

WSI제 콘덴서형 전위변성기 철공진회로 개선

김승규, 신진철, 조한수, 김순태
한국전력공사

The Improvement of Ferro-resonance circuit
in the W.S Industries Capacitor Voltage Transformer

S.G Kim, J.C Shin, H.S Cho, S.T Kim
KEPCO

Abstract - 본 논문은 기설 WSI제 CVT에 대해 전자과도해석 프로그램(EMTP : Electromagnetic Transient Program)을 통한 모의실험으로 철공진현상 제동저항 크기(0.5Ω)를 선정 하고, 기설 154kV 및 345kV CVT의 철공진방지회로를 제동저항 단독취부 형태에서 과포화리액터와 제동저항을 직렬회로로 구성하여 취부하는 방식으로 개선한 후 실증시험 및 현장적용 시험을 통해 CVT 철공진현상 제동여부 확인 및 외함온도 변화추이 비교하여 개선효과를 제시함으로써 WSI제 CVT 고장예방에 기여코자 한다.

표1-1. WSI제 CVT 주요 고장발생 사례

발생일	변전소	고 장 내 용	규 격	제작년도
2000.12.06	도 봉	철공진방지용 제동저항 과열 단화	154kV	1993
2000.03.11	광 양	철공진방지용 제동저항 용융 단선	345kV	1995
2002.04.17	신남원	"	345kV	1995
2002.09.29	성 주	철공진방지용 제동저항 과열로 전위변성기 내부 절연파괴	345kV	1995
2002.10.13	서수원	과열에 의한 절연물 열화	154kV	1993
2003.04.25	평 백	"	154kV	1995

본 논문에서는 기설 WSI제 CVT에 대해 전자과도해석 프로그램(EMTP:Electromagnetic Transient Program)을 활용한 모의실험으로 철공진현상 발생 및 제동여부 확인을 통해 제동저항 크기를 선정 하고, 기설 154kV 및 345kV CVT의 철공진방지회로 개선후 실증시험 결과 및 현장적용 효과를 제시함으로써 기설 WSI제 CVT 고장예방에 기여코자 한다.

1. 서 론

일반적으로 전력계통은 초고전압 대전류회로로 구성되어 있어, 계측 또는 보호를 위해서는 전력계통의 전압전류를 일정한 비율의 소전류, 저전압 형태로 변환시켜야 만이 측정에 따르는 안전성 확보, 측정범위 확대, 계기 및 계전기의 표준화, 측정의 정밀성 증대, 각종 제어의 용이 등이 가능하게 된다. 이러한 기능을 지닌 기기를 변성기라 하고, 변성기에는 전류를 변화시키는 변류기(Current Transformer ; C.T)와 전압을 변화시키는 전위변성기(Potential Transformer ; P.T)로 구분할 수 있다. 특히 전위변성기의 경우 절연구조에 따라 권선형, 몰드(mold)형, 유입형, 접지형, 비접지형으로 구분하고, 권선형태에 따라 권선형, CCPD형(Coupling Capacitance Potential Device), BCPD형(Bushing Capacitance Potential Device), 3차 권선부P.T, 이중비P.T로 구분하며, 용도에 따라 단상P.T, 삼상P.T, 보조P.T 등으로 구분할 수 있다. 이중에서 CCPD형 전위변성기에 속하는 콘덴서형 전위변성기(Capacitor Voltage Transformer ; 이하 CVT)의 경우, 내부구성이 분압 Capacitor와 권선형 전위변성기(Voltage Transformer ; 이하 V.T)로 조합되어 있어, 분압 Capacitor의 정전용량(C)과 전위변성기의 인덕턴스(L)간의 전기적인 상호작용으로 공진현상이 발생하고 있다. 이러한 현상은 전위변성기 내부철심의 자화특성으로 인해 일정전압에서 전위변성기가 포화되는 특성 때문이다. 이와 같이 전력계통에서 발생하는 공진현상을 「철공진(Ferro-resonance)현상」이라 하고, 이러한 현상 발생시 공진 과전압이 나타나 고장유발 요인으로 작용하게 된다. 이를 방지하기 위해 전위변성기(V.T) 2차 측에 철공진방지장치를 설치하고 있는데, 기설 W.S.I(W.S Industries)제 CVT의 경우 전위변성기(V.T) 2차측에 철공진방지용 제동저항(Damping Resistor ; R)만이 병렬 취부되어 있어, 상시 2차측 저항(크기:약 23~26Ω)에 전압이 인가되어 저항크기 만큼의 전력소모(약 4,555kWH/년) 및 주열(=I²R)을 발생하는 문제점을 가지고 있다. 이로써 CVT 과열 및 절연물(절연유, 절연지 등)이 열화 되어, 또 다른 고장유발 요인이 되고 있는데, 실제로 연 평균 약 9.36건(91년~01년)의 고장 및 불량 건수가 발생하고 있다. 고장사례는 표1-1에 나타난 바와 같다.

2. 본 론

2.1 기설 WSI제 CVT 철공진현상 EMTP 해석

기설 WSI제 154kV CVT 철공진현상에 대한 EMTP 해석은 철공진방지용 제동저항(Damping Resistor)이 없는 경우와 있는 경우로 구분하고, 여기에 CVT 2차 정격 전압(115V, 66.4V)로 또다시 나누어 해석하였다. 이때 CVT 규격은 1차 정격전압 161/√3kV, 2차 정격전압 115V 및 66.4V, 정격부담 200VA CVT로 선정하였다. 그리고 해석방법은 제동저항이 없는 경우 정상상태인 CVT 2차측 단자를 단락시킨 다음 약 20ms 후에 개방시켜 2차 단자전압별 철공진발생 여부를 확인 하는 방법으로 수행하였고, 제동저항이 있는 경우는 철공진현상을 발생시킨 다음 약 100ms 후에 제동저항을 투입하여 철공진현상 제동여부를 확인하는 방법으로 해석하였다. 이때 등가회로는 그림2-1 및 그림2-2와 같다.

그림2-1. 제동저항이 없는 경우 등가회로

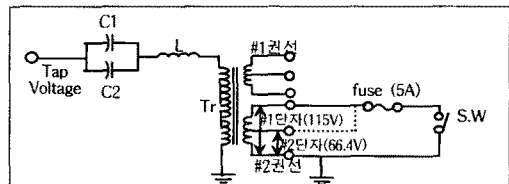
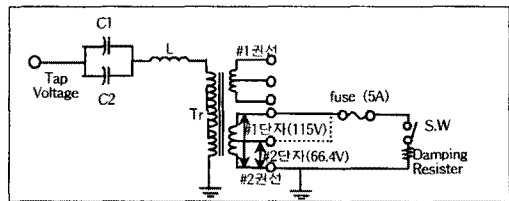


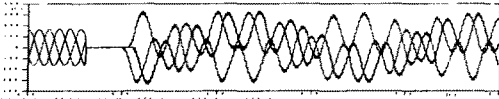
그림2-2. 제동저항이 있는 경우 등가회로



2.1.1 제동저항이 없는 경우 EMTP 해석결과

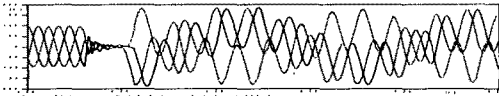
전위변성기 2차측 #1단자(115V)의 경우 그림 2-3에 나타난 바와 같이 단락전에는 정상파형으로 진동하다가, 단락시킨 후 개방하면 최대 약 300V로 진동하는 철공진 현상 파형이 나타났다.

그림2-3. #1단자(115V) 전압파형



전위변성기 2차측 #2단자(66.4V)의 경우 그림 2-4에 나타난 바와 같이 단락전에는 정상파형으로 진동하다가, 단락시킨 후 개방하면 최대 약 175V로 진동하는 철공진 현상 파형이 나타났다.

그림2-4. #2단자(66.4V) 전압파형



이와 같이 철공진방지회로가 없는 CVT의 경우에는 공진조건 충족시 공진현상이 지속적으로 나타났다.

2.1.2 제동저항이 있는 경우 EMTP 해석결과

전위변성기에 철공진현상을 발생시키고, 2차측 #1단자(115V) 및 #2단자(66.4V) 각각에 제동저항 투입시 그림 2-5, 그림2-6에 나타난 바와 같이 철공진현상이 제동되어 정상상태의 파형이 지속되는 형태로 나타났다.

그림2-5. #1단자(115V) 전압파형

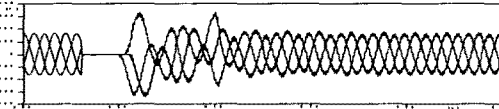
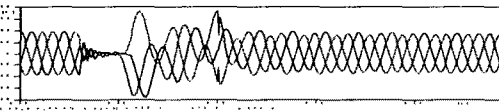


그림2-6. #2단자(66.4V) 전압파형

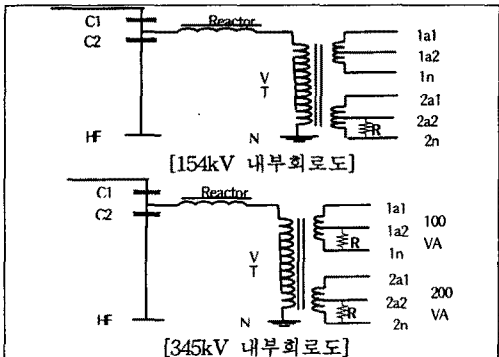


이와 같이 CVT에 제동저항 투입시 철공진현상이 제동되는 것을 알 수 있는데 이때 제동저항 크기는 대체적으로 클수록 제동시간이 길고 작을수록 제동시간이 짧았다. 이에 따라 제동저항 WSI제 CVT 철공진회로 개선용 제동저항 크기를 0.5Ω로 선정하였다.

2.2 기설 WSI제 CVT 철공진방지회로 개선

WSI제 CVT의 철공진방지회로는 그림2-7에 나타난 바와 같이 전위변성기 2차측에 병렬(1a2-1n, 2a2-2n단자)로 철공진방지용 제동저항(Damping Resistor)만을 단독취부 함으로써 제동저항(Damping Resistor)에 상시 전압 인가로 과열현상이 발생되어, 장기간 운전시 CVT가 소손되는 문제점을 안고 있다.

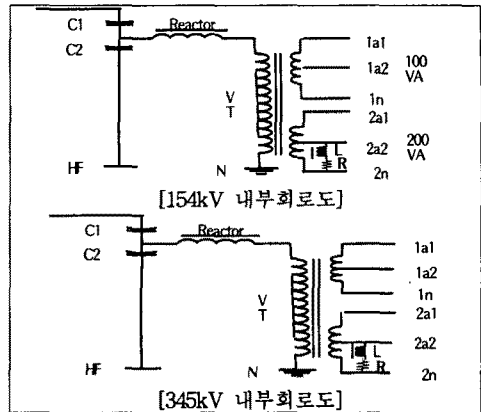
그림2-7. 154kV 및 345kV WSI제 CVT 개선전 회로도



이러한 문제점을 개선키 위해 그림2-8에 나타난 바와

같이 철공진방지용 제동저항(Damping Resistor)과 과포화리액터를 직렬회로로 구성하여 전위변성기 2차 측에 병렬(2a2-2n단자) 취부 함으로써 철공진현상 발생 시에 만 제동저항(Damping Resistor)에 전류가 흘러 철공진 현상을 제동하고 상시에는 전류가 흐르지 않도록 개선하였다.

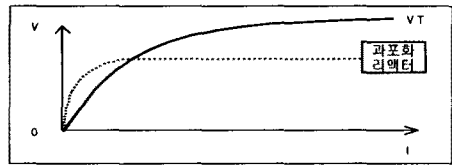
그림2-8. 154kV 및 345kV WSI제 CVT 개선후 회로도



- C1 : 1차 콘덴서(Primary Capacitance)
- C2 : 2차 콘덴서(Secondary Capacitance)
- Reactor : 보상용 리액터(Compensating Reactor)
- V.T : 전위변성기(Voltage Transformer)
- 1a1, 1a2, 1n, 2a1, 2a2, 2n : 전위변성기 2차 단자
- R : 철공진방지용 제동저항(Damping Resistor)
- L : 과포화리액터

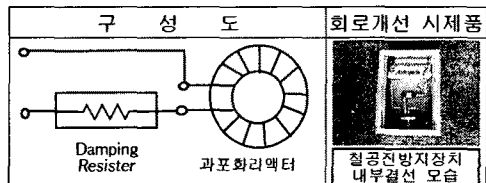
이때 과포화리액터 특성은 포화전압이 그림2-9와 같이 전위변성기(V.T) 포화전압인 100V(정격전압 150%) 보다 낮은 90V(정격전압 135%)로 하고, 포화전압 이상인 경우는 급격히 포화되도록 함으로써 CVT에 철공진현상 발생시 전위변성기 보다 과포화리액터가 먼저 포화되어 과포화 리액터와 직렬 연결된 제동저항에서 전력을 소모시켜 철공진현상을 억제시킬 수 있도록 하였다. 이때 과포화리액터는 포화 이전 전압에서 고 저항으로 작용토록 함으로써 상시에는 제동저항에서 전력소모가 발생치 않았고, 제동저항 크기는 EMTP해석을 통해 산정한 0.5Ω로 하였다

그림 2-9. 과포화리액터 포화전압 특성곡선



이와 같은 특성을 지닌 과포화리액터와 제동저항을 사용하여 그림2-10과 같은 기설 WSI제 CVT의 철공진 방지 개선회로를 구성하여 실증시험을 수행하였다.

그림2-10. 콘덴서형 전위변성기 철공진방지장치 구성도

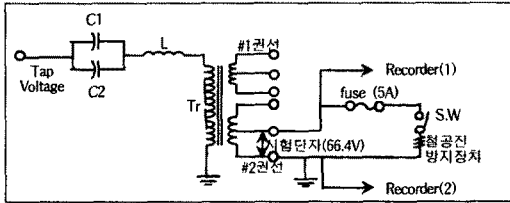


2.3 실증시험

기설 WSI제 CVT중 전압별(154kV, 345kV)로 각각 1대씩 선정하여 철공진방지회로를 개선하고, IEC

-186(Voltage Transformers) 기준에 의거 그림2-11과 같은 시험회로를 구성하여, 철공진현상 시험(Ferro-resonance tests)을 수행하였다. 이때 시험기준인 IEC-186에 의하면 CVT에서 철공진현상은, 정격전압을 인가한 상태에서 2차 측을 순간 단락 시킨후 개방시켰을 때 철공진현상이 2[Sec] 이상 진행하지 않아야 하고, 정격전압의 120%를 인가한 상태에서 2차 측을 순간 단락 시키고 난후 급속히 단락회로를 개방한 10Hz 후의 2차 전압과 단락시키기 전의 2차 정격전압과의 변화차가 10%이내 이어야 한다.

그림2-11. 철공진현상 실증시험 회로



이와 같은 기준 및 시험회로에 의거 CVT 1차 측에 정격전압의 100% 및 120%를 인가한 상태에서 2차측 단락전, 후 철공진현상 지속시간 및 전압변화율을 측정 한 결과 표2-1 및 표2-2에 나타난 바와 같이 철공진현상 진행시간은 154kV CVT 0.067Sec, 345kV CVT 0.167Sec로 나타났고, 철공진현상에 의한 전압변화율은 154kV CVT 1.7%, 345kV CVT 2.8%로 나타나 모두 시험기준에 부합되는 결과가 나타났다.

표2-1. 정격전압 인가시 철공진현상 진행시간

구분	1차 인가전압	2차 정격전압	시험 결과 (2차측)		비고
			철공진현상 지속발생	철공진현상 진행시간 [Sec]	
154kV	89 (kV) (100%)	66.4(V)	철공진현상 지속발생	약 0.067 [Sec] (발생주기 : 약 4c/s)	기준 (2sec 이내)
345kV	199(kV) (100%)	66.4(V)	철공진현상 지속발생	약 0.167 [Sec] (발생주기 : 약 10c/s)	

표2-2. 정격전압 120% 인가시 전압변화율

구분	1차 인가전압	2차 정격전압	시험 결과 (2차측)		비고
			변화율 [%]	철공진방지장치 미부착 / 철공진방지장치 부착	
154kV	107(kV) (120%)	79.7 (V)	약 200 [%]	0 % (79.7V)	기준 (10% 이내)
345kV	239(kV) (120%)	79.7 (V)	약 200% [%]	2.8% (81.9V)	

그리고 각 전압별(154kV, 345kV) 철공진방지회로 연결전, 후 실증시험 파형은 다음과 같다.

154kV CVT의 경우 1차측에 100%전압(89kV) 인가시 철공진방지회로 연결전에는 그림2-12에 나타난바와 같이 200V 20Hz의 철공진현상이 나타났고, 연결후에는 그림 2-13에 나타난바와 같이 약 4Sec 후에 철공진현상이 제동되었다.

그림2-12. 철공진방지회로 연결전 측정파형

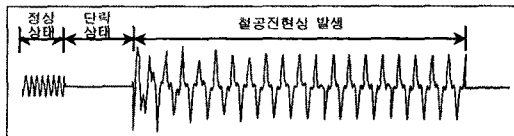


그림2-13. 철공진방지회로 연결후 측정파형



345kV CVT의 경우 1차측에 100%전압(89kV) 인가시 철공진방지회로 연결전에는 그림2-14에 나타난바와 같이 200V 20Hz의 철공진현상이 나타났고, 연결후에는 그림

2-15에 나타난바와 같이 약 10Sec 후에 철공진현상이 제동되었다.

그림2-14. 철공진방지회로 연결전 측정파형



그림2-15. 철공진방지회로 연결후 측정파형



또한 현재 운전중인 154kV 및 345kV WSI제 CVT 각 3대에 대해 철공진방지회로를 개선전, 후 CVT 외함온도 변화추이를 살펴본 결과 154kV 평균온도는 개선전 온도(27.6℃) 보다 개선후 온도(20.7℃)가 약 6.9℃ 정도 낮게 나타났고, 345kV 평균온도는 개선전 온도(40.5℃) 보다 개선후 온도(30℃)가 약 10.5℃ 정도 낮게 나타났다.

표2-3. 철공진방지회로 개선전,후 외함온도 변화추이

구분	평균 외기온도	평균 외함온도	비고
154kV CVT	개선전	약 27.6℃	14일간 평균온도
	개선후	약 20.7℃	
345kV CVT	개선전	약 40.5℃	13일간 평균온도
	개선후	약 30℃	

3. 결 론

송변전설비 보호 및 계속목적으로 설치된 WSI제 콘덴서형 전위변성기(CVT)의 철공진방지회로를 과포화리액터와 제동저항을 직렬로 연결하여 전위변성기 2차측에 병렬취부하는 방식으로 개선하여, EMTP 해석 및 실증 시험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

3.1 EMTP 해석

콘덴서형 전위변성기에 인가되는 전원 개폐시 철공진현상이 발생함을 확인하였고, 철공진방지회로 취부시 철공진현상이 제동됨을 확인하였다. 이때 제동저항 크기는 작을수록 제동시간이 짧게 나타났다. 이에 따라 WSI제 CVT 철공진방지회로 개선용 제동저항 크기를 0.5Ω으로 산정하였다.

3.2 실증시험

WSI제 154kV CVT 및 345kV CVT 철공진 방지회로 개선후 IEC-186기준에 의거 실증시험 결과 철공진현상 진행시간은 154kV CVT 0.067Sec, 345kV CVT 0.167Sec로 나타났고, 전압변화율은 154kV CVT 1.7%, 345kV CVT 2.8%로 나타나 모두 시험기준에 부합되는 결과를 얻었다. 또한 현장 실증시험결과 CVT 평균 외함온도가 154kV는 약 6.9℃ 정도 낮게 나타났고, 345kV는 약 10.5℃ 정도 낮게 나타났다.

따라서 기설 WSI제 CVT 철공진방지회로를 개선함으로써 철공진현상 제동은 물론 과열현상방지로 고장에 방에도 기여할 것으로 보인다.

[참 고 문 헌]

- [1] W.S. Industries(INDIA) Limited, "Technical Specification for Capacitor Voltage Transformers", May 2000.
- [2] RITZ, "Technical Specification for CVT", February 2000.
- [3] TRENCH ELECTRIC "Instruction Manual for Capacitor Voltage Transformers and Coupling Transformers". 2000.
- [4] NISSIN ELECTRIC Co. "Instruction Manual for SF6 Gas Voltage Transformer" 1996.
- [5] PASSONVILLA, "General Instruction Book", 2001.
- [6] HAEFELY, "Technical Specification for CVT", 2000.
- [7] IEC-186, "Voltage Transformers", 1995.
- [8] EMTP Rule Book, "ATP Salford Version I, II", 1987.