

를 이용한 디지털 다중화 발전기 제어시스템 개발

한전전력연구원 발전연구실 선임연구원 이주현

목 차

Electric Engineers Technology Information

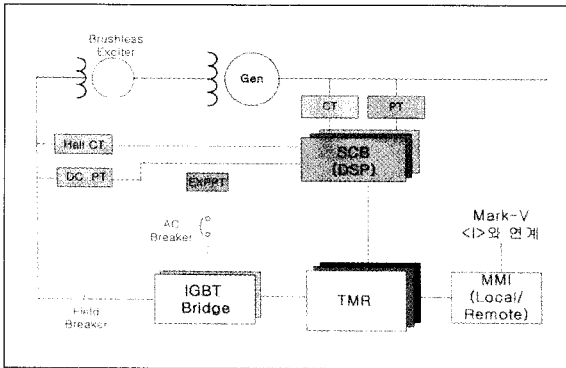
최근 일부 선진국을 중심으로 대용량 전력제어용 반도체 소자와 제어기술의 발달로 인해 전력전자 반도체 소자인 IGBT(Insulated Gate Bi-polar Transistors) 등을 사용한 승강압형 컨버터 방식으로 동기발전기 계자전류를 제어하는 특이한 모델이 발전기 출력 전압을 보다 속응성 있게 제어함은 물론, 신뢰성 있고 안정적으로 제어 할 수 있는 방법으로 등장함에 따라 이에 대한 기술적 연구가 진행되고 있다.

이에따라 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 9회에 걸쳐 기술한다.

- 1회 : 서론
- 2회 : 발전기 제어시스템 개요
- 3회 : 국내·외 발전기 제어시스템 기술개발 동향
 - : 개발시스템의 구성 및 주요 기능
 - 3중화 디지털 제어기
 - 신호처리 시스템
 - IGBT 승강압 Converter
 - : MMI 시스템과 제어시스템간의 통신연계
 - : 개발시스템 소프트웨어
 - : 개발시스템의 모의시험 및 현장적용결과
 - 발전기 전압확립
 - IGBT 승강압 Converter의 동작특성
 - 계단응답 시험을 통한 특성시험
 - : 발전기 제어시스템 발전방안
 - : 결론

개발시스템의 구성 및 주요 기능

개발시스템의 구성은 발전기 제어시스템의 제어 및 제한, 보호 기능을 수행하는 3중화 디지털 제어기와 발전기 전압 및 전류 신호를 입력받아 유효, 무효전력 연산과 신호처리를 위한 신호처리 보드(Signal Conditioning Board), IGBT Converter 정류기 그리고 운전원용 MMI(Man Machine Interface) 시스템으로 구성되어 있으며, 아래의 [그림 5]는 개발시스템 구성도이다.



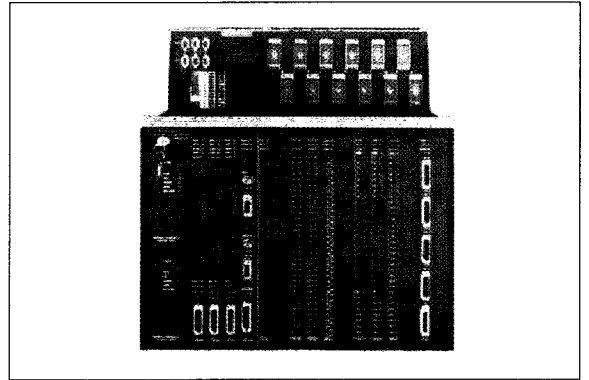
[그림 5] 개발시스템 구성도

TMR : Triple Modular Redundant
 SCB : Signal Conditioning Board
 Mark-V : GE사의 터빈 제어시스템

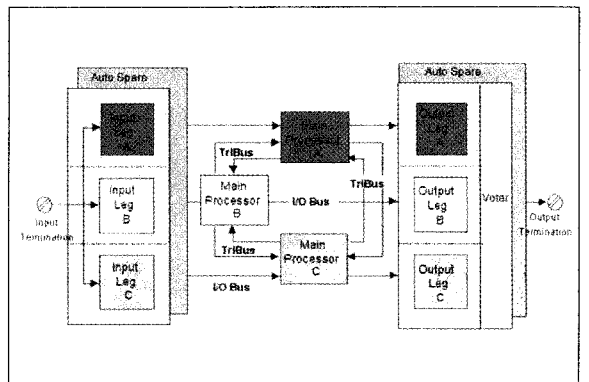
• 3중화 디지털 제어기

제어부는 TMR(Triple Modular Redundant)의 3중화 디지털 제어기로서 제어 연산은 완전 3중화로 처리되어 2개의 채널이 동시에 고장이 나는 최악의 상황에서도 안정적으로 운전되며, 여자시스템의 제어, 제한 및 보호기능과 각종 자기진단 기능을 수행하는 CPU 모듈, 현장의 각종 입출력 신호들을 위한 아날로그 및 디지털 입출력 모듈 그리고 MMI 시스템과의 통신을

위한 통신모듈로 구성되어 있다. [그림 6]은 디지털 제어기의 하드웨어이며 아래의 [그림 7]은 제어기의 3중화 구성도이다.



[그림 6] 디지털 제어기 하드웨어

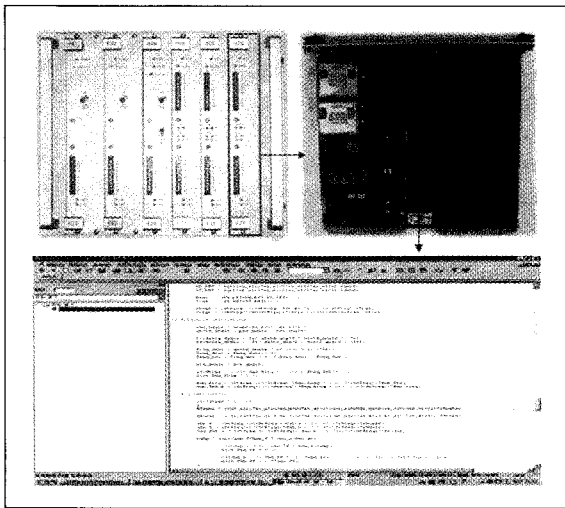


[그림 7] 제어기 3중화 구성도

• 신호처리 시스템

신호처리 시스템은 이중화된 전원공급 카드와 모니터링 카드, 신호처리를 위해 DSP (Digital Signal Processing)로 개발된 3중화 SCB(Signal Conditioning Board) 모듈로 구성되어 있고, 발전기

전압과 전류 등의 신호를 입력받아 제어기에 필요한 표준 신호(0~10V)로 변환되며, 유효 및 무효전력의 연산과 전력계통 안정화 장치인 PSS (Power System Stabilizer)의 제어 프로그램이 내장되어 있다. 모니터링 카드는 전원공급 출력을 감시하며 발전기 전압입력(PT) 신호 상실시 릴레이로 출력하는 기능을 함께 내장하고 있다. PWM보드는 TMR 주제어기로부터 최종 제어 신호를 공급받아 A, B 채널의 컨버터에 PWM 펄스를 발생시키며, 계자회로에 과전압 발생을 검출하는 역할을 한다. 다음의 [그림 8]은 신호처리 시스템의 하드웨어와 소프트웨어를 나타낸다.



[그림 8] 신호처리 시스템 하드웨어 및 소프트웨어

• IGBT 승강압 Converter

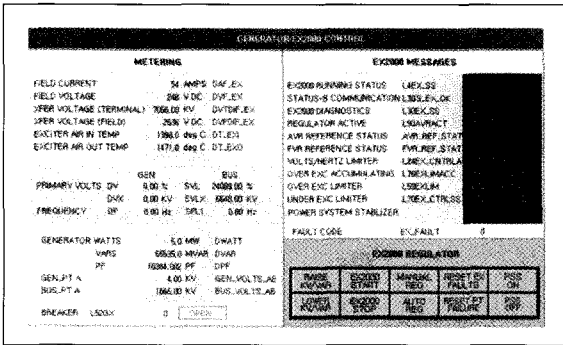
IGBT 승강압 Converter는 크게 전원부와 정류부 및 차단부로 이루어져 있으며, 전원부는 여자용 변압기(PPT)로부터 강압되어 입력되는 240V 교류(AC) 전압, 비상용 Battery에서 입력되는 직류(DC) 125V 전원과 UPS전원을 조합하여 시스템 전원, 각종 계전기 공급전원 그리고 IGBT Gate Driver 전원 등으로 사

용하고 있으며, 완벽한 이중화된 전원으로 공급하게 된다. 정류부는 여자용 변압기(PPT)로부터 강압된 전압을 이중화된 IGBT Converter에서 다이오드 전파 정류하여 계자전원으로 사용된다. 정류된 직류전원은 IGBT Converter부에서 두개의 IGBT 초퍼에 의해 강압되어 발전기 전압조정에 필요한 여자의 계자전류를 형성한다. 차단부는 입력 교류(AC) 전원 측에 NFB와 직류 출력 측에 계자차단기가 설치되어 있으며, IGBT 승강압 Converter의 주요 구성품으로는 여자변압기, AC Filter와 정류용 다이오드, DC Link단의 커패시터, 강압용 IGBT Module, 출력전류 감지용 Shunt와 Hall CT 그리고 디지털 신호 입출력을 위한 릴레이들로 구성되어 있다.

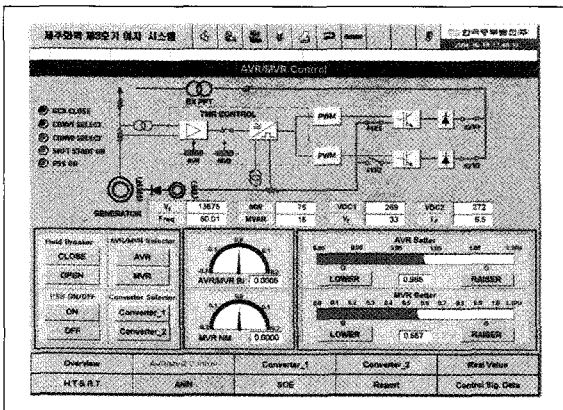
MMI 시스템과 제어시스템간의 통신연계

제어시스템과 운전자(Operator)사이에 Interface 역할을 수행하는 MMI 시스템은 운전원들이 여자시스템의 운전상태 감시와 조작을 GUI(Graphic User Interface)에 의해 가능토록 해준다. Windows 2000을 운용체제로 하고, GUI를 위한 프로그램은 Intellution사의 iFIX Dynamics 소프트웨어 프로그램을 사용하였으며, 설계된 MMI 시스템의 주요 특징들은 다음과 같다.

- 통신 Network의 이중화로 시스템의 신뢰성 향상
- 범용의 iFix Dynamics MMI 소프트웨어 사용
- 화면 상단에 Icon 및 하단에 화면 메뉴 표시로 신속한 화면 전개 가능
- 사용자 등급에 따른 시스템 접근을 제한하는 보안 기능(Security) 부여
- 최종 경보 메시지 화면 상단에 공통 표시
- 경보 발생시 공통으로 ANN의 버튼에서 Blinking 하도록 하여 경보 감시 및 조치 용이
- 여자시스템을 형식화하여 운전원이 쉽게 인지 가능하도록 구성



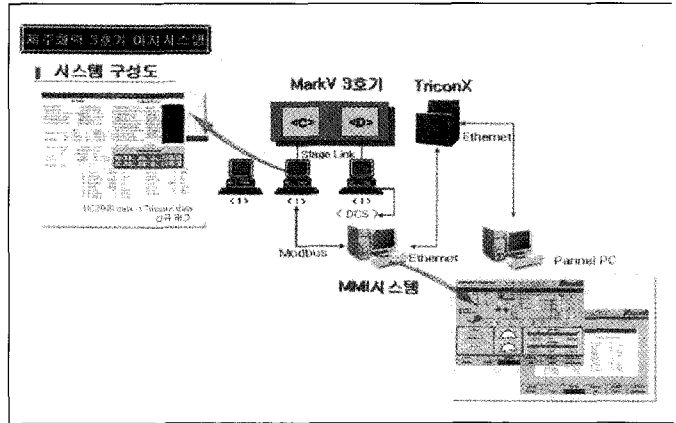
[그림 9] 기존 시스템(EX-2000) 운전원용 화면



[그림 10] 신규 개발 시스템 MMI 운전원용 화면

현재 운전 중인 발전기 여자시스템 (GE사 EX-2000)을 교체하게 됨에 따라 현재 제주화력에 구성되어 있는 터빈제어 시스템(GE사 Mark-V)과 발전기 여자시스템 간의 이 기종 제어 시스템에 통신 연계를 위해 통신 Network의 체계와 설정되어 있는 System Configuration 등 현장 자료들을 통해 명령 송수신 통신 프로토콜에 대한 연구를 수행하였다. 현재 터빈제어 시스템의 운전원용 PC 컴퓨터에서 발전기 여자시스템의 운전 데이터들을 감시 및 조작을 수행하고 있는데 개발 시스템의 현장 적용을 위해 서로 다른 통신 프로토콜(Arc-Net과 Mod-Bus)의 통신 연계방안들을

다각적으로 검토하고 통신시험들을 수행하여 성공적으로 이 기종 제어시스템 간에 통신을 연계하였으며, 다음의 [그림 11]은 운전 데이터들의 효율적인 감시와 조작을 위한 제주화력 통신연계 Network 구성도를 보여준다.



[그림 11] 제주화력 통신연계 Network 구성도

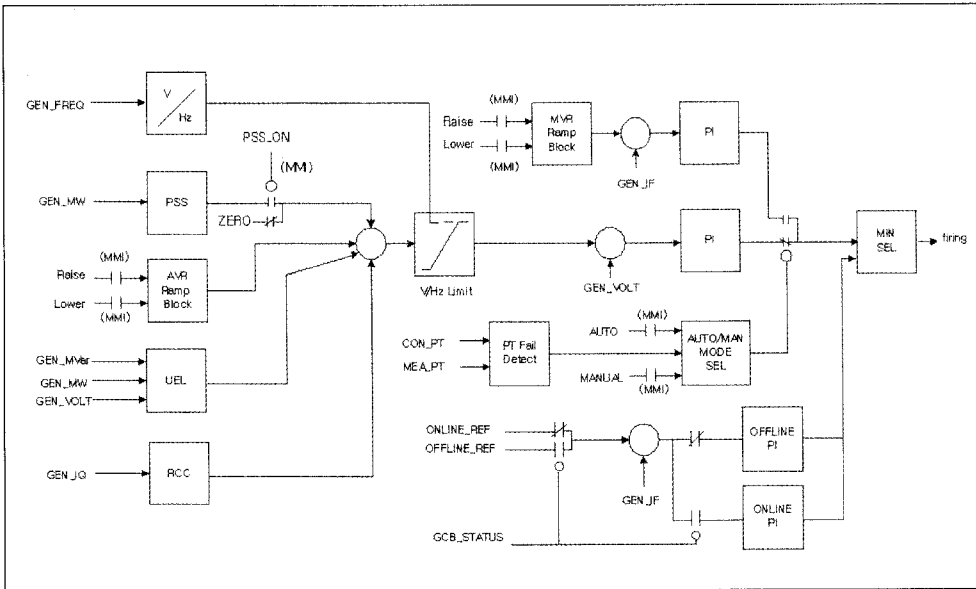
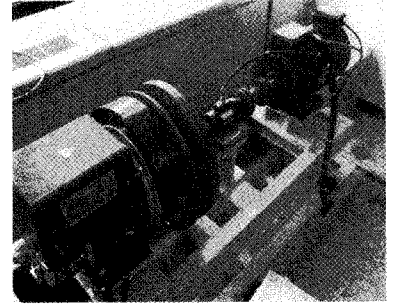
개발시스템 소프트웨어

개발 시스템의 프로그램은 국제 표준규격인 IEC 1131-3을 준용한 TRICONEX사의 소프트웨어를 사용하여 응용 소프트웨어 제어 프로그램을 자체 개발하였다. 발전기 제어시스템을 구성하는 소프트웨어의 기능은 크게 제어기능, 시스템과 설비의 보호를 위하여 사용되는 보호기능 그리고 MMI 시스템과의 통신기능으로 구분될 수 있다. 제어기능은 어떤 형태이든 Routine 내에 제어기의 형태를 가진 기능을 말하며 보호(Protection) 기능은 기존의 아날로그 방식의 한시 특성 또는 반한시 특성을 갖는 보호 계전기의 기능을 Digital 방식으로 구현한 것을 말한다. 또 제어기의 구현을 위해 사용되는 기능은 한정된 변경만으로도 단일 제어기 또는 이중화된 제어기로 사용할 수 있도록 하기 위한 것으로 각 제어기 사이에 정보를 주고 받음으

로서 다중화 제어가 필연적으로 가지고 있는 문제점을 해결하기 위하여 사용된다. 아래는 일반적인 발전기 제어시스템의 소프트웨어 제어 기능들을 나타낸 것이며, [그림 12]은 개발시스템의 소프트웨어 Block Diagram을 나타낸다.

Function	Description
AVR	자동 전압 조절기
MVR	수동 전압 조절기
UEL	부족 여자 제한기
OEL	과여자 제한기
PSS	계통안정화 장치
V/Hz Limit Regulator	V/Hz 제한기
AQR/APFR	자동 무효전력/역률 조절기
RCC/ARCC	자동 무효전류 보상기

전동 발전기 (M-G Set)를 이용한 모의시험을 통해 시스템의 제어, 제한 및 보호기능들과 시스템의 건전성을 확인한 후 기존 발전기 제어시스템을 전력연구원에서 개발한 TMR 발전기 제어시스템으로 교체한 후 운전 가능한 한, 최적 제어 및 보호 제한 기능의 정확한 수행을 위한 각종 제어 및 보호 파라미터 설정하고 확인하였다. 발전기 제어시스템을 개발한 후 전력연구원에서 시행한 모의시험의 주요내용은 다음과 같다.



[그림 12] 개발시스템 소프트웨어 Block Diagram

- 전원공급 계통의 정상여부 확인 시험
- GATE PULSE 파형 및 CONVERTER 동작특성 시험
- 승압 컨버터 (BOOST Converter) 동작특성 시험
- 수동/자동 모드 발전기 전압 확립 (Voltage Build-up) 시험
- 자동/수동 모드 (Auto/Manual Mode) 전환 시험

개발시스템의 모의시험 및 현장적용 결과

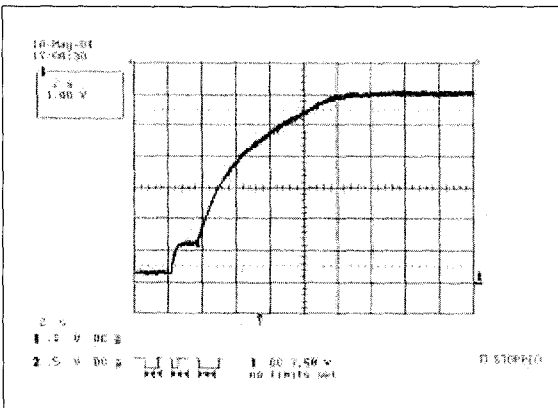
전력연구원에서 발전기 제어시스템을 개발한 후에

- 발전기 전압 설정범위 확인 시험
- 자동 추종(Auto Flower-up) 및 계단응답 시험
- 무부하시 과여자 및 V/Hz 제한치 시험

- 시스템 3중화 확인 시험
- IGBT 컨버터 정류기 및 보호 인터록 TRIP 시험
- UEL(Under Excitation Limit) 제한치 설정 시험
- 계통병입(On-Line) 계단응답(Step Response) 시험
- 연속 운전 신뢰성 시험

• 발전기 전압확립

발전기 정격속도의 무부하 상태에서 발전기 계자에 초기 여자전류를 공급하고 발전기 전압이 정상적으로 생성되는지 또한 미리 설정해 놓은 전압 설정값까지 발전기 전압이 과도한 Overshoot 없이 안정적으로 확립되는 지 시험하여 자동(Auto) 및 수동(Manual) 운전모드에서 정상적으로 발전기 전압이 확립됨을 확인 하였으며, [그림 13]은 발전기 전압확립 결과를 그래프로 보여주고 있다.

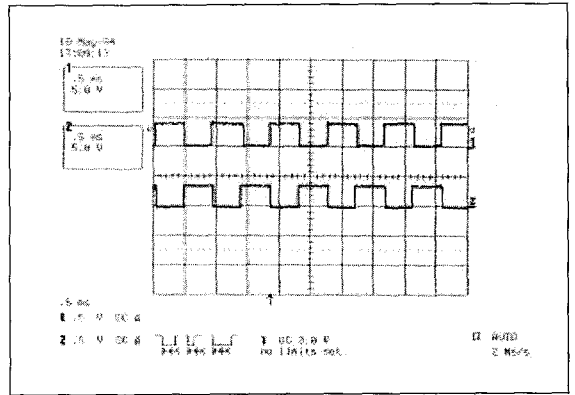


[그림 13] 발전기 전압확립 결과

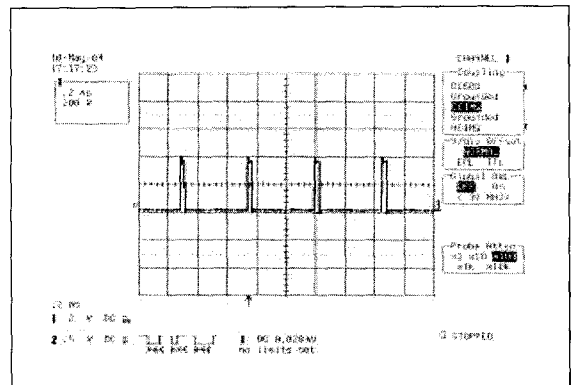
• IGBT 승압 Converter 동작 특성

발전기 전압제어를 위한 전압원 정지형 여자시스템이 입력전압의 저하 시 계자강화가 이루어지지 않았던 문제점을 해결하기 위해 계통의 3상 단락이나 지락과

같은 선로 고장으로 인한 단자전압의 강하로 여자전류의 확보가 곤란한 경우 승압 컨버터를 이용하여 여자 입력전압을 승압시키도록 동작한다. 또한 IGBT Converter에서 다이오드 전과 정류된 직류 계자전원은 두개의 IGBT 초퍼에 의해 강압되어 발전기 전압조정에 필요한 여자의 계자전류를 형성하게 되는데, 아래의 [그림 14]은 두개의 IGBT 초퍼의 Gate Pulse 파형과 [그림 15]은 최종 점호신호(Firing Signal)의 펄스파형이다.



[그림 14] IGBT Q3/Q4의 Gate Pulse 파형



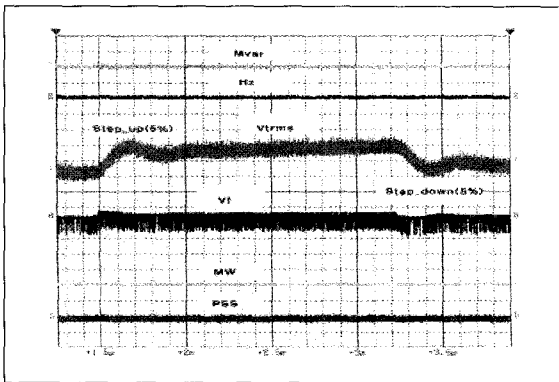
[그림 15] 점호신호(Firing Signal) Pulse 파형

• 계단응답 시험을 통한 특성시험

발전기 정격전압의 5%에 해당하는 계단응답 시험 (Step Up/Down)을 실시하여 응동 특성 확인하였으며, 그 결과를 가지고 AVR 제어기의 PI 파라미터(KP, KI)값 설정 및 조정하였다. 아래의 [그림 16]은 계단 응답 시험의 결과를 나타내며, 결과 그래프에서 보듯이 발전기 정격전압의 5%에 해당하는 계단 응답 신호를 주었을 때 계자전압과 발전기 전압이 속응성있게 응동됨을 확인할 수 있었다.

여기서 V_{trms} : 발전기 전압

V_f : 계자 전압을 나타낸다.



[그림 16] 계단 응답 시험 결과

발전기 제어시스템 발전 전망

향후 발전기 제어시스템의 기술은 초고속 디지털 신호처리 프로세서를 이용한 제어 연산속도의 향상과 시스템의 다중화를 통한 운전 신뢰성을 높이고, 시스템을 진단하기 위한 다중화 기술 분야도 많이 발달되어 시스템의 내부고장이나 입출력 신호의 이상 유무를 사용자에게 정해진 코드로 알려주는 것 등 자기진단 할 수 있는 기능의 보유가 보편화 될 전망이다.

한편 소프트웨어 분야에서는 발전기 전압제어 및 시스템 보호 알고리즘 등 소프트웨어 알고리즘이 지능화 될 전망이다. 발전기 제어시스템의 세계시장을 선점하고 있는 General Electric, Westinghouse, Brush,

Basler, GEC Alsthom, ABB 등의 구미 국가 제품, 일본의 Toshiba, Hitachi, Mitsubishi 등 세계시장에서 경쟁력의 우위를 확보하기 위해서는 국내에서도 시스템의 신뢰성과 다양한 기능, 유지보수의 편리성 그리고 가격 경쟁력을 갖춘 시스템으로 지속적으로 개발되고 발전될 전망이다.

결론

금번에 개발되어 현장에 적용된 발전기 제어시스템은 선진 외국의 제작사 기술에 전적으로 의존하고 있는 발전소 제어시스템을 순수 국내기술로 개발하고, 전력연구원에서 보유하고 있는 국제 특허기술인 승강압형 컨버터 기술을 발전기 제어시스템에 실용화하였으며, 첨단 디지털 제어기술 자립을 통한 고유 모델의 실용화 기술을 확보하였다는 데 커다란 의의가 있다고 하겠다. 디지털 삼중화 제어기와 이중화된 컨버터 시스템으로 구성하여 설비의 신뢰도를 한층 더 높였으며, 운전 편의성과 기능개선으로 현장 직원들로부터 많은 관심과 좋은 반응을 받았다. 금번 발전기 제어시스템의 개발과 현장 적용을 통해 확보한 기술을 바탕으로 외국 기술의 의존도가 높은 여타 제어시스템의 국산화 및 국내 제작사의 설계 제작 기술향상과 향후 전력수요의 증가에 따른 국내발전소 증설과 장기사용 발전소의 기존 시스템의 개체 시에 투자비 절감과 외화 절감 그리고 제주지역 전력공급의 핵심발전소 발전기 제어시스템의 현안 문제 해결로 설비의 운전 신뢰성 및 가동율 향상에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. General Electric, EX-2000 Digital Exciter User Manual, 1997
2. KDR-2000 Digital Excitation Systems Manual, 전력연구원, 2000
3. 임익현, 이주현 류호선 외 "발전기용 다중화 정지형 디지털 여자시스템 개발" 최종보고서, 전력연구원
4. 임익현, "동기발전기 디지털 여자시스템 개발에 관한 연구", 전력연구원, 2001
5. 류호선, 이주현, 임익현 외 "화력발전소용 디지털 여자시스템 개발에 관한 연구", 전력전자 학회, 2002
6. 임익현, 이주현, 류호선, 신만수 "IGBT를 이용한 디지털 다중화 발전기 제어시스템 개발" 최종보고서, 전력연구원