Proceedings of the Korean Superconductivity Society Meeting 2000
(KSS 2000), YongPyung, Kangwondo, Korea, Aug. 16-18, 2000

전자장 해석을 통한 rod type 고온초전도한류기 설계 및 동작특성 해석

이찬주*[a], 이승제[a], 현옥배[b], 고태국[a]

[a] *Yonsei University, Seoul, Korea*
[b] *Korea Electric Power Research Institute, Daejun, Korea*

Received 26 July 2000

Abstract

자기차폐형 고온초전도한류기에서 철심의 포화 문제와 더불어 가장 문제가 되는 것은 공극의 크기이다. 고온초전도 tube와 철심 또는 일차 권선과 초전도 tube 사이에서의 공극은 정상상태에서 불필요한 전압강하의 원인이 된다. 이러한 전압강하는 시스템에서의 불안정성을 초래할 수 있기 때문에, 공극의 결정은 고온초전도한류기의 설계에 있어 가장 중요한 요소가 된다. 또한, 사고 발생시 나타나는 고온초전도한류기의 임피던스는 사고 전류를 제한하는 주요한 요소이다. 다양한 parameter의 변화를 통하여 고온초전도한류기의 임피던스 변화를 관찰하였고, 임피던스 변화에 따른 전류제한 효과를 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 시뮬레이션의 결과를 이용하여 440V 급 Rod type 고온초전도한류기를 설계하였으며, 동작 특성을 해석하였다.

Keywords: 고온초전도한류기, 초전도 tube, 공극, Rod type, 임피던스 변화

I. Introduction

고온초전도한류기는 현재 초전도 전력 기기 중 가장 상용화가 빠를 것으로 기대되는 기기이다. 미국의 경우 DoE의 주관으로 GA 등의 회사들이 전력 diode를 사용한 DC bridge 회로를 이용한 모델[1]을 선보였으며, 스위스 ABB의 경우, 자기 차폐형 모델을 이용해 실증실험을 무사히 마쳤다. 고온초전도한류기는 선진 각국에서 가장 경쟁적으로 개발하고 있는 초전도 기기이므로, 서로 독자적인 모델을 개발하기 위해 노력을 기울이고 있다. Rod type의 고온초전도한류기[2]는 기존의 closed flux path의 iron core를 갖는 자기 차폐형 고온초전도한류기와는 달리 open된 형태의 iron core를 갖는 고온초전도한류기를 말한다. Rod type 고온초전도한류기의 임피던스는 기존의 자기 차폐형 고온초전도한류기가 갖는 임피던스에 비해 상대적으로 작다. 하지만, 구조가 간단하고 우리나라와 같은 변전소의 면적이 협소한 나라에서는 유용하게 쓰일 수 있는 모델로 생각된다. 또한, 제작이 용이하며, 유지 보수 또한 쉬운 장점이 있다. 본 논문에서는 이러한 Rod type의 고온초전도한류기를 제작, 실험하기위해 전자장 해석을 수행하였으며, 그 결과를 이용하여 사고 발생시의 전류 파형을 도출하여 기존의 사고 발생시 전류 파형과 비교하였다.

*Corresponding author. Fax: +82 2 3 3436
e-mail: superlab@yonsei.ac.kr
This work is supported by Brain Korea 21.

II. Simulation

Rod type 고온초전도한류기의 설계를 전자장 해석을 통해 임피던스를 계산하고, 회로 시뮬레이션을 이용하여 설계된 고온초전도한류기가 440V급 line에 투입되었을 경우를 분석하였다. Rod type 고온초전도한류기의 모델은 그림 1과 같다. 고온초전도 tube와 iron core와의 간격, 1차 권선의 높이, iron core의 높이의 변화에 따른 임피던스의 변화를 관찰하였다.

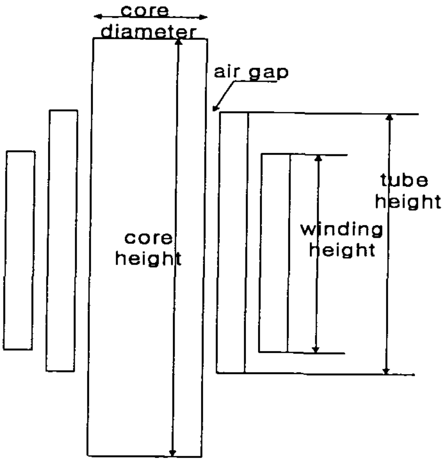


Fig. 1. A cross section of a Rod type SFCL

Table 1. Parameters of a Rod type SFCL

Parameter	Value [mm]
Core diameter	92
Core height	300
Air gap	5-20
Winding height	50-200
Tube height	150- 400

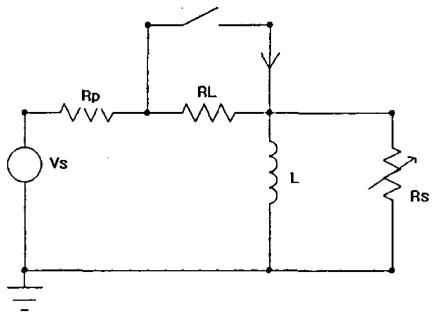
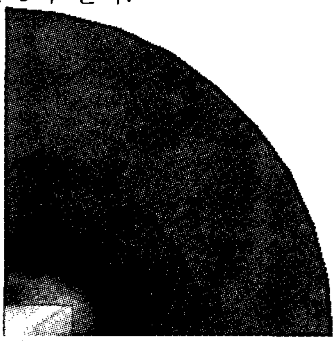
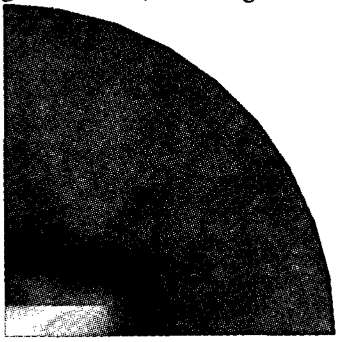


Fig. 2. Equivalent Circuit of a Rod type SFCL

Table 1은 고온초전도한류기의 전자장 시뮬레이션을 위한 값 또는 값의 변화를 나타낸다. 고온초전도한류기 동작 특성 시뮬레이션에 도입된 등가회로는 아래 그림 2와 같다. 시뮬레이션은 iron core와 tube 사이의 간격의 변화, 1차 권선 높이에 따른 변화, iron core의 높이의 변화에 따라 수행하였으며, 그 결과 중 일부는 아래 그림 3과 같다.



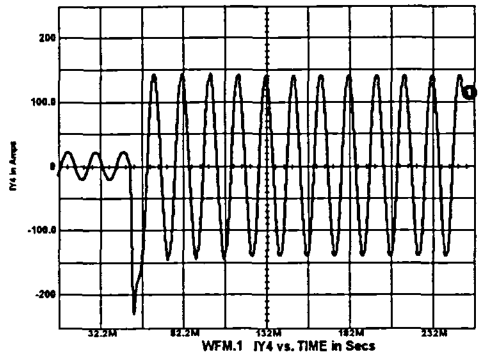
(a) tube height : 150 mm, core height : 200 mm



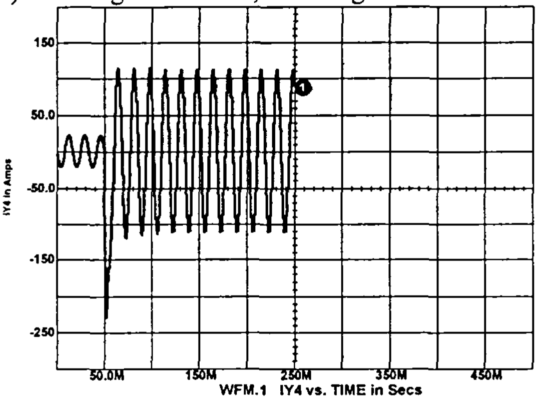
(b) tube height : 200 mm, core height : 300mm

Fig.3 Electromagnetic analysis of a rod type SFCL (air gap : 8 mm, winding height : 100mm, core diameter : 84 mm)

그림 3은 모두 사고 발생시의 자장 분포를 나타내는 그림이다. (a)의 경우 중심자장은 0.9T, 인덕턴스는 약 9mH, (b)의 경우는 약 중심자장은 1.15T, 인덕턴스는 9.5mH이다. 그림 4는 그림 3의 (a)와 (b)의 경우를 각각 회로 동작 특성 시뮬레이션을 통해 사고 전류의 크기를 알아본 결과이다.



(a) tube height : 150 mm, core height : 200 mm



(b) tube height : 200 mm, core height : 300 mm

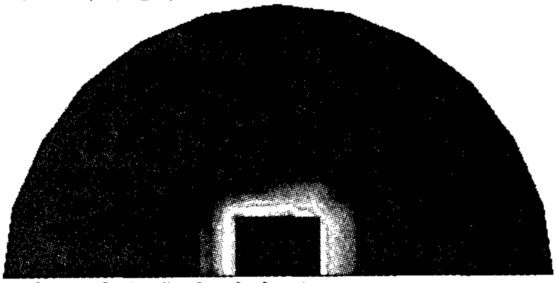
Fig.4 Circuit analysis of a rod type SFCL (air gap : 8 mm, winding height : 100mm, core diameter : 84 mm)

그림 4에서 보면 (a)의 경우 최대 사고전류는 약 250A, 사고 발생 후 안정되는 전류는 150A이며, (b)의 경우는 최대 사고전류는 약 240A, 사고 발생 후 안정되는 전류는 약 75A이다.

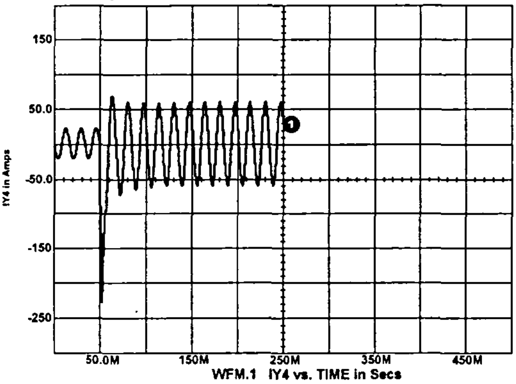
Closed path를 갖는 자기 차폐형 고온초전도한류기의 전자장 해석 및 회로 해석의 결과는 아래와 같다. Rod type core 고온초전도한류기는 그림 (3)과 (4)와 같은 재원이며, closed path를 갖는 고온초전도한류기는 core의 모습만 다르며, 이를 제외한 모든 재원은 같다. closed path를 갖는 자기 차폐형 고온초전도한류기의 시뮬레이션 결과 사고 발생시 최대 자장은 1.5T, 인덕턴스는 29mH, 최대 사고전류는 약 230A, 사고 후 안정되는 전류는 약 50A이다. Rod type 고온초전도한류기에 비해 약 60%의 사고 전류 감소를 보인다.

III. Simulation Results

시뮬레이션 결과 Rod type 고온초전도한류기의 경우 각 parameter의 변화에 따라 그림 6과 같은 인덕턴스 변화 그래프를 얻었다. 그림 6의 (a)는 권선의 높이에 따른 인덕턴스 변화를, (b)는 core와 tube의 간격에 따른 인덕턴스 변화를, (c)는 철심의 높이 변화에 따른 인덕턴스 변화를 나타낸다.



(a) 사고 발생 후의 자장 분포

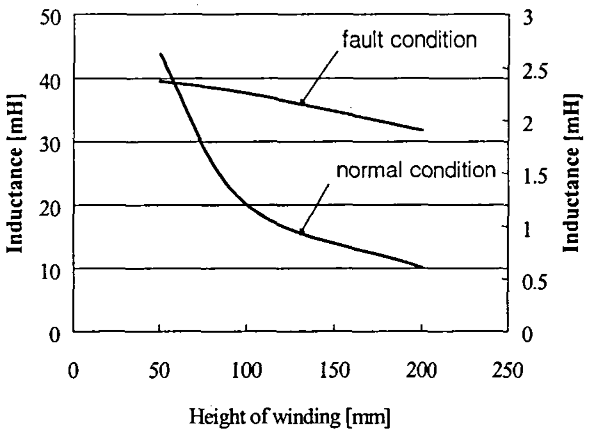


(b) 회로 시뮬레이션 결과 전류 파형

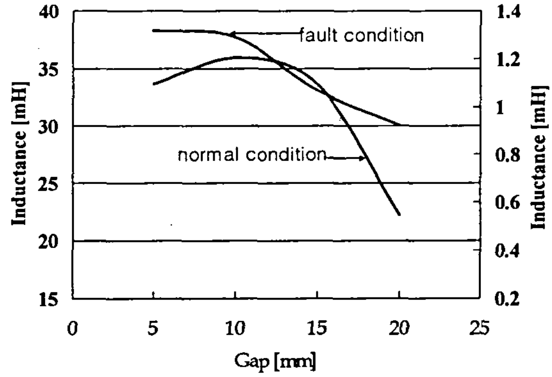
Fig.5 Electromagnetic and circuit analysis of a closed path core type SFCL

IV. Conclusions

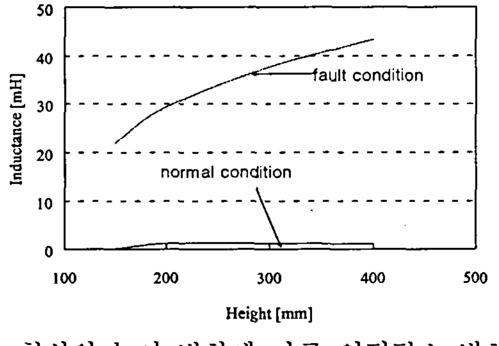
본 논문에서는 Rod type 고온초전도한류기를 전자장 해석을 통해 설계하였으며, 그 결과를 동작특성 시뮬레이션으로 확인하였다.



(a) 권선 높이 변화에 따른 인덕턴스 변화



(b) core와 tube의 간격에 따른 인덕턴스 변화



(c) 철심의 높이 변화에 따른 인덕턴스 변화

Fig.6 Inductance variations

1.각각의 parameter가 변하면서 약간의 인덕턴스 차이가 발생한다. 특히, air gap의 경우 초전도 tube와 iron core사이가 10mm이하인 경우의 인덕턴스는 거의 차이가 없다. 사고가 발생하기 전의 인덕턴스는 어느 경우에서든지 설정된 부하저항에 비해 상당히 작아 거의 무시할만 하다.

2. closed path를 갖는 자기 차폐형 고온초전도한류기와 rod type core를 갖는 고온초전도한류기의 인덕턴스를 비교해 본 결과, 사고 발생시 약 3배의 차이로 기존의 고온초전도한류기가 큰 것을 알 수 있었다. 또한, 제한되는 사고전류의 크기는 rod type 고온초전도한류기가 약 1.5배 큰 것으로 나타났다.

References

[1] E.Leung, B.Burley, "Design & Development of a 15kV, 20kA HTS Fault Current Limiter", IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol. 10, No. 1, pp.832-835, March, 1999

[2] 이찬주, 이승제, 장미혜, 현옥배, 최효상, 고태국, "단순화된 자기차폐형 고온초전도한류기의 단락특성해석", 한국 초전도·저온 공학회 제 1회 학술대회논문집, pp.97-100, 1999.2