

이천 초전도시범사업관련 22.9kV 초전도 케이블 실계통 적용을 위한 열동계전기 검토

양병도*, 강지원*, 장태인*, 박진우*, 조흥상*, 김태훈*
한국전력공사*

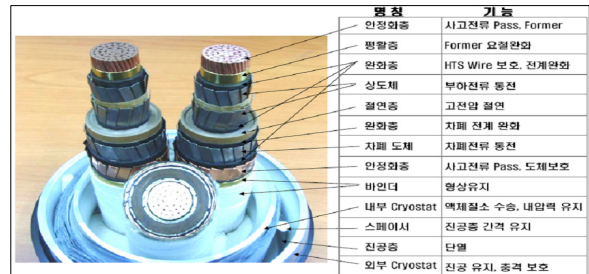
Thermal Protection Study on 22.9kV HTS Power Cable for Applying to Real Grid

B.M Yang*, J.W Kang*, T.I Jang*, J.W Park*, T.H Kim*, H.S Jo*
KEPCO*

Abstract - 국내전력수요의 지속적인 성장과 더불어 전력산업의 대용량화, 고밀도화에 따른 친환경 고신뢰도의 전력계통 구성을 위하여 친환경 녹색기술의 초전도케이블이 실증시험을 통한 실계통 적용 사업이 이천변전소에서 정부지원으로 한전전력공사 주관으로 진행되고 있다. 그래서 향후 초전도 케이블이 실계통에 연계한 계통이 운용되는 것을 고려해야 하기 때문에 기존 전력기기와 협조하여 운영되기 위해서는 계통영향 분석이 필요하다. 특히 초전도케이블은 초전도성이라는 물리적인 특성 때문에 기존 계통해석과정과는 다른 계통 과도현상의 모델링이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 초전도케이블의 실계통 적용을 위해서 이천변전소에 시범 적용된 22.9kV 50MVA 500m 초전도케이블 계통을 대상으로 열적특성을 분석하고 안정적인 대규모 전력전송을 위해서 초전도케이블을 열적특성으로부터 보호하기 위한 열동계전기(Thermal Protection Relay)의 운영방법과 적용방안을 소개하고자 한다. 향후 대용량 초전도케이블의 실계통 적용 확대를 고려한 열동계전기의 운영방법과 적용방안도 제시하고자 한다.

를 초과하면 켈치라는 물리적 특성으로 초전도성을 잃게 되어 급속하게 임피던스가 변한다.

- 초전도케이블의 운전온도 : 항상 초전도성을 유지하기 위해서는 극저온상태에서 운전되어야 하며 정격전류 범위 이상의 전류(사고전류)는 초전도케이블의 온도를 상승시켜 초전도케이블내의 액화질소에서 기화로 인한 기포가 발생하며 이로 인해 절연파괴를 일으킬 수 있다.



〈그림 1〉 22.9kV 50MVA 초전도 케이블의 구조 (3상 일괄형)

따라서 초전도케이블이 실계통에 적용하기 위해서는 일반적인 케이블의 열동계전기와는 다른 열동계전기의 적용으로 고장전류나 서지전류로 인한 초전도케이블의 온도상승을 보호하여야 한다.

이천변전소에 시범 적용되고 있는 3상 일괄형 22.9kV 50MVA 초전도케이블의 특성데이터는 아래와 같다.

- Cable Length : 500 m
- Cable Inlet Temperature : 70°K
- Cable Outlet Temperature : 74°K
- Total Cable Power Loss : 4,760W
- Total Cooling Power : 6,600W

1. 서 론

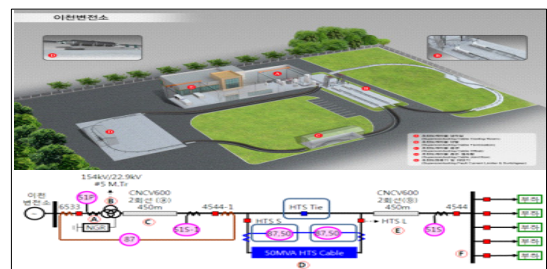
최근 초전도 전력기기 시범사업으로 이천변전소가 선정되어 초전도 기기로서 초전도 케이블과 초전도 한류기가 설치되어 운영 중에 있다. 전압레벨은 22.9kV으로서 50MVA 용량으로 설계되었으며 포설길이는 500m가 된다. 향후 22.9kV 초전도케이블의 확대보급을 위한 적정 용량 설계 및 후보지 선정에 대한 기술적 검토를 진행하고 있어 현재 설치 운영에 있어 이천변전소의 초전도 케이블의 운영실적과 기술적 분석을 다양한 분야에 걸쳐 실시하고 있다. 따라서 본 논문에서는 이천변전소에 설치되어 있는 22.9kV급 50MVA 용량의 초전도 케이블을 대상으로 초전도케이블의 역적특성을 고려한 열동계전기의 적용을 위한 기술적 분석과 열동계전기의 구현 및 실시간 시뮬레이터를 이용한 시험방안에 대해 검토하였다. 초전도케이블은 초전도의 물리적 특성을 유지하기 위한 적정 운전온도가 있으며 이 온도범위를 초과하는 경우 초전도케이블의 유전체에서 액체질소의 기화에 따른 기포가 발생하여 초전도케이블이 절연파괴로 이어진다. 따라서 본 논문에서는 기존 전력케이블의 특성과 상이한 특성을 가진 이천 초전도시범사업관련 22.9kV 50MVA 초전도케이블 대상으로 기술적 분석을 실시하고 사고전류에 대한 열동계전기의 적용방안을 제시하였다.

2. 본 론

이천 초전도시범사업에 적용되고 있는 22.9kV 초전도 케이블은 구조가 일반 전력케이블의 구조와는 상이한 구조로 되어 있다. 그림 1에서 보듯이 고장전류가 통과하는 Former만을 고려하면 기존 케이블과 유사한 구조로 되었으나, 이 Former를 중심으로 그 주위에 초전도체(2G HTS wire, YBCO)가 감싸고 있으며, 차폐도층에도 같은 재질의 초전도체가 사용되어 있다. 또한 각 통전과 차폐부분의 초전도체에 냉각된 액체질소가 유입되어 초전도 케이블의 초전도성을 유지할 수 있는 극저온 냉각장치(Cryostat)가 설치되어 있다. 초전도케이블의 통전과 차폐층에 초전도체를 사용하기 때문에 외부로 전자기장이 거의 유도되지 않는 친환경 구조라고 할 수 있다.

초전도케이블은 일반 전력케이블과는 다른 구조와 운영온도 범위가 상이하기 때문에 기존 전력케이블 보호를 위해 사용되는 열적특성 곡선에 의한 보호가 불가능하다. 초전도케이블의 주요한 특징을 정리하면 아래와 같다.

- 초전도케이블의 임피던스 : 흐르는 전류에 따라 임피던스가 일정하지 않다. 대부분의 일반적인 보호방식은 케이블의 임피던스가 일정하다는 전제에서 보호협조가 이루어지지만 초전도 케이블은 정격전류 범위에서는 임피던스는 아주 낮으나 이 정격전류 범위를



〈그림 2〉 이천변전소의 22.9kV 초전도 케이블 설치 구성

2.1 22.9kV 50MVA 초전도 케이블의 열적특성

이천변전소에 설치된 초전도케이블은 Former층, 초전도층, 차폐층, 안정화층으로 구성되어 있으며 각층별 온도 및 임피던스 특성은 아래와 같다.

- 초전도층과 Former층의 저항은 순시전류와 순시온도에 따라 달라진다.
- 모든 층의 열적특성은 순시온도에 따라 달라진다.
- 각층에 이웃한 층의 열적저항(Thermal Resistance)은 층간 온도차이에 따라 달라진다.

- 액화질소의 기화로 인한 기포발생점은 압력에 따라 달라진다.

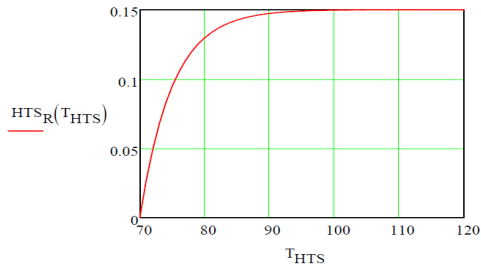
초전도케이블의 온도상승과 초기 온도조건에 따른 초전도케이블의 저항은 다음과 같은 함수를 갖는다.

- 통전전류가 4000A 이하인 경우(그림 3)

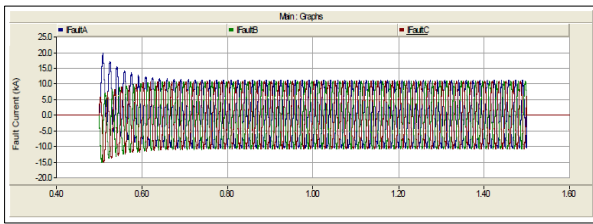
$$R_{HTS}(T_{HTS}) := R_{max} \left[1 - e^{-0.2((T_{HTS}-T_0))} \right] \quad (식 2.1)$$

여기서,

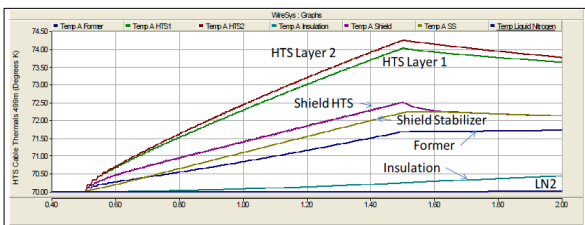
- T_{HTS} : 초전도케이블의 순시온도
- T_0 : 초전도케이블의 초기온도(=70°K)
- R_{HTS} : 초전도케이블의 최대저항
- 통전전류가 4000A 이상인 경우
HTS 저항 = 1.0E-6 ohms



〈그림 3〉 온도변화에 따른 초전도케이블의 저항(K,ohm)



〈그림 4〉 3상 단락고장시 초전도케이블의 고장전류



〈그림 5〉 3상 단락고장시 초전도케이블의 각층별 온도특성

초전도케이블의 온도에 따른 저항특성을 고려하여 PSCAD/EMTDC 모의결과 Former층과 초전도층 및 차폐층, 안정화의 온도특성은 그림 4와 같다. 그림 5에서 고장전류 통전시 초전도층의 온도가 가장 높게 상승함을 알 수 있으며 초전도층의 열적특성을 고려한 열동계전기를 구성하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

2.2 22.9kV 50MVA 초전도케이블의 열동계전기

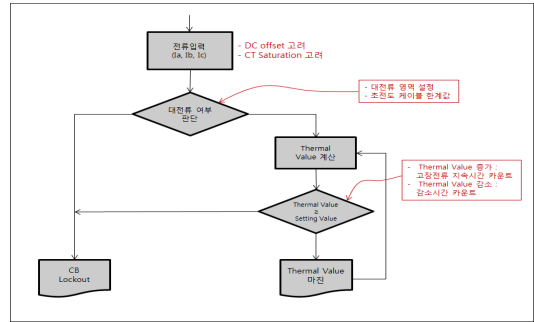
초전도케이블의 열적특성을 고려한 열동계전 알고리즘은 시험 및 모의에서 도출된 열적특성을 Curve Fitting 한 다음 2차함수로 표현하여 Thermal Value를 계산하여 이 Thermal Value로 열동계전기를 구성할 예정이다. 이 열동계전기는 초전도 케이블에 흐르는 전류로 인해 초전도 케이블 내부의 온도가 상승하여 발생할 수 있는 초전도 케이블의 손상을 방지하기 위해 전류 크기와 지속시간을 상시 감시하여 동작하며 다음 항목들이 고려될 예정이다.

- 짧은 시간에 증가한 순시 전류 감시를 위해 고속의 전류 감시 기능
- 동작시 Trip, Lockout 기능을 지원하지만 초전도케이블의 열동계전기 동작시에는 고속차단을 하지 않는다. (차단속도는 고장지속 시간과 고장전류에 의존함)
- 초전도케이블의 열동계전기 알고리즘 계산과정을 Event로 경보한다.
- 초전도케이블의 냉각시스템과 협조한다.

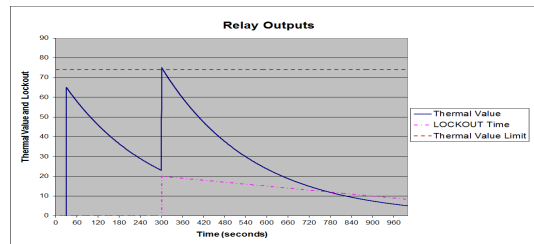
- 초전도케이블의 임계전류에서는 고속차단을 실시한다.

위와 같은 항목들이 고려된 열동계전기의 알고리즘 과정은 그림 6과 같으며 고장전류가 통전하는 경우 Thermal Value 그리고 열동계전기의 동작을 그림으로 표현하면 그림 7과 같다. 그림 7은 구현된 열동계전기의 대략적인 동작개요이며 알고리즘 상세 구현시 일부 변경될 예정이다.

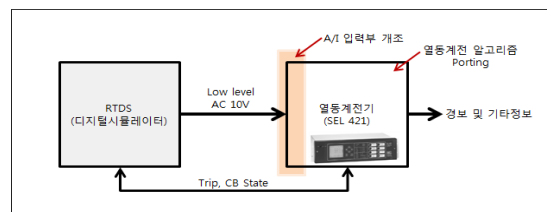
또한 구현된 열동계전 알고리즘을 하드웨어에 포팅하여 RTDS(Real Time Digital Simulator)를 이용하여 시험을 실시할 예정이다. 본 연구에서는 열동계전기의 하드웨어 자체는 직접 개발을 하지 않으며 기존 보호계전기의 하드웨어를 이용하여 구현할 예정이다. 디지털보호계전기는 일부 타입에서 사용자 정의 알고리즘을 지원하는데 본 연구에서는 이러한 사용자 정의 알고리즘을 지원하는 SEL-421 보호계전기를 사용할 예정이며 대전류 영역에서의 시험이 예상되는 만큼 RTDS 출력을 엠프로 거쳐 입력되는 기존 시험방식과는 다르게 열동보호계전기로 사용될 SEL-421계전기 내의 CT보드를 개조하여 소신호레벨로 RTDS출력을 직접 주입하여 시험하는 방식을 택하였으며 그 회로도도 그림 8과 같다.



〈그림 6〉 열동계전기의 알고리즘 구조



〈그림 7〉 열동계전기의 알고리즘 동작(예)



〈그림 8〉 열동계전기의 하드웨어 구현 및 시험

3. 결 론

본 논문에서는 현재 확대보급을 위해 설치 운영예정인 이천변전소의 22.9kV 50MVA 초전도 케이블의 보호를 위한 열동계전기 구현방법과 하드웨어 시험방법을 제시하였으며 초전도케이블의 각 층별 온도특성을 분석하였다. 현재 이천변전소에 설치된 초전도케이블의 열동계전기의 알고리즘 구현과 하드웨어 포팅이 진행되고 있으며 향후 보급 확대를 위한 열동계전기의 알고리즘과 하드웨어 시험을 완성하여 초전도케이블의 확대적용에 따른 보호협조 가이드라인을 제시할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] “초전도전력기기 실계통 운영기술개발 개발”, 2차년도 진도보고서, 지식경제부, 2010.10
- [2] J.M.Pfotenauer, "Characterizing Thermal Renaway in HTS Current Leads", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, 1999
- [3] J.A.Demko, "Practical AC Loss and Thermal Considerations for HTS Power Transmission Cable System", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 11, No. 1, 2001