



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년07월30일
(11) 등록번호 10-2005323
(24) 등록일자 2019년07월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B25J 9/00 (2006.01) B25J 9/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B25J 9/0012 (2013.01)
B25J 9/10 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0030491
(22) 출원일자 2018년03월15일
심사청구일자 2018년03월15일
(56) 선행기술조사문헌
JP6113351 B1*
KR101045377 B1*
W02012026332 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
위정재
경기도 부천시 소사로170번길 81, 104-1301
원수경
경기도 광명시 가림일로 55, 102동 601호
이우기
경기도 군포시 산본로432번길 25, 1222동 1302호
(74) 대리인
한윤호

전체 청구항 수 : 총 18 항

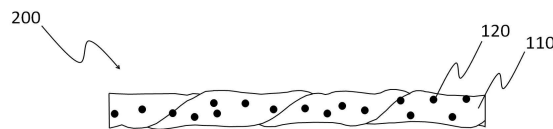
심사관 : 이성수

(54) 발명의 명칭 고분자 복합체 기반의 자전과 공전 운동을 하는 자성 소프트 로봇 및 그의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 자석에 의해 구동이 가능한 자성 소프트 로봇에 관한 것으로서, 보다 구체적으로 고분자 탄성체(elastomer)를 기반으로 하고 마이크로 사이즈 이하의 작은 자성 입자(magnetic particles)를 상기 고분자 탄성체 내부에 고르게 분산시킨 고분자 복합체 필름을 포함하는 자성 소프트 로봇(magnetic soft robots)을 제공한다.

대표도 - 도1b



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2016R1E1A2A01939365
 부처명 교육부
 연구관리전문기관 한국연구재단
 연구사업명 기초연구사업 전략공모 X 프로젝트
 연구과제명 종이접기 기술을 이용한 기계적 물성 가변형 초고강도 복합소재 개발
 기 여 율 20/100
 주관기관 인하대학교산학협력단
 연구기간 2016.11.01 ~ 2017.10.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2016R1D1A1B03931678
 부처명 교육부
 연구관리전문기관 한국연구재단
 연구사업명 이공학 개인기초연구지원사업 기본연구지원사업
 연구과제명 액정 고분자를 이용한 초소형 소프트 로봇의 비접촉식 구동
 기 여 율 60/100
 주관기관 인하대학교 산학협력단
 연구기간 2016.11.01 ~ 2019.10.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2017M3D1A1086841
 부처명 교육
 연구관리전문기관 한국연구재단
 연구사업명 원천연구개발사업 창의소재디스커버리사업 미래소재디스커버리사업
 연구과제명 비등방 복셀 탄성분포 구조체 기반 멀티모달 광역학 제어 소재 개발
 기 여 율 20/100
 주관기관 인하대학교 산학협력단
 연구기간 2017.12.18 ~ 2018.03.17

명세서

청구범위

청구항 1

고분자 탄성체(elastomer)를 기반으로 하고 마이크로 사이즈 이하의 작은 자성 입자(magnetic particles)를 상기 고분자 탄성체 내부에 고르게 분산시킨 고분자 복합체 필름 일부를 내부 빈 공간이 없도록 꼬아 나선 각도(helical angle)을 갖도록 제조한 나선형 자성 탄성체를 포함하는 자성 소프트 로봇(magnetic soft robots).

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 고분자 탄성체는 우레탄계, 올레핀계, 스타이렌계, 아마이드계 및 에스터계로 구성되는 군으로부터 선택되는 열가소성 고분자 탄성체 또는 열경화성 고분자 탄성체 중 어느 하나 이상을 포함하는 탄성체인, 자성 소프트 로봇.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 열가소성 고분자 탄성체는 열가소성 스타이렌 블록 코폴리머(thermoplastic styrene block copolymer), 열가소성 폴리올레핀엘라스토머(thermoplastic polyolefinelastomer, TPO), 열가소성 폴리우레탄(thermoplastic polyurethane, TPU), 열가소성 폴리아마이드(thermoplastic polyamide, TPA), 열가소성 폴리에틸렌(thermoplastic polyethylene, TPE), 열가소성 불카니제이트(thermoplastic vulcanizate, TPV) 및 이들을 구성하는 단위체의 공중합체인, 자성 소프트 로봇.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 열경화성 고분자 탄성체는 아크릴로니트릴 부타디엔 고무(acrylonitrile butadiene rubber), 클로로설폰네이티드 폴리에틸렌 고무(chlorosulfonated polyethylene rubber), 에틸렌 아크릴레이트 고무(ethylene acrylated rubber), 플루오로카본 고무(fluorocarbon rubber), 수소화 아크릴로니트릴 부타디엔 고무(hydrogenated acrylonitrile butadiene rubber), 퍼플루오로엘라스토머(perfluoroelastomer), 열경화성 폴리우레탄 고무(thermoset polurethane rubber), 열경화성 스타이렌 부타디엔 고무(thermoset styrene butadiene rubber), 열경화성 클로로프렌 고무(thermoset chloroprene rubber), 에피크로하이드린 공중합체 고무(epichlorhydrin copolymer rubber), 에틸렌 프로필렌 디엔 고무(ethylene propylene diene rubber), 플루오로실리콘 고무(fluorosilicone rubber), 천연고무인 폴리이소프렌 고무(polyisoprene rubber), 폴리아크릴레이트 고무(polyacrylate rubber), 또는 실리콘 고무(silicone rubber)인, 자성 소프트 로봇.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 자성입자는 강자성 입자(ferromagnetic particle) 또는 한자성 입자(ferrimagnetic particle)인, 자성 소프트 로봇.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 강자성 입자는 코발트, 니켈, 철, 네오디움, 이들의 산화물 및 이들의 합금으로 구성되는 군으로부터 선택

되는 하나 이상의 강자성 물질을 포함하는 자성입자인, 자성 소프트 로봇.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 한자성 입자는 자철석, 및 페라이트로 구성되는 군으로부터 선택되는 한자성 물질을 포함하는 자성입자인, 자성 소프트 로봇.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 고분자 복합체 필름의 꼬임(twisting) 특성을 유지하기 위해 압출 또는 사출 등의 열 가공공정이 가능한 고온에서 열처리하여 제조되는, 자성 소프트 로봇.

청구항 10

제1항 및 제3항 내지 제9항 중 어느 한 항의 자성 소프트 로봇; 및

상기 자성 소프트 로봇의 움직임을 유도하는 내부 자성체를 포함하는 자기 구동 시스템을 포함하는, 자성 소프트 로봇 구동 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 내부 자성체는 이동, 회전 중 어느 하나 이상의 움직임을 가능하여, 상기 자성 소프트 로봇의 자전 및 공전 운동을 유도하는, 자성 소프트 로봇 구동 시스템.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 내부 자성체의 회전속도를 조절함으로써 상기 자성 소프트 로봇의 궤도 및 공전 속도의 조절이 가능한, 자성 소프트 로봇 구동 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 내부 자성체의 회전속도를 조절함으로써 둘 이상의 자성 소프트 로봇이 각각 독립적인 공전 궤도를 갖는 공전 운동이 가능한, 자성 소프트 로봇 구동 시스템.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 자성 소프트 로봇은 장애물이 존재할 때에도 자전 및 공전 운동을 유지할 수 있어 장애물을 우회하여 경로 제어가 가능한, 자성 소프트 로봇 구동 시스템.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 둘 이상의 자성 소프트 로봇에 대해, 공전 궤도가 같으면서 공전 속도의 독립 제어가 가능한, 자성 소프트 로봇 구동 시스템.

청구항 16

마이크로 사이즈 이하의 작은 자성 입자(magnetic particles)를 고분자 탄성체 내부에 고르게 분산시킨 후 필름으로 성형하는 고분자 복합체 필름의 제조단계; 및

상기 자성 입자 분산 고분자 복합체 필름에 나선 특성을 부여하기 위해 상기 필름을 시계방향 또는 반시계방향

으로 비틀어 꼬는 필름 트위스팅 단계를 포함하는, 자성 소프트 로봇의 제조방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 필름 트위스팅 단계에서 상기 자성 입자 분산 고분자 복합체 필름의 나선 방향, 꼬는 각도 및 꼬는 횟수가 조절되는, 제조방법.

청구항 18

제16항에 있어서,

상기 자성 소프트 로봇의 꼬임 특성을 유지할 수 있도록 압출 또는 사출 등의 열 가공공정이 가능한 고온에서의 열처리 단계를 추가로 포함하는, 제조방법.

청구항 19

제16항에 있어서,

상기 자성 입자 분산 고분자 복합체 필름에 나선 특성을 부여하기 위해 상기 필름의 한쪽 또는 양 말단을 시계 방향 또는 반시계방향으로 비틀어 꼬는 단계를 포함하는, 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 고분자 복합체 기반의 자성 소프트 로봇(magnetic soft robot) 및 그 제조방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 자전과 공전 운동을 하며 공전궤도 및 공전속도 제어가 가능한 자성 소프트 로봇 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 소프트 로봇은 금속과 같이 단단한 재료를 사용하는 종래의 로봇 대신 고분자와 같이 유연성을 갖는 재료로 제작한 로봇으로, 기존보다 더 자유롭고 유연한 움직임이 가능하다.

[0003] 상기 소프트 로봇은 주로 유압과 공압식 형태로 이루어져있으며 내부 공기 흐름 통로가 있어 원하는 방향과 모양으로 부풀려 움직임을 유도한다. 이때 유압 및 공압을 주입하기 위한 선과 전기적 신호를 기계적 신호로 변환하기 위한 많은 전선이 필요하여 움직임에 제한이 존재한다. 또한 특정한 주형(mold)을 만들어야 하는 문제점이 있다.

[0004] 반면 자성입자를 활용한 자성 소프트 로봇은 움직임을 유도하는 자기 구동 시스템의 자기력에 의해 바로 운동에너지로 바뀌어 무선제어가 가능하므로 선이 꼬여서 발생하는 움직임의 제한이 적다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 특허 제10-1303190호, 전남대학교산학협력단, 자성체를 포함하는 박테리아-기반 마이크로로봇

비특허문헌

[0006] (비특허문헌 0001) Soichiro Tottori et al., Magnetic Helical Micromachines: Fabrication, Controlled Swimming, and Cargo Transport, Adv. Mater., 2012, 24, 811-816

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 그러나, 상기 선행문헌들을 포함하여 현재까지 개발된 자성 소프트 로봇은 유압 및 공압식 소프트 로봇과 마찬가지로 주형을 만들어야하는 과정이 필요할 뿐만 아니라, 반복적인 움직임의 갖도록 제어 하는데 어려움이 존재하고 수직 방향으로만 움직이는 등 간단한 움직임 거동만이 가능하다.
- [0008] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 자성에 대한 무선 제어로 반복적인 자전 및 공전 움직임이 가능한 자성 소프트 로봇을 제공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

- [0009] 본 발명의 일 관점에 따르면, 고분자 탄성체(elastomer)를 기반으로 하고 마이크로 사이즈 이하의 작은 자성 입자(magnetic particles)를 상기 고분자 탄성체 내부에 고르게 분산시킨 고분자 복합체 필름을 포함하는 자성 소프트 로봇(magnetic soft robots)이 제공된다.
- [0010] 본 발명의 다른 일 관점에 따르면,
- [0011] 상기 자성 소프트 로봇; 및
- [0012] 상기 자성 소프트 로봇의 움직임을 유도하는 내부 자성체를 포함하는 자기 구동 시스템을 포함하는, 자성 소프트 로봇 구동 시스템이 제공된다.
- [0013] 본 발명의 다른 일 관점에 따르면, 마이크로 사이즈 이하의 작은 자성 입자(magnetic particles)를 고분자 탄성체 내부에 고르게 분산시킨 후 필름으로 성형하는 고분자 복합체 필름의 제조단계; 및
- [0014] 상기 자성 입자 분산 고분자 복합체 필름에 나선 특성을 부여하기 위해 상기 필름의 양쪽 말단을 시계방향 또는 반시계방향으로 비틀어 꼬는 필름 트위스팅 단계를 포함하는, 자성 소프트 로봇의 제조방법이 제공된다.

발명의 효과

- [0015] 상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 일 실시예에 따르면, 열가소성 폴리우레탄(thermoplastic polyurethane) 등의 고분자 탄성체(elastomer)를 이용함으로써, 자성 소프트 로봇 제조의 공정을 단순화할 수 있고, 상기 고분자 탄성체는 고무탄성의 특징을 지니기 때문에 가공성이 우수하여 원하는 형태의 성형을 용이하게 조절할 수 있을 뿐만 아니라, 리소그래피(lithography) 또는 3D 프린팅 등의 공정 과정을 거치지 않아도 되며, 주형 제작이 불필요하여 공정의 단순화가 가능하다. 그러나 이러한 효과는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

- [0016] 도 1a는 고분자 탄성체(110) 내에 마이크로 사이즈 이하의 자성 입자(120)가 잘 분산된 형태의 고분자 복합체 필름(100)을 개략적으로 도시한 개요도이고, 도 1b는 상기 도 1a의 고분자 복합체 필름(100)을 나선형으로 꼬아서 제조한 자성 소프트 로봇(200)을 개략적으로 도시한 개요도이다.
- 도 2a는 고분자 복합체 필름(100)을 나선형으로 꼬아 자성 소프트 로봇(200)을 제작하는 공정 과정을 개략적으로 나타낸 개요도이고, 도 2b는 열처리 후 꼬임 특성이 유지되는 자성 소프트 로봇(200)의 광학현미경 이미지이며, 도 2c는 실시예 1(210) 내지 5(250)에서 제조된 각각의 자성 소프트 로봇의 광학현미경 이미지이다.
- 도 3은 균일한 나선 특성을 갖는 자성 소프트 로봇(200)의 주사전자현미경(SEM) 이미지이다.
- 도 4는 자기 구동 시스템(300)과 자기 구동 시스템 내부 자성체(310)에 의해 자전 및 공전하는 자성 소프트 로봇(200)을 개략적으로 도시한 개요도이다.
- 도 5a는 자기 구동 시스템(300)의 회전속도(rpm)에 따른 실시예 2에 의해 제조된 자성 소프트 로봇(220)의 자전 횟수와 상관관계를 나타낸 그래프이고, 도 5b는 초고속 카메라로 자기 구동 시스템(300)의 회전속도를 보정 후, 측정된 실시예 1 내지 4에서 제조된 자성 소프트 로봇(AR-1 내지 AR-4)의 자전 횟수와 상관관계를 나타낸 그래프이다.
- 도 6은 중형비 2의 자성 소프트 로봇(220)의 자기 구동 시스템(300) 상의 회전속도(rpm)에 따른 공전궤도 측정

결과를 나타내는 2차원 좌표계이다.

도 7a는 자기 구동 시스템(300) 위에 마그네틱 뷰어필름(magnetic viewer film, 400)을 중첩시켰을 때 자기 구동 시스템(300)의 내부 자성체(310)에 의해 나타나는 자기력선(magnetic line of force) 모식도(410)이고, 도 7b는 모눈종이(500) 위에서 자기 구동 시스템(300) 중앙(상), 중앙으로부터 1 cm 떨어진 곳(중), 및 중앙으로부터 2 cm 떨어진 곳(하)에서 각각 실시예 2(220) 내지 4(240)에서 제조된 자성 소프트 로봇이 갖는 각도를 측정 한 사진이다.

도 8a는 자기 구동 시스템(300)의 내부 자성체(310)가 회전할 때 마그네틱 뷰어필름의 중첩 이미지(420) 및 모눈종이, 마그네틱 뷰어필름(400) 위에서 실시예 2의 자성 소프트 로봇(220)의 움직임 거동을 나타낸 사진이고, 도 8b는 초고속 카메라로 촬영했을 때 실시예 2에 의해 제조된 자성 소프트 로봇(220)의 회전속도에 따른 거동의 변화를 나타내는 일련의 사진이다.

도 9는 자기 구동 시스템(300)의 회전속도 및 자성 소프트 로봇 중형비에 따른 공전 반지름의 측정 결과를 나타내는 그래프이다.

도10은 실시예 1 내지 5에서 제조된 자성 소프트 로봇(AR-1 내지 AR-5)의 공전 반지름에 따른 선속도 측정결과 및 상기 측정결과에 따라 3가지 움직임 모드로 분류된 결과를 나타내는 그래프이다.

도 11은 자기 구동 시스템(300)의 회전속도를 600 rpm에서 1,040 rpm으로 변화시켰을 때 실시예 2 및 4에서 각각 제조된 자성 소프트 로봇(AR-2 및 AR-4)의 각각의 시간의 경과에 따른 공전 궤도 변화 측정값을 나타내는 그래프(하단) 및 움직임 거동을 촬영한 사진(상단)이다.

도 12는 자기 구동 시스템(300)에서의 회전속도 1,040 rpm에서 실시예 3에서 제조된 자성 소프트 로봇(AR-3)이 실시예 2에서 제조된 자성 소프트 로봇(AR-2)을 따라잡는 공전 궤적 측정값을 나타내는 그래프(하단) 및 시간의 경과에 따른 움직임 거동을 촬영한 일련의 사진(상단)이다.

도 13은 자기 구동 시스템(300)에서의 다양한 회전속도(600, 820 및 1,040 rpm)에서 실시예 2내지 4에서 제조된 자성 소프트 로봇(AR-2 내지 AR-4)의 공전 궤적 측정값을 나타내는 그래프(하단) 및 움직임 거동을 촬영한 일련의 이미지(상단)이다.

도 14는 1,040 rpm의 회전속도를 갖는 자기 구동 시스템(300)에서 트랙이 인쇄된 종이(600)를 올리고 상단 및 하단에 유리장벽(610)이 존재할 때 실시예 2 및 3에서 각각 제조된 자성 소프트 로봇(AR-2 및 AR-3)에 의한 공전 궤적 이미지를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

용어의 정의:

본 문서에서 사용되는 용어 "소프트 로봇(soft robot)"은 유연성이 낮은 금속재료의 단단한 소재로 이루어진 경질 로봇(hard robot)과 반대되는 개념의 로봇으로서 고무 등 탄성체를 기반으로 하며 요구하는 대로 구동이 가능한 유연성(flexibility)을 갖는 로봇을 의미한다.

본 문서에서 사용되는 용어 "고분자 탄성체(polymeric elastomer)"는 점도와 탄성을 모두 가진 점탄성과 매우 약한 분자간 힘을 지닌 고분자로서 일반적으로 다른 재료에 비해 영율(Young's modulus)이 낮고 장력이 높은 분자를 의미한다. 고분자 탄성체에는 열가소성 탄성체와 열경화성 탄성체가 존재하는데 열가소성 탄성체에는 열가소성 스타이렌 블록 공중합체(thermoplastic styrene block copolymer)와 같은 스타이렌계 탄성체, 열가소성 폴리올레핀엘라스토머(thermoplastic polyolefinelastomer, TPO)와 같은 올레핀계열 탄성체, 열가소성 폴리우레탄(thermoplastic polyurethane, TPU)와 같은 우레탄계 탄성체, 열가소성 폴리아마이드(thermoplastic polyamide, TPA)와 같은 아마이드계 탄성체, 열가소성 폴리에틸렌(thermoplastic polyethylene, TPE) 및 이들을 구성하는 단위체의 공중합체가 포함되며, 열경화성 탄성체에는 아크릴로니트릴 부타디엔 고무(acrylonitrile butadiene rubber), 클로로설폰에이티드 폴리에틸렌 고무(chlorosulfonated polyethylene rubber), 에틸렌 아크릴레이트 고무(ethylene acrylated rubber), 플루오로카본 고무(fluorocarbon rubber), 수소화 아크릴로니트릴 부타디엔 고무(hydrogenated acrylonitrile butadiene rubber), 퍼플루오로엘라스토머(perfluoroelastomer), 열경화성 폴리우레탄 고무(thermoset polurethane rubber), 열경화성 스타이렌 부타디엔 고무(thermoset styrene butadiene rubber), 열경화성 클로로프렌 고무(thermoset chloroprene rubber), 에피클로하이드린 공중합체 고무(epichlorhydrin copolymer rubber), 에틸렌 프로필렌 디엔 고무(ethylene

propylene diene rubber), 플루오로실리콘 고무(fluorosilicone rubber), 천연고무인 폴리이소프렌 고무(polyisoprene rubber), 폴리아크릴레이트 고무(polyacrylate rubber), 실리콘 고무(silicone rubber) 등이 존재한다.

[0020] 발명의 상세한 설명:

[0021] 본 발명의 일 관점에 따르면, 고분자 탄성체(elastomer)를 기반으로 하고 마이크로 사이즈 이하의 작은 자성 입자(magnetic particles)를 상기 고분자 탄성체 내부에 고르게 분산시킨 고분자 복합체 필름을 포함하는 자성 소프트 로봇(magnetic soft robots)이 제공된다.

[0022] 상기 자성 소프트 로봇에 있어서, 상기 고분자 복합체 필름 일부를 꼬아 나선 각도(helical angle)을 갖도록 제조된 것일 수 있다.

[0023] 상기 자성 소프트 로봇에 있어서, 상기 고분자 탄성체는 우레탄계, 올레핀계, 스타이렌계, 아마이드계 및 에스테르계로 구성되는 군으로부터 선택되는 열가소성 고분자 또는 열경화성 고분자 중 어느 하나 이상을 포함하는 탄성체일 수 있고, 상기 열가소성 고분자 탄성체는 더욱 상세하게는 열가소성 스타이렌 블록 코폴리머(thermoplastic styrene block copolymer), 열가소성 폴리올레핀엘라스토머(thermoplastic polyolefinelastomer, TPO), 열가소성 폴리우레탄(thermoplastic polyurethane, TPU), 열가소성 폴리아마이드(thermoplastic polyamide, TPA), 열가소성 폴리에틸렌(thermoplastic polyethylene, TPE), 열가소성 불카니제이트(thermoplastic vulcanizate, TPV) 및 이들을 구성하는 단위체의 공중합체일 수 있고, 상기 열경화성 고분자 탄성체는 아크릴로니트릴 부타디엔 고무(acrylonitrile butadiene rubber), 클로로설포네이티드 폴리에틸렌 고무(chlorosulfonated polyethylene rubber), 에틸렌 아크릴레이트 고무(ethylene acrylated rubber), 플루오로카본 고무(fluorocarbon rubber), 수소화 아크릴로니트릴 부타디엔 고무(hydrogenated acrylonitrile butadiene rubber), 퍼플루오로엘라스토머(perfluoroelastomer), 열경화성 폴리우레탄 고무(thermoset polurethane rubber), 열경화성 스타이렌 부타디엔 고무(thermoset styrene butadiene rubber), 열경화성 클로로프렌 고무(thermoset chloroprene rubber), 에피클로하이드린 공중합체 고무(epichlorhydrin copolymer rubber), 에틸렌 프로필렌 디엔 고무(ethylene propylene diene rubber), 플루오로실리콘 고무(fluorosilicone rubber), 천연고무인 폴리이소프렌 고무(polyisoprene rubber), 폴리아크릴레이트 고무(polyacrylate rubber), 또는 실리콘 고무(silicone rubber)일 수 있다.

[0024] 상기 자성 소프트 로봇에 있어서, 상기 자성입자는 강자성 입자(ferromagnetic particle) 또는 한자성 입자(ferrimagnetic particle)일 수 있고, 상기 강자성 입자는 코발트, 니켈, 철, 네오디움, 이들의 산화물 및 이들의 합금으로 구성되는 군으로부터 선택되는 하나 이상의 강자성 물질을 포함하는 자성입자이며, 상기 한자성 입자는 자철석, 및 페라이트로 구성되는 군으로부터 선택되는 한자성 물질을 포함하는 자성입자일 수 있다.

[0025] 상기 자성 소프트 로봇에 있어서, 상기 고분자 복합체 필름의 꼬임(twisting) 특성을 유지하기 위해 압출 또는 사출 등의 열 가공공정이 가능한 고온에서 열처리하는 공정이 도입되어 제조될 수 있다.

[0026] 상기 자성 소프트 로봇에 있어서, 상기 고분자 복합체 필름은 왼손잡이 또는 오른손잡이 방향으로 꼬인 것일 수 있고, 90° 이하에서 자유롭게 나선 각도가 조절될 수 있다.

[0027] 상기 자성 소프트 로봇에 있어서, 상기 자성입자는 다양한 형태를 가질 수 있으며, 예컨대, 삼각형, 다각형, 로드 또는 구의 형태를 띌 수 있다.

[0028] 본 발명의 다른 일 관점에 따르면,

[0029] 상기 자성 소프트 로봇; 및

[0030] 상기 자성 소프트 로봇의 움직임을 유도하는 내부 자성체를 포함하는 자기 구동 시스템을 포함하는, 자성 소프트 로봇 구동 시스템이 제공된다.

[0031] 상기 자성 소프트 로봇 구동 시스템에 있어서, 상기 내부 자성체는 이동, 회전 중 어느 하나 이상의 움직임이 가능하여, 상기 자성 소프트 로봇의 자전 및 공전 운동을 유도할 수 있다.

[0032] 상기 자성 소프트 로봇 구동 시스템에 있어서, 상기 내부 자성체의 회전속도를 조절함으로써 상기 자성 소프트 로봇의 궤도 및 공전 속도의 조절이 가능할 수 있다.

[0033] 상기 자성 소프트 로봇 구동 시스템에 있어서, 공전 궤도의 경로 제어가 가능하여 장애물이 존재할 때에도 자전 및 공전 운동을 유지할 수 있다.

- [0034] 상기 자성 소프트 로봇 구동 시스템에 있어서, 상기 내부 자성체의 회전속도를 조절함으로써 둘 이상의 자성 소프트 로봇이 각각 독립적인 공전 궤도를 갖는 공전 운동이 가능할 수 있다.
- [0035] 상기 자성 소프트 로봇 구동 시스템에 있어서, 상기 자성 소프트 로봇은 장애물이 존재할 때에도 자전 및 공전 운동을 유지할 수 있어 장애물을 우회하여 경로 제어가 가능하다.
- [0036] 상기 자성 소프트 로봇 구동 시스템에 있어서, 상기 둘 이상의 자성 소프트 로봇에 대해, 공전 궤도가 같으면서 공전 속도의 독립 제어가 가능하다.
- [0037] 본 발명의 다른 일 관점에 따르면, 마이크로 사이즈 이하의 작은 자성 입자(magnetic particles)를 고분자 탄성체 내부에 고르게 분산시킨 후 필름으로 성형하는 고분자 복합체 필름의 제조단계; 및
- [0038] 상기 자성 입자 분산 고분자 복합체 필름에 나선 특성을 부여하기 위해 상기 필름의 양쪽 말단을 시계방향 또는 반시계방향으로 비틀어 꼬는 필름 트위스팅 단계를 포함하는, 자성 소프트 로봇의 제조방법이 제공된다.
- [0039] 상기 제조방법에 있어서, 상기 필름 트위스팅 단계에서 상기 자성 입자 분산 고분자 복합체 필름의 나선 방향, 꼬는 각도 및 꼬는 횟수가 조절될 수 있다.
- [0040] 상기 제조방법은 상기 자성 소프트 로봇의 꼬임 특성을 유지할 수 있도록 고온 열처리 단계를 추가로 포함할 수 있다.
- [0041] 본 발명자들은 종래의 소형 로봇들의 문제점을 해결하기 위해 예의 노력한 결과, 분자 복합체 필름을 꼬아서 나선형 디자인의 자성 소프트 로봇을 제조한 결과, 자성입자의 자화(magnetization)를 통한 무선 제어가 가능한 자성 소프트 로봇을 구현할 수 있었다. 본 발명의 일 실시예에 따른 자성 소프트 로봇의 꼬임특성은 회전 시 오프셋(offset)을 가지므로 자전 및 공전 운동이 가능한 복잡한 구동을 가능케 하였으며, 공전 궤도와 공전 속도, 경로의 제어가 가능하다.
- [0042] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 여러 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.
- [0043] 도 1a는 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 고분자 탄성체 필름 내에 마이크로 사이즈 이하의 자성입자가 분산된 형태의 고분자 복합체 필름을 개략적으로 도시한 개요도이다. 도 1a에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 고분자 복합체 필름은 용융된 고분자 내에 자성입자를 혼합한 후 압출, 스핀코팅 등 일반적인 필름 제조공정을 이용하여 제조가 가능하므로 고가의 주형을 준비할 필요가 없다는 점에서 매우 경제적으로 제조가 가능하다.
- [0044] 아울러, 상기와 같이 제조된 고분자 복합체 필름은 도 2a와 같이 탄성체의 특성에 의해 양 말단을 고정된 후 일 말단만을 시계방향 또는 반시계방향으로 회전시키거나 양 말단을 서로 같은 방향으로 회전시킴으로써 나선 내부에 빈 공간이 거의 없는 타이트한 나선형 형태로 제조가 가능하다(도 1b 참조). 이와 같이 타이트하게 꼬인 나선형 자성 탄성체는 강한 외부 자극에도 형상을 유지하며 움직일 수 있고, 안정적인 무게중심을 갖기 때문에 균일한 움직임을 보이는데, 본 발명의 나선형 자성 탄성체 즉 자성 소프트 로봇의 가장 핵심적인 특징은 자력 구동 시스템에 의해 자전을 하고, 자전에 의해 원심력과 구심력이 발생하여 공전을 하는 것이다.
- [0045] 아울러, 탄성체의 경우 원상태로의 회복하려는 특성을 가지고 있기 때문에, 열처리를 하여 꼬임 특성이 유지되도록 할 수 있다. 도 2b의 경우 열처리에 의해 꼬임 특성이 유지된 자성 소프트 로봇의 광학현미경 사진으로 열처리 공정에 의해 꼬인 형상의 소프트 로봇의 제조가 가능함을 입증하는 것이다.
- [0046] 이와 같이 제조된 자성 소프트 로봇을 주사전자현미경을 촬영하였을 때도 균일한 나선 특성을 가지고 있음을 도 3을 통해 알 수 있다.
- [0047] 이에 본 발명자들은 상기와 같이 제조된 자성 소프트 로봇(200)이 외부에서 인가되는 자기장에 의해 구동이 가능한지 여부를 확인하기 위해 내부 자성체(310)를 구비하고 있는 자력 구동 시스템(300) 위에 자성 소프트 로봇(200)을 위치시킨 후 내부 자성체(310)의 회전속도를 제어하면서 자성 소프트 로봇(200)의 거동을 측정하였다(도 4 참조). 그 결과, 도 5a 내지 도 14에서 나타난 바와 같이, 상기 자성 소프트 로봇의 중형비에 따라 그리고 내부 자성체의 회전속도에 따라서, 상기 자성 소프트 로봇의 정밀한 구동제어가 가능함을 확인함으로써 본 발명을 완성하게 되었다.
- [0048] 이하 본 발명을 첨부되는 실시예 및 실험예를 통해 보다 상세하게 설명하고자 한다. 다만, 본 발명의 실시예 및 실험예들은 당해 기술분야에서 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 것

은 아니다. 오히려 이들 실시예들은 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다. 또한, 도면에서 각 층의 두께나 크기는 설명의 편의 및 명확성을 위하여 과장된 것이다.

[0049] 실시예: 고분자 복합체의 자성 소프트 로봇 제조

[0050] 열가소성 폴리우레탄으로 구성된 고분자 탄성체(110)에 마그네타이트로 구성된 평균 직경 16 nm인 자성 입자(120)를 10 wt%의 농도로 잘 분산시킨 복합체를 제조하였다. 제조한 복합체는 고온 프레스(hot press)를 이용하여 평균 70 μm 의 두께를 갖는 얇은 필름으로 만들고, 절삭 기계를 이용하여 균일한 크기의 직사각형 모양을 갖는 자성 복합체 필름(100)을 제조하였다. 이어, 나선형의 꼬임특성을 갖는 자성 소프트 로봇(200)을 제조하기 위해 도 1b 및 도 2a를 참고하여, 상기 복합체 필름(100) 끝을 서로 같은 시계 방향으로 회전시키면서 비틀어 고정하였다. 이 때 필름 내부에 빈 공간이 발생하지 않는 시점까지 복합체 필름을 꼬아서 고정하였으며, 평균 피치는 약 950 μm 로 측정되었다. 이어, 150 내지 200℃의 고온에서 15 내지 20분간 열처리를 시킨 후 상온에서 냉각하여 도 2b 및 도 3과 같이 균일한 나선 특성을 유지하는 자성 소프트 로봇(200)을 제조한 후, 이를 중형비 1이 되도록 절단하여 실시예 1의 자성 소프트 로봇(210 또는 AR-1)을 제조하였다.

[0051] 아울러, 동일한 자성 소프트 로봇(200)을 절단하되 중형비를 1 대신 2, 3, 4, 및 5로 조정하여 하기 표 1에 기재된 바와 같이, 실시예 2 내지 5의 자성 소프트 로봇(220 내지 250 또는 AR-2 내지 AR-5)을 제조하였다.

표 1

제조된 소프트 마이크로 로봇의 특성

실시예	길이(μm)	폭(μm)	피치(μm)
1	300	300	950
2	600	300	950
3	900	300	950
4	1,200	300	950
5	1,500	300	950

[0053] 실험예 1: 자전과 공전 운동이 가능한 자성 소프트 로봇 거동

[0054] 상기 실시예 1 내지 5에서 제조된 고분자 복합체 기반의 자성 소프트 로봇의 거동을 분석하기 위하여, 도 4와 같이 자기 구동 시스템(300) 위에서 움직임을 관찰했다. 자기 구동 시스템(300) 내에는 회전이 가능한 내부 자성체(310)가 존재하여, 자기 구동 시스템(300)의 내부 자성체(310)의 회전수를 올리면 초기에는 자성 소프트 로봇이 자전을 하고 서서히 공전을 시작한다. 그리고 시간이 지남에 따라 정상상태(steady state)에 도달하여 일정한 공전 궤도를 갖는다.

[0055] 이때 도 5a 및 5b를 통해 자기 구동 시스템(300)의 회전수(rpm)와 실제 초고속 카메라로 측정한 회전수를 비교하여 보정하였다. 각 회전수 별로 자성 소프트 로봇의 거동을 분석한 결과를 표 1에 나타내었으며, 보정한 자기 구동 시스템(300)의 내부 자성체(310) 회전수에서 자성 소프트 로봇의 거동을 관찰하였다.

표 2

회전속도 및 자성 소프트 로봇의 중형비에 따른 자성 소프트 로봇의 거동

교반기 속도(rpm)	100	200	400	600	800	1,000	1,200	1,400
초고속 카메라로 측정 한 속도(rpm)	320	400	600	820	1,040	1,200	1,420	1,580
실시예 1	330	450	660	780	1,080	1,200	1,380	1,560
실시예 2	300	480	630	840	1,080	1,320	1,440	1,560
실시예 3	300	465	660	780	1,080	1,320	1,380	1,500
실시예 4	280	480	720	960	1,000	1,200	1,410	1,500
실시예 5	-	-	-	-	-	-	-	-

[0057] 표 2를 참고하면, 초고속 카메라로 보정한 회전수는 실시예 1 내지 4에서 제조된 소프트 로봇의 자전 회전수와 비슷하거나 같은 경향을 보였다. 이는 자기 구동 시스템(300)의 내부 자성체(310)가 회전하는 속도를 조절함으

로써 자성 소프트 로봇의 자전 횟수를 용이하게 조절할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 자성 소프트 로봇의 자전 속도가 빨라지면 원심력에 의해 공전 궤도의 크기가 증가하는 것을 도 6을 통해 알 수 있었다. 반면 실시예 5의 경우 모든 회전수에서 자전하지 못하였고, 실시예 1의 경우 거의 모든 rpm에서 자전만 하였다. 이는, 소프트 로봇의 중형비가 거동에 미치는 영향을 나타내는 것이다.

[0058] 도 6에서 공전 지름의 크기가 비연속적으로 증가하는 이유를 분석하기 위해 도 7a과 같이 자기 구동 시스템(300) 위에 마그네틱 뷰어 필름(400)을 얹어 자기 구동 시스템 위치에 따른 자기력을 측정하였다. 자기력선 방향의 모식도(410)를 통해 필름 색이 진한 부분은 자기력선이 수직방향이며, 밝은 부분은 자기력선이 수평방향으로 흐르는 것을 나타낸다. 자기 구동 시스템(300) 위에서 자기력이 강한 부분은 내부 자성체(310)의 중앙 부근이었다. 이를 바탕으로 도 7b에서 자기 구동 시스템(300) 중앙, 자기 구동 시스템(300)의 중앙으로부터 1 cm 떨어진 부분, 자기 구동 시스템(300)의 중앙으로부터 2 cm 떨어진 부분에서 실시예 2 내지 4의 자성 소프트 로봇의 각도를 측정하였다(도 7b). 그 결과 도 7b에서 나타난 바와 같이, 따라 모눈종이(500) 위에서 바닥으로부터 각도를 형성하는 이유는 자기력에 의한 것을 알 수 있었다.

[0059] 또한 자기 구동 시스템(300)의 내부 자성체의 회전수를 증가시켰을 때 공전 궤도가 증가함에 따라 마그네틱 뷰어 필름(400) 위에서의 위치가 어두운 색 부분으로 이동하는 것을 관찰하였고(도 8a), 초고속 카메라로 소프트 로봇의 측면을 촬영하였을 때 내부 자성체의 회전속도에 따라 각도가 증가하면서 움직이는 모양이 달라지는 것을 관찰할 수 있었다. 아울러, 이들 거동을 크게 자전(rotation), 선회(pivoting), 텀블링(tumbling) 총 3가지의 운동 양상으로 나누었다. 구체적으로, 320 rpm의 저속에서는 자전만 하는 자전(rotation) 상태, 600 rpm에서 한 쪽을 중심 축으로 회전하는 선회(pivoting) 상태, 1,580 rpm의 고속에서는 도움닫기를 하면서 점프해서 이동하는 텀블링(tumbling) 운동을 관찰할 수 있었다(도 8b). 320 rpm에서 반 바퀴를 회전하면서 이동하는데 걸리는 시간은 91 ms, 600 rpm에서 반 바퀴를 회전하면서 이동하는데 걸리는 시간은 55 ms, 1,580 rpm에서 18 ms가 소요되었다. 그 결과 내부 자성체의 회전속도가 고속으로 갈수록 자전시간은 짧아지고 움직인 거리가 길어짐에 따라 공전 속도가 증가하는 것을 알 수 있었다.

[0060] 실시예 1 내지 5에서 제조된 자성 소프트 로봇의 거동에서 고속카메라 촬영을 이용하여 내부 자성체 속도를 보정한 자기 구동 시스템(300)의 내부 자성체(310) 회전속도에 따라 공전 궤도를 측정하였고(도 9) 공전주기를 측정하여, 공전 궤도의 크기에 따른 공전속도를 계산하였다(도 10). 그 결과, 도 10에서 나타난 바와 같이, 자성 소프트 로봇의 거동은 상술한 바와 같이, 자전(rotation), 선회(pivoting) 및 텀블링(tumbling)의 3 가지 운동 양상으로 나눌 수 있었다. 이는 자성 소프트 로봇의 나선형 구조에 의해 오프셋이 발생함으로써 중형비 및 자전 속도에 의해 공전궤도를 제어할 수 있음을 나타내는 것이다.

[0061] 실험예 2: 다양한 자성 소프트 로봇의 동기 구동

[0062] 이어 본 발명자들은 상시 실시예 2 내지 4에서 제조된 자성 소프트 로봇을 동시에 구동시켰을 때, 각각의 구동의 제어가 가능한지 조사하였다(도 11 내지 14).

[0063] 도 11는 실시예 3 및 5에서 제조된 자성 소프트 로봇을 자기 구동 시스템(300) 위에 함께 두고 600 rpm에서 1,040 rpm으로 변경하였을 때 변화하는 공전 크기를 분석한 그래프로, 공전궤도 반지름을 조절할 수 있음을 의미한다.

[0064] 도 12는 같은 공전반경을 갖는 상태에서 공전속도만 제어한 결과를 촬영한 사진(상단) 및 시간의 경과에 따른 궤도 변화를 관찰한 그래프(하단)이다. 도 12에서 나타난 바와 같이, 실시예 2 및 3에서 제조된 자성 소프트 로봇은 1,200 rpm에서 동시에 공전할 때 같은 공전반경을 갖지만 실시예 3에서 제조된 중형비 3을 갖는 자성 소프트 로봇의 공전 속도가 더 빨라서 실시예 2에서 제조된 중형비 2를 갖는 자성 소프트 로봇을 따라잡았다. 1 바퀴를 따라잡는데 걸리는 시간은 약 63초가 소요되며 반복적인 형태를 나타내었다.

[0065] 도 13은 600 rpm, 820 rpm, 1,040 rpm에서 실시예 2 내지 4에서 제조된 3개의 자성 소프트 로봇(220, 230 및 240)이 동시에 공전할 수 있음을 보여주는 결과로 다중 물체의 공전이 가능함을 나타낸다.

[0066] 도 14는 실시예 2 및 3에서 각각 제조된 자성 소프트 로봇(220 및 230)이 1,040 rpm의 회전속도에서 트랙(600) 위의 상단, 하단에 유리장벽(610)이 있을 때, 장벽에 부딪혀서 멈추지 않고 계속해서 공전을 유지하는 모습을 관찰할 수 있었다. 이는 경로의 조절이 가능하며 나아가 장애물의 여부에 따라 가역적인 공전궤도 변경이 가능함을 의미한다. 도 14에서 유리장벽(610)은 유리의 특성상 희미하게 보이기 때문에 이를 가상의 1점 채선으로 나타내었다.

[0067] 본 발명의 일 실시예에 따른 자성 소프트 로봇은 상기와 같은 자전, 선회 및 텀블링의 거동 특성을 이용하여 의

료기기의 표면 또는 관 내부의 오염물질을 제거하는 오염제거 및 방지를 위해 유용하게 사용될 수 있다.

[0068]

본 발명은 상술한 실시예 및 실험예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예 및 실험예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0069]

100: 자성 고분자 필름

110: 탄성 고분자

120: 자성입자

200, 210, 220, 230, 240, 250: 자성 소프트 로봇

300: 자기 구동 시스템

310: 내부 자성체

400: 마그네틱 뷰어 필름

410: 자력선 모식도

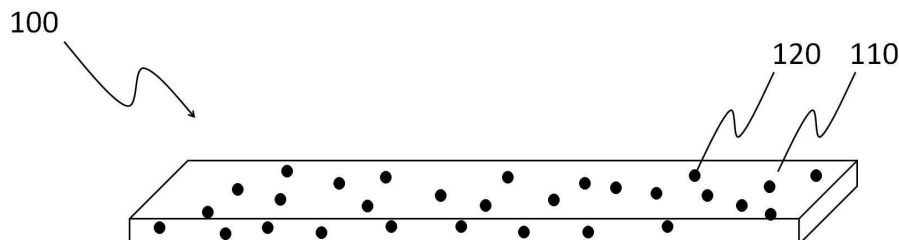
500: 모눈종이

600: 트랙

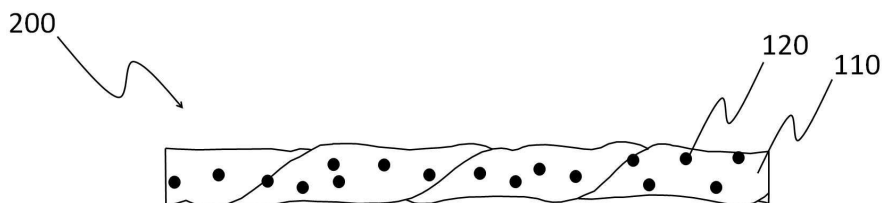
610: 유리장벽

도면

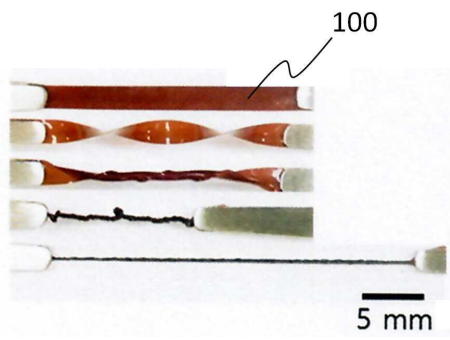
도면1a



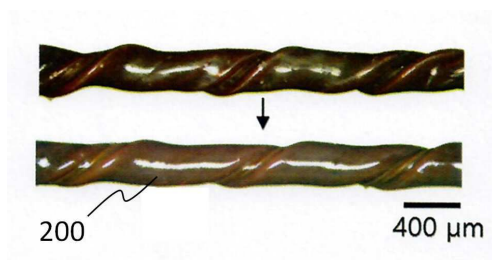
도면1b



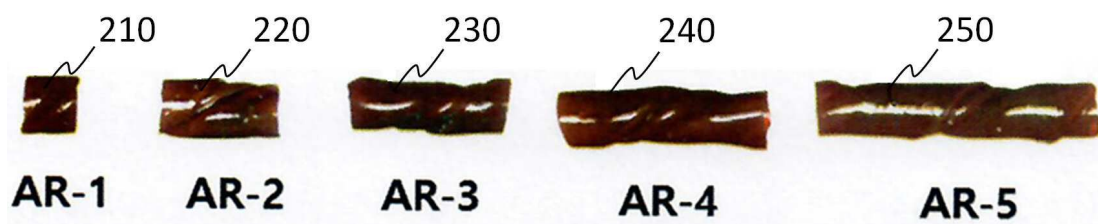
도면2a



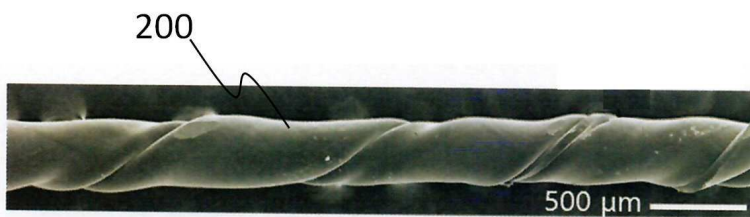
도면2b



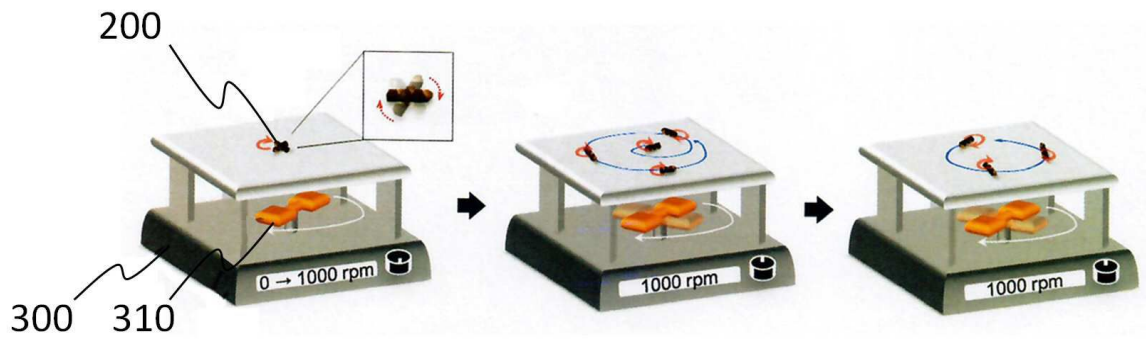
도면2c



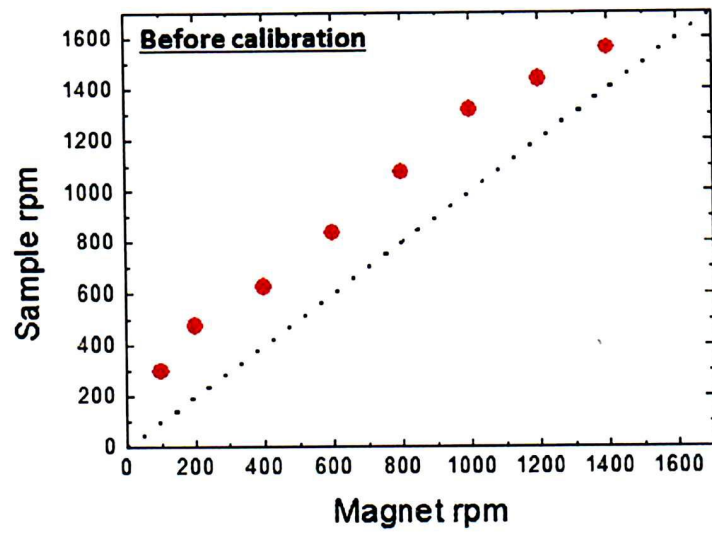
도면3



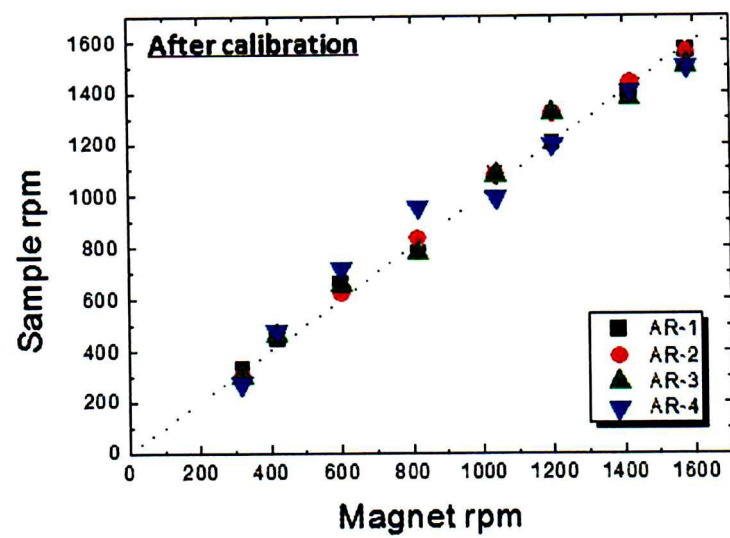
도면4



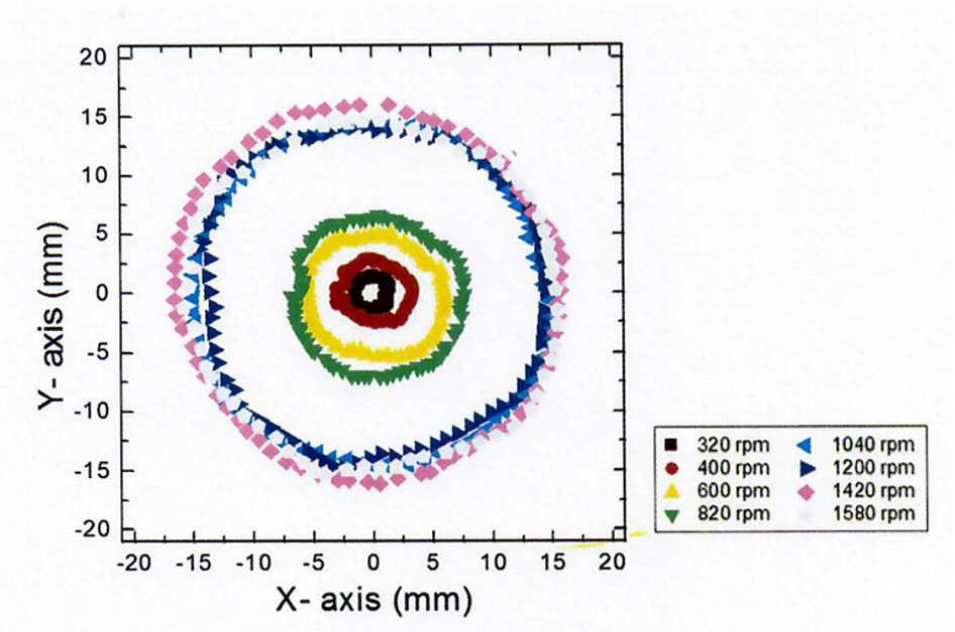
도면5a



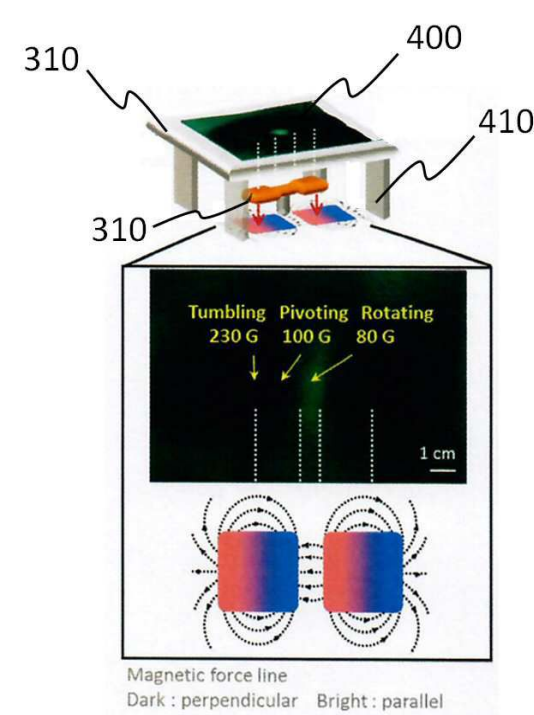
도면5b



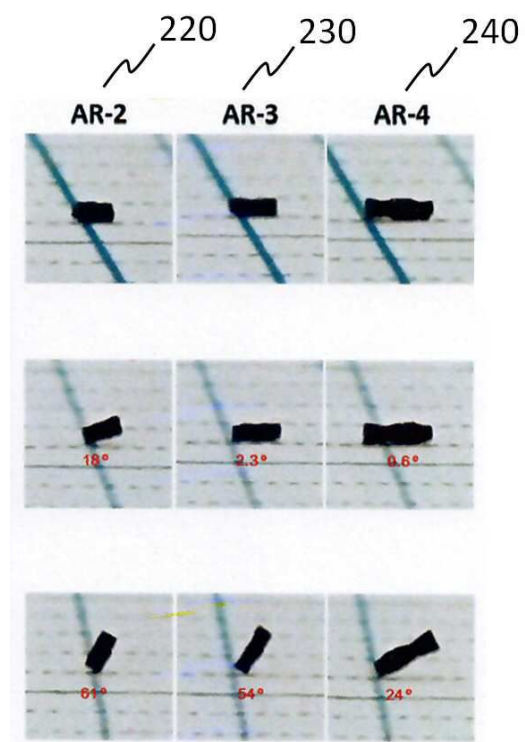
도면6



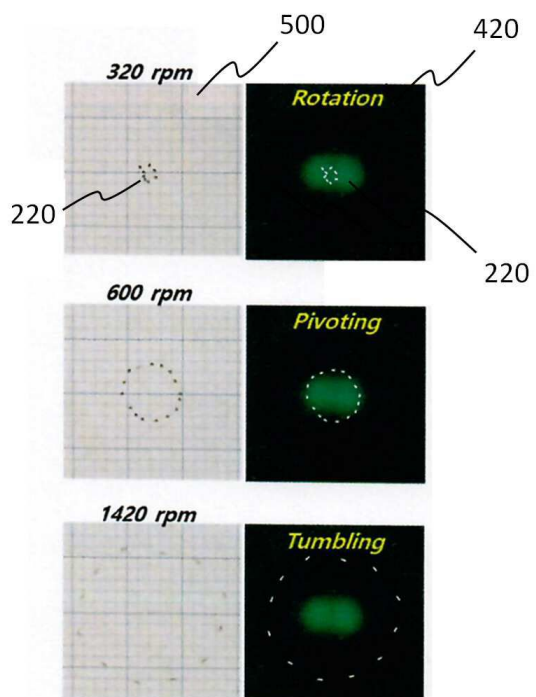
도면7a



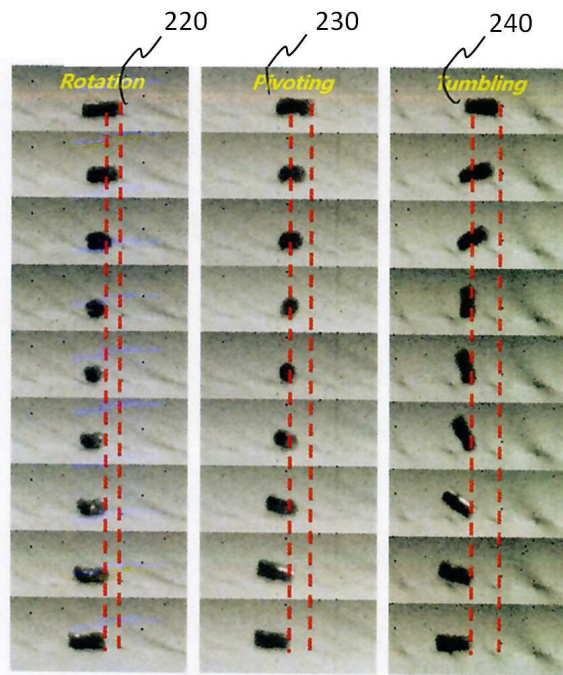
도면7b



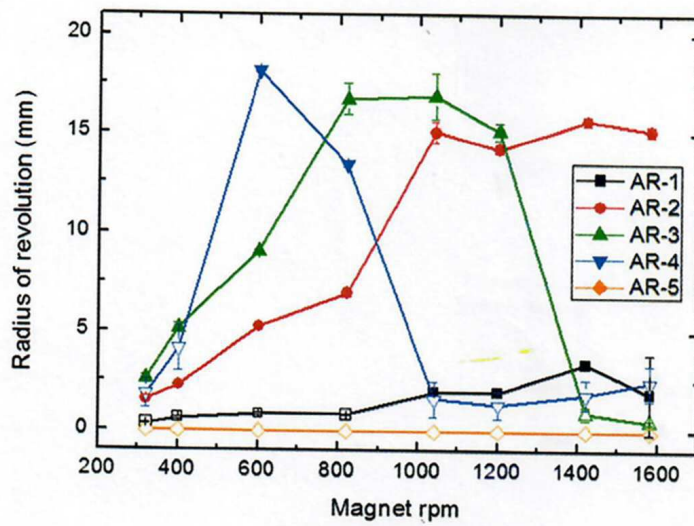
도면8a



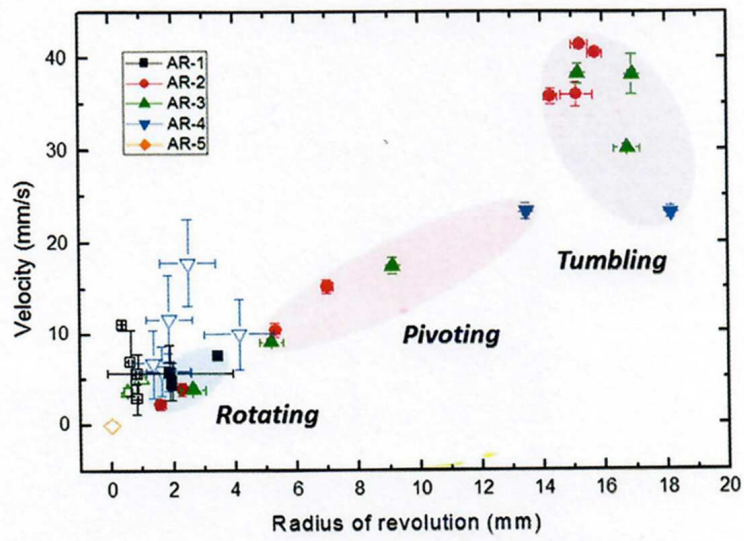
도면8b



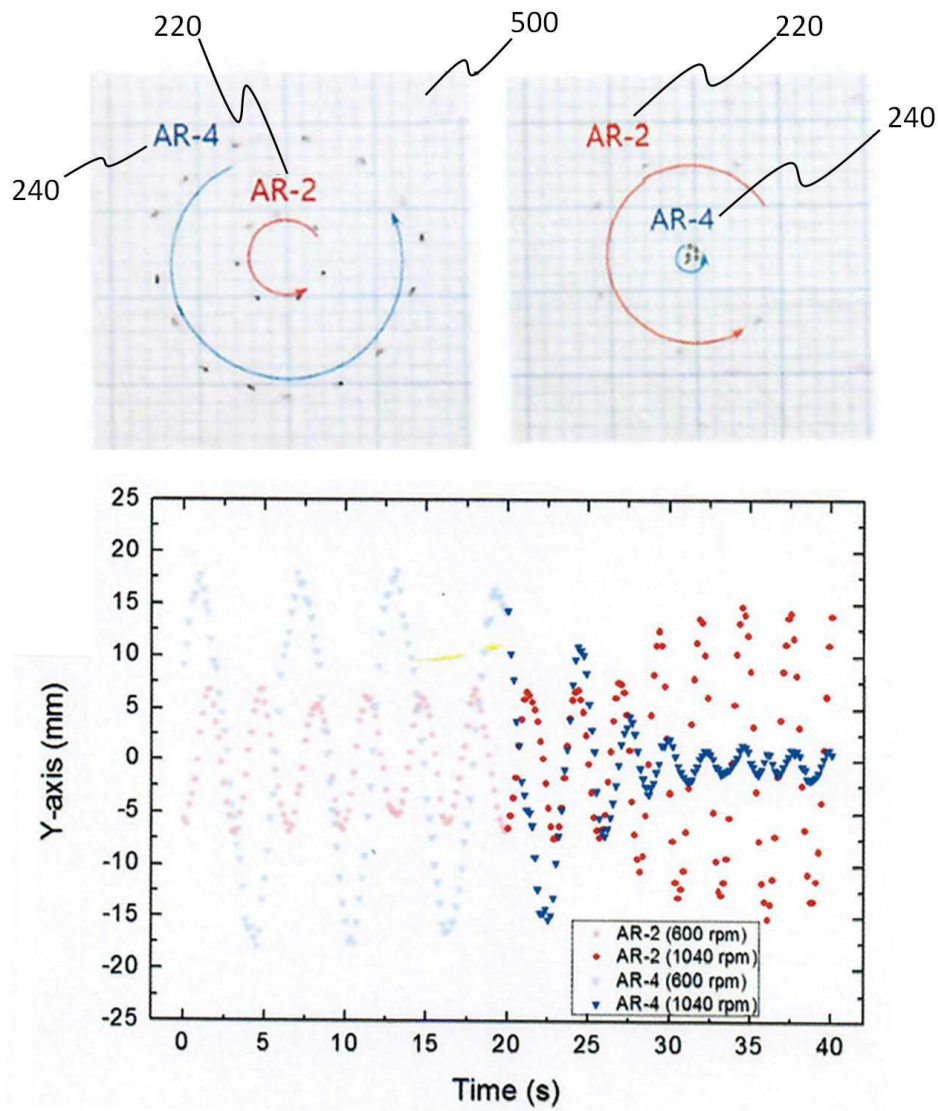
도면9



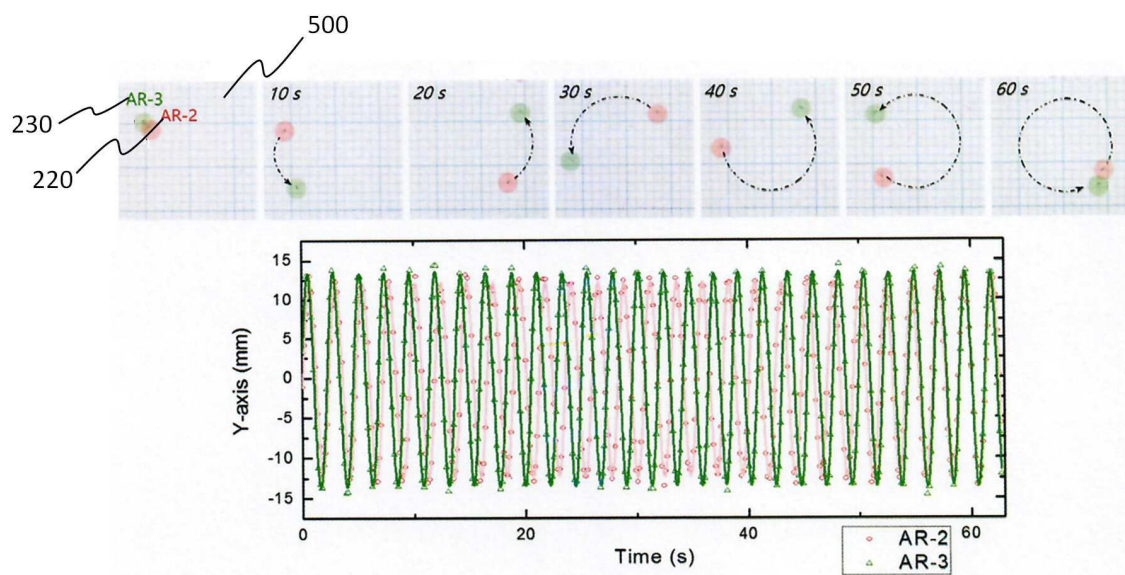
도면10



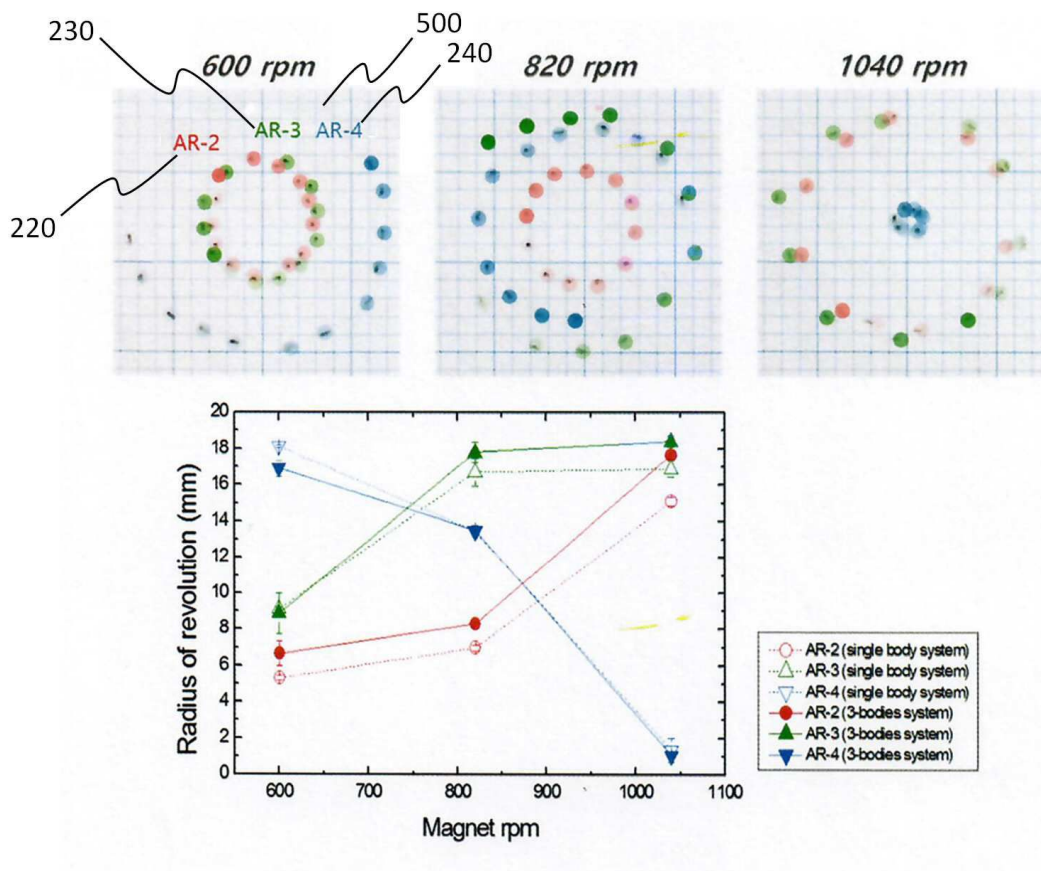
도면11



도면12



도면13



도면14

