

# IT기반의 대용량 전력수송 제어 시스템

추진부 한전 전력연구원 전력계통연구소장  
이학성 (주)효성중공업 연구소장

## 1. 서론

우리나라의 경제성장과 생활수준의 향상에 따른 지속적인 전력수요 증가로, 원거리 발전단지로부터 부하 밀집지역까지 대용량의 전력을 안정적으로 수송할 송변전설비의 지속적인 확충이 필요하다. 그러나 사회 환경적 요인으로 설비의 신증설은 날로 어려워지고 있으며, 이를 극복할 수 있는 새로운 기술적 대안이 대용량 반도체 기술을 활용한 유연송전시스템[FACTS : Flexible AC Transmission System] 기술이다. 유연송전시스템 기술은 반도체 소자를 이용하여 전기흐름을 능동적으로 제어함으로써 대용량의 전력수송과 계통의 안정성 향상을 동시에 가능케 하는 신개념의 전력전송 기술이다.

계통안정화설비인 FACTS는 세대별 개발 단계를 거쳐 전압원 컨버터기술이 계통에 적용되는 형식인 전압원 FACTS에까지 이르렀다. 1세대 계통안정화설비는 콘덴서나 리액터를 차단기로 제어하기 때문에, 간결한 구조와 저비용의 효과적인 제어수단이지만 기계식 차단기로 인한 제어의 속응성 저하 및 마모성 등의 구조적인 한계를 가지고 있다. 2세대 설비는 FACTS로, 기계적인 차단기를 반도체 스위치로 대체

하여 기계적인 차단기에 기인한 문제가 해소되었으며, 설비의 동특성이 향상되었다. 3세대 설비는 직류와 교류가 상호 변환하는 컨버터 전력변환기술을 전력계통에 적용하는 전압원 FACTS로 발전되었다. 또한, 이런 FACTS 전력변환기술은 지역계통간의 연계 기술로도 활용가능한 대용량 인버터 기술로, 국가 전력부문 경쟁력 강화의 핵심요인으로 등장하고 있다.

세계적으로 FACTS 수요는 증가 추세이고, 국내의 경우도, 다양한 FACTS 설비의 확대적용이 전망된다. 안정적인 계통운용을 위한 종합대책으로서 계통안정화설비간의 협조 제어가 필요하게 되는데, 이는 상위시스템인 SCADA와의 연계가 필수적이다. IT기반기술을 활용한 지능형 FACTS는 SCADA와의 연계를 가능케 하고, 시스템내의 모든 정보를 표준화하여 설비의 신뢰성 증진 및 계통운용의 고도화를 꾀할 수 있다.

## 2. 본론

### 가. FACTS의 전력계통 적용

선진 각국에서는 전압원 FACTS 기술을 1990년대 개발하여 계통에 적용하고 있으며, 국내의 경우,

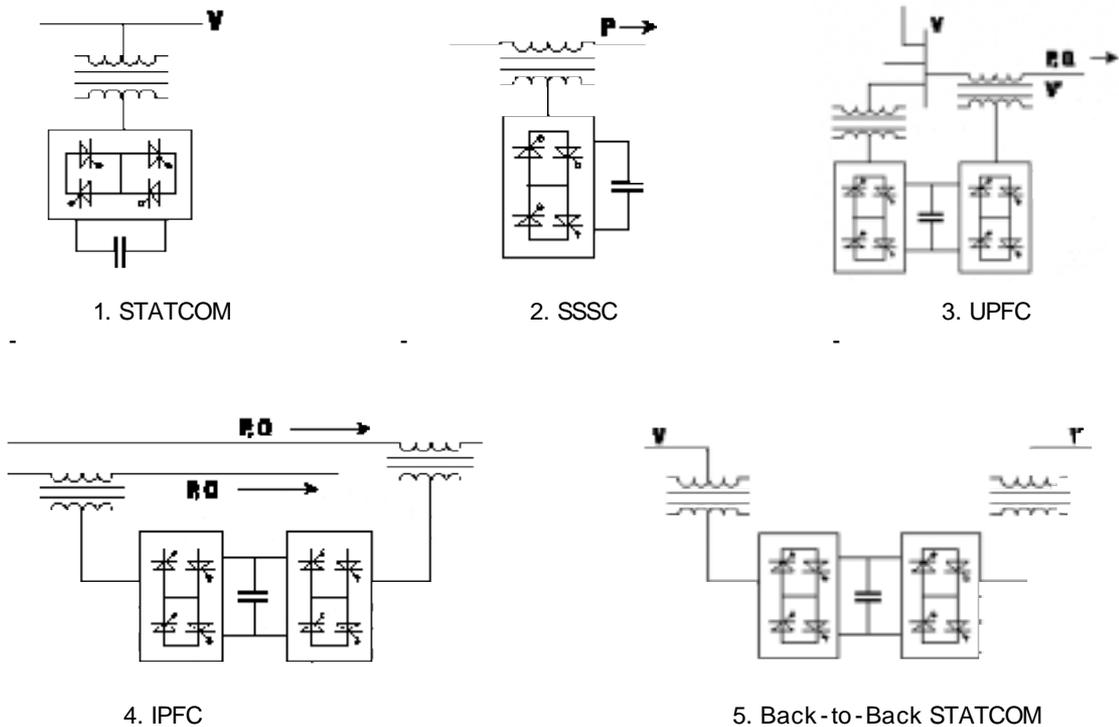
80MVA UPFC를 강진S/S에 2003년 적용하여 운전 중이다. 전압원 FACTS 종류는 STATCOM[Static synchronous COMPensator], SSSC[Static Synchronous Series Compensator], UPFC [Unified Power Flow Controller], IPFC[Interline Power Flow Controller], Back-To-Back STATCOM 등 다양한 종류가 있으며, 이러한 전압원 FACTS 기기의 대표적인 설비가 STATCOM이므로, 본 과제에서도 100MVA STATCOM과 이를 응용한 20MVA BTB STATCOM을 개발한다.

FACTS 설비가 전력계통에 적용되기 위해서는 정밀한 해석기술을 바탕으로 한 운용 및 제어기법을 필요로 한다. FACTS 모델링 및 해석기술, FACTS 기

기가 계통에 미치는 영향 평가 및 분석을 통하여 FACTS 주변 계통 상황에 따라 적절한 운용 전략을 수립한다. FACTS의 계통 적용은 첫째, 안정도 측면에서의 제약을 해소하기 위한 목적과, 둘째, 우리나라 계통 특성상 발생하는 융통선로 제약에 의해 발생하는 혼잡비용의 저감을 목적으로, 최적위치 및 용량을 결정하게 된다.

본 과제를 통해 개발되는 100MVA STATCOM은 2008년 수도권 취약개소에 실증 적용되어 2년여의 신뢰성 운전기간을 거친 후, 수도권 계통안정화와 혼잡비용 저감을 위해 2011년부터 상업운전을 시작할 예정이다. STATCOM의 수도권 취약개소 적용 시, 계통의 안정적 운영을 위해 운전하던 기존 수도권 고

[K-EMS ]



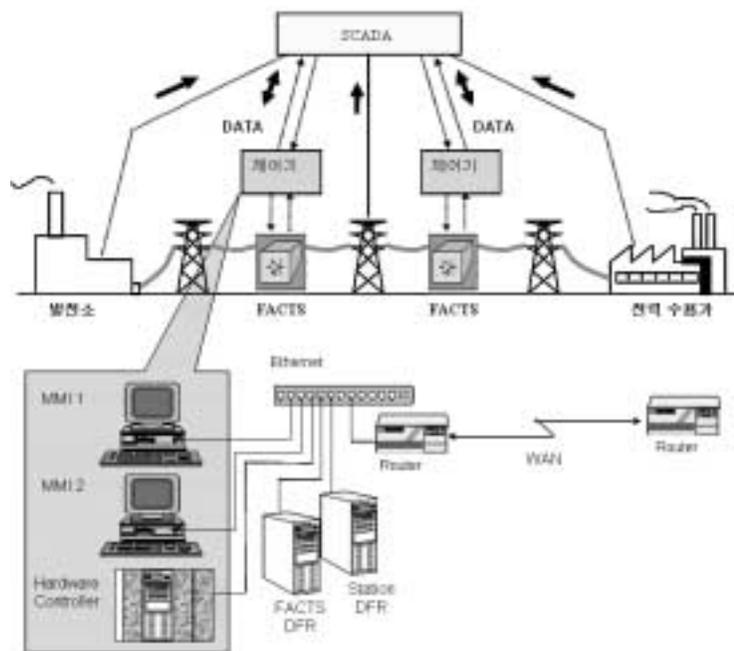
가의 발전기를 비수도권의 저가의 발전기가 대체하므로써 이에 따른 혼잡비용의 저감을 기대할 수 있다. 즉, 비수도권의 잉여전력을 부하밀집지역인 수도권에 공급할 때, 수도권 계통의 안정적 운영을 위해 수도권-비수도권 계통간의 융통할 수 전력에 제한이 있게 된다. 하지만, 수도권 취약개소에 FACTS 설비 설치 시, 수도권 계통 안정도가 증진되어, 수도권으로의 융통전력량의 증대로, 고가의 수도권 LNG 발전비용을 저감할 수 있게 된다. 그리고, 계통간 연계 기술을 확보하기 위해 개발되는 20MVA BTB STATCOM은 고창 실증시험장에 적용하여 다양한 실증시험을 통해 제어알고리즘 및 운용기술의 검증 을 통해 계통연계 기반기술 확보로 향후의 남북 및 동북아 계통연계에 대비할 예정이다.

### 나. 개발되는 100MVA STATCOM 특징

산자부 국가전략과제 “대용량 전력수송 기술개발 (1단계 : FACTS 운용 및 기기국산화 기술개발)”의 결과물인 10 MVA STATCOM을 통하여 제어기의 성능을 검증하고, 대용량 Pole 개발을 통하여 100 MVA System에 소요되는 인버터 Pole의 설계/제작 기술을 확보한다. 검증된 제어기 및 인버터 Pole 요소기술을 결합하여 100 MVA System을 최종 개발한다. 100MVA STATCOM은 상위시스템인 SCADA 연계 및 기기 부속설비간 정보를 효과적으로 활용하기 위해 IT기반으로 개발된다.

#### - Standard Hardware 제어기 채용

제어기의 신뢰성을 확보하기 위하여 VME bus 기반의 Standard Hardware를 사용하여, 세계적으로



신뢰성이 검증된 제어보드가 사용된다. 하드웨어 기술 종속과는 무관하고, 소프트웨어의 이식성이 우수한 제어보드를 시장에서 구매하므로 설비 개선이 수시 가능하여 장기적인 유지보수가 보장된다.

**- 신기술 변압기 적용**

FACTS용 변압기는 인버터의 영향을 고려하여 설계해야 하기 때문에, 변압기가 포화하지 않도록 일반적으로 여자전류를 크게 설계한다. 이를 위해 삽입된 공극을 유지하기 위해서는 추가적인 구조물이 필요하고, 공극에 작용하는 힘에 의해 발생하는 철심의 진동이 소음의 원인이 된다. 이 공극을 철심의 한 곳에 집중시키지 않거나 철심을 완전히 절단하지 않는 방식을 적용하여 변압기 소음의 저감이 가능하다.

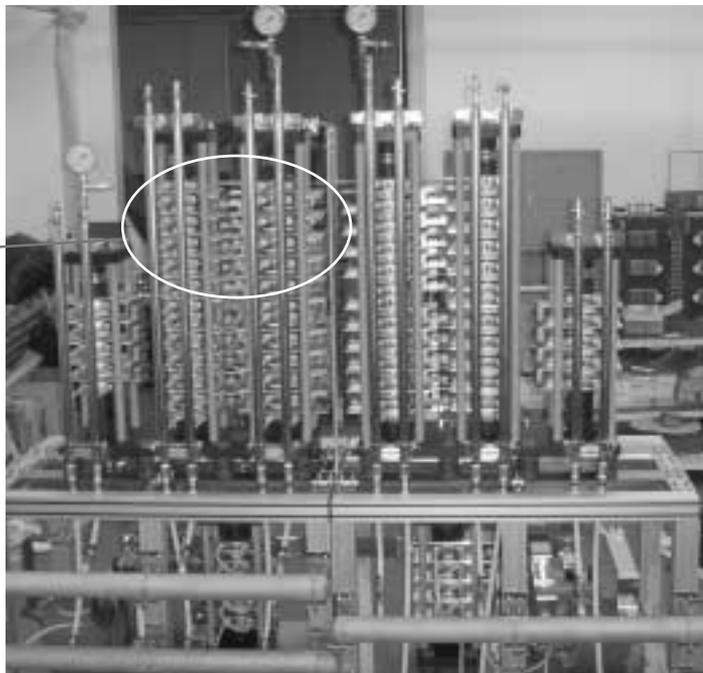
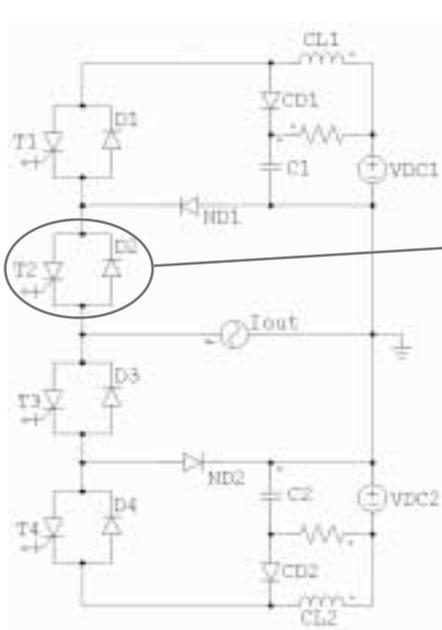
변압기 철심에 발생된 자속은 부분 공극을 만나면

자기저항이 비교적 낮은 부분으로 흐르게 되고, 이에 따라 자속이 부분 공극사이의 철심에 집중하여 부분적으로 포화하게 된다. 부분 포화된 철심은 투자율이 공극의 투자율 수준으로 현저히 떨어져 실질적으로 기계적인 공극과 동일한 효과를 내게 되므로 기존 공극철심과 동일한 특징 즉, 여자전류를 증대시키는 효과를 가지게 된다.

**- System 설계 Redundancy**

FACTS의 전력전자 시스템은 기기의 신뢰성을 확보하기 위하여 적절한 정도의 이중 시스템 (redundancy)을 갖추으로써, 어느 한 부분의 고장이 시스템 전체에 미치는 영향을 최소화 하도록 설계된다. 시스템의 여유분은 필요한 성능을 계속 유지하면서 시스템 가격에 미치는 영향은 최소화 되도록 설계

7 | 3-Level Inverter Pole



된다. 만일 백업으로 설치된 여유분이 파손될 경우 시스템은 다른 구성품들에 영향을 주지 않는 fail-safe mode로 전환되도록 설계된다.

### - 보호방식

FACTS 전자 제어의 광범위한 보호 기능과는 별도로, 완전히 분리되어 독자적으로 구동되는 보호 시스템을 구축하기 위하여 보호 릴레이가 추가된다. 이 보호 릴레이는 주보호와 예비보호, Breaker Failure Protection으로 구성될 수 있다.

### 다. 100MVA STATCOM 주요 구성 요소

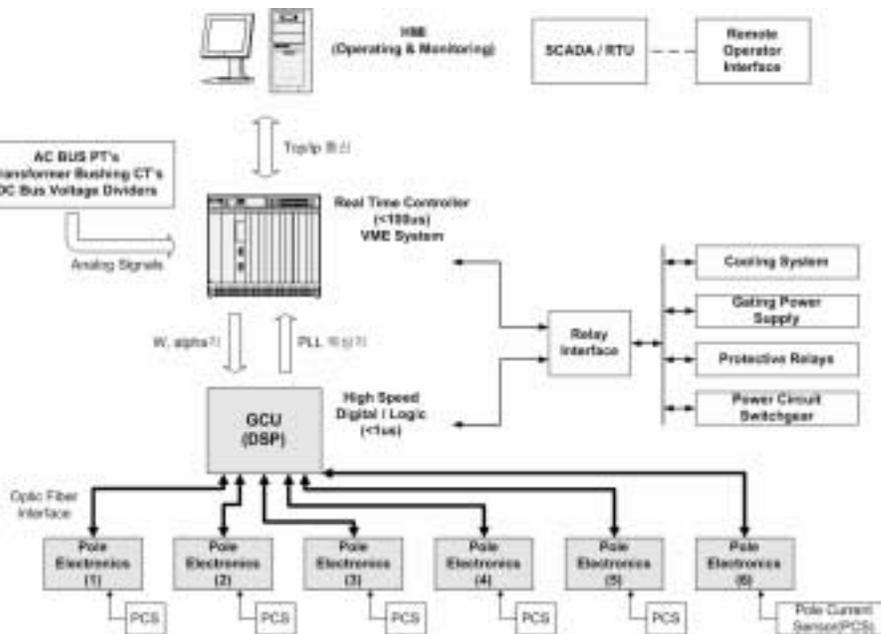
#### - 인버터

Inverter의 내부 구조는 전력용 반도체 소자로 구성된 Valve의 구조로 이루어진다. STATCOM의 전압정격을 만족시키기 위해서, Valve는 여러 개의 전

력용반도체 소자가 직렬 연결된 구조를 갖는다. 그림 7와 같은 3-Level 인버터는 center-tap(zero level)을 갖는 DC 전압원으로부터 4-Valve, 3-Level Pole 구조를 이용하여 구성된다. 여기서 4-Valve, 3-Level Pole은 2-Valve, 2-Level Pole에서 얻을 수 있는 출력의 2배를 얻을 수 있다. 3-Level Pole과 Magnetics를 이용하여 고조파 저감(harmonic neutralized) Inverter 방식을 적용한다. 이 방식은 가장 적은 고조파 발생, 가장 적은 손실, 접속 가능한 single DC bus, 높은 유연성을 가지는 Module Inverter 구조와 같은 거의 이상적인 동작 및 응용 특성을 가진다.

#### - 제어 시스템

그림 8에 나타난 바와 같이 제어시스템은 운전자가 조작할 수 있는 HMI, 제어 알고리즘이 구현된



VME 제어기, 각 Pole을 감시/제어하는 PEB, 제어기의 지령을 각 Pole에 gate신호로 변환해 주는 GCU(Gating Control Unit) 등으로 구성된다.

#### 라. 개발되는 20MVA BTB STATCOM

2대의 10MVA STATCOM으로 구성되어 두 모선 혹은 두 계통을 연계하는 FACTS 설비로 무효전력수수를 통한 계통안정화 및 유효전력 수수를 통한 전력수송 기능을 동시에 담당하며, 기존 STATCOM 제어기에 추가로 마스터 제어기가 필요하다. 20MVA BTB STATCOM은 한국전력공사 고창 실증시험장에 설치되어 계통연계기술 확보를 위한 실증시험설비로 활용하게 된다.

### 3. 결론

FACTS 기술은 미국, 유럽, 일본 등 전력기술 선진국 뿐만 아니라 전력수요 성장률이 높은 중국을 비롯한 아시아 지역 국가에서 활발히 연구되고 있으며, 계통계획 및 운용단계에서 기술 대안으로서 유용성이 매우 클 것으로 기대되고, 관련 산업에 대한 파급효과와 상승효과가 대단히 큰 복합 기술이다. 또한, 선진국의 경우 선 기술투자를 통한 세계 시장선점을 완료한 상태이며 후발국에 대한 기술이전도 기피하는 분야이다. FACTS 기술은 자원이 빈약한 우리나라로서 에너지 다변화의 일환인 동북아 계통 연계의 근간이 되는 기술이며, 전력 설비 보강 지연 등에 따른 계통 안정화 운용 제어에 꼭 필요한 기술이지만 국내 FACTS 기술 기반은 매우 취약한 실정이다. 안정적인 국내 IT기반 기술의 강점을 활용하는 전력IT FACTS 기술 국산화는, 향후 선진국의 기술보호주의

를 극복하고 독자적인 기술 개발을 위해서는 국가 차원의 지속적인 연구개발 및 지원이 절실히 요구된다.

전력기반기금으로 지원되는 국가전력과제인 본 과제의 전력IT FACTS 기술은 전력계통, 전력변환기술, 반도체 응용, 기계, 자동제어, IT기술 등 복합된 종합 시스템 기술개발로 관련 분야의 상당한 파급효과를 기대할 수 있으며, 한전으로서는 STATCOM 등의 순시 동작 가능한 무효전력원을 확보하여 수도권 장기계통 안정화 및 대규모 정전을 예방하여 전력 품질을 증진시킬 수 있다. 또한 수도권 취약개소에 STATCOM의 적용 시, 혼잡비용의 저감을 기대할 수 있으며, 대용량 STATCOM 기술 개발과 BTB STATCOM 계통연계기술 개발로 남북 및 동북아 계통연계에 적극적인 대비로 향후 국가간 계통연계에 있어 대외 경쟁력을 확보 할 수 있을 것으로 기대된다.

본 과제를 통하여 국내 전력계통의 안정화 및 전력공급 신뢰성 향상은 물론 그동안 선진국이 독점해온 유연송전시스템 기술의 국산화 자립을 통하여 막대한 외화 절감과 국내 기술경쟁력 향상을 통한 해외 시장개척 등의 기술적 경제적 효과가 기대된다.