타격시험기에 의한 애자 파손특성과 평가

송길목*, 김종민*, 김영석*, 전용주**
한국전기안전공사 부설 전기안전연구원*, 한국철도공사 철도연구원**

Impact Damage Characteristics and Assessment of Insulators Due to Hitting Tester

Kil-Mok Shong, Jong-Min Kim, Young-Seok Kim*, Yong-joo Jeon**
KESCO-ESRI*, KORAIL**

Abstract - In this paper, we investigated on the characteristics and assessment of the insulators damaged by hitting tester(ST-100, Sharp-Eng, KOR). It made that an apparatus act on KS C 3801 for the damaged characteristics and assessment of insulators according to external scattering objects. There are selected 255mm glass insulators and 254mm porcelain insulators as the specimen. The hitting angles of the damaged insulator by pendulum weight are at 72°. At these points, velocity of pendulum weight is about 3.04m/sec and the force is 58.16N. At the hitting angle of 26 degrees, glass insulator is diffused the vibration within it but porcelain insulator is not. The inside vibrations of glass insulator and porcelain insulator are as like as two at the hitting angle of 53 degrees. The damaged glass insulator at the hitting angle of 72 degrees hardly is not diffused.

1. 서 론

전기철도는 전기를 이용하는 차의 집전장치에 접촉되어 전력을 공급하기 위한 가선설비와 이를 수반하는 부속설비를 말한다. 국내 적용방식 선정에 있어서 수송거리, 수송량, 수송시간 등의 목적에 따라 경량, 중량, 고속형 등으로 구분하여 운용되고 있으며, 동력방식이나 전기방식 등 복합적인 검토가 이루어진 후 현장에 설치된다. 운송수단의 이용에 있어서 효율을 극대화하기 위한 연구가 진행 중이다. 이동수단의 하나로서 전력회사에서 생산된 전기에너지를 이용하여 여객 또는 화물을 운송하는데 목적이 있는 전기철도는 변전소에서 수전된 에너지가 가선설비를 통해 기차를 움직이게 하는 동력을 이용한다. 가선설비는 대부분 고전압에 의해 활용되며, 옥외에 노출되어 운영되는 것이 특징이다. 고전압 설비는 활선상태의 조가용선과 팬터그래프, 기차와 철로사이에서 다양하게 이용되고 있다. 최근 운송수단이 발전함에 따라 국내에서도 고속철도가 운영되고 있다. 따라서 시스템의 절연확보는 가선설비에 영향을 미칠 수 있는 복합적이고 다양한 주변 환경에 대응하기 위한 중요한 부분을 차지한다. 가선설비를 설치한 현장에서는 애자의 취약한 쉘(shell) 표면에 일정크기의 비산물(돌)이 고속철도에 의해 발생되는 기압차 등으로 이동하면서 유리애자를 가격하여 파손되고 절연에 영향을 준다는 보고가 있다.

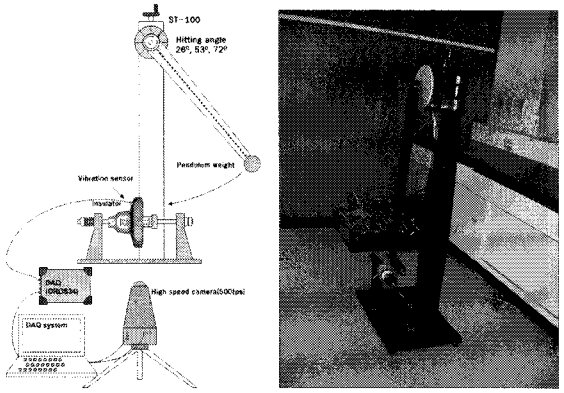
따라서 본 연구는 전기철도 가선설비 중 절연성을 유지하고 진동, 자외선, 분진 등 외부환경에 강인한 애자 특성을 비교 분석한 것이다. 국내 대다수의 전기설비에 이용되는 애자는 자기애자이며, 최근 폴리머애자가 현장에 설치되고 있다. 고속철도인 경우에는 예외적으로 가선설비에 유리애자가 사용되고 있다. 이에 따라 국내환경에 적합한지의 여부와 안전성 여부를 판단하기 위해 전기적, 기계적, 열적 특성을 분석하는 중이며, 특히 본 문에서는 유리애자 파손원인이 되는 검증실험의 하나로서 외부환경 요인 중의 하나인 비산물에 의해 유리애자가 파손되는 특성 및 자기애자와의 비교 평가를 서술하였다[1]. 실험에는 KS C 3801[2]에 준한 시험법의 하나로서 타격시험기(ST-100, Sharp-Eng, KOR)를 제작하여 진자 추(pendulum weight)에 의해 원운동을 하면서 애자를 단계별로 파손시켰으며, 이때 고속카메라와 진동센서를 이용하여 그 특성을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 장치 구성과 시험방법

타격시험기는 애자의 특성을 물리적으로 해석하는데 유용한 장치이며, 한국산업규격(KS C 3801; 애자시험방법)에서 제시하는 방법을 선택하였다. 시험장치의 구성은 그림 1에서와 같으며, 정량적인 자료를 수집할 수 있도록 구성하였다. 타격각도는 규격에서 정한 방법에 의해 26°, 37°, 45°, 53°, 60°, 66°, 72°에서 타격할 때의 현상에 대해 측정하였다. 유리애자와의 상관관계를 확인하기 위하여 절연파괴전압과 크기가 유사한 자기애자를 선택하여 비교하였다. 유리애자의 구성은 주물형태의 캡과 로드가 있으며, 쉘(shell)부분과 이를 결합하기 위하여 사용되는 시멘트로 되어 있다. 외부환경에 노출되어 사용하는 유리애자의 경우 열적인 영향 즉, 열팽창이나 수축에 의해 이종의 재질이 파손되는 영향을 최소화하기 위해 알루미나 시멘트를 접합제로 사용하고 있다.

애자타격시험장치의 경우 진자와 진차추의 무게는 3.6kg이며, 이때 진자 길이는 무게중심으로 환산하여 572mm로 하였다. 이는 고속카메라가 진자 추의 시간당 움직인 거리를 확인할 수 있으므로 타격할 때의 평균 속도를 계산한 것이다. 타격시험장치의 진자 추에 의한 타격은 수직방향에서 되도록 설계하였으며, 대상 애자를 좌우로 인장하여 고정하였다. 고속카메라는 초당 500fps를 촬영할 수 있도록 설정하였다. 진동센서는 계측장치에 의해 샘플링주파수가 5.12×10^4Hz가 되도록 하였다. 애자가 파손될 때까지의 현상은 고속카메라에 의해 촬영하였다[3].



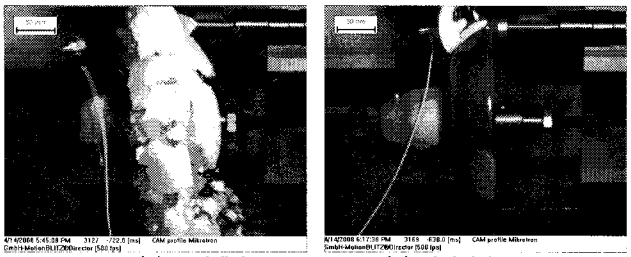
<그림 1> 애자타격 시험장치와 측정개략도

2.2 애자파손 특성비교

2.2.1 고속카메라에 의한 유리애자 파손 촬영

진자에 의해 타격하여 파손되는 각도는 72°로서 그 이동거리와 시간을 구하여 속도로 환산하였다. 타격하는 진자 추의 이동거리를 고속카메라에 의해 측정하여 평균한 값은 60.82mm였다. 이동시간은 20msec로서 진자 추의 속도를 구하면, 약 3.04m/sec가 된다. 이를 최초의 무게와 진자 중심에서 진자 추까지의 무게중심의 값을 대입한 힘은 58.16N으로 계산되었다. 향후 정밀한 계산치를 구하기 위해 많은 실험데이터가 요구된다. 이와 더불어 고속카메라에 의해 촬영된 파손과정과 누전분포에 의한 진동해석을 실시하였다.

그림 2에서 알 수 있듯이 타격부분은 진자 추의 자유낙하 원운동에 의해 파손되는 시점의 유리애자와 자기애자를 나타낸 것이다.



(a) 유리애자 (b) 자기애자

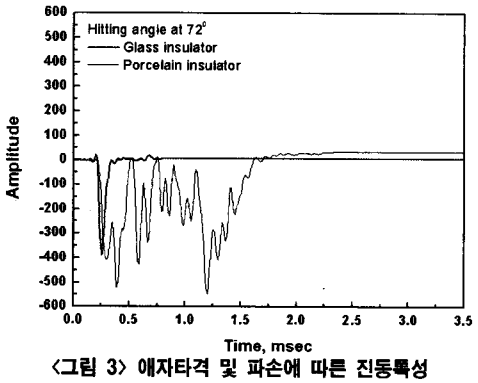
<그림 2> 타격각도 72° 에서 애자파손 특성

그림 2(a)에서 알 수 있듯이 자기애자와는 달리 파괴강도를 갖는 진자 추에 의해 타격되는 순간 스터브(stub)를 중심으로 애자 전체에 균열이 발생하고 일시에 무너지는 특성을 확인할 수 있다. 그림 2(b)는 자기애자로서

균열되고 파손되는 부분은 진자 추가 타격한 부분으로 그 범위는 유리애자와 달리 전체적으로 파손되지는 않았다. 이러한 특성은 유리와 자기라는 재질에 대한 것으로 기계적인 원인에 의한 것으로 판단된다. 진자 추에 의한 파괴 임계치를 가지는 각도는 실제 파손되는 과정과는 달리 일정한 것을 확인하였다. 따라서 유사한 크기, 동일조건의 타격, 인가전압 등이 적용되는 애자에 대해 파손시점은 유리 및 자기애자가 거의 동일한 것으로 나타났다.

타격에 의한 각도별 진동특성을 통해 유리애자는 낮은 타격각도에서 진폭의 크기와 진동시간이 비교적 큰 것을 알 수 있다. 유리애자의 파손시에는 72°의 타격각도에서 자기애자와 같이 진동이 지속되지 않았는데 이는 유리애자가 일시에 파손되면서 균열 조각들이 진동을 흡수하였기 때문인 것으로 판단된다.

그림 3은 유리애자와 자기애자의 타격각도 72°에서 파손될 때의 과정을 진동센서에 의해 검출한 것이다.

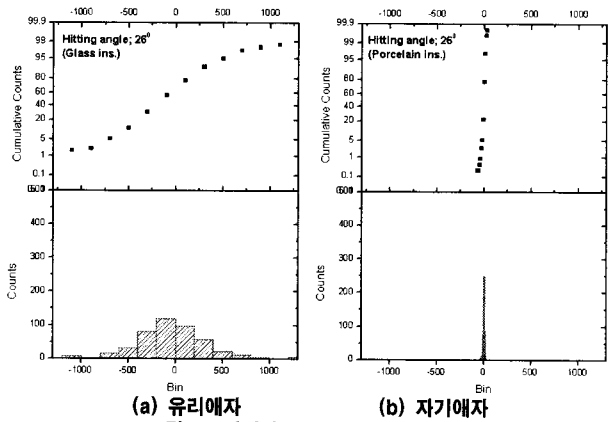


〈그림 3〉 애자타격 및 파손에 따른 진동특성

유리애자의 경우 약 0.1msec의 파손시간동안 임펄스형태로 진동이 검출되었으나 자기애자의 경우는 진동전달이 약 1.25msec의 시간동안 유리애자에 비해 비교적 긴 시간이 진동이 측정되는 것을 확인하였다.

2.2.2 누적분포에 의한 내부진동 해석

유리애자와 자기애자의 재질특성을 분석하기 위하여 타격시험에 의해 취득된 데이터를 이용하여 누적분포함수로 나타내었다. 타격각도가 26°인 경우에서는 진동전달에 있어서 유리애자가 지속시간과 진동범위가 넓은 것으로 나타났다. 그림 4는 26°의 타격각도로 각각의 애자를 타격하면서 취득한 진동데이터를 누적분포함수에 의해 나타낸 그래프이다.

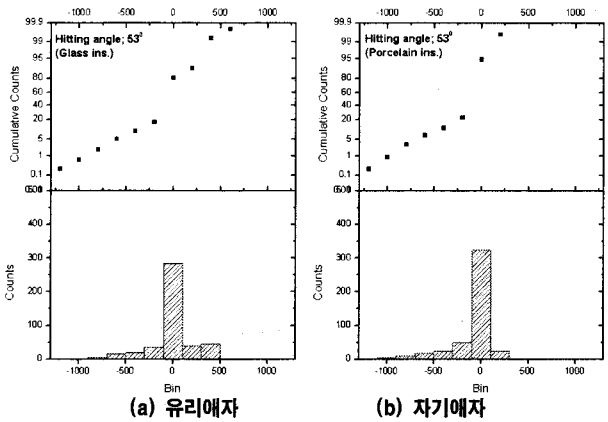


(a) 유리애자 (b) 자기애자

〈그림 4〉 타격각도 26° 에서의 진동특성

그림 4(a)에서 유리애자의 특성은 그 분포가 좌우로 확산되어 있는 것을 확인할 수 있으며, 그림 4(b)에서의 자기애자는 진동전달이 되지 않아 진동이 확산되지 않는 특성을 알 수 있다.

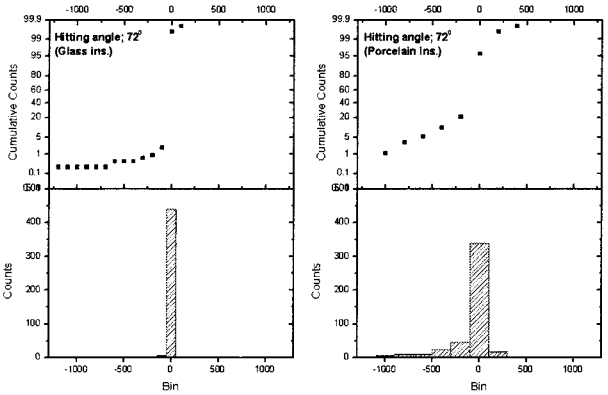
타격각도를 좀 더 크게 하여 그 진동특성을 보면 그림 5와 같다. 그림 5는 타격각도 53°에서의 진자 추에 의한 각각의 애자내부 진동을 측정하여 누전분포로 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 유리애자로서 진동이 확산되기 보다는 집중되는 특성을 보이는 것으로 나타났다. 반면 그림 5(b)는 자기애자로서 26°의 타격각도에서 나타난 분포보다 진동이 확산되는 특징을 보였다. 53°의 타격각도에서는 유리애자와 자기애자의 타격에 의한 진동특성이 유사한 것으로 나타났다.



(a) 유리애자 (b) 자기애자

〈그림 5〉 타격각도 53° 에서의 진동특성

그림 6은 72°의 타격각도에 의해 각각의 애자가 파손되는 시점에서 나타난 진동을 측정한 것을 누전분포에 의해 분석된 것이다.



(a) 유리애자 (b) 자기애자

〈그림 6〉 타격각도 72° 에서의 진동특성

그림 6(a)는 유리애자의 분석그래프로서 진동이 확산되지 않고 전체가 일괄적으로 파손되면서 진동이 흡수하여 타격시 진자 추에 의한 충격만 검출이 된 것으로 판단된다. 그림 6(b)는 자기애자로서 타격시험장치의 진자 추가 애자에 타격되는 순간에서 애자가 균열되고 이탈되는 과정의 나타난 진동이 측정된 것으로 추정된다.

3. 결 론

본 연구는 전기철도 가선설비 중 절연성을 유지하고 진동, 자외선, 분진 등 외부환경에 강인한 애자의 특성분석에 있어서 외부 비산물 등에 의한 평가를 실시하기 위해 실시한 초기실험으로 그 크기와 절연내력이 유사한 유리애자와 자기애자를 선택하여 비교한 것이다.

진자에 의해 타격하여 애자가 파손된 각도는 72°였다. 진자의 속도는 약 3.04m/sec로서 애자파손의 힘은 58.16N이었다. 유리애자의 파손된 타격각도에서 진동이 거의 전달되지 않는 것은 파손되면서 균열 조각들이 진동을 흡수하였기 때문인 것으로 판단된다. 26°의 타격각도에서 유리애자는 진동이 확산되나 자기애자는 확산되지 않았다. 타격각도 53°에서 유리애자와 자기애자의 내부 진동이 거의 유사하였다.

본 실험을 통해 외부환경에 비산물의 타격에 의한 애자파손특성을 분석하는 데 있어서 객관성을 확보하는 중요한 자료가 될 것으로 판단되며, 특히 제조물책임에 의한 사용자, 공급업체, 제조업체간 분쟁을 해소하는데 활용이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구는 지식경제부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국전기안전공사, 전기재해통계분석, 제16호, 2007

[2] 기술표준원, KS C 3801, 2003

[3] 한국철도공사, "고속전차선로 보호계통시스템 분석에 관한 연구", 중간보고발표, 2008