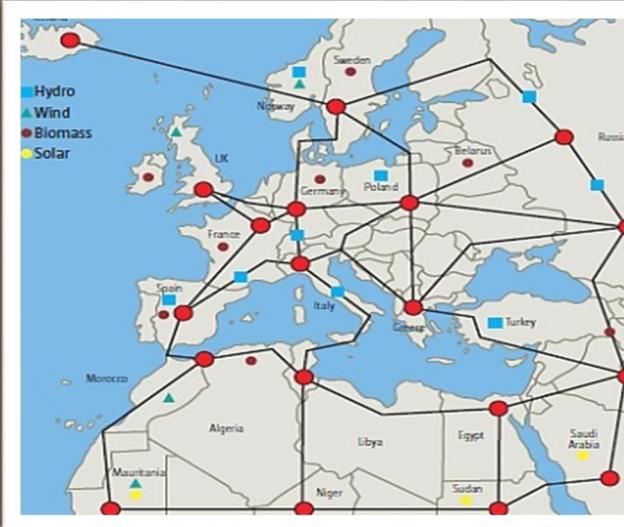


DC 그리드 구현을 위한 직류 차단 기술



이방욱

목차

1. 기술 개발의 필요성

2. 기술 개요

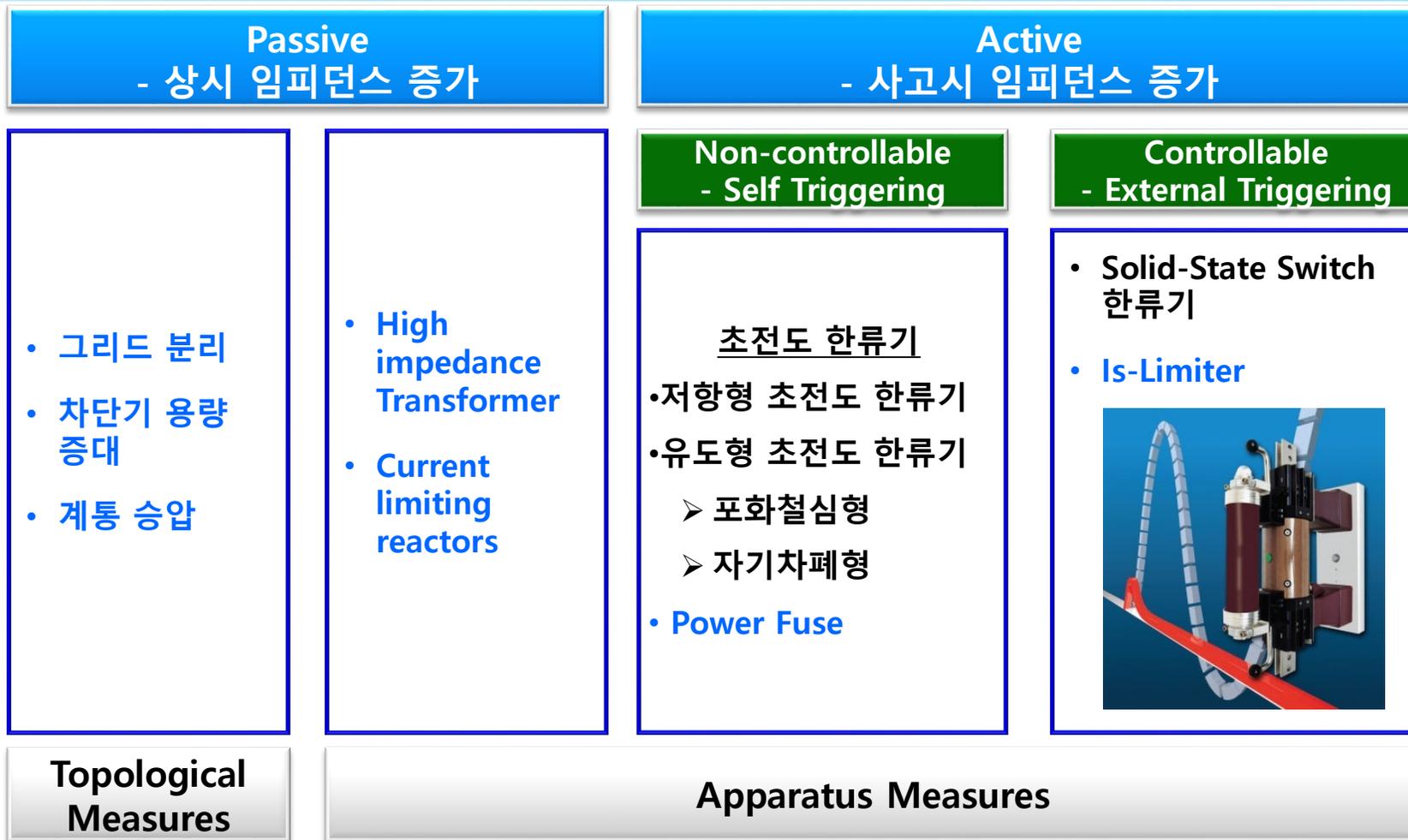
3. 국내외 기술 및 시장 동향

참고자료

1. 기술 개발의 필요성

AC 그리드 단락전류 대책

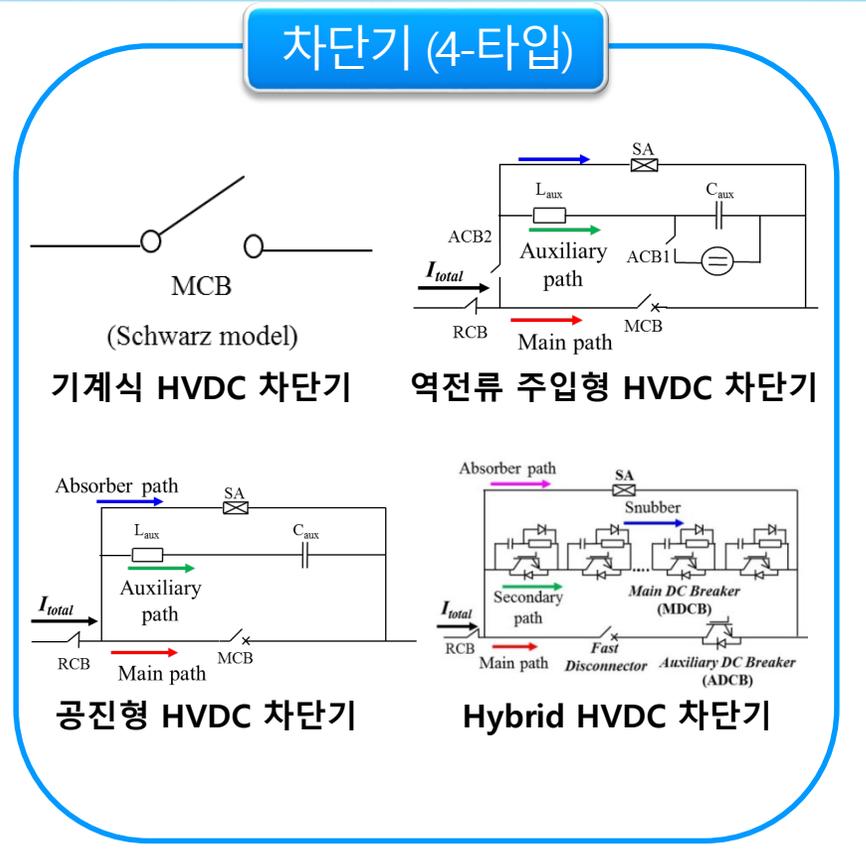
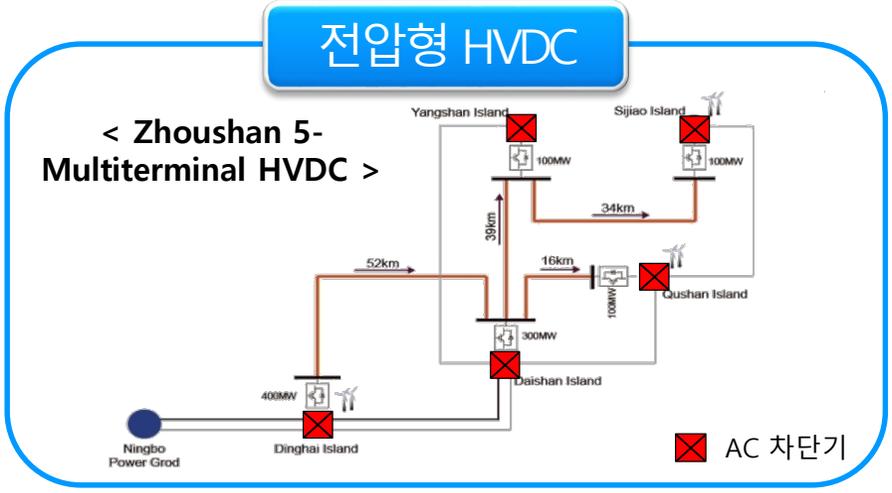
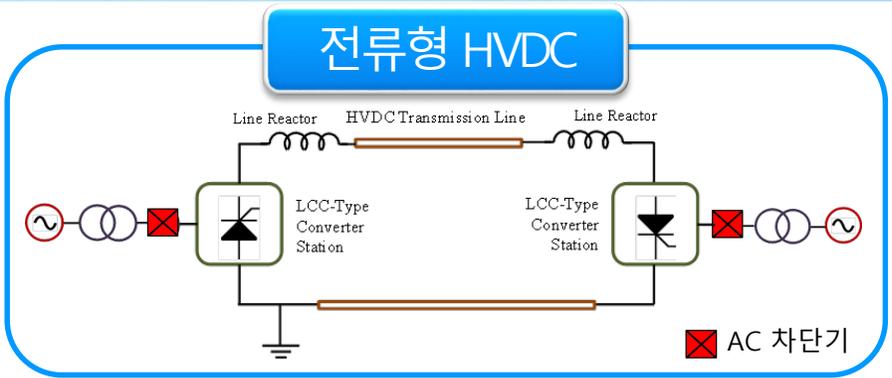
- AC 단락전류는 전류 영점 존재 → 고전압/ 대전류 차단기술 구현 용이
- AC용 한류 기술**은 **고비용(초전도, 전력전자), 계전기 보호 협조 미비**로 실용화가 지연되고 있음.



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.



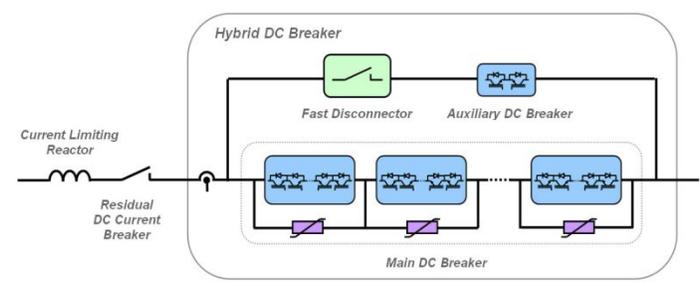
다양한 연구가 진행되고 있으나 DC 그리드에 적용 가능한 DC 차단 기술은 없는 실정!!

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.

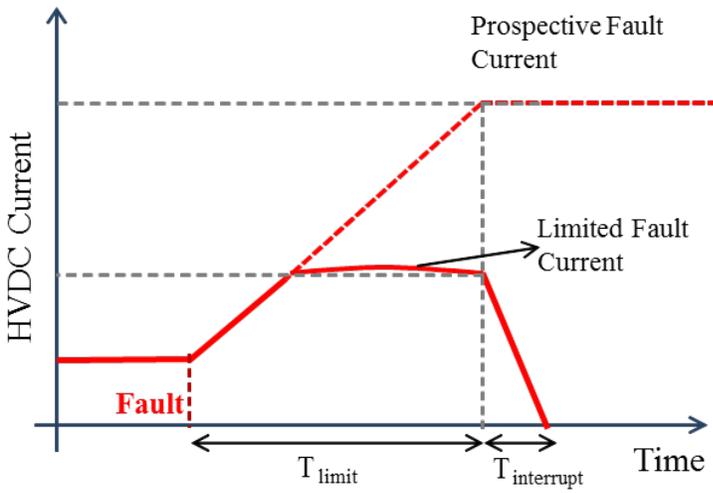
문제점

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

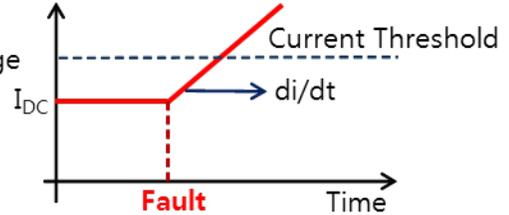
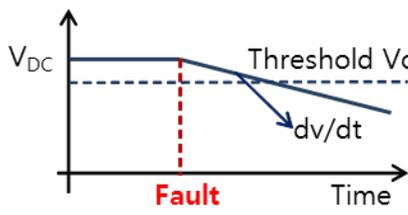
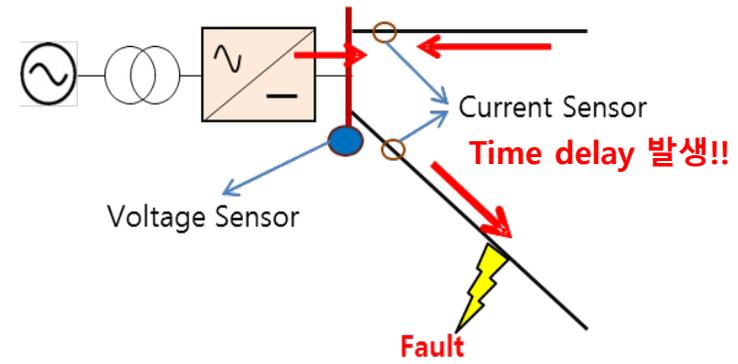
1. 기술 개발의 필요성

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 >

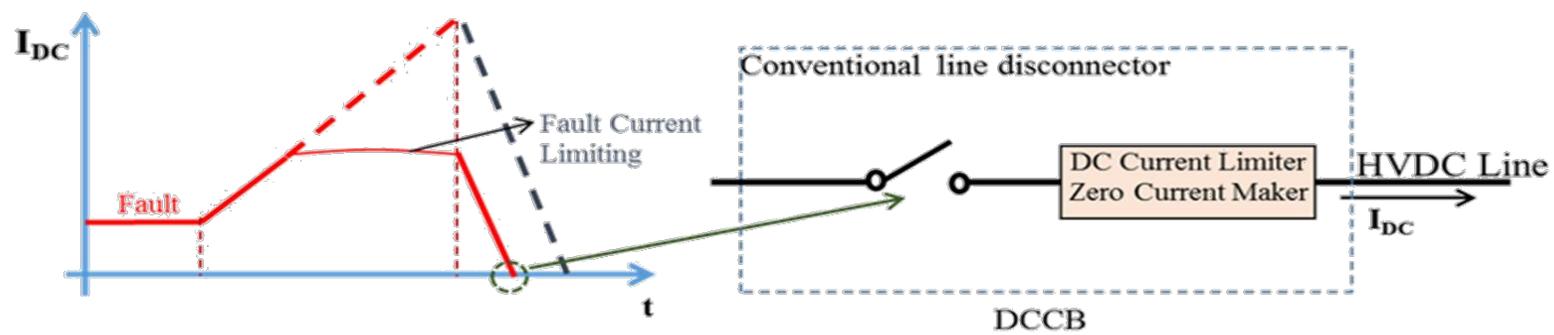
1. 고장전류 계전 시간 및 보호 협조 판정 시간 필요.
2. 고장전류 한류를 통한 변환 설비에 가해지는 단락 전류 스트레스 저감 필요.

1. 기술 개발의 필요성

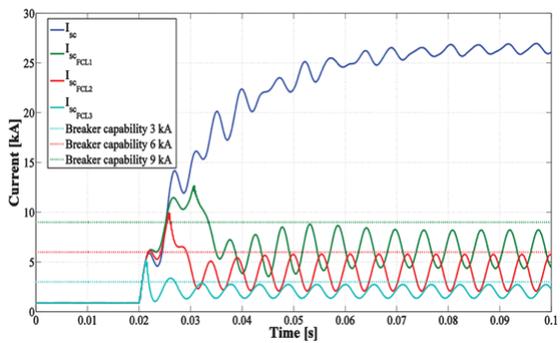
DC 그리드 구현을 위한 한류기 적용

- 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

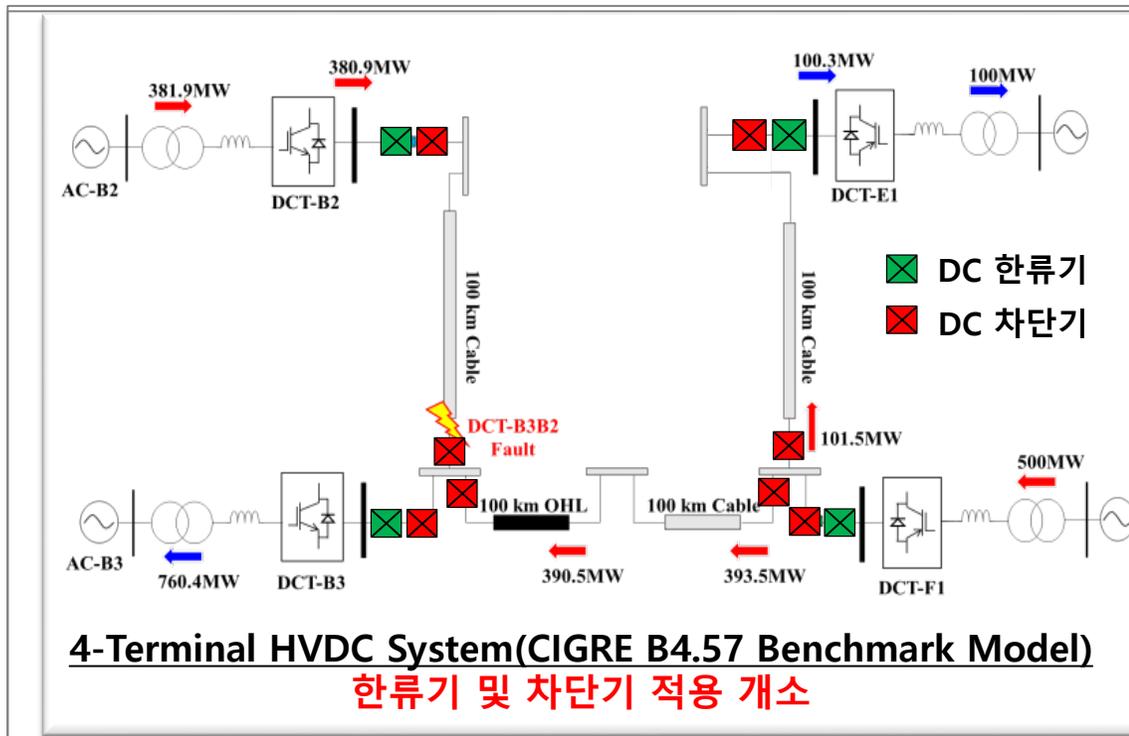
2. 기술 개요

■ DC 그리드용 능동형 Pyro-Conductor Switch 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

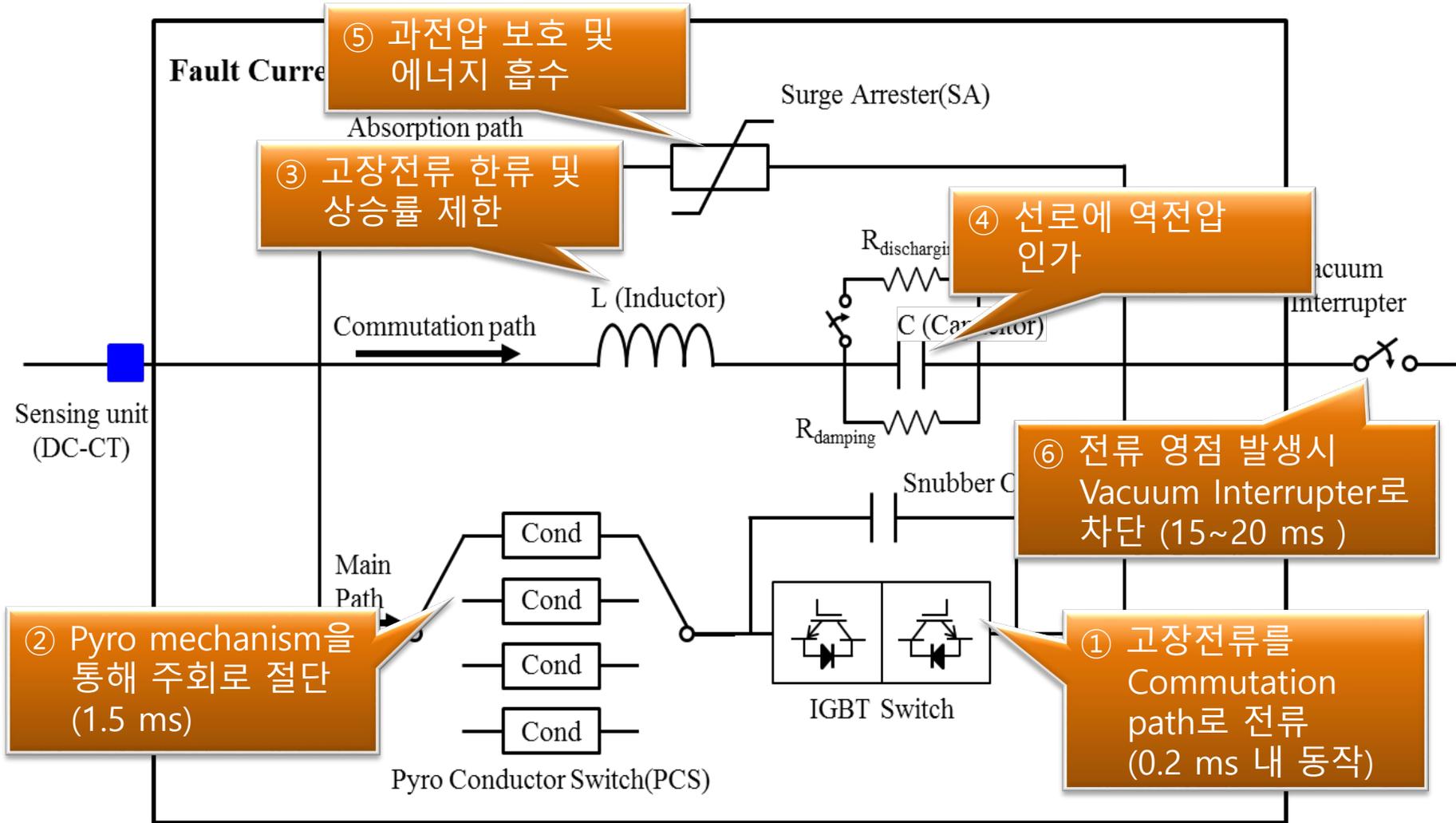
- DC 고장전류 : 전류 영점 부재

→ DC 차단기 개발 필수

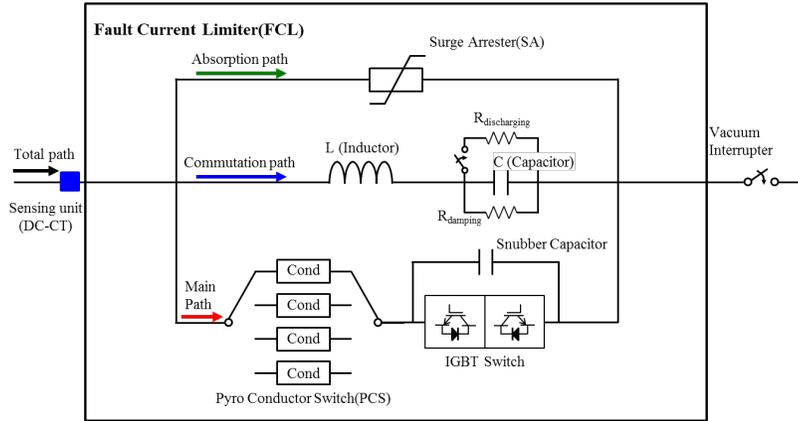
- 고장전류 (4~5ms내 차단) : **고속 차단 방식(UFD) 구현 필요** -> 보호 협조 불가

→ DC 한류 기술 적용 필요!

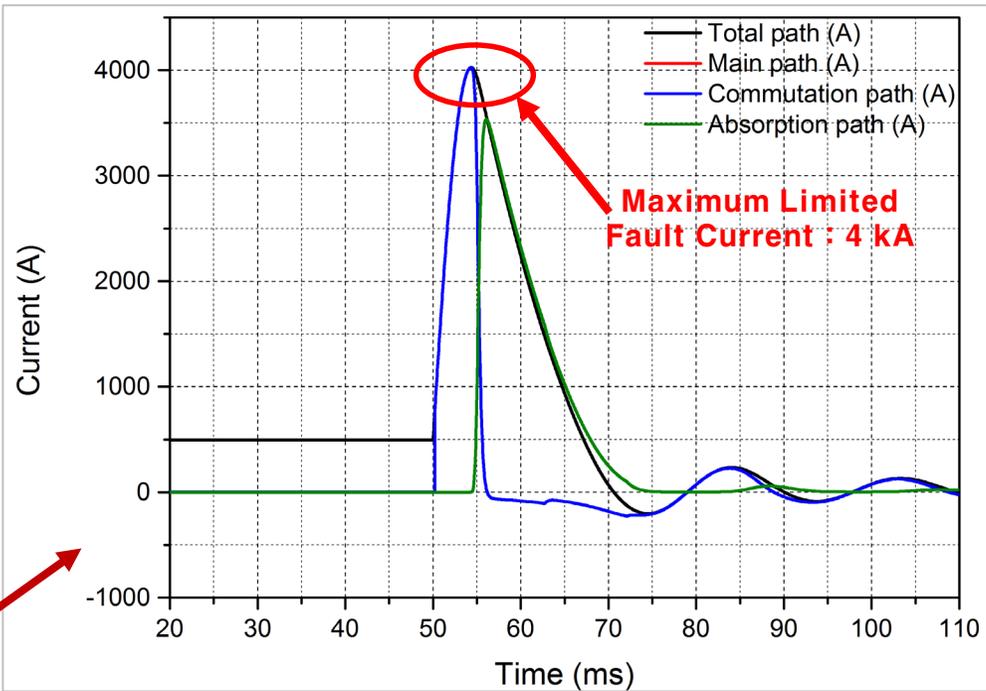
DC 그리드용 PCS 한류기 구성도 (I)



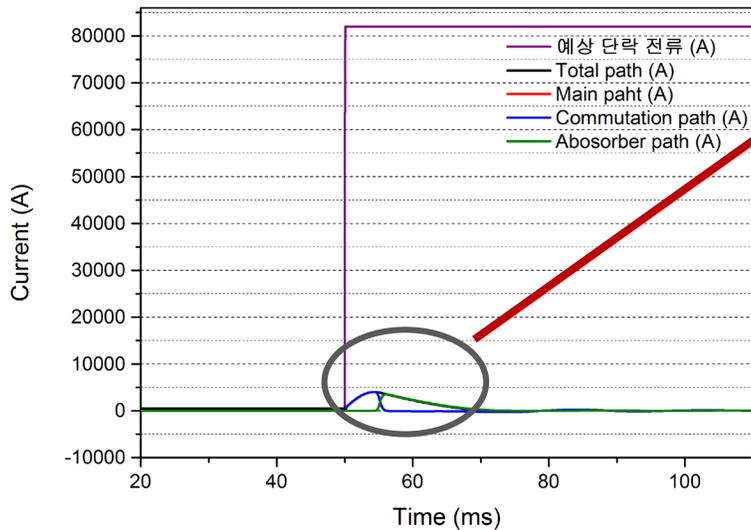
DC 그리드용 PCS 한류기 (I) 동작 시뮬레이션



< 한류기 구성도 I >



< 사고 시 전류 파형 (Zoom in) >

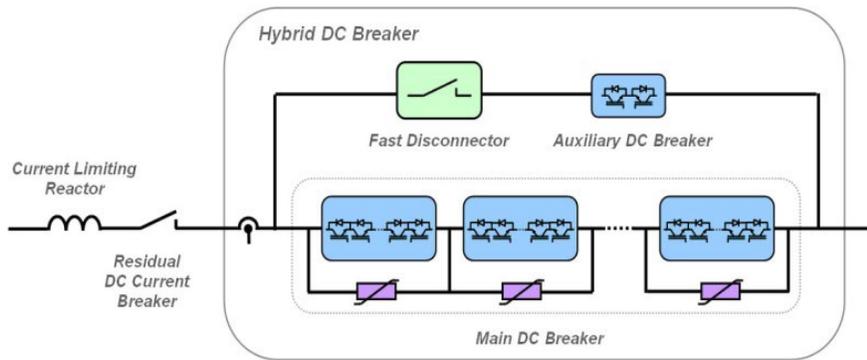


< 사고 시 전류 파형 (Zoom out) >

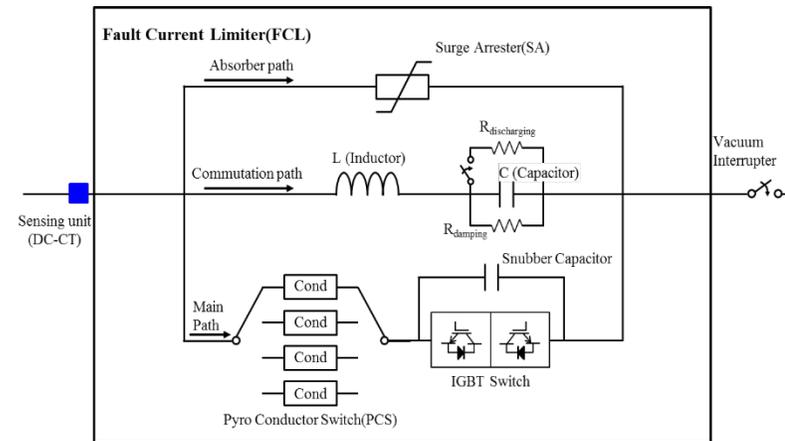
- 예상 단락 전류 = 82 (kA) - Limited fault current : 4 (kA)
- IGBT 동작시간 = 200 (us) - Pyro 동작 시간 = 1.5 (ms)
- IGBT 갯수 = 1 (개) - Time_{Fault_max} = 3 (ms)
- Capacitor = 1250 (uf) - Inductor = 7.4 (mH)

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)

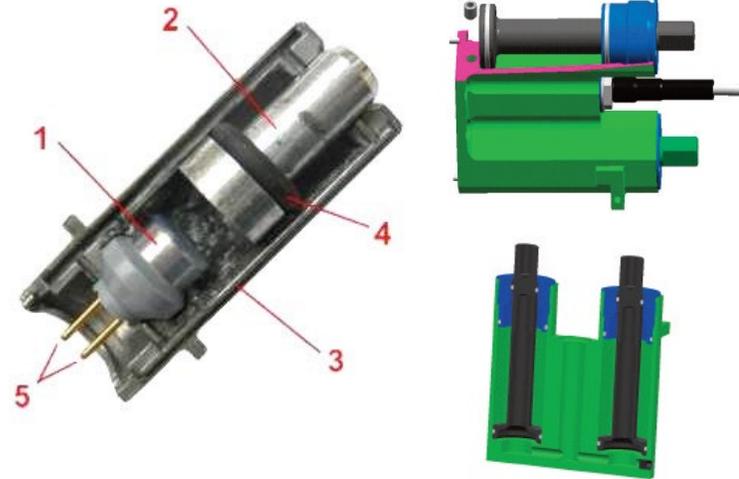
2. 기술개요

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

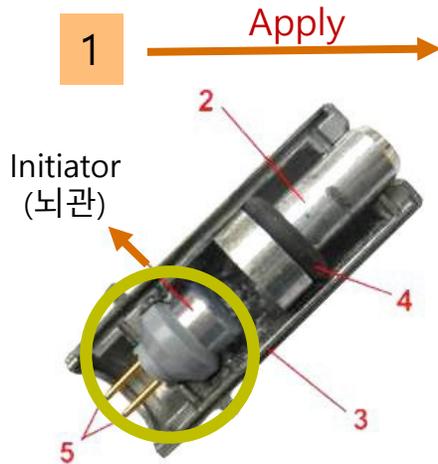
- ❖ Pyro Actuator
 - 초고속 동작 가능 (**< 2ms**) / **고 신뢰성**
 - 초소형, Compact size, 외부에너지 공급 불필요
 - 유지 보수 교체 필요 없음 → 1회 동작후 교체
 - 장수명
 - 절환기구부 적용 → **Resettable 구현**



DC 한류기의 경제성 및 실효성 확보!

2. 기술개요

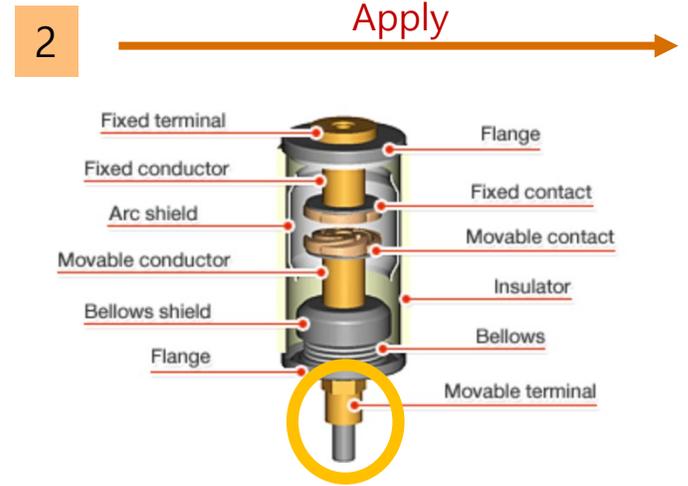
제안 PCS 한류기술의 독창성 및 장점



< Pyro actuator >

Pyro actuator 동작 특성
(2가지)

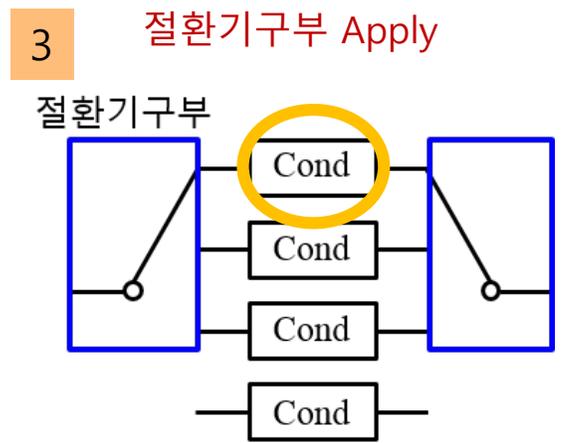
- 1. Pushing method
- 2. Pulling method**



< 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)

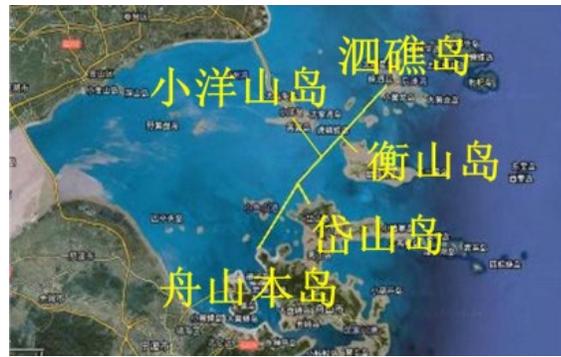
고장 시 (Pyro actuator 동작 → VI short circuit) 으로 bypass

3. 국내외 기술 및 시장 동향

DC 그리드용PCS 한류기 적용가능 시장

PCS 한류기 적용 가능 분야

< Multi-Terminal HVDC System >

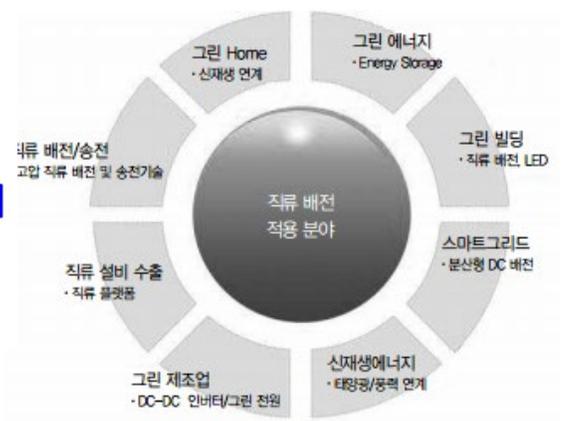


Zhoushan 5-terminal HVDC System



Asia Super Grid

< DC 배전 시스템 >



DC 송전망

- **대용량 송전에 특화된 HVDC 송전 시스템**은 **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 증가**에 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 **AC계통**에 접목되는 **초전도 한류기에 대한 특허 및 연구**가 주를 이룸.
- **보호협조와 재폐로를 고려한 DC 한류기에 대한 연구**는 부족한 실정임.
- **DC 차단기의 경우** 전기연구원, LS 산전, 효성에서 연구개발 진행 중.

해외 기술 동향

- 국외의 경우 **AC계통**에 접목되는 **초전도 한류기에 대한 연구**가 주를 이룸.
- 최근 **중국**에서 **저항형 초전도 한류기를 DC 그리드에 접목**시키려는 연구가 진행 중임.
- **ABB, Alstom**이 **Hybrid형 차단기의 프로토타입을 개발**하였지만, 적용사례가 존재하지 않음.

개발 필요성

- DC 그리드의 유연한 보급을 위해서는 **차단기의 스트레스 감소와 보호협조 및 재폐로를 가능케 하는 능동성**, 상용화를 용이하게 만드는 **경제성과 실용성**을 두루 갖춘 **새로운 개념을 보유한 한류기 개발**이 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.