

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2012-0087562 (43) 공개일자 2012년08월07일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) G01N 21/47 (2006.01) G01N 15/02 (2006.01)		(71) 출원인 고려대학교 산학협력단 서울 성북구 안암동5가 1
(21) 출원번호 10-2011-0008835	(22) 출원일자 2011년01월28일 심사청구일자 2011년01월28일	(72) 발명자 이정용 서울특별시 동대문구 약령시로2길 43, 3층 (제기동) 고현정 경기도 성남시 분당구 판교로 430, 307동 1602호 (이매동, 아름마을) (뒷면에 계속)
		(74) 대리인 특허법인충현

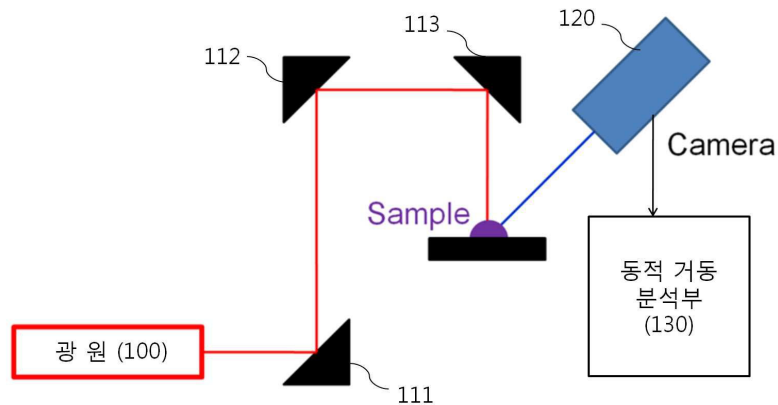
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 장치 및 그 방법**

(57) 요약

현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 장치 및 그 방법이 개시된다. 본 발명의 일 실시 예에 따른 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 장치는 편광된 빛을 발하는 광원; 상기 편광된 빛을 반사시켜 현탁액 방울에 초점을 맞추기 위한 복수의 미러; 상기 현탁액 방울 속의 입자들에 의해 산란된 빛을 검출하는 CCD 카메라; 및 상기 CCD 카메라의 각 픽셀마다 검출된 빛의 세기의 픽셀 평균을 계산하고, 상기 픽셀 평균을 이용하여 빛의 상관관계 함수를 계산하며, 상기 상관관계 함수가 감소하는 속도를 계산하는 동적 거동 분석부를 포함한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

성정문

대전광역시 유성구 엑스포로 325, SK에너지 기술원
LiBS Lab (원촌동)

정현욱

서울특별시 서대문구 북가좌동 456번지 휴먼빌아파트 102동 704호

김성현

서울특별시 강남구 영동대로 210, 쌍용아파트
5-1008 (대치동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	000353180110
부처명	중소기업청
연구사업명	산학연공동기술개발사업
연구과제명	(2차년도)마이크로 유변학을 이용한 품질검사기술개발
주관기관	고려대학교 산학협력단
연구기간	2010.06.01 ~ 2011.05.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호	1003516320100110031001391810035163201001
부처명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	산업원천기술개발사업
연구과제명	자동차용 고성형성 선도장 칼라강판 제조 및 모듈화 적용기술 개발
주관기관	고려대학교 산학협력단
연구기간	2010.04.01 ~ 2011.03.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호	20100000244
부처명	한국연구재단
연구사업명	중견연구자지원_핵심연구
연구과제명	현탁 코팅액의 미세구조 제어를 통한 박막 코팅 공정의 최적 설계
주관기관	고려대학교 산학협력단
연구기간	2010.03.01 ~ 2011.02.28

특허청구의 범위

청구항 1

편광된 빛을 발하는 광원;

상기 편광된 빛을 반사시켜 현탁액 방울에 초점을 맞추기 위한 복수의 미러;

상기 현탁액 방울 속의 입자들에 의해 산란된 빛을 검출하는 CCD 카메라; 및

상기 CCD 카메라의 각 픽셀마다 검출된 빛의 세기의 픽셀 평균을 계산하고, 상기 픽셀 평균을 이용하여 빛의 상관관계 함수를 계산하며, 상기 상관관계 함수가 감소하는 속도를 계산하는 동적 거동 분석부

를 포함하는, 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 동적 거동 분석부는

상기 입자들이 상기 현탁액 방울의 가장자리로 이동하는 정도에 상응하는 시간인 노화 시간을 기준으로 빛의 세기에 관한 자기상관 함수를 적용하는 것을 특징으로 하는, 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 자기상관 함수는

상기 노화 시간에서의 빛의 세기와 상기 노화 시간에서 일정 시간 후의 빛의 세기를 픽셀마다 곱한 값들의 평균을 분자로 하고, 상기 노화 시간에서의 빛의 세기의 픽셀 평균과 상기 노화 시간에서 일정 시간 후의 빛의 세기의 픽셀 평균을 곱한 값을 분모로 하는 함수인 것을 특징으로 하는, 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 장치.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 동적 거동 분석부는

상기 노화 시간을 변화시켜가면서 상기 상관관계 함수를 계산하고 상기 완화 시간을 계산하는 과정을 반복 수행하는 것을 특징으로 하는, 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 장치.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 동적 거동 분석부는

상기 상관관계 함수에 자연 로그를 취한 값의 역수를 계산하여 상기 완화 시간을 계산하는 것을 특징으로 하는, 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 장치.

청구항 6

편광된 빛을 미러를 통해 반사시켜 현탁액 방울에 초점을 맞춘 후 현탁액 방울 속의 입자들에 의해 산란된 빛이 CCD 카메라를 통해 검출되면, 상기 CCD 카메라의 각 픽셀마다 검출된 빛의 세기의 픽셀 평균을 계산하는 단계;

상기 픽셀 평균을 이용하여 빛의 상관관계 함수를 계산하는 단계; 및

상기 상관관계 함수가 감소하는 속도인 완화 시간을 계산하는 단계

를 포함하는, 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 상관관계 함수를 계산하는 단계는

상기 입자들이 상기 현탁액 방울의 가장자리로 이동하는 정도에 상응하는 시간인 노화 시간을 기준으로 빛의 세기에 관한 자기상관 함수를 적용하는 단계인 것을 특징으로 하는, 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 자기상관 함수는

상기 노화 시간에서의 빛의 세기와 상기 노화 시간에서 일정 시간 후의 빛의 세기를 픽셀마다 곱한 값들의 평균을 분자로 하고, 상기 노화 시간에서의 빛의 세기의 픽셀 평균과 상기 노화 시간에서 일정 시간 후의 빛의 세기의 픽셀 평균을 곱한 값을 분모로 하는 함수인 것을 특징으로 하는, 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 방법.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

상기 상관관계 함수를 계산하는 단계 및 상기 완화 시간을 계산하는 단계는

상기 노화 시간을 변화시켜가면서 반복 수행되는 단계인 것을 특징으로 하는, 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 방법.

청구항 10

제 6 항에 있어서,

상기 완화 시간을 계산하는 단계는

상기 상관관계 함수에 자연 로그를 취한 값의 역수를 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는, 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 현탁액 물질의 특성을 분석하는 기술에 관한 것으로, 특히, 현탁액 방울이 건조되는 과정에서 입자들의 동적 거동 변화를 시간이 지남에 따라 예측할 수 있는 장치와 그 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 현탁액은 페인트, 세탁세제, 화장품 등 실생활에 다양하게 사용되는 물질로 고체상이 액체상에 섞이지 않고 분산되어 있는 물질이다. 두 개 이상의 상이 한 물질에 함께 존재하기 때문에 일반 유체와는 다른 거동을 보이고 현탁액 물질의 특성에 대해서는 많은 연구자들에 의해 연구되고 있다.

[0003] 현탁액 물질의 특성을 연구하는 방법 중 빛의 산란(light scattering) 방법이 많이 사용된다. 그 중에서도 (dynamic light scattering; DLS) 장치를 사용하여 현탁액 입자의 크기 및 크기 분포를 측정할 수 있다. DLS 장치는 묽은 용액(dilute solution)(입자의 부피비가 작은 용액)인 경우에 사용할 수 있는 장치로 산란 각(scattering angle)을 고정시킨 후 확산 계수를 계산하여 입자의 크기 및 크기 분포 등을 측정할 수 있다. (Static light scattering; SLS) 장치는 산란 각을 변화시켜가며 빛의 세기의 평균을 측정하는 장치로 산란 각에 대한 빛의 세기의 평균을 통해 고분자 용액에서의 고분자 분자량, 회전 반경(radius of gyration), 구조 인자(structural factor) 등을 측정할 수 있다.

[0004] 현탁액 방울의 건조 과정에서 일반 물질의 건조 과정과 다른 현상이 관찰되었다. 커피링 현상(coffee ring effect)은 현탁액 방울이 건조될 때 현탁액 속에 있는 고체 입자들이 방울의 가장자리로 이동한 뒤 액체상이 증

발되어 최종적으로는 방울의 가장자리 부분에만 입자가 모이는 현상이다. 이러한 현상 때문에 현탁액 방울의 건조 과정을 분석하기 위한 여러 방법들이 제시되고 있다.

[0005] 그 방법 중 하나가 공초점 현미경(confocal microscopy)을 통하여 현탁액 속 입자의 움직임을 직접 시각화하는 방법이다. 공초점 현미경을 통하여 입자의 움직임을 관측하여 건조 과정을 입자의 움직임에 따라 두 가지 단계로 나누어 설명하였는데 첫 번째 단계가 현탁액 속 입자들이 방울의 가장자리로 이동하는 패킹 단계(packing stage)이고 두 번째 단계가 유체 상에 공기가 침투하여 증발이 되는 침투 단계(air-invasion stage)이다. 두 단계를 공초점 현미경을 통하여 관측하여 입자들의 움직임이 어떻게 변하는지와 공기 침투 단계에서 공기 침투 유형에 따라 파열(bursting)과 갈라짐(cracking)으로 분류하였다.

[0006] 공초점 현미경을 통해서 현탁액 방울의 건조 과정 중 입자의 움직임을 관찰하였는데 입자의 움직임이 공초점 현미경에 사용되는 카메라의 프레임 속도보다 빠르기 때문에 입자의 완전한 거동을 해석하지 못하는 단점이 있다. 그리고 공기가 침투하면 공초점 현미경을 통해서 더 이상 시각화하지 못하기 때문에 그러한 단점들을 보완하면서 현탁액 방울의 건조 과정을 분석하는 방법이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 이루고자 하는 첫 번째 기술적 과제는 현탁액 방울이 건조 과정에 있을 때 입자의 동적 거동을 분석하기 위해 입자의 거동이 얼마나 빠르기를 알 수 있는 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 장치를 제공하는 데 있다.

[0008] 본 발명이 이루고자 하는 두 번째 기술적 과제는 상기의 동적 거동 분석 장치를 이용한 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기의 첫 번째 기술적 과제를 이루기 위하여, 본 발명의 일 실시 예에 따른 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 장치는 편광된 빛을 발하는 광원; 상기 편광된 빛을 반사시켜 현탁액 방울에 초점을 맞추기 위한 복수의 미러; 상기 현탁액 방울 속의 입자들에 의해 산란된 빛을 검출하는 CCD 카메라; 및 상기 CCD 카메라의 각 픽셀마다 검출된 빛의 세기의 픽셀 평균을 계산하고, 상기 픽셀 평균을 이용하여 빛의 상관관계 함수를 계산하며, 상기 상관관계 함수가 감소하는 속도를 계산하는 동적 거동 분석부를 포함한다.

[0010] 상기의 두 번째 기술적 과제를 이루기 위하여, 본 발명의 일 실시 예에 따른 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 방법은 편광된 빛을 미러를 통해 반사시켜 현탁액 방울에 초점을 맞춘 후 현탁액 방울 속의 입자들에 의해 산란된 빛이 CCD 카메라를 통해 검출되면, 상기 CCD 카메라의 각 픽셀마다 검출된 빛의 세기의 픽셀 평균을 계산하는 단계; 상기 픽셀 평균을 이용하여 빛의 상관관계 함수를 계산하는 단계; 및 상기 상관관계 함수가 감소하는 속도인 완화 시간을 계산하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 실시 예들에 따른 MSDWS(multi-speckle dynamic wave spectroscopy) 방법을 이용하여 건조 과정이 진행됨에 따라서 현탁액 방울 내 입자의 동적 특성을 용이하게 예측하는 것이 가능하며 현탁액 방울의 물리학적 특성을 정확하게 분석할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1a는 에르고딕 시스템(ergodic)과 비에르고딕(nonergodic) 시스템을 개략적으로 도시한 것이다.

도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 장치의 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 방법의 흐름도이다.

도 4a 및 4b는 CCD 카메라로 다중 반점(multi-speckle)을 찍은 사진이다.

도 5a는 소요시간(τ)과 완화시간의 관계를 확인할 수 있는 상관관계 함수(correlation function)의 그래프이다.

도 5b는 노화시간(aging time)의 변화에 따른 완화시간의 변화를 도시한 그래프이다.

도 6a 내지 6c는 실험을 통해 얻어진 상관관계 함수(correlation function)의 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0013] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 설명하기로 한다. 그러나, 다음에 예시하는 본 발명의 실시 예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 다음에 상술하는 실시 예에 한정되는 것은 아니다.
- [0014] 도 1a는 에르고적 시스템(ergodic)과 비에르고적(nonergodic) 시스템을 개략적으로 도시한 것이다.
- [0015] 에르고적 시스템은 상당한 기간이 지난 후, 하나의 체계가 최초의 상태와 거의 비슷한 상태로 돌아가는 조건 하에 있는 시스템을 말한다. 현탁액 방울의 건조 과정의 경우에는 입자들이 가장자리로 이동하면서 일정한 구조를 가지기 때문에 하나의 검출기(detector)로 측정할 경우에는 측정시마다 다른 상관관계 함수가 얻어진다. 따라서 현탁액 방울은 비에르고적 시스템이다.
- [0016] 본 발명의 실시 예들에서는 현탁액 방울의 건조 과정이 시간에 따라 변하고 입자의 분포가 비균일한 것을 반영하여 그러한 경우에도 입자의 거동을 쉽게 분석하는 장치와 방법을 제공한다. 본 발명의 실시 예들은 상관관계 함수의 완화 시간을 계산하는 방법을 제공한다.
- [0017] 본 발명의 일 실시 예에서 예시적으로 사용된 물질은 폴리스티렌(polystyrene; PS) 입자가 물에 분산되어 있는 물질이다. 초기 부피 농도(volume fraction)는 4.5%이고 입자의 크기는 550nm이다. 도 1b의 사진은 실험에 사용된 현탁액 방울(노화 시간 10초)의 사진이고 도 1c의 사진은 건조 과정을 거친 후(노화 시간 1500초)의 현탁액 방울의 사진이다. 현탁액 방울이 건조 과정을 거치면서 입자가 방울의 가장자리로 이동하는 것을 확인할 수 있다. 도 1d는 현탁액의 건조 후 SEM 사진인데, 건조 과정 후 입자의 크기를 확인할 수 있다.
- [0018] 본 발명의 실시 예들에서는 빛의 상관관계 함수(g_2)를 이용하여 현탁액 건조 과정 중 입자의 동적 거동을 분석한다. 빛의 상관관계 함수란 입자의 브라운 운동에 의해 발생하는 파동이 소요 시간에 따라 얼마나 독립적으로 혹은 비독립적으로 변하는지를 나타내는 함수이다. 빛의 상관관계 함수는 수학적 1과 같이 계산 될 수 있다.

수학적 1

$$g_2(\tau) = \frac{\langle I(t)I(t+\tau) \rangle}{\langle I(t) \rangle^2}$$

- [0019]
- [0020] t 가 상관관계 함수를 계산하는 기준시점이라면, τ 는 기준시점으로부터의 시간차를 의미한다. 수학적 1에서 I 는 빛의 세기(intensity)이고 $\langle \dots \rangle$ 은 시간 평균(time average)을 의미한다. 예를 들어, 소요 시간이 0인 경우에는 1보다 큰 값을 가지고 시간이 커짐에 따라 빛의 세기들이 독립적인 값을 가지기 때문에 상관관계 함수가 1에 가까운 값을 가진다.
- [0021] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 장치의 블록도이다. 도 2의 장치를 MSDWS(multi-speckle diffusing wave spectroscopy) 장치라고 한다.
- [0022] 광원(100)은 편광된 빛을 발하는데, 레이저가 광원으로 사용될 수 있다.
- [0023] 복수의 미러(111-113)는 광원(100)에서 나오는 편광된 빛을 반사시켜 현탁액 방울에 초점을 맞추어 준다. 사용되는 미러의 갯수는 도 2와 같이 3개로 제한되는 것이 아니므로, 당업자의 선택에 따라 3개 미만 또는 4개 이상으로 구성되는 것 모두 가능하다.
- [0024] CCD 카메라(120)는 현탁액 방울 속의 입자들에 의해 산란된 빛을 검출한다. CCD 카메라(120)는 각각의 픽셀이 복수의 검출기로 기능한다.
- [0025] 동적 거동 분석부(130)는 CCD 카메라(120)의 각 픽셀마다 검출된 빛의 세기의 픽셀 평균을 계산하고, 픽셀 평균을 이용하여 빛의 상관관계 함수를 계산한다.
- [0026] 일반적으로 빛의 세기를 검출기 하나에서 얻어낼 수 있다. 하지만 현탁액 방울의 건조 과정의 경우에는 비에르

고적 시스템이므로, 상관관계 함수를 측정하기 위해서는 하나의 검출기가 아닌 여러 개의 검출기로 측정한 후 평균을 하는 방법을 사용하는 것이 바람직하다. 본 발명의 일 실시 예에서는 여러 개의 픽셀의 영상을 찍을 수 있는 CCD 카메라를 검출기로 사용한다. 하나의 픽셀이 하나의 검출기로 기능하므로, CCD 카메라는 픽셀 수만큼의 검출기를 가질 수 있다. 검출기가 많은 경우에는 수학적 2와 같은 상관관계 함수를 얻을 수 있다.

수학적 2

$$g_2(t_0, \tau) = \frac{\langle I_i(t_0)I_i(t_0 + \tau) \rangle_i}{\langle I_i(t_0) \rangle_i \langle I_i(t_0 + \tau) \rangle_i}$$

위 식에서 $\langle \dots \rangle_i$ 는 pixel 평균을 의미한다. t_0 는 상관관계 함수를 계산하는 초기시점을 의미한다.

건조 과정은 시간에 따라서 현탁액 방울의 상태가 변하는 과정이기 때문에 입자들이 현탁액 방울의 가장자리로 이동하는 정도에 상응하는 시간 즉, 노화 시간(aging time)에 따라 다른 상관관계 함수를 가진다. 이러한 특성을 분석하기 위하여 TRC(time-resolved-correlation) 방법을 이용할 수 있다. 즉, 본 발명의 다른 실시 예에서 노화시간을 바꿔가면서 계산하는 TRC 방법이 사용될 수 있다. 이 경우, 동적 거동 분석부(130)는 임의의 노화 시간을 기준으로 빛의 세기에 관한 자기상관 함수를 적용한다. 노화 시간에 따른 상관관계 함수를 수학적 3을 이용하여 계산할 수 있다.

수학적 3

$$g_2(t_w, \tau) = \frac{\langle I_i(t_w)I_i(t_w + \tau) \rangle_i}{\langle I_i(t_w) \rangle_i \langle I_i(t_w + \tau) \rangle_i}$$

t_w 는 노화 시간이다. 수학적 3에서 특정 노화 시간에서의 빛의 세기와 일정 시간 후의 빛의 세기를 픽셀마다 곱한 값들의 평균을 분자로 한다. 분모에는 특정 노화 시간에서의 빛의 세기의 픽셀 평균과 일정 시간 후의 빛의 세기의 픽셀 평균을 곱한 값이 사용된다.

동적 거동 분석부(130)는 상관관계 함수가 계산되면, 상관관계 함수가 감소하는 속도를 산출한다. 상관관계 함수가 감소하는 속도를 완화 시간(relaxation time)이라고 한다. 상관관계 함수와 완화시간은 입자의 거동을 분석하기 위한 중요한 측정치들이다.

이와 같은 동적 거동 분석부(130)는 하나 이상의 연산용 프로세서, 연산용 메모리, 상관관계 함수와 완화시간을 계산하는 알고리즘이 저장된 스토리지로 구성될 수 있다. 상관관계 함수와 완화시간을 계산하는 알고리즘 등이 소프트웨어로 제작되어 개인용 컴퓨터(PC)나 워크 스테이션 등에 설치되는 경우에는 컴퓨터 시스템이 동적 거동 분석부(130)의 기능을 수행할 수도 있다.

도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 방법의 흐름도이다.

먼저, 편광된 빛을 미러(111-113)를 통해 반사시켜 현탁액 방울에 초점을 맞춘 후 현탁액 방울 속의 입자들에 의해 산란된 빛을 CCD 카메라(120)를 통해 검출한다(S210). CCD 카메라(120)를 이용하여 입자에 의해 산란된 빛을 촬영할 때, 입자 움직임에 따라 움직이는 반점(speckle)이 관찰된다. 도 4a 및 4b는 CCD 카메라로 다중 반점(multi-speckle)을 찍은 사진이다. 이와 같이, 다중 회절 이미지(multiple diffracted images)에는 복수의 반점들을 나타내게 된다.

다음, CCD 카메라의 각 픽셀마다 검출된 빛의 세기의 픽셀 평균을 계산한다(S220).

다음, 빛의 세기에 관한 픽셀 평균을 이용하여 빛의 상관관계 함수를 계산한다(S230). 예를 들어, MATLAB 프로그램을 사용하여 CCD 카메라에 찍힌 반점들의 상관관계 함수를 계산할 수 있다.

마지막으로, 상관관계 함수가 감소하는 속도인 완화 시간을 계산한다(S240). 실험을 통하여 실제 상관관계 함수를 측정하고 상관관계 함수가 줄어드는 속도인 완화 시간(relaxation time)을 수학적 4에 의해 계산할 수 있다.

수학식 4

$$g_2(\tau) - 1 \sim \exp(\tau/\tau_r)$$

[0039]

[0040]

τ_r 이 완화 시간이다. 완화 시간은 상관관계 함수에 자연 로그를 취한 값의 역수를 계산하여 얻어질 수 있다. 또는 위 식에서 그래프 피팅(graph fitting)을 통해 완화 시간을 계산할 수 있다. 도 5a는 소요시간(τ)과 완화시간의 관계를 확인할 수 있는 그래프이다.

[0041]

본 발명의 다른 실시 예에서, 상관관계 함수를 계산하는 과정(S230)과 완화 시간을 계산하는 과정(S240)은 노화 시간 값을 변화시켜가면서 반복 수행될 수 있다. 도 5b는 노화시간(aging time)의 변화에 따른 완화시간의 변화를 도시한 그래프이다.

[0042]

도 6a 내지 6c는 본 발명의 일 실시 예에 따른 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 장치를 이용하여 실제 실험을 수행한 결과 그래프이다. 도 6a 내지 6c는 건조 과정 후 노화 시간에 따른 상관관계 함수를 나타낸다.

[0043]

이 실험에서 현탁액 방울이 건조 과정 중 입자의 움직임을 관측하기 위해 방울에 532nm 파장을 가지는 레이저의 초점을 맞추었다.

[0044]

도 6a는 노화 시간이 5분 후의 상관관계 함수 그래프이다. 수학식 4에 의해 완화 시간을 계산한 결과 노화 시간이 5분인 경우 완화시간이 0에 가까워 측정할 수 없다. 도 6b는 노화 시간이 15분 후의 상관관계 함수 그래프인데, 완화 시간은 1.768초이다. 도 6c는 노화 시간이 25분 후의 상관관계 함수 그래프인데, 완화 시간이 4.275초인 것을 확인할 수 있다. 완화 시간이 짧을수록 입자의 움직임이 활발한 것이고 완화 시간이 길수록 입자의 움직임이 둔화된 것을 의미한다. 이와 같이, MSDWS 장치를 이용하면 현탁액 방울의 건조 과정 중 입자의 움직임을 알 수 있고 건조 과정이 진행될수록 완화시간이 얼마나 증가하는지를 측정을 통해 알 수 있다.

[0045]

본 발명의 실시 예들에서 상관관계 함수를 측정하는 과정, 완화 시간을 계산하는 과정은 소프트웨어를 통해 실행될 수 있다. 바람직하게는, 본 발명의 실시 예들에 따른 현탁액 방울 속 입자의 동적 거동 분석 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 기록하여 제공할 수 있다. 소프트웨어로 실행될 때, 본 발명의 구성 수단들은 필요한 작업을 실행하는 코드 세그먼트들이다. 프로그램 또는 코드 세그먼트들은 프로세서 판독 가능 매체에 저장되거나 전송 매체 또는 통신망에서 반송파와 결합된 컴퓨터 데이터 신호에 의하여 전송될 수 있다.

[0046]

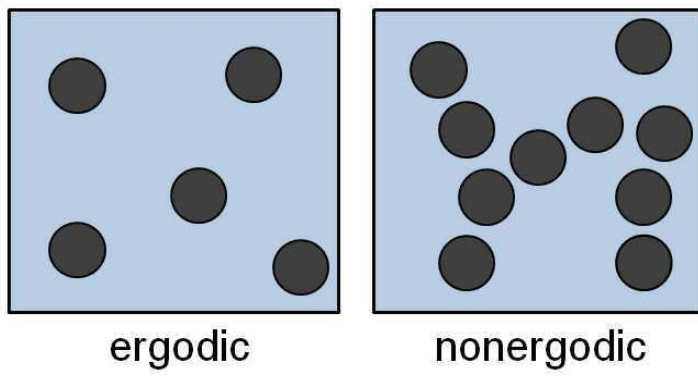
컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록 장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 장치의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, DVD±ROM, DVD-RAM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 하드 디스크(hard disk), 광데이터 저장장치 등이 있다. 또한, 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 장치에 분산되어 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

[0047]

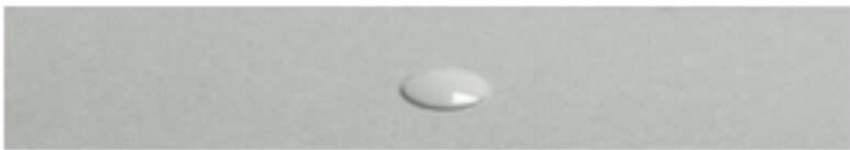
본 발명은 도면에 도시된 일 실시 예를 참고로 하여 설명하였으나 이는 예시적인 것에 불과하며 당해 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 실시 예의 변형이 가능하다는 점을 이해할 것이다. 그리고, 이와 같은 변형은 본 발명의 기술적 보호범위 내에 있다고 보아야 한다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해서 정해져야 할 것이다.

도면

도면1a



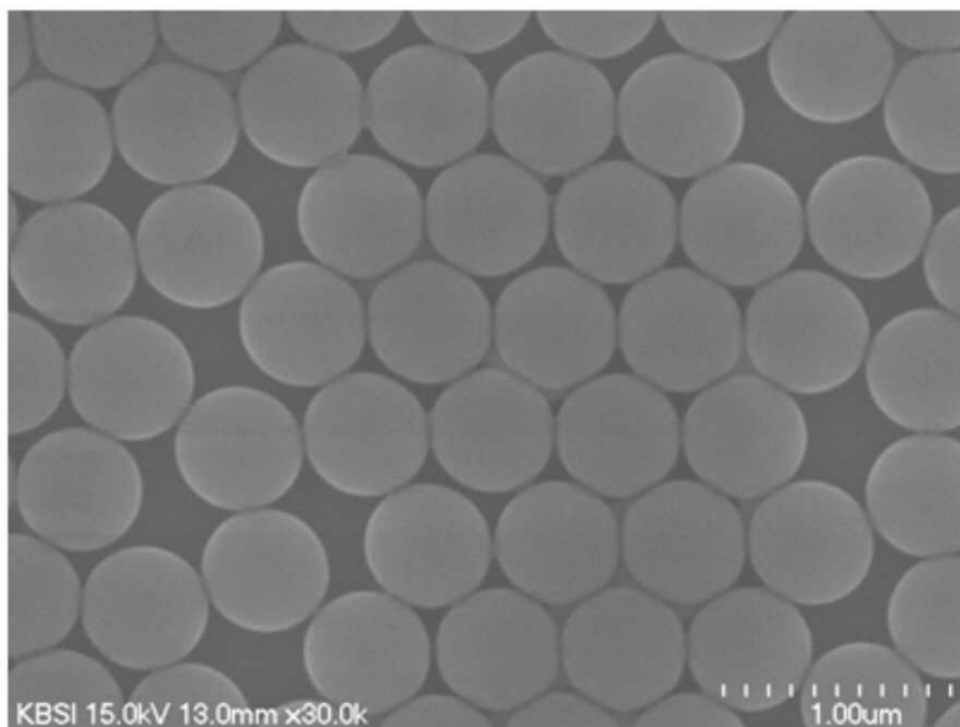
도면1b



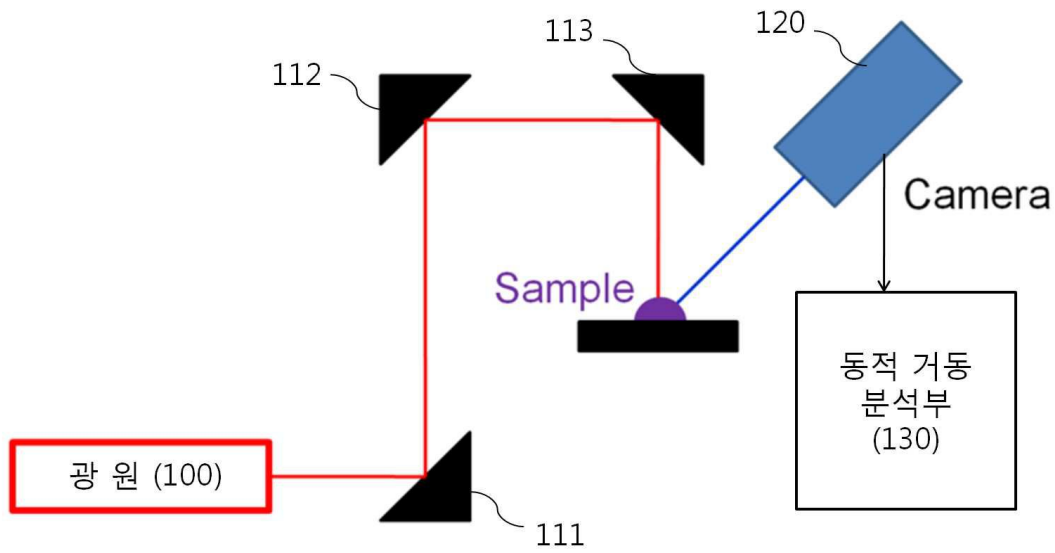
도면1c



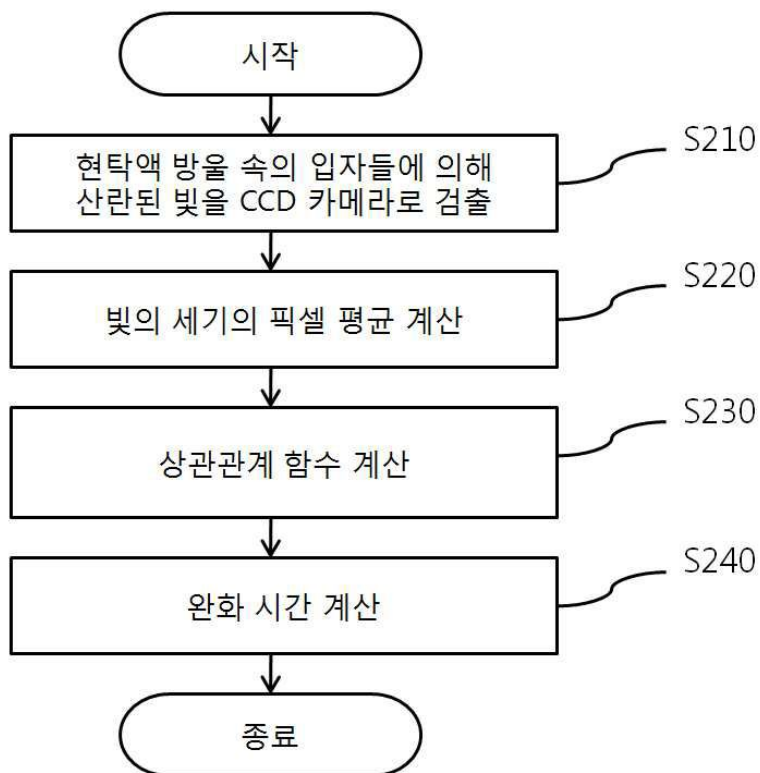
도면1d



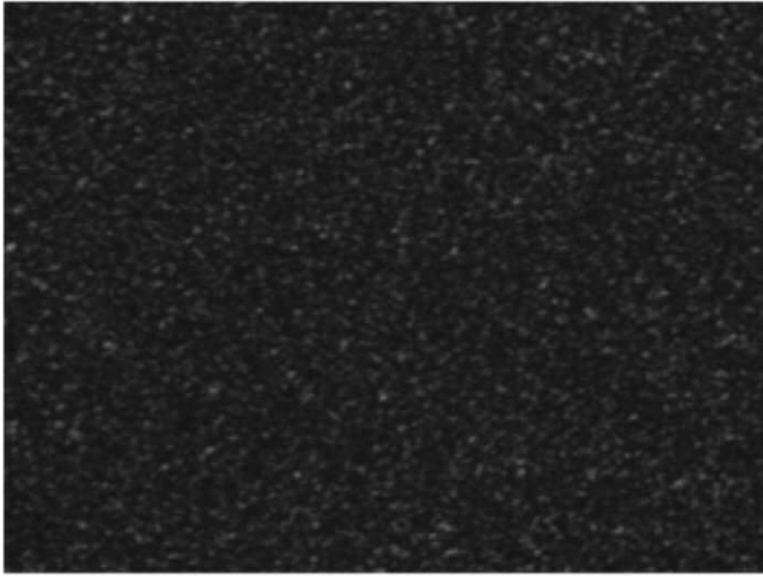
도면2



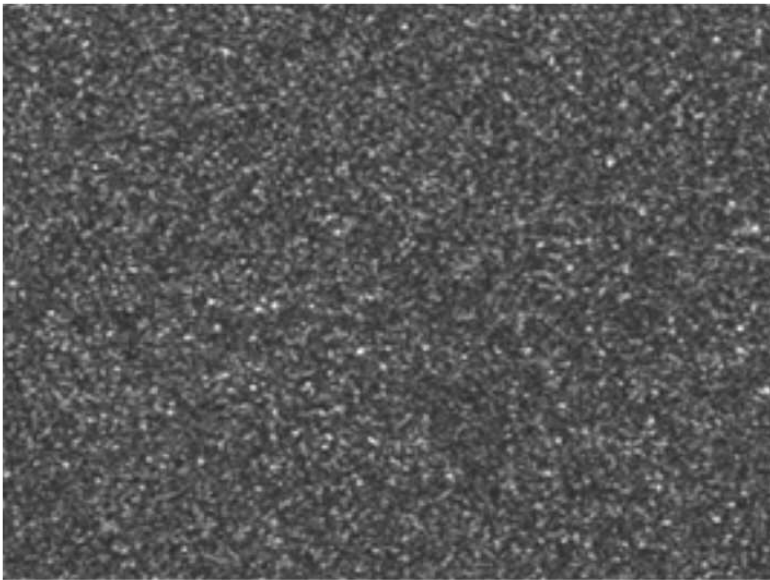
도면3



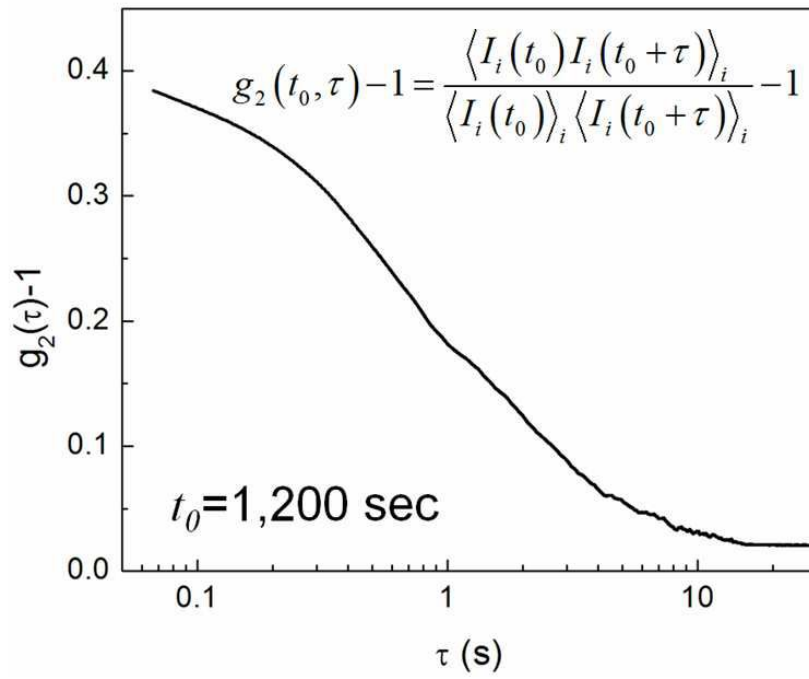
도면4a



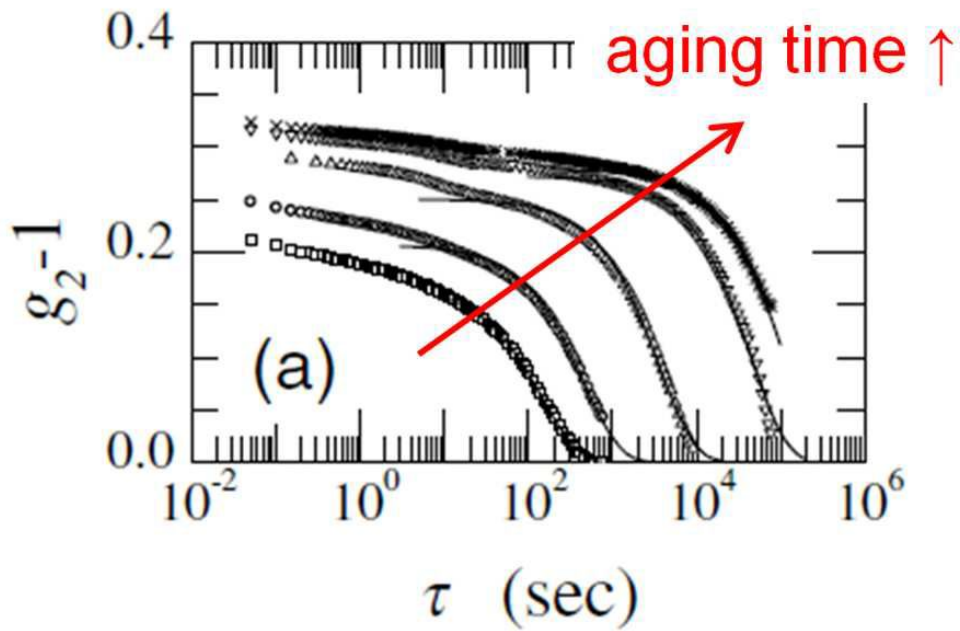
도면4b



도면5a

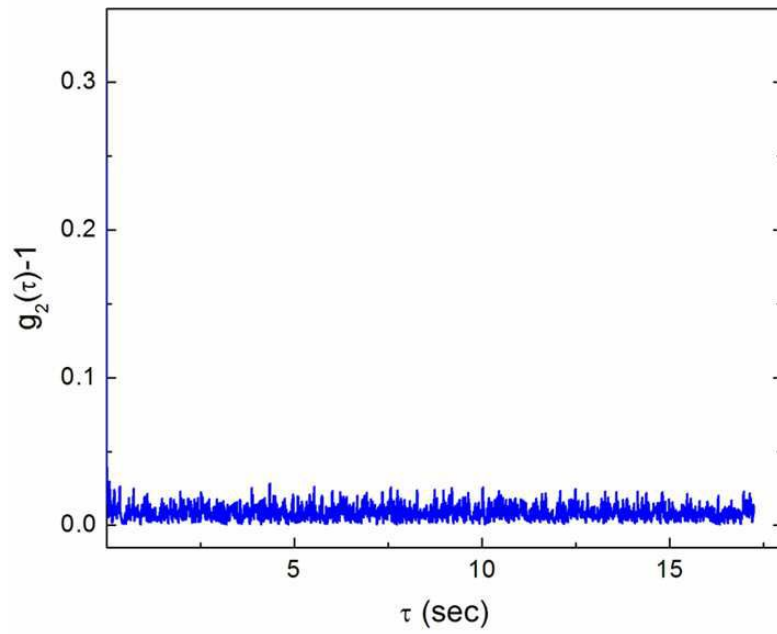


도면5b



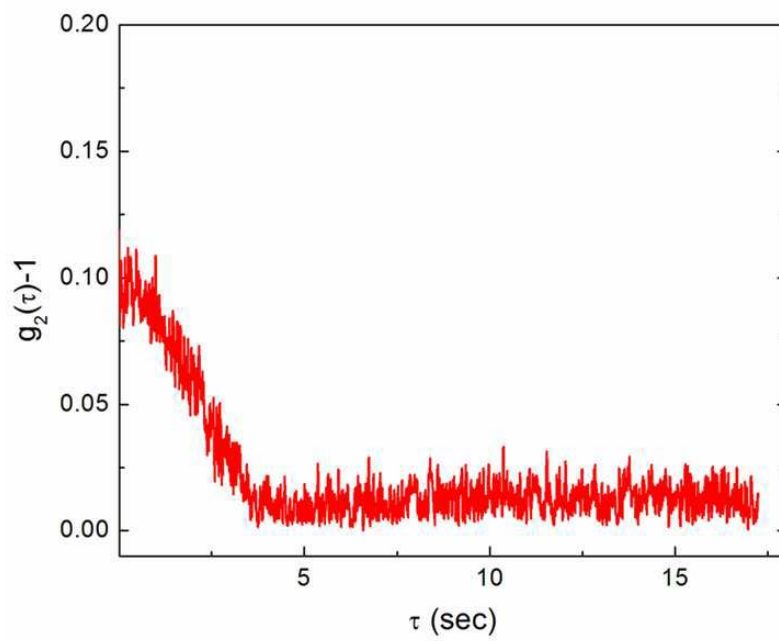
도면6a

$t_w: 300\text{sec}$



도면6b

$t_w: 900\text{sec}$



도면6c

$t_w: 1,500\text{sec}$

