

스마트그리드와 BTB 계통연계

오태규 / 한국전기연구원

1. 서론

21세기 전력계통은 제2의 전력혁명으로 불릴 정도로 혁신적 변화 과정에 접어들고 있으며, 이러한 변화의 핵심에 스마트그리드가 자리하고 있다. 미국 에너지부(DOE)는 스마트그리드의 목표로서 7가지 항목¹⁾을 제시하고 있는데 이들을 관통하는 핵심사항은 크게 두 가지로 요약될 수 있다¹⁾.

첫째, 현재까지의 공급자 중심의 전력인프라시스템이 공급자와 소비자 쌍방향 정보교환과 이를 토대로 한 상호작용이 가능한 새로운 전력인프라시스템으로 변화하는 것이다.

둘째, 분산전원과 전력에너지저장장치 등의 새로운 전력설비의 연계 운영이 용이하도록 하여 전력시스템의 효율성과 안정성을 획기적으로 개선하는 것이다.

스마트그리드에 대한 개념은 소비자와의 점점 부분부터 시작하여 전계통적 관점으로 확장되고 있으며, 스마트그리드의 구현을 촉진하는 기술의 경쟁력에 의해

진화론적으로 변화하고 발전할 것으로 전망되고 있다.

또한 대단위 풍력단지, 대용량 태양광 발전설비 등과 같은 새로운 전원²⁾을 효율적으로 연계하기 위한 VSC HVDC 송전, 장기적으로는 유럽·북아프리카와 북미대륙과 같이 드넓은 지역을 하나의 거대한 HVDC 전력망으로 묶는 Super Grid와 같은 새로운 계통연계방식이 제안되기도 한다²⁾. 그러나 현재의 부하중심지에 전력을 공급하는 초고압 교류 방식의 전력계통은 경제성과 기술적 측면에서 그 기능과 역할이 계속 유지될 것으로 전망된다.

2. 교류송전계통과 직류송전계통

교류송전계통은 초고압 대용량 송전의 경제성과 계통구성의 편리성을 제공하여 대부분의 Bulk Power System에서 전원선, 지역 간 전력유통 등의 기간 계통 역할을 담당하고 있다. 이에 비해 직류송전계통은 변환소의 건설 및 유지비용이 상대적으로 비싸고 multi-

1) Enabling informed participation, accommodating all generation and storage options, enabling new products, services, and markets, providing the power quality for the range of needs in the 21st century economy, optimizing asset utilization and operating efficiently, addressing disturbances through automated prevention, containment, and restoration, operating resiliently against all hazards.

2) 기존의 화력, 원자력과 같은 전원의 출력이 비교적 예측 가능한 것에 비해 이들 전원의 출력은 기후조건의 영향에 따라 변동이 커서 variable generation이라 부른다.

terminal 직류송전기술의 한계로 해저 cable 송전, 대단 위 전원으로부터 장거리 전력수송, 계통주파수가 달라 비동기 연계 운전이 불가피하거나 계통특성을 분리하여 연계할 필요성이 현저한 경우에 적용되고 있다.

한편, 교류송전계통이 복잡하고 거대한 시스템으로 발전하면서 전력시스템에 본질적으로 존재하는 시스템 적 속성들이 계통구성의 유연성과 운영의 안정성을 저하시키는 현상이 대두하기 시작했다. 대표적인 사례로서 고장전류 혹은 단락용량의 증가에 따른 계통구성의 유연성이 저하하는 현상을 들 수 있다. 전력계통은 대부분 자연에 노출되어 있기 때문에 낙뢰와 같은 전기적 충격에 대비하여 계통에 고장이 발생할 경우 고장지점과 그 인근 설비에 흐르는 전류, 즉 고장전류를 차단하기 위한 설비로서 보호계전기에 의해 동작하는 차단기가 설치된다. 만일 고장전류가 차단기의 정격을 초과하여 차단기의 동작이 원활하게 이루어지지 아니하면 후비 보호 설비가 동작하여 사고영향 파급범위가 광역화하게 된다.

단락용량은 계통의 강인성을 나타내는 척도로서 부하변동에 따른 모션전압변동을 억제하기 위해 적당한 크기를 갖도록 계통구성을 하지만 부하밀집도가 높은 대도시 지역에서 송변전설비 건설의 어려움으로 급격히 증가하는 현상을 나타내고, 대단위 발전단지 부근의 변전소에서 증가하여 계통구성의 유연성과 계통운영의 경제성을 저하시키기도 한다. 고장전류 이외에도 전력시스템에는 전력조류, 전압-무효전력, 주파수-유효전력, 안정도와 송전용량 등의 시스템적 특성이 시스템의 구성과 운전조건에 따라 설비비용의 효율성과 시스템의 안정성에 영향을 주고 있다.

교류송전계통의 특성을 개선하기 위한 대책으로 FACTS 기술³⁾이 개발되어 적용되고 있으며, 기술진보와 FACTS 기술 적용의 경제성이 향상되면서 교류송전계통에 내재하는 시스템적 문제를 경제적으로 해결하기 위한 대책으로 적용이 확산되고 있다. 우리나라 계통에도 미금 변전소에 100 MVA 급 STATCOM3)의 설치가 진행되고 있으며, 이 외에도 제주 HVDC 계통의 무효전력 보상장치, 수도권 전압

안정도 향상을 위한 대책 등으로 적용의 타당성이 검토되고 있다.

최근에는 VSC 기반 송전기술이 발전하면서 HVDC와 FACTS 기술의 혼합 혹은 융합 형태로 교류송전계통의 특성을 개선하기 위한 시도가 이루어지고 있다. 이는 대부분의 교류송전계통의 송전능력은 설비의 물리적 용량보다 시스템적 특성에 의해 제약을 받게 되어 규모가 큰 교류송전계통일수록 물리적 용량과 시스템적 한계 용량의 차이, 즉 여유용량이 크게 존재하게 되는데 이를 잘 이용할 수 있으면 경과지 확보난의 이유로 계통보강이 어려운 전력수송통로(Transmission corridors)의 전력수송능력을 경제적으로 향상시킬 수 있기 때문이다.

교류송전계통의 기본특성을 FACTS 제어기를 정리하면 표 1과 같다.

3. 스마트그리드와 FACTS 기술

앞서 기술하였듯이 스마트그리드의 핵심사항 중의 하나는 공급자 중심의 일방적 전력 공급이 아니라 공급자와 소비자 간의 상호작용에 의한 전력시스템의 효율적 운영의 극대화이다. 이러한 상호작용은 스마트미터링에 근거한 실시간 전력가격에 반응하는 prosumer로

표 1. 교류송전계통의 특성개선

기본특성	계통현상 및 대책	FACTS 제어기
고장전류 (단락용량)	고장전류의 차단기 정격 초과 - 차단기 교체 - 모션분리 - 한류기(리액터 등) 적용	Thyristor Controlled Current Limiter STATCOM BtB
전력조류	송전선로 병목현상 - 선로 보강 - 계통구성변경 - 발전 재배분	UPFC, TCSC, STATCOM, SSSC, Phase Shifter
전압 Profile	저전압 / 과전압 - 발전기 전압제어 - 변압기 Tap 제어 - 무효전력 보상	STATCOM, SVC - Dynamic voltage regulation
안정도	송전선로의 송전용량 제한 - 인정화 제어/SPS 적용 - 계통보강	UPFC, TCSC, STATCOM, SSSC의 선택 혹은 조합 적용
계통연계	동기 연계 - Tie Line Control 비동기 연계 - HVDC, BtB	STATCOM BtB Phase Shifter

3) STATCOM(Static Compensator): 정지형 동기 조상기로 병렬형 FACTS 제어기

표 2. Smart Grid와 FACTS 기술

Smart Grid Objectives (송전계통 관련 사항)	송전계통기술	FACTS 기술 적용분야
Accommodating all generation and storage options	Variable Generation 및 Storage Options 계통연계	VSC 송전 신재생전원 전압보상
Providing the power quality for the range of needs in the 21st century economy	신뢰도, 전압, 주파수 유지 - 중앙집중발전 및 기간계통 - 분산전원 및 전력저장	직·병렬 선로보상 분산전원 전압유지 조류방향변환 무효전력보상
Optimizing asset utilizing and operating efficiently	설비이용률 향상 안전도제약 경제급전	송전용량증대 안정도 향상

서의 소비자의 기능이 중요한 역할을 하게 되는 것을 상정하고 있다.

교류송전계통에서의 전력의 흐름은 경제 법칙이 아니라 자연 법칙에 의거 이루어진다. 위상각이 앞선 모선에서 위상각이 뒤진 모선으로 전력이 흐르고, 위상각 차이가 클수록 더 많은 전력이 흐르게 된다. 또한 발전소와 부하중심지를 연결하는 경로가 다수일 때 전력은 전기적 거리가 짧은 경로로 더 많이 흐르게 된다. 즉, 송전 여유가 있어 전압분포와 계통안정성 유지에 바람직한 경로보다 이미 많은 전력이 흐르고 있어 회피하고 싶은 경로로 쏠리게 되는 현상이 나타나기도 한다. 이는 설비 이용의 효율성을 저하시키고 계통손실을 증대시키며 때로는 취약 경로에 병목 현상을 초래하여 계통 운영의 경제성과 안정성을 동시에 악화시키기도 한다.

스마트그리드에서는 이런 현상이 가급적 발생하지 않도록 하기 위한 제어 수단이 필요하게 된다. FACTS 기술은 이러한 목적에 적합한 수단을 제공할 수 있을 것으로 기대되므로 이에 대한 체계적인 연구가 필요한데 연구지원은 미흡한 실정으로 지적되고 있다.(4)

풍력과 태양광 같은 출력변동이 큰 전원을 계통에 연계하기 위해서는 설비 규모에 적합한 연계방식과 출력변동이 계통의 전압변동에 미치는 영향을 최소화하기 위한 전압보상방식이 필요한데 응답속도의 빠르기와 보상에 필요한 용량 공급의 안정성 측면에서 STATCOM의 적용이 가장 효율적인 대안일 것으로 예측되고 있다.

미국 에너지부(DOE)에서 제시한 스마트그리드 목표 가운데 송전계통기술과 관련된 항목을 달성하기 위해 필요한 FACTS 기술을 정리하면 표 2와 같다.

4. BTB 계통연계

초기의 BTB 계통연계는 일본의 50hz와 60hz로 주파수가 다른 계통을 연계하는 frequency changer 적용으로부터 최근에는 중국의 Lingbao II BTB 연계에서와 같이 계통특성이 상이하여 서로 영향을 주고받는 것이 바람직하지 않은 계통의 연계에 까지 응용 범위가 확대되어 오고 있다. 유럽에서는 발전 연료

공급 및 이용의 안정성, 신재생에너지에 의한 발전출력 변동의 불확실성을 상호 보완하기 위한 지역 간 계통연계가 활발히 추진되고 있으며, 계통연계의 강화에 따른 고장전류의 증가, 인접계통의 사고파급방지를 위한 firewall로서 BTB 계통연계가 시행되기도 한다.

우리나라 전력계통은 수도권과 영남권에서 부하밀집도가 증대하고 이로 인해 단락용량이 증대하여 계통구성의 유연성 확보에 어려움이 예상된다. 또한 수도권 계통에서는 인천지역에 밀집된 발전설비로부터 수도권 북부 계통으로의 전력공급과 소위 북상조류를 통한 전력공급의 안정성 확보가 이 지역 전력수급 안정에 중요한 관건이 되고 있다. 이러한 문제를 효율적으로 해결하기 위해서는 다양한 option의 체계적 검토가 필요하다. 특히 기간계통의 critical 모선에서의 단락용량에 대한 대책은 전력공급의 신뢰도 측면에서 뿐만 아니라 설비 투자의 최적화 및 설비이용의 효율성 제고 측면에서 중요한 이슈가 된다.

이런 관점에서 현재 추진되고 있는 제주 스마트그리드 실증단계에 대단위 풍력발전 전원의 계통연계를 위해 STATCOM BTB 연계를 고려하고 있는 것은 FACTS 기술과 스마트그리드 기술 개발 양 측면에서 기대되는 바가 적지 않다.

5. 맺음말

현재 우리나라에서 추진되고 있는 스마트그리드는 소비자화 접점을 이루는 스마트미터링과 배전기술 부분에 집중되고 있는 측면이 있는 데 장기적으로는 참고 문헌 1에서 지적하고 있는 바와 같이 전체론적 관점에

서 조망하고 대처할 필요가 있다. 이는 스마트그리드가 궁극적으로 목표로 하고 있는 쌍방향 통신과 효율적 시스템 운영은 다양한 기술의 체계적 도입과 이들의 정합성을 필연적으로 요구하기 있기 때문이다. 여기에는 전력시스템인프라의 혁신적 변화를 담아낼 새로운 개념 정립과 이에 상응하는 기술개발이 반드시 필요하다.

우리나라 전력계통은 교류송전계통 관점에서는 잘 관리되고 있는 시스템이라 할 수 있다. 이제 교류송전계통이 본질적으로 깊어지고 있는 단락용량 증대와 전력수송능력의 시스템적 향상에 관한 문제에 대해 차분하게 살펴보고 이를 통해 우리나라 전력계통이 스마트그리드로 발전하는 데 기여할 수 있도록 하여야 할 것이다.

참고문헌

1. US Energy Infrastructure Investment, PSERC White paper, 2009
2. Overview of HVDC and FACTS, Andersen B. R., Zavahir M., CIGRE B4 Colloquium, Bergen 2009
3. Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible Transmission Systems, Hingorani, N.G., Gyugyi L. IEEE Press, 2000
4. The many meanings of Smart Grid: A Briefing Note from the Department of Engineering and Public Policy Carnegie Mellon University, Morgan M. G et al, July 2009.