



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0101408
(43) 공개일자 2023년07월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C08K 3/04 (2006.01) C08L 75/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C08K 3/041 (2017.05)
C08K 3/042 (2017.05)
(21) 출원번호 10-2021-0191498
(22) 출원일자 2021년12월29일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
경상국립대학교산학협력단
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)
(72) 발명자
박준홍
경남 진주시 사들로 13
김형태
경남 창원시 성산구 안민안길 50
(74) 대리인
김종석

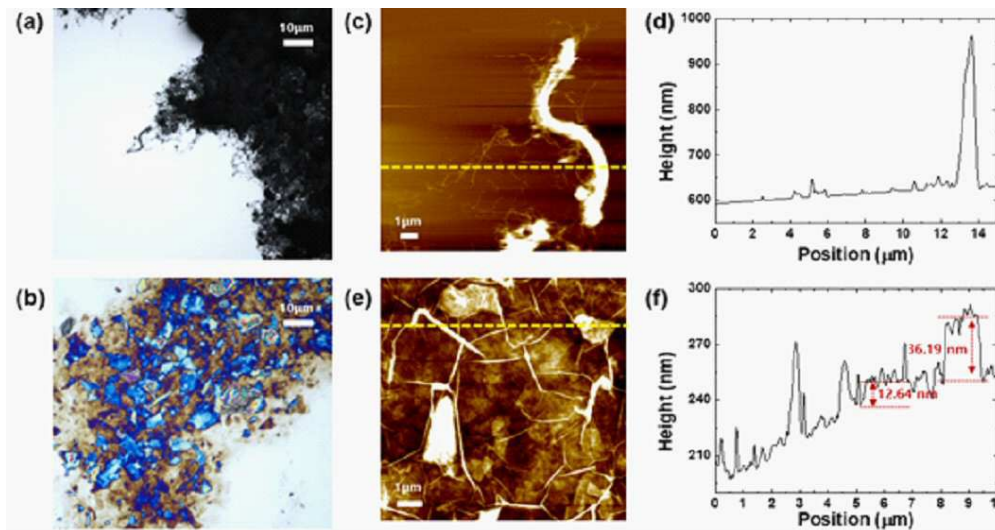
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 고기능성을 위한 카본 이방성 나노 소재를 포함하는 고분자 복합재 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 고기능성을 위해 카본 이방성 나노 소재를 첨가한 고분자 복합재 제조에 관한 것으로, 보다 구체적으로 이방성을 가진 CNT (carbon nanotube) 또는 GO (graphene oxide)를 폴리우레아 기지상에 첨가하여 복합재 (ex. CNT or GO/폴리우레아/유리섬유)를 제작 및 그 특성을 분석한 결과 폴리우레아 기지 내 CNT 또는 GO가 고유한 특징을 보유하면서 잘 혼합됨을 확인한 바, 이는 경량의 고분자/세라믹 복합재로써 항공기용 경량 부품 등에 활용할 수 있음에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C08L 75/02 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345323328
과제번호	LINCPLUS-2020-7
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	산학협력고도화지원(R&D)
연구과제명	사회맞춤형산학협력선도대학(LINC+)육성(0.5)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	경상대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

폴리우레아 및 카본 이방성 나노 소재를 포함하는 고분자 복합재.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 카본 이방성 나노 소재는,

1차원의 선형을 가진 탄소나노튜브(carbon nanotube) 및 2차원의 층상을 가진 그래핀옥사이드(graphene oxide)를 포함하는 고분자 복합재.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 폴리우레아는 폴리우레탄의 화합결합과 높은 유사성을 가지는 것을 특징으로 하는 고분자 복합재.

청구항 4

폴리우레아에 탄소나노튜브 5 wt%와 그래핀옥사이드 5 wt%를 혼합하는 단계;

상기 폴리우레아에 경화제를 혼합하는 단계; 및

상기 혼합 후 crosslink 형성 및 건조 과정을 거쳐 복합재를 제조하는 단계를 포함하는 고분자 복합재 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 고기능성을 위해 카본 이방성 나노 소재를 첨가한 고분자 복합재 제조에 관한 것으로, 보다 구체적으로 이방성을 가진 CNT(carbon nanotube) 또는 GO (graphene oxide)를 폴리우레아 기지상에 첨가한 복합재 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 고분자 기반의 복합재 표피층 적용을 위한 새로운 기반 소재 개발 뿐만 아니라 전도성 및 전자파/열 등 고에너지 흡수, 기계적 강도 향상을 위해, 금속 입자나 카본 나노 소재 등을 복합재 수지 및 표피층에 첨가하여 다양한 기능성을 구현에 대한 연구가 진행 중이다. 기지 재료인 고분자에 산화 철 또는 CNT (carbon nano tube) 등 전도성 소재를 첨가 하여, 전자파 흡수 및 차폐 능력 구현에 대한 연구가 보고 되었으며, 실리카 소재를 혼합하여, 복합재 손상 시 수분 환경에서 자가회복 구현이 가능함이 발표되었다. 따라서 경량의 기계적 성을 위한 단순 소재간 적층 복합재 제조의 단계를 넘어서, 다양한 나노 소재를 기지상에 혼합하여, 전자파, 열 등 고에너지 환경하에서 복합재의 내구성 보존 및 다기능을 구현 가능하여 복합재의 적용 범위를 크게 넓히는 것이 가능하다. 또한 CNT 및 그래핀 등 장대비가 큰 이방성을 가지며, 길이 방향으로의 기계적 특성 및 탄성이 우수한 소재를 첨가 하여 복합재 강도를 크게 향상시키는 것도 가능하다. 복합재의 고분자 등 기지상에 항복 강도 이상의 하중 인가 시 파단이 발생, 성장하면서 파괴가 진행되는데, 파단 시 생성되는 grain boundary의 계면에

서 이방성 소재들에 의한 necking이 형성되어 파단의 성장을 억제 가능하여, 전체 복합재의 항복강도를 크게 증가시킬 수 있다.

[0004] 폴리우레아(polyurea)는 기존 복합재 외피막으로 사용되는 폴리우레탄과 유사한 화학분자 구조를 가지고 있으면서, isocyanate와 diol기의 중합 반응으로 합성되어 우레아(urea) 결합을 가진 탄성 고분자 (elastomer polymer) 소재이다. 폴리우레탄과 유사하게 표면 다양한 건축물 및 대형 동체에 도장/도포가 가능하며 계면 접착성이 우수하다. 또한 폴리우레탄과 비교 시, 탄성과 기계적 강도의 측면에서 뛰어 넘는 우수한 성능을 가지고 있으며, 강한 우레아 결합으로 인해 저온 및 수분 등의 극한/화학적 환경에서 폴리우레탄보다 안정적으로 화학 결합을 유지 가능해, 표피층의 내구도 및 안정도가 우수하다. 이로 인해 복합재 표피로 제작 시, 위험요소의 충돌에 의한 충격 완화 능력 및 다양한 환경에서 내구도의 유지를 기대 가능하다. 하지만 표피에 도장/도포 공정 시 반드시 90℃ 이상의 온도로의 가열이 필요하여 공정의 복잡도가 증가하여, 아직 복합재 표피층으로서 적용이 본격적으로 시도 되지 않았다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 고분자 기반의 복합재 표피층 적용을 위한 새로운 기반 소재 개발 뿐만 아니라 전도성 및 전자파/열 등 고에너지 흡수, 기계적 강도 향상을 위해, 금속 입자나 카본 나노 소재 등을 복합재 수지 및 표피층에 첨가하여 다양한 기능성을 구현에 대한 연구가 진행 중이다. 기지 재료인 고분자에 산화 철 또는 CNT (carbon nano tube) 등 전도성 소재를 첨가 하여, 전자파 흡수 및 차폐 능력 구현에 대한 연구가 보고 되었으며, 실리카 소재를 혼합하여, 복합재 손상 시 수분 환경에서 자가회복 구현이 가능함이 발표되었다. 따라서 경량의 기계적 성을 위한 단순 소재간 적층 복합재 제조의 단계를 넘어서, 다양한 나노 소재를 기지상에 혼합하여, 전자파, 열 등 고에너지 환경하에서 복합재의 내구성 보존 및 다기능을 구현 가능하여 복합재의 적용 범위를 크게 넓히는 것이 가능하다. 또한 CNT 및 그래핀 등 장대비가 큰 이방성을 가지며, 길이 방향으로의 기계적 특성 및 탄성이 우수한 소재를 첨가 하여 복합재 강도를 크게 향상시키는 것도 가능하다. 복합재의 고분자 등 기지상에 항복 강도 이상의 하중 인가 시 파단이 발생, 성장하면서 파괴가 진행되는데, 파단 시 생성되는 grain boundary의 계면에서 이방성 소재들에 의한 necking이 형성되어 파단의 성장을 억제 가능하여, 전체 복합재의 항복강도를 크게 증가시킬 수 있다.

[0007] 폴리우레아(polyurea)는 기존 복합재 외피막으로 사용되는 폴리우레탄과 유사한 화학분자 구조를 가지고 있으면서, isocyanate와 diol기의 중합 반응으로 합성되어 우레아(urea) 결합을 가진 탄성 고분자 (elastomer polymer) 소재이다. 폴리우레탄과 유사하게 표면 다양한 건축물 및 대형 동체에 도장/도포가 가능하며 계면 접착성이 우수하다. 또한 폴리우레탄과 비교 시, 탄성과 기계적 강도의 측면에서 뛰어 넘는 우수한 성능을 가지고 있으며, 강한 우레아 결합으로 인해 저온 및 수분 등의 극한/화학적 환경에서 폴리우레탄보다 안정적으로 화학 결합을 유지 가능해, 표피층의 내구도 및 안정도가 우수하다. 이로 인해 복합재 표피로 제작 시, 위험요소의 충돌에 의한 충격 완화 능력 및 다양한 환경에서 내구도의 유지를 기대 가능하다. 하지만 표피에 도장/도포 공정 시 반드시 90℃ 이상의 온도로의 가열이 필요하여 공정의 복잡도가 증가하여, 아직 복합재 표피층으로서 적용이 본격적으로 시도 되지 않았다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기의 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 기능성을 위한 이방성 나노 소재 첨가의 폴리우레아 고분자 복합재 경량 복합재를 제시할 수 있다.

[0010] 상기 카본 이방성 나노 소재는, 각각 1차원의 선형을 가진 CNT(carbon nanotube) 및 2차원의 층상을 가진 GO(graphene oxide)를 포함하며 상기 고분자 복합재는 폴리우레탄의 화학결합과 높은 유사성을 가지는 폴리우레아 기지상일 수 있다.

[0011] 폴리우레아 (KCC페인트, 하이퍼우레아 BR595A (SL)) resin에 CNT와 GO를 각각 5 wt% 씩 혼합하는 단계는 첨가제가 혼합된 resin에 경화제를 1.2:1의 무게비율로 혼합하는 단계; 및 상기 혼합 후 crosslink 형성 및 건조 과정을 거쳐 복합재를 제조하는 단계를 포함하는 기능성을 위한 카본 이방성 나노 소재 첨가의 고분자 복합재 경

량 복합재 소재 제조방법을 제시할 수 있다.

[0012] 상기 crosslink는 유리섬유 직물에 도포하여, 폴리우레아/유리섬유, CNT/폴리우레아/유리섬유, 및 GO/폴리우레아/유리섬유 복합재를 포함하는 복합재 소재를 포함할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 실시예 1에 따라 Si 기판에 전사된 CNT의 현미GO의 현미경 이미지((a),(b)) 및 AFM 이미지((c),(d))와 AFM 이미지에 노란색 선으로 나타난 line trace를 나타난 그래프((e),(f)).

도 2는 본 발명의 실시예 2에 따라 이방성 소재를 첨가한 폴리우레아 복합재 시편 제조 공정 흐름도이다.

도 3는 본 발명의 실험예 1에 따른 FT-IR bare 폴리우레아, 5% CNT/폴리우레아 및 5% GO/폴리우레아에 대한 폴리우레아 합성물의 스펙트럼의 그래프이다.

도 4는 본 발명의 실험예 2에 따른 5wt% CNT/폴리우레아 및 5 wt% GO/폴리우레아에 대한 폴리우레아 합성물의 Raman 스펙트럼의 그래프이다.

도 5는 본 발명의 실험예 3에 따른 (a) bare 폴리우레아/유리 (b) 폴리우레아에 1% CNT 혼합 및 (c) GO 혼합 폴리우레아 1%의 표면을 보여주는 AFM 사진이다.

도 6는 본 발명의 실험예 4에 따른 SEM으로 관찰한 상기 폴리우레아 합성물의 표면 사진이다.

도 7는 본 발명의 비교예 1에 따른 SEM으로 관찰한 상기 폴리우레아 합성물의 단면 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 실시예 1 CNT와 GO의 형상 및 크기 확인

[0016] 첨가물이 혼합된 폴리우레아 복합재 제조 전, 먼저 CNT와 GO의 형상 및 크기를 확인 하였다. 이 후, 도 1에 나타난 바와 같이 미량의 CNT 또는 GO를 에탄올에 희석하여, 20분간 초음파 진동을 가해, CNT/에탄올 혼합액을 제작한 뒤, Si 기판 위에 CNT 희석 용액을 전사시킨 후, 분산된 CNT의 특성을 광학 현미경으로 관측하였다.

[0017] 실험 결과 도 1에 나타난 바와 같이 Si 기판에 전사된 CNT의 현미경 이미지에서는 실타래와 같은 형태로 CNT 다발들이 관측이 되는 반면, GO/Si 샘플의 현미경 이미지는 판형의 그래핀 산화물들이 관측된다. 실험 결과, 분산된 CNT 형태의 topographic 이미지가 도 1(c)와 같이 나타났다. 선형의 CNT 다발들이 관측이 되고 평균적으로 약 7 μm 의 길이를 가지며, eg 1 (d)의 line trace와 같이 평균적으로 0.6 μm 의 폭을 가진다. 노란 점선으로 표시한 약 300 nm 두께의 다발은 수백개의 CNT가 뭉쳐진 결과로 판단된다. GO의 topographic 관측도 도 1(e)와 같이 수행 되었다. CNT와는 다르게 층상의 GO 들이 Si 기판위에 분산이 되어 있으며, 개별의 GO flake 등은 약 10 nm 높이의 경계로 구분이 되어 진다. 이 10 nm 높이의 경계는 GO 층들의 edge 부분들이 용액 혼합 및 건조 과정에서 원통형으로 말려지면서 뭉쳐진 것으로 판단된다. 도 1(f)의 line trace와 같이 GO의 경우 평균적으로 25 nm 두께를 가진 판상형의 형태로 존재 한다. 따라서 AFM 결과, CNT와 GO는 각각 1차원 및 2차원 이방성의 특징 이 보여진다고 확인 할 수 있다.

[0019] 실시예 2. 이방성 소재를 첨가한 폴리우레아 복합재 시편 제조

[0020] 이방성을 가진 CNT(carbon nanotube)와 GO(graphene oxide)를 폴리우레아기지상에 첨가하여 제작한 복합재를 제조하였다.

[0021] 여기서 폴리우레아(KCC페인트, 하이퍼우레아 BR595A (SL)) resin에 CNT와 GO를 5 wt% 씩 혼합하였다. 도 2와 같이 상업적으로 구매 가능한 폴리우레아에 CNT와 GO를 각각 혼합 하였다. 과량의 첨가물이 수지상에 혼합 시 첨가물의 agglomeration이 발생하여 고분자 복합재 표면의 평탄도가 악화됨이 보고되었기 때문에 각각의 첨가물의 함유량을 5 wt% 이하로 억제 하였다.

[0022] 그 후 첨가제가 혼합된 resin에 경화제를 1.2:1의 무게비율로 혼합을 실시 한 후, 유리섬유 직물에 도포하여, 각각, 폴리우레아/유리섬유, CNT/폴리우레아/유리섬유, 그리고 GO/폴리우레아/유리섬유 복합재 시편을 제작하였다. .폴리우레아 표피층은 도 2(a)와 같이 액상의 resin과 경화제를 상온에서 혼합 한 뒤, 그대로 분자간

crosslink가 형성되어 urea 결합이 형성을 통해 경화 된다. 이러한 폴리우레아에 첨가물이 추가된 복합재를 제작하기 위해 도 2(b)와 같이 먼저 resin 상태 액상 용액에 첨가제인 CNT와 GO를 각각 혼합 후 magnetic stir를 통해 30 분간 교반 한다. 그 뒤 가교 결합통한 경화를 위해 경화제를 분량대로 혼합 후, 바로 유리섬유 직물 표면에 도포하여 CNT/폴리우레아/유리 직물 과 GO/폴리우레아/유리 직물의 복합재 적층을 제작 한다. 상기의 모든 복합재 제작 과정은 300 K에서 일반 대기 환경에서 수행 되었다.

[0024] **실험예 1 폴리우레아 복합재의 화학 구조 분석**

[0025] 폴리우레아 복합재의 화학 구조를 확인하기 위해 적외선 분광기 FTIR (Fourier-transform infrared) 분광을 이용해 분석을 하였다.

[0026] 분석 결과 도 3의 검은색 그래프와 같이 순수 폴리우레아 샘플의 FTIR 스펙트럼에서 $3020\text{ cm}^{-1} \sim 2850\text{ cm}^{-1}$ 영역에서는 $\text{CH}_2\text{-O-CH}_2$ 와 CH_2 결합에 의한 CH mode에 해당하는 peak들이 확인 된다. 1750 cm^{-1} 부근에서는 urea link 의 C = O 의 stretching mode가 관찰되며, 1530 cm^{-1} 부근에서는 N-H bending mode가 확인된다. 마지막으로 $1450\text{ cm}^{-1} \sim 1000\text{ cm}^{-1}$ 영역에서는 C-H bending mode들이 관측되었다. 상기의 폴리우레아의 고유한 화학결합 FTIR peak 들은 CNT와 GO가 5 wt% 혼합된 복합재의 결합에서도 똑 같은 위치에서 관측이 되어 이방성 첨가물과의 복합화 공정이 폴리우레아 화학결합에 변화를 주지 않음이 확인되었다. CNT/폴리우레아의 붉은색 스펙트럼과 GO/폴리우레아의 파란색 스펙트럼 모두 순수 폴리우레아 샘플과 유사한 거동을 보여주며, 추가적인 peak들의 생성이 관측 되지 않는다.

[0028] **실험예 2 폴리우레아 복합재 내의 Graphene Oxide, CNT의 첨가 분석**

[0029] 첨가된 CNT와 GO를 확인하기 위해 Raman 분광 분석을 도 4과 같이 수행 하였다.

[0030] 실험 결과, 검은색의 폴리우레아 샘플의 경우 800 cm^{-1} 에서부터 1700 cm^{-1} 까지 작은 intensity를가진 signal들이 관측이 된다. 하지만 CNT 가 5 wt %가 혼합 된 후, 상기의 peak들은 사라지고, 동시에 1350 cm^{-1} 와 1590 cm^{-1} 에서 각각 CNT의 카본 결합의 D band 와 G band이 관측이 가능하며 peak to peak distance 또한 약 240 cm^{-1} 으로 확인된다. GO 가 5 wt %가 혼합 된 GO/폴리우레아 복합재의 경우에도, 1345 cm^{-1} 와 1585 cm^{-1} 에서 각각 D band 와 G band이 관측이 가능하며, CNT와 유사한 위치에서 Raman signal이 관측이 된다. 하지만 CNT의 Raman signal과 비교 시, peak의 intensity는 감소 하였으며, 동시에 peak의 너비가 증가하여, 0가 결합된 산화 그래핀 특성이 관측이 되었다. 따라서 FTIR과 Raman 분광 분석을 통해 CNT와 GO 첨가물의 화학결합 변형 없이 폴리우레아 기지 상에 분포 됨이 확인 가능하다.

[0032] **실험예 3 복합재 시편 표면의 topography 및 평탄도 분석**

[0033] 복합재 제작 후 CNT와 GO를 혼합 및 분광 분석을 통한 확인 후, 표면의 topography 및 평탄도를 분석 하기 위해 AFM 을 이용해 표면을 관찰 하였다. AFM의 관측 후, 표면의 평탄도를 RMS roughness를 통해 확인을 하였고, 각 조건당 5-10장의 $10\text{ }\mu\text{m} \times 10\text{ }\mu\text{m}$ 스케일의 AFM 이미지를 통해 평탄도를 추출 하였다.

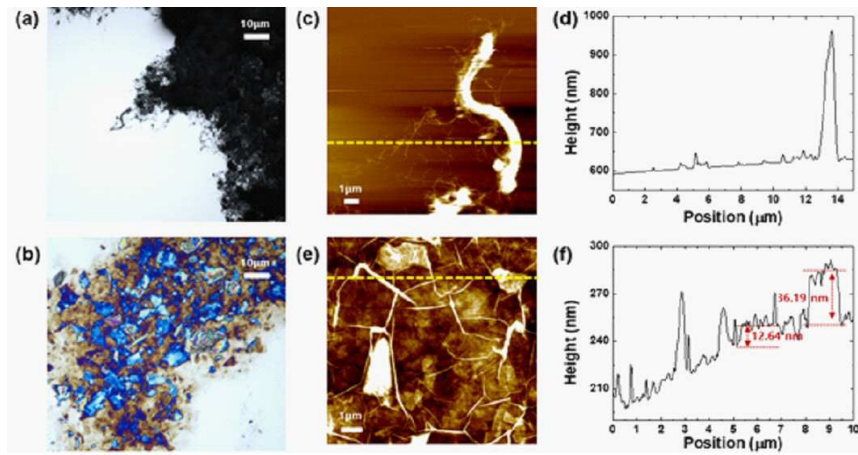
[0034] 실험 결과, 대조군인 폴리우레아의 경우, 도 5(a)와 같이 약 800 nm 지름의 입자 모양의 표면 구조물이 관측이 되며 약 $8.6 \pm 1.5\text{ nm}$ 의 RMS (root mean square) roughness의 평탄도를 가진다. CNT를 1 wt% 혼합한 폴리우레아 복합재의 표면을 도 5(b)관측 하였을 때 유사한 형태의 표면 topography가 관찰이 된다. 하지만 CNT가 첨가 함에 따라 RMS roughness 가 약 $19.5 \pm 1.8\text{ nm}$ 으로 증가 하여 첨가물에 의한 표면 평탄도가 증가한 것이 확인 되었다. 유사하게 GO가 1 wt% 혼합된 샘플의 경우에도 도 5(c)와 같이 대조군의 AFM 이미지와 유사한 표면의 형상이 관측이 되며, 동시에 GO가 첨가됨에 따라 평탄도가 약 $13.5 \pm 1.0\text{ nm}$ RMS roughness로 측정이 된다.

[0036] **실험예 4 복합재 표면의 분산 정도 및 분포 분석**

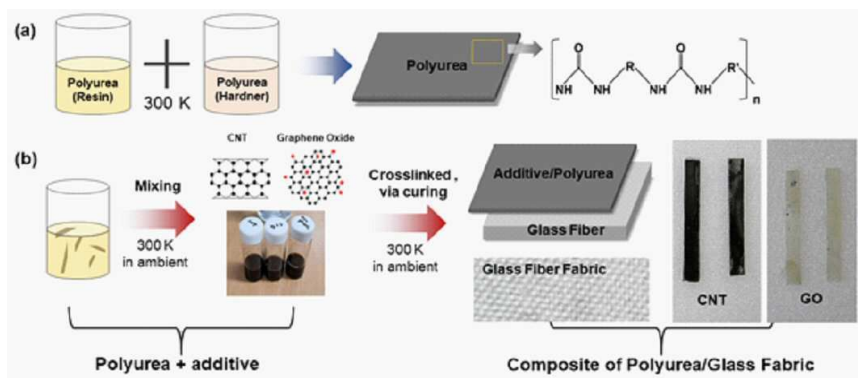
- [0037] 폴리우레아 수지상에 이방성 첨가제 혼합 후의 분산 정도 및 분포에 대한 분석을 하기 위해 먼저 제작한 복합재의 표면을 전자 현미경 (Scanning Electron microscopy: SEM)을 이용해 관찰 하였다.
- [0038] 실험 결과, 대조군인 순수 폴리우레아 표면이 도 6(a)와 같이 관측이 되며, 균질하게 분포된 domain들이 보여진다. 좀더 자세한 domain 형태를 분석 하기 위해 고배율의 현미경 이미지를 도 6(b)과 같이 확대 관찰을 한 결과, 전체적으로 높은 평탄도를 가진 표면과 함께, 주름 형태의 domain boundary이 확인 된다. 주름 형태의 domain boundary는 액상의 폴리우레아가 경과 건조 되는 과정에서 domain과 boundary에서의 수축 속도 차이가 발생하여 형성 된 것으로 판단된다. 하지만 5 wt%의 CNT가 첨가 됨에 따라, 복합재 표면의 평탄도가 크게 변화한 것이 도 6(c)에서 관찰이 된다. 이는 이방성의 첨가물이 resin형태의 폴리우레아에 혼합 후, 경화 및 건조 과정에서 순수 폴리우레아 복합재의 경우 전체적으로 균일하게 urea 결합의 형성과 고체화가 진행 되어 상대적으로 높은 평탄도를 가진다. 그에 반해, 첨가물이 혼합된 경우 경화 건조 과정에서 CNT와 폴리우레아 계면 형성에 의해, 고체화과정에서의 불균질성이 발생하여, 낮은 평탄도를 가진 복합재 표면이 형성됨으로 판단된다. 확대한 전자현미경 이미지인 도 6(d)에서는 섬유 형태의 CNT 다발들이 복합재 표면에서 존재함이 확인 된다. 2차원인 판형의 이방성 형태를 가진 GO를 5 wt% 정도 혼합이 된 복합재 샘플의 경우, 도 6(e)와 같이 CNT/폴리우레아와는 달리 평평한 표면을 유지가 됨이 확인이 되지만, 석출된 flake 형태의 GO들이 노란색 화살표와 같이 관찰이 된다. 표면에 석출된 GO를 확대 분석한 결과, 도 6(f)와 같이 GO를 중심으로 dendrite 형태의 도메인이 흑백의 대조로 관측이 된다. dendrite형태의 도메인은 복합재가 경화 건조 되는 과정에서 GO의 분포에 따라 순차적으로 진행되면서 형성된 것으로 판단 된다.
- [0040] **비교예1 복합재 내부의 분산 정도 및 분포 분석**
- [0041] 복합재 표면을 확인한 후, 복합재 내부에서의 도메인 구조와 이방성 첨가물의 분포를 분석 하기위해 제작된 복합재 샘플을 커터로 절단하여 그 단면을 전자 현미경을 이용해 관찰 하였다. 대조군인 순수 폴리우레아 복합재 샘플을 도 7(a)와 같이 단면을 절단 후 먼저 관찰하였다.
- [0042] 실험 결과, 확대된 전자 현미경 이미지인 도 7(b)와 같이 표면의 수직 방향으로 sub-micro 크기부터 약 2 마이크로 크기 사이의 도메인의 형성이 관측된다. 5 wt%의 CNT가 혼합된 샘플의 경우 절단된 단면이 대조군 샘플의 단면과 비교 시, 단면의 거칠기가 증가함이 도 7(c)에서 관측이 된다. 확대된 단면 이미지인 도 5(d)에서는 절단면 전체적으로 CNT들이 고르게 분포되어 있음이, 확인 가능 하다. 절단면의 수직 방향 (샘플의 길이 방향)으로 위치해 있는 CNT들이 관측이 되며, 길이 방향의 하중 인가에 대한 보강 효과가 있을 것이라 판단된다. 균질하게 분포된 CNT와는 달리 같은 함량의 GO가 폴리우레아에 혼합된 복합재 샘플의 경우, 도 7(e)와 같이 평평한 폴리우레아 기지 상 단면에 GO들이 낮은 밀도로 관찰이 된다. GO와 폴리우레아 기지상을 동시에 관찰하기 위해 도 7(f)와 같이 전자현미경상에서 배율을 확대 하였다. 도 7(b)의 대조 샘플 단면과 유사한 형태의 폴리우레아의 도메인구조들이 GO가 혼합된 폴리우레아 기지상의 단면에서도 도 7(f)와 같이 관측이 된다. 또한 GO으로 향하는 방향으로 주름 형태의 topography이 기지상에 관찰이 되며, 이는 상기의 GO/폴리우레아 표면과 유사한 메커니즘으로 생성된 것으로 판단된다.

도면

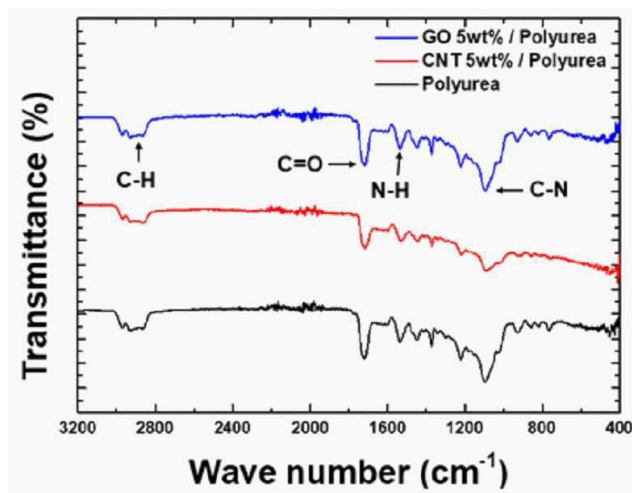
도면1



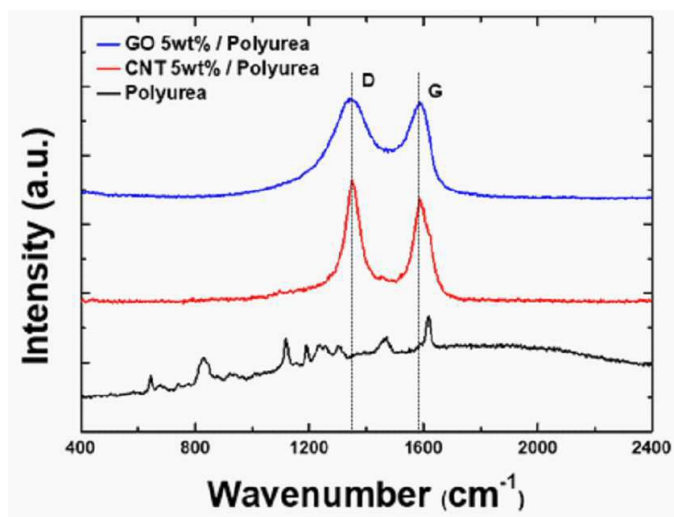
도면2



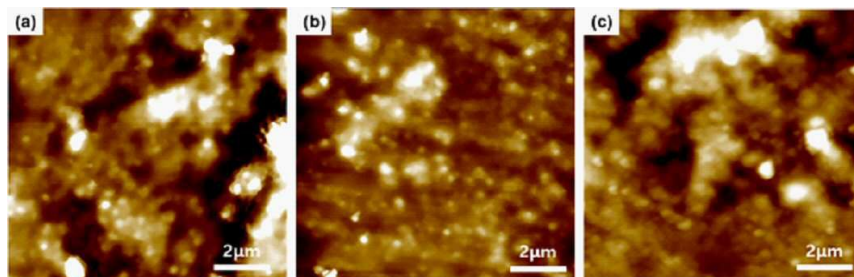
도면3



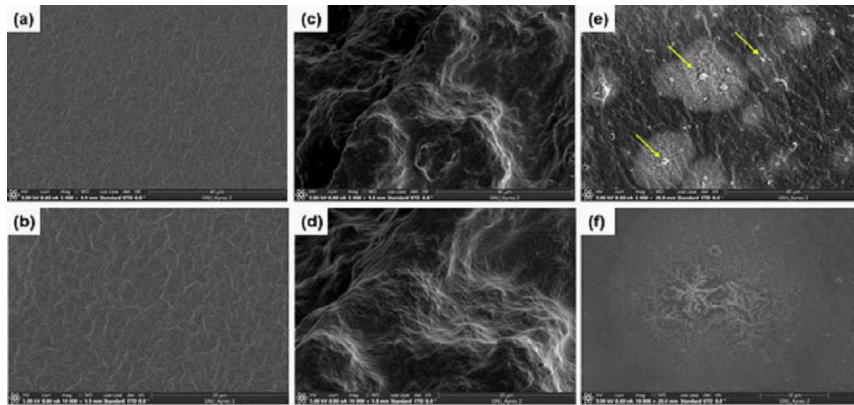
도면4



도면5



도면6



도면7

