

100마력 고온초전도 동기전동기 개발

Development of a 100 hp HTS Synchronous Motor

孫明煥[†] · 白承珪^{*} · 李彦容^{**} · 權永吉^{***} · 曹永植[§] · 金種武^{§§} · 文泰善^{§§§} · 金永春^{§§§} · 權雲植[#] · 朴希柱[#]
 (Myung-Hwan Sohn · Seung-Kyu Baik · Eon-Young Lee · Young-Kil Kwon · Young-Sik Jo ·
 Jong-Moo Kim · Tae-Sun Moon · Yeong-Chun Kim · Woon-Sik Kwon · Heui-Joo Park)

Abstract - Korea Electrotechnology Research Institute(KERI) has successfully developed a 100hp-1800rpm-class high temperature superconducting(HTS) motor with high efficiency under partnership with Doosan Heavy Industries & Construction Co. Ltd. This motor has a HTS field winding and an air-cooled stator. The advantages of HTS motor can be represented by a reduction of 50% in both losses and size compared to conventional motors of the same rating. The cooling system is based on the heat transfer mechanism of the thermosyphon by using GM cryocooler as cooling source. The cold head is in contact with the condenser of a Ne-filled thermosyphon. Independently, the rotor assembly was tested at the stationary state and combined with stator. The HTS field winding could be cooled into below 30K. Test of open-circuit characteristics(OCC) and short-circuit characteristics(SCC) and load test with resistive load bank were conducted in generator mode. Also, load tests in motor mode driven by inverter were finished at KERI. Maximum operating current of field winding at 30K was 120A. From OCC and SCC test results synchronous inductance and synchronous reactance were 2.4mH, 0.49pu, respectively. Efficiency of this HTS machine was 93.3% in full load(100hp) test. This paper will present design, construction, and experimental test results of the 100hp HTS machine.

Key Words : High Temperature Superconducting(HTS) Motor, Cooling System, Open-Circuit Characteristics, Short-Circuit Characteristics

1. 서 론

초전도현상을 발견한 이후로 초전도기술을 전력분야에 응용하고자하는 노력들이 선진국을 비롯한 세계 곳곳에서 오늘날까지 계속되고 있다[1-8]. 초기의 저온초전도를 이용한 전기기기의 경우 냉매를 액체헬륨을 사용하여야 하고, 운전온도가 4.2K로 낮아서 냉각구조가 복잡하고 냉각시스템의 부피가 매우 컸다. 1986년 고온초전도체가 발견된 이후 액체질소 온도에서도 초전도상태를 유지하는 장선의 도체가 개발되면서 액체헬륨을 이용하는 기존의 극저온 냉각방식에서 액체질소나 냉동기를 사용한 냉각방식을 채택하게 함으로써, 냉동기 부분의 부피와 유지비용 등을 대폭적으로 절감하는 것을 가능하게 하였다. 또한, 초전도 전동기의 저손실·고효율화, 소형·경량화 및 저진동·저소음화 등의 장점 때문에 잠재적인

가능성이 매우 커서 미국[5]-[7]에서는 1990년대 중반부터, 독일[8]에서는 2000년부터 HTS 회전기에 대한 연구가 시작되었다. 주로 군용선박에 추진용 전동기나 발전기로 활용할 목적으로 연구가 진행 중이며, 현재 개발된 최대용량의 HTS 전동기는 미국 해군으로부터 수주를 받아 AMSC가 납품한 5MW급 선박 추진용 동기전동기 이다. 우리나라에서도 2001년 후반부터 21세기 프론티어사업인 차세대초전도응용기술사업단의 연구개발 목표 중 하나로 선정되어 HTS 전동기개발이 추진되고 있으며, 2004년 1단계를 성공적으로 끝내고, 2단계가 진행되고 있다.

본 연구에서는 지난 1단계를 수행하면서 개발한 100마력 HTS 전동기의 특성평가결과에 대하여 소개하고자 한다. 개발한 100마력 HTS 전동기를 그림 1에 나타내었다.

[†] 교신저자, 正會員 : 韓國電氣研究院 超電導應用그룹, 先任研究員
E-mail : mhsohn@keri.re.kr

^{*} 正會員 : 韓國電氣研究院 超電導應用그룹, 先任研究員

^{**} 正會員 : 韓國電氣研究院 超電導應用그룹, 責任技士

^{***} 正會員 : 韓國電氣研究院 超電導應用그룹, 그룹장

[§] 正會員 : 次世代超電導應用技術開發 事業團, 기술팀장

^{§§} 正會員 : 韓國電氣研究院, 先任研究員

^{§§§} 非會員 : 斗山重工業(株) 技術研究院, 先任研究員

[#] 非會員 : 斗山重工業(株) 技術研究院, 主任研究員

接受日字 : 2004年 11月 18日

最終完了 : 2004年 12月 20日

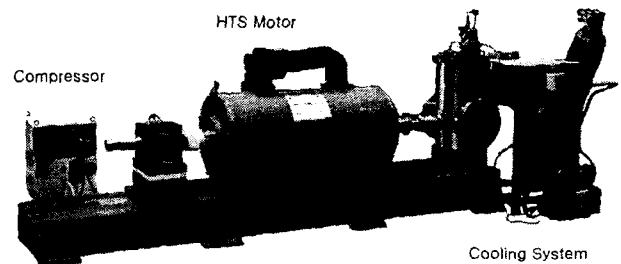


그림 1. 냉각시스템이 연결된 100마력 고온초전도 전동기
Fig. 1. 100 hp HTS motor with cooling system

2. 설계 및 제작

2.1 100마력 HTS 전동기의 설계

100마력 HTS 전동기를 2차원 전자장해석방법에 기초하여 설계하였다[9]. 설계한 사양은 표 1에 정리하였으며, 설계결과로부터 그린 횡단면도는 그림 2에 나타내었다. 그림 2의 안쪽으로부터 냉매인 액체네온이 기화하는 evaporator가 있고, 그 바깥으로 주 구조물, 그 위에 4극의 계자코일 세트가 위치하며 회전 시 원심력을 견디도록 덮개로 고정되어 있다. 또한, 외부의 교란 자장이 계자에 영향을 미치지 못하도록 댐퍼가 위치하며 최외각에는 진공이 유지된 회전자 외통으로 되어있다. 고정자는 공심형 전기자와 기계 실드 그리고 외각 프레임으로 되어있다.

2.2 계자권선과 회전자

100마력 HTS 전동기의 계자로 4개의 계자코일을 제작하였다. 각 계자코일은 다른 4개의 더블판케이크 코일로 구성되며 한 극을 구성하는 4개의 서브 코일을 그림 3 (a)에 나타내었으며, 한 극의 총 턴수는 500턴이다. 권선 지지구조물과 코일덮개는 열전도 특성이 우수한 비자성 알루미늄합금으로 제작하였다. 계자코일이 부착된 극저온의 주구조물과 상온의 회전자 샤프트와의 연결은 계자에서 발생한 회전력을 축에 전달하는 중요한 역할을 하는데, 외부로부터의 열 침입을 최소화하기 위해 GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastic) 재료를 사용하였다. 외부자계의 교란으로부터 계자코일을 보호하기 위해 외통과 계자코일 카바 사이에는 댐퍼가 존재하고, 고진공 단열층은 외부로부터의 열 침입을 억제하는 역할을 한다. 그림 3 (b)에 주구조물에 4극의 계자코일이 모두 부착된 그림을 나타내었으며, 그림 4에는 조립이 완료된 회전자를 나타내었다.

조립이 끝난 계자권선의 I-V 곡선을 77K 액체질소 속에서 측정하여 임계전류를 얻었는데 그 결과를 그림 5에 나타내었다. 총 권선 길이 1.54km를 고려하여 1uV/cm의 기준으로는 약 41A가 되었다. 각각의 자극 A, B, C, D의 Ic도 비슷하였다. J.-T. Eriksson 등의 연구[10]에 따르면 30K에서의 Ic는 77K에서의 Ic의 약 4배에 해당된다고 예측할 수 있기에, 본 계자권선의 Ic는 약 164A로 예상할 수 있고, 이 값은 당초 계획한 100A보다 높은 값이다. 그러나 접합부분의 Joule 열을 고려하면 안정한 운전전류는 이 보다 더 낮아야 한다.

2.3 고정자

고정자는 공랭식 냉각방법을 채택하였으며, 초전도 계자로부터 발생하는 강한 자계를 고려하여 전기자에 사용되는 자속 이동 경로 매체를 기존의 철심 대신에 비자성체인 5mm 두께의 GFRP재를 사용하였다. 고정자 내부의 냉각을 위한 공기 덕트는 폭 5mm의 크기로 전동기의 길이 방향으로 27개를 설치하였다. 그림 6에 고정자의 단면과 조립이 완료된 전기자를 나타내었다. 고정자 권선으로 사용한 도체는 지름 1.6mm의 구리선 16가닥으로 구성되었으며 상온에서의 전류 밀도는 3.7A/mm² 이다.

표 1. 100마력 고온초전도 전동기 사양

Table 1. Specifications of 100 hp HTS motor

Rating Capacity	100[HP]
Rating Speed	1800[rpm]
Pole Number	4
Armature Terminal Voltage	380[V]
Power Factor	1.0
Frequency	60[Hz]
Synchronous Reactance	0.5[p. u.]
Field Coil Operating Current	100[A]
Field Coil Turn Number	500[turns/pole]
Armature Rating Current	119[A]
Armature Turn Number	80[turns/phase]
Armature Slot Number	24
Direct Axial Length of Field Coils	250[mm]
Machine Shield Outer Diameter	478[mm]

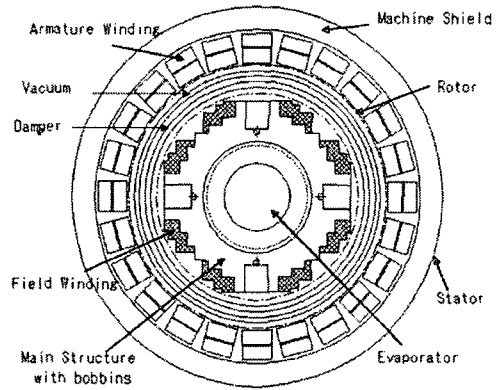


그림 2. 설계한 100마력 고온초전도 전동기

Fig. 2. Cross-sectional view of the designed 100 hp HTS motor

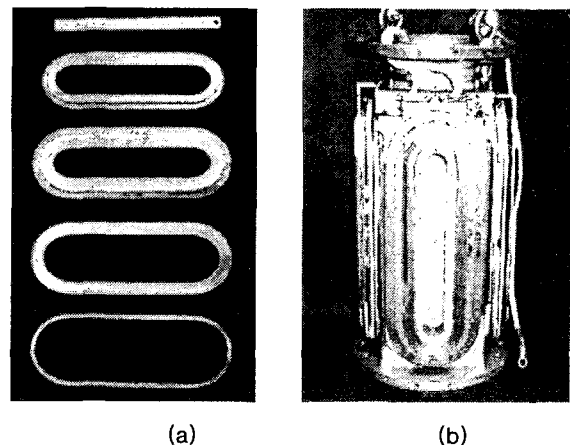


그림 3. 한 극으로 제작한 더블판케이크 코일들(a)과 보빈 일형 샤프트에 부착된 계자코일들(b)

Fig. 3. Double pancake sub-coils for one pole(a) and field coils set on main shaft with bobbins(b)

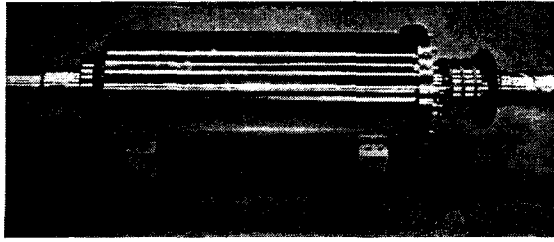


그림 4. 조립이 완료된 회전자
Fig. 4. An assembled rotor for 100 hp HTS motor

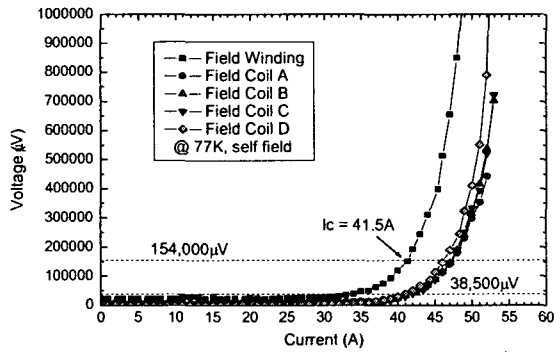


그림 5. 계자코일과 각 계자코일들의 I-V 특성 곡선
Fig. 5. I-V characteristic curves of four field coils and whole field winding.

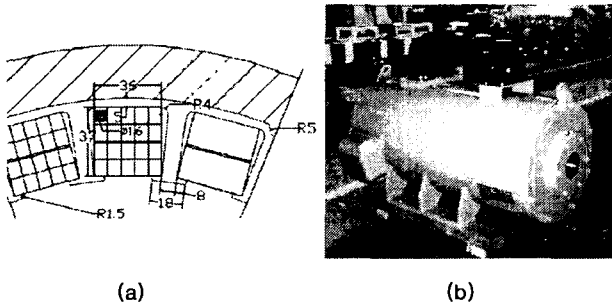


그림 6. 100마력 고온초전도 전동기의 고정자 단면(a)과 조립 완료된 고정자
Fig. 6. Cross-sectional diagram of the stator(a) and a assembled stator

2.4 냉각시스템

본 전동기 시스템에서는 액화점이 27K인 네온을 냉매로 선정하였다. 27K이하에서 액체인 네온은 회전자의 내부에서 기화하면서 계자코일이 부착된 샤프트를 냉각하고 이 샤프트와 계자코일과는 전도냉각이 이루어진다. 이 때 냉매와 계자코일 사이에는 약 3K 정도의 온도차가 존재하므로 운전온도를 30K로 정하였다. 그림 7에 냉각시스템이 회전자에 결합된 HTS 전동기를 나타내었다. 기체 네온을 액화하는 장치로 GM 냉동기를 사용하였으며, 네온이 응고되는 온도 24.8K이하가 되지 않도록 히터를 GM냉동기의 콜드헤드 근처와 공급라인에 설치하였다. 사용한 GM 냉동기는 독일 Leybold사 제품으로 냉각용량은 45W @ 27K이다. GM 냉동기에 의해 액

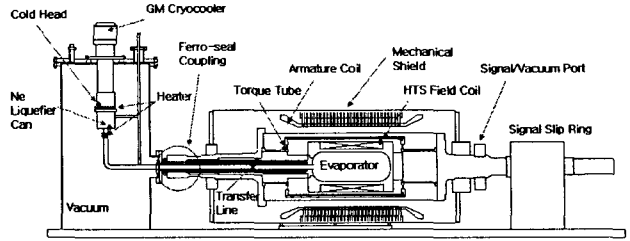


그림 7. 냉각장치가 결합된 100마력 고온초전도 전동기의 횡단면도
Fig. 7. Cross-sectional view of 100 hp HTS motor with cooling system

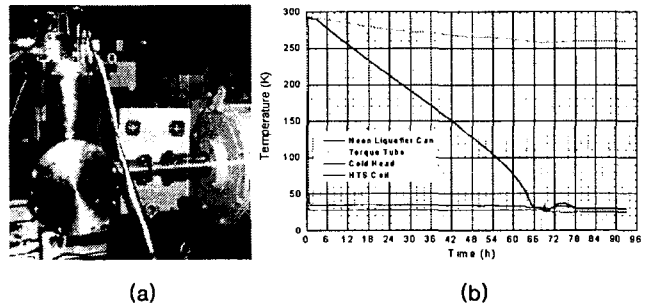


그림 8. 회전자가 결합된 냉각시스템(a)과 냉각시 회전자 내의 각 부분에서의 온도변화(b)
Fig. 8. Cooling system coupled with rotor(a) and the temperature variations of several points in the inner part of rotor(b)

화된 네온은 중력에 의해 계자권선이 부착된 샤프트의 내부인 evaporator에 도달하여 기화하면서 샤프트를 냉각하고 계자권선은 이 샤프트로부터 열이 전도되어 냉각된다. 회전자와 고정된 냉각시스템의 고 진공층 연결은 페로실을 사용하여 해결하였는데, 페로실은 동축의 샤프트 내에 영구자석을 이용하여 자로를 형성하여 그 사이에 자성유체를 채워 기밀을 유지하는 데 사용되는 상용화된 제품이다. 그림 8은 냉각 시험 시 얻은 회전자 내부와 냉각시스템 각 부분의 온도변화를 나타낸다. 약 30K까지 냉각되는데 66시간이 경과되었는데, 이 시간은 공급가스의 압력에 따라 다소 차이가 있다.

3. 특성평가

3.1 회전자 진동 테스트

최종적으로 회전자 조립을 완료한 이후 회전자가 갖는 고유 진동수 특성을 분석하였다(그림 9). 측정 결과 고유 진동수는 5차 모드까지 나타났는데 3, 4, 5차만 주파수가 나타나고 1, 2차는 운전 범위 내에서는 나타나지 않았다. 이것은 초전도 회전자를 최초 설계한 1800 rpm의 운전 범위 내에서는 공진점이 없다는 것을 의미한다. 그림 10은 실제 로터의 회전속도에 대한 진동치를 도시한 그림이다. 3X, 4X, 5X의 가진력에 의해서 진동이 증폭되는 것을 알 수 있고 진동이 증폭되는 회전속도로부터 고유진동수를 유추할 수 있다. 실험 결과는 3X의 진동이 1,600 rpm에서 증폭되고, 4X의 진동이

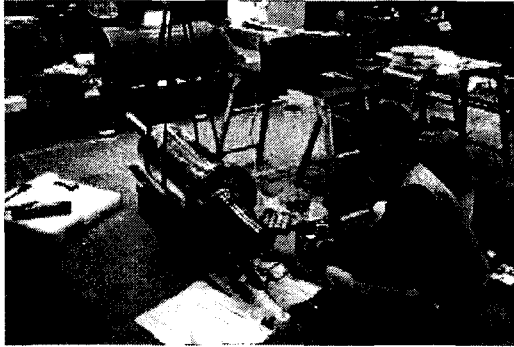


그림 9. 회전자 조립 후 진동시험
Fig. 9. Photograph of vibration test after assembling

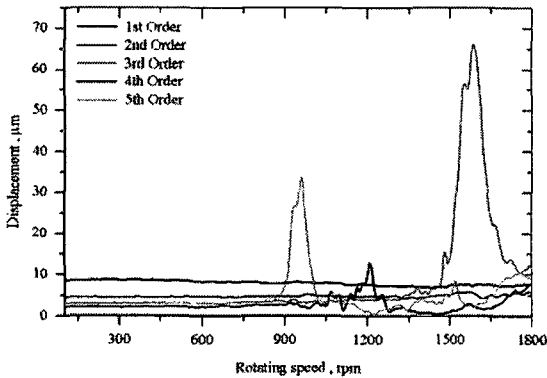


그림 10. HTS 회전자의 order-tracking 시험
Fig. 10. Order-tracking vibration of HTS rotor

약 1,200 rpm, 5X의 진동이 약 950 rpm 부근에서 증폭되는 것으로 나타났다. 이 결과로부터 실제 회전자의 고유진동수는 4,800 rpm 부근에 존재하며, 회전체의 안정성을 평가하기 위한 기본적인 선도인 Campbell 선도와 불평형 응답선도로 해석한 결과와 일치된 결과이다. 3X, 4X, 5X의 가진 성분의 존재는 회전체의 일반적인 현상이다. 따라서, 운전속도가 1800rpm이므로 운전속도에서의 진동은 양호할 것으로 판단되었다.

3.2 전기적 특성평가

향후 대용량의 개발을 위하여 제작된 100마력 HTS 전동기의 특성을 보기 위해 여러 가지 실험을 하였다. 전동기의 구동을 위해 인버터는 상용의 제품을 사용하였지만, 제어기 및 프로그램을 특별히 고안하였다. 본 실험은 구동뿐만 아니라 기계적인 부하를 걸어줄 수 있는 다이내믹시스템과 데이터 측정시스템으로 이루어진 시험대에서 이루어 졌다. 그리고 발전기 모드 실험을 위해서 저항부하도 준비하였다.

3.2.1 개방회로특성 및 단락회로특성 시험

먼저 무부하 상태에서 개방회로(OCC) 및 단락회로(SCC) 특성평가 시험을 하였고 그 결과를 그림 11에 나타내었다. OCC 시험이란 1800rpm으로 회전시킨 상태에서 계자의 여자

전류를 증가시키에 따라 전기자의 단자전압의 변화를 측정하는 것인데, 전압값이 포화되지 않고 지속적으로 증가하였다. 이것은 철심을 사용하지 않은 초전도기기의 특징이다. 그림 11(b)에 나타낸 OCC에서 단자전압이 380V일 때의 전압파형을 보면, 왜형이 전혀 없는 전형적인 사인파형인데, 이것은 철심을 사용하지 않은 초전도 동기기에서나 볼 수 있는 전형적인 결과이다. OCC 및 SCC의 결과로부터 구한 동기인덕턴스는 2.4mH이고 동기리액턴스는 0.49pu이었다. 기존의 전동기의 경우 단락회로 특성선이 개방회로 특성선보다 아래에 위치하지만 본 HTS 전동기의 경우 위쪽에 위치한다. 이러한 현상은 고정자의 공심권선과 회전자의 직공단열층으로 계자와 전기자 사이의 공간이 크기 때문이다. 두 특성선이 직선인 것은 계자와 전기자 사이에 사용된 재료가 비자성체임을 나타낸다.

단락시험시 전기자에 흐르는 전류값의 변화에 따른 전기자 코일부의 온도값을 코일 내부에 설치된 온도센서(thermocouple)를 통하여 측정하였다. 그림 12에서와 같이 설계시의 전기자 정격 전류인 119[A]를 훨씬 초과하여도 제작된 절연 계급인 H종의 온도 제한치인 180℃ 이하가 됨을 확인할 수 있었다. 전기자 코일에 설치된 센서의 위치는 표 2와 같다.

표 2. 전기자 코일 속의 온도센서 위치

Table 2. Positions of temperature sensors in armature coils

Sensor A	Phase C coil end corner
Sensor B	Phase C coil straight center
Sensor C	Phase B coil end corner
Sensor D	Phase B coil straight center
Sensor E	Phase A coil end corner
Sensor F	Phase A coil straight center

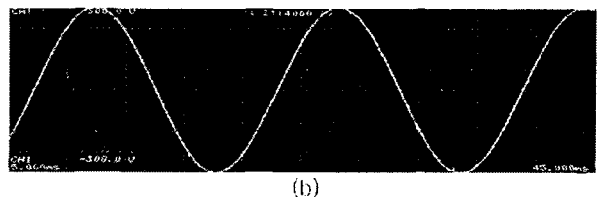
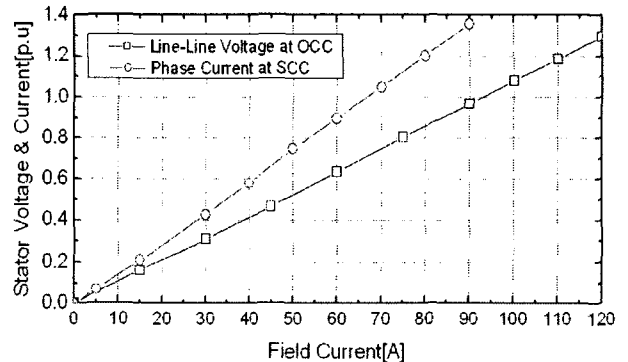


그림 11. 개방회로 및 단락회로 특성 그래프(a)와 개방시 상간 전압 파형(b)
Fig. 11. Graphs of OCC and SCC(a) and phase voltage waves at OCC(b)

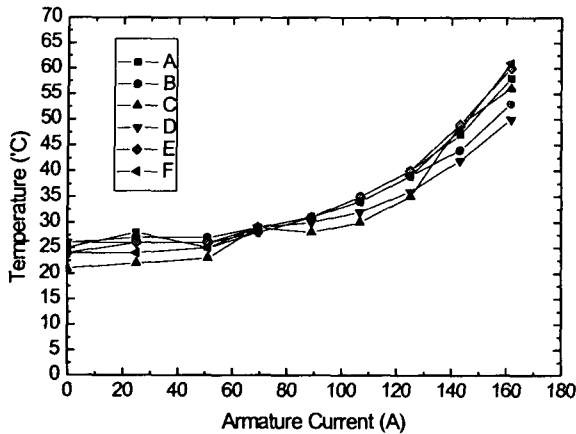


그림 12. 단락시험 시 전기자 코일 각 부분의 온도변화
Fig. 12. Temperature variations vs. armature currents of armature coils at SCC test

3.2.2 발전기 모드에서의 출력특성 시험

제작된 고온초전도전동기를 다이내모미터의 동축에 연결된 유도전동기를 정격속도인 1800[rpm]으로 회전시킨 후, 고정자 단자에 연결된 3상 저항부하를 가변시키면서 기기의 입력과 출력을 측정하여 효율을 계산하였으며, 그 결과를 그림 13에 나타내었다. 기존의 발전기나 전동기는 부하의 증감에 따라서 기기의 효율이 크게 변동하지만, 공심형의 초전도전동기는 그림에서와 같이 부하의 크기에 관계없이 거의 일정하게 약 93%의 값을 가짐을 볼 수 있다[7].

3.2.3 전동기 모드 부하특성 시험 및 효율

전기자의 단자전압을 정격인 380[V]로 조절하면서 부하가 정격용량 100 hp의 0, 25, 50, 75 그리고 100%인 경우에 대해 계자의 전류를 70A에서 120A까지 변화 시키면서 전기자 전류를 측정하였다. 그 결과를 그림 14에 나타내었는데, 어떤 특정부하상태에서 계자의 여자전류 변화가 전기자전류 및 역률에 영향을 미침을 보여준다. 역률 1을 유지하면서 축부하를 증가시키려면 계자의 여자전류를 증가시켜야 한다. 정격 부하에서 계자의 여자전류는 약 100A이었다.

계자전류 100A, 전기자 전압 380V, 1800rpm에서 전동기의 효율을 측정하였다. 그림 15에는 부하에 따른 효율을 그래프로 나타내었는데, 25% 이상에서 기존의 동기전동기에서 볼 수 없는 상대적으로 높은 효율을 나타내었으며, 100% 부하에서의 효율은 93.3%이었다.

4. 결 론

본 연구에서는 100마력급 HTS 전동기를 설계, 제작하였으며 회전자의 고유 진동수 측정과 냉각시험 그리고 전기적 특성평가를 실시하였다. 조립된 초전도 회전자의 1차 고유 진동수는 4800rpm 부근에 존재하여 정상 운전 시에는 고유 진동수의 영향을 전혀 받지 않을 것으로 판단되고 정지상태에서 정격 1800rpm까지의 회전에는 큰 무리가 없을 것으로 판단된다. GM 냉동기를 이용한 네온액화 시스템으로 HTS

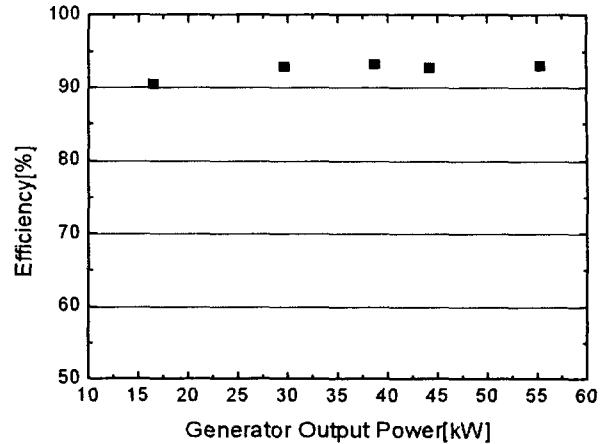


그림 13. 발전기 모드에서의 출력에 대한 효율
Fig. 13. Efficiencies vs. output power of the HT machine in generator mode

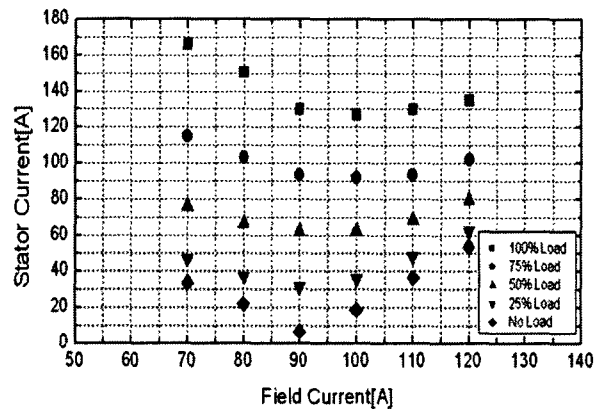


그림 14. 부하에 따른 V-곡선
Fig. 14. V-curves vs. loads of the HTS motor. load: 0, 25, 50, 75, 100% of 100 hp(75 kW)

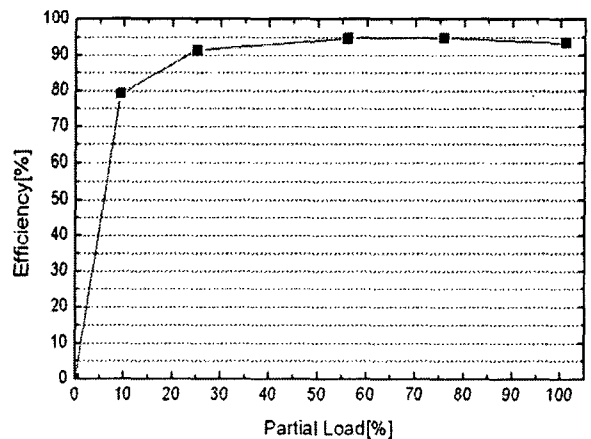


그림 15. 전동기 모드에서의 부하에 따른 효율
Fig. 15. Efficiencies vs. partial load of the HTS machine in motor mode

전동기의 계자권선을 운전온도 30K까지 냉각시킬 수 있었고, 본 시스템에서는 30K 냉각에 약 66시간이 소요되었다. 약 20 일간의 운전에서도 온도유지에는 어려움이나 문제점이 발견되지 않았으며, HTS 계자권선은 당초 운전전류 100A보다 큰 120A를 흘릴 수 있었다. OCC 및 SCC의 결과로부터 구한 동기인덕턴스는 2.4mH이고 동기리액턴스는 0.49pu이었다. 발전기모드의 출력 효율은 약 93%였으며, 전동기 부하특성실험에서는 정격부하인 100hp에서 93.3%의 높은 효율을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통하여 확보한 핵심기술들을 2단계 1MW급 개발에 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] A. Appleton and R. MacNab, "A Model Superconducting Motor", Low Temperature and Electric Power, Oxford: Pergamon Press, 1970.

[2] P. Thullen, et al., "Multipole superconducting electric motors for ship propulsion", IEEE Trans. Magnetics, Vol. 11, 1975.

[3] Yamaguchi, K., Takahashi, M., Shiobara, R., Kimura, K., "Development of a 70 MW class superconducting generator", IEEE Trans. on Applied Supercond., Vol. 7; No. 2, pp. 527-530, 1997.

[4] G. Papst, B.B. Gamble, A.J. Rodenbush and R. Schottler, "Development of synchronous motors and generators with HTS field windings", Supercon. Sci. Technol. Vol. 10, pp. 924-926, 1997.

[5] J.P. Voccio, B.B. Gamble, C.B. Prum, H.J. Picard, "125 HP HTS Motor Field Winding Development", IEEE Trans. on Appl. Supercon., Vol. 7, No. 2, pp. 519-522, 1997.

[6] D. Aized., et al., "Status of the 1,000hp HTS Motor Development", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 9, No.2, June, 1999.

[7] David Madura, et al, "Test results of a 5000HP HTS Motor", The Applied Superconductivity Conference, Houston, Texas August 6, 2002.

[8] M. Frank, et al, "Long-Term Operational Experience With First Siemens 400kW HTS Machine in Diverse Configurations", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 13, No.2, June, 2003.

[9] 백승규, 손명환, 김석환, 이언용, 권영길, "100 HP급 고온초전도 모터의 설계 및 성능해석", 초전도·저온공학 회 논문집, 제4권 2호, pp. 31-37, 2002. 11.

[10] J.-T. Eriksson, R. Mikkonen, J. Paasi, R. Perala and L. Soderlund, "A HTS Synchronous Motor at Different Operating Temperature", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 7, No.2, June, 1997.

저 자 소 개



손명환(孫明煥)

1963년 4월 21일생. 1986년 부산대 자연과학대 물리학과 졸업. 1988년 동 대학원 물리학과 졸업(이학석사). 1998년 동 대학원 물리학과 졸업(이학박사). 1988년~현재 한국전기연구원 선임연구원.

Tel : 055-280-1692, Fax : 055-280-1696
E-mail : mhsohn@keri.re.kr



백승규(白承珪)

1972년 11월 19일생. 1995년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1997년~현재 한국전기연구원 선임연구원.

Tel : 055-280-1693, Fax : 055-280-1696
E-mail : skbaik@keri.re.kr



이언용(李彦容)

1960년 5월 13일생. 1984년 창원기능대학 전기공학과 졸업. 1988년~현재 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 책임기사.

Tel : 055-280-1657, Fax : 055-280-1696
E-mail : eylee@keri.re.kr



권영길(權永吉)

1959년 7월 28일생. 1982년 부산대 기계공학과 졸업. 1984년 동 대학원 기계공학과 졸업(공학석사). 1990년 동대학원 기계공학과 졸업(공학박사). 1990년~1991년 한국기계연구원 선임연구원. 현재 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 그룹장.

Tel : 055-280-1692, Fax : 055-280-1696
E-mail: ykkwon@keri.re.kr



조영식(曹永植)

1970년 8월 20일생. 1997년 창원대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원졸업(공박). 2003년~2004년 Kyoto 대학 Post-doc. 2004년~현재 차세대초전도응용기술개발사업단 기술팀장.

Tel : 055-280-1043, Fax : 055-280-1049
E-mail: ysjo@keri.re.kr



김종무(金種武)

1970년 1월 4일생. 1992년 영남대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1994년~현재 한국전기연구원 메카트로닉스그룹 선임연구원.

Tel : 055-280-1483, Fax : 055-280-1547
E-mail : kimjm@keri.re.kr



권운식(權雲植)

1976년 2월 2일생. 1998년 경상대 공대 기계공학과 졸업. 2004년 동 대학원 기계공학과 졸업(공학석사). 2002년 9월~2004년 10월 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 위촉연구원. 2004년~현재 두산중공업(주) 기술연구원, 주임연구원.

Tel : 055-278-3692, Fax : 055-278-8593
E-mail : ws.kwon@doosanheavy.co.kr



문태선(文泰善)

1965년 6월 3일생. 1993년 부산대 자연과학대 물리학과 졸업. 1996년 동 대학원 물리학과 졸업(이학석사). 1996년~현재 두산중공업(주) 기술연구원, 선임연구원.

Tel : 055-278-3723, Fax : 055-278-8593
E-mail : moonts@doosanheavy.co.kr



박희주(朴希柱)

1970년 9월 25일생. 1995년 한국해양대학교 기계공학과 졸업. 1997년 동 대학원 기계공학 졸업(공학석사). 1997년~현재 두산중공업(주) 기술연구원, 주임연구원.

Tel : 055-278-3724, Fax : 055-278-8593
E-mail : hnopia@doosanheavy.com



김영춘(金永春)

1964년 12월 26일생. 1986년 금오공대 기계공학과 졸업. 1991년 동 대학원 기계공학과 졸업(공학석사). 2004년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(공학박사). 1991년~현재 두산중공업(주) 기술연구원, 선임연구원.

Tel : 055-278-3711, Fax : 055-278-8593
E-mail : yckim@doosanheavy.co.kr