

 (19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2010-0102851 (43) 공개일자 2010년09월27일
(51) Int. Cl. C12P 3/00 (2006.01) C12N 5/02 (2006.01) (21) 출원번호 10-2009-0021120 (22) 출원일자 2009년03월12일 심사청구일자 2009년03월12일	(71) 출원인 이화여자대학교 산학협력단 서울 서대문구 대현동 11-1 이화여자대학교내 (72) 발명자 박성수 서울시 영등포구 여의도동 32 수정아파트 A동 1305호 조월렴 서울시 강남구 압구정동 현대아파트 21동 704호 (뒷면에 계속) (74) 대리인 이원희

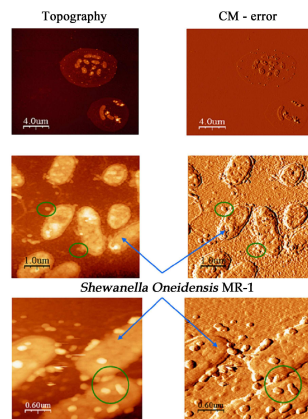
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1의 아연 나노입자 생성

(57) 요약

본 발명은 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1(*Shewanella oneidensis* MR-1)의 세포 표면에 아연 나노입자를 형성하는 방법에 관한 것으로, 구체적으로 상기 세포를 Zn 금속 이온을 포함하는 배지에서 배양하는 단계를 포함하는 상기 세포의 표면에 아연 나노입자를 형성하는 방법에 관한 것이다. 본 발명의 방법은 아연 나노입자의 제조에 유용하게 이용될 수 있다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

장인섭

광주광역시 광산구 월계동 선경아파트 103-402

김대회

서울특별시 강동구 상일동 172 현대빌라 5-103

임지선

서울시 강남구 역삼동 674-35번지 401호

오유진

경기도 김포시 고촌면 수기마을 현대 힐스테이트
110동 601호

박자령

대전 대덕구 읍내동 현대아파트 113동 701호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 (R11-2005-008-02001-0)

부처명 한국과학재단

연구관리전문기관

연구사업명 SRC우수연구소 사업

연구과제명 나노구조를 이용한 바이오센서 연구

기여율

주관기관 교과부

연구기간 2005년 04월 01일 ~ 2012년 03월 31일

특허청구의 범위

청구항 1

- 1) 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1(*Shewanella oneidensis* MR-1)을 Zn 금속 이온을 0.12 내지 0.5 g/l의 농도로 포함하는 배지에서 배양하여 상기 세포 표면에 아연 나노입자를 생성하는 단계; 및,
- 2) 상기 세포 표면으로부터 아연 나노입자를 회수하는 단계를 포함하는 상기 세포의 표면에 아연 나노입자를 제조하는 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서, 혐기성 조건에서 배양되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 세포를 PBBM 배지에서 배양하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제 1항에 있어서, 상기 세포를 23 내지 27℃에서 배양하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제 4항에 있어서, 상기 세포를 25℃에서 배양하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제 1항에 있어서, 상기 세포를 2.5 내지 4일 동안 정치배양 하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제 6항에 있어서, 상기 세포를 3일 동안 정치배양 하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제 1항에 있어서, 상기 아연 나노입자는 원심분리에 의해 회수되는 것을 특징으로 하는 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1(*Shewanella oneidensis* MR-1)의 세포 표면에 아연 나노입자를 형성하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 슈와넬라종(*Shewanella* sp.)은 다양한 전자수용체(electron acceptor)와 전자공여체(electron donor)를 이용함으로써 Mn(IV)과 Fe(III)등의 산화물을 환원시킬 수 있다고 보고되었다(Douglas PL *et al.*, *Appl Environ Microbiol* 71(8):4414-4426, 2007). 또한 세포 내부와 외부 세포막 및 세포벽과 세포막 사이의 공간(periplasm)에 많은 양의 헴 단백질(heme proteins)이 존재하는데(Yuri AG & Derek RL, *Appl Environ Microbiol* 57(3):867-870, 1991), 상기 헴 단백질들은 전자공여체인 유기물과 전자수용체 사이에 유동적 전자 전송에 중요한 역할을 담당한다(Julea NB *et al.*, *Biophys J* 78(2):1001-1009, 2000; Leys D *et al.*, *Nat Struct Biol* 6(12):1113-1117, 1999).
- [0003] 또한, 슈와넬라와 같은 특정한 박테리아에게서는 세포 외부에서 전자 전이를 주관하는 특정 씨토크롬(cytochrome) 효소를 발견할 수 있다. 슈와넬라 세포는 박테리아에 의해 생성된 점착성 물질인 외부세포 고분자 물질(EPS, Extracellular Polymeric Substance)에 씨토크롬(cytochrome)을 방출한다. 끈끈한 점착성 고분자 물질(EPS)은 환원 매체뿐 아니라 외부세포 나노입자를 결합시키는 점착제로 작용한다고 알려져 있다(Marshall MJ *et al.*, *PIOs biology*, 4(9):e268, 2006). 기존 연구들은 씨토크롬 단백질과 전자수용체 사이의 전자 이동에 초점을 맞추어 연구돼 왔지만, 아직까지 씨토크롬 단백질의 정확한 기능, 균(cell) 표면과 터미널 전자수용체 사이의 상호관계 등은 뚜렷이 밝혀지지 않고 있다(Biju V *et al.*, *Langmuir* 23:1333-1338, 2007).
- [0004] 이와 같은 문제점을 극복하여 최근 개발된 방법 중의 하나가 바로 원자힘현미경을 이용하여 셀의 형태적 특성과 지형분포(topographic distribution), 전전기력 현미경을 이용하여 시료와 탐침 간의 전기력을 측정하는 방법이다. 원자힘현미경의 수평분해능은 0.1 nm로 기존 전자현미경보다 100배 이상 우수하며, 광학/전자 현미경에서 측정 곤란한 수직 분해능은 0.01 nm까지 가능하게 되었다(김영훈, news & information for chemical engineers, 25(3):297-303, 2007).
- [0005] 슈와넬라 오네이덴시스(*Shewanella oneidensis* MR-1)는 그람 음성(Gram-negative) 통성혐기성균으로 금속환원 미생물(Dissimilatory Metal-reducing Bacteria; DMRB)으로 알려진 박테리아이다. 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1(*Shewanella oneidensis* MR-1)은 다양한 물질대사 메커니즘을 소유하고 있을 뿐 아니라, 그 메커니즘의 활용 능력이 뛰어난 박테리아로 환경미생물 분야뿐 아니라, 공학 등 다양한 분야에서 관심을 가지고 연구하고 있는 균이다. 특히, 최근 슈와넬라가 환경 내에 존재하는 독성 물질을 제거한다는 논문이 밝혀지면서(Marshall MJ *et al.*, *PIOs biology*, 4(9):e268, 2006), 생물학적 환경 정화용으로서의 가능성 또한 인정받았다.
- [0006] 또한, 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1은 우라니나이트(uraninite; William DB *et al.*, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72(20):4901-4915, 2008) 또는 팔라듐(0)[palladium (0); De Windt W *et al.*, *Antonie Van Leeuwenhoek* 90(4):377-389, 2006] 등의 나노입자를 생성하는 것으로 알려져 있는데, 아직까지 Zn 나노입자를 생성하는 것으로 보고된 바는 없다.
- [0007] 이에 본 발명자들은 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1을 혐기적 조건에서 Zn 이온을 포함하는 배지에서 배양함으로써 세포 표면에 Zn 나노입자를 생성하도록 한 뒤, 세포 표면과 나노입자 간의 정전기력을 측정하여 상기 나노입자가 세포 표면에 흡착하여 결합하는 것을 확인함으로써 본 발명을 완성하였다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- [0008] 본 발명의 목적은 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1의 세포 표면에 아연 나노입자를 형성할 수 있는 방법을 제공하는 것이다.

과제 해결수단

- [0009] 상기 목적을 달성하기 위하여, 1) 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1(*Shewanella oneidensis* MR-1)을 Zn 금속 이온을 포함하는 배지에서 배양하여 상기 세포 표면에 아연 나노입자를 생성하는 단계; 및,
- [0010] 2) 상기 세포 표면으로부터 아연 나노입자를 회수하는 단계를 포함하는 상기 세포의 표면에 아연 나노입자를 제조하는 방법을 제공한다.

- [0011] 이하, 본 발명을 상세히 설명한다.
- [0012] 1) 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1(*Shewanella oneidensis* MR-1)을 Zn 금속 이온을 0.12 내지 0.5 g/l의 농도로 포함하는 배지에서 배양하여 상기 세포 표면에 아연 나노입자를 생성하는 단계; 및,
- [0013] 2) 상기 세포 표면으로부터 아연 나노입자를 회수하는 단계를 포함하는 상기 세포의 표면에 아연 나노입자를 제조하는 방법을 제공한다.
- [0014] 상기 배양액 내 Zn 이온 농도는 0.12 내지 0.5 g/l인 것이 바람직하다. 상기 Zn 이온 농도의 양이 0.1 g/l 이하일 경우 Zn 이온 나노입자가 생성되지 않고, 0.5 g/l 이상일 경우 미량광물질 용액의 탁도가 증가하게 되면서 균이 성장하지 못하는 문제가 있다.
- [0015] 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1은 통성혐기성균으로 산소 유무에 관계없이 생육할 수 있으나, 본 발명의 방법에 의해 완벽하게 혐기성 조건을 유지하며 배양함으로써 상기 세포의 표면에 아연 나노입자를 형성할 수 있었다. 상기 배양은 23 내지 27℃, 바람직하게는 25℃에서 수행될 수 있고, 2.5 내지 4일, 바람직하게는 3일 동안 정치배양(혐기배양)할 수 있다.
- [0016] 상기 아연 나노입자는 정전기력으로 균에 부착되어 위치하고 있으므로, 원심분리로 용이하게 회수할 수 있다.
- [0017] 본 발명의 구체적인 실시예에서는 기본배지(Basal medium), 미량광물질 용액(trace mineral solution), 비타민 용액(vitamin solution) 및 인산염 완충용액(phosphate buffer)을 포함하는 PBBM에서 $ZnCl_2$, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 및 $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ 의 농도를 0.1 g에서 0.2 g으로 두 배 증가시킨 배지 또는 원래 조성대로인 1배 배지에서 상기 세포를 25℃ 및 혐기성 조건으로 3일간 정치배양(혐기배양) 한 후, 배양액을 회수하여 글라스에 고정화하여 원자힘 현미경(Atomic Force Microscope, 이하, AFM)으로 세포외막 단백질 사이의 생물학적 힘을 측정된 결과 Fe와 Mn 이온의 농도가 두 배로 증가하더라도 세포 표면에 나노 입자가 형성되지 않은 것을 확인할 수 있었다(도 1 참조). 그러나 배양액의 Zn 이온 농도를 2배로 증가하였을 때에는 다른 금속 이온 농도의 증가와는 다르게 슈와넬라 오네이덴시스 박테리아 균주가 Zn 나노입자를 형성하였다(도 2 참조). 이때, 세포 주위와 표면을 나노 입자(직경 20 nm - 100 nm)가 불규칙하게 형성되어 결합한 것을 확인함으로써 나노입자가 부착된 세포의 형태적 특성 및 지형분포(topographic distribution) 등을 자세히 분석할 수 있었다(도 2 참조). 또한, 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1의 세포막은 음전하를, 나노입자는 양전하를 띠고 있다는 점에 착안하여, 상기 Zn 이온 농도가 2배인 배지의 배양액을 웨이퍼에 고정하고 세포 표면을 정전기힘현미경(Electrostatic Force Microscope, 이하, EFM)을 이용해 측정 결과, 세포 표면이 정전기력을 띠고 있음을 확인하였고, 나노입자의 화학흡착(chemisorption)을 입증하였다(도 3 참조). 또한, 주사전자현미경(Scanning electron microscope, 이하, SEM)으로 측정한 결과, 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1의 표면과 위치한 주위에 나노입자가 분포되어 있는 것을 확인할 수 있었다(도 4 참조). 아울러, 에너지분산형분석기(Energy dispersive spectroscopy, EDS)로 측정한 결과, 본 발명의 방법으로 배양된 균이 형성한 나노입자가 Zn 금속으로 이루어진 입자인 것을 확인하였다(도 5 및 도 6 참조).
- [0018] 이에, 상기 방법으로 배양한 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1(*Shewanella oneidensis* MR-1)은 세포의 표면에 아연 나노입자를 형성함으로써, 아연 나노입자 제조에 유용하게 이용될 수 있다.

효 과

- [0019] 본 발명의 방법은 아연 나노입자의 제조에 유용하게 이용될 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0020] 이하, 본 발명을 실시예에 의해 상세히 설명한다.

- [0021] 단, 하기 실시예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐, 본 발명의 내용이 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.
- [0022] <실시예 1> 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1의 배양 배지조성
- [0023] 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1(*Shewanella oneidensis* MR-1)은 PBBM(phosphate-buffered basal media; Kim BH *et al.*, *J Microbiol Biotechnol* 9(2):127-131, 1999; Chang I *et al.*, *Biotechnol Lett* 29:1183-1187, 2007) 배지를 이용하여 배양하였다.
- [0024] 상기 PBBM의 조성은 기본배지(Basal medium)에 미량광물질 용액(trace mineral solution), 비타민 용액(vitamin solution) 및 인산염 완충용액(phosphate buffer)을 각각 10 ml/L씩 혼합한 것으로, 각각의 배지 및 용액의 조성은 다음과 같다.
- [0025] 1. 기본배지: 0.9 g NaCl, 0.2 g $MgSO_4 \cdot 2H_2O$, 0.2 g $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, 0.1 g NH_4Cl , 25 ml $Na_2S \cdot 9H_2O$ (2.5%)가 함유된 기본배지에, 1 ml Resazurin(0.02%), 2.0 g 효모 추출물(Yeast extract), 20 mM 소듐락테이트(Sodium DL-lactate), 40 mM 소듐푸마레이트(sodium fumarate)를 첨가하였고, 시험관을 질소와 이산화탄소가 8대 2로 혼합된 가스로 치환해 고무마개로 막아 고압멸균기(121℃, 15분)로 멸균하였다. 소듐푸마레이트(sodium fumarate)를 전자수용자로, 소듐락테이트(Sodium DL-lactate)를 전자공여자로 이용했다.
- [0026] 2. 미량광물질 용액: 1.5 g/L 니트릴로트리아세트산(nitrilo triacetic acid, NTA), 0.1 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.1 g $MnCl_2 \cdot 4H_2O$, 0.17 g $CoCl_2 \cdot 6H_2O$, 0.1 g $ZnCl_2$, 0.1 g $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, 0.02 g $CuCl_2 \cdot 2H_2O$, 0.01 g H_3BO_3 , 0.01 g Na_2MoO_3 , 0.017 g Na_2SeO_3 , 0.026 g $NiSO_4 \cdot 6H_2O$, 1.0 g NaCl. 상기 조성의 용액을 0.2μm 필터 후, 용액이 포함된 시험관을 질소와 이산화탄소가 8대 2로 혼합된 가스로 치환하였다. 이때, $ZnCl_2$, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 및 $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ 의 농도를 0.1 g에서 0.2 g으로 두 배 증가시킨 배지를 추가로 제조하였다.
- [0027] 3. 비타민 용액: 2 mg/L 바이오틴, 2 mg/L 엽산(folic acid), 10 mg 피리독신 HCl(pyridoxine HCl), 5.0 mg 티아민 HCl(thiamine HCl), 5.0 mg 리보플라빈(riboflavin), 5.0 mg 니코틴산(nicotinic acid), 5.0 mg 판토텐산(pantothenic acid), 0.1 mg 시아노코발라민(cyanocobalamine), 5.0 mg P-아미노벤조산(P-aminobenzoic acid). 상기 조성의 용액을 0.2μm 필터 후, 용액이 포함된 시험관을 질소와 이산화탄소가 8대 2로 혼합된 가스로 치환하였다.
- [0028] 4. 인산염 완충용액(1M, pH 7.2) : 1M KH_2PO_4 , 1M Na_2HPO_4 . 상기 조성의 용액을 0.2μm 필터 후, 용액이 포함된 시험관을 질소와 이산화탄소가 8대 2로 혼합되어진 가스로 치환하였다.
- [0029] <실시예 2> 실시예 1의 배지를 이용한 균주배양
- [0030] 혐기상태로 치환된 PBBM 액체배지 또는 금속 이온의 농도가 두 배로 증가된 액체배지 50 ml에 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1(*Shewanella oneidensis* MR-1)을 접종하여 25℃에서 3일간 정치배양(혐기배양) 하였다.
- [0031] <실시예 3> 관찰용 시료 제작
- [0032] <3-1> 원자힘현미경(Atomic Force Microscope; 이하, AFM)용
- [0033] 실시예 2의 방법으로 배양된 슈와넬라 오네이덴시스 MR-1의 세포 표면 및 나노입자 관찰용 시료를 제작하였다.
- [0034] 우선, 실시예 2의 배양액 20 ml를 4500 rpm으로 20분 동안 원심분리 하였다. 상등액을 제거하고 2 ml의 인산염 버퍼(50 mM PO_4 , 100 mM NaCl, pH 7.0)에 재현탁 하였다. 깨끗하게 씻어 말린 커버글라스에 재현탁균 50 μl를 떨어뜨리고, 실온에서 30분간 두어 고정화했다. 재현탁균이 고정화된 커버 글라스를 인산염 버퍼를 이용해 두 번 세척하고 실온에서 말려주었다. 상기 작업은 혐기 챔버(N_2 : CO_2 = 80 : 20, v/v)에서 수행하였다.
- [0035] <3-2> 정전기힘현미경(Electrostatic Force Microscope, EFM) 및 주사전자현미경(Scanning electron microscope, SEM)용
- [0036] 실시예 3-1에서 사용한 글라스 대신 백금 기판 및 실리콘 웨이퍼를 이용한 것을 제외하고, 동일한 방법으로 세

포 표면 및 나노입자 관찰용 시료를 제작하였다.

[0037] <3-3> 에너지분산형분석기(Energy dispersive spectroscopy, EDS)용

[0038] EDS는 전자현미경에 부착되어 시료의 성분을 분석하는 장비로서 고 에너지의 전자빔이 시편과 반응하여 시편의 구조 및 화학조성 정보를 간직한 다양한 Signal 중 특성 X-ray를 이용하여 시편의 성분을 분석한다.

[0039] 실시예 3-2에서 제작한 것과 같은 방법으로 백금 기관 및 실리콘 웨이퍼 위에 동일한 방법으로 관찰용 시료를 제작하였다.

[0040] <실험예 1> 시료의 관찰

[0041] <1-1> AFM을 이용한 관찰

[0042] 실시예 3-1의 방법으로 수득한 시료를 원자힘현미경으로 관찰한 결과, 도 1에서 나타난 바와 같이 Fe와 Mn 이온의 농도가 두 배로 증가하더라도 세포 표면에 나노 입자가 형성되지 않은 것을 확인할 수 있었다. 도 2에서 나타난 바와 같이 그러나 배양액의 Zn 이온 농도를 2배로 증가하였을 때에는 다른 금속 이온 농도의 증가와는 다르게 슈와텔라 오네이텐시스 박테리아 군주가 Zn 나노입자를 형성하였다. 이때, 세포 주위와 표면을 나노입자(직경 20 nm - 100 nm)가 불규칙하게 형성되어 결합한 것을 확인하였다. 이에, 나노입자가 부착된 세포의 형태적 특성과 지형분포(topographic distribution) 등을 자세히 분석할 수 있었다.

[0043] <1-2> EFM을 이용한 관찰

[0044] 슈와텔라 오네이텐시스 MR-1의 세포막은 음전하를, 나노입자는 양전하를 띠고 있다는 점에 착안하여, 실시예 1-1에서 나노입자 형성이 확인된, Zn 이온 농도가 2배인 배지에서 배양한, 실시예 3-2의 방법으로 수득한 시료를 켄틸레버에 각각 10V와 -10V를 걸어주어 정전기힘현미경(NanoFocus Inc. Korea)으로 관찰한 결과, 도 3에서 나타난 바와 같이 세포 표면이 전기력을 띠고 있음을 확인하였고, 즉, 세포 표면과 나노입자 사이의 정전기력에 의하여 나노입자의 화학 흡착(Chemisorption) 과정을 입증하였다.

[0045] <1-3> SEM을 이용한 관찰

[0046] Zn 이온 농도가 2배인 배지에서 배양한, 실시예 3-2의 방법으로 수득한 시료를 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 도 4에서 나타난 바와 같이 나노입자가 부착된 세포와 세포 주위에 분포하는 나노 입자의 형태적 특성과 지형 분포를 분석할 수 있었다.

[0047] <1-4> EDS를 이용한 관찰

[0048] SEM 측정을 통하여 나노입자의 분포를 확인한 후(도 4 참조), Zn 이온 농도가 2배인 배지에서 배양한, 실시예 3-3의 방법으로 수득한 시료를 EDS(JSM-6700F, JEOL, Japan)로 관찰한 결과, 도 5에서 나타난 바와 같이 본 발명의 균이 형성한 나노입자가 Zn 금속으로 이루어진 입자인 것을 확인하였다.

[0049] 구체적으로, Si와 O는 기관으로 이용된 실리콘 웨이퍼의 구성 성분이므로 제외되었고, Zn의 함유율이 4%로 나노입자의 대부분이 Zn으로 구성된 것을 확인할 수 있다. 이때, O의 성분이 86%로 매우 높게 나타나는 것을 보아 나노 입자가 산화아연의 구성으로 구성된 것을 확인하였다.

[0050] <4-5> EDS를 이용한 Zn 나노 입자 분석

[0051] Zn 이온 농도가 2배인 배지에서 배양한, 실시예 3-3의 방법으로 수득한 시료를 대상으로, 배지에 포함되어있던 미광량 물질(Mn, Ni, Zn)의 함량을 EDS로 관찰한 결과, 도 6에 나타난 바와 같이 다른 금속에 비해 Zn의 함량이 67% 이상으로 매우 높게 나타난 것을 확인하였다. 이때, Pt는 시료 부착을 위한 백금 기관에 의하여 나타난 것이다.

[0052] <실험예 2> Zn 나노입자의 회수

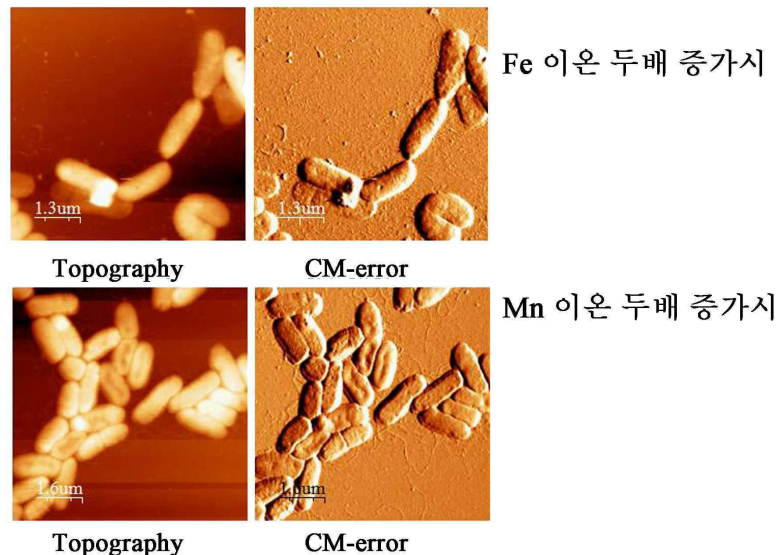
[0053] 원심분리기를 2000 RPM으로 세팅한 후 균체만을 바닥에 가라앉힌 후 상등액에 존재하는 Zn 나노입자를 회수할 수 있었다.

도면의 간단한 설명

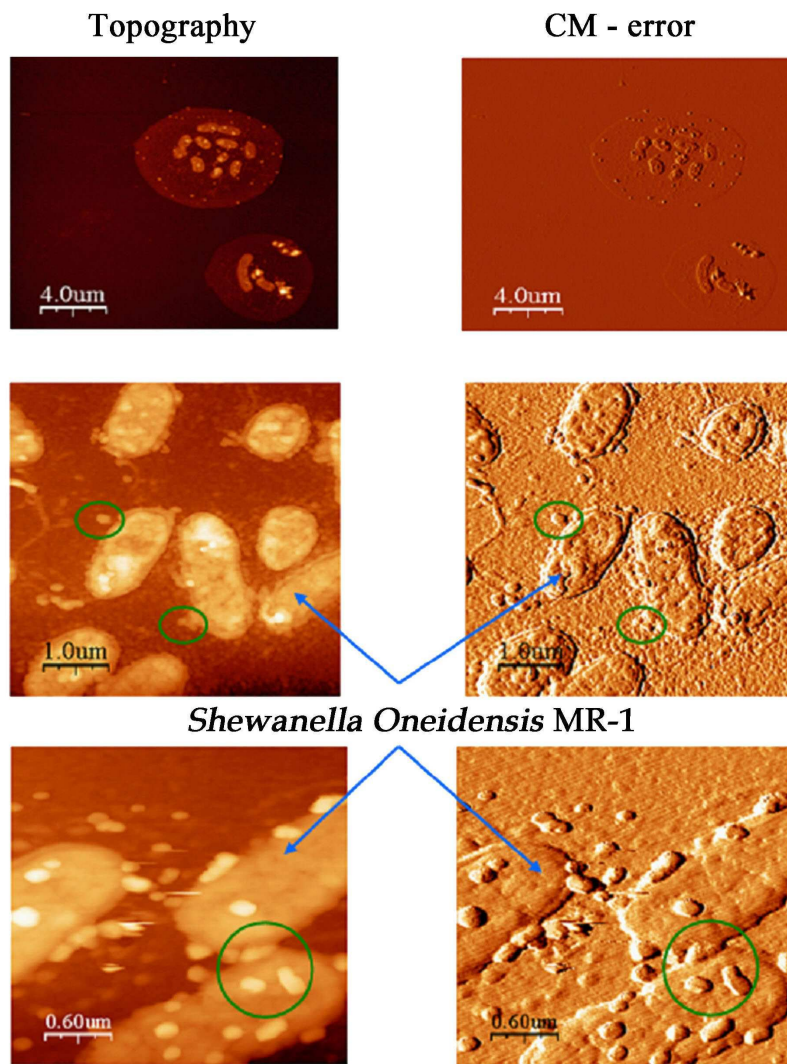
- [0054] 도 1은 배양액 내 Fe와 Mn의 농도를 두 배 증가시켰을 때의 세포 표면을 원자힘 현미경(AFM, Atomic Force Microscope)으로 관찰한 결과를 나타낸 도이다.
- [0055] 도 2는 원자힘현미경을 이용하여 표면에 나노입자가 형성된 슈와넬라 오네이텐시스 MR-1(*Shewanella oneidensis* MR-1)을 관찰한 결과를 나타낸 도이다.
- [0056] 도 3은 정전기힘현미경(EFM, Electrostatic Force Microscope)을 이용하여 표면에 나노입자가 형성된 슈와넬라 오네이텐시스 MR-1을 관찰한 결과를 나타낸 도이다.
- [0057] 도 4는 주사전자현미경(SEM, Scanning Eletron Microscope)을 이용하여 표면에 나노입자가 형성된 슈와넬라 오네이텐시스 MR-1을 관찰한 결과를 나타낸 도이다.
- [0058] 도 5는 에너지분산형분석기(Energy dispersive spectroscopy, EDS)를 이용하여 표면에 Zn 나노입자가 형성된 슈와넬라 오네이텐시스 MR-1을 관찰한 결과를 나타낸 도이다.
- [0059] 도 6은 에너지분산형 분석기를 이용하여 슈와넬라 오네이텐시스 MR-1에 의하여 형성된 나노입자를 분석한 결과를 나타낸 도이다.

도면

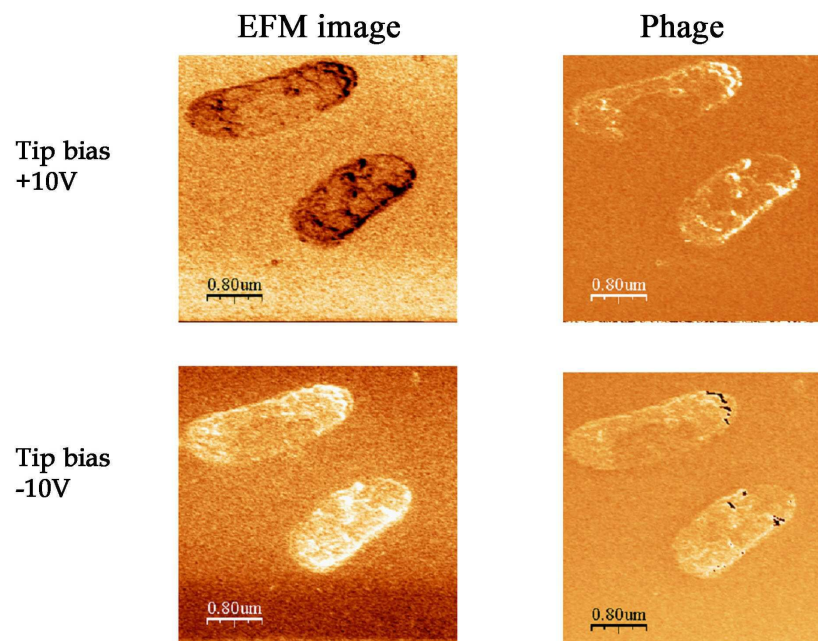
도면1



도면2



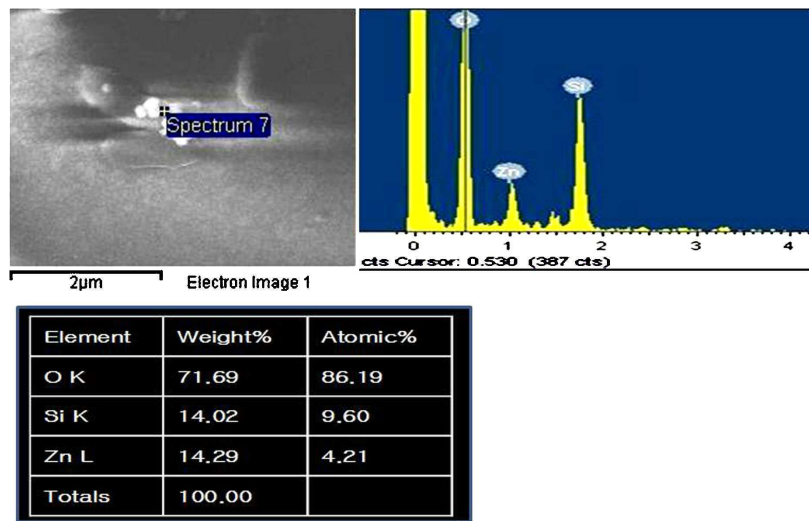
도면3



도면4



도면5



도면6

