

국내형 직류 배전시스템 제안 및 고장특성 분석

변길성*, 이한상*, 윤대영*, 장길수*, 채우규**, 김주용**
고려대학교*, 전력연구원**

A Study on the Korea DC Distribution system topologies and its fault characteristics

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

Abstract - In this paper, a configurable DC distribution system is being proposed considering national power systems conditions and a comparative analysis of the transient response of the contingencies is performed with the conventional AC systems. DC systems are evaluated as a promising next-generation distribution system that provides reliable operation through high efficiency of energy use and converter control. This paper discusses about the required elements for the national DC distribution system and has analysed the fault characteristics of the AC and DC distribution systems using PSCAD/EMTDC. According to the simulation results, the DC system has improved response, due to the DC/DC converter's charging/discharging characteristics, in terms of voltage and power system characteristics when compared to AC systems.

1. 서 론

최근 전력분야에도 에너지 고갈과 환경 오염 문제가 급부상하고 있다. 교토의정서에 서명한 국가들은 온실가스 감축의무를 지키기 위해 생산, 운송, 분배 및 전기에너지 소모에 관련된 손실을 줄이기 위해 노력하고 있다. 전력 분야에서는 이러한 위기의 해결방안으로 신재생에너지원과 전기자동차가 좋은 대안으로 여겨지고 있다. 신재생에너지원과 전기자동차는 직류 중심의 발전메커니즘을 채택하고 있기 때문에 직류 배전시스템이 기존 교류 배전시스템에 비하여 좋은 효율을 보일 수 있다. 또한 접차 직류전압을 사용하는 부하들이 수용가에 많이 보급되는 최근의 추세를 보면 직류 배전시스템이 미래 배전시스템으로 매우 좋은 대안임을 알 수 있다. 직류 배전시스템은 최근에 전세계 산학연을 중심으로 연구되고 있으며 실증을 위한 다양한 실험도 행해지고 있다. 그동안의 연구를 살펴보면 저전압 및 중전압 직류 배전시스템의 적용가능성에 대한 연구가 행해졌으며 직류 배전시스템의 적용가능성 및 보호협조 등에 관한 연구도 같이 수행되었다 [1]. 국내에서도 그린홈 및 제로에너지빌딩 등 직류 배전이 포함된 환경구축이 활발히 이루어지고 있으며 이에 따라 정부 주도적인 국내형 직류 배전시스템 기준과 표준모델 수립이 시급한 실정이다.

2. 본 론

2.1 직류 배전시스템

직류 배전시스템은 더 안전한 운영과 수용가 중심의 전력품질의 향상을 위한 대안으로 연구되어 왔다. 소용량의 에너지 저장장치 및 분산전원의 효율적인 연결은 직류 배전시스템이 기존 교류 배전시스템보다 더 효과적인 솔루션임을 입증하는 이유 중 하나이다. 직류 배전시스템의 안정도와 효율성은 계속 발전 중이며 전력전자기술의 발전이 그 배경에 있다. 직류 배전시스템의 장점은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 직류 부하와 직류 소스간 설치되는 인버터의 변환손실 감소로 전체 시스템 효율이 상승한다.
- 2) 상위 계통과 무효전력 동기를 고려할 필요가 없다.
- 3) 직류 배전시스템에서 정전이나 심각한 전압 강하가 일어나더라도 직류 모션에 연계된 저장장치 및 직류 전압 제어기에 의해 수용가 영향을 최소화 할 수 있다. 또한 연계된 신재생에너지원이나 전기자동차와 같은 구성요소에 대한 영향 역시 최소화할 수 있다.

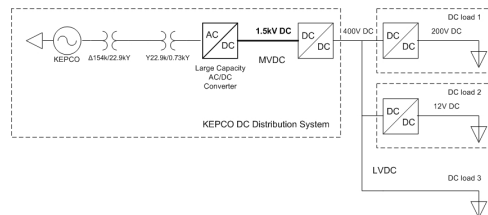
2.2 국내형 직류 배전시스템 도표로지

국내에서도 직류 배전시스템에 대한 관심이 높아지고 있으며 다양한 연구가 진행되고 있다. 기존 국내 교류 배전시스템에 직류 배전시스템을 도입 하기 위해서는 몇가지 조건을 고려해야만 한다.

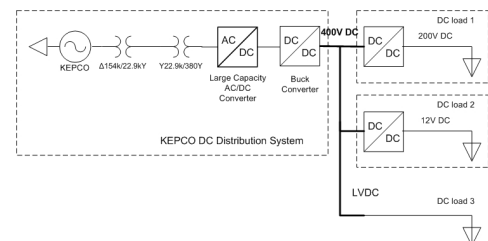
- 1) 수용가 직류 정격 전압 레벨 : 수용가의 직류 정격 전압 결정은 사용자의 안전과 보호를 고려하여 다양한 기준에 의거 결정해야 한다. 현재

중압으로는 철도시스템에 이미 쓰여지는 1.5kV, 저압은 400V가 고려되고 있다.

- 2) 직류 배전시스템 구조 : 그림 1은 현재 국내 배전시스템에 적용할 수 있는 중압 직류 배전시스템 (MVDC) 구조이다. 보조 변압기가 주변압기 2차측에 설치되어 AC/DC 컨버터와 맞물려있다. 변환된 직류전압은 1.5kV이다. DC/DC 변환기는 수용가 전단에 설치되어 수용가 직류 정격 전압인 400V로 강압하여 전력을 공급한다. 각 부하는 내장된 DC/DC 컨버터를 이용하여 기기에 맞는 직류전압으로 변환한다. 이 구조는 중전압 전송선로를 이용하여 고품질의 직류전압 전송이 가능하므로 IDC와 같은 대용량의 직류 전력을 필요로 하는 배전 시스템에 적합하다. 그림 2는 저압 직류 배전시스템 (LVDC) 을 나타낸 그림이다. 주상변압기 전단까지의 구조는 기존 교류 배전시스템과 동일한 구조를 지닌다. 주상변압기 2차측에 설치된 AC/DC컨버터와 DC/DC 컨버터는 각 수용가에 400V 직류전압을 공급하도록 설치된다. 이 구조는 일반적인 수용가 단지를 위한 기본적인 구조이다. 수용가는 주상변압기로부터 교류로도 직접 수전이 가능하다.
- 3) 컨버터 용량 : 컨버터 설치장소와 용량 그리고 가격은 컨버터가 공급하는 수용가부하량에 의거하여 경제적인 요소까지 고려하여 선정되어야 한다. 최근에는 대용량이며서도 저가형의 컨버터가 개발 양산되고 있다.
- 4) 케이블 : 기존 3상4선식 케이블은 다양한 구성방법으로 직류 배전시스템에 적용할 수 있다. 400V 근처의 직류 전압은 380V 교류의 순시치보다 작기 때문에 케이블의 열용량에 제한이 더 작다. 직류 배전시스템에 필요한 다른 조건들이 충족된다면 기존 교류 케이블을 그대로 쓸 수 있을 것으로 예상된다 [2].
- 5) 급전 서비스 모델 : 직류 배전시스템은 매우 좋은 품질의 전력을 공급할 수 있다. 직류 부하 증가에 따라 수용가의 수요도 증가하는 최근 추세를 볼 때 소비자에게 매력적인 서비스 모델의 수립은 좋은 이익 창출원이 될 수 있다.
- 6) 보호협조 : 직류 배전시스템의 보호는 기존 교류 배전시스템보다 더 어렵다. 교류와 달리 직류는 제로크로싱 (zero-crossing)이 없기 때문인데 최근 직류 차단기와 릴레이에 대한 연구와 개발이 활발히 이루어지므로 가까운 미래에 저렴하면서 성능이 우수한 직류 차단기가 양산될 것으로 예상된다.



<그림 1> MVDC 직류 배전시스템 (1.5kV)

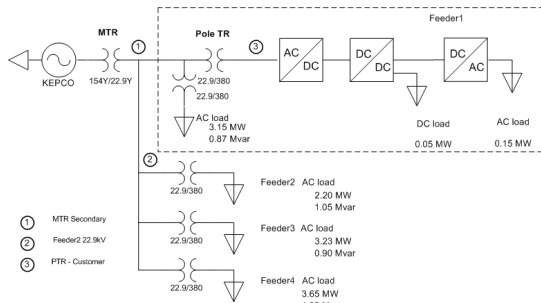


<그림 2> LVDC 직류 배전시스템 (400V)

2.3 직류 배전시스템 고장특성 분석

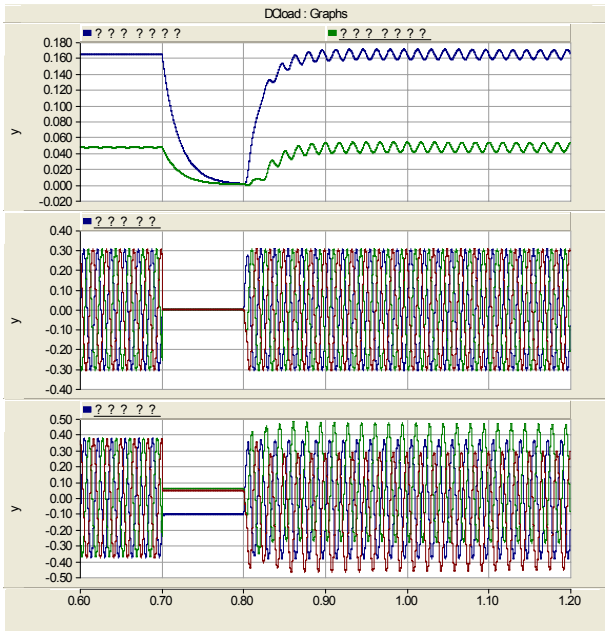
계통의 구성요소 측면으로 보면 직류 배전시스템이 기존 교류 배전시

스텝에 비하여 가장 다른 점은 다양한 컨버터가 쓰인다는 점이다. 또한 교류와 직류의 차이 역시 수용가가 사고에 의해 받는 영향이 차이가 나는 주된 원인이 될 수 있다. 이 장에서는 직류 배전시스템과 교류 배전시스템의 상정사고에 대한 과도응답을 비교분석하여 직류 배전시스템의 고장특성을 조사하였다. 테스트시스템은 그림3과 같으며 가장 심각한 경우를 모의하기 위하여 주변압기 2차측에 3상 지락사고를 0.7초부터 0.8초까지 0.1초간 유지하였다가 제거하였다.



〈그림 3〉 모의 대상 직류 배전 시스템

그림 4는 기존 교류시스템의 주변압기 2차측에 일어난 3상 지락사고에 대한 과도응답이다. 그림에서 알 수 있듯이 수용가 전압 전류가 사고 시간동안 0이되며 전류는 사고가 제거되어도 불평형 특성을 가진다. 수용가 유효전력은 0까지 떨어졌다가 사고가 제거되면 회복되지만 전류 불평형으로 인하여 진동하게 된다.



〈그림 4〉 3상지락 과도응답 (교류 배전시스템)

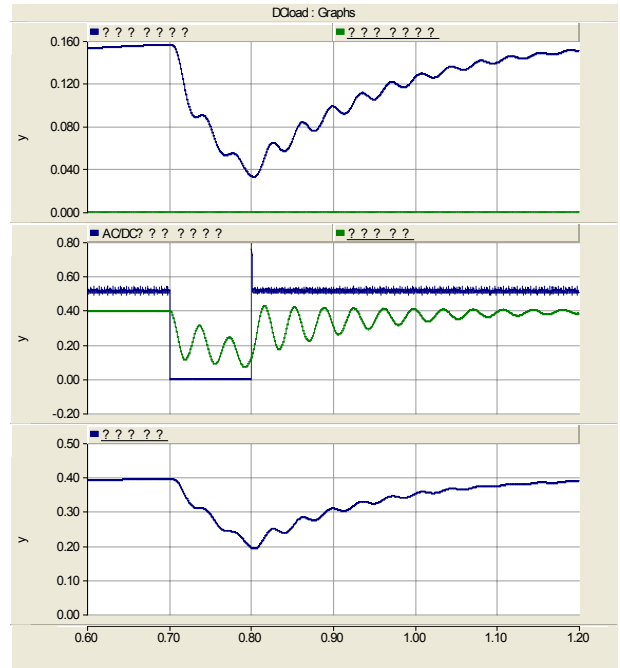
그림 5는 직류 부하에서 관찰한 주변압기 2차측 3상지락 과도응답이다. 주변압기 인근의 3상 지락은 수용가로 연결되는 모든 선로의 전압을 0로 만드므로 컨버터의 동작이 전혀 이루어지지 않게끔 한다. 따라서 직류 배전시스템은 DC/DC 컨버터 앞단의 선로에 지락이 발생한 경우와 같으며 그에 따른 과도응답도 같다. 교류 배전시스템과 비교해보자면 DC/DC 컨버터의 캐패시터의 충방전 특성으로 유효전력이 0까지 떨어지는 시간이 길고 전압도 진동이 병행되면서 서서히 감소한다.

그림 6은 DC/AC 컨버터가 직류 배전시스템 말단에 설치되어 수용가에 교류 전압을 공급할 수 있도록 디자인된 계통에서의 상정사고 과도응답이다. DC/AC 컨버터가 포함된 DC 배전시스템에서의 3상지락사고는 DC/DC 컨버터 앞단의 선로에 지락이 발생한 경우와 같으며 그에 따른 과도응답도 같다. AC 배전시스템과 비교해보자면 DC/DC 컨버터의 캐패시터의 충방전 특성으로 유효전력이 0까지 떨어지는 시간이 길다.

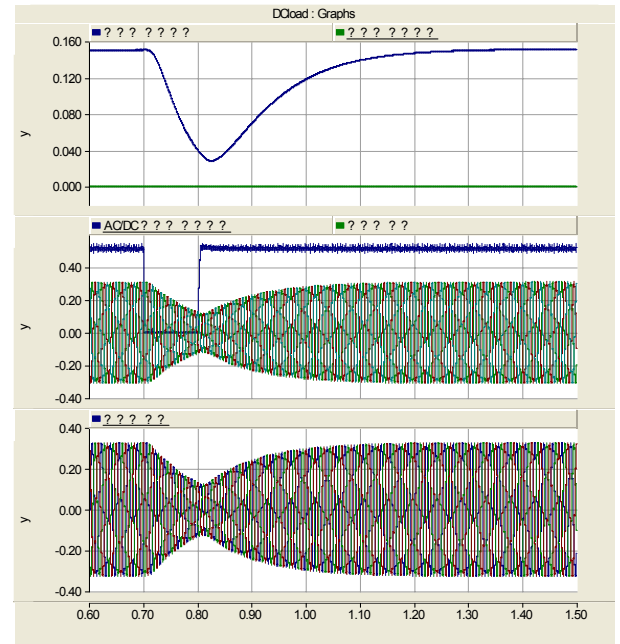
3. 결 론

DC 배전시스템은 AC 배전시스템과 달리 다양한 전력변환기들이

설치되어 있으며 이러한 전력변환기들은 기존의 AC 시스템과 과도상태에서 다른 특성을 보이고, 수용가에 다른 영향을 미친다. 본 논문에서는 국내환경에 맞는 기본적인 교류 배전시스템을 바탕으로 직류 배전시스템을 PSCAD/EMTDC 프로그램을 이용하여 상정사고에 대한 교류 배전시스템과 직류 배전시스템의 과도현상을 분석하였다. 직류 배전시스템의 DC/DC 컨버터는 그 충방전특성으로 인하여 과도현상을 보상하는 역할을 하며 이는 직류 배전시스템이 교류 배전시스템보다 사고에 더 강한 원인이 된다.



〈그림 5〉 3상지락 과도응답 (직류 배전시스템 직류부하)



〈그림 6〉 3상지락 과도응답 (직류 배전시스템 교류부하)

[참 고 문 헌]

- [1] T. Kaipia, P. Salonen, Jukka Lassila, Jarmo Partanen, 'Possibilities of the Low voltage DC Distribution Systems', NORDAC, 2006
- [2] P. Salonen, T. Kaipia, P. Nuutinen, P. Peltoniemi, Fault Analysis of an LVDC Distribution System, WESC, 2009