

154KV 변압기의 계통개폐 급준파 전압특성 연구

조연욱* 김익수* 김중연** 정상진**
 한국전기연구소* 한국전력공사 기술연구원**

A Study on the fast-rising switching surges characteristics in the 154KV transformers

Y.O. Cho*, I.S.Kim*, J.Y.Kim**, S.J.Chung**
 K E R I* K E P C O**

ABSTRACT

This paper deals with the measurement and the analysis by means of EMTP simulation for the fast-rising switching surges. The fast-rising surges having up to 180ns of front time and 3.42p.u of peak value were measured at the 154KV substations. The fast-rising surges are expected to cause electric breakdown because the penetrating surges to the transformers result in the higher stress in the winding end than the average stress along the winding.

1. 서 론(1)-4)

전력기기가 파도장과 파미장이 짧은 여러가지의 급준파에 노출되었을때 절연파괴를 일으킬 수 있음이 보고되고 있다. 특히 변압기의 경우 급준파가 침입하였을 때 권선단의 turn 간 전압보다 과도하게 상승하므로 권선단의 turn간 단락이 일어날 수 있다. 또한, 계통의 개폐동작시 수백번 이상 반복되는 급준파는 권선단의 권선의 절연연화를 야기시켜 궁극적으로는 변압기 사고를 초래할 수도 있다.

우리나라의 경우에도 최근 계통에 뇌 서어지나 고장전류의 유입이 없는 경우에도 변압기가 절연파괴를 일으키는 경우가 있어서, 급준파의 영향에 의한 절연사고가 아닌가 의심되고 있다. 이와관련하여 본 연구에서는, 154kV 변전소에서 개폐기기의 개폐동작에 의해 변압기 단자에 침입하는 서어지를 측정하여, 변압기에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

2. 급준파 현장 측정 결과

그림 1.1은 창녕변전소 지역의 단선도이며 측정위치는 직사각형 네의 변압기의 1차 및 2차 단자이다. 1차 측에 10,000:1 Haepley사의 콘덴서 - 저항 분압기를 연결하고 2차 측에 321:1 Haepley사의 콘덴서 분압기를 연결하였다. 임피던스 Matching용 위해서 분압기와 오실로스코프사이에는

500 제측케이플로 연결하였으며, 필요한 경우 10:1 Termination Box를 사용하여 오실로스코프로 들어오는 서어지 전압을 10배 낮추었다.

표 1.1은 측정변전소와 개폐기 동작에 의한 급준파 서어지 측정결과표이고, 그림 1.2에서 그림 1.9까지는 측정된 서어지 파형이다.

3. E M T P 해 석

개폐기 동작시 변압기에 침입하는 급준파 서어지를 EMTP로써 Simulation 한후 측정 서어지와 비교하여, 측정치가 물리적 의미가 있는 지를 확인하고자 하였다. 측정된 모든 파형에 대해서 EMTP로 모의하는 것은 매우 방대한 작업이 되므로 창녕 변전소의 1차측 C.B ON과 1차측 D.S ON 동작에 대해서만 모의하였다.

그림 1.10은 창녕변전소의 변압기 1차 계통의 EMTP모의를 위한 단선도이다. N1과 0사이에는 전압 1pu를 인가하였다. N1과 N2사이는 전원 임피던스이며 N2와 0사이에는 1차 모선에 대한 특성임피던스이다. N2와 N3 및 N7과 N8사이는 차단기전. 후의 선로에 대한 모의이며 S1 및 S2는 개폐기 스위칭 동작을 모의한 것이다. N7과 0사이는 차단기의 커패시턴스를 모의한 것이며 N8과 0사이는 변압기 붓싱 스트레이 커패시턴스를 모의한 것이다. N9부터 N30까지의 회로는 변압기의 1차권선을 20-element π network로 나타낸 것이다.

그림 1.11은 N8부터 N30까지의 마디(node)가 없는 경우에 N7에서의 서어지 파형으로서 D.S ON 동작시 차단기 측에서의 급준파 파형이며, 그림 1.12는 회로전체에 대해서 N8에서의 서어지 파형이며 C.B ON 동작시 변압기 1차측에서의 서어지 파형이다. 모의에 의한 서어지 파형과 실측 파형인 그림 1.2와 그림 1.4를 비교하면 전체적으로 매우 유사함을 알 수 있으며, 그 비교결과를 표 1.2에 나타내었다. 이 결과로부터 그림 1.10의 단선도는 개폐기 동작시 서어지 모의에 적합함을 알 수 있다.

그림 1.10의 단선도를 이용하여 N₂ 지점에 (1차측 BUS) 접지사고가 발생한 경우 및 N₂ 지점에서 10m 또는 100m 떨어진 500의 케이블에 접지사고가 발생한 경우에 차단기가 개폐로 동작시 각 부분의 전압파형에 대해 EMTP로 모의하였다. 차단기가 ON하기 전에 차단기 및 변압기 붓싱에 1.0pu의 전압이 충전되어 있다고 가정하였다. 그림 1.13부터 그림 1.16은 이 경우에 대한 서어지 파형으로써 파형분석을 하면 표 1.3과 같은 결과를 얻을 수 있다. 그림 1.17은 차단기 재투입시 권선 각 부위의 전압분포를 보여주고 있다.

4. 측정결과 및 EMTP 해석결과 분석

한국전력공사의 154kV 변전소에서 서어지 측정결과 파고치 3.42pu, 파두장 180ns까지의 서어지를 측정하였다. 측정결과에 대한 확인을 위해서 창녕변전소 154kV 변압기 1차측에 의해 EMTP 모의한 결과 측정파형과 EMTP 모의결과가 동일하였다. 이 결과로부터 변전소의 변압기에 침입하는 서어지에 대해서 EMTP 모의가 가능함을 확인하였으며 측정결과도 의미있는 Data임을 알았다.

급준파가 변압기 사고에 영향을 미치는 것은 급준파 서어지가 변압기에 침입하였을 때 권선의 전압분포가 매우 비선형이 됨으로써 권선단에 과도한 전압이 걸려서 절연파괴로 이어질 수 있기 때문이다.

급준파에 대한 변압기 권선의 전압분포의 예로서 차단기가 재투입하는 경우를 EMTP 모의한 결과 권선단에 평균전압경사보다 8배의 전압경사가 있음을 알았다. 그러므로, 이 결과로부터 해석가능한 것은 최대 3pu의 급준파가 변압기에 침입하는 경우 5%의 권선에 1.2pu의 전압(154kV)의 경우 150kV이 걸리게 되어서 변압기 잘 설계되어 있지 않다면 절연파괴로 이어질 수 있는 가능성이 있게되므로 향후 더욱 검토를 요하는 것으로 사료된다.

5. 결론

(1) 154kV 변전소에서 서어지 측정 결과 파고치 3.42 p.u 파두장 180ns까지의 급준한 서어지가 측정되었고 측정결과에 대한 EMTP모의 결과 동일하였다.

(2) 급준파 서어지가 변압기에 침입할 경우 권선의 전압분포가 비선형이 됨으로써 권선단에 과도한 전압이 걸려 절연파괴의 위험이 존재할 수 있어 변압기의 절연설계면에서 고려되어야 할 사항으로 고려된다.

향 후, 이들에 대한 세밀한 검증은 더욱 행하여야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1.R.S Bayless, et. "Capacitor Switching and Transformer Transients" IEEE Trans. Power Delivery Vol.3 No.1 1988
- 2."The effect of steep-front, short-duration impulses on power distribution components" IEEE Trans. Power Delivery Vol.5 No.2 1990
- 3.Michel Rioual "Measurements and computer simulation of fast transients through indoor and outdoor substations" IEEE Trans. Power Delivery Vol.5 No.1 1990
- 4.조연옥의 "주상변압기 절연파괴 감소 대책연구" 한국전력공사 보고서 KRC-89D-J04

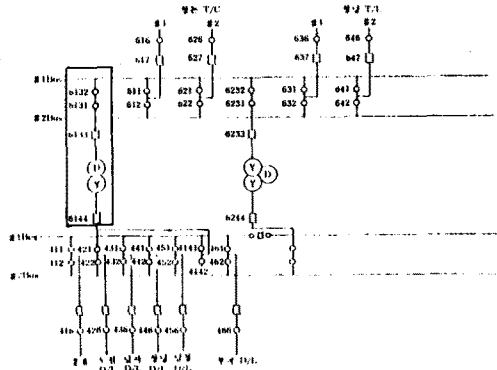


그림 1.1 154kV 변전소 서어지 단선도

표 1.1 154kV 변전소 급준파 측정 결과

계측기 동작	미산 변전소		창녕 변전소	
	파고치(p.u)	파두장(ms)	파고치(p.u)	파두장(ms)
1차	D.S ON	1.81	0.6	1.54
	D.S OFF	0.82	0.6	1.43
	C.B ON	1.20*	0.15*	1.73
	C.B OFF	0.7*	0.19*	1.21
2차	L.S ON	1.3	0.16	0.89
	L.S OFF	0.96	0.16	0.53
	C.B ON	2.46	0.18	0.45
	C.B OFF	-	-	0.03
	C.B 재투입**	3.42	0.18	-

* 2차측에서 측정된 값임

** 2차 계통의 재투입을 모의하기 위해서 차단기를 OFF 하는 즉시 ON

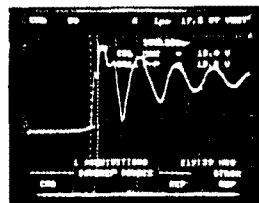


그림 1.2 1차 D.S ON (참녕)

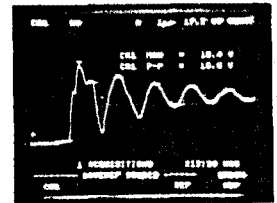


그림 1.3 1차 D.S OFF (참녕)

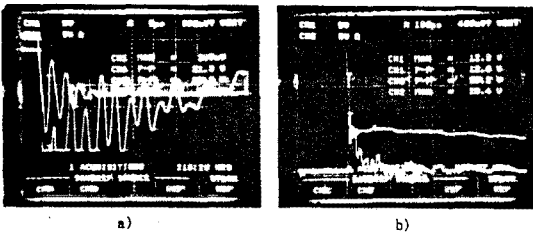


그림 1.4 1차 C.B ON (참녕)

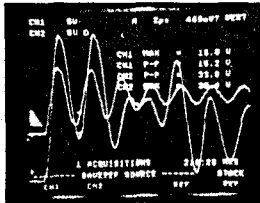
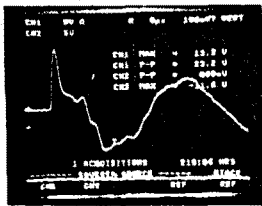
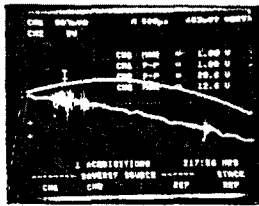


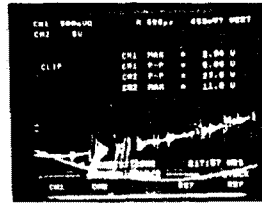
그림 1.5 1차 C.B OFF (참녕)



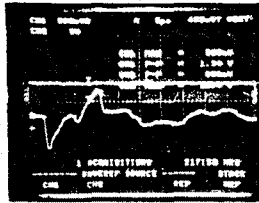
a)



a)



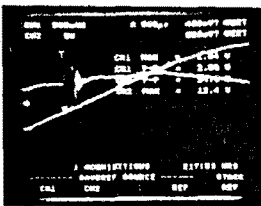
b)



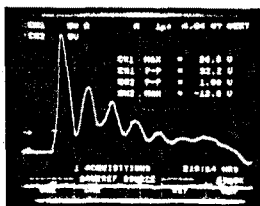
b)

그림 1.6 2차 C.B ON(참녕)

그림 1.7 2차 C.B OFF (참녕)

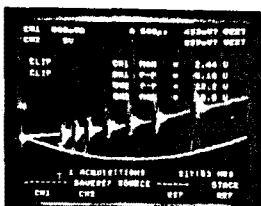


a)

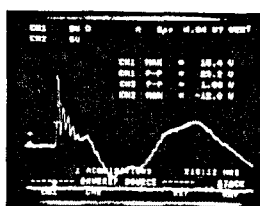


b)

그림 1.8 2차 LS ON (참녕)



a)



b)

그림 1.9 2차 LS OFF (참녕)

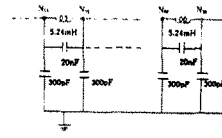
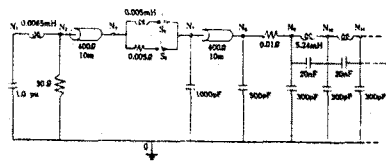


그림 1.10 참녕변전소 변압기 1차 계통의 EMTF 모형을 단선도

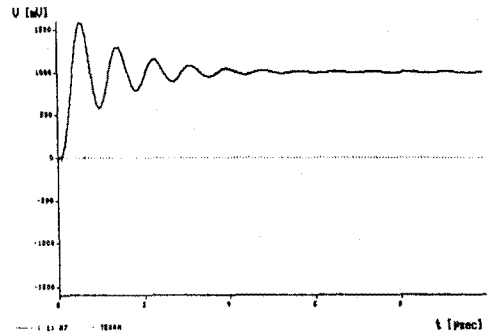


그림 1.11 D.S ON 동작시 차단기 속에서의 균류파 파형

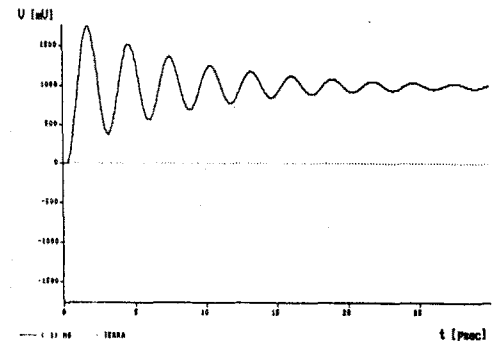


그림 1.12 C.B ON 동작시 변압기 1차측에서의 서서파 파형

표 1.2 EMTF 모의와 실측 파형 비교

	D.S ON 시		C.B ON시	
	파고치(p.u)	파두장 (μs)	파고치(p.u)	파두장 (μs)
EMTF 모의	1.7	0.44	1.6	1.25
실측파형	1.7	0.5	1.6	1.25

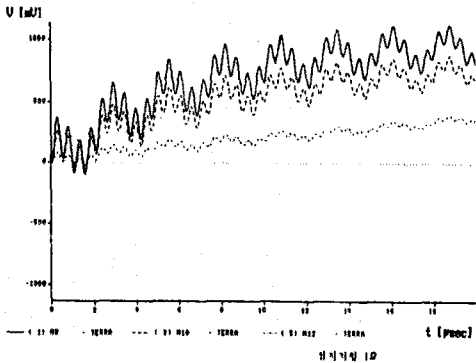


그림 1.13 모선고장시 차단기 제우입 시어지 미형

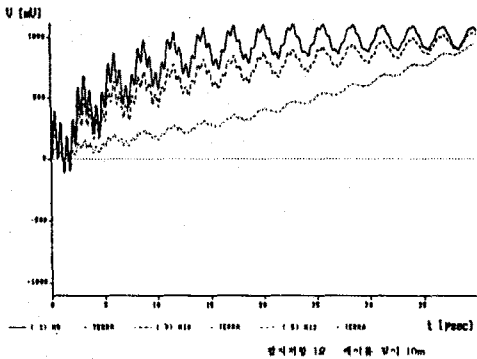


그림 1.14 케이블 고장시 차단기 제우입 시어지 미형

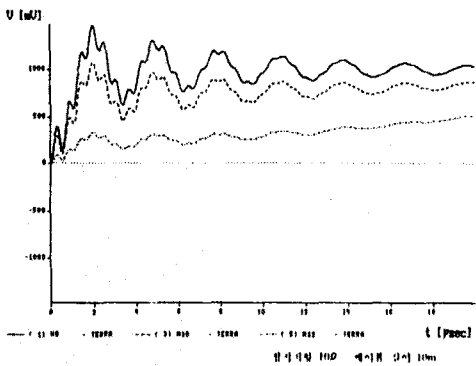


그림 1.15 케이블 고장시 차단기 제우입 시어지 미형

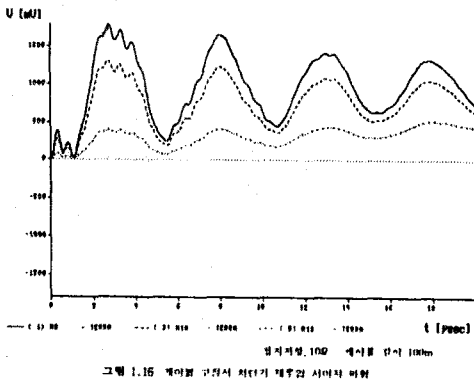
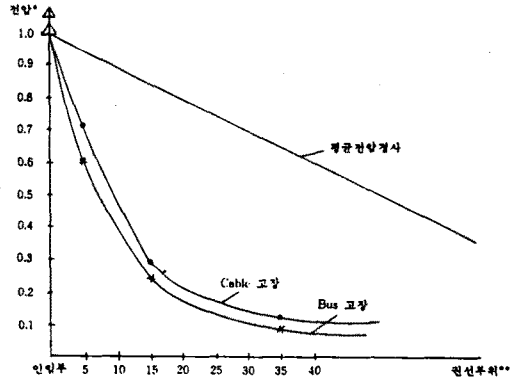


그림 1.16 케이블 고장시 차단기 제우입 시어지 미형

표 1.3 차단기 제우입시 변압기 내부의 서어지 파형 분석 결과

고장 종류	파두장 (μs)	서어지 파고치 (p.u)	변압기 권선내부의 서어지 크기			최대 전압 분포 경사* (p.u)
			인입부	권선의 5% 지점	권선의 5% 지점	
모선 고장	0.25	1.12	1.12	0.67	0.27	8.04
케이블 고장 1Ω, 10m	0.25	1.11	1.11	0.82	0.32	5.23
케이블 고장 10Ω, 10m	0.32	1.47	1.47	1.06	0.32	5.57
케이블 고장 10Ω, 100m	0.3	1.77	1.77	1.30	0.39	5.3

* 최대 전압 분포 경사는 권선의 평균 전압 분포 경사에 대한 비율임



* 전압은 인입부 전압을 1p.u로 한 경우

** 권선부위는 권선단부터 %를 나타냄

그림 1.17 차단기 투입시 권선내부의 전압분포 경사