

직조형 복합재료를 이용한 피뢰기 모듈의 제조 및 특성

한동희, 조한구, 한세원, 허창수

한국전기연구원, 인하대학교

Manufacture and characteristics of arrester module using braided composite

Dong-Hee Han, Han-Goo Cho, and Se-Won Han and Chang-Su Hui*

KERI, Inha Uni.*

Abstract

피뢰기에 뇌 또는 이상전압과 같은 정격이상의 고장전류가 유입되어 발생하게 되는 순간적인 열 충격과 내부압력 상승은 폭탄이 내부에서 터지는 것과 같은 엄청난 양의 충격에너지이다. 본 연구에 있어서 폴리머 피뢰기의 제조에 사용된 모듈용 브레이드 복합재료는 압력해소 및 폭발·비산하지 않도록 하는 기능을 수행하도록 설계되어 있다. 기존의 폴리머 피뢰기에 적용된 복합재료보다 충격에너지를 흡수하는 구조물에 유리한 브레이드 복합재료를 피뢰기 모듈의 제조에 도입한 것은 매우 의미 있는 일이라 판단된다. 따라서 본 연구에서는 열경화성 브레이드 복합재료를 제조하기 위하여 프리폼을 먼저 제작한 다음 금형에 삽입한 후 진공상태에서 수지를 주입하여 경화시키는 RTM공법을 이용하였다. 본 연구의 목적은 브레이드 패턴 및 방압개소 설계 등의 기초적인 자료조사 및 실험을 통하여 폴리머 피뢰기의 폭발·비산을 방지할 수 있는 압력해소 성능을 위한 기초 자료를 확보하고자 하는 것이다. 브레이드 복합재료의 기본적인 경화거동을 등온 및 동적 DSC를 이용하여 고찰하였고, 기본적인 전기적 특성을 평가하였으며, 방압개소를 가진 폴리머 피뢰기 모듈의 고장전류시험시 예상되는 열 충격에 대한 성능을 검증하기 위하여 열팽창계수를 측정하였다.

Key Words : 복합재료, 고장전류, 피뢰기, 방압, 충격에너지, 압력해소, 열팽창계수, 기밀

1. 서론

최근에 들어 섬유강화복합재료의 보강섬유의 기하학적 구조를 여러 형태로 변화시킴으로서 더 나은 물성 향상을 꾀하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 기존의 섬유강화 복합재료 구조로는 단섬유를 강화체로 한 물딩 형태를 갖는 것과 적층복합재료 등이 있는데 물딩 제품은 비교적 강도가 약하고, 적층복합재료의 경우에는 층간분리와 같은 두께방향의 응력에 취약한 단점을 갖고 있다. 따라서 이러한 단점을 보완함으로써 구조물의 물성을 강화시키고자하는 목적으로 개발된 것이 직조를 이용한 브레이드 복합재료이다.

브레이드 복합재료는 안 캐리어의 적당한 배열

과 동작으로 주변부위를 절단하는 일이 없이 일체형으로 프리폼을 제작할 수 있고 층간분리가 방지될 뿐만 아니라 섬유의 상호교차에 의한 내부구조가 크랙의 진전을 막아주는 효과를 갖게 됨으로서 피로와 충격 등에 강하고 반복적 외력에 의한 저항이 종전의 복합재료보다 월등한 내구성을 가지고 있다. 이는 충격에 의한 구조의 내부손상이 한 부위에 국한되지 않고 전체적으로 확산됨으로서 응력집중의 현상이 나타나지 않기 때문이다.

피뢰기에 뇌 또는 이상전압과 같은 정격이상의 고장전류가 유입되어 발생하게 되는 순간적인 열 충격과 내부압력상승은 폭탄이 내부에서 터지는 것과 같은 엄청난 양의 충격에너지이다.

자기로 제작된 피뢰기는 압력완화용 출구가 별

도로 부착되어 있어, 이를 통하여 피뢰기 내부에서 발생된 압력을 해소하는 역할을 수행하나, 열 충격에 취약한 자기질의 특성상 폭발을 완전히 방지할 수 있는 것은 아니다. 이러한 위험요소를 극복하고자 개발된 것이 폴리머 피뢰기이다. 폴리머 피뢰기는 압력해소를 위하여 다수의 방압개소를 모듈에 일정간격으로 두게 되고, 이를 통해 압력 상승시 발생된 가스를 방출하여 피뢰기 자체는 파손되지 않고 그대로 보존된다.

본 연구에 있어서 폴리머 피뢰기의 제조에 사용된 모듈용 브레이드 복합재료는 압력해소 및 폭발·비산하지 않도록 하는 기능을 수행하도록 설계되어있다. 기존의 폴리머 피뢰기에 적용된 복합재료보다 충격에너지를 흡수하는 구조물에 유리한 브레이드 복합재료를 피뢰기 모듈의 제조에 도입한 것은 매우 의미 있는 일이라 판단된다. 따라서 본 연구에서는 열경화성 브레이드 복합재료를 제조하기 위하여 프리폼을 먼저 제작한 다음 금형에 삽입한 후 진공상태에서 수지를 주입하여 경화시키는 RTM(resin transfer molding) 공법을 이용하였다. 본 연구의 목적은 브레이드 패턴 및 방압개소 설계 등의 기초적인 자료조사 및 실험을 통하여 폴리머 피뢰기의 폭발·비산을 방지할 수 있는 압력해소 성능을 위한 기초 자료를 확보하고자 하는 것이다.

2. 실험

섬유강화 복합재료에서 섬유는 가장 중요한 요소이고, 일반적으로 복합재료 부피 중 가장 많은 부분을 차지하며, 또한 가장 많은 하중을 전달한다. 따라서 섬유의 종류, 양 및 배향각도의 선정이 중요하게 된다. 본 연구에 사용된 유리섬유의 특성을 표 1에 유리섬유 양의 SEM 사진을 그림 1에 나타내었다. 매트릭스 수지로는 사이클로알리파틱 및 비스페놀 A가 혼합된 에폭시계를 사용하였으며 점도는 5,000 cps이다. 경화제로는 전기적 성능이 우수하고 열변형 온도가 높으며 고온에서의 물리적 성질이 우수한 산부수물계를 사용하였다.

본 연구에서는 maypole braider를 이용하여 레귤러한 섬유패턴을 가지는 열경화성 브레이드 프리폼을 먼저 제작한 다음 이를 금형에 삽입한 후 RTM 공법을 이용하여 시편을 제작하였다.

표 1. 본 실험에 사용된 유리섬유의 특성

섬유 종류	직경 (μm)	인장강성 (GPa)	인장강도 (GPa)	열팽창계수 ($\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$)	포아송 비
E	11	72.4	3.45	5	0.2

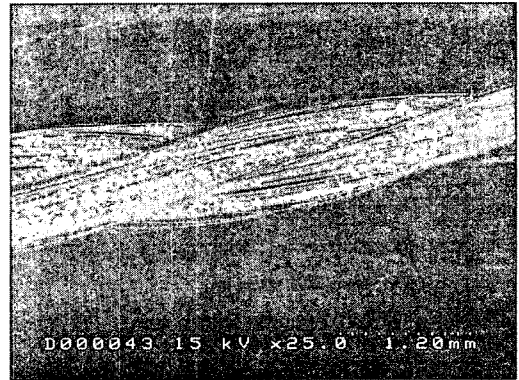


그림 1. 본 연구에 사용된 유리섬유 양의 SEM

3. 결과 및 고찰

열경화성 복합재료는 경화공정에서 복잡한 화학적 및 기계적 변화과정을 수반하게 되므로 경화과정에 대한 정확한 이해와 경화시의 온도, 압력 및 경화 정도의 측정은 매우 중요하다. 본 연구에서는 유리섬유/에폭시 계에 대한 경화거동을 연구하기 위하여 DSC(Differential Scanning Calorimetry)를 이용하였다.

그림 2는 에폭시 수지의 등온 DSC thermogram을 나타낸 것이다. 등온주사는 100 °C에서부터 130 °C까지 10 °C간격으로 수행하였다. 그림에서 보는 것처럼 110 °C에서 에폭시의 경화가 초기에 큰 발열이 없이 서서히 이루어지고 있음을 알 수 있다. 실제로 시편의 제조에 있어서도 내부 크랙의 발생이 없이 금형에서 탈형이 가능한 경화가 이루어졌으며 이 온도이상에서의 경화는 유리섬유와 수지의 계면에 미세 크랙을 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 그림 3과 같은 에폭시/유리섬유 복합재의 경화 사이클을 결정할 수 있었다. 또한 전반적으로 온도가 높아질수록 최대 발열율이 증가하며 최대 발열 시간은 단축되는 것을 알 수 있었다.

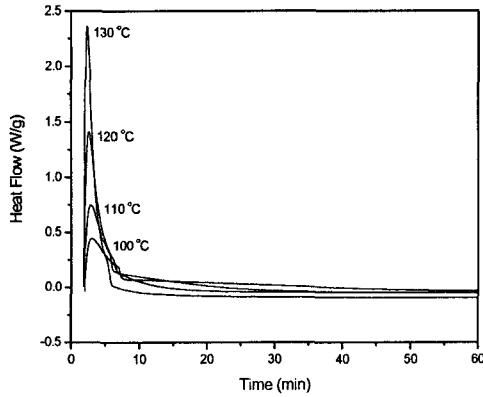


그림 2. 에폭시 수지의 등온 DSC thermogram

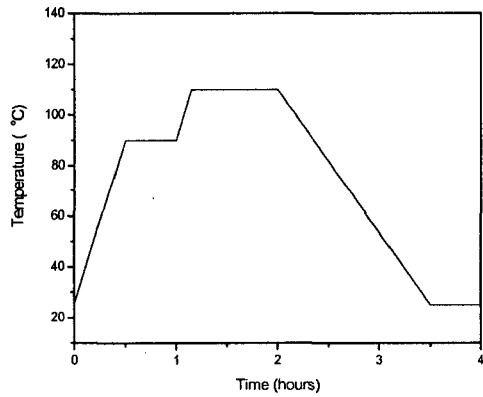


그림 3. 에폭시/유리섬유 복합재의 경화 사이클

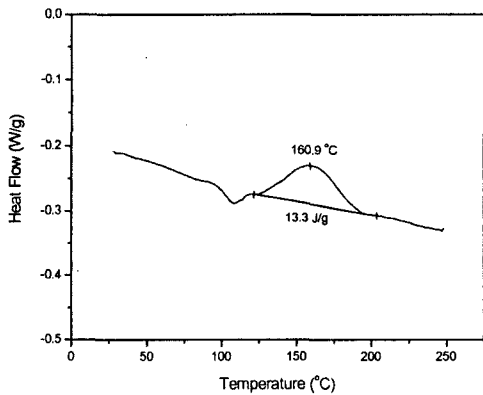


그림 4. 에폭시 시편의 DSC thermogram

그림 4는 그림 3의 경화사이클에 따라 제조된 에폭시 시편의 DSC thermogram을 나타낸 것이다. 상온에서 250 °C까지 10 °C/min의 승온속도로 수행하였다. 그림에서 1차 경화 후에도 약 13.3 J/g의 발열이 발생하는 것을 알 수 있었다. 따라서 미경화에 따른 부분의 보상을 위하여 후경화가 필요하다는 것을 알 수 있으며 후경화 조건은 150 °C에서 4시간으로 하였다.

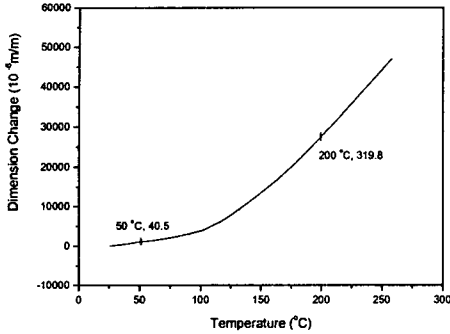
에폭시 복합재료의 수분열화에 따른 전기적 특성에 관하여 많은 보고가 있다. 일반적으로 에폭시/유리섬유 복합재료는 약 1~2 wt%의 수분을 흡수하며, 내부 기포나 유리섬유와 에폭시 계면의 결합이 많고 유리섬유의 함유량이 작을수록 수분 흡수율은 높게 나타난다. 수분흡수에 따라 일반적으로 절연저항, 절연파괴전압, 트래킹 특성 등의 전기 절연 특성이 감소하는 것으로 보고 되어 있다. 폴리머 피뢰기 모듈의 경우 에폭시 복합재료의 외부에 실리콘 고무로 몰딩이 되어 있으므로 대기 중에서의 수분 흡수에 의한 영향이 크지 않을 것으로 판단되며 따라서 본 연구에서는 제작된 복합재료의 기본적인 전기적 특성만을 평가하여 표 2에 나타내었다.

표 2. 에폭시 복합재료의 전기적 특성

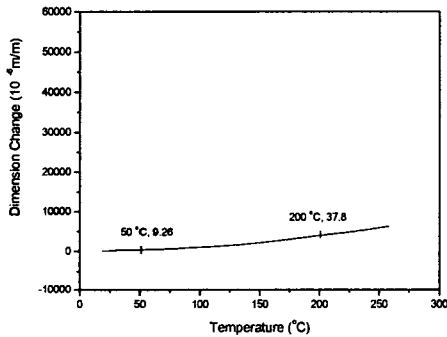
표면 저항률 [Ω]	5.15×10^{15}
체적 저항률 [$\Omega \cdot \text{cm}$]	1.91×10^{15}
절연파괴전압 [kV/mm]	18.2
유전손실(60Hz) $\tan \delta$ [%]	0.424

폴리머 피뢰기의 경우 일반적인 열응력 발생 외에도 뇌 또는 서지의 유입시 발생하는 급격한 온도에 의하여 엄청난 크기의 열응력이 발생하게 된다. 수지만으로 이루어진 방압개소의 열팽창계수가 상대적으로 유리섬유와 수지로 이루어진 부위보다 상당히 크므로 열적 스트레스는 방압개소에 집중된다. 또한 유리섬유와 수지로 이루어진 부위에 있어서 가로방향의 열팽창계수가 세로방향의 열팽창계수보다 상대적으로 크므로 열적 스트레스를 크게 받는 가로방향으로 압력이 집중되어 방압이 해소되는 역할을 하며 세로방향으로는 상대적으로 열적 스트레스를 적게 받아 전극부분이 이탈되거나

나 하는 현상을 방지하는 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다. (그림 5)



(a) 가로방향으로의 TMA thermogram



(b) 세로방향으로의 TMA thermogram

그림 5. 브레이드 복합재료의 TMA thermogram

4. 결론

- [1] 등은 및 동적 DSC 실험으로부터 에폭시 수지의 경화조건을 설정하였다.
- [2] 브레이드 복합재료의 전기적 특성을 평가한 결과 표면저항을 $5.15 \times 10^{15} \Omega$, 체적저항을 $1.91 \times 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$, 절연파괴전압 18.2 kV/mm, 유전손실 0.424 %를 나타내어 만족한 결과를 얻을 수 있었다.
- [3] 폴리머 피뢰기의 경우 모듈에 적용된 브레이드 복합재료에 있어서 이종 재질간의 열팽창계수 차이로 인하여 열응력이 발생할 수 있으며, 뇌서지 또는 고장전류의 유입시 발생하는 아크로 인하여 엄청난 크기의 열응력이 발생하게 된다. 수지만으로 이루어진 방압개소의 열팽창계수가 상대적으로 유리섬유와 수

지로 이루어진 부위보다 상당히 크므로 열적 스트레스는 방압개소에 집중된다. 또한 유리섬유와 수지로 이루어진 부위에 있어서 가로방향의 열팽창계수가 세로방향의 열팽창계수보다 상대적으로 크므로 열적 스트레스를 크게 받는 가로방향으로 압력이 집중되어 방압이 해소되는 역할을 하며 세로방향으로는 상대적으로 열적 스트레스를 적게 받아 전극부분이 이탈되거나 하는 현상을 방지하는 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] J. Ozawa, A. Mizukoshi, S. Maruyama, K. Nakano, and K. Saito, "Pressure Relief Design and Performance of Metal Oxide Surge Arresters", IEEE Transaction on Power Delivery. Vol. PWRD-1, No. 1, January 1986.
- [2] Dennis W. Lenk, and F. Richard Stockum, "A New Approach to Distribution Arrester Design", IEEE Transaction on Power Delivery. Vol. 3, No. 2, April 1988.
- [3] R. D. Melchior, J. S. Williams and N. P. McQuin, "Fault Testing of Gapless Zinc Oxide Transmission Line Arresters Under Simulated Field Conditions", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10. No. 2, April, 1995.
- [4] Robert E. Koch, Senfor, and Herbert J. Songster, "Development of a Non-fragmenting Distribution Surge Arrester", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 11, November 1984..
- [5] M. V. Lat, "Thermal Properties of Metal Oxide Surge Arresters", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. 102, No. 7, July 1983.