

연구개발과제 실용화 조사 및 InnoTrans2026 참석을 위한

국외출장 결과보고



철도혁신연구원 신기술개발처

1. 출장배경

- (기술환경변화) 철도분야 탄소중립·디지털 전환 및 전력전자 기술 고도화에 따라 차세대 철도 전력·에너지·보안기술 확보 필요성 증대
- (국외사례조사) 국가R&D 및 전략연구사업의 기술개발 방향 설정과 실용화 연계를 위한 국외 선진기술·실증·사업화 사례 조사
- (선진기술조사) Innotrans 2026 및 GE Vernova 방문을 통한 차세대 전력공급, 신재생에너지, 사이버보안 등 철도 핵심기술의 최신 개발 동향 및 적용현황 확인

2. 관련 연구과제 현황

관 련 과 제	①	과제명	전력반도체 기반 차세대 전력공급시스템 기술개발
		공단 연구비	600백만원
		연구기간	2026. 1. 1. ~ 2030. 12. 31.
	②	과제명	철도레일 태양광 시스템 개발 및 실증 기술개발
		공단 연구비	500백만원
		연구기간	2026. 7. 1. ~ 2029. 12. 31.
	③	과제명	철도시스템 사이버보안 기술개발 기획
		공단 연구비	20백만원
		연구기간	2026. 6. 23. ~ 2027. 6. 22.

3. 출장목적

- (국외기술조사) 국가R&D 및 전략연구사업의 국외 선진기술·산업동향 및 실용화 사례 조사
- (핵심기술조사) InnoTrans2026 전시·특별세션을 통한 철도 시스템분야 미래철도 핵심기술 확인
- (실용화검토) 조사결과를 기반으로 진행중인 R&D의 국내 철도시스템 적용 가능성 검토

II

출장내용

1. 출장기간 : '26.9.20.(일)~'26.9.27.(일) (5박8일)
2. 출 장 지 : 독일 베를린, 프랑스 파리
3. 목 적 : InnoTrans2026 참석 및 GE Vernova 미팅
4. 출장자별 주요업무

출장자	과제별역할	주요업무
이성찬 차장	사이버보안(책임) 태양광설비(참여)	사이버보안 및 디지털분야 부스 조사 및 특별세션 참석 등
강병준 과장	차세대급전(책임) 태양광설비(책임)	전력 에너지 및 태양광 분야 부스 조사 등
전상휘 차장	차세대급전(참여) MVDC 과제 (개발)	전력변환 세부사양 조사 등

III

출장일정

일시	주요일정	비고
9.20.(일)	대전 → 인천	국내이동
9.21.(월)	인천 → 도하 → 베를린	국외이동
9.22.(화)	2026InnoTrans 참석	독일
9.23.(수)	2026InnoTrans 참석	독일
9.24.(목)	베를린 → 파리	국외이동
9.25.(금)	GE Vernova 기술미팅 및 공장견학	프랑스
9.26.(토)	파리 → 인천	국외이동
9.27.(일)	인천 → 대전	국내이동

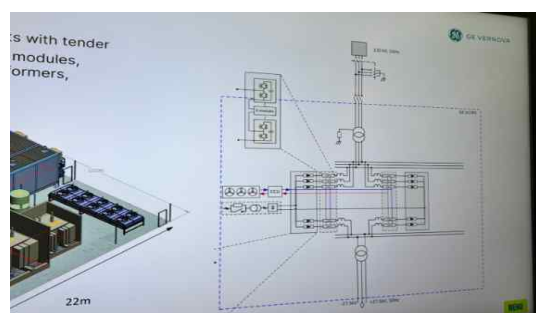
1. 차세대 전력공급 시스템

① GE Vernova (미국)

- MMC¹⁾ 기반 철도 전력변환 기술
 - SM²⁾을 직렬로 적층하여 약 25~40MVA 까지 구성 가능
 - SM 고장시 Bypass를 통해 운전 지속이 가능하며, 모듈형 구성으로 유지보수에 용이 (교체한 SM은 수리 후 재사용 가능)
- HVB³⁾ 적용 사례
 - SNCF HVB
 - 프랑스 파리 서부지역 전압강하 문제 해결을 위한 MMC기반 HVB 적용
 - 컨버터 1기의 용량은 24MVA급으로 운용중이며, 전차선과 레일 사이 무효 전력을 공급하여 전압을 안정화하고, 전압 불안정에 따른 전기적 사고를 방지하는 목적으로 운용
 - FR-UK 채널터널(Channel Tunnel)⁴⁾
 - 프랑스와 영국을 연결하는 채널터널은 양측에 기존 변압기 기반 급전설비가 설치 하였으며, 해저터널 구간에서 발생하는 전압강하는 HVB를 활용하여 보완
 - 기존급전설비를 유지하면서 MMC 기반 설비를 병행 운용한 대표적인 시스템 통합사례



GE Vernova 부스 방문



MMC 기반 SFC 설치도면

② Hitachi Energy (스위스)

- 1) **Modular Multilevel Converter** : 직류 전력과 교류 전력을 상호 변환하는 전력변환장치
- 2) **Sub-Module** : MMC를 구성하는 독립적인 최소 단위의 회로 블록
- 3) **High Voltage Booster**(고전압 부스터) : 낮은 전압을 고전압으로 승압시켜주는 전력변환장치
- 4) **Channel Tunnel** : 영국과 프랑스를 연결하는 50.45km의 해저터널로 유로스타 열차 운행

- 철도용 SFC⁵⁾ 적용사례 및 차세대 급전기술

< MMC 및 SFC 현장적용사례 >

Hitachi Energy - 체코 철도청 SFC 현대화

- 3kV DC → 25kV AC 승압, 16MVA x 3기 구축
- 관련규격 EN50122-1, EN50388
- 기대효과 : 전력품질개선, 에너지손실감소, 유지보수비용 절감(10~15%)

- 다수 SFC 변전소를 병렬 연계한 Mesh형 급전망으로, 최대부하 저감, 급전신뢰도 향상 및 절연구간 제거(축소)

- 철도용 변전, 전력변환 통합

- 변압기, 고압 개폐장치, SFC, 보호계전 등 단일설비로 통합 구축
- SFC용 변압기의 양방향 전력전송으로 회생에너지 등 친환경에너지 확대

- 디지털 보호제어 기술

- IEC61850기반 SCADA 연계하여 디지털 변전소 연동
- MMC/SFC 급전에서는 컨버터가 고장전류 제어

- SM 정격전압, 전류, 스위칭주파수, 냉각방식 등 관건

- 고전압 소자를 사용할수록 부피는 줄어들지만 보호설비 증가



Hitachi 부스 전경



Hitachi 전력반도체 소자

5) Static Frequency Converter(정지형 주파수 변환기) : 전력 반도체 기반 고전압·대용량 주파수 변환장치

③ Secheron (스위스)

- 회생에너지 회수 및 양방향 전력공급
 - 컨버터 조합으로 변전소의 양방향 전력흐름 구현
- 제동시 회생전력을 제동저항에서 열로 소비하지 않고 전력계통으로 반환
 - 정류 운전시 차량에 전력을 공급하고 회생시 IGBT 인버터로 AC계통에 반환
 - 부스트컨버터를 활용하여 회생에너지 회수 및 DC 급전전압 보상
- 보호·차단기술 모듈화, 소형화 하여 사고 검출부터 차단동작 시간 최소화

④ Mesrsen (프랑스)

- 철도용 전력변환장치 핵심기술 조사
 - 전력반도체의 단락·과전류 발생시 사고전류 제한하는 고속퓨즈 제작
- 소형화 및 효율향상 기술
 - 철도용 보조전력 변환장치의 고속퓨즈, 축전기, 냉각장치 등 적층방식 적용
 - 기존 평면배치형 대비 적층형 적용으로 SFC를 소형화
 - 냉각성능 향상을 통해 동일 용량 설비 크기를 줄이거나 크기대비 출력밀도 향상 가능



Secheron 부스 기술세션
(회생에너지 회수 및 철도 급전시스템 효율 향상)



Secheron 부스 전경

2. 태양광설비

① BIPVco (영국)

- 철도용 경량 태양광 기술
 - Denmark Hill Station⁶⁾
 - BIPV 박막 필름 기술, $T=3\text{mm}$, 3kg/m^2 , 방탄소재 적용
 - 테프론 계열 자가세척 코팅으로 유지보수 청소 필요없음
 - 35kW급으로, 건축물 피크전력 저감
 - 빅토리아 시대 철도 건축물을 유지하기위해 개발
- 유리, 시멘트, 목재, 철근 등 평면, 곡선 무관 설치 가능
- 차량, 이동형 설비 등 이동형 태양광 기술확대 제시

② Hering (독일)

- ASCR⁷⁾ - OPV⁸⁾ 제작
 - 500g/m^2 미만으로 가볍고 유연하여 경량구조물 적용 용이
 - 색상, 투명도 조정할 수 있으며 유리창 대용으로 사용 가능
- 태양광이 낮은 날 발전할수 있는 특성 확보
- 철도 승강장 지붕, 태양광설비 융합기술 검토중



OPV 설치 조감도



OPV 실증사진

3. 사이버보안

6) 영국 런던 남부에 위치한 1860년대 세워진 빅토리아 시대 건축물

7) ASCR : Hering 그룹 산하 유기태양광 전문 브랜드

8) Organic Photovoltaics : 유기 반도체 소재를 이용한 태양전지

① Moxa (대만)

- 관리형 이더넷 교환기, 유,무선 통신망과 현장 연상장치 구성기술
- 네트워크 이중화 및 복원기능 적용
- IEC 62443-4-2 보안등급 2 인증받은 철도용 네트워크 장비 내장 설계
- 높은 보안수준을 확보하기 위해 IEC62443-4-2 보안등급 3수준고려한 개발 추진중
- 차량 내 실시간 데이터 처리를 위한 V2000D계열 현장연산장치 (차량 상태감시 및 영상분석) 전시

② Frauscher (오스트리아)

- 열차검지, 분기기, 입출력설비를 하나의 설비로 공동제어하는 FAdP 선로변 객체제어 플랫폼 전시
- 기존 차축계수기에서 궤도변 센서와 평가장치를 이더넷 통신기반으로 전환
- 신호 케이블 포설을 줄여 경제적 효과 증대
- 현장 전력변환장치 및 보호계전기 등 통신망을 통해 SCADA설비와 연계되므로 설계부터 사이버보안 요구조건 반영 필요



Ritter 사이버보안 부스



Alstom 특별세션
(소프트웨어 중심의 차세대 철도운행)

4. MVDC

① Mersen (프랑스)

- 직류 저장, 관리, 전력분배 솔루션 기술보유
- 기존 전력회로 대비 순간 피크 저감 가능
- 고속 직류 및 전력반도체 보호기술 검토
 - 고장전류를 제한하기 위한 고속 퓨즈 적용기술 적용
 - MVDC 계통 적용시 내·외부 고장 구분하여 퓨즈, 직류차단기, 전자식보호기능 간 보호협조 검토 필요
 - 향후 MVDC 연구시 최대 고장전류, 고장 에너지 및 차단시간을 핵심 보호성능 지표로 검토 필요

② ABB (스위스)

- 전력변환장치, 에너지저장장치 연계기술
 - 차량용 전력변환장치, 견인용 배터리, 전동기 및 보조전원장치 등 전력변환장치 통합 전시
 - MVDC연구 이후 직류배전망을 활용하여 직류급전 → 교류부하 활용기술 검토 가능
- 전력변환장치 디지털 상태 감시기술
 - 전력변환장치 자체를 지능형 센서로 활용하여 운전중 전압, 전류, 온도 등 상태 데이터 수집
 - 배터리 상태를 지속적으로 감시하고 성능저하 및 유지보수 시점 예측 가능
 - 전력전자 장치 기반, 고장 후 정비 → 예지정비 방식 전환



ABB 견인컨버터



ABB 보조전원장치

5. 신규 연구과제 발굴

① Alstom (프랑스)

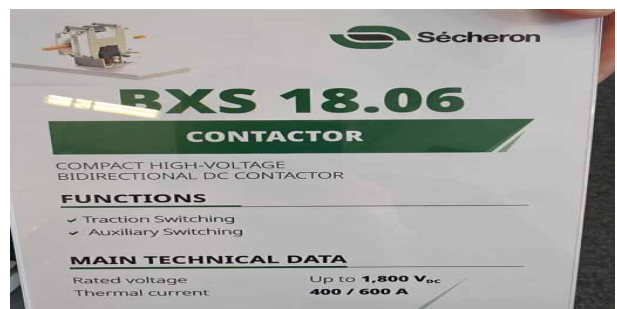
- '철도 전기설비의 지능형 운영을 위한 예지정비 시스템'을 주제로 부스 특별세션 발표
- 차량, 운행, 정비이력, 기술문서, 고장정보 등 인공지능이 분석하여 사고예방
- 인공지능 기반 정비지원 기술을 철도시설 현장점검으로 확대하여 로봇 및 이동형 점검장비를 결합한 피지컬 AI 연구제시
- 열상·열화상·음향·진동 등 현장 센서정보를 인공지능으로 종합 분석하여 자동화 가능

② Secheron (스위스)

- 차단기·접촉기 등 운전정보와 상태정보를 활용하여 설비 이상과 열화를 조기에 확인하는 유지관리 방향 제시
- 고장 발생 후 부품을 교체하는 방식에서 실제 설비상태와 운전 횟수를 기반으로 정비하는 상태기반 유지관리 체계로 전환기술 제시
- 변전소 내 주요 전력설비를 대상으로 한 센서 기반 상태감시와 인공지능 분석을 결합한 예지정비 구축 발표
- 향후 원격감시제어설비와 연계하여 변전소의 상태와 정비 우선순위를 관제센터에서 통합 확인체계 제시



Secheron 부스 기술세션
(철도 전기설비의 지능형 운영을 위한 예지정비 시스템)



Secheron BXS 접촉기 제원

1. GE Vernova 회사개요

- 미국 GE의 에너지 사업부문이 분사(2024)하여 설립된 에너지 전문 기업
- 100여개국에서 사업을 수행하고 있으며, GE의 기술을 통해 전세계 전력의 약 25%가 생산되고 있다.
- 반도체 기반 전력변환 설비의 설계, 제작 및 계통제어 기술을 보유하고 있으며, MMC기반 차세대 전력공급 시스템 및 SFC적용사례 조사 대상으로서 기술적 연관성이 높은 기업

< GE Vernova 대표사업 >

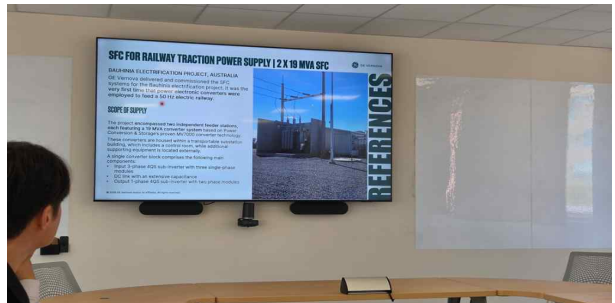
- Power : 가스터빈, 증기터빈, 수력, 원자력 등 발전설비 등
- Wind : 육상, 해상 풍력발전, 친환경에너지 시스템 등
- Electrification : 전력변환, 송배전, 전력망, 소프트웨어 등

2. GE Vernova 기술미팅 결과

- MMC기반 철도 전력변환 기술 및 적용방식
 - MMC 셀(Cell) 직렬구성을 통한 중전압, 대용량 전력변환 구조
 - 하프 브릿지 형태의 SFC, HVB 회로 구성
 - 셀 개수를 조정하여 전압, 용량을 조정하며 철도용은 10~12개 셀을 직렬로 구성



명함공유 및 킥오프



회사소개

- 고가용성, 이중화 기술

- 예비 셀 추가구성을 통한 전력모듈 이중화
(고장셀 자동 바이패스로, 열차운행 영향 최소화)
- HVDC, 일반·고속철도, 지하철 등 공통 전력모듈 플랫폼 활용

- 실증 및 운영데이터

- 20년 이상 MMC기반 철도용 SFC 적용, 운영실적 보유
 - 호주 50Hz 철도용 SFC 최초 적용
 - 독일 16.7Hz 철도 전력변환장치 적용
 - 프랑스 SNCF 전차선 전압보상용 HVB 적용(25kV → 27kV)
 - 프랑스-영국 채널터널 MMC기반 전압보상 적용
- FR-UK 채널터널 실운영 사례
 - 약 60km 장대터널 급전조건 대응 MMC 적용
 - 영국측 MMC의 밸런서 및 HVB 복합기능 구성 및 프랑스 측 전원 중심 급전에 따른 전압보상 운전
- 제작사 컨버터 모델과 철도 운영기관 노선 모델간 연계

- 국내연구 핵심 검토사항

- 단품 MMC 개발보다 철도 전력계통 전체 최적화 중요
 - 차량 운행시각, 편성, 기동전력, 회생제동 등 부하 검토 필수
 - 개별 변전소보다 전체 노선 기준 편익평가 필수
 - 변전소 위치, 간격, 용량 최적화 검토 필수
- 시작품 연구목표 구체화 필요
 - 시작품 경제성만을 기준으로 상용기술 효과 판단시 한계발생
 - 제어, 보호, 계통연계, 전압보상 기능 중심의 실증 필요
 - 실증용 플랫폼과 최종 상용설비 역할 구분 필요
 - MMC모듈의 SFC, HVB, HESS등 다목적 활용 검토 필요
 - 실증 성과기반의 SFC기능 단계적 확대 필요

- 기존설비와 신규설비 혼합 운영방안 검토
 - 노선 특성별, 부하조건, 계통여건별 최적 설비 조합
 - 기존설비 활용을 통한 초기 투자비, 기술위험 저감
- 적층구조를 통한 설치면적 축소 검토
 - 프랑스 설치시 컨버터, 필터 등 외부설비 수직 적층배치
 - 터널, 변전소 등 도심지 협소한 장소 공간대응용 콤팩트형 설계
 - 평면형 약 20m*14m 대비 적층형 10m*14m 구성
 - 설치면적 약 50%축소 및 기존 철도시설 적용성 향상
- GE Vernova 제품 및 실용화 성능
 - 정격전압 4.5kV급, 정격전류 약 2kA급 IGBT 기반 전력반도체 소자
 - 냉각계통 10bar 압력시험
 - DC Bus 10초 이내 50V방전
 - 절연, 접지, 냉각, 정격전압, 정격전류 등 단계별 FAT 약 2일
 - 최종 구성상태 기반 고전압, 대전류시험 약 3주
 - 철도용 모듈 직렬구성(10~12개, 40MW급)시스템 구성
 - SNCF 25kV 전차선 약 27kV보상(약 8%) 및 20년 이상 철도용 SFC 국외 운용실적 기반 실용화



MMC모듈 제작공장 견학



기술회의

- 전력변환장치 기반 전압제어, 전력품질 개선 및 철도 전력망 지능화 기술이 확대되고 있으며, 국내 25kV 60Hz 급전환경 기반 MMC 적용성, 절연구간 제거, 회생전력 활용 및 기존설비 호환성 검토 필요
- 국내 10MVA 시작품 중심 연구에서 실제 열차운행, 회생제동, 전압강하, 전력분담 등을 반영한 시스템 단위 연구 필요
- 변압기, 차단기 등 전철전력설비 고장예측 및 잔여 수명분석을 위한 예지정비 기술 및 친환경 에너지활용, 회생에너지 활용 확대를 위한 에너지 관리기술 개발 필요
- 전력변환, 보호, 에너지관리 기술의 고전력, 직류화 및 설비 소형화, 고밀도화가 확대되고 있으며 에너지저장·재생에너지 연계를 위한 MVDC 배전망, 보호설비 등 신기술 검토 필요
- 고전압, 선로변 위험구간의 작업자 안전 및 점검 효율향상 차원의 드론, 무인헬리콥터 등 AI, 로봇기반 철도시설 점검기술 확대로 피지컬 AI기반 자율점검 기술개발 검토 필요

붙임 이노트랜스 사진 및 GE Vernova 사진 1식. 끝.