

다기 FACTS 협조제어를 위한 전압안정도 평가 지수 연구

박건수, 강상균, 이병준, 장병훈*
고려대, 전력연구원*

Study on Voltage Stability Indices for Multiple FACTS Control

Gun-Soo Park, Sang-Gyun Kang, Byong-Jun Lee, Byung-Hoon Chang*
Korea University, KEPCO*

Abstract - 우리나라 계통(KEPCO System)은 수도권지역의 부하집중과 장거리 송전, 발전단가 등의 경제적인 문제로 인해 계통의 안정도 문제가 대두되고 있다. 이에 계통의 안정도 향상을 위해 양주, 미금, 동서울 세 지역에 FACTS 기기를 투입하게 되었다. FACTS기기는 전력전송의 향상을 가져 오고 계통에 연결된 여러 전력기기들의 활용을 극대화시킬 수 있는 장점이 있다. 이러한 FACTS 기기의 투입이 우리나라 계통 안정도의 큰 향상을 위하여 효율적인 운용방안 필요하다. 이에 본 논문에서는 FACTS 기기의 협조 운전 전략을 위한 계통 검토와 FACTS 운전 전략을 확립하고자 한다.

1. 서 론

우리나라 계통은 수도권 지역에 대부분의 부하가 집중되어 있고 매년 부하가 증가 추세에 있다 또한 대규모 발전단지가 편중되어 있어 장거리 송전을 해야 하는 특징을 가지고 있다. 이러한 계통특징은 전 세계적으로 경험하고 있는 '전압불안정 (Voltage instability)' 및 '전압붕괴 (Voltage collapse)'의 직·간접적인 요인으로 작용하게 된다. 이에 따라 전압안정도 측면에서 대책방안을 수립하는 연구가 절실히 요구되고 있고 우리나라 계통의 전압안정성 유지를 위해 실제적으로 적용되고 있는 방안은 무효전력원 투입에 해당한다.

유연 AC 전송 시스템인 FACTS 기기는 대규모 송전망 설치되어 계통 구성의 큰 변동 없이 전력 전송효율을 극대화하며 기존의 전력설비를 보다 효율적으로 이용할 수 있는 고속, 정밀 전력조류 제어 기기이다. 이 FACTS 기기는 송전망 수송 능력 향상과 설비 이용률을 극대화 시켜 전력시스템의 안정도를 향상하는데 큰 도움이 될 수 있다. 이미 전진 각국에서는 FACTS에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔고 실제 계통에 많이 활용되고 있다.

우리나라의 계통에 설치되어 있는 FACTS 설비로 강진 변전소의 UPFC, 대구 변전소의 SVC가 운전되어 운전 경험이 있지만, 전압안정도 측면에서 중요한 수도권 지역에서의 운전 경험은 전무하다. 따라서 향후 설치 운영될 다기의 FACTS 설비간의 협조 운전 제어 방안의 검토가 요구된다.

본 논문에서는 수도권 지역의 무효전력 및 전압안정도 여유 확보를 위해 미금, 동서울, 양주 FACTS기기들의 협조 운전 전략 수립을 위한 계통 검토 방안에 대하여 논의할 것이다.

2. 본 론

2.1 우리나라 계통의 FACTS 제어 목적

병렬형 FACTS기기는 계통에 빠르게 무효전력을 공급함으로써 모선 전압 프로파일을 향상시키고, 계통의 안정도를 향상시켜 준다. 모선 전압 프로파일을 향상시키기 위한 기기로는 FACTS기기 이외에도 변압기 탭, 스위칭 커패시터 등 여러 장치가 있다. 일반적으로 개별 FACTS 제어라는 개념이란 변전소 내에서는 위의 언급한 기기들과 FACTS 간의 협조 운전으로 지역 시스템의 전압 프로파일 향상과 시스템의 damping 향상이 목적이 된다고 할 수 있다. 그러나 이러한 기기들이 개별적으로 운전을 하게 되는 경우, 계통의 여러 문제점을 발생시킬 수 있다. 각각의 개별 FACTS기기와 전압, 무효전력 보상기들이 계통의 외란 발생 시 각각의 운전 목적에 따라 운전될 경우 계통이 과보상되고 이에 따라 계통의 안정도에 문제가 생기게 된다.

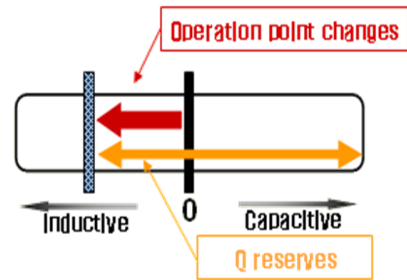
우리나라 계통의 전압안정도 관점에서 취약 지역이 수도권 지역에 밀집되어 있고 향후에 설치될 양주, 미금, 동서울 변전소의 FACTS기기가 안정적이고 효율적으로 운영되기 위해서는 협조제어를 하는 것이 필요하다. 이러한 FACTS기기는 모두 무효전력원으로 계통의 전압안정도 향상에 큰 역할을 할 것이라 기대된다. 따라서 본 논문에서는 우리나라의 FACTS 협조 제어 목적을 수도권 지역의 전압안정도 확보에 초점을 맞추어 논의 하도록 한다.

2.2 전압안정도 평가 지수

일반적으로 계통의 안정도를 평가하는 지수는 여러 가지가 있는데 보통 유효, 무효전력 여유지수, 무효전력 예비력, 전압 프로파일 등이 있다. 이러한 안정도 지수들을 이용하여 국내 계통에 적합하고 FACTS기기가 투입되는 수도권지역의 안정도를 확보하기 위한 목적으로 협조제어의 특성을 잘 반영할 수 있는 지수를 선정하고자 한다. 본 논문에서는 위의 전압안정도 지수에서 적합한 지수를 이용하여 우리나라 계통 검토를 수행하고 FACTS기기 협조제어의 효과에 대하여 살펴보기로 한다.

2.3 다기 FACTS 협조제어를 위한 국내계통 검토방안

위에서 언급한 여러 전압안정도 지수 가운데 일부를 선정하여 국내 계통을 검토하고자 한다. 전반적인 계통의 안정도 확보와 특히 FACTS협조제어의 효과를 보이기 위해서는 수도권내의 안정도 여유 확보가 우선시 되어야 한다. 수도권내의 안정도 여유 확보를 위해서는 개별 FACTS 기기가 다양한 사고들을 대비해 순동예비력을 확보하고 있어야 한다. 즉 FACTS기기가 보통의 계통 상태에서 inductive 영역으로 운전을 함으로써 사고 시 무효전력을 공급할 수 있는 여유를 가지도록 하는 것이다.



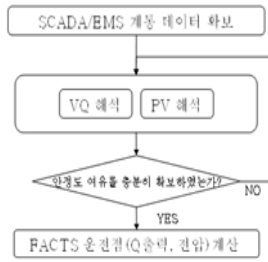
FACTS operating point

<그림 1> 다기 FACTS 협조운전 기본 개념

FACTS기기의 협조제어가 수도권지역의 안정도 확보를 목적으로 하고 있기 때문에 계통전체에 대한 안정도 지수 활용은 효과를 보이기 어렵다. 즉 수도권지역과 같은 특정 지역(Local)의 안정도관별을 위한 지수를 이용해야 하는데 이에 무효전력여유(VQ)해석이 적합하다. VQ 해석은 상정사고와 해당모선과의 관계를 나타내는 지표이다. "A"모선이 "B"모선보다 상정사고 이후 절체적인 무효전력 여유량이 더 작다면 해당 상정사고에 대해서 "A"가 "B"보다 사고에 대해서 더 민감한 모선이라고 판단할 수 있고, 무효전력의 국지적 특성에 의해 "A"에 무효전력을 투입하는 것이 보다 효과적이라고 간주할 수 있다. 본 논문에서는 식 (1)과 같이 정규화된 무효전력 여유량을 지수로 이용하고자 한다.

$$VQVI = \frac{\text{사고이전 } VQ\text{마진} - \text{사고이후 } VQ\text{마진}}{\text{사고이전 } VQ\text{마진}} \times 100(\%) \quad (1)$$

수도권 지역의 안정도를 관별하는 지수의 하나로 Local PV 해석을 활용하였다. 수도권 지역의 안정도에 큰 영향을 미치는 상정사고를 바탕으로 수도권 지역의 발전량과 부하량이 증가할 시에 개별 FACTS 기기들의 협조제어로 PV 안정도 여유를 확보하는 방안이다. 이 Local PV 해석과 모선별 VQVI 관별 후에 안정도 향상을 위해 요구되는 Q량을 산정하고 이 Q량을 FACTS가 확보하여 inductive 영역으로 운전함으로써 수도권 계통의 안정도를 향상시키는 것이다.



〈그림 2〉 대기 FACTS기기 협조제어 흐름도

2.4 사례연구

대기 FACTS 협조제어를 위한 우리나라 계통 검토는 PTI 형태의 2007년 SCADA/EMS 데이터를 이용하여 수행되었다. 상정사고는 아래 표 1과 같이 수도권 내 FACTS 투입 모선에 영향을 주는 북상선로 및 양주, 미금, 동서울 변전소 인근의 345kV급 선로사고이다. 각 상정사고에 대한 Local PV해석 결과는 표 2와 같다. CASE I, II, III 은 각각 양주, 미금, 동서울 모선에 100Mvar를 투입 시켰을 경우이다.

수도권의 발전량과 부하량을 증가시키는 시나리오에서 PV마진은 표 2에서 알 수 있듯이 양주-서인천 사고 시 모든 case의 경우에 PV여유가 가장 작은 것을 확인 할 수 있고 이는 양주-서인천 선로 사고가 수도권의 안정도에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 협조제어의 효과를 위해서 양주 모선에 100Mvar를 투입한 결과가 양주-서인천 사고 시에 다른 지역에 투입한 경우(case II, III)보다 PV 마진을 더 확보할 수 있는 것을 알 수 있다. 이는 FACTS 협조제어의 효과, 즉 지역적인 사고 발생을 고려하여 차등 FACTS 출력 용량을 설정해야하는 FACTS 협조제어의 효과를 볼 수 있는 사례라 할 수 있다.

〈표 1〉 선로사고 SET

	From bus	To Bus
1	양주	서인천
2	신태백	신가평
3	화성-아산	아산
4	양주-의정부	의정부
5	미금	동서울

〈표 2〉 상정사고에 대한 Local PV 해석 결과

단위 [MW]

사고	Base	I	II	III
양주-서인천	4810	4905	4895	4895
신태백-신가평	2055	2200	2180	2165
신태백-신가평	4340	4445	4440	4430
화성-아산	4350	4445	4440	4435
양주-의정부	4425	4450	4545	4545
미금-동서울	4670	4705	4720	4795

이 경우에 VQVI(%) 민감도를 확인해보면 수도권 동쪽에 연결되어 있는 신태백-신가평 선로의 사고가 미금, 동서울 지역에 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있고, 수도권 서쪽에 연결된 선로 사고가 났을 경우에는 양주에 영향을 많이 끼치는 것을 확인할 수 있다.

〈표 3〉 양주, 미금, 동서울 모선의 CASE 별 VQVI(%)

단위 [%]

Base	Base Case		
	양주	미금	동서울
양주-서인천	71.9	60.7	56.8
신태백-신가평	28.0	36.8	31.1
화성-아산	6.91	9.1	12.3
양주-의정부	10.4	16.2	13.5
미금-동서울	21.4	33.5	39.6

Base	Case I		
	양주	미금	동서울
양주-서인천	69.8	57.9	53.9
신태백-신가평	26.3	36.5	30.8
화성-아산	5.0	7.4	10.8
양주-의정부	8.5	14.5	12.1
미금-동서울	19.5	32.1	39.5

Base	Case II		
	양주	미금	동서울
양주-서인천	70.2	58.2	54.2
신태백-신가평	27.6	34.5	28.9
화성-아산	5.2	6.8	10.3
양주-의정부	8.6	13.9	11.6
미금-동서울	19.5	31.6	39.3

Base	Case III		
	양주	미금	동서울
양주-서인천	70.4	58.5	54.5
신태백-신가평	27.7	34.7	28.9
화성-아산	5.3	6.9	10.2
양주-의정부	8.8	14.1	11.8
미금-동서울	21.1	33.1	37.9

즉 수도권 동쪽 route 선로의 사고가 발생하였을 때, PV 마진 확보를 위해서 동서울, 미금에 설치되어 있는 FACTS기기가 양주에 설치되어 있는 SVC보다 더 많은 순동 무효전력 예비력을 확보 할 수 있도록 운전하고 서쪽 route 선로의 사고가 발생하였을 경우에는 양주의 SVC를 보다 더 많은 순동 예비력을 확보하는 것이 계통 안정도 향상에 효율적이라 판단된다.

3. 결 론

우리나라 계통의 안정도 확보를 위한 FACTS 협조제어를 위해서는 FACTS 투입 지역을 중심으로 지역 계통 안정도를 감시하는 것이 효율적이라 할 수 있다. 본 논문은 Local PV 해석과 VQVI 지수를 이용하여 계통 안정도를 동시에 모니터링 하고 지역적인 사고에 대비하여 미금, 동서울, 양주에 설치된 FACTS 기기의 Q 출력(운전점)을 차별 변동 시킴으로써 효율적인 무효전력 순동 예비력 확보를 이룰 수 있음을 확인하였다.

향후 PV해석뿐만 아니라 수도권 계통을 보다 효율적으로 모니터링 할 수 있는 다양한 전압안정도 지수에 대한 검토가 필요하고, 계통의 안정도 위해 시 FACTS 출력의 효율적인 변동을 위한 알고리즘 연구가 진행되어야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Byongjun Lee, Hwachang Song, Sae-Hyuk Kwon, Gilsoo Jang, Jun-Hwan Kim, Venkataramana Ajjaramu "A Study on Determination of Interface Flow Limits in the KEPCO system Using Modified Continuation Power Flow(MCPF)", IEEE TRANS. ON POWER SYSTEMS, VOL. 17, NO. 3, AUGUST 2002)
- [2] "Flexible AC Transmission Systems(FACTS): Application of Thyristor Controlled Series Capacitors in New York State", EPRI Report, Dec, 1993
- [3] Laszlo Gyugyi, "Power Electronics in Electric Utilities: Static Var Compensators", Proceedings of the IEEE, Vol, 76, No. 4, Apr, 1988
- [4] Pouyan Pourbeik, Anders, Bostrom, Bhaskar Ray, "Modeling and Application Studies for a Modern Static Var System Installation", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No. 1, Jan, 2006
- [5] "대용량 전력수송 기술개발 - 1단계:FACTS 운용 및 기기 국산화 기술개발", 한전전력연구원, (주)효성, 2005
- [6] "Understanding FACTS", N. G. Hingorani, L. Gyugyi, IEEE Press, 2000
- [7] "Power System Voltage Stability", Carson W. Taylor, McGraw-Hill, Inc.
- [8] "Voltage Stability of Electric Power Systems", Thierry Van Cutsem, Springer
- [9] "Flexible AC Transmission System", X.-P.Zhang, C.Rehtanz, B.Pal, Springer, 2006