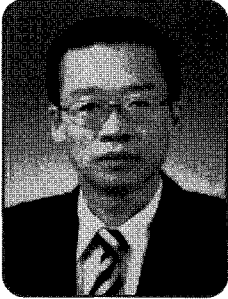


# 동기발전기 여자제어시스템 성능평가(Ⅱ-1)



한전전력연구원  
수화력발전연구소  
시스템제어그룹  
수석(울)연구원/공학박사 임익현  
Tel : (042)865-5380

## 제1장 여자제어시스템 성능평가

### 1. 여자제어시스템 동특성 성능평가 개요

여자제어시스템 내에는 전력계통 안정도에 영향을 끼치는 몇 가지 중요한 인자들이 있고 그 인자들의 조정 및 정정 특성에 의해서 안정도가 결정된다. 여기서는 여자제어시스템의 성능과 관련한 사항들을 평가하고 규정 지우는데 기본으로 쓰이고 있는 몇 가지 사항을 정의하고자 한다. [그림 1]은 궤환 제어 시스템을 쓰고 있는 고전적 형태의 여자제어시스템 전체를 개략적으로 표현한 것이다.

여자제어시스템의 성능은 여자시스템 본체, 발전기, 그리고 전력계통의 특성에 종속적이다. 시스템이 비 선형인 관계로 동적 성능을 대신호 성능평가(Large-Signal Performance)와 소신호 성능평가(Small-Signal Performance)로 분류함이 편리하다.

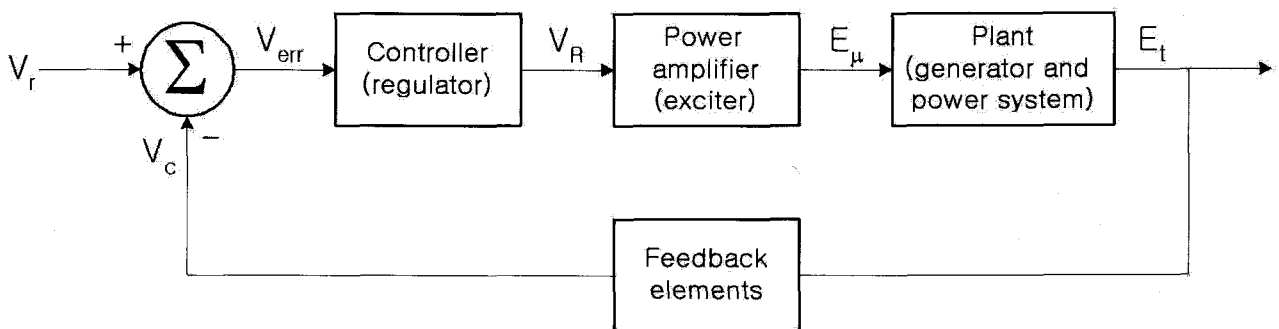
대신호 성능평가의 경우는 비 선형적인 요소들이 중요한 반면에, 소신호 성능평가의 경우는 선형적 요소들이 중시된다.

### 2. 대신호 성능(Large Signal Performance) 평가

전력계통의 안정도를 과도 안정도 또는 중기 그리고 장기 안정도 측면에서 고려할 경우에 대신호 성능평가는 과도 안정도를 평가하는 수단으로 사용된다. 성능 평가에는 다음에 정의된 정수들의 크기에 기초를 두고 있는데 설계와 제작, 여자시스템의 적용 등에 최대한 유연성을 주기위해서 여자시스템 구매자와 제작자간에 정한 설계, 제작규격 조건들이 될 수도 있다. 또한 전력거래소와의 전기 공급자간에 조건도 포함된다.

#### 2.1 여자시스템정상(頂上)전압(Excitation System Ceiling Voltage)

특정 조건하에서 여자시스템 정류기 출력단에서 공급할 수 있는 최대 직류전압을 말한다. 정상전압(Ceiling Voltage)은 여자시스템의 여자강화 능력(Field Forcing Capability)을 단적으로 대변한다. 정상전압이 높을수록 과도 안정도가 개선된다. 싸이리스터 직접 여자방식의 정지형과 복권형 여자시스템의 경우는 정상전압을 정의 할 때 정격 공급전압, 정격 공급 전류는 여자변압기의 정격에 의해서 결정되고, 회전형 여자시스



[그림 1] 고전적인 궤환제어 형식의 여자제어시스템

템의 경우는 정격속도에서 여자기 용량에 의해서 정상 전압이 결정된다. 초속응 여자제어 방식에서는 여자계 정상전압을 발전기가 무부하 운전 상태에서 발전기 정격전압을 발생시키는데 필요한 계자전압(무부하 계자전압)의 3.5~5.5배정도 이상으로 하고 있지만, 최근에는 7.5배 이상을 지정하는 경우도 있다. 예전에는 특별하게 지정이 없는 경우는 정격 계자 전압의 1.4배 정도로 검토하는 경우도 많았으나, 최근에는 전력계통에 연계하고자 하는 발전기는 1.6배 이상을 요구 받는다. [표 1]은 일본 전기학회가 조사한 일본 내 발전소의 여자계 정상전압을 조사한 결과이다. 여자계 정상전압과는 약간 다른 의미로 공칭 여자계 정상전압이라는 평가기준이 있는데, 그 의미는 일반적으로 공칭 여자계 정상전압은 여자계 정상전압보다 낮은 전압이고, 또 여자계의 과도응답은 여자계 정상전압과 여자계 전압 응답 시간 또는 여자계 응답 속응도로 나타낸다.

## 2.2 여자시스템 정상전류(Excitation System Ceiling Current)

일정한 시간 동안에 여자시스템 정류기 출력단에서 공급할 수 있는 최대 직류전류를 말한다. 긴 외란이 발생되고 있는 상황에서는 이 정상전류(Ceiling Current)는 여자시스템의 열적 내량에 기초하여 결정하게 된다.

## 2.3 여자시스템 전압 응답 시간(Voltage Response Time)

규정된 조건하에서 정격부하 계자전압과 정상전압과

의 차이 값의 95[%]까지 도달하는데 걸리는 시간을 초단위로 나타낸 것이다. 여기서 정격부하 계자전압이란 다음의 계자권선 운전온도와 온도상승 조건을 고려해서 정해진 값이다.

- 계자권선의 온도상승이 60[°C] 또는 그 이하 정격으로 운전되도록 설계된 권선이 75[°C]에서 운전될 때
- 60[°C] 이상의 온도상승 정격으로 운전되도록 설계된 권선이 100[°C]에서 운전될 때

## 2.4 높은 초기응답 여자시스템(High Initial-Response Excitation System)

전압 응답 시간(Voltage Response Time)이 0.1[초]또는 그 이하인 여자시스템을 말한다. 다른 표현으로 속응 여자시스템이라고도 한다.

## 2.5 여자시스템 공칭 응답(Excitation System Nominal Response)

여자시스템 출력전압의 상승률을 여자시스템 전압 응답곡선으로부터 결정된다. 여기서 상승률 계산의 나누기 분모 기준 값은 정격계자전압이 된다. 상승률이 일정하다면 처음 0.5[초] 동안(다른 시간간격이 명시되지 않는다면)에 곡선상의 실제 응답곡선으로부터 얻은 면적과, 가상의 직선으로부터 얻은 전압-전류 면적은 동일한 값이 될 것이다. 공칭응답(Nominal Response)은 정격부하 계자전압(계자전류)으로 운전 중에 발전기 전압을 갑자기 끌어 올릴 수 있도록 AVR의 입력신호를

[표 1] 여자계 정상전압 조사 결과(일본)

구분	수 력	화 력	원 자 력
B사	정격부하 상태에서 계자전류에 계자권선 저항 값(75℃ 기준)을 곱한 값의 1.5배 이상	계통 시뮬레이션에 의하여 사양 결정	무부하 계자전압의 7.5 (신설)
C사	정격 계자전압의 1.5 ~ 2배 이상	무부하 계자전압의 5.5 배 이상 (초속응 여자) 기타는 지정 없음	무부하 계자전압의 7.5 (초속응 여자)
D사	정격부하 상태에서 계자전류에 130℃의 계자권선 저항 값을 곱한 것의 1.5배 이상	계통 시뮬레이션에 의하여 사양 결정. 표준은 무부하 계자전압의 5.0배로 하고, 계통 측의 요구를 고려하여 결정	정격부하 상태에서 계자전압의 1.5배 이상
F사	정격 운전시의 계자전압의 2배 이상	무부하 계자전압의 5.0 배 이상	무부하 계자전압의 5.0 이상. 정격운전시의 계자전압의 1.4배 이상 및 여자기 정격전압의 1.2배 이상
J사	정격부하 상태에서 계자전류에 온도 상승 한도(보정치)에다 계자권선 저항을 곱한 것의 1.5배 이상	지정 없음(제조사 추정에 의함)	해당 없음

변화시켜 계자전압이 정상전압이 되도록 하여 결정한다. 여자시스템이 초기외란(Initiating Disturbance)에 대해서 응답하기 전에 존재할 수 있는 시간지연도 또한 포함되어야 한다. [그림 2]에 따르면 여자계의 응답(Excitation Response)은 선 ac에 의해 설명이 되는데, 이 ac선은 면적 acd와 abd가 같다는 전제에서 정해진다.

$$\text{공칭 응답 : Nominal Response} = \frac{cd}{(ao)(oe)}$$

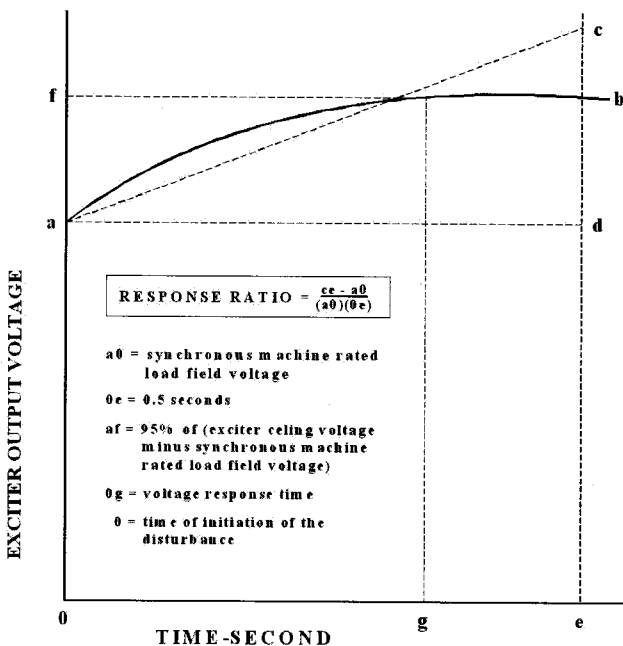
여기서

oe = 0.5 sec

ao = 정격 계자전압

상기의 정의에서 oe 공칭응답 시간간격(Nominal Time Span)을 0.5초로 한 근거는 다음과 같다.

발전기 회전자 각(Angle)은 아주 심한 외란이 내습하면 보통 최대 0.4초에서 0.75초 사이에서 진동을 한다. 여자시스템은 이 시간 간격 안에 과도 안정 상태를 효과적으로 유지하도록 동작을 해야 한다. 따라서 0.5초가 공칭 응답에서 쓰여 지는 시간이다. 과거에는 공칭응답을 여자시스템이 대신호 성능평가 기준으로 잘 사용하였다. 그러나 이방법이 노후화되고 느린 응답특성의 구식의 여자시스템에서는 적절한 성능평가 방법이었으나, 오늘날과 같은 다양한 모델의 현대 여자시스템 모두 다 적용하기에는 좋은 평가방법이 되지



[그림 2] 여자시스템 공칭응답

못한다.

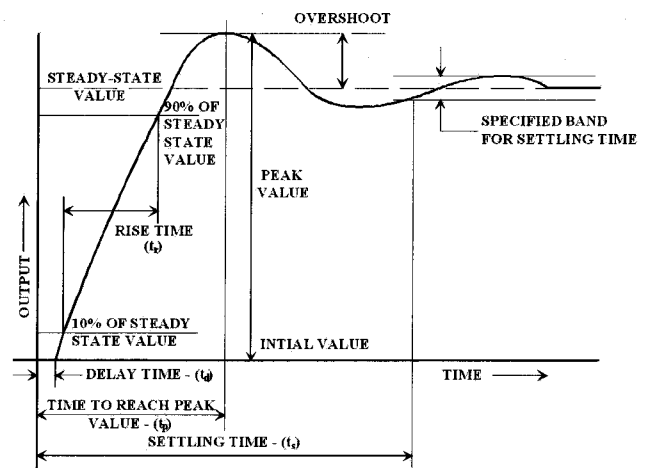
특히 발전기 출력단 자체에서 또는 송전계통에서 여자전원을 공급받는 시스템에서는 좋은 평가수단이 아니다. 그 이유는 전력계통 측의 고장 발생 기간에는 여자전원 공급능력이 감소되기 때문이다. 높은 초기 응답 여자시스템에 있어서 공칭응답은 단순히 필요한 정상전압을 단지 설정해 주는 것이다. 이러한 시스템에서는 정상전압 크기와 전압응답시간이 보다 의미 있는 파라미터가 된다.

### 3. 소신호 성능평가(Small Signal Performance)

대신호 성능평가 기준은 여자시스템 또는 시스템 개별 구성 부품에 대해서 적용하는 것에 반해서 소신호 성능평가 기준은 페루프 여자제어 시스템의 성능을 평가하는데 통상 사용한다. 계통해석연구에서 여자시스템 모델 정수를 결정하거나 확인/검증하는데 편리한 평가 방법이다. 여기에는 시간영역에서의 해석과 주파수영역에서의 해석이 있다.

#### 3.1 과도 응답(Transient Response)

[그림 3]에 귀환 제어시스템의 전형적인 시간응답곡선이 나타나 있다. 중요하게 지켜보아야 할 평가 항목은 상승시간, 오버슈트, 정착시간이다. 시험 방법은 AVR의 전압기준 값에 2-10% 이내의 신호를 계단으로 인가해서 발전기 단자전압의 응답 특성을 확인하는 방법이다.



[그림 3] 계단입력에 대한 전형적인 시간응답

#### 3.2 주파수 응답(Frequency Response)

이 시험 방법은 AVR의 전압기준 값에 2-5% 이내 크기의 진폭을 갖는 0.1 - 수 킬로 헬츠 주파수 신호

를 인가해서 발전기 단자전압의 응답 특성을 확인하는 방법이다. 특수한 계측장비가 있어야 한다. [그림 4]는 무부하 상태에 있는 여자시스템의 폐회로 주파수 응답 특성을 나타낸 것이다. 개루프 주파수 응답 관련된 평가 지표들에는 저주파수 이득(Low Frequency Gain)  $G$ , 교차 주파수(Crossover Frequency)  $\omega_c$ , 위상여유(Phase Margin)  $\phi_m$ , 이득여유(Gain Margin)  $G_m$  등이 있다. 성능평가 요소 중에 위상여유와 이득여유는 시스템의 안정도를 판별하는데 중요한 인자가 된다. 저 주파수 이득  $G$ 가 클수록 보다 좋은 정상상태 전압조정이 이루어지고, 교차 주파수  $\omega_c$ 가 클수록 빠른 응답을 가져온다. 위상여유  $\phi_m$ 과 이득여유  $G_m$ 이 커지면 보다 안정된 여자제어 루프를 제공한다 (여기서 기준은 여자제어시스템 안정도 관련이고 전력계통 동기 안정도와는 별개이다.).

전압조정기 튜닝에 있어서 어느 한 지표의 개선은 다른 부분의 지표에 나쁜 영향을 끼칠 수 있다. 예를 들면 전압조정기의 이득을 올리면 [그림 4]의 이득곡선을 윗쪽으로 이동시킨다. 이것은 저 주파수 이득과 위상여유를 증대시키는 좋은 점은 있지만 이득여유와 위상여유를 감소시키는 바람직하지 않는 현상이 일어난다. 일반적으로 위상여유는  $40^\circ$  보다 크고 이득여유는 6dB보다 커지면 오실레이션이 없는 안정한 전압제어 시스템 파라미터 정정이라고 할 수 있다.

[그림 5]는 무부하 운전 상태에서의 폐회로 주파수 응답특성을 나타낸 것이다. 폐회로 응답특성에서의 관련지표는 대역폭(Bandwidth)  $\omega_B$ 와 첨두치  $M_p$ 이다. 페루프 주파수 응답특성에서  $M_p$ 값이 1.6보다 클 경우에는 큰 오버슈트와 함께 진동하는 특성을 가지므로 일반적으로  $1.1 \leq M_p \leq 1.6$  일 때 양호한 개루프 시스템이 되며, 대역폭  $\omega_B$  [Hz]는 시스템의 Filtering과 Noise-Rejection 특성을 나타낸다. 이것들은 상승시간  $t_r$ [sec], 정정시간 등과도 중요관계를 갖고 있는데 최대 오버슈트가 10%이하가 되기 위해서는 다음조건을 만족해야 한다.

$$t_r \cdot \omega_B = 0.3 \sim 0.45 \quad (2.118)$$

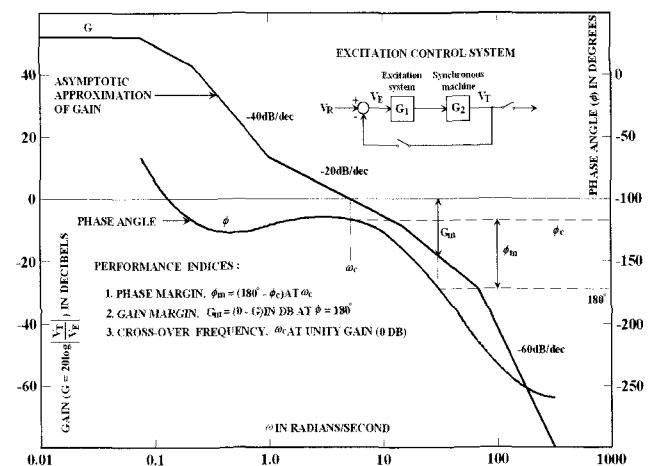
대역폭은 낮은 주파수 값에서부터 보통  $-3dB$ 이하로 페루프의 크기가 떨어지는 주파수 값으로 나타내며 주어진 비 감쇠 고유진동수에서 감쇠비가 커지면 상승시간이 커지고 반면 대역폭은 줄어든다 그러므로 상승시

간과 대역폭은 서로 반비례한다.

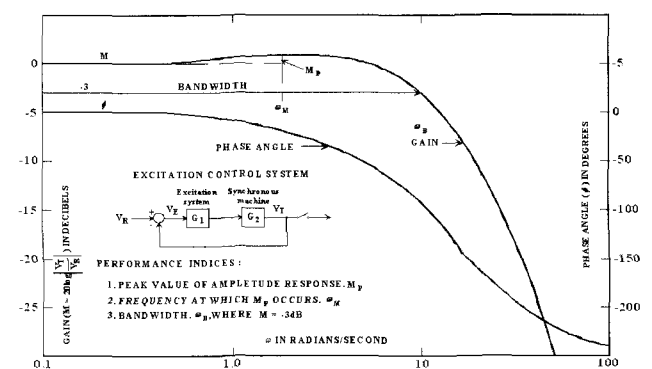
시스템이 임의의 입력을 정확하게 따라가기 위해서는 큰 대역폭을 가질 필요는 있지만 잡음의 관점에서 보면 대역폭이 너무 커서는 안 된다.

[표 2] 개루프 제어계의 좋은 주파수 응답의 성능평가 지표

성능 평가 지표 (Performance Index)	평가 결과치 기준 범위 (Range of Expected Values)
게인 여유(Gain Margin)	$\geq 6$ dB
위상 여유(Phase Margin)	$\geq 40^\circ$
오버슈트(Over Shoot)	5 ~ 15%
Mp : 첨두치(Peak Value)	1.1~1.6
	0.8~4dB
제동비(Damping Ratio)	$\geq 0.6$



[그림 4] 여자제어시스템의 전형적인 개루프 주파수응답



[그림 5] 여자제어시스템의 전형적인 페루프 주파수응답

### 3.3 소신호 성능평가 지수(Small Signal Performance Indexes)

여자제어시스템의 소 신호 성능평가를 위한 전형적인 성능 지표 값들의 범위는 다음 [표 3]에 나타내었다.

**[표 3] 여자제어시스템의 소신호 동특성 성능 평가 지표**

성능 평가 지표 (Performance Index)	평가 결과치 기준 범위 (Range of Expected Values)
여자시스템 게인 (Excitation System Gain)	30 - 800 per unit
게인 여유(Gain Margin)	2 - 20 dB
위상 여유(Phase Margin)	20 - 80 degrees
Mp (Peak Value)	1.0 - 4.0 (0-12dB)
Bandwidth	0.3 - 12 Hz
Overshoot	0 - 80 %
상승시간(Rise Time)	0.1 - 2.5 sec
안정시간(Settling Time)	0.2 - 10 sec
제동비(Damping ratio)	0 - 1

## 제2장 자동전압조정기 정수 정정

발전기 자동전압조정장치의 파라미터 최적 설정은 안정된 발전소 운영뿐만 아니라 전력계통 안정화를 가져 오는데 있어서 매우 중요한 일이다. 따라서 여기서는 이러한 일련의 내용들을 체계적으로 정리해서 관련 설비를 운영하는 실무 담당자들이 일상의 업무를 처리하는데 본 내용이 도움이 되었으면 한다. 그러나 본 내용에서는 시험장비의 한계와 전력계통에 대한 이해의 한계가 있는 일반 비전문가가 PSS의 정정에는 다소 무리가 있다고 판단되어서 AVR 계통의 정수 정정에 대한 내용을 소개하고자 한다.

### 1. AVR(Automatic Voltage Regulator)의 정수 정정 순서

[그림 6] 에 나타낸 바와 같이

- ① 종합 전압변동률을 고려한 AVR 정상(定常)상태 게인을 결정.
- ② 무부하시의 전압이 안정한 상태에서 AVR의 회로 정수를 결정.
- ③ 발전기마다 전력계통을 1기 무한대계로 축약하고 이것에 주파수 응답·고유치 해석 또는 시뮬레이션 등에 의하여 PSS 정수를 결정
- ④ 실계통 모델을 시간영역에서 시뮬레이션하여 제어 정수의 타당성을 확인

하는 것 등이 일반적인 정정 순서이다.

AVR 정수 정정 순서인 ①, ②는 수계산으로 간단하

게 설계 가능하지만 ③,④는 컴퓨터를 사용하여 정수를 정정하는 예가 많다. 여기서는 AVR의 정수 정정의 기본적인 계산방식의 예를 들어가며 설명코자 한다. 비례·적분(PI)동작을 갖는 AVR에서는 단순한 비례동작의 경우와는 다르게 적분동작을 함으로 ①이 필요하지 않게 됨에 따라서 ②도 약간 달라진다.

상승시간( $t_r$ ), Overshoot 등(JEC-114(1979) P95-P97 참조)의 규격 혹은 여자장치의 속응성에 관한 규격(JEC-114(1979) P91-P94 참조) 등이 있으면 적합성을 확인한다.

### 2. 비례형 AVR 정수 정정방법

여자시스템의 전달함수 모델은 여자방식, 제어방식에 따라 많은 종류가 있다. 여기서는 [그림 7] 사이리스터 여자방식의 직렬보상방식 모델을 예로 들어 정정하는 방식을 소개한다.

#### 2.1 AVR 정상 게인 정정(단자전압에서 계자전압까지의 종합 게인)

여자기 전체의 전압변동률이 지정된 값이 되도록 식 1 에 의하여 게인  $K_A$ 를 선정한다. 또, 부하전류 보상장치 등의 보조 제어 동작은 통상 무시하고 설계된다.

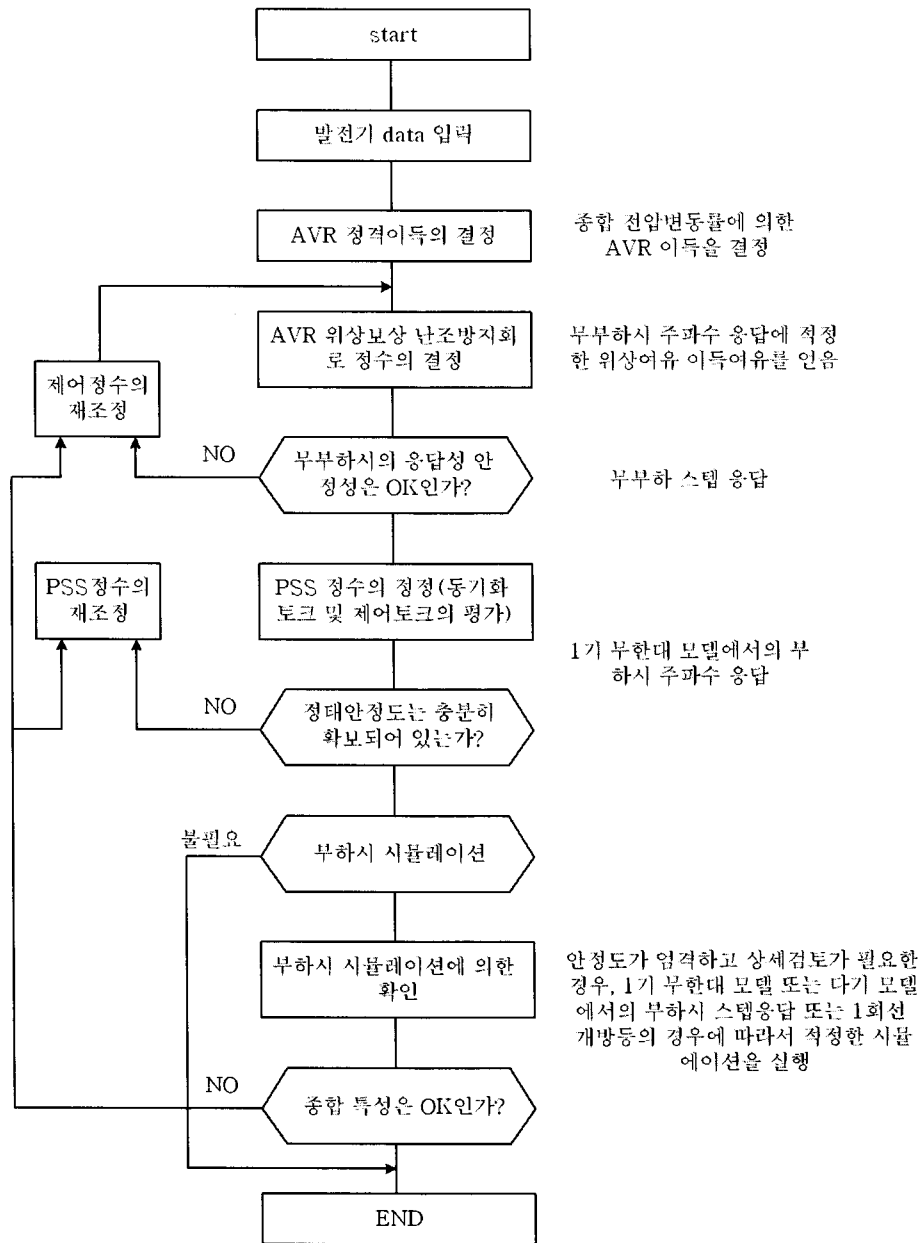
$$K_A \geq \frac{V_{RN} - V_{r0}}{V_{r0}} \times \frac{100}{\epsilon} \quad (1)$$

주 : 통상  $\epsilon$ 는 1%로 하는 경우가 많다.

화력 발전기의 경우에 있어서 정격계자전압은 무부하 계자전압의 2.5배 정도이고 종합 전압변동율을 1[%] 이하로 규정하고 있는 경우에  $K_A$ 는 식 1 에 의해서 정상 게인  $K_A$ 의 값은 150[P.U] 이상 이어야 한다. 여기서의  $K_A$ 는 AVR 시스템의 회로에서 결정하는 게인만이 아니고 제어회로에서의 게인과 정류기에서의 게인 등 각 게인 전체를 승산한 값을 의미한다.

#### 2.2 AVR 위상보상/난조방지 회로의 회로정수

종합 전압 변동률 이외의 AVR의 특성은, AVR 위상보상과 난조방지회로의 회로정수에 따라 정해진다. 여기서 비례형 AVR(적분 제어를 포함하지 않는 방식)중에서 직렬보상 방식의 사이리스터 여자방식([그림 7])은 위상 보상부의 회로 정수를 선정하고, 피이드백 보상방식의 사이리스터 여자방식([그림 9])과 교류 여자기 방



[그림 6] AVR 및 PSS 정수 정정 순서

식([그림 10] - [그림 12])에서는 난조방지회로의 정수에 대응해서 선정한다. 또 비례·적분형([그림 23] - [그림 24])의 경우에는 비례·적분 부의 정수에 대응해서 결정한다. 이 정수들의 설정방법은, 어느 방식이라도 기본적으로는 동일하지만, 여기서는 비례형 방식에 관하여만 설명하고자 한다.

① 주파수 응답 면에서의 정수특성

발전기를 포함한 여자제어시스템의 일순 전달함수로 표현되는 시스템을 주파수 응답에서 그 안정성을 평가하는 지표로 이득여유와 위상여유가 있다. 그 범위는 발

전기가 계통에 병입 되지 않은 무부하 상태에서 다음의 값을 대략 목표치로 하고 있다.

- 이득여유 : 10 ~ 20[dB]
- 위상여유 : 20 ~ 80[도]

또, 그 속응성의 대략적인 값으로 일순의 주파수 응답에서 이득이 0[dB]가 되는 각주파수인  $\omega_c$ (Crossover Frequency)가 있다.  $\omega_c$ 가 크게 되면 속응성은 향상되지만, PSS가 없을 경우에는 부제동 현상으로 시스템이 불안정하게 되기 쉽다.

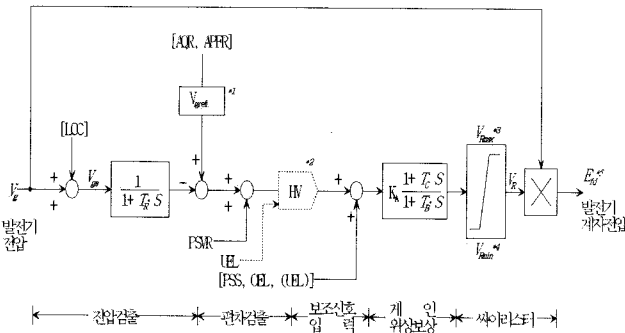
## ② 과도이득 정수

발전기 전압이 급변한 직후에, 계자전압이 변화하는 양을 나타내는 것이 과도이득이고 정상(定常)이득과는 구별이 된다. 사이리스터 여자방식에서는 시스템의 응답이 빠르기 때문에 여자시스템의 전압응답시간은 과도이득과 밀접한 관계를 갖는다. 교류 여자기 방식의 경우 여자시스템 전압 속응도에 대해서는 AVR의 천장전압 [Ceiling Voltage 또는 정상(頂上)전압]과 교류 여자기의 특성에 따라서 결정된다. 그런데, [그림 7]의 직렬보상기를 갖는 사이리스터 직접 여자방식(정지형) 모델에 있어서 과도이득  $K_T$ 는 전압 검출계의 시정수  $T_R$ 를 무시해서 다음과 같이 표현된다.

$$K_T = \frac{K_A T_C}{T_B} \quad (2)$$

이  $K_T$ 는 발전기 전압이 급격히 저하한 경우 [이것을  $\Delta V$ (PU)로 한다. 통상 10~20%] 빨리 정상(頂上)전압에 도달할 수 있도록 다음과 같이 설정한다.

$$K_T \geq \frac{V_{R \max}}{\Delta V} \quad (3)$$



[그림 7] 직렬보상기를 갖는 사이리스터 직접 여자방식 전달 함수 모델

[그림 7]과 [표 4]에서 쓰고 있는 부호를 정리하면

- \*1  $V_{ref}$  : 기준전압 [전압설정기(90R)의 설정치]
- \*2 HV Gate : 큰 값 선택 (증가신호 우선) (보조신호의 입력방식으로서 신호 가산방식과 큰 값 선택방식이 있다)

[표 4] 직렬보상기를 갖는 사이리스터 직접 여자방식 모델 정수(예)

부 호(단위)	정수예	의 미	부 호(단위)	정수예	의 미
$T_R$ (초)	0.01	전압검출기 시정수	$T_C$ (초)	0.22	위상보상 진상 시정수
$K_A$ (PU/PU)	150	AVR Gain	$V_{R \max}^{*3}$ (PU)	4	사이리스터 최고 출력전압
$T_B$ (초)	0.5	위상보상 지연 시정수	$V_{R \min}^{*4}$ (PU)	-3.2	사이리스터 최저 출력전압

\*3  $V_{R \max}$  : 발전기 전압이 정격일때의 사이리스터의 최대 출력전압으로 혼합 브리지(반파 정류기)의 경우는 0 - 양의 값, 균일 브리지형(사이리스터 전파 정류기)의 경우는 양의 값이 된다.

\*4  $V_{R \min}$  : 발전기 전압이 정격일 때의 사이리스터의 최저 출력전압으로 혼합 브릿지의 경우는 0 - 양의 값, 균일 브리지형의 경우는 마이너스 값이 된다

\*5  $E_{fd}$  : 실 운전 상태에서의 계자전압은 제어기 출력신호인  $V_R$ 이 아니고  $V_{R \times V_g}$ [제어신호 곱하기 여자변압기 2차측 전압]가 된다. 즉, 발전기 전압이 여자변압기에서 강압된 값에다 그때의 제어신호( $V_R$ )에 코사인 알파 값을 곱한 값을 말한다. 정류기 출력 값을 뜻한다.

## ③ 위상 보상부 시정수 정수

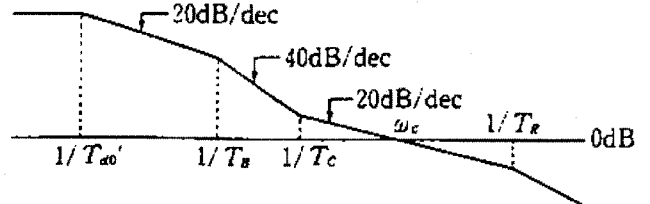
직렬보상기를 갖는 사이리스터 직접 여자방식의 보드선도(이득)를 나타내면 대략 [그림 8]과 같이 된다. 이 그림에서  $\omega_c$ 와 과도이득과의 관계는,

$$\frac{K_T}{T_{do}} \approx \omega_c \quad (4)$$

로 주어진다.  $\omega_c$  부근에서 20[dB/dec]의 기울기로 0[dB]를 끊고 위상여유와 이득여유를 확보하기 위하여  $T_C$ 는 다음의 식이 성립할 수 있도록 설정한다.

$$\frac{1}{T_C} \leq \frac{\omega_c}{n} \quad (5)$$

단,  $n \geq 2$  식 4와 식 5가 성립할 수 있도록  $T_C$ 와  $T_B$ 의 값을 결정한다.



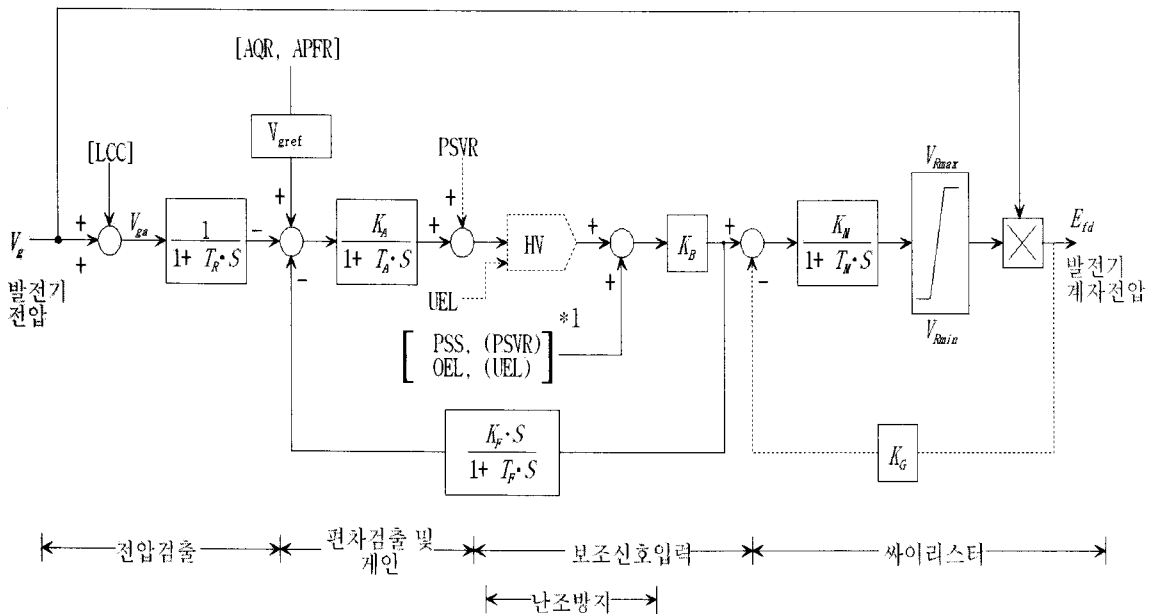
[그림 8] 직렬보상기를 갖는 사이리스터 직접 여자방식 여자 시스템의 보드선도

지금까지 AVR 정수의 정정 방법으로서 과도이득을 먼저 결정하고 다른 정수를 결정해 나가는 방법을 설명하였다. 반대로  $\omega_c$ 를 먼저 결정하고 식 4를 이용하여 과도이득을 결정하는 방법도 있다. 후자의 방법은  $\omega_c$ 가 너무 커지면 PSS 없이는 계통에 접속된 상태에서 안정하기 어려운 일이 있기 때문에 먼저  $\omega_c$ 를 결정하는 것이다. 여기에 나타난 방법에서 중요한 세 가지 요소(頂上전압,  $\omega_c$ , 과도이득)가 정태안정도 및 과도안정도에 영향을 미친다. 실제상으로는, 주 회로에서 정해지는 여자계 정상전압이 먼저 결정되므로, 전력계통의 안정도와 여자계의 안정성의 양자를 고려하여 과도이득과 위상보상을 조합시켜서 결정된다. 또, [그림 9]의 피드백 보상방식의 사이리스터 직접 여자방식에

서는, AVR 증폭부 시정수  $T_A$ 는 작음으로 등가 변환하면 [그림 2]의 직렬 보상기를 가진 사이리스터 직접 여자방식과 같은 형태로 되기 때문에 위와 같은 방식으로 난조방지 회로의 정수를 결정할 수 있다. 직접 여자방식은 속성상 시간지연 요소가 없어서 여자제어 시스템 내에 난조방지가 꼭 필요하지 않아서 생략하는 경우가 있다.

#### ④ 교류 여자기 방식의 경우

교류 여자기 방식의 경우는, 전압 페루프 제어계의 안정성에 기초해서 위상보상이 결정되기 때문에 다른 요소들은 적게 고려되어도 된다. 그러나 [그림 10]의 피드백 보상기를 갖는 브러쉬리스 여자방식의 예와 같이



[그림 9] 피드백 보상방식의 사이리스터 직접 여자방식 전달 함수 모델

[표 5] 피드백 보상방식의 사이리스터 직접 여자방식 전달함수 모델의 정수(예)

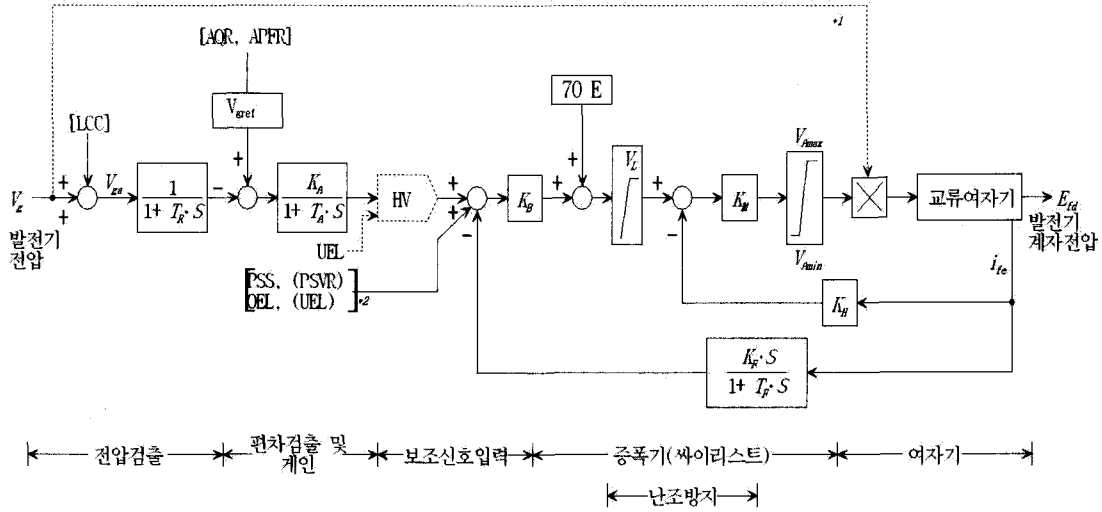
부 호(단위)	정수예	의 미	부 호(단위)	정수예	의 미
$T_R$ (초)	0.01	전압검출기 시정수	$K_M$ (초)	25.0	사이리스터 게인
$K_A$ (PU/PU)	24.0	AVR Gain	$T_M$ (초)	0.02	사이리스터 제어기 시정수
$T_A$ (초)	0.02	AVR 증폭기 시정수	$V_{R\ max}$ (PU)	5.0	사이리스터 최고 출력전압
$K_B$ (PU/PU)	5.0	보조신호 입력 게인	$V_{R\ min}$ (PU)	-2.5	사이리스터 최저 출력전압
$K_F$ (PU/PU)	0.075	난조 방지 게인	$K_G$ (PU/PU)	0.8	계자 Feedback 게인
$T_F$ (초)	0.5	난조 방지 시정수			

\*1  $K_A$  보다 후단에서 가산되고 있는 경우는, PSS 등의 게인이나, 제한치를  $K_A$ 에 상응하여 수정할 필요가 있다.



여자의 여자전류를 피드백시키는 것으로 속응화한 경우에는  $\omega_c$  등의 배려도 가능하다. 적용하는 전달함수의 형식이 정해지면, 일순 전달함수의  $\omega_c$  목표치를 설정하고, 그것에 20[dB/dec]가 되도록 위상보상을 결정하면, 일반적으로는 안정한 설정이 이루어진다.

정하고, 그것에 20[dB/dec]가 되도록 위상보상을 결정하면, 일반적으로는 안정한 설정이 이루어진다.



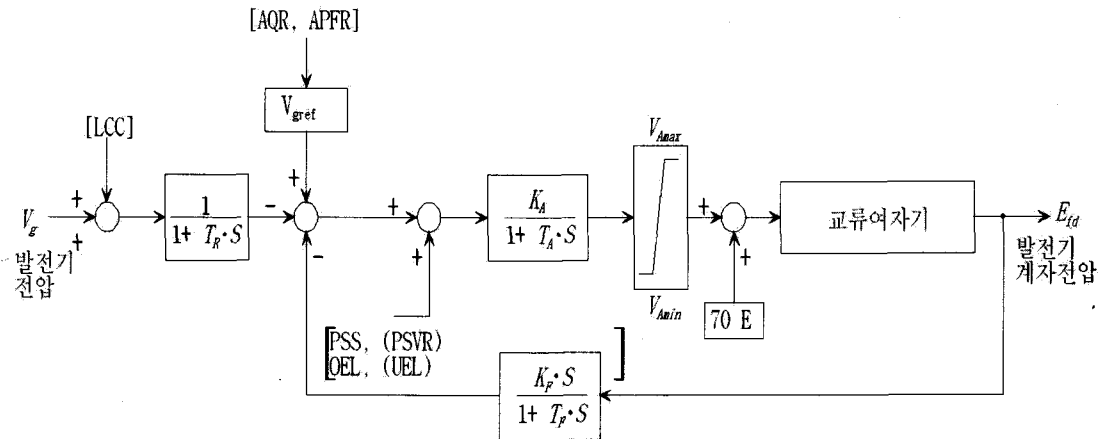
[그림 10] 피드백 보상을 갖는 브러시리스 여자방식 전달 함수 모델

[표 6] 피드백 보상을 갖는 브러시리스 여자방식 전달함수 정수(예)

부 호(단위)	정수에	의 미	부 호(단위)	정수에	의 미
$T_R$ (초)	0.01	전압검출기 시정수 (2단의 경우도 있음)	$V_{A \max}$ (PU)	86.0	AVR 출력 상한
$K_A$ (PU/PU)	25.0	AVR Gain	$V_{A \min}$ (PU)	-40.0	AVR 출력 하한
$T_A$ (초)	0.02	AVR 증폭기 시정수	$V_L$ (PU)	8.6	출력 리미터
$K_B$ (PU/PU)	5.0	보조신호 입력부 게인	$K_F$ (PU/PU)	0.32	난조 방지기 게인
$K_M$ (PU/PU)	37.0	싸이리스터 증폭기 게인	$T_F$ (초)	1.0	난조 방지기 시정수
$K_H$ (초)	0.8	여자기 계자전류 Feedback 게인			

\*1 수력기등에서 부 여자기를 갖지 않는 자력방식(발전기 단자에서 전압을 취한다)의 경우 적용

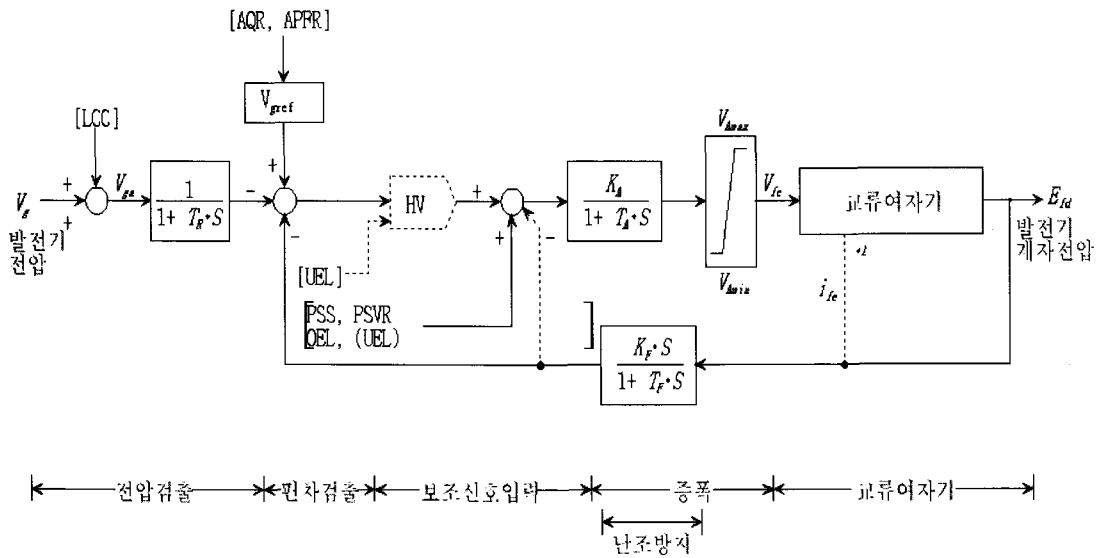
\*2  $K_A$  보다 후단에서 가산되어 있는 경우는, PSS 등의 게인, 제한치를  $K_A$ 에 상응하여 수정할 필요가 있다.



[그림 11] 분권 교류 여자기 방식 전달함수 모델

[표 7] 분권 교류 여자기 방식 전달함수 정수(예)

부 호(단위)	정수예	의 미	부 호(단위)	정수예	의 미
$T_R$ (초)	0.02	전압검출기 시정수 (2단의 경우도 있음)	$T_A$ (초)	0.044	AVR 증폭기 시정수
$K_A$ (PU/PU)	122	AVR Gain	$V_{A \max}$ (PU)	5.1	AVR 출력 상한
$K_P$ (PU/PU)	0.09	난조 방지부 게인	$V_{A \min}$ (PU)	-5.1	AVR 출력 하한
$T_P$ (초)	1.5	난조 방지부 시정수			



[그림 12] 타여자 교류여자기 방식(Brushless형) 전달함수 모델

[표 8] 타여자 교류여자기 방식(Brushless형) 전달함수의 정수(예)

부 호(단위)	정수예	의 미	부 호(단위)	정수예	의 미
$T_R$ (초)	0.013	전압검출기 시정수 (2단의 경우도 있음)	$T_P$ (초)	1	난조 방지부 시정수
$K_A$ (PU/PU)	200	AVR Gain	$V_{A \max}$ (PU)	5.92	AVR 출력 상한
$T_A$ (초)	0.01	AVR 증폭기 시정수	$V_{A \min}$ (PU)	-2.63	AVR 출력 하한
$K_P$ (PU/PU)	0.06	난조 방지부 게인수			

\*1 난조방지 회로입력은 발전기 계자전압(여자기 출력전압)을 사용하는 경우와 여자기 계자전류를 사용하는 경우 등이 있다.