

5MW급 소수력발전용 여자시스템 제어기의 고장진단 알고리즘에 관한 연구

이진호*, 김윤호*, 이승호*, 김경화*, 노대석*

*한국기술교육대학교 전기공학과

e-mail:k3nsh1n@naver.com

A Fault Diagnosis Algorithm for Excitation Control System in 5MW Small Hydropower Plant

Jin-Ho Lee*, Yun-Ho Kim*, Seung-Ho Lee*, Kyung-Hwa Kim*, Dae-Seok Rho*

*Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

요약

최근, 전 세계적으로 기후 위기를 극복하기 위한 하나의 방안으로, 발전 과정에서 탄소가 거의 발생하지 않는 소수력 발전이 크게 주목받고 있다. 일반적으로, 소수력발전은 터보자 발전기를 바탕으로 운용되며, 이 과정에서 다양한 디지털 여자시스템 제어기가 사용된다. 하지만, 낙뢰, 침수 등에 의해 디지털 제어기의 고장이 지속적으로 발생할 수 있으며, 복잡한 디지털 제어기의 구조로 인해, 고장 소자 진단에 큰 어려움이 있다. 또한, 대부분의 제어기 소자가 주문생산 방식으로 제작되고 교체까지 장기간이 소요되기 때문에, 소수력발전용 여자시스템 제어기의 고장을 신속하고 정확하게 판단하는 방안이 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 소수력발전용 여자시스템 제어기의 고장을 저 비용으로 진단하기 위한 고장진단 알고리즘을 제시하고, 디지털 입력 제어부, 디지털 출력 표시부, 감시제어부, 아날로그 신호 공급장치부, 출력상태 모니터링부 등으로 구성된 여자시스템 제어기의 고장진단 장치를 구현한다. 이를 바탕으로 시험을 수행한 결과, 본 연구에서 제시한 고장진단 장치는 소수력발전용 여자시스템 제어기의 AVR mode와 FCR mode를 신속하고 정확하게 진단할 수 있음을 알 수 있다.

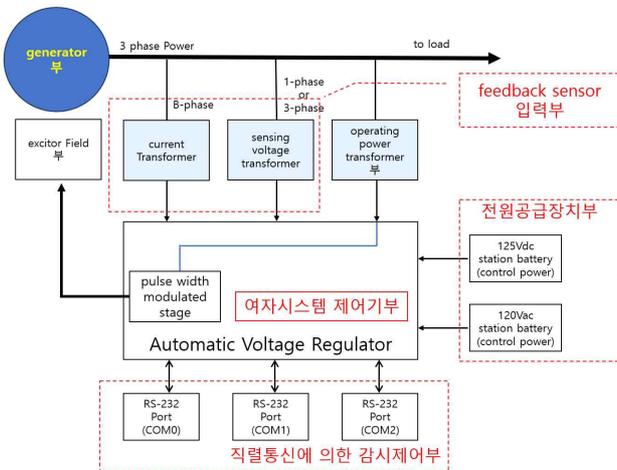
1. 서론

최근, 기후 위기에 따른 전 세계적인 에너지의 흐름이 저탄소 에너지를 생산하는데 많은 이 목이 집중되어 있다. 현재 가용한 재생 에너지원은 태양광, 풍력, 수력, 지열 등이 사용된다. 이 재생 에너지원 중 타 여자 발전기를 사용하는 설비에는 반드시 여자시스템을 운용하여야 한다. 우리나라의 발전소용 여자시스템을 공급하는 회사는 소수 존재하지만 주로 사용되는 여자시스템의 하드웨어는 대부분 해외에서 제조되는 것이 일반적이다. 즉, 재생에너지를 이용하여 전기를 생산할 때 중요한 요소 중 하나가 경제성이고, 설비를 고장 없이 오래도록 사용할 수 있어야 손실 비용을 감소시킬 수 있을 것이다. 한편, 전자소자 및 전력 전자공학의 발전으로, 과거 아날로그 제어를 통한 여자시스템의 제어에서 현재에는 컴팩트한 크기와 고효율의 여자시스템 제어기가 많이 보급되고 있다. 제어기기의 디지털화에 따라 여러 개의 각 부의 제어기를 통해 입력신호를 받고, 연산을 하여 SCR의 위상각 제어를 통해 계자의 전류를 일정하게 공급하여 발전기 출력전압을 일정하게 유지 시키던 것을 아날로그 및 디지털 신호를 입력 받고 제어로직에 의해 프로그램 연산을 수행하여 바로 SCR 혹은 IGBT를 드라이브하여 발전기 출력전압을 제어하게 되었다.

이러한 디지털화된 전력기기가 낙뢰, 침수 등의 피해를 입을 경우, 대부분의 전력기기들이 주문생산 방식이기 때문에 발주 후 12개월 정도가 지나야 새 제품을 받아 발전 운전을 수행할 수 있다. 따라서, 정비를 통해 고장 부위를 제거하여 정상화 시키는 것이 가장 경제적인 방법이 될 수 있다. 하지만, 컴팩트화 된 전력기기는 공간을 효율적으로 사용하기 위해 여러 개의 전자회로기판을 서로 연결하여 입체적으로 구성되어 있기 때문에, 연결해 놓은 상태에서 계측기로 출력 파형 등을 측정하기 매우 곤란한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 기능상의 정상 유무를 판단하기 위한 진단 알고리즘을 제시하고, 비용 효율적인 진단장치를 구현하여 낙뢰로 인해 고장이 발생한 여자시스템 제어기를 진단한 후 발전소 현장에서 정상적인 운전 상태를 확인함으로써 본 논문의 유효성을 확인하였다.

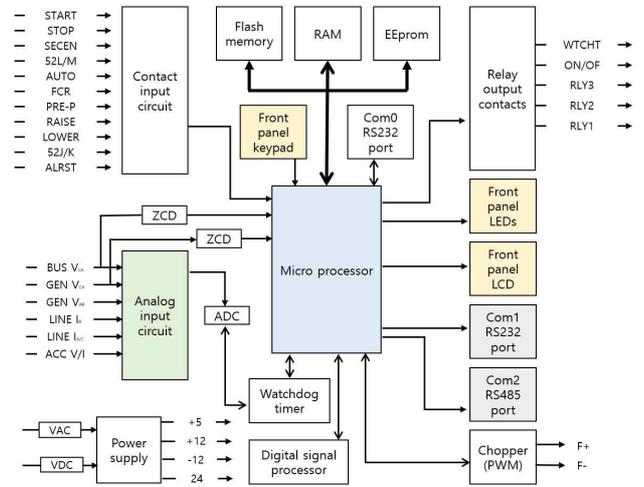
2. 5MW급 소수력발전용 여자시스템의 구성

5MW급 소수력발전용 여자시스템은 그림 1과 같이, generator부와 excitor field부, feedback sensor 입력부, operating power transformer부, 직렬통신에 의한 감시제어부, 전원공급장치부, 여자시스템 제어기부 등으로 구성된다. 여기서, generator부는 수력터빈과 연결되어 전기를 생산하는 발전기이고, excitor field부는 여자기 제어기에서 공급된 PWM 출력을 통해 발전기 계자권선에 계자전류를 공급하여 발전기 출력전압을 일정하게 조정하며, feedback sensor 입력부는 발전기 출력을 여자시스템 제어기에 feedback 신호를 공급한다. 또한, 전원 공급용 operating power transformer부는 AC를 DC로 변환한 후, 여자기의 PWM출력의 전압을 공급하고, pulse width modulated stage에서 계자권선으로 여자전류를 공급한다. 그리고, 직렬통신부는 RS232 방식으로 감시제어부와 통신하고, 전원공급장치부는 여자시스템 제어기용 제어 전원을 공급한다.



[그림 1] 소수력발전용 디지털 여자시스템의 구성

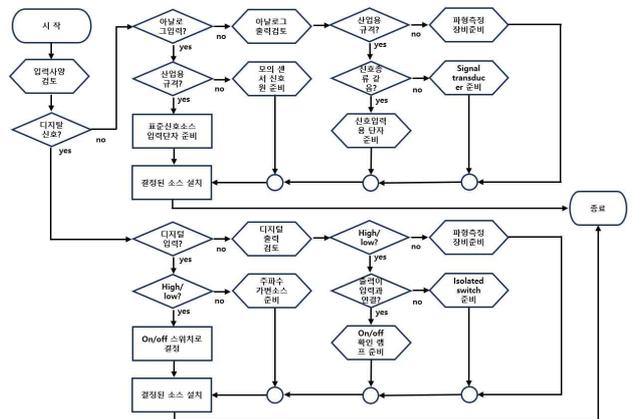
한편, 디지털 여자시스템 제어기부는 그림 2와 같이 마이크로 프로세서를 통해 각종 파라미터 및 제어 로직을 통해 여자기 제어를 수행하도록 구성되고, 파라미터 및 제어 로직은 직렬통신을 통해 연결되어, 감시제어부를 통해 제조사에서 제공되는 프로그램을 통해 설정 및 프로젝트 관리를 수행할 수 있도록 구성된다. 또한, 접점 입력 및 접점 출력은 디지털 입출력으로 제어기의 운전 상태를 설정 및 상태를 표시하고, 아날로그 입력은 발전기 전압 및 전류, 여자기 공급용 전압 등의 feedback 신호를 마이크로 프로세서에 제공하여 여자기 제어를 수행할 수 있으며, 이를 통해 제어 로직에 따라 내부의 IGBT를 드라이브 하여 chopper(PWM)에서 발전기 계자권선에 직접 여자전류를 공급할 수 있도록 구성된다.



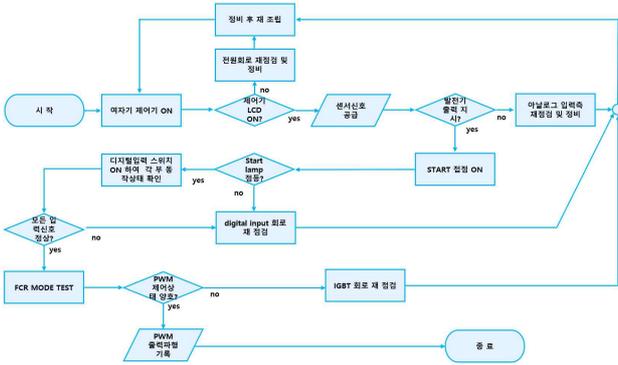
[그림 2] 디지털 여자시스템 제어기의 내부구성

3. 5MW급 소수력발전용 여자시스템 제어기의 고장진단 알고리즘

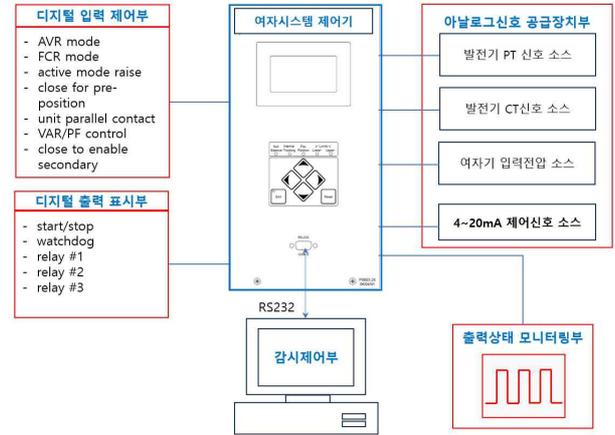
디지털 여자시스템의 디지털 입출력 진단을 위한 기본 알고리즘은 그림 3과 같다. 여기서, 디지털 입력은 일반적으로 high 상태와 low 상태로 사용되는데, 펄스 입력은 주파수 가변 신호원을 준비하여야 하고, 펄스 출력이 있는 경우에는 파형 측정장치를 적용한다. 한편, 아날로그 입출력 진단을 위한 기본 알고리즘은 산업용 표준의 아날로그 입력신호의 경우 신호발생기를 사용하며, 다른 아날로그 입력신호는 모의 센서 신호원을 통해 점검한다. 또한, 아날로그 출력의 경우, 일반 산업용 제어신호를 사용하면 DMM을 적용하고, 그렇지 않으면 파형 측정장치를 사용한다. 한편, 상기의 방식을 통해 입출력 방식을 결정하면 그림 4와 같이 고장진단 알고리즘을 적용하여 소수력발전용 여자시스템을 점검한다.



[그림 3] 여자시스템 제어기 고장 진단장치의 입출력 구성 알고리즘



[그림 4] 소수력발전용 여자시스템 제어기의 고장진단 알고리즘



[그림 5] 소수력발전용 여자시스템 제어기의 고장 진단장치 구성

4. 여자시스템 제어기의 고장 진단장치 구현

5MW급 소수력발전용 여자시스템 제어기 고장 진단장치는 그림 5와 같이 디지털 입력 제어부, 디지털 출력 표시부, 감시제어부, 아날로그신호 공급장치부, 출력상태 모니터링부로 구성된다. 여기서, 디지털 입력 제어부는 AVR mode, FCR mode, active mode raise, close for pre-position, unit parallel contact, VAR/PF control, close to enable secondary 등 각종 운전 모드를 설정할 수 있는 high/low 스타일 입력을 사용하므로, 그림 3의 알고리즘에 따라 스위치류를 사용하여 구성한다. 또한, 디지털 출력 표시부는 start/stop, watch dog, start 점점 출력, stop 점점 출력, 및 옵션 릴레이 출력 3개의 점점 출력으로 구성되어 있으므로 제시된 알고리즘에 따라 램프를 이용하여 각 출력을 구성한다.

한편, 아날로그신호 공급장치부는 발전기 PT신호 소스, 발전기 CT신호 소스, 여자시스템 제어기 입력전압 소스 등으로 구성되므로, 그림 3의 알고리즘에 따라 모의 센서 신호원을 적용한다. 여기서, PT신호 소스 및 여자기 입력전압 소스는 3300/110[V]이지만 380/110[V]로 치환하고, 발전기 CT신호 공급부는 300/5[A]를 50/5[A]로 치환하며 부하저항을 통해 1[A]를 공급한다. 한편, 4~20mA 제어신호 소스는 본 연구에서 제시한 알고리즘에 따라 터미널을 구성하여 외부에서 전류 신호를 공급할 수 있도록 구성하며, 아날로그 출력은 파형 측정을 수행할 수 있는 단자와 약간의 부하전류를 흐를 수 있는 저항기로 구성한다. 그리고, 감시제어부는 제조사에서 제공하는 소프트웨어를 바탕으로 RS232 통신방식을 통해, 여자시스템 제어기에 접속하여 각종 파라미터 및 운전 상태를 모니터링 할 수 있도록 구성한다.

5. 시험결과 및 분석

5.1 시험 조건

여자시스템 제어기 고장 진단장치의 시험 조건은 표 1과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, control DC power, 3상 110[V] power, start switch가 on 된 후에 각 모드 별 시험을 수행한다. 또한, AVR mode와 VAR/PF control mode는 모드 전환 시험을 수행하고 FCR mode에서 진단을 수행한다. 그리고, 감시 제어부는 직렬통신인 RS232를 적용하고, 4~20mA 제어신호 소스는 전류 신호 발생기로 4, 8, 12, 16, 20[mA]의 5점 시험을 적용한다.

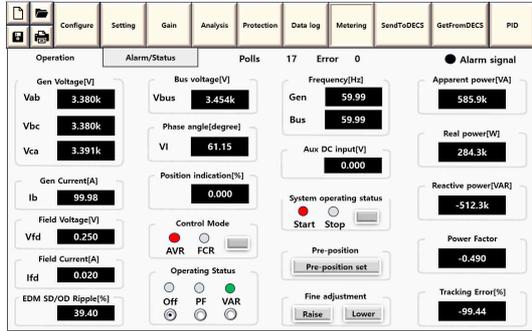
[표 1] 여자시스템 고장 진단장치의 시험 조건

입력 사항	상태	상태설명
control DC power	on	시험 수행 시 기본 on 조건
3φ 110[V] power	on	시험 수행 시 기본 on 조건
start switch	on	시험 수행 시 기본 on 조건
AVR mode	on	AVR(auto)표시
	off	FCR mode시 off
VAR/PF control	on	AVR/FCR mode에서 사용
	off	VAR/PF mode off
FCR mode	on	FCR(manual)표시
	off	AVR mode시 off

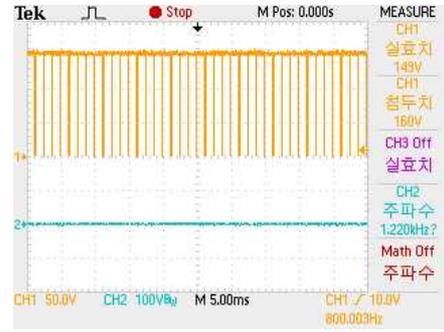
5.2 제어기 고장진단 장치의 운용 특성

5.2.1 AVR mode

여자시스템 제어기 고장 진단장치의 start switch를 on 하면 system operating status 창의 start lamp가 점등된다. 그리고, AVR mode로 전환 시키면 그림 6과 같이 AVR 램프가 점등되어 AVR mode로 정상적으로 작동되는 것을 확인할 수 있다. 여기서, 여자시스템 제어기 고장 진단장치의 AVR mode에서 VAR/PF mode switch를 조작하면 그림 6의 operating status에서 VAR mode가 점등되어 정상적으로 작동되는 것을 확인할 수 있다.



[그림 6] AVR mode on VAR/PF on시 감시제어부 표시 화면



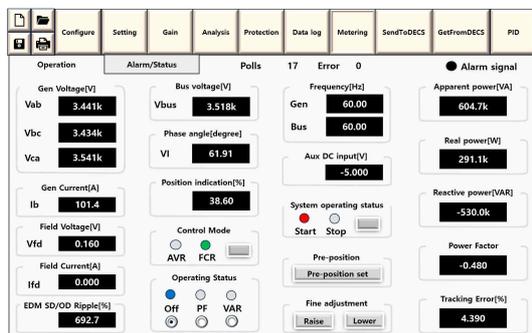
[그림 8] 여자시스템 제어기의 정상 운용 특성

5.2.2 FCR mode

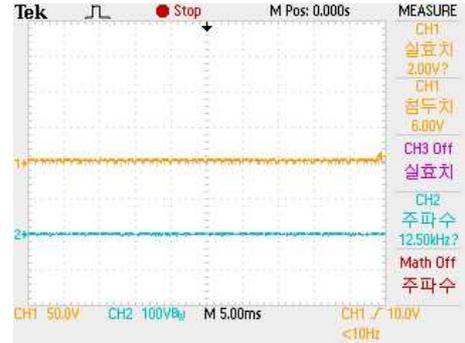
여자시스템 제어기 고장 진단장치의 FCR mode switch를 하면 그림 7과 같이 FCR mode 램프가 점등되어 FCR mode가 정상적으로 작동되는 것을 확인할 수 있다. 또한, FCR mode에서 4~20mA 제어신호 공급부에 전류 신호를 변화시키며 감시제어부의 Aux DC input을 확인하면 표 2와 같이 출력되어 아날로그 입력의 AD converter 회로가 정상임을 확인할 수 있다. 한편, 발전기 전압과 발전기 전류는 고정 상태로 전류 입력에 따른 Aux DC input 전압을 확인하여 센서 변화 회로가 정상임을 바로 알 수 있으며, 그에 따라 여자시스템 제어기의 PWM 출력 제어가 잘 수행되는지 확인하면 여자시스템 제어기가 정상적인 동작을 수행하는 것을 확인할 수 있다. 그림 8은 FCR mode에서 출력되는 PWM 파형을 확인할 수 있고 raise 신호를 계속 증가시키면 완전한 DC 출력을 확인할 수 있다. 그림 9는 여자시스템 제어기의 고장 진단장치에서 고장상태일 경우의 출력 파형을 측정할 경우로 PWM 출력이 상실되어 불량상태임을 확인할 수 있다.

[표 2] FCR mode 4~20[mA]입력 제어 특성

입력 [mA]	Aux DC input[V]	Vab[kV]	Vbc[kV]	Vca[kV]	Ib[A]
4	-5.000	3.441	3.434	3.541	104.4
8	-2.550	3.440	3.435	3.450	101.4
12	-0.120	3.440	3.436	3.449	101.4
16	2.330	3.440	3.435	3.449	101.4
20	4.770	3.440	3.436	3.451	101.4
변화여부	변수	고정	고정	고정	고정



[그림 7] FCR mode에서 4[mA] 전류 공급 시 감시제어부 표시 화면



[그림 9] 여자시스템 제어기의 고장 운용 특성

6. 결론

본 논문에서는 단일 모듈로 구성된 여자시스템 제어기에 모의 신호를 공급하여 문제가 발생한 제어기를 진단하는 고장진단 알고리즘과 진단장치를 제안한다. 제시하는 알고리즘을 통해 입력력의 방식을 선정할 수 있으며 특히 전기도면이 있으면 사용하지 않는 입력력을 확실하게 파악해 낼 수 있다. 또한, 제시된 여자시스템 제어기의 고장 진단장치로 진단 후, 발전소 현장에서 장착시험을 수행하여 운전 상태를 확인한 결과 정상 동작하여 본 논문의 유효성을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 박용환. "동기발전기 여자시스템의 신뢰도 향상을 위한 시험 진단장치 구현에 관한 연구." 국내석사학위논문 연세대학교 공학대학원, 2003. 서울
- [2] 신만수, 류호선, 이주현, 임익현, 김봉석, 송성일. "여자시스템 제어 및 진단기법 개발." 대한전기학회 학술대회 논문집, 2005.
- [3] Blaster Electric, "Instruction manual for digital excitation control system." 2007.