

초고압에폭시절연물의 기계적특성 고찰

양대일\*, 김덕수, 송원표, 진상용, 홍영기, 박태곤\*\*  
 \*(주)효성, \*\*창원대학교

A Study on the Mechanical Characteristics of Ultra High Voltage Epoxy Insulator

D.I. Yang\*, D.S. Kim, W.P. Song, S.Y. Jin, Y.G. Hong, T.K.Park\*\*  
 \*Hyosung Corporation, \*\*Changwon University

**Abstract** - 변전기기뿐만아니라 모든 제품에 대해서 신뢰성의 증대가 요구되는 요즘 당사에서는 에폭시절연물의 연구에 가일층 박차를 가하고있으며, 금번시험을 통하여 에폭시절연물의 성능검증방법이 향상되었음을 알게되었고 설계적인 측면에서 보완되어야할 사항이 무엇인가를 확인할수있었다.



그림 1. 잔류응력측정 피시험

1. 서 론

변전기기중 하나인 가스절연개폐장치(Gis Insulated Switchgear)용으로 사용되고있는 에폭시절연물에 대한 국내에서의 연구개발이 활발하게 진행되고있으며 그 설계기술 및 제작기술의 신뢰성이 상당히 고도화되어있고한다. 그러나, 산발적으로 발생되고있는 에폭시절연물의 불량으로인해 초고압변전소에서의 전력공급이 차질을 빚게됨으로써 업체로서는 크나큰 손실을 초래할 우려가 높은 것이 사실이다.이러한 불량요소의 내재여부를 설계 단계나 제작단계에서 검증하기란 쉬운일이 아니다. 당사에서는 에폭시절연물 특히 스페이서에 대하여 일반적인 성능시험이 아닌 단품(스페이서 자체)불량요소 및 제품이 취급되는 과정에서 발생할 수 있는 모든 경우의 수를 모의하여 직접시험으로 검증하여 설계상 및 제작상 발생할 수 에러를 최대한 줄여보고자 하였다.

상기와같은 취지에서 본 논문에서는 변전기기중 하나인 차단기용 에폭시절연물 특히 스페이서(SPACER)에 대한 제품품질을 검증하는 방법에 대한 전반적인 내용을 언급하고, 구체적으로는 기계적특성 및 전기적특성에 대한 성능고찰방안 및 시험방법, 시험결과에 대하여 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 기계적 특성시험

제품자체에 잔존하는 잔류응력측정시험, 제품의 취급시 발생할 수 있는 과대토오크시험, 제품취급상태에서의 하중시험(중심도체굽힘시험), 제품이 취부된 상태에서 가스주입시의 기화열에 대한 응력측정시험, 제품취부상태를 모의한 온도사이클시험, 압력상승에 대한 내압력시험(수압시험)에 대하여 모의시험하였으며 그 결과는 하기와같다.

2.1.1 잔류응력측정시험

단품제조공정 및 출하/운송공정, 최종조립과정에서 제품에 발생할 수 있는 응력에 대하여 측정하고자 하였으며, 측정결과를 하기의 식으로 나타낼수 있으며, 두 번의 실험으로 각각 재료의 허용인장강도 대비 9%와 10%의 값을 나타내었다.

$$\sigma(\text{주응력}) = E(\text{탄성계수}) \times \epsilon_{\max}(\text{주응력방향변위량})$$

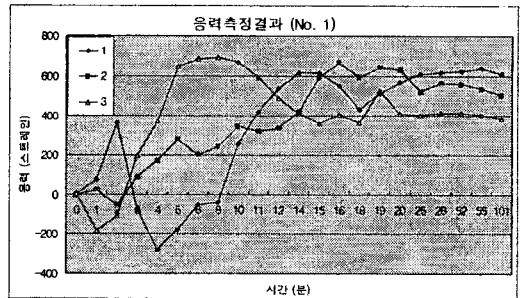


표 1. 잔류응력측정 결과

2.1.2 과대토오크시험

스페이서의 경우 취부과정에서 발생할 수 있는 과대인 토오크에 응력집중을 받을 수 있으므로 그러한 모의를 하기 그림2.와같은 방법으로 시험하였으며, 과대토오크는 기준치대비 160%~200%로 시험하여 표 2.에서 보는바와같이 재료허용인장강도대비 1.18%의 값을 나타내었다.



그림 2. 과대토오크시험

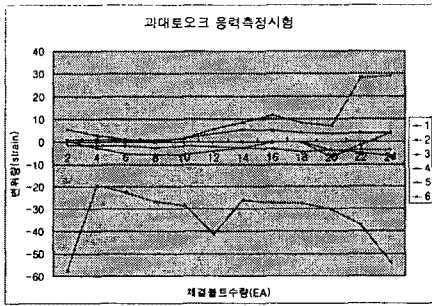


표 2. 과대토오크 충격측정 결과

### 2.1.3 중심도체모멘트 시험

제품이 조립되어 있는 상태에서의 하중에 대한 견디는 지 여부를 구조해석전용 프로그램을 통하여 그림 3, 그림 4와같이 해석하였으며, 그림 5와같은 방법으로 실검 증시험을 실시하였다.

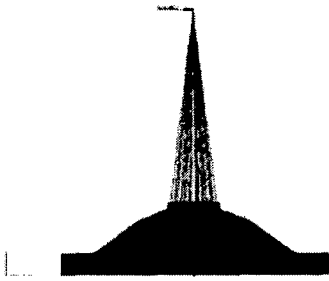


그림 3. 피시품에 작용하는 모멘트

해석결과 당사 하중조건(플랜지부 완전구속조건) 해석하였을때 재료허용강도의 약 2.57배의 안전율을 나타내었다.

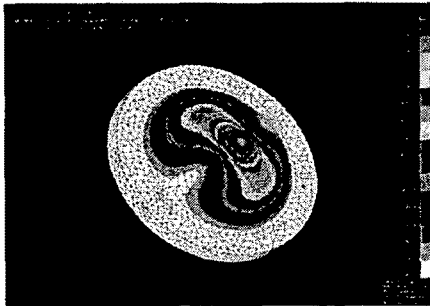


그림 4. 강도해석 결과

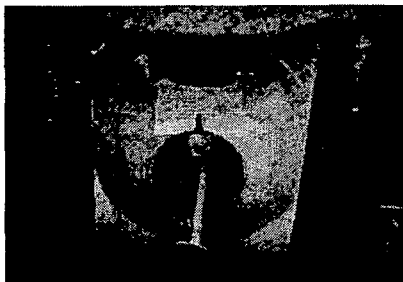


그림 5. 도체굽힘시험

### 2.1.4 기화열충격 시험

GIS 가스주입시 발생할 수 있는 기화열에 의한 충격 정도를 모의하여 시험하였으며, 가스분사시의 피시품온도를 열화상(적외선)카메라를 통하여 측정하였고, 응력 센서를 취부하여 충격력을 측정하였다. 센서는 하기 그림 6과같이 원주방향 및 반경방향으로 취부하였으며 가스분사시는 실주입시를 최대한 고려하여 시험하였다.

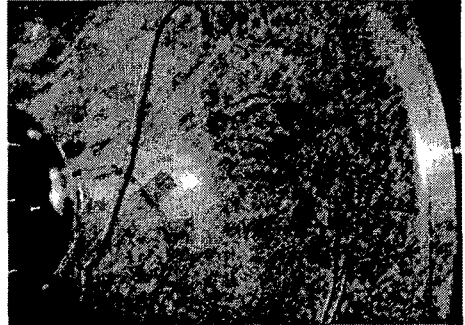


그림 6. 기화열 충격시험 센서취부도



그림 7. 기화열시험 온도분포도

기화열온도는 최초 16℃에서 -1℃까지 저하되는 변화를 보였으며, 응력측정값은 표 3.에서 보는바와같이 재료허용강도대비 33%의 결과를 나타내었다.

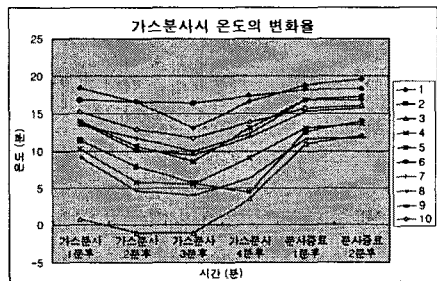


표 3. 기화열응력측정 결과

### 2.1.5 온도사이클 시험

GIS에 제품이 취부되어 사용되는 온도를 최대한 고려하여 실시한 시험이며, 본 시험은 모든시험의 기본이 되는 시험으로 그림 8.에서 보는바와같이 +90℃~-30℃로 각각 몇시간의 유지시간을 가지며 10회정도의 반복 주기를 갖는다. 본 제품 제조Maker에서의 시험을 보면 온도사이클시험을 기본으로하여 모든시험을 실시하였으며, 이 시험의 양 불량에 대해서는 타시험의 성능으로 판단하는 것이 주요하다고 생각된다.

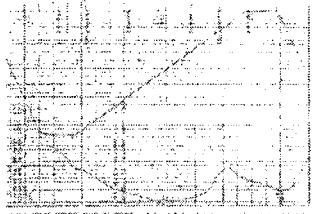


그림 8. 온도사이클시험 온도조건

제품이 GIS에 취부되는 상태를 최대한 고려하여 하기 그림 9.와같이 플랜지부를 적정도오크를 체결하여 응력을 받고있는 상태를 모의하여 시험하였다.

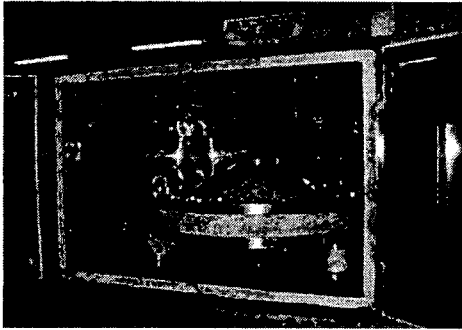


그림 9. 온도사이클시험

### 2.1.6 수압 시험

GIS에 제품이 취부된 상태에서 고장전류가 발생하면 탱크내부의 압력이 상승하게 되는데 그 값은 여러 가지 변수로 계산되어지며 각 업체마다 다를 수 있다. 이 압력상승을 고려한 시험이 수압내하중 및 수압과괴시험으로 앞의 압력상승계산값을 만족하여야한다. 하기 그림 10.과 같은 방법으로 시험을 실시하여 그 결과값을 얻게되는데, 본 성능은 제품의 재질 및 제조방법에 따라 그 차이를 현저하게 나타낸다.



그림 10. 수압시험

### 2.2 전기적 특성시험

GIS에 제품이 취부된 상태에서 각종 이물이 존재할 가능성을 배제할 수 없으므로 본 시험은 이물(특히 금속 이물)이 부착되었을때를 고려하여 실시한 시험으로 본 데이터는 당사 자체적으로도 매우 유용한 관리치로 사용되어진다.

제품에 부착된 이물의 위치는 그림 10.에서 보는바와 같으며, 이물(AI)의 크기는 폭0.2mm/길이10mm에서 폭1.5/길이20mm 로 원주방향으로 8개소에 부착하였다.

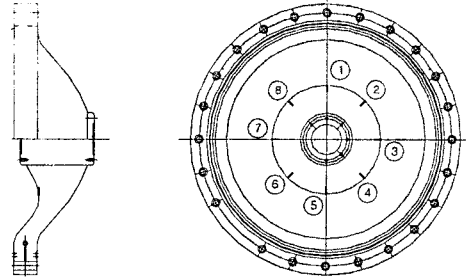


그림 11. 금속이물 취부위치

시험전압은 100kVrms씩 단계별로 상승시켰으며 F.O가 발생하면 F.O경로 확인한후 재인가하는 방식으로 진행하였다.

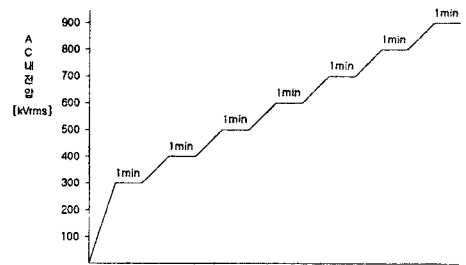


그림 12. 시험전압인가순서

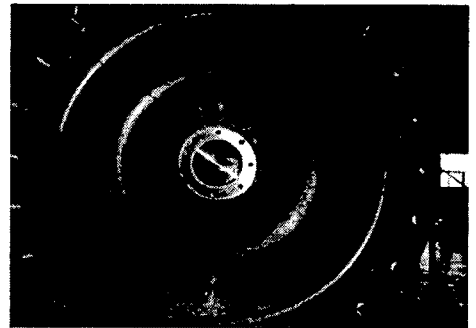


그림 13. F.O·경로확인

## 3. 결 론

일반적으로 예측시절연물의 성능검증방법은 각 메이커 별로 규정되어있거나, GIS의 일반적인 성능을 만족시키는 범위에서 결정되어진다고 본다. 이러한 결과를 낳기 위해서는 특수한 해석Tool을 사용하거나 제작상의 노하우를 가지고 있다면 가능할 것이라고 생각된다. 그러나, 그 검증방법에 있어서는 일반적인 검증방법을 고수하거나 조립/취부상의 불량요소를 배제한 상태에서의 검증방법이었다고 판단되어, 본 논문에서 제시한 검증시험을 추가적으로 고려한다면 신뢰성측면에서 한층더 확고한 성능을 지닌 제품이 될것이라고 여겨진다.

### [참 고 문 헌]

- (1) A.K.Chakrabarti et al, Free particle-initiated 60Hz breakdown at a spacer surface in a gas-insulated bus, IEEE Trans. on electrical Insulation, Vol. 24, No. 4, 549-560, 1989