

21세기 에너지개발과 고압직류(HVDC) 송전의 역할

변종달/전우클럽

미국전기전자학회(IEEE)의 1999년도 파워 엔지니어링 소사이어티(PES) 윈터 미팅이 미국 뉴욕에서 개최되었으며, 여기에서는 고압직류(HVDC) 송전기술이 21세기의 에너지개발 프로그램에서 수행하게 될 역할에 대한 발표가 있었다.

패널리스트들은 HVDC 기술이 앞으로 어떻게 활용될 것이며, 직류송전의 유리한 점을 적용시킬 수 있는 전세계의 지역, 기대되는 HVDC 기술의 혁신 그리고 이들이 민간주도로 이루어질 수 있을 것인가에 대하여 초점을 맞추었다. 그들은 또한 전력공급산업에 나타나고 있는 HVDC 송전연계 시스템에 대한 규제철폐의 충격에 대하여 토의하였으며, 기술혁신이 직류 변환소의 건설비를 감축시킬 수 있을 것인지에 대한 논의도 있었다. 제기된 문제에는 아래의 것이 포함되어 있다.

- 기설 교류 송전시스템을 직류방식으로 전환시키는 상황이 발생할 수 있을 것인가?
- 투자자 소유의 독립 직류방식 송전선로 프로젝트가 실현될 수 있을 것인가?
- 시스템 성능을 본질적으로 개선시킬 수 있도록 직류방식 송전시스템에 적용시킬 수 있는 개선책은 무엇인가?

PES의 에너지개발 및 발전위원회의 국제분과위원회 위원장인 토마스 J. 하몬스 씨(영국 스코틀랜드의 글래스고 대학)가 세션의 좌장을 맡았으며, 매니토바 하이드로(캐나다)의 데니스 우드포드씨가 모더레이터 역할을 맡았다. 그리고 하몬스 씨와 우드포드 씨가 이 세션을 계획·준비하였다.

이 문제에서 국제적인 시야를 가지는 패널리스트들은 HVDC 송전기술의 장래에 대한 전망을 가지는 데 비하여 북아메리카에 국한된 시야를 가지는 패널리스트들은 HVDC 사용에 대한 장래의 잠재성을 낮게 보고 있는 것이 흥미로운 일이다.

여기에서는 IEEE 파워 엔지니어링 리뷰 지(誌) 2000년 2월호에 게재된 발표문 중에서 두 편의 내용을 소개한다.

전력 시스템의 확장

전력시스템 확장의 원동력은 전력에너지에 대한 성장하는 수요이다. 유럽과 북아메리카 그리고 일본 등 고도 산업화 국가들에 있어서는 경기침체와 현재의 높은 수요 수준으로 볼 때 장래의 수요 성장이 좀 낮아질 것으로 기

대할 수 있다.

극동과 남미의 일부는 앞으로 장기적인 수요증가가 빠르게 이어질 것으로 기대된다. 이들 지역은 타지역에 비해 에너지수요가 가장 커질 것으로 예상되어 이들 기대되는 에너지 수요의 증가는 장래의 전력시스템에 빠른 확장을 가져오게 될 것이다.

1. 전력산업의 추이

전력산업계에서 우리가 직면하고 있는 세계적인 추세로서 장래의 성장에 강력하게 영향을 주게 될 사항을 간추려보면 아래와 같다.

- 규제철폐
- 세계화
- 민영화

규제철폐의 목적은 전력시장을 개방함으로써 전기사용 고객들에게 보다 더 유리한 가격으로 에너지를 구입할 수 있는 기회를 제공하려는 것이다. 이것은 전력시스템 개발에 강력한 충격을 주게 된다. 여러 나라들은 서로 상이한 종류의 시장 규제철폐 모델을 갖고 있으며 몇몇 나라에서는 상당한 진척을 보이고 있으나, 다른 나라들은 받아들일 수 있는 해결책을 발견하려면 아직 많은 시일이 걸릴 것으로 보인다.

시장의 세계화는 과거에 물자와 자본의 이동을 가로막은 국가간의 장벽을 낮춤으로써 세계경제에 도움을 주려는 것이다. 전력을 공급하는 전력회사와 제조업체들도 앞으로 오랜 기간 생존하기를 원한다면 세계화에 바탕을 두어 사업을 전개하여야 할 것이다.

발전과 송전을 포함하는 인프라스트럭처는 고도의 자본집약적인 분야이다. 특히 에너지수요가 급격하게 증가하고 있는 나라에서는 더욱 그러하다. 민영화는 민간 부문의 투자를 통해서 이들 요소를 마련할 수 있는 것이다. 물론 여기에는 적정한 정치적인 안정이 전제되어야 한다.

전력공급에 있어서의 이들 차이점과 부분적인 시스템의 충돌경향을 고려할 때 우리는 시스템의 연계는 계속해서 증가할 것으로 가정할 수 있다. 이들 연계시스템의 목적은 국경을 넘어서 보다 경제적인 전력생산을 교환할 수 있도록 하기 위한 것이다. 경제적인 이유는 HVDC

송전시스템이 수력발전소들로부터 부하중심지까지의 먼 거리에서 대량전력을 수송할 때 선택되어야 할 시스템이기 때문이다.

그러나 직접 배전 네트워크에 연결하는 지방 분산의 전력공급(발전의 분산)과 이에 따른 고압 대용량 네트워크의 수요를 감소시키는 경향도 매우 클 것이다. 이러한 경향은 정치구조의 지방 분산과 새롭고 보다 경제적인 발전소를 위한 기술발전의 두 가지 결과로 초래된 것이다.

2. 연계된 전력 시스템

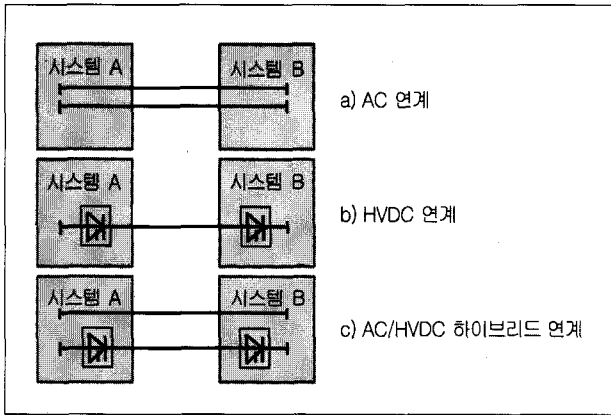
네트워크간 연계의 유리한 점들은 수십 년간에 걸쳐서 널리 활용되어 왔으며 전력사업의 규제철폐의 조건하에서는 보다 더 중요하게 되었다. 일반적인 연계의 가장 중요한 기술 및 경제적 이점은 아래와 같다.

- 보다 규모가 크고 보다 경제적인 발전소를 사용할 수 있게 한다
- 시스템에서 필요로 하는 예비 설비용량을 감소시킨다
- 가장 경제적인 에너지 자원을 이용한다
- 선호하는 위치에 새로운 발전소를 건설하는 유연성을 가진다
- 시스템의 신뢰도를 향상시킨다
- 최적의 시스템 운용으로 전력손실을 감소시킨다

그림 1은 전력 시스템 연계의 기본적인 방식을 보여준다.

가. AC 연계

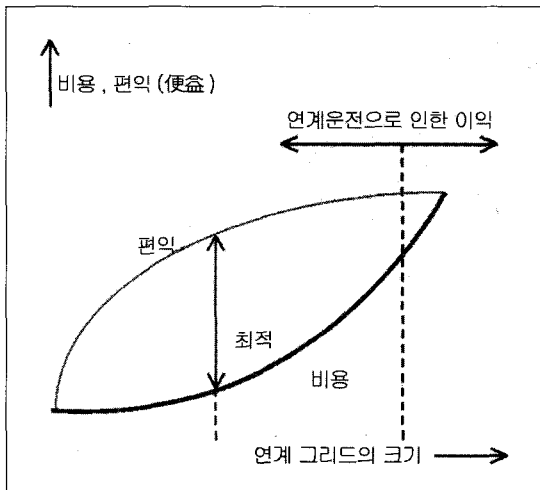
교류 연계방식이 가장 빈번하게 사용된다. 그러나 이와 같은 연계방식에 있어서는 어떤 기술적인 전제조건이 반드시 충족되어야 한다. 기기 및 계통 구성의 조정에



〈그림 1〉 전력계통 연계방식

어서 모든 운전조건 하에서도 동기(同期)운전이 가능하도록 필요한 투자가 이루어져야 한다.

그림 2에서 보여주는 바와 같이 연계의 편익(便益)이 네트워크의 크기와 함께 감소하게 된다. 동기운전을 위하여 필요로 하는 투자는 증가한다. 운전이 추가적인 네트워크로 확대될 때 AC 시스템 연계의 어떤 규모의 크기 이상에서는 그 이상의 이득을 기대할 수 없다.



〈그림 2〉 연계운전의 역할과 한계

AC 연계의 이득이 감소하는 이유 역시 큰 시스템에서 일어나는 것과 같은 기술적인 문제들이다. 예를 들면 부하전류의 흐름문제나 또는 이들 문제를 경감시키기 위하여 FACTS(플렉시블 교류송전 시스템)와 같은 추가적인 조치를 필요로 하는 지역 내에서의 진동이다.

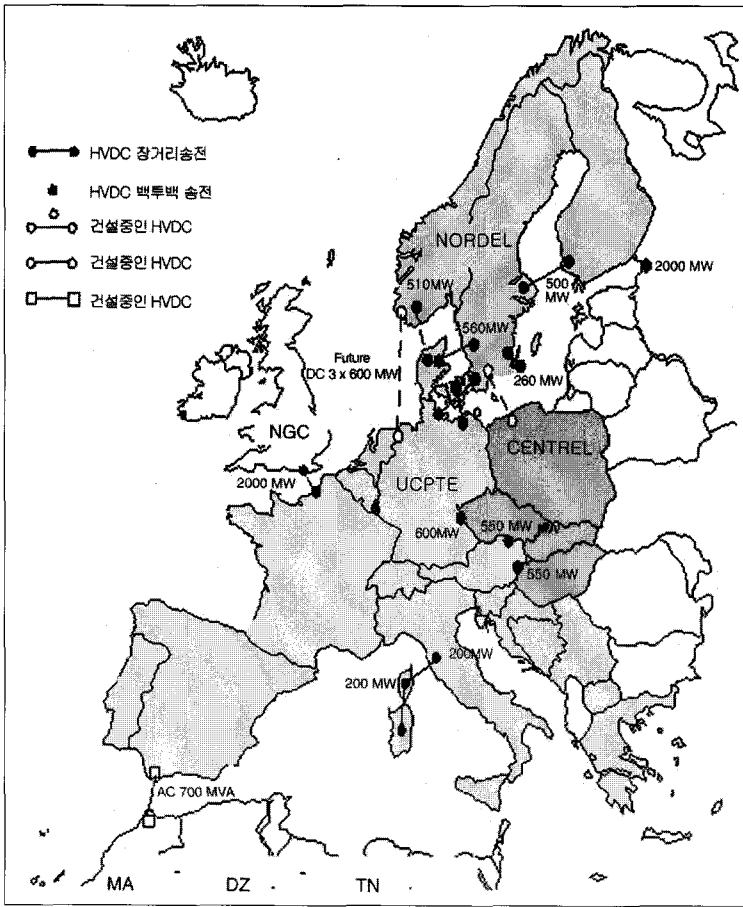
나. HVDC 연계

대규모 연계에서 얻어지는 경제적인 이득은 역시 낮다. 왜냐 하면 시스템 정전 시 먼 곳의 발전기로부터 받을 수 있는 지원은 매우 제한적이기 때문이다. 그러나 그와 같은 경우에 하이브리드 또는 HVDC 연계는 시스템에서의 완전한 격상을 가지는 불이익이 없이 연계의 경제적 이점을 개선할 수 있다. 이들 옵션들은 시스템의 다른 부분의 개발에 대한 보다 많은 자유를 제공해 준다.

통합 AC 시스템에 대해 적절한 한계에 있는 대규모 연계 시스템의 하나의 예는 유럽의 UCPTE 시스템이며 여기에 CENTREL 시스템이 통합되어 있다(그림 3 참조). 연계에 HVDC를 사용한 사례는 북부 유럽에 있으며, 여기에서는 많은 HVDC 링크가 이미 건설되었거나 계획단계에 있다. 연계의 이와 같은 형태는 또한 다른 대륙에서도 사용되고 있으며 예를 들면 인도에서 지역 전력시스템이 HVDC 백투백 또는 두 터미널 스킴에 의해서 연계되어 있다.

3. 하이브리드 글로벌 연계

연계된 시스템의 일부 사이의 AC 연계가 비교적 약할 때 불안정 또는 파워 진동이 발생할 수 있다. 그와 같은 경우에는 AC 연계와 병렬로 HVDC 링크를 추가함으로써 전력을 더 많이 수송하고 신속한 HVDC 제어로 운전을 개선할 수 있다. 그와 같은 하이브리드 연계의 사례



〈그림 3〉 유럽의 연계시스템 및 HVDC 연결

HVDC는 전체 시스템의 신뢰성 있는 운영을 보장할 수 있게 한다.

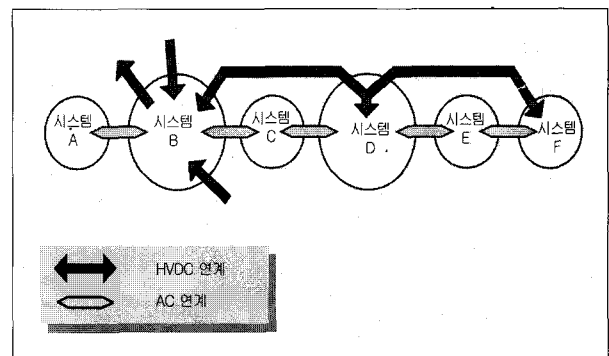
시스템 간의 연계는 연계운용의 이점을 활용하기 위하여 계속해서 건설될 것이다. 그러나 연계의 규모가 매우 커지면 기술적 및 경제적인 불이익이 커지게 되는데 그와 같은 경우에는 장거리에 걸친 전력수송을 위하여 DC 연계 또는 해저 케이블에 의한 방안을 선택하는 것이 바람직하다. 글로벌 연계의 경우는 하이브리드 AC/DC 연계 시스템이 가장 효과적인 방안이 될 것이다.

패널리스트

패널리스트 두산 포브 씨는 독일 에를랑겐의 지멘스 송배전 그룹의 시스템계획의 책임자이다. 지멘스에는 1962년에 입사하였으며, 시스템계획, 절연협조 및 HVDC 및 FACTS 기기 개발에 종사하였다. 몇 년간 HVDC 및 SVC(정지형무효전력보상장치)의 마케팅부 책임자로도 있었다. IEEE의 펠로회원이며, 많은 IEEE 및 CIGRE(대전력송전회의) 위원회의 위원이며 HVDC

로는 미국의 퍼시픽 인터타이, 남아프리카의 카호라 바사 그리고 중국의 티안구앙 등이 있다.

AC 연계가 글로벌 네트워크를 만드는 매우 큰 연계에 있어서는 이점이 감소하게 된다. 그러나 이와 같은 경우에 그림 4에서 보여주는 바와 같은 HVDC 또는 하이브리드 AC/DC 연계가 경제적이 될 수 있다. 이와 같은 하이브리드 연계의 아이디어는 이웃하고 있는 시스템 간의 전력교환을 직접 또는 짧은 AC 연계로 하고 HVDC는 장거리의 큰 전력 블록을 수송하는데 사용하도록 하는 것이다. 여기에 추가해서 그 제어의 신속성으로



〈그림 4〉 대규모 하이브리드 AC/DC 연계

및 FACTS에 대한 CIGRE 검토위원회14의 위원장이 다. 슬로베니아의 유블야나 대학에서 공학사를 그리고 독일 다름슈타트 공과대학에서 공학박사 학위를 취득하였으며, 현재 유블야나 대학 교수이다.

21세기 HVDC의 역할

다음 세기의 HVDC 송전기술의 역할을 검토하는데 있어서, 이것이 도입된 약 50년 전으로부터 현저까지의 HVDC의 역할과 그 역할 변화의 원인을 간략하게 되돌아보는 것이 유익할 것으로 생각된다.

1. 역사적 고찰

전통적으로 HVDC는 분명한 경제적인 이득이 있거나 기술적으로 다른 해결방안이 없을 때에 한해서 사용되어 왔다. 컨버터 스테이션의 코스트와 HVDC 선로의 연결에서 실질적 및 경제적 한계를 고려할 때 이 기술의 광범위한 적용이 제한을 받는 경향이 있었다.

전통적인 HVDC 송전선로의 적용분야는 아래와 같았다.

- 장거리에 걸친 대량전력의 수송

전통적으로 컨버터 스테이션 코스트를 상쇄하기 위하여 보다 단순한 선로의 설계를 채택하여 고유의 비용을 절감시킨다. 과거에는 눈대중으로 약 600km가 기준으로 사용되었으나 최근에는 이 거리가 증가되었다.

- 해저 케이블 시스템에서의 전력 수송

DC는 지속적인 충전전류를 필요로 하지 않기 때문에 DC 케이블 연결에서는 거리의 제한이 없다.

- 네트워크의 비동기(非同期) 연계

동기 연계시에 문제가 될 수 있는 과도안정도 또는

정태(定態) 주파수 제어와 같은 다른 고려사항에 대한 배려없이 연계의 전력 레벨을 직접 선택할 수 있다. HVDC는 서로 상이한 신뢰성/성능 표준을 가진 지역을 연계하는데 사용할 수 있다.

- 명확한 계약상의 패스를 제공해 준다

DC인 경우 전력의 흐름을 직접 제어할 수 있다. 그러므로 병렬 또는 아래에 가설된 AC 시스템에 정태(定態) 충격 없이 계약상의 패스를 비교적 쉽게 획득할 수 있다. 제어의 속도와 DC 송전의 유연성은 흔히 시스템 성능을 향상시키는데 사용되며, 이와 같이 AC 연계와 비교해서 보다 좋은 성능을 제공해 준다.

- 주어진 송전선용 부지에서 전력밀도를 증가시켜 준다

주어진 송전선용 부지에서 AC 선로를 DC 선로로 전환, DC 선로를 위에 추가로 가설 또는 AC 선로를 DC 선로로 교체함으로써 전력의 흐름을 증가시키는 것이 가능하다.

과거 반세기동안 HVDC의 개발에서 유념할 한가지 특징은 기술의 변화를 빨리 자진해서 채택하려는 것이다.

산업은 수은 아크 밸브로부터 작은 사이리스터로 그리고 다시 큰 사이리스터로 빠르게 발전하였으며, 5인치 사이리스터가 최근의 프로젝트 입찰에 등장하였다. 밸브 화재와 같은 기술적인 관심사항은 크게 극복되었다.

마찬가지로 다른 기기들도 또한 획기적으로 발전을 경험하였다.

- 케이블은 전압과 전력용량 모두에 있어서 획기적으로 증가하였다.

- 계량 시스템은 전자기식으로부터 광섬유로 바뀌었다.

- 실질적으로 유효하며 조율 가능한 교류 및 직류 필터들이 개발되었다.

재래식 사이리스터 밸브를 사용한 새로운 방법 특히

커패시터 컨버터들이 제안되었고 실행되었다. 더 최근에는 반도체 기기개발이 GTO(게이트 턴오프 사이리스터) 및 IGBT(절연 게이트 바이폴러 사이리스터) 기기를 사용하는 직류에 대한 적용과 개발을 선도하고 있다.

이와 같은 배경에 바탕을 두어 우리는 HVDC의 장래를 전망할 수 있다.

2. 장래의 HVDC 개발

전통적인 HVDC는 현재 기술이 충분히 발달되어 있고, 신뢰성이 높으며, 전세계적으로 인정받고 있기 때문에 앞으로도 계속 사용될 것이다.

HVDC를 적용하는데 있어 가장 잠재성이 큰 지역은 아시아(중국), 인도, 아프리카 및 남아메리카가 될 것이다. 이들 대륙에는 아직도 개발되지 않은 또는 개발중에 있는 수력발전 잠재용량이 많이 있으며, 이들의 위치는 예견할 수 있는 시장으로부터 매우 먼 거리에 있다. 앞으로 태양광 기전력(起電力) 기술의 발전으로 열대지역에 대규모 태양발전 설비를 건설할 수 있게 될 것이며 여기에서의 출력은 HVDC를 사용하여 장거리를 거쳐 시장으로 수송할 수 있다.

케이블에 의한 장거리 해저 송전선로도 또한 이와 같이 단순히 AC를 적용할 수 없기 때문에 DC 송전을 계속 사용하게 될 것이다. 앞으로 몇 년간 사이리스터 개발의 속도가 늦어질 것으로 전망되고 있으나 GTO들과 IGBT를 사용하는 몇몇 새로운 기술이 특히 낮은 저력 수송 레벨에서의 적용이 시작될 것이다.

이들 기술들을 사용하는 원동력은 이들이 몇몇 시나리오에 대하여 경제적으로 적용될 수 있기 때문이다. 예를 들면 이들이 절연 케이블 정격을 교류 연계보다 더 효율적으로 사용할 수 있기 때문에 환경적 또는 미관상의 이유로 부하에 가공선로보다 케이블로 공급하는 것이 필요

할 때 선호될 수 있다.

3. 전력산업의 규제 철폐/재규제

전력산업의 규제철폐는 장래의 HVDC 개발을 고찰할 때 '양날의 검(劍)'과 같이 작용할 수 있다. 한편으로는 연계된 지역 간에 에너지/용량 코스트에 분명한 차이가 있을 때 보다 빠른 투자를 촉구하게 된다.

그러나 그와 같은 분명한 신호가 없는 경우, 직접 전기사용 고객에게 청구할 수 없는 (보다 좋은 품질의 서비스와 같은) 다른 이점이 있을지라도 그와 같은 프로젝트의 시행을 지연시키게 된다. 발전과 송전 수입(收入)의 흐름이 분리되어 투자자들에게 올바른 신호를 보낼 수 있는 적절한 규제의 프레임워크가 존재하지 않는 이상 이와 같이 프로젝트의 건설을 방해할 수 있게 된다.

보다 넓은 스케일에서 지역간과 국가간을 연결하는 슈퍼 HVDC 그리드는 아래의 3개 요소가 동시에 충족될 때에 한해서 가능할 것이다.

- 연계되는 지역들의 장기적인 정치적 안정
- 투자자를 유인하기에 충분한 에너지/용량 코스트 차이의 크기
- 연계되는 지역내의 투자자들이 장기간 자금을 투자해 둘 수 있도록 신뢰를 갖도록 보증하는 안정되고 협조되는 규제 환경

패널리스트

패널리스트인 브루노 비세브시키씨는 매니토바 대학을 졸업하였으며, 1976년에 테시몬트 컨설턴트에 합류하여 캐나다 및 세계 각지에서 많은 대규모 HVDC 송전 프로젝트에 관여하였다. 현재 테시몬트의 시스템연구 처프 엔지니어이다.