

# 광양제철소 전력계통 단독 운전시 발전기 최적제어방안 연구

## The study on the optimal control of generators on the single operation of electric power system in Gwangyang steel works

곽인철\*, 신민교\*\*, 최윤중\*\*\*, 박부건\*\*\*\*

In-cheol Kwak, Min-kyo Shin, Yun-jong Coi, Poo-gyeon Park

**Abstract** - The electric power system of Kwangyang steel works needs to keep the parallel operation with the system of KOPEC(Korea Electric Power Corporation) for supplying the power with safety. Once it is separated from KOPEC due to an accident, it operates the automatic Mill trip system to prevent huge fluctuating loads from the serious frequency drop. In spite of that, it is recent situations that the continuous growth of electric loads facilitates the frequency drop. Therefore, this paper proposes a model of generator control system so as to quantitatively analyze the response characteristics to the frequency change under the single operation, and also suggests the strategy for minimizing the frequency changes. The simulation results show it is desirable to operate the generators by 3% speed droop and 10% load limiter.

**Key Words** : Generator, Turbine, Governor, Speed droop, Load limiter

### 1. 서 론

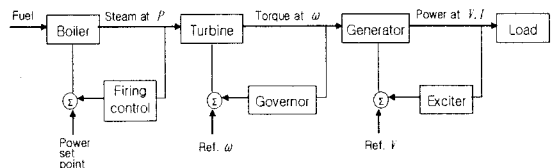
광양제철소 전력계통은 전기로 및 Rolling Mill과 같은 대형 변동부하의 특성상 제철소 전체의 평균 전력사용량을 초과하는 설비용량의 발전기를 보유하고 있음에도 제철소 전력계통 단독 운전시에는 주파수 및 전압의 Hunting으로 정격 품질의 전력공급이 불가능하여 상시 한국전력 계통과의 병렬 운전상태를 유지하고 있다. 하지만 송전철탑 및 수전용 주변압기 등의 고장으로 제철소 전력계통이 한전으로 부터 단독으로 분리되는 경우에는 제철소내의 안정적인 전력공급을 위해 대형 변동부하를 자동으로 차단시키는 자동부하제한시스템이 가동된다. 그럼에도 불구하고 최근의 지속적인 전력부하의 증가로 자동부하차단시스템의 동작 이후에도 잔여 전력부하가 발전량을 초과하여 계통 주파수가 하락하는 사례가 발생하고 있다. 따라서 본 논문에서는 주파수제어와 관련된 발전기 제어기부문을 정밀하게 모델링 하여 제철소 전력계통 단독운전 상황 발생시 주파수변동에 대한 발전기 응답특성을 정량적으로 분석함으로써 발전기 제어기의 응답특성 개선을 통한 주파수변동 최소화 방안을 검토하고자 한다. 전력계통 및 발전기의 정량적인 모델링을 위해 사용된 전력계통해석용 소프트웨어인 CYME에서는 광양제철소에 설치된 발전기의 제어기모델을 제공하고 있지 않아 별도의 UDM(User Defined Model)을 작성하여 적용하였으며, 현 시점에서의 전

력부하 특성을 반영하여 정확한 주파수특성 분석이 이루어지도록 전력 데이터를 실측하여 전력부하변동 모델에 적용하였다. 또한 제철소 전력계통 단독 운전시 주파수변동 특성에 대한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 발전기 최적 제어방안에 대해 제안하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1. 시뮬레이션을 위한 발전기 제어모델 작성

일반적으로 전력계통의 발전기 제어시스템은 아래 그림과 같이 구성되어 있다. 본 논문에서는 제철소 전력계통의 Single operation시 단시간의 주파수변동에 대한 발전기 응답 특성을 시뮬레이션하게 되므로 장시간 응답 특성을 갖는 보일러부분은 모델링 작업에서 제외하였으며, 부하모델은 2.2.절에서 자세히 다루기로 한다.



<그림1. Principal control diagram of a generating unit>

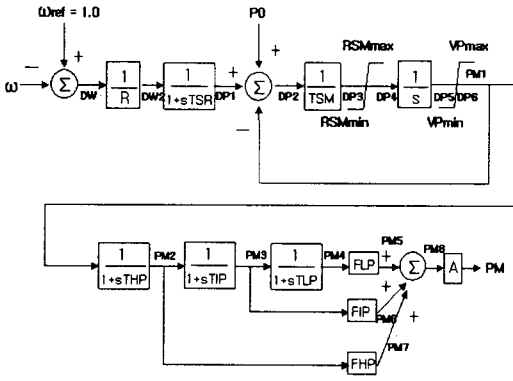
#### ◆ Modeling for Turbine & Governor

Governor 는 Turbine의 회전속도를 감지하여 Turbine의 출력을 일정하게 유지시켜주는 장치이다. 즉, Speed변화  $\Delta\omega$ 를 감지하여 Speed control mechanism에 따라서 Servo-motor를 작동시켜 Valve를 조정함으로써 Turbine에 입력되는 Steam의 양을 제어한다. Turbine & Governor에

저자 소개

- \* 포항공과대학교 철강대학원 석사과정
- \*\* 포항공과대학교 전자전기공학과 석사과정
- \*\*\* 포항공과대학교 전자전기공학과 박사과정
- \*\*\*\* 포항공과대학교 전자전기공학과 교수

대한 제어모델은 CYME에서 제공하는 기본Type들과 일치하지 않아 다음과 같이 UDM을 개발하여 적용하였다.



<그림2. Block diagram of user defined turbine & governor model>

Parameter	Unit	Description	Value
R	pu	Steady state speed regulation	0.05
TSR	sec	Governor time constant (servo relay)	0.22
TSM	sec	Governor time constant (servo motor)	0.25
RSMmax	pu	Limit on rate of change of power imposed by control valve rate limit	0.1
RSMmin	pu	Limit on rate of change of power imposed by control valve rate limit	0
Vpmax	pu	Power limits imposed by valve of gate level per unit on generator base	1.16
Vpmin	pu	Power limits imposed by valve of gate level per unit on generator base	0
THP	sec	T.C for control valve to HP Exhaust	0.19
TIP	sec	T.C for control valve to IP Exhaust	13
TLP	sec	T.C for control valve to LP Exhaust	0.3
FHP	pu	Power fraction for HP turbine	0.29
FIP	pu	Power fraction for IP turbine	0.44
FLP	pu	Power fraction for LP turbine	0.27

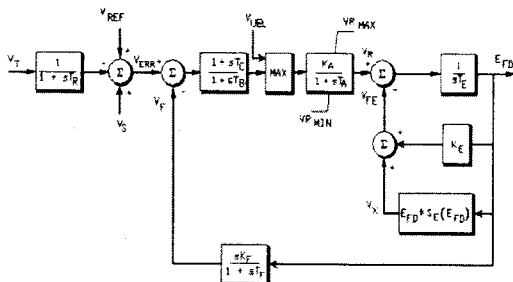
<표1. Parameters of turbine & governor model>

◆ Modeling for Generator

CYME에서 기본적으로 제공하는 Type5 Round Rotor 모델을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

◆ Modeling for Exciter

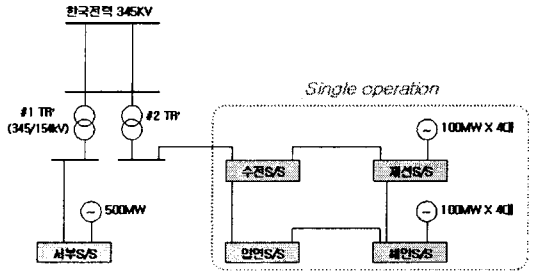
Exciter 는 동기발전기의 계자권선에 직류 전류를 공급하는 장치로써 전압과 무효전력의 흐름을 제어한다. Exciter에 대한 제어모델은 역시 CYME의 기본Type들과 일치하지 않아 다음과 같은 UDM을 적용하였다.



<그림3. Block diagram of user defined exciter model>

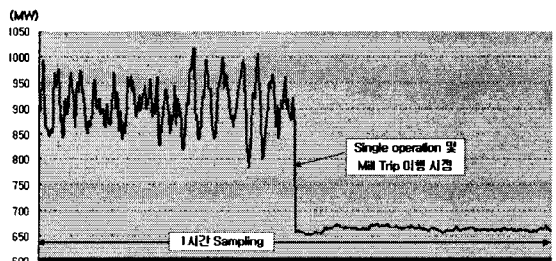
2.2. 전력부하변동 모델 작성

본 연구에서 전제하는 제철소 전력계통 운전조건은 Neck point라고 할 수 있는 #2 345kV/154kV 변압기내 단락고장에 따른 보호계전시스템의 동작으로 수전, 체선, 해안, 압연변전소 그룹의 단독운전 경우를 상정하여 체선, 해안변전소에 위치한 동일 사양의 100MW급 발전기들에 의한 주파수변동 응답특성을 검토하였다.

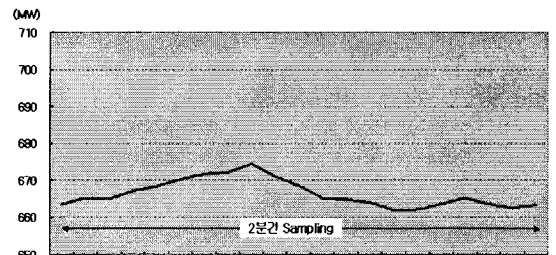


<그림4. Schematic diagram of power system>

현 시점에서 제철소 전력계통 단독운전상황 발생시 정확한 주파수 변동특성의 예측을 위하여 전체 전력공급선로를 대상으로 매 6초 간격으로 Sampling하여 전력부하 데이터를 실측하였다. 측정 데이터중 변동폭이 작은 기저부하군과 변동폭이 큰 압연Mill 부하군을 별도로 발췌하여 Single operation 상황 시 Mill Trip 대상 전력부하량과 Mill Trip이후 잔여 전력부하의 변동패턴을 작성하였다. 시뮬레이션에 적용한 전력부하 변동모델은 Mill Trip 대상 부하의 완전 차단 시 잔여부하의 대표적인 변동패턴을 2분간 Sampling하여 기본모델로 사용하였다.



<그림5. Mill Trip이행 전·후 전력부하 변동패턴 예시>



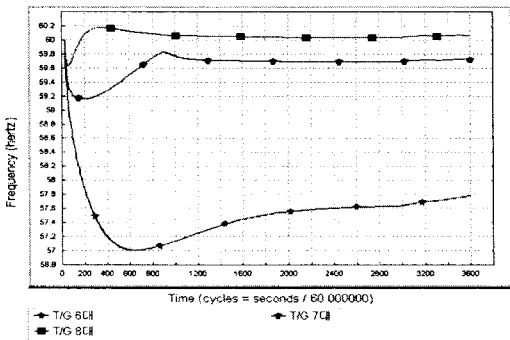
<그림6. Mill trip후 전력부하 변동모델>

### 2.3. 계통주파수 변동에 대한 발전기 응답특성 실험

제철소 전력계통 단독 운전시의 계통주파수 변동특성 분석을 위하여 제철소 전력계통의 Neck point라 할 수 있는 345KV/154KV 변압기의 3상단락 고장에 따른 한국전력 계통과의 분리로 제철소 전력계통 단독운전 상황을 상정하였으며, 고장제거 및 Mill Trip 이행시간과 전력부하 변동모델을 실제와 가깝게 Event를 작성하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 크게 세부분으로 나누어 수행되었다. 먼저 전력계통 내 고장발생 및 한전계통과의 분리 등의 과도상태에서 발전기 1~2대의 탈락 가능성을 고려하여 발전기 가동대수를 6~8대로 각각 시뮬레이션을 수행하였으며, 발전기의 Turbine & Governor 제어기 모델 분석결과 각종 Parameter중 물리적 특성 이외에 조정 가능한 속도조정률 및 Governor valve load limiter에 대한 조정가능 범위를 3단계로 나누어 각각 시뮬레이션을 수행하였다.

#### 1) 발전기 가동대수 별 계통주파수 변동특성

(Governor 속도조정률 5%, Load limiter 10% 기준)

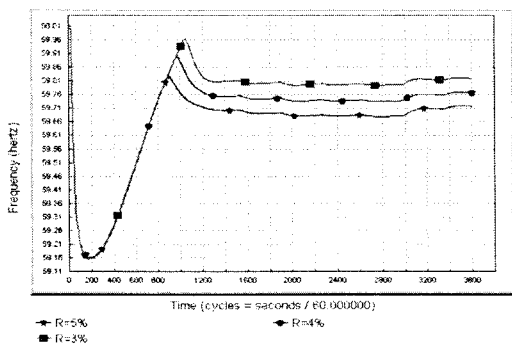


<그림7. 발전기 가동대수별 주파수 변동특성>

발전기 7~8대 가동 중 Single operation 발생시에는 Mill부하 차단만 정상적으로 이루어진다면 계통주파수는 59.0Hz 이상으로 양호한 상태가 유지되나, 6대 가동 중에는 계통주파수가 발전기 연속운전보장 저주파수 대역 (60.0~58.5Hz)을 이탈하여 계통분리 설정값(57Hz)에 까지 Drop되어 전력계통의 완전붕괴 위험이 높다.

#### 2) Governor 속도조정률 변경 시 주파수 변동특성

(발전기 7대 가동, Governor Load limiter 10% 기준)

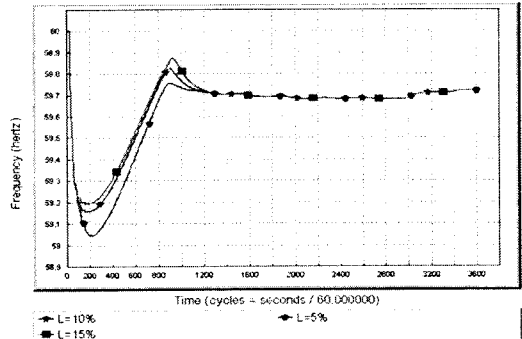


<그림8. Speed droop별 주파수 변동특성>

속도조정률은 Set value별로 초기 주파수 Drop에 대한 회복특성은 거의 동일하나, 발전기 병렬운전 특성상

정격주파수(60Hz)까지 정확히 회복되지 못하고 주파수 편차가 발생하는 수하특성은 속도조정률 R값이 작을 수록 더 좋아지는 것을 확인하였다.

#### 3) Governor load limiter set value 변경 시 주파수 변동특성 (발전기 7대 가동, Governor 속도조정률 5% 기준)



<그림9. Governor load limiter별 주파수 변동특성>

Governor load limiter set value 별로는 초기 주파수 Drop에 대한 Turbine의 추종시간에 차이를 나타냈는데, 10% 및 15% 설정시에는 미미한 차이를 보였으나 5% 설정시에는 주파수 Drop폭이 보다 크게 나타나는 것을 확인하였다. 따라서 Turbine에 기계적인 충격을 좀 더 줄 수 있는 15%보다는 Maker에서 권장하는 10%의 Governor load limiter 설정이 바람직할 것으로 판단된다.

### 3. 결론

본 논문은 제철소 전력계통 단독 운전시 계통주파수변동에 대한 발전기 응답특성의 연구를 통하여 발전기 제어기 특성 및 전력부하 변동패턴을 정량적으로 정밀하게 모델링 할 수 있는 기술적 기반을 정립하였으며, 제철소 전력계통 단독 운전시 계통 주파수 하락 위험의 개선을 위하여 다음과 같이 발전기의 최적 운용 및 제어방안을 제시한다.

광양제철소 전력계통의 수전,제선,해안,암연변전소 그룹에 설치된 100MW급 스팀터빈 발전기 8대중 7대 이상은 상시 가동이 필요하며, 특히 기상악화 시에는 한국전력 계통이나 제철소 수전설비에서의 고장발생으로 제철소 전력계통이 단독으로 분리되는 상황에서 과도 안정도의 문제로 일부 발전기가 탈락되는 경우를 대비하여 가능한 8대의 발전기 모두 가동할 필요가 있다. 또한 각 발전기별 Turbine & Governor 제어기는 제철소 전력계통 Single operation 상황 발생 후 자동부하제한시스템에 의한 암연Mill부하의 제거가 이루어지기까지의 단시간(약 18Cycle) 동안의 급격한 주파수 Drop 폭 및 주파수회복시 정격 대비 주파수 편차 폭을 최소화하기 위하여 속도조정률(R)은 3% 로 Governor load limiter(L)는 10%로 설정하여 운용하는 것이 바람직하다.

### 참 고 문 헌

- [1] Prabha Kundur, "Power system stability and control", McGraw-Hill, Inc. 1993.
- [2] P.M. Anderson, A.A. FPuad, "Power System Control and Stability", The Iowa state university press, 1977.
- [3] 송길영, "신편 전력계통공학", 동일출판사, 1998.