

섬유함유율에 따른 GF/PP 복합재료의 인장파괴거동

고성위 · 엄윤성[†]

부경대학교

Tensile Fracture Behavior of Glass Fiber/Polypropylene Composites for Various Fiber Volume Fraction

Sung-Wi KOH and Yoon-Sung UM[†]

Pukyong National University

Abstract

The main goal of this work is to study the effect of glass fiber volume fraction on the result of tensile test with respect to glass fiber/polypropylene(GF/PP) composites. The tensile test and failure mechanisms of GF/PP composites were investigated in the fiber volume fraction range from 10% to 30%. The tensile strength and the fracture strength increased with the increasing of the fiber volume fraction in the tested range. Fiber pull-out and debonding of this composites increased with the fiber volume fraction in the tested range. The major failure mechanisms were classified into the debonding, the fiber pull out, the delamination and the matrix deformation .

Key words : tensile test(인장시험), fracture mechanisms(파괴기구), tensile strength(인장강도), fracture strength(파단강도), SEM(주사현미경)

서론

열경화성 복합재료의 특징인 경량, 고강도와 고강성의 특성을 가지고 있으면서 열경화성 복합재료에 비해 성형시간이 짧고¹⁾, 저가이며, 재활용과 수리 또한 유리한 잇점이 있는 열가소성 복합재료에 대한 관심이 증가하게 되었으며, 열경화성수지를 이용하여 성형한 열경화성 복합재료를 대신하여 서서히 대체되고 있다. 그러나 열가소성 복합재료는 성형시 강화재로 사용되는 섬유의 함유율에 따라 기계적 특성이 변화하는 것으로 알려져 있으므로 열가소성 복합재료를 실제 구조물에 사용시 섬유함유율의 변화가 기계적 특성에 미치는 영향을 예측하기 위한 기초자료로서 인장시험이 필요하다.

David²⁾ 는 인장, 압축 그리고 굽힘시험을 통해

파단된 열가소성복합재료의 파단을 파단면사진으로 파괴특성을 해석하였다. Han 등³⁾ 은 PEK-C의 온도와 변형률에 대한 영향에 대해 연구하였으며, Karger와 Freidrich⁴⁾ 는 GF/PPS와 CF/PPS 복합재료를 사용하여 만든 CT시험편의 인장시험을 통해 파괴인성치는 외부온도와 하중률의 영향을 받으며, 온도가 고온으로 상승하면 파괴인성치의 값은 낮아지며, 인장속도가 커지면 매트릭스가 취성이 되어 매트릭스와 섬유가 취성적으로 분리된다고 하였다. Saiello 등⁵⁾ 은 열처리한 CF/PEEK복합재료의 인장실험을 통해 복합재료의 열처리하는 섬유와 수지의 접착에 영향을 미친다고 하였다. Friedrich⁶⁾ 는 GF/PET, GF/PPS, GF/ETFE 그리고 GF/PC 복합재료의 인장실험을 통하여 파괴인성은 섬유함유율,

[†]Corresponding author : uys0108@hanmail.net

섬유방향, 섬유의 분포상태 그리고 매트릭스와 섬유의 접착에 영향을 받는다고 하였으며, Harris 등⁷⁾은 여러 가지섬유로 강화된 에폭시 복합재료는 응력집중계수는 별 의미가 없다고 하였다. Vu-Khanh과 Denault⁸⁾는 유리 장섬유로 강화된 PBT와 PP 복합재료의 인장파괴거동은 섬유길이, 섬유방향 그리고 계면 전단응력에 영향을 받는다고 보고하였다. 이상의 연구결과들을 종합하여 보면 인장강도에 영향을 미치는 인자에 대한 다양한 연구결과가 있으나 섬유함유율의 변화에 따른 인장파괴기구에 대한 고찰은 아직 희박한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 열가소성 복합재료의 기계적 특성과 파괴거동에 관한 종합적인 연구¹⁰⁾의 일환으로 섬유함유율을 10%에서 30%까지 변화시킨 GF/PP 복합재료를 상온에서 인장시험을 통하여 인장파괴거동을 고찰하고 파단면을 SEM사진을 통해 비교 검토하였다.

재료 및 실험방법

실험에 사용한 복합재료의 매트릭스는 반결정상태인 폴리프로필렌(PP)수지, 강화섬유로는 유리단섬유(2~4mm)를 사용하였다. 용융된 PP수지에 유리섬유를 혼합하여 인 라인 스크류(in-line screw)식의 사출기를 사용하여 3mm의 두께로 성형하였다. 성형조건은 스크류회전속도 60rpm, 1차 사출압력 1200kg/cm² 그리고 2차 사출압력 900kg/cm²으로 사출 성형하였다. 성형시 수지에 대한 섬유함유의 체적비는 10%, 20% 그리고 30%의 세 종류로 성형한 국산 단섬유 GF/PP복합재료(현대산업개발(주))를 사용하였다.

성형된 복합재료는 Fig. 1에서 보여지는 것과 같이 성형된 복합재료의 중앙부위는 노즐의 분사압력의 영향으로 인하여 섬유의 배열이 전체적으로 고루 분포되어 있지 못하므로, 인장 시험편을 제작하기 위하여 섬유의 배열이 최대한 고르게 배열이 되어 있는 부분을 다이아몬드 커터를 이용하여 절취하였다.

Fig. 1에서 절취된 복합재료를 Fig. 2와 같이 시험편폭 10mm, 시험편 길이 120mm 그리고 표점거리 45mm가 되도록 원재료에서 다이아몬드 커터를 이용하여 절단하였고, 절단면을 연마제를 이용하여 표면을 가공하였다. 인장시험편의 가공이 완료되면 최대하중 1ton 그리고 최대변위 1100mm인 만능시험기(SHIMADZUE AGS-1000G)를 이용하

여 1.0mm/min의 인장속도로 실험을 행하였다. 실험은 실온에서 시험하였다.

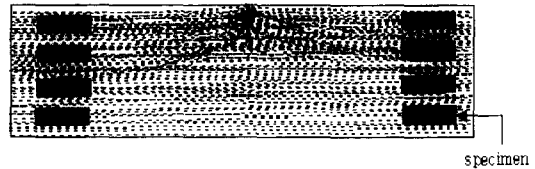


Fig. 1. Cutting part for test.

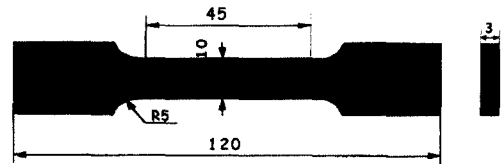


Fig. 2. Specimen geometries for tensile test (mm).

흡수에너지는 인장시험을 행하여 얻은 하중변위 곡선 아래의 면적을 계산한 것이다. 탄성흡수에너지는 2%영구변형이 생기는 부분까지의 에너지를 계산한 것이고 파괴흡수에너지는 파괴시까지의 전체 흡수에너지를 나타낸 것이다.

결과 및 고찰

1. 인장강도

Fig. 3은 실온에서 섬유함유율이 10%인 GF/PP의 하중변위곡선을 나타낸 것이다. 하중변위 곡선의 양상은 철계 금속에서 전형적으로 보여지는 상향복점과 하향복점이 나타나지 않고 최대응력에 도달하였다가 파단되는 양상을 보이고 있다. 또한 후크의 법칙이 적용되는 탄성범위가 별로 많지 않으며 최대하중점까지 비선형이 나타남을 알 수 있다. 이것은 GF/PP 복합재료가 취성인 열경화성 복합재료와는 다르게 연성의 성질을 나타내는 열가소성 복합재료의 특성이라 할 수 있다. 섬유함유율에 따른 변위는 섬유함유율이 낮은 10%의 경우가 가장 크며, 섬유함유율이 30%인 경우의 변위는 가장 적게 나타남을 알 수 있다.

Table 1와 Fig. 4는 인장시험을 통하여 얻은 하

중변위곡선을 이용하여 흡수에너지를 계산하여 나타낸 것이다. 탄성흡수에너지는 섬유함유율이 10%일 경우가 가장 많고 섬유함유율이 증가할수록 점차 감소하고 있다. 탄성부분이 비선형을 나타내고 있기 때문에 이것이 전체 탄성에너지라고는 할 수 없지만 선형부분까지의 탄성흡수에너지가 큰 섬유함유율이 10%인 경우에 탄성변형에서의 저항이 가장 크다는 것을 알 수 있다. 이와는 반대로 파괴흡수에너지는 섬유함유율이 30%일 경우가 가장 높게 나타나고 섬유함유율이 10%인 경우의 그것이 가장 낮게 나타나고 있다. 이것은 파괴에 저항하는 에너지가 섬유함유율이 30%인 경우가 가장 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 유리섬유가 많이 함유되면 강도는 높아지나 인장파괴에 대한 저항이 적어짐을 의미한다. 즉 취성화가 더욱 많이 되는 것을 의미한다.

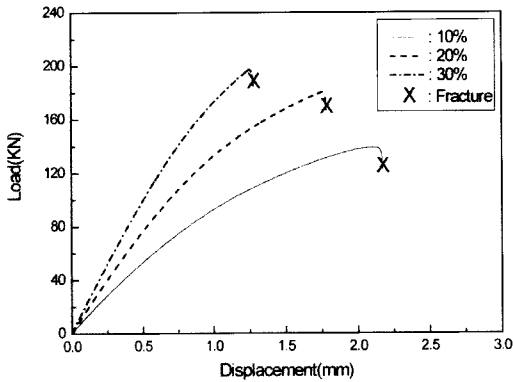


Fig. 3. Load-displacement curves with the fiber volume fraction at room temperature.

Table 1. Absorbed energy of GF/PP composites for various fiber volume fraction

Fiber Volume Fraction (%)	Elastic Absorbed Energy (kN-mm)	Fracture Absorbed Energy (kN-mm)
10	85.0	219.5
20	70.9	191.4
30	53.8	152.1

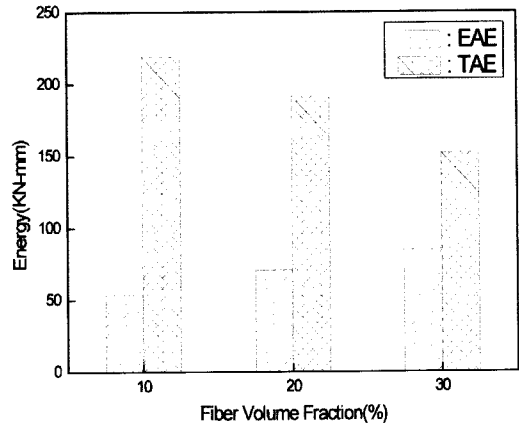


Fig. 4. Absorbed energy for various volume fraction.

EAE : elastic absorbed energy,
TAE : total absorbed energy

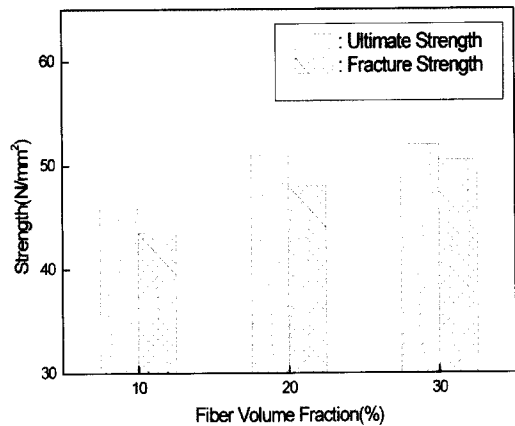


Fig. 5. Ultimate strength and fracture strength for various fiber volume fraction at room temperature.

Fig. 5는 섬유함유율의 변화에 따른 인장강도와 파단강도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 섬유함유율이 10%, 20%, 30%로 높아짐에 따라 인장강도는 45.6, 51.2, 53.7 N/mm²을 나타내고 있어서 동일한 온도조건에서는 섬유함유율이 30%인 경우의 최대인장강도가 가장 높게 나타나고 20% 그리고 10%의 순으로 낮게 나타났다. 이것은 수지에 대한 유리섬유의 부피함유율이 증가할수록 유리섬유가 강도에 저항하는 비중이 커서

인장강도가 증가하기 때문이라 생각된다. 또한 파단 강도도 인장강도와 유사한 경향을 나타내고 있다. 각각의 섬유함유율에서 인장강도에 대한 파단강도의 비율을 비교하여보면 섬유함유율이 10%에서 30%로 높아짐에 따라 95.6, 93.3, 93.7%로 약간의 차이는 있지만 모두가 90% 이상이 되어서 최고 하중에 도달한 후 바로 판단됨을 알 수 있다.

2. 파면해석

Fig. 6은 GF/PP 복합재료의 섬유함유율의 변화에 대한 파괴형상을 보여주는 것으로 (a)는 10%, (b)는 20%, (c)는 30%에서의 파단면을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 각각의 경우에 유리섬유는 디본딩이 발생한 후 풀아웃 되었음을 알 수 있으며, 풀아웃 된 후 파단되었음을 알 수 있다. 섬유 표면이 비교적 깨끗하게 된 점으로 보아 섬유와 수지 사이의 접착상태가 양호하지 않음을 유추할 수 있다. 또한 섬유함유율에 따른 섬유의 표면상태를 보면 섬유함유율이 10%인 경우가 가장 표면이 매끄럽게 되었고, 섬유함유율이 20%인 경우가 표면이 덜 매끄럽게 되었고, 섬유함유율이 30%인 경우가 수지의 매끄러움이 가장 적어 많은 요철을 보인다. 이는 섬유함유율이 높아짐에 따라 섬유와 섬유 사이의 간격이 좁아지므로 하중이 섬유를 지나 수지 부분을 지나가면서 섬유를 파단시킬 때 하중의 전달상태가 분포하중으로 전달되기보다는 집중적으로 작용하기 때문이라 생각한다. 결국 파단면에서의 변형 수지의 매끄러움 정도는 크랙진전에 영향을 주고 이는 인장강도와 파단강도를 높이는 원인이 되고 있다고 생각한다. 이러한 결과를 Fig. 5의 결과와 비교하면 섬유함유율이 높은 경우가 강도를 향상시키는 원인으로 작용한다. 또한 섬유함유율이 높아질수록 디본딩과 풀아웃이 많이 나타남을 관찰할 수 있었다.

그러나 풀아웃된 유리섬유의 길이가 길어질수록 인장강도나 인장강도와 파단강도를 높이는 역할을 한다고 생각되지만 풀아웃된 유리섬유의 길이를 측정 곤란한 점과 자료의 부족으로 인하여 그 관계를 명확히 나타낼 수 없으며, 이에 대한 상세한 연구가 요망된다.

위의 결과를 검토하면 인장파괴거동은 섬유와 수지사이의 디본딩과 풀아웃, 섬유배열 상태와 매트릭스의 변형이 모두 혼합되어 나타나는 복합적인 파괴양상이라 생각된다.



(a) 10%



(b) 20%



(c) 30%

Fig. 6. SEM photographs of tensile fracture surfaces for GF/PP tested for various fiber volume fraction.

결 론

- 1) 시험된 섬유함유율에서 GF/PP 복합재료의 인장강도와 파괴강도는 섬유함유율이 증가함에 따라 증가하였다.
- 2) GF/PP 복합재료에서 섬유와 매트릭스의 접착은 양호하지 않음을 알 수 있었으며, 섬유함유율이 증가 할수록 섬유와 수지사이의 풀아웃과 디분당이 많이 나타나고 있다.
- 3) GF/PP 복합재료의 파괴기구는 섬유변화율의 변화에 따라 매트릭스의 변형이 나타났으며, 섬유의 풀아웃, 섬유와 매트릭스 사이의 디분당을 관찰할 수 있었으며, 이와 같은 파괴 기구가 종합적으로 상호작용 한다고 생각된다.

참고문헌

- 1) Yue, C.Y. and Cheung, W.L.(1993) : Some Observations on The Role of Transcrystalline Interphase on the Interfacial Strength of Thermoplastic Composites, J. Mat. Sci., 12, pp.1092~1094.
- 2) David, P.(1988) : Fractography of Fibre-Reinforced Thermoplastics, Part 3. Tensile, Compressive and Flexural Failures, Composites, 19(5), pp. 358~366.
- 3) Han, Yanchun, Yang, Yuming, Li, Binyao and Feng, Zhiliu(1995) : Temperature and Strain-Rate Dependence of Fracture Toughness of Phenolphthaleine Polyether Ketone, J. Mat. Sci., 30, pp.3658~3661.
- 4) Kargr-Kocsis, J. and Friedrich, K.(1987) : Microstructure Details and the Effect of Testing Conditions on the Fracture Toughness of Injection-Moulded Poly (phenylene-sulphide) Composites, J. Mat. Sci., 22, pp.947~961.
- 5) Saiello, S., Kenny, J. and Nicolais, L. (1990) : Interface Morphology of Carbon Fibre/PEEK Composites, J. Mat. Sci., 25, pp.3493~3496.
- 6) Friedrich, K.(1985) : Microstructure Efficiency and Fracture Toughness of Short Fiber/ Thermoplastic Matrix Composites, Com. Sci. and Tech., 22, pp.43~74.
- 7) Harris, B., Dorey, S. E. and Cooke, R. G.(1988) : Strength and Toughness of Fibre Composites, Com. Sci. and Tech., 31, pp.121~141.
- 8) Vu-Khanh, T. and Denault, J.(1994) : Fracture Behaviour of Long Fibre Reinforced Thermoplastics, J. Mat. Sci., 29, pp.5732~5738.
- 9) 고성위 · 엄윤성(1993) : GF/PE 복합재료의 인장파괴거동에 관한 연구, 한국어업기술학회지, 39(2), pp.158~163.

2004년 1월 28일 접수
2004년 5월 12일 수리