

## 온도변화에 따른 GF/PP 복합재료의 인장파괴거동

고성위 · 엄윤성 · 허경환 · 김엄기\* · 김형진\*\*

부경대학교, \*공주대학교, \*\*경상대학교 해양산업연구소  
(2001년 8월 2일 접수)

### Effect of Temperature on Tensile Fracture Behavior of Glass Fiber Polypropylene Composites

Sung-Wi Koh, Yoon-Sung Um, Kyung-Hwan Heo, Amkee Kim\* and Hyung-Jin Kim\*\*

Pukyong National University, \*Kongju National University, \*\*The Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University

(Received August 2, 2001)

#### Abstract

The tensile strength and failure mechanisms of glass fiber polypropylene(GF/PP) composites are investigated in the temperature range from ambient to 80°C. The tensile strength increases as fiber volume fraction ratio increase. The tensile strength shows a maximum at ambient temperature, and it tends to decrease as temperature goes up. Major failure mechanisms of GF/PP composites can be classified as fiber matrix debonding, fiber pull-out, delamination and matrix deformation.

#### 서론

최근 자원, 에너지 고갈 그리고 환경오염 등의 해결을 위해 다양한 조건이 요구되는 재료가 필요하게 되었으며, 이 다양한 조건을 만족시키기 위해서는 금속재료를 대신하여 강도, 경량성, 내열화 등의 고기능성을 구비한 재료의 개발이 활발히 추진되고 있다. 이러한 새로운 특성을 개발하는 면에서 경량성, 내식성, 절연성 등의 기계적 특성을 가지고 있는 복합재료가 크게 각광을 받고 있다.

최근에 널리 사용되고 있는 섬유강화 복합재료는 플라스틱 재료가 갖고 있는 가공성의 장점을 충

분히 발휘한 재료로서, 사용되는 수지에 따라 열경화성복합재료와 열가소성복합재료로 분류할 수 있다.

열경화성복합재료는 대부분 적층의 방법으로 성형되는 반면 열가소성 복합재료는 인젝션 몰딩(injection molding)의 방법이 주종을 이루고 있으며, 이러한 인젝션 몰딩의 방법으로 성형 시 섬유함유율의 정도에 따라서 열가소성복합재료의 기계적 특성이 변화하는 것으로 알려져 있다. 그리고 성형된 열가소성 복합재료는 수분과 온도 등의 환경요인에 민감한 특성을 보이는 것으로 알려져 있으며 특히 열가소성 수지의 특성으로

이 논문은 두뇌한국21사업에 의하여 지원 되었음.

인해 온도의 영향에 대한 기계적 특성이 매우 민감할 것으로 생각된다.

복합재료의 강도에 영향을 미치는 인자들에는 섬유함유율, 섬유방향, 섬유의 형상, 섬유-기지의 접착정도, 기지의 특성 그리고 온도변화 등을 생각할 수 있다.

김 등<sup>1)</sup>은 CFRP복합재료의 층간파괴실험을 통해 시험편 폭과 초기크랙길이의 변화에 따른 임계에너지방출을  $G_{IC}$ 에 관한 연구를 하였으며, Famsteiner와 Theysh<sup>2)</sup>은 유리섬유/PP복합재료를 사용하여 섬유와 기지의 계면은 충격강도에 큰 영향을 미친다고 하였으며, Mai 등<sup>3)</sup>은  $-40^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 칼슘탄화첨가물을 이용한 PP의 단일 중합체와 이중중합체의 충격파괴 에너지  $G_C$ 는  $20^{\circ}\text{C}$ 보다 낮은 온도에서 입자의 영향을 받는다고 하였으며, 고<sup>4)</sup>는 실리카 입자 강화복합재료를 이용하여  $-50^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 입자지름이 증가하면 파괴인성치는 증가하며 실온에서 최대값을 나타내며 고온과 저온에서는 그 값이 감소한다고 하였다. 김과 강<sup>5)</sup>은 GF/epoxy 복합재료를 이용하여 원공 및 노치강도와 파괴조건에 관한 연구를 하였으며 엄 등<sup>6)</sup>은 GF/PP 복합재료를 이용하여  $-50^{\circ}\text{C} \sim$  실온의 온도변화에서 임계파괴에너지  $G_{IC}$ 는 섬유함유율이 증가할수록 증가하며 저온으로 갈수록 그 값이 낮게 나타난다고 하였다. Sova 등<sup>7)</sup>은 유리섬유와 PP수지를 이용한 단섬유복합재료의 충격파면은 섬유방향에서 복합적인 파괴와 파편에 의해 형성되는 거시적인 파괴를 보인다고 하였으며, Novak와 PeCresente<sup>8)</sup>는 샤피충격시험을 통하여 섬유의 인장응력 변형특성이 충격저항을 결정짓는 중요한 요소라고 하였다. 이상과 같은 연구결과들은 종합적으로 검토하여 보면 열가소성복합재료에 대하여 다수의 연구가 이루어지고 있지만 GF/PP 복합재료에서 섬유함유율과 온도의 변화에 따른 인장강도 및 파괴거동에 대한 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 열가소성 복합재료의 기계적 특성과 파괴거동에 관한 종합적인 연구의 일환으로 섬유함유율이 0~30%인 단섬유 GF/PP 복합재료의 인장시험을 통하여 섬유함유율의 영향을 고찰하고 각각의 상이한 섬유함유율을 가지는 복합재료를 실온에서  $80^{\circ}\text{C}$  사이의 온

도범위에서 인장시험을 통하여 기계적 특성을 고찰하고 파면관찰을 통하여 미세파괴기구를 상호 비교검토하였다.

## 재료 및 실험방법

본 실험에 사용한 재료는 인젝션 몰딩의 방법으로 성형된 섬유함유율이 0%, 20% 그리고 30%인 국산 단섬유 GF/PP 복합재료(현대산업개발(주))를 사용하였으며 최대하중이 1tonf인 만능시험기(SHIMADZU AGS-1000G)를 이용하여 실험을 행하였다.

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

온도는 상온,  $50^{\circ}\text{C}$  그리고  $80^{\circ}\text{C}$ 로 변화시켰으며 고온의 환경조건을 위해 만능시험기에 아크릴을 사용하여 챔버를 제작하였으며 챔버내부에 열선을 설치하여 내부의 공기를 가열하였으며 챔버 내부의 온도분포가 고르게 하기 위하여 팬을 이용하여 챔버안의 공기를 대류시켰다. 그리고 챔버안의 내부온도는 서모커플로 감지하여 온도제어기로 필요한 임의의 온도를  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  이내에서 유지시켰다. 임의의 온도에 도달하면 시험편의 내부도 표면과 동일한 온도가 되도록 30분 이상 유지한 후 만능시험기를 이용하여  $1.0\text{mm}/\text{min}$ 의 크로스헤드 속도로 인장시험을 행하였으며 인장시험 후 파단면의 미소파괴를 관찰하기 위하여 파면을 주사현미경(scanning electron microscopy : SEM)을 이용하여 관찰하였다.

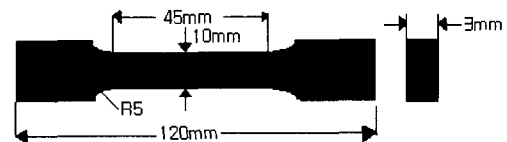


Fig. 1. Specimen geometries for tensile test.

## 결과 및 고찰

Fig.2는 섬유함유율이 20%인 복합재료를 상

온에서 인장실험한 GF/PP 복합재료의 하중-변위 P- $\delta$  선도를 나타낸 것으로 금속재료의 전형적인 상향복점과 하향복점이 나타나지 않고 최대응력에 도달하였다가 파단되는 양상을 보이고 있다.

Fig.3은섬유함유율의 변화와 온도의 변화에 따른 GF/PP 복합재료의 파단인장강도를 나타낸 것으로 ○는 섬유함유율이 30%, □는 섬유함유율이 20% 그리고 △는 섬유함유율이 0%인 경우를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 상온과 50℃인 경우에는 섬유함유율이 높아질수록 인장강도는 높게 나타나고 있으나 80℃인 경우에는 섬유함유율의 변화에 관계없이 거의 일정한 값을 나타내고 있다. 이것은 온도가 높아질수록 연성이 증가하여 파단시에는 거의 매트릭스의 파단강도

만이 나타나는 것으로 생각되므로 본 실험에서는 인장파괴강도의 비교시 파단강도를 사용하지 않고 최대인장강도를 비교 검토하였다.

Fig.4는 상온에서 섬유함유율이 0%, 20% 그리고 30%인 복합재료의 인장강도를 나타낸 것으로 섬유함유율이 0%인 순수 PP가 가장 낮게 나타나고 섬유함유율이 높아질 수록은 인장강도가 높게 나타나고 있다. 이것은 수지에 대한 강화섬유의 비가 높아질수록 인장강도가 증가한다는 것을 보여주고 있다.

Fig.5는 섬유함유율이 20%인 복합재료의 온도의 변화에 따른 인장강도를 나타낸 것으로 그림에서 알 수 있듯이 상온에서의 인장강도가 가장 높게 나타나고 온도가 상승할수록 인장강도는

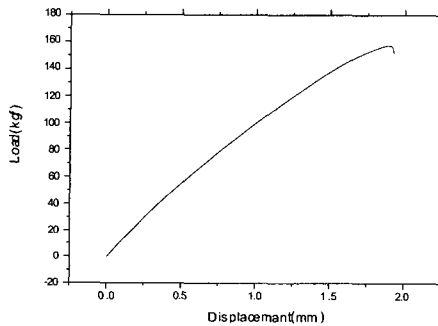


Fig. 2. Load-displacement curves with 20% glass-fiber volume fraction.

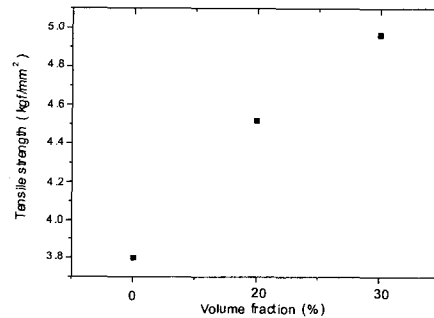


Fig. 4. Tensile strength for various volume fraction at ambient.

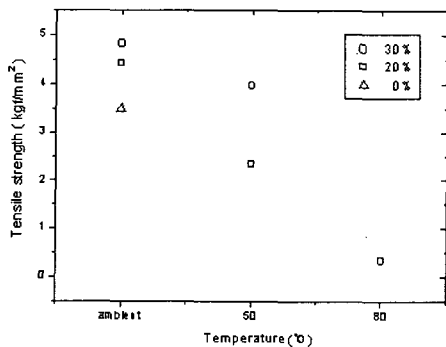


Fig. 3. Tensile strength vs temperature for various volume fraction.

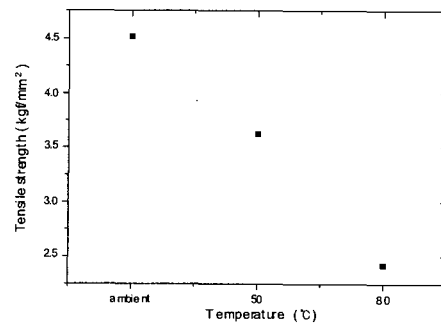


Fig. 5. Tensile strength for various temperature with 20% glass-fiber volume fraction.

낮게 나타나고 있다. 이것은 수지로 사용한 PP가 열가소성수지이므로 온도가 높아질수록 연성과 인성이 증가하므로 유리단섬유가 강화재의 역할을 수행하지 못하고 수지의 성질에 지배를 받기 때문이라 생각된다.

Fig.6은 섬유함유율이 30%인 복합재료의 온도의 변화에 따른 인장강도를 나타낸 것으로 섬유함유율이 20%인 결과와 동일하게 상온에서의 인장강도가 가장 높고 고온으로 온도가 변화할수록 낮게 나타나고 있는데 이는 섬유함유율이 20%인 경우와 동일한 이유인 것으로 생각된다.

Fig.7은 섬유함유율의 변화와 온도의 변화에 따른 인장강도를 나타낸 것으로 ○는 섬유함유율이 30%, □는 섬유함유율이 20% 그리고 △는 섬유함유율이 0%인 경우를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 상온에서는 앞서의 Fig.3의 결과와 동일하게 섬유함유율이 높아질수록 인장강도는 높게 나타나고 있으며 온도가 50℃와 80℃인 경우에는 온도의 영향으로 인해 순수 PP는 연성과 인성이 증가하여 파단되지 않고 변위만 증가하는 경향을 보이고 있으므로 섬유함유율의 복합재료와 직접적인 비교는 다소 곤란하므로 섬유함유율이 20%와 30%인 복합재의 인장강도를 비교하여 보면 동일한 온도조건에서는 섬유함유율이 높을수록 인장강도가 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

파면해석

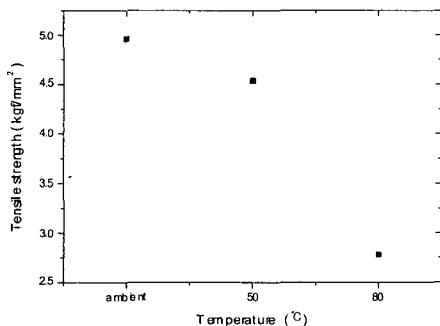


Fig. 6. Tensile strength for various temperature with 30% glass-fiber volume fraction.

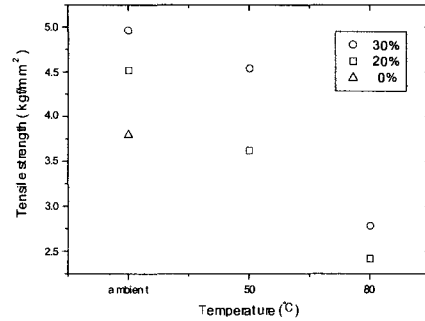


Fig. 7. Tensile strength vs temperature for various volume fraction.

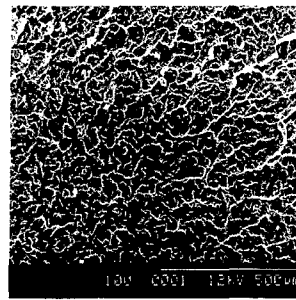
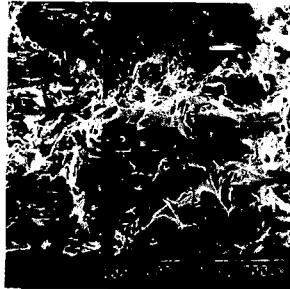


Photo. 1. SEM photograph of tensile fracture surface for pure PP tested at ambient.

Photo. 2는 섬유함유율이 20%인 복합재의 온도의 변화에 대한 파괴양상을 나타낸 것으로 (a)는 상온, (b)는 50℃ 그리고 (c)는 80℃에서의 파단면을 나타내고 있다. 사진 (a)에서 알 수 있듯이 상온에서의 파단면의 수지형태는 Photo. 1의 순수 PP의 파면과 유사한 경향을 보이고 있으며 섬유와 수지사이의 풀아웃(pull out)과 디본딩(debonding)이 주로 일어나고 섬유의 표면에 남아있는 수지의 양도 거의 없고 섬유표면도 매끄러운 파괴양상을 보이고 있다. 사진 (b)의 파단면은 상온과는 달리 파면의 수지형태는 연성과 인성이 증가하는 모습을 보이고 있으며 섬유표면에 남아있는 수지의 양도 증가하고 풀아웃과 디본딩이 상온보다는 적게 발생함을 보여주고 있다. 사진 (c)는 풀아웃과 디본딩이 거의 나타나지 않고 수지의 연성과 인성이 사진(b)보다 더 증가한 양상을 보이고 있으며 증가된 수지의 연성



(a)

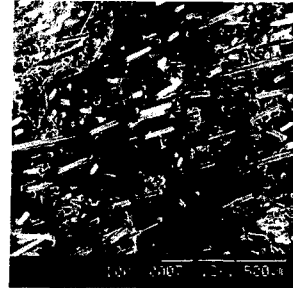


(b)



(c)

**Photo. 2 SEM photographs of tensile fracture surfaces for 20% fiber fraction GF/PP tested at ambient, 50°C and 80°C.**



(a)



(b)



(c)

**Photo. 3 SEM photographs of tensile fracture surfaces for 30% fiber fraction GF/PP tested at ambient, 50°C and 80°C.**

과 인성과 섬유가 혼합되어 섬유의 배열상태도 불규칙하게 배열된 양상을 보이고 있다. 따라서 온도의 변화에 따른 인장강도의 변화는 수지의 변화상태와 섬유의 배열상태의 영향으로 인한 것으로 생각된다.

Photo. 3은 섬유함유율이 30%인 복합재의 온도의 변화에 대한 파괴양상을 나타낸 것으로 (a)는 상온 (b)는 50°C 그리고 (c)는 80°C에서의 파단면을 보여

주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 온도의 변화에 따라 파괴되는 양상은 섬유함유율이 20%인 Photo. 2와 거의 동일한 경향을 보이고 있다. 즉 상온에서의 결과인 Photo. 2(a)와 Photo. 3(a), 50°C에서의 결과인 Photo. 2(b)와 Photo. 3(b), 그리고 80°C에서의 Photo. 2(c)와 Photo. 3(c)를 비교하여 보면 파단면의 수지모양과 섬유의 풀아웃과 디본딩 양상이 유사한 경향임을 알 수 있다.

## 결 론

섬유함유율이 0%, 20% 그리고 30%인 단섬유 GF/PP 복합재료를 사용하여 80℃, 50℃ 그리고 실온에서 인장시험을 통하여 온도의 변화에 대한 파괴강도의 거동을 고찰한 결과는 다음과 같다.

- 1) 유리섬유로 강화하지 않은 순수 PP보다 유리섬유로 강화한 복합재료의 인장강도가 높게 나타났으며 섬유함유율이 증가할수록 그 값은 높게 나타났다.
- 2) 동일한 섬유함유율을 가지는 GF/PP 복합재료의 온도변화에 따른 인장강도는 실온의 경우가 가장 높게 나타나고 고온으로 갈수록 그 값이 낮게 나타났다.
- 3) GF/PP 복합재료의 파괴기구는 온도의 변화에 따라 매트릭스의 변형이 나타났으며 섬유의 풀아웃, 섬유와 매트릭스 사이의 디본딩을 관찰할 수 있었으며, 이와 같은 파괴기구가 종합적으로 상호작용한다고 생각된다.

## 참고문헌

- 1) 김형진·엄윤성·고성위(1994): CFRP 복합재료의 Mode I 층간 파괴 인성치에 관한 연구, 한국

복합재료학회지 제7권 제4호, pp.66~73.

- 2) Famsteiner, F. and Theysohn, R.(1979): Tensile and impact strengths of unidirectional short fiber reinforced thermoplastics, Composites 10, pp.111-119.
- 3) Chen, Le-Shang, Mai, Yie-Wing, and Cotterell, Brian(1989): Impact Fracture Energy of Mineral-Filled Polypropylene, Polymer Eng. and Sci, 29(8), pp.505-512.
- 4) 고성위(1993): 온도변화에 따른 실리카 입자 강화 복합재료의 기계적 성질 및 파괴거동, 한국 복합재료학회지 제6권 제2호, pp.52~60
- 5) 김정규·강도식(1992): 원공을 가진 Glass/Epoxy 복합재료의 노치강도 및 파괴조건, 대한기계학회논문집 제16권 제7호, pp.1285~1293.
- 6) 엄윤성·박기호·김형진·고성위(1999): GF/PP 복합재료의 충격파괴거동에 관한 연구, 한국해양기술학회지 제35권 제4호, pp.421~427
- 7) Sova, M., Raab, M. and Slizova, M.(1993): Polypropylene composite materials oriented by solid-state drawing : low-temperature impact behaviour, J. of Mat. Sci, 28, pp. 6516-6523.
- 8) Novak, R.C. and DeCrescente, M.A.(1972): Impact Behavior of Unidirectional Resin Matrix Composites Tested in the Fiber Direction, ASTM STP 497, pp.311-323.