

현무암 섬유의 인장 특성

- 시료장과 인장 속도, 꼬임의 영향 -

허 유*, 김형진, 양희원, 전경진**

*경희대학교 기계.산업시스템공학부, 경희대학교 대학원 기계공학과, **(주) 세코텍

Tensile Properties of Basalt Fibers

- The Effect of Length of Specimen, Tensile velocity, and Twist -

You Huh*, Hyung J. Kim, Hee W. Yang, and Jeon Kyung Jin**

*Faculty of Mechanical and Industrial Systems Engineering, Kyung Hee University, Yongin, Korea

Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Kyung Hee University, Yongin, Korea

**Secotech Co. Ltd., Yongin, Korea

1. 서론

복합재용 강화 섬유는 크게 공업용 유기섬유와 무기섬유로 구분할 수 있으며, 무기섬유 중에서는 대표적으로 탄소섬유(carbon fiber)와 유리섬유(glass fiber)가 있다. 일반적으로 탄소섬유는 우수한 역학적 성능과 낮은 밀도 등의 장점이 있으나 상당히 고가이고, 유리섬유는 가격이 비교적 저렴하지만 역학적 성능이 낮고 친환경적이지 못한 단점이 있다. 따라서 이러한 단점을 보완할 수 있는 우수한 역학적 특성을 지닌 산업용 무기소재로서 최근 들어 현무암 섬유(basalt fiber)에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 현무암 섬유는 천연 현무암 원석을 원료로 고온에서 용융시켜 섬유화한 환경 친화적 소재로서 제조공정이 간단하고, 내열성이 뛰어나 초저온(-260℃)에서 초고온(900℃)까지 사용이 가능하며, 비강도가 탄소섬유에 비하여 낮지만 유리섬유에 비하여 우수하다. 또한 비교적 신도가 높고, 내충격성, 단열성 및 소음/진동 흡수성, 재활용성이 우수하여 다양한 산업분야에서 기초 재료로 사용이 가능하다[1,2]. 그러나 아직까지 우리나라뿐만이 아니라 선진 기술국에서도 현무암 섬유에 대한 기초기술이 체계화 되지 못한 상태이므로 현무암 섬유의 역학적 특성 개선 및 제품으로 생산하기 위한 기술 개발이 상당히 제한적이다. 본 연구에서는 현무암 섬유에 대한 기초 연구로써 국내에서 생산되고 있는 현무암 스트랜드(strand)를 이용하여 시료장과 인장 속도, 꼬임의 변화에 따른 인장 시험을 통해 현무암 섬유의 역학적 특성을 고찰해 보고자 하였다.

2. 실험

2.1 시료

현재 국내에서 생산되는 현무암 스트랜드는 고온 용융노(furnace)에서 용융되어 방사구에 해당하는 다공 부싱(bushing)을 통하여 방사되어, 다발 상태로 냉각되고, 권취 속도의 제어에 따라 원하는 선밀도를 갖도록 생산된다. 이 과정에서 권취된 현무암 섬유의 표면 보호와 후 공정의 효율을 개선하기 위하여 사이징 처리를 거친다. 본 연구에서는 이렇게 생산된 현무암 섬유의 인장성을 확인하기 위하여 200 필라멘트로 구성된 51 tex의 선밀도를 갖는 현무암 스트랜드를 인장시험에 사용하였다. 이 때 현무암 스트랜드 구성하는 모노 필라멘트의 굵기는 Table 1과 같으며, Fig. 1과 Fig. 2는 각각 본 연구에서 사용한 현무암 스트랜드와 스트랜드를 구성하는 모노 필라멘트의 실사를 보여준다.

Table 1 Thickness of basalt mono filament

Thickness of basalt mono filament	mean (μm)	11.149
	variance (μm^2)	3.227
	standard deviation (μm)	1.796

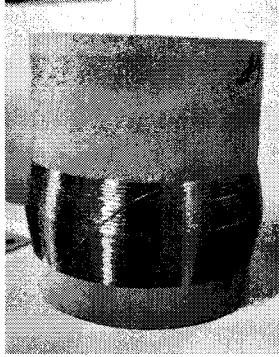


Fig. 1 Basalt strand(51 tex)

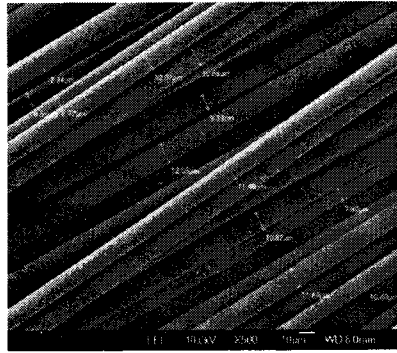


Fig. 2 Basalt mono filament

2.2 시험 조건

복합재용 강화 섬유인 현무암의 인장 시험에 대한 국제 표준이 아직 존재하지 않으므로 본 연구에서는 현무암의 벌크 상태의 재료 인장성을 나타내는 zero gauge 강도를 확인하고자 하였다. 이를 위하여 현무암 섬유의 시료 길이를 변화시키며, 인장 시험 결과를 시료 길이가 0인 경우, 즉 현무암 재료 자체의 인장 강도를 외삽법을 이용하여 확인하였다. 또한 인장 속도에 따른 현무암 섬유의 특성을 확인하기 위하여 여러 시료 길이에 대하여 tensile strain rate를 동일하게 하여 인장했을 경우 (constant rate of strain test)와 인장 속도를 일정하게 하여 시료의 길이에 따른 tensile strain rate가 달라질 경우 (constant rate of deformation test)를 비교하였다. 섬유 다발에서 꼬임은 다발에 포함력 및 강도를 제공하는 중요한 요소이므로 꼬임에 따른 현무암 스트랜드의 특성도 확인해 보았다. Table 2는 본 연구에서 사용된 인장시험 조건을 나타낸다.

Table 2 Experimental conditions

Shape of specimens	Basalt mono filament	Basalt strand	
	Specimen length (mm)	Twist (T.P.M.)	Specimen length (mm)
Constant rate of strain (0.5 /min)	20	50	50
	50	100	100
	100	200	150
Constant rate deformation (10 mm/min)	150	300	250
	250	400	

3. 결과 및 고찰

3.1 현무암 모노 필라멘트 인장 시험

가) 정 변형을 인장 시험

현무암 모노 필라멘트의 정 변형을 인장시험 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 결과에 따르면 최대 인장 응력은 시편의 길이가 길어짐에 따라 다소 감소하는 경향을 보인다. 그러나 측정된 최대 인장 응력의 편차가 상당히 크게 발생하여 결과에 대한 신뢰도가 떨어짐을 확인하였다. 따라서 정 변형을 인장 시험을 했을 경우, 시편의 길이를 이용하여 외삽법으로 현무암 섬유 재료 자체의 최대 인장 응력, 즉 zero gauge 벌크 강도를 확인하는 데는 어려움이 있다.

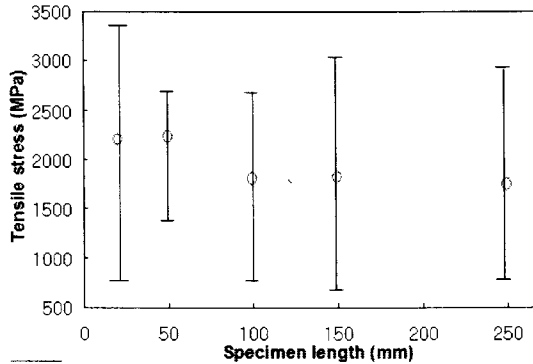


Fig. 3 Maximum tensile stress according to various specimen lengths (tensile velocity : same tensile strain rate related to specimen length)

나) 정속 인장 시험

인장 속도를 10 mm/min으로 고정하여 정속 인장 시험을 하였을 때 시료 길이에 따른 최대 인장 응력의 거동을 Fig. 4에 나타내었다. 결과에 따르면, 인장 속도를 일정하게 하고 변형이 일어날 경우 시편 길이에 따른 최대 인장 응력값은 시료의 길이가 감소함에 따라 뚜렷이 역함수의 형태를 가지며 감소하는 것을 볼 수 있다. 따라서 역함수를 이용하여 외삽을 통해 현무암 섬유의 zero gauge 인장 응력을 확인해 본 결과, 현무암 벌크 상태에서의 최대 인장 응력은 3,450 MPa으로 확인되었다.

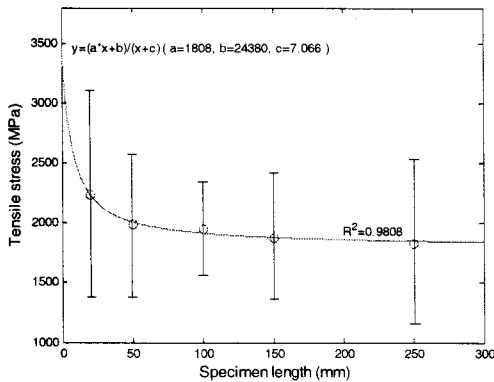


Fig. 4 Maximum tensile stress according to various specimen lengths

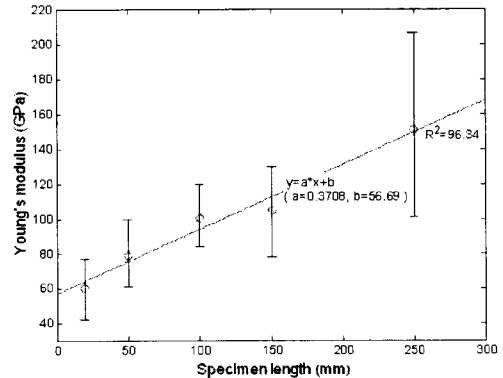


Fig. 5 Young's modulus according to various specimen lengths

또한 현무암 모노 필라멘트의 zero gauge 벌크 탄성률을 확인하기 위하여 동일한 인장 속도에서 시료 길이에 따른 탄성률의 변화를 확인하여 Fig. 5에 나타내 보았다. 결과에 따르면, 현무암 섬유의

탄성률은 시편 길이의 증가에 따라 거의 선형적인 거동을 띄면서 증가하였으며, zero gauge에서의 현무암 섬유 탄성률을 확인한 결과 57 GPa임을 확인하였다.

3.2 현무암 스트랜드 인장 시험

현무암 스트랜드에 각각 다른 꼬임을 부여하고 일정한 인장 속도 (25 cm/min)에서 현무암 스트랜드의 시편 길이에 따른 인장 거동을 Fig. 6에 나타내었다. 결과에 따르면, 현무암 스트랜드에 비교적 낮은 꼬임을 부여하면 (본 연구에서는 약 50 T.P.M.), 시편의 길이가 짧을 경우, 현무암 스트랜드는 가장 높은 인장 비강도를 나타냈지만, 꼬임이 더욱 증가하고, 시료 길이가 증가할수록 스트랜드의 인장 비강도는 서서히 감소함을 확인할 수 있었다. 특히 꼬임수가 400 T.P.M.에 이르면, 현무암 스트랜드의 비강도는 급격하게 낮아졌는데 이는 현무암 스트랜드에 강한 꼬임을 부여할 경우, 꼬임에 의해 발생한 전단응력이 취성이 강한 현무암 섬유 자체를 손상시켰기 때문이라 판단된다. Fig. 7은 시료 길이에 따른 현무암 스트랜드의 인장 신도 결과를 나타낸다. 결과에 따르면 신도는 시료의 길이가 증가할수록 거의 선형적으로 비례하며 증가하였고, 꼬임수가 300 T.P.M.일 때까지 비슷한 거동을 하며 일정하게 증가하였다. 그러나 꼬임수 400 T.P.M.에서 신도는 시료 길이의 증가에 크게 변하지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 과도 꼬임에 기인한 스날링 및 꼬임에 의한 전단응력으로 인해 손상을 입은 현무암 섬유가 더 이상 인장되지 못하고 쉽게 파단이 발생함을 의미한다.

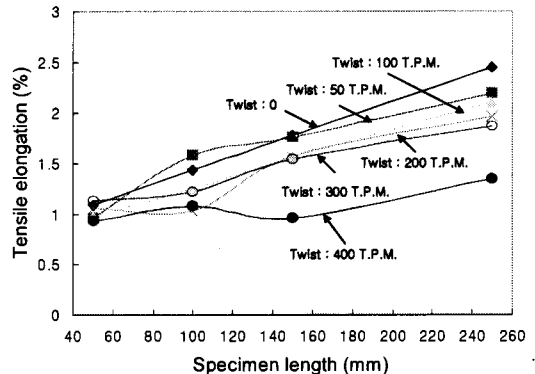
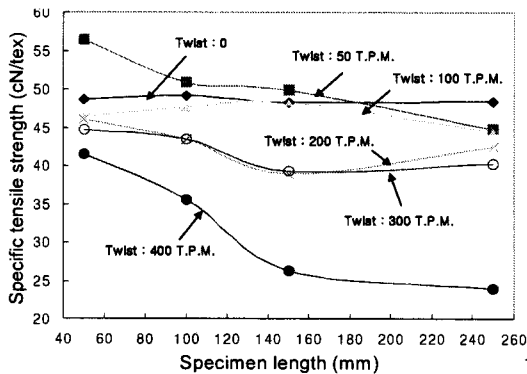


Fig. 6 Specific tensile strength according to various specimen lengths

Fig. 7 Tensile elongation according to various specimen lengths

4. Conclusions

본 연구에서는 국내 생산되고 있는 현무암 섬유를 이용하여 인장 특성을 확인해 보고자 시료장과 인장 속도, 그리고 꼬임에 의한 인장성의 영향을 찾아보았다. 그 결과, 정속 인장실험을 할 경우, 시료장의 길이가 짧아질수록 현무암 섬유의 인장 응력은 역함수의 형태로 증가하였으며, 탄성률은 선형적으로 감소함을 확인하였다. 또한 꼬임이 증가할수록 현무암 스트랜드의 인장 비강도 및 신도는 감소하였고, 시료 길이의 증가에 따라 인장 비강도는 감소하며 신도는 증가함을 확인하였다.

Reference

1. Jiri Militly, Vladimair Kovacic, "Ultimate Mechanical Properties of Basalt Filaments", Textile Research Journal, 66(5), 225, (1996)
2. Gur'apov, ev, V. V., Neproshin, E. I., Mostovoi, G. E. "The Effect of Basalt Fiber Production Technology on Mechanical Properties of Fiber", Glass and ceramics, 58(1), 62-65, (2001)