

수력 발전기용 디지털 조속기의 고장진단장치 구현

이진호, 곽충근, 조성덕, 신건, 노대석
 한국기술교육대학교
 e-mail:k3nsh1n@koreatech.ac.kr

Implementation of Test Equipment for Digital Governor in Hydro Power Plant

Jin-Ho Lee, Chung-Guen Kwak, Sung-Duck Cho, Jian Shen, Dae-Seok Rho
 Korea University of Technology and Education

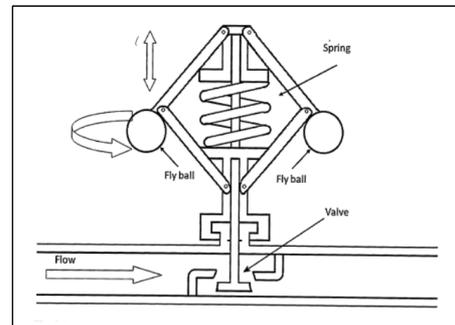
요약

국내 수력 발전소의 조속기는 수차발전기의 회전을 제어하여, 수력터빈으로 전기를 생산하는 핵심역할을 수행한다. 그러나, 이러한 조속기는 대부분 외산 설비로 설치되어 운용하고 있어, 제조사의 A/S가 불가능하거나 예비 부품을 확보할 수 없는 경우, 정비 가능한 협력업체가 없으므로 교체할 수밖에 없는 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 디지털 조속기의 재사용 가능 여부를 오프라인으로 진단하기 위하여, 수력 발전기용 디지털 조속기의 고장진단장치를 구현한다. 제안한 고장진단장치는 조속기부, status console부, 직렬 통신 컨버터부, 등으로 구성되며, status console부는 조속기의 상태를 감시 및 제어하고, 직렬 통신 컨버터부는 다수의 조속기와 하나의 status console을 연결하는 역할을 수행한다. 이 고장진단장치를 바탕으로, wicket gate 특성시험과 runner blade 특성시험을 통과한 3세트의 디지털 조속기에 대하여 기동시험을 수행한 결과, 모두 정상관정을 받아 본 논문의 유효성을 확인하였다.

1. 서론

국내 수력 발전소의 조속기는 연료공급 시스템, 수처리시스템, 터빈제어시스템, 등의 핵심역할을 수행한다. 그러나, 이러한 조속기는 대부분 외산 설비로 설치되어 운용하고 있어, 제조사의 A/S가 불가능하거나 예비 부품을 확보할 수 없는 경우, 정비 가능한 협력업체가 없으므로 교체할 수밖에 없는 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 디지털 조속기의 재사용 가능 여부를 오프라인으로 진단하기 위한 수력 발전기용 디지털 조속기의 고장진단장치를 구현한다. 이 시험장치는 조속기부, status console부, 직렬 통신 컨버터부, 등으로 구성되며, 여기서, status console부는 조속기의 상태를 감시 및 제어하고, 직렬 통신 컨버터부는 다수의 조속기와 하나의 status console을 연결하는 역할을 수행한다. 이 시험장치로 wicket gate 시험과 runner blade 시험을 통과한 3세트의 디지털 조속기를 바탕으로 실제 기동시험을 수행한 결과, 모두 정상관정을 받아 본 논문의 유효성을 확인하였다.

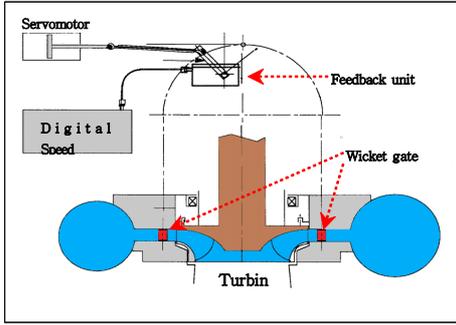
로, 초기에는 기계식 조속기를 주로 사용하였다. 여기서, 그림 1은 기계식 조속기 개념도를 나타내며, 스프링의 힘과 fly ball의 회전력에 의해 valve를 여닫으며 flow를 제어한다. 하지만, 제어기법의 발전에 따라 조속기는 그림 2와 같이, 전자식, 디지털 제어식으로 변화하고 있는 실정이다. 이 그림에서와 같이, feed back unit의 신호에 따라, 디지털 조속기에서 servo motor로 제어신호를 전달함으로써, wicket gate를 통해 flow를 제어할 수 있다.



[그림 1] 기계식 조속기(Flyball Governor)

2. 조속기의 제어 메커니즘

조속기는 원동기 등의 속도를 일정하게 제어해 주는 장치

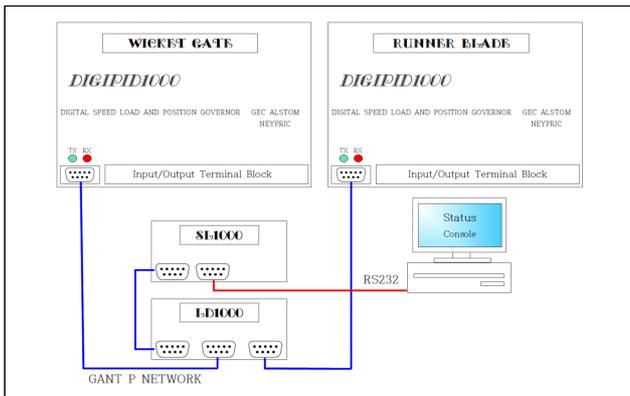


[그림 2] 디지털 조속기의 제어 메커니즘

3. 디지털 조속기용 고장진단장치의 구현

3.1 디지털 조속기 감시 제어장치부

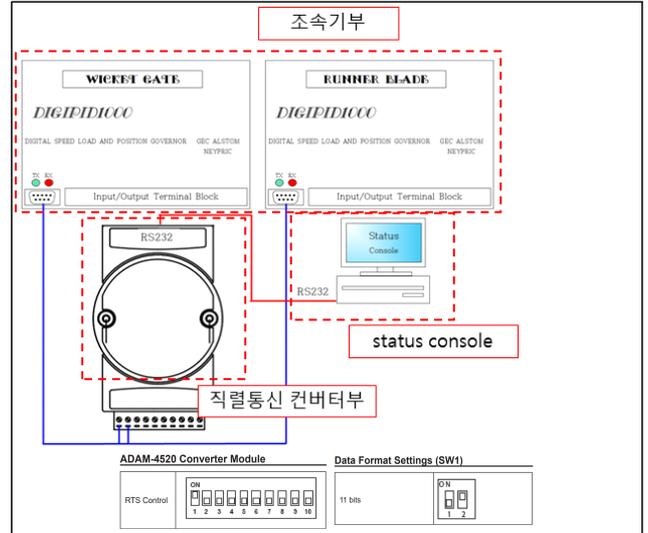
디지털 조속기용 감시 제어장치부의 네트워크 구성은 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 디지털 조속기 네트워크는 비공개 프로토콜(GANT P Network)로써 status S/W를 통해 감시 및 parameter upload/download를 수행한다. 본 연구에 해당하는 수차 발전기는 wicket gate와 runner blade의 제어를 수행하는 디지털 조속기로 하나의 시스템으로 구성한다.



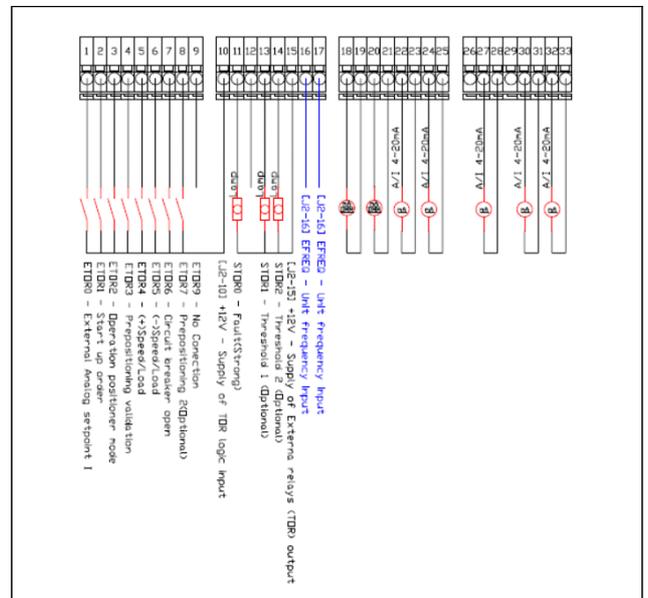
[그림 3] 디지털 조속기 시스템 및 네트워크 구성

3.2 전체 고장진단장치

디지털 조속기의 고장을 판단하는 전체 고장진단장치는 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 이 그림에서와 같이, 전체 시험장치는 조속기부, 직렬 통신 컨버터부, status console부, 등으로 구성한다. 여기서, status console 부는 조속기의 상태를 제어 및 감시하며, 직렬 통신 컨버터부는 조속기와 status console을 연결한다. 여기서, 직렬 통신 컨버터는 다수의 조속기와 하나의 status console의 안정적인 통신을 위해, RTS CONTROL을 지원하는 RS232 직렬 통신 컨버터를 선정한다. 또한, 전체 시험장치의 구성을 위한 입출력 구성도는 그림 5와 같이 나타낼 수 있다.



[그림 4] 전체 고장진단장치



[그림 5] 조속기 고장 진단장치의 입출력 구성도

4. 시험 결과 및 분석

4.1 시험 조건

디지털 조속기의 고장을 확인하기 위한 wicket gate 특성시험 조건은 표 1과 표 2와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 전류 신호를 0~20mA로 인가하여 조속기 전변 카운터에서 값이 유효한지 확인한다.

[표 1] wicket gate 시험 조건

Servo motor position [mA]	W/G Counter PT14	SANA2 [20,21] Feedback [mA]	Valve position [mA]	R/B Counter PT15 Ref.	R/B DIP1000 Counter PT15
0	0000	4.084	0	0000	0000
4	1524	8.715	4	1000	0972

8	3211	14.095	8	2000	1969
12	4902	19.766	12	3000	2961
16	5000	20.096	16	4000	3954
20	5000	20.098	20	5000	4951
27, 28에 전류 신호를 공급			30, 31에 전류 신호를 공급		

[표 2] TOR DIGITAL INPUT 기동조건

구분	ETOR							
	0	1	2	3	4	5	6	7
최초	0	0	0	1	0	0	1	1
가동	0	1	0	1	0	0	1	1

또한, runner blade의 특성을 확인하기 위한 시험조건은 표 3과 표 4와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 전류 신호는 wicket gate 특성시험과 동일하게, 0~20mA로 인가하여 조속기 전면 카운터에서 값이 유효한지 확인한다.

[표 3] runner blade 시험 조건

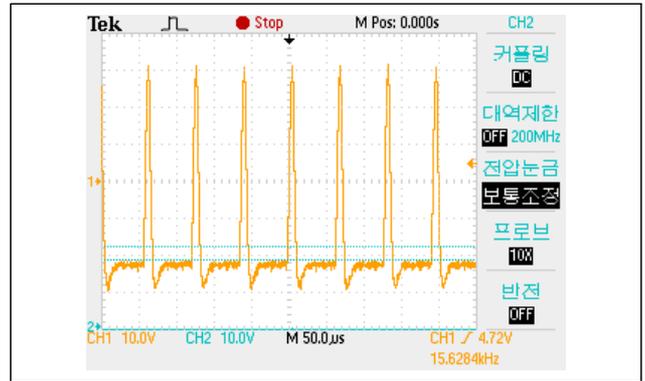
Servo motor position [mA]	W/G Counter PT14	SANA2 [20,21] Feedback [mA]	Valve position [mA]	R/B Counter PT15 Ref.	R/B DIP1000 Counter PT15
0	0000	3.998	0	0000	0000
4	0943	5.429	4	1000	972
8	2429	10.545	8	2000	1969
12	3910	16.150	12	3000	2961
16	5000	19.763	16	4000	3954
20	5000	19.764	20	5000	4951
27, 28에 전류 신호를 공급			30, 31에 전류 신호를 공급		

[표 4] TOR DIGITAL INPUT 기동조건 입력

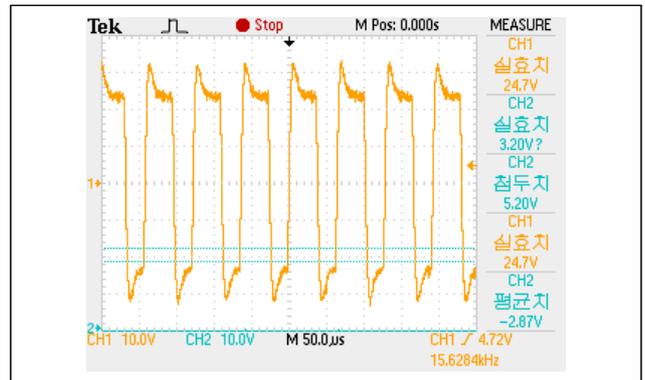
구분	ETOR							
	0	1	2	3	4	5	6	7
최초	0	0	0	1	0	0	1	1
가동	0	1	0	1	0	0	1	1

4.2 wicket gate의 출력 특성

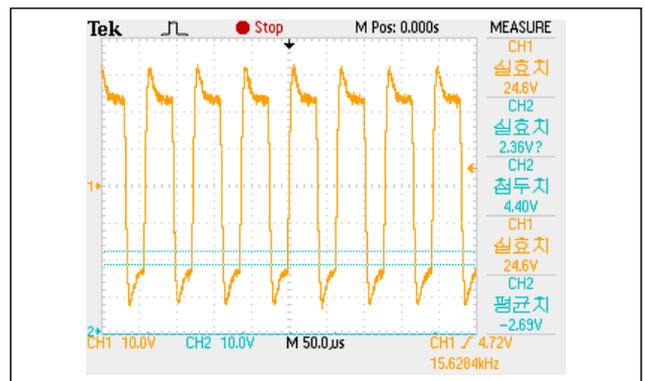
wicket gate의 출력 특성은 그림 6과 그림 7, 그림 8과 같이 나타낼 수 있다. 이 그림에서와 같이, sensor No. 2에 0mA~20mA 입력 후 ETOR 1 LOW ⇒ HIGH로 토크 신호를 입력하면 demand 대 feedback의 연산에 의해 일정 %로 gate를 open/close 시킨다. 여기서, 그림 6은 open 상태의 servo motor signal의 특성을 나타내고, 그림 7은 holding 상태의 servo motor signal의 특성을 나타내며, 그림 8은 set point 이후의 servo motor signal을 나타낸다. 또한, 그림 9는 전체 출력 특성을 나타내며, sensor No. 2에 입력되는 전류가 set point까지 open과 holding을 반복하며 계단 형태로 상승함을 알 수 있었다.



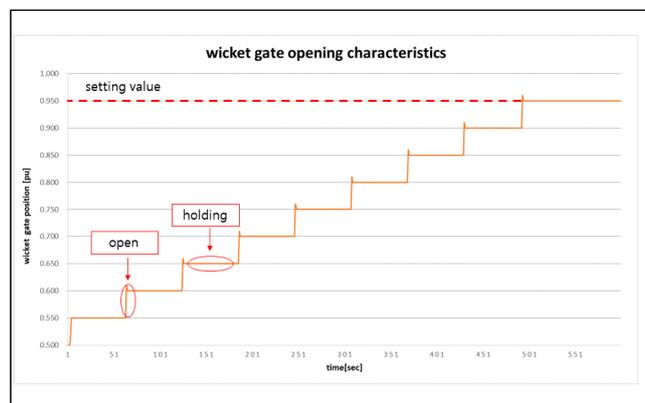
[그림 6] open 상태의 servo motor signal



[그림 7] holding 상태의 servo motor signal



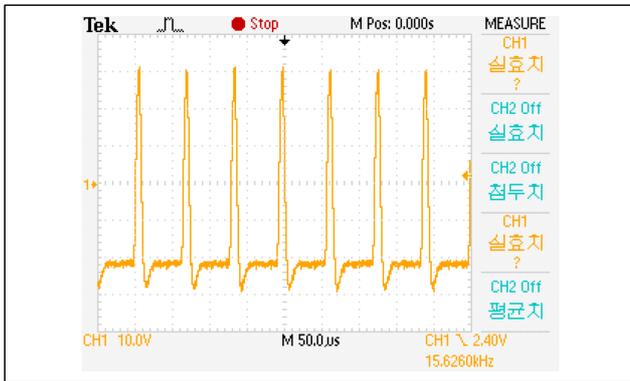
[그림 8] set point 이후의 servo motor signal



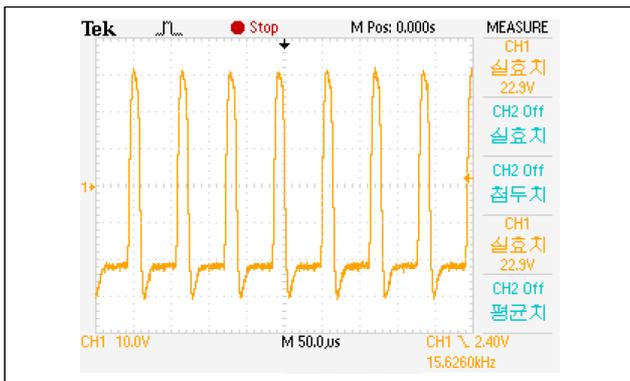
[그림 9] 전체 출력 특성

4.3 runner blade 출력 특성

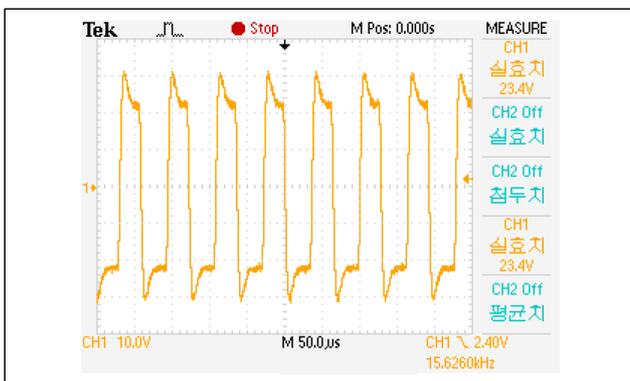
runner blade의 출력 특성은 그림 10~ 그림 14와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 10은 sensor No. 2에 입력되는 전류가 4mA에서 13mA까지의 servo motor signal을 나타내며, 그림 11은 13mA일 때, 그림 12는 14mA일 때, 그림 13은 15mA일 때의 servo motor signal을 나타낸다. 또한, 그림 14는 16mA에서 20mA까지의 servo motor signal을 나타낸다. 이 그림에서와 같이, set point보다 sensor No.2에 입력되는 전류가 작을수록 negative duty가 크고, sensor No. 2에 입력되는 전류가 set point에 가까워질수록 negative duty가 작아져 선형적으로 정지함을 확인하였다.



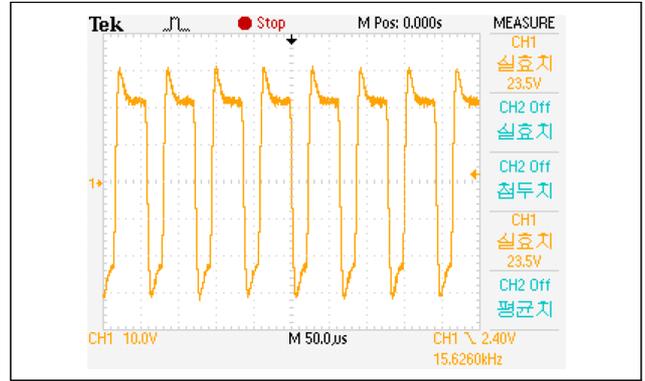
[그림 10] 4mA에서 13mA까지 servo motor signal 특성



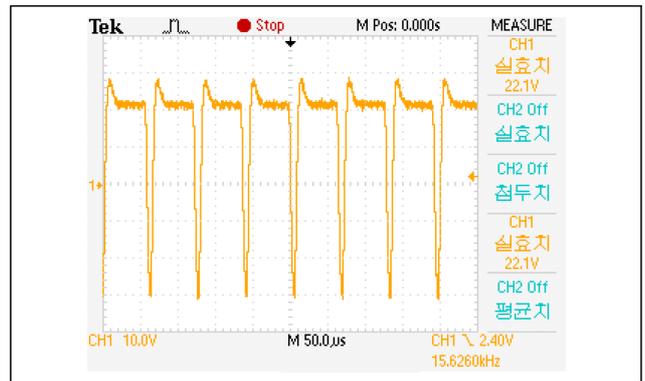
[그림 11] 13mA일 때 servo motor signal 특성



[그림 12] 14mA일 때 servo motor signal 특성



[그림 13] 15mA일 때 servo motor signal 특성



[그림 14] 16mA부터 20mA까지 servo motor signal 특성

5. 결 론

본 논문에서는 디지털 조속기의 재사용 가능 여부를 오프라인으로 진단하기 위한 수력 발전기용 디지털 조속기의 고장진단장치를 구현한다. 이 고장진단장치로 wicket gate 시험과 runner blade 시험을 통과한 3세트의 디지털 조속기를 바탕으로 실제 기동시험을 수행한 결과, 모두 정상관정을 받아 본 논문의 유효성을 확인하였다.

감사의 글

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

참고문헌

- [1] German Ardul Munoz-Hernandez Sa'ad Petrous Mansoor, Dewi Ieuan Jones. "Modeling and controlling Hydropower plants. Springer 2013.