

고온 초전도체의 임계전류 저하에 따른 교류 손실 특성

김해준, 김재호, 심기덕, 조전욱, 곽동순, 김해중, 성기철
한국전기연구원

Ac Loss Characteristics under Critical Current Degradation of HTS Tapes

Hae-joon Kim, Jae-ho Kim, Ki-deok Sim, Jeon-wook Cho, Dong-soon Kwag, Hae-jong Kim, Ki-chul Seong
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract : Critical current(Ic) degradation of HTS tapes and AC loss under mechanical load is one of the hottest issues in HTS development and application. Mechanical load reduces the critical current of superconducting wire, and the Ic degradation affects the AC loss of the wire. We measured the Ic degradation and AC loss under tension and bending of Bi-2223 tapes processed by "Powder-in-Tube" technique at 77K with self-field. And we have studied the frequency dependence of self-field AC loss in multi-filamentary Bi-2223/Ag tape at 77K. The measurement results and discussions on the relationship between Ic degradation and AC loss are presented.

Key Words : Ac loss, Critical current, mechanical load

1. 서 론

초전도를 전력기기에 응용하고자 할 경우 교류손실은 가장 큰 장애의 하나가 된다. 초전도를 이용하는 목적은 보통 소형 경량화와 손실 감소가 되는데, 교류 손실이 크다면 손실 감소라는 목적을 달성할 수 없게 된다.[1] 최근 임계전류가 높고, 기계적 특성이 우수한 고온 초전도(High Temperature Superconductor : HTS) tape이 개발되어, 전력 케이블, 변압기 및 모터 등의 프로토타입의 고온 초전도 전력기기에 응용되고 있다.[2] 이와 같이 고온 초전도 전력기기의 설계·제작에 있어서 무엇보다 중요한 것은 초전도체에서 발생하는 교류손실이며, 전력기기의 손실 측정에 앞서, 고온 초전도체의 교류손실 측정, 분석과 같은 특성 분석이 선행되어야 한다.

본 연구에서는 고온 초전도체의 Mechanical Load에 의한 임계전류의 저하특성을 측정 분석하였고, 임계전류의 저하특성과 AC loss의 상관관계에 대해 조사하였다. 또한 AC loss의 주파수 의존성을 측정하여 고온 초전도체의 특성 분석을 연구하였다. 본 연구결과를 통해 고온 초전도체를 이용한 전력기기의 제작에 있어서 중요한 기초 데이터가 될 것으로 사료된다.

2. 실험

2.1 실험장치 및 실험방법

표 1에서는 본 연구에서 사용된 Bi-2223 tape의 parameter를 나타내었다. 초전도체는 저전압 대전류로 동작하므로 전압신호는 대단히 미약하다. 따라서 전압 신호는 전류에 의해 발생하는 자장의 영향을 크게 받게 되므로 noise로부터 분리하기 위해 전압 신호선을 하나의 loop

형태로 만들어 자장의 영향을 최소화 하였다. 또한 초전도체에 교류전류를 흘리고 Lock-in AMP를 사용하여 전압을 측정하여, 그때의 유효전력성분을 계산하여 AC loss를 측정 분석하였다.

임계전류의 저하특성을 측정하기위해 Tension을 3[kg]으로 가하면서 Bending Diameter를 100, 90, 80, 70[mm]로 Bending하였으며, 각각의 AC loss와 주파수에 따른 의존성을 측정하였다.

표 1. Parameters of High Strength reinforce wire

Manufacturer	AMSC
Width[mm]	4.1 ± 0.02[mm]
Thickness[mm]	0.3 ± 0.02[mm]
Material	Bi-2223
Manufacturing process	Powder In Tube
Number of filaments	56
Critical Current[A]	>115[A]

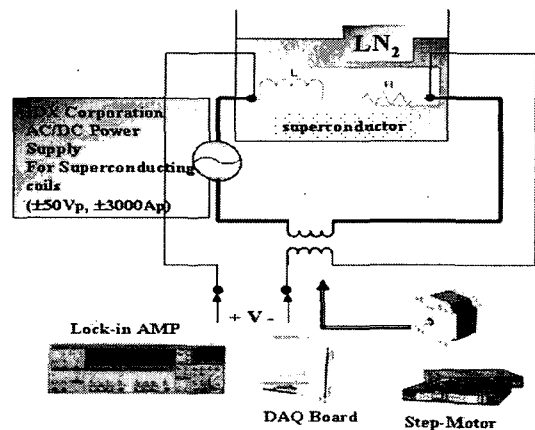


그림 1. Experimental Setup

3. 결과 및 고찰

그림 2에서는 Mechanical Load에 따른 임계전류 저하특성과 100[A]에서의 교류손실특성을 나타내었다. Bending Diameter가 작아질수록 Bi-2223의 Multi-filament 결합에 Damage를 가하게 되어, 임계전류는 감소하게 된다. 하지만 임계전류의 감소율에 비해 AC loss는 크게 증가되지 않았다. 이것은 Mechanical Load에 의해 Damage를 받은 구간이 불균일하여 실제 임계전류가 구간별로 불균일하므로, 그림 3에서와 같이 AC loss는 크게 증가되지 않았을 것으로 사료된다.

그림 4에서는 AC loss의 주파수 의존성을 나타내었다. AC loss는 주파수가 감소할수록 증가하는 특성을 볼 수 있다. 이것은 주파수가 낮을수록 Self-field가 도체에 더욱더 깊게 침투되므로 AC loss가 증가되는 것으로 사료된다. [3] 또한 DC의 경우 주파수가 0이라고 볼 수 있으므로, 주파수가 작아지면 작아질수록 임계전류 특성 그래프의 형태처럼 I_c 이상의 영역에서는 AC loss가 급격히 증가할 것이다. 또한 임계전류가 저하되더라도 낮은 주파수에서 AC loss값이 증가하게 되는 의존성을 가진다.

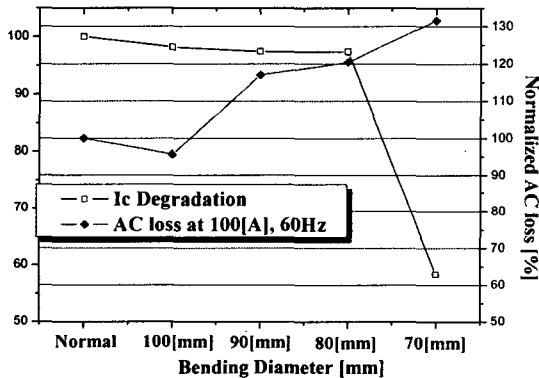


그림 2. Critical Current Degradations and AC loss Characteristics at 100[A] by Mechanical Load

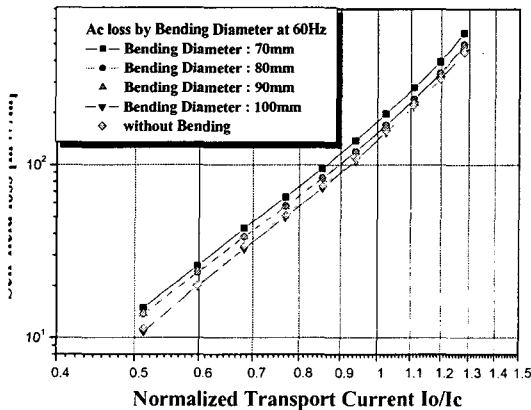


그림 3. AC loss characteristics by Mechanical Load

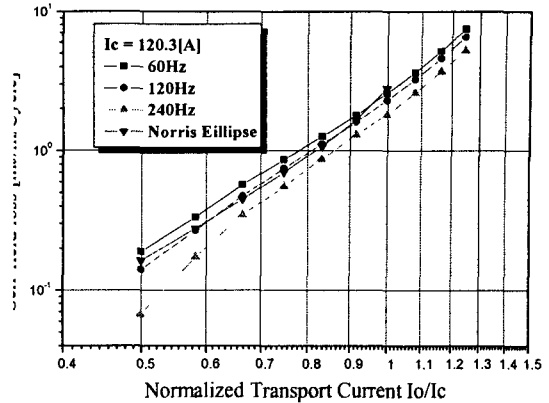


그림 4. Energy loss Densities per Cycle of Bi-2223 at Different Frequency of the AC Transport Current

4. 결론

임계전류의 저하 특성과 교류손실의 상관관계 그리고 AC loss의 주파수 의존성에 대해 다음과 같은 결론을 내렸다.

1. 임계전류가 저하되더라도 초전도 도체가 damage를 받은 영역이 불균일하면 AC loss 값에서는 큰 영향을 주지 않는다. 즉 Mechanical Load가 증가함에 따라 임계전류가 불균일하게 분포된다면 AC loss에는 큰 변화가 없다.
2. 주파수가 낮아질수록 초전도 도체에 인가되는 Self-field가 더욱 깊게 침투되므로 교류손실[J/m/Cycle]은 증가하게 된다.

이러한 결과는 초전도 전력기기의 설계 및 제작에 있어서 중요한 기초데이터가 될 것으로 사료된다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] 김석환, 한승엽, "초전도 공학 개론", 대영사
- [2] 류 경우, 김현준, "자장방향이 적층 Bi-2223 도체의 자화손실에 미치는 영향", 한국전기전자재료학회, Vol.16, No.1, p.77~82, January, 2003.
- [3] Jaakko Passi, Et al, "Frequency Dependence of Self-field AC Loss in Bi-2223/Ag Tapes", IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol.10, No.1, p. 1212~1215, March, 2000
- [4] S.W.Kim, Et al "Transport Current Loss and I_c Degradation of HTS Tapes under Mechanical Load", IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol.14, No.2, p1110~1113, June, 2004.