

브레이드 복합재료를 이용한 피뢰기 모듈 제조에 관한 연구

한동희, 조한구, 한세원, 박기호
한국전기연구원 전라기술연구단 신소재응용연구그룹

Manufacture of arrester module using braided composite materials

D.H.Han, H.G.Cho, S.W.Han, K.H.Park
KERI, Advanced electrical materials group

Abstract - This paper aims to investigate the characteristics of braided thermoplastic and thermosetting composite and pressure relief for polymer arrester. In general, braided composite has potential for improved impact and delamination resistance. Manufacturing processes of the braided composite could also be automated and could potentially lead to lower costs. Therefore, in consideration of characteristics of pressure relief for polymer arrester, the fabric pattern of braided composite was studied. And polymer arrester module was manufactured with braid.

Keywords : Braided Composite, Polymer Arrester, Pressure Relief, Fabric Pattern

1. 서 론

복합재료의 개발은 성능, 생산속도 및 생산비 등을 포함하는 여러 요인을 서로 균형 있게 조절해야 한다. 복합재료의 생산비나 생산속도를 낮추느냐 하는 것은 재료 선택도 좌우하지만 최근의 보고에 따르면 복합재료 생산비의 70%는 제조과정에 있다고 한다. 따라서 복합재료의 잠재력을 실현하기 위해서는 성형방법의 개발이 중요하다.

브레이딩과 같은 직물(textile) 제조기술은 자동화가 가능하기 때문에 복합재료의 생산성을 향상시키는데 그 잠재력이 매우 크다. 예를들어, 브레이딩 기술을 이용하면 섬유를 연속하여 정확한 각도로 튜브형태로 성형할 수 있고 복잡하고 3차원적인 단면을 가진 제품을 만들 수 있다. 또한, 브레이드 복합재료는 적층복합재료에 비하여 손상 허용치가 증가하므로 충격에너지를 흡수하는 구조물의 응용에 유리하다.

본 연구에서 개발하고자 하는 폴리머 피뢰기 모듈의 FRP 실린더는 그 기능에 있어서 아주 중요한 역할을 담당한다. 피뢰기에 뇌나 이상전압과 같은 정격이상의 고장전류가 유입되었을 경우 ZnO 소자로부터 발생하는 열에너지(thermal shock)에 의하여 모듈 내부의 압력이 순간적으로 급격히 상승하게 되는데, 이때 FRP 실린더는 방압 및 피뢰기가 폭발·비산하지 않도록 하는 기능을 수행하게 된다. 이 경우에 발생한 순간적인 압력 상승은 폭탄이 내부에서 터지는 것과 같은 높은 열을 동반한 충격에너지이다. 따라서 충격에너지를 흡수하는 구조물에 유리한 브레이드 복합재료로서 FRP 실린더를 개발하는 것은 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 브레이드 강화 열경화성 복합재료를 성형하기 위해서 그 프리폼(preform)을 먼저 제작한 후 금형내에 넣고 진공상태에서 수지를 주입한 후 경화시키는 RTM(resin transfer molding) 공법을 이용하였다. 또한 생산성 및 경제성을 고려하여 열가소성 섬유를 유리섬유와 함께 브레이딩하여 프레스 성형하는 공

법도 함께 연구하였다.

2. 본 론

2.1 브레이딩기

브레이딩 제조는 기계 중심선 상에 위치한 맨드릴(mandrel) 위에 섬유가 일정한 각도로 배열되는 직물 제조 방법으로서 그 섬유는 상하 움직임에 의해 짜여진다. 일반적으로 브레이딩기는 track plate, yarn carrier, former, take-up 장치로 구성되어 있으며, 브레이드가 이동되는 방향에 따라 수직 브레이딩기와 수평 브레이딩기로 나뉘어진다. 그림 1에 브레이딩기의 종류 및 구조를 나타내었다.

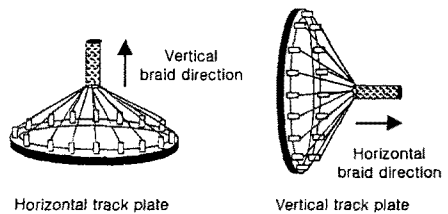


그림 1. 브레이딩기의 종류 및 구조

2.2 브레이딩 메카니즘

브레이드는 두 가지 이상의 섬유다발(yarn)이 서로 얽혀져서 만들어지며, 섬유각도는 브레이드의 종축방향에 대한 일정한 각도를 가진다. Track plate에는 그 plate의 원주방향에 대해 서로 반대방향으로 움직이는 두 조(set)의 yarn carrier가 배열되어 있는데, 각 조의 어떤 섬유는 braid의 중심을 향하여 움직이고 나머지는 바깥 방향으로 움직임으로써 이 두 조의 섬유가 서로 교차하면서 짜여지게 된다. 즉, 섬유가 평면상의 radial 방향으로 들어가고 나오고 하는 운동과 동시에 원주방향으로 원을 그리면서 이동하게 되는데, 이렇게 작동되는 브레이딩기를 maypole braider라고 한다. 그림 2는 maypole이동에 의해서 브레이딩은 모습을 개략적으로 보여주고 있는데, 원 부분으로 표시된 궤도를 따라 carrier 즉 섬유가 원 주위의 한 방향(시계방향)으로 움직이고 검게 표시된 궤도를 따라 나머지 섬유가 반대방향(반시계방향)으로 움직인다.

2.3 Take-up 메카니즘

섬유가 한 군데 모여서 fabric이 되는 지점을 fell 혹은 converging point라고 하는데, track plate에서 fell까지의 거리는 항상 일정하다. 연속적인 fabric을 제조하기 위해서는 이미 짜여진 fabric을 이동시켜서 새로운 브레이딩을 해야 하는데, 이렇게 fabric을 이동시키는 장치를 take-up mechanism이라고 한다. 브레이드의 형태에 따라서 크게 다음과 같이 ㉓ spool에 감을 수 있는 플렉시블 브레이드를 이동시키는 장치 및 ㉔ 맨드

렐(mandrel) 위에 합사된 rigid 브레이드를 이동시키는 장치가 있다. 첫 번째 형태는 마찰력을 이용한 wheel이나 caterpillar를 이용한 것이고, 두 번째 것은 움직이는 맨드렐을 이용한 형태이다. Wheel이나 caterpillar는 마찰력을 이용하여 fabric을 일정한 속도로 감거나 잡는 힘에 의하여 수평으로 fabric을 이동시킨다. 움직이는 맨드렐을 이용한 형태는 코어가 크고 무거우며 복잡한 형상의 브레이드를 이동시키는데 유리하며, 맨드렐을 앞뒤로 움직일 수 있게 바닥에 track을 설치한다. 기계를 설치하는 공간을 줄이기 위하여 맨드렐을 고정하는 대신에 track plate를 앞뒤로 이동시키는 장치도 있다.

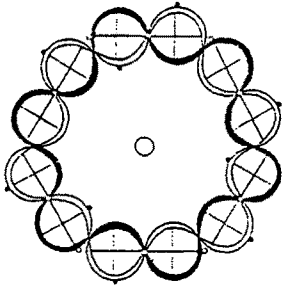


그림 2. 브레이딩기의 maypole 운동

2.4 브레이드의 형태

브레이드는 그 형태(혹은 패턴)에 따라 여러 가지로 분류할 수 있는데, 여기서는 2차원 구조에 대해서만 서술한다.

2.4.1 Tubular braid

이것은 가장 흔히 볼 수 있는 브레이드이며 앞에서 설명한 바와 같이 maypole 운동에 의해 제조된다. 세 가지 기본적인 형태로서 diamond 브레이드, regular 브레이드 및 hercules 브레이드가 있다(그림 3). Diamond 브레이드는 하나의 섬유가 다른 하나의 섬유위를 지난 후 다른 섬유 아래를 지나는 형태이며(1up 1down, 1×1), regular 브레이드는 위로 두 섬유, 아래로도 두 섬유가 지나가면서 반복되는 형태(2up 2down, 2×2)이며, hercules 브레이드는 위로 셋 아래로 셋의 섬유가 반복되는 형태(3up 3down, 3×3)이다.



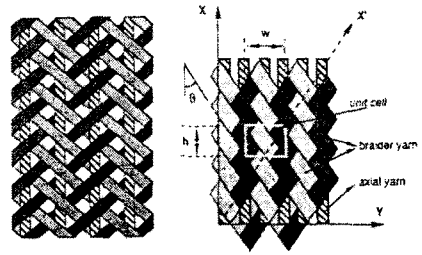
(a) diamond (b) regular (c) hercules
그림 3. 브레이드 패턴

2.4.2 Biaxial braid와 Triaxial Braid

브레이드에서 섬유의 방향이 틀리면 biaxial 브레이드라고 하며, 여기에 길이방향으로 보강이 필요할 때 두 방향의 섬유사이에 제 3의 중축섬유가 삽입된 형태를 triaxial 브레이드라고 한다. 즉, triaxial 브레이드에서 섬유의 방향은 $0^\circ/\pm\theta$ 이다. 그림 4는 2차원 복합재료의 일반적 구조와 컴팩트 구조를 나타낸 것이다.

2.5 브레이딩 공정변수

브레이딩 공정에서 Traverse가 앞으로 전진함에 따라 Yarn이 맨드렐에 균일하게 수렴하게 되는데, 이때 브레



(a) (b)
그림 4. 2차원 브레이드 복합재료
(a) 일반적 구조 (b) 컴팩트 구조

이드 프리폼의 기하학적 구조와 공정변수와의 관계는 다음과 같은 함수로 표현될 수 있다.

$$\theta = f(D, v, \phi, t) \quad (1)$$

여기서, θ : 브레이딩 프리폼 표면에서의 투영배향각

D : 맨드렐의 지름(mm)

v : 트레이스의 속도(mm/cycle)

ϕ : 캐리어의 각속도(rad/cycle)

t : 브레이드 프리폼의 두께(mm)

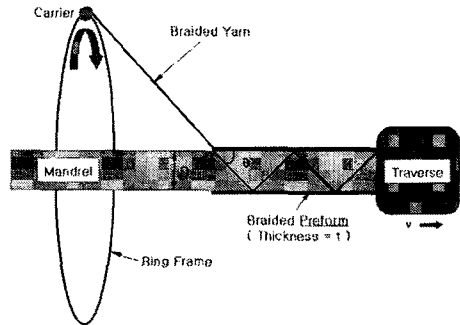


그림 5. 브레이드 프리폼의 섬유 배향각과 공정변수

공정변수에 따른 브레이드 프리폼의 기하학적 구조에 대한 공정 모델링을 하기 위하여 공정변수 4종류를 이용하여 그림 5에서와 같이 표면 투영각을 나타낼 수 있다. 브레이드 기계와 실사와의 관계, Traverse의 속도, Mandrel 크기, Carrier의 각속도, 만들어진 프리폼의 두께 등으로부터 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\pi(D + 2t) \times \frac{\phi}{360}}{v} \right) \quad (2)$$

2.6 피뢰기의 방압 메커니즘

그림 6에 피뢰기의 내부압력 생성 및 해소과정을 그림 7에 피뢰기의 고장전류 시험의 개략도를 나타내었다.

2.7 브레이드 복합재료 제조

폴리머 피뢰기의 방압해소 및 폭발 비산하지 않도록 하는 기능을 고려하여 브레이딩 패턴을 설정하였다. 폴리프로필렌을 매트릭스 수지로 유리섬유를 보강재로 사용한 열가소성 복합재료를 이용한 피뢰기 모듈 및 예곡 시수지를 매트릭스로 유리섬유를 보강재로 사용한 열경화성 복합재료를 이용한 피뢰기 모듈을 제작하였다. 그림 8에 피뢰기 모듈 제작을 위한 브레이딩 공정을 나타

내었다. 그림 9는 브레이딩 되기 직전의 피뢰기 모듈 구성과 브레이딩 된 후의 피뢰기 모듈을 나타낸 것이다. 열가소성 수지를 사용한 브레이드는 프레스 성형을 통하여 완성된 피뢰기 모듈을 제작하였으며, 열경화성 수지로 제작된 피뢰기 모듈은 RTM공법을 이용하였다. 이렇게 제작된 피뢰기 모듈을 그림 10에 나타내었다.

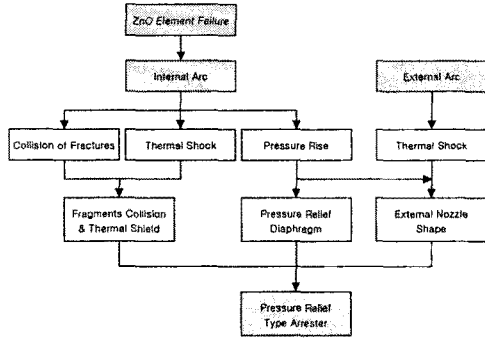


그림 6. 피뢰기의 내부압력 생성 및 해소과정

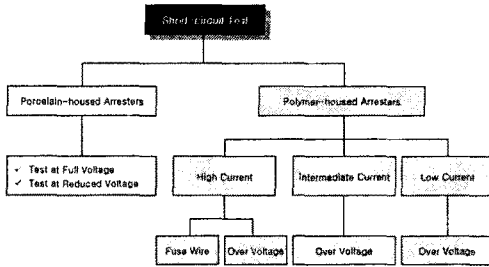


그림 7. 피뢰기의 고장전류 시험

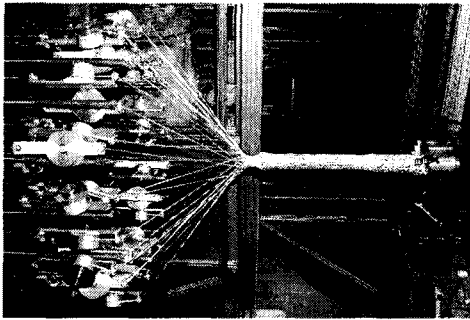


그림 8. 피뢰기 모듈 제작을 위한 브레이딩 사진

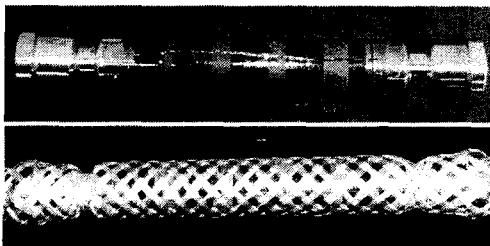
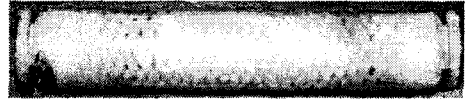


그림 9. 브레이딩 전·후의 피뢰기 모듈 사진



(a) 열가소성 수지를 사용한 피뢰기 모듈



(b) 열경화성 수지를 사용한 피뢰기 모듈

그림 10. 브레이드를 이용하여 제작된 피뢰기 모듈

3. 결론 및 향후 계획

폴리머 피뢰기의 방압해소 및 폭발 비산하지 않도록 하는 기능을 고려하여 충격에너지를 흡수하는 구조물에 유리한 브레이드 복합재료를 선정하여 브레이딩 패턴을 설정하였다. 설정된 패턴에 따라 브레이드를 직조하고 이를 이용하여 피뢰기 모듈을 RTM 및 프레스 공법으로 제작하였다. 향후 제작된 피뢰기 모듈의 고장전류시험을 통하여 브레이딩 패턴 및 두께에 대한 영향에 관하여 고찰하고자 하며 이의 응용 가능성을 조사하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 R01-2000-00 265지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] V. M. Karbhari, P. J. Falzon and I. Herzberg, "Energy Absorption Characteristics of Hybrid Braided Composite Tubes", *J. Composite Materials*, Vol. 31, pp. 1164-1186, 1997.
- [2] L. V. Smith and S. R. Swanson, "Effect of Architecture on the Strength of Braided Tubes under Biaxial Tension and Compression", *Transactions of the ASME*, Vol. 118, pp. 478-484, 1996.
- [3] J. H. Byun, "The Analytical Characterization of 2-D Braided Textile Composites", *Composites Science and Technology*, Elsevier, pp. 705-716, 2000.
- [4] S. R. Swanson and L. V. Smith, "Mechanics of Textile Composites Conference", Part 1, pp. 175-249, 1995.
- [5] L. V. Smith and S. R. Swanson, "Failure of Braided Carbon/Epoxy Composites under Biaxial Compression", *J. Composite Materials*, Vol. 28, pp. 1158-1178, 1994.
- [6] R. E. Koch, H. J. Songster, "Development of a Non-fragmenting Distribution Surge Arresters" *IEEE PES 84 T&D* 334-9
- [7] C. C. Poe, H. B. Dexter and I. S. Raju, *Review NASA, Textile Composites Res.*, p. 1126, 1997
- [8] J. E. Masters, R. L. Foye, C. M. Pastore, and Y. A. Gowayed, "Mechanical Properties of Tri-axially Braided Composites : Experimental and Analytical Results" *J. Compos. Technol. Res.*, pp. 112-122, 1993.
- [9] L. V. Smith and S. R. Swanson, "Response of Braided Composites under compressive loading", *Compos. Eng.*, pp. 1165-1184, 1993.