

여자기 모델에 따른 동기 발전기 단자전압 응답 특성분석

A Response Characteristics Analysis of Synchronous Machine Generator According to an Exciter Models

임의언* · 류홍우** · 김잔기* · 김경걸*** · 김정훈***

* 한국전력공사 전력연구원 수석 연구원

** 한국전력공사 전력연구원 선임 연구원

*** 광의대대학교 공과대학 전기공학과 교수

Abstracts— The basic function of an excitation system is to provide direct current to the synchronous machine field winding. In addition, the excitation system performs control and protective functions essential to a satisfactory performance of a power system by controlling the field voltage and thereby the field current. This paper describes the characteristics and modeling of different types of excitation systems and discusses dynamic performances. In this paper, we modified IEEE AC1A and ST1A excitation system to simpl system. The automatic voltage control system which had been developed by KEPRI is used for experiments and simulations.

무효전력 제어는 교류여자기의 계자전류를 조절함으로써 행해진다. 여기서, 교류여자기는 발전기축에 직접 연결되어 있다. 이러한 교류 여자방식은 Commutatorless 방식과 Brushless방식으로 분류할 수 있다. 그림 1 a)에서 보는 바와 같이 교류여자기는 직류여자기에서 존재하는 정류자의 문제가 없고 용량에 관계없이 발전기축에 직결이 가능하다는 점을 들 수 있다. 단, 이러한 방식은 발전기 계자권선과 정류기 사이에 슬립링이 필요하다. 그림 1 b)와 같은 브러시리스방식은 앞의 그림 1 a)와 같은 시스템의 슬립링 보수가 곤란하다는 단점을 해결하기 위해 정류기와 교류여자기의 전기자를 회전시키는 방식이다. 이러한 방식은 대형 발전기에 많이 채용되어 있으며 정류기가 대단한 원심력을 받기 때문에 제작에 견고성을 갖어야 한다.

1. 연구 배경

우리 나라의 발전소는 대략 60여개정도가 있는데 발전소의 준공시기가 달라 발전소가 가지고 있는 여자 제어시스템도 준공 당시의 기술력과 제작자 규격에 따라서 여러 종류가 있다. 일반적으로 여자기가 가져야하는 특징은

- 1) 부하단 전압을 일정하게 유지시키는 일,
- 2) 경제적인 송전을 하는 일,
- 3) 안정도가 충분히 확보되게 하는 일,
- 4) 송전의 신뢰성을 충분히 갖추는 일

이다. 오늘날 주로 사용하고 있는 여자시스템을 분류하면 다음과 같이 회전형 교류여자방식과 정지형 여자방식으로 나눌 수 있다.

○ 회전형 교류여자기 방식

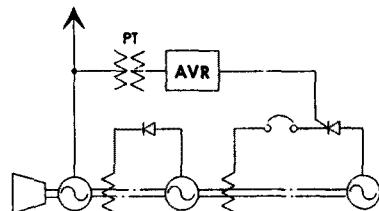
- Commutatorless방식 - 여자기는 회전계자형
- Brushless방식 - 여자기는 회전전기자형

○ 정지형 여자방식

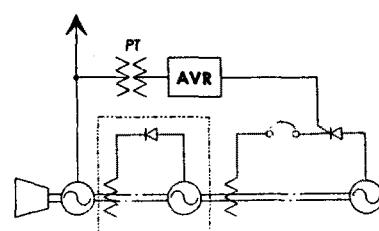
- 복권 여자방식
- Thyristor 직접여자방식

직류발전기를 이용한 회전형에서 반도체 정류기의 발달로 인하여 회전형 교류여자기 방식으로 대체되어 갔다. 그림 1 a), b)는 회전형 교류여자기방식을 나타낸 것이다.

이 방식은 발전기를 제어하기 위해서 교류발전기를 이용하고 그 출력을 반도체 정류기를 이용, 직류로 변환해서 발전기에 계자전류를 공급하는 방식으로 발전기의 전압이나



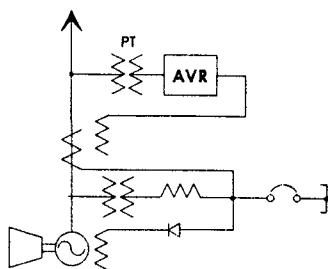
a) Commutatorless방식



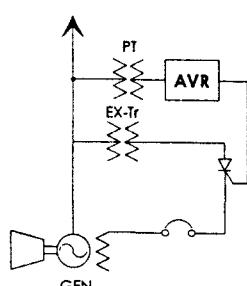
b) Brushless방식

그림 1. 교류 여자기방식
Fig. 1. AC Exciter type.

앞에서 설명한 회전형 교류여자기방식이 회전여자기를 채용하고 있는데 반해 그림 2 a)와 같은 정지형 여자기방식은 회전기를 일체 사용하지 않고 정지기로만 구성되어 있는 것으로 발전기의 단자전압을 변압기를 통해 검출한 전압요소와 발전기의 출력전류를 과포화 변류기를 통해 검출한 전류요소를 벡터적으로 합성하고 정류기에서 직류로 변환한 다음 여자전력을 공급하고 전압조정은 과포화 변류기의 포화도를 변환하여 행하는 방식이다. 이러한 방식은 발전기의 출력전류일부를 여자전류로하고 있기 때문에 부하변동에 대응해서 필요로 하는 여자전력을 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 복권 여자장치는 다음에 논하는 Thyristor 여자장치가 실용화되기 이전에 광범위하게 이용되었지만 과포화 변류기등의 경제적인 용량한계 때문에 현재에는 특수한 용도에만 사용되고 있는 실정이다. 그림 2 b)는 Thyristor여자방식을 나타내고 있는 것으로 본 방식은 Thyristor 출력으로 직접 발전기의 계자를 제어하기 때문에 계자전원은 통상 발전기의 출력에서 여자용 변압기를 통해 공급받고 있다. 이러한 Thyristor 여자방식은 Thyristor의 점호작용 제어해서 계자전압을 조정하기 때문에 직류여자기방식 혹은 교류여자기 방식과 같이 여자기의 계자권선에 의한 시간지연이 없기 때문에 여자시스템 전체의 응답특성이 지극히 빠르다는 장점을 가지고 있다. 이러한 방식은 계통안정화 향상문제, 발전기 축길이의 단축문제 그리고 보수문제에 있어서 다른 여자기방식에 비해 우수함으로 최근에 설치되는 발전기에서 주로 채용되고 있다.



a) 복권 여자방식



b) Thyristor방식

그림 2. 정지형 여자기방식
Fig. 2. Static Exciter type..

본 논문에서는 이러한 여자방식들중에서 현재 많이 사용하고 있는 교류 Commutatorless방식(ACIA)과 현재 여자기의 표준형태가 되어가고 있는 정지형 여자기(TCIA)를 같은 조건하에서 모델링과 함께 축소 모델실험을 통하여 특성을 분석하였다.

2. Commutatorless 교류 여자기와 Thyristor 여자기의 동작모델

본 논문에서 다루고자 하는 여자기는 Commutatorless 교류 여자기의 변형된 모델을 사용하고있는 인천화력 2호기를 모델대상으로 실시한 것이다. 그리고 그림 4는 정지형 여자기를 기본모델로 하면서 제어의 편이성을 위하여 새롭게 변형한 불력도이다. 그리고 그림 5는 변형된 Commutatorless 교류 여자기의 불력도를 나타내고 있으며 그림 6은 변형된 Commutatorless 교류 여자기의 모델링 한 것이며 그림 6은 수정된 정지형 여자기의 모델링을 나타내고 있다. 본 논문에서 다루려는 여자기의 수학적인 모델링은 여자기를 구성하는 각각의 요소들의 비선형성을 고려하여 모델링을 하였고 이런 각각의 모델링된 요소를 하나의 전체적인 여자기 모델로써 이용하였다.

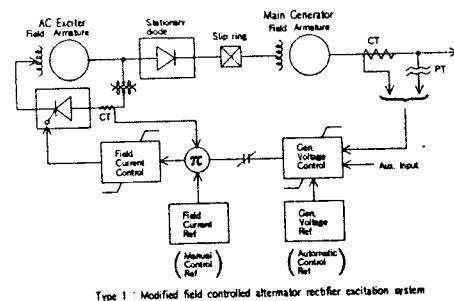


그림 3. 변형된 commutatorless 교류 여자기
Fig. 3. Modified commutatorless AC Exciter.

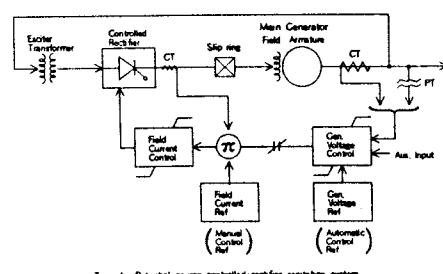
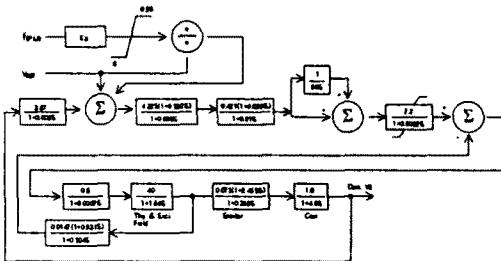


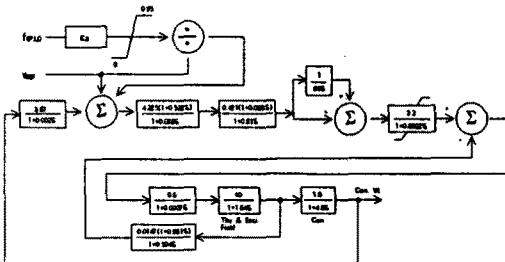
그림 4. 변형된 정지형 여자기
Fig. 4 Modified static Exciter.



수정된 IEEE AC1형 여자기 모델 (Field-Controlled Alternator Excitation System with non-commutated exciter)

그림 5. 수정된 commutatorless 여자기 모델의 블록도

Fig.5. Block diagram of an static exciter.



수정된 IEEE AC1형 여자기 모델 (Field-Controlled Alternator Excitation System with non-commutated exciter)

그림 6. 수정된 정지형 여자기모델의 블록도

Fig.6. Block diagram of an static exciter.

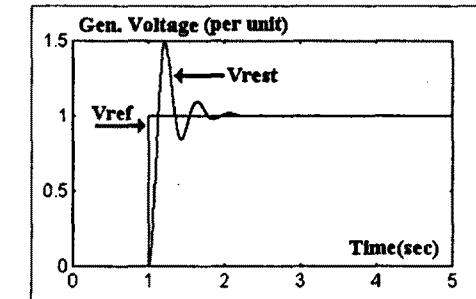
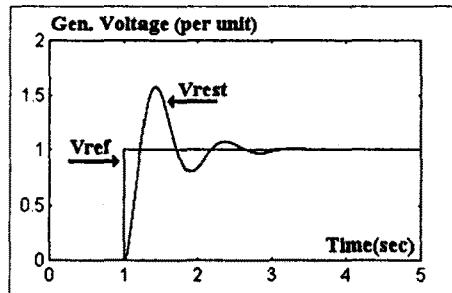
3. Commutatorless 교류 여자기와 Thyristor 여자기의 성능 평가

일반적으로 시스템을 평가하려고 할 때 시간영역 해석과 주파수영역 해석이 있을 수 있는데 시간영역해석은 시스템의 과도 상태 분석을 하는데 큰 장점을 가지고 있다. 예를 들면 각종 제한기와 같은 비선형 요소를 결합한 시스템의 오버슈트, 상승 시간, 안정시간의 분석은 시간영역 해석이 가지는 중요한 장점이다. 반면에 주파수영역 해석은 고차전달함수 시스템의 응답을 결정하는 크로스오버 주파수나 시스템의 안정도를 결정하는 위상여유와 이득여유 그리고 정상상태 특성을 나타내주는 저 주파수 이득 분석은 주파수 해석법이 가지고 있는 주된 장점이다. 이러한 시간영역 해석법이나 주파수 해석법은 서로 보완되는 부분이 많기 때문에 공통적으로 많이 사용되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 시스템의 제어기를 설계하려고 할 때 시간영역해석영역에서 시스템에 가장 큰 영향을 미치는 전달함수 블록을 주 시스템으로 간략하게 등가 변환하여 시스템의 제어기를 설계한 다음 무시했던 전달함수항을 다시 시스템에 추가하여 주파수 영역에서 다시 제어기 개인을 미세조정 설계하였다.

3.1. 시뮬레이션

그림 5와 6의 모델링을 관찰하면 우선 그림 6의 시스템은 그림 5의 모델링보다 시간 지연 전달함수의 개수가 적다. 따라서 시스템의 응답은 당연히 빨라진다.

(a) .



b)

그림 7 교류 여자기와 정지형 여자기의 스텝업시
전압파형 a) Commutatorless 여자기 b) 정지형 여자기

Fig.7 Voltage waveform of Comutatorless exciter and
static exciterstep-up simulation.

a) Commutatorless exciter , b) Static exciter

그러나 시스템의 제어기설계시 용납특성은 제어기의 설계사항에 따라 시스템의 차수와는 별도로 속용성이나 진동시간 등을 제어할 수 있기 때문에 그림 5와 그림 6의 제어성능평가에는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 5와 그림 6의 여러 요소를 같은 값을 이용하고 시스템이 견딜 수 있는 제어신호를 고려하여 시스템의 성능을 확인하였다. 시뮬레이션은 시스템 분석전용 프로그램인 Matlab을 이용하였다. 그림 5 a), b)를 보면 정지형 여자기의 속용성을 확인할 수 있으며 시스템의 차수가 작아지는 장점으로 인하여 시스템의 제어기설계가 용의함을 알 수 있다.

3.2. 축소 모델을 이용한 실험

시뮬레이션에서 이용한 시스템 파라미터는 실제로 전력연구원에서 제작한 시스템을 여수화력에 투입할 때 얻어진 결과이다. 그리고 축소 모델은 실제의 다양한 여자기 형태를 구현할 수 있는 M/G세트를 이용하여 실 제작한 시스템의 성능평가시 생길 수 있는 여러 가지 제반사항을 확인해보았다.

그림 8 교류 여자기와 정지형 여자기의 스텝업 실험시
전압 파형 a) 정지형 여자기, b) Commutatorless 여자기

Fig.8 Voltage waveform of Comutatorless exciter and
static exciterstep-up experiment.

a) Static exciter, b) Commutatorless exciter

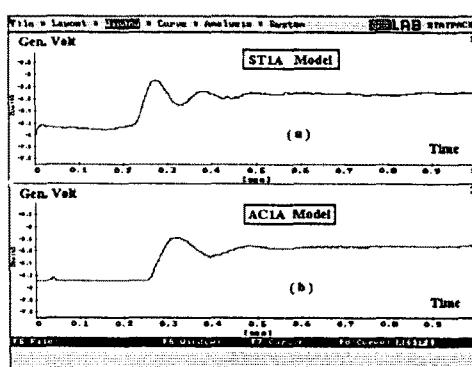


그림 8은 전력 연구원에 있는 발전기 축소모델을 이용한 여자기 특성 실험결과를 보여주고 있다. 실험환경에 대하여 간단히 설명하면 시스템의 각각의 파형은 486 PC에 A/D, D/A칩을 가진 인터페이스 회로를 추가하여 PC상의 화면과 메모리에 측정 데이터를 저장하였다.

4. 결론

본 논문은 우리나라의 발전소의 수명연장사업의 일환으로 노후한 발전기의 여자기를 전력 연구원에서 연구 개발한 여자기로 대체하는 과정에서 대체하고자 하는 발전기의 축소 모델을 가지고 모의 실험과 모델 축소실험을 하던 중에 얻어진 결과를 발표하는 것이다. 여기서 우리는 다양한 여자기의 모델 특성을 시뮬레이션하고 실험하는 과정에서 여자기의 모델링에 대한 기술을 습득할 수 있었으며, 시험결과에서 분명하게 나타난바와 같이 정지형 여자기 시스템의 응답특성이 양호한 결과를 보여준다. 따라서 여자기 시스템에 관련하여 보다 신중한 여자기 모델을 선택함으로서 전력계통 안정화에 조금이라도 기여해야한다. 금명간 본 장치가 인천화력 1호기 발전기에 실증 적용된 후 계단응답시험을 통한 성능평가 결과를 가지고서 시스템의 정수추정 등 시스템의 성능을 검증해 보이는 기회가 있을 것으로 사료된다.

5. 참고 문헌

- IEEE Committee Report, "Proposed Excitation System Definitions for Synchronous Machines," IEEE Trans., Vol. PAS-88, pp. 1248-1258, August 1969.
- IEEE Committee Report, "Excitation System Dynamic Characteristics," IEEE Trans., Vol. PAS-92, pp. 64-75, January/February, 1973.
- IEEE Committee Report, "Excitation System Models for Power System Stability Studies," IEEE Trans., Vol. PAS-100, pp. 494-509, February, 1981.
- IEEE Standard Definitions for Excitation Systems for Synchronous Machines, IEEE Standard 421.1-1986.
- IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE Standard 421.5-1992.

- F. Peneder and R. Bertschi, "Static Excitation Systems with and without a Compounding Ancillary," Brown Boveri Review 7-85, pp.343-348.
- D.C. Lee and P. Kundur, "Advanced Excitation Controls for Power System Stability Enhancement," CIGRE Paper 38-01, Paris, France, 1986.
- IEEE Tutorial Course Text, "Power System Stabilization via Excitation Control-Chapter IV : Field Testing Techniques," Publication 81 EHO 175-0 PWR.