

### 345kV 화성변전소 한류리액터 적용과 계통현상 분석

김기일, 김종선, 이봉희, 박무룡, 김명기, 김승규  
한국전력공사

#### Limiting current reactor application and power system analysis to 345kV HwaSung substation

Gi-il Kim, Jong-seon Kim, Bong-hee Lee, Moo-ryong Park, Myung-kie Kim, Seung-kyoo Kim  
Korea Electric Power Corporation (KEPCO)

**Abstract** - 본 논문은 수도권 전력계통의 연계운전에 따른 고장전류의 흐름을 분석하고 한국전력 수원전력 화성변전소 345kV 모선의 차단용량(40kA) 초과에 따른 대처방안으로 고장전류를 저감시키기 위하여 한류리액터의 적정용량, 기기배치 방법, 전자계 영향 등을 다각도로 검토하였으며, 한류리액터 설치 후 운전 중에 나타나는 계통현상에 대하여 문제점을 도출하고 대책을 제시하고자 하였다.

#### 1. 서 론

수도권 부하의 지속적인 증가로서 남서해안에 위치한 대규모 전원단지로부터 수도권으로 전력이 집중되고 있으며 전력계통이 연계됨에 따라 고장시 발생하는 고장전류가 기존에 설치된 차단기의 정격차단용량을 초과하는 변전소가 다수 발생하고 있다. 이와 같은 문제를 해소하기 위해서는 차단기의 고장차단용량을 높이거나 모선 고장전류를 저감시키는 방법 등을 사용하고 있는데, 현재 우리 전력계통에서는 주로 모선 고장전류를 저감하기 위하여 단기적인 방법으로 345kV 및 154kV 모선을 2중 모선에서 단모선 방법으로 계통을 분리 운전하고 있다. 그러나 모선분리 운전으로 인하여 계통운영이 어려워짐에 따라 모선에 한류리액터를 설치하여 고장전류를 감소시키는 방법이 검토되어 시행되고 있는바, 이중 화성변전소 345kV 모선에 설치한 한류리액터의 고장전류 억제효과와 이로 인하여 운전 중 나타나는 계통현상을 분석하고자 한다.

#### 2. 본 론

화성변전소에 한류리액터를 설치하기 전에 여러 가지 검토해야 할 것들이 있는데 주요내용으로는 첫째, 계통 고장전류 억제효과를 분석하여 리액터의 적정용량을 산출하고 둘째, 현장여건에 맞게 기기배치 방법을 검토하며 셋째, 한류리액터 보호방식을 선정하고 넷째, 리액터용 차단기에 대한 과도회복전압(TRV) 산출 및 자계 영향을 고려하여 인적, 기계적 안전 확보 등이 있으며 세부내용은 다음과 같다.

##### 2.1 화성변전소 한류리액터 적정용량 선정

한류리액터 임피던스 크기에 따른 고장전류를 계산하여 정격을 결정하는데 계산 값은 다음과 같다.

<표 1> 한류리액터 임피던스에 따른 고장전류 변화

검토년도		2010년 Peak 정상계통						
임피던스 <sup>1)</sup> [p.u/조]		0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040
고장전류 크기 [kA]	서서울(345kV)	47.9	47.1	46.5	46.0	45.6	45.3	45.1
	서서울(154kV)	50.3	49.9	49.7	49.5	49.3	49.2	49.1
	화성(아산-서서울)	46.6	44.5	43.1	42.1	41.3	40.7	40.2
	화성(평택-신시흥)	42.0	39.2	37.5	36.2	35.2	34.5	33.9

<표 2>에서 보는 바와 같이 한류리액터 임피던스 0.015[p.u] × 2조(2중모선) 이상을 적용할 경우에는 345kV 서서울변전소 154kV 모선 및 화성S/S(평택T/P-신시흥 계통측) 모선 고장전류가 차단기 정격차단전류(40kA) 이하로 억제되지만 한류리액터의 임피던스는 높아질수록 계통의 신뢰도 및 안정도가 저하되므로 가능한 작은 값을 선정하는 것이 타당하다. 단, 한류리액터의 임피던스가 0.020[p.u] × 2조 이하일 경우, 화성S/S 모선(아산-서서울 계통측)의 고장전류가 2006년부터 정격차단전류를 초과하여 리액터 설치와 같은 시기에 차단기 교체가 불가피하게 되므로 先투자 방지를 위해 차상위 임피던스인 0.025[p.u] × 2조 설치한다.

1) I[p.u] : 100MVA 기준, 345kV 기준임피던스 1,190[Ω]

<표 2> 한류리액터 임피던스와 연도별 고장전류

구 분	화성(아산-서서울측) 고장전류[kA]			
	0.015	0.020	0.025	0.03
임피던스[p.u/조]	0.015	0.020	0.025	0.03
2006년	41.7	40.5	39.7	39.0
2008년	42.9	41.6	40.7	40.1
2010년	44.5	43.1	42.1	41.3
차단기 교체시기	2008년 (리액터설치시)	좌동	2008년	좌동

화성S/S 345kV 모선간 한류리액터 0.025[p.u] × 2조 설치시 한류리액터의 정격전류용량은 <표 3>과 같다.

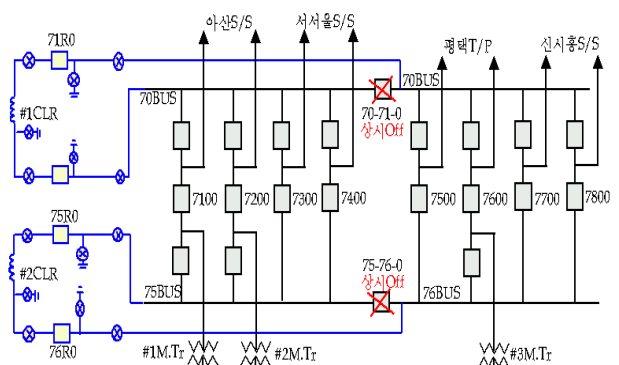
<표 3> 한류리액터 정격전류용량

상정고장 조건 (루트)	화성변전소 한류리액터 용량 조류[MVA]			
	2008년		2010년	
	Peak	Off-Peak	Peak	Off-Peak
정상시	255×2	341×2	226×2	349×2
영서-서서울	649×2	661×2	716×2	682×2
화성-서서울	572×2	549×2	445×2	445×2
신시흥-신인천	261×2	393×2	271×2	429×2
평택T/P 1기	311×2	OFF	282×2	OFF

다양한 고장을 상정하여 해석한 결과, 가장 큰 조류는 2010년 피크시 716MVA(1,200A)를 감당할 수 있으며, 향후 계통 변동 여건 등을 감안하여 한류리액터의 정격용량은 840MVA (1,400A)로 선정하였다.

##### 2.2 기기배치

화성변전소의 기존부지 및 변전설비를 최대한 활용하는 방법으로 기기배치를 검토하였으며 345kV 모선에 기설 모선분리 차단기(BUS Section CB)를 By-pass 회로로 활용하고 모선과 한류리액터 보호를 위하여 리액터 양측에 차단기 신설하며 리액터 및 차단기 양측에 단로기 설치하고 접지단로기는 단로기와 차단기 사이에 설치, 리액터측에는 1조만 설치하는 것으로 하였다. <그림 1>은 화성변전소 345kV 기기배치와 간이 계통도이다.



<그림 1> 화성변전소 345kV 기기 배치도

### 2.3 보호방식 검토

화성변전소 한류리액터를 설치한 345kV 모선보호방식은 기존의 보호방식인 전압차동방식을 2계열로 구성하고, 리액터의 주보호는 전류차동방식, 후비보호는 단락 및 지락과전류계전기 및 저전압계전기를 각각 2계열화하여 보호 신뢰도를 구비하였다. <표 4> 345kV 모선과 리액터에 대한 보호방식이다. 리액터 운전여건에 따라 계통 임피던스가 변화됨에 따라 화성변전소와 연계된 선로의 계전기 설정 값은 변경하여야 한다.

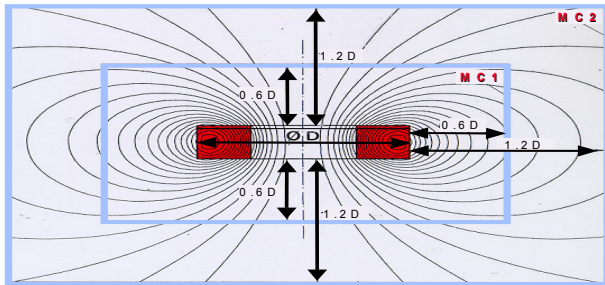
<표 4> 화성변전소 모선 및 리액터 보호방식

리액터 설치 전			리액터 설치 후		
보호대상	계열	보호방식	보호대상	계열	보호방식
#1모선 (70-71)	제1계열	전압차동방식	#1모선 (70-71)	제1계열	전압차동방식
	제2계열	"		제2계열	"
#2모선 (75-76)	제1계열	전압차동방식	#2모선 (75-76)	제1계열	전압차동방식
	제2계열	"		제2계열	"
-	-	-	한류리액터	제1계열	주:전류차동방식
				제2계열	후비:과전류방식

보호계전기 시한협조는 한류리액터의 단락고장 내력시간과 모선 및 선로 보호계전기와 협조를 고려하였으며, 순시요소는 외부 고장시 자동작 방식을 위해 Trip을 분리(경보운전)하며, 지락요소는 리액터 운전시 상간 불평형 전류를 검출하기 위해 사용되며 경보 운전한다.

### 2.4 리액터 운전 중 자계영향 검토

공심형 리액터는 구조적 특성으로 리액터 근처에 나타나는 자력선에 의해 자계가 형성되는데, 리액터에서 발생하는 자력선은 구(球)도체 금속부에 전류를 유기하여 부하상태에서 금속부에 심한 열을 유발시키고 고장전류 등 대전류가 흐를 경우, 기계적인 힘을 발생시킨다. 한류리액터 제작자인 Trench사에서 검토한 자계 이격거리 기준은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 자계 이격거리 기준(MC1 : 0.6D, MC2 : 1.2)

※ 용어의 해설

1. D : 한류리액터 바깥지름
2. MC1 : 금속 폐회로를 구성하지 않아야 하는 자계이격거리
3. MC2 : 금속폐회로 구성해도 가능

한류리액터 근처에 설치하는 금속 구조체와 최소 자계이격거리를 유지하기 위하여 리액터를 지지하는 콘크리트 기초를 높게 하여 자계영향을 최소화 하였다.



<그림 3> 콘크리트 기초 시공사진

리액터 운전 중 자계영향을 최소화하고 차단기가 차단한 후에 차단극 양단자간에 나타나는 과도회복전압의 파고치를 낮추기 위한 대책을 <표 5> 에 나타내었다.

<표 5> 리액터 운전 중 자계영향 및 과도회복전압(TRV) 대책

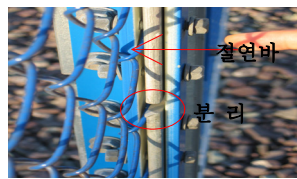
구분	대책	
자계영향	자계이격거리	고(高)기초 시공
	기초 시공	기기 기초의 철근 교차점 절연(절연튜브 사용)
		리액터 지지대자 기초별 접지 시행
	울타리 시공	비금속 (프라스틱, 콘크리트 등) 울타리 설치
금속 울타리 설치시 : 절연와사, 볼트, 절연바 사용		
분기모선시공	분기모선 2개중 1개 분리(폐회로 개방)	
과도회복전압	리액터 연결모선을 단상 GIB로 설치	



<그림 4> 기초철근 절연튜브



<그림 5> 기초별 접지



<그림 6> 울타리 절연바



<그림 7> 분기모선 분리

### 2.5 한류리액터 운전 중 계통조류 분석

고장전류 초과 해소방안으로 화성S/S 345kV 모선에 한류리액터를 설치하여 운전한 후, 화성변전소 345kV #1,2,3번압기(1,500MVA)의 조류를 분석한 결과, <표 6, 7> 과 같이 변압기간 부하분담의 불평형이 심화되어 1Bank 고장시 잔여 변압기 2Bank가 140% 과부하 됨에 따라 부하공급 방안을 수립할 필요성이 대두되었다.

<표 6> 평택T/P(C/C) 운전 정지시 #3M.Tr 부하현황

구분	평택T/P	#1M.Tr	#2M.Tr	#3M.Tr	합계
'08.01.17 01H	360MW	380MW	380MW	110MW	870MW
'08.01.17 03H	0MW	450MW	450MW	20MW	920MW

<표 7> 특수 경부하(연휴, 명절)시 #3M.Tr 역조류

#1M.Tr	#2M.Tr	#3M.Tr	합계
300MW	300MW	-50MW	550MW

변압기간 부하분담의 불평형을 해소하는 방안으로는 우선 화성변전소 345kV #1, 2M.Tr 부하가 100% 근접시에는 평택T/P 제약발전을 요청하고, 평택T/P 제약발전 시행 전에 화성변전소 #1, 2M.Tr의 부하가 100% 초과할 경우에는 통합 운전하는 154kV측 모선을 분리 운전하여 변압기의 부하를 분담시키는 방안 등이 있으나, 이는 단기적인 대책으로 보다 중장기적인 대책을 모색할 필요성이 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 수도권 부하 집중현상과 계통연계에 따라 고장용량이 지속적으로 증가하고 있는 345kV 화성변전소의 모선 고장전류를 억제하기 위하여 설치 운영중인 한류리액터에 대하여 고찰을 하였다. 또한 한류리액터 운전으로 인한 화성변전소 345kV 변압기 부하분담의 불평형 발생과 해소대책에 대하여 여러 가지로 검토하고 방안을 제시하였다. 중장기적으로 345kV 변압기 간의 부하 불평형을 해소하기 위해서는 345kV #3번압기 1차측을 #70-#75 모선측으로 이설하거나 345kV #4번압기를 증설하여 중부하 및 변압기간 부하 불평형을 해소하는 방법이 시급히 요구된다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 화성S/S 한류리액터 적용방안 검토서('04.11 한전 수원전력관리처)
- [2] 345kV M.Tr 중부하에 따른 화성S/S 운영방안 검토서 ('08.01 송변전운영처 계통운영팀)