

퍼지 로직 및 모델 예측 제어기 적용을 통한 초초임계압 화력발전소 부하 응답 최적화 운전 방법 설계

論 文

57-12-25

Unit Response Optimizer mode Design of Ultra Super Critical Coal-Fired Power Plant based on Fuzzy logic & Model Predictive Controller

吳 沂 鏞[†] · 金 好 烈*
(Ki-Yong Oh · Ho-Yol Kim)

Abstract - Even though efficiency of coal-fired power plant is proportional to operating temperature, increasement of operating temperature is limited by a technological level of each power plant component. It is an alternative plan to increase operating pressure up to ultra super critical point for efficiency enhancement. It is difficult to control process of power plant in ultra super critical point because that point has highly nonlinear characteristics. In this paper, new control logic, Unit Response Optimizer Controller (URO Controller) which is based on Fuzzy logic and Model Predictive Controller, is introduced for better performance. Then its performance is tested and analyzed with design guideline.

Key Words : Unit Response Optimizer Controller(URO Controller), Fuzzy logic, Model Predictive Controller(MPC), ultra super critical(USC) power plant

1. 서 론

우리나라는 꾸준한 경제성장과 지속적인 전력수요 증가로, 전력 수요 수급을 위하여 지속적인 발전소 건설이 필요하다. 특히 우리나라 전기 생산 용량의 절반 이상을 차지하는 석탄 화력발전소는 저렴한 발전단가에 기인하여 지속적인 건설이 요구되고 있으나, 급격히 증가하는 석탄 수입 비용, 신규 건설 입지 확보의 어려움 및 발전 과정 중 생기는 황산화물(SO_x) 및 질소산화물(NO_x)과 같은 환경오염 물질 배출 등의 문제로 신규 발전소 건설이 쉽지 않다. 미국, 일본, 유럽 등 선진국에서는 이러한 단점 보완을 위하여 대용량·고효율·환경친화형 1000MW급 초초임계압 화력발전소(Ultra Super Critical Coal-Fired Power Plant)에 대한 연구가 지속적으로 시행되었으며, 현재 일본, 유럽에서는 상용화되어 운전되고 있다.

일반적으로 보일러 내부 증기의 작동 온도가 상승할수록 발전 효율이 증가하지만 고온 상태를 견디기 위한 보일러 및 관련 부품의 내구성 향상을 위해서는 제작 비용이 급격히 증가한다. 초초임계압 발전소는 발전 효율 향상을 위하여 증기 온도 상승과 더불어 작동압력을 증가시켜, 보일러 내부 증기 압력 및 온도를 246Kg/cm², 593℃ 이상인 초초임계압 상태에서 운전한다. 만일 효율을 1% 상승시키면 1000MW급 기준으로 연간 소모되는 석탄은 5000~6000톤 감소하며, 이에 따른 원가절감 및 공해 물질 감소로 전력 산업 구조 개편에 의해 경쟁체제 유도로 경제성이 우수한 발전시

스템을 선호하는 발전사를 만족시키는 동시에 교토의정서 시행[1] 등으로 최근 전력 시장에 요구되는 환경친화적 대용량 고효율 발전에 대한 시대적 요구에 부응할 수 있다.

본 연구에서는 대용량·고효율·환경친화형 1000MW급 초초임계압 화력발전의 새로운 운전 방법인 부하 응답 최적화 운전 방법(Unit Response Optimizer mode: URO mode)을 제안하였으며, 용량 증가로 안정성 및 신뢰도가 감소하는 것을 방지하기 위하여 퍼지 로직 및 모델 예측 제어기를 부하 응답 최적화 운전 방법에 적용하였다. 또한 기존에는 운전원의 발전소 운전 기술 훈련 및 숙달을 위하여 발전소 건립 후, 발전소를 기반으로 구축하였던 모사실험기를 발전소 제어로직 설계 검증용으로 선행 구축하여 부하응답 최적화 운전방법을 검증하였다.

2. 1000MW급 초초임계압 화력발전소

본 연구에서 개발 중인 초초임계압 화력발전소는 전격출력(Maximum Guaranteed Rate: MGR) 1024MW, 최대 출력(Valve Wide Open: VWO) 1100MW로 설계되었다. 고온 재료의 개발 현황, 경제성 및 국내 발전설비 제작사의 기술수준 등을 고려하여 주증기 압력은 265kg/cm², 주증기/재열증기 온도는 613℃/624℃로 설계하였다. 이는 기존의 초임계압 발전소의 주증기/재열증기 온도가 565~593℃/565~593℃임을 고려할 때 20℃ 이상 향상된 값이다. 고온·고압에서 운전되기 때문에 초초임계압 발전소 효율은 이론적으로 45%를 능가한다. 이와 같은 높은 효율에 기인하여 연간 연료 소비량은 150,000ton, CO₂와 같은 공해 물질 배출량은 800,000ton 감소될 것으로 예상된다. 특히 현재와 같이 원자재 값이 급등하여 발전 단가가 상승하는 상황에서 효율 상승은 더욱 중요한 요소가 되고 있다. 그러므로 초초임계압 발전소는

* 正 會 員 : 한전 전력연구원 수석연구원

† 교신저자, 正 會 員 : 한전 전력연구원

E-mail : okyer@kepri.re.kr

接受日字 : 2008年 8月 12日

最終完了 : 2008年 10月 6日

고효율·저비용·환경친화형 발전소로 원자재 값 상승 및 공해 물질 배출 규제로 어려움을 겪고 있는 전력 회사에 새로운 대안으로 떠오르고 있다.

출력 증·감시 설계 허용 온도 변화는 표 1과 같이 당진 화력 5·6호기 500MW 발전소와 동일하게 설계하였다. 전격 출력이 기존 발전소에 비해 2배 증가하였기 때문에 출력 증·감 폭도 기존 발전소에 비하여 2배 증가했지만 현재 운영 중인 발전소와 동일한 운전 허용 기준을 적용하였다. 그래서 초초임계압 발전소는 큰 출력 증·감시 주증기/재열증기 온도 변화폭 감소 및 기타 요소들의 안전 허용 기준을 만족시켜야 한다. 본 연구에서는 큰 폭의 부하 변동시 각 요소 및 전체 시스템의 안정성 및 신뢰성 확보를 위하여 퍼지 로직(Fuzzy logic) 및 모델 예측 제어기(Model Predictive Controller)로 구성되어진 부하응답 최적화 운전 방법(URO mode)을 제안한다.

표 1 Guideline of Temperature Fluctuation[2]

State	Main steam		Reheat steam	
	Temp.	Sec.	Temp.	Sec.
Constant load	±3℃	-	±3	-
30~40% NR	±12℃	1200	-	-
50%~	±8℃	900	±8	1200
Step change 50%~	±10℃	900	±10	1200
GOV free	±8℃	-	±8	-

3. 부하응답 최적화 운전방법

현행 발전소는 보일러 추종 운전 방법(Boiler Following Mode, BFM), 터빈 추종 운전 방법(Turbine Following Mode, TFM), 보일러-터빈 협조제어 운전 방법(Boiler Turbine Coordinate Mode, BTCM) 세 가지 운전 방법[2] 중 하나로 운전되는데 아래와 같은 문제점이 존재한다.

첫째로 어느 운전 방법이나 연료계통 응답이 터빈 계통 응답에 비해 상대적으로 느린 경향을 보인다. 둘째로 터빈 추종 운전 방법으로 운전하는 경우, 보일러의 연료 및 압력 등의 제어를 선행 수행하고 터빈 밸브의 제어가 후행되기 때문에 전체 안정성은 유지되지만 출력 응답성이 떨어진다. 마지막으로 보일러 추종 운전 방법으로 운전하는 경우, 터빈 밸브 조절을 통한 출력 제어가 선행되고 보일러 제어가 후행되기 때문에, 출력 응답성은 향상되지만 보일러 증기의 급격한 압력 변화 발생 및 이로 인한 안정성 저하 현상이 발생한다. 보일러 추종 운전 방법 및 터빈 추종 운전 방법의 이와 같은 장·단점 보완을 위하여 보일러-터빈 협조제어 운전 방법이 제안되었지만 전통적인 비례·적분·미분 제어기를(PID controller)[3] 기반으로 설계되어 외란이나 공정의 비선형성, 유체 운동에서 발생하는 필연적 시간 지연 등의 발생시 안정성이 감소한다.

그림 1은 본 연구에서 제안하는 부하응답 최적화 운전방법의 제어 로직을 간단히 묘사한 그림이다. 연료계통 응답이 터빈 밸브 응답보다 상대적으로 느린 것을 보상하기 위하여 연료 계통에 선행 제어기(Feedforward controller)[4]를

삽입하였다. 또한 모델 예측 제어기[5]를 적용하여 출력 전력, Throttle Pressure 및 Feedwater 제어 입력 값의 예측을 통하여 출력 증·감시 과도 응답 상태에서 증기 압력 및 온도의 변화를 감소할 수 있도록 하였다.

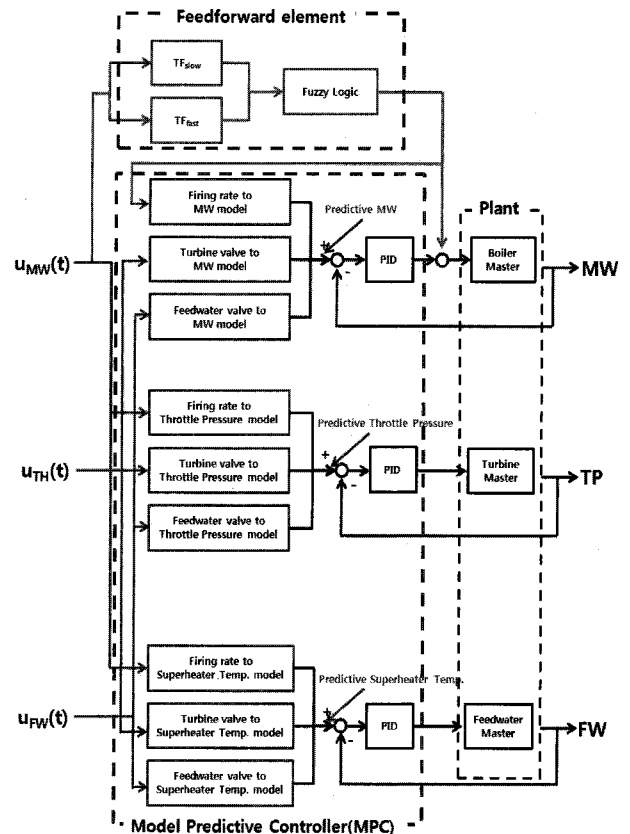


그림 1 부하응답 최적화 운전 제어로직 블록선도

Fig. 1 Block diagram of URO control logic

3.1 선행제어기(Feedforward Controller)

그림 1의 선행제어부에 사용된 두 개의 전달함수는 Unit 부하 입력에 대한 출력 전력에 대한 전달함수로서, 식(1)과 같다. 그림 2에 도시된 것과 같이 T.F.Slow는 응답성 및 수렴성은 느리고 오버슈트(overshoot)는 크지만 정상상태 오차(steady state error)는 존재하지 않는다. T.F.Fast는 응답성 및 수렴성이 빠르고 오버슈트도 작지만 정상상태 오차가 존재한다. 출력 전력을 800MW에서 1000MW로 증가시키면 1200MW 출력을 100%로 선정하였기 때문에 Unit 부하 입력은 66.6%에서 83%로 변화한다. 이 때 T.F.Slow의 최대 오버슈트는 95.68%이지만 정상상태 오차는 0으로 수렴하는 반면, T.F.Fast는 90.8%의 최대 오버슈트를 갖지만 0.8384%의 정상상태 오차가 존재한다. 두 개의 전달함수는 장·단점이 존재하기 때문에 본 연구에서는 그림 3과 같은 퍼지 로직[6,7]을 적용하여 각 전달함수의 장점인 빠른 응답성을 갖으면서 정상상태 오차는 0으로 수렴하는 전달함수를 설계하였으며, 이를 통하여 연료계통 응답이 터빈 밸브 응답보다 상대적으로 느린 것을 보상하였다.

$$TF_{Slow} = \frac{150s + 1}{50s + 1}$$

$$TF_{Fast} = \frac{300s + 1}{100s + 1}$$

(1)

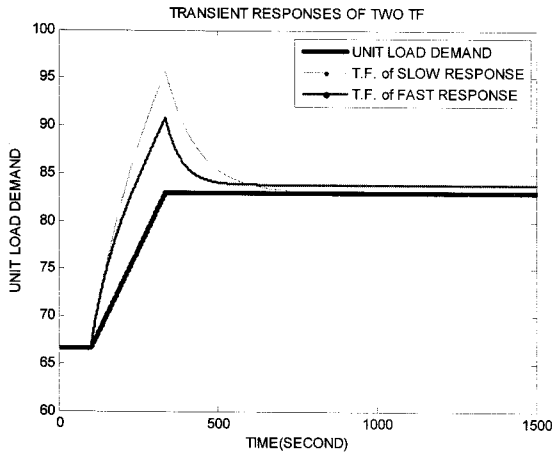


그림 2 두 종류 전달함수의 과도 응답특성
Fig. 2 Transient Response of two TF

본 연구에서는 퍼지 로직을 그림 3과 같이 설계하였으며, 두 경계점 사이의 값은 식(2)와 같이 T.F.Slow 및 T.F.Fast 두 개의 전달함수를 조합하였다. 식(2)에서 Diff는 자동급전 지령신호(Automatic Dispatch System)와 Unit 부하 요구 신호(Unit Load Demand) 사이의 차이이다. 그림 4는 두 전달함수 및 퍼지 로직을 부하 추종 운전방법에 적용하여 전격 출력을 800MW에서 1000MW로 증가시켰을 때 작동하는 결과이다. Unit 부하 요구 신호에 비하여 선행 제어기를 통과한 신호의 제어 신호 값이 출력 요구 값이 증가하여 연료계통이 터빈 밸브 응답보다 느린 것을 보상에 준다.

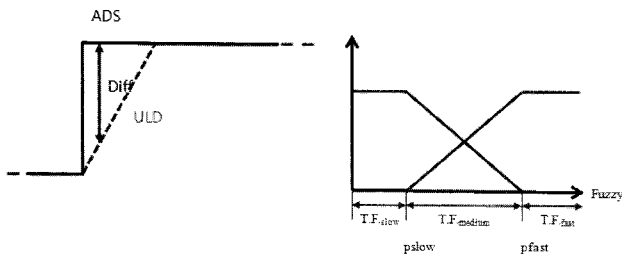


그림 3 부하응답 최적화 제어로직 선행제어기에 적용된 퍼지 로직

Fig. 3 Fuzzy logic of Feedforward controller in URO

$$TF_{medium} = \left| \frac{Diff - pfast}{pfast - pslow} \right| TF_{slow} + \left| \frac{Diff - pslow}{pfast - pslow} \right| TF_{fast}$$

(2)

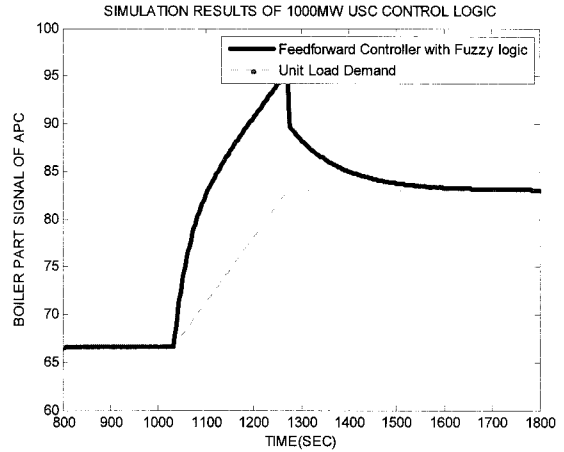


그림 4 퍼지로직을 적용한 선행제어기 모사실험 결과
Fig. 4 Simulation Results of Feedforward Controller with Fuzzy Logic

3.2 모델 예측 제어기

모델 예측 제어[5]는 어떤 구간 내의 공정의 미래 출력 값을 공정의 동특성 모델을 이용하여 예측하고, 예측에 따른 원하는 값과의 오차와 제어입력의 크기에 대한 목적함수를 최소화하는 현재의 입력을 구하는 방법이다. 본 연구에서는 공정에 중요한 부분인 3개의 입력(Turbine Master, Boiler Master, Feedwater Master)과 3개의 출력(Magewatts, Throttle Pressure, Superheater Temperature)에 모델 예측 제어기를 적용하였다. 그림 1에 도시된 것과 같이 모델 예측 제어기 적용을 위하여 각 입력에 대한 출력의 모델이 필요하다. 모델 설계를 위하여 각 입력에 대한 각 시스템의 동특성을 시간 영역에서 측정 한 후, 이를 기반으로 시스템의 차수를 선택하고 곡선 적합 방법을 이용하여 설계하였다. 각 시스템의 동특성을 파악할 때는 다른 부분의 영향을 배제하기 위하여 동특성을 파악 하는 부분을 제외하고는 다른 부분은 이론적으로 계산된 이상 값으로 고정시켜 놓았으며, ±3%의 출력 변화에 대하여 수행하였다. 또한 모델 예측 제어기 후단의 비례·적분·미분 제어기는 Ziegler-Nichols 방법[4]을 사용하여 최적화 하였다.

3.2.1 MPC for Turbine

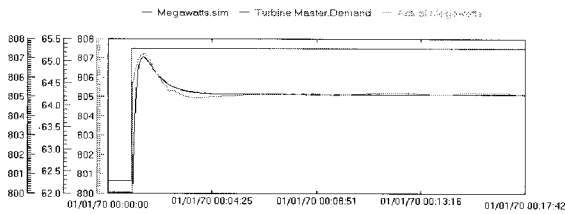
$$MPC_{TM-MW}(s) = \frac{1.7(70s + 1)e^{-2s}}{(10s + 1)(40s + 1)}$$

$$MPC_{TM-TP}(s) = \frac{-\frac{2}{3}(30s + 1)e^{-2s}}{(10s + 1)(50s + 1)}$$

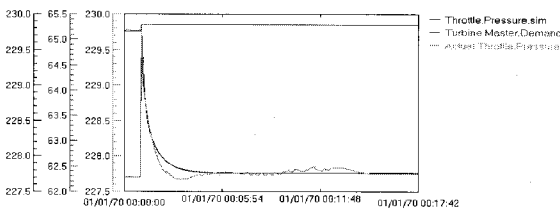
$$MPC_{TM-ST}(s) = \frac{-2.85e^{-2s}}{(100s + 1)(100s + 1)(200s + 1)}$$

식(3)은 Turbine Master 입력신호에 대한 Megawatts, Throttle Pressure 및 Superheater Temperature의 동특성을 측정 한 값을 기준으로 설계한 전달함수이며 그림 5와 같이 측정값과 우수하게 일치하는 것을 확인할 수 있다. 설계시 연산 시간이 증가하지만 물리적인 의미를 찾을 수 없는 고

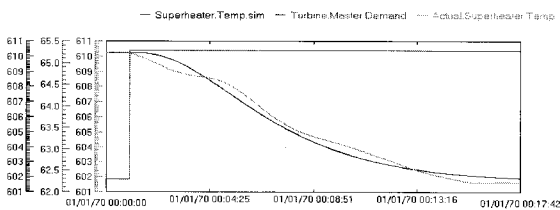
차함수 설계를 지양하고 4차 이하의 함수로 설계 하였다. 세 개의 전달함수는 부하 최적화 운전 방식에서 터빈 제어부에 포함되며 비례·적분·미분 제어기의 기준 입력(set point)을 결정하는 역할을 한다. 모델 예측제어기가 시스템의 동특성을 예측하여 기준입력을 결정하기 때문에 기준 입력과 제어하고자 하는 출력 값과의 오차가 감소하여 구동기의 부하 감소 및 시스템의 안정성을 증가시키는 역할을 한다.



(a) Turbine Master Demand vs. Megawatts



(b) Turbine Master Demand vs. Throttle Pressure



(c) Turbine Master Demand vs. Superheater Temperature

그림 5 터빈마스터부 시스템 동특성 모델링
Fig. 5 System Dynamics Modeling in Turbine Master

식(4)는 식(3)을 z-전달함수(z-transform)[8]로 표현한 것이다. 실험을 통하여 획득한 전달함수를 모사 실험기에 설치하기 위해서는 이산화 시켜야 하기 때문에 z-전달함수로 변환시켰으며, 이 때 추출 시간(sampling time)은 모사 실험기의 성능 및 용량을 고려하여 1초로 설정하였다. 모델 예측 제어기의 추가로 시스템의 신뢰성 향상 뿐만 아니라, 오차의 감소로 wind-up[9]현상을 방지할 수 있게 되었다. 일반적으로 시스템의 안정성 및 강인성을 확보하기 위하여 사용하는 적응제어기(adaptive controller)[10]와 같은 비선형 제어기들이 게인(gain)이나 변수 조절과 같은 방법으로 강인성을 확보하기 때문에 구동부(actuator)에 부하가 큰 반면에, 본 연구에서는 기준입력을 변화시키기 때문에 구동부에 부하가 감소되어 구동부의 구동 범위 증가에 따른 비용 증가를 방지했을 뿐 아니라 안정성도 향상시켰다.

$$MPC_{TM-MW}(z) = \frac{(0.2816z^{-1} - 0.2776z^{-2})z^{-2}}{1 - 1.88z^{-1} + 0.8825z^{-2}}$$

$$MPC_{TM-MW}^*(z) = \frac{(-0.03832z^{-1} + 0.037072z^{-2})z^{-2}}{1 - 1.885z^{-1} + 0.8869z^{-2}} \quad (4)$$

$$MPC_{TM-ST}(z) = \frac{(-2.36 - 9.382z^{-1} - 2.331z^{-2})z^{-2}}{10^7(z - 2.975 + 2.95z^{-1} - 0.975z^{-2})}$$

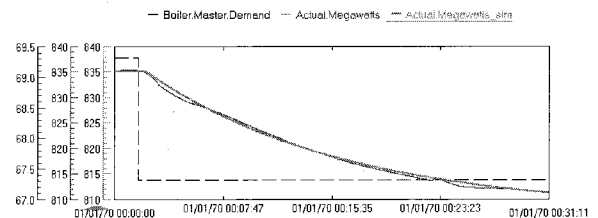
3.2.2 MPC for boiler

모델 예측 제어기 보일러부에 사용되는 세 개의 모델은 식(5)와 같다. Boiler Master 입력신호에 대한 Megawatts, Throttle Pressure 및 Superheater Temperature의 동특성을 전달함수로 설계하였으며 이를 통해 연료계통 비례·적분·미분 제어기의 기준 입력을 결정하는 역할을 한다. 그림 6은 Boiler Master 입력신호에 대한 Megawatts, Throttle Pressure 및 Superheater Temperature 동특성 모델 결과이다. 설계된 전달함수가 측정값과 일치함을 관찰 할 수 있다.

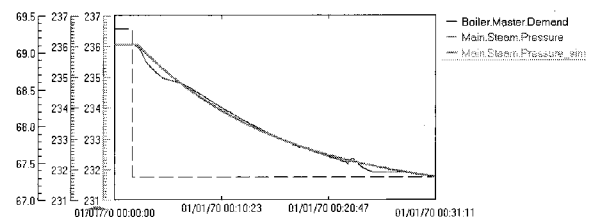
$$MPC_{BM-MW}(s) = \frac{14e^{-30s}}{(50s + 1)(50s + 1)(2500s + 1)}$$

$$MPC_{BM-TP}(s) = \frac{2.5e^{-30s}}{(50s + 1)(30s + 1)(2500s + 1)} \quad (5)$$

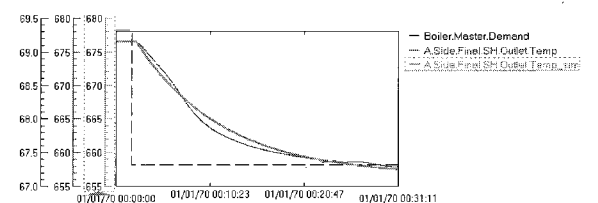
$$MPC_{BM-ST}(s) = \frac{9.5e^{-30s}}{(100s + 1)(150s + 1)(1200s + 1)}$$



(a) Boiler Master Demand vs. Megawatts



(b) Boiler Master Demand vs. Throttle Pressure



(c) Boiler Master Demand vs. Superheater Temperature

그림 6 보일러 마스터부 시스템 동특성 모델링
Fig. 6 System Dynamics Modeling in Boiler Master

3.2.2 MPC for Feedwater

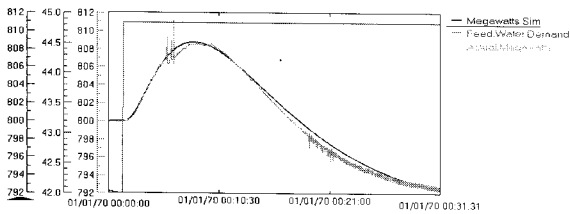
식(6)은 Feedwater Master demand에 대한 Megawatts,

Throttle Pressure 및 Superheater Temperature의 동특성을 전달함수로 표현한 것이며, 그림 7을 통하여 전달함수가 실제 값과 잘 일치함을 확인할 수 있다. Feedwater 모델 또한 부하응답 최적화 운전 제어 로직에 포함되며 Feedwater Master 제어부에 포함되는 비례·적분·미분 제어기의 기준 입력을 결정한다.

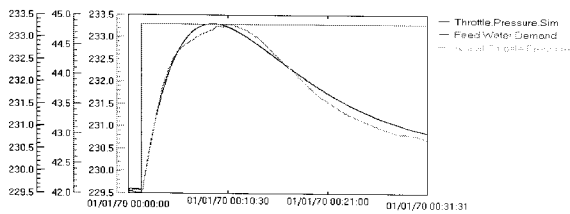
$$MPC_{FW-MW}(s) = \frac{-3.5(1200s+1)e^{-10s}}{(100s+1)(300s+1)(450s+1)}$$

$$MPC_{FW-TP}(s) = \frac{0.3(4500s+1)e^{-10s}}{(400s+1)(400s+1)} \quad (6)$$

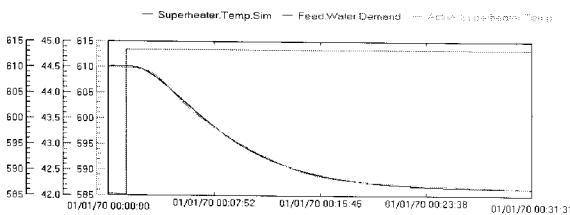
$$MPC_{FW-ST}(s) = \frac{-8.5e^{-10s}}{(10s+1)(200s+1)(250s+1)}$$



(a) Feedwater Master Demand vs. Megawatts



(b) Feedwater Master Demand vs. Throttle Pressure



(c) Feedwater Master Demand vs. Superheater Temperature

그림 7 피드워터 마스터부 시스템 동특성 모델링
Fig. 7 System Dynamics Modeling in Feedwater Master

3.3 모사 실험 결과

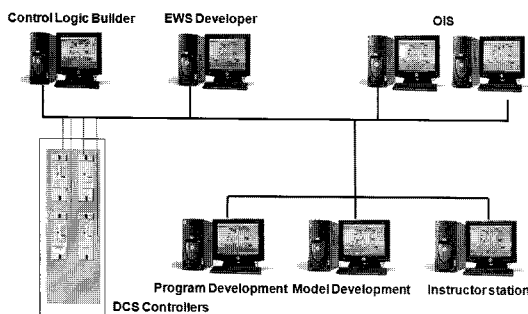


그림 8 모사실험기 구성도
Fig. 8 Schematic diagram of Simulator

일반적으로 제어 로직 검증을 위해 컴퓨터를 사용하여 소프트웨어적으로 모사 실험을 실시하지만, 본 연구에서는 초초임계압 발전소에 사용될 제어기로 모사 실험을 수행하기 위하여 6개의 DCS 제어기와 DCS 디지털 및 아날로그 입출력 단자 및 7개의 워크스테이션을 사용하여 표 2과 같이 모사 실험기(Simulator)를 제작하였으며 그림 8에 구성도가 도시되어 있다.

표 2 Simulator Hardware Set-up

Hardware	Quantity
DCS Controller Unit	6 SET
DCS DI, DO, AI, AO Module	1 SET
Process Control Logic Builder workstation	1 SET
Instructor Station workstation	1 SET
EWS Developer workstation	1 SET
OIS workstation	2 SET
Model Development workstation	1 SET
Program Development workstation	1 SET

구축된 모사 실험기에 부하응답 최적화 운전 방법을 적용한 제어로직을 입력하여 초초임계압 화력발전 제어로직 검증 실험을 수행하였다. 그림 9는 1000MW에서 800MW로 출력을 감소한 후 다시 1000MW로 출력을 증가한 결과이다. 생산되는 전력의 오버슈트는 1000MW에서 800MW로 감소시킬 때는 8.4MW이며, 800MW에서 1000MW로 증가시킬 때는 4.33MW로 매우 작은 것을 관찰할 수 있다. 최대/최소 주증기 온도는 617.74°C/609.52°C이며, 최대/최소 재열증기 온도는 627.96°C/620.82°C로, 기준과 비교할 때 주증기는 +4.74°C/-3.48°C 재열증기는 +3.96°C/-3.18°C이다. 이는 설계 기준을 만족할 뿐만 아니라 기존의 발전소 운전방법인 보일러 추종 운전 방법, 터빈 추종 운전방법 및 보일러-터빈 협조제어 운전방법의 주증기/재열증기 온도변화와 비교할 때에도 큰 폭으로 감소한 값이다.

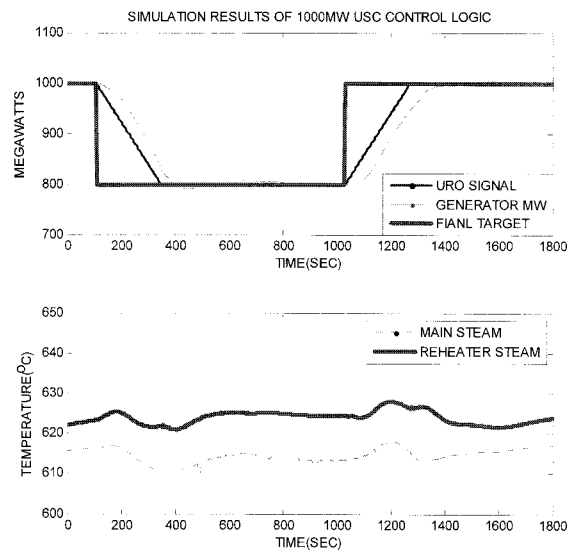


그림 9 출력변화에 따른 응답특성 모사실험 결과
Fig. 9 Simulation Results of Load Change

4. 결 론

본 논문에서는 1000MW급 초초임계압 발전소의 운전 안정성 향상을 위하여 퍼직 로직 및 모델 예측제어기를 적용한 부하응답 최적화 운전방법을 제안하였다. 이를 통하여 기존 발전소 운전 방법의 문제점인 연료 계통 응답이 터빈 계통 응답보다 느린 것을 보상하고 빠른 응답성을 갖으면서 안정성이 향상된 제어로직을 구현할 수 있었다. 또한 모사 실험을 통하여 설계된 제어가 실제 기준에 충족되며 기존 제어기보다 향상된 성능을 보임을 검증하였다.

감사의 글

본 연구는 전력기반조성사업센터(Electric power Technology Evaluation & Planning center: ETEP)의 Power R&D Program R-2002-1-011-0-02 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Bjart Holtsmark, Cathrine Hagem, "Emission Trading under the Kyoto Protocol", Center for International Climate and Environmental Research (CICERO), 1998
- [2] H.Y. Kim, "Control Logic Design of 1000MW Class Ultra Super Critical Power Plant (5th Technical Report)", KEPRI(Korea Electric Power Research Institute), pp27, 2007. 9.
- [3] GENE F. FRANKLIN, J. DAVID POWELL, ABBAS EMAMI-NAEINI, FEEDBACK CONTROL OF Dynamic Systems 4th edition, Prentice Hall, pp2-6, 2002
- [4] Bermard Friedland, CONTROL SYSTEM DESIGN (An Introduction to State-Space Methods), Dover, pp238, 2005
- [5] 박중호, 여영구, 강홍, "제지공정의 모델예측제어", 한국 펄프·종이공학회, pp212~220, 2004.11
- [6] F.A. Alturki, A.Adbennour, "Design and simplification of adaptive Neuro-Fuzzy inference controllers for power plant", Electircal Power and Energy Systems, vol.21, no.7, pp465-474, 1999
- [7] 안창환, "직류 서보 전동기 센서리스 속도제어를 위한 뉴로-퍼지 관측기 설계", 대한전기학회, vol.56, no.3, pp129-135, 2007
- [8] Katsukiko Ogata, Discrete-Time Control Systems (Second Edition), Prentice Hall, pp23-53, 1995
- [9] Pyung H. Chang and Suk H. Park, "The Development of Anti-windup Scheme and Stick-Slip Compensator for Time Delay Control", Proceedings of American Control Conference, vol.6, pp3629-3633, 1998
- [10] JEAN-JACQUES E. SLOTINE, WEIPING LI APPLIED NONLINEAR CONTROL, Prentice Hall, pp311-352, 1991

저 자 소 개



오 기 용 (吳 沂 鏞)

1978년 3월 5일 생. 2006년 한국과학기술원(KAIST) 대학원 기계공학과 졸업(석사). 현재 한전 전력연구원 연구원
Tel : 042-865-7685
Fax : 042-865-7804
E-mail : okyer@kepri.re.kr



김 호 열 (金 好 烈)

1958년 2월 7일 생. 1990년 인하대학교 대학원 정보공학과 졸업(석사), 현재 한전 전력연구원 수석연구원
Tel : 042-865-5401
Fax : 042-865-5304
E-mail : hoyolkim@kepeco.co.kr