

FACTS 기술개요 및 전망

下

오태규·최규형

한국전기연구소 전력계통연구부

5. FACTS 기술개발동향

대용량의 전력용반도체소자가 실용화됨에 따라, 전력계통운용분야에도 전력용반도체 스위칭 제어 기술을 응용하고자 하는 연구가 진척되어, 직류송전이나 SVC, 주파수변환장치 등을 중심으로 개발되어 왔다. 이러한 움직임은 특히, 1980년대말 EPRI의 N.G. Hingorani를 중심으로, 전력용반도체제어를 이용한 전력계통운용의 고도화기술이 FACTS라는 개념으로 체계화된 후 미국, 일본, 유럽 등 선진외국을 중심으로 더욱 활성화되고 있으며, EPRI를 중심으로 한 국제공동 연구조합이 결성되어 실용화를 위한 연구가 추진되고 있다. 현재까지 수행되었거나 수행할 예정으로 있는 실증시험계획 및 기술개발동향은 다음과 같다.

(1) 직렬콘덴서 및 TCSC

(가) 일본

1938년 3.3kV 계통에 직렬콘덴서를 적용한 이래 주로 배전선의 성격을 갖는 저전압송전선에

직렬콘덴서 보상방식을 적용하여, 1944년에는 66kV급에서는 세계최초로 15.9MVA 직렬콘덴서를 설치하였으며, 1956년에는 九洲電力의 山家변전소에 220kV/76.5MVA의 직렬콘덴서를 설치하였다. 關西電力에서는 1973년부터 275kV 大黒部幹線에 직렬콘덴서를 설치하기 시작해 현재 198MVA×2(50% 보상)까지 증설되어 있다. TCSC에 대해서는, 3대 전력회사 및 기업체, 대학 등에서 기초해석연구를 수행중에 있다.

(나) 스웨덴

1950년 220kV 초고압 송전선로 500km에 31.4MVA의 직렬콘덴서가 설치됨으로써 송전비용의 15% 감소에 성공한 이후, 초고압 송전선로의 직렬콘덴서보상을 확대하였으며, 380kV 송전선로에까지 직렬콘덴서를 설치하였다.

(다) 소련

장거리 대전력 송전선로에 대한 직렬보상의 필요에 따라, 1950년 220kV송전선에 시험설비를 설치한 후, 1956년에는 공장 1000km 500kV송전선에 436MVA(보상도 20%)의 초대용량 직렬콘덴서를 설치하였다.

(라) 미국

1928년 세계 최초로 33kV선로에 1.25MVA의 직렬콘덴서를 설치하였으며, 초고압계통에의 적용은 1951년 BPA에서 230kV용으로 처음 설치한 이래, 550kV선로에까지 직렬콘덴서의 사용이 보편화되어 있다. 직렬보상의 부작용으로서 Sub-synchronous Resonance 발생이 문제가 됨에 따라, TCSC 개발연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 시운전 단계에까지 달해 있는 TCSC 개발 프로젝트의 개요는 다음과 같다.

① WAPA(Western Area Power Administration)

-설치장소 : Kayenta S/S, Glen Canyon -Shiprock 230kV 300km 송전선의 중간 (그림 22 참조)

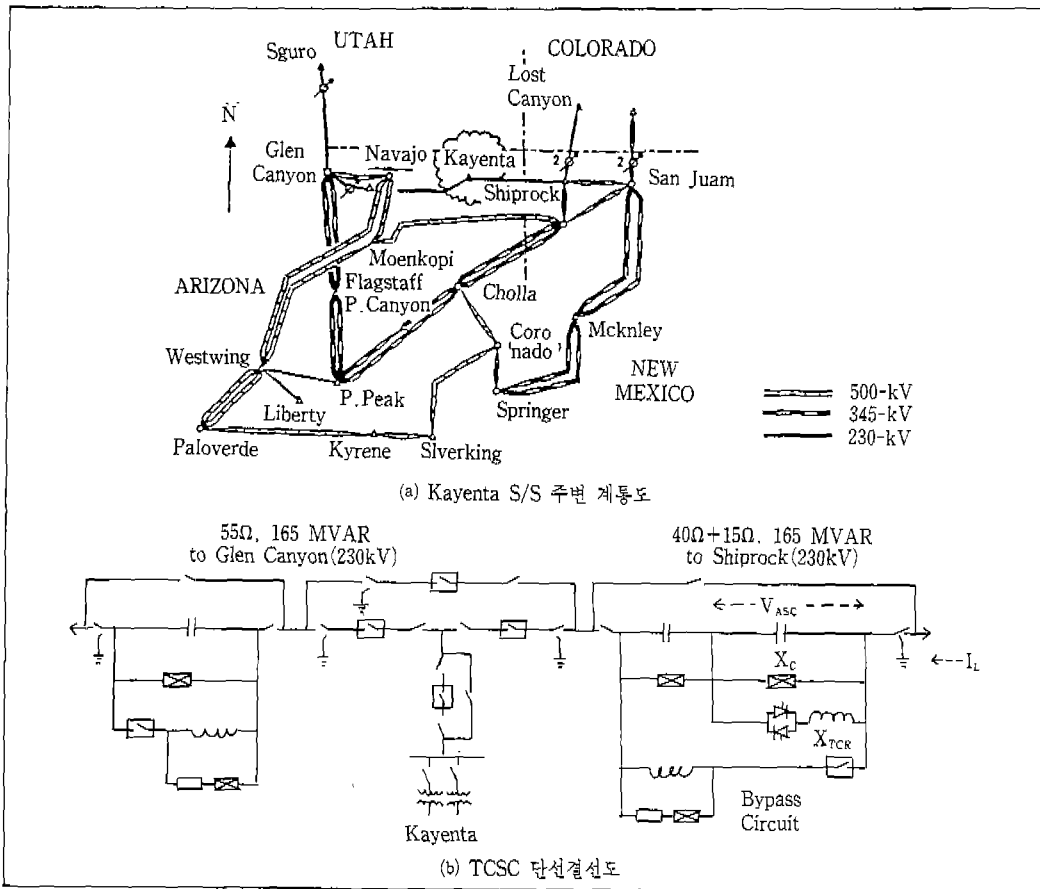
-기기사양 : 60Hz, 230kV

직렬콘덴서 165MVA×2, 1000A
Glen Canyon 방향 55Ω,
Shiprock방향 40Ω+15Ω
보상도 72%

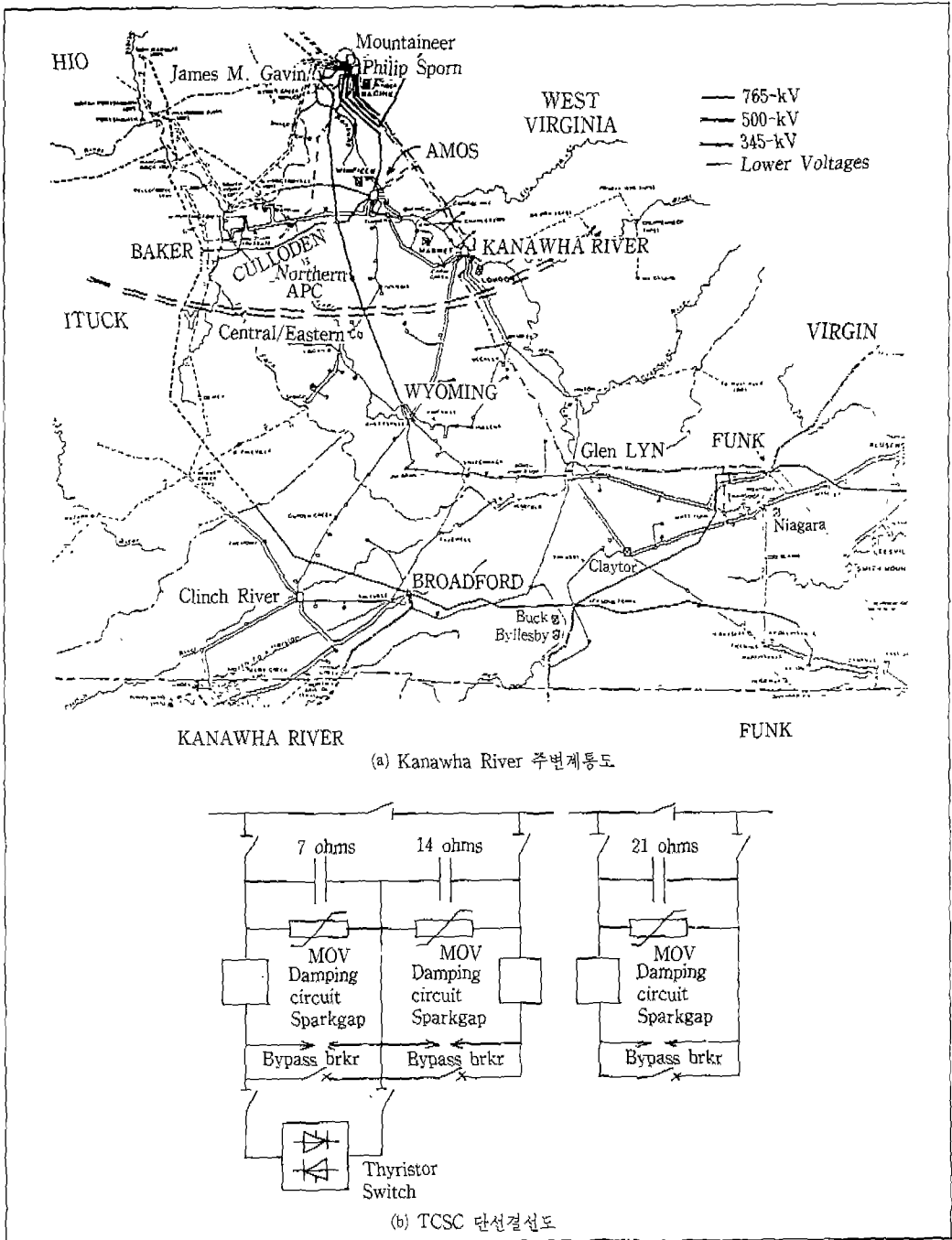
-운용방법 : 15Ω의 콘덴서에 병렬로 Thyristor 제어 리액터를 설치하고 스위칭 제어와 Modulation 제어를 통하여 선로 임피던스 제어

-설치목적 : 열용량한계 가까이까지 송전용량 증가

-설치경위 : 1964년 Glenn Canyon-Shiprock 선의 계획송전용량은 300MW이었으나, 그후 평행선로를 추가건설함에 따라 계획송전용량의 송전이 곤란해져 위상조정



<그림 22> WAPA Kayenta S/S TCSC



<그림 23> AEP Kanawha River TCSC

변압기 및 TCSC의 검토를 시작했다. 330MVA의 직렬콘덴서를 설치한 후, 선로열용량한계에 가까운 송전이 가능해졌다.

- ② AEP(American Eelectric Power Co.)
 - 설치장소 : AEP Kanawha River-Funk간 345kV계통(그림 23 참조)
 - 기기사양 : 345kV,

직렬콘덴서 788MVA, 42Ω(보상도 0~60%)

- 운용방법 : 직렬콘덴서를 10%, 20%, 30%로 3분할해 10% 단위로 운용하고, 20%와 30%는 고정 직렬콘덴서로 하고, 10%만 TCSC로 운용
- 설치목적 : 북쪽으로부터의 전력을 남쪽에 송전하기 위한 남북연계선의 조류증가 및 루프조류 억제
- 설치경위 : 중부하시 765kV선로가 정지할 경우, Kanawha River-Funk간 345kV와 154kV 송전선이 과부하로 되어서, 보상도 60%의 직렬콘덴서를 투입하면 열용량에 가까운 송전량이 되며, 보상도를 높이면 Subsynchronous Resonance가 문제로 되었다.

③ BPA(Bonneville Power Administration)

- 설치장소 : BPA계통내 중앙부 Slatt-Buckley 500kV 송전선(그림 24 참조)
- 기기 사양 : 500kV, 202MVA, 8Ω
- 설치목적 : 본격적인 대규모 TCSC의 실증시험
- 설치경위 : 장소 선정이유로는, 비교적 고장 전류레벨이 높고, 근방에 화력발전소가 위치해 있어 Subsynchronous Resonance의 억제를 검증할 수 있으며, HVDC 변환소 및 SVC가 접속되어 있어 상호작용의 검증이 가능하다는 점에 있다.

(2) STATCON

1977년 미국의 Basin Electric사의 230kV 계통에 40MVA의 SVC가 전압안정화용으로 설치된 이래, 아크로와 같은 변동부하에 의한 전압변동의 억제, 전압 안정화 및 계통안정도 향상을 위한 SVC의 보급이 일반화되고 있다. 특히 1987년 여름에 일본의 동경전력에서 발생한 대정전사고가, 부하급중에 대해 전압조정기능이 추종하지 못한 것이 원인이라고 밝혀지면서 SVC에 대한

관심이 더욱 높아지고 있다. STATCON에 관한 연구는, 1980년 20MVA의 실험 모델이 일본에서 개발된 이래, 1980년대에 들어서면서 GTO Thyristor의 용량이 비약적으로 증가함에 따라 최근 급속하게 개발이 이루어지고 있다. 각국에서의 주요 연구개발상황은 다음과 같다.

(가) 미국

① Empire State Electric Energy Research Corporation

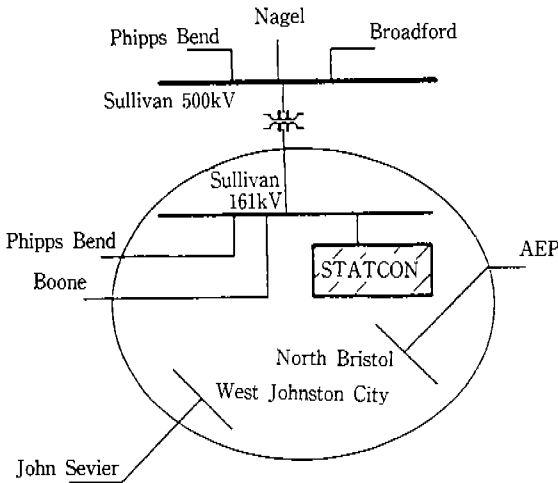
New York주에 있는 7개 전력회사의 자금 지원으로, STATCON의 기본원리 및 실제통에서의 운전성능을 검증하기 위한 13.2kV/±1MVAR의 STATCON을 개발하여(Westinghouse사 제작), 1986년 10월에 New York주 Spring Valley에 위치한 Orange & Rockland Utilities Inc.의 시험장에 설치하여 실증 시험을 실시하였다. 개발된 STATCON은 GTO Thyristor를 사용한 전압형 인버터방식을 채택하였으며, 종래의 SVC에 비해 용량이 1/8인 콘덴서를 사용하더라도 SVC와 동등한 무효전력보상을 할 수 있었다고 발표했다.

② TVA(Tennessee Valley Authority)

EPRI에서 추진하고 있는 FACTS연구의 일환으로, EPRI의 자금지원을 받아 Westinghouse사에서 제작한 ±100MVar의 STATCON을, 그림 25에 보이는 것처럼, TVA 계통내의 Sullivan변전소에 설치중으로 1995년에 운용할 예정으로 있으며, 개발된 제품의 상업화도 예정하고 있다. 500kV 및 161kV 송전선로의 전압 조정과 계통안정도 향상을 목적으로 하고 있으며, TVA에서는 STATCON을 설치하지 않았더라면, 안정도를 확보하기 위해 161kV 송전선을 추가로 건설하거나 변압기뱅크를 증설하여야 했다고 발표하였다.

③ Commonwealth Edison Co.

EPRI와의 공동 출자로 12.5kV/21MVar의 STATCON(GE사 제작)을 부하센터(Illinois주



〈그림 25〉 TVA Sullivan S/S ±100MVar STATCON

Chicago시 Schaumburg)에 설치하였으며, 콘덴서 개폐로 인한 과도전압의 억제, 부하변동으로 인한 전압변동 및 선로사고로 인한 전압 저하의 감소효과로 변압기 탭 조작회수가 10% 줄어들었으며, 유도전동기 부하가 많은 배전선로에서 전압 안정도가 향상되어 선로의 공급 능력이 향상되었다고 발표했다. 135kV 계통에 적용할 대용량 STATCON의 개발도 예정하고 있다.

(4) 일본

① 北海道電力

아크로에 의한 Flicker 발생을 억제하기 위한 대책으로, 1980년 일본에서는 최초로 40MVA의 SVC를 西札幌변전소의 66kV 계통에 설치하였으며, 그후 전력계통 구조의 변경으로 Flicker가 증가함에 따라, 1992년 12월에 ±20MVA의 STATCON을 手稻변전소 66kV 계통에 추가로 설치하였다. Flicker 발생량의 30% 정도 감소를 목표로 하고 있다.

② 東京電力

기간 계통의 전압안정성 향상, 말단계통의 전압변동대책을 목적으로 하여, 1992년에 50MVA STATCON 2대를 新信濃변전소의 2대의 주변압기(500/275/63kV) 3차회로에 설치하고 성능 및

신뢰성을 검증중이다. 캐리어 주파수 150Hz의 PWM(펄스 폭 변조제어) 방식을 채택하여 제어 응답성의 고속화를 실현하였으며, GTO Thyristor의 직렬화기술을 확립하여 직류전압을 16kV까지 높임으로써 대용량화를 실현했다.

③ 關西電力

-10kVA의 STATCON 축소모델을 제작하여 모의 송전계통을 통하여 무효전력보상장치로서의 기능을 시험하였으며, 전력계통용 STATCON으로는 세계 최초로 77kV/±20MVA의 시제품을 제작하여 공장내의 장기간 운전시험을 걸쳐, 1980년 1월부터 關西電力의 北大阪변전소 77kV 계통에서 운전을 실시하였다.

-1991년 3월에는 장거리 송전선에서의 계통동요억제와 계통안정도향상 및 송전용량증대를 목적으로 하여, 154kV ±80MVA의 STATCON(三菱電機 제작)을 犬山개폐소에 설치 운용중으로, STATCON을 도입함에 따라 기간 송전선로의 송전용량을 531MW에서 621MW로 증가시킬 수 있었다고 발표하였다.

④ 東北電力

배전용변전소 2차측에 설치하여, SI Thyristor를 사용한 3상 PWM전압형 인버터를 이용함으로써, 전력저장과 동시에 무효전력보상, 고조파보상의 기능들을 갖는 다기능 전력변환장치의 모델을 개발하고 실용화 연구중이다.

(4) 국내

1988년 한국전기연구소와 현대중전기의 공동연구로 SVC의 개발을 추진하여, 그 첫 단계로 3상 440V 330KVAR MSC(Mechanically Switched Capacitor) 방식의 자동역률조정장치가 개발되었으나, STATCON에 관한 연구개발은 전무한 실정이다.

(3) TCPR

(가) 미국

① Western Area Power Administration

EPRI 지원으로 WAPA에서 개발중인 TCPR은 변압기의 Tap Changer를 확장한 방식이기는 하지만, 모터 구동식에 비해 응답 특성이 빠르고 마모가 적다는 장점이 있다. GE와 Westinghouse, ABB Italy에서 각각 독자적으로 개발중인데 시제품의 시험은 1990년대 말로 예상된다.

② Minnesota Power Co.

EPRI와 Minnesota Power Co.에서 개발하고 있는 신형의 TCPR은, Thyristor의 효과를 최대한 이용하여 230kV 선로에서 30°의 위상각을 고속 제어할 수 있는 기능을 갖는 것으로 1996년에 실증시험에 돌입할 예정이다.

6. 결론

FACTS 설비가 갖는 여러 장점과 전력용 반도체 스위칭 소자의 개발 및 실용화 추이를 고려해 볼 때, 21세기에 있어서의 전력시스템 구성에서 FACTS가 차지하는 비중이 대단히 크리라는 것은 쉽게 짐작할 수 있다. 또한, FACTS는 대상 전력계통의 특성에 따라 그 형태와 운용 전략이 달라져야 하므로, 외국의 설비를 그대로 도입하기가 곤란하며, 특히 운용기법 등과 같이 소프트웨어에 관련된 기술은 우리 전력계통의 상황에 맞추어야 하기 때문에 단순히 기술도입으로 대처하기에는 많은 문제점이 따를 수 있으므로 국내 자립이 절대적으로 필요하다.

이와 같이 장래의 전력계통 운용 기술의 핵심 기술로 자리잡게 될 FACTS 기술의 개발을 위해 연구개발 투자가 시급하며, FACTS 기술의 효율적 개발을 위해서는 합리적인 연구개발계획 수립을 위한 기획사업이 선행되어야 한다. 또한 FACTS 기술은 종합적인 시스템기술로서, 계통 해석 기술에서 Thyristor 제어 회로의 설계 및 제작에 이르기까지 연구개발 범위가 광범위하므로, 산·학·연 공동연구 체제를 구축하여 관계 기관들의 협력하에 연구 개발을 수행하는 것이 바람직하리라 판단된다.

●참고문헌●

1. N.G. Hingorani, "Power Electronics in Electric Utilities: Role of Power Electronics in Future Power", Proceedings of the IEEE, Vol.76, No.4, pp.481-482, April 1988.
2. N.G. Hingorani, "High Power Electronics and Flexible AC Transmission System", IEEE Power Engineering Review, pp.3-4, July 1988.
3. EPRI Report, "Flexible AC Transmission Systems(FACTS): Scoping Study Vol.1, Part 1: Analytical Studies", EPRL EL-6943, V1,P1, Aug.1990.
4. EPRI Workshop, "The Future in High-Voltage Transmission: Flexible AC Transmission System(FACTS)", Nov.14-16, 1990, Cincinnati, Ohio.
5. EPRI Report, "Flexible AC Transmission Systems(FACTS): Scoping Study Vol.2, Part 1: Analytical Studies", EPRL EL-6943, V2,P1, Sept.1991.
6. 常盤幸生·堀内恒郎, "電力系統におけるパワーエレクトロニクス技術應用の最近の動向", T.IEE Japan, Vol.111-B, No.3, pp.242-246, 1991.
7. P.A. Wybieraia, "Application of EPRI FACTS Technology on GPU-DQE Project", IEEE Paper 92TH 0465-5 PWR (6), pp.41-44, 1992.
8. EPRI Workshop, "Flexible AC Transmission Systems Conference", May 18-20, 1992, Boston, Massachusetts.
9. N.G. Higorani, "The Delivery System of the Future", EPRI Journal, pp.1-12, October/November 1992.
10. N.G. Higorani, "Flexible AC Transmission", IEEE Spectrum, pp.40-45, April 1993.
11. 林敏之, "電力分野におけるパワーエレクトロニクス", J.IEE Japan, Vol.113, No.10, pp.844-848, 1993.
12. 電力中央研究所報告, "美國電力研究所のFACTS構想-基礎調査と試算", 調査報告:T92020, 1993.5.

< 끝 >