

우리나라계통의 복상조류 풍대를 위한 FACTS 적용방안 연구

장병훈* 문승필* 윤종수* 김수열* 백두현*
KEPRI*

Feasibility Study of FACTS Application for Available Transfer Capability Enhancement in Korean Power System

Byunghoon Chang* Seungpil Moon* Jongsu Yoon* Sooyeol Kim* Doohyun Baek*
KEPRI*

Abstract - Korea Electric Power Corporation (KEPCO) is in charge of the operation and the maintenance for transmission lines and substations in Korean power system which is under the deregulation power market. KEPCO has a main constrain of transmission line toward SEOUL area which is a capital of KOREA because SEOUL is a huge load of Korean power system. The Korea Electric Power Research Institute (KEPRI), a division of KEPCO was tasked to study the ATC enhancement of transmission line toward SEOUL using a new line or/and FACTS. This paper summarizes the results of those studies, enhancing the ATC and evaluating the economics.

1. 서 론

현재 우리나라는 지속적인 경제 성장과 생활수준의 향상으로 인하여 전력수요가 급격하게 증가하고 있다. 이러한 전력수요를 충족시키기 위해서는 새로운 발전소를 건설하고, 전력전송설비를 증대시켜야 한다. 그러나 이러한 작업들은 환경과 지리적인 문제 등 여러 가지 사회적, 경제적 제약이 따르고 있다. 이에 따라 기존에 설치된 대규모 송전망을 큰 변경 없이 활용하면서 자연 조류방식이 갖는 여러 가지 제약조건을 해결하고, 전송 효율을 극대화하며 기존의 전력설비를 보다 효율적으로 이용할 수 있는 고속, 정밀한 전력조류 제어 기술의 확보가 시급한 실정이다. 이러한 상황에서 유연송전시스템(FACTS)은 전력 조류를 자유로이 조절하여 송전망 수송 능력과 설비 이용률을 향상시켜 전력시스템을 안정하게 운영하는 데에 큰 도움이 될 수 있다. 선진 각국에서는 이미 FACTS에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔고 실제계에 응용하고 있다. 우리나라도 그간의 연구를 바탕으로 강진 변전소에 UPFC를 설치하여 가동하기 시작했으며, 앞으로도 FACTS 기기는 확대 적용될 것으로 예상되고 있다.

FACTS 기기가 전력계통에 설치될 경우 그 특성이 기존 계통과는 확연히 달라질 수밖에 없으므로 대규모적인 적용을 위해서는 정밀한 해석기술을 바탕으로 한 운용 및 제어기법을 필요로 한다. 그간의 연구를 통하여 FACTS 기기의 모델링 및 해석 기술이 개발되어 왔는데, 향후 FACTS 기기의 대규모적인 계통 적용을 위해서는 FACTS 기기가 계통에 미치는 영향을 정확히 평가, 분석하고 주변 계통 상황에 따라 적절한 운용 전략을 수립해야 할 필요성이 있다.

본 논문에서는 2005, 2007, 2010, 2015년 한전 계획계통에 대한 계통 검토를 하여 추후 FACTS 기기 설치의 위치 선정과 용량의 검토를 하게 된다. 따라서 중장기 계통의 데이터를 분석 검토하여 중장기 계통의 가혹한 상정사고 및 이에 따른 취약지역을 선정하고, 투입 목적에 따른 FACTS 기기 설치의 위치 선정과 용량의 검토

을 하게된다.

그림1.1에서의 같이 수도권과 비수도권을 융통하는 선로를 345kV 이상 송전선로인 ①~⑥의 6개 선로로 정의한다. 수도권 발전 감소와 비수도권 발전 증가 시나리오는 연구대상 지역(수도권)의 발전력을 감소시키며 이 감소 발전력을 비 연구대상 지역(비수도권)의 발전기에 분배하는 시나리오로서 부하수준을 변화시키지 않고 연구대상 지역으로 주입되는 융통전력을 증가시킨다. 본 논문에서는 이 시나리오를 이용하여 수도권 융통전력의 전압 안정도 한계를 결정한다.

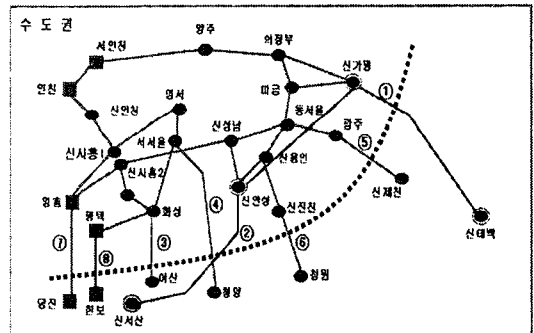


그림 1.1 2007년 복상조류 담당선로

2. 본 론

2.1 중장기 계통 분석

중장기 계통의 FACTS 투입 후보지를 선정하기 위해서는 우선적으로 계통을 분석하는 절차가 필요하다. 이 과정에서 각 중장기 계통에서 상정사고를 선정하고 각 상정사고에 대하여 전압안정도 측면과 과도안정도 측면에서 검토하였다. 전압안정도 측면에서는 유효전력 및 무효전력 또는 감소해석 등을 통해서 취약 검토 개소를 선정하였고, 과도안정도 측면에서는 상정사고 스크리닝을 우선적으로 실시하고 위험하거나 위험가능성이 있는 상정사고에 대하여 상세한 시모의를 실시하여 발산하게 되는 위험 발전기 군을 선정하는 방법을 사용하였다.

2.1.1 검토 방안

- 1) 상정사고 선정
 - 수도권 환상망과 융통선로 사고를 기준으로
- 검토
 - 345kV 선로의 2회선 Route 사고
 - 765kV 선로의 1회선 ckt 사고
 - ※ 발전기 인출선로 및 지중선로 제외
- 2) 안정도 검토 방안

구분	전압안정도	과도안정도	용동조류
해석방안	유효전력 여유 검토 ↓ 무효전력 여유 검토	상정사고 스크리닝 ↓ 상세 시모의	수도권 발전감소 비수도권 발전 증가

2.1.2 중장기 계통 분석 결과

중장기 계통의 peak 및 off-peak 계통을 검토하였다. 검토대상 계통은 한전계획계통 2005년, 2007년, 2010년 peak 및 off-peak, 2015년 peak 계통이었다. 이에 대한 결과는 아래 [표 2. 1]과 [표 2. 2]에 나와 있다.

표 2. 1 PEAK 계통

구분	선정된 가혹한 상정사고	취 약 지 역	
		전압안정도	과도안정도
2005년	양주3-신인천CC	양주, 미금, 동서울	-
	화성3-아산3	화성, 신안성, 신용인	평택 발전기군
	양주3-의정부3	미금, 동서울, 신가평	-
	광주3-신제천3	동서울, 미금, 신용인	-
	서서울3-청양	화성, 신시흥, 신성남	-
2007년	양주3-신인천cc	양주, 미금, 신가평	-
	화성3-아산3	화성, 신시흥, 신용인	-
	광주3-신제천3	동서울, 미금, 신가평	-
	신양재3-신성남3	신성남, 동서울, 신용인	-
	영서3-서서울3	신시흥, 동서울, 신성남	-
	동서울3-광주3	동서울, 미금, 신가평	-
	신안성7-신서산7	신안성, 신가평, 신용인	-
	신안성3-신용인3	신용인, 동서울, 미금	-
	신가평7-신태백7	신가평, 동서울, 미금	-
	서서울3-청양3	화성, 신시흥, 신성남	-
2010년	신안성3-신용인3	신용인, 동서울, 미금	-
	영서3-서서울3	신시흥, 신가평, 신안성	-
	신안성7-신서산7	신안성, 신가평, 신용인	당진 발전기군
	서서울3-신온양SW	화성, 신시흥, 신안성	-
	신가평7-신태백7	신가평, 동서울, 미금	-
	화성3-아산3	화성, 신시흥, 신안성	-
	광주3-신충주	동서울, 미금, 신가평	-
	동서울3-광주3	동서울, 미금, 신성남	-
	신인천3-신시흥3	신시흥, 화성, 신가평	-
	신가평3-미금3	미금, 동서울, 신용인	-
2015년	신가평7 - 신태백7	미금, 동서울, 신용인	-
	신파주- 서인천 CC	양주, 미금, 동서울	-

표 2. 2 OFF-PEAK 계통

구분	선정된 가혹한 상정사고	취 약 지 역	
		전압안정도	과도안정도
2005년	신인천3- 신시흥3	양주, 미금, 동서울	-
2007년	신인천3- 신시흥3	양주, 미금, 동서울	-
2010년	신인천3- 신시흥3	양주, 미금, 동서울	-

2.2 FACTS 적용 방안

2.2.1 FACTS 후보지 선정

전압안정도는 지역적인 문제이기 때문에 전압안정도 측면에서 취약 검토 개소나 그 부근에 직접 FACTS가

기를 투입하는 것이 효과적인 방안이다. 1차년도에 취약 검토 개소 도출을 위하여 중장기 계통에 대한 Q-V 해석 결과 전압안정도 향상을 위한 FACTS 투입 후보지는 아래 표 2. 3로 결정하였다.

표 2. 3 전압안정도 향상을 위한 FACTS 투입 후보지

구분	각 연도별 투입 후보지	FACTS 투입 후보지
2007년	양주, 미금, 신가평, 화성, 신안성, 신용인, 신시흥, 신성남, 동서울	양주, 미금, 동서울, 신가평, 화성, 신안성, 신시흥, 신용인, 신성남
2010년	신용인, 동서울, 미금, 신시흥, 신가평, 신안성, 화성, 양주	
2015년	미금, 동서울, 양주, 신용인	

과도안정도 측면에서 봤을 때 2007년, 2010년, 2015년 중장기 계통 분석결과 발전기 인출단 사고를 제외한 모든 상정사고에 대해서 안정한 결과가 나왔기 때문에, 과도안정도 향상을 위한 FACTS 투입 후보지는 선정되지 않았다.

최종 FACTS 투입 후보지는 그림 2.1과 같이 2007년도 peak계통과 2010년도 peak계통에서 투입 후보지 1곳에 100MVar, 200MVar를 투입한 경우 가장 효과가 좋은 지역으로 미금, 동서울, 신용인을 선정하였다

미금	동서울	신용인
----	-----	-----

그림 2. 1 최종 FACTS 투입 후보지

2.2.2 FACTS 투입 방안

정상상태 분석을 통한 FACTS 투입 방안에 대한 주요 고려사항은 그림 2.2와 같다. 중장기 계통 검토를 통해 선정된 FACTS 투입 후보지에 대하여 상정사고를 검토하였다. 조류계산 수렴을 위해 투입해야 할 FACTS 용량 산정을 위해 유효전력 여유해석을 실시하였다. 유효전력 여유해석은 크게 P-V 해석과 용동 조류 여유 해석을 위한 f-V 해석이 있다.

또 상시 저전압 모션의 발생하는 경우 기준전압 목표치를 만족시키기 위한 FACTS 용량 선정 및 투입 효과를 검토할 수 있다. 또 정적 분석을 통하여 혼잡비용 최소화 및 손실 최소화를 위한 FACTS 투입 방안을 연구할 수 있다.

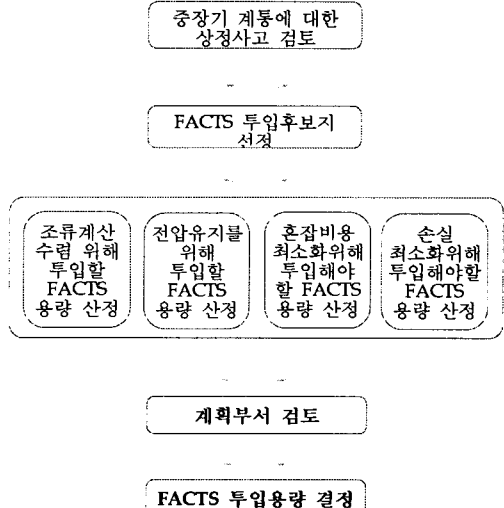


그림 2. 2 정상상태 분석을 통한 FACTS 투입 방안

그림 2.3은 동특성 분석을 통한 FACTS 투입 방안에 대한 주요 연구 방향을 나타내고 있다.

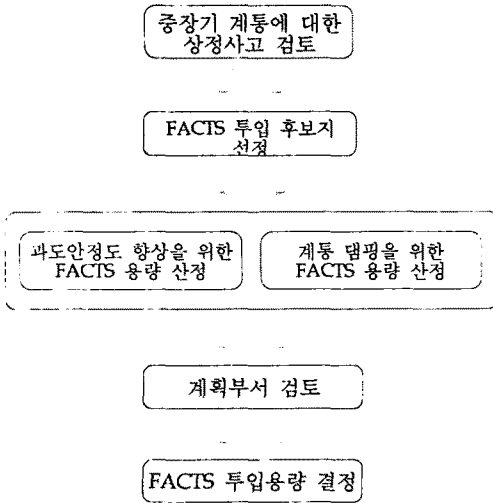


그림 2.3 동특성 분석을 통한 FACTS 투입 방안

동특성 분석시 크게 다음 두 가지를 고려할 수 있다. 하나는 계통에 과도한 외란 발생시 계통이 안정화된 운전점을 가질 수 있는가이고 다른 하나는 계통의 댐핑이 충분한가이다. 계통 검토 결과 과도안정도 측면에서 심각하거나 취약 검토 개소가 도출되지 않았기 때문에 과도안정도 향상을 위해 투입해야하는 FACTS의 용량은 결정하기 위한 모의는 실시하지 않았고, FACTS를 투입함으로써 사고 진행 동안에 voltage deep, 또는 사고 제거 이후 전압이나 발전기 위상각의 댐핑에 대한 연구를 진행하였다.

2.3 FACTS 적용효과 분석 방안

2.3.1 유통전력 분석

중장기 계통에 대한 상정사고에 대하여 P-V 해석을 하였고, 마진이 2%를 만족하지 않는 사고를 주요 상정 사고 set으로 선정하였다. 여기서 2% 마진은 보다 가혹한 상정사고로 나누기 위한 기준으로 임의로 정하였다.

계통 검토 결과 2% 마진을 충족시키지 못하는 주요 관심 상정사고는 표 2.4에 나와있다.

표 2.4 주요 상정사고시 유효전력 한계

구분	Transfer Limit	마진 (MW)	마진 (%)
2007년 Peak	양주-신원천	55176	351 0.64
	화성-아산	55461	636 1.15
	광주-신체천	55899	1074 1.92
2010년 Peak	영서-서서울	60830	514 0.84
	신안성-신서산	60704	388 0.64
	서서울-신은양	60840	524 0.86
	신가평-신태백	60716	400 0.66
	화성-아산	61065	749 1.23
	광주-신중주	61327	1011 1.65
신원천-신시흥	61430	1114 1.81	
	신가평-미금	61496	1180 1.92

표 2.4에서 가장 가혹한 상정사고인 2010년 신안성-신서산 사고 발생시 Base Case의 유효전력 한계는 388[MW]이고, % 마진은 0.64%이며, 이에 대한 유효전력 마진 향상을 위한 FACTS 적용효과를 분석하였다. FACTS 적용 위치는 그림 2.1에서 선정된 3개 후보지에 대한 조합으로 7개 경우에 대해, 용량은 100MVar,

200MVar 2개안으로 분석하였으며, 그 결과는 표 2.5와 같다.

표 2.5 FACTS 적용효과 분석

투입위치	100MVar 투입시		200MVar 투입시	
	Δ마진 (MW)	마진 (%)	Δ마진 (MW)	마진 (%)
동서울	+172	0.92	+332	1.18
미금	+165	0.91	+331	1.18
신용인	+162	0.90	+326	1.17
미금&신용인	+329	1.17	+664	1.71
동서울&미금	+332	1.18	+670	1.72
동서울&신용인	+329	1.17	+665	1.72
동서울&미금&신용인	+499	1.45	+696	2.22

2.3.2 경제성 분석

수도권 지역에 FACTS 기기를 투입 시 수도권 유통전력 증가에 따라, 수도권 발전력의 일부를 발전 단가가 상대적으로 낮은 비수도권의 발전기군으로 이동시킴으로써 좀더 저렴한 가격(cost)의 전력공급이 가능하다. 따라서 표 2.6과 같은 방안으로 FACTS 투입에 따른 혼잡비용 감소를 정량화할 수 있다.

표 2.6 FACTS 적용시 경제성 평가 방안

분류	제약조건	구분
Notional Dispatch	전력수급조건	A
Base Case 제약급전 계획	계통제약조건	B
FACTS 포함 제약급전 계획	계통제약조건	C

• Base Case 혼잡비용 : B의 발전비용 - A의 발전비용
 • FACTS 적용시 혼잡비용 : C의 발전비용 - A의 발전비용
 • FACTS 적용시 혼잡비용 경감액 : (B-A) - (C-A) = B - C

3. 결 론

2007년도 peak, 2010년도 peak 계통에서 취약검토 개소의 향상을 위해 FACTS를 투입 장소 및 용량을 선정하기 위해서 P-V 해석을 사용하였다. 그 결과로 선정된 최적 위치는 동서울, 미금, 신용인이 도출되었다. 여기서, 대상위치 한 곳에 병렬형 FACTS가 투입된 경우 투입용량의 약 1.72배(동서울 100MVar 투입, 172MW 증가) 유효전력 증가 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한, 2개 위치에 모두 투입하는 경우를 비교하면, 투입용량의 약 1.66배(동서울,미금 각100MVar 투입, 332MW 증가) 유효전력 증가 효과가 있는 것으로 나타났다.

[참 고 문 헌]

- [1] CIGRE FACTS SOCIETY, "FACTS OVERVIEW", CIGRE, 95 TP 108, 1995. 4
- [2] EPRI "Voltage Stability/Security Assessment and On-Line Contro", TR-101931, Final Report Vol. 1, 1993. 4
- [3] B. Gao, G.K. Morison, and P. Kundur, "Voltage Stability Evaluation Using Modal Analysis", IEEE PES Summer Meeting San Diego, California, July 28 - August 1, 1991.
- [4] Wu, F., Monticeli, A., "Critical Review of External Network Modelling for Online Security Analysis" Electrical Power & Energy Systems, Vol. 5, No. 4, 1983.