

## 초전도선재의 펜치현상의 시간지연

오 봉 환, 흥 일 선, 전 흥 범\*, 류 강 식\*, 이 승 학\*\*  
명지전문대학, \*한국전기연구소 초전도응용연구사업팀, \*\*전력연구원

### Time Delay of Quench Phenomenon in Superconducting wire

B.H.Oh, I.S.Hong, H.B.Jin\*, K.S.Ryu\*, S.H.Lee\*\*

Myong-ji Junior College, \*KERI ASL., \*\*KEPCO

**Abstract** - Superconducting wire is quenching as soon as transport current exceeded the critical current value. However transport current exceeded the critical current value, quench is not generated immediately. In this paper, the results of the theoretical study for time delay of quench phenomenon are described.

#### 1. 서 론

교류용 초전도선재는 뛰어난 초전도 특성을 갖고 있지만, 한편으로는 전기적, 역학적 및 열적으로 불안정한 면도 갖고 있다. 따라서, 통전·과전 중에 발생할 수 있는 의란에 의해서 초전도 상태로부터 상전도 상태로 천이하는 펜치현상이 발생한다. 이 현상에 의해서 초전도기기는 성능을 충분히 발휘하지 못할 가능성이 있으므로, 여러 방면으로 펜치현상에 대한 연구가 행해지고 있다<sup>(1)</sup>.

초전도선재에서는 통전전류의 순시치가 선재 고유의 임계전류값을 넘으면 즉시 펜치가 발생하는 것으로 알려져 있다. 그러나, 펜치전류 레벨을 넘는 전류가 흘러도 즉시에 펜치가 발생하지 않고, 수싸이클의 시간지연 후에 발생할 가능성도 있다<sup>(2)</sup>. 본 논문에서는, 2종류의 초전도선재를 대상으로 펜치실험을 한 결과, 전류순시치가 펜치전류 레벨을 넘어도 즉시에 펜치가 발생하지 않고 최대 2싸이클 이후에 발생하는 시간지연에 대해서 이론적으로 검토하고자 한다.

#### 2. 교류용 초전도선재의 펜치실험

교류용 초전도선재의 펜치전류 측정에 이용한 2종류의 소선의 사양을 표1에 표시한다. 소선 I과

II의 차이점은 안정화 동의 유무이다. 소선 I은 안정화 동이 단면적 비로 약 30% 포함되어 있고, 소선 II에는 안정화 동이 전혀 포함되어 있지 않다. 이들 소선의 길이를 150mm로 하여 그림1에 표시하는 실험회로에 의해 각 소선의 펜치 전류를 측정하였다.

우선, 예비실험으로서 각 소선의 임계전류치를 측정하였다. 그림1에 있어서 진공차단기(VCB)를 닫은 상태에서 전원전압을 조절하여 초전도 소선에 흐르는 전류를 서서히 증가시키는 것에 의해 펜치를 발생시켰다. 초전도 소선이 펜치하면 소선 단자간에는 약 3V의 전압이 발생한다. 이와같은 전압을 디지털메모리로 기록하기 위해서 5V 레인지를 사용하면 측정기의 최소 감도는 10mV로 된다. 따라서 초전도 소선의 전압단자간에 10mV 이

표1 초전도 소선의 사양

초전도 소선	I	II
소선직경	0.22 mm	0.1 mm
NbTi filament dia.	0.55 μm	0.5 μm
NbTi : Cu : CuNi	1:1.2:1.7	1:0.3:3
Twsit pitch	2.3 mm	1.0 mm
임계전류 측정치 (교류순시치)	40 A	20 A

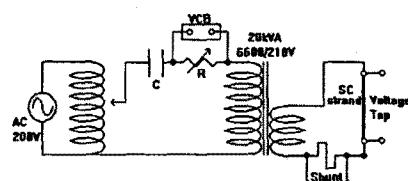


그림1. 각 초전도 소선의 펜치전류 측정회로

상의 전압이 검출되었을 때를 웬치발생으로 간주하여, 이 시점의 전류순시치를 웬치전류치로 한다. 이와같이 해서 얻어진 각 소선의 웬치전류 레벨은 순시치로 소선 I 이 40A, 소선 II가 20A 였다.

다음에 VCB를 열어놓은 상태에서 전원전압 및 가변저항을 조정하여, 이의 예비실험에서 얻어진 웬치전류 레벨 이하의 전류를 초전도 소선에 연속 통전한다. 이것은 실제로는 부하전류로 간주할 수 있는 전류이다. 그후 VCB를 닫아서 가변저항을 단락시키는 것에 의해 초전도 소선에 웬치전류 레벨을 넘는 과전류를 통전한다. 이와같은 방법으로 각 초전도 소선에 웬치를 발생시켜, 그때의 웬치전류치를 반복하여 측정하였다. 이 측정에 있어서, 부하전류의 크기를 웬치전류 레벨의 0~80%, 단락전류의 크기를 130~200%로 하였다.

### 3. 웬치발생의 시간지연

초전도선재는 통전전류의 순시치가 선재 고유의 임계전류 레벨을 넘으면 즉시에 웬치가 발생하는 것으로 알려져 있다. 그러나, 웬치전류 레벨을 넘는 전류가 흘러도 즉시에 웬치가 발생하지 않고 수싸이클의 시간지연 후에 발생하는 현상이 실험적으로 얻어졌다.

소선 I에 있어서, 부하전류 40%, 단락전류 140%를 통전했을 때의 전류 및 소선의 단자전압 파형을 그림2 (a), (b)에 표시한다. 동 그림으로부터, 단락전류가 흘르기 시작하고 부터 약 1싸이클 경과한 후, 즉 제3반파에 들어가서 초전도 소선에 전압이 나타나는 것을 알 수 있다. 더욱이, 그 시점에서의 전류순시치는 제1반파 및 제2반파의 파고치보다도 작은 값이다. 종래에는 초전도선재가 과전류에 의해 웬치하면 전압은 단락전류의 제1반파에서 발생하는 것으로 알려져 있었다. 그러나, 위의 웬치 실험에서는 제3반파에 들어가서 처음으로 10mV 이상의 전압이 검출되어 웬치가 발생한 것으로 간주할 수 있다.

이와같은 현상은 2종류의 소선에서 발생하였다. 표2는 각 소선에 있어서 웬치 전류치를 반복하여 측정한 결과, 웬치가 단락전류의 몇 번째 반파에서 발생하고, 그 발생이 몇회 인가를 표시하고 있다. 표2로 부터, 소선 I에서는 제3반파에서 웬치가 발생하는 경우가 가장 많고, 안정화 동이 없는 소선 II에서는 제1반파에서 웬치가 발생하는 경우가 가장 많지만 제2반파에서도 발생하는 경우가 상당히 있음을 알 수 있다. 웬치 발생 시점과 그때의 웬치 전류순시치와의 관계를 그림3에 표시한다. 동 그림

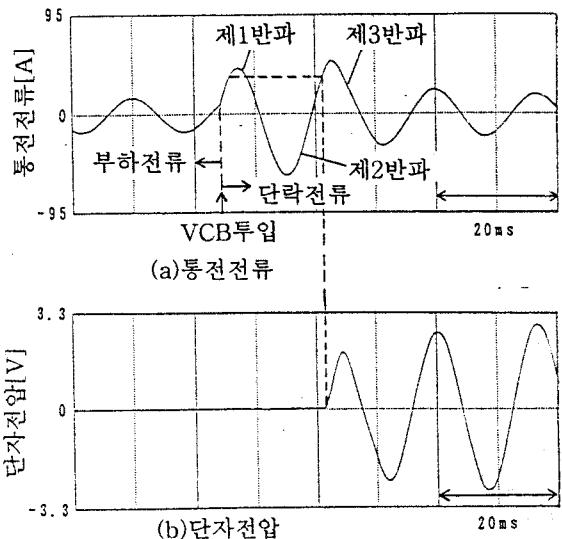


그림2. 웬치발생의 시간지연  
(소선 I : 부하전류 40%, 단락전류 140%)

표2 웬치 발생 시점

초전도	측정	웬치 발생 시점			
		제1반파	제2반파	제3반파	제4반파
I	회수	33	0	12	19
II	회수	61	39	21	1

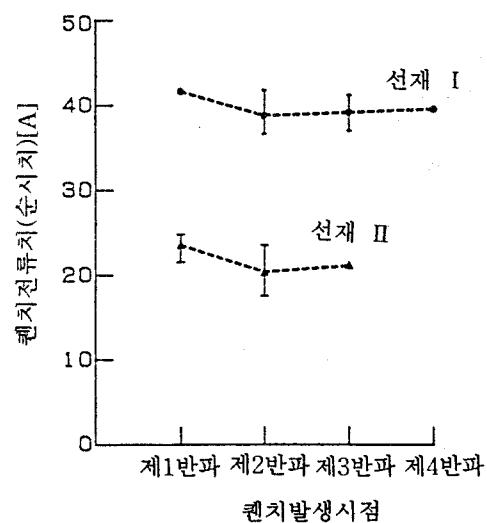


그림3. 웬치발생 시점과 웬치전류와의 관계

으로부터, 소선 I, II 함께 제1반파의 펜치 전류  
치가 제2반파 이후의 펜치전류치보다도 약간 큼을  
알 수 있다.

Press, pp.86-87 (1978)

#### 4. 검토

이상과 같이 펜치가 늦게 발생하는 것은 다음과 같은 메카니즘에 의한 것으로 생각된다. 그림4에 그 메카니즘의 개념도를 표시한다<sup>(3)</sup>. (a)에 표시한 바와 같이 초전도 선재의 어떤 미소 부분 P에 있어서, 초전도체의 불균일성 등의 구조적 결함 혹은 온도가 다른 부분보다 국부적으로 약간 높은 등의 외란이 발생해 있는 것으로 한다. 그 결과 P점에 있어서의 임계전류치는 다른 부분의 임계전류치보다도 작은 값을 갖는다. (b)와 같이 P점의 임계전류치  $I_c(P)$  이상의 교류전류를 통전 한다. 이 전류는 다른 부분의 임계전류치 보다도 작은 것으로 한다. 이 때문에 P점에 있어서만 국부적으로 펜치가 발생하고, 전류는 안정화 등으로 분류한다. 그 결과 P점에는 저항이 발생하지만 다른 부분은 초전도 상태이므로 초전도선재 전체적으로는 발생저항은 상당히 작은 값이다. P점에서 발생하는 주울열이 인접부로의 열전도양과 주위 냉매로의 열전달양과의 합보다 많으면 P점의 온도는 (c)와 같이 상승한다. P점에서의 온도상승이 열전도에 의해 인접부에 전파되어, 그 부분의 온도가 임계온도  $T_c$  이상으로 되면 인접부는 열적으로 펜치가 발생한다. 이와같이 해서 상전도 영역이 P점으로부터 초전도선재에 따라서 전파하여 각 부분에서 저항이 발생하게 된다. 그 결과 (d)와 같이 초전도선재 전체의 저항은 급히 상승하기 시작한다. 즉 P점 만이 펜치하고 있는 상태에서는 발생저항은 작지만 펜치가 인접부에 전파하는 것에 의해 측정기에 검출될 수 있을 만큼의 값을 갖게되는 것으로 생각된다.

#### [참고문헌]

1. A.Fevrier, A.Gueraud & J.P.Ravergnier : "Thermo-Electromagnetic Stability of Ultra-fine Multifilamentary Superconducting Wires for 50-60 Hertz Use", Applied Superconductivity Conference - San Francisco, pp.21-25 (1988)
2. 吳鳳煥, 石川和明, 早川直樹, 大久保仁, 鬼頭幸生 : 「交流用超電導素線における常電導遷移発生箇所の標定」, 日本전기학회 정기기연구회자료, SA-91-46, pp.15-24 (1991)
3. A.C.Rose-Innes & E.H.Rhoderick : "Introduction to Superconductivity", Pergamon

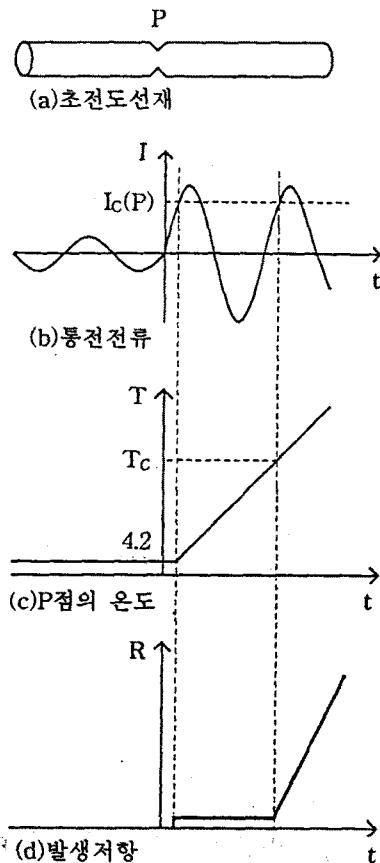


그림4. 펜치발생의 시간지연의 개념도