

22.9kV 수전설비에서 측정된 과도과전압의 특성

(Features of Transient Overvoltages Observed at 22.9kV Consumer's Substation)

심해섭* · 이복희**

(Hae-Sup Shim · Bok-Hee Lee)

Abstract

The aims of this paper are to characterize the transient overvoltages(TOVs) and to evaluate the risk occurring at 22.9kV consumer's substation. The measurements of lightning- and switching-caused TOVs were made during Mar. 2013 and Feb. 2014. As a consequence, 47 events of TOVs were recorded and 4 of them were higher than the input voltage envelope(IVE) of the information technology industry council(ITI) curve. The measured TOVs are characterized by longer front times and longer durations compared to the 1.2/50 μ s standard impulse voltage waveform, and some of them represent bipolar waves with lower oscillation frequencies. It suggests that the test of non-standard impulse voltage waveforms is needed for effective risk assessments of power apparatus. Lightning- and switching-caused TOVs exceeding IVE of ITI curve are induced at the secondary of 22.9kV potential transformer(PT). We may, therefore, conclude that the surge protection devices should be applied at the secondary of PT and the surge absorbers should be installed at the primary of VCB or PT. The results presented in this paper could be useful to design the reasonable insulation coordination for 22.9kV consumer's substation.

Key Words : Transient Overvoltages, 22.9kV Consumer's Substation, Lightning Surge, Switching Surge, Insulation Coordination, Surge Protective Device, Surge Absorber

1. 서 론

우주기상(space weather)과 관련된 지자기 유도전류(geomagnetic induced current)를 제외하면 지상에서 가장 위험한 전기재해의 원인은 낙뢰이다. 낙뢰 또는 차단기의 개폐조작 등으로 발생하는 과도과전압(transient overvoltages : TOVs)은 전기설비에 대한 최대 외란으로 전기전자기기의 소손이나 데이터 손실 등의 주요 원인이다[1-3]. TOVs의 실측에 관한 연구

* 주저자 : 기상청 국가기상위성센터 위성기획과
** 교신저자 : 인하대학교 IT공대 전기공학부 교수
* Main author : National Meteorological Satellite Center
** Corresponding author : School of Electrical Engineering, Inha University, Professor
Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822
E-mail : bhlee@inha.ac.kr
접수일자 : 2014년 6월 23일
1차심사 : 2014년 6월 27일
심사완료 : 2014년 7월 18일

는 전력회사의 배전선로에 집중되어 왔으며, 실제 22.9kV 수전설비에서 발생하거나 유입되는 TOVs의 특징과 리스크 평가 그리고 보호장치의 건전성 평가 등에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 본 논문은 22.9kV 수전설비의 절연과 성능을 위협하는 TOVs에 관한 데이터를 확보하기 위해 1년 동안 TOVs을 실측하고 그 결과를 기반으로 TOVs의 특징과 리스크 평가 등에 대하여 기술하였다. 22.9kV 수전설비의 구성 요소인 계기용 변압기(potential transformer : PT)와 변류기(current transformer : CT)의 시험단자에 접속한 전력분석기로 낙뢰 또는 개폐장치의 조작에 의해 발생하는 TOVs를 측정하고, 이들의 특성과 분포, 발생확률 및 리스크에 대하여 통계적으로 분석하고 검토하였다.

2. 관련이론

TOVs은 크기와 주파수 그리고 지속시간 등에 따라 과도임펄스(transient impulse : TI)와 진동성 서지(oscillatory surge : OS)로 분류된다. 양자 모두 전원 주파수보다 높은 주파수성분을 가지며, 극성의 변동이 없는 단극성(monopolar) 또는 양극성(bipolar)으로 나타나는 특징이 있다. 과도임펄스의 주 발생원인은 낙뢰이며, 진동성 서지는 개폐장치의 개폐조작이다[4]. 정보기술산업위원회(information technology industry council : ITI) 곡선의 입력전압 허용한계(input voltage envelope : IVE)를 초과한 TOVs의 발생원인을 표 1에 정리하여 나타내었다.

PT는 물론이고 TOVs가 변압기의 1차에서 2차 권선으로 이행할 때 TOVs의 전파 특징에 영향을 주는 요소는 서지임피던스, 변압기의 인덕턴스와 커패시턴스, 권수비, 권선의 결선방법 및 변압기 여자 어드미턴스와 누설 인덕턴스 등이다. 또한 피뢰기의 보호레벨과 인출선의 길이 및 위치, 접지방식, 부하의 종류와 역률 그리고 부하측 케이블의 커패시턴스 등도 TOVs의 전파 특징에 영향을 미치는 요인으로 작용한다 [4-5]. 일반적으로 변압기의 고압 권선과 저압 권선사이의 커패시턴스 및 저압 권선과 대지 사이의 커패시턴스는 단극성의 과도임펄스를 양극성의 진동성 서지

로 변화시키며 진동성 서지의 크기와 주파수에 크게 영향을 미친다[6].

표 1. TOVs의 발생원인
Table 1. Occurrence causes of TOVs

측정일	원인
4.25	상용 전원계통의 결상으로 VCB 차단 후 복전 투입시 발생
8.29	인입변대주 약 40m 전방의 분기배전선로 가공지선으로 직격되 가 침입한 후 유도되어 발생
9.14	수용가 근처 수목에 낙뢰가 침입한 후 대지전위상승에 수반되 어 변압기 저압측 중성점에 발생
9.16	(원인불명)강우나 낙뢰 그리고 개폐장치의 개폐조작이 없었음에 도 발생

3. 측 정

3.1 측정대상의 개요

TOVs의 발생과 유입 그리고 전파특성은 통상 전기 설비의 규모와 특성에 관련되며, 측정대상인 22.9kV 수전설비의 개요를 표 2에 나타내었다. TOVs의 발생과 전기전자기기가 소손될 확률(damage probability)은 낙뢰밀도(ground flash density)와 밀접한 상관관계가 있다[7]. 2013년 3월부터 2014년 2월까지 측정 대상설비가 위치한 충청북도 진천군에 발생한 낙뢰는 총 2,760회이다[8]. 충북 진천군의 면적은 약 407km²이므로 측정기간 동안 낙뢰밀도는 약 6.78회/km²으로서 남한 내륙 전체 평균의 341%이다.

표 2. 측정대상 22.9kV 수전설비의 개요
Table 2. Outlines of 22.9kV consumer's substation to be tested

1. 수전용량	1,750kVA	2. 주요부하	정보통신설비
3. 대지저항률	1,200Ω · m	4. 접지저항	2.5Ω
5. 피뢰설비	외 · 내부 설비	6. 낙뢰밀도	6.78회/km ²

TOVs의 측정은 그림 1과 같이 22.9kV 수전설비의 변압기 1차측에 설치된 PT, CT의 시험단자에서 2013년 3월부터 2014년 2월까지 1년간 수행하였다. PT와 CT의 주요 규격은 표 3에 나타내었다.

22.9kV 수전설비에서 측정된 과도과전압의 특성

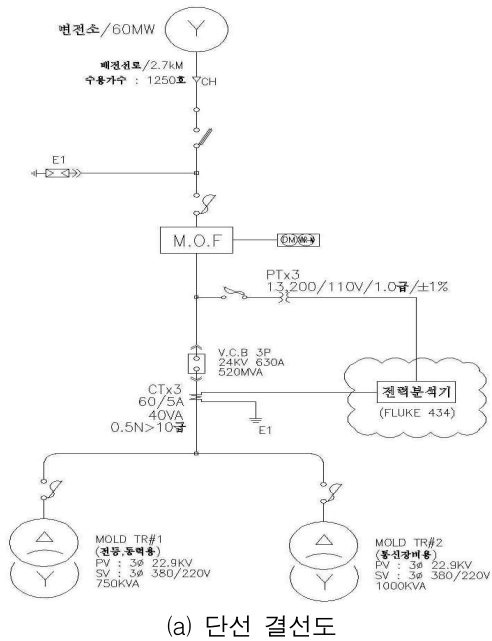


그림 1. 과도과전압의 측정위치
Fig. 1. Measurement location of TOVs

표 3. 계기용 변압기와 변류기의 규격
Table 3. Specifications of potential transformer and current transformer

	변성비	정확도	출력	절연레벨
PT	13,200/110V	1.0(±1%)	200VA	125kV
CT	60/5A	0.5, N>10	40VA	

3.2 측정장치 및 방법

TOVs의 측정에 사용한 3상 전력분석기는 표 4와

같이 전력품질감시와 관련된 계측기의 요구사항을 정의하는 IEC 61000-4-30에 적합하다(Class A)[9]. 22.9kV PT의 2차 전압 실효값은 110V이며, 최대값은 156V이다. TOVs의 지속시간은 통상 1/4 주기 이하이고 정보통신기기의 리스크 판정기준인 ITI 곡선에 의하면 지속시간 1/4 주기 이하의 전압백분율은 120%가 최소이다[10]. 그러므로 전력분석기의 최소검출값을 156V의 120%인 ±187V로 설정하였다.

표 4. 본 연구에 사용한 전력분석기의 규격
Table 4. Specifications of the power quality analyzer employed in this work

항 목	측정범위	해상도	정확도
1. 전압누금	±6kV	0.1V	±15%
2. 전류누금	10mA - 6A		1%
3. 최소검출시간	5μs		
4. 샘플링률	200kS/s(200kHz/s)		

강우는 충북 진천군 광혜원면에 설치된 기상청 자동 기상관측장비(automatic weather system)의 자료를 사용하였으며[11], 낙뢰자료는 19km 이내에서 90% 이상의 탐지율을 갖는 측정대상 수용기에 설치된 자동낙뢰경보 및 리스크관리시스템(automated lightning alert and risk management)의 관측데이터를 활용하였다[12].

4. 결과 및 고찰

4.1 TOVs의 측정결과

TOVs의 측정결과를 표 5에 나타내었다. 강우는 지락과 지락으로 인한 계통의 순시전압강하 또는 지속 정전의 주 원인이며, 지락보호를 위한 개폐장치의 개폐동작이 진동성 서지의 주 발생원인이다. 그러므로 TOVs의 발생과 강우, 낙뢰와의 관련 확률의 산정을 위해 낙뢰와 강우의 발생 여부를 기록하였다. TOVs의 지속시간은 최대값을 갖는 단일파형의 지속시간으로 나타내었으며, 최대값은 각 상(phase)의 순시적 피크값이다. 한계초과는 ITI 곡선기준의 IVE 초과 여부를, 기기 소손은 TOVs의 발생시 변압기 2차측으로 실

제 부하(폐쇄회로 카메라, 서지방호장치, 위성자료 수신시스템 등) 소손의 발생 여부를 나타내었다.

표 5의 데이터를 기반으로 작성한 통계지표를 표 6에 나타내었으며, TOVs의 분포는 그림 2와 같다. 과도임펄스 27회, 진동성 서지 20회가 측정되었으며, 분포도에서 별표는 ITI곡선의 IVE를 초과한 TOVs이다.

표 5. TOVs의 측정결과
Table 5. Measurement results of TOVs

측정일	강우	낙뢰	지속시간 (ms)	측정(최대)값 (V)	유형	한계 초과	기기 소손
4.03			0.51	209	TI		
4.06	Yes		0.34	193	TI		
			0.21	188	TI		
4.08			0.45	188	TI		
			0.35	195	TI		
4.09			0.45	208	TI		
			0.45	187	TI		
4.10			0.45	187	TI		
4.12			0.39	207	TI		
4.13			0.45	190	TI		
			0.28	190	TI		
4.15			0.45	189	TI		
			0.5	197	TI		
			0.45	191	TI		
4.19			0.45	187	TI		
			0.35	187	TI		
4.20	Yes		0.45	190	TI		
4.25	Yes	Yes	0.5	194	TI		
			0.22	338	OS		
			0.28	268	OS		
			0.22	646	OS	Yes	Yes
7.14			0.62	240	OS		
8.06	Yes	Yes	0.56	217	OS		
8.23	Yes	Yes	0.31	202	TI		
			0.39	188	TI		
			0.4	187	TI		
8.28			0.62	186	TI		
8.29	Yes	Yes	0.34	199	TI		
			0.34	196	TI		
			0.67	189	OS		
			0.95	779	OS	Yes	Yes

측정일	강우	낙뢰	지속시간 (ms)	측정(최대)값 (V)	유형	한계 초과	기기 소손
			0.78	254	OS		
			0.95	313	OS		
9.14	Yes	Yes	0.62	273	OS		
			0.9	416	OS	Yes	Yes
			0.34	256	OS		
			0.45	334	OS		
9.16			0.9	262	OS		
			0.5	464	OS	Yes	
			1.9	283	OS		
			2.07	329	OS		
			0.34	279	OS		
10.28			0.34	191	TI		
10.29	Yes		0.28	192	TI		
			0.34	190	TI		
11.17	Yes	Yes	1.18	289	OS		
			0.9	265	OS		

표 6. TOVs 통계
Table 6. Statistics of TOVs

항목	지속시간(ms)	측정(최대)값(V)
평균	0.55	253.23
중앙값	0.45	199
최빈값	0.45	187
표준 편차	0.37	117.34
범위	1.86	593
최소값	0.21	186
최대값	2.07	779
관측수	47	

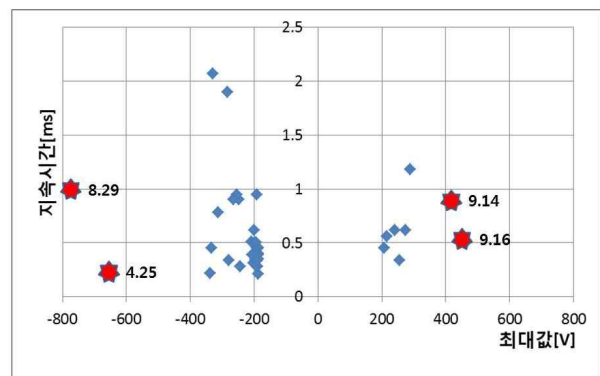


그림 2. TOVs의 분포도
Fig. 2. Distribution chart of TOVs

4.2 TOVs의 발생확률

어느 사건이 발생할 가능성 혹은 확률은 그 표본공간(sample space)의 각 요소에 대한 일련의 확률값을 부여함으로써 구할 수 있다. 확률값이 정확한 TOVs의 발생이나 ITI 곡선의 IVE 초과 빈도를 의미하지는 않는다. 그러나 확률값에 기초한 합리적인 추정은 가능하다[13]. 예를 들어 TOVs의 50% 이상은 강우와 낙뢰에 수반됨을 예측할 수 있으므로 기상예보에 따라 사전조치를 위한 선행시간의 확보가 가능하다. 표 5에 나타난 데이터를 기반으로 산출한 TOVs의 발생 확률은 표 7과 같다.

표 7. TOVs의 발생확률
Table 7. Occurrence probability of TOVs

구 분	확률(%)
1년중 TOV가 발생할 확률	6
TOVs 중에서 과도임펄스가 발생할 확률	57
TOVs 중에서 진동성 서지가 발생할 확률	43
TOVs 중에서 IVE를 초과할 확률	19
TOVs가 강우와 낙뢰에 동반될 확률	55
TOVs가 IVE를 초과할 경우 변압기 2차측으로 저압기기의 소손이 발생할 확률	75

표 8. 포아송분포에 따른 TOVs의 발생확률
Table 8. Occurrence probability related to Poisson distribution

TOVs의 수 (x)	평균 TOVs의 수	TOVs의 수가 x이하일 확률(%)
10	4	100
4		63
2		24

포아송분포(Poisson distribution)는 특정시간 또는 특정공간 범위 내에 발생하는 사건의 수를 나타내기 위해 사용된다[7]. TOVs의 측정결과 중에서 IVE를 초과하는 사건이 1년 동안 4회 발생하므로 IVE를 초과하는 TOVs이 연평균 x 이하일 확률은 표 8과 같다. 연평균 10회 이하로 발생할 확률은 100%, 4회 이하로 발생할 확률도 63%에 달하므로 TOVs에 대한 지속적

인 대책수립이 요구된다. 그러나 포아송확률의 분포 계산에 따르면 TOVs 발생의 예측에 대한 오차율을 10% 이내로 유지하기 위한 최소 측정기간은 400년이 소요되므로 향후 오차율 감소를 위한 지속적인 측정과 통계적 분석이 요구됨을 알 수 있다. 확률의 산정은 엑셀(microsoft excel)의 포아송 함수를 사용하였다.

4.3 TOVs 파형의 특징

TOVs의 측정 파형과 확대도를 그림 3과 그림 4에 나타내었으며, ITI 곡선의 IVE를 초과한 TOVs의 특징을 표 9에 나타내었다. 4회 모두 발생원인과 관계없이 최대값과 주파수 등이 IEEE 1159.1의 진동성 서지 범주에 포함되는 진동성 서지로 나타났다[14].

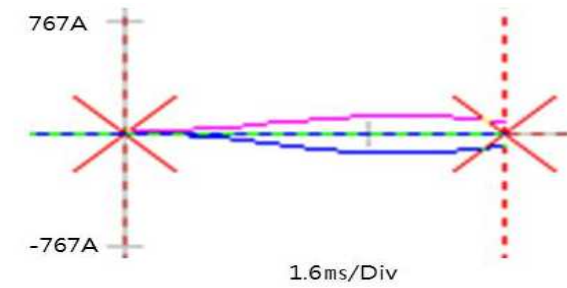
표 9. 진동성 서지 파형의 특징
Table 9. Features of oscillatory surge waves

측정일	원인	측정 (최대)값 (V)	파두 준도 (kV/ μ s)	파형 (μ s)	지속 (μ s)	주파수 (kHz)	전압 (pu)	부하 소손
4.25	스위칭	-646	-0.77	100/170	220	9	4.14	Yes
8.29	낙뢰	-779	-1.55	60/100	950		4.99	Yes
9.14	낙뢰	416	0.83	60/170	290		2.67	Yes
9.16	불명	464	0.92	60/150	500		2.97	No

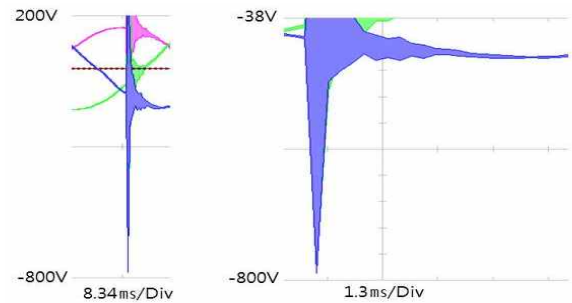
본 연구에서 실측된 파형의 특징과 1991년 미국의 EPRI(electric power research institute)가 수행한 15kV급 3상 4선식 가공배전선로 피뢰기 2차측에서 실측한 TOVs의 특징을 비교하면 완전한 파두준도와 긴 지속시간 등의 특징이 나타났다. TOVs의 파두준도와 지속시간이 길어지는 원인은 피뢰기, 계기용 변성기와 PT와 같은 기기를 통과하기 때문이다[4].

22.9kV용 PT의 권선은 Y-Y결선이며 1차권선과 2차권선 모두 중성점이 직접 접지되어 있어 TOVs은 2차측에서 저감되어 측정된다[15]. 그러므로 실제 유입된 TOVs은 실측값보다 클 것으로 추정할 수 있다.

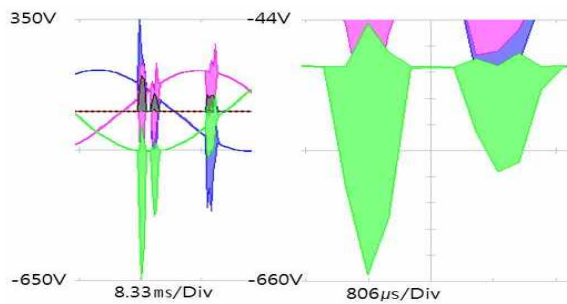
진공차단기(vacuum circuit breaker : VCB)의 투입으로 발생하는 개폐서지는 뇌서지에 비하여 파두준도는 완만하고 지속시간이 짧은 것을 알 수 있다. 그러



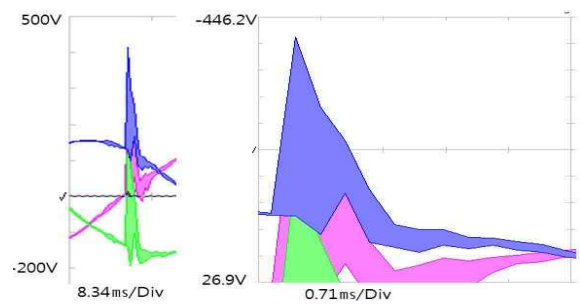
(a) 8월 25일, 돌입전류



(a) 8월 29일, 진동성 낙뢰서지



(b) 4월 25일, 진동성 개폐서지



(b) 9월 14일, 진동성 낙뢰서지

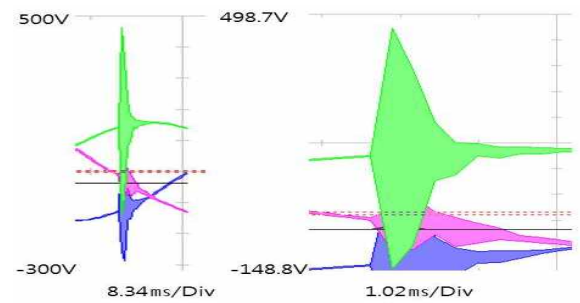
그림 3. VCB의 투입에 의한 돌입전류와 진동성 서지전압

Fig. 3. Oscillatory surge voltage and inrush current caused by closing VCB

므로 ‘개폐서지는 뇌서지에 비해 파고값은 높지 않으나 지속시간은 길다’라는 개폐서지의 특징이 모든 경우 해당되는 것이 아님을 알 수 있다.

4.4 리스크평가

ITI곡선은 60Hz, 120V 정격의 정보통신기기에 대한 IVE를 제공한다[10]. 그러므로 ITI곡선을 특고압 PT의 2차측에 설치되는 60Hz, 110V 정격의 계기나 기기에 대한 IVE의 기준으로 적용할 수 있다. 그림 3과 그림 4 그리고 표 9에 나타난 바와 같이 ITI곡선의 IVE를 초과하는 TOVs이 PT 2차측에 발생할 수 있으므로 PT 2차측 저압회로에 서지방호장치와 VCB 1차측에 서지흡수기 등 TOVs을 경감시키는 보호장치의 적용이 바람직하다. 특히 PT 2차측의 디지털 계기나 기기는 상대적으로 아날로그 기기에 비해 임펄스전압에



(c) 9월 16일, 진동성 서지(원인불명)

그림 4. 진동성 서지전압의 측정 예

Fig. 4. Examples of measured oscillatory surge voltages

취약하므로 TOVs에 대한 추가보호가 필요하다.

22.9kV용 PT 2차측에서 측정된 TOVs을 ITI곡선에 적용하여 변압기 2차측 저압기기가 소손될 확률을 산정하면 약 75%이므로 ITI곡선을 변압기 2차 저압기기에 대한 리스크 판정의 자료로 활용이 가능할 것이나 220V 기기에 대한 엄정한 리스크판정기준으로 적용하는 것은 곤란하다. 그러므로 외국의 선행연구와 같이 ITI 기준을 자국의 저압기기에 적용하기 위한 연구

가 필요함을 시사하고 있다[4,10,16].

22.9kV 계통의 상전압 최대값은 18.6kV이므로 PT 2차에서 실측된 최대값을 PT 권수비만을 고려하여 1차로 환산하면 8월 29일 발생한 낙뢰로 인한 진동성 서지의 최대값은 93kV이다. 이는 VCB의 내전압(65kV, 1.2/50 μ s)을 약 55% 초과하며, 변압기 1차권선(95kV, 1.2/50 μ s)의 98%, 계기용 변압기와 계기용 변류기(125kV, 1.2/50 μ s) 내전압의 74%에 상응하여 전력기기의 절연을 위협하게 된다. 또한 피뢰기의 방전내량은 65kA(4/10 μ s)이며 이때의 제한전압은 87kV이므로 93kV의 진동성 서지는 피뢰기의 방전내량에 대한 제한전압을 약 107% 초과한다. 그러므로 피뢰기와 서지흡수기의 방전내량을 초과하는 TOVs의 유입으로 인한 내부 소자의 열화를 추정할 수 있다.

그러나 표준임펄스전압파형과 실측파형의 상이성은 22.9kV 특별고압기기의 엄정한 위험성 평가를 곤란하게 한다. 1.2/50 μ s 표준임펄스전압파형은 단극성이나 실측 파형은 그림 3과 그림 4 그리고 표 9에 나타난 바와 같이 표준임펄스파형과는 상이한 진동성 특성을 갖는다. 따라서 TOVs에 의한 리스크는 에너지로 평가되므로 지속시간이 더 길고 양극성 임펄스가 보호대상기기에 더 큰 열적 스트레스원이 될 것으로 추정할 수 있다. 또한 선행연구에 따르면 양극성 임펄스는 단극성에 비하여 매우 높은 TOVs의 발생원이 될 수 있으며 전원계통을 구성하는 다른 기기나 장비에 위협적인 것으로 보고되어 있다[4]. 그러므로 향후 이와 같은 비표준임펄스파형을 적용하여 기기의 내전압에 대한 성능을 평가하는 시험이 필요하고 그것으로 엄정한 절연강도의 정의와 원인규명이 곤란한 기기소손 등을 진단할 수 있을 것이다.

수전용 변압기 2차 권선에 대한 리스크평가를 위해서는 2차 권선으로 이행하는 뇌서지의 산정이 필요하다. 변압기 1차 권선의 임펄스내전압은 95kV이므로 변압기 2차로 이행되는 뇌서지의 크기는 식 (1)로 추정할 수 있다[5].

$$V_{ls} = SpV_{pl} \quad (1)$$

$$S = \frac{C_{hg}}{C_{hg} + C_{lg}} \quad (2)$$

- 여기서 V_{ls} : 변압기 2차로 이행되는 뇌서지의 크기
- S : 무부하 커패시턴스
- C_{hg} : 1차 권선의 분포커패시턴스
- C_{lg} : 2차 권선의 분포커패시턴스
- p : 변압기 권선 결선에 따른 인수
(Y-Y, Δ - Δ : 1.05, Δ -Y: 1.15)
- V_{pl} : 피뢰기 보호레벨

1MVA, 22.9kV(Δ -Y) 변압기 권선의 절연강도는 1차 95kV(임펄스전압), 2차 3kV(상용주파절연내력)이다. 변압기는 정격전압 18kV, 제한전압 65kV인 피뢰기로 보호되고 있으나 실측되어 환산된 뇌서지전압은 93kV이다. 변압기 1차와 2차 권선의 분포커패시턴스는 변압기 제조사로부터 제공되지 않으므로 통상 각각 1.2nF와 3.1nF를 적용한다[5]. 그러므로 식 (1)과 식 (2)를 적용하여 변압기 2차로 이행되는 뇌서지를 산정하면 약 31kV이다. 그러나 변압기 제조사로부터 제공되는 2차 권선의 절연강도는 상용주파절연내력으로 정의되어 있어 TOVs에 대한 리스크 평가는 불가능하다. 그러므로 향후 변압기 2차 권선의 TOVs에 대한 리스크 평가를 위해서는 2차 권선의 임펄스전압에 대한 내전압특성을 평가하는 연구가 선행되어야 한다.

VCB를 투입할 때 발생하는 돌입전류는 그림 3(a)와 같이 R상에서 최대 -142.8A가 측정되었으며, 정격전류 44A의 324%이다. CT의 과전류정수($n > 10$)를 고려하면 실제 발생한 돌입전류는 측정전류보다 클 것으로 추정되며 변압기 2차측의 저압기기, VCB 1차측의 MOF, PT, 퓨즈류는 이때 발생한 돌입전류로 인하여 I^2t 에 비례하는 열적 스트레스를 받게 된다. 그러므로 VCB를 투입하기 전에 저압측 차단기류의 개방으로 저압기기의 소손을 예방할 수 있을 것이나 VCB 1차측 기기(MOF 등)의 경우 저감대책이 없으므로 VCB의 개폐로 인한 진동성 서지는 VCB 1차측 기기의 절연 스트레스원이 될 것이며 축적된 과전압 스트레스는 결국 기기 소손으로 파급될 수 있다. 그러므로 VCB 또는 PT 1차측에 서지흡수기를 적용하는 등의 적절한 경감대책을 반드시 강구하여야 한다[16].

5. 결 론

22.9kV 수전설비의 특고압 PT 2차측에서 TOVs를 1년간 측정된 결과 총 47회가 상전압 최대값의 120%를 초과하는 것으로 나타났다. PT의 권수비를 기준하여 1차로 환산한 TOVs의 최대값은 93kV이었으며, 피뢰기와 서지흡수기의 방전내량과 일부 특고압기기의 내전압을 초과하였다. 실측한 TOVs 파형은 발생원인과 상관없이 표준임펄스전압파형에 비하여 과도준도가 완만하고 지속시간이 길게 나타났다. 그러므로 특고압 기기와 저압기기의 엄정한 내전압 설계와 리스크평가는 물론 TOVs를 경감시키는 보호장치에 대한 건전성 평가를 위해서는 비표준임펄스전압파형에 의한 성능시험과 평가에 대한 심층적인 검토가 요구된다. 또한 PT 2차측 전로에는 낙뢰와 VCB의 투입에 기인하여 ITI곡선의 IVE를 초과하는 TOVs가 유도되므로 보호대책 정립의 필요성이 제기되었다.

본 논문에서 제시된 TOVs의 발생 상황과 확률, 특징에 대한 연구결과는 향후 22.9kV 수전설비의 합리적 절연설계를 위한 참고자료로 활용될 것으로 기대된다.

이 연구는 국가기상위성센터 '기상위성운영 및 운영기술개발' 사업의 지원으로 수행되었습니다.

References

[1] V. Cooray, The Lightning Flash, MPG Books Ltd, pp.481-501, 2003.
 [2] K. Denno, High Voltage Engineering in Power Systems, CRC Press Inc., pp.1-17, 1992.
 [3] P. Chowdhuri, Electromagnetic Transients in Power Systems, 2nd Ed., Research Studies Press Ltd., pp.1-4, 2004.
 [4] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, H. W. Beaty, "Electrical Power Systems Quality", 3th ed., McGraw-Hill, New York, pp.137~195, 2012.
 [5] J. C. Das, "Transients in Electrical System", McGraw-Hill, New York, 2010, pp.382~389.
 [6] M. Fernando, V. Cooray, "Lightning Surges at Distributed Transformer Secondary", 5th ICIS, India, June 2010, pp.532~537.
 [7] EPRI Reserch report, EPRI TR-100218, "Characteristics of Lightning Surges on Distribution Lines - Final Report", Prepared by Power Technologies, Inc., December 1991.

[8] Korea Meteorological Administration, Annual Lightning Report, p.57, 2014.
 [9] IEC Std 61000-4-30, "Testing and measurement techniques power quality measurement methods", 2003.
 [10] ITI (CBEMA) Curve Application Note, Information Technology Industry Council (ITI) 1250 Eye Street NW, Suite 200, Washington DC 20005 <http://www.itic.org/technical/iticurv.pdf>, revised 2000.
 [11] <http://mis.inf.kma.go.kr>.
 [12] H. S. Shim and B. H. Lee, "Construction and Operation Characteristics of the Automated Lightning Warning System Based on Detections of Cloud-to-Ground Discharge and Atmospheric Electric Field", J. KIIE, Vol.27, No.11, pp.82-88, 2013.
 [13] A. J. Hayter, "Probability and Statistics for Engineers and Scientists", 3th ed., CENGAGE Learning Korea, Seoul, 2009, pp.1~168.
 [14] IEEE Std 1159.1, "Guide For Recorder and Data Acquisition Requirements For Characterization of Power Quality Events", 2000.
 [15] IEC Std 60044-2, "Inductive voltage transformer", 2003.
 [16] D. D. Shipp, T. J. Dionise, V. Lorch, and G. William, "Vacuum Circuit Breaker Transients During Switching of an LMF Transformer", IEEE Transaction on Industry Applications, vol. 48, n. 1, Jan/Feb. 2012.

◇ 저자소개 ◇



심해섭 (沈海燮)

1974년 1월 7일생. 2009년 서울산업대학교 대학원 졸업(석사). 2004~2006년 극지연구소 남극세종과학기지 18차 월동연구대. 2007년~현재 기상청 국가기상위성센터 주무관.



이복희 (李福熙)

1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 2010~2011년 당 학회 회장. 현재 인하대 IT공대 전기공학부 교수. 본 학회 명예회장.