

## 고온초전도 전력케이블의 국제동향

박민원

차세대초전도응용기술개발사업단 기술팀장

### 1. 서론

HTS wire를 이용한 전력케이블을 개발하고 있는 연구기관 및 국가는 미국에 상당히 편중되어 있다. 그러나, 한국을 포함한 아시아권의 연구개발도 미국 못지않은 활발한 연구개발을 진행 중에 있다. 본고에서는 미국, 일본, 중국을 중심으로 한 초전도 전력케이블의 국제동향을 간략하게 설명하도록 한다. 그림 1은 전 세계에서 진행 중에 있는 초전도 전력케이블 프로젝트의 요약도이다.

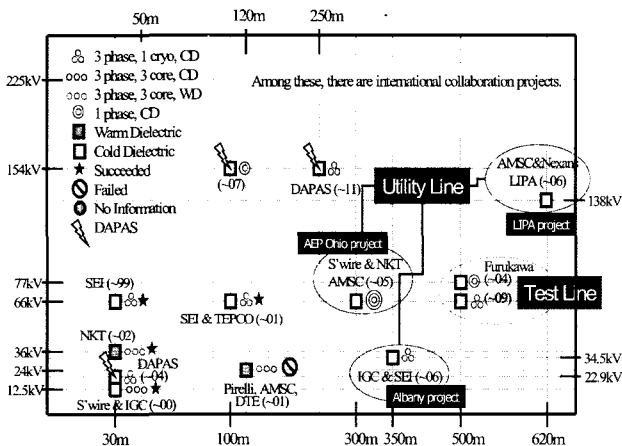


그림 1. 국제 초전도 전력케이블 프로젝트 요약도

### 2. 미국의 초전도 전력케이블 프로젝트

미국에는 현재 3대 초전도 전력케이블 프로젝트가 진행 중에 있다. 모두 미국 DOE의 지원을 받은 SPI (Superconductivity Partnership with Industries) 프로그램의 일환으로 진행 중에 있다. 이름 하여 LIPA project, AEP Ohio project, 및 Albany project이다. 본 3대 프로젝트에 대한 요약설명은 표 1과 같이 설명할 수 있다.

표 1. 미국 DOE SPI 프로그램에서 진행 중인 3대 초전도 전력케이블 프로젝트 요약 설명

Install	Long Island Power Authority	Bixby Substation, Ohio	Albany, New York
Period	2002-2006	2003-2005	2003-2006
Nation	France&USA	Denmark&USA	Japan&USA
Length	620m	300m	350m
Volt/Cur	138kV/2.5kA	13.2kV/2.5kA	34.5kV/2.5kA
FUND	Gov.	15M\$	4.33M\$
	Ind.	15M\$	4.32M\$
	Total	30M\$	8.65M\$

#### 가. LIPA(Long Island Power Authority) project

LIPA 프로젝트는 미국 Long Island 전력회사의 계통에 620m 초전도 전력케이블을 2006년까지 설치하는 프로젝트이다. 주관연구기관으로는 고온 초전도선(HTS wire) 관련 세계최고 전문회사인 미국의 AMSC(American Superconductor)사가 맡고 있으며, 참여연구기관으로는 프랑스의 Nexans사가 참여하고 있다. 그림 2는 케이블의 디자인을 나타낸 것이며, 그림 3은 설

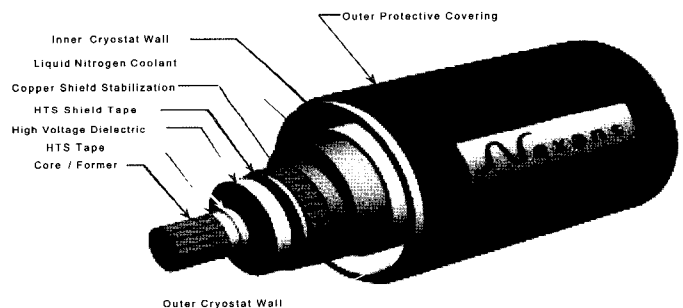


그림 2. LIPA project 초전도 전력케이블 Cold Dielectric 디자인

치될 장소의 Top view를 나타내고 있다. 특히, 본 프로젝트의 가장 큰 특징으로는 138kV급 송전전압계급의 세계최초 초전도 전력케이블이라는 점에 있으며, 그 성공여부에 많은 이들의 관심이 집중되고 있다.

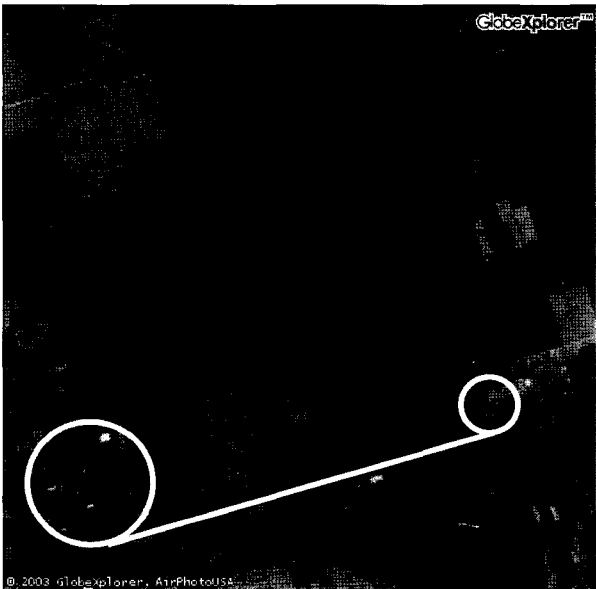


그림 3. LIPA 초전도 전력케이블이 설치될 장소

#### 나. AEP Ohio project

AEP Ohio project는 세계 최초의 1축 3상 케이블의 실 계통 적용 프로젝트이다. 2005년까지 300m급 초전도 전력케이블을 미국 Ohio주의 전력계통에 설치하려는 거대 프로그램이며, 주관기관으로는 ULTERA사가 맡고 있다. ULTERA사는 미국 전력케이블회사인 Southwire사와 세계최초의 30m급 초전도 전력케이블을 실 계통에 적용시킨 덴마크의 NKT사와의 초전도 전력케이블을 위한 합작회사이다. 본 프로젝트는 그림 4와

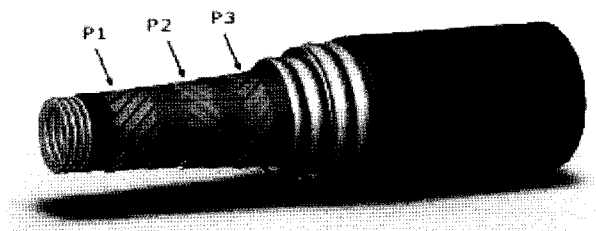


그림 4. AEP Ohio project의 Triax Cable Design

같이 3상 전력케이블을 former 한축에 감는 새로운 기법을 적용한 디자인을 선보이고 있으며, 본 디자인은 5m급에서 우수한 성능을 확인하였고 현재 장선화 테스트를 시행 중에 있는 것으로 보고되고 있다. 정격전압은 13.2kV이지만, 정격전류는 3kA로서 비교적 높은 전류값이다. 2005년 10월부터 통전을 실시할 예정에 있다.

#### 다. Albany project

Albany project는 제2세대 초전도선의 세계적인 기록을 가지고 있는 미국 IGC-SuperPower사와 세계최초로 100m급 초전도 전력케이블 프로젝트를 성공리에 마무리한 일본 스미토모전공(SEI)이 함께 추진하고 있는 프로젝트이다. 물론, 미국 DOE로부터 13M\$를 받고 있으며, 일본의 케이블회사가 미국의 국가프로젝트에 중심적인 역할로서 참석하고 있는 국제적인 프로젝트이다. 총 설치될 길이는 350m로서, 그중 마지막 30m부분은 제2세대 초전도선으로 제작된 케이블을 설치할 예정에 있다. 그림 5는 350m급 케이블 시스템의 단면도를 나

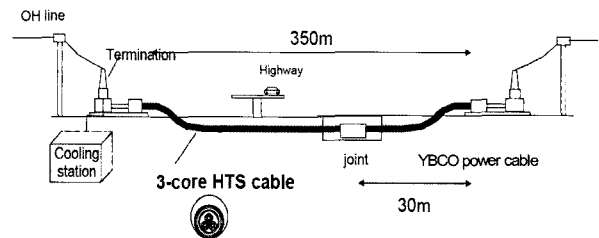


그림 5. Albany project 350m급 초전도 전력케이블 단면도

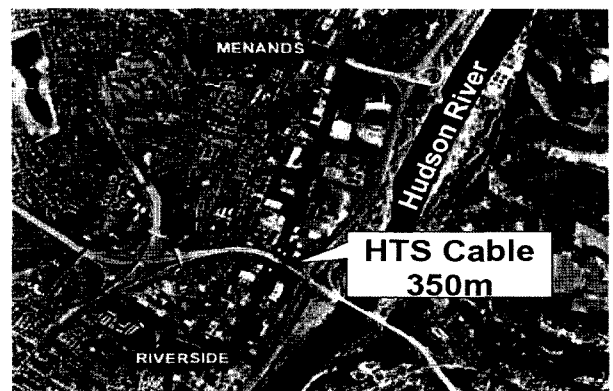


그림 6. Hudson 강변의 350m 초전도 전력케이블 설치장소

## 고온초전도 전력케이블 특집

타내고 있으며, 그림 6은 Hudson 강변에 설치될 장소를 위성사진으로 찍은 Top view이다.

정격전류는 800A로 설계되고 있으며, 전압계급은 34.5kV급이다. 스미토모전공이 케이블의 Fabrication을 담당하고 있으며, 일본 CRIEPI에서 실증시험이 성공리에 실시되었던 스미토모형(Cold Dielectric, 3 phases-in-1 cryostat) 전력케이블 디자인으로 설계되고 있는 것으로 전해지고 있다.

### 3. 일본의 Super-ACE 초전도 전력케이블 연구개발 현황

일본 스미토모전공과 동경전력이 공동으로 개발한 100m급 초전도 전력케이블 실증시험이 끝나고, 스미토모전공은 미국 Albany project로 진출하였다. 이후, 일본 내에서는 Super-ACE project를 중심으로 후루카와전공에서 500m급 단상 초전도 전력케이블을 개발 중에 있다. 그림 7은 CRIEPI에 test를 위해 설치 중에 있는 500m급 세계 최장 초전도 전력케이블의 개념도이다.

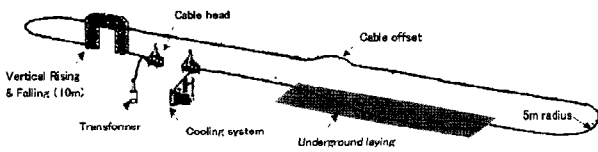


그림 7. 후루카와 전공에서 CRIEPI에 설치 중인 500m급 세계최장 초전도 전력케이블 개념도

모든 초전도 전력케이블 프로젝트의 목표가 동일하겠지만, Super-ACE의 초전도 전력케이블 프로젝트는 AC loss를 최소화시키는 것을 가장 큰 목표로 잡고 있다. 2009년까지의 목표는 통전전류 5kA에 1W/m의 값을 그리고, 2004년까지는 3kA에 1W/m의 값을 목표로 잡고 있으며, 현재 2004년까지의 목표는 달성된 것으로 보고 되고 있다. 특히, 본 케이블은 디자인 면에 있어서도 전압계급은 송전급에 속하는 77kV이며, 정격전류도 1kA를 목표로 하고 있다. 전기절연지로 PPLP를 사용하고 있으며, 초전도선은 후루카와 전공에서 자체적으로 개발한

Bi-2223 제1세대 wire를 사용하고 있다. 일부에서는 AMSC사의 wire를 사용하지 않는가라는 소식도 있었지만, 후루카와전공의 개발담당자와의 직접대화에서는 자사의 wire를 사용한다고 전하고 있다. 그림 8은 후루카와전공 500m급 케이블의 내부단면을 나타낸 그림이다.

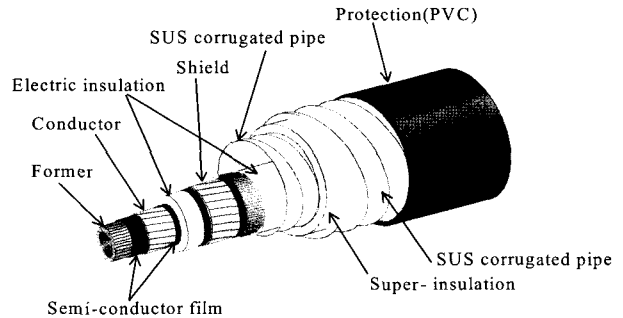


그림 8. 후루카와 전공에서 개발한 500m급 단상, 77kV, 1kA급 초전도 전력케이블 내부 단면도

현재, 본 프로젝트는 2004년 4월부터 통전시험을 개시하게 되며, 그림 9에서와 같이 후루카와 전공에서 제작하여 CRIEPI 요코스카 연구소로 선박을 통해서 50km, 트레일러를 통해서 10km 이동하여 최종적으로 설치를 완료하게 되었다. 이동시에 발생할 수 있는 각종 진동에 대비한 테스트도 실시하였으며, 그림 9의 (c)에 표시되어 있다.

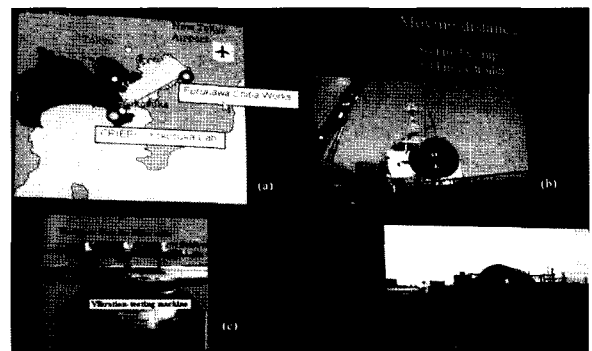


그림 9 후루카와전공에서 제작되어 CRIEPI 요코스카 연구소로 수송되는 500m급 초전도 전력케이블

추가로 그림 10은 설치될 당시에 촬영된 사진들이다. 본 사진들은 지난해 2003년 11월 촬영된 사진들로서 현재(2004년 1월)는 모든 설치가 완료되어 시운전 준비작업을 실시하고 있다.

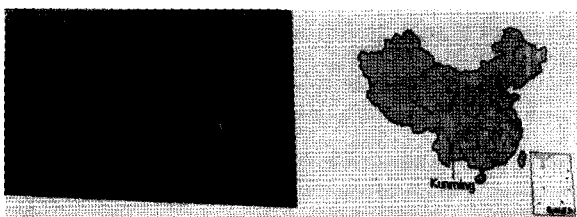


그림 10. CRIEPI 요코스카 연구소에서 2003년 11월 촬영된 500m급 초전도 전력케이블 설치장면

#### 4. 중국의 초전도 전력케이블 연구개발 현황

중국은 저온부터 시작하면 30년이 넘는 초전도 연구개발 역사를 자랑한다. 최근은 고온초전도에 대한 연구를 활발하게 진행하고 있으며, IEE CAS그룹과 InnoPower사에서 특히 초전도 전력케이블 연구를 활발하게 진행시키고 있다. 본고에서는 InnoPower사의 초전도 전력케이블 연구개발 현황에 대하여 설명하도록 한다.

InnoPower사는 Bi-2223 wire를 제작 판매하고 있는 중국의 InnoST사와 중국의 운남전력과의 공동 출자로 만들어진 회사로서 금년 2004년 4월 30m급 초전도 전력케이블을 중국계통에 최초로 설치할 계획을 가지고 있다.



The planned installation site is Puji Substation, Kunming, Yunnan Province, China

그림 11. 중국최초로 실 계통에 투입될 30m 초전도 전력케이블의 설치장소 (푸지 변전소, 쿤민, 운남성)

전압계급은 35kV이며, 정격전류는 2kA로 설계되었다. 최근 대부분의 초전도 전력케이블이 Cold Dielectric으로 설계되고 있는 것에 반하여 본 프로젝트는 절연방식이 Warm Dielectric방식으로 설계되었다. 냉

동기도 8대의 GM 냉동기를 설치하는 것으로 되어있다.

#### 5. 맺음말

미국, 일본, 중국을 중심으로 초전도 전력케이블 개발현황에 대하여 요약하여 설명을 하였다. 미국은 DOE가 주관하고 있는 SPI 프로그램, 일본은 NEDO가 주관하고 있는 Super-ACE 프로그램, 중국은 과기부가 주관하는 863 프로그램을 통해서 국가적으로 초전도 전력케이블의 연구개발에 총력을 기울이고 있다. 또한, 미국 SPI 초전도 전력케이블 프로그램에는 프랑스의 Nexans사, 덴마크의 NKT사, 일본의 스미토모 전공이 공동으로 참여하고 있듯이 국제공동연구개발이 활발하게 진행되고 있다.

우리나라에서도 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 DAPAS 사업내, 초전도 전력케이블 연구개발이 진행 중에 있다. 금년 4월 중으로 3상, 30m급 cable이 완성되고 그 결과가 2004 IDW(www.cast.re.kr/2004idw)에 발표될 예정이다.

#### 저자이력



박민원

1970년 2월 12일생, 1997년 창원대학교 졸업(공학사), 2000년 일본오사카대학 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 2002년 동대학원 졸업(공학박사), 현재 차세대초전도응용기술개발사업단 기술팀장