

## DC배전 시스템에서 컨버터 특성에 따른 수용가측 고장 영향 분석

윤태영\*, 변길성\*, 이한상\*, 장길수\*, 채유규\*\*, 김주용\*\*  
고려대학교\*, 전력연구원\*\*

### A Research on the Fault Current of DC distribution system considering Converter Characteristics

Taeyoung Yoon\*, Gilsung Byeon\*, Hansang Lee\*, Gilsoo Jang\*, Wookyu Chae\*\*, Juyong Kim\*\*  
Korea University\*, KEPRI\*\*

**Abstract** - The DC distribution system is a new promising topology in a field of future smart distribution system. This system has high efficiency and reliability. So it is expected that there would be an increase in the installation of DC distribution systems.

In this paper, the parameter of the DC/DC converter impact on customer's the power quality in the DC distribution system when the fault occurred. For the analysis, DC network to be modeled using PSCAD/EMTDC. The fault is occurred at phase A in secondary side of MTR which is AC system. Then compared voltage and power at the customer side by varying the capacity of capacitor in the DC/DC converter.

우, 컨버터의 효율이 낮고, 다수 설치되어야 하지만 컨버터 기술이 지속적으로 발전하고 있기 때문에 효율은 개선 될 것으로 예상된다. 또한, 전용선로를 위한 추가 비용이 절감되며, 감전에 의한 인체영향도 작다.

그림 1은 PSCAD/EMTDC를 이용하여 구성된 DC 배전 계통도이며, 이 계통에 대한 파라미터는 표 1과 같다. 본 논문에서는 직류 배전시스템의 전압을 400V로 하고, 154kV 상위계통은 이상전압원으로 무한모션을 가정하였으며, 4개의 피더로 구성하였다. 각 피더는 유효 전력을 소모하는 부하가 분포하고 있으며, 피더 1에는 DC배전 시스템 구현을 위한 컨버터와 직류부하가 연결하였다. 상정 사고 발생시 DC/DC 컨버터의 내부 캐패시터 용량에 따른 수용가에 미치는 영향을 확인하기 위하여 피더1의 DC 부하 수용가에서의 과도전압, 전류, 유효전력의 변화를 확인하였다.

### 1. 서 론

전세계적으로 환경문제나 원유가 상승과 자원 고갈 위협 등으로 인하여 에너지 문제에 대한 관심이 고조되고 있는 가운데, 이를 극복하려는 노력의 일환으로 분산전원의 수요가 증가하고 있으며, 전기자동차 보급이 가속화 되고 있다. 태양광 발전, 연료 전지와 같은 직류전원과 소규모 풍력기, 마이크로 터빈과 같은 비정격 주파수를 갖는 교류전원, 전기자동차의 충전을 위한 배터리 등에는 직류를 기반한 배전시스템은 교류 기반의 배전시스템보다 변환단계가 줄어들어 따라 변환손실이 감소하여 효율면에서 유리하다. 또한 수용가에서 IT기기, LED 조명 등 고밀도 직류부하가 증가하는 추세로 직류배전 시스템이 교류배전 시스템보다 유리하다. 이에 많은 국가에서 직류기반 인프라 구축을 적극적으로 검토하고 있으며, 다양한 연구가 진행되고 있다. 최적의 직류 배전시스템 구성에 대한 연구가 다양한 연구기관에서 진행되고 있으며 각각의 토폴로지를 제안하고 있으며 부하용량 및 전압레벨을 제시하고 있다.[1]

직류 배전시스템은 기존 교류 배전시스템에 비하여 다수의 컨버터가 설치되기 때문에 컨버터의 구성방식과 컨버터의 파라미터에 따라 고장 상황에서의 수용가에 미치는 영향이 달라진다. 직류 배전시스템을 바탕으로 상정사고를 계통의 다양한 지점에 내어 사고로 인한 수용가 영향을 비교 분석[2]한 결과를 보면 DC배전의 컨버터의 영향으로 인하여 상정사고에서 전력 품질을 더 우수하게 유지 할 수 있다.

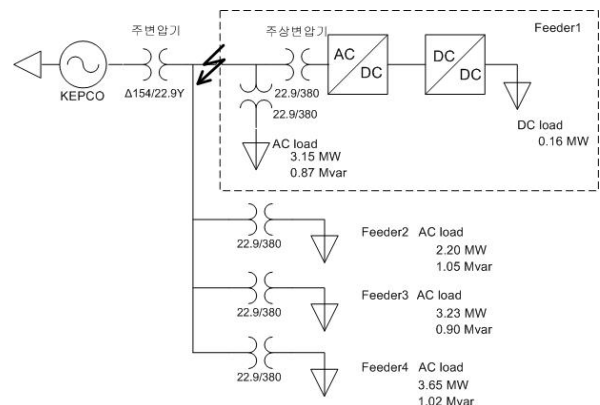
본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 한전 배전 계통 데이터를 이용하여 기본적인 배전 계통을 모델링하였다. 모델링한 계통에서 단상 지락사고를 발생시켜, DC/DC 컨버터의 내부 특성에 따라 수용가 측의 과도응답을 비교하였다

### 2. 본 론

#### 2.1 DC 배전 계통

직류 배전시스템의 토폴로지는 지역적 특성에 따라 다양한 구성이 가능하다. 직류 배전시스템에서 대표적인 전압 후보군은 중압의 1kV, 저압의 400V이다. 직류 배전의 형태가 초기에 적용된 분야는 철도분야로, 1500V DC전압을 사용하고 있다. 주거용 DC 배전 시스템에 대한 논문[3]의 경우 600VDC를, 빌딩의 DC배전 시스템에 대한 논문[4]에서는 400VDC를 제안하였다. 국내에서도 탄소제로 건물 등 직류 배전에 관하여 다양하게 연구되어 지고 있다.

직류 배전시스템의 전압 레벨을 1kV로 하기위해서는 공급을 위한 전용선로를 가설하여야 하며, 이 전압 레벨이 수용가 측에 직접적으로 공급될 경우 감전등의 안전상의 문제가 존재한다. 국내 배전 환경에서는 수용가에 공급되는 직류 전압 레벨을 250~500V로 추정되며, 현재 400V 직류전압이 유력하다. 현재의 교류 배전시스템을 이용하면서 직류 배전시스템을 적용할 수 있는 효율적인 계통 구성은 22.9kV/380V 주상변압기까지의 급전 방식은 교류로 유지하고, 수용가에 AC/DC 컨버터를 설치하여 교류전압을 직류전압으로 정류한 다음, DC/DC 컨버터를 이용하여 직류전압의 크기를 변화시키는 방식이다. 아직까지는 이 방법의 경



〈그림 1〉 DC 배전 계통 시스템 및 사고 지점

#### 2.2 DC/DC 컨버터의 캐패시터 크기에 따른 수용가측 영향

직류 배전시스템은 상위계통의 교류 전압을 정류하여 직류 전압으로 변환하여야 하므로 AC/DC 컨버터가 하나 이상 설치되어야 한다. 일반적인 AC/DC 컨버터에는 충방전용 캐패시터가 설치되어 있지 않기 때문에 AC/DC 컨버터의 출력전압은 계통의 외란에 직접적인 영향을 받는다.

고장에 의한 직류 배전시스템의 영향을 보완하기 위한 가장 좋은 방법은 DC/DC 컨버터의 설치이다. DC/DC 컨버터는 직류 배전시스템의 변압기라고 생각할 수 있다. DC/DC 컨버터의 듀티비의 조절을 통하여 계통운영자는 원하는 직류 전압으로 변환하여 공급할 수 있다. 게다가 DC/DC 컨버터는 내부 캐패시터가 존재하기 때문에 일정량의 전력을 충방전할 수 있다. 이 특징은 직류 배전시스템의 여러 상정사고에서 계통의 외란을 완충하는 효과를 발휘한다. 이 논문에서는 DC/DC 컨버터의 캐패시터 용량에 따른 과도현상을 관찰하고 직류 배전시스템의 효과적 인 보호를 위한 캐패시터 용량을 분석하였다.

#### 2.3 주변압기 2차측 단상 지락 사고 시뮬레이션

단상 지락사고는 전력계통 시스템에서 가장 많이 발생하는 사고로써, 3상 중 하나의 상이 대지와 접촉하여 해당지점의 전압이 0으로 떨어지는 현상이다. 따라서 본 논문에서는 주변압기 2차측 단상지락사고 케이스를 바탕으로 캐패시터 용량에 따른 과도현상을 알아보기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 사고는 0.8초에 A상에서 고장이 발생하여, 0.1초 후에 제거되었다고 가정하였다. DC/DC 컨버터의 캐패시터를 100uF, 1mF, 10mF 으로 바꾸어 가며 전압강하량과 사고제거 후 전압회복시간을 중심으로 분석을 수행하였다.

그림 2 ~ 그림 4를 보면 DC/DC 컨버터의 캐패시터의 용량이 커짐에 따라 사고시간동안 진동이 감소함을 알 수 있다. 이는 캐패시터의 충전

용량이 커지기 때문에 캐패시터의 증방전 횟수가 줄어들기 때문이다. 수용가 부하에 공급되는 전압이 진동하면 부하별 동작특성에 따라 수명이 줄어들 수도 있으며, 심한경우에는 파손될 수도 있다. 따라서 캐패시터의 용량이 증가하면 상정 사고시의 전력품질이 개선되는 효과를 보인다. 그러나 캐패시터의 용량이 너무 크면 과도상태에서 정상상태의 전압으로 회복하는 시간이 길어져 정상상태에 늦게 돌입하게 된다. 또한 DC/DC 컨버터의 단가가 상승하여 DC 배전 시스템의 설치비용을 증가시킨다. 따라서 부하의 용량에 따라서 적절한 크기의 캐패시터 용량을 설정하여야 한다.

〈표 1〉 DC 배전 계통 구성 주요 파라미터

| 분류      | 모델링 대상             | 모델링 상수  |
|---------|--------------------|---|
| 배전용 변전소 | 154kV 배전계통<br>3상3선 | - 100MVA 용량기준<br>- Y-Y- $\Delta$<br>- 직접접지방식  |
|         | 주변압기               | - 45 MVA<br>- Y-Y 직접접지  |
| 배전선로    | 전압 및 접지            | - 22.9kV 특고압,<br>- 공통중성선다중접지방식  |
|         | 배전선로수              | - 3상4선식 3회선<br>- Coupled PI 선로 모델<br>- Feeder #1: 일반 AC 부하와 DC 부하<br>- Feeder #2, 3, 4: 수용가, 빌딩, 공장 부하                                    |
|         | 수용가 부하             | - AC 부하 : 파이등가회로 + 정PQ부하<br>- 각 부하연계변압기: Y-Y 직접접지방식<br>22.9kV/380V 500kVA<br>- DC 부하 : Passive Resistance                                 |
| 컨버터     | 컨버터 구성             | - AC/DC 12pulse thyristor 컨버터<br>- 200Hz cut-off freq. low pass filter<br>- DC/DC buck-boost 컨버터<br>- 100Hz cut-off freq. low pass filter |

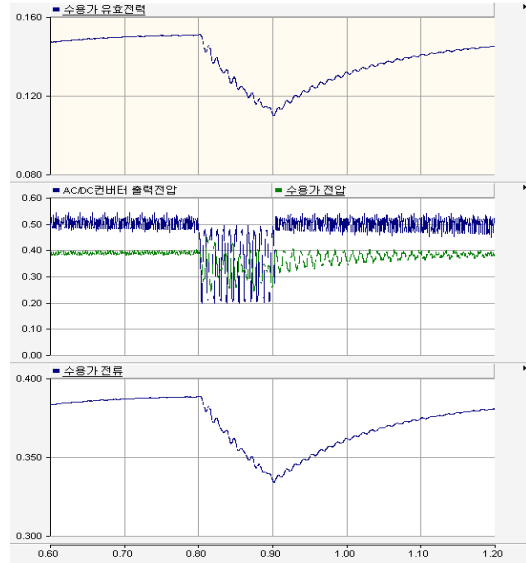
### 3. 결 론

직류 배전시스템은 교류 배전시스템에 비하여 다양한 전력변환기들이 설치되어 있으며 이러한 전력변환기들은 기존의 교류 배전시스템과는 다른 과도상태의 특성을 보인다. 기본적으로 직류 배전시스템은 AC/DC 컨버터가 필수적으로 설치되어 있어 교류 전압을 직류 전압으로 정류한다. DC/DC 컨버터는 AC/DC 컨버터 출력의 직류 전압을 수용가에 적합한 전압 레벨로 조정하는 기능을 한다. 본 논문에서는 국내 환경에 맞는 기본적인 교류 배전시스템을 바탕으로 주상변압기 2차측에 AC/DC 컨버터와 DC/DC 컨버터를 함께 설치되어 있는 토폴로지로 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링하고, 상정사고를 발생시켜 컨버터의 내부 캐패시터에 의한 과도현상을 분석하였다. 상정사고분석을 토대로 한 DC/DC 컨버터의 역할은 전압조정 이외에 내부 캐패시터의 증방전 특성을 기반으로 한 FRT(Fault ride through) 역할을 겸하고 있다.

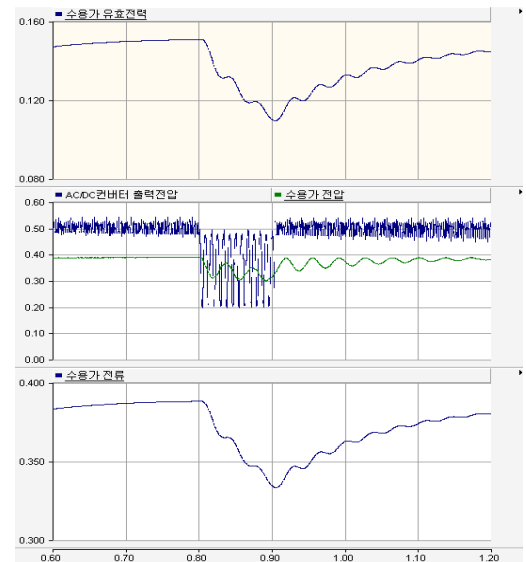
캐패시터의 크기가 증가할수록 전압의 변동은 감소하지만 정상상태로 회복 시간이 느려지고 가격이 증가하기 때문에 캐패시터의 크기를 부하의 크기 맞게 잘 정하여야 한다. 내부 캐패시터의 용량에 따른 과도응답의 변화가 달라지기 때문에 DC/DC 컨버터의 용량, 설치되는 곳의 전압 품질 유지 수준, 캐패시터의 가격을 고려하여 내부 캐패시터의 용량을 고려해야 한다. DC/DC 컨버터는 직류 배전시스템에서 직류 전압 품질과 보호를 위하여 중요한 전력변환기이며, 앞으로도 지속적인 연구가 수행되어야 한다.

### 〔참 고 문 헌〕

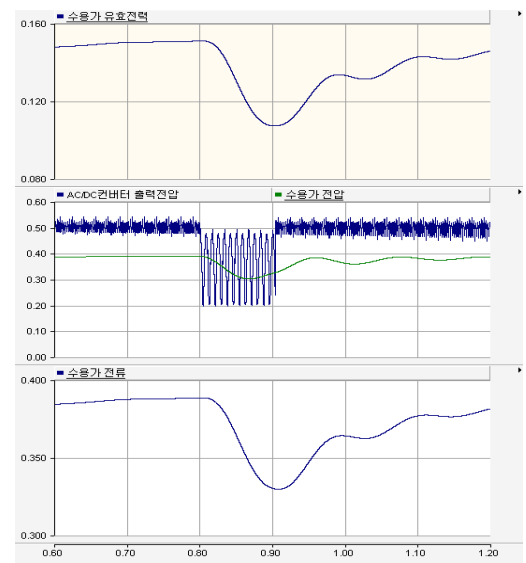
- [1] Daniel Nilsson, "Efficiency analysis of low and medium voltage dc distribution systems," IEEE PES General Meeting, 2004
- [2] 안재민, 전정재, 임용배, 배석명, 변길성, 이경호, "PSCAD/EMTDC를 이용한 저전압 직류 배전 시스템의 단락 고장 전류 분석," 대한전기학회 전기학회논문지, 2010, 59호, pp. 473-476
- [3] H. Kakigano, M. Nomura, and T. Ise, "Loss Evaluation of DC Distribution for Residential Houses Compared with AC System," IEEE IPEC 2010.
- [4] H. Pang, E. Lo, and B. Pong, "DC Electrical Distribution Systems in Buildings", ICPESA, 2006



〈그림 2〉 DC 계통 수용가 전압, 전류 (컨버터 캐패시터 - 100uF)



〈그림 3〉 DC 계통 수용가 전압, 전류 (컨버터 캐패시터 - 1mF)



〈그림 4〉 DC 계통 수용가 전압, 전류 컨버터 캐패시터 - 10mF)