

High Temperature Superconducting tape의 joint 후 AC loss특성

김해준*, 심기덕*, 조전욱*, 정희열**
 * : 한국전기연구원, ** : 창원대학교

Characteristics of AC loss after jointing High Temperature Superconducting tape

Hae-joon Kim*, K. Sim*, J. Cho*, H.Y. Jung**

* : Korea Electrotechnology Research Institute, ** : Chang-won National University

Abstract - Specially, High Temperature Superconducting power-transmission cable(HTS cable), 3-phase 100m long, 22.9kV class HTS power transmission cable system has been developed by Korea Electrotechnology Research Institute (KERI) and LS cable Ltd. that is one of 21st century frontier project in Korea. This cable was installed in KEPCO(Go-chang) testing site. In case of manufacturing HTS cable, superconducting joint is very important because they need very long tapes. Therefore, this paper gives some investigation of AC Loss in joined HTS tape by using several joint methods. Finally, this paper was shown background data for the form of HTS cable joint.

1. 서 론

최근 임계전류가 높고 기계적 특성이 크게 개선된 고온초전도 tape(HTS tape)가 개발됨에 따라 이를 응용한 고온초전도 전력기기의 개발연구가 더욱 활발해지고 있다. 특히 고온초전도 전력케이블(HTS cable)의 경우 미국, 유럽 및 일본에서는 케이블을 개발하여 시험 운전 중이며, 우리나라에서도 21세기 프론티어 사업의 일환으로 3상 22.9kV 급 100m HTS cable을 주관 연구기관인 한국전기연구원과 LS전선(주)이 공동으로 개발하여 현재 한전고창실증시험장에서 장기 시험 운전중에 있다[1].

이러한 HTS tape를 응용한 전력기기는 tape 길이가 한정 되어있고, HTS tape를 접속하여 사용할 경우가 많다. 따라서 이러한 전력기기는 joint 부분이 삽입될 수 있으며, joint의 형태에 따라 시스템의 손실과 연계될 수 있다. 특히 HTS cable의 경우 길이가 길어지게 되면, 중간접속함이 반드시 필요로 하게 된다[2-3].

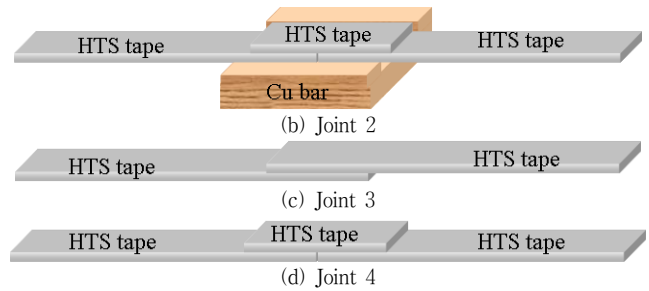
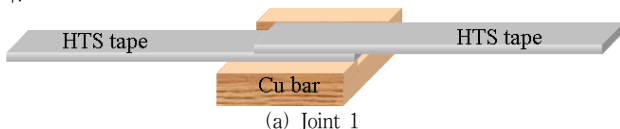
따라서 본 연구에서는 중간접속의 기초 데이터로 HTS tape를 여러 가지 방법으로 접속하여 각각의 경우 임계전류 및 AC loss 조사하였다. 각 접속방법 중 Joint 저항이 가장 낮고, AC loss가 가장 작은 방법을 선택하여 2가닥의 초전도 tape에 대한 Joint 저항 및 AC loss를 측정, 분석하였다. 이렇게 초전도를 응용한 전력기기의 접속방법에 AC loss가 가장 낮은 접속방법을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

본 연구에서는 AMSC 社의 HTS tape(Hermetic wire)를 사용하였다. 초전도를 이용한 전력기들 중 대표적인 HTS 전력 cable나 초전도 magnet에서는 중간접속 시 일반적으로 Cu bar를 이용하여 그 위에 납땜을 하여 HTS tape를 접속하게 되는 경우와 직접 솔더링을 하여 바로 joint를 하는 방법도 있다. 따라서 Cu bar 삽입시와 삽입하지 않았을 경우의 joint에 대한 각 임계전류, Joint 저항, 교류손실 등을 비교 분석하기 위해 그림 1과 같이 joint를 하였다. 그림 1의 (a)와 같이 Cu bar 위에 2가닥을 over-lap 하는 joint 1, (b)와 같이 2가닥의 HTS tape를 Cu bar 위에 납땜을 하고 다시 그 위에 HTS tape를 납땜하는 방법인 joint 2, (c)와 같이 (a)의 방법에서 Cu bar를 제거하고 직접 joint를 한 경우 (d)와 같이 (b)의 방법에서 Cu bar를 제거한 경우 등의 4 가지 방법에 대한 임계전류, Joint 저항 및 교류손실을 측정하였다.

또한 그림 1의 joint 방법 중 가장 Joint 저항이 작고, AC loss가 작게 측정되는 방법을 선택하여, 그 방법으로 joint 된 2가닥의 HTS tape를 병렬로 배치하였을 때의 임계전류, Joint 저항 및 AC loss를 측정하였다.



<그림 1> Joint 방법

2.2 실험 결과

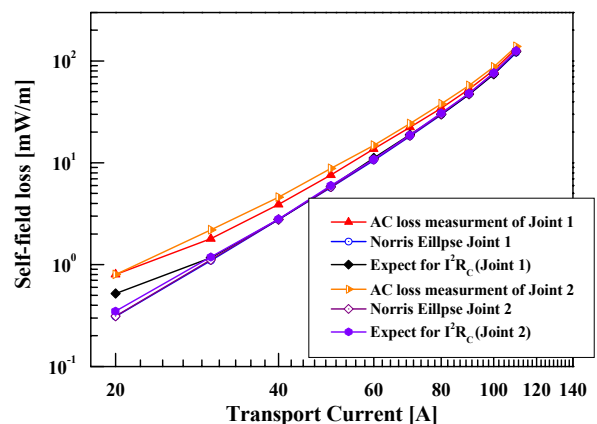
2.2.1 Joint 방법에 따른 임계전류, Joint 저항 및 AC loss

표 1에서는 그림 1의 joint 방법별 각 임계전류, Joint 저항 및 AC loss를 측정된 결과이다. Cu bar가 없이 HTS tape를 over-lap하는 형태의 joint 3 방법이 Joint 저항과 AC loss가 가장 작게 측정되었다.

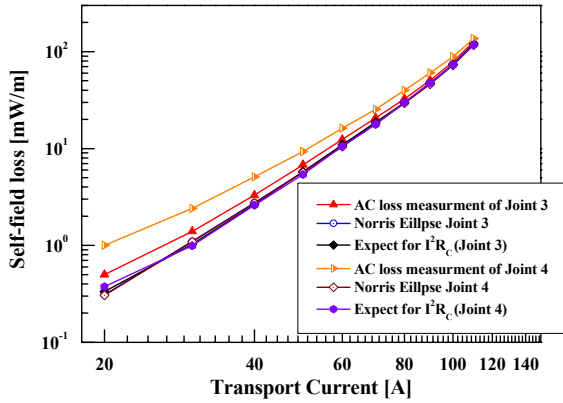
실제 HTS tape를 가장 많이 접속하는 방법인 joint3의 방법은 joint1의 방법에 비해 Cu bar가 포함이 되어있지 않기 때문에 Cu의 저항값이 포함되어 있지 않고, Joint 2와 4의 방법에 비해 접촉면적이 작기 때문에 Joint 저항이 가장 낮게 측정된 것으로 사료된다. 그리고 AC loss 역시 Joint 저항이 작기 때문에 Joint 저항에 의한 발열량인 I^2R_j 가 가장 작기 때문에 AC loss가 가장 작게 측정되는 것으로 사료된다. 이것은 AC loss와 Joint 저항은 서로 비례관계가 성립됨을 알 수 있다.

<표 1> joint 방법별 임계전류, Joint 저항 및 AC loss

항목	임계전류 [A]	Joint 저항 [mΩ]	AC loss[mW/m] @110[A]
Joint 1	113.6	168	132.5
Joint 2	112.6	271	139
Joint 3	113.7	100	126.4
Joint 4	114.7	378	136.4



<그림 2> Joint1과 2의 AC loss

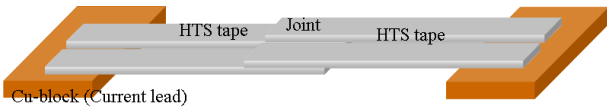


〈그림 3〉 Joint3과 4의 AC loss

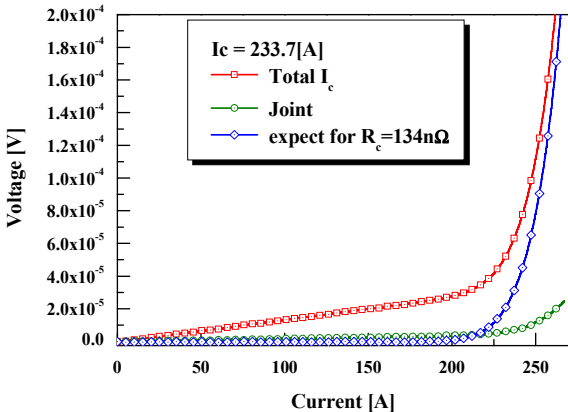
그림 2와 3에서는 각 Joint 방법에 따른 교류손실을 측정하는 것이다. 실제 교류손실의 측정값과 Norris 이론식과 차이를 보인다. 하지만 측정값에서 Joint 저항에 의한 발열량인 값을 제외하게 되면 Norris 이론값과 거의 동일하게 되는 것으로 나타났다. 따라서 HTS 전력기기에서 AC loss는 Joint저항에 의한 발열량이 포함되기 때문에 Joint저항을 최소로 만들면 System 전체의 AC loss 역시 감소하게 되는 것으로 사료된다.

2.2.2 2가닥 HTS tape 접속 후 AC loss 특성

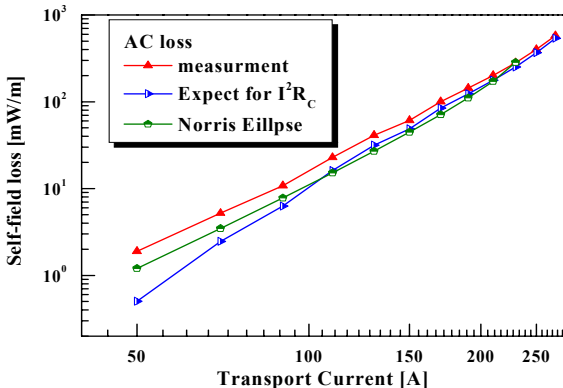
초전도 전력기기에서 system의 성능에 가장 영향을 많이 미치는 인자인 Joint 저항 및 AC loss가 작게 측정된 joint 3의 방법으로 그림 4와 같이 HTS tape 2가닥을 joint를 하여 다시 임계전류, Joint 저항 및 AC loss를 측정하였다.



〈그림 4〉 2가닥 HTS tape 접속 방법(Sample1)



〈그림 5〉 Sample 1의 임계전류 및 Joint 저항



〈그림 6〉 Sample 1의 AC loss

그림 5와 6에서는 Sample 1의 임계전류, Joint 저항 및 교류손실을 측정하였다. Sample1의 임계전류는 233.7[A]로서 한 가닥의 임계전류는 약 117[A]의 HTS tape 2개를 접속한 것이다. Joint 3의 방법으로 접속하였고, 접속 후 Joint 저항은 134[nΩ]으로 측정되었다.

그러나 AC loss에서 Joint 저항에 의한 발열을 제외한 경우 전류가 작을 때에는 Norris 이론값보다 작게 계산이 되지만, 130[A]이상에서는 Norris 이론값보다 크게 계산이 되었다. 이것은 130[A]이상에서 Joint부분의 저항으로 인한 2가닥의 HTS tape 사이에 불균일한 전류분류가 발생하는 것으로 사료된다. 따라서 전류분포가 불균일하면 Norris 이론값보다 크게 측정된다. 또한 낮은 전류에서는 Joint저항이 AC loss에 큰 영향을 주지 못하지만 전류가 높아질수록 Joint의 영향이 커지게 되는 것을 알 수 있다. 특히, Multi-layer로 운전되는 HTS cable의 경우 각 strand사이 전류분류가 균일하여야만 AC loss가 적어짐을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 중간접속의 기초 데이터로 HTS tape를 여러 가지 방법으로 접속하여 각각의 경우 임계전류 및 AC loss 조사하였다. 각 접속방법 중 Joint 저항이 가장 낮고, AC loss가 가장 작은 방법을 선택하여 2가닥의 초전도 tape에 대한 Joint 저항 및 AC loss를 측정, 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Joint 3의 방법이 Joint 저항이 가장 낮았으며, AC loss역시 가장 작게 측정되었다. Joint 저항이 존재할 때 저항에 의한 발열량 I^2R_c 을 제외하면 Norris 이론식에 잘 일치한다. 따라서 Joint 저항이 AC loss에 영향을 주는 것을 알 수 있다.
 2. Sample1에서 낮은 전류에서는 Joint 저항이 AC loss에 영향을 주지 못하지만 입력전류가 임계전류의 50%정도에서는 Joint 저항과 전류분류의 영향으로 AC loss가 Norris 이론값보다 커질 수 있다.
- 따라서 위와 같은 결론으로 Joint가 포함된 초전도 전력기기에서는 Joint 3의 방법으로 접속을 하는 것이 전기적인 입장에서 가장 유리할 것으로 사료된다. 그러나 초전도 전력기기는 극저온하에서 운전되므로 전기적 특성이 좋아야하지만 그에 따른 기계적인 응력이나 stress에 대한 특성도 좋아야만 초전도 전력기기에 응용이 될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대초전도 응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] 김해준 외, “고온 초전도 tape의 임계전류 저하에 따른 교류손실 특성”, 한국초전도·저온공학회 논문지, 7권, 3호, pp 29~33, 2005년
 [2] S. Mukoyama, K. Miyoshi, H. Tsubouti, T. Yoshida, M. Mimura, N. Uno, M. Ikeda, H. Ishii, S. Honjo, and Y. Iwata, “Uniform current distribution of HTS power cable with variable tape-winding pitches,” IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 9, no. 2, pp. 1269-1272, June 1999.
 [3] Naoytiki Amcmiya, Kengo Miyamoto, Nobuya Banno and Osami Tsukamoto, “Numerical Analysis of AC Losses in High Tc Superconductors Based on E-J Characteristics Represented with n-Value,”IEEE Trans. Appl Supercond, vol. 7, pp2110-2113, 1997.