

풍력발전설비 및 HVDC가 도입된 제주도 계통에 대한 안정도 해석

論 文

57-11-1

Stability Analysis of Jeju Power System with Wind Turbine Generators and HVDC

金 度 亨* · 金 在 彦†
(Do-Hyung Kim · Jae-Eon Kim)

Abstract - In this paper, the method for effective stability analysis of Jeju power system in 2011 is proposed. The stability analysis of Jeju power system was carried out by using proposed method In case of Jeju power system with wind turbine generators or without wind turbine generators, including CSC HVDC or VSC HVDC. The steady-state stability is validated by SCR and ESCR, PV curve, QV curve. And the transient stability is analyzed by CCT(Critical Clearing Time). VSC HVDC has more advantages than CSV HVDC on the stability. Also, Jeju power system without wind turbine generators has more advantages than Jeju power system with Wind Turbine Generators on the stability.

Key Words : CSC HVDC, VSC HVDC, SCR, ESCR, PV curve, QV curve

1. 서 론

2011년을 대상으로 예측된 제주도 계통의 최대 부하량은 694MW, CSC(Current Source Converter) HVDC(High Voltage Direct Current)설비용량은 150MW, 발전설비용량은 535MW, 풍력발전설비용량은 246.6MW로 각각 보고되고 있어^[1], 제주계통의 공급가능용량은 931.6MW로 될 것으로 판단된다. 그러나, 제주도는 지역적 특성상 최대 풍속 한계를 초과하는 태풍 등의 발생이 잦은 지역으로서 만약, 이와 같은 상황에서 2011년 기준 제주계통 공급가능용량 931.6MW의 27%를 차지하게 되는 풍력발전설비가 모두 계통으로부터 탈락할 경우, 제주도 계통의 안정도 측면에서 문제를 야기 할 가능성이 높다. 이와 같이 풍력발전설비 또는 HVDC와 관련된 제주도계통에 대한 지금까지 연구된 논문으로서는 참고문헌 [2], [3], [4]들이 있다.

먼저, 참고문헌[2]에서는 ESCR(Effective Short Circuit Ratio)과 PV곡선을 통한 정적 안정도 분석과 계통사고발생 후 전압/전류/주파수/부하변동 등을 통하여 CSC HVDC와 VSC HVDC를 검증하였으나 풍력발전설비연계운용을 고려하지 않았다. 참고문헌[3]은 풍력발전설비증가에 따른 제주도 전력계통의 특성해석으로 2007년부터 2010년까지 부하량을 고려한 중부하시와 경부하시 풍력발전설비의 점유대별(100%, 70%, 50%) 조류계산과 풍력발전단지의 탈락, 송전선로 고장, 일반발전기 탈락의 경우와 같은 상정사고를 통하여 제주계통의 영향을 해석하였으나 최대부하가 발전설비의 공

급능력을 초과하는 2010년 이후의 제주도 계통에 대한 완전한 분석이 이루어지지 않았고, 또한 상정사고 시 과도안정도에 대한 분석이 없이 단지 주파수와 전압만을 모의하였다. 참고문헌[4]는 제주계통에 풍력발전단지가 연계된 상황에서 HVDC 유지보수(Overhaul)를 시행할 때 변전소 2곳 및 풍력단지 2곳을 선정하여 전력품질을 측정하여 분석하였으나, 이것은 안정도 해석측면과는 좀 거리가 있어 안정도에 관한 추가 연구가 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 전술한 바와 같은 제주도의 전력계통 상황, 즉 최대부하증가와 함께 직류송전(HVDC) 및 풍력발전 설비의 추가도입이 예상되는 2011년 제주도 계통에 대한 전원설비확충계획을 위한 종합적인 안정도 해석 방법을 제시하고, 제안된 방법을 PSS/E V31에 의하여 모델링된 제주계통에 대하여 SCR과 ESCR 지표, PV곡선과 QV곡선에 의한 정적안정도분석, CCT(Critical Clearing Time)를 통한 과도안정도분석을 수행하고 종합적인 안정도 해석을 제시하고자 한다.

2. 안정도 해석 방법 제시

제주도 전력계통은 청정지역 등의 이유로 화력발전설비의 증강을 최대한 억제하면서 내륙계통과의 직류송전연계에 의하여 운용되고 있다. 그러나 부하의 점차적인 증가에 따른 또 다른 HVDC의 추가도입이 불가피한 상황에서 비교적 양질의 풍력자원을 보유하고 있는 제주도의 지리적인 여건상 풍력발전설비의 계속적인 도입이 진행되고 있어 풍력을 제외한 전원공급가능용량 685MW를 초과하는 예상최대부하 694MW를 갖는 2011년의 제주계통은 이에 적합한 전원설비 확충대책을 마련해야한다. 이를 위해서는 먼저 2011년 제주계통을 대상으로 한 종합적인 안정도 해석을 수행해야할 필요가 있다.

* 學生會員 : 충북대학교대학원 전기공학과 碩士卒業

† 敎員, 正會員 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부
전기공학전공 敎授 · 工博

E-mail : jekim@cbnu.ac.kr

接受日次 : 2008年 7月 21日

最終完了 : 2008年 9月 20日

따라서, 본 논문에서는 풍력발전설비, 기존의 CSC HVDC 이외의 직류송전설비(CSC or VSC)가 추가도입되는 2011년 제주도계통에 대한 종합 안정도 해석 방법을 그림 1과 같이 제안한다. 즉, 우선 2011년 제주계통을 PSS/E V31에 의해 모델링하였으며, 동일 소프트웨어패키지에서 제공되는 CSC HVDC모델인 CDC4T 또는 VSC HVDC모델인 VSCDCT가 도입되는 2가지 경우에 대하여 각각 풍력발전설비(660kW VESTAS V47 모델과 1.8MW VESTAS V80 모델)가 연계 운전되는 경우(With WTG)와 풍력발전설비가 연계되지 않는 경우(Without WTG)의 2가지 즉, 전체 4가지 경우에 대하여 SCR(Short Circuit Ratio)와 ESCR(effective short circuit ratio)의 지표, PV 및 QV Curve를 통한 정적 안정도 해석, 상정사고시 CCT(Critical Clearing Time)를 통한 과도 안정도 해석을 PSS/E V31을 사용하여 수행하고, 그 분석결과에 근거하여 종합적인 안정도해석을 내리도록 하는 것이다. 이렇게 함으로써 풍력발전설비의 도입여부와 도입관리 방법, 그리고 직류송전설비의 도입 종류를 종합적으로 결정할 수 있다는 이점이 있다.

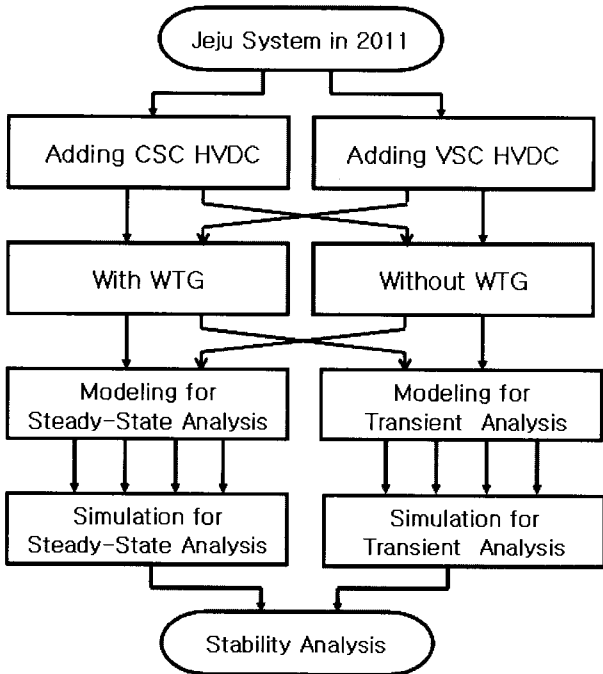


그림 1 2011년 제주도 계통에 대한 안정도 분석
Fig. 1 The stability analysis of Jeju power system in 2011

3. 제주계통 모델링

제주도 계통분석을 위해 PSS/E를 이용하여 제주계통을 모델링 하였으며, 풍력발전설비는 660kW용량의 Vestas V47(VS47A)와 1.8MW용량의 Vestas V80(VS80A)의 두 모델로 모델링 하였다. CSC HVDC의 모델은 CDC4T를 적용 했고, VSC HVDC는 VSCDCT를 적용하였다.^[5] 제주계통의 모델링 데이터들은 표 2와 같다.

표 2 2011년 예상되는 제주계통 데이터
Table 2 The anticipated Jeju power system data in 2011

a) Total load capacity data in 2011

Bus	Bus Name	P(MW)	Q(MVAR)
130	동제주	156.9	31.68
140	신제주	119.5	25.84
150	한림CC	58.10	16.82
160	안덕	61.90	16.58
180	신서귀	50.50	9.00
190	한라	69.50	21.58
200	성산	111.87	43.53
210	산지	29.6	12.00
996	조천	26.5	3.90
998	표선	9.60	3.00
Total		693.97	183.93

b) Generation data

Bus	Generator Name	Pmax (MW)	Qmax (MVAR)
20122	제주TP#2	75	35
20123	제주TP#3	75	35
20125	NEWSC#1 (동기조상기)		35
20126	NEWSC#2 (동기조상기)		35
20166	한림GT#1	35	17
20167	한림GT#2	35	17
20168	한림ST	35	17
20171	남제주TP#3	100	50
20172	남제주TP#4	100	50
Total		455	291

c) Wind generation data

Bus	Wind Generator Name	Pmax (MW)	Qmax (MVAR)
20151	한경1차풍력	6.60	-2.80
20152	한경2차풍력	14.40	-6.62
20153	삼무풍력	30.60	-14.06
20154	신창풍력	1.80	-0.83
20201	행원풍력	9.90	-4.20
20202	월정풍력	1.80	-0.83
20203	신산풍력	11.80	-5.04
20204	난산풍력	15.18	-6.44
20205	성산풍력	19.80	-9.09
20206	상도풍력	32.40	-14.87
20221	행원풍력	18.48	-7.94
20222	덕천풍력	39.60	-17.80
20223	동북풍력	45.00	-20.22
Total		247.36	-110.74

d) HVDC data

Case	TYPE	Pgen (MW)	Qgen (MVAR)
A	CSC HVDC	150	-17.30
	CSC HVDC	150	-17.30
B	CSC HVDC	150	-17.30
	VSC HVDC	150	57.13

4. 정적안정도 분석

정적안정도해석은 제주계통에 CSC HVDC 또는 VSC HVDC 추가도입에 따른 분석과 풍력이 도입된 경우와 도입되지 않은 경우로 나누어서 제주도계통의 PSS/E를 이용하여 계산된 값으로 제주도 AC계통의 강도비교를 위하여 SCR과 ESCR을 계산했고, PV곡선과 QV곡선을 통하여 유효전력 한계전송용량과 전압안정도를 해석하였다.

4.1 SCR과 ESCR분석

SCR은 대형 모터 또는 HVDC converter, SVC(static var compensator)와 같은 부하들을 전력계통의 강도와 비교하여 부하가 계통에 큰 영향을 미치는지 알고 싶을 때 SCR 이용한다. SCR이 높다는 것은 계통에 큰 영향을 주지 않는다는 것이고 SCR이 낮다는 것은 계통에 큰 영향을 준다는 것을 의미한다.

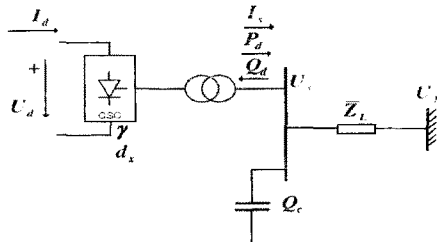


그림 2 AC 계통에 연계된 HVDC의 간단한 모델
Fig. 2 Simplified model of an HVDC connected to an AC network

그림 2와 같은 HVDC가 AC계통에 연계 되어 있는 것을 볼 수 있다. 식(2)과 같이 SCR은 HVDC의 정적 DC 전력과 AC계통의 Z_{ac}에 반비례함을 나타내고 있으며 DC 전력과 AC계통의 Z_{ac}이 작아야 SCR이 커지고 계통이 강도가 커짐을 알 수 있다.

$$SCC = \frac{V_{ac}^2}{Z_{ac}} \quad (1)$$

$$SCR = \frac{\text{Short Circuit Capacity, SCC(MVA)}}{\text{DC Power, } P_d(\text{MW})} \quad (2)$$

$$= \frac{MVA(SCC)}{P_d} = \frac{V_{ac}^2}{P_d \cdot Z_{ac}}$$

특히 HVDC가 연계된 AC계통의 강도를 보기 위해서는 보통 SCR보다는 ESCR을 사용한다. SCR은 단지 계통의 강도만을 나타내지만 ESCR은 부하의 shunt reactive 성분까지 나타낼 수 있다. 그래서 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$ESCR = \frac{SCC - Q_c}{P_d} \quad (3)$$

ESCR은 Q_c의 영향에 따라 SCR과 달라 질 수 있다. reactive 부하가 Synchronous condenser라면 고장전류와 ESCR을 증가 시키지만 shunt capacitors와 harmonic filters은 ESCR을 감소시킨다.¹⁶⁾

표 3 HVDC를 위한 SCR 기준
Table 3 SCR standard for HVDC¹⁷⁾

Definition	SCR
Hight	>5
Moderate	3~5
Low	2~3
Very Low	<2

표 4 HVDC를 위한 ESCR 기준
Table 4 ESCR standard for HVDC¹⁸⁾

Definition	SCR
Hight	>3
Low	2~3
Very Low	<2

표 5 제주계통의 SCR과 ESCR
Table 5 SCR and ESCR of Jeju power system

Case	HVDC Type	SCR	ESCR
풍력 발전을 제외한 제주계통	CSC HVDC	17.34	16.88
	VSC HVDC	17.56	17.09
풍력 발전을 포함한 제주계통	CSC HVDC	18.33	17.90
	VSC HVDC	18.74	18.28

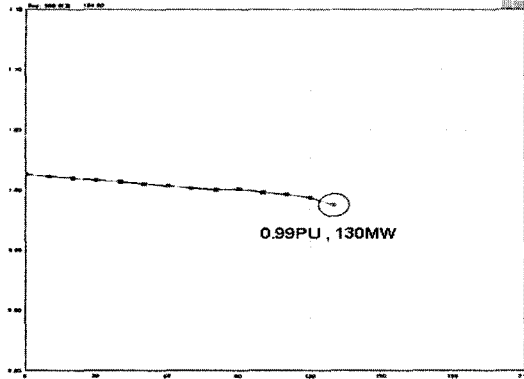
표 5에서와 같이 풍력발전비의 연계와 상관없이 VSC HVDC가 CSC HVDC보다 SCR과 ESCR모두 높게 나왔다. 이는 CSC Type의 HVDC의 동작특성상 점조각제어에 따른 지상 전류의 흡수로 인하여 계통전압(V_{ac})이 낮아졌기 때문에 SCR이 작아졌고, ESCR은 제주계통으로부터의 무효전력흡수로 인한 Q_c의 증가 때문에 작아졌다. 풍력발전설비가 연계된 경우가 연계되지 않은 경우 보다 SCR과 ESCR이 모두 높은 이유는 풍력발전설비가 계통에 병렬로 연계되어 테브난등가임피던스 Z_{ac}가 작아졌기 때문이다.

4.2 유효전력 전송능력 비교(PV곡선)

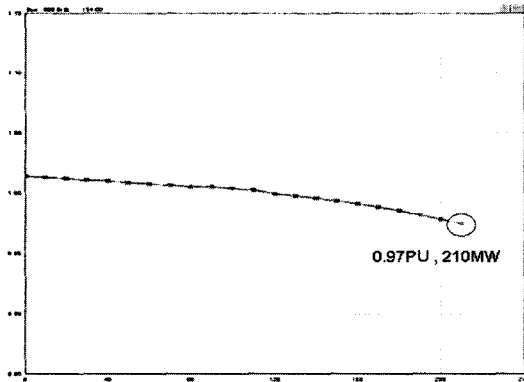
PV 곡선을 통하여 부하증가에 따른 전압의 특성을 볼 수 있다. 또는 어떤 버스에서 요구되는 전압에 따라 유효전력의 값을 계산 할 수 있으며, 버스에서의 전압이 붕괴되는 점

까지의 그 버스가 전송할 수 있는 유효전력을 알 수 있다.

이 논문에서는 추가 도입되는 HVDC와 제주계통 연계지점(이후 999BUS)에서 CSC HVDC 또는 VSC HVDC에 따른, 풍력이 도입된 경우와 도입되지 않은 경우로 유효전력 전송능력을 비교 하였다.^[9]



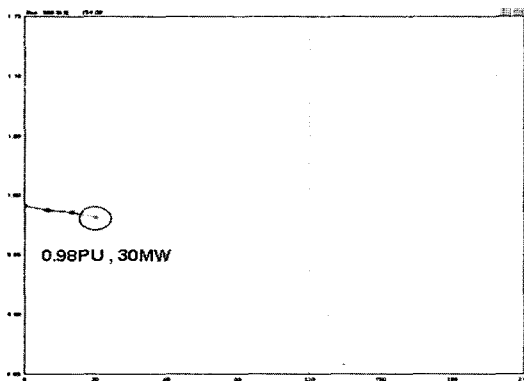
(a) PV curve with CSC HVDC



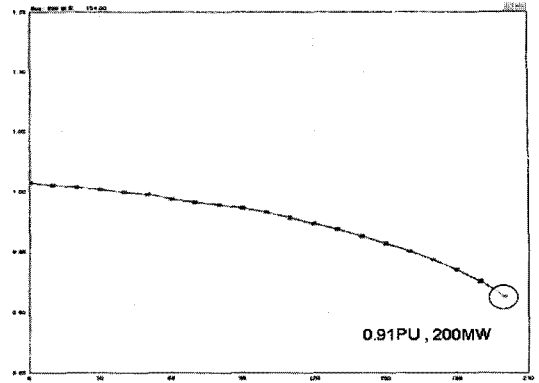
(b) PV curve with VSC HVDC

그림 3 풍력발전설비를 포함하지 않은 제주계통 999버스의 PV곡선

Fig. 3 PV curves of 999 bus in Jeju power system without wind generators



(a) PV curve with CSC HVDC



(b) PV curve with VSC HVDC

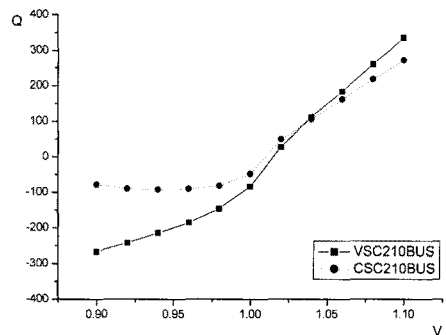
그림 4 풍력발전설비를 포함한 제주계통 999버스의 PV곡선
Fig. 4 PV curve of 999 bus in Jeju power system with wind generators

그림 3~4와 같이 VSC HVDC가 CSC HVDC보다, 풍력발전설비가 연계된 계통보다 연계되지 않은 계통이 유효전력 전송능력이 좋았으며, 제주계통에 CSC HVDC 추가 시 유효전력 전송능력이 떨어지는 이유는 CSC HVDC가 무효전력을 AC계통으로부터 흡수하는 특성 때문에 전압붕괴 지점이 그림 6과 같이 전압운영 범위 안에 존재하기 때문이다.

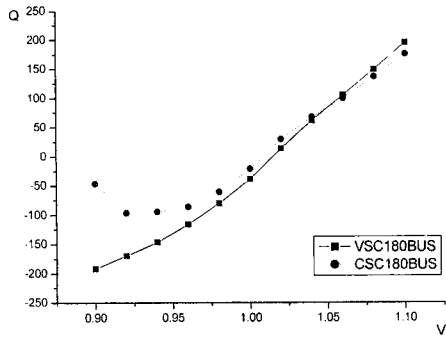
4.3 전압안정도(QV곡선)

QV곡선은 요구되는 전압으로 버스 전압을 조절하기 위해 버스에 무효전력을 결정하는데 사용되어 질 수 있다. 버스에 존재하는 무효성 부하를 가지고 시작하여 버스에서의 전압이 시스템의 전압 붕괴 지점에 도달하여 발산할 때까지 무효성 부하가 단계적으로 증가함으로써 계산되어 질 수 있다. QV곡선의 기울기 dQ/dV 가 0이 되는 부분은 전압 안정도 한계를 나타낸다.

QV곡선은 HVDC가 새로 추가되는 지점(이후 999BUS)에서 가장 가까운 부하모선 210과 가장 먼 부하모선 180을 시뮬레이션 하였으며, 그림 5와 같이 QV곡선을 보면 풍력발전설비가 연계되지 않은 계통에 CSC HVDC가 추가된 제주계통은 전압 안정도 한계가 버스 전압 운영범위(0.95~1.05PU) 0.95PU 근처에 있는 것을 볼 수 있다. 이는 계통이 불안정하게 운영되고 있다는 것이다.

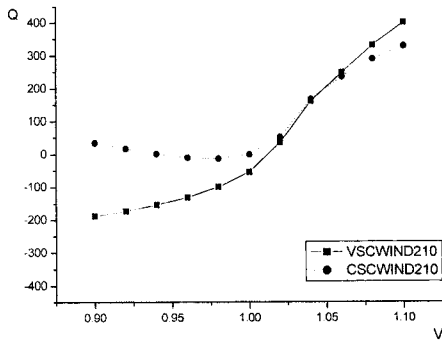


(a) QV curve of 210 bus

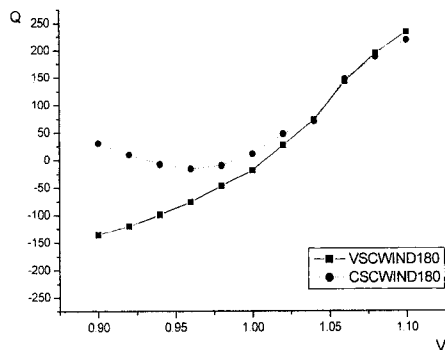


(b) QV curve of 180 bus

그림 5 풍력발전설비를 포함하지 않은 제주계통의 QV곡선
Fig. 5 QV curves of Jeju power system without wind generators



(a) QV curve of 210 bus



(b) QV curve of 180 bus

그림 6 풍력발전설비를 포함한 제주계통의 QV곡선
Fig. 6 QV curves of Jeju power system with wind generators

그림 6은 풍력발전설비가 연계된 계통에 CSC HVDC가 추가된 제주계통은 전압운영범위 0.95PU 안에 전압 안정도 한계가 있는 것을 보여 주고 있으며 이는 계통이 매우 불안정하게 운영된다는 것이다. 이처럼, QV곡선을 통하여 VSC HVDC가 CSC HVDC보다, 풍력발전설비가 연계된 계통보다 연계되지 않은 계통이 전압 안정도 측면에서 더 유리하다는 것 알 수 있다.

5. 과도안정도 분석

과도 안정도는 전력계통이 어떤 조건하에서 안정하게 운전하고 있을 때 급격한 외란에 따른 계통 동요의 과도현상이 발생하더라도 다시 안정 상태로 회복해서 발전기의 탈조 없이 동기운전이 지속될 수 있는 능력을 보는 것이다.

안정도 계산은 2기 계통과 같은 간단한 계통에 대해서는 등면적법(equal area method)을 이용하고 3기 이상의 다기 계통에 대해서는 다단법(step by step method)을 이용한다. 다기 계통에 대한 안정도 계산은 아래 식(4)와 같으며, 이는 운전 중인 동기기가 계통에 외란이 발생했을 때 입출력이 평형이 깨지게 되면서 각속도, 위상각이 이에 따라서 변동하게 되며 이때의 변동을 나타낸다.

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\omega}{M}(P_i - P_n) \quad (4)$$

M : 발전기 관성정수

P_i : 발전기의 기계적 입력

P_n : 발전기의 전기적 출력

다기 계통에서 각각의 발전기위상각은 위 식(4)와 같이 나타낼 수 있으며, 외란발생시 발전기의 기계적 입력 P_i 은 일정하고 발전기의 전기적 출력 P_n 이 변하여 결국 위상각이 변하게 되는 것이다.^[10]

본 논문에서는 제주계통의 과도안정도를 보기 위해 가장 큰 부하가 있는 130bus에서 3상 단락사고를 냈고 Swing Bus로는 20122 bus(제주TP#2)를 선택했으며, 동적 시뮬레이션은 Swing Bus위상을 기준으로 각 발전기의 위상 간의 위상차를 나타냈다. 풍력발전설비들이 있을 때와 없을 때 CSC HVDC또는 VSC HVDC가 연계된 제주계통의 CCT(Critical Clearing Time)을 통해 안정도를 분석하였다.

5.1 풍력발전설비를 제외한 제주계통

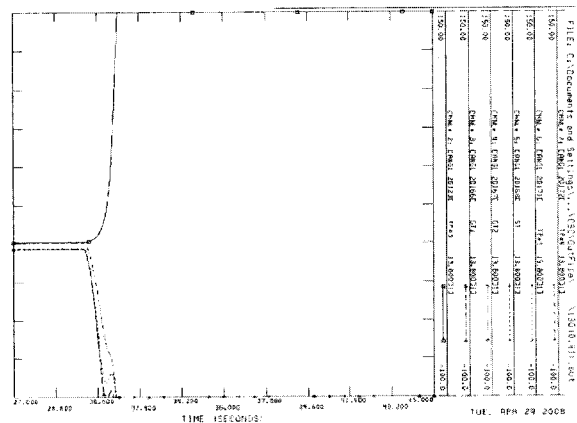


그림 7 CSC HVDC가 연계된 제주계통 0.41초(CCT)에서의 상차각

Fig. 7 Angle differences at 0.41sec(CCT) in Jeju power system with CSC HVDC

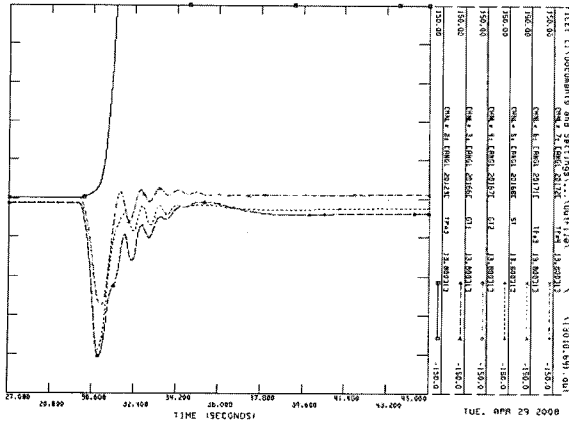


그림 8 VSC HVDC가 연계된 제주계통 0.64초(CCT)에서의 상차각
 Fig. 8 Angle differences at 0.64sec(CCT) in Jeju power system with VSC HVDC

풍력발전설비를 제외한 계통에서는 제주TP#2, 제주TP#3, 한림GT#1, 한림GT#2, 한림ST, 남제주TP#3들이 발전하고 있으며, 130bus에서 3상 단락사고 지속시간이 CSC HVDC는 0.41sec(그림 7), VSC HVDC는 0.64sec(그림 8)로부터 VSC HVDC가 CSC HVDC보다 CCT가 길다는 것을 확인할 수 있다. 그림 7과 그림 8처럼 계통의 발전기중 하나라도 탈조를 하면 그 계통은 불안정하다.^[11]

5.2 풍력발전설비를 포함한 제주계통

풍력발전설비를 포함한 계통에서는 제주TP#2, 제주TP#3, 남제주TP#3들이 발전하고 있으며, 130bus에서 3상 단락사고 지속시간이 그림 9와 같이 CSC HVDC는 0.27sec, 그림 10과 같이 VSC HVDC는 0.33sec로 VSC HVDC가 CSC HVDC보다 CCT가 길다는 것을 확인할 수 있다.

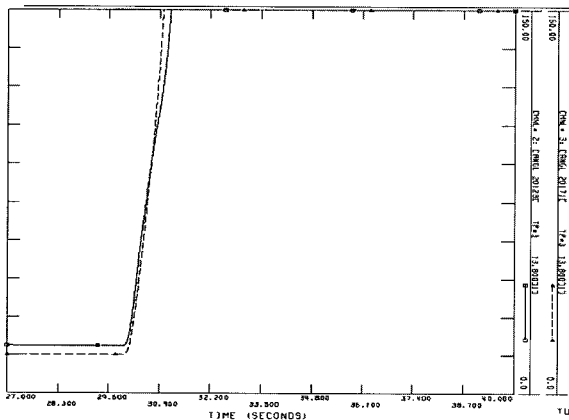


그림 9 CSC HVDC가 연계된 제주계통 0.27초(CCT)에서의 상차각
 Fig. 9 Angle differences at 0.27 sec in Jeju power system with CSC HVDC

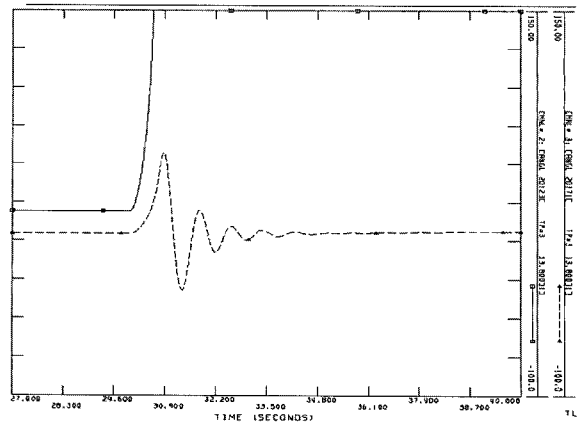


그림 10 VSC HVDC가 연계된 제주계통 0.33초(CCT)에서의 상차각
 Fig. 10 Angle differences at 0.33 sec in Jeju power system with VSC HVDC

위 그림 7~10을 통하여 VSC HVDC가 CSC HVDC보다, 풍력발전설비가 연계된 계통보다 연계되지 않은 계통이 안정도가 더 우수하다는 것을 시뮬레이션을 통해서 증명되었다.

6. 고찰

본 절에서는 지금까지의 분석결과를 표 6, 표 7과 같이 고찰하기로 한다. 먼저, 정적안정도분석결과는 표 6과 같이 정리될 수 있다.

표 6 2011년 제주계통의 정적안정도분석결과
 Table 6 Steady-state stability analysis results of Jeju power system in 2011

Wind Generator	HVDC Type	Steady-state Stability Analysis				
		SCR	ESCR	P limit (V)	Q Margin	
					180 BUS	210 BUS
연계운전 되지 않는 경우	CSC(기존) + CSC(추가)	17.34	16.88	130MW (0.99PU)	115.46	118.03
	CSC(기존) + VSC(추가)	17.56	17.09	210MW (0.97PU)	218.45	321.75
연계운전 되는 경우	CSC(기존) + CSC(추가)	18.33	17.90	30MW (0.98PU)	19.54	68.67
	CSC(기존) + VSC(추가)	18.74	18.28	200MW (0.91PU)	158.56	185.66

표 6에서 알 수 있듯이 VSC Type의 HVDC도입이 CSC Type의 HVDC보다 모두 유리한 것으로 나타나 있는데, 그 주된 이유는, CSC Type의 HVDC는 그 동작특성상 점조각 제어에 따른 지상 전류의 흡수가 필수적인데(HVDC 진상운전), 이는 무효전력을 제주계통으로부터 흡수하는 결과를 가져오기 때문이다. 상대적으로 VSC Type의 HVDC는 무효전

력을 진상, 지상 허용범위 내에서 제어가 가능하기 때문에 계통의 안정화에 도움을 줄 수 있다는 점이다.^{[12][13]} 한편, SCR 및 ESCR 지표상에서는 풍력발전 비연계운전시가 연계운전시보다 크게 나타났는데, 이것은 풍력발전설비가 계통에 병렬로 연계되어 식(1)의 제주계통 측 테브난등가임피던스 Z_{ac} 가 작아져서 단락용량(SCC)은 커지므로 결국 SCR이 커지는 것이다. 그러나 풍력발전설비가 연계운전 시 풍력발전설비가 무효전력을 흡수하는 진상운전특성으로 제주계통에 연계되기 전의 QV Curve보다 무효전력 Margin이 작아지고 PV Curve는 연계전보다 유효전력공급한계량이 작아졌다. 이것은 그림 6 QV곡선 상 및 그림 4의 PV곡선 상에서 연계 운전되지 않는 경우가 전압안정도측면에서 유리하다는 것을 알 수 있다.

다음은 과도안정도분석결과를 고찰하기 위하여 그 요약을 표 7에 기술하였다.

표 7 2011년 제주계통의 과도안정도분석결과
Table 7 Transient stability analysis results of Jeju power system in 2011

Wind Generator	HVDC Type	Transient Stability Analysis
		Critical Clearing Time
도입되지 않은 경우	CSC(기존) + CSC(추가)	0.40sec
	CSC(기존) + VSC(추가)	0.63sec
도입된 경우	CSC(기존) + CSC(추가)	0.26sec
	CSC(기존) + VSC(추가)	0.32sec

표 7에서와 같이 과도안정도 분석에서도 정적 안정도의 분석결과와 마찬가지로 VSC HVDC가 CSC HVDC보다, 풍력발전설비가 연계된 계통보다 연계되지 않은 계통이 안정도가 더 우수하다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 전술의 내용과 동일하다. 단, 특이할 만한 사항은 과도안정도 해석 방법을 통하여 풍력발전설비의 도입한계용량산정에 활용할 수 있다는 것이며, 즉 Breaker의 고장제거시간은 사고 후 10cycle(약 0.18sec) 이므로 CSC HVDC과 VSC HVDC 모두 추가설치가 가능한 Critical Clearing Time을 가지고 있다. 하지만, 정상상태 분석에서와 같이 CSC HVDC 추가된 제주계통은 무효전력의 부족으로 풍력발전 설비추가는 어려울 것이다. 그러나 VSC HVDC가 추가된 제주계통은 풍력발전 설비추가 여지가 있다고 볼 수 있다.

8. 결 론

본 논문에서는 최대부하가 증가하고, 이에 따른 전력공급 증강대책의 하나로 HVDC추가도입을 고려하고 있는 상황에서 제주도의 지리적인 여건상 풍력발전설비의 지속적인 도

입이 진행되고 있는 2011년의 제주계통에 대한 안정도를 해석하는 방법을 제시하였다. 제안된 안정도해석 방법을 PSS/E V.31을 사용하여 기존 제주계통에 CSC HVDC 또는 VSC HVDC 가 도입되는 2가지 경우, 그리고, 각각의 경우에 대하여 풍력발전설비가 연계 운전되는 경우(With WTG)와 풍력발전설비가 연계되지 않는 경우(Without WTG)의 2가지 즉, 4가지 경우에 대하여 제주도 계통의 모델링을 통하여 시뮬레이션을 수행한 결과물은 SCR(Short Circuit Ratio)와 ESCR(effective short circuit ratio)의 지표, PV 및 QV Nose Curve, 상정사고 시 CCT(Critical Clearing Time) 값들로 얻어졌다. 이들을 통하여 종합적인 안정도해석을 내린 결론은, VSC HVDC가 CSC HVDC보다, 풍력발전설비가 연계된 계통보다 연계되지 않은 계통이 안정도가 더 우수하다는 것을 알 수 있었으며, 이들로부터 얻어질 수 있는 또 다른 부산물로서는 과도안정도 해석방법이 풍력발전설비의 도입한계량을 산출하는 데 활용할 수 있다는 것이다.

본 논문에서 제안된 방법이 2011년 제주계통의 안정도분석 및 HVDC 도입, 그리고 풍력발전설비의 도입한계량 산정/관리에 활용되기를 기대 한다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] “제 3차 전력수급기본계획”, 산업자원부, 2006
- [2] 양병모, 유병우, 박종광, 김찬기, 이형한, “HVDC 시스템에서 무효전력 보상 특성”, 전력전자학술대회 논문집 July. 2004 pp. 451~455
- [3] “PSS/E V30 Program Operation Manual Vol 2”, PTI, 2006
- [4] P.F. Toledo, B. Bergdahl, G. Asplund, “Multiple Infeed Short Circuit Ratio-Aspectc Related to multiple HVDC into one AC network”, 2005 IEEE/PES, Transmission and Distribution Conference & Exhibition Asia and Pacific Dalian, China
- [5] Carson W. Taylor, “Power System Voltage Stability”, McGraw-Hill, pp194, 1994
- [6] Z.Y. Liu, J. Wen, M.X. Han, L. Dong, H. Ding “Researches on the Load Representation of Hunan Power Grid AC/DC System”, 2006 International Conference on Power System Technology, pp.1-5, Oct. 2006
- [7] P. Kundur, “Power System Stability and Control”, McGraw-Hill, 1994
- [8] 송길영, “송배전공학”, 동일 출판사, pp 298, 1991
- [9] Hadi saadat, “Power System Analysis”, McGraw Hill, 1999
- [10] Meshram, P.M. Kadu, A.N. Nagpure, R.N. Thakre, K.L., “VSC-HVDC for improvement of quality of

power supply" TENCON 2004. 2004 IEEE Region 10 Conference, Volume C, Nov. 2004 pp. 256~259

- [11] Zhang, G. Xu, Z., "Steady-State Model for VSC Based HVDC and Its Controller Design" Power Engineering Society Winter Meeting. 2001 IEEE, Volume 3, Feb. 2001 pp. 1085~1090

저 자 소 개



김도형 (金度亨)

1976년 6월 23일생. 2004년 충북대학교 전기전자공학부 졸업. 2008년 8월 동 대학원 전기공학과 석사졸업.

Tel : 043)261-2423

Fax : 043)263-2419

E-mail : kdh-1077@hanmail.net



김재언 (金在彦)

1959년 7월 17일생. 1982년 한양대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1984년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1984년~1993년 한국전기연구소 연구원. 1996년 Kyoto University 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년~1998년 한

국전기연구소 배전연구팀장. 1998년 ~ 현재 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 전기공학전공 부교수.

Tel : 043)261-2423

Fax : 043)263-2419

E-mail : jekim@cbnu.ac.kr