

# 송전 전력 제어를 위한 분산 정지형 직렬 보상기에 관한 연구

윤한중, 조영훈  
건국대학교 전력전자연구소

## Distributed static series compensator based flexible AC transmission system

Hanjong Yoon, Younghoon Cho  
Power Electronics Lab., Konkuk Univ.

### ABSTRACT

This paper describes a distributed static series compensator (DSSC) which is a type of distributed flexible ac transmission system (DFACTS). The control principles including the power flow control and the current regulation are explained in detail. In order to verify the effectiveness of the DSSC, the simulation results are offered.

### 1. 서론

최근 전반적인 전력 수요의 증가와 맞물려 전력수송로의 병목현상, 설비이용의 불균형, 선로 임피던스 불균형 등의 이유로 전력계통의 확충 필요성이 날이 증가하고 있다. 그러나 환경 규제 또는 밀양 송전탑 문제와 같은 사회적 갈등으로 인해 전력계통의 설비 증설이 용이하지 않은 것이 현실이다. 이러한 상황 속에서 기존 송전망에 전력변환장치를 도입하여 수송 능력과 설비 이용률, 계통 안정성을 향상시키는 유연송전시스템(FACTS)이 각광받으며 지속적인 연구가 진행되고 있다. 국내에서도 80~200MVA 용량의 FACTS 설비가 서울, 강진, 미금, 양주 등 일부 지역에 설치되어 운용 중에 있다.<sup>[1]</sup> 하지만 대규모, 대전력이 특징인 FACTS 설비는 설치, 도입에 막대한 초기 투자비용과 설비의 유지보수 어려움, 물리적 공간 제약 등으로 인해 FACTS 설비의 보급 및 확산에 어려움이 있다. 이러한 FACTS의 단점을 해소할 수 있는 방법으로 분산형 유연송전 시스템(DFACTS)가 제안되었다.<sup>[2]</sup>

DFACTS는 FACTS 대비 소형, 저전력의 전력전자회로로 구성된 장치를 다수개로 하여 선로에 매다는 형식으로 기존 FACTS가 가지는 단점을 보완할 수 있다. 본 논문에서는 DFACTS 장치 중 하나인 분산 정지형 직렬 보상기(Distributed Static Series Compensator)를 소개하고 PSIM을 이용하여 DSSC 1개 장치에 대한 시뮬레이션을 진행했다.

### 2. 분산 정지형 직렬 보상기

#### 2.1 분산 정지형 직렬 보상기의 개요

분산 정지형 직렬 보상기(DSSC)는 FACTS 설비 중 하나인 동기 정지형 직렬 보상기(SSSC)의 구조와 동작원리가 유사하다. 다만 DFACTS 장치인 DSSC는 단일 SSSC 장치를 다수개의 장치로 분산한 것으로 개별 DSSC 장치의 부피, 용량, 그리

고 무게는 SSSC 장치에 비해 매우 작다. DSSC는 직렬 보상기로 보상이 필요한 계통 선로에 직렬로 삽입되며, 직축 전압을 선로에 주입하여 선로의 임피던스를 평형시켜 전력수송능력을 증가시킨다.

#### 2.1.1 DSSC의 전류 보상 원리

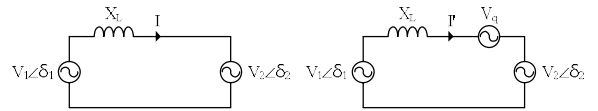


그림 1 송전선로 모델링과 직축 전압 주입

Fig. 1 Modeling of transmission line and quadrature voltage injection

그림1의 (a)는 유도성 리액턴스 성분만 있는 송전계통을 모델링한 회로이며, 선로에 흐르는 전류 I는 식(1)처럼 두 전압원의 차이(합성전압)에 리액턴스를 나누어 구할 수 있다.

$$I = \frac{V_1 \angle \delta_1 - V_2 \angle \delta_2}{jX_L} \quad (1)$$

(a)에서 리액턴스 값이 고정이면 전류의 크기는 합성전압에 의해서만 변하며, (b)와 같이 합성전압과 동상 또는 역상의 교류 전압원을 직렬로 삽입하면 전류의 크기는 증감된다. (a)에서 합성전압과 전류의 위상차는  $90^\circ$ 이며, (b)에서 직렬 교류전압의 위상은 합성전압의 위상과 동상 또는 역상이므로 직렬 교류전압과 전류의 위상차는  $\pm 90^\circ$ 가 된다. 직렬 교류전압이 전류보다  $90^\circ$  앞서면 전류의 크기는 감소하고,  $90^\circ$  지연되면 전류의 크기는 증가한다. 이처럼 전류와  $\pm 90^\circ$ 의 위상차를 가지는 전압을 주입하여 전류를 보상하는 것을 직축 전압 주입 기법, 주입하는 전압을 직축 전압이라고 정의한다.<sup>[2]</sup> 이 직축 전압은 식(2)와 같이 리액턴스로 등가 변환할 수 있으며, 전압보다 리액턴스로 표기하는 것이 전력 계통의 해석과 전력 조류의 계산에 있어서 더 유리하다.

$$X_{inj} = V_q / (I - \frac{V_q}{X_L}) \quad (2)$$

그림2는 앞의 내용을 종합하여 직축 전압과 전류, 리액턴스의 관계를 벡터로 도시한 것이다.

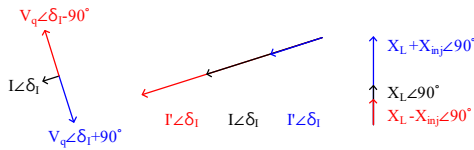


그림2 직축 전압에 따른 전류와 리액턴스 벡터  
Fig.2 Current vector in variable quadrature voltage

## 2.2 DSSC 단일 모듈의 구조와 제어

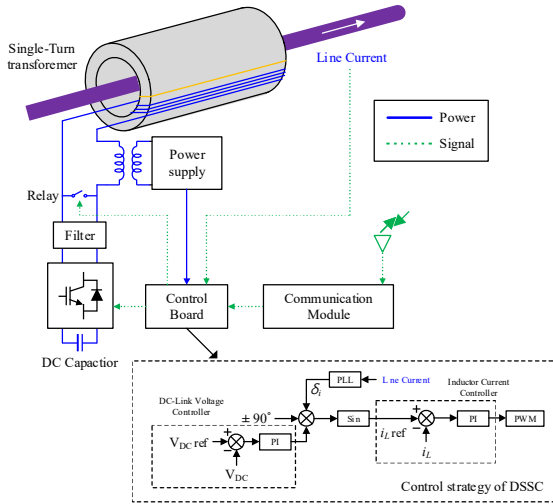


그림 3 DSSC 단일모듈 회로도 및 제어도  
Fig. 3 DSSC single-module circuit and control schematic

1개의 DSSC 모듈은 단일권선 변압기, 필터, 인버터, 파워 서플라이, 제어보드, 통신모듈, 릴레이로 구성되며, 인버터가 합성하는 전압을 단일권선 변압기를 통해 선로에 주입한다. 단일 권선 변압기는 1차측 권선이 1인 1:N 변압기이며, 송전선로에 흐르는 수천에서 수백 A의 전류를 수십에서 수 A 수준으로 낮추어 소형 인버터를 사용할 수 있게 한다. 그 외의 구성품은 인버터 구동 및 모듈 제어를 위한 부속품이다.<sup>[2]</sup>

DSSC의 제어는 DC링크 전압제어 인덕터 전류제어 순으로 수행된다. 제어 입력은 DC링크 전압 지령 값과  $\pm 90^\circ$  위상 지령이며, 전류제어기의 출력으로 PWM 신호를 생성한다. 기동 초기 선로 전류를 끌어와서 DC링크 커패시터를 전압 지령까지 충전하고, 이후 직축 전압을 합성하여 선로에 주입한다.<sup>[2]</sup>

## 3. 시뮬레이션 결과

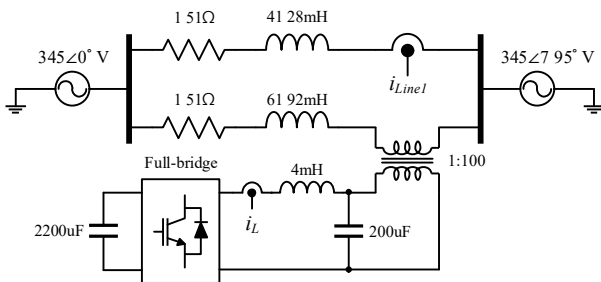


그림 4 DSSC 시뮬레이션 회로도 및 파라미터  
Fig. 4 DSSC simulation circuit schematic and parameters

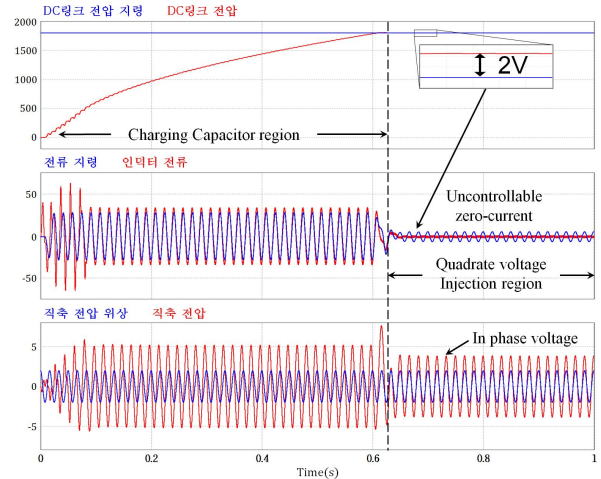


그림 5 DSSC 단일모듈 시뮬레이션 결과  
Fig. 5 DSSC single-module simulation result

그림4는 국내 동서울변전소와 곤지암변전소 구간 (25.184km) 의 송전계통을 실제 데이터를 기반으로 모델링한 회로에 DSSC 모듈 직렬로 삽입한 것이다. 그림5는 그림4의 시뮬레이션 결과 파형으로 DSSC 인버터의 DC링크 커패시터 전압, 인덕터 전류 그리고 직축 전압을 도시했으며, 전압 지령은 1,800V, 위상 지령은  $90^\circ$ 이다. DSSC 인버터는 기동 초기 (~0.63초까지) 커패시터 전압을 충전하고 이후 직축 전압을 선로에 주입한다. DSSC 단일모듈 시뮬레이션이므로 선로 전류의 변화는 거의 없지만 선로 전류가 증가하는 확인했다. 그림4와 같은 회로는 인버터 관점에서 출력단에 교류 전류원(선로 전류)이 연결돼있는 것으로 볼 수 있는데, 이로 인해 커패시터 전압이 0.11%정도의 정상상태 오차를 가지며 인덕터 전류제어기의 지령이 0이 되지 않는다.

## 4. 결론

본 논문을 통해 D FACTS와 DSSC에 대해 간략하게 소개하고 시뮬레이션을 통해 동작을 확인했다. DFACTS는 아직까지 국내 개발사례 및 문헌이 없고 국외도 연구개발이 거의 되지 않은 분야로 새로운 회로 구조부터 제어기법, 실험, 절연문제 등 다양한 연구 과제를 가지고 있다. 따라서 DFACTS는 새로운 기술 및 연구 개발의 기회이며, 세계 전력시장에서 국가경쟁력을 갖출 수 있는 등 미래 전력산업에 있어 학술 및 산업적 가치를 지닌다.

이 논문은 한국전력공사의 재원으로 기초전력연구원의 2015년 선정 기초연구개발과제의 지원 받아 수행된 것임.  
[과제번호 : R15XA03 34]

## 참고 문헌

- [1] 김철우, 장병훈. (2015.6). 유연송전시스템(FACTS)의 특성 및 국내 기술개발 사례. 전기의세계, 64(6), 45-54.
- [2] D. Divan, et al., "A Distributed Static Series Compensator System for Realizing Active Power Flow Control on Existing Power Lines" IEEE Trans. Power Del, Vol. 22, pp. 642-649, 2007, January.