

## 100kV급 비상발전기용 통합제어기

정창용, 조정구, 백주원, 이종주, 김응주, 유동욱  
한국전기연구소

### Unified Controller for 100kVA Emergency Generator

C.Y. Jeong, J.G. Cho, J.W. Baek, J.J. Lee, Y.J. Kim, D.W. Yoo  
Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - An unified controller for emergency generator is presented to control AVR and Governor and 100kVA power conditioner. This controller is operated to compensate current harmonics and asymmetries caused by nonlinear load and unbalance loads. The power conditioner shapes the source current sinusoidal in phase with source voltage and allows the generator to maximum power even to the single phase load. Also this power conditioner allows that three phase generator synchronizes with single phase main source and load sharing. An 100kVA generator system was built and the unified controller is realized with DSP(TMS320C32PCMA). Experimental results for many load conditions are presented to verify the performance of the unified controller.

#### 1. 서 론

정보화 시대와 산업의 고도화로 인하여 양질의 전원에 대한 요구가 급증하고 있는 추세이다. 이 중에서 가장 심각하게 대두되고 있는 문제는 정전이고, 이로 인한 피해는 점점 증가하고 있다. 특히 배전공사의 정전은 인위적인 정전이므로 여러 가지 해결방법이 있다. 그 방법은 크게 두가지로 나눌 수 있는데 그 첫째로 바이패스 변압기를 사용하여 22.9kV에서 강압하여 3상 380V뿐만 아니라 단상을 공급하는 방법인데 이것은 22.9kV 전원 전압이 고정된 값이 아니므로 변압기의 탭을 수시로 조정해야 하는 문제를 가지고 있고 근본적으로 변압기는 단독전원이 될 수 없기 때문에 고압전원측의 정전시 부하측에 전력을 공급할 수 없다. 다른 방법은 발전기를 사용하는 방법이 있는데 동기투입과 복전기능을 가지고 있어 무정전으로 전원을 대치하여 부하측에 전원을 공급할 수 있고 복전시에도 무정전으로 발전기측에서 전원측으로 절체할 수 있다. 이러한 시스템은 전원측과 발전기가 동시에 부하에 전력을 공급할 때 부하의 부담을 동기투입시는 발전기의 전력을 증가시키고 복전시는 전원측의 전력을 증가시켜 절체하는 부하분담제어를 한다. 또 최근의 기술적인 추세는 부하의 불평형으로 인한 발전기의 상전압왜곡을 막아주기 위한 상불평형보상장치까지 장착한 제품이 선보이고 있는 상황이다. 이런 발전기 시스템은 독립된 예너지원으로 동작하기 때문에 고압전원측에서 근본적으로 정전이 되더라도 부하측에 무정전으로 전력을 공급할 수 있는 장점을 가지고 있고 발전기전압을 AVR에서 제어함으로써 항상 일정한 전압을 부하에 공급할 수 있다. 기존의 무정전발전기 시스템들은 각기 독립적인 제어를 가지는 시스템들이 조합되어 전체 시스템을 동작시키고 있어 가격의 상승을 초래할 뿐만 아니라 시스템의 신뢰도를 낮게 하고 또 복잡한 튜닝문제로 인하여 이 시스템의 보편화와 상용화에 큰 걸림돌이 되어 왔다. 본 논문에서는 삼상 100kVA급 파워컨디셔너

제어부와 AVR제어부와 Governor제어부를 통합한 제어기를 구성하여 신뢰도 뿐 만 아니라 저가적인 통합 제어기를 구성하였다. AVR제어부와 Governor제어부는 동기투입과 복전이 가능하도록 해주고 파워컨디셔너 제어부는 부하측 불평형이나 무효전력을 보상하여 안정된 동기투입과 복전을 가능하게 하고 전원측과 발전기가 병렬 운전할 때 부하 분담제어를 효과적으로 할 수 있도록 해준다. 특히 단상인 한전에 발전기를 동기 투입하거나 복전할 때 파워컨디셔너의 동작으로 60kVA급의 단상부하에도 부하분담제어를 원활하게 해준다. 100kVA급 배전 쪽의 변압기는 주로 단상이므로 필수적으로 단상동작에 관련된 기능을 구비해야 한다. 본 제어기는 이런 제어를 가능하도록 하여 전체시스템의 성능을 극대화 시켜 통합 제어기의 상품성을 높였다. 또 파워컨디셔너제어기법을 Direct Source Current Control Method를 사용하여 불평형 부하에도 안정된 파워컨디셔너의 동작을 확보하였다. 본 제어기는 실제 100kVA급 무정전공사용 발전기차에 적용하여 다양한 부하에서 성능과 안정성을 검증하였고 상품화를 하였다.

#### 2. 통합제어기

##### 2.1 전체시스템구성도

단상과 삼상전원에서 발전기 시스템으로 무정전공사를 하는 개념도는 그림1과 같다. 전체시스템의 구성을 보면 단상이나 삼상전원에 삼상발전기로 동기투입이나 복전을 하는 시스템인데 전원측과 파워컨디셔너가 병렬로 연결된 구조를 가진다.

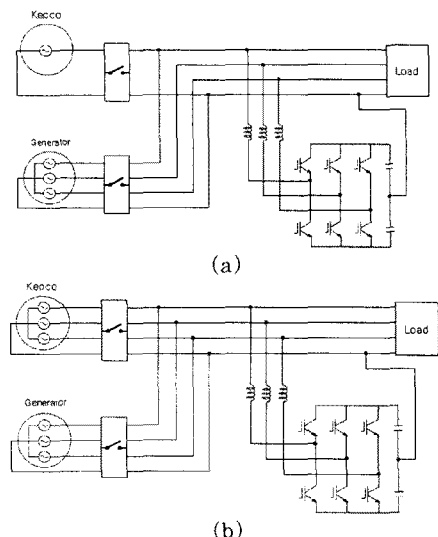


그림 1. 무정전공사 개념도  
(a) 단상 (b) 삼상

이런 시스템에서는 아주 정교한 동기투입제어나 복전제어를 하지 않으면 원활한 유무효전력제어가 일어나지 않아 발전기의 수명뿐 만 아니라 근본적으로 무정전공사를 할 수 없게된다.

그림2는 기존제어기의 구성도와 본 논문에서 제안한 통합제어기의 구조를 보여준다. 기존 제어기는 서로 독립제어를 함으로써 고 원가일 뿐 만 아니라 낮은 신뢰도를 가지고 있고 일반적으로 Thyristor type의 AVR를 사용하여 저속응성을 가지고 있다. 본 논문에서 제안한 통합제어기는 모든 발전기제어기를 하나의 보드에 통합된 형태의 DSP 제어기로 구성하여 고신뢰도와 저원가인 시스템을 구성하였다. 특히 모든 제어를 디지털화 하여 파라메타튜닝을 용이하게 하였고, 아날로그 제어기에서 나타나는 소자들의 노후화로 인한 시스템 성능의 저하를 개선하였고 또 제어기를 간략화 하여 제품양산을 용이하도록 하였다.

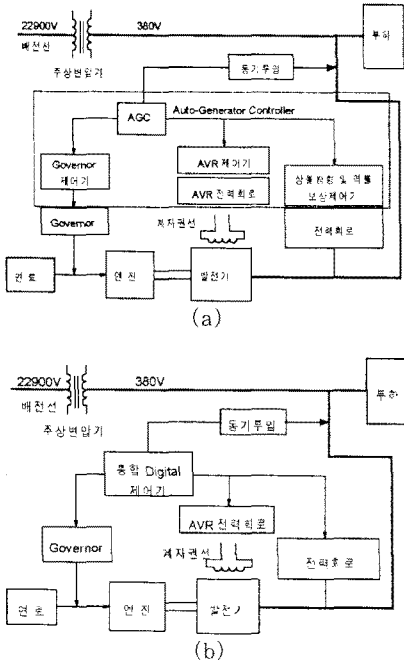


그림 2. 통합제어기  
(a) 기존제어기 (b) 통합제어기

2.1.1 AVR 제어부

AVR제어부는 발전기의 출력전압을 제어하는데 발전기의 전압을 획득하는 방법에 따라 시스템의 성능을 좌우하게되는데 본 논문에서는 DQ 변환한 값으로 그 크기를 구하였는데 식 1과 같다.

$$V_{gen} = \sqrt{Vd^2 + Vq^2} \quad \text{식 1.}$$

삼상 발전기전압을 DQ변환하여 XY좌표에 그려보면 원을 그리는 형태가 되고 그 원의 반지름은 발전기의 출력전압크기를 나타낸다. 이런 방법으로 발전기의 출력전압을 구하면 매 샘플링시 발전기의 출력전압을 획득할 수 있어 속응성을 가지는 AVR 구성이 가능하게 된다. 1kHz의 주기를 가지는 펄스의 폭을 16bit counter로 조절하여 초퍼의 게이트신호로 인가하여 정교한 전압제어가 가능하도록 하였다. 특히 발전기와 전원의 병렬운전에 빠른 전압제어를 하여 원활한 무효전력제어가 가능하도록 하였다. 전력회로는 초퍼를 선택하여 zero-crossing으로 접호각을 결정하는 Thyristor제어 방식보다 노이즈에 강인성을 가지도록 구성하였다. 그림

3은 AVR의 전력회로를 나타낸다. 앞단은 3상 Full-Bridge 정류를 하여 DC전압을 만들고 이것을 초퍼하여 Exciter의 입력전압으로 하였다. 그리고 산업현장에서 사용되는 일반적인 발전기는 Brushless 자여자식인데 그 이유는 자여자식이어서 따로 전원을 만들어주지 않아도 되고 Brush가 없어서 보수가 필요하지 않기 때문이다. 그러나 간혹 잔류자기의 량이 작아 초기기동 이 되지 않는 경우가 발생하는데 이것을 해소하기 위하여 Flashing할 수 있는 기능이 있다.

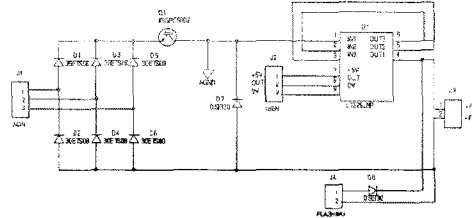


그림 3. AVR 전력회로

2.1.2 Governor 제어부

Governor제어부는 발전기의 속도를 제어하는데 통합 제어기에서는 0.1초마다 12bit 카운터로 펄스폭을 가변하여 제어하도록 하였다. 발전기의 주파수와 전원측전압의 상차각을 EPLD에서 한주기마다 업데이트하고 DSP가 항상 읽어올수있도록 하여 제어기의 부담을 줄여주었다.

2.1.3 파워컨디션너 제어부

그림 4는 파워컨디션너의 전력회로이다. 파워컨디션너 제어부는 상불평형 뿐만 아니라 무효전력과 고조파까지도 보상한다. 특히 발전기를 단상전원에 발전기를 원활하게 병렬운전을 할 수 있도록 해준다. 이 제어기는 발전기의 출력전류를 항상 삼상평형이 되게 하여 발전기의 안정된 동작을 보장 해준다.

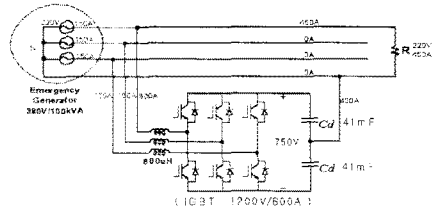


그림 4. 파워컨디션너 전력회로

그림 5는 파워컨디션너의 제어기 블록도로 삼상전류를 직접 제어하여 특히 부하측 불평형에도 원활한 동작이 되도록 하였다.

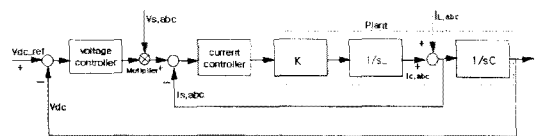


그림 5. 파워컨디션너 제어기

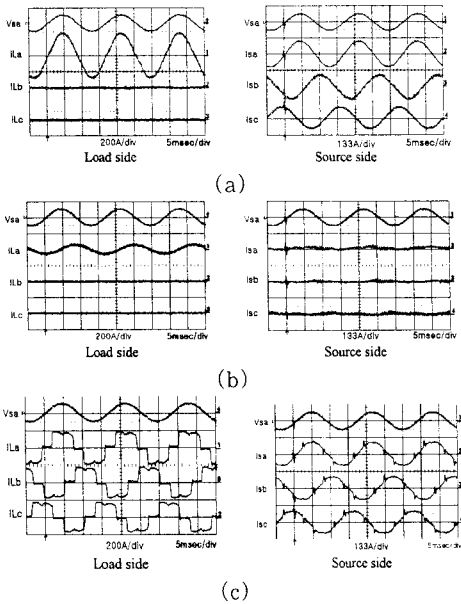


그림 6. 파워컨디셔너 실험파형  
(a) 저항부하 (b) 리액터부하 (c) 정류기부하

그림 6은 각기 다른 다양한 부하에서 파워컨디셔너 제어기의 성능을 검증한 파형인데 우수한 성능을 확인할 수 있었다.

### 2.1.4 통합제어기구성

통합제어기의 구성은 DSP보드와 릴레이보드, AVR보드로 구성되어있고 제어루프는 모두 디지털화 하였다. 각종 로직들을 EPLD로 구현하여 전체시스템의 신뢰도를 향상 시켰고 PLC기능을 내장하여 전체 시스템의 원가를 절감하였다.

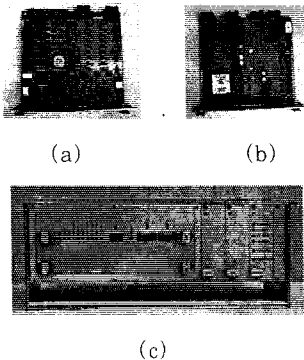


그림 7. 통합제어기  
(a) DSP보드 (b) 릴레이보드 (c) 통합제어기 외관

### 2.1.5 동기투입, 복전

그림 8은 단상과 삼상에서 동기운전시 실험파형이다. 단상은 35kW의 부하를 R상에 연결하였을 때 동기투입과 복전을 확인하였는데 효과적으로 동작함을 확인하였다. 삼상동작에서는 전원측과 발전기측의 전류를 동시에 확인하였는데 부하분배가 원활히 일어남을 확인할 수 있다. 절체가 일어나는 시점을 80%부하를 감당했을 때 되도록 하였다. 파워컨디셔너의 동작으로 부하측 무효전력을 모두 보상하여 병렬운전시 전원측과 발전기측에 무효전력은 영이 되도록 제어하고 유효전력만 분배하여 제어하면 된다.

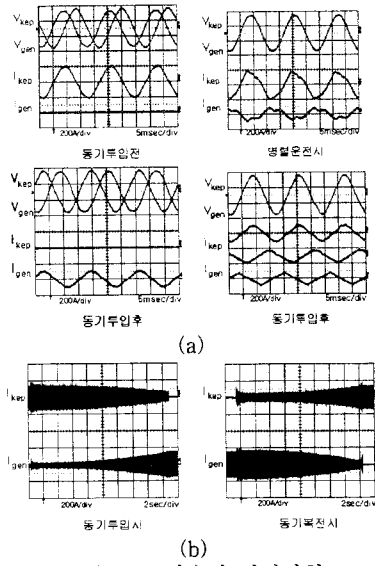


그림 8. 동기운전 실험파형  
(a) 단상 (b) 단상

### 2.2.3 무정전배전공사용 발전기차(상품)

그림 9는 통합제어기로 구성된 100kVA급 배전공사용 발전기차로 단상과 삼상전원에 관계없이 동기운전할 수 있고 여러 대의 발전기를 병렬 운전할 수 있는 기능을 추가하여 대용량에서도 동기운전이 가능하도록 하였다.

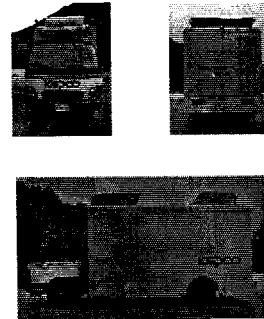


그림 9. 발전기차

### 3. 결 론

본 논문에서는 단상에서도 삼상 발전기를 병렬 운전할 수 있는 고성능인 제어기를 구성하였고 다양한 부하에서 원활한 제어가 일어나는 것을 확인하였다. 이 제어기는 특히 파워컨디셔너를 포함하고있어 상불평형뿐만 아니라 고조파, 무효전력을 보상함으로써 안정된 발전기동작을 보장할 수 있다. 그리고 일련의 모든 발전기제어기를 통합하여 저원가이면서 상품성이 높은 엔진발전기용 통합제어기를 구성하였다.

### (참 고 문 헌)

- [1] C.Y Jeong, J.G. Cho, Y.Kang, G.H. Rim, E.H. Song " A 100kVA Power Conditioner for Three-Phase Four-Wire Emergency Generators " PESC'98, pp1906~1911, 1998
- [2] P.Verdelho and G.D. Marques, "An Active Power Filter and Unbalanced Current Compensator" IEEE Trans. Ind. Electronics., vol 44, pp 321~328, 1997
- [3] Marrisio Aredes and Jurgen Hafner and Klemens Heumann, "Three-Phase Four-Wire Shunt Active Filter Control Strategies" IEEE Trans. Power Electronics, vol 12, pp311~318, 1997