

고상성형시 변형률이 열가소성 복합재료의 인장특성에 미치는 영향

The Effects of Pre-strainon Tensile Properties in Solid-Phase Forming of Thermoplastic Composite

조현철*, 이중희*, 김병선**

1. 서론

고분자 복합재료는 금속에 비하여 경량, 고강도, 고탄성을 등의 장점을 가지고 있어 여러 산업에서 기존의 금속 재료를 대체할 수 있는 재료로서 그 사용이 점차 증가하고 있다[1-5]. 특히 사회적으로 환경 문제가 대두되면서 열가소성 복합재료에 대한 관심이 높아지고 있으며 이에 대한 연구가 더욱 요구되고 있다. 긴 유리섬유가 임의의 방향으로 보강된 열가소성 복합재료는 재활용이 가능하여 이러한 대체 재료로서 유망하며 이에 대한 공정 개발이 필요하다. 사출성형(injection molding)에 의한 제품 성형은 공정시간이 짧은 장점이 있는 반면에 긴 섬유 강화 복합재료의 경우에는 공정 중 섬유가 파괴되기 쉬우며 수지의 흐름성이 낮아 적용하기가 어렵다는 단점이 있다. 압축성형(compression molding)은 긴 섬유가 강화된 복합재료의 성형이 가능하지만 재료를 용융온도 이상으로 가열하여야 하기 때문에 공정시간이 길고 에너지 소비가 크다는 단점이 있다. 이러한 이유로 새로운 성형 방법이 필요하며, 최근에 제안된 성형방법으로 고상성형(solid-phase forming)에 대한 관심이 높아지고 있다. 고상성형이란 금속성 판재 제품의 제조에 사용되는 기술을 응용한 기술로서, 판재형태의 복합재료를 용융온도(melting temperature)와 유리전이온도(glass

transition temperature) 사이의 온도에서 가열하여 성형하는 방법을 말한다. 고상성형은 공정시간이 비교적 짧고, 제조공정이 간단하며, 설치비가 저렴하고, 용융온도까지 가열하지 않아도 되기 때문에 에너지 소비가 적다는 장점을 가지고 있다[6,7].

지금까지의 연구에서 고상성형의 가능성이 제시되었으나 실용화를 위해서는 성형된 제품의 기계적 특성을 파악해야 하는 등 앞으로 많은 연구가 필요한 실정이다[8-9].

고상성형품의 기계적 특성을 파악하기 위한 연구의 일환으로 본 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 고상성형된 제품의 기계적 특성을 파악을 위해 고상성형된 성형품의 변형률에 따른 인장특성을 파악하였다.

2. 실험

고상성형시 변형률이 성형품의 인장 특성에 미치는 영향을 관찰하기 위해 본 실험을 행하였다. 인장실험에 사용된 재료는 유리섬유가 중량비로 각각 20%, 30%, 40% 함유되어 있는 Filand의 Alhstrom사에서 제공된 RTC-C-4000-20-B, RTC-C-3000-30-B, RTC-C-3000-40-B이다. 사용된 재료는 길이와 직경이 각각 12mm와 11 μ m인 유리 섬유가 임의의 방향으로 배열 강화된 polypropylene 판재 형태로 제작된 재료이다. 복합재료의 제조에 사용된 polypropylene matrix의 유리전이온도(glass transition temperature)와 용융온도(melting temperature)는 각각

* 전북대학교 고분자공학과, 자동차신기술 연구소

** 한국기계연구원 재료기술 연구부

-10℃와 165℃이다. 복합재료 판재의 두께는 20wt%의 경우에는 3.81mm이고, 30wt%와 40wt%의 경우에는 2.54mm이다. 인장실험용 시편을 제작하기 위하여 복합재료 판재를 길이 150mm와 폭 30mm의 직사각형으로 milling machine을 사용하여 기계 가공하였다. 성형된 시편의 변형률을 측정하기 위해서 시편에 일정한 크기의 정사각형 모양의 모눈을 특수 잉크를 사용하여 인쇄하였으며, 성형 후 vernier calipers를 이용하여 모눈의 변형된 길이를 측정하여 변형률을 구하였다. 고상성형을 하기 위해 고온 chamber를 갖춘 UTM(United Tension Machine)을 사용하였다. 시편을 125℃의 온도에서 30분 동안 예열한 후 3mm/sec의 속도로 인장성형 하였으며, 각각 10%, 20%, 30%의 변형률을 갖도록 하였다. 균일한 변형률 분포를 가지는 5개의 시편을 각각 선정하여, 인장실험용 시편을 제작하였으며, 시편은 길이 150mm와 폭 20mm인 직사각형으로 milling machine을 이용하여 기계 가공하였다. 인장실험은 ASTM-D 3039에 따라 행하였다[10]. 변형률에 따른 인장 특성의 변화를 관찰하기 위하여 각각 0%, 10%, 20%, 30%의 변형률로 성형된 시편을 가지고 인장실험을 행하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 변형률에 따른 인장 강도의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 변형률이 증가함에 따라 인장강도는 감소하는 것을 알 수 있다. 유리섬유의 함유량이 20wt%인 시편의 경우 30%의 변형률에서 약 40%의 인장 강도가 감소하는 것을 볼 수 있으며, 30wt%, 40wt%의 경우에도 30%의 변형률에서 각각 약 25%와 20%의 인장 강도 감소율을 보인다. 이를 통해 변형률이 증가할수록 인장 강도는 감소하는 것을 알 수 있으며, 또한 유리섬유의 함유량이 감소할수록 인장 강도의 감소율이 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 변형률에 따른 탄성 계수의 변화를 보여 준다. 탄성 계수 또한 인장 강도의 변화와

유사한 경향을 보이며 변형률이 증가함에 따라 탄성 계수는 감소함을 보인다.

이상의 결과를 볼 때 고상성형으로 제품을 성형하였을 경우 성형된 제품의 기계적 성질이 저하되는 것을 알 수 있으며, 이는 고상성형 동안 재료의 내부에서의 debonding과 유리섬유의 파괴 또는 matrix의 파괴, matrix의 국부적인 소성 변형, 또는 void 형성 때문일 것으로 생각된다. 이러한 void의 증감을 관찰하기 위해 고상성형된 시편과 고상성형 하기 전의 시편과의

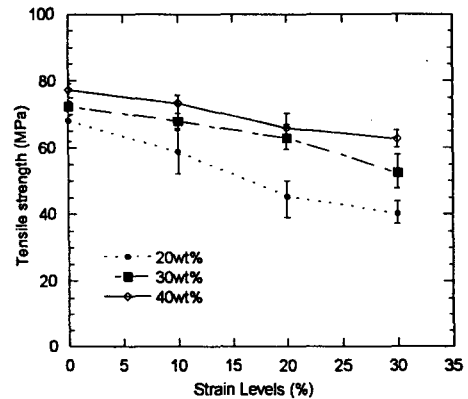


Fig. 1. Tensile strength of solid-phase formed specimens at various pre-strain levels.

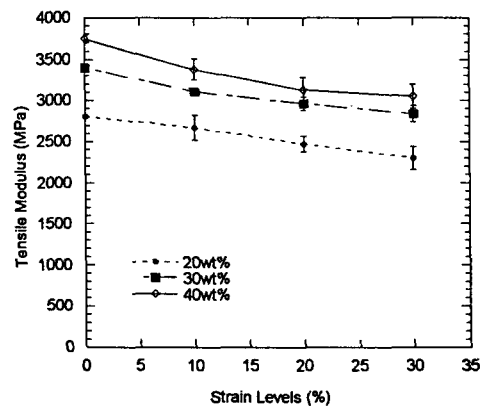


Fig. 2. Tensile modulus of solid-phase formed specimens at various pre-strain levels.

밀도의 변화를 비교해 보았다. 이를 위해 각각의 시편을 일정 크기의 직사각형 모양으로 기계 가공하였다. 각각의 시편의 가로, 세로, 두께의 크기를 micrometer로 측정 후 이를 통해 부피를 계산하였고, 전자 저울을 이용하여 시편의 무게를 측정하였다. 고상성형된 시편에 따라 측정된 밀도의 차이가 있을 수 있기 때문에 각각 5개의 시편의 평균치를 구하여 그 평균값을 통해 비교하였다. Fig. 3은 유리섬유 함유량이 20wt%인 재료의 변형률에 따른 밀도의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같

이 변형률이 증가함에 따라 밀도는 감소하며, 이것은 변형률이 증가함에 따라 void도 증가한다는 것을 말해 준다. Fig. 4는 고상성형으로 인한 인장 강도의 변화를 파악하기 위해 단위 중량당의 인장 강도로 나타낸 것이다. Fig. 1에서 보인 변형률이 30%인 경우 인장 강도가 40% 변한 것으로 나타났으나, 이것은 단위 면적당의 인장 강도이며 단위 중량당의 인장 강도는 약 13% 감소함을 보여 실제적으로 고상성형으로 인한 단위 중량당의 인장 강도로 볼 때 재료의 특성 저하는 그리 심각하지 않음을 보이고 있다.

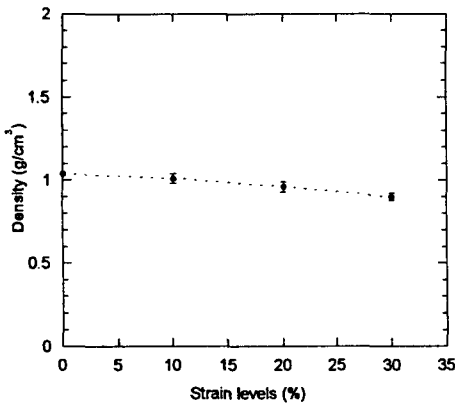


Fig. 3 Density changes at various pre-strain levels for 20% glass content material.

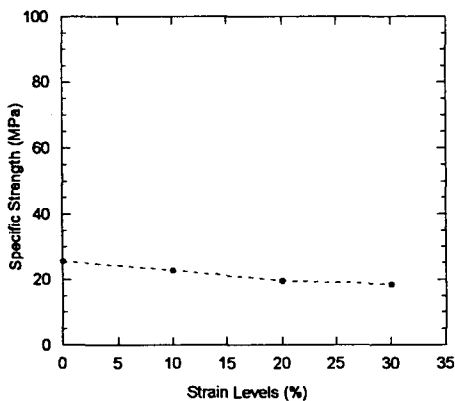


Fig. 4 Specific strength at various pre-strain levels for 20% glass content material.

4. 결론

유리섬유강화 폴리프로필렌의 고상성형시 제품의 인장특성의 변화를 살펴보기 위한 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 변형률이 증가할수록 인장강도는 감소하며 유리섬유 함유량이 감소할수록 인장강도의 감소폭이 증가한다.
- 2) 고상성형된 시편의 탄성 계수는 변형률이 증가할수록 감소함을 보인다.
- 3) 변형률이 증가함에 따라 void의 형성이 증가함을 보인다.
- 4) 단위 중량당 인장강도의 변화는 그리 크지 않았으며, 고상성형으로 인한 재료의 기계적 특성의 저하는 많지 않음을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] D. M. Bigg and J. R. Preston, "Stamping of Thermoplastic Matrix Composites", *Polymer Composite*, 10(4): pp. 261-268, 1989
- [2] Jane M. Crosby, "Recent Advances in Thermoplastic Composites", *Advanced Material and Processes*, pp. 225-230, May 1968.
- [3] Michael R. Fallon, "Thermoplastic Sheet Stamping : Ready for the Big Time", *Plastic Technology*, pp. 95-103, 1989
- [4] D. Maass and J. Bertolet, "Forming Thermo-

- plastic Composites”, Technical Report EM 86-714, S.M.E. Technical Paper, 1986.
- [5] J. D. Muzzy, A. C. Kays, “Thermoplastic vs Thermosetting Structural Composites”, *Polymer Composites*, 15(13): 169-172, 1984
- [6] 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*, 117:127-132, 1995
- [7] D. M. Bigg, D. F. Histock, J. R. Preston, and E. J. Bradbury, “Thermoplastic Matrix Sheet Composites”, *Polymer Composites*, 9(3):222 -228, 1988
- [8] 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., 118:80-87, 1996
- [9] J. H. Lee and J. H. Vogel, “Biaxial Stretch Forming of Thermoplastic Composite Sheets”, *27th International SAMPE Technical Conference*, Diversity into the Next Century, Oct. 27:750-759, 1995
- [10] ASTM D3039, “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials”