

200MVA급 가스터빈용 동기발전기의 기동시스템 해석

안현성, 이욱진, 차한주
충남대학교

Analysis of Start-up System for 200MVA Gas-Turbine Synchronous Generator

Hyunsung An, Wook Jin Lee, Hanju Cha
Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문은 복합화력 발전소의 가스터빈용 기동 시스템의 개발을 위해 국내 복합화력 발전소의 동기발전기 파라미터를 적용하여 모델링하였으며, 200MVA급 동기발전기의 기동 시스템 운전 방법을 해석하였다. 200MVA급 동기발전기를 기동하기 위해 10MW의 6 펄스 부하 전류형 인버터와 속도 및 전류 제어기 등을 설계하였으며, 실제 국내 기동 시스템의 운전 특성과 비교하여 모델링을 검증하였다.

1. 서론

대용량 가스터빈은 정격 주파수의 약 90%영역까지 승속시키기 위한 초기 기동 시스템을 필요로 한다. 약 30%까지는 기동 시스템이 단독으로 가스터빈을 승속시키며, 30%부터 90%까지는 기동 시스템과 가스터빈이 함께 승속시킨다. 기동 시스템은 200MVA 가스터빈 발전기에 10MW급의 기동 시스템이 요구되며, 싸이리스터 스위치 기반의 SFC(Static Frequency Converter)를 사용한다. 국내 복합화력 발전소에서 사용되는 기동시스템은 해외 선진사의 SFC 시스템이 적용되어 있으며, 국내 기술 개발은 미비하다. 이러한 기동 시스템은 싸이리스터 스위치의 특성이 고려된 운전 방법(강제/자연전류모드)이 적용되어 있으며, 동기 발전기 측의 싸이리스터 컨버터의 전류 실패(Commutation Failure)를 방지하기 위해 전류 및 속도 등의 조건에 따라 점호각을 적용시킨다^{[1][2]}. 또한 가스터빈의 운전 특성을 고려하여 기동 시스템을 운전하며, 이러한 10MW급 기동 시스템의 기술 개발을 위해서는 기동시스템의 특성 분석을 필요로 한다. 본 논문에서는 국내 복합 화력 발전소에 적용 중인 기동 시스템의 특성을 해석하고 200MVA급 동기 발전기의 파라미터를 적용하고 분석된 운전 특성을 적용하여 시스템을 모델링 하였다.

2. 가스터빈용 기동 시스템

2.1 기동 시스템 구성

그림 1은 기동 시스템의 구성과 제어 구조를 보여준다. 정격 주파수의 90%까지만 동작하게 되며, 이후 영역에서는 가스터빈이 정격 주파수까지 도달하여 동기 발전기가 계통에 병입하게 된다. 동기발전기는 기동 시스템으로 동작 시에는 전동기로 동작하게 된다. 제어는 속도 제어와 전류 제어를 수행하게 되

며, 저속 영역을 위한 강제전류모드 제어기도 추가로 구성된다. 전원 측 컨버터는 dc 전류를 측정하여 위상각 제어를 하게 되며, 동기 발전기 측 컨버터는 운전 조건을 고려하여 일정 점호각 제어를 한다.

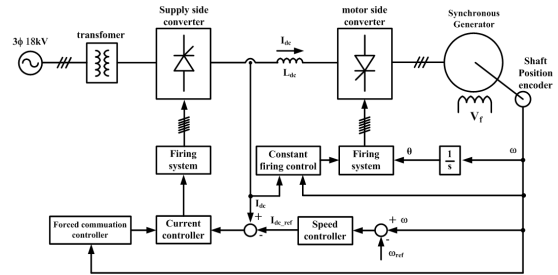


그림 1 기동 시스템 제어 블록도
Fig. 1 Block diagram of start-up system

2.2 기동 시스템 특성

2.2.1 점호각 특성

기동 시스템은 싸이리스터 스위치 기반이므로 스위치 전환 시 발생할 수 있는 전류 실패를 고려하여 점호각 제어를 수행한다. 전원 측의 경우 속도 제어기와 전류제어기를 통해 제어를 하지만 동기 발전기 측은 일정한 점호를 통해 운전한다. 일정 점호각을 통해 제어하지만 시스템의 전류 및 속도 조건에 따라 점호각을 달리 적용해야 전류 실패를 방지할 수 있다.

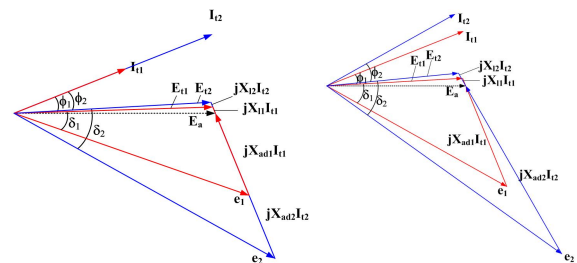


그림 2 동기 전동기 페이저도 (a) dc 전류에 따른 특성 (b) 회전자 속도에 따른 특성
Fig. 2 Phase diagram of synchronous motor (a) Characteristic according to dc current (b) Characteristic according to rotor speed

그림 2는 dc링크 전류와 회전자 속도에 따른 관계를 보여주

며, 전류 및 속도 상승에 따라 부하각(δ)이 증가하고 단자전압(E_t)과 동기기 입력전류(I_t)의 위상(ϕ)이 작아지는 것을 볼 수 있다. 이에 따라 중부각 상승에 따라 전류실패를 방지하기 위해 점화각이 점점 작아져야 한다. X_t , X_{ad} , E_a , e 는 누설 리액턴스, 상호 리액턴스 공극전압, 역기전압이다. 식 (1)은 싸이리스터 컨버터의 속도, 전류에 따른 중부각 특성을 보여주며, 일정한 속도에서 전류가 증가하거나 일정한 전류에서 속도가 증가하면 중부각이 커진다. 속도에 따른 특성은 약계자 제어 이전 영역($\sim 1350\text{rpm}$)에서는 E_t 와 ω 가 선형적인 비례 관계를 가지고 증가하므로 약계자 제어 이후 영역에서만 고려된다. 그림 3은 전류와 속도에 따른 특성의 해석된 결과와 국내 복합화력 발전소에 적용된 기동 시스템의 점화각 특성을 비교하여 보여준다.

$$\mu = \cos^{-1} \left(\cos \alpha_{ev} - \frac{\sqrt{2} \omega L_s I_{dc}}{E_t} \right) - \alpha_{ev} \quad (1)$$

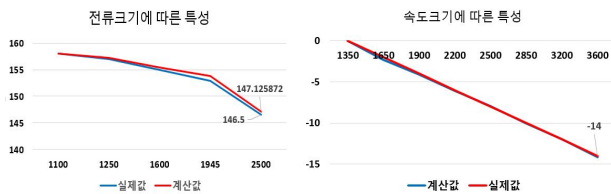


그림 3 점화각 특성 분석
Fig. 3 Analysis of firing angle

2.2.1 기동 토크 특성

기동 시스템은 정격속도의 약 10%이내에서는 싸이리스터 스위치의 턴 오프가 불안정하여 강제전류모드를 수행하게 되며, 이후 영역에서 자연전류모드로 동작한다. 강제전류모드에서는 일반적으로 정격 전류의 약 50%이하로 기동하게 되며, 자연전류모드에서 정격전류($I_{dc} = 1945\text{A}$)로 기동하게 된다. 표 1은 200MVA급 동기발전기의 파라미터를 보여주며, 모델링 및 분석에 사용되는 기본 파라미터이다. 토크는 식 (2)를 통해 구할 수 있고 토크 계산에 필요한 회전자 자속의 크기는 식 (3)을 통해 구하게 된다. 여기서 분석된 결과는 강제전류모드의 '0' 전류 구간은 무시하였으며, 동기기 단자전압과 입력전류를 동상으로 가정하였다. 강제전류구간에서의 dc링크 전류는 973A이며, 자연전류구간에서는 1945A를 통해 토크 특성을 분석하였으며, 분석 결과는 표 2와 같다.

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \{ \lambda_f I_q + (L_d - L_q) I_d I_q \} \quad (2)$$

$$\lambda_f = \frac{2}{3} \frac{N_f}{N_s} I_{fd} L_{ad} \quad (3)$$

표 1 200MVA급 동기발전기 파라미터
Table 1 Parameter of 200MVA synchronous generator

정격전압	18kV	정격전류	1588A
극수	2(3600rpm)	L_d	2.13(PU)
L_q	1.98(PU)	L_l	0.15(PU)
무부하 정격계자전류	552A		
단자 회전자 턴수비	0.077(N_s/N_f)		

표 2 기동 토크 분석

Table 2 Analysis of start-up torque

강제전류모드	실제값	35.5kNm
	계산값	37.5kNm
자연전류모드	실제값	70.74kNm
	계산값	75kNm

3. 기동 시스템 모델링

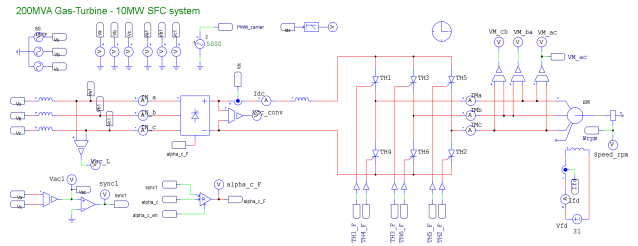


그림 4 10MW급 기동 시스템 모델링
Fig. 4 Modeling of 10MW start-up system

그림 4는 10MW 기동 시스템의 모델링을 보여주며, 속도/전류 제어 및 운전 특성을 고려하여 설계하였으며, 동기 발전기는 표 2의 200MVA급 발전소의 파라미터를 적용하였다. 그림 5는 기동 시스템의 동작을 보여주고 있으며, 300rpm까지는 정격전류의 50%로 강제전류모드를 수행하며, 60°간격마다 '0'A로 전류가 감소하는 것을 볼 수 있다. 300rpm 이후 자연전류모드에서는 정격전류(1945A)를 통해 승속을 한다.

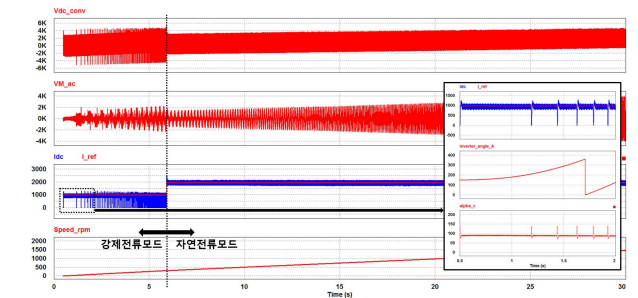


그림 5 기동시스템 동작
Fig. 5 Operation of start-up system

4. 결론

본 논문은 국내 복합화력 발전소의 200MVA급 가스터빈용 동기발전기를 위한 10MW급 기동 시스템을 모델링하였으며, 6 펄스 부하 전류형 인버터와 속도 및 전류 제어기 등을 설계하고 싸이리스터 스위치를 고려한 인버터 운전 방법을 적용하였다. 또한, 실제 국낸 발전소의 기동 시스템 운전 특성을 해석하고 비교하여 시뮬레이션 성능을 검증하였다.

참고 문헌

[1] David Finney, "Variable frequency AC motor drive systems" peter Peregrinus LTD, 1988.
[2] Prabha Kundur, "Power System Stability and Control" Electric Power Research Institute, 1994.