

적정 공급신뢰도 확보를 위한 안정화장치 구성 및 설치운영

김창무, 이호상, 이승언, 김석일
한국전력공사 계통운영처

Design, Implementation of the Bulk Power Stabilizing System to ensure the appropriate Power System Reliability

Chang-Mu Kim, Hyo-Sang Lee, Seung-Unn Lee, Sok-Il Kim
Power System Operation Department, KEPCO

Abstract - Carried out simulation for yearly peak and March load time of the KEPCO Power System in 1999. Analysis of the problems in power system operation by powerflow, fault and stability study. Establishment of power system optimal operating plan by installation of power system stabilizer.

1. 서 론

전력수요 증가와 더불어 전력계통은 대규모, 복잡화되면서 전원의 대단지화와 지역적인 편중으로 소비지역까지의 원거리 대용량 전력수송이 불가피하게 되었다. 이로 인해 과부하 및 저전압, 계통동요등 공급신뢰도 확보에 많은 어려움이 예상되고 있으며, 적정 신뢰도 확보를 위한 제어기들이 개발, 적용되고 있다.

전력계통의 안정도 확보를 위해서는 적정 공급신뢰도를 유지하는 것이 중요한 문제이나, 과거 전력수급 불안정을 경험하면서 수급위주의 계통계획과 현재 IMF체제하에서의 경제급전 위주의 계통운영 및 지역 이기주의와 지자체, 환경 관련 단체들의 반대로 인한 송전선로 건설 지연으로 많은 문제점을 야기하고 있다.

따라서 취약한 송전계통에서 송전선로의 고장으로 인한 차단발생시 전력계통이 안정되게 운용되기 위해서는 무엇보다 공급신뢰도를 확보해야 하는데, 본 논문에서는 안정도 측면을 고려하여 전력계통 운영상 문제점 분석 및 대책 적용사례에 대해 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 검토조건

가. 대상계통 : '99. 3월 및 하절기 Peak시 전력계통
나. 최대부하 : 22,000MW, 30,000MW, 35,000MW

2.1.1 검토기준

가. 계통전압 유지기준

- 1) 345kV 계통전압 : 336~360 kV
 - 정상시 최저운전 한계전압 : 328 kV
 - 고장시 순간허용 한계전압 : 310 kV
- 2) 154kV 계통전압
 - 계통전압 관리대상 345kV 발.변전소
 - 중부하 시간 : 156~164 kV
 - 경부하 시간 : 152~160 kV
 - 기타 : 146~162 kV(154kV±5.0%)

나. 송변전설비 과부하 기준

- 1) 정상시 과부하 기준 : 정격용량의 100% 초과
- 2) 고장시 과부하 기준 : 정격용량의 120% 초과

다. 과도안정도 검토기준

- 1) 고장종류 : 모선 3상단락고장(6Hz 지속)
- 2) 부하특성

[단위 : %]

구 분	P	I	Y
유효전력	52.05	12.73	35.22
무효전력	35.51	8.27	56.22

2.1.2 계통해석 Program

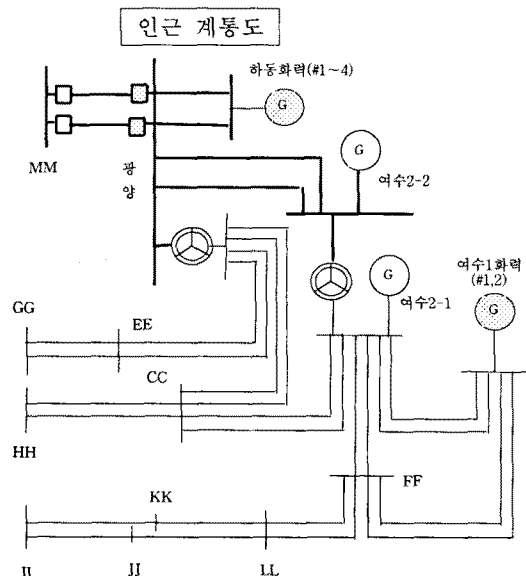
○ PSS/E(V 24W), MS Power Station

2.2 하동화력 안정운용방안

하동화력 3,4호기 건설 및 관련 송전선로 건설시기가 일치하지 않아 기존 345kV 신광양 T/L 2회선 송전선로는 정상시의 전력용통에는 지장이 없으나, 2회선 동시 고장발생시에는 과도안정도 측면에서 불안정하여 하동화력 전 발전기와 인근 여수화력 전 발전기의 동기탈조로 인한 전력계통 불안정 현상이 예상되어 하동화력 과도안정도 분석 및 안정운용방안을 수립하여 시행하고 있음.

2.2.1 하동 및 여수화력 발전력 운전조건

- 하동화력 #1~#4 : 2,000MW
- 여수1화력 #1,2 : 500MW



2.2.2 조류분석

□ 345kV 신광양T/L 2회선 정지

가. 하동화력 발전출력별 조류현황

- 1) 과부하 검토

(단위 : MVA, %)

수요	M.tr./T/L 상용률	AAM.tr	BBM.tr	CC	DD	EE
		500MVA	500MVA	159MVA	192MVA	192MVA
35,000MW	정상시	373(75)	285(57)	47(30)	107(56)	116(60)
	2,000MW (4대)	739(148)	601(120)	245(154)	268(140)	297(155)
	1,500MW (3대)	528(106)	438(88)	150(95)	192(100)	177(92)
	1,425MW (3대:95%)	499(100)	415(83)	137(86)	181(94)	160(83)
30,000MW	정상시	274(55)	222(44)	56(35)	71(37)	133(69)
	2,000MW (4대)	703(141)	608(122)	298(187)	269(140)	354(184)
	1,500MW (3대)	498(100)	437(88)	198(125)	191(99)	233(121)
	1,275MW (3대:85%)	413(83)	361(72)	155(98)	156(82)	183(95)
22,000MW	정상시	291(58)	231(46)	50(32)	65(34)	72(38)
	2,000MW (4대)	683(137)	582(116)	267(168)	243(127)	273(142)
	1,500MW (3대)	495(99)	420(84)	173(109)	167(87)	168(88)
	1,350MW (3대:90%)	467(93)	398(80)	160(100)	157(82)	151(79)

() : 과부하율 = (조류/정격용량) × 100(%)

☞ 하동화력 4기 운전중 345kV 신광양T/L 2회선 동시 정지의 경우, 345kV 광양, 여수2T/P가 154kV 계통으로만 연계됨에 따라 154kV 순천T/L등 광양S/S 인출T/L이 최고 187% 과부하가 발생하나, 하동화력 출력을 1,275~1,425MW로 감발시킴으로써 과부하 해소가 가능함

2) 전압 검토 (단위 : kV)

수요	발전소명 출력	345kV	345kV	154kV	154kV	154kV
		AA	BB	CC	DD	EE
35,000 MW	정상시	350	343	155	158	154
	2,000MW (4대)	335	330	147	151	144
	1,500MW (3대)	342	339	153	156	151
	1,425MW (3대:95%)	343	341	154	156	152
30,000 MW	정상시	353	351	155	155	153
	2,000MW (4대)	342	337	146	147	141
	1,500MW (3대)	351	348	153	153	150
	1,275MW (3대:85%)	354	351	156	157	154
22,000 MW	정상시	357	355	157	157	156
	2,000MW (4대)	348	344	151	151	148
	1,500MW (3대)	354	351	155	155	154
	1,350MW (3대:90%)	355	353	156	156	155

☞ 하동화력기 4기 운전중 345kV 신광양T/L 2회선 동시 정지의 경우, 계통수요 30,000MW 수준에서 154kV 하동S/S의 모선전압이 141kV로 강하되나, 사고시 154kV 계통전압 유지한계인 139kV(154kV-10%) 이상을 유지하며, 하동화력 3대 운전의 경우는 150kV 이상을 유지하여 전압측면에는 문제점 없음.

2.2.3 과도안정도 분석

□ 345kV 신광양T/L 2회선 정지시 과도안정도 검토

가. 하동T/P 4기 운전중 과도안정도 모의결과

구 분	정상시 조류	초기상차각	안정도	비 고
CASE 1 (22,000MW)	548MW × 2	61.1°	불안정	하동T/P4기, 여수1T/P 2기 탈락
CASE 2 (30,000MW)	576MW × 2	59.6°		

☞ 초기상차각은 하동T/P 발전기와 인근 345kV 변전소 BUS간 상차각임

☞ 발전기 Trip 시간별 과도안정도 : CASE 2 기준

구 분	지연시간	최대상차각	안정도	비 고
하동T/P 1기 Trip	0 Hz	-	불안정	그림 1 참조
하동T/P 2기 Trip	9 Hz	139.1°	안정	그림 2 참조
	12 Hz	-	불안정	

☞ 최대상차각은 하동T/P 발전기와 인근 345kV 변전소 BUS간 상차각임

☞ Trip 시간은 T/L 차단후 발전기 Trip까지의 지연 시간임

☞ 검토결과

- 발전기 1대 정지로 과도안정도 회복 불가
- 발전기 2대를 0.15초(9Hz)이내 정지로 과도안정도 회복

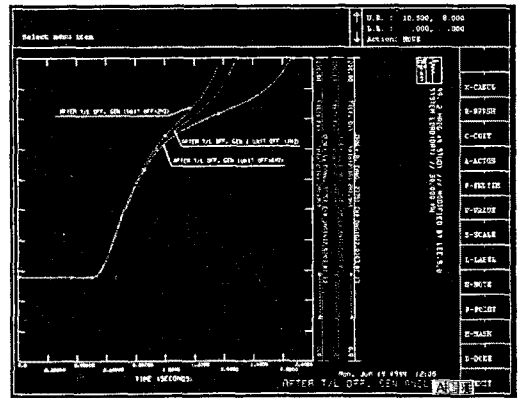


그림 1

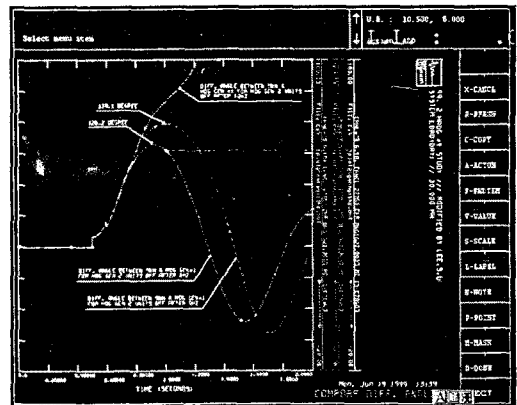


그림 2

나. 하동T/P 출력별 과도안정도 : CASE 2 기준

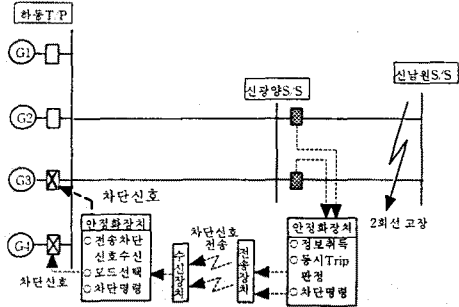
구분	신광양T/L 정상시조류	초기상차각	최대상차각	안정도	
4대 운전	90%출력 (1,800MW)	502MW×2	56.4°	-	불안정
	85%출력 (1,700MW)	463MW×2	53.3°	126.8°	안정
3대 운전	100%출력 (1,500MW)	385MW×2	49.4°	100.0°	안정

☞ 상차각은 하동T/P 발전기와 인근 345kV 변전소 BUS간 상차각임

2.2.4 하동화력 안정운용방안

가. 계통안정화장치 설치 운전(하동T/P 4기 운전)

○ 기능 : 345kV 신광양T/L 2회선 동시사고시 발전기 2대를 순시 자동정지시켜 하동화력(4기) 및 여수1발전(2기)의 탈락방지(3기 운전시는 안정화장치 OFF 운전)



○ 발전기 Trip 시간 : T/L 차단후 0.15초(9Hz) 이내

○ 적용기간 : 345kV 하동T/P-의령-고령-서대구S/S 또는 신경산S/S, 345kV 하동T/P-의령-신남원S/S 또는 신마산S/S간 송전선로 준공시까지.

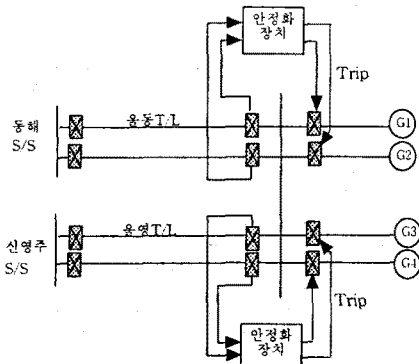
나. 345kV 신광양T/L 2회선 정지중 운용방안

과부하 상황에 따라 하동화력 출력 1,275~1,425MW 수준으로 제한운용

2.3 안정화장치 현황 및 차단방식

장소	문제점	안정화 대책	비고
평면 TP	○ 평면T/L 2회선 정지시 - 평면TP 4대 동기탈조 - Tie.Tr 과부하	○ 발전기 2대(=1.3) 순시 Trip - 발전기 1대(=2) 감당(75%)	'85.12 설치
상면 보	○ 삼천포T/L 2회선 정지시 - 삼천포TP 6대 동기탈조 - Tie.Tr 과부하	- 삼천포TP 5대 순시 Trip	'88.3월 설치
TP	○ 삼천포T/L 1회선 정지시 - 삼천포T/L 전역회선 과부하	- 6기운전시 : 1대 순시 Trip - 5기운전시 : 수동감압(1600MW)	
보령 TP	○ 아산#2 T/L 정지시 - 보령#1 T/L 과부하(140%) ○ 신보령#2 T/L 정지시 - 보령#1 T/L 과부하(130%)	○ 보령TP 1~2대 자동 Trip - 130% : #4 22斷(1초) - 110% : #4 22斷(10초) - #5 22斷(20초)	'97.8월 설치
태안 TP	○ 신안#2 T/L 정지시 - 태안TP 4대 동기탈조	○ 태안TP #2, 4(2대) Trip - OFR : 60.4 Hz	'97.8월 설치
서면 CC	○ 양주T/L 2회선 정지시 - 서면전보합 1.2, 3단계 및 일산보합 동기탈조 ○ 서면전T/L 2회선 정지 - 서면전 4단계 및 안전TP 동기탈조	○ 서면전CC OFR Trip - 60.50Hz : 1.2단계 8대 - 60.55Hz : 3단계 2대 - 60.70Hz : 3단계 1대 ○ 서면전CC OFR Trip - 60.40Hz : 2대 - 60.45Hz, 60.50Hz, 60.55Hz : 각 1대씩	'96.4월 설치
울진 NP	○ 울진#2 T/L 정지시 - 울진NP 3대 동기탈조 ○ 울진#1 T/L 정지시 - 울진NP 3대 동기탈조	○ 울진NP #3 Trip - 출력 2,780MW 이상 - 울진T/L CB b절점 ○ 울진NP #2 Trip - 출력 2,780MW 이상 - 울진T/L CB b절점	'98.2월 설치
하동 TP	○ 신광양#2 T/L 정지시 - 하동T/P 4기 동기탈조 - 여수1TP 2기 동기탈조	○ 하동T/P 2대 자동 Trip - 전용차단방식	'99.6.4 설치

※ 차지접단방식 적용예



릴레이 접점을 이용한 직접차단방식(Local Trip)

3. 결 론

본 논문에서는 기존의 전력계통 운용상 제약조건이 발생하는 하동화력등 대용량 발전단지의 안정도 제약에 대한 조류분석, 고장계산 및 안정도 해석등을 통해 그 지역 특성에 맞는 안정화장치 설치 및 운용 현황과, 적용 예 및 차단방식 등을 나타내었다.

전력계통의 원활한 운용을 위해서는 전력설비의 계획단계에서부터 계통운용 측면을 고려한 제반 여건 조성이 중요하나, 사회, 경제적인 주변요인과 전력수요의 불확실성 등으로 인해 많은 제약이 따르는 실정이다.

따라서 전력계통의 광역정전을 사전에 예방조치할 수 있도록 실시간 초고속 연산이 가능한 컴퓨터 시스템을 이용한 전력계통의 동요방지 및 안정화 시스템의 기술개발과 구축을 위한 산학연의 긴밀한 협조체계가 요망된다. 특히, 향후 전개될 전력산업구조개편의 추진에 따른 도·스매시장이 형성될 경우 전력계통의 안정운용을 위한 계통안정운용서비스(Ancillary Service)확보대책 및 추진방안에 대해 심도있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- (1) P. Kundur, "Power System Stability and Control," McGraw-Hill, Inc., 1994, New York
- (2) IEEE 1110-1991, "IEEE Guide for synchronous Generator Modeling Practices in Stability Analysis"
- (3) Power Technologies Inc., "PSSE Program Operatio Manual," Vol I, Vol II, 1995
- (4) Power Technologies Inc., "PSSE Program Applicati Guide," Vol I, Vol II, 1995
- (5) Power Technologies Inc., "Power System Dynamics Course," Vol 1, Vol 2, Vol 3, 1995
- (6) Charles A. Gross, "Power System Analysis," WILEY, 2nd Edit., 1995
- (7) 한국전력공사 기술연구원, "실시간 시스템을 이용한 계통 안정화·보호시스템 개발" 최종보고서, 1998. 2
- (8) 한국전력공사 기술연구원, "전력계통 안정도 해석을 위한 적정 부하모델에 관한 연구," 최종보고서, 1990.10
- (9) 한국전력공사 기술연구원, 한국전기연구소, "발전기 제어계 특성조사 및 적정파라메타 선정에 관한 연구," 최종보고서, 1991.11
- (10) 한국전력공사 전력연구원, 한국전기연구소, "전력계통 안정도 해석용 발전기 제어계 모델 결정에 관한 연구," 최종보고서, 1996.10
- (11) 한국전력공사 전원계획처, "발전기의 전력계통 관련 적정 기술규격에 관한 연구," 최종보고서, 1995.6
- (12) 고려대학교 부설 에너지기술 공동연구소, "전력계통 수송 능력 진단을 위한 평가지수 개발에 관한 연구," 최종 보고서, 1999. 2

장소	문 제 점	안 정 회 대 행	비 고
평택 TP	○ 평택T.L 2회선 정지시 - 평택TP 4대 동기탈조 - Tie.Tr 과부하	- 발전기 2대(#1,3) 순시Trip - 발전기 1대(#2) 급감발(75%)	'85.12 설치, '92.6월 변경, 운전중
삼천포 TP	○ 삼천포T.L 2회선 정지시 - 삼천포TP 6대 동기탈조 - Tie.Tr 과부하	- 삼천포TP 5대 순시 Trip	'88.3월 설치, '94.4월 변경(1차), '97.6.21 변경(2차), 운전중
	○ 삼천포T.L 1회선 정지시 - 삼천포T.L 잔여회선 과부하	- 6기운전시 : 1대 순시Trip - 5기운전시 : 수동감발(160%)	

장소	문 제 점	안 정 회 대 행	비 고
보령 TP	○ 아산리2 T.L 정지시 - 보령리 T.L 과부하(140%) ○ 신보령리2 T.L 정지시 - 보령리 T.L 과부하(130%)	○ 보령TP 1~2대 자동Trip - 130% : #1 遮斷(1초) - 110% : #4 遮斷(10초) - #5 遮斷(20초)	'97.8.1 설치, 운전중
태안 TP	○ 신당리리2 T.L 정지시 - 태안TP 4대 동기탈조	○ 태안TP #2, 4(2대) Trip - OFR : 60.4 Hz	'97.8.16 설치, '98.5.7 변경, 운전중
서인천 CC	○ 양주T.L 2회선 정지시 - 서인천복합 1, 2, 3단계 및 일산복합 동기탈조 ○ 신인천T.L 2회선 정지 - 서인천 4단계 및 인천TP 동기탈조	○ 서인천C/C OFR Trip - 60.50Hz : 1, 2단계 8대 - 60.55Hz : 3단계 2대 - 60.70Hz : 3단계 1대 - 운전중/ ○ 서인천C C OFR Trip - 60.40Hz : 2대 - 60.45Hz, 60.50Hz, 60.80Hz : 각 1대씩	'96.4.10 설치, '97.7.8 변경, 운전중/ 서인천 모선분할 방식 적용후 해제 예정
울진 NP	○ 울진리2 T.L 정지시 - 울진NP 3대 동기탈조 ○ 울동리2 T.L 정지시 - 울진NP 3대 동기탈조	○ 울진NP #3 Trip - 출력 2.780MW 이상 - 울진T.L CB b점원 ○ 울진NP #2 Trip - 출력 2.780MW 이상 - 울동T.L CB b점원	'98.2.26 설치, 운전중/ 울진4기 운전 기준 '99.6 현재 변경중
하동 TP	○ 신광양리2 T.L 정지시 - 하동TP 4기 동기탈조 - 여수TP 2기 동기탈조	○ 하동TP 2대 자동Trip - 진동차단방식	'99.6.4 변경, 운전중