

급전선로에 설치되어 있는 피뢰기의 누설전류 측정과 관리방안

Leakage Current Measurement and Management of Arresters Installed in Feeder Lines

한주섭* 서황봉** 길경석*** 한문섭† 장동욱††

Han, Ju-Seop Seo, Hwang-Dong Kil, Gyung-Suk Han, Moon-Seob Jang, Dong-Uk

ABSTRACT

This paper describes the measurement result of leakage current flowing arresters connected in feeder lines to propose an optimal management method. Twenty seven arresters set in seven areas were analyzed on a regular basis for 4 months. The results showed that the RMS and the peak value of the total leakage currents for soundness arresters were a range of 200 μ A ~ μ A, respectively. During the period of measurement, the magnitude of the leakage current didn't show conspicuous changes and there were impossible places to analyze arrester's status due to including high THD rate in a feeder line.

From the study, leakage current measurement has to be performed at a condition without running an electric train in the line, and the allowable RMS value of soundness arrester is bellow 600 μ A.

1. 서 론

전철용 변전소와 급전선로에는 자연현상에서 발생하는 직격뢰와 유도뢰에 의한 파도과전압과 내부 급전계통 운영에 필요한 차단기의 동작, 전력변환기의 사용으로 나타나는 계폐과전압이 발생하며 이들 과전압은 정상운전전압에 비하여 최대 십 수배로 전력설비를 손상시킬 수 있는 큰 에너지를 가진다. 피뢰기는 이들 과전압으로부터 전력계통에 설치된 열압기, 차단기 등과 같은 중전기기의 원연레벨 이하로 억제시켜 전력설비를 보호하는 역할을 한다.

현재 피뢰기는 과거에 비하여 비선형전압-전류특성과 보호성능이 현저하게 향상되었지만, 아직도 전력계통에서 피뢰기의 열화로 인한 사고는 많은 부분을 차지하고 있다. 특히, 전철용 변전소 및 급전계통에서는 부하설비들이 광범위하게 분포하여 피뢰기의 선저계수가 많아지고, 이것들의 열화로 인하여 이상전압의 발생빈도가 높아져 피뢰기의 보호동작이 빈번해지며, 이들 과정에서 피뢰기는 많은 열화가 진전된다. 열화된 피뢰기가 전력계통에서 제거되지 않고 지속적으로 설치되어 있으면 정상운전전압에서 과열 또는 반복되는 보호동작으로 피뢰기가 폭발이나 지락사고로 진전하여 2차적인 경제력, 기술적 사고를 유발시킨다. 따라서 전력계통에서 운전 중 피뢰기의 열화를 진단하고 사고 유발 가능성이 있는 피뢰기를 사고발생 이전에 전력계통에서 제거하는 것은 매우

* 한국해양대학교 Post-doc., 정회원

** 한국해양대학교 석사과정, 학생회원

*** 한국해양대학교 부교수, 정회원

† 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

†† 한국철도기술연구원 주임연구원, 정회원

중요하다. 또한 급전계통에 설치되어 있는 피뢰기들은 낙뢰의 크기, 발생빈도, 전차의 운행횟수 등의 피뢰기 사용조건이 다르기 때문에 일정한 기간마다 시설물을 교체하는 방법보다는 적절한 관리방안과 기준을 바탕으로 관리하는 것이 요구된다.

본 논문에서는 급전선로에 설치되어 있는 피뢰기의 적절한 관리방안을 제시하기 위하여 피뢰기가 설치되어 있는 7개소를 선정하여 피뢰기의 누설전류를 측정하고, 측정 결과로부터 전철용 피뢰기에 대한 관리방안과 누설전류 기준에 대하여 기술하였다.

2. 현장 측정

2.1 측정 방법

피뢰기의 관리방안을 제시하기 위하여 현장측정에 사용한 진단장치는 누설전류 검출장치와 본체로 구성되어 있으며, 누설전류 검출장치와 본체는 클램퍼를 이용하여 신호를 전송하고, 매터리를 대향하고 있어 휴대하여 옥외에 설치된 피뢰기의 누설전류 측정 및 분석이 가능하다. 산화아연형 피뢰기의 열화진단에 관련된 여러 가지 파라미터를 동시에 측정 및 분석이 가능하므로 단순한 누설전류의 크기만을 측정하는 기존 장치와는 달리 전철용 피뢰기에 적합한 진단 파라미터를 도출할 수 있는 특징이 있다. 현장 진단 대상 피뢰기로부터 운전중 흐르는 전체 누설전류를 측정하고 여러 가지 진단지표를 분석하였으며, 측정의 신뢰성을 향상시키기 위하여 진단장치, 달변트형 전류계 및 DAQ시스템을 이용하여 측정값을 비교하였다.

전국에서 고속전도구간, 수도권 전철구간, 영동선 및 중앙선 구간 등 7개소에 설치된 27개의 피뢰기를 대상으로 4개월에 걸쳐 현장 측정을 실시하였다. 피뢰기가 설치되어 있는 장소는 터널 입암구와 인출구 또는 지중화 납전계통 등의 전철케이블 설치구간이다. 급전계통에 설치된 피뢰기는 지상 3~4[m]에 설치되어 있으며, 피뢰기 하단에 낙뢰 계수기와 아나로그형 전류계를 연결하여 설치된 경우도 있다.

그림 1에는 DAQ시스템을 이용한 피뢰기 누설전류의 측정 예를 나타낸 것으로 전원교조차 등에 의해 피뢰기 전단이 이러한 경우와 유사한 성형과와 같이 진단이 용이한 과정을 나타내었다. 그림 1(a)의 누설전류 파형 하단의 주파수 분석결과를 보면 60[Hz]에 다른 주파수들의 포함으로 성형과의 왜곡이 심하게 나타나고, 열화와는 무관하게 제3고조파의 성분도 상당한 값으로 측정되었다. 그림 1(b)의 파형은 거의 정현파와 유사하며 고조파도 거의 나타나지 않은 결과를 나타내고 있다.

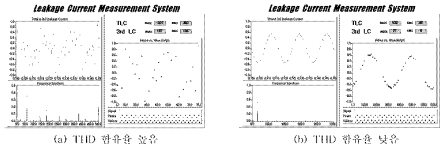


그림 1 누설전류의 파형 예

피뢰기의 누설전류를 측정하는 시점은 그동안 몇 차례의 측정과정으로부터 전기자량이 없는 상태에서 실시해야 함을 알 수 있었다. 이는 전기자량이 집중하는 경우, 달변하는 (동일)전류로 인하여 전원선과 접지선에 많은 고조파가 포함되기 때문이다. 특히 Thyristor 위상제어 방식의 전차에

서는 3차, 5차, 7차 등의 저차 고조파의 발생이 많으며, 최근 도입된 PWM제어 방식의 전차에서는 19차, 25차, 27차 등의 고차 고조파가 많이 발생하는 것으로 알려져 있으므로 누설전류 측정에서 전차 운행에 따른 고조파 영향을 고려하여야 할 것이다.

2.2 측정 결과

피뢰기 현장 측정 대상지역은 지역적인 차이와 전차의 운행 조건 등을 고려하여 경부선구간(수도권지역, 부산지역, 대전지역), 호남선구간(광주지역), 중앙선구간(경기지역, 충북지역), 영동선구간(경북지역)으로 총 10개소의 전기사무소 중에서 7개소를 선정하였다.

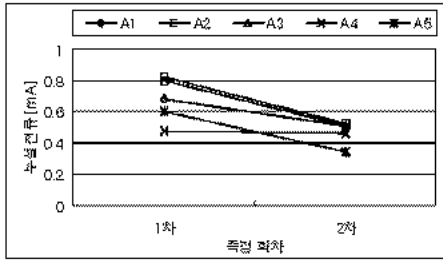
수도권지역(000 전기사무소)에서는 00선(2개)과 00선구간(3개)의 급전계통에 설치되어 있는 피뢰기이며, 2000년 4월 급전계통을 지중화하여 전력케이블로 설치한 구간이다. 2004년 9월 16일, 2004년 11월 18일에 각각 누설전류를 측정하고 결과를 표 1에 나타내었다. 00선과 00선구간에 설치된 피뢰기에는 전원에 포함된 고조파와 접지선으로 흐르는 고주파 성분으로 고조파에 의한 전체 누설전류 파형의 왜곡에 의해 전체 누설전류의 최대값과 제 3고조파의 크기로는 분석이 불가능하다. 이러한 경우에는 전체 누설전류의 실효값만이 진단지표로 가능하며, 반드시 누설전류의 고조파 분석을 시행하여 전원고조파 영향인지 피뢰기 열화에 의한 것인지 분석할 필요가 있다.

표 1 수도권지역(000 전기사무소) 관할 피뢰기

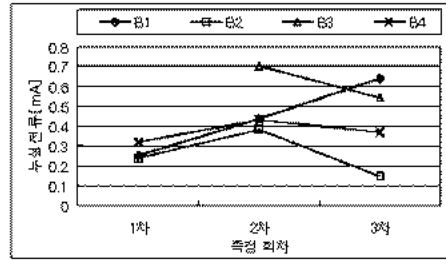
구분	피뢰기 번호	측정 회수	클램프 ZCT It(rms)[mA]	DAQ It(rms)[mA]	피뢰기 진단장치 [mA]		
					It(peak)	It(rms)	I3(peak)
O O 선	A1	1차	0.7~0.8	0.71	1.46	0.68	0.05
		2차	0.75~0.69	0.75	0.8~1.11	0.41~0.61	0.03~0.05
	A2	1차	-	0.8	1.28~1.57	0.74~0.9	0.05
		2차	0.65~0.69	0.61	1.05~1.15	0.47~0.54	0.03~0.05
O O 선	A3	1차	-	0.83	1.51~1.62	0.76~0.84	0.05~0.07
		2차	0.75	0.6	0.98~1.27	0.47~0.56	0.04~0.05
	A4	1차	0.7~0.8	0.7	0.92~1.36	0.38~0.57	0.12~0.16
		2차	0.64	0.5	0.86~1.01	0.44~0.47	0.03~0.05
	A5	1차	0.7~0.8	0.71	1.17~1.49	0.54~0.65	0.33
		2차	0.38~0.67	0.4	0.7~0.93	0.30~0.37	0.12~0.19

부산지역(00 전기사무소)에서는 경부선의 B터널이며 복선구간으로 상·하행선 각 2개씩, 2001년 12월과 2002년 12월에 설치되었으며, 2004년 6월 28일에 1차 측정하고, 2004년 11월 16일과 12월 13일 각각 측정하였다. 수도권지역(000 전기사무소)에서는 수도권 전차와 여객수송용 전차에 동력을 공급하여 전국 어느 곳보다도 전차의 운행횟수가 많고, 주변 선로에서 발생하는 고주파도 크지만, 부산지역(00 전기사무소 관할) B터널에 설치된 피뢰기에서는 전원에 포함된 고조파가 현저히 작게 측정되었다. 그림 2에는 지역별로 구분하여 측정결과 중에서 전체 누설전류의 실효값을 나타내었다.

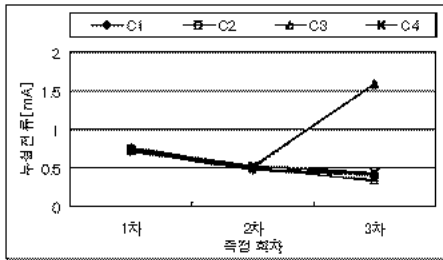
대전지역(00 전기사무소)에서 측정한 결과는 전체 누설전류의 실효값이 400~600[uA]의 범위에 포함되어 있으며, C3 피뢰기 3차 측정의 경우는 주변 선로의 영향으로 1.58[mA] 정도가 측정되었지만, 피뢰기 열화와는 무관한 것으로 분석하였다. 광주지역(00 전기사무소)의 경우는 D3, D4 피뢰기는 2차 측정시에만 측정하였으며, 400~500[uA] 정도의 양호값이었다. 경기지역(00 전기사무소) 4개의 피뢰기 누설전류는 대체적으로 200~600[uA] 이하로 측정되었으며, E1 피뢰기의 경우는 고조파의 영향으로 3차 측정 결과가 2차 측정 때보다 증가하였으며, 3차 측정 때에는 주위 온도의 영향으로 좀 더 낮게 측정된 것으로 사료된다. 충북지역(F터널)과 경북지역(G터널, H터널)의 경우에는 다른 지역과는 달리 전반적으로 고조파가 거의 포함되어 있지 않고, 전체 누설전류의 크기도 정상범위로 나타났다.



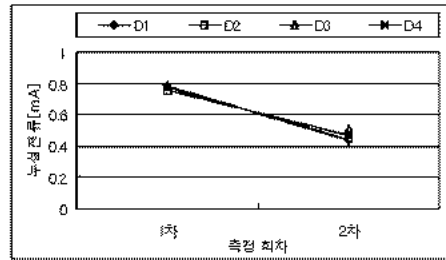
(a) 수도권지역



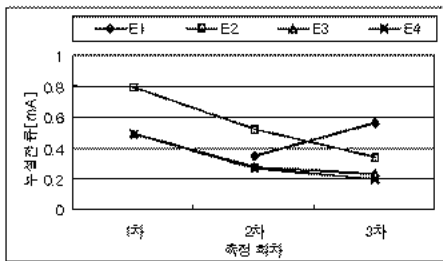
(b) 부산지역



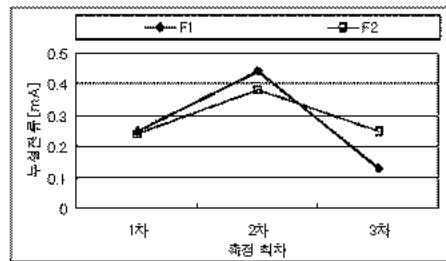
(c) 대전지역



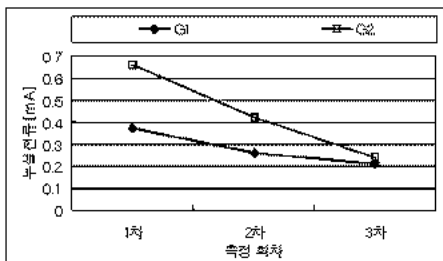
(d) 광주지역



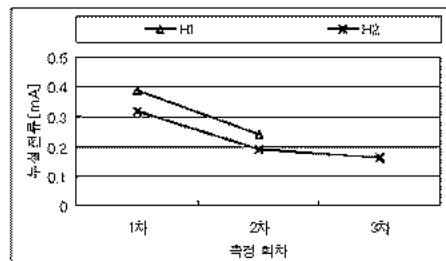
(e) 경기지역



(f) 충청지역



(g) 경북1지역



(h) 경북2지역

그림 2 지역별 피뢰기 누설전류 측정 결과

표 2에는 측정 대상 피뢰기의 측정현황 및 측정일시를 나타내었으며, 측정 현장 여건에 의하여 측정이 곤란한 경우도 있었다.

표 2 측정 피뢰기의 설치 현황 및 측정 일시

측정 지역	설치 위치	피뢰기 번호	설치 일시	비고			비고
				1차	2차	3차	
수도권지역 (OO전기사무소)	OO선	A1	2000. 4	2004.09.16	2004.11.18	-	
		A2	2000. 4	"	"	-	
	OO선	A3	2000. 4	"	"	-	
		A4	2000. 4	"	"	-	
		A5	2000. 4	"	"	-	
부산지역 (OO전기사무소)	B터널	B1	2001.12	2004.06.28	2004.11.16	2004.12.13	
		B2	2002.12	"	"	"	
		B3	2002.12	"	"	"	
		B4	2002.12	"	"	"	
대전지역 (OO전기사무소)	C터널	C1	2003. 6	2004.10.06	2004.11.23	2004.12.15	
		C2	2003. 6	"	"	"	
		C3	2003. 6	"	"	"	
		C4	2003. 6	"	"	"	
황주지역 (OO전기사무소)	D터널	D1	2003.12	2004.10.07	2004.11.19	-	
		D2	2003.12	"	"	"	
		D3	2003.12	-	"	-	
		D4	2003.12	-	"	-	
경기지역 (OO전기사무소)	E구간	E1	2002.	-	2004.11.18	2004.12.14	
		E2	2002.	2004.09.17	"	"	
		E3	2003.10	"	"	"	
		E4	2003.10	"	"	"	
충북지역 (OO전기사무소)	F터널	F1	1986.	2004.09.21	2004.11.17	2004.12.14	03년 8월 교체
		F2	1986.	"	"	"	01년 4월 교체
경북지역 (OO전기사무소)	G터널	G1	1996.12	2004.09.22	2004.11.16	2004.12.13	
		G2	1996.12	"	"	"	
	H터널	H1	1996.12	"	"	-	
		H2	1996.12	"	"	2004.12.13	

지난 4개월간 피뢰기 누설전류의 현장 측정으로부터 피뢰기의 누설전류 측정 시점은 전차가 구간 내에 없는 상태에서 측정하여 전차운행에 따른 전원고조파의 영향을 최소화해야 한다. 또한 ZnO소자의 특성으로부터 주위온도에 의하여 피뢰기 누설전류의 크기는 차이가 있다는 것을 고려해야 한다.

전체 누설전류의 파형에 따라 피뢰기를 구분할 수 있으며, 이는 피뢰기 열화진단에서 전체 누설전류와 제 3고조파 누설전류, 위상-파고 분포, 고조파 분석 등을 이용하지만, 전기철도의 급전선로와 같이 고조파가 많이 포함되어 있는 경우에는 피뢰기의 열화와는 무관하게 전원고조파 및 주변 선로를 따라 진행하는 고주파 신호의 영향으로 전체 누설전류의 최대값과 제 3고조파 성분의 크기를 진단지표로 사용하기 어렵기 때문이다.

3. 결 론

본 논문에서는 전기철도의 급전계통에 설치된 피뢰기를 효과적으로 관리하기 위한 방안을 도출하기 위하여 전국 7개소에 설치된 27개의 피뢰기를 대상으로 전체 누설전류를 측정 및 분석하였으며 세부적인 결론은 다음과 같다.

측정결과로부터 전차의 운행횟수, 피뢰기 설치 환경 등에 따라 차이는 있었지만 정상상태의 피뢰기는 전체 누설전류의 실효값이 200~500[uA], 최대값은 800[uA]이하로 나타났다. 전차 운행 등의 영향으로 누설전류의 변동이 큰 경우에는 피뢰기 진단이 불가능하기 때문에 전차의 운행이 없는 시기에 피뢰기 진단을 수행할 필요가 있다.

피뢰기 관리방안에 있어서 ZnO 피뢰기의 열화진전은 침입하는 이상전압의 크기와 빈도에 따라 달라지지만 급격하게 성능이 저하되지 않는다. 따라서 2~3개월마다 주기적인 측정을 통하여 누설전류의 변화를 관측하는 것이 바람직하며, 피뢰기 누설전류의 진단 기준은 장기간에 걸친 피뢰기의 관리로부터 신뢰도를 향상시킬 수 있다. 피뢰기 자체의 열화진전 특성으로부터, 전체 누설전류의 실효값이 700[uA] 이상인 경우, 외부로부터 8/20[us] 10[kA]이상의 충격전류가 인가되면 피뢰기가 손상되거나 파괴되면서 일선지락사고를 유발시킬 가능성이 있었으므로 현재는 본 기준을 적용하여 지속적인 관리를 할 필요가 있다.

전기철도의 급전선로에는 전원고조파의 영향으로 상당히 많은 고조파가 누설전류에 포함되어 있으므로 개선된 피뢰기 진단장치로 향후 장기적으로 주기적인 측정을 통해 고조파 영향에 의한 오차와 주위온도 변화에 의한 누설전류의 크기를 보정하기 위한 보정계수를 산출하여 적용해야 한다.

감사의 글

본 논문은 한국철도기술연구원 주관 철도기술연구개발사업에 의하여 수행되었으며, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

1. S.Shirakawa, F.Endo, H.Kitajima, S.Kobayashi, K.Kurita, K.Goto, M.Sakai(1988), "Maintenance of surge arrester by a portable arrester leakage current detector", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.3. No.3, pp.998~1003
2. J.Lundquist et al.(1990), "New method for measurement of the resistive leakage currents of metal-oxide surge arrester in service", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.5. No.4, pp.811~822
3. 김경석, 한주섭, 한문섭(2004), "철도용 피뢰기의 열화진전에 관한 연구", 한국철도학회 논문지, 제7권 4호, pp.307~311
4. 김경석, 한주섭, 주문노(2003), "누설전류 측정에 의한 피뢰기 열화진단에 있어 전원고조파의 영향", 대한전기학회 논문지, 제52C권 1호, pp.42~46
5. 김경석, 한주섭, 서황동(2004), "피뢰기 진단장치의 설계 및 제작", 대한전기학회 논문지, 제53C권 11호, pp.572~576