

자기진단 FRP의 도전기구 해석

임현주* · 이학용*, 신순기** · 이준희**

Analysis of conductive mechanism on self-diagnosis FRP

Hyun-Ju Lim*, Hak-Young Lee*, Soon-Gi Shin** and Jun-Hee Lee**

Key Words : CP-FRP, carbon powder, percolation structure, fracture detection

ABSTRACT

In order to apply fracture detection we fabricated the CP-FRP using carbon-powder and analyzed conductive mechanism of it. The composites showed lower initial resistance as the carbon powder and amount of glass fiber(TEX) was used much more. When those are compared with each other that before and after bending test, the more cracks observed in matrix after bending test. We become to know that the conductivity of the composites depends on percolation structure of carbon powder.

1. 서론

경량구조용 재료로서 널리 쓰이고 있는 FRP에 유리섬유의 일부를 탄소섬유로 치환한 재료인 CF-FRP¹⁾는 CF의 고강도, 고탄성 등의 우수한 기계적 성질을 이용함과 동시에 CF가 가진 전기전도성을 이용하여 재료에 파괴 예측 기능을 부여할 수 있는 기능재료로 기대되고 있다.²⁾ 하지만 이 재료에 낮은 하중이 가해질 경우, 저항변화가 거의 나타나지 않아 저하중 분야에서는 응용할 수 없는 단점이 있다. 이런 단점을 보완하기 위해서 탄소분말(CP) 등 도전성 입자의 percolation³⁾구조를 이용한 새로운 도전기구를 가지는 복합재료가 제

안되었다.

최근에는 Si₃N₄기지에 TiN⁴⁾ 등 도전성 입자의 percolation구조를 이용한 Si₃N₄-SiC 세라믹 복합재료의 파괴 예측기능에 대하여 연구결과가 알려져, 이 구조가 우수한 예측기능을 나타내는 것을 입증하였다.

본 연구에서는 CF-FRP대신 탄소입자를 이용한 검지부가 도입된 CP-FRP를 제작하여 이 복합재료 검지부의 전기전도 기구를 해석함으로써 보다 낮은 하중에서 예측 기능을 발휘할 수 있는 재료로서의 응용가능성을 연구하였다.

2. 실험 방법

* 동아대학교 금속공학과

** 동아대학교내 신소형재 가공정정 공정개발 연구센터

플라스틱경화체 제작시 강화제로는 유리섬유, 기지재에는 내알카리성과 산화성이 우수한 비닐에

스테르 수지를 사용하였다. 또 도전상에는 플레이크상(평균입경 10미크론)의 그라파이트 탄소분말을 사용하였다.

검지부는 강화재로 사용된 유리섬유에 도전상을 침투시켜 제작하는데, 이 때 전기도전 기구해석을 위해 다양한 탄소량과 여러 굵기의 유리섬유 묶음을 사용하였다.

먼저 비닐 에스테르 수지와 스치렌 모노마를 2 : 3(체적)의 비율로 희석한 용액에 경화제와 촉진제를 넣고 탄소분말을 일정량 혼합한 슬러리를 제작 후 이 슬러리를 초음파 욕조속에서 유리섬유에 상온함침 시킨다. 상온함침 후 유리섬유를 초음파욕조에서 꺼내어 상온 및 항온조에서 일정시간 경화시킨 뒤, 130mm의 길이로 절단하여 양끝에 도전성 테이프를 이용하여 전극을 연결한다. 이러한 방법으로 제작한 검지부를 유리섬유강화 플라스틱중에 도입한다. 플라스틱중의 유리섬유의 함유율은 45vol.%이며, 3점굽힘시의 경화체의 크기는 폭5mm, 두께5mm, 길이130mm이다.

또한 탄소분말의 양과 형상이 도전성에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행한 시뮬레이션 결과와 실제 제작한 검지부의 특성을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 본 연구에서 제작한 검지부와 검지부를 도입한 CP-FRP를 나타낸다.

Fig. 2는 검지부에 포함된 탄소분말 양이 도전성에 미치는 영향을 알아보기 위한 시뮬레이션 결과와 이를 토대로 제2상의 수와 면적분율과의 관계를 나타내었다.⁵⁾

이 시뮬레이션 소프트웨어는 FORTRAN으로 프로그래밍되어 있으며 하드웨어로는 SUN사의 BLADE100 model WORKSTATION이 사용되었다. 그림 b)에서 사각형으로 연결된 선은 기지에 배치된 전체 제2상(실험에서는 탄소분말)의 수를, 원형으로 연결된 선은 그 중 완전경로를 형성한 제2상의 수를 나타낸 것이다.

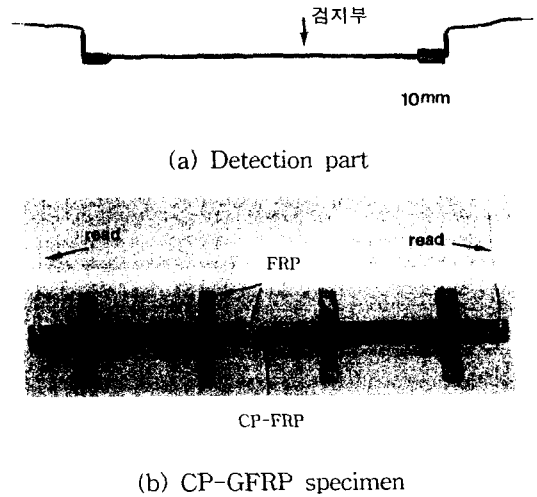


Fig. 1 Appearance of detection part and CP-FRP.

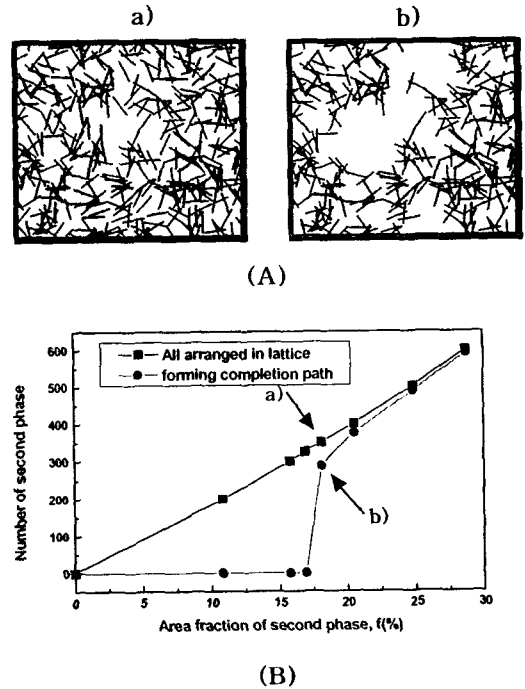


Fig. 2 Simulation result (A) and the number of second phase as function of area fraction (B).

(A)는 화살표로 표시된 포인트에서 제2상을 배치시킨 시뮬레이션결과를 나타낸다.

그림에서 볼 수 있듯이 제2상이 많이 포함될수록 percolation구조의 완전경로는 더 많이 생성됨을 알 수 있다. 완전경로가 많이 생성된다는 것은 실제 검지부에서 전기도전 경로가 많아짐을 의미하며 이는 곧 검지부의 전기저항이 낮아지게 됨을 의미한다.

Fig. 3은 탄소분말의 양을 변화시키면서 제작한 검지부의 초기 저항값을 나타내었다.

시뮬레이션에서 예측한 것처럼 탄소분말의 양이 많아질수록 전기저항값은 낮아지고 있음을 알 수 있다. 하지만 25Vol.%이상에서는 전기저항값이 다시 증가하는데 이는 제작상의 문제로 슬러리의 점도가 높아져 유리섬유에 탄소분말의 함침이 제대로 일어나지 않았기 때문이라 사료된다.

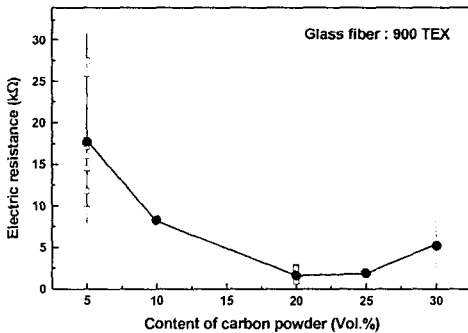


Fig. 3 Change of initial resistance according to various carbon powder content.

Fig. 4는 유리섬유의 량변화에 따른 전기저항값을 나타내었다.

그림에서 보는 것처럼 유리섬유의 량이 많아질수록 전기저항값은 낮아지는데 이는 슬러리의 탄소함유량이 일정하더라도 유리섬유의 량이 많아질수록 더 많은 탄소분말이 유리섬유속으로 함침되기 때문으로 사료된다.

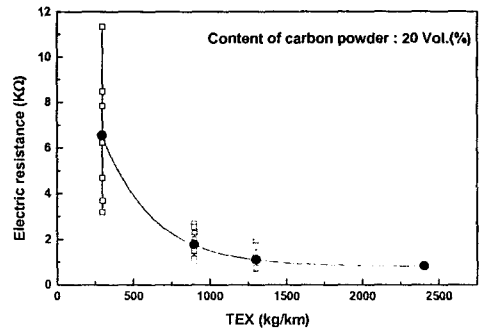


Fig. 4 Change of initial resistance according to glass fiber TEX.

Fig. 5는 1300TEX 유리섬유를 탄소함유량 20Vol.%인 슬러리에 함침시켜 제작한 검지부를 도입한 CP-FRP에 3점 굽힘시험을 실시한 결과이다. 이 때의 Cross head 속도는 1 mm/min이고 지점거리는 50mm이다.

시편이 파단되기 전까지 시편에 가해지는 하중이 증가함에 따라 전기저항의 변화량도 선형적으로 증가함을 볼 수 있다. 이 전기저항의 변화는 외부에서 가해지는 하중으로 인해 시편이 휘게 되면서 시편내부 전기도전 경로가 절단되기 때문이라 사료된다.

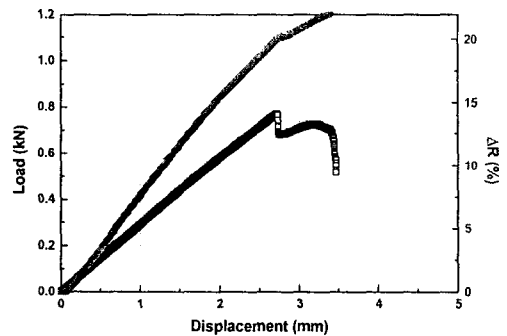


Fig. 5 Load vs. displacement and electrical resistance change vs. displacement curves for three point bending test.

Fig. 6은 위 실험에서 나타난 전기저항 변화요인을 확인하기 위해 제작한 CP-FRP에 3점굽힘 시험 즉, 하중을 가하기 전과 하중을 가한 상태에서 검지부 측면의 조직사진을 나타내었다.

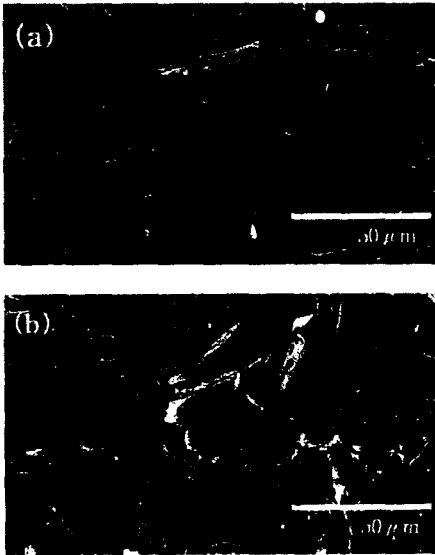


Fig. 5 SEM micrographs of side section on detection part. (a) before test (b) after test.

그림에서 보는 것처럼 하중을 가하기 전에는 양호한 탄소분말의 상태를 보이다가 하중을 가한 뒤에는 탄소분말들 사이에 크랙이 발생한 것을 관찰할 수 있다. 이 크랙들은 Fig. 6에 모식적으로 제시한 것처럼 탄소분말로 연결된 도전경로의 일부가 끊어지는 요인이 되며, 이로 인해 검지부의 전기저항이 증가되었다고 판단된다.

4. 결론

탄소분말을 이용하여 파괴예측재에의 응용을 위한 CP-FRP를 제작하고 이의 전기도전 기구를 해석하였다. 탄소분말의 함유량이 많을수록, 검지부에 사용된 유리섬유의 굵기가 두꺼울수록 전기저항값

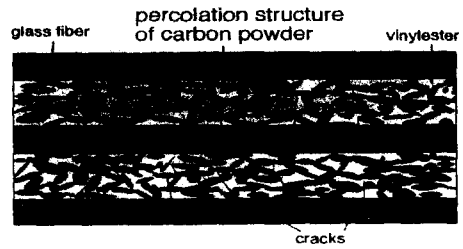


Fig. 6 A schematic drawing of percolation structure change of carbon powder in detection part of CP-FRP in loading.

이 낮게 나타났다.

시편에 3점 굽힘시험시 하중을 가한 시편에 더 많은 크랙이 발생함을 알 수 있었다. 이 결과는 CP-FRP의 도전성과 전기저항 변화량은 탄소분말이 이루는 percolation 구조의 정도에 크게 의존함을 알 수 있다.

감사의말

본 연구는 한국과학재단 지정 신소형재 가공청정 공정개발 연구센터(R12-2002-004-01-003)의 지원에 의한것입니다.

참고문헌

- (1) N. Muto, H. Yanagida, T. Nakatsuji, M. Sugita and Y. Ohtsuka, J. Am Ceram Soc., 76, 875 (1993)
- (2) N. Muto, H. Yanagida, T. Nakatsuji, M. Sugita, Y. Ohtsuka and Y. Ari, J. Am. Ceram. Soc., 101, 860 (1993)
- (3) S. Kirkpatrick, Rev. Mod. Phys., 45, 574 (1974)
- (4) M. Takada, H. Matsubara, S-G. Shin, T. Mitsu ka and H. Yanagida, J. Ceram. Soc.Jp., 108, 397 (2001)
- (5) H. J. Lim, S. G. Shin, H. Matsubara, J. H. Lee, Intelligent materials & Systems FORUM, Japan, 22, (2003)