

765kV 초기가압 운전계통에서의 안정도 검토

곽노홍*, 장경철*, 김용학*, 박정호, 김태옥
 하전 전력연구유*, 한국전력

A study of Stability at Initial Energization on 765kV power system

Kwak No Hong*, Jang Kyoung Cheol*, Kim Yong Hak*, Park Jung Ho, Kim Tae Ok
 KEPRI*, KEPCO

Abstract - A 765kV Transmission line system plays an important role in delivering the electric power produced at mid-western in Korea. This system will be constructed and operated normally on 2002. By doing the number of test operation in a given time, the reliability on the operation of 765kV transmission system could be secured.

1. 서 론

초고압 765kV 송전선로(당진화력-신안성)를 건설하여 송전능력을 향상시키고 이를 상업화 운전에 투입하기 위하여 필요한 계통계획 및 운용, 신규 개발된 기기를 시뮬레이션하고 이 결과를 실증결과와 비교함으로써 안정적인 초고압 송전운용방안을 구축하기 위하여 765kV 가압운전 계통을 대상으로 제반현상을 분석하여 초고압 송전설비에 대한 신뢰성과 계통운용의 안정성 확보방안을 모색하고자 하였다.

2. 본 론

765kV 가압운전계통에서의 안정도를 검토하기 위하여 시운전 구간 및 주요 용동전력을 담당하는 6개 복상선로들을 대상으로 정상상태 및 이들 각각의 선로들이 차단되었을 경우 계통의 안정도를 과도안정도 측면에서 검토하였다.

2.1 765kV 1차 격상계통에서의 안정도 분석

765kV 1회선이 운전됨에 따라 전력수송 능력이 증가할 뿐만 아니라 송전선로의 임피던스가 변하고 철탑에 이종의 선로가 운전되어 계통의 특성이 변한다. 이러한 특성의 변화가 계통에 미치는 영향을 분석하기 위하여 2개의 계통을 대상으로 과도적 특성에 대한 안정도를 검토하였다.

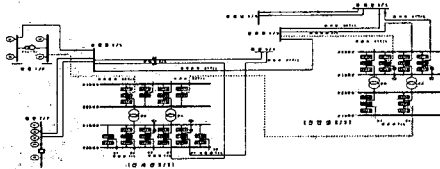


그림 1. Case 1계통도

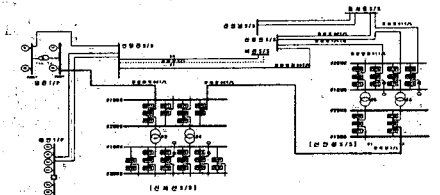


그림 2. Case 2계통도

2.1.1 765kV 1차 격상계통에서의 과도안정도 분석
 상정사고 적용시 가장 심각한 계통 사고를 모의하기 위하여 송전선로의 3상 재폐로가 실패하는 상정사고를 중점적으로 검토하였으며 단상재폐로가 실패하는 상정사고는 RTDS를 이용하여 검토하였다. 검토대상으로는 중부발전단지 및 영동발전단지 인근 송전선로, 765kV 1차 격상운전 구간 송전선로 및 복상선로에 대하여 검토하였으며 검토대상 송전선로 및 고장조건은 표 1과 같다.

표 1 상정사고 검토조건

상 정 고 장	3상재폐로 실패		3상재폐로 실패·성공·無		1상재폐로 실패·성공	
	CASE1	CASE2	CASE1	CASE2	CASE1	CASE2
신당진-아산간 2회선				●		○
신당진-신서산, 신당진-아산간 2회선			●			○
신서산-아산, 신당진-아산간 2회선			●			○
신당진-신용인간 1회선	●	●				
765kV 신서산-신안성간 1회선	●			●		○
765kV신서산-신안성간, 345kV신당진-신용인간 2회선	●					
아산-화성간 2회선	●	●				
울진-신영주간 2회선	●	●				
울진-의정부간 2회선	●	●				
울진-동해간 2회선			●	●	○	○

* ● : PSS/E 및 RTDS, ○ : RTDS를 이용하여 검토

검토대상 계통의 과도안정도를 분석하기 위하여, 주요 모선에 3상 고장사고를 상정하였으며 가장 심각한 사고를 모의하기 위해서 3상 재폐로가 실패하는 경우를 검토하였다. 검토결과, 신서산-신안성간 765kV T/L이 고장으로 인하여 단상 재폐로가 실패하는 경우에 과도안정도 측면에서 불안정해지며, 이때 안정운용방안으로 당진화력 2기를 순시차단하여 계통의 안정도를 유지할 수 있었다. 특히 765kV 1차 격상운전 계통에서 765kV 송전선로 인근 사고는 계통의 과도안정도에 심각한 영향을 미치는 것으로 검토되었다.

표 2. 최소부하계통 과도안정도 검토결과

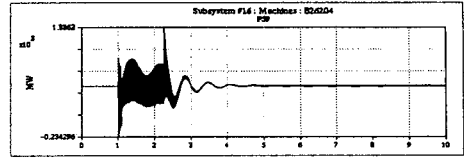
상정사고	검토계통	재페로	안정운용방안
신당전-신사산간 신당전-이산간 345kV T/L 동시	CASE 1	3상 재페로 실패/성공/미적용시	태안 2기, 당진 1기 순시차단
		1상 재페로 실패시	태안 1기 순시차단
신사산-이산간 신당전-이산간 345kV T/L 동시	CASE 1	3상 재페로 실패/미적용시	태안 2기 순시차단
		3상 재페로 성공시	태안 1기 순시차단
신당전-이산간 345kV T/L 2회선	CASE 2	3상 재페로 실패/성공/미적용시	태안 2기, 당진 1기 순시차단
		1상 재페로 실패시	태안 1기 순시차단
		1상 재페로 성공시	
신당전-신용인간 345kV T/L 1회선	CASE 1	3상 재페로 실패시	
	CASE 2	3상 재페로 실패시	
신사산-신안성간 765kV T/L 1회선	CASE 2	1상, 2상, 3상 재페로 실패시	당진 2기 순시차단
		1상 재페로 성공시	
신사산-신안성간 765kV T/L 신당전-신용인간 345kV T/L 동시	CASE 1	3상 재페로 실패/성공/미적용시	태안 1기, 당진 1기 순시차단
		1상 재페로 실패/성공시	
이산-화성간 345kV T/L 2회선	CASE 1	3상 재페로 실패시	
	CASE 2	3상 재페로 실패시	
울진-신영주간 345kV T/L 2회선	CASE 1	3상 재페로 실패/성공/미적용시	울진 1기 순시차단
	CASE 2	1상 재페로 실패/성공시	
울진-의정부간 345kV T/L 2회선	CASE 1	3상 재페로 실패/성공/미적용시	울진 1기 순시차단
	CASE 2	3상 재페로 실패/성공시	
울진-동해간 345kV T/L 2회선	CASE 1	3상 재페로 실패/성공/미적용시	울진 1기 순시차단
	CASE 2	3상 재페로 실패/성공시	

표 3. 최대부하계통 과도안정도 검토결과

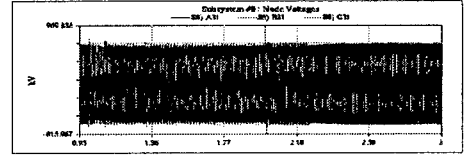
상정사고	검토계통	재페로	안정운용방안
신당전-신사산간 신당전-이산간 345kV T/L 동시	CASE 1	3상 재페로 실패/미적용시	태안 2기 순시차단
		3상 재페로 성공시	태안 1기 순시차단
신사산-이산간 신당전-이산간 345kV T/L 동시	CASE 1	3상 재페로 실패/성공/미적용시	
		3상 재페로 실패/성공시	
신당전-이산간 345kV T/L 2회선	CASE 2	3상 재페로 실패/성공/미적용시	태안 2기 순시차단
		1상 재페로 실패/성공시	
신당전-신용인간 345kV T/L 1회선	CASE 1	3상 재페로 실패시	
	CASE 2	3상 재페로 실패시	
신사산-신안성간 765kV T/L 1회선	CASE 2	1상, 2상, 3상 재페로 실패시	당진 2기 순시차단
		1상 재페로 성공시	
		2상, 3상 재페로 성공시	당진 2기 순시차단
신사산-신안성간 765kV T/L 신당전-신용인간 345kV T/L 동시	CASE 1	3상 재페로 실패시	
		3상 재페로 실패시	
이산-화성간 345kV T/L 2회선	CASE 1	3상 재페로 실패시	
	CASE 2	3상 재페로 실패시	
울진-신영주간 345kV T/L 2회선	CASE 1	3상 재페로 실패시	
	CASE 2	3상 재페로 실패시	
울진-의정부간 345kV T/L 2회선	CASE 1	3상 재페로 실패시	
	CASE 2	3상 재페로 실패시	
울진-동해간 345kV T/L 2회선	CASE 1	3상 재페로 실패/성공/미적용시	울진 1기 순시차단
		1상 재페로 실패/성공시	
		3상 재페로 실패/성공/미적용시	울진 1기 순시차단
	CASE 2	3상 재페로 실패/성공/미적용시	울진 1기 순시차단
		1상 재페로 실패/성공시	

최대 부하계통(CASE 2)에서 신사산-신안성 765kV T/L 1회선이 계통사고로 인하여 동시에 차단되고 1상, 2상, 3상 재페로가 실패하거나 1상 재페로 성공시를 제외 하면 모든 재페로 적용방안에서 동기화력 부족으로 인하여 발전기가 동기탈조하는 불안정현상을 나타낸다. 안정 운용방안으로 평형 또는 불평형 사고에 대해 당진화력 2기를 순시 차단함으로써 계통의 안정도를 유지할 수 있다. 그림 3은 1상 재페로가 성공하여 계통의 안정도가 유지되는 경우, 그림 4는 2상 및 3상 재페로가 성공하였지

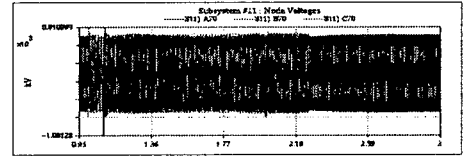
만 안정운용방안이 적용되지 않았기 때문에 계통의 안정도가 유지되지 않는 경우, 당진화력 2기를 순시차단하는 안정운용방안을 적용하여 안정도를 유지한 경우를 RTDS 모의 결과를 나타낸 것이다.



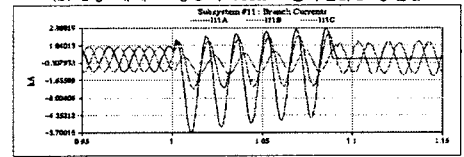
(a) 1상 재페로 성공시 당진T/P#4 발전기 출력



(b) 1상 재페로 성공시 765kV 신안성S/S 상전압

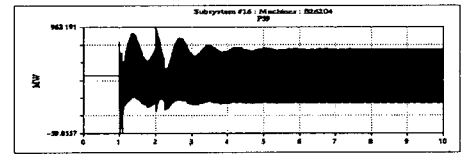


(c) 1상 재페로 성공시 765kV 신사산S/S 상전압

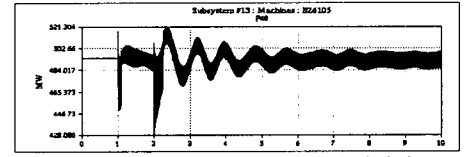


(d) 불평형 사고시 765kV 신사산S/S측 고장전류

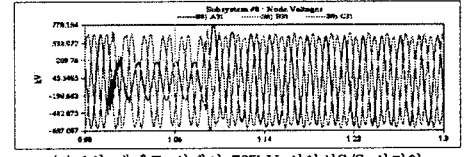
그림 3. RTDS 모의 결과(CASE 2, 안정)



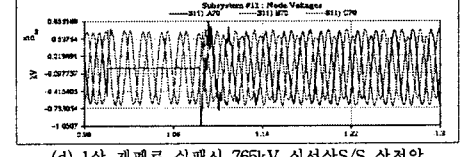
(a) 1상 재페로 실패시 당진T/P#4 발전기 출력



(b) 1상 재페로 실패시 태안T/P#5 발전기 출력



(c) 1상 재페로 실패시 765kV 신안성S/S 상전압



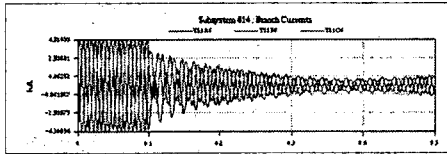
(d) 1상 재페로 실패시 765kV 신사산S/S 상전압

그림 4. RTDS 모의 결과(CASE 2, 안정)

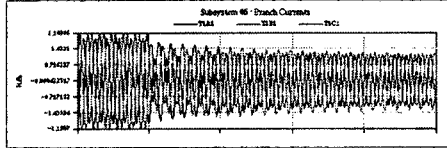
2.1.2 765kV 1회선 가압시 발전기/Tie Tr측 상전류 765kV 1차 격상운전 계통에서 1회선 가압시 당진화력 #1 및 당진화력 #3호기 측 상전류 및 Tie Tr에 흐르는 각각의 상전류는 표 4과 같다. 신서산측 차단기 투입시 불평형율은 당진화력 #3에서 보다 크게 발생하고 있지만 765kV 신서산 T/L의 신안성측 차단기가 투입된 이후에는 당진화력 #1에서 보다 크게 발생하는 것으로 검토되었다.

표 4. 상전류 결과(kA)

구분	최소	신서산측 차단기 투입시	신서산측 Sh.R 투입시	신안성측 차단기 투입시		신안성측 차단기 투입후
				평균치	최대치	
당진T/P #1	A상	18.0	17.8	18.1	24.3	30.2
	B상	19.0	18.8	19.0	25.0	30.6
	C상	19.2	19.1	19.4	24.4	24.6
	불평형율(%)	6.8	6.9	6.9	2.8	21.2
당진T/P #3	A상	18.4	18.0	18.7	32.6	44.1
	B상	19.1	18.7	19.3	33.9	46.1
	C상	19.2	18.8	19.5	32.8	33.6
	불평형율(%)	3.9	4.3	4.2	3.9	30.4
Tie.Tr	A상	2.1	2.1	2.1	-	1.0
	B상	2.1	2.1	2.1	-	1.0
	C상	2.2	2.1	2.1	-	1.0
	불평형율(%)	3.1	2.3	2.1	-	5.6



(a) 당진화력-신당진간 345kV T/L 전류



(b) 신당진-신용인간 345kV T/L 전류

그림 5. 765kV 최상가압시(765kV 신서산T/L 신안성측 차단기 투입)

2.2 765kV 2차 격상계통에서의 안정도 분석

765kV 2회선이 운전됨에 따라 실질적인 765kV 상압 운전 계통이 형성됨으로써 765kV 선로의 투입으로 인한 계통의 과도적 특성을 검토하였다.

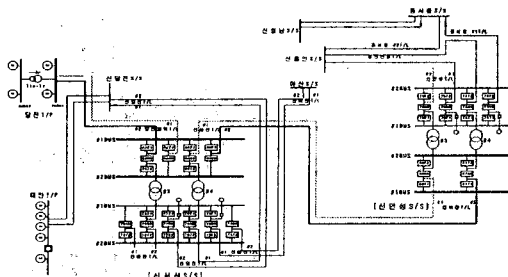


그림 6. 765kV 2차격상 계통도

2.2.1 765kV 2차 격상계통에서의 과도안정도 분석

검토대상 계통에 대한 과도안정도를 검토하기 위하여 주요 모선에 3상 고장사고를 상정하였으며 가장 심각한 중대사고를 모의하기 위하여 3상 재폐로가 실패하는 경우를 검토하였다. 검토결과, 신당진-신서산간 345kV T/L, 울진-신영주간 345kV T/L, 울진-동해간 345kV T/L이 계통사고로 인하여 2회선이 차단되는 경우, 최소/최대 부하계통에서 발전기가 동기탈조하는 불안정현상이 발생하는 것으로 검토되었지만 안정운용방안으로 발전력을 차단하면 계통의 과도안정도를 유지할 수 있는 것으로 검토되었다.

표 5. 최소부하계통에서 과도안정도 검토결과

상정고장	상차각		안전운용방안	최대상차각
	초기	최대		
신서산-신안성간 765kV T/L 2회선		106.6		
신당진-신서산간 345kV T/L 2회선	동기탈조		태안 4기 순시 차단	106.9
신서산-아산간 345kV T/L 2회선		92.9		
아산-화성간 345kV T/L 2회선		101.8		
신성남-동서울간 345kV T/L 2회선		85.7		
울진-신영주T/L 2회선	동기탈조		울진 1기 순시 차단	106.3
울진-동해T/L 2회선	동기탈조		울진 1기 순시 차단	106.3
울진-의정부T/L 2회선		106.3		

표 6. 최대부하계통에서 과도안정도 검토결과

상정고장	상차각		안전운용방안	최대상차각
	초기	최대		
신서산-신안성간 765kV T/L 2회선		139.2		
신당진-신서산간 345kV T/L 2회선	동기탈조		태안 4기 순시 차단	106.9
신서산-아산간 345kV T/L 2회선		118.0		
아산-화성간 345kV T/L 2회선		97.1		
신성남-동서울간 345kV T/L 2회선		71.3		
울진-신영주T/L 2회선	동기탈조		울진 1기 순시 차단	102.0
울진-동해T/L 2회선	동기탈조		울진 1기 순시 차단	104.0
울진-의정부T/L 2회선		125.6		

2.2.2 765kV 2회선 사고시 조건별 전압검토

765kV 송전선로인 신서산T/L과 당진화력 T/L이 각각 2회선이 계통사고로 인하여 동시에 차단되는 상정사고를 검토하였으며 또한, 검토시 765kV 송전선로가 차단되는 경우 345kV 모선측의 Shunt Reactor를 차단하는 방안과 적정량의 Shunt Capacitor 345kV 모선측에 투입하는 방안을 검토하였다. 검토결과 2002년 하계 최대/최소 부하계통의 765kV 송전선로인 신서산 T/L 2회선 사고의 경우에는 765kV 송전선로 차단과 동시에 345kV 모선측에 투입된 신서산S/S 및 신안성S/S의 Shunt Reactor를 차단하고 또는 이와 반대로 적정량의 Shunt Capacitor를 이들 모선에 투입하는 것이 주요 345kV 모선 및 765kV 모선의 전압을 보다 효과적으로 유지할 수 있는 것으로 검토되었다. 그러나 2002년 하계 최대/최소 부하계통의 765kV 송전선로인 당진화력 T/L 2회선 사고의 경우에는 345kV 모선측인 신서산S/S 및 신안성 S/S의 Shunt Reactor를 차단하고 적정량의 Shunt Capacitor를 투입할 지라도 상정사고시 당진화력 발전기들이 동기탈조하여 계통의 안정도를 유지할 수 없었다. 이 경우 각각 최대/최소 부하계통에서 2,000MW와 1,500MW의 발전력이 상실된다. 또한 당진화력 T/L 2회선 사고시 계통의 안정도를 유지하기 위하여 345kV 모선인 신안성S/S 및 신서산 S/S 측에 무효전력을 보상하는 방안을 검토하기 위하여 대응량의 SC 투입을 고려하였지만 과도안정도 유지가 불가능하므로 보다 효과적인 안정도 향상 방안이 필요하다고 검토되었다.

표 7. 2002년 하계 부하계통 검토사례

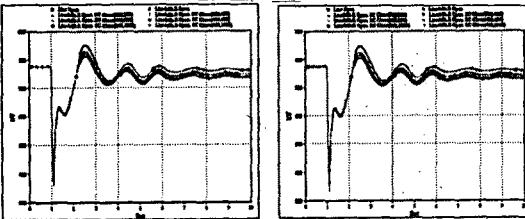
검토사례	765kV 신서산T/L 상정사고시	765kV 당진화력T/L 상정사고시	SC 투입량 (345kV 모선)
Case 1	선로개방	선로개방	-
Case 2	선로개방, Sh.R 차단	선로개방, Sh.R 차단	-
Case 3	선로개방, Sh.R 차단, SC 투입	선로개방, Sh.R 차단	신안성: 200 MVar 신서산: 200 MVar
Case 4	선로개방, Sh.R 차단, SC 투입	-	신안성: 200 MVar 신서산: 400 MVar
Case 5	선로개방, Sh.R 차단, SC 투입	-	신안성: 400 MVar 신서산: 200 MVar
Case 6	선로개방, Sh.R 차단, SC 투입	-	신안성: 400 MVar 신서산: 400 MVar
Case 7	선로개방, Sh.R 차단, SC 투입	-	신안성: 200 MVar 신서산: 1000 MVar
Case 8	선로개방, Sh.R 차단, SC 투입	-	신안성: 400 MVar 신서산: 1000 MVar

표 8. 최소부하계통 신서산T/L 2회선 차단시 모션전압(kV)

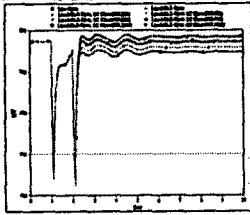
계통 운전시	교장기간		송전선로 개방 후	Sh. R 차단부	345kV S/S속 SC부일부[MVA]				
	최소	최대			신서산				
					200	200	400	400	
765kV 모션									
당진T/P(6020)	783	360	808	741	752	756	763	757	763
신서산S/S(6030)	781	342	802	737	749	755	761	755	761
신안성S/S(4010)	781	414	751	743	771	785	786	799	800
345kV 모션									
당진T/P(6200)	348	217	376	339	343	344	346	344	346
신서산S/S(6300)	356	247	365	342	349	353	356	353	356
신안성S/S(4100)	357	235	347	343	356	363	364	369	370
양주S/S(1400)	358	301	360	351	356	358	358	360	360
외경부S/S(1500)	358	291	359	351	356	359	359	361	361
동서울S/S(2500)	360	282	356	351	358	361	362	364	365
화성S/S(4400)	354	282	346	343	348	350	351	351	352
신성남S/S(4500)	362	285	356	352	358	361	362	363	364
서서울S/S(4600)	355	287	449	344	349	351	352	352	353
신용인S/S(4700)	357	250	349	345	356	361	362	367	367
청원S/S(4900)	355	297	351	348	352	355	355	357	357

표 8. 최대부하계통 신서산T/L 2회선 차단시 모션전압(kV)

계통 운전시	교장기간		송전선로 개방 후	Sh. R 차단부	345kV S/S속 SC부일부[MVA]				
	최소	최대			신서산				
					200	200	400	400	
765kV 모션									
당진T/P(6020)	776	364	810	737	741	745	749	745	748
신서산S/S(6030)	774	336	807	731	736	740	744	740	745
신안성S/S(4010)	773	430	746	746	758	770	770	782	782
345kV 모션									
당진T/P(6200)	347	220	372	339	340	341	342	341	342
신서산S/S(6300)	354	259	370	336	340	343	347	343	347
신안성S/S(4100)	354	247	347	345	351	356	356	362	362
양주S/S(1400)	359	328	363	355	356	357	357	357	358
외경부S/S(1500)	358	318	360	353	354	356	356	357	357
동서울S/S(2500)	357	302	355	351	353	355	355	357	357
화성S/S(4400)	349	301	356	337	338	340	340	340	341
신성남S/S(4500)	353	304	354	344	346	347	347	349	349
서서울S/S(4600)	350	309	356	340	341	342	343	342	343
신용인S/S(4700)	350	305	348	343	350	355	355	359	359
청원S/S(4900)	350	305	346	343	344	346	346	348	348

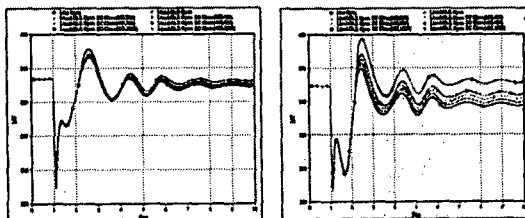


(a) 당진T/P 765kV 모션전압 (b) 신서산S/S 765kV 모션전압

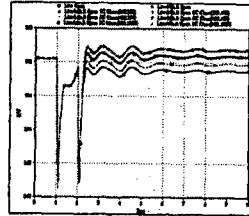


(c) 신안성S/S 765kV 모션전압

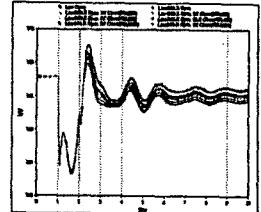
그림 7. 상경사고 적용시 765kV 모션전압 변동



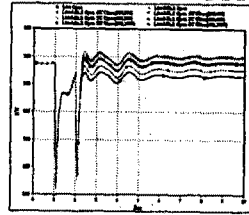
(a) 당진T/P 345kV 모션전압 (b) 신서산S/S 345kV 모션전압



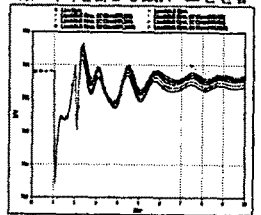
(c) 신안성S/S 345kV 모션전압



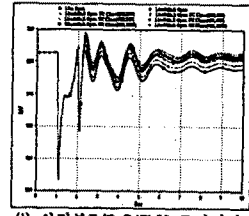
(e) 서서울S/S 345kV 모션전압



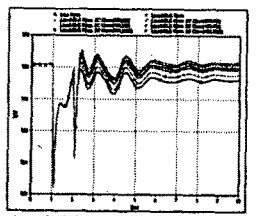
(g) 신용인S/S 345kV 모션전압



(h) 양주S/S 345kV 모션전압



(i) 외경부S/S 345kV 모션전압



(j) 동서울S/S 345kV 모션전압

그림 8. 상경사고 적용시 345kV 모션전압 변동

3. 결 론

신서산과 신안성 간 765kV 선로의 성공적인 상업운전에 대비하여 765kV 선로의 운전과 관련한 다양한 운전 조건에서 계통을 모의 해석하고, 그 결과를 분석함으로써 계통운영에 필요한 과도 상태의 결과를 분석하고 각 영향별 계통의 응답특성을 분석함으로써 계통에 발생할 수 있는 문제점을 제거하고 앞으로의 계통 특성 모의에 적용하고자 하였다.

(참 고 문 헌)

- 1) 전력연구원, "전력계통 안정도 정밀해석을 위한 적정 부하 모델에 대한 연구", 2001.3
- 2) 전력연구원, "765kV 초기압 운전에 따른 제반 현상 분석 및 비교 검증", 2001.11