

## 한전의 고온초전도케이블 실증 연구 현황

황시돌

한전 전력연구원 책임연구원

### 1. 서 론

서울, 부산 등 대도시의 전력 수요는 매년 증가하는 추세이고 이에 대처하기 위해 대용량 송배전기술의 적용이 요구되고 있으며, 특히 현재 도심지의 전력공급을 담당하고 있는 지하 송배전망에 대하여 기술적인 혁신이 이루어지지 않으면 풍부하고 좋은 품질의 전기를 값싸게 공급하는데 어려움이 따를 수도 있다. 그러한 어려움을 예방하기 위해서는 도심지 전력공급을 담당하는 지중케이블의 효율이나 경제성을 획기적으로 향상시켜 나가야 할 것이고, 구체적으로 언급하면 단위 송전 용량 증대, 송전 손실 저감, 설치 및 운용 비용의 절감, 기존 케이블과 비교하여 동등 이상의 신뢰도 유지 등이 실현될 수 있는 새로운 기술의 개발이 필요하다.

대도시의 지하공간 활용문제 등 환경적 제약을 고려할 때, 상기 요구사항을 기존의 구리케이블로 충족시키려면 케이블의 설치공사비용(주로 토목공사비)이 큰 문제가 된다. 현재의 지중케이블 설치공사비용은 전체 건설비용의 약 30%~50%이며 전체 건설비에서 가장 많은 부분을 차지한다.

그러나 현재 세계적으로 개발 중에 있는 초전도 케이블이 기존의 구리 케이블을 대신하여 설치된다면 단위 면적당 송전 용량을 3~8배 정도 증가시킬 수 있으므로 구리케이블로 구성된 노후 지중케이블을 제거하고 초전도 케이블로 대체하면 매우 높은 송전용량을 보장할 수 있으며 새로운 케이블 시스템을 설치하기 위한 시설비용을 절감할 수 있다.

이러한 초전도케이블의 장점을 활용하기 위하여 초전도케이블의 개발이 국내외적으로 추진되어 현장 실증시험 단계에 이르렀으나, 우리나라는 아직 초전도케이블의 실용화에 대한 전력계통 측면에서의 준비가 부족한 실

정이므로 전력회사와 수요자(수용가)의 입장에서 대용량 초전도 케이블의 조기 실용화를 위한 실선로 적용 연구의 필요성이 나타나게 되었다. 본고에서는 한전이 현재까지 수행한 고온초전도케이블 연구 과제와 현재 가장 역점을 두고 추진하고 있는 고온초전도 케이블 실증연구에 대하여 설명한다.

### 2. 한전이 추진해 온 고온초전도케이블 연구개요

한전은 항상 대용량 송배전 기술에 관심을 가지고 있으므로 10여 년 전부터 초전도케이블연구를 시작하였다. 초기에는 현재와 같은 고온초전도케이블이 아니고 고가의 액체 헬륨으로 냉각하는 저온초전도케이블 연구를 하였으나 경제성 등의 문제로 인하여 저온초전도케이블 연구를 중단하고, 액체질소로 냉각이 가능한 고온초전도케이블의 연구를 추진하게 되었다. 현재까지 한전에서 수행하였거나 수행하고 있는 고온초전도케이블 관련 연구 과제를 요약하면 다음과 같다.

#### 가. 고온초전도 선재를 이용한 전력케이블 개발의 타당성 평가

이 과제는 1999년 6월부터 6개월간 수행하였고, 고온초전도 전력케이블 시스템에 대하여 본격적인 연구개발을 추진하기에 앞서 사전 타당성 조사를 수행하였다. 154kV 1000MVA급 고온초전도 전력케이블 시스템에 대한 개념설계를 시도한 결과, 삼상일괄형으로 설계할 경우 국내 기존 지중관로인 직경 200mm 관로를 활용하여 신증설 공사가 가능한 것으로 나타났다. 한편 초전도 송전 시스템의 경제성을 평가하기 위하여 기존 케이블 확장안의 경우와 초전도 케이블을 포함한 계통 확장안의 경우를 소요선로수, 송전손실 및 투자효과 측면에서 비교하였다. 그 결과는 선로절감효과가 30%, 송전손실감소는 약 3.5%

그리고 2010년부터 경인지역에 고온초전도 전력케이블을 도입하였을 경우 투자회피 금액은 8,500억원 규모에 이르렀다. 이것으로부터 초전도 케이블이 장기적으로 경제성이 있다고 판단할 수 있는 근거가 된다고 간주하고, 2009년까지의 초전도케이블 연구개발계획을 수립하였다. 연구개발의 최종목표는 고온초전도 전력케이블의 상용화로 잡았고, 주요 연구 내용에는 케이블 설계기술 확립, 도체의 장척화, 극저온 단말 및 접속재 개발, 극저온 고전압 절연기술, 시스템 경제성 분석 등이 포함되었다. 10년 동안의 총 연구예산은 340억원 정도가 소요될 것으로 전망하였다.

### 나. 초전도케이블 운전기술개발

차세대초전도응용기술개발사업단의 재원으로 한국전기연구원과 LG전선이 개발하고 있는 “배전급 초전도 전력케이블 개발” 과제의 일환으로서 2001년 9월에 착수하여 현재까지 진행 중인 과제이다. 국책연구소인 한국전기연구원에서 초전도케이블 설계기술을 개발하고 케이블메이커인 LG케이블은 초전도케이블 제조 및 생산기술을 개발하고 있으므로 케이블의 사용자인 한전이 운전기술을 개발하는 것이 초전도케이블의 실용화 시점을 앞당길 수 있을 것으로 기대하고 과제에 참여하였다. 이 과제의 최종 개발목표는 22.9kV, 1kA급 초전도케이블 운전기술 개발이고, 주요 연구 내용으로는 초전도케이블 안정운전 기술개발, 초전도케이블 모니터링 기술개발, 초전도케이블 시스템 운전용 S/W 개발 등이 포함되어 있다. 현재 3차년도 연구로서 초전도케이블 시스템 운전에 필요한 S/W 프로그램 개발을 진행하고 있으며 2004년 7월 경에 과제가 종료될 예정이다.

### 다. 초전도케이블 실증시험 및 평가

본 과제의 주 목표는 초전도케이블 자체에 대한 개발이 아니고, 개발된 케이블을 실선로에 설치하여 그 성능을 정확히 평가하여 상용화를 앞당기는데 도움을 주는 것이다. 또한 단순히 초전도케이블 시스템만 실계통 시험하는 것을 넘어서서 전력연구원이 개발 중인 초전도한류기와 연동하여 실증시험을 계획하고 있으며, 이같이 실제 선로에서 초전도케이블과 초전도한류기를 함께 시험하는 것은 세계적으로도 처음이다. 연구 재원은 산업자원부

(전력산업기반기금)와 한전이 공동으로 부담하고 있으며 3년 계획으로 2002년 9월 연구를 시작하였다. 연구의 주요내용은 초전도케이블 메이커로부터 케이블시스템을 구매하여 전북 고창에 위치한 한전의 배전실증시험장에 설치하고, 6개월 이상의 장기 운전 시험을 통하여 초전도케이블의 성능을 검증함과 아울러 향후 실용화 될 것에 대비하여 초전도케이블의 성능평가 기준을 마련하는 것이다. 이하에서는 이 실증시험 과제의 추진 배경, 실증시험용 초전도케이블의 자세한 구매 규격, 장기 운전 시험의 내용 등에 대하여 설명한다.

## 3. 고온초전도케이블 실증시험 연구의 추진

### 가. 실증시험 과제의 추진 배경

전력기술이 지구상에 처음 출현한 이후 100년 이상을 지나오면서 첨단기술의 하나로 획기적인 발전을 거듭해 왔지만 최근에는 IT, BT, NT 등 새로운 기술분야들의 그늘에서 첨단기술로서의 면모를 잃어가고 있다. 이러한 어려움을 극복하고 전력기술이 다시 꽃피게 하기 위해서는 전력산업의 광통신이라고 평가받는 초전도 전력케이블 개발에 대한 투자가 활성화 되어야 한다. 그러나 초전도 분야의 연구투자는 거액의 비용이 필요하므로 현 시점에서 민간기업에 전적으로 맡길 수 없고, 또 민간 기업은 케이블 자체 개발에 이따 나르기 시작하였으므로 공공부문에서 그들에게 실용화 및 상용화에 대한 비전을 제시할 필요가 있다. 이러한 관점에서 민간기업은 케이블 자체 개발에 투자하도록 하고 전력회사는 현장 적용 연구를 지원함으로써 투자 효과의 극대화를 도모할 수 있다.

이러한 환경을 고려하여 본 과제에서는 우선 전력계통 현장에 적용하기 쉬운 22.9kV 초전도케이블을 대상으로 실증시험을 시작하게 되었다.

### 나. 실증시험 연구의 목적 및 주요 내용

한전이 수행하고 있는 초전도케이블 실증시험 연구의 주 목적은 전라북도 고창군 소재의 한전 배전실증시험장 구내에 초전도케이블 실증시험장을 구축하고, 그곳에 22.9kV 삼상 50MVA 길이 100m의 초전도케이블 시스템을 설치한 다음 장기 운전 시험을 거치면서 초

전도케이블의 성능 평가 기준을 확립하는 것이다. 연도별 주요 개발 내용을 열거하면 다음과 같다.

- 1) 1차년도 : 22.9kV 급 초전도케이블 시스템 기반연구 및 실증시험장 설계
  - 고온초전도케이블의 기반 연구
  - 초전도케이블 실증시험장 설계
  - 22.9kV, 3상 100m 급 고온초전도케이블 시스템 제작 규격 연구
  - 초전도케이블 시공 기술 개발
- 2) 2차년도 : 실증시험장 건설 및 22.9kV 3상 50MVA 100m급 초전도케이블 설치
  - 기반 연구용 단상 케이블을 이용한 쉘 보호 및 고장전류 대책 연구
  - 초전도케이블 실증시험장 건설
  - 각종 시험장비 및 계측기류 규격결정 및 구매
  - 100m 급 고온초전도케이블 시스템 제작 및 설치
- 3) 3차년도 : 초전도케이블 시스템 장기 운전 시험 및 성능평가 기준 확립
  - 22.9kV, 100m 급 초전도케이블 장기 운전 시험 및 결과평가
  - 초전도케이블 계통 연계 기술 개발
  - 초전도케이블 시험기준 및 성능평가기준 개발
  - 154kV 급 초전도케이블 설계

**다. 실증시험장 구축**

1) 시험동 신축

초전도케이블의 성능 평가에 필요한 각종 시험실을 비롯한 회의실 등 옥내 시험 공간을 확보하기 위하여 현재의 배전실증시험동 옆에 약 70평 규모의 초전도케이블시험동을 신축

표 1. 각 시험실의 용도 및 소요면적

| 시험실      | 주요 용도                      | 소요 면적 (평) |
|----------|----------------------------|-----------|
| 케이블계측제어실 | 초전도케이블 실증시험설비의 측정 및 제어     | 10        |
| 초전도전기설비실 | 실증시험설비 panel 설치운용          | 15        |
| 초전도냉각설비실 | 초전도냉각설비설치운용                | 15        |
| 회의실      | 각종회의, 자료처리, 계측기보관, 초전도기기홍보 | 10        |
| 한류기시험실   | 초전도한류기 특성평가 및 계통적용 시험      | 20        |
| 계        |                            | 70 평      |

하기로 하였다. 시험실의 구성은 초전도케이블 실증시험설비의 측정 및 제어를 위한 케이블계측제어실, 스위치류 등 전기 설비를 위한 초전도전기설비실, 초전도케이블을 극저온으로 냉각시키는데 필요한 냉동기 등 냉각설비의 설치를 위한 초전도냉각설비실 그리고 초전도케이블과 한류기의 연동 시험을 위한 초전도한류기시험실 등으로 되어 있다.

2) 실증시험용 케이블 시스템의 루트 및 배치 형태

연구계획 단계에서는 초전도케이블 설치 위치를 주상, 지상, 지중배전관로, 전력구 등 다양한 대안을 고려하였다. 그러나 연구 수행중에 한전 배전실증시험장 구내에 있는 지하 전력구 속에 초전도케이블을 설치하는 것으로 결정하였다. 배전 실증 시험장 지하 전력구는 전체 길이가 130m 이상 되므로 본 연구의 실증시험 대상인 100m급 케이블을 설치하는데 어려움이 없다.

고창 배전실증 시험장에 설치되어 있는 터널은 방수처리의 어려움이 있으므로 기존의 벽면을 변경시키는 것보다는 이미 설치된 관로연결부를 사용하는 것이 바람직하다. 현재 고창 배전실증 시험장의 터널 구조물에는 북쪽 끝부분과 남쪽 곡각부에 관로연결부가 설치되어 있다. 그림1은 현재 설치되어 있는 관로연결구이다.

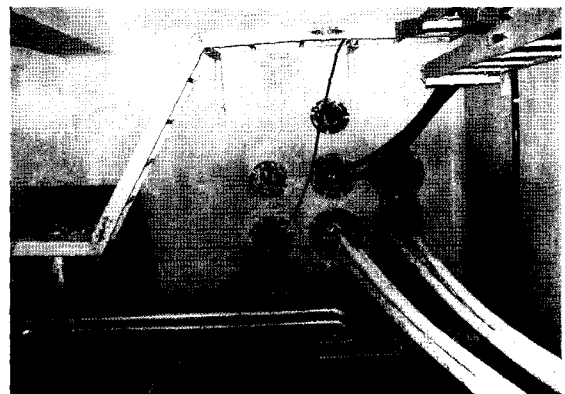


그림 1. 고창 배전실증시험장 지하tunnel 관로연결구

관로연결구를 사용하여 지상 단말을 설치하는 구조를 그림 2에 치수와 함께 요약하였다. 그림 2에서와 같은 배치에 따르면 지하 tunnel 벽면에서부터 단말까지의 케이블 길이

## 고온초전도 전력케이블 특집

는 입상부 호 길이를 포함하여 최소 16m이고 splitter box와 단말부 cable adapter 부분에 필요한 3m 정도의 여척을 포함하여 19m가 필요하다.

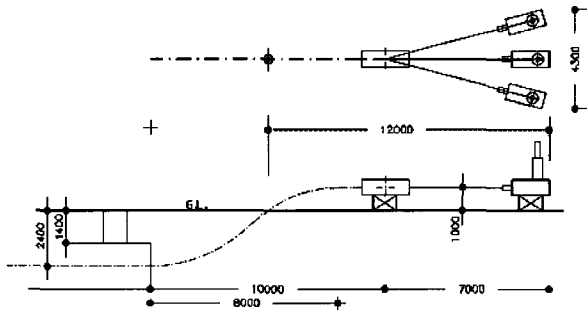


그림 2. Tunnel을 이용한 초전도케이블 입상부 및 단말 배치 개략도

### 3) 부가적인 실증시험설비의 필요 면적에 대한 검토

실증시험용 초전도케이블 시스템에는 시험용 전원 설비, 전원인입설비, 냉각설비, LN2 tank, 제어설비, 공구 및 자재창고, 제어설비 및 회의실 등이 필요하다.

초전도케이블시스템의 실증시험을 위해 사용되어야 하는 시험전원은 임계전류를 측정하기 위한 DC전류원, 3상AC전류원, 3상 교류전압원 등이 필요하며 현장에서 부피를 차지하는 측정기로 부분방전측정용 Coupling capacitor, 손실측정용 Standard capacitor, 직독식 전압측정용 Divider 등이 위치한다. 이 기기들은 단거리 이동은 가능하지만 고전압인가에 따른 충분한 이격거리를 확보해야 하기 때문에 전압인가점인 단말부 주위를 포함하여 상당한 넓이를 확보해야 할 필요가 있다. 그림3에 케이블 단말을 기준으로 필요한 시험전원설비를 대략 배치하여 필요한 면적을 산출하였다.

그림 3의 제어 및 관리실, 시험전원설비는 그리 높지 않아도 되므로 2층으로 배치하여 회의실 및 부속실로 사용한다. 초전도 실증 시험설비를 구성하는 장치들 대부분이 중량물인 변압기, 전동기, 압력tank, pump 등이기 때문에 설비 설치와 보수 등을 위해서는 지게차 등 중장비의 이동이 가능해야만 한다. 따라서 각 설비 사이에 중장비가 이동할 공간을 확

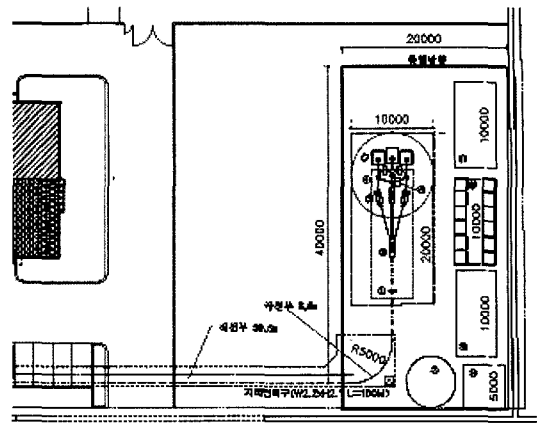


그림 3. 초전도케이블 및 실증시험설비 배치 검토

보 할 수 있도록 각 설비를 배치하여야 한다. 초전도케이블의 규격 및 특성과 냉각설비의 설계 정격, 중량, 형태 등 여러 가지 상세 고려사항 등이 필요하나 현재로서 개략적인 면적을 기준으로 배치한 결과 필요한 면적은 설비설치 단말부에 40×20m(242평), 반대쪽 설비가 설치되지 않는 단말부가 20×10m(60평) 총 1000m<sup>2</sup>(300평)의 면적이 필요한 것으로 검토되었다.

### 라. 초전도케이블 제작규격서 작성을 위한 기본원칙

일반적으로 한전에서 전력기구나 전선류를 구매하는 경우 한전이 제작규격서를 제시하고, 그 규격에 따라 제조업체가 제품을 만들게 된다. 그러나 초전도케이블 같이 기술개발이 진행 중이면서 아직 상용화 단계에 도달하지 않은 제품은 한전 단독으로 제작규격을 만드는 것이 어렵다. 초전도케이블 시스템에는 기존 전력회사에서 다루지 않는 초전도체 응용 기술, 극저온 냉각기술 등이 포함되어 있어서 제조업체와 협력하지 않으면 제대로 된 제작규격서를 만들 수 없기 때문이다. 그래서 한전이 기존 케이블을 운전한 경험과 현재까지 초전도케이블 관련 연구 결과로부터 얻어진 기본 원칙을 제시하면 국내외의 제조업체들은 그 원칙에 맞게 나름대로의 규격서 초안을 만들고 그것들을 다시 한전이 검토, 조정하여 제작규격서가 완성된다. 초전도케이블 시스템 제조를 위하여 한전이 제시하려는 기본 원칙의 초안을 아래에 설명한다.

#### 1) 초전도 케이블 단락전류 산정

초전도케이블을 전력계통에 도입하기 전에 현재 일반적으로 사용되는 다양한 기술 표준이나 기준으로 성능 시험을 할 필요가 있다. 이런 기술 기준 가운데 하나가 초전도케이블이 전력 계통에서 생기는 과전류나 단락전류에 견뎌야 한다는 것이고, 어느 정도의 내량이 요구되는지는 전력계통의 단락전류 크기와 차단기의 동작시간에 따라 달라진다. 즉, 단락전류의 크기와 차단기의 차단시간을 알면 초전도케이블의 과전류 용량 결정이 가능하다. 초전도케이블은 단락전류에 의한 로렌츠 힘에 영향을 받아서 임계전류가 낮아질 수 있으며, 1초 정도 지속되는 단락전류는 심각한 온도상승을 유발할 수 있으나 0.1-0.3초의 고속 차단장치를 사용할 경우 온도 상승을 100-105K까지 제한하는 것이 가능하다.

우리나라에 있어서는 정격전압 25.8kV 차단기의 경우 정격차단전류 25kA, 정격차단시간 5cycle이 표준이고, 170kV 차단기의 경우 50kA 및 63kA, 3cycle이 표준이다.

2) 전기적 절연재

고온절연형은 도체를 제외한 나머지 부분의 구조가 기존의 OF 케이블과 거의 같으므로 기존 케이블에 사용하는 전기절연재를 그대로 적용할 수 있다. 저온절연형의 경우 전기적 절연재료로 paper-polypropylene tape 등을 쓰기 때문에 기존의 OF케이블의 절연구조와 비슷하지만 안쪽의 도체와 바깥쪽의 차폐체로 나누어진 초전도체 구조 때문에 고온절연형에 비하여 제조가 어렵다. 지금까지 액체질소 온도에서 그런 전기절연체를 제대로 된 운전경험이 없다는 점과, 케이블 단말장치의 경우에 고전압에서의 유전체 스트레스, 10-20기압에 이르는 액체질소 내에서의 기계적 스트레스, 상온에서 액체질소까지의 온도구배에 의한 열적/기계적 스트레스 등의 문제가 설계를 어렵게 만들고, 고장위험을 증가시킨다.

초전도케이블을 실제의 전력계통에 연결하려면 전기적 절연재의 극저온 특성을 알아야 하고, 특히 절연재의 장기사용에 따른 열화 특성과 단락사고시의 과전류 특성 등이 중요하다. 초전도케이블에 사용되는 절연재의 장기수명 특성도 기존케이블의 그것과 마찬가지로 부분방전의 영향을 받는다. 극저온 절연재로 사용가능한 OPPL(oriented polypropylene laminated paper), PPLP(polypropylene

laminated paper) 그리고 크라프트지(Kraft paper)에 대하여 부분방전 특성, 절연파괴특성, 고장전류 특성 등을 조사한 결과 장기적인 절연성능 안정 측면에서는 PPLP가 우수한 것으로 나타났고, 절연재를 액체질소에 담그는 경우 기존의 절연유 함침의 경우에 비하여 절연성능이 저하하는 것으로 나타났다. 고온 절연방식 초전도케이블의 전기적 절연은 기존 케이블에서 사용하는 절연재의 실험 및 연구 결과나 사용경험을 그대로 적용할 수 있다.

3) 실증시험용 케이블 시스템 시험 종류 및 기준

저온절연형 고압 초전도케이블에 대한 일상 시험, 샘플시험, 인정시험, 장기성능시험, 준공 시험 등에 적용하기 위한 시험기준을 마련하기 위해서 우선 다음과 같은 국제 기준들을 참고하였다.

- IEC 141-2, 1963 : Tests on oil-filled on gas-pressure cables and their accessories,
- Part 2 : Internal gas-pressure cables and accessories for alternating voltages up to 275kV
- Part 4. Oil-impregnated paper-insulated high pressure oil filled pipe-type cables and accessories for alternating voltages up to and including 400kV

가) 적용 범위

현재의 초안은 테이프 절연형의 초전도케이블과 그 부속설비의 시험에 적용하며 정상 운전 상태에서 케이블 속에 액체질소가 순환한다고 간주한다. 즉 액체질소는 도체와 절연체에 직접 접촉하고, 압력은 2-3 bar에서 10-20 bar까지 될 수 있다.

나) 인용규격

기존 케이블에 대한 시험 규격의 많은 부분은 초전도케이블에도 그대로 적용이 가능하지만 일부는 조정 및 보완이 필요하다.

예를 들면

- IEC 60228(도체)는 초전도체와 차폐체를 적용하고,
- IEC 60811-1(전력케이블의 절연재와 시스재에 대한 공통 시험)에서 기계적 성질(Part 1), 열적 에이징 방법(Part 2) 저

온시험(Part4) 등은 액체질소 온도를 고려하여 보완해야 한다.

### 다) 시험 조건

기존 케이블을 시험하는 경우 주위온도(상온)를 나타내는 경우가 있는데, 초전도케이블의 경우 어떤 실험은 상온에서 하고 어떤 시험은 액체질소 온도에서 할 것인지 결정하여야 한다.

### 라) 특성

시험 기준에 명시되어 있는 시험을 수행하고 그 결과를 기록하기 위해서는 시험하고자 하는 케이블과 주변장치에 대한 명확한 식별 방법이 필요하다. 케이블 식별을 위한 전형적인 특성들은 다음과 같다.

#### ① 전기적인 데이터

- 정격전압
- 정격 전류, 임계전류
- 과전류의 크기
- 단락전류 특성 : 전류, 지속시간, 재폐로 과정 등

#### ② 초전도 케이블 설계 데이터

- 도체의 형식(단면도)
- 절연재의 종류 및 두께
- 도체, 케이블 코어 등의 외경
- 정격 커패시턴스 및  $\tan \delta$
- 극저온 관로 속에 들어가는 케이블 코어의 개수

- 극저온 관로의 특성과 치수
- 액체질소의 정격압력

#### ③ 주변장치에 대한 설계 데이터

- 도체 연결 기술
- 각 부분의 치수 및 재료의 종류
- 기타

### 4) 점검 주기 사이의 단열효율 감소 기준

#### 가) 점검주기

초전도케이블 냉각시스템의 점검 주기는 길수록 좋다. 그러나 기존 송변전기기의 점검주기를 감안하여 1년 - 3년으로 하는 것이 바람직하다.

#### 나) 단열 효율 감소 기준

냉각시스템에서 단열 효율, 즉 열절연 성능은 저온유지장치(cryostat)의 진공도에 의하여 크게 좌우된다. 점검 주기가 결정되면 그

사이에 허용 가능한 진공도 저하 범위를 결정할 수 있다. 그러나 점검 주기와는 독립적으로 진공도의 하한치를 정하고, 항상 그 값을 초과하지 않도록 하는 것도 현실적인 대안이 될 수 있다.

#### 5) 냉동기 운전 및 유지 보수 기준

초전도케이블로 송전을 하는 동안에는 항상 냉각장치가 동시에 운전이 되어야 하므로 냉동기에 대한 점검은 1 - 3년 주기로 하는 것이 적절하다. 무인변전소가 늘어나는 추세를 고려하여 초전도케이블용 냉각시스템도 무인운전을 기본으로 하고, 원격 감시 및 제어가 가능하도록 설계하여야 한다. 액체 질소 순환 냉각시스템을 채택하는 경우에는 액체 질소 탱크에 액체질소를 보충하는 주기는 1개월 이상으로 하는 것이 바람직하다.

#### 6) 냉동기 Back-up 시스템에 대한 기준

고온초전도케이블의 경우 동작 온도가 77K 주위이므로 전류의 통로인 초전도체는 진공열절연을 사용하는 저온유지장치 속에 들어 있다. 그래서 냉각장치가 필요하고 그 냉각장치를 동작시킴으로써 외부로부터 진공유지장치를 통하여 들어오는 열과 케이블 자체의 손실로 인해 발생하는 열에너지를 외부로 배출하여 케이블 동작에 필요한 극저온 상태를 계속 유지할 수 있다. 또한 초전도케이블이 적용될 실제 전력계통은 단기간의 과부하 혹은 고장 전류 등이 발생할 수 있으므로 냉동기의 용량을 결정할 때는 그러한 과전류의 크기와 지속 시간도 충분히 고려할 필요가 있다. 단기간의 과부하 운전에 대비하기 위해서는 30% 정도 냉동기 용량이 증가되어 한다. 또한 주냉동기의 고장 혹은 점검 등을 고려하여 주냉동기 용량의 100%에 해당하는 Back up 시스템이 준비되어야 한다.

### 마. 실증시험 내용 및 시험 장비

초전도케이블시스템이 구매규격에 맞게 제작되어 실증시험장에 납품되면 먼저 설치작업이 진행되고 이어서 제조업체의 책임 아래 시운전을 하여 이상이 없는 경우 한전이 설비를 인수하게 된다. 아직 초전도케이블에 관련된 기술은 성숙 단계에 이르지 못하였다는 것을 고려하여 실증시험용 초전도케이블에 대한 하자보증기간은 1년 정도가 적합할 것으로 판단

하고 있다. 아래에 초전도케이블시스템이 납품된 이후에 이루어질 각종 시험의 종류 및 기간 그리고 전체 실증설비의 종류와 계측장비 등을 열거한다.

1) 실증시험 항목

- ① 초전도 케이블 시스템 현장설치 및 조립 : 2주~3주.
- ② 기계적 안정성의 평가-진공·가압시험 : 2주.
- ③ 기계적 안정성의 평가-초기냉각특성평가 : 4주.
- ④ 기계적 안정성의 평가-Thermal cycle 시험 : 8주~16주.
- ⑤ Thermal stress - DC/AC 통전시험 : 8주~16주.
- ⑥ 과통전시험 : 14주~20주  
(연구기간내 실시 대상 : 총 38~61주)
- ⑦ 장기과통전시험 : 5년  
(시험기간3년, 예비1년, 파괴시험1년).

2) 실증시험 설비

앞서 검토한 초전도케이블 시스템에 대한 실증시험을 수행하기 위해 필요한 설비들을 분류한다.

- ① 초전도케이블 포설구조물 :
  - 동도설치구조물
  - 입상구조물(관로)
  - 단말설치부 및 실증시험설비설치위치 기초공사
  - 케이블 포설 및 조립작업관련 설비
- ② 기본측정설비 :
  - Megger
  - Double bridge
  - Capacitance bridge
  - 극저온 온도측정설비
  - LN2 유량측정설비
  - LN2 압력측정설비
  - Leakage detector
  - Strain gauge
  - 다채널 strip chart recorder
  - Schering bridge
  - Standard capacitor
  - Partial discharge detector
  - Coupling capacitor
  - Divider
  - AC Peak Voltmeter
- ③ 냉각관련 설비

- 진공각설비
- Gas가압시설비
- LN2냉험설비
- ④ 시험전원설비
  - 직류대전류원 및 단상/삼상 교류대전류원
  - 자동제어설비
  - 3상 시험전압원
  - On-line감시설비
  - DC/AC/Impulse파괴시험설비

4. 결 론

현재 우리나라는 과밀화한 도심부의 전력공급을 위하여 XLPE 케이블과 OF 케이블에 의한 지중송전선을 활용하고 있다. 이것에 대해 고 전류밀도의 초전도케이블을 적용하면 컴팩트한 케이블의 실현이 가능하므로 직경이 훨씬 작은 관로에 대전력의 수송이 가능하게 될 뿐 아니라 경량화도 이루어 질 것이다. 따라서 건설비의 저감과 함께 과밀화하는 지하공간의 유효활용이 가능하고, 설비구성이 용이하게 되며 손실이 대폭적으로 줄어든다. 그렇지만 현재까지의 문제는 초전도케이블 시스템에 관련된 기술이 전력계통에 바로 적용할 정도로 성숙한 단계에 이르지 못하였다는 것이다.

이러한 상황 아래서 한전은 유망한 첨단기술을 조기에 전력계통 현장에 적용하여 전력공급 원가를 저감하려는 목적을 갖고 초전도케이블시스템의 실증시험 프로젝트를 시작하게 되었다. 한전은 현재 초전도케이블을 운전한 경험이 없으므로, 이 프로젝트를 통하여 계통의 정상 상태와 고장 상태에서의 초전도케이블 운용에 관련된 경험을 쌓아 나가고 기술을 축적 할 수 있을 것이다. 특히 기존의 전력케이블에는 극저온 냉각이 불필요 하였지만 초전도케이블은 냉동장치가 필수적이므로 이에 대한 기술축적은 전력회사의 입장에서 보면 대단히 중요하다.

실증시험 프로젝트를 통하여 초전도케이블시스템의 신뢰성이 입증되고, 국내 전력계통에 초전도 송배전시스템이 도입된다면 보다 안정적이고 경제적인 전력공급이 가능하게 될 것이고 그에 따른 전력산업의 획기적 발전이 기대된다. 또한 초전도 전력케이블의 적용 및 확대보급은 관련 재료산업 및 냉동기 산업의 발전으로도 이어질 것이다. 그와 아울러

국내의 전선, 전력기기, 극저온냉동기 메이커 등을 중심으로 초전도케이블 제조 산업이 형성될 것이고 그것을 토대로 전력산업은 현재보다 더 기술집약적인 산업으로 패러다임의 변화를 가져올 것이고 보다 첨단 산업화할 것으로 전망한다.

### 저자이력



황시돌(黃時堯)

1957년 01월 12일생. 1981 연세대학교 전기공학과 졸업, 1986년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1980년 한국전력공사 입사, 현재 한전 전력연구원 신기술센터