

### 단독계통 수차발전기 과속도 현상

목연호\*, 이은웅\*\*, 백두현\*, 권영준\*, 임승현\*  
 한국수자원공사\*, 충남대학교 전기공학과\*\*

### Over Speed of Turbine-Generator on Island Line

Ok, Yeon-Ho\*. Lee, Eun-Woong\*\*. Paik, Doo-Hyun\*. Kwon Young-June\*. Lim, Seung-Hyun\*.  
 Energy Business Dept. Korea Water Resource Corporation\*, Chungnam National University Electric\*\*

**Abstract** - 일반적으로 특정 지역에 특정 발전기만 전력을 공급할 때 이를 단독 계통이라고 한다. 선진국에서는 오지 혹은 섬 등에 이용하고 있으나 전력의 제한 송전을 하는 후진국에서는 일부 지역에 전원을 공급하기 위하여 소수력이 많이 이용된다. 이번 논문에서는 아프카니스탄 이스타리프 단독 계통 발전기의 과속도 현상에 대한 원인을 검토하고 향후 이러한 단독 계통 개발시 참고자료로 활용코자한다.

#### 1. 서론

본 논문의 대상 설비는 그림1-1과 같이 카불(Kabul)의 북(북서쪽 55 km지점) 이스타리프(Istalif) 지역에 2004년6월부터 29개월간 건설한 소수력 발전소이다.

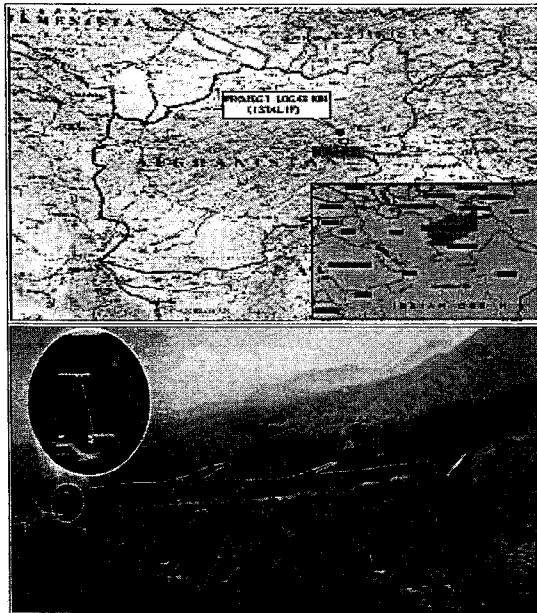


그림 1-1 Istalif 소수력 지점

2대의 발전기중 2호 발전기가 기동중 과속도계전기에 의한 비상정지로 8개월간 발전 운영을 중지한 상태이며 낙차 41m 수차발전설비의 제원은 표1-1과 같다.

표 1-1 수차발전기 및 보조기기 제원

Turbine	Generator	GOV & AVR
Defendable Ltd.	Marathon Corp.	Thomson&Marathon
122 kW*2Units	150/120kVA/kW	PMG Power
0.35 m3/s	4P, 400V, 50Hz	Closing Time(9S)
41 m	1500 rpm	Opening Time(9S)

#### 2. 고장 원인 분석

##### 2-1 단선도

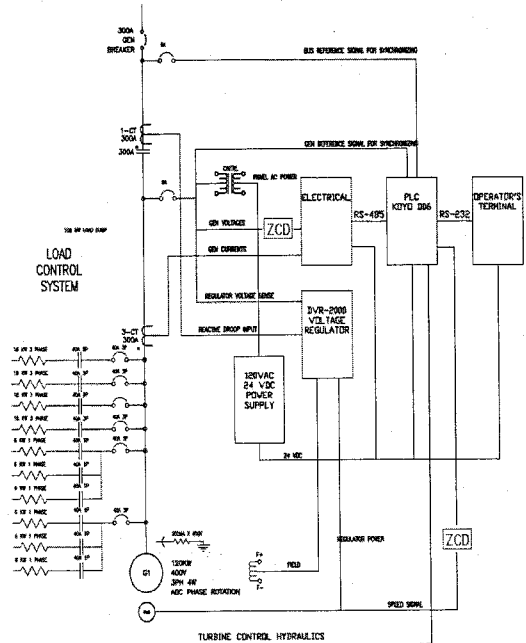


그림 2-1 발전기 단선도

\* PMG(Permanent Magnetic Generator) : 영구 자석 발전기로서 속도 검출 및 소형 발전기에서는 여자시스템의 전원으로 사용된다.

\* ZCD(Zero Crossing Detector) : 정현파의 교류 전압을 구형파로 변화시켜 주파수를 검출함으로써 속도를 감지한다.

##### 2-2 현상 파악

###### □ 발전기 기동 순서

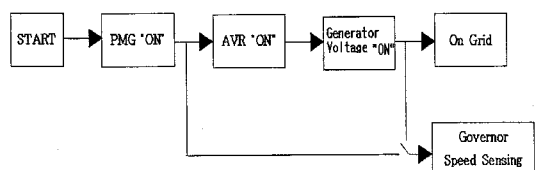


그림 2-2 발전기 기동 순서

- 발전기 기동 버튼을 누르면 Inlet V/V 가 열리고 수차가 회전하면, 속도에 비례하여 PMG에서 속도 신호가 출력된다.

- PMG 출력은 여자시스템(AVR)에 전원을 공급하고 또한 250Hz 의 주파수가 조속기에 입력된다.

- 속도가 어느 정도 상승하면 (일반적으로 정격의 80%rpm) 여자시스템이 동작한다.

- 여자시스템을 통하여 발전기 전압이 생성되면 발전기 전압 단자 R-T 의 주파수 성분(50Hz) 이 조속기에 전환 입력된다.

- 계통에 연계된다.

- 계통에 연계된 후에는 소 출력으로 운영되며 계통 부하에 따라 Load Dump 로 출력 제어한다.

□ 과속도 현상

No.2 수차 발전기가 起動 中 7,000 rpm 을 나타내어 계통에 연계할 수 없으며 과속도 계전기로 발전기 TRIP 되는 현상이 반복되나 발전기 전압은 정상적이다.

※ 과속도 계전기 설정 : 1,800 rpm(정격의 120%rpm)  
한시 특성 : 2 sec

2-3 원인 분석과 결과

□ 시험 결선도

속도가 7,000 rpm 으로 이상 검출되므로 조속기에 입력되는 속도 값과 ZCD 에 입력되는 값을 측정하며 계측을 위한 결선도는 그림2-3 과 같고, 각 채널별 특성 값은 표2-1 와 같다.

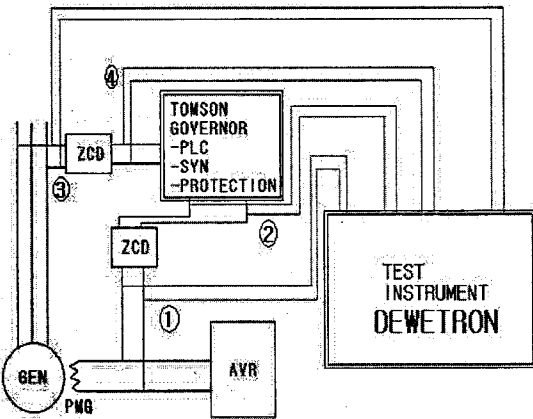


그림 2-3 시험 결선도

표 2-1 각 Channel 별 특성 값

Ch	Description	Specification
1	ZCD Input (=PMG Output)	AC 165V , 250Hz
2	ZCD output for PMG	a square wave , 250Hz
3	ZCD Input for Generator	AC 400V , 50Hz
4	ZCD output for Generator	a square wave , 50Hz

□ 시험 결과-1(Sensor 입력부)

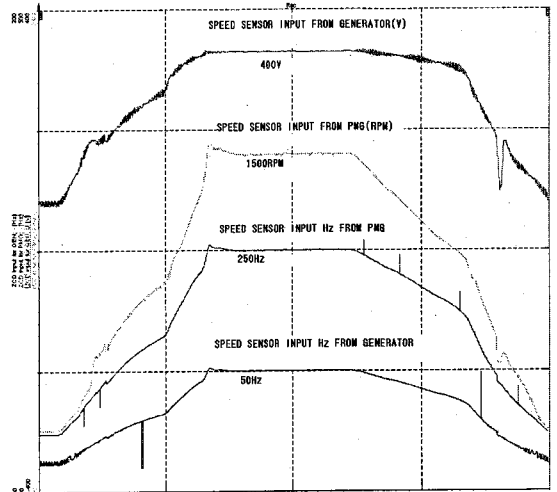


그림 2-4 속도 Sensor 입력 부분

그림 2-4와 같이 속도 Sensor(ZCD)로 입력되는 값은 표2-2과 같고 이상이 없다.

표 2-2 각 Channel 별 특성 값

Channel	정상 값	시험 값
ZCD Input for Generator (Voltage)	AC 400V	AC 400V
ZCD Input for PMG (rpm)	1500rpm	1500rpm
ZCD Input for PMG (Hz)	250Hz	250Hz
ZCD Input for Generator (Hz)	50Hz	50Hz

□ 시험 결과-2(Sensor 출력부)

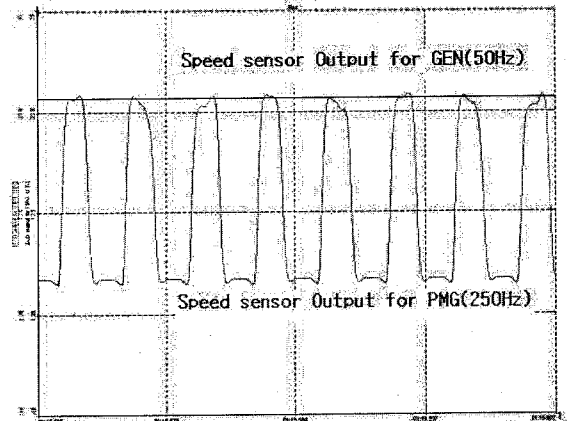


그림 2-5 속도 Sensor 출력 부분

그림 2-5 와 같이 속도 Sensor 로 출력되는 값 중 발전기 전압 단자에서 출력되는 구형파는 나타나지 않으므로 발전기 용 ZCD 가 소손된 것으로 판단된다.

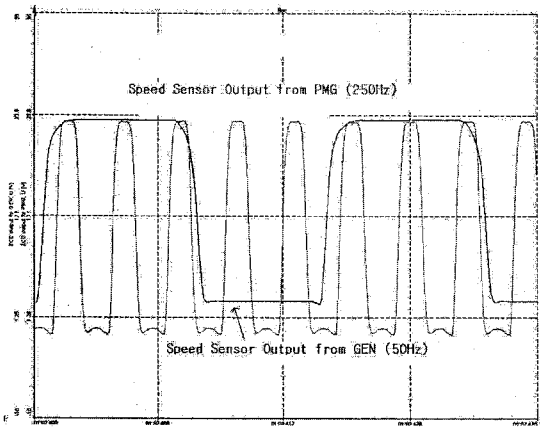


그림 2-6 ZCD 교체 후 속도 Sensor 출력 부분

손손 된 ZCD 를 교체 후 시험 한 결과, 과속도 계전기 동작없이 정상적으로 계통에 연계되었으며 ZCD 출력도 그림 2-6 과 같이 정상적이다.

#### 2-4 ZCD 고장 원인

ZCD 의 기본적인 회로는 그림2-7 과 같다. 2개의 Zener Diode 를 통하여 + 전압 만 Transistor 를 도통하여 구형파 High 를 발생시키고 - 전압은 Transistor 를 도통하지 못하고 구형파 Low 를 발생시키는 원리이다.

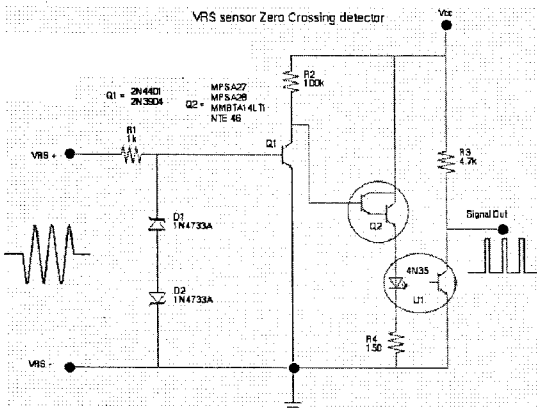


그림 2-7 ZCD 기본 원리도

이번 과속도 현상은 다이오드 혹은 Transistor 의 손손 으로 신호 출력이 계속 24V를 발생하였고, ZCD 의 손손 원인은 Istalif 소수력이 단독 계통으로 전압과 주파수가 안정적이지 못해 발생된 것으로 판단되며, 이러한 전자 소자의 손손이 향후 빈번하게 발생 될 우려가 있으므로 여분의 예비품 확보가 요구된다.

#### 2-5 정상적인 수차 발전기 기동 정지

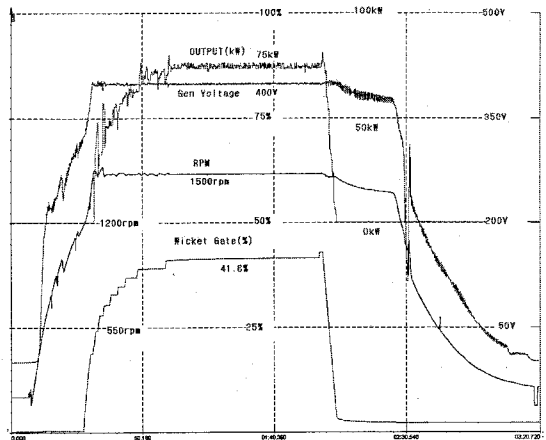


그림 2-8 정상적인 발전기 기동 정지 그래프

#### 3. 결 론

수차발전기에서 속도는 여자시스템을 동작시키고 계통의 부하를 조절하는 매우 중요한 요소이다. 그래서 대형 발전기에는 2~3개의 Sensor 센서를 설치하여 신뢰성을 높이나 Istalif 소수력에 사용된 속도 Sensor는 그림 3-1 처럼 매우 조잡하게 제작되어 고장의 원인이 되고 현장에서 유지 보수할 수 있는 기술력을 보유하지 못한 실정 이므로 향후 단독 계통 수차 발전기 건설시에는 과전압 혹은 주파수 변동에 견딜 수 있는 구조의 sensor 설치가 필요하다.

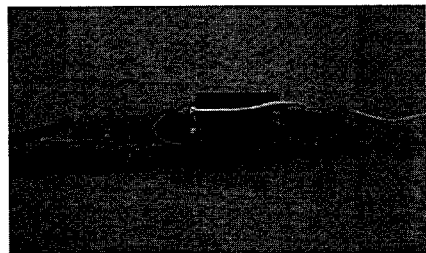


그림 3-1 ZCD 내부 결선

또한, 단독 계통의 열악한 전력 사정을 고려하여 속도 계전기의 한시특성을 5~10초로 변경하여 운영하므로 Noise 등 불필요한 속도계전기 오동작으로 수차발전기가 정지되는 것을 지양해야 할 것으로 판단된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] IEEE 421.1 "Definitions for excitation systems for synchronous machines", IEEE Power Engineering Society, 1986.01.01
- [2] 옥연호, 이은웅, "발전기 여자시스템의 에러 해석", 2005학계학술대회 논문집 B권, pp. 1047~1051, 대한전기학회, 2005.7
- [3] P.M. Anderson, A.A. Fouad "POWER SYSTEM CONTROL AND STABILITY", pp. 401~403, McGraw-Hill, Inc, 2003.
- [4] 옥연호, 이은웅, "여자시스템 정지시 문제점에 대한 분석", 2007학계학술대회 논문집, 대한전기학회, 2007.7