

삼상 변형 브리지 형태 한류기의 단순계통적용 시뮬레이션

이응로, 이승제, 이찬주, 김태중*, 고태국
 연세대학교 전기전자공학과, 성남기능대학 전기과*

Simulation of the Three-Phase Modified Bridge Type Fault Current Limiter for Simplified Power System

Eung Ro Lee, Seungje Lee, Chanjoo Lee, *Tae Jung Kim, Tae Kuk Ko
 Dept. of Electrical & Electronic Eng., Yonsei University,
 *Dept. of Electrical Eng. Sunnam polytechnic College

E-mail: un glo@yonsei.ac.kr

Abstract - This paper deals with the operational characteristics of the three-phase modified bridge type fault current limiter(FCL) for 3.3kV/200A power system. This is a preliminary step to develop the FCL's faculties for an application to high voltage transmission line. A three-phase modified bridge type FCL consists of transformers, diodes, and a high-Tc superconducting coil. As the results of simulations, when the FCL of 1.5H inductance was installed in the power system, the fault current was reduced to be about 90% of that without FCL.

1. 서 론

한류기는 전력계통의 용량증가로 인한 기존의 차단기의 성능을 향상시킬 때 발생하는 추가 비용을 줄일 수 있고 고가의 전력 기기를 효과적으로 보호할 수 있다. 이러한 장점 때문에 많은 나라에서 상용화를 목표로 연구 진행 중이다. 특히 고온초전도선재를 이용한 한류기는 고온 초전도체의 응용분야 중 실제 계통에 적용이 가능한 전망 있는 기술이다 [1],[2].

Modified bridge type 한류기는 여러 가지 형태의 한류기 중 하나이다. 이 형태의 한류기는 초전도체의 퀴치를 이용하는 다른 형태의 한류기와는 달리 초전도 코일의 인덕턴스를 이용하여 사고전류를 제한하는 구조로 되어 있다. 즉, 삼상형 modified bridge type 한류기는 전력계통 자체 내에 급격한 전류변화를 제한하고, 단상형의 경우보다 손실, 비용, 설치면적의 면에서 유리하고, 상전이와 교류손실이 없다는 장점으로 인해 고온 초전도 선재의 응용면에서 훨씬 유리한 상황에 있다. 현재까지 고온초전도 코일을 사용한 단상형 modified bridge type 한류기의

실험은 완료되었으며, 삼상 계통에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다[3]. 본 연구에서는 향후 실험하게 될 삼상형 modified bridge type 한류기의 동작특성에 관한 연구와 prototype 설계를 위한 요소분석을 하였다.

2. 삼상형 modified bridge type FCL의 구조 및 동작특성

2.1 구조

삼상형 modified bridge type 한류기는 정류회로를 통해 정류된 전류를 초전도 코일로서 제한하는 원리로 동작하게 된다. 그 구조를 대략적으로 살펴보면 보면 계통과 한류기를 연결해주는 변압기, 초전도 코일로 보낼 직류를 정류하는 다이오드, 사고 전류가 발생했을 때 그 전류를 제한하여 주는 초전도 코일과 초전도상태 유지를 위한 cryostat로 이루어져 있다. 그림 1은 삼상형 modified bridge type 한류기의 개략도이다.

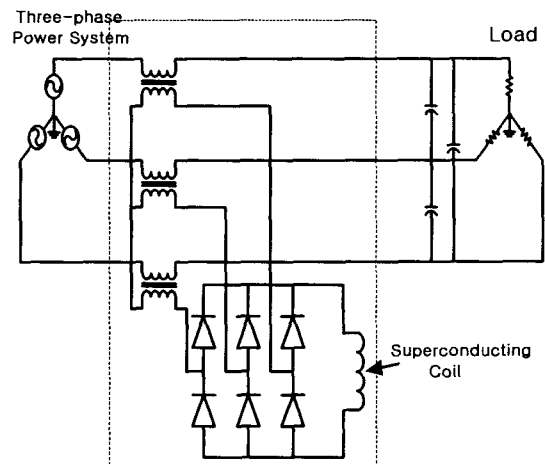


Fig. 1. Schematic drawing of FCL

Table I. The number of elements of single-phase & three-phase FCL.

Type	Single-phase FCL	Three-phase FCL
Transformer	0 or 3	3
Diode	12	6
S/C coil	3	1
Cryostat	3	1
DC source	3	0

삼상의 전력 계통에 단상형 modified bridge type 한류기를 장착할 경우 각 선로에 단상형 한류기 3기가 장착 되게 된다. 그러나, 그림 1에서 볼 수 있듯이 삼상형 modified bridge type 한류기는 계통에 단상형 한류기를 장착했을 경우와 비교해 볼 때 손실, 비용, 설치면적 등의 측면에서 월등한 이점이 있다[4]-[6]. 표 I은 단상형과 삼상형 modified bridge type 한류기 부품의 수량을 비교한 것이다.

2.2 동작원리

삼상형 modified bridge type 한류기의 기본적인 동작원리는 일반적인 bridge회로와 동일하다. 교류 전류를 정류하여 초전도 코일로 직류 전류를 흐르게 하는 것이다.

전력계통에 정상적 전원이 인가될 경우 초전도 코일에는 일정한 직류가 흐르게 된다. 다시 말해서, di/dt 가 0 이므로 코일에 의한 전압강하는 거의 없는 것이다. 따라서, 회로 내에서의 전력 손실은 선재에 의한 손실과 다이오드에 의한 손실이다. 그러나, 초전도 선재를 사용하므로 손실을 최소화 할 수 있다. 또한 다이오드를 통해서 걸리는 전압에 의한 손실의 값은 매우 적다고 할 수 있다. 즉, 정상상태에서 한류기에 의한 손실은 거의 없다고 할 수 있다.

전력계통에 단락사고가 발생할 경우 각각의 다이오드에 걸리던 전압은 정상 상태에 비해서 수십 배 증가하게 되고, 사고 전류가 초전도 코일을 통해서 흐르게 된다. 여기서 사고 전류는 코일을 통과하게 되고 코일의 인덕턴스로 인해 전류가 급격히 증가하지 못하고 서서히 증가하게 된다. 따라서, 사고가 발생하여도 초기에는 계통에 큰 영향을 미치지 못한다. 결과적으로 사고 전류가 완전히 증가하지 않은 상태에서 차단기가 동작하여 전원으로부터 회로를 차단할 경우 계통을 완벽하게 보호하게 되는 것이다.

2.3 설계요소

계통에서 사고가 발생하면 차단기는 현재의 기술적 여건 상 사고 후 4~5cycle 후에 동작하

게 된다. 사고 후 5cycle동안은 계통에 큰 사고 전류가 흐르게 되고, 이 사고 전류는 계통에 연결되어 있는 설비나 사람의 안전에 위험을 줄 수도 있다. 즉, 한류기는 사고전류가 계통의 안전을 보장하는 임계값 이상을 넘지 않도록 하는 것이 그 목적이다. 따라서, 한류기를 어떤 계통에 장착할 목적으로 제작을 하기 위해서는 사전에 그 계통에서 요구하는 한류기의 용량에 따라서 부품들의 설계요소에 대한 평가가 필요하다.

한류기는 그림 1에서처럼 전력계통에 변압기에 의해 연결된다. 즉, 정상상태에서 한류기에 흐르는 전류는 계통에 흐르는 전류에 대한 변압기의 권선비에 의해 결정된다. 계통에 사고가 발생하게 되면 그림 2에서 보여지는 것과 같이 사고전류는 지수적으로 증가하게 된다. 이는 사고 전류가 코일의 인덕턴스에 의해 제한되기 때문이다. 따라서 설계시에는 사고 5cycle 후에 예상되는 사고제한전류의 값이 초전도 코일의 임계전류를 넘게 하지 않도록 해야 한다. 또한, 다이오드, 변압기 등의 절연파괴를 사전에 방지할 수 있는 고려도 요구된다. 표 II는 삼상형 modified bridge type 한류기의 시뮬레이션 요소 값이다.

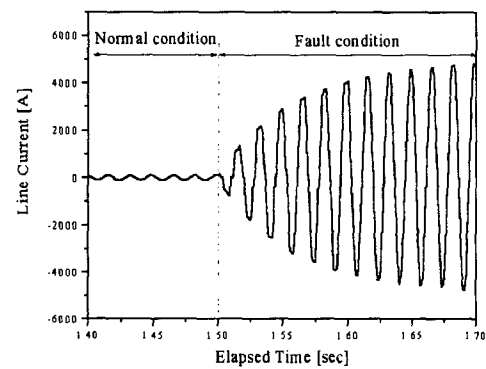


Fig. 2. Line current at the normal and fault condition

Table II. Simulation parameter of FCL.

Parameter/Symbol	Value
Rated voltage/Vs	3.3kV
Rated Current/Is	200A
Internal resistance/Ri	0.5Ω
Load resistance/RL	10Ω
Bridge resistance/RB	0.01Ω
Turns ratio of transformer	1:1
Coil inductance/L	1.5H

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

표 II의 요소 값들을 이용하여 회로에 사고를 발생시켜 5cycle이 지난 후 다시 사고를 회복시키는 시퀀스로 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션을 수행하기 위한 조건으로는 첫째, 계통의 정격용량은 3.3kV/200A이고, 둘째, 계통의 안전을 보장하는 한계전류는 600A이고, 셋째, 고온초전도 코일의 임계전류값은 500A인 것으로 가정하였다.

그림 3은 계통에 한류기가 설치되어 있는 경우와 없는 경우의 사고전류이다. 한류기가 없는 경우 사고가 발생하면 5157A의 전류가 계통에 흐르게 된다. 그러나, 그림에서 보여지는 것과 같이 초전도 코일의 인덕턴스가 1.5H인 한류기를 장착함으로써 사고전류의 약 90%를 제한할 수 있음을 알 수 있다.

그림 4는 그림 3에서 초전도 코일 인덕턴스가 1.5H인 한류기를 장착한 경우의 계통전류를 자세히 보여 주고 있다. 인덕턴스가 1.5H일 때 계통의 전류는 5cycle동안 485A까지 상승한다. 변압기의 권선비가 1:1이므로 초전도 코일에도 485A가 흐르게 된다. 따라서, 초전도 코일의 임계전류가 485A이하가 되면 초전도 코일이 상전이 되어 열로 인한 초전도 코일의 파손이 우려된다. 즉, 표 2의 사양으로 한류기를 설계한다면 초전도 코일의 안전을 위해 485A이상의 임계전류를 가지는 초전도 코일을 사용해야 함을 알 수 있다.

그림 5는 정상 시와 사고 시의 한류기의 전압과 계통 내의 전류를 보여주고 있다. 사고 전에는 한류기에 전압이 거의 걸리지 않다가 사고 후 5cycle 동안 계통의 전압의 95% 이상이 한류기로 걸리는 것을 알 수 있다. 다시 말하면, 정상 상태에서 한류기는 임피던스가 발생하지 않으나 사고 상태가 되면 급격한 임피던스가 발생하여 계통내의 사고 전류를 제한되는 것이다. 그림을 통해 보면 전압과 전류의 비가 임피던스이므로 그래프의 기울기를 통해서 임피던스의 발생을 확인할 수 있다. 한류기의 신뢰성을 보장하기 위해서는 사고 후 한류기에 큰 전압이 걸리므로 설계 시에는 다이오드, 변압기 등의 절연과피에 대한 안전성 검토가 필요하다.

그림 6은 코일 인덕턴스를 각각 0.5H, 1H, 1.5H, 2H, 2.5H로 했을 때에 코일에 흐르는 전류를 보여주는 것이다. 그림 4와 비교해 보면 인덕턴스의 증가에 따라서 계통내에 흐르는 전류의 특성을 알 수 있다.

그림 7은 사고지점에서 5cycle이 경과된 후의 한류기에서 제한된 사고전류량과 초전도 코일의 인덕턴스변화를 보여주고 있다. 그림을 볼 때 초전도 코일의 인덕턴스가 0.5H인 경우 사고 전류의 약 82%, 1H인 경우 약 88%, 1.5H인 경우 약 90%가 제한됨을 볼 수 있다. 즉, 초전도 코일의 인덕턴스증가에 관한 한류기의 사고전류제한능력의 향상은 초전도 코일의 인덕턴스가 0.5H가 된 이후부터는 미미한 증가를 보임을 알

수 있다. 이 점에서 볼 때 효율의 측면에서 최적의 초전도 코일 인덕턴스는 0.5H~1H가 될 것이다. 그러나, 초전도 코일 인덕턴스가 0.5H일 때 사고지점에서 5cycle이 경과된 후의 전류값은 896A, 1H일 때는 591A로서 시뮬레이션의 조건에 의해 계통에 손상을 입히거나 초전도체에 흐르는 전류도 임계전류값인 500A를 넘게되어 초전도체가 상전이될 위험이 있게 된다. 결과적으로 3.3kV/200A의 전력계통을 위한 한류기는

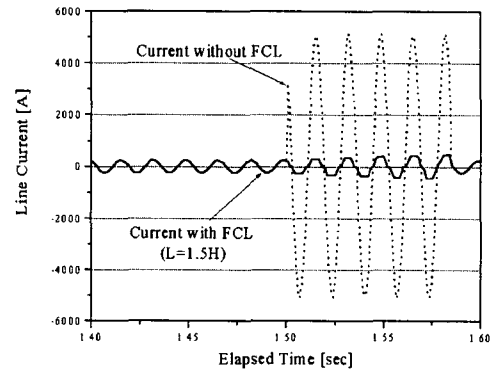


Fig. 3. Line current in fault condition

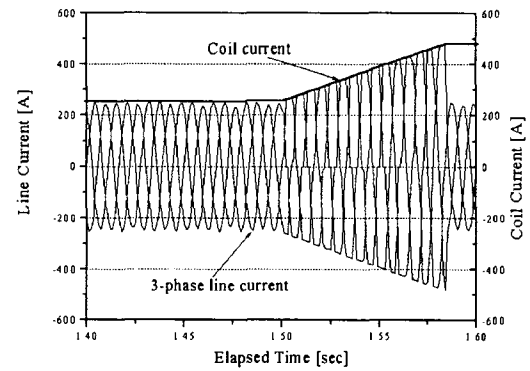


Fig. 4. Line and coil current with FCL in fault condition

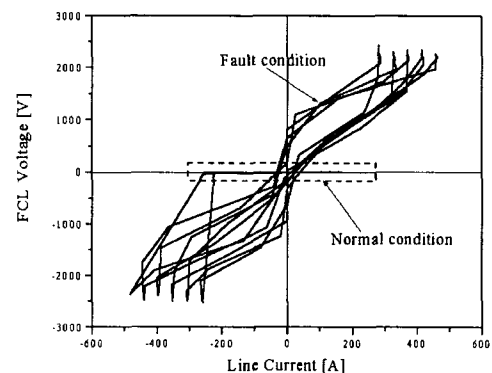


Fig. 5. Line current versus FCL voltage

[참 고 문 헌]

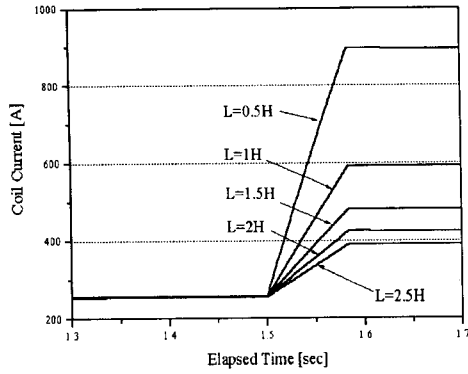


Fig. 6. Coil current with respect to coil inductance

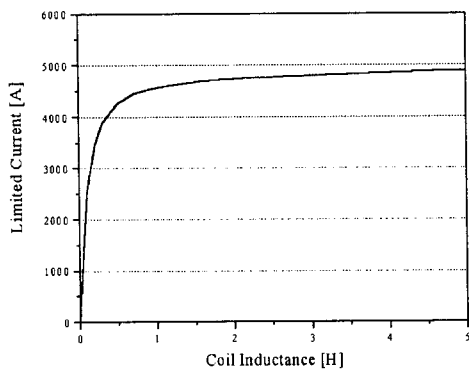


Fig. 7. Limited current with respect to coil inductance after 5 cycle in fault condition

1.5H의 인덕턴스를 가지는 초전도 코일을 사용해야 한다. 즉, 설계시에는 시스템이 요구하는 사양에 따라서 초전도 코일의 인덕턴스, 계통의 안전이 보장되는 한계전류, 초전도 코일의 임계전류간에 최적화가 요구된다.

4. 결 론

본 연구에서는 3.3kV/200A급의 전력계통을 위한 삼상형 modified bridge type 한류기의 동작 특성과 설계 요소에 대한 해석을 하였다. 시뮬레이션 결과 한류기의 초전도 코일 인덕턴스를 1.5H를 하였을 경우 한류기가 없는 경우에 비하여 사고전류 90% 정도를 제한할 수 있었다. 또, 코일 인덕턴스의 값을 선택할 때 효율성의 측면에서 보면 최적의 코일 인덕턴스는 0.5H~1H가 되지만 계통자체에서 요구하는 한계전류값과 고온초전도 코일의 임계전류값들도 인덕턴스의 선택에 중요한 고려사항이 됨을 알 수 있었다.

[1] Takashi Yazawa, "Design and Test Results of 6.6kV High-Tc Super-conducting Fault Current Limiter", Conf. ASC2000, Sept. 17-22, 2000

[2] Marten Sjostrom and Politano, "Technical and Economical Impact on a Power System by Introducing an HTS FCL", Conf. ASC2000, Sept. 17-22, 2000

[3] S.J.Lee, "The Conceptual Design and Estimate Superconducting Magnetic Energy Storage Device for Improvement of Power System Stability", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 7.19-21, 1999

[4] Takahiro Nomura, "One dc reactor type fault current limiter for 6.6kV power system", Conf. ASC2000, Sept. 17-22, 2000

[5] K. Yokoyama, "An Application of One DC Reactor Type Fault Current Limiter as a Power Source", Conf. ASC2000, Sept. 17-22, 2000

[6] T. Satoh, "Three-phase Fault Current Limiter with One dc S/N Transition Element", Conf. ASC2000, Sept. 17-22, 2000