

# UPFC Pilot Plant의 계통 적용 효과 분석

■ 김학만, 오태규 / 한국전기연구원

## 서 언

현재 강진 154 kV 변전소에 80MVA급(병렬 : 40MVA, 직렬 : 40MVA)의 UPFC(Unified Power Flow Controller) Pilot Plant가 설치되어 시험 운전 중에 있다. UPFC는 FACTS(Flexible AC Transmission Systems) 기기 중 모선의 전압제어 및 조류 제어 능력을 가지는 직·병렬형 FACTS 기기로서 기본적인 구성은 그림 1과 같다. UPFC는 그림 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.

본 고에서는 강진 154 kV 변전소에 설치되어 있는 UPFC Pilot Plant의 조류제어와 인근 계통의 선로 차단 상정사고 시에 발생하는 저전압에 대한 제어효과에 대해서 시뮬레이션한 결과를 소개하고자 한다.

## 조류제어

UPFC Pilot Plant가 설치된 지역계통은 그림 2와

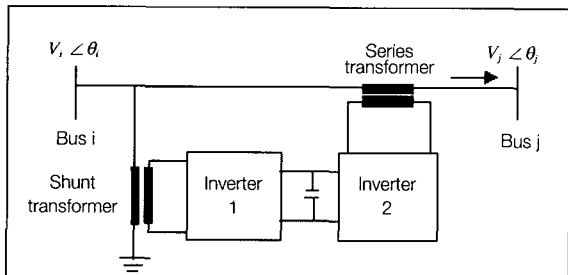


그림 1 UPFC의 기본 구성도

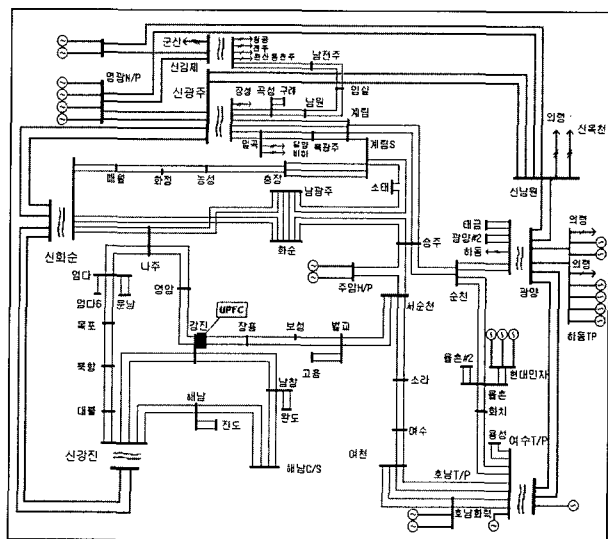
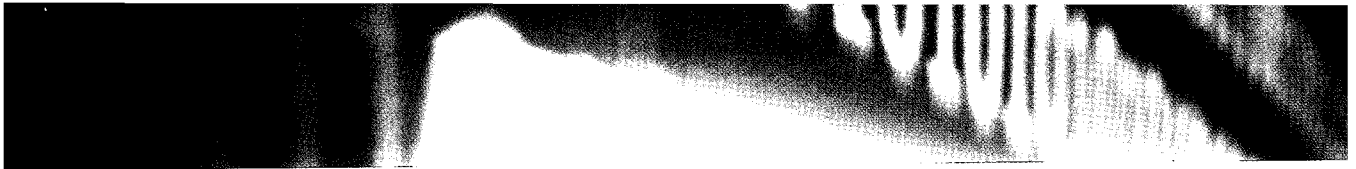


그림 2 검도 지역 계통도(2006년)



같다. UPFC Pilot Plant의 유효 및 무효전력의 제어 범위를 검토하기 위해서 조류의 방향은 장흥변전소에서 강진변전소로 흐르는 것을 기준으로 하여 다음과 같은 초기 운전 조건과 가정을 설정하였다.

- 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.
- 가정 : 조류의 최대 범위를 산정하기 위해서 병렬 제어 값은 초기 운전 조건인 1.0178 P.U.로 유지시키고, 유효전력과 무효전력 중 한 가지의 제어 지정치를 초기 운전 값에 고정시키고 고정되지 않은 물리량의 최대 운전 가능 범위를 산출.

모선 전압과 무효전력의 제어 지정치를 초기 조건으로 고정시키고 초기 조류방향과 역 조류방향의 최대 유효전력 제어량을 검토한 결과는 다음과 같다.

- 초기 조류방향 최대 유효전력 제어량 : 150.6 MW
  - 역 조류방향 최대 유효전력 제어량 : -86.0 MW
- 모선 전압과 유효전력의 제어 지정치를 초기 조건으로 고정시키고 초기 조류방향과 역 조류방향의 최대 무효전력 제어량을 검토한 결과는 다음과 같다.
- 초기 조류방향 최대 무효전력 제어량 : 110.0 MVar
  - 역 조류방향 최대 무효전력 제어량 : - 40.0 MVar
- 위의 결과에서 초기 조류방향 최대 유효전력 제어량과 역 조류방향 최대 유효전력 제어량은 제약 중 삼입전압 크기에 의해서 결정되었다. 그리고 초기 조류방향 최대 무효전력 제어량은 제약 중 운전 가능 최대 전압 크기에 의해서 결정되었으며, 역 조류방향 최대 무효전력 제어량은 제약 중 인버터 용량에 의해서 결정되었다. 위의 결과는 초기 운전조건에 따라서 결과가 달라질 수 있지만 조류 방향과 관계없이 UPFC의 조류제어 가능성을 확인할 수 있다.

## 전압 제어

모선 전압과 무효전력은 아주 밀접한 관련이 있다. 특히, 무효전력의 수수는 송전선 양단 모선 전압 크기에 의해서 결정되는데, 상정사고 발생 시에는 상정사고가 발생한 모선을 중심으로 전압이 크게 강하하며, 상대적으로 상정사고의 영향을 적게 받는 모선의 경우는 비교적 적은 전압 강하가 발생하여 모션간에 전압차가 발생하게 한다. 이런 계통 상황에서 전압의 크기가 큰 모션에서 전압이 낮은 모션으로 무효전력이 이동하게 된다. 따라서 상정사고 시 UPFC를 이용하여 무효전력을 공급하여 전압강하가 발생한 모선의 전압을 일정수준 이상으로 상승시킬 수 있는데, 본 고에서는 2003년, 2004년, 2005년, 2006년, 2010년 peak 및 off-peak 계통을 대상으로 UPFC의 전압 제어 효과를 검토한 결과를 간략히 소개하고자 한다. 검토를 위해서 저전압은 계통 운용을 고려하여 0.925 PU 미만으로 전압 강하가 발생하는 것으로 정의하였다.

UPFC의 제어 설정치를 변동하면서 적용 효과를 검토하였는데, 적용 효과 검토 시에 병렬단의 전압 제어값과 선로의 유효무효전력 제어값을 모두 만족시키는 것을 기본 제약 조건으로 설정하였다.

저전압 발생 상정사고에 대해서는 저전압이 발생하는 모든 모선 전압을 0.925 PU 이상으로 향상시키는 경우에 대해서 저전압 문제에 대해 UPFC의 적용 효과가 있다고 판단하였다.

- 전압 제어 설정값 : 범위는 0.95~0.99PU로 0.01씩 증가(상정사고에 따라 범위가 일부 변동됨)
- 유효전력 제어 설정값 : 상정사고 시 UPFC 설치 선로의 조류를 기준으로  $\pm 100$  MW를 범위로 하여 20 MW씩 증감
- 무효전력 제어 설정값 : 상정사고 시 UPFC 설치 선로의 조류를 기준으로  $\pm 100$  MVar를 범위로 하여 20 MVar씩 증감

검토 결과, 표 1의 상정사고 시 인근 모선에 발생하는 저전압 문제에 대해서 UPFC의 적용 효과가 있



었다. 표 1에서 P는 peak 계통을, OP는 off-peak 계통을 의미한다. 표 2는 검토 결과 한 예로서 2003년 peak 계통에서 신화순-신광주 345kV 2회선 차단 상정사고 시 저전압이 발생하는 모선과 UPFC 적용에 의한 전압 개선효과를 나타낸 것이다.

표 1 UPFC 전압 제어 효과 검토 상정사고

계통	2 회선 선로 차단 상정사고
2003 P	영광N/P - 신광주 345
	신강진 - 신화순 345
	신화순 - 신광주 345
2004 P	영광N/P - 신광주 345
	신강진 - 신화순 345
2006 P	광양 - 순천 154
	영광NP - 신광주 345
	신강진 - 신화순 245
2006 OP	신강진 - 대불 154
2010 P	신광주 - 계림 154
	광양 - 순천 154
	신남원 - 영광NP 345
	신남원 - 신광주 345
	소라 - 서순천 154
	목포 - 북항 154
2010 OP	신강진 - 대불 154

표 2 UPFC 전압 제어 효과 예

모선명	전압 [PU]		
	초기	상정사고 후	UPFC 제어 후
원도	1.0119	0.9229	0.9686
운남	1.0101	0.9235	0.9592
염다	1.0086	0.9227	0.9581
목포	1.0057	0.9157	0.9549
북항	1.0072	0.9171	0.9567
신강진 345	0.9843	0.8991	0.9373
남창	1.0124	0.9237	0.9692
해남	1.0143	0.9249	0.9691
대불	1.0103	0.9208	0.9621
진도	1.0133	0.9230	0.9677
신화순 345	0.9866	0.9003	0.9358

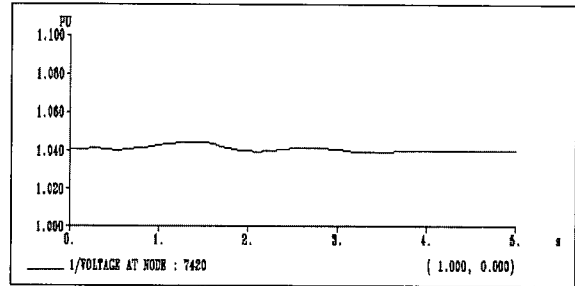
### 시간영역 시뮬레이션

앞에서는 정상상태 해석에 의한 UPFC Pilot Plant의 계통 적용 효과를 소개하였다. 본 절에서는 실제

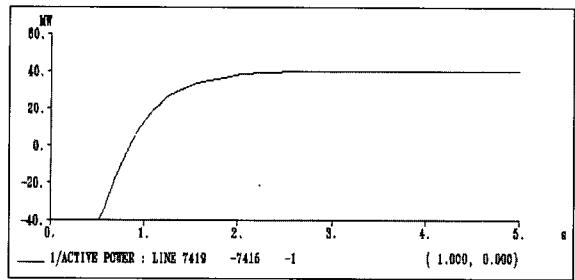
통 데이터를 이용하여 시간영역에서 UPFC의 제어 값 추종 능력을 시뮬레이션하여 결과를 소개하였다. 시뮬레이션은 표 3에 나타난 case들을 수행하였으며, 결과는 그림 2~4와 같다. 표 3과 그림 2~4에서 조류의 부호는 강진변전소에서 장흥변전소로의 조류 흐름을 기준 방향으로 가정한 것이다. 결과 그림에서 확인할 수 있듯이 효과적으로 제어가 가능함을 확인할 수 있다.

표 3 검토 case

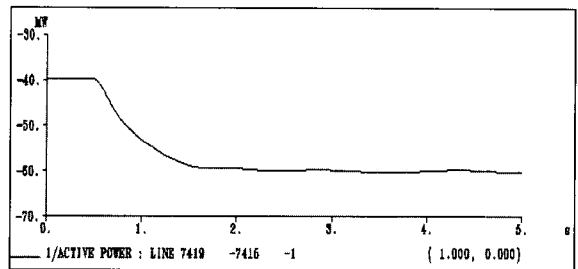
Case	전압[PU]	유효전력[MW]	무효전력[MVar]
초기 조건	1.041	-39.6	31.3
Case 1	1.04	40	0
Case 2	1.04	-60	31.3
Case 3	1.03	0	31.3



(a) 유효전력

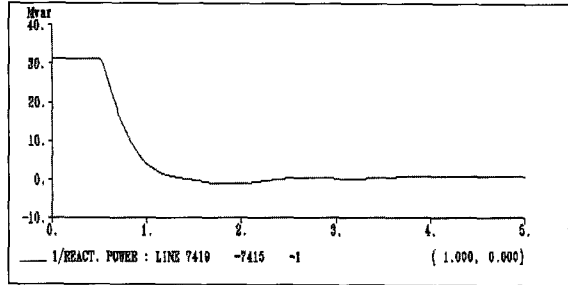
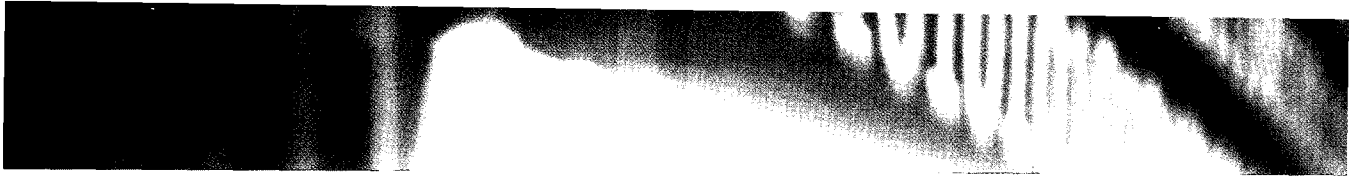


(b) 무효전력

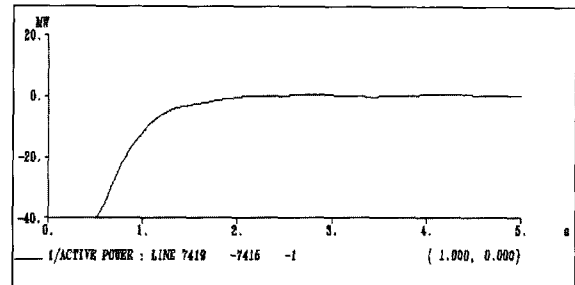


(c) 전압

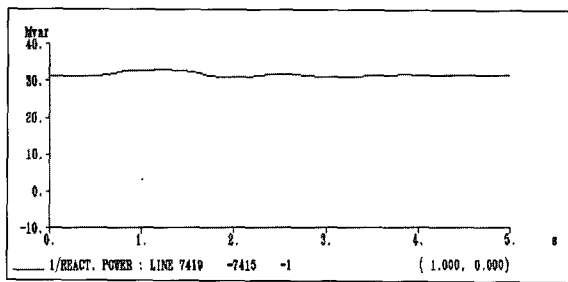
그림 2 Case 1의 시뮬레이션 결과



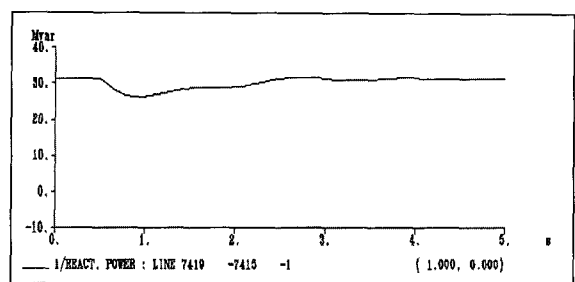
(a) 유효전력



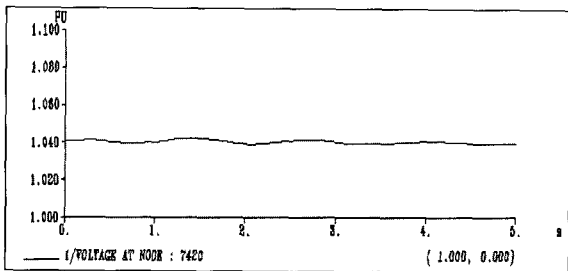
(a) 유효전력



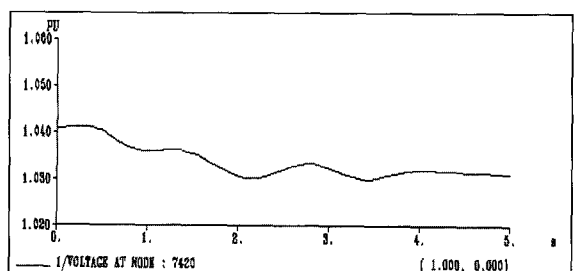
(b) 무효전력



(b) 무효전력



(c) 전압



(c) 전압

그림 3 Case 2의 시뮬레이션 결과

그림 4 Case 3의 시뮬레이션 결과

## 맺음말

여기서는 우리나라 154 kV 송전계통에 최초로 설치되어 시험 운전 중에 있는 80MVA 급 UPFC(직렬: 40MVA, 병렬: 40MVA) Pilot Plant에 대해 인근 지역 계통 여건 변화에 따른 조류제어범위, 상정고장 적용시의 저전압 보상효과, 그리고 제어목표치 추종능력의 시간모의 등에 대한 검토결과를 간략히 기술하였다. 제시된 검토결과에서와 같이 UPFC는 요구되는 전압 및 조류제어 효과를 제공하여 계통의 유연

성 향상을 위한 유용한 수단이 될 수 있음을 보여주었다. 또한 본 UPFC는 우리나라 실계통에 적용되는 최초의 인버터 기술을 기반으로 하는 직·병렬 보상 FACTS 설비로서 실계통 응용운영 측면에서 뿐만 아니라 관련 기술의 개발, 검증 및 실증시험에 활용성이 높은 아주 귀중한 연구설비이기도 하다. 이러한 관점에서 본 UPFC 설비는 국내 전력시스템 기술의 혁신을 위한 연구개발 활동에 적극적으로 활용될 수 있도록 제한적으로 개방하는 방안이 정책적으로 마련되어야 할 것으로 판단된다.