



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년07월28일

(11) 등록번호 10-2283048

(24) 등록일자 2021년07월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G09B 23/06 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G09B 23/06 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0171940

(22) 출원일자 2019년12월20일

심사청구일자 2019년12월20일

(65) 공개번호 10-2021-0079793

(43) 공개일자 2021년06월30일

(56) 선행기술조사문헌

KR101737048 B1

(73) 특허권자

서울대학교 산학협력단

서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동)

(72) 발명자

김성완

경기도 용인시 수지구 성북2로 126 성동마을엘지빌리지3차 301동 1102호

김유단

서울특별시 서초구 남부순환로 2311-12, 107-301(방배동, 래미안아트힐아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

이정연

전체 청구항 수 : 총 15 항

심사관 : 서문휘

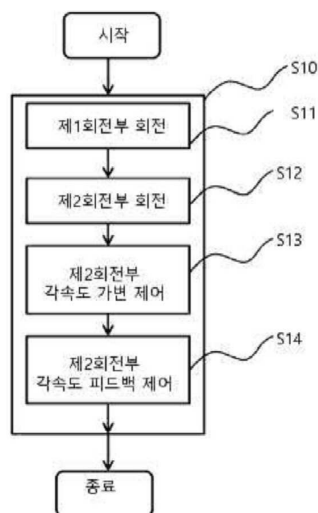
(54) 발명의 명칭 미세중력 모사 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 미세중력을 모사하는 모사장치 및 이의 제어방법에 관한 것이다.

본 발명의 일실시예에 따르면, 외측 프레임 및 상기 외측 프레임을 회전시키는 제1회전부; 상기 외측 프레임의 내측에 위치하는 내측 프레임 및 상기 내측 프레임을 회전시키는 제2회전부; 상기 제2회전부와 일체로 회전되도록 구비되고, 대상물이 수용된 용기가 장착되는 장착부; 그리고 상기 제1회전부와 제2회전부의 회전에 의해 생성되는 중력벡터의 좌표값이 위치하는 미소영역이 좁아질수록, 상기 중력벡터 방향의 변환 속도가 가변되도록 상기 제2회전부의 각속도를 제어하는 제어부를 포함하는 미세중력 모사장치가 제공될 수 있다.

대표도 - 도9



(72) 발명자

정승용

서울특별시 강남구 논현로 213 역삼럭키아파트 10
7동 1002호

예상규

서울특별시 관악구 은천로 86 두산아파트 206동
901호

김윤재

서울특별시 강남구 광평로3길 9 (일원동)

임민혁

서울특별시 중구 만리재로 175 서울역센트럴자이
101동 404호

구자록

서울특별시 서초구 서초대로65길 13-10 서초래미안
아파트 107동 2402호

김민정

서울특별시 송파구 올림픽로 135 리센츠 250동
1004호

박지원

서울특별시 성북구 길음로 16 길음뉴타운 602동
705호

이해리

서울특별시 성북구 송인로2길 61 길음동동부센트레
빌아파트 104동 202호

전병준

대전광역시 대덕구 우암동로7번길 4

정애진

서울특별시 성북구 보문로35길 67 창명 301호

최동현

경기도 성남시 분당구 중앙공원로 53 128동 1001호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	NRF-2018M1A3A3A02065779
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	거대과학연구개발사업 (우주핵심기술개발사업)
연구과제명	우주 의학 기초 연구를 위한 미세 중력 모사 시스템 및 세포 반응 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	서울대학교 산학협력단
연구기간	2018.07.10 ~ 2021.06.30
공지예외적용	: 있음

명세서

청구범위

청구항 1

외측 프레임 및 상기 외측 프레임을 회전시키는 제1회전부;

상기 외측 프레임의 내측에 위치하는 내측 프레임 및 상기 내측 프레임을 회전시키는 제2회전부;

상기 제2회전부와 일체로 회전되도록 구비되고, 대상물이 수용된 용기가 장착되는 장착부; 그리고

상기 내측 프레임의 3차원 좌표계에서 상기 제1회전부와 제2회전부의 회전에 의해 생성되는 중력벡터의 좌표값이 위치하는 미소영역이 좁아질수록, 상기 중력벡터 방향의 변환 속도가 가변되도록 상기 제2회전부의 각속도를 제어하는 제어부를 포함하는 미세중력 모사장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제어부는, 상기 미소영역이 좁아질 수록 상기 중력벡터 방향의 변환 속도가 증가되도록 상기 제2회전부의 각속도를 제어함을 특징으로 하는 미세중력 모사장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 제어부는, 상기 미소영역이 좁아질 수록 상기 제2회전부의 각속도가 증가되도록 제어함을 특징으로 하는 미세중력 모사장치.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 제어부는, 상기 제2회전부의 각속도가 기설정된 최대값 이하가 되도록 제어함을 특징으로 하는 미세중력 모사장치.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 제어부는, 상기 제2회전부의 각속도를 <수학식 1>

$$\omega(\theta) = \min\left(\frac{k}{\|\cos\theta\|}, \omega_{\max}\right)$$

을 통해서 산출하며,

여기서, θ 는 미소영역(ds)이 가지는 위도의 값, $\omega(\theta)$ 는 제2회전부(6)의 각속도, k와 $\omega_{\max}$ 는 실험 조건에 따라 변할 수 있는 상수값인 것을 특징으로 하는 미세중력 모사장치.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 제2회전부의 각도를 센싱하는 센서를 더 포함함을 특징으로 하는 미세중력 모사장치.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

중력벡터의 폭 위치에 대해서 시간이 지남에 따라 누적 오차가 발생하는 것을 감소시키기 위하여, 상기 센서에서 감지된 각도값에 기반하여 상기 제2회전부의 각속도를 제어하기 위한, 피드백 제어를 더 포함함을 특징으로 하는 미세중력 모사장치.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 피드백 제어기는, 상기 센서에서 감지된 각도값을 통해 산출되는 각도 오차값을 입력받는 비례기를 포함함을 특징으로 하는 미세중력 모사장치.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 피드백 제어기는, 현 단계와 이전 단계에서의 각도 오차값에 대한 차이값을 입력받는 미분기를 포함함을 특징으로 하는 미세중력 모사장치.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 제어부는, 상기 피드백 제어를 통해 보정된 제2회전부의 각속도를 상기 수학식 1과 비교하여 최종 제2회전부의 각속도를 결정하는 것을 특징으로 하는 미세중력 모사장치.

청구항 11

외측 프레임 및 상기 외측 프레임을 회전시키는 제1회전부, 상기 외측 프레임의 내측에 위치하는 내측 프레임 및 상기 내측 프레임을 회전시키는 제2회전부, 그리고 상기 제2회전부와 일체로 회전되도록 구비되고, 대상물이 수용된 용기가 장착되는 장착부를 포함하는 미세중력 모사장치의 제어방법에 있어서,

상기 제1회전부와 제2회전부를 회전시켜 미세중력을 모사하는 단계를 포함하고,

상기 미세중력 모사하는 단계는,

상기 내측 프레임의 3차원 좌표계에서 상기 제1회전부와 제2회전부의 회전에 의해 생성되는 중력벡터의 좌표값이 위치하는 미소영역이 좁아질수록, 상기 중력벡터 방향의 변환 속도가 가변되도록 상기 제2회전부의 각속도를 가변제어하는 단계를 포함함을 특징으로 하는 미세중력 모사장치의 제어방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 미세중력 모사하는 단계는,

상기 제1회전부를 기설정된 각속도로 제어하는 단계를 포함함을 특징으로 하는 미세중력 모사장치의 제어방법.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 제2회전부의 각속도 가변제어는, 상기 미소영역이 좁아질수록 상기 중력벡터 방향의 변환 속도가 증가되도록 수행됨을 특징으로 하는 미세중력 모사장치의 제어방법.

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 제2회전부의 각속도 가변제어는, 상기 미소영역이 좁아질수록 상기 제2회전부의 각속도가 증가되도록 수행됨을 특징으로 하는 미세중력 모사장치의 제어방법

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 제2회전부의 각속도 가변제어는, 상기 제2회전부의 각속도가 기설정된 최대값 이하가 되도록 제어함을 특징으로 하는 미세중력 모사장치의 제어방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 미세중력을 모사하는 모사 장치 및 이의 제어방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 국내 및 해외에서 우주탐사에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이와 더불어 유인 우주탐사를 비롯한 우주생명과학분야에 대한 관심도 역시 높아지고 있다. 이 경우, 우주에서 중력 환경, 예를 들어, 미세중력 환경이나 부분중력 환경을 모사하는 것은 향후 앞으로 추진될 우주탐사 및 우주 의학의 효과를 미리 살펴보는 데에 필수적인 사항이다.

[0003] 구체적으로, 우주의학 및 의생명분야의 세포 대상 실험에서, 미세중력을 모사할 수 있는 환경을 조성하여 1g인 지구 상의 중력과 다른 비교실험을 하고 세포 특성의 변화 및 암세포 사멸 등의 효과를 고찰하려는 시도가 많이 수행되고 있다.

[0004] 우주의학을 위해서는 우주 환경에서 발생하는 세포의 변화를 관찰하는 것이 중요하다. 정상 세포에 비하여 암세포가 무중력 혹은 미세중력 환경에서 성장이 더디거나 항암제에 민감한 연구 결과들이 보고되고 있다. 따라서, 암세포 사멸, 암세포 성장 저하 등을 위하여 미세중력을 이용하는 것은 앞으로의 의생명과학 분야에서 새롭게 도출되는 분야를 창출할 것으로 기대하고 있다.

[0005] 우주에서의 실험은 비용과 시간이 많이 소모된다. 따라서, 지상에서 미세중력 환경을 모사하고자 하는 시도가 지속적으로 이루어지고 있다. 지상에서 미세중력 환경을 모사하기 위하여 회전기(clinostat)이나 랜덤 포지셔닝 머신(RPM, random positioning machine) 등이 주로 사용되어 왔다. 기본적으로 미세중력을 모사하기 위해서는, 세포 혹은 실험 시료의 좌표계에서, 세포 혹은 실험 시료가 느끼는 중력벡터의 평균치를 0으로 접근하도록 하는 알고리즘이 사용되어 왔다. 이를 위하여, 중력 벡터의 방향을 균질하게 분포시키도록 하는 것이 중요하다. 균일하지 않은 분포의 경우에는 중력벡터의 불균일성으로 인하여 세포 등의 대상물에 미치는 오차로서의 영향이 증대될 수 있기 때문이다.

[0006] 그러나, 종래의 미소중력 모사장치 및 제어방법을 통해 얻을 수 있는 중력벡터의 균일한 분포는 일정한 한계를 가지고 있다. 특히, 폴(pole)에서 집중적으로 중력벡터가 모이는 것을 분산시키기 어려운 문제가 있다. 다시 말하면, 폴에서 집중적으로 중력벡터가 모임으로써 중력벡터의 균일한 분포를 얻는 데에는 일정한 한계가 있다.

[0007] 따라서, 더욱 효과적으로 균일한 분포를 갖는 중력벡터를 생성하여 미세중력을 모사할 수 있는 장치 및 제어방법이 제공될 필요가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 종래의 중력 모사장치 및 이의 제어방법의 문제점을 해결하고자 함을 목적으로 한다.

[0009] 본 발명의 일실시예를 통해서, 중력벡터가 더욱 균일하게 분포될 수 있는 미세중력 모사장치 및 이의 제어방법을 제공하고자 한다.

[0010] 본 발명의 일실시예를 통해서, 중력벡터가 폴 위치에서 집중되는 것을 효과적으로 감소시킬 수 있는 미세중력 모사장치 및 이의 제어방법을 제공하고자 한다.

[0011] 본 발명의 일실시예를 통해서, 시간 경과에 따른 폴의 위치 오차를 효과적으로 감소시킬 수 있는 미세중력 모사장치 및 이의 제어방법을 제공하고자 한다.

[0012] 본 발명의 일실시예를 통해서, 세포 혹은 실험 시료가 받을 수 있는 평균 중력벡터가 매우 빠른 시간에 0으로

수렴할 수 있는 미세중력 모사장치 및 이의 제어방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0013] 전술한 목적을 구현하기 위하여, 본 발명의 일실시예에 따르면, 외측 프레임 및 상기 외측 프레임을 회전시키는 제1회전부; 상기 외측 프레임의 내측에 위치하는 내측 프레임 및 상기 내측 프레임을 회전시키는 제2회전부; 상기 제2회전부와 일체로 회전되도록 구비되고, 대상물이 수용된 용기가 장착되는 장착부; 그리고 상기 제1회전부와 제2회전부의 회전에 의해 생성되는 중력벡터의 좌표값이 위치하는 미소영역이 좁아질수록, 상기 중력벡터 방향의 변환 속도가 가변되도록 상기 제2회전부의 각속도를 제어하는 제어부를 포함하는 미세중력 모사장치가 제공될 수 있다.

[0014] 상기 제어부는, 상기 미소영역이 좁아질 수록 상기 중력벡터 방향의 변환 속도가 증가되도록 상기 제2회전부의 각속도를 제어할 수 있다.

[0015] 상기 제어부는, 상기 미소영역이 좁아질 수록 상기 제2회전부의 각속도가 증가되도록 제어할 수 있다.

[0016] 상기 제어부는, 상기 제2회전부의 각속도가 기설정된 최대값 이하가 되도록 제어함이 바람직하다.

[0017] 상기 제어부는, 상기 제2회전부의 각속도를 <수학식 1>

$$\omega(\theta) = \min\left(\frac{k}{\|\cos\theta\|}, \omega_{\max}\right)$$

[0018] 을 통해서 산출하며,
[0019]

[0020] 여기서, θ 는 미소영역(ds)이 가지는 위도의 값, $\omega(\theta)$ 는 제2회전부(6)의 각속도, k 와 $\omega_{\max}$ 는 실험 조건에 따라 변할 수 있는 상수값인 것이 바람직하다.

[0021] 상기 제2회전부의 각도를 센싱하는 센서를 더 포함할 수 있다. 상기 센서는 홀센서일 수 있다.

[0022] 중력벡터의 폭 위치에 대해서 시간이 지남에 따라 누적 오차가 발생하는 것을 감소시키기 위하여, 상기 센서에 서 감지된 각도값에 기반하여 상기 제2회전부의 각속도를 제어하기 위한, 피드백 제어기를 더 포함할 수 있다.

[0023] 상기 피드백 제어기는 상기 제어부에 포함될 수 있다.

[0024] 상기 제어부는 상기 제1회전부와 제2회전부의 회전을 각각 제어하기 위한 제1모터제어장치와 제2모터제어장치를 포함할 수 있다.

[0025] 상기 제어부에서 지령 각속도를 각각의 모터제어장치에 제공하면, 상기 모터제어장치는 지령 각속도를 추종하여 제1회전부와 제2회전부가 회전하도록 제어할 수 있다.

[0026] 상기 피드백 제어기는, 상기 센서에서 감지된 각도값을 통해 산출되는 각도 오차값을 입력받는 비례기를 포함할 수 있다.

[0027] 상기 피드백 제어기는, 현 단계와 이전 단계에서의 각도 오차값에 대한 차이값을 입력받는 미분기를 포함할 수 있다.

[0028] 상기 제어부는, 상기 피드백 제어기를 통해 보정된 제2회전부의 각속도를 상기 수학식 1과 비교하여 최종 제2회전부의 각속도를 결정하는 것이 바람직하다.

[0029] 전술한 목적을 구현하기 위하여, 본 발명의 일실시예에 따르면, 외측 프레임 및 상기 외측 프레임을 회전시키는 제1회전부, 상기 외측 프레임의 내측에 위치하는 내측 프레임 및 상기 내측 프레임을 회전시키는 제2회전부, 그리고 상기 제2회전부와 일체로 회전되도록 구비되고, 대상물이 수용된 용기가 장착되는 장착부를 포함하는 미세중력 모사장치의 제어방법에 있어서, 상기 제1회전부와 제2회전부를 회전시켜 미세중력을 모사하는 단계를 포함하고, 상기 미세중력 모사하는 단계는, 상기 제1회전부와 제2회전부의 회전에 의해 생성되는 중력벡터의 좌표값이 위치하는 미소영역이 좁아질수록, 상기 중력벡터 방향의 변환 속도가 가변되도록 상기 제2회전부의 각속도를 가변제어하는 단계를 포함함을 특징으로 하는 미세중력 모사장치의 제어방법이 제공될 수 있다.

[0030] 상기 미세중력 모사하는 단계는, 상기 제1회전부를 기설정된 각속도로 제어하는 단계를 포함할 수 있다.

[0031] 상기 제2회전부의 각속도 가변제어는, 상기 미소영역이 좁아질 수록 상기 중력벡터 방향의 변환 속도가 증가되

도록 수행됨이 바람직하다.

- [0032] 상기 제2회전부의 각속도 가변제어는, 상기 미소영역이 좁아질 수록 상기 제2회전부의 각속도가 증가되도록 수행됨이 바람직하다.
- [0033] 상기 제2회전부의 각속도 가변제어는, 상기 제2회전부의 각속도가 기설정된 최대값 이하가 되도록 제어함이 바람직하다.
- [0034] 상기 미세중력 모사장치 및 이의 제어방법에 따르면, 보다 균일한 분포를 갖는 중력벡터 분포를 얻을 수 있게 된다. 또한, 폴 위치에서의 중력벡터의 집중을 현저히 감소시킬 수 있다. 아울러, 폴 위치의 오차 발생을 현저히 감소시킬 수 있다.

발명의 효과

- [0035] 본 발명의 일실시예를 통해서, 중력벡터가 더욱 균일하게 분포될 수 있는 미세중력 모사장치 및 이의 제어방법을 제공할 수 있다.
- [0036] 본 발명의 일실시예를 통해서, 중력벡터가 폴 위치에서 집중되는 것을 효과적으로 감소시킬 수 있는 미세중력 모사장치 및 이의 제어방법을 제공할 수 있다.
- [0037] 본 발명의 일실시예를 통해서, 시간 경과에 따른 폴의 위치 오차를 효과적으로 감소시킬 수 있는 미세중력 모사장치 및 이의 제어방법을 제공할 수 있다.
- [0038] 본 발명의 일실시예를 통해서, 세포 혹은 실험 시료가 받을 수 있는 평균 중력벡터가 매우 빠른 시간에 0으로 수렴할 수 있는 미세중력 모사장치 및 이의 제어방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0039] 도 1은 본 발명에 적용할 수 있는 미세중력 모사장치의 일례를 도시하고,
- 도 2는 종래 미세중력 모사장치를 통한 중력벡터 분포를 도시하고,
- 도 3은 내측 프레임의 3차원 좌표계에서 위도, 미소영역 그리고 중력벡터의 관계를 도시하고,
- 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 미세중력 모사장치의 제어 구성을 도시하고 있다.
- 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 미세중력 모사장치를 통한 중력벡터 분포를 도시하고,
- 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 미세중력 모사장치에 적용된 피드백 제어 모습을 도시하고,
- 도 7은 종래 미세중력 모사장치를 통한 평균 중력벡터의 감소 추이를 도시하고,
- 도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 미세중력 모사장치를 통한 평균 중력벡터의 감소 추이를 도시하고,
- 도 9는 본 발명의 일실시예에 따른 미세중력 모사장치의 제어방법을 도시하고 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0040] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 일실시예에 따른 미세중력 모사장치 및 이의 제어방법에 대해서 상세히 설명한다.
- [0041] 먼저, 미세중력 모사장치에 대해서 상세히 설명한다.
- [0042] 도 1은 본 발명의 일실시예에 적용할 수 있는 모사장치에 대한 사시도이다.
- [0043] 도 1을 참조하면, 모사장치(10)는 제1회전축(4a)를 중심으로 회전하는 외측 프레임(1)과 외측 프레임(1)의 내측에서 제2회전축(6a)를 중심으로 회전하는 내측 프레임(7)을 포함할 수 있다.
- [0044] 상기 모사장치(10)는 상기 내측 프레임(7)과 연동하여 회전하며, 대상물이 수용되는 장착부(2)를 포함할 수 있다. 상기 장착부에는 대상물인 미생물, 세포 또는 조직 등이 배치와 함께 장착될 수 있다. 즉, 상기 장착부(2)는 배치 용기가 장착되도록 구비될 수 있다. 따라서, 상기 장착부를 배치 장착부 내지는 배치 용기 장착부라 할 수 있다.
- [0045] 상기 외측 프레임(1)의 내측에 내측 프레임(7)이 위치되고, 상기 내측 프레임(7)의 내측에 장착부(2)가 위치될

수 있다.

- [0046] 상기 외측 프레임(1)을 회전시키기 위한 제1회전부(4)가 구비되고, 상기 내측 프레임(7)을 회전시키기 위한 제2회전부(6)가 구비될 수 있다. 상기 제1회전부(4)는 제1회전축(4a)과 동축을 갖도록 구비될 수 있으며, 상기 제2회전부(6)는 제2회전축(6a)과 동축을 갖도록 구비될 수 있다.
- [0047] 상기 모사장치(10)는 베이스(3)와 상기 베이스(3)에서 수직하게 연장 형성된 한 쌍의 지지바(3a, 3b)를 포함할 수 있다. 상기 한 쌍의 지지바(3a, 3b) 사이에 회전 가능하게 구비되는 외측 프레임(1)이 구비될 수 있다.
- [0048] 도시된 바와 같이, 제1회전축(4a)과 제2회전축(4b)는 서로 직교를 이루도록 형성되며, 제어부(20)를 통해서 제1회전부(4)와 제2회전부(6)의 회전 구동이 제어될 수 있다.
- [0049] 세포와 같은 대상물이 배지 용기에 수용된 상태에서 상기 장착부(2)에 장착되고, 상기 제어부(20)의 제어에 의해 상기 제1회전부(4) 및 제2회전부(6)는 상기 외측 프레임(1)과 내측 프레임(7)을 회전시키게 된다. 즉, 상기 제1회전부(4)와 제2회전부(6)를 통해서 외측 프레임(1)과 내측 프레임(7)이 회전함에 따라, 상기 장착부(2)는 상기 제1회전축(4a) 및 제2회전축(6a)을 중심으로 회전하게 되며, 이에 의해 상기 대상물에 가속도가 작용하여 원하는 중력수준이 모사된다.
- [0050] 그러나, 종래의 모사장치 및 이의 제어방법은, 상기 제1회전부(4)와 제2회전부(6)가 각각 별개의 각속도로 회전하도록 제어하는 것에 불과하였다. 다시 말하면, 기설정된 각각의 각속도에 추종하여 외측 프레임(1)과 내측 프레임(7)이 회전되도록 하여, 배지 내에 수용된 대상물에 대해서 기설정된 중력수준을 모사할 수 밖에 없었다.
- [0051] 도 2는 종래의 미세중력 모사 알고리즘에서의 중력벡터 분포를 도시하고 있다.
- [0052] 도시된 바와 같이, xyz 3차원 좌표에서 폴(pole) 위치 즉 (0, 1, 0) 좌표와 (0, -1, 0)에서 중력벡터가 집중되는 것을 관찰할 수 있다. 다시 말하면, 두 개의 폴 위치에서 중력벡터가 집중되어 밀도가 높아지는 것을 볼 수 있다.
- [0053] 따라서, 중력벡터가 폴 위치에 집중됨으로써, 균일한 분포를 갖는 중력벡터를 얻는데 일정한 한계가 따를 수 밖에 없다.
- [0054] 도 3은 내측 프레임(7)에 대한 xyz 3차원 좌표계에서, 중력벡터와 중력벡터가 세포 혹은 실험 시료에 영향을 미칠 때 중력벡터의 좌표값이 위치하는 미소영역(ds)을 도시하고 있다.
- [0055] 미소영역(ds)이 가지는 위도의 값을 θ 라 하면, 미소영역에 해당될 때 제2회전부(6)의 각속도는 $\omega(\theta)$ 라 할 수 있다. 그리고 미소영역(ds)은 $2\pi r^2 \cos\theta d\theta$ 라고 할 수 있다.
- [0056] 따라서, 미소영역은 위도 θ 값이 변함에 따라 변함을 알 수 있다. 즉, 미소영역의 면적 또는 폭은 위도 θ 값이 변함에 따라 달라짐을 알 수 있다.
- [0057] 본 발명인은 중력벡터가 세포 혹은 실험 시료에 영향을 미칠 때, 중력벡터의 좌표값이 위치하는 미소영역(ds)이 좁아지면 좁아진 미소영역을 좀 더 빨리 벗어나도록 함으로써, 폴에서의 중력벡터 집중이 완화될 수 있음에 주목할 수 있었다.
- [0058] 다시 말하면, 미소영역이 좁아질 때 더 빨리 중력 벡터의 방향을 변화시킴으로써, 폴에서의 중력벡터 집중이 완화될 수 있다.
- [0059] 중력 벡터의 방향 변화를 위해서 각속도의 증가 내지는 감소를 고려해 볼 수 있다.
- [0060] 코사인 함수의 특성 상, 위도 θ 가 $\pi/2$ 그리고 $3\pi/2$ 에 접근할 수록 점차 작아져 0에 수렴한다. 즉, 위도 θ 가 $\pi/2$ 그리고 $3\pi/2$ 에 접근할 수록 미소영역 ds는 점차 좁아지게 된다. 이는 미소영역이 $\cos\theta$ 에 비례하기 때문이다.
- [0061] 본 발명인은 미소영역 ds가 좁아질 수록 $\omega(\theta)$ 를 가변시켜 폴에서의 중력벡터 집중이 완화되도록 할 수 있다. 더욱 구체적으로는, $\omega(\theta)$ 를 증가시켜 폴에서의 중력벡터 집중이 완화되도록 할 수 있었다.
- [0062] 구체적으로, 코사인 함수의 역수($1/\cos\theta$)에 대한 절대값은 위도 θ 가 $\pi/2$ 그리고 $3\pi/2$ 에 접근할 수록 점차 증가한다. 그리고 위도 θ 가 $\pi/2$ 와 $3\pi/2$ 일 때에는 코사인 함수의 역수($1/\cos\theta$)에 대한 절대값은 무한대이다.
- [0063] 따라서, 코사인 함수와 코사인 함수의 역수를 이용하여 미소영역 ds가 좁아질 수록 각속도 $\omega(\theta)$ 를 증가하도록

할 수 있다. 반면, $\omega(\theta)$ 를 무한대로 증가시킬 수는 없으므로 각속도 $\omega(\theta)$ 의 최대값은 기설정될 수 있다. 다시 말하면, 미소영역 ds 가 좁아질 수록 각속도 $\omega(\theta)$ 를 증가시키되 기설정된 최대 각속도까지만 증가시킬 수 있다.

[0064] 상술한 관계를 반영하여, 제2회전부(6)의 각속도 $\omega(\theta)$ 는 다음과 같이 수학적 식 1로 나타낼 수 있다.

[0066] <수학적 식 1>

$$\omega(\theta) = \min\left(\frac{k}{\|\cos\theta\|}, \omega_{\max}\right)$$

[0067]

[0069] 즉, 미소영역 ds 가 좁아질 수록 각속도 $\omega(\theta)$ 는 증가하지만 최대값인 $\omega_{\max}$ 까지 최대 각속도를 제한하는 수식을 완성할 수 있다.

[0070] 미소영역은 $\cos\theta$ 에 비례한다. 반면에, 각속도 $\omega(\theta)$ 는 $\cos\theta$ 의 역수에 대한 절대값에 비례한다. 따라서, 미소영역과 각속도는 반대 경향을 갖는다고 할 수 있다. 즉, 미소영역이 감소함에 따라 각속도는 커지게 된다.

[0071] 각속도는 무한대로 커질 수 없으므로, 미소영역이 감소함에 따라 각속도가 증가하되, 최대값이 제한되도록 한 것이 수학적 식 1이라 할 수 있다.

[0072] 여기서, k 및 $\omega_{\max}$ 는 실험 조건에 따라 조절할 수 있는 상수값이다. 일례로, k 값은 0.119834 rad/s 이고 $\omega_{\max}$ 는 1.19834 rad/s 일 수 있다.

[0073] 그러므로, 본 발명의 일실시예에 따르면, 제2회전부(6)의 각속도는 기설정된 값을 추종하도록 제어되지 않으며, 일례로 수학적 식 1을 통해서 산출된 값을 추종하도록 제어될 수 있다.

[0074] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 미세중력 모사장치의 제어 구성을 도시하고 있다.

[0075] 제1회전부(4)와 제2회전부(6)는 모터를 포함할 수 있으며, 각각 제1모터제어장치(4b)와 제2모터제어장치(6b)를 통해서 회전이 제어될 수 있다.

[0076] 제어부(30)에서 각각의 모터제어장치에 각속도 값을 지령하면, 상기 모터제어장치는 지령된 각속도 값에 추종하여 회전부들이 회전하도록 제어할 수 있다.

[0077] 전술한 바와 같이, 본 실시예에서는 제2회전부의 각속도가 기설정된 각속도가 아닌 조건에 따라 가변되는 가변 제어를 수행한다. 또한, 폴 위치의 누적 오차를 줄이기 위해서 피드백 제어기(16)를 통해서 피드백 제어를 할 수 있다.

[0078] 이를 위해서, 제2회전부의 회전 각도를 감지하는 센서(15)가 구비될 수 있다. 상기 센서는 홀 센서를 포함할 수 있다.

[0079] 홀 센서에서 감지된 회전 각도가 피드백 제어기(16) 및/또는 제어부(20)에 입력되어, 제2모터제어장치(6b)를 통해서 제2회전부의 각속도가 가변제어되되, 오차 보정도 함께 수행될 수 있다.

[0080] 미세중력 모사장치는 UI(17)를 포함할 수 있다. 즉, 사용자 인터페이스를 포함할 수 있다. 실험자는 UI를 조작하여 미세중력 모사장치가 작동하도록 할 수 있으며, 모사하고자 하는 중력 수준을 변경하는 것도 가능할 수 있다.

[0081] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 미세중력 모사 알고리즘에서의 중력벡터 분포를 도시하고 있다.

[0082] 도 2에 도시된 종래의 중력벡터 분포와 비교해 보면, 중력벡터가 매우 개선된 형태로 균일하게 분포될 수 있음을 알 수 있다. 다시 말하면, 중력벡터의 밀도가 집중된 부분이 현저히 줄어들고 특히 폴 부분에서의 중력벡터의 집중이 현저히 감소되었음을 알 수 있다.

[0083] 한편, 본 발명인은 폴 위치의 경우 시간이 지남에 따라 누적 오차가 발생하여, 정확한 중력벡터의 수렴이 방해될 수 있음에 주목하였다. 따라서, 각속도 및 각속도 누적에 따른 각도의 오차를 보정하고자 하는 시도를 하였다.

[0084] 구체적으로, 도 6에 도시된 피드백 제어기를 탑재하여 각속도 및 각속도 누적에 따른 각도의 오차를 보정할 수 있다.

- [0085] 센서(16)를 통해 n 번째 단계의 실제 각도값이 입력되면, 이전 단계($n-1$ 단계)에서의 각도와 비교하여 각속도가 계산될 수 있다. 그리고, 현 단계에서의 각속도와 이전 단계에서의 각속도의 차이가 계산될 수 있다.
- [0086] 따라서, 실제 입력되는 현재의 각속도는 이전 단계에서의 도달하고자 하는 각속도(실제 입력되는 이전 단계에서의 각속도)와 비교하여 보정될 수 있다. 즉, 실제 입력되는 현재의 각속도는 상기 수학적 식 1을 통해서 최종적으로 결정될 수 있다.
- [0087] 구체적으로, 피드백 제어기는 센서(16, 일례로 홀센서)를 통해 감지한 실제 각도값에서 각도 오차를 계산하게 된다. 현재의 각도 오차는 비례기를 통해서 각속도 보정에 이용된다. 또한, 현재의 각도 오차와 이전 단계에서의 각도 오차의 차이는 미분기를 통해서 각속도 보정에 이용된다.
- [0088] 현재의 각속도는 이전 단계에서의 각속도, 비례기에서 입력된 성분 그리고 미분기에서 입력된 성분을 통해서 계산될 수 있다. 계산된 현재의 각속도는 수학적 식 1에 입력되어 최종적으로 현재의 각속도가 입력된다. 다시 말하면, 최종적으로 입력된 각속도를 추종하도록 제2회전부(6)의 회전이 제어된다.
- [0089] 전술한 바와 같이, 미세중력 모사에서는 평균 중력 벡터가 0으로 수렴해야 함을 설명한 바 있다. 여기서, 평균 중력벡터가 0으로 수렴하는 데 소요되는 시간이 중요하다. 다시 말하면, 평균 중력벡터의 0 수렴에 걸리는 시간이 짧은 수록 보다 효과적인 미세중력 모사가 수행될 수 있다.
- [0090] 도 7은 종래 미세중력 모사장치에서 x , y , z 축에 대한 평균 중력벡터의 변화와 평균 중력벡터 합의 변화를 도시하고 있다.
- [0091] 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 미세중력 모사장치에서 x , y , z 축에 대한 평균 중력벡터의 변화와 평균 중력벡터 합의 변화를 도시하고 있다.
- [0092] 도 7과 도 8에 도시된 그래프를 비교하면, x , y , z 축 각각의 평균 중력벡터 성분의 0 수렴 그리고 평균 중력벡터 합의 0 수렴에 도달하기까지의 시간이 현저히 차이남을 알 수 있다. 즉, 본 발명의 일실시예를 통해서 0 수렴에 도달하는 데 소요되는 시간이 현저히 줄어들었음을 알 수 있다.
- [0093] 따라서, 본 발명의 일실시예에 따르면, 중력벡터의 분포를 더욱 더 균일하게 생성할 수 있고, 평균 중력벡터가 더욱 빠른 시간에 0으로 수렴시킬 수 있음을 알 수 있다.
- [0094] 이하에서는, 도 9를 참조하여, 본 발명의 일실시예에 따른 미세중력 모사장치의 제어방법에 대해서 상세히 설명한다.
- [0095] 사용자가 UI를 통해서 미세중력 모사장치가 구동되도록 조작하면, 미세중력 모사 단계(S10)가 수행된다. 기설정된 시간 동안 미세중력 모사 단계가 수행될 수 있다. 물론, 기설정된 시간 경과 전에 사용자가 강제로 미세중력 모사 단계를 중지시킬 수 있다.
- [0096] 미세중력 모사 단계(S10)는 제1회전부 회전 단계(S11)와 제2회전부 회전 단계(S12)를 포함할 수 있다. 이러한 단계는 동시에 시작하여 동시에 종료할 수 있다.
- [0097] 상기 제1회전부 회전 단계(S11)는 기설정된 각속도를 추종하도록 수행될 수 있다. 즉, 기설정된 각속도는 미세중력 모사 단계 도중에 변경되지 않을 수 있다.
- [0098] 반면, 제2회전부 회전 단계(S12)는 가변되는 각속도를 추종하도록 수행될 수 있다. 즉, 제2회전부 각속도 가변 제어 단계(S13)가 수행될 수 있다.
- [0099] 여기서, 제2회전부 각속도는 전술한 수학적 식 1을 통해서 산출될 수 있다. 즉, 미소영역이 좁아질 수록 제2회전부 각속도는 더욱 크게 산출될 수 있다. 제2회전부 각속도가 증가함으로써 보다 균일한 중력벡터의 분포를 기대할 수 있다.
- [0100] 폴 위치는 시간이 지남에 따라 오차 누적으로 인해 고정되지 않을 수 있다. 따라서, 오차 누적을 최소화하여 폴 위치를 고정시킬 필요가 있다.
- [0101] 이를 위해서, 제2회전부의 회전 각도를 센싱하여 피드백 제어(S14)가 수행될 수 있다. 피드백 제어(S14)를 통해 산출되는 제2회전부의 각속도는 수학적 식 1에 반영되어 최종 지령 각속도가 산출될 수 있다.
- [0102] 본 발명의 일실시예에 따르면 미세중력 환경 모사를 통해서 다양한 의생명과학 실험에 있어서 실제 우주의 미세중력 환경에 최대한 근접된 미세중력 환경을 조성할 수 있음을 알 수 있다.

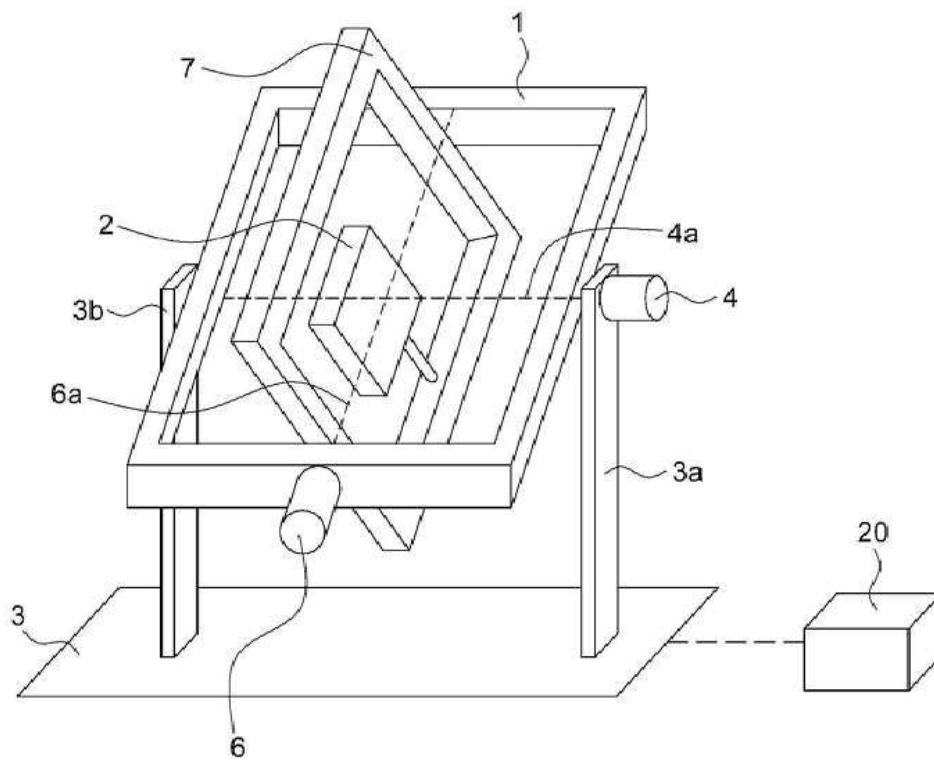
부호의 설명

[0103]

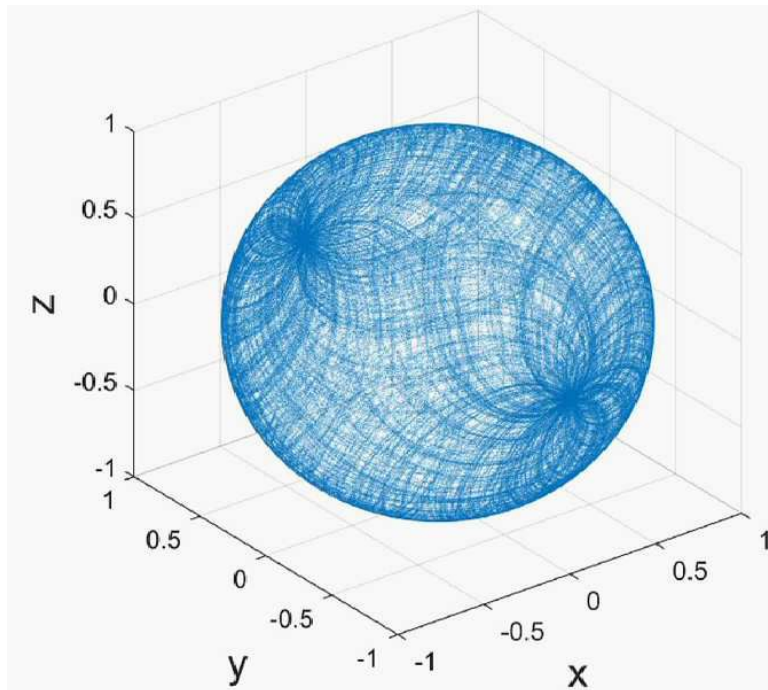
- 1...외측 프레임
- 2...(배지 용기) 장착부
- 3...베이스
- 4...제1회전부
- 6...제2회전부
- 7...내측 프레임
- 10...회전기
- 15...센서
- 16...피드백 제어기
- 17...UI
- 20...제어부

도면

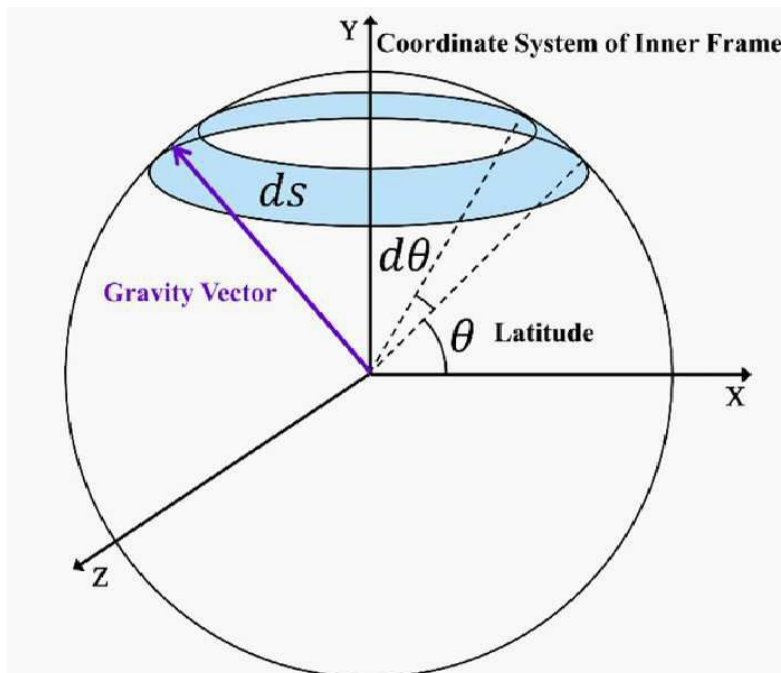
도면1



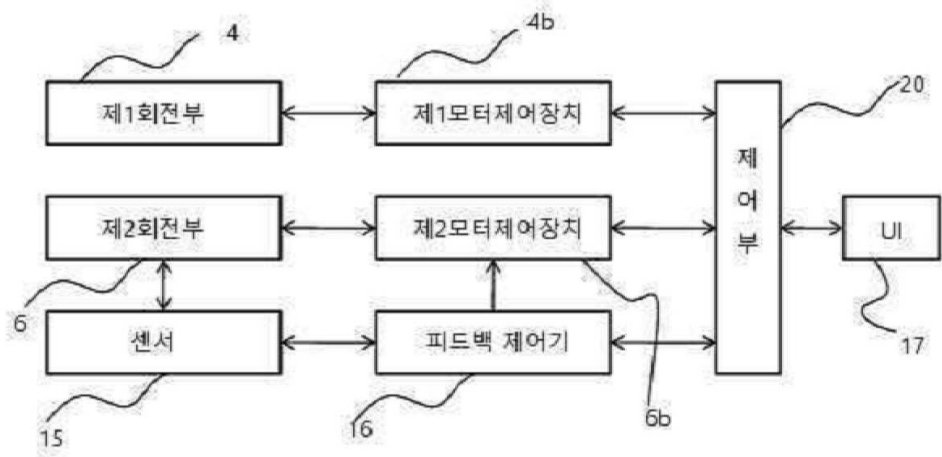
도면2



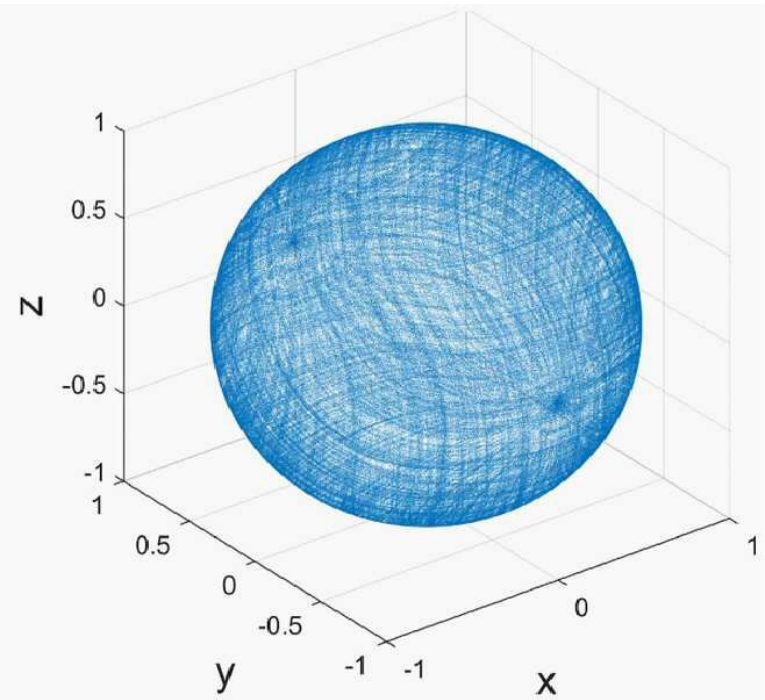
도면3



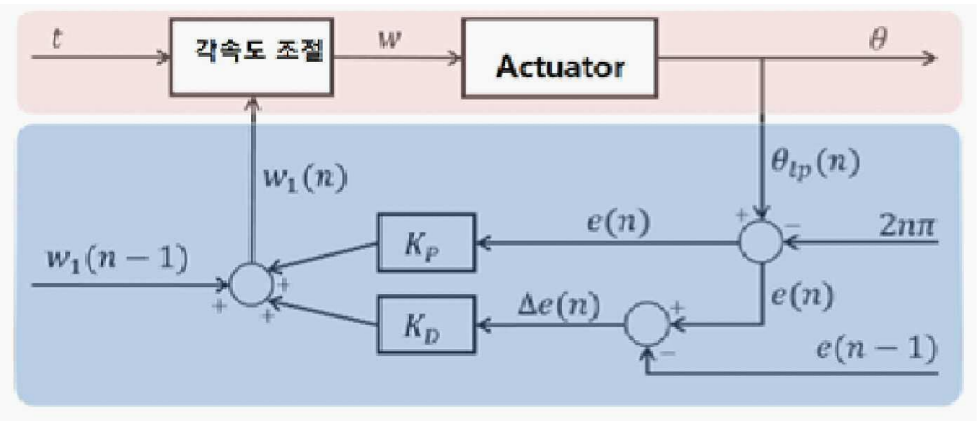
도면4



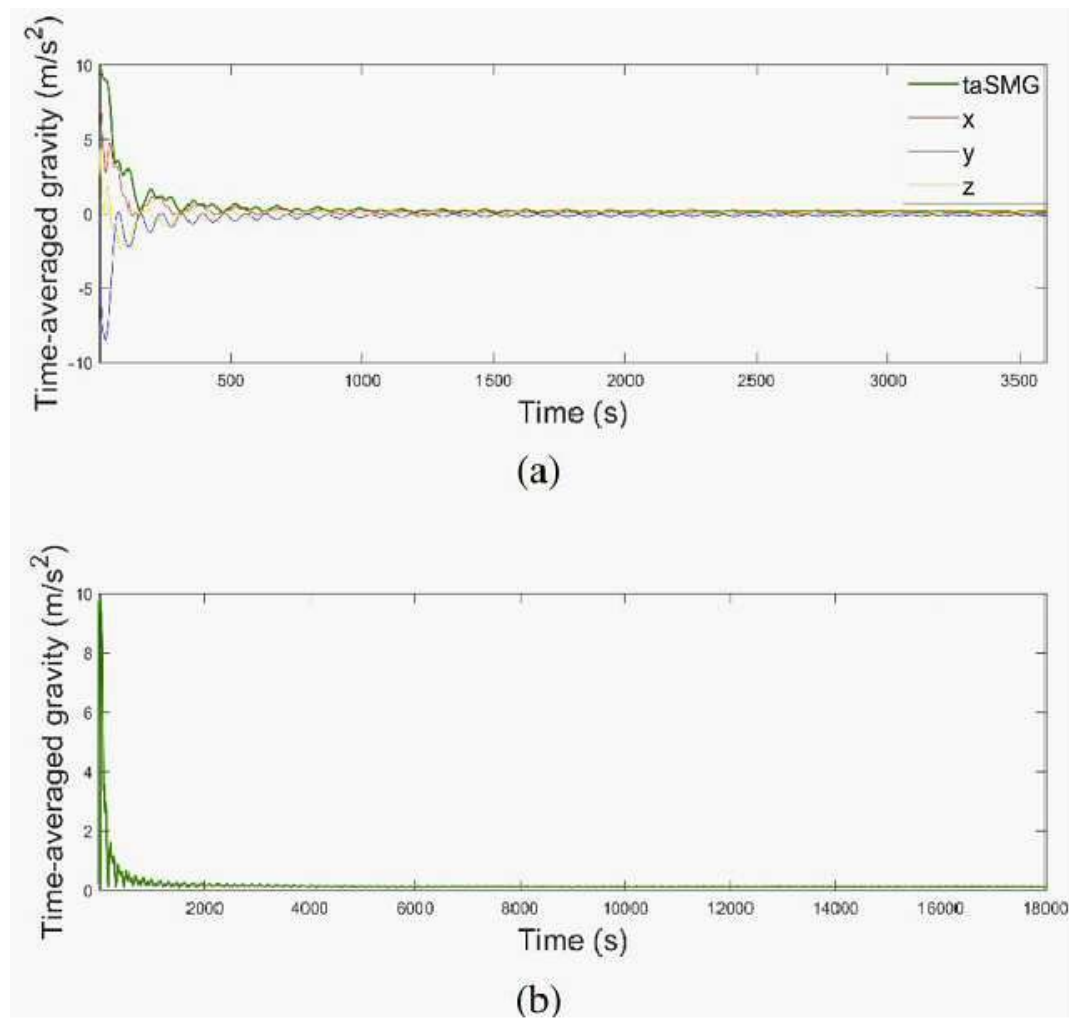
도면5



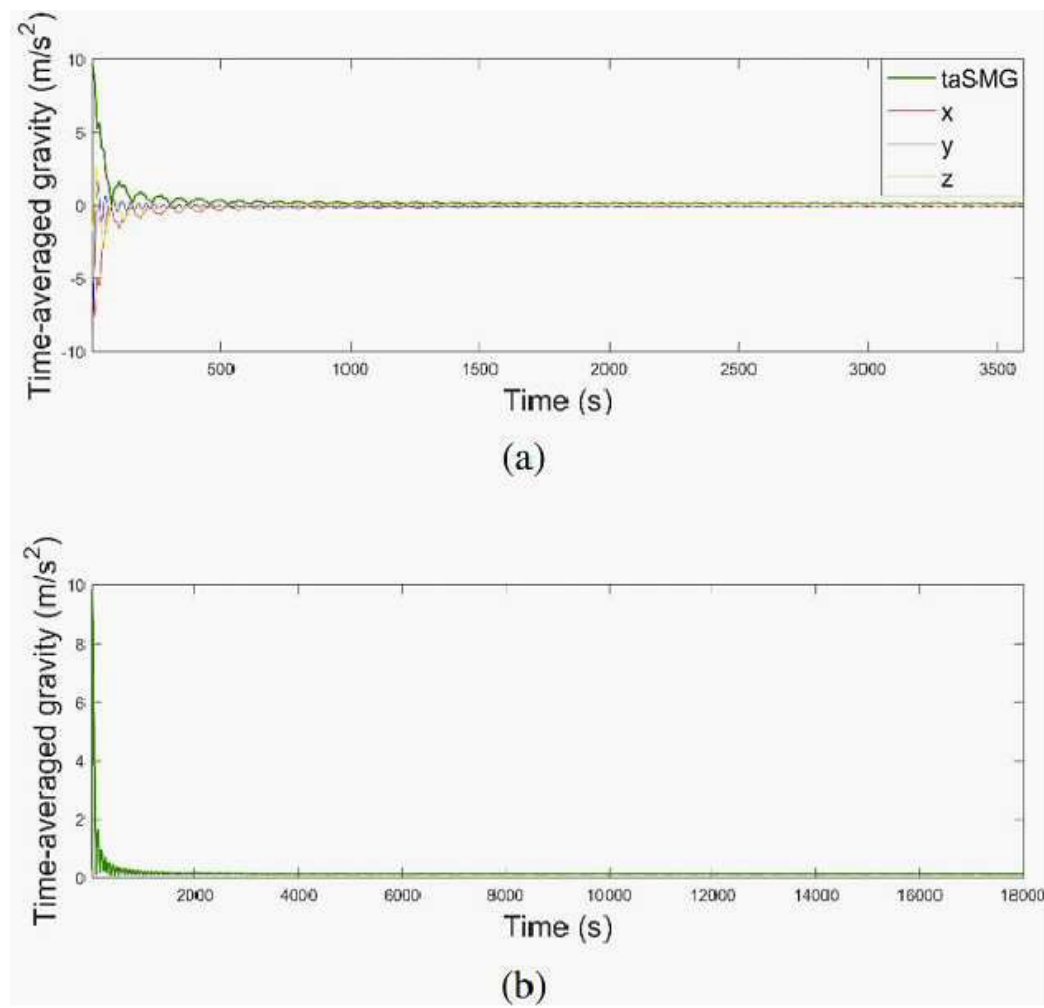
도면6



도면7



도면8



도면9

