

## 속도 및 제어시스템의 부조화에 따른 조속기 에러 원인 분석

**옥연호**, 오석영, 김기원, 변일환, 고영환, 임승현  
한국수자원공사

### The Analysis about Trouble of GOVERNOR

Yeon-Ho Ok, Sueg-Young Oh, Kim Ki-Won, Ill-Hwan Byun, Young-Hwan Go, Seung-Hyun Im  
Korea Water Resource Corporation

**Abstract** - Many errors are broken out when hydro power plants are operating connected to electric power system. To minimize ripple effects of accidents, a hydro power plant is separated by a circuit breaker consisting of each protection equipments. In this paper, I will analyze a cause of abnormal events of emergency stop and therefore I take measures and suggest solutions for similar cases.

#### 1. 서 론

수차발전기가 계통에 연계되어 운영중에는 여러 가지 에러가 발생할 수 있다. 이때 사고 과급을 최소화하기 위해 각 요소별로 보호설비 등을 구성하여 차단기를 개방하므로 계통으로부터 수차발전기를 분리한다. 본 논문에서는 발전기 정지시마다 비상정지 되는 이상 현상에 대한 원인을 분석하고 대책을 강구하여 유사 사례에 대한 해결책을 제시하고자 한다.

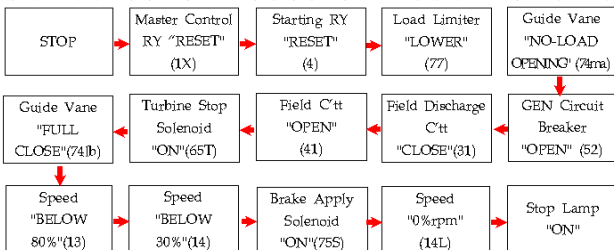
#### 2. 본 론

##### 2.1 현상

- ① 수차발전기 정지중 86-2(Speed Fail 1 + Speed Fail 2) 동작
- ② 발전기 완전 정지후에도 86-2 사고가 Reset 되지 않아 재 기동 불가
- ※ 86-2 : 기계적인 부분의 사고시 동작하는 Relay

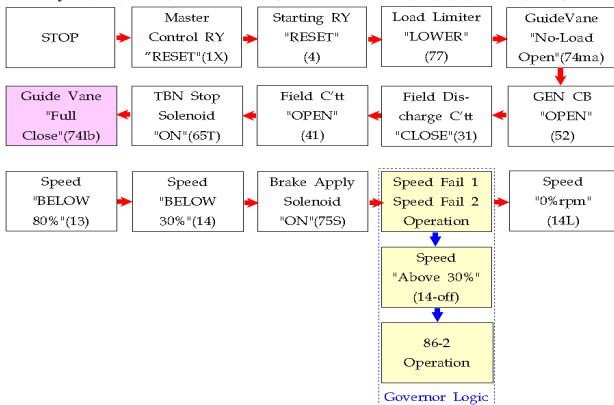
##### 2.2 정지시 86-2 동작 Sequence

① 정상적인 수차 발전기 정지  
정지 명령후 제어순서를 블럭다이어그램으로 나타내면 그림1]과 같다



〈그림 1〉 정상적인수차발전기 정지

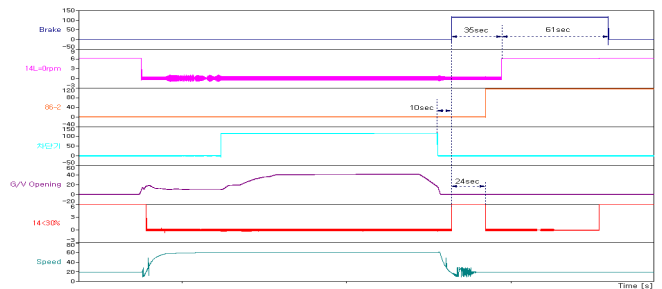
② 86-2 동작시 정지  
발전기 정지 명령후 Brake 가 동작(ON)하는 것까지는 정상적이거나 14Relay 가 재 소자(Off) 되면서 86-2 가 동작하였다. (그림2 참조)



〈그림 2〉 86-2 동작시 정지

##### ③ 86-2 동작시 정지시험

이에 대해 시험 한 결과 그림3]처럼 14Relay 가 정격속도의 30%이하에서 동작되어 발전기 재 起動前까지 계속 동작되어 있는 Relay이나, 24초 후 소자(Off)되는 현상이 발생하고 86-2 가 동작하였다.

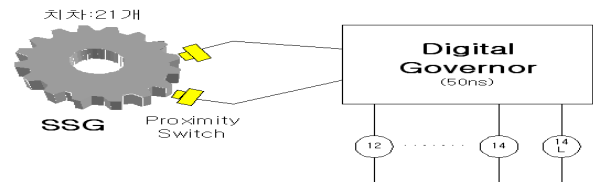


〈그림 3〉 86-2 동작시 정지시험

##### 2.3 속도 검출의 원리

###### ① 속도 검출의 원리

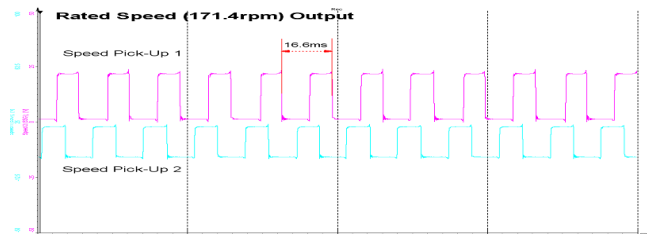
속도 검출 장치는 그림4] 처럼 발전기와 동일하게 회전하는 SSG (Speed Signal Generator)에 근접(Proximity Switch) 센서를 통한 신호를 조속기에 입력한다.



〈그림 4〉 속도 검출 개념도

※ 12(과속도 계전기:140%),14(저속도계전기:30%),14L(저속도계전기:2%)

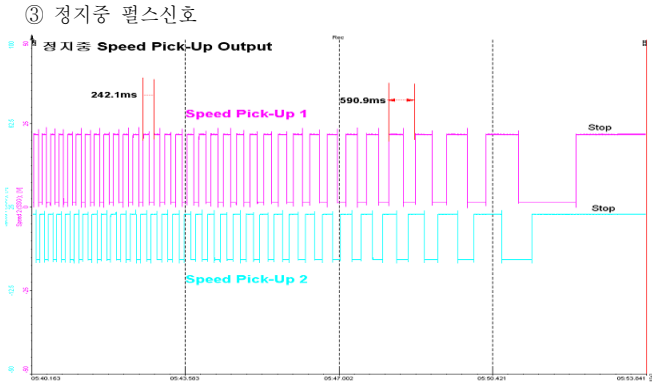
###### ② 정격속도 펄스신호



〈그림 5〉 정격속도 Pulse 신호

$$\begin{aligned} \text{Pulse}(50\text{ns}) & \quad \text{1초간 Pulse 수} = \frac{1}{16.6\text{ms}} \approx 60 \\ \text{Pick-Up 출력 (조속기 입력)} & \quad \text{1분간 Pulse 수} = 60 \times 60\text{초} = 3600 \\ \text{Counter} & \quad \text{속도}(rpm) = \frac{1\text{분간 Pulse 수}}{\text{치차}} = \frac{3600}{21} = 171.4 \end{aligned}$$

〈그림 6〉 정격 속도시 속도 계산



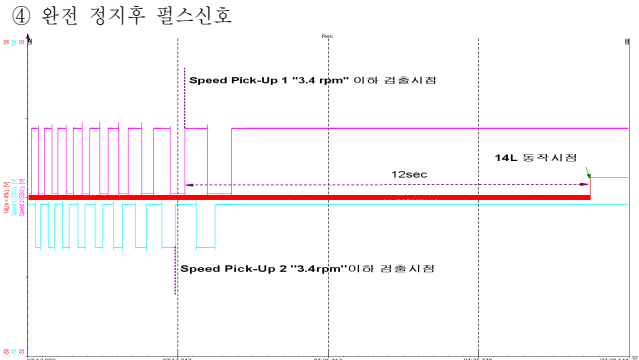
〈그림 7〉 정지중 펄스신호

Pulse(50ns) 1초간 Pulse 수 =  $\frac{1}{241.1ms}$  = 4.178

Pick-Up 출력 (조속기 입력) 1분간 Pulse 수 =  $4.178 \times 60초 = 249$

Counter 속도(rpm) =  $\frac{1분간 Pulse 수}{치차} = \frac{249}{21} = 11.9$

〈그림 8〉 정지중 속도 계산



〈그림 9〉 완전 정지후 펄스신호

Pulse(50ns) 1초간 Pulse 수 =  $\frac{1}{\infty} = 0$

Pick-Up 출력 (조속기 입력) 1분간 Pulse 수 =  $0 \times 60초 = 0$

Counter 속도(rpm) =  $\frac{1분간 Pulse 수}{치차} = \frac{0}{21} = 0$

〈그림 10〉 완전 정지후 속도 계산

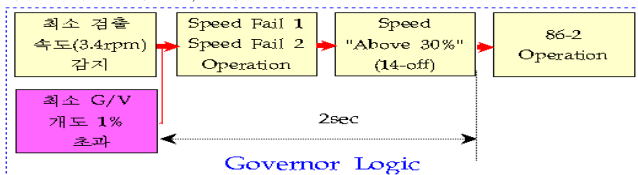
⑤ 최소 검출 속도(3.4rpm)의 원리

수차 발전기가 완전 정지되면 조속기의 Counter 는 최대값으로 계속 (∞)하여 "0"rpm 으로 계산된다. 그러나 최대값으로 계속 계수되는 것을 방지하기 위해 조속기에서는 최소 검출 속도(3.4rpm)와 최소 검출 Guide Vane 개도(1%)를 설정하여 동시에 위의 값 이하이면 계수를 중지한다.

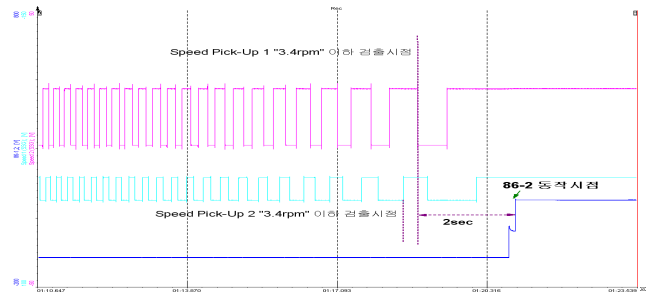
⑥ 최소 검출 속도(3.4rpm) 12초 후 14L 동작 (조속기 내부 Logic)

2.4 86-2 동작 원인 분석

조속기에서 인식하는 수차발전기 완전 정지 條件中 최소검출속도(3.4rpm)는 감지했으나 Guide Vane 개도가 최소 검출 Guide Vane 개도 1% 를 초과할 경우 86-2 Relay 가 동작하며, 동작 Block Diagram 과 시험 결과는 그림 11,12와 같다.



〈그림 11〉 86-2 동작시 조속기 Logic



〈그림 12〉 86-2 동작 시험

2.5 86-2 가 복귀되지 않는 문제

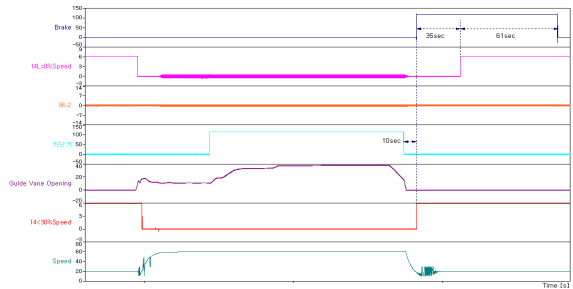
86-2 사고는 정지시에 Guide Vane 이 완전폐쇄되고 속도가 3.4rpm 에 도달했음에도 불구하고 조속기에서 Guide Vane 이 1%이상 개방된 것으로 검출함으로서 발생되었고, 원인이 제거되지 않은 상태에서 복귀되지 않는 것은 정상적이며, 향후 이와 같은 경우가 재발생시에는 조속기 PLC 내부 Logic 설정 값을 입시 변경후 복귀하는 것이 바람직하다.

2.6 설정 변경 및 검교정

- Guide Vane 이 전폐(Full Closed) 설정값을 Guide Vane 개도 1% 에서 2% 변경하여 검출 예리에 대해 대비



〈그림 13〉 설정 변경 부분



〈그림 14〉 설정치 변경후 수차발전기 기동정지 Graph

- GVT(Guide Vane Transmitter) 검 · 교정

Guide Vane 개도 검출 장치인 GVT는 진동 등으로 그 특성이 변화하므로 정기적인 검 · 교정이 필요하며, GVT의 현재 설정 값은 <표1>과 같다.

〈표 1〉 GVT 설정 값

Servo-Motor Stroke	GVT Output	Governor Indicator
0~600mm	4~20mA	0~100%

3. 결 론

수차발전기는 계통연계 운영중에는 계통주파수에 따라 출력이 변동 (Governor Free)하므로 주파수 검출의 정밀도는 매우 중요하다. 본 논문에서 언급된 정지중 비상정지에 대한 원인 분석 결과, 주파수(속도)검출은 정상적이었으나 Serve-Motor Stroke 의 검출 오류로 인하여 수차가 완전정지 되었음에도 개방된 것으로 인식되어 발생된 현상이었다. 또한 이를 통해 수차발전기의 각종 Sensor 의 중요성을 깨닫는 계기가 되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김현한, "해양환경을 고려한 조력발전소 조속기 운영특성 분석", 대한 전기 논문지, REP024, 2010
- [2] 옥연호, "충주2수력 정지시 비상정지 현상 보고서", K-Water, 2008
- [3] 매뉴얼, "TC-1703 Manual", Andritz, 2008