



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0052517
(43) 공개일자 2017년05월12일

- | | |
|--|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 $G01N\ 13/00$ (2006.01) $G01B\ 11/14$ (2006.01)
 $G01B\ 9/04$ (2006.01) $G01L\ 1/00$ (2006.01)
 $G01L\ 5/00$ (2006.01) $G06F\ 17/10$ (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
 $G01N\ 13/00$ (2013.01)
 $G01B\ 11/14$ (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2016-0146780
 (22) 출원일자 2016년11월04일
 심사청구일자 2016년11월04일
 (30) 우선권주장
 1020150154808 2015년11월04일 대한민국(KR)</p> | <p>(71) 출원인
 경희대학교 산학협력단
 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)</p> <p>(72) 발명자
 박범준
 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 화학공학과 (서천동)</p> <p>임상혁
 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 화학공학과 (서천동)</p> <p>(74) 대리인
 고영갑, 이성원, 권정기, 임상엽</p> |
|--|---|

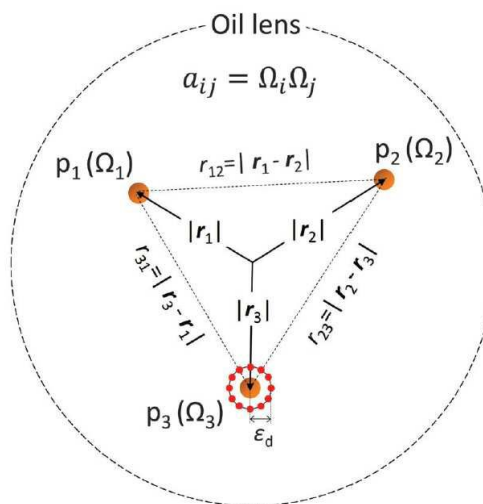
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 유체와 유체 계면에서 개별 콜로이드 입자의 포텐셜 에너지를 측정하는 방법

(57) 요약

본 발명은 제1 유체의 곡면과 제2 유체 사이의 계면에 분포하는 콜로이드 입자 분포를 관찰하여, 제1 콜로이드 입자 및 제2 콜로이드(ii) 입자 사이의 거리(r_{12})를 측정하는 단계, 상기 제1 콜로이드 입자 또는 제2 콜로이드 입자 간 상호작용을 제외한 상기 제1 콜로이드 입자 및 제2 콜로이드 입자에 작용하는 외부 에너지를 측정하여, 상기 제1 콜로이드 및 제2 콜로이드 입자 사이의 반발력의 세기(a_{12})를 측정하는 단계, 및 상기 계면에 제3 콜로이드 입자를 추가하여 삼각형을 형성하는 최저 에너지 상태일 때의 각각의 콜로이드 입자의 위치(r_{12} , r_{23} , r_{31})를 측정하는 단계를 포함하는 콜로이드 개별 입자의 포텐셜 에너지의 측정방법을 제공한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

G01B 9/04 (2013.01)
G01L 1/00 (2013.01)
G01L 5/00 (2013.01)
G06F 17/10 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2014R1A5A1009799
부처명	미래창조과학부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	선도연구센터지원사업
연구과제명	ERC-결정기능화공정기술센터
기 여 율	1/3
주관기관	경희대학교 산학협력단
연구기간	2014.05.01 ~ 2018.02.28이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호	10048482
부처명	산업통산자원부
연구관리전문기관	한국산업기술평가관리원 (KEIT)
연구사업명	산업소재핵심기술개발사업 (화학공정소재)
연구과제명	저비중 도전입자 제조 및 이를 이용한 전자파 차폐용 코팅제
기 여 율	1/3
주관기관	(주)한국알테코
연구기간	2014.06.01 ~ 2017.05.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호	2014R1A1A1005727
부처명	미래창조과학부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	신진 연구자 지원 사업
연구과제명	야누스 나노입자에 의해서 안정화된 마이크로에멀전 계면에서 상전이 촉매반응에 대한 연
구 기 여 율	1/3
주관기관	경희대학교 산학협력단
연구기간	2014.05.01 ~ 2017.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

제1 유체의 곡면과 제2 유체 사이의 계면에 분포하는 콜로이드 입자 분포를 관찰하여, 제1 콜로이드 입자 및 제2 콜로이드(ii) 입자 사이의 거리(r_{12})를 측정하는 단계;

상기 제1 콜로이드 입자 또는 제2 콜로이드 입자 간 상호작용을 제외한 상기 제1 콜로이드 입자 및 제2 콜로이드 입자에 작용하는 외부 에너지를 측정하여, 상기 제1 콜로이드 및 제2 콜로이드 입자 사이의 반발력의 세기(a_{12})를 측정하는 단계; 및

상기 계면에 제3 콜로이드 입자(iii)를 추가하여 삼각형을 형성하는 최저 에너지 상태일 때의 각각의 콜로이드 입자의 위치(r_{12} , r_{23} , r_{31})를 측정하는 단계를 포함하는 콜로이드 개별 입자의 포텐셜 에너지의 측정방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 반발력의 세기는 아래와 같은 관계를 갖는 것을 특징으로 하는 콜로이드 개별 입자의 포텐셜 에너지의 측정방법.

$$\frac{U_{\text{rep},ij}}{k_B T} = \frac{a_{ij}}{r_{ij}^3} \quad (1)$$

(상기 수학적식(1)에서, U_{rep} 는 상기 외력에 대응하는 값이고, k_B 는 볼츠만 상수, r 은 제1 콜로이드와 제2 콜로이드 간 거리, T 는 콜로이드의 온도이다.)

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 콜로이드 입자의 포텐셜 에너지(Ω)는 아래와 같은 관계를 갖는 것을 특징으로 하는 콜로이드 개별 입자의 포텐셜 에너지의 측정방법.

$$\frac{U_{\text{rep},ij}}{k_B T} = \frac{\Omega_i \Omega_j}{r_{ij}^3} \quad (2)$$

(상기 수학적식(2)에서, U_{rep} 는 상기 외부에너지를 나타내는 값이고, k_B 는 볼츠만 상수, r_{ij} 은 제1 콜로이드와 제2 콜로이드 간 거리, T 는 콜로이드 시스템의 온도이다.) 상수, r 은 제1 콜로이드와 제2 콜로이드 간 거리, T 는 콜로이드의 온도이다.)

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 콜로이드 입자들의 관찰은 광학 현미경으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 콜로이드 개별 입자의 포텐셜 에너지의 측정방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 기술은 콜로이드 분야의 기술로서, 더욱 구체적으로는 콜로이드 간 상호작용에 대한 거동현상 정량적으로 분석하고 콜로이드 개별 입자가 가지고 있는 포텐셜 에너지의 세기를 정량적으로 측정하기 위한 기술에 관한 것이다.

[0002]

배경 기술

[0003] 광학 레이저 트위저(optical laser tweezer)를 이용하여 두 개 입자사이의 정전기적 반발력을 측정하는 방법은 이미 널리 알려져 있다. 이렇게 측정된 입자간 반발력의 세기는 입자쌍 마다 다르고, 이러한 입자 간 반발력의 이중성은 많은 수의 같은 입자들로 구성된 미세 구조와 유변학적 성질에 직접적으로 영향을 주게 된다. 따라서 많은 입자쌍 사이의 정전기적 반발력을 정량적으로 측정하고, 이렇게 얻은 입자쌍의 반발력의 세기에 대한 이중성 데이터를 컴퓨터 모사에 적용하여 입자들의 거동현상을 분석하는데 사용되어 왔다. 하지만 엄밀히 말해서, 입자쌍 사이의 반발력의 세기가 이중성을 띄기 보다는, 개별 입자가 가지고 있는 포텐셜 에너지의 세가가 이중성을 가지고 있다고 표현하는 것이 정확하다. 그러나 현재까지 유체 계면에 분산되어 있는 개별 입자의 포텐셜 에너지를 정량적으로 측정하는 방법은 개발되어 있지 않다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 위와 같은 종래기술의 부재를 인식하고 안출된 발명으로서, 일반적인 광학현미경을 이용한 간단한 실험과 입자 상호간 에너지 밸런스를 이용하여 유체와 유체 계면에 분산되어 있는 개별 콜로이드 입자가 가지고 있는 포텐셜 에너지를 측정하는 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 일 실시예에 따른 콜로이드 개별 입자의 포텐셜 에너지를 측정하는 방법은 제1 유체의 곡면과 제2 유체 사이의 계면에 분포하는 콜로이드 입자 분포를 관찰하여, 제1 콜로이드 입자 및 제2 콜로이드(ii) 입자 사이의 거리(r_{12})를 측정하는 단계, 상기 제1 콜로이드 입자 또는 제2 콜로이드 입자 간 상호작용을 제외한 상기 제1 콜로이드 입자 및 제2 콜로이드 입자에 작용하는 외부 에너지를 측정하여, 상기 제1 콜로이드 및 제2 콜로이드 입자 사이의 반발력의 세기(a_{12})를 측정하는 단계, 및 상기 계면에 제3 콜로이드 입자(iii)를 추가하여 삼각형을 형성하는 최저 에너지 상태일 때의 각각의 콜로이드 입자의 위치(r_{12} , r_{23} , r_{31})를 측정하는 단계를 포함한다.

[0006] 상기 반발력의 세기는 아래와 같은 관계를 갖는다.

$$\frac{U_{\text{rep},ij}}{k_B T} = \frac{a_{ij}}{r_{ij}^3} \quad (1)$$

[0007]

[0008] 상기 수학적식(1)에서, U_{rep} 는 상기 외력에 대응하는 값이고, k_B 는 볼츠만 상수, r 은 제1 콜로이드와 제2 콜로이드 간 거리, T 는 콜로이드의 온도이다.

[0009] 상기 콜로이드 입자의 포텐셜 에너지(Ω)는 아래와 같은 관계를 갖는다.

$$\frac{U_{\text{rep},ij}}{k_B T} = \frac{\Omega_i \Omega_j}{r_{ij}^3} \quad (2)$$

[0010]

[0011]

상기 수학적식(2)에서, U_{rep} 는 상기 외부에너지를 나타내는 값이고, k_B 는 볼츠만 상수, r_{ij} 은 제1 콜로이드와 제2 콜로이드 간 거리, T 는 콜로이드 시스템의 온도이다.) 상수, r 은 제1 콜로이드와 제2 콜로이드 간 거리, T 는 콜로이드의 온도이다.

[0012]

상기 콜로이드 입자들의 관찰은 광학현미경으로 관찰될 수 있다.

발명의 효과

[0013]

본 발명에 따르면 광학 현미경 등으로 관찰된 계면에 분포하는 콜로이드 입자간 거리 및 각각의 콜로이드 입자에 작용하는 외부 에너지만을 측정함으로써, 콜로이드 개별입자가 갖는 포텐셜 에너지를 정량적으로 측정할 수 있다.

[0014]

특히, 유체 내에 존재하는 콜로이드 입자에 비하여 물-오일과 같은 유체 계면에 갇힌 콜로이드 입자의 상호작용 강도는 매우 크고, 이러한 입자간 상호작용은 서로 섞이지 않은 유체들 사이의 계면 안정화 및계면의 유변학적 성질에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 입자간 상호작용을 정량적으로 분석하고 조절함으로써, 에멀전이나 거품 등의 물성 제어가 가능하고, 이를 통해 다양한 산업분야, 예를 들어, 식품, 화장품, 약학, 오일재생 등에 적극적인 활용이 기대된다.

[0015]

이러한 산업분야 활용을 위하여, 콜로이드 입자간 거동을 예측하거나 개별 콜로이드 입자의 포텐셜 에너지를 측정하는 것은 제품 설계단계에서, 콜로이드 입자의 요건을 확인하거나 최종 물성을 달성하기 위하여 매우 유용한 핵심 정보로서 활용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016]

도 1은 물과 오일 렌즈의 계면에 콜로이드 입자가 위치하여 평형을 이룬 상태를 개념적으로 도시한 단면도이다.

도 2는 물과 오일 렌즈의 계면에 세 개의 콜로이드 입자가 도입되어 평형 상태에서 삼각형 구조를 이루고 있는 모습을 개념적으로 도시한 도면이다.

도 3은 세 개의 콜로이드 입자가 평형상태에서 서로 일정한 거리를 유지하며 있는 모습을 개념적으로 도시한 평면도이다.

도 4는 다양한 개수의 콜로이드 입자들이 평형을 이루고 있는 위치 분포를 광학현미경으로 관찰한 모습을 보여주는 도면이다.

도 5는 여섯 개 콜로이드 입자 모델에서 각각의 콜로이드 입자가 갖는 개별 포텐셜 에너지를 보여주는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017]

이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른, 유체 간 계면에 분포하는 콜로이드개별 입자의 포텐셜 에너지를 측정하는 방법을 자세하게 설명하도록 한다. 한편, 이하에서는 다양한 수학적 방법론에 대해서는 자세하게 다루지 않기로 한다. 다만, 기술 사상으로서, 콜로이드 입자의 측정 대상 및 개별 입자의 포텐셜 에너지와 관련된 상호관계에 대해서는 이들이 본 발명의 기술사상을 이루는 만큼 이 부분에 관한 관계식에 대해서는 충분히 설명하도록 한다.

[0018]

도 1은 물과 오일렌즈의 계면에 콜로이드 입자가 위치하여 평형을 이룬 상태를 개념적으로 도시한 단면도이다.

[0019]

도 1을 참조하면, 두 개의 콜로이드 입자가 물과 오일의 계면 사이에서 에너지 평형을 이루며 위치(trapped)하고 있다. 두 개의 입자들은 서로 정전기적 반발에너지(U_{rep})와 포텐셜에너지(U_{pot})의 평형 상태를 이루고 있는 상태이다. 상기 포텐셜에너지(U_{pot})는 부력에 의한 에너지와 중력에 의한 에너지의 합($U_{\text{gravity}} + U_{\text{buoyancy}}$)에 대응하는 에너지이다.

[0020] 본 발명은 콜로이드 입자 대비 상대적으로 매우 거대한 반경을 갖는 오일렌즈의 곡면과 물과의 계면, 즉 오일-물 계면의 시스템에서의 콜로이드 입자의 거동에 관한 것이다. 콜로이드 입자들은 중력에 의하여 곡면을 갖는 오일-물 계면의 바닥에 위치하려는 경향을 갖는다. 한편, 물과 오일의 계면 사이에서의 두 개의 콜로이드 입자 사이의 반발에너지(U_{rep})는 하기 수학적 식 1에 표시된 바와 같은 관계를 갖는다.

$$U_{rep}/k_B T = a/r^3 \quad (3)$$

[0022] 상기 수학적 식 3에서 k_B 는 볼츠만 상수이며, T 는 평형상태의 온도이며, r 은 두 콜로이드 입자 중심간의 거리이다. 도 1에서 r 은 r_{eq} 에 대응한다. a 는 두 개의 콜로이드 입자간 상호작용의 강도를 나타내는 변수이다. 위 수학적 식 1에서 보는 바와 같이 두 입자간 반발 에너지는 입자 사이의 거리가 가까울수록 세제곱에 비례하는 경향성을 가짐을 알 수 있다.

[0023] 전술한 바와 같이, 반발에너지(U_{rep})는 콜로이드 입자들의 중력에 의한 에너지 및 부력에 의한 에너지를 구함으로써 얻어질 수 있다. 따라서, 상기 콜로이드 입자간 상호작용의 강도를 나타내는 " a "는 두 콜로이드 입자간 거리(r)를 측정함으로써 얻어질 수 있는 값이며, 이러한 강도(a)를 알아냄으로써 오일과 물의 계면에서의 콜로이드 입자의 거동을 예측할 수 있다.

[0024] 이하에서는 상기 입자간의 상호작용의 강도 또는 입자간 반발력의 세기에 대응한 " a "를 측정하는 방법을 설명하기로 한다.

[0025] 이를 위해서는, 우선 제1 유체의 곡면과 제2 유체 사이의 계면에 분포하는 콜로이드 그룹을 관찰하여, 상기 콜로이드 그룹 내의 제1 콜로이드 입자(i) 및 제2 콜로이드 입자(ii) 입자 사이의 거리(r)를 측정한다. 이어서, 상기 제1 콜로이드 입자 또는 제2 콜로이드 입자 간 상호작용을 제외한 상기 제1 콜로이드 입자 또는 제2 콜로이드 입자에 작용하는 외력을 구하고, 상기 제1 콜로이드 및 제2 콜로이드에 대하여, 하기 수학적 식(1)을 이용하여, 상기 제1 콜로이드 및 제2 콜로이드 간 반발 강도(a_{ij})를 구할 수 있다.

$$\frac{U_{rep,ij}}{k_B T} = \frac{a_{ij}}{r_{ij}^3} \quad (1)$$

[0027] 상기 수학적 식(1)에서, U_{rep} 는 상기 외력에 대응하는 값이고, k_B 는 볼츠만 상수, r 은 제1 콜로이드와 제2 콜로이드 간 거리, T 는 콜로이드의 온도이다.

[0028] 상기 상호작용의 반발 강도(a)는 동종의 콜로이드 배열에서 동일 또는 유사한 값으로 나타날 수 있고, 배열이 서로 이종인 콜로이드 입자간 상호작용 강도(a)는 다양한 값으로 표현될 수 있다. 그러나 상기 강도(a)는 두 콜로이드 입자 간 반발 정도에 대응한 지표로 판단될 수 있다. 이 지표(a)를 활용하여, 역으로 콜로이드 입자들의 거동이나 배열 상태를 예측할 수도 있을 것으로 기대하고 있다.

[0029] 한편, 상기 외력은 하기 수학적 식(4)으로 표시된다.

$$U_{grav} = g(\rho_p V_p - \rho_w V_{pw} - \rho_o V_{po})h(\lambda) \quad (4)$$

[0031] 상기 수학적 식(2)에서, V_p 는 콜로이드 입자의 부피이고, ρ 는 밀도, h 는 콜로이드와 상기 오일 입자의 바닥 면까지의 거리, λ 는 콜로이드 입자와 제1 유체 경계면의 중심과의 거리, g 는 중력상수, w 는 물, o 는 오일을 표시한다.

[0032] 상기 U_{grav} 는 콜로이드 입자 상호작용과 평형을 이루는 에너지로서, 즉, 수학적 식(1)의 U_{rep} 는 상기 구해진 U_{grav} 값으로 치환하여 사용하면 된다. 결국, 수학적 식(1)의 a 값은 다른 변수들의 정량적 분석만으로 구해질 수 있고, 이는 콜로이드 입자 간 상호작용의 중요한 지표로 활용될 수 있다.

[0033] 도 2는 물과 오일렌즈의 계면에 콜로이드 입자가 도입되어 물과 오일렌즈의 계면에서 평형을 이루고 있는 모습을 개념적으로 도시한 도면이다.

- [0034] 도 2를 참조하면, 세 개의 콜로이드 입자들은 가장 낮은 에너지 상태가 되는, 즉 삼각형 구조로물과 오일렌즈의 계면에 평형이 이루어져 배치된다.
- [0035] 도 3은 세 개의 콜로이드 입자가 평형상태를 이룬 모습을 개념적으로 도시한 평면도이다.
- [0036] 도 3에서 r 은 상호간 거리를 나타내는 벡터이며, Ω 는 각 개별 입자가 갖는 포텐셜 에너지를 나타낸다. 본 발명은 이러한 개별 입자가 갖는 포텐셜 에너지를 정량적으로 구하는 방법을 기술 사상으로 포함한다.
- [0037] 본 발명은 도 4에서 보는 바와 같은 세 개의 콜로이드 입자 분포(b) 외에도 다양한 복수 콜로이드 입자들의 거동으로 확장될 수 있으나 본 실시예에서는 세 개의 콜로이드 입자 분포에 관한 내용을 중심으로 설명하도록 한다.
- [0038] 도 4는 다양한 개수의 콜로이드 입자들이 평형을 이루고 있는 위치 분포를 광학현미경으로 관찰한 모습을 보여주는 도면이다.
- [0039] 도 4에서 보는 바와 같이 콜로이드 입자의 분포는 두 개 모델(a), 세 개 모델(b), 네 개 모델(c), 다섯 개 모델(d), 여섯 개 모델(e)들을 각각 보여준다.
- [0040] 도 5는 여섯 개 콜로이드 입자 모델에서 각각의 콜로이드 입자가 갖는 개별 포텐셜 에너지를 보여주는 그래프이다. 이러한 개별 입자의 포텐셜 에너지는 후술할 방법에 의하여 정량적으로 구해질 수 있으며, 개수에 관계되지 않고 다양한 콜로이드 입자 모델들로 확장될 수 있다. 도 5에서 보는 바와 같이, 각각의 콜로이드 입자가 갖는 포텐셜 에너지들이 입자의 개수나 배치 모양을 근거로 예측 가능한 경향성을 갖는 것은 아님을 알 수 있으며, 본 발명의 기술 사상에 의한 방법에 의하여 구해질 수 있을 뿐이다.
- [0041] 세 개의 콜로이드 입자 모델을 기초로 도시된 도 3을 다시 참조하면, P_1 입자와 P_2 입자간의 상호작용의 강도(a_{12})는 각각의 개별 입자의 포텐셜 에너지와 아래 수학적 식 5와 같은 관계를 갖는다. 즉, P_i 입자와 P_j 입자의 상호작용 강도(a_{ij})는 개별입자의 포텐셜 에너지의 곱($\Omega_i \cdot \Omega_j$)과 같다.

$$a_{ij} = \Omega_i \Omega_j \quad (5)$$

- [0042]
- [0043] 한편, 실험을 위한 각각의 유체 및 콜로이드는 아래 실시예 1에서와 같이 준비되었다.

[0044] [실시예]

[0045] 실시예 1: 콜로이드 입자 도입

- [0046] 오일 및 물의 계면 형성은, 물에 소량의 탄화수소 오일(n-데칸)떨어뜨려 물 표면에 오일 렌즈를 형성하였다. 마이크로플루이딕을 이용하여 직경이 $200\mu\text{m}$ 인 폴리스티렌 입자를 제조하였고, 각각을 공기-물 계면의 오일 렌즈 바깥에 마이크로피펫을 이용하여 위치시켰다. 입자들을 도입한 이후, 유체의 증발이나 대류를 최소화하기 샘플 셀을 덮개로 덮었다. 콜로이드 공기-물 계면에 위치했던 콜로이드 입자들은 동시에 공기-물-오일의 삼상(triple phase)의 경계로 이동한 후, 다시 오일 렌즈의 중심 방향으로 이동하여, 곡면의 오일-물 계면에 포획되었다. 이러한 이동 현상은, 콜로이드 입자가 공기-물, 공기-물-오일, 물-오일 계면에 존재할 때 흡착에너지를 낮추는 방향으로 이동하는 경향성과, 또한 콜로이드 입자가 중력에 의하여 오일 렌즈 바닥으로 이동하려는 현상에 의하여 복합적으로 일어난 거동으로 파악된다.
- [0047] 개별입자의 포텐셜 에너지를 측정하기 위해서는 우선, 광학현미경 등을 이용하여 콜로이드 입자를 관찰한 후, 특정한 두 개의 콜로이드 입자 간의 거리(r)을 측정하여야 한다. 또한, 전기적 반발에너지(U_{rep})를 측정해야 하는데, 이는 외력 즉 콜로이드 입자들에 작용하는 중력과 부력, 즉 외력의 에너지와 평형을 이루는 값으로서, 외력을 측정함으로써 측정될 수 있다.
- [0048] 즉, 아래 수학적 식 1과 같은 관계에 의하여, 두 입자간의 상호작용의 강도(a_{ij})를 측정할 수 있다.
- [0049] 즉, 아래 수학적 식 1과 같은 관계에 의하여, 두 입자간의 상호작용의 강도(a_{ij})를 측정할 수 있다.

$$\frac{U_{\text{rep},ij}}{k_B T} = \frac{a_{ij}}{r_{ij}^3} \quad (1)$$

[0050]

[0051]

상기 수학식(3)에서, U_{rep} 는 상기 외력에 대응하는 값, 즉 외력과 평형을 이루는 값이고, k_B 는 볼츠만 상수, r 은 제1 콜로이드와 제2 콜로이드 간 거리, T 는 콜로이드의 온도이다. 또한, i 및 j 는 서로 다른 두 개의 콜로이드를 구분하는 표시이다.

[0052]

나아가 수학식 2를 참조하면, 결국 두 개별입자의 포텐셜 각각은 아래 수학식 4와 같은 관계를 갖는다.

$$\frac{U_{\text{rep},ij}}{k_B T} = \frac{\Omega_i \Omega_j}{r_{ij}^3} \quad (2)$$

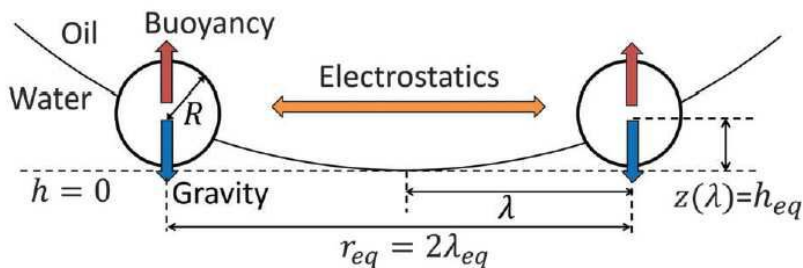
[0053]

[0054]

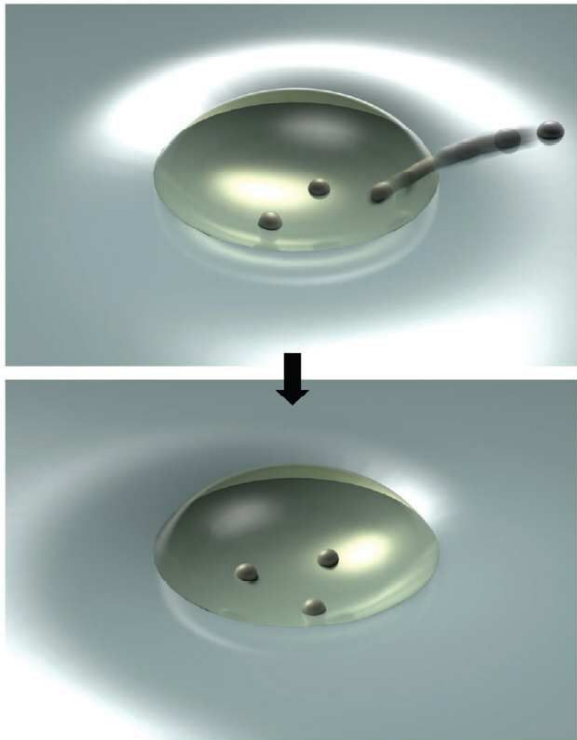
복수의 콜로이드 입자를 포함한 모델에서, 실질적으로 벡터 및 행렬을 포함한 수학적 방법론이 도입된다. 그러나, 위에서는 이러한 방법론의 기초가 되는 관계식만을 설명하였을 뿐이며 이는 본 발명의 기술사상을 예시하는 것이며, 복수의 콜로이드 입자 시스템에 적용될 수 있는 수학적 방법론은 당업자 수준에서 충분히 도입될 수 있을 것이다.

도면

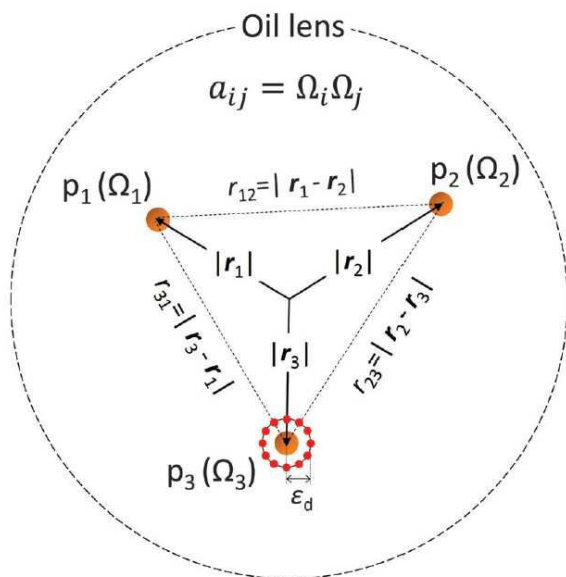
도면1



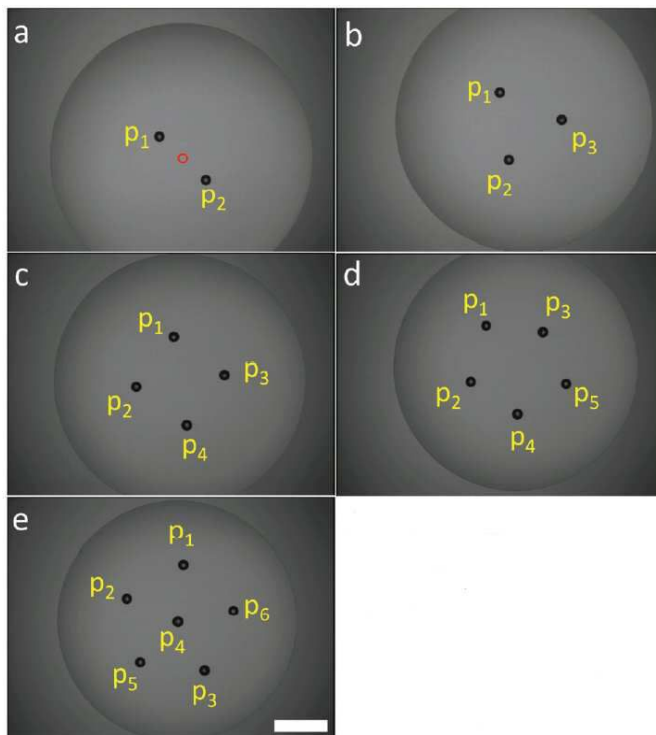
도면2



도면3



도면4



도면5

