

# 유리섬유 강화 폴리프로필렌의 고상성형시 충격특성에 관한 연구

## A Study on the Impact Characteristics of Solid-phase Formed Glass Fiber Reinforced Polypropylene

최창근, 이종희, 이종문  
(전북대학교 신소재개발연구소)

### 1. 서론

최근 유리섬유가 보강된 열가소성 복합재료는 가볍고, 높은 강도와 강성을 가졌을 뿐만 아니라 재활용이 가능하며 제조 시 에너지 소비가 적은 장점들이 있어서 여러 가지 산업에서 금속을 대체하는 재료로서 사용이 증가하고 있다[1-3]. 이러한 섬유보강 고분자 복합재료는 다양한 성형 방법에 의하여 제조되고 있다. 사출성형(injection molding)에 의한 성형은 공정시간이 짧다는 장점이 있는 반면에, 설치비가 비싸고 긴 섬유로 보강된 복합재료의 성형이 어려운 단점을 가지고 있다. 그리고 고분자 복합재료의 성형에 가장 널리 사용되고 있는 압축성형(compression molding)은 장비가 단순하고 긴 섬유가 보강된 복합재료의 성형이 가능하지만, 성형을 위해서는 재료를 용융온도(melting temperature) 이상으로 가열하여야 하기 때문에 긴 공정시간과 고가의 금형 제작비등을 단점으로 들 수가 있다. 이러한 단점들을 극복하는 성형 기술에 대해 연구되어 왔으며, 이런 대체 성형 방법중의 하나는 금속성 판재제품의 제조에 사용되는 기술을 응용한 기술로서, 판재 형태의 재료를 용융온도와 유리전이온도(glass transition temperature) 사이의 온도로 가열하여 성형하는 고상성형(solid-phase forming)이다. 고상성형은 공정시간이 비교적 짧고, 간단한 제조 공정, 적은 설치비, 최종 성형품의 양질의 표면과 용융온도까지 가열하지 않아도 되기 때문에 에너지 소비가 적다는 장점을 가지고 있다[4-6]. 이러한 장점들 때문에 고상성형에 대한

연구들이 시작되었으며, 이런 연구들을 통하여 고상성형의 가능성이 제시되었으나[4,5], 아직 실용화를 위해서는 성형된 제품의 기계적 특성 등과 같은 많은 연구가 필요한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 고상성형된 제품의 충격 특성을 파악하기 위하여 여러 조건에서 고상성형된 시편의 충격시험을 행하였다.

### 2. 실험

충격시험에 사용된 재료는 직경과 길이가 각각 11mm와 12mm인 유리 섬유를 임의의 방향으로 배열한 polypropylene 판재로써, 중량비가 20%, 30%, 그리고 40%를 함유하고 있는 Finland의 Alhstrom 회사의 RTC-C-4000-20-B, RTC-C-3000-30-B, RTC-C-3000-40-B이다. 사용된 판재의 두께는 20%의 경우에는 3.81mm이고, 30%와 40%의 경우에는 2.54mm이다. 사용된 Polypropylene matrix의 유리전이온도와 용융온도는 각각  $-10^{\circ}\text{C}$ 와  $165^{\circ}\text{C}$ 이다. 충격시험용 시편제작을 위하여 복합재료 판재를 milling machine으로 기계 가공하여 길이와 폭이 각각 150mm와 25mm인 직사각형의 인장 시편을 제작하였다. 성형된 시편의 strain 측정을 위해서 시편에 일정크기의 정사각형 모양의 눈금을 특수 잉크로 인쇄하여 성형 후 vernier calipers를 이용하여 strain을 측정하였다. 시편의 고상 성형을 위해 고온 chamber를 갖춘 UTM (United Tension Machine)을 사용하였으며, Fig. 1은 사용된 UTM을 보인다. 고상 성형온도에 따른 제

폼의 충격강도의 변화를 살펴보기 위하여 10 0℃, 125℃ 및 150℃에서 성형을 행하였다. 시편이 원하는 온도에 도달하도록 chamber 안에서 30분간 유지한 후 일정한 속도(5mm/sec)로 원하는 strain level에 도달하도록 인장 성형을 하였다. 충격시험용 시편이 균일한 strain 분포를 가지도록 하기 위해 여러 번의 성형시험을 통하여 10% error 범위이내의 균일한 strain 정도를 가지는 5개의 시편을 선정하였고, 충격시험용 시편은 길이와 폭이 각각 62mm와 10mm인 직사각형으로 milling machine을 이용하여 기계 가공하였다. 충격시험은 ASTM D4812-93에 제시한 방법중 임의 방향으로 배향된 섬유강화 복합재

료에 많이 사용되는 notch가 없는 시편을 가지고 Izod 충격시험을 행하였다[7]. 충격시험은 Zwick회사의 충격시험기를 사용하였다. 사용된 충격시험기 pendulum의 release 각도는 124.4°이고, energy가 11J인 pendulum을 사용하였다. 시편에 clamping adjuster를 사용하여 50N의 clamping force를 유지하면서 실험을 행하였다. Fig. 2는 사용된 Izod 충격시험법 및 시편의 위치를 나타낸 것이다. 충격실험을 하기 전에 고상 성형된 시편의 두께를 vernier calipers를 이용하여 측정된 후에 시편을 충격 시험기에 장착하였다. 이 때 시편은 clamping adjuster 위로 31.75mm가 되도록 위치시켰다.

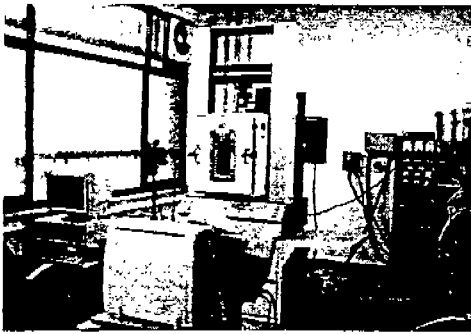


Fig.1. A photograph of UTM used for solid-phase forming

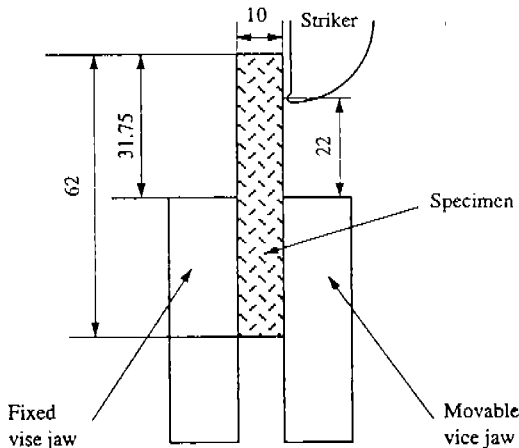


Fig.2. A schematic of Izod impact test and positioning of a specimen.

### 3. 결과 및 고찰

긴 유리섬유 강화 열가소성 복합재료는 재료 자체가 가지는 불 균일성 때문에 측정된 값들에 어느 정도의 편차가 발생할 것으로 사려되며, 이러한 복합재료에서 측정된 충격강도는 어느 정도의 분포를 보일 것으로 사려된다. 따라서 본 연구에서는 5회의 반복시험을 행하여 재료의 impact strength를 측정하였다.

Fig. 3는 유리섬유가 중량비로 20% 보강된 polypropylene을 여러 strain level까지 고상성형했을 때 재료의 충격강도를 알기 위해 5번의 반복실험을 통하여 측정된 impact strength와 그의 평균치를 error bar로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 고상성형시 strain이 증가함에 따라 impact strength는 거의 선형적으로 증가하였으며 strain이 약 30%의 경우에는 인장전의 복합재료에 비해 약 65% 정도의 impact strength가 증가함을 보이고 있다. 이것은 고상성형 시 수지의 국부적인 소성변형과 유리섬유와 수지사이의 debonding, 그리고 수지의 국부적인 찢어짐에 의해서 생성되는 void가 충격시에 완충역할을 하기 때문인 것으로 사려된다.

Fig. 4는 유리섬유가 30% 강화된 복합재료의 측정된 impact strength를 나타낸 것이다. 유리섬유가 30% 강화된 복합재료의 경우에는 20% 재료와 마찬가지로 strain이 증가함에 따라

impact strength가 증가함을 보이거나, 그 증가폭은 20%에 비해 완만하다. 즉 30% 유리섬유 강화 복합재료는 strain이 약 30%일 때 성형전의 재료에 비해 평균적으로 약 20%정도의 impact strength가 증가함을 나타내었다. 이 경우에도 20% 재료와 마찬가지로 고상성형시 재료 내부의 변화에 의해 발생하는 완충효과가 재료의 impact strength를 증가시키는 것으로 보인다.

Fig. 5은 유리섬유의 함유량이 40%인 재료의 측정된 impact strength 값들을 보인다. 유리섬유가 40% 보강된 재료의 경우 초기에는, 즉 strain이 약 10% 까지는 impact strength가 증가함을 보이거나, 그 이상에서는 점차 감소함을 보인다. 이것은 20%와 30% 재료와는 다르게 유리섬유의 함유량이 많아 섬유주위에 위치한 수지가 상대적으로 적게되어 적은 strain level에서도 쉽게 수지가 찢어지거나 섬유와 수지 사이에 debonding이 일어나게 되어 완충효과보다는 재료의 degrading으로 인한 impact strength의 감소효과가 더욱 크게 작용한 것으로 사려된다. 이러한 재료의 degrading 효과는 strain이 20%에서 보다 strain이 30%에서 더욱 증가하게 되어 impact strength의 감소를 또한 증가함을 보이는 것으로 사려된다. 한편, 이러한 복합재료의 고상성형에 있어서 성형온도는 성형성에는 아주 큰 영향을 미치는 것으로 보고된바 있으나[5], Fig. 3 ~ Fig. 5에서 알 수 있듯이 고상성형 온도 변화에 의한 충격강도의 영향은 모든 유리섬유의 복합재료에서 크게 나타나지 않았다.

#### 4. 결과

유리섬유강화 폴리프로필렌의 고상성형시 제품의 충격강도의 변화를 살펴보기 위한 본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 충격강도는 고상 성형온도에 거의 영향을 받지 않았다.
- 2) 고상성형된 시편의 충격강도는 유리섬유의 중량비가 20%와 30% 재료에서 pre-strain

이 증가함에 따라 충격강도의 증가를 보이며, 섬유의 함유량이 증가함에 따라 그 증가폭이 감소함을 보였다. 반면 중량비가 40% 인 경우에는 strain이 10%까지는 충격강도가 증가함을 보이거나, 그 이상으로 strain이 증가하게 되면 충격강도의 감소함을 보였다.

3) 전반적으로 유리섬유의 함유량이 증가함에 따라서 충격강도는 증가함을 보였다.

위의 결과에서 알 수 있듯이 고상 성형에 의한 제품의 제조시 충격강도가 크게 증가하기 때문에 자동차의 외판 등과 같이 충격강도가 요구되는 제품제조에 고상성형이 사용될 수 있을 것으로 사려된다

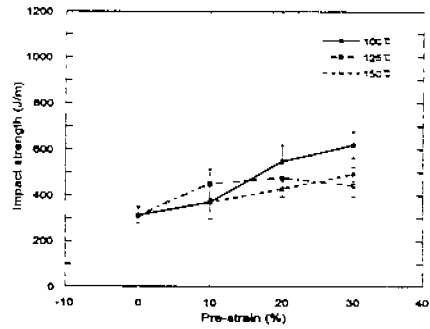


Fig.3. Impact strength at various pre-strain for 20% glass reinforced polypropylene.

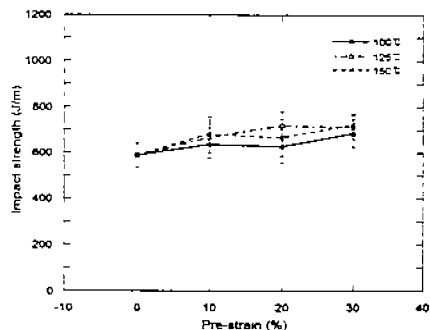


Fig.4. Impact strength at various pre-strain for 30% glass reinforced polypropylene.

1988, 9(3):222-228.

- [7] ASTM D4812-93, "Standard Test Method for Unnotched Cantilever Beam Impact Strength of Plastics".

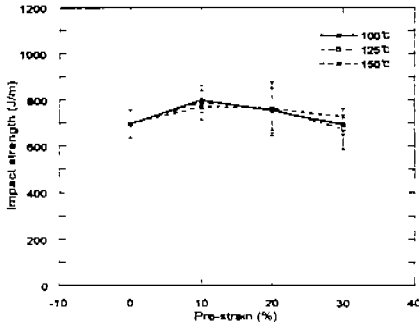


Fig.5. Impact strength at various pre-strain for 40% glass reinforced polypropylene.

### 참고 문헌

- [1] D. M. Bigg and J. R. Preston, "Stamping of Thermoplastic Matrix Composites", *Polymer Composite*, 10(4): 1989, pp. 261-268.
- [2] Michael R. Fallon, "Thermoplastic Sheet Stamping : Ready for the Big Time", *Plastic Technology*, 1989, pp. 95-103.
- [3] D. Maass and J. Bertolet, "Forming Thermoplastic Composites", Technical Report EM86-714, S.M.E. Technical Paper, 1986.
- [4] J. H. Lee and J. H. Vogel, "An Investigation of the Formability of Long Fiber Thermoplastic Composite Sheet", *Journal of Engineering Materials and Technology, Transactions of ASME*, 1995, 117:127-132.
- [5] J. H. Lee and J. H. Vogel, "An Investigation of the Necking Instability in Fiber Reinforced Polypropylene", *Journal of Engineering Materials and Technology, Transactions of ASME*, Jan. 1996, 118:80-87.
- [6] D. M. Bigg, D. F. Histock, J. R. Preston, and E. J. Bradbury, "Thermoplastic Matrix Sheet Composites", *Polymer Composites*,