

고온초전도체를 이용한 자속구속 리액터의 사고시 발생하는 자계 분석

임성훈, 최효상¹, 강형곤, 고석철, 이종화, 최명호², 송재주³, 한병성⁴
전북대학교, 조선대학교, 광주보건대학¹, 순천청암대학²

Analysis for Magnetic field generated in the Flux-Lock Type Reactor using HTSC during a fault time

Sung-Hun Lim, Hyo-Sang Choi¹, Hyeong-Gon Kang, Seok-Cheol Ko, Jong-hwa Lee,
Myung-Ho Choi², Jae-Joo Song³, and Byoung-Sung Han

Chonbuk National Univ., Chosun Univ., Kwangju Health College¹, Sun Cheon Chongam College²

Abstracts

The magnetic field generated in the iron core, which is required for the magnetic field to link each coil of the flux-lock type reactor, affects the fault current limiting characteristics of the flux-lock type high-Tc superconducting fault current limiter(SFCL). By applying numerical analysis for equivalent circuit of flux-lock type SFCL, the magnetic field induced in the iron core including currents of each coil was investigated. Through the analysis of magnetic field, we have analyzed that the magnetic field linked the 3rd coil, which is wound in the iron core, prevents the saturation of the iron core, but decreases the impedance of the flux-lock type SFCL.

Key Words : flux-lock type reactor, fault current limiting characteristics, flux-lock type high-Tc superconducting fault current limiter(SFCL), numerical analysis, equivalent circuit

1. 서 론

실제통 적용을 위한 고온초전도 전류제한기 개발을 위해서는 단위 고온초전도소자의 직병렬 연결을 통한 용량증대가 필수적이며 재료적인 제약을 극복하기 위해 단위소자가 갖는 통전용량과 한류저항을 증가시키기 위한 방안이 요구되고 있다 [1-4].

지금까지 개발된 고온초전도 전류제한기 중에서 자속구속형 고온초전도 전류제한기는 단위소자가 갖는 통전용량을 증가시킬 수 있을 뿐 아니라 사고초기에 제한되는 전류크기를 구성하고 있는 코일의 인덕턴스를 조절하여 설정할 수 있으며 자계인가코일을 이용하여 별도의 전원없이 한류동작시에만 자계가 시편에 가해짐으로서 사고시 소자의 저항을 증가시킬 수 있는 특징이 있다.

본 논문에서는 고온초전도체를 이용한 자속구속형 리액터에서 고온초전도체의 저항발생과 함께 발생하는 자계크기를 구하였다. 이로 대한 분석은 전원단과 부하단이 연결된 등가회로에 대해 수치해석을 적용한 컴퓨터시뮬레이션을 통해 수행하였으며 설계조건에 따른 사고시 철심내부에서 발생하는 자계크기를 조사하였다.

본 논문에서 시뮬레이션을 통해 검토된 설계파라미터를 이용하여 실제제작을 위한 자료로 활용하고자 한다.

2. FDM에 의한 컴퓨터 시뮬레이션

자속구속형 고온초전도 전류제한기를 구성하는 자속구속 리액터의 구조는 그림 1과 같이 철심코어를 매개로 코일 1, 2와 3을 적층시켜 누설자속을

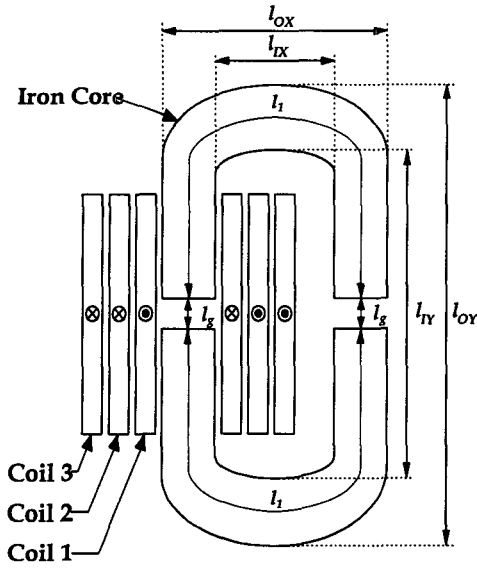


그림 1. 자속구속형 리액터 구조.

Fig. 1. Structure of a flux-lock type reactor.

표 1. 자속구속형 리액터 사양.

Table 1. Specification of a flux-lock type reactor.

Iron Core(LaminatedSi)	Size	Unit
Outer Horizontal Length(l_{ox})	106	mm
Outer Vertical Length (l_{oy})	171	mm
Inner Horizontal Length(l_{ix})	41	mm
Inner Vertical Length (l_{iy})	106	mm
Thickness (d)	85	mm
Coil 1, 2 and 3	Value	Unit
Number of turns of Coil 1	42	Turns
Number of turns of Coil 2	14	Turns
Number of turns of Coil 3	7, 14, 28, 42	Turns

최소화되도록 설계하였으며 철심코어의 크기를 포함한 각 코일의 턴수는 표 1과 같다.

3차 권선을 포함한 자속구속형 고온초전도 전류 제한기의 동작특성을 시뮬레이션하기 위해 선로저항 및 선로 인덕턴스와 부하저항을 포함한 파라미터로 구성된 등가회로(그림 2)로부터 미분방정식을 유도하였으며 수치해석 기법 중에 하나인 FDM(finite difference method)을 적용하여 아래식과 같이 전개하였다.

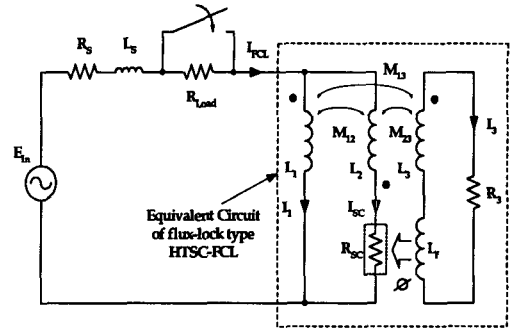


그림 2. 모의 사고의 시뮬레이션을 위한 등가회로.
Fig. 2. Equivalent circuit for simulation of a trial accident.

$$L = \begin{bmatrix} L_S - M_{12} & L_S + L_2 & M_{23} \\ L_1 + M_{12} & -(M_{12} + L_2) & -(M_{13} + M_{23}) \\ -M_{13} & M_{23} & L_3 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} R_S + R_{Load} & R_S + R_{Load} + R_{SC} & 0 \\ 0 & -R_{SC} & 0 \\ 0 & 0 & R_3 \end{bmatrix}$$

$$I = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_{SC} \\ I_3 \end{bmatrix} \quad \Delta I = \begin{bmatrix} \Delta I_1 \\ \Delta I_{SC} \\ \Delta I_3 \end{bmatrix} \quad V = \begin{bmatrix} E_{IN} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$V = R \cdot I + L \cdot \Delta I / \Delta t$$

여기서 R_S , L_S 은 선로저항 및 선로 인덕턴스를, R_{load} , R_{SC} 는 부하저항, 고온초전도 소자의 저항을 나타내며, M_{12} , M_{23} , M_{13} 은 각 권선 간의 결합 계수를 나타낸다. 전개한 방정식으로부터 시간마다 변화된 전류 값을 아래 식과 같이 구하였다.

$$\Delta I = X^{-1} \cdot E_{IN} \Delta t - X^{-1} \cdot R \cdot I \Delta t$$

사고 후 고온초전도 소자에서 발생하는 저항은 그림 3과 같이 실험으로부터 얻은 저항 값을 선형 근사화시켜 제한기 동작 시뮬레이션에 도입하여 동작특성을 분석하였다.

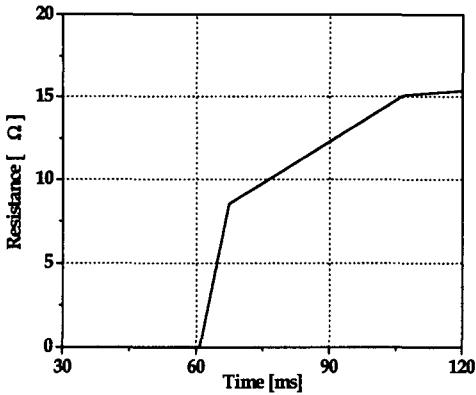


그림 3. 시뮬레이션을 위한 고온초전도 소자의 근사저항 곡선
 Fig. 3. Resistance curve of HTSC element simplified for simulation

3. 결과 및 고찰

자속구속형 리액터내부에 발생하는 자계는 1, 2차 권선에 의해 상호 상쇄되기 때문에 평상시에는 철손이 발생되지 않는 장점이 있으며, 사고가 발생되어 고온초전도 소자의 저항이 발생할 경우 각각의 권선에 자속이 쇄교되어 제한기 임피던스가 발생되며 사고전류를 제한하게 된다. 이때 3차 권선은 사고시 철심의 내부자속을 감소시키므로써 철심의 포화를 억제할 수 있을 것으로 기대된다.

이를 분석하기 위한 모의사고회로의 전원전압은 50 Vrms, 전원저항 및 부하저항은 각각 1Ω, 50Ω으로 설정하였으며 0° 사고를 5주기 동안 유지하였다. 그림 4는 3차 권선이 없는 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 사고시 각 권선에 흐르는 전류와 선로전류를 포함한 철심내부에서 발생하는 자계파형을 보여준다. 사고직후에 선로전류의 피크가 최대가 되는 지점에서 철심내부 자계의 피크가 나타나지만 이후 고온초전도 소자의 저항증가가 완만한 뒤부터는 선로전류의 피크와 내부자계의 피크가 나타나는 시점에서 약 90°의 위상차가 발생하는 것을 비교할 수 있다.

3차 권선을 도입한 경우(그림 5)의 선로전류를 포함한 사고직후 철심내부에서 발생하는 자계는 사고시 3차권선에 흐르는 전류로 인해 철심내부에서 발생하는 자계의 피크는 감소된 반면 제한되는 사

고전류의 크기는 3차권선이 없는 경우보다 증가되는 것을 비교할 수 있다. 이는 3차권선으로 인해 제한기 임피던스가 감소된 결과로 철심의 포화와 제한기 임피던스를 고려한 자속구속 리액터 설계가 이루어져야 될 것으로 생각된다.

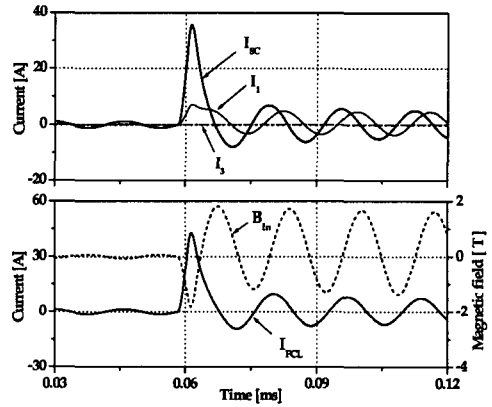


그림 4. 3차권선이 없는 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 철심내부의 자계를 포함한 각 권선에 흐르는 전류파형

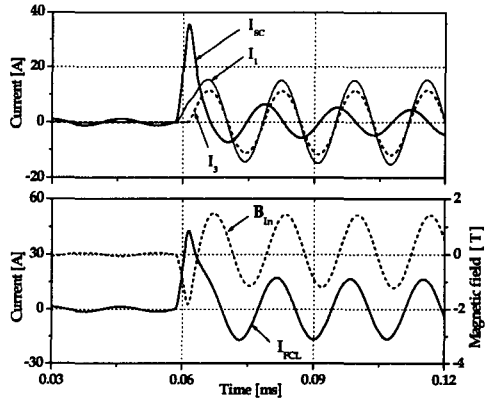


그림 5. 3차권선을 도입한 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 철심내부의 자계를 포함한 각 권선에 흐르는 전류파형

4. 결론

본 논문에서는 고온초전도체를 이용한 자속구속형 리액터에서 고온초전도체의 저항발생과 함께 발생하는 자계변화를 등가회로를 이용한 수치해석

을 통해 분석하였다. 3차 권선으로 인해 사고시 자속구속 리액터의 포화가 억제될 수 있음을 확인할 수 있었으며 3차 권선으로 인한 제한기 임피던스의 감소를 고려한 자속구속 리액터 설계가 이루어져야 될 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프
라구축지원사업으로 수행된 논문입니다.

참고 문헌

- [1] R. K. Smith, P. G. Slade, M. Sarkozi, E. J. Stacey, "SOLID STATE DISTRIBUTION CURRENT LIMITER AND CIRCUIT BREAKER:APPLICATION REQUIREMENTS AND CONTROL STRATEGIES", IEEE Trans. on Power Del., Vol. 8, pp.1155-1164, Jul., 1993.
- [2] V. D. Pham, Y. Laumoud, T. Verhaege, A. Fevrier, M. Collet, M. Bekhaled, " Towards The Superconducting Fault Current Limiter, IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 6, pp. 801-808 April 1991.
- [3]. Min seok Joo and Tae Kuk Ko, "The Analysis of the Fault Currents According to Core Saturation and Fault Angles in an Inductive High-Tc superconducting Fault Curret Limiter", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 6, pp. 62-67, June, 1996.
- [4] B. Gronoll, G. Ries, W. Schmidt, H.-P. Kraemer, B. Seebacher, B. Utz, R. Nies and H.-W. Newmuller, Siemens AG, "Resistive Fault Current Limiters with YBCO films - 100kVA Functional Model", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 9, pp. 656-659, June, 1999.
- [5] H. Kado and M. Ichikawa, "Performance of A High-Tc Superconducting Fault Current Limiter-Design of A 6.6kV Magnetic Shielding Type Superconducting Fault Current Limiter", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 7, pp.993-996, June, 1997.
- [6] C. A. Falcone, J. E. Beehler, W. E. Mekolites and J. Grazen, "Current Limiting Device - A Utility's Need", IEEE Trans. on PAS, Vol. 93, pp.1768-1775, Nov.,1974.