

국내 전력시스템의 Back-to-Back 컨버터 적용 필요성

장병훈, 윤종수, 문승필, 이근업, 정규원, 원영진 / 한국전력공사

1. 서론

교류시스템은 대용량 전력의 수송 및 배분에 적절한 전압으로 변환이 쉽고 회전자계를 얻을 수 있는 등의 장점이 있어 전기에너지의 생산, 수송 및 배분을 담당하는 전력계통에는 교류시스템이 주로 이용되고 있다. 그러나 장거리 대용량 전력전송에는 직류송전이 경제적·기술적으로 유리하고 전력전자소자의 기술발전으로 대용량 컨(인)버팅 기술의 전력계통 적용이 가속되고 있다.

전력전자소자를 이용한 대용량 컨(인)버팅 및 전력수송의 대표적인 기술로는 HVDC(High Voltage Direct Current)시스템과 FACTS(Flexible Alternating Current Transmission Systems)가 있다. 과거 수은정류기 또는 사이리스터 밸브에 의존했던 전력변환 컨버터 시스템은 영전위소호의 한계를 벗어난 대용량 전력전자 소자(IGBT, IGCT 등)의 개발로 새로운 형태의 대용량 전력변환 시스템인 STATCOM(STATIC synchronous COMPensator), BtB(Back-to-Back) STATCOM등이 전력계통에 적용되고 있다.

새로운 전력전자소자를 이용한 BtB 컨버터를 기술의 전력계통적용은 대규모 교류전력계통이 가지고 있는 문제점을 해결할 수 있는 장점이 있어 우리나라 전력계통의 적용필요성이 대두되고 있다.

2. BtB 컨버터 시스템 개요

초고압 직류 송전(High Voltage Direct Current, HVDC)이란 발전소에서 생산되는 교류 전력을 직류로 변환시켜서 송전한 후 수전점에서 교류로 재 변환시켜 전력을 공급하는 방식을 말한다. 이러한 송전 방식은 장거리 전력 전송에 있어서 교류 전송 보다 경제적인 전력 전송을 가능하게 하고, AC 계통에 미치는 영향 없이 대용량의 전력 전송이 가능하며, 주파수가 다른 계통과도 연계가 가능하다는 장점이 있다. 또한, 전력을 전송하는데 있어 즉각적인 제어가 가능하기 때문에 교류 계통의 보조 제어기로 사용할 경우 교류 계통의 저주파 진동을 억제하여 과도 안정도를 개선시키고 계통 외란을 분리할 수 있으며 고립된 소규모 계통의 주파수 제어에 적합하다.

HVDC 시스템은 사이리스터를 이용한 전류형 컨버터 HVDC와 IGBT, GTO, IGCT 등을 이용한 전압원 컨버터 HVDC로 크게 구분된다.

전류형 컨버터 HVDC는 사이리스터 밸브를 소호하기 위한 발전기나 동기조상기 등의 회전기가 인버터 측 계통에 필요하고 무효전력 보상을 위한 커패시터 뱅크가 인버터 측이나 랙터피어 측에 존재해야 한다는 본질적 단점을 가지고 있다.

전압형 컨버터 HVDC는 전류형 컨버터 HVDC의 본

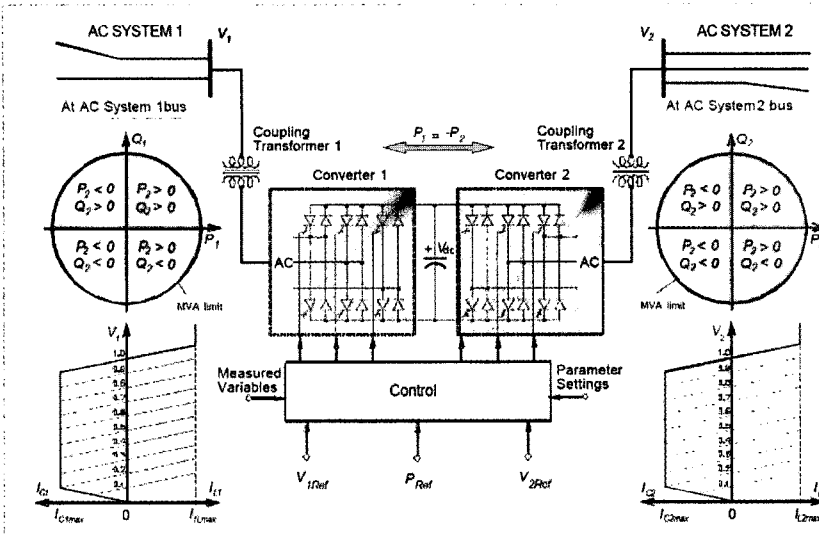


그림 1 Back-to-Back 컨버터시스템 단선도 및 유·무효전력 제어가능범위 도식

표 1 Back-to-Back과 Point-to-Point HVDC의 비교

항목	Back-to-Back	Point-to-Point
송전선로	없음	가공선, 케이블
송전전압	가능한 고전압	밸브 전류 정격에 최적화
목적	비동기 연계 주파수 변환	장거리 대전력 전송 해저 케이블
변환소	정류기와 인버터가 동일 변환소에 위치	직류선로 양단에 위치
건설비용	15-20% 저렴	

질적인 단점을 해결할 수 있다. 전압형 컨버터 HVDC 시스템은 교류전원이 필요하지 않기 때문에 교류전원이 없는 고립계통이나 풍력발전단지의 연계, 분산전원연계, Multi-terminal을 이용한 부하 집중지로의 전력전송에 사용된다. 또한 제어기기로서 inter-area mode oscillation 과 local area mode oscillation을 효과적으로 제어할 수 있으며 Sub-synchronous torsional interaction(SSTI)제어효과도 가지고 있다. 그리고 그림 1에서 보이는 바와 같이 전압형 컨버터 HVDC 시스템은 양단에서 유·무효전력을 자유롭게 제어할 수 있어 전력의 순방향 및 역방향 전송이 자유롭다는 이점이 있다.

DC송전선로가 없이 AC/DC 컨버터 두 대를 맞붙여 놓은 형태의 전압형 컨버터 HVDC 시스템을 Back-to-Back 컨버터 시스템이라 하고 이와 대치되는 개념으로 전류형 컨버터 HVDC를 Point-to-Point HVDC시스템이라 한다. Back-to-Back 컨버터 시스템은 전력의 주파수나 위상 변화 또는 계통의 안정화가 주된 목적이기 때문

에 송전선이 없거나 수 미터에 불과하여 두 개의 컨버터를 한 곳에 설치하게 된다.

Back-to-Back 컨버터 시스템에서는 대기 귀환이라는 개념이 존재하지 않기 때문에 Negative Voltage라는 개념이 존재하지 않고, 송전선로가 없기 때문에 송전선에서 소비되는 저항 손실을 고려할 필요가 없으므로 DC 전압이 Point-to-Point HVDC 시스템에 비하여 작아도 된다. DC 전압이 작아도 되는 점은 HVDC 시스템 밸브

의 전력전자소자 직렬연결 개수와 주변 장치들의 절연레벨이 줄어든다는 것을 의미한다. 또한 두 개의 컨버터가 동일한 장소에 설치되어 평활용 리액터와 기타 설비들을 공유하는 등의 장점이 있다. Radial 계통의 선로 중간지점에 Back-to-Back 컨버터 시스템을 설치하면 선로 리액턴스를 절반으로 줄인 것과 같은 효과가 있기 때문에 송전선의 전송량을 증가시킬 수 있다. 표 1은 Point-to-Point HVDC 방식과 Back-to-Back 방식의 차이를 비교한 것이다.

3. Back-to-Back 컨버터 적용의 해외사례

① 비동기 지역 간 연계 사례

대표적인 계통 간 비동기 연계의 적용 예는 일본 관서 지방과 관동 지방 간의 Back-to-Back 연계이다. 일본의 전력 계통은 관서 지역은 60Hz 계통으로 관동 지역은 50Hz 계통으로 구성되어 있다. 따라서 이 두 지역 간의 계통 연계를 위해 Shin-Shinano, Sakuma, 그리고 Higashi-Shimizu Back-to-Back HVDC 시스템들이 설치되어 주파수 변환기(Frequency Converter, FC)로 동작하고 있다. 연계 시스템은 각기 다른 주파수를 사용하는 두 계통 중 어느 한 계통의 주파수가 제한된 범위를 벗어나게 되면 다른 한 지역으로부터 사전에 정해진 전력

● 기 획 시 리 즈

량을 긴급 투입하여 주파수를 조절하는 역할을 한다.

② 국가 간 연계 사례

Areva는 걸프 만의 인접 국가들을 지나는 400kV 교류 연계선에 1,800MW (600MW×3) 용량의 Back-to-Back HVDC 시스템을 설치할 예정이다. 이 교류 연계선은 아랍에미레이트에서 시작하여 사우디아라비아를 지나 쿠웨이트까지 연결되는 장거리 송전선으로 사우디아라비아에서 바레인과 카타르로 연결된다. 이 시스템은 사우디아라비아에 설치되어 쿠웨이트로 전달되는 전력을 제어함으로써 송전선의 손실과 오차를 보상하는 역할을 한다.

③ 계통 분할 운전 사례

인도의 전력 계통은 3개의 계통(Eastern, Western, and Southern regions)으로 나누어져 있으며 back-to-back 시스템을 사용해 연계되어 있다. 연계에 사용된 대부분의 HVDC 시스템은 BTB 컨버터 시스템으로 2005년에 상용운전에 들어간 Vizag II link는 500MW 정격으로 Eastern region과 Southern region간의 연계를 담당한다. 그 밖에도 Western region과 Southern region을 연결하는 500MW×2의 Chandrepur 연계, Eastern region과 Southern region을 연결하는 500MW의 Visakhapatnam 연계, 그리고 Eastern region과 Western region을 연결하는 500MW의 Sasaram 연계 등이 있다.

④ 계통 제어 운전 사례

Alberta와 Saskatchewan를 연계하는 이 링크는 연계되는 교류 계통이 송전 용량 150MW에 비해 약한 계통이기 때문에 교류 계통의 과전압을 제한하는 back-to-back 시스템의 무효전력 제어 모드를 이용하여 정상 상태와 과도 상태에서의 안정 운용을 도모한다. 교류 전압의 정상 상태 제어는 컨버터와 고조파 필터, 병렬 리액터의 협조 제어에 의해 이뤄진다.

4. BtB 컨버터 시스템의 국내계통 적용 필요성

국내 전력 계통은 중장기적으로 전력 산업 환경이 변

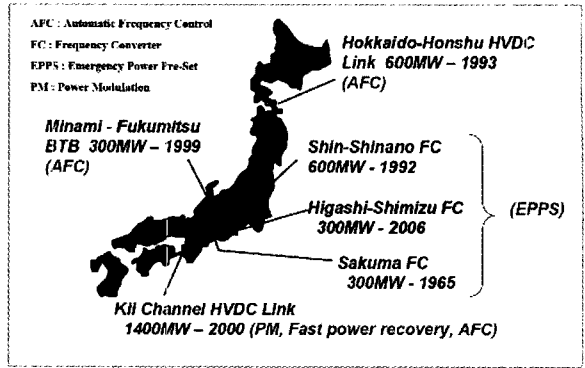


그림 2 일본의 HVDC 연계 프로젝트

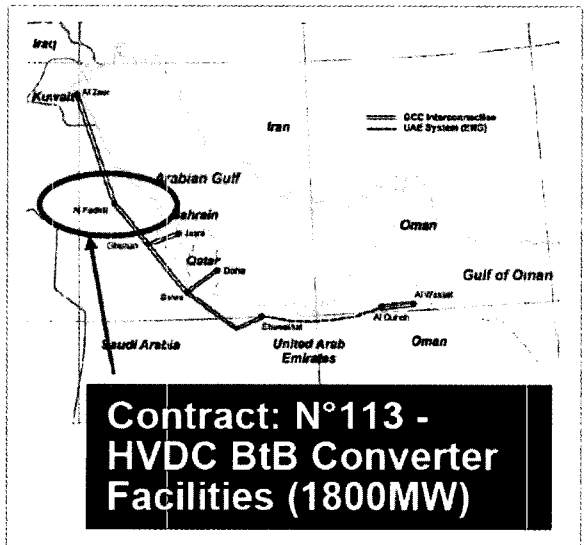


그림 3 걸프 만 국가들 간의 계통 연계

화하고 전력수요가 지속적으로 증가함에 따라 공급 신뢰도 향상 등의 요구에 부응하도록 전원 설비의 신설 및 증설과 송변전계통의 확장이 이루어지고 있다. 그러나 발전 설비의 입지 조건 악화로 인해 증가하는 전력 수요를 충족시키고자 비수도권 발전단지가 대용량화 되고 장거리 송전이 가속화 되고 있다. 이러한 상황에서 전력 수송은 송전선의 열용량보다는 전압안정도나 미소신호 안정도와 같은 안정도제약에 의해 제한된다. 또한 신뢰도 향상을 위해 다중 루프화 된 수도권 지역의 경우 고장 전류 초과 문제가 현안으로 대두되고 있다.

교류 송전 선로로 구성된 계통에서는 국부적인 외란이 전압강하, 위상각탈조, 발전기 탈락 등을 연쇄적으로 야기하여 전 계통에 걸쳐 확대될 수 있다. 고장 파급 현상은 보호계전기만으로는 적절하게 대처하지 못하는

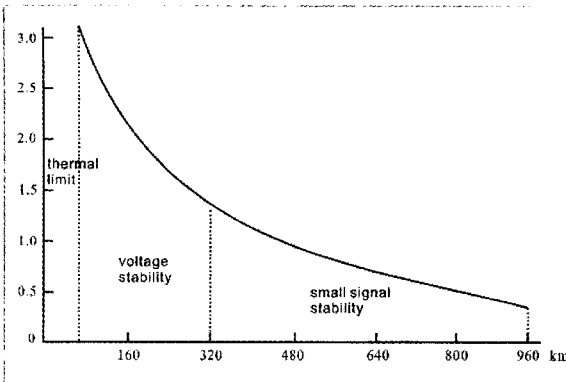


그림 4 송전거리에 따른 안정도 제약

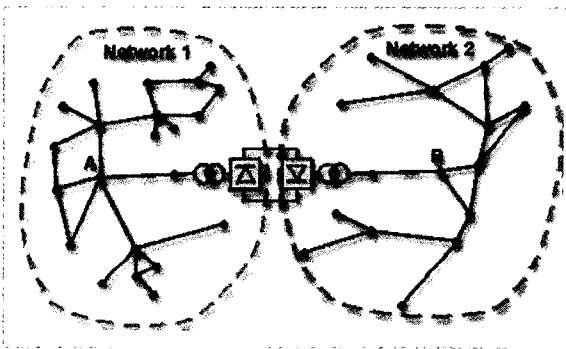


그림 5 Back-to-back HVDC를 이용한 계통 연계

경우가 생길 수 있으며 오히려 고장을 연쇄적으로 전파시킬 수도 있다. 따라서 전체 계통을 여러 개의 작은 비동기 하위 계통으로 분할하고, 분할된 각 하위 계통들 간의 연계에 유/무효전력의 흐름을 지능적으로 제어/제한하는 제어기를 설치한다면 고장을 최소 범위로 국한할 수 있다.

Back-to-Back 컨버터 시스템을 이용한 계통 분할과 연계는 신뢰도의 향상과 송전 용량의 증대라는 두 개의 큰 장점을 가진다. 컨버터를 이용한 직류 연계의 경우 송전량 증가 시에도 컨버터의 제어 특성으로 인해 고장 전류가 증가되지 않고 지능적인 조류 제어가 가능하며 유사시 계전기와 같이 조류를 차단할 수 있기 때문에 고장전류와 고장파급 방지에 대한 해결방안이 될 수 있다. 또한 교류 송전 시에는 cascading을 일으킬 수 있는 과부하와 저전압 현상을 방지하기 위해 여유분을 설정하여 송전량을 제한하지만 직류연계의 경우 교류송전과는 달리 조류의 제어가 가능하기 때문에 과부하와 전압

붕괴 현상 없이 송전용량을 선로의 열용량과 전압제한 한계까지 증대시킬 수 있다. 송전 용량 증대는 안정도 제약의 해소와 인근 교류 송전선 또는 변압기 고장 시 빠른 조류의 제어, 가용 송전 용량이 남아 있는 교류 송전 선로로의 조류 분산 등을 통해 이루어진다.

Back-to-Back 컨버터 시스템을 국내전력계통에 도입할 경우의 장점을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 송전선의 송전용량을 증가시킬 수 있다.
- 2) 유·무효전력 제어를 통해 수도권 유통전력을 향상시킬 수 있다.
- 3) 송전제한해소를 통한 발전원 경제급전을 가능케 한다(수도권 고가발전기의 발전량을 줄이고 비수도권 저가발전기 가동율을 높일 수 있다).
- 4) 수도권 및 연계지역 전압안정도가 향상된다.
- 5) 지역간 고장파급을 방지할 수 있다.
- 6) 고장전류 저감으로 안정적 전력계통 운영에 기여한다.
- 7) 전력공급의 신뢰도를 향상시킨다.

4. 결 론

우리나라 전력계통은 지속적인 수요증가와 높은 신뢰도의 요구에 맞춰 전원 설비와 송변전설비가 지속적으로 확장되어 왔다. 수도권의 발전원 입지조건 악화로 발전단지가 남부지역에 편중되어 장거리 대용량 전력 전송이 필요하다. 이로 인하여 수도권 유통전력의 송전 제약이 발생하게 되고 수도권 고가발전기 가동이 불가피하다. 증가하는 수도권 전력수요와 고 신뢰성 요구에 맞춰 초고압송전망이 환상망으로 구축되었고 고장전류가 증가하고 사고파급의 위험이 높아지고 있다.

Back-to-Back 컨버터 시스템의 국내계통 적용을 통해 전압안정도와 수도권 유통전력을 향상시키고 송전제약을 경감시켜 경제적 발전을 꾀할 수 있다. 뿐만 아니라 고장전류 저감 및 사고파급 방지를 통해 계통운용의 유통성을 확보하여 전력공급의 신뢰도를 향상시킬 수 있다. 그러므로 Back-to-Back 컨버터 시스템의 국내계통 적용을 적극적으로 검토할 필요가 있다.