(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0118459
(43) 공개일자 2019년10월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B25J 9/10 (2006.01) *B25J 9/00* (2006.01)
C08F 2/50 (2006.01) *C08F 222/20* (2006.01)
C08F 222/22 (2006.01) *C08J 5/18* (2006.01)
C09K 19/02 (2006.01) *C09K 19/38* (2006.01)
(52) CPC특허분류
B25J 9/10 (2013.01)
B25J 9/0012 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0041823
(22) 출원일자 2018년04월10일
심사청구일자 2018년04월10일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
위정재
경기도 부천시 소사로170번길 81, 104-1301
전지수
경상북도 김천시 삼락택지길 132, 102동 1501호
김학린
대구광역시 수성구 명덕로 455, 103동 905호
(74) 대리인
한윤호

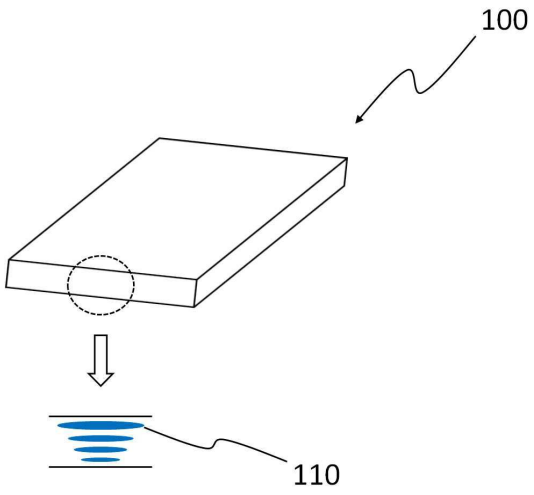
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **광응답 점핑이 가능한 소프트 로봇 및 그의 용도**

(57) 요 약

본 발명은 광응답 점핑 소프르 로봇에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 네마틱 액정 단량체 및 관반응성 액정 단량체의 공중합에 의해 합성된 복합 액정 고분자 필름을 포함하는 광응답 점핑 소프트 로봇을 제공한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C08F 2/50 (2013.01)
C08F 222/20 (2013.01)
C08F 222/22 (2013.01)
C08J 5/18 (2013.01)
C09K 19/02 (2013.01)
C09K 19/38 (2013.01)

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 교육부
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

명 세 서

청구범위

청구항 1

네마틱 액정 단량체 및 광반응성 액정 단량체의 공중합에 의해 합성된 복합 액정 고분자 필름을 포함하는 광응답 점핑 소프트 로봇(photomechanic jumping soft robots).

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 복합 액정 고분자는 상기 네마틱 액정 단량체, 상기 광반응성 액정 단량체, 카이럴 도펀트 및 광개시제의 반응에 의해 제조되는, 광응답 점핑 소프트 로봇.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 네마틱 액정 단량체 75 내지 85 중량부, 상기 광반응성 액정 단량체 15 내지 25 중량부, 상기 카이럴 도펀트 0.1 내지 1 중량부 및 상기 광개시제 1 내지 2 중량부로 혼합되는, 광응답 점핑 소프트 로봇.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 네마틱 액정 단량체는 1,4-비스-[4-(3-아크릴로일록시프로필옥시)벤조일옥시]-2-메틸벤젠(1,4-Bis-[4-(3-acryloyloxypropyloxy)benzoyloxy]-2-methyl- benzene), 또는 1,4-비스[4-(6-아크릴로일록시헥실록시)벤조일록시]-2-메틸벤젠(1,4-Bis[4-(6-acryloyloxyhexyloxy)benzoyloxy]-2-methylbenzene)인, 광응답 점핑 소프트 로봇.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 광반응성 액정 단량체는 4,4'-비스[6-(아크릴로일록시)헥실록시]아조벤젠{4,4'-bis[6-(acryloxy)hexyloxy]azobenzene}, 4,4'-비스[9-(아크릴로일록시)노닐록시]아조벤젠(4,4'-Bis[9-(acryloyloxy)nonyloxy]azobenzene)인, 광응답 점핑 소프트 로봇.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 카이럴 도펀트는 (R)-2-Octyl 4-[4-(Hexyloxy)benzoyloxy]benzoate(R-811), (S)-2-Octyl 4-[4-(Hexyloxy)benzoyloxy]benzoate(S-811), (R)-1-phenylethane-1,2-diyl bis(4-(4-pentylcyclohexyl)benzoate)(R-1011), 또는 (S)-1-phenylethane-1,2-diyl bis(4-(4-pentylcyclohexyl)benzoate)(S-1011)인, 광응답 점핑 소프트 로봇.

청구항 7

제2항에 있어서,

상기 광개시제는 bis(2,6-difluor-3-(1-hydropyrrol-1-yl)phenyl) titanocene인, 광응답 점핑 소프트 로봇.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 복합 액정 고분자 필름은 트위스티드 네마틱(twisted nematic) 액정 배향을 갖는, 광응답 점핑 소프트 로

봇.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 복합 액정 고분자 필름은 상기 트위스티드 액정 배향과 오프셋 각도 +0°/-90° 내지 +45°/-45°로 절단된 것인, 광응답 점핑 소프트 로봇.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 복합 액정 고분자 필름은 정방형 또는 직방형으로 절단된 것인, 광응답 점핑 소프트 로봇.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 복합 액정 고분자 필름의 종횡비가 1 내지 3인, 광응답 점핑 소프트 로봇.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 복합 액정 고분자 필름의 두께는 20 내지 30 ㎛인, 광응답 점핑 소프트 로봇.

청구항 13

네마틱 액정 단량체, 상기 광반응성 액정 단량체, 카이럴 도펀트 및 광개시제를 혼합하는 원료 혼합단계;

혼합된 원료를 각 원료의 녹는점 이상의 온도로 가열한 후 미리 가열된 코팅된 두 장의 기판 사이에 주입하는 원료 주입단계;

상기 개시제의 반응 개시에 적합한 파장 영역대의 빛을 조사하여 광개시 고분자 중합반응을 수행하는 제위치 중합단계;

상기 기판을 상온으로 냉각한 후 기판을 제거하여 복합 액정 고분자 필름을 회수하는 필름 회수 단계; 및

상기 복합 액정 고분자 필름을 일정 종횡비를 갖는 정방형 또는 직방형으로 절단하는 필름 절단 단계를 포함하는, 응답 점핑 소프트 로봇의 제조방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 코팅은 통해 액정 고분자 배향을 유도시키는 표면을 갖도록 기계적으로 러빙된 것인, 제조방법.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 종횡비는 1 내지 3인, 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 소프트 로봇(soft robot)에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 빛에 반응하여 기계적인 점핑이 가능한 광응답 점핑 소프트 로봇에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 액정 고분자(liquid crystal polymer, LCP)는 강직한 고분자 구조를 가지기 때문에, 용융상태에서는 작은 전단

응력으로 한 방향으로 배향하며, 이를 그대로 냉각하면 분자가 배향을 유지한 채 고화되어 그 상태가 안정하게 유지되는 특성을 가지고 있다. 특히 열경화성 액정 고분자의 단량체는 네마틱 상태로 용융 시 전단응력 및 배향막에 의해 쉽게 배향이 되며, 고분자 중합 시 네마틱 상태를 유지한다. 또한 분자 배향방향에 따라 팽창계수가 다르기 때문에 열, 용매, 빛에 감응하여 형태 변화가 발생하는 것을 특징으로 한다. 이러한 특징으로 인해 전기ㅇ전자부품용 성형재료로 각광을 받고 있다.

[0003] 한편, 광에 반응하여 형태의 변화를 주기적으로 반복함으로써 액츄에이터 역할을 수행할 수 있는 소자를 광기계적 액츄에이터(photomechanical actuator)라 한다. 이러한 광기계적 액츄에이터와 관련하여 US4524294에 기재된 잔류분극(remanent polarization)을 갖고 길이-의존적 광전 효과를 보이는 강유전체 소재로 만들어진 판에 빛을 조사하여 상기 판을 변형시키는 방법이 개시되어 있고, US6999221에 광반응성 액츄에이터로 사용이 가능한 광민감성 폴리비닐리덴 플루오라이드와 같은 광기계적 폴리머 소재 층에 광흡수 소재가 코팅된 이중형태(biomorphic) 폴리머 광기계체가 개시되어 있으며, 대한민국 특허 제1817225호에는 액정 고분자를 포함하는 자외선 조사 방향으로 굽힘 거동을 하는 관반응 복합재 작동기가 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 그러나, 상기 선행문헌들을 포함하여 현재까지 개발된 광기계적 액츄에이터들은 비교적 좁은 범위의 동작만 가능할 뿐 점프와 같은 좀더 고도의 동작은 불가능하다.

[0005] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 광조사에 의해 점프가 가능한 소프트 로봇을 제공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일 관점에 따르면, 고네마틱 액정 단량체 및 관반응성 액정 단량체의 공중합에 의해 합성된 복합 액정 고분자 필름을 포함하는 광응답 점핑 소프트 로봇(photomechanic jumping soft robot)이 제공된다.

[0007] 본 발명의 다른 일 관점에 따르면, 네마틱 액정 단량체, 상기 광반응성 액정 단량체, 카이럴 도펀트 및 광개시제를 혼합하는 원료 혼합단계; 혼합된 원료를 각 원료의 녹는점 이상의 온도로 가열한 후 미리 가열된 코팅된 두 장의 기판 사이에 주입하는 원료 주입단계; 상기 개시제의 반응 개시에 적합한 파장 영역대의 빛을 조사하여 광개시 고분자 중합반응을 수행하는 제위치 중합단계; 상기 기판을 상온으로 냉각한 후 기판을 제거하여 복합 액정 고분자 필름을 회수하는 필름 회수 단계; 및 상기 복합 액정 고분자 필름을 일정 종횡비를 갖는 정방형 또는 직방형으로 절단하는 필름 절단 단계를 포함하는, 응답 점핑 소프트 로봇의 제조방법이 제공된다.

발명의 효과

[0008] 상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 일 실시예에 따르면, 트위스티드 네마틱 배향을 갖는 액정 고분자 단량체에 광반응성 액정 고분자 단량체를 혼합하여 제위치 합성함으로써 제조되는 복합 액정 고분자 필름을 크기, 종횡비 그리고 오프셋 각도를 조절하여 절단함으로써 광조사시 다양한 점프 특성을 갖는 광응답 점핑 소프트 로봇의 제조가 가능하다. 본 발명의 일 실시예에 따른 광응답 점핑 소프트 로봇은 유체장치의 유체의 흐름을 조절하는 펌프 등으로 유용하게 사용이 가능하다.

[0009] 그러나, 상술한 본 발명의 효과는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 광응답 점핑 소프트 로봇의 개략적인 모습을 나타내는 개요도이다.

도 2a는 상기 네마틱 액정 단량체(111)의 및 광반응성 액정 단량체(112)의 화학적 구조식을 나타내고, 도 2b는 액정 배향의 대칭성(chirality)을 부여하는 일련의 카이럴 도펀트(chiral dopant)의 화학적 구조식을 나타낸다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 광응답 점핑 소프트 로봇(100)의 스냅스루 좌굴(snap-through buckling) 과정을 개략적으로 나타난 개요도이다.

도 4는 본 발명의 실시예 2에 의해 제조된 2 ㎜ (W) x 2 ㎜ (L) x 21 ㎛ (H)의 크기를 가지는 광응답 점핑 소

프트 로봇에 320 내지 500 nm의 파장을 갖는 자외선을 0.4 W/㎠의 조사시켜 실제 점프하는 모습을 연속으로 촬영한 사진이다.

도 5는 본 발명의 실시예 2 및 5 내지 8에 따라 제조된 광응답 점핑 소트프 로봇의 종횡비에 따른 점프 높이를 측정한 결과를 나타내는 그래프이다.

도 6은 트위스티드 네마틱 배향과 소프트 로봇의 오프셋 각도(??/??-90)에 따라 점프하는 방향이 달라지는 광응답 점핑 소프트 로봇의 점프 모션을 나타낸 개요도이다.

도 7은 본 발명의 실시예 9에 따라 트위스티드 네마틱 배향과 오프셋 각도가 +15°/-75°로 조절되어 제조된 광응답 점핑 소프트 로봇의 점프를 연속 촬영한 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] **용어의 정의:**

[0012] 본 문서에서 사용되는 용어 "소프트 로봇(soft robot)"은 유연성이 낮은 금속재질의 단단한 소재로 이루어진 경질 로봇(hard robot)과 반대되는 개념의 로봇으로서 고분자를 기반으로 하며 요구하는 대로 구동이 가능한 유연성(flexibility)를 갖는 로봇을 의미한다.

[0013] **발명의 상세한 설명:**

[0014] 본 발명의 일 관점에 따르면, 고네마틱 액정 단량체 및 관반응성 액정 단량체의 공중합에 의해 합성된 복합 액정 고분자 필름을 포함하는 광응답 점핑 소프트 로봇(photomechanic jumping soft robot)이 제공된다.

[0015] 상기 광응답 점핑 소프트 로봇에 있어서, 네마틱 액정 단량체는 1,4-비스-[4-(3-아크릴로일록시프로필옥시)벤조일옥시]-2-메틸벤젠(1,4-Bis-[4-(3-acryloyloxypropyloxy) benzoyloxy]-2-methylbenzene), 또는 1,4-비스[4-(6-아크릴로일록시헥실록시)벤조일록시]-2-메틸벤젠(1,4-Bis[4-(6-acryloyloxyhexyloxy)benzoyloxy]-2-methylbenzene) 일 수 있다.

[0016] 상기 광응답 점핑 소프트 로봇에 있어서, 상기 광반응성 액정 단량체는 4,4'-비스[6-(아크릴로일록시)헥실록시]아조벤젠{4,4'-bis(6-(acryloxy)hexyloxy)azobenzene}, 또는 4,4'-비스[9-(아크릴로일록시)노닐록시]아조벤젠(4,4'- Bis[9-(acryloyloxy)nonyloxy]azobenzene)일 수 있다.

[0017] 상기 광응답 점핑 소프트 로봇에 있어서, 상기 카이럴 도펀트는 (R)-2-Octyl 4-[4-(Hexyloxy)benzoyloxy]benzoate(R-811), (S)-2-Octyl 4-[4-(Hexyloxy)benzoyloxy]benzoate(S-811), (R)-1-phenylethane-1,2-diyl bis(4-(4-pentylcyclohexyl)benzoate)(R-1011), 또는 (S)-1-phenylethane-1,2-diyl bis(4-(4-pentylcyclohexyl)benzoate)(S-1011)일 수 있다.

[0018] 상기 광응답성 점핑 소프트 로봇에 있어서, 상기 개시제는 500 nm 이상의 파장을 갖는 빛에 반응하여 반응이 개시되는 bis(2,6-difuoro-3-(1-hydropyrrol- 1-yl)phenyl)titanocene일 수 있다.

[0019] 상기 광응답 점핑 소프트 로봇에 있어서, 상기 복합 액정 고분자 필름은 트위스티드 네마틱(twisted nematic) 액정 배향을 가질 수 있다.

[0020] 상기 응답성 점핑 소프트 로봇에 있어서, 상기 복합 액정 고분자 필름은 상기 트위스티드 액정 배향과 오프셋 각도 +0°/-90°내지 +45°/-45°로 절단된 것일 수 있다(앞의 각도는 길이방향 변이 액정 배향과 이루는 각이고 뒤의 각도는 폭방향 변이 액정 배향 방향과 이루는 각임).

[0021] 상기 응답성 점핑 소프트 로봇에 있어서, 상기 복합 액정 고분자 필름은 정방형 또는 직방형으로 절단된 것일 수 있다.

[0022] 상기 응답성 점핑 소프트 로봇에 있어서, 상기 복합 액정 고분자 필름의 종횡비는 1 내지 3일 수 있고, 상기 복합 액정 고분자 필름의 두께는 20 내지 30 ㎛일 수 있다.

[0023] 본 발명의 다른 일 관점에 따르면, 네마틱 액정 단량체, 상기 광반응성 액정 단량체, 카이럴 도펀트 및 광개시제를 혼합하는 원료 혼합단계; 혼합된 원료를 각 원료의 녹는점 이상의 온도로 가열한 후 미리 가열된 코팅된 두 장의 기판 사이에 주입하는 원료 주입단계; 상기 개시제의 반응 개시에 적합한 파장 영역대의 빛을 조사하여 광개시 고분자 중합반응을 수행하는 제위치 중합단계; 상기 기판을 상온으로 냉각한 후 기판을 제거하여 복합 액정 고분자 필름을 회수하는 필름 회수 단계; 및 상기 복합 액정 고분자 필름을 일정 종횡비를 갖는 정방형 또

는 직방형으로 절단하는 절단된 필름 제조단계를 포함하는, 응답 점핑 소프트 로봇의 제조방법이 제공된다.

[0024] 상기 제조방법에 있어서, 상기 코팅은 통해 액정 고분자 배향을 유도시키는 표면을 갖도록 기계적으로 러빙된 것일 수 있다.

[0025] 상기 제조방법에 있어서, 상기 절단된 필름의 종횡비는 1 내지 3일 수 있다.

[0026] 본 발명자들은 광감응성 단량체를 포함하는 공중합 경화성 액정 고분자 필름을 제조하였으며, 이를 액정 배향을 기준으로 오프셋 각도를 조절하여 정방형 또는 직방형으로 절단할 경우, 광조시사 광응답 반응으로 점핑이 가능하며 상기 오프셋 각도의 조절과 종횡비의 조절에 의해 점프 높이 및 점프의 형태를 조절할 수 있음을 확인함으로써 본 발명을 완성하였다.

[0027] 본 발명의 광응단 점핑이 가능한 소프트 로봇은 점프 높이의 조절 및 방향성을 가지는 특징을 이용하여 미세유체 장치 등의 미세물질의 빠른 이동을 가능케 하는 미세펌프 등에 활용될 수 있다.

[0028] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 여러 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.

[0029] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 광응답 점핑 소프트 로봇의 개략적인 모습을 나타내는 개요도이다. 상기 광응답 점핑 소프트 로봇(100)은 용융시 네마틱 상태를 가지는 네마틱 액정 단량체(111)와 광감응성 물질인 2-아조벤젠 관능기를 가지며 액정성을 가지는 광반응성 액정 단량체(112)를 주재료로 하여 중합되고, 카이랄 도펀트로 인해 카이랄성을 가지며, 액정 분자들이 트위스티드 네마틱(twisted nematic, TN)으로 배열되어 있는 액정 고분자로 구성된다.

[0030] 도 2a는 상기 네마틱 액정 단량체(111)의 및 광반응성 액정 단량체(112)의 화학적 구조식을 나타내는데, 상기 네마틱 액정 단량체(111)로 도시된 것은 1,4-비스-[4-(3-아크릴로일록시프로필옥시)벤조일옥시]-2-메틸벤젠(1,4-Bis-[4-(3-acryloyloxypropyloxy)benzoyloxy]-2-methylbenzene)이고, 상기 광반응성 액정 단량체(112)로 도시된 것은 4,4'-비스(6-(아크릴옥시)헥실옥시)아조벤젠(4,4'-bis(6-(acryloxy)hexyloxy)azobenzene)이고, 도 2b는 액정 배향의 대칭성(chirality)을 부여하는 일련의 카이럴 도펀트(chiral dopant)의 화학적 구조식을 나타내는데, 상단부터 순서대로 Merck 사의 R-811, S-811, R-1011, S-1011을 나타낸다.

[0031] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 광응답 점핑 소프트 로봇(100)의 스냅스루 좌굴(snap-through buckling) 과정을 개략적으로 나타난 개요도이다. 도 3에서 나타난 바와 같이, 광응답 소프트 로봇(100)의 상단과 하단의 광수축의 방향이 수직인 점을 이용하여, 스냅스루 좌굴(snap-through buckling)이 순간적으로 발생하여 지면을 밀어내며 점프가 유도된다.

[0032] 도 4는 2 ㎜ (W) x 2 ㎜ (L) x 21 ㎛ (H)의 크기를 가지는 광응답 점핑 소프트 로봇에 320 내지 500 nm의 파장을 갖는 자외선을 0.4 W/㎠의 조사시켜 실제 점프하는 모습을 연속으로 촬영한 사진이다.

[0033] 도 5는 본 발명의 실시예 2 및 5 내지 8에 따라 제조된 광응답 점핑 소트프 로봇의 종횡비에 따른 점프 높이를 측정한 결과를 나타내는 그래프이다. 상기 소프트 로봇의 두께는 모두 21 ㎛으로 동일하며, 샘플의 가로 x 세로 크기는 2 ㎜ (W) x 2 ㎜ (L), 2 ㎜ (W)x 3 ㎜ (L), 2 ㎜ (W) x 4 ㎜ (L), 2 ㎜ (W) x 5 ㎜ (L), 2 ㎜ (W) x 6 ㎜ (L)으로, 종횡비는 1 내지 3으로 조정되었다. 도 5에서 나타난 바와 같이, 종횡비가 증가할수록 점프의 높이가 샘플의 무게, 공기의 저항의 증가로 인해 점차적으로 감소하나, 종횡비가 3인 소프트 로봇의 점프 높이는 종횡비 2 및 2.5인 소프트 로봇과 비교하여 다소 증가하였다. 이는 소프트 로봇의 스냅스루 좌굴(snap-through buckling)시의 형태 변화 정도가 3 미만의 종횡비를 가지는 소프트 로봇과 비교하여 더 크기 때문에 변위 차가 커서 점프의 높이가 높아진 것이다.

[0034] 도 6은 트위스티드 네마틱 배향과 소프트 로봇의 오프셋 각도(??/??-90)에 따라 점프하는 방향이 달라지는 광응답 점핑 소프트 로봇의 점프 모션을 나타낸 개요도이다. 오프셋 각도(??/??-90)가 생길 경우 소프트 로봇의 형태 변형 시 뒤틀린 아치 형태를 가지기 때문에, 한쪽으로 기울어지게 되고 이로 인해 기울어진 방향으로 점프가 유도된다.

[0035] 도 7은 본 발명의 실시예 9에 따라 트위스티드 네마틱 배향과 오프셋 각도가 +15°/-75°로 조절되어 제조된 광응답 점핑 소프트 로봇의 점프를 연속 촬영한 사진이다. 도 7에 도시된 바와 같이, 본 발명의 광응답 점핑 소프트 로봇의 액정 배향과 오프셋 각도가 기울어지게 제조될 경우 광조사시 뒤틀린 아치 형태를 갖기 때문에, 한쪽으로 기울어지게 되고 이로 인해 점프시 소프트 로봇이 지면과 수평방향으로도 이동하게 된다.

[0036] 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 것은 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.

[0037] **실시예: 소프트 로봇의 제조**

[0038] 상기 액정 고분자의 합성을 위해, 용융시 네마틱 상태를 가지는 네마틱 액정 단량체(111)로 1,4-비스-[4-(3-아크릴로일록시프로필옥시)벤조일옥시]-2-메틸벤젠(1,4-Bis-[4-(3-acryloyloxypropyloxy)benzoyloxy]-2-methylbenzene)을 사용하였고, 넓은 영역대의 자외선을 흡수하여 광이성질화가 진행되는 광감응성 액정 단량체(112)로 4,4'-비스(6-(아크릴옥시)헥실옥시)아조벤젠(4,4'-bis(6-(acryloxy) hexyloxy)azobenzene)을 사용하였다. 액정 분자의 카이랄(chiral)성을 부여하는 카이랄 도펀트(chiral dopant)는 Merck사의 R-811을 사용하였다. 광개시제로는 녹광을 흡수하는 Irgacure 784(bis(2,6-difuoro-3-(1-hydropyrrol-1-yl)phenyl) titanocene)를 이용하였다. 각 물질의 중량비는 78.5, 20, 0.5, 1.5%의 중량비로 사용하였으며, 각 물질의 녹는점 이상의 온도인 75℃에서 액정 고분자를 합성하였다.

[0039] 상기 액정 고분자의 분자 배향을 트위스티드 네마틱(twisted nematic, TN)으로 유도하기 위해 2장의 유리 기판을 준비한 후 각 유리판의 일면에 나일론(nylon)을 스핀코팅한 후 천조각을 이용하여 기계적 러빙을 통해 액정 고분자의 배향을 유도시키는 표면 조성하였다. 상기 액정의 배향은 기계적 러빙 방향으로 유도가 된다. 그런 다음, 양 유리 기판 코팅면의 기계적 러빙 방향이 수직이 되도록 20 ~ 25 ㎛ 간격으로 이격시켜 고정함으로써 유리틀을 제조하였다. 그 후 상술한 원료물질의 혼합물을 녹는점 이상에서 녹인 후, 마찬가지로 녹는점 이상으로 가열된 상기 유리틀 사이로 모세환 힘을 이용하여 주입하였다. 이어, 액정 고분자 전구체로 가득 찬 가열된 상태의 유리틀에 개시제에 맞는 532 nm의 파장을 갖는 빛을 30 mW/㎠ 조사하여 액정 고분자를 제위치에서 합성해 주고(*in situ* synthesis), 온도를 상온으로 냉각시킨 다음, 유리틀을 제거하여 트위스티드 네마틱(twisted nematic, TN)의 액정 배향을 갖는 필름을 제조하였다.

[0040] 상기 제조된 액정 고분자 필름을 크기(실시예 1 내지 4), 종횡비(실시예 2 및 5 내지 8), 및 트위스티드 네마틱(twisted nematic, TN) 배향과의 오프셋 각도(실시예 2 및 11)를 달리한 사각형으로 잘라주었다. 상기 실시예 1 내지 9에 관한 사항은 표 1에 나타난 바와 같다.

표 1

[0041] 본 발명의 실시예

실시예	필름 크기				
	폭(W, ㎜)	길이(L, ㎜)	두께(H, ㎛)	종횡비	TN 배향과의 오프셋 각도(°)
1	1	1	21	1	+0°/-90°
2	2	2	21	1	+0°/-90°
3	3	3	21	1	+0°/-90°
4	4	4	21	1	+0°/-90°
5	2	3	21	1.5	+0°/-90°
6	2	4	21	2	+0°/-90°
7	2	5	21	2.5	+0°/-90°
8	2	6	21	3	+0°/-90°
9	2	2	21	1	+15°/-75°

[0042] **실험예 1: 소프트 로봇의 크기에 따른 점프 높이 변화 측정**

[0043] 상기 실시예 1 내지 4에서 제조된 복합 액정 고분자 필름을 상온에서 320 내지 500 nm 파장대 자외선을 0.4 W/㎠의 강도로 조사하였다. 빛을 조사받아 역 아치 형태로 변형된 복합 액정 고분자 필름을 음의 가우스 곡률(negative Gaussian curvature) 형태로 두며 실험을 진행하였다.

[0044] 상기 실험 결과, 실시예 2의 복합 액정 고분자 필름의 평균적인 점프 높이는 1.29±0.29 cm, 실시예 3의 복합 액정 고분자 필름의 평균적인 점프 높이는 0.725±0.16 cm인 것으로 나타났다. 반면, 실시예 1 및 4의 복합 액정 고분자 필름의 경우 점프가 일어나지 않았다. 실시예 1에서 제조된 복합 액정 고분자 필름(1 ㎜ x 1 ㎜

크기)은 형태 변형시 아치 형태가 작아 negative Gaussian curvature 형태로 두어도, 스냅 스루 좌굴(snap-through buckling)의 정도가 작아서 점프가 일어나지 않았으며, 실시예 4에서 제조된 복합 액정 고분자 필름(4 mm x 4 mm 크기)은 무게와 공기저항이 크고, 아치 형태를 이루는 각도가 커서 negative Gaussian curvature에서 스냅스루 좌굴(snap-through buckling)이 발생하지 않아 점프가 일어나지 않았다.

[0045] **실험예 2: 종횡비에 따른 점프 높이 변화 측정**

[0046] 이어 본 발명자들은 본 발명의 일 실시예에 따른 복합 액정 고분자 필름의 종횡비에 따라 스냅스루 좌굴에 의해 발생하는 점프의 변화를 측정하였다. 구체적으로 상기 실시예 1 내지 4 중 가장 점프 높이가 높았던 실시예 2의 복합 액정 고분자 필름을 기반으로 하여 길이를 증가시킴으로써 종횡비를 1.5, 2, 2.5 및 3으로 각각 증가시켰다(실시예 5 내지 8). 그렇게 제조된 복합 액정 고분자 필름 상온에서 320 내지 500 nm 파장대 자외선을 0.4 W/㎠의 강도로 조사하였다. 빛을 조사받아 역 아치 형태로 변형된 소프트 로봇을 negative Gaussian curvature 형태로 두며 실험을 진행하였다.

[0047] 그 결과 도 5의 그래프와 같은 점프 거동이 관찰되었다. 상기 점프를 기록한 정학한 수치는 경향을 보이며 정확한 수치는 하기 표 2와 같다. 복합 액정 고분자 필름의 종횡비가 증가할수록 점프의 높이가 샘플의 무게, 공기의 저항의 증가로 인해 점차적으로 감소하나, 종횡비가 3인 복합 액정 고분자 필름의 점프 높이는 종횡비 2 또는 2.5인 복합 액정 고분자 필름보다 오히려 증가하였다. 이는 소프트 로봇의 스냅스루 좌굴(snap-through buckling)시의 형태 변화 정도가 3 미만의 종횡비를 가지는 소프트 로봇과 비교하여 더 크기 때문에 변위 차가 커서 점프의 높이가 높아진 것으로 해석된다.

표 2

[0048] 종횡비에 따른 점프 높이의 변화

실시예	2	5	6	7	8
종횡비	1	1.5	2	2.5	3
평균 점프 높이 (cm)	1.29±0.29	0.64±0.13	0.49±0.14	0.39±0.06	0.54±0.21

[0049] **실험예 3: 트위스티드 네마틱 배향과의 오프셋 각도에 따른 점프 방향 관찰**

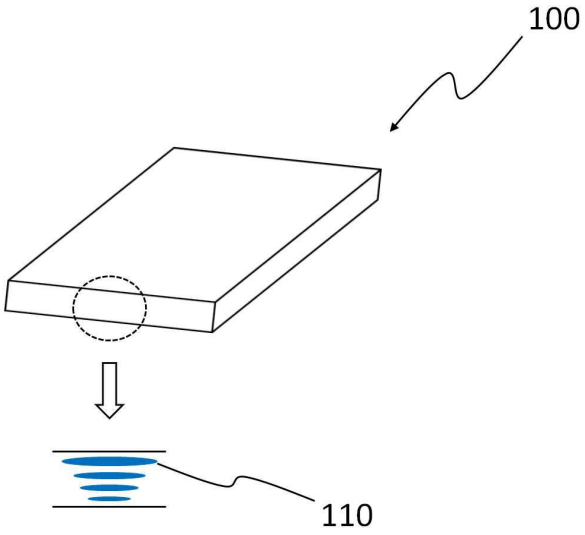
[0050] 본 발명의 일 실시예에 따른 복합 액정 고분자 필름은 고분자가 트위스트 네마틱 배향을 갖게 되기 때문에 액정 배향과 필름의 방향성이 달라질 경우 점프의 양상이 변화할 수 있다. 이에, 본 발명자들은 필름의 절단 각도를 달리하여 액정 배향과의 각도를 달리하여 점프 양상을 관찰하였다. 이를 위해 구체적으로, 상기 실시예 2 및 9에서 각각 제조된 복합 액정 고분자 필름을 상온에서 320 내지 500 nm 파장대 자외선을 0.4 W/㎠의 강도로 조사하였다. 빛을 조사받아 역 아치 형태로 변형된 소프트 로봇을 negative Gaussian curvature 형태로 두며 실험을 진행하였다. 그 결과, 액정의 배향과 직각 및 평행으로 절단한 실시예 2의 복합 액정 고분자 필름의 경우(오프셋 각도: +0°/-90°) 도 4에서 나타난 바와 같이, 아치형태가 만들어지기 때문에 지면과 수직방향으로 점프하였고, 액정의 배향과 15㎭ 정도 기울어지게 비스듬하게 절단한 실시예 9의 복합 액정 고분자 필름(오프셋 각도: +15°/-75°)의 경우 도 6 및 7에서 나타난 바와 같이, 뒤틀린 아치 형태가 만들어지기 때문에 복합 액정 고분자 필름이 기울어져 점프의 방향성을 가지는 것으로 확인되었다.

[0051] 이와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 복합 액정 고분자 필름은 액정 배향과의 오프셋 각도를 조절함으로써 광응답 점핑 소프트 로봇의 점프의 양상을 변화시킬 수 있다. 이러한 특성을 활용할 경우 빛을 이용하여 원격 조정이 가능한 지형 지물에 제한받지 않는 로봇의 개발이 가능하다.

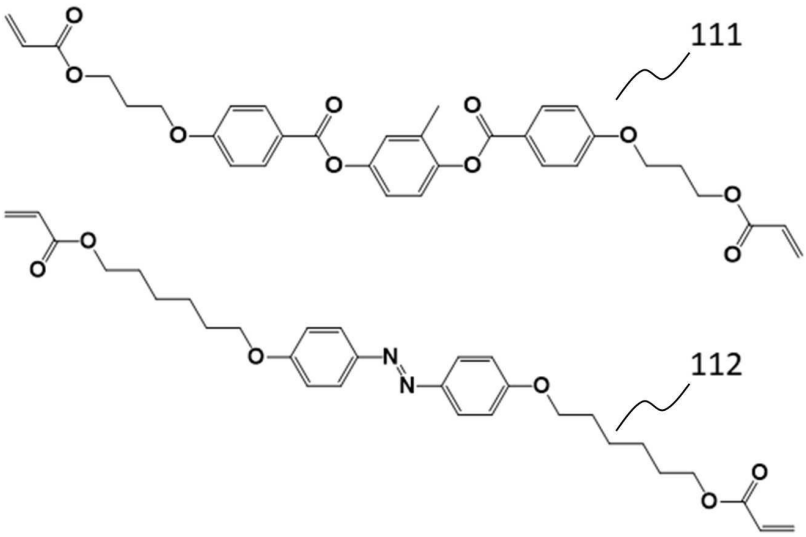
[0052] 본 발명은 상술한 실시예 및 실험예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예 및 실험예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

도면

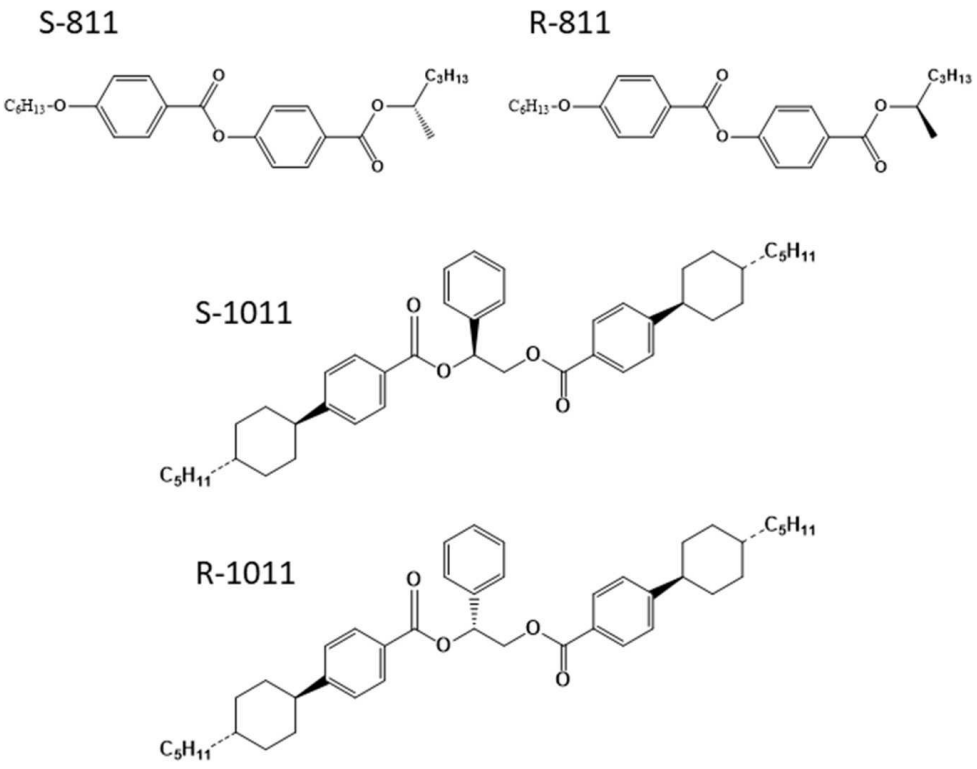
도면1



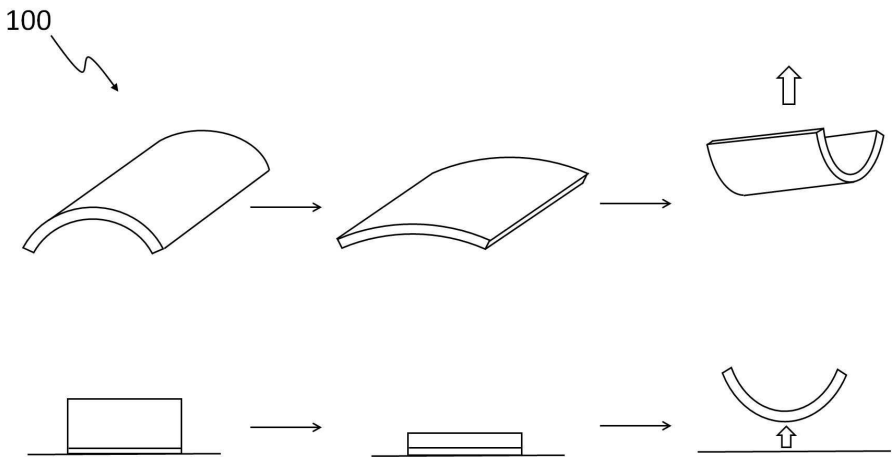
도면2a



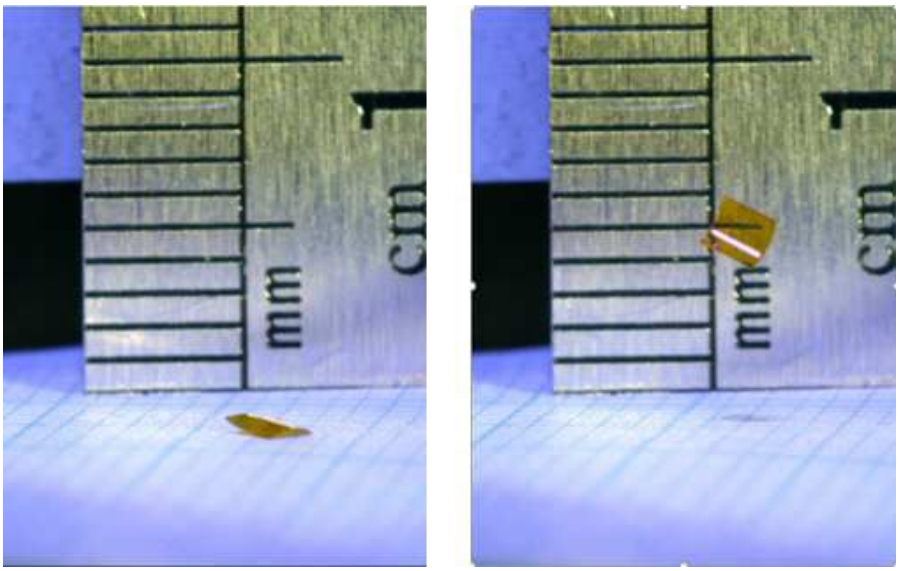
도면2b



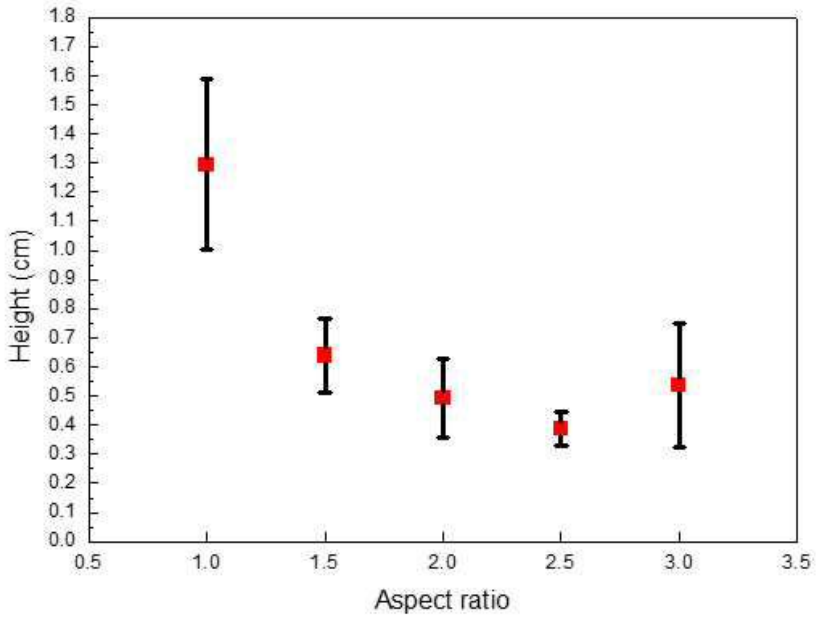
도면3



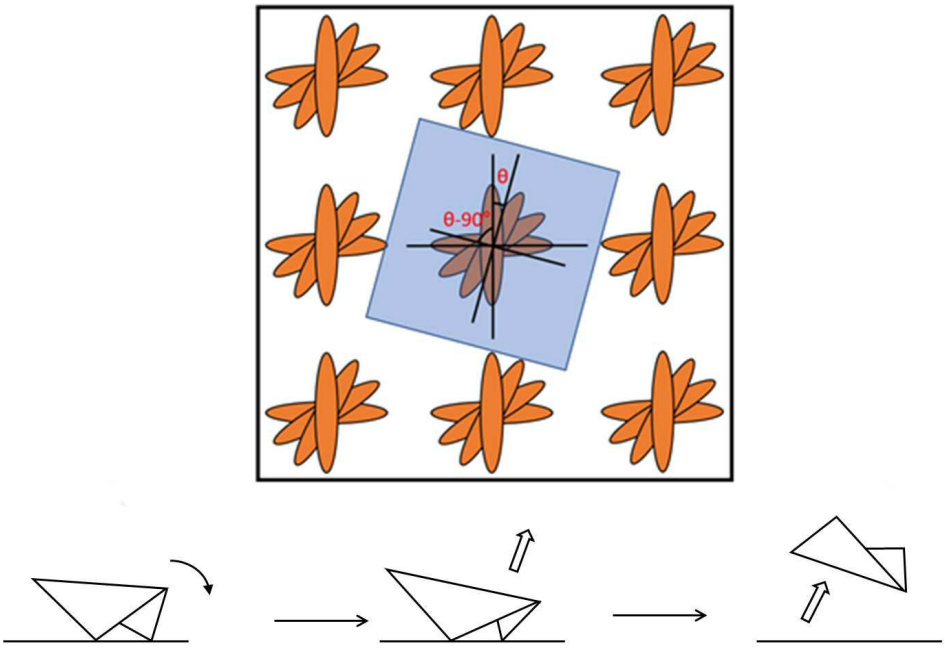
도면4


mm
cm
mm
cm

도면5


Height (cm)
Aspect ratio
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
1.7
1.8
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5

도면6



도면7

