브래킷 유리애자의 접합재로 이용되는 알루미나 시멘트의 특성

송길목*, 정진수*, 한운기*, 김영석*, 류영태**, 전용주**
한국전기안전공사 부설 전기안전연구원*, 한국철도공사 철도연구원**

The characteristics of alumina cement utilized for binder of glass insulators in braket

Kil-Mok Shong*, Jin-Soo Jung*, Woon-Ki Han*, Young-Seok Kim*, Young-Tae Ryu**, Yong-Joo, Jun**
KESCO-ESRI*, KORAIL**

Abstract - Damaged glass insulator that is utilized the high-speed railroad in domestic try to find the cause. This paper is investigated on the characteristics of alumina cement as the binder of glass insulator. The components of glass insulator are stub(tin), rod(tin), shed(tempered glass), and alumina cement. If composition of alumina cement is not unified, crack of alumina cement generated. As these results, cracked marks of cement is appeared and composition of alumina cement is not unified. Therefore, it is estimated that main element of long-term degradation is a alumina cement.

1. 서 론

유리애자는 국내에서 생산되지 않는 제품으로 이에 대한 자문 또는 생산시의 문제점을 조사하여 분석하기가 매우 어렵다. 따라서 제품이 기본적으로 구성하고 있는 재료의 특성과 구조적 상태를 분석할 필요가 있다. 본 연구에 이용된 유리애자는 프랑스에서 전량 생산된 제품으로 유럽 환경에 적합한 특징을 가지고 있다. 일반적으로 추정할 수 있는 온도, 습도, 일조량 등에서 국내의 조건과는 다른 것이 사실이다. 따라서 본 연구를 통해 국내 고속철도의 절연과 지지에 중요한 역할을 담당하는 유리애자의 특성을 분석함으로써 파손원인은 물론 향후 관리방법, 대처요령 등에 대해 자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

연구의 내용은 브래킷(bracket)에서 절연 및 지지를 목적으로 사용되는 유리애자와 현수애자 중 브래킷 유리애자를 중심으로 기술하였다. 분석의 주요 요건은 유리애자에 대한 전반적인 평가에 있어서 집중적이고 정확한 데이터를 축출하는 것 보다는 유리애자 파손원인에 그 초점을 맞추어 실험하고 검증하였다.

2. 본 론

2.1 시멘트 특성

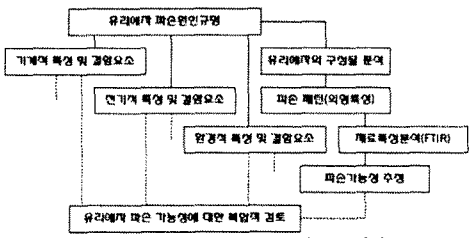
일반적으로 포틀랜드 시멘트((Portland cement)는 주로 석회질 원료와 점토질 원료를 적당한 비율로 혼합하고 일부 성분을 조절하기 위하여 규산질 원료와 산화철 원료를 첨가한 상태에서 미분쇄하고 그 일부가 약 1,450℃까지 용융할 때 소성하여 얻어지는 클링커에 응결을 조절하기 위한 약간의 석고를 넣어 미분쇄하여 만든다. 제조방법에는 크게 건식법, 습식법, 반건식법이 있다. 건식법은 원료를 건조상태에서 분쇄 · 혼합 · 소성하는 방법이며, 습식법은 원료에 35%에서 40%의 물을 가하여 분쇄 · 혼합 · 소성하는 방법이다. 습식법은 원료조합물에 함유된 많은 수분을 증발시키기 위하여 많은 열량이 필요하므로 습식법에 의한 시멘트의 제조는 줄어드는 추세이다. 소성 가마로는 회전가마가 주로 쓰인다. 포틀랜드 시멘트의 주성분은 석회(CaO), 실리카(SiO_2), 알루미나(Al_2O_3) 및 산화철(Fe_2O_3) 등으로 구성되어 있다. 시멘트를 반죽하여 물이 증발된 후에는 유동성을 잃고 굳어지는데 이 과정을 응결(setting)이라 한다[1]. 응결 이후에는 강도가 강화되면서 경화된다. 시멘트의 구성 화합물의 하나인 규산삼석회는 물에 빨리 희석되어 강도가 강화되는 특성으로 빠른 강도를 가진다. 이에 비해 규산이석회는 물에 반응이 늦고 오랜 시간에 지나면서 강도가 커지는 특성을 갖는다. 알루민산삼석회는 시멘트 구성물 중에서 물에 급격히 반응하는 특징을 가진다. 따라서 석고를 이용하여 반응 응결시간을 조절한다. 포틀랜드 시멘트는 한국산업규격 KSL 2101에서 분류하여 정의하고 있다. 사용하고자 하는 목적이나 용도에 따라 보통 포틀랜드, 중용열 포틀랜드 시멘트, 조강 포틀랜드 시멘트 등으로 구분하고 있다. 이외에도 조기강도는 약간 떨어지나 장기강도가 크며, 해수 저항, 동결 작용에 대한 저항이 큰 고로시멘트(KSL 5210), 수화열이 작고 수밀성을 갖는 포졸란시멘트(pozzolan cement) 등이 있다[2].

유리애자의 접합재로 알루미나시멘트(alumina cement)가 이용되고 있다. 한국산업규격에서는 KS L 5205에 이에 대해 정의하고 있다. 알루미나 시멘트는 보크사이트, 석회석, 점토 등이 주성분인 혼합물을 반사로, 전기로 또는 회전식가마에서 약 1,500℃에서 1,600℃의 고열의 온도로 용해하여 얻어지는 것으로 가장 큰 특징은 빠른 경화성을 갖는다는 것이다. 적절한 보크사이트는 50%에서 60%의 알루미나, 25%까지의 산화철, 5%미만의 무수규산, 10%에서 30%의 수화수를 갖는다. 석회석은 소량의 무수규산, 마그네시아를 포함한 것이어야 한다. 알루미나 시멘트는 35%에서 40%의 석회, 40%에서 50%의 알루미나 15%까지의 산화철, 6% 이하의 무수규산을 포함한다. 주된 삼탄화합물은 $CaO \cdot Al_2O_3$이다.

특징으로는 물을 주입한 후 혼합하면 급속하게 반응하여 24시간 이내에 재령 28일에 해당되는 400 kg/㎠에서 500 kg/㎠까지의 강도를 갖는다는 것이다. 조강시멘트는 빠른 강도와 더불어 산, 염류, 해수 등의 화학적 침식에 대한 저항성이 높은 특징을 갖는다. 이외에도 높은 내화성을 가지고 있다. 단점으로는 발열량이 상당히 커서 물시멘트비를 작게 하여 충분히 양생하지 않으면 오랜 시간동안 확보되어야 할 강도가 상당히 저하되는 특징을 가진다. 또 다른 단점으로는 알칼리성이 낮기 때문에 철근 부식 등에 주의해야 한다. 시장에서는 높은 내약품성, 내화학성 등의 특징을 가지고 있어서 고가에 거래되고 있다. 일반적인 사용 장소는 염해가 있는 항만, 방파제, 암모니아가스가 충만한 목장, 수분이 존재하고 미생물 서식이 왕성한 터널 등이다[3].

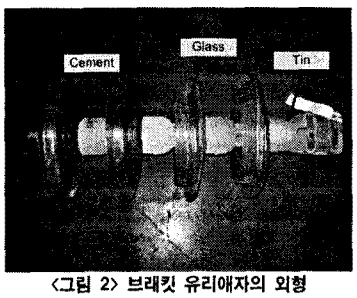
2.2 분석방법

유리애자의 파손원인을 규명하는 방법으로 다양한 실험적 검증이 이루어졌다. 그림 1은 유리애자 파손원인 규명을 위한 절차도를 개략화하여 나타내었다.[4],[5].



<그림 1> 유리애자 파손원인 규명을 위한 분석절차 개념도

그림에서 유리애자의 구성물 분석, 외형 패턴, 재료특성에 대한 내용을 언급하였다. 알루미나시멘트(alumina cement)는 무기물과 함께 배합된 화학적 구조에 대해 FT-IR을 이용하여 분석하였다. 그림 2는 브래킷 유리애자의 외형을 나타낸 것이다.



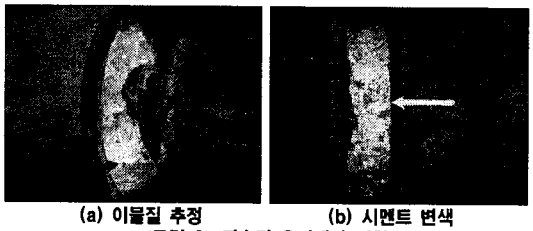
<그림 2> 브래킷 유리애자의 외형

그림 2에서 알 수 있듯이 재질적 특징은 시멘트, 유리, 주석 등 총 3가지로 구분되며, 접합개소는 8군데로 되어 있다.

2.3 분석결과 및 고찰

2.3.1 유리애자의 파손 패턴

상기의 서술된 내용을 근거로 하여 파손된 유리애자의 접합부에 대한 외형을 분석하였다. 그림 3은 현장에서 파손된 유리애자를 확대하여 나타낸 것이다.



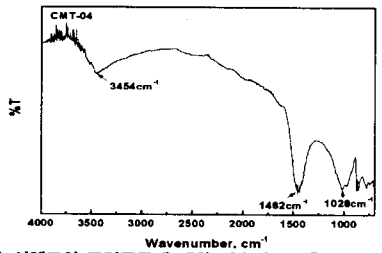
(a) 이물질 추정 (b) 시멘트 변색

〈그림 3〉 파손된 유리애자 외형

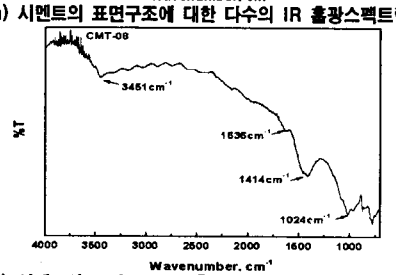
그림 3(a)는 파손된 유리애자의 접합부 중 하나로서 화살표시된 부분에서 이물질이 포함되었을 것으로 보이는 변색이 있으며, 시멘트의 경우 변색된 부분이 균열되지 않은 부분과 비교하여 파손이전에 균열되었을 가능성이 높은 것으로 추정된다. 그림 3(b)는 초기파손 위치로 추정되는 지점으로 시멘트의 탈색 정도가 다른 지점과 달리 변색된 것으로 보아 유리애자 파손 이전에 시멘트의 균열이 있었을 것으로 추정된다. 시멘트의 균열은 연교차, 일교차가 큰 국내의 환경적 조건에 취약한 구조를 갖는다.

2.3.2 알루미나 시멘트의 조성 특성

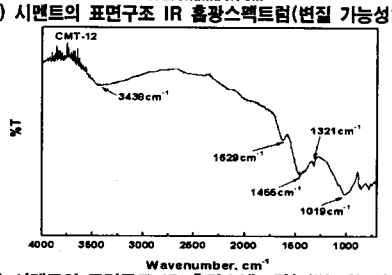
국내에서 파손된 유리애자를 수거하여 그 파손된 부위에 있는 시멘트를 채취하였다. 시멘트의 경우 균질한 상태에서와 불 균질한 상태에서의 온도에 의한 팽창정도는 매우 다를 것으로 추정되기 때문에 이러한 균질성에 대해 평가할 필요가 있다. 따라서 그림 4는 적외선 흡광스펙트럼을 이용한 표면구조 분석을 실시한 것이다.



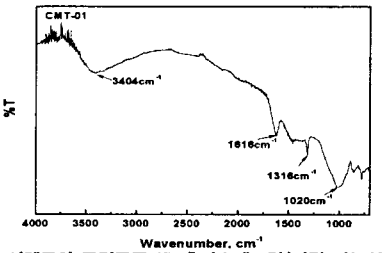
(a) 시멘트의 표면구조에 대한 다수의 IR 흡광스펙트럼



(b) 시멘트의 표면구조 IR 흡광스펙트럼(변질 가능성1)



(c) 시멘트의 표면구조 IR 흡광스펙트럼(변질 가능성2)



(d) 시멘트의 표면구조 IR 흡광스펙트럼(변질 가능성3)

〈그림 4〉 파손된 유리애자의 시멘트 특성분석

그림 4에서 시멘트의 표면구조에 있어서 총 24개의 시멘트를 분석하여 표 1에 정리하였다.

〈표 1〉 시멘트의 IR 흡광피크 비교

분류	구 분	특 징
(a)	CMT-04, 06, 09, 10, 15, 16, 18, 19, 20, 22	3430±30cm^{-1}, 1440±50cm^{-1}, 1020±10cm^{-1} (double peaks)
(b)	CMT-02, 05, 08, 13, 14, 17, 21, 23, 24	3430±30cm^{-1}, **1620±10cm^{-1}**, 1440±50cm^{-1}, 1020±10cm^{-1}(double peaks)
(c)	CMT-07, 11, 12	3430±30cm^{-1}, **1620±10cm^{-1}**, 1440±50cm^{-1}, **1320±10cm^{-1}**, **1020±10cm^{-1}**
(d)	CMT-01, 03	3430±30cm^{-1}, **1620±10cm^{-1}**, **1320±10cm^{-1}**, **1020±10cm^{-1}**

알루미나 시멘트는 앞서 기술하였듯이 좋은 장점에도 불구하고 조성비를 일정하게 하고 빠른 발열량으로 인한 충분한 양생이 필요하다. FT-IR 분석을 통해 약 1620cm-1에서 각각의 재료에서 그 함량비가 일정하지 않은 것을 확인할 수 있다. 이는 시멘트가 외부영향에 의해 변성되었거나 제조당시부터 불 균질한 상태를 유지한 것으로 추정되는 부분이다. 시멘트의 균열이 발생하면, 수분이 균열된 틈으로 스며들어 온도변화에 따른 수축팽창을 활성화하고 시멘트의 균열을 가속시킬 것이다.

3. 결 론

유리애자의 재질특성을 보아 경년열화에 민감할 것으로 추정되는 시멘트를 분석하였다. 유리와 스터브, 로드의 경우 재질 특성상 피로누적이 거의 되지 않는 부분으로 알려져 있으나 시멘트의 경우에는 제조에 있어서 정밀한 제어가 되지 않는 다면 균열이 수반되어 기계적으로 안정하지 않을 가능성이 있는 것으로 나타났다. 일부 분석에 의해서 조성비가 일정하지 않을 것으로 보이는 데이터가 나타났다. 이는 초기 생산당시에는 진동 등에 의한 기계적 특성이 우수하다하더라도 장시간 사용하면서 시멘트에 피로가 누적되어 이에 대한 영향이 커질 것으로 판단된다. 상기의 내용으로, 제조조건과 국내 기후환경, 설치환경 등이 복합적으로 유리애자에 영향을 미치기 된다면, 환절기, 교량 등에서 파손될 가능성이 높을 것으로 추정된다.

[참 고 문 헌]

[1] 대한건축학회, "건축재료", 기문당, 1997

[2] 사단법인 한국콘크리트학회, "최신 콘크리트 공학", 기문당, 1999

[3] A.M.Neville, "Properties of Concrete", Longman, 1996

[4] 김영석, 송길목, 정진수, 전용주, 류영태, "고속철도용 유리애자의 진동 및 파손가능성 분석", Proc. of the 39th KIEE Summer Conference 2008, pp. 2044~2045, 2008.07

[5] 정종욱, 정진수, 송길목, 김영석, 김선구, 임동훈, 유영태, 전용주, "유리애자 파손원인에 대한 고찰", Proc. of the 39th KIEE Summer Conference 2008, pp. 1201~1202, 2008.07