

고온초전도 테이프 임계전류의 굽힘변형을 효과 연속측정 기술

신 형섭^a, 최 호연

안동대 기계공학부, 안동대 대학원

Continuous Measurement Technique of Bending Strain Effect on Critical Current in Bi-2223 Tapes

Hyung-Seop Shin, Ho-Yeon Choi

School of mechanical engineering Andong National University.

Abstract : Differently from the tensile, transverse compression and torsion cases, the bending test of HTS tapes requires a lot of time and efforts, since the sample should be mounted successively onto bent sample holders in the order of decreasing radius and measuring the I_c at each step. The influence of repeated cooling and warming experienced during these processes on the I_c degradation can not be ignored. As a result, in this study, particularly, a new one-body type sample holder which provides continuous bending strains at 77K was devised. And, I_c degradation behavior of Bi-2223 tapes under easy bending condition was investigated and compared that with other cases using Goldacker-type bending tester or respective sample holder.

Key Words : Bi-2223 tapes, Critical Current, Bending Strain, Continuous Bending Test.

1. 서 론

고온 초전도선재인 PIT선재와 CC선재의 높은 임계전류 특성과 장선화의 성공은 최근 이들 초전도선재를 초전도 마그넷 또는 케이블, 모터, 발전기 등 전력용 기기에 적용을 가능하게 하였고, 이를 위한 연구개발이 활발하게 진행되어 오고 있다. 실제로 초전도테이프는 이들 기기에서 코일형상으로 권선되거나 제조 과정에서 굽힘 변형을 받는 경우가 대부분이다. 굽힘변형에 따른 고온초전도선재의 손상을 막기 위한 굽힘변형률 특성의 평가가 기기의 안전설계 및 장시간 사용에 따른 신뢰성확보를 위해서 필요하다. 고온초전도선재의 임계전류에 미치는 굽힘변형률 특성의 평가는, 인장이나 횡방향 압축, 비틀림 시험의 경우와 달리, 소정의 곡률반경을 갖는 일련의 시료 홀더를 사용하여 차례로 임계전류를 측정하는 관계로 시험에 많은 시간과 노력이 필요하고, 사용되는 시료홀더 형상에 따라서 반복 냉각에 따른 영향도 무시할 수 없다. 이에 따라 연속적인 굽힘변형률의 변화를 줄수 있는 시험기술의 개발이 필요하다[1]. 따라서 본 연구에서는 한번의 냉각으로 일련의 굽힘 변형률값에서 연속적인 굽힘변형률 특성 평가가 가능한 시험법을 제안하였고, Goldacker식 연속 굽힘시험의 경우 및 개별 굽힘 변형률용 시료홀더를 사용하는 경우와 비교 검토하였다.

2. 실험 방법

HTS 선재의 임계전류에 미치는 굽힘변형을 효과 시험에는 선재에 균일한 굽힘 변형을 가하기 위해서 시료홀더를 사용한다. 본 연구에서는 2종의 55쌍 필라멘트 Ag합금 시스 Bi-2223테이프를 사용하였다. Fig. 1은 Bi-2223테이프의 굽힘시험에 사용된 각종 시험치구 및 장치의 사진이다. (a)는 각 굽힘변형률에 해당하는 곡률반경을 갖는 FRP 시료홀더, (b)는 일련의 시료홀더의 곡률반경을 연속적으로 변화시켜서 일체형으로 만든 FRP시료 홀더를 보여 주

고있다. (c)는 Goldacker식 연속 굽힘시험 장치의 사진이다. 한 쌍의 피니언을 스테핑 모터로 회전시켜서 테이프가 일정 곡률반경을 갖도록 굽힘변형을 가하는 방식을 채택하고 있다.[2]

시료에 가해진 굽힘변형률은 테이프의 중립축으로 단위까지의 거리에 대한 테이프 중립축의 곡률반경의 비로 결정되는데, 이때 발생한 최대 굽힘변형률은 식(1)과 같이 주어진다.

$$\epsilon = \frac{t}{2r+t} \times 100(\%) \quad (1)$$

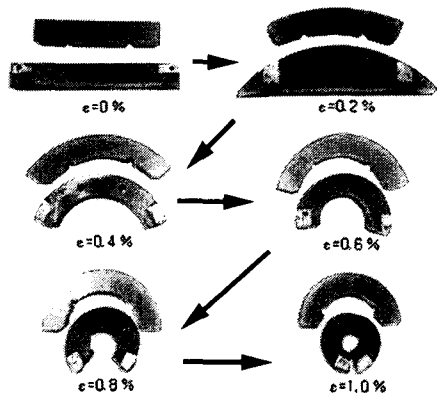
여기서, r 은 시료홀더의 반경, t 는 테이프의 두께를 나타낸다. 굽힘 시험에는 단일 시험편을 각 홀더에 연속적으로 부착하여 변형률을 증가시키면서 각 단계에서 I_c 를 측정하는 단일시험편(single specimen)법이 사용되었다.

시료의 전류단자간 게이지부 길이는 (a)시료홀더를 사용한 경우 70 mm, 그 중앙부에 30 mm 간격의 전압단자를 설치하였고, (b)일체형 연속 굽힘 치구의 경우, 게이지부 길이 140 mm, 전류 단자에서 10 mm의 간격을 두고 20 mm간격으로 전압단자를 설치하였다. I_c 값은 4단자법을 사용하여 1 μ V/cm 전기장 기준으로 측정하였다.

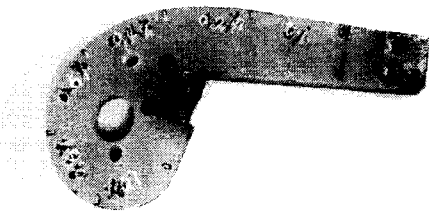
3. 실험결과 및 고찰

Fig.2는 Bi-2223 초전도테이프에 대하여 3가지 방식의 굽힘 시험을 통해 얻어진 I_c/I_{c0} - ϵ 관계를 나타낸 것이다. 각 굽힘 변형을 조건에서 얻어진 I_c 를 77K, $\epsilon=0\%$ 인 경우의 임계전류 I_{c0} 로 나누어서 무차원 화하여 나타내었다. 본 실험에서는 (a) VAM-1테이프와 (b) KERI테이프의 I_c/I_{c0} - ϵ 관계를 (a) 시료홀더를 사용한 경우와 (b) 일체형 연속 굽힘치구, 그리고 (c) Goldacker식 연속 굽힘시험기를 사용하여 얻은 경우와 비교하였다.

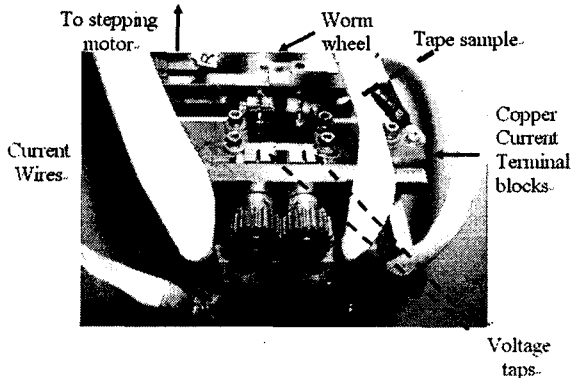
(a) VAM-1테이프의 경우, Goldacker식 시험기를 사용한 연속 굽힘 시험의 경우 동일 시험에 대하여 가장 우수한



(a) A series of FRP sample holder for bending test.



(b) One-body type sample holder for continuous bending test



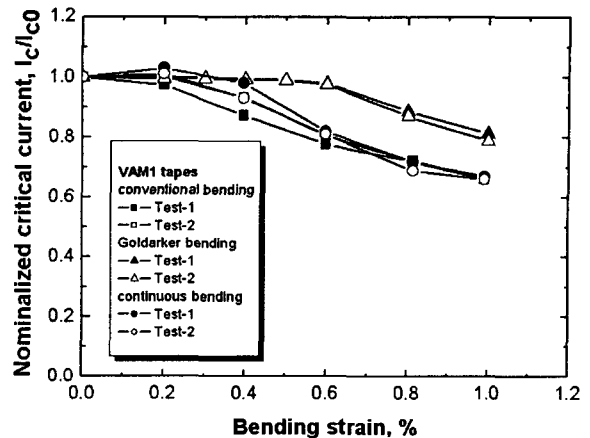
(c) Goldacker type continuous bending tester

Fig. 1. Appearances of the sample holder and apparatus used in bending tests of Bi-2223 tapes.

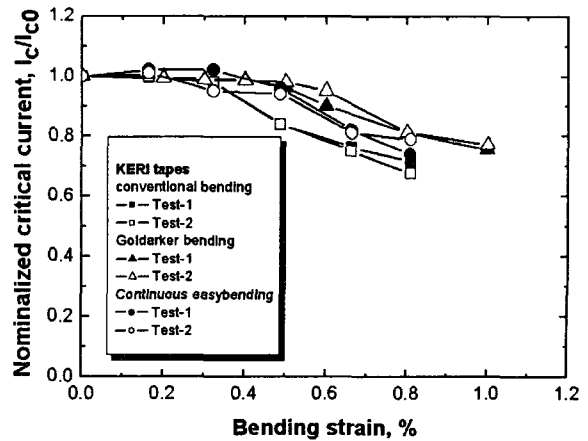
임계변형률 특성($\epsilon_{irr,b}=0.56\%$)을 나타내었고, 이어서 일체형 연속 굽힘치구를 사용한 경우로, $\epsilon_{irr,b}=0.4\%$ 를 나타내고 있어서, 열피로의 영향을 제외하더라도 시료 홀더에 취부하는 경우(즉 시료를 맨드렐로 지지하는 경우)가 다소 낮은 값을 나타내었다. 한편 개별 FRP시료홀더를 반복 사용한 경우는 $\epsilon=0.3\%$ 부근에서 I_c 저하가 발생하여, 각 굽힘변형률의 부가를 위해 반복 soldering과 냉각으로 인해 초전도선재에는 보다 낮은 굽힘변형률에서 손상이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이것은 (b) KERI테이프의 경우에도 유사한 결과를 나타내었다.

4. 결론

새로 고안한 일체형 연속 굽힘 변형률 시험용 시료홀더



(a) VAM-1 tapes



(b) KERI tapes

Fig. 2 Comparison of I_c/I_{c0} - ϵ relations obtained by different bending test procedures adopted in Bi-2223 tapes at 77K

를 사용함으로써 개별 변형률용 시료홀더를 사용한 시험의 경우와는 달리 반복 냉각이나 Soldering의 영향으로 인한 I_c 저하 현상을 줄일 수 있었고, 시험시간도 1/5정도로 단축시킬 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도 응용기술 개발 사업단의 연구비지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] K. Itoh, T. Kuroda, and H. Wada, "VAMAS round robin test on bending strain effect measurement of Bi-2223 tapes," *Physica C*, Vol.382, pp. 7-11, 2002.
- [2] W. Goldacker, S.I. Schlachter, R. Nast, H. Reiner, S. Zimmer, H. Kiesel, and A. Nyilas, "A new bending technique for investigation of I_c vs. bending strain behavior of BSCCO(2223) tapes," *Proc. int. Workshop on Superconductivity, Kobe, Japan*, pp. 21-24, 2001.