

## FACTS Pilot Plant 도입을 위한 기본 계통 해석

김학만, 전영환, 전진홍, 국경수, 오태규, 이학성  
한국전기연구원, 효성중공업

### System Study for FACTS Pilot Plant Application

H.M. Kim, Y.H. Chun, J.H. Jeon, K.S. Kook, T.K. Oh, H.S. Lee  
KERI, HICO

**Abstract** - This paper presents a part of system study results for UPFC Pilot Plant application in Korea. The system study includes short circuit rate of Kangjin S/S which is site of UPFC Pilot Plant.  $\Delta V/\Delta Q$  characteristics in STATCOM mode, P and Q flow control boundary of UPFC Pilot Plant. The system study is simulated by PSS/E Ver. 26.

설치될 강진 변전소 부근 계통 구성은 그림 2.2와 같다.

## 1. 서론

1980년 말 FACTS(Flexible AC Transmission Systems)의 개념이 소개된 이후 이에 대한 활발한 연구가 진행되고 있으며, 일부 FACTS 기기들은 시운전을 거쳐 상용화 단계에 이르고 있다. UPFC(Unified Power Flow Controller)는 기능적인 측면에서는 병렬형 FACTS 기기인 STATCOM (Static Synchronous Compensator)과 직렬형 FACTS 기기인 SSSC(Static Synchronous Series Compensator)의 기능을 통합시킨 직·병렬형 FACTS 기기로서 모선의 전압제어 능력 뿐만 아니라 조류제어 능력을 가진다[1].

최근 전력설비의 경과지 확보 난에 따른 계통 병목 해소 뿐만 아니라 수송용량증대, 전압유지, 안정도 향상 등 전력계통의 특성 개선에 FACTS의 도입 효과는 긍정적으로 평가되고 있다. 특히, UPFC는 현재 80MVA(병렬 : 40MVA, 직렬 : 40MVA)급이 현재 강진 변전소에 도입이 추진되고 있으며, 2002년 말부터 시운전될 것으로 예상되고 있다.

본 논문에서는 UPFC Pilot Plant 도입을 위한 설치 변전소의 단락용량 검토와 UPFC 제어 범위 및 제어 특성에 대한 기본 계통 해석을 수행한 내용을 기술하였다.

## 2. UPFC 기본 계통 해석

### 2.1 UPFC Pilot Plant

UPFC의 기본적인 구성은 그림 2.1과 같이 모선에 병렬로 연결되는 부분과 선로에 직렬로 삽입되는 부분 그리고 병렬부분과 직렬부분을 연결시켜주는 DC 연계 커패시터 부분으로 구성되어 있다. UPFC 시스템의 병렬부분은 병렬 변압기와 병렬 변압기에 전압을 인가해주는 인버터 1 부분으로 구성되어 있으며, UPFC의 입력단 전압  $V_i$ 의 크기를 일정하게 유지하는 기능과 DC 연계 커패시터의 전압을 일정하게 유지시키는 기능을 한다. 직렬부분은 선로에 직렬로 삽입된 직렬 변압기와 직렬 변압기를 통해 선로에 전압을 삽입시키는 인버터 2 부분으로 구성되어 있으며, 인가되는 전압을 적절히 제어하여 UPFC 출력단의 유효전력과 무효전력을 제어하는 기능을 한다.

강진 변전소에 설치 예정인 UPFC Pilot Plant는 직렬 40MVA, 병렬 40MVA로 구성된다. UPFC Pilot Plant가

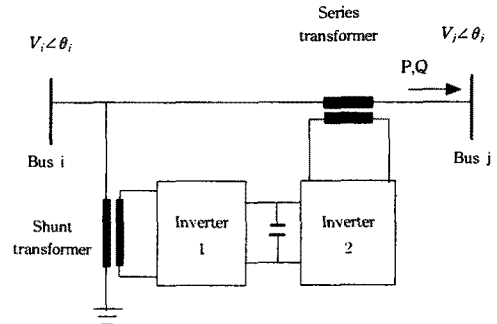


그림 2.1 기본 UPFC 구성

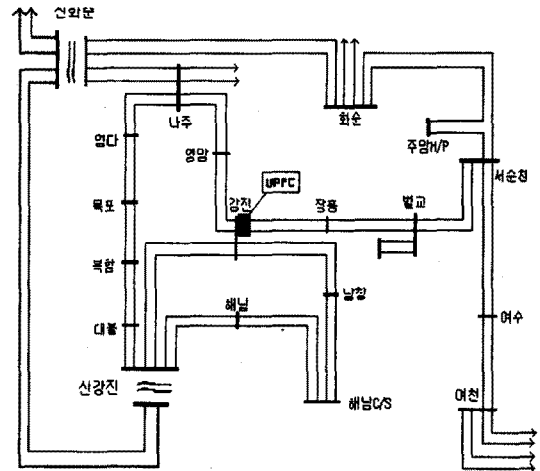


그림 2.2 강진 변전소 부근 계통 구성

### 2.2 단락용량 검토

검토 대상 계통은 중장기 계획 계통인 2003, 2004, 2005, 2006, 2010년 Peak 및 Off-Peak 계통에 대해서 강진 변전소의 최대, 최소 단락 용량을 검토하였다. 검토 조건은 3상고장시 강진 전압을 1.0 pu로 한 경우에 대해서 검토하였다. 검토 대상 계통 별 강진 변전소의 단락용량은 표 2.1과 같다.

표 2.1에서 확인할 수 있듯이 검토 대상 계통에서의 강진 변전의 최대 및 최소 단락용량은 다음과 같다.

- 최소 단락용량 : 4.6 [GVA]
- 최대 단락용량 : 5.0 [GVA]

표 2.1 검토 대상 계통 별 강진 변전소 단락용량

검토 계통	2003년 Off-Peak	2003년 Peak	2004년 Off-Peak	2004년 Peak	2005년 Off-Peak
단락용량 [GVA]	4.6	4.8	4.8	5.0	4.8
검토 계통	2005년 Peak	2006년 Off-Peak	2006년 Peak	2010년 Off-Peak	2010년 Peak
단락용량 [GVA]	5.0	4.8	5.0	4.8	5.0

2.3 UPFC의 제어범위 및 제어 특성

UPFC의 제어범위 및 제어 특성을 검토하기 위하여 검토 대상 계통은 2003는 Peak 계통으로 하여 다음의 사항을 검토하였다.

- 정상상태에서 STATCOM Mode의 ΔV/ΔQ
- 2회선 설치 및 1회선 설치시의 P, Q 조류의 최대 제어 범위

모의는 PSS/E 26 Version에서 UPFC 조류계산 모형 이 용하여 수행하였다.

2.3.1 STATCOM Mode의 ΔV/ΔQ

정상상태에서 STATCOM Mode의 ΔV/ΔQ는 표 2.2와 같다.

표 2.2 STATCOM Mode의 ΔV/ΔQ

PU	kV	MVA	ΔV[kV]/ΔQ[MVA]
1.009	155.39	39.1	0.0345
1.0125	155.93	23.5	0.0345
1.0156	156.4	9.9	0.0343
1.0178	156.74	0	0
1.02	157.08	9.9	0.0343
1.023	157.54	23.5	0.0340
1.0264	158.07	39.2	0.0339

검토 결과 STATCOM mode의 평균 |ΔV[kV]/ΔQ[MVA]|는 0.0343의 특성을 보였다.

2.3.2 P, Q 조류의 최대 제어 범위

UPFC Pilot Plant의 P, Q 조류의 최대 제어 범위를 검토하기 위한 초기 운전 조건 및 가정은 다음과 같다.

- 초기 운전 조건 및 운전 전압 제한
  - V : 1.0178 P.U.
  - P : 31.2 MW
  - Q : 10.0 MVar
  - 강진 변전소의 운전 가능 최소 및 최대 전압 : 0.9 P.U, 1.1 P.U.

여기서 조류의 방향은 장충변전소에 강진변전소로의 흐름을 정(+)으로 가정

- 가정 : P, Q 조류의 최대 범위를 산정하기 위해서 병렬 제어 값은 초기 운전 조건인 1.0178 P.U.로 유

지시키고, P와 Q 중 하나의 제어 지정치를 초기 운전값의 고정시키고 고정되지 않은 물리량의 최대 운전 가능 범위를 산출함.

2.3.2.1 Case 1 : 2회선 설치 시

- a) 모선 전압과 Q의 제어 지정치를 초기 조건으로 고정
  - 순방향 최대 제어 유효전력 : 150.6 MW (삽입전압 크기에 의해서 결정)
  - 역방향 최대 제어 유효전력 : -86.0 MW (삽입전압 크기에 의해서 결정)

- b) 모선 전압과 P의 제어 지정치를 초기 조건으로 고정
  - 순방향 최대 제어 무효전력 : 110.0 MVar (운전 가능 최대 전압 크기에 의해서 결정)
  - 역방향 최대 제어 유효전력 : -40.0 MVar (인버터 용량에 의해서 결정)

2.3.2.2 Case 2 : 1회선 설치 시

- a) 모선 전압과 Q의 제어 지정치를 초기 조건으로 고정
  - 순방향 최대 제어 유효전력 : 89.7 MW (삽입전압 크기에 의해서 결정)
  - 역방향 최대 제어 유효전력 : -28.6 MW (삽입전압 크기에 의해서 결정)

이 경우 순방향, 역방향 최대 유효전력 제어 모두 순환 조류가 발생하였다.

- b) 모선 전압과 P의 제어 지정치를 초기 조건으로 고정
  - 순방향 최대 제어 무효전력 : 62.1 MVar (인버터 용량에 의해서 결정)
  - 역방향 최대 제어 유효전력 : -42.4 MVar (인버터 용량에 의해서 결정)

이 경우에도 순방향, 역방향 최대 유효전력 제어 모두 순환 조류가 발생하였다.

2.3.2.3 검토 결과

위의 Case 1, 2의 검토 결과를 표로 정리하면 표 2.3과 같다.

표 3.2 검토 결과

Case	유효전력 최대 제어 값[MW]		무효전력 최대 제어 값[MVar]	
	순방향	역방향	순방향	역방향
Case 1 (2회선설치)	150.6	-86	110	-40
Case 2 (1회선설치)	89.7	-28.6	62.1	-42.4

표 2.3에서 확인할 수 있듯이 2회선 설치의 경우에 UPFC의 유효전력 제어 범위 측면에서는 순방향의 경우는 1.7배정도 제어 영역이 넓고 역방향의 경우는 3배정도 제어 영역이 넓은 것으로 추정되었다. 무효전력의 제어에서는 2회선 설치의 경우가 순방향 제어 시 1.8배정도 제어 영역이 넓고 역방향의 경우는 비슷한 제어 영역을 가지는 것으로 추정되었다. 그리고 1회선 설치의 경우는 강진 변전소와 장충 변전소간의 UPFC가 설치되어 있지 않은 선로에 상당량의 순환조류가 발생하였다. 순방향 제어에서 제어 목표값에 따라 순환조류가 발생하는 정도를 그림으로 나타내면 그림 2.3과 같다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 강진 변전소에 설치예정인 UPFC Pilot Plant의 설치를 위한 기본 계통 해석을 수행하였다. 계통 해석에서는 강진 변전소의 단락용량과 UPFC의 제어 범위 및 제어 특성에 대해서 검토하였다. 계통 해석을 통하여 도출한 내용을 정리하면 다음과 같다.

○ STATCOM mode의 평균  $|\Delta V(kV)/\Delta Q(MVA)|$ 는 0.0343의 특성을 보였다.

○ 1회선 설치와 비교하여 2회선 설치의 경우에 UPFC의 유효전력 제어 범위 측면에서는 순방향의 경우는 1.7배정도 제어 영역이 넓고 역방향의 경우는 3배정도 제어 영역이 넓은 것으로 추정되었다. 무효전력의 제어에서는 2회선 설치의 경우가 순방향 제어 시 1.8배정도 제어 영역이 넓고 역방향의 경우는 비슷한 제어 영역을 가지는 것으로 추정되었다. 그리고 1회선 설치의 경우는 강진 변전소와 장흥 변전소간의 UPFC가 설치되어 있지 않은 선로에 상당량의 순환조류가 발생하였다.

추후 UPFC Pilot Plant 도입과 관련한 상세 계통해석과 제어 전략 수립에 대한 연구를 수행할 계획이다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] Laszlo Gyugyi, Colin D. Schauder and Kalyan K. Sen, "Static Synchronous Series Compensator : A Solid-State Approach to the Series Compensation of Transmission Lines", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 12, No. 1, pp. 406-417, Jan. 1997.
- [2] 김학만, 오태규, 장병훈, 추진부, "IPLAN을 이용한 UPFC 안정도 해석 전산 모형" 전기학회 논문지, 48권, 3호, pp. 220-225, 1999.
- [3] Power Technologies Inc., PSS/E-26 Power System Simulator Program Operation Manual & Application Guide.
- [4] P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill Inc., 1994.

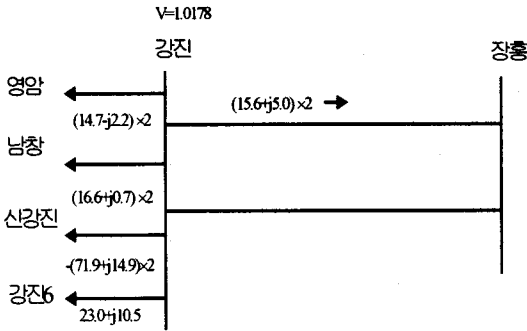


그림 a UPFC 설치 전 조류분포

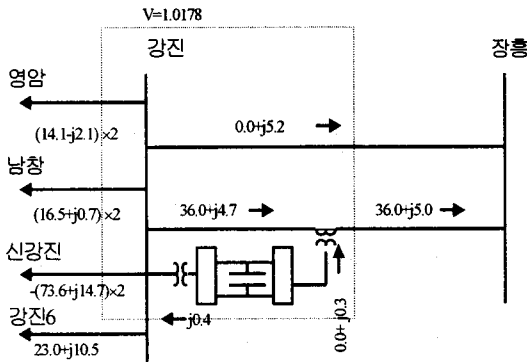


그림 b UPFC 설치 후 조류분포  
(P제어 목표값 : 36MW, Q제어 목표값 : 5.0MVar, 전압 제어 목표값 : 1.0178 PU)

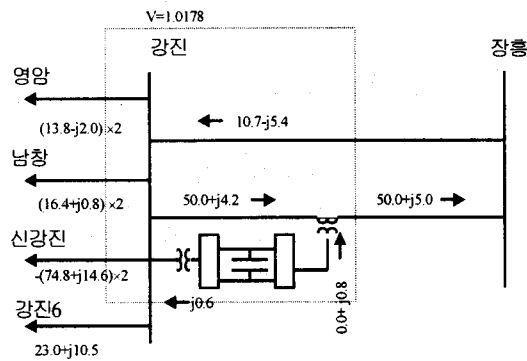


그림 c UPFC 설치 후 조류분포  
(P제어 목표값 : 50MW, Q제어 목표값 : 5.0MVar, 전압 제어 목표값 : 1.0178 PU)

그림 2.3 UPFC 제어에 의한 조류 분포

그림 b의 UPFC의 유효 및 무효전력의 수수관계는 유효전력의 경우는 선로로부터 직렬 인버터 쪽으로 0.0037 MW를 공급받고 무효전력의 경우는 직렬 인버터에서 선로로 0.3MVar 공급한다. 그리고 병렬 인버터는 전압 유지를 위해서 0.4MVar를 모선에 공급한다.