



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0071790
(43) 공개일자 2018년06월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C08K 9/08 (2006.01) C08J 5/08 (2006.01)
C08K 5/34 (2006.01) C08K 7/14 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C08K 9/08 (2013.01)
C08J 5/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0174813
(22) 출원일자 2016년12월20일
심사청구일자 2016년12월20일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
박수진
서울특별시 강남구 역삼로 307, 203동 604호 (역삼동, 역삼아이파크아파트)
강우석
인천광역시 남구 주안중로 12, 1403호 (주안동, 한빛캐슬)
(74) 대리인
이은철, 이수찬

전체 청구항 수 : 총 7 항

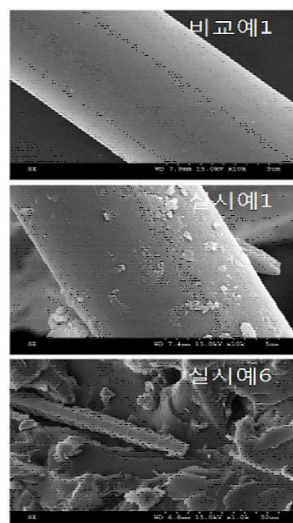
(54) 발명의 명칭 피치로 코팅된 유리섬유를 포함하는 에폭시 복합재료

(57) 요약

본 발명은 방열성이 향상된 에폭시 복합재료에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 피치로 코팅된 유리섬유를 포함하는 에폭시 복합재료 및 이의 제조기술에 관한 것이다.

상기와 같은 본 발명에 따르면, 피치로 코팅된 유리섬유를 탄소화 시킨 보강제를 첨가함으로써, 열적 안정성 및 기계적 특성이 향상된 에폭시 복합재료를 제공하는 효과가 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C08K 5/34 (2013.01)

C08K 7/14 (2013.01)

C08L 63/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415144352

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술진흥원

연구사업명 탄소밸리구축

연구과제명 석유잔사물을 활용한 탄소섭유 및 자동차부품 응용기술개발

기 여 율 1/1

주관기관 지에스칼텍스

연구기간 2015.09.01 ~ 2016.08.31

명세서

청구범위

청구항 1

에폭시 수지 및

상기 에폭시 수지 100중량부 대비 0.1 내지 0.5중량부의 피치(pitch)로 코팅 된 유리섬유를 포함하는 에폭시 수지 조성물.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 피치로 코팅 된 유리섬유는 피치로 유리섬유를 코팅한 후 탄소화(carbonization)된 것을 특징으로 하는 에폭시 수지 조성물.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 에폭시 수지 조성물은 에폭시 수지 100중량부 대비 0.4 내지 2.8중량부의 탄화규소(SiC)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 에폭시 수지 조성물.

청구항 4

유리섬유에 피치(pitch)를 코팅하는 단계;

피치가 코팅된 유리섬유를 탄소화(carbonization)시키는 단계;

상기 탄소화 된 피치 코팅 유리섬유 및 에폭시 수지를 혼합하는 단계; 및

상기 혼합물을 경화시키는 단계; 를 포함하는 방열성이 향상된 에폭시 복합재료의 제조방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 탄소화 시키는 단계는 온도 600 내지 1000℃, 불활성 기체 분위기에서 수행되는 것을 특징으로 하는 방열성이 향상된 에폭시 복합재료의 제조방법.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 혼합하는 단계는 에폭시 수지 및 상기 에폭시 수지 100중량부 대비 0.1 내지 0.5중량부의 피치(pitch)로 코팅 된 유리섬유를 혼합하는 것을 특징으로 하는 방열성이 향상된 에폭시 복합재료의 제조방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 혼합하는 단계는 에폭시 수지 100중량부 대비 0.4 내지 2.8중량부의 탄화규소(SiC)를 더 혼합하는 것을 특징으로 하는 방열성이 향상된 에폭시 복합재료의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 방열성이 향상된 에폭시 복합재료에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 피치로 코팅된 유리섬유를 포함하는 에폭시 복합재료의 제조기술에 대한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 전자산업의 급격한 발전으로 전자제품의 속도향상과 기능화로 인한 전력소모가 증가함에 따라 발생열을 효과적으로 방출해주는 문제를 중요하게 다루고 있다. 전자기기내의 발생열은 기기의 성능을 저하시키며, 수명을 단축시키는 원인으로 이를 해결할 수 있는 고방열 재료의 개발이 필수적이다. 초기 방열재료는 열전도도가 낮은 열가소성 고분자를 주로 이용하였으나, 열가소성 고분자의 0.2 W/mK 이하의 낮은 열전도도 및 고유특성상 열팽창계수와 같은 열안정성 문제가 야기되어 열확산 특성을 높이기 위하여 금속이나 세라믹 필러들을 첨가하는 방법이 연구되고 있다. 세라믹스 필러 중에서도 탄화규소 재료는 매트릭스에 비강도, 내산화성, 내부식성, 열충격 저항성, 내마모성, 높은 열전도도 등의 우수한 열적 기계적 특성을 갖고 있다. 하지만 탄화규소는 고함량을 필요로 하기 때문에 최종적으로 기계적 물성을 약화시키는 단점이 있다. 이에 강화 에폭시 복합재료는 열적특성을 이끌어 줄 수 있는 좋은 수지 중의 하나이다. 에폭시 수지는 접착성, 내약품성, 내식성, 내열성이 좋을 뿐만 아니라 가공성, 내마모성, 치수안정성이 우수하고 수지의 종류, 경화제의 선택과 배합에 의해 폭넓은 요구에 대응할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 이유로 이들을 조합한 강화 에폭시 복합재료에 대한 연구는 매우 흥미롭다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 본 발명의 목적은, 피치로 코팅된 유리섬유를 탄소화 시킨 보강제를 첨가함으로써, 열적 안정성과 기계적 특성이 향상된 에폭시 복합재료를 제공함에 있다.

[0004] 또한, 본 발명의 다른 목적은, 피치로 코팅된 탄소화 시킨 보강제 및 탄화규소(SiC)를 보강제로 동시에 첨가함으로써, 열적 안정성과 기계적 특성이 더욱 향상된 에폭시 복합재료를 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 에폭시 수지 및 상기 에폭시 수지 100중량부 대비 0.1 내지 0.5중량부의 피치(pitch)로 코팅 된 유리섬유를 포함하는 에폭시 수지 조성물을 제공한다.

[0007] 상기 피치로 코팅 된 유리섬유는 피치로 유리섬유를 코팅한 후 탄소화(carbonization)된 것을 특징으로 한다.

[0008] 상기 에폭시 수지 조성물은 탄화규소(SiC) 0.4 내지 2.8중량부를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0009] 또한, 본 발명은 방열성이 향상된 에폭시 복합재료 제조방법을 제공한다. 상기 에폭시 복합재료 제조방법은 유리섬유에 피치를 코팅하는 단계, 피치가 코팅된 유리섬유를 탄소화 시키는 단계, 상기 탄소화 된 피치코팅 유리섬유 및 에폭시 수지를 혼합하는 단계 및 상기 혼합물을 경화시키는 단계를 포함한다.

[0010] 상기 탄소화 시키는 단계는 온도 600 내지 1000℃, 불활성 기체 분위기에서 수행되는 것을 특징으로 한다.

[0011] 상기 혼합하는 단계는 에폭시 수지 및 상기 에폭시 수지 100중량부 대비 0.1 내지 0.5중량부의 피치(pitch)로 코팅 된 유리섬유를 혼합하는 것을 특징으로 한다. 상기 혼합하는 단계는 탄화규소(SiC) 0.4 내지 2.8 중량부를 더 혼합하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0013] 상기와 같은 본 발명에 따르면, 피치로 코팅된 유리섬유를 탄소화 시킨 보강재를 첨가함으로써, 열적 안정성 및 기계적 특성이 향상된 에폭시 복합재료를 제공하는 효과가 있다. 또한, 본 발명에 따른 방열성이 향상된 에폭시 복합재료를 제공함으로써, 전자산업에서 고방열재료로 이용될 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0015] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 에폭시 복합재료의 주사전자현미경(SEM) 사진이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 에폭시 복합재료의 퓨리에 변환 적외선 분광분석(Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) 결과를 도시한 것이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 에폭시 복합재료의 열 중량 분석(thermogravimetric analysis, TGA) 결과를 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 이하, 본 발명을 상세히 설명한다.
- [0017] 본 발명의 일 형태에 따른 에폭시 수지 조성물은 에폭시 수지 및 상기 에폭시 수지 100중량부 대비 0.1 내지 0.5중량부의 피치(pitch)로 코팅 된 유리섬유를 포함한다.
- [0018] 피치로 코팅된 유리섬유는 피치로 유리섬유를 코팅한 후 탄소화(carbonization) 된 것을 특징으로 한다.
- [0019] 또한, 에폭시 수지 조성물은 에폭시수지 100중량부 대비 0.4 내지 2.8 중량부의 탄화규소(SiC) 를 더 포함하는 것을 특징으로 한다. 탄화규소의 농도가 에폭시 수지 100중량부 대비 0.4 중량비 미만인 경우는 방열 효과가 미미하기 때문에 바람직하지 못하고, 탄화규소의 농도가 에폭시 수지 100중량부 대비 2.8 중량비를 초과하면 분산성이 저하되고 수지 내에서 탄화규소 간의 상호 응집이 일어나 불균일한 상을 형성하여 물성을 감소시키기 때문에 바람직하지 못하다. 사용된 탄화규소의 입자크기는 4 μ m 이하일 경우 방열 효과가 미미하기 때문에 바람직하지 못하고, 10 μ m 이상인 경우 분산 효과가 미미하여 바람직하지 못하다.
- [0021] 본 발명의 다른 일 형태에 따른 방열성이 향상된 에폭시 복합재료 제조방법은 유리섬유에 피치를 코팅하는 단계, 피치가 코팅된 유리섬유를 탄소화 시키는 단계, 상기 탄소화 된 피치 코팅 유리섬유 및 에폭시 수지를 혼합하는 단계 및 상기 혼합물을 경화시키는 단계를 포함한다.
- [0022] 피치(pitch)는 유기용액 및 피치가 질량비 10:1 내지 1:10로 혼합된 것을 특징으로 한다.
- [0023] 유기용액은 방향족 용매를 선택하는 것이 바람직하나, 퀴놀린(Quinoline)이 더욱 바람직하다. 유기용액과 피치를 상온에서 1 내지 5시간동안 교반하여 혼합하는 것이 바람직하다.
- [0024] 피치로 유리섬유를 코팅한 후 사용한 유기용액이 제거될 수 있도록 80 내지 100℃의 오븐에서 12 내지 24시간 동안 건조하는 것이 바람직하며, 건조 후 증류수로 1 내지 10회 세척하는 것이 바람직하다.
- [0025] 탄소화 시키는 단계는 온도 600 내지 1000℃, 불활성 기체 분위기에서 수행되는 것을 특징으로 한다. 더욱 상세하게는 불활성 분위기의 퍼니스를 사용하여 승온속도 1 내지 4℃/min, 온도 600 내지 1000℃ 조건에서 5 내지 60분간 열처리하는 것이 바람직하다. 또한, 탄소화 온도는 600℃이하인 경우는 탄화효과가 미미하고, 1000℃이상일 경우에는 구조 파괴를 초래하여 유리섬유의 물성 저하를 유도하기 때문에 바람직하지 못하다. 탄소화 시키기 위한 열처리 후 표면에 잔존하는 불순물을 제거하기 위하여 증류수 세척 및 건조 과정을 더 수행하는 것이 바람직하다.
- [0026] 혼합하는 단계는 에폭시 수지 및 상기 에폭시 수지 100중량부 대비 0.1 내지 0.5중량부의 피치(pitch)로 코팅된 유리섬유를 혼합하는 것을 특징으로 한다. 또한, 상기 혼합하는 단계는 에폭시 수지 100중량부 대비 0.4 내지 2.8 중량부의 탄화규소(SiC)를 더 혼합하는 것을 특징으로 한다.
- [0027] 탄화규소(SiC)는 입자크기가 4 내지 10 μ m인 것이 바람직하다. 사용된 탄화규소의 입자크기는 4 μ m 이하일 경우

방열 효과가 미미하기 때문에 바람직하지 못하고, 10 μm 이상인 경우 분산 효과가 미미하여 바람직하지 못하다.

[0028] 경화하는 단계는 온도 140 내지 200℃, 압력 10 내지 100MPa 조건으로 3시간 이상 경화하는 것을 특징으로 한다. 경화 온도가 140℃ 이하일 경우에는 완전한 경화를 유도하지 못하기 때문에 바람직하지 못하고, 200℃ 이상일 경우에는 물성 저하를 초래하여 바람직하지 못하다. 압력이 10MPa 이하일 경우 수지가 섬유내부에 과량 잔존되어 물성 저하를 초래하고, 100MPa 이상일 경우는 에폭시 수지가 과량 빠져나가 수지와 필러 사이의 결합 저하를 유도하여 바람직하지 못 하다.

[0029] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 상세히 설명하고자 한다. 이들 실시예는 오로지 본 발명을 예시하기 위한 것으로서, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 제한되는 것으로 해석되지는 않는 것은 당업계에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 자명할 것이다.

[0031] 실시예 1.

[0032] 피치가 코팅된 탄화유리섬유를 제조하였다.

[0033] 키클린과 피치를 10:1의 질량비로 혼합하여 상온에서 약 2시간동안 교반하여 피치용액을 준비하였다. 제조 된 피치 용액에 유리섬유를 담지하여 유리섬유 표면에 균일하게 코팅한 후, 70℃의 건조오븐에서 12시간 건조하였으며, 불활성분위기의 튜브형 피니스를 사용하여 600℃에서 5분간 열처리하였다. 표면에 잔존하는 불순물을 제거하기 위하여, 피치가 코팅 된 유리섬유를 증류수로 수차례 세척한 후 80℃의 건조오븐에서 12시간 건조하였다.

[0034] 탄화규소는 프리저밀을 사용하여 입자의 크기를 4 μm 로 분쇄하여 제조한다.

[0035] 피치로 코팅된 유리섬유를 포함하는 에폭시 복합재료는 에폭시 수지 100중량부 대비 피치 코팅된 탄화유리섬유 0.1 wt%와 탄화규소 0.4 wt%를 첨가하고 교반하여 용융혼합한다. 분산이 완료된 에폭시 수지에 경화제인 DDM(Dephenyl Deamino Metane)을 첨가하여 혼합한 후, 혼합과정에서 생성된 기포를 제거하였다. 최종적으로 핫 프레스를 이용하여 10 MPa의 압력, 140℃에서 2시간동안 고온압착하여 경화시켜 피치로 코팅된 유리섬유를 포함 하는 에폭시 복합재료를 제조하였다.

[0037] 실시예 2.

[0038] 상기 실시예 1과 동일하게 제조하되, 10분 동안 탄화하여 피치 코팅된 탄화유리섬유를 제조하고, 복합재료 제조 과정에서 유리섬유의 0.2 wt% 및 탄화규소 0.8 wt% 첨가하고, 30 MPa의 압력으로 경화하여 피치로 코팅된 유리 섬유를 포함하는 에폭시 복합재료를 제조하였다.

[0040] 실시예 3.

[0041] 상기 실시예 1과 동일하게 제조하되, 탄화온도를 700℃, 탄화시간을 20분으로 하여 피치 코팅된 탄화유리섬유 제조하고, 복합재료 제조 과정에서 유리섬유 0.4 wt% 및 탄화규소 1.2 wt% 첨가하여 피치로 코팅된 유리섬유를 포함하는 에폭시 복합재료를 제조하였다.

[0043] 실시예 4.

[0044] 상기 실시예 1과 동일하게 제조하되, 탄화규소의 입자크기를 7 μm 로 분쇄하고, 복합재료 제조 과정에서 탄화규 소 1.6 wt% 및 50 MPa의 압력, 170 ℃의 온도 조건에서 경화하여 피치로 코팅된 유리섬유를 포함하는 에폭시 복 합재료를 제조하였다.

[0046] 실시예 5.

[0047] 상기 실시예 1과 동일하게 제조하되, 탄화온도를 800℃, 탄화시간을 30분으로 하여 피치 코팅된 탄화유리섬유 제조하고, 복합재료 제조 과정에서 유리섬유 0.6 wt% 및 탄화규소 2.0 wt% 첨가하여 피치로 코팅된 유리섬유를

포함하는 에폭시 복합재료를 제조하였다.

실시예 6.

상기 실시 예 1과 동일하게 과정을 실시하되, 70 MPa의 압력에서 경화시켜 피치로 코팅된 유리섬유를 포함하는 에폭시 복합재료를 제조하였다.

실시예 7.

상기 실시예 1과 동일하게 과정을 실시하되, 40분 동안 탄화하여 피치 코팅된 탄화유리섬유를 제조하고, 탄화규소의 입자크기를 10 μm 로 분쇄하고, 복합재료 제조 과정에서 유리섬유 0.8 wt% 및 탄화규소 2.4 wt%를 첨가하고, 200℃의 온도에서 경화하여 피치로 코팅된 유리섬유를 포함하는 에폭시 복합재료를 제조하였다.

실시예 8.

상기 실시 예 1과 동일하게 과정을 실시하되, 90 MPa의 압력에서 경화시켜 피치로 코팅된 유리섬유를 포함하는 에폭시 복합재료 제조하였다.

실시예 9.

상기 실시 예 1과 동일하게 과정을 실시하되, 탄화온도를 1000℃, 탄화시간을 50분으로 하여 피치 코팅된 탄화유리섬유 제조하고, 복합재료 제조 과정에서 유리섬유 1.0 wt% 및 탄화규소 2.8 wt%를 첨가하고 100 MPa의 압력에서 경화시켜 피치로 코팅된 유리섬유를 포함하는 에폭시 복합재료를 제조하였다.

비교예 1.

유리섬유

비교예 2.

피치

비교예 3.

에폭시 수지에 경화제인 DDM을 첨가하여 혼합한 후 혼합과정에서 생성된 기포를 제거한다. 핫프레스를 이용하여 50 MPa의 압력, 170℃에서 2시간동안 고온압착하여 경화시켜 에폭시 복합재료를 제조하였다.

표 1

실시예에 따른 에폭시 복합재료의 제조조건

	탄화온도 (℃)	탄화시간 (min)	탄화규소 입자크기 (μm)	유리섬유 사용량 (wt%)	탄화규소 사용량 (wt%)	경화온도 (℃)	경화압력 (MPa)
실시예 1	600	5	4	0.1	0.4	140	10
실시예 2	600	10	4	0.2	0.8	140	30
실시예 3	700	20	4	0.4	1.2	140	30
실시예 4	700	20	7	0.4	1.6	170	50
실시예 5	800	30	7	0.6	2.0	170	50
실시예 6	800	30	7	0.6	2.0	170	70

실시예 7	900	40	10	0.8	2.4	200	70
실시예 8	900	40	10	0.8	2.4	200	90
실시예 9	1000	50	10	1.0	2.8	200	100
비교예 1	-	-	-	-	-	-	-
비교예 2	-	-	-	-	-	-	-
비교예 3	-	-	-	-	-	170	50

측정예 1. 주사전자현미경(SEM) 을 이용한 표면 관찰

탄소화 된 피치코팅 유리섬유의 표면 변화를 주사전자현미경을 이용하여 측정하였다.

주사전자현미경을 이용한 표면 관찰 결과는 도 1에 도시하였다. 상기 결과에 따르면 유리섬유 표면에 피치가 코팅된 모습을 확인할 수 있다. 이와 비교하여, 유리섬유(비교예1)는 피치가 코팅되지 않아 표면이 거칠지 않은 것을 알 수 있다.

측정예 2. 푸리에 변환 적외선 스펙트럼(FT-IR) 분석

탄소화 된 피치코팅 유리섬유 표면의 작용기를 분석하기 위하여, 푸리에 변환 적외선 스펙트럼 분석을 수행하였다.

표면 작용기 분석을 위한 푸리에 변환 적외선 스펙트럼 분석 결과는 도 2에 도시하였다. 상기 결과에 따르면 도 2와 같이 Si-O-Si 피크(1010cm^{-1})와 carbonyl 피크(1298cm^{-1}) 및 전형적인 피치의 피크 2989cm^{-1} , 2789cm^{-1} 및 1655cm^{-1} 에서 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 이는 유리섬유의 표면에 피치가 코팅되었음을 나타낸다.

측정예 3. 열중량분석(TGA, Thermogravimetric analysis)

실시예에 따른 예폭시 복합재료의 열 안정성을 측정하기 위하여 열중량 분석을 수행하였다. 상기 열중량분석은 초기 열분해 온도(IDT)와 활성화 에너지($E_{a,dec}$)값을 이용하여 열안정성을 확인하였다. 또한, 분해 활성화 에너지는 Horowitz-Metzger의 적분방법을 사용하여 계산하였다. 분석조건은 질소(N_2) 분위기 하에서 승온속도 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 이며, 측정범위는 30 내지 900°C 이다.

열중량분석결과는 도 3 및 표 2에 도시하였다. 상기 결과에 따르면 예폭시 복합재료에서 탄화규소의 함량이 증가할수록 열분해온도 및 활성화 에너지가 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 탄화규소의 함량이 증가함에 따라 열안정성이 증가하는 것을 의미한다.

표 2

본 발명의 일 실시예에 따른 예폭시 복합재료의 열중량분석 결과

	IPDT ($^\circ\text{C}$)	$E_{a,dec}$ (KJ/mol)
실시예 1	667	270
실시예 2	667	289
실시예 3	673	308
실시예 4	724	335
실시예 5	756	354
실시예 6	761	360
실시예 7	776	361
실시예 8	782	365
실시예 9	790	366
비교예 1	-	-

비교예 2	-	-
비교예 3	596	258

[0088] 측정예 4. 굴곡강도 시험

[0089] 실시예에 따른 에폭시 복합재료의 굴곡강도를 측정하였다. 굴곡 강도 시험은 1mm/min의 크로스헤드 비율로 ASTM D 790에 따라 만능재료 시험기를 이용하여 시험하였으며, 시험결과의 신뢰도를 위해 각 실시예 당 적어도 다섯 개의 표본을 시험하였다.

[0090] 실시예에 따른 에폭시 복합재료의 굴곡강도 측정결과는 표 3에 도시하였다. 상기 결과에 따르면, 표 2와 같이 탄화규소의 함량이 증가함에 따라 굴곡강도가 증가하였으며, 실시예 3(탄화규소 2.0g첨가군)이 가장 굴곡강도가 높았다.

표 3

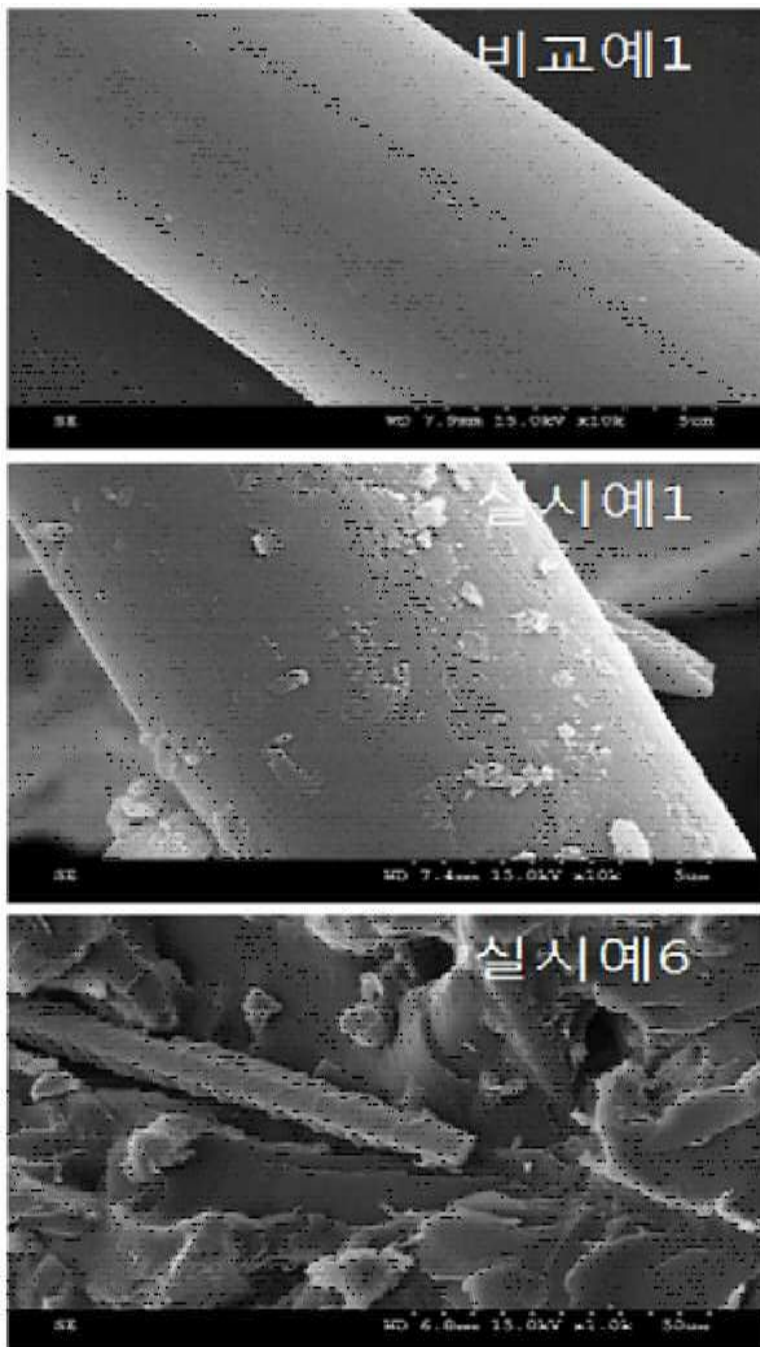
[0092] 본 발명의 일 실시예에 따른 에폭시 복합재료의 굴곡강도

	굴곡강도 (MPa.m ^{1/2})
실시예 1	9.57
실시예 2	11.67
실시예 3	12.54
실시예 4	13.05
실시예 5	13.98
실시예 6	13.85
실시예 7	11.87
실시예 8	9.95
실시예 9	7.63
비교예 1	-
비교예 2	-
비교예 3	5.12

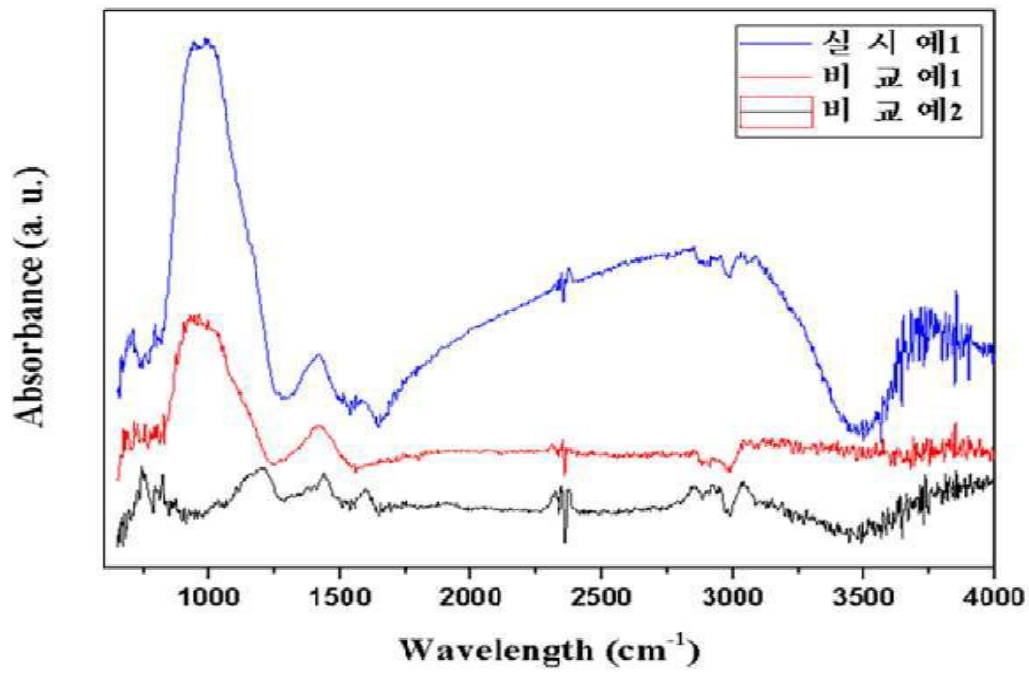
[0095] 이상, 본 발명내용의 특정한 부분을 상세히 기술하였는바, 당업계의 통상의 지식을 가진 자에게 있어서, 이러한 구체적인 기술은 단지 바람직한 실시양태일 뿐이며, 이에 의해 본 발명의 범위가 제한되는 것이 아닌 점은 명백할 것이다. 따라서 본 발명의 실질적인 범위는 첨부된 청구항들과 그것들의 등가물에 의해 정의된다고 할 것이다.

도면

도면1



도면2



도면3

