

제주계통 순동무효전력 보상설비 적용 방안

김승희, 문봉수, 황종영, 임종호
한국전력공사

Application of Reactive Power Compensator in Jeju Island

Seung-Hee Kim, Bong-Su Moon, Jong-Young Hwang, Jong-Ho Lim
Korea Electric Power Cooperation

Abstract - 현 제주도는 육지계통과 연결된 직류연계선 및 제주내 발전기를 이용하여 제주도내 부하를 공급하고 있다. 육지~제주간 직류연계선은 그 형태가 전류형으로, 그 특성이 수전전력량에 비례하여 무효전력을 소비하며, 그 양은 수전전력량의 약 65~70%에 달한다. 또한 제주도내 설치된 최대 발전기 단위용량이 계통규모에 비해 커서 이러한 발전기 탈락시 제주계통내 무효전력 공급부족을 야기될수 있다. 이 논문에서는 이러한 제주계통 무효전력 부족문제의 해결을 위해 필요한 순동무효전력 용량, 적정 설치위치, 최적 설비Type의 결정을 위하여 수행된 연구결과를 수록하였다.

1. 서 론

제주 전력계통은 해남~제주간 HVDC 연계선로를 통해 소비전력의 약 50%를 공급받으며, 이에 필요한 무효전력을 공급하기 위해 필터 및 동기조상기 2대를 설치 운영중에 있다. 그러나 동기조상기는 77년에 제작된 노후설비로 유지보수 및 운전이 많은 문제점을 가지고 있다. 또한 발전기 단위기 용량이 계통규모에 비해 커서 단위기 정지시 계통에 미치는 영향이 크므로 적절한 전압안정도 마진의 확보가 필요한 실정이며, 전원단의 편제에 따라 지역적 전압불안정 현상이 나타나고 있다. 현재 제주계통은 이러한 무효전력 부족에 따른 문제점을 방지하고자 대용량 발전기 2기 이상 탈락시 부하차단을 시행하는 SPS를 운영중에 있으며, 동기조상기 2대중 1대만 운전시 HVDC 용통전력량을 최대 150MW로 제한 운전중에 있다. 본 연구에서는 기존 #1,2 동기조상기 노후화에 따른 동기조상기 고장 또는 대용량 발전기 탈락 등 HVDC 용통전력량 증가시 필요한 순동 무효전력 공급능력을 확보하고, 제주계통내 지역적 전압불안정 현상을 해소하며, 현 제주계통내 운영중인 제약운전조건을 해소하기 위하여 필요한 순동 무효전력 보상설비의 설치방안을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 검토전제

2.1.1 기본 검토 CASE

검토년도는 2009년 Peak, Off-Peak 계통 및 제2 HVDC 및 LNG 복합발전소가 모두 준공되는 2013년 Peak, Off-Peak 계통을 검토하였다. 계통역률은 부하순준에 따라 0.95~0.98 수준이며, 발전기의 운전조건은 변동비를 고려하여 결정하였으며, HVDC 용통전력량은 N-1을 고려 2009년에는 150MW, 2013년에는 350MW를 기준으로 부하대별, 풍력발전기 운전량에 따라 탄력적으로 가변되는것로 가정하였다.

2.1.2 HVDC 및 풍력발전기 검토조건

가) HVDC 설비

선로명	정격용량	정격전압	운전모드
#1 HVDC (제주T/P)	300MW (15만kW×2)	DC 180kV	정주파수 운전
#2 HVDC (서제주C/S)	400MW (20만kW×2)	DC 250kV	정주파수 운전

제1 HVDC 무효전력 소비량은 용통전력량의 약 65~70% 수준이며, 필터에 의한 무효전력 공급량은 필터 자동스위칭 제어스킴에 준하여 모의하였다. 제2 HVDC는 설치가능성이 높은 전류형으로 모의하였으며, 필터투입은 제1 HVDC와 유사한 제어스킴으로 가정하였다. 현 동기조상기 용량은 실제 출력가능량인 35MVar×2로 가정하였으며, 신형 동기조상기로 교체후인 2013년은 50MVar×2로 가정하였다.

나) 년도별 설치 예상 풍력발전기 용량

설치 변전소	접속전압	Type	용량	
			2009년	2013년
성산	154kV	DFIG	33MW	50
	22.9kV	DFIG	12MW	20
		CIG	11MW	10
한림	154kV	DFIG	-	15
	22.9kV	DFIG	15MW	20
		CIG	8MW	5
합 계			79MW	120MW

Conventional Induction Generator(CIG) Type은 무효전력을 계통에서 흡수하며, 콘덴서 설치를 고려할 때 전상 0.98~0.99 수준으로 출력의 약 15% 정도 무효전력 소비하며, Double Fed Induction Generator(DFIG) Type은 유,무효전력의 독립적 제어가 가능함에 따라 PF를 1.0 운전으로 가정하였다.

2.2 상정고장시 전압검토

각 검토 CASE에 대한 고장 상정결과 2009년 Peak시 제주T/P~조천, 한라간 2회선 고장시 제주 동부지역에 0.9[P.U]이하로 전압강하가 발생되며, 나머지 상정고장 조건시는 대체적으로 양호한 전압특성을 보였다. 2013년 Peak시는 제주계통 보강 및 제2 HVDC 건설에 따라 상정고장시 대체적으로 양호한 전압특성을 보였으나, 제주 남부지역에 발전력이 없을때는 서제주~한림C/C, 안덕간 송전선로 고장시 제주 동부지역에 전압불안정 현상이 발생하였다.

2.3 순동 무효전력 보상설비 위치 및 필요량 산정

순동 무효전력 최적의 위치를 산정하기 아래의 검토조건을 산정, 검토하였다.

CASE	1	2	3	4	5
변전소	신제주 S/S	한라S/S	성산S/S	한림S/S	신제주S/S +한라S/S
지역	제주 북부지역	제주 남부지역	제주 서부지역	제주 동부지역	제주북부, 남부지역 (분할설치)

각 설치 CASE별로 순동무효전력이 필요한 2009년 Peak시 제주T/P~조천, 한라간 2회선 고장조건 및 2013년 Peak시 서제주C/S~한림C/C, 안덕간 2회선 고장시 필요 무효전력량 보상량을 계산하는 제주계통 전압 불안정 해소측면의 검토를 하였으며, 또한 각 설치 CASE별로 HVDC 용통전력량 증가시 무효전력 공급능력 비교하는 HVDC 안정운전 기여 측면 총 2가지를 검토하였다.

제주계통 전압불안정 해소측면에서 검토결과 한라S/S 설치시 및 신제주, 한라S/S 분할 설치시 가장 좋은 결과를 보였으며, 신제주, 성산, 한림S/S 설치시는 각각의 경우 일부 저전압 모션이 발생하나 계통운영에 지장이 없는 수준이었다. 필요 순동 무효전력 보상량은 설치위치별로 2009년은 9~47[MVar], 2013년 11~28[MVar]가 필요한것로 나타났다.

HVDC 안정운전 기여측면에서 검토결과는 동기조상기 및 발전기의 무효전력 출력을 고정시키고 변환소의 무효전력 수요를 100MVar 증가 시 변환소 모션전압 등 제주계통 전압과 순동 무효전력 보상설비 출력량 비교를 통하여 전기적 거리를 비교하였다. 검토결과 신제주, 한라S/S 분할 설치 및 신제주S/S 설치시 HVDC 무효전력 공급에 가장 많은 기여를 할수 있었으며, 성산S/S 및 한림C/C 설치시는 기여능력이 낮았다. 필요 순동무효전력 보상량은 제1 HVDC 정주파수 운전에 따라 최대 용

통전력량인 300MW의 운전을 위해서는 용통전력량의 70%인 210MVar의 무효전력이 필요하나, 동기조상기 노후화에 따라 동기조상기 1대 고장상정시 필터 투입량과 동기조상기 1대의 공급가능 용량은 117.5MVar로 약 100MVar의 순동 무효전력이 추가로 필요하다.

설치위치	신제주	한라	성산	한림	신제주+한라
계통전압 보상측면	○	◎	○	○	◎
HVDC 안정운전 측면	◎	○	△	△	◎

(우수) ◎ > ○ > △ > × (미흡)

제주계통 전압불안정 해소측면 및 HVDC 필요 순동무효전력 공급측면 종합 고려했을 때 신제주S/S 및 한라S/S 분할설치시 가장 효과가 뛰어난 결과 나타났다. 또한 분할설치시는 순동무효전력 보상설비 정기정검이나 고장으로 인한 불시정지시에도 나머지 1대가 운영가능하여 계통영향 최소화 및 운영효율을 극대화 할수 있는 장점이 있다. 순동 무효전력 설치 용량은 HVDC 안정운전을 고려할때 신제주S/S 50MVar, 한라S/S 50MVar의 총 100MVar 설치가 필요하다.

2.4 순동 무효전력 보상설비 Type 검토

설치가능 순동 무효전력 보상설비로는 동기조상기, SVC, STATCOM을 고려할수 있다.

2.4.1 제주계통 ESCR 검토

SCR(Short Circuit Ratio)은 AC 계통의 강인성을 나타낼수 있듯이 ESCR(Effective Short Circuit Ratio)은 HVDC 운영측면에서 계통의 강인성을 나타낼수 있는 수치로 활용된다. 일반적으로 ESCR이 2보다 작으면 HVDC의 안정운전을 위해 ESCR 증대가 필요하다.

변전소	2009년		2013년		
	Peak	Off-Peak	Peak1	Peak2	Off-Peak
제주C/S	6.36	3.92	7.89	7.45	5.70
서제주C/S	-	-	4.37	3.81	3.43

ESCR 검토결과 향후 최악의 경우에도 ESCR을 3.0 이상으로 유지가 가능할것로 전망되므로, 계통관성의 증대를 위하여 손실이 많고, 응답속도가 상대적으로 느리며 유지보수가 어려운 동기조상기 설치안은 검토대상에서 제외했다.

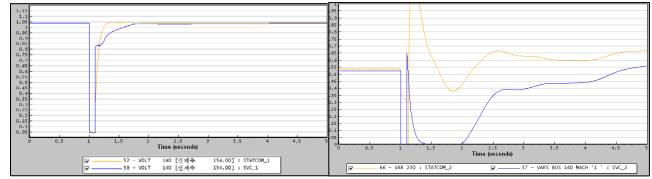
2.4.2 SVC 및 STATCOM Dynamic Simulation 비교

일반적으로 SVC는 물리적으로 에너지 저장장치인 L,C 소자를 사용하므로 무효전력의 공급은 전압의 제곱에 비례하게 된다. 즉 공급가능 최대용량은 소자값에 의해 결정된다. 반면에 STATCOM은 Reactance 후단의 제어 전압원을 사용하므로 낮은 전압에서도 무효전력을 공급할수 있으며 공급가능 최대용량도 하드웨어 소자값에 크게 의존하지 않는다. 또한 STATCOM은 SVC에 비해 상대적으로 응답속도가 빠르며, Harmonic의 발생이 적다. 큰 값의 Capacitor를 가진 STATCOM은 과도 상태에서 유효 및 무효전력을 공급할수 있는 특성이 있다.

○ Dynamic Simulation 방법 : 2009년도 Peak CASE에 신제주 및 한라S/S에 SVC, STATCOM을 각각 설치한후 상정 외란조건에서 변화소 전압회복 파형, HVDC P, Q 변화 및 순동 무효전력 보상설비 출력변동 등을 비교

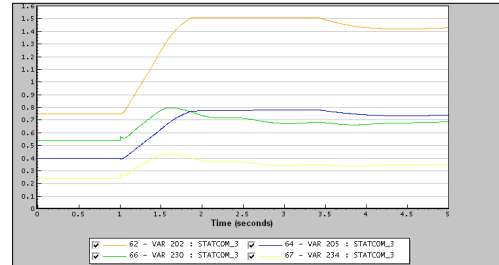
○ 상정 외란조건

Case	외란내용
Dist ①	동제주S/S 모선 3상단락고장(0.1sec) 후 동제주~신제주 2회선 탈락조건
Dist ②	제주T/P 모선 3상단락고장(0.1sec) 후 제주T/P~한라, 제주T/P~조천 2회선 탈락조건
Dist ③	남제주T/P #3,4호기 탈락 (180MW)
Dist ④	HVDC #1,2 Pole 정지



[DIST①] 신제주변환소 전압회복 파형

[DIST②] 신제주변환소 STATCOM vs SVC 출력



[DIST③] HVDC P,Q 출력 및 STATCOM 출력변화

Dynamic Simulation 모의결과 STATCOM이 SVC에 비해 빠른 응답특성을 보였으며 이로 인해 변화소의 전압회복 파형이 더 좋았으며, 모선 전압 저하시에 더 좋은 특성을 보여줬으며, HVDC 정지시 TOV 억제능력도 STATCOM이 SVC에 비해 좋은 특성을 보여줬다. 발전기 탈락시는 HVDC 용통전력 증가에 따른 무효전력 공급능력은 STATCOM과 SVC 둘다 유사한 특성을 보여줬다. 따라서 제주계통 전압보상만을 목적으로 순동 무효전력 보상설비 설치시는 SVC, STATCOM의 차이가 크지 않으나, HVDC 안정운전 측면에서 고려하는 STATCOM이 SVC에 비해 빠른 응답속도로 변환소 전압회복 개선에 효과적이며, 모선전압 저하시에도 일정수준의 전압보상이 가능하며, 전기적 관성을 통해 ESCR의 향상을 가져올수 있고, SVC에 비해 TOV 발생을 억제할수 있어 더욱 효과적이다.

3. 결 론

본 검토결과를 토대로 제주계통의 무효전력 부족문제 해결을 위해 2009년 신제주S/S 및 한라S/S에 각각 50MVar의 STATCOM을 설치하는 것을 한전의 계통계획에 반영하였다. 제주계통은 전극부하대비 약 1%의 작은 계통임에도 크고 작은 정전이 자주 발생하여 전력공급 신뢰도에 대한 사회적 관심이 높다고 말할수 있다. 제주계통내 무효전력 부족문제의 해결은 2011년 건설예정인 제2 HVDC 건설과 더불어 제주계통의 공급신뢰도를 한단계 향상시킬수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 장병훈 외, "제주 동기조상기 보강 및 제주계통 안정성 확보에 관한 연구", 한국전력공사 전력연구원, 2007
- [2] Carson W. Taylor, "Power System Voltage Stability", McGraw-Hill, 1998
- [3] P. Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, 1998