

## 22.9kV 고온 초전도 케이블·초전도 한류기 스마트 그리드 적용을 위한 초전도 시범사업

### Introduction of The First Demonstration Project for the Application of HTS Cable and SFCL to Real Smart Grid in South Korea

양병모<sup>1,\*</sup>, 박진우<sup>2</sup>, 이승렬<sup>3</sup>

B. Yang<sup>1,\*</sup>, J. Park<sup>2</sup>, and S. Lee<sup>3</sup>

**Abstract:** Until now some countries including South Korea have made big progress and many efforts in the development of high temperature superconductor (HTS) power equipments. Especially, HTS Cable and superconducting fault current limiter (SFCL) are the strongest candidates among them from the viewpoint of applying to real grid. In South Korea, HTS cable and SFCL have been installed in test fields and tested successfully at Gochang PT Center of KEPCO. In order to meet practical requirements and be feasible in real grid, a demonstration project for HTS cable and SFCL systems, called GENI(green superconducting electric power network at Icheon substation) project, has been initiated to install 23kV HTS cable and SFCL systems in a utility network in South Korea since 2008. Namely, it says the first demonstration project for the application HTS system to real smart grid in South Korea. This paper presents the design and the application plan of the 22.9kV HTS cable and SFCL in 154kV Icheon substation in South Korea with the viewpoint of applying in Smat Grid.

**Key Words:** HTS cable, SFCL, real power application, Smart Grid.

#### 1. 서 론

최근 화석연료의 고갈과 지구온난화의 심화로 인해 전력계통에 대한 고효율 친환경 에너지 공급 시스템의 중요성이 대두되고 있다. 친환경, 고효율이면서 컴팩트한 장점 때문에 고온 초전도 전력기기는 향후 전력계통의 핵심이 될 것이다. 고온 초전도 케이블은 DC저항(0) 특성에 의해 기존 동일 단면적의 전력케이블 대비 3~4배의 전력공급이 가능하다. 초전도 한류기는 수도권 등의 고밀도 부하 집중에 의해 최근 큰 문제점으로 부각되고 있는 차단기의 차단용량을 초과하는 고장전

류 문제에 대한 좋은 해결방안이 될 수 있다. 초전도 한류기와 고온 초전도 케이블 개발을 위한 수많은 프로젝트가 전 세계에 걸쳐 활발히 진행되고 있다[1-5]. 국내에서는 22.9kV 고온 초전도 케이블과 복합형 초전도 한류기가 개발되어 한국전력공사 전력연구원의 고장전력시험센터에서 실증시험을 성공적으로 마쳤다[6-10].

이 후에 성공적인 기기 개발시험을 통하여 고온 초전도 케이블과 초전도 한류기의 실 계통 적용을 위하여 2008년부터 154kV 이천변전소 초전도 시범사업, 이른바 GENI(Green Superconducting Electric Power Network at Icheon Substation) 프로젝트를 착수하게 되었다. 이 프로젝트는 22.9kV 고온 초전도 케이블과 초전도 한류기를 국내 최초로 실 계통 스마트 그리드에 시범 적용하는 실증 사업이다. 고온 초전도 케이블과 초전도 한류기는 대도시 부하밀집지역인 수도권 인근지역인 154kV 이천변전소에 2010년 말에 설치 운영될 예정이다. 이 논문은 22.9kV/50MVA/500m의 고온 초전도 케이블과 22.9kV/630A 초전도 한류기를 수도권 인근지역인 154kV 이천변전소에 스마트 그리드 시범 적용하는 것에 대하여 설명하고자 한다.

#### 2. 국내 고온 초전도 케이블/초전도 한류기 프로젝트

지난 10여 년간 정부 교육과학기술부의 초전도 프론티어사업인 DAPAS 프로그램의 일환으로 22.9kV/50MVA 고온 초전도 케이블과 22.9kV 초전도 한류기의 개발과 시험들이 진행되어 왔고, 2008년에 한전전력연구원 KEPCO PT Center(고장전력시험센터)에서 이들에 대한 실증시험을 성공적으로 마쳤다. 그림 1과 그림 2는 국내에서 개발된 22.9kV 50MVA 고온 초전도 케이블과 복합형 22.9kV/630A 복합형 초전도 한류기를 보여주고 있다[6].

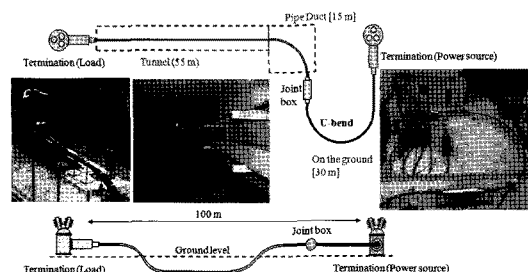


Fig. 1. 22.9kV, 50MVA HTS cable in Gochang Power Test Center of Korea.

<sup>1</sup>정 회 원 : 한전전력연구원 송배전연구소 선임연구원

<sup>2</sup>정 회 원 : 한전전력연구원 송배전연구소 연구원

<sup>3</sup>정 회 원 : 한국전기연구원 선임연구원

\*교신저자 : bmyang@kepri.re.kr

원고접수 : 2010년 09월 01일

심사완료 : 2010년 09월 01일

게재확정 : 2010년 09월 10일

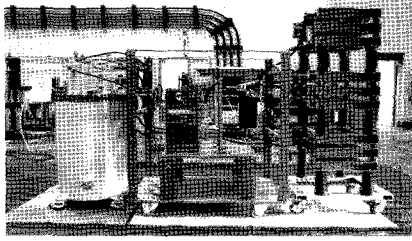


Fig. 2. 22.9kV hybrid SFCL in Korea.

### 3. GENI 프로젝트의 개요

#### 3.1. 개요

GENI 프로젝트는 한전과 지식경제부에 의해 투자된 사업으로 한전 뿐만 아니라 KERI, LS전선, LS산전 등이 프로젝트에 참여하고 있다. 이 프로젝트에서 한전은 22.9kV 고온 초전도 케이블과 복합형 초전도 한류기를 154kV 이천변전소 계통에 스마트 그리드 시범으로 적용시킬 계획이다. 그림 3은 154kV 이천변전소의 전경과 위치를 나타내고 있다. 154kV 이천변전소에는 45/60MVA 용량을 가진 5대의 154kV/23kV 주변압기가 있으며 총 부하는 유효전력 약 160MW, 무효전력 78MVAR 정도이다. 변전소에서 인출되는 모든 22.9kV 배전선로(D/L)은 방사형 선로이다. 그림 4는 154kV 이천변전소에 실 계통 적용되는 고온 초전도 케이블과 복합형 초전도 한류기가 설치된 계통의 단선도를 나타내고 있다. 22.9kV/50MAV 고온 초전도 케이블은 2010년 말 이천변전소 5번 주변압기의 2차측에 약 500m 가량 설치될 예정이고 22.9kA/3kA 초전도 한류기 또한 2011년 말 154kV 이천변전소 5번 주변압기의 2차측에 설치될 예정이다. 22.9kV/630A 복합형 초전도 한류기는 1번 주변압기와 연결된 장평D/L의 인출측에 적용될 것이다.

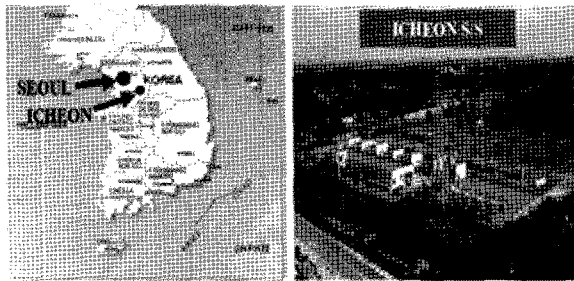


Fig. 3. Bird's-eye view of Icheon S/S.

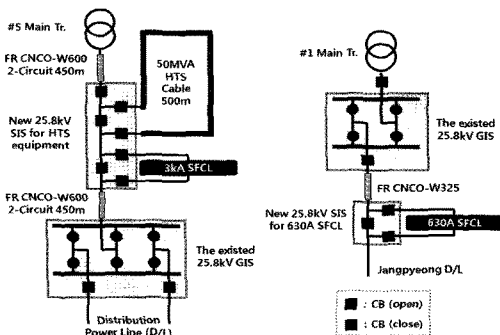


Fig. 4. One-line diagram for installation of HTS cable and SFCL in Icheon S/S.

#### 3.2. 고온 초전도 케이블

2008년 11월을 시작으로 한전전력연구원은 LS전선과 함께 2세대 초전도선재(344B AMSC)를 이용한 22.9kV/50MVA 고온 초전도 케이블 500m의 개발 중에 있다. 그림 5는 22.9kV 고온 초전도 케이블의 구조와 저온유지용기의 형상을 보여주고 있다[11]. 고온 초전도 케이블은 cold dielectric type이고 직경은 145mm이고 허용고장전류는 25kA, 500ms이다. 그림 6은 22.9kV 고온 초전도 케이블 단말을 보여주고 있으며 그림 7은 154kV 이천변전소 내 고온 초전도 Cable의 접속구간을 나타내고 있다. 그림 8에 나타난 바와 같이 냉각시스템은 폐루프 형태이며 두 대의 4kW 스티어링 냉동기와 한 대의 모듈식 8kW 백업 장치로 구성된다.

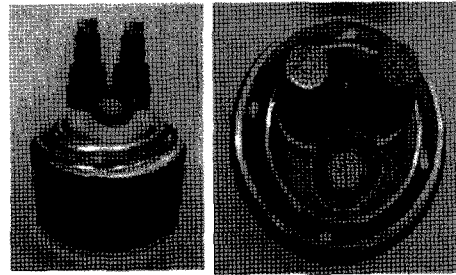


Fig. 5. Configuration of 22.9kV HTS cable.

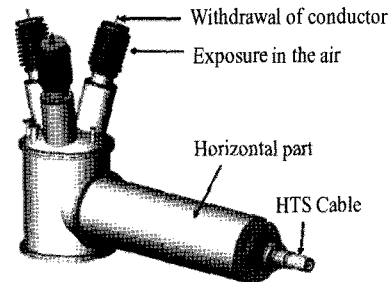


Fig. 6. Termination of 22.9kV HTS cable.

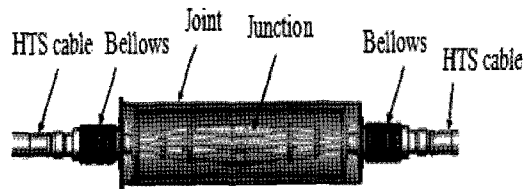


Fig. 7. Joint system of 22.9kV HTS cable.

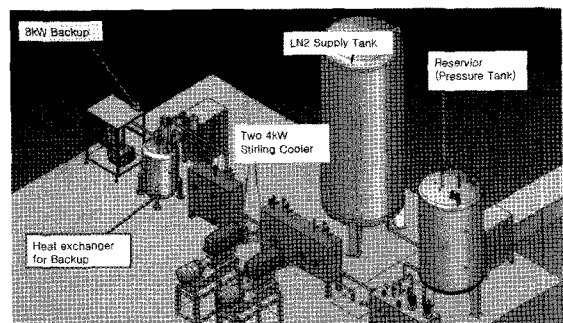


Fig. 8. Cooling system layout of 22.9kV HTS cable.

3.3. 초전도 한류기

한전전력연구원은 LS산전과 함께 YBCO 선재를 사용한 22.9kV 복합형 초전도 한류기의 개발 중에 있다. 이 초전도 한류기는 그림 9에 나타난 바와 같이 고장 전류의 반주기 이후에 고장전류를 제한하는 1st peak non-limiting 타입이다.

이 형태의 초전도 한류기는 전력계통의 재폐로 운전 조건에 잘 들어맞으며 이번 pilot 프로그램을 위해 채택되었다. 복합형 초전도 한류기는 상시 운전 시는 전류가 초전도체가 있는 주 회로를 통해 흐르다가 고장이 발생하면 초전도체가 전류를 제한하게 되어 보조회로로 전류가 우회하고 그 동안 주 회로상의 스위치가 동작하여 회로를 off시킨 후 보조회로의 한류소자가 동작하도록 하는 구도이다. 초전도체는 오직 이 계통의 과전류를 검출하는 역할만 하게 되고 보조회로의 한류소자(Current Limiting Resistor) 또는 리액터가 고장전류를 제한하는 역할을 하게 된다. 주 회로에서 보조회로로 경로를 변경하기 위해서는 빠른 스위칭이 필요하다. 그림 10은 복합형 초전도 한류기의 회로를 보여주고 있다. 복합형의 가장 큰 장점은 초전도체의 양을 최소화 할수 있어 경제적이란 점과 전력계통의 재폐로 운전 조건에 부합할 수 있다는 것이다[5-8].

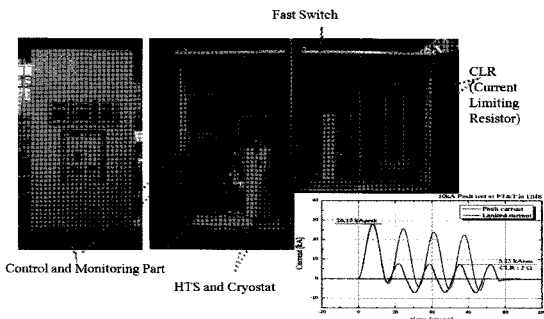


Fig. 9. Configuration of 22.9kV 630A hybrid SFCL.

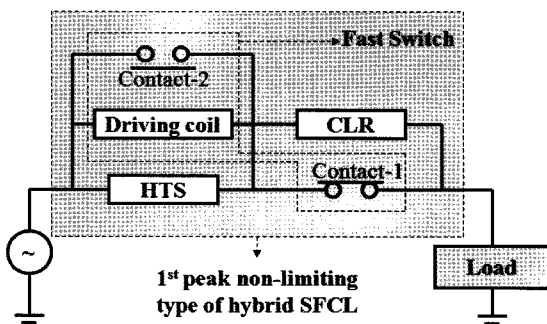


Fig. 10. Configuration of 22.9kV 630A hybrid SFCL



Fig. 11. Layout for the application of HTS cable and SFCL to Icheon S/S.

4. GENI 프로젝트의 시범적용

그림 11은 154kV 이천변전소 내 22.9kV 고온 초전도 케이블과 초전도 한류기 시스템의 스마트 그리드 시범적용 배치도를 보여주고 있다. 이는 크게 두 부분으로, IEC 61850을 적용한 모니터링 시스템 부분과 고온 초전도 케이블과 초전도 한류기에 적용될 백업 차단기를 포함한 친환경 전력설비 스위칭기어(친환경고체절연개폐기, Solid Insulation Switchgear) 시스템 부분으로 나눌 수 있다.

4.1. 모니터링 시스템

스마트 그리드용 IEC 61850 기반 변전소 자동화(SA) 시스템이 고온 초전도 케이블과 초전도 한류기의 감시, 보호 및 제어를 위해 154kV 이천변전소에 적용될 것이다. 그림 12는 GENI 프로젝트를 위해 154kV 이천변전소에 들어설 변전소 자동화 시스템을 보여주고 있다. 모니터링 시스템은 그림 13과 같이 기존 계통에 설치되어 있는 RTU 및 SCADA시스템과 연결될 것이다. 이 시스템은 통신 프로토콜로서 IEC 61850을 채용하였다. 이더넷 스위치들은 이중화 운영을 위해 시스템과 네트워크에 적용되고 HMI는 고온 초전도 케이블과 초전도 한류기를 감시하기 위한 장치이다.

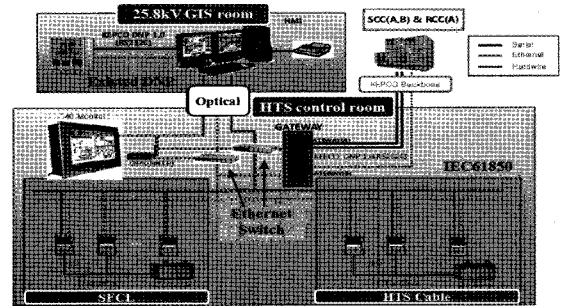


Fig. 12. SA system based IEC 61850 for GENI project in Icheon S/S.

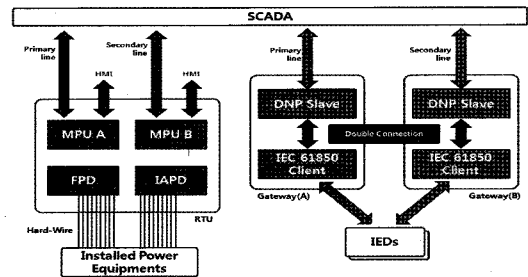


Fig. 13. SCADA connection for GENI project in Icheon S/S.

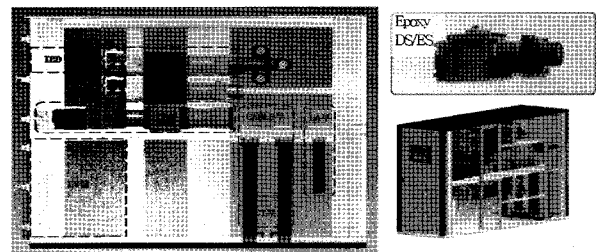


Fig. 14. SIS system for the application of HTS cable and SFCL to Icheon S/S.

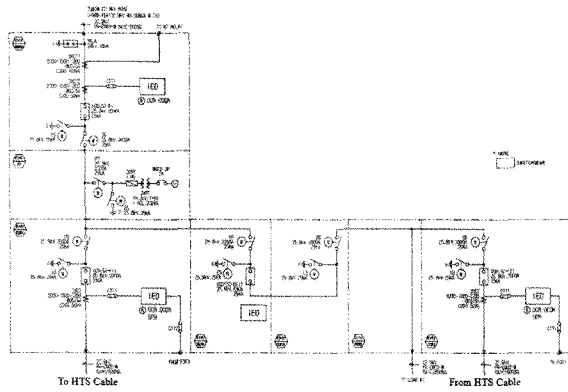


Fig. 15. One line diagram of SIS system for the application of HTS cable.

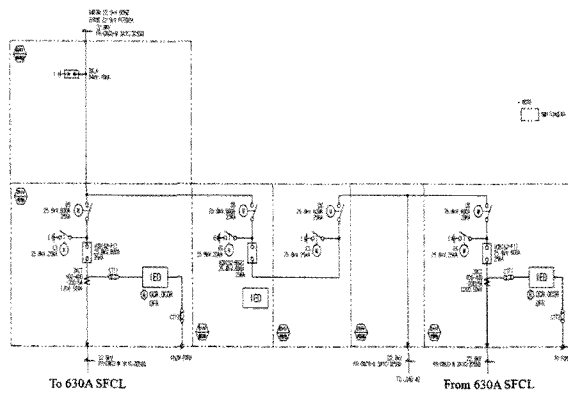


Fig. 16. One line diagram of SIS system for the application of 630A SFCL.

#### 4.2. 친환경고체절연개폐기(SIS) 시스템

GENI 프로젝트의 목적은 친환경, 고효율 전력기기의 실증이다. 이에 따라 우리는 25.8kV/2000A 친환경 고체 절연 스위칭기어(SIS) 시스템을 GENI 프로젝트의 일환으로 고온 초전도 케이블 및 복합형 초전도 한류기의 계통운전을 위해 설치할 것이다. SIS는 전기 절연재료로 Epoxy 고체절연물을 사용하여 기존 가스 절연 스위칭기어(GIS) 시스템에 비해 더욱 컴팩트하고 친환경적인 설비이다. 그림 14는 154kV 이천변전소에 설치될 SIS 시스템을 보여주고 있다. 이 SIS 시스템은 고온 초전도 케이블과 복합형 초전도 한류기의 적용을 위해 보호계전기를 포함하고 있으며 그림 15와 16은 각각에 대한 단선도를 보여주고 있다. 그림 17과 18은 고온 초전도 시스템을 포함하는 154kV 이천변전소 보호시스템을 나타내고 있다. 지능형 전자장치(IEDs)가 스마트그리드를 기본으로 한 효율적인 계통운전을 위해 SIS와 보호시스템에 설치될 것이다. IED는 IEC 61850을 기반으로 한다.

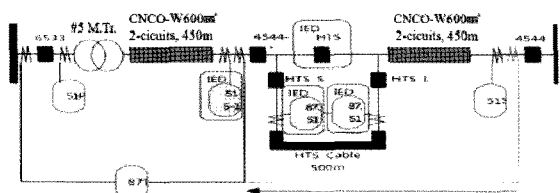


Fig. 17. Protection system of HTS cable in Icheon S/S.

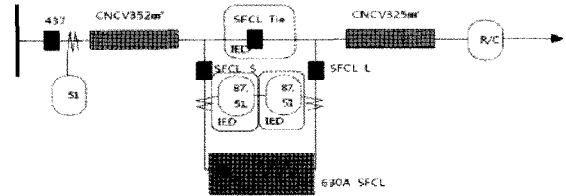


Fig. 18. Protection system of 630A hybrid SFCL in Icheon S/S.

## 5. 결 론

이 논문은 성공적이고 효율적인 22.9kV 고온 초전도 케이블과 복합형 초전도 한류기의 실 계통 적용을 위한 시범사업인 GENI 프로젝트에 대해 기술하였다. 향후 한국전력공사는 154kV 고온 초전도 케이블, DC 고온 초전도 케이블, 그리고 154kV 및 345kV 초전도 한류기와 같은 송전급 고온 초전도 케이블과 초전도 한류기를 개발하여 친환경 스마트그리드 계통에 적용할 예정이며 154kV 이천변전소 초전도 시범사업, 이른바 GENI 프로젝트는 향후 국내 초전도 전력기기의 도입에 선구자적인 역할을 하게 될 것이다.

## 감사의 글

본 과제는 지식경제부 전력산업연구개발사업에 의해 투자된 연구개발 프로그램의 일환으로 수행되었음.

## 참 고 문 헌

- [1] DOE Peer Review, 2009.
- [2] Maguire, J., Folts, D., Jie Yuan, Lindsay, D., Knoll, D., Bratt, S., Wolff, Z., Kurtz, S., "Development and Demonstration of a Fault Current Limiting HTS Cable to be Installed in the Con Edison Grid", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 19, No. 3, pp. 1740-1743, June 2009.
- [3] James F. Maguire, Frank Schmidt, Shawn Bratt, Tom E. Welsh, and Jie Yuan, "Installation and Testing Results of Long Island Transmission Level HTS Cable", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 19, No. 3, pp 1692-1697, June 2009.
- [4] Songtao Wu, Yu Wu, Yuntao Song, Weiyue Wu, Yanfang Bi, Weibin Xi, Liye Xiao, Qiuliang Wang, Yanwei Ma, Xianghong Liu, Pingxiang Zhang, Yin Xin, Bo Hou, Rui Liu, Hongjie Zhang, Zenghe Han, Jun Zheng, Jiasu Wang, Suyu Wang, Jing Shi, Yuejin Tang, Ming Qiu, Bin Wei, Yunfei Tan, "Recent Main Events in Applied Superconductivity in China", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 19, No. 3, pp. 1-4, June 2009.

- [5] Fall, N.K., Marchionini, B., "Fault Current Limiter -R&D Status and Testing Issues", IEEE Power System Conference and Exposition, pp 1-4, March 2009.
- [6] B. W. Lee, K. B. Park, J. Sim, I. S. Oh, H. G. Lee, H. R. Kim, and O. B. Hyun, "Design and Experiments of Novel Hybrid Type Superconducting Fault Current Limiters", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 18, No. 2, pp 624-627, June 2008.
- [7] Ok-Bae Hyun, Kwon-Bae Park, Jungwook Sim, Hye-Rim Kim, Seong-Woo Yim, Il-Sung Oh, "Introduction of a Hybrid SFCL in KEPCO Grid and Local Points at Issue", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 19, No. 3, pp. 1946-1949, June 2009.
- [8] Gyeong-Ho Lee, Kwon-Bae Park, Jungwook Sim, Young-Geun Kim, Il-Sung Oh, Ok-Bae Hyun and Bang-Wook Lee, "Hybrid Superconducting Fault Current Limiter of the First Half Cycle Non-Limiting Type", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 19, No. 3, pp. 1888-1891, June 2009.
- [9] Kang-Sik Ryu, "Status of HTS Power Application in Korea", 9th Annual KEPRI-EPRI Superconductivity Conference, November 2009.
- [10] Byeongmo Yang, "Field Demonstration and Test Evaluation of an HTS Cable in South Korea", 9th Annual KEPRI-EPRI Superconductivity Conference, November 2009.
- [11] Sukil Lee, "Development of HTS Cable System for Real Grid Application", 9th Annual KEPRI-EPRI Superconductivity Conference, November 2009.

저 자 소 개



양병모(梁炳模)

1969년 4월 24일생, 1995년 연세대학교 전기공학과 졸업, 1997년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 2003년 동대학원 전기공학과 박사수료, 1997년 한전전력연구원 입사, 현재 한전전력연구원 선임연구원.



박진우(朴眞佑)

1979년 12월 18일생, 2005년 창원대 공대 전자공학과 졸업, 현재 한전 전력연구원 송배전연구소 근무.



이승렬(李昇烈)

1975년 9월 23일생, 1999년 고려대학교 전기공학과 졸업, 2001년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 2010년 동대학원 전기공학과 박사, 현재 한국전기연구원 전력시스템연구본부 스마트그리드 연구센터 선임연구원.