

250MW급 양수발전소용 디지털 조속기의 특성분석 및 고장진단장치 구현

이진호, 노성은, 태동현, 이명근, 노대석
한국기술교육대학교
e-mail:k3nsh1n@naver.com

Operation Characteristics and Implementation of Diagnosis Device for Digital Governor Controller in 250MW Pumped-storage Power Plant

Jin-Ho Lee, Seong-Eun Rho, Dong-Hyun Tae, Myung-Geun Lee, Dae-Seok Rho
Korea University of Technology and Education

요약

국내 양수발전소의 주 제어설비인 디지털 조속기는 대부분 해외에서 설계·제작되어 국내의 발전소에 적용되어 있다. 그러나, 제품이 생산되고 일정 기간이 경과 하여 부품의 단종 및 서비스 지원이 중단되면, 예비품 확보 및 유지보수가 불가능한 상황이 되며, 한 개의 제어모듈 손상에 의해 시스템 전체를 교환해야 하는 상황이 발생할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 250MW급 양수발전용 조속기 제어기의 고장 여부를 시험할 수 있는 고장진단장치를 제시하고 조속기가 정상 동작할 수 있는 시험조건을 제안한다. 이를 바탕으로, 양수발전용 조속기 제어기 진단장치의 터빈모드, 펌프모드, 수동모드 등의 시험 조건에 대한 모드별 운용특성을 분석한 결과, 여러 대의 조속기 제어기에서 정상적인 출력특성을 확인하였으며, 실제 현장에서 운용되고 있는 250MW급 양수발전용 조속기 제어기 4기를 진단한 결과 다양한 고장상태를 정확히 파악하여, 본 논문에서 제시한 고장진단장치의 유효성을 알 수 있었다.

1. 서론

국내 양수발전소의 주 제어설비인 디지털 조속기는 대부분 해외에서 설계·제작되어 국내의 발전소에 적용되어 있다. 그러나, 제품이 생산되고 일정 기간이 경과 하여 부품의 단종 및 서비스 지원이 중단되면, 예비품 확보 및 유지보수가 불가능한 상황이 되며, 한 개의 제어모듈 손상에 의해 시스템 전체를 교환해야 하는 상황이 발생할 수 있다. 또한, 조속기 제어기를 진단하기 위해 운전중인 설비에 부착하여 시험 시 실제로 wicket gate(W/G)가 열리기 때문에 안전한 시험이 불가능하다. 따라서, 본 논문에서는 양수발전소에 사용되는 디지털 조속기 제어기의 고장 여부를 다양한 운용모드에 기반하여 오프라인으로 시험할 수 있는 고장진단장치를 제안한다. 즉, 250MW급 양수발전용 조속기 제어기의 구성과 운용 메커니즘을 제시하고 양수발전용 조속기 제어기 고장진단장치를 구현한다. 여기서, 고장진단장치는 Status S/W 콘솔부, 전원공급 장치부, DI/DO부, position feedback 모의장치부, W/G 제어기 모의장치부, 계통/발전기 주파수 공급장치부, 등으로 구성된다.

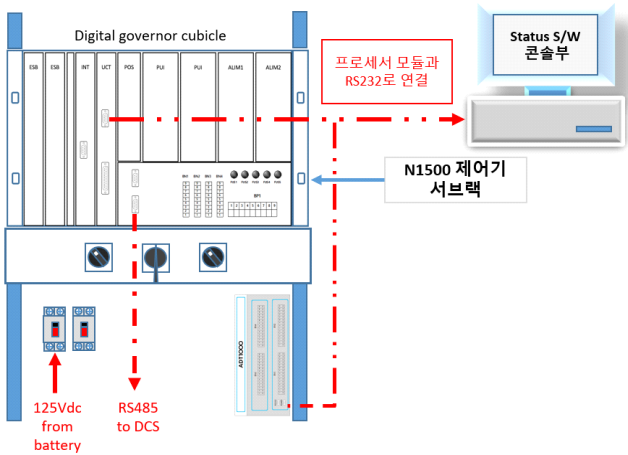
한편, 디지털 조속기는 연속적인 제어와 서보모터 및 main distributing valve(DIST) 포지션 등의 여러 가지의 파라미터를 바탕으로 운전되므로, 본 논문에서는 제시한 고장진단장치를 통해 조속기가 정상 동작할 수 있는 시험조건을 제시한다. 또한, 양수발전용 조속기 제어기 진단장치의 터빈모드, 펌프모드, 수동모드 등의 시험조건에 대한 모드별 운용특성을 분석한 결과, 여러 대의 조속기 제어기에서 정상적인 출력특성을 확인하였으며, 실제 현장에서 운용되고 있는 250MW급 양수발전용 조속기 제어기 4기를 진단한 결과 다양한 고장상태를 정확히 파악하여, 본 논문에서 제시한 고장진단장치의 유효성을 확인할 수 있었다.

2. 양수발전용 조속기의 구성 및 운용 메커니즘

2.1 조속기의 전기적 구성 및 메커니즘

국내의 250MW급 양수발전소에서 사용되고 있는 디지털 조속기의 전기적 시스템은 두 개의 이중 프란시스 수차에 사용되므로 그림 1과 같이 upper와 lower W/G용 제어기와 speed tachometer ADT1000으로 구성된다. 또한, 양수발전용 디지털 제어기는 processor 모듈(UCT)의 RS232를 통해

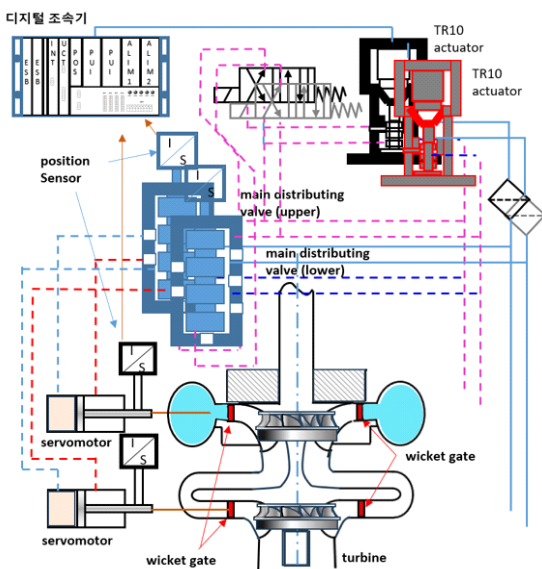
status용 S/W 콘솔과 연결되며, position sensor에서 입력받은 신호를 통해 actuator를 제어하여 upper와 lower W/G를 구동한다. 한편, ADT1000은 발전기 로터에서 측정되는 두 개의 redundancy 주파수 신호를 통해, 스피드 점점 신호를 제공하고 4~20mA의 아날로그 신호로 전송한다.



[그림 1] 조속기용 제어기의 전기적 시스템 구성

2.2 기계적 제어기 구성 및 운용 메커니즘

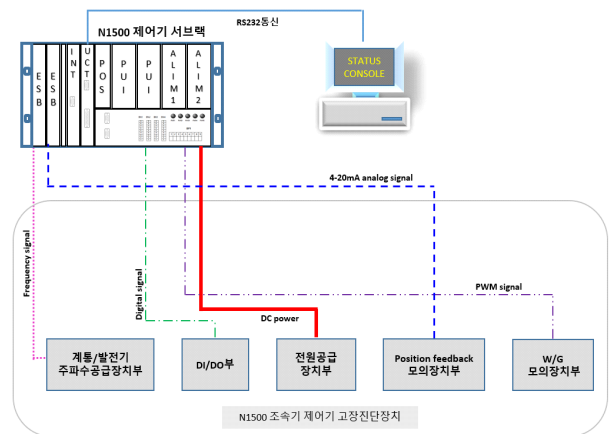
양수발전소용 디지털 조속기의 기계적 제어기 구성은 그림 2와 같다. 디지털 조속기는 펄스 폭 제어방식에 의하여 actuator를 통해 main distributing valve(DIST V/V)를 제어하며, 이 밸브의 spool 위치에 따라 서보모터의 속도 및 위치를 제어한다. 한편, 서보모터 동작에 의한 W/G의 운용 메커니즘은 두 개의 서보모터는 각각 반대 방향으로 설치되어 개폐 동작을 수행하고, W/G용 position sensor는 어느 하나에만 설치하여 W/G의 개도를 측정한다.



[그림 2] 조속기용 제어기의 기계적 시스템 구성

3. 양수발전용 조속기 제어기 고장진단장치 구현

양수발전소에 사용되는 조속기 제어기 고장진단장치는 그림 3과 같이, Status S/W 콘솔부, 전원공급 장치부, DI/DO부, position feedback 모의장치부, W/G 제어기 모의장치부, 계통/발전기 주파수 공급장치부로 구성된다. 즉, 제어기 고장진단장치는 processor 모듈에 RS232 통신으로 Status S/W 콘솔부에 연결되어 디지털 및 아날로그 신호와 제어 연산용 파라미터에 대한 모니터링 기능을 수행하며, 전원공급 장치부는 AC/DC 컨버터를 통해 디지털 조속기의 정격 입력전압인 DC 125V를 공급한다. 또한, DI/DO부는 조속기에 기동 및 각종 명령을 전달하기 위한 입력과 상태 및 fault 등을 확인할 수 있는 출력으로 구성되고, position feedback 모의장치부는 W/G와 DIST V/V의 position에 따라 아날로그 신호를 제어기에 전달한다. 한편, W/G 제어기 모의장치부는 upper와 lower W/G의 개도를 측정하며, 계통/발전기 주파수 공급장치부는 조속기 제어기에 계통주파수와 발전기 출력주파수를 전달한다.



[그림 3] 조속기 제어기용 고장진단장치의 구현

4. 시험결과 및 분석

4.1 조속기 제어기 고장진단장치 시험조건

디지털 조속기 제어기를 진단하기 위한 시험조건은 표 1과 같다. 여기서, 디지털 조속기의 actuator 구동펄스는 upper 및 lower W/G의 SM position, upper 및 lower DIST V/V position과 발전기 주파수에 따라 출력된다. 즉, 고장진단장치는 upper W/G SM position을 8.40[mA], lower W/G SM position을 9.25[mA], upper DIST V/V position을 6.55[mA], lower DIST V/V position을 7.40[mA]로 상정하여, 발전기 주

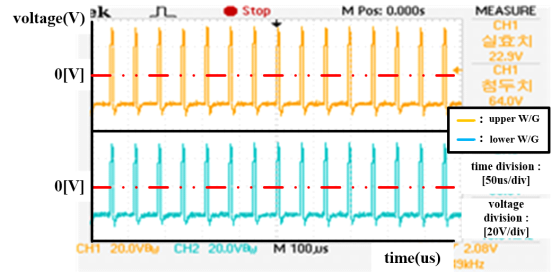
파수를 변화시켜 actuator 구동 펄스 출력특성을 확인한다. 여기서, 각각의 position feedback 신호는 Status S/W 콘솔부에서 0으로 인식되는 수치이며, SM position과 DIST V/V position의 값이 일정 범위 이상이 되면 디지털 조속기의 major fault가 발생할 수 있다. 또한, 조속기 제어기의 동작모드는 DI/DO부의 입출력 신호에 따라 결정되며, ETOR1이 턴-온되면 터빈모드, ETOR4가 턴-온되면 펌프모드, MANU1이 턴-온되면 수동모드를 나타낸다. 또한, DI/DO부의 MANU2가 턴-온되면 lower W/G, 턴-오프되면 upper W/G가 선정된다.

[표 1] 조속기 제어기 고장진단장치의 시험조건

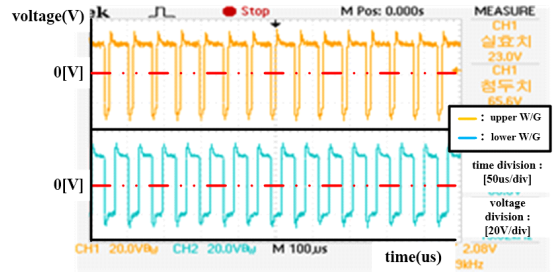
항 목		내 역
position feedback 모의장치부	upper W/G SM position	8.40[mA]
	lower W/G SM position	6.55[mA]
	upper DIST V/V position	9.25[mA]
	lower DIST V/V position	7.40[mA]
DI/DO부	터빈모드	ETOR1 턴-온
	펌프모드	ETOR4 턴-온
	수동모드	MANU1 턴-온
	upper W/G	MANU2 턴-오프
	lower W/G	MANU2 턴-온
발전기 주파수 공급장치부		0~61[Hz]
전원공급장치부	조속기 정격 입력전압	125[Vdc]

4.2 터빈모드의 운용특성

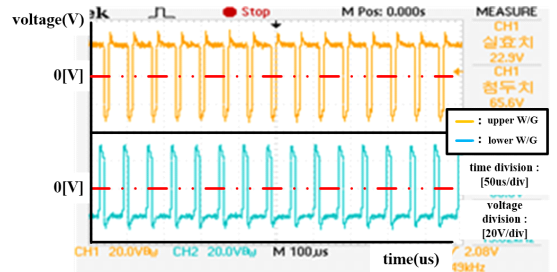
제어기의 터빈모드 출력특성은 그림 4와 같다. 여기서, 고장진단장치는 SM position과 DIST V/V의 feedback 신호를 일정하고 유지하고, 발전기 주파수를 0에서 60[Hz]로 증가시킨다. 먼저, 그림 4(a)는 터빈모드 기동시 출력특성을 나타내며, 발전기 주파수를 0에서 50.95[Hz]까지 인가시키면, upper W/G와 lower W/G의 actuator 구동펄스는 음의 폭이 양의 폭보다 매우 크기 때문에 opening position 상태를 유지함을 알 수 있다. 그림 4(b)는 발전기 주파수를 50.96[Hz]로 인가시킨 경우의 출력특성으로 upper W/G의 actuator 구동펄스는 양의 폭이 음의 폭보다 매우 크기 때문에 closing position 상태이며, lower W/G의 actuator 구동펄스는 양의 폭과 음의 폭이 동일하여 holding position 상태임을 알 수 있다. 또한, 그림 4(c)는 발전기 주파수를 59.94[Hz]로 인가시킨 경우의 출력특성을 나타내며, upper W/G의 actuator 구동펄스는 closing position 상태를 유지하고, lower W/G의 actuator 구동펄스는 음의 폭이 증가하여 opening position 상태로 변화됨을 알 수 있다. 한편, 그림 4(d)는 발전기 주파수가 60[Hz]로 인가된 출력특성으로, upper W/G와 lower W/G의 actuator 구동펄스는 음의 폭이 양의 폭보다 매우 크기 때문에 opening position 상태를 유지함을 알 수 있다.



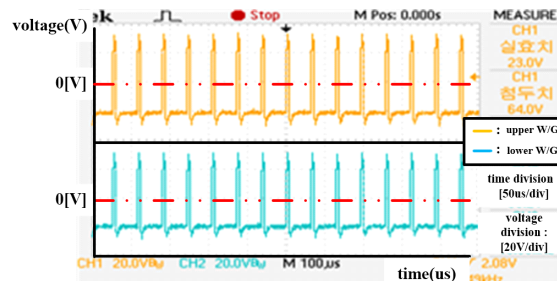
(a) 터빈모드 수행 시 발전기 주파수 (0~50.95[Hz])



(b) 발전기 주파수 50.96[Hz]



(c) 발전기 주파수 59.94[Hz]

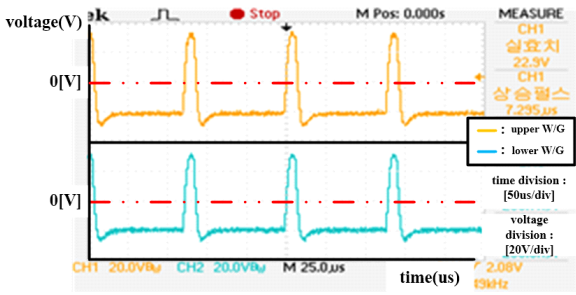


(d) 발전기 주파수 60[Hz]

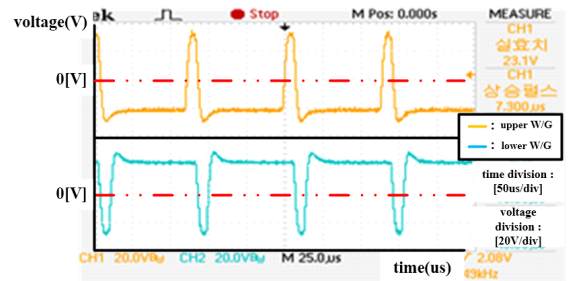
[그림 4] 조속기 제어기의 터빈모드 운용특성

4.3 펌프모드의 운용특성

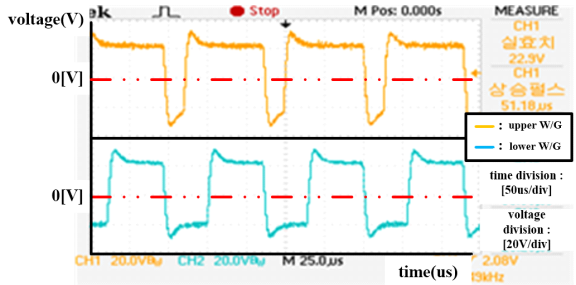
조속기 제어기의 펌프모드 출력특성은 그림 5와 같다. 여기서, 그림 5(a)는 펌프모드 기동시 출력특성을 나타내며, upper W/G와 lower W/G의 actuator 구동펄스는 음의 폭이 양의 폭보다 매우 크기 때문에 opening position 상태를 유지함을 알 수 있다. 또한, 그림 5(b)는 펌프모드를 기동하고 약 10초 후의 출력특성으로, upper W/G와 lower W/G의 양의 폭이 음의 폭보다 크기 때문에 closing position 상태로 변화함을 알 수 있다.



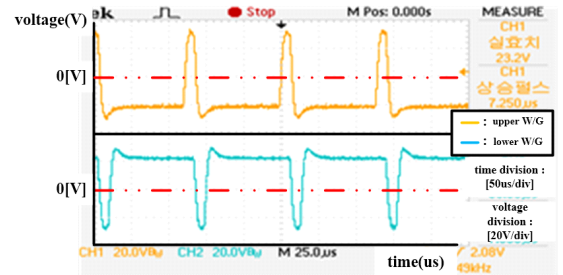
(a) 펌프모드 시작 시 actuator 구동펄스



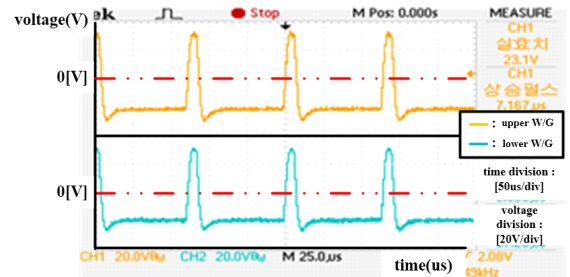
(b) 음의 방향 조작 시 upper W/G actuator 구동펄스



(b) 펌프모드 시작 10초 후 actuator 구동펄스
[그림 5] 조속기 제어기의 펌프모드 운용특성



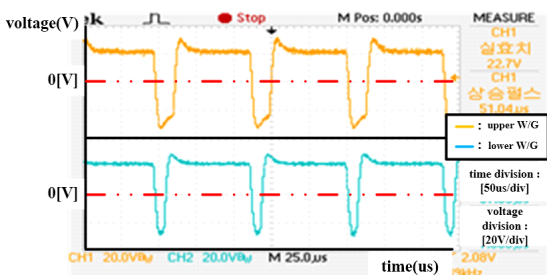
(c) 양의 방향 조작 시 lower W/G actuator 구동펄스



(d) 음의 방향 조작 시 lower W/G actuator 구동펄스
[그림 6] 조속기 제어기의 펌프모드 운용특성

4.3 수동모드의 운용특성

조속기 제어기의 수동모드 출력특성은 그림 6과 같다. 여기서, 그림 6(a)는 upper W/G를 positive direction(닫힘 방향)으로 제어한 출력특성으로, upper W/G의 actuator 구동펄스가 양의 폭이 음의 폭보다 크기 때문에 opening position 상태임을 알 수 있다. 또한, 그림 6(b)는 upper W/G를 negative direction(열림 방향)으로 제어한 출력특성으로, upper W/G의 actuator 구동펄스가 음의 폭이 양의 폭보다 크기 때문에 closing position 상태임을 알 수 있다. 한편, 그림 6(c)는 lower W/G를 positive direction으로 제어한 출력특성으로, lower W/G의 actuator 구동펄스가 양의 폭이 음의 폭보다 크기 때문에 opening position 상태임을 알 수 있고, 그림 6(d)는 lower W/G를 negative direction으로 제어한 출력특성으로, lower W/G의 actuator 구동펄스가 음의 폭이 양의 폭보다 크기 때문에 closing position 상태임을 알 수 있다.



(a) 양의 방향 조작 시 upper W/G actuator 구동펄스

5. 결 론

본 논문에서는 양수발전소에 사용되는 디지털 조속기 제어기의 고장 여부를 오프라인으로 시험할 수 있는 고장진단장치를 제안한다. 양수 발전용 조속기 제어기 진단장치의 터빈 모드, 펌프모드, 수동모드 등의 시험조건에 대한 모드별 운용특성을 분석한 결과, 여러 대의 조속기 제어기에서 정상적인 출력특성을 확인하였으며, 실제 현장에서 운용중인 250MW급 수력발전용 조속기 제어기 4기를 진단한 결과 다양한 고장상태를 정확히 파악하여, 본 논문에서 제시한 조속기 제어기 고장진단장치의 유효성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

[1] German Ardul Munoz-Hernandez Sa'ad Petrous Mansoor, Dewi Ieuan Jones. "Modeling and controlling Hydropower plants. Springer 2013.
[2] Alstom Hydro France, "Neyrpic TR10 actuator description and operation".