

발전소 효율 향상 이론개발을 위한 조사 연구 (5)

김종보·김진·김종현
한국중공업주식회사

2. 본론

다. 효율향상을 위한 개선요인 분석

(2) 제어 및 프로세스 개선

(라) 상태 관측기를 가진 제어기의 적용

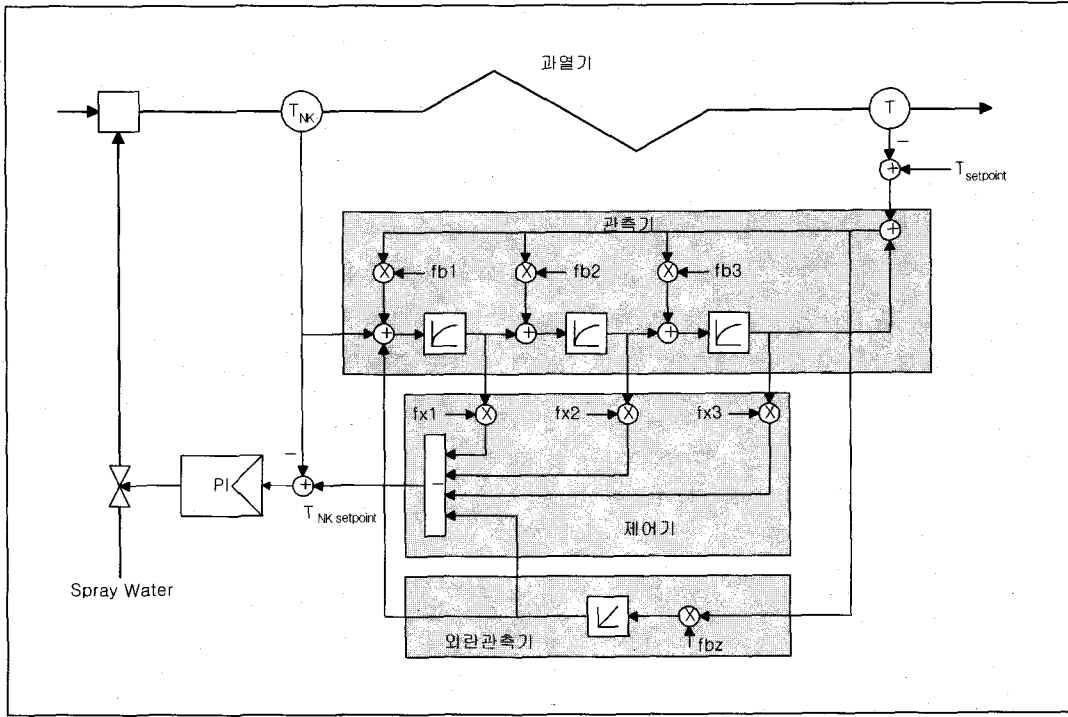
상태 관측기를 가진 제어기는 많은 현대제어이론 중 증기플랜트 제어에 가장 적용 가능성이 높은 제어기이다. 고전적인 제어방식이 시스템의 입출력에 착안하는 방법인데 비해 상태 공간법은 플랜트의 동특성이 묘사된 프로세서의 내부상태에 착안하는 방법으로서 일반적으로 프로세서의 입력과 출력측에서 측정된 값을 근거로 상태 관측기를 이용하여 프로세서의 상태변수들을 추정하고, 이 추정된 상태변수들을 근거로 프로세서를 제어하는 방법이다. 즉 프로세서의 제어값이 추

정된 상태변수들의 함수로 주어지는 제어기이다.

만일 시스템이 1차 지연 요소들의 순차적인 연결로 모델되어 있다면 이 각각의 요소들의 출력이 내부 상태변수로 표현된다. 그러나 대부분의 시스템에 있어 직접 측정할 수 있는 내부 상태변수는 매우 적으며, 측정이 가능하다 하여도 너무 많은 센서들을 필요로 한다. 이런 문제점은 상태 관측기를 사용하여 해결할 수 있으나, 상태 관측의 수행을 위해서 정확한 프로세서 모델을 필요로 한다. 이러한 프로세서 모델은 실제 측정 자료와 설계 자료의 계산에 의하여 얻어질 수 있다.

3차 지연 시스템을 위한 제어기의 구조를 그림 15에 나타내었다. 상태 관측기 외에 몇 개의 제어기를 추가함으로써 다음과 같은 성능을 보장한다.

- 외란 관측기 설치로 인한 지속적인 외란 보정
- 과열기 입구측 온도 예측을 위한 관측기 설치



〈그림 15〉 상태 궤환 제어기와 관측기

- 부하에 따른 플랜트 이득 조정(특히 변압운전에 적용)
- 현재 부하에 따른 적합한 시간상수 적용
- 외란이 적을 경우 스프레이 밸브의 동작 중지 (Valve Stop)

제어기의 설계를 위해서는, 고전적인 PID제어기의 경우 세 개의 변수를 사용하여 제어기를 조절한다. 그러나 상태 관측기를 가진 제어기의 경우 플랜트 모델의 지연 개수를 N 이라 가정하면, 상태 궤환 제어기에 N 개의 변수가 필요하며, 상태 관측기 역시 N 개의 변수를 필요로 한다. 그리고 외란 관측기에 1개의 변수가 필요하므로 전체 $2N+1$ 개의 변수가 필요하게 된다. 세 개의 지연요소를 가진 모델인 그림 2의 경우 7개의 조절 변수를 가지고 있다. 이러한 많은 조절 변수들을 수동으로 조절하는 것이 어렵다는 것은 명확하

다. 그래서 제어기 설계시 이 변수들의 개수를 최소로 줄이기 위하여 여러 가지 방법을 사용하고 있다.

상태 관측기를 가진 제어기를 과열기 증기 온도제어에 적용하면 다음과 같은 경제적 이익을 얻을 수 있다.

- 열응력 감소에 의한 고압 증기 부분의 수명 연장
- 최종 과열 온도 증가로 인한 열효율 증가
- 빠른 부하 변동 가능
- 열당량의 변화가 심한 저급 석탄의 사용이 가능
- 온도조절기 개수의 감소

일반적으로 최종 과열 증기온도의 최대 제어 편차는 약 $\pm 10K$ 이다. 하지만 상태 관측기를 가진 제어기를 사용하면 편차를 약 $\pm 7K$ 로 줄일 수 있기 때문에 최종 과열 증기온도 설정치를 $3K$ 증가시킬 수 있으며, 이것은 플랜트 전체 효율을 1% 정도 증가시키는 효과

◆ '96/'97년도 대한전기협회 조사연구논문

가 있다. 이러한 이유로 대부분의 발전 제어시스템 회사들이 과열증기 온도 제어에 상태 관측기를 가진 제어를 사용하고 있는 실정이다. 국내의 경우에도 보령 화력발전소에 ABB Enertech사(구 SULZER사)의 SCO제어기를 비롯하여, ABB사의 SVC, SIEMENS사의 SFC 등의 이름으로 적용되어 있다. 이들의 적용 결과로 보일러, 터빈의 자동 기동/정지 시간을 단축하였으며, 다양한 탄종으로도 최적연소가 가능하게 되었다. 또한 부하 변화율을 유전소 보일러와 동등하게 할 수 있었으며 부하 변화시에도 주증기 온도와 재열 증기 온도가 안정되게 제어됨으로써 부하 변화가 심한 여름철의 심야대에서도 우수한 자동 주파수 추종 운전을 가능하게 하여 전력계통 안정에도 공헌을 하였다.

현대 제어이론의 경우 우수한 제어 능력에 비하여 실용화에 어려움이 많았으나 석탄 화력발전소의 증기 온도 제어에 성공적으로 적용되어, 이를 바탕으로 상태 관측기를 가진 진보된 제어시스템을 온도제어 뿐만 아니라 발전소의 다른 제어에도 확대 적용키 위한 기술개발에 박차를 가하고 있으며, 최근 개발된 Fuzzy-Logic 제어기는 현재 국내발전소 제어시스템에는 적용되지 않고 있으나 고난도의 Tuning 기술이 요구되는 연소제어 등에 적용 함으로써 운전효율의 향상에 기여할 수 있다.

3. 결론

대부분의 전력 에너지를 수입에 의존하는 국내 현실을 볼 때 수입 에너지의 효율적 운용은 국가적 과제이며 발전분야 뿐 아니라 산업 전분야에 걸쳐 전문적이고 과학적인 연구와 실용화 방안이 제시되어야 한다. 현시점에서 한국전력의 경우 원화의 평가절하로 에너지 수입 채산성이 지속적으로 악화되는 등의 자금난에

도 불구하고 늘어나는 전력수요에 대처하기 위해 발전소를 지속적으로 건설해야 하는 어려움이 있으며 지구 온난화 방지 협약 등 다양한 형태의 국내의 환경보호 규제 정책으로 공해방지 시설의 추가 설치비용 부담 등 발전단가는 꾸준히 상승하고 있는 실정이다. 이에 에너지의 효율적 이용을 위한 연구는 단순한 절약 차원을 넘어선 국가의 자원 활용 경쟁력 혁신, 플랜트 설비의 효율적 운용을 통한 환경오염 배출물의 감소 방안으로서도 효과를 기대할 수 있다.

이 조사 연구에서 제시된 500MW급 초임계압 관류 보일러형 화력발전소의 효율 개선을 위한 방안으로 기계적 설비의 개선 뿐 아니라 그동안 국내에서 적용되지 않은 선진제어 기술과 접목된 성능 및 효율 향상 기술을 조사 연구하였으며 부분적이거나 석탄화력 발전의 효율과 성능에 대하여 정의하였다. 이에 도출된 결론으로 제시하고자 하는 것은 아직도 국내 발전소에는 효율과 성능 향상을 위한 개선의 여지는 많으며 개선안의 적용은 크게 세부분으로, 현재 상업운전중인 발전소와 건설이 진행중인 발전소 그리고 건설이 계획 중인 발전소 등으로 분류하여 적용을 위한 경제성 검토가 필요하다. 이 조사 연구에서 기계적 개선사항으로 제시된 것은 신규 발전소에 적용함이 타당하며 제어 및 프로세스 개선안으로 조사 연구된 사항은 신규 발전소 뿐 아니라 기존의 운전중인 발전소에도 큰 비용부담 없이 개선할 수 있으므로 보다 실무 차원의 전문적인 적용성 검토가 이루어져야 할 것이다. 기본적으로 이러한 개선안들은 기초과학 이론과 실무의 경험이 접목된 사항으로 우리나라 보다 산학 연대가 잘 발달되어 있는 선진국에서 제안되고 있으며, 앞으로 이러한 제안들이 국외의 전문가들이 아닌 국내에서도 될 수 있도록 산업계에서 보다 많은 연구 개발 과제를 학계와 컨소시엄을 구성하여 상호 보완적인 역할을 할 때 이루어질 것으로 전망된다. ■

● 참고 문헌 ●

1. Steam, Its Generation and Use, 40THed., The Bobcock & Wilcox, a Mcdermott Company, Barberton, Ohio, U.S.A., 1992.
2. Fraas, A.P., Engineering Evaluation of Energy Systems, McGraw-Hill Book Co., New York, 1982.
3. Combustion, Fossil Power, 6THed., J.G. Singer, Editor. ABB-CE, Windsor, Connecticut, U.S.A., 1991.
4. Howell, J.R., Buckius, R.O., Fundamentals of Engineering Thermodynamics, McGraw-Hill book Co., New York, 1987.
5. Faires, V.M., Simmang, C.M., Thermodynamics, 6THed., McMillan Publishing Co., New York, 1978
6. Yoon, C.J., "Fossil Power systems of Next Generation based on Clean Coal Technology" presented at the 1st Int. Symp. on Power Systems, 1994, HANJUNG Co., Korea
7. El-Wakil, M.M., Powerplant Technology, McGraw-Hill Book, Co., New York, 1984
8. Jansson, S.A., "Comparing Efficiency and Environmental Performance of Coal-based Power Generation Technologies", keynote paper, 5TH New Zealand Coal Conference, 1993. Wellington, New Zealand
9. Singer, J.G., Private Communications, 1978, Windsor, Connecticut, U.S.A.
10. Todd, D.M., "Clean Coal Technologies for Gas Turbines", GE Power Generation, 1991, GE Company, Schenectady, New York
11. Ruth, L.A., Ramezan, M. Ward, J.H., "Combustion 2000 Program to Develop Coal Plant Technology", Power Engineering, 1993
12. Keenan, Kayes, et al, Steam Table, John Wiely & Sons, Inc., New York, 1969
13. M. Gold, and R.I. Jaffee, "Materials for Advanced Steam Cycles", ASME International Joint Power Generation Conference, Phoenix, Arizona, 1994
14. J.B. Kitto, "Technology Development for Advanced Pulverized Coal-Fired Boilers" Power-Gen International '96, Orlando, Florida, U.S.A., 1996
15. G.K. Lausterer and G. Kallina, "Advanced Unit Control within Stress Limits" ASME International Joint Power Generation Conference, Phoenix, Arizona, 1996
16. G.K. Lausterer and J. Mann, "Temperature control using state feedback in a fossil fired power plant", Control of Power Plants and Power Systems, Munich, Germany, 1992
17. G.K. Lausterer and B. Futterer, "Improved unit dynamic response using condensate stoppage", Control of Power Plants and Power Systems, Munich, Germany, 1992
18. G.K. Lausterer, "Advanced control schemes for fossil-fired power plant", Process Control Seminar, Megawatt Park S.A., 1990

〈연재 끝〉