 조사된 AVR 모델<sup>3)</sup>

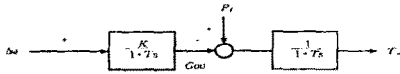


그림 4. 일본 계통연계기술요건가이드라인에서 조사된 모델 Speed Governor 모델<sup>3)</sup>

## 3. 계통연계운전용 제어기의 설계

본 논문에서는 Governor 모델로서는 그림2와 그림4의 것을 혼용한 것을 사용하여 그림 5와 같이 P제어기인 APR로 설계하였다. 그러나, AVR의 경우, 그림 1과 3에 제안된 모델은 분산전원 연계점의 전압을 제어하는 형태로 되어 있어 분산전원에서 출력되는 무효전력을 정확히 제어할 수 없다는 단점이 있다. 이는 계통연계시에 특히 배전회사 또는 전기판매사업자측과의 연계조건상에서 무효전력협조운전 등에 상당한 문제를 야기시킬 수 때문에 여기서는 이를 개선하기 위한 Q제어기인 AQR을 그림 6과 같이 설계하였다.

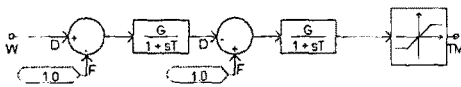


그림 5. 제안된 Speed Governor 모델

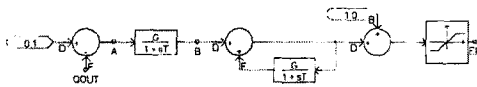


그림 6. 제안된 AVR 모델

## 4. 사례 연구

### 4.1 대상 모델 배전계통 및 시뮬레이션 방법

제안된 동기발전기의 AVR 및 Speed Governor의 차이점을 살펴보기 위하여 먼저 그림 7과 같은 배전계통모델을 선정하였다. 즉, 154 kV의 무한모선에 45/60 MVA의 배전용변전소에 22.9kV 특고압선로가 연결되어 이 선로에 3km지점과 6km지점에 4.5MW (2.25 Mvar)부하가 각각 연결된 형태로 하였다. 또한

분산전원인 동기발전기는 2 MW를 출력하도록 하였다. 그리고, 운전특성비교를 위하여 단독운전상태를 모의할 수 있는 선로차단기를 연계용 변압기이후에 설치하여 30초지점에서 이를 개방하여 분산전원이 연계운전에서 단독운전으로 전환되는 시점에서의 변화특성을 분석할 수 있도록 하였다. 한편, 분산전원인 동기발전기는 처음에 이상전원으로 동작하고 0.2초후에 발전기로 동작하도록 하였다.

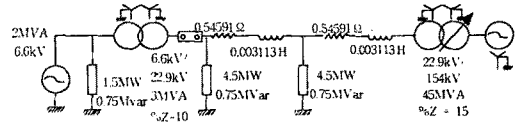


그림 7. 대상 배전계통모델

### 4.2 기존제어기 모델에 의한 시뮬레이션 결과

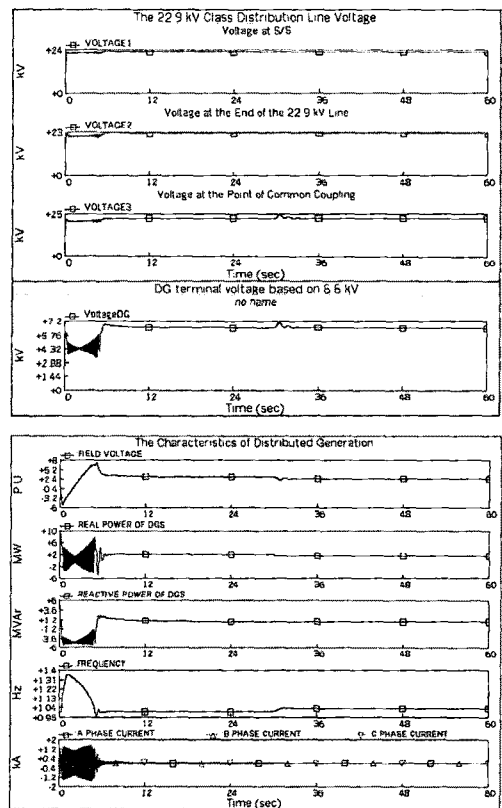


그림 8. 기존제어기에 대한 시뮬레이션결과

그림 8은 그림7의 모델배전계통과 기존제어기모델에 대하여 수행한 시뮬레이션결과이다. 그림8은 상부에서부터 차례로 변전소송출전압, 단독운전모의용 선로차단기의 선로측 전압 및 분산전원측 전압, 분산전원의 6.6kV 선로단자전압, Exciter의 입력전압, 동기발전기의 유효전력출력 및 무효전력출력, 동기발전기의 회전자 주파수, 단독운전모의용 차단기를 흐르는 전류를 각각 나타낸다.

### 4.3 제안된 제어기 모델에 의한 시뮬레이션 결과

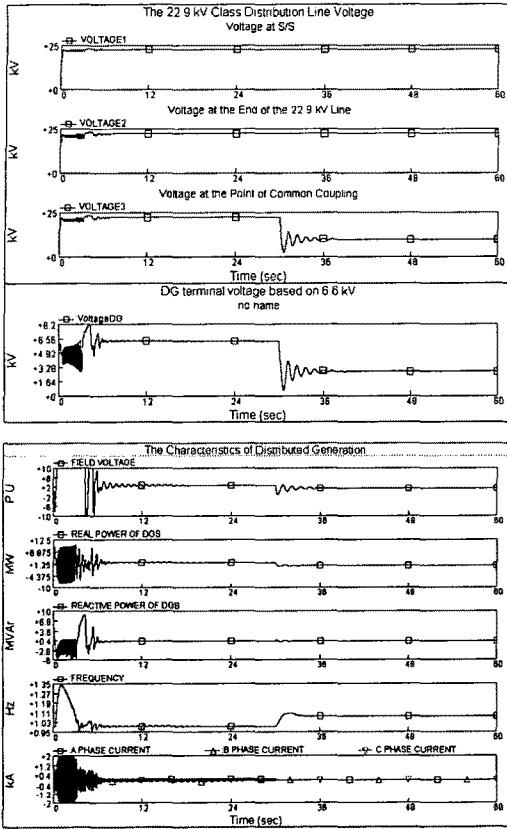


그림 9. 제안된 제어기에 대한 시뮬레이션결과

그림 9는 그림7의 모델배전계통과 제안된 제어기모델에 대하여 수행한 시뮬레이션결과이다. 그림 9 역시 그림 8과 같은 순서로 그 내용을 각각 나타낸다.

### 4.4 고찰

그림 8과 9에서 단독운전 모의차단기가 개방하기전까지의 운전특성은 별로 차이가 없다. 차이점이 있다면, 기존의 제어기는 무효전력을 제어할 수 없는 반면, 새로이 제안된 발전기는 무효전력을 제어할 수 있다는 것이다. 기존 제어기의 경우, 무효전력이 0.85Mvar인 반면에 제안된 제어기의 경우 0.2 Mvar(제어기 설정치)가 출력되고 있었다.

표 1. 차단기 개방전후의 변화특성

항목	제자전압	출력	주파수	단자전압
모의 차단기 개방전	기존제어기 3.05 pu.	1.92MW 0.85Mvar	1.00pu.	6.5kV
제안제어기	2.70 pu.	1.94MW 0.2Mvar	1.00pu.	6.3kV
모의 차단기 개방후	기존제어기 2.49 pu.	1.42MW 0.72Mvar	1.03pu.	6.5kV
제안제어기	1.42 pu.	0.38MW 0.2Mvar	1.08pu.	2.8kV

한편, 차단기가 개방하고 나서 기존의 제어기에 의한

출력특성은 제자전압이 3.05에서 2.49 pu.로, 출력이 1.92MW+0.85Mvar에서 1.42MW +j0.724Mvar로, 발전기주파수가 1.0에서 1.029 pu.로, 단자전압이 6.5kV에서 6.5kV로 되었다. 제안된 제어기의 경우는, 제자전압이 2.7에서 1.42 pu.로, 출력이 1.94MW +0.2Mvar에서 0.379MW +j0.2Mvar로, 발전기주파수가 1.0에서 1.082 pu.로, 단자전압이 6.3kV에서 2.79kV로 되었다. 이를 정리한 것이 표1이다. 제안된 제어기는 연계운전에서 단독운전으로 전환된 경우에 대하여 그 변화가 유효전력, 단자전압 및 주파수에서 확연히 나타나서 일반제어기에 의해서 확실히 검출할 수 있음을 알 수 있다. 그러나, 기존의 제어기는 주파수변화(2.9%)외에 다른 변화는 거의 나타나지 않은 상태에서 연계전상태와 같이 아무 문제없이 운전되고 있어 단독운전상태를 비교적 쉽게 검출할 수 없다는 것을 알 수 있다. 그렇지만, 다른 한편 즉, 분산전원을 계통의 왜란에 대한 전력품질유지 측면에서 활용한다면, 후자의 경우가 상당히 유리함을 알 수 있다.

### 5. 결론

본 연구논문에서는 분산전원용 동기발전기의 제어기에 대하여 살펴보았다. 특히, IEEE 등에서 권고하고 있는 기존의 제어기와 분산전원의 연계운전용으로 제안된 제어기와의 사이의 특성을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 그 장단점을 단독운전발생시를 대상으로하여 비교·분석하여 보았다. 그 결과는 제안된 제어기의 경우가 단독운전검출에 유리함을 확인할 수 있었다. 본 연구결과가 지금까지 거의 관련정보가 없었던 계통연계운전용 분산전원 동기발전기의 제어기설계분야에 귀중한 연구자료로서 활용될 뿐만 아니라, 앞으로 전력구조개편에 가속화되는 전력품질향상기술 및 분산전원 배전계통 분석평가용 모델링기술개발에 상당한 기여를 할 것으로 기대한다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학기술재단의 ERC 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

### [참고 문헌]

- [1] IEEE Committee Report(1968). Computer representation of exciter systems, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-87(6), pp. 1460-1464.
- [2] IEEE Committee Report(1973). Dynamic models for Steam and hydro turbines on power system studies, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-92(6), pp. 1904-1915.
- [3] 일본, 자원에너지청, 전력계통연계기술요건가이드라인 '98