

고온초전도 선의 전력 응용을 위한 실시간 시뮬레이션 알고리즘 개발

강진주*, 김재호*, 제항호*, 조전욱**, 심기덕**, 박민원*, 유인근*
 창원대학교*, 한국전기연구원**

Development of a real-time simulation algorithm for the application of the HTS tape

Jin-Ju Kang*, Jae-Ho Kim*, Hyang-Ho Je*, Jeonwook Cho**, Ki-Deok Sim**, Minwon Park*, In-Keun Yu*
 Changwon National University*, KERI**

Abstract - This paper describes a real time digital simulation method for the application of HTS tape to power devices. At present, in order to extend the power capacity of some area which has a serious problem of power quality, especially metropolitan complex city, there are so many problems such as ROW for cable line routes, space for downtown substations, and the environmental protection, etc. HTS technology is one of the best solutions. Simulation is required for safety before install of HTS power cable, a fabrication model used at the power system simulation.

Here, in this paper, authors developed an algorithm connected with HTS by using Real-Time Digital Simulator(RTDS).

1. 서 론

수도권 혹은 신도시와 대도시 지역은 타 지역에 비해 부하밀도가 극도로 높으므로, 도시내부에 있는 대부분의 송배전 계통은 지중선로와 옥내 GIS 변전소로 건설되고 있다. 향후 2015년까지 지속적인 부하성장이 예상되며, 추가적인 지중선로 포설과 변전소 건설이 필요하다[1]. 하지만, 지중선로와 변전소 건설에 따른 도심교통난과 과도한 건설비용 및 환경적 측면의 제약이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 다양한 방안 중 고온초전도 전력케이블의 도입은 다양한 기술적 대안 중에서 환경적, 경제적, 기술적 관점에서 유력한 대안 중의 하나로 평가받고 있다[2].

초전도 전력케이블은 기존 전력케이블의 구리도체 대신 고온 초전도체를 사용하며, 매우 낮은 온도에서 전기저항이 없어지는 초전도현상을 이용하여 저 손실, 대용량 전력수송이 가능한 전력케이블로서 대도시의 전력공급 문제를 해결할 수 있는 환경적 신 개념의 전력케이블이다. 또한 기존 전력케이블에 비해 초전도 전력 케이블은 765kV, 345kV의 초고압이 아닌 154kV 또는 22.9kV급 전압으로 대용량 송전이 가능하기 때문에 종래 변전소의 고압 송전을 위한 주변기기를 간략화 할 수 있으며, 송전 손실이 극히 작고 Compact한 케이블에 의해 부지 문제를 해결할 수 있다. 또한, 이러한 장점을 가지는 HTS 케이블은 대용량 부하가 밀집된 도심지 전력계통의 신규 설비에 적용 시 경제적인 수단이 될 수 있다[3].

최근 임계전류가 높고 기계적 특성이 크게 개선된 고온 초전도체가 개발됨에 따라 전력 응용 연구가 더욱 활발히 진행되고 있으며, 이와 함께 초전도 전력기기의 실 계통 투입을 위한 준비도 함께 선행되어야 한다.

고온초전도 전력기기는 정상 운전 시 임계전류 이하로 전류가 흐르게 되지만, 계통사고 시에는 초전도 전력 케이블의 경우 정격전류의 수십 배까지, 초전도 변압기의 경우 10배 이상 매우 큰 과전류가 3~5 Cycle 동안 과도적으로 흐르게 된다[4]. 그러므로 실 계통 투입 전 정상상태와 사고 상태에서 전력 계통 초전도 전력기기에 발생하는 현상을 정확히 예측 할 수 있어야 한다.

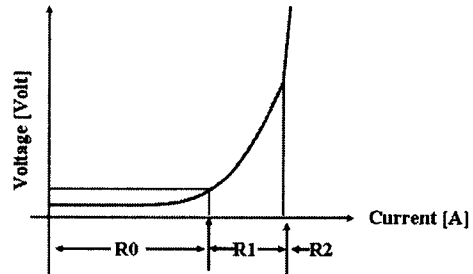
본 논문에서는 초전도 전력기기를 계통에 투입하기 위해 HTS의 전기적 특성과 정상상태, 과도 상태의 특성 분석을 위해 RTDS를 이용하여 실제 초전도체와 연계하는 알고리즘을 개발하였다.

2. 본 론

2.1 시뮬레이션 방법

RTDS는 전력시스템의 전자기적 과도현상을 모의하기 위한 실시간 Digital Simulator이다. RTDS를 사용하여 시스템의 제어 알고리즘이나 보호 장비 등의 동작 특성을 분석 할 수 있다. RTDS는 실시간 계산이 가능한 고속의 프로세서들이 들어있는 하드웨어와 시뮬레이션을 모의하고 동작시키는 소프트웨어가 결합된 형태이다. RTDS가 다른 시뮬레이터와 다른 점은 실시간으로 계속해서 시뮬레이션을 수행할 수 있다는 점이다. 이것은 RTDS가 실제 계통에서의 조건을 더 사실적으로 나타낼 수 있게 해줄 수 있음을 의미하며, 여러 논문[5]을 통해서 응용기술이 개발되고 있다. 시뮬레이션을 위해 RTDS에서 선로 및 회로를 구성한 후 워크스테이션을 통해 RTDS와 연결되고 RTDS의 프로세서를 통해 실시간 시뮬레이션이 이루어지게 된다.

본 연구에서는 RTDS 내부에 구성된 선로 임피던스에 의해 기존선로와 초전도 전력케이블 선로의 사고유형별 고장전류 값을 비교 분석 하였으며, 실제 HTS tape와 RTDS를 연계운전 할 수 있는 알고리즘을 개발 하였다.



<그림 1> HTS tape의 저항특성

2.2 정상상태 해석

그림 1은 고온초전도체의 비선형적인 저항 특성을 구간별로 나타내었으며, R₀는 Quench전, R₁과 R₂는 Quench 후 비선형적으로 증가하는 저항특성을 나타내었다. 표 1은 RTDS를 이용한 시뮬레이션에 적용된 ACSR 160mm² 전력 선로와 초전도 전력케이블 선로 5km 일 때의 저항 값 과 인덕턴스 값이다.

RTDS를 이용한 시뮬레이션 결과와 송·배전 선로의 고장계산법을 이용하여 표 1의 기존선로와 고온초전도 전력케이블 선로의 저항 값과 인덕턴스 값을 적용하여 비교하였다.

시뮬레이션을 위해 RTDS 내부에 PSCAD를 이용하여 그림 3과 같이 선로를 구성하였다.

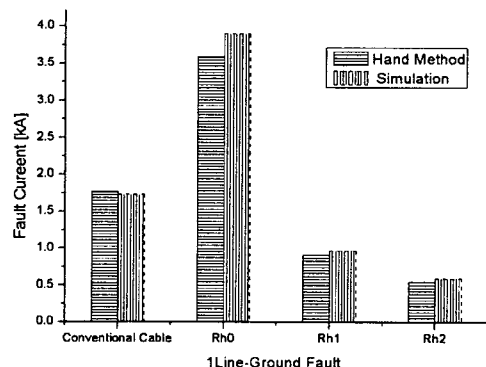
<표1> Conventional 선로와 HTS Cable의 저항 값과 인덕턴스 값

	Conventional Line 5km	R _{h0} /5km	R _{h1} /5km	R _{h2} /5km
R [Ω]	1.01206	0.0001	19.125	33.891925
L [mH]	5.160541	0.004255	0.004255	0.004255

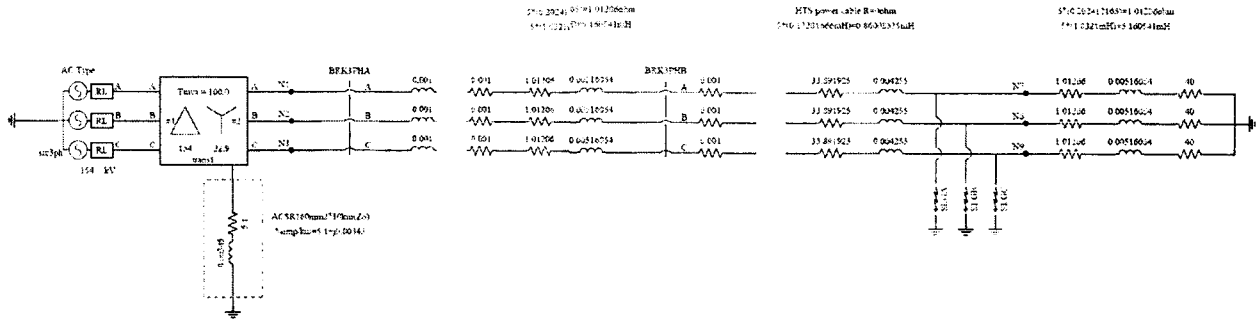
3. 시뮬레이션 결과

3.1 고장 종류에 따른 사고전류

기존 구리전력케이블과 초전도 전력케이블의 고장전류 비교를 위해 1선 지락, 선간단락, 3상 단락 3가지의 사고 종류에 따라 고장 계산법에 의한 계산 값과 시뮬레이션 결과 값을 비교 하였다. 그림 3은 계통에서 가장 많이 발생하는 1선 지락 사고 발생 시 기존선로와 초전도 전력케이블의 구간별 시뮬레이션 결과 그래프 이다. 계산 결과와 시뮬레이션결과가 비교적 일치하는 것을 알 수 있다.



<그림 2> 1선 지락 시 고장계산법과 시뮬레이션 결과 비교 그래프



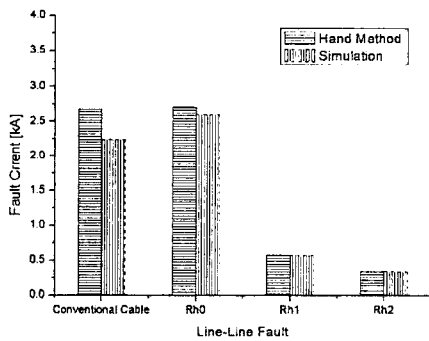
〈그림 3〉 시뮬레이션을 위해 RTDS에서 구현한 모의 22.9kV 선로

〈표2〉 RTDS를 이용한 시뮬레이션 결과

	Conventional Line	Rh ₀ /5km	Rh ₁ /5km	Rh ₂ /5km
1선 지락[kA]	1.732	3.589	0.973	0.598
선간단락[kA]	2.243	2.599	0.575	0.339
3상 단락[kA]	2.517	3.984	0.639	0.374

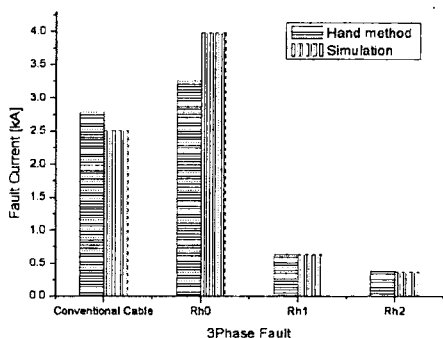
표 2는 RTDS를 이용한 기존 선로와 초전도 전력케이블의 각 구간별 시뮬레이션 결과이다.

그림 4는 선간단락 사고 발생시 기존 선로와 초전도 전력케이블의 각 구간별 시뮬레이션 결과 그래프이다. 기존 선로는 1선 지락사고에 비해 고장 전류가 증가한 것을 알 수 있다. 하지만, 초전도 전력케이블은 퀘칭 발생에 따른 저항의 증가로 고장전류가 감소한 것을 알 수 있으며, 고장 계산법에 의한 결과 값과 시뮬레이션 결과 값이 일치하는 것을 알 수 있다.



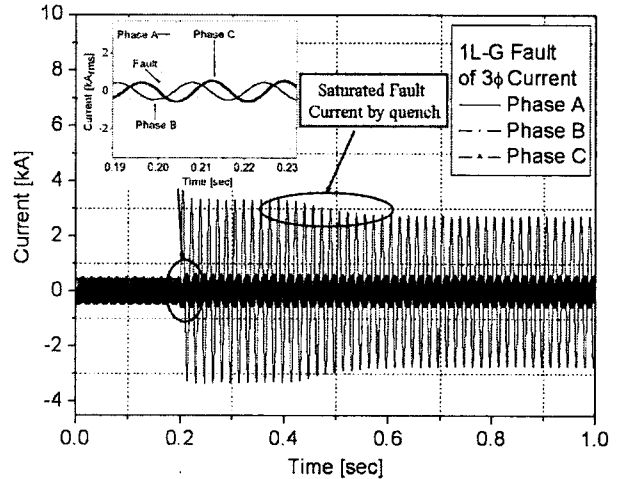
〈그림 4〉 선간 단락 시 고장계산법과 시뮬레이션 결과 비교 그래프

그림 5는 3상 단락 사고 발생시 기존선로와 초전도 전력케이블의 각 구간별 시뮬레이션 결과 그래프이다. 고장 계산법에 의한 결과 값과 시뮬레이션 결과 값이 일치하는 것을 알 수 있다.



〈그림 5〉 3상 단락 시 고장계산법과 시뮬레이션 결과 비교 그래프

고장종류에 따른 계산 값과 시뮬레이션 결과 값이 정확하게 일치 하지만 오차범위가 5% 이내이다.



〈그림 6〉 실제 HTS tape와 RTDS 연계 시뮬레이션 결과 그래프

그림 6은 실제 HTS tape와 RTDS의 연계운전 시뮬레이션 결과 그래프이다. A상에 1선 지락고장이 발생하면 2.9[kArms] 까지 증가 하지만, 퀘칭 현상에 따른 HTS tape의 저항에 의해 A상의 사고전류가 2.4[kArms]까지 제한되는 것을 실험을 통해 확인 하였으며, 고장전류 계산법에 의한 결과 및 가상선로를 이용한 시뮬레이션 결과 값이 5% 이내에서 일치하는 것을 확인 하였다.

4. 결 론

본 연구를 통해 기존의 전력선로와 고온 초전도 전력 케이블에 사고 발생시 고장전류 값을 RTDS를 이용하여 모의 시뮬레이션 하였다. 초전도 전력케이블은 사고 전류에 의한 퀘칭 현상으로 비선형적인 저항 특성을 나타내며, 저항이 증가함에 따라 고장전류가 감소하는 것을 알 수 있었다. 그리고 실제 HTS tape와 RTDS의 연계운전 시뮬레이션 알고리즘 기법 개발로 초전도 전력기에 필수적으로 사용되어야 할 초전도선의 인입전류에 따른 동특성 해석을 가능하게 하였다. 그 결과 시뮬레이션 해석과 일치하는 과도 해석 결과를 얻었다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도응용기술개발사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, "2002년 장기 송변전 설비계획", 2002
- [2] Ladie Pierluigi, Mansoldo Andea, "HTS Cable application studies and technical/economical comparisons with conventional technologies", PES-WM 2002
- [3] S. Honjo and Y. Takahashi, "Outline of Verification Tests", Cryogenic Eng. In Japan 36, pp242, 2001,
- [4] 차귀수의, "고온 초전도 변압기 개발", 고온초전도 변압기 개발에 관한 최종 보고서. p167--185, 2001
- [5] Minwon. Park, "A Nover Real-Time Simulator Technique of photovoltaic Generation System Using RTDS". IEEE Trans. on Energy Conversion. VOL 19, NO. 1, March 2004