

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2012-0027720 (43) 공개일자 2012년03월22일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) B82B 3/00 (2006.01) B01J 19/08 (2006.01)	(71) 출원인 인하대학교 산학협력단 인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)	
(21) 출원번호 10-2010-0089474 (22) 출원일자 2010년09월13일 심사청구일자 2010년09월13일	(72) 발명자 박동화 서울특별시 서초구 잠원동 65-32 한신7차 303동 204호 김동욱 서울특별시 강동구 동남로79길 26, 고덕아이파크 108동 604호 (고덕동)	
	(74) 대리인 이원희	

전체 청구항 수 : 총 8 항

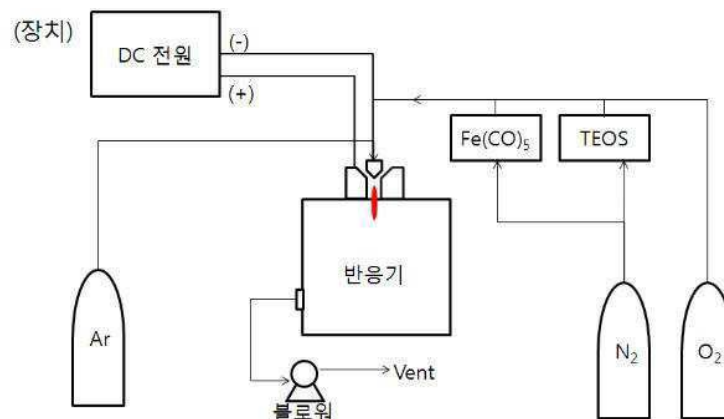
(54) 발명의 명칭 열플라즈마에 의한 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조방법 및 이에 따라 제조되는 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말

(57) 요약

본 발명은 열플라즈마에 의한 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조방법 및 이에 따라 제조되는 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말에 관한 것으로 상세하게는 열플라즈마 장치 내에 열플라즈마 제트를 발생시키는 단계(단계 1); 질소를 상온의 철-펜타카보닐($\text{Fe}(\text{CO})_5$) 및 테트라에틸 오쏘실리케이트(TEOS, tetraethyl orthosilicate)에 흘려보내 버블링 시키는 단계(단계 2); 상기 단계 1의 열플라즈마 제트가 발생된 열플라즈마 장치 내로 단계 2의 버블링이 수행된 철-펜타카보닐 및 테트라에틸 오쏘실리케이트를 주입하여 기상반응을 일으키는 단계(단계 3); 및 단계 3에서 반응이 완료된 분말을 급냉하여 포집하는 단계(단계 4)를 포함하는 열플라즈마 제트를 이용한 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조방법 및 이에 의하여 제조되는 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 제공한다.

본 발명의 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말은 열플라즈마 제트에 의해 기상합성되기 때문에 유기물질을 사용하지 않고 합성할 수 있는 장점이 있으며, 환경적 측면에서 효과가 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 40904-2

부처명 지식경제부

연구사업명 지역혁신센터(RIC) 사업-인하대학교 열플라즈마환경기술연구센터

연구과제명 열플라즈마를 이용한 환경오염물질 처리공정

주관기관 인하대학교

연구기간 2010.03.01 ~ 2011.02.28

특허청구의 범위

청구항 1

열플라즈마 장치 내에 열플라즈마 제트를 발생시키는 단계(단계 1);

질소를 상온의 철-펜타카보닐($\text{Fe}(\text{CO})_5$) 및 테트라에틸 오쏘실리케이트(TEOS, tetraethyl orthosilicate)에 흘러 보내 버블링 시키는 단계(단계 2);

상기 단계 1의 열플라즈마 제트가 발생된 열플라즈마 장치 내로 단계 2의 버블링이 수행된 철-펜타카보닐 및 테트라에틸 오쏘실리케이트를 주입하여 기상반응을 일으키는 단계(단계 3); 및

단계 3에서 반응이 완료된 분말을 급냉하여 포집하는 단계(단계 4)를 포함하는 열플라즈마 제트를 이용한 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 입자의 크기를 작고 균일하게 하기 위하여 상기 단계 1의 열플라즈마 장치는 장치 내벽에 그래파이트 펠트가 설치되는 것을 특징으로 하는 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 단계 1의 열플라즈마는 6 내지 7 kW의 전력을 유지한 상태로 아르곤 가스를 발생가스로 하여 발생되는 것을 특징으로 하는 열플라즈마 제트를 이용한 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조방법

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 단계 3의 버블링이 수행된 철-펜타카보닐 및 테트라에틸 오쏘실리케이트는 운반가스로 질소를 사용하여 열플라즈마 제트로 주입되는 것을 특징으로 하는 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 단계 4의 급냉은 이중관 수랭 반응기를 통해 수행되는 것을 특징으로 하는 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조방법.

청구항 6

제1항의 제조방법을 통해 제조되는 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 나노분말의 입자크기는 30 내지 300 nm 인 것을 특징으로 하는 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말.

청구항 8

제6항에 있어서, 상기 나노분말에 코팅된 실리카는 비정질이며, 상기 마그네타이트는 결정형 마그네타이트인 것을 특징으로 하는 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 열플라즈마에 의한 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조방법 및 이에 따라 제조되는 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 자성 물질은 자성유체, 데이터 저장, 의학(MRI 및 약물 전달제) 및 환경개선 등의 분야에 적용되고 있다. 자성 물질 중에서도 특히 마그네타이트 (Fe_3O_4), 헤머타이트 ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) 및 마그헤마이트 ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$)는 100nm 이하의 입자크기에서 초상자성 (superparamagnetic) 특징을 지니기 때문에 더욱 많은 관심을 끌고 있다.

[0003] 특히 이러한 자성입자에 관한 연구가 활발히 진행되는 분야는 생화학 및 의학 분야이다. 그러나 일반적인 산화철 미립자는 입자끼리의 뭉침 현상과 생분해에 의한 자성의 변화 등의 이유로 직접적으로 활용되기 어렵다. 따라서 위와 같은 문제점을 해결하기 위한 대책으로써 비활성 물질이 코팅된 산화철 또는 비활성 물질과 산화철의 복합체에 관한 관심이 커지고 있다.

[0004] 한편 산화철 표면에 실리카와 같은 비활성 물질을 코팅하는 것은 산화철 본래의 자성을 유지하면서도 입자의 표면적을 늘릴 뿐만 아니라 콜로이드 안정성을 높여서 입자의 뭉침 현상을 막으며 화학적 내성을 증강시킨다.

[0005] 이에 현재 탄소/금속, 탄소/세라믹, 세라믹/금속, 금속/세라믹 및 세라믹/세라믹 등의 여러 종류의 코팅된 입자를 제조하기 위한 방법들이 다양하게 연구되고 있으나, 이들 제조 방법은 대부분 졸-겔법, 침전법 및 가수 분해법 등의 액상법을 통해 이루어지며 이는 제조 과정 중 사용된 유기 용매의 세척이 필요한 문제점이 있다. 또한 이러한 과정에서 입자 표면에 흡착된 유기 용매는 완전하게 제거되기 어려우며 입자 표면에 남아서 입자의 특성을 감소시키며 실제 응용 및 적용을 하는데 어려움이 있다.

[0006] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 기상 합성법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 상기 기상 합성법은 일반적으로 유기용매를 사용하지 않기 때문에 후처리를 하지 않고 고순도의 생성물을 얻을 수 있는 장점이 있다.

[0007] 기상 합성법에 적용될 수 있는 플라즈마는 높은 온도와 전자, 중성자, 양성자 및 라디칼 등의 수많은 화학적 활성종을 보유한다. 따라서 미립자 제조를 위한 열플라즈마 공정에 있어 원료 물질은 고열과 활성종에 의하여 기화된 후 분위기 제어에 의하여 기상에서 반응을 하게 되고, 반응 생성물은 급냉에 의하여 미립자의 형태로 포집된다.

[0008] 이에 본 발명자들은 기존의 유기물을 사용하였던 공정들을 개선하며 안정된 자성특징을 가지는 자성물질을 제조하기 위해, 열플라즈마의 일종인 비이온식 플라즈마를 이용하여 대기압에서 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 제조하는 본 발명의 열플라즈마에 의한 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조방법 및 이에 따라 제조되는 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 완성하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명의 목적은 열플라즈마에 의한 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조방법 및 이에 따라 제조되는 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 열플라즈마 장치 내에 열플라즈마 제트를 발생시키는 단계(단계 1); 질소를 상온의 철-펜타카보닐($\text{Fe}(\text{CO})_5$) 및 테트라에틸 오쏘실리케이트(TEOS, tetraethyl orthosilicate)에 흘러 보내 버블링 시키는 단계(단계 2); 상기 단계 1의 열플라즈마 제트가 발생된 열플라즈마 장치 내로 단계 2의 버블링이 수행된 철-펜타카보닐 및 테트라에틸 오쏘실리케이트를 주입하여 기상반응을 일으키는 단계(단계 3); 및 단계 3에서 반응이 완료된 분말을 급냉하여 포집하는 단계(단계 4)를 포함하는 열플라즈마 제트를 이용한 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조방법은 폐수 및 유해물질의 발생없이 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 제조할 수 있어 친환경적인 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 본 발명의 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 제조하는 열플라즈마 장치를 나타낸 모식도이고;
 도 2는 본 발명의 실시예 1에 의해 제조된 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 X-선 회절 분석한 그래프이고;
 도 3은 본 발명의 실시예 2에 의해 제조된 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 X-선 회절 분석한 그래프이고;
 도 4는 본 발명의 실시예 1(a) 및 2(b)에 의해 제조된 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 주사전자현미경으로 분석한 사진이고;
 도 5는 본 발명의 실시예 2에 의해 제조된 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 주사전자현미경으로 분석한 사진이고;
 도 6은 본 발명의 실시예 1에 의해 제조된 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 투과전자현미경으로 분석한 사진이고;
 도 7은 본 발명의 실시예 1에 의해 제조된 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 투과전자현미경으로 분석한 고배율 사진이고;
 도 8은 본 발명의 실시예 2에 의해 제조된 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 투과전자현미경으로 분석한 고배율 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 이하, 본 발명을 상세하게 설명한다.

[0014] 본 발명은 열플라즈마 장치 내에 열플라즈마 제트를 발생시키는 단계(단계 1);

[0015] 질소를 상온의 철-펜타카보닐($\text{Fe}(\text{CO})_5$) 및 테트라에틸 오쏘실리케이트(TEOS, tetraethyl orthosilicate)에 흘러 보내 버블링 시키는 단계(단계 2);

[0016] 상기 단계 1의 열플라즈마 제트가 발생된 열플라즈마 장치 내로 단계 2의 버블링이 수행된 철-펜타카보닐 및 테트라에틸 오쏘실리케이트를 주입하여 기상반응을 일으키는 단계(단계 3); 및

- [0017] 단계 3에서 반응이 완료된 분말을 급냉하여 포집하는 단계(단계 4)를 포함하는 열플라즈마 제트를 이용한 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조방법을 제공한다.
- [0018] 상기 제조방법 중 단계 1은 열플라즈마 제트를 발생시키는 단계이다.
- [0019] 상기 단계 1의 열플라즈마는 도 1에 나타난 바와 같이 텅스텐 음극과 구리 양극로 구성된 플라즈마 토치부; 이중관으로 구성된 반응기; 반응 후 발생하는 폐가스를 배출시키는 배기부; 토치부에 전원을 공급하는 전원공급장치; 반응기 외벽으로 가스를 공급하는 반응 가스 라인; 토치부에 플라즈마를 발생시키기 위한 플라즈마 가스 라인;을 포함하는 플라즈마 발생 장치에 의해 발생된다.
- [0020] 상기 플라즈마 발생 장치는 토치부를 열로부터 보호하기 위하여 양쪽의 전극이 수냉되며, 반응기는 창이 부착된 스테인리스 이중관으로 되어 있고, 배기부로부터 배출되는 가스는 스크러버를 통해 정화시켜 처리된다.
- [0021] 또한 단열재인 그래파이트 펠트가 반응기 내벽에 설치될 수 있으나 이에 제한을 두지는 않는다. 상기 그래파이트 펠트가 반응기 내벽에 설치됨으로써 반응기 내의 열을 보존하여 내부의 평균온도를 상승시키는 효과가 있다.
- [0022] 한편 상기 단계 1에서 발생하는 열플라즈마는 6 내지 7kW의 전력을 유지한 상태로 아르곤 가스를 발생가스로 하여 발생하는 것이 바람직하다.
- [0023] 상기 열플라즈마(thermal plasma)는 직류 아크나 고주파 유도결합 방전을 이용하는 플라즈마 토치에서 발생시킨 전자, 이온, 원자와 분자로 구성된 이온화 기체로, 수천에서 수만 K에 이르는 초고온과 높은 활성을 가진 고속 제트이다. 따라서 고온의 플라즈마를 원활히 발생시키기 위하여, 상기 플라즈마 장치의 전원공급장치로 6 내지 6 kW의 전력을 공급하며 전기에너지에 의해 아크가 형성되고 열플라즈마 발생기체로 사용된 아르곤 가스에 의하여 약 10,000K의 초고온 플라즈마가 생성된다. 상기와 같이 6 내지 7kW의 전력을 유지한 상태로 아르곤 가스를 발생가스로 하여 발생된 초고온의 열플라즈마는 열처리방식이나 연소방식에 의해 발생된 열플라즈마보다 높은 온도에서 발생하는 효과가 있다.
- [0024] 상기 단계 2는 질소를 원료물질인 상온의 철-펜타카보닐($\text{Fe}(\text{CO})_5$) 및 테트라에틸 오쏘실리케이트(TEOS , tetraethyl orthosilicate)에 흘려보내 버블링 시키는 단계이다.
- [0025] 상기 단계 2의 버블링에 의해 원료물질인 철-펜타카보닐($\text{Fe}(\text{CO})_5$) 및 테트라에틸 오쏘실리케이트는 기화되며, 기화된 상기 원료물질들은 열플라즈마에 의해 기상반응이 이루어져 실리카가 코팅된 마그네타이트 분말로 합성될 수 있다.
- [0026] 상기 단계 3은 단계 2에서 버블링에 기화된 원료물질 철-펜타카보닐($\text{Fe}(\text{CO})_5$) 및 테트라에틸 오쏘실리케이트를 열플라즈마 제트로 주입하여 기상반응을 일으키는 단계이다.
- [0027] 상기 단계 3에서는 단계 2에서 기화된 원료물질 철-펜타카보닐($\text{Fe}(\text{CO})_5$) 및 테트라에틸 오쏘실리케이트가 열플라즈마 제트로 주입됨으로써, 상기 원료물질들의 기상반응이 이루어지게 되고, 이를 통하여 실리카가 코팅된 마그네타이트가 합성되게 된다.
- [0028] 이때, 상기 철-펜타카보닐($\text{Fe}(\text{CO})_5$) 및 테트라에틸 오쏘실리케이트는 질소를 운반가스로 하여 열플라즈마 제트로 주입되는 것이 바람직하다. 대표적인 불활성기체인 질소를 운반가스로 사용함으로써, 본 발명의 실리카가 코팅된 마그네타이트의 합성이 원활히 이루어질 수 있다.
- [0029] 또한, 상기 철-펜타카보닐($\text{Fe}(\text{CO})_5$) 및 테트라에틸 오쏘실리케이트는 플라즈마 토치에 근접한 위치로 주입되는 것이 바람직하다. 이는 플라즈마가 발생하는 토치에 근접할수록 더욱 고온의 조건에서 상기 원료물질의 기상반

응을 수행할 수 있기 때문이며, 이를 통하여 본 발명의 기상반응이 빠르고 원활하게 진행될 수 있다.

- [0030] 상기 단계 4는 단계 3에서 반응이 완료된 분말을 급냉하여 포집하는 단계이다.
- [0031] 단계 3에서 반응이 완료된 실리카가 코팅된 마그네타이트는 기상상태로 존재하며, 이를 급냉함으로써 분말형태의 실리카가 코팅된 마그네타이트를 얻을 수 있다.
- [0032] 이때, 상기 단계 4의 급냉은 이중관 수랭반응기를 통해 수행되는 것이 바람직하다. 단계 4의 냉각은 기상상태에서 제조된 고온의 기상 생성물로부터 나노입자가 생성될 수 있게 하기 위한 공정으로, 상기 이중관 수랭반응기를 통하여 급속히 냉각함으로써 입자가 성장하기 전에 나노크기의 분말을 얻을 수 있는 효과가 있다.
- [0033] 상기 이중관 수랭반응기로 공급되는 냉각수는 15 내지 25 °C를 유지하는 것이 바람직하나, 이에 제한을 두지는 않는다.
- [0034] 또한 본 발명은 상기 제조방법에 의해 제조되는 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 제공한다.
- [0035] 본 발명의 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말은 제조과정에서 유기물이 사용되지 않으며, 어떠한 오염물질도 생성되지 않는 장점이 있다. 또한 기상합성을 통해 제조됨에 따라 폐수가 발생하지 않는 장점이 있다.
- [0036] 한편, 본 발명의 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말은 30 내지 300 nm의 입자크기를 가진다.
- [0037] 이는 본 발명의 제조방법 중 단계 4에 의해 기상의 반응물이 급냉됨에 따라 입자의 성장을 막을 수 있기 때문이다. 상기와 같은 크기의 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말은 미립자 상태일 때 생기는 초상자성(superparamagnetic) 특성을 가질 수 있으며, 실리카가 코팅됨으로써 입자끼리의 뭉침 현상 및 분해에 의한 자성의 변화를 방지하는 효과가 있다.
- [0038] 또한 본 발명의 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말에 있어, 상기 실리카는 비정질 상태로 존재하며, 상기 마그네타이트는 결정형 상태로 존재한다.
- [0039] 산화철 표면에 실리카와 같은 비활성 물질을 코팅하는 것은 산화철 본래의 자성을 유지하면서도 입자의 표면적을 늘릴 뿐만 아니라 콜로이드 안정성을 높여서 입자의 뭉침 현상을 막으며 화학적 내성을 증강시키는 효과가 있다.
- [0040] 이하, 본 발명을 실시예에 의해 상세히 설명한다.
- [0041] 단, 하기 실시예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐 본 발명의 내용이 하기 실시예에 의해 한정되는 것은 아니다.
- [0042] <실시예 1> 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조 1
- [0043] 단계 1: 도 1에 나타난 직류 열플라즈마 제트 장치에서 하기 표 1과 같은 공정조건으로 열플라즈마 제트를 발생시켰다.
- [0044] 단계 2: 원료물질인 철-펜타카보닐($\text{Fe}(\text{CO})_5$) 10ml 및 테트라에틸 오쏘실리케이트 10ml에 질소를 흘려주어 25°C에서 버블링(bubbling)을 수행하였다.

[0045] 단계 3: 단계 3에서 버블링에 의해 기화된 원료물질 철-펜타카보닐($\text{Fe}(\text{CO})_5$) 및 테트라에틸 오쏘실리케이트에 운반가스로 질소를 3L/min의 유량으로 사용하여, 1L/min의 산소와 함께 플라즈마 토치의 방전부에서 10mm 떨어진 노즐로 주입하여 20분간 기상반응을 일으켰다.

[0046] 단계 4: 단계 3에서 열플라즈마에 의해 20분간 기상반응이 수행된 반응물을 이중관 수랭반응기를 통해 분말형태로 포집하여 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말 5g을 제조하였다.

표 1

구분	운전 조건
플라즈마 전력	300A, 21V (6.3kW)
압력	760 Torr (대기압)
플라즈마 발생 가스	아르곤 15L/min
반응 가스	산소 1L/min

[0048] <실시예 2> 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조 2

[0049] 반응기 내벽을 단열재인 그래파이트 펠트로 두른 장치를 사용한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 제조하였다.

[0050] <실험예 1>X-선 회절 분석

[0051] 본 발명의 실시예 1 및 2에 의해 제조된 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 X-선 회절을 통해 분석하였고, 그 결과는 도 2 및 도 3에 나타내었다.

[0052] 도 2 및 도 3에 나타난 바와 같이 본 발명의 실시예 1 및 2에 의해 제조된 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말은 주로 마그네타이트로 이루어진 것을 알 수 있다. 실시예 1의 나노분말 경우 소량의 헤머타이트($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)를 포함하고 있지만, 실시예 2의 나노분말의 경우 상기 헤머타이트 피크가 사라진 것을 알 수 있다. 또한 전체적으로 비정질을 나타내는 피크 노이즈가 있는 것을 알 수 있으며, 이를 통하여 비정질 실리카가 존재하는 것을 알 수 있다.

[0053] 이를 통하여 본 발명의 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조가 잘 이루어진 것을 확인하였다.

[0054] <실험예 2>주사전자현미경 분석

[0055] 본 발명의 실시예 1 및 2에 의해 제조된 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 주사전자현미경을 통해 분석하였고, 그 결과는 도 4 및 도 5에 나타내었다.

[0056] 도 4 및 도 5에 나타난 바와 같이 본 발명의 실시예 1 및 실시예 2에 의해 제조된 나노분말은 마그네타이트 표면에 실리카가 코팅되어 있는 것을 알 수 있었고, 본 발명에 의해 제조되는 나노분말은 큰 입자의 경우 약 300 nm의 크기를 가지는 것을 알 수 있다. 또한, 도 4에 나타난 바와 같이 구형의 마그네타이트 입자에 실리카 미세 입자가 흡착되어 있는 것을 알 수 있으며, 도 5에서 볼 수 있듯이 실시예 2에 의해 제조된 나노분말의 경우 실시예 1을 통해 제조된 나노분말보다 더욱 작은 입경의 입자가 고르게 분포하고 있는 것을 알 수 있었다. 이를 통하여 본 발명의 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말의 제조가 잘 이루어진 것을 확인하였다.

[0057] <실험예 3>투과전자현미경 분석

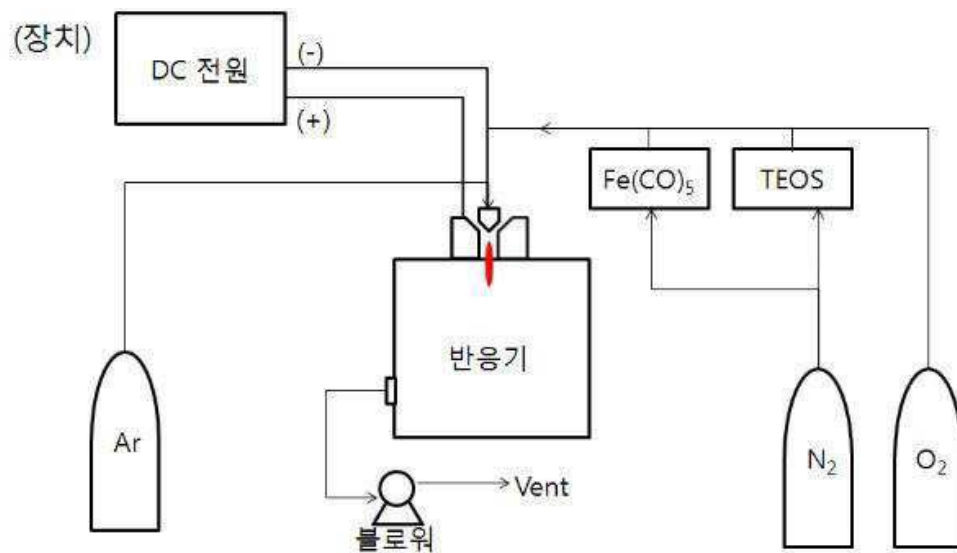
[0058] 본 발명의 실시예 1 및 2에 의해 제조된 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말을 투과전자현미경을 통해 분석하였고, 그 결과는 도 6, 7 및 도 8에 나타내었다.

[0059] 도 6, 7 및 도 8에 나타난 바와 같이 본 발명의 실시예 1 및 실시예 2에 의해 제조된 나노분말은 마그네타이트 표면에 실리카가 코팅되어 있는 나노입자가 존재하는 것을 알 수 있었다. 또한 도 7의 (b)에서 볼 수 있듯이 입자의 중심부는 격자무너를 띄지만, 입자주변부는 격자를 관찰할 수 없으며 이를 통하여 본 발명의 나노분말은 결정형 마그네타이트표면에 비정질 실리카가 코팅된 구조인 것을 확인하였다.

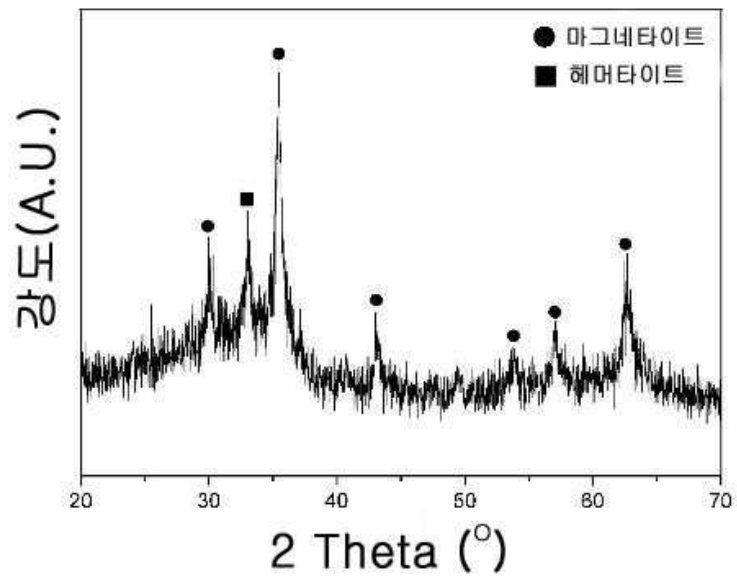
[0060] 또한 도 8에 나타난 바와 같이 실시예 2를 통하여 제조된 나노분말의 경우 입자의 크기가 고르게 분포하는 것을 알 수 있다. 이를 통하여 본 발명의 실시예 2에 의해 제조된 실리카가 코팅된 마그네타이트 나노분말이 단열된 반응기에서 제조됨에 따라 반응물의 입경 분포를 고르게 하는 효과를 확인하였다.

도면

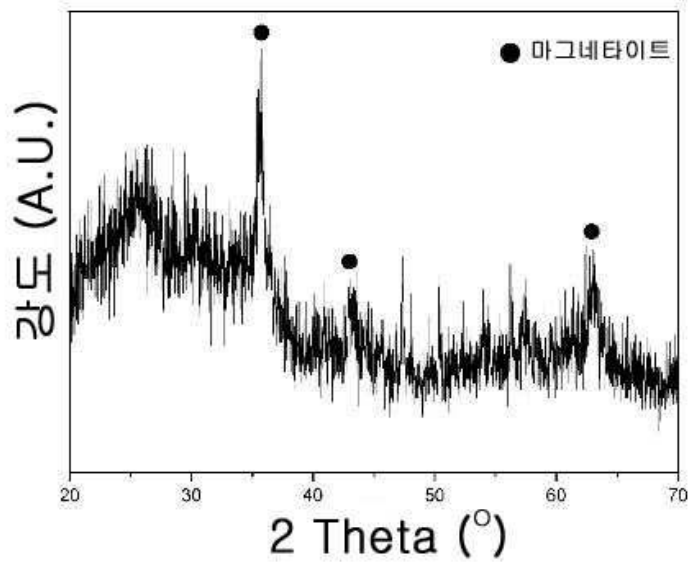
도면1



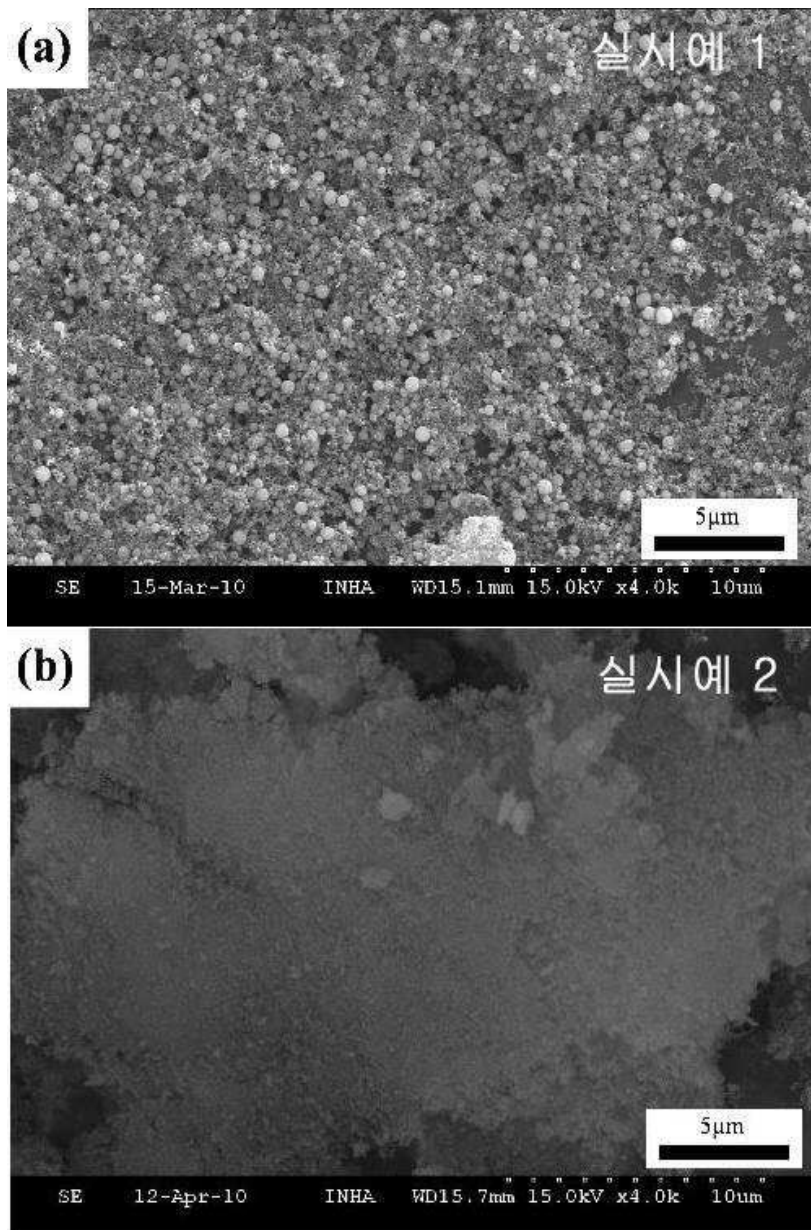
도면2



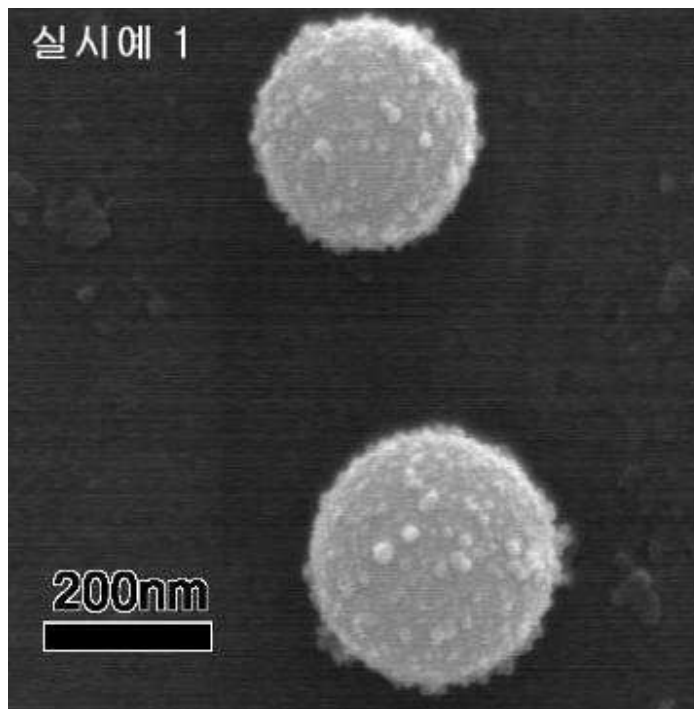
도면3



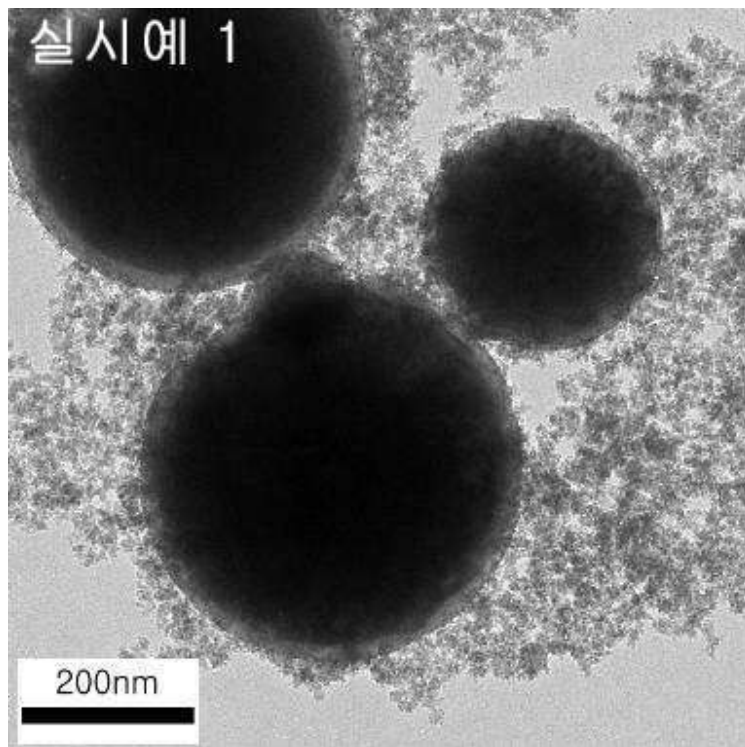
도면4



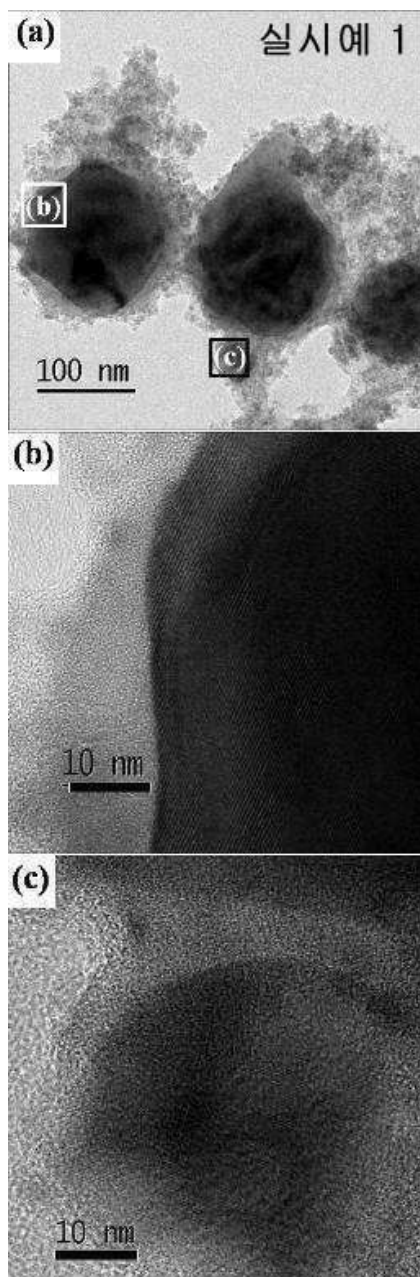
도면5



도면6



도면7



도면8

