

# 5kV급 MV-LVDC 독립형 마이크로그리드의 보호협조기기 운용특성에 관한 연구

이명근\*, 박동명\*, 신건\*, 정민철\*, 노대석\*  
\*한국기술교육대학교  
e-mail:magibt@naver.com

## Operation Characteristics of Protection Coordination Devices for 5kV-scale MV-LVDC Micro-grid System

Myung-Geun Lee\*, Dong-Myoung Park\*, Jian Shen\*, Min-Chul Jung\*, Dae-Seok Rho\*  
\*Korean University of Technology and Education

### 요약

최근, 신재생에너지전원의 계통 접속대기 용량 증가 문제를 해결하기 위한 방안 중 하나로, MVDC 배전기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 그러나, MVDC 배전망의 구축을 위한 배전선로, 차단기, 컨택터, 등과 같은 MVDC용 기기들은 아직 개발 단계에 머물러 있어 상용화된 제품이 극히 제한적이며, 이에 따라 MVDC 배전망을 구축하는데 많은 어려움이 발생하고 있다. 즉, MVDC 배전망에 대한 실증연구의 수행을 위하여, 현재 시중에 판매되고 있는 LVDC 및 MVDC 기기들을 활용한 최적 설계 및 보호협조 운용방안에 대한 연구가 필요한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 5kV급 MV-LVDC MG 시스템을 대상으로 컨버터 및 배전선로와 같은 고가의 설비들을 우선적으로 보호하고, 시스템의 안정적인 운용을 위하여 DC용 보호기기들에 대한 특성을 분석하고, 이를 바탕으로 MV 및 LVDC용 보호기기의 보호협조 운용방안을 제시한다. 또한, 배전계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여, 실제 구축중인 실증사이트를 대상으로 5kV급 MV-LVDC 독립형 MG 시스템의 모델링을 수행한다. 대상 계통에서의 다양한 상정사고 조건을 바탕으로 보호협조 운용특성을 분석한 결과, 제안한 MV-LVDC 보호기기의 보호협조 운용방안이 사고구간을 확대시키지 않고 배전선로를 적절하게 보호할 수 있어, 본 논문의 유용성을 확인하였다.

### 1. 서론

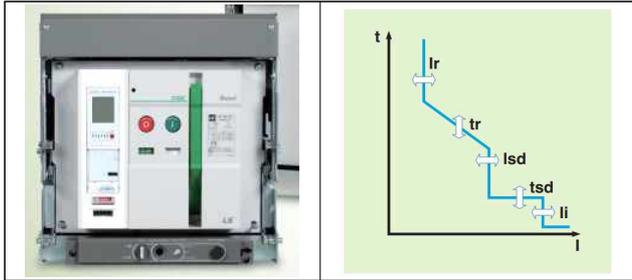
최근, 정부의 신재생에너지전원의 확대 정책 추진으로 인한 계통 접속대기 용량 증가 문제를 해소하기 위하여, 기존의 AC 설비를 최대한 활용하여 신재생에너지전원의 계통 접속을 신속하게 대응할 수 있는 MVDC 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히, 정부의 단계적 원전감축으로 인해 급격하게 확대되고 있는 신재생에너지 정책을 달성하기 위해서는 DC산업 기술을 확보하기 위한 실증기술에 대한 연구가 요구되고 있다. 그러나, MVDC 배전망의 구축을 위한 배전선로, 차단기, 컨택터, 등과 같은 MVDC용 기기들은 아직 개발 단계에 머물러 있어 상용화된 제품이 극히 제한적이며, 이에 따라 MVDC 배전망을 구축하는데 많은 어려움이 발생하고 있다. 즉, MVDC 배전망에 대한 실증연구의 수행을 위하여, 현재 시중에 판매되고 있는 LVDC 및 MVDC 기기들을 활용한 최적 설계 및 보호협조 운용방안에 대한 연구가 필요한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 5kV급 MV-LVDC MG 시스템을 대상으로 컨버터 및 배전선로와 같은 고가의 설비들을 우선적으로 보호하고 시스템의 안정적인 운용을 위하여, DC용 보호기기들에 대한 특성을 분석하고, 이를 바탕으로 MV-LVDC MG 시스템의 보호협조 운용방안을 제시한다. 또

한, 배전계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여, 실제 구축중인 실증사이트를 대상으로 5kV급 MV-LVDC 독립형 MG 시스템의 모델링을 수행한다. 대상 계통에서의 다양한 상정사고 조건을 바탕으로 보호협조 운용특성을 분석한 결과, 제안한 MV-LVDC 보호기기의 보호협조 운용방안이 사고구간을 확대시키지 않고 배전선로를 적절하게 보호할 수 있어, 본 논문의 유용성을 확인하였다.

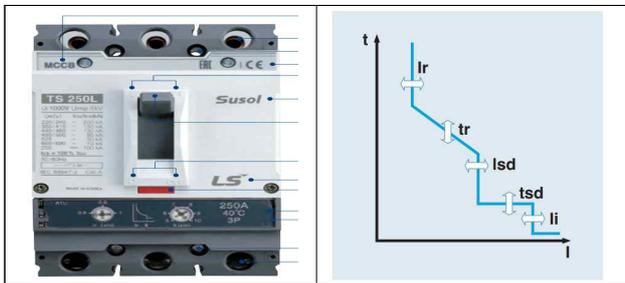
### 2. 5kV급 MV-LVDC 독립형 MG의 보호기기 구성

MV-LVDC 보호기기의 특성을 나타내면 그림 1~4와 같다. 여기서, 그림 1은 DC ACB의 특성을 나타내며, 동작전류가 정격전류의 40~100%에서는 장한시보호, 150~1000%에서는 단한시보호와 순시보호가 가능하고 정격전류의 20~100%에 해당하는 지락보호 기능을 가지고 있다. 그리고 동작시간범위는 장한시에서는 0.5~541.7s, 단한시에서는 0.05~0.4s, 순시보호에서는 50ms, 지락보호에서는 0.1~3s로 설정이 가능하다. DC MCCB는 그림 2와 같이 과부하 보호를 위한 장한시, 과전류 보호를 위한 단한시, 단락보호를 위한 순시 및 지락보호

가 가능하며, CT를 사용할 경우 누설보호도 가능해진다. 그리고 동작시간범위는 장한시에서는 0.5~20s, 단한시에서는 0.05~0.4s, 순시보호에서는 50ms, 지락보호에서는 0.05~0.4s, 누설 보호에서는 0.2~30s로 설정이 가능하다.

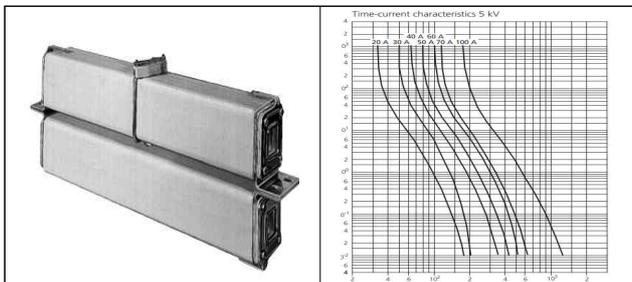


[그림 1] DC ACB의 TCC 특성

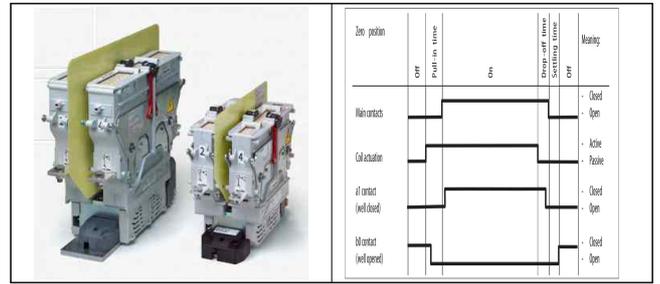


[그림 2] DC MCCB의 TCC 특성

또한, DC fuse는 그림 3과 같이 선로를 보호하기 위하여 신속하게 대응할 수 있는 단한시 특성을 갖는다. 또한, 그림 4는 CTR(contector)의 특성을 나타내며, CTR은 본래 선로 보호 용이 아닌 투입용 기기이지만 8kA에서는 100ms이내, 20kA에서는 20ms 이내로 차단하는 과전류에 대한 단한시 특성을 가진다.



[그림 3] DC fuse의 TCC 특성



[그림 4] CTR의 TCC 특성

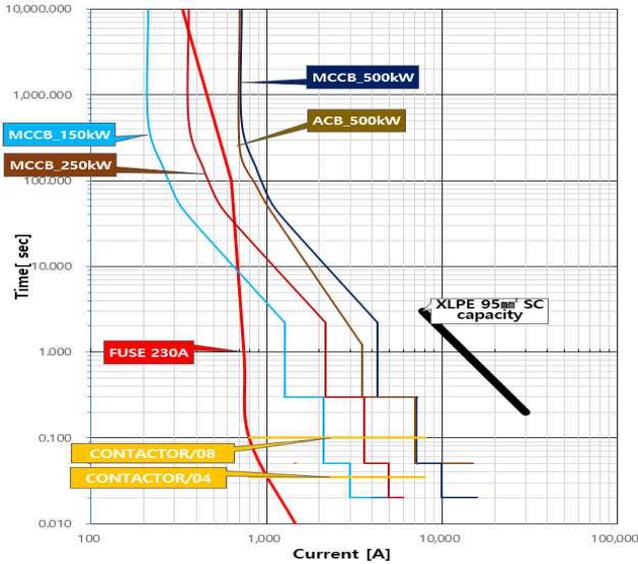
### 3. 5kV급 MV-LVDC 독립형 MG의 보호협조 운용방안

상기의 MG에서 정격전압과 정격차단전류에 따라 요구되는 보호기기 운용방안은 표 1과 같이 나타낼 수 있다. 즉, 5kV MVDC 선로에서는 각 최대정격전압이 6kV인 CTR과 100kV인 fuse를 사용하여 보호하고, 750V LVDC 선로에서는 ACB와 MCCB로 선로를 보호한다.

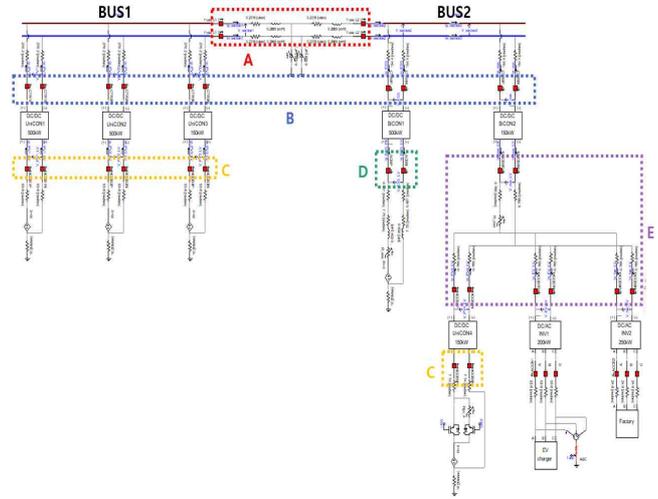
[표 1] 5kV급 MG에서 요구되는 보호기기 운용방안

	ACB	MCCB	CTR	fuse
정격전류 (upto)	800[A] (2500[A])	800[A] (1600[A])	400[A] (800[A])	230[A] (350[A])
정격전압 (upto)	750V (1.5kV)	750V (1kV)	1.5kV (6kV)	6kV (100kV)
정격 차단전류	40kA	10kA	2.5~8kA	30kA
최대전력	6MW	1.6MW	4MW	2MW

한편, 보호기기들의 보호협조를 위하여 그림 5와 같이 사용 용량과 정격전압, 차단전류를 고려하여 TCC 특성에 맞게 적용한다. MVDC(5kV)측은 지중선로를 보호하기 위하여 fuse와 CTR의 TCC를 적용하고, LVDC측은 기기를 보호하기 위하여 각각 PV1~2은 500kW MCCB, PV3는 150kW MCCB, ESS는 500kW ACB, 부하는 150, 250kW MCCB의 TCC를 적용한다.



[그림 5] DC 보호기기들의 TCC 설정



[그림 6] 5kV급 MV-LVDC 독립형 MG 모델링

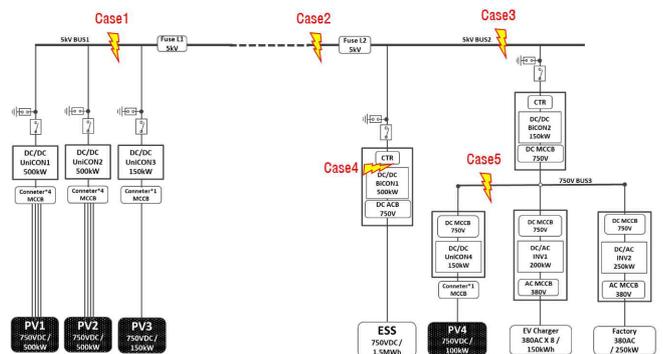
#### 4. PSCAD/EMTDC를 이용한 MV-LVDC MG의 모델링

5kV급 MV-LVDC 독립형 MG의 보호협조 특성 시뮬레이션을 하기 위하여 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링하면 그림 6과 같다. 여기서, BUS1은 MG에 전력을 공급하는 발전원으로, 총 1.15[MW]의 태양광전원과 DC축의 선로 보호를 위한 MCCB 및 MVDC 계통 연계를 위한 DC/DC 컨버터 등이 연결된다. 또한, BUS2는 태양광전원에서 발전한 에너지를 저장하고 필요시 부하에 공급하기 위한 500[kW]/1.5[MWh]의 ESS와 250[kW]의 공장 수용가부하, 150[kW]의 EV 충전소 그리고 100[kW]의 태양광전원 및 각 장치를 보호하기 위한 보호장치와 DC/DC 컨버터 및 DC/AC 인버터 등이 연결된다. 한편, BUS1과 BUS2는 2.4[km] 공장의 MVDC 선로(지중)를 통해 연결되며, 각 구역의 수전부와 지중선로의 연계를 위한 선로의 길이는 각각 800[m], 1.4[km]로 상정하고, 3개소의 태양광전원이 모여서 발전하는 BUS1의 경우 DC/DC 컨버터와 태양광패널과의 거리는 약 200[m]로 상정한다. 또한, A와 B에는 각각 고압축 선로를 보호하기 위해 DC fuse와 CTR을 구성하고, C에는 태양광 전원을 보호하기 위해 DC MCCB를 구성하였으며, D에는 ESS를 보호를 위해 DC ACB, E에는 저압축 선로를 보호하기 위하여 DC MCCB를 적용한다.

#### 5. 시뮬레이션 및 결과 분석

##### 5.1 시뮬레이션 조건

상기의 모델링을 바탕으로 MV-LVDC 독립형 MG의 보호협조기 특성을 파악하기 위한 시뮬레이션 조건은 그림 7과 같다. 여기서 사고지점은 case1~5와 같으며, case1은 PV에 근접한 5kV BUS1에 사고가 발생하는 경우이며, case2는 5kV 선로에서 사고가 발생하는 경우이다. case3는 5kV BUS2에서 사고가 발생하는 경우를 나타낸다. 또한, case4는 ESS에 근접한 DC/DC 컨버터 내부에서 사고가 발생하는 경우이며, case5는 부하와 PV4가 근접한 LVDC 선로에 사고가 발생하는 경우이다. 한편, 컨버터의 캐패시턴스는 76 $\mu$ F로 상정한다.

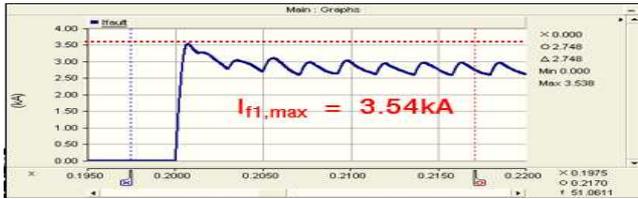


[그림 7] 시뮬레이션 조건

##### 5.2 보호협조 운용방안특성

5.1절의 시뮬레이션 조건을 바탕으로 case1~5의 사고 전류와 그에 따른 동작 보호기기를 나타내면 그림 8와 표 2와 같다. 여기서, case1의 경우, 그림 8와 같이 사고전류는 3.45kA가 흐르며 BUS1과 BUS2 fuse가 용단되고, case2의 경우

3.04kA가 흐르며 BUS2 fuse가 용단된다. case3에서는 3.06kA가 흐르며 ESS에 근접한 CTR이 사고를 해결하였다. case4에서는 36.8kA가 흐르며 ESS에 근접한 ACB가 사고전류를 차단한다. case5의 경우 0.5kA가 흐르며 PV4에 연결된 MCCB와 BUS2로 연결되는 MCCB가 사고전류를 차단한다. 즉, 5kV 선로에서 사고가 발생한 경우 DC fuse와 CTR이 사고전류를 제한하고, 750V 선로에서는 MCCB와 ACB가 사고전류를 제한한다.



[그림 8] case1의 사고전류 특성

여기서, MV-LVDC MG에서 사고가 발생할 경우 사고전류는 선로정수에 의해 사고 위치에 따라 특성이 다를 수 있다. 또한, 5kV급 MVDC 독립형 MG에서의 사고전류는 사고전류를 공급해주는 전원의 특성과 사고전류를 제한해주는 컨버터의 특성 및 사고지점에 따라 같은 전원에서 발생한 사고전류의 크기 및 특성이 다르므로 각 특성에 맞는 보호협조기기의 선정이 필요함을 알 수 있다.

[표 2] case 별 사고 전류와 동작 보호기기

구 분	사고전류	동작 보호기기
case1	3.45kA	BUS1 fuse BUS2 fuse
case2	3.04kA	BUS2 fuse
case3	3.06kA	ESS에 근접한 CTR
case4	43.9kA	ESS에 근접한 ACB
case5	0.5kA	PV4 근접한 MCCB BUS2 근접한 MCCB

## 6. 결 론

본 논문에서는 5kV급 MV-LVDC 독립형 MG에서 사고가 발생하였을 경우, 선로를 안전하게 보호하기 위하여, 보호협조기기들의 특성을 분석하고, 배전계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링을 수행하였다. 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 5kV 선로보호를 위해 선로에 맞는 적절한 보호기기를

사용해야 하지만 아직 개발 단계에 머물러 있어 상용화된 제품이 극히 제한적이며, 현재 시중에 판매되고 있는 솔리드 스테이트 및 하이브리드 CB는 가격이 합리적이지 않기 때문에 DC ACB, DC MCCB, DC fuse 및 CTR를 채용하여 보호협조를 모의하였다.

(2) case1의 경우 BUS1과 BUS2 fuse가 용단되고, case2의 경우 BUS2 fuse가 용단된다. case3에서는 ESS에 근접한 CTR이 사고를 해결하였다. case4에서는 ESS에 근접한 ACB가 사고전류를 차단하였다. case5의 경우 PV4에 연결된 MCCB와 BUS2로 연결되는 MCCB가 사고전류를 차단한다. 즉, 5kV 선로에서 사고가 발생한 경우 DC fuse와 CTR이 사고전류를 제한하고, 750V 선로에서는 MCCB와 ACB가 사고전류를 제한한다.

(3) 따라서, 본 논문에서 분석한 보호협조기기를 특성에 따라 MV-LVDC 선로에 적절하게 적용할 경우, 선로와 기기를 안전하게 보호하여, 본 논문의 유용함을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No.20206910100090)로서, 관계부처에 감사드립니다.

### 참고문헌

[1] G. Bathurst, G. Hwang and L. Tejwani, "MVDC - The New Technology for Distribution Networks," 11th IET International Conference on AC and DC Power Transmission, Birmingham, pp. 1-5, 2015.