

345kV 고장전류 저감을 위한 한류리액터 설치시 차단기 TRV(모선 고장시) 검토

곽주식*, 박홍석*, 심응보*, 유희영**, 이봉희**

*한전 전력연구원, **한국전력공사

A Study on the TRV(BTF) of Circuit Breakers According to Install Current Limit Reactors

J. S. Kwak*, H. S. Park*, E. B. Shim*, H. Y. Ryu**, B. H. Lee**

*KEPRI, **KEPCO,

Abstract - Due to the tendency towards large capacity and complexity of power system, an enhancement of power system equipment make a system impedance to be low in power system. Generally if an equivalent impedance of system becomes lower, a system stability will be better. But the fault current becomes very larger.

The 345kV ultra-high voltage system will use current limit reactors(CLR) in a transmission line or a bus in substation to limit the magnitude of fault current. The CLR makes a significant contribution to the severity of the transient recovery voltage(TRV) experienced by feeder and bus circuit breakers on clearing feeder faults. Based on the conclusions of an investigation of actual circuit breaker failures while performing this duty, the mitigation of the transient recovery voltage associated with the reactors is described.

Therefore in this article we simulated the TRV by EMTP at Bus Terminal Fault.

1. 서 론

전력수요의증가로 인하여 전력계통이 대용량화, 복잡 화됨에 따라 전력의 안정적인 공급을 위한 여러 가지 방 안으로 전력계통의 구성 방법이 단일 계통의 방사상선로 의 개념에서 다회선, Loop 선로로 변화함에 따라 생산 전력을 전송하는 송배전선로 및 사용 설비의 운용방법이 다양해지고, 주 선로와 예비 선로의 전로를 확보 운용되 고 있다. 하지만 계통의 대용량화로 인한 전력설비의 확 충은 계통 전체의 임피던스를 작아지게 하였다. 일반적 으로 계통의 임피던스가 작아지면 전력계통 결합력이 보 강되어 안정도가 좋아지는 반면, 단락 및 지락 고장전류 가 증가하게 되어 단락 및 지락 고장전류가 증가하게 된 다. 고장전류 증가에 따른 대표적인 문제점으로 차단기 의 차단용량을 초과하는 고장전류가 발생하여 차단성능 을 좌우하는 과도회복전압(Transient Recovery Voltage) 을 기준치 이상으로 상승하게 하였다. 이 문제의 해결책 으로서 차단기의 차단용량을 증가시키는 방안이 있지만 경 제성을 고려한다면 단지 차단용량을 증대시키는 방안 보 다 근본적으로 더 높은 고장전류와 과도회복전압 조건을 만족 하는 차단기를 개발 사용하는 방안이 있다. 기술적인 충분 한 검토와 국내 보유 기술력의 문제, 도입에 따른 설비의 복잡화, 과도한 소요비용 등을 종합 검토하여 계통조건과 실 적용에 가 장 적합한 방안을 선정 적용하는 것이 적합하다.

따라서 본 논문에서는 고장전류 저감 대책으로 한류리 액터(CLR : Current Limit Reactors)를 설치하였을 때의 모선고장(BTF : Bus Terminal Fault)시 과도회복전압의 특성을 검토하였다. 과도회복전압은 크게 초기상승률과 과도회복전압 파고치의 두 가지 검토사항으로 나누어 볼

수 있다. 일반적으로 전력계통에 직렬리액터가 설치되면, 과도회복전압 파고치는 낮아지는 이점이 있으나 과도회 복전압 초기상승률은 상승하게 되며, 이 경우 기존의 차 단기 정격을 벗어나게 되어 안정하게 고장전류를 차단할 수 없는 상태가 일어날 수 있다. 따라서 직렬리액터 설 치시 과도회복전압을 모의하고, 필요한 경우는 회복전압 초기상승률을 저감할 수 있는 적정 대책을 세워야 한다.

또한 본 논문에서는 PSS/E를 이용하여 검토하고자 하는 인근 계통을 축약하였고, 전자계파도해석 프로그램 인 EMTP를 이용하여 IEC 규격(IEC 62271-100)에 따라 모선에서 지락고장에 대한 과도회복전압을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 과도회복전압(TRV)의 정의

전력계통의 차단기는 고장발생시 계전기의 트립신호에 의해서 고장구간을 건전계통으로부터 신속하게 분리시키 기 위하여 사용되어진다. 이러한 차단기의 차단성능은 고장전류 크기 및 전류 차단시 차단기 극간에 인가되는 과도회복전압에 의해 좌우된다. 차단기가 계통을 분리하 기 위해 전류를 차단할 경우에는 계통의 유도성 회로에 축적되어 있는 자속 때문에 차단기 극간에는 아크가 발 생되므로 차단기는 이러한 아크에 의한 재점화를 소호할 수 있어야만 차단에 성공할 수 있다.

따라서 차단기 관련규격 및 사양에서는 차단기가 고장 전류 차단시에 필요한 아크 소호능력을 요구하고 있으며 전류차단 후 차단기 양극 간에 발생하는 전압에 대해서 도 절연내력을 유지하여야 한다. 이러한 전압을 회복전 압(Recovery Voltage)이라 하며 이 전압은 과도영역 및 상용주파영역으로 구분가능하다. 여기서 초기 과도특성 을 나타내는 회복전압 영역을 과도회복전압(Transient Recovery Voltage, TRV)이라고 정의한다.

2.2 과도회복전압과 차단성능

계통에 고장이 발생하였을 때 차단기의 전류 차단시 발생하는 고유과도회복전압은 차단용량과 함께 차단성능 에 큰 영향을 미친다. 이러한 고유과도 회복전압은 크게 초기부분과 파고부분으로 분류가능하다. 고유과도회복전 압의 초기부분(계통구성에 따라서 다르나 대체로 수백 μ 정도)에서는 대단히 높은 과도전압 상승률로 인해 차단 기의 열적차단실패(Thermal Failure)가 야기될 수 있고, 파고부분(1~수ms)에서는 최대과도전압이 차단기 극간에 가해지므로 차단기의 극간 절연내력 회복능력을 초과하 는 경우 절연파괴(Dielectric Failure)가 발생하여 차단실 패를 초래할 수 있다.

따라서 고유과도회복전압 파형 분석시 초기부분에서는 과도전압상승률(kV/ μ s)이 중요하며 파고부분에서는 고유 과도회복전압 파고치(kV)만 의미를 가지며 전압상승률은 차단성능에 큰 영향을 미치지 못한다. 그리고 최근의 타 력소호능력을 가진 고성능 차단기의 차단한계곡선인 그

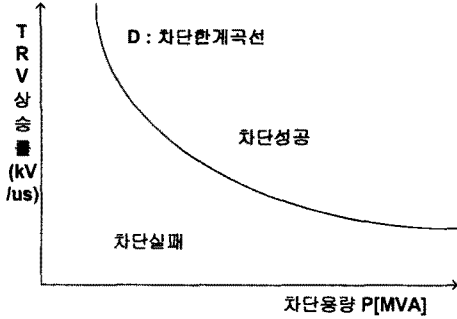


그림 1. 차단한계곡선

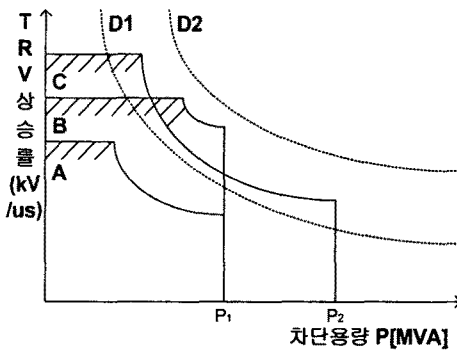


그림 2. 차단한계곡선과 계통 특성과의 관계

림 2에서도 알 수 있듯이 정격 차단용량과 정격 과도회복전압은 밀접한 관계가 있으며, 차단한계곡선인 D가 $([kV/\mu s] \times [MVA] = \text{일정})$ 이라는 등식이 성립하면 과도회복전압도 차단용량과 같이 차단기의 크기 혹은 가격에도 관련이 있음을 알 수 있다. 그림 2과 같이 두 차단기의 차단한계곡선이 각각 D1, D2이고 계통특성이 A, B, C 인 경우를 비교하면 다음과 같다. 그림 2에서 차단한계곡선이 D1인 차단기는 계통특성이 A인 경우에는 차단용량 P1을 차단이 가능하지만 계통특성 B에 대해서는 동일 차단용량인 P1을 차단할 수 없다. 이것은 계통특성이 B인 경우에는 차단용량일 P1일 때 과도회복전압 상승률이 차단한계곡선인 D1을 초과하기 때문이다. 그러나 차단한계곡선이 D1보다 큰 D2인 차단기의 경우에는 계통특성 B에 대해서 차단용량 P1을 계통특성 C에서는 차단용량 P2를 차단할 수 있다.

2.3 과도회복전압 표현법

현재 통용되는 차단기 관련규격은 IEC-56, ANSI C37.06으로 대별되며 세계 각국은 대체적으로 자국의 차단기 관련규격을 위의 두 가지 규격에서 원용하여 적용하고 있는 실정이다. 그러나 ANSI보다는 IEC 규격이 전세계적으로 더 보편화되어 있으며 실제통용 관점에서도 적합하다고 생각된다. 또한 현재의 한전 차단기 관련규격인 ESB-150 규격도 IEC 규격을 모태로 제정되어 있다.

따라서 IEC 규격에서 규정하고 있는 과도회복전압의 표현법은 4-파라미터법과 2-파라미터법으로 구분할 수 있다.

2.3.1 4-파라미터(parameter)법

전력계통에서는 과도회복전압과 같은 진동파형은 고유주파수와 감쇄정수로 표현하는 것이 통상의 방법이었으나 차단기의 소호여부에 대하여 과도회복전압이 영향 받는 것은 그 상승률과 파고치에 있다.

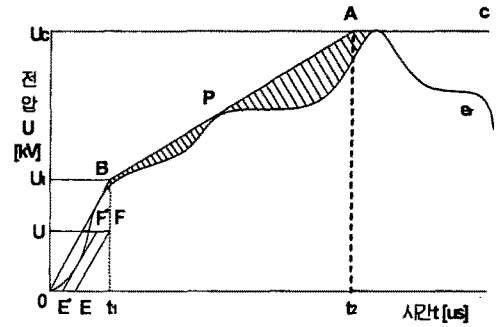


그림 3. 4-파라미터(parameter)법 표현

과도회복전압 파형은 계통의 조건에 따라 변화한다. 100kV 이상의 계통에서는 어떤 지점에서 계통의 최대단락전류에 가까운 크기의 고장전류를 차단할 때의 파형은 그림 3과 같이 상승률이 높은 초기부분을 경과한 후 바로 이어서 낮은 상승률 구간으로 이행한다. 이와 같은 파형은 4파라미터로 규정되는 3절선 OBAC로 이루어지는 선으로 표현된다. OB는 원점에서 제1파의 파고부에 그은 절선, AC는 파고 점에서 시간 축과 평행으로 그은 직선, BA는 접점P의 양측 헛칭부분의 면적이 가급적 같도록 그은 절선이다. B, A 2점의 좌표에 의해서 초기상승률 u_1/t_1 (또는 초기파고치 u_1), 초기파고시간 t_1 , 파고치 u_c , 파고시간 t_2 의 4파라미터가 정해진다.

이와 같이 과도회복전압 파형의 초기상승부분과 파고치 부분으로 나누어 표시한 것은, 차단기의 소호성능이 전자는 열파괴에 의해서 후자는 유전파괴에 의해서 주로 영향을 받는 영역의 전압스트레스를 수량적으로 규정하고, 계통의 과도회복전압 파형도 100kV 이상의 계통에서 차단전류가 클 때는 초기 부분은 선로 또는 기기의 파동 임피던스에 의해서 직선적으로 상승하며 이어서 비교적 늦게 최대파고치에 도달하기 때문이고 따라서 4파라미터 표시가 표현법으로 적합하다고 말할 수 있다.

2.3.2 2-파라미터(parameter)법

100kV 이하의 계통 또는 100kV 이상의 계통이라도 단락전류가 최대단락전류에 비해서 작을 때는 과도회복전압은 감쇄 진동하는 단일주파파형으로 근사 시킬 수 있다. 이와 같은 파형은 그림 4와 같이 2파라미터로 규정되는 2절선 OAC로 되는 선으로 표현된다. 2파라미터에 의한 표현은 4-파라미터에 의한 표현의 특수한 경우로 볼 수 있다.

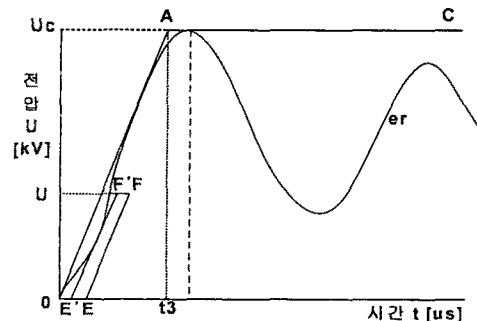


그림 4. 2-파라미터(parameter)법 표현

2.4 IEC 적용 규격

IEC 규격에 명시되어 있는 모든 정격전압별 과도회복 전압 규정치는 다음 표와 같이 2002년 개정된 IEC 62271-100을 적용하고 있다.

표 1. IEC 62271-100(차단기 규격)

Duty No.	RRRV [kV/ μ s]	t1 [μ s]	u1 [kV]	t2 [μ s]	t3 [μ s]	uc [kV]	t' [μ s]	u' [kV]	td [μ s]
4&5 (100%)	2.0	144	288	576	576	538	74-112	144	2-40
3 (60%)	3.0	96	288	576	576	576	50-77	144	2-29
2 (30%)	5.0			118	118	592	57	197	18
1 (10%)	7			84	84	588	41	196	13

2.5 과도회복전압의 검토

과도회복전압 계산을 위해서는 대상 계통의 특성을 면밀히 검토하여 계통특성 및 과도회복전압의 계산 목적에 따라서 모델링 범위를 한정하여 경제적으로 계산할 수 있다. 따라서 아래 표 2와 같이 한류리액터의 규격과 수량, 그리고 설치 위치를 설정하였으며, #1 모선에서 한류리액터까지 분기모선을 경제성을 고려하여 GIB가 아닌 지중케이블로 적용시 계통임피던스 변화('C' 성분 증가)로 인한 한류리액터 양단 차단기 TRV V_p 초과여부를 검토하였다. 다음의 그림 6은 검토하고자 하는 계통을 PSS/E를 이용하여 축약한 검토계통의 축약도이다.

표 2. 설치될 한류리액터의 규격 및 설치위치

설치위치	규격	수량
모선	345kV 1400A 0.025PU (29.75 Ω)	2조

* 345kV 계통 기준임피던스(100MVA base) : 1190.25[Ω]

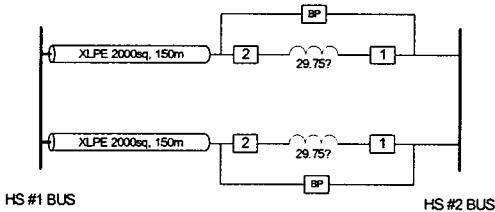


그림 5. 한류리액터 및 지중케이블 설치

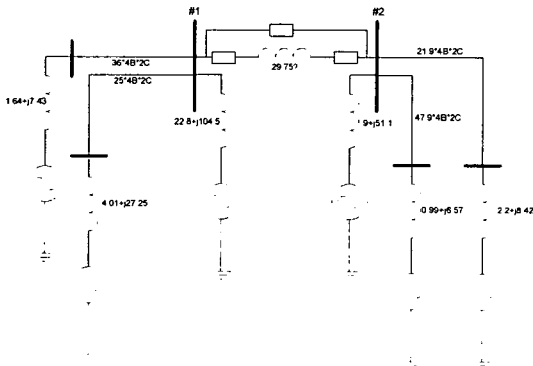


그림 6. PSS/E를 이용한 계통축약

2.6 BTF시 과도회복전압 검토결과

345kV 계통의 변전소에 직렬리액터를 설치하고 3상단락 BTF를 모의하였을 때 TRV는 V_p 값을 몇몇의 경우에서 초과하였으며, 1상지락 BTF시에는 TRV의 V_p 값이 규정치에 만족하는 값을 나타냈다.

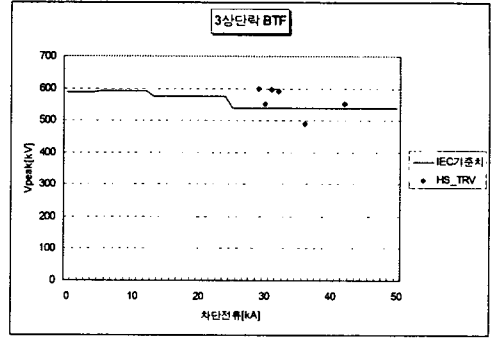


그림 7. 3상단락 BTF 상정시

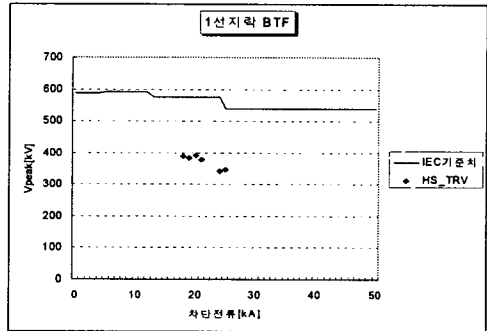


그림 8. 1상지락 BTF 상정시

3. 결 론

345kV 변전소에 모선용 직렬리액터(29.75 Ω)를 설치하고 3상 단락과 1상지락의 모선고장(BTF)시의 TRV를 검토해본 결과 3상단락 BTF시는 TRV의 V_{peak} 가 규정치를 초과하는 값을 나타냈으며, 1상지락 BTF시에는 V_{peak} 의 값이 규정치 이하로 만족하였다. 하지만 변전소 모선에 직렬리액터를 설치하는 경우 양단 차단기에서 구조적으로 3상 단락사고의 확률이 거의 없을 뿐 아니라, 직렬리액터 설치시 상별로 GIB를 이용하여 충분한 이격 거리를 고려하여 직렬리액터 설치구간에서 3상단락 사고가 나지 않도록 한다면 해결될 것으로 검토되었다.

1상지락 BTF의 경우는 TRV의 V_{peak} 값이 규정치와 충분한 여유를 두고 있어, 고장전류의 유입시 차단기가 정상적으로 고장전류를 차단할 수 있을 것으로 검토되었다.

[참고 문헌]

- [1] 김진환, "고장전류 및 TRV 상승에 따른 차단기 차단실패 예방대책에 관한 연구", 한양대학교 산업대학원 1999년
- [2] "345kV 계통 고장전류 저감을 위한 한류리액터 설치에 따른 362kV 차단기 TRV 검토", 한전 전력연구원, 2004년"