

30kVA 초전도 전동기의 기기상수

최 경달,^{*} 한 송엽,^{**} 츠키지 히로시,^{***} 호시노 토모노리,^{***} 무타 이쓰야[†]

*기초전력공학공동연구소, **서울대학교, ***일본 사가대학교, § 일본 교토대학교

Machine Constants of 30 kVA Superconducting Synchronous Motor

Kyeong Dal Choi,^{*} Song Yop Hahn^{**}, Hiroshi Tsukiji,^{***} Tsutomu Hoshino,^{***} and Itsuya Muta[†]

* Electrical Engineering and Science Research Institute, ** Seoul National University

*** Saga University, Japan, § Kyoto University, Japan

Abstracts For the test of the operating characteristics as a motor, a 30 kVA superconducting synchronous machine with rotating field windings has been made in Saga university, Japan from 1991. Before the load tests of it as a motor, we carried out cooling down tests and measured its machine constants. During the cooling down tests, we found that the rotor itself had no cryogenic problem, but the inlet part for liquid He had one. Though enough liquid He couldn't be accumulated inside the rotor because of this problem, we drove field currents up to 20 A and could acquire the machine constants and V curves of the superconducting synchronous motor.

1. 서론

초전도현상을 응용한 전기기기중 초전도 발전기에 대한 연구는 많이 이루어졌으나, 전동기로서의 특성에 대한 연구는 아직 기초적인 단계이다. 동기기의 계자권선을 초전도화하면, 계자권선뿐만 아니라 전기자권선에도 철심을 사용할 필요가 없다. 따라서, 초전도 동기기의 동기 임피던스는 철심을 사용한 상용동기기의 동기 임피던스보다 상당히 작은 값을 갖는다. 발전기의 경우, 작은 동기 임피던스는 송전시내부 전압강하성분을 작게 해주고 최대출력을 증가시키며 계통의 안정도를 향상시킨다. 그리고 초전도동기를 전동기로써 동작시키면 출력 토크대 전류비와 과부하능력을 증대시킬 수 있다.[1,2]

사가대학교(일본)에서는 초전도 동기기의 전동기 특성을 시험하기 위하여 두 가지 형태의 30kVA 초전도 동기기를 제작하였다. 하나는 회전 전기자형으로서 제작이 완료되어 전동기 특성 실험까지 모두

마친 상태이며[3,4] 다른 하나는 본 논문에서 다룬 회전 계자형이다. 회전계자형의 초전도 동기기에서는 초전도선으로 제작된 계자권선이 극저온용기 내부에 설치되고, 이 저온용기가 동기속도로 회전한다. 따라서 회전하는 저온용기의 내부에 액체헬륨을 주입하여 하고, 아울러 저온용기는 상온의 외부로부터 열침입을 막기 위해 진공층을 갖고 있어야 한다.

기기상수를 측정하기 전에 액체 질소와 액체 헬륨을 이용하여 냉각시험을 수행하였고, 이 과정에서 액체 헬륨 주입부에 열손실이 많이 발생하는 것을 확인하였다. 주입된 액체 헬륨 중 상당량이 기화된 상태로 주입되어 저온 용기 내부에 충분히 액체헬륨을 넣지 못하였으나 계자전류를 20 A까지 훌릴 수 있었고, 단락시험과 개방시험을 통해 기기상수를 측정하였다. 구해진 기기상수를 이용하여 초전도 동기 전동기의 V 특성곡선을 구하였다.

2. 초전도 전동기의 구조

30 kVA 초전도 전동기의 정격 선간전압은 400 V, 선전류는 43.3 A로 설계하였다. 계자권선은 초전도선으로 제작하였으며 4극, 레이스 트랙형이다. 전기자권선은 4극 3상 단절권(pitch factor 7/9)이며 동선으로 제작되어 상온부에 설치하였다. 계자권선 및 전기자권선의 설계값을 표 1에 나타내었다. 전기자권선의 쪽선부 길이는 234 mm이고, 비자성체로 슬롯을 가공하여 전기자권선을 설치하였다. 전기자권선의 축방향 길이는 300 mm, 내경 322 mm, 외경 384 mm이었다. 표 2는 계자권선에 사용된 초전도선의 규격이다.

회전 저온용기 내부의 온도는 탄소유리저항 2개로 측정하였고 계자권선 중심부와 액체헬륨 유입부에 각각 설치되었다. 계자권선에서 발생되는 자속밀도는 2개의 저온용 훌 소자로 측정하였으며, 계측신호

는 정지상태에서는 기밀용 허매틱 실(hermetic seal)을 통해서, 회전상태에서는 계측용 슬립 링을 통해 외부 계측기에 연결되었다. 정지부와 회전부사이의 밀폐을 위해 자성유체 실을 사용하였다. 그럼 1은 제작된 30kVA 초전도 동기기의 모습을 나타내고 있다.

표 1 초전도 동기기 설계값

Armature Windings	3 phases, 4 poles, diamond shape 9 turns/phase/slot 5.4 mm ϕ Cu wire 314 mm long $r_a = 0.210 \Omega/\text{phase}$ at 300 K $L_a = 1.89 \text{ mH}/\text{phase}$
Field Windings	4 poles, race track shape 559.5 turns/pole 1 mm ϕ NbTi wire $r_f = 19.0 \Omega$ at 300 K $L_f = 256 \text{ mH}$

표 2 계자권선용 초전도선의 규격

No. of Filaments	~ 2000
Filament Diameter	$\sim 16 \mu\text{m}$
Twist Pitch	22 mm
Strand Diameter	1.00 mm
Cable Diameter	1.05 mm
NbTi/Cu	1/0.9

3. 동기기 기기상수 측정

3 상 전기자권선은 Y로 결선되었고, 각 부의 기기상수와 무부하시험시 선간전압, 단락시험시 선전류를 측정하여 설계값과 비교하였다. 전기자권선과 계자권선의 설계값과 측정값을 표 3에 나타내었다. 계자권선의 자기 인덕턴스와 상호 인덕턴스의 값은 설계값보다 많이 증가하였는데, 이는 전기자권선의 외부에 설치한 철 차폐층의 영향으로 생각된다.

브러시리스 모터를 이용하여 계자를 여러 속도로 회전시키며 무부하시험과 단락시험을 행하였고, 여기에서 구한 동기 리액턴스의 값을 그림 2에 나타내었다. 60 Hz에서 동기 리액턴스는 0.236 [pu]로 나타났으며 동기 인덕턴스로 환산하면 5.79 mH이었다. 실험을 통해 측정한 동기 리액턴스를 이용하여 초전도 전동기의 V 곡선을 구하였다. 그림 3은 무부하시, 전 부하시에 대한 V 곡선을 구한 것이다.

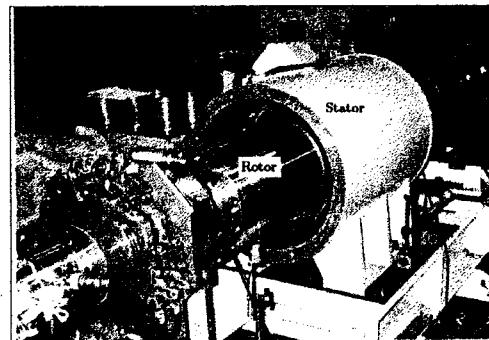


그림 1 30kVA 초전도 동기기

표 3 권선 상수의 설계값과 측정

	설계값	측정값
Armature self inductance	0.210Ω (per phase)	0.403Ω (line to line)
Armature resistance	1.89 mH (per phase)	3.29 mH (line to line)
Mutual inductance	4.4 mH	7.9 mH
Field self inductance	0.256 H	0.309 H

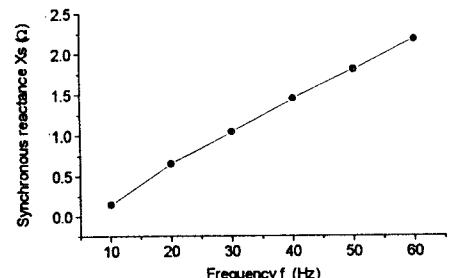


그림 2 주파수별 동기 리액턴스

4. 결론

전동기로서의 특성 시험을 위해 30kVA 초전도 동기를 제작 실험하였다. 액체 질소와 액체 헬륨을 이용하여 수행한 냉각시험의 결과, 계자권선을 설치한 회전 저온용기에는 문제가 없었으나 정지상태인 외부에서 액체 헬륨을 주입하는 접촉부에 열손실이 발생하는 것이 확인되었다. 회전자 내부에 충분한 액체 헬륨을 주입하지는 못하였으나, 액체 헬륨 온도인 4.2 K까지 냉각이 되었고 단락시험시 정격 전기자전류의 75 %까지 훌륭 수 있었다. 60 Hz에서

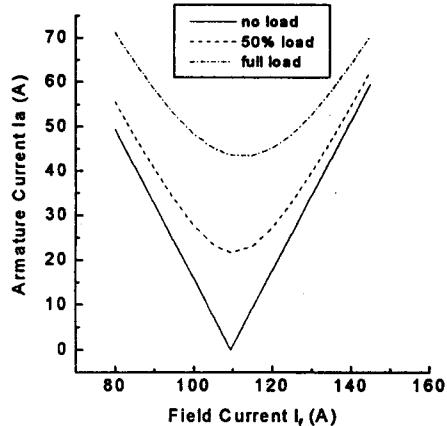


그림 3 초전도 동기전동기의 V 곡선

동기 리액턴스는 0.236 [pu]로 측정되었으며, 이 값을 이용하여 동기 전동기의 V 곡선을 구하였다. 이후 전동기의 부하시험을 통해, 해석결과와 실험결과를 비교할 예정이다.

참고문헌

- 1 Takeda, Y., Morimoto, S. and Hirase, T., "Commutation and output characteristics for thyristor motor using superconducting field winding," Trans. on IEE Japan, Vol. 108-D, 1003-1008, 1988
- 2 Muta, I. and Hoshino, T., "Potential for superconducting electric motors," Journal of the Cryogenic Society of Japan, Vol. 24, 13-20, 1989
- 3 Hoshino, T., Muta, I., Itoh, T., Hayashi, K. and Mukai, E., "Preliminary study on a rotating armature type superconducting motor," IEEE Trans. on Mag., Vol. MAG-30, 2026 -2029, 1994
- 4 Muta, I., Hoshino T. and Hayashi, Y., "Fundamental design and electrical characteristics of superconducting commutatorless motor," Electrical Engineering in Japan, Vol. 115, 123-140, 1995