

강진 UPFC Pilot Plant의 제어 범위 산정을 위한 계통 해석

김학만, 김종율, 김정익, 오태규, 이학성
한국전기연구원, 효성중공업

System Study for Decision of Control Limits of UPFC Pilot Plant in Korea

Hak-Man Kim, Jong-Yul Kim, Jung-Ik Kim, Tae-Kyoo Oh, Hak-Sung Lee
KERI, HICO

Abstract - This paper presents a part of system study results for UPFC Pilot Plant application in Korea. The system study includes control limits of UPFC Pilot Plant. Expansion of control limits is studied by coordination to switched shunt capacitors in local areas. The system study is simulated by PSS/E Ver. 26.

1. 서 론

1980년대 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 능력뿐만 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, 국내에서도 현재 80MVA급 UPFC Pilot Plant가 현재 강진변전소에 건설이 진행중에 있으며, 2002년 말부터 시운전될 것으로 예상되고 있다. 이 UPFC Pilot Plant는 UPFC에 대한 운전 기술 습득과 추후 FACTS의 실제용 규모급 적용 가능성에 대한 다양한 검토가 이루어질 계획인데, 그 중 인근계통의 상정사고에 의해서 발생이 예상되는 저전압 및 과부하에 대해서 UPFC Pilot Plant의 제어 효과가 검토될 예정이다.

본 논문에서는 이를 위해 중장기 계통의 해석을 통하여 저전압과 과부하를 발생시키는 상정사고를 스크린하고 이에 대한 제어 범위 산정을 위한 계통해석 수행 결과를 소개하였다.

2. UPFC Pilot Plant

UPFC의 기본적인 구성은 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.

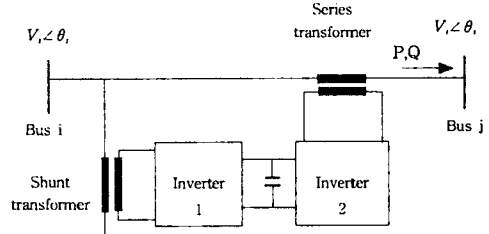


그림 1 기본 UPFC 구성

강진 변전소에 설치 예정인 UPFC Pilot Plant는 직렬 40MVA, 병렬 40MVA로 구성된다. UPFC Pilot Plant가 설치될 강진 변전소 부근 계통 구성은 그림 2와 같다.

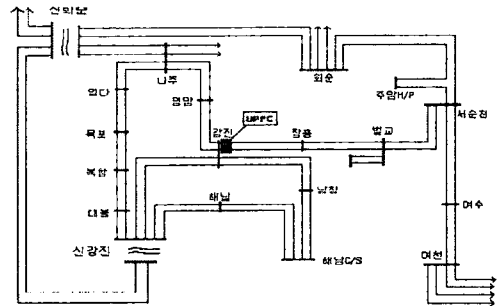


그림 2 강진 변전소 부근 계통 구성

3. UPFC Pilot Plant의 제어 범위 산정

3.1 제어 범위

UPFC의 운전 제어 범위를 제어 가능, 전압 향상 및 과부하 저감 등을 고려하여 다음과 같이 분류하였다.

- 제어 가능 범위 : 병렬단의 전압 제어치와 선로의 유, 무효전력 제어치를 모두 만족시키는 운전 범위
- 모선 전압 향상 제어 범위 : 제어 가능 범위 중 모선 전압을 0.925 PU 이상 향상시키는 제어 범위
- 과부하 저감 제어 범위 : 제어 가능 범위 중 과부하 선로의 과부하율을 120% 이하로 저감시키는 제어 범위
- 상정사고 운전 제어 범위 : 제어 가능, 모선 전압 향상 및 과부하 저감을 모두 만족하는 운전 제어 범위

검토 방법은 다음과 같다.

- 전압 제어 설정치 : 범위는 0.95 - 0.99 PU로 0.01씩 증가
- 유효전력 제어 설정치 : 고장시 UPFC 설치 선로의 조류를 기준으로 ± 100 MW를 범위로 하여 20 MW씩 증감
- 무효전력 제어 설정치 : 고장시 UPFC 설치 선로의 조류를 기준으로 ± 100 MVar를 범위로 하여 20 MVar씩 증감

전압 제어치별로 다양한 운전 제어 범위가 산정되지만 여기서는 2가지 경우에 대해서만 검토 결과를 기술하였다.

3.1.1 Case 1

적용 계통은 2003년 Peak 계통으로 7600-7500 345 kV 2회선 차단 상정사고시 발생하는 과부하와 저전압은 다음과 같다.

표 1. 계통 과부하 선로 및 변압기

선로	상정사고 이전 [%]	상정사고 이후 [%]
7225-7616	35.16	123.77

표 2. 저전압 모션

모션	상정사고 이전 [PU]	상정사고 이후 [PU]
7380	1.0048	0.9196
7390	1.0063	0.9209
7400	0.9838	0.9026
7470	1.0096	0.9246
7500	0.9861	0.9037

다음 그림 3~6은 전압 제어치 0.97 PU일 때의 각 운전 제어 범위를 나타낸 것이다.

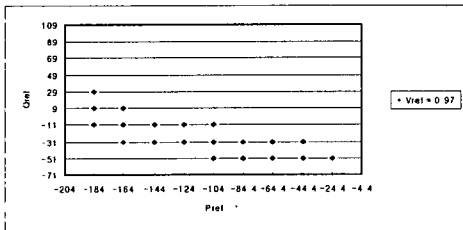


그림 3 제어 가능 범위

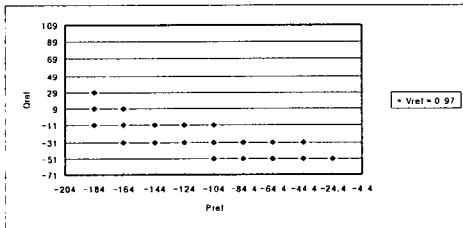


그림 4 모션 전압 향상 운전 제어 범위

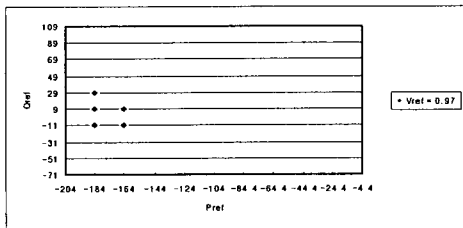


그림 5 과부하 저감 제어 범위

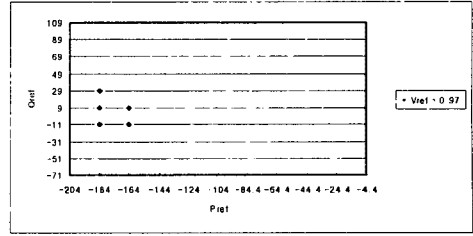


그림 6 상정사고 운전 제어 범위

3.1.2 Case 2

적용 계통은 2004년 Peak 계통으로 7150-7600 345 kV 2회선 차단 상정사고시 발생하는 저전압은 다음과 같다.

표 3. 저전압 모션

모션	상정사고 이전 [PU]	상정사고 이후 [PU]
7400	0.9836	0.9171
7500	0.9865	0.9203

그림 7~9는 전압 제어치 0.96 PU일 때의 각 운전 제어 범위를 나타낸 것이다. 이 상정사고의 경우는 과부하 선로가 발생하지 않아 과부하 저감 제어 범위에 대해서는 검토하지 않았다.

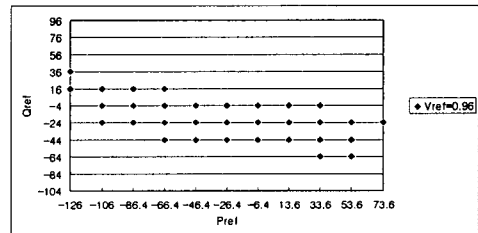


그림 7 제어 가능 범위

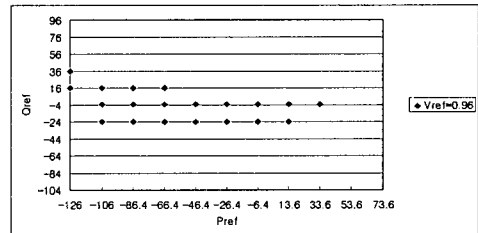


그림 8 모션 전압 향상 운전 제어 범위

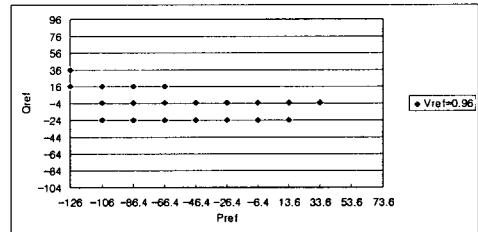


그림 9 상정사고 운전 제어 범위

3.2 조상설비와 협조 제어시 제어 범위

인근 switched shunt 커패시터와의 협조 제어시 운전 제어 범위에 대해서 검토하였다. 해당 지역 계통에서 고려한 조상설비의 수는 29개이며 인공지능 최적화 기법인 Genetic Algorithm을 이용하여 조상설비의 투입량을 결정하였다. 모션 전압이 가능한 0.97 PU ~ 1.03 PU 사이에서 분포하

도록 식 (1)~(5)와 같이 적합도를 선정하였다. 그리고 사용한 GA 파라미터는 다음 표 4와 같다.

$$fitness = \frac{1}{V_d + Penalty} \quad (1)$$

$$0.97 \leq V_k \leq 1.03, V_{d,k} = 0 \quad (2)$$

$$0.925 \leq V_k < 0.97, V_{d,k} = (0.97 - V_k) \quad (3)$$

$$1.03 < V_k \leq 1.05, V_{d,k} = (1.05 - V_k) \quad (4)$$

$$0.925 > V_k \text{ 또는 } V_k > 1.05, Penalty = a \quad (5)$$

여기서, $V_d = \sum_k V_{d,k}$ 이며 V_k 는 k 번째 모선 전압 [PU], $V_{d,k}$ 는 k 번째 모선 전압과 설정값의 편차, a 는 임의의 상수이다.

표 4 GA 파라미터

GA 파라미터	설정값
해집단 수	50
세대수	30
교배확률	0.85
돌연변이 확률	0.05

Case 2에 대해서 조상설비와의 협조로 결정된 상정사고 운전 제어 범위는 그림 10과 같다. 그림에서 실선 부분은 UPFC만의 제어에 의한 상정사고 운전 제어 범위이고 점선 부분은 조상설비와의 협조에 의해서 확장된 상정사고 운전 제어 범위를 나타낸 것이다.

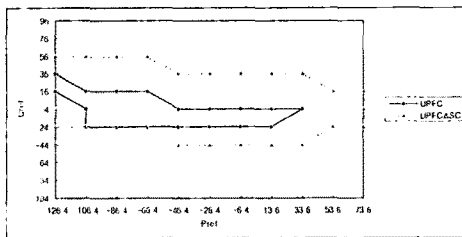


그림 10 조상설비와의 협조시 상정사고 운전 제어 범위

3.3 검토 결과

본 논문에서는 전압 제어와 과부하 저감을 목적으로 하는 경우 상정사고 운전 제어 범위가 상당히 제약받는 경향을 보였다. 그러나 조상설비와 협조를 통하여 상정사고 운전 제어 범위가 상당 부분 확장됨을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 중장기 계통의 해석을 통하여 저전압과 과부하를 발생시키는 상정사고에 대해서 제어 범위 산정을 위한 방법과 계통해석 수행 결과를 소개하였다.

전압 제어와 과부하 저감을 목적으로 하는 경우 상정사고 운전 제어 범위가 상당히 제약받는 경향을 확인하였으며, 조상설비와 협조 제어를 할 경우는 상정사고 운전 제어 범위가 상당 부분 확장됨을 확인하였다.

본 논문에서는 최적화 기법인 GA를 이용하였으나 추후 최적화의 관점보다는 실용적인 측면에서 조상설비의 투입량을 결정하는 기법을 개발할 예정이다.

[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.
- [5] David E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.