



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0088010

(43) 공개일자 2016년07월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 27/06 (2006.01) G01R 19/145 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 27/06 (2013.01)

G01R 19/145 (2013.01)

(21) 출원번호

10-2015-0007128

(22) 출원일자

2015년01월15일

심사청구일자

2015년01월15일

(71) 출원인

경상대학교산학협력단

경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)

(72) 발명자

박종만

경상남도 진주시 진주대로 805 주약현대아파트

118-704

이은선

경상남도 사천시 축동면 서삼로 1317-21

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 플러스

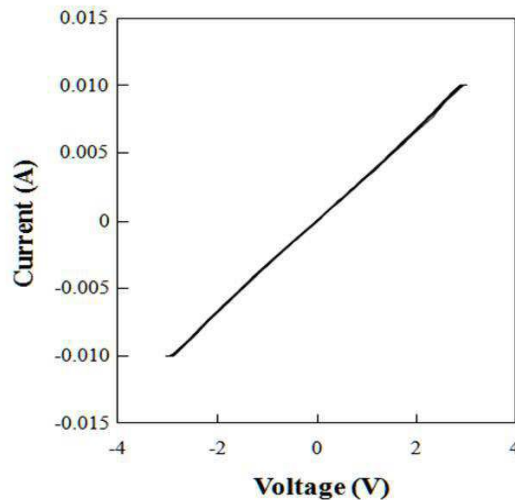
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도 평가 방법

(57) 요약

본 발명은 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도 평가 방법에 관한 것으로, 구체적으로 복합재료의 원료인 도전성 입자 및 고분자 수지를 포함하는 복합액에 양극과 음극을 삽입하고 순환전압전류(CV)를 측정하여 도전성 입자의 분산도를 평가하는 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

권동준

경상남도 진주시 진주대로 501 경상대학교 404동
522호

신평수

경상남도 진주시 진주대로 501 경상대학교 404동
522호

왕작가

경상남도 진주시 진주대로 501 경상대학교 학생생
활관

최진영

경상남도 진주시 진주대로 501 경상대학교 404동
522호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20140411

부처명 한국연구재단

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 [기술개발과제]나노입자 코팅기법을 이용한 나노복합재료 제조공정 향상

연구과제명 나노입자 코팅기법을 이용한 나노복합재료 제조공정 향상

기 여 율 1/1

주관기관 경상대학교

연구기간 2014.06.01 ~ 2014.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

복합재료의 원료인 도전성 입자 및 고분자 수지를 포함하는 복합액에 양극과 음극을 삽입하고 순환전압전류(CV)를 측정하여 도전성 입자의 분산도를 평가하는 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도 평가 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 분산도는 순환전압전류(CV)법에 의해 얻어지는 전압-전류 그래프에 의해 평가가 이루어지는 복합재료 내의 도전성 분산도 평가 방법.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 분산도는 하기 식 1에 의해 규정되는 그래프의 형태 및 기울기(a)에 의해 평가가 이루어지는 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도 평가 방법.

[식 1]

$$y = ax + c$$

(이때, x는 전압(V), y는 전류(I)이고, a는 기울기로 양수(陽數)를 가지며, c는 y절편으로 $-1 \times 10^{-4} < c < 1 \times 10^{-4}$ 를 만족하는 값을 가진다.)

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 분산도는 상기 기울기(a)와 비례 관계인 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도 평가 방법.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 기울기(a)는 기계적 물성과 비례 관계인 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도 평가 방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 기계적 물성은 인장 강도 또는 굽힘 강도인 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도 평가 방법.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 도전성 입자는 금속 나노입자, 카본나노튜브(CNT), 실리콘(Si), 실리콘 카바이드(SiC) 또는 이들의 혼합물인 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도 평가 방법.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 금속 나노입자는 Ag, Pt, Au, Mg, Al, Zn, Fe, Cu, Ni, Pd 또는 이들의 혼합물인 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도 평가 방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도 평가 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 간단하고, 빠르게 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도를 평가하여 복합재료의 기계적 물성을 예측할 수 있는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 도전성 나노입자 및 도전성 입자의 활용은 고분자 수지와 같은 유기 소재의 물성 개선에 도움이 될 수 있기 때문에 도전성 입자 등의 강화재를 혼합하여 고분자 수지의 개선을 시도하여 왔다.
- [0003] 이 경우 중요한 부분은 강화재의 분산 균일성이다. 분산 균일성은 전체 소재의 물성의 안정화와 기존의 고분자 수지에 비해 높은 물성 향상을 나타내기 때문에 중요한 부분이다. 분산 균일성을 높이기 위해 화학적 처리나 물리적 공정의 개선에 대한 연구가 진행되고 있으나, 고분자 수지 내에서 강화재의 분산도를 평가하기 위한 기준을 마련하기 어렵다는 단점이 있다.
- [0004] 기존의 방법으로, 일본 등록특허 제2924429호에서는 무기 재료를 혼합한 복합재료를 제조한 후, 이를 복수의 단위 체적 유닛으로 분할하고 조각하여, 조각에 의해 생긴 단위 체적 유닛 각각의 회분의 양을 정량하여 분산도를 측정하였다. 이 방법은 복잡하고, 시간이 오래 걸리며, 복합재료를 제조한 후에만 분산도 측정이 가능하다는 단점이 있다.
- [0005] 따라서, 보다 간편하고 간단하며, 빠른 시간 내에 복합재료 내의 강화재의 분산도를 평가할 수 있는 방법이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0006] (특허문헌 0001) 일본 등록특허공보 제2924429호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 발명은 극히 간편하고 간단한 방법으로, 짧은 시간 내에, 저가의 장비로 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도를 평가할 수 있는 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0008] 또한, 분산도를 평가함으로써 기계적 물성을 예측할 수 있는 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도를 평가할 수 있는 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0009] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은 복합재료의 원료인 도전성 입자 및 고분자 수지를 포함하는 복합액에 양극과 음극을 삽입하고 순환전압전류(CV)를 측정하여 도전성 입자의 분산도를 평가하는 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도 평가 방법에 관한 것이다.
- [0010] 또한 본 발명의 분산도는 순환전압전류(CV)법에 의해 얻어지는 전압-전류 그래프에 의해 평가가 이루어지는 복합재료 내의 도전성 분산도 평가 방법에 관한 것으로, 분산도는 하기 식 1에 의해 규정되는 그래프의 형태 및 기울기(a)에 의해 평가가 이루어질 수 있다. 이때, x는 전압(V), y는 전류(I)이고, a는 기울기로 양수(陽數)를 가지며, c는 y절편으로 $-1 \times 10^{-4} < c < 1 \times 10^{-4}$ 를 만족하는 값을 가질 수 있다.

- [0011] [식 1]

[0012] $y = ax + c$

[0013] 이때, 분산도는 기울기(a)와 비례 관계일 수 있으며, 기울기(a)는 기계적 물성과 비례 관계일 수 있다. 여기서, 기계적 물성은 인장 강도 또는 굽힘 강도일 수 있다.

[0014] 또한, 본 발명의 도전성 입자는 금속 나노입자, 카본나노튜브(CNT), 실리콘(Si), 실리콘 카바이드(SiC) 또는 이들의 혼합물일 수 있으며, 이때 금속 나노입자는 Ag, Pt, Au, Mg, Al, Zn, Fe, Cu, Ni, Pd 또는 이들의 혼합물일 수 있다.

발명의 효과

[0015] 본 발명에 따른 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도를 평가 방법은 순환전압전류법을 이용한 극히 간편하고 간단한 방법으로, 짧은 시간 내에, 저가의 장비로 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도를 평가할 수 있다.

[0016] 또한, 복합액 상태에서 순환전압전류를 측정하여 분산도를 평가함으로써 복합재료를 제조하기 전 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도를 미리 예측할 수 있다.

[0017] 또한, 이를 바탕으로 복합재료의 기계적 물성을 미리 예측할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 순환전압전류법으로 측정한 제조예 1의 전압-전류 그래프이다.

도 2는 순환전압전류법으로 측정한 제조예 2의 전압-전류 그래프이다.

도 3은 실시예 1 및 실시예 2의 굽힘 강도 및 인장 강도를 측정한 자료이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 본 발명에 따른 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도 평가 방법은, 복합재료의 원료인 도전성 입자 및 고분자 수지를 포함하는 복합액에 양극과 음극을 삽입하고 순환전압전류(CV)를 측정하여 도전성 입자의 분산도를 평가할 수 있다.

[0020] 이러한 분산도 평가 방법은 극히 간편하고 간단한 방법으로, 짧은 시간 내에, 저가의 장비로 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도를 평가할 수 있다. 측정 방법이 매우 간단하기 때문에 당업자나 이 분야에 전문가가 아니더라도 분산도를 평가할 수 있으며, 5분 이내에 측정이 이루어지기 때문에 매우 빠르게 분산도를 평가할 수 있다.

[0021] 또한, 복합재료를 일일이 경화하여 제조한 후 분산도를 평가하지 않고, 복합액 상태에서 순환전압전류를 측정하여 분산도를 미리 예측하여 평가함으로써, 경화 전단계에서 분산도를 조절할 수 있다는 장점이 있다.

[0022] 본 발명의 일 예에 따른 분산도는 순환전압전류(CV)법에 의해 얻어지는 전압-전류 그래프에 의해 평가가 이루어질 수 있으며, 전압에 따른 전류의 경향을 분석하여 분산도를 평가함으로써 매우 단순하고 간편한 방법으로 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도를 평가할 수 있다.

[0023] 이때, 순환전압전류의 측정 방법은 통상적인 방법으로 이루어질 수 있다. 다만, 평가를 보다 명료하게 하기 위하여 측정 조건을 규정화하여 사용하는 것이 바람직하다. 일 예로 전극간의 거리는 2 cm로 설정하고, 전압은 -3V ~ +3V로 사용하며, 5회 반복 측정할 수 있으나, 측정 조건은 이에 한정되지 않으며 달리 규정할 수 있다.

[0024] 구체적으로, 본 발명의 일 예에 따른 분산도는 하기 식 1에 의해 규정되는 그래프의 형태 및 기울기(a)에 의해 평가가 이루어질 수 있다. 이때, x는 전압(V), y는 전류(I)이고, a는 기울기로 양수(陽數)를 가지며, c는 y절편으로 $-1 \times 10^{-4} < c < 1 \times 10^{-4}$ 를 만족하는 값을 가질 수 있다.

[0025] [식 1]

[0026] $y = ax + c$

[0027] 이처럼, 그래프의 형태가 상기 식 1을 만족하는 선형에 더 가까울수록 보다 우수한 분산도를 가질 수 있다. 이는 도전성 입자가 복합액 내에 균일하게 분산됨으로써 전압의 변화에 따라 전류가 안정적으로 변화하기 때문일 수 있다.

[0028] 또한, 분산도는 기울기(a)와 비례 관계일 수 있다. 즉, 기울기(a) 값이 더 클수록 보다 우수한 분산도를 가질

수 있다. 이는 도전성 입자가 복합액 내에 균일하게 분산됨에 따라 전류가 잘 흐르기 때문일 수 있으며, 기울기(a)가 크다는 것은 최대전류값이 높다는 것을 의미하는 것일 수 있다.

[0029] 이처럼 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도는 순환전압전류법으로 측정한 전압-전류 그래프를 이용하여 평가될 수 있으며, 극히 간단한 분석 방법을 이용하여 효과적으로 분산도를 평가할 수 있다.

[0030] 이때, 보다 효과적으로 분산도를 평가하기 위하여, 분산 조건을 달리한 복합액을 준비하고 본 발명에 따른 방법으로 전압-전류 그래프 자료를 확보한 후, 각 복합액으로 제조한 복합재료를 종래의 분산도 평가 방법으로 평가하여, 이를 바탕으로 기준표를 마련하여 분산도를 평가할 수 있다.

[0031] 상술한 바와 같이, 본 발명의 평가 방법은 간편하고 빠르게 분산도를 평가 할 수 있으며, 또한 이를 바탕으로 복합재료의 기계적 물성을 미리 예측할 수 있다. 복합재료를 제조하기 전에 분산도 평가가 이루어지기 때문에 계획한 기계적 물성을 가지도록 분산 정도를 조절할 수 있다. 이때 기계적 물성은 기울기(a)와 비례 관계일 수 있으며, 즉, 순환전압전류법에 의한 전압-전류 그래프에서 기울기(a)가 클수록 인장 강도 또는 굽힘 강도 등의 기계적 물성이 강할 수 있다. 기계적 물성은 구체적으로 예를 들면, 인장 강도 또는 굽힘 강도일 수 있다.

[0032] 이와 같이, 본 발명에 따르면, 기계적 물성을 따로 측정하지 않아도, 순환전압전류법을 이용하여 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도 및 복합재료의 기계적 물성을 예측할 수 있기 때문에 복합재료의 제조 공정에서 효과적으로 활용될 수 있다.

[0033] 본 발명의 일 예에 따른 분산도 평가 방법에 있어서, 복합재료의 계획된 물성에 따라 복합액의 조성을 맞추는 것이 바람직하며, 계획한 물성이 달라짐에 따라 그 조성 또한 달라질 수 있다. 구체적으로 예를 들면 도전성 입자는 고분자 수지 100 중량부에 대하여 0.1~100 중량부로 첨가할 수 있다. 이때, 고분자 수지에 비하여 도전성 입자를 너무 적게 첨가하면, 전류가 잘 흐르지 않을 수 있어 분산도 평가가 어려울 수 있으며, 기계적 물성 또한 좋지 않을 수 있다.

[0034] 본 발명의 일 예에 따른 도전성 입자는 당업계에서 통상적으로 사용되는 것이라면 제한하지 않고 사용할 수 있으며, 구체적으로 예를 들면 금속 나노입자, 카본나노튜브(CNT), 실리콘(Si), 실리콘 카바이드(SiC) 또는 이들의 혼합물일 수 있으며, 이때 금속 나노입자는 Ag, Pt, Au, Mg, Al, Zn, Fe, Cu, Ni, Pd 또는 이들의 혼합물일 수 있다.

[0035] 본 발명의 일 예에 따른 고분자 수지는 당업계에서 통상적으로 사용되는 것이라면 제한하지 않고 사용할 수 있으며, 일 예를 들어 수평균 분자량 2,000~150,000 g/mol인 것을 사용할 수 있으며, 보다 좋게는 10,000~100,000 g/mol인 것을 사용할 수 있다. 보다 구체적으로 예를 들면 열경화성 수지를 사용할 수 있으며, 열경화성 수지는 에폭시 수지, 폴리에스테르 수지, 실리콘 수지, 폴리우레탄 수지, 규소 수지, 프란 수지, 페놀 수지, 요소 수지, 알키드 수지, 멜라민 수지 또는 이들의 혼합물 등을 사용할 수 있다.

[0036] 본 발명의 일 예에 따른 분산도 평가 방법에 있어서, 복합액은 적당한 점도를 가지는 것이 순환전압전류를 측정함에 있어 효과적일 수 있다. 구체적으로 예를 들면, 점도는 500~20,000 cp일 수 있으며, 보다 좋게는 1,000~10,000 cp의 점도를 가지는 것이 바람직하다. 이때, 점도는 약 20℃의 실온, 대기압 하에서 측정된 것일 수 있다.

[0037] 일 예에 따른 본 발명은 적당한 점도를 가질 수 있도록 조절하기 위하여 유기용매를 더 포함하여 복합액을 제조할 수 있다. 유기용매는 복합액이 적당한 점도를 가질 수 있을 정도로 사용하는 것이 바람직하며, 고분자 수지의 종류에 따라 첨가량 및 종류가 달라질 수 있다. 구체적으로 예를 들면, 유기용매는 고분자 수지 100 중량부에 대하여 10~100 중량부로 사용할 수 있으며, 보다 좋게는 10~50 중량부로 사용하는 것이 더 효과적일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 고분자 수지가 액상이고 적당한 점도를 가지고 있을 경우에는 고분자 수지 그대로를 사용할 수도 있다.

[0038] 상기의 범위로 유기용매를 사용하는 것이 복합액이 적당한 점도를 가지도록 하여 순환전압전류를 효과적으로 잘 측정할 수 있으며, 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도를 평가함에 있어 효과적이다.

[0039] 이때, 유기용매는 특별히 제한되진 않으나, 구체적으로 예를 들면 아세톤, 톨루엔, 자일렌, 디메틸포름아미드(DMF) 또는 이들의 혼합물을 들 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

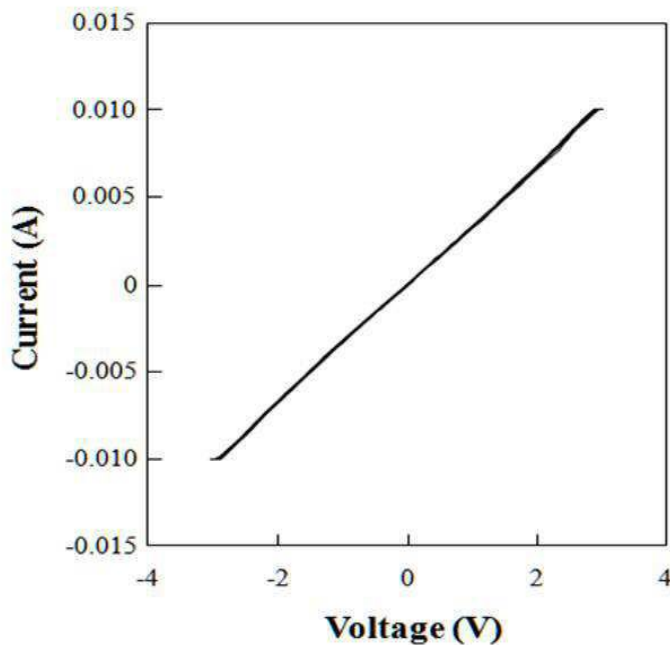
[0040] 또한, 본 발명의 일 예에 따른 복합액은 필요에 따라, 경화제, 난연제, 경화촉진제 또는 이들의 혼합물 등의 첨가제를 더 포함할 수 있다.

- [0041] 이하 실시예를 통해 본 발명에 따른 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도 평가 방법에 대하여 더욱 상세히 설명한다. 다만 하기 실시예는 본 발명을 상세히 설명하기 위한 하나의 참조일 뿐 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니며, 여러 형태로 구현될 수 있다.
- [0042] 또한 달리 정의되지 않은 한, 모든 기술적 용어 및 과학적 용어는 본 발명이 속하는 당업자 중 하나에 의해 일반적으로 이해되는 의미와 동일한 의미를 갖는다. 본원에서 설명에 사용되는 용어는 단지 특정 실시예를 효과적으로 기술하기 위함이고 본 발명을 제한하는 것으로 의도되지 않는다.
- [0043] 또한 다음에 소개되는 도면들은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 예로서 제공되는 것이다. 따라서 본 발명은 이하 제시되는 도면들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있으며, 이하 제시되는 도면들은 본 발명의 사상을 명확히 하기 위해 과장되어 도시될 수 있다.
- [0044] 또한 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서 사용되는 단어 형태는 문맥에서 특별한 지시가 없는 한 복수 형태도 포함하는 것으로 의도할 수 있다.
- [0045] 또한 명세서에 특별히 기재하지 않은 첨가물의 단위는 중량%일 수 있다.
- [0046] [제조예 1]
- [0047] 수평균 분자량 20,000 g/mol의 에폭시 수지 20 g과 카본나노튜브 0.6 g를 혼합하여 복합액을 준비하였다. 이때, 에폭시 수지에 카본나노튜브를 균일하게 분산하기 위하여 초음파 분쇄기(stick sonication)을 이용하여 6시간 동안 초음파를 가해 분산도를 높여주었다.
- [0048] 준비된 복합액에 서로 2 cm 간격을 두도록 탄소 전극(작업 전극, working electrode)과 백금 전극(상대 전극, counter electrode)을 삽입하였다. 탄소 전극에 양극을 연결하고, 백금 전극에 음극을 연결한 후 전압을 인가하여 그에 따른 전류 변화를 측정하였다. 전압은 -3V~+3V의 범위로 변화를 주었으며, 이를 5회 반복 측정하였다.
- [0049] [제조예 2]
- [0050] 초음파 분쇄기(stick sonication) 대신 초음파 세척기(bath sonication)를 이용하여 분산 균일성이 다소 떨어지도록 복합액을 제조한 것을 제외하고 모든 공정을 제조예 1과 동일하게 진행하였다.
- [0051] 순환전압전류법을 이용한 분산도 평가
- [0052] 제조예 1은 보다 분산이 잘 될 것으로 예상되는 초음파 분쇄기(stick sonication)를, 제조예 2는 상대적으로 분산이 덜 될 것으로 예상되는 초음파 세척기(bath sonication)를 사용하여 분산 공정을 다르게 함으로써 분산 정도에 차이를 두었다. 이를 순환전압전류법으로 측정한 전압-전류 그래프를 이용하여 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도를 평가하였다.
- [0053] 제조예 1의 경우, 도 1에 나타난 바와 같은 전압-전류 그래프를 얻을 수 있었다. 도 1의 그래프를 보면, 그래프의 형태가 선형으로 나타남에 따라 전압의 변화에 따른 전류의 변화가 안정적임을 확인할 수 있으며, 최대전류값이 약 0.01 A 정도임을 알 수 있었다.
- [0054] 제조예 2의 경우, 도 2에 나타난 바와 같은 전압-전류 그래프를 얻을 수 있었다. 도 2의 그래프를 보면, 그래프의 형태가 선형으로 나타나지 않고 다소 복잡하게 나타남에 따라 전압의 변화에 따른 전류의 변화가 매우 불안정적임을 알 수 있으며, 최대전류값이 약 0.1×10^{-7} A로 매우 낮은 것을 확인 할 수 있었다.
- [0055] 즉, 제조예 1과 2의 전압-전류 그래프를 비교해보면, 예상했던 바와 같이, 제조예 1이 도전성 입자의 분산이 보다 잘 되었음을 알 수 있으며, 분산이 더 균일하게 잘 될수록 전압-전류 그래프의 형태가 선형에 가깝게 나타나며, 최대전류값이 높게 나옴을 알 수 있었다.
- [0056] [실시예 1 및 2]

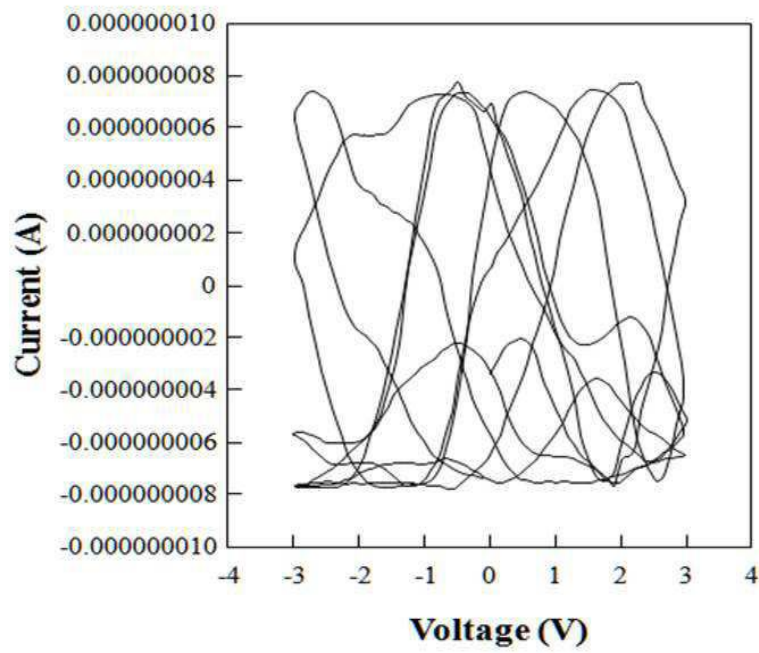
- [0057] 기계적 물성 평가
- [0058] 제조예 1 및 2의 복합액에 에폭시 수지에 대하여 산무수물 경화제(KBH-1089, 국도화학)를 1:1 몰비율로 첨가하여 혼합용액을 확보한다. 이후 실리콘 몰드에 혼합용액을 붓고 80℃에서 2시간, 120℃에서 2시간 경화를 시켜 고체 상태의 인장, 굴곡 시험 시편을 제조한다. 각 시편을 이용하여 인장 강도 및 굽힘 강도를 측정하였다. 이때, 실시예 1은 제조예 1의 복합액으로 시편을 제조하였으며, 실시예 2는 제조예 2의 복합액으로 시편을 제조하였다.
- [0059] (인장 강도)
- [0060] 실시예 1 및 2에서 제조된 시편에 대한 인장 강도 평가 (ASTM D638)를 실시하였다.
- [0061] (굽힘 강도)
- [0062] 실시예 1 및 2에서 제조된 시편에 대한 굴곡 강도 평가 (ASTM D790)를 실시하였다.
- [0063] 상술한 바와 같은 방법으로 인장 강도 및 굽힘 강도를 측정하였으며, 이를 도 3에 나타내었다. 도 3에 나타난 바와 같이, 실시예 1의 시편이 인장 강도 및 굽힘 강도가 실시예 2의 경우보다 우수하게 나타났다.
- [0064] 이와 같이, 본 발명의 분산도 평가 방법만으로, 복합재료를 따로 제조하여 복잡한 방법으로 분산도를 측정하지 않아도, 복합액 상태에서 순환전압전류법으로 측정한 전압-전류 그래프를 이용하여 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도를 평가할 수 있음을 확인하였다. 이때, 미리 작성된 기준표가 있다면 보다 명료하게 복합재료 내의 도전성 입자의 분산도를 평가할 수 있다.
- [0065] 또한, 복합액 상태에서 순환전압전류법으로 측정한 전압-전류 그래프를 이용하여 복합재료의 기계적 물성을 미리 예측할 수 있음을 확인할 수 있었다.

도면

도면1



도면2



도면3

