

## 섬유함유율에 따른 GF/PP 복합재료의 인장강도

엄운성 · 고성위  
부경대학교

### 서론

최근에 널리 쓰이고 있는 섬유강화 복합재료는 플라스틱 재료가 갖고 있는 가공성의 장점을 충분히 발휘한 재료로서 모재인 수지와 강화재인 강화섬유로 구성되며 사용된 섬유의 종류에 따라 유리섬유강화플라스틱(GFRP : glass fiber reinforced plastic) 과 탄소섬유강화플라스틱(CFRP : carbon fiber reinforced plastic)으로 구분된다. 이 두 복합재료가 건설, 선박, 자동차 그리고 우주항공분야에 이르기까지 거의 모든 산업에서 다양하게 이용되고 있다.

섬유강화 복합재료는 경량, 고강도 그리고 고강성의 열경화성 복합재료가 널리 사용되고 있으나 고가이며, 성형시간이 길고, 파손시 수리가 불리한 점이 있다. 그러므로 열경화성 복합재료의 특징인 경량, 고강도와 고강성의 특성을 가지고 있으면서 열경화성 복합재료에 비해 성형시간이 짧고<sup>1)</sup>, 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.

David<sup>2)</sup> 는 인장, 압축 그리고 굽힘시험을 통해 파단된 열가소성복합재료의 파단을 파단면사진으로 파괴특성을 해석하였다. Han 등<sup>3)</sup>은 PEK-C의 온도와 변형률에 대한 영향에 대해 연구하였으며, Karger와 Freidrich<sup>4)</sup> 는 GF/PPS와 CF/PPS 복합재료를 사용하여 만든 CT시험편의 인장시험을 통해 파괴인성치는 외부온도와 하중률의 영향을 받으며, 온도가 고온으로 상승하면 파괴인성치값은 낮아지며, 인장속도가 커지면 수지가 취성이 되어 수지와 섬유가 취성적으로 분리된다고 하였다. Saiello 등<sup>5)</sup>은 열처리한 CF/PEEK복합재료의 인장실험을 통해 복합재료의 열처리는 섬유와 수지의 접착에 영향을 미친다고 하였다. Friedrich<sup>6)</sup>는 GF/PET, GF/PPS, GF/ETFE 그리고 GF/PC 복합재료의 인장실험을 통하여 파괴인성은 섬유함유율, 섬유방향, 섬유의 분포상태 그리고 수지와 섬유의 접착에 영향을 받는다고 하였으며, Harris 등<sup>7)</sup>은 여러 가지섬유로 강화된 에폭시 복합재료는 응력집중계수는 별 의미가 없다고 하였다. Khanh과 Denault<sup>8)</sup> 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 연구<sup>9)</sup>의 일환으로 섬유함유율이 10%와 20%인 GF/PP 복합재료를 상온에서 인장시험을 통하여 임계파괴에너지의 거동을 고찰하고 파단면을 SEM사진을 통해 비교 검토하였다.

## 재료 및 실험방법

실험에 사용한 복합재료의 수지는 PP수지, 강화섬유로는 유리단섬유(2~4mm)를 사용하였으며 용융된 PP수지와 PE수지에 유리섬유를 혼합하여 인라인 스크류(in-line screw)식의 사출기를 사용하여 3mm의 두께로 성형한 GF/PP복합재료(현대산업개발(주))를 사용하였다.

사출 제작된 GF/PP 복합재료를 길이방향으로 절취하여 인장시험편으로 가공한 후 최대하중 1ton 그리고 최대변위 1100mm인 만능시험기(shimadzu AGS-1000G)를 이용하여 1.0mm/min의 인장속도로 실험을 행하였다.

인장 시험편은 Fig. 1과 같이 시험편폭 10mm, 시험편 길이 120mm 그리고 표점거리 45mm가 되도록 원재료에서 다이아몬드 커터를 이용하여 절단하였고 절단면을 연마제를 이용하여 표면을 가공하였다.

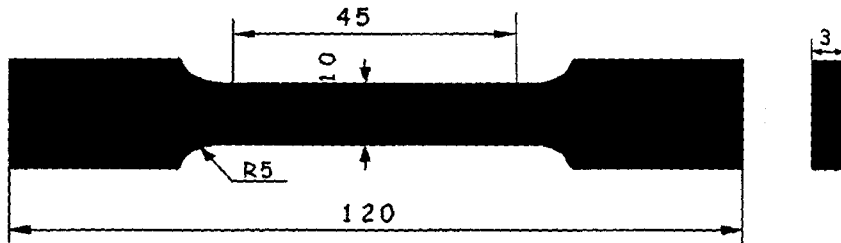


Fig. 1. Specimen geometries for tensile test (mm).

## 결과 및 고찰

### 1. 섬유함유율의 변화

Fig. 2는 섬유함유율의 변화와 온도의 변화에 따른 최대인장강도를 나타낸 것으로 □는 섬유함유율 10%, ○는 섬유함유율 20% 그리고 △는 섬유함유율이 30%인 경우를 나타내고 있다. 그림에서 동일한 온도조건에서는 섬유함유율이 30%인 경

우의 최대인장강도가 가장 높게 나타나고 20% 그리고 10%의 순으로 낮게 나타났다. 이것은 수지에 대한 유리섬유의 부피함유율이 증가할수록 인장강도가 증가하기 때문이라 생각된다. 섬유함유율에 대한 파단강도도 함께 고찰하였으며 그 경향은 최대인장강도와 동일하였으며 파단강도는 수지에 대한 유리섬유의 부피함유율이 10, 20, 30%로 증가함에 따라 43.6, 47.6, 50.3N/mm<sup>2</sup>을 나타내고 있다.

섬유함유율의 변화에 따른 최대인장강도와 파단강도의 고찰에서 알 수 있듯이 섬유로 강화되지 않은 순수 PP수지로 된 재료보다 유리섬유로 강화된 복합재료의 강도가 높게 나타나며, 수지에 대한 유리단섬유의 섬유함유율이 증가할수록 GF/PP복합재료의 강도는 증가한다. 따라서 복합재료를 성형할 때 복합재료의 강도에 큰 영향을 미치는 섬유함유율의 조건은 본 연구에서는 섬유함유율이 30%일 때가 적절한 조건이라 생각되며 섬유함유율이 30%보다 높은 GF/PP복합재료와의 비교 검토가 앞으로의 연구과제로 요망된다.

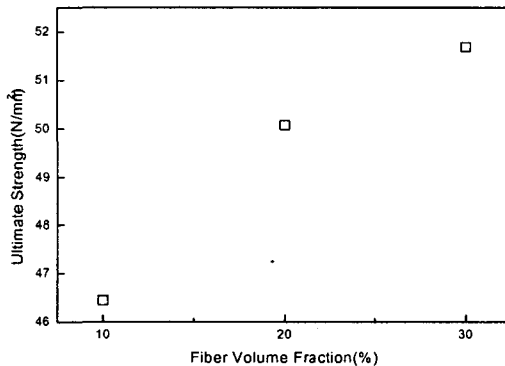
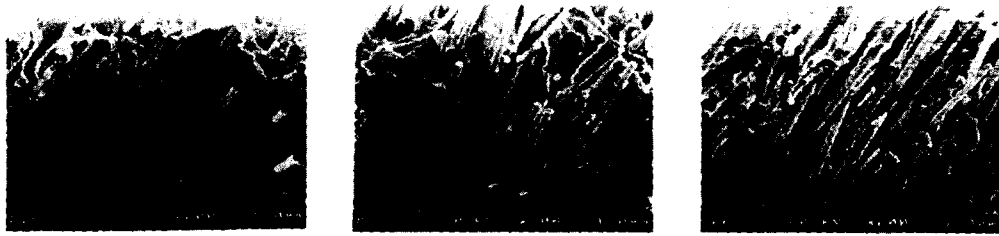


Fig. 2. Ultimate strength vs various temperature for fiber volume fraction.

## 2. 파면해석

Fig.3은 GF/PP 복합재료의 섬유함유율의 변화에 대한 파괴형상을 보여주는 것으로 (a)는 10% 그리고 (b)는 30%에서의 파단면을 나타내고 있다. 그림(a)와 (b)에서 알 수 있듯이 그림(a)의 수지의 파단형태가 그림(b)의 그것보다 변형이 적어 매끈하게 파단된 형상을 보이고 있으며 이것은 섬유함유율의 차이에 인한 것이라 생각된다. 그러나 섬유함유율이 증가 할수록 섬유와 수지사이의 풀아웃(pull out)과 디본딩(debonding)이 많이 나타나고 있으므로 인장파괴거동은 섬유와 수지사이의 디본딩과 풀아웃, 섬유배열 상태와 수지의 변형이 모두 혼합되어 나타나는 복합적인 파괴양상이라 생각된다.



(a) 10%

(b) 20%

(c) 30%

Fig. 3. SEM photographs of tensile fracture surfaces for GF/PP tested at various fiber fraction.

## 결론

- 1) GF/PP 복합재료의 최대인장강도와 파단강도는 섬유함유율이 높아질수록 높게 나타났다.
- 2) GF/PP 복합재료의 파면은 섬유함유율이 높아짐에 따라 섬유와 수지의 변형이 적게 나타나고 있으므로 GF/PP 복합재료의 파괴기구는 섬유의 풀아웃, 섬유와 수지사이의 디본딩, 수지의 변형이 종합적으로 작용한다고 생각한다.

## 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, 1092~1094.
- 2) David, (1988) Purslow, "Fractography of Fibre-Reinforced Thermoplastics, Part 3. Tensile, Compressive and Flexural Failures", Composites, 19(5), 358~366.
- 3) Han, Yanchun, Yang, Yuming, Li, Binyao and Feng, Zhiliu.(1995): "Temperature and Strain-Rate Dependence of Fracture Toughness of Phenolphthalein Polyether Ketone", J. Mat. Sci., 30, 3658~3661.
- 4) Karger-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, 1987, 947~961.
- 5) Saiello, S., Kenny, J. and Nicolais, L.(1990): "Interface Morphology of Carbon Fibre/PEEK Composites", J. Mat. Sci., 25, 3493~3496.
- 6) Friedrich, K.(1985): "Microstructure Efficiency and Fracture Toughness of Short Fiber/Thermoplastic Matrix Composites", Com. Sci. and Tech. 22, 43~74.
- 7) Harris, B., Dorey, S. E. and Cooke, R. G.(1988): "Strength and Toughness of Fibre Composites", Com. Sci. and Tech., 31, 121~141.
- 8) Vu-Khanh, T. and Denault, J.(1994): "Fracture Behaviour of Long Fibre Reinforced Thermoplastics", J. Mat. Sci., 29, 5732~5738.
- 9) 고성위·엄윤성.(2003): "GF/PE 복합재료의 인장파괴거동에 관한 연구", 한국어업기술학회지 39(2), 158~163.