

유리애자 파손원인에 대한 고찰

정종욱*, 정진수*, 송길목*, 김영석*, 김선구*, 임동훈*, 유영태**, 전용주**
 한국전기안전공사*, 한국철도공사**

A Study on the Breakage Causes of Toughened Glass Stem Insulators

Jong-Wook Jung*, Jin-Soo Jung*, Kil-Mok Shong*, Young-Seok Kim*, Sun-Gu Kim*, Dong-Hoon Lim*, Young-Tae Ryu**, Yong-Joo Jeon**
 KESCO*, KORAIL**

Abstract - This paper describes what causes the breakage of the toughened glass stem insulators. Several plausible hypotheses were proposed by surveying the field, hearing evidence, analyzing the broken specimens, etc. The hypotheses were classified into a couple of patterns and the hypotheses were selected and listed in order of the possibility. As a result, the most convincing cause of the breakage was the resonance of the vibrations incoming from the H-frame side and the feeder side. In addition, the collision of ballasts and the impurities in the toughened glass could be also the causes.

1. 서 론

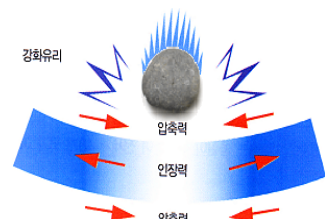
KTX가 대중적 교통수단으로 등장하여 전 국토가 반나절 생활권으로 접어들어 어언 4년이 지난 지금, 300[km/h]를 넘는 고속 교통수단이 우리 생활에 얼마나 지대한 영향을 미치는가에 대한 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다. 고속전차는 전기를 이용한다는 특유의 장점으로서 인해 일찍이 많은 국가에서 채용되어 왔으나, 소소한 결함으로 인해 발생할 수도 있는 만일의 사고에 대비해 최고의 안전대책이 보장되어야 하므로, 이 시스템을 채용한 국가들은 대부분 모든 첨단기술이 타의 추종을 불허할 정도로 발달된 국가들이었다는 점도 부인할 수 없을 것이다. 따라서, 제반 불완전 요인을 완전히 제거하는 것이 범국민적 신뢰도를 향상시키는 최선의 방법임을 감안하면 평상시 각 구성품에 대한 미세결함까지 발본색원하여 그 원인을 규명하고 안전대책을 강구하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 기계적 지지 및 전기적 절연의 용도로 채용되는 유리애자를 파손시킬 수 있는 요인들에 대해 고찰해 보기로 한다.

2. 유리애자 특성

2.1 강화유리

유리는 규사, 소다회, 탄산석회 등의 혼합물을 고온에서 녹인 후 냉각하는 과정에서 생기는 투명도 높은 물질을 말하며, Simon의 동결과정에 의한 Hasse의 정의에 따르면, 유리는 일반적으로 고체처럼 보이나 열역학적으로는 무결정형으로 동결된 과냉각 액체로서, 유리 용융액을 냉각시키면 열역학적 임계영역을 통과한 후 액체의 구조와 유사한 준안정한 유리상태로 전환된다[1]. 일반적인 유리는 점성이 너무 커 그 모양이 쉽게 바뀌지는 않지만 급랭 제작하므로, 강도가 낮아 쉽게 깨진다. 강화유리는 float glass를 연화온도에 가까운 670[°C]~710[°C]로 가열하였다가 급속히 냉각시키는 템퍼링공정에 의해 제작한 유리이다. 일반 float glass에 외력이 가해지면 표면에는 압축응력이, 반대측 표면에는 인장응력이 작용하여 유리가 파손되지만, 강화유리는 그림 1과 같이 반대측 유리 표면에도 압축응력이 작용하여 인장응력에 저항할 수 있는 힘이 형성되므로 굽힘강도에서 3~5배, 내충격에서 5~8배, 파손되지 않는 온도차의 한계인 내열강도(열충격저항)에서 약 2배 이상 강화된 강도를 갖는다.



<그림 1> 강화유리 충격시 작용 응력



<그림 2> 유리애자 단면

2.2 유리애자의 파손

유리애자용 강화유리는 일반 강화유리와는 달리 압축력이 작용하는 양 표면이 보다 두껍게 형성되어 있다. 유리애자는 자연환경에 그대로 노출되어 있으므로, 수많은 인자에 의한 가속열화 또는 파손이 우려된다. 유리애자는 그 강화의 정도가 일반유리보다 훨씬 강하므로, 파손시 켈릿의 크기가 매우 작으며, 외부적 원인에 의한 파손과 내부적 결함에 의한 파손의 형태가 뚜렷이 다르게 나타난다는 특징을 보인다. 따라서, 유리애자 파손과 관련된 현상들에 대한 정확한 이해와 강화유리에 대한 물리적 지식을 통해 보다 정확한 파손원인을 유추할 수 있다.

3. 유리애자 파손원인 추경

본 장에서는 유리애자의 파손원인을 보다 정확하게 추경하고 추경원인에 대한 근거를 확립하기 위해 현장의 실무인력들로부터 유리애자 파손현상에 대한 의견을 청취하여 다음과 같은 환경분석을 실시하였으며, 결론에서는 이 장에서 도출된 결과를 토대로 가능성 높은 파손원인 순으로 정리하기로 한다.

3.1 현상 및 환경분석

- ① 파손구간 고려
- ② 파손계절 고려
- ③ 2, 3번 셀 파손 빈발 등

3.2 유리애자 외부의 물리적 원인

유리애자는 외부로부터 작용하는 물리력에 의해 파손될 수 있으며, 이 물리력을 유발하는 인자들을 이하 절에 설명하였다.

3.2.1 진동의 양방향 유입에 의한 기계적 공진

유리애자는 H-frame상에 설치되어 있으며, 유리애자 브래킷은 이 구조물 상에 가설되어 있다. 유리애자에 전달되는 진동은 2개의 경로를 지니며, 차륜→레일→지면→H-frame의 경로를 통해 유리애자의 하부까지 전달되는 진동과 차랑이 H-frame을 통과할 때 팬터그래프→급전선의 경로를 거쳐 유리애자의 상부로 전달되는 진동이 그것이다. 따라서, 이 추정을 뒷받침할 수 있는 재연실험 또는 시뮬레이션이 추가적으로 요청된다.

3.2.2 도상 위 자갈의 비산 충격

이 추론을 검증하기 위해 고속카메라로 평지구간 위의 레일을 촬영·분석한 결과, 레일 주변의 자갈은 미동도 없음을 확인하였다. 특히, 유리애자에 채용된 강화유리는 켈릿의 크기로 미루어 강화 정도가 매우 높다는 것을 알 수 있으며, 이같은 고강도 강화유리는 자갈과 같은 국부적 충격에 의해 파손되는 경우, 일반유리와는 달리 전파에 이르기보다는 유리 표면상의 기스나 셀 말단의 부분적 파손도 유발할 수 있다.

3.2.3 유리의 고유진동과 외부 유입된 진동이 공진

외부의 물리적 충격에 의해 유리는 고유한 주파수로 진동하며, 또 다른 외부의 진동이 이 고유한 주파수를 갖는 진동과 공진을 일으킬 때 유리애자는 파손될 수 있다.

3.3 제작상 또는 설계상의 제품 하자

본 연구에서는 유리애자 제작상 또는 설계상 하자를 판단하기 다음과 같은 원인도 아울러 추경하였다.

3.3.1 용융공정시 유리애자 내부 이물 혼입

유리애자는 결함을 내포한 제품을 출하 전에 걸러내기 위해 히트시험을 실시한다. 강화유리의 중간층에 NiS가 혼입되어 있는 경우, 강화유리가 자연적으로 파손되는 경우가 있다. 파손된 켈릿 중에는 그림 3과 같

이 이물을 중심으로 나비패턴의 켈릿이 나타난다.



<그림 3> 강화유리 내부 혼입된 NiS로 인해 파손된 켈릿의 나비패턴

3.3.2 알루미늄 시멘트 채움

자기애자와는 달리, 유리애자의 캡과 유리, 핀과 유리의 구조적 접촉에는 열적으로 매우 안정하다고 알려진 알루미늄 시멘트를 채움하고 있다. 대부분의 파손된 셀에서는 이를 금구와 접촉한 시멘트의 균열이나 파손도 동시에 관찰되었으므로, 알루미늄 시멘트가 유리애자의 파손에 미치는 영향도 검토하였다.

3.3.3 구조적 결합

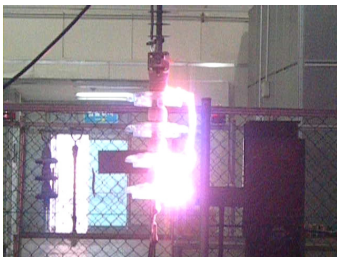
유리애자는 자기애자에서 전식 방지와 충격 완화의 목적으로 사용되는 바이츄먼을 스테르브 내 캡 내벽과 핀에 도포하지 않은 채 셀과 금구를 접촉하고 있다.

3.4 전기적 원인

팬터그래프와 급전선간에는 불완전 접촉으로 인한 아크가 발생한다. 이 아크는 개폐서지와 같이 작용하여 유리애자의 절연을 파괴할 수 있다.

3.4.1 아크 또는 서지

유리애자는 셀이 1개 파손되었을 경우라도 운전전압을 충분히 견딜 수 있는 절연성능을 유지하고 있었다.



(a) 건조시 상용주파 내전압 시험



(b) 주수시험

<그림 4> 유리애자에 대한 전기적 강도 시험

3. 결 론

본 논문에서는 전기적 절연 및 기계적 지지를 위해 사용하는 유리애자를 파손시킬 수 있는 원인에 대해 분석한 후, 가장 유력한 파손원인 순으로 다음과 같이 3가지 정도로만 정리하였다.

- ① 유리애자는 상·하부로 유입되는 진동의 공진에 의해 파손될 가능성이 가장 크며, 가능하면 추후 재연실험이나 시뮬레이션에 의한 입증 필요하다.
- ② 레일상의 자갈은 미동이 없었으며, H-frame상에 설치된 유리애자 각도 및 자갈의 비산각도 및 와류에 의한 자갈의 부상 현상 등을 종합적으로 고려해야 한다.
- ③ 용융공정에서 혼입될 수 있는 이물도 생산과정과 출하시험 등을 종합적으로 고려해야 한다.

[참 고 문 헌]

[1] J. Barry, "Toughened glass: A wonderful material, but with an "Achilles heel"