

800kV GIS용 피뢰기 누설전류측정장치 개발에 관한 연구(2)

김민수* 김정배* 송원표* 김덕수* 길경석*
 * (주)효성중공업 연구소 * 한국해양대학교

A Study on the Development of LA Leakage Current Measuring-Equipment for 800kV GIS(2)

M.S.KIM* J.B.KIM* W.P.SONG* D.S.KIM* G.S.KIL*
 * Hyosung Co. * Korea Maritime UNIV.

Abstract - 본 논문에서는 현재 당사에서 GIS 제조업체로서 당사의 제품에 대한 예방진단 시스템을 구축한다는 계획의 일환으로서 진행하고 있는 신가평/신대백 765kV 변전소의 800kV/362kV GIS용 피뢰기 누설전류 측정장치 개발에 대한 전반적인 개요와 진행 상황에 대해서 기술하도록 한다. 우선, 피뢰기의 일반적인 열화 특성에 관해서 고찰하며, 개발된 피뢰기 누설전류측정장치의 시스템 구성도를 통해서 미소전류에 대한 신호처리기법을 소개한다. 또한, 본 장치를 개발함에 있어서 진행된 전자기적합성(Electromagnetic Compatibility) 시험 및 절연내력 시험에 대해서 서술하며, 시험 전, 후의 입·출력 특성을 확인함으로써 제품의 신뢰성을 검증하도록 하였다.

1. 서 론

산업구조가 복잡 다변화해짐에 따라 전력설비의 급증으로 전력계통의 높은 신뢰성과 안정성이 절실히 요구되며, 전력계통 설비의 신뢰성을 확보하기 위한 대책으로 이상유무를 사전에 예측할 수 있는 시스템의 도입이 필요하다.

현재 전력계통에 사용되는 전력설비의 안정성을 향상시키는 한가지 방안으로 전력용 피뢰기를 사용하고 있으며, 정상운전상태에서의 과도과전압 및 뇌서지 등에 대한 방호 대책으로 사용되고 있다. 최근 전력용 피뢰기는 비선형 저항특성이 우수하고 높은 신뢰성을 가진 ZnO 피뢰기가 주류를 이루고 있다. V-I 비선형 저항특성이 우수한 ZnO 소자를 사용한 ZnO 피뢰기는 갭레스(Gapless)화를 가능하게 하여 직렬갭(Series Gap)을 사용한 재래식 피뢰기와 비교할 때 응답시간이 짧아 보호특성이 향상되고 써지 처리능력 및 내오손 성능이 우수하다. 또한, 소형 경량화 등의 특징을 가지고 있어 현재 전력계통에 광범위하게 사용되고 있다. 이와 같이 ZnO 피뢰기는 우수한 보호특성을 가지고 있지만, 전력계통의 절연 협조상의 중요성 면에서 적절한 유지·보수를 하여 만일의 사고를 미연에 방지할 필요가 요구되고 있다.⁽¹⁾

또한, 전력계통에 설치된 피뢰기의 열화진단과 교체시기의 결정은 계통의 안정성 및 신뢰성을 확보하기 위해 필수적이며 이를 위해 신뢰도가 높은 진단장치의 개발이 요구된다. 따라서 ZnO 피뢰기 소자의 열화에 의한 특성변화 및 열화진전에 따른 절연능력 저하를 사전에 방지하기 위하여 높은 신뢰성을 갖는 열화진단기술에 대한 관심이 높아져 많은 연구가 진행되고 있다.

피뢰기는 과전압 제한장치로서 작용하는 주된 책무이외에 절연체로서 작용하게 된다. 이 절연특성은 피뢰기의 수명과 전력계통의 신뢰성 있는 운전에 매우 필수적이다. 피뢰기 절연특성의 열화 혹은 파괴의 가능성을 예지하는 여러가지 진단방법이 피뢰기의 도입이후 언급되어져 왔다. 진단방법은 사고표시기와 완벽한 피뢰기 사고를 표시하는 절환기로부터 저항분 누설전류와 피뢰기의 전력손실의 미세한 변화를 측정할 수 있는 기기로부터 나열된다. SiC블럭과 직렬 스파크 갭을 갖는 구형

피뢰기에 대해, 일상 운전 중에 피뢰기 단자로부터의 측정으로는 신뢰성 있는 진단이 불가능하다. 이들 형태의 피뢰기에 있어서 운전상태를 확인하기 위한 가장 정확한 방법은 그것들을 휴대용 고전압 시험장치를 이용한 전류 등급측정과 스파크 오버시험을 하기 위해 고전압 시험실로 가지고 오는 것이다. 이것은 피뢰기가 계통에서 분리되어져야 한다는 것을 의미한다. 그러나, 이렇게 해도 완벽한 진단은 가능하지 않는다. 그러나, ZnO 피뢰기에 대해서는 상황이 완전히 다르다. 이것은 피뢰기 블록을 통해 흐르는 연속 누설전류를 피뢰기 접지단에서 측정할 수 있기 때문이며, 그리고 이 전류는 피뢰기 동작상태를 잘 나타내주는 표시기가 될 수 있다는 것을 보여준다.⁽²⁾

상기와 같이 운전 중인 전력계통에 설치되어 있는 피뢰기의 누설전류를 측정하여 열화상태를 분석하는 방법은 이전의 여러 문헌에 잘 알려진 바와 같이 모니터링 스파크 gap, 온도측정, 누설전류 측정등이 발표되고 있으며, 그중 누설전류 측정이 가장 우수하게 피뢰기의 열화 상태를 on-line으로 감시/진단할 수 있는 방법으로 알려져 있다.⁽²⁾

당사에서는 765kV 변전소에 설치되는 800kV GIS용 피뢰기의 열화진단상태를 온라인으로 감시가 가능하게끔 해주는 전누설전류, 저항분 누설전류, 제 3고조파분 누설전류의 측정이 가능한 장치(가칭 "LCM")를 개발하였다.

본 논문에서는 먼저 열화가 진전된 피뢰기의 특성에 대해서 고찰하며, 당사에서 개발한 LCM의 시스템 구성에 대해서 설명하며, EMC 시험, 절연내력시험 및 신뢰성 검증을 위해서 수행한 시험에 대해서 서술하도록 한다.

2. 본 론

2.1 피뢰기의 열화진전에 따른 누설전류의 변화

전력설비 보호용 피뢰기의 교류 누설전류는, 정상시에는 거의 대다수를 차지하는 용량성부분과 현저하게 작은 저항성부분으로 나뉘어져 있다.

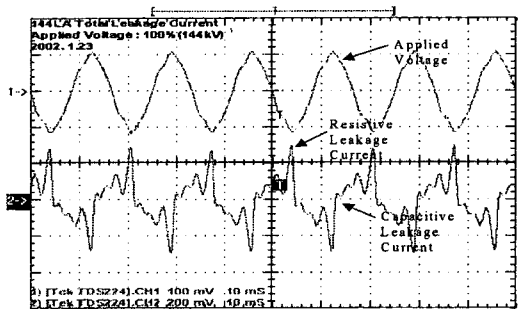


그림 1. 열화가 진전된 피뢰기의 누설전류 측정예

열화된 피뢰기에 최대운전 전압이 인가 되었을 때, ZnO소자의 누설전류에 대한 전형적인 시험실 측정예를 그림 1에서 보여주고 있다.

피뢰기의 열화가 진행되면, 용량성 부분은 거의 증가하지 않고, 저항분 누설전류량만 증가하기 때문에, 감도 높게 피뢰기 열화 상태를 감시하기 위해서는 직접 저항분 누설전류 측정으로 확인하거나, 저항분크기에 비례하여 증가되는 전누설전류 측정으로 확인되어진다.⁽²⁾ 특히, 전누설전류 성분 중 저항분 누설전류의 변화가 제 3고조파분 누설전류 성분의 변화로 현저히 나타나므로, 제 3고조파분 누설전류 성분을 분석하여 누설전류의 증가분에 대한 정보를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 열화가 진전된 피뢰기의 특성을 확인하기 위하여 170kV GIS용 피뢰기 - 당사 개발품으로서 제조년수 4년 경과 - 에 대해서 정격전압 대비 40%(57.6kV), 60%(86.4kV), 100%(144kV)의 전압을 인가해서 피뢰기 접지선에서 흐르는 누설전류를 측정하였다(그림 2). 이때, 전누설전류와 제 3고조파분 누설전류를 각각 측정하였으며, 열화가 진전된 피뢰기일수록, 높은 전압이 인가될수록 전누설전류에 비해 제 3고조파분 누설전류량이 급속하게 증가함을 알 수 있다.

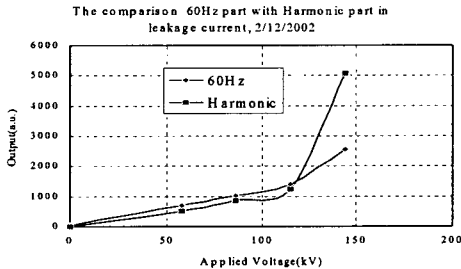


그림 2. 열화가 진전된 피뢰기의 전누설전류와 제 3고조파분 누설전류의 비교

2.2 800kW GIS용 피뢰기 누설전류 측정원리

800kV GIS용 피뢰기는 SF6 가스가 내장된 탱크형 피뢰기로서 이에 대한 열화특성을 피뢰기 소자의 열화에 따른 누설전류량 변화를 이용하여 감시하고자 한다. 앞서 설명한 바와 같이 피뢰기 소자의 열화에 따른 누설전류량 측정은 크게 1) 전누설전류, 2) 저항분 누설전류량, 3) 제 3고조파 누설전류량 측정 방식으로 이루어지며 전체적인 시스템 구성은 그림 3과 같다.

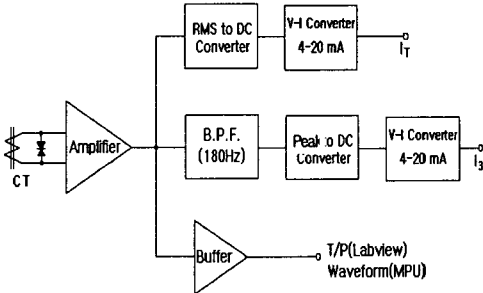


그림 3. LCM의 시스템 구성도

우선, 전누설전류 측정에 있어서는 피뢰기 접지선에 별도의 미소 전류 측정용 변류기(CT)를 장착시켜 누설전류를 전압으로 계속한다. 미소전류 측정용 변류기에 의해 측정된 신호는 LCM 내부의 회로에 의해 신호 처리되어, 실 누설전류값(0.1~10mA)에 비례하여 DC 4~20mA로 환산되어 출력된다. 또한, 제 3고조파분 누설

전류는 180Hz 성분의 대역통과필터회로(그림 4)를 2단으로 구성하여 제 3고조파분 누설전류만을 검출한 후, Peak to DC Converter와 V-I Converter를 거쳐서 전누설전류의 출력과 마찬가지로 DC 4~20mA로 환산되어 출력된다.

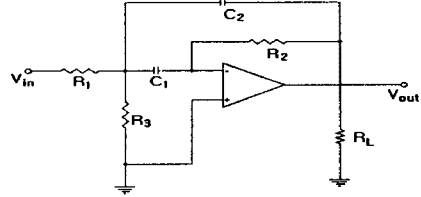


그림 4. 대역통과필터 회로도

저항분 누설전류 검출에 있어서는 측정회로가 다소 복잡하다는 단점이 있기 때문에 LCM 내부에는 별도의 측정회로를 구성하지 않았으며, T/P 단자를 통해 증폭되어진 미소전류 측정용 변류기의 출력을 소정의 알고리즘이 내장된 마이크로프로세서로 연결해서 이상진단을 실시하게끔 하였다. 이 방법은 계기용 변압기(PT) 등에서의 보조신호를 이용하여 전압신호와 전류신호의 위상차를 이용해서 전누설전류 중에서 저항분 성분만을 검출하도록 하였다.

2.3 EMC 시험

전자기적 합성시험과 관련된 규격 IEC 61000-4를 만족하기 위하여 LCM 내부의 전원포트, 신호포트, 외함포트 각각에 해당하는 시험항목에 대해서 한국전기연구원서 EMC 시험을 실시, 양호한 결과를 얻었다.

2.3.1 전원포트

시험항목	시험방법 (기준치)	결과	적용규격
버스트 내성	L-L, 4kV/2.5kHz, ± 각 2분간	양호	IEC 61000-4-4
	L-G, 4kV/2.5kHz, ± 각 2분간	양호	
Surge 내성	L-L, 2kV, ±각 5회	양호	IEC 61000-4-5
	L-G, 4kV, ±각 5회	양호	
전압강하	1주기동안 ΔU 30%	양호	IEC 61000-4-11
	50주기동안 ΔU 60%	양호	
	5주기동안 ΔU 100%	양호	
순간정전	5주기동안 ΔU 100%	양호	IEC 61000-4-12
	1MHz 진동파 내성	양호	
1MHz 진동파 내성	L-L, 1kV, ±각 2회	양호	IEC 61000-4-12
	L-G, 2.5kV, ±각 2회	양호	

표 1. 전원포트에 대한 EMC 시험결과

전원포트에 대한 EMC 시험항목 및 결과는 표 1과 같으며 시험항목별로 인가된 파형의 상세한 내용은 아래와 같다.

1) 버스트 내성시험은 관련 규격에 준하는 5×50ns 파형을 15ms 동안 인가 후, 285ms 동안 유지하는 시험을 2분간 반복 실시하였음.

2) Surge 내성시험은 관련 규격에 준하는 $1.2 \times 50 \mu s$ (전압), $8 \times 20 \mu s$ (전류), 임피던스 : 2 Ω 을 가지는 파형을 정부극성 각 5회씩 인가하였으며, 적용되는 레벨보다 낮은 레벨에 대해서도 모두 실시하였음.

3) 전압강하 시험은 1주기 동안 ΔU 30% (전원전압 : AC 220V) 변동에 대해서는 전원 파형의 위상 0°, 90°에서 16.67ms 동안 154V, 5초 동안 220V와 전원 파형의 위상 0°, 90°에서 16.67ms 동안 66V, 5초 동안 220V를 실시하였으며, 50주기 동안 ΔU 60% 변동에 대해서는 전원 파형의 위상 0°, 90°에서 833ms 동안 88V, 5초 동안 220V와 전원 파형의 위상 0°, 90°에서 833ms 동안 132V, 5초 동안 220V를 실시하였음.

4) 순간정전 시험은 관련 규격의 기준보다 더 가혹한 경우인 50주기 동안 ΔU 100%의 조건에 대해서 실시하였음.

2.3.2 신호포트

신호포트에 대한 EMC 시험항목 및 결과는 표 2와 같으며 시험항목별로 인가된 파형의 상세한 내용은 버스트 내성시험과 1MHz 진동파 내성시험에 대해서는 전원포트와 동일하게 하였으며, Surge 내성시험은 관련 규격에 준하는 $10 \times 700 \mu s$ (전압), 임피던스 40 Ω 을 가지는 파형을 정부극성 각 5회씩 인가하였다.

시험항목	시험방법 (기준치)	결과	적용규격
버스트 내성	L-G, 4kV/2.5kHz, \pm 각 2분간	양호	IEC 61000-4-4
	피시폼케이스-원격케이스, 4kV, \pm 각 5회	양호	IEC 61000-4-5
1MHz 진동파 내성	L-L, 1kV, \pm 각 2회	양호	IEC 61000-4-12
	L-G, 2.5kV, \pm 각 2회	양호	

표 2. 신호포트에 대한 EMC 시험결과

2.3.3 외함포트

외함포트에 대한 EMC 시험은 정전기 방전시험으로서 외함에 직접 접촉방전을 6kV, 정부극성 각 10회 실시하여 이상없음을 확인하였다.

2.4 절연내력 및 신뢰성 검증 시험

2.4.1 절연내력시험

GIS 관련 제품규격인 IEC 60694를 만족하기 위하여 LCM 내부의 전원 포트, 입력 포트, 출력 포트 각각에 적절한 써지 보호회로를 구성해서 표 3의 내용과 같이 절연내력시험을 실시하였으며 그 결과는 모두 만족스럽게 나왔다.

시험항목	전원 Port		신호 Port		적용규격
	인가 전압 (기준치)	결과	인가 전압 (기준치)	결과	
AC 내전압시험	단자-외함, 2kVrms, 1분	양호	단자-외함, 0.5kVrms, 1분	양호	IEC 60694
충격 내전압시험	단자-외함, 5kVp, \pm 5회	양호	단자-외함, 1.5kVp, \pm 5회	양호	IEC 60694

표 3. 절연내력 시험결과

표 3의 신호 포트라 함은 출력 포트를 지칭하며, 입력 포트에 대해서는 CT가 피뢰기 접지선을 관통하기만

하고, 직접 접촉되는 부분이 없기 때문에 단락전류 (20kAp 10회) 통전시험 실시 후, 입·출력 특성을 확인하는 것으로 대체가 가능한 것으로 판단된다.

2.4.2 신뢰성 검증 시험

LCM에 대해서 EMC 시험 및 절연내력시험 실시 전, 후의 정상 동작여부를 확인하는 시험으로서 개별 시험으로 인한 손상여부를 확인하였다. 확인방법은 EMC 시험 및 절연내력시험 전, 후에 동일한 입·출력 특성을 나타내는지를 측정하는 것으로 하였으며, 시험회로는 그림 5와 같다. 또한, 그 결과는 그림 6과 같이 입력전류 AC 0.1~10mA에 대하여 선형적인 DC 4~20mA의 출력을 동일하게 나타내고 있다.

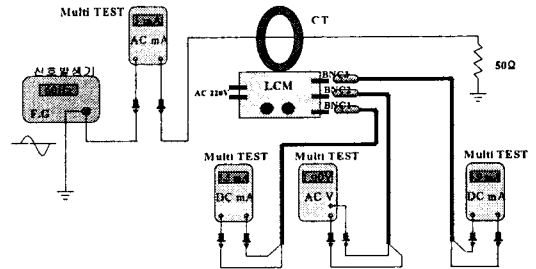


그림 5. 입·출력 특성시험 회로도

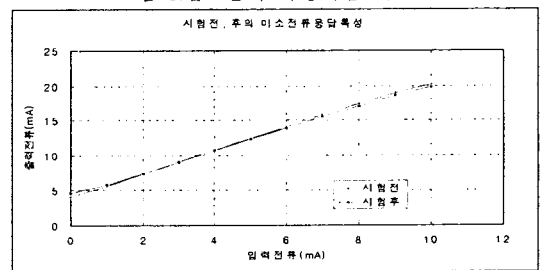


그림 6. 시험전·후의 미소전류 응답특성

3. 결론 및 향후계획

본 논문에서는 당사에서 개발/진행 중에 있는 800kV GIS용 피뢰기 누설전류측정장치(LCM)와 관련하여 측정원리, EMC 시험, 절연내력시험 및 신뢰성 검증시험 결과에 대해서 진행상황을 보고하였다.

1) 측정원리는 전누설전류, 제 3고조파분 누설전류에 대해서는 증폭 및 필터/변환 회로를 이용하여 DC 4~20mA의 출력 신호를 전송하게 하였으며, 저항분 누설전류는 구성회로가 다소 복잡한 관계로 증폭회로를 통한 적절한 알고리즘이 내장된 마이크로프로세서를 이용해서 측정이 가능하게 하였다.

2) 한국전기연구원에서 IEC 60694와 IEC 61000-4의 규격을 만족하는 EMC 시험, 절연내력 시험, 신뢰성 검증시험을 실시하여 양호한 결과를 얻었다.

현재 진행 중에 있는 제품에 대한 시험항목 중에서 과도전류 복원확인시험과 이 시험 전·후의 특성시험을 빠른 시일 내에 실시할 예정이며, 향후에는 저항분 누설전류를 측정하는데 있어서 자기소호법이나 동기정류방식^[1]을 이용해서 측정회로가 직접 내장되는 제품 개발을 목표로 연구에 박차를 가할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 길경석 외, "GIS용 피뢰기 누설전류 측정방법에 관한 연구", 최종보고서, 2001년 12월.
- [2] 김정배 외, "가스절연개폐장치용 감시시스템 적용에 관한 연구", 전기학회논문지, 51권 1호 pp.22-pp.30, 2002년 1월.