

고온초전도 전력케이블의 냉각조건

김동락, 김승현, 양형석, 조승연, 이제묘
한국기초과학지원연구원

Cooling Condition of HTS Power Cable

Dong-Lak Kim, Seung-Hyun Kim, Hyung-Suk Yang, Seungyon Cho, Jemyo Lee
Korea Basic Science Institute

dlkim@comp.kbsi.re.kr

Abstract - High temperature super-conducting(HTS) cable system for power transmission are under development that will be cooled by sub-cooled liquid nitrogen to provide cooling of the cable and termination. The target of the development during the first 3-years stage is 22.9kV/50MVA class and 30m length cold dielectric type 3-phase power cable. The essential features of the HTS cable cryogenic system and performance conditions for the design of power cable will be discussed.

1. 서론

대도시의 전력수송은 지하관로를 통한 전력케이블로서 이루어진다. 도시의 급격히 증가하는 전력수요에 대처하기 위해서는 전력수송을 위하여 지하관로를 확장해 나가야 하나 장차 과밀해가는 지하공간의 사정을 감안할 때 새로운 지하관로의 건설은 어려워지게 된다.

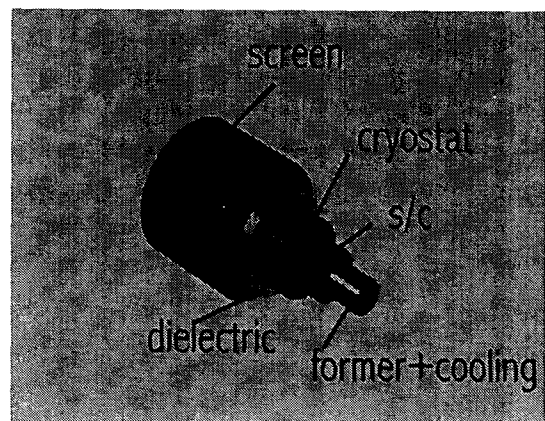
이에 대처하기 위해 새로운 개념의 전력수송용 케이블이 요구되며, 동일한 단면적의 전선으로 수배의 전력을 수송할 수 있는 초전도 전력케이블은 그 좋은 대안이다. 1980년대까지 NbTi 등과 같이 액체헬륨으로 냉각되는 저온초전도체를 이용한 초전도 전력케이블이 많이 연구되었으나, 경제적 및 유지보수적인 점에서 실용화되지 못하였다. 1986년에 고온초전도체가 발견된 이래, 고온초전도 선재의 개발이 진전되어 액체질소 온도에서 운용될 수 있는 경제적인 전력시스템에 대한 다양한 응용분야에 관심이 집중되었다.

고온초전도 선재의 임계전류밀도는 동(銅) 등의 금속에 비하여 1000배 이상이며, 전력수송용 케이블에 응용될 경우 대용량의 전력을 효율적이고 경제적으로 송전할 수 있다. 이에 미국, 일본, 덴마크 독일 등의 나라에서는 전력시스템에 응용

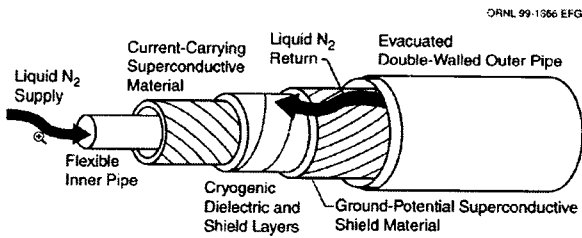
하기 위한 고온초전도 전력케이블의 개발에 적극적으로 투자하고 있으며, 실제 송전선로에 고온초전도 송전케이블을 설치하여 시험운용을 하고 있다. 국내에서도 지난 2001년부터 프론티어 사업으로 고온초전도체의 전력시스템에 대한 응용 개발을 시작하였다.

2. 고온초전도 케이블 운전조건과 냉각계의 설계

초전도 전력케이블의 종류로서는 상온절연방식과 저온절연방식으로 구분할 수 있다. 상온절연방식은 기존의 송전케이블에서 동(銅)전선 대신에 액체질소를 흘려보내는 former와 그 위에 고온초전도 선재를 감은 구조로 대체한 것으로 제작이 비교적 간단한 구조이다. 저온절연방식은 전력을 수송하는 고온초전도선재를 former에 감고, 그 위에 절연채로 덮고, 전류를 흘릴 때에 발생하는 전자파를 차폐하기 위하여 고온초전도선재로 차폐하고 외부에도 액체질소를 흘려 케이블 전체를 냉각하는 방식이다. 상온절연방식에 비해 구조가 복잡하고 제작비는 더 드나 전력수송 면에서 더 많은 전력을 수송할 수 있는 효율적인 점이 있다.



(a) Warm dielectric type



(b) Cold dielectric type

Fig. 1. Cooling of HTS Power cable

2가지 유형의 고온초전도 냉각방식을 Fig. 1에 보인다.

배전급 초전도 전력케이블 개발에 있어서 1단계 개발목표는 22.9kV/50MVA급 30m 길이의 초전도전력케이블의 개발이다. 케이블의 구조는 저온절연방식의 3상의 케이블을 하나의 동축케이블에 넣은 형상이다. 케이블의 냉각을 위하여서 과냉각질소를 강제순환하여 냉각하는 방식을 취한다.

초전도 전력케이블 시스템은 전력을 수송하는 초전도케이블, 초전도전력케이블에 전력을 공급하는 전류인입선이 초전도선재와 결합하는 단말, 그리고 냉각을 위하여 액체질소를 순환시키는 냉각시스템으로 구성된다. 고온초전도 케이블의 냉각시스템을 Fig. 2에 보인다.

초전도 전력케이블은 선재가 초전도상태로 있을 수 있도록 적절한 저온상태로 유지되어야 하며, 경제적으로 저온을 유지하기 위하여 외부에서의 열침입을 최대한으로 억제할 수 있도록 설계되어야 한다. 고온초전도 송전케이블의 경제적 운용측면에서 가장 중요한 요소는 고온초전도선재의 가격과 냉각시스템의 경제성이라고 할 수 있다. 이 가운데 고온초전도 케이블의 냉각을 위한 설계조건을 다음과 같이 고려하고자 한다.

운전온도 : 액체질소 냉각계에서 질소의 삼중점이 1기압에서 63.2K인 점과 최고운전온도와

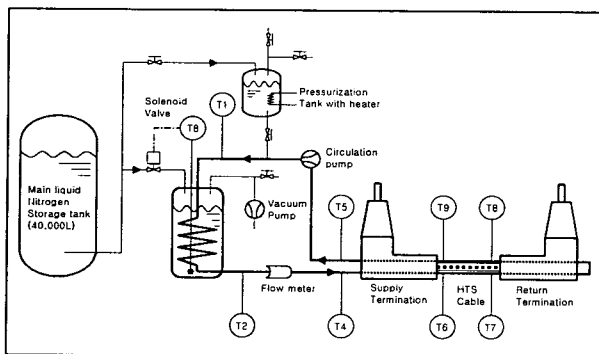


Fig. 2. Cryogenic system for cooling of HTS power cable

냉매의 포화온도를 고려할 적에 최적운전 온도영역의 선택은 65K~85K 온도범위 안에서 적절히 선택될 수 있다. 여기에는 선재전류의 온도의

존 특성, 냉각시스템의 효율성 및 경제성을 고려하여야 한다.

운전압력 : 고온초전도 케이블의 냉각을 위하여 냉매가 케이블 내의 유로를 순환할 때에 압력손실이 일어나며 이를 고려하여 적절한 크기의 압력을 선택하여야 한다. 또한 액체질소는 전기절연성에 있어서도 좋은 유전특성을 가지고 있어서 냉매로서 선택될 수 있는 좋은 점이 있다. 1기압에서 액체질소의 끓는점은 77K이다. 이 온도에서는 액체 중에 기체방울이 생긴다. 이럴 때에 기체 방울의 유전율이 액체질소보다 작아서 절연특성이 나빠지므로 기체방울의 발생을 억제하기 위하여 액체질소의 과냉각상태를 운전조건으로 선택한다. 이와 같은 점에서 운전압력은 10bar~2bar 범위에서 고려될 수 있을 것이다.

케이블 구조 : 전력케이블의 외경은 지하관로의 직경에 의해 제한된다. 이 허용범위 안에서 케이블의 구조는 유체의 압력손실 최소화, 외부로부터의 열침입의 최소화, 교류손실의 최소화, 전기절연층 두께의 최적화, 케이블 설치시의 위치 고저차 및 케이블 곡률반경 등을 고려하여 냉각효과를 최적화 하고 열손실을 최소화하도록 설계되어야 한다. 케이블 설계에 있어서 열부하 6W/ 3상 m 이하를 목표로 단열구조 설계가 진행 중이다.

냉각시스템 : 고온초전도 케이블을 최적화된 상태에서 운용하기 위하여 액체질소의 온도 및 압력을 적절한 조건으로 순환시키며 또한 열부하 변동 등에 대하여 안정적으로 냉각할 수 있고 케이블의 상태를 감시 및 자동제어할 수 있는 신뢰성 있는 냉각시스템을 구축하여야 한다.

안전 : 고온초전도시스템의 운용시 발생할 수 있는 여러 비정상 상황들을 상정하여 초전도케이블의 켄치, 단열진공의 파손, 비정상 열접촉, 전기적 단선, 케이블의 파괴, 지진, 냉각계의 이상 등의 사태 발생시 신속한 검지와 사고회피 및 정상회복 할 수 있는 안전기구를 갖추어야 한다.

3. 요약

배전급 고온초전도 전력케이블 개발을 위하여, 1단계 개발목표인 22.9kV/50MVA급 30m 길이의 케이블 설계를 하고 있다. 열손실 최소화를 위한 케이블 단열구조의 설계, 장거리 유체수송에 대한 해석 및 former의 최적화 설계, 전류인입선을 통하여 고온초전도선에 대한 전력공급을 위한 단말구조, 냉매공급을 위한 냉각계 등의 설계가 진행 중에 있으며, 운전조건 최적화를 위한 연구가 진행 중에 있다.

Acknowledgment

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