

유리섬유 길이가 섬유 강화 열가소성 복합재료의 기계적 특성에 미치는 영향

The effect of glass fiber length on the mechanical properties of thermoplastic composites

김동석*, 이정권, 이종희

(전북대학교 자동차신기술연구소)

1. 서론

최근 기존의 금속재료를 대체할 수 있는 높은 강도와 강성을 가진 재료의 개발에 많은 연구가 행하여지고 있다. 고분자 수지에 유리섬유가 보강된 복합재료는 이러한 재료 중의 하나로 항공기, 조선, 자동차 산업 등에서 그들의 활용 범위가 넓어지고 있다[1-5]. 이러한 고분자 복합재료는 수지의 재료에 따라 크게 열가소성 복합재료와 열경화성 복합재료의 두 그룹으로 나뉘어진다.

한편 자동차, 건축 등 여러 산업분야에서 가장 널리 사용되고 있는 복합재료중의 하나는 SMC(Sheet Moulding Compound)라고 할 수 있다. 이러한 SMC는 성형성이 좋고, 제품의 표면이 좋으며, 제품의 제조공정이 비교적 간단하다는 이점을 지니고 있다. 그러나 이러한 재료는 상온에서 재료의 저장이 어렵고, 재활용할 수 없다는 단점을 지니고 있다. 또한 공산품 폐기물 처리가 심각한 환경문제와 사회문제로 대두되면서 재활용이 어려운 열경화성 복합재료보다는 재활용이 가능한 열가소성 복합재료에 대한 연구가 더욱 요구되고 있다. 이로 인해 이러한 SMC 재료를 대체할 수 있는 우수한 기계적 성질을 가지면서 재활용할 수 있는 재료의 개발 및 그의 공정개발이 절실히 요구된다. 이러한 재료의 유망한 대체 재료중 하나는 긴 유리섬유가 임의의 방향으로 보강된 열가소성 복합재료라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 SMC 재료를 대체할 수 있는 재활용이 가능하고 고기능을 가지는 열가소성 복합

재료를 유리섬유 길이에 따른 기계적 특성에 대해 연구하였다.

2. 실험

유리섬유의 길이와 유리섬유의 함유량이 복합재료의 기계적 성질에 미치는 영향을 연구하기 위하여 polypropylene 수지에 유리섬유의 길이를 각각 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm로 변화시키면서, 유리섬유의 함유량이 중량비로 20 %, 30 %, 40 % 함유된 복합재료를 제조하였다. 유리섬유는 한국 Vetrotex(주)에서 제공한 polypropylene 복합재료용 유리섬유를 사용하였다. 수지는 호남석유화학에서 제공한 J-370 polypropylene의 분말형태 수지를 사용하였다. 복합재료의 제작순서는 우선 mold위에 산화 방지제등 첨가물이 혼합된 분말형태의 polypropylene을 분산하여 얇은 층을 만들고, 그 위에 random하게 배향된 일정 길이로 chopped된 유리섬유를 놓았다. 이와 같은 방식으로 20 %는 5층으로 30 %와 40 %는 6층으로 적층하여 210℃의 오븐에서 약 60분간 가열한 후 유압프레스에 놓고 압축하였다. 재료의 두께는 3 mm가 되도록 복합재료를 제작하였다.

제작한 복합재료의 tensile strength와 modulus를 측정하기 위하여 ASTM D3039 방법에 따라 상온에서 단순 인장시험을 실시하였다. 이 실험을 위하여 UTM (United Testing Machine)을 사용하였으며, 제조한

복합재료 판재를 150 mm × 25 mm × 3 mm로 밀링 가공하여 인장시편을 만들었다.

복합재료는 복합재료 자체가 가지는 불균일성으로 인해 각 시편마다 측정된 값이 약간 다를 수 있으며, 각 조건마다 5번의 반복 실험을 통하여 값을 측정하였다. 또한 인장 속도가 재료의 물성에 미치는 영향을 연구하기 위하여 cross head 속도를 0.2 mm/min, 2 mm/min, 20 mm/min에서 실험을 실시하였다.

굽힘 시험은 ASTM D790-97의 방법에 따라 실시하였으며 cross head 속도는 규정속도인 1.28 mm/min으로 하였다. 사용된 시편은 제조한 복합재료를 75 mm × 25 mm × 3 mm로 기계 가공하여 사용하였다. 다이 span의 길이는 48 mm로 하였으며, 다이와 펀치의 직경은 5 mm로 하였다. Fig. 1은 굽힘시험에 사용된 장비를 나타낸 것이다.

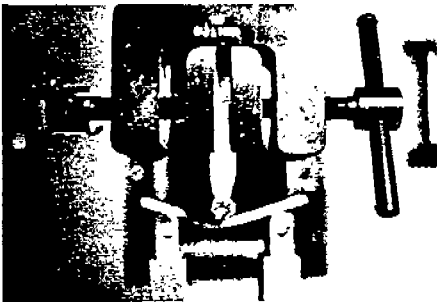


Fig. 1. The equipment used for the flexural test.

3. 실험 결과 및 고찰

본 실험에서는 유리섬유의 길이가 각각 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm일 때의 유리섬유 함유량의 변화에 따른 tensile strength와 modulus 값, flexural strength와 modulus 값들을 측정하였다.

Fig. 2는 cross head speed가 2 mm/min에서의 유리섬유 길이 변화에 대한 tensile strength값의 변화를 나타내고 있다. 유리섬유의 길이가 15 mm까지는 증가함을 보이나 20 mm와 25 mm에서는 오히려 그 값이 감

소함을 보이고 있다. 즉, tensile strength값은 어느 일정 길이 까지는 유리섬유의 길이가 길수록 증가하나 일정한 길이 이상에서는 오히려 감소함을 알 수 있다. 이러한 현상은 복합재료의 유리섬유의 길이가 너무 길면 복합재료의 내부에 섬유와 섬유가 접촉하는 접촉부가 많아져 void 또는 불완전한 packing이 형성되어 복합재료의 기계적 성능이 저하되는 것으로 사려된다[8]. 따라서 복합재료 제작시 기계적 성질과 성형성 등을 고려하여 적당한 유리섬유의 길이를 선택하는 것이 바람직한 것으로 사려된다.

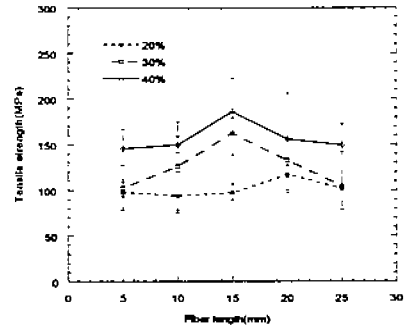


Fig. 2. Measured tensile strength for various glass fiber contents of 20 %, 30 %, and 40 % at the cross head speed of 2 mm/min.

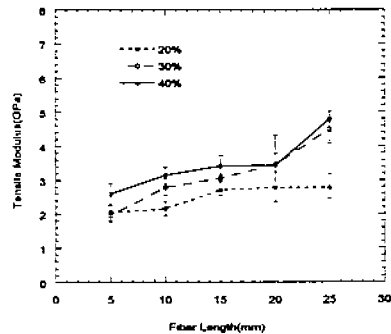


Fig. 3. Measured tensile modulus for various glass fiber contents of 20 %, 30 %, and 40 % at the cross head speed of 2 mm/min.

Fig. 3은 tensile modulus값을 2 mm/min cross head speed에서 유리섬유의 길이의 변화에 따라 나타내었다. Tensile modulus값은 유리섬유의 길이가 증가할수록 약간 증가함을 보인다. 대체적으로 tensile modulus값은 본 연구에서 실험한 범위 내에서는 유리섬유의 함유량이 증가할수록 다소 증가하는 경향을 보이고 있다.

Flexural strength는 복합재료를 bending 할 때 판재의 바깥쪽에서 항복이 일어날 때 발생하는 최대 stress와 같다. Flexural strength와 modulus는 측정된 load-deflection data로부터 다음 식을 이용하여 구하였다.

$$S = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

$$E_H = \frac{L^3 m}{4bd^2} \quad (2)$$

여기에서 S 는 flexural strength(Mpa), E_H 는 flexural modulus(Gpa), P 는 재료의 최대 하중(N), L 은 span의 길이(mm), b 는 시편의 폭(mm), d 는 시편의 두께(mm), m 은 load-deflection curve의 초기직선라인의 기울기를 나타낸다.

Fig. 4는 유리섬유의 길이의 변화에 따른 flexural strength의 측정치를 평균값과 함께 error-bar로 나타내었다. 유리섬유 함유량이 20%인 복합재료에서는 길이의 변화에 따라서 flexural strength가 거의 영향을 받지 않음을 보이고 있으며, 30%와 40% 경우에는 유리섬유의 길이가 증가할수록 flexural strength가 약간 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 flexural strength는 유리섬유의 함유량이 증가할수록 증가하는 경향을 보인다.

Fig. 5는 각각의 유리섬유의 길이의 변화에 대하여 flexural modulus의 측정치를 error-bar로 나타내었다. 유리섬유 함유량이 20%인 복합재료에서는 길이가 변화함에 따른 flexural modulus는 flexural strength와 마찬가지로 거의 영향을 받지 않음을 보이고

있으며, 30%와 40%에서는 유리섬유의 길이가 증가할수록 flexural modulus는 약간 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 flexural modulus는 유리섬유의 함유량이 증가할수록 증가함을 보인다.

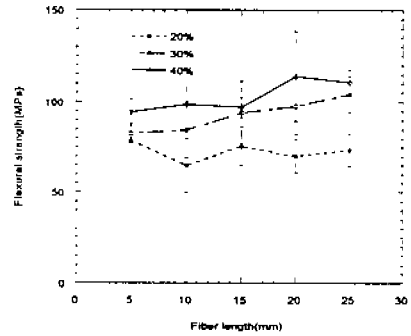


Fig. 4. Measured flexural strength versus fiber length for various glass fiber contents of 20 %, 30 %, and 40 %.

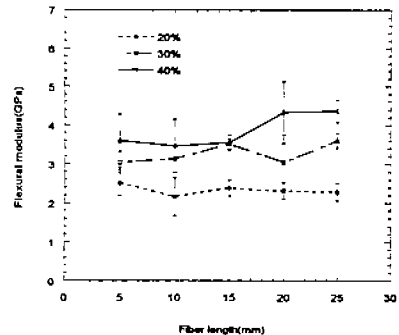


Fig. 5. Measured flexural modulus versus fiber length for various glass fiber contents of 20 %, 30 %, and 40 %.

이와 같은 결과를 볼 때 flexural strength와 modulus는 유리섬유 함유량에 의해 많은 영향을 받고 있으며 유리섬유의 함유량이 증가할수록 대체적으로 증가하며, 유리섬유의 길이 변화에는 유리섬유의 함유량이 작을 때에는 큰 영향을 받지 않지만 유리섬유의 함유량이 많을 때에는 유리섬유의 길이가 증가할수록 약간의 증가함을 보인다.

4. 결과

유리섬유 길이가 섬유강화 열가소성 복합 재료의 기계적 특성에 미치는 영향을 살펴보기 위한 본 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Tensile strength는 유리섬유의 함유량이 증가할수록 다소 증가하고, 섬유의 길이가 15 mm ~ 20 mm까지 증가할수록 그 값이 증가함을 보이나, 그 이상에서는 감소함을 보인다.
2. Tensile modulus는 유리섬유의 함유량이 증가할수록 증가하고, 유리섬유 길이가 길어질수록 그 값이 증가하며, 유리섬유의 함유량이 클수록 그 증가폭은 더욱 커졌다.
3. Flexural strength와 flexural modulus는 40 %까지 유리섬유의 양이 증가 할수록 증가하며, 20 %에서는 유리섬유의 길이에는 영향을 거의 받지 않으나, 30 %와 40 %에서는 유리섬유의 길이가 길수록 다소 증가함을 보인다.

이상과 같은 연구 결과를 볼 때 제품이 인장 하중을 주로 받는 곳에 사용되는 재료는 유리섬유의 길이를 15 mm ~ 20 mm로, 굽힘 하중을 받는 곳에 사용되는 재료는 유리섬유의 길이를 가능한한 길게 하여 제작하는 것이 유리할 것으로 사려된다. 그러나 유리섬유의 길이가 너무 길면 성형성의 저하 및 제품내 유리섬유 분포의 불균일성을 초래하기 때문에 성형성을 고려한 적절한 섬유 길이를 선정하여야 할 것이다.

후기

본 연구는 1997년도 전북대학교 자동차신기술연구소 학술연구조성비에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

[1] D. M. Bigg and J. R. Preston, "Stamping of Thermoplastic Matrix Composites", *Polymer Composite*, 10(4):261-268, 1989.

[2] Jane M Crosby, "Recent Advances in Thermoplastic Composites", *Advanced Material and Processes*, pages 225-230, May 1968.

[3] Michael R. Fallon, "Thermoplastic Sheet Stamping: Ready for the Big", *Plastic Technology*, pages 95-103, 1989.

[4] D. Maass and J. Bertolet, "Forming Thermoplastic Composites", Technical Report EM86-714, 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] Miller, B., Muri, P. and Rebenfeld, L. "A microbond method for determination of the shear strength of a fiber/resin interface", *Composites Science and Technology*, 28, 279, 1987.

[7] Jack I., Koenig, "Mechanical characterization of the interfacial strength of glass reinforced composite", *Polymer composite*, Vol6, No.3, 1985.

[8] T. A. Martin, D. Bhattachacharyya and R. B. Pipes, "Deformation characteristics and formability of fiber-reinforced thermoplastic sheet", *Composite Manufacturing Vol.3, No.3*, 1992.