

원전 급수펌프 구동용 터빈 제어시스템 개발

최인규, 정창기, 김병철, 김종만, 우주희
전력연구원

A Development of Digital Control System for FWPT In Nuclear Power Plant

Inkyu Choi, Changki-Jeong, Byoungchul-Kim, Jongan-Kim, Joohee-Woo
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - The thermal energy from nuclear fission is transferred to the steam generator which is a kind of a large heat exchanger. After the feedwater is injected into the steam generator and absorbs the thermal energy, it is converted into the steam. This steam goes into the turbine. The balance between the generated energy and the consumed energy is required for the nuclear power plant to be stable. For the purpose of which, the feed water, a parameter for energy transfer, should be controlled in stability. Usually, the nuclear power plants are operated in base load in the view of power system for the stability of fission system. Therefore, though there will be almost no unbalance, there can be some instability from unbalance in case of startup/shutdown or disturbance. In this case, the controllability of feedwater pump is very important for the quick recover of stability.

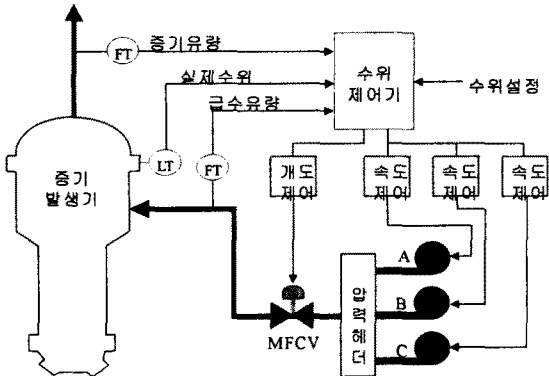
1. 서 론

원자력발전소에서 핵분열에 의하여 발생된 에너지는 일종의 대형 열교환기인 증기발생기에 전달된다. 증기발생기에는 급수가 유입되어 열에너지를 흡수한 후 증기로 변화되고 이 증기는 터빈에 유입되어 발전기를 구동한다. 원자력 발전소가 안정성을 유지하려면 발생된 열에너지와 소비되는 전기에너지가 균형을 이루어야 하며 이를 위해 에너지 전달 매체인 급수가 안정적으로 제어되어야 한다. 우리나라의 원자력 발전소는 보통 1차 계통의 안정성을 고려하여 전력계통 운용상 기저부하로 운전되고 있다. 따라서 보통의 경우 입력 에너지는 거의 불균형이 없으나 기동 정지 및 계통 외란 시에는 불균형이 발생될 수 있다. 이 때 안정성을 신속하게 회복하기 위해서는 급수펌프의 제어성이 매우 중요하다. 이 논문에서는 노후화된 원자력 발전소에서 운전 중인 급수펌프의 속도제어 시스템을 아날로그 방식에서 디지털 방식으로 개선하여 실제 운전 중인 내용에 대하여 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 증기발생기 수위제어

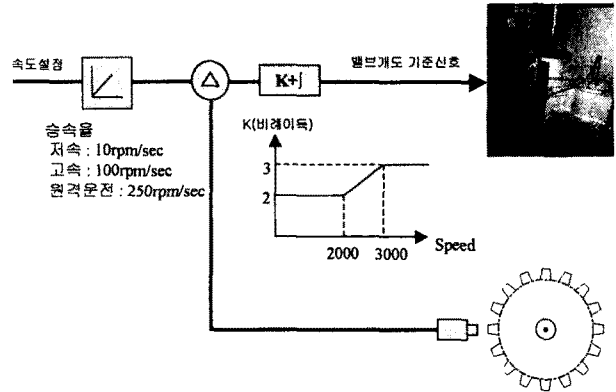
대상 발전소의 증기발생기 수위 제어의 개요를 그림 1에 나타내었다. 증기 유량이 증가하면 증기량과 급수량의 편차가 발생하고 증기발생기의 수위가 변동한다. 수위제어기는 이를 검출하여 급수제어 밸브(MFCV: Main Feedwater Control Valve)의 개도를 증가시키도록 개도제어기에 제어신호를 보낸다. MFCV의 개도 증가에 따라 급수유량이 증가하므로 헤더의 압력이 감소한다. 따라서, 증기발생기 압력과 헤더 압력의 편차가 증가하므로 이를 상쇄하기 위하여 펌프의 속도를 증가시킨다.



〈그림 1〉 증기발생기 수위제어 개요

2.2 급수펌프터빈 속도 제어

급수펌프터빈 속도제어의 목표는 급수유량을 가감하는 것이다. 이를 위해서는 수위제어기로부터 속도설정치가 입력되고 송속율을 고려하면 속도기준값으로 된다. 속도기준값과 실제속도의 편차에 비례적분제어를 적용하여 밸브개도 기준신호가 발생된다.

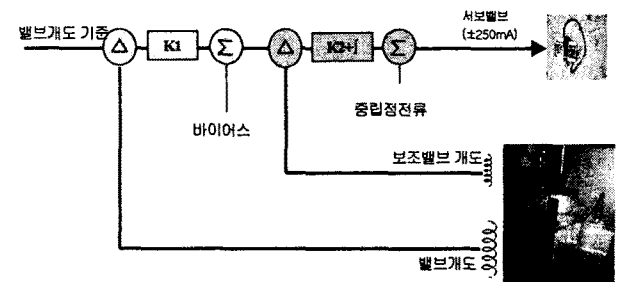


〈그림 2〉 속도제어 개요

송속율은 저속과 고속으로 구분되고 펌프가 제기능을 발휘하여 급수를 증기발생기에 공급하면 250rpm/sec로 설정된다. 이는 수위제어기의 신호를 즉시 반영하여 응답성을 향상시키는 효과가 있다.

2.3 밸브제어

아래 그림은 원전 급수펌프 구동용 터빈의 증기밸브 제어 방식을 나타낸 것으로 유압 서보밸브는 작은 유량으로 보조밸브의 개도를 조절하고 보조밸브는 유압 증폭기로 되어 큰 유량으로 주밸브의 개도를 직접 조절하므로 즉, 이중 적분 구조이다. 개도 설정치와 밸브개도가 일치되어 있는 상태이면 보조밸브와 서보밸브는 중립점(보통 50%개도)에서 운전된다. 이 때, 수위제어기에서 입력되는 밸브개도 기준신호가 변동되면 편차신호에 의하여 보조밸브 개도 설정치가 변동되고 이에 따라 서보밸브의 전류가 변동되어 보조밸브의 개도가 변동한다. 이에 따라 변동된 주밸브의 개도가 개도 설정치와 일치하면 보조밸브의 개도는 중립점으로 복귀하고 서보밸브 스프링 중립점으로 복귀한다.



〈그림 3〉 밸브제어 개요

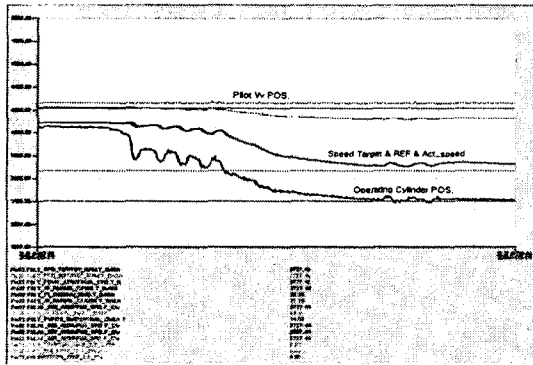
시운전 결과 밸브제어에 이득(K1)은 1로 설정되고 보조밸브제어에 이득(K2)은 11로 결정되었다.

2.4 적용 결과

대상 원자력발전소의 FWPT는 정상운전중 3대가 부하를 분담하여 운전하는 방식이다. 이 중 발전소 기동시 FWPT-A와 FWPT-B의 기동에 대하여 기술하였다.

2.4.1 FWPT-A의 운전

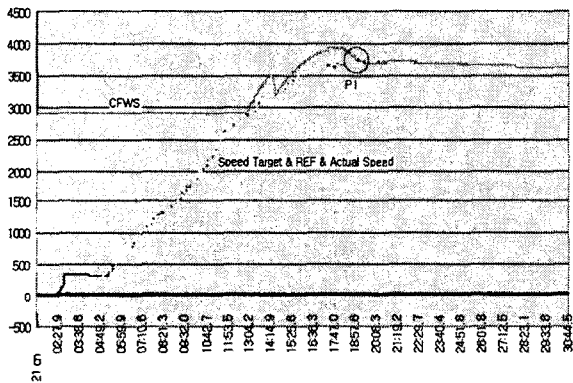
그림 4의 전반부는 원자로 출력이 2%에서 FWPT-A를 최초로 기동한 후, 원자로 출력이 5%에 도달하자 FWPT-A를 원격제어 운전(증기발생기수위 자동제어)으로 전환하여 속도가 일정하게 제어되고 있는 모습이다. 이 상태에서 FWPT-B를 수동으로 3500rpm 정도로 승속하여 증기발생기에 급수가 유입되자 FWPT-A의 속도가 소폭 변동하며 감소하고 있으며 FWPT-B의 속도가 더욱 증가하여 3700rpm에서 원격제어 운전으로 전환되자 FWPT-A의 속도는 안정되는 양상이다.



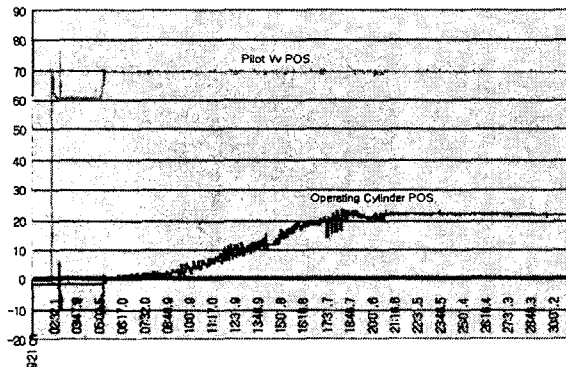
〈그림 4〉 FWPT-A 운전(FWPT-B 원격전환)

2.4.2 FWPT-B의 운전

그림 5의 전반부는 FWPT-B를 수동으로 승속하는 그래프이다. 수위제어기의 원격제어신호(CFWS)는 일정하게 유지되다가 속도기준과 실제속도가 2900rpm 정도에 도달하자 실제속도를 추종하고 있다. 후반부는 터빈의 속도가 3700rpm 정도(그림 5의 P1)에서 원격운전으로 전환하여 운전되는 모습이다. CFWS신호와 실제속도가 일치되어 양호하게 제어되고 있다.



〈그림 5〉 FWPT-B 기동 및 원격운전(속도)



〈그림 6〉 FWPT-B 기동 및 원격운전(밸브개도)

그림 6은 FWPT-B 운전 데이터 중 보조밸브와 밸브의 개도를 나타내고 있다. 보조밸브개도(Pilot Vv Pos)는 70%를 중립점으로 운전되고 있으며 밸브개도(Operating Cylinder POS.) 속도와 비례하여 증가하고 있다. 후반부에서 밸브개도가 일정한 것은 속도 변동이 없기 때문이다.

3. 결 론

이 논문에서는 원자력발전소에 실증 적용하여 운전중인 FWPT 제어시스템을 소개하였다. 어떤 제어시스템을 개발한 후 원활하게 동작하는 것을 확인하는 것은 매우 중요하다. 장기 사용한 원자력발전소의 제어시스템을 교체한 후 신뢰성을 확인하는 것은 특히 중요하다. 이번 연구개발 및 실증시험을 토대로 신뢰성과 성능이 확인된 펌프터빈제어 시스템을 화력발전소 등 여러 가지 플랜트에 확대 적용이 가능하다.

【참고 문헌】

- [1] 정창기의 12명, “원전 FWPT 제어시스템 개발 중간보고서”