(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0129441
(43) 공개일자 2017년11월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C08K 3/18 (2006.01) *C08J 3/24* (2006.01)
C08K 3/04 (2006.01) *C08K 5/17* (2006.01)
C08K 7/18 (2006.01) *C08L 23/08* (2006.01)
C08L 33/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C08K 3/18 (2013.01)
C08J 3/247 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0060130
(22) 출원일자 2016년05월17일
심사청구일자 2016년05월17일

(71) 출원인
수원대학교산학협력단
경기도 화성시 봉담읍 와우안길 17 (수원대학교)
(72) 발명자
정경호
서울시 강남구 언주로 107, 개포현대2차아파트 211동 104호
(74) 대리인
특허법인 프렌즈드림

전체 청구항 수 : 총 7 항

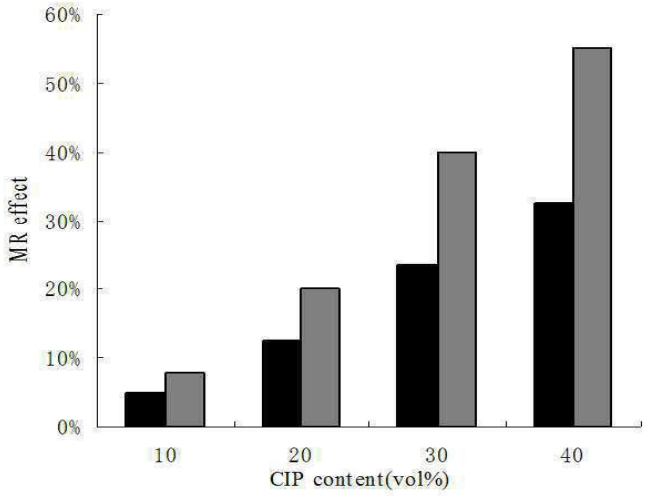
(54) 발명의 명칭 **저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성 및 자기유변 효과가 우수한 에틸렌-아크릴고무의 자기유변탄성체 및 그 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성 및 자기유변 효과가 우수한 에틸렌-아크릴고무의 자기유변탄성체 및 그 제조방법에 관한 것으로, 본 발명에 따른 에틸렌-아크릴고무의 자기유변탄성체는 에틸렌-아크릴고무(AEM) 100 중량부; 카본블랙(CB) 30 중량부; 폴리아민계 가황제(curative), 가공 보조제(processing aid), 스테아르산(stearic acid) 각각 1.5 중량부; 구아니딘계 가황촉진제(DOTG) 4 중량부;를 포함하고, 상기 에틸렌-아크릴고무(AEM)와 카본블랙(CB)의 체적합산에 대하여 자기반응성 입자(magnetic reactive particle)를 10~40 vol% 더 포함한 조성물로 이루어진다.

또한 본 발명에 따른 에틸렌-아크릴고무의 자기유변탄성체는 자기장을 부여한 상태에서 경화온도로 자기유변탄성체의 미경화(未硬化) 조성물을 경화시키는 1단계(one step) 제조방법을 가진다.

대 표 도 - 도9



(52) CPC특허분류
C08K 3/04 (2013.01)
C08K 5/17 (2013.01)
C08K 7/18 (2013.01)
C08L 23/08 (2013.01)
C08L 33/08 (2013.01)
C08K 2201/003 (2013.01)
C08K 2201/01 (2013.01)
C08L 2201/02 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 10047791
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원
연구사업명 전략적핵심소재기술개발사업
연구과제명 가변형 능동제어 가능한 유동탄성체 기술
기 여 율 1/1
주관기관 (주)대흥알앤티
연구기간 2013.11.01 ~ 2020.08.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

가변성 모듈러스를 가지는 자기유변탄성체에 있어서,

에틸렌-아크릴고무(AEM) 100 중량부;

카본블랙(CB) 30 중량부;

폴리아민계 가황제(curative), 가공조제(processing aid), 스테아르산(stearic acid) 각각 1.5 중량부;

구아니딘계 가황촉진제(DOTG) 4 중량부;를 포함하고,

상기 에틸렌-아크릴고무(AEM)와 카본블랙(CB)의 체적 합산에 대하여 자기반응성 입자(magnetic reactive particle)를 10~40 vol% 더 포함한 조성물로 이루어지는 것을 특징으로 하는 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성 및 자기유변 효과가 우수한 에틸렌-아크릴고무의 자기유변탄성체.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 자기반응성 입자(magnetic reactive particle)가 배향되어 있어 이방성을 나타내는 것을 특징으로 하는 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성 및 자기유변 효과가 우수한 에틸렌-아크릴고무의 자기유변탄성체.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 자기반응성 입자(magnetic reactive particle)는 카르보닐 아이언 파우더(carbonyl iron powder, CIP)인 것을 특징으로 하는 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성 및 자기유변 효과가 우수한 에틸렌-아크릴고무의 자기유변탄성체.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 자기반응성 입자(magnetic reactive particle)는 구(球) 형상으로 입자의 평균직경이 4~6㎛인 것을 특징으로 하는 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성 및 자기유변 효과가 우수한 에틸렌-아크릴고무의 자기유변탄성체.

청구항 5

제 1항에 따른 에틸렌-아크릴고무의 자기유변탄성체를 제조하는 방법에 있어서,

자기장을 부여한 상태에서 경화온도로 에틸렌-아크릴고무 자기유변탄성체의 미경화(未硬化) 조성물을 경화시키는 1단계(one step) 제조방법을 가지는 것을 특징으로 하는 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성 및 자기유변 효과가 우수한 에틸렌-아크릴고무 자기유변탄성체의 제조방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 에틸렌-아크릴고무 자기유변탄성체의 미경화(未硬化) 조성물에 가해지는 자기장의 강도를 1.5 테슬라(Tesla)로 하는 것을 특징으로 하는 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성 및 자기유변 효과가 우수한 에틸렌-아크릴고무 자기유변탄성체의 제조방법.

청구항 7

제 5항에 있어서,

상기 에틸렌-아크릴고무 자기유변탄성체의 미경화(未硬化) 조성물에 대한 경화조건이 165℃ x 20분인 것을 특징으로 하는 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성 및 자기유변 효과가 우수한 에틸렌-아크릴고무 자기유변탄성체의 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성 및 자기유변 효과가 우수한 에틸렌-아크릴고무의 자기유변탄성체 및 그 제조방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성이 우수한 에틸렌-아크릴고무와 적정량의 자기반응성 입자를 포함한 탄성체 조성물에 적정강도의 자기장을 인가하여 제조되는 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성 및 자기유변 효과가 우수한 에틸렌-아크릴고무의 자기유변탄성체 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로 주행중인 차량에는 노면으로부터 전달되는 진동에서부터 엔진회전에 의한 진동까지 다양한 원인에 의하여 진동이 발생하게 된다. 이러한 진동들을 흡수하기 위하여 통상 방진고무 부품을 이용하게 되는데, 차량의 진동들은 다양한 영역대의 주파수를 가지게 되는 반면, 기존의 일반적인 자동차용 방진고무는 매트릭스로 사용된 고무나 충전제에 의하여 재료 자체의 고유 모듈러스(modulus)를 가지기 때문에 특정 영역대의 주파수에 의해 발생된 진동만을 흡수하는 단점이 있다.

[0003] 이러한 고정적인 모듈러스를 가진 기존의 방진고무는 다양한 영역대의 주파수에 의해 발생되는 진동을 효과적으로 상쇄하지 못하여 자동차의 성능 및 승차감 개선에 기여를 하지 못하고 있는데, 예를 들어 저주파 영역대의 진동에 대하여 진동저감 특성이 좋은 방진고무는 고주파 영역대에서 발생하는 진동을 수렴하지 못하여 이로 인한 차량의 조종 안정성, 코너링 및 승차감 저하의 원인이 될 수 있다.

[0004] 따라서 다양한 주파수에 의해 발생되는 진동을 효율적으로 제어할 수 있는 가변성 모듈러스를 가지는 방진고무의 필요성이 대두되고 있으며 이에 관한 연구가 진행되고 있다.

[0005] 통상 가변성 모듈러스를 가지는 탄성체는 가진원(加振源)의 주파수 특성에 적합한 모듈러스로 변경하여 최적의 방진효과를 구현하는 것이 가능하다.

[0006] 가변성 모듈러스를 가지는 탄성체의 하나로 제시되고 있는 것이 고무 매트릭스에 자기반응성 입자(magnetic reactive particle)를 첨가하여 자기장에 의해 모듈러스 변화를 유도할 수 있는 자기유변탄성체(magneto-rheological elastomer ; MRE)이다.

[0007] 기존의 방진고무는 댐핑특성이 우수한 부틸고무를 비롯한 여러 종류의 고무에 카본블랙 등의 충전제를 충전하여 외부의 물리적 에너지, 즉 진동이 탄성체에 전달되면 이를 열에너지로 변환시켜 진동을 흡수하는 매커니즘에 의해 방진효과를 유도하였는바, 이러한 방법은 사용되는 고무의 종류와 충전제의 종류/양 및 탄성체의 가교밀도 등에 의하여 재료 고유의 모듈러스를 가지게 된다.

[0008] 이러한 고정적인 모듈러스는 특정 영역대의 주파수 진동을 흡수하기에 적합한 성질을 보이나, 특정 영역대 이외의 주파수에 의하여 발생되는 진동은 수렴하지 못하는 문제점을 가진다.

[0009] 이와 같이 기존 방진고무의 고정적인 모듈러스로 인하여 차량에 전달되는 진동이 적절히 흡수되지 못하는 경우, 차량부품의 내구성·승차감·주행성능 및 코너링 성능 등이 저하되는 문제가 초래된다.

[0010] 이에 천연고무(NR)를 매트릭스로 하는 자기유변탄성체가 개발된 적이 있으나(특허출원번호 10-2010-0105993) 탄성체의 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성 및 댐핑 특성이 떨어지고, 제조과정에서도 먼저 고무혼합물에 자기장을 부여한 후, 이 고무혼합물을 압력프레스로 옮겨 자기유변탄성체를 성형함으로써 자기 배향된 입자들의 배향성이 변하고 이로 인한 자기유변탄성체로서의 성능도 부족해져 넓은 범위의 주파수 진동을 흡수하는 방진고무용으로 사용하기에는 미흡하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 종래기술에 의한 자기유변탄성체의 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성이 우수한 에틸렌-아크릴고무와 적정량의 자기반응성 입자를 포함한 탄성체 조성물에 적정강도의 자기장을 인가하여 제조되는 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성 및 자기유변 효과가 우수한 에틸렌-아크릴고무의 자기유변탄성체를 제공하는 것이다.

[0012] 본 발명의 다른 목적은 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성 및 자기유변 효과가 우수한 에틸렌-아크릴고무 자기유변탄성체의 제조방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명은 에틸렌-아크릴고무(AEM) 100 중량부에 대하여 카본블랙(CB) 30 중량부; 폴리아민계 가황제(curative), 가공조제(processing aid), 스테아르산(stearic acid) 각각 1.5 중량부; 구아니딘계 가황촉진제(DOTG) 4 중량부;를 포함하고, 상기 에틸렌-아크릴고무(AEM)와 카본블랙(CB)의 체적 합산에 대하여 자기반응성 입자 10~40 vol% 를 더 첨가한 조성물로 이루어지는 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성 및 자기유변 효과가 우수한 에틸렌-아크릴고무의 자기유변탄성체를 제공한다.

[0014] 여기서 자기반응성 입자로는 카르보닐 아이언 파우더(carbonyl iron powder, CIP)가 바람직하게 사용된다.

[0015] 또한 자기반응성 입자는 구(球) 형상으로 입자의 평균직경이 4~6㎛인 것이 바람직하다.

[0016] 또한 본 발명은 자기장을 부여한 상태에서 경화온도로 자기유변탄성체의 미경화(未硬化) 조성물을 경화시키는 1단계(one step) 제조방법을 가지는 것을 특징으로 하는 에틸렌-아크릴고무 자기유변탄성체의 제조방법을 제공한다.

[0017] 여기서 에틸렌-아크릴고무 자기유변탄성체의 미경화(未硬化) 조성물에 가해지는 자기장의 강도는 1.5 테슬라(Tesla)로 하는 것이 바람직하다.

[0018] 또한 에틸렌-아크릴고무 자기유변탄성체의 경화조건은 165℃ x 20분이 바람직하다.

발명의 효과

[0019] 본 발명은 저온 유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성이 우수한 에틸렌-아크릴고무와 적정량의 자기반응성 입자를 포함한 탄성체 조성물에 적정강도의 자기장을 인가하여 제조되는 저온 유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성 및 자기유변 효과가 우수한 에틸렌-아크릴고무의 자기유변탄성체를 제공하는 효과를 가진다.

[0020] 또한 본 발명은 저온 유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성과 자기유변 효과가 우수한 에틸렌-아크릴고무 자기유변탄성체의 제조방법을 제공하는 효과를 가진다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 본 발명에 따른 자기유변탄성체의 제조장치에 대한 개략도이다.

도 2는 본 발명에 따른 자기유변탄성체의 제조장치에 대한 실물사진이다.

도 3은 본 발명에 따른 자기유변탄성체의 인장강도를 나타내는 그래프이다.

도 4는 본 발명에 따른 자기유변탄성체의 신장율을 나타내는 그래프이다.

도 5는 동적특성시험기(DMA)로써 측정한 등방성 자기유변탄성체(i-MRE)의 동적 탄성율(elastic modulus)을 나타내는 그래프이다.

도 6은 동적특성시험기(DMA)로써 측정한 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 동적 탄성율(elastic modulus)을 나타내는 그래프이다.

도 7은 동적특성시험기(DMA)로써 측정한 등방성 자기유변탄성체(i-MRE) 및 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 손실 탄성율(loss factor)로서 자기장을 부여하지 않았을 경우의 그래프이다.

도 8은 동적특성시험기(DMA)로써 측정한 등방성 자기유변탄성체(i-MRE) 및 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 손

실 탄성율(loss factor)로서 자기장을 부여하였을 경우의 그래프이다.

도 9는 자기반응성 입자(CIP)의 함량별로 등방성 자기유변탄성체(i-MRE)와 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 자기유변효과(MR effect)를 비교하여 나타낸 그래프이다.

도 10은 10 vol%의 자기반응성 입자(CIP)가 균일하게 분산된 등방성 자기유변탄성체(i-MRE)의 전자현미경 단면사진이다.

도 11은 10 vol%의 자기반응성 입자(CIP)가 일정방향으로 배향된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 전자현미경 단면사진이다.

도 12는 40 vol%의 자기반응성 입자(CIP)가 균일하게 분산된 등방성 자기유변탄성체(i-MRE)의 전자현미경 단면사진이다.

도 13은 40 vol%의 자기반응성 입자(CIP)가 일정방향으로 배향된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 전자현미경 단면사진이다.

도 14는 10 vol%의 자기반응성 입자(CIP)가 일정방향으로 배향된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 동결파단면에 대한 전자현미경 사진이다.

도 15는 40 vol%의 자기반응성 입자(CIP)가 일정방향으로 배향된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 동결파단면에 대한 전자현미경 사진이다.

도 16은 제조방법 및 자기반응성 입자(CIP)의 함량에 따른 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 인장강도를 나타내는 그래프이다.

도 17은 제조방법 및 자기반응성 입자(CIP)의 함량에 따른 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 신장율을 나타내는 그래프이다.

도 18은 1단계 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 전자현미경 단면사진이다.

도 19는 2단계 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 전자현미경 단면사진이다.

도 20은 시험시 자기장을 부여하지 않았을 경우에 대한 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 동적 탄성율을 제조방법 및 자기반응성 입자(CIP)의 함량에 따라 나타낸 그래프이다.

도 21은 시험시 자기장을 부여하였을 경우에 대한 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 동적 탄성율을 제조방법 및 자기반응성 입자(CIP)의 함량에 따라 나타낸 그래프이다.

도 22는 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 제조방법 및 자기반응성 입자(CIP)의 함량별 자기유변효과(MR effect)를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 일 실시예를 상세하게 설명한다.

[0023] [도 1]은 본 발명에 따른 자기유변탄성체의 제조장치에 대한 개략도이고, [도 2]는 자기유변탄성체 제조장치의 실물사진이다.

[0024] 본 발명에 따른 자기유변탄성체의 제조장치는 자기장을 부여함과 동시에 경화반응이 진행될 수 있도록 가압수단, 가열수단, 자기장 부여수단이 하나의 장치에 서로 접목되어 있다.

[0025] 본 발명에 따른 자기유변탄성체를 제조하기 위하여, 우선 금형(3)의 내부에 자기반응성 입자가 혼합된 에틸렌-아크릴고무 조성물 시료(4)를 주입한 다음, 화살표 방향으로 전자코일(2)에 의한 자기장을 부여함과 동시에 유압실린더(1)와 가열기(6)에 의해 각각 압력과 열을 가해 고무 조성물의 경화반응을 유도한다.

[0026] 본 발명에 따른 자기유변탄성체의 제조장치는 가열기(6)의 온도범위를 250 ℃ , 압력을 350 kg/㎠(0~5000 psi)까지 가할 수 있도록 설계된다.

[0027] 본 발명의 일 실시예에 따라 상기 금형(3)을 165℃에서 20분 동안 가열하여 고무 조성물의 경화를 실시하고, 경화 완료 후 금형(3)으로부터 탈거하여 에틸렌-아크릴고무 조성물의 경화된 자기유변탄성체를 얻는다.

[0028] 이와 같이 경화된 자기유변탄성체는 [도 1]의 화살표 방향으로 발생하는 자기장에 의해 자기반응성 입자의 배향

성이 향상됨으로 인하여 보다 높은 모듈러스 가변폭을 가지게 된다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기유변탄성체의 조성은 아래 [표 1]과 같다.

표 1

[0030]

구 분	AEM	CB	PA-curative	processing aid	SA	DOTG	CIP (vol %)
MRE-1	100	30	1.5	1.5	1.5	4	10
MRE-2	100	30	1.5	1.5	1.5	4	20
MRE-3	100	30	1.5	1.5	1.5	4	30
MRE-4	100	30	1.5	1.5	1.5	4	40

[0031] 상기 [표 1]에서 자기반응성 입자(CIP)를 제외한 배합성분들의 조성비는 에틸렌-아크릴고무(AEM) 100 중량부에 대한 중량부수로서 나타내어진 것이며, 자기반응성 입자(CIP)의 조성비는 에틸렌-아크릴고무(AEM)와 카본블랙(CB)의 체적 합산에 대한 체적%로서 나타내어진 것이다.

[0032] 본 발명은 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성 및 가변성 모듈러스를 가지는 자기유변탄성체를 제조하기 위하여 [표 1]과 같이 에틸렌-아크릴고무(AEM) 와 카본블랙(Carbon black, CB), 폴리아민계 가황제(PA-curative), 가공 보조제(processing aid), 스테아르산(stearic acid, SA), 구아니딘계 가황촉진제(di-ortho-tolyl guanidine: DOTG)를 혼합하여 고무 조성물를 제조하고, 상기 고무 조성물에 적정량의 자기반응성 입자를 혼합한다.

[0033] 자기반응성 입자로는 자기장이 인가되면 배향이 유도되어 모듈러스 가변성을 부여할 수 있는 것으로서, 철을 물리적, 화학적으로 분쇄한 뒤 실리카 코팅한 카르보닐 아이언 파우더(carbonyl iron powder, CIP)가 사용될 수 있다.

[0034] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기반응성 입자는 구(球) 형상으로 입자의 평균 직경이 4~6㎛인 것이 이용될 수 있다.

[0035] 또한 자기반응성 입자는 무기물 충전제이므로 고무 조성물에 혼합되는 충전량이 너무 적으면 탄성체의 모듈러스 변화폭이 충분히 크지 않고 과량 첨가되면 기계적 물성이 감소하여, 차량용 방진고무와 같이 일정한 강성을 요구하는 제품에는 적용이 불가하므로 기계적 물성과 모듈러스 가변성을 모두 고려하여 최적의 충전량을 선정하여야 한다.

[0036] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기반응성 입자의 적정 충전량은 에틸렌-아크릴고무(AEM)와 카본블랙(CB)의 체적 합산에 대하여 10~40 vol%로 산정된다.

[0037] 상기 [표 1]에서 매트릭스 탄성체로 사용되고 있는 에틸렌-아크릴고무(AEM)는 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성 및 댐핑 특성이 우수한 아크릴계 합성고무로서, 이와 같이 매트릭스 탄성체로 에틸렌-아크릴고무(AEM)를 사용하는 이유는 저온유연성, 내열성, 내유성, 내후성, 댐핑특성이 우수한 자기유변탄성체를 제조하기 위해서이다.

[0038] 카본블랙(CB)은 에틸렌-아크릴고무의 보강성 충전제로서 고무 조성물의 기계적 물성을 고려하여 에틸렌-아크릴고무 100 중량부에 대하여 30 중량부 정도 첨가하는 것이 바람직하다.

[0039] 폴리아민계 가황제(PA-curative)는 아크릴계 합성고무 조성물의 가황에 유용한 가황제로서 헥사메틸렌디아민카바메이트(hexamethylene diamine carbamate: 상품명 Diak No. 1)가 사용되어질 수 있고, 아크릴계 합성고무 조성물의 혼련, 압출 등의 가공조작을 용이하게 하기 위한 가공 보조제(processing aid: 상품명 Vamfrc VAN)가 사용되어질 수 있으며, 가황시 경화를 활성화시켜 주는 활성화제로서 스테아르산(SA)이 사용되어질 수 있다.

[0040] 이들 폴리아민계 가황제 (PA-curative), 가공 보조제(processing aid), 스테아르산(SA)은 각각 에틸렌-아크릴고무 100 중량부에 대하여 1.5 중량부를 첨가하는 것이 바람직하다.

[0041] 구아니딘계 가황촉진제(di-ortho-tolyl guanidine: DOTG)는 가황촉진 작용이 비교적 느슨하고 경도(硬度)가 큰 강성(剛性)제품을 제공하는 특성을 가지는 가황촉진제로서 에틸렌-아크릴고무 100 중량부에 대하여 4 중량부를 첨가하는 것이 바람직하다.

[0042] 본 발명의 일 실시예에 따르면 본 발명에 따른 자기유변탄성체의 제조장치에 상기 자기유변탄성체의 미경화(未

硬化) 조성물을 투입하여 그 조성물에 충전된 자기반응성 입자의 배향성을 향상시킴으로써 가변성 모듈러스를 가지는 탄성체를 제조한다.

[0043] **[실험예 1]**

[0044] 상기 [표 1]의 자기유변탄성체 조성물을 자기유변탄성체 제조장치에서 165℃ x 20분의 가황조건으로 경화시킨 자기유변탄성체의 인장물성을 [도 3], [도 4]에 그래프로 나타내었다.

[0045] [도 3]은 인장강도(tensile strength), [도 4]는 신장율(elongation)을 각각 나타내며, 그래프에서 ◆ 표시는 자기유변탄성체에 배합된 자기반응성 입자(CIP)의 배향을 유도하지 않은 등방성 자기유변탄성체(isotropic-MRE: i-MRE), 즉 고무 매트릭스 경화시 자기장을 부여하지 않아 자기반응성 입자(CIP)가 균일하게 분산된 등방성 자기유변탄성체를 의미하고, ■ 표시는 매트릭스 경화시 자기장을 부여하여 자기반응성 입자(CIP)의 배향을 유도한 이방성 자기유변탄성체(anisotropic-MRE: a-MRE)를 의미한다.

[0046] 시험결과, 자기반응성 입자(CIP)의 혼합량(충전량)이 10 vol%에서 40 vol%로 증가됨에 따라 등방성 자기유변탄성체(i-MRE)나 이방성 자기유변탄성체(a-MRE) 모두 인장강도 및 신장율이 감소하는 것을 확인하였다. 이는 자기반응성 입자(CIP)의 혼합량(충전량)이 증가됨에 따라 배합된 자기반응성 입자와 매트릭스 고무와의 계면에서 결합이 부족해지기 때문에 발생하는 결과라고 생각된다.

[0047] 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 인장강도 및 신장율이 등방성 자기유변탄성체(i-MRE)에 비해 상대적으로 작은 이유는 자기반응성 입자(CIP)의 배향 방향은 인장시편의 두께 방향인 반면에, 인장시편의 인장방향은 자기반응성 입자(CIP)의 배향 방향에 수직이기 때문인 것으로 생각된다.

[0048] 따라서 자기반응성 입자(CIP)의 배향이 우수할수록 자기유변탄성체의 인장강도는 감소한다고 할 수 있다.

[0049] 아래 [표 2]는 [도 3], [도 4]의 인장특성 값을 표로 정리한 것이다.

표 2

[0050]

CIP (vol %)	isotropic-MRE		anisotropic-MRE	
	tensile strength (MPa)	elongation (%)	tensile strength (MPa)	elongation (%)
10	15.46	273	9.68	181
20	12.65	219	7.4	157
30	10.06	201	6.26	145
40	8.06	188	5.16	141

[0051] 일반적으로, 에너지의 축적 면에서, 공급되는 에너지가 아무런 손실 없이 물질에 전달되는 것을 탄성(elastic)이라 하면, 에너지의 일부가 열 등의 에너지 형태로서 손실되는 성격을 지닌 것을 점성(viscous)이라 할 수 있다.

[0052] 고무는 이 두 가지 이상적인 물질의 성질 어느 중간 성격에 해당하는 거동을 보이며 이러한 거동을 점탄성(viscoelasticity)이라고 한다.

[0053] 점탄성(viscoelasticity) 거동을 나타내는 재료에 일정한 입력이 가해지는 경우 응답특성은 탄성에서의 후크의 법칙과 같은 형태로 간단히 표현되지만, 입력을 시간에 따라 변하는 사인(sine)곡선의 형태로 할 경우 응력의 응답은 위상차를 가지게 된다.

[0054] 지금 변형과 응력의 관계가 선형을 나타내는 선형 점탄성체에 진폭 γ_0, 진동수 $\omega/2\pi$로 하는 변형 $\gamma(t)=\gamma_0\cos\omega t$(t는 시간)을 주고 일정응력 σ_0, 위상차 δ로 하는 응력 $\sigma(t)=\sigma_0\cos(\omega t+\delta)$이 얻어진다고 할 때, δ 및 $\sigma_0/\gamma_0=|G|$는 모두 ω의 함수이므로 $G'(\omega)=|G|\cos\delta$, $G''(\omega)=|G|\sin\delta$라고 두면 $\sigma(t)$는 다음 [식 1]과 같이 된다.

[0055] $$\sigma(t)=\gamma_0\{G'(\omega)\cos\omega t - G''(\omega)\sin\omega t\}$$ ----------[식 1]

[0056] 상기 [식 1]의 우변 제1항은 변형과 같은 위상을 가지며 제2항은 위상이 변형보다 90° 만큼 앞서고 있다. 그래서 $G'(\omega)$를 동적 탄성율(elastic modulus: shear storage modulus)이라고 하고, $G''(\omega)$는 1주기 사이의 열손

실 W가 단위 부피에 대하여 $W=\pi \gamma_0^2 G''(\omega)$로 주어지므로 손실 탄성률(loss factor: loss modulus)이라고 한다.

[0057] **[실험예 2]**

[0058] [도 5] 내지 [도 8]은 고무의 동적특성시험기(dynamic mechanical analyzer: DMA)를 사용하여 자기유변탄성체(MRE)의 동적특성을 평가한 그래프이다.

[0059] 본 시험에서 사용된 자기유변탄성체(MRE)는 상기 [표 1]의 자기유변탄성체 조성물을 자기유변탄성체 제조장치에서 165℃ x 20분의 가황조건으로 경화시킨 것이다.

[0060] 또한 본 시험에서 사용된 동적특성시험기(DMA)는 기존의 시험기를 개조하여 자기장을 부여하면서 자기유변탄성체(MRE)의 동적특성을 평가할 수 있도록 별도 제작된 것이다.

[0061] 상기 본 발명에 따른 동적특성시험기(DMA)로써 자기유변탄성체(MRE)의 점탄성 정도를 평가할 수 있으며 평가항목인 동적 탄성율(elastic modulus: storage modulus)은 자기유변탄성체(MRE)의 탄성을 예측가능하게 하고, 자기장이 부여되었을 때 이 값의 변화를 통해 자기유변탄성체(MRE)의 자기유변효과(MR effect)를 파악할 수 있다.

[0062] 즉, $\text{MR effect}(\%) = \{(G'_1 - G'_0)/ G'_0 \} \times 100$----------[식 2]

[0063] 여기서 G'_0는 동적시험 시 자기장을 부여하지 않았을 때의 동적 탄성율(elastic modulus)이고, G'_1은 자기장을 부여하였을 때의 동적 탄성율(elastic modulus)이다.

[0064] [도 5], [도 6]은 본 발명에 따른 동적특성시험기(DMA)로써 측정한 자기유변탄성체(MRE)의 동적 탄성율(elastic modulus)을 나타내는데, [도 5]는 자기반응성 입자(CIP)가 균일하게 분산된 등방성 자기유변탄성체(i-MRE)에 대한 시험값을, [도 6]은 자기반응성 입자(CIP)가 일정방향으로 배향된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)에 대한 시험값을 각각 나타내고 있다.

[0065] [도 5] 및 [도 6]의 그래프에서 ◆ 표시는 등방성 자기유변탄성체(i-MRE) 또는 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)에 자기장을 부여하지 않았을 경우의 동적 탄성율(elastic modulus)을 나타내고, ■ 표시는 등방성 자기유변탄성체(i-MRE) 또는 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)에 자기장을 부여하였을 경우의 동적 탄성율(elastic modulus)을 나타낸다.

[0066] [도 5] 및 [도 6]의 그래프를 살펴보면, 자기유변탄성체(MRE)는 등방성(i-MRE)이나 이방성(a-MRE)에 상관없이 자기장을 부여한 경우에는 자기반응성 입자(CIP)가 10, 20, 30, 40 vol%씩 증가함에 따라 동적 탄성율(elastic modulus)도 증가하는 양상을 보이나, 자기장을 부여하지 아니한 경우에는 자기반응성 입자(CIP)의 증가에 따라 동적 탄성율(elastic modulus)이 감소하는 양상을 보였다.

[0067] 그리고 이러한 양상은 등방성 자기유변탄성체(i-MRE)보다 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)에서 더 심하게 나타났다.

[0068] 이와 같이 본 발명에 따른 자기유변탄성체(MRE)가 동적특성시험에서 등방성(i-MRE)이나 이방성(a-MRE)에 상관없이 자기장을 부여한 경우와 부여하지 아니한 경우의 동적 탄성율(elastic modulus)이 서로 상반된 시험값을 나타내는 것은, 자기장을 부여한 경우에는 고무 매트릭스 내에 분산되어 있는 자기반응성 입자(CIP)들이 자기장에 의해 자기장이 인가되는 방향으로 배향하려고 하는 응답으로 인해 매트릭스의 동적 탄성율(elastic modulus)이 증가하게 되지만, 자기장을 부여하지 아니한 경우에는 고무 매트릭스 내에 분산되어 있는 자기반응성 입자(CIP)들이 점탄성체의 점성요소로서 크게 작용하기 때문인 것으로 생각된다.

[0069] 또한 이러한 양상이 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)에서 더 심하게 나타나는 것은 고무 매트릭스내에 자기반응성 입자(CIP)들이 이방성 자기유변탄성체 제조시 자기장 방향으로 사슬과 같은 형상 (chain-like structure)으로 배향되어 있어 자기장을 부여할 경우 더욱 높은 탄성율을 나타내기 때문인 것으로 생각된다.

[0070] [도 7], [도 8]은 동적특성시험기(DMA)로써 측정한 자기유변탄성체(MRE)의 손실 탄성률(loss factor, loss modulus)을 나타내며, 손실 탄성률(loss factor)로써 자기유변탄성체(MRE)의 점성 정도, 즉 댐핑 특성의 예측이 가능하다.

[0071] [도 7]은 등방성 자기유변탄성체(i-MRE) 또는 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)에 자기장을 부여하지 않았을 경우의 손실 탄성률(loss factor)을 나타내고 있고, [도 8]은 등방성 자기유변탄성체(i-MRE) 또는 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)에 자기장을 부여하였을 경우의 손실 탄성률(loss factor)을 나타내고 있다.

[0072] 또한 [도 7] 및 [도 8]의 그래프에서 ◆ 표시는 자기반응성 입자(CIP)가 균일하게 분산된 등방성 자기유변탄성체(i-MRE)를, ■ 표시는 자기반응성 입자(CIP)가 일정방향으로 배향된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)를 각각 나타내고 있다.

[0073] [도 7] 및 [도 8]의 그래프를 살펴보면, 자기유변탄성체(MRE)는 등방성(i-MRE)이나 이방성(a-MRE)에 상관없이 자기장을 부여하지 아니한 경우에는 자기반응성 입자(CIP)가 10, 20, 30, 40 vol%씩 증가함에 따라 손실 탄성률(loss factor)이크게 증가하는 양상을 보이나, 자기장을 부여한 경우에는 자기반응성 입자(CIP)의 증가에 따라 손실 탄성률(loss factor)이 약간 감소하는 양상을 보였다.

[0074] 이와 같이 본 발명에 따른 자기유변탄성체(MRE)가 동적특성시험에서 등방성(i-MRE)이나 이방성(a-MRE)에 상관없이 자기장을 부여하지 아니한 경우, 자기반응성 입자(CIP)가 10, 20, 30, 40 vol%씩 증가함에 따라 손실 탄성률(loss factor)이 크게 증가하는 것은 앞의 동적특성시험에서 설명한 바와 같이 고무 매트릭스 내에 분산되어 있는 자기반응성 입자(CIP)들이 점탄성체의 점성요소로서 크게 작용하기 때문이라고 생각된다.

[0075] 또한 자기장을 부여한 경우, 자기반응성 입자(CIP)의 증가에 따라 손실 탄성률(loss factor)이 감소하는 것은 앞의 동적특성시험에서 설명한 바와 같이 자기장을 부여할 경우에는 고무 매트릭스 내에 분산되어 있는 자기반응성 입자(CIP)들이 자기장에 의해 자기장이 인가되는 방향으로 배향하려고 하는 응답으로 인해 매트릭스의 동적 탄성율(elastic modulus)이 증가하며, 이는 곧 손실 탄성률(loss factor)의 감소로 나타나기 때문인 것으로 생각된다.

[0076] [도 9]는 자기반응성 입자(CIP)의 함량별로 등방성 자기유변탄성체(i-MRE)와 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 자기유변효과(MR effect)를 비교하여 나타낸 그래프로서 [도 5], [도 6]에서 측정된 동적탄성율(elastic modulus)을 상기 [식 2]의 G'_0 , G'_1에 각각 대입하여 얻은 것이다.

[0077] [도 9]의 그래프에서 흑색 기둥은 자기반응성 입자(CIP)가 균일하게 분산된 등방성 자기유변탄성체(i-MRE)의 자기유변효과(MR effect)를 나타내고, 회색 기둥은 자기반응성 입자(CIP)가 일정방향으로 배향된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 자기유변효과(MR effect)를 나타낸다.

[0078] [도 9]의 그래프를 살펴보면, 자기유변탄성체(MRE)는 등방성(i-MRE)이나 이방성(a-MRE)에 상관없이 자기반응성 입자(CIP)가 10, 20, 30, 40 vol%씩 증가함에 따라 자기유변효과(MR effect)도 증대하는 양상을 보여 자기반응성 입자(CIP)의 증량에 따른 자기유변효과(MR effect)를 확인할 수 있다.

[0079] 또한 자기반응성 입자(CIP)의 모든 함량에서 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)가 등방성 자기유변탄성체(i-MRE)에 비해 더 큰 자기유변효과(MR effect)를 나타내어 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)가 등방성 자기유변탄성체(i-MRE)에 비해 더 큰 자기유변효과(MR effect)를 가짐을 확인할 수 있다.

[0080] 자기유변효과(MR effect)가 클수록 외부진동을 흡수할 수 있는 영역대가 증가하며, 이는 본 발명에 따른 자기유변탄성체(MRE)가 구비해야 할 주요특성이기도 하다.

[0081] 자기반응성 입자(CIP)의 배향성은 자기유변탄성체(MRE)의 단면을 촬영한 전자현미경 사진으로 확인해 볼 수 있으며, [도 10] 내지 [도 15]는 자기반응성 입자(CIP)의 함량별로 등방성 자기유변탄성체(i-MRE)와 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 단면을 촬영한 전자현미경 사진이다.

[0082] [도 10], [도 12]는 자기반응성 입자(CIP)가 균일하게 분산된 등방성 자기유변탄성체(i-MRE)에 대한 전자현미경 사진으로, [도 10]은 자기반응성 입자(CIP) 10 vol%, [도 12]는 자기반응성 입자(CIP) 40 vol% 배합된 경우를 나타낸다.

[0083] [도 11], [도 13]은 자기반응성 입자(CIP)가 일정방향으로 배향된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)에 대한 전자현미경 사진으로, [도 11]은 자기반응성 입자(CIP) 10 vol%, [도 13]은 자기반응성 입자(CIP) 40 vol% 배합된 경우를 나타낸다.

[0084] [도 11], [도 13]을 살펴보면 자기반응성 입자(CIP)의 배향이 사슬모양 구조(chain-like structure)로 잘 나타나 있으며, 자기반응성 입자(CIP) 10 vol% 배합된 [도 11]에 비해 자기반응성 입자(CIP) 40 vol% 배합된 [도 13]의 사슬모양 구조(chain-like structure)가 더 잘 발달되어 있음을 알 수 있다.

[0085] [도 14], [도 15]는 자기반응성 입자(CIP)의 배향성을 좀더 명확하게 판별하기 위해 액체질소를 사용하여 자기유변탄성체(MRE)를 유리전이온도(glass transition temperature) 이하로 동결시킨 후 파단한 시편의 파단면에 대한 사진으로, [도 14]는 자기반응성 입자(CIP) 10 vol%가 일정방향으로 배향된 이방성 자기유변탄성체(a-

MRE)에 대한 것이고, [도 15]는 자기반응성 입자(CIP) 40 vol%가 일정방향으로 배향된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)에 대한 것으로서 자기반응성 입자(CIP)가 증가할 수록 자기반응성 입자(CIP)의 배향성이 향상되어 있음을 알 수 있다.

[0086] **[실험예 3]**

[0087] [도 16] 및 [도 17]은 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 제조방법 및 자기반응성 입자(CIP)의 함량에 따른 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 인장물성을 나타낸 그래프이다.

[0088] 본 시험에서 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)는 상기 [표 1]의 자기유변탄성체 조성물로 이루어져 있다.

[0089] [도 16]은 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 인장강도(tensile strength), [도 17]은 신장율(elongation)을 각각 나타내고, [도 16] 및 [도 17]의 그래프에서 ◆ 표시는 1단계(one step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 물성을 나타내고, ■ 표시는 2단계(two step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 물성을 나타낸다.

[0090] 여기서 1단계(one step) 제조방법은 자기장 1.5 테슬라(Tesla)를 인가한 상태에서 165℃의 경화온도로 20분간 경화시켜 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)를 제조하는 방법이고, 여기에 비하여 2단계(two step) 제조방법은 (i) 먼저 100℃에서 1.5 테슬라(Tesla)의 자기장을 인가하여 자기반응성 입자(CIP)를 배향시킨 후, (ii) 자기장의 인가를 중단하고 경화온도인 165℃에서 20분간 경화시켜 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)를 제조하는 방법이다.

[0091] 2단계(two step) 제조방법에서 1단계 온도를 100℃로 설정한 것은 고무 매트릭스를 경화시키기에 앞서 매트릭스의 점도를 낮추어 줌으로써 분산되어 있는 자기반응성 입자(CIP)의 배향을 원활하게 유도하기 위해서이다.

[0092] 아래 [표 3]은 [도 16], [도 17]의 인장물성 값을 정리한 것이다.

표 3

[0093]

CIP (vol%)	one step		two step	
	tensile strength (MPa)	elongation (%)	tensile strength (MPa)	elongation (%)
10	9.68	180	12.34	213
20	7.4	156	8.16	165
30	6.26	144	7.09	152
40	5.16	140	6.68	149

[0094] [표 3]을 살펴보면 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 인장물성이 제조방법에 따라 달라짐을 알 수 있다.

[0095] 즉, 1단계(one step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 인장강도 및 신장율이 2단계(two step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)에 비해 낮은 값을 나타내고 있다.

[0096] 그리고 앞의 [실험예 1]에서 설명한 바와 같이 자기반응성 입자(CIP)의 배향이 우수할수록 자기유변탄성체의 인장물성은 떨어지므로, 인장물성이 상대적으로 떨어지는 1단계(one step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)가 2단계(two step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)에 비해 자기반응성 입자(CIP)의 배향이 더 우수할 것임을 미루어 짐작할 수 있다.

[0097] 자기반응성 입자(CIP)의 배향성은 자기유변탄성체(MRE)의 단면을 전자현미경으로 촬영하여 확인해 볼 수 있으며, [도 18]은 1단계(one step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 전자현미경 단면사진이고, [도 19]는 2단계(two step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 전자현미경 단면사진이다.

[0098] [도 18], [도 19]의 전자현미경 단면사진을 통해 알 수 있는 바와 같이, 1단계(one step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)는 사슬모양 구조(chain-like structure)가 잘 발달되어 있음에 비하여, 2단계(two step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)는 사슬모양 구조(chain-like structure)가 명확하게 드러나지 않아 1단계(one step) 제조방법이 2단계(two step) 제조방법에 비해 자기반응성 입자(CIP)의 배향성에서 상대적으로 우수함을 알 수 있다.

[0099] [도 20], [도 21]은 상기 제조방법별로 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 동적 탄성율(elastic modulus)

을 나타내는 그래프이다.

[0100] [도 20]은 시험시 자기장을 부여하지 않았을 경우의 동적 탄성율(elastic modulus)을 자기반응성 입자(CIP)의 함량에 따라 나타내고 있고, [도 21]은 자기장을 부여하였을 경우의 동적 탄성율(elastic modulus)을 자기반응성 입자(CIP)의 함량에 따라 나타내고 있다.

[0101] 그리고 [도 20], [도 21]의 그래프에서 ◆ 표시는 1단계(one step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 동적 탄성율(elastic modulus)을, ■ 표시는 2단계(two step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 동적 탄성율(elastic modulus)을 나타내고 있다.

[0102] [도 20] 및 [도 21]의 그래프를 살펴보면, 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)는 제조방법에 따라 동적 탄성율(elastic modulus)이 크게 달라짐을 알 수 있다.

[0103] 특히 동적특성시험 시 자기장을 부여한 경우의 동적 탄성율(elastic modulus)을 나타내는 [도 21]에 의하면, 1단계(one step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)는 자기반응성 입자(CIP)가 10, 20, 30, 40 vol%씩 증가함에 따라 동적 탄성율(elastic modulus)도 증가하는 양상을 보이나, 2단계(two step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)는 자기반응성 입자(CIP)의 증가에 따라 동적 탄성율(elastic modulus)이 오히려 약간 감소하거나 변화하지 않는 양상을 보였다.

[0104] 이와 같이 자기장을 부여한 경우의 동적 탄성율(elastic modulus)이 제조방법에 따라 서로 다른 양상을 보이는 것은 자기반응성 입자(CIP)의 배향특성 때문인 것으로 생각된다.

[0105] [도 22]는 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 제조방법별, 자기반응성 입자(CIP)의 함량별로 자기유변효과(MR effect)를 비교하여 나타낸 그래프로서 [도 20], [도 21]에서 측정된 동적탄성률(elastic modulus)을 상기 [식 2]의 G'_0 , G'_1에 각각 대입하여 얻은 것이다.

[0106] [도 22]의 그래프에서 회색 기둥은 1단계(one step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 자기유변효과(MR effect)를 나타내고, 흑색 기둥은 2단계(two step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)의 자기유변효과(MR effect)를 나타낸다.

[0107] [도 22]의 그래프를 살펴보면, 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)는 제조방법에 상관없이 자기반응성 입자(CIP)가 10, 20, 30, 40 vol%씩 증가함에 따라 자기유변효과(MR effect)도 증대하는 양상을 보여 자기반응성 입자(CIP)의 증량에 따른 자기유변효과(MR effect)를 확인할 수 있다.

[0108] 또한 1단계(one step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)가 2단계(two step) 제조방법에 의해 제조된 이방성 자기유변탄성체(a-MRE)에 비해 더 큰 자기유변효과(MR effect)를 나타냄을 확인할 수 있다.

[0109] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 하여 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.

[0110] 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 특허청구범위에 의해서 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0111] 1. 유압실린더

2. 전자코일

3. 금형

4. 시료

5. 지지대

6. 가열기

7. 압력조절기

8. 온도조절기

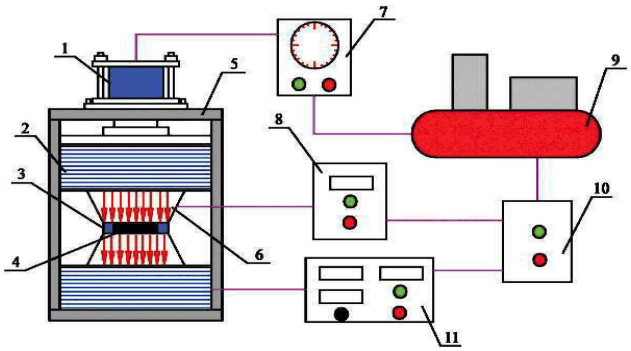
9. 압축기

10. 전원

11. 전자석 조절기

도면

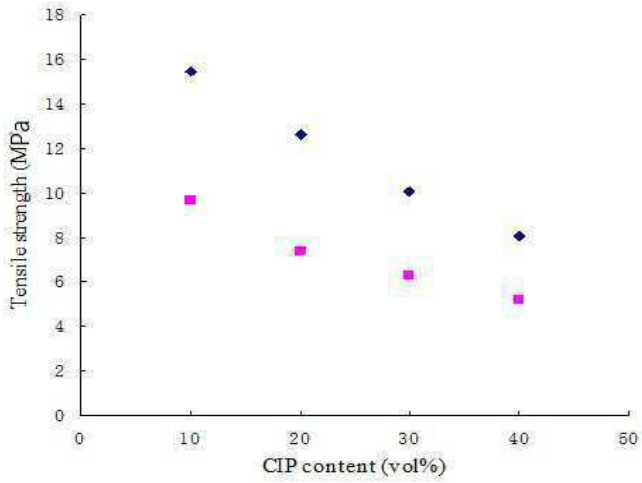
도면1



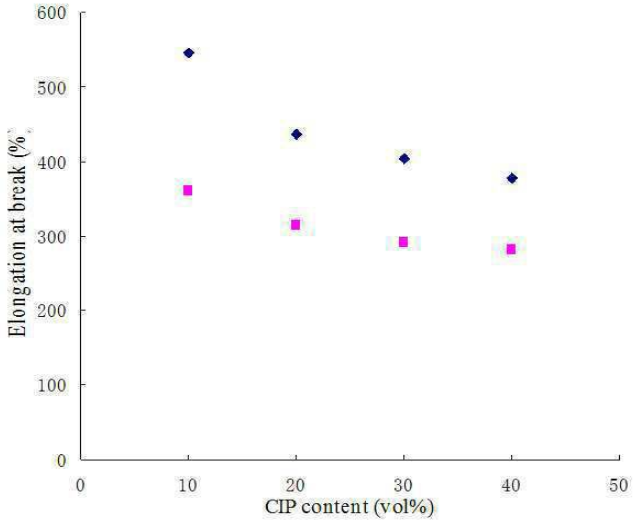
도면2



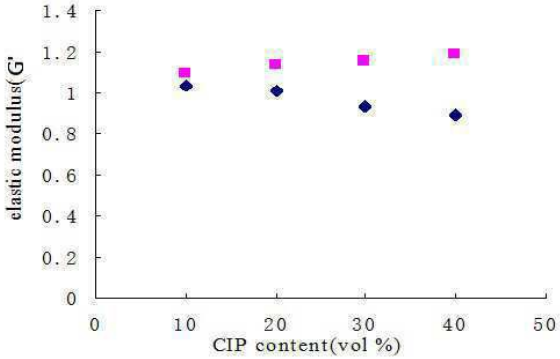
도면3


Tensile strength (MPa
CIP content (vol%)

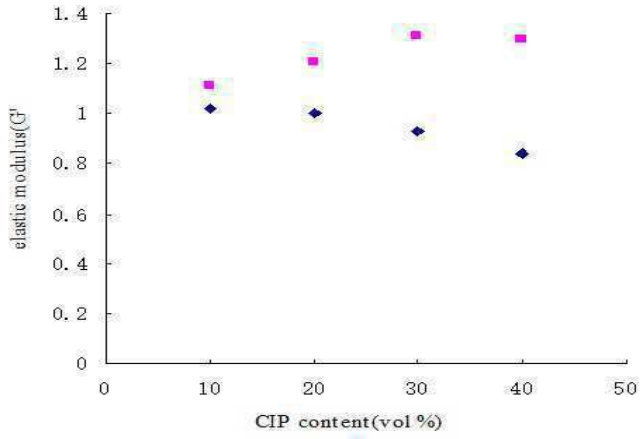
도면4


Elongation at break (%)
CIP content (vol%)

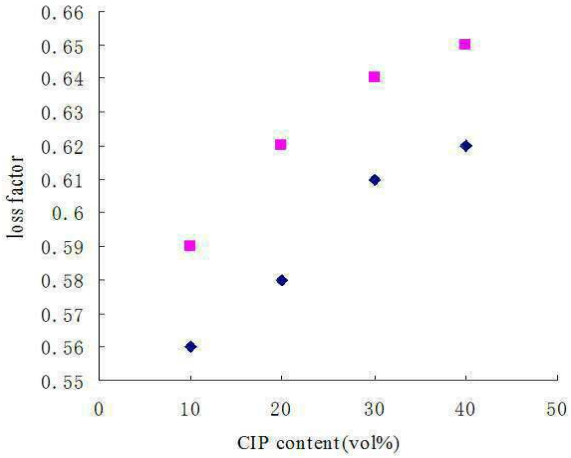
도면5


elastic modulus(G')
CIP content(vol %)

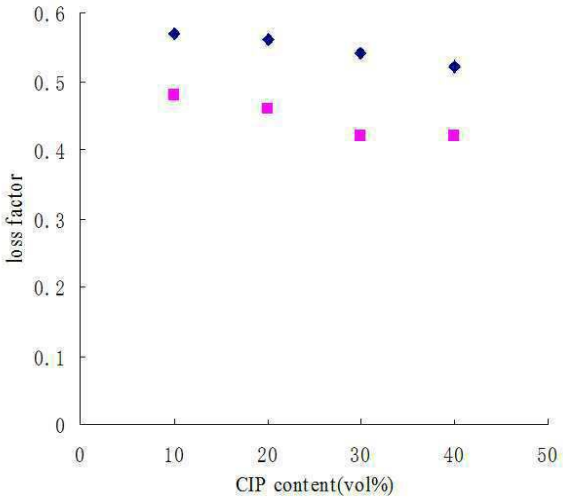
도면6


1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
elastic modulus(G')
0
10
20
30
40
50
CIP content(vol %)

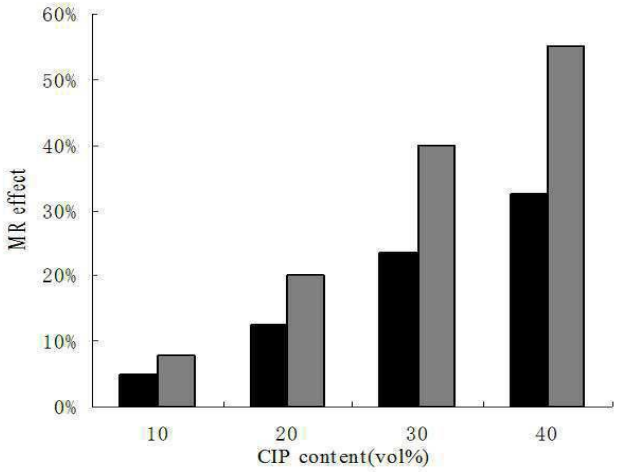
도면7


0.66
0.65
0.64
0.63
0.62
0.61
0.6
0.59
0.58
0.57
0.56
0.55
loss factor
0
10
20
30
40
50
CIP content(vol%)

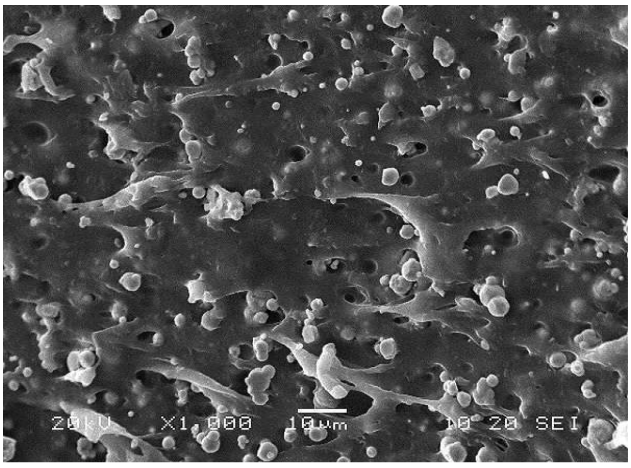
도면8


0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
loss factor
0
10
20
30
40
50
CIP content(vol%)

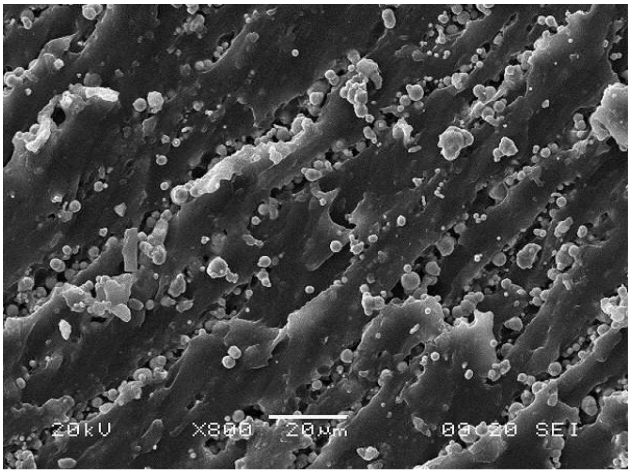
도면9



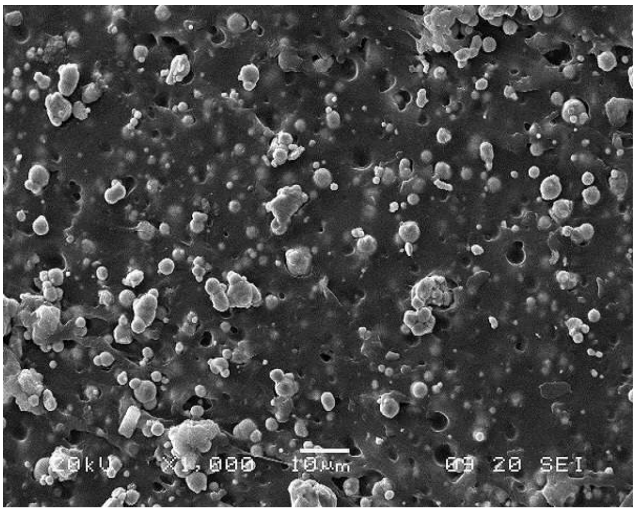
도면10



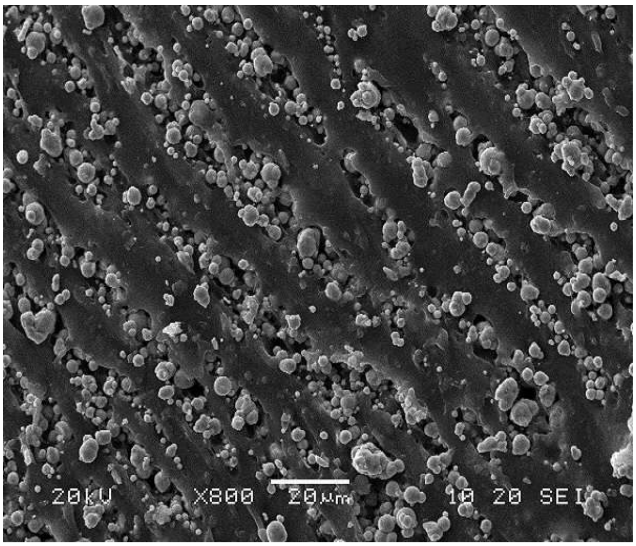
도면11



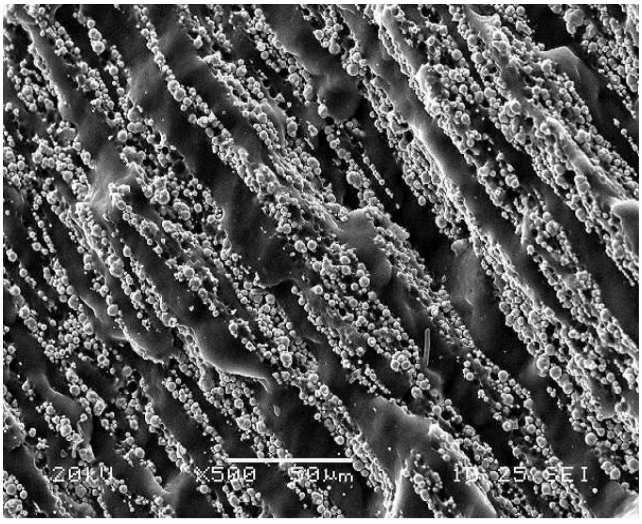
도면12



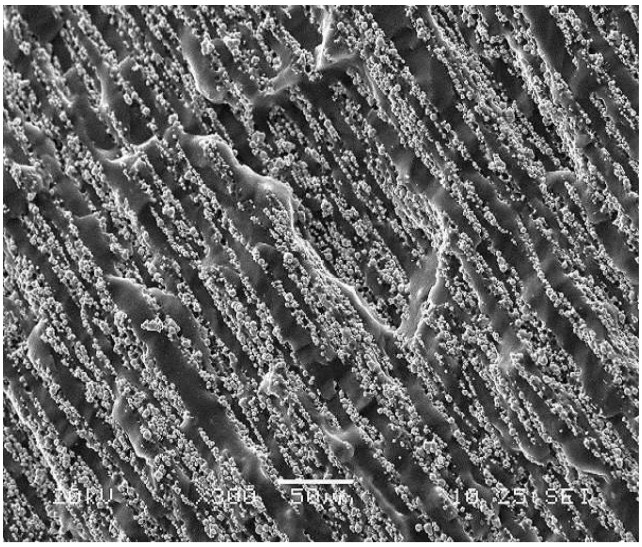
도면13



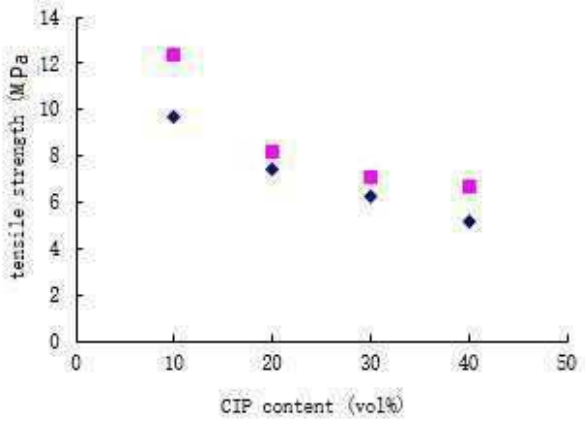
도면14



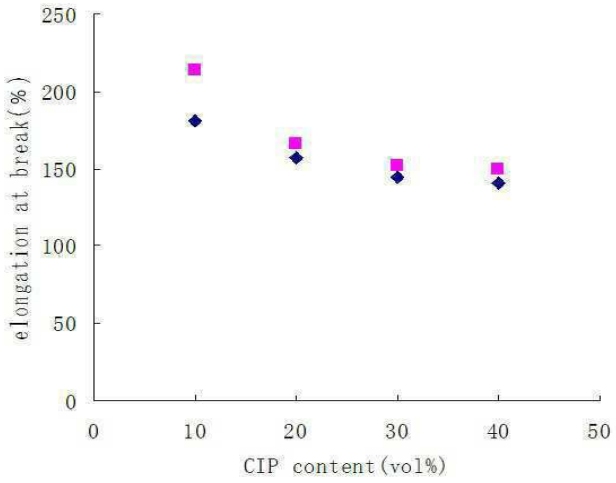
도면15



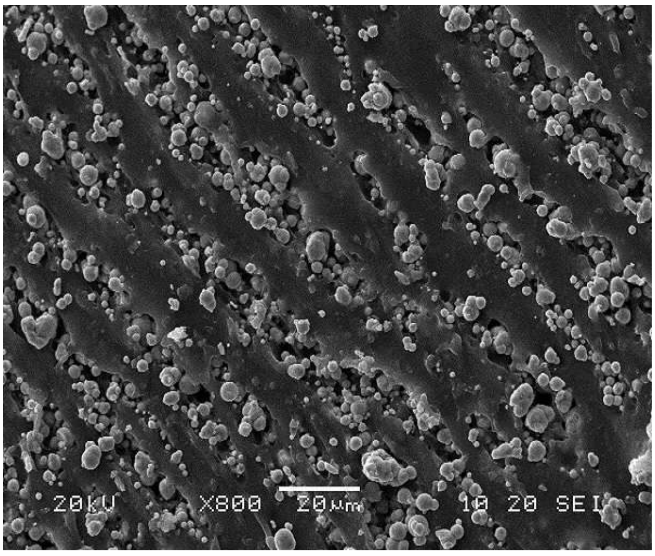
도면16



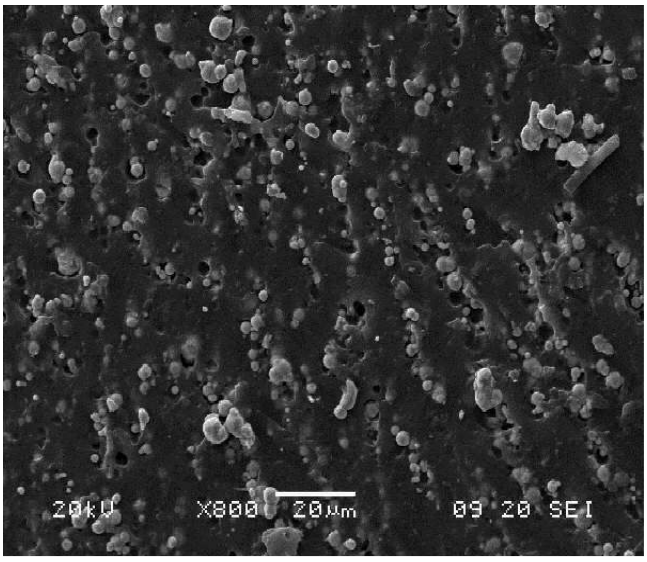
도면17



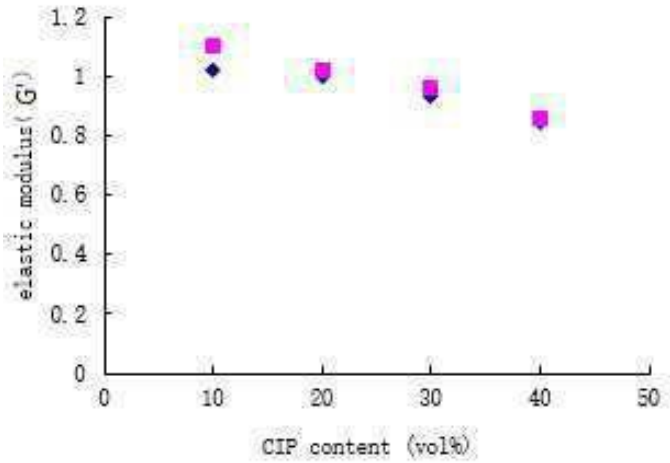
도면18



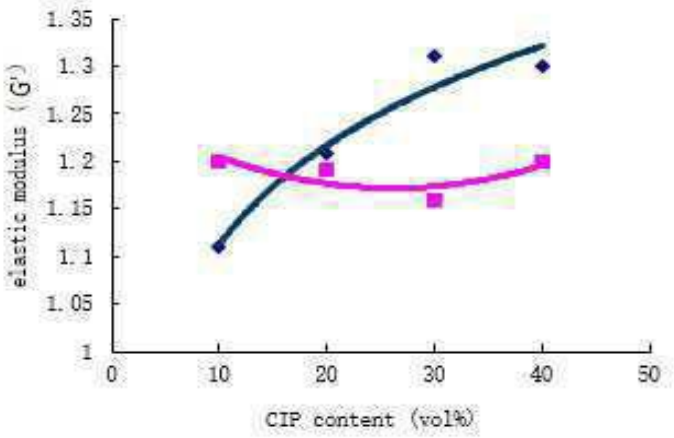
도면19



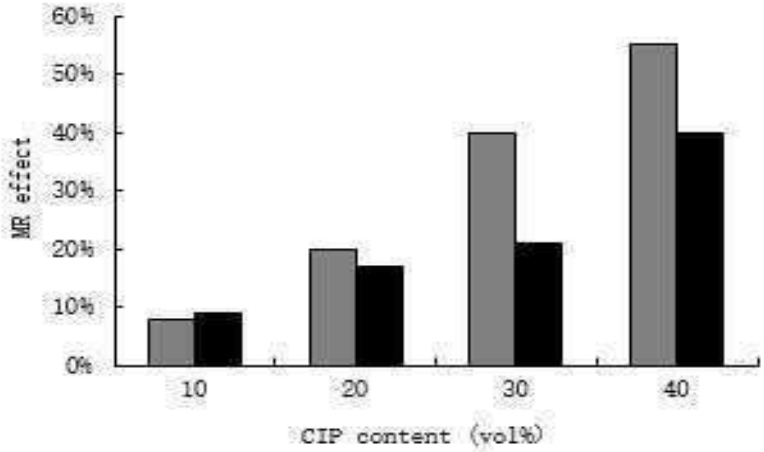
도면20



도면21


1.35
1.3
1.25
1.2
1.15
1.1
1.05
1
elastic modulus (G')
0
10
20
30
40
50
CIP content (vol%)

도면22


60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
MR effect
10
20
30
40
CIP content (vol%)