ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 63, No. 12, pp. 1726~1731, 2014
http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2014.63.12.1726

GIS용 피뢰기 누설전류 측정장치 성능개선

The Performance Improvement of Lightning Arrester Leakage Current Measuring Device for GIS

김 원 규* · 김 민 수** · 백 영 식†
(Won-Gyu Kim · Min-Soo Kim · Young-Sik Baek)

Abstract - This paper shows the developed new lightning arrester LCM (Leakage Current Measuring device) which is important element of GIS (Gas Insulated Switchgear) Preventive & Diagnostic system and verify its performance though strengthened test standards. The existing lightning arrester LCM was modified to solve measuring errors which happened frequently. At first, we explained the principle of measuring leakage current. Through analyzing some problems which the existing LCM have. we got some improvable items. For the performance verification of the improved LCM, we manufactured prototype LCM which is applied some improvable items such as improving LCM circuit, adding protection circuit, optimizing inner structure of LCM and changing ground design. After then we carried out the performance test. Accredited testing laboratory carried out the performance verification test according to performance test criteria and procedure of reliability test standards, IEC-60225, 61000 and 60068 etc. We confirmed the test results which correspond with the performance test criteria. Also, we confirmed the performance of the improved LCM installed & being operated at G Substation through the immunity test against the normal noise and open/close surge etc.

Key Words : Hightning Arrestor, Gas Insulated Switchgear(GIS), Leakage Current Measuring device(LCM)

1. 서 론

피뢰설비는 기후 영향 중 하나로 자연적으로 발생되는 낙뢰로부터 인체, 건축구조물 및 구조물 내부에 있는 낙뢰에 민감한 전기전자시스템을 보호하기 위한 설비이다[1][2]. 일반적으로 전력용 피뢰기는 비선형 저항특성이 우수하고 높은 신뢰성을 가진 산화아연(Zinc Oxide, ZnO) 피뢰기가 주류를 이루고 있다. V-I 비선형 저항특성이 우수한 ZnO 소자를 사용한 ZnO 피뢰기는 갭레스(gapless)를 가능하게 하여 탄화규소(SiC)형인 직렬갭(series Gap)을 사용한 재래식 피뢰기와 비교할 때 응답시간이 짧아 보호특성이 우수하며 surge 처리능력 및 내오손성능 또한 우수하다. 또한, 소형·경량화 등의 특성을 가지고 있어 현재 전력계통에 광범위하게 사용되고 있다. 피뢰기는 이상전압 억제장치로써의 기능 이외에 절연체로도 작용하게 되는데 이 절연특성은 피뢰기의 수명과 전력계통의 신뢰성 있는 운전을 결정하는데 있어 중요한 요소이다. 이러한 피뢰기 절연특성의 열화 혹은 절연파괴 등의 가능성을 사전에 파악하기 위한 여러 가지 진단방법이 피뢰기 도입 이후 계속 언급되어 왔다. 진단방법으로는 사고표시기와 완벽한 피뢰기 사고를 표시하는 절환기로부터 저항분 누설전류와 피뢰기 전력손실의 미세한 변화를 측정할 수 있는 기기 등이 있다. SiC 블럭과 직렬 스파크 갭을 갖는 구형 피뢰기는 정상운전상태에서 피뢰기 단자에서 누설전류측정을 통한 신뢰성 있는 진단이 불가능하다. 그러나 ZnO 피뢰기는 피뢰기 블록을 통해 흐르는 연속 누설전류를 피뢰기 접지단에서 측정할 수 있기 때문에 정확한 피뢰기 상태를 진단할 수 있다. 이와 같이 전력계통에 설치되어 정상운전상태에 있는 피뢰기의 누설전류를 측정하여 열화상태를 진단하는 방법으로는 모니터링 스파크 gap, 온도측정, 누설전류측정 등이 있으며 그 중 피뢰기의 열화상태를 가장 효과적으로 online 감시/진단할 수 있는 방법은 누설전류 측정이다[3~8].

최근 전자장치는 에너지 효율성 향상, 소형 및 경량화, 고속화 및 고신뢰도화 요구에 발맞춰 반도체화되고 있다. 그러나 반도체식 장치는 기계식에 비해서 서지전압에 약하며 서지내량도 작으며 전기적 잡음에 민감하게 반응하는 경향이 있다. 또한 전자기기 회로시스템이나 반도체 소자가 오동작하거나 파손되는 등의 문제점이 발생한다. 이를 해결하기 위해서는 보다 강화된 설계 및 시험기준을 적용한 전자기기 회로시스템의 개선, 외부 환경을 고려한 최적화된 전자기기 설계 등을 수행해야 할 필요가 있다.

따라서 본 논문에서는 먼저 피뢰기 누설전류의 측정원리에 대해서 설명하고 800 kV GIS에 적용되었던 기존 피뢰기 누설전류 측정장치 (Leakage Current Measuring device, LCM)에서 발생했던 문제점들을 분석하여 개선점들을 도출하였다. LCM board 회로개선 및 보호회로 추가, 내부 구조개선, 내부 접지개선 등을 고려하여 개선품을 제작하였으며 이에 대해 강화 혹은 추가된 신뢰성 시험기준으로 KERI (Korea Electrotechnology Research Institute)에서 수행한 성능시험을 통해서 개선된 LCM이 IEC-60225, 61000 및

† Corresponding Author : Dept. of Electronics and Electrical Engineering, Kyungpook National University, Korea.
E-mail : ysbaek@knu.ac.kr
* Dept. of Electronics and Electrical Engineering, Kyungpook National University, Korea.
** Hyosung Corporation Power System Performance Unit
Received : October 06, 2014; Accepted : November 22, 2014

60068 등의 기술기준을 만족함을 확인하였다. 또한 개선품을 현장에 설치하여 실증시험을 수행하였고 상시 노이즈나 개폐 서지 등에 대해 건전성을 유지함을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 피뢰기 누설전류 측정원리

GIS용 피뢰기는 SF6 가스가 내장된 탱크형 피뢰기이며 이에 대한 열화특성을 피뢰기 소자의 열화에 따른 누설전류량 변화를 이용하여 감시한다. 피뢰기 소자의 열화에 따른 누설전류량 측정은 크게 1) 전누설전류량, 2) 저항분 누설전류량, 3) 제3고조파 누설전류량 등의 측정을 통해서 이루어지며 전체적인 시스템 구성은 그림 1과 같다.

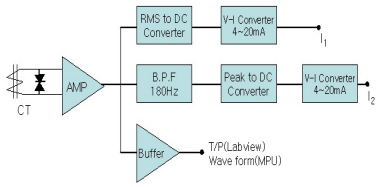


그림 1 피뢰기 LCM 시스템 구성도
Fig. 1 The Configuration of lightning Arrester LCM device

먼저, 전누설전류는 피뢰기 접지선에 별도의 미소전류 측정용 변류기(Current Transformer, CT)를 설치하여 전압값으로 측정한다. 측정된 신호는 LCM 내부의 전자회로에 의해 신호처리가 되며 실제 누설전류값(0.1 ~ 10 ㎃)에 비례하여 DC 4 ~ 20 ㎃로 환산되어 출력된다. 제 3고조파 누설전류는 180 Hz 성분의 대역통과필터회로로 구성하여 제 3고조파 누설전류만을 검출한 후 Peak to DC converter와 V-I Converter를 거쳐서 전누설전류의 출력과 마찬가지로 DC 4 ~ 20 ㎃로 환산되어 출력된다. 저항분 누설전류는 검출회로가 복잡해지기 때문에 LCM 내부에는 별도 측정회로를 구성하지 않았으며, T/P 단자를 통해 증폭된 미소전류 측정용 변류기의 출력을 알고리즘이 내장된 마이크로프로세서로 처리해서 그 값을 계산한다. 이는 피뢰기 양단 인가전압을 검출하는 계기용 변압기(Potential Transformer, PT) 등의 보조신호를 이용하여 전압과 전류신호간 위상차를 이용해서 전누설전류 중에서 저항분만을 검출하는 것이다[4,6].

2.2 기존 피뢰기 누설전류 측정장치 문제점

변전소 GIS에 설치되어 현장에서 운용 중인 LCM 중 일부에 LCD Display Error, 서지 카운터 이상, 측정값이 실제와 다르게 표시되는 문제가 발생하였으며, 신규 제품으로 교체를 거듭하였으나 추후 동일한 이상이 지속적으로 발생하였다, 주요 이상 현상 중 LCD Display Error 및 서지 카운터 이상은 외부에서 유입된 노이즈가 LCD 및 메모리 소자 등을 소손시켜 Display Error 및 내부 데이터 값 오류를 발생시킨 것으로 추정되며, 측정값 오류 중 측정값이 Max로 표시되는 오류 역시 내부 소자 이상으로 인한 메모리 데이터 오류로 추정된다. 이와 별개로 측정값이 표시값과 상이하게 높게 표시되는 문제는 아날로그 신호의 격리 미흡으로 인한 신호 유입으로 추정된다.

이상 원인들을 정리한 결과, 해당 이상들은 내부 소자의 열화 및 소손 등으로 발생하였으며, 이에 대한 원인으로는 주변 온도 및 습기로 인한 환경적인 요인보다는 변전소에 설치되어 있는 기기 외부에서의 노이즈 및 서지 등의 전기적 외란 요소에 의한 것이다. 이로 인해 LCM 내부 반도체 소자의 열화 및 소손, 전력계통의 변화에 따라 유입되는 서지 크기의 증가에 따른 기 설계된 반도체 소자 및 회로의 내압량 초과 등에 원인이 있다고 판단할 수 있다. 이에 기존 LCM을 설치 환경에 적합하도록 전기보호 설계를 강화하여 기기 신뢰성에 대한 구조적인 문제를 개선하여 사용자의 불만을 해소하기 위하여 신형 LCM 개발을 추진하였다. 표 1은 주요 이상유형과 그에 따른 현상 그리고 추정원인에 대해서 나타내고 있다.

따라서 기존 LCM이 가지고 있는 기기 신뢰성에 대한 구조적인 문제를 개선하고 정확한 누설전류를 측정하여 사용자의 불만을 해소하기 위해서 신형 LCM 개발을 추진하였다. 표 1은 주요 이상유형과 그에 따른 현상 그리고 추정원인에 대해서 나타내고 있다.

표 1 A 변전소 LCM 문제점 점검결과 및 추정원인
Table 1 The Check Result presumptive reason for the LCM's problems in A Substation

유형	현 상	추정 원인
LCM Display Error	LCD 자체고장 및 글자손상, 전원 재투입 후 정상동작	- 변전소 정상 가동 중 유입되는 서지 유입으로 인한 내부 소자 소손 - 변전소 noise 유입에 따른 프로그램 오동작 - LCD 및 주요 부품이 옥외 변전소 환경에 취약한 부품 사용
	LCD 자체고장 및 글자손상, 전원 재투입 후 정상동작 불가	
서지 카운터 이상	써지 카운터 값이 65281로 표시	
측정값 오류	RMS값이 max값인 10 ㎃로 표시됨	
	표시값이 측정값과 상이함	아날로그 신호의 isolation 미흡으로 인한 신호 유입

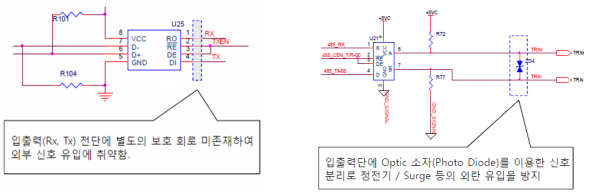
2.3 설계 개선 사항

변전소에서 발생되는 노이즈 및 서지와 같은 전기적 외란이 LCM 내부에 유입되는 주요 경로는 입출력부, 접지, 기중 등 외부와의 접점 부와 전기적 방사가 있으며, 이와 같은 경로로 유입된 서지와 noise로 인한 회로 소손을 막기 위해서는 상기 유입경로의 전기적 보호성능 강화가 필요하다고 판단하였다. 이를 위하여 기존 LCM 소자들의 내전압 특성을 재검토하고, 보호회로 및 구조적 특성을 검토하여 재설계를 진행하였다. 특히 전기적 신뢰성 강화를 위하여 입출력부의 보호회로를 개선하고 Op-Amp 등의 주요 소자 등을 교체하였으며, 기존 구조적으로 문제가 되었던 접지구조 등 내부 구조를 개선하였다. 또한 개선된 시스템 검증을 위하여 신뢰성 시험 항목을 기존보다 강화/추가하여 검증 시험을 실시하였다.

2.3.1 보호회로 개선

그림 2의 (a)와 같이 기존 LCM은 입출력부의 소자 전단부에 별도의 보호회로가 없었으며, 입출력부에 외부 서지 및 노이즈성 신호가 유입될 경우 반도체 소자의 내전기성에 의존하는 문제점이 있었다. 이에 그림 2의 (b)와 같이 입출력부에 Optic 소자인 Photo Diode를 이용한 보호회로를 추가

하여 특정 크기 이상의 정전기와 서지 등 외란 유입을 방지토록 개선하였다.



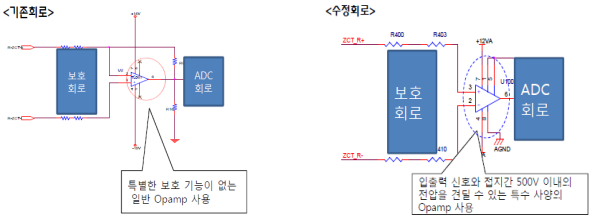
(a) 기존 LCM 회로 (b) 개선된 LCM 회로

그림 2 기존 LCM 회로와 개선된 LCM 회로 비교

Fig. 2 The comparison of the existing LCM circuit with modified LCM circuit

2.3.2 내압 OP-Amp 적용

기존품은 입출력부에서 측정된 신호를 처리하는 Op-Amp에 별도의 보호기능이 없었고 이로 인해 OP-Amp 소손 및 내부 메모리 소손이 빈번하다고 판단되었으며, 이에 신규회로에는 입출력간 250V, 입출력 신호 및 접지간 500V 이내의 전압을 견딜 수 있는 특수 사양의 OP-Amp를 사용하여 회로에 대한 보호 기능을 강화하였다. 그림 3은 기존 LCM과 개선된 LCM간의 OP-Amp 회로를 나타낸 것이다.



(a) 기존 LCM OP-Amp 회로 (b) 개선된 LCM OP-Amp 회로

그림 3 기존 LCM OP-Amp 회로와 개선된 LCM OP-Amp회로비교

Fig. 3 The comparison of the existing LCM OP-Amp circuit with modified LCM OP-Amp circuit

2.3.3 내부구조 개선

현장에서 설치되는 전자기기에서 전기적 외란이 유입되는 가장 주요한 경로는 접지이다. 규정상 외함 등에 적용되는 1종 접지와 장비 등에 적용되는 3종 접지를 명확히 구분하여 설계/시공되어야 함을 원칙으로 하나 실제 현장에서는 이를 혼용 사용하여 접지를 통해 전기적 외란이 유입되는 경우가 발생한다. 특히, LCM의 경우 외함이 LA의 외함과 전기적으로 접촉되어 1종 접지가 구성되기 때문에 1종 및 3종 접지가 혼용되어 구성될 경우 전기적 외란이 유입 가능성이 높은 것이 사실이다. 이에 기존 설치된 LCM의 구조를 검토한 결과 3종 접지가 LCM의 외함과 연결되어 피뢰기 외함접지와 연결되는 문제점이 발생하였다. 이에 외함과 연결된 기존 3종 접지를 제거하고 변전소에 설치된 별도의 3종 접지와 연결되도록 구조적으로 개선하였으며, LCM의 절연 성능 강화를 위하여 후면에 배크라이트판을 적용하였다. 그림 4는 기존 LCM의 접지가 외함 및 1종 접지와 연결된 설치된 상황을 나타내고 있다.

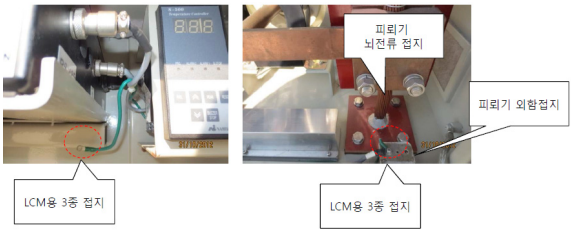


그림 4 개선된 내부구조 및 접지설계

Fig. 4 The modified inner structure and Ground design

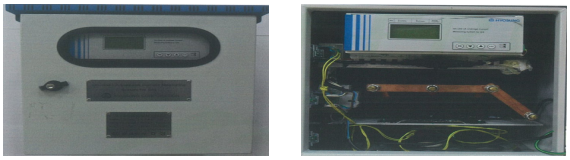
2.4 강화 혹은 추가된 신뢰성 시험

신규 LCM은 변전소에서 요구하는 전기적 신뢰성을 만족시키기 위하여 IEC 61000-4에 의거하여 시험항목 및 조건을 선정하여 실시하였다. 표 2와 같이 무선주파 방사내성시험, 상용주파자계내성시험, 감쇄진동자계내성시험을 추가하였고, 운송 및 외부 충격에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 IEC 60068을 기준으로 한 진동/충격 시험을 추가하여 검증을 실시하였다. 또한 정전기 방전 내성시험은 공인 시험기준보다 강화된 기준을 적용하여 가혹한 환경에 따른 문제 발생 여부도 확인하였다. 시험 결과는 각 시험기준을 모두 만족하는 것으로 확인되었다. 그림 5는 개선된 LCM의 모습을 보여주고 있다.

표 2 신뢰성 시험 강화 항목

Table 2 The list of the intensified reliability test

시험 항목		시험 조건		비고
		기존 시험 조건	신규 시험 조건	
EMC/ Noise	상용주파 내전압	2 kV 전기회로 일괄 대지간 및 전기회로 상호간		동일
	뇌임펄스 내전압	제어회로 5 kV, 통신회로 1 kV 각 5회		동일
	1MHz 버스트내성	공통모드 : 2.5 kV, 차동모드 : 1.0 kV		동일
	급과도 버스트내성	제어회로 : 4 kV, 통신회로 1 kV		동일
	서지내성	제어회로 : 4 kV, 통신회로 1 kV 각 5회		동일
	무선주파전도내성	전계 : 10 V, 150 Hz ~ 80 Mhz		동일
	무선주파방사내성	-	전계 : 10 V/m, 80~1 Ghz, 1.4 Ghz~2.7 Ghz	추가
	상용주파 자계내성	-	연속 : 100 A/m, Short Duration : 1000 A/m	추가
	전압강하	0% 1주기, 60% 50주기, 50주기 0%	0% 1주기, 40% 12주기, 70% 30주기, 80% 00주기	강화
	제어전원 순단	5주기 실시	300주기 실시	강화
	펄스자계 내성시험	-	자계 : 1000 A/m	추가
	감쇄진동 자계내성	-	자계감도(Peak) : 100 A/m	추가
	정전기 방전내성	Contact : 8 kV, 기중방전 : 15 kV	외함~내함간 : 30 kV	강화
	잡음 단자전압	준첨두치 : 790 dBμV, 평균 : 66 dBμV	준첨두치 : 790 dBμV, 평균 : 66 dBμV	추가
	잡음 전계강도	준첨두치 : 40 dBμV	준첨두치 : 40 dBμV	추가
진동/ 충격	**진동시험**	-	진동응답 : 0.5G, 1주기 진동내구 : 1G, 20주기	추가
	충격시험	-	충격용량 : 5G, 3회 충격내구 : 15G, 3회	추가
	충돌시험	-	10G, 1000회	추가



(a) LCM 외부 사진 (b) LCM 내부 사진

그림 5 GIS용 피뢰기 누설전류 측정장치
Fig. 5 Leakage current monitoring system for GIS

2.4.1 무선주파수방사 내성시험

전계강도는 10 V/m, 인가 주파수는 80 ㎐~1 ㎓, 1.4 ㎓ ~ 2.7 ㎓, 주파수 변조는 1 ㎑ 정현파 80% AM(Amplitude Modulation), 인가방향은 전면, 안테나 방향은 수직 및 수평, 신호 지속시간은 1초이다. 개선품에는 정격제어전원을 인가하고 노트북 PC로 통신을 연결하였다. 판정기준은 시험 중 오동작하지 않고 시험 후 정상동작이다. 개선품 외함에 해당 무선주파수 신호를 인가한 결과 이상이 없음을 확인할 수 있었다. 그림 6은 시험모습을 나타내고 있다.

그림 6 무선주파수 방사 내성시험
Fig. 6 Radiated RF immunity test

2.4.2 상용주파자계 내성시험

전원주파수는 60 ㎐, 정극성 및 부극성, 자계세기는 30 A/m(연속), 300 A/m(3s)로 맞추고 개선품에는 정격제어전원을 인가하고 노트북 PC로 통신을 연결한다. 판정기준은 시험 중 오동작하지 않고 시험 후 정상동작해야 한다. 개선품에 X, Y, Z 3가지 방향으로 상용주파자계를 인가한 결과 이상이 없음을 확인하였다. 그림 7은 시험모습과 시험결과 그래프를 나타낸 것이다.

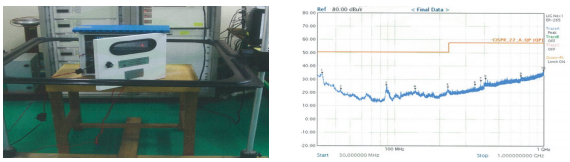


그림 7 상용주파자계 내성시험
Fig. 7 Power frequency magnetic field immunity test

2.4.3 전압변동 및 순시정전 시험

시험전압과 그에 따른 지속시간을 변경하면서 전압강하 및 전원순단에 따른 제어회로 이상유무를 판단한다. 시험반복시간은 10 s 이며 판정기준은 시험 중 순간적인 성능저하는 허용하나 자기회복이 되어야 하고 시험 후 정상 동작해야 한다. 시험결과 이상이 없음을 확인하였다. 상세한 시험사항은 아래 표 3와 같다.

표 3 전압변동 및 순시정전 시험방법
Table 3 Voltage dips & Short interruption test meathod

전압강하	시험전압[V]	0	88	154	176	전원순단	시험전압[V]	0
	지속시간[s]	0.5, 1	12	30	300		지속시간[s]	300

2.4.4 펄스자계 내성시험

전류파형의 상승시간은 6.4 ㎲ ± 30 %이고 하강시간은 16 ㎲ ± 30 %이며 정극성 및 부극성을 고려한다. 개선품에 정격 제어전원(AC 220 V)을 인가하고 노트북 PC로 통신을 연결한다. 펄스자계는 외함에 X, Y, Z축 방향으로 각각 300 A/m의 자계를 인가한다. 판정기준은 시험 중 순간적인 성능저하는 허용하나 자기회복이 되어야 하고 시험 후 정상동작이며 시험결과 이상이 없음을 확인하였다. 아래 표 4은 시험결과를 나타낸 것이다.

표 4 펄스자계 내성시험 결과
Table 4 The result of pulse magnetic field immunity test

인가개소	인가전압 [V]	인가자계세기	시험결과
외함	220 Vac, X 축	300 [A/m]	이상없음
	220 Vac, Y 축	300 [A/m]	이상없음
	220 Vac, Z 축	300 [A/m]	이상없음

2.4.5 감쇄진동파자계 내성시험

진동주파수를 100 ㎑와 1 ㎒로 두고 반복빈도는 10 회/s 이상 (100 ㎑), 400회/s 이상(1 ㎒), 감쇄율은 3~6 주기에서 첫 번째 크기의 50 %, 정극성 및 부극성을 고려하고 인가시간은 2 s 이상이다. 감쇄진동파는 외함에 X, Y, Z 3축 방향으로 각각 30 A/m의 자계를 인가한다. 판정기준은 시험 중 순간적인 성능저하는 허용하나 자기회복이 되어야 하고 시험 후 정상 동작해야 한다. 시험결과 이상이 없음을 확인하였다. 아래 표 5는 시험결과를 나타낸 것이다.

표 5 감쇄진동파 자계 내성시험 결과
Table 5 The result of damped Oscillatory magnetic field immunity test

인가개소	인가전압 [V]	인가자계세기	시험결과
외함	220 Vac, X 축	30 [A/m]	이상없음
	220 Vac, Y 축	30 [A/m]	이상없음
	220 Vac, Z 축	30 [A/m]	이상없음

2.4.6 정전기 방전 내성시험

정전기 방전 내성시험은 IEC 61000-4-2의 기준으로 실시하되, 내함-외함간의 절연 확인을 위해 기준 외의 시험을 추가 실시하였다. 전원이 인가된 LCM의 외함에 정전기 시험용 프루브를 이용하여 접촉 시 8kV, 외함에 인접한 기중에 15kV 전압을 1초씩 인가하는 시험을 10회씩 실시하여 LCM의 오동작 여부를 확인한 결과 기기 동작에 이상이 없음을 확인하였다. 또한 함체의 절연확인을 위하여 그림 8과 같이 내함과 외함 간 접촉 30kV 인가시험을 추가 실시하여 내함-외함 간의 절연이 유지되고 있음을 확인하였다

그림 8 정전기 방전 내성시험
Fig. 8 electrostatic discharge immunity test

2.4.7 전자파 장해시험

전자파 장해시험은 IEC Standard CISPR 22:2008을 기준으로 실시하였다. 먼저 잡음단자시험을 위해 제어전원회로에 비차폐 케이블을 이용해서 정격전압(AC 220 V)을 인가한 후 0.15~0.5 ㎒ 및 0.5~30 ㎒에서 잡음의 강도를 측정한 결과, 그림 8과 같이 양 대역에서 측정결과가 기준치보다 약 20 dB 정도 낮게 측정되었다. 그림 9는 잡음단자전압시험모습과 시험과 결과그래프를 나타내고 있다.

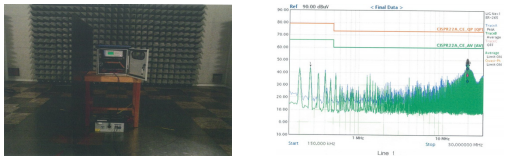


그림 9 잡음단자전압 시험
Fig. 9 Noise terminal voltage test

잡음전계강도시험은 3 m (개선품과 측정안테나 사이의 거리)법으로 실시하였으며 10 m법의 한계치에 10.5 dBμV/m를 증가시킨 값을 기준치로 적용하였다. 그림과 같이 30~230 ㎒ 및 230~1,000 ㎒ 주파수 대역에서 측정결과가 기준치보다 약 20 dB 정도 낮은 것을 알 수 있다. 그림 10은 잡음전계강도 시험모습과 시험에 따른 결과 그래프를 나타내고 있다.

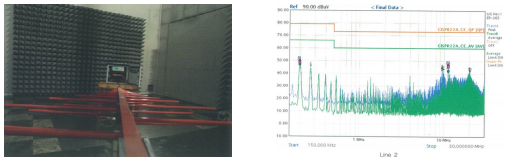


그림 10 잡음전계강도 시험
Fig. 10 Noise electric field strength test

2.4.8 EMC시험 후 확인시험

전자파 적합성(EMC) 시험 후, 입력에 따른 변류기 출력값이 허용오차범위 내에 있는지 여부를 판단하기 위한 추가시험을 실시하였다. 입력전류를 0.1 ~ 10.0 ㎃로 변화시키면서 변류기로 출력되는 미소전류값을 측정한 결과, 입력전류 1 ㎃일 때 ZCT A상에서 최대 1 %의 오차가 발생하였고 대부분의 경우 이보다 매우 적은 오차값을 나타내었음을 아래 표 6의 시험결과를 통해서 알 수 있었다.

표 6 EMC 시험 후 확인시험
Table 6 Confirmation test after EMC test

구분	입력전류[㎃]	입력주파수[Hz]	허용오차[㎃]	시험결과[㎃], ZCT		
				A	B	C
전류	0.1	60	±10% (0.09 ~ 0.11)	0.10	0.10	0.10
	0.5	60	± 6% (0.47 ~ 0.53)	0.50	0.50	0.49
	1.0	60	± 5% (0.95 ~ 1.05)	0.99	1.00	1.00
	5.0	60	± 5% (4.75 ~ 5.25)	4.99	5.00	4.98
	10.0	60	± 5% (9.5 ~ 10.5)	10.00	10.02	9.99

2.4.9 진동 및 충격시험 후 확인시험

진동 및 충격시험의 조건은 개선품에 제어정격전압(AC 220 V)이 인가되고 노트북 PC로 통신이 연결된 상태에서 진행된다. 진동시험방법 및 그 기준은 주파수 범위 10 ~ 150 Hz에서 진동응답과 진동내구로 구분하여 그 조건에 맞게 수행된다. 충격시험방법 및 그 기준 또한 정현반파 펄스로 충격응답과 충격내구로 구분하고 최대가속도를 가하여 시험을 수행하였고 시험결과는 이상이 없음을 확인하였다. 입력전류를 0.1 ~ 10.0 ㎃로 변화시키면서 변류기로 출력되는 미소전류값을 측정한 결과, 입력전류 1 ㎃일 때 ZCT B상에서 최대 2%의 오차가 발생하였고 대부분의 경우 이보다 매우 적은 오차값을 나타내었음을 아래 표 5의 시험결과를 통해서 알 수 있었다.

표 7 진동 및 충격시험 후 확인시험
Table 7 Confirmation test after vibration & impact test

구분	입력전류[㎃]	입력주파수[Hz]	허용오차[㎃]	시험결과[㎃], ZCT		
				A	B	C
전류	0.1	60	±10% (0.09 ~ 0.11)	0.10	0.10	0.10
	0.5	60	± 6% (0.47 ~ 0.53)	0.49	0.49	0.49
	1.0	60	± 5% (0.95 ~ 1.05)	0.99	0.98	0.99
	5.0	60	± 5% (4.75 ~ 5.25)	4.98	4.98	4.97
	10.0	60	± 5% (9.5 ~ 10.5)	10.01	10.02	10.01

2.5 현장 실증시험

개선된 LCM을 그림 11과 같이 'G' 변전소에 설치하여 성능시험을 실시한 결과, 2013년 9월~현재까지 개선된 LCM으로 교체한 후 휴전상태에서 LCM의 디스플레이 및 동작에 문제가 없었고 전력소자의 소손, 서지나 외부 노이즈 등으로 인한 기기고장이나 오동작도 없음을 확인하였다. 계통가압후 약 2.9 ㎃의 누설전류값을 정상적으로 측정하였다.

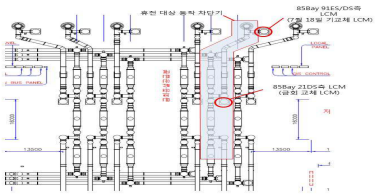


그림 11 G 변전소 GIS 현장 Layout
Fig. 11 GIS Layout of G substation

그림 12는 차단기 닫힘상태에서 개선된 LCM으로 측정한 누설전류값을 나타내고 있다. CT 클램프 전류값은 2.807 ㎃이고 LCM 측정값은 2.84 ㎃로 2 % 이내 오차범위이므로 정상으로 판단할 수 있다.

그림 12 차단기 동작전 LCM 정상동작여부 확인(차단기 닫힘)
Fig. 12 The checking of LCM's normal operation before CB operation (CB Close)

그림 13은 개선품 LCM으로의 교체 후, 차단기 개방상태에서 측정한 누설전류값을 나타내고 있다. CT 클램프 전류값과 LCM 측정값 모두 0 ㎃(정전구간)의 전류값이 정상적

으로 출력됨을 확인하였다. 또한, 차단기 개방동작시 개폐서지에 대한 외란요소에도 정상적으로 동작함을 확인하였다. 따라서 개선된 LCM은 설치된 'G' 변전소에서 건정성이 확보되어 정상동작하고 있다고 판단할 수 있다.

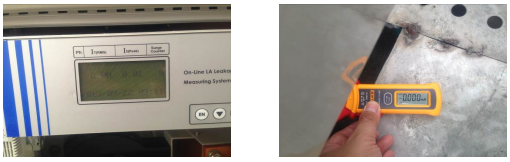


그림 13 차단기 동작후 LCM 정상동작여부 확인(차단기 개방)

Fig. 13 The checking of LCM's normal operation after CB operation (CB Open)

3. 결 론

본 논문에서는 800 kV GIS용 예방진단 시스템의 중요한 구성품인 피뢰기 누설전류 모니터링 장치의 빈번한 측정장애에 대한 대책으로 기존 LCM을 개선한 새로운 LCM 장치를 개발하고 강화된 성능시험기준을 만족하는지 여부를 검증하였다. 변전소 GIS에 설치되어 현장에서 운용 중인 LCM 중 일부에서 LCD Display Error, 서지 카운터 이상, 측정값이 실제와 다르게 표시되는 문제가 발생하였고 이를 개선하였다, 주요 개선사항인 LCM 회로개선 및 보호회로 추가, LCM 장치의 내부 구조개선 및 접지개선 등을 반영한 시작품을 제작하고 성능시험을 실시하였다. 성능시험은 공인시험기관인 KERI에서 신뢰성 시험규격 IEC-60225, 61000, 60068 등에서 제시한 성능시험기준과 절차에 따라 실시하였다. 기존 제품 대비, 강화딘 시험항목은 전압강하시험, 전원순단시험이며 추가된 시험은 무선주파방사 내성시험, 상용주파자계 내성시험, 펄스자계 내성시험, 감쇄진동자계 내성시험, 잡음단자전압 및 잡음전계강도시험, 진동 및 충격시험이다. EMC/Noise 관련시험 후 성능확인시험결과, 입력전류 1 ㎃일 때 ZCT A상에서 최대 1 %의 오차가 발생하였고 대부분의 경우 이보다 매우 적은 오차값을 나타내었다. 또한 진동 및 충격시험 후 성능확인시험결과, 입력전류 1 ㎃일 때 ZCT B상에서 최대 2 %의 오차가 발생하였고 대부분의 경우 이보다 매우 적은 오차값을 나타내었다. 최종시험결과 LCM 장치가 시험기준에 부합됨을 확인하였다. 또한 개선품의 현장실증시험을 통해서 상시 노이즈나 차단기 개폐 서지 등에 대해서 건전함을 확인하였다.

References

[1] NFPA, "NFPA 780 - Standard for the installation of Lightning Protection System", 2008.

[2] IEC 62305-1, "Protection against lightning - Part 1: General principles", IEC T.C.81, 2010.

[3] Jung-Bae Kim, Min-Soo Kim, Won-Pyo Song, Duk-Su Kim, Chan-Seok Jeon, Kyung-Suk Kil, "A Study on the Application of a Monitoring System for Gas Insulated Switchgear", KIEE, Vol. 51C, No.1 pp. 22~30 January 2002.

[4] M.S. KIM, J.B. KIM, W.P.SONG, D.S.KIM, G.S.KIL, "A Study on the Development of LA Leakage Current Measuring-Equipment for 800kV GIS(2)", KIEE Summer conference, pp. 1739~1741 July 2002.

[5] J.B. KIM, M.S. KIM, K.S. PARK, W.P. SONG, D.S. KIM, G.S. KIL, "Development of Monitoring and Diagnosis System for SF6 Gas Insulated Switchgear", Conference Record of the 2002 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 453~456, July 2002.

[6] Gyung-Suk Kil, Jae-Yong Song, Il-Kwon Kim, Seung-Bo Moon, Jang-Woo Kwon, "Implementation of an Expert System to Supervise GIS Arrester Facilities", KIIEE, No.1, pp. 75~81 January 2007

[7] Bok-Hee Lee, Sung-Man Kang, "A Detection Method of Resistive Leakage Current Flowing through ZnO Arrester Blocks", Journal of KIIEE, Vol. 15, No. 3, pp. 67~73 May 2001

[8] Bok-Hee Lee, Hyeong-Joon Kil, Sung-Man Kang, Hwee-Sung Choi, "Leakage Currents Flowing through Lightning Surge Arresters under Various Fault Conditions in Receiving and Distribution Power Systems", Vol. 18, No. 5, pp. 132~139 September 2004

저 자 소 개

김 원 규(Won-Gyu Kim)

1979년 2월 12일생. 2003년 경북대 전자전기공학부 졸업. 2005년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 ~ 현재 동대학원 전기공학과 박사과정. 2004년 ~ 현재 (주)한국수력원자력 한울원자력본부 신한울건설소 근무

김 민 수(Min-Soo Kim)

1971년 1월 4일생. 1997년 한양대 전기공학과 졸업. 1999년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 ~ 현재 효성중공업 전력PU 부장

백 영 식(Young-Sik Baek)

1950년 7월 8일생. 1974년 서울대 전기공학과 졸업. 1977년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년 동대학원 전기공학고 졸업(박사). 1977년 명지대 전기공학과 조교수, 현재 경북대 전자전기컴퓨터공학부 교수