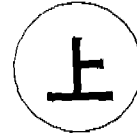




FACTS 기술

개요 및 전망



오태규·최규형
한국전기연구소 전력계통연구부

1. 서론

최근 발표된 장기전력수급계획에 의하면, 우리나라의 전력계통은 서기 2006년경 최대전력 수요는 45,533MW 수준에 이르게 되고 이를 위한 발전설비 규모는 54,098MW 정도가 되어 현재 계통규모의 2배 이상으로 성장할 것으로 예측되고 있다. 이와 같은 부하 성장은 주로 수도권을 비롯한 대도시 인구 밀집지역과 공업단지와 같은 산업 중심지에서의 전력 수요증가가 주도하게 되는 반면 이러한 지역 가까이에서 전원입지확보는 현실적으로 대단히 어려운 문제가 된다. 또한 제반기술의 발달과 규모의 경제성에 의해 단위 발전기의 규모 역시 대응량화 추세에 있다. 이와 같은 이유로 발전소 위치는 부하 중심지로부터 원격화 될 뿐만 아니라 대규모 전원 단지화할 것으로 예상된다. 이러한 전력 공급력 확보문제에 대해서는 정부 관련 부처의 정책입안자에서부터 전력회사 경영층은 물론 관련 연구 및 산업체간에 그 문제의 심각성에 대해 상당 수준으로 인식을 같이 하고 있다. 즉 현재와 같은 전기 이용 추세를 전제한다면 적정공급력 확보 문제는 대단히 중요한 문제임이 틀림없고 이에 대한 대비책은 주도면밀하게 마련되어야 한다.

한편 발전소에서 생산된 전기는 송전선로에 의해 수요지까지 효율적이고 경제적으로 수송되어야 한다. 현재 우리나라와 같은 사회·지리적 여건에서 전원입지 선정이 어려워 특수한 경우를 제외하고는 전력 수요 중심지에서 떨어진 곳에 위치하게 된다. 그러나 송전선로의 경우에는 부하 중심지 부근에서의 그 수요가 더욱 증가하게 되어 결국 능률적인 전력수송이 대단히 중요하게 되고, 수전단 측에서 보면 송전선로는 곧 발전기와 같은 역할을 하게 된다. 즉 발전설비가 확충되면 될수록 이곳에서 생산된 전기를 수송할 전력수송설비 수요가 증가하고 부하중심지 부근에서의 계통구성은 상당히 복잡하게 될 것이며 이에 따르는 문제는 전력의 안정적 공급 문제와 밀접한 관계가 있다. 이러한 전력수송 문제를 송전선로 확충만으로 대처하기에는 우리나라 현실에서 이에 소요되는 비용 뿐만 아니라 장래 사회적인 한계가 너무나 뚜렷하므로, 현단계에서부터 송전선로 경과지 확보 방안 뿐만 아니라 능률적 전력수송수단 강구와 더불어 설비이용률 제고를 위한 송전용량 증대기술, 고도의 계통운용기술 등에 대한 연구개발을 동시에 검토하여야 할 단계에 이르렀다. 이에 필요한 기술이나 설비는 우

리계통 고유의 문제를 합리적으로 해결할 수 있어야 하기 때문에 해외 기술을 단순히 도입하는 데는 상당한 무리가 따를 것으로 여겨지므로 더욱 그러하다.

FACTS(Flexible AC Transmission System) 기술은 위와 같은 문제에 대한 해결방안으로 제안된 새로운 개념의 전력시스템기술이다. FACTS 기술은 1980년대말 무렵 미국 EPRI에서 기본개념이 제시된 후 최근에는 EPRI를 중심으로 국제연구조합이 구성되어 이 분야 기술을 실용적인 기술로 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. FACTS 기술은 최근 비약적으로 발전하고 있는 전력용 반도체 기술과 제어 기술을 이용하여 기존의 기계식 개폐제어 장치의 한계를 극복함으로써 제어가 곤란시되어 왔던 교류 송전선로의 임피던스, 전력 조류의 흐름을 제어하여 계통안정도 향상과 송전선로의 송전용량을 극대화시키는 것을 목적으로 한다.

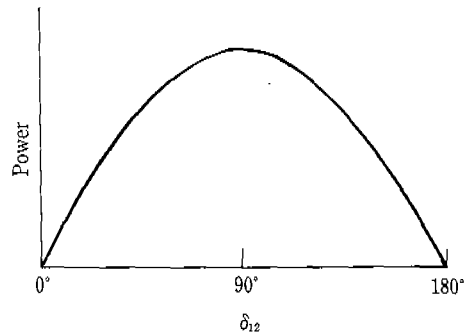
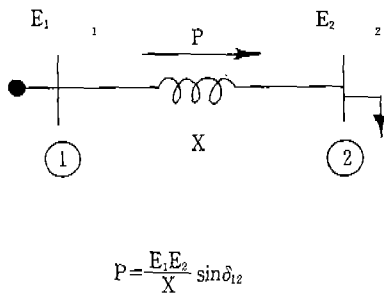
본고에서는, 이와 같이 장래의 전력계통을 크게 변혁시킬 것으로 예상되는 FACTS 기술의 개요 및 특징, 주요 FACTS 설비, 국내외 연구동향, 우리나라 전력계통에 적용하기 위해 필요한 연구 내용과 효율적인 연구개발체제에 대한 검토, 그리고 실제통적용시 기대효과 등에 대해 살

펴보기로 한다.

2. FACTS기술의 개요

가. 개발배경

송전방식에 관한 논쟁에서 교류 송전방식이 직류 송전 방식에 비해 유리하다고 결정된 이후 교류 송전이 주종을 이루어 왔으나, 교류 송전 계통은 전력의 흐름을 제어하기가 곤란하고, 부하 변동에 따라 선로전압이 급격히 상승하거나 하락하여 전압 안정도를 제어하기 어렵다는 문제점이 있다. 한편 전력용 반도체 소자 기술의 눈부신 발달에 힘입어 전력 계통 제어에 사용할 수 있는 정도의 대용량 Thyristor가 등장함에 따라, 기존의 차단기나 변압기 탭 절체장치, 병렬 콘덴서 개폐기와 같은 기계식 제어장치에 비해 많은 이점을 갖는 Thyristor 제어 장치가 개발되고 있다. 이와 같은 대전력 반도체 소자기술을 이용하여 교류 전력계통을 제어함으로써, 보다 효율적이고 유연한 계통의 구성 및 운용을 도모하기 위해, 미국의 EPRI에 의해 제안된 것이 FACTS (Flexible AC Transmission System)기술의 개념이다.



〈그림 1〉 송전선의 전력조류

(1) 교류 송전계통에 내재되어 있는 문제점

(가) 임피던스 제어 곤란

교류 전력계통에서는, 그림 1에 보이는 것처럼, 한 지점에서 다른 지점에서의 전력 흐름이 계통 임피던스, 송전단 및 수전단의 전압, 이 두 전압간의 위상각차에 따라 결정된다. 전력조류가 많아지면 송전전압과 수전전압 사이의 위상각차가 커지게 되고, 어느 한도를 넘으면 계통안정도 한계를 벗어나 발전기가 탈조에 이르게 된다. 여기서 임피던스 및 위상각차를 제어할 수 있으면, 안정도 제어가 가능하게 되나, 송전선은 한번 건설되면 임피던스가 고정되므로 임피던스 제어가 어렵고, 위상각 제어는 전체통적으로 이루어져야 하는 문제가 따른다.

(나) 병렬 조류

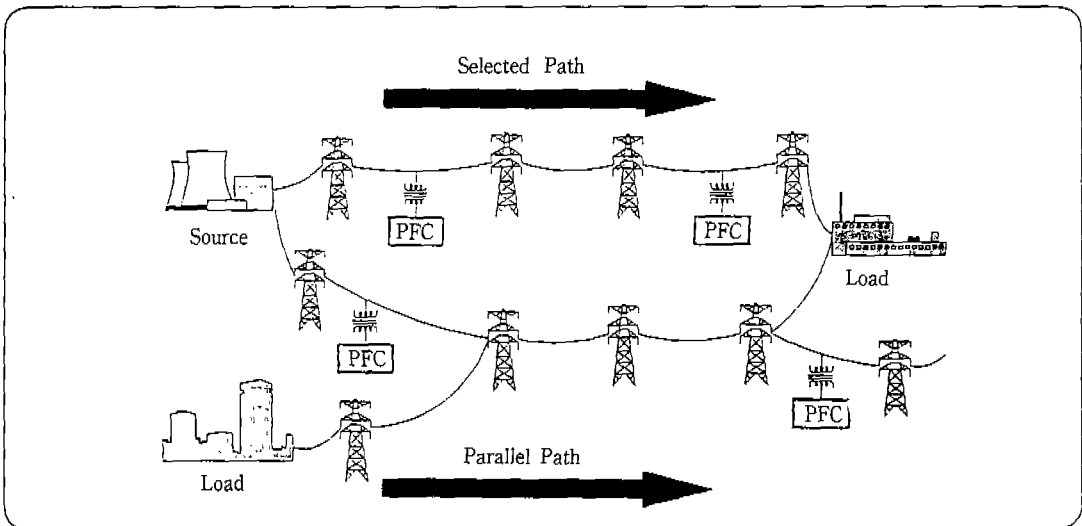
전원에서 부하 지점까지 송전하는 데 있어서, 이 두 지점을 잇는 송전경로가 여러 개 있을 경우에는 등가 임피던스가 작은 송전선에 더 많은 전력이 흐르게 되므로, 계통 계획 단계에서 이러

한 사항을 충분히 고려하여 계통구성을 검토한다.

그러나 계통운전조건이나 계통구성이 변화하게 될 때, 일부 선로에는 송전 용량에 여유가 있는 반면에 어떤 선로에는 과부하가 걸리게 됨으로써 전체적으로 송전용량에 제한을 받게 되어, 전력수송로(Transmission Corridor)의 송전능력의 제약조건으로 작용하게 된다. 이와 같이 동일 전력수송로내에서 전력조류가 송전용량을 초과하는 송전선이 있을 경우, 송전선로 확충만으로 대처하는 것은 비경제적일 뿐만 아니라 경과지 문제 등으로 인한 한계가 뚜렷하므로, 전력조류제어에 의한 전력수송로의 송전용량증대방안 대책 마련이 필요하다(그림 2 참조).

(다) 전압 변동

교류계통에서는 계통구성이 복잡고도화하고 계통제어의존도가 높아질수록 부하변동 및 계통구성 변경에 따른 계통 임피던스의 변동으로 인해 적정한 선로 전압을 유지하는데 상당한 어려움이 따른다. 예를 들면, 대용량 전동기를 사용하는



<그림 2> 병렬조류

공장 부하의 경우 선로 전압을 저하시키기 때문에, 같은 선로에 접속되어 있는 다른 수용가에 피해를 줄 수 있다. 반면에, 장거리 송전선에서 경부하인 경우는 용량성 임피던스가 상대적으로 커져서 적정수준 이상으로 전압을 상승시킬 수 있다. 따라서 적정규모의 무효전력 보상장치와 효율적인 제어시스템이 요구되나 현재 수준의 기계적 제어방법에 의한 제어로는 급변하는 계통연선에 적절하게 대응하기가 어렵다.

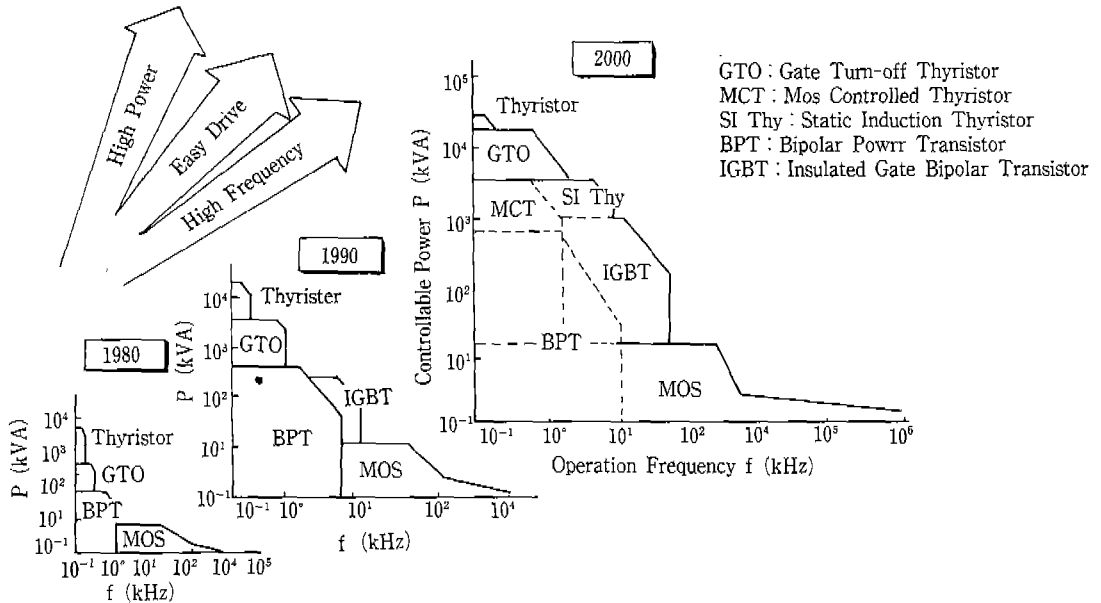
㉔ 계통 안정도

뇌격에 의한 계통사고, 단락사고 및 부하의 급변등과 같은 대규모 외란이 계통에 발생할 때 계통설비에 피해를 입히거나 심한 경우 전계통 정전 등도 일으킬 수 있다. 송전 시스템에 내재하는 임피던스는 이러한 외란들을 억제하는 일차적인 역할을 수행해야 하는데, 회선간 불평형 등으로 인해 임피던스가 불평형으로 될 경우에는 스위 계통병목현상으로 인해 오히려 외란을 증폭시킬 가능성이 있다. 또한 계통구성이 장거리대용

량 전력수송을 위한 초고압송전선로로 구성된 원선과 부하중심지 부근에서 환상망구성의 계통연계선 등이 혼재한 형태로 되어감에 따라 단락용량증대 등과 같이 계통안정운전에 압박요인으로 작용하는 방향 및 성장추세에 있으므로, 이에 대한 대책으로 계통제어기능의 고도화와 유연성증대 대책마련이 시급하다.

(2) 대용량 전력용 반도체 소자의 개발

그림 3에 보이는 것처럼, 최근 전력용반도체소자 개발기술은 비약적으로 발전하여, 스위칭 용량이 25~30Mega Watt에 달하는 대용량의 Thyristor가 개발·실용화되었다. 또한 자기소호기능을 갖는 GTO(Gate-Turn Off) Thyristor가 개발되고 단위 스위칭 용량이 15MW에 이르는 대용량화를 이룩함으로써, 응용범위가 더욱 넓어지게 되었다. 더욱이 여러 개의 Thyristor를 Stack으로 구성함으로써 수천 Mega Watt에 이르는 전력을 스위칭 제어할 수 있게 되어 전력계통설비의 직접제어에 이용할 수 있게 되었다.



〈그림 3〉 전력용반도체의 발전추세

이러한 전력용 반도체 소자를 이용한 제어장치는, 차단기나 변압기 탭변환기와 같은 현재 사용되고 있는 기계적 제어장치에 비해 다음과 같은 이점을 가지고 있다.

- ① 기계적 제어장치에 비해 고속 스위칭이 가능하다. 이러한 고속 제어기능에 의해, 반도체 소자에 의한 제어장치는, 종래의 기계적 제어장치로는 제한적이었던 송전선의 과도 안정도 향상 기능을 효과적으로 수행할 수 있게 되었다.
- ② 기계적 제어장치는 마모의 염려 때문에 사용 빈도의 제한이 있었으나, 반도체 소자에 의한 제어장치는 매 사이클마다 2회씩 아무런 마모없이 전력을 스위칭할 수 있어 상시 운용이 가능하여 계통 신뢰도를 극대화시킬 수 있다.

나. FACTS의 정의

FACTS는 종래의 교류 송전선로에 전력용 반도체 스위칭 소자를 이용한 제어 기술을 도입하여 계통의 유연성을 증대시킴으로써, 교류 계통의 단점을 보완하고 특성을 개선시킨 차세대 전력시스템기술이라고 정의할 수 있다. 이와 같이 반도체 스위칭 제어장치를 이용함으로써, 종래의 기계적 제어장치의 한계를 극복하고, 다음과 같은 효율적인 제어가 가능하게 된다.

- ① 전력계통 제어 범위의 확대로, 지정된 송전선로에 지정된 만큼의 전력 조류부담 가능
- ② 신뢰도를 떨어뜨리는 일 없이, 송전선로의 열용량 가까이까지 송전용량 확대 가능
- ③ 제어 지역간의 전력 수송 능력 확대로, 발전 예비율 저하 가능
- ④ 계통 사고 및 기기 고장의 영향을 제한시킴으로써 파급고장 방지
- ⑤ 송전용량을 제한하거나 기기고장을 일으킬

수 있는 전력계통 동요 억제

다. 연구개발의 필요성

전력계통의 확대에 따라 전력계통망에 부과되는 제약요인들이 점점 늘어나고 있는 추세이며, 다음과 같은 제약에 직면해 있는 상황이다.

(가) 전력수요의 증대

우리나라는 연 10% 이상의 대단히 높은 전력 수요증가율을 보이고 있으며, 최대 전력수요가 2011년에는 69,460MW, 2020년에는 80,300MW에 이를 것으로 예측되고 있다. 따라서 발전설비와 아울러 전력 수송설비의 확충이 시급한 실정이다.

우리나라 계통규모 전망(2006년경)

전력수요 : 45,553MW

발전설비 : 54,098MW

⇒현재의 2배 이상으로 성장

(나) 전력수송설비 건설에 대한 사회적 제약 강화

전력수요의 증가에 따라 신규 전력설비 소요는 증가하나, 새로운 송전설비에 대해서는 장거리에 걸친 경과지 문제와 이에 수반되는 환경문제로 일반인의 배척운동이 반대로 커지고 있다. 예를 들면, 송전선의 전자계에 의한 생물학적 영향 등이 조사 분석되는 등 전력설비에 대한 거부감이 커지고 있으며, 이에 따라, 송전선로의 경과지 및 건설 허가를 얻기가 갈수록 어려워지고 시간이 많이 걸리게 되고 있다. 이러한 법적 및 재정적 어려움에 지역 이기주의가 더해져서 전력설비의 건설이 지연되고 전력수송설비의 증가율이 저하되고 있다.

(다) 전력 계통운용 제약

새로운 전력설비의 추가 건설에 제약이 많이

결됨으로써, 전력 계통운용에서의 여유가 적어지고 있다. 특히 교류 송전선로는 전력조류가 선로의 임피던스에 반비례해서 흐르고, 조류의 제어가 곤란하다는 특성이 있기 때문에, 계통구성이 대규모화하고 복잡 고도화되면서 병렬 선로간의 조류의 불균일부담과 연계 계통에서의 계통운전 조건 변화시 우회조류 발생 등으로 인하여 정격까지 충분히 사용하지 못하는 송전선로가 발생할 가능성이 높다.

(㉔) 기존설비의 이용률 증대 필요성

이상과 같은 계통성장과 제약 조건들을 고려하면, 전력 수송설비의 확충이 시급한 문제로 부각되므로 이에 대한 대비책 마련이 대단히 중요하다. 그러나 송전선로 확충은 궁극적으로는 경제적인 면과 경과지 확보 측면에서 한계가 있으므로, 설비 이용률 증대 기술개발의 병행 수행이 바람직하다.

FACTS기술은 설비 이용률 증대 방안으로서 대단히 유력한 수단으로, 여러 가지 계통운용 조건과 계통 구성에 대해 유연히 대처할 수 있게 됨으로써, 전력 공급 신뢰도를 높일 수 있다. 특히 사고 발생시나 사고 발생후의 비상사태에서 그 효과가 크게 나타난다.

(㉕) 상기 요구에 대해 미국, 일본 등 선진국에서는 전력용반도체 기술을 이용한 고기능 전력설비 개발을 위한 국제연구조합을 결성하여 연구개발을 추진중으로, 설비비용보다는 기술료가 높은 비중을 차지하는 고부가가치 설비이므로 선진국들은 기술장벽을 높게 하여 기술도입시 높은 Royalty를 요구할 것으로 전망된다.

(㉖) 이러한 상황에서, 향후 전력공업분야에서의 해외기술 중속을 탈피하고, 국내의 산업을 육성하기 위하여 범국가적 기술개발을 도모할 필요가 있다고 판단된다.

라. 기대효과

이상에서 검토한 바와 같이 전력계통에 FACTS를 도입함에 따라 기대되는 효과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 장기적인 전력수송설비 효율화방안 마련

- 전력설비이용률 극대화
- 송전선로의 송전용량 증대
- 송전선로 경과지 확보난 완화

(2) 전력수송비용 절감

- 송전선로 신규 건설에 비해 경제적 우위 가능
- 송전선로 건설에 필요한 공기 단축 가능

(3) 국토의 효율적 이용

- 송전선로 건설에 필요한 토지 수용 경감
- 송전선로로 인한 경관훼손 및 전기적 환경장애 감소

(4) 전력계통운용의 고도화

- 유연한 전력계통운용
 - 계통 안정도 향상
 - 사고 대처능력향상으로 사고 피해 감소
- 전력 품질 및 신뢰도 향상
 - 전압 변동 억제 및 전압 안정도 향상
 - 전력공급신뢰도 향상

(5) 산업파급효과

- 전력전자 및 중전기산업의 고도화
- 전력용반도체 개발 및 활용 촉진
 - 전력용반도체 수요 개발로 산업체의 소자 개발을 위한 투자 촉진
 - 전력용반도체 응용기술 개발로 유관산업 육성

☞ 다음 호에 계속