

## 디지털 조속기용 제어기 실행주기 최적화

김병철, 정창기, 김종안, 최인규, 우주희  
한국전력 전력연구원

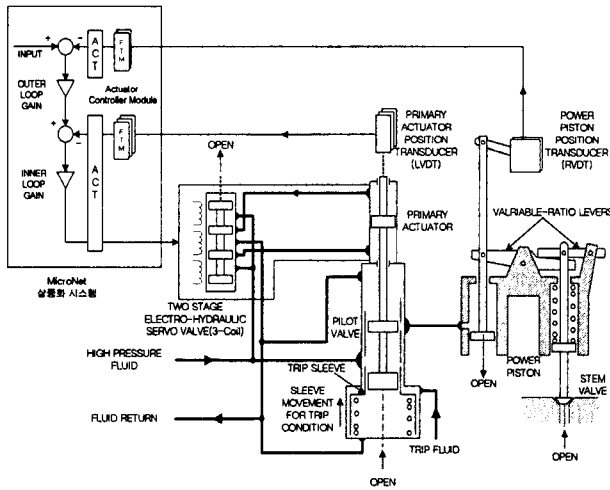
### Optimization of Controller Execution Cycle Time for Digital Speed Governor

Kim Byoung-Chul, Jung Chang-gi, Kim Jong-An, Choi In-Kyu, Woo Joo-Hee.  
Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - 원자력발전소는 원자로의 증기발생기에서 생산한 증기의 압력으로 터빈발전기를 돌려서 발전을 하고 있다. 터빈속도를 제어하는 디지털식 터빈 조속기는 마이크로프로세서를 기반으로 하는 디지털식 제어기가 널리 사용하고 있으며, 조속기에 사용되는 제어기는 빠른 제어 응답성과 높은 신뢰성을 요구하고 있으므로 제어 프로그램의 실행속도에 따라서 제어의 특성과 질이 좌우 될 수 있다. 디지털식 제어기는 제어프로그램을 순차적으로 반복 실행하며, 중요도에 따라서 몇 개의 그룹으로 나누어 실행 주기를 달리함으로써 제어기의 과도한 부하를 피하고 있다. 이렇게 함으로써 빠른 제어 응답성과 시스템 안정성을 모두 만족하는 실행주기로 최적화하는 과정이 필요하여 본 시험을 하였으며 이러한 제어특성을 사전에 확인하여 원자력발전소의 아날로그식 조속기를 디지털식 조속기로 개선을 하고자 시험한 사례를 소개한다.

#### 1. 서 론

본 시험에 사용한 제어시스템은 Woodward Governor사의 MicroNet 삼중화 디지털 제어시스템을 사용하였으며, 제어기의 부하율은 통신부하 등 불규칙적인 요인을 고려하여 제작사측에서는 약75%이내의 적절한 부하율을 갖도록 권하고 있는데, 규정된 시간 내에 제어 프로그램을 수행하지 못할 경우 제어기(Controller)가 정지해 버릴 수도 때문이다. 디지털식 조속기에 사용되는 제어기(Controller, CPU)의 부하율은 제어 프로그램 크기와 실행 주기에 의해서 결정되는데, 기능블록(Function Block)이 커지고 제어 로직량이 많아져서 부하율이 높아지는 것을 고려하여 제어기의 적절한 부하율을 갖도록 실행주기를 최적화해야 한다. 그림1은 원자력발전소의 조속기의 핵심을 이루는 밸브제어계통 중에서 한 개의 밸브제어 루프만을 보여주고 있다. 기존의 아날로그식 조속기를 디지털식 조속기로 개선함에 있어 디지털 제어기의 실행시간이 미치는 제어성능을 확인하고, 실행 주기를 최적화하기 위해 시험하였고, 개조에 적용할 제어시스템을 발전소 현장 증기밸브계통에 연결하여 실제 실행한 사례에 대하여 기술하고자 한다.



〈그림 1〉 밸브제어계통 제어성 시험 구성도

#### 2. 본 론

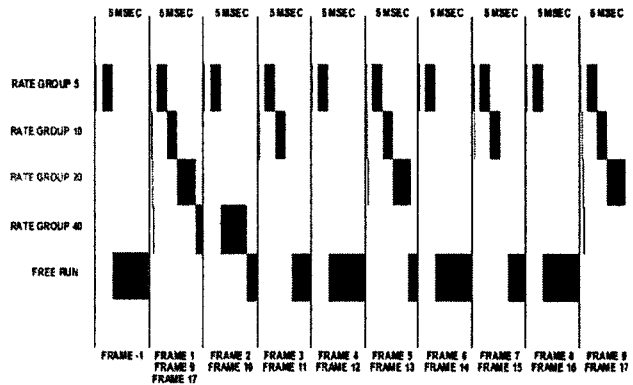
##### 2.1 시험대상 제어기 실행주기 종류

디지털 조속기의 개선을 대상으로 원자력발전소의 증기제어밸브 수량은 10개이고, 제어루프는 내측의 보조밸브(Pilot Valve) 제어루프와 외측의 주밸브(Power Piston) 제어루프의 이중 루프로 구성되어 있다. 증기밸브 제어 수량이 많고 부하율에 미치는 영향이 크기 때문에 밸브제어계통을 대상으로 시험하였다. 제어기의 실행시간 주기는 5가지로 나누어 10, 20, 40, 80, 160ms로 나누어 기능블록의 우선순위에 따라서 적절히 배분한다.

##### 2.1.1 시험대상 제어기의 실행주기

다음은 제어기의 실행주기 설정에 대한 그림이다.

##### RATE GROUP TIMING



〈그림 2〉 그룹별 실행주기 설정

##### 2.1.2 제어기 실행시간별 시험조건

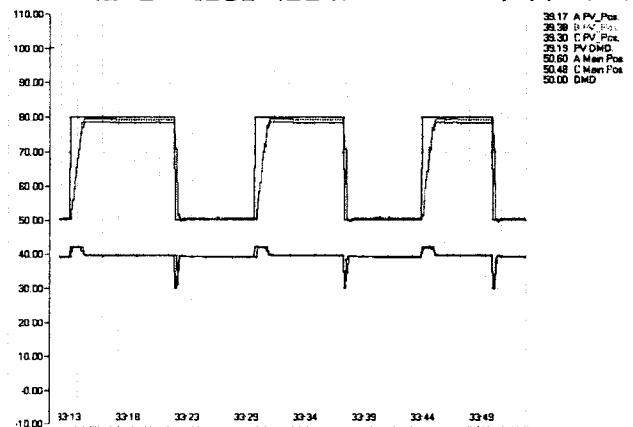
다음은 디지털 제어기의 실행속도에 따라 제어가 가능한지 여부를 확인하기 위해서 다음과 같이 실행 속도를 달리하여 4가지 경우로 나누어 각각 스텝 응답시험 및 경사응답시험을 실시하였다.

시험 조건	주밸브 실행시간	보조밸브 실행시간
시험조건 1	40 ms	40 ms
시험조건 2	80 ms	80 ms
시험조건 3	40 ms	80 ms
시험조건 4	80 ms	40 ms

##### 2.2 시험조건 1

시험조건 1에서는 주밸브 개도 제어루프는 40 msec로 보조밸브 개도 제어루프는 40 msec로 실행하여 계단응답시험을 실시하여 나타난 결과이다. 오버슈트와 언더슈트를 방지하기 위해서 보조밸브제어의 상한제한치는 42%, 하한 제한치는 30%로 설정하였다. 중립점은 40%이다. 주밸브와 보조밸브의 이득은 각각 0.5, 0.4로 최종 조정하였다.

##### 2.2.1 시험조건 1 계단응답 시험결과(50%→80%→50%, 이득:0.5/0.4)

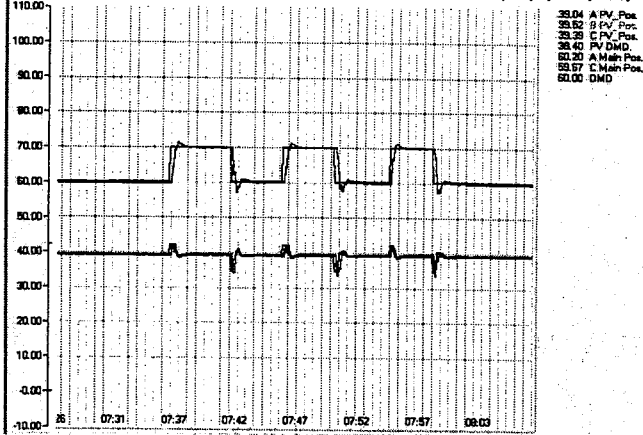


〈그림 3〉 계단응답 시험1

### 2.3 시험조건 2

시험조건 2에서는 주밸브 개도 제어 루프는 80 msec, 보조밸브 개도 제어 루프는 80 msec로 실행하여 계단응답시험을 실시하여 나타난 결과이다

#### 2.3.1 시험조건 2 계단응답 시험결과(60%→70%→60%, 이득:0.5/0.4)

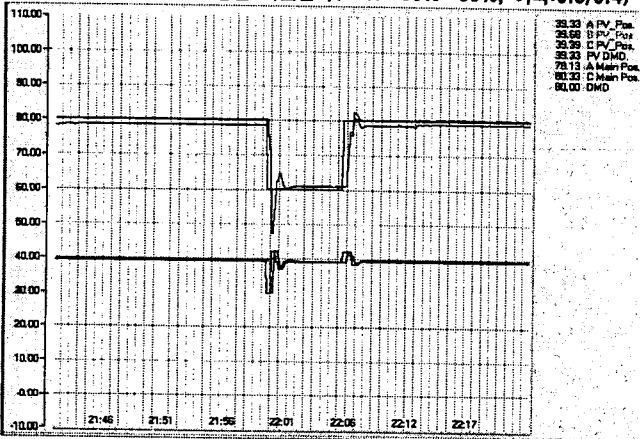


<그림 4> 계단응답 시험2

### 2.4 시험조건 3

시험조건 3에서는 주밸브 개도 제어루프는 40 msec 보조밸브 개도 제어 루프는 80 msec로 실행하여 계단응답시험을 실시하여 나타난 결과이다

#### 2.4.1 시험조건 3 계단응답 시험결과(60%→80%→60%, 이득:0.5/0.4)

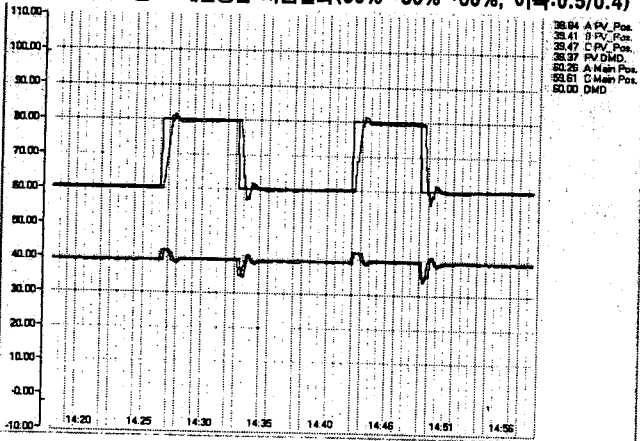


<그림 5> 계단응답 시험3

### 2.5 시험조건 4

시험조건 4에서는 주밸브 개도 제어루프는 80 msec, 보조밸브 개도 제어 루프는 40 msec로 실행하여 계단응답시험을 실시하여 나타난 결과이다

#### 2.5.1 시험조건 4 계단응답 시험결과(60%→80%→60%, 이득:0.5/0.4)



<그림 6> 계단응답 시험4

### 2.6 제어기 실행주기별 시험 결과

시험조건1에서 시험조건 4까지 계단응답시험 및 경사응답시험을 통해 적절한 이득조정을 실시하여 제어루프별 실행주기에 따라서 제어 응답특성을 요약한 것이다.

<표 1> 제어기 실행주기별 시험응답 요약

주밸브 실행시간	보조밸브 실행시간	실행주기별 시험 응답 특성
40 ms	40 ms	계단시험 및 경사시험에서 오버슈트 및 언더슈트가 전혀 없고 가장 양호한 제어성을 보임
80 ms	80 ms	계단시험에서 약 2%의 오버슈트와 언더슈트가 발생 주밸브 이득을 0.5에서 0.4로 줄이고 보조밸브 이득을 0.4에서 0.25로 줄이면 제어성이 개선됨
40 ms	80 ms	계단응답에서 매우 오버슈트(2%)와 매우 큰 언더슈트(13%)가 발생함.
80 ms	40 ms	20% 계단응답에서 매우 큰 오버슈트(2%)와 언더슈트(13%)가 발생하며 보조밸브의 하한 제한치를 35% 정도로 높여서 언더슈트 방지

#### 2.6.1 제어기 실행주기 조정

초기 제어 프로그램을 작성하여 실행한 결과 75%를 초과하는 제어기 부하율을 보였는데 이는 향후 프로그램의 증가를 고려하면 높은 수준의 부하율이므로 제어성 시험 결과를 바탕으로 제어 프로그램별 실행 주기를 몇 차례 재조정함으로써 향후 설비 개선 등 제어 프로그램의 증가를 대비하여 적절한 부하율을 확보하게 되었다.

<표 2> 제어기 실행주기 조정 결과

제어기 실행주기	조정전 제어기 부하율	조정후 제어기 부하율	최적화 조정후 제어 프로그램 배치 결과
10 msec	10 %	9 %	속도 검출, 과속도 제어
20 msec	38 %	5 %	디지털 입력, 출력
40 msec	19 %	31 %	보조밸브제어루프
80 msec	3 %	13 %	주밸브제어루프
160 msec	5 %	7 %	아날로그 신호 감시, 기타
합계	75 %	65 %	

### 3. 결 론

이상과 같이 디지털 조속기에 사용하는 디지털 제어기의 실행주기가 미치는 밸브제어 특성을 시험하여 확인하였는데, 보조밸브 제어루프는 빠른 제어응답이 필요하여 40ms로 결정하였고, 주밸브 제어루프는 40ms, 또는 80ms에서도 양호한 제어응답이 가능하였기 때문에 80ms를 적용하였다. 속도 검출 및 과속도 제어 관련 프로그램은 가장 빠른 10ms를 설정하였고, 기타 단순 감시신호는 최하위 실행속도로 설정하였다. 본 시험 결과를 참고하여 실행주기를 표 2와 같이 제어기의 실행속도를 결정하여 최적화 하였고, 원자력발전소 터빈 조속기에 적용하여 실제 운전에 들어갈 예정이다.

#### [참 고 문 헌]

[1] 정창기 외 4명, "월성 1호기용 시작품 설치를 위한 증기밸브 제어성 시험결과 보고서", 2005