

전압탭 연결 방법에 따른 초전도 전력케이블의 직류 임계전류 측정

최석진*, 이상진**, 심기덕***, 조전욱***, 이수길****, 고태국*
연세대*, 위덕대**, 전기연구원***, LS 전선****

A measurement method for the DC critical current of superconducting power cable with respect to several voltage tap

Sukjin Choi*, Sangjin Lee**, Kideok Sim***, Jeonwook Cho***, Soogil Lee****, Tae Kuk Ko*
Yonsei University*, Uiduk University**, KERI***, LS cable****

Abstract - 21세기 프론티어 사업의 일환으로 고온 초전도 케이블을 한국전기연구원과 LS 전선(주)이 공동으로 개발 중에 있으며, 고장에 있는 한전 전력시험센터에 초전도 전력케이블을 설치하고 시험 운전중에 있다. 초전도 전력케이블을 실계통에 설치하기 위해서는 많은 시험을 거쳐야 한다. 본 논문에서는 초전도 전력케이블이 거쳐야 하는 많은 시험 중 하나인 직류 임계전류 측정방법에 대해서 다루었다. 초전도 전력케이블에 여러 가지 방법으로 전압탭을 설치하고, 각각 직류 임계전류를 측정하였다. 이렇게 측정된 데이터를 분석하고, 초전도 전력케이블의 직류 임계전류 측정에 가장 적합한 전압탭 연결 방법을 제안하였다.

1. 서 론

초전도 전력케이블은 기존 전력케이블의 구리 대신 초전도체를 사용하여 저손실·대용량 전력수송을 가능하게 한 전력케이블로서, 대도시의 전력 공급문제를 해결할 수 있는 환경 친화적인 신개념의 전력케이블이다. 또한 초전도 전력케이블은 종래의 전력케이블에 비해 송전용량이 3배~5배로 커서 기존의 다회선 전력케이블을 초전도 전력케이블 1회선~2회선으로 대체할 수 있으며, 이로 인해 건설 및 운영비를 절감할 수 있다.

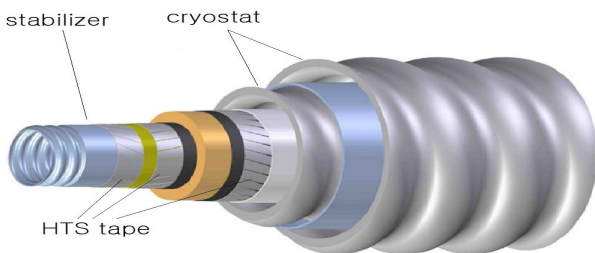
초전도 전력케이블은 기존 전력케이블과 구조, 부대설비, 전기적·기계적 특성이 매우 상이하다. 따라서, 초전도 전력케이블이 기존 전력케이블을 대체하기 위해서는 기존의 전력케이블의 특성 시험과 더불어 초전도 전력케이블만의 특성 시험도 병행하여야 한다. 기존의 전력케이블과 다른 초전도 전력케이블만의 특성 시험으로는 교류 손실 측정 시험, 사고 전류 시험, 냉각 특성 시험, 직류 임계전류 측정 시험 등이 있다.

본 논문에서는 초전도 전력케이블의 초전도 특성 중 하나인 직류 임계전류 측정 시험을 다루었다. 초전도 전력케이블의 직류 임계전류는 코어를 제조할 때 인출과정이나 포설시 굽힘 과정에서, 그리고 냉각시 열수축 때문에 달라질 수 있다. 따라서 직류 임계전류 측정 시험은 초전도 전력케이블의 성능 평가에 매우 중요한 시험 중 하나이다. 본 논문에서는 전기연구원과 LS 전선이 프론티어 사업의 일환으로 개발한 초전도 전력케이블에 여러 가지 방법으로 전압탭을 설치하여 직류 임계전류를 측정하고 비교하였다.

2. 본 론

2.1 초전도 전력케이블

초전도 전력케이블 시스템은 일반적으로 다음과 같은 구조를 갖고 있다. 먼저 여러 층으로 이루어진 전력 전송을 위한 초전도코어, 사고 발생시 전송전류를 바이패스 시키는 안전화 도체층(stabilizer) 그리고 최외각의 절소 및 진공을 위한 2층의 저온용기(cryostat) 등으로 이루어진다. 실험에 사용된 초전도 전력케이블은 코어가 80개의 초전도선으로 이루어져 있으며, 길이가 2m이고, 구리로 된 전류접촉블록을 통하여 전류를 통전하게 된다. 케이블 시스템의 형상은 <그림 1>에 나타나 있다.



<그림 1> 초전도 전력케이블 시스템 형상

2.2 직류 임계전류 산정 방법

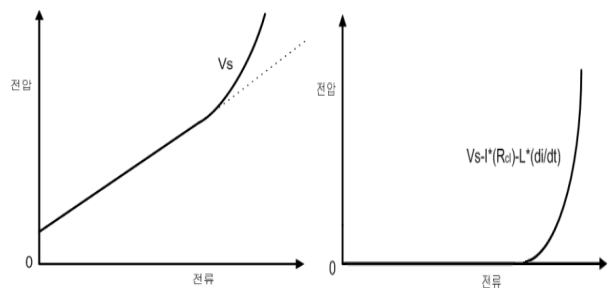
초전도 전력케이블에서 직류 임계전류를 측정할 때 나타나는 전압은 초전도 선재의 저항에 의한 전압 이외에도 전류 도입선에서의 저항 성분과 전류 도입선 및 전력케이블의 유도 성분에 의한 전압을 포함한다. 따라서 초전도 전력케이블 시스템의 전압을 측정하면 <그림 2>와 같이 임계전류의 70% 이하에서 전류에 따라 선형적으로 증가하는 곡선을 얻게 된다. 이렇게 선형적으로 증가하는 곡선에서 식 (1)과 같이 전류 도입선의 저항 성분에 의한 전압과 전력케이블의 유도 성분에 의한 전압을 제거하면 <그림 3>과 같이 순수하게 초전도 전력케이블의 저항 성분에 의한 전압 곡선을 얻을 수 있다.

$$V = V_s - I \times (R_{ci}) - L \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

여기에서, V : 순수 전압, V_s : 측정된 전압, R_{ci} : 전류 도입선에서의 저항, L : 초전도 전력케이블의 인덕턴스, I : 초전도 전력케이블에 흐르는 전류이다. <그림 3>의 곡선에서 기준(1 $\mu\text{V}/\text{cm}$)을 적용하여 직류 임계전류를 산정하게 된다.

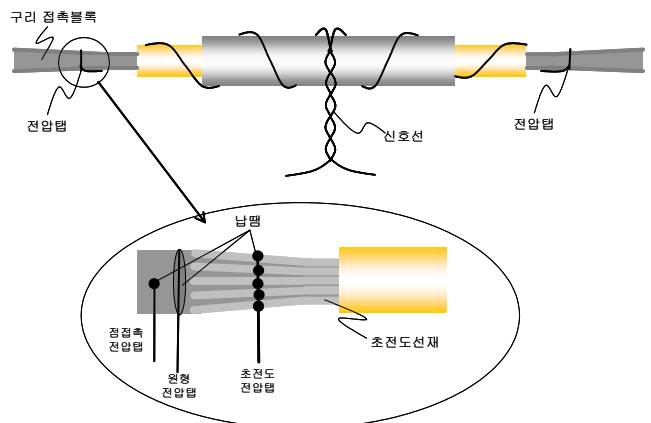
2.3 전압탭의 방법에 따른 직류 임계전류 측정

<그림 1>의 형상을 가진 초전도 전력케이블에 <그림 4>와 같이 여러 가지 방법으로 전압탭을 설치하였다. 초전도선에 직접 전압탭을 설치한 경우(실험 1), 구리 접촉블록에 원형으로 전압탭을 설치한 경우(실험 2), 그리고 구리 접촉블록에 점 접촉으로 전압탭을 설치한 경우(실험 3)



<그림 2> 초전도 전력케이블의 측정 곡선

<그림 3> 전류 도입선에서의 전압과 인덕턴스 성분 제거



<그림 4> 여러 가지 전압탭 설치 방법

등 세 가지 방법으로 전압탭을 설치하였다. 이렇게 설치한 전압탭을 이용하여 초전도 전력케이블의 직류 임계전류를 측정하였다. 측정시 전류 증가는 초당 300A, 600A, 1000A로 하였으며, 각 전압탭의 설치 방법에 따라 총 10회씩 측정하였고, 측정결과는 다음 <표 1>, <표 2> 및 <표 3>과 같다.

각각의 전압탭 연결 방법에 따른 직류 임계전류를 비교하기 위하여 측정결과를 <표 4>와 같이 나타내었다. 평균은 측정결과 데이터 중 최소값과 최대값을 제외한 데이터의 평균이며, 평균에서 데이터를 뺀 값을 편차로 할 때 편차의 제곱을 취한 데이터의 평균을 표준편차로 하였다.

<표 4>의 결과로 보면, 전압탭의 연결 방법에 따라서 초당 600A로 전류를 증가시킬 때를 제외하고는 구리 접촉블록에 원형으로 전압탭을 설치한 경우가 표준편차가 가장 작았다. 표준편차가 가장 작다는 것은 재현성이 더 좋다는 것을 의미할 수 있다. 전류 증가율에 따라서는 초당 1000A로 전류를 증가시킬 때 가장 표준편차가 작아졌으며, 전원의 한계 때문에 더 이상의 상한은 확인하지 못하였다.

<표 1> 실험 1(초전도 선에 전압탭을 설치한 경우) 측정 결과

실험 회수	300A/sec	600A/sec	1000A/sec
1	9161.08	9190.89	9156.5
2	9183.09	9147.33	9131.27
3	9222.07	9126.23	9123.48
4	9167.5	9159.25	9049.65
5	9106.97	9122.1	9138.15
6	9225.74	9210.61	9167.04
7	9188.14	9173.46	9124.85
8	9116.6	9114.31	9096.88
9	9147.78		9128.06
10	9219.78	9135.4	9110.64

<표 2> 실험 2(구리 접촉블록에 원형으로 전압탭을 설치한 경우) 측정 결과

실험 회수	300A/sec	600A/sec	1000A/sec
1	9152.37	9170.25	9201.44
2	9159.25	9191.35	9184.93
3	9124.4	9218.4	9236.75
4	9178.51	9249.13	9192.72
5	9214.74	9194.1	9208.77
6	9148.7	9232.62	9214.74
7	9139.99	9215.19	9230.79
8	9128.52	9168.42	9208.77
9	9195.93	9183.55	9238.12
10	9135.86	9229.41	9210.61

<표 3> 실험 3(구리 접촉블록에 점 접촉으로 전압탭을 설치한 경우) 측정 결과

실험 회수	300A/sec	600A/sec	1000A/sec
1	9070.74	9160.17	9210.15
2	9184.47	9166.13	9131.73
3	9151.45	9186.3	9167.5
4	9086.33	9186.76	9182.18
5	9223.91	9197.77	9173.46
6	9137.70	9184.47	9197.31
7	9211.07	9188.14	9186.3
8	9142.74	9153.75	9152.83
9		9098.72	9193.64
10		9216.57	9184.01

<표 4> 전압탭 방법에 따른 측정결과

비고	300A/sec		600A/sec		1000A/sec	
	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차
실험 1	9175.75	33.27	9150.66	23.50	9126.22	16.58
실험 2	9154.89	21.17	9204.35	21.24	9213.07	13.55
실험 3	9152.29	39.04	9177.94	14.69	9179.65	13.61

3. 결 론

여러 가지 전압탭의 연결 방법에 따라 초전도 전력케이블의 직류 임계전류를 측정하였다. 전류 증가율을 서로 바꿔가며 측정을 하였고, 초전도 선에 직접 전압탭을 설치하거나 구리 접촉블록에 점접촉으로 전압탭을 설치한 경우보다 구리 접촉블록에 원형으로 전압탭을 설치한 경우가 표준편차가 가장 작게 나왔다. 전류 증가율에 따라서는 전류 증가율이 높을 수록 표준편차가 가장 작게 나왔다. 표준편차를 가지고 판단할 때, 초전도 전력케이블의 직류 임계전류를 측정하기 위한 전압탭 연결 방법은 구리 접촉블록에 원형으로 설치하는 것이 가장 좋으며, 전류 증가율을 높일수록 재현성이 더 좋아지는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

- [1] 성기철 외, “배전급 초전도 전력케이블 개발”, 차세대 초전도 응용 기술개발 사업단 연차보고서, 2002
- [2] M.Nassi, "HTS Prototype for Power Transmission Cable : recent result and future programmes", Supercon. Sci. Technol:13, 2000
- [3] 김해준 외, “고온 초전도 케이블의 급형 직경에 따른 임계전류 저하 특성”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2004