

250MW급 양수발전용 디지털 조속기의 고장진단장치 구현

이진호, 전진택, 조성덕, 김경화, 노대석
한국기술교육대학교
e-mail:k3nsh1n@koreatech.ac.kr

An Implementation of Diagnosis Equipment for Digital Governor in 250MW Pumped-storage Power Plant

Jin-Ho Lee, Jin-Taek Jeon, Sung-Duck Cho, Kyung-Hwa Kim, and Dae-Seok Rho
Korea University of Technology and Education

요약

국내 양수발전소의 조속기는 발전 모드 시 수차발전기의 회전을 제어하여, 수력터빈으로 전기를 생산하는 핵심역할을 수행하며, 펌프 모드 시는 잉여전력을 위치에너지로 변환하여 안정적인 전기저장장치역할을 수행한다. 즉, 양수발전소는 잉여전력을 저장함으로써 경제성을 확보할 수 있고, 전력 수급조절에 유연하게 대응하며, 대규모 정전사고 발생 시 전력복구를 수행하는 중요 발전설비이다. 그러나, 이러한 양수발전소의 조속기는 대부분 국외용 설비로 설치되어 운용하고 있어, 제조사의 A/S지원 종료, 제품 단종 등으로 예비 부품을 확보할 수 없는 경우, 또한 정비 가능한 협력업체가 없으므로, 고장 시 설비 전체를 교체할 수밖에 없는 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 디지털 조속기의 재사용 가능 여부를 오프라인으로 진단하기 위하여, 양수 발전기용 디지털 조속기의 고장진단장치를 구현한다. 제안한 장치는 upper & lower wicket gate 모의 장치부, upper & lower wicket gate feedback 장치부, 조속기 전원공급장치부, 발전기 주파수 모의 공급장치부, 감시 및 제어신호 장치부 등으로 구성된다. 이 고장진단장치를 바탕으로, upper wicket gate 특성시험과 lower wicket gate 특성시험을 통과한 2세트의 디지털 조속기 제어판넬에 대하여 기동시험을 수행한 결과, 모두 정상적으로 동작하여 본 논문의 유효성을 확인하였다.

1. 서론

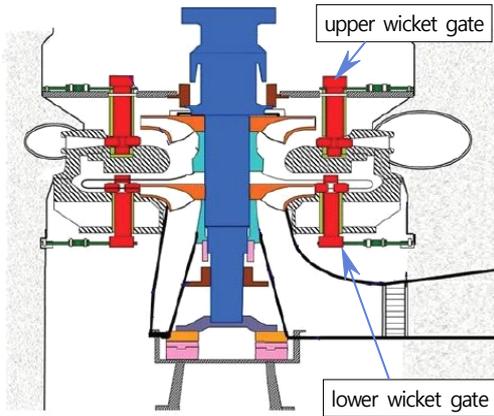
국내 양수 발전소의 조속기는 발전 모드 시 수차발전기의 회전을 제어하여, 수력터빈으로 전기를 생산하는 핵심역할을 수행하며, 펌프 모드 시는 잉여전력을 물의 위치에너지로 변환하여 안정적인 전기저장장치역할을 수행한다. 즉, 양수발전소는 잉여전력을 저장함으로써 경제성을 확보할 수 있고, 전력 수급조절에 유연하게 대응하며, 대규모 정전사고 발생 시 전력복구를 수행하는 중요 발전설비이다. 그러나, 이러한 양수발전소의 조속기는 대부분 국외용 설비로 설치되어 운용하고 있어, 제조사의 A/S지원 종료, 제품 단종 등으로 예비 부품을 확보할 수 없는 경우, 또한 정비 가능한 협력업체가 없으므로 고장 시 설비 전체를 교체할 수밖에 없는 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 디지털 조속기의 재사용 가능 여부를 오프라인으로 진단하기 위하여, 양수 발전기용 디지털 조속기의 고장진단장치를 구현한다. 제안한 고장진단장치는 upper & lower wicket gate 모의 장치부, upper & lower wicket gate feedback 장치부, 조속기 전원공급장치부, 발전기 주파수 모의 공급장치부, 감시 및 제어신호 장치부 등으로

구성되며, upper & lower wicket gate 모의 장치부는 터빈의 upper & lower wicket gate의 동작 상태를 모의한다. upper & lower wicket gate feedback장치부는 upper & lower wicket gate의 개도 상태를 보여주며, 조속기 전원공급장치부는 조속기 제어기에 주 전원을 공급한다. 발전기 주파수 모의 공급장치부는 주파수 추종제어 특성분석을 할 수 있도록 출력주파수를 공급한다. 감시 및 제어신호 공급장치부는 양수발전소의 DCS를 대신하여 수동으로 기동 및 정지 신호를 공급하고 조속기 상태를 확인할 수 있다. 이 고장진단장치를 바탕으로, upper wicket gate 특성시험과 lower wicket gate 특성시험을 통과한 2세트의 디지털 조속기 제어판넬에 대하여 기동시험을 수행한 결과, 모두 정상적으로 동작하여 본 논문의 유효성을 확인하였다.

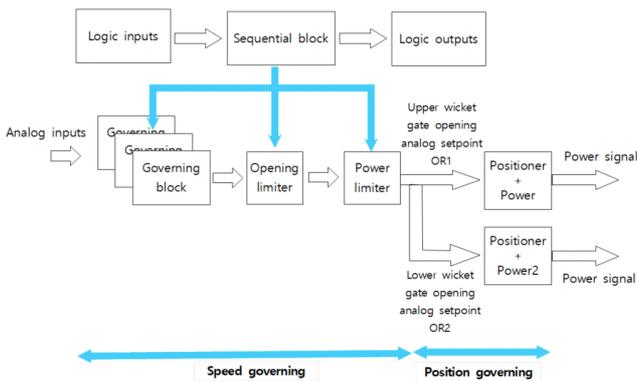
2. 양수발전 조속기의 제어 메커니즘

양수발전 조속기의 제어는 그림 1과 같이, 상부 및 하부의 이중 프란시스 터빈으로 구성되며[2] upper wicket gate와 lower wicket gate를 열고, 닫는 제어를 수행하며 수차발전기

로 상부 댐에 저장된 물을 공급하여 수직 터빈 축에 동력을 발생시킨다. 심야 시간이나 전력 수요가 충분하고 저렴하게 이용할 수 있는 잉여전력을 사용하여 터빈을 모터 펌프로 전환하여 하부댐의 물을 상부댐으로 다시 저장하고, 전력공급이 필요한 시기에 발전을 재개할 수 있다. 한편, 디지털 조속기의 블록 다이어그램은 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, upper/lower wicket gate에는 feedback 장치가 연동되어 wicket gate가 몇 % 열림 상태인지 조속기에 정보를 4~20mA 전류 신호로 전송하여 조속기가 wicket gate 개도 제어를 수행할 수 있도록 한다.



[그림 1] vertical shaft, double regulated stages Francis pump turbine



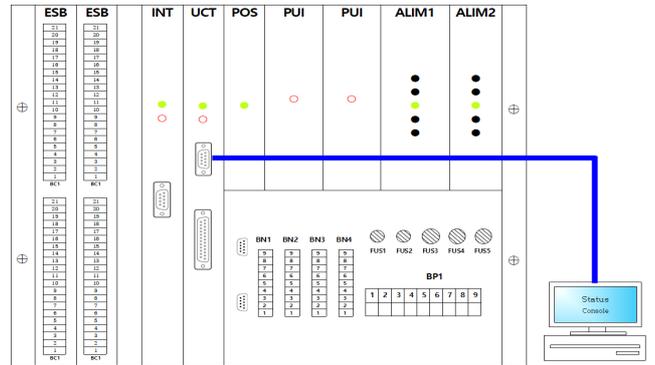
[그림 2] 디지털 조속기의 일반구성도

3. 디지털 조속기용 고장진단장치의 구현

3.1 디지털 조속기부

디지털 조속기부는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 3의 (a)는 디지털 조속기, (b)는 status console을 나타낸다. 이 그림에서와 같이, 디지털 조속기는 ESB 2매, INT 1매, UCT 1매, POS 1매, PUI 2매, ALIM1 1매, ALIM2 1매로 구성되어 있다. 여기서 PUI 하나당 wicket gate 1개씩을 구동할 수 있다. 한편, status console은 각 조속기 제어 연산에 필요한 파라메타를 수정하고 업로드 하고 조속기의 제어요소 값

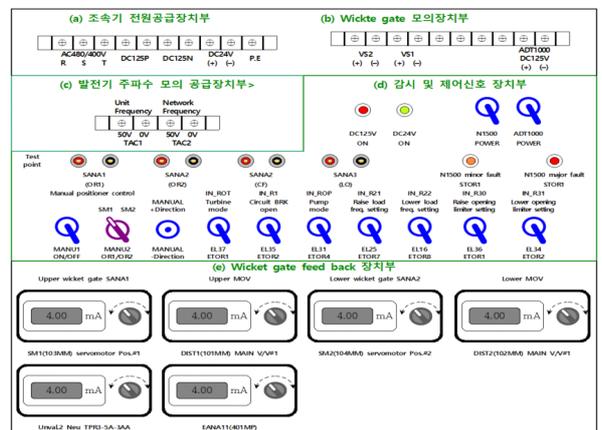
들을 모니터링할 수 있다.



[그림 3] 디지털 조속기부 제어카드 구성도 (19" rack, 6U size)

3.2 디지털 조속기 고장진단장치부

디지털 조속기 고장진단장치부는 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 4의 (a)는 전원공급장치, (b)는 upper & lower wicket gate 모의 장치, (c)는 발전기 주파수 모의 공급장치, (d)와 (e)는 각각 감시 및 제어 장치와 upper & lower wicket gate feedback 장치를 나타낸다. 이 그림에서와 같이, 전원공급장치는 DC125V를 조속기에 공급하고 이를 조속기부 내부의 ALIM1, ALIM2의 dc-dc converter에서 5V, ±15V, 24V등으로 변환하여 각부의 카드에 공급한다. 한편, upper & lower wicket gate 모의 장치는 power signal로 bi-polar PWM 신호가 출력하며, 부하를 결선하고 PWM펄스폭 제어를 모니터링 한다. 또한, 발전기 주파수 모의 공급장치는 arbitrary function generator로 시험을 수행하고, 감시 및 제어 신호 장치는 조속기의 TOR신호 및 알람 등을 표시하는 입출력 장치로 램프 및 스위치로 구성된다. 한편, upper & lower wicket gate feedback 장치는 2-wire 4~20ma loop powered type의 노브 조정형 transmitter를 사용하여 구성되어 wicket gate가 얼마나 열리고 닫히는지 전류 값으로 지시한다.



[그림 4] 디지털 조속기 시험장치 구성도

4. 시험 결과 및 분석

4.1 시험 조건

디지털 조속기의 진단을 위한 기동시험은 감시 및 제어 신호 장치부에서 디지털 입력을 통해 각 모드별 테스트를 수행할 수 있다. SM1,2 포지션과 DIST1,2는 직접 조작하는 시험이 아니면 다음과 같이 고정하여 시험을 수행한다. 먼저, 터빈 모드 시험은 upper wicket gate servomotor position 값인 SM1은 8.40[mA], valve position feedback 값인 DIST1은 6.55[mA],로 고정하고 lower wicket gate servomotor position 값인 SM2는 9.25[mA], valve position feedback 값인 DIST2는 7.40[mA]로 세팅한 후, turbine mode를 on 시키고 servomotor의 응동에 따라 feedback을 결정한다. 한편, 펌프 모드 시험은 펌프모드(ETOR4) 스위치만 on시켜 펌프모드를 동작시킨다.

[표 1] 기동조건 세팅 표

I/O NAME	DESCRIPTION	ON	OFF
MANU1 ON/OFF	MANUAL POSITIONER 1 CONTROL		●
MANU2 OR1/OR2	MANUAL POSITIONER 2 CONTROL		●
MANUAL CONTROL	POSITIVE DIRECTION	+	
	MIDDLE POSITION "HOLD"	OFF	●
	NEGATIVE DIRECTION	-	
EL37 (ETOR1)	TURBINE MODE		●
EL35 (ETOR2)	CIRCUIT BREAKER OPEN		●
EL31 (ETOR4)	PUMP MODE		●
EL25 (ETOR7)	RAISE LOAD FREQUENCY SETTING		●
EL16 (ETOR8)	LOWER LOAD FREQUENCY SETTING		●
EL36 (ETOR1)	RAISE OPENING LIMITER SETTING.		●
EL34 (ETOR2)	LOWER OPENING LIMITER SETTING.		●

4.2 디지털 조속기 모의시험 출력 특성

4.2.1 터빈 모드

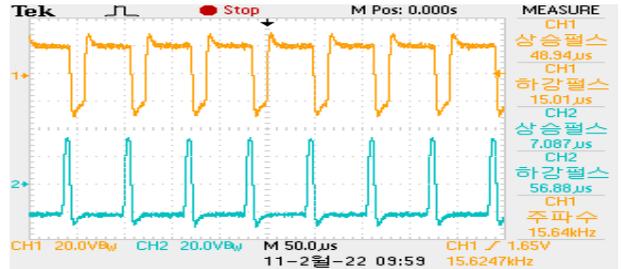
디지털 조속기의 터빈 모드 출력 특성은 그림 5와 그림 6, 그림 7과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 5는 TURBINE MODE 점점 ON시, unit frequency가 54.4[Hz]일 때의 파형을 각각 나타낸다. 이 그림에서와 같이, unit frequency가 57.26[Hz]에 도달하면 목표 주파수에 근접하여 개도 제어특성이 변경되고, upper & lower wicket gate의 개도 제어가 미세하게 조절되는 것을 알 수 있다.



[그림 5] TURBINE MODE 점점 ON시 파형



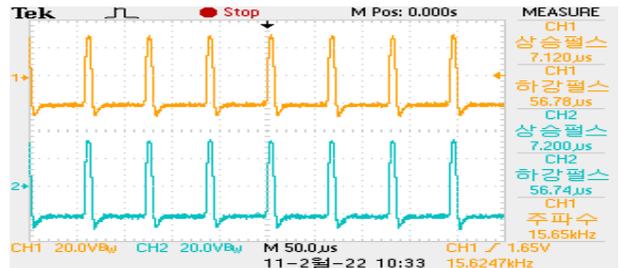
[그림 6] unit frequency가 54.4[Hz]일때 파형



[그림 7] unit frequency가 57.26[Hz]일때 파형

4.2.2 펌프모드

펌프모드는 전력망에서 수전하여 발전기를 모터로 전환하여 펌프로 기동하며, 이때 동작은 일정 시간 동안 그림 8과 같이 upper wicket gate 및 lower wicket gate를 완전 개방 신호를 출력하다가 그림 9와 같이 오실로스코프 CH1의 upper wicket gate개도와 CH2의 lower wicket gate의 개도, 즉 양수 시 가장 효율이 좋은 개도로 wicket gate의 개도를 고정한다[2].



[그림 8] pump mode on일 때 파형



[그림 9] pump mode on후 약 10초 후의 파형

4.2.3 수동모드 position feedback 추종시험

수동모드 position feedback 추종시험에서는 MANU1을 on 시킨 후 SM1(servomotor position 1)을 변경하며 시험하며

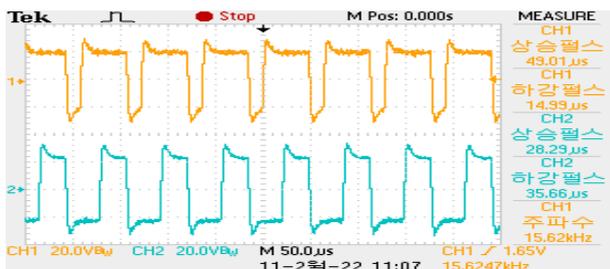
SM1은 오실로스코프 CH1이고 SM2는 CH2이므로 SM1 시험 시에는 CH1만 확인한다. DIST1은 6.55[mA]로 고정하고 SM1만 전류를 변화 시킨다. SM1을 8.65[mA]까지 증가시키면 그림 10의 오실로스코프 CH1의 파형과 같이 open 신호가 출력되고, 다시 8.40[mA]로 감소시키면 그림 11과 같이 개도가 변경되며, 8.20[mA]로 감소시키면 그림 12와 같이 close 신호를 출력한다.



[그림 10] SM1:8.65일 때 PWM 출력상태



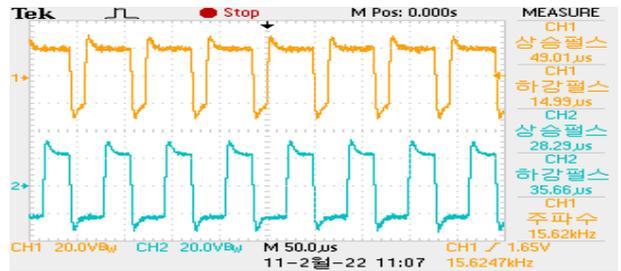
[그림 11] SM1:8.40일 때 PWM 출력상태



[그림 12] SM1:8.20일 때 PWM 출력상태

4.2.4 수동모드 manual switch 제어시험

MANU1 스위치를 on한 후 positive direction과 negative direction 방향으로 조작하여 시험하며, 수동모드의 동작 특성이 동일하고 결과도 같다. manual positive direction 스위치를 조작하면 그림 13과같이 wicket gate 개도가 close 동작의 포지티브 펄스폭을 출력하고 negative direction 스위치를 조작하면 그림 14와 같이 wicket gate 개도가 open 동작의 네가티브 펄스폭 파형을 출력하며 이 두 가지 동작은 한 번에 이루어지지 않고 스위치를 조작할 때마다 증가하는 형태로 동작한다.



[그림 13] positive direction on 시 PWM 출력파형



[그림 14] negative direction on 시 PWM 출력파형

5. 결 론

본 논문에서는 디지털 조속기의 재사용 가능 여부를 오프라인으로 진단하기 위한 양수발전소용 디지털 조속기의 고장진단장치를 구현한다. 유지보수를 위한 ASA(Analog signature analysis) 정밀점검 후 불량소자와 각종 소모품 교체정비를 마친 후, 이 고장진단장치로 작동 모드별 시험을 통과한 2세트의 디지털 조속기를 바탕으로 실제 기동시험을 수행한 결과, 모두 정상 동작하여 본 논문의 유효성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No. 20213030160080 & 20214910100010)로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] German Ardul Munoz-Hernandez Sa'ad Petrous Mansoor. Dewi Ieuan Jones. "Modeling and controlling Hydropower plants. Springer 2013.
- [2] Youngbum Lee, Kyung-Yup Kim, "A Study on Hydraulic Transient Phenomenon of a Pumped Storage Power Plant(I)" The KSFJ Journal of Fluid Machinery - Vol. 22, No. 5, pp.35-43, 2019. DOI : 10.5293/kfma.2019.22.5.044