

Smart DC 배전 솔루션

목 차

1. AC vs. DC / AC Grid / DC Grid
2. Smart DC Distribution Solution
3. Solid State Transformer(SST)
4. DC/DC Converter
5. Solid State Circuit Breaker(SSCB)
6. Conclusion

2023년 7월 4일



AC vs. DC

19세기 직류전력과 교류전력의 경쟁에서 변압기의 등장으로 교류의 대중화 실현.

THE CURRENT WAR



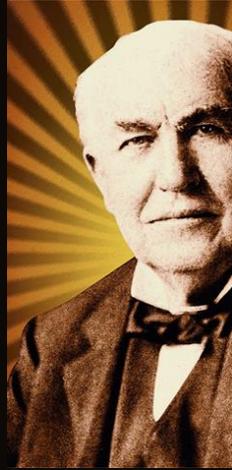
Transformer



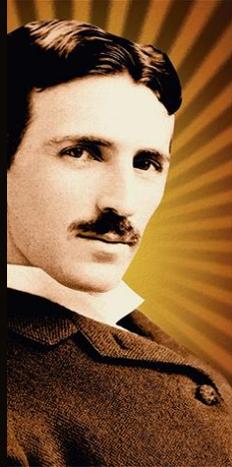
AC Motor



Westinghouse



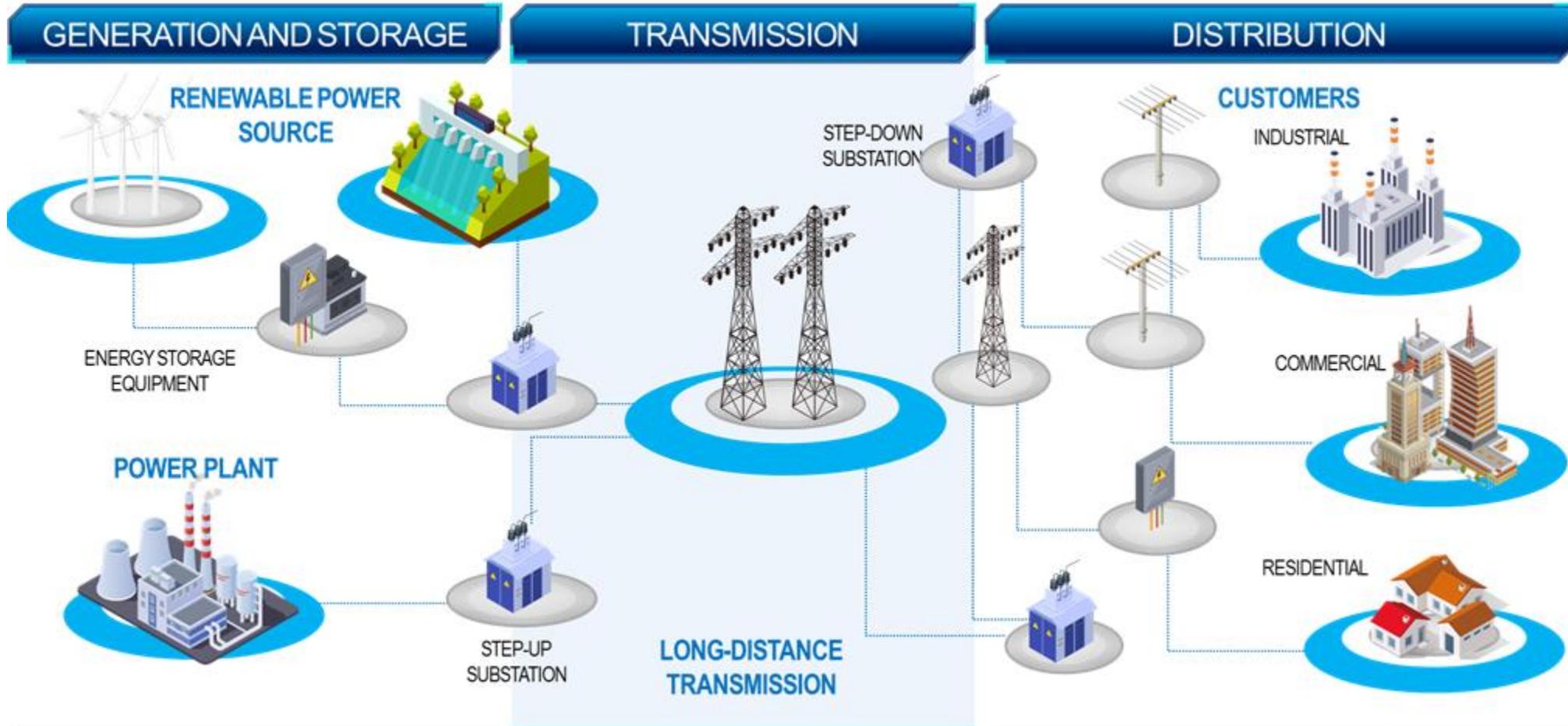
Edison(DC)



Tesla(AC)

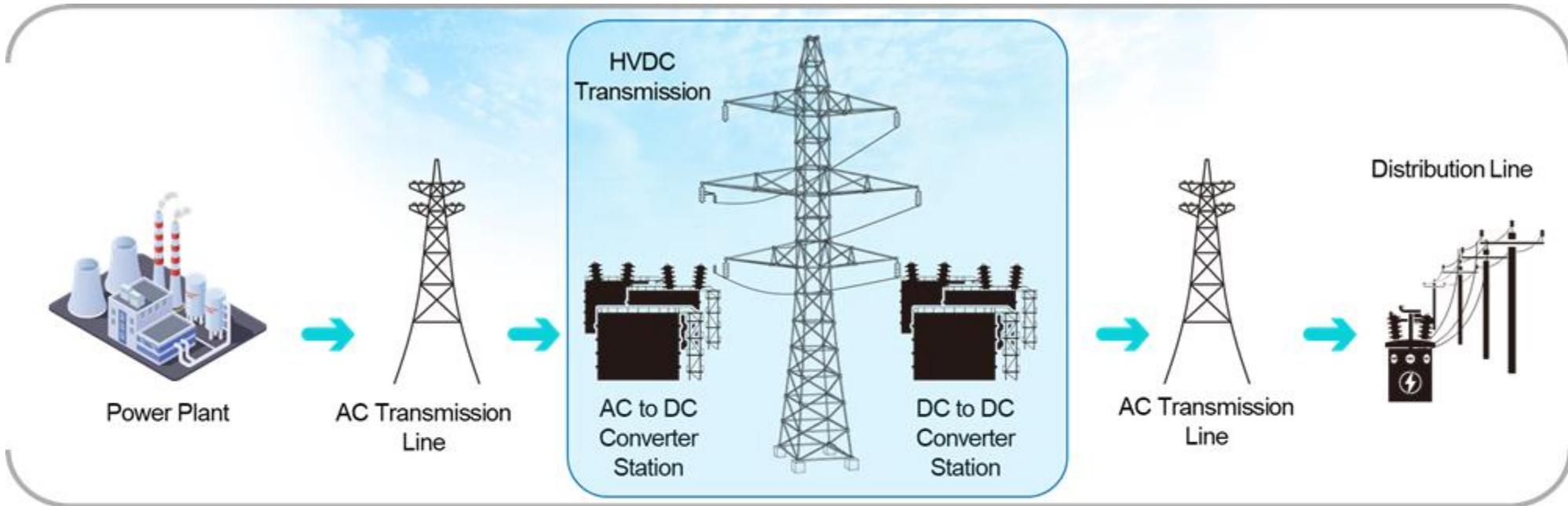
AC GRID

변압기를 이용한 고전압 송전으로 전력손실 감소 및 장거리 송전 가능.



DC GRID

전력전자 기술 발달, 신재생에너지 증가 및 DC 부하 증가에 의한 직류 송배전망 확대.



Wind Power



Solar Power



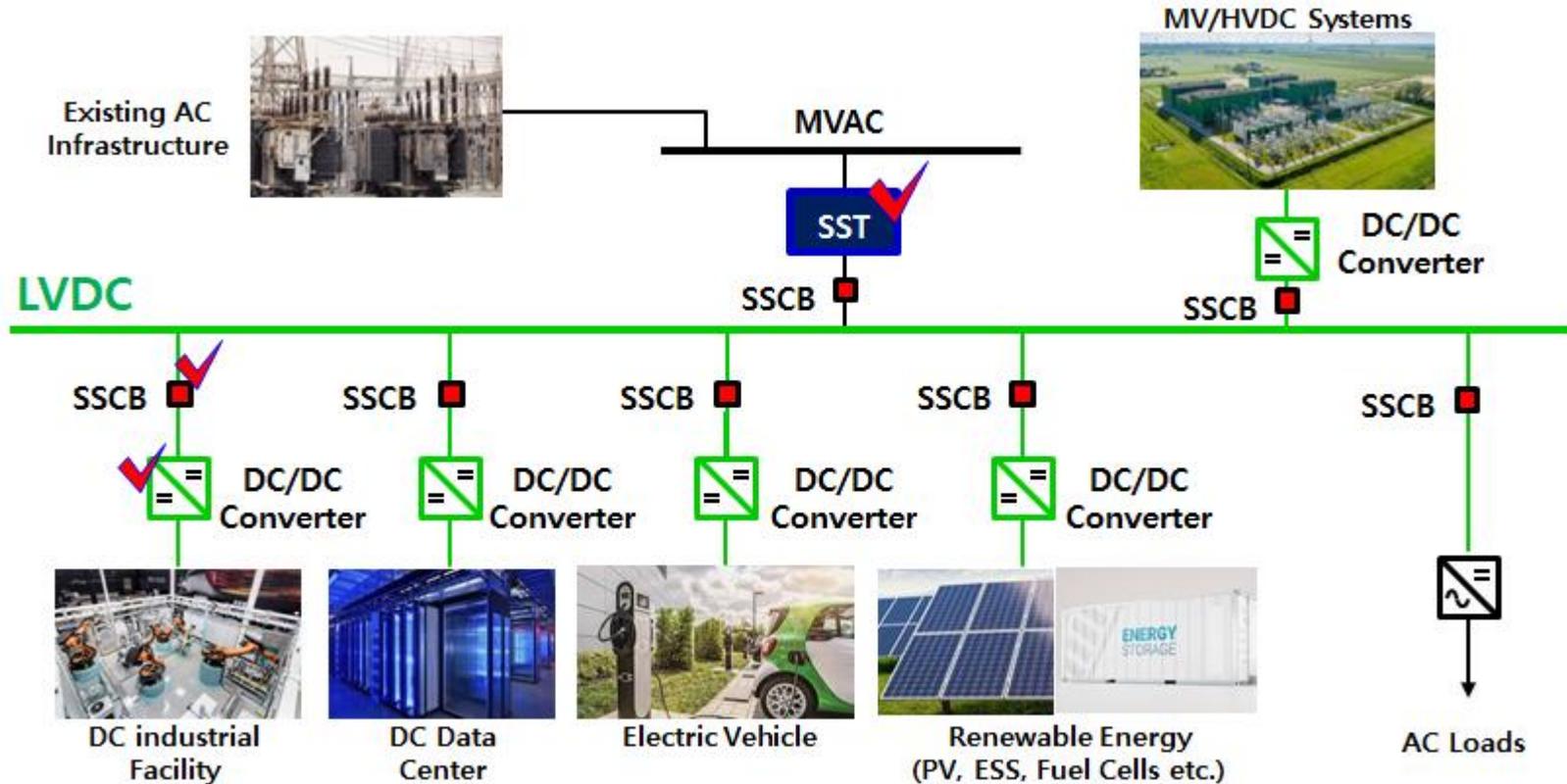
Electric Vehicle



Energy Storage System

Smart DC Distribution Solution

전력계통 기술/환경의 변화 - 새로운 개념의 전력시스템



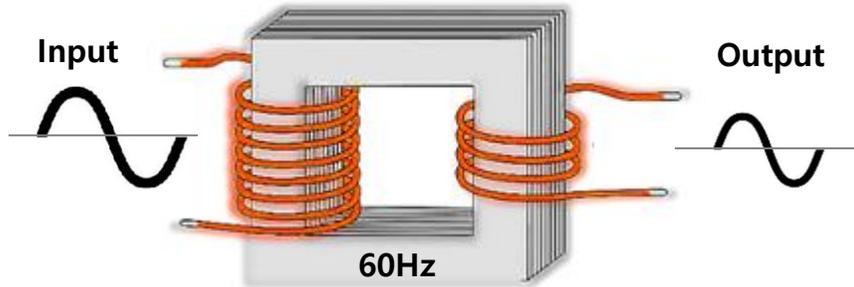
DC Grid의 핵심

- 반도체 변압기 / **SST**(Solid State Transformer)
- 반도체 차단기 / **SSCB**(Solid State Circuit Breaker)
- **DC/DC Converter**

Solid State Transformer(SST)

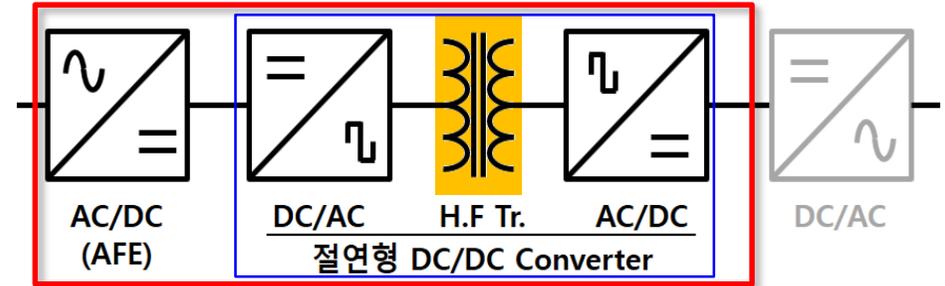
반도체 변압기의 구성요소 및 특징

AC Transformer



- 높은 강인성, 신뢰성
- 고효율(98.5~99.5%)
- 가격 경제성
- 내부 임피던스를 통한 고장 전류 제한
- **DC 변환 불가능**
- 부피 및 무게가 큼

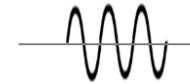
Solid State Transformer



Input



High Freq.



Output



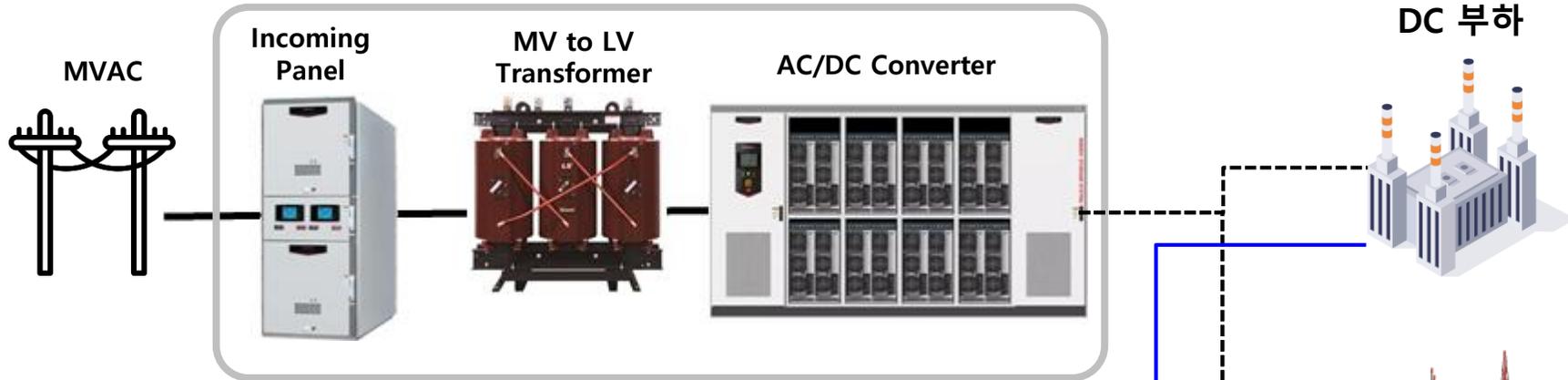
- 부피, 무게 감소, 친환경적
- Smart Transformer
 - AC/DC 변환 및 다양한 출력
 - 고조파 필터, 무효전력, 역률 제어
 - 통신/계측/제어 및 수요관리
- 기존 변압기+전력변환시스템 대비 **우수한 효율**



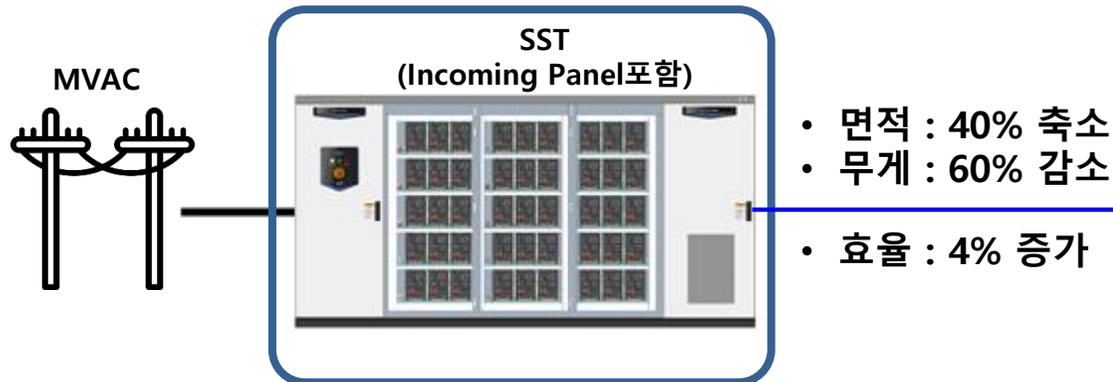
Solid State Transformer(SST)

반도체 변압기를 이용한 효율적인 DC 배전용 전력공급

AC 기반 DC 전력 공급 시스템



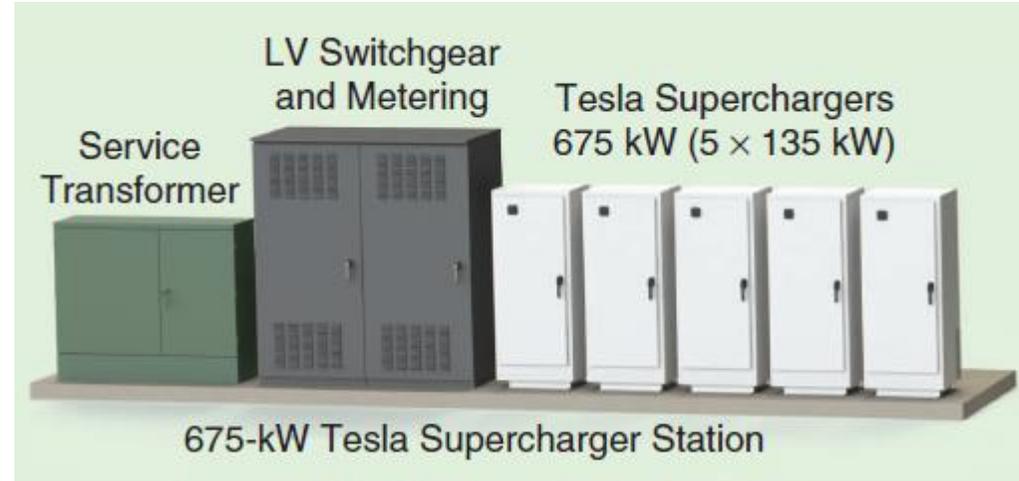
반도체 변압기 기반 DC 전력 공급 시스템



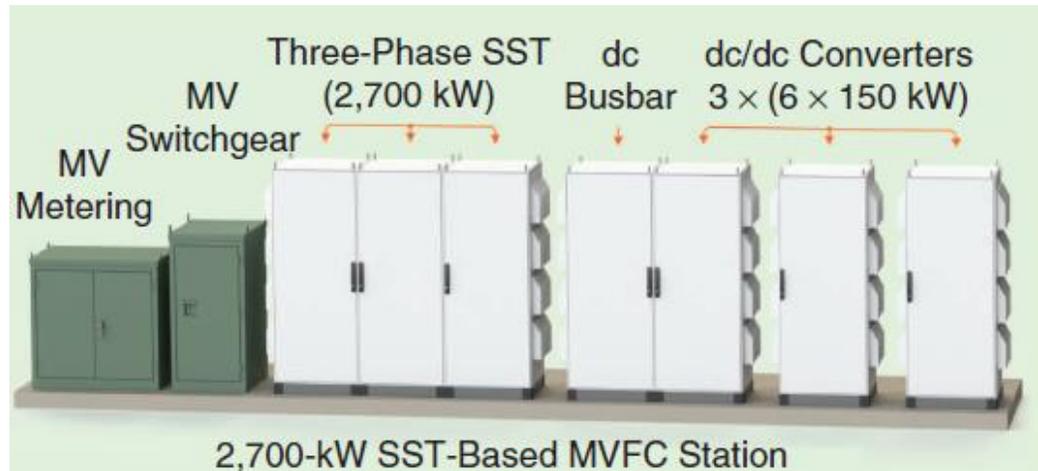
Solid State Transformer(SST)

AC 기반 시스템과 SST 기반 DC 시스템의 비교

- **Tesla Supercharger Station: 675kW**
 - 135kW x 5
 - Total Efficiency: 92%
- **SST based MVFC: 2,700kW**
 - 900kW x 3
 - Total Efficiency: 97%



- **Same Footprint**
- **4 x Power Delivery Capability**



[출처] *Toward Extreme Fast Charging - Challenges and opportunities in directly connecting to a medium-voltage line* / IEEE Electrification Magazine(2019)

Solid State Transformer(SST)

3P 5.7kV_{AC}/500V_{DC} 150kVA SST Prototype

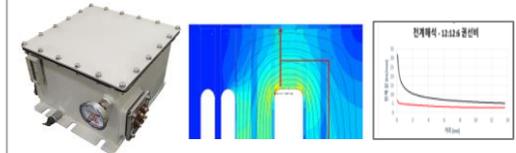
- 3P 5.7kV/150kVA SST PT Sample
 - 1850(W) x 1450(D) x 1900(H) mm
 - **최대 효율 : 98%**



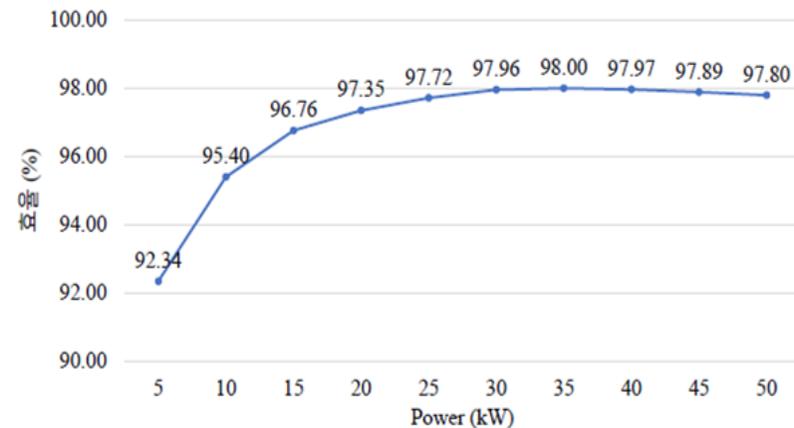
- 3.3kV/50kVA Module
 - **22.9kV 배전급 절연 설계**
 - 3.3kVac/~500Vdc



- 고주파 변압기 (H/F Transformer)
 - **고주파 스위칭으로 소형화 구현**
 - 유입식 기준 설계/제작 기술 확립



항목	일반 변압기	고주파 변압기
주파수	50/60 Hz	20kHz 이상
자속 밀도	1.0~1.4 [T]	0.2 [T]
철심 재료	규소강판	Ferrite Core
부피비(철심)	1	1/12(@20kHz)



Solid State Transformer(SST)

3P 22.9kV_{AC}/750V_{DC} 1MW SST



MV Panel

3P SST

LV Panel

Contents	Specifications
Input Voltage	3-Phase, 22.9kVac
Output Voltage	750Vdc
Total Efficiency	> 98%
THD	<5%

• 1MW급 반도체 변압기(SST)

- 3P 22.9kV/750Vdc 1MW
- 모듈 구조, 고절연 설계
- DC Link를 통한 다양한 직류계통 연계
- 2MW(2x1MW) 병렬운전 시범운영 예정

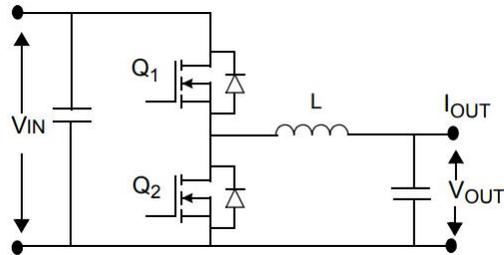


<25kW SST Module>

DC/DC Converter

1500V DC Grid 대응을 위한 양방향 DC/DC Converter Platform 개발

비절연형 DC/DC Converter

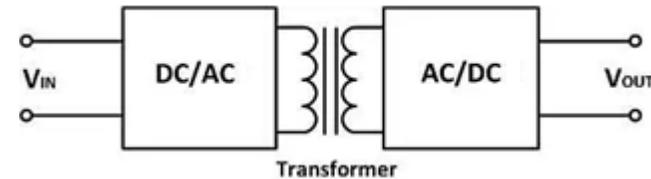


- 비절연형 양방향 DC/DC Converter Platform
 - 19-inch 표준 프레임 적용
 - 단위모듈 80kW, 효율 > **99.3%** @ 최대부하
 - 전력밀도 : 1.6kW/L, 무게 : 40kg/모듈
 - 적용분야 : PV, ESS, 충전 분야 등



<80kW Module>

절연형 DC/DC Converter



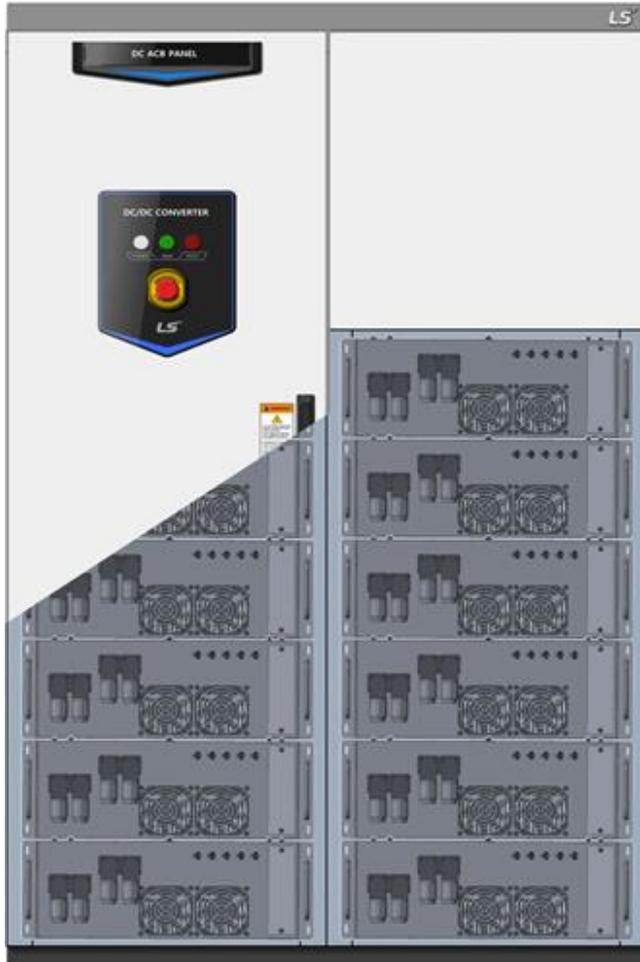
- 절연형 양방향 DC/DC Converter Platform
 - $\pm 750V$ 를 이용한 DC Grid 망 연결 대응
 - 단위모듈 150kW, 효율 > **98%** @ 최대부하
 - 전력밀도 : 1.6kW/L, 무게 : 90kg/모듈
 - 적용분야 : DC Grid 구성, 기기 간 절연 요구 계통



<150kW Module>

DC/DC Converter

World Class High Efficiency 1MW DC/DC Converter



- 1500V LVDC based non-isolated/isolated module platform
- Flexible capacity expansion with parallel connectivity
- Communication interface with CAN
- Compact size and high efficiency

80kW DC/DC Converter Module

- Non-isolated Boost Step Up type
- Support 1500V DC input
- High efficiency : > 99% @ full load
- '19 inch rack design for high flexibility
- Scalable design for various power capacities



Contents	Specifications
Input Voltage	650~1200 Vdc
Output Voltage	650~1500 Vdc
Rated Output Power	80 kW
Efficiency(max power)	99.3 %
Power Density	1.62 kW/L

DC/DC Converter

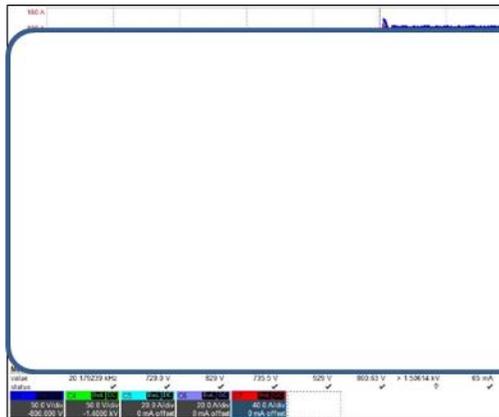
World Class High Efficiency 1MW DC/DC Converter

• DC/DC Converter 단위 모듈 시험

- 입력 : 800Vdc, 출력 : 1,500Vdc, 600kW



- 80kW → 80kW 전환 시험

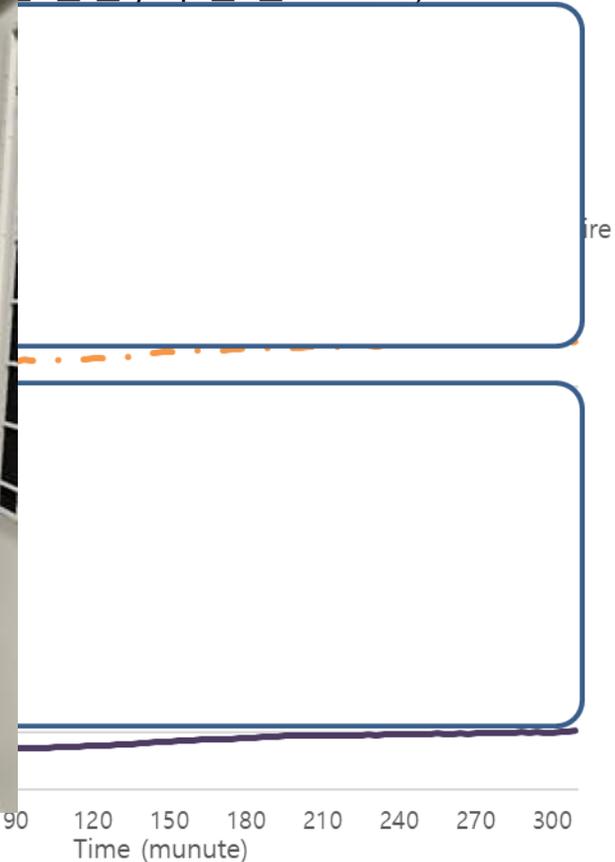


• DC/DC Converter 단위 모듈 온도 시험

- 시험 조건 (5시간 운전 / 주변 온도 25°C)



<1MVA DC/DC 컨버터 시제품 제작>



<DC/DC 컨버터 단위 모듈 내 온도 측정 결과>

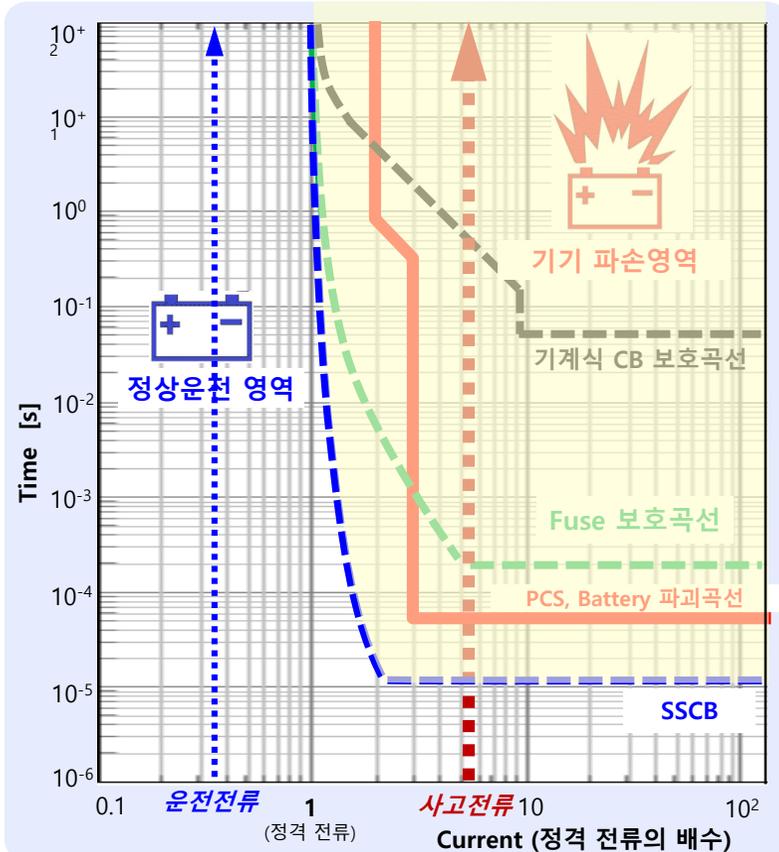
Solid State Circuit Breaker(SSCB)

전기적신호인 Gate 제어에 따라 반도체를 전자적으로 On/Off하여 기존 기계식 스위치로 도달 불가능한 초고속 차단동작(ms → μs)이 가능하며 Arc-less 차단으로 안전성 증대

SSCB 동작

- 사고 전류 고속 감지를 통한 반도체 On/Off 동작

➔ 고속차단에 따른 전력전자기반 디바이스 보호



자료 출처: IEEE Electrification, June 2016, 자료 일부 재 가공

SSCB ▶ 기계식 차단기의 단점 극복

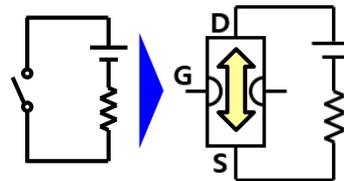
- 보호협조가 어려움
- 유지보수가 매우 불편
- Network 화에 불리
- Arc-less 차단이 필요



<DC MCCB>



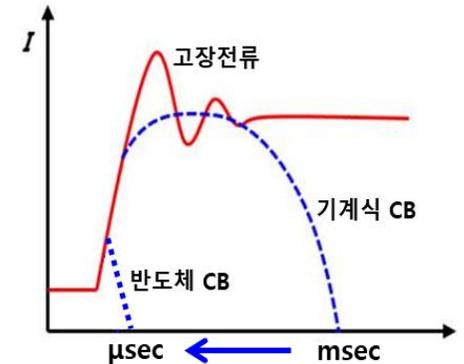
<DC Fuse>



<반도체 CB의 등가 회로>



<반도체 소자 실물 사진>



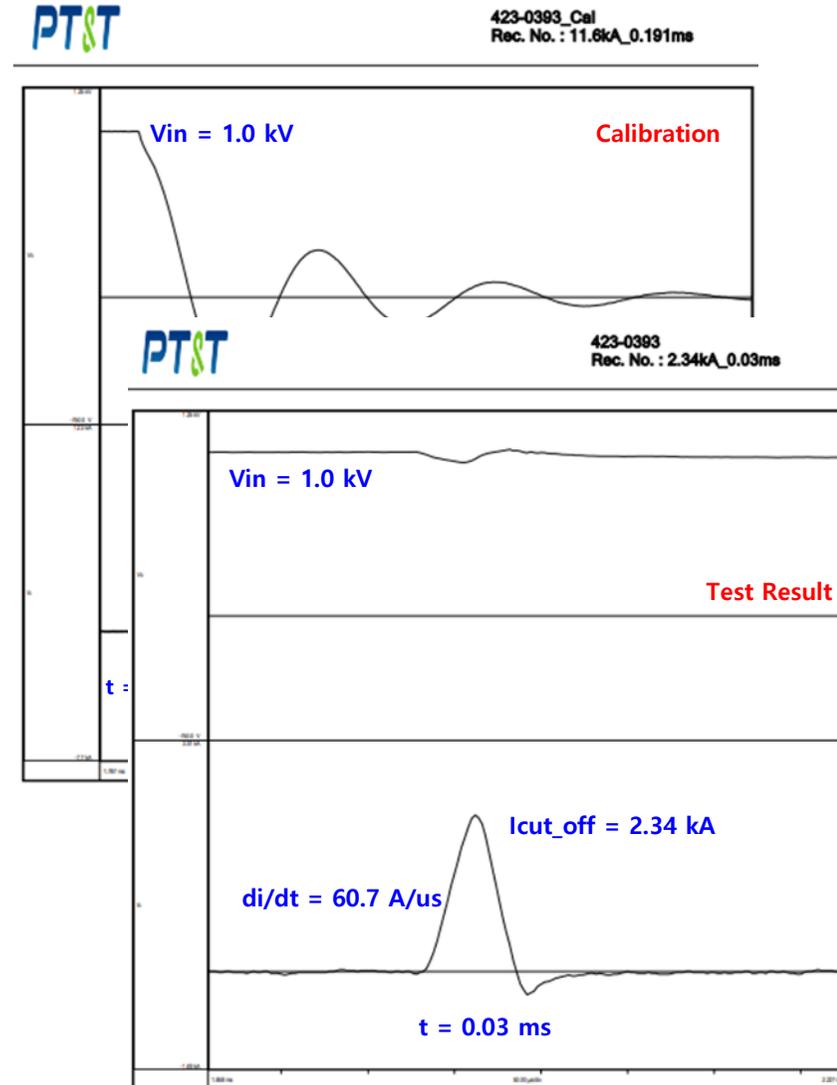
<SSCB 차단 시간>

Solid State Circuit Breaker(SSCB)

IGBT와 SiC를 적용한 DC 1000V/1500V SSCB 개발

Contents	Specifications	
	SSCB(1.0kVdc)	SSCB(1.5kVdc)
Rated Voltage (kVdc)	1	1.5
Rated Current (Adc)	~150 (Air Force Cooling) ~250 (Water Cooling)	
Overload rate (%)	110	
Protection	OVP, OCP, OTP	
Connection	Fixed Front / Rear Front	
Cooling Method	Air Force Cooling (Fan) Water Cooling	
Communication	RS485/CAN Digital in/out	
Weight (kg)	6.3	
Size(W×H×D(mm))	160 × 361 × 185 (Air Force Cooling) 160 × 361 × 135 (Water Cooling)	

- 최대 차단전류 : 150kA 차단성공

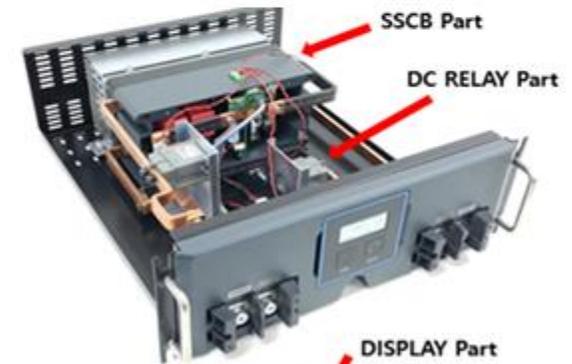
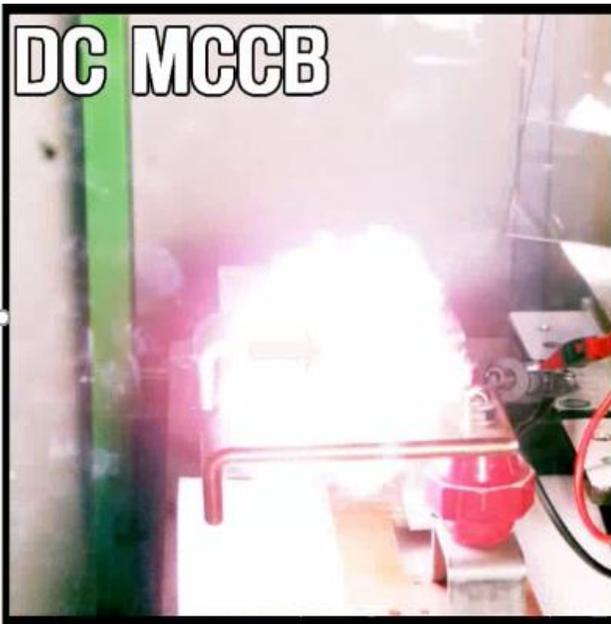


Solid State Circuit Breaker(SSCB)

전력용 반도체를 이용한 초고속 차단

- 기존 기계식 스위치와 연결성이 용이하게 설계
- 적용 환경에 따른 다양한 형태의 구성
- 외부 통신 인터페이스와의 자유로운 연계 구성

[기계식 차단기와 반도체 차단기의 차단 시험 장면]

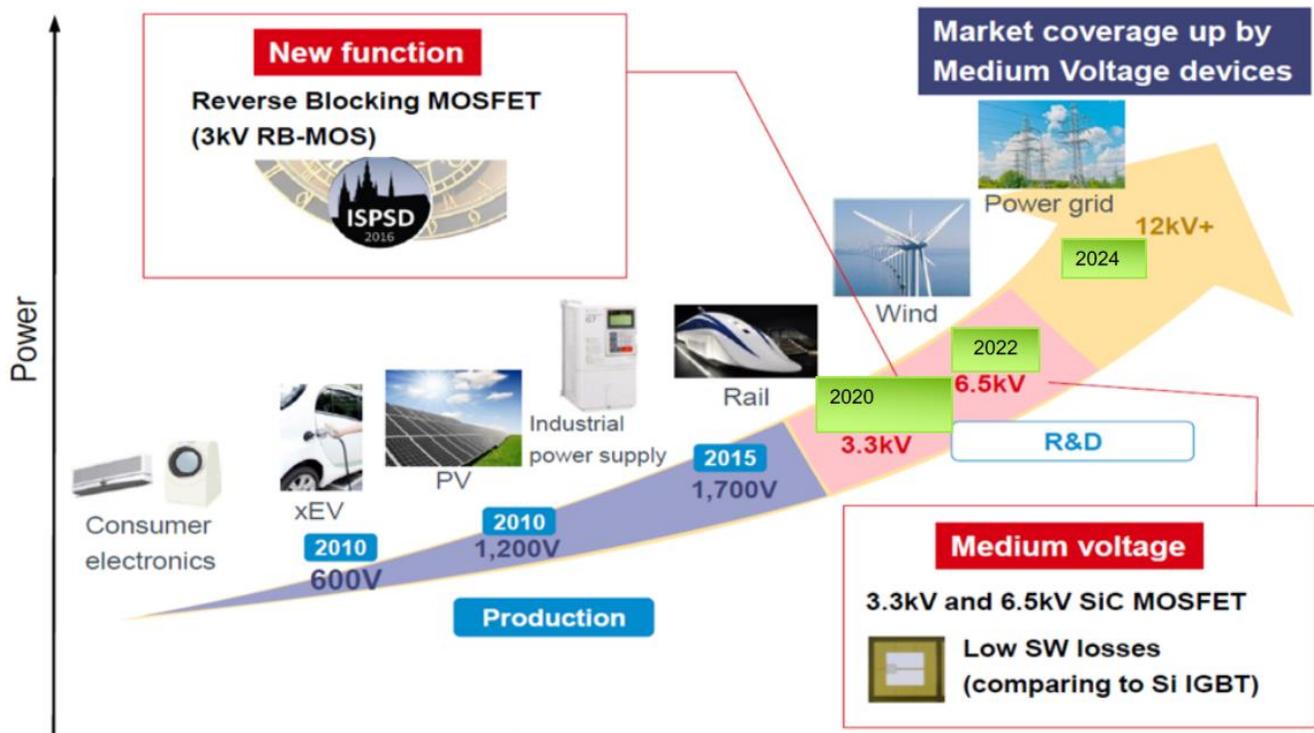


CONCLUSION

DC Grid의 장점으로 인하여 근미래에는, **AC+DC Hybrid 계통의 사용의 일반화가** 예상 됨

신기술/신제품에 대한 국제표준(IEC, UL 등) 정립과 다양한 Project 등을 통한 신뢰성 구축

국가 차원의 연구개발을 통한 **대용량(고전압, 대전류) 반도체 소자 개발 및 가격 경쟁력 확보 필요.**



LS ELECTRIC Smart DC Distribution Solution

YouTube Chanel : LS ELECTRIC Solution

차세대 Smart DC 배전 솔루션

*Innovative technology shifting
energy paradigm*

Next-generation Smart DC
Distribution Solution

<https://www.youtube.com/watch?v=nswCjL1S3o>