

자속구속형 초전도 전류제한기의 철심조건에 따른 특성

(Characteristics of the Flux-lock Type Superconducting
Fault Current Limiter According to the Iron Core Conditions)

남규현* · 이나영 · 최효상 · 조금배**

(Gueng-Hyun Nam · Na-Young Lee · Hyo-Sang Choi · Guem-Bae Cho)

요 약

초전도전류제한기(SFCL)는 전력계통내 적용시 계통보호를 보다 향상시킬 수 있는 방안으로써 수초이내에 신속하게 사고전류를 제한한다. 이러한 SFCL 중 자속구속형 전류제한기의 설계구조는 자속구속리액터인 하나의 철심에 1차측과 2차측 코일이 병렬로 결선되어 있다. 또한 전류제한소자인 YBCO박막과 2차측 코일을 직렬로 결선하여 설치장소의 조건에 따라 인덕턴스와 2차측 코일의 극성방향으로 과도전류 크기를 조절할 수 있다. 이러한 동작특성은 철심을 자속매개체로 적용되기 때문에 철심조건에 따른 성능평가실험은 필수적이다. 가극결선에서 전원전압을 200[Vrms] 인가시 피크전류는 페루프가 30.71[A], 개루프가 32.01[A]까지 상승됨에 따라 초기과도 응답특성은 페루프가 유리하였다. 하지만, 소자에 발생하는 전압이 페루프가 220.14[V], 개루프가 142.73[V]까지 상승함에 따라, 페루프 철심구조시 전류제한소자의 부담이 가중됨을 알 수 있었다. 결과적으로 자속구속형 SFCL의 전력계통내 적용시 각각의 철심구조에 따른 다양한 운전특성을 적절히 설계시 장점을 극대화 할 수 있을 것이다.

Abstract

The superconducting fault current limiters (SFCLs) provide the effect such as enhancement in power system reliability due to limiting the fault current within a few milliseconds. Among various SFCLs we have developed a flux-lock type SFCL and exploited a special design to effectively reduce the fault current according to properly adjustable magnetic field after the short-circuit test. This SFCL consists of two copper coils wound in parallel on the same iron core and a component using the YBCO thin film connected in series to the secondary copper coil. Meanwhile, operating characteristics can be controlled by adjusting the inductances and the winding directions of the coils. To analyze the operational characteristics, we compared closed-loop with open-loop iron core. When the applied voltage was 200[Vrms] in the additive polarity winding, the peak values of the line current the increased up to 30.71[A] in the closed-loop and 32.01[A] in the open-loop iron core, respectively. On the other hand, in the voltages generated at current limiting elements were 220.14[V] in the closed-loop and 142.73[V] in the open-loop iron core during first-half cycle after fault instant under the same conditions. We confirmed that the open-loop iron core had lower power burden than in the closed-loop iron core. Consequently, we found that the structure of iron core enabled the flux-lock type SFCL at power system to have the flexibility.

Key Words : Flux-lock type SFCL, Open-loop and closed-loop iron core, Power burden

* 주저자 : 조선대학교 전기공학과 석사과정
** 교신저자 : 조선대학교 전기공학과 교수
Tel : 062-230-7031, Fax : 062-230-7020
E-mail : gbcho@chosun.ac.kr

접수일자 : 2006년 3월 28일
1차심사 : 2006년 4월 3일
심사완료 : 2006년 5월 15일

1. 서 론

전력계통내에서 초전도 전류제한기는 켄치(초전도체에 임계전류이상의 전류가 흘러 상전도체로 전이되는 현상)에 의해 발생하는 전류제한소자의 임피던스를 이용하여 전체 선로전류를 감소시키는 역할을 담당한다. 이는 계통내에 단락사고와 같은 예상치 못한 사고를 수 [msec]이내에 감지하여 선로로 흐르는 고장전류를 신속하게 억제하여 고가의 전력설비들을 보호하며, 사고 종료 후에도 별도의 장치 없이 자동복귀동작이 가능하다[1]. 기존의 고장전류저감대책은 인접계통에 과부하 및 안정성 저하와 같은 부작용을 유발시키나, 초전도를 이용한 전류제한기는 정상동작시 초전도체 고유의 영저항특성에 의해 전력손실이 없으며, 선로에 미치는 영향력이 적어 고품질 전력전송이 가능하여 타 방안에 비하여 효율성 및 안정적인 측면에서 우수한 특성을 가지고 있다[2-3].

많은 고온 초전도 전류제한기 중에서 저항형 전류제한기는 원리 및 구조가 간단하여 소형화가 가능하고 국내 설치 공간에 따른 제약을 해결할 수 있으나, 운용시 사고전류의 직접적인 도통으로 인한 파손의 위험과 환경변화에 의한 소자의 추가적인 조정이 불가피한 단점이 있다.

이러한 단점을 보완하여 제작된 자속구속형 초전도 전류제한기는 설계구조적인 특성에 따라 사고발생시 과도전류가 분담되어 저항형에 비해 소자파손의 우려가 적어진다. 또한 철심에 감겨진 리액터의 인덕턴스를 조정하여 과도전류 크기를 조절할 수 있으며, 정상조건하에서는 발생자속의 상쇄에 의해 철손손실이 거의 적다. 이는 기존의 저항형 한류기가 갖는 수동적인 운전특성을 탈피함으로써, 설치조건 요구사항에 따라 탄력적인 운용이 가능하기 때문에 활용도측면에서 보다 효율적이라 할 수 있다.

자속구속형 전류제한기의 동작요인이 설계구조에 의해 동작특성이 달라지기 때문에 요구되는 설계사항에 대한 성능평가를 위한 설계파라미터 분석은 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 자속경로를 달리한 페루프와 개루프에서 발생하는 동작요인에 대하여 비교·분석하여 강자성체 철심구조의 설계적인 특

성에 따른 감극결선과 가극결선에 대한 전류제한특성을 파악하여 자속구속형 초전도 전류제한기의 최적 파라미터조건을 도출하기 위한 자료로 활용하고자 한다.

2. 실 험

2.1 자속 구속형 고온초전도 전류제한기의 구조 및 동작원리

그림 1은 모의실험을 위해 구성한 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 실험회로도이다. 전류제한소자는 액체질소가 담겨진 저온용기 내부에 존재하며 2차 코일과는 직렬로 연결되어 있다. 강자성체 철심에 1차 코일과 2차 코일을 N_1 과 N_2 로 리액터를 결선하여 선로에 병렬로 연결하였다. 그림 1은 편리상 가극결선에 대한 구조를 도시하였으며, 자속간의 결합을 최대도 하기 위하여 적층구조로 결선하였다.

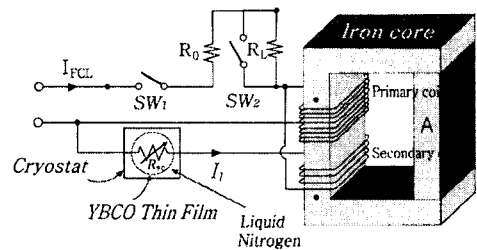


그림 1. 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 구조
Fig. 1. Scheme of a flux-lock type HTSC fault current limiter

1차 코일과 2차 코일에 유도되는 전압을 V_1 과 V_2 라 하면 각 코일의 전압은 다음과 같은 관계식 (1)과 (2)로 유도된다.

$$V_1 = \left(\frac{\mu s}{\ell} \cdot N_1^2 \cdot \frac{di}{dt} \right) \quad (1)$$

$$V_2 = \left(\frac{\mu s}{\ell} \cdot \pm N_2^2 \cdot \frac{di}{dt} \right) \quad (2)$$

(여기서 ℓ : 길이, μ : 투자율, s : 면적, + : 가극결선, - : 감극결선을 나타낸다.)

자속구속형 초전도 전류제한기의 철심구조에 따른 특성

동작원리에 의해 정상작동시 선로에 병렬회로로 연결되었으므로, 1차 코일과 2차 코일의 양단전압은 동일하며, 또한 전류제한소자의 양단전압도 0[V]이므로, 아래와 같은 관계식 (3)과 (4)가 유도된다.

$$V_1 - V_2 = 0 \tag{3}$$

$$(N_1^2 \mp N_2^2) \cdot \left(-\frac{di}{dt}\right) = 0 \tag{4}$$

식 (4)에서 $(N_1^2 \mp N_2^2) \neq 0$ 이란 조건을 만족하므로, 정상상태시 $di/dt=0$ 에 의하여 전압을 유도하지 못하게 된다. 사고시에는 과도전류가 선로에 흐르게 되어 전류제한소자에서 임계전류를 초과하는 전류가 흘러 켄치현상으로 저항(R_{sc})이 발생되어 전류제한소자에 전압이 발생하게 된다. 이러한 정상동작시의 구조적인 특성에 의해 작동이 불가피하게 되어, 관계식 (4)가 더 이상 성립하지 못하게 된다. 따라서 코일 양단에는 전압이 유기된다. 이러한 구조요인에 의해 자속구속형 초전도 전류제한기가 동작되어 사고전류를 효율적으로 제한하게 된다.

자속구속형 초전도 전류제한기의 동작은 1차 코일과 2차 코일의 결선방향에 따라 사고시 철심 코어에서 발생하는 쇠교자속의 증감여부로 감극과 가극으로 나뉘게 된다. 코일의 결선방향에 따른 등가회로도의 제원은 참고문헌[4]에 상세히 나타내었다. 이러한 동작원리가 비선형의 자기포화특성인 강자성체 철심을 매개체로 수행되므로, 철심설계에 따른 특성 파악은 중요하다.

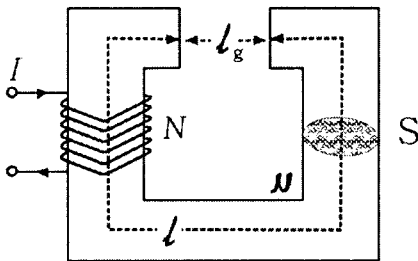


그림 2. 공극을 가진 철심의 구조
Fig. 2. Scheme of a magnetic core with an air gap

그림 2은 공극을 포함한 자기회로에 대한 구조를 나타낸다. 공극의 자기저항 R_g 와 자속의 자기저항 R_m 가 직렬 연결되어 있어서 자속은 동일해야 하며, 합성자기저항에 의해 다음과 같은 식 (5)가 유도된다.

$$R_t = R_m + R_g = \frac{\ell}{S} \cdot \left(\frac{1}{\mu} + \frac{\ell_g}{\mu_0}\right) \chi [A/W] \tag{5}$$

$$\varphi = \mu H_m S = \mu_0 H_g S \tag{6}$$

자성체내의 자계세기를 H_m , 공극부의 자계세기를 H_g 이라 하면 식 (6)이 성립하므로, 공극을 포함할 경우 공극부의 자계세기와 자성체내 자계 세기는 $H_g = \mu_s \cdot H_m$ 가 됨에 따라 공극부의 자계의 세기는 자성체내의 자계의 세기보다 비투자율의 배만큼 커짐을 알 수 있었다. 따라서 공극부에 발생하는 누설 에너지로 인하여 동작특성에 영향을 줄 것으로 사료된다.

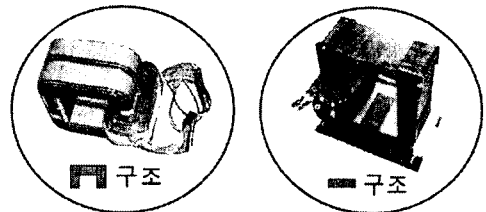


그림 3. 개방철심구조에서 철심의 형태
Fig. 3. The shapes of iron cores in the open-loop structure

그림 3은 자속구속형 초전도 전류제한기에서 사용하는 실제 철심의 구조를 나타낸다. 'U' 구조는 상하 2개의 강자성체 철심으로 이루어져 있으며, '—' 구조는 4개의 연결부위를 갖은 구조로 되어 있다. 본 논문에서는 기존의 'U' 구조가 아닌 '—' 구조에 대한 실험을 수행하여 그에 따른 동작특성에 대하여 분석하였다.

'—' 구조는 설계에 따른 제작이 기존에 비하여 간단한 반면에 연결부위의 증가로 인한 누설자속이나 기계적인 떨림이 증가할 것으로 사료된다. 또한 코일부에 어느 정도 이상의 자기화 진행시 B-H곡선에서의 한계치로 인한 자기포화로 철심포화가 유발된

다. 철심포화는 높은 고조파를 만들어 전력기에 악영향을 주므로, 철심포화를 막기 위해서는 철심코어의 비포화영역에서의 동작하도록 설계해야 한다. 이는 상대투자율이 높은 철심이나, 철심의 크기증대를 유발하기 때문에 설치공간에 따른 제약과 전체시스템의 가격상승이 따르므로 어느 일정수준의 설계조건이 요구된다.

변압기 형태의 철심코어구성을 위한 강자성체 연결로 사고모의 시 자장에 의한 진동이 나타나는데, 개루프인 경우 부피 및 무게가 줄어들고, 철심간의 연결부위가 페루프에 비해 줄어들어 사고시 기계적인 진동을 줄일 수 있을 것이다. 이러한 개루프 동작은 개방된 철심구조에 따른 설계이므로, 공극과 자속간의 경계조건 및 투자율에 의해 철심포화의 지연을 유발한다. 기존자속구속형 전류제한기의 동작특성과 유사한 효율적인 전류제한이 수행된다면, 이러한 철심조건의 설계적 특성에 따른 잇점을 적용할 수 있으므로 이를 실험하여 분석하였다.

2.2 실험장치 및 방법

자속구속형 전류제한기의 철심조건에 따라 구성된 실험회로도에는 그림 4와 같다. 초전도 전류제한소자로는 직경 2[inch]의 $YBa_2Cu_3O_7$ (YBCO)박막을 사용하였으며, 구체적 제원은 참고문헌[5]에 상세히 나타내었다. 임계전류밀도($1[\mu A/cm]$ 을 기준함)가 약 $23.4[A]$ 인 YBCO박막 1개를 사용하였으며, 철심조건에 따른 실험을 위해 강자성체는 상회로 구성이 아닌 A 부분의 조작에 따라 페루프와 개루프인 조건에서 실험을 수행할 수 있도록 하였다.

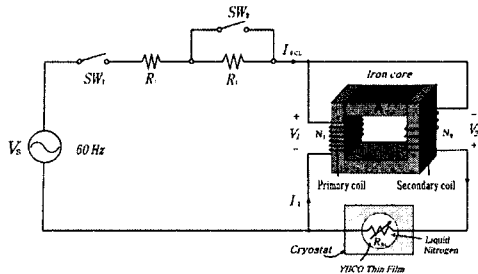


그림 4. 실험 회로 구성도
Fig. 4. Diagram of the experimental circuit

그림 4에서 V_s 는 전원전압이며, 전체전류를 측정하기 위한 표준 R_0 은 $1[\Omega]$, R_L 은 $50[\Omega]$ 인 무유도저항을 사용하였다. 리액터구조는 강자성체 철심에 1차 코일과 2차 코일을 각각 $60[mH]$ 와 $11[mH]$ 가 되도록 선로에 병렬로 결선하였으며, 코일의 결선방향에 따라 철심코어에서 발생하는 자속을 기준으로 감·가극에 대한 실험회로를 구성하였다. 사고를 모의하기 위해 초기 정상상태에서는 스위치 SW_1 을 닫아 회로에 전압을 인가했으며, 스위치 SW_2 는 열어 두었다. 일정시간 후에 스위치 SW_2 를 닫아 단락회로로 구성하여 사고를 모의하였다. 전력계통내의 차단기가 동작되는 시간을 감안하여 사고주기를 5주기 안에 동작되도록 설정하였다. 사고가 발생하면 단락전류가 전류제한소자에 흐르게 되어 켄치가 발생되어 전압이 유지된다. 이때 회로에 흐르는 선로전류를 I_{FL} , 1차 코일에 흐르는 전류를 I_1 , 전류제한소자에 흐르는 전류를 I_{sc} 라 하며, 각각의 코일 양단에 인가되는 전압을 V_1 , V_2 라 하고, 전류제한소자 양단의 전압을 V_{sc} 로 나타내었다.

철심의 조건을 달리하여 실험을 수행하면서, 전원전압별과 사고각에 따른 동작특성을 분석하였다. 자속구속형 전류제한기에 대한 설계시 철심에 대한 설계가 적절하지 않는 경우 유도형에 비해 영향력은 적으나, 이러한 강자성체 철심을 자속매개체로 사용함에 따라 철심포화로 인한 문제가 수반될 수 있으므로 여러 설계파라미터에 의한 비교·분석을 통하여 동작특성을 살펴보고자 한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 감극결선시 철심조건에 따른 동작특성

그림 5와 그림 6은 전원전압을 $200[V_{rms}]$ 로 인가시 사고각 0° 에서 감극결선시 페루프와 개루프 철심의 사용에 따른 사고발생 직후의 초기 반주기동안에 과도전압전류곡선과 각각의 코일양단과 전류제한소자에 인가되는 전압곡선을 나타내었다.

그림 5 (a)와 6 (a)에서 초기 반주기동안 제한되는 선로전류의 크기는 각각 $48.06[A]$, $49.80[A]$ 로 개루프보다 페루프를 사용했을 때의 초기과도 응답에 따

자속구속영 조전도 전류제한기의 철심조건에 따른 특성

른 운전특성이 유리하다는 것을 알 수 있었다. 또한 사고시작시점에서 최고피크전류까지의 동작시간은 페루프가 2.11[ms]이며, 개루프인 경우 2.18[ms]인 시간차를 가짐에 따라 구조적인 영향이 있음을 확인할 수 있었다. 또한 켄치 후 전류제한소자에 걸리는 전압은 페루프에서 250.30[V], 개루프 171.43[V]를 나타내었다.

직렬 연결된 2차 코일과 전류제한소자의 동작특성이 페루프와 유사성을 나타내었으나, 선로부에 병렬로 연결된 1차 코일에 인가되는 전압이 초기피크점이 아닌 63.79[ms]에서 135.09[V]까지 상승하는 것과 1차 코일로 흐르는 1차측 전류가 개루프인 경우에 페루프보다 초기에 동작되는 시간이 길어졌음을 확인할 수 있었다. 이로써 개방철심인 개루프 구조가 1차측에 더 많은 영향을 주었음을 알 수 있었다.

즉 초기과도 응답에 따른 동작속도는 페루프가 빨랐으나, 그에 따라 전류제한소자에 인가되는 전압의 크기도 함께 상승하여 운전특성에 비해 초기응답에서 전류제한소자가 부담하는 전압의 크기가 페루프인 경우에 더 커짐을 그림 5 (b)와 6 (b)를 통해서 관찰할 수 있었다. 하지만 개루프인 경우 사고가 발생한 선로전류의 초기 응답속도가 페루프에 비해 1.89[ms] 시간만큼 차이를 보임에 따라 전류변화율이 지연되었음을 알 수 있었다. 이는 공심과 철심간에 두 공간의 물질적 차에 의해 경계조건에서 투자율의 차이로 개루프인 경우 공심에서 자속이 퍼지려는 특성에 의해 자속 경로에 대한 흐름에 영향을 주어 이러한 차이를 가져왔으리라 사료된다. 그림 5와 6에 대해 기존의 철심인 'π' 구조를 사용했을 때에는 감극성의 페루프인 경우에 아래와 같은 관계식이 성립되었다.

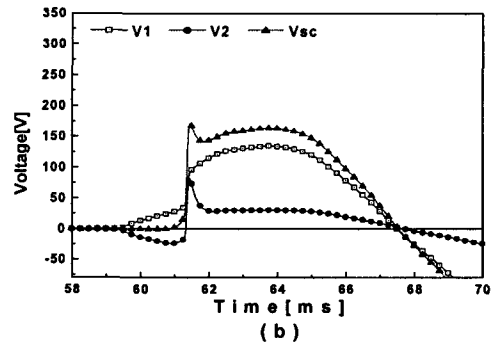
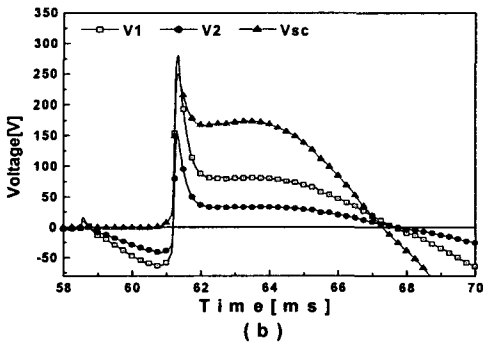
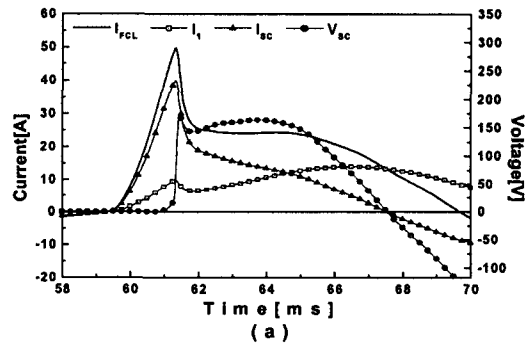
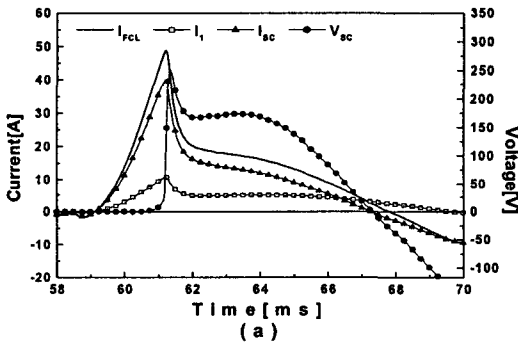


그림 5. 페루프 철심구조에서 감극결선의 동작곡선

a) 전류-전압, b) 전압

Fig. 5. Operating waveforms of a subtractive polarity winding in the closed-loop iron core structure

a) Current and voltage b) Voltage

그림 6. 개루프 철심구조에서 감극결선의 동작곡선

a) 전류-전압, b) 전압

Fig. 6. Operating waveforms of a subtractive polarity winding in the open-loop iron core structure

a) Current and voltage, b) Voltage

$$I_{FCL} = I_1 + I_{sc} \quad (7)$$

$$V_1 = V_{sc} - V_2 \quad (8)$$

$$V_1 = j\omega L_1 \cdot I_1 - j\omega M_1 \cdot I_{sc} \quad (9)$$

$$V_2 = -j\omega M_1 \cdot I_1 + (j\omega L_2 + R_{sc}) \cdot I_{sc} \quad (10)$$

하지만 ‘-’ 구조의 철심사용에서는 그림 5 (b)와 6 (b)의 전압관계식을 데이터값으로 산출했을 경우 페루프인 경우 63.79[ms]에서 V_1 이 164.71[V], V_2 가 135.09[V], V_{sc} 가 30.61[V]로 오히려 오차값이 증가하였다. 이에 반해 개루프인 경우 63.38[ms]에서 V_1 이 80.72[V], V_2 는 33.04[V], V_{sc} 가 173.60[V]로 오차값이 59.84[V]로 매우 큰 차이를 나타내었다.

3.2 가극결선시의 철심조건에 따른 동작 특성

그림 7과 그림 8은 전원전압을 200[V_{rms}]로 인가시 사고각 0°에서 가극결선시 페루프와 개루프 철심에 사용에 따른 사고발생 직후의 초기 반주기동안에 과도전압전류곡선과 각각의 코일양단과 전류제한소자에 인가되는 전압곡선을 나타내었다.

그림 7 (a)와 8 (a)에서 사고발생 후 반주기동안 페루프와 개루프의 초기피크 선로전류는 각각 30.71[A_{rms}]와 32.01[A_{rms}]까지 상승하였으나, 곧바로 제한되었다. 그림 5와 6에서 확인한 바와 같이 페루프인 경우가 개루프보다 초기제한하는 특성면에서 유리하였으나, 사고가 발생한 시점부터 최고피크점까지 걸리는 시간이 페루프는 2.05[ms], 개루프는

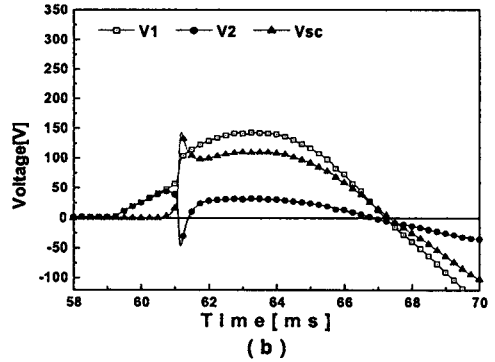
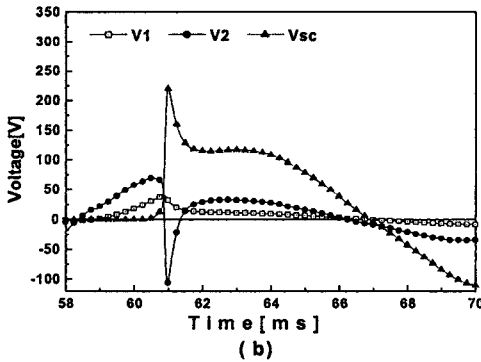
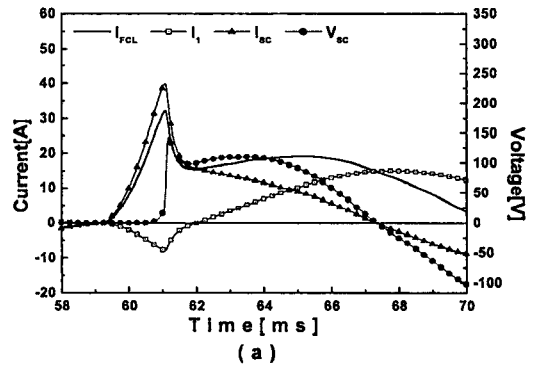
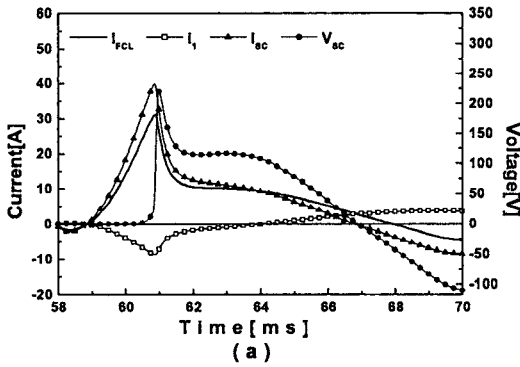


그림 7. 페루프 철심구조에서 가극결선의 동작곡선
a) 전류-전압, b) 전압

Fig. 7. Operating waveforms of an additive polarity winding in the open-loop iron core structure
a) Current and voltage, b) Voltage

그림 8. 개루프 철심구조에서 가극결선의 동작곡선
a) 전류-전압, b) 전압

Fig. 8. Operating waveforms of an additive polarity winding in the closed-loop iron core structure
a) Current and voltage, b) Voltage

자속구속형 초전도 전류제한기의 철심조건에 따른 특성

1.87[ms]가 소요됨에 따라 오히려 가극결선에서는 개루프의 동작속도가 빠르다는 것을 알 수 있었다. 그러나 감극결선에서 나타난 선로전류의 지연현상을 가극결선에서도 그림 7 (a)와 8 (a)를 통해 확인할 수 있었다. 페루프의 초기 응답시간이 9.06[ms]가 소요되는 반면에 개루프인 경우 11.59[ms]만큼 소요됨에 따라 전류변화가 지연되었음을 알 수 있었다. 또한 감극결선에서 전류제한소자 양단에 인가되는 전압특성은 가극결선에서도 페루프인 경우 최고 220.14[V_{rms}]와 개루프에서 142.73[V_{rms}]까지 상승함에 따라 페루프 사용시 전류제한소자의 부담을 가져왔음을 알 수 있었다. 아래는 가극결선시 기본 관계식을 나타낸다.

$$I_{FCL} = -I_1 + I_{sc} \quad (11)$$

$$V_1 = V_{sc} + V_2 \quad (12)$$

$$V_1 = j\omega L_1 \cdot I_1 + j\omega M_1 \cdot I_{sc} \quad (13)$$

$$V_2 = j\omega M_1 \cdot I_1 + (j\omega L_2 + R_{sc}) \cdot I_{sc} \quad (14)$$

그림 7 (b)와 8 (b)를 통해 페루프의 1차측 코일에 발생하는 전압의 크기가 62.34[ms]에서 33.02[V_{rms}]까지 상승하는 것과 대조적으로 개루프는 142.98[V_{rms}]까지 증가하여 상대적으로 현저한 차이를 보였다.

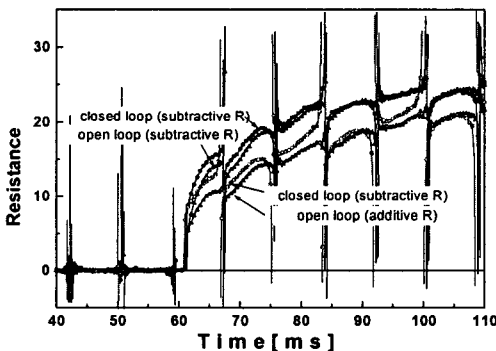


그림 9. 개루프 철심과 페루프 철심에서의 저항비교
Fig. 9. Comparison of the resistance in the open-loop and closed-loop iron core structure

즉 가극결선에서는 1차측에 인가되는 전압은 작을수록 이 합해지는 구조를 요구하므로 연결부위가 적은 개루프가 오히려 자속구속형 초전도 전류제한기의 기본동작특성을 충족하였다. 또한 식 (11)의 전류관계식에서 각각의 전류데이터에 의해 산출된 오차가 페루프가 0.32[A]이며, 개루프가 0.04[A]임에 따라 전압에 비해 전류는 구조적인 영향이 적음을 알 수 있었다.

그림 9는 2차 코일과 전류제한소자에 인가되는 전압에서 산출된 데이터값에 의해 각각의 철심구조에 따라 감극결선과 가극결선에서의 소자저항을 비교하여 나타내고 있다. 5주기인 142.50[ms]에서 각 저항값은 페루프 감극결선시 29.71[Ω], 가극결선에서는 24.67[Ω]이며, 개루프인 경우 감극결선시 25.51[Ω], 가극결선은 23.88[Ω]값을 나타내었다. 감극결선시는 동일조건에서 저항값이 가극결선보다 높기 때문에 상대적으로 전류제한소자의 부담이 커지며, 가극결선인 경우는 저항값이 낮은 수치를 나타냄에 따라 인가하는 전압을 감극결선보다 더 높일 수 있다. 또한 개루프인 경우가 페루프일 때보다 저항값이 낮기 때문에 전류제한소자에 주는 영향이 더 적음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 YBCO박막을 사용한 자속구속형 초전도 전류제한기를 설계·제작하여 강자성체 철심조건으로써 개루프와 페루프의 설계파라미터에 따른 실험을 수행하였다. 이에 대한 동작특성을 파악하기 위하여 감극결선과 가극결선에 대하여 전류제한특성을 비교 및 분석하였다.

정상 동작시에는 철손에 의한 손실이 없으므로, 선로에 영향이 적으나 사고시에는 강자성체 철심이라는 자속매개체에 의해 자속구속형 초전도 전류제한기가 운전됨에 따라 철심구조에 대한 실험조건에 대한 분석은 중요하다. 철심에 대한 설계가 적절하지 않을 경우 철심포화로 인한 문제가 수반되므로, 적절한 설계가 필요한 구조이다. 철심포화를 둔화시킬 수 있는 방안으로 공심부를 뒀으로써 철심포화현상을 지연시킬 수 있으므로, 개루프와 페루프에 대

한 성능평가실험을 하였다.

연구에 사용된 ‘-’구조는 설계와 제조가 간단하나 연결부위가 기존의 구조보다 많기 때문에 자장에 의한 기계적인 진동이나 누설자속에 의해 자속구속형 초전도 전류제한기의 특성저하를 유발함으로써 개루프보다 페루프의 오차값이 커졌다. 그러나 초기사 고전류를 억제하는 측면에서 여전히 페루프가 초기 과도 응답에 따른 운전특성이 유리함을 알 수 있었다. 개루프인 경우 공극과 자속간의 물질적인 차이에 의한 경계조건 및 투자율에 의한 초기응답시간이 지연됨을 확인하였다. 또한 개루프에 의한 철심을 사용시 발생하는 저항이 페루프보다 낮게 발생됨에 따라 전류제한소자에 주는 부담이 줄어들어 이로 인해 인가할 수 있는 전압의 크기 또한 증대할 수 있으며, 크기와 부피를 줄여 경제적인 효율성도 있을 것이다. 따라서 전력계통내의 다양한 운전특성에 따라 초전도 전류제한기를 페루프 구조 혹은 개루프 구조로 설계함으로써 그 장점을 극대화할 수 있을 것이다.

이 논문은 2005년도 조선대학교 연구보조비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Choi Hyo-Sang, Kim Hye-Rim, and Hyan Ok-Bae, "Quench characteristics of resistive superconducting fault current limiters based on YBa₂Cu₃O₇ films", *Physica C*, Vol. 351, pp 415, 2001.
- [2] 김준환, 이강완, "전력계통, 고장전류 증대와 대응방안", *전기저널*, pp. 19-31, 1998.
- [3] L. salasoo, A.F. Imece, R. W. Delmerico, and R. D. Wyatt, "Comparison of superconducting fault current limiter concepts in electric utility applications", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 5, No. 2, pp.1079, 1995.
- [4] 박형민, 임성훈, 박중립, 최효상, 한병성, "자속구속형과 저항형 초전도 전류제한기의 특성비교", *전기전자재료학회논문지*, Vol. 18, No. 4, pp. 365, 2005.
- [5] 최효상, 현옥배, 김혜림, 황시돌, "15kVA급 박막형 초전도 전류제한기 한류특성", *전기전자재료학회 논문지*, Vol. 13, No. 12, pp. 1058-1062, 2000.

◇ 저자소개 ◇

남궁현 (南肯賢)

1979년 10월 22일생. 2005년 조선대학교 전기공학과 졸업. 2005년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.
Tel : 062-230-7054
Fax : 062-230-7020
E-mail : kkoragi@hotmail.com

이나영 (李娜映)

1980년 8월 2일생. 2004년 조선대학교 전기공학과 졸업. 2005년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.
Tel : 062-230-7054
Fax : 062-230-7020
E-mail : revise@hanmail.net

최효상 (崔孝祥)

1966년 2월 21일생. 1989년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2003년~한전 전력연구원 선임연구원. 현재 조선대학교 전기공학과 교수.
Tel : 062-230-7025
Fax : 062-230-7020
E-mail : hyosang@chosun.ac.kr

조금배 (曹錦培)

1954년 1월 18일생. 1980년 조선대 전기공학과 졸업. 1995년 건국대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1966년 6월~1987년 2월 미국 Univ. of oklahoma 객원 연구원. 1988년 1월~1999년 2월 미국 oregon state Univ. 교환 방문교수. 2003년 현재 조선대학교 전기공학과 교수, 조선대 창업보육센터. 인터넷 창업보육센터장.
Tel : 062-230-7031
Fax : 062-230-7020
E-mail : gbcho@chosun.ac.kr