

지역간 용통전력 향상방안 도출 절차 개발 연구

황성욱^{*} 김정훈^{**} 이병하^{***} 김용화[§] kwak노홍[§]
 *한국전기연구원 **홍익대학교 ***인천대학교 §전력연구원

A Study on the Development of a Determining Process to Enhance Inter-Area TTC

Hwang, Sung-Wook^{*} Kim, Jung-Hoon^{**} Lee, Byung-Ha^{***} Kim, Yong-Hak[§] Kwak, Nho-Hong[§]
 *KERI **Hong-Ik Univ. ***Inchon Univ. §KEPRI

Abstract - This paper proposes a process that determines inter-area TTC(total transfer capability) by supplementing the existing process. The process is composed of three steps, which is composed of (a) estimation of input data, (b) selection of contingencies, and (c) determination of the transfer capability. In this study, one step is added to develop the methodology that enhances the TTC.

1. 서 론

지역간 전력 용통에 관한 연구는 계통의 빠른 성장에 따른 765kV 송전선로 건설, 남북한 계통 연계, 동북아 계통 연계 등과 같은 관련 이슈의 대두와 전력산업의 환경 변화로 인해 많은 관심을 가져오고 있다. 지속적인 증대가 예상되는 전력용통에 대한 대비책으로 우선 신규 송전선로 증설을 고려할 수 있지만 계통의 불안정현상으로 인한 실질적인 용통전력의 크기는 임의의 특정값으로 제한될 수밖에 없다. 따라서, 경쟁도입으로 인한 입찰에 의하여 전력시장에서 결정된 발전단가가 낮은 원거리 발전기군의 발전량은 안정도 문제로 인하여 감소될 수밖에 없기 때문에 경쟁도입체제에서 입찰에 의한 발전은 제한 받게 되므로 구조개편 도입에 의한 이득이 감소하게 될 것이다. 이에 따라 지금까지 기존의 안정한 계통 운전이라는 측면에서 설정, 운용하였던 인식으로부터 새롭게 경쟁체제가 도입됨에 따라 보다 과학적이고 체계적인 용통전력 한계치 산정방법이 필요하게 되고 있는 실정이다. 이를 위해 전력조류계산과 과도안정도 해석, 전압안정도 해석, 발전력 배분 등의 지역간 용통전력 해석에 관련된 각 부분의 연구가 긴밀하게 관계를 갖고 협조될 필요가 있으며, 용통전력의 산정방법에 이들 요소의 유기적인 역할을 포함시킴으로써 체계적으로 용통전력 한계치를 산정할 수 있다. 이에 따라 앞선 연구에서는 전력조류계산, 과도 및 전압 안정도 해석, 발전력 배분 등의 역할을 유기적으로 포함시켜 지역간 용통전력 한계치를 산정하기 위한 절차를 개발하였다(1). 이 연구결과를 바탕으로 본 논문에서는 지역간 용통전력 향상방안을 도출하기 위한 절차를 개발하였으며, 용통전력의 향상을 위해 기존에 제안된 전압안정도 및 과도안정도 측면의 여러 가지 방안을 비교 검토하였다.

2. 용통전력 향상방안 도출 절차

기존 연구(1)에서 제안한 지역간 용통전력 한계치 산정을 위한 절차는 (A)입력자료 검증, (B)상정사고 선정 및 (C)용통전력 한계치 산정의 세 단계로 구성되는데, 단계 A와 단계 B는 그대로 본 논문에 활용하였으며, 용통전력 한계치 산정 부분을 수정·보완하고 용통전력 향상방안 도출 부분을 단계 D로 추가·제안하였다.

2.1 용통전력 한계치 산정(단계 C)

입력자료 검증을 통해 최종 결정된 입력자료는 OPF를 통하여 발전력을 변화시키게 된다. 발전력의 변경된 계통 입력자료는 선정된 상정사고를 고려하여 과도 및 전압 안정도 해석을 수행하게 된다. 이를 통하여 계통의 안정성 여부를 먼저 판별하게 되는데, (가) 안정할 경우 전압안정도에 의하여 부하를 변화시킴으로써 용통전력을 증가시키고 발전력을 재배분하며, (나) 불안정할 경우 안정도 영향 정보를 검토하고 발전력 배분을 통하여 지역별로 변화시킴으로써 용통전력을 감소시킨다. 이와 같이 용통전력의 변화 상태를 상정사고를 다시 고려하여 안정도 해석을 함으로써 계통의 안정성 여부를 재차 검토하게 되는데, (가)의 경우에 불안정하게 판별되면, f-V 곡선에서 안정도 여유를 고려하여 용통전력을 다시 산정하게 되고, (나)의 경우에 불안정하게 판별되면, 재차 안정도 영향 정보를 분석하여 발전력 조정 및 안정도 해석을 다시 검토한다. 이와 같은 반복을 통하여 용통전력의 최대치를 결정하게 된다. 기존 연구에서는 (가)의 경우 발전력 재배분시에 OPF를 다시 수행하는 방안을 제시하였으나, OPF에는 기동정지계획이 반영이 되지 않기 때문에 이를 우선순위법이 포함된 f-V 곡선에서 안정도 여유를 고려하는 과정으로 대체하였다. 그림 1이 수정된 절차이다.

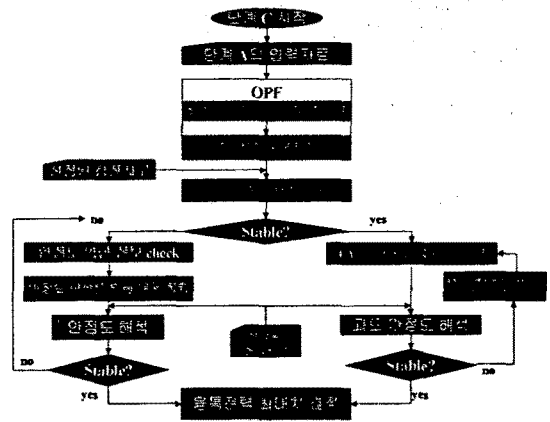


그림 1 용통전력 한계치 산정(단계 C)

2.2 용통전력 향상방안 도출(단계 D)

용통전력 향상방안은 용통전력 한계치 산정 절차의 마지막 단계로 고려할 수 있기 때문에, 앞에서 언급한 용통전력 한계치가 산정되는 단계 C 이후로써 그림 2와 같이 단계 D로 표현할 수 있다. 그림 2에서는 용통전력을 향상시키는 적절한 방안을 도출하는 절차를 나타낸다. 용통전력 향상방안을 적용하기 이전 단계인 용통전

력 한계점에서부터 시작한다. 적용할 전압안정도 향상대책의 수(n)와 과도안정도 향상대책의 수(m)를 선정한다. 안정도 향상대책을 어느 위치에 적용하는 것이 가장 효과적인 위치인지를 결정하기 위하여 전압안정도 측면에서는 전압불안정 감도지수와 임계점 부근에서 모선의 저전압 순위를 활용하는 반면에, 과도안정도 측면에서는 과도안정도에 가장 심각한 영향을 미치는 상정사고 적용선로의 근점도나 임계고장제거시간(CCT: Critical Clearing Time) 등의 여러 가지 요소들을 고려하여 결정한다.

각각의 안정도 향상대책을 적용하여 f-V 곡선에 의하여 전압안정도 측면에서의 용통전력 한계치를 C 단계와 동일한 과정을 통하여 용통전력이 증대된 한계치를 산정하고 이를 다시 과도안정도 측면에서 검토한다. 과도안정도 해석결과, 계통의 안정도가 유지되면 궁극적으로 이 용통전력 한계치가 증대된 용통전력이 된다. 그러나, 과도안정도 해석결과, 계통의 안정도가 불안정하면 f-V 곡선에 의해 산정된 용통전력 한계치 이전 단계의 용통전력에 대하여 과도안정도를 재검토하고 과도안정도에 문제가 없을 때까지 반복적으로 용통전력을 감소시킨다. 이렇게 함으로써 과도안정도에 대해 문제가 없는 용통전력이 계산되면 이점에서의 용통전력이 향상대책을 적용했을 때의 증대된 용통전력이 된다. 고려하는 전압안정도 향상대책 수(n)와 과도안정도 향상대책 수(m)에 대하여 동일과정을 수행하고 가장 효과적인 대책을 선정하여 용통전력 향상방안을 수립한다.

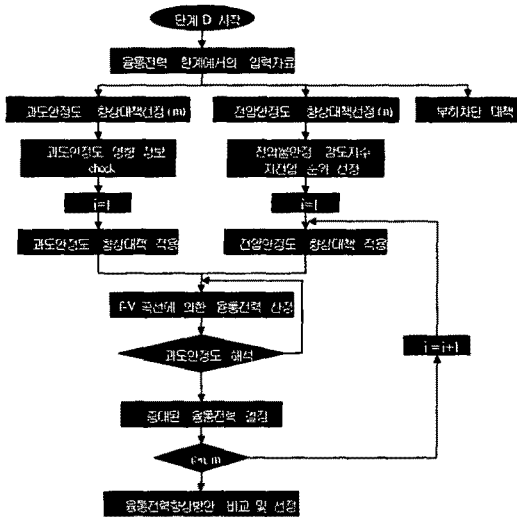


그림 2 단계 D(용통전력 향상방안 도출)

3. 사례연구

3.1 용통전력 증대를 위한 전압안정도 향상방안

2004년 최대부하 계통에 대하여 감도지수가 가장 높은 모선에 STATCOM을 설치하여 계통을 모의한 결과를 표 1에서 보여주고 있다. 표 1은 STATCOM의 미설치시와 용량이 500 MVar, 900MVar인 STATCOM을 각각 설치 운용하는 경우에 대하여 최대용통전력 한계치를 보여주고 있다. 최대용통전력 한계치가 STATCOM을 설치 운용함에 따라 향상됨을 알 수 있다. STATCOM 실제 투입량은 모선전압에 따라 공급되는 무효전력량을 나타낸다. 또한 감도지수가 가장 높은(순위 1번째) 모선(평택T/PS/S)과 감도지수 순위가 상대적으로 낮은(순위

48번째) 모선(군산S/S)에 동일한 용량의 STATCOM을 설치 운용하는 경우에 대해서는 표 1에서 보여준다. 이와 같은 검토결과를 분석하면, 감도지수가 가장 높은 모선에 STATCOM을 설치 운용하는 것이 상대적으로 감도지수가 낮은 모선에 STATCOM을 설치 운용하는 것보다 최대용통전력 한계치가 향상되고 보다 효과적인 것으로 검토되었다.

표 1 2004년 최대부하 계통에 대한 용통전력 향상효과 (고순위 또는 저순위 감도지수 모선에 적용하는 경우)

STATCOM 투입량 [MVar]	STATCOM 설치시 최대용통전력 한계치 [MW]	
	평택T/P (감도지수 1순위)	군산S/S (감도지수 48순위)
미설치	12121.1	12121.1
500	12870.4	12179.7
900	12623.6	12239.9

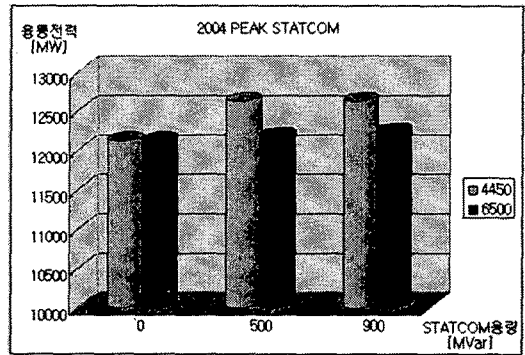


그림 3 STATCOM 설치시 최대용통전력 한계치 비교(감도지수)

이와 같은 검토결과를 분석하면, 감도지수가 가장 높은 모선에 STATCOM을 설치 운용하는 것이 상대적으로 감도지수가 낮은 모선에 STATCOM을 설치 운용하는 것보다 최대용통전력 한계치가 향상되고 보다 효과적인 것으로 검토되었다.

그림 4와 그림 5는 2004년 최대부하 계통에 대해 저전압 모선 순위가 高順位인 모선(서서울S/S)에 미설치시, 500MVar, 900MVar 용량의 SVC, 커패시터를 설치, 운영할 때 용통전력의 향상효과를 나타낸다.

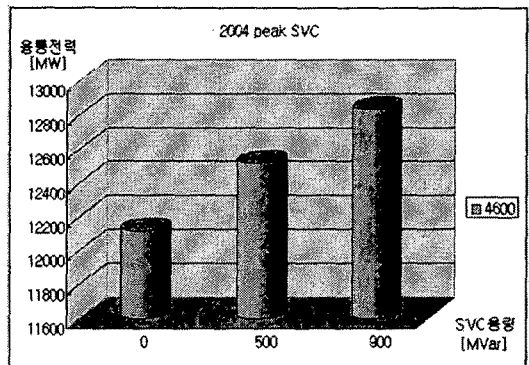


그림 4 SVC 설치시 용통전력 향상효과

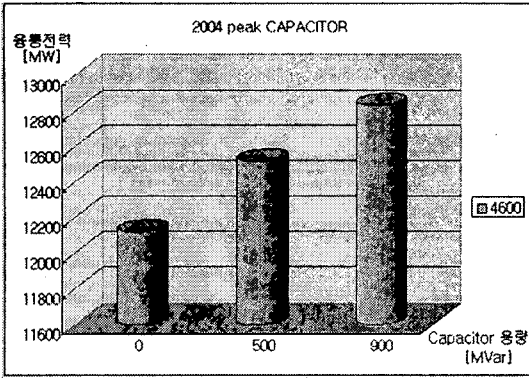


그림 5 커패시터 설치시 용통전력 향상효과

3.2 용통전력 증대를 위한 과도안정도 향상방안

검토대상 계통인 2004년 최대부하 계통은 최대용통전력 한계치가 과도안정도 보다는 전압안정도의 제약으로 인하여 결정된다. 따라서, 과도안정도 측면에서 용통전력 향상방안을 수립하기 위해서는 고장제거시간을 증가시켜 계통의 안정도가 불안정한 현상을 나타나도록 구성하고 용통전력 향상방안을 적용하여 계통을 안정화시킴으로써 최대용통전력 한계치가 향상될 수 있다고 가정한다. 즉, 임계고장제거시간(CCT)을 증가시켜 계통의 안정도가 향상됨을 검토한다. 이와 같은 가정하에서 과도안정도 측면에서 계통이 불안정한 현상을 보이는 고장제거시간을 계산하기 위하여 임계고장제거시간(Critical Clearing Time, 이하 CCT)을 계산한다. 적용된 상정사고는 신가평S/S-신태백N/S간 765kV T/L 1회선과 아산S/S-화성S/S간 345kV T/L에서 2회선 사고를 모의하였다. 표 2는 각각의 상정사고에 대하여 계산된 CCT를 나타낸다.

표 2 2004년 최대부하 계통에 대한 CCT

상정사고	임계고장제거시간(CCT)
신가평S/S - 신태백S/S간 765kV T/L 1회선	0.3083
아산S/S - 화성S/S간 345kV T/L 2회선	0.1750

과도안정도 측면에서의 용통전력 향상방안으로서 고전적으로 많이 사용하고 있는 직렬콘덴서 투입, 초속용여자시스템 채용, 제동저항 투입 등을 사례연구 대상으로 하였다.

상정사고가 발생하는 선로와 모선 주변에 직렬콘덴서를 투입함으로써 과도안정도 향상효과를 검토하였다. 검토결과, 표 3에서는 신가평S/S-신태백S/S간 765kV T/L 1회선 사고에 대해 잔여 선로인 신가평S/S-신태백S/S간 765kV T/L 1회선 사고에 직렬콘덴서를 투입하여 과도안정도 향상효과를 나타내고 있다. 이때, 직렬콘덴서 최소 투입용량은 약 1448MVA였다.

표 3 직렬콘덴서 투입에 의한 안정도 검토결과

투입용량[MVA]	안정도	투입용량[MVA]	안정도
미투입	불안정	1944	안정
737	불안정	4468	안정
1448	안정	7982	안정

상당수의 발전기 여자시스템에서 상대적으로 용동속도가 느린 여자방식이 적용되고 있으므로 이들 용동속도가 느린 여자시스템을 초속용여자방식으로 대체하여 계통의

과도안정도 향상효과를 검토하였다. 여기서 검토된 여자시스템의 PSS/E 모델은 EXPIC1이며 여자시스템 모델 중에서 교류여자시스템을 정지형 여자시스템으로 대체 운용하는 방안을 검토하였고, 그 결과는 표 3과 같다.

표 3 초속용여자시스템에 의한 안정도 검토 결과

지역	교체모델	대수	신가평S/S-신태백S/S간 765kV T/L 1회선 사고	아산S/S-화성S/S간 345kV T/L 2회선 사고
중부지역	EXAC1	11	불안정	불안정
영남지역	EXAC1	19	불안정	불안정
인천지역	EXAC1	29	불안정	불안정
경인지역	EXAC1	40	안정	불안정
전 국	EXAC1			
	EXAC1A	62	안정	안정
	EXAC3			

제동저항 투입은 상정사고 적용선로 인접 발전소에 투입하는 방안을 검토하였는데, 제동저항 투입을 실제로 모의하는 방안으로서 발전기 모형의 제동계수를 변화시켜 가면서 안정도 변화를 검토하였다. 신가평S/S-신태백S/S간 765kV T/L 1회선 사고에 대해서는 울진원자력, 아산S/S-화성S/S간 345kV T/L 2회선 사고에 대해서는 보령화력, 평택화력, 태안화력 등이 가장 인접하여 연계 운전되고 있다. 따라서, 이들 발전기 모형의 제동계수를 변화시켜가며 안정도 변화를 검토하였으며 그 결과는 표 4와 같다.

표 4 계통의 안정도 향상시 투입된 제동저항

	울진 N/P	보령 T/P	평택 T/P	태안 T/P
제동계수	0.522	23.8	1.6	18.5
정격용량 [MVA]	1100	613	390	613

이상의 과도안정도 측면의 향상방안 가운데, 초속용여자시스템의 채용은 경인지역 전체 혹은 전국을 대상으로 해야 하므로 실현가능성이 매우 낮고, 제동저항 투입의 경우에는 실제 모형의 투입을 고려한 것이 아니라 모의 결과의 신뢰성은 높지 않다. 이밖에도 병렬회선 투입 방안이 있으나 이는 경제성 면에서 투입 가능성이 거의 없다. 따라서, 본 사례연구에서는 직렬콘덴서 투입을 가장 적합한 향상방안으로 제안하는데, 이는 실제 전력계통 운용의 실무 측면에서도 환영받고 있는 방안이다.

4. 결 론

본 논문에서는 기존 연구에서 제안한 용통전력 한계치 산정 절차를 수정·보완하고 용통전력 향상방안을 도출하기 위한 절차를 추가·제안하여 실제계통에 적용하여 보았다. 2004년 최대부하 계통에 대하여 전압 및 과도안정도 측면에서의 용통전력 향상방안을 검토하여 각 방안들을 실제계통에 적용함으로써 안정도 향상효과를 도출하였다. 향후에는 이러한 향상방안에 대하여 체계적인 경제성 분석을 통해 실제적인 적용 방법을 모색하는 연구가 요청된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 황성욱, 김정훈 외, "OPF를 통한 발전력 배분에 의한 최대 용통전력 결정 절차에 관한 연구", 대한전기학회 전력계통 연구회 춘계학술대회 논문집, 2002. 5
- [2] A.L. Bettiol, et al., "Transient Stability-Constrained Maximum Allowable Transfer", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 14, No. 2, May, 1999
- [3] NERC, "Available Transfer Capability Definitions and Determination", 1996