



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년03월07일

(11) 등록번호 10-1600538

(24) 등록일자 2016년02월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

D06M 11/77 (2006.01) D06M 11/73 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0134821

(22) 출원일자 2013년11월07일

심사청구일자 2013년11월07일

(65) 공개번호 10-2015-0053297

(43) 공개일자 2015년05월18일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020120122387 A\*

KR1020090112416 A

KR1020120089089 A

KR1020120108390 A

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한국생산기술연구원

충청남도 천안시 서북구 입장면 양대기로길 89

(72) 발명자

유의상

전북 전주시 덕진구 동부대로 785, 301동 508호  
(호성동1가, 동신3차아파트)

김주혜

서울 강남구 헌릉로590길 11, 307동 204호 (세곡동, 리엔파크3단지)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김인한, 김희곤, 박용순

전체 청구항 수 : 총 7 항

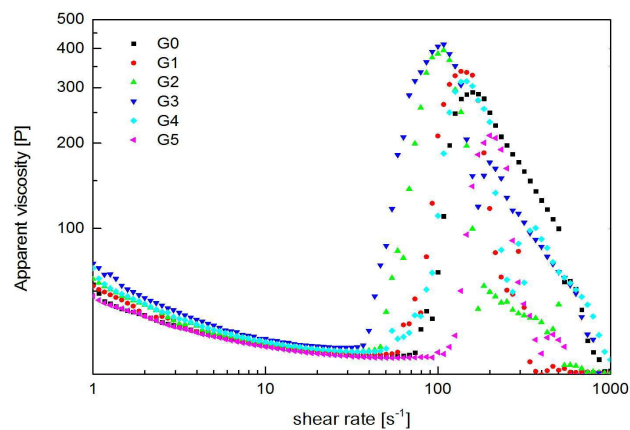
심사관 : 이명선

(54) 발명의 명칭 탄소나노입자를 함유하는 전단농화유체 및 이를 포함하는 충격흡수소재

(57) 요약

본 발명은 전단농화유체(Shear Thickening Fluid, "STF") 및 이를 포함하는 충격흡수소재에 관한 것으로, 본 발명은 고체 입자 및 분산매를 포함하는 전단농화유체에 있어서, 상기 고체 입자는 제1성분으로 실리카와 제2성분으로 탄소나노입자를 포함하는 것을 특징으로 하는 전단농화유체를 제공한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

**정원영**

경기 군포시 고산로 596-15, 1023동 201호 (산본동, 주몽마을대림아파트)

**이현경**

경기 수원시 영통구 산남로 104, (매탄동)

**이재경**

경기 구리시 장자대로37번길 20, 102동 302호 (교문동, 교문아파트)

**전준택**

경기 안산시 단원구 초지시장로 36-21, 다동 206호 (초지동, 럭키연립)

**권남희**

서울 서초구 방배중앙로13길 7, 201호 (방배동)

**권미연**

경기 안양시 동안구 경수대로 430, 111동 1403호 (호계동, 호계e-편한세상아파트)

**임대영**

경기 용인시 기흥구 동백4로 72, 4001동 2004호 (중동, 어은목마을한라비발디)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	E0-13-0002
부처명	기획재정부
연구관리전문기관	한국생산기술연구원
연구사업명	기관고유임무형사업 (세부사업: 대표과제)
연구과제명	나노융합 3-D 섬유복합재 기술 개발
기 여 율	1/1
주관기관	한국생산기술연구원
연구기간	2013.01.01 ~ 2014.12.31

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

삭제

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

삭제

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

삭제

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

탄소나노입자 분산액을 실리카 분산매와 교반 및 감압상태에서 수분 및 용제를 제거한 다음, 실리카 입자를 첨가, 혼합하는 것을 특징으로 하는 전단농화유체 제조 방법.

**청구항 9**

제8항에 있어서,

상기 탄소나노입자 분산액은 전단농화유체 전체 중량에 대하여 5 내지 20 중량%인 것을 특징으로 하는 전단농화유체 제조 방법.

**청구항 10**

제8항에 있어서,

상기 탄소나노입자 분산액은 전단농화유체 전체 중량에 대하여 10 내지 15 중량%인 것을 특징으로 하는 전단농화유체 제조 방법.

**청구항 11**

제8항에 있어서,

상기 탄소나노입자 분산액의 농도는 0.01 ~ 2 중량%인 것을 특징으로 하는 전단농화유체 제조 방법.

**청구항 12**

제8항에 있어서,

상기 탄소나노입자 분산액의 농도는 0.03 ~ 1 중량%인 것을 특징으로 하는 전단농화유체 제조 방법.

**청구항 13**

제8항에 있어서,

상기 실리카 입자는 전단농화유체 전체 중량에 대하여 5 내지 20 중량%;

상기 탄소나노입자는 전단농화유체 전체 중량에 대하여 10 내지 15 중량%인 것을 특징으로 하는 전단농화유체 제조 방법.

**청구항 14**

제8항에 있어서,

상기 실리카 입자는 흙드 타입 실리카이고,

상기 탄소나노입자는 그래핀 옥사이드인 것을 특징으로 하는 전단농화유체 제조 방법.

**청구항 15**

삭제

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 전단농화유체(Shear Thickening Fluid, "STF") 및 이를 포함하는 충격흡수소재에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 연속상의 용매에 미세한 입자가 분산되어있는 현탁액 또는 액체상의 입자 분산계는 전단속도(shear rate) 특성에 따라 전단속도의 변화에 관계없이 일정한 점도를 보이는 뉴턴유체와 전단속도가 변화될 때 점도도 함께 변하는 비뉴턴유체로 나뉜다.

[0003] 전단농화유체(Shear Thickening Fluid, STF)란 비뉴턴유체의 일종으로 액상 분산매에 고체 입자가 분산되어 있는 콜로이드와 같은 현탁액에서 전단응력(shear stress)또는 전단속도(shear rate)가 증가했을 때 점도가 급격하게 증가하는 유변학적 특성으로 인하여 액상에서 고상으로의 가역적 상태변화를 일으키는 유체이다.

[0004] 전단농화유체는 평소에는 액상으로 있다가 외부에서 급격한 충격이 가해질 경우 고체상으로 상변화가 일어나 딱딱해지는 특성으로 인해 오늘날 섬유에 함침시켜 방탄 또는 방검의 재료로 이용되는 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0005] 전단농화유체는 일반적으로 고체 입자로서 나노크기의 실리카 입자를 극성 용매인 폴리에틸렌글리콜을 분산매로 하여 혼합(mixing)하여 졸형태의 분산액 또는 현탁액으로 제조되는 데, 전단농화유체를 이용하여 방탄, 방검 성능을 향상시키기 위해서는 전단농화유체 내의 무기입자의 충전률을 높이거나 전단농화유체의 섬유 함침율을 높여야 한다. 그러나 상기와 같이 무기입자의 충전률을 높이거나 전단농화유체 함침율을 올리는 경우, 방탄소재의

중량이 크게 증가할 수 있어 경량 소재의 구현에 문제가 되며, 어느 정도 충격흡수가 이루어지나 여전히 상당한 충격이 인체에 가해지게 된다.

[0006] 따라서, 외부 충격시 전단농화유체의 점도 특성을 더욱 향상시키면서도 충격흡수 성능이 향상된 전단농화유체에 대한 연구가 요구되고 있다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로,  
 [0008] 외부 충격시 전단농화유체의 점도 특성을 더욱 향상시키면서도 충격흡수 성능이 향상된 전단농화유체를 제공하는 데 그 목적이 있다.

#### 과제의 해결 수단

[0009] 본 발명은 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여  
 [0010] 고체 입자 및 분산매로 이루어진 전단농화유체에 있어서, 상기 고체 입자는 제1성분으로 실리카와 제2성분으로 탄소나노입자를 포함하는 전단농화유체를 제공한다.  
 [0011] 상기 탄소나노입자는 그래핀 옥사이드 또는, 그래핀 또는 그래파이트 옥사이드인 것을 특징으로 한다.  
 [0012] 상기 실리카는 흡드(fumed) 타입의 실리카인 것을 특징으로 한다.  
 [0013] 상기 흡드(fumed) 타입의 실리카는 바이모달(Bimodal) 입자분포로 이루어진 것을 특징으로 한다.  
 [0014] 상기 분산매는 폴리에틸렌글리콜, 에틸렌글리콜 및 폴리프로필렌글리콜로 이루어진 군에서 선택되는 것을 특징으로 한다.  
 [0015] 한편, 본 발명은 실리카 입자, 실리카 분산매 및 탄소나노입자 분산액을 혼합하는 것을 특징으로 하는 전단농화유체 제조 방법을 제공한다. 상기 제조 방법은 탄소나노입자 분산액을 실리카 분산매와 교반 및 감압상태에서 수분 및 기타용제를 제거하여 실리카 분산매를 제조한 다음, 상기 실리카 분산매에 실리카입자를 첨가, 혼합하여 제조될 수 있다.  
 [0016] 상기 탄소나노입자 분산액은 전단농화유체 전체 중량에 대하여 10 내지 15 중량%이고, 실리카 입자는 전단농화유체 전체 중량에 대하여 5 내지 20 중량%인 것을 특징으로 한다.  
 [0017] 상기 탄소나노입자 분산액의 농도는 0.01 ~ 2%, 바람직하게는 0.03 ~ 1 %인 것을 특징으로 한다.  
 [0018] 또 다른 한편, 본 발명은 상기에서 제조된 전단농화유체를 함유하는 충격흡수소재를 제공한다.

#### 발명의 효과

[0019] 본 발명에 따른 탄소나노입자를 함유하는 전단농화유체(STF)는 탄소나노입자 없이 실리카 입자만으로 구성된 종래 전단농화유체에 비해 매우 우수한 점도 특성을 가지는 한편, 충격흡수 성능이 현저히 개선되는 효과가 있다.

#### 도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명의 실시예 1 내지 5 및 비교예의 전단농화유체의 전단속도(shear rate)에 따른 점도 변화를 나타내는 그래프이다.(비교예=G0, 실시예 1=G1, 실시예 2=G2, 실시예 3=G3, 실시예 4=G4, 실시예 5=G5)  
 도 2는 본 발명의 실시예 1 내지 5 및 비교예의 전단농화유체의 26℃ 초기 점도(initial viscosity)와 최고 점

도(maximum viscosity)의 차이를 나타낸 그래프이다.(비교예=G0, 실시예 1=G1, 실시예 2=G2, 실시예 3=G3, 실시예 4=G4, 실시예 5=G5)

도 3은 본 발명의 실시예 3(G3) 과 비교예(G0)의 주파수 변화에 따른 탄성 성분(elastic component, G')과 점성 성분(viscous component, G'')의 변화 관계를 나타낸 그래프이다.

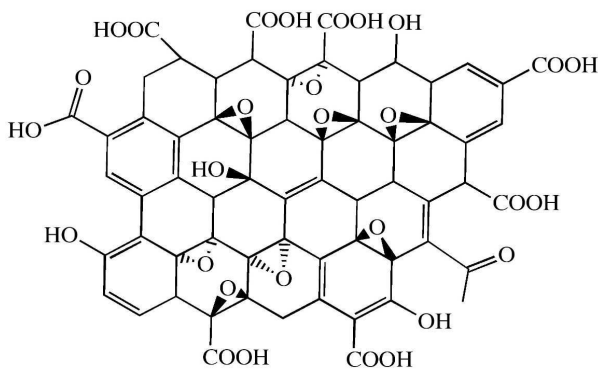
도 4는 본 발명의 실시예 6에 따른 충격흡수소재를 대상으로 볼 충격 깊이(ball drop trauma depth)를 측정한 그래프이다.(비교예=G0, 실시예 3=G3, 실시예 5=G5)

도 5는 본 발명의 실시예 6에 따른 충격흡수소재를 대상으로 볼 반발 높이(ball rebound height)를 측정한 그래프이다.(비교예=G0, 실시예 3=G3, 실시예 5=G5)

도 6은 본 발명의 실시예 6에 따른 충격흡수소재를 대상으로 연신율(elongation) 및 인장 강도(tensile strength)를 측정한 그래프이다.(비교예=G0, 실시예 3=G3, 실시예 5=G5)

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0021] 본 발명에 있어서, 분산액은 현탁액과 동일개념으로 사용될 수 있다.
- [0022] 본 발명에 있어서, 실리카는 나노크기 형태의 입자를 의미한다.
- [0023] 상기 과제를 해결하기 위하여 본 발명자들은 전단농화유체에 이용되는 고체 입자로서 실리카 입자를 제1성분으로 하고, 탄소나노입자를 제2성분으로 포함하는 경우 실리카 입자 단독 성분에 비해 최고점도값(maximal viscosity value)과 충격흡수 성능이 매우 유의적으로 증가되는 것을 확인하여 본 발명에 이르렀다.
- [0024] 본 발명에 따른 전단농화유체(Shear Thickening Fluid; STF)는 고체 입자 및 분산매로 이루어지고, 상기 고체 입자는 제1성분으로 실리카와 제2성분으로 탄소나노입자를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0025] 본 발명에서 상기 탄소나노입자로는 그래핀 옥사이드(graphene oxide, GO), 그래파이트 옥사이드 또는 그래핀(graphene)에서 선택될 수 있고, 바람직하게는 그래핀 옥사이드가 이용될 수 있다.
- [0026] 그래핀 옥사이드는 흑연 산화물로, 흑연을  $KClO_3/HNO_3$  또는  $KMnO_4/H_2SO_4$ 를 이용하여 산화시켜서 상당한 양의 산소를 가지는 그래파이트 옥사이드(graphite oxide)를 합성되고, 이러한 산소 작용기들 때문에 그래파이트 옥사이드는 친수성이 되고 물에 그래파이트 옥사이드를 넣고 초음파 처리를 해주면 한 장으로 구성된 프레임과 같이 있는 그래핀 옥사이드로 박리되어 매우 안정한 분산액을 대량으로 얻을 수 있다.
- [0027] 현재까지 그래핀 옥사이드의 정확한 화학 구조가 규명되지 못하였으나, 하기 화학식 1의 Lerf's model이 유력하게 받아들여지고 있는 데, 윗면에는 히드록시기(hydroxyl group)와 에폭시기(epoxy group)가 존재하고 끝부분에는 카르복실기(carboxyl group)와 케톤기(ketone group)가 존재하는 것으로 알려져 있다.
- [0028] [화학식 1]



- [0029]
- [0030] 상기 탄소나노입자의 평균 입자 직경은 1000nm 이하인 것이 바람직하다. 상기 탄소나노입자는 모노모달(monomodal) 입자분포를 가지나, 분자간 응집력으로 바이모달(bimodal) 입자분포로 이루어질 수 있다. 본 발명의 전단농화유체 제조시 탄소나노입자는 분산액 형태로 첨가되는 데, 분산매는 물, DMF 등과 같이 극성 용매이며, 탄소나노입자 분산액의 농도는 바람직하게는 0.01 ~ 2%(g/ml), 더욱 바람직하게는 0.03 ~ 1%이고, 첨가되는 탄소나노입자 분산액은 전단농화유체 전체 중량에 대하여 바람직하게는 5 ~ 20 중량%, 더욱 바람직하게는 10

~ 15 중량%이다.

- [0031] 본 발명에 있어서 상기 실리카 입자는 전단농화유체에 이용되는 흙드(fumed) 타입 입자 또는 구형(spherical) 입자와 같이 공지된 형태의 실리카는 모두 가능하나 흙드(fumed) 타입인 것이 바람직하다. 상기 흙드(fumed) 타입 실리카는 1,000℃이상의 불꽃내에서 아래 반응식 1과 같이 가수분해됨으로써 형성된다.
- [0032] [반응식 1]
- [0033] 
$$\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2 + 4\text{HCl}$$
- [0034] 불꽃에서 만들어진 기본입자가 상호 충돌로 인해 서로 연결되어 이차입자를 형성하며, 이것이 3차원의 응집체 (aggregates, agglomerate)를 형성한다. 흙드타입 실리카의 기본입자는 크기가 매우 작고 무정형이며 넓은 표면적을 지닌다.
- [0035] 이와 같은 흙드(fumed) 타입의 무기 입자는 구형 실리카 입자나 콜로이드 실리카 입자에 비하여 1차 입자의 크기가 매우 작고, 가볍고 표면적이 넓은 장점, 경량화 개선의 장점을 가진다. 뿐만 아니라 비용면에서도 매우 큰 장점을 지닌다. 반대로, 흙드 타입의 실리카 입자들 간의 응집으로 인하여 1차 입자와 2차 입자의 크기가 동일한 구형 실리카 입자들에 비해 균일한 상태로의 분산이 매우 어려운 문제가 있었으나, 본 발명자들은 이전 연구에서 흙드(fumed) 타입의 실리카가 분산액 상태로 효과적으로 제어될 수 있음을 밝혔으며, 전단농화 성능(방탄 성능)이 개선됨을 확인하였고, 이는 대한민국 특허공개 제10-2012-0122387호에 개시되어 있다.
- [0036] 상기 흙드 타입의 실리카는 불균일하게 분포되어 있을 수 있으며, 바이모달(bimodal) 입자분포를 가질 수 있다. 이와 같은 이유는 흙드 형태의 실리카가 분산매 내에서 불균일하게 분포하고 있으면서 충전율을 높일 수 있고, 입자들간의 하이드로클러스터를 형성하는데 오히려 용이한 효과가 있기 때문으로 추측되며 이를 통해 탄환의 충돌시 발생하는 실의 뿔힘 현상에 있어서 마찰력을 극대화함으로써 방탄성능을 향상시키고 아울러 방탄소재로부터 분리되어 흘러내리는 것을 방지할 수 있게 된다.
- [0037] 상기 실리카가 바이모달 입자 분포형태로 포함되어 있는 전단농화유체는 구체적으로 소구경 실리카의 사이즈가 50 ~ 100 nm일 수 있으며, 대구경 실리카의 사이즈는 110 ~ 150 nm인 분포형태 일 수 있다. 또한 바람직하게는 소구경 실리카의 사이즈가 60 ~ 80 nm이고, 대구경 실리카의 사이즈가 110 ~ 120 nm인 분포 형태일 수 있다. 이때, 상기 소구경 실리카의 사이즈와 대구경 실리카의 사이즈는 약 6 : 4 ~ 9 : 1의 분포로 전단농화유체에 포함되는 것이 바람직하며, 더욱 바람직하게는 7 : 3의 무게비율로 분포될 수 있다. 이와 같이 약 10 ~ 100 nm 정도의 입자 직경의 차이가 나도록 분포하는 실리카가 유기 용매 내에 불균일하게, 바람직하게는 바이모달 입자 분포 형태로 존재하는 경우, 흙드 타입의 실리카 입자의 불균일한 분포에 따른 효과를 극대화하여 동일한 중량대비 방탄성능 및 중량 개선의 효과를 높일 수 있다.
- [0038] 상기 실리카 입자는 전단농화유체 전체 중량에 대하여 바람직하게는 5 ~ 30 중량%, 더욱 바람직하게는 10 ~ 20 중량%로 함유된다.
- [0039] 상기 실리카 입자의 분산매로는 폴리에틸렌글리콜, 에틸렌글리콜, 폴리프로필렌글리콜 등 저분자량의 글리콜류의 극성 분산매가 이용될 수 있다. 실리카 입자는 표면에 많은 양의 하이드록시기를 가지고 있기 때문에 극성 분산매 중에서는 매우 안정적으로 분산되나, 비극성 유기분산매 중에서는 안정성이 저하되어 콜로이드 겔이 형성되기 때문이다.
- [0040] 본 발명에 있어서, 전단농화유체의 제조는 탄소나노입자 분산액을 실리카 분산매와 교반 및 감압상태에서 수분 및 기타 용제를 제거하여 실리카 분산매를 제조한 다음, 상기 실리카 분산매에 실리카입자를 첨가, 혼합하는 것으로 제조될 수 있으나, 필요에 따라서는 실리카 입자, 실리카 분산매 및 탄소나노입자 분산액을 함께 투입하여 1회 혼합하는 것도 가능하다.
- [0041] 본 발명의 전단농화유체는 각 성분을 믹싱(mixing) 장치 또는 호모게나이저(Homoganizer)를 이용하여 교반함으로써 제조할 수 있다. 이때, 교반 속도는 약 120 ~ 3000rpm으로 함이 불균일한 입자 분포를 위해 바람직하다. 교반 속도가 120rpm 이하인 경우에는 고체 입자가 분산용매와 혼합되기 어렵고, 3000rpm이상으로 교반하는 경우에는 상기 바이모달 입자 분포와 같이 불균일한 실리카의 분포상태를 구현하기 어렵다.
- [0042] 이하, 본 발명에 따른 바람직한 실시예 및 비교예에 대해 설명한다.
- [0043] 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 하기 실시예에

한정되는 것은 아니다. 오히려, 이들 실시예는 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다.

[0044]

**재 료**

[0045]

- 흡드 실리카: Aerosil 200 (A200, Evonik Degussa corporation)을 사용하였으며, 비표면적(BET)은  $200 \pm 25 \text{ m}^2/\text{g}$ 이며 평균 1차 입자 크기는 12 nm, 약  $2.5 [\text{SiOH}]_{\text{group}}/\text{nm}^2$  또는  $0.84 \text{ mmol/g}$ 의 당량 특성을 가진 친수성 실리카를 사용하였다[14].

[0046]

- 분산매 : 폴리에틸렌 글리콜(분자량 200, Sigma-aldrich corporation)을 사용하였으며, 감압상태에서  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 8시간 동안 건조하여 수분을 제거하였다.

[0047]

- 그래핀 옥사이드 : Graphene Oxide (농도 0.0307% H&H corporation)

[0048]

- 고분자 재료 : PDMS(polydimethylsiloxane)(상품명: Sylgard 184 A/B, dow-coning사)

[0049]

**실시예 1**

[0050]

폴리에틸렌글리콜 82g에 그래핀 옥사이드 분산액(농도 0.0307%) 5g을 첨가하여 30분간 교반 및 감압상태에서 수분 및 기타 용제를 제거하여 실리카 분산매를 제조한 후, 24시간 동안 실온에서 방치하여 안정화시켰다.

[0051]

흡드 타입의 실리카 18g을 상기에서 제조된 실리카 분산매 87g에 넣고, 교반 모터(M8GA6M, Panasonic)와 앵커형 임펠러를 이용해 150 rpm의 속도로 1시간 교반하여 실리카 분산액을 제조한 후, 24시간 동안 실온에서 방치하여 기포를 제거하였다.

[0052]

**실시예 2**

[0053]

상기 실시예1과 동일한 방법으로 실시하되, 상기 폴리에틸렌글리콜에 그래핀 옥사이드 분산액(농도 0.0307%) 10g을 첨가하여 실시하였다.

[0054]

**실시예 3**

[0055]

상기 실시예1과 동일한 방법으로 실시하되, 상기 폴리에틸렌글리콜에 그래핀 옥사이드 분산액(농도 0.0307%) 12.5g을 첨가하여 실시하였다.

[0056]

**실시예 4**

[0057]

상기 실시예1과 동일한 방법으로 실시하되, 상기 폴리에틸렌글리콜에 그래핀 옥사이드 분산액(농도 0.0307%) 15g을 첨가하여 실시하였다.

[0058]

**실시예 5**

[0059]

상기 실시예1과 동일한 방법으로 실시하되, 상기 폴리에틸렌글리콜에 그래핀 옥사이드 분산액(농도 0.0307%) 20g을 첨가하여 실시하였다.

[0060]

**실시예 6**

[0061]

상기 실시예들 및 비교예에서 제조된 전단농화유체 각각을 폴리디메틸실록산(기질:경화제=10:1)에 5중량% 첨가, 교반하여  $25^\circ\text{C}$ 에서 24시간 경화시켜 충격흡수소재를 제조하였다.

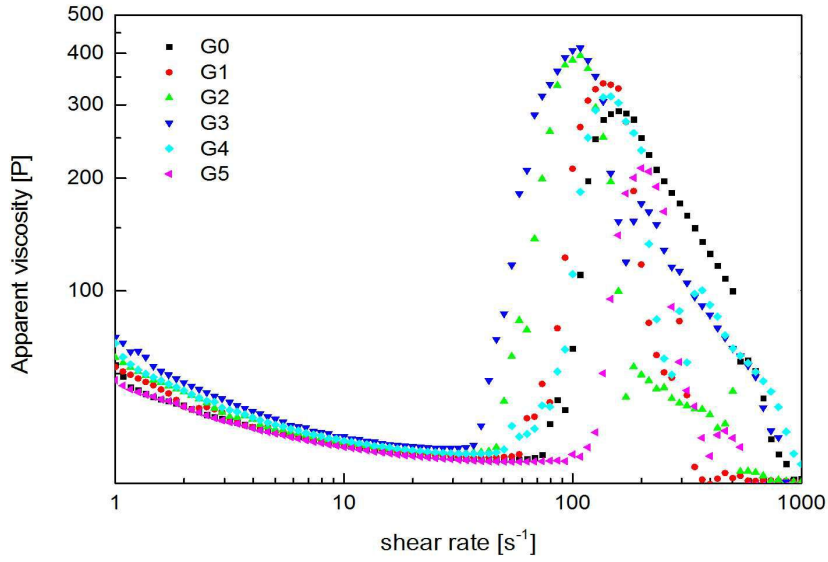


- [0062] **비교예 1 : (탄소나노입자 미함유)**
- [0063] 흙드 타입의 실리카 18g과 폴리에틸렌글리콜 82g을 혼합하고, 교반 모터(M8GA6M, Panasonic)와 앵커형 임펠터를 이용해 150 rpm의 속도로 1시간 교반하여 실리카 분산액을 제조한 후, 24시간 동안 실온에서 방치하여 기포를 제거하였다.
- [0064] **실험예 1 : 전단농화유체의 점도 측정**
- [0065] 본 발명의 실시예 1 내지 5 및 비교예에 따라 제조된 전단농화유체의 유변학적 거동을 관찰하기 위해 Strain controlled rheometer(ARES)(Advanced Rheometric Expansion System, Rheometric Scientific, USA)을 사용하여 정상전단속도에 따른 전단 점도를 측정하였다. 측정은 직경이 50 mm이고 angle이 2° 인 Cone & plate type을 이용했으며 25 °C에서 이루어졌다. 데이터의 전단속도의 범위는 1~1000 s<sup>-1</sup>으로 측정하였다. 모든 데이터는 측정되기 전에 시료에 존재하는 전단 이력을 제거하기 위해 10 s<sup>-1</sup>로 1 분간 사전 전단(preshear)을 주었다.
- [0066] 도 1은 본 발명의 실시예 1 내지 5 및 비교예의 전단농화유체의 전단속도(shear rate)에 따른 점도 변화를 나타내는 그래프이다.(비교예=G0, 실시예 1=G1, 실시예 2=G2, 실시예 3=G3, 실시예 4=G4, 실시예 5=G5)
- [0067] 도 2는 본 발명의 실시예 1 내지 5 및 비교예의 전단농화유체의 26°C 초기 점도(initial viscosity)와 최고 점도(maximum viscosity)의 차이를 나타낸 그래프이다.(비교예=G0, 실시예 1=G1, 실시예 2=G2, 실시예 3=G3, 실시예 4=G4, 실시예 5=G5)
- [0068] 도 1 및 2에 보이는 바와 같이, 본 발명의 그래핀 옥사이드를 함유하는 전단농화유체는 그래핀 옥사이드의 함량에 따라 임계전단속도에 차이가 보였으며, 비교예에 비해 높은 점도 특성을 보였으며, 실시예 3(G3; 함량 12.5g)의 경우 현저히 점도 특성이 현저히 상승되는 것을 확인할 수 있었다.
- [0069] 도 3은 본 발명의 실시예 3(G3) 과 비교예(G0)의 주파수 변화에 따른 탄성 성분(elastic component, G')과 점성 성분(viscous component, G'')의 변화 관계를 나타낸 그래프이다. 도 3에 보이는 바와 같이, 비교예에서는 탄성 성분에 비해 점성 성분이 더 높았던 반면, 본 발명의 실시예 3은 점성 성분에 비해 탄성 성분이 더 높은 것으로 나타나 본 발명의 전단농화유체는 충격흡수소재에 유용하게 이용될 수 있음이 확인되었다.
- [0070] **실험예 2 : 충격흡수소재의 탄성 및 충격 실험**
- [0071] 본 발명에 따라 제조된 충격흡수소재의 충격흡수 능력을 측정하였다. 볼 낙하 충격 실험은 32g(직경 2mm), 111g(직경 3mm), 287g(직경 4mm) 볼 3종으로 500 mm 높이에서 실험하였고, 볼 탄성 실험은 16.8g(직경 16mm) 볼을 500mm 높이에서 낙하하여 튀어오른 높이를 측정하였다.
- [0072] 도 4는 본 발명의 실시예 6에 따른 충격흡수소재를 대상으로 볼 충격 깊이(ball drop trauma depth)를 측정한 그래프이다.(비교예=G0, 실시예 3=G3, 실시예 5=G5)
- [0073] 도 5는 본 발명의 실시예 6에 따른 충격흡수소재를 대상으로 볼 반발 높이(ball rebound height)를 측정한 그래프이다.(비교예=G0, 실시예 3=G3, 실시예 5=G5)
- [0074] 도 4 및 5에 보이는 바와 같이, 본 발명의 실시예 3에 따른 그래핀 옥사이드를 함유한 전단농화유체는 비교예에 비해 매우 유의적으로 충격 깊이(trauma depth) 및 반발력이 감소되는 것으로 확인되었다. 이는 본 발명에 따른 전단농화유체가 충격흡수소재로 유용하게 이용될 수 있음을 의미한다.
- [0075] **실험예 3 : 충격흡수소재의 인장 강도 실험**
- [0076] 본 발명에 따라 제조된 충격흡수소재의 인장 강도 실험은 정속인장형의 인장시험기를 이용하여 ISO 1798:2008 방법에 따라 Gauge length : 50mm, Test speed : 100mm/min 기준으로 측정하였다.
- [0077] 도 6은 본 발명의 실시예 6에 따른 충격흡수소재를 대상으로 연신율(elongation) 및 인장 강도(tensile strength)를 측정한 그래프이다.(비교예=G0, 실시예 3=G3, 실시예 5=G5)
- [0078] 도 6에 보이는 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀 옥사이드를 함유한 전단농화유체는 비교예에 비해

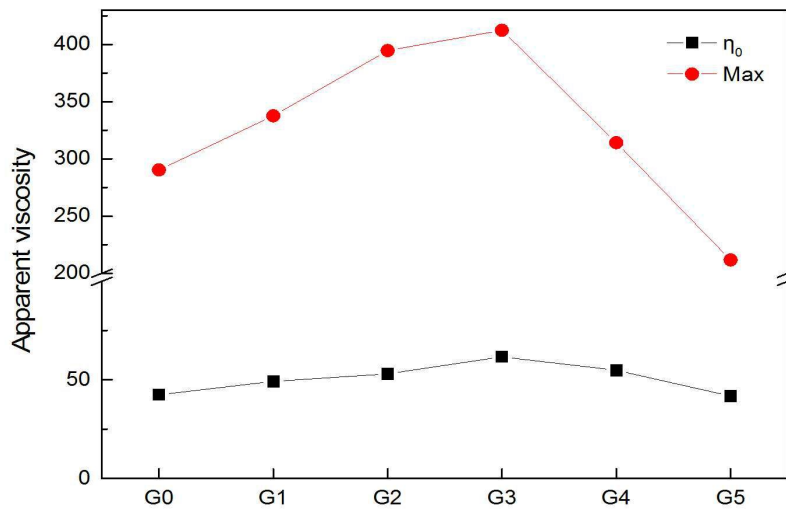
매우 인장 강도가 유의적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

도면

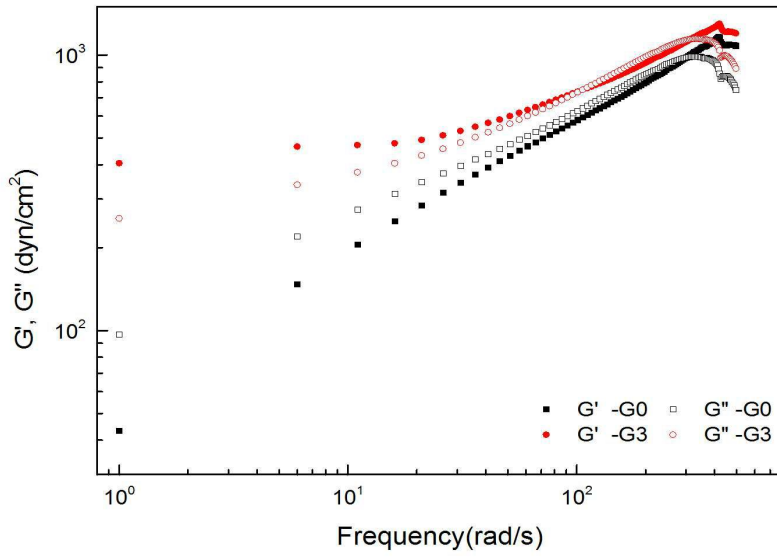
도면1



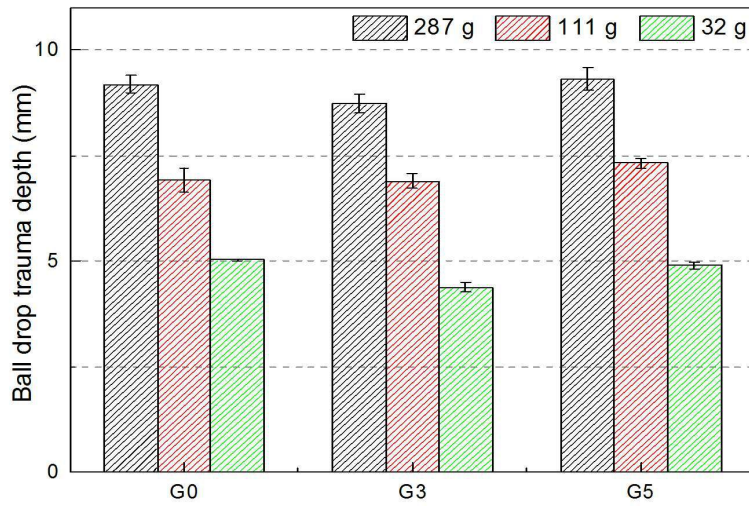
도면2



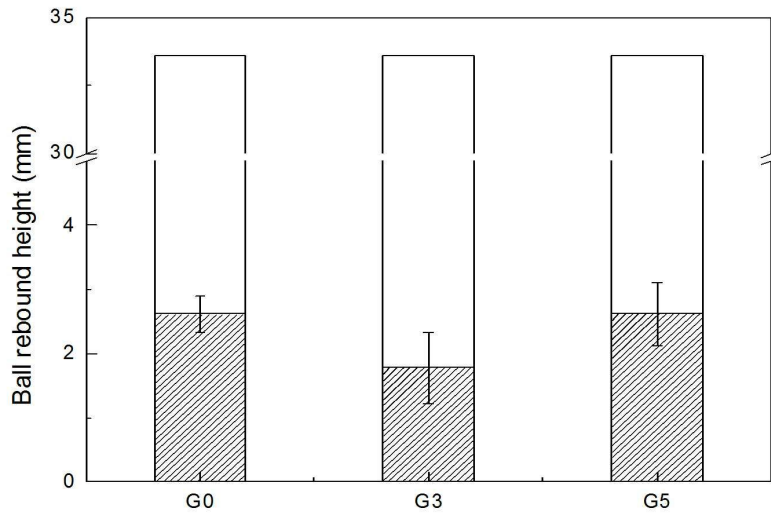
도면3



도면4



도면5



도면6

