



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0095567
(43) 공개일자 2017년08월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01B 1/20 (2006.01) H01B 1/22 (2006.01)
H01B 1/24 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01B 1/20 (2013.01)
H01B 1/22 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0017128
(22) 출원일자 2016년02월15일
심사청구일자 2016년02월15일

(71) 출원인
계명대학교 산학협력단
대구광역시 달서구 달구벌대로 1095 (신당동)
(72) 발명자
하기룡
대구광역시 수성구 범안로 40, 105동 107호 (범물
동, 범물청아타운)
김성훈
대구광역시 달성군 다사읍 대실역북로2길 107
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인태백

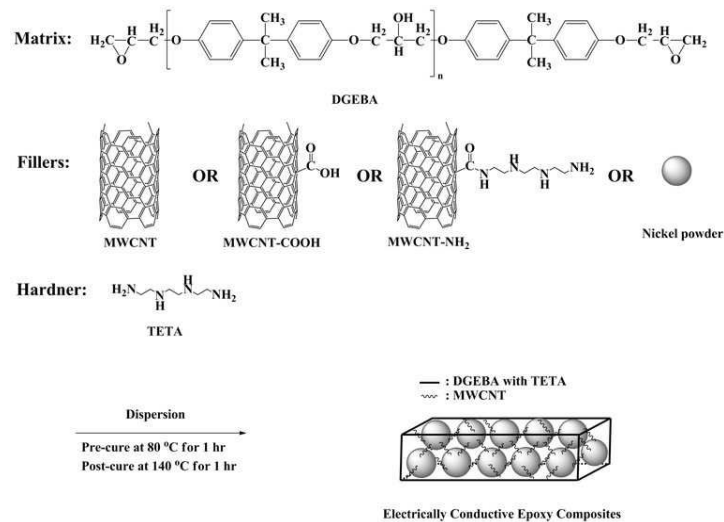
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조방법

(57) 요약

본 발명은 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조방법에 관한 것으로서, 상기 제조방법은 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 전기 전도성을 향상시키기 위한 새로운 방법을 제시한다. 본 발명에서는 다중벽 탄소나노튜브의 표면에 아미노기를 도입하여 에폭시 매트릭스에 분산시켜 아미노기와 에폭시 매트릭스 사이에 형성된 공유결합에 의해 금속 분말로 이루어진 전도성 충전제의 함량을 줄일 수 있으며, 상기 공유결합을 통해 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조 시 에폭시 매트릭스 내에서 다중벽 탄소나노튜브의 분산성을 향상시켜 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 전기 전도성을 보다 향상시킬 수 있는 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체를 제조할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01B 1/24 (2013.01)

(72) 발명자

박성환

대구광역시 달성군 옥포면 비슬로 1941, 105동 101호 (대구옥포엘에이치허브시티)

권재범

대구광역시 서구 당산로47길 69, 8동 302호 (중리동, 일신아파트)

서보경

대구광역시 서구 문화로47길 32-43 (평리동)

김한나

대구광역시 동구 율하동로 73, 403동 505호 (율하동, 안심4단지아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2013H1B8A2032183

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 지역혁신창의인력양성사업

연구과제명 유화 중합을 이용한 다 기능성 고분자/CNT 나노코팅 소재 및 양산 공정 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 계명대학교

연구기간 2015.05.01 ~ 2016.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

다중벽 탄소나노튜브 표면을 개질하여 아미노기를 도입하는 단계(제1단계); 및

상기 아미노기가 도입된 다중벽 탄소나노튜브와 금속 분말로 이루어진 전도성 충전제를 에폭시 매트릭스에 분산시키는 단계(제2단계)를 포함하는, 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조방법.

청구항 2

다중벽 탄소나노튜브 표면을 개질하여 아미노기를 도입하는 단계(제1단계);

상기 아미노기가 도입된 다중벽 탄소나노튜브를 에폭시 매트릭스에 분산시키는 단계(제2단계); 및

상기 다중벽 탄소나노튜브가 분산된 에폭시 매트릭스에 금속 분말로 이루어진 전도성 충전제를 투입하여 추가적으로 분산시키는 단계(제3단계)를 포함하는, 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조방법.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 아미노기를 도입하는 단계(제1단계)는, 상기 다중벽 탄소나노튜브 표면을 질산(HNO_3) 처리하여 카르복시기를 도입하는 단계 및 상기 카르복시기가 도입된 다중벽 탄소나노튜브 표면을 염화싸이오닐(Thionyl chloride) 및 트리에틸렌테트라민(Triethylenetetramine)으로 처리하여 상기 다중벽 탄소나노튜브 표면에 아미노기를 도입하는 단계를 포함하는, 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조방법.

청구항 4

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 전도성 충전제는 금, 은, 알루미늄, 니켈, 구리, 아연, 주석, 백금 및 팔라듐 분말로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는, 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조방법.

청구항 5

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 에폭시 매트릭스는 비스페놀 A의 디글리시딜에테르(diglycidyl ether of bisphenol A; DGEBA), 비스페놀 F의 디글리시딜에테르(diglycidyl ether of bisphenol F; DGEBF), 노볼락 에폭시 수지(Novolac epoxy resin), 지방족 에폭시 수지(Aliphatic epoxy resin) 및 글리시딜아민 에폭시 수지(Glycidylamine epoxy resin)로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는, 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조방법.

청구항 6

톨루엔 및 부틸 카르비톨 아세테이트(Butyl Carbitol Acetate; BCA)를 1 : 0.5 ~ 2인 중량비로 혼합한 용제에 트리에틸렌테트라민(Triethylenetetramine)을 용해시키는 단계(제1단계);

상기 트리에틸렌테트라민이 용해된 용제에 에폭시 매트릭스, 금속 분말로 이루어진 전도성 충전제, 및 다중벽 탄소나노튜브의 혼합물을 혼합시키는 단계(제2단계);

상기 혼합물이 혼합된 용제를 기관 상에 도포한 후 30 내지 90분 동안 60 내지 100℃로 예비건조(Pre-cure)시키는 단계(제3단계); 및

상기 예비건조 단계 이후 30 내지 90분 동안 120 내지 160℃로 경화(Post-cure)시키는 단계(제4단계)를 포함하는, 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 도막 제조방법.

청구항 7

청구항 6에 있어서, 상기 전도성 충전제는 금, 은, 알루미늄, 니켈, 구리, 아연, 주석, 백금, 및 팔라듐 분말

로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는, 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 도막 제조방법.

청구항 8

청구항 6에 있어서, 상기 에폭시 매트릭스는 비스페놀 A의 디글리시딜에테르(diglycidyl ether of bisphenol A; DGEBA), 비스페놀 F의 디글리시딜에테르(diglycidyl ether of bisphenol F; DGEBF), 노볼락 에폭시 수지(Novolac epoxy resin), 지방족 에폭시 수지(Aliphatic epoxy resin) 및 글리시딜아민 에폭시 수지(Glycidylamine epoxy resin)로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는, 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 도막 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 에폭시 매트릭스에 아미노기가 도입된 다중벽 탄소나노튜브와 금속 분말로 이루어진 전도성 충전제를 에폭시 매트릭스에 분산함으로써 전기 전도성을 향상시킬 수 있는 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 재료의 고부가성과 고기능성을 요구하는 산업이 증가함에 따라 두 종류 이상의 소재를 복합화 한 후 각각의 소재가 원래의 상을 유지하면서 원래의 소재보다 우수한 성능을 갖는 복합체에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 상기 복합체는 기질(matrix)과 충전제(filler)로 이루어져 있으며, 기질은 일반적으로 고분자물질을 사용하며 충전제는 주로 무기 충전제를 사용하고 있다. 충전제의 종류에 따라 복합체의 강도, 내식성, 내마모성, 내열성, 경량성 및 전도성 등을 개선할 수 있다. 특히 전자기기의 소형화와 고집적화 추세에 따라서, 방열 또는 전기 전도성 복합체에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다. 상기 방열 또는 전기 전도성 복합체의 표면 저항 값에 따라 다양한 산업에 널리 사용되고 있으며, 면 저항 값이 $10^6 \Omega/\text{sq.} \sim 10^{12} \Omega/\text{sq.}$ 에서는 정전기분산용, $10^1 \Omega/\text{sq.} \sim 10^6 \Omega/\text{sq.}$ 까지는 전도성, 그리고 $10^1 \Omega/\text{sq.} \sim 10^4 \Omega/\text{sq.}$ 까지는 전자파 간섭(Electro Magnetic Interference; EMI) 및 고주파 간섭(Radio Frequency Interference; RFI) 차폐용으로 사용되고 있다.

[0003] 니켈, 구리 및 알루미늄 등과 같은 금속 분말이 전기 전도성 무기 충전제로 현재 널리 사용되고 있으나, 이러한 금속 분말 들은 고분자와 비교하면 가공이 어렵고 높은 가격으로 인하여 복합체의 가격이 상승하는 문제점들이 나타나고 있으며 또한 공기 중의 산소로 인한 부식의 문제점이 지적되고 있다.

[0004] 최근 이러한 금속 분말들의 문제점을 해결하기 위하여 금속에 가까운 전기전도도와 뛰어난 강성, 낮은 비중 등 여러 가지 장점을 가지는 탄소재료로서 카본 블랙(Carbon Black; CB), 탄소나노튜브(Carbon NanoTube; CNT 및 흑연(graphite)을 전도성 충전제로 사용하고 있으며, 특히 CNT를 충전제로 사용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. CNT는 CB나 graphite등의 다른 탄소 동소체보다 밀도가 낮고 높은 종횡비(aspect ratio)를 가지며, 기계적 강도는 철강보다 훨씬 강하고, 자연계에서 가장 열전도율이 높은 다이아몬드와 비슷한 열전도율을 가지며, 구리에 비해 뛰어난 전기전도율을 가진다. 그러나 CNT 사이의 강한 반데르발스 힘(van der Waals force)과 매끄러운 표면으로 인하여 CNT간의 군집현상(agglomeration)이 발생하여 CNT의 우수한 성질에도 불구하고, CNT 복합체의 특성이 예측 수준에 크게 미치지 못하고 있다.

[0005] 따라서 CNT의 표면 손상을 최소로 하면서, 고분자와 계면에서 화학결합이 가능한 작용기를 CNT 표면에 도입하고, 개질된 CNT를 전도성 충전제로 사용하여 복합체 제조방법에 대한 개발이 필요한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 특허공개공보 제2008-0034439호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명의 목적은, 다중벽 탄소나노튜브의 표면에 도입된 아미노기를 에폭시 매트릭스에 분산시켜 아미노기와 에폭시 매트릭스 사이에 형성되는 공유결합에 의해 금속 분말로 이루어진 전도성 충전체의 함량을 줄임으로써 에폭시 매트릭스 내에서 다중벽 탄소나노튜브의 분산성을 향상시킬 수 있고 이로 인해 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 전기 전도성을 보다 높일 수 있는 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조방법을 제공하는 데에 있다.

과제의 해결 수단

- [0008] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 다중벽 탄소나노튜브 표면을 개질하여 아미노기를 도입하는 단계(제1 단계); 및 상기 아미노기가 도입된 다중벽 탄소나노튜브와 금속 분말로 이루어진 전도성 충전체를 에폭시 매트릭스에 분산시키는 단계(제2단계)를 포함하는, 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조방법을 제공한다.
- [0009] 또한 본 발명은 다중벽 탄소나노튜브 표면을 개질하여 아미노기를 도입하는 단계(제1단계); 상기 아미노기가 도입된 다중벽 탄소나노튜브를 에폭시 매트릭스에 분산시키는 단계(제2단계); 및 상기 다중벽 탄소나노튜브가 분산된 에폭시 매트릭스에 금속 분말로 이루어진 전도성 충전체를 투입하여 추가적으로 분산시키는 단계(제3단계)를 포함하는, 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조방법을 제공한다.
- [0010] 또한 본 발명은 툴루엔 및 부틸 카르비톨 아세테이트(Butyl Carbitol Acetate; BCA)를 1 : 0.5 ~ 2인 중량비로 혼합한 용제에 트리에틸렌테트라민(Triethylenetetramine)을 용해시키는 단계(제1단계); 상기 트리에틸렌테트라민이 용해된 용제에 에폭시 매트릭스, 금속 분말로 이루어진 전도성 충전체, 및 다중벽 탄소나노튜브의 혼합물을 혼합시키는 단계(제2단계); 상기 혼합물이 혼합된 용제를 기판 상에 도포한 후 30 내지 90분 동안 60 내지 100℃로 예비건조(Pre-cure)시키는 단계(제3단계); 및 상기 예비건조 단계 이후 30 내지 90분 동안 120 내지 160℃로 경화(Post-cure)시키는 단계(제4단계)를 포함하는, 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 도막 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0011] 다중벽 탄소나노튜브의 표면에 아미노기를 도입함으로써 에폭시 매트릭스와 공유결합을 형성하기 때문에 금속 분말로 이루어진 전도성 충전체의 함량을 줄일 수 있으며, 상기 공유결합을 통해 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조 시 에폭시 매트릭스 내에서 다중벽 탄소나노튜브의 분산성을 향상시킴으로써 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 전기 전도성을 보다 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0012] 도 1은 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체를 제조하는 반응의 도식도를 나타낸 도면이다.
- 도 2는 DGEBA에 존재하는 에폭시기와 MWCNT-NH₂에 존재하는 아미노기를 반응시켜 DGEBA와 MWCNT-NH₂ 사이의 결합 반응을 확인하기 위해 푸리에변환 적외분광 분석(Fourier Transform Infrared Spectrometry; FTIR)을 사용하여 측정한 스펙트럼
- 도 3은 MWCNT-NH₂와 DGEBA 사이에 반응 생성물을 나타낸 도면이다.
- 도 4는 (a) 개질되지 않은 MWCNT, (b) MWCNT-COOH, (c) MWCNT-NH₂, 및 (d) DGEBA/MWCNT-NH₂의 열중량분석기를 이용한 중량손실곡선을 나타낸 도면이다.
- 도 5는 (a) 순수한 DGEBA, (b) 개질되지 않은 MWCNT, (c) MWCNT-COOH, 및 (d) MWCNT-NH₂를 TETA를 사용하여 경화한 DGEBA와 MWCNT의 복합체들을 DSC를 사용하여 T_g를 측정한 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 6은 니켈 분말만 포함하는 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 도막의 면 저항 값 변화를 나타낸 도면이다.
- 도 7은 MWCNT의 함량에 따른 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 면 저항 값 변화를 나타낸 도면이다.
- 도 8은 MWCNT의 함량을 0.5 중량%로 고정하였을 때 니켈 분말 함량을 변화하면서 다중벽 탄소나노튜브 전도성

복합체를 제조하여 면 저항 값을 측정한 결과를 나타낸 도면이다.

도 9는 (a) 개질되지 않은 MWCNT, (b) MWCNT-COOH, 및 (c) MWCNT-NH₂를 MWCNT 0.5 중량%와 니켈 분말 50%를 DGEBA와 혼합하였을 때 SEM 측정을 통하여 EGDBA 수지 내의 MWCNT와 니켈 분말들의 분산 상태를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0013] 이하, 본 발명을 보다 상세하게 설명한다.
- [0014] 본 발명에 따른 다중벽 탄소나노튜브 복합체 제조방법에 대해 연구 개발 하던 중, 아미노기가 도입된 다중벽 탄소나노튜브를 에폭시 매트릭스에 분산시킬 경우 상기 두 화합물 사이에 공유결합이 형성되어 아미노기가 도입된 다중벽 탄소나노튜브가 에폭시 매트릭스에 고르게 분산되어 높은 전기 전도성을 띄는 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체를 얻을 수 있음을 밝혀내어 본 발명을 완성하였다.
- [0015] 본 발명은 다중벽 탄소나노튜브 표면을 개질하여 아미노기를 도입하는 단계(제1단계); 및 상기 아미노기가 도입된 다중벽 탄소나노튜브와 금속 분말로 이루어진 전도성 충전제를 에폭시 매트릭스에 분산시키는 단계(제2단계)를 포함하는, 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조방법을 제공한다.
- [0016] 또한 본 발명은 다중벽 탄소나노튜브 표면을 개질하여 아미노기를 도입하는 단계(제1단계); 상기 아미노기가 도입된 다중벽 탄소나노튜브를 에폭시 매트릭스에 분산시키는 단계(제2단계); 및 상기 다중벽 탄소나노튜브가 분산된 에폭시 매트릭스에 금속 분말로 이루어진 전도성 충전제를 투입하여 추가적으로 분산시키는 단계(제3단계)를 포함하는, 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조방법을 제공한다.
- [0017] 또한 상기 아미노기를 도입하는 단계(제1단계)는, 상기 다중벽 탄소나노튜브 표면을 질산(HNO₃) 처리하여 카르복시기를 도입하는 단계 및 상기 카르복시기가 도입된 다중벽 탄소나노튜브 표면을 염화싸이오닐(Thionyl chloride) 및 트리에틸렌테트라민(Triethylenetetramine)으로 처리하여 상기 다중벽 탄소나노튜브 표면에 아미노기를 도입하는 단계를 포함할 수 있으며, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0018] 또한 상기 전도성 충전제는 금, 은, 알루미늄, 니켈, 구리, 아연, 주석, 백금 및 팔라듐 분말로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나일 수 있으며, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0019] 또한 상기 에폭시 매트릭스는 비스페놀 A의 디글리시딜에테르(diglycidyl ether of bisphenol A; DGEBA), 비스페놀 F의 디글리시딜에테르(diglycidyl ether of bisphenol F; DGEBF), 노볼락 에폭시 수지(Novolac epoxy resin), 지방족 에폭시 수지(Aliphatic epoxy resin) 및 글리시딜아민 에폭시 수지(Glycidylamine epoxy resin)로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나일 수 있으며, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0020] 또한 본 발명은 톨루엔 및 부틸 카르비톨 아세테이트(Butyl Carbitol Acetate; BCA)를 1 : 0.5 ~ 2인 중량비로 혼합한 용제에 트리에틸렌테트라민(Triethylenetetramine)을 용해시키는 단계(제1단계); 상기 트리에틸렌테트라민이 용해된 용제에 에폭시 매트릭스, 금속 분말로 이루어진 전도성 충전제, 및 다중벽 탄소나노튜브의 혼합물을 혼합시키는 단계(제2단계); 상기 혼합물이 혼합된 용제를 기판 상에 도포한 후 30 내지 90분 동안 60 내지 100℃로 예비건조(Pre-cure)시키는 단계(제3단계); 및 상기 예비건조 단계 이후 30 내지 90분 동안 120 내지 160℃로 경화(Post-cure)시키는 단계(제4단계)를 포함하는, 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 도막 제조방법을 제공한다.
- [0021] 또한 상기 전도성 충전제는 금, 은, 알루미늄, 니켈, 구리, 아연, 주석, 백금 및 팔라듐 분말로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나일 수 있으며, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0022] 또한 상기 에폭시 매트릭스는 비스페놀 A의 디글리시딜에테르(diglycidyl ether of bisphenol A; DGEBA), 비스페놀 F의 디글리시딜에테르(diglycidyl ether of bisphenol F; DGEBF), 노볼락 에폭시 수지(Novolac epoxy resin), 지방족 에폭시 수지(Aliphatic epoxy resin) 및 글리시딜아민 에폭시 수지(Glycidylamine epoxy resin)로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나일 수 있으며, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0023] 이하, 하기 실시예에 의해 본 발명을 보다 상세하게 설명한다. 다만, 이러한 실시예에 의해 본 발명이 한정되는 것은 아니다.

- [0024] (실시예 1)
- [0025] 실험에 사용된 다중벽 탄소나노튜브(Multi Walled Carbon Nano Tubes; MWCNT)는 촉매 화학 기상 증착법(Catalyst Chemical Vapor Deposition; CCVD)으로 합성된 NC-7000(Nanocyl, Carbon purity $\geq 90\%$, 평균직경 9.5 nm, 평균길이 1.5 μm)을 사용하였으며, MWCNT의 표면 개질을 위하여 질산(HNO_3 , 65%, 덕산약품 공업주식회사), 염화싸이오닐(Thionyl chloride 99%, Sigma-Aldrich) 및 트리에틸렌테트라민(Triethylenetetramine; TETA, 60%, Sigma-Aldrich)을 사용하였다.
- [0026] 에폭시 매트릭스는 비스페놀 A의 디글리시딜에테르(diglycidyl ether of bisphenol A; DGEBA)계의 이관능성 에폭시 수지(YD-128, 국도화학 주식회사, E.E.W.=184-190 g/eq, $\rho=1.17 \text{ g/cm}^3$, $\mu=11,500\text{-}13,500 \text{ cPs}$)를 사용하였고, 경화제는 트리에틸렌테트라민(triethylenetetramine; TETA, 60%, Sigma-Aldrich)을 사용하였으며, 금속 분말로 이루어진 전도성 충전제는 니켈 분말(삼전순약 공업주식회사, $\geq 99.5\%$, 구형, 평균입도 2.2-3.0 μm)을 사용하였다.
- [0027] 용제로는 톨루엔(Toluene, Extra Pure, 덕산약품 공업주식회사) 및 부틸 카르비톨 아세테이트(Butyl Carbitol Acetate; BCA, Extra Pure, 덕산약품 공업주식회사)를 사용하였으며, 위 시약들은 별도의 정제 없이 사용하였다.
- [0028] (실시예 2) DGEBA와 MWCNT-NH₂의 반응
- [0029] 순수 DGEBA의 에폭시기와 MWCNT-NH₂의 아미노기와와의 상호 반응 여부를 확인하기 위하여 40 ml 투명 바이알병(SciLab-brand[®] Eco EPA Vials)에 20 g의 DGEBA와 0.1 g의 MWCNT-NH₂를 투입한 후 균질기(IKA-ULTRA-TURRAX T 25 basic S 10N - 10G)를 사용하여 24000 rpm으로 10분간 분산시킨 후, 상온에서 24시간 동안 DGEBA와 MWCNT-NH₂가 반응하도록 방치하였다. 반응 후 유리섬유 여과지(Glass Microfiber Filter, GF/C[™])(Whatman[™], Φ 110 mm, pore size 1.2 μm), 진공펌프 및 흡인 여과기를 이용하여 감압 여과법(Vacuum Filtration Method)으로 여과 한 후, 아세톤으로 5회 세척하여 MWCNT-NH₂와 반응하지 않은 DGEBA를 제거하였다. 세척 후 50℃의 진공오븐에서 24시간 건조하였다.
- [0030] (실시예 3) 니켈 분말만 포함하는 전도성 복합체 제조
- [0031] 니켈 분말 함량에 따른 복합체의 면 저항(Sheet Resistance) 값을 확인하기 위하여 40 ml 투명 바이알병에 13.50, 12.0, 10.5, 9.0, 7.5, 6.0 및 4.5 g의 DGEBA와 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5, 9.0 및 10.5 g(DGEBA에 대하여 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% 및 70%)의 니켈 분말을 투입하여 균질기를 사용하여 24000 rpm으로 10분간 분산시켜 니켈 분말만을 포함하는 전도성 복합체를 제조하였다.
- [0032] (실시예 4) MWCNT 함량에 따른 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조
- [0033] MWCNT 함량에 따른 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 면 저항 값을 확인하기 위하여 40 ml 투명 바이알병에 7.5 g의 DGEBA와 개질 혹은 개질되지 않은 MWCNT를 DGEBA에 대하여 0.1, 0.3, 0.5 및 1.0 중량%(0.0075, 0.0225, 0.0375 및 0.075 g)을 투입하여 균질기를 사용하여 24000 rpm으로 10분간 분산시켰다. 이후 7.5 g(DGEBA에 대하여 50%)의 니켈 분말을 추가로 투입하여 균질기를 사용하여 24000 rpm으로 10분간 더 분산시켜 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체를 제조하였다.
- [0034] (실시예 5) 니켈 분말 함량에 따른 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조
- [0035] 40 ml 투명 바이알병에 13.5, 12.0, 10.5, 9.0, 7.5, 6.0 및 4.5 g의 DGEBA와 개질 혹은 개질되지 않은 MWCNT를 DGEBA에 대하여 0.5 중량%(0.0675, 0.06, 0.0525, 0.045, 0.0375, 0.03 및 0.0225 g)을 투입하여 균질기를 사용하여 24000 rpm으로 10분간 분산시켰다. 이후 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5, 9.0 및 10.5 g(DGEBA에 대하여

10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% 및 70%)의 니켈 분말을 추가로 투입하여 균질기를 사용하여 24000 rpm으로 10분 간 더 분산시켜 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체를 제조하였으며, 반응의 도식도를 도 1에 나타내었다.

[0036] (실시예 6) 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 도막 제조

[0037] 전도성 충전제 종류 및 전도성 충전제 함량별 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 도막을 제조하기 위하여 DGEBA에 대하여 10 phr의 경화제인 TETA를 toluene과 BCA가 중량으로 1:1인 혼합 용제에 용해시킨 후, DGEBA와 TETA를 합한 고형분이 90%가 되도록 DGEBA, 니켈분말 및 탄소나노튜브 혼합물에 첨가한 후, 균질기를 사용하여 11000 rpm으로 5분간 고르게 혼합하였다. 그리고 60 μm 두께의 테이프(3M™) 2겹을 사용하여 25 × 75 mm의 슬라이드 글라스(slide glass)에 10 × 60 × 0.12 mm으로 틀을 준비한 다음, 제조한 용액을 닥터 블레이드(doctor blade)를 사용하여 상기 슬라이드 글라스에 도포 한 후, 80℃에서 1시간 동안 예비 건조 시키고 140℃에서 1시간 동안 경화시켜 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 도막을 제조하여 약 100 μm 두께의 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 도막을 제조하였다.

[0038] (실험예 1) DGEBA와 MWCNT-NH₂의 반응 분석

[0039] DGEBA에 존재하는 에폭시기와 MWCNT-NH₂에 존재하는 아미노기를 반응시켜 DGEBA와 MWCNT-NH₂ 사이의 결합 반응을 확인하기 위하여, 푸리에변환 적외분광 분석(Fourier Transform Infrared Spectrometry; FTIR)을 사용하여 측정한 스펙트럼들을 도 2에 각각 나타내었다.

[0040] 도 2(a)의 MWCNT-NH₂의 FTIR 스펙트럼을 보면, 2942, 2919 및 2848 cm^{-1} 에서 나타나는 지방족 C-H 신축 피크들은 TETA에 의해 도입되는 -CH₂-에 의한 것임을 알 수 있다. 또한, MWCNT-COCl가 TETA의 아미노기와 반응하면서 나타나는 아마이드(Amide)의 구조에 의하여 1635 cm^{-1} 에서 C=O 피크, 1569 cm^{-1} -CNH의 진동피크가 강하게 나타났다. 즉, 1720 cm^{-1} 에 나타나는 카르복실기에 의한 C=O 피크가 1635 cm^{-1} 으로 이동하게 되는 것으로 MWCNT 표면에 아미노기가 도입되었음을 알 수 있다. 도 2(b)의 순수 DGEBA 스펙트럼에서는 3056 cm^{-1} 에서 에폭시기의 C-H 신축 피크와 3035 cm^{-1} 에서 방향족 C-H 신축 피크를 확인하였다. 또한 2965, 2927 및 2873 cm^{-1} 에서 지방족 C-H 신축 피크, 1607 및 1509 cm^{-1} 에서 방향족 고리의 C=C 및 C-C 신축피크, 916 및 833 cm^{-1} 에서 에폭시기의 C-C 및 C-O-C 신축피크들이 나타나는 것을 확인하였다. 도 2(c)의 TETA에 의해 경화가 이루어진 DGEBA의 FTIR 스펙트럼에서는 3056 cm^{-1} 에 나타나는 에폭시기의 C-H 신축 피크가 감소하는 것을 확인하여 TETA와 DGEBA가 반응하는 것을 알 수 있다. 도 2(d)의 DGEBA와 MWCNT-NH₂의 반응물에 대한 FTIR 스펙트럼에서는 3030 cm^{-1} 에 나타나는 방향족 C-H 신축피크를 확인하였으며, 2954, 2920, 2870 및 2854 cm^{-1} 에서 나타나는 지방족 신축 피크들을 확인하였다. 3056 cm^{-1} 에서 에폭시기의 C-H 신축 피크가 나타나지 않는 것으로 부터 DGEBA와 MWCNT-NH₂가 서로 반응 한 것을 알 수 있다.

표 1

[0041]

성분(%)	MWCNT-NH ₂	DGEBA/MWCNT-NH ₂
질소	5.07	2.20
탄소	80.47	85.29
수소	1.75	2.33
산소	4.24	7.29

[0042] 또한 MWCNT-NH₂와 MWCNT-NH₂ 및 DGEBA를 반응시켜 세척 후의 복합체의 EA 분석 결과를 상기 표 1에 나타내었다. 표 1을 참조하면, MWCNT-NH₂의 질소 함량은 5.07%, 탄소 함량은 80.47%, 수소 함량은 1.75%, 산소 함량은 4.24% 이고, DGEBA/MWCNT-NH₂의 질소 함량은 2.20%, 탄소 함량은 85.29%, 수소 함량은 2.33%, 산소 함량은 7.29%로 나

타났다. DGEBA와 MWCNT-NH₂가 반응하면서 질소 함량은 5.70%에서 2.20%으로 감소하였고 탄소 함량은 80.47%에서 85.29%, 산소 함량은 4.24%에서 7.29%, 수소 함량은 1.75%에서 2.33%로 증가하였다. 이는 DGEBA에 존재하는 에폭시기가 MWCNT-NH₂에 존재하는 아미노기와 반응을 하여 상대적으로 질소 함량은 줄어 들고 탄소, 산소 및 수소 함량은 증가하는 것으로 보아 DGEBA와 MWCNT-NH₂가 서로 반응을 한 것을 알 수 있다.

[0043] 또한 MWCNT-NH₂에 접목(graft)된 DGEBA의 양을 EA 결과를 통하여 계산하였다. 먼저 MWCNT-NH₂의 질소에 대한 탄소의 비를 계산하여 보면 18.64이고, MWCNT-NH₂와 DGEBA를 반응시킨 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 질소에 대한 탄소의 비는 44.44이다. MWCNT-NH₂ 한 분자에 DGEBA 한 분자가 접목되면 질소에 대한 탄소의 비가 41.89가 되어야 하기 때문에 MWCNT-NH₂와 DGEBA의 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 탄소 비가 44.44이고 MWCNT-NH₂ 한 분자와 DGEBA 한 분자가 반응하면 이론 비가 41.89 이므로 $44.44/41.89=1.06$ 이다. 따라서, MWCNT-NH₂ 한 분자에 평균적으로 DGEBA가 1.06개 접목된 것을 계산할 수 있었다.

[0044] EA 결과를 바탕으로 MWCNT-NH₂에 결합된 TETA 1 분자당 DGEBA가 약 1.06개씩 도입됨을 확인하였고, 1차 아미노기와 2차 아미노기의 유사한 반응성과 MWCNT의 입체장애로 인하여 MWCNT와 상대적으로 거리가 먼 1차 아미노기와 DGEBA의 에폭시기가 우선적으로 반응하는 것으로 판단되어, 합성되는 MWCNT-NH₂의 화학 구조를 도 3에 나타내었다.

[0045] 도 4를 참조하면, TGA와 (DTG)의 변곡점을 이용하여 MWCNT의 표면 개질 여부와 DGEBA와 MWCNT-NH₂의 열적 분해 거동을 분석한 결과를 나타내었다.

[0046] 도 4(a)의 개질되지 않은 MWCNT는 800℃에서 1.3 중량%가 분해되어 98.7 중량%의 질량이 남아 있으므로 열적으로 안정한 구조임을 확인하였다. 도 4(b)의 MWCNT-COOH는 165℃에서 초기 분해, 550℃에서 빠른 분해가 일어났다. 그리고 800℃에서는 33.6 중량%가 분해되어 66.4 중량%의 질량이 남아 있으며 이는 MWCNT-COOH의 합성 과정에서 산처리에 의한 결합 도입으로 인하여 개질되지 않은 MWCNT보다 열분해가 빨리 일어나는 것을 확인하였다. 도 4(c)의 MWCNT-NH₂는 152℃에서 초기분해, 324℃에서 MWCNT 표면에 도입된 아미노기의 분해가 나타났으며, 560℃에서 MWCNT 표면에 도입된 카르복실기의 분해가 나타났으며 800℃에서 51.2 중량%가 분해되어 48.8 중량%의 질량이 남아 있는 것으로 확인되었다. 도 4(d)의 DGEBA/MWCNT-NH₂는 170℃에서 초기분해, 339℃에서 MWCNT-NH₂와 반응하여 결합이 된 DGEBA의 분해가 일어났으며, 664℃에서 MWCNT에 결합된 나머지 부분의 급격한 분해가 나타났으며 800℃에서 83.4 중량%가 분해되어 16.6 중량%의 질량이 남아 있는 것으로 확인되었다.

[0047] (실험예 2) DGEBA와 MWCNT의 반응 유무 확인

[0048] 푸리에변환 적외분광 분석(Fourier Transform Infrared Spectrometry; FTIR, Thermo Nicolet is50), 열중량분석기(Thermogravimetric Analyzer; TGA, TA instruments, Q500)와 원소분석기(Elemental Analyzer; EA, Thermo Fisher/Flash 2000)를 사용하여 분석하였다. FTIR 분석은 시료 2.5 mg을 KBr 분말과 1:400의 무게 비율로 섞은 후, 30 mg을 펠렛(pellet) 형태로 제조한 후 투과법으로 4000~400 cm⁻¹ 파수 범위에서 32회 스캔(scan)하여 4 cm⁻¹ 분해능(resolution)으로 측정하였다. 시료의 열 안정성 및 분해거동을 연구하기 위하여 TGA와 파생적 열 중량 측정 분석(Derivative Thermogravimetric Analysis; DTG)를 사용하여 질소 분위기 하에서 10 °C/min 속도로 상온에서 800℃까지 온도를 올려 시료의 무게 변화를 측정하였고, EA로는 MWCNT에 도입된 원소들의 함량 %를 분석하였다. 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 유리전이온도(glass transition temperature, T_g)는 시차주사 열량측정법(Differential Scanning Calorimetry; DSC, TA Instrument, Q20)을 사용하여 10 °C/min 속도로 30℃에서 120℃까지 온도 조건에서 측정한 2차 가열곡선을 사용하여 T_g를 측정하였다.

[0049] 도 5를 참조하면, 개질된 MWCNT의 아미노기와 DGEBA의 에폭시기 사이의 계면 반응을 확인하기 위하여, TETA를 사용하여 경화한 DGEBA와 MWCNT의 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체들을 DSC를 사용하여 T_g를 측정된 결과를 나타내었다.

- [0050] 도 5(a)의 DGEBA와 TETA만으로 경화된 복합체의 T_g 는 75.7℃로 나타났으며, 도 5(b)의 개질되지 않은 MWCNT 0.5 중량%를 충전제로 사용하여 제조한 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체는 77.7℃로 DGEBA/TETA 복합체보다 T_g 가 2.0℃ 상승하였다. 이는 개질되지 않은 MWCNT와 DGEBA 사이에 강한 화학결합은 없지만 개질되지 않은 MWCNT에 의해 DGEBA의 분자 거동이 제한을 받아서 T_g 가 상승한 것을 알 수 있다. 도 5(c)의 MWCNT-COOH 0.5 중량%를 충전제로 사용하여 제조한 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체는 76.0℃로 DGEBA/TETA 복합체보다 0.3℃ 상승하였지만 개질되지 않은 MWCNT를 충전제로 사용한 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체보다 1.7℃ 낮게 나타났다. 이는 산화 공정으로 인하여 MWCNT 표면에 결합 도입이 되어 MWCNT-COOH의 중형비가 낮아져서 개질되지 않은 MWCNT보다 DGEBA의 분자 거동이 제한을 적게 받았음을 알 수 있다. 도 5(d)의 MWCNT-NH₂ 0.5 중량%를 충전제로 사용하여 제조한 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체는 T_g 가 85.5℃로 충전제를 포함하지 않는 순수 DGEBA/TETA 복합체보다 9.8℃ 상승하였다. MWCNT-NH₂를 합성하는 과정에서 산처리로 인한 결합 도입으로 개질되지 않은 MWCNT보다 중형비는 낮은 반면에 DGEBA의 에폭시기와 MWCNT-NH₂ 사이의 계면에서의 화학결합으로 인하여 분자 거동에 제한을 크게 받아서 개질되지 않은 MWCNT를 충전제로 사용한 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체보다 T_g 가 많이 상승한 것을 알 수 있다.
- [0051] (실험예 3) 니켈 분말만 포함하는 전도성 복합체 도막의 면 저항 값 변화
- [0052] 전도성 충전제로 금속 분말인 니켈 분말만을 사용하여 제조한 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 도막의 니켈 분말의 함량에 따른 면 저항 값의 변화를 측정하였다. 니켈 분말의 함량이 30% 이하에서는 니켈 분말이 DGEBA 매트릭스 내에서 연속적인 통로를 충분히 형성되지 않으며 또한 전기 전도도 측정기기로 측정 가능한 면 저항 값보다 높아서 ($10^{-3} \sim 10^7 \Omega/\text{sq.}$) 측정되지 않았다. 따라서, 니켈 분말 함량이 40%에서 70%까지의 도막에 대한 면 저항 값의 변화를 도 6에 나타내었다.
- [0053] 도 6을 참조하면, 니켈 분말의 함량이 40%에서 70%로 증가할수록 면 저항 값이 감소하는 반면, 80% 이상의 니켈 분말 함량에서는 니켈 분말에 의한 전도성 복합체의 점도가 너무 높아서 도막 생성이 어렵기 때문에 니켈 분말의 함량은 최대 70%로 하였다.
- [0054] (실험예 4) MWCNT의 함량에 따른 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 면 저항 값 변화
- [0055] 도 7을 참조하면, 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조 시 전도성 첨가제로 MWCNT만 사용하면 DGEBA 매트릭스 내에 충분히 연속적인 통로를 형성하지 못하기 때문에, 니켈 분말 함량을 50%로 고정하고, MWCNT의 함량을 변화하였을 때 나타나는 면 저항 값의 변화를 측정한 결과를 나타내었다.
- [0056] 도 7을 참조하면, MWCNT의 개질여부에 상관없이 MWCNT의 함량이 증가할수록 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 면 저항 값은 감소하는 것을 알 수 있으며, MWCNT-NH₂, 개질되지 않은 MWCNT, MWCNT-COOH 순으로 면 저항 값이 증가하는 것으로 관찰되었다. 즉, MWCNT-COOH를 사용하여 제조된 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체가 개질되지 않은 MWCNT를 사용하여 제조된 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 면 저항 값 보다 높게 나타났으며, 이는 산화 공정을 통하여 MWCNT-COOH 표면에 결합이 많이 도입되고 MWCNT의 길이가 짧아지기 때문에 전기적인 특성이 감소하여 개질되지 않은 MWCNT를 포함하는 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체보다 면 저항 값이 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 하지만 MWCNT-NH₂를 사용하여 제조된 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체는 면 저항 값이 가장 낮게 나타났다. 이는 MWCNT-NH₂의 표면에 개질과정에서 결합이 도입되지만 DGEBA의 에폭시기와 MWCNT-NH₂가 서로 반응하여 DGEBA 매트릭스와의 상용성이 좋아지고 효과적으로 DGEBA 매트릭스 안에 고르게 분산 되어 개질되지 않은 MWCNT 보다 면 저항 값이 낮게 나오는 것을 알 수 있다. 이는 개질하지 않은 MWCNT는 산화공정으로 인하여 표면에 결합이 도입된 MWCNT보다 전기적 특성은 우수하지만 DGEBA 매트릭스 내에서 분산상태가 고르지 못하여 예측되는 전기적 특성에 미치지 못하고, 분산상태가 고른 MWCNT-NH₂는 표면에 결합이 도입되었지만 전기가 흐를수 있는 연속적인 통로를 효과적으로 만들어주기 때문에 개질하지 않은 MWCNT 보다 전기전도도가 우수함을 알 수 있다. 또한, 상기 MWCNT의 함량이 0.5 중량% 이상에서는 면 저항 값의 차이가 크게 나타나지 않았으며 이는 DGEBA 매트릭스 내에 충분히 연속적인 통로를 형성하여 면 저항 값의 변화가 크지 않기 때문

에 MWCNT의 함량이 0.5 중량%일 때 퍼콜레이션 임계치(percolation threshold)에 도달하는 것을 알 수 있다. 하지만 MWCNT의 함량이 0.5 중량%까지는 DGEBA 매트릭스 내에 MWCNT의 분산이 균일하지 않아서 측정된 면 저항 값의 편차가 크게 나는 것을 알 수 있다.

- [0057] (실험예 5) 니켈 분말의 함량에 따른 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 도막의 면 저항 값 변화
- [0058] 니켈 분말의 함량 50%, 및 MWCNT의 함량이 0.5 중량%일 때, percolation threshold에 도달하였다고 판단하여, MWCNT의 함량을 0.5 중량%로 고정하고 니켈 분말 함량을 변화하면서 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체를 제조하여 면 저항 값을 측정한 결과를 도 8에 나타내었다.
- [0059] 도 8을 참조하면, MWCNT의 종류에 상관없이 니켈 분말의 함량이 증가할수록 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 면 저항 값은 감소하는 것을 확인하였다. 또한, 40% 니켈 분말과 MWCNT의 종류에 따라 제조한 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 면 저항 값 차이가 가장 크게 나타났다. 따라서, 니켈 분말의 함량을 40%로 고정하고, 개질되지 않은 MWCNT 0.5 중량%를 포함하는 도막, MWCNT-COOH 0.5 중량% 포함하는 도막과 MWCNT-NH₂ 0.5 중량%를 포함하는 도막들의 면 저항 값들을 측정한 결과 니켈 분말만 사용하여 도막을 제조한 도막의 니켈 함량 52.6, 50.9 및 53.2%와 같은 면 저항 값들을 나타내었다.
- [0060] 따라서, 개질되지 않은 MWCNT, MWCNT-COOH 및 MWCNT-NH₂를 사용하여 제조된 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체는 니켈 분말만 함유하여 제조한 도막과 비교하면 같은 면 저항 값을 나타내기 위하여 12.6, 10.9 및 13.2%의 니켈 분말을 감소할 수 있음을 알 수 있다.
- [0061] (실험예 6) 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 형태학적 분석
- [0062] 도 9를 참조하면, 개질 혹은 개질되지 않은 MWCNT 0.5 중량%와 니켈 분말 50%를 DGEBA와 혼합하여 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 분말들을 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope; SEM) 측정을 통하여 EGDBA 수지 내의 MWCNT와 니켈 분말들의 분산 상태를 나타내었다.
- [0063] 도 9(a), (b) 및 (c)의 왼쪽 그림들은 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체에 존재하는 MWCNT를 보여주고 있으며, 흰색 동그라미는 MWCNT들이 DGEBA에 둘러싸여 있음을 보여주고 있다. 그리고, 도 9(a), (b) 및 (c)의 오른쪽 그림들은 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체의 니켈 분말 분산 상태를 보여주고 있다. 도 9(a)의 개질되지 않은 MWCNT가 포함된 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체에서는 개질되지 않은 MWCNT가 DGEBA 수지 내에 분산이 고르게 되지 않아 니켈 분말 또한 분산이 고르게 되지 않은 것을 확인하였다. MWCNT-COOH를 포함하는 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체를 나타낸 도 9(b)에서는 MWCNT-COOH를 제조하는 과정에서 MWCNT 표면에 결합이 도입되어 길이가 짧아져 상대적으로 개질되지 않은 MWCNT 보다 DGEBA 수지 내에 분산이 잘 되어 니켈 분말도 분산이 잘 되는 것을 확인하였다. MWCNT-NH₂가 포함된 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체를 나타낸 도 9(c)에서는 MWCNT-COOH와 마찬가지로 MWCNT-NH₂를 제조하는 과정에서 MWCNT의 길이도 짧아지고, 도입된 아미노기가 DGEBA와의 화학적 결합을 통하여 DGEBA 수지 내에 고르게 분산된 것을 확인하였다.
- [0064] 상기 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조 시, MWCNT를 첨가할 경우, 매트릭스 내에 분포된 MWCNT로 인하여 복합체의 분자거동이 제한을 받아 T_g가 증가하는 것을 알 수 있었으며, MWCNT-COOH < pristine MWCNT < MWCNT-NH₂의 순으로 도막의 T_g에 대한 영향력이 증가하였다.
- [0065] 또한 상기 다중벽 탄소나노튜브 전도성 복합체 제조 시, MWCNT를 첨가할 경우, 면 저항 값이 감소하며, 0.5 중량% MWCNT와 40% 또는 50%의 니켈 분말을 사용하여 제조한 전도성 복합체들의 면 저항 값은 10⁴ 내지 10⁶ Ω/sq.로 정전기분산용으로 사용 가능하며, 60% 또는 70% 니켈 분말을 사용하여 제조한 전도성 복합체들의 면 저항 값은 10² 내지 10³ Ω/sq.로 전도체로 사용이 가능하였다.
- [0066] 40%의 니켈 분말을 포함하는 복합체에 0.5 중량%의 개질되지 않은 MWCNT, MWCNT-COOH 및 MWCNT-NH₂를 사용하여 제조한 전도성 복합체는 니켈 분말만 함유하여 제조한 도막과 비교하면 같은 면 저항 값을 나타내기 위하여 12.6, 10.9 및 13.2%의 니켈 분말을 감소할 수 있는 것을 알 수 있었으며, 이는 전도성 복합체 제조 시 전도성

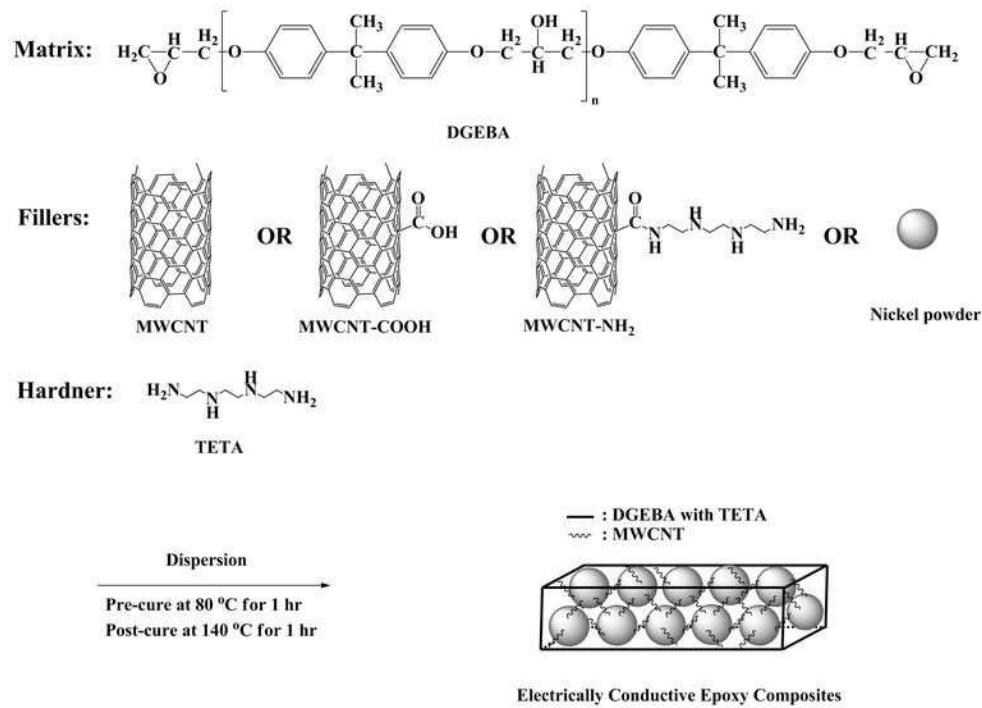
충전제로 MWCNT-NH₂와 니켈을 사용하는 것이 먼 저항 값을 효과적으로 낮출 수 있다.

[0067]

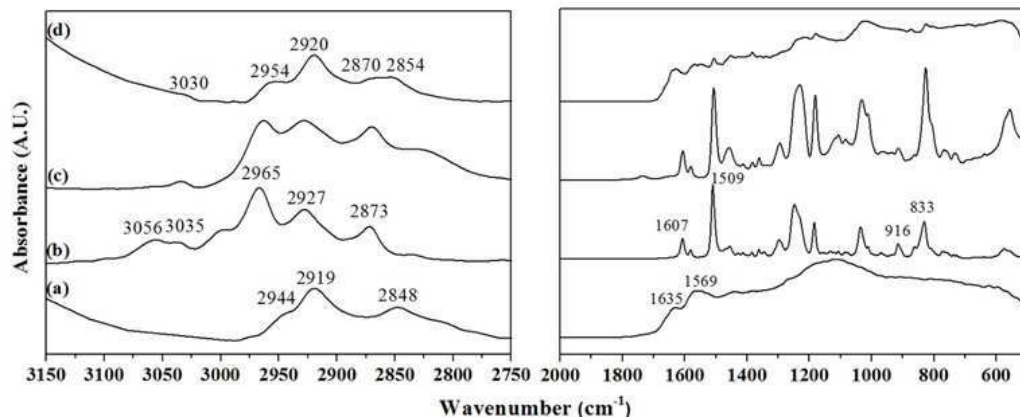
이상과 같이, 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 이것에 의해 한정되지 않으며 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술 사상과 아래에 기재될 청구범위의 균등 범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 가능함은 물론이다.

도면

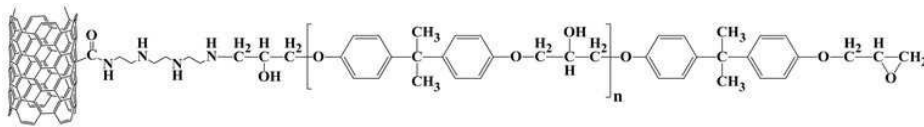
도면1



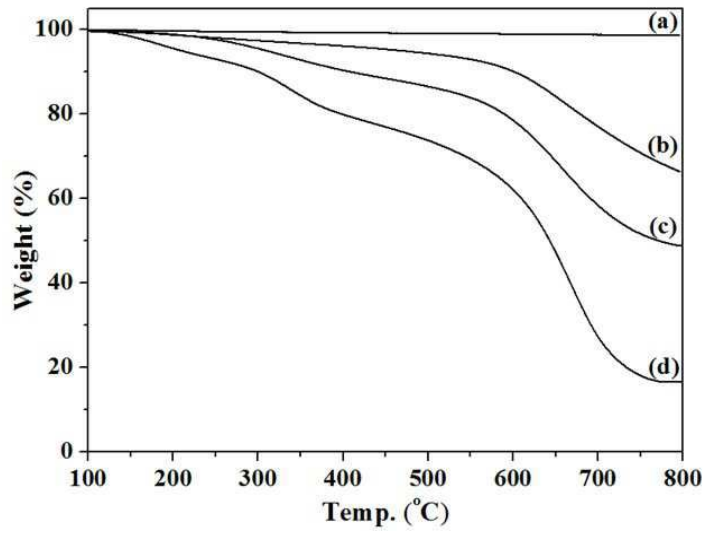
도면2



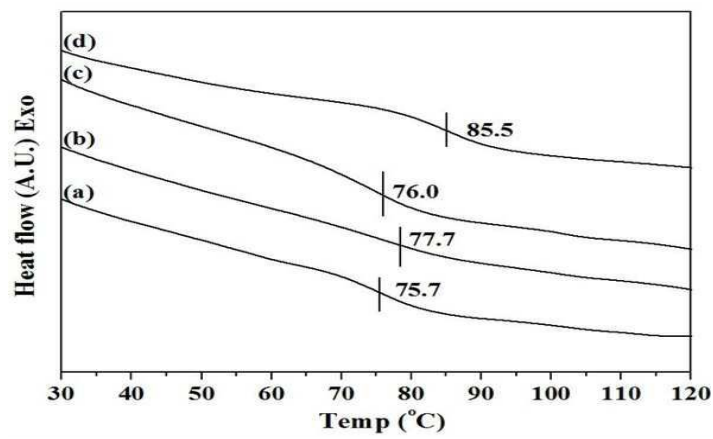
도면3



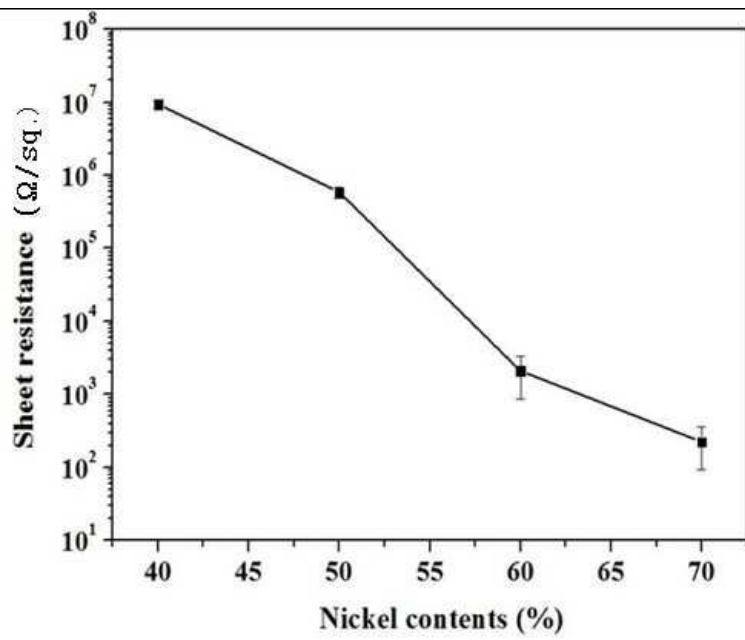
도면4



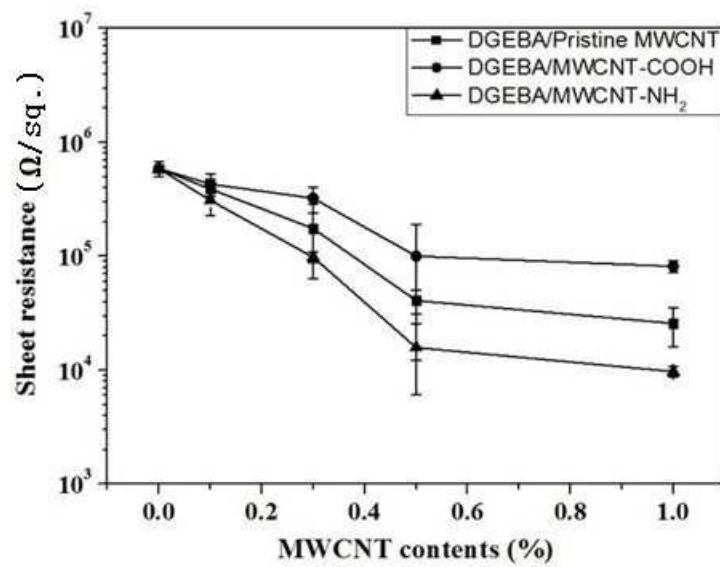
도면5



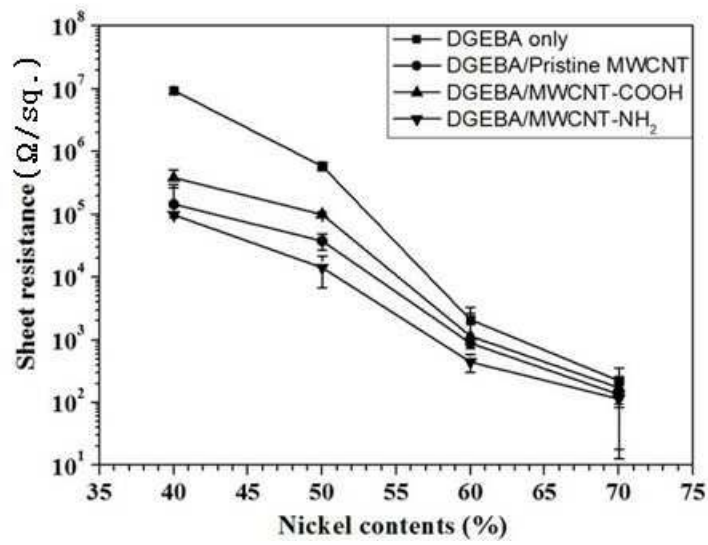
도면6



도면7



도면8



도면9

