

A Joining Method between HTS Double Pancake Coils

孫明煥[†] · 沈基德^{*} · 金錫鎬^{*} · 金海鍾^{*} · 裴俊漢^{*} · 李彦容^{**} · 閔治顯^{***} · 成耆哲[§]
 (Myung-Hwan Sohn · Ki-Deok Sim · Seokho Kim · Hae-Jong Kim · Joon-Han Bae ·
 Eon-Young Lee · Chi-Hyun Min · Ki-Chul Seong)

Abstract - High temperature superconductor (HTS) winding coil is one of the key component in superconducting device fabrication. Double-pancake style coils are widely used for such application. High resistance between pancake coils greatly affects the machine design, operating condition and thus the stability. In order to reduce such resistance, experimentalists are looking for efficient and damage free coil connecting methods. In this respect, here we proposed parallel joining method to connect the coils. This is to do crossly joining with HTS tapes on two parallel HTS tapes. Joint samples between two parallel HTS tapes were prepared by using HTS tapes and current-voltage (I-V) characteristic curves were investigated at liquid nitrogen temperature i.e., 77.3 K. A 20 cm length joint connected between two parallel HTS tapes shows 32.5 nΩ, for currents up to 250 A. A small HTS magnet, having two double pancake sub-coils connected together through new parallel joint method was fabricated and their current-voltage (I-V) characteristic curve was investigated. At 77.3K, critical current(Ic) of 97 A and resistance of 55 nΩ for currents upto 130 A were measured. At operating current 86 A lower than Ic, Joule heats generated in whole magnet and at joint region between sub-coils were 226 mW and 0.4 mW, respectively. Low Joule heat generation suggests that this joining method may be used to fabricate HTS magnet or windings.

Key Words : parallel joint, joining method, superconducting coil, joint resistance, Joule heat.

1. 서 론

초전도현상을 발견한 이후로 초전도기술을 전력 및 산업 분야에 응용하고자하는 노력들이 선진국을 비롯한 세계 곳곳에서 오늘날까지 계속되고 있다[1-6]. 고온초전도체는 부식되기 쉬운 금속산화물 세라믹의 고유한 특성을 가지기 때문에 대부분의 상용화된 고온초전도 도체는 금속피복재를 가진 테이프 형태로 제조된다. 테이프 형태의 도체는 측면으로 구부러질 경우 내부의 손상에 의해 초전도 특성의 열화가 생겨 전류용량이 저하되므로 기존의 구리 또는 저온 초전도 도체처럼 자유롭게 권선할 수가 없다. 그래서 고안된 방법이 팬케이크권선법인데, 초전도자석을 제작하는데 많이 응용된다. 고온초전도 팬케이크 코일을 제작하는데 장선의 도체가 필요하고 이 경우 반드시 접합부분이 발생한

다. 이 접합은 초전도접합이 가장 이상적이지만, 열처리를 해야 하는 어려움이 있기 때문에 다심 도체에서는 거의 불가능하다. 따라서 실제 접합작업이 가능하고 가장 작은 저항을 나타내는 접합기술이 요구된다. 일반적으로는 4가지 접합방법 즉, 부트(butt), 랩(lap), 스카프(scarf) 그리고 모타이즈(mortise)가 널리 사용된다[7]. 그러나 이런 방법들은 코일들을 연결할 때 코일들의 끝부분이 손상을 입을 수 있고 작업과정이 어렵다. 본 연구에서는 전도냉각형 자석, 고온초전도 에너지저장장치 혹은 고온초전도 모터 등의 초전도 기기의 핵심부품으로 사용되는 고온초전도 서브코일들 사이에 적용할 접합 방법의 하나로 몇 년 전에 제안된 나란한 접합 방법(parallel joint technique)이라는 접합방법[8]의 적용 가능성을 알아보는 기초실험을 액체질소 온도에서 행하였다. 기초실험은 두 팬케이크 코일들 사이에서 이루어지는 접합을 가정하여 일정한 간격으로 떨어진 두 고온초전도 테이프들 사이의 접합을 고온초전도 도체 조각들의 수를 늘려가면서 I-V 특성 곡선을 측정하고 기울기로부터 구한 저항 값들의 변화를 관찰하였다. 또한, 실제 2개의 더블팬케이크 코일을 제작하여 접합부에 이 새로운 방법을 적용하였다. 액체질소 온도에서 접합부에서 발생하는 줄(Joule) 열과 코일 전체에서 발생한 줄열을 계산하였으며, 발생한 줄열과 안정성의 관점에서 고온초전도 자석을 제작하는데 있어서 나란한 접합 기법의 적용가능성에 대해 논의한다.

† 교신저자, 正會員 : 韓國電氣研究院 초전도응용그룹
 先任研究員
 E-mail : mhsohn@keri.re.kr
 * 正會員 : 韓國電氣研究院 초전도응용그룹 先任研究員
 ** 正會員 : 韓國電氣研究院 초전도응용그룹 責任技士
 *** 學生會員 : 慶尙大學校 工大 電氣工學科 碩士課程
 § 正會員 : 韓國電氣研究院 초전도응용그룹 그룹장
 接受日字 : 2006年 9月 27日
 最終完了 : 2006年 11月 15日

2. 본 론

2.1 시편준비

2.1.1 나란한 두 도체 사이의 접합

본 실험에 사용한 Bi-2223 고온초전도 도체는 AMSC (American Superconductor Corporation)사에서 제조한 4 ply 테이프로 표 1에 사양을 나타내었다. 이 도체의 임계 전류는 77 K 자체 자장에서 약 274 A이다. 두 가닥의 고온초전도 테이프와 양 옆에 각각 한 가닥의 황동 테이프(brass tape)가 적층된 도체이다. 절연은 캡톤(Kapton) 테이프가 2개가 서로 1/2씩 겹치면서 감겨져 있다. 접합용 고온초전도 도체는 Sumitomo(Sumitomo Electric Inc.)사의 고강도형 테이프(high strength type tape)로 두 나란한 도체의 길이 7 cm에 그림과 같이 가로질러 붙였다. 전압 탭은 7 cm로 하고 붙이는 고온초전도 테이프 조각은 1 개에서 점차 수를 늘려 총 17 개가 붙여졌다. 거리 6 cm 떨어진 다른 쪽에 또 같이 17 개를 접합하여 붙여 총 접합 길이가 20 cm가 되도록 하였다. 솔드(solder)는 인듐을 사용하였다. HTS 도체의 경우 접합시키는 고온초전도 도체가 나란한 두 도체에 서로 수직하도록 1 개, 3 개, 6 개, 34 개를 배치하면서 접합의 저항특성을 알아보기 위해 각각 77.3 K에서 4 단자법으로 I-V 특성곡선을 얻었다. 그림 1에서 1~17 개까지는 V_a-V_b 를 측정하였고, 34 개 접합의 경우 전압은 V_a-V_c 를 측정하였다.

2.1.2 두 더블팬케이크 코일 사이의 접합

두 개의 더블 팬케이크 서브코일을 반응 후 권선 제조법(React and Wind fabrication method)으로 제작하였다. 더블 팬케이크 코일은 하나의 긴 고온초전도 테이프로 테이프의 가운데 지점부터 팬케이크 코일을 이 쪽 저 쪽 차례로 감은 것이다. 권선은 젖와인딩법(wet winding method)으로 하였는데, 권선 장력은 800 gf, 속도 1 rpm으로 지나가는 고온초전도 도체 테이프에 붓을 사용하여 에폭시를 묻혔다. 권선 후 상온에서 약 하루 동안 건조 시켰다. 서브코일의 보빈들은 황동을 사용하였고, 각 더블 팬케이크 코일에 대한 보빈은 두 개의 보빈 링과 내부 지지판 그리고 두 개의 측면 지지판으로 구성되는데 그림 2에 나타내었다. 그림 3 (a)에 나타낸 것처럼 서브 코일 A는 각각 43 턴과 45 턴을 가지고, 서브 코일 B는 각각 46 턴과 45 턴을 가진다. 조립된 고온

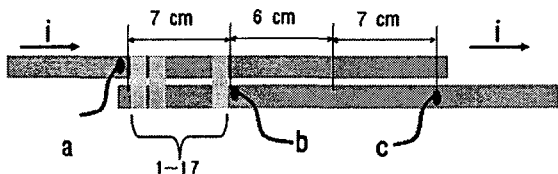


그림 3 나란한 두 고온초전도 테이프 사이의 접합과 전압 탭 배치
Fig. 1 Joint between two parallel HTS tapes and Voltage taps

표 1 도체의 사양

Table 1 Specifications of Bi-2223 4ply Tape

Average Thickness, Laminated (mm)	0.58
Average Thickness, Kapton Insulated (mm)	0.73
Max Width, Laminated (mm)	4.38
Max Width, Kapton Insulated (mm)	4.50
End Sample 10m Ic at 77K, self field, 1μV/cm (A)	274

표 2 고온초전도 자석 사양

Table 2 Specifications of a HTS Magnet

Number of turns	179
Length of HTS magnet (cm)	11300
Inner diameter (mm)	170
Outer diameter (mm)	245
Height (mm)	24
Critical current at 77.3 K (A)	97
Number of double pancake coils	2

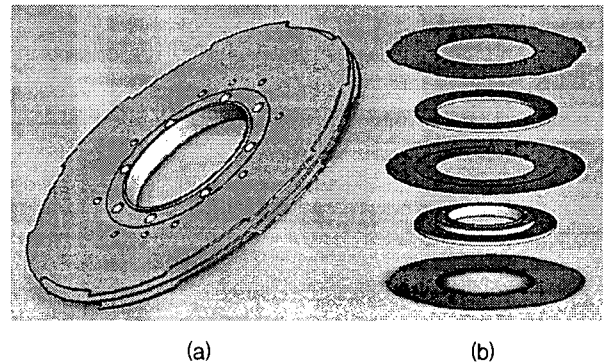


그림 2 조립된 더블팬케이크용 보빈 (a)과 조립 전 단품들 (b)
Fig. 2 Assembled bobbin for double pancake coils (a) and its part before assembling (b).

초전도 자석의 사양을 표 2에 나타내었다. 두 개의 더블 팬케이크 코일들 사이의 접합은 두 곳인데, 각각 15 개의 고온초전도 테이프 조각들이 나란하게 인접한 팬케이크 코일의 최외각 부분에 접합되어 있다. 역시 솔드는 인듐을 사용하였다. 조립된 고온초전도 자석을 그림 3 (b)에 그리고 두 서브코일 사이의 형성된 두 개의 접합을 그림 3 (c)에 나타내었다. 총 접합 길이는 20 cm이고 양 쪽 7 cm에 15 개씩의 고온초전도 테이프 조각들이 접합되어 있다. 먼저 만들어진 하나의 더블 팬케이크 코일 사이의 접합을 J-1이라고 하고 접합이 2 개가 된 접합을 J-2라고 하였다.

2.2 측정 및 해석

준비한 시편들의 I-V 특성 곡선을 액체질소 속인 77.3 K에서 4 단자법으로 측정하였다. 다심 고온초전도 도체는 여러 응용분야에 널리 사용되는데, 이 도체의 I-V 특성 곡선을 조사하는 것은 기본적인 물리 측면뿐만 아니라 실제 응용의 관점에서도 매우 중요하다. 근사적인 power law 특성식

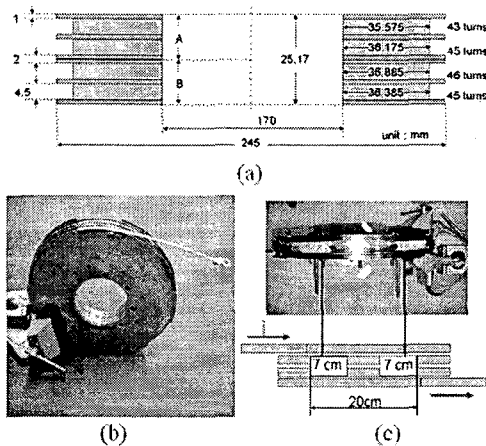


그림 3 고온초전도 자석의 단면(a), 조립된 고온초전도 자석 (b) 그리고 두 개의 나란한 조인트(c)
 Fig. 3 Cross-sectional view of HTS magnet (a), assembled HTS magnet (b) and two parallel joints (c).

$$V = V_c \left(\frac{I}{I_c} \right)^n \quad (1)$$

으로 임계전류 근처에서의 자력선속 운동의 거동(flux motion behavior)을 묘사할 수 있다. 여기서 I는 초전도 도체 내부의 초전도 부분에 흐르는 전류이다. 지수 n-값은 여러 가지 내부적인 혹은 외부적인 요인에 의해 영향을 받는다[9]. 자력선속 운동에 의한 전압발생은 도체 내부 혹은 불균일한 초전도 필라멘트(filament)들 사이에서의 전류분류에 의한 요인으로부터 또한 영향을 받는다[10].

I-V 특성 곡선으로부터의 임계전류(I_c) 측정에서 1μV/cm은 널리 사용되는 표준기준이다. 그러나 운전전류가 I_c 이하라 하여도 복합 초전도 테이프 도체의 불균일성 때문에 안전한 상태는 아니다.

고온초전도 도체의 일반적인 I-V 특성 곡선을 그림 4에 나타내었다. 그림 4 (a)는 저항 값이 영(0)인 영역이 있는 고온초전도 도체의 I-V 곡선이다. 전류가 흐르는 고온초전도 도체 사이에 초전도 상태가 아닌 정상상태의 도체 혹은 기계적 손상을 입거나 접합에 의한 저항을 가지는 영역이 있으면 그림 4 (b)처럼 기울기를 가진다. 이 경우 고온초전도 도체의 I_c는 이 기울기 부분을 제거하여 구할 수 있다.

2.3 결과 및 고찰

2.3.1 나란한 두 도체 사이의 접합저항

나란한 두 도체에 고온초전도 테이프 조각을 부착해 가면서 I-V 특성곡선을 액체질소 속에서 얻었다. 그 결과를 그림 5에 나타내었다. I-V 곡선으로부터 임계전류를 두 가지 방법으로 구해 보았다. 첫째는 접합저항 성분을 포함한 전압에서 구하였고, 두 번째는 접합저항 성분을 제외한 전압으로부터 구하였는데, 그 결과를 표 3에 나타내었다. 또한 접합부의 접합저항도 구하였는데 역시 표 3에 함께 나타내었다. 접합저항을 포함하는 경우 I_c는 매우 낮았고, 접합저항을 포함하지 않는 경우에는 접합용 고온초전도 도체가 3 개 이상이면, 나란한 두 고온초전도 도체 자체의 I_c보다 높았다.

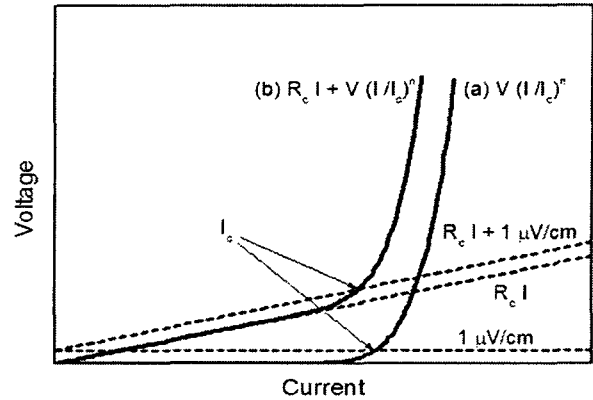


그림 4 초전도 도체의 전형적인 I-V 특성 곡선
 Fig. 4 General I-V characteristic curves of HTS conductors

표 3 고온초전도 테이프 수에 따른 임계전류와 접합저항
 Table 3 Critical current and joint resistance with respect to the number of HTS tapes

Number of HTS tapes	Critical Current including Joint Resistance (A)	Critical Current except for Joint Resistance (A)	Joint Resistance (n.Ω)
1	6	185.6	1167
2	14	225.0	500
3	22	274.5	319
6	31	280.0	226
9	44	283.4	159
12	50	289.2	117
15	70	300.1	100
17	78	306.0	89.7
34	307	327.6	32.5

접합용 고온초전도 도체의 수가 증가하면서 접합저항이 줄어드는데, 그림 6에 나타내었다. N개의 고온초전도 테이프 도체로 나란한 두 고온초전도 도체를 접합하였을 경우 전체저항은 저항은 다음 식으로 표현된다.

$$R_{total} = \frac{R_J}{N} \quad (2)$$

$$R_J = N \times R_{total} \quad (3)$$

따라서 3개의 고온초전도 테이프 도체로 이루어진 경우, 표 3으로부터 총 접합저항 R_J는

$$R_J = 3 \times 319 [n\Omega] = 957 [n\Omega] \quad (4)$$

이다. 이 값을 하나의 고온초전도 테이프 도체가 가지는 저항 값이라고 가정하여 예상되는 접합저항을 그림 6에 나타내었다. 저항값이 같은 저항을 서로 병렬로 연결할 때와 마찬가지로 1/N로 감소함을 보여준다. 처음 접합용 도체를 연결하면서 저항을 측정 한 값들이 대체로 크다. 이것은 접합 작업과 측정을 반복하면서 좋은 접합이 이루어 지지 못한 것으로 판단된다. 18번째 도체부터 34번째 도체의 접합시에는 작업 중간에 I-V 특성 측정을 위해 액체질소에 넣는 경우가 없었는데, 이 결과로 최종 얻은 저항값은 17개 접합시

얻은 저항 값 89.7 nΩ의 1/2보다도 훨씬 작은 32.5 nΩ을 얻을 수 있었다. 역으로 계산해 보면, 두 번째 접합(18번째 도체부터 34번째 도체의 접합)의 저항은 51.0 nΩ임을 알 수 있다.

2.3.2 두 더블켄케이크 코일 사이의 접합저항

먼저 만들어진 접합(J-1)과 접합이 하나 더 추가 된 접합(J-2)의 I-V 특성 곡선을 액체 질소 속에서 측정하였으며, 그 결과를 그림 7에 나타내었다. 접합이 하나인 경우 접합 저항은 120 nΩ이었고, 두 개인 경우는 55 nΩ이었다. 이 값들은 평행한 두 도체 사이의 접합의 경우 보다 다소 높은 저항 값을 나타내는데, 코일들 사이의 접합에서는 접합면이 등글게 되어 있어서 접합면에 들어가는 인듐의 양이 많아진 것이 원인이라 생각된다.

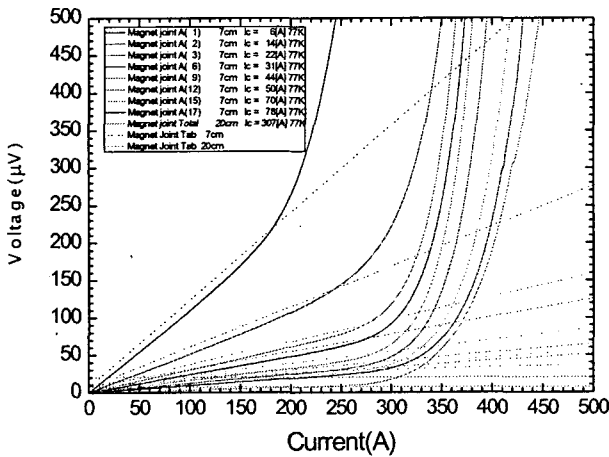


그림 5 접합용 고온초전도 테이프 수에 따른 I-V 특성 곡선들
Fig. 5 I-V characteristic curves with respect to the number of HTS tapes for joint

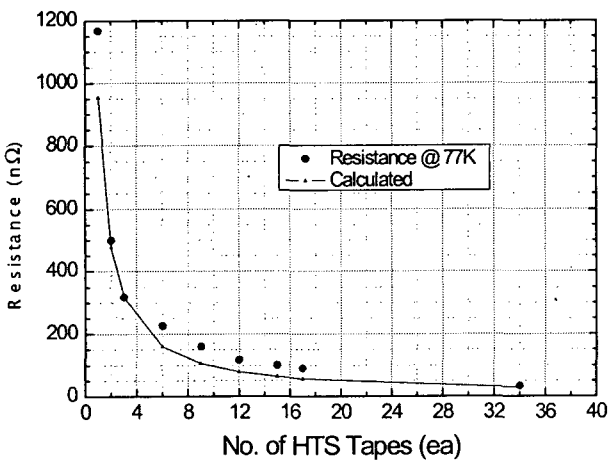


그림 6 접합용 고온초전도 테이프 수에 따른 접합들의 저항
Fig. 6 Resistance of Joints with respect to the number of HTS tapes for joint

조립이 된 고온초전도 자석의 I_c 를 측정하고, 그 결과를 그림 8에 나타내었는데, 전체 코일의 I_c 는 97 A, 서브 코일 A는 96 A 그리고 서브 코일 B는 98 A였다. 따라서, 그림 7의 접합저항은 I_c 보다 높은 전류 영역에서도 I_c 의 기준이 되는 $1\mu V/cm$ 보다 작은 저항 값을 가진다는 것을 확인 할 수 있다.

본 실험에 사용한 접합방법과 비교하기 위해 직경이 170 mm인 원판의 둘레에 접합 길이가 270 cm 되도록 랩 조인트를 한 접합시편을 만들었으며, I-V 특성 곡선을 측정한 결과를 그림 9에 나타내었다. 기울기로부터 구한 접합저항은 약 55 nΩ으로 본 실험에 적용한 접합의 저항과 거의 같았다.

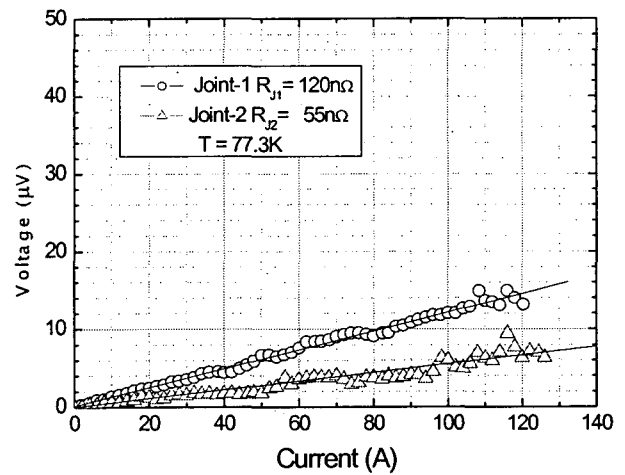


그림 7 고온초전도 자석에서 접합이 하나인 경우(J-1)과 접합이 둘인 경우(J-2)의 접합의 I-V 특성 곡선
Fig. 7 Current-voltage characteristic curves of joint-1(one joint) and joint-2(two joints) of HTS magnet.

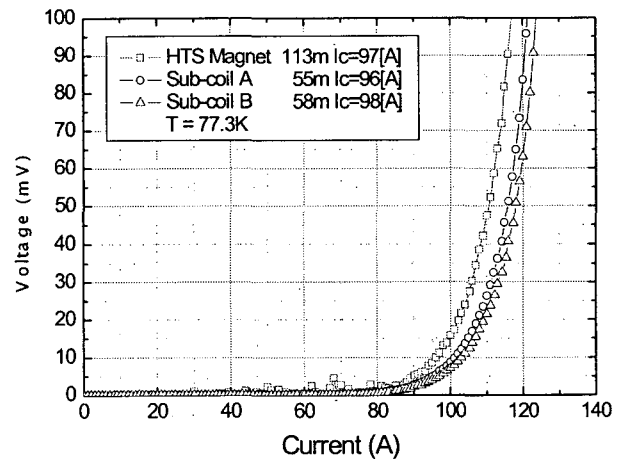


그림 8 고온초전도 자석, 서브 코일 A 그리고 서브 코일 B의 I-V 특성 곡선들
Fig. 8 Current-voltage characteristic curves of HTS magnet, sub-coil A and sub-coil B.

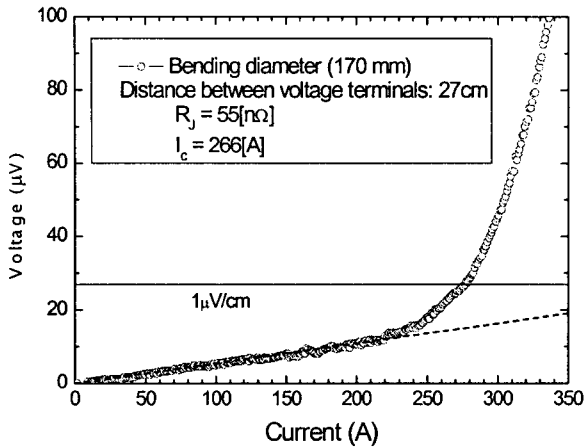


그림 9 굽힘지름 170 mm에서 27 cm 랩 조인트의 전류-전압 특성 곡선

Fig. 9 Current-voltage characteristic curve of 27 cm lap joint in bending diameter 170 mm.

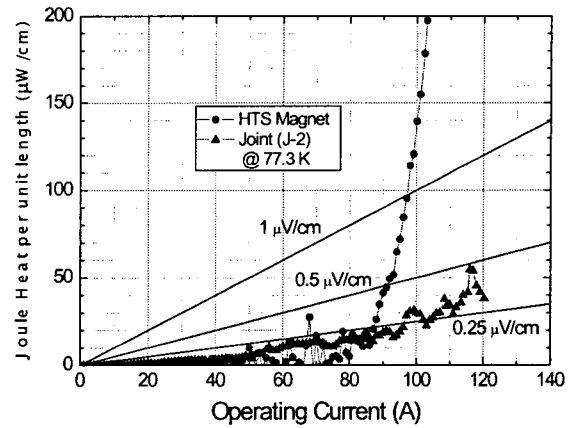


그림 10 고온초전도 자석과 서브코일들 사이의 접합에서의 운전전류에 따른 단위길이 당 발생하는 줄열

Fig. 10 Joule heat per unit length of HTS magnet and joint between sub-coils as a function of operating current

2.3.3 줄(Joule) 열

그림 7과 8의 결과로부터 줄열을 계산하고 단위 길이 당 줄열로 환산하여 그림 10에 나타내었다. 운전전류가 높아짐에 따라 단위 길이 당 발생하는 줄열은 서서히 증가한다. 50 A를 넘어 서면 접합부에서의 단위 길이 당 발생하는 열이 상대적으로 높아지다가 86 A에서 갈아 졌다. 이 값 이상에서는 고온초전도 자석 전체에서 발생하는 열의 양이 급격히 증가한다. 고온초전도 자석 시스템에서는 냉각 성능을 고려하여 운전전류를 정할 필요가 있는데, 만약 50 - 86 A 사이의 값이 정해 질 경우에는 접합부에서의 발열이 상대적으로 크기 때문에 여기서 발생하는 열을 방출할 경로를 만들 필요가 있다. 본 연구에 사용된 고온초전도 자석은 전체 도체의 길이가 짧기 때문에 운전전류 86 A에서도 고온초전도 자석 전체에서 발생하는 줄열은 0.226 W (11300 cm x 20 μW/cm)이고 접합에서 발생하는 줄열은 0.4 mW (20 cm x 20 μW/cm)이다. 고온초전도 자석 전체에서 발생하는 줄열이 1 W일 경우 전류 값은 96 A(1 W ÷ 11300 cm = 88.5 μW/cm일 때의 전류 값)이고, 이 때 접합에서 발생하는 줄열은 0.5 mW(= 25 μV/cm x 20 cm)이다. 대부분의 줄열은 코일 전체에서 발생하기 때문에, 초전도 자석이 대형화 될수록 전체 길이는 길어져 발생하는 줄열은 커진다. 따라서 운전전류를 정하는데 있어서 I_c 로부터 여유가 많아야 한다. 고온초전도 도체의 특성상 임계전류는 수직 자장의 세기가 클수록 작아지기 때문에 수직자장의 세기가 강한 부분에서 큰 전압이 발생한다. 즉 팬케이크 코일이 적층된 자석의 경우에는 양끝 쪽의 팬케이크 코일의 단위길이 당 발생 전압이 다른 부분에 비해 상대적으로 크다 [11]. 따라서 이 부분에서 발생하는 줄열을 방출할 수 있도록 냉각판을 설치하는 등의 보강이 요구된다.

3. 결 론

일정한 간격으로 떨어진 두 고온초전도 테이프들 사이의 접합을 고온초전도 도체 조각들의 수를 늘려가면서 제작하고, 17 개씩 두 군데에 접합을 만들었을 경우 액체질소 온도 (77.3 K)에서 32.5 nΩ을 얻었다. 이 접합 방법을 코일에 적용하기 위해 두 개의 더블 팬케이크 코일로 구성된 고온초전도 자석을 만들었으며, 고온초전도 자석 전체의 I_c 는 97 A이었다. 이 때 두 군데의 접합에 각각 15 개의 고온초전도 도체 조각들이 사용되었는데, 액체질소 온도에서 접합저항은 55 nΩ이었다. 고온초전도 자석 전체와 접합부에서의 단위 길이 당 발생하는 열이 같아지는 전류 값은 86 A이었고, 고온초전도 자석 전체에서 발생하는 줄열은 0.226 W로 매우 작다. 이 값은 고온초전도 자석의 I_c 인 97 A이하에서는 임계전류 기준값인 1μV/cm보다 훨씬 낮은 줄열을 발생한다. 따라서 본 연구에서 사용한 나란한 접합 방법은 줄열 발생과 안정성의 관점에서 고온초전도 자석을 제작하는데 있어서 적용할 수 있다는 결론을 얻었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 지원의 한국전기연구원 기본 연구사업비로 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] G. Snitchler, B. Gamble, and S. S. Kalsi, "The Performance of 5 MW High Temperature

- Superconducting Ship Propulsion Motor," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 15, no. 2, pp. 2206 - 2209, June 2005.
- [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] Y. K. Kwon, M. H. Sohn, S. K. Baik, E. Y. Lee, J. M. Kim, T. S. Moon, H. J. Park, Y. C. Kim, and K. S. Ryu, "Development of a 100 hp Synchronous Motor with HTS Field Coils," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 15, no. 2, pp.2194 - 2197, June 2005.
- [5] G. Snitchler, B. Gamble, and S. S. Kalsi, "The Performance of 5 MW High Temperature Superconducting Ship Propulsion Motor," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 15, no. 2, pp. 2206 - 2209, June 2005.
- [6] W. Nick, G. Nerowski, H.-W. Neumueller, M. Frank, P. van Hasselt, J. Frauenhofer, and F. Steinmeyer "380 kW synchronous machine with HTS rotor windings-development at Siemens and first test results," Physica C, vol. 372-376, pp. 1506-1512, 2002.
- [7] E. W. Collings, "Applied Superconductivity, Metallurgy, and Physics of Titanium Alloys", Vol. 2, plenum Press, New York, 1986.
- [8] M. H. Sohn, S. W. Kim, S. K. Baik, Y. S. Jo, M. G. Seo, E. Y. Lee, and Y. K. Kwon, "Joint Resistances Between Two Parallel High Tc Superconducting Tapes", IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 13, no. 2, pp. 1764 - 1767, June 2003.
- [9] W.H. Warnes, L.D. Cooley, D.C. Larbalestier, Adv. Cryog. Eng. Mater. vol. 34 p. 1009, 1988.
- [10] P. Kovač, L. Cesnak, T. Melišec, I. Husěk, K. Frohlich, "Relation between critical current and exponent n in Bi(2223)/Ag tapes", Supercond. Sci. Technol. vol. 10 p. 605, 1997.
- [11] M. Yamaguchi, S. Fukui, I. Muta, T. Nakamura, "Performance evaluation of high temperature superconducting coil", Physica C, vol. 372-376, pp. 1406-1409, 2002.

저 자 소 개



손 명 환 (孫 明 煥)

1963년 4월 21일생, 1986년 부산대학교 물리학과 졸업, 1988년 동대학원 물리학과 졸업(이학석사), 1998년 동대학원 물리학과 졸업(이학박사), 현재 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 선임연구원.

Tel : 055-280-1692

Fax : 055-280-1696

E-mail : mhsohn@keri.re.kr



심 기 덕 (沈 基 德)

1973년 2월 1일 생, 1997년 연세대학교 전기공학과 졸업, 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 현재 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 선임연구원.

Tel : 055-280-1659

Fax : 055-280-1696

E-mail : skedy@keri.re.kr



김 석 호 (金 錫 鎭)

1975년 3월 2일생. 1997년 한국과학기술원 기계공학과 졸업. 1999년 동 대학원 기계공학과 졸업(공학석사), 2005년 동 대학원 기계공학과 졸업(공학박사), 2005년~현재 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 선임연구원.

Tel : 055-280-1655

Fax : 055-280-1696

E-mail : shkim@keri.re.kr



김 해 중 (金 海 鍾)

1965년 11월 25일생, 1993년 경상대학교 전기공학과 졸업, 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1995년~1996년 (주)현대정공 근무, 1996년~현재 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 선임연구원.

Tel : 055-280-1658

Fax : 055-280-1696

E-mail : hjkim@keri.re.kr



배 준 한 (裴 俊 漢)

1966년 4월 30일생, 1992년 건국대학교 전기공학과 졸업, 1994년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 현재 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 선임연구원.

Tel : 055-280-1698

Fax : 055-280-1696

E-mail : baejh@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



민 치 현 (閔 治 顯)

1979년 10월 8일생. 2006년 경상대 전기공학과 졸업. 2006년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 055-280-1692,

Fax : 055-280-1696

E-mail : chmin@keri.re.kr



성 기 철 (成 耆 哲)

1956년 2월 20일생, 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업, 1983년 동대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 2002년 창원대학교 전기공학과 졸업(공학박사), 1986년~현재 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 그룹장, 책임연구원.

Tel : 055-280-1691

Fax : 055-280-1696

E-mail : kcseong@keri.re.kr