

배전용 FRP전주의 기계적 및 환경성능

Mechanical and Environment Ability of FRP Pole for a Distribution Line

박 기 호 · 조 한 구 · 한 동 희* · 이 용 선** · 송 일 근***

한국전기연구소* · 오리엔탈공업(주)** · 한국전력연구원***

K.H. Park · H.G. Cho · D.H. Han* · U.S. Lee** · I.K. Song***

Abstract

In this study mechanical and environment ability of FRP pole for a distribution line about high strength and good insulation properties. The basic filament winding process creates a helical winding pattern. In Mechanical analysis of splice with mechanical fastened joint it is important to evaluate a critical load of faster having maximum stress.

It is also present a result of several examples to compare this with analytical one. On repair design this finite element method will be used as basis.

The influence of environmental factors, such as elevated temperatures, high humidity, and corrosive fluids, and ultraviolet(UV) rays, upon the performance of polymeric matrix composite is of concern in many applications.

Key Words(중요용어) : Environment, Distribution line, FRP Pole, Composite pole, ultraviolet(UV)

1. 서 론

최근 산업 및 경제의 급속한 발달로 인하여 도심지, 도로외곽, 산간지역 등에 많은 송전 및 배전용 전주가 설치되어 자연미관을 해치는 일이 발생하고 있다. 이러한 자연환경에 피해를 주는 전주의 문제점을 보완할 수 있는 새로운 전주의 개발이 시급하게 요구되고 있는 실정이다.

공원이나 도심지역에는 형상과 색채를 고려한 강관주가 사용되고 있으나 유지비 및 설치가 용이하지 않은 단점이 있으며, 산림이나 자연경관이 좋은 시골 외곽도로에는 설치 유지보수가 용이하고 자연경관을 해손하지 않는 환경친화적인 새로운 전주의 개

발로 섬유강화 복합재료(FRP)를 사용한 전주가 매우 우수하다고 생각되어진다.

복합재료는 두 종류 이상의 소재를 복합하여 성능을 개선한 것으로 강도, 탄성율, 내식성, 피로특성, 충격특성, 흡음성 및 절연성 등이 있으며, 이 중에서 특히 신소재로서의 복합재료가 갖는 가장 중요한 특성은 경량, 고강도 및 절연성이 우수하다¹⁾.

그 중 유리섬유 강화복합재료(GFRP : Glass Fiber Reinforced Plastic)는 전기적, 기계적, 화학적으로 우수한 특성을 갖는다. 우수한 전기 절연성능, 기계적 특성 및 화학적 안정성 때문에 각종 전기 절연분야에서 사용이 급증하고 있으며, 첨단 우주항공 산업분야에 이르기까지 그 응용분야를 급격하게 확대하고 있다.

FRP 전주는 기계적 강도 및 절연성능이 우수하여 성형조건을 충족시킬 수 있는 성형설비인 필라멘트 와인딩(Filament winding)을 사용한다면 국산화

* 한국전기연구소
(경남 창원시 성주동 28-1 한국전기연구소)
Fax: 055-280-1590
E-mail : delta3@hanmail.net

된 우수한 FRP 전주를 생산하여 자연환경 및 전력 배분의 효율성을 극대화할 것으로 사료된다²⁾.

2. 재료 및 실험방법

2.1 재료

실험에 사용된 시편은 E-Glass 섬유와 범용 복합 재료 기지재료인 불포화 폴리에스테르 수지 (unsaturated polyester, UPE)를 사용한 필라멘트 와인딩(Filament winding) 공법으로 제작하였으며, 옥외 지지물로 사용되는 점을 고려하여 내후성이 우수한 수지를 선정하였다. 실험의 비교를 위해 수입된 FRP 전주의 샘플을 채취하여 자외선 열화특성 및 기계적 특성을 상호비교 검토하였다.

2.2 자외선 열화특성

절연물에 사용되는 섬유강화 복합재료의 가속열화에 따른 표면특성을 평가하는 것은 중요하다. 일반적으로 고분자 재료의 분자쇄를 절단하기 위해서는 분자에 활성화 에너지를 공급해야 한다. Avogadro 수와 같은 개수의 광양자 에너지 E와 파장 λ(cm)와의 관계는 다음 식과 같다.

$$E = \left(\frac{hc}{\lambda} \right) \quad (1)$$

여기서, h는 plank정수(6.62×10⁻²⁷ erg.sec), c는 광속도(3×10¹⁰ cm/sec), N은 Avogadro수로 표시된다. 파장 350 nm의 경우 E는 82 kcal이며 화학결합 에너지를 고려하여 열화를 발생시킬 수 있는 효과를 가진 파장은 대개 350 nm이하임을 알 수 있다³⁾.

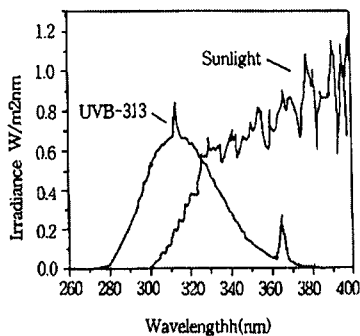


그림 1. UV CON 가속열화장치의 분광분포

그림 1에서 보듯바와 같이 313 nm에서 0.8W/m²을 나타내므로 UV CON의 경우가 태양광에 포함되지 않는 자외선 에너지의 양이 많으므로 시료의 열화에 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다.

표 1. UV CON 가속열화조건

실험방법	UV	Condensation
Cycle	8 Hr	4 Hr
Temperature	70 ℃	50 ℃
Peak emission (irradiance)	313 nm (0.8 W/m ²)	

2.3 기계적 특성

FRP 전주에서는 기존의 전주에 사용되는 스텝볼트(Step Bolt)를 사용하기가 용이하지 않다. 그러므로 FRP 전주에 드릴링 작업을 한 후 그림 2와 같은 볼트를 체결한 후 발판을 끼우는 방식의 스텝볼트가 주로 이용된다.

그림과 같이 스텝볼트를 실사용 상태 또는 이와 유사한 상태로 부착하여 축심에 대한 직각방향으로 150kg의 하중을 1분간 가하여 이상(미끄러짐, 균열, 휨)이 없어야 한다. 기계적 강도에 따른 핀 베어링강도에 문제를 생각하지 않을 수 없는 상태를 알 수 있다.

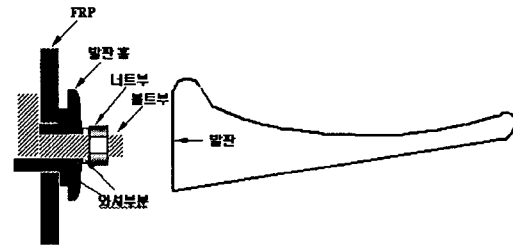


그림 2. 스텝볼트의 개략도

핀 베어링강도(σ_b)⁴⁾는 일반적인 재료에 있어서 구멍의 순단면(net section)의 파괴를 위해 요구되는 인장하중은 구멍이 없는 전체단면(gross section)에 걸리는 하중에 비하여 작다.

구멍이 있는 경우 파괴응력 σ_N 은 식(2)과 같고, 구멍이 없는 경우의 전체단면에서의 파괴응력 σ_G 은 식(2)와 같다.

$$\sigma_N = \frac{P}{(w-d)t} \quad (2)$$

$$\sigma_G = \frac{P}{wt} \quad (3)$$

여기서 P는 파괴하중, w는 시험편 폭, d는 핀 구멍의 지름, t는 시험편의 두께이다.

이들 단면에서 작용한 인장강도 효율을 순단면 혹은 전체단면에서의 응력집중의 평균 형태로 표현하면 다음 두 식과 같다.

$$k_N = \frac{\sigma_\infty}{\sigma_N} \quad (4)$$

$$k_G = \frac{\sigma_\infty}{\sigma_G} \quad (5)$$

여기서 k_N 은 순단면의 인장강도 효율, k_G 는 전체단면의 인장강도 효율이고, σ_∞ 는 재료의 이론적 인장강도이다.

한편 구멍에서의 핀 베어링은 구멍 둘레의 절반에서 하중을 받으며 하중을 받는 부분에서는 압축응력이 발생한다. 그러므로 실제적인 설계에 있어서 핀 베어링강도(σ_b)는 대개 구멍의 횡단면에 대해 일정하게 작용하는 평균 설계응력으로 표현하며 식(6)과 같다.

$$\sigma_b = \frac{P}{dt} \quad (6)$$

2.4 유한요소 해석

물성치⁵⁾는 아래와 같다.

표 1. 재료의 물성치

재 료	물 성 치
Filament winding (Glass fiber)	Vf : 70 (Volume fraction) E : 20 GPa G : 15 GPa
Step Bolt	E : 21 GPa G : 1.83 GPa ν : 0.28

스텝볼트 및 섬유강화 복합재료의 물성치는 표 1과 같으며, 물성치를 대입 후 최적조건을 고려한 기계적 강도를 예측하기 위하여 NASTRAN을 사용하였으며⁶⁾, 실 구조물로서 사용시 문제점을 미리 예측하여 보완하기 위한 목적으로 해석을 시행하였다.

3. 결과 및 고찰

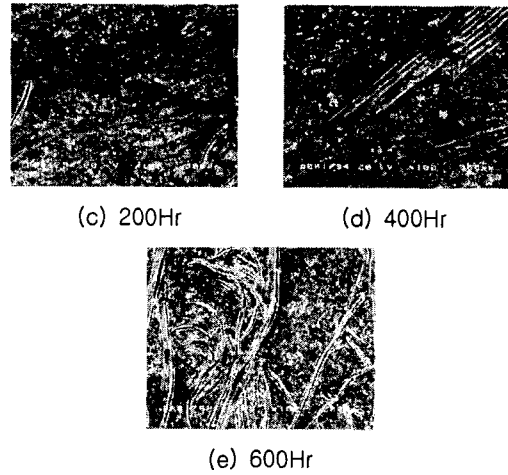
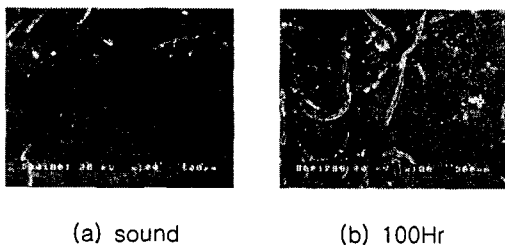


그림 3. 시간에 따른 UV 열화된 국내 샘플

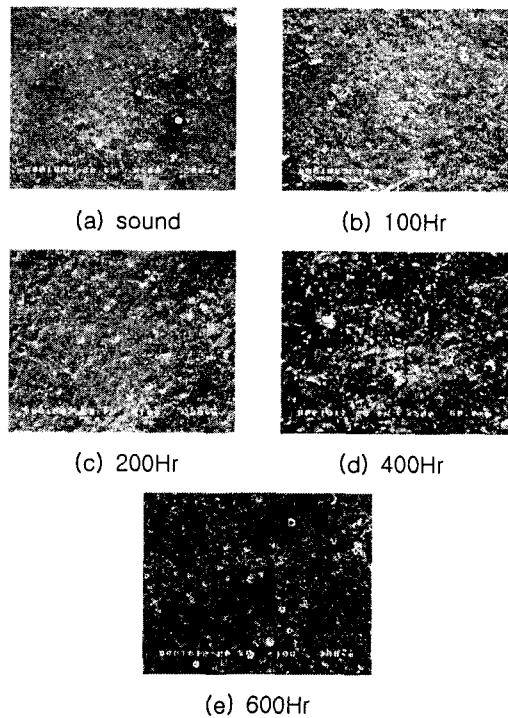


그림 4. 시간에 따른 UV 열화된 수입샘플

그림 3과 4는 UV-CON 열화에 따른 FRP 표면상태를 SEM으로 관찰한 것이다. 그림 3에서 보는 바와같이 표면에 내후성 도료가 코팅되지 않은 국내샘플에서는 건전시편 (a)보다 열화시편((b)~(e))의 표면상태가 시간이 경과함에 따라서 수지의 열화로 인하여 표면에 섬유가 도출되고 크랙이 생기는 현상을

볼 수 있다.

그림 4는 자외선 차단제가 다량 함유된 내후성 도료를 표면층에 두텁게 코팅한 수입생품의 표면열화 상태를 살펴본 것으로서 UV 열화시간이 경과함에 따라 표면이 조금씩 열화되는 양상을 보이고 있으나 내부의 유리섬유가 드러나거나 크랙이 생기는 현상은 일어나지 않음을 알 수 있다.

이것은 내후성 도료가 표면층을 두텁게 코팅하고 있으므로 UV를 차단하는 역할 및 표면 크랙 발생을 방지하는 것임을 알 수 있다.

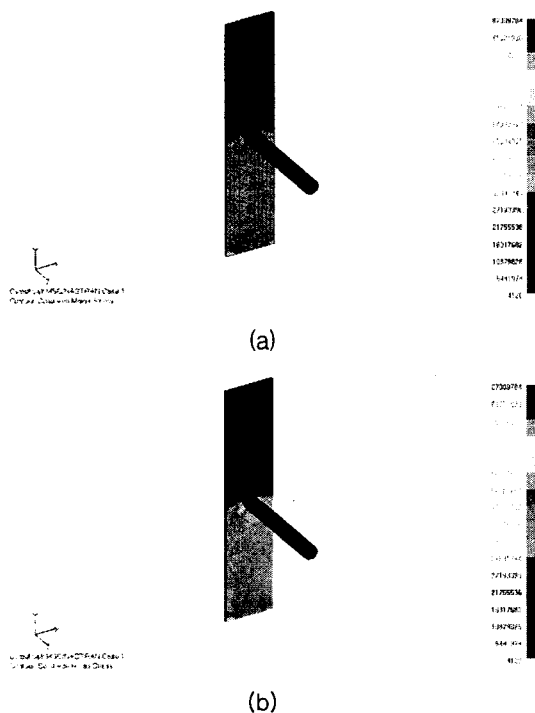


그림 5. 스텝볼트의 핀강도 해석

스텝볼트의 체결을 위해 직경은 30mm로 홀을 뚫고 핀을 삽입한 후 핀의 하단방향으로 150kg정도 하중을 가하였을 때 FRP 판의 Pin Stress를 해석한 결과 다음과 같다.

그림 5에서 보는 바와같이 총 요소수는 4265개, 절정수는 9022개로 구성하여 해석을 하였다. 해석상 효율성을 위해 Filament Winding한 Pole의 일부분을 축소된 모델형으로 하였다.

그림 5는 Von Mises 응력설에 입각하여 핀의 neck 부위로 압축 및 인장응력에 의해 neck 주위로 응력이 집중되는 양상을 보여주고 있음을 알 수 있다. 스텝볼트 부분에 하중이 하단으로 작용할 때

는 핀과 FRP 판 접합부에서 국부적으로 응력이 최대 37MPa 정도의 값으로 집중되는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

배전용 FRP전주에 사용될 제품의 내후성 및 기계적 특성을 알아 본 결과 다음과 같다.

표면에 내후성 도료가 코팅되지 않은 국내생품에서는 표면상태가 시간이 경과함에 따라서 수지의 열화로 인하여 표면에 섬유가 도출되고 크랙이 생기는 현상을 볼 수 있다..

자외선 차단제가 다량 함유된 내후성 도료를 표면층에 두텁게 코팅한 수입생품의 표면열화 상태를 살펴본 것으로서 UV 열화시간이 경과함에 따라 표면이 조금씩 열화되는 양상을 보이고 있으나 내부의 유리섬유가 드러나거나 크랙이 생기는 현상은 일어나지 않음을 알 수 있다.

스텝볼트 부분에 하중이 하단으로 작용할 때에는 핀과 FRP 접합되는 부분에 국부적으로 응력이 최대 37MPa 정도의 값으로 집중되는 것을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1]. 최정철, 박익민 "복합재료", 반도출판사, 75-105,1990.
- [2]. 박기호, 조한구, 한동희, "배전용 지지물의 FRP 적용 기술", 한국전기전자재료학회 하계학술집, Vol 1 No1, pp79-81, 2000. 7.
- [3]. ASTM STd G53-93, "Operating Light and Water-Exposure Apparatus(Fluorescent UV-Condensation Type) for Exposure of Nonmetallic Materials"
- [4]. P.K. Mallick, "Fiber-Reinforced Composites", Marcel Dekker, pp263-265.
- [5]. C Zweben, H.T. Hahn, Tsu-Wei Chou, "Mechanical Behavior and Properties of Composite Materials" Vol 1, Technimic.
- [6]. R.P. Brown, "Handbook of plastics test methods(3rd edition)", pp139-151, Longman science & Technical, 1988.