



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0101223
(43) 공개일자 2019년08월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 5/103 (2006.01) A61B 5/11 (2006.01)
G01L 1/22 (2006.01) G01L 5/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61B 5/1038 (2013.01)
A61B 5/112 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0021291
(22) 출원일자 2018년02월22일
심사청구일자 2018년02월22일

(71) 출원인
주식회사 엔젤로보틱스
서울특별시 마포구 서강대길 3, 5층(신수동, 서강빌딩)
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
공경철
서울특별시 관악구 봉천로 387, 102동 1304호 (봉천동, 두산아파트)
김강현
서울특별시 양천구 신목로 23, 101동 612호(신정동, 현대아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
서현, 민복기

전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 지면반력 센서모듈, 지면반력 센서모듈을 구비한 신발, 지면반력 측정시스템 및 지면반력 측정방법

(57) 요약

본 발명은 지면반력 센서모듈, 지면반력 센서모듈을 구비한 신발, 지면반력 측정시스템 및 지면반력 측정방법에 대한 것으로서, 보다 상세하게는 사용자의 족저면에 작용하는 지면반력의 크기 및 분포를 정확하게 측정할 수 있으면서 내구성이 우수하고 유연하면서도 다양한 형태로 제작할 수 있는 지면반력 센서모듈, 지면반력 센서모듈을 구비한 신발 및 지면반력 측정시스템에 대한 것이다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

A61B 5/1123 (2013.01)

A61B 5/1126 (2013.01)

G01L 1/22 (2013.01)

G01L 5/0028 (2013.01)

(72) 발명자

나병훈

서울특별시 마포구 백범로 36-1, 301호 (신수동)

최현진

경기도 성남시 분당구 동판교로 123, 105동 2202호
(백현마을1단지판교푸르지오그랑블아파트)

정평국

경기도 안양시 동안구 호계2동 효성아파트
101-1708

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415152843

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 로봇산업핵심기술개발

연구과제명 3N 이하의 반복 힘 정밀도를 갖는 다리구동모듈을 기반으로 최고속도 5m/s 이상으로 주행
이 가능한 다족형 로봇 플랫폼 개발

기 여 율 1/1

주관기관 서강대학교산학협력단

연구기간 2017.07.01 ~ 2019.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

내부에 기체가 수용되며 밀폐된 하나의 챔버공간을 구비하며 탄성 재질로 구성되는 하우징;
상기 챔버공간 내부에 수직하게 상호 이격되어 구비되며, 탄성 재질로 구성되는 복수 개의 지지바; 및,
상기 챔버공간의 압력을 측정하기 위하여 상기 하우징 일측에 구비되는 기체압력센서;을 구비하며,
상기 기체압력센서에서 측정된 압력을 통해 지면 반력을 결정하기 위한 지면반력 센서모듈.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 지지바는 압력에 따라 부피 변화가 발생되지 않는 비압축성 재질로 구성되며, 상기 지지바의 높이 변화는
상기 챔버공간 내부의 기체의 압력변화를 발생시키는 것을 특징으로 하는 지면반력 센서모듈.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 복수 개의 지지바 사이의 거리는 상기 지지바의 최대 반지름 증가량의 두배 이상의 크기로 결정되며, 상기
최대 반지름 증가량은 족저면에 의해 작용할 수 있는 최대 족저압의 두배에 해당하는 압력이 작용한 경우에 상
기 지지바의 반지름 증가량으로 정의되는 것을 특징으로 하는 지면반력 센서모듈.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 기체압력센서는
상기 챔버공간의 일측에 구비되는 기체압력센서커버와,
상기 센서커버에 내장되는 기체압력센서를 포함하는 것을 특징으로 하는 지면반력 센서모듈.

청구항 5

제1항에 있어서,
복수 개의 상기 지지바는 육각 기둥 형태로 구성되며, 인접한 지지바의 마주보는 변은 평행하게 배치되는 것을
특징으로 하는 지면반력 센서모듈.

청구항 6

제1항 내지 제5항에 따른 지면반력 센서모듈이 복수 개가 분산 배치된 신발; 및,
상기 신발 착용자의 복수 개의 상기 지면반력 센서모듈에서 각각 측정된 압력을 각각의 지면반력 센서모듈 배치
영역에서의 지면반력으로 변환하는 제어부;를 구비하는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,
상기 제어부는 상기 지면반력을 하기 계산식에 의해 결정하며,

$$F = k \cdot \Delta P$$

여기서 F는 지면반력, k는 지면반력 교정계수, ΔP 는 상기 지면반력 센서모듈에서 측정된 압력의 변화로 정의되

는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제어부는

상기 지면반력 교정계수를 계산식에 의해 계산해서 결정하거나, 또는 미리 결정된 힘을 상기 지면반력 센서모듈에 가해서 측정된 압력의 변화에 의해 상기 지면반력 교정계수를 실험적으로 결정하는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 제어부는 상기 지면반력 교정계수를 하기 계산식에 의해 결정하며,

$$k = \frac{nEV_{air,0}A_{pillar}}{c\alpha}$$

여기서, n은 상기 지지바의 개수, E는 상기 지지바의 높이 변형율(ϵ)에 대한 수직응력(σ)의 비율, $V_{air,0}$ 는 하나의 탄성 재질로 구성되는 지지바를 중심으로 하는 가상의 셀유닛의 공기의 최초 부피, A_{pillar} 는 상기 지지바의 단면적, c는 보일상수(Boyle's constant), α 는 상기 $V_{air,0}$ 에 대한 하나의 탄성 재질로 구성되는 지지바를 중심으로 하는 가상의 셀유닛의 부피의 비율로 정의되는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정시스템.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 제어부는 상기 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈에 힘이 가해지지 않는 경우에 상기 지면반력 센서모듈에서 감지되는 지면반력을 센서 보정값으로 정의하며,

상기 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈에 힘이 가해지는 경우에 상기 지면반력 센서모듈을 통해 계산된 지면반력에서 상기 센서 보정값을 제외하여 상기 족저면의 지면반력을 계산하는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정시스템.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 제어부는

상기 지면반력 센서모듈을 통해 도출된 지면반력에 의해 상기 사용자의 족저면의 지면반력 분포를 측정하는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 제어부는

상기 지면반력 센서모듈을 통해 도출된 지면반력을 합산하여 사용자의 체중을 측정하는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정시스템.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 제어부는

상기 복수 개의 지면반력 센서모듈에서 각각 도출된 지면반력의 변화 상태를 통해 신발 착용자의 보행상태를 감

지하는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정시스템.

청구항 14

제1항 내지 제5항 중에 선택된 어느 한 항에 따른 지면반력 센서모듈이 적어도 하나 내장되어 사용자의 발에 착용할 수 있는 신발을 이용한 지면반력 측정방법에 있어서,

상기 지면반력 센서모듈을 이용하여 압력 또는 압력의 변화를 측정하는 단계; 및

상기 측정된 압력에 의해 족저면에 작용하는 지면반력의 크기 또는 분포를 측정하는 단계를 포함하고,

상기 족저면에 작용하는 지면반력의 크기 또는 분포를 측정하는 단계는 상기 측정된 압력의 변화를 지면반력의 크기로 변환시키는 지면반력 교정계수를 도출하는 단계, 상기 지면반력 센서모듈의 센서 보정값을 구하는 단계, 상기 지면반력의 크기 또는 분포를 도출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 지면반력 교정계수를 도출하는 단계에서,

상기 지면반력 교정계수를 계산식에 의해 계산해서 결정하거나, 또는 미리 결정된 힘을 상기 지면반력 센서모듈에 가해서 측정된 압력 또는 압력의 변화에 의해 상기 지면반력 교정계수를 실험적으로 결정하는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 지면반력 교정계수를 도출하는 단계에서 상기 지면반력 교정계수는 하기 계산식에 의해 결정되며,

$$k = \frac{nEV_{air,0}A_{pillar}}{ca}$$

여기서, n은 상기 지지바의 개수, E는 상기 지지바의 높이 변형율(ε)에 대한 수직응력(σ)의 비율, $V_{air,0}$ 는 하나의 탄성 재질로 구성되는 지지바를 중심으로 하는 가상의 셀유닛의 공기의 최초 부피, A_{pillar} 는 상기 지지바의 단면적, c는 보일상수(Boyle's constant), a는 상기 $V_{air,0}$ 에 대한 하나의 탄성 재질로 구성되는 지지바를 중심으로 하는 가상의 셀유닛의 부피의 비율로 정의되는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정방법.

청구항 17

제14항에 있어서,

상기 지면반력 센서모듈의 센서 보정값을 구하는 단계에서

상기 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈에 힘이 가해지지 않는 경우에 상기 지면반력 센서모듈에서 감지되는 지면반력을 센서 보정값으로 정의하는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 지면반력의 크기 또는 분포를 도출하는 단계에서 상기 지면반력의 크기는 하기식으로 계산되며,

$$F = k \cdot \Delta P$$

여기서 F는 지면반력, k는 지면반력 교정계수, ΔP 는 상기 지면반력 센서모듈에서 측정된 압력의 변화로 정의되는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정방법.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 지면반력의 크기 또는 분포를 도출하는 단계에서

상기 계산된 지면반력의 크기에서 상기 센서 보정값을 제외하여 상기 족저면의 지면반력을 계산하는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정방법.

청구항 20

제18항에 있어서,

상기 지면반력의 크기 또는 분포를 도출하는 단계에서

상기 지면반력 센서모듈을 통해 도출된 지면반력에 의해 상기 사용자의 족저면의 지면반력 분포, 신발 착용자의 체중 또는 신발 착용자의 보행상태를 결정하는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 지면반력 센서모듈, 지면반력 센서모듈을 구비한 신발, 지면반력 측정시스템 및 지면반력 측정방법에 대한 것으로서, 보다 상세하게는 사용자의 족저면에 작용하는 지면반력의 크기 및 분포를 정확하게 측정할 수 있으면서 내구성이 우수하고 유연하면서도 다양한 형태로 제작할 수 있는 지면반력 센서모듈, 지면반력 센서모듈을 구비한 신발 및 지면반력 측정시스템에 대한 것이다.

배경 기술

- [0002] 일반적으로 사람이 보행하는 중에 지면에서 족저면을 통해 지면반력이 작용하게 되며, 상기 지면반력은 보행주기에 따라 변화하게 된다. 도 1은 보행자의 보행주기에서 하체의 움직임을 도시한다.
- [0003] 도 1을 참조하여 보행자의 오른발을 기준으로 보행주기(gait cycle)를 분석하면, 다음과 같이 두 개의 단계(phase)로 나눌 수 있다.
- [0004] 최초 오른발 족저면의 후단(발꿈치)이 접지 후 왼발이 앞으로 나아가고, 오른발의 족저면의 선단이 다시 지면에서 분리되는 순간 까지를 전체 주기의 60%로 보고 이를 입각기(stance phase)라고 하며, 이후 오른발이 공중에 떠서 앞으로 이동한 뒤 족저면의 후단이 다시 땅에 닿을 때까지를 유각기(swing phase)로 구분될 수 있다.
- [0005] 도 1에 도시된 오른발의 입각기는 보행자의 오른발 족저면의 후단이 지면에 접촉하는 도 1(a)에 도시된 초기 입각기(loading Response) 단계, 보행자의 족저면 전체가 지면에 접촉되는 도 1(b)에 도시된 중기 입각기(mid-stance) 단계가 수행된다.
- [0006] 이때, 상기 중기 입각기(mid-stance) 단계에서 유각기가 진행되는 왼발이 전방으로 스윙하여 도 1(c)에 도시된 말기 입각기(terminal stance) 단계가 수행되면 보행자는 전방으로 보행이 가능할 수 있다.
- [0007] 이후, 유각기가 진행되던 왼쪽 발의 후단이 지면에 접촉하여 하중을 지지하기 시작하면서, 오른발의 족저면의 선단이 이격되기 시작하는 도 1(d)에 도시된 예비 유각기(pre-swing) 단계가 수행될 수 있다.
- [0008] 앞서 살펴본 바와 같이, 양발의 어느 한 쪽의 발을 기준으로 상기 발이 입각기에 있는 경우에 지면에서 족저면을 향해 지면반력이 작용하게 된다. 이러한 지면반력의 크기는 입각기 중에 계속적으로 변화하게 되며, 특히 족저면의 전영역에 일정하게 작용하는 것이 아니라 족저면의 영역에 따라 지면반력이 작용하는 분포 및/또는 크기가 변화하게 된다.
- [0009] 이러한 지면반력의 크기와 분포에 대한 정보는 인간의 보행 단계 인식, 동작 의도 파악, 인체의 역동역학 계산 등과 같은 다양한 분야에서 사용될 수 있다. 특히, 하체 마비 환자, 재활 환자 또는 고령자의 하체에 보조력을 제공하여 보행을 안내하거나 보조하는 하체보조로봇 등이 최근 많이 개발되고 있는데, 이러한 하체보조로봇은 보행자의 대퇴부(또는 고관절) 및 하퇴부(또는 슬관절) 등과 같은 관절부위에 보조력을 제공하게 된다. 이와 같이 보조력을 제공하는 경우에 착용자가 보행 중에 족저면을 통해 작용하는 지면반력의 분포 및/또는 크기를 알게 되면 착용자의 각 관절에 정확한 보조력을 제공할 수 있다.
- [0010] 최근 각종 웨어러블(wearable) 장비를 이용하여 착용자의 신체 정보를 얻고 이를 분석하는 연구 및 개발이 활발하게 일어나고 있으며, 족저면의 족저압을 측정하기 위한 다양한 장비가 개발되었다. 도 2는 사용자의 족저면에

작용하는 족저압을 측정하기 위한 종래기술에 따른 센서장치의 예시를 도시한다.

- [0011] 도 2(a)는 사용자의 족저면에 작용하는 족저압을 측정하기 위한 종래의 필름 타입 센서(3000A)를 도시한다.
- [0012] 이러한 필름 타입 센서(3000A)는 회로부(3110)를 구비한 얇은 필름부(3100)의 형태로 제작된다. 상기 회로부(3110)는 신호라인(3120)을 통해 측정값을 제어부로 전달하게 된다.
- [0013] 상기 필름 타입 센서(3000A)는 작고 두께가 얇기 때문에 신발에 용이하게 부착할 수 있으며, 사용자가 착용 시 이물감을 줄일 수 있고, 나아가 비교적 단순한 회로구성에 의해 족저압을 측정할 수 있다.
- [0014] 한편, 도 2(b)는 사용자의 족저면에 작용하는 족저압을 측정하기 위한 종래의 족저압 측정센서(3000B)를 도시한다. 이러한 족저압 측정센서(3000B)는 족저면의 하부에 복수개로 구비될 수 있다. 각 기체압력센서는 튜브(3200A, 3200B) 내부의 소정의 내부공간에 유체를 밀봉하고, 족저면에 의해 압력이 가해지는 경우에 유체의 압력을 센서(3220A, 3220B)로 측정하여 족저압을 측정하게 된다.
- [0015] 하지만, 전술한 필름 타입 센서는 얇은 필름 형태로 제작되기 때문에 감도 조절이 쉽지 않고 부착면이나 부하면의 상태에 따라 센서에서 측정된 족저압의 측정값이 달라질 수 있다. 그리고 장기간 사용하는 경우에 전단응력에 의해 필름이 벗겨지는 등의 내구성 문제와, 측정값이 변화하여 교정(calibration)이 필요하다.
- [0016] 또한, 종래의 족저압 측정센서는 가압부위의 압력(족저압) 정보만 제공되어 이를 즉시 지면반력 정보로 활용할 수 없다는 한계가 있다.
- [0017] 특히, 도 2(b)에 도시된 튜브 타입의 족저압 측정센서 등은 튜브의 일부구간이 폐색되는 경우, 정확한 족저압의 측정이 불가능하고 압력 측정의 감도가 낮아 정밀한 보행주기 분석에는 한계가 있다.
- [0018] 도 3은 사용자의 보행 시에 지면반력을 측정하기 위한 종래 시스템을 도시한다.
- [0019] 상기 시스템은 시험자가 상부에서 보행하는 보행플레이트(3500)와 사용자의 움직임을 인식하는 모션카메라(3600)를 구비한다. 따라서, 사용자가 상기 보행플레이트(3500)의 위에서 보행을 하는 경우에 상기 모션카메라(3600)에 의해 사용자의 움직임을 인식하여 상기 보행플레이트(3500)를 통해 지면반력을 감지하게 된다.
- [0020] 하지만, 도 3에 도시된 종래 시스템은 보행플레이트(3500)와 모션카메라(3600)와 같이 상당히 고가의 장비를 필요로 하여 장소 및 환경과 무관하게 지면 반력을 측정할 수 없으므로, 지면 반력을 통한 보행주기 분석 및 착용형 로봇의 보조력 결정 등에 어려움이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0021] 본 발명은 족저면 등의 부하대상물의 모양이 변화하거나, 접촉면적의 변화에 관계없이 족저면의 지면반력을 정확하게 측정할 수 있는 지면반력 센서모듈을 제공하는 것을 해결하고자 하는 과제로 한다.
- [0022] 또한, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 유연하면서도 내구성이 좋으며 다양한 형태로 제작할 수 있는 지면반력 센서모듈을 제공하는 것을 해결하고자 하는 과제로 한다.
- [0023] 또한, 본 발명은 사용자가 착용하는 신발 등에 내장되는 경우에 내구성이 우수하며, 신발 또는 안창 등의 형태로 제작할 수 있는 지면반력 센서모듈 및 이를 구비한 신발을 제공하는 것을 해결하고자 하는 과제로 한다.
- [0024] 또한, 본 발명은 장소와 환경에 무관하게 사용자의 지면반력을 측정할 수 있는 지면반력 측정시스템 및 측정방법을 제공하는 것을 해결하고자 하는 과제로 한다.
- [0025] 또한, 본 발명은 평평한 지면뿐만 아니라 평평하지 않은 경사면 또는 계단 등의 환경에서 보행하는 경우에도 지면반력을 측정할 수 있는 지면반력 측정시스템을 제공하는 것을 해결하고자 하는 과제로 한다.

과제의 해결 수단

- [0026] 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명은 내부에 기체가 수용되며 밀폐된 하나의 챔버공간을 구비하며 탄성 재질로 구성되는 하우징; 상기 챔버공간 내부에 수직하게 상호 이격되어 구비되며, 탄성 재질로 구성되는 복수 개의 지지바; 및, 상기 챔버공간의 압력을 측정하기 위하여 상기 하우징 일측에 구비되는 기체압력센서;를 구비하며, 상기 기체압력센서에서 측정된 압력을 통해 지면 반력을 결정하기 위한 지면반력 센서모듈을 제공할 수 있

다.

[0027] 이 경우, 상기 지지바는 압력에 따라 부피 변화가 발생되지 않는 비압축성 재질로 구성되어, 상기 지지바의 높이 변화는 상기 챔버공간 내부의 기체의 압력변화를 발생시킬 수 있다.

[0028] 그리고, 상기 복수 개의 지지바 사이의 거리는 상기 지지바의 최대 반지름 증가량의 두배 이상의 크기로 결정되며, 상기 최대 반지름 증가량은 족저면에 의해 작용할 수 있는 최대 족저압의 두배에 해당하는 압력이 작용한 경우에 상기 지지바의 반지름 증가량으로 정의될 수 있다.

[0029] 여기서, 상기 기체압력센서는 상기 챔버공간의 일측에 구비되는 기체압력센서커버와, 상기 센서커버에 내장되는 기체압력센서를 포함할 수 있다.

[0030] 또한, 복수 개의 상기 지지바는 육각 기둥 형태로 구성되며, 인접한 지지바의 마주보는 변은 평행하게 배치될 수 있다.

[0031] 또한, 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명은 전술한 지면반력 센서모듈이 복수 개가 분산 배치된 신발; 및, 상기 신발 착용자의 복수 개의 상기 지면반력 센서모듈에서 각각 측정된 압력을 각각의 지면반력 센서모듈 배치 영역에서의 지면반력으로 변환하는 제어부;를 구비하는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정시스템을 제공할 수 있다.

[0032] 이 경우, 상기 제어부는 상기 지면반력을 하기 계산식에 의해 결정하며, $F = k \cdot \Delta P$ 여기서 F는 지면반력, k는 지면반력 교정계수, ΔP 는 상기 지면반력 센서모듈에서 측정된 압력의 변화로 정의될 수 있다.

[0033] 그리고, 상기 지면반력 교정계수를 계산식에 의해 계산해서 결정하거나, 또는 미리 결정된 힘을 상기 지면반력 센서모듈에 가해서 측정된 압력의 변화에 의해 상기 지면반력 교정계수를 실험적으로 결정할 수 있다.

[0034] 여기서, 상기 제어부는 상기 지면반력 교정계수를 하기 계산식에 의해 결정하며,

$$k = \frac{nEV_{air,0}A_{pillar}}{ca}$$

[0035] 여기서, n은 상기 지지바의 개수, E는 상기 지지바의 높이 변형율(ϵ)에 대한 수직응력(σ)의 비율, $V_{air,0}$ 는 하나의 탄성 재질로 구성되는 지지바를 중심으로 하는 가상의 셀유닛의 공기의 최초 부피, A_{pillar} 는 상기 지지바의 단면적, c는 보일상수(Boyle's constant), a는 상기 $V_{air,0}$ 에 대한 하나의 탄성 재질로 구성되는 지지바를 중심으로 하는 가상의 셀유닛의 부피의 비율로 정의될 수 있다.

[0037] 또한, 상기 제어부는 상기 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈에 힘이 가해지지 않는 경우에 상기 지면반력 센서모듈에서 감지되는 지면반력을 센서 보정값으로 정의하며, 상기 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈에 힘이 가해지는 경우에 상기 지면반력 센서모듈을 통해 계산된 지면반력에서 상기 센서 보정값을 제외하여 상기 족저면의 지면반력을 계산할 수 있다.

[0038] 이 경우, 상기 제어부는 상기 지면반력 센서모듈을 통해 도출된 지면반력에 의해 상기 사용자의 족저면의 지면반력 분포를 측정할 수 있다.

[0039] 그리고, 상기 제어부는 상기 지면반력 센서모듈을 통해 도출된 지면반력을 합산하여 사용자의 체중을 측정할 수 있다.

[0040] 여기서, 상기 제어부는 상기 복수 개의 지면반력 센서모듈에서 각각 도출된 지면반력의 변화 상태를 통해 신발 착용자의 보행상태를 감지할 수 있다.

[0041] 또한, 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명은 전술한 지면반력 센서모듈이 적어도 하나 내장되어 사용자의 발에 착용할 수 있는 신발을 이용한 지면반력 측정방법에 있어서,

[0042] 상기 지면반력 센서모듈을 이용하여 압력 또는 압력의 변화를 측정하는 단계; 및 상기 측정된 압력에 의해 족저면에 작용하는 지면반력의 크기 또는 분포를 측정하는 단계를 포함하고, 상기 족저면에 작용하는 지면반력의 크기 또는 분포를 측정하는 단계는 상기 측정된 압력의 변화를 지면반력의 크기로 변환시키는 지면반력 교정계수를 도출하는 단계, 상기 지면반력 센서모듈의 센서 보정값을 구하는 단계, 상기 지면반력의 크기 또는 분포를 도출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 지면반력 측정방법을 제공할 수 있다.

[0043] 이 경우, 상기 지면반력 교정계수를 도출하는 단계에서, 상기 지면반력 교정계수를 계산식에 의해 의해 계산해서 결정하거나, 또는 미리 결정된 힘을 상기 지면반력 센서모듈에 가해서 측정된 압력 또는 압력의 변화에 의해 상기 지면반력 교정계수를 실험적으로 결정할 수 있다.

[0044] 그리고, 상기 지면반력 교정계수를 도출하는 단계에서 상기 지면반력 교정계수는 하기 계산식에 의해 의해 결정되며,

$$k = \frac{nEV_{air,0}A_{pillar}}{c\alpha}$$

[0045]

[0046] 여기서, n은 상기 지지바의 개수, E는 상기 지지바의 높이 변형율(ε)에 대한 수직응력(σ)의 비율, $V_{air,0}$ 는 하나의 탄성 재질로 구성되는 지지바를 중심으로 하는 가상의 셀유닛의 공기의 최초 부피, A_{pillar} 는 상기 지지바의 단면적, c는 보일상수(Boyle's constant), α 는 상기 $V_{air,0}$ 에 대한 하나의 탄성 재질로 구성되는 지지바를 중심으로 하는 가상의 셀유닛의 부피의 비율로 정의될 수 있다.

[0047] 여기서, 상기 지면반력 센서모듈의 센서 보정값을 구하는 단계에서

[0048] 상기 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈에 힘이 가해지지 않는 경우에 상기 지면반력 센서모듈에서 감지되는 지면반력을 센서 보정값으로 정의할 수 있다.

[0049] 또한, 상기 지면반력의 크기 또는 분포를 도출하는 단계에서 상기 지면반력의 크기는 하기식으로 계산되며, $F = k \cdot \Delta P$ 여기서 F는 지면반력, k는 지면반력 교정계수, ΔP 는 상기 지면반력 센서모듈에서 측정된 압력의 변화로 정의될 수 있다.

[0050] 이 경우, 상기 지면반력의 크기 또는 분포를 도출하는 단계에서 상기 계산된 지면반력의 크기에서 상기 센서 보정값을 제외하여 상기 족저면의 지면반력을 계산할 수 있다.

[0051] 그리고, 상기 지면반력의 크기 또는 분포를 도출하는 단계에서 상기 지면반력 센서모듈을 통해 도출된 지면반력에 의해 상기 사용자의 족저면의 지면반력 분포, 신발 착용자의 체중 또는 신발 착용자의 보행상태를 결정할 수 있다.

발명의 효과

[0052] 본 발명에 따르면 유연하면서도 내구성이 좋으며 다양한 형태로 제작할 수 있는 지면반력 센서모듈을 제공할 수 있다.

[0053] 또한, 본 발명에 따르면 족저면과 같은 부하대상물의 모양이 변화하거나, 접촉면적의 변화에 관계없이 족저면의 지면반력을 정확하게 측정할 수 있다.

[0054] 나아가, 본 발명에 따르면 사용자가 착용하는 신발 등에 내장되는 경우에 내구성이 우수하며, 신발의 형태로 제작할 수 있어 편리성을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0055] 도 1은 보행자의 보행주기에서 유각기의 하체의 움직임을 도시한다.

도 2는 종래 기술에 따른 족저압 센서를 도시한다.

도 3은 종래 기술에 따른 지면반력 측정장치를 도시한다.

도 4는 본 발명에 따른 지면반력 센서모듈의 사시도를 도시한다.

도 5는 탄성 재질로 구성되는 지지바의 사시도를 도시한다.

도 6은 서로 이웃한 탄성 재질로 구성되는 지지바를 도시한 도면을 도시한다.

도 7은 상기 지면반력 센서모듈의 내부 구성을 도시한 사시도를 도시한다.

도 8은 하나의 탄성 재질로 구성되는 지지바를 포함한 가상의 셀유닛의 측면도를 도시한다.

도 9는 상기 지면반력 센서모듈에 실제 작용한 지면반력의 크기와 측정된 지면반력의 크기를 비교한 그래프를

도시한다.

도 10은 부하면과 하우징의 다양한 형태에 따른 실험 상태를 도시한 도면을 도시한다.

도 11은 종래기술에 따른 필름 타입 센서와 본 발명에 따른 지면반력 센서모듈에 의해 측정된 지면반력의 오차를 비교한 그래프를 도시한다.

도 12는 상기 지면반력 센서모듈이 구비된 신발의 평면도를 도시한다.

도 13은 지면반력 측정시스템의 구성을 도시한 개략도를 도시한다.

도 14는 지면반력 교정계수를 구하기 위한 실험결과를 도시한 그래프를 도시한다.

도 15는 지면반력분포를 측정한 결과를 도시한 그래프를 도시한다.

도 16은 일 실시예에 따른 하체보조로봇을 도시한 사시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0056] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 상세히 설명하기로 한다. 그러나, 본 발명은 여기서 설명된 실시예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시예들은 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록, 그리고 당업자에게 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다. 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조 번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.
- [0057] 도 4는 본 발명에 따른 지면반력 센서모듈(2000)을 도시한다. 도 4의 (A)는 상기 지면반력 센서모듈(2000)의 전체 사시도이고, 도 4의 (B)는 상기 지면반력 센서모듈(2000)의 내부 구성을 도시한 사시도이다.
- [0058] 도 4를 참조하면, 상기 지면반력 센서모듈(2000)은 사용자의 족저면의 하부에 위치하여, 내부에 밀폐된 챔버공간(2100)을 제공하는 하우징(2005)과, 상기 챔버공간(2100)의 내부에 수직하게 형성되며 서로 간에 소정거리 이격되어 구비되는 탄성 재질로 구성되는 복수 개의 지지바(2030) 및 상기 챔버공간(2100)의 압력을 측정하는 기체압력센서(2100)를 구비할 수 있다.
- [0059] 상기 하우징(2005)은 상기 지면반력 센서모듈(2000)의 외관을 형성하게 된다. 상기 하우징(2005)은 상기 사용자의 족저면의 하부에 위치하며, 상기 족저면에 의해 작용하는 힘이 상기 하우징(2005)에 작용하게 된다.
- [0060] 상기 하우징(2005)은 상기 족저면에 의해 의해 힘이 작용하는 경우에 탄력적으로 변형이 가능하도록 탄성체(elastic body)로 형성될 수 있다. 예를 들어, 상기 하우징(2005)은 실리콘(silicon) 또는 열가소성 수지 등과 같은 탄성체로 형성될 수 있다. 이러한 탄성체의 재질은 일예를 들어 설명한 것이며, 힘이 가해지는 경우에 탄력적으로 변형이 가능하며 힘이 제거되면 다시 원래 상태로 돌아가는 적절한 재질로 형성될 수 있다.
- [0061] 또한, 상기 하우징(2005)이 실리콘과 같은 탄성체로 구성되는 경우에 사용자가 지면반력 센서모듈(2000)이 내장된 신발 등을 착용하는 경우에 인체에 이물감을 주지 않고 부드러운 감촉을 제공할 수 있다. 또한, 다양한 형태로 모양 변화가 가능하며, 다양한 형태로 변형이 가능한 경우에도 족저압을 정확하게 측정할 수 있다.
- [0062] 한편, 상기 하우징(2005)은 도 4에서 원형의 형상으로 형성되어 도시되는데 이에 한정되지는 않는다.
- [0063] 또한, 상기 하우징(2005)은 미리 정해진 크기로 형성될 수 있다. 이 경우, 상기 하우징(2005)의 평면 크기는 사용자의 족저면에 비해 상대적으로 작을 수 있다. 사용자의 족저면에 작용하는 지면반력의 분포를 정확하게 측정하기 위해서는 복수개의 하우징(2005)이 족저면의 하부에 위치하는 것이 바람직하기 때문이다. 즉, 상기 지면반력 센서모듈(2000)을 통해 측정된 지면반력의 크기와 분포를 통해 사용자의 신체가 받는 지면반력의 크기뿐 아니라 보행 상태를 판단하는데 사용할 수 있다.
- [0064] 따라서, 상기 하우징(2005)의 평면크기는 사용자의 족저면에 비해서는 작을 수 있지만, 그 형상 및 크기는 사용 형태에 따라 적절하게 변형될 수 있다.
- [0065] 한편, 상기 하우징(2005)의 내부에는 미리 정해진 부피의 밀폐된 챔버공간(2100)이 형성될 수 있다. 상기 챔버공간(2100)은 공기로 채워져 있어 상기 챔버공간(2100)의 부피 변화에 따라 압력이 변화하게 되며, 이러한 압력의 변화를 상기 기체압력센서(2100)에 의해 측정하게 된다.
- [0066] 상기 챔버공간(2100)의 내측에는 복수개의 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030)가 구비된다. 사용자의 족저면에 의해 힘이 가해지는 경우에 상기 챔버공간(2100)을 형성하는 천장이 바닥에 닿게 된다면 상기 족저면에 의해 가

해지는 힘을 정확하게 측정하는 것이 곤란해진다. 따라서, 사용자의 족저면에 의해 힘이 가해지는 경우에 상기 챔버공간(2010)의 천장이 바닥에 닿는 것을 방지하기 위하여 상기 챔버공간(2010)의 내부에 복수개의 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030)가 구비된다.

- [0067] 도 5는 상기 복수개의 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030) 중에 하나를 도시한 사시도이다.
- [0068] 도 5를 참조하면 상기 지지바(2030)는 상기 챔버공간(2010)의 천장과 바닥을 연결하도록 미리 정해진 높이(h)만큼 수직하게 형성된다.
- [0069] 상기 지지바(2030)는 도면에서는 미리 정해진 길이의 한변(1)을 가지는 육각 기둥으로 도시되지만, 이에 한정되지는 않으며 원기둥 또는 다각형 기둥 등 다양한 형태로 구성될 수 있다. 다만, 상기 지지바(2030)의 부피를 최대화할 수 있도록 본 실시예에서 상기 지지바(2030)는 육각 기둥의 형상을 채용하고 있다.
- [0070] 상기 지지바(2030)이 육각 기둥으로 형성된 경우, 복수 개의 상기 지지바(2030) 중 인접한 지지바의 마주보는 변은 평행하게 배치되도록 구성될 수 있다.
- [0071] 한편, 사용자의 족저면에 의해 상기 하우스징(2005)의 상부에 힘이 가해지는 경우에 상기 지지바(2030)의 상부에서 하방으로 힘이 작용하게 된다. 이때, 상기 지지바(2030)의 좌굴(buckling), 즉 상기 지지바(2030)에 압축하중이 작용하는 경우에 상기 지지바(2030)의 휘어짐을 방지하기 위하여 상기 지지바(2030)의 높이(h)의 제곱에 대한 상기 지지바(2030)의 단면적(A_{pillar})의 비율(이하, '모양비'라 함)을 적절하게 결정할 수 있다.
- [0072] 예를 들어, 상기 지지바(2030)의 모양비는 대략 0.8 내지 1.2로 결정될 수 있다. 이 경우, 상기 지지바(2030)의 높이(h)에 대해 상기 지지바(2030)의 단면적(A_{pillar})이 커지게 되어 상기 지지바(2030)에 압축하중이 작용하는 경우에도 상기 지지바(2030)의 휘어짐을 방지할 수 있다.
- [0073] 도 6은 서로 이웃한 한 쌍의 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030A, 2030B)를 도시한 도면이다.
- [0074] 도 6에 도시된 바와 같이 상기 챔버공간(2010)의 내부에서 한 쌍의 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030A, 2030B)는 서로 간에 미리 결정된 거리만큼 이격되어 형성된다.
- [0075] 상기 지지바(2030)가 사용자의 족저면에 의해 눌리게 되면 상기 지지바(2030)의 높이(h)가 감소하는 대신 상기 지지바(2030)의 단면적, 또는 상기 지지바(2030)의 단면적의 반지름이 증가하게 된다.
- [0076] 이때, 서로 이웃한 한 쌍의 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030A, 2030B) 사이의 거리(d)가 상기 지지바(2030)의 단면적의 반지름 증가량에 비해 상대적으로 작게 되면, 상기 지지바(2030)가 눌리는 경우에 서로 이웃한 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030)가 서로 간섭되어 더 이상 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030)가 눌리지 않게 된다. 이 경우, 사용자의 족저면에 의해 작용하는 힘이 상기 지지바(2030)를 통해 압력의 변화로 모두 전달되지 않게 되어 지면반력을 정확하게 측정하는 것이 곤란해진다.
- [0077] 따라서, 상기 한 쌍의 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030A, 2030B) 사이의 거리(d)는 사용자의 족저면에 의해 상기 지지바(2030)가 압축된 경우에 상기 지지바(2030)의 반지름 증가량의 두 배 이상으로 결정될 수 있다.
- [0078] 구체적으로, 상기 한 쌍의 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030A, 2030B) 사이의 거리(d)는 상기 지지바(2030)의 최대 반지름 증가량의 두배 이상으로 결정될 수 있다.
- [0079] 여기서, 상기 최대 반지름 증가량은 사용자의 족저면에 의해 작용할 수 있는 최대 족저압의 두배에 해당하는 압력이 작용한 경우에 상기 지지바(2030)의 반지름 증가량으로 정의될 수 있다. 사용자의 족저면에 의해 작용할 수 있는 최대 족저압은 사람이 통상적으로 수행하는 경우에 작용할 수 있는 최대 족저압으로 정의될 수 있다. 이러한 최대 족저압은 실험 등을 통해 결정될 수 있으며 대략 350 내지 400 kPa의 압력에 해당한다.
- [0080] 한편, 도 4를 다시 참조하면, 상기 챔버공간(2010)의 일측에는 전술한 기체압력센서(2100)이 삽입되는 보조공간(2012)이 형성될 수 있다. 상기 보조공간(2012)은 실질적으로 상기 챔버공간(2010)과 연통되어 상기 챔버공간(2010)의 부피 변화에 따른 압력의 변화가 상기 보조공간(2012)으로 그대로 전달될 수 있다.
- [0081] 상기 기체압력센서(2100)은 예를 들어 상기 보조공간(2012)에 삽입되는 센서커버(2130)와, 상기 센서커버(2130)로 둘러싸인 기체압력센서(2110)를 구비할 수 있다.
- [0082] 상기 센서커버(2130)는 상기 보조공간(2012)에 삽입되어 전술한 기체압력센서(2110)를 보호하는 역할을 하게 된다. 상기 센서커버(2130)는 도면에서는 원형의 형상으로 도시되지만, 상기 보조공간(2012)의 내측면의 형상에

대응한 형상을 가질 수 있다.

- [0083] 상기 센서커버(2130)에는 삽입홀(2132)이 형성되며, 상기 삽입홀(2132)을 통해 상기 기체압력센서(2110)가 관통하여 위치한다.
- [0084] 이 경우, 상기 기체압력센서(2110) 또는 상기 센서커버(2130)의 최소높이는 0.4 내지 0.6 mm 로 결정될 수 있다.
- [0085] 상기 기체압력센서(2110)는 사용자의 족저면에 의해 힘이 가해지는 경우에 상기 챔버공간(2010)의 내부 부피의 변화에 의한 압력의 변화를 측정하게 된다. 상기 기체압력센서(2110)에서 측정된 측정값은 송수신라인(2150)을 통해 후술하는 제어부(7000, 8000, 8500)로 전달된다. 이 경우, 상기 하우징(2005)의 일측에 상기 송수신라인(2150)이 관통하는 관통홀(2006)이 형성될 수 있다. 상기 관통홀(2006)을 통해 상기 챔버공간(2010) 내부의 공기가 누설되는 경우에 정확한 지면반력의 측정이 곤란하게 되므로, 상기 송수신라인(2005)이 상기 관통홀(2006)을 관통하도록 배치된 경우에 공기의 누설을 방지하는 누설방지수단을 구비할 수 있다.
- [0086] 한편, 도면에는 도시되지 않았지만 상기 기체압력센서(2110)에서 측정된 측정값은 무선으로 상기 제어부(7000, 8000, 8500)로 전달될 수 있다. 이 경우, 상기 하우징(2005)에 형성되는 관통홀(2006)을 생략할 수 있게 되어 상기 챔버공간(2010)의 공기의 누설을 방지할 수 있다.
- [0087] 한편, 사용자의 족저면에 의해 상기 하우징(2005)에 힘이 가해지는 경우에 전술한 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030)가 변형되어 상기 챔버공간(2010)의 내부 부피가 줄어들게 되며, 이에 따라 상기 챔버공간(2010) 내부의 압력의 변화를 상기 기체압력센서(2100)에 의해 측정하게 된다.
- [0088] 이 경우, 사용자의 족저면에 의해 가해지는 힘, 즉 지면반력을 정확하게 측정하기 위해서는 사용자의 족저면에 의해 가해지는 힘이 상기 챔버공간(2010)의 내부 부피 변화로 전환되어야 한다. 그런데, 상기 챔버공간(2010)은 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030)에 의해 지지되고 있으므로, 사용자의 족저면에 의해 힘이 가해지는 경우에 상기 지지바(2030)가 눌러져 상기 챔버공간(2010)의 부피변화가 발생하게 된다.
- [0089] 이때, 상기 지지바(2030)가 부피 변화가 있는 압축성 재질로 형성된다면, 상기 사용자의 족저면에 의해 가해지는 힘이 상기 챔버공간(2010)의 내부 부피 변화로 모두 전환되지 않고 상기 지지바(2030)의 부피변화에 사용되게 된다. 이는 사용자의 족저면에 의해 가해지는 힘, 즉 지면반력을 정확하게 측정할 수 없는 요인으로 작용하게 된다.
- [0090] 따라서, 전술한 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030)는 부피 변화가 발생되지 않는 비압축성 재질로 형성될 수 있다. 여기서, '부피 변화가 발생되지 않는 비압축성 재질'이라 함은 외부에서 힘이 가해지는 경우에 외부 형상은 변화할 수 있지만, 전체 부피는 변화가 없어서 전체 부피가 줄어들거나 늘어나지 않는 성질로 정의될 수 있다.
- [0091] 전술한 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030)가 부피 변화가 발생되지 않는 비압축성 재질로 형성되는 경우, 상기 사용자의 족저면에 의해 힘이 가해지는 경우에 상기 지지바(2030)의 높이 변화는 상기 챔버공간(2010) 내부의 공기의 부피변화로 모두 변환될 수 있다. 이러한 상기 챔버공간(2010)의 내부 부피 변화는 압력의 변화를 유발하며, 상기 기체압력센서(2100)에 의해 상기 압력의 변화를 측정하여 지면반력을 정확하게 측정할 수 있다.
- [0092] 특히, 사용자의 족저면에 의해 힘이 가해지는 경우에 상기 지지바(2030)의 높이 변화가 상기 챔버공간(2010) 내부의 공기의 부피변화로 모두 변환될 수 있으므로 상기 족저면에 의해 작용하는 힘을 선형적으로 측정하는 것이 가능해진다.
- [0093] 이하, 전술한 지면반력 센서모듈(2000)에서 측정된 압력의 변화(ΔP)에 의해 사용자의 족저면에 작용하는 지면반력(F)을 유도할 수 있는 과정을 살펴보기로 한다.
- [0094] 도 7은 상기 지면반력 센서모듈(2000)의 내부 구성을 도시한 사시도이다. 도 7에서는 상기 지면반력 센서모듈(2000)의 내부 구성을 도시하기 위하여 전술한 기체압력센서(2100) 및 상기 챔버공간(2010)을 덮는 상부 천장 영역이 생략되어 도시되었음을 밝혀둔다.
- [0095] 도 7을 참조하면, 상기 하우징(2005)의 내부에는 밀폐된 챔버공간(2010)이 형성되며, 상기 챔버공간(2010)의 내측에는 복수개의 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030)가 수직하게 형성된다. 이 경우, 상기 복수개의 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030) 중에 어느 하나의 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030)를 둘러싸는 영역을 가상의 셀유닛(2050)으로 정의할 수 있다. 즉, 상기 셀유닛(2050)은 하나의 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030)를 둘러싸

는 밀폐된 챔버공간(2010)의 일부로 정의될 수 있으며, 상기 챔버공간(2010)은 전술한 셀유닛(2050)이 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030)의 개수만큼 모여서 이루어진 것으로 정의될 수 있다.

[0096] 도 8은 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 힘이 가해지는 경우에 하나의 셀유닛(2050)의 부피변화를 도시한 측면도이다. 도 8의 (A)는 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 힘이 가해지지 않은 상태의 셀유닛(2050)을 도시하며, 도 8의 (B)는 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 힘이 가해진 상태의 셀유닛(2050)을 도시한다. 이 경우, 상기 셀유닛(2050)의 크기는 매우 작으므로 균일한 수직응력(σ)과 수직변형율이 작용한다고 가정할 수 있으며, 상기 챔버공간(2010)의 내부에 채워진 공기의 강성은 상기 지지바(2030)의 강성에 비해 현저히 작으므로 무시할 수 있다.

[0097] 도 8의 (A)를 참조하면, 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 힘이 가해지지 않은 상태의 셀유닛(2050)은 탄성 재질로 구성되는 지지바(2030)의 높이(h) 및 상기 셀유닛(2050)의 단면적(A_{cell})을 유지하게 된다.

[0098] 도 8의 (A)의 상태에서 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 힘이 가해지면 도 8의 (B)와 같이 셀유닛(2050)의 높이 및 상기 지지바(2030)의 높이에 변화(Δh)가 발생하게 된다.

[0099] 여기서, 상기 셀유닛(2050)의 내부의 부피변화(ΔV_{air})는 아래 [수학식 1]로 정의된다.

[0100] [수학식 1]

$$\Delta V_{air} = (V_{cell,0} - V_{pillar}) - (V_{cell,f} - V_{pillar})$$

[0102] 상기 [수학식 1]에서 ' $V_{cell,0}$ '는 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 힘이 가해지지 않은 최초 상태의 셀유닛(2050)의 부피, ' V_{pillar} '는 상기 지지바(2030)의 부피로 정의된다. 이 경우, 상기 지지바(2030)는 전술한 바와 같이 부피변화가 없는 비압축성 재질로 형성되므로, 상기 지지바(2030)의 부피(V_{pillar})는 일정하게 된다.

[0103] 따라서, 상기 [수학식 1]은 아래와 같이 [수학식 2]로 정리된다.

[0104] [수학식 2]

$$\begin{aligned} \Delta V_{air} &= V_{cell,0} - V_{cell,f} \\ &= A_{cell}(h_0 - h_f) = A_{cell}h_0\varepsilon = V_{cell,0}\varepsilon = \alpha V_{air,0}\varepsilon \end{aligned}$$

[0107] 여기서, ' h_0 '은 상기 지지바(2030)의 최초 높이, ' h_f '는 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 힘이 가해져서 줄어든 상기 지지바(2030)의 나중 높이, ' ε '은 상기 지지바(2030)의 높이의 변형률로서 아래 [수학식 3]으로 정의된다.

[0108] [수학식 3]

$$\varepsilon = \frac{(h_0 - h_f)}{h_0}$$

[0110] 또한, ' $V_{air,0}$ '는 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 힘이 가해지지 않은 상기 셀유닛(2050) 내부의 최초 공기의 부피, ' α '는 상기 셀유닛(2050) 내부의 최초 공기의 부피($V_{air,0}$)에 대한 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 힘이 가해지지 않은 최초 상태의 셀유닛(2050)의 부피($V_{cell,0}$)의 비율로 정의된다.

[0111] 결국, 상기 하나의 가상 셀유닛(2050)의 공기의 나중 부피($V_{air,f}$), 즉 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 힘이 가해진 경우에 가상 셀유닛(2050)의 공기의 부피는 아래 [수학식 4]로 정의된다.

[0112] [수학식 4]

$$V_{air,f} = V_{air,0} - \Delta V_{air} = V_{air,0}(1 - \alpha\varepsilon)$$

[0113]

[0114] 한편, 보일의 법칙(Boyle's law)을 사용하게 되면 상기 하우징(2005)의 밀폐된 챔버공간(2010)의 전체의 공기 압력 변화(ΔP)는 아래 [수학식 5]와 같이 정의될 수 있다.

[0115] [수학식 5]

$$[0116] \Delta P = P_f - P_0 = \frac{c}{\sum V_{air,f}} - \frac{c}{\sum V_{air,o}} = \frac{c}{\sum V_{air,o}(1-\alpha\varepsilon)} - \frac{c}{\sum V_{air,o}}$$

[0117] 여기서 'c'는 보일상수(Boyle's constant)에 해당한다.

[0119] 상기 [수학식 5]는 아래의 [수학식 6]과 같이 가상의 셀유닛(2050)의 각각의 상기 지지바(2030)의 높이의 변형률(ε)의 합으로 정의될 수 있다.

[0120] [수학식 6]

$$[0121] \Delta P = \frac{c \sum V_{air,o}}{\sum V_{air,o} \sum V_{air,o}(1-\alpha\varepsilon)} - \frac{c \sum V_{air,o}(1-\alpha\varepsilon)}{\sum V_{air,o} \sum V_{air,o}(1-\alpha\varepsilon)} = \frac{c \sum V_{air,o} \alpha \varepsilon}{\sum V_{air,o} \sum V_{air,o}(1-\alpha\varepsilon)} = \frac{c \alpha \sum \varepsilon}{n V_{air,o} \sum (1-\alpha\varepsilon)}$$

[0122] 여기서, 'n'은 상기 챔버공간(2010) 내부의 셀유닛(2050)의 개수로서 상기 지지바(2030)의 개수에 해당한다.

[0123] 상기 [수학식 6]의 경우 가상의 셀유닛(2050)의 상기 지지바(2030)의 높이의 변형률(ε)을 알 수 없기 때문에 사용하기 곤란하다.

[0124] 그런데, 사용자의 족저면에 의해 가해지는 힘에 의한 상기 지지바(2030)의 압축이 매우 미세하다고 가정하면 아래와 같이 미소 변형율 조건(small strain condition)을 적용할 수 있다.

[0125] [수학식 7]

$$[0126] 1 - \varepsilon \approx 1$$

$$[0127] \sigma \approx E \varepsilon$$

[0128] 상기 미소 변형율 조건을 상기 [수학식 6]에 적용하게 되면 아래의 [수학식 7]로 정의할 수 있다.

[0129] [수학식 7]

$$[0130] \Delta P = \frac{c \alpha \sum \varepsilon}{n V_{air,o} \sum (1 - \alpha \varepsilon)} = \frac{c \alpha}{n V_{air,o}} \sum \frac{\sigma}{E} = \frac{c \alpha}{n E V_{air,o} A_{pillar}} \sum \sigma A_{pillar}$$

$$[0131] = \frac{c \alpha}{n E V_{air,o} A_{pillar}} F$$

[0132] 여기서, 'F'는 사용자의 족저면에 의해 가해지는 힘, 또는 지면반력에 해당하며, 'E'는 상기 지지바(2030)의 높이 변형율(ε)에 대한 수직응력(σ)의 비율로 정의된다.

[0133] 상기 [수학식 7]을 변환시키면 상기 지면반력(F)은 아래 [수학식 8]로 정의될 수 있다.

[0134] [수학식 8]

$$[0135] F = k \Delta P$$

[0136] 여기서, 'k'는 지면반력 교정계수로 정의되며, 상기 지면반력 교정계수(k)는 아래 [수학식 9]로 정의된다.

[0137] [수학식 9]

$$[0138] k = \frac{n E V_{air,o} A_{pillar}}{c \alpha}$$

[0139] 결국, 상기 [수학식 8] 및 [수학식 9]에 따르면 본 발명에 따른 지면반력 센서모듈(2000)에서 사용자의 족저면에 의한 압력의 변화(ΔP)를 측정하게 되면, 상기 족저면과 센서모듈의 접촉면적이나 족저면의 모양에 관계없이 사용자의 족저면에 작용하는 지면반력(F)의 크기를 구할 수 있다. 즉, 상기 [수학식 8]에서 상기 지면반력(F)의

크기는 압력의 변화(ΔP)에 비례하게 되며, 상기 [수학식 9]에서 상기 지면반력 교정계수(k)를 구하게 되면, 상기 지면반력 센서모듈(2000)에서 측정된 압력의 변화(ΔP)를 이용하여 지면반력(F)을 정확하게 계산할 수 있다.

- [0140] 도 9는 본 발명에 따른 지면반력 센서모듈(2000)을 이용하여 전술한 수학식들에 의해 지면반력을 계산한 경우에 계산된 지면반력과 실제 적용된 지면반력의 크기의 정확성, 히스테리시스(hysteresis) 및 반복성의 오차를 검증하기 위한 실험결과를 도시한 그래프이다.
- [0141] 도 9의 (A)는 정확성, 도 9의 (B)는 히스테리시스, 도 9의 (C)는 반복성의 오차를 검증한 실험결과를 나타낸다. 도 9에서 가로축은 이미 크기를 알고 있으면서 지면반력 센서모듈(2000)에 실제 적용된 힘(Applied force)을 도시하며, 도 9에서 세로축은 측정된 지면반력(Measured force)을 도시한다.
- [0142] 도 9의 (A)를 참조하면, 지면반력 센서모듈(2000)에 실제 적용되는 힘을 0 내지 25 kgF의 범위에서 변화시켜 가며 소정횟수 반복하여 힘을 가하고, 측정된 지면반력의 크기와 비교하였다.
- [0143] 도 9의 (A)에 도시된 바와 같이 지면반력 센서모듈(2000)에 실제 적용된 지면반력의 크기와 측정된 지면반력의 크기는 거의 정비례하는 것을 알 수 있으며 오차는 대략 0.996%에 해당하여 매우 높은 정확성을 가지는 것을 알 수 있다.
- [0144] 또한, 도 9의 (B)는 히스테리시스의 오차를 검증하기 위한 실험결과를 도시한 그래프이다. 여기서, 히스테리시스 실험은 지면반력 센서모듈(2000)에 실제 적용되는 힘을 0 kgF 에서 25 kgF 까지 증가시키면서 지면반력을 1차로 측정하고, 다시 지면반력 센서모듈(2000)에 실제 적용되는 힘을 25 kgF 에서 0 kgF 까지 감소시키면서 지면반력을 2차로 측정하여 1차와 2차 측정값의 오차를 비교하는 실험에 해당한다.
- [0145] 도 9의 (B)를 참조하면, 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 대한 히스테리시스 오차는 대략 4.285%에 해당하여 지면반력의 크기가 커지거나 작아지는 경우에도 매우 정확하게 측정할 수 있음을 알 수 있다.
- [0146] 나아가, 도 9의 (C)는 반복성 오차를 검증하기 위한 실험결과를 도시한 그래프이다. 반복성 실험에서는 미리 결정되어 알고 있는 크기의 지면반력을 소정횟수, 예를 들어 20회씩 반복하여 가하고 각 회수마다 측정된 지면반력의 오차를 확인하기 위한 실험에 해당한다.
- [0147] 도 9의 (C)를 참조하면, 반복성 오차는 대략 0.811%에 해당하여 같은 크기의 지면반력을 반복하여 작용하는 경우에도 그 정확성이 떨어지지 않음을 알 수 있다.
- [0148] 한편, 도 9의 실험에서 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 작용된 0 내지 25 kgF의 지면반력의 크기는 족저압으로 환산하는 경우 대략 0 내지 500kPa에 해당한다. 이 경우, 일반적인 사람이 보행하는 경우에 최대 족저압은 대략 260 kPa에 해당하며, 주행하는 경우에 최대 족저압은 대략 370kPa에 해당한다. 즉, 일반적인 사람의 보행 시 또는 주행 시의 최대 족저압은 도 9의 실험에 사용된 지면반력의 범위에 포함되므로, 본 발명에 따른 지면반력 센서모듈(2000)을 사용하는 경우에 사용자의 족저면에 작용하는 지면반력을 매우 정확하게 측정할 수 있음을 알 수 있다.
- [0149] 한편, 사용자의 족저면에 작용하는 지면반력을 측정하는 경우에 측정환경이 다양하게 변화할 수 있다. 예를 들어, 족저면과 같이 힘을 가하는 부하면의 모양이 평평하거나 곡률진 형상을 가지도록 변화하거나, 또는 부하면의 성질이 부드러거나 딱딱할 수 있다. 또한, 지면반력 센서모듈(2000)의 하우징(2005)도 마찬가지로 모양이 평평하거나 곡률진 형상을 가지도록 변화하거나, 또는 부하면의 성질이 부드러거나 딱딱할 수 있다.
- [0150] 도 10은 전술한 환경변화에 대응하여 부하면의 형상 및 성질, 또는 하우징(2005)의 모양 및 성질을 변화시키면서 측정된 지면반력과 실제 가해진 지면반력의 크기를 비교하기 위한 실험을 개략적으로 도시한다.
- [0151] 도 10의 (A)는 표준 실험 환경에 해당하며, 부하면(4100)과 하우징(2005)가 모두 평평한 경우를 도시한다. 도 10의 (B)는 부하면(4400)이 부드러운 원호 형상이고, 하우징(2005')가 부드러운 평평한 형상을 가지는 경우를 도시한다. 또한, 도 10의 (C)는 부하면(4700)이 비교적 둥근 형상을 가지고 하우징(2005'')도 둥근면을 가지는 경우를 도시한다.
- [0152] 도 10에 따른 실험은 3가지 상태의 부하면(4100, 4400, 4700)과, 3가지 상태의 하우징(2005, 2005', 2005'')를 조합하여 모두 9가지 측정환경에 실험을 수행하였다.
- [0153] 도 11은 상기 실험결과를 도시하며 로드셀(load cell)을 통해 하중을 달리하여 가하면서 본 발명에 따른 지면반력 센서모듈(2000)에서 측정된 값(실시예), 종래기술에 따른 제1 필름센서(FSR)(비교예1)과 종래기술에 따른 제2 필름센서(Flexiforce)(비교예2)에서 측정된 값을 비교하여 도시한다.

- [0154] 도 11을 참조하면 전술한 바와 같이 9가지의 측정환경에서 실제 적용된 지면반력의 크기를 0 kgF 내지 25 kgF의 범위에서 변화시켜가면서 지면반력의 크기를 측정한 결과, 도 11에 도시된 바와 같이 본 발명에 따른 지면반력 센서모듈(2000)에서 측정된 값이 종래기술에 따른 제1 필름센서와 제2 필름센서에서 측정된 값에 비해 상대적으로 우수한 측정치를 보여줄을 알 수 있다. 따라서 사용자에게 따른 발의 유연성, 신발과 같은 환경 변화에서도 본 발명에 따른 지면반력 센서모듈(2000)은 종래기술에 비해 보다 정확하게 지면반력을 측정할 수 있음을 알 수 있다.
- [0155] 한편, 앞서 살펴본 지면반력 센서모듈(2000)은 사용자의 발에 착용되는 안창 또는 신발에 장착될 수 있다.
- [0156] 도 12는 본 발명에 따른 지면반력 센서모듈(2000)을 적어도 하나 구비한 신발(5000)을 도시한 평면도이다.
- [0157] 도 12를 참조하면 상기 신발(5000)은 지면반력 센서모듈(2000)을 적어도 하나 포함하여 제작될 수 있다.
- [0158] 이때, 상기 지면반력 센서모듈(2000)은 사용자의 발가락쪽의 지면반력을 감지하는 제1 지면반력 센서모듈(2000A)과, 상기 사용자의 뒤꿈치쪽의 지면반력을 감지하는 제2 지면반력 센서모듈(2000B)을 적어도 포함할 수 있다.
- [0159] 즉, 사용자의 보행 시에 전술한 입각기와 유각기를 구별하기 위해서는 사용자의 발가락쪽과 발뒤꿈치에 작용하는 지면반력의 크기를 파악하는 것이 필요하다. 따라서, 상기 신발(5000)은 복수개의 지면반력 센서모듈(2000)을 구비할 수 있으며, 이 경우 사용자의 발가락쪽의 지면반력을 감지하는 제1 지면반력 센서모듈(2000A)과, 상기 사용자의 뒤꿈치쪽의 지면반력을 감지하는 제2 지면반력 센서모듈(2000B)을 적어도 포함하도록 구성될 수 있다.
- [0160] 도 12에 도시된 신발(5000)은 예를 들어 5개의 지면반력 센서모듈(2000)을 포함하고 있으며, 상기 지면반력 센서모듈(2000)은 사용자의 발가락쪽의 지면반력을 감지하는 제1 지면반력 센서모듈(2000A)과, 상기 사용자의 뒤꿈치쪽의 지면반력을 감지하는 제2 지면반력 센서모듈(2000B)과, 사용자의 족저면의 중앙부의 지면반력을 감지하는 제3 지면반력 센서모듈(2000C)과, 사용자의 발의 중족골(metatarsals)의 지면반력을 감지하는 제1 중족골 지면반력 센서모듈(2000D) 및 제2 중족골 지면반력 센서모듈(2000E)을 구비할 수 있다.
- [0161] 상기 신발(5000)에 구비되는 지면반력 센서모듈(2000)의 개수 및 위치는 도 12에 도시된 형태에 한정되지 않으며 측정환경에 따라 적절하게 변형될 수 있다.
- [0162] 도 13은 전술한 지면반력 센서모듈(2000)을 구비한 지면반력 측정시스템(9000)의 구성을 도시한 개략도이다.
- [0163] 도 13을 참조하면, 상기 지면반력 측정시스템(9000)은 상기 지면반력 센서모듈(2000)이 적어도 하나 내장되어 사용자의 발에 착용할 수 있는 신발(6000)과, 사용자가 상기 신발(6000)을 착용하고 족저면을 통해 힘을 가하는 중에 상기 지면반력 센서모듈(2000)에서 각각 측정된 압력의 변화를 지면반력으로 변환하는 제어부(7000, 8000, 8500)를 구비할 수 있다.
- [0164] 상기 지면반력 센서모듈(2000)은 상기 신발(6000)의 내측에 직접 구비될 수도 있다. 하지만, 이 경우 사용자가 상기 신발(6000)을 착용하는 경우에 이물감을 줄 수 있으며, 사용 중에 지면반력 센서모듈(2000)의 수리 또는 교환 등의 유지보수 작업이 필요한 경우에 상기 지면반력 센서모듈(2000)을 용이하게 분리하는 것이 매우 힘들 수 있다. 따라서, 사용자의 편리성, 교체, 수리 등의 유지보수를 위해 상기 신발(6000)의 내측에 삽입되는 신발(5000)을 구비하고, 상기 지면반력 센서모듈(2000)은 상기 신발(5000)에 적어도 하나 구비되는 것이 바람직하다.
- [0165] 한편, 상기 제어부(7000, 8000, 8500)는 상기 지면반력 센서모듈(2000)에서 압력의 변화를 선형적으로 감지하여 지면반력으로 변환할 수 있다.
- [0166] 상기 제어부(7000, 8000, 8500)는 예를 들어 도 13에 도시된 바와 같이 컴퓨터(computer)(7000) 등으로 구성되거나, 또는 사용자가 휴대할 수 있는 스마트폰(smart phone)과 같은 단말장치(8000), 또는 사용자가 착용할 수 있는 웨어러블 장치(wearable device)(8500)로 구성될 수 있다.
- [0167] 따라서, 상기 제어부(7000, 8000, 8500)에 의해 수행되는 지면반력 측정방법은 상기 컴퓨터 등에 포함된 소프트웨어(software)나, 상기 스마트폰과 같은 단말장치(8000), 또는 사용자가 착용할 수 있는 웨어러블 장치(8500)에 포함된 어플리케이션(application) 또는 앱(app)에 의해 수행될 수 있다.
- [0168] 상기 지면반력 측정방법은 상기 지면반력 센서모듈(2000)을 이용하여 압력의 변화를 측정하는 단계와, 상기 측정된 압력에 의해 족저면에 작용하는 지면반력의 크기 또는 분포를 측정하는 단계를 포함할 수 있다. 이 때, 상

기 족저면에 작용하는 지면반력의 크기 또는 분포를 측정하는 단계는 상기 측정된 압력의 변화를 지면반력의 크기로 변환시키는 지면반력 교정계수를 도출하는 단계와, 상기 지면반력 센서모듈(2000)의 센서 보정값을 구하는 단계와, 상기 지면반력의 크기 또는 분포를 도출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0169] 먼저, 상기 제어부(7000, 8000, 8500)는 전술한 지면반력 센서모듈(2000)을 이용하여 압력의 변화(ΔP)를 측정한다. 즉, 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 힘이 가해지는 경우에 상기 기체압력센서(2100)에 의해 압력의 변화를 측정하게 된다.

[0170] 이어서, 상기 제어부(7000, 8000, 8500)는 상기 측정된 압력의 변화값을 이용하여 사용자의 족저면에 작용하는 지면반력의 크기 또는 분포를 측정하게 된다.

[0171] 이때, 상기 압력의 변화(ΔP)와 지면반력(F)의 크기는 앞서 살펴본 [수학식 8]과 같이 지면반력 교정계수(k)를 통해 비례하게 된다.

[0172] 이 경우, 상기 제어부(7000, 8000, 8500)는 상기 지면반력 교정계수(k)를 전술한 [수학식 9]에 의해 계산해서 결정하거나, 또는 미리 결정된 힘을 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 가해서 측정된 압력의 변화(ΔP)에 의해 상기 지면반력 교정계수(k)를 실험적으로 결정할 수 있다.

[0173] 상기 제어부(7000, 8000, 8500)에서 전술한 [수학식 9]에 의해 지면반력 교정계수(k)를 계산하는 과정은 이미 상술하였으므로 반복적인 설명은 생략한다.

[0174] 한편, 상기 제어부(7000, 8000, 8500)는 상기 지면반력 교정계수(k)를 실험적으로 구할 수 있다. 예를 들어, 도 14는 상기 지면반력 교정계수(k)를 구하기 위해 실험한 결과를 도시한 그래프이다.

[0175] 도 14에서 가로축은 상기 지면반력 센서모듈(2000)에서 측정된 압력의 변화(ΔP)를 도시하며, 세로축은 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 로드셀을 통해 실제로 가해진 지면반력의 크기(F)를 도시한다.

[0176] 앞서 살펴본 [수학식 8]과 같이 족저면에 작용하는 지면반력의 크기(F)는 상기 지면반력 센서모듈(2000)에서 측정된 압력의 변화(ΔP)에 지면반력 교정계수(k)를 곱하여 구할 수 있다.

[0177] 따라서, 상기 지면반력 교정계수(k)는 아래 [수학식 10]과 같이 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 실제로 가해진 지면반력의 크기(F)를 상기 지면반력 센서모듈(2000)에서 측정된 압력의 변화(ΔP)로 나누어 구할 수 있다.

[0178] [수학식 10]

$$k = \frac{F}{\Delta P}$$

[0180] 이 경우, 상기 지면반력 교정계수(k)는 도 14의 그래프에서 기울기에 해당한다. 도 14의 그래프에서 계산된 기울기, 즉 상기 지면반력 교정계수(k)는 대략 3.999×10^{-5} kgF/bit에 해당한다.

[0181] 따라서, 상기 [수학식 10]에 의해 실험적으로 계산된 상기 지면반력 교정계수(k)는 상기 제어부(7000, 8000, 8500)에 저장될 수 있다. 이 경우, 본 발명에 따른 지면반력 센서모듈(2000)을 이용하여 사용자의 보행 시에 압력의 변화(ΔP)를 측정할 다음, 상기 제어부(7000, 8000, 8500)는 상기 지면반력 교정계수(k)를 이용하여 사용자의 족저면에 작용하는 지면반력을 계산할 수 있다.

[0182] 한편, 전술한 단계에 의해 사용자의 족저면에 작용하는 지면반력의 크기를 계산한 경우에도 보정이 필요할 수 있다.

[0183] 예를 들어, 사용자가 지면반력 센서모듈(2000)이 내장된 신발(6000)을 착용한 경우에 사용자가 보행 또는 주행을 하지 않는 경우에 상기 지면반력 센서모듈(2000)의 압력이 변화할 수 있다. 이는 사용자가 신발(6000)을 착용한 경우에 신발(6000)의 조임 등과 같이 지면반력 이외의 힘이 사용자의 족저면에 가해질 수 있기 때문이다.

[0184] 따라서, 상기 제어부(7000, 8000, 8500)는 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 힘이 가해지지 않는 경우에 상기 지면반력 센서모듈(2000)에서 감지되는 지면반력을 센서 보정값으로 정의할 수 있다.

[0185] 예를 들어, 사용자가 상기 신발(6000)을 착용한 상태에서 한 발씩 지면에서 발을 들어올려 상기 신발(6000)에 사용자의 체중이 실리지 않은 상태에서 상기 지면반력 센서모듈(2000)에서 측정되는 압력의 변화를 힘으로 변환하여 센서 보정값으로 정의할 수 있다.

[0186] 따라서, 사용자의 족저면에 의해 상기 지면반력 센서모듈(2000)에 힘이 가해지는 경우, 즉 사용자가 보행 또는

주행 시에 상기 지면반력 센서모듈(2000)의 압력의 변화를 통해 계산된 지면반력에서 상기 센서 보정값을 제외하여 상기 족저면의 지면반력을 계산할 수 있다.

- [0187] 한편, 앞서 살펴본 도 12와 같이 상기 신발(5000)에 복수개의 지면반력 센서모듈(2000)을 구비한 경우에 상기 제어부(7000, 8000, 8500)는 각 지면반력 센서모듈(2000)에서 각각 측정된 지면반력(F)에 의해 족저면에 작용하는 지면반력의 크기와 함께 분포를 측정할 수 있다.
- [0188] 도 15는 도 12와 같이 5개의 지면반력 센서모듈(2000)을 구비한 신발(5000)을 구비한 신발(6000)을 착용한 한 쪽 발의 입각기의 지면반력의 변화를 도시한다. 도 15에서 가로축은 입각기에서 시간(sec)의 흐름을 도시하고, 세로축은 각 지면반력 센서모듈(2000)을 통해 측정된 지면반력의 크기(kgF)를 도시한다.
- [0189] 도 15를 참조하면, 전술한 입각기의 loading Response 단계((a) 단계)에서는 사용자의 뒤꿈치쪽의 지면반력을 감지하는 제2 지면반력 센서모듈(2000B)에서 거의 대부분의 지면반력이 측정된다. 사람의 보행 시에 유각기에서 입각기로 전환되는 loading Response 단계에서 한 쪽 발의 뒤꿈치가 제일 먼저 지면에 닿기 때문이다.
- [0190] 이후, 입각기의 mid-stance 단계((b) 단계)에 접어들게 되면 뒤꿈치쪽의 제2 지면반력 센서모듈(2000B)에서 측정되는 지면반력의 크기는 점차 감소하며, 사용자의 족저면의 중앙부의 지면반력을 감지하는 제3 지면반력 센서모듈(2000C)과, 사용자의 발의 중족골(metatarsals)의 지면반력을 감지하는 제1 중족골 지면반력 센서모듈(2000D) 및 제2 중족골 지면반력 센서모듈(2000E)에서 측정되는 지면반력의 크기가 상승하게 된다.
- [0191] 이후, 입각기의 terminal stage 단계((c) 단계)에 접어들게 되면 뒤꿈치쪽의 상기 제2 지면반력 센서모듈(2000B)과 족저면의 중앙부의 제3 지면반력 센서모듈(2000C)에서 측정되는 지면반력의 크기는 감소하며, 제1 중족골 지면반력 센서모듈(2000D)과 제2 중족골 지면반력 센서모듈(2000E)에서 측정되는 지면반력의 크기가 점차 상승하게 된다.
- [0192] 이후 입각기의 pre-swing 단계((d) 단계)에는 발의 앞부분을 이용하여 지면을 밀게 되므로 발가락쪽의 상기 제1 지면반력 센서모듈(2000A)과 상기 제1 중족골 지면반력 센서모듈(2000D)과 제2 중족골 지면반력 센서모듈(2000E)에서 상대적으로 많은 지면반력이 측정된다. 이 경우, 뒤꿈치쪽의 상기 제2 지면반력 센서모듈(2000B)과 족저면의 중앙부의 제3 지면반력 센서모듈(2000C)에서는 거의 지면반력이 측정되지 않는다.
- [0193] 한편, 도 15의 그래프는 상기 각 지면반력 센서모듈(2000)에서 각각 측정된 지면반력을 모두 합산한 총합 추이선을 함께 도시한다.
- [0194] 이 경우, 상기 제어부(7000, 8000, 8500)는 상기 지면반력 센서모듈(2000)에서 각각 계산된 지면반력을 합산하여 사용자의 족저면에 작용하는 지면반력의 총합을 계산할 수 있다.
- [0195] 또한, 상기 제어부(7000, 8000, 8500)는 상기 지면반력의 총합에 의해 사용자의 체중을 계산할 수 있다. 즉, 도 15의 그래프는 보행 시에 한 쪽 발에 착용된 신발에 의해 측정된 지면반력의 크기 및 분포를 도시한다. 따라서, 보행 시에 다른 쪽 발에 작용하는 지면반력의 크기 및 분포를 동일한 방식으로 구할 수 있으며 양쪽 발에 작용하는 지면반력의 총합을 계산하게 되면, 사용자의 체중을 구할 수 있게 된다.
- [0196] 또한, 상기 제어부는 지면반력의 변화를 통해 신발 착용자의 보행상태를 판단하여, 후술하는 로봇의 구동장치 등의 제어 정보로 활용할 수 있다.
- [0197] 한편, 앞서 살펴본 바와 같이 하체 마비 환자, 재활 환자 또는 고령자의 하체에 보조력을 제공하여 보행을 안내하거나 보조하는 하체보조로봇 등이 최근 많이 개발되고 있는데, 도 16은 일 실시예에 따른 하체보조로봇(1000)을 도시한 사시도이다.
- [0198] 도 16을 참조하면, 상기 하체보조로봇(1000)은 착용자의 허리 부위에 배치되는 본체(500)와, 상기 본체(500)에서 아래로 연장되어 착용자의 각각의 다리를 지지하는 한 쌍의 다리 유닛(6001, 600r)을 포함할 수 있다.
- [0199] 여기서, 상기 다리 유닛(6001, 600r)은 고관절과 슬관절에 각각 구비되어 대퇴와 하퇴에 보조 토크를 제공하여 착용자의 독립 보행을 보조할 수 있다.
- [0200] 따라서, 각각의 다리 유닛(6001, 600r)의 고관절과 슬관절 대응영역에는 구동 토크 제공을 위한 구동장치가 구비될 수 있다.
- [0201] 각각의 다리유닛은 관절구동기(100a, 100b)와, 각각 관절구동기(100a, 100b)에 연결되어 착용자의 대퇴와 하퇴를 지지 또는 보조하는 프레임부(410, 430) 그리고 하부 프레임부(430)와 연결되며 착용자의 발을 지지하는 족

지지부(300)를 구비할 수 있다.

- [0202] 상기 관절구동기(100a, 100b)의 착용자의 고관절과 슬관절 관절부위에 각각 설치될 수 있으며, 제1 관절구동기(100a)가 설치되고, 다리의 무릎 부위에 제2 관절구동기(100b)가 설치될 수 있다.
- [0203] 그리고, 각각의 프레임부(410, 430)에는 착용자의 대퇴부와 하퇴부를 프레임부(410, 430)에 고정하기 위한 착용부(420)를 구비할 수 있으며, 각각의 관절구동기에서 제공되는 보조력은 결국 착용부(420)를 통해 착용자의 대퇴 또는 하퇴에 전달되어 독립 보행을 보조하게 될 수 있다.
- [0204] 그런데, 상기 하체보조로봇(1000)을 착용한 착용자가 보행하는 중에 지면반력의 크기 및 분포는 계속적으로 변화하게 되며, 이에 따라 착용자의 고관절 부위에 설치되는 제1 관절구동기(100a)와 착용자의 다리의 무릎 부위에 설치된 제2 관절구동기(100b)에서 필요로 하는 최적의 구동력도 변화하게 된다.
- [0205] 즉, 전술한 착용자의 보행주기에서 입각기의 각 단계에서 고관절 부위의 제1 관절구동기(100a)와 무릎 부위의 제2 관절 구동기(100b)에서 요구되는 구동력의 크기가 상이하게 되며, 착용자의 보행주기에 따라 또는 입각기의 각 단계에 따라 전술한 적절한 구동력을 제공하는 것이 필요하다.
- [0206] 이때, 본 발명에 따른 지면반력 센서모듈(2000)을 상기 하체보조로봇(1000)의 착용자의 발을 지지하는 족지지부(300)에 부착하여 사용하게 되면 상기 하체보조로봇(1000)을 착용한 착용자가 보행하는 경우에 지면반력의 크기 및 분포를 측정할 수 있다.
- [0207] 따라서, 상기 측정된 지면반력의 크기 및 분포에 따라 상기 하체보조로봇(1000)의 고관절 부위의 제1 관절구동기(100a)와 무릎 부위의 제2 관절 구동기(100b)에서 요구되는 구동력의 크기를 계산할 수 있으며, 이에 따라 제1 관절구동기(100a)와 제2 관절구동기(100b)에 최적의 구동력을 제공할 수 있다.
- [0208] 또한, 상기 측정된 지면반력의 크기 및 분포에 의해 상기 하체보조로봇(1000)을 착용한 착용자가 보행주기 중에 어느 시점에 있는지를 매순간 확인할 수 있게 된다.
- [0209] 예를 들어, 입각기가 진행됨에 따라 족저면의 하부에 위치한 각 지면반력 센서모듈(2000)에서 측정되는 지면반력의 크기 및 분포를 미리 제어부(7000, 8000, 8500)에 저장해둘 수 있다.
- [0210] 이어서, 상기 하체보조로봇(1000)을 실제로 착용하고 착용자가 보행하는 중에 어느 한 시점에서 족저면의 하부에 위치한 각 지면반력센서모듈(2000)에서 측정된 지면반력의 크기 분포를 상기 제어부(7000, 8000, 8500)에 미리 저장된 지면반력의 크기 및 분포와 비교하여 착용자가 입각기의 단계 중에 어느 단계에 있는지를 판단할 수 있게 된다.
- [0211] 이에 따라, 상기 하체보조로봇(1000)의 제어부는 해당 입각기의 단계에서 상기 제1 관절구동기(100a)와 제2 관절구동기(100b)에서 필요로 하는 최적의 구동력을 착용자의 고관절 및 무릎에 제공하여 착용자가 정상적인 보행을 가능하게 할 수 있다.
- [0212] 본 명세서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술분야의 당업자는 이하에서 서술하는 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경 실시할 수 있을 것이다. 그러므로 변형된 실시가 기본적으로 본 발명의 특허청구범위의 구성요소를 포함한다면 모두 본 발명의 기술적 범주에 포함된다고 보아야 한다.

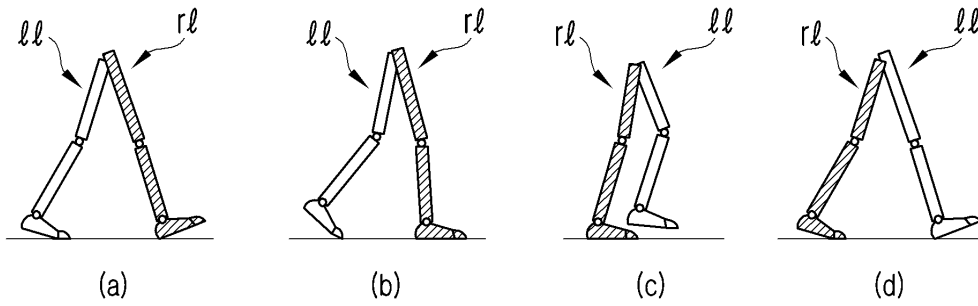
부호의 설명

- [0213] 2000 : 지면반력 센서모듈
 2005 : 하우징
 2010 : 밀폐된 챔버공간
 2030 : 탄성 재질로 구성되는 지지바
 2100 : 기체압력센서
 5000 : 신발
 6000 : 신발
 7000, 8000, 8500 : 제어부

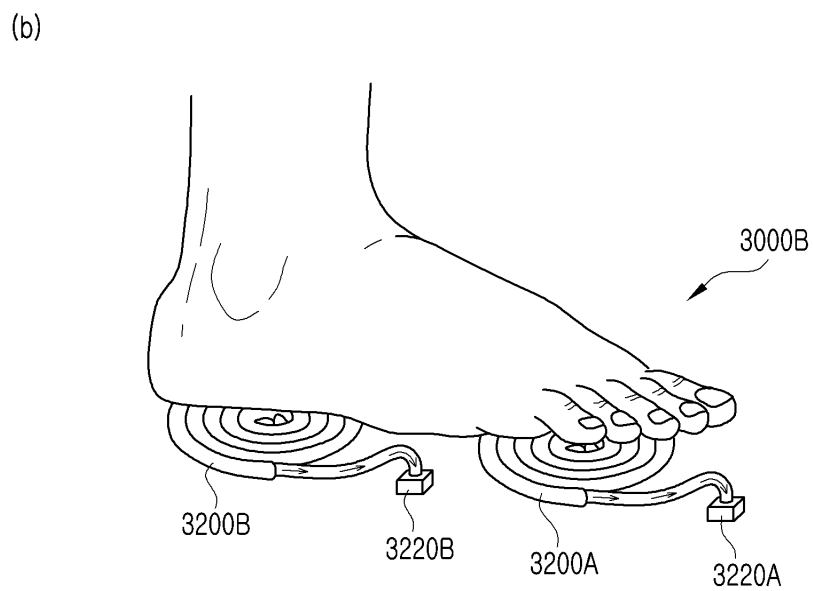
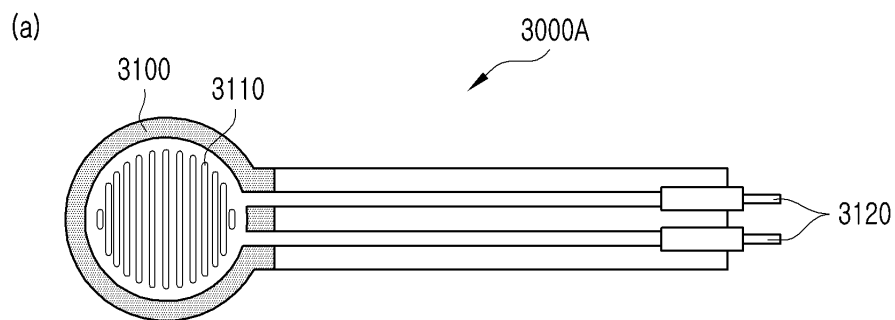
9000 : 지면반력 측정시스템

도면

도면1



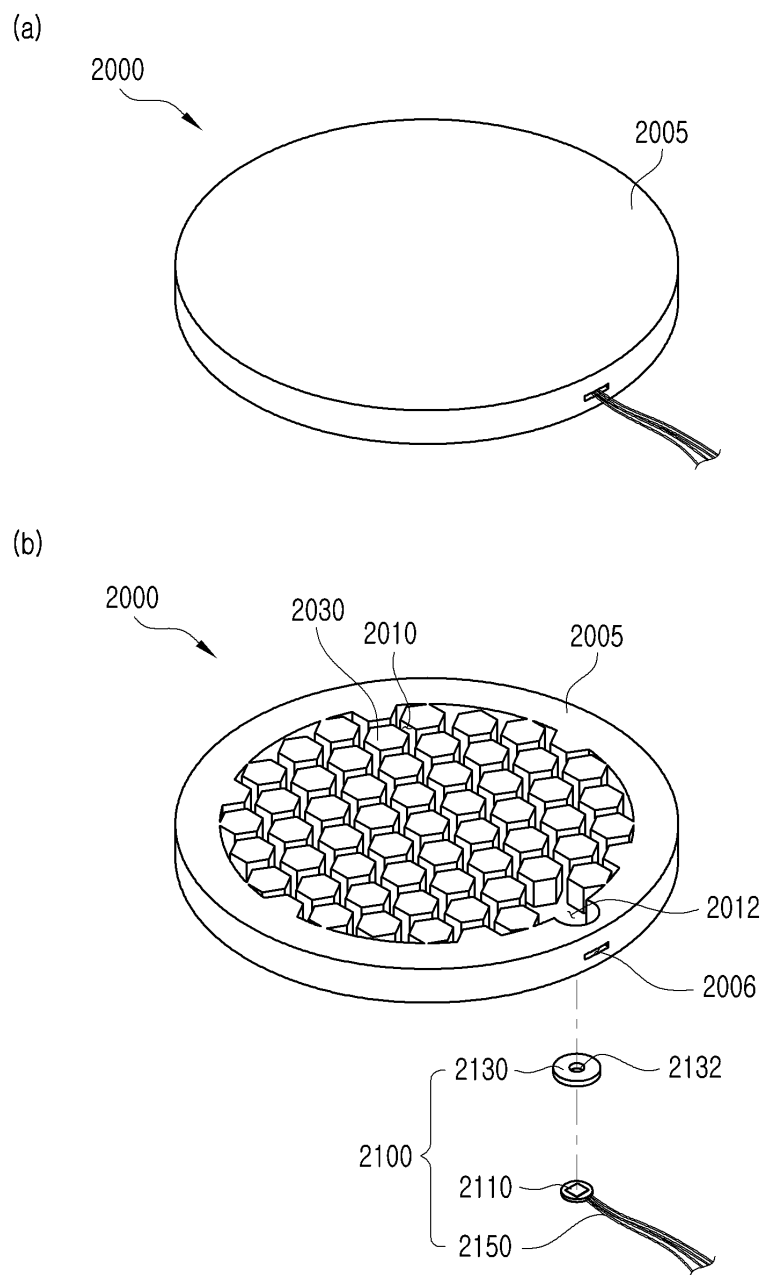
도면2



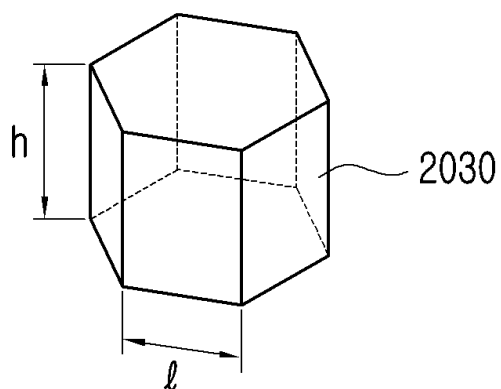
도면3



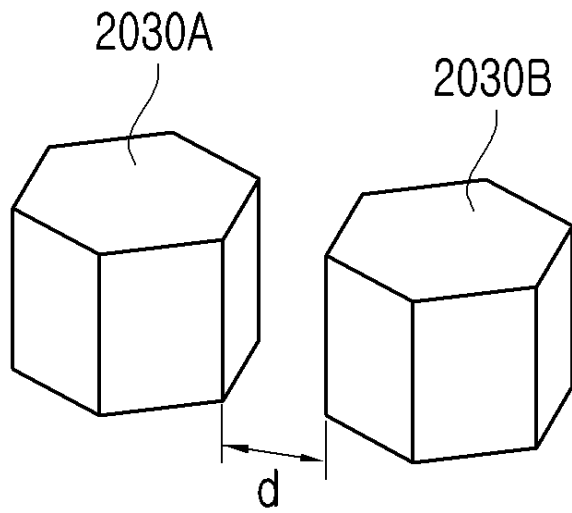
도면4



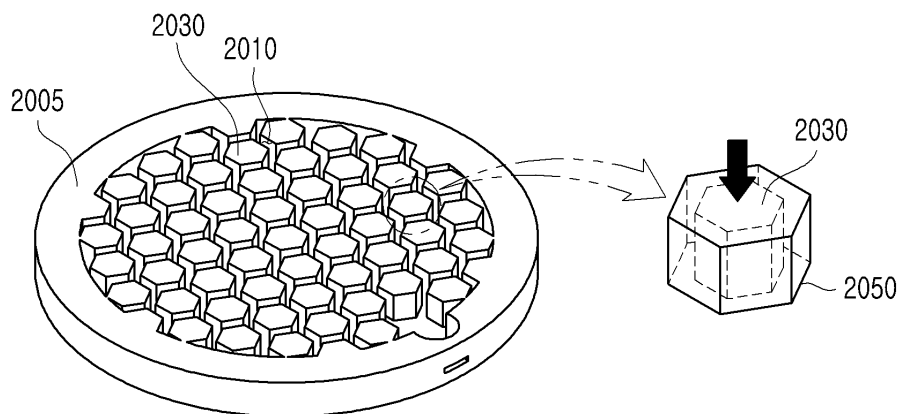
도면5



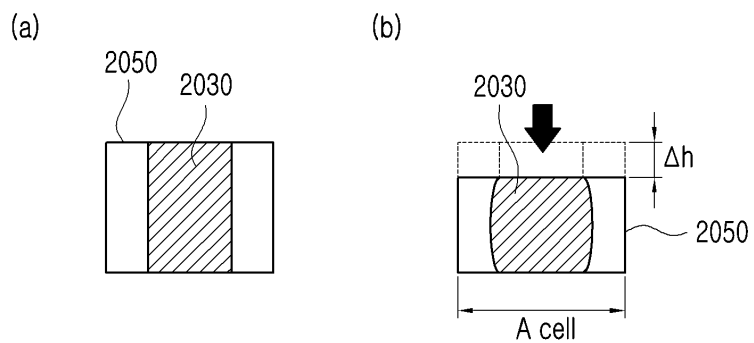
도면6



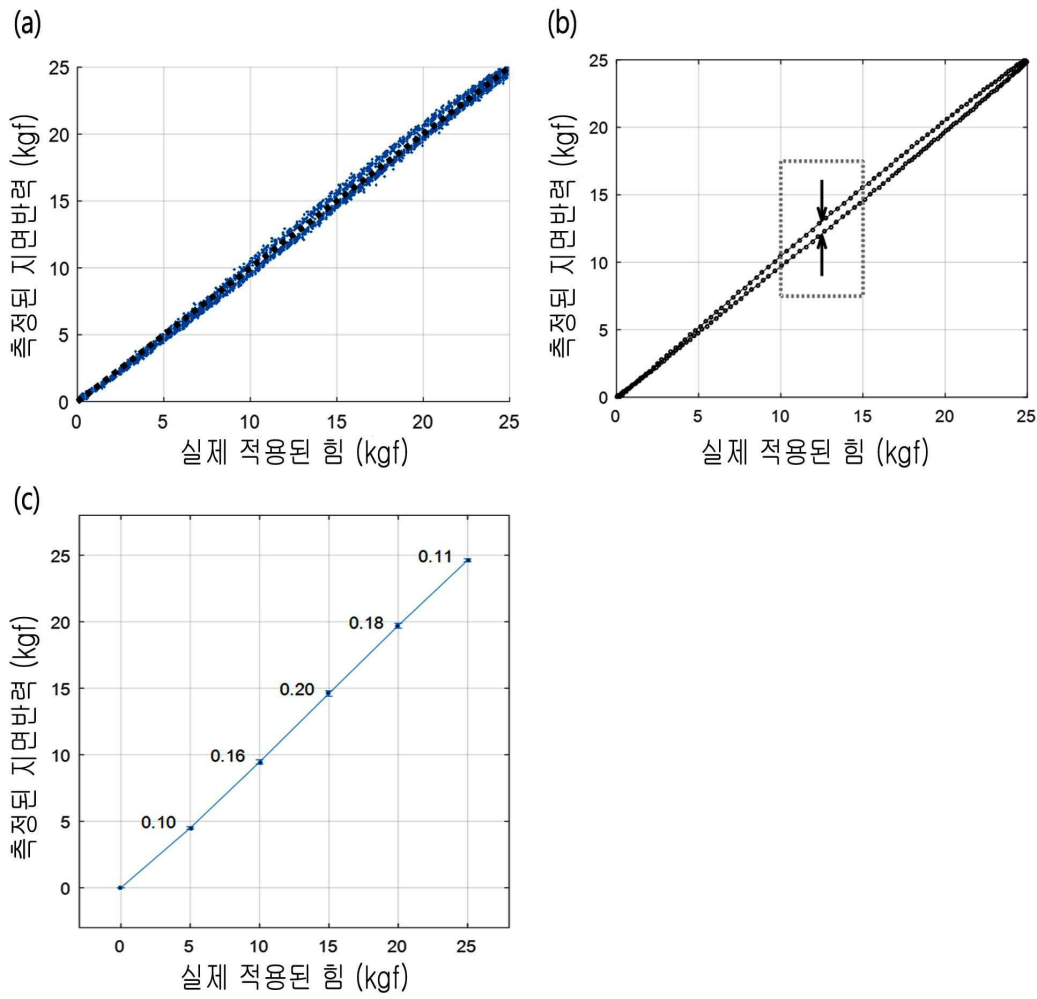
도면7



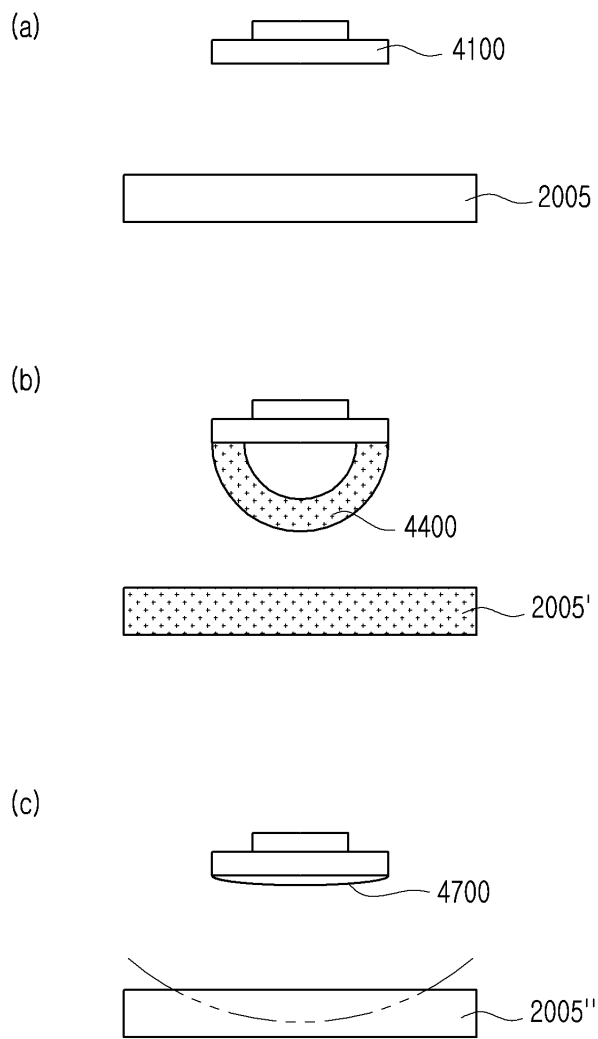
도면8



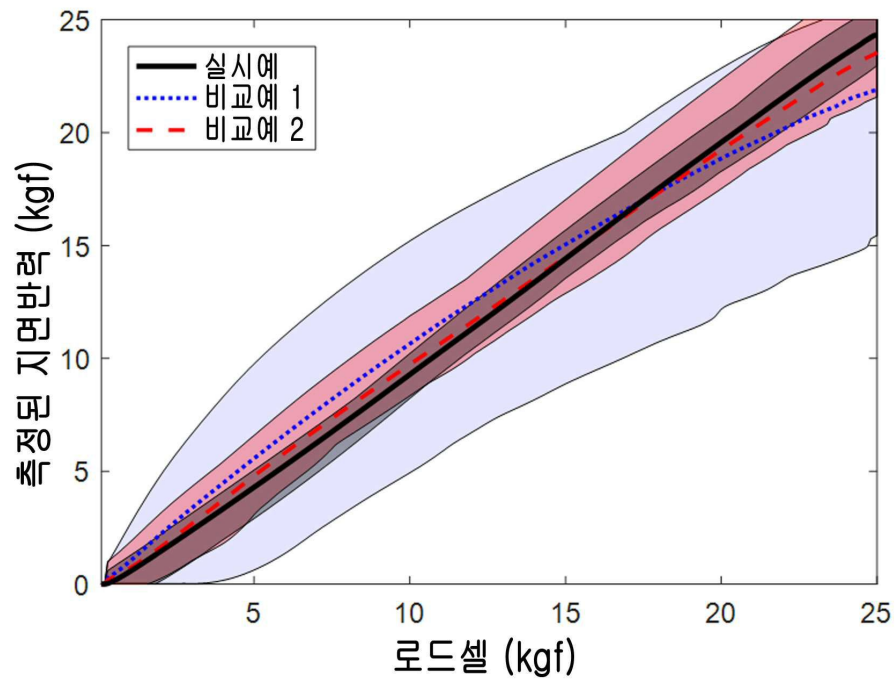
도면9



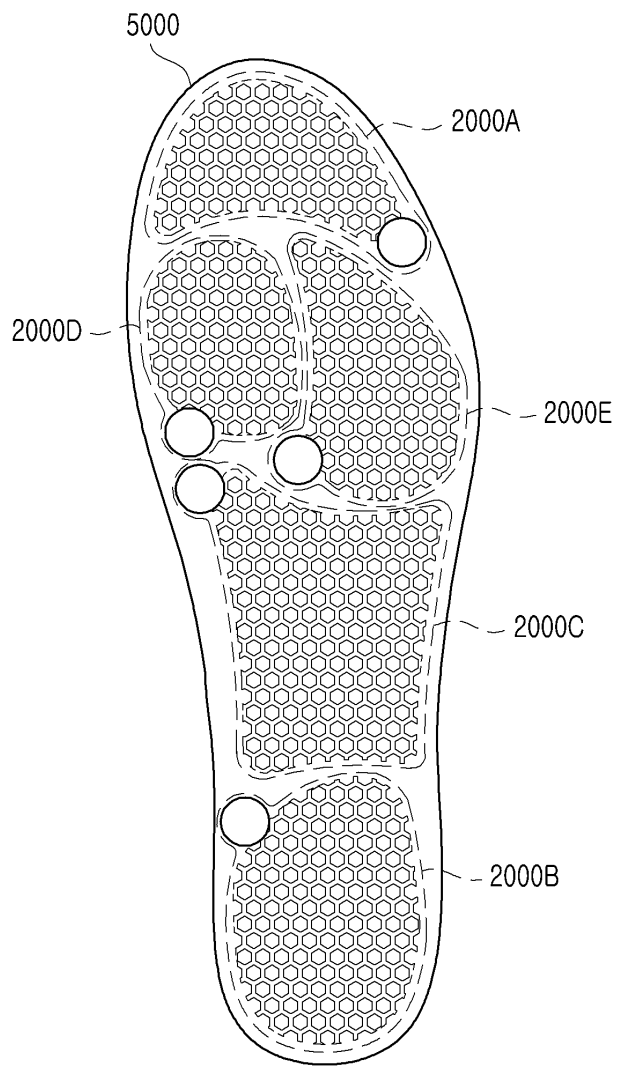
도면10



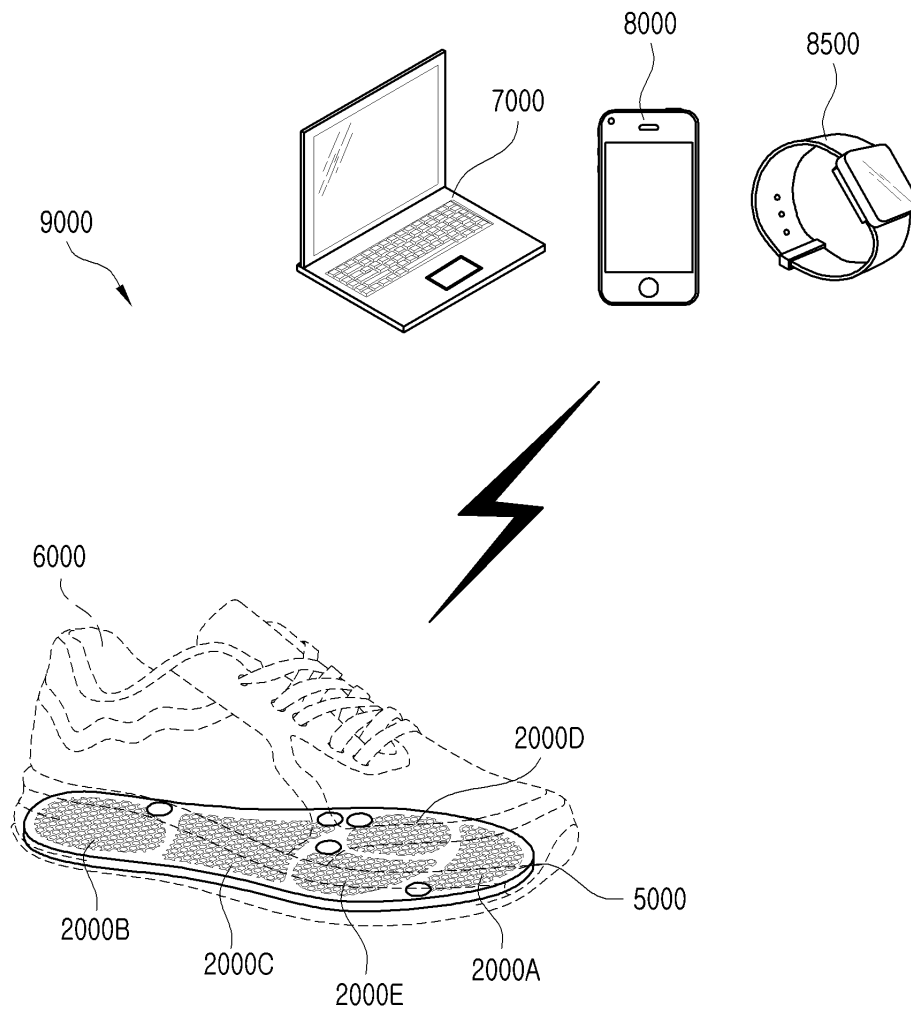
도면11



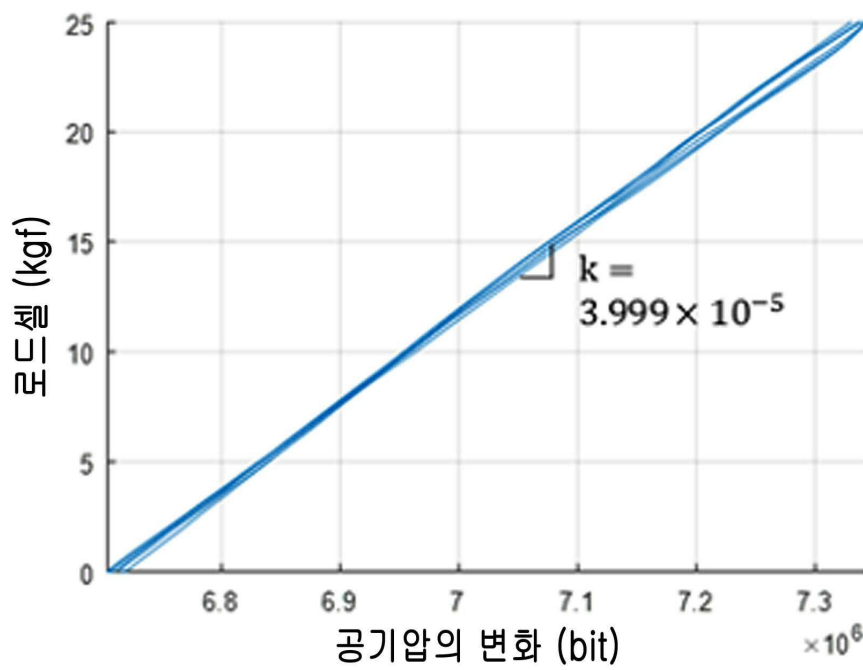
도면12



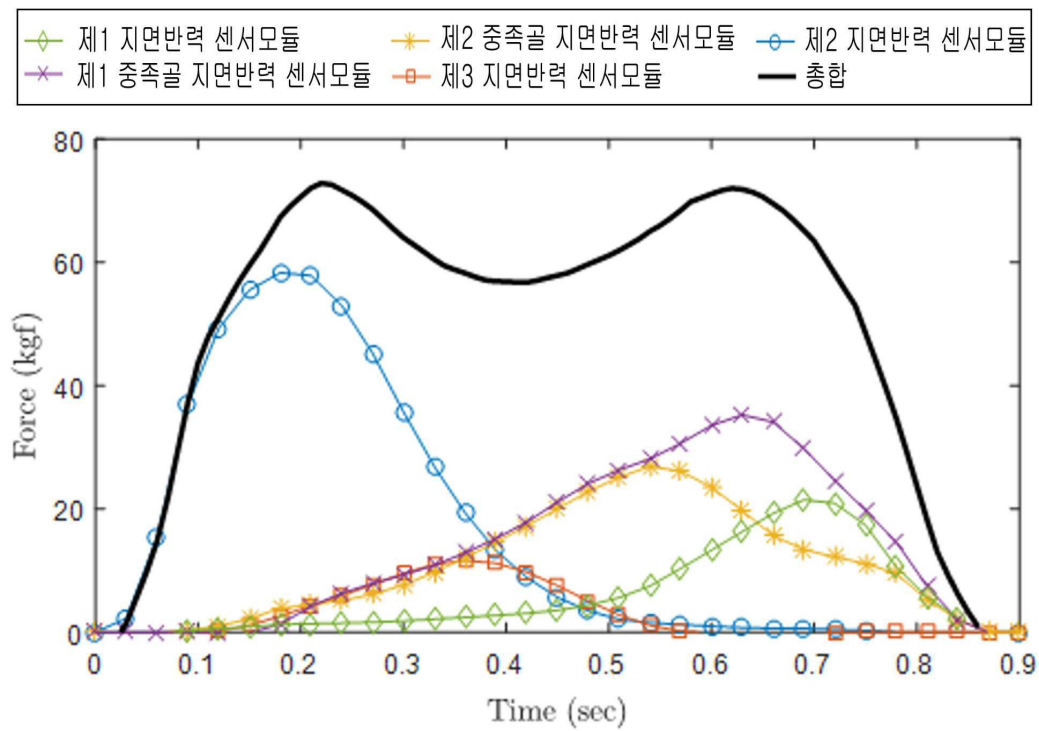
도면13



도면14



도면15



도면16

