TECO Bayside HRSG의 기동 및 정지 특성 해석

이치환* · 김성호*

The simulation study of startup and shutdown for TECO bayside HRSG

Chi Hwan Lee, Sung Ho Kim

Abstract

The dynamic analysis is performed for cold, warm, and hot startups and shutdown. The operating characteristics of an horizontal drum type HRSG are analyzed as well. This analysis was performed by ProTRAX which is a commercial software developed by TRAX Corp.

Key Words : HRSG, simulation, startup, shutdown, ProTRAX

기호설명

q_{drum} : conductive heat transfer through drum
L : drum length
k : thermal conductivity of drum metal
T_i : temperature at inner surface of drum
T_o : temperature at outer surface of drum
r_i : inner drum radius
r_o : outer drum radius
dT_{metal} : metal temperature derivative
M : drum metal mass
C_p : drum metal specific heat

1. 서 론

복합화력발전소는 효율이 55%로, 일반화력발전소의 효율 38% ~ 40% 수준에 비해 효율이 높은데다, 일반 화력발전소의 절반수준의 건설비와 짧은 건설기간, 빠른 운전기동특성 등 여러 가지 장점으로 차세대 발전소로 각광을 받고 있다.

빠른 운전 기동특성을 가진 HRSG의 성능 검증, Tuning, 그리고 시운전을 위해서는 기동, 정지와 부하 변동에 따른 HRSG의 동특성 해석 및 모사가 기본 참고 자료로써 필수적으로 요구된다.

두산중공업이 수주한 미국, TECO Bayside horizontal drum type HRSG의 동특성 해석을 위해 상용 simulation code인 ProTRAX로 플랜트를 modeling 한 후 모사를 실시하였다. 또한, 모사는 cold, warm, hot startup 과 shutdown 의 4가지 운전 방법에 따라 모사가 이루어졌다.

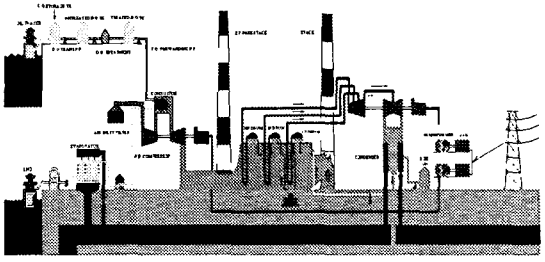

그림 1. 복합화력 개략도

2. HRSG modeling

2.1 HRSG system

모델은 고온의 연소가스가 유입되는 댐퍼 전

* 두산중공업(주) 기술연구원 시스템기술연구팀

단에서 연소 가스가 방출되는 스택 전단까지를 HRSG 시스템으로 설정하였다. HRSG는 급수를 가열시키는 절탄기(IP, HP)와 증발기(LP, IP, HP), 증기를 분리하는 드럼(LP, IP, HP), 증기를 과열 시키는 과열기(LP, IP, HP) 등으로 이루어져 있다. 가스터빈에서 연소 후, 댐퍼를 통과한 연소가스는 과열기, 증발기, 절탄기의 관군들을 차례로 지나면서 에너지를 전달하고 난후 스택으로 방출된다.

모델의 주요 기기들의 정상상태 운전시 사양과 모델 schematic은 아래의 표 1.과 그림 1과 같다.

표 1. 모델 specification

Type	Horizontal drum type (Natural circulation)
Capacity	750 MW
No. of superheater tubes	HPSH : 254 ea IPSH : 84 ea LPSH : 84 ea
Drum design pressure	HP : 108.3 bar IP: 40.38 bar LP : 9.96 bar
Outlet steam temperature	HPSH : 543.4 C IPSH : 311.8 C LPSH : 239.7 C
Gas property	Flow : 434.9 kg/s Temperature : 611.6 C

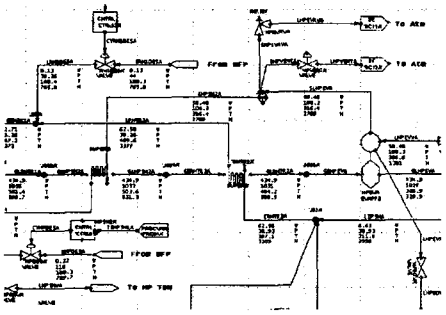

그림 2. 모델 schematic

2.1.1 Model scope

모사된 모델은 gas turbine을 제외한 나머지 기기들 superheaters, economizers, drums, deaerators, turbines, valves, diverter dampers, pumps 등이 모델링(3 G/T x 3 HRSG x 1 S/T) 되었으며, gas exhaust condition은 table로 작성되어 모사에 적용되었다. 모델에 적용된 제어기는 완전한 제어기의 모사가 이루어지 않고 일반적인 PI 제어기를 모사한 후, 이 제어기는 수동 조작을 을 통해 모사에 적용되었다. 이와 더불어 산출된 결과는 운전 절차 및 제어 방식에 의해 영향을 받을 수 있으므로, 이를 적용한다면 보다 안정적인 산출 결과를 얻을 수 있을 것이다.

2.1.2. Custom code

Horizontal drum type HRSG model은 ProTRAX 가 가지고 있는 기본적인 code를 사용하였으나, 원하는 결과 산출을 위해 drum metal temperature 와 generator synchronization 에 대한 code는 추가적으로 작성하여 모사에 적용하였다.

2.1.3. Generator synchronization modeling

일반적으로 generator가 3600RPM에 도달하고 나서 generator의 주파수, 위상, 속도 등을 자동적으로 synchronization되게 coding한다.

본 모델에는 turbine governor valve가 서서히 열림에 따라 generator는 가속화되어 3600RPM에 도달하면 synchronization이 되고 그 상태를 유지하도록 모사하였다.

2.2 Heat balance

Heat balance를 통해 inlet, outlet steam condition, gas condition 등이 정의된다. 이는 설계값에 부합하는 값들을 가져야만 한다.

2.3 Model parameterization

Model parameterization은 2가지의 data를 입력함으로써 이루어진다. Tube size, metal masses, pump head curves, valve stroke times, etc. 등의 physical data와 full load pressures, flows, temperatures, compositions 등의 operating data의 입력이 필요하게 된다.

2.4 Model control

모사에 적용된 주요한 제어기는 HP / IP / LP drum level, HP / IP superheat steam temperature controller가 모사에 적용되었다.

3. 모델 검증

3.1 주요변수 비교

모델의 신뢰성을 검증하기 위해 MCR 출력에서의 주요변수에 대한 설계값과 모사 결과값의 비교는 아래 표 2와 같다.

표2. 주요 변수

Variable		MCR	
		Design	Model
HP	Drum press.[bar]	108.3	108.3
	Steam flow[kg/s]	58.48	58.48
	Superheater temp.[C]	543.4	543.4
IP	Drum press.[bar]	40.4	40.38
	Steam flow[kg/s]	6.63	6.63
	Superheater temp.[C]	312.9	311.8
LP	Drum press.[bar]	10.1	9.96
	Steam flow[kg/s]	5.07	5.07
	Superheater temp.[C]	236.4	239.7

3.2 모사 방법 및 결과

본 모사는 cold, warm, hot startup과 shutdown의 operation procedure에 따라 수행되었고, 상기 모사는 표3.에서와 같은 주요 운전 절차가 적용되었다.

표3. 모사 방법

모사 유형	
Cold startup	Shutdown
1 Open diverter Damper 1 Line up feed water 1 Start LP recirculation Pump 1 Start feedwater pump 1 Open HP, IP, LP Bypass valves 1 Open HP, IP, LP turbines isolation, stop, startup valves 1 Control HPSH, IPSH, LPSH Pressures Control HP, IP, LP drum levels	1 Ramp flow of gas turbine from 100% to 40% 1 Ramp load of steam turbine down from 100% to 50% 1 Open HP, IP, LP bypass valves 1 Reset Drum level controllers gains 1 Ramp load of steam turbine down from 50% to 20% 1 Trip Hp, IP, LP steam turbines 1 Turn off generator 1 Ramp flow of gas turbine from 20% to 10% 1 Shut off gas flow to HRSG 1 Close HP, IP,LP bypass valves

Cold, warm, hot startup의 경우, gas turbine 출구의 exhaust gas 조건의 thermal property를 달리하여 기동 및 정지 모사를 수행하였다. 또한, 본 모사에 적용된 제어기로는 drum level controller, superheater temperature controller가 적용되었으며, 해석 결과에서 보는바와 같이 superheater의 증기 압력 및 유량이 경계 조건을 만족하고 난후 steam turbine synchronization 을 수행하였기에, 이는 예상 운전 모드에 부합하는 결과를 산출할 수가 있었다.

기동 특성에 적용된 운전절차는 1대의 gas turbine이 먼저 기동하여 경계 조건에 도달해 유지되고 있는 동안 다른 한대의 gas turbine이 기동하여 경계 조건에 도달하고 나머지 세번째 gas turbine이 마지막으로 경계 조건에 도달하고 난후, 3대의 gas turbine이 동시에 full load에 도달하는 운전 방식이다.

모사에 적용된 exhaust gas condition은 cold startup의 경우, 정상 상태의 7%, warm startup의 경우, 10%, hot startup의 경우는 20%를 140분간, 42분간, 22분간 각각 gas 유량을 유입하여 예열한 후, 기동 조건에 따라 gas 조건을 바꾸어 모사에 적용하였다.

Bypass valve의 개폐에 따른 증기 유량의 일시적인 증감이 기동시에 일부 나타났으나, 제어기를 적용하여 운전한다면 이 부분은 완만한 기울기의 유량 증가를 보이게 될 것으로 본다.

정지 특성 파악에 적용된 운전 절차는 exhaust gas의 온도는 유지시키면서 exhaust gas의 유량을 먼저, 13분내에 100%의 조건에서 40%로 감소시켜 40% gas 조건에 도달하고 나면, 다시 40%에서 10%로 10분내에 감소시키고 난 후, 10%에서 0%로 댐퍼를 닫아 gas의 유량을 소멸시켜 모사 결과를 산출하였다.

이에 반해 steam turbine은 그 운전 조건을 10분내에 100%에서 50%로, 5분 내에 50%에서 20%로 감소시키면 turbine은 그 유량이 20% 이하일 경우 trip되게 된다. 이때 드럼 내의 압력을 유지하기 위해 bypass valve를 잠그게 되고, 드

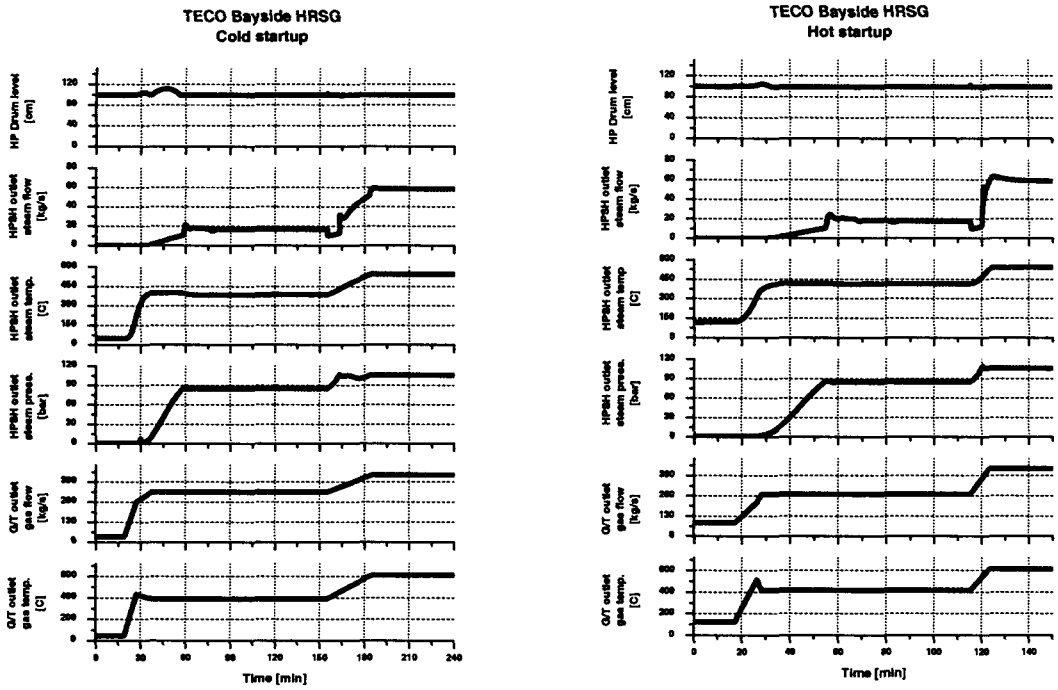

그림 3. Results of Cold & Warm startup

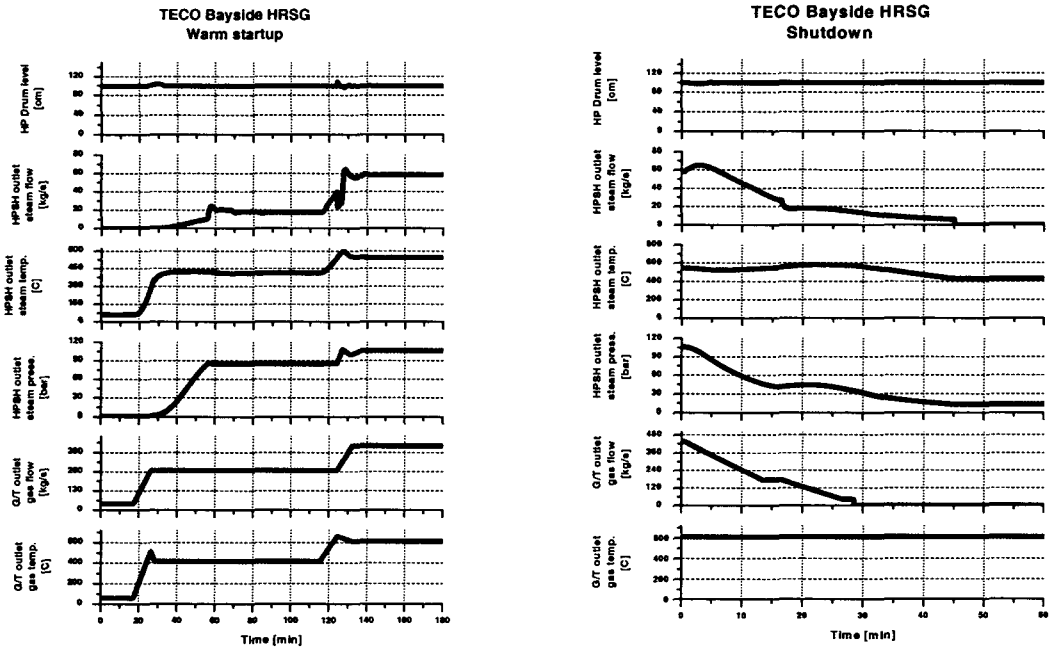

그림 4. Results of Hot startup & Shutdown

럼 수위는 자동으로 제어되게 했다.

4. 결론

본 모델의 동특성 해석을 통하여, HRSG의 운전 조건에 따른 기동 및 정지에 대한 특성을 산출할 수 있었다. 또한, 모델에 적용된 제어 시스템 구성의 타당성을 검증할 수 있었으나, 제어기의 fine gain tuning을 위한 기초 자료로 활용하기 위해서는 제어기 모사의 보완이 필요할 것이라 본다. 특히, Bypass valve를 통한 증기 압력 및 유량 제어는 모델에 추가 적용되어야 할것으로 판단된다.

수행된 결과는 설계값에 추종하고 있음이 확인되었고, 예상되는 운전 모드로 운전 가능함을 확인하였다. 또한, 다양한 운전 방식과 제어 방식에 따라 각기 상이한 결과를 산출 할수 있을 것이라 본다.

앞으로도, 이러한 모사 결과는 플랜트 시운전 및 commissioning을 위한 기초 자료로도 활용될 것이라 본다.

참고문헌

1) Sam G. Dukelow, The control of boilers, 2nd Ed, ISA, 1991
2) C. Maffezzoni, Issues in modelling and simulation of power plant, IFAC Control of Power Plant and Power System, 1992.
3) E. D. Grimison, Correlation and Utilization of New Data on Flow Resistance and Heat Transfer for Cross Flow of Gases over Tube Banks, Trans. ASME, 1937.
4) H. N. Sharan, Correlations for Heat Transfer by Non-luminous Radiation between Boiler Flue Gases and Grey Walls, SULZER Technical review, 1963
5) ProTRAX, Analysts Instruction manual vol. 1,2,1997