

100마력 동기전동기용 고온초전도 계자권선 제작과 특성

論 文
54B-2-6

Fabrication and Characteristics of HTS Field Winding of a 100 hp Synchronous Motor

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

Abstract - To develop a 100 hp high temperature superconducting(HTS) motor with high efficiency first in Korea, we fabricated a HTS field winding and test. HTS field winding is composed of sixteen HTS race track shaped coils wound with stainless steel-reinforced Bi-2223 tape conductor by react and wind fabrication method. Nomex paper was used for electrical insulation. Each of four magnet pole assemblies was constructed with four double pancake sub-coils, mechanically stacked and electrically in series. Four magnet assemblies were fixed on an aluminum support structure to make effective heat transfer. The Critical current (I_c) was 41.5A at 77K and self field. However the lowest I_c value of sub-coils was 35A. Joule heat generated by each joints between sub-coils was lower than 1mW at 77K and 34A. And Joule heat generated by the joints between field coils was lower than 10mW at 77K and 34A. Joule heat of the whole field winding was 1W at 77K and 32A. And so, the lowest I_c value of sub-coils was more important than Joule heats generated by all joints. The operating current must be lower than the lowest I_c of all the sub-coils. In this paper, design, construction and testing of HTS field winding, Joule heat generated by the joints, and operating current were discussed.

Key Words : High Superconducting Motor, Bi-2223 Tape, Field Winding, Joint Resistance, Joule Heat

1. 서 론

초전도현상을 발견한 이후로 초전도기술을 전력분야에 응용하고자하는 노력들이 선진국을 비롯한 세계 곳곳에서 오늘날까지 계속되고 있다[1-6]. 초전도 동기전동기는 기존의 회전자에 사용되는 구리선 대신에 전기저항이 제로인 초전도선을 사용하여 대전류 통전 및 고자장 발생이 가능하여 고정자와 회전자에 사용되는 철심을 제거함으로써 무게, 부피 및 각종 손실을 대폭 줄인 고성능, 고효율의 첨단 회전기이다. 저온초전도 선재를 사용한 저온초전도발전기와 같은 저온초전도 회전기는 액체헬륨으로 냉각시키고 기화된 헬륨을 다시 액화시키기 때문에 대형의 헬륨액화시스템이 필요하여 대용량의 발전기에서만 경제성이 있을 것으로 판단되어 1960년대 중반부터 세계 각국에서 활발히 연구되었지만 2000년 일본에서의 70MW급 초전도발전기 이후 중단된 상태이다. 그러나

1986년 고온초전도(HTS)의 발견으로 액체헬륨을 이용하는 기존의 극저온 냉각방식에서 액체질소나 냉동기를 사용한 냉각방식을 채택하게 함으로써, 냉동기부분의 부피와 유지비용 등을 대폭적으로 절감하는 것이 가능하게 되어 고온초전도 회전기연구가 다시 활발히 진행되고 있다. 고온초전도 동기전동기분야에서는 미국의 AMSC사와 독일의 Siemens사가 가장 활발히 연구하고 있다[4-6]. 초전도전력기에 사용하는 HTS 도체는 HTS 재료가 부서지기 쉬운 금속산화물 세라믹의 고유한 특성을 가지기 때문에 금속피복재를 가진 테이프 형태의 장선으로 제작된다. 이 HTS 도체의 테이프 모양의 형상 때문에 대부분의 초전도 동기발전기나 초전도 동기전동기에 적용되는 계자코일은 레이스트랙형 팬케이크 코일형태이다[4-6]. 필요에 따라 HTS 도체의 절연을 동시에 하기 위해서는 기존의 슬레노이드 코일의 권선과는 다른 권선장치가 필요하다.

우리나라에서도 2001년 9월부터 21세기 프론티어 연구개발 사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 지원을 받아 산업용 HTS 전동기 개발연구를 진행 중인데 1단계 목표가 100마력급 동기전동기의 개발이었다. 본 연구에서는 100마력급 고온초전도전동기에 사용될 계자코일을 특별히 제작한 권선기를 사용하여 레이스트랙형 더블팬케이크 코일로 설계 및 제작하였으며, 액체질소 온도(77K)에서 성능평가를 한 후 고온초전도코일과 코일들 사이의 열결선에서 발생하는 Joule 열을 계산하고 검토하였다.

† 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

§§ 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 10月 29日

最終完了 : 2004年 12月 24日

2. 계자코일 제작

2.1 도체선정

HTS 전기기기에 사용되는 HTS 도체는 많은 량의 장선이 소요되고, 제작 상 반드시 필요한 전기절연을 포함한 도체의 공학적 전류밀도(Je)가 높을수록 상대적으로 경량의 기기를 제작할 수 있다. 권선시 도체에 걸리는 인장을 고려하면 인장강도가 높아 취급이 용이한 것을 선정하는 것이 중요하다. 따라서 임계전류(Ic)가 115A 이상이고 stainless steel 테이프가 양면에 부착하여 기계적 인장강도를 높인 AMSC 도체를 100마력 HTS 동기전동기 제작용 도체로 선정하였다. 그림 1과 표 1에 선정된 도체의 단면과 특성을 나타내었다.

2.2 계자코일 설계

초전도전동기의 계자코일에 사용될 코일은 테이프 모양을 갖는 고온초전도도체의 특성상 더블팬케이크 코일모양으로 권선된다. 계자코일에 사용한 도체는 AMSC사의 고강도 Bi-2223 도체로 운전온도 30K에서 운전전류를 100A로 정하고 1차년도에 설계한 2차원 평면 설계결과를 기초로 하여 더블팬케이크 코일을 배치하였으며, 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 계자코일 한극은 4개의 더블팬케이크 코일로 구성되고, 총 권선 턴수는 500턴이다. 사용도체의 단면적에 따라 같은 위치에 있는 팬케이크 코일이라도 턴수는 조금씩 달랐다. 그림 3과 표 2에 각 극의 턴수 및 배치를 나타내었다.



그림 1 도체의 단면
Fig. 1 Microscopic Cross-Section

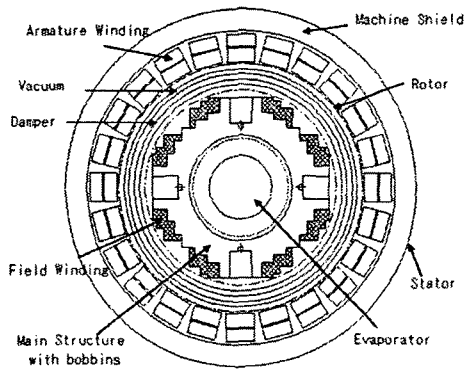


그림 2 100마력급 HTS 전동기의 횡단면
Fig. 2 Cross-sectional view of 100 hp HTS motor

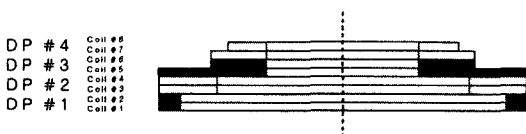


그림 3 계자코일 하나의 단면
Fig. 3 Cross-sectional view of a Field Coil

표 1 도체의 특성

Table 1 Typical Wire Properties

Type	3-Ply Wide
Thickness (avg)	0.305 (+/-0.02mm)
Width (avg)	4.1 (+/-0.2mm)
Je (min)	9.2 kA/cm ² *
Ic (min)	115A*
Max Stress (77K)	265 MPa**
Max Strain (77K)	0.4%**
Min. Bend Dia.	70 mm**

* at 77K, self field, 1 μ V/cm, ** With 95% Ic Retention

표 2 각 서브코일의 턴수

Table 2 Turns of sub-coils for 100 hp HTS Motor

		Pole A	Pole B	Pole C	Pole D
DP #1	Coil #1	22	22	23	21
	Coil #2	22	22	23	21
DP #2	Coil #3	68	72	74	71
	Coil #4	68	72	74	71
DP #3	Coil #5	121	123	117	122
	Coil #6	77	75	71	76
DP #4	Coil #7	77	71	73	74
	Coil #8	45	43	45	44
Total		500	500	500	500

2.3 권선기와 더블 팬케이크 서브코일의 제작

본 연구에 사용한 권선기는 테이프 선재를 권선하기에 적합하게 설계·제작 되었다. 그림 4에 제작한 권선기를 나타내었다. 이 권선기는 특히 HTS 도체처럼 굽힘에 대한 응력에 특성이 급격히 저하되는 도체에 적합하도록 장력을 감지하는 load cell이 달린 roller와 다른 위치의 roller들의 회전방향이 같은 특징이 있다. 또한 도체에 절연을 테이프형 절연지를 동시에 권선할 수도 있다. 권선을 위한 보빈은 그림의 우측 서보모터측에 장착되고 권선할 테이프가 감긴 카세트는 왼쪽 서보모터측에 설치된다. 보빈측 측은 설정된 속도로 회전을 하고 도체가 감겨있는 카세트측 측은 load cell에서 감지한 장력값과 설정된 장력을 비교하여 일정하게 장력이 일정하도록 역방향으로 회전을 한다. 권선 작업시 경우에 따라 역회전도 가능하고 권선수를 감지하는 counter는 가감이 가능하다. 권선 작업은 자동과 수동 모두가 가능하지만 자동에서는 순방향 권선만 가능하다. 작업의 용이성을 위해 load cell 부착 측은 x, y, z 방향 이동이 가능하고 보빈측도 y방향으로 이동이 가능하다. 그리고 이 모든 제어는 오른쪽의 제어판에서 이루어진다.

표 2에 나타난 턴수에 접합의 여유를 고려하여 AMSC사의 고강도 Bi-2223 도체를 사용하여 서브코일들을 제작하였으며 한 극 제작에 사용될 팬케이크 코일들을 그림 4 (a)에 나타내었다. 권선시에 턴수가 작은 것은 장력을 400gf로 하였고 턴수가 많은 것은 10턴 혹은 20턴씩 줄때 20gf를 줄이면서 권선을 하였다. 도체의 두께가 도체마다 달라서 각 코일의 턴수도 약간씩 차이가 있다. 테이프 사이의 절연은 Nomex paper type 400을 사용하고 층간 절연은 FRP 천을

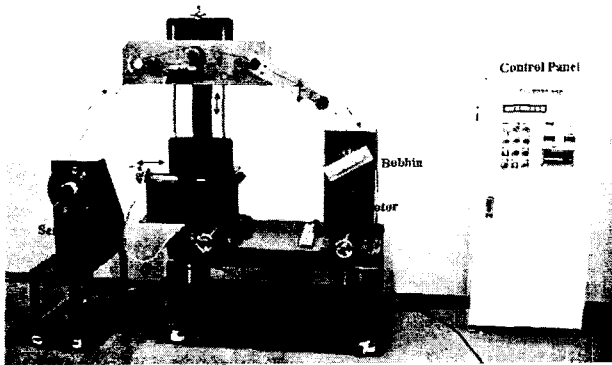


그림 4 HTS 더블팬케이크 코일 제작용 권선기
Fig. 4 Winding machine for fabrication of HTS double pancake coils

사용하였으며 wet winding method를 사용하였다. 서브코일들의 치수를 일정하게 되도록 직선부 사이의 간격을 치구를 사용하여 고정 시켰다. 사용한 에폭시의 경화 조건을 고려하여 전기로를 사용하여 80℃에서 3시간 경화 시켰다. 마지막으로 고정한 치구를 제거하여 원하는 레이스트랙형 더블 팬케이크 코일이 완성하였다. 최종적으로 조립이 될 때는 접합을 고려하면서 총 턴수가 500턴이 되도록 하였다.

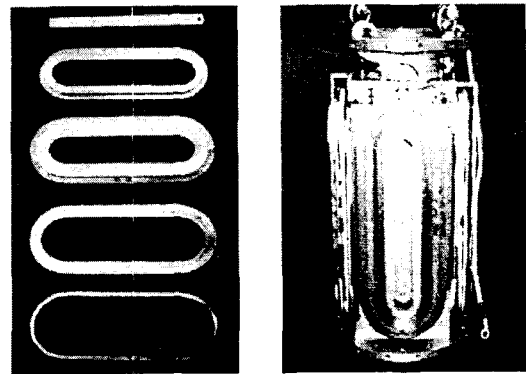
2.4 보빈설계 및 제작

그림 2에 나타나 있듯이 계자코일은 4개의 더블팬케이크가 적층된 모양을 가진다. 이 팬케이크 코일들을 계단모양의 보빈에 직접 권선할 수가 있고 그렇지 않으면 코일을 권선한 후 코일만 분리하여서 보빈에 적층하는 방법이 있다. 이 두 가지 경우 모두 계자코일의 형상에 따라 코일이 닿는 부분의 보빈 모양이 결정되기 때문에 같은 형상을 가진다. 본 연구에서는 각 더블팬케이크 코일을 권선한 후 보빈에 적층하는 방식을 채택하였다. 또한 100마력급 초전도전동기의 냉각방식을 액체네온을 이용한 전도냉각으로 구상하였기 때문에 코일의 효과적인 냉각을 위해 액체네온이 증발하는 기화기(evaporator)가 내부에 설치된 주구조물에 보빈이 붙어 있는 보빈일체형 샤프트를 설계하게 되었다. 그림 5 (b)는 제작된 보빈일체형 주구조물에 서브코일들이 부착된 계자코일을 나타낸다.

3. 실험결과 및 검토

3.1 도체 및 더블 팬케이크 서브코일

그림 5 (a)와 같은 서브코일들을 4조 즉, 16개의 더블팬케이크 코일들을 제작하고 각 코일들의 임계전류(Ic)를 I-V 특성곡선으로부터 1μV/cm의 기준으로 구하였다. 코일에 사용한 도체의 Ic와 제작한 더블팬케이크 코일의 Ic를 그림 6에 나타내었다. 구입한 HTS 도체 중 Ic가 상대적으로 높은 도체를 수직자장의 세기가 가장 큰 영역에 위치할 것으로 예상되는 DP #4용으로 사용하였다. 코일 각각의 Ic는 자체발생자장 때문에 권선수가 가장 많은 DP #3에서 가장 낮게 나타났다.



(a) (b)

그림 5 한 극 용으로 제작한 더블팬케이크 코일들(a)과 보빈 일체형 샤프트에 부착된 계자코일들(b)
Fig. 5 Double pancake sub-coils for one pole(a) and field coils set on main shaft with bobbins(b)

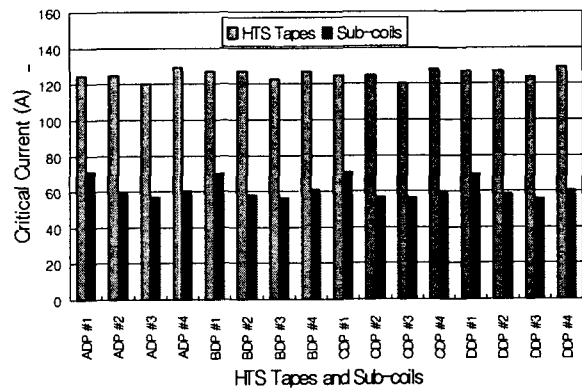


그림 6 도체와 서브코일들의 임계전류(Ic) 비교
Fig. 6 Critical currents of sub-coils and HTS tapes wound into the sub-coils, respectively.

3.2 조립된 계자권선

조립이 끝난 계자권선의 I-V 곡선을 77K 액체질소 속에서 측정하여 임계전류를 얻었는데 그 결과를 그림 7에 나타내었다. 총 권선 길이 1.54km를 고려하여 1μV/cm의 기준으로는 약 41A가 되었다. 각 pole A, B, C, D의 Ic도 비슷하였다. 코일 전체에 전류를 인가하면서 각 서브코일의 Ic를 측정하였다. 또, 각 계자코일의 Ic값과 계자코일을 구성하는 각 더블팬케이크 코일들의 Ic를 서로 비교하여 그림 8에 나타내었다. 각 pole field coil들은 41A정도의 Ic를 가졌지만 각 서브코일들의 Ic는 35A - 48A 사이로 편차가 심하였다. 각 pole set 별로 보면 턴수가 가장 많은 DP #3의 Ic가 가장 높았고 DP #4 서브코일의 Ic가 35 - 37A 사이로 가장 낮았다. 그림 9에 나타낸 계자코일 D의 I-V 특성곡선을 보면 DDP #4의 I-V 곡선은 코일 전체의 I-V 곡선과 거의 일치한다. 즉, 초기의 전압발생은 대부분 DDP #4에서 일어나고 이것은 Ic에 가장 크게 영향을 미치는 수직자장의 세기가 DP #4가 위치한 곳에서 가장 크기 때문이다. 이것은 완전히 조립된 상태에서의 자체자장이 코일의 Ic에 영향을 미친 것으로 생각된다. 즉, HTS 도체가 차지한 위치에서 HTS 도체의 면에

수직인 자장의 세기가 가장 큰 곳이 DP #4 서브코일이 위치한 곳으로 추정되는데 정확한 위치를 알아보기 위해 HTS 도체의 면에 수직인 자장의 세기 분포를 OPERA를 이용 하여 해석하였다. 그림 10에 그 결과를 나타내었는데, 해석시 고려한 운전전류는 50A이었다. 수직자장의 세기의 최고값은

약 0.26T이고, 위치는 DP #4 서브코일의 바깥쪽 부분이다. 그래서 계자코일 제작시 서브코일 DDP#4에는 다른 도체보다 상대적으로 Ic가 높은 125A이상인 도체를 사용하였다.

4.3 Joule 열

계자코일 D를 구성하는 서브코일들 사이의 접합들의 I-V 특성을 측정한 결과를 그림 11에 나타내었다. 계자코일 D의 서브코일 DP#3과 DP#4 사이의 접합의 전압이 34A부근부터 급격히 증가한다. 운전전류 34A에서 이 접합이 발생시키는 Joule 열은 약 0.17mW이고 계자코일 D의 다른 접합에서 발생하는 Joule 열은 0.17mW보다 더 작다.

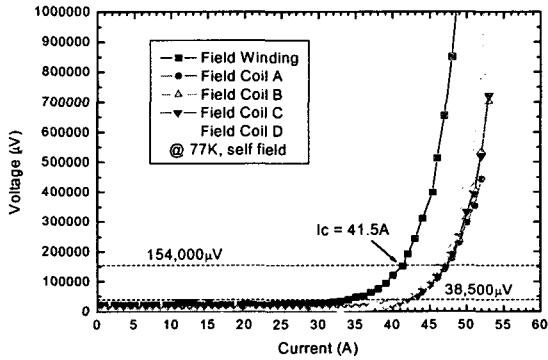


그림 7 계자코일과 각 계자코일들의 I-V 특성 곡선
Fig. 7 I-V characteristic curves of four field coils and whole field winding.

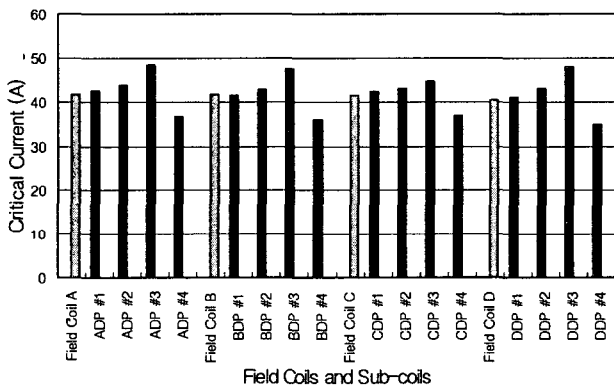


그림 8 계자코일과 각 서브코일들의 임계전류(Ic) 비교
Fig. 8 Critical currents of each field coils and its sub-coils.

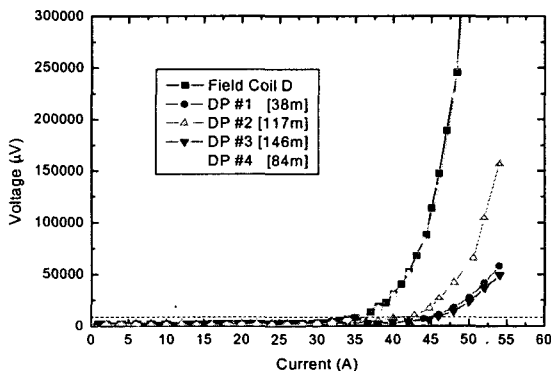


그림 9 계자코일 D의 I-V 특성 곡선
Fig. 9 I-V characteristics curves of field coil D and its sub-coils.

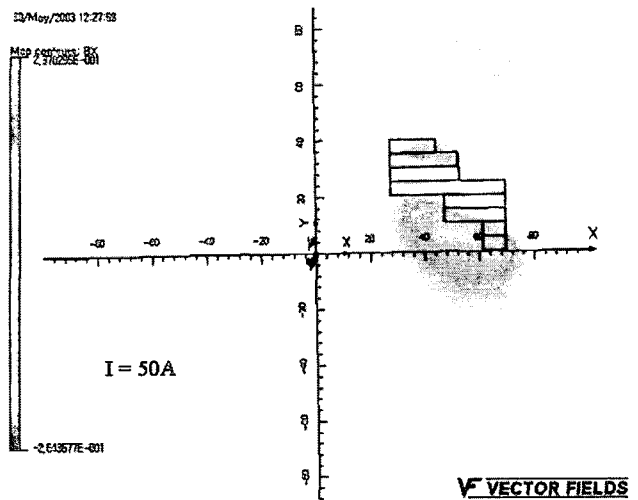


그림 10 HTS 도체의 면에 수직인 자장의 세기 분포(Ic=50A)
Fig. 10 Distribution of magnetic field intensities perpendicular to wide surface of HTS tape at center of straight line in field coil shown in Fig. 3. (Ic=50A)

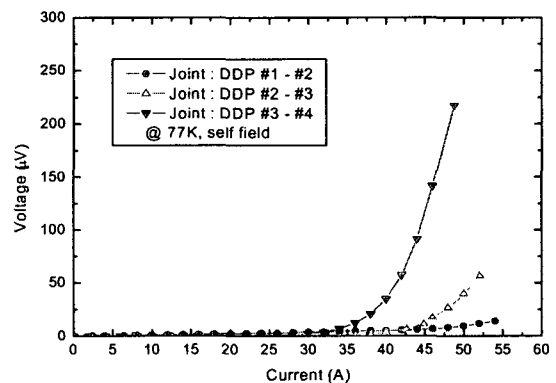


그림 11 계자코일 D의 서브코일들 사이의 접합들의 I-V 특성 곡선
Fig. 11 I-V characteristic curves of joints between sub-coils of field coil D.

계자권선을 이루는 4개의 계자코일들 사이의 접합들의 I-V 특성 측정결과를 그림 12에 나타내었다. 이 접합들은 계자코일 양단에 연결된 두개의 구리리드선을 포함한다. 각 접합에서의 전압은 전류가 0A부터 증가하면서 직선적으로 증가하다가 약 34A부터는 급격히 증가한다. 77K, 자체자장에서 운전전류 34A일 때 이 접합들이 발생 시키는 Joule 열은 약 5.8 - 8.5mW이다.

계자권선 전체, 계자코일 D 그리고, 서브코일 DDP#4에서 발생하는 Joule 열을 그림 7과 그림 9로부터 계산하여 그림 13에 나타내었다. 계자권선에서 발생하는 Joule은 0A부터 선형적으로 증가하다가 약 32A부터 급격히 증가한다. 전류가 32A일때 77K, 자체자장하에서 계자권선 전체에서 발생하는 Joule 열은 약 1W이다. $I_c=41.5A$ 에서 Joule 열은 6W이다. 본 실험에서처럼 계자코일을 함침하여 냉각하는 경우에는 발생하는 열이 냉매로 열전달이 이루어지지만, 본 연구에서 개발

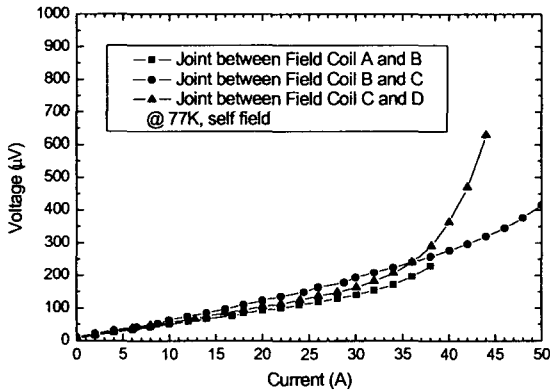


그림 12 계자코일들 사이의 접합들의 I-V 특성 곡선
Fig. 12 I-V characteristic curves of joints between pole field coils(A-B, B-C, C-D).

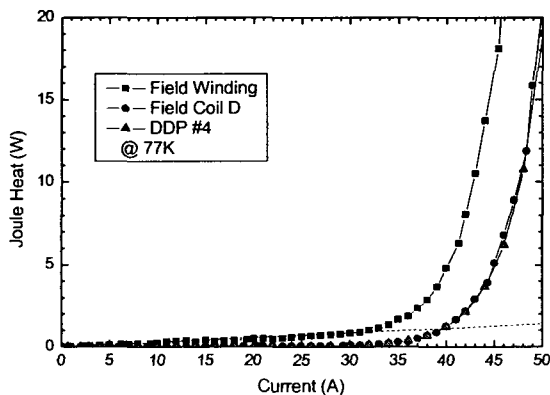


그림 13 계자권선 전체, 계자코일 D 그리고, 서브코일 DDP#4에서 발생하는 Joule 열
Fig. 13 Joule heats generated by field winding, field coil D and sub-coil DDP#4, respectively.

하고자 하는 HTS 전동기의 경우 보빈을 통한 전도 냉각이므로 운전전류의 선정에 매우 신중해야한다. 따라서 계자권선의 운전전류를 선정할 때에는 가장 I_c 가 낮은 서브코일의 I_c 값 이하이면서 각 접합에서 발생하는 Joule 열도 충분히 고려하는 것이 시스템이 안정성을 높이는 방법이다. 본 연구에서는 77K의 경우 여유를 가진 운전전류로 30A를 선택할 수 있다.

J.-T. Eriksson 등의 연구에 따르면 20.4K에서의 I_c 는 77K에서의 I_c 보다 약 4.8배 크다. 30K에서의 I_c 는 77K에서의 I_c 의 약 4배에 해당된다고 예상된다[7]. 그러므로 본 연구의 100마력 HTS 모터용 계자권선의 I_c 와 운전전류는 각각 약 164A와 120A로 예상할 수 있다.

4. 결 론

100마력급 고온초전도전동기용 계자코일을 고강도 Bi-2223 도체를 사용하여 wet winding method로 제작하고 특성평가를 하였다.

계자권선은 모두 4개의 계자코일로 이루어져 있고 각 계자코일은 4개의 더블 팬케이크 서브코일로 구성되었다. I_c 는 77K 자체자장 하에서 41.5A가 되었지만 각 서브코일들의 임계전류 중 가장 낮은 값은 35A이었다. 온도 77K, 전류 34A에서 서브코일들 사이의 접합에서 발생하는 Joule 열은 1mW 이하였다. 이 경우 계자코일들 사이의 접합에서 발생하는 Joule 열은 10mW 이하였다. 계자권선 전체에서 발생하는 Joule 열이 1W가 되는 운전전류는 32A이었다. 운전전류는 서브코일들의 I_c 값 중에서 가장 작은 값보다도 작아야 하고 접합에서의 Joule 열도 급격히 증가하지 않는 범위에서 택하여야 한다. 이 기준으로 택한 100마력급 고온초전도 전동기의 운전전류는 77K의 경우에는 약 30A를 택할 수 있고, 이 HTS 전동기에서 30K에서 기대되는 운전전류는 120A이다. 이 결과를 바탕으로 실제 100마력 HTS 전동기 실험에서 계자의 흘린 최대 전류는 120A이었고, 안정적인 특성을 보였다.

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, 527-530, 1997.

- [4] 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, 519-522, 1997.
- [5] 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, 924-926, 1997.
- [6] 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.
- [7] 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



손 명 환(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



백 승 규(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



이 언 용(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



권 영 길(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



조 영 식(曹永植)

1970년 8월 20일생. 1997년 창원대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 졸업(공학박사). 2003년~2004년 Kyoto 대학 Post-doc. 2004년~현재 차세대초전도응용기술개발사업단 기술팀장.
Tel: 055-280-1043, Fax: 055-280-1049
E-mail: ysjo@keri.re.kr



문 태 선(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



김 영 춘(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



권 운 식(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