

관류보일러 스팀 온도의 동역학 행렬 제어에 관한 연구

A Study on Dynamic Matrix Control to Boiler Steam Temperature

김우현*, 문운철**
Woo-Hun Kim*, Un-Chul Moon**

Abstract - In this paper, we present simulation results of Dynamic Matrix Control (DMC) to a boiler steam temperature. In order to control of steam temperature, we choose the input-output variables and generate the step response model by each input variable's step test. After that, the control structure executes on-line control with optimization using step response model. Proposed controller is applied to the APCESS(Doosan company's boiler model simulator) and it is observed that the simulation results show satisfactory performance of proposed control.

Key Words : Dynamic matrix control, Model predictive control, Boiler-turbine System

1. 서론

화력발전소에서 과열기는 드럼으로부터 유입되는 포화증기의 수분을 증발시켜 과열증기를 만든다. 보일러 스팀온도 제어는 시시각각 변하는 부하의 수요를 충족시키면서, 증기온도를 열용력에 의한 터빈의 균열을 막기 위해서 일정범위 내로 유지하는데 목표가 있다.

그러나 실제 보일러 스팀온도의 제어에 있어서 고전적인 Proportional-Integral-Derivative(PID) 방식의 제어방법은 스팀온도의 계측과 스프레이 동작 사이의 시간 지연, 부하 변화에 따른 비선형성 등으로 인해 제어가 어렵다. 이를 극복하기 위하여 여러 종류의 적응제어(Adaptive Control) 기법 및 인공 지능 기법이 연구되어 왔다. 근사화된 선형 시스템으로부터 최적해를 구하기 위해 반복적 방법을 이용한 최적제어 기법[1], 동역학 모델링 기법을 사용한 증기온도 제어기법[2], 퍼지 제어기법을 이용한 과열기 시스템의 증기온도 제어에 관한 연구가 발표되었다[3].

모델 예측 제어(Model Predictive Control, MPC)는 일정한 미래 구간 내에서 예측된 출력을 바탕으로 하여, 순차적으로 제어 입력을 계산하는 제어 알고리즘을 통칭한다. 그 중에서, Dynamic Matrix Control(DMC)는 가장 잘 알려진 MPC의 한 종류로써, 각종 산업 현장의 고급 제어에 가장 널리 적용되고 있다[4].

본 논문에서는 DMC 기법을 적용하여 보일러 스팀온도를 제어한 결과를 제시하고자 한다. 우선, 제어를 하기 위해 대상 시스템에서 입력과 출력 변수를 선정할 후, 각각의 입력

변수들의 스팀 테스트를 통해서 계단 응답 모델을 생성하였다. 다음으로는 생성된 계단 응답 모델을 바탕으로 해서, 매 순간 DMC의 최적화 계산을 통해서 보일러 스팀온도를 제어하는 과정을 거쳤다. 이 때 제시된 제어기를 두산(주)의 보일러 모델 시뮬레이터인 APCESS에 적용한 결과 만족할 만한 성능을 확인하였다.

2. 본론

2.1 제어 모델과 시뮬레이터

본 논문에서는 제어기의 성능을 확인하기 위해서 두산(주)의 보일러 모델 시뮬레이터인 APCESS를 사용하였으며, 제어 대상으로는 1000MW Ultra Super Critical Boiler Plant를 선정하여 시뮬레이션 하였다.

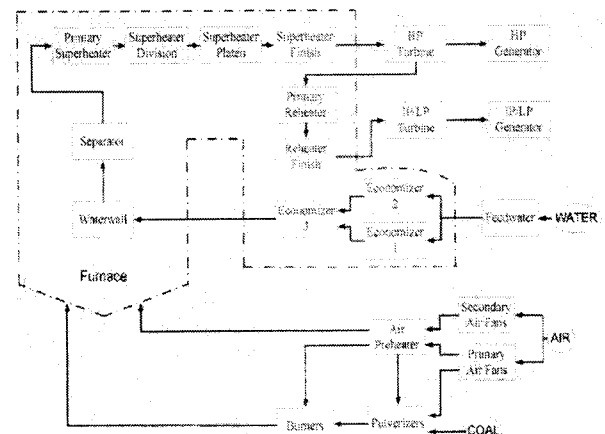


그림 1. 1000MW Ultra Super Critical Boiler Plant

저자 소개

* 準會員 : 中央大學 電子電氣工學科 碩士課程

** 正會員 : 中央大學 電子電氣工學科 副教授 · 工博

APESS는 제어 모델을 시뮬레이션하여 각 수치값을 출력한다. 이때 Matlab과의 인터페이스를 위해 APESS Editor 프로그램을 사용하여 제어에 필요한 수치들을 실시간으로 저장하게 된다. 그러면 Matlab으로 프로그램한 제어기는 그 수치를 입력받아 DMC를 수행하고, 설정된 제어온도로 제어하기 위한 최적의 입력값들을 다시 APESS Editor를 통해 APESS에 전달하게 된다. APESS는 이 입력을 바탕으로 다시 시뮬레이션을 실행한다.

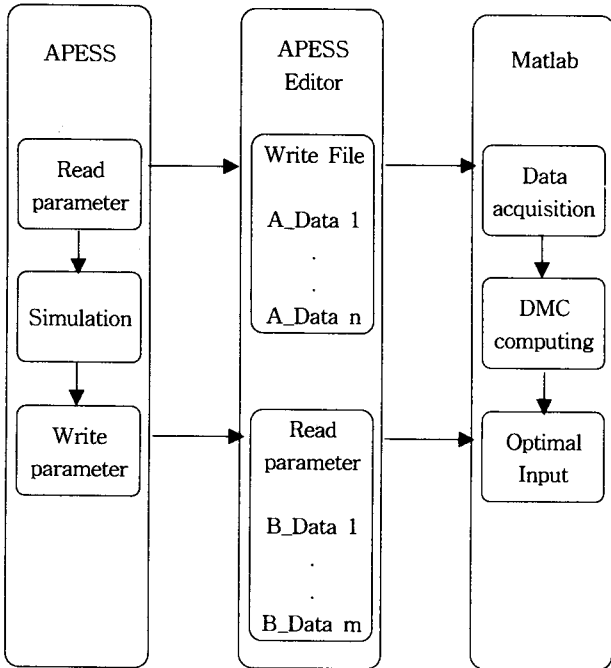


그림 2. 제어 시뮬레이터와 제어기의 Data Interface

2.2 DMC 알고리즘

본 연구에서의 제어 대상 시스템은 2개의 입력과 2개의 출력을 가진 다중입력 다중출력(Multi-Input Multi-Output, MIMO) 시스템이다. 일반적으로 MPC는 대상 시스템의 계단 응답 모델을 구한 후, 제어입력에 따른 출력의 예측을 통하여 제어입력을 결정하게 된다. DMC에서는 다음과 같은 예측 방정식을 사용한다.

$$\bar{Y}_{k+1|k} = \bar{Y}_{k+1|k-1} + \bar{S}\Delta\bar{U}_k + \bar{Y}^d_{k+1|k} \quad (1)$$

여기서, \bar{S} 는 4개의 계단 응답을 포함하는 동역학 행렬이다. 이 때, 매 이산 시간마다 다음과 같은 최적화 문제를 계산한다.

$$\min_{\Delta\bar{U}_k} \|\bar{E}_{k+1|k}\|_{\lambda} + \|\Delta\bar{U}_k\|_1 \quad (2)$$

여기서, $\bar{E}_{k+1|k}$ 는 $(\bar{Y}_{k+1|k} - \bar{R}_{k+1|k})$ 를 나타낸다.

2.3 DMC 제어기의 설계

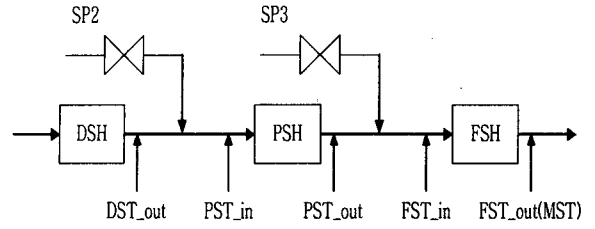


그림 3. 과열기 구조

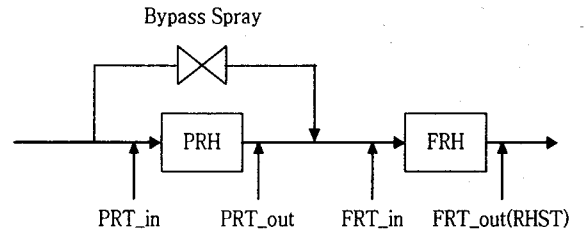
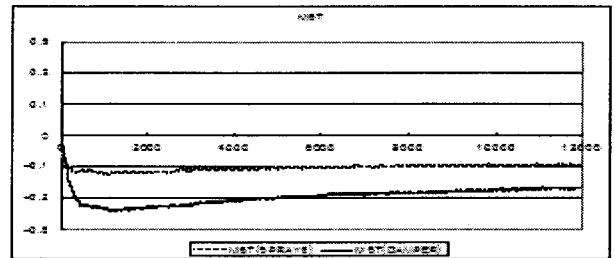


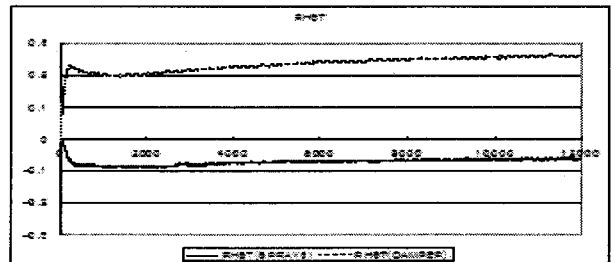
그림 4. 재열기 구조

제어기의 입력변수를 SPARY3(그림 3의 SP3)와 재열기의 Damper로 각각 선정하였으며, 출력 변수로는 과열기의 스팀 온도(그림 3의 MST)와 재열기의 스팀온도(그림 4의 RHST)로 정하였다.

각 입력에 대한 각 출력의 계단 응답 모델을 APESS 시뮬레이션을 통하여 생성하였다.



(a) 과열기 스팀온도의 계단 응답 모델



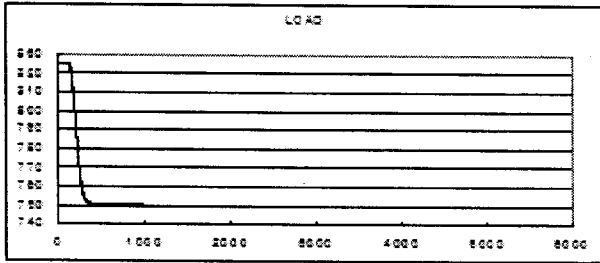
(b) 재열기 스팀온도의 계단 응답 모델

그림 5. 계단 응답 모델

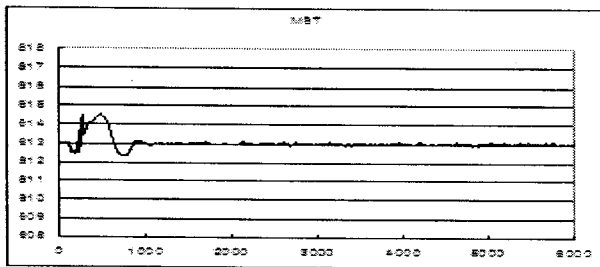
3. 모의실험

DMC의 이산 시간의 간격은 5초, 예측 구간은 6000초, 그리고 제어 구간은 100초로 설정하였고, 추종값을 MST는 61.3℃ RHST는 624℃로 설정하였다.

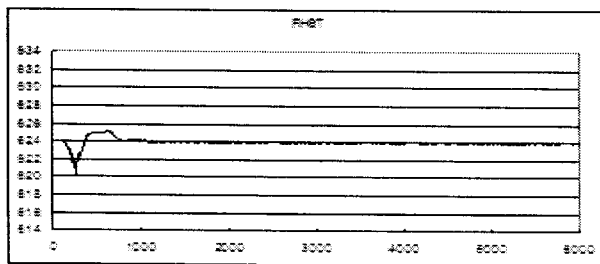
그림 6은 부하가 825MW에서 750MW로 변화할 DMC 기법을 통한 스팀온도 제어의 성능을 나타낸 것이다. 그림을 통해서 DMC기법을 사용한 제어가 만족할 만한 성능을 보이는 것을 확인 할 수 있다.



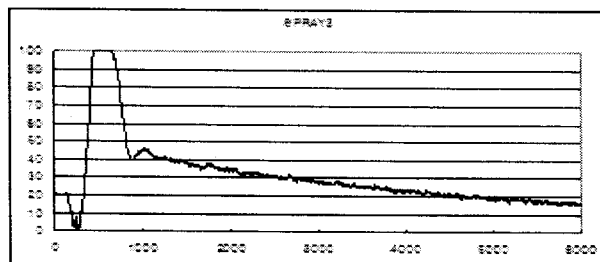
(a) 부하의 변화



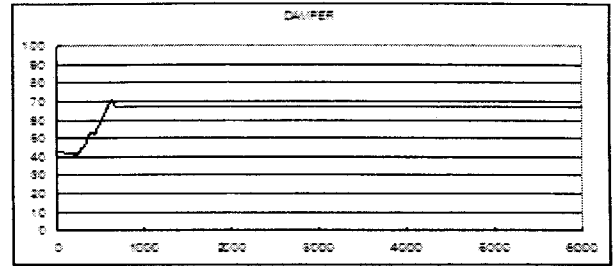
(b) 과열기 스팀온도



(b) 재열기 스팀온도



(c) SPRAY3 입력



(b) Damper 변화

그림 6. DMC의 스팀온도 제어

4. 결론

본 논문에서는 보일러의 스팀온도 제어를 위해 DMC 기법을 적용한 제어를 설계하여 검증하였다. 입력 변수들의 계단응답모델을 바탕으로 하여, 매 순간 DMC 기법을 사용하여 최적화된 입력값을 업데이트해 제어를 하도록 구성하였으며, 스팀온도제어에 대한 시뮬레이션 결과로부터 원하는 제어 성능을 얻음을 확인 할 수 있었다.

그러나 보일러 시스템이 부하에 따라 비선형적인 성질을 보이므로, 각 부하에 따른 적절한 계단응답모델을 적용하는 연구가 지속되어야 할 것이다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원력양성사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] 이상혁, 김주식, "반복적 방법을 이용한 화력발전소 과열기 시스템의 온도제어", 한국조명·전기설비학회 논문지, 제 4호, 제 13권, pp. 47-55, 1999.
- [2] Gough, B, "Advanced Control of Steam Superheat Temperature on a Utility Boiler", Universal Dynamics Technologies Inc., Richmond, Canada, 2000.
- [3] 이돈구, 이상혁, 김주식, 유정용 "화력발전소 과열기의 증기온도 제어를 위한 퍼지 제어기 설계", 조명·전기설비학회논문지 제 6호, 제 16권, pp. 80-86, November 2002.
- [4] J. H. Lee, "Model Predictive Control in the Process Industries: Review, Current Status and Future Outlook", Proceedings of the 2nd Asian Control Conference, vol II, pp. 435-438, July 1997.