

# 유리섬유의 열처리조건이 섬유 인장강도에 미치는 영향

이재락\*, 오진석 · 박수진 · 김영근

## Effect of Heat Treatment Condition on Tensile Strength of Glass Fibers

Jae-Rock Lee\*, Jin-Suk Oh, Soo-Jin Park, and yeung-kean Kim

**Key Words** : Glass fiber, heat treatment, tensile strength

### ABSTRACT

자체적으로 방사된 C-유리섬유와 E-유리섬유의 최적 싸이징제 제거 열처리온도조건을 알아보기 위하여 대류오븐에서 100, 200, 300, 그리고 400 °C에서 2, 4, 8, 16, 32, 64 그리고 128 분 동안 체류한 섬유의 인장강도를 측정하였다. 그리고 다른 열처리조건으로 325, 350, 375 그리고 400°C로 25°C씩 증가시켜 처리 시간은 1.5, 3, 6, 12, 24, 48 그리고 96 시간을 선택하여 섬유의 인장강도 변화를 측정하였다. C-유리섬유의 경우 열처리에 의한 인장강도 감소가 최대 1.8% 정도였다. E-유리섬유의 열처리에 의한 인장강도의 감소율은 최대 약 1% 정도였다. C-유리섬유의 경우 열처리 온도가 짧은 시간과 긴 체류시간에서 일정한 영향을 미쳤다. 즉 높은 열처리 온도에서 높은 인장강도 감소를 나타내었다. 그 반면 E-유리섬유의 경우 짧은 체류시간에 있어서는 C-유리섬유와 유사한 특성을 나타내었으나 긴 체류 시간에 있어서는 열처리 온도조건에 의한 영향이 극히 미미하였다.

### 1. 서론

유리는 3000년 전부터 이집트에서 사용되어 왔다. 그리고 그때부터 섬유상으로 만들어서 장식용으로 사용하는 것이 시도되었다. 그리고 19세기에 와서 커튼용의 가는 섬유형태로도 만들어졌다. 그러나 이 당시에는 주로 석회석유리(판유리)와 조성이 동일하였다. 1940년대에 이르러서 복합재료의 보강섬유로서 유리섬유가 세계2차대전에 의한 항공기 개발로 인하여 그 응용이 본격적으로 시도되었다. 이어서 1960년대에 공업적으로 유리섬유를 대량 생산하는 공정이 개발되었다. 유리섬유의 원료로는 규사, 석회석, 붕사 등이 주를 이루며,

그 배합에 따라 성질이 달라진다. 유리섬유는 사용목적에 따른 포장 및 직조방법에 따라 여러 가지로 다르게 분류된다. 유리섬유 로빙은 유리섬유 가닥들의 다발을 의미하는데, 일반적으로 여러 개의 스트랜드를 합쳐 만든다. 로빙의 규격은 단위 질량당 길이로 표시하고, 로빙을 직조한 것은 선박과 같은 대형 구조물을 적층, 제작하는 데 많이 쓰인다. 유리섬유는 매트(mat)의 형태로도 만들어 지는데, 유리섬유 매트는 단섬유 매트, 연속섬유 매트, 표면 매트의 세 가지로 분류한다. 단섬유 매트는 유리섬유 스트랜드를 25-50mm의 길이로 짧게 잘라 평면 위에 배열시켜 놓고 적절한 화학처리를 가하여 서로 붙게 만든 것이다. 또 연속섬유 매트는 연속 스트랜드를 나선형으로 서로 꼬아서 매트로 제작한 것이며, 표면 매트는 한 가닥의 유리섬유로 이루어진 아주 얇은 매트로서, 표면 장식용으로 많이 쓰인다. 유리섬유 직포(fabric)는 직

\* 대전광역시 유성구 장동 100 번지 한국화학연구원  
305-600

조방법에 따라 평직, 바스켓직, 능직, 크로프트직, 8축 수자직 등으로 나뉜다. 또한, 두께방향으로 섬유를 보강하여 3차원 보강직포도 쓰이고 있는데, 이러한 직포를 쓴 복합재료는 충격에 대한 손상 허용값이 현저하게 증가한다<sup>1,3</sup>.

유리섬유의 성질 및 응용분야는 원료조성에 따라, A-유리 (고알카리용), C-유리 (화학용), E-유리 (전기부품용), 그리고 S<sub>2</sub>-유리섬유 (고강도용) 등으로 나눌 수 있다. A-유리섬유는 보통 병유리로 알려져 있는 고알카리 유리로서 가장 대표적인 유리이며, 화학물질에 대한 저항성이 높다. 한편, A-유리섬유는 전기적 특성이 떨어지므로, 전기절연 등의 목적으로 알카리 조성의 E-유리섬유가 사용된다. 현재 대부분의 유리섬유 제품은 E-유리섬유로 만들어진다. 특별히 화합물에 대한 저항성이 요구될 경우에는 C-유리섬유가 사용되며, 높은 인장강도가 요구될 때에는 S<sub>2</sub>-유리가 사용된다. 또 밑의 표에서 보는 바와 같이 S<sub>2</sub>-유리섬유의 인장강도는 E-유리보다 약 40% 가량이나 높다. 따라서, 최신 복합재료에 사용되는 유리섬유는 대부분 S<sub>2</sub>-유리섬유이다. 그리고 전자파에 투명한 유리섬유는 D-유리섬유이다. 그 가격은 E-유리섬유의 경우 약 \$2~3/kg, S<sub>2</sub>-유리섬유는 \$15 ~20/kg, A,C-유리섬유는 그 용도에 따라 가격변화가 크지만, 대체로 \$1 ~5/kg이다. 그리고 D-유리섬유는 \$2,000~10,000/kg 정도로 알려져 있다. 그리고 E-유리섬유의 경우 원가의 40%정도가 싸이징 처리비용으로 알려져 있다. 한국의 경우 1980년대부터 유리섬유를 국산화 하여 현재 연간 60,000톤 정도를 생산하고 있으며 세계 6위 정도의 생산량을 가지고 있다. 그러나 국내 유리섬유 제조 기술은 대부분 외국에서 이식된 양산기술로서 고 부가가치화에 적합하지 못하다. 따라서 현재 국내에서는 단지 6가지의 E-유리섬유 중 가장 저급에 속하는 것만 생산되고 있을 뿐이다. 그리고 대부분의 고급 유리섬유와 싸이징제는 수입에 의존하고있다. 유리섬유강화 복합재료는 자동차 및 항공, 방위 산업 재료에서부터 전자재료 및 정보통신 산업재료에 이르기까지 응용범위가 더욱확대되고 있다. 그리고 국내에서는 이에 대한 연구가 본격적으로 이루어진바가 거의 없다. 즉 외국에서 여러가지 재료를 도입하여 응용해 보는 수준의 머무르고 있다. 따라서 고 부가가치화를 위한 원천기술개발이 절실이 요구되는 바이다. [4-7]

본 실험에서는 상용화된 유리섬유 중에서 주로 사용하는 복합재료의 섬유강화제인 C-유리섬유와 E 유리섬유를 사용하여 대부분의 수지와 유리섬유

가 방사될 때 칠해지는 싸이징제 또는 바인더의 분해하는 온도에서 열처리한 후 섬유의 인장강도의 변화를 알아보았다.

## 2. 실험

### 2.1 재료

본 연구에 사용된 유리섬유는 강남정공(株)에서 선도기술개발사업을 통하여 개발된 노노필라멘트 제조설비를 이용하여 방사하였다. 본 실험에는 미리 열처리 및 싸이징처리되지 않은 자체적으로 직접 방사한 C-유리섬유와 E-유리섬유를 사용하였다.

### 2.2 열처리

열처리에 따른 C 형과 E 형의 유리섬유의 인장강도의 변화를 알아보기 위해 열처리는 대류오븐에서 실시하였다. 첫번째 열처리온도는 100, 200, 300, 그리고 400℃에서 2, 4, 8, 16, 32, 64 그리고 128분 동안 처리하였고 두 번째 열처리는 325, 350, 375 그리고 400℃로 25℃씩 증가시켜 처리시간은 1.5, 3, 6, 12, 24, 48 그리고 96시간동안 열처리하여 인장강도를 측정하기 위한 시편들을 준비하였다.

### 2.2 인장강도 측정

각각의 C형과 E형의 유리섬유의 인장강도를 측정하기 위하여 50 mm 의 흠이 파인 마분지에 한 개의 C-유리섬유를 중앙에 놓고 scotch tape로 고정시킨 후 에폭시 접착제로 단단하게 경화시켰다. 이들 시편을 ASTM D 3379-2 에 준하여 용량이 5 N인 lode cell을 이용하여 만능시험기 (Universal Testing Machine #1125, Lloyd LR 5K)를 사용하여 인장속도를 1 mm/min로 하여, C-유리섬유의 인장강도를 10 회 이상 측정한 후 그 평균값을 취하였

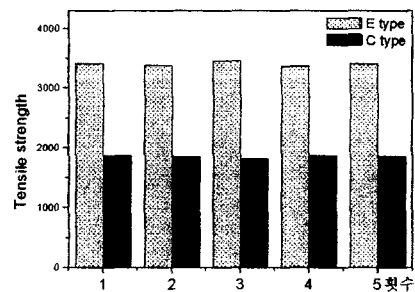


Fig. 1 Tensile strength of nontreatment E and C-glass fiber

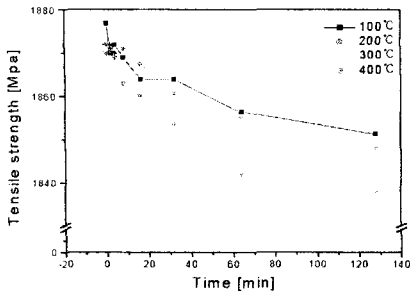


Fig. 2 Tensile strength of heat treatment C-glass fiber

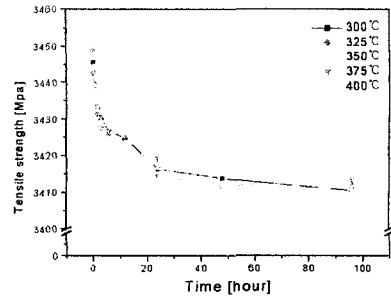


Fig. 5 Tensile strength of heat treatment E-glass fiber

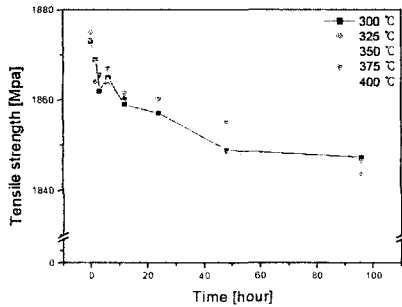


Fig. 3 Tensile strength of heat treatment C-glass fiber

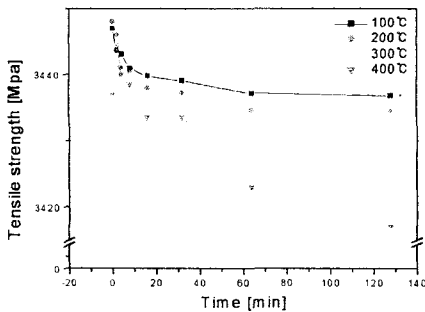


Fig. 4 Tensile strength of heat treatment E-glass fiber

최저 3417 MPa 까지 매우 균일한 분포를 나타내었다. 이는 여러 번의 방사에도 불구하고 거의 균일한 물성을 나타내는 것으로서 재현성을 보여준다고 하겠다. 그리고 반면 C-유리섬유는 1800Mpa 정도의 일정한 값을 나타내었다. C-유리섬유의 인장강도는 E-유리섬유의 약 50%에 불과하다.

Figure 2 에는 대류오븐에서 100, 200, 300, 그리고 400 °C 의 온도에서 체류시간은 2, 4, 8, 16, 32, 64, 그리고 128 분으로 한 C-유리섬유의 인장강도를 측정 결과를 나타내었다. Figure 2 에서 확인할 수 있듯이 짧은 체류시간에 있어서의 인장강도의 감소는 극히 미미하다. 확대한 결과에서 보는 바와 같이 열처리온도가 증가하면 그에 비례하여 인장가도가 미세하게 감소함을 알 수 있다.

Figure 3 에는 300°C에서 400°C사이를 25°C간격으로 시간을 분 단위에서 시간단위로 길게 하여 열처리 후 인장강도의 감소를 확인하였으며, 그 결과를 나타내었다. 체류시간이 대폭 연장되었음에도 불구하고 인장강도의 감소는 거의 관찰되지 않았다. 즉 C-유리섬유는 열처리에 의한 인장강도 감소가 거의 나타나지 않는 특성을 가졌음을 보여주는 것이다. 가장 열악한 조건인 400°C, 100 시간의 조건에서 약 1.8%의 인장강도 감소를 보였다.

Figure 4 에는 대류오븐에서 100, 200, 300, 그리고 400 °C 의 온도에서 체류시간은 2, 4, 8, 16, 32, 64, 그리고 128 분으로 한 E-유리섬유의 인장강도를 측정 결과를 나타내었다. Figure 4 에서 확인할 수 있듯이 짧은 체류시간에 있어서의 인장강도의 감소는 극히 미미하다. 확대한 결과에서 보는 바와 같이 열처리온도가 증가하면 그에 비례하여 인장가도가 미세하게 감소함을 알 수 있다. 그러나 400°C의 경우 체류시간이 증가됨에 따라 약간 증가된 감소세를 보였다. 그러나 가장 열악한 조건에서도 0.8%의 인장강도 감소만을 보였다.

Figure5 에는 300°C에서 400°C사이를 25°C간격으로 시간을 분 단위에서 시간단위로 길게 하여 열처리 후 인장강도의 감소를 확인하였으며, 그 결

다.[8]

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 인장강도의 변화

인장강도 테스트를 할 때 실험오차를 줄이기 위하여 12 회 측정하여 그 평균값을 취했다.

Figure 1 에는 C 형 E 형의 유리섬유를 5 회 방사하여 채취한 방사시에 아무런 처리하지 않은 생섬유의 인장강도를 상온에서 측정하여 나타낸 결과이다. 그 결과 E-유리섬유는 최고 3427 MPa 에서

과를 나타내었다. 체류시간이 대폭 연장되었음에도 불구하고 인장강도의 감소는 거의 관찰되지 않았다. 즉 E-유리섬유는 열처리에 의한 인장강도감소가 거의 나타나지 않는 특성을 가졌음을 보여주는 것이다. 가장 열악한 조건인 400℃, 100 시간의 조건에서 약 1%의 인장강도 감소를 보였다. 그리고 열처리 온도가 인장강도 감소에 거의 동일한 영향을 미침을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 실험에서 사용한 유리섬유들은 여러 번의 방사에도 불구하고 거의 균일한 물성을 나타내는 것으로서 재현성을 보여준다. C-유리섬유의 경우 열처리에 의한 인장강도 감소가 최대 1.8% 정도였다. E-유리섬유의 열처리에 의한 인장강도의 감소율은 최대 약 1% 정도였다. C-유리섬유의 경우 열처리 온도가 짧은 시간과 긴 체류시간에서 일정한 영향을 미쳤다. 즉 높은 열처리 온도에서 높은 인장강도 감소를 나타내었다. 그 반면 E-유리섬유의 경우 짧은 체류시간에 있어서는 C-유리섬유와 유사한 특성을 나타내었으나 긴 체류 시간에 있어서는 열처리 온도조건에 의한 영향이 극히 미미하였다.

#### 참고문헌

1. W. Eastes, ed., *Nomenclature of Man-made Fibers* (TIMA Inc., 1991)
2. J. Majumar, Br. Pat. GB 1243 972 and GB 1243 972 (1971)
3. J. C. M. Sparidaens, *Glass Technol.* **32** (1991) 149-152
4. M. Wenguang and F. P. La Mantia, *J. Appl. Polym. Sci.*, **59**, 759 (1996).
5. J. R. Pena, M. Hidalgo, and C. Mijangos, *J. Appl. Polym. Sci.*, **75**, 1303 (2000).
6. H. O. Wirth and H. Andreas, *Pure Appl. Chem.*, **47**, 627 (1977).
7. D. Dompas, G. Groeninckx, M. Isogawa, T. Hasegawa, and M. Kadokura, *Polymer*, **36**, 437 (1995).
8. J. Andersons, R. Joffe, and S. Ochiai, *Compos. Sci. Technol.* **62**, 131, (2002).