

터빈 속도검출신호의 자동 백업 장치 개발

김 관 행* · 김 호 찬**

Development of Automatic Backup Device for Turbine Speed Signal Detector

Kwan-Haeng Kim* and Ho-Chan Kim**

ABSTRACT

A speed detector of governor, which control the output and speed of a generator, is important because a detector failure can have caused the shutdown of a power plant. Thus, it is necessary to introduce the switching method with two complementary detectors. This paper presents a comparative study of speed signal detector switching methods. One method has been tested at a power plant in Buk-cheju and the approach described here is expected to be of wide applicability.

Key words : Governor, Speed signal detector, Gas turbine, PMG, MPU

1. 서 론

발전기의 출력과 속도를 제어하는 조속기(Governor)는 원동기 속도를 감지하여 이를 조속기의 제어장치(Feedback)신호로 하는 속도검출은 필수적인 요소이다. 조속기에 사용되는 회전속도 검출방법은 물리적(압력, Fly Wheel 등)인 방법과 전기적(PMG, Encoder, Magnetic Pick up 등)인 방법을 이용하고 있으나 최근 설비의 대형화, 자동화, 정확도, 측정의 편리 등으로 후자가 많이 이용되고 있다. 그러나 대

부분의 속도검출기는 원동기와 가장 가까운 곳에 위치하므로 진동, 고열 등이 있는 현장에 설치되어 오동작, 단자플럼 및 특성변화 등으로 속도 신호가 상실되어 불시에 발전정지¹⁾가 되는 사례가 많이 발생되고 있다. 최근 새로운 설비들은 장치의 이중화되어 속도신호 상실로 인한 발전정지는 개선되었지만 아직도 구 설비의 조속장치는 개선된 형태의 기기로 교체시 비용이 매우 높고 관련 기기의 특성 파라미터의 정확한 연구가 이뤄져야 하는 등 어려움이 많아 취약점을 가지고 있어도 이를 계속적으로 사용할 수밖에 없는 실정이다.

본 논문에서는 속도신호가 이중화 되어있지 않은 구 형태의 조속설비에서 가장 취약한 속도검출계통의 이중화를 연구하여 발전설비의 신뢰성을 향상시키고

* 제주대학교 산업대학원
Graduate School of Industry, Cheju Nat'l Univ.
** 제주대학교 전기공학과
Dept. of Electrical Eng., Cheju Nat'l Univ.

자 한다. 이를 위해서는 조속기의 관련 기술과 전기식 속도검출기의 원리, 속도검출 이중화를 위한 여러 가지 방법과 이에 따른 실험을 하고 적용대상 발전설비를 선정, 직접 발전 플랜트에 적용하여 그 신뢰성과 유효한 가치를 입증할 수 있도록 한다.

II. 본 론

2.1 발전설비 조속기

발전설비의 조속장치²⁾는 터빈에 들어가는 입력(증기량, 연료량 등)을 조절 회전속도 및 부하조절을 한다. 발전용 조속기는 정속도 기기이므로 발전기가 전력계통과 병렬 운전하는 경우 터빈 회전속도는 계통 주파수에 전기적으로 구속되어 조속장치의 조속은 회전수가 변하지 않고 부하변화로 나타난다. 또한 발전기 고장시는 즉시 터빈의 입력량을 차단하여 과속을 방지하며 가동시는 속도조절, 정상 운전시는 부하조절을 하는 역할을 한다. 일반적인 조속기 계통도는 Fig. 1과 같으며³⁾ 속도감응장치에 따라서 다음과 같은 형식으로 분리된다.

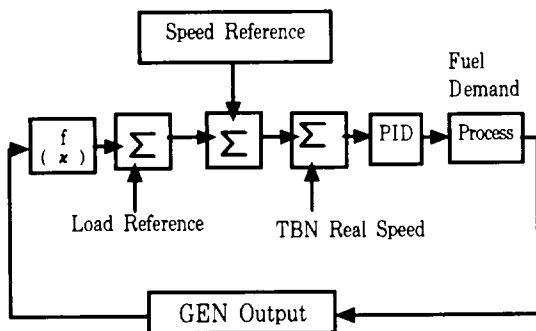


Fig. 1 Governor scheme in a generator system

- 기계식 조속기(Mechanical Hydraulic Control Governor)는 원동기 축에 직결 또는 기어에 연결되어 회전하는 원심추(Fly Weight)의 원심력(이 힘은 회전속도의 제곱에 비례하고 회전축에서 물체까지의 거리에 비례하는 변화)을 이용하여 속도를 조정한다.
- 유압식 조속기(Oil Hydraulic Control Governor)

는 원동기의 축에 설치한 원심펌프의 속도변화에 따른 유압변동(원동기 회전속도에 비례)을 이용하여 속도를 조정한다.

- 전기식 조속기(Electric Hydraulic Control Governor)는 원동기의 회전속도를 전기적으로 검출하여 이 속도신호와 설정된 속도와의 차(정정 신호)를 만들고 이를 제어유압력을 변환시켜 속도조정한다. 또한 최근에는 설비의 대형화에 따른 자동화 요구와 마이크로 프로세서의 기술발달로 경제성, 안정성, 속응성이 풍부한 제어기능을 가진 디지털 전기식 조속기가 사용되어지고 있다.⁴⁾

2.2. 주요 전기식 속도 검출기 원리

현장에서 주로 이용되는 전기식 속도검출기 중 MPU와 PMG의 원리⁵⁾를 간단히 살펴본다.

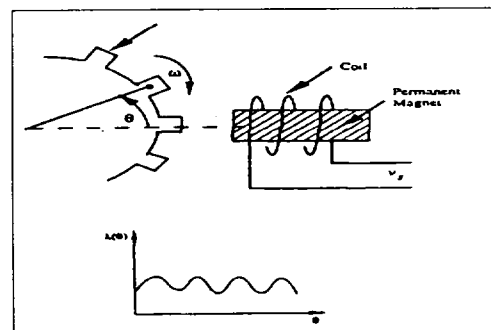


Fig. 2 Principle of MPU

2.2.1. MPU(Magnetic Pick up)

MPU의 원리는 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다. 치차 모양을 한 강자성체의 디스크가 회전체에 부착되어 있고, 코일이 감겨진 영구자석이 치차에 가깝게 위치되어 있다. 이때 페러데이의 법칙에 따라 코일에 유도되는 전압은 자속변화에 비례하고 감지된 전압의 변화로부터 회전속도 내지는 각속도를 측정할 수 있다. 이러한 자기유도 센서는 구조가 간단하고 대형 회전 기기의 플라이휠을 이용할 수 있으므로 별도의 기구 없이 바로 적용이 가능하며 발전기의 전기식 조속기의 속도검출기로 가장 많이 사용되고 있다. 이때 발생하는 MPU의 출력은 다음과 같다.

$$emf = -d\Phi/dt = -d\Phi/d\theta \cdot d\theta/dt = -\omega d\Phi/d\theta$$

다만, 회전속도에 따라서 출력전압이 변화하고 정지된 상태에서는 출력이 없는 단점이 있다. 현장에서 사용되는 MPU는 Fig. 3과 같이 설치된다.

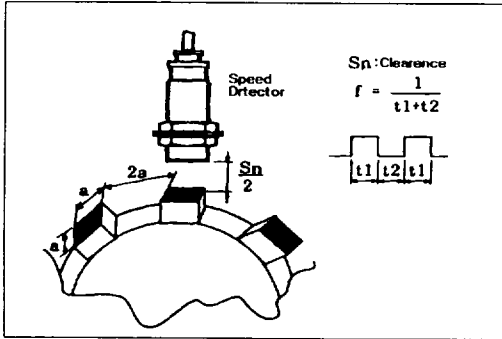


Fig. 3 Construction example of MPU

2.2.2. PMG(Permanent Magnetic Generator)

회전체 축에 교류발전기를 설치하는 방법으로 원리는 Fig. 4와 같다. 발전기 회전수에 따른 전압변화 ($V = k\phi N$) 혹은 주파수 변화 ($f = NP/120$)를 이용 회전수를 측정한다. 여러 가지 신호를 이용할 수 있으나 원동기 축에 연장하여 설치해야 하며 구조가 복잡하고 고장이 많다.

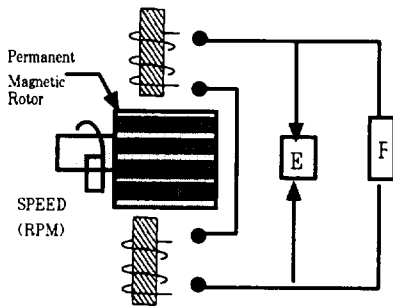


Fig. 4 Principle of PMG

2.3. 적용 대상설비의 현황 및 문제점

2.3.1. 설비 현황

북제주 화력 가스터빈 165MW(55MW×3)는 최근 제주지역의 높은 전력 수요 증가에 대처함은 물론 계통상황에 따라 긴급히 운전할 수 있는 비상발전기의 역할과 현재 운용중인 전력 해륙연계(HVDC) 운전

시 동기조상기로 다양하게 운용되고 있다.

북제주 발전소에서 동작되고 있는 발전시스템 구성은

- ◆ Gas Generator 2기/Unit
- ◆ Free Turbine 2기/Unit
- ◆ 발전기 1기/Unit

이고 제어 시스템은 다음과 같이 구성되어 있다.

- ◆ 연료제어 조속기
- ◆ 시퀀스 제어기

2.3.2. 속도 제어시스템의 문제점 고찰

가스터빈에서 속도 검출신호의 이용 목적은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

- ◆ 회전속도 검출 센서는 MPU를 이용하고 있다
- ◆ 회전속도 검출 신호의 이용은 기기 운전 이상 유무 판단과 기동시 속도제어와 계통병입후 출력제어로 사용된다.

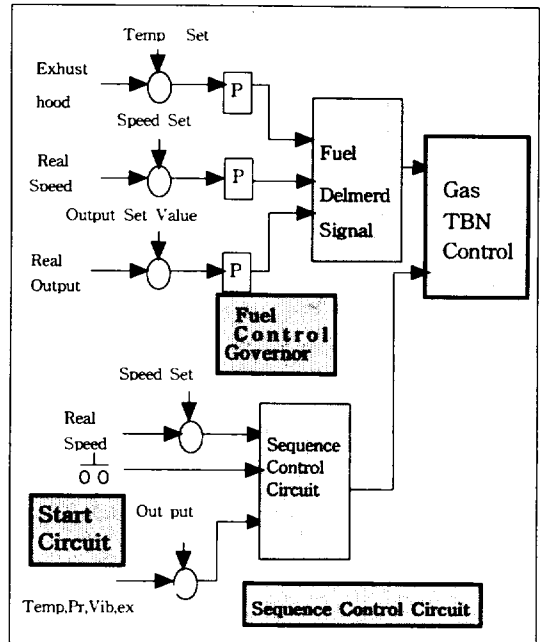


Fig. 5 Control system block diagram in a gas turbine

- ◆ 속도센서(Speed Sensor)는 Fig. 6과 같이 엔진 당 3개가 설치되어 있으며 각각의 사용목적에 따라 다르다. 검출신호1은 조속기 제어용

신호이고, 검출신호2는 시퀀스 제어용 신호이며, 검출신호3은 지시(Indicator)용 신호이다. 기존의 조속기 및 시퀀스 제어시스템의 문제점⁶⁾은 다음과 같다.

- ◆ 엔진당 3개의 속도센서 검출신호 1과 2중 어느 한 개라도 검출신호가 없으면 발전 정지된다.
- ◆ 속도센서의 설치위치가 고온 및 부식성 가스가 채류하는 곳에 위치하여 오동작 및 특성 변화를 일으킬 수 있다(타 기기들도 대부분 고열, 진동 등이 있는 곳에 설치되어 있다)
- ◆ 현재 속도센서의 위치변경은 기기의 구조상 매우 어렵다.
- ◆ 속도센서의 오동작 및 특성 변화로 인하여 년 3회 정도 정도가 발전 정지됨¹⁾으로 양질의 전력생산과 효율적인 발전운영에 저해 되고 있다.

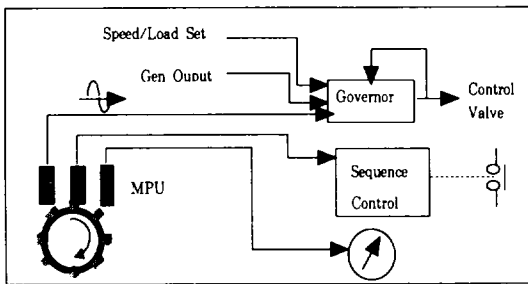


Fig. 6 The configuration of speed detector of a gas turbine in Buk-cheju

2.4. 속도 검출신호 이중화에 관한 연구

2.4.1. High Signal Selector(HSS)를 이용한 이중화 장치

최근 이용되고 있는 속도신호 이중화 장치이다. Fig. 7과 같이 2개의 MPU에서 검출된 주파수를 이에 해당되는 직류전압으로 변환시킨다. 이 신호는 HSS 기능을 이용하여 이중 가장 높은 신호(3개의 신호일 경우 중간값) 1개만을 출력으로 선택하며 이 출력은 내부적으로 조속기용, 속도 릴레이용, 지시계 등의 신호로 분배되어진다. 만약 운전중 2개의 MPU신호중 한개가 고장이 발생되더라도 High Selector에서

높은 신호만을 선택함으로써 발전 정지 없이 운전할 수 있다. 그러나 복제주 가스터빈 시스템에 적용시에는 V/F 변환장치가 필요하므로 시스템이 복잡해지고 오차가 클 수 있다

2.4.2. Signal Detector(SD)를 이용한 이중화 장치

Fig. 8과 같이 2개의 MPU에서 검출된 속도신호의 건전성 유무를 판단할 수 있도록 하여 1개 신호가 이상시에는 Analog Switch에 의해 건전한 신호로 고속 절체가 되도록 한다

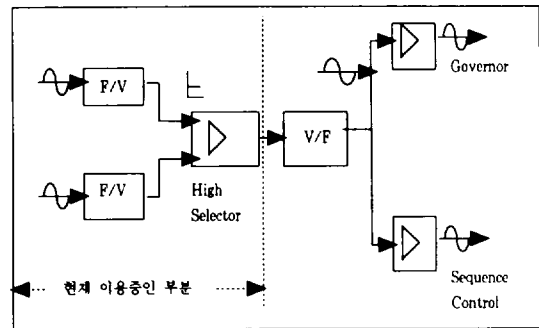


Fig. 7 The scheme of a speed signal switching device using a high signal selector

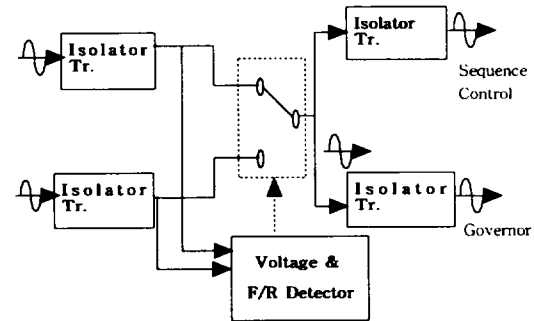


Fig. 8 The scheme of a speed detector switching device using frequency coupling method

2.4.3. Frequency Coupling(FC) 방식을 이용한 이중화 장치

2개의 MPU에서 검출된 속도신호는 같은 차차에서 검출된 동일한 주파수이므로 전기적인 결합이 가능하며 속도신호를 이용하다가 그중 한개가 고장이

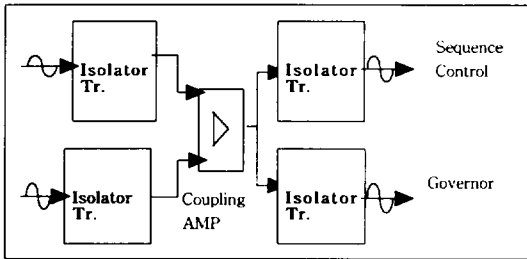


Fig. 9 The scheme of a speed detector switching device using a signal detector

발생하여도 다른 한 신호에 의해서 계속적인 속도감지가 된다.

그러나 이 방식은 검출기 위상을 측정하여 6% 이내의 위상 차가 있을 경우에만 이용이 가능하므로 적용범위가 매우 좁다. 적용시에는 MPU의 위상을 측정하여 동상일 경우에는 가능하나 다르면 위상이 같도록 MPU의 위치를 재정렬하여야 한다.

Table 1 Comparison of proposed speed detector switching devices

device comparison	HSS	SD	FC
merit	- continous speed signal during switching	- simple structure - small error signal - not sensitive	- continous speed signal during switching
demerit	- large error - sensitive - complex structure	- constant speed signal during switching	- wide application area

III. SD를 이용한 속도신호 이중화 장치 개발 및 적용

3.1 신호감시장치 개발

적용 대상설비인 복제주 가스터빈설비의 여러 가지의 운전조건(신뢰성, 신호의 정확성 등)과 속도검출신호 이중화에 관한 연구결과(Table 1) 등을 고려

할 때 SD를 이용한 속도 신호 이중화 장치가 가장 적합하며 개발시 신호계통의 격리(Signal isolation), 잡음(Noise) 억제, 전원계통 이중화, 비정상적인 신호 감지시 고속 절체, 장치의 신뢰성 등에 주안점을 두고 발전설비에 적용한다⁷⁾.

3.2 구성

SD를 이용한 속도신호 이중화 장치의 전체적인 구성은 Fig. 10과 같다.

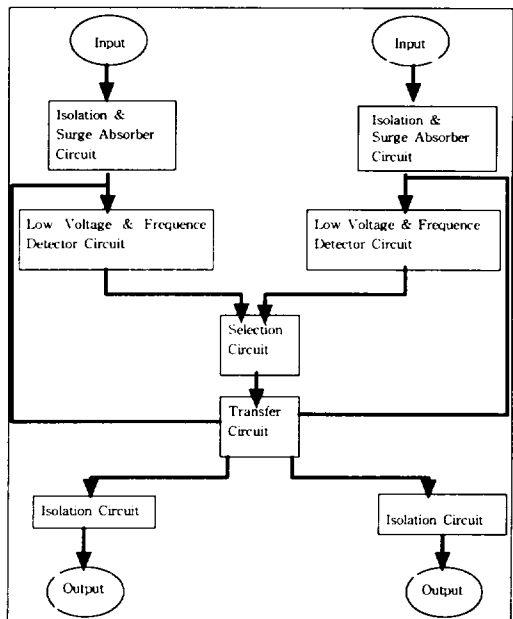


Fig. 10 The configuration of a speed detector switching device using a signal detector

위 Fig. 10에서 각 구성부분을 몇가지로 나누어 살펴 보자

입력신호 결합은 MPU의 각각의 절연을 위하여 변압기(Transformer) 입력 결합방식을 이용한다. 변압

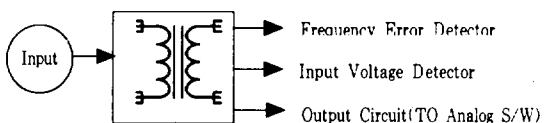


Fig. 11 Speed signal input circuit

기 2차측에서는 3개의 신호로 나뉜다.

속도신호 이상 유무 판별 및 절체과정은 다음과 같다.

- ◆ 주파수 검출 신호검출은 단안정 멀티 바이브레이터를 이용하여 설정된 주파수 이하의 입력 속도 주파수를 변별한다. 즉, 정해진 속도 주파수보다 낮은 신호가 들어오면 그때 출력이 "1"→"0"이 되어 R/S 플립플롭으로 로직 출력을 내보낸다.
- ◆ 입력세기 검출회로는 입력 교류전압을 직류화(Ripple과 Noise 제거)하여 비교용 OP Amp를 통해 설정된 전압과 비교하여 입력신호의 이상상태를 감지한다. 이상시에는 아날로그 절체 스위치로 절체 신호를 보낸다.

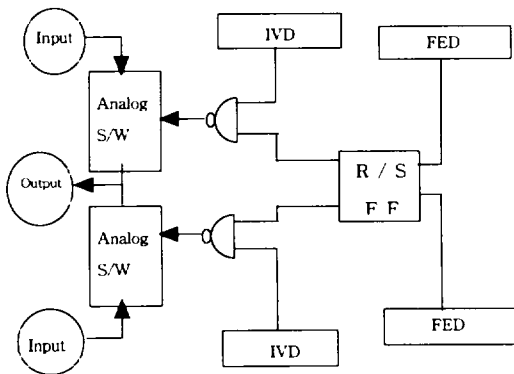


Fig. 12 Automatic switching circuit of speed signal

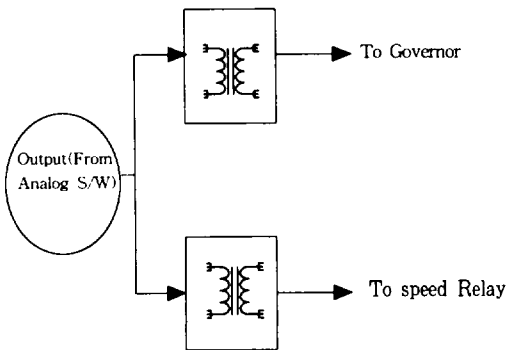


Fig. 13 Speed signal output circuit

- ◆ 상기 두 회로의 출력신호는 NAND회로로 조합하여 Analog 절체신호로 사용한다. 2개중 어느 한 신호가 절체스위치로 출력되고 있는 중 이상이 검출되면 대기(Standby)상태에 있던 다른신호가 절체된다

출력신호는 아날로그 절체 스위치에서 출력된 신호를 출력 변압기를 이용하여 신호의 세기를 증폭 및 절연을 시켜 조속기와 시퀀스 제어기에 속도신호로 보낸다

- 전원의 이중화로서 장치의 전원공급기는 2개를 사용하여 전원 출력단에 다이오드(Diode)를 OR로 결합하여 한쪽 전원이 이상이 생길 경우에도 이상 없이 동작할 수 있도록 이중화한다
- 잡음 방지를 위한 시스템 설계의 고려사항⁸⁾은 다음과 같다.

- ◆ 신호선의 양쪽에서 유기 되는 전자 기전력(전자유도)을 상쇄하기 위하여 신호선을 트위스트 케이블을 사용한다
- ◆ 정전유도를 대처하기 위하여 차폐 케이블을 사용하며 1점만 접지 한다
- ◆ 절체시 내부잡음 발생을 없애기 위하여 SSR (Solid Static Relay)를 사용한다

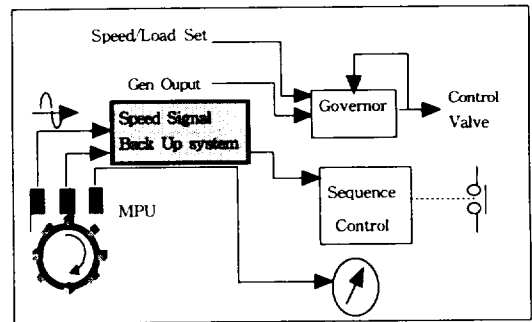


Fig. 14 The configuration of gas turbine control system using a automatic backup device

- ◆ 전원의 외부잡음 유입을 방지하기 위해서지 absorber 설치한다.
- ◆ 신호의 입력과 출력은 절체시스템과 전기적으로 분리(Isolation)하여 잡음이 유입 유출을 방지하기 위하여 복권변압기 사용한다.

3.3 장치의 시험

제안된 방법의 성능을 확인하기 위하여 Fig. 14와 같이 시스템을 구성하였다. 이 시스템은 가스터빈 중앙제어실에 설치하여 시험하였으며 다음과 같은 우수한 성능을 확인할 수 있었다.

Fig. 16에서 입력 1과 2에는 3600 RPM 에 해당되

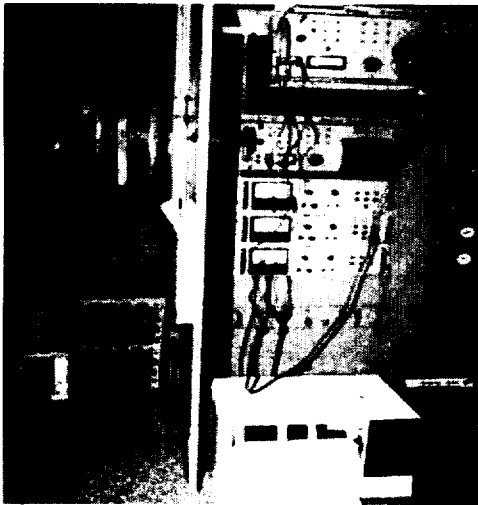


Fig. 15 Experimental test station

는 신호(3.6 kHz. 치차 60 개×60 RPS)가 장치에 입력되고 있으며 이때 입력 2의 신호가 자동 선택되어 출력 1, 2 (연료 Governor. Sequence Control)로 보내지고 있는 중 입력 1에 이상이 있을 때 5 mS 이내에 자동적으로 입력 1의 신호가 선택되어 출력 1과 2로 보내지고 있다.

Fig. 17.에서 발전기 출력 5.0MW로 운전중 자동절체시 발전기 출력변동은 약 3.5Mw (Full Load 55Mw) 출력이 상승하였다가 1.5 초의 부하안정시간이 있으나 발전정지는 발생하지 않음을 알 수 있다.

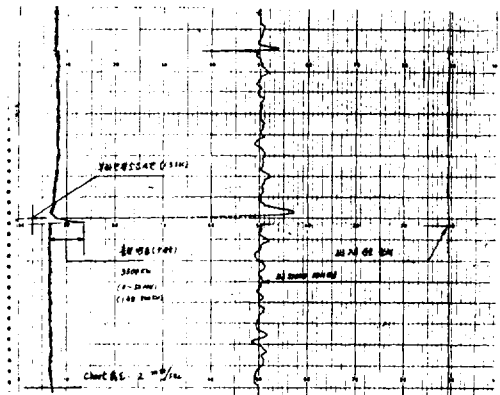


Fig. 17 The output of power plant

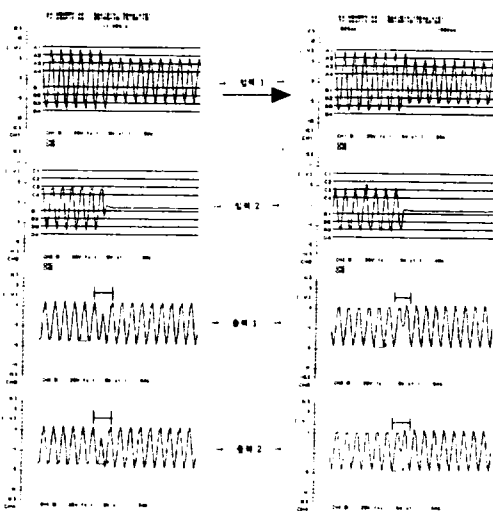


Fig. 16 The input and output signal during speed signal switching

IV. 결 론

발전설비는 효율적인 운전과 신뢰성을 확보하는 것이 무엇보다도 중요하다. 한 개의 검출기 고장으로 불시에 발전정지가 된다면 이는 경제적인 손실은 물론 양질의 전력을 공급하는데 막대한 지장을 초래할 것이다.

본 논문에서는 구형 발전설비의 조속기의 속도검출계통의 이중화를 여러 가지 형태로 고찰하였고 북제주 가스터빈설비에 가장 적합한 SD를 이용한 이중화 장치를 제작하여 여러 가지 시험을 거쳐 그 결과를 운영중인 발전설비에 설치하여 운영하고있다. 또한 향후 이와 유사한 설비에도 바로 적용을 할 수 있도록 나타내었다.

참고문헌

- 1) 한국전력공사 발전처, 1998. 계측제어용 전송기 고장방지대책 보고서.
- 2) 한국전력공사 정비기획실, 1998. 제어시스템과 전자기 잡음.
- 3) 정창기외, 1998. "발전소의 운전데이터에 의한 가스 터빈 제어계통의 성능지수 PI 제어기 응답특성비교", '98 대한전기학회 하계 학술대회 논문집 B권 pp. 731-734.
- 4) 한경희외, 1996 전력 전자공학 형설출판사.
- 5) 한국전력공사 정비기획실, 1997. Control of prime mover speed.
- 6) 전력연구원, 1997. Development of a 10MW intelligent governor.
- 7) 최평외, 1996. P-Spice 기초와 활용 복두출판사.
- 8) 한국전력공사, 1978. 북제주 가스터빈 Manual.