

구조물 미세크랙 예측용 CPGFRP센서 개발

신순기*·장창우**·박윤한**·김승언**·김황수**·이준희**

Development of CPGFRP Sensor for Fine Crack Detection of Structures

Soon-Gi Shin*, Chang-Woo Jang**, Yun-Han Park**, Seung-Eun Kim**, Hwang-Soo Kim**
and Jun-Hee Lee**

Key Words: CPGFRP Sensor, Fine Crack Detection, Structures, Carbon Powder, Resistance

Abstract

A CPGFRP(Carbon Powder Glass Fiber Reinforced Plastics) sensor was fabricated for fine crack detection of structures. The electrical resistance of the sensor was measured on condition of various composition of carbon powders and thickness of bundle of glass fibers. The resistance was decreased as the increase of the content of carbon powders and the TEX of the glass fibers. In the case of loading on CPGFRP sensor, because inner crack was propagated, the part of percolation structures was disconnected. The sensor is superior to carbon fiber for the detecting ability of fine crack.

1. 서론

최근 사회 간접자본을 이루고 있는 콘크리트 구조물들의 노후화가 사회적인 문제로 대두되면서 대형사고에 대한 우려의 목소리가 높아지고 있다. 이러한 구조물에 대한 신뢰성 문제는 구조물 자체에 손상 및 파괴예측 기능을 부여함으로써 상당히 해결 할 수 있다.

파괴예측 기능부여를 목적으로 한 기능재료로서 자기진단 GFRP¹⁻⁷⁾가 제안되어 사용되고 있다. 그 중 대표적인 것이 CFGFRP(Carbon Fiber Glass Fiber Reinforced Plastic)로서 이것은 강화재의 역할을 하는 유리섬유 중 일부를 탄소섬유로 치

환하여 그것이 가지는 고강도, 고탄성의 기계적 성질과 전도성의 전기적 성질을 동시에 이용한 재료이다.

그러나 이러한 CFGFRP에 부분적으로 도입되는 탄소섬유의 강도가 너무높아 저하중용으로는 부적합하다는 점이 종종 지적되고 있다.^{4,6)} 이러한 단점을 개선하기 위해서 탄소섬유 대신에 탄소분말을 부분적으로 도입한 CPGFRP(Carbon Powder Glass Fiber Reinforced Plastic)가 고안되어 현재 다양한 연구^{8,9)}가 진행되고 있다. 연구되고 있는 CPGFRP는 탄소분말의 percolation구조¹⁰⁾를 도전경로로 이용한 것으로 저하중 영역(본 연구에서는 2% 변형이하를 말함)까지도 모니터링 할 수 있는 구조물용 센서로서 기대되고 있다.

본 연구에서는 CPGFRP를 콘크리트 구조물 미세크랙 예측용 센서에의 응용을 목적으로 조직 인자의 검토와 본 연구에서 제작한 CPGFRP의 특성을 알아보하고자 하였다.

* 동아대학교 신소형재가공청정공정개발 연구센터

** 동아대학교 신소재·화학공학부

2. 실험 방법

강화제로 유리섬유(Owens Corning Korea Co., Type30), 기지재에는 내알카리성과 산화성이 우수한 비닐에스테르수지(금강고려화학(주), R3791N) 도전상에는 플레이크상(평균입경 10 μ m)의 그라파이트 탄소분말(日本黒鉛工業(주), No. 0288)을 사용하였다. Fig. 1에는 검지부의 제조공정을 모식적으로 나타내었다. 요약하면 유리섬유에 도전상인 탄소분말을 침투시켜 제조하였으며, 이때 최적 조건을 설정하기 위해 탄소량과 유리섬유 묽음의 굵기를 변화시켰다. 수지와 스티렌모노머((주)알파켄, XLUB s-125)를 혼합기(JKIKA works, RW20 DZM.n)를 이용하여 2:3(체적비)의 비율로 희석한 용액에 1%의 경화제를 넣어 탄소분말을 일정량 첨가한 슬러리를 제작하였다. 슬러리를 유리섬유에 함침시키는 작업은 20kW용량의 초음파 욕조(KUM SUNG Ultrasonic.Co.)속에서 10분간 진행하였다. 이 때 초음파 욕조의 온도는 냉각수 순환장치를 이용하여 일정하게 유지토록 하였다. 함침작업 후 유리섬유 묽음을 초음파욕조에서 꺼내어 일정직경의 노즐에 통과시켜 원통형으로 성형 후 상온 및 80 $^{\circ}$ C의 항온조에서 일정시간 경화시켰다. 경화된 유리섬유 묽음은 130nm의 길이로 절단하여 양끝에 저항측정을 위한 전극을 연결하였다.

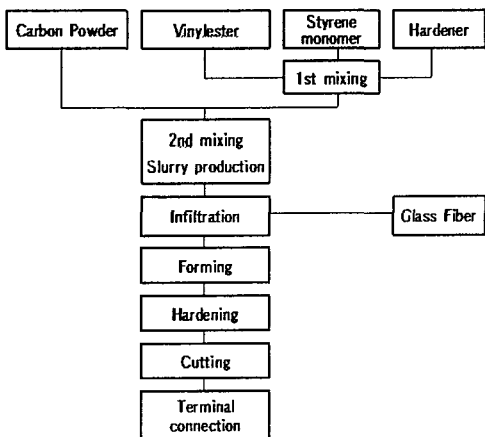


Fig. 1. Fabrication processes of detection part

이렇게 제작한 검지부를 유리섬유강화 플라스틱 적층체 중에 도입하며 Fig. 2에 나타낸 것과 같

은 CPGFRP센서를 제작하였다. 이 때 적층체의 유리섬유 함유율은 45 vol%로 고정하였다. 검지부는 밀면(인장면)으로부터 1mm 위쪽 중앙부에 위치토록 조정하였다. 그림중의 가지부분은 실제 사용 시 미끄럼을 방지하기 위함이다.

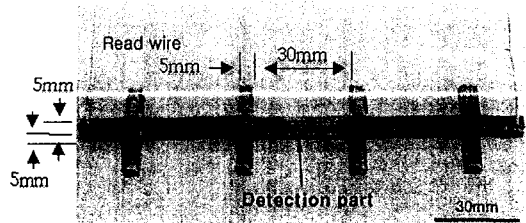


Fig. 2. Appearance of CPGFRP sensor.

이렇게 제조한 센서(크기: 폭 5mm, 두께 5mm, 길이 140mm)에 대하여 조직관찰 후 인장시험기(SHIMADZU, AG-1)를 이용해 3점 굽힘시험을 실시하였다. 시험조건은 지점 거리 50mm, 하중부가속도 1mm/min이다. 전기저항은 검지부의 리드선에 DATA LOG(Aglient ,34970A)를 연결하여 하중이 부가되는 동안 실온 에서 실시간으로 기록하였다. Fig. 3 에는 굽힘시험 과정을 모식적으로 나타내었다. 또, 시험 후의 조직 변화를 SEM (Hitachi, S2400)으로 관찰하여 시험 전의 미세조직과 비교 분석하였다.

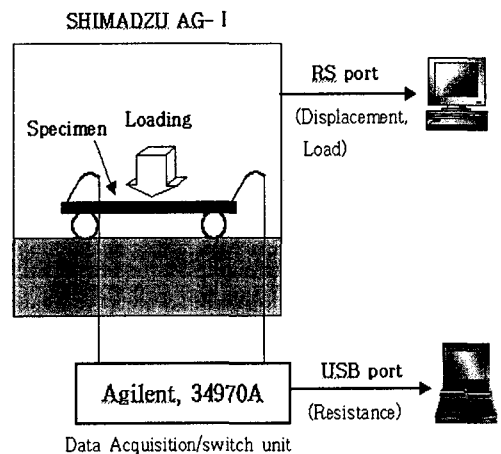


Fig. 3. Schematic diagram of three point bending test.

3. 결과 및 고찰

1) 검지부의 특성

Fig. 4는 제작한 검지부의 단면을 SEM으로 관찰한 것이다. 유리섬유 사이에 탄소분말이 균일하게 분포되어 있음을 확인할 수 있다.

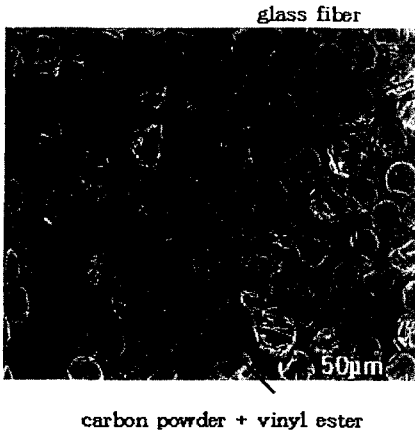


Fig. 4. SEM micrograph of detection part (cross section)

2) CPGFRP 센서의 특성평가

Fig. 5에는 CPGFRP 센서를 3점 굽힘시험 한 시편의 측면과 아랫부분의 외관을 나타내었다. 지난번 연구⁹⁾에서 고찰한 바와 같이 파괴 형상은 층간 전단파괴는 거의 관찰되지 않으며 굽힘파괴가 지배적임을 알 수 있다.

Fig. 6에는 3점 굽힘시험으로 얻은 하중-변위곡선과 전기저항 변화(ΔR)와의 관계를 나타낸 것이다. 그림중의 ΔR 은 $[(R-R_0)/R_0] \times 100$ 의 식에 의해 얻어진 값이다. 식 중 R은 하중부가시의 저항값을, R_0 은 하중을 부가하지 않은 상태의 초기 저항값을 나타낸다. 이 그림으로부터 시험편의 파단이 일어나기 전까지는 하중이 증가함에 따라 ΔR 이 거의 선형적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 이것은 재료내부에 생긴 크랙에 의한 도전경로의 차단정도가 하중량이 증가함에 따라 점차적으로 증가하기 때문으로 사료된다. 특히 탄소

섬유를 이용한 CPGFRP^{1,11)}에서는 저항값의 변화가 거의 일어나지 않았던 저하중 영역에서도 고하중 영역과 동일한 선형성을 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. 이 결과로부터 CPGFRP의 초기 저항과 하중이 가해진 상태의 저항을 측정하여 ΔR 을 구함으로써 재료에 발생한 파괴나 손상의 정도를 추측할 수 있을 것으로 사료된다.

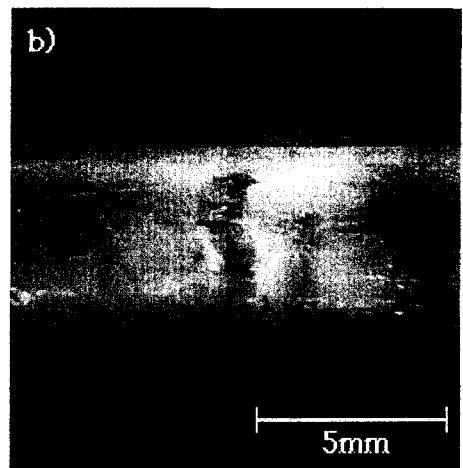
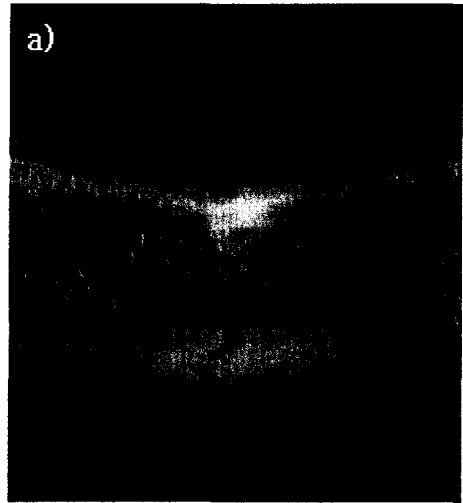


Fig. 5. Appearance of fractured CPGFRP sensor. a) side, b) bottom

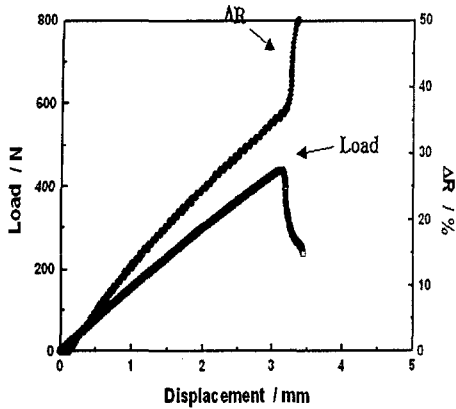


Fig. 6. Relation between ΔR and displacement curve for 3point bending test of CPGFRP sensor.

4. 결론

구조물 미세크랙예측기능을 가지는 CPGFRP 센서의 개발을 목적으로 이 센서를 제조함과 동시에 그 특성에 대하여 평가하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 첨가한 탄소분말은 강화재인 유리섬유 사이에 균일하게 분포하고 있었다.
- 2) 파괴형상은 층간 전단파괴는 거의 관찰되지 않았으며 굽힘파괴가 지배적이었다.
- 3) 하중 부하에 의한 센서의 자기 저항은 하중이 증가함에 따라 선형적으로 증가하였다. 또 이러한 저항값의 증가는 하중으로 인해 내부에 발생 한 탄소 분말이 이루는 percolation구조 중 일부를 절단하여 도전경로가 줄어들어 기인하였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단(kosef) 지정 신소형재 가공 청정공정개발연구센터 (R12-2002-058-01003-0)지원으로 수행되었음.

참고 문헌

1. N. Muto, H. Yanagida, T. Nakatsuji, M. Sugita and Y. Ohtsuka, J. Am. Ceram. Soc. 76, 875 (1993)
2. H. Matsubara, M. Takada and H. Yanagida, Chem Chem. Industry 49, 40 (1996).
3. Y. Arai, S. G. Shin, M. Takada, M. Tsujii, H. Matsubara and H. Yanagida, Ceram. Mater. Syst. Compos. Struct. 99, 551 (1998.)
4. M. Takada, S. G. Shin, H. Matsubara and H. Yanagida, J. Jpn. Soc. Compos. Mater. 25, 225 (1999).
5. H. Yanagida and H. Matsubara, J. Jpn. Soc. Mech. Eng. 102, 68 (1999)
6. S. G. Shin, H. Matsubara, Y. Okuhara, H. Yanagida, J. Jpn. Soc. Compos. Mater. 25, 225 (1999).
7. Y. Okuhara, S. G. Shin, H. Matsubara and H. Yanagida, Trans. Mater. Res. Soc. Jpn. 25, 581 (2000).
8. S. G. Shin, Met. & Mat. Int., 7, 605 (2002)
9. S. G. Shin, Y. H. Kim and J. H. Lee, Kor. J. Res. 12(2), 135 (2002).
10. S. Kirkpatrick, Rev. Mod. Phys., 45, 574 (1974).
11. N. Muto, H. Yanagida, T. Nakatsuji, M. Sugita and Y. Ohtsuka, Y. Arai, Adv. Composite Mater., 4, 297 (1995).
12. N. Muto, H. Yanagida, T. Nakatsuji, M. Sugita, Y. Ohtsuka and Y. Ari, J. Am. Ceram. Soc., 101, 860 (1993).