



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년01월20일

(11) 등록번호 10-1484304

(24) 등록일자 2015년01월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C01B 31/02 (2006.01) B82B 1/00 (2006.01)

B82B 3/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0113961

(22) 출원일자 2013년09월25일

심사청구일자 2013년09월25일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020130040541 A*

KR1020110016287 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

울산대학교 산학협력단

울산광역시 남구 대학로 93

주식회사 용진유화

울산광역시 남구 여천로 215-84 (여천동)

(72) 발명자

유홍섭

울산 울주군 삼남면 가천공단로 60,

김찬수

서울 송파구 동남로30길 16, 402 (오금동, 명성아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 신세기

전체 청구항 수 : 총 8 항

심사관 : 임도경

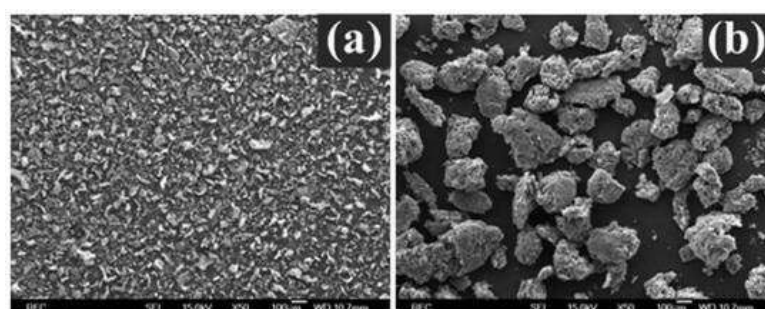
(54) 발명의 명칭 산화알루미늄이 코팅된 그래펜, 이의 제조방법과 이를 포함하는 나노복합재료

(57) 요약

본 발명은 열전도성이 높으면서 전기전도성은 낮은 나노시트로서 산화알루미늄이 코팅된 그래펜, 이의 제조방법과 이를 포함하는 나노복합재료에 관한 것으로 0.6~0.9 g/cm³의 압착밀도에서 10~2~10 S/cm의 전기전도도와 10~500 W/m·K의 열전도도를 갖는 알루미늄이 코팅된 그래펜, 이의 제조방법과 이를 포함하는 나노복합재료를 제공한다.

본 발명에 의하여, 분산 상태를 유지하면서도 그래펜 표면에 산화알루미늄이 코팅되어 열전도성이 좋으면서 전기전도성은 낮은 나노시트를 제조할 수 있으며, 이를 활용하여 방열성이 우수한 나노복합재료를 제조할 수 있다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

곽승국

경남 양산시 물금읍 범어로 11, 101동 102호 (일신
휴먼빌아파트)

정한모

울산 남구 신북로79번길 14, 105동 1002호 (
무거동, 무거동롯데캐슬)

다오트령당

울산 남구 대학로 93, 19호관 618호 (무거동, 울산
대학교)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2013-0261

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 울산테크노파크

연구사업명 2013년 울산과학연구단지 육성사업 기초·원천 R&D 과제 지원사업

연구과제명 고열전도 저전기전도 나노재료의 제조와 이를 활용한 나노하이브리드 방열 재료 연구

기 여 율 1/1

주관기관 울산대학교

연구기간 2013.03.01 ~ 2014.10.31

특허청구의 범위

청구항 1

1) 그래펜을 용매에 분산시키는 단계; 2) 상기 용매에 산화알루미늄 전구체인 알콕시드의 탄소수 1 내지 6인 알루미늄 알콕시드를 투입하여 혼합하는 단계; 3) 상온에서 숙성시키는 단계; 4) 형성된 콜로이드 용액을 여과시키는 단계; 5) 여과물을 건조시키는 단계; 및 6) 건조된 여과물을 400 내지 1300℃으로 가열된 전기로에 투입하고 유지시키는 단계로 이루어진 산화알루미늄이 코팅된 그래펜의 제조방법

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 그래펜은 산화흑연을 열환원법에 의하여 제조하는 산화알루미늄이 코팅된 그래펜의 제조방법

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 용매가 N,N-디메틸포름아미드(DMF)이고 상기 알루미늄 알콕시드가 알미늄-tri-sec-부톡시드인 산화알루미늄이 코팅된 그래펜의 제조방법

청구항 4

0.6~0.9 g/cm³의 압착밀도에서 10~2~10 S/cm의 전기전도도와 10~500 W/m·K의 열전도도를 갖는 산화알루미늄이 코팅된 그래펜

청구항 5

삭제

청구항 6

매트릭스 물질 100 중량부와 산화알루미늄이 코팅된 그래펜 분말 0.1 내지 40중량부를 포함하는 열전도성 나노복합재료에 있어서, 상기 산화알루미늄이 코팅된 그래펜 분말이 0.6~0.9 g/cm³의 압착밀도에서 10~2~10 S/cm의 전기전도도와 10~500 W/m·K의 열전도도를 갖는 열전도성 나노복합재료

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 매트릭스 물질이 우레탄계 고분자, 아크릴계 고분자, 또는 실리콘계 고분자인 열전도성 나노복합재료

청구항 8

제6항에 있어서, 상기 매트릭스 물질이 폴리에틸렌글리콜인 나노복합재료

청구항 9

제6항에 있어서, 상기 매트릭스 물질이 지방산 또는 왁스인 나노복합재료

명세서

기술분야

[0001]

본 발명은 열전도성이 높으면서 전기전도성은 낮은 나노시트로서 산화알루미늄이 코팅된 그래펜, 이의 제조방법과 이를 포함하는 나노복합재료에 관한 것이다.

배경기술

[0002]

전자기기가 슬림화됨에 따라 부품들이 고집적화되면서 전자기기로 부터의 효율적인 방열기술이 요구되

고 있다. 방열재료는 열전도성이 높은 입자상의 재료를 고분자, 올리고머, 혹은 저분자물질의 매트릭스에 분산시킨 복합재료가 대부분이다. 이들 필러의 사용량이 많은 경우 복합재료의 기계적 물성이 크게 감소하므로, 적은 양의 필러를 사용하여 열전도성을 효과적으로 향상시킬 필요가 있다. 종횡비(aspect ratio)가 큰 판상 혹은 침상의 필러를 사용하는 경우 열전도 네트워크가 효과적으로 형성되므로 적은 양의 필러로 열전도성을 효과적으로 향상시킬 수 있다. 또 방열재료에 의한 합선, 누설전류 등의 전기적 문제점의 발생을 최소화하기 위하여 필러의 절연성이 요구되는 경우가 많다.

[0003] 그라펜은 우수한 물성을 갖는 새로운 나노 소재로 최근 여러 분야에서 응용을 위한 연구가 진행되고 있다. 즉, 그라펜은 원자 하나 두께의 판상 시트로 종횡비가 수천에 이르며, $2600 \text{ m}^2/\text{g}$ 의 넓은 표면적, $5000 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 의 열전도도, 1 TPa 의 모듈러스, 10^6 S/cm 의 전기전도도 등 뛰어난 물성들은 가져 다양한 분야에서 응용될 수 있으며, 방열재료로도 효과적으로 활용될 수 있다. 그러나 그라펜은 전기전도도가 높아 절연성을 요구하는 용도에서는 그대로 사용할 수 없는 문제점이 있다.

[0004] 그라펜의 절연성을 증가시키기 위해서는 절연성 물질을 표면에 피복시키는 것이 강구될 수 있으나 이러한 절연성 물질은 또한 열전도성을 저감시키는 역할도 하는 문제가 있고 무기재료를 코팅하는 경우에는 응집이 일어나 나노 소재로서의 장점을 저해시키는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 열전도성은 좋으나 전기전도성이 낮게 개질된 그라펜 나노시트 및 이의 제조방법을 제공하기 위한 것이다.

[0006] 또한, 본 발명은 열전도성과 기계적 물성이 우수하면서 전기전도성은 낮은 개질 그라펜 나노시트와 매트릭스와 나노 복합재료를 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명에 의하여, 그라펜의 표면에 산화알루미늄을 코팅하여 우수한 열전도성을 가지면서 전기전도성이 낮은 개질된 그라펜이 제공된다.

[0008] 또한, 본 발명에 의하여, 1) 그라펜을 용매에 분산시키는 단계; 2) 상기 용매에 산화알루미늄 전구체인 알콕시드의 탄소수가 1 내지 6인 알루미늄 알콕시드를 투입하여 혼합하는 단계; 3) 상온에서 숙성시키는 단계; 4) 형성된 콜로이드 용액을 여과시키는 단계; 5) 여과물을 건조시키는 단계; 및 6) 건조된 여과물을 400 내지 1300°C 로 가열된 전기로에 투입하고 유지시키는 단계로 이루어진 산화알루미늄이 코팅된 그라펜의 제조방법이 제공된다. 상기 용매는 바람직하게는 N,N-디메틸포름아미드(DMF), N,N-디메틸아세트아미드(DMAc), N-메틸피롤리돈(NMP), 테트라메틸우레아(TMU), 디메틸설폭사이드(DMSO) 또는 이들의 혼합물이다. 상기 알루미늄 알콕시드는 바람직하게는 알루미늄에톡시드, 알루미늄프로폭시드, 알루미늄이소프로폭시드 또는 알루미늄부톡시드이다.

[0009] 또한, 본 발명에 의하여, 상기의 방법으로 제조된 산화알루미늄이 코팅된 그라펜은 높은 열전도도와 낮은 전기전도도, 바람직하게는 $10\sim 2\sim 10 \text{ S/cm}$ 의 전기전도도와 $10\sim 500 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 의 열전도도(측정방법 Laser Flash법 또는 ASTM D5470)를 갖는다. 열전도도와 전기전도도는 분말 상태의 산화알루미늄이 코팅된 그라펜을 상온에서 $0.6\sim 0.9 \text{ g/cm}^3$ 의 압축밀도가 유지될 때를 기준으로 한 것이다.

[0010] 또한, 본 발명에 의하여, 매트릭스 물질 100 중량부와 산화알루미늄이 코팅된 그라펜 분말 0.1 내지 40 중량부를 포함하는 열전도성 나노복합재료가 제공된다. 산화알루미늄이 코팅된 그라펜 분말의 혼입량은 바람직하게는 1 내지 10 중량 부이다. 산화알루미늄이 코팅된 그라펜의 혼입량이 적으면 방열 효율이 효과적으로 발현되지 않으며, 과도한 경우는 재료의 기계적 강도가 약해지는 문제점이 있다. 복합재료는 매트릭스 물질을 용융한 후 산화알루미늄이 코팅된 그라펜 나노시트를 섞거나, 매트릭스 물질을 용매에 녹인 후 나노시트를 섞고 용매를 제거하는 등 다양한 방식으로 제조할 수 있다. 상기 산화알루미늄이 코팅된 그라펜 분말은 바람직하게는 상기 방법으로 제조된다. 상기 매트릭스 물질은 고분자로서, 예를 들면, 에폭시 수지, 폴리에스테르, 폴리아미드, 폴리스티렌, 폴리아크릴로니트릴, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌과 이들의 혼합물, 또는 스티렌부타디엔고무(SBR), 폴리클로로프렌고무(CR), 니트릴고무(NBR), 부틸고무(IIR), 부타디엔고무(BR), 이소프렌고무(IR), 우레탄 수지, 아크릴계 고분자, 실리콘계 고분자 물질이 있고 올리고머로서는, 예를 들면, 폴리에틸렌글리콜, 저분자

물질로는 지방산, 왁스 등이 있다.

[0011] 상기 나노복합재료 조성물에서 조성 성분비는 고형물 기준이며 조성물 제조 시 사용되는 용매 및 분산액은 최종 나노복합재료에서 전부 증발 제거(건조)되는 것으로 간주한다.

[0012] 개질에 사용하는 그래펜은 산화흑연을 환원시켜 제조한 모든 그래펜을 포함한다. 산화흑연으로부터 제조한 대부분의 그래펜에는 산소를 포함하는 관능기들이 잔류하고 있어 산화알루미늄 전구체와의 물리, 화학적 결합이 용이하기 때문이다. 산화흑연을 환원시키는 데는 다양한 방법들이 활용될 수 있다. 예를 들면, 산화흑연을 순간적으로 고온으로 가열하여 산화흑연을 구성하는 층들을 팽윤 박리시켜 제조하는 열환원법, 산화흑연을 액체 매질에 분산시킨 후 하이드라진 등의 환원제를 사용하여 환원시키는 화학적 환원법 등이 있다. 열환원법에서는 산화 흑연을 순간적으로 300℃ 이상의 고온으로 가열하면 산화에 의해 생성된 표면의 관능기들이 환원 분해되어 생성되는 이산화탄소와 같은 기체생성물들이 순간적으로 기화하면서 산화흑연의 각 층들이 박리되어 그래펜이 만들어진다. 박리에 사용된 산화흑연의 산화 정도에 따라 박리되는 정도가 달라지며, 추가의 초음파 처리로 박리 정도를 향상시킬 수도 있다. 산화흑연에 부착되었던 관능기들이 분해 이탈되면서 이산화탄소를 발생하고도 일부 산소를 포함하는 관능기로 존재한다. 이들 잔존 관능기는 산화알루미늄 전구체와 물리적 혹은 화학적으로 결합하여 산화알루미늄이 그래펜 표면에 효과적으로 코팅되게 한다.

[0013] 상기 산화흑연은 흑연 분말을 질산, NaClO_3 , KClO_3 , KMnO_4 , 혹은 기타 산화제들을 단독 혹은 조합하여 사용하여 산화하여 제조하며, 전기화학적 방법으로 산화시켜 제조할 수도 있다. 산화흑연 분말 중 탄소/산소의 수의 비는 1~20/1 범위이나 산화정도에 따라 이보다 작거나 큰 값을 가질 수도 있다. 산화흑연 분말은 보통 층간 거리가 7Å 전후이므로 광각 X-선 회절 분석에서 $2\theta=13^\circ$ 주위에서 피크를 나타내나, 산화정도와 수분의 흡수 정도에 따라 그 값들은 달라질 수 있다.

[0014] 개질 반응은 도 1에 나타난 바와 같이 산화흑연을 환원하여 제조한 그래펜을 용매에 분산시킨 후, 산화알루미늄 전구체인 aluminum-tri-sec-butoxide를 투입하고 혼합하여 그래펜 표면에 산화알루미늄 전구체가 흡착되게 한다. 이를 물로 가수분해한 후 건조하여 표면에 수산화알루미늄이 코팅된 그래펜을 제조하고, 이를 고온의 로에 투입하여 탈수하여 산화알루미늄이 코팅된 그래펜을 제조한다. 산화알루미늄 전구체의 사용량은 생성될 산화알루미늄의 이론적 양이 그래펜 100 중량부 대비 5 내지 200 중량부 되도록 조절하며, 적절하게는 20 내지 100 중량부가 좋다. 전구체의 사용량이 적은 경우는 전기전도도의 감소가 효과적으로 이루어지지 못하며, 과도한 경우는 코팅되지 않은 여분의 산화알루미늄 분말의 생성이 많아지게 된다. 수산화알루미늄이 코팅된 그래펜으로부터 산화알루미늄이 코팅된 그래펜을 제조할 때, 서서히 가열하면 산화알루미늄이 코팅된 그래펜이 응집된 상태로 얻어지므로, 고온의 로에 순식간에 투입하여 순간적으로 발생하는 수증기의 압력에 의해 코팅된 그래펜 각각이 박리된 상태로 얻어지도록 하여야 한다.

[0015] 산화알루미늄으로 코팅한 그래펜은 표면에 극성을 가진 산소가 다량 존재하므로 여러 가지 고분자, 올리고머, 저분자 물질과의 혼화성이 좋아 복합재료를 효과적으로 제조할 수 있다. 그러므로 아크릴계 고분자, 실리콘계 고분자 등의 각종 고분자류와 섞어 열전도도가 좋은 고분자 복합재료를 제조할 수 있다. 또, 결정성이면서 녹음열이 큰 폴리에틸렌글리콜 등 올리고머 류, 지방산, 왁스 등 저분자 물질과 섞어 열전도도와 열저장성이 높은 고성능 열저장 방열 나노복합재료를 제조할 수 있다.

발명의 효과

[0016] 본 발명에 의하여, 분산 상태를 유지하면서도 그래펜 표면에 산화알루미늄 코팅되어 열전도성이 좋으면서 전기전도성은 낮은 나노시트를 제조할 수 있으며, 이를 활용하여 방열성이 우수한 나노복합재료를 제조할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 산화알루미늄이 코팅된 그래펜 시트의 제조 방법을 나타낸 모식도.
 도2는 산화알루미늄이 코팅된 그래펜 시트의 형상: (a) 실시예 1, (b) 비교예 1.
 도3은 산화알루미늄이 코팅된 그래펜 (실시예 1)의 표면 형상 ((a)와 (b))과 원소 맵핑 결과 (a-1: 탄소, a-2: 산소, a-3: 알루미늄)
 도4는 광학현미경으로 관찰한 아크릴 고무 내에 그래펜이 분산된 형상: (a) 비교예 3, (b) 실시예 2.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 하기의 실시예에 의하여 본 발명을 예시하여 상세히 설명한다. 다만, 본 발명의 범위가 이러한 실시예에 한정되는 것으로 해석되어서는 아니된다.

[0019] 제조예

[0020] 그래펜의 제조

[0021] 교반기, 온도계 등이 부착된 500 mL 반응조에 흑연분말 (팽창흑연, 평균입자크기 280 m) 10 g과 발연질산 200 mL를 투입하여 0℃를 유지하면서 교반하여 섞고, 이어서 염소산칼륨 85 g을 2 시간에 걸쳐 천천히 투입한 뒤, 상온에서 24 시간 동안 교반하면서 흑연을 산화시켰다. 산화된 흑연은 여과하여 거르고, pH가 6 정도 될 때까지 증류수로 세척하였다. 여과된 산화 흑연은 100℃ 진공에서 2일간 건조하였다. 원소분석결과 원자 조성은 $C_{10}O_{3.45}H_{1.58}$ 이었다.

[0022] 상기 방법으로 제조된 건조한 산화흑연을 석영관에 넣고 질소 가스를 흘린 후 1100℃의 전기로에 1 분간 투입하여, 흑연의 각 층이 얇은 박판 형태의 대부분 박리된 그래펜을 얻었다. 그래펜의 원자 조성은 $C_{10}O_{0.78}H_{0.38}$ 이었으며, 입자 평균 크기는 8.3 μm 이었다. BET 법으로 질소흡착 거동으로부터 측정한 표면적은 428 m^2/g 이었다.

[0023] 실시예 1: 산화알루미늄이 코팅된 그래펜(AG) 제조: 급속 가열법

[0024] 열환원법으로 제조한 그래펜(PG) 1.0g을 200mL 디메틸포름아미드 (DMF)에 분산시키고 1시간동안 초음파를 부가하여 분산을 증대시킨 후, aluminum-tri-sec-butoxide (ASB) 1.45g을 넣고 상온에서 1시간 충분히 교반하여 ASB가 그래펜 표면에 흡착되게 하였다. 이어서 물 0.32g을 투입하고 상온에서 1 시간 가량 교반하면서 ASB를 가수분해하여 수산화알루미늄이 형성되게 하고, 이 콜로이드 용액을 상온에서 1 시간 숙성한 후, 1 μm 구멍 크기의 여과지로 거르고 아세톤으로 세척한 후, 걸러진 분말을 80℃ 진공에서 하루 동안 건조하였다. 상기 방법으로 제조된 수산화알루미늄이 코팅된 그래펜 분말을 석영관에 넣고 질소 가스를 흘린 후, 1100℃로 예열된 전기로에 순식간에 투입하고, 질소 분위기에서 25분간 유지하여, 수분이 발생하면서 수산화알루미늄이 산화알루미늄으로 변화하고 발생한 수분의 압력에 의해 각각의 그래펜이 응집되지 않고 박리되도록 하여 산화알루미늄이 코팅된 그래펜(AG)을 제조하였다.

[0025] 비교예 1: 산화알루미늄이 코팅된 그래펜(AG) 제조: 완속 가열법

[0026] 실시예 1와 동일한 방법으로 산화알루미늄이 코팅된 그래펜을 제조하였다. 단 80℃ 진공에서 하루 동안 건조한 수산화알루미늄이 코팅된 분말을 석영관에 넣고 질소 가스를 흘린 후, 상온에서 20℃/min 가열속도로 1100℃까지 서서히 가열하여 산화알루미늄이 코팅된 그래펜을 제조하였다.

[0027] 비교예 2: 아크릴 고무 시트의 제조

[0028] 에폭시 가교점을 갖는 아크릴 고무 (TOA Acron AR-740) 100중량부와 가교제인 hexamethylenediamine carbamate 1.3중량부를 Plasti-Corder (PL2100)에 연결된 30 mL 용량의 Brabender mixer (W30)에 넣고 50℃에서 50rpm으로 10분간 섞었다. 이 혼합물을 170℃에서 5MPa의 압력으로 20분간 압축성형하고, 다시 추가로 170℃ 오븐에서 4시간 동안 가열 가교시켜 아크릴 고무 시트를 제조하였다.

[0029] 비교예 3, 4, 5: PG/아크릴 고무 복합재료 시트의 제조

[0030] 비교예 2와 동일한 방법으로 제조하되, 아크릴 고무 100 중량부당 PG를 2중량부 (비교예 3), 3중량부 (비교예 4), 5중량부 (비교예 5) 혼입하여 PG/아크릴 고무 복합재료 시트를 제조하였다.

[0031] 실시예 2, 3, 4: AG/아크릴 고무 복합재료 시트의 제조

[0032] 비교예 2와 동일한 방법으로 제조하되, 아크릴 고무 100 부당 AG를 각각 2중량부 (실시예 2), 3중량부 (실시예 3), 5중량부 (실시예 4) 혼입하여 AG/아크릴 고무 복합재료 시트를 제조하였다.

[0033] 평가분석

[0034] 1) 그래펜의 형상과 전도도 분석

[0035] 도 2에 실시예 1 (도 2(a))과 비교예 1 (도 2(b))에서 제조한 산화알루미늄이 코팅된 그래펜 (AG)의 형상을 주사전자현미경 (SEM)으로 관찰하여 나타내었는데, 수산화알루미늄이 코팅된 그래펜을 급속히 가열한 경우 (실시예 1)는 AG가 미세한 분말 형태로 얻어지나, 서서히 가열한 경우(비교예 1)는 응집되어 있음을 볼 수 있다.

[0036] 도 3에 AG를 SEM으로 관찰한 형상과 표면의 원소분포를 맵핑한 결과를 나타내었다. 도 3(a)와 (b)에서 관찰한 그래펜에 산화알루미늄이 코팅된 형상과 일부 여분의 산화알루미늄이 작은 입자로 존재하는 모양을 볼 수 있다. 도 3(a-1)에서 탄소가, 도 3(a-2)에서 산소가, 그리고 도 3(a-3)에서 알루미늄이 각각 하얀 점으로 골고루 분포함을 볼 수 있다. 이 결과는 산화알루미늄이 그래펜 표면에 얇게 골고루 코팅되어 있음을 보여준다.

[0037] 개질하기 전의 그래펜(PG)을 상온에서 압착하여 밀도 0.7 g/cm^3 의 시료를 만들어 전도도를 측정한 결과 33.6 S/cm 의 전도도를 가졌으나 AG는 2.5 S/cm 의 전도도를 가졌다. 이 결과는 산화알루미늄의 코팅에 의해 그래펜의 전도도가 크게 감소하였음을 보여준다.

[0038] 2) 그래펜/아크릴 고무 복합재료의 분석

[0039] 도 4(a)에 비교예 3에서 제조한, 그리고 도 4(b)에는 실시예 2에서 제조한 그래펜/아크릴 고무 복합재료를 광학현미경으로 관찰한 형상을 나타내었는데, 실시예 2 (도 4(b)) 시료에서의 그래펜의 분산 (검은 색)이 비교예 3 (도 4(a)) 시료에서의 분산보다 양호함을 볼 수 있다. 이 결과는 그래펜 표면에 산화알루미늄이 코팅된 경우 극성을 가진 산소 원자가 아크릴 고무와의 물리적 상호작용을 증대시켜 아크릴 고무 내에서의 그래펜 분산이 향상됨을 보여준다.

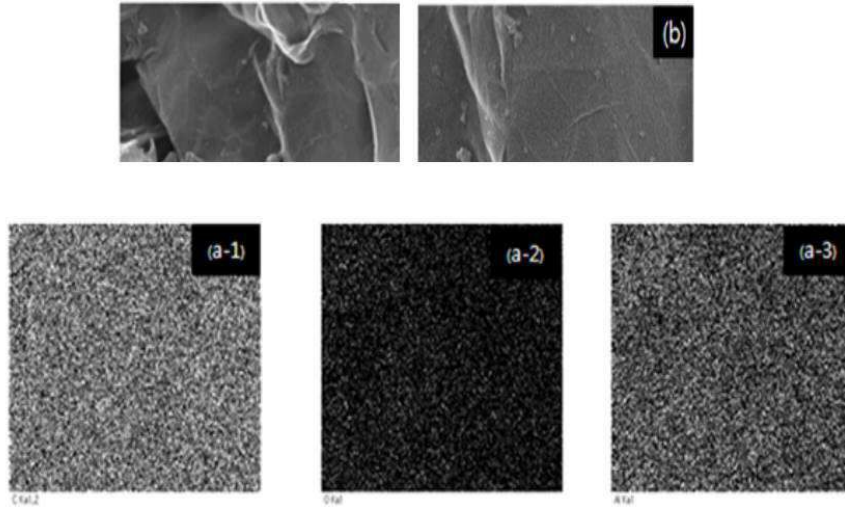
[0040] 표 1에 그래펜/아크릴 고무 복합재료의 인장물성을 나타내었는데, 아크릴 고무 자체(비교예 2)에 비해 그래펜의 충전량이 증가함에 따라 모듈러스가 크게 증가함을 볼 수 있으며, 이러한 증가는 PG를 첨가한 경우(비교예 3~5) 보다 AG를 첨가한 경우 (실시예 2~4)가 더 뚜렷함을 볼 수 있다. 이는 앞의 광학현미경으로 관찰한 형상에서 보는 바와 같이 AG가 아크릴 고무 내에서 PG보다 잘 분산되어 보강효과를 효과적으로 발현하기 때문이다.

[0041] 또 표 1에서 그래펜의 충전량이 증가함에 따라 열전도도가 증가함을 볼 수 있으며, 이러한 증가는 PG를 첨가한 경우(비교예 3~5) 보다 AG를 첨가한 경우 (실시예 2~4)가 더 뚜렷함을 볼 수 있다. 이는 앞의 광학현미경으로 관찰한 형상에서 보는 바와 같이 AG가 아크릴 고무 내에서 PG보다 잘 분산되어 열전달 향상효과를 효과적으로 발현하기 때문이다.

[0042] 표 1의 비교예 5에서 아크릴 고무 100 중량부 당 PG를 5 중량부 투입한 경우 비교예 2의 아크릴 고무 자체보다 전기전도도가 약 100 배 증가하는데 비해, 실시예 4에서 아크릴 고무 100부 당 AG를 5 중량부 투입한 경우는 전기전도도 증가가 거의 없음을 볼 수 있다. 이 결과는 산화알루미늄을 코팅한 그래펜 나노시트를 사용하는 경우 전기전도도의 큰 증가 없이 열전도도를 효과적으로 향상시킬 수 있음을 보여준다.

표 1

도면3



도면4

