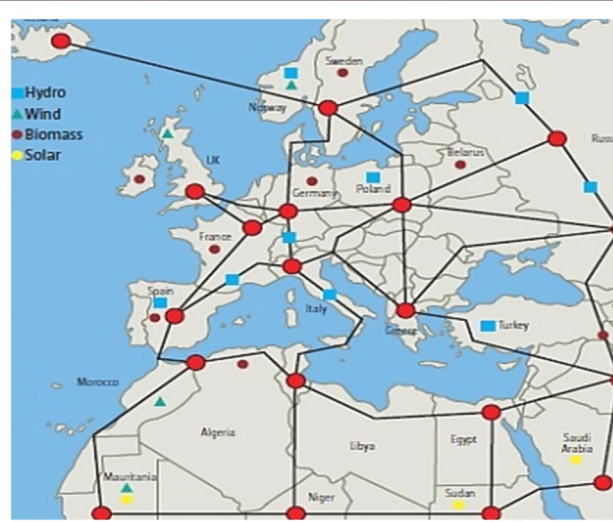


# DC 그리드 구현을 위한 직류 차단 기술



이방욱

# 목차

1. 기술 개발의 필요성

2. 기술 개요

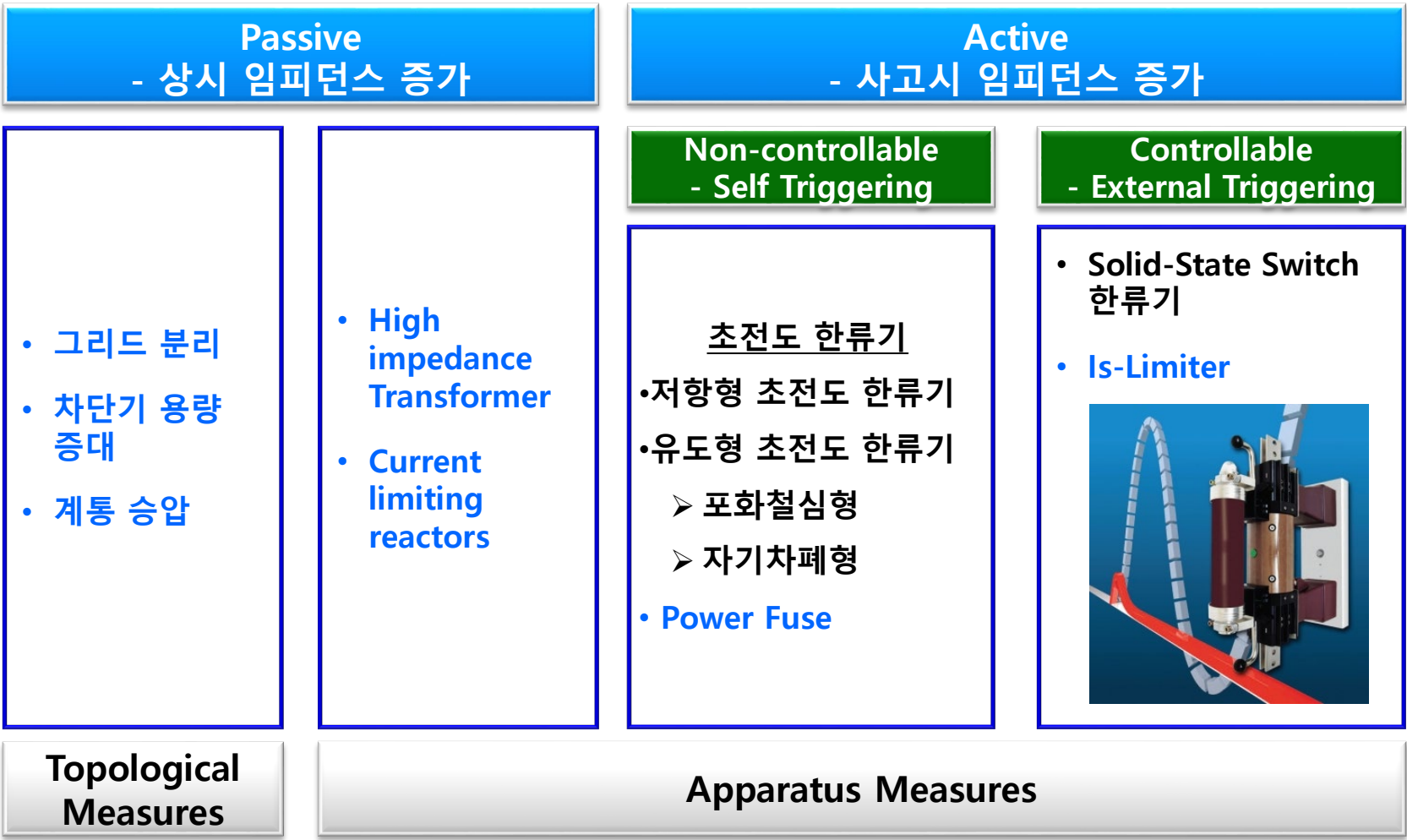
3. 국내외 기술 및 시장 동향

참고자료

# 1. 기술 개발의 필요성

## AC 그리드 단락전류 대책

- AC 단락전류는 전류 영점 존재 → 고전압/ 대전류 차단기술 구현 용이
- **AC용 한류 기술**은 **고비용(초전도, 전력전자), 계전기 보호 협조 미비**로 실용화가 지연되고 있음.



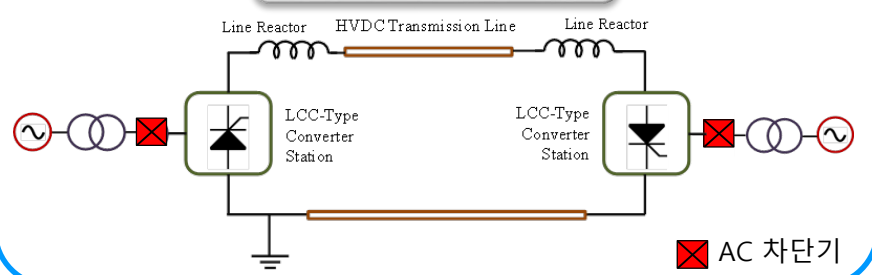


# 1. 기술 개발의 필요성

## DC 그리드 단락전류 대책

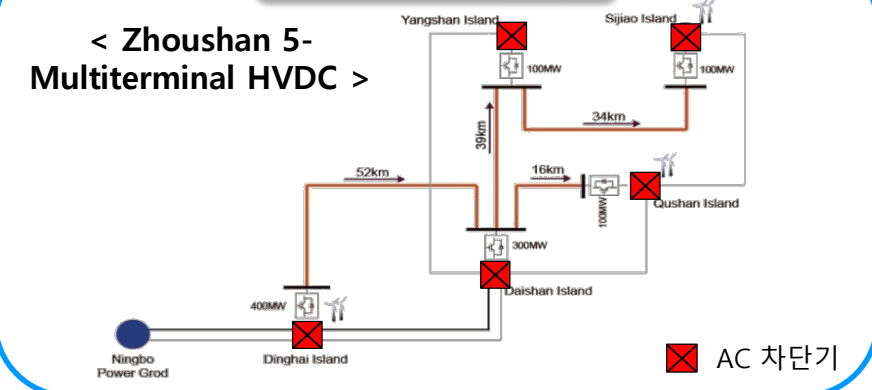
- DC그리드 단락전류 차단 방식은 상용화된 DC 차단기가 없기 때문에 현재 사고 발생시 AC 차단기를 통해 AC 측에서 차단하고 있는 실정임.

### 전류형 HVDC

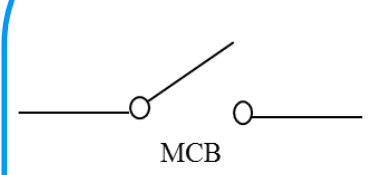


### 전압형 HVDC

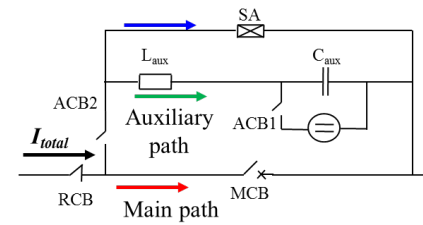
< Zhoushan 5-Multiterminal HVDC >



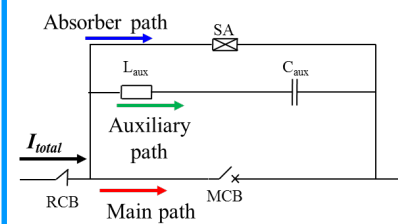
### 차단기 (4-타입)



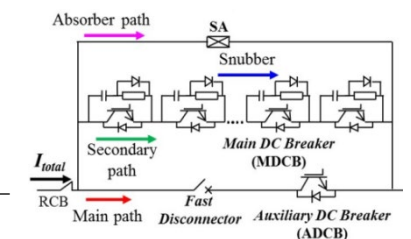
(Schwarz model)  
기계식 HVDC 차단기



역전류 주입형 HVDC 차단기



공진형 HVDC 차단기



Hybrid HVDC 차단기

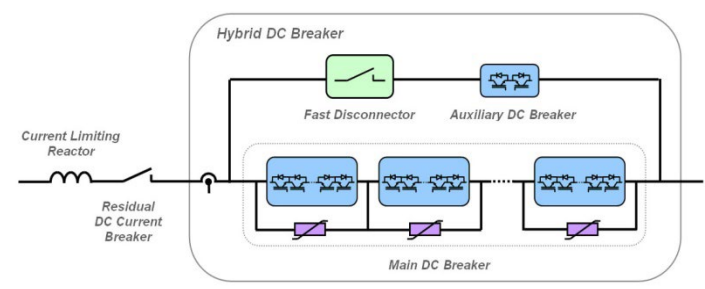
다양한 연구가 진행되고 있으나 DC 그리드에 적용 가능한 DC 차단 기술은 없는 실정!!

# 1. 기술 개발의 필요성

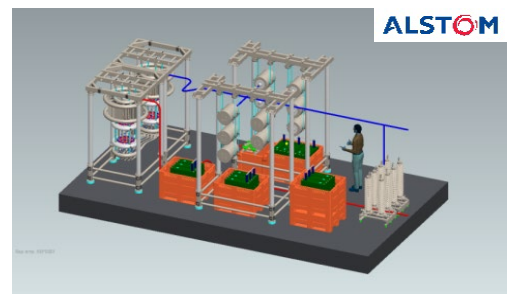
## DC 차단기 현황 및 문제점

- 전류 영점 부재 및 높은 di/dt, 다량의 전력전자 소자 보호 필요, UFS 실용화 및 신뢰성 확보 난해
- DC 그리드 구현 시 보호 협조 문제 해결 방안 도출 필요.

### 해외 선진사 DC 차단기



< ABB 社 Hybrid 차단기 >



< Alstom 社 Hybrid 차단기 >



< SGCC 社 DC 차단기 >

#### Hybrid 차단기 문제점

1. 고속차단 성능으로 인해 **계전기 동작 시간 확보 및 재폐로 동작과 같은 보호협조 불가능**
2. 설계 측면에서의 **경제성 및 효율성 문제**로 인해 상용화된 사례가 존재하지 않음.

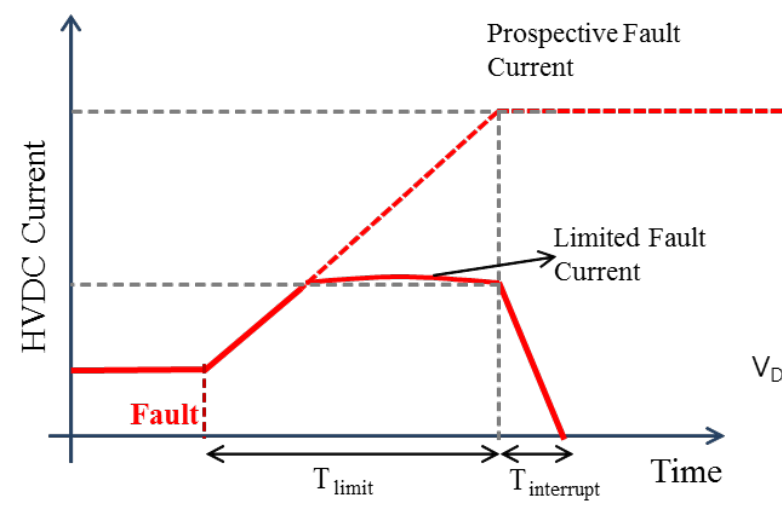
#### 문제점

1. 2ms 동작 → 보호협조 불가
2. 변환설비 1/3 면적차지
3. **실용성/경제성 문제**

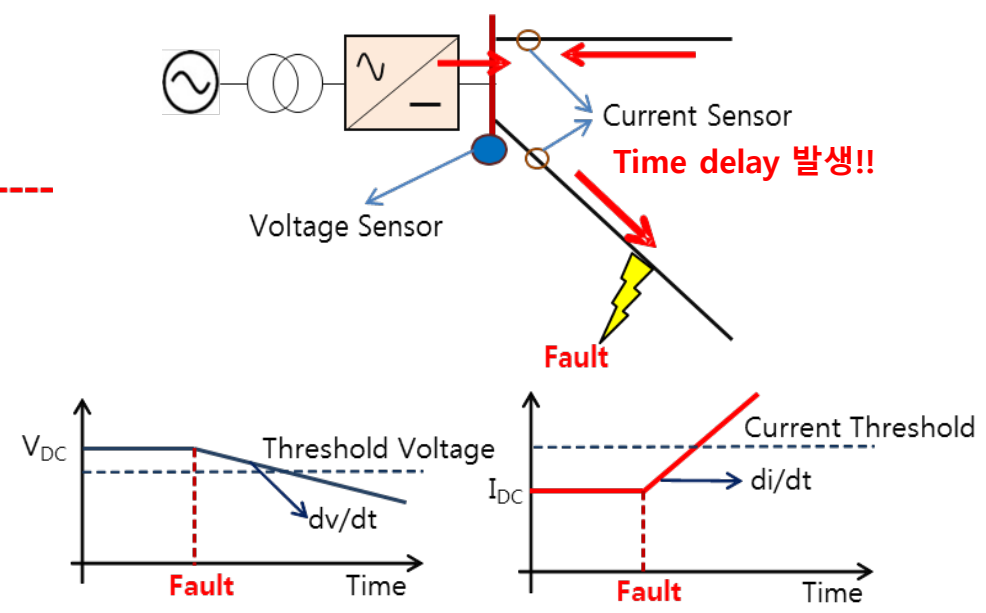
# 1. 기술 개발의 필요성

## DC 그리드 한류기 적용 필요성

- DC 한류기 적용을 통한 DC 그리드 보호 협조 구현 가능.
- DC 고장전류에 의한 변환 설비 및 DC 차단기 부담 경감.



< DC 고장전류 및 제한 특성 >



< 계전기 동작 시간 전류와 전압 상승 >

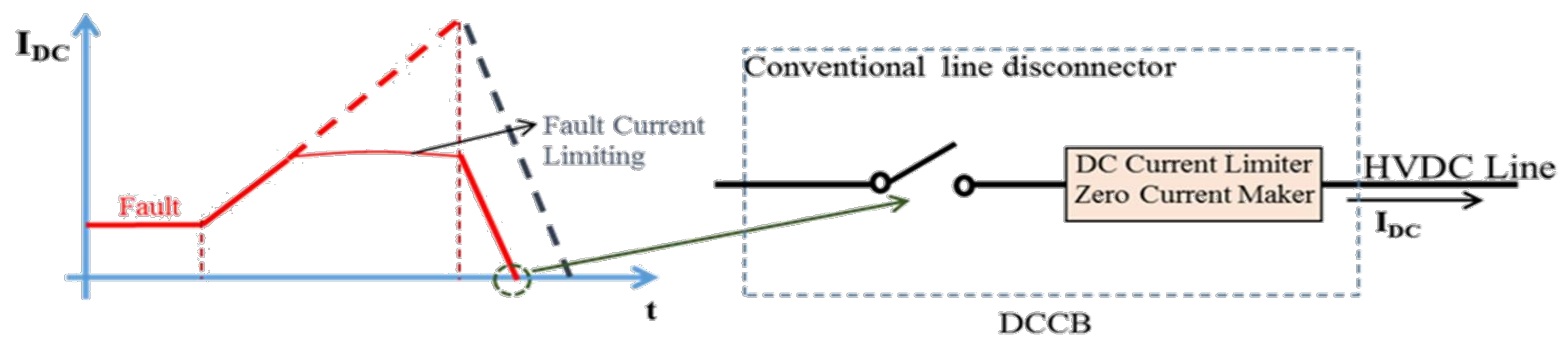
1. 고장전류 계전 시간 및 보호 협조 판정 시간 필요.
2. 고장전류 한류를 통한 변환 설비에 가해지는 단락 전류 스트레스 저감 필요.

# 1. 기술 개발의 필요성

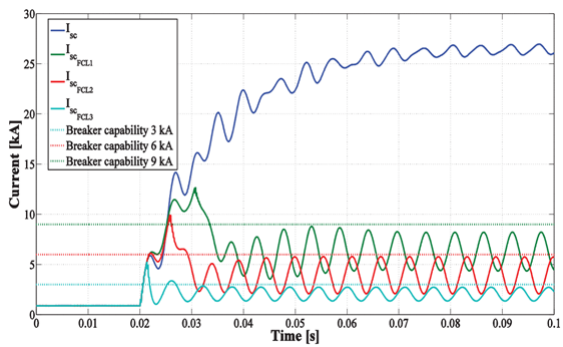
## DC 그리드 구현을 위한 한류기 적용

- 한류기를 적용한 한류형 차단기를 통해 차단기 스트레스 감소 및 계전시간 확보

### DC 그리드 내 한류기 적용의 효용성



< 고장전류 제한 여부에 따른 차단 특성 변화 >



< 한류기 적용 고장전류 제한 특성 >

1. DC 차단기 축소 설계 가능
2. 고장전류 저감으로 인한 계전시간 확보



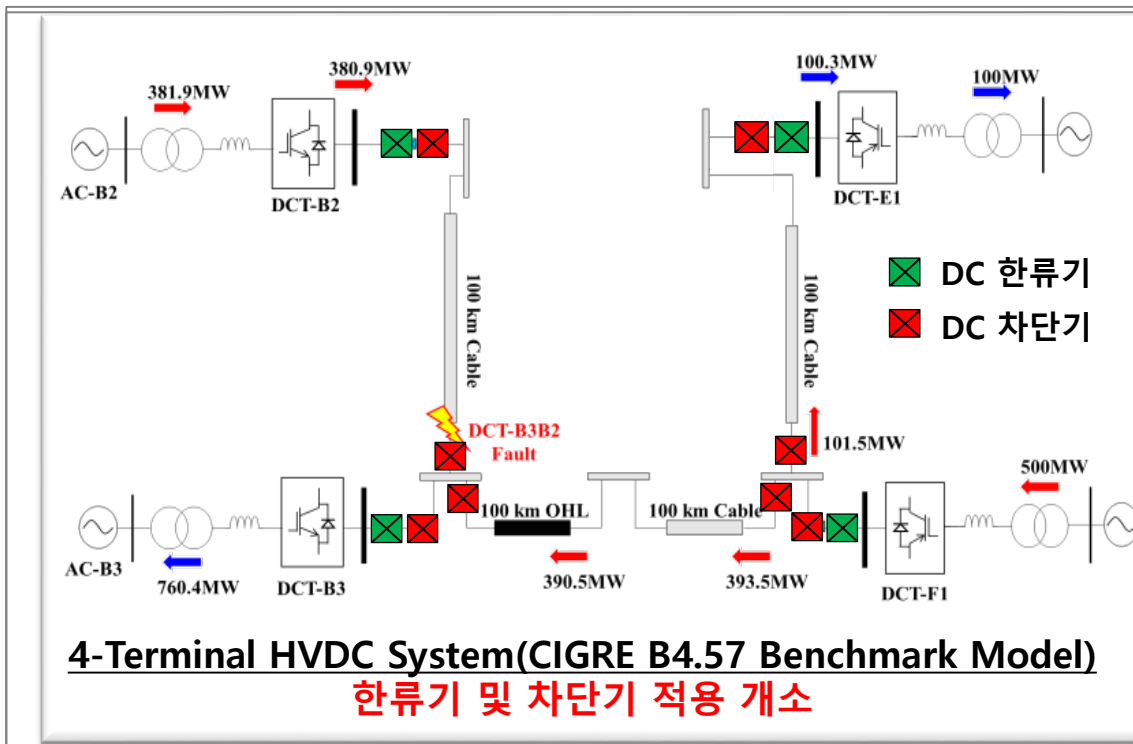
## 2. 기술 개요

### ■ DC 그리드용 능동형 Pyro-Conductor Switich 고장전류 제한장치 개발

- DC 그리드 적용을 위한 능동형 Pyro-Conductor Switch (PCS) 고장전류 제한 기술개발
- 10kV/0.5kA급 능동형 PCS 고장전류 제한장치 개발 및 성능검증

★ 독창성 : 실용성 및 경제성 (초전도 미사용)을 확보한 DC 한류 기술 최초 제안

DC 차단 기술의 한계 (보호협조, 통전손실, 고속 절환 스위치) 극복 및 보완 가능



### ■ DC GRID : HVDC/MVDC 전력망 구축

- 국가 간 전력망 연계(GEI)
- 대규모 신재생 에너지 망 구축
- 기존 AC 그리드의 보완 및 대체 가능
- 에너지 효율 향상 및 전력 전송 안정성

### ■ DC GRID 구현을 위한 핵심 디바이스

#### → DC 고장전류 제어 및 차단기술

- DC 고장전류 : 전류 영점 부재

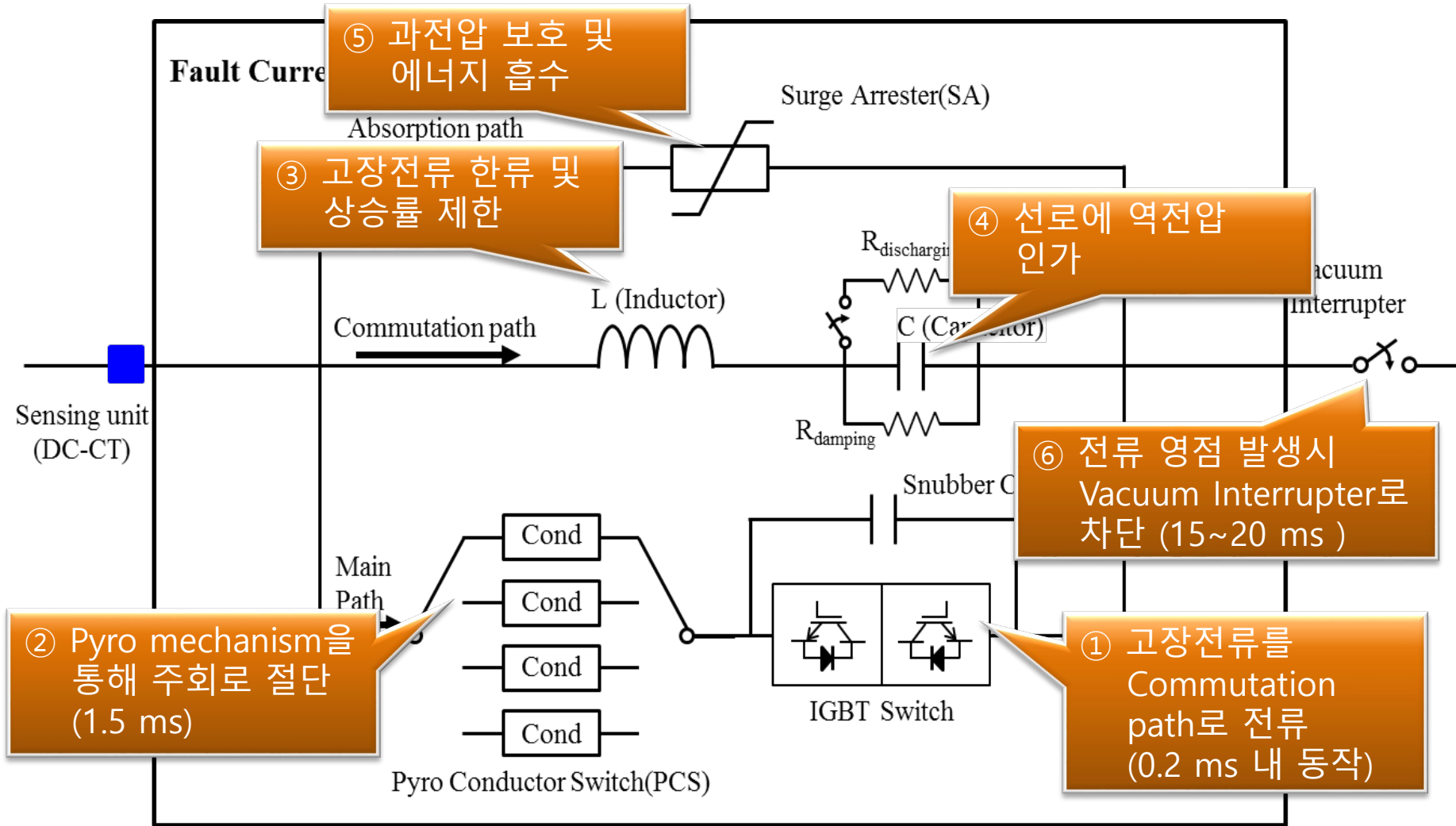
#### → DC 차단기 개발 필수

- 고장전류 (4~5ms내 차단) : **고속 차단 방식(UFD) 구현 필요** -> 보호 협조 불가

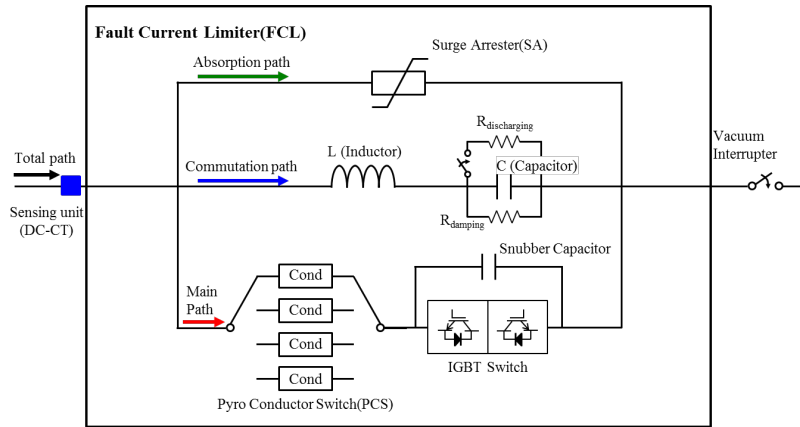
#### → DC 한류 기술 적용 필요!



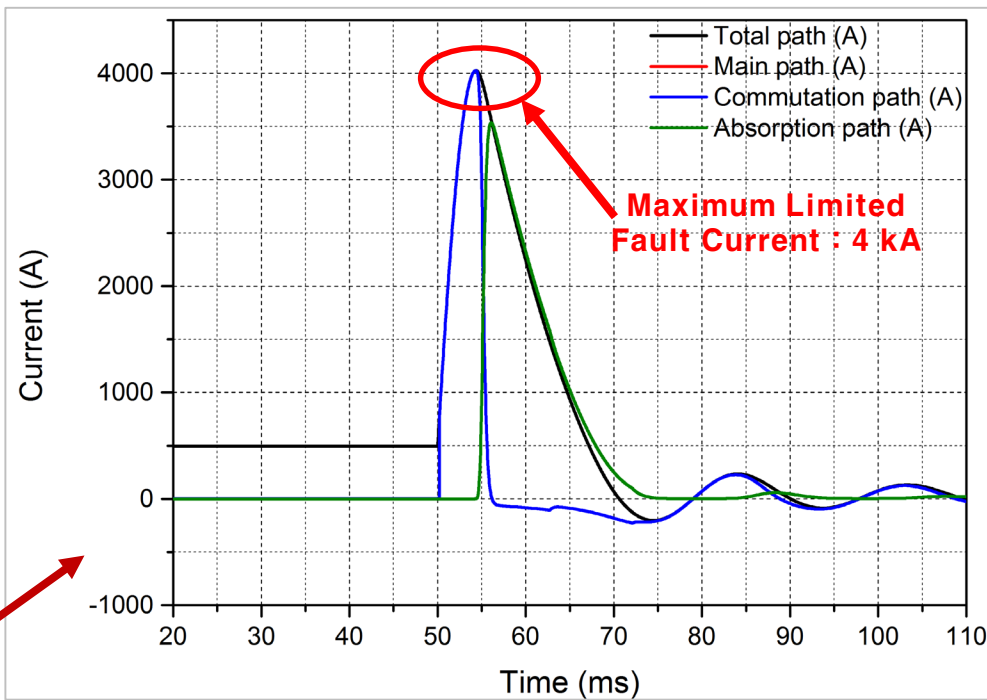
## DC 그리드용 PCS 한류기 구성도 (I)



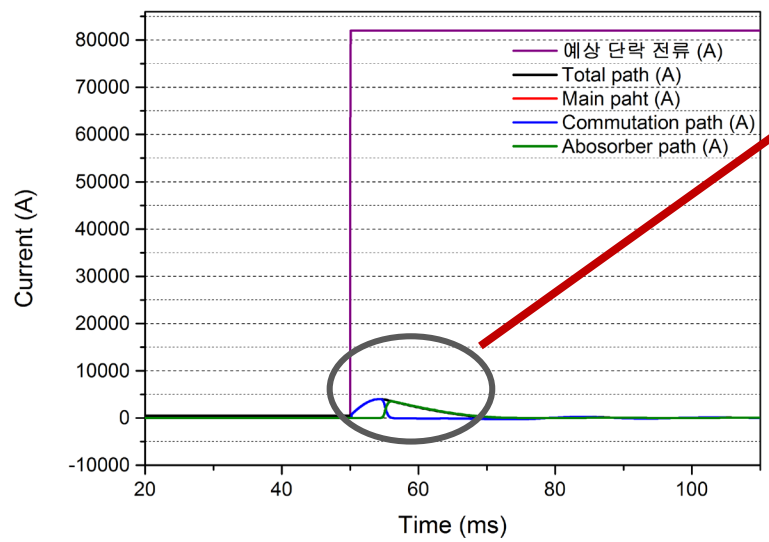
## DC 그리드용 PCS 한류기 (I) 동작 시뮬레이션



< 한류기 구성도 I >



< 사고 시 전류 파형 (Zoom in) >

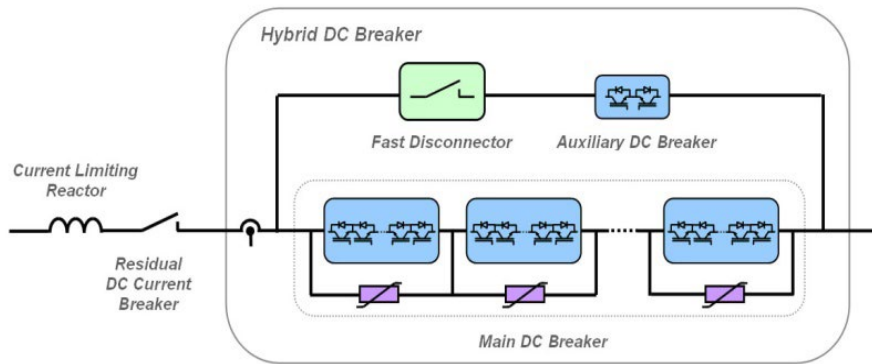


< 사고 시 전류 파형 (Zoom out) >

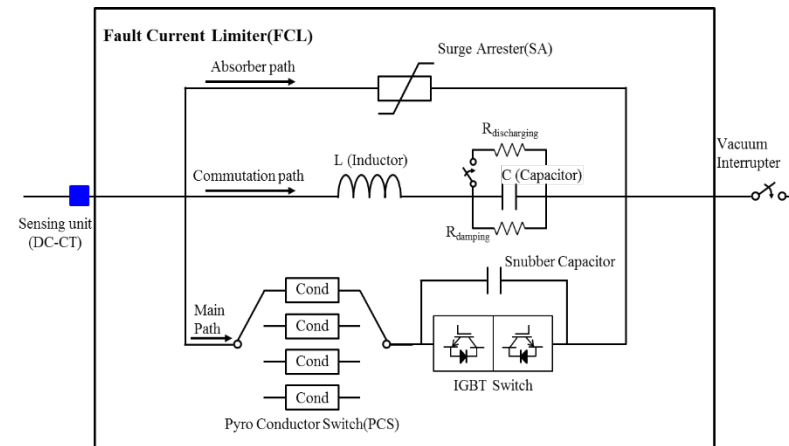
- 예상 단락 전류 = 82 (kA)      - Limited fault current : 4 (kA)
- IGBT 동작시간 = 200 (us)    - Pyro 동작 시간 = 1.5 (ms)
- IGBT 갯수 = 1 (개)            - Time<sub>Fault\_max</sub> = 3 (ms)
- Capacitor = 1250 (uf)        - Inductor = 7.4 (mH)

# 2. 기술 개요

## DC 그리드용 PCS 한류기 (I) 특징



< ABB 社 Hybrid 차단기 >



< 신개념 PCS 한류기 (I) >

주요 특징	ABB Hybrid DC 차단기 (차단기)	제안된 한류차단 방식 (신개념 한류기 + 진공차단기)
재폐로 및 보호협조	X (초고속 기계식 스위치(Thomson Coil))	0 (Pyro 절환 구조로 구현 가능)
경제성 및 실용성	고비용 다량 전력용 반도체 스위치, 고가의 UFS(성능 및 신뢰성 미확보)	저비용 Pyro Actuator, 수동형 LC 소자 활용 (저비용, 고 신뢰성, No Mechanism)
한류/차단 동작	선로 C.L.R. 적용 → di/dt 저감 IGBT 소자 전체 차단 스트레스 부담	LC 소자 적용 → 한류 및 고장전류 제어 → 차단기 부담 최소화 (VI 적용 가능)



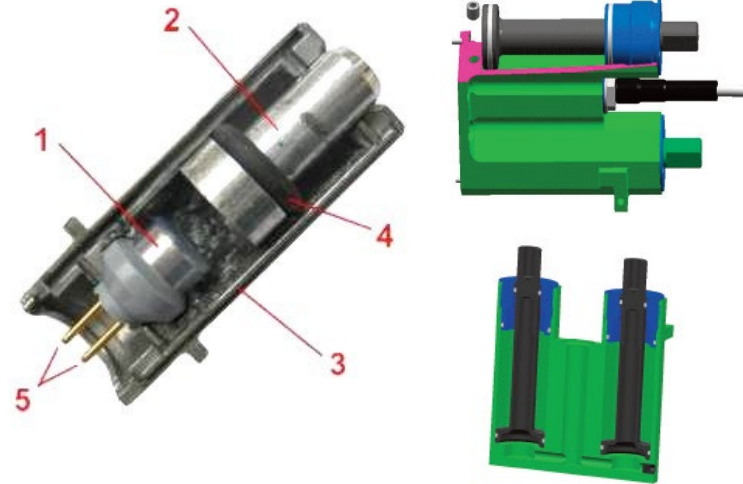
## 2. 기술개요

### 제안 PCS 한류기술의 독창성 및 장점

- Pyro Actuator의 장점 + 단점보완 (일회성→다회성 (절환 기구부 개발)) → PCS 한류기술 개발
  - : 기존 방식과 달리, 도통부의 IGBT 최소화 가능 → 도통손실 및 아크 쿨링 파워 **손실 감소**
  - : 절환기구부의 절환기능 수행으로 인한 **재폐로 기능 구현**
  - : 간단한 구조로 **제작 용이** / 기존 초전도체 및 전력전자 스위치와 비교되는 **합리적인 가격**

### Pyro Actuator 특징

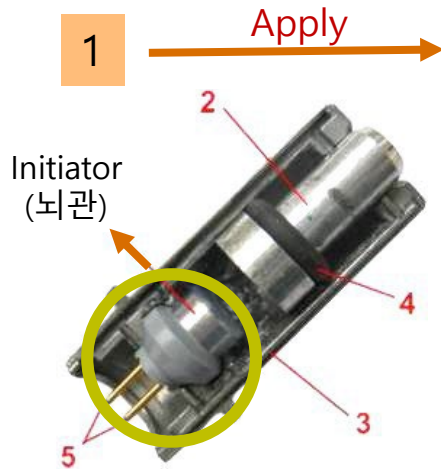
- ❖ Pyro Actuator
  - 초고속 동작 가능 (**< 2ms**) / **고 신뢰성**
  - 초소형, Compact size, 외부에너지 공급 불필요
  - 유지 보수 교체 필요 없음 → 1회 동작후 교체
  - 장수명
  - 절환기구부 적용 → **Resettable 구현**



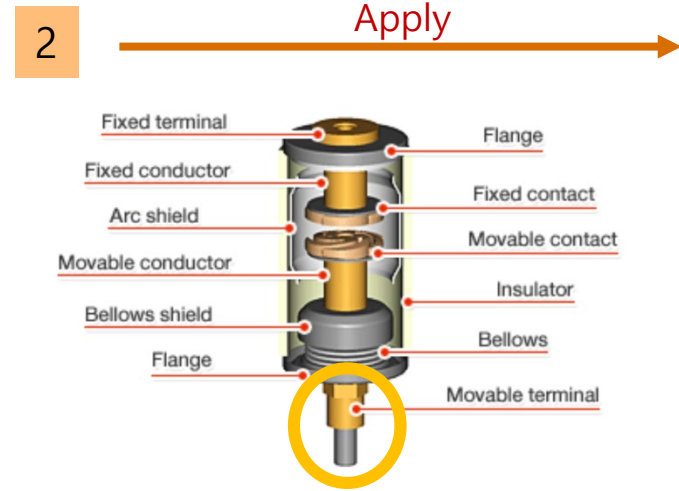
**DC 한류기의 경제성 및 실효성 확보!**

# 2. 기술개요

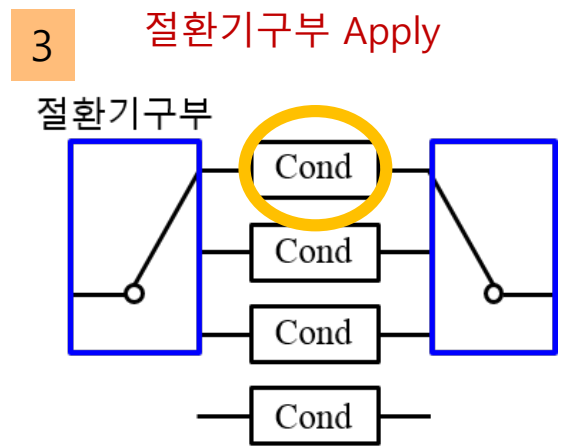
## 제안 PCS 한류기술의 독창성 및 장점



< Pyro actuator >  
 Pyro actuator 동작 특성 (2가지)  
 1. Pushing method  
**2. Pulling method**



< Vacuum Interrupter >  
 VI Movable terminal  
 → Pulling method 적용  
 → 정상상태 : VI 투입 유지  
 → 고장시 : Pyro actuator 동작을 통해 VI 고속 OPEN



Pyro Conductor Switch(PCS)  
 < 절환 기구부 설계 >

- (1) Pyro actuator +
- (2) Vacuum Interrupter +
- (3) 절환기구부 설계

**Pyro Conductor Switch (PCS)**  
 구현 완료

- 국내 적용 사례 - [ L 사, (Pushing method 적용) ] -

MMC 설계 시 , submodule 보호를 위한 용도로 사용  
 정상상태 (Pyro actuator 동작 X → VI OPEN)

고장 시 (Pyro actuator 동작 → VI short circuit) 으로 bypass

# 3. 국내외 기술 및 시장 동향

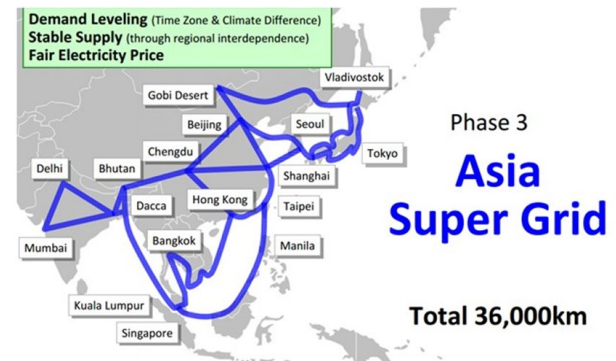
## DC 그리드용PCS 한류기 적용가능 시장

### PCS 한류기 적용 가능 분야

< Multi-Terminal HVDC System >

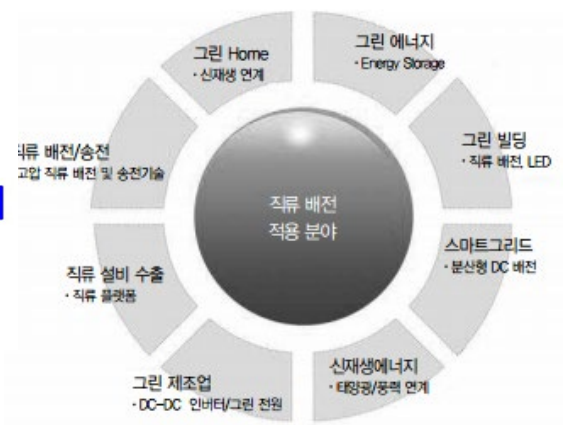


Zhoushan 5-terminal HVDC System



Asia Super Grid

< DC 배전 시스템 >



#### DC 송전망

- 대용량 송전에 특화된 HVDC 송전 시스템은 **21세기 핵심 전기에너지 전송선로**로 주목받고 있음.
- 현재 13 조원의 HVDC 세계시장 규모는 2020년까지 약 **70 조원의 시장이 형성될** 것으로 전망됨.
- 상업화되어 있는 HVDC 차단 관련 기기는 전무하며, **신개념 DC 한류기 개발**을 통한 **세계시장 진출**.

#### DC 배전망

- DC 기반 신재생에너지와 DC부하 증가에 따라 DC 배전 기술개발이 주목받고 있음.
- 2013년 25억불의 전세계 DC 배전시장은 **2025년 241억불까지 성장**할 것으로 전망됨.
- **신개념 DC 한류기의 개발**을 통해 **국내 DC 배전망 산업 육성 및 세계시장 진출**.



## 3. 국내외 기술 및 시장 동향

### 국내 기술 동향

- 국내의 경우 AC계통에 접목되는 초전도 한류기에 대한 특허 및 연구가 주를 이룸.
- 보호협조와 재폐로를 고려한 DC 한류기에 대한 연구는 부족한 실정임.
- DC 차단기의 경우 전기연구원, LS 산전, 효성에서 연구개발 진행 중.

### 해외 기술 동향

- 국외의 경우 AC계통에 접목되는 초전도 한류기에 대한 연구가 주를 이룸.
- 최근 중국에서 저항형 초전도 한류기를 DC 그리드에 접목시키려는 연구가 진행 중임.
- ABB, Alstom이 Hybrid형 차단기의 프로토타입을 개발하였지만, 적용사례가 존재하지 않음.

### 개발 필요성

- DC 그리드의 유연한 보급을 위해서는 차단기의 스트레스 감소와 보호협조 및 재폐로를 가능케 하는 능동성, 상용화를 용이하게 만드는 경제성과 실용성을 두루 갖춘 새로운 개념을 보유한 한류기 개발이 필수적으로 요구됨.

**감사합니다.**

## 연구진 역량

### 국제 특허

국내외 관련 특허 총 45건 중 12건 기재

- ELECTRIC POWER CIRCUIT PROTECTING APPARATUS USING SUPERCONDUCTOR 2006-10-23 (등록번호 : 20070139832)
- RESISTIVE SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER (등록번호 : 20070127171)
- PTC current limiting device having flashover prevention structure (등록번호 : US2006152331)
- PTC CURRENT LIMITING DEVICE HAVING MOLDING PART MADE OF INSULATING MATERIAL (등록번호 : EP20060000532)
- RESISTIVE SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER (등록번호 : 20050068701)
- BREAKER FOR PROVIDING SUCCESSIVE TRIP MECHANISM BASED ON PTC CURRENT-LIMITING DEVICE (등록번호 : 7141751)

### 국내 특허

- 피크전류 제한장치 (Peak Current Limiting Apparatus) (출원번호 : 10-2008-0011856)
- 초전도 소자를 이용한 하이브리드 한류기 (출원번호 : 10-2007-0139296)
- 하이브리드 초전도 한류기 (Hybrid type superconducting fault current limiter) (출원번호 : 10-2007-0083221)
- 전류제한 기능을 갖는 하이브리드 HVDC 차단기 (출원번호 : 10-2016-0052108)
- DC 초전도 공진형 차단기 (출원번호 : 10-2016-0052108)
- 고전압 전력 전송시스템의 전류억제 장치 및 그것의 제어방법 (출원번호 : 10-2014-0060296)



## 연구진 역량

최근 5년간 SCI급 관련분야 논문 11편 (DC 한류기, 차단기 관련)

- **Feasibility analysis of the positioning of superconducting fault current limiters for the smart grid application using simulink and simpowersystems** IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, JUNE 2011.
- **Impacts of superconducting fault current limiters on the recloser operation in distribution electric power systems**, IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, JUNE 2011.
- **Feasibility analysis of the application and positioning of DC HTS FCL in a DC microgrid through modeling and simulation using Simulink and SimPowerSystem**, Physica C: Superconductivity, NOVEMBER 2011.
- **Validity Analysis on the Positioning of Superconducting Fault Current Limiter in Neighboring AC and DC Microgrid**, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, June 2013.
- **Assessment on the influence of resistive superconducting fault current limiter in VSC-HVDC system**, Physica C : Superconductivity and its Applications, 2014.
- **Design of Post Metal Shields Through Electric Field Distribution Analysis for a 154-kV SFCL**, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, JUNE 2015.
- **A Novel Model of HVDC Hybrid-Type Superconducting Circuit Breaker and Its Performance Analysis for Limiting and Breaking DC Fault Currents**, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2015.
- **Comparative Study of Superconducting Fault Current Limiter both for LCC-HVDC and VSC-HVDC Systems**, Physica C : Superconductivity and its Applications, 2015.
- **Feasibility analysis of a novel hybrid-type superconducting circuit breaker in multi-terminal HVDC networks**, Physica C : Superconductivity and its Applications, 2015.
- **Mitigation of commutation failures in LCC-HVDC systems based on superconducting fault current limiters**, Physica C : Superconductivity and its Applications, 2016.
- **Impact of Superconducting Fault Current Limiter on the Various Types of HVDC Circuit Breaker**, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2016.