

345kV 한류리액터 운전에 따른 전력계통 동적안전도 해석

이백석, 강대언, 이강완\*  
한국전력공사, (주)대화기술사\*

Analysis of Power System Dynamic Security Due to Operation of 345kV CLR

Baek Seok Lee, Dae Eon Kang, Kang Wan Lee\*  
KEPCO, DAHWA Engineering & Consultants Co., Ltd.\*

**Abstract** - The growing demand for electricity has result in a corresponding increase in power generated and transmitted. As the increase in installed capacity of power system, the fault currents of 345kV system will be increased beyond the interrupting duty of the circuit breakers. The current limiting reactors are used to limit the fault current. The paper presents the result of the transient stability and voltage stability due to install 345kV current limiting reactor to suppress the fault currents.

1. 서 론

전력계통은 수요 증가에 대응하여 지속적으로 규모가 확대되고 있다. 전력계통 규모가 확대되면 계통의 등가 임피던스가 감소하게 되어 고장전류가 증대된다. 우리나라 전력계통의 중추인 345kV 계통에서 일부 변전소의 경우 최대고장전류가 기존의 차단기 차단내력을 육박하거나 상회하는 개소가 나타나고 있다. 이와 같이 증대되는 전력계통의 고장전류에 대처하기 위해 차단내력이 큰 345kV 차단기 교체, 345kV 한류리액터 설치 또는 모선 분리 방안들이 적용되고 있거나 또는 계획되어 있다. 이와 같은 고장전류 대응 대책은 전력계통의 정태 및 동태 특성을 변화시키게 될 것이다. 본 논문은 345kV 한류리액터 설치에 따른 전력계통의 동적안전도를 해석 전력계통에 미치는 영향을 분석 한 것이다.

2. 본 론

2.1 고장전류 저감 방안

전력수요 증가와 더불어 공급신뢰도 향상 등 사회적인 요구에 부응하도록 전원설비 신설 및 증설과 송변전계통 확충이 따르게 되며 이로 인하여 고장전류가 증가되고 있는 추세이다. 오늘날과 같이 전력수요 증가율이 큰 상태에서는 매우 빠른 속도로 계통의 고장전류가 증가되므로 전력계통 계획은 물론 운영 측면에서도 적정 대처 방안이 체계적으로 수립되어 실시되어야 한다.

전력계통에서 과도하게 증대되는 고장전류에 대처하는 방안으로는 첫째, 차단기를 차단내력이 큰 것으로 교체 방안 둘째, 계통분리, 직렬리액터 설치, 고임피던스 기기 채용 및 계통전압 격상과 같은 적극적인 고장전류 저감 방안 그리고 셋째, 신기술이 적용된 한류기 적용, 직류 연계 및 자동절체 시스템 채용과 같은 신기술을 적용한 대처 방안 등이 있다.

그러나 앞에서와 같은 대처 방안들 중 일부는 계획에서 실시까지 소요 기간이 몇 년 이상 걸리게 되는 문제와 여기에 소요되는 비용도 수백억원 이상이 소요될 수 있으며, 또한 신기술이 적용되어야하는 방안의 경우 신기술 개발 여하에 따라서는 이의 실제 적용까지 예측할 수 없는 방안들도 나올 수 있다. 표 1은 증대되는 고장전류 대처 방안별 문제점과 이를 실제계에 적용하기 위해 선결해야할 사항들을 간략화 한 것이다.

표 1 고장전류 대처 방안

구분	고장전류 저감 방안	문제점 및 선결 과제
차단기 교체	차단기 차단내력 격상	-대전류 차단기 고가
		-교체에 따른 전력공급 지장
고장전류 저감	계통 분리	-선로 및 모선 등 기기 내력 격상
		-전력 용량 제약
		-설비 과부하 및 전압강하
		-안정도 저하
직렬리액터 설치	고임피던스 기기 채용	-넓은 설치 공간 소요
		-계통 안정도 저하
		-UHV 기술 개발
신기술 적용	한류기 적용	-투자비 과다
		-사고시 안정도 저하
		-기술 개발
		-보호계전 방안 개발
직류 연계	자동절체 시스템	-투자비 과다
		-SSR(저주파속 비틀림 공진) 방지
		-보호제어 장치 개발

전력계통 고장전류 증대에 대처하기 위한 대책은 실시 시기를 감안하여 장기로 대처할지 단기로 대처할지 여부와 해당 개소가 발전소인지 또는 변전소인지 변전소인 경우 변전소 전압별로 그리고 기존의 변전소인지 또는 신설되는 변전소인지 여하에 따라 각각의 최적 대처 방안이 다를 뿐 아니라 경우에 따라서는 이들 대처 방안을 단계별로 실시하는 것이 고장전류 저감 효과는 물론 고장전류 저감에 따라 일반적으로 발생하게 되는 전력공급의 신뢰성 저하 최소화와 경제성을 높이게 되는 최적결과를 달성하게 될 것이다.

2.2 345kV 한류리액터 설치

345kV 변전소 경우 적용 가능한 단기 고장전류 증대 대처 방안으로는 다음과 같은 3가지가 있다.

- 첫째 차단기 교체 (40kA 345kV 차단기를 50kA 또는 60kA 345kV 차단기로 교체)
- 둘째 345kV 한류리액터 설치
- 셋째 345kV 모선분리

이와 같은 고장전류 대처 방안들은 기술적인 측면에서 즉, 고장전류 저감효과, 전력조류 용량 정도 및 전력계통의 안전도 등에서 각각 다른 특성을 나타내고, 경제적인 측면에서도 설비 투자비, 유지보수 비용 및 손실 비용 등이 각각 다르게 된다.

그럼 1은 고장전류 증대로 인하여 고장전류가 기존의 345kV 차단기 차단내력을 상회 할 것으로 예상되는 중부권의 345kV 화성변전소 계통 구성을 나타낸 것이다.

345kV 화성변전소 고장전류 대처 방안으로 345kV 차단기 교체, 345kV 한류리액터 설치 및 모선분리를 가정하여 각각에 대한 전력계통 안전도를 검토한다.

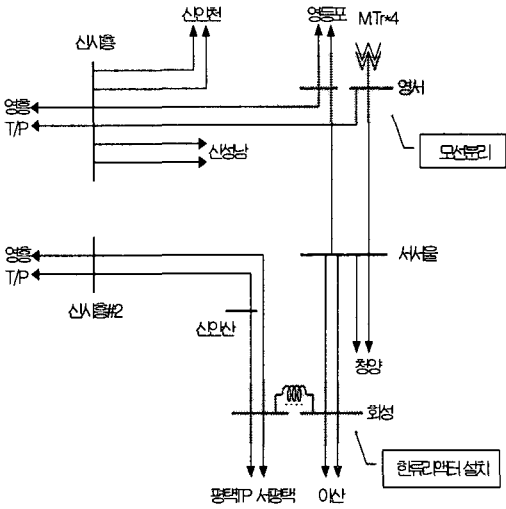


그림 1 345kV 화성변전소 계통 구성도

- 345kV 한류리액터(2조, 이중모선 고려) 정격은
  - 정격인덕턴스 : 78.931mH (29.756 $\mu$ , 0.025p.u. 100MVA 기준)
  - 정격전류 : 1400A

### 2.3 전력계통 안전도

전력계통 안전도 평가란 단락고장, 예기치 못한 전력 설비 탈락 또는 개폐기 동작과 같은 외란이 발생한 경우 지속적인 계통운영 능력 정도를 의미하는 것이다. 즉, 외란 발생으로 나타나는 설비의 열적 과부하, 전압 및 전류 등이 설비의 내력 이내로 유지될 것인지와 주파수, 전압 및 제동특성과 같은 동특성 등이 제어 가능한 계통 운영 한계치 이내로 유지될 것인가를 판단하는 것이다.

전력계통 안전도는 송전설비 고장, 발전기 탈락 또는 대형부하 탈락과 같은 외란 발생시 계통이 동기화력을 유지할 수 있는가를 판단하는 것이다. 전력계통에 과도한 외란이 가해지면 발전기 회전기 각도, 전력조류, 전압 및 계통 동특성이 흔들리게 된다. 전력계통의 비선형성(Nonlinear characteristic)에 의해 영향을 받는 안전도는 전력계통에 발생한 외란에서 동기기기들 간의 상차각이 한정된 범위 이내로 지속될 경우 동기화력이 유지되어 전력계통이 안정하다고 판단하며, 반대로 외란에 의해 과도하게 상차각이 벌어지게 되면 동기화력을 상실하여 불안정 상태가 된다. 안전도 해석에서 외란을 일으키는 상정사고에 대한 전력계통 안전도를 평가하는 것으로는 과도안전도평가지표(Transient stability index), 임계고장 제거시간(Critical fault clearing time) 및 계통지표(Damping index) 등이 있다.

과도안전도평가지표는 과도 상태 하에서 감쇄운동에너지(Kinetic energy decreasing)와 증가운동에너지(Kinetic energy increasing) 간의 상관관계로부터 안정 또는 불안정 상태를 평가하는 방법이다. 그림 2 과도안전도평가지표 개념도에서

$$\eta = 100 \times \frac{A_{dec} - A_{inc}}{A_{dec}} \quad \text{단, } (A_{dec} > A_{inc})$$

$$\eta = 100 \times \frac{A_{dec} - A_{inc}}{A_{inc}} \quad \text{단, } (A_{inc} > A_{dec})$$

$A_{dec}$  : 감쇄운동에너지영역  
 $A_{inc}$  : 증가운동에너지영역

과도안전도평가지표 범위 및 의미  
 과도안전도평가지표 범위 :  $-100 \leq \eta \leq 100$   
 $\eta > 0$  : 안정 상태  
 $\eta \leq 0$  : 불안정 상태  
 EEAC : Extended Equal Area Criterion

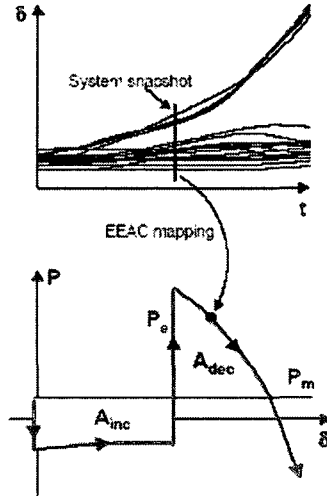


그림 2 과도안전도평가지표 개념도

### 2.4 345kV 한류리액터 설치 안전도 평가

화성변전소 345kV 한류리액터 설치에 관련한 안전도 평가는 2006년도 피크부하 및 기저부하 전력계통을 대상으로 하였으며, 피크부하는 유효전력 53,204MW와 무효전력 24,591MVAR 그리고 기저부하는 유효전력 32,962MW와 무효전력 7,314MVAR로 가정하였다.

안전도를 평가하기 위한 상정고장은 765kV 및 345kV 모선 또는 모선에 인접한 가용송전선로 2회선고장을 가정하여 모의한다. 표 2는 화성변전소 345kV 한류리액터 설치 관련 상정고장이다.

표 2 화성변전소 345kV 한류리액터 설치 관련 상정고장

상정고장	탈락 송전선로
당진T/P 765kV 모선 고장	6020 6030 1 & 6020 6030 2
신안성 765kV 모선 고장	4010 6030 1 & 4010 6030 2
신가평 765kV 모선 고장Ⅰ	1020 4010 1
신가평 765kV 모선 고장Ⅱ	1020 5010 1 & 1020 5010 2
화성 345kV 모선 고장Ⅰ	4400 6950 1 & 4400 6951 2
화성 345kV 모선 고장Ⅱ	4400 4600 1 & 4400 4701 2
화성 345kV 모선 고장Ⅲ	4401 4450 1 & 4401 4450 2
화성 345kV 모선 고장Ⅳ	3650 4401 1 & 3500 4400 2

상정고장은 해당모선 또는 모선인접 가용송전선로 3상 단락 고장으로 가정하고, 고장지속시간은 765kV 경우 5 사이클로 345kV 경우 6사이클로 가정하여 모의하였다.

표 3은 2006년도 피크부하 수준에서 각각의 상정고장 관련 안전도 해석 결과 과도안전도평가지표를 나타낸 것으로 당진T/P 765kV 모선고장, 신안성 765kV 모선고장, 신가평 765kV 모선고장Ⅱ 및 화성 345kV 모선고장Ⅲ 경우 모두 부(Negative)가 되어 불안정한 것으로 나타났고, 화성 345kV 모선고장Ⅳ 경우도 모선분리에서 부가되어 불안정한 것으로 나타났다.

표 4는 2006년도 피크부하 수준에서 각각의 상정사고에 대한 안전도 해석 결과 임계고장제거시간을 나타낸 것이다.

표 3 2006년 피크부하 과도안정도평가지표 [단위:%]

상정고장	분리이전	CLR설치	모선분리
당진T/P 765kV 모선 고장	-100.00	-100.00	-100.00
신안성 765kV 모선 고장	53.87	-74.80	-88.00
신가평 765kV 모선 고장 I	0.02	0.13	0.37
신가평 765kV 모선 고장 II	-89.85	-90.53	-90.97
화성 345kV 모선 고장 I	0.12	0.02	0.08
화성 345kV 모선 고장 II	0.15	0.24	0.11
화성 345kV 모선 고장 III	-59.28	-70.78	76.72
화성 345kV 모선 고장 IV	0.10	0.01	-74.71

앞에서와 같이 당진T/P 765kV 모선고장, 신안성 765kV 모선고장, 신가평 765kV 모선고장 II 및 화성 345kV 모선고장 III 경우 모두 보호계전기 순시요소에 의한 고장제거시간 0.1초(6사이클)보다 짧아 불안정한 것으로 나타났으며, 화성 345kV 모선고장 IV 경우도 모선분리에서 0.042초로 보호계전기 순시요소에 의한 고장제거시간 0.1초보다 짧아 불안정한 것으로 나타났다.

표 4 2006년 피크부하 임계고장제거시간 [단위:초]

상정고장	분리이전	CLR설치	모선분리
당진T/P 765kV 모선 고장	0.040	0.040	0.040
신안성 765kV 모선 고장	0.040	0.040	0.040
신가평 765kV 모선 고장 I	0.290	0.294	0.287
신가평 765kV 모선 고장 II	0.040	0.040	0.040
화성 345kV 모선 고장 I	0.203	0.326	0.520
화성 345kV 모선 고장 II	0.213	0.342	0.525
화성 345kV 모선 고장 III	0.040	0.051	0.040
화성 345kV 모선 고장 IV	0.213	0.184	0.042

표 5는 2006년도 기저부하 수준에서 각각의 상정사고에 대한 과도안정도평가지표를 나타낸 것이며, 표 6은 2006년도 기저부하 수준에서 각각의 상정사고에 대한 임계고장제거시간을 나타낸 것으로 당진T/P 765kV 모선고장 및 신안성 765kV 모선고장이 과도안정도평가지표가 부가 되고, 임계고장제거시간이 보호계전기 순시요소에 의거 고장이 감지되어 제거 고장이 제거되는 0.1초보다 길어 불안정한 것으로 나타났다.

표 5 2006년 기저부하 과도안정도평가지표 [단위:%]

상정고장	분리이전	CLR설치	모선분리
당진T/P 765kV 모선 고장	-100.00	100.00	100.00
신안성 765kV 모선 고장	-33.33	-61.07	-79.67
신가평 765kV 모선 고장 I	15.58	10.89	11.81
신가평 765kV 모선 고장 II	16.50	17.71	17.72
화성 345kV 모선 고장 I	20.09	15.78	17.72
화성 345kV 모선 고장 II	21.11	21.19	15.45
화성 345kV 모선 고장 III	22.66	19.40	17.97
화성 345kV 모선 고장 IV	21.45	11.89	18.85

표 6 2006년 기저부하 임계고장제거시간 [단위:초]

상정고장	분리이전	CLR설치	모선분리
당진T/P 765kV 모선 고장	0.040	0.040	0.040
신안성 765kV 모선 고장	0.040	0.040	0.040
신가평 765kV 모선 고장 I	0.339	0.339	0.339
신가평 765kV 모선 고장 II	0.318	0.319	0.319
화성 345kV 모선 고장 I	0.209	0.294	0.400
화성 345kV 모선 고장 II	0.223	0.304	0.402
화성 345kV 모선 고장 III	0.129	0.123	0.116
화성 345kV 모선 고장 IV	0.227	0.204	0.122

### 2.5 345kV 한류리액터 설치 전압안정도 평가

전압안정도도 2006년 피크부하 및 기저부하 수준에서 표 4에 제시한 상정고장에서 765kV 가공송전선은 1회 선만 탈락하는 것으로 가정하여 분석하였다. 부하지점은

수원(zone 3)지역으로 전원지점은 대전(zone 55)지역으로 설정하여 송전한계(Transfer limits) 전력을 계산하였다. 그림 3은 2006년 피크부하 수준에서 전압안정도를 고려한 송전한계 전력을 계산한 것으로 모두 동일한 결과를 나타내고 있다.

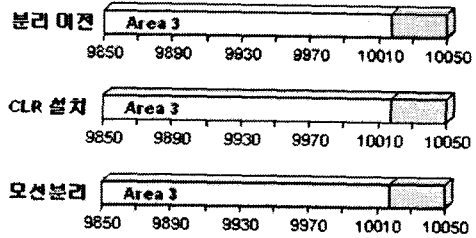


그림 3 2006년 피크부하 수준 송전한계

그림 4는 2006년 기저부하 수준에서 전압안정도를 고려한 송전한계 전력을 계산한 것으로 모선을 분리하지 않은 경우 즉, 차단기를 교체한 경우, 한류리액터 설치 그리고 모선분리 순으로 송전전력이 감소되고 있는 것으로 나타났다.

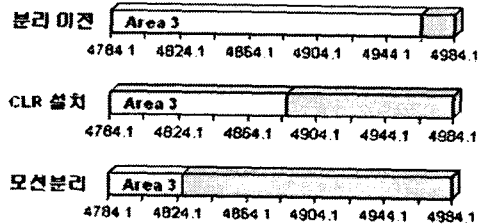


그림 4 2006년 기저부하 수준 송전한계

## 3. 결 론

전력계통의 중추를 이루는 345kV 계통에서 증대되는 고장전류에 대처하기 위한 방안은 차단기 교체, 한류리액터 설치 및 계통분리 방안 등이 있다. 이들 방안들에 대한 안정도 평가 결과 계통분리보다 상대적으로 취약한 것으로 나타났으며, 전압안정도 해석 결과는 차단기 교체, 한류리액터 설치 그리고 모선분리 순으로 단계적으로 불리하게 되는 것으로 되었다.

345kV 한류리액터 설치 기술적 및 경제적 측면에서 증대되는 고장전류에 대처하는 실효성 있는 방안이나 이의 설치에 따라 계통의 정적 및 동적 특성이 변하게 되므로 앞으로 이에 관련한 계통 영향을 다각적으로 분석 검토하여 최적 설치 및 운영 방안이 제시되게 하여 전력 공급의 경제성 및 신뢰성이 보장되도록 한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김인섭, 이강완, "직렬리액터 설치 타당성 검토 보고서", 한국전력공사, 1999. 12
- [2] 김영선, 이백석, 임우일, 이강완, "345kV 직렬리액터 설치 및 보호계전 방식에 관한 연구", 전력계통보호제어연구회, 1999년 학술 및 기술발표회 논문집 pp.238 254, 1999. 11
- [3] 김영선, 이백석, 이강완, "고장전류 저감을 위한 345kV 직렬리액터 설치 타당성 검토", 대한전기학회전력계통연구회, 제35회 춘계학술대회 논문집 pp.169 175, 2000. 5
- [4] 이강완, 조범섭, "345kV 한류리액터 보호계전 방식 연구", 2004년도 대한전기학회 전력기술부문회 전력계통연구회 춘계학술대회 논문집, p.137 139, 2004. 5
- [5] TSAT User Manual, Powertech Labs Inc. March 2003
- [6] VSAT Installation Guide and Users Manual, Powertech Labs Inc. 2004