

PART

I

1

IGBT를 이용한 디지털 다중화 발전기 제어시스템 개발

이주현 | 한전전력연구원 발전연구실 선임연구원

목 차

CONTENTS

Electric Engineers Technology Information

- 서론
- 발전기 제어시스템 개요
- 국내 · 외 발전기 제어시스템 기술개발 동향
 - - 국내 기술 동향
 - - 대상발전소 발전기 제어시스템
- 개발시스템의 구성 및 주요 기능
- 3중화 디지털 제어기
- IGBT 승강압 Converter
- MMI 시스템과 제어시스템간의 통신연계

최근 일부 선진국을 중심으로 대용량 전력제어용 반도체 소자와 제어기술의 발달로 인해 전력전자 반도체 소자인 IGBT(Insulated Gate Bi-polar

Transistors) 등을 사용한 승강압형 컨버터 방식으로 동기발전기 계자전류를 제어하는 특이한 모델이 발전기 출력전압을 보다 속응성 있게 제어함은 물론, 신뢰성 있고 안정적으로 제어할 수 있는 방법으로 등장함에 따라 이에 대한 기술적 연구가 진행되고 있다.

이에 따라 본 고에서는 발전기 제어시스템의 개요, 국내외 기술개발 동향과 개발시스템의 구성, 주요기능 그리고 발전소 현장 적용 전에 시스템의 신뢰도 확보를 위해 전동발전기(M-G Set)를 이용한 시스템의 모의시험 결과와 향후 발전기 제어시스템의 발전 전망 등을 그 회에 걸쳐 기술한다.

□ 서론

디지털 방식의 제어기술은 고 부가가치 기술로서 선진국에서 기술이전을 회피하고 있고, 비개방형 소프트웨어 구조로 인해 내부 제어 및 통신 알고리즘에 대한 해석이 어려운 상황이다. 이러한 이유로 인해서 국내에서 운용중인 상당수의 제어기술이 선진국에 의존하고 있는 실정이며, 외국 기술에 의존한 시스템 도입 시 가격이 고가여서 외화 손실이 많고 유지 보수에도 많은 시간과 경비가 소요되고 있다. 이로 인해 기술 개발을 통한 시스템의 국산화로 투자비 절감, 외국 제품의 가격 인하 유도 및 국내 기술진에 의한 유지보수 체제 구축으로 전력산업에서의 기술 및 제품의 가격 경쟁력 확보가 필요한 실정이다. 지금까지의 발전기 제어시스템의 제어 정류기는 통상의 강압형 컨버터 방식인 싸이리스터 위상제어 정류기를 사용하고 있으나, 최근에는 일부 선진국을 중심으로 대용량 전력제어용 반도체 소자와 제어기술의 발달로 인해 전력전자 반도체 소자인 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistors) 등을 사용한 승강압형 컨버터 방식으로 동기발전기 계자전류를 제어하는 특이한 모델이 발전기 출력전압을 보다 속응성 있게 제어함은 물론 신뢰성 있고 안정적으로 제어 할 수 있는 방법으로 등장함에 따라 이에 대한 기술적 연구가 진행되고 있다. 첨단 디지털 기술의 발전으로 발전소 핵심제어 설비는 다중화하여 내 고장 설비로 구축하고 있는 것이 최근 기술의 추세이나, 제주지역 전력공급의 핵심발전소인 제주화력발전소의 발전기 제어시스템은 최근에 설치된 디지털 제어시스템임에도 불구하고 후비보호 시스템이 취약하여 사소한 제어카드 1개 고장으로 인한 파급 효과가 크게 발생되어 발전소가 정지되는 경우가 종종 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 연구과제는 전력연구원에서 보유하고 있는 국제 특허기술인 승강압형 컨버터 기술을 실용화하여 발전소 현장 발전기 제어시스템의 문제점을 해결하고 설비의 신뢰도 향상을 통한 안정적인 전력 공급을 위해 IGBT를 이용한 승강압형 디지털 다중화 방식의 발

전기 제어시스템을 개발하여 발전소 현장에 적용하였다. 운용중인 기존 시스템의 Reverse Engineering을 통한 기술해석과 내부 순차논리 및 제어 알고리즘 블록의 해석을 통한 제어응용 프로그램 개발 그리고 10여년 동안 전력연구원이 축적한 시스템 개발의 경험 기술을 활용하여 시스템을 설계하고 제작하였다. 본고에서는 발전기 제어시스템의 개요, 국내외 기술개발 동향과 개발시스템의 구성과 주요기능 그리고 발전소 현장 적용 전에 시스템의 신뢰도 확보를 위해 전동발전기(M-G Set)를 이용한 시스템의 모의시험 결과와 향후 발전기 제어시스템의 발전 전망 등을 기술하였다.

□ 발전기 제어시스템 개요

발전기 계자 코일에 흐르는 직류 전류의 크기를 변화시키면 자석의 세기가 달라지는데, 발전기 제어시스템은 직류 전류의 크기를 제어해서 발전기 전압을 조정하며, 발전기 전압 크기를 조정해서 전력계통에서 발생된 계통의 무효전력의 크기를 조정하게 된다. 전력에는 유효전력과 무효전력이 있는데, 유효전력은 전등을 켜거나 전동기를 돌려서 실제로 일을 하는 것으로 에너지원(화력, 수력, 원자력에너지)을 필요로 한다. 무효전력은 말하자면 유효전력의 흐름을 원활하게 하는 유효유와 같은 역할을 하는 것으로 타종의 에너지원을 필요로 하지 않으며, 전력계통은 이 양자의 수요와 공급과의 관계가 균형이 잡힘으로써 비로소 안정적으로 운전되는 것이다. 예를 들어 유효전력의 수급균형이 상실되어 전력발생이 소비보다 많을 때에는 소비를 증대시키도록 주파수가 상승하고, 반대의 경우에는 주파수가 저하되어 균형을 유지하려고 한다. 이 경우 주파수는 계통 내의 어느 지점에서든 같은 값을 가지는 변동특성을 나타낸다. 반면에 무효전력의 발생지점과 소비지점 사이에 차가 생겨서 이들의 수급균형이 무너질 경우에는 전압에 변화를 일으켜서 그 균형을 유지하려고 한다. 여기서 무효전력

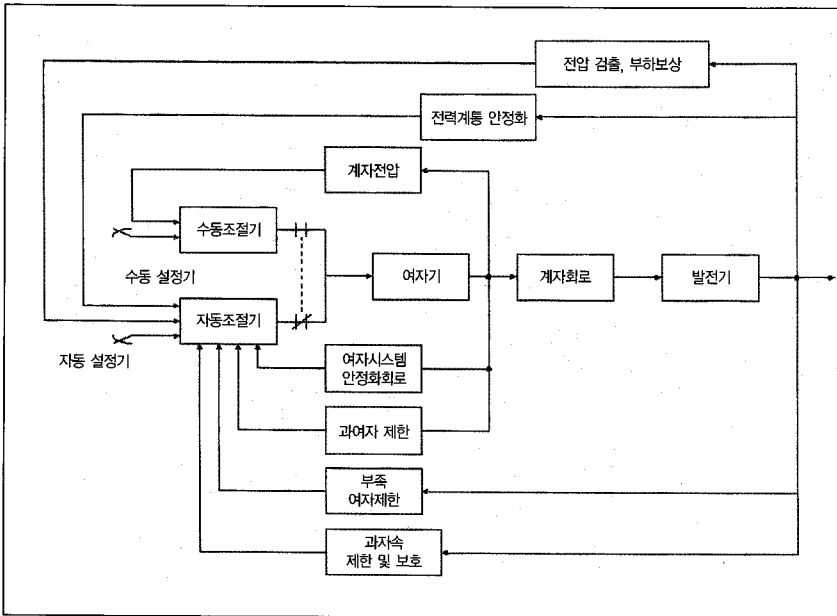
의 소비지점의 하나가 발전기이며, 곧 무효전력의 발생이 소비보다 많을 때는 소비를 늘리도록 전압이 상승하고, 반대일 경우에는 전압이 강하해서 균형을 잡으려고 한다. 그러나 이 경우 전압은 주파수의 경우와 달라서 국지적인 변동특성을 나타내고, 계통 내의 지점에 따라 각각 다른 크기를 가지게 되는 것이다. 전압공급지점, 즉 무효전력의 소비지점인 발전기에서의 전압유지는 전력계통 안정도에 지대한 영향을 미치는 것이다. 따라서 발전기 제어시스템은 발전기 전압을 정상시는 일정하게 유지하다가 계통사고로 계통의 전압이 떨어질 때는 신속하게 전압을 회복시켜 주어야 한다. 이러한 발전기 제어시스템에는 발전기 전압을 제어하기 위해서 미소신호를 증폭하는 제어기술과 대전력 반도체 스위칭 소자를 제어하는 전력전자 기술이 종합된 기술이다. 전력산업에서 전력전자 기술을 이용하여 전기의 품질을 올리는데 지대한 영향을 미치는 분야가 발전기 제어시스템이며, 크게 제어기와 정류기의 2개 부분으로 나눌 수 있다. 아래의 [그림 1]은 발전기 제어시스템의 개요도를 나타낸다.

□ 국내·외 발전기 제어시스템 기술개발 동향

○ 국외 기술 동향

최근 디지털 제어시스템 기술은 디지털 컴퓨터 기술의 발전 속도에 발맞추어 매우 빠르게 발전되어 왔고, 선진 외국에서는 GE(General Electric)사를 비롯하여 Basler, ABB, Brush, 도시바, 히다치 등이 보다 가능성이 뛰어나고 신뢰성이 높은 다중화된 시스템을 근간으로 한 신제품이 출시되고 있다. 특히 1990년대 중반 이후 미국의 GE사는 기존의 아날로그 방식을 대체하는 EX-2000 모델의 이중화 디지털 방식의 제어시스템을 전 세계 많은 발전소에 공급하였으며, 2000년대 초반부터는 시스템의 신뢰성과 통신의 유연성을 한층 높인 제3세대의 EX-2100 모델의 3중화 디지털 제어시스템을 출시하였고, 제어 정밀성과 속응성의 향상과 내고장(Fault Tolerant)의 기능을 갖춘 다중화된 시스템의 하드웨어와 새로운 제어 알고리즘의 개발이 계속되고 있다.

최근 GE사에서 출시된 디지털 발전기 제어시스템인 EX-2100의 주요 특징으로 모든 종류의 여자방식에 적용 가능한 유연한 시스템으로 기존의 EX-2000 시스템이 개별 정류기와 제어기가 모듈 형태의 큐비클 구조로 되어 있는 분산형인데 반해서 EX-2100 시스템은 3중화 제어가 제어기 큐비클에 함께 내장되어 있는 중앙 집중방식이다. 한편 소프트웨어의 기술 개발 동향을 보면 신호 변환(Software Transducer) 기법을 사용하여 발전기 전압과 전류를 전압 변성기와 전류 변성기에서 입력신호를 받아서 유효전력과 무효전력의 연산 등 필요한 여러 가지 신호를 만드는 소프트웨어 신호변환 알고리즘을 보유하고



[그림 1] 발전기 제어시스템 개요도

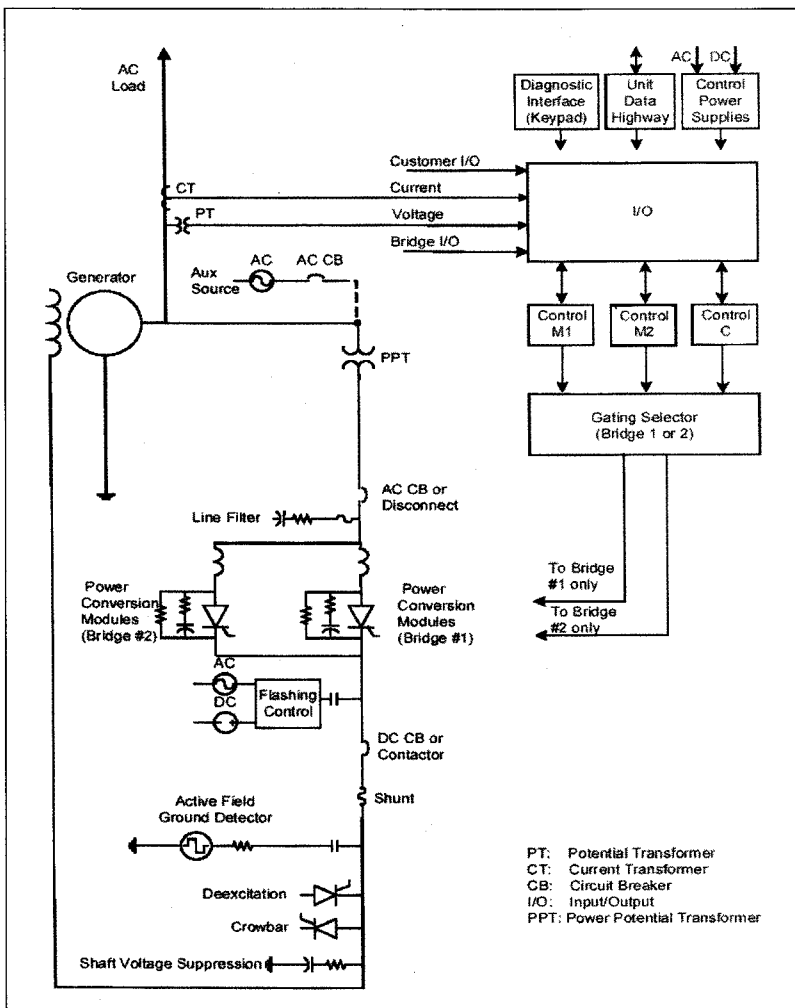
있으며, 기존의 시스템이 가지고 있는 각종 기능을 모두 포함하고, 고정자 전류 제한 블록과 같은 별도의 특이한 기능블록들이 추가되었다. 또한 상용화된 통신 및 보호 소프트웨어에는 Ethernet Global Data 프로토콜에 기초한 유니트 데이터 하이웨이는 터빈 제어 시스템이나 HMI, PLC 등과 연결이 용이하도록 확장성을 좀더 높인 것이 커다란 특징이다. 다음의 [그림 2]는 EX-2100 시스템을 기능 중심으로 그린 단선 블록도이다.

○ 국내 기술 동향

국내에서는 전력연구원과 두산중공업이 발전기 디지털 제어시스템을 개발하여 왔으며, 전력연구원은 지난 10여 년간 이상 아날로그 제어시스템의 개발에서 축적된 경험기술을 바탕으로 첨단 3중화 디지털 제어기술과 다중 병렬 운전방식의 제어정류기를 결합하여 중대용량 발전기에 적합한 전력연구원 고유모델인 KDR-2000(KEPRI Digital Regulator-2000)의 디지털 3중화 제어시스템을 개발하였다. 개발품은 2001

년 6월에 울산화력 제5호기에 성공적으로 적용하여 상업 운전 중에 있으며, 개발기술은 중소기업에 기술이전 후 상품화하여 지속적인 확대적용이 이루어져 왔다. 현재까지 국산 개발되어 적용된 발전기 제어시스템은 아날로그 시스템 33개, 디지털 발전기 제어시스템은 8개의 발전기에 설치되어 안정적으로 운전 중이며 그 기술 또한 첨단의 디지털 3중화 시스템으로 구성되어 세계 어느 경쟁사 제품과 비교해도 손색이 없을 정도로 기술이 발전되어 있다. 발전기 제어시스템이 국산 개발된 이후 한국 전력공사가 추진해온 발전설비 수명 연장 발전소에는 전량 국산 개발된 시스템으로 교체되어 외국사 제품이 발붙이지 못하였다.

발전소 현장에 직접 적용운전을 목표로 하기 때문에 무엇보다 신뢰성 확보가 중요하므로 디지털 시스템 하드웨어는 신뢰성이 검증된 3중화 제품을 선정 사용하였으며 응용 소프트웨어 제어 연산 프로그램을 자체 개발하여 하드웨어에 심고, N+1 다병렬 방식의 사이리스터 위상제어 정류기를 설계 제작하였다. 개발시스템의 특징으로는 시스템의 제어연산은 완전 3중화로 처리되어 2개 채널이 동시에 고장이 나는

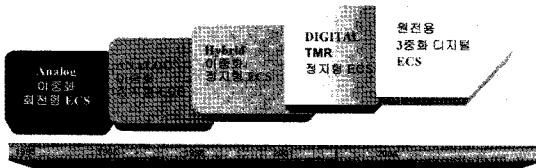


[그림 2] GE사 EX-2100 시스템 단선 블록도

최악의 상황에서도 안정적으로 운전되고, 입출력 신호처리 모듈은 3중화 입출력을 다시 후비 보호를 두어 6중화 시켰으며, 운전원 및 정비원이 안전하고 편리하게 운전 조작이 가능한 MMI(Man Machine Interface) 시스템 그리고 고장이 잦은 기존의 직류 계자 차단 방식 대신에 교류 차단 방식을 채용하고 있고 정류기 용량은 여자전류 3000A에서 6000A급까지 발전기 용량과 형식에 따라 적용될 수 있도록 설계되었다. 신뢰성 및 기능 검증을 위해 전력연구원 내에 있는 모의시험 설비에 연결하여 발전소에서 발생할지 모르는 모든 상황을 발생시켜 충분한 시험을 거쳐 발전소에 설치를 완료하고 상업운전에 들어갔다.

최근에는 저가형 소형발전소에 적용하기 편리한 One-Board 형태의 디지털 제어시스템인 KDR-1000 시스템을 순수 국내 설계기술을 바탕으로 개발하였으며, 현재는 1000MW급 원자력 발전소용 발전기 디지털 제어시스템 개발에 주력하고 있다. 현재의 국내 발전기 제어시스템의 기술 수준은 시스템의 하드웨어 설계기술 뿐만 아니라 발전기 시스템의 제어, 제한 및 각종 보호에 필요한 소프트웨어 알고리즘 기술에 이르기까지 선진국의 기술 수준에 접근해 있다.

다음의 [그림 3]은 전력연구원에서 발전기 제어시스템의 개발 변천사를 나타낸다.



[그림 3] 전력연구원의 발전기 제어시스템 개발 변천사

○ 대상발전소 발전기 제어시스템

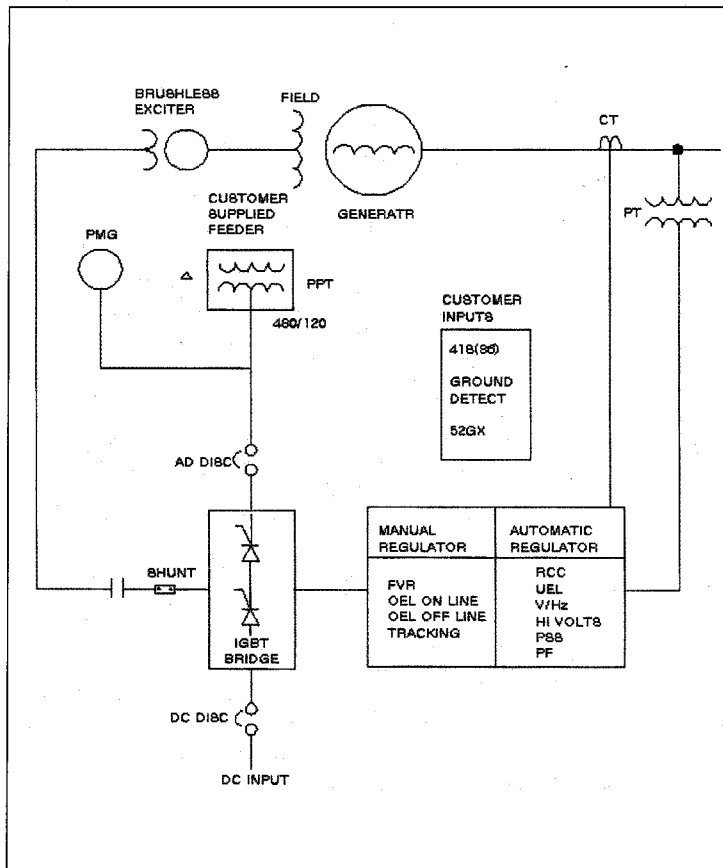
대상발전소인 제주화력 발전소의 발전기 제어시스템은 GE사 EX-2000으로 Brushless 방식의 간접 여자시스템이며 제어기와 IGBT 전력변환부 모두 단일 채널 시스템으로 구성되어 있다. 전력 변환

부는 입력 전원부, 직류 전압단(DC link) 그리고 변환 출력부로 이루어져 있는데, 변환 출력부는 DC Link 전압을 가지고 펄스(Pulse) 폭으로 IGBT를 통해 출력전압을 조정하며, 출력 전압은 다음 식에 의해 결정된다.

$$V_{Output} = V_{Input} [Time\ on / (Time\ on + Time\ off)]$$

여기서 V_Input은 DC Link 전압이고, Time은 IGBT의 도통시간이며, IGBT Chopping 주파수는 대략 1000Hz이다. 이 출력은 조절된 전압과 전류로서 회전 여자기 계자로 공급되고 이를 통해 발전기 출력 전압을 제어하게 된다.

[그림 4] 제주화력발전소 발전기 제어시스템 구성도



다음호에 계속 ➔