

## 좌립형 폴리머 지지애자의 기계적 강도 해석

### Mechanical Strength Analysis of Station Type Polymer Insulator

조 한 구 · 박 기 호 · 한 동 회\*

한국전기연구소\*

H.G. Cho · K.H. Park · D.H. Han\*

#### Abstract

FRP has been used very much as high strength core materials for insulators because of its high strength and good insulation properties. In this study cantilever, tension and torsion stress were simulation along to the unidirection glass fiber. In addition, FRP was made by pultrusion method.

This paper proposed the procedure of the finite element model updating and pretest using the commerical finite element code MSC.Nastran. To ehance the efficiency of experimental modal analysis, we proposed the process which is the selection of the locations and the number of measurement points for pre-test.

**Key Wards(중요용어)** : Station, Insulator, Torsion, FRP, Finite Element Analysis

#### 1. 서 론

최근 산업의 급속한 발전으로 인하여 다양한 전력 수요의 급증에 따라 절연성능에 대한 새로운 관심과 기존 절연재료보다 절연특성이 우수한 고분자 복합 재료를 개발하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

종래의 전기절연물의 주류를 이루고 있는 자기재 들은 사용상의 문제점인 고중량, 대형화, 미약한 충격에도 크랙이나 파괴가 항상 야기되어 오고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 개량 발전할 수 있으며 경량, 소형화 및 우수한 절연특성 등을 기대할 수 있는 고분자 복합재료의 개발이 많은 전기재료에 요구되고 있다.

기존 좌립형 지지애자에 사용중인 자기애자의 특성보다 우수하고 경량 및 소형화 된 새로운 지지애 자 개발의 필요성에 의하여 섬유강화 복합재료를 사용한 인발(Pultrusion) 성형된 FRP 봉을 사용하였다.

기계적 특성(굽힘, 인장, 비틀림강도) 및 전기적특 성이 우수한 제품을 개발하기 위한 일환으로 고강도 섬유강화 복합재료를 사용하여 지지애자에 중요한 부분은 기계적 특성이 특히 중요한 문제점으로 대두 되고 있는 실정이다<sup>1)</sup>.

본 연구는 이론적 방법을 현장에서 적용하기 어려 움 때문에 대부분의 연구들은 실험적 방법에 의존하 여 복합재료 구조요소의 기계적 특성을 예측하여 이 론적 해석으로 제공하는 실정이다. 그러므로 고강도 FRP 봉의 개발을 위하여 실 구조물로서 사용시 문제점을 미리 예측하여 보완하기 위한 목적으로 시뮬 레이션을 통한 해석을 시행하였다.

\* 한국전기연구소

(경남 창원시 성주동 28-1 한국전기연구소)

Fax: 055-280-1590

E-mail : hgcho@keri.re.kr

## 2. 재료 및 실험방법

### 2.1 기계적·전기적 특성

FRP Rod는 인발 성형된 사용하여 제작된 Glass Forms(주)의 제품을 사용하기로 하였다. 전기적 재료에 사용되는 기본적 문제점을 우수하게 통과한 제품을 사용하였다<sup>2)</sup>.

기존의 금구 및 애자의 길이는 설계상의 기준을 그대로 채용하였으며, 개선가능한 자기부의 기계적 특성 및 전기적특성을 하기로 하였다.

표 1. 애자의 기계적·전기적 특성

구분	주요 내용	비고
전기적 특성	최소누설거리 : 4,390mm 상용주파 건조 내전압 : 410kV 상용주파 내주수 내전압 : 325kV 뇌임펄스 내전압 : 750kV	
기계적 특성	인장강도 : 80,000N 굽힘강도 : 6,500N 비틀림강도 : 5,000N·m	
크기	직선길이 : 1,700±2.5mm → 설계 조건(오손될도 등) 최소누설거리 : 4,390mm → 설계 조건(설계의 다양성)	

표 1에서 알 수 있는 바와같이 기본적으로 요구되는 기계적·전기적 특성은 IEC C6-750 규격에 준하여 설계를 만족하는 것으로 한다.

지지애자에서 문제가 되는 기계적 강도 특징으로는 인장, 굽힘, 비틀림강도가 있으며, 특히 비틀림강도는 고분자 복합재료의 취약한 약점으로 나타나고 있다. 복합재료는 이방성 재료의 특성상 비틀림강도가 상당히 약한 단점이 있으므로 요구되는 강도를 유지하기 위해서 FRP 봉의 형상이 확대되는 효과를 요구하게 되는 문제가 발생한다. 하지만 봉의 직경이 커지면 상대적으로 양쪽 끝단의 Fitting을 하는 문제점이 부각되어진다. 직경이 커지므로서 금구 및 외피 절연고무의 양이 반지름의 제곱에 비례하여 증가하는 결과를 가진다.

그러므로 지지애자의 기계적 강도를 충분히 견딜 수 있는 고강도 FRP 제조기술의 개발 및 Fitting의 방법을 새롭게 개발하여야 할 것으로 생각되어진다.

### 2.2 FRP 제조공정

Pultrusion(인발성형)은 막대, 파이프 등 단면형상이 일정한 긴 성형품을 대량생산하는데 적당한 성형

방법이다<sup>3)</sup>. 상업적 규모로 생산되고 있는 성형품에는 주로 유리섬유 Roving, Mat, 이들을 조합시킨 것 등 또 매트릭스 수지로서 불포화폴리에스테르 수지, 비닐에스테르 수지 등이 사용되고 있다. 섬유함유율은 35~75vol.% 정도이다.

### 2.3 형상설계

자기 포스트 애자의 경우 4410mm의 누설거리, 상부애자 갓수는 12 하부애자 갓수는 13이다.

그림 1은 모델형상을 전기적 특성을 고려하여 설계된 도면의 형상을 나타낸 것이며, 그림 2는 FRP 봉의 형상 및 Shed부분의 형상을 3차원적으로 나타낸 것이다. 특히 금구의 형상은 봉의 압착부분을 새로운 형태를 추구하는 목적으로 두 개 형태로 분리한 상태이다. 그림에서 알 수 있듯이 봉의 압착부분 및 금구 지지부를 분할한 상태를 보이고 있다.

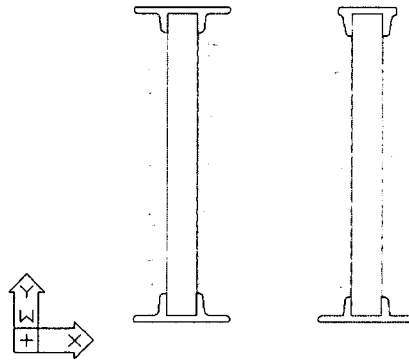


그림 1. 모델형상

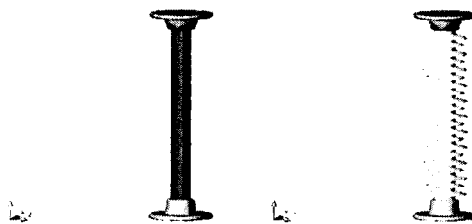


그림 2. FRP 봉, 금구 및 Shed부분 형상

## 3 기계적강도 예측

### 3.1 이론적 해석

비틀림강도에 따른 기본식을 나타낸 것으로 다음

과 같다.

$$\tau = \frac{T}{Z_p} \quad \text{또는} \quad T = \tau Z_p \quad (1)$$

$$Z_p = \frac{\pi}{16} d^3 \quad (2)$$

(1)식에 (2)식을 대입하면 아래와 같다.

$$Z_p = \frac{\pi}{16} d^3 \tau \quad (3)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi} \frac{T}{\tau}} \quad (4)$$

여기서  $\tau$  : 축의 비틀림응력(kg/mm<sup>2</sup>)

$Z_p$  : 전단단면계수(mm<sup>3</sup>)

$d$  : 축의 지름(mm)라고 하면,

따라서 위 (4)식에 따라서 FRP Rod의 직경을 구할 수 있다.

그림 3은 안전율을 고려한 FRP 봉의 직경을 나타낸 것으로 안전율 2로 고려한 상태에서 봉의 직경을 80mm로 정하였다.

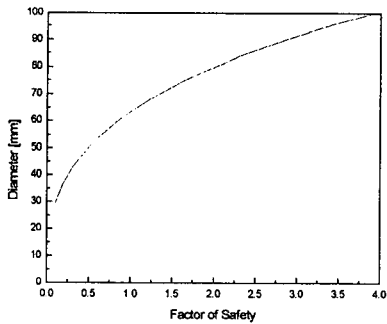


그림 3. 안전율에 따른 FRP 봉의 직경

### 3.2 유한요소 해석

물성치<sup>5)</sup>는 Text를 참고하였으며, 표 2와 같다.

표 2. 재료의 물성치

재 료	물 성 치
FRP Rod (Glass fiber)	Vf : 60 (Volume fraction)
	E <sub>t</sub> : 45 GPa E <sub>r</sub> : 12 GPa
	G <sub>lt</sub> : 5.5 GPa ν <sub>lt</sub> : 0.28
금 구	E : 18.3 GPa G : 7.8 GPa ν : 0.17

위의 물성값을 대입하여 유한요소해석을 통하여

최적조건을 고려한 요구되는 기계적강도를 만족하는 우수한 FRP Rod의 구하기로 하였다. 유한요소해석은 MSC. Nastran을 사용하여 수행하였다.

유한요소해석(FEA; Finite Element Analysis)이란 구조물내의 무한개의 미지수점들을 유한개의 이산화된 위치들을 절점(node)으로 나타내고, 이들간에 서로 유기적인 관계를 맺어주는 요소(element)를 이용하여 전체 구조물이나 실제의 물리적 시스템을 절점들의 변위를 미지수로 하는 연립방정식으로 나타내고, 이를 계산하여 각 절점에서의 변위를 구함으로써 구조물 내의 임의의 점에서의 변위, 응력, 변형률 등의 결과치를 수치적인 근사화를 통해 얻어내는 것을 말한다.

수치해석시 FRP Rod의 직경을 80mm로 하고 전체를 모델링 하였으며, 두가지의 Fitting 방법<sup>4)</sup>을 사용하여 인장, 굽힘 및 비틀림 해석을 하였다. Rod의 한쪽단을 고정한다고 가정하여 반대쪽 단에 인장강도, 굽힘강도 및 토크(T)를 가하였을 때 나타나는 값을 상호비교 검토하였다<sup>4)</sup>.

### 4. 결과 및 고찰

해석결과는 다음의 그림과 같다

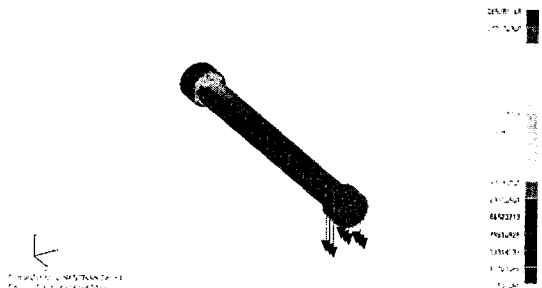


그림 4. 굽힘강도 해석치

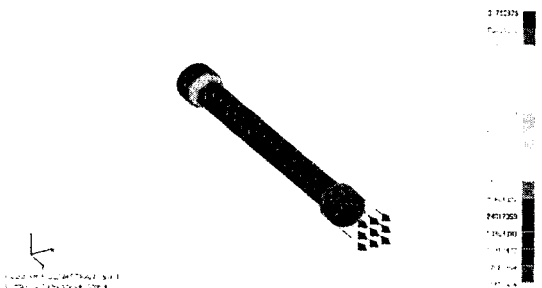


그림 5. 인장강도 해석치

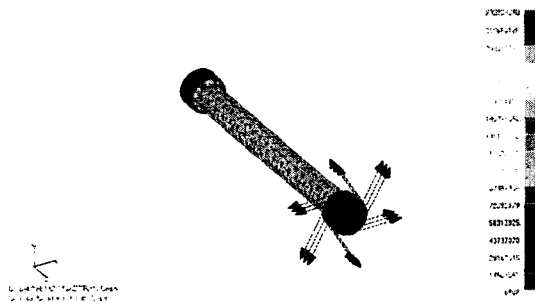


그림 6. 비틀림강도 해석치

위의 그림에서 보는 바와같이 총 요소수는 2190개, 절점수는 4410개로 구성되어 해석을 하였다. 금구의 한쪽단을 고정하고 반대쪽 금구에 하중 및 토크를 인가하여 다음과 같은 해석치를 구하였다.

그림 4와 금구의 하단으로 하중을 가하였을 때 나타나는 응력을 나타낸 것으로서 응력은 하중을 가한 반대쪽 금구와 FRP Rod의 결합부위에서 집중응력이 분산되어 나타내는 양상을 보이고 있음을 알 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 균형응력은 최대 266MPa정도의 값을 나타내고 있다.

그림 5는 인장하중시 해석치를 나타낸 것으로서 최대 인장응력은 92MPa가 됨을 알 수 있으며, 유리섬유강화 복합재료의 인장응력보다 낮은 응력을 가지므로 사용가능함을 알 수 있다

그림 6은 비틀림강도 해석치를 나타낸 것으로서 233MPa의 응력이 국부적으로 금구에 집중되는 양상을 나타내고 있음을 알 수 있다. 금구에 집중된 응력은 Fitting의 방법을 개선하여 응력의 분산을 유도하는 방법임 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구의 결과를 비교 검토하면 다음과 같다.

이론식에 따른 안전율은 고려한 FRP 봉의 직경을 나타낸 것으로 안전율 2로 고려한 상태에서 봉의 직경을 80mm로 정하였다.

금구의 하단으로 하중을 가하였을 때 나타나는 응력을 나타낸 것으로서 응력은 하중을 가한 반대쪽 금구와 FRP Rod의 결합부위에서 집중응력이 분산되어 나타내는 양상을 보이고 있음을 알 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 균형응력은 최대 266MPa정도의 값을 나타내고 있다.

인장하중시 해석치를 나타낸 것으로서 최대 인장 응력은 92MPa가 됨을 알 수 있으며, 유리섬유강화 복합재료의 인장응력보다 낮은 응력을 가지므로 사용가능함을 알 수 있다

비틀림강도 해석치를 나타낸 것으로서 233MPa의 응력이 국부적으로 금구에 집중되는 양상을 나타내고 있음을 알 수 있다. 금구에 집중된 응력은 Fitting의 방법을 개선하여 응력의 분산을 유도하는 방법임 알 수 있다.

## 참고 문헌

- [1]. R.P. Brown, "Handbook of plastics test methods(3rd edition)", pp139-151, Longman science & Technical, 1988.
- [2]. M.R. Winsnom, "Statistical aspects of failure of fiber-reinforced composite" Proc Instn Mech Engrs, Vol. 212 Part G, pp189-192, 1997.
- [3]. 고영신, 김복희 외 3, "복합재료", 반도출판사, pp257-271, 1994.
- [4]. P.K. Mallick, "Fiber-Reinforced Composites", Marcel Dekker, pp391-394.
- [5]. C Zweben, H.T. Hahn, Tsu-Wei Chou, "Mechanical Behavior and Properties of Composite Materials" Vol 1, Technomic.