

# 발전소용 여자시스템의 기술동향

김찬기\*, 김수열\*, 류호선\*, 정창기\*, 이주현\*, 임익현\*, 류용우\*  
 (\*한전 전력연구원 시스템통신연구소)

## 1. 서 론

발전기 여자시스템의 기본 기능은 동기기의 계자권선에 직류 전류를 공급하는 기능으로서 계자전압을 조정하여 계자전류를 제어함으로써 전력계통의 만족스런 성능 구현에 필수적인 보호 기능과 제어 기능을 수행하는 것이다. 발전기 여자시스템에 의한 제어 기능에는 전압 제어, 무효전력 제어 그리고 계통 안정도 향상을 포함하고 있으며, 보호 기능에는 동기발전기, 여자시스템과 타 설비들이 그들 자신의 능력 한계를 벗어나지 않도록 보호하는 기능을 포함하고 있다. 동기발전기의 관점에서 볼 때 첫째 여자시스템은 동기발전기가 연속 운전할 수 있는 범위 내에서의 출력 변화에 응하여 동기기의 계자전류를 자동 제어함으로써 단자전압을 유지할 수 있어야 한다.

두번째로는 발전기의 순간적이고 단시간 능력(generator instantaneous and short-term capability)에 부합하는 계자강화(field forcing)를 수행함으로써 과도적인 외란에 대응할 수 있어야 한다. 이러한 관점에서 발전기의 능력은 높은 계자전압으로 인한 계자권선의 절연 파괴, 계자전류의 과다로 인한 과열, 부하전류의 과다로 인한 진기자 과열, 부족 여자에 의한 발전기의 철심 끝단(core end)부 과열과 전압 주파수비(V/Hz)의 증대로 과다 자속에 의한 과열 등으로 제한 받고 있다. 각 인자에 의한 열적 한계는 시간 의존적인 특성을 가지고 있으며 동기발전기의 단시간 과부하 능력은 15초에서 60초 범위에 있으나 일반적으로는 과부하의 크기에 따라 반한 시 특성(inverse time curve)을 가지고 있다.

여자 시스템을 가장 유용하게 활용하기 위해서는 동기발전기가 가지고 있는 이러한 한계를 초과하지 않도록 최대한 활용함으로써 계통의 요구에 부응할 수 있게 하는 것이다. 또한 전력계통과의 관점에서 여자시스템을 고려할 경우에는 전압의 효과적인 제어와 안정도 향상에 기여하여야 한다. 여자시스템은 과도 안정도(transient stability)를 향상시키도록 외란(disturbance)에 신속하게 응동할 수 있어야 하고 정태 안정도(small-signal stability)를 강화하도록 발전기 계자를

조절할 수 있어야 한다. 역사적으로 볼 때 전력계통의 성능 향상에 있어 여자시스템의 역할은 계속적으로 증가되어 왔다. 초기의 여자시스템은 발전기 단자전압과 무효전력을 유지하도록 수동으로 제어하였으며 전압 제어가 처음으로 자동화되었을 때만 해도 응답이 느려서 운전원에게 경보를 주는 정도에서 만족하였다. 1920년대 초에는 연속, 속응 제어를 사용할 경우 정태 안정도와 과도 안정도를 향상시킬 수 있다는 것을 인식하게 되었다. 여자시스템의 개발에 따라 속응 능력을 가진 여자시스템이 곧바로 산업계에 도입되었으며 이후 지속적으로 진보하고 있다. 1960년대 초 여자시스템의 역할은 발전기 단자전압 신호와 설정 값의 오차 신호에 부가하여 전력계통의 진동(system oscillation)을 억제하기 위해서 계자전압을 조정하는 보조 안정화 신호를 사용하는 데까지 확대되었으며 이러한 방식에는 발전기 단자전압을 적정 값으로 제어할 수 있도록 하는 전력계통 안정화 장치(Power System Stabilizer : PSS)[1], [3]와 송전단 전압을 적절히 제어하는 송전 전압 제어 장치(Power System Voltage Regulator : PSVR)[3]가 있다. 최근에는 높은 정상 전압(ceiling voltage)을 갖는 초속응(instantaneous response) 여자 시스템이 실 계통에서 사용되고 있어 높은 계자강화 능력과 보조 안정화 신호의 조합으로 전력계통의 동적 성능향상에 기여하고 있다.

### 1.1 여자시스템의 발달

교류 발전기가 최초로 출현하였을 때 계자시스템에 대한 전원 공급 장치로 직류 발전기를 이용한 직류 여자시스템이 사용되었다. 직류 발전기는 주 여자시스템(main exciter)이나 부여자기(pilot exciter)로 사용되었을 뿐 아니라 후에는 회전 증폭기 또는 앰플리다인(amplidyne)으로 알려져 있는 제어 증폭기(control amplifier)로도 사용되었다. 직류 여자시스템은 정류(commutation)와 브러시 장치(brush) 그 자체로서 뿐 아니라 이들로 인한 불꽃 발생 등으로 어려움을 겪어 왔으나 발전기 과도 상태에서의 성능 향상에 사용되는 양방향 동일 출력 전압을 공급할 수 있는 능력을 가진 특별한 장점도 갖추고 있다. 또한 주 여자기의 전기자극 극성에 무관하게 폴 슬

립핑(pole-slipping) 발생시나 기타 심각한 시스템 외란기간 동안 발전기 계자권선에 나타나는 유도 전류의 정류(commutation)를 위한 통로를 제공함으로써 유도 전압을 제한한다. 직류 여자시스템은 1920년대로부터 1960년대에 걸쳐 사용되어 왔지만 브러시 장치와 정류에 따르는 불꽃 등의 문제에 의한 전류공급의 제한으로 인하여 교류 여자시스템(AC excitation system)으로 대체되었다. 교류 여자시스템은 정지형 반도체 정류기를 이용하여 정류된 직류를 슬립링(slip ring)을 통해서 발전기 계자권선에 공급하는 정류자 없는 교류 여자시스템(commutatorless excitation system)이거나 축 상에 설치된 회전 정류기를 통해서 직접 전류를 공급하는 브러시 없는 여자시스템(brushless excitation system)이 있다. 정지형 반도체 다이오드 정류기를 기본으로 한 교류 여자시스템이 직류 여자시스템의 첫번째 대안이였다. 그러나 상대적으로 낮은 정격을 가진 다이오드를 사용한 초기 설비는 폴 슬립핑(pole-slipping)시의 역 전압(reverse voltage)에 견디기 위하여 최소 3개의 다이오드를 직렬 연결해야 하였다. 이러한 결과로 설계시 충분한 여유 용량을 갖도록 하는 문제가 있었으나 급속한 반도체 기술의 발달로 고전압, 전류에서 운전 가능하고 단순하며 더욱 간결한 반도체 소자의 출현으로 사용 수량의 감소를 가져옴으로써 싸이리스터를 사용한 정지형 여자시스템(static excitation system)이 도입되었다.

반도체 소자 중 싸이리스터(Thyristor)의 개발 활용과 함께 정지형 정류기의 역할이 급격히 변화하였다. 싸이리스터 정류기는 발전기 계자에 공급하는 여자전력을 직접 제어할 수 있는 소자로서 다이오드와 같이 전류를 한 방향으로만 공급함과 아울러 다이오드와는 달리 공급 전류의 크기를 도통 시점 즉 점호각을 조절함으로써 제어할 수 있다. 여자전력의 크기는 싸이리스터의 점호각을 제어함으로써 조정됨에 따라 동기발전기에 다이오드 전파 정류기를 사용하여 여자전력을 공급하기 위한 교류 발전기인 주 교류 여자시스템(main AC exciter)이 불필요하게 되었다. 이러한 주 교류 여자기(exciter)를 사용하는 시스템의 시정수에는 기본적으로 주 여자시스템 권선에 의한 시지연(time delay)이 있기 때문에 이를 제거한다는 것은 여자시스템의 응답 시간을 빠르게 하고, 결과적으로 동기발전기의 과도 안정도를 향상시키게 된다.

### 1.2 여자시스템과 안정도

고 성능의 여자시스템인 속응 여자시스템을 사용할 경우 정태 및 과도 안정도 향상에 기여한다는 것은 이미 잘 알려져 있는 사실이다. 따라서 여자시스템에 있어서 여자전원의 안정적 확보와 속응 제어 능력이 중요한 요소로 작용하게 된다. 여자용 발전기인 여자기(exciter)를 사용하는 교류 여자시스템의 경우 독립된 전원을 확보하여 계통의 선로 사고와 무관하게 안정된 여자전력을 공급할 수 있다는 장점이 있으나 여자시스템은 사용함에 따른 시지연을 피할 수 없다. 정지형 여자시스템의 경우 여자기를 사용하지 않기 때문에 여자 시스템으로 인한 시지연을 제거할 수 있

나 여자 전원을 일반적으로 동기발전기의 출력 단자에 연결된 여자용 변압기(Potential Power Transformer : PPT)를 통하여 공급받음으로써 정상 운전중이나 사고 기간 중에 동기발전기 출력 단자전압의 변화에 따른 영향을 직접 받게 된다. 여자용 변압기(PPT)는 송전선로의 지락 및 단락 사고 등으로 인한 사고기간 중의 낮은 발전기 단자전압에서도 여자 강화 요구를 만족시킬 수 있어야 하고 발전기 출력의 급격한 저하(load rejection)로 인하여 발생하는 높은 전압에도 견딜 수 있어야 한다. 동기발전기의 단자전압 변화에 의한 영향을 줄이기 위하여 동기발전기의 전압과 전류를 벡터적으로 합성하여 여자 전원으로 사용하는 컴파운드 정지형 여자시스템(compound source excitation system)이 있다. 송전선로 사고에 의한 동기발전기 단자전압의 저하는 발전기 부하전류의 증가를 수반함으로써 전압의 저하에 반비례하여 부하전류는 증가하게 되므로 이들 두 성분을 벡터적으로 합성하여 여자 전원을 확보하는 방식이다. 이와 같이 정지형 여자시스템(static excitation system)에는 발전기 단자로부터 여자용 변압기(PPT)를 통하여 여자 전원을 공급받는 전압원 정지형 여자시스템(bus fed excitation system)과 발전기 단자전압과 부하전류를 변압기(PPT)와 변류기(current transformer)를 이용하여 벡터적으로 합성하여 여자 전원으로 사용하는 컴파운드 여자시스템으로 크게 대별되고 있다. 전압원 정지형 여자시스템은 전력 전자 및 제어 기술의 발달로 시스템이 단순하고 저렴할 뿐 아니라 정비보수가 용이하고 시 지연이 적은 초속응 여자가 가능하며 안정도를 향상시키는 이점이 있어 오늘날 널리 사용되고 있다. 특히 송전선로가 길거나 발전용량에 비하여 송전용량에 여유가 없는 등 상대적으로 선로 임피던스가 큰 선로를 가진 결합 능력이 약한 송전 계통일수록 여자시스템에 의한 안정도 향상이 크게 나타난다. 그러나 전압원 정지형 여자시스템은 전술한 바와 같이 발전기 단자전압의 변화가 여자시스템 특성에 직접적으로 영향을 미치는 단점을 보유하고 있다. 정상 운전 상태에서의 발전기 단자전압의 변화는 싸이리스터 제어 정류기의 점호각을 제어함으로써 여자전류를 확보할 수 있으나 전력계통의 선로 사고 등으로 발전기 단자전압이 허용 값 이하로 저하할 경우에는 발전기 단자전압이 정상 상태일 때와 동일한 여자 강화 능력을 확보할 수 없어 여자 강화 능력이 저하하게 된다. 동기발전기 단자전압의 저하는 송전전력을 저하시킴과 동시에 최대 공급 가능한 계자전류를 저하시키게 되고 계자전류의 저하는 발전기 단자전압을 더욱 저하시킴으로써 기계적 입력과 전기적 출력의 불평형이 심화되어 전력 상차각(power angle)이 증대됨으로써 결국 동기 탈조하게 된다. 이러한 문제를 개선하기 위해서 컴파운드 전원 방식의 정지형 여자시스템을 개발하여 사용하고 있으나 대용량의 변류기를 설치하여야 하고 여러 형태의 선로사고에 대응한 제어정수의 정정을 행하기 어려움에 따라 성능에 대한 검증받지 못하고 있다. 또한 대형 리액터 제작의 곤란함으로 중소형기에서 채택되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 1988년 전기 전자 엔지니어 협회의 저널(IEEE Transaction)에 발표

된 “이중자여자 동기발전기의 해석(analysis of self-dual excited synchronous machine)”에서는 컴파운드 여자시스템의 변류기(current transformer)를 생략하고 동기발전기의 안정도를 향상시킬 수 있는 새로운 방식의 정지형 여자시스템을 제안하고 있다. S. WE. Abo-Shady 등 4명이 제안하고 있는 이 방식은 발전기에 두개의 계자권선을 사용하여 하나의 계자권선에는 전압원 정지형 여자시스템과 동일하게 동기발전기의 단자로부터 여자전원을 공급하고 다른 계자권선에는 외부 직류 전원을 사용하는 방식을 제안하고 있으나 독립된 부하 계통에 전력을 공급하는 발전기에 대하여 검토한 것이다.

## 2. 본 론

지금까지 개발된 여자시스템의 종류를 크게 나누면 다음과 같다.

- (1) DC 여자시스템
- (2) AC 여자시스템
- (3) ST 여자시스템

### 2.1 DC 여자시스템

DC 여자시스템은 AC 여자시스템이나 ST 여자시스템으로 대체되어 현재는 생산되지는 않으나 60년대에 세워진 발전소에는 아직도 운용 중에 있는 것이 많다. DC 여자시스템은 여자전원으로써 DC 발전기를 이용하며 슬립링을 통하여 동기 발전기에 전류를 공급한다. 이러한 여자시스템은 발전기의 축이나 다른 전동기를 이용하여 여자발전기를 구동하는데 자여자식(self-excited)나 타여자식(separately excited)으로 다시 세분화 할 수 있다. 여기서 타여자식인 경우에는 여자발전기의 여자전류를 영구자석발전기를 갖고 있는 파이롯트 여자에 의해 공급된다. 이러한 형태의 여자시스템은 1920년부터 1960년대까지 많이 사용되었으며 초창기 가변저항을 이용하는 형태에서 자기증폭기나 앰플리다인을 이용하는 형태까지 여러 종류가 있다. 그림 1은 앰플리다인 전압조정기를 갖고 있는 여자시스템을 나타낸 것으로 여자발전기의 여자전류를 제어하는 앰플리다인과 슬립링을 통하여 발전기에 전원을 공급하는 직류 여자발전기로 구성되어 있다.

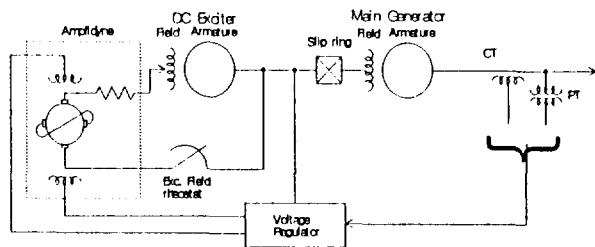


그림 1. 앰플리다인 전압 조정기를 갖고 있는 DC 여자시스템

또한 이러한 DC 여자시스템은 다른 형태의 여자시스템의 파라미터가 애매 모호하던가 또는 간단한 여자시스템 모델이 필요한 경우에 여자시스템의 안정도를 연구하는 모델링으로써도 많이 이용되고 있다. DC 여자시스템의 입력은 4개의 신호가 가감되어 여자시스템으로 들어가는데 기준전압신호, 발전기의 출력전압신호, 안정화 피드백신호, 그리고 전력계통을 안정화시키는 안정화 신호이다. 물론 정상상태에서는 시스템을 안정화시키는 신호는 영(零)이며 단지 기준전압과 출력전압신호의 오차만이 여자시스템으로 입력된다. 이러한 DC 여자시스템을 모델로 하여 생산된 제품은 다음과 같다.

- (1) Allis Chalmers - Regulex regulator
- (2) General Electric - Amplidyne regulator  
- GDA regulator
- (3) Westinghouse - Mag-A-Star regulator  
- Rotortrol regulator  
- Silverstat regulator  
- TRA regulator
- (4) Brown Boveri - Type AB regulator  
- Type KC regulator
- (5) Westinghouse - Type PRX 400
- (6) General Electric - Type SVR
- (7) General Electric - GFA4 regulator
- (8) Westinghouse - BJ30 regulator

### 2.2 AC 여자시스템

AC 여자시스템은 여자시스템의 입력을 AC 발전기를 이용하는 것이다. 일반적으로 이러한 여자시스템은 터빈 발전기의 축에 함께 연결되어 있고 여자시스템의 AC 출력은 발전기의 계자에 필요한 여자전류를 만들기 위해 정류기를 통한다. 그림 2에 대하여 간단히 설명하면 우선 PILOT 여자시스템의 전원을 이용하여 PILOT 발전기를 제어한다. 그리고 PILOT 발전기에서 나오는 전원을 다이오드나 싸이리스터를 이용하여 주 발전기의 계자에 슬립링을 통하여 전압을 공급한다. 여자용 발전기의 회전유무에 따라 정지형과 회전형으로 나눌 수 있으며 발전기의 계자권선에 전원을 인가하는 여자발전기를 싸이리스터를 이용하여 제어하느냐 아니면 단순히 다이오드를 이용하여 정류만 하느냐에 따라 여러 가지 형태의 여자시스템이 나올 수 있으나 전체적인 윤곽으로 보면 정지형과 회전형에 전부 포함되어 질 수 있다.

#### 2.2.1 AC 정지형 여자시스템

- 그림 2와 같이 여자발전기에서 나오는 전원을 여자 발전기의 입력으로 사용하는 방법
- 그림 2에서 여자발전기의 전압을 단순히 다이오드를 통해 주 발전기의 계자에 입력시키는 방법
- 그림 4와 같이 여자발전기의 전원을 UPS나 PILOT 발전기를 이용하는 방법

- 그림 4에서 발전기의 계자에 입력되는 전압을 단순히 다이오드를 사용하지 않고 싸이리스터를 이용하여 제어의 정밀도를 높이는 방법

2.2.2 AC 회전형 여자시스템

- 그림 3과 같이 여자발전기와 정류기를 회전하게 만들어 발전기의 계자에 전원을 인가할 때 슬립링을 통하지 않게 하는 방법
- 그림 3에서 여자발전기의 전압을 단순히 다이오드를 통해 주 발전기의 계자에 입력시키는 방법

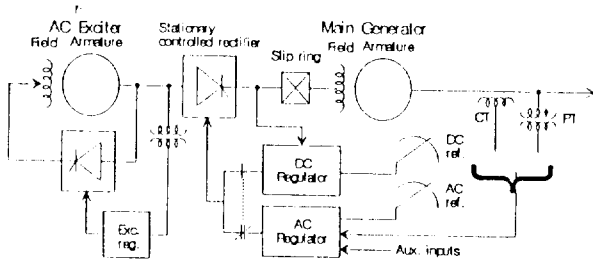


그림 2. 정지형 AC 여자 제어 시스템

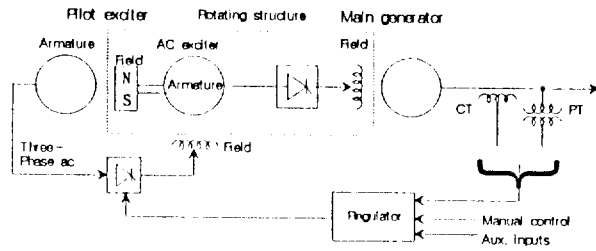


그림 3. 회전형 AC 여자 제어 시스템

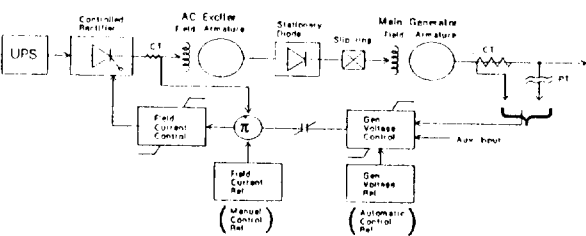


Figure 3 - Modified field controlled alternator rectifier excitation system

그림 4. 고정 전원을 갖는 정지형 AC 여자 제어 시스템

이러한 AC 여자시스템은 특성상의 우수성 때문에 지금도 많이 쓰이고 있으며 AC 여자시스템을 모델로 하여 생산된 제품은 다음과 같다.

- (1) General Electric ALTER-REX
- (2) General Electric ALTHYREX
- (3) Basler-AC exciter
- (4) Electric Machinery-AC exciter
- (5) C.A.Parson-AC exciter

2.3 ST 여자시스템

정지형 여자시스템은 그림 5에서 보는 바와 같이 발전기의 계자전원을 발전기의 출력단에서 변압기를 통하여 계자에 공급하는 것으로 AC 여자시스템에 비하여 구조가 간단하고 설치가 쉽기 때문에 현재의 여자시스템의 주종을 이루고 있다. 그러나 이러한 여자 시스템은 발전기 출력단의 전원을 여자시스템의 전원으로 이용하기 때문에 제어범위가 좁고 발전기 출력단에서 고장이 생긴 경우에는 여자 전원을 상실하기 때문에 상당히 불안정한 요소를 가지고 있다. 따라서 그림 6과 같은 시스템이 개발되었는데 이는 발전기 출력단에 고장이 생기더라도 정전류 기능을 갖고 있는 인덕턴스를 이용하여 여자시스템의 안정도를 높이는 것이다. 또한 그림 8과 같이 계자를 2중으로 만들어 하나는 정지형 여자시스템과 같이 만들고 또 하나는 직류전원을 인가하여 고장에 대한 안정도나 제어범위를 넓히는데 목적을 둔 정지형 여자시스템이 있다. 또한 이러한 정지형 여자시스템은 발전기에서 나오는 대용량의 전원을 바로 제어하기 때문에 전류 제한기나 전압 제한기와 같은 보호 성분이 많아야 한다. 정지형 여자시스템을 모델로 하여 생산된 여자시스템은 다음과 같다.

- (1) Canadian General Electric Silicomatic Excitation System
- (2) Westinghouse Canada Solide State Thyristor Excitation System
- (3) Westinghouse Type PS Static Excitation System with WTA, WHS, WTA-300 regulator
- (4) ASEA Static Excitation System
- (5) Brown Boveri Static Excitation System
- (6) Rayrolle-Parson Static Excitation System
- (7) GEC-Elliott Static Excitation System
- (8) Toshiba Static Excitation System
- (9) Mitsubishi Static Excitation System
- (10) General Electric Potential Source Static Excitation System
- (11) Hitachi Static Excitation System
- (12) Basler Model SSE Excitation System
- (13) ABB UNITROL Excitation System

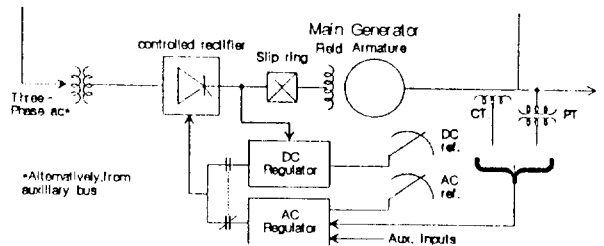


그림 5. 정지형 여자 제어 시스템

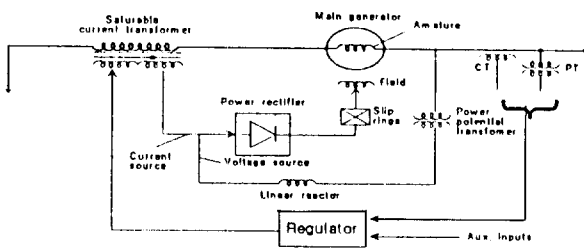


그림 6. 컴파운드형 정지형 여자 제어 시스템

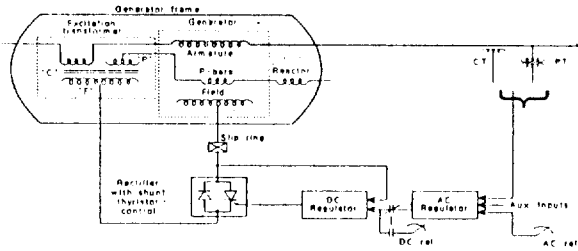


그림 7. GENEREX 컴파운드형 정지형 여자 제어 시스템

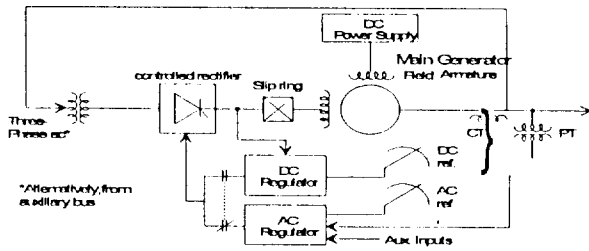


그림 8. 직류전원을 갖는 정지형 여자 제어 시스템

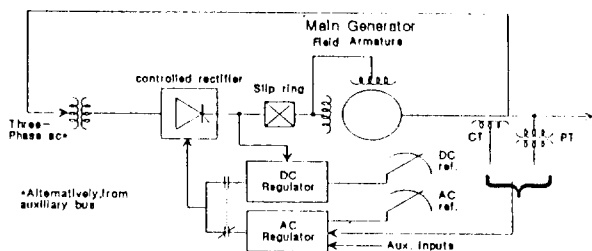


그림 9. 병렬 계자권선을 갖는 정지형 여자 제어 시스템

### 3. 여자시스템 특성 비교

#### 3.1 AC 여자시스템

- 장점 :
  - (1) 전압조정 범위가 넓다
  - (2) 여자시스템의 전원이 계통사고의 영향을 받지 않는다.

- (3) 계통사고시 clearing time이나 발전기 리액턴스의 여유도가 높다
- (4) 계자차단기의 용량이 작아도 된다.
- (5) 냉각의 문제점이 작다.

- 단점 :
  - (1) 발전기의 축이 길어진다.
  - (2) 계통에 존재하는 Subharmonic에 의해서 Torsional Mode가 생기기 쉽다.
  - (3) 회전기를 사용하기 때문에 보수성이 용이하지 않다.
  - (4) 교류 여자시스템에 계자가 존재하기 때문에 시지연이 상당히 크다

#### 3.2 정지형 여자시스템

- 장점 :
  - (1) 발전기의 축이 짧아진다.
  - (2) 계통에 존재하는 Subharmonic에 의해서 Torsional mode의 영향을 덜 받는다.
  - (3) 회전기를 사용하지 않기 때문에 보수성이 용이하다.
  - (4) 사이리스터 직접제어를 하기 때문에 속응성이 극히 빠르다.

- 단점 :
  - (1) 전압조정 범위가 좁다.
  - (2) 여자시스템의 전원이 계통사고의 영향을 쉽게 받는다.
  - (3) 계통사고시 clearing time이나 발전기 리액턴스의 여유도가 낮다.
  - (4) 계자차단기의 용량이 커야 한다.
  - (5) 용량이 증가함에 따라 냉각의 어려움이 존재한다.

#### 3.3 조정범위

예를 들어 타여자 AC방식이 0V근처에서 운전이 가능한 반면 정지형 여자시스템은 정격의 30%~40% 정도이다. 그러나 이러한 값도 이론적인 값이며 실제적인 값은 AC 여자 시스템의 경우 정격의 70% 이상, 타여자 AC 방식이 10~40% 이상으로 하고 있다.

#### 3.4 수력 발전소

현재 수력 발전소에 채용되어 있는 여자시스템은 70% 정도의 AC 여자시스템과 30% 정도의 정지형 여자시스템으로 되어 있다. 화력이나 원자력과 달리 수력 발전기는 페란티 효과에 의해서 수전단 전압이 높아질 경우 여자시스템의 제어 하한치를 가능한 한 낮추어야 하는데 AC 여자 시스템의 제어범위는 정지형 여자시스템보다 넓고 또한 수력발전기는 시중전용으로 주로 사용하기 때문에 속응형 AC 여자시스템을 채용하고 있다.

### 3.5 신뢰성

현재 AC 여자시스템이 우수한가 아니면 정지형 여자시스템이 우수한가의 판단은 정확하지 않으나 많은 회사에서 정지형 여자시스템의 손을 들어주는 입장이다. 왜냐하면 AC 여자시스템의 단점은 해결하는 방법이 지극히 곤란하나 정지형 여자시스템은 AC 여자시스템과 비교해서 단점은 여러 가지 방법으로 해결가능하기 때문이다. 예를 들어 AC 여자시스템보다 떨어지는 신뢰성 문제는 소손 부분이 많은 싸이리스터 부분을 2중화, 3중화함으로써 해결하고 계통사고와 관련된 안정도 문제는 PSS를 탑재함으로써 해결하고 있다. 그리고 제어조정 범위가 좁다는 문제는 별도의 소내전원을 이용하는 방법도 연구되고 있는 실정이다. 또한 계자 차단기의 역할은 현대의 전자회로 기술을 이용한다면 충분히 실현이 가능한 문제이다.

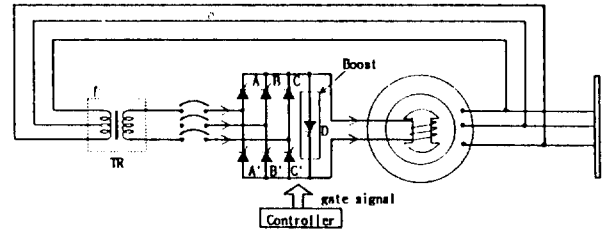
### 3.6 냉각문제

싸이리스터는 중소용량인 경우에는 싸이리스터 냉각을 위해서 자연식이나 공냉식을 사용하나 용량이 커지는 경우에는 수냉식을 사용해야 하는데 이러한 경우 용량의 증대에 비례해서 냉각판의 넓이가 커져야 하며 싸이리스터 냉각을 위해서는 냉각용 팬을 설치해야 하는데 냉각팬용 전동기의 전력소모도 많다. 또한 수냉식의 경우에는 운영보수 문제가 커진다. 실제로 한국의 발전기 정지 원인을 분석해보면 냉각요소에 의해서 발생되는 경우가 상당히 많다.

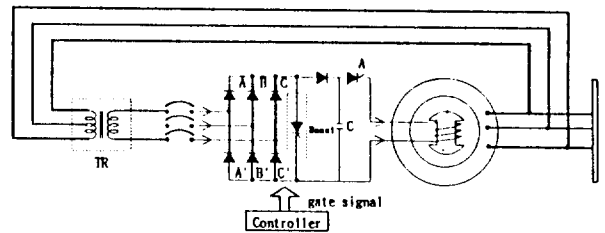
## 4. 새로운 여자시스템

앞에서 기술한 바와 같이 동기발전기의 속응 여자를 위하여 여자시스템을 사용하고 있으나 가장 널리 사용되고 있는 전압원 정지형 여자시스템에서는 동기발전기 단자로부터 여자 전원을 공급받음으로써 단자전압 변화의 영향을 직접 받아 계통 선로 사고시 안정된 여자 전원의 확보가 어렵고 이를 개선한 컴파운드 정지형 여자시스템이 있으나 아직 검증받지 못하고 있다. 전력 연구원에서는 이러한 문제점을 고려하여 계통의 선로사고로 인한 동기발전기 단자전압 저하시에도 일정 단자전압 변화 범위 내에서는 동기발전기의 정격 단자전압에서와 동일한 여자 전원을 확보하고 그 이하에서는 전압원 여자시스템보다는 높은 계자전류를 공급할 수 있는 승강압 초과식 정지형 여자시스템을 제안하고 이에 대한 연구를 진행하고 있다.

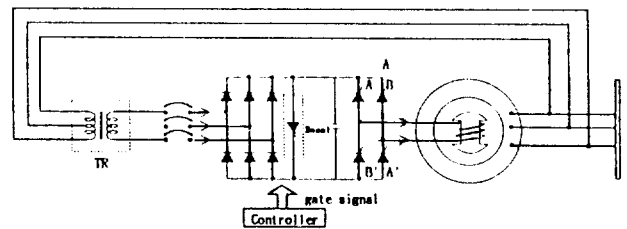
그림 10에서 설명하는 여자시스템은 송전선로의 고장이나 승압용 변압기의 고장에 따른 발전기 단자전압의 전압 강하를 줄이고 발전기 단자전압을 1[p.u.]로 유지하기 위해서 여자시스템용 변압기 TR의 인덕턴스와 승압용 컨버터(Boost Converter)를 이용하여 여자시스템 입력전압을 승압시키는 데 목적이 있다. 이러한 여자시스템 방식은 그림 7에서와 같이 발전기 내부에 변류기를 두어 고장에 대한 강인성을 높인 GENEREX방식보다 신뢰성이나 가격적인 면



(a) 제안된 여자시스템 1-Type



(b) 제안된 여자시스템 2-Type



(c) 제안된 여자시스템 3-Type

그림 10. 제안된 정지형 여자시스템

에서 우수하고 그림 8과 9에서 논한 2중계자 전원방식보다도 제작이나 제어성이 우수할 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서 제안하는 정지형 여자시스템에 대한 특성을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 정상 운전 조건에서 기존의 정지형 여자시스템과 동급 이상의 성능 확보

발전기 단자전압의 변화에 대해 정상 운전 조건에서는 기존의 정지형 여자시스템이 갖는 속응성에 뒤지지 않고 그와 유사하거나 동급 이상의 성능을 가지도록 시스템을 구성하도록 한다. 따라서 기존의 정지형 여자시스템의 단위 응답 모의 실험 결과와 제안하는 여자시스템의 결과가 유사한 범위에 있도록 연구를 진행한다.

- (2) 발전기 단자전압 저하시의 과도 상태에서도 여자 전원 확보

기존의 전압원 정지형 여자시스템에서는 여자 전원을 발전기 단자로부터 여자용 변압기를 통하여 공급받음으로써 계통 선로사고 등으로 인한 단자전압의 하강으로 계자강화가 필요한 시점에 계자 강화 능력이 약화되는 바람직하지 못한 현상을 보이고 있다. 안정도 측면을 고려할 때 계자 강화 능력의 보유는 필수적인 것이므로 발전기 단자전압이 변화하더라도 일정 단자전압 변화 범위 내에서는 계자 강화 능력을 충분히 확보할 수 있도록 하고 그 이하로 단자전압이 저하하더라도 일정 비율로 하강되도록 하여 계자 강화 능력의 급격한 상실을 피하도록 연구를 진행한다.

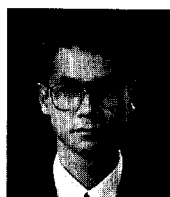
(3) 컴파운드 여자시스템에서처럼 변류기를 사용하지 않는다.

전압원 정지형 여자시스템의 동기발전기 단자전압 변화의 영향으로 입력전압 저하시 계자 강화 능력 저하를 보상하기 위하여 개발되어 사용 중인 컴파운드형 여자시스템에서 사용되는 변류기를 사용하지 않으면서 전압원 여자시스템에 비하여 높은 계자 강화 능력을 갖도록 한다.

### 참 고 문 헌

- [1] Jackson, J. Y., "Interpretation and Use of Generator Reactive Capability Diagrams". IEEE Transaction on Industry and General Applications. Vol. IGR:7, No. 6, Nov/Dec. 1971.
- [2] Schaefer, R. C., "Retrofitting Static Exciter Regulators for Rotating Exciter Systems", Presented at IEEE Pulp and Paper Conference in Atlanta, Georgia, June 1989.
- [3] Eberly, T. W., Schaefer, R. C., "Minimum/Maximum Excitation Limiter Performance Goals for Small Generation", Presented at IEEE PES Panel Session in Seattle, Washington, July 1994.
- [4] ANSI C57.13-1968 Requirements for Instrument Transformer
- [5] ANSI C50.13-1965 Cylindrical Rotor Synchronous Generators.
- [6] Schaefer, R. C. "Voltage Regulator Influence on Generator System Stability", Presented at Water power conference in Denver, Colorado, August 1991.
- [7] Everly, T. W., Schaefer, R. C., "Voltage Versus Var/Power Factor Regulation on Hydro Generators", Presented at Waterpower Conference in Portland, Oregon, August 1987.

## 저 자 소 개



**김찬기(金燦起)**

1968년 12월 17일생. 1996년 중앙대 졸업(공학). 1996년 전력연구원 입사, 수화력 제어그룹 선임연구원. 현재 IEEE 논문심사위원.



**김수열(金守烈)**

1968년 2월 29일생. 1995년 중앙대학교 졸업(석사). 1995년 전력연구원 입사. 현재 수화력제어그룹 일반연구원.



**류호선(柳皓善)**

1070년 7월 21일생. 1995년 충남대학교 졸업(석사). 1995년 전력연구원 입사. 현재 수화력제어그룹 일반연구원.



**정창기(鄭昌基)**

1956년 7월 25일생. 현재 대전산업대 대학원 재학중. 1981년 한국전력공사 입사, 전력연구원 선임연구원.



**이주현(李柱鉉)**

1964년 2월 1일생. 현재 홍익대 대학원 재학중. 1982년 한국전력공사 입사, 전력연구원 선임연구원.



**임익헌(林翼憲)**

1958년 7월 25일생. 현재 홍익대 대학원 재학중(박사과정). 1979년 한국전력공사 입사, 전력연구원 책임연구원.



**류홍우(柳洪雨)**

1948년 4월 16일생. 1996년 서울대 졸업(공학). 1967년 한국전력공사 입사. 1988년 한진부장. 현재 전력연구원 수석연구원, 수화력제어그룹장, 에너지기술지원센터 관련 고효율 전동기 사업 단장.