

대전원단지의 무효전력 출력제약에 따른 영향에 대한 연구

송석하 주준영*
한국전력거래소 계통기술처

A Study on the Improving Power System Reliability According to the Reactive Power Problem in the Bulk Power Station

Seok-Ha Song, Joon-Young Joo*
Power System Management Department, Korea Power Exchange

Abstract - This paper presents the properly method of system security and facility countermeasures. We performed simulation for yearly peak of Korean power system in 2002 under the reactive power problem in a nuclear power plants. Analysis of the problems in power system operation by power flow, fault and stability study. Establishment of power system optimal operating plan by stabilizer and maintaining the reasonable voltage level.

1. 서론

전력수요의 증가와 더불어 전력계통은 대규모, 복잡화되면서 전원의 대단지화와 지역적인 편중으로 소비지역까지의 장거리 대용량 전력수송이 불가피하게 되었다. 이로 인해 전압불안정, 계통동요 등 공급신뢰도 확보에 많은 어려움이 내재된 가운데 일부 대전원단지 발전기에 무효전력 출력제약이 발생함에 따라, 전압 및 안정도 측면을 고려하여 관련계통에 미치는 영향을 분석하고 이에 대한 대책을 검토하였다.

2. 본론

2.1 검토조건

- 가. '02년도 하절기 Peak시 전력계통
- 나. 최대전력 : 4,570만kW

2.1.1 검토기준

- 가. 전압유지 기준
 - 1) 345kV 계통전압 : 고장발생시 0.925pu 이상
 - 2) 발전기 단자전압 : 정격의 5% 이내
- 나. 과도안정도 검토기준
 - 1) 고장종류 : 모선 3상단락고장 (6Hz지속)
 - 2) 부하특성

표1 부하특성 [단위:%]

구분	정전력	정전류	정임피던스
유효전력	50.8	14.1	35.1
무효전력	26.3	29.3	44.4

2.1.2 계통해석 Program

○ PSS/E (V.28)

2.2 현황

2.2.1 발전기별 정격

표2 발전기별 정격출력 및 단자전압

호기	1,2호기	3,4호기	5,6호기
정격출력(MW)	960	1,000	1,000
단자전압(kV)	25	22	22

○ 무효출력 운전범위 : 0.9(lag) ~ 0.95(lead)

2.2.2 무효출력 제약현황

표3 무효출력 제약대상 발전기

무효전력 출력 [at 0.90 (lag)]	2호기	3호기
정격출력 (MVar)	460	500
제약출력 (MVar)	150	200

2.2.3 운전실적

'02년 6월초에서 7월 중순까지 peak시간대의 운전실적 평균치는 다음의 (표4)와 같으며 1일간의 단자전압 운전 및 무효전력 출력실적을 (그림1)에 나타내었다.

표4 발전기별 운전실적과 345kV 모선전압

호기	1	2	3	4	5
출력(MW)	962	976	1,025	1,021	1,035
무효출력(MVar)	201	125	169	282	196
단자전압(pu)	0.98	0.97	0.97	0.99	0.99
모선전압(kV)	351		351		354

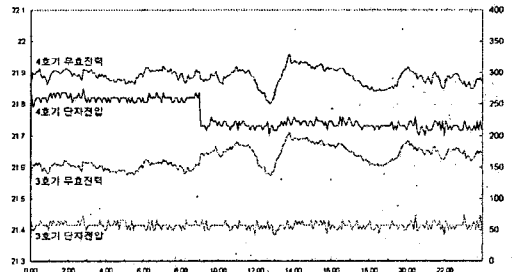


그림1 발전기 단자전압 대 무효출력 (日曲線)

2.2.3 사례계통

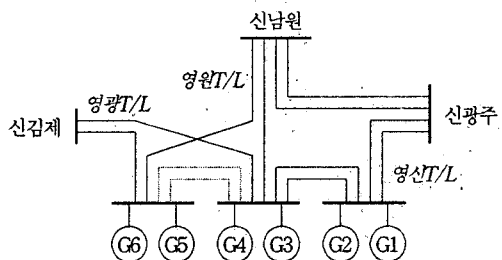


그림2 발전기 및 송전선로 구성도

영광N/P의 발전기 6대운전시 지락고장전류가 차단기 정격인 40kA를 초과하여 이에 대한 대책으로 #3,4~#5,6 Tie Line을 상시 Off하여 운전중임.

2.3 검토내용

3개루트의 송전선로로서 정상시의 전력용률에는 지장이 없으나 1개루트 2회선 동시고장시는 과도안정도와 전압 운영 측면에서 불안정 현상이 예상되어 이에 대한 안정운영 방안을 검토함.

2.3.1 무효전력 출력과 발전기전압 분석

발전기의 무효전력 출력제약이 없는 상태에서 발전기 단자전압 1.0pu를 유지하는 정상운전 조건과 #2,3호기의 무효전력 출력제한 조건하에서 발전기 단자전압을 각각 1% 저감운전할 경우와 1% 상향운전할 경우를 대비하여 보았다. (표5 참조) 무효전력의 출력제약이 없을 경우 영광N/P 345kV 모선전압은 355~356kV를 유지하며 무효전력의 균등한 출력형태를 보이고 있다. 무효전력의 출력제약이 있는 경우 제약발전기(2,3호기)의 단자전압은 정상적인 타발전기에 비해 낮게 운영됨을 알 수 있으며 345kV 전압은 제약이 있을 경우 단자전압을 1% 상향운전시 정상운전시와 비슷한 크기를 나타내고 있다.

표5 조건별 예상 무효전력 출력 및 전압

구분	호기별 무효전력 출력						345kV 전압		
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	#1-2	#5-6	
정상계통	MVar	240	242	246	246	259	255	355	356
	pu	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
제약계통	MVar	269	150	200	274	255	251	350	351
	pu	0.99	0.974	0.980	0.99	0.99	0.99		
계통	MVar	304	150	200	308	277	273	356	358
	pu	1.01	0.991	0.996	1.01	1.01	1.01		

- ①(정상운전) : 발전기의 무효전력 한계내 운전 및 발전기 단자전압 1.0pu 유지
- ②(단자전압 저감운전) : #2,3호기 무효전력 출력제한 및 발전기 단자전압을 1% 저감운전
- ③(단자전압 상향운전) : #2,3호기 무효전력 출력제한 및 발전기 단자전압을 1% 상향운전

2.3.2 조류분석

2.3.2.1 정상운전계통

영광원자력 전 발전기의 정격무효전력 출력이 가능한 경우 발전소 인출선로 1루트 정지시 큰 제약없이 운전이 가능하다. 345kV 영신T/L 1루트 정지시에도 발전기 단자전압은 1.0pu를 유지가능하고 이때 영광주S/S의 예상 전압은 322kV이다. (표6 참조)

표6 정상운전 계통 (무효출력 제약 없음)

구분	고장전	인출 송전선로 정지시			
		영광T/L	영신T/L	영원T/L	
송전선로 조류 [MW]	영광T/L	2,101	-	2,856	2,804
	영신T/L	2,216	2,954	-	3,102
	영원T/L	1,459	2,953	2,920	-
변전소 전압 [kV]	신광주	350	329	322	343
	신김제	347	328	326	332
	신남원	350	326	330	347
	영광#1-2	355	348	347	351
발전기 전압 [pu]	2호기	1.0	1.0	1.0	1.0
	3호기	1.0	1.0	1.0	1.0
	4호기	1.0	1.0	1.0	1.0

2.3.2.2 무효출력 제약계통

발전기의 단자전압을 99%로 저감운전하면 #2,3호기의 단자전압은 무효전력 제약으로 97.4%까지 낮게 운전되고(표5), 인출선로중 345kV 영광, 영신T/L 1루트 정지시에는 계통이 불안정하며, 발전기 단자전압 조정한계를 (최소 0.95pu이상) 유지하기 위해서는 2,3호기의 출력을 445~465MW 이상 감발운전이 필요하다. (표8,9)

발전기의 단자전압을 101%로 상향운전하면 #2,3호기의 단자전압을 무효전력 제약조건하에서도 99% 이상 유

지가 가능하며, 2호기의 단자전압이 정상운전 발전기에 비해 1.9% 낮게 운전되나 2,3호기 단자전압 및 인근 변전소의 전압개선(3~6kV) 효과로 발전기 및 계통의 안정운영에 기여할 수 있다. 만약 345kV 영광, 영신T/L 1루트 정지시 발전기 단자전압의 0.95pu 이상 유지를 위해 2,3호기의 출력을 385~405MW 이상 감발운전이 필요하다. 영광, 영신T/L 정지시 조류계산의 수렴을 위해 #2,3호기의 발전력을 감발 후 모의한 결과는 아래 표 8과 같다. 이 결과를 무효출력 제약이 없는 경우와 비교하여 보면 선로정지시 조류계산 불안정, 제약발전기 단자전압의 과도한 저하 등 계통 및 발전기 자체 안정운영에 큰 위해요소로 작용함을 보여준다.

표7 무효전력 출력제약중 영원T/L 정지

발전기 단자전압	0.99pu		1.01pu		
	고장전	T/L Off	고장전	T/L Off	
송전선로 조류 [MW]	영광T/L	2,099	2,753	2,102	2,756
	영신T/L	2,216	3,024	2,216	3,020
	영원T/L	1,461	-	1,457	-
변전소 전압 [kV]	신광주	346	335	351	341
	신김제	343	325	348	331
	신남원	348	343	351	346
	영광#1-2	350	342	356	348
발전기 전압 [pu]	2호기	0.974	0.951	0.991	0.970
	3호기	0.980	0.956	0.996	0.975
	4호기	0.990	0.990	1.01	1.01

단자전압 저감운전중 영원T/L 정지시 정상발전기는 운전전압의 유지가 가능하나 제약 발전기의 경우 단자전압이 0.951pu까지 저하되었다. 신김제S/S의 전압이 18kV가 강하되어 325kV가 나타남. 단자전압을 상향운전중 T/L정지시 제약 발전기의 단자전압을 0.97pu 이상 유지가 가능함.

표8 무효전력 출력제약중 영광T/L 정지

발전기 단자전압	0.99pu				1.01pu			
	고장전	T/L Off	감발전	감발후	고장전	T/L Off	감발전	감발후
송전선로 조류 [MW]	영광T/L	2,099	▲	-	2,102	▲	-	-
	영신T/L	2,216		2,578	2,216		2,620	
	영원T/L	1,461		2,733	1,457		2,751	
변전소 전압 [kV]	신광주	346		324	351		325	
	신김제	343	불안정	327	348	불안정	328	
	신남원	348		324	351		325	
	영광#1-2	350		340	356		340	
발전기 전압 [pu]	2호기	0.974		0.950	0.991		0.950	
	3호기	0.980		0.951	0.996		0.951	
	4호기	0.990	▼	0.990	1.01	▼	0.990	

표9 무효전력 출력제약중 영신T/L 정지

발전기 단자전압	0.99pu				1.01pu			
	고장전	T/L Off	감발전	감발후	고장전	T/L Off	감발전	감발후
송전선로 조류 [MW]	영광T/L	2,099	▲	2,694	2,102	▲	2,716	
	영신T/L	2,216		-	2,216		-	
	영원T/L	1,461		2,641	1,457		2,674	
변전소 전압 [kV]	신광주	346		323	351		324	
	신김제	343	불안정	326	348	불안정	327	
	신남원	348		331	351		331	
	영광#1-2	350		340	356		340	
발전기 전압 [pu]	2호기	0.974		0.950	0.991		0.950	
	3호기	0.980		0.951	0.996		0.951	
	4호기	0.990	▼	0.990	1.01	▼	0.989	

무효전력 출력제한 상태에서 영광, 영신T/L 정지시 조류계산 결과 불안정함. 이에 따라 2,3호기의 출력을 감발(감발량:405~465MW)하여 발전기 단자전압 조정한계인 $\pm 5\%$ 를 유지토록 하여 계산한 사항으로 발전기 전압에 관계없이 비슷한 결과를 보임.

2.3.3 과도안정도 분석

2.3.3.1 정상운전계통

인출선로 루트정지시 검토결과 발전기의 동기탈조로 인한 전력계통 불안정 현상이 나타나 이에 따른 안정운영 방안으로 고장파급방지 시스템 운전을 아래와 같이 적용하여 운전중임.

표10 영광N/P 고장파급방지 시스템 적용현황

정지선로	차단발전기 대수
영광#1,2T/L	2대 (3,4호기중 1대, 5,6호기중 1대)
영원#1,2T/L	2대 (3,4호기중 1대, 5,6호기중 1대)
영신#1,2T/L	1대 (3,4호기중 1대)
영광#2,영원#2T/L	1대 (5,6호기중 1대)

2.3.3.2 무효출력 제약계통

각 조건별 영광N/P 인출선로 고장정지 및 발전기 차단시 과도상태의 계통이 안정한지를 검토하였다. 첫 번째 단자전압의 저감운전(99%) 조건인 경우 영광, 영원T/L 루트정지시 표8의 고장파급방지 시스템 운전조건과 동일하게 적용이 가능하나 영신T/L 루트정지의 경우 발전기 2대를 차단하여야 안정하며(그림4 참조) 이는 발전기의 정상운전시 보다 1대를 더 추가로 차단하여야 하는 문제점이 나타났다. 둘째 단자전압의 상향운전(101%) 조건에서는 표8의 고장파급방지 시스템 운전조건과 동일하게 적용이 가능하다. 이는 무효전력 제약 조건하에서는 발전기 단자전압을 상향하여 운전함으로써 영신T/L 고장정지시 발전기 추가탈락 방지를 도모할 수 있음을 보여준다. 이와는 별도로 설비운전의 효용성 차원에서 3,4호기중 1대차단 조건시 3호기 차단을 적용하여 무효전력 출력제약이 없는 4호기를 정상운전토록 한다.

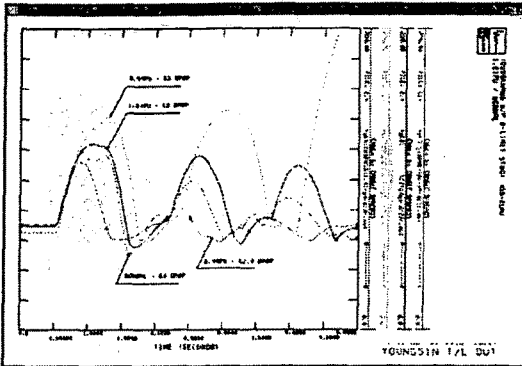


그림4 영신T/L 정지시 과도안정도

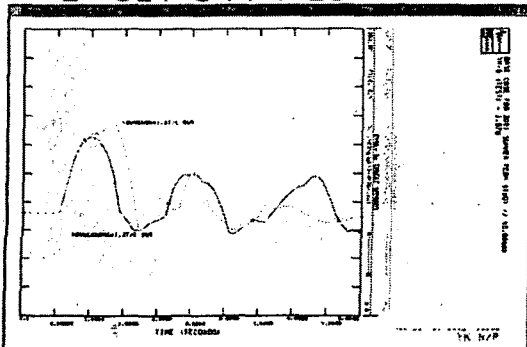


그림5 영광, 영원T/L 정지시 과도안정도

2.4 무효출력 제약에 따른 안정운영 방안 수립

우선적으로 영광N/P 인근지역 변전소의 조상설비(S.C)를 우선적으로 운전하여 발전기의 무효전력 부담을 경감시키고, 영광N/P 345kV 모선 운전전압을 355kV 이상으로 유지토록 제약발전기의 무효전력 제약한계 범위 내에서 최대운전 및 나머지(1,4,5,6호기)는 단자전압을 101%를 기준으로 조정한다. 단, 무효전력 제한이 발생하지 않는 경우 전 발전기를 100% 기준으로 운전토록 한다. 고장파급방지 시스템의 운전은 선로정지 조건에 따라 발전기 1~2대를 차단하되 3,4호기중 1대 차단조건시 3호기 차단을 선택하여 출력제약이 없는 4호기를 정상운전토록 한다. 제한된 설비의 조건하에서 계통운영방안에 의한 안정운영은 한계가 있으므로 근본적인 설비대책이 뒤따라야 한다. 첫째는 발전기의 정상적인 운전능력 확보를 위해 조속히 발전설비를 정상화하여야 하며 정상화 불가시 영광N/P에 순동 무효전력 보상장치 설치를 검토·시행하고 둘째, 영광N/P 모선의 통합에 의한 안정성 향상을 도모할 수 있도록 영광N/P측에 차단용량이 증가된 차단기로 교체 필요성을 적극 검토하여야 한다.

3. 결 론

이상과 같이 전체 발전용량이 6,000MW에 이르는 대단지 전원지역에서 일부 발전기가 무효전력의 출력제약(터빈의 영향으로 발전기의 무효전력 출력능력이 정격의 1/3~1/4 수준으로 감소)이 발생한 계통의 문제점을 검토한 결과 발전소 전압의 적절한 상향운전으로 제약발전기의 출력범위 이내의 운전조건을 만족하면서 인출선로 고장정지시 계통의 안정적인 운영을 도모할 수 있음을 확인하였다. 그러나 이는 계통운영 방안에 의한 임시적인 대책이며, 철탐의 문제나 휴전작업과 같은 선로정지가 필요할 경우 발전력 감발은 불가피하게 되어 경제적으로 막대한 손실을 동반하는 등의 문제점은 항상 내재되어 있다. 이의 완전한 해결을 위하여 근본적인 설비대책(발전기의 정상적인 운전능력 확보)이 반드시 지켜져야 하며, 차선책으로는 순동 무효전력 보상장치의 시설등을 적극적으로 검토하여야 한다.

(참 고 문 헌)

- [1] P.Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill Inc., 1994
- [2] PTI, "PSSE Program Operation Manual", Vol. 1, 2001
- [3] GE, "Exciter Manual (EX2000, EX2000AR)"
- [4] 한전 계통운영처, "적정공급 신뢰도 확보를 위한 안정화장치 구성 및 설치운영", 1999.7
- [5] 한전 송변전처, "지상조상설비 설치계획 최적기준 및 기법 개발", 1999.3
- [6] 한전 송변전처, "공무국의여행 귀국보고서(조상설비운용 및 설치계획)", 1988.