

AGC 운용에 있어서의 원격 On-line 최대 증감발출 취득 기법

권순만\*, 전동훈\*\*, 문원용\*, 김석주\*  
 \* 한국전기연구소 계측제어 연구 그룹 \*\* 전력연구원 전력 계통 안정화 그룹

Remote On-line Determination of the Load Rate Limit of Generation in AGC

Soonman Kwon\*, Donghoon Jeon\*\*, Wonyong Moon\*, Sukjoo Kim\*  
 \* I&C Research Group, KERI \*\* Power System Stabilization Group, KEPRI

**Abstract** - The possibility of a remote on-line determination of the maximum load rates that are basically set at generation plants is investigated in automatic generation control (AGC) system. Energy management system (EMS) generates a test input to a remote power plant to get the samples of the generator output. Then from the samples it can be attempted to determine an approximate value of the load rate limit set by the operator. It is shown in computer simulation that in actual power plants the limit can be approximately determined from the input-output characteristics of the plants for a unit-step input.

1. 서 론

전력계통의 안정적인 운용과 고품질유지를 위하여 자동발전제어(AGC) 운전은 아주 중요한 요소 중의 하나이다[1]. 이 자동발전제어의 효율적인 운용을 위해 중요한 요소 중의 하나는 현재의 각 발전기의 출력증감발출의 최대값을 중앙제어실의 에너지 관리 시스템(EMS)이 정확히 알고 있어야 한다는 것이다. 이 증감발출은 각 발전소의 출력변화지령에 따르는 최대 응답능력을 결정하는 것으로서 일반적으로 발전소 현장에서 설정된다. 그런데 현재까지 국내에 운용되고 있는 자동발전제어에서는 최대 출력증감발출이 off-line 상에서의 통신 등의 방법으로 EMS 운전원에 의해 수동으로 취득되어 입력되는 형식으로 되어 있다. 따라서 발전소 현장의 사정에 따른 설정값 변경 등에 대해 능동적 또는 효율적으로 대응하지 못하고 있는 상황이다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위한 한 방안으로서 on-line상에서의 증감발출 추정 가능성에 대해 고찰해 본다. 즉, EMS에서 필요시마다 스텝 입력 등과 같은 테스트 신호를 보내어 그 추종 능력을 판단해 내는 방법을 이용하게 된다. 이것은 발전소의 DCS 내부의 설정값을 DCS로부터 직접 취득하는 것보다 실제의 추종능력을 판단해 내는 것이기 때문에 더 효율적일 수도 있다. 즉, 노후화된 발전소의 발전기는 기계적인 상태나 운전 상태에 따라 내부 제어기인 DCS 내부의 설정값과 일치하지 않는 특성을 나타낼 수도 있기 때문이다.

2. 본 론

2.1 AGC 신호 전달 체계

중앙제어실에서 전송되는 AGC 지령신호는 일반적으로 발전소내의 원격단말장치(Remote Terminal Unit: RTU)를 거쳐 DCS(Distributed Control System)로 전달된다. 이 DCS는 전달받은 신호를 적절한 보호로직

을 거쳐 하부의 단위제어 시스템(예를 들면, 보일러/터빈 제어기)에 전달하게 되고 이에 따라 하부의 제어기는 출력증감발 출작을 행하게 된다. 실제의 발전소에서는 조속기나 보일러/터빈 등의 기계적인 장치의 과도한 스트레스에 의한 열화를 방지하기 위하여 여러 가지 보호로직을 채용하고 있는 데 그 중의 하나가 최대증감발출의 제한이다. 즉, 출력증감의 단위 시간당 변화량을 발전기의 정상적인 안전 운용한도 이내로 제한함으로써 발전시스템의 기계적인 손상을 최소화하여 그 수명을 최대한 연장하는 것이다. 실제 발전소에서는 이러한 증감발출 제한은 다음과 같이 이루어진다.

2.1.1 증감발출 설정

일반적으로 증감발출의 제한은 크게 두 부분에서 이루어진다고 할 수 있다. 하동화력의 예를 들어 살펴 보면, 먼저 AGC 신호를 취득한 DCS내부에서는 다음과 같은 요소들에 의해 제한된다[2].

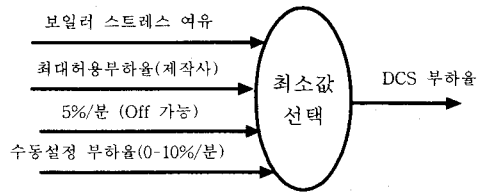


그림 1 DCS내의 최대 증감발출 결정

그림에서의 수동설정부하율은 발전소 현장에서 수동 입력되는 값으로서 대부분의 경우 이 값이 가장 작게 설정되어 DCS 부하율로 선택되게 되어 있다.

두 번째의 부하율 설정은 단위제어기인 터빈 제어 시스템내에서 이루어진다. 하동화력의 경우 터빈 제어기는 GE사의 Mark-V인테 Load Reference 신호를 전달하는 곳에 Ramp로직이 설치되어 운전원에 의해 그 증감발출, 즉 부하율(Load Rate)이 MW/분으로 설정되게 된다.

마지막으로 조속기 내부에도 기계적인 응답에 따르는 Rate Limit부가 존재하나 이것은 임의의 조정이 거의 불가능하므로 보일러/터빈 등의 플랜트에 포함된 일부로 볼 수 있다[1][5].

2.1.2 간략화된 모델

위에서 설명한 두 가지의 부하율 설정값은 결국 그 작용에 있어서는 둘 중 적은 값 하나가 영향을 미치는 것으로 생각할 수 있다. 만약 조속기를 포함하는 플랜트를 하나의 시정수로 그 특성을 근사적으로 표시할 수 있는 1차 시스템으로 표시할 수 있다고 가정하면 전체 시스템은 다음과 같이 나타낼 수 있다[5].

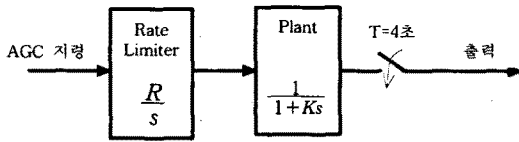


그림 2 간략화된 AGC 신호 전달 모델

그림에서  $R$ 은 DCS와 터빈제어기의 최대증감발을 설정값을 대표하는 값으로서 결국 두 값 중에서의 작은 값을 나타낸다. 플랜트 후단에서의 4초 간격의 샘플링은 현재의 AGC 운전상에서 중앙제어장치에 해당하는 EMS(Energy Management System)의 발전기 출력 취득 주기가 4초이기 때문이다. 현재의 국내 전력시스템에서는 위 그림에서의  $R$ 의 값을 통신 등을 통하여 수동으로 취득하여 EMS내부의 파라미터로 입력하는 데 경우에 따라서 발전소 현장의  $R$ 값이 변경되는 경우에는 이를 제때 반영하지 못하는 경우가 많거나 실제와 일치하지 않는 경우가 많아 AGC의 효율적인 운용에 지장을 초래하기도 한다. 따라서 본 연구에서는 EMS의 AGC 지령송출과 결과로서 일어나는 발전기 출력 취득 기능을 이용하여  $R$ 값을 근사적으로 추정할 수 있는가를 검토한다.

## 2.2 응동 특성

현재 운용되고 있는 EMS에서의 AGC지령은 증감발량을 펄스로 변환하여 전달되게 되어 있으므로 임의의 테스트 신호를 가할 수가 없게 되어 있다. 그러나 새로이 도입을 추진 중인 새로운 EMS에서는 요구하는 출력의 설정값을 EMS에서 직접 발전소로 전달할 수 있게 되어 있으므로 스텝 입력 등과 같은 임의의 신호입력이 가능하다. 따라서 이 경우 입력특성을 비교함에 의해 DCS 및 단위제어기를 포함하는 전체 발전기 시스템의 근사적인 최대 증감발능력이 유추 가능하다.

### 2.2.1 근사화된 시스템의 응동 특성

설정점을 직접 지령하는 경우 그림 2에서의 AGC 지령은 계단형태로 최소 지속단위는 발전기 출력 취득 주기와 같은 4초로 된다. 발전기가 정지상태로부터 정격출력을 내기까지의 소요시간은 용량에 따라 수분에서 수십분이 소요되지만 일단 정격운전이 되고 있는 상태에서의 작은 AGC 증감발 지령에 대한 응동은 보통 수초내지 수십초내에 이루어진다. 따라서 실제 발전기의 정상운전 하에서의 AGC 지령에 대한 응동능력은 앞에서 설명한 DCS내부 또는 터빈제어기에 설정된 증감제한율에 의해 절대적으로 지배된다고 할 수 있다. 이것은 다음과 같이 설명할 수 있다.

먼저 그림2에서 AGC지령을  $U(s)$ 라 하고 단위 스텝 입력이 주어졌다고 가정하자. 그러면 출력  $Y(s)$ 는

$$Y(s) = \frac{R}{s^2(Ks+1)} \quad (1)$$

로 된다. 따라서 이 경우 출력  $y(t)$ 는

$$y(t) = Rt - RK(1 - e^{-\frac{t}{K}}) \quad (2)$$

로 된다. 여기서  $K$ 가 아주 작은 경우(즉, 응동이 아주 빠른 경우) 위의 괄호내의 값은 근사적으로 영에 가깝게 되어 출력은 근사적으로  $Rt$ 로 되므로 결국 제어시스템 내부에 설정된 최대증감발율의 지배를 받게 된다. 다시 말해서 이 발전기의 최대 AGC 응동능력은  $R$ 로 되고 이 값의 근사값인  $\hat{R}$ 은 샘플링된 값들에 의해

$$\hat{R} = \frac{y(t_k) - y(t_{k-1})}{t_k - t_{k-1}} \quad (3)$$

로 주어진다. 여기서  $t_k$  및  $t_{k-1}$ 은 응동이 일어나고 있는 시간영역의 시점들이다. 실제의 경우  $t_{k-1}$ 은 스텝입력이 가해지는 시점으로 하여 영으로 둘 수 있으며  $t_k$ 는 첫 샘플링이 가능한 4초나 4의 배수로 잡을 수 있다.

### 2.2.2 측정에 따른 계통에의 영향

실시간 AGC 운전 중인 계통에서의 이러한 측정은 매우 위험할 것으로 보이나 실제 AGC 운전은 일반적으로 정격 부근의  $\pm 20\%$ 이내의 출력값에서 이루어지므로 이 경우 스텝입력값은 이 범위내에서 설정되고 또 전체 계통이 발전기 각각의 단위용량에 비해 일반적으로 아주 크므로 발전기 각각을 서로 다른 시간에 이러한 방법으로 측정하게 되면 계통의 안정도에는 거의 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다[3][4].

### 2.3 시뮬레이션 및 고찰

다음 그림3은 실제 시뮬레이션의 한 예를 나타낸 것이다. 이 경우 실제 시스템에서의  $R$ 값의 한 예인  $R=0.005/\text{분}$ ,  $K=0, 2, 4, 20$ 의 값을 각각 이용하였으며 스텝입력의 크기는 20인대 그림에서 보는 바와 같이  $\hat{R}$ 는 근사적으로  $R$ 과 같아짐을 알 수 있다. 다시 말해서, 시뮬레이션으로부터 유추할 수 있는 사실은 실제 전력계통에서 운용되고 있는 발전기 시스템에서 DCS나 터빈제어기 내부에 설정한 최대증감발율은 발전기의 정상운전상에서의 최대 AGC 응동능력보다 기기보호 측면을 고려하여 훨씬 작게 주어져 있어서 이러한 경우에는 EMS로부터의 스텝신호에 대한 응동특성으로부터 그 내부 설정값을 근사적으로 구할 수 있다는 것이다. 그림에서의 경우 4초 주기의 샘플링으로도 응동능력을 문제없이 계속할 수 있음에 주목하라.

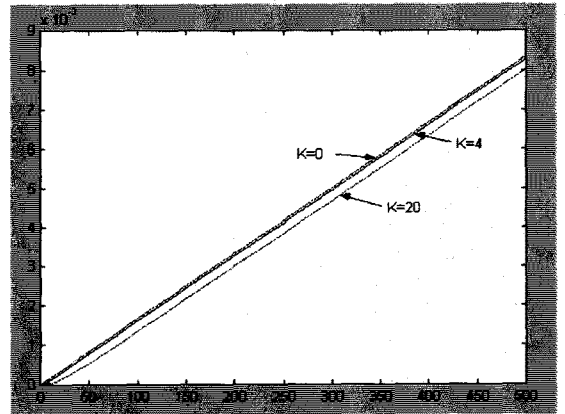


그림 3 시뮬레이션 예

$R$ 값은 이렇게 근사적으로 측정될 수 있으나 사실 이 값은  $R$ 값 그 자체 보다 중요한 의미를 지닌다. 그 이유는 실제 AGC 운용 측면에서 보면 실제 설정된  $R$ 값을 이용하기보다는 앞에서 측정한 응동능력을 나타내는 값인  $\hat{R}$ 이 훨씬 유용하기 때문이다. 즉, DCS나 터빈제어기 내부의 설정값을 수동으로 취득하여 이용하는 현재의 방법보다 실제의 발전기 전체 시스템의 응동능력을 실측하여 이용함으로써 훨씬 효율적인 AGC 운용이 가능하게 되기 때문이다.

### 3. 결 론

점차 중요성이 부각되고 있는 AGC운용의 개선을 위한 한 방법으로서 AGC 운전 중의 on-line AGC 응답 능력 측정 가능성을 검토하였다. 이론적인 측면에서는 주어진 조건에 따라 당연한 것으로 생각되지만 실제 AGC운용상의 제한 조건인 고정된 샘플링 주기하에서의 측정이 가능한지를 검토하였다. 플랜트 모델을 1차계로 간략화시켜 해석하였으나 실제 시스템의 응답특성은 아주 복잡하리라 판단된다. 따라서 이러한 방법의 실질적인 검토를 위해서는 실제로 발전기에서 일어나는 입출력 특성을 실측을 통해 확인하여 보다 현실적인 모델링이 필요하리라 생각된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] P. KUNDUR, Power System Stability and Control, McGraw Hill, Inc., 1994
- [2] "하동화력 3,4호기용 DCS (TELEPERM-ME) Function Diagram", Siemens, 1998
- [3] "서인천복합화력제1발전소용 DCS (INFI-90) Function Diagram", Bailey, 1991
- [4] M. L. Kothari *et al.*, "Selection of Sampling Period for Automatic Generation Control", *Electric Machines and Power Systems*, no.25, pp.1063-1077, 1997
- [5] F. P. DeMello *et al.*, "Automatic Generation Control Part I (Process Modeling) & II (Digital Control Techniques)", *IEEE Trans. on PAS*, vol.PAS-92, pp.710-724, 1973