

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0057670

(43) 공개일자 2021년05월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B22F 9/00 (2006.01) B22F 1/00 (2006.01)

B82B 3/00 (2017.01) B82Y 40/00 (2017.01)

(52) CPC특허분류

B22F 9/00 (2013.01)

B22F 1/0044 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0146418

(22) 출원일자 2020년11월04일

심사청구일자 2020년11월04일

(30) 우선권주장

1020190144027 2019년11월12일 대한민국(KR)

(71) 출원인

충남대학교산학협력단

대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)

(72) 발명자

이재범

경기도 화성시 동탄순환대로21길 54 동탄2신도시

센트럴푸르지오 1331동 204호

정기재

부산광역시 북구 금곡대로 268 화명동대림타운

408동 1004호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

원대규

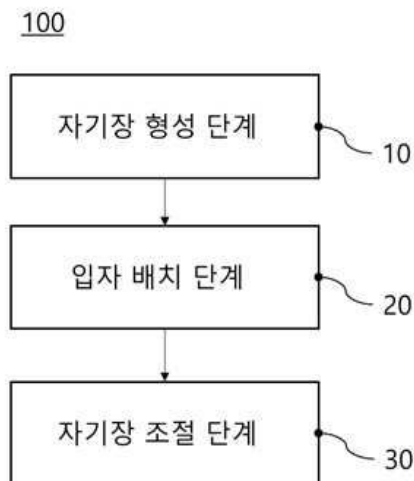
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 카이랄 나노 구조체의 제조방법

## (57) 요약

자기장을 이용하여 카이랄성(Chirality)을 갖는 나노 구조체를 제조하는 방법에 관한 것으로, 구체적으로, 자기장을 형성하는 자기장 형성 단계; 적어도 2 이상의 나노 입자를 자기장 내에 배치하는 입자 배치 단계; 및 상기 자기장의 자속 밀도, 자화 방향 및 공간적 범위 중 적어도 하나를 조절하는 자기장 조절 단계;를 포함하고, 상기 자기장 조절 단계에서, 상기 자기장 내에 배치된 상기 나노 입자의 배열이 상기 자기장의 구조에 상응하도록 정렬되어, 전체 구조가 카이랄성(Chirality)을 띠는 나노 구조체로 형성되는, 카이랄 나노 구조체의 제조방법을 제공한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*B82B 3/0009* (2013.01)

*B22F 2202/05* (2013.01)

*B82Y 40/00* (2013.01)

(72) 발명자

**이동규**

대전광역시 유성구 대학로76번안길 44, 206호

**전반만**

대전광역시 유성구 문화원로10번길 51, 104호

**왕채봉**

대전광역시 유성구 문화원로14번길 39-2, 304호

**곽주용**

대전광역시 유성구 장대로 85, 201호

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

자기장을 형성하는 자기장 형성 단계;

적어도 2 이상의 나노 입자를 자기장 내에 배치하는 입자 배치 단계; 및

상기 자기장의 자속 밀도, 자화 방향 및 공간적 범위 중 적어도 하나를 조절하는 자기장 조절 단계;를 포함하고,

상기 자기장 조절 단계에서, 상기 자기장 내에 배치된 상기 나노 입자의 배열이 상기 자기장의 구조에 상응하도록 정렬되어, 전체 구조가 카이랄성(Chirality)을 띠는 나노 구조체로 형성되는,

카이랄 나노 구조체의 제조방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 자기장 형성 단계에서 상기 자기장은 나선형 자기장인

카이랄 나노 구조체의 제조방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 자기장 형성 단계에서 상기 자기장은 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시켜 형성된 나선형 자기장인

카이랄 나노구조체의 제조방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 나노 입자는 자성 플라즈몬(magnetoplasmonic) 입자를 포함하는,

카이랄 나노 구조체의 제조방법,

#### 청구항 5

제4항에 있어서,

상기 자성 플라즈몬 입자는,

코어(core); 및 상기 코어의 표면의 적어도 일부를 둘러싸고 상기 코어의 성분과 이종의 성분을 포함하는 셸(shell)을 구비한 코어-셸(core-shell) 입자를 포함하는,

카이랄 나노 구조체의 제조방법.

#### 청구항 6

제5항에 있어서,

상기 코어-셸(core-shell) 입자는 상기 코어 및 상기 셸 중 어느 하나가 자성 성분을 포함하고, 다른 하나가 금속 성분을 포함하는,

카이랄 나노 구조체의 제조방법.

#### 청구항 7

제6항에 있어서,

상기 금속 성분은 은(Ag), 금(Au), 백금(Pt), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 이리듐(iridium), 오스뮴(osmium), 로듐(rhodium), 루테튬(ruthenium), 니켈(Ni), 코발트(Co), 철(Fe), 망간(Mn), 크롬(Cr), 마나듐(V), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하는,

카이랄 나노 구조체의 제조방법.

#### 청구항 8

제6항에 있어서,

상기 자성 성분은, 산화철( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), 산화니켈( $\text{NiO}$ ), 산화코발트( $\text{Co}_3\text{O}_4$ ), 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하는,

카이랄 나노 구조체의 제조방법.

#### 청구항 9

제1항에 있어서,

상기 입자 배치 단계에서 상기 나노 입자가 용매 또는 분산매 내에 분산된 상태로 배치되는,

카이랄 나노 구조체의 제조방법.

#### 청구항 10

제9항에 있어서,

상기 용매 또는 분산매는 증류수, 탈이온수, 알코올, 유기용매, 고분자 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하는,

카이랄 나노 구조체의 제조방법.

#### 청구항 11

제1항에 있어서,

상기 자기장 형성 단계에서 상기 자기장은 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시켜 형성된 나선형 자기장이고,

상기 자기장 조절 단계에서 상기 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시키는 각도; 및 상기 적어도 2개의 자성체의 상호 평행한 정도; 중 적어도 하나를 변화시켜 상기 자기장의 자화 방향을 조절하는,

카이랄 나노 구조체의 제조방법.

#### 청구항 12

제1항에 있어서,

상기 자기장 형성 단계에서 상기 자기장은 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시켜 형성된 나선형 자기장이고,

상기 자기장 조절 단계에서 상기 적어도 2개의 자성체 사이의 직선 거리를 변화시켜 상기 자기장의 공간적 범위를 조절하는,

카이랄 나노 구조체의 제조방법.

#### 청구항 13

제1항에 있어서,

상기 자기장 형성 단계에서 상기 자기장은 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시켜 형성된 나선형 자기장이고,

상기 자기장 조절 단계에서 상기 적어도 2개의 자성체의 자기력; 및 상기 적어도 2개의 자성체 사이의 직선 거리 중 적어도 하나를 변화시켜 상기 자기장의 자속 밀도를 조절하는,

카이랄 나노 구조체의 제조방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 카이랄 나노 구조체의 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 본 발명은 자기장을 이용하여 종래에 비해 보다 간단한 공정을 통해 효과적으로 카이랄 나노 구조체를 제조할 수 있는 방법을 제공하기 위한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 합성 기술의 지속적인 발전에 따라 금속을 활용하여 나노 수준의 크기를 갖는 입자로 제조하는 것이 가능하게 되었으며, 분석 기술의 진보로 인해 이러한 나노 입자들이 다양하고 독특한 특성을 가지는 것이 밝혀져 왔다. 예를 들어, 나노 크기의 금속성 입자의 경우 기하학적인 구조에 따라, 이들로 이루어진 3차원 구조체의 광학적 특성이 변화하게 되는데, 이는 국소 표면 플라즈몬 공명(localized surface plasmon resonance, LSPR) 현상에 기인한다는 점이 밝혀졌다. 이러한 나노 입자는 그 조성 및 구조 등에 따라서 그 자체 혹은 이들로 이루어진 3차원 구조체로서 광학, 바이오, 촉매 등의 다양한 기술 분야에서 활용될 수 있다. 또한, 최근 나노 과학 분야가 새로운 차세대 산업 분야로 각광받게 되면서 다양한 조성 및 구조의 나노 입자에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 기술적 기류에 부합하여 특정 조성 및 구조의 나노 입자를 활용하여 3차원 구조체를 합성하는 연구가 활발히 진행되고 있는데, 주로 화학적인 합성 방법을 활용하고 있다. 일례로, 최근에는 2개 이상의 아미노산이 결합되어 있는 펩타이드를 활용하여 합성하는 방법이 제시된 바 있다. 또한, 전자빔리소그래피(e-beam lithography)를 이용하는 방법, 나노 사이즈로 이루어진 홀을 이용하여 회전 증착하는 홀 리소그래피(hole lithography) 방법 등이 연구되고 있다.

[0003] 한편, 자연에 존재하는 모든 물질은 카이랄성을 지니고 있다. 예를 들어, 아미노산의 경우, 대부분 L-아미노산(L-amino acid)으로 이루어져 있으며, 당류의 경우 D-당류(D-sugar)가 주류를 이루고 있다. 이와 같이 생체 유기물들은 항상 한쪽-카이랄성(homo-chirality)을 지니고 있기 때문에 이를 거르는 물질과 생체 반응을 하게 될 경우, 유기체에 치명적인 손상이 나타나게 된다. 이러한 카이랄성을 적용하여 나노 입자로부터 제조된 카이랄 구조체는 어떠한 거울상 대칭도 가지고 있지 않은 비대칭 구조를 갖는 3차원 구조체를 의미한다. 카이랄 구조체 내에서는 입사되는 전자기파에 의해 발생하는 전기 쌍극자와 자기 쌍극자가 서로 같은 방향으로 상호작용을 하기 때문에 우편광과 좌편광의 축퇴(degeneracy)가 깨지게 된다. 따라서, 카이랄 구조체는 좌편광과 우편광의 빛에 대해 서로 다른 굴절률을 가지게 되며, 이에 따라 카이랄 물질에 선형 편광의 빛이 입사하면 편광 상태가 회전하는 광활성 특성이 나타나게 된다. 카이랄 구조체는 이러한 광활성 특성을 이용하여 광학 재료 및 촉매 분야에 다양하게 이용될 수 있다.

[0004] 나노 입자의 기하학적 정렬 구조로 구성된 3차원 카이랄 구조체는 전술한 바와 같이, 화학적인 합성 방법으로 제조하는 경우가 많다. 다만, 종래의 나노 입자 및 이를 이용한 구조체의 합성은 그 과정이 복잡하고 정밀성 및 정확성이 다소 부족한 면이 있다. 이에 본 발명자들은 카이랄 나노 구조체를 보다 간단한 공정으로 정교하게 생산할 수 있는 방법을 연구하였고, 본 발명을 완성하였다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) KR 10-2019-0117370 A  
(특허문헌 0002) KR 10-1581406 B1

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 일 구현에는 카이랄성 부여 과정의 정밀도가 크기 향상되고, 공정 효율 및 기술적 수단의 측면에서 공정의 용이성이 극대화되어 카이랄성을 갖는 미세 구조체의 제조가 용이한 제조방법을 제공하고자 한다.

[0007] 본 발명의 일 구현예는 종래의 수단에 비하여 현저히 단순화된 수단을 통하여 구조적 카이랄성을 부여하며, 추가적인 카이랄성의 변조에 있어서도 즉각성 및 실시간성을 확보할 수 있는 효율적인 카이랄 나노 구조체의 제조 방법을 제공하고자 한다.

### 과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 구현예에서, 자기장을 형성하는 자기장 형성 단계; 적어도 2 이상의 나노 입자를 자기장 내에 배치하는 입자 배치 단계; 및 상기 자기장의 자속 밀도, 자화 방향 및 공간적 범위 중 적어도 하나를 조절하는 자기장 조절 단계;를 포함하고, 상기 자기장 조절 단계에서, 상기 자기장 내에 배치된 상기 나노 입자의 배열이 상기 자기장의 구조에 상응하도록 정렬되어, 전체 구조가 카이랄성(Chirality)을 띠는 나노 구조체로 형성되는, 카이랄 나노 구조체의 제조방법을 제공한다.

[0009] 상기 자기장 형성 단계에서 상기 자기장은 나선형 자기장일 수 있다.

[0010] 상기 자기장 형성 단계에서 상기 자기장은 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시켜 형성된 나선형 자기장일 수 있다.

[0011] 상기 나노 입자는 자성 플라즈몬(magnetoplasmonic) 입자를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 자성 플라즈몬 입자는, 코어(core); 및 상기 코어의 표면의 적어도 일부를 둘러싸고 상기 코어의 성분과 이종의 성분을 포함하는 셸(shell)을 구비한 코어-셸(core-shell) 입자를 포함할 수 있다. 상기 셸(shell)이 상기 코어(core)의 성분과 이종의 성분을 포함한다는 것은, 상호 모든 성분이 상이한 경우뿐만 아니라 일부 동일한 성분을 포함하더라도 전체 조성이 상이한 경우를 포함하는 것으로 해석되어야 할 것이다.

[0013] 상기 코어-셸(core-shell) 입자는 상기 코어 및 상기 셸 중 어느 하나가 자성 성분을 포함하고, 다른 하나가 금속 성분을 포함할 수 있다.

[0014] 상기 금속 성분은 은(Ag), 금(Au), 백금(Pt), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 이리듐(iridium), 오스뮴(osmium), 로듐(rhodium), 루테튬(ruthenium), 니켈(Ni), 코발트(Co), 철(Fe), 망간(Mn), 크롬(Cr), 바나듐(V), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 자성 성분은, 산화철( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), 산화니켈( $\text{NiO}$ ), 산화코발트( $\text{Co}_3\text{O}_4$ ), 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0016] 상기 입자 배치 단계에서 상기 나노 입자가 용매 또는 분산매 내에 분산된 상태로 배치될 수 있다.

[0017] 상기 용매 또는 분산매는 증류수, 탈이온수, 알코올, 유기용매, 고분자 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0018] 상기 자기장 형성 단계에서 상기 자기장은 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시켜 형성된 나선형 자기장이고, 상기 자기장 조절 단계에서 상기 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시키는 각도; 및 상기 적어도 2개의 자성체의 상호 평행한 정도; 중 적어도 하나를 변화시켜 상기 자기장의 자화 방향을 조절할 수 있다.

[0019] 상기 자기장 형성 단계에서 상기 자기장은 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시켜 형성된 나선형 자기장이고, 상기 자기장 조절 단계에서 상기 적어도 2개의 자성체 사이의 직선 거리를 변화시켜 상기 자기장의 공간적 범위를 조절할 수 있다.

[0020] 상기 자기장 형성 단계에서 상기 자기장은 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시켜 형성된 나선형 자기장이고, 상기 자기장 조절 단계에서 상기 적어도 2개의 자성체의 자기력; 및 상기 적어도 2개의 자성체 사이의 직선 거리 중 적어도 하나를 변화시켜 상기 자기장의 자속 밀도를 조절할 수 있다.

### 발명의 효과

[0021] 일 구현예에 따른 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법은 자기장 인가 및 조절 수단을 통하여 상대적으로 단순한 방법으로 대량의 카이랄 나노 구조체를 제조할 수 있는 이점을 제공하며, 화학적인 합성 방법을 활용하거나 별도 템플릿(Template)을 활용하는 등의 종래의 제조 방법에 비하여 공정 용이성 및 효율성을 향상시키고, 나아가 정밀도를 향상시키는 이점을 갖는다. 또한, 카이랄성을 최초로 부여하는 경우뿐만 아니라, 필요에 따른 추가적인 카이랄성의 변조에 있어서도 즉각적인 실시간성을 확보하는 이점을 갖는다.

[0022] 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법에 의해 제조된 카이랄 나노 구조체는 편광 기능이 요구되는 다양한 광학 장치 및 바이오 센서 분야에 광범위하게 활용 가능하며, 특히 카이랄 특성의 정밀하고 즉각적인 변조가 가능하므로 초고속 전환, 실시간 조정, 정교한 색상 구현이 요구되는 3D, 홀로그래픽 디스플레이와 같은 차세대 디스플레이를 위한 능동적이고 역동적인 광학 활성 수단의 역할을 수행할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 일 구현예에 따른 카이랄 나노 구조체의 제조방법의 순서도를 개략적으로 도시한 것이다.

도 2는 일 구현예에 따른 자기장 형성 단계를 개략적으로 도식화한 것이다.

도 3은 일 구현예에 따른 상기 자기장 형성 단계에서 자성체 회전 상태를 개략적으로 도식화한 것이다.

도 4는 일 구현예에 따른 입자 배치 단계를 개략적으로 도식화한 것이다.

도 5는 일 구현예에 따른 카이랄 나노 구조체의 제조방법을 통하여 카이랄성을 부여할 수 있는 다양한 형태의 나노 입자의 단면을 개략적으로 도시한 것이다.

도 6은 일 구현예에 따른 구형의 코어-셸 입자의 사진을 게재한 것이다.

도 7은 일 구현예에 따른 막대형의 코어-셸 입자의 사진을 게재한 것이다.

도 8은 일 구현예에 따른 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법에 의해 제조된 카이랄 나노 구조체의 일부를 개략적으로 도시한 사시도이다.

도 9는 실시예 1에 의해 제조된 카이랄 나노 구조체의 농도 및 회전 각도별 원편광이색성분광 스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy, CD)을 게재한 것이다.

도 10은 실시예 2에 의해 제조된 카이랄 나노 구조체의 농도 및 회전 각도별 원편광이색성분광 스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy, CD)을 게재한 것이다.

도 11은 실시예 3에 의해 제조된 카이랄 나노 구조체의 농도 및 회전 각도별 원편광이색성분광 스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy, CD)을 게재한 것이다.

도 12는 실시예 4에 의해 제조된 카이랄 나노 구조체의 농도 및 회전 각도별 원편광이색성분광 스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy, CD)을 게재한 것이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 후술하는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

[0025] 본 명세서의 도면에서는 여러 층 및 영역 등을 명확하게 표현하기 위하여 필요에 따라 일부분을 확대하거나, 과장되게 나타내었다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다.

[0026] 본 명세서에서 '~ 이상'의 의미는 그 해당 숫자 혹은 그보다 많은 경우를 포함하는 것으로 해석된다. 예를 들어, '2 이상'은 둘 또는 그보다 많은 경우를 의미한다. 또한, 수치 범위에 대한 'X 내지 Y'의 기재는 X 또는 Y를 포함하는 범위로 해석된다. 예를 들어, '25 내지 50'은 25 및 50을 포함하는 수치 범위를 의미한다.

[0027] 본 발명의 일 구현예에서, 자기장을 형성하는 자기장 형성 단계; 적어도 2 이상의 나노 입자를 자기장 내에 배치하는 입자 배치 단계; 및 상기 자기장의 자속 밀도, 자화 방향 및 공간적 범위 중 적어도 하나를 조절하는 자기장 조절 단계;를 포함하고, 상기 자기장 조절 단계에서, 상기 자기장 내에 배치된 상기 나노 입자의 배열이 상기 자기장의 구조에 상응하도록 정렬되어, 전체 구조가 카이랄성(Chirality)을 띠는 나노 구조체로 형성되는, 카이랄 나노 구조체의 제조방법을 제공한다.

[0028] 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법을 통하여 카이랄성을 갖는 3차원 나노 구조체를 제조할 수 있다. 카이랄성(Chirality)은 비대칭 속성을 말한다. 구조적으로 이러한 카이랄성을 갖는 입자 구조체는 액정 표시 장치(Liquid Crystal Display, LCD) 등의 광학 기술 분야 또는 제약 등의 바이오 분야에 유용하게 적용될 수 있다. 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법은 대량으로 높은 순도의 카이랄성을 갖는 입자 구조체를 제조할 수 있는

수단을 제공하며, 이를 통하여 제조된 3차원 나노구조체의 경우, 제약 및 바이오 분야에서 광학 소자 분야에 이르기까지 새로운 연구 분야를 개척할 수 있는 잠재성이 큰 물질로 기능할 수 있다.

- [0029] 도 1은 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법의 개략적인 순서도를 도시한 것이다. 도 1을 참조할 때, 상기 제조방법(100)은 자기장 형성 단계(10), 입자 배치 단계(20) 및 자기장 조절 단계(30)를 포함할 수 있다.
- [0030] 상기 자기장 형성 단계(10)는 카이랄 나노 구조체를 제조하기 위한 기초 단계로서, 이를 통하여 소정의 자속 밀도 및 자화 방향을 갖는 자기장이 소정의 공간적 범위 내에 형성될 수 있다.
- [0031] 상기 자기장 형성 단계(10)에서, 상기 자기장은 최종적으로 상기 나노 구조체에 카이랄성을 부여할 수 있는 구조를 갖는 자기장이면 특별히 제한되지 않으나, 예를 들어, 나선형 구조의 자기장이 될 수 있다. 상기 자기장이 나선형 자기장이면 경우, 나선형이라는 구조에서 기인한 카이랄성을 갖게 된다. 이때, 상기 자기장으로부터 유도되는 구조적 카이랄성이 상기 나노 입자에 전가될 수 있고, 이로써 상기 나노 입자의 정렬 구조가 나선형 구조에서 기인한 카이랄성을 띠도록 제조될 수 있다.
- [0032] 구체적으로, 상기 자기장 형성 단계에서 상기 자기장은 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시켜 나선형 자기장으로 형성될 수 있다. 도 2는 일 구현예에 따른 상기 자기장 형성 단계(10)를 개략적으로 도시한 것이다. 도 2를 참조할 때, 상기 자기장 형성 단계(10)는 2개의 자성체(11, 12)를 이용할 수 있다. 상기 2개의 자성체(11, 12)를 동일한 자화 방향(y축 방향)으로 서로 마주보도록 대향 배치한 후 서로 반대 방향으로 상대 회전시켜 나선형의 자기장(13)을 형성할 수 있다.
- [0033] 도 3은 상기 2개의 자성체(11, 12)를 각각 회전시키되 서로 반대 방향으로 회전시킨 경우를 y축 방향에서 도시한 개략도이다. 도 3을 참조할 때, 하나의 자성체(11)는 이의 장축(L1)과 z축이 이루는 각도( $\theta_1$ )가  $0^\circ < \theta_1 < 180^\circ$  범위가 되도록 시계 방향으로 회전하고, 다른 하나의 자성체(12)는 이의 장축(L2)과 z축이 이루는 각도( $\theta_2$ )가  $0^\circ > \theta_2 > -180^\circ$  범위가 되도록 반시계 방향으로 회전시킬 수 있다. 상기  $\theta_1$  및  $\theta_2$ 를 조절함으로써 상기 나선형 자기장의 구조가 결정될 수 있다.
- [0034] 일 구현예에서, 상기 두 자성체(11, 12)는 상기  $\theta_1$  및  $\theta_2$ 의 절대값의 크기가 동일하도록 회전시킬 수 있다. 또한, 상기  $\theta_1$  및  $\theta_2$ 의 크기를 조절함으로써 상기 나선형 자기장(13)의 구조가 결정될 수 있다. 상기 나선형 자기장(13)은 거울면 비대칭 구조를 가짐으로써 카이랄성을 나타내며, 상기  $\theta_1$  및  $\theta_2$ 의 크기에 따라 카이랄성의 정도가 조절될 수 있다. 상기  $\theta_1$  및  $\theta_2$ 의 절대값의 크기를  $\theta$ 라 지칭할 때, 상기 나선형 자기장의 카이랄성의 크기는  $\sin(2\theta)$ 의 크기에 비례할 수 있다.
- [0035] 일 구현예에서, 상기 두 자성체(11, 12)는 각각 독립적으로 네오디뮴(neodymium) 자석, 페라이트(ferrite) 자석 또는 전자석을 포함할 수 있다. 구체적으로, 상기 자성체의 자속 밀도는 약  $1\mu\text{T}$  내지 약 5T일 수 있고, 예를 들어, 약 0.01T 내지 약 0.4T일 수 있고, 예를 들어, 약 0.01T 내지 약 0.3T일 수 있다.
- [0036] 일 구현예에서, 상기 두 자성체(11, 12)의 중심을 연결하는 직선 거리로 정의되는 자성체 이격 거리는 약  $1\mu\text{m}$  내지 약 10m일 수 있고, 예를 들어, 약  $1\mu\text{m}$  내지 약 5m일 수 있고, 예를 들어, 약  $1\mu\text{m}$  내지 약 1m일 수 있고, 예를 들어,  $1\mu\text{m}$  내지 약 80cm일 수 있고, 예를 들어, 약 1cm 내지 약 50cm일 수 있고, 예를 들어, 약 1cm 내지 약 10cm일 수 있고, 예를 들어, 약 1cm 내지 약 8cm일 수 있고, 예를 들어, 약 1cm 내지 약 6cm일 수 있고, 예를 들어, 약 1cm 내지 약 5cm일 수 있고, 예를 들어, 약 1cm 내지 약 4cm일 수 있다.
- [0037] 상기 제조방법(100)은 적어도 2 이상의 상기 나노 입자를 자기장 내에 배치하는 입자 배치 단계(20)를 포함한다. 도 4는 상기 입자 배치 단계(20)에 관하여 개략적으로 도시한 것이다.
- [0038] 상기 입자 배치 단계(20)는 상기 자기장 형성 단계(10)에서 생성된 자기장 내에 카이랄성을 부여하기 위한 대상 입자를 배치하는 단계이다. 상기 입자 배치 단계(20)는 상기 자기장 형성 단계(10) 이전에 수행될 수도 있고, 상기 자기장 형성 단계(10) 이후에 수행될 수도 있다. 즉, 상기 나노 입자는 상기 자기장이 형성되기 전에 미리 자기장이 형성될 영역 내에 배치될 수도 있고, 상기 자기장이 형성된 후에 자기장이 형성된 영역 내에 배치될 수도 있다.
- [0039] 도 4의 경우, 예시적으로, 상기 자기장 형성 단계(10) 이전에 입자가 배치된 경우를 도시한 것이다. 도 4를 참조할 때, 상기 입자 배치 단계(20)에서, 상기 나노 입자는 용매 또는 분산매에 분산된 상태로 상기 자기장 내에 배치될 수 있다. 구체적으로, 적어도 2 이상의 상기 나노 입자를 포함하는 콜로이드 용액(21)을 제조한 후, 상기 콜로이드 용액(21)을 자기장 내에 배치하는 방법으로 수행될 수 있다.
- [0040] 상기 콜로이드 용액(21) 중의 상기 나노 입자의 농도는 예를 들어, 약  $5\mu\text{g/mL}$  내지 약 500mg/mL일 수 있고, 예

를 들어, 약  $5\mu\text{g/mL}$  내지 약  $400\text{mg/mL}$ 일 수 있고, 예를 들어, 약  $10\text{mg/mL}$  내지 약  $400\text{mg/mL}$ 일 수 있다. 상기 나노 입자를 전술한 농도 범위로 분산시켜 상기 제조방법에 적용함으로써 상기 나노 입자가 응집되지 않고 카이랄성을 띠는 정렬 구조로 배열되기에 유리할 수 있으며, 적어도 2 이상의 상기 나노 입자로 이루어진 3차원의 카이랄 나노 구조체가 정교하게 형성될 수 있다.

- [0041] 상기 용매 또는 분산매는 증류수, 탈이온수, 알코올, 유기 용매, 고분자 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 '고분자'는 중량평균분자량(Mw)이 약 500 이상인 중합체로 상온에서 점도가 약 5cP 내지 6000cP일 수 있으며, 1종 또는 2종 이상의 혼합물로 구성될 수 있고, 상기 나노 입자의 분산매로 기능할 수 있는 친수성, 소수성 또는 양친매성의 액상 또는 고상의 중합체를 총칭하는 것으로 이해된다.
- [0042] 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법은 상기 나노 입자가 소정의 배열로 정렬되어 구조적인 카이랄성을 갖도록 하는 방법으로서, 상기 나노 입자의 성분, 구조 등에 따라 다양한 카이랄 나노 구조체를 제조할 수 있다.
- [0043] 일 구현예에서, 상기 나노 입자는 자성 플라즈몬(magnetoplasmonic) 입자를 포함할 수 있다. 플라즈몬(Plasmon)이란 금속 내부의 자유 전자들이 집단적으로 진동하는 현상을 의미한다. 금속 나노 입자의 경우, 플라즈몬이 표면에 국부적으로 존재할 수 있는데, 이를 표면 플라즈몬(Surface Plasmon)이라고 지칭할 수 있다. 금속 나노 입자가 가시광선에서 근적외선에 이르는 영역의 빛의 전기장과 만나는 경우 표면 플라즈몬 공명(Surface Plasmon Resonance, SPR)에 의해 광흡수가 일어나 선명한 색을 내게 된다. 상기 자성 플라즈몬 입자는 자성을 띠는 플라즈몬 입자로서, 자성에 의해 자기장 내에 소정의 배열로 정렬될 수 있고, 플라즈몬 현상에 의해 색을 띌 수 있다.
- [0044] 구체적으로, 상기 자성 플라즈몬 입자는 코어(core); 및 상기 코어의 표면의 적어도 일부를 둘러싸고, 상기 코어(core)의 성분과 이종의 성분을 포함하는 셸(shell)을 구비한 코어-셸(core-shell) 입자를 포함할 수 있다.
- [0045] 예를 들어, 상기 코어-셸(core-shell) 입자는 상기 코어 및 상기 셸 중 어느 하나가 자성 성분을 포함하고, 다른 하나가 금속 성분을 포함할 수 있다. 자성 성분을 포함하는 코어와 금속 성분을 포함하는 셸; 또는 자성 성분을 포함하는 셸과 금속 성분을 포함하는 코어의 조합을 통하여, 상기 나노 구조체가 목적하는 색상의 구현과 동시에, 자기장 내에 소정의 배열로 정렬되어 정밀한 카이랄 구조를 형성하기 유리할 수 있다.
- [0046] 상기 금속 성분은, 예를 들어, 은(Ag), 금(Au), 백금(Pt), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 이리듐(iridium), 오스뮴(osmium), 로듐(rhodium), 루테튬(ruthenium), 니켈(Ni), 코발트(Co), 철(Fe), 망간(Mn), 크롬(Cr), 바나듐(V), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.
- [0047] 상기 자성 성분은, 예를 들어, 산화철( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), 산화니켈( $\text{NiO}$ ), 산화코발트( $\text{Co}_3\text{O}_4$ ), 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.
- [0048] 일 구현예에서, 상기 코어(core)는 은(Ag), 금(Au), 백금(Pt), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 이리듐(iridium), 오스뮴(osmium), 로듐(rhodium), 루테튬(ruthenium), 니켈(Ni), 코발트(Co), 철(Fe), 망간(Mn), 크롬(Cr), 바나듐(V), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하고, 상기 셸(shell)은 산화철( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), 산화니켈( $\text{NiO}$ ), 산화코발트( $\text{Co}_3\text{O}_4$ ), 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.
- [0049] 다른 구현예에서, 상기 코어(core)는 산화철( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), 산화니켈( $\text{NiO}$ ), 산화코발트( $\text{Co}_3\text{O}_4$ ), 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하고, 상기 셸(shell)은 은(Ag), 금(Au), 백금(Pt), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 이리듐(iridium), 오스뮴(osmium), 로듐(rhodium), 루테튬(ruthenium), 니켈(Ni), 코발트(Co), 철(Fe), 망간(Mn), 크롬(Cr), 바나듐(V), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.
- [0050] 이러한 코어-셸 구조를 통하여, 상기 나노 구조체가 우수한 색상의 발현 및 광학 특성을 구현할 수 있고, 상기 나노 입자가 자기장 내에 목적하는 배열로 정렬되도록 조절하기 용이한 이점이 있으며, 자기장의 미세한 조절에 대하여 실시간으로 배열이 변화되어 카이랄성 조절에 유리한 이점을 얻을 수 있다.
- [0051] 도 5는 상기 제조방법을 통하여 카이랄성을 부여할 수 있는 다양한 형태의 나노 입자의 단면을 개략적으로 도시한 것이다. 도 5의 (a) 및 (b)를 참조할 때, 상기 나노 입자는 구형의 코어-셸 입자일 수 있고, 도 5의 (c)를

참조할 때, 상기 나노 입자는 막대형 코어-셸 입자일 수 있다. 구체적으로, 상기 구형의 코어-셸 입자는 도 5의 (a)에 도시된 바와 같이 상기 코어(14)와 실질적으로 이의 표면 전체를 둘러싼 셸(15)을 포함하는 구조일 수도 있고, 도 5의 (b)에 도시된 바와 같이 상기 코어(14)와 이의 표면의 일부를 둘러싼 셸(15)을 포함하는 하프-셸(half-shell) 구조일 수도 있다.

[0052] 본 명세서에서 '구형'이란, 이의 단면이 기하학적으로 완벽한 원형인 경우뿐만 아니라, 타원형이더라도 소정의 오차 범위 내에서 전체적인 3차원 구조상 구(sphere)의 형상으로 인지될 수 있는 범위까지 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

[0053] 본 명세서에서 '하프-셸(Half-Shell)'의 의미는 상기 셸(15)이 상기 코어(14)의 표면적의 정확히 절반을 둘러싼 경우만 의미하는 것이 아니라, 전체가 아닌 적어도 일부를 둘러싼 경우를 모두 총칭하는 것으로 이해된다.

[0054] 도 5의 (c)를 참조할 때, 상기 코어-셸 입자는 막대형의 코어-셸 입자일 수 있다. 상기 막대형의 코어-셸 입자도 상기 구형의 코어-셸 입자의 경우와 같이, 상기 코어(14)와 실질적으로 이의 표면 전체를 둘러싼 셸(15)을 포함하는 구조일 수도 있고, 상기 코어(14)의 표면 일부를 둘러싼 셸(15)을 포함하는 구조(미도시)일 수도 있다.

[0055] 본 명세서에서 '막대형'이란, 이의 단면에 대하여 길이 및 폭이 소정의 종횡비를 이루는 형상을 총칭하는 것으로서, 폭에 대한 길이의 비율이 2.00을 초과하는 모든 3차원 형상을 포괄하는 것으로 이해될 수 있다.

[0056] 일 구현예에서, 상기 나노 입자는 구형의 코어-셸 입자 또는 막대형 코어-셸 입자를 포함하고, 상기 구형의 코어-셸 입자 또는 상기 막대형 코어-셸 입자는 코어; 및 상기 코어의 표면 전체를 둘러싸고 상기 코어의 성분과 이종의 성분을 포함하는 셸;을 포함하며, 상기 코어는 은(Ag), 금(Au), 백금(Pt), 구리 (Cu), 팔라듐(Pd), 이리듐(iridium), 오스뮴(osmium), 로듐(rhodium), 루테튬(ruthenium), 니켈(Ni), 코발트(Co), 철(Fe), 망간(Mn), 크롬(Cr), 바나듐(V), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하고, 상기 셸(shell)은 산화철( $Fe_3O_4$ ), 산화니켈(NiO), 산화코발트( $Co_3O_4$ ), 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0057] 예를 들어, 상기 코어는 은(Ag), 금(Au) 또는 이들의 조합을 포함하고, 상기 셸은 산화철( $Fe_3O_4$ )을 포함할 수 있다. 상기 나노 입자가 이와 같은 성분의 조합을 포함하는 코어-셸 구조를 가짐으로써 자기장의 조절에 의해 목적하는 카이랄성을 정교하게 부여할 수 있고, 자기장의 변화에 의하여 즉각적으로 카이랄성이 조절되는 효과가 극대화될 수 있다.

[0058] 다른 구현예에서, 상기 나노 입자는 구형의 코어-셸 입자 또는 막대형 코어-셸 입자를 포함하고, 상기 구형의 코어-셸 입자 또는 상기 막대형 코어-셸 입자는 코어; 및 상기 코어의 일부를 둘러싸고 상기 코어의 성분과 이종의 성분을 포함하는 하프-셸(Half-shell)을 포함하며, 상기 코어(core)는 산화철( $Fe_3O_4$ ), 산화니켈(NiO), 산화코발트( $Co_3O_4$ ), 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하고, 상기 셸(shell)은 은(Ag), 금(Au), 백금(Pt), 구리 (Cu), 팔라듐(Pd), 이리듐(iridium), 오스뮴(osmium), 로듐(rhodium), 루테튬(ruthenium), 니켈(Ni), 코발트(Co), 철(Fe), 망간(Mn), 크롬(Cr), 바나듐(V), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0059] 예를 들어, 상기 코어는 산화철( $Fe_3O_4$ )을 포함하고, 상기 셸은 은(Ag), 금(Au) 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 상기 나노 입자가 이와 같은 성분의 조합을 포함하는 코어-셸 구조를 가짐으로써 자기장의 조절에 의해 목적하는 카이랄성을 정교하게 부여할 수 있고, 자기장의 변화에 의하여 즉각적으로 카이랄성이 조절되는 효과가 극대화될 수 있다.

[0060] 도 6은 일 구현예에 따른 상기 구형의 코어-셸 입자의 사진을 게재한 것이고, 도 7은 일 구현예에 따른 상기 막대형의 코어-셸 입자의 사진을 게재한 것이다.

[0061] 일 구현예에서, 상기 구형의 코어-셸 입자는, 상기 코어의 평균 입경이 약 0.01nm 내지 약 300nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 250nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 100nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 90nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 20nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 40nm 내지 80nm일 수 있다.

[0062] 상기 구형의 코어-셸 입자의 상기 셸의 평균 두께가 약 1nm 내지 약 150nm, 예를 들어, 약 1nm 내지 약 120nm, 예를 들어, 약 1nm 내지 약 100nm, 예를 들어, 약 1nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 80nm, 예를

들어, 약 10nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 10nm 내지 약 70nm, 예를 들어, 약 20nm 내지 약 60nm, 예를 들어, 약 30nm 내지 약 60nm, 예를 들어, 약 40nm 내지 약 60nm일 수 있다.

[0063] 상기 구형의 코어-셸 입자에 있어서, 그 단면을 기준으로 상기 코어의 장경(L) 및 단경(S)의 비(L/S)로 정의되는 종횡비(Aspect ratio)가 약 1.00 내지 약 2.00, 예를 들어, 약 1.00 내지 약 1.80, 예를 들어, 약 1.00 내지 약 1.75, 예를 들어, 약 1.00 내지 약 1.70, 예를 들어, 약 1.00 내지 약 1.65, 예를 들어, 약 1.00 내지 약 1.60일 수 있다.

[0064] 일 구현예에서, 상기 막대형의 코어-셸 입자는, 상기 코어의 평균 폭(width)이 약 0.01nm 내지 약 100nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 100nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 90nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 20nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 40nm 내지 80nm일 수 있다.

[0065] 상기 막대형의 코어-셸 입자의 상기 셸의 평균 두께는 약 1nm 내지 약 150nm, 예를 들어, 약 1nm 내지 약 120nm, 예를 들어, 약 1nm 내지 약 100nm, 예를 들어, 약 1nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 10nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 10nm 내지 약 70nm, 예를 들어, 약 20nm 내지 약 60nm, 예를 들어, 약 30nm 내지 약 60nm, 예를 들어, 약 40nm 내지 약 60nm일 수 있다.

[0066] 상기 막대형의 코어-셸 입자에 있어서, 상기 코어의 길이(L) 및 폭(W)의 비(L/W)로 정의되는 종횡비(Aspect ratio)가 약 2.00 초과, 약 40.00이하, 예를 들어, 약 5.00 내지 약 40.00, 예를 들어, 약 10.00 내지 약 40.00, 예를 들어, 약 15.00 내지 약 35.00일 수 있다.

[0067] 상기 구형의 코어-셸 입자 및 상기 막대형의 코어-셸 입자의 구조에 있어서, 상기 코어의 평균 입경, 상기 코어의 평균 폭, 상기 셸의 평균 두께, 상기 코어의 장경 및 단경, 상기 코어의 길이 및 폭은 모두 입자의 단면에 대하여 측정된 2차원 값으로서, 주사전자현미경(SEM) 또는 투과전자현미경(TEM) 등의 수단을 통하여 얻은 투영 상으로부터 얻을 수 있다. 상기 코어의 평균 입경, 상기 코어의 평균 폭 및 상기 셸의 평균 두께에서 '평균'은 '수평균'을 의미한다. 상기 구형 코어-셸 입자에 있어서, 임의의 하나의 코어에 대하여, 가장 긴 입경이 상기 코어의 장경으로 정의되며, 가장 짧은 입경이 상기 코어의 단경으로 정의된다. 상기 막대형 코어-셸 입자에 있어서, 임의의 하나의 코어에 대하여 가로 및 세로 중 상대적으로 긴 길이를 상기 코어의 길이로 지칭하며, 상대적으로 짧은 길이를 상기 코어의 폭으로 지칭한다. 상기 구형 및 막대형 코어-셸 입자에 있어서, 상기 셸의 두께는 상기 코어와 상기 셸의 계면으로부터 상기 셸의 외부 표면까지의 수직 직선 거리를 의미한다.

[0068] 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법은 상기 자기장의 자속 밀도, 자화 방향 및 공간적 범위 중 적어도 하나를 조절하는 자기장 조절 단계(30)를 포함한다. 상기 자기장 조절 단계(30)는 상기 자기장 형성 단계(10)에서 형성된 자기장을 변화시켜 상기 자기장 내에 배치된 나노 입자에 목적 수준의 카이랄성(Chirality)을 부여하는 단계이다. 상기 자기장 조절 단계는 상기 자기장 형성 단계와 동시에 수행될 수도 있고, 소정의 시간차를 두고 수행될 수도 있다. 즉, 상기 자기장 형성 단계에서 자기장의 형성과 동시에 이의 자속 밀도, 자화 방향 및 공간적 범위 중 적어도 하나를 조절하여 목적하는 구조의 자기장을 형성할 수도 있고; 혹은 상기 자기장 형성 단계에서 최초로 형성된 자기장에 대하여 추후 이의 자속 밀도, 자화 방향 및 공간적 범위 중 적어도 하나를 조절하여 다른 구조의 자기장으로 형성할 수도 있다. 예를 들어, 전자의 경우는 비카이랄성의 나노 입자 분산체에 최초로 카이랄성을 부여하는 경우를 포함할 수 있고, 후자의 경우는 기존의 카이랄성을 갖는 나노 구조체에 다른 카이랄성을 부여하기 위한 경우를 포함할 수 있다.

[0069] 상기 자기장 조절 단계(30)에서 상기 자기장 내에 배치된 상기 나노 입자의 배열이 변화하여 그 최종적인 정렬 구조가 상기 자기장의 카이랄성에 상응하도록 조절되어 최종적으로 카이랄성을 띠는 나노 구조체가 형성될 수 있다. 상기 자기장 내에 배치된 상기 나노 입자의 배열이 상기 자기장의 구조에 상응하도록 정렬된다는 것은, 상기 나노 입자의 배열에 의한 정렬 구조가 카이랄성을 띠지 않다가 상기 자기장의 카이랄성이 전가되어 카이랄성을 갖게 되거나, 혹은 기존의 카이랄성과 다른 카이랄성을 갖게 되는 것을 의미한다.

[0070] 도 2 및 도 3을 참조할 때, 상기 자기장 형성 단계(30)에서 형성된 자기장이, 예를 들어, 나선형 자기장인 경우, 거울면 비대칭 구조로부터 유도된 카이랄성을 갖게 된다. 이때, 상기 입자 배치 단계(20)를 통하여 상기 자기장 내에 배치된 적어도 2 이상의 나노 입자들은 상기 자기장에 의한 배열 변화를 통하여 상기 나선형 자기장의 구조적 카이랄성을 전가 받아 실질적으로 동등 수준의 카이랄성을 갖는 정렬 구조를 형성할 수 있다. 따라서, 상기 자기장의 자속 밀도, 자화 방향 및 공간적 범위 중 적어도 하나를 변화하는 경우, 상기 자기장의 카이랄성이 변화하게 되고, 이에 따라 상기 자기장 내에 배치된 상기 나노 입자의 정렬 구조의 카이랄성도 변화하게 된다. 예를 들어, 상기 자기장 조절 단계에서 자속 밀도를 증가시키는 경우 상기 나노 구조체의 원편광 이

색성 분광법(Circular Dichroism spectroscopy) 그래프 상의 피크는 단파장 측으로 이동하게 된다.

[0071] 예를 들어, 상기 자기장 형성 단계(10)에서 상기 자기장은 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시켜 형성된 나선형 자기장이 될 수 있고, 상기 자기장 조절 단계(30)에서 상기 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시키는 각도; 및 상기 적어도 2개의 자성체의 상호 평행한 정도 중 적어도 하나를 변화시켜 상기 자기장의 자화 방향을 조절할 수 있다.

[0072] 예를 들어, 상기 자기장 형성 단계(10)에서 상기 자기장은 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시켜 형성된 나선형 자기장이 될 수 있고, 상기 자기장 조절 단계(30)에서 상기 적어도 2개의 자성체 사이의 직선 거리를 변화시켜 상기 자기장의 공간적 범위를 조절할 수 있다.

[0073] 예를 들어, 상기 자기장 형성 단계(10)에서 상기 자기장은 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시켜 형성된 나선형 자기장이 될 수 있고, 상기 자기장 조절 단계(30)에서 상기 적어도 2개의 자성체의 자기력; 및 상기 적어도 2개의 자성체 사이의 직선 거리 중 적어도 하나를 변화시켜 상기 자기장의 자속 밀도를 조절할 수 있다.

[0074] 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법을 통하여, 전술한 바와 같은 상기 카이랄 나노 구조체를 제조할 수 있다. 또한, 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법을 통하여 하기 식 1을 만족하는 카이랄 나노 구조체를 제조할 수 있다.

[0075] [식 1]

$$\frac{A \times B \times C}{P_{max}}$$

[0076]

[0077] 상기 식 1에서, 상기 A는 상기 나노 입자의 쉘 평균 두께(nm)에 대한 코어 평균 입경(nm)의 비; 또는 쉘 평균 두께(nm)에 대한 코어 평균 폭(nm)의 비 값이고, 상기 B는 상기 나노 입자의 농도( $\mu\text{g/mL}$ ) 값이며, 상기 C는 상기 카이랄 나노 구조체에 인가된 나선형 자기장의 회전각( $\theta$ )이  $45^\circ$  일 때 카이랄성( $\tau$ )의 크기 값을 1.0으로 한 경우의 상대적 카이랄성 크기의 비이고, 상기  $P_{max}$ 는 상기 A를 만족하는 상기 나노 구조체의 상기 B 및 C 조건 하에서의 원편광 이색성 분광 스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy)의 최대 피크 값의 절대값이다.

[0078] 상기 식 1과 이를 구성하는 각각의 인자에 대한 설명은 상기 카이랄 나노 구조체와 관련하여 전술한 바와 같다.

[0080] 일 구현예에 따른 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법은 자기장 인가 및 조절 수단을 통하여 상대적으로 단순한 방법으로 대량의 카이랄 나노 구조체를 제조할 수 있는 이점을 제공하며, 화학적인 합성 방법을 활용하거나 별도 템플릿(Template)을 활용하는 등의 종래의 제조 방법에 비하여 공정 용이성 및 효율성을 향상시키고, 나아가 정밀도를 향상시키는 이점을 갖는다.

[0081] 또한, 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법에 의해 제조된 카이랄 나노 구조체는 편광 기능이 요구되는 다양한 광학 장치 및 바이오 센서 분야에 광범위하게 활용 가능하며, 특히 카이랄 특성의 정밀하고 즉각적인 변조가 가능하므로 초고속 전환, 실시간 조정, 정교한 색상 구현이 요구되는 3D, 홀로그래픽 디스플레이와 같은 차세대 디스플레이를 위한 능동적이고 역동적인 광학 활성 수단의 역할을 수행할 수 있다.

[0082] 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법에 있어서, 상기 자기장 형성 단계에서 상기 자기장이 나선형 자기장이고, 상기 나노 입자가 자성 플라즈몬(magnetoplasmonic) 입자를 포함하고, 상기 자성 플라즈몬 입자가 코어(core); 및 상기 코어의 표면의 적어도 일부를 둘러싸고 상기 코어의 성분과 이종의 성분을 포함하는 쉘(shell)을 구비한 코어-쉘(core-shell) 입자를 포함하며, 상기 카이랄 나노 구조체의 하기 식 1의 값이 0 내지 20을 만족할 수 있다.

[0083] [식 1]

$$\frac{A \times B \times C}{P_{max}}$$

[0084]

[0085] 상기 식 1에서, 상기 A는 상기 나노 입자의 쉘 평균 두께(nm)에 대한 코어 평균 입경(nm)의 비; 또는 쉘 평균 두께(nm)에 대한 코어 평균 폭(nm)의 비 값이고, 상기 B는 상기 나노 입자의 농도( $\mu\text{g/mL}$ ) 값이며, 상기 C는 상기 나선형 자기장의 회전각( $\theta$ )이  $45^\circ$  일 때 카이랄성( $\tau$ )의 크기 값을 1.0으로 한 경우의 상대적 카이랄성 크

기의 비이고, 상기  $P_{\max}$ 는 상기 A를 만족하는 상기 카이랄 나노 구조체의 상기 B 및 C 조건 하에서의 원편광 이색성 분광 스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy)의 최대 피크 값의 절대값이다.

- [0086] 일 구현예에서, 상기 식 1의 값은, 상기 B가 약 25 내지 약 200 중 어느 하나의 값이고, 상기 C가 약 0 내지 약 1.0 중 어느 하나의 값일 때의 결과일 수 있다. 이와 같은 농도 및 각도 조건에서 도출된 상기 식 1의 값이 약 0 내지 약 20의 범위를 만족하는 경우, 상기 식 1의 값과 상기 카이랄 나노 구조체의 실시간 카이랄 가변성 및 구조적 완결성이 크게 향상될 수 있다.
- [0087] 상기 식 1의 값은 상기 B 및 상기 C의 전술한 모든 범위에서 약 0 내지 약 20을 만족해야 하는 것이 아니라, 전술한 각각의 범위에서 임의의 하나의 B의 값과 임의의 하나의 C의 값에 대하여 약 0 내지 약 20 범위 내 특정 값을 만족하는 경우, 상기 카이랄 나노 구조체가 목적하는 실시간 가변성 및 구조적 카이랄 완결성을 확보함을 나타내는 지표가 될 수 있다. 다만, 상기 B 및 상기 C의 전술한 범위 내에서 상기 식 1의 값의 범위가 해당 범위를 만족하는 경우의 수가 증가할수록 상기 실시간 가변성 및 구조적 카이랄 완결성은 향상되는 상관성을 나타낸다.
- [0088] 상기 나노 입자가 구형 코어-셸 입자인 경우, 상기 A는 셸 평균 두께(T)에 대한 코어 평균 입경(D)의 비(D/T)의 값이다. 상기 나노 입자가 막대형 코어-셸 입자인 경우, 상기 A는 셸 평균 두께(T)에 대한 코어 평균 폭(W)의 비(W/T)의 값이다.
- [0089] 상기 B는 상기 카이랄 나노 구조체 중의 나노 입자의 농도( $\mu\text{g/mL}$ ) 값이다. 전술한 바와 같이, 일 구현예에 따른 상기 입자 배치 단계(20)에서, 상기 나노 입자는 용매 또는 분산매 내에 분산된 콜로이드 용액(21) 상태로 배치될 수 있다. 이때, 상기 B는 상기 콜로이드 용액(21) 중의 상기 나노 입자의 농도( $\mu\text{g/mL}$ ) 값이다. 구체적으로, 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법을 통하여 비카이랄성 나노 입자 분산체로부터 카이랄 나노 구조체를 제조하는 경우; 및 하나의 카이랄 나노 구조체의 카이랄성을 변화시켜 다른 카이랄 나노 구조체를 제조하는 경우; 모두 상기 B는 상기 용액 중의 나노 입자의 농도( $\mu\text{g/mL}$ ) 값으로 정의될 수 있다.
- [0090] 상기 C는 상기 카이랄 나노 구조체에 인가된 나선형 자기장의 회전각( $\theta$ )이  $45^\circ$  일 때 카이랄성( $\tau$ )의 크기 값을 1.0으로 한 경우의 상대적 카이랄성 크기의 비이다. 보다 구체적으로, 상기 회전각( $\theta$ )은 상기 나선형 자기장을 형성하기 위해 상대 회전하는 두 자성체의 각각의 회전각( $\theta$ )을 의미할 수 있다. 상기 카이랄 나노 구조체의 카이랄성은 나선형 자기장의 인가에 의해 부여된 것일 수 있다. 또한, 전술한 바와 같이, 상기 카이랄 나노 구조체는 나선형 자기장의 인가에 의하여 카이랄성이 변화하는 특징을 가질 수 있다. 상기 나노 구조체에 대하여 카이랄성을 부여 또는 변화시키기 위하여 나선형 자기장을 인가할 때, 상기 나선형 자기장은 대향하는 두 자성체의 상대적 회전에 의하여 형성될 수 있다. 상기 두 자성체의 회전각( $\theta$ )이 변화함에 따라 상기 나노 구조체의 카이랄성도 달라지게 된다.
- [0091] 구체적으로, 상기 나선형 자기장의 카이랄성( $\tau$ )의 크기는  $\sin(2\theta)$  크기 값에 비례할 수 있다. 예를 들어, 상기 두 자성체의 각각의 회전각( $\theta$ )이  $15^\circ$  인 경우; 및  $165^\circ$  인 경우의 카이랄성의 상대적 크기의 비는 상기 나선형 자기장의 회전각( $\theta$ )이  $45^\circ$  일 때 카이랄성( $\tau$ )의 크기 1.0을 기준으로, 0.5이다.
- [0092] 상기  $P_{\max}$ 는 상기 제조방법을 통하여 제조된 상기 카이랄 나노 구조체에 대하여 원편광 이색성 분광 스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy)을 측정하였을 때, 최대 피크 값(mdeg)이다. 예를 들어, 서로 다른 파장 영역에서 2 이상의 피크가 도출되었을 경우, 피크 값의 절대값이 가장 큰 하나의 피크에 대한 값을 의미한다. 상기  $P_{\max}$ 는 절대값으로서 양(+)의 값으로 나타낸다.
- [0093] 일 구현예에서, 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법을 통하여 제조된 상기 카이랄 나노 구조체에 대하여, 상기 식 1의 값이 약 0 내지 약 20을 만족하는 경우, 종래에 비하여 카이랄성의 변조 속도가 월등히 빠른 효과를 구현할 수 있으며, 실질적으로 실시간 가변되는 자기 조립성을 가질 수 있다.
- [0094] 일 구현예에서, 상기 나노 입자가 구형의 코어-셸 입자를 포함하고, 상기 셸이 실질적으로 상기 코어의 표면 전체를 둘러싼 구조인 경우, 상기 식 1의 값이 약 0 내지 약 3.0, 예를 들어, 약 0 내지 약 2.5, 예를 들어, 약 0 내지 약 1.5, 예를 들어, 약 0 내지 약 1.0일 수 있다. 이때, 예를 들어, 상기 나노 입자는 금속 성분을 포함하는 코어; 및 자성 성분을 포함하는 셸을 구비한 코어-셸 입자일 수 있다.
- [0095] 상기 나노 입자가 구형의 코어-셸 입자를 포함하고, 상기 셸이 실질적으로 상기 코어의 표면 전체를 둘러싼 구조이며, 상기 C가 0(zero)보다 큰 어느 하나의 값인 경우, 상기 식 1의 값이 약 0.01 내지 약 3.5, 예를 들어, 약 0.01 내지 약 3.0, 예를 들어, 약 0.01 내지 약 2.5, 예를 들어, 약 0.01 내지 약 1.5, 예를 들어, 약 0.01

내지 약 1.0일 수 있다.

- [0096] 상기 나노 입자가 구형의 코어-셸 입자를 포함하고, 상기 셸이 실질적으로 상기 코어의 표면 전체를 둘러싼 구조이며, 상기 C가 0(zero)보다 큰 어느 하나의 값이고, 상기 B가 50 내지 200 범위의 어느 하나의 값인 경우, 상기 식 1의 값이 약 0.01 내지 약 1.0일 수 있고, 예를 들어, 약 0.01 내지 약 0.80일 수 있고, 예를 들어, 약 0.01 내지 약 0.50일 수 있다.
- [0097] 다른 구현예에서, 상기 나노 입자가 구형의 코어-셸 입자를 포함하고, 상기 셸이 실질적으로 상기 코어의 표면 중 일부를 둘러싼 하프-셸 구조인 경우, 상기 식 1의 값이 약 0 내지 약 19.00일 수 있고, 예를 들어, 약 0 내지 약 18.00일 수 있고, 예를 들어, 약 0 내지 약 17.00일 수 있다. 이때, 예를 들어, 상기 나노 입자는 자성 성분을 포함하는 코어; 및 금속 성분을 포함하는 셸을 구비한 코어-셸 입자일 수 있다.
- [0098] 상기 나노 입자가 구형의 코어-셸 입자를 포함하고, 상기 셸이 실질적으로 상기 코어의 표면 중 일부를 둘러싼 하프-셸 구조이며, 상기 C가 0(zero)보다 큰 어느 하나의 값인 경우, 상기 식 1의 값이 약 1.00 내지 약 19.00일 수 있고, 예를 들어, 약 1.50 내지 약 19.00일 수 있고, 예를 들어, 약 2.00 내지 약 18.00일 수 있고, 예를 들어, 약 2.50 내지 약 17.00일 수 있다.
- [0099] 상기 나노 입자가 구형의 코어-셸 입자를 포함하고, 상기 셸이 실질적으로 상기 코어의 표면 중 일부를 둘러싼 하프-셸 구조이며, 상기 C가 0(zero)보다 큰 어느 하나의 값이고, 상기 B가 50 내지 200 범위의 어느 하나의 값인 경우, 상기 식 1의 값이 약 1.00 내지 약 17.00일 수 있고, 예를 들어, 약 1.00 내지 15.00일 수 있고, 예를 들어, 약 1.00 내지 14.00일 수 있다.
- [0100] 또 다른 구현예에서, 상기 나노 입자가 막대형의 코어-셸 입자를 포함하고, 상기 셸이 실질적으로 상기 코어의 표면 전체를 둘러싼 구조인 경우, 상기 식 1의 값이 약 0 내지 약 3.0일 수 있다. 이때, 예를 들어, 상기 나노 입자는 금속 성분을 포함하는 코어; 및 자성 성분을 포함하는 셸을 구비한 코어-셸 입자일 수 있다.
- [0101] 상기 나노 입자가 막대형의 코어-셸 입자를 포함하고, 상기 셸이 실질적으로 상기 코어의 표면 전체를 둘러싼 구조이며, 상기 C가 0(zero)보다 큰 어느 하나의 값인 경우, 상기 식 1의 값이 약 0.1 내지 약 3.5, 예를 들어, 약 0.1 내지 약 3.0, 예를 들어, 약 0.2 내지 약 3.5, 예를 들어, 약 0.2 내지 약 3.5, 예를 들어, 약 0.3 내지 약 3.5, 예를 들어, 약 0.3 내지 약 3.0일 수 있다.
- [0102] 상기 나노 입자가 막대형의 코어-셸 입자를 포함하고, 상기 셸이 실질적으로 상기 코어의 표면 전체를 둘러싼 구조이며, 상기 C가 0(zero)보다 큰 어느 하나의 값이고, 상기 B가 75 내지 200 범위의 어느 하나의 값인 경우, 상기 식 1의 값이 약 0.1 내지 약 3.0, 예를 들어, 약 0.1 내지 약 2.0, 예를 들어, 약 0.1 내지 약 1.8일 수 있다.
- [0103] 도 8은 일 구현예에 따른 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법에 의해 제조된 상기 카이랄 나노 구조체(200)의 일부를 개략적으로 도시한 사시도이다.
- [0104] 상기 카이랄 나노 구조체(200)는 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법(100)에 의해 제조된 것으로서, 도 2 및 도 8을 참조할 때, 상기 카이랄 나노 구조체(200)는 상기 자기장 형성 단계(10)에서 형성된 상기 나선형 자기장(13)의 카이랄성을 전가 받아 이에 상응하는 구조적 카이랄성을 갖게 될 수 있다.
- [0105] 구체적으로, 상기 카이랄 나노 구조체(200)는 3차원 공간 내에 나노 입자 배열 구조체(210)를 2 이상 포함할 수 있다. 상기 나노 입자 배열 구조체(210)는 각각 적어도 하나의 나노 입자(22)를 포함하고, 상기 나노 입자(22)가 소정의 배열을 갖는 것을 특징으로 한다.
- [0106] 상기 나노 입자 배열 구조체(210)는 적어도 하나의 나노 입자(22)를 포함하는 제1 구조체(201); 및 적어도 하나의 나노 입자(22)를 포함하고, 상기 제1 구조체(201)와 이격 배치된 제2 구조체(202)를 포함할 수 있다. 상기 제1 구조체(201) 및 상기 제2 구조체(202)는 상기 2 이상의 나노 입자 배열 구조체(210) 중에서 인접한 임의의 두 구조체를 의미한다. 상기 제1 구조체(201)에 포함된 나노 입자(22)와 상기 제2 구조체(202)에 포함된 나노 입자(22)는 그 성분 및 구조가 동일할 수도 있고, 상이할 수도 있다.
- [0107] 일 구현예에서, 상기 제1 구조체(201)와 상기 제2 구조체(202) 사이의 이격 직선 거리는 약 0.01nm 내지 약 50  $\mu$ m일 수 있다. 임의의 두 구조체 사이의 이격 거리가 상기 범위에서 조절됨으로써 상기 나노 입자 배열 구조체의 카이랄성 가변 속도가 목적 수준으로 빠르게 구현될 수 있고, 광학 또는 바이오 분야 등에 응용되어 최적의 기능을 구현할 수 있다.

- [0108] 진술한 바와 같이, 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법은 비카이랄성 나노 입자에 카이랄성을 부여하거나, 기존의 카이랄성과 다른 카이랄성을 갖도록 변조하는 기술적 목적에 있어서 효율적이고 유용한 수단이 될 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법은 자기장 인가 및 조절 수단을 통하여 상대적으로 단순한 방법으로 대량의 카이랄 나노 구조체를 제조할 수 있는 이점을 제공하며, 화학적인 합성 방법을 활용하거나 별도 템플릿(Template)을 활용하는 등의 종래의 제조 방법에 비하여 공정 용이성 및 효율성을 향상시키고, 나아가 정밀도를 향상시키는 이점을 갖는다. 또한, 카이랄성의 부여 또는 변조에 있어서 즉각적인 실시간성을 확보하는 이점을 갖는다.
- [0109] 또한, 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법에 의해 제조된 카이랄 나노 구조체는 편광 기능이 요구되는 다양한 광학 장치 및 바이오 센서 분야에 광범위하게 활용 가능하며, 특히 카이랄 특성의 정밀하고 즉각적인 변조가 가능하므로 초고속 전환, 실시간 조정, 정교한 색상 구현이 요구되는 3D, 홀로그래픽 디스플레이와 같은 차세대 디스플레이를 위한 능동적이고 역동적인 광학 활성 수단의 역할을 수행할 수 있다.
- [0110] 이하에서는 본 발명의 구체적인 실시예를 제시한다. 다만, 하기에 기재된 실시예는 본 발명을 구체적으로 예시하거나 설명하기 위한 것에 불과하고, 이로 인해 본 발명의 권리 범위가 제한 해석되지 않으며, 본 발명의 권리 범위는 청구 범위에 의해서 결정되는 것이다.
- [0111] <제조예>
- [0112] **제조예 1: 구형의 코어-셸 나노 입자 (1)의 합성**
- [0113] 3.2mmol의 질산철( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ )을 40mL의 에틸렌글리콜( $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ )과 혼합하여 자석 교반기로 완전히 녹을 때까지 교반함으로써 혼합 용액을 제조하였다. 상기 혼합 용액에 35mmol의 아세트산나트륨( $\text{CH}_3\text{COONa}$ )과 0.59mmol의 질산은( $\text{AgNO}_3$ )을 넣고 계속 교반하였다. 아세트산나트륨과 질산은이 모두 녹으면 혼합 용액을 테플론용기에 옮겨 담고 압력을 견딜 수 있도록 금속 용기에 넣은 후 210℃로 가열 후 4시간 동안 유지시킨다. 반응이 끝나면 합성된 나노입자를 원심 분리 등으로 분리하여 에탄올, 탈이온수로 정제한다. 분리된 나노입자를 진공 오븐에서 12시간 동안 건조하여 파우더 형태로 제조한다.
- [0114] 이어서, 상기 나노입자를 탈이온수 등의 극성 용매에 분산시키기 위하여 나노입자 표면에 친수성 기능기를 부착하는 표면 전처리 단계를 진행한다. 나노입자 합성단계에서 만들어진 파우더 형태의 나노입자 1mg과 구연산(citric acid,  $\text{HOC}(\text{COOH})(\text{CH}_2\text{COOH})_2$ ) 0.6mg을 1mL의 탈이온수에 넣고 2시간 동안 초음파 처리한 후 원심분리 등으로 나노입자를 분리하고 탈이온수로 정제한다.
- [0115] **제조예 2: 구형의 코어-셸 나노 입자 (2)의 합성**
- [0116] 1.6mmol의 질산철( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ )을 40mL의 에틸렌글리콜( $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ )과 혼합하여 자석 교반기로 완전히 녹을 때까지 교반함으로써 혼합 용액을 제조하였다. 상기 혼합 용액에 35mmol의 아세트산나트륨( $\text{CH}_3\text{COONa}$ )과 0.59mmol의 질산은( $\text{AgNO}_3$ )을 넣고 계속 교반하였다. 아세트산나트륨과 질산은이 모두 녹으면 혼합 용액을 테플론용기에 옮겨 담고 압력을 견딜 수 있도록 금속 용기에 넣은 후 210℃로 가열 후 4시간 동안 유지시킨다. 반응이 끝나면 합성된 나노입자를 원심 분리 등으로 분리하여 에탄올, 탈이온수로 정제한다. 분리된 나노입자를 진공 오븐에서 12시간 동안 건조하여 파우더 형태로 제조한다.
- [0117] 이어서, 상기 나노입자를 탈이온수 등의 극성 용매에 분산시키기 위하여 나노입자 표면에 친수성 기능기를 부착하는 표면 전처리 단계를 진행한다. 나노입자 합성단계에서 만들어진 파우더 형태의 나노입자 1mg과 구연산(citric acid,  $\text{HOC}(\text{COOH})(\text{CH}_2\text{COOH})_2$ ) 0.6mg을 1mL의 탈이온수에 넣고 2시간 동안 초음파 처리한 후 원심분리 등으로 나노입자를 분리하고 탈이온수로 정제한다.
- [0118] **제조예 3: 막대형의 코어-셸 나노 입자의 합성**
- [0119] 4.0mmol의 염화철( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )을 40mL의 에틸렌글리콜( $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ )과 혼합하여 자석 교반기로 완전히 녹을 때까지 교반함으로써 혼합 용액을 제조하였다. 상기 혼합 용액에 35mmol의 아세트산나트륨( $\text{CH}_3\text{COONa}$ )과 0.59mmol의 염화금산( $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ )을 넣고 계속 교반하였다. 아세트산나트륨과 염화금산이 모두 녹으면 혼합 용액을 테플론용기에 옮겨 담고 압력을 견딜 수 있도록 금속 용기에 넣은 후 200℃로 가열 후 8시간 동안 유지시킨다. 반응이 끝나면 합성된 나노입자를 원심 분리 등으로 분리하여 에탄올, 탈이온수로 정제한다. 분리된 나노입자를

진공 오븐에서 12시간 동안 건조하여 파우더 형태로 제조한다.

[0120] 이어서, 상기 나노입자를 탈이온수 등의 극성 용매에 분산시키기 위하여 나노입자 표면에 친수성 기능을 부착하는 표면 전처리 단계를 진행한다. 나노입자 합성단계에서 만들어진 파우더 형태의 나노입자 1mg과 구연산(citric acid,  $\text{HOC}(\text{COOH})(\text{CH}_2\text{COOH})_2$ ) 0.6mg을 1mL의 탈이온수에 넣고 2시간 동안 초음파 처리한 후 원심분리 등으로 나노입자를 분리하고 탈이온수로 정제한다.

[0121] **제조예 4: 구형의 하프-셸 나노 입자의 합성**

[0122] 20mL의 에틸렌글리콜( $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ ) 용액에 염화철( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) 0.12 M과 구연산 34 mM이 되도록 혼합하여 자석 교반기로 완전히 녹을 때까지 교반함으로써 혼합 용액을 제조하였다. 상기 혼합 용액에 아세트산나트륨( $\text{CH}_3\text{COONa}$ )을 첨가하여 0.73 M 농도로 맞춘다. 아세트산나트륨이 모두 녹으면 혼합 용액을 테플론용기에 옮겨 담고 압력을 건널 수 있도록 금속 용기에 넣은 후 200℃로 가열 후 10시간 동안 유지시킨다. 반응이 끝나면 합성된 나노입자를 원심 분리 등으로 분리하여 에탄올, 탈이온수로 정제한다. 분리된 나노입자를 진공 오븐에서 12시간 동안 건조하여 파우더 형태로 제조한다.

[0123] 이어서, 상기 나노입자를 탈이온수 등의 극성 용매에 분산시키기 위하여 나노입자 표면에 친수성 기능을 부착하는 표면 전처리 단계를 진행한다. 나노입자 합성단계에서 만들어진 파우더 형태의 나노입자 1mg과 구연산(citric acid,  $\text{HOC}(\text{COOH})(\text{CH}_2\text{COOH})_2$ ) 0.6mg을 1mL의 탈이온수에 넣고 2시간 동안 초음파 처리한 후 원심분리 등으로 나노입자를 분리하고 탈이온수로 정제한다.

[0124] 슬라이드 글라스를 피라냐 용액에 처리하여 유기물 및 이물질을 제거하여 친수성 표면을 제작한다. 슬라이드 글라스를 0.2wt% PDDA (Polydiallyldimethylammonium chloride) 고분자 용액에 담가 양전하를 띄는 PVA 고분자가 슬라이드 글라스 표면에 고루 분포할 수 있게 한다. 이후 슬라이드 글라스를 꺼내서 말린 다음 준비한 자성나노입자 용액을 떨어뜨려 음전하를 띄는 나노입자들이 양전하를 띄는 PDDA 표면에 균일하게 붙을 수 있도록 하고 나머지 용액들은 탈이온수로 약하게 씻어낸 후 말린다. 단일층으로 슬라이드 글라스 위에 정렬되어 있는 나노입자에 금 스퍼터를 이용하여 20 nm 정도 코팅을 한다. 이후 코팅된 금 박막 표면을 안정화시키기 위하여 1mg/mL 농도의 cysteine을 과량 첨가한 후 shaking incubator로 60 rpm으로 12시간 동안 반응시킨다. 반응이 끝난 후 초음파 처리를 하여 나노입자 단일층을 슬라이드 글라스로부터 떼어내고 자석으로 나노입자를 분리하고 탈이온수로 정제한다.

[0125] **<실시예>**

[0126] **실시예 1: 구형의 코어-셸 나노 입자 (1)을 포함하는 카이랄 나노 구조체**

[0127] 은(Ag)을 포함하는 코어(Core) 및 산화철( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )을 포함하는 셸(Shell)을 구비한 구형의 코어-셸 나노 입자를 준비하였다. 상기 코어의 평균 직경은  $61.4(\pm 13.3)\text{nm}$ 이고, 상기 셸의 평균 두께는  $54.3(\pm 5.7)\text{nm}$ 이다. 상기 나노 입자를 하기 표 1과 같이 각각의 농도가 되도록 탈이온수 용매에 분산시켜 비카이랄성 나노 입자 분산체를 제조하였다. 2개의 네오디뮴(neodymium) 자석(50 x 10 x 2 mm, 0.2T)을 준비하고, 도 2에 도시된 바와 같이, 동일한 자화 방향(y축 방향)으로 서로 3cm의 간격으로 대향 배치하였다. 각각의 농도의 상기 비카이랄성 나노 입자 분산체를 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 2개의 자석 사이의 중앙에 배치하였다. 상기 2개의 자석을 y축을 회전축으로 하여 동일한 각도 크기만큼 회전시키되, 하나의 자석은 시계 방향으로 회전시키고, 다른 하나의 자석은 반시계 방향으로 회전시켰다. 각각의 자석의 장축이 z축과 이루는 각도의 크기, 즉, 회전각( $\theta$ )의 크기가 하기 표 1에 기재된 바와 같도록 회전시켰다. 이로써 실시예 1의 카이랄 나노 구조체를 제조하였다.

**표 1**

|         | 농도(B)<br>[ $\mu\text{g/mL}$ ] | $\theta$<br>[ $^\circ$ ] | $\tau$ 상대비(C)<br>( $ \sin 2\theta $ )<br>[ $\theta = \text{degree}$ ] | CD 스펙트럼 [mdeg] |          |         | (A*B*C)/Pmax<br>(A=61.4/54.3) |
|---------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------|----------|---------|-------------------------------|
|         |                               |                          |                                                                       | @680nm부근       | @830nm부근 | Pmax    |                               |
| 실시예 1-1 | 25                            | 0                        | 0.00                                                                  | 24.0099        | -27.7944 | 27.7944 | 0.00                          |
| 실시예 1-2 | 50                            | 0                        | 0.00                                                                  | -1.18151       | -3.35958 | 3.35958 | 0.00                          |
| 실시예 1-3 | 75                            | 0                        | 0.00                                                                  | 67.0504        | -117.419 | 117.419 | 0.00                          |
| 실시예 1-4 | 100                           | 0                        | 0.00                                                                  | 95.599         | -174.176 | 174.176 | 0.00                          |
| 실시예 1-5 | 125                           | 0                        | 0.00                                                                  | 59.8761        | -168.584 | 168.584 | 0.00                          |
| 실시예 1-6 | 150                           | 0                        | 0.00                                                                  | 62.7865        | -196.911 | 196.911 | 0.00                          |

|          |     |     |      |           |          |         |      |
|----------|-----|-----|------|-----------|----------|---------|------|
| 실시예 1-7  | 175 | 0   | 0.00 | 41.5222   | -158.031 | 158.031 | 0.00 |
| 실시예 1-8  | 200 | 0   | 0.00 | 24.2616   | -142.455 | 142.455 | 0.00 |
| 실시예 1-9  | 25  | 15  | 0.50 | -4.5823   | 14.4494  | 14.4494 | 0.98 |
| 실시예 1-10 | 50  | 15  | 0.50 | -85.6535  | 220.452  | 220.452 | 0.13 |
| 실시예 1-11 | 75  | 15  | 0.50 | -131.236  | 324.921  | 324.921 | 0.13 |
| 실시예 1-12 | 100 | 15  | 0.50 | -261.17   | 721.541  | 721.541 | 0.08 |
| 실시예 1-13 | 125 | 15  | 0.50 | -404.182  | 1147.69  | 1147.69 | 0.06 |
| 실시예 1-14 | 150 | 15  | 0.50 | -443.853  | 1276.1   | 1276.1  | 0.07 |
| 실시예 1-15 | 175 | 15  | 0.50 | -245.245  | 818.711  | 818.711 | 0.12 |
| 실시예 1-16 | 200 | 15  | 0.50 | -415.379  | 1174.39  | 1174.39 | 0.10 |
| 실시예 1-17 | 25  | 30  | 0.87 | -22.7185  | 79.474   | 79.474  | 0.31 |
| 실시예 1-18 | 50  | 30  | 0.87 | -121.04   | 417.616  | 417.616 | 0.12 |
| 실시예 1-19 | 75  | 30  | 0.87 | -272.214  | 646.457  | 646.457 | 0.11 |
| 실시예 1-20 | 100 | 30  | 0.87 | -490.672  | 1414.71  | 1414.71 | 0.07 |
| 실시예 1-21 | 125 | 30  | 0.87 | -678.063  | 2063.78  | 2063.78 | 0.06 |
| 실시예 1-22 | 150 | 30  | 0.87 | -634.406  | 1913.76  | 1913.76 | 0.08 |
| 실시예 1-23 | 175 | 30  | 0.87 | -825.094  | 2361.52  | 2361.52 | 0.07 |
| 실시예 1-24 | 200 | 30  | 0.87 | -755.049  | 2214.15  | 2214.15 | 0.09 |
| 실시예 1-25 | 25  | 45  | 1.00 | -20.9936  | 76.835   | 76.835  | 0.37 |
| 실시예 1-26 | 50  | 45  | 1.00 | -140.436  | 511.409  | 511.409 | 0.11 |
| 실시예 1-27 | 75  | 45  | 1.00 | -306.815  | 1080.49  | 1080.49 | 0.08 |
| 실시예 1-28 | 100 | 45  | 1.00 | -591.983  | 1926.45  | 1926.45 | 0.06 |
| 실시예 1-29 | 125 | 45  | 1.00 | -742.859  | 2263.11  | 2263.11 | 0.06 |
| 실시예 1-30 | 150 | 45  | 1.00 | -722.538  | 2269.08  | 2269.08 | 0.07 |
| 실시예 1-31 | 175 | 45  | 1.00 | -941.641  | 2738.09  | 2738.09 | 0.07 |
| 실시예 1-32 | 200 | 45  | 1.00 | -1018.3   | 2892.83  | 2892.83 | 0.08 |
| 실시예 1-33 | 25  | 60  | 0.87 | -20.8995  | 73.6665  | 73.6665 | 0.33 |
| 실시예 1-34 | 50  | 60  | 0.87 | -88.4849  | 346.019  | 346.019 | 0.14 |
| 실시예 1-35 | 75  | 60  | 0.87 | -276.003  | 781.403  | 781.403 | 0.09 |
| 실시예 1-36 | 100 | 60  | 0.87 | -502.098  | 1540.75  | 1540.75 | 0.06 |
| 실시예 1-37 | 125 | 60  | 0.87 | -655.969  | 2052.61  | 2052.61 | 0.06 |
| 실시예 1-38 | 150 | 60  | 0.87 | -710.642  | 2167.07  | 2167.07 | 0.07 |
| 실시예 1-39 | 175 | 60  | 0.87 | -780.289  | 2379.01  | 2379.01 | 0.07 |
| 실시예 1-40 | 200 | 60  | 0.87 | -848.356  | 2460.57  | 2460.57 | 0.08 |
| 실시예 1-41 | 25  | 75  | 0.50 | -0.245546 | 24.6635  | 24.6635 | 0.57 |
| 실시예 1-42 | 50  | 75  | 0.50 | -36.2108  | 158.793  | 158.793 | 0.18 |
| 실시예 1-43 | 75  | 75  | 0.50 | -143.936  | 461.295  | 461.295 | 0.09 |
| 실시예 1-44 | 100 | 75  | 0.50 | -262.514  | 825.693  | 825.693 | 0.07 |
| 실시예 1-45 | 125 | 75  | 0.50 | -359.163  | 1140.66  | 1140.66 | 0.06 |
| 실시예 1-46 | 150 | 75  | 0.50 | -357.154  | 1284.65  | 1284.65 | 0.07 |
| 실시예 1-47 | 175 | 75  | 0.50 | -436.247  | 1330.04  | 1330.04 | 0.07 |
| 실시예 1-48 | 200 | 75  | 0.50 | -399.246  | 1214.5   | 1214.5  | 0.09 |
| 실시예 1-49 | 25  | 90  | 0.00 | 16.0777   | -44.0767 | 44.0767 | 0.00 |
| 실시예 1-50 | 50  | 90  | 0.00 | 28.9884   | -64.2371 | 64.2371 | 0.00 |
| 실시예 1-51 | 75  | 90  | 0.00 | 52.7822   | -126.687 | 126.687 | 0.00 |
| 실시예 1-52 | 100 | 90  | 0.00 | 60.1336   | -105.996 | 105.996 | 0.00 |
| 실시예 1-53 | 125 | 90  | 0.00 | 60.7256   | -132.183 | 132.183 | 0.00 |
| 실시예 1-54 | 150 | 90  | 0.00 | 44.4219   | -102.583 | 102.583 | 0.00 |
| 실시예 1-55 | 175 | 90  | 0.00 | 54.9442   | -120.422 | 120.422 | 0.00 |
| 실시예 1-56 | 200 | 90  | 0.00 | 28.7288   | -86.9    | 86.9    | 0.00 |
| 실시예 1-57 | 25  | 105 | 0.50 | 34.9145   | -105.617 | 105.617 | 0.13 |
| 실시예 1-58 | 50  | 105 | 0.50 | 74.5349   | -224.161 | 224.161 | 0.13 |
| 실시예 1-59 | 75  | 105 | 0.50 | 231.221   | -719.515 | 719.515 | 0.06 |
| 실시예 1-60 | 100 | 105 | 0.50 | 381.372   | -1127.94 | 1127.94 | 0.05 |
| 실시예 1-61 | 125 | 105 | 0.50 | 493.191   | -1466.55 | 1466.55 | 0.05 |
| 실시예 1-62 | 150 | 105 | 0.50 | 472.662   | -1430.01 | 1430.01 | 0.06 |
| 실시예 1-63 | 175 | 105 | 0.50 | 479.217   | -1467.72 | 1467.72 | 0.07 |
| 실시예 1-64 | 200 | 105 | 0.50 | 440.318   | -1416.95 | 1416.95 | 0.08 |

|                            |     |     |      |         |          |         |      |
|----------------------------|-----|-----|------|---------|----------|---------|------|
| 실시예 1-65                   | 25  | 120 | 0.87 | 44.0728 | -147.612 | 147.612 | 0.17 |
| 실시예 1-66                   | 50  | 120 | 0.87 | 115.376 | -398.886 | 398.886 | 0.12 |
| 실시예 1-67                   | 75  | 120 | 0.87 | 348.892 | -1100.23 | 1100.23 | 0.07 |
| 실시예 1-68                   | 100 | 120 | 0.87 | 570.329 | -1844.23 | 1844.23 | 0.05 |
| 실시예 1-69                   | 125 | 120 | 0.87 | 803.536 | -2343.33 | 2343.33 | 0.05 |
| 실시예 1-70                   | 150 | 120 | 0.87 | 754.928 | -2261.11 | 2261.11 | 0.06 |
| 실시예 1-71                   | 175 | 120 | 0.87 | 899.43  | -2568.77 | 2568.77 | 0.07 |
| 실시예 1-72                   | 200 | 120 | 0.87 | 905.293 | -2470.57 | 2470.57 | 0.08 |
| 실시예 1-73                   | 25  | 135 | 1.00 | 51.5963 | -186.348 | 186.348 | 0.15 |
| 실시예 1-74                   | 50  | 135 | 1.00 | 165.941 | -582.582 | 582.582 | 0.10 |
| 실시예 1-75                   | 75  | 135 | 1.00 | 414.199 | -1300.25 | 1300.25 | 0.07 |
| 실시예 1-76                   | 100 | 135 | 1.00 | 680.842 | -2144.71 | 2144.71 | 0.05 |
| 실시예 1-77                   | 125 | 135 | 1.00 | 805.463 | -2502.3  | 2502.3  | 0.06 |
| 실시예 1-78                   | 150 | 135 | 1.00 | 882.054 | -2601.23 | 2601.23 | 0.07 |
| 실시예 1-79                   | 175 | 135 | 1.00 | 1071.95 | -3049.28 | 3049.28 | 0.06 |
| 실시예 1-80                   | 200 | 135 | 1.00 | 958.416 | -2714.1  | 2714.1  | 0.08 |
| 실시예 1-81                   | 25  | 150 | 0.87 | 48.8084 | -159.532 | 159.532 | 0.15 |
| 실시예 1-82                   | 50  | 150 | 0.87 | 154.376 | -515.826 | 515.826 | 0.09 |
| 실시예 1-83                   | 75  | 150 | 0.87 | 375.085 | -1174.04 | 1174.04 | 0.06 |
| 실시예 1-84                   | 100 | 150 | 0.87 | 599.926 | -1900.42 | 1900.42 | 0.05 |
| 실시예 1-85                   | 125 | 150 | 0.87 | 757.317 | -2261.12 | 2261.12 | 0.05 |
| 실시예 1-86                   | 150 | 150 | 0.87 | 719.947 | -2231.19 | 2231.19 | 0.07 |
| 실시예 1-87                   | 175 | 150 | 0.87 | 1072.8  | -2985.31 | 2985.31 | 0.06 |
| 실시예 1-88                   | 200 | 150 | 0.87 | 999.777 | -2777.72 | 2777.72 | 0.07 |
| 실시예 1-89                   | 25  | 165 | 0.50 | 37.7221 | -117.342 | 117.342 | 0.12 |
| 실시예 1-90                   | 50  | 165 | 0.50 | 96.7212 | -317.234 | 317.234 | 0.09 |
| 실시예 1-91                   | 75  | 165 | 0.50 | 241.131 | -748.105 | 748.105 | 0.06 |
| 실시예 1-92                   | 100 | 165 | 0.50 | 370.313 | -1163.1  | 1163.1  | 0.05 |
| 실시예 1-93                   | 125 | 165 | 0.50 | 530.478 | -1494.5  | 1494.5  | 0.05 |
| 실시예 1-94                   | 150 | 165 | 0.50 | 470.297 | -1417.91 | 1417.91 | 0.06 |
| 실시예 1-95                   | 175 | 165 | 0.50 | 708.259 | -1794.61 | 1794.61 | 0.06 |
| 실시예 1-96                   | 200 | 165 | 0.50 | 471.786 | -1363.09 | 1363.09 | 0.08 |
| (A*B*C)/Pmax의 최대값          |     |     |      |         |          |         | 0.98 |
| (A*B*C)/Pmax의 최소값          |     |     |      |         |          |         | 0.00 |
| C>0인 경우, (A*B*C)/Pmax의 최소값 |     |     |      |         |          |         | 0.05 |

[0130] 실시예 2: 구형의 코어-셸 나노 입자 (2)를 포함하는 카이랄 나노 구조체

[0131] 은(Ag)을 포함하는 코어(Core) 및 산화철( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )을 포함하는 셸(Shell)을 구비한 구형의 코어-셸 나노 입자를 준비하였다. 상기 코어의 평균 직경은  $50.2(\pm 12.2)\text{nm}$ 이고, 상기 셸의 평균 두께는  $56.3(\pm 7.4)\text{nm}$ 이다. 상기 나노 입자를 하기 표 2와 같이 각각의 농도가 되도록 탈이온수 용매에 분산시켜 비카이랄성 나노 입자 분산체를 제조하였다. 2개의 네오디뮴(neodymium) 자석( $50 \times 10 \times 2 \text{ mm}$ , 0.2T)을 준비하고, 도 2에 도시된 바와 같이, 동일한 자화 방향(y축 방향)으로 서로 3cm의 간격으로 대향 배치하였다. 각각의 농도의 상기 비카이랄성 나노 입자 분산체를 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 2개의 자석 사이의 중앙에 배치하였다. 상기 2개의 자석을 y축을 회전축으로 하여 동일한 각도 크기만큼 회전시키되, 하나의 자석은 시계 방향으로 회전시키고, 다른 하나의 자석은 반시계 방향으로 회전시켰다. 각각의 자석의 장축이 z축과 이루는 각도의 크기, 즉, 회전각( $\theta$ )의 크기가 하기 표 2에 기재된 바와 같도록 회전시켰다. 이로써 실시예 2의 카이랄 나노 구조체를 제조하였다.

표 2

|         | 농도(B)<br>[ $\mu\text{g/mL}$ ] | $\theta$<br>[ $^\circ$ ] | $\tau$ 상대비(C)<br>( $ \sin 2\theta $ )<br>[ $\theta = \text{degree}$ ] | CD 스펙트럼 [mdeg] |          |         | (A*B*C)/Pmax<br>(A=50.2/56.3) |
|---------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------|----------|---------|-------------------------------|
|         |                               |                          |                                                                       | @550nm부근       | @630nm부근 | Pmax    |                               |
| 실시예 2-1 | 25                            | 0                        | 0.00                                                                  | 12.9887        | -33.9227 | 33.9227 | 0.00                          |
| 실시예 2-2 | 50                            | 0                        | 0.00                                                                  | 24.0005        | -69.5656 | 69.5656 | 0.00                          |

|          |     |     |      |           |          |         |      |
|----------|-----|-----|------|-----------|----------|---------|------|
| 실시예 2-3  | 75  | 0   | 0.00 | 37.3188   | -90.1883 | 90.1883 | 0.00 |
| 실시예 2-4  | 100 | 0   | 0.00 | 44.8066   | -147.669 | 147.669 | 0.00 |
| 실시예 2-5  | 125 | 0   | 0.00 | 69.7232   | -177.941 | 177.941 | 0.00 |
| 실시예 2-6  | 150 | 0   | 0.00 | 73.5675   | -232.129 | 232.129 | 0.00 |
| 실시예 2-7  | 175 | 0   | 0.00 | 56.4886   | -211.105 | 211.105 | 0.00 |
| 실시예 2-8  | 200 | 0   | 0.00 | 80.6551   | -195.476 | 195.476 | 0.00 |
| 실시예 2-9  | 25  | 15  | 0.50 | 2.04169   | 19.0562  | 19.0562 | 0.58 |
| 실시예 2-10 | 50  | 15  | 0.50 | -13.2609  | 133.278  | 133.278 | 0.17 |
| 실시예 2-11 | 75  | 15  | 0.50 | -41.9411  | 319.499  | 319.499 | 0.10 |
| 실시예 2-12 | 100 | 15  | 0.50 | -71.6352  | 545.872  | 545.872 | 0.08 |
| 실시예 2-13 | 125 | 15  | 0.50 | -115.016  | 751.164  | 751.164 | 0.07 |
| 실시예 2-14 | 150 | 15  | 0.50 | -169.939  | 982.81   | 982.81  | 0.07 |
| 실시예 2-15 | 175 | 15  | 0.50 | -252.55   | 1177.08  | 1177.08 | 0.07 |
| 실시예 2-16 | 200 | 15  | 0.50 | -286.668  | 1196.82  | 1196.82 | 0.07 |
| 실시예 2-17 | 25  | 30  | 0.87 | -4.94052  | 55.0064  | 55.0064 | 0.35 |
| 실시예 2-18 | 50  | 30  | 0.87 | -21.8273  | 221.683  | 221.683 | 0.17 |
| 실시예 2-19 | 75  | 30  | 0.87 | -66.9534  | 527.974  | 527.974 | 0.11 |
| 실시예 2-20 | 100 | 30  | 0.87 | -140.085  | 898.497  | 898.497 | 0.09 |
| 실시예 2-21 | 125 | 30  | 0.87 | -201.536  | 1187.15  | 1187.15 | 0.08 |
| 실시예 2-22 | 150 | 30  | 0.87 | -285.584  | 1619.41  | 1619.41 | 0.07 |
| 실시예 2-23 | 175 | 30  | 0.87 | -433.604  | 2225.84  | 2225.84 | 0.06 |
| 실시예 2-24 | 200 | 30  | 0.87 | -486.3    | 2106.9   | 2106.9  | 0.07 |
| 실시예 2-25 | 25  | 45  | 1.00 | -0.08542  | 55.9676  | 55.9676 | 0.40 |
| 실시예 2-26 | 50  | 45  | 1.00 | -21.1961  | 212.854  | 212.854 | 0.21 |
| 실시예 2-27 | 75  | 45  | 1.00 | -74.4058  | 589.566  | 589.566 | 0.11 |
| 실시예 2-28 | 100 | 45  | 1.00 | -155.121  | 1046.21  | 1046.21 | 0.09 |
| 실시예 2-29 | 125 | 45  | 1.00 | -210.311  | 1297.41  | 1297.41 | 0.09 |
| 실시예 2-30 | 150 | 45  | 1.00 | -345.387  | 1916.35  | 1916.35 | 0.07 |
| 실시예 2-31 | 175 | 45  | 1.00 | -497.619  | 2605.74  | 2605.74 | 0.06 |
| 실시예 2-32 | 200 | 45  | 1.00 | -605.706  | 2554.89  | 2554.89 | 0.07 |
| 실시예 2-33 | 25  | 60  | 0.87 | 0.161611  | 46.2883  | 46.2883 | 0.42 |
| 실시예 2-34 | 50  | 60  | 0.87 | -14.1837  | 166.475  | 166.475 | 0.23 |
| 실시예 2-35 | 75  | 60  | 0.87 | -53.0223  | 451.453  | 451.453 | 0.13 |
| 실시예 2-36 | 100 | 60  | 0.87 | -108.765  | 793.788  | 793.788 | 0.10 |
| 실시예 2-37 | 125 | 60  | 0.87 | -149.601  | 967.583  | 967.583 | 0.10 |
| 실시예 2-38 | 150 | 60  | 0.87 | -270.391  | 1566.68  | 1566.68 | 0.07 |
| 실시예 2-39 | 175 | 60  | 0.87 | -384.997  | 1989.45  | 1989.45 | 0.07 |
| 실시예 2-40 | 200 | 60  | 0.87 | -505.936  | 2198.12  | 2198.12 | 0.07 |
| 실시예 2-41 | 25  | 75  | 0.50 | 2.59645   | 15.2231  | 15.2231 | 0.73 |
| 실시예 2-42 | 50  | 75  | 0.50 | -0.765858 | 83.6581  | 83.6581 | 0.27 |
| 실시예 2-43 | 75  | 75  | 0.50 | -20.7056  | 211.067  | 211.067 | 0.16 |
| 실시예 2-44 | 100 | 75  | 0.50 | -46.9466  | 413.847  | 413.847 | 0.11 |
| 실시예 2-45 | 125 | 75  | 0.50 | -61.347   | 427.492  | 427.492 | 0.13 |
| 실시예 2-46 | 150 | 75  | 0.50 | -146.882  | 838.844  | 838.844 | 0.08 |
| 실시예 2-47 | 175 | 75  | 0.50 | -183.78   | 916.749  | 916.749 | 0.08 |
| 실시예 2-48 | 200 | 75  | 0.50 | -256.047  | 1226.8   | 1226.8  | 0.07 |
| 실시예 2-49 | 25  | 90  | 0.00 | 9.84896   | -18.8676 | 18.8676 | 0.00 |
| 실시예 2-50 | 50  | 90  | 0.00 | 15.4456   | -28.7567 | 28.7567 | 0.00 |
| 실시예 2-51 | 75  | 90  | 0.00 | 23.4234   | -56.0573 | 56.0573 | 0.00 |
| 실시예 2-52 | 100 | 90  | 0.00 | 26.461    | -54.7599 | 54.7599 | 0.00 |
| 실시예 2-53 | 125 | 90  | 0.00 | 33.0412   | -52.6661 | 52.6661 | 0.00 |
| 실시예 2-54 | 150 | 90  | 0.00 | 41.7176   | -77.1626 | 77.1626 | 0.00 |
| 실시예 2-55 | 175 | 90  | 0.00 | 34.1409   | -58.5267 | 58.5267 | 0.00 |
| 실시예 2-56 | 200 | 90  | 0.00 | 55.8616   | -71.8682 | 71.8682 | 0.00 |
| 실시예 2-57 | 25  | 105 | 0.50 | 12.1705   | -45.612  | 45.612  | 0.24 |
| 실시예 2-58 | 50  | 105 | 0.50 | 27.4317   | -107.644 | 107.644 | 0.21 |
| 실시예 2-59 | 75  | 105 | 0.50 | 58.5299   | -267.077 | 267.077 | 0.12 |
| 실시예 2-60 | 100 | 105 | 0.50 | 94.0003   | -458.404 | 458.404 | 0.10 |

|                            |     |     |      |         |          |         |      |
|----------------------------|-----|-----|------|---------|----------|---------|------|
| 실시예 2-61                   | 125 | 105 | 0.50 | 103.088 | -503.227 | 503.227 | 0.11 |
| 실시예 2-62                   | 150 | 105 | 0.50 | 194.818 | -833.629 | 833.629 | 0.08 |
| 실시예 2-63                   | 175 | 105 | 0.50 | 241.432 | -981.791 | 981.791 | 0.08 |
| 실시예 2-64                   | 200 | 105 | 0.50 | 350.582 | -1289.48 | 1289.48 | 0.07 |
| 실시예 2-65                   | 25  | 120 | 0.87 | 10.1605 | -57.3501 | 57.3501 | 0.34 |
| 실시예 2-66                   | 50  | 120 | 0.87 | 29.1265 | -136.643 | 136.643 | 0.28 |
| 실시예 2-67                   | 75  | 120 | 0.87 | 74.073  | -357.38  | 357.38  | 0.16 |
| 실시예 2-68                   | 100 | 120 | 0.87 | 133.365 | -661.947 | 661.947 | 0.12 |
| 실시예 2-69                   | 125 | 120 | 0.87 | 136.452 | -655.09  | 655.09  | 0.15 |
| 실시예 2-70                   | 150 | 120 | 0.87 | 297.667 | -1342.15 | 1342.15 | 0.09 |
| 실시예 2-71                   | 175 | 120 | 0.87 | 351.385 | -1529.56 | 1529.56 | 0.09 |
| 실시예 2-72                   | 200 | 120 | 0.87 | 486.754 | -1796    | 1796    | 0.09 |
| 실시예 2-73                   | 25  | 135 | 1.00 | 12.016  | -51.161  | 51.161  | 0.43 |
| 실시예 2-74                   | 50  | 135 | 1.00 | 30.7176 | -136.684 | 136.684 | 0.33 |
| 실시예 2-75                   | 75  | 135 | 1.00 | 74.6721 | -368.175 | 368.175 | 0.18 |
| 실시예 2-76                   | 100 | 135 | 1.00 | 142.527 | -695.904 | 695.904 | 0.13 |
| 실시예 2-77                   | 125 | 135 | 1.00 | 233.812 | -1073.28 | 1073.28 | 0.10 |
| 실시예 2-78                   | 150 | 135 | 1.00 | 309.784 | -1423.48 | 1423.48 | 0.09 |
| 실시예 2-79                   | 175 | 135 | 1.00 | 403.784 | -1806.37 | 1806.37 | 0.09 |
| 실시예 2-80                   | 200 | 135 | 1.00 | 545.072 | -1995.66 | 1995.66 | 0.09 |
| 실시예 2-81                   | 25  | 150 | 0.87 | 9.68342 | -46.9737 | 46.9737 | 0.41 |
| 실시예 2-82                   | 50  | 150 | 0.87 | 26.3462 | -110.558 | 110.558 | 0.35 |
| 실시예 2-83                   | 75  | 150 | 0.87 | 63.2917 | -275.067 | 275.067 | 0.21 |
| 실시예 2-84                   | 100 | 150 | 0.87 | 121.576 | -502.891 | 502.891 | 0.15 |
| 실시예 2-85                   | 125 | 150 | 0.87 | 175.334 | -793.066 | 793.066 | 0.12 |
| 실시예 2-86                   | 150 | 150 | 0.87 | 274.307 | -1201.31 | 1201.31 | 0.10 |
| 실시예 2-87                   | 175 | 150 | 0.87 | 371.011 | -1444.21 | 1444.21 | 0.09 |
| 실시예 2-88                   | 200 | 150 | 0.87 | 433.043 | -1554.62 | 1554.62 | 0.10 |
| 실시예 2-89                   | 25  | 165 | 0.50 | 9.81558 | -33.4495 | 33.4495 | 0.33 |
| 실시예 2-90                   | 50  | 165 | 0.50 | 17.268  | -66.056  | 66.056  | 0.34 |
| 실시예 2-91                   | 75  | 165 | 0.50 | 34.6347 | -153.61  | 153.61  | 0.22 |
| 실시예 2-92                   | 100 | 165 | 0.50 | 64.7832 | -273.244 | 273.244 | 0.16 |
| 실시예 2-93                   | 125 | 165 | 0.50 | 125.247 | -509.581 | 509.581 | 0.11 |
| 실시예 2-94                   | 150 | 165 | 0.50 | 171.555 | -721.413 | 721.413 | 0.09 |
| 실시예 2-95                   | 175 | 165 | 0.50 | 228.764 | -870.148 | 870.148 | 0.09 |
| 실시예 2-96                   | 200 | 165 | 0.50 | 268.001 | -915.525 | 915.525 | 0.10 |
| (A*B*C)/Pmax의 최대값          |     |     |      |         |          |         | 0.73 |
| (A*B*C)/Pmax의 최소값          |     |     |      |         |          |         | 0.00 |
| C>0인 경우, (A*B*C)/Pmax의 최소값 |     |     |      |         |          |         | 0.06 |

[0133] 실시예 3: 막대형의 코어-셸 나노 입자 (1)을 포함하는 카이랄 나노 구조체

[0134] 금(Au)을 포함하는 코어(Core) 및 산화철( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )을 포함하는 셸(Shell)을 구비한 막대형의 코어-셸 나노 입자를 준비하였다. 상기 코어의 평균 길이(length)는  $2454(\pm 624)\text{nm}$ 이고, 상기 코어의 평균 폭(width)은  $78(\pm 16)\text{nm}$ 이며, 상기 셸의 평균 두께는  $107(\pm 12)\text{nm}$ 이다. 상기 나노 입자를 하기 표 3과 같이 각각의 농도가 되도록 탈이온수 용매에 분산시켜 비카이랄성 나노 입자 분산체를 제조하였다. 2개의 네오디뮴(neodymium) 자석( $50 \times 10 \times 2 \text{ mm}$ , 0.2T)을 준비하고, 도 2에 도시된 바와 같이, 동일한 자화 방향(y축 방향)으로 서로 3cm의 간격으로 대향 배치하였다. 각각의 농도의 상기 비카이랄성 나노 입자 분산체를 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 2개의 자석 사이의 중앙에 배치하였다. 상기 2개의 자석을 y축을 회전축으로 하여 동일한 각도 크기만큼 회전시키되, 하나의 자석은 시계 방향으로 회전시키고, 다른 하나의 자석은 반시계 방향으로 회전시켰다. 각각의 자석의 장축이 z축과 이루는 각도의 크기, 즉, 회전각( $\theta$ )의 크기가 하기 표 3에 기재된 바와 같도록 회전시켰다. 이로써 실시예 3의 카이랄 나노 구조체를 제조하였다.

표 3

[0135]

|          | 농도(B)<br>[ $\mu\text{g/mL}$ ] | $\Theta$<br>[ $^\circ$ ] | $\tau$ 상대비(C)<br>( $ \sin 2\Theta $ )<br>[ $\Theta = \text{degree}$ ] | CD 스펙트럼 [mdeg] |          |         | (A*B*C)/Pmax<br>(A=78/107) |
|----------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------|----------|---------|----------------------------|
|          |                               |                          |                                                                       | @560nm부근       | @830nm부근 | Pmax    |                            |
| 실시예 3-1  | 25                            | 0                        | 0.00                                                                  | -7.53815       | 9.50373  | 9.50373 | 0.00                       |
| 실시예 3-2  | 50                            | 0                        | 0.00                                                                  | -11.5166       | 11.6856  | 11.6856 | 0.00                       |
| 실시예 3-3  | 75                            | 0                        | 0.00                                                                  | -19.4045       | 13.333   | 19.4045 | 0.00                       |
| 실시예 3-4  | 100                           | 0                        | 0.00                                                                  | -30.2261       | 13.0284  | 30.2261 | 0.00                       |
| 실시예 3-5  | 125                           | 0                        | 0.00                                                                  | -27.3712       | 29.2251  | 29.2251 | 0.00                       |
| 실시예 3-6  | 150                           | 0                        | 0.00                                                                  | -22.7016       | 38.9029  | 38.9029 | 0.00                       |
| 실시예 3-7  | 175                           | 0                        | 0.00                                                                  | -19.079        | 34.1915  | 34.1915 | 0.00                       |
| 실시예 3-8  | 200                           | 0                        | 0.00                                                                  | -26.3219       | 35.9554  | 35.9554 | 0.00                       |
| 실시예 3-9  | 25                            | 15                       | 0.50                                                                  | -7.91551       | 7.68037  | 7.91551 | 1.15                       |
| 실시예 3-10 | 50                            | 15                       | 0.50                                                                  | -15.8674       | -6.02037 | 15.8674 | 1.15                       |
| 실시예 3-11 | 75                            | 15                       | 0.50                                                                  | -27.9142       | -19.1392 | 27.9142 | 0.98                       |
| 실시예 3-12 | 100                           | 15                       | 0.50                                                                  | -39.4368       | -32.1212 | 39.4368 | 0.93                       |
| 실시예 3-13 | 125                           | 15                       | 0.50                                                                  | -51.6815       | -47.6679 | 51.6815 | 0.88                       |
| 실시예 3-14 | 150                           | 15                       | 0.50                                                                  | -57.5326       | -65.4931 | 65.4931 | 0.84                       |
| 실시예 3-15 | 175                           | 15                       | 0.50                                                                  | -70.7813       | -100.152 | 100.152 | 0.64                       |
| 실시예 3-16 | 200                           | 15                       | 0.50                                                                  | -65.7547       | -115.026 | 115.026 | 0.63                       |
| 실시예 3-17 | 25                            | 30                       | 0.87                                                                  | -9.4047        | 0.259422 | 9.4047  | 1.68                       |
| 실시예 3-18 | 50                            | 30                       | 0.87                                                                  | -20.5545       | -14.4674 | 20.5545 | 1.54                       |
| 실시예 3-19 | 75                            | 30                       | 0.87                                                                  | -35.1782       | -35.3682 | 35.3682 | 1.34                       |
| 실시예 3-20 | 100                           | 30                       | 0.87                                                                  | -54.9278       | -64.9022 | 64.9022 | 0.97                       |
| 실시예 3-21 | 125                           | 30                       | 0.87                                                                  | -70.683        | -103.213 | 103.213 | 0.77                       |
| 실시예 3-22 | 150                           | 30                       | 0.87                                                                  | -80.7226       | -139.911 | 139.911 | 0.68                       |
| 실시예 3-23 | 175                           | 30                       | 0.87                                                                  | -84.4237       | -184.024 | 184.024 | 0.60                       |
| 실시예 3-24 | 200                           | 30                       | 0.87                                                                  | -105.777       | -236.778 | 236.778 | 0.53                       |
| 실시예 3-25 | 25                            | 45                       | 1.00                                                                  | -8.93725       | 1.29636  | 8.93725 | 2.04                       |
| 실시예 3-26 | 50                            | 45                       | 1.00                                                                  | -23.0299       | -13.2333 | 23.0299 | 1.58                       |
| 실시예 3-27 | 75                            | 45                       | 1.00                                                                  | -37.3763       | -40.461  | 40.461  | 1.35                       |
| 실시예 3-28 | 100                           | 45                       | 1.00                                                                  | -59.3599       | -80.2965 | 80.2965 | 0.91                       |
| 실시예 3-29 | 125                           | 45                       | 1.00                                                                  | -74.4613       | -114.102 | 114.102 | 0.80                       |
| 실시예 3-30 | 150                           | 45                       | 1.00                                                                  | -93.3701       | -167.345 | 167.345 | 0.65                       |
| 실시예 3-31 | 175                           | 45                       | 1.00                                                                  | -93.1886       | -216.908 | 216.908 | 0.59                       |
| 실시예 3-32 | 200                           | 45                       | 1.00                                                                  | -109.779       | -263.285 | 263.285 | 0.55                       |
| 실시예 3-33 | 25                            | 60                       | 0.87                                                                  | -6.4495        | 2.78366  | 6.4495  | 2.45                       |
| 실시예 3-34 | 50                            | 60                       | 0.87                                                                  | -14.6077       | -12.3136 | 14.6077 | 2.16                       |
| 실시예 3-35 | 75                            | 60                       | 0.87                                                                  | -29.8128       | -33.7258 | 33.7258 | 1.41                       |
| 실시예 3-36 | 100                           | 60                       | 0.87                                                                  | -49.5093       | -60.2401 | 60.2401 | 1.05                       |
| 실시예 3-37 | 125                           | 60                       | 0.87                                                                  | -63.1746       | -96.4258 | 96.4258 | 0.82                       |
| 실시예 3-38 | 150                           | 60                       | 0.87                                                                  | -82.6834       | -146.269 | 146.269 | 0.65                       |
| 실시예 3-39 | 175                           | 60                       | 0.87                                                                  | -76.156        | -176.352 | 176.352 | 0.63                       |
| 실시예 3-40 | 200                           | 60                       | 0.87                                                                  | -74.7141       | -206.697 | 206.697 | 0.61                       |
| 실시예 3-41 | 25                            | 75                       | 0.50                                                                  | -6.55073       | 5.32714  | 6.55073 | 1.39                       |
| 실시예 3-42 | 50                            | 75                       | 0.50                                                                  | -18.8469       | -5.32564 | 18.8469 | 0.97                       |
| 실시예 3-43 | 75                            | 75                       | 0.50                                                                  | -21.2838       | -15.4706 | 21.2838 | 1.29                       |
| 실시예 3-44 | 100                           | 75                       | 0.50                                                                  | -33.7699       | -28.8007 | 33.7699 | 1.08                       |
| 실시예 3-45 | 125                           | 75                       | 0.50                                                                  | -36.9541       | -46.3082 | 46.3082 | 0.99                       |
| 실시예 3-46 | 150                           | 75                       | 0.50                                                                  | -48.4698       | -71.9071 | 71.9071 | 0.76                       |
| 실시예 3-47 | 175                           | 75                       | 0.50                                                                  | -54.8074       | -93.9875 | 93.9875 | 0.68                       |
| 실시예 3-48 | 200                           | 75                       | 0.50                                                                  | -60.9551       | -114.5   | 114.5   | 0.64                       |
| 실시예 3-49 | 25                            | 90                       | 0.00                                                                  | -8.21705       | 5.6958   | 8.21705 | 0.00                       |
| 실시예 3-50 | 50                            | 90                       | 0.00                                                                  | -14.5284       | 4.16412  | 14.5284 | 0.00                       |
| 실시예 3-51 | 75                            | 90                       | 0.00                                                                  | -19.2898       | 4.08091  | 19.2898 | 0.00                       |
| 실시예 3-52 | 100                           | 90                       | 0.00                                                                  | -18.027        | 12.6545  | 18.027  | 0.00                       |
| 실시예 3-53 | 125                           | 90                       | 0.00                                                                  | -21.2254       | 24.8205  | 24.8205 | 0.00                       |

|                            |     |     |      |           |         |         |      |
|----------------------------|-----|-----|------|-----------|---------|---------|------|
| 실시예 3-54                   | 150 | 90  | 0.00 | -15.3822  | 22.9    | 22.9    | 0.00 |
| 실시예 3-55                   | 175 | 90  | 0.00 | -24.9115  | 20.5429 | 24.9115 | 0.00 |
| 실시예 3-56                   | 200 | 90  | 0.00 | -23.7274  | 23.832  | 23.832  | 0.00 |
| 실시예 3-57                   | 25  | 105 | 0.50 | -2.01906  | 8.26742 | 8.26742 | 1.10 |
| 실시예 3-58                   | 50  | 105 | 0.50 | -4.33768  | 14.8651 | 14.8651 | 1.23 |
| 실시예 3-59                   | 75  | 105 | 0.50 | -9.37984  | 28.0946 | 28.0946 | 0.97 |
| 실시예 3-60                   | 100 | 105 | 0.50 | -10.9829  | 52.7525 | 52.7525 | 0.69 |
| 실시예 3-61                   | 125 | 105 | 0.50 | -5.55637  | 77.838  | 77.838  | 0.59 |
| 실시예 3-62                   | 150 | 105 | 0.50 | 2.34774   | 108.448 | 108.448 | 0.50 |
| 실시예 3-63                   | 175 | 105 | 0.50 | -3.44082  | 129.594 | 129.594 | 0.49 |
| 실시예 3-64                   | 200 | 105 | 0.50 | -1.00455  | 149.064 | 149.064 | 0.49 |
| 실시예 3-65                   | 25  | 120 | 0.87 | -6.74832  | 8.49235 | 8.49235 | 1.86 |
| 실시예 3-66                   | 50  | 120 | 0.87 | -3.26899  | 19.614  | 19.614  | 1.61 |
| 실시예 3-67                   | 75  | 120 | 0.87 | -1.63751  | 42.1399 | 42.1399 | 1.13 |
| 실시예 3-68                   | 100 | 120 | 0.87 | 8.42136   | 87.5046 | 87.5046 | 0.72 |
| 실시예 3-69                   | 125 | 120 | 0.87 | 17.7691   | 125.622 | 125.622 | 0.63 |
| 실시예 3-70                   | 150 | 120 | 0.87 | 29.9982   | 180.58  | 180.58  | 0.53 |
| 실시예 3-71                   | 175 | 120 | 0.87 | 18.6498   | 204.748 | 204.748 | 0.54 |
| 실시예 3-72                   | 200 | 120 | 0.87 | 42.3768   | 244.464 | 244.464 | 0.52 |
| 실시예 3-73                   | 25  | 135 | 1.00 | -4.69228  | 8.02431 | 8.02431 | 2.27 |
| 실시예 3-74                   | 50  | 135 | 1.00 | -7.01615  | 15.3894 | 15.3894 | 2.37 |
| 실시예 3-75                   | 75  | 135 | 1.00 | 1.10383   | 51.6208 | 51.6208 | 1.06 |
| 실시예 3-76                   | 100 | 135 | 1.00 | 9.99771   | 90.5506 | 90.5506 | 0.81 |
| 실시예 3-77                   | 125 | 135 | 1.00 | 19.9972   | 135.318 | 135.318 | 0.67 |
| 실시예 3-78                   | 150 | 135 | 1.00 | 26.0874   | 195.643 | 195.643 | 0.56 |
| 실시예 3-79                   | 175 | 135 | 1.00 | 39.5219   | 234.553 | 234.553 | 0.54 |
| 실시예 3-80                   | 200 | 135 | 1.00 | 38.8694   | 293.858 | 293.858 | 0.50 |
| 실시예 3-81                   | 25  | 150 | 0.87 | -6.71394  | 6.86092 | 6.86092 | 2.30 |
| 실시예 3-82                   | 50  | 150 | 0.87 | -4.00949  | 12.8799 | 12.8799 | 2.45 |
| 실시예 3-83                   | 75  | 150 | 0.87 | -2.05087  | 42.0491 | 42.0491 | 1.13 |
| 실시예 3-84                   | 100 | 150 | 0.87 | 2.5425    | 78.2846 | 78.2846 | 0.81 |
| 실시예 3-85                   | 125 | 150 | 0.87 | 17.0064   | 134.022 | 134.022 | 0.59 |
| 실시예 3-86                   | 150 | 150 | 0.87 | 15.4648   | 176.807 | 176.807 | 0.54 |
| 실시예 3-87                   | 175 | 150 | 0.87 | 39.1618   | 219.53  | 219.53  | 0.50 |
| 실시예 3-88                   | 200 | 150 | 0.87 | 35.0033   | 270.308 | 270.308 | 0.47 |
| 실시예 3-89                   | 25  | 165 | 0.50 | -2.72344  | 3.83548 | 3.83548 | 2.38 |
| 실시예 3-90                   | 50  | 165 | 0.50 | -6.24092  | 6.95336 | 6.95336 | 2.62 |
| 실시예 3-91                   | 75  | 165 | 0.50 | -0.576269 | 24.7738 | 24.7738 | 1.10 |
| 실시예 3-92                   | 100 | 165 | 0.50 | -6.19691  | 59.9633 | 59.9633 | 0.61 |
| 실시예 3-93                   | 125 | 165 | 0.50 | 2.06396   | 91.3203 | 91.3203 | 0.50 |
| 실시예 3-94                   | 150 | 165 | 0.50 | 9.68981   | 99.0606 | 99.0606 | 0.55 |
| 실시예 3-95                   | 175 | 165 | 0.50 | 7.16727   | 136.52  | 136.52  | 0.47 |
| 실시예 3-96                   | 200 | 165 | 0.50 | 8.96223   | 157.629 | 157.629 | 0.46 |
| (A*B*C)/Pmax의 최대값          |     |     |      |           |         |         | 2.62 |
| (A*B*C)/Pmax의 최소값          |     |     |      |           |         |         | 0.00 |
| C>0인 경우, (A*B*C)/Pmax의 최소값 |     |     |      |           |         |         | 0.46 |

[0136] 실시예 4: 구형의 하프-셸(half-shell) 나노입자를 포함하는 카이랄 구조체

[0137] 산화철 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )을 포함하는 코어(Core) 및 금(Au)을 포함하는 셸(shell)을 구비하되 하프-셸 (Half-shell)을 포함하는 구형의 하프-셸 나노 입자를 준비하였다. 상기 코어의 평균 직경은  $204.6(\pm 23.6)\text{nm}$  이고, 상기 셸의 평균 두께는  $22.8(\pm 1.8)\text{nm}$  이다. 상기 나노 입자를 하기 표 4와 같이 각각의 농도가 되도록 탈이온수 용매에 분산시켜 비카이랄성 나노 입자 분산체를 제조하였다. 2개의 네오디뮴(neodymium) 자석( $50 \times 10 \times 2 \text{ mm}$ , 0.2T)을 준비하고, 도 2에 도시된 바와 같이, 동일한 자화 방향(y축 방향)으로 서로 3cm의 간격으로 대향 배치하였다. 각각의 농도의 상기 비카이랄성 나노 입자 분산체를 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 2개의 자석 사이의 중앙에 배치하였다. 상기 2개의 자석을 y축을 회전축으로 하여 동일한 각도 크기만큼 회전시키되, 하나의 자석은 시계

방향으로 회전시키고, 다른 하나의 자석은 반시계 방향으로 회전시켰다. 각각의 자석의 장축이 z축과 이루는 각도의 크기, 즉, 회전각( $\theta$ )의 크기가 하기 표 4에 기재된 바와 같도록 회전시켰다. 이로써 실시예 4의 카이랄 나노 구조체를 제조하였다.

표 4

[0138]

|          | 농도(B)<br>[ $\mu\text{g/mL}$ ] | $\theta$<br>[ $^\circ$ ] | $\tau$ 상대비(C)<br>( $ \sin 2\theta $ )<br>[ $\theta = \text{degree}$ ] | CD 스펙트럼 [mdeg] |          |         | (A*B*C)/Pmax<br>(A=204.6/22.8) |
|----------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------|----------|---------|--------------------------------|
|          |                               |                          |                                                                       | @450nm부근       | @700nm부근 | Pmax    |                                |
| 실시예 4-1  | 25                            | 0                        | 0.00                                                                  | -13.7293       | -9.37537 | 13.7293 | 0.00                           |
| 실시예 4-2  | 50                            | 0                        | 0.00                                                                  | -26.8003       | -19.6424 | 26.8003 | 0.00                           |
| 실시예 4-3  | 75                            | 0                        | 0.00                                                                  | -40.3599       | -27.4027 | 40.3599 | 0.00                           |
| 실시예 4-4  | 100                           | 0                        | 0.00                                                                  | -61.3673       | -49.9827 | 61.3673 | 0.00                           |
| 실시예 4-5  | 125                           | 0                        | 0.00                                                                  | -64.7302       | -63.3074 | 64.7302 | 0.00                           |
| 실시예 4-6  | 150                           | 0                        | 0.00                                                                  | -82.6592       | -71.9333 | 82.6592 | 0.00                           |
| 실시예 4-7  | 175                           | 0                        | 0.00                                                                  | -78.9345       | -97.0621 | 97.0621 | 0.00                           |
| 실시예 4-8  | 200                           | 0                        | 0.00                                                                  | -82.7787       | -80.4553 | 82.7787 | 0.00                           |
| 실시예 4-9  | 25                            | 15                       | 0.50                                                                  | -11.437        | -6.12388 | 11.437  | 9.80                           |
| 실시예 4-10 | 50                            | 15                       | 0.50                                                                  | -0.387778      | -28.7961 | 28.7961 | 7.79                           |
| 실시예 4-11 | 75                            | 15                       | 0.50                                                                  | 8.87803        | -38.657  | 38.657  | 8.70                           |
| 실시예 4-12 | 100                           | 15                       | 0.50                                                                  | 14.8943        | -64.7364 | 64.7364 | 6.93                           |
| 실시예 4-13 | 125                           | 15                       | 0.50                                                                  | 27.2106        | -113.701 | 113.701 | 4.93                           |
| 실시예 4-14 | 150                           | 15                       | 0.50                                                                  | 32.7927        | -126.945 | 126.945 | 5.30                           |
| 실시예 4-15 | 175                           | 15                       | 0.50                                                                  | 41.7736        | -163.453 | 163.453 | 4.80                           |
| 실시예 4-16 | 200                           | 15                       | 0.50                                                                  | 81.4048        | -197.244 | 197.244 | 4.55                           |
| 실시예 4-17 | 25                            | 30                       | 0.87                                                                  | -11.437        | -6.12388 | 11.437  | 16.98                          |
| 실시예 4-18 | 50                            | 30                       | 0.87                                                                  | 9.05278        | -30.7624 | 30.7624 | 12.63                          |
| 실시예 4-19 | 75                            | 30                       | 0.87                                                                  | 39.1174        | -56.1303 | 56.1303 | 10.38                          |
| 실시예 4-20 | 100                           | 30                       | 0.87                                                                  | 79.4493        | -82.8562 | 82.8562 | 9.38                           |
| 실시예 4-21 | 125                           | 30                       | 0.87                                                                  | 97.5773        | -137.605 | 137.605 | 7.06                           |
| 실시예 4-22 | 150                           | 30                       | 0.87                                                                  | 129.521        | -176.785 | 176.785 | 6.59                           |
| 실시예 4-23 | 175                           | 30                       | 0.87                                                                  | 173.356        | -212.988 | 212.988 | 6.38                           |
| 실시예 4-24 | 200                           | 30                       | 0.87                                                                  | 179.851        | -248.184 | 248.184 | 6.26                           |
| 실시예 4-25 | 25                            | 45                       | 1.00                                                                  | -3.60336       | -13.2538 | 13.2538 | 16.92                          |
| 실시예 4-26 | 50                            | 45                       | 1.00                                                                  | 20.658         | -37.4083 | 37.4083 | 11.99                          |
| 실시예 4-27 | 75                            | 45                       | 1.00                                                                  | 50.3629        | -60.2882 | 60.2882 | 11.16                          |
| 실시예 4-28 | 100                           | 45                       | 1.00                                                                  | 88.9416        | -95.797  | 95.797  | 9.36                           |
| 실시예 4-29 | 125                           | 45                       | 1.00                                                                  | 127.573        | -159.375 | 159.375 | 7.04                           |
| 실시예 4-30 | 150                           | 45                       | 1.00                                                                  | 148.764        | -202.892 | 202.892 | 6.63                           |
| 실시예 4-31 | 175                           | 45                       | 1.00                                                                  | 164.48         | -244.317 | 244.317 | 6.43                           |
| 실시예 4-32 | 200                           | 45                       | 1.00                                                                  | 177.76         | -275.326 | 275.326 | 6.52                           |
| 실시예 4-33 | 25                            | 60                       | 0.87                                                                  | -8.39113       | -13.7004 | 13.7004 | 14.18                          |
| 실시예 4-34 | 50                            | 60                       | 0.87                                                                  | 12.5795        | -38.8445 | 38.8445 | 10.00                          |
| 실시예 4-35 | 75                            | 60                       | 0.87                                                                  | 46.6445        | -54.6695 | 54.6695 | 10.66                          |
| 실시예 4-36 | 100                           | 60                       | 0.87                                                                  | 78.3133        | -98.3385 | 98.3385 | 7.90                           |
| 실시예 4-37 | 125                           | 60                       | 0.87                                                                  | 100.229        | -136.854 | 136.854 | 7.10                           |
| 실시예 4-38 | 150                           | 60                       | 0.87                                                                  | 136            | -196.026 | 196.026 | 5.94                           |
| 실시예 4-39 | 175                           | 60                       | 0.87                                                                  | 152.98         | -239.44  | 239.44  | 5.68                           |
| 실시예 4-40 | 200                           | 60                       | 0.87                                                                  | 174.774        | -258.659 | 258.659 | 6.01                           |
| 실시예 4-41 | 25                            | 75                       | 0.50                                                                  | -13.1136       | -11.9487 | 13.1136 | 8.55                           |
| 실시예 4-42 | 50                            | 75                       | 0.50                                                                  | -2.90439       | -25.3031 | 25.3031 | 8.86                           |
| 실시예 4-43 | 75                            | 75                       | 0.50                                                                  | 14.0841        | -46.955  | 46.955  | 7.16                           |
| 실시예 4-44 | 100                           | 75                       | 0.50                                                                  | 25.5531        | -65.2249 | 65.2249 | 6.88                           |
| 실시예 4-45 | 125                           | 75                       | 0.50                                                                  | 32.7731        | -110.369 | 110.369 | 5.08                           |
| 실시예 4-46 | 150                           | 75                       | 0.50                                                                  | 38.7656        | -150.619 | 150.619 | 4.47                           |
| 실시예 4-47 | 175                           | 75                       | 0.50                                                                  | 68.8032        | -167.151 | 167.151 | 4.70                           |
| 실시예 4-48 | 200                           | 75                       | 0.50                                                                  | 80.1045        | -181.408 | 181.408 | 4.94                           |
| 실시예 4-49 | 25                            | 90                       | 0.00                                                                  | -13.6779       | -11.4838 | 13.6779 | 0.00                           |

|                            |     |     |      |          |          |         |       |
|----------------------------|-----|-----|------|----------|----------|---------|-------|
| 실시예 4-50                   | 50  | 90  | 0.00 | -31.6212 | -20.6161 | 31.6212 | 0.00  |
| 실시예 4-51                   | 75  | 90  | 0.00 | -41.8544 | -23.6395 | 41.8544 | 0.00  |
| 실시예 4-52                   | 100 | 90  | 0.00 | -41.9537 | -31.529  | 41.9537 | 0.00  |
| 실시예 4-53                   | 125 | 90  | 0.00 | -89.1371 | -56.5824 | 89.1371 | 0.00  |
| 실시예 4-54                   | 150 | 90  | 0.00 | -74.274  | -77.7345 | 77.7345 | 0.00  |
| 실시예 4-55                   | 175 | 90  | 0.00 | -133.742 | -62.0819 | 133.742 | 0.00  |
| 실시예 4-56                   | 200 | 90  | 0.00 | -87.9446 | -50.7764 | 87.9446 | 0.00  |
| 실시예 4-57                   | 25  | 105 | 0.50 | -24.9615 | -2.0642  | 24.9615 | 4.49  |
| 실시예 4-58                   | 50  | 105 | 0.50 | -53.6922 | -7.2385  | 53.6922 | 4.18  |
| 실시예 4-59                   | 75  | 105 | 0.50 | -81.738  | -9.26416 | 81.738  | 4.12  |
| 실시예 4-60                   | 100 | 105 | 0.50 | -129.965 | 0.163201 | 129.965 | 3.45  |
| 실시예 4-61                   | 125 | 105 | 0.50 | -191.557 | 5.12119  | 191.557 | 2.93  |
| 실시예 4-62                   | 150 | 105 | 0.50 | -229.336 | -11.7384 | 229.336 | 2.93  |
| 실시예 4-63                   | 175 | 105 | 0.50 | -239.939 | 22.9567  | 239.939 | 3.27  |
| 실시예 4-64                   | 200 | 105 | 0.50 | -241.141 | 52.4878  | 241.141 | 3.72  |
| 실시예 4-65                   | 25  | 120 | 0.87 | -30.2692 | -0.84840 | 30.2692 | 6.42  |
| 실시예 4-66                   | 50  | 120 | 0.87 | -76.1418 | -0.62602 | 76.1418 | 5.10  |
| 실시예 4-67                   | 75  | 120 | 0.87 | -128.125 | 3.04504  | 128.125 | 4.55  |
| 실시예 4-68                   | 100 | 120 | 0.87 | -163.733 | 16.9155  | 163.733 | 4.74  |
| 실시예 4-69                   | 125 | 120 | 0.87 | -244.645 | 36.2708  | 244.645 | 3.97  |
| 실시예 4-70                   | 150 | 120 | 0.87 | -328.532 | 47.1086  | 328.532 | 3.55  |
| 실시예 4-71                   | 175 | 120 | 0.87 | -336.89  | 100.448  | 336.89  | 4.04  |
| 실시예 4-72                   | 200 | 120 | 0.87 | -346.413 | 119.458  | 346.413 | 4.48  |
| 실시예 4-73                   | 25  | 135 | 1.00 | -30.1818 | -0.43374 | 30.1818 | 7.43  |
| 실시예 4-74                   | 50  | 135 | 1.00 | -77.7811 | 0.402123 | 77.7811 | 5.77  |
| 실시예 4-75                   | 75  | 135 | 1.00 | -138.074 | 6.51752  | 138.074 | 4.87  |
| 실시예 4-76                   | 100 | 135 | 1.00 | -208.923 | 25.7691  | 208.923 | 4.29  |
| 실시예 4-77                   | 125 | 135 | 1.00 | -276.945 | 39.2789  | 276.945 | 4.05  |
| 실시예 4-78                   | 150 | 135 | 1.00 | -331.597 | 56.2207  | 331.597 | 4.06  |
| 실시예 4-79                   | 175 | 135 | 1.00 | -351.074 | 127.933  | 351.074 | 4.47  |
| 실시예 4-80                   | 200 | 135 | 1.00 | -466.984 | 168.866  | 466.984 | 3.84  |
| 실시예 4-81                   | 25  | 150 | 0.87 | -28.4136 | -2.24077 | 28.4136 | 6.83  |
| 실시예 4-82                   | 50  | 150 | 0.87 | -76.1401 | -0.08146 | 76.1401 | 5.10  |
| 실시예 4-83                   | 75  | 150 | 0.87 | -117.67  | 2.83803  | 117.67  | 4.95  |
| 실시예 4-84                   | 100 | 150 | 0.87 | -179.737 | 12.7147  | 179.737 | 4.32  |
| 실시예 4-85                   | 125 | 150 | 0.87 | -233.904 | 31.5423  | 233.904 | 4.15  |
| 실시예 4-86                   | 150 | 150 | 0.87 | -311.735 | 39.6801  | 311.735 | 3.74  |
| 실시예 4-87                   | 175 | 150 | 0.87 | -323.65  | 94.0516  | 323.65  | 4.20  |
| 실시예 4-88                   | 200 | 150 | 0.87 | -326.197 | 120.249  | 326.197 | 4.76  |
| 실시예 4-89                   | 25  | 165 | 0.50 | -25.1369 | -5.97778 | 25.1369 | 4.46  |
| 실시예 4-90                   | 50  | 165 | 0.50 | -54.1712 | -8.91204 | 54.1712 | 4.14  |
| 실시예 4-91                   | 75  | 165 | 0.50 | -85.2771 | -16.5045 | 85.2771 | 3.94  |
| 실시예 4-92                   | 100 | 165 | 0.50 | -112.405 | -7.10573 | 112.405 | 3.99  |
| 실시예 4-93                   | 125 | 165 | 0.50 | -172.165 | -9.25674 | 172.165 | 3.26  |
| 실시예 4-94                   | 150 | 165 | 0.50 | -204.38  | -15.8375 | 204.38  | 3.29  |
| 실시예 4-95                   | 175 | 165 | 0.50 | -226.903 | 14.977   | 226.903 | 3.46  |
| 실시예 4-96                   | 200 | 165 | 0.50 | -262.556 | 26.2862  | 262.556 | 3.42  |
| (A*B*C)/Pmax의 최대값          |     |     |      |          |          |         | 16.98 |
| (A*B*C)/Pmax의 최소값          |     |     |      |          |          |         | 0.00  |
| C>0인 경우, (A*B*C)/Pmax의 최소값 |     |     |      |          |          |         | 2.93  |

[0139] <측정예>

[0140] 측정예 1: 원편광이색성분광 스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy, CD)

[0141] 상기 실시예 1 내지 4에서 제조된 각각의 카이랄 나노 구조체에 대하여, 원편광이색성분광기(JASCO, J-1500)를 이용하여 500nm/min의 스캔 속도, 0.5nm의 데이터 간격, 및 200nm 내지 900nm의 파장 범위 조건 하에서 스펙트

럼을 얻었다.

[0142] 상기 실시예 1 내지 4의 카이랄 나노 구조체에 대한 스펙트럼은 각각 도 9 내지 12에 도시된 바와 같다. 도 9 내지 12를 참조할 때, 상기 실시예 1 내지 4의 카이랄 나노 구조체는 CD 스펙트럼 상에서 각각 2개의 피크를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이러한 2개의 피크는 각각 나노 입자의 코어(Core) 및 셸(Shell)로부터 유래된 것이다. 상기 나노 입자의 형태, 농도, 코어(core)와 셸(Shell)의 성분, 카이랄성 부여를 위한 자성체의 회전 각 등이 모두 종합적으로 스펙트럼의 형태에 영향을 끼칠 수 있다. 각 피크의 파장 영역 및 피크값을 표 1 내지 4에 기재하였다.

[0143] **측정예 2: 자기장의 카이랄성( $\tau$ )**

[0144] 상기 실시예 1 내지 4에 있어서, 상기 2개의 자석의 회전각( $\theta$ )의 크기( $^{\circ}$ )와 이의 상기 2개의 자석의 회전에 의해 생성되는 나선형 자기장의 카이랄성( $\tau$ ) 상대비를  $\sin(2\theta)$ 를 통하여 계산하여 상기 표 1 내지 4에 각각 기재하였다.

[0146] **측정예 3**

[0147] 상기 측정예 1의 스펙트럼에 있어서, 각각의 2개의 피크 중에서 최대 크기를 갖는 피크에 대하여 그 피크값의 절대값( $P_{\max}$ )을 상기 표 1 내지 4에 기재하였고, 이를 이용하여 상기 식 1의  $(A * B * C)/P_{\max}$  값을 각각 구하여 상기 표 1 내지 4에 기재하였다.

[0149] 상기 측정예 1 내지 3을 참조할 때, 상기 실시예 1 내지 4의 카이랄 나노 구조체는, 상기 식 1의  $(A * B * C)/P_{\max}$  값이 0 내지 20을 만족하는 것을 확인할 수 있었고, 이를 통하여, 자성체 회전 각도에 따라 생성되는 각각의 나선형 자기장에 상응하는 카이랄성을 즉각적이고 빠르게 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

[0150] 보다 구체적으로, 상기 실시예 1 내지 2의 카이랄 나노 구조체는 이의 나노 입자가 구형의 코어-셸 입자를 포함하고, 상기 코어-셸 입자에 있어서, 상기 셸이 상기 코어의 표면을 실질적으로 전면 둘러싸는 구조이며, 상기 식 1의  $(A * B * C)/P_{\max}$ 의 값이 약 0.01 내지 약 1.0을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

[0151] 또한, 상기 실시예 3의 카이랄 나노 구조체는 이의 나노 입자가 나노 입자가 막대형의 코어-셸 입자를 포함하고, 상기 식 1의  $(A * B * C)/P_{\max}$ 의 값은 약 0.3 내지 약 3.0을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

[0152] 또한, 상기 실시예 4의 카이랄 나노 구조체는 이의 나노 입자가 구형의 코어-셸 입자를 포함하고, 상기 코어-셸 입자에 있어서, 상기 셸이 상기 코어의 표면을 일부 둘러싸는 하프-셸(half-shell) 구조이며, 상기 식 1의  $(A * B * C)/P_{\max}$ 의 값이 약 0.01 내지 약 20을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

[0153] 이와 같이, 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법에 따라 제조된 상기 카이랄 나노 구조체는 상기 자기장 형성 단계 및 상기 자기장 조절 단계에 의해 형성된 자기장의 카이랄성이 전가됨으로써 소정의 배열로 정렬된 나노 입자 배열 구조체의 구조적 특징에 의해 도출되는 카이랄성을 띠며, 상기 카이랄성은 자기장 인가라는 상대적으로 단순한 기술적 수단에 의해 실시간으로 부여 및 변조되는 것을 확인할 수 있었다. 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법에 의한 이러한 구조적 카이랄성의 부여 및 실시간 자기 조립성은 이를 응용할 수 있는 기술 분야에 있어서 광범위한 활용성을 확보하는 이점을 가질 수 있다.

[0154] [부호의 설명]

[0155] 11: 제1 자성체부(자석)

[0156] 12: 제2 자성체부(자석)

[0157] 13: 나선형의 자기장

[0158] 14: 코어

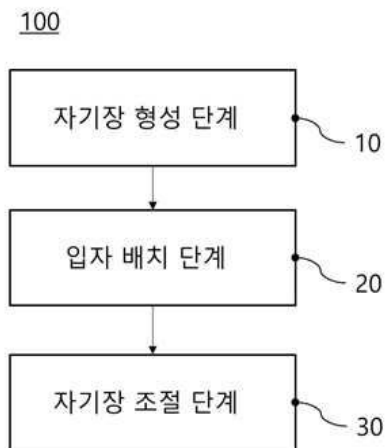
[0159] 15: 셸

[0160] 21: 수용체부

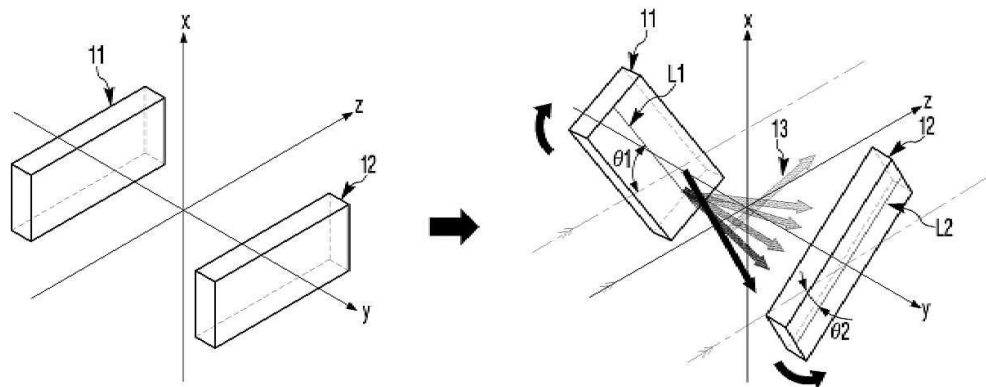
- [0161] 22: 나노입자(또는 자성 플라즈몬 입자)
- [0162] 200: 카이랄 나노구조체
- [0163] 201: 제1 구조체
- [0164] 202: 제2 구조체
- [0165] 210: 나노 입자 배열 구조체
- [0166] L1, L2: 자석의 장축

## 도면

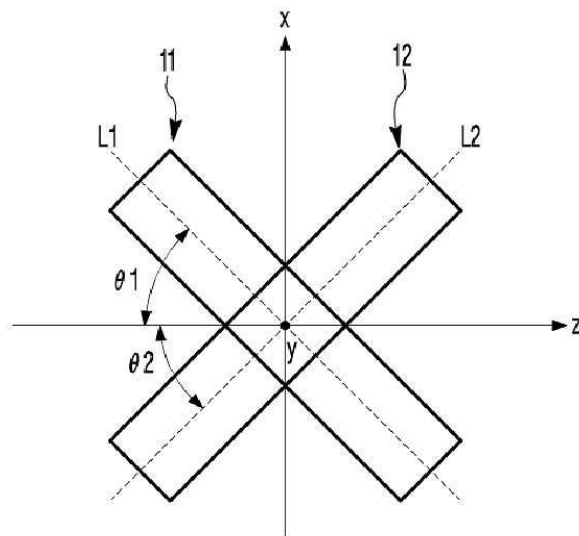
### 도면1



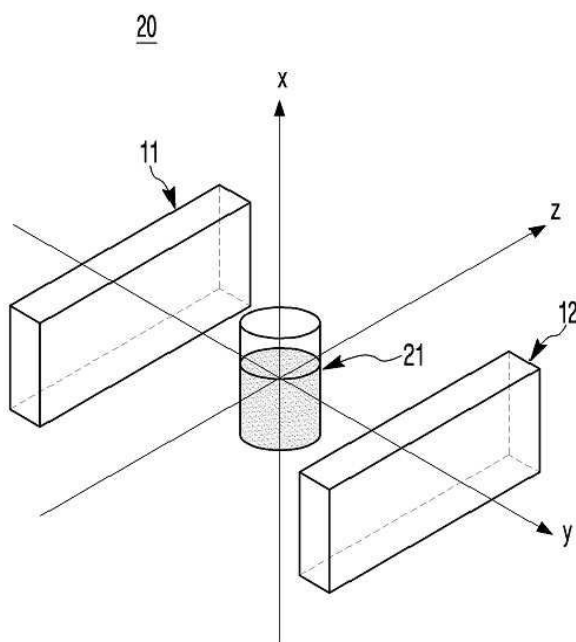
### 도면2



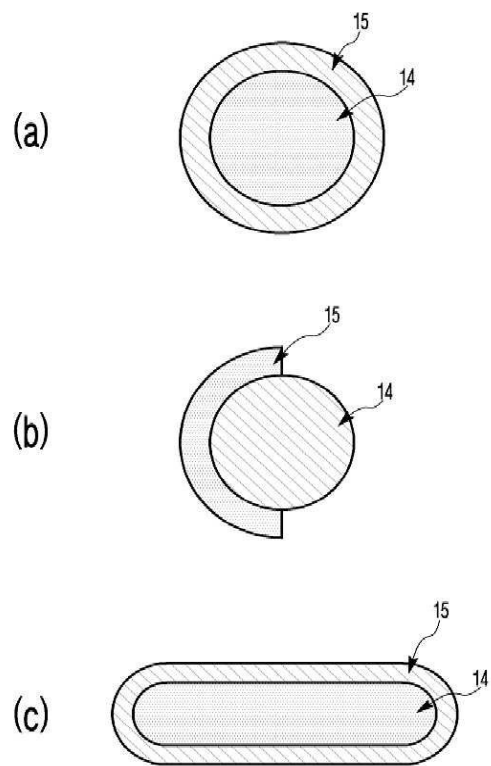
도면3



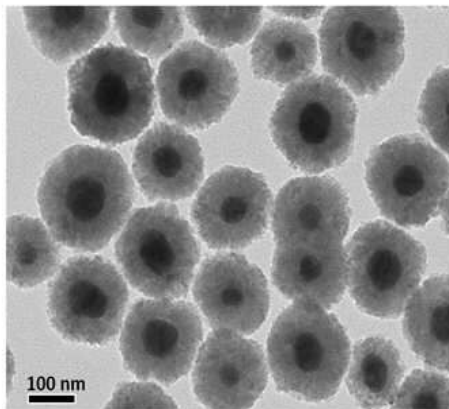
도면4



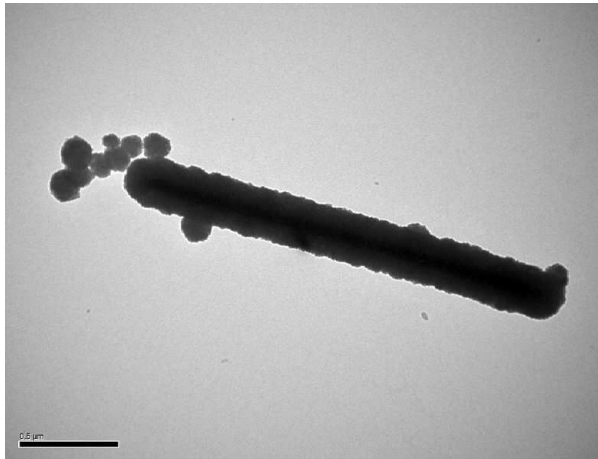
도면5



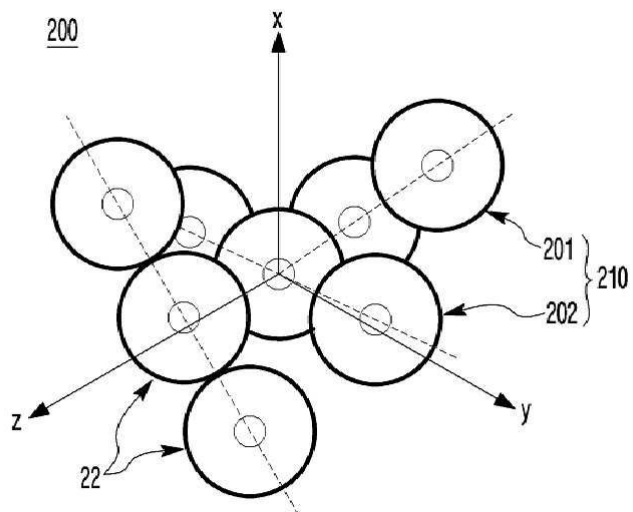
도면6



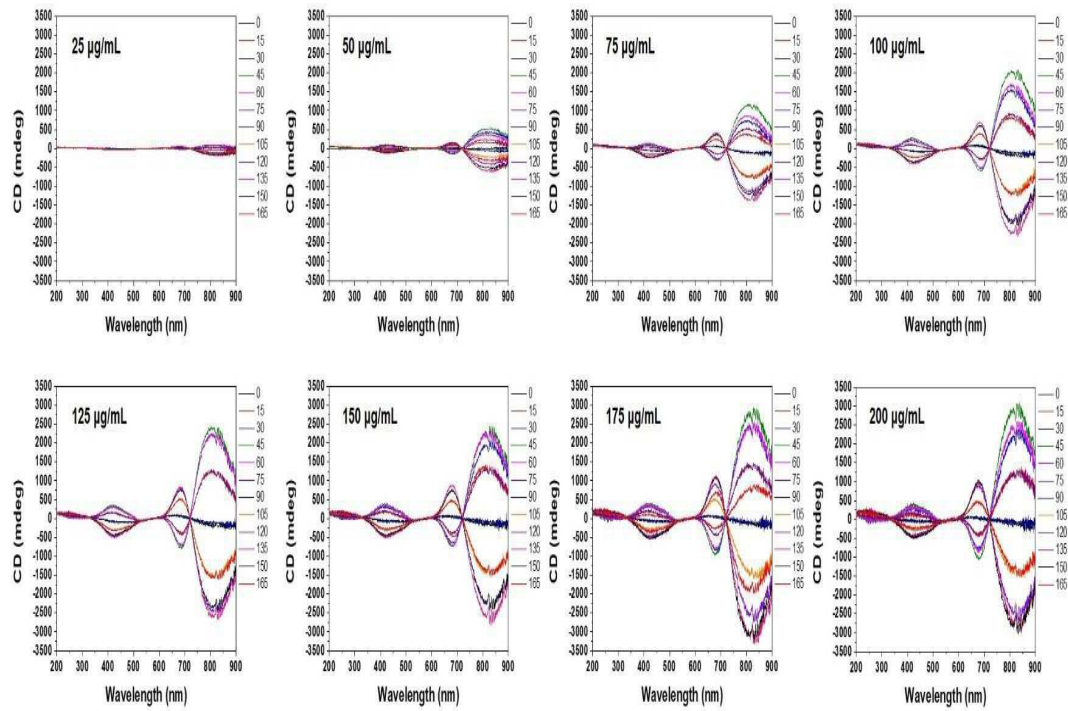
도면7



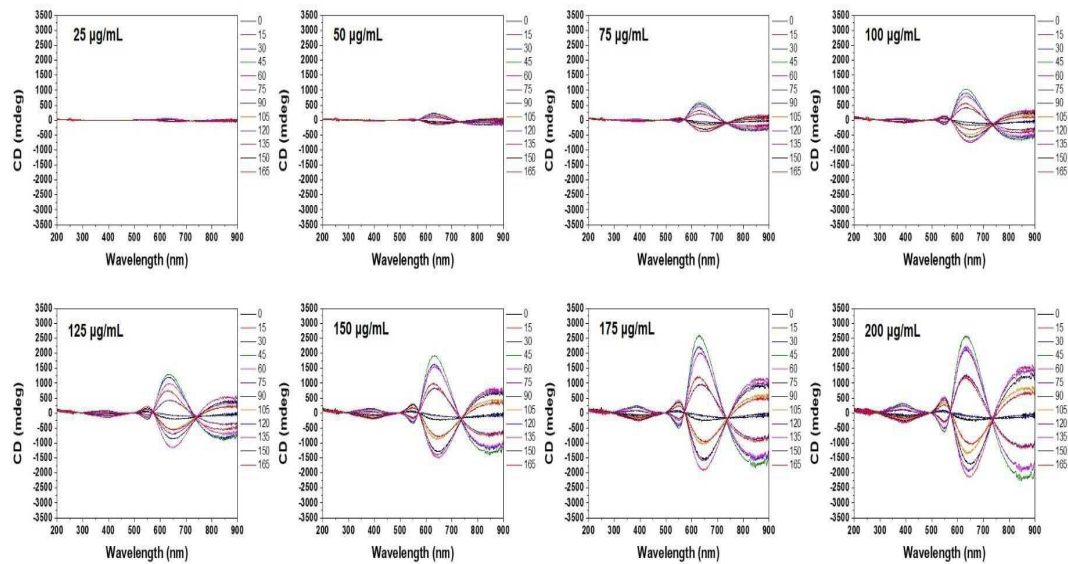
도면8



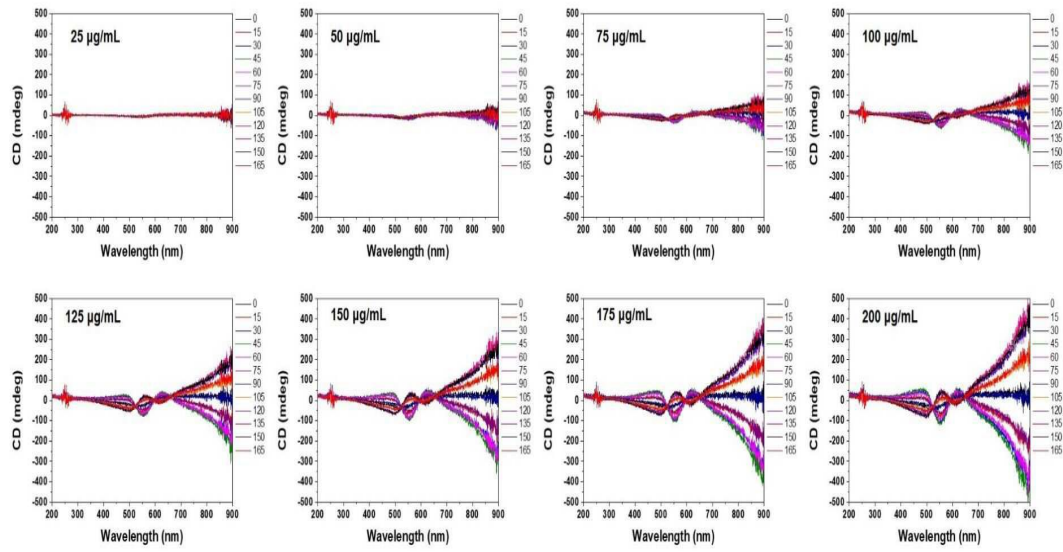
도면9



도면10



도면11



도면12

