

154kV급 Hollow Composite Insulator의 기계적 강도해석 및 특성시험

박기호, 조한구, 한동희
한국전기연구원

The Performance Test and Mechanical Strength Analysis for 154kV Hollow Composite Insulator

Ki-Ho Park, Han-Gu Cho, Dong-Hee Han
KERI

Abstract

This paper describes the results the problem of stress calculation and optimization into a FRP(Fiber-glass Reinforced Plastic) tube crimped into a metal end-fitting. This type of assembly is used mainly is used mainly for suspension and line post insulators.

Fitting strength of FRP and flange of this study is required greatly from composite insulator to important special quality. Therefore, wish to seek analysis and mechanical strength performance that follow to FRP tube and flange of top and bottom mechanical fitting.

Key Words : FRP, Mechanical strength, FEM, Hollow Composite insulator

1. 서론

산업의 급속한 발전에 따라 전력수요가 급증함에 따라 절연성능이 우수한 제품이 요구되어지고 있다. 국내의 경우 절연물은 배전급 정도의 제조기술을 확보하고 있을뿐 발·변전, 고속전철 및 송전용은 전량 일본 또는 선진국에서 수입에 의존하고 있는 실정이며, 그 수량은 매년 급격히 증가하는 추세이다.

발·변전용 154kV급 이상의 단로기의 대부분이 자기재 절연물 또는 Hollow Composite Insulator를 수입하여 대체하고 있는 실정이다. 현재 국내에서는 자기재 절연물의 문제점을 보완하여 개발된 고분자 절연물(Composite Insulator)을 부분적으로 수입하여 사용하고 있으며, 국내에서는 개발되어져 사용하고 있지는 않은 것으로 알려져 있다. 이에 본 연구에서는 수입대체를 위해 경량·소형화 및 절연특성이 뛰어난 단로기용 애자를개발한다^[4].

고분자 절연물에서 중요한 특성으로 FRP와 플랜지(Flange)의 압착강도(Fitting strength)가 크게 요구되어진다. 따라서 FRP와 상하부 플랜지의 압착에 따른 기계적강도를 해석 및 시험을 통하여 체적화하여 우수한 절연특성과 고강도, 경량화 되어진 제품을 개발하고 한다.

2. 기계적 강도시험

2.1. 인장강도

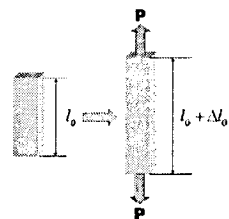


그림 1. 인장강도 시험

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

인장강도, 연신율, 단면수축률, 항복점 등은 기계 재료의 성질을 규명하는 중요한 자료이며, 응력과 연신율의 관계를 나타내는 선도는 재료의 변형특성을 나타내는데 꼭 필요한 요소다. 인장시험은 이러한 자료를 얻기 위하여 행해지는 가장 기초적인 실험이다.

2.2. 굽힘강도

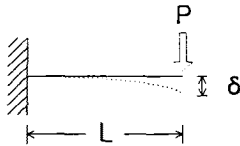


그림 2. 굽힘강도 시험

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

외팔보(Cantilever)의 처짐과 해석식 (1)

P : 하중 (=항복점에 도달 했을때의 하중),

δ = 처짐량, L = 시편길이

(1) 식으로부터 외팔보의 굽힘시험의 변수는 시편의 길이, 재료의 특성 및 하중에 영향을 받는다.

2.3. 비틀림강도

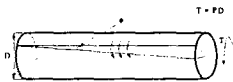


그림 3. 비틀림강도 시험

T = PD 인 우력(twisting moment, torque)을 작용시키면 축은 비틀림(torsion)을 발생한다.

축이 비틀림을 받으면 축선에 수직인 임의의 2개 단면은 상대적으로 회전한다.

- ① 축선에 수직인 원형단면축의 횡단면은 비틀림에 변형한 후에도 평면을 유지한다.
- ② 변형 전에 횡단면상의 반지름은 변형 후에도 직선이고 반지름이다.
- ③ 2개 횡단면상의 반지름은 비틀림에 의하여

상대적으로 회전하고, 그 상대적 회전각은 2면간의 거리에 비례한다.

T : 토오크(torque) GI_p : 비틀림 강성계수

AE : 종강성계수 A : 단면적 τ : 전단강도

I_p : 극관성 모우멘트 GI_p : 비틀림의 강성계수

$$T = \int_A \tau r dA = \int_A G\theta r^2 dA = G\theta \int_A r^2 dA = G\theta I_p$$

원형단면의 극관성 모우멘트는 지름 d의 원에 대

하여 $I_p = \frac{\pi d^4}{32}$ 이므로

$$T = G\theta \frac{\pi d^4}{32}$$

$$\theta = \frac{T}{GI_p} = \frac{32T}{G\pi d^4}$$

비틀림 측정시 비틀림 T(torque)를 가하였을 때 나타나는 전단강도인 τ 를 구하는 것이다.

여기서 가해지는 T는 kgf·m로 나타내며 비틀림 강도에 해당된다.

2.4. 기계적강도 시험용 Zig 형상

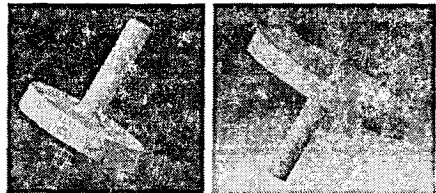


그림 4. 인장강도 시험용 상하부 Zig

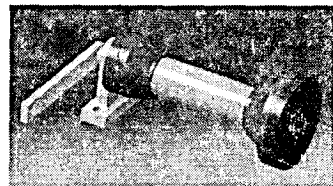


그림 5. 비틀림강도 시험용 Zig

그림 4, 5는 각 시험에 사용되어질 지그의 형상을 모의하여 본 것으로 상하부 플랜지에 체결이 용이하며 금속재질은 SCM 440을 선정하여 각 부분의 형상은 선반 및 밀링가공을 하여, 열처리는 렌칭하다.

2.5. FEA(Finite Element Analysis)

물성치는 문헌을 참고^[1]하였으며, 표 1과 같다.

표 1. 재료의 물성치

재 료	물 성 치
FRP Tube (Glass fiber)	Vf : 45 (Volume fraction) E _t : 38.6 GPa E _r : 8.27 GPa G _{tr} : 4.14 GPa ν _{tr} : 0.26
상하부 플랜지	E : 70 GPa G : 26 GPa ν : 0.25

위의 물성값을 대입하여 유한요소해석을 통하여 최적조건을 고려한 요구되는 기계적강도를 만족하는 우수한 FRP를 제작하였으며, 유한요소해석은 MSC. Nastran을 사용하여 수행하였다.

2차원 축대칭에 따른 방정식을 이용하여 모델링을 하였으며, 요소(2724), 절점(5887)로서 하부 Flange를 구속한 후 상부 플랜지에 압력을 58.082kgf/cm²을 가한 경우를 모의하였다.

상하부 Flange와 FRP의 접착부분은 각 절점(node)를 연결되어진 상태로 만든 후 인장 및 굽힘 하중을 요소 또는 절점에 부가하여 절점의 변위, 응력, 변형률 등의 결과치를 수치적인 근사화를 통해 얻어낸다.

3. 결과 및 고찰

3.1 FEM Analysis^[2]

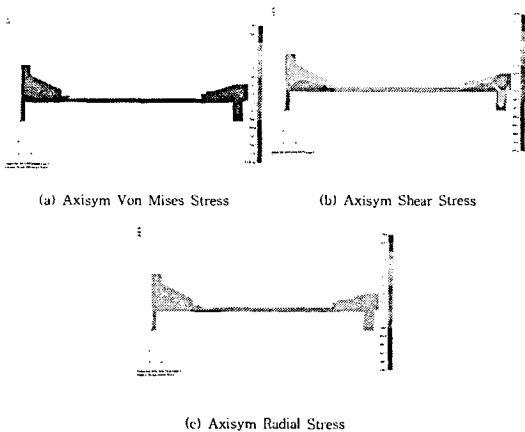


그림 6. Flexural Stress Analysis

그림 6은 굽힘강도를 축대칭으로 해석한 것을 Von Mises, Shear, Radial Stress방법에 따라서 살펴본 것으로 하부 Flange와 FRP 부분에서 Shear Stress가 크게 발생하며, 전체적인 변위 양상에서도 Flange와 FRP의 접점에서 큰 응력이 집중되어진다.

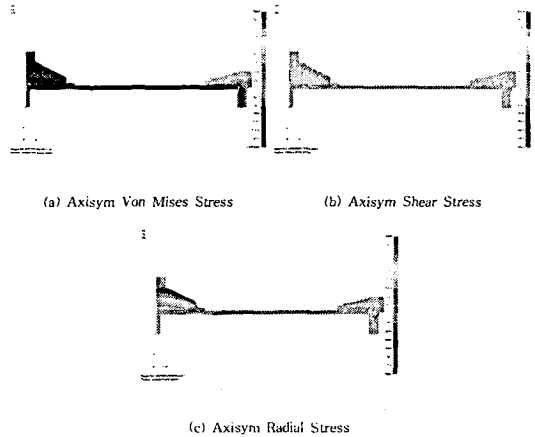


그림 7. Tensile Stress Analysis

그림 7은 Tensile Stress의 해석되어진 양상을 보여주고 있는 것으로 상부 Flange에 인장하중을 가하였으나 하중에 따른 응력분포는 하부 Flange와 FRP 부분에서 Shear 및 Radial Stress가 크게 발생하며, 전체적인 응력분포 또한 높게 발생하는 것을 알 수 있다.

3.2. 인장과 비틀림 시험

본 시험은 고분자 절연물의 상하부 플랜지와 FRP 튜브의 접착강도에 관한 시험으로서 시험의 기본 자료는 표 2의 IEC 60273 (Characteristics of indoor and outdoor post insulators)의 규격^[3]에 준하여 시험을 하였다.

표 2. IEC 60273 규격

항 목	특 성 치
Cantialver Upright	650kgf(6,500N)
Tension	8,000kgf(80,000N)
Torsion	500kgf · m(5,000N · m)

4. 결론

이상과 같이 본 연구에서는 고분자 절연물의 상하부 플랜지와 FRP의 계면접착에 따른 기계적강도 해석 및 시험을 통하여 그 특성을 검증하여 본 결과 다음과 같다.

1. 굽힘과 인장응력에 대해 해석되어진 양상을 통하여 상부 플랜지에 굽힘과 인장하중을 가한 결과 응력분포는 하부 플랜지와 FRP 부분에서 Shear 및 Radial Stress가 크게 발생하였다.
2. 고분자 절연물의 인장강도 및 비틀림 시험에서 FRP와 플랜지의 계면접착에 따른 시험결과를 보여주고 있는 것으로 인장, 비틀림강도가 각각 12,450kgf, 770kgf·m 이상 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 규정치의 1.5배 이상의 값을 나타내고 있다.

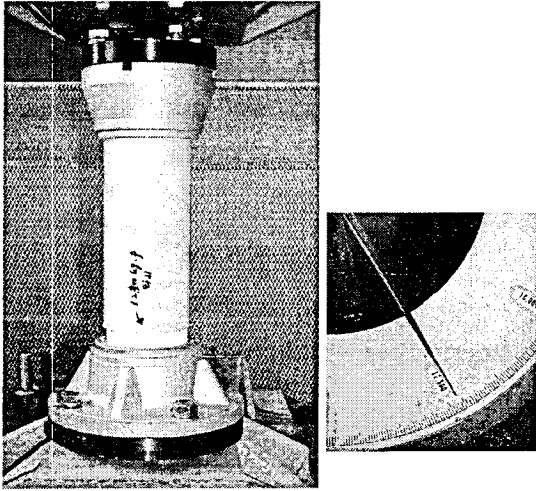


그림 8. 인장시험 및 시험 후 측정치

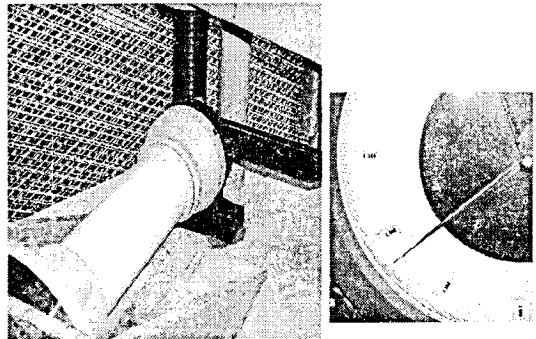


그림 9. 비틀림 시험 및 시험 후 측정치

그림 8은 고분자 절연물의 인장강도 시험에서 FRP와 플랜지의 계면접착에 따른 시험결과를 보여주고 있는 것으로 인장파괴가 12,450kg에서 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 규정치의 1.5배 이상의 값을 나타내고 있다.

그림 9는 시험용 시료의 하중변위 거리가 200mm로서 3,850kgf에서 시험용 지그가 손상되었으나, 비틀림 시험용 시료에서는 초기상태를 그대로 유지함에 따라 그 이상의 값인 것으로 사료되며, Span 길이에 따라 비틀림 강도를 계산한 결과 770kgf·m 이상으로서 기준치를 충분히 유지함을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] R.P. Brown, "Handbook of plastics test methods(3rd edition)", pp139-151, Longman science & Technical, 1988.
- [2] C Zweben, H.T. Hahn, Tsu-Wei Chou, "Méchanical Behavior and Properties of Composite Materials" Vol 1, Technimic.
- [3] "Characteristics of indoor and outdoor post insulators for systems with nominal voltages greater than 1000V" IEC 60273.
- [4] T. Nakayama, Y. Fukami, M. Kirii, Y. Utsumi and M. Soga, "Development of Polymeric Hollow-Core Insulators", NGK Review, No. 58, 1999.