(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0071970
(43) 공개일자 2025년05월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01M 99/00 (2011.01) *A61H 1/02* (2006.01)
B25J 19/00 (2006.01) *B25J 19/02* (2006.01)
B25J 9/00 (2006.01) *B25J 9/16* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01M 99/008 (2013.01)
A61H 1/0262 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0158054
(22) 출원일자 2023년11월15일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
대한민국(국립재활원장)
서울특별시 강북구 삼각산로 58 (수유동)
(72) 발명자
곽관웅
서울특별시 서초구 신반포로23길 41, 101동 502호(잠원동, 신반포2지구아파트)
이창환
서울특별시 광진구 동일로76나길 34-4, 현은하우스 301호 (중곡동)
유성문
서울특별시 노원구 노원로 58 우방아파트 401-203
(74) 대리인
홍동우

전체 청구항 수 : 총 30 항

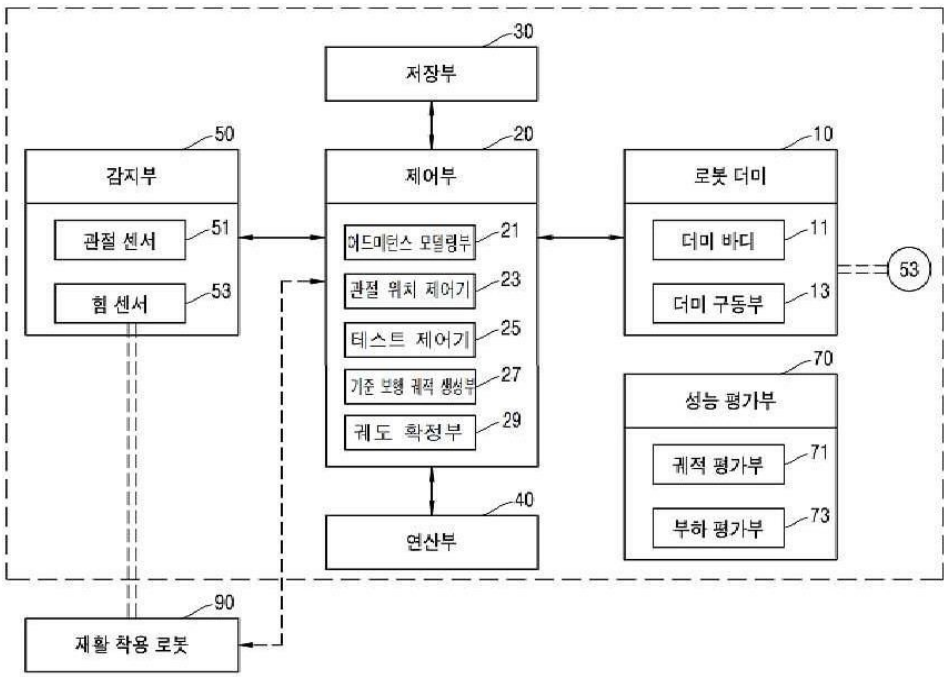
(54) 발명의 명칭 **보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템 및 이의 제어 방법**

(57) 요 약

본 발명은, 재활 착용 로봇이 장착 가능하고, 관절 동작 구현 가능한 인간형 로봇 더미(10)와, 상기 인간형 로봇 더미(10)의 구동을 제어하고 재활 착용 로봇의 신호를 입력받아 재활용 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트 실행을 제어하는 제어부(20)와, 상기 제어부(20)와 전기적 소통을 이루고 재활 환자를 모사하는 모델의 사전 설정

(뒷면에 계속)

대 표 도



데이터를 저장하는 저장부(30)와, 상기 제어부(20)와 전기적 소통을 이루고 재활 환자를 모사하기 위한 상기 인간형 로봇 더미(10)의 운동 궤적을 연산하는 연산부(40)와, 상기 인간형 로봇 더미(10)와 재활 착용 로봇 사이의 상호 작동 상태 정보를 감지하는 감지부(50)를 포함하고, 상기 감지부(50)에서 감지된 상호 작동 상태 정보와 상기 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터를 이용하여 재활 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트 제어를 실행하는 테스트 제어기(25)를 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1) 및 이의 제어 방법을 제공한다.

(52) CPC특허분류

B25J 19/0095 (2013.01)
B25J 19/02 (2013.01)
B25J 9/0006 (2013.01)
B25J 9/163 (2013.01)
B25J 9/1671 (2013.01)
A61H 2201/0173 (2013.01)
A61H 2201/1207 (2013.01)
A61H 2201/165 (2013.01)
A61H 2201/5007 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1465038029
과제번호	NRCTR-EX22010
부처명	보건복지부
과제관리(전문)기관명	국립재활원
연구사업명	국립재활원재활연구개발용역사업
연구과제명	재활로봇 안전 및 성능평가를 위한 로봇 더미(Dummy) 개발 중개연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학
연구기간	2022.05.18 ~ 2023.11.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

재활 착용 로봇이 장착 가능하고, 관절 동작 구현 가능한 인간형 로봇 더미(10)와,

상기 인간형 로봇 더미(10)의 구동을 제어하고 재활 착용 로봇의 신호를 입력받아 재활용 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트 실행을 제어하는 제어부(20)와,

목표 환자의 보행 관련 데이터를 입력받는 입력부(60)를 포함하고,

상기 제어부(20)는,

상기 목표 환자 보행 관련 데이터로부터 보행 특성을 추출하고, 상기 보행 특성에 기반하여 기준 보행 궤적을 산출하는 기준 보행 궤적 생성부(27)를 포함하고,

상기 기준 보행 궤적에 따라 상기 인간형 로봇 더미(10)에서 재활 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트가 실행되는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템(1).

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 입력부(60)를 통하여 입력되는 상기 목표 환자 보행 관련 데이터는, 목표 환자에 부착되는 3D 마커를 통해 취득한 보행 궤적 측정 데이터 및 보행 영상 데이터를 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템(1).

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 기준 보행 궤적 생성부(27)는:

목표 환자 보행 관련 데이터가 입력되고, 보폭, 보행 속도, 발 높이 중의 하나 이상을 포함하는 보행 특성을 추출하는 보행 특성 추출부(271)와,

추출된 상기 보행 특성 및 상기 인간형 로봇 더미(10)의 기구학 및 동력학 모델을 이용하여 예비 보행 궤적을 생성하는 최적화 제어기(273)와,

상기 최적화 제어기(273)에서 생성된 예비 보행 궤적을 3차원 멀티바디 다이나믹스 모델을 이용하여 시뮬레이션 실행 검증하는 시뮬레이션 검증 제어기(275)를 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템(1).

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 최적화 제어기(273)는:

추출된 상기 보행 특성 및 상기 인간형 로봇 더미(10)의 기구학 및 동력학 모델을 이용하여 예비 보행 궤적을 실행하는데 소요되는 소모 에너지를 목적 함수로 산출하는 목적 함수 산출기(2731)을 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템(1).

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 목적 함수 산출기(2731)에서 산출되는 소모 에너지는:

$$J=\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{M}|\tau_{i,j}\bullet\omega_{i,j}|$$ 이고,

여기서, τi,j는 구동 관절의 구동 토크, ωi,j는 구동 관절의 각속도를, M은 동역학 모델의 시뮬레이션 구간 수를, j는 관절 표시자로 동역학 모델의 모터에 의하여 구동되는 구동 관절의 번호를 나타내는 인 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템(1).

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 M은 예비 보행 궤적의 2초 구간을 등분할하고, 30 내지 50인 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템(1).

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 최적화 제어기(273)는:

상기 목적 함수 산출기(2731)에서 산출된 목적 함수를, 비선형 최소 제곱법(nonlinear least squre method), 내부점 방법(interior point method), sqp(순차 이차 계획법Sequential quadratic programming method) 중의 적어도 하나를 포함하는 수치 최적화 방식으로 최적화시키는 수치 최적화 산출기(2733)를 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템(1).

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 수치 최적화 산출기(2733)에서 산출되는 최적화된 목적 함수 수치를 이용하여, 룰렛 휠 선택 방법(Roulette Wheel Selection method), 교차(Crossover method), 돌연변이, 초기화(Initialization method)) 중의 적어도 하나를 포함하는 전역 최적화 유전 알고리즘 방식으로, 목적 함수의 유전 후보를 산출하는 전역 최적화 유전 알고리즘 산출기(2735)를 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템(1).

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 제어부(20)와 전기적 소통을 이루고 재활 환자를 모사하는 모델의 사전 설정 데이터를 저장하는 저장부(30)와,

상기 제어부(20)와 전기적 소통을 이루고 재활 환자를 모사하기 위한 상기 인간형 로봇 더미(10)의 운동 궤적을 연산하는 연산부(40)와,

상기 인간형 로봇 더미(10)와 재활 착용 로봇 사이의 상호 작동 상태 정보를 감지하는 감지부(50)를 포함하고,

상기 감지부(50)에서 감지된 상호 작동 상태 정보와 상기 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터를 이용하여 재활 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트 제어를 실행하는 테스트 제어기(25)를 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1).

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 인간형 로봇 더미(10)는:

하나 이상의 관절을 구비하는 관절 운동을 가능하게 하는 더미 바디(11)와,

상기 더미 바디(11)의 관절에 배치되어 상기 더미 바디(11)의 관절 운동을 실행하기 위한 구동력을 제공하는 더미 구동부(13)를 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1).

청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 상호 작동 상태 정보는, 상기 더미 바디(11)의 관절 각도 및 상기 더미 바디(11)와 재활 착용 로봇(90) 사이의 작용력을 포함하고,

상기 인간형 로봇 더미(10)와 재활 착용 로봇 사이의 상호 작동 상태 정보를 감지하는 감지부(50)를 포함하고,

상기 감지부(50)는:

상기 더미 바디(11)의 관절 각도를 감지하는 관절 센서(51)와,

상기 더미 바디(11)와 재활 착용 로봇(90) 사이에 배치되어 상기 더미 바디(11)와 재활 착용 로봇(90) 사이의 작용력을 감지하는 힘 센서(53)를 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1).

청구항 12

제 11항에 있어서,

상기 제어부(20)는:

재활 환자를 모사하기 위한 모델을 형성하는 어드미턴스 모델링부(21)와,

상기 어드미턴스 모델링부(21)에서 출력되는 모델 목표 관절 각도(Θd)와, 상기 인간형 로봇 더미(10)의 실제 관절 각도(Θ)를 이용하여 상기 인간형 로봇 더미(10)의 거동을 제어하는 관절 위치 제어기(23)를 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1).

청구항 13

제 12항에 있어서,

상기 관절 위치 제어기(23)는, 상기 모델 목표 관절 각도(Θd)와, 상기 실제 관절 각도(Θ)의 차이를 이용하여 산출된 출력 제어 신호로 상기 더미 구동부(13)에 입력하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1).

청구항 14

제 13항에 있어서,

상기 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터는 처방 궤적 데이터를 포함하고,

상기 테스트 제어기(25)는:

재활 착용 로봇(90)의 관절 각도가 상기 처방 궤적 데이터의 추종성을 테스트하기 위하여 상기 관절 위치 제어

기(23)가 상기 더미 구동부(13)에 구동 제어 신호를 인가하도록 하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1).

청구항 15

제 14항에 있어서,

상기 테스트 제어기(25)는, 재활 환자의 강직 상태 시 재활 착용 로봇(90)와 상기 더미 바디(11) 간의 작용력을 감지하여 안전성을 테스트하기 위하여, 상기 어드미턴스 모델링부(21)가 상기 사전 설정 데이터를 이용하여 조정되어 상기 모델 목표 관절 각도(Θd)를 출력하고, 상기 인간형 로봇 더미(10)의 실제 관절 각도(Θ) 및 상기 모델 목표 관절 각도(Θd)를 이용하여 상기 관절 위치 제어기(23)가 상기 더미 구동부(13)에 구동 제어 신호를 인가하도록 하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1).

청구항 16

제 15항에 있어서,

상기 테스트 제어기(25)에 의하여 재활 환자 착용 로봇이 테스트되는 경우,

생성되는 상호 작동 상태 정보 및 상기 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터를 이용하여 재활 환자 착용 로봇의 성능을 평가하는 성능 평가부(70)가 구비되는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1).

청구항 17

제 16항에 있어서,

상기 성능 평가부(70)는:

상기 인간형 로봇 더미(10)의 실제 관절 각도(Θ)에 의하여 형성되는 실제 궤적 및 재활용 착용 로봇(90)이 추종해야 하는 처방 궤적 간의 괴리 정보를 통하여 궤적 추종성을 판단하는 궤적 평가부(71)를 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1).

청구항 18

제 16항에 있어서,

상기 성능 평가부(70)는:

재활 착용 로봇(90)의 관절 각도 및 상기 처방 궤적 데이터에 따른 목표 관절 각도와, 재활 환자의 강직 상태 시 재활 착용 로봇(90)와 상기 더미 바디(11) 간의 작용력 및 상기 사전 설정 데이터를 이용하여 재활 착용 로봇(90)의 부하 안정성 여부를 판단하는 부하 평가부(73)를 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1).

청구항 19

재활 착용 로봇이 장착 가능하고, 관절 동작 구현 가능한 인간형 로봇 더미(10)와, 상기 인간형 로봇 더미(10)의 구동을 제어하고 재활 착용 로봇의 신호를 입력받아 재활용 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트 실행을 제어하는 제어부(20)와, 목표 환자의 보행 관련 데이터를 입력받는 입력부(60)를 포함하고, 상기 제어부(20)는, 상기 목표 환자 보행 관련 데이터로부터 보행 특성을 추출하고, 상기 보행 특성에 기반하여 기준 보행 궤적을 산출하는 기준 보행 궤적 생성부(27)를 포함하고, 상기 기준 보행 궤적에 따라 상기 인간형 로봇 더미(10)에서 재활 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트가 실행되는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템(1)을 제공하는 제공 단계(S1)를 포함하고,

상기 제공 단계(S1)는:

상기 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1)을 제공하는 시스템 제공 단계(S1a)와,

상기 시스템 제공 단계(S1a)의 상기 제어부(20), 상기 입력부(60), 상기 저장부(30) 및 상기 연산부(40)에 의하여 재활 환자를 모사하기 위한 상기 인간형 로봇 더미(10)의 기준 보행 궤적을 생성 제공하는 기준 보행 궤적 제공 단계(S1b)를 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템 제어 방법.

청구항 20

제 19항에 있어서,

상기 기준 보행 궤적 제공 단계(S1b)는:

상기 기준 보행 궤적 생성부(27)의 보행 특성 추출부(271)에서 입력되는 목표 환자 보행 관련 데이터에 기초하여 보폭, 보행 속도, 발 높이 중의 하나 이상을 포함하는 보행 특성이 추출되는 보행 특성 분석 단계(S40)와,

상기 기준 보행 궤적 생성부(27)의 최적화 제어기(273)에서 추출된 상기 보행 특성 및 상기 인간형 로봇 더미(10)의 기구학 및 동력학 모델을 이용하여 예비 보행 궤적이 생성되는 예비 보행 궤적 생성 단계(S50)와,

상기 기준 보행 궤적 생성부(27)의 시뮬레이션 검증 제어기(275)에서, 상기 최적화 제어기(273)에서 생성된 예비 보행 궤적 및 3차원 멀티바디 다이나믹스 모델을 이용하여 시뮬레이션 실행 검증하고 시뮬레이션 검증 단계(S60)와,

상기 시뮬레이션 검증 단계(S60)에서 검증 완결된 예비 보행 궤적을 기준 보행 궤적으로 확정하는 기준 보행 궤적 확정 단계(S70)를 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템 제어 방법.

청구항 21

제 20항에 있어서,

상기 예비 보행 궤적 생성 단계(S50)는:

상기 최적화 제어기(273)의 목적 함수 산출기(2731)에서, 상기 보행 특성 분석 단계(S40)에서 추출된 상기 보행 특성 및 상기 인간형 로봇 더미(10)의 기구학 및 동력학 모델을 이용하여, 예비 보행 궤적을 실행하는데 소요되는 소모 에너지가 목적 함수로 산출되는 예비 보행 궤적 목적 함수 산출 단계(S51)를 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템 제어 방법.

청구항 22

제 21항에 있어서,

상기 예비 보행 궤적 목적 함수 산출 단계(S51)에서 상기 목적 함수 산출기(2731)가 산출하는 소모 에너지는:

$$J=\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{M}|\tau_{i,j}\bullet\omega_{i,j}|$$ 이고,

여기서, τi,j는 구동 관절의 구동 토크, ωi,j는 구동 관절의 각속도를, M은 동역학 모델의 시뮬레이션 구간 수를, j는 관절 표시자로 동역학 모델의 모터에 의하여 구동되는 구동 관절의 번호를 나타내는 인 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템 제어 방법.

청구항 23

제 22항에 있어서,

상기 예비 보행 궤적 생성 단계(S50)는:

상기 최적화 제어기(273)의 수치 최적화 산출기(2733)에서, 비선형 최소 제곱법(nonlinear least squre method), 내부점 방법(interior point method), sqp(순차 이차 계획법Sequential quadratic programming method) 중의 적어도 하나를 포함하는 수치 최적화 방식으로, 상기 목적 함수 산출기(2731)에서 산출된 목적 함수를 최적화시키는 예비 보행 궤적 목적 함수 최적화 단계(S53)을 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템 제어 방법.

청구항 24

제 23항에 있어서,

상기 예비 보행 궤적 생성 단계(S50)는:

상기 예비 보행 궤적 목적 함수 최적화 단계(S53)에서 산출되는 최적화된 목적 함수 수치를 이용하여, 상기 최적화 제어기(273)의 전역 최적화 유전 알고리즘 산출기(2735)에서, 룰렛 휠 선택 방법(Roulette Wheel Selection method), 교차(Crossover method), 돌연변이, 초기화(Initialization method)) 중의 적어도 하나를 포함하는 전역 최적화 유전 알고리즘 방식으로, 목적 함수의 유전 후보가 산출되는 예비 보행 궤적 목적 함수 유전 후보 산출 단계(S55)를 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템 제어 방법.

청구항 25

제 19항에 있어서,

상기 제어부(20)의 테스트 제어기(25)가 재활 착용 로봇(90)의 작동 성능을 평가하기 위한 하나 이상의 테스트 모드를 선택 실행하여 테스트 데이터를 취득하는 테스트 단계(S10)와

상기 테스트 단계(S10)에서 취득한 테스트 데이터와 상기 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터를 이용하여 재활 착용 로봇에 대한 평가 데이터를 산출하는 평가 단계(S30)를 포함하는 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템 제어 방법.

청구항 26

재활 착용 로봇이 장착 가능하고, 관절 동작 구현 가능한 인간형 로봇 더미(10)와, 상기 인간형 로봇 더미(10)의 구동을 제어하고 재활 착용 로봇의 신호를 입력받아 재활 치료용 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트 실행을 제어하는 제어부(20)와, 목표 환자의 보행 관련 데이터를 입력받는 입력부(60)를 포함하고, 상기 제어부(20)는, 상기 목표 환자 보행 관련 데이터로부터 보행 특성을 추출하고, 상기 보행 특성에 기반하여 기준 보행 궤적을 산출하는 기준 보행 궤적 생성부(27)를 포함하고, 상기 기준 보행 궤적에 따라 상기 인간형 로봇 더미(10)에서 재활 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트가 실행되고,

목표 환자의 물성 반영하여 거동 특성 실행 가능하도록 목표 환자의 신체를 3차원 스캐닝하여 반영할 어디셔널 바디를 생성하는 어디셔널 바디 생성부(400)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 보행 궤적 생성형 재활 착용 로봇 평가 시스템(1).

청구항 27

제 26항에 있어서

상기 어디셔널 바디 생성부(400)는:

목표 환자의 신체를 3차원 스캐닝하여 어디셔널 바디 생성을 위한 공간 정보를 취득하는 어디셔널 바디 스캐너(410)와,

적어도 상기 어디셔널 바디 스캐너(410)에 의하여 생성된 공간 정보를 이용하여 상기 인간형 로봇 더미(10)에

배치할 어디셔널 바디를 모델링하는 어디셔널 바디 모델링부(420)를 포함하는 것을 특징으로 하는 보행 궤적 생성형 재활 착용 로봇 평가 시스템(1).

청구항 28

제 27항에 있어서

상기 인간형 로봇 더미(10)에는 상기 어디셔널 바디 모델링부(420)에서 모델링된 어디셔널 바디(300)가 부착되는 것을 특징으로 하는

상기 어디셔널 바디 생성부(400)는:

목표 환자의 신체를 3차원 스캐닝하여 어디셔널 바디 생성을 위한 공간 정보를 취득하는 어디셔널 바디 스캐너(410)와,

적어도 상기 어디셔널 바디 스캐너(410)에 의하여 생성된 공간 정보를 이용하여 상기 인간형 로봇 더미(10)에 배치할 어디셔널 바디를 모델링하는 어디셔널 바디 모델링부(420)를 포함하는 것을 특징으로 하는 보행 궤적 생성형 재활 착용 로봇 평가 시스템(1)

청구항 29

제 28항에 있어서

상기 더미 바디(11)는:

목표 환자의 상부 몸체에 대응하는 토르소 바디(110)

상기 토르소 바디(110)에 연결되어 보행 궤적에 따른 보행 동작을 구현 가능하게 하는 레그 바디(120)를 포함하는 것을 특징으로 하는 보행 궤적 생성형 재활 착용 로봇 평가 시스템(1).

청구항 30

제 29항에 있어서

상기 어디셔널 바디(300)는:

상기 토르소 바디(110)에 연결되는 토르소 어디셔널 바디(310)와,

상기 레그 바디(120)에 연결되는 레그 어디셔널 바디(320)를 포함하는 것을 특징으로 하는 보행 궤적 생성형 재활 착용 로봇 평가 시스템(1).

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템 및 이의 제어 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 착용로봇은 1970년대부터 개발이 진행되었으며, 다양한 종류의 착용로봇들이 개발되었다. 착용로봇은 다양한 목적으로 개발되며, 주로 재활용, 군사용, 그리고 작업용으로 개발되고 있다. 예를 들어 군사용과 작업용 착용로봇은 주로 착용자의 자중 혹은 외부 부하를 지지하여 착용자의 피로도를 줄여주고 근골격계 상해 빈도를 줄여주는 것이 목적이다.

[0004] 착용로봇 관련기술 중 가장 많은 연구가 집중된 것은 착용로봇의 기본 구동원리를 구현할 수 있는 사용자 의도 파악 및 의도에 적합한 근력 지원을 구현하기 위한 제어 기술이다. 사용자 동작의도 동기화(의도파악) 및 근력

지원 기술은 여러 방식에 의해 구현되며, EMG 신호, 토크(또는 힘), 상체 기울기, 무게중심(또는 압력중심), 피부 표면 압력 등 다양한 물리량이 이용되고 있다. 착용로봇의 근력지원은 효용성을 결정하는 핵심 요인이며, 부족한 동기화 및 근력지원 성능은 착용자의 불편함, 피로도 그리고 부하를 증가시킨다. 이렇듯 중요한 가치에도 불구하고, 동기화 및 근력지원 성능이 실제로 어느 수준에서 적절히 구현되었는지 평가하는 방법에 대한 연구는 매우 제한적인 상황이다.

[0005] 착용로봇의 성능을 평가하는 방법으로 생체 신호 방식(EMG 신호, metabolic cost 등)이 제시된 바 있다. 이 방법은 모두 착용자의 근육활동 결과를 측정하는 평가 방법으로, 직관적으로 이해하기 쉽고, 접근성도 좋은 편이다. 하지만 이러한 방법들은 신체에서 측정된 신호에 기반한 간접적인 지표들로 평가 시 착용자의 신체적 능력이나 상태에 영향을 받게 되고 착용자에 따라 기준값이 달라질 수 있는 문제점이 있다. 따라서 시험자나 시험자의 몸 상태에 관계없이 객관적이고 재현성을 담보할 수 방법을 발굴하는 것이 필요하다.

[0006] 착용 로봇은 산업 전방위 분야에 적용되고 있으나, 산업 분야 현장에만 국한되지 않고 일반 소바지가 필요로 하는 다양한 분야에 적용되고 있는데, 특히 재활 분야에서도 활발한 연구가 진행되고 있다.

[0007] 착용식 재활로봇은 각종 신경계 마비환자의 재활훈련을 돕는데 사용되며 용도에 따라 완전 마비 환자용과 부분 마비 환자용으로 구분이 가능하다. 이 중 완전마비 환자 재활용 착용로봇(이하 착용로봇)은 자발적 보행이 불가능한 환자의 하지에 대해 적절한 보조력을 발생시켜 치료사 혹은 의사에 의해 처방된 보행 궤적을 생성하여 재활을 수행한다. 이때 재활용 착용로봇의 핵심 성능은 처방된 궤적 재현성이라 할 수 있다. 재활용 착용의 이러한 성능에 대한 확인 및 검증은 매우 중요하며, 이에 대한 평가 기술의 개발이 요구되고 있다.

[0008] 하지 마비 환자에게 재활용 착용로봇은 최신 재활 기술로서 적용되어 치료 효과가 입증되고 있다. 하지만 마비 환자는 재활용 착용로봇에 의해 얻어지는 치료효과를 주체적 또는 객관적으로 평가하거나, 발생할 수 있는 불편함 또는 통증을 느낄 수 없으므로 치료 효과 평가는 치료사의 경험에 의존하게 된다. 즉 재활용 착용로봇의 치료 효과는 치료사의 판단에 의해 주관적으로 평가되므로 재활용 착용로봇의 성능에 대한 평가에 객관성을 담보하기 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 재활용 착용로봇 성능의 객관적 시험 평가 방법 개발이 요구된다.

[0010] 하지 마비 환자에게 재활용 착용로봇은 최신 재활 기술로서 적용되어 치료 효과가 입증되고 있다. 하지만 마비 환자는 재활용 착용로봇에 의해 얻어지는 치료효과를 주체적 또는 객관적으로 평가하거나, 발생할 수 있는 불편함 또는 통증을 느낄 수 없으므로 치료 효과 평가는 치료사의 경험에 의존하게 된다. 즉 재활용 착용로봇의 치료 효과는 치료사의 판단에 의해 주관적으로 평가되므로 재활용 착용로봇의 성능에 대한 평가에 객관성을 담보하기 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 재활용 착용로봇 성능의 객관적 시험 평가 방법 개발 및 관련 기술 개발이 요구된다.

[0012] 착용식 재활로봇은 각종 신경계 마비환자의 재활훈련을 돕는데 사용되며 용도에 따라 완전 마비 환자용과 부분 마비 환자용으로 구분이 가능하다. 이 중 완전마비 환자 재활용 착용로봇(이하 착용로봇)은 자발적 보행이 불가능한 환자의 하지에 대해 적절한 보조력을 발생시켜 치료사 혹은 의사에 의해 처방된 보행 궤적을 생성하여 재활을 수행한다. 이때 재활용 착용로봇의 핵심 성능은 처방된 궤적 재현성이라 할 수 있다. 재활용 착용의 이러한 성능에 대한 확인 및 검증은 매우 중요하며, 이에 대한 평가 기술의 개발이 요구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 따라서, 본 발명은 상술한 바와 같은 문제점을 해소하기 위하여 안출된 것으로, 착용 로봇의 성능 시험 평가의 객관성을 확보하고, 반복 실험을 통한 동일 조건 구현 제공을 통하여 신뢰성을 확보할 수 있는 인간형 테스트 로봇 유니트, 이를 구비하는 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템 및 이의 제어 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0016] 즉, 본 발명으로 이루고자 하는 기술적 과제는 하지 마비 환자 재활용 착용로봇의 성능을 인간형 로봇 더미를

이용하여 객관적으로 평가하는 시스템 및 평가를 위한 제어 방법으로, 본 발명의 구성을 통하여 환자 대신 환자의 거동 또는 환자 관절의 동특성을 반복적으로 정확히 재현할 수 있는 인간형 더미 로봇을 이용하여 시험의 객관성 확보가 가능하도록 함을 목적으로 한다.

[0017] 또한, 하지 마비 환자의 경우 보행 상태의 특성이 존재하는바, 테스트의 정확도를 위하여 하지 마비 환자 등의 보행 상태를 정확하게 재현하는 보행 패턴에 대한 필요성이 증대되는 바, 이를 최대한 현실적인 하지 마비 환자의 보행 패턴을 재현 가능하게 하여 시스템의 테스팅 정확도를 증대시키는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0019] 본 발명으로 이루고자 하는 기술적 과제는 하지마비환자 재활용 착용로봇의 성능을 평가할 수 있는 로봇 더미의 보행 궤적을 생성하는 알고리즘 제안이다. 제안된 알고리즘에 의해 환자 대신 로봇 더미가 환자의 보행 특성(보폭, 발 높이, 보행속도 등)이 반영된 보행 궤적을 생성하여 환자 특성이 반영된 시험을 진행할 수 있다.

[0020] 하지 마비 환자는 재활 수준에 따라 다양한 보행 패턴을 형성하여 보폭, 보행속도, 그리고 발 높이 등이 지속적으로 변화하므로 재활용 착용로봇은 다양한 보행 특성에도 대응할 수 있어야 한다. 따라서 환자 역할을 대신하는 로봇 더미는 환자 보행 특성을 구현해야 하고, 이에 대한 착용로봇의 응답특성을 평가할 수 있어야 한다. 이를 위해 로봇 더미가 환자의 보행 패턴을 모사할 수 있도록 환자의 보행 패턴이 반영된 보행 궤적을 생성하는 보행 궤적 생성 알고리즘이 제안된다.

[0021] 본 발명은, 재활용 착용 로봇, 특히 하지 마비 환자 재활용 착용 로봇은 강직 또는 경직 특성이 있는 환자 관절의 특성을 극복하고 처방된 궤적을 생성하도록, 환자 역할을 대신하는 로봇 더미는 마비환자 관절의 강직 또는 경직 특성 구현 및 이를 통한 착용로봇의 응답특성을 평가할 수 있도록, 마비환자 강직/경직의 동특성을 나타내는 어드미턴스 모델을 수립하고, 이를 기준모델로 설정하여 이를 추종하는 어드미턴스 제어를 통해 환자 관절의 동특성을 더미로봇 관절에 적용하여 구현하도록 한다.

[0022] 즉, 본 발명은, 재활 착용 로봇이 장착 가능하고, 관절 동작 구현 가능한 인간형 로봇 더미(10)와, 상기 인간형 로봇 더미(10)의 구동을 제어하고 재활 착용 로봇의 신호를 입력받아 재활용 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트 실행을 제어하는 제어부(20)와, 목표 환자의 보행 관련 데이터를 입력받는 입력부(60)를 포함하고, 상기 제어부(20)는, 상기 목표 환자 보행 관련 데이터로부터 보행 특성을 추출하고, 상기 보행 특성에 기반하여 기준 보행 궤적을 산출하는 기준 보행 궤적 생성부(27)를 포함하고, 상기 기준 보행 궤적에 따라 상기 인간형 로봇 더미(10)에서 재활 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트가 실행되는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템(1)을 제공한다.

[0023] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 입력부(60)를 통하여 입력되는 상기 목표 환자 보행 관련 데이터는, 목표 환자에 부착되는 3D 마커를 통해 취득한 보행 궤적 측정 데이터 및 보행 영상 데이터를 포함할 수도 있다.

[0024] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 기준 보행 궤적 생성부(27)는: 목표 환자 보행 관련 데이터가 입력되고, 보폭, 보행 속도, 발 높이 중의 하나 이상을 포함하는 보행 특성을 추출하는 보행 특성 추출부(271)와, 추출된 상기 보행 특성 및 상기 인간형 로봇 더미(10)의 기구학 및 동력학 모델을 이용하여 예비 보행 궤적을 생성하는 최적화 제어기(273)와, 상기 최적화 제어기(273)에서 생성된 예비 보행 궤적을 3차원 멀티바디 다이나믹스 모델을 이용하여 시뮬레이션 실행 검증하는 시뮬레이션 검증 제어기(275)를 포함할 수도 있다.

[0025] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 최적화 제어기(273)는: 추출된 상기 보행 특성 및 상기 인간형 로봇 더미(10)의 기구학 및 동력학 모델을 이용하여 예비 보행 궤적을 실행하는데 소요되는 소모 에너지를 목적 함수로 산출하는 목적 함수 산출기(2731)을 포함할 수도 있다.

[0026] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 목적 함수 산출기(2731)에서 산출되는 소모 에너지는:

[0027] $$J=\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{M}|\tau_{i,j}\bullet\omega_{i,j}|$$ 이고,

[0028] 여기서, $\tau i,j$는 구동 관절의 구동 토크, $\omega i,j$는 구동 관절의 각속도를, M은 동역학 모델의 시뮬레이션 구간

수를, j는 관절 표시자로 동역학 모델의 모터에 의하여 구동되는 구동 관절의 번호를 나타낼 수 있다.

[0029] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 M은 예비 보행 궤적의 2초 구간을 등분할하고, 30 내지 50일 수 있다.

[0030] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 최적화 제어기(273)는: 상기 목적 함수 산출기(2731)에서 산출된 목적 함수를, 비선형 최소 제곱법(nonlinear least squre method), 내부점 방법(interior point method), sqp(순차 이차 계획법Sequential quadratic programming method) 중의 적어도 하나를 포함하는 수치 최적화 방식으로 최적화시키는 수치 최적화 산출기(2733)를 포함할 수도 있다.

[0031] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 수치 최적화 산출기(2733)에서 산출되는 최적화된 목적 함수 수치를 이용하여, 룰렛 휠 선택 방법(Roulette Wheel Selection method), 교차(Crossover method), 돌연변이, 초기화(Initialization method)) 중의 적어도 하나를 포함하는 전역 최적화 유전 알고리즘 방식으로, 목적 함수의 유전 후보를 산출하는 전역 최적화 유전 알고리즘 산출기(2735)를 포함할 수도 있다.

[0032] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 제어부(20)와 전기적 소통을 이루고 재활 환자를 모사하는 모델의 사전 설정 데이터를 저장하는 저장부(30)와, 상기 제어부(20)와 전기적 소통을 이루고 재활 환자를 모사하기 위한 상기 인간형 로봇 더미(10)의 운동 궤적을 연산하는 연산부(40)와, 상기 인간형 로봇 더미(10)와 재활 착용 로봇 사이의 상호 작동 상태 정보를 감지하는 감지부(50)를 포함하고, 상기 감지부(50)에서 감지된 상호 작동 상태 정보와 상기 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터를 이용하여 재활 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트 제어를 실행하는 테스트 제어기(25)를 포함할 수도 있다.

[0033] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 인간형 로봇 더미(10)는: 하나 이상의 관절을 구비하는 관절 운동을 가능하게 하는 더미 바디(11)와, 상기 더미 바디(11)의 관절에 배치되어 상기 더미 바디(11)의 관절 운동을 실행하기 위한 구동력을 제공하는 더미 구동부(13)를 포함할 수도 있다.

[0034] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 상호 작동 상태 정보는, 상기 더미 바디(11)의 관절 각도 및 상기 더미 바디(11)와 재활 착용 로봇(90) 사이의 작용력을 포함하고, 상기 인간형 로봇 더미(10)와 재활 착용 로봇 사이의 상호 작동 상태 정보를 감지하는 감지부(50)를 포함하고, 상기 감지부(50)는: 상기 더미 바디(11)의 관절 각도를 감지하는 관절 센서(51)와, 상기 더미 바디(11)와 재활 착용 로봇(90) 사이에 배치되어 상기 더미 바디(11)와 재활 착용 로봇(90) 사이의 작용력을 감지하는 힘 센서(53)를 포함할 수도 있다.

[0035] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 제어부(20)는: 재활 환자를 모사하기 위한 모델을 형성하는 어드미턴스 모델링부(21)와, 상기 어드미턴스 모델링부(21)에서 출력되는 모델 목표 관절 각도(Θd)와, 상기 인간형 로봇 더미(10)의 실제 관절 각도(Θ)를 이용하여 상기 인간형 로봇 더미(10)의 거동을 제어하는 관절 위치 제어기(23)를 포함할 수도 있다.

[0036] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 관절 위치 제어기(23)는, 상기 모델 목표 관절 각도(Θd)와, 상기 실제 관절 각도(Θ)의 차이를 이용하여 산출된 출력 제어 신호로 상기 더미 구동부(13)에 입력할 수도 있다.

[0037] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터는 처방 궤적 데이터를 포함하고, 상기 테스트 제어기(25)는: 재활 착용 로봇(90)의 관절 각도가 상기 처방 궤적 데이터의 추종성을 테스트하기 위하여 상기 관절 위치 제어기(23)가 상기 더미 구동부(13)에 구동 제어 신호를 인가하도록 할 수도 있다.

[0038] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 테스트 제어기(25)는, 재활 환자의 강직 상태 시 재활 착용 로봇(90)와 상기 더미 바디(11) 간의 작용력을 감지하여 안전성을 테스트하기 위하여, 상기 어드미턴스 모델링부(21)가 상기 사전 설정 데이터를 이용하여 조정되어 상기 모델 목표 관절 각도(Θd)를 출력하고, 상기 인간형 로봇 더미(10)의 실제 관절 각도(Θ) 및 상기 모델 목표 관절 각도(Θd)를 이용하여 상기 관절 위치 제어기(23)가 상기 더미 구동부(13)에 구동 제어 신호를 인가하도록 할 수도 있다.

[0039] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 테스트 제어기(25)에 의하여 재활 환자 착용 로봇이 테스트되는 경우, 생성되는 상호 작동 상태 정보 및 상기 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터를 이용하여 재활 환자 착용 로봇의 성능을 평가하는 성능 평가부(70)가 구비될 수도 있다.

[0040] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 성능 평가부(70)는: 상기 인간형 로봇 더미(10)의 실제 관절 각도(Θ)에 의하여 형성되는 실제 궤적 및 재활용 착용 로봇(90)이 추종해야 하는 처방 궤적 간의 괴리 정보를 통하여 궤적 추종성을 판단하는 궤적 평가부(71)를 포함할 수도 있다.

[0041] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 성능 평가부(70)는: 재활 착용 로봇(90)의 관절 각도 및 상기 처방 궤적 데이터에 따른 목표 관절 각도와, 재활 환자의 강직 상태 시 재활 착용 로봇(90)와 상기 더미 바디(11) 간의 작용력 및 상기 사전 설정 데이터를 이용하여 재활 착용 로봇(90)의 부하 안정성 여부를 판단하는 부하 평가부(73)를 포함할 수도 있다.

[0042] 본 발명의 다른 일면에 따르면, 본 발명은 재활 착용 로봇이 장착 가능하고, 관절 동작 구현 가능한 인간형 로봇 더미(10)와, 상기 인간형 로봇 더미(10)의 구동을 제어하고 재활 착용 로봇의 신호를 입력받아 재활용 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트 실행을 제어하는 제어부(20)와, 목표 환자의 보행 관련 데이터를 입력받는 입력부(60)를 포함하고, 상기 제어부(20)는, 상기 목표 환자 보행 관련 데이터로부터 보행 특성을 추출하고, 상기 보행 특성에 기반하여 기준 보행 궤적을 산출하는 기준 보행 궤적 생성부(27)를 포함하고, 상기 기준 보행 궤적에 따라 상기 인간형 로봇 더미(10)에서 재활 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트가 실행되는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 평가 시스템(1)을 제공하는 제공 단계(S1)를 포함하고, 상기 제공 단계(S1)는: 상기 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1)을 제공하는 시스템 제공 단계(S1a)와, 상기 시스템 제공 단계(S1a)의 상기 제어부(20), 상기 입력부(60), 상기 저장부(30) 및 상기 연산부(40)에 의하여 재활 환자를 모사하기 위한 상기 인간형 로봇 더미(10)의 기준 보행 궤적을 생성 제공하는 기준 보행 궤적 제공 단계(S1b)를 포함할 수도 있다.

[0043] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템 제어 방법에 있어서, 상기 기준 보행 궤적 제공 단계(S1b)는: 상기 기준 보행 궤적 생성부(27)의 보행 특성 추출부(271)에서 입력되는 목표 환자 보행 관련 데이터에 기초하여 보폭, 보행 속도, 발 높이 중의 하나 이상을 포함하는 보행 특성이 추출되는 보행 특성 분석 단계(S40)와, 상기 기준 보행 궤적 생성부(27)의 최적화 제어기(273)에서 추출된 상기 보행 특성 및 상기 인간형 로봇 더미(10)의 기구학 및 동력학 모델을 이용하여 예비 보행 궤적이 생성되는 예비 보행 궤적 생성 단계(S50)와, 상기 기준 보행 궤적 생성부(27)의 시뮬레이션 검증 제어기(275)에서, 상기 최적화 제어기(273)에서 생성된 예비 보행 궤적 및 3차원 멀티바디 다이나믹스 모델을 이용하여 시뮬레이션 실행 검증하고 시뮬레이션 검증 단계(S60)와, 상기 시뮬레이션 검증 단계(S60)에서 검증 완결된 예비 보행 궤적을 기준 보행 궤적으로 확정하는 기준 보행 궤적 확정 단계(S70)를 포함할 수도 있다.

[0044] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템 제어 방법에 있어서, 상기 예비 보행 궤적 생성 단계(S50)는: 상기 최적화 제어기(273)의 목적 함수 산출기(2731)에서, 상기 보행 특성 분석 단계(S40)에서 추출된 상기 보행 특성 및 상기 인간형 로봇 더미(10)의 기구학 및 동력학 모델을 이용하여, 예비 보행 궤적을 실행하는데 소요되는 소모 에너지가 목적 함수로 산출되는 예비 보행 궤적 목적 함수 산출 단계(S51)를 포함할 수도 있다.

[0045] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템 제어 방법에 있어서, 상기 예비 보행 궤적 목적 함수 산출 단계(S51)에서 상기 목적 함수 산출기(2731)가 산출하는 소모 에너지는:

[0046] $$J=\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{M}|\tau_{i,j}\bullet\omega_{i,j}|$$ 이고,

[0047] 여기서, τi,j는 구동 관절의 구동 토크, ωi,j는 구동 관절의 각속도를, M은 동역학 모델의 시뮬레이션 구간 수를, j는 관절 표시자로 동역학 모델의 모터에 의하여 구동되는 구동 관절의 번호를 나타낼 수도 있다.

[0048] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템 제어 방법에 있어서, 상기 예비 보행 궤적 생성 단계(S50)는: 상기 최적화 제어기(273)의 수치 최적화 산출기(2733)에서, 비선형 최소 제곱법(nonlinear least squre method), 내부점 방법(interior point method), sqp(순차 이차 계획법Sequential quadratic programming method) 중의 적어도 하나를 포함하는 수치 최적화 방식으로, 상기 목적 함수 산출기(2731)에서 산출된 목적 함수를 최적화시키는 예비 보행 궤적 목적 함수 최적화 단계(S53)을 포함할 수도 있다.

[0049] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템 제어 방법에 있어서, 상기 예비 보행 궤적 생성 단계(S50)는: 상기 예비 보행 궤적 목적 함수 최적화 단계(S53)에서 산출되는 최적화된 목적 함수 수치를 이용하여, 상기 최적화 제어기(273)의 전역 최적화 유전 알고리즘 산출기(2735)에서, 룰렛 휠 선택 방법(Roulette Wheel Selection method), 교차(Crossover method), 돌연변이, 초기화(Initialization method)) 중의 적어도 하나를 포함하는 전역 최적화 유전 알고리즘 방식으로, 목적 함수의 유전 후보가 산출되는 예비 보행 궤적 목적 함수

유전 후보 산출 단계(S55)를 포함할 수도 있다.

[0050] 상기 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템 제어 방법에 있어서, 상기 제어부(20)의 테스트 제어기(25)가 재활 착용 로봇(90)의 작동 성능을 평가하기 위한 하나 이상의 테스트 모드를 선택 실행하여 테스트 데이터를 취득하는 테스트 단계(S10)와 상기 테스트 단계(S10)에서 취득한 테스트 데이터와 상기 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터를 이용하여 재활 착용 로봇에 대한 평가 데이터를 산출하는 평가 단계(S30)를 포함할 수도 있다.

[0052] 본 발명의 다른 일면에 따르면, 본 발명은 재활 착용 로봇이 장착 가능하고, 관절 동작 구현 가능한 인간형 로봇 더미(10)와, 상기 인간형 로봇 더미(10)의 구동을 제어하고 재활 착용 로봇의 신호를 입력받아 재활 치료용 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트 실행을 제어하는 제어부(20)와, 목표 환자의 보행 관련 데이터를 입력받는 입력부(60)를 포함하고, 상기 제어부(20)는, 상기 목표 환자 보행 관련 데이터로부터 보행 특성을 추출하고, 상기 보행 특성에 기반하여 기준 보행 궤적을 산출하는 기준 보행 궤적 생성부(27)를 포함하고, 상기 기준 보행 궤적에 따라 상기 인간형 로봇 더미(10)에서 재활 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트가 실행되고, 목표 환자의 물성 반영하여 거동 특성 실행 가능하도록 목표 환자의 신체를 3차원 스캐닝하여 반영할 어디셔널 바디를 생성하는 어디셔널 바디 생성부(400)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 보행 궤적 생성형 재활 착용 로봇 평가 시스템(1)을 제공한다.

[0053] 상기 보행 궤적 생성형 재활 착용 로봇 평가 시스템(1)에 있어서, 상기 어디셔널 바디 생성부(400)는: 목표 환자의 신체를 3차원 스캐닝하여 어디셔널 바디 생성을 위한 공간 정보를 취득하는 어디셔널 바디 스캐너(410)와,적어도 상기 어디셔널 바디 스캐너(410)에 의하여 생성된 공간 정보를 이용하여 상기 인간형 로봇 더미(10)에 배치할 어디셔널 바디를 모델링하는 어디셔널 바디 모델링부(420)를 포함할 수도 있다.

[0054] 상기 보행 궤적 생성형 재활 착용 로봇 평가 시스템(1)에 있어서, 상기 인간형 로봇 더미(10)에는 상기 어디셔널 바디 모델링부(420)에서 모델링된 어디셔널 바디(300)가 부착될 수도 있다.

[0055] 상기 보행 궤적 생성형 재활 착용 로봇 평가 시스템(1)에 있어서, 상기 어디셔널 바디 생성부(400)는: 목표 환자의 신체를 3차원 스캐닝하여 어디셔널 바디 생성을 위한 공간 정보를 취득하는 어디셔널 바디 스캐너(410)와, 적어도 상기 어디셔널 바디 스캐너(410)에 의하여 생성된 공간 정보를 이용하여 상기 인간형 로봇 더미(10)에 배치할 어디셔널 바디를 모델링하는 어디셔널 바디 모델링부(420)를 포함할 수도 있다.

[0056] 상기 보행 궤적 생성형 재활 착용 로봇 평가 시스템(1)에 있어서, 상기 더미 바디(11)는: 목표 환자의 상부 몸체에 대응하는 토르소 바디(110)와, 상기 토르소 바디(110)에 연결되어 보행 궤적에 따른 보행 동작을 구현 가능하게 하는 레그 바디(120)를 할 수도 있다.

[0057] 상기 보행 궤적 생성형 재활 착용 로봇 평가 시스템(1)에 있어서, 상기 어디셔널 바디(300)는: 상기 토르소 바디(110)에 연결되는 토르소 어디셔널 바디(310)와, 상기 레그 바디(120)에 연결되는 레그 어디셔널 바디(320)를 포함할 수도 있다.

발명의 효과

[0059] 본 발명에 따르면, 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템 및 이의 제어 방법을 통하여 재활을 위한 처방 궤적의 추종성 및 긴급 상황 발생시 안전성을 확보하기 위한 성능 구비 여부를 객관성 및 반복 신뢰성 확보 가능하게 하여 제품 평가의 신뢰성을 확보할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0061] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 개략적인 구성도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 기준 보행 궤적을 생성하는 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 제어 흐름 구성을 나타내는 개략적인 구성도로 본 발명의 인간형 로봇 더미의 목표 환자의 보폭별 기준

보행 궤적에 따른 보행 상태를 모사하는 상태도를 포함한다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 제어 흐름 구성을 나타내는 개략적인 구성도이다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 인간형 로봇 더미의 개략적인 측면도이다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 테스트 상태의 개략적인 상태도이다.

도 6는 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 궤적 추종성을 확인하기 위한 데이터의 개략적인 선도이다.

도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 긴급 상황의 모사를 구현하기 위한 인간형 로봇 더미의 가동 상태를 나타내는 개략적인 선도이다.

도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 인간형 로봇 더미의 강직 경직 긴급상황 발생시 재활용 착용 로봇에 의한 외력 선도이다.

도 9는 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 제어 방법의 개략적인 선도이다.

도 10는 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 제어 방법의 세부적인 흐름도이다.

도 11 내지 도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 제어 방법의 세부적인 흐름도이다.

도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 제어 방법의 세부적인 흐름도이다.

도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 인간형 로봇 더미의 목표 환자의 기준 보행 궤적에 따른 보행 상태를 모사하는 상태도이다.

도 15는 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 인간형 로봇 더미의 목표 환자에 대하여 생성된, 보폭은 500㎜, 보행속도는 1kph, 그리고 발 높이는 100㎜에 대한 기준 보행 궤적이다.

도 16은 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 인간형 로봇 더미의 물성 변화를 위한 더미 부가 질량체가 부가된 경우의 모사 상태도이다.

도 17은 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 인간형 로봇 더미의 물성 변화를 위한 더미 부가 질량체가 부가된 경우를 모사하기 위한 구성의 블록선도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0062] 본 발명은 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템 및 이의 제어 방법에 있어 객관성 및 반복 신뢰성을 확보할 수 있는 시스템 및 이의 제어 방법을 제공하는 것이다.

[0063] 본 특허는 하지 마비 환자 관절의 강직/경직을 모사할 수 있는 로봇 더미를 이용한 하지 마비 환자 재활용 착용로봇의 성능 평가 방법을 포함한다.

[0064] 본 발명의 제안된 인간형 로봇 더미는 인간의 시상면 동작을 모사할 수 있도록 설계되었다. 특히, 본 발명의 일실시예는 인간형 로봇 더미를 이용한 재활 착용 로봇의 성능 평가를 위한 인간형 로봇 더미를 포함하는 시스템을 제공하되, 인간형 로봇 더미가 목표 환자, 특히 하지 마비 환자의 보행 특성을 모사할 수 있도록 하는 보행 궤적을 생성하는 장치 및 제어 방법을 포함한다.

[0065] 제안된 보행 궤적 생성 알고리즘은 로봇 더미가 인간의 시상면 동작을 모사할 수 있도록 개발되었으며,알고리즘으로 생성된 보행 궤적을 이용하면 도 5와 같이 트레드밀 위에서 지속적으로 보행 동작을 수행한다. 로봇 더미에는 보행속도-트레드밀속도 동기화 알고리즘이 적용되어 로봇 더미 보행 속도와 트레드밀 속도 사이의 오차를

보행 궤적의 주기를 조절하여 속도 오차를 줄인다. 보행 궤적 생성 알고리즘에는 로봇 더미의 기구학 그리고 동역학 모델을 고려되어 사람의 지면 반발력과 유사한 수준의 지면 반발력이 로봇 더미의 발바닥에서 생성되도록 제어할 수 있다. 로봇 더미의 상하 자유도는 수동 관절로 제작되어 로봇 더미의 모든 자중은 로봇 더미의 발바닥에 의해 지지된다. 이의 구체적 구성은 아래 기술된다.

[0066] 또한, 본 발명의 시스템에 있어 인간형 로봇 더미의 경우 구동 관절(hip, knee, ankle 관절)에 어드미턴스 제어를 적용하여 마비환자 관절의 강직 및 경직 특성을 모사하도록하고, 인간형 로봇 더미 외부에는 재활용 착용로봇에 의해 로봇 더미 체결부에 인가되는 보조력 혹은 상호작용력을 측정할 수 있는 후술되는 감지부의 힘센서로서의 로드셀 또는 압력센서가 장착되어 재활용 착용로봇에 의한 상호작용을 평가할 수 있다. 인간형 로봇 더미의 힘센서로서의 로드셀 혹은 압력 센서에서 측정된 외력은 인간형 로봇 더미를 제어하는 제어부의 어드미턴스 제어 모델로 전달되어 재활 환자의 굳거나 뻑뻑한 관절(경직/강직) 조건에서의 응답을 생성할 수 있고, 어드미턴스 제어는 관절의 경직과 강직의 동특성을 나타내는 기계적 시스템의 모델을 기준 어드미턴스(reference admittance)로 설정하여 추종하게 함으로써 경직/강직이 작용하는 환자 관절과 동일한 응답 특성을 생성할 수도 있다.

[0068] 먼저, 본 발명의 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템(1)은 인간형 로봇 더미(10)와, 제어부(20)와 입력부(60)를 포함하고, 제어부(20)는 기준 보행 궤적 생성부(27)를 포함한다. 또한, 세부적으로 저장부(30)와, 연산부(40)와, 감지부(50)를 포함하고, 제어부(20)는 테스트 제어기(25)를 포함한다.

[0069] 인간형 로봇 더미(10)은 재활용 착용 로봇이 장착 가능하고, 관절 동작 구현 가능하다. 본 실시예에서의 인간형 로봇 더미(10)는 고관절과 무릎 관절을 통한 2족 보행 구조를 취한다. 재활용 착용 로봇(90)은 무릎 관절 내지 고관절 등 단순 1관절에 적용되는 구조를 취할 수도 있고, 발목 관절, 무릎 관절 및 고관절에 대한 연속 3관절에 적용되는 구조를 취할 수도 있는 등 다양한 선택이 가능하다.

[0070] 본 실시예에서의 인간형 로봇 더미(10)는 더미 바디(11)와 더미 구동부(13)를 포함한다. 즉, 인간형 로봇 더미(10)는 더미 바디(11)와 더미 구동부(13)를 포함하는데, 더미 바디(11)는 하나 이상의 관절을 구비하는 관절 운동을 가능하게 하고, 더미 구동부(13)는 더미 바디(11)의 관절에 배치되어 더미 바디(11)의 관절 운동을 실행하기 위한 구동력을 제공한다.

[0071] 보다 구체적으로, 더미 바디(11)는 토르소 바디(110)와 레그 바디(120)를 포함한다. 토르소 바디(110)는 상부 몸체를 지칭하는데, 경우에 따라 토르소 바디(110)에 별도의 아암 바디(미도시)가 더 구비되어 보다 더 정확한 거동구현을 가능하게 할 수도 있고, 상박 마비 환자 내지 상박 손상 환자의 재활 거동을 위한 재활용 착용 로봇에 대하여도 테스트 가능하나, 본 실시예에서는 구체적으로 예시되지 않고 하지 마비 환자의 재활용 착용 로봇을 테스트 하기 위한 보행 로봇의 몸체 구조로 형성된다.

[0072] 레그 바디(120)는 토르소 바디(110)의 하단 측에 배치된다. 레그 바디(120)는 사이 바디(121)와 캐프 바디(123)와 풋 바디(125)를 포함한다. 사이 바디(121)의 일단은 토르소 바디(110)의 하단측에 연결되고, 캐프 바디(123)의 일단은 사이바디(121)에 연결되고, 풋 바디(125)는 저면이 지면에 지지 내지 보행 가능하게 형성되고 풋 바디(125)의 차단은 캐프 바디(123)의 타단에 회동 가능하게 연결되는 구조를 취한다.

[0073] 사이 바디(121)와 캐프 바디(123)와 풋 바디(125)는 상호 상대 회동 가능하게 조인트 연결되고, 사이 바디(121)는 앞서 기술한 바와 같이 사이 바디(121)의 일단은 토르소 바디(110)와 조인트 연결되는데, 사이 바디(121)와 토르소 바디(110)의 연결은 일정한 각도 범위 내에서 이루어지는 고관절에 대응하는 조인트 연결 구조를 형성한다.

[0074] 더미 구동부(13)는 힙조인트 더미 구동부(131)와 니조인트 더미 구동부(133)를 포함하며, 경우에 따라 앵클 조인트 더미 구동부(미도시)를 더 구비할 수도 있다. 힙조인트 더미 구동부(131)는 토르소 바디(110)와 사이 바디(121) 사이의 연결부위에 배치되고, 니조인트 더미 구동부(133)는 사이 바디(121)와 캐프 바디(123) 사이의 니 조인트 연결 부위에 배치되며, 앵클조인트 더미 구동부(미도시)는 캐프 바디(123)와 풋 바디(125) 사이의 앵크 조인트 연결 부위에 배치되는 앵클 조인트 연결 부위에 배치되는데, 이들 힙조인트 더미 구동부(131)와 니조인트 더미 구동부(133) 그리고 더 넓게 앵클조인트 더미 구동부는 전기 모터와 감속기의 연결 동력 생성 및 전달 구조를 형성하는데, 본 실시예에서 더미 구동부(13)를 형성하는 전기 모터와 감속기의 연결구조에 대한 구체적 설명은 생략한다.

[0075] 이와 같은 더미 구동부(13)의 동작 제어 신호는 제어부(20)를 통하여 생성 인가되고, 인가되는 신호에 의하여

더미 구동부(13)가 작동함으로써, 더미 구동부(13)가 배치되는 더미 바디(11)로 하여금 재활 대상인 재활 환자의 모사 동작 구현을 가능하게 한다.

[0077] 제어부(20)는 인간형 로봇 더미(10)의 구동을 제어하고 재활용 착용 로봇의 신호를 입력받아 재활용 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트 실행을 제어한다. 즉, 제어부(20)는 인간형 로봇 더미(10)의 거동을 제어하는데, 제어부(20)는 저장부(30) 및 연산부(40)와 전기적 소통을 이룬다. 이와 동시에 본 발명의 제어부(20)는 기준 보행 궤적 생성부(27)를 포함한다. 본 발명의 기준 보행 궤적 생성부(27)는 목표 환자 보행 관련 데이터로부터 보행 특성을 추출하고, 보행 특성에 기반하여 기준 보행 궤적을 산출한다.

[0078] 저장부(30)는 제어부(20)와 전기적 소통을 이루고 재활 환자를 모사하는 모델의 사전 설정 데이터를 저장한다. 즉, 사전 설정 저장부(30)에는 사전 설정 데이터를 포함하는데, 사전 설정 데이터는 재활 환자를 모사하기 위한 어드미턴스 모델에 대한 계수 정보들을 포함한다.

[0079] 즉, 본 실시예에서 재활 환자, 특히 하지 마비 재활 환자의 경우 다음과 같은 어드미턴스 모델로 모델링되며 이는 후술되는 제어부(20) 측에 배치된다.

[0080] $$I\ddot{\theta}+c\dot{\theta}+k\theta=\tau_{ext}$$

[0081] 여기서, I는 재활 환자의 관성 계수를, C는 재활 환자의 댐핑 계수를, 그리고 K는 재활 환자의 탄성 계수를 지시하고, τext는 재활용 착용 로봇(90)과 더미 바디(11) 측과 사이에 형성되는 상호 작용력으로서의 상호 작용 토크(τext)를 지칭한다.

[0082] 즉, 인간형 로봇 더미와 재활용 착용 로봇 사이에 설치된 힘 센서(53)에서 재활용 착용 로봇(90)에 의해 가해진 상호 작용 토크(τ_{ext})를 측정하면 어드미턴스 모델에 따라 관절 기준 각도(θ), 즉 목표 관절 각도(Θd)가 계산된다. 로봇 더미의 관절 각도는 관절 기준 각도(θ), 즉 목표 관절 각도(Θd)를 추종하도록 제어되고, 어드미턴스 모델링의 파라미터 I, c, k는 조절되어 마비 환자 관절의 강직/경직 수준을 결정할 수 있다. 달리 표현하면, 사전 설정 데이터는 상기 I,C,K 등의 계수 정보를 포함하는데, 이러한 어드미턴스 모델링에 대한 계수 정보는 단수 특정 값이 아닌 복수 개의 값 내지 함수 형태로 구현될 수도 있다. 즉, 상기 I,C,K 등의 계수 정보가 한 세트 형태로 설정된 경우 일반적인 재활 환자의 거동 상태를 모사하는 어드미턴스 모델링을 형성하고, 이와 다른 세트의 상기 I,C,K 등의 계수 정보를 조정함으로써 재활 환자가 일반적 경우가 아닌 근육 내지 거동의 강직 경직 상태 형성으로 인한 변화된 어드미턴스 모델링의 구현을 가능하게 할 수도 있고, 이러한 변화되는 복수 값 형성이 가능한 상기 I,C,K 등의 계수 정보가 사전 설정 데이터의 일환으로 저장부(30)에 저장될 수 있다.

[0083] 본 발명의 입력부(60)는 목표 환자의 보행 관련 데이터를 입력받는다. 여기서, 보행 관련 데이터는 보행 궤적 측정 데이터 및 보행 영상 데이터를 포함한다. 입력부(60)를 통하여 입력되는 목표 환자 보행 관련 데이터는, 목표 환자에 부착되는 3D 마커를 통해 취득한 보행 궤적 측정 데이터 및 보행 영상 데이터를 포함한다. 즉, 3D 마커를 통해 모션 캡쳐를 통해 목표 환자가 실제로 움직이는 보행 동작시 발생하는 보행 운동 궤적을 3차원 공간 상에서 측정하여 보행 궤적 측정 데이터를 추출할 수 있고, 목표 환자의 보행 동작을 영상 측정하고 이를 영상 처리하여 관절 부위의 동작 분석을 통한 보행 동작 관측 정보가 추출될 수 있다. 이러한 목표 환자의 보행 관련 데이터는 저장부(30)에 저장된다.

[0084] 입력부(60)를 통하여 입력되는 목표 환자의 보행 관련 데이터는 제어부(20), 보다 구체적으로 기준 보행 궤적 생성부(27)에 입력 처리된다. 물론, 기준 보행 궤적 생성부(27)에서 생성된 기준 보행 궤적도 저장부(30)에 저장될 수 있다.

[0085] 도 1에는 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 제어 흐름 구성을 나타내는 개략적인 구성도가 도시되고, 도 2에는 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 부분 구성이 도시되는데, 기준 보행 궤적 생성부(27)를 포함하는 제어부(20)의 구성이 도시된다. 인간형 로봇 더미를 이용한 재활용 착용로봇의 성능 평가시 사용되는 로봇 더미의 기준 생성 과정에 있어 먼저, 재활용 착용로봇이 적용될 대표 환자군 혹은 목표 환자의 보행 특성을 분석되며, 분석과정에는 3D 마커를 이용한 보행 궤적 측정, 치료사의 경험, 그리고 영상 분석등이 사용될 수 있고, 환자의 다양한 보행 특성(보폭, 보행속도, 발 높이 등)을 분석 결과로부터 추출되며, 보행 특성은 보행 궤적 생성 알고리즘에 입력되는

데, 알고리즘은 로봇 더미가 환자의 보행 특성과 동일한 보행을 생성할 수 있는 기준 궤적을 생성하고, 생성된 보행 궤적은 로봇 더미에 기준 궤적으로 적용되어 환자 특성이 반영된 보행 패턴을 모사하여 테스팅의 정합성을 증진시킬 수 있다.

[0086] 보다 구체적으로, 기준 보행 궤적 생성부(27)는 보행 특성 추출부(271)와, 최적화 제어기(273)와, 시뮬레이션 검증 제어기(275)를 포함한다. 보행 특성 추출부(271)는 입력되는 목표 환자 보행 관련 데이터를 처리하여 보행 특성을 추출하는데, 추출되는 보행 특성은 보폭, 보행 속도, 발 높이 중의 하나 이상을 포함한다.

[0087] 최적화 제어기(273)는 추출된 보행 특성 및 인간형 로봇 더미(10)의 기구학 및 동력학 모델을 이용하여 예비 보행 궤적을 생성한다. 시뮬레이션 검증 제어기(275)는 최적화 제어기(273)에서 생성된 예비 보행 궤적을 3차원 멀티바디 다이나믹스 모델을 이용하여 시뮬레이션 실행 검증한다.

[0088] 보다 구체적으로, 최적화 제어기(273)는 목적 함수 산출기(2731)를 포함한다. 목적 함수 산출기(2731)는 목적 함수를 산출한다. 목적 함수 산출기(2731)가 소요에너지, 즉 예비 보행 궤적을 실행하는데 소요되는 소모 에너지를 목적 함수로 산출하는데, 목적 함수를 산출함에 있어 추출된 보행 특성 및 인간형 로봇 더미(10)의 기구학 및 동력학 모델이 이용된다.

[0089] 목적 함수 산출기(2731)에서 산출되는 소모 에너지는 다음과 같이 표현 가능하다.

수학식 1

[0090] $$J=\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{M}|\tau_{i,j}\cdot\omega_{i,j}|$$

[0091] 여기서, τi,j는 구동 관절의 구동 토크, ωi,j는 구동 관절의 각속도를, M은 동역학 모델의 시뮬레이션 구간 수를, j는 관절 표시자로 동역학 모델의 모터에 의하여 구동되는 구동 관절의 번호를 나타낸다.

[0092] 이때, M은 예비 보행 궤적의 2초 구간을 등분할하고, 30 내지 50인 것이 바람직하다. 30이하인 경우, 산출 구간 간격이 너무 넓어 정확한 보행 궤적 도출이 어렵고, 50이상인 경우 산출 구간이 너무 조밀하여 보행 궤적의 정확도 대비 불필요한 연산 과정으로 인한 연산 부하로 인한 손실이 너무 큰바, 이들 수치 구간의 값을 갖는 것이 바람직하다.

[0093] 최적화 제어기(273)는 수치 최적화 산출기(2733)를 포함한다. 수치 최적화 산출기(2733)는 목적 함수 산출기(2731)에서 산출된 목적 함수를 수치 최적화 방식으로 최적화시키는데, 이에 사용되는 수치 최적화 방식은 비선형 최소 제곱법(nonlinear least squre method), 내부점 방법(interior point method), sqp(순차 이차 계획법 Sequential quadratic programming method) 중의 적어도 하나를 포함한다. 이러한 최적화 과정, 즉 최적환 알고리즘에는 환자의 보행 특성(보폭, 보행속도, 발 높이) 이외에도 다양한 제약 조건(지면 반발력 크기 조건, 발바닥 마찰 계수 조건, 등속 보행 조건, 인간형 로봇 더미의 토크 및 전력 사양 조건)이 적용되어 사람과 유사한 보행이 생성될 수도 있다.

[0094] 최적화 제어기(273)는 전역 최적화 유전 알고리즘 산출기(2735)를 포함한다. 전역 최적화 유전 알고리즘 산출기(2735)는 수치 최적화 산출기(2733)에서 산출되는 최적화된 목적 함수 수치를 이용하여 전역 최적화 유전 알고리즘 방식으로, 목적 함수의 유전 후보를 산출한다. 이때 사용되는 전역 최적화 유전 알고리즘 방식은 룰렛 휠 선택 방법(Roulette Wheel Selection method), 교차(Crossover method), 돌연변이, 초기화(Initialization method)) 중의 적어도 하나를 포함한다.

[0095] 이와 같이 예비 보행 궤적에 대한 유전 후보가 산출된 경우, 이는 다시 수치 최적화 산출기(2733) 및 전역 최적화 유전 알고리즘 산출기(2735)를 포함하는 최적화 제어기(273)로 전달되어 반복적 과정을 통해 최적화되는 예비 보행 궤적은 유전 후보가 사전 설정 기준에 부합하는지 여부를 판단되고, 유전 후보로서의 예비 보행 궤적 목적 함수의 값이 사전 설정 기준에 부합하지 않는 경우 재차 최적화 과정이 반복 실시된다. 반면, 유전 후보가 사전 설정 기준에 부합하는 경우 유전 후보로서의 예비 보행 궤적은 기준 보행 궤적 생성부(27)의 시뮬레이션 검증 제어기(275)로 전달된다.

[0096] 시뮬레이션 검증 제어기(275)는 최적화 제어기(273)에서 생성된 예비 보행 궤적 및 3차원 멀티바디 다이나믹스 모델을 이용하여 시뮬레이션 실행하고, 시뮬레이션 결과가 기준에 부합하면 예비 보행 궤적을 최종적인 기준 보

행 궤적으로 설정한다.

[0098] 한편, 본 발명의 인간형 로봇 더미의 힘 제어 있어 어드미턴스 제어를 적용한 인간형 로봇 더미에 대한 제어 흐름 구성도 도시되나, 이밖에도 기준 보행 궤적 생성부(27)를 포함하는 범위에서 다양한 구성이 가능하다. 인간형 로봇 더미를 제어하기 위한 제어 형태는 2중 루프로 구성된다. 재활용 착용로봇과 인간형 로봇 더미 사이 체결부(혹은 커프)에 배치되는 힘센서(53)에서 측정된 상호작용력에 대응되는 마비환자 관절의 회전 각도를 어드미턴스 모델을 통해 계산하는 외부 제어 루프 구조와, 계산된 목표 관절 각도를 기준입력으로 설정하고 이를 추종하는 궤적(위치) 제어 루프 구조로 구성되며, 다양한 수준의 강직/경직은 어드미턴스 모델링의 파라미터인 계수 정보의 조정을 통해 구현할 수 있고, 순간적으로 발생하는 강직/경직의 수준 변화 역시 어드미턴스 모델링을 시간대 별로 조절하여 구현할 수도 있다.

[0099] 어드미턴스 제어를 이용한 강직/경직 특성 구현 시, 다양한 강직/경직 수준을 갖는 환자에 대한 착용로봇의 처방궤적 구현 정확도를 평가 할 수 있게 된다. 지정된 처방궤적의 구현 정확도는 더미로봇의 관절 위치를 처방된 궤적과의 비교를 통해 평가 할 수 있다.

[0100] 또한 심한 강직/경직이 발생할 때 재활로봇이 무리하게 궤적을 구현하게 될 경우 환자에게 상해를 일으킬 수 있으므로, 심한 강직/경직 발생 시 재활로봇 응답특성의 평가가 매우 중요하다.

[0101] 이러한 목적의 테스트는 특정 시점에 매우 강한 강직/경직을 모사하는 어드미턴스 모델링을 설정하고, 이때의 착용로봇과 더미로봇 사이의 상호작용력을 측정하여 착용로봇의 심한 강직/경직에 대한 응답특성을 평가한다.

[0102] 도 6에는 인간형 로봇 더미(10)에 대하여 제어부(20)의 어드미턴스 모델링부(21)의 파라미터, 즉 계수 정보의 변경을 통해 다양한 수준의 경직/강직을 구현하는 상태도가 예시되며, 어드미턴스 모델링의 변화에 따라 인간형 로봇 더미의 저항 정도가 달라져 재활용 착용로봇의 사전 처방된 동작 재현성이 달라질 수 있다.

[0103] 연산부(40)는 제어부(20)와 전기적 소통을 이루고 재활 환자를 모사하기 위한 인간형 로봇 더미(10)의 운동 궤적을 연산한다. 즉, 연산부(40)는 제어부(20)와 전기적 소통을 이루고 제어부(20)의 연산 제어 신호에 따라 저장부(30)로부터 입력되는 사전 설정 데이터 및/또는 재활 환자의 재활을 위하여 의사가 처방한 운동 궤적를 활용하여 인간형 로봇 더미(10)가 가동하는 운동 궤적 및 이를 구현하기 위한 더미 구동부(13)를 통해 작동하여 해당 관절 조인트의 회동 각도를 형성하여 제어부(20)로 전달하고, 제어부(20)는 구동 제어 신호를 더미 구동부(20)로 전달한다.

[0104] 감지부(50)는 인간형 로봇 더미(10)와 재활용 착용 로봇 사이의 상호 작동 상태 정보를 감지한다. 감지부(50)가 감지하는 상호 작동 상태 정보는 더미 바디(11)의 각각의 관절 부위의 관절 각도 정보 및/또는 더미 바디(11)와 재활용 착용 로봇(90)간의 상호작용력 정보를 포함한다.

[0105] 보다 구체적으로, 상호 작동 상태 정보는, 더미 바디(11)의 관절 각도 및 더미 바디(11)와 재활 착용 로봇(90) 사이의 작용력을 포함하고, 인간형 로봇 더미(10)와 재활 착용 로봇 사이의 상호 작동 상태 정보를 감지하는 감지부(50)는 관절 센서(51)와, 힘 센서(53)를 포함한다.

[0106] 관절 센서(51)는 더미 바디(11)의 관절 각도를 감지하는데, 관절 센서(51)는 더미 바디(11)의 관절 조인트 부위에 배치되어 각각의 바디를 연결하는 조인트 관절 영역에서의 관절 각도를 감지한다. 관절 센서(51)는 포텐셔미터, 자기 센서, 홀센서 등 다양한 형태로 구현될 수 있는데, 각도를 감지하는 범위에서 제품 사양에 따라 다양한 취사 선택이 가능하다.

[0107] 힘 센서(53)는 더미 바디(11)와 재활 착용 로봇(90) 사이에 배치되어 더미 바디(11)와 재활용 착용 로봇(90) 사이의 작용력을 감지한다. 즉, 힘 센서(53)의 일단은 더미 바디(11) 측에 배치되고, 힘 센서(53)의 타단은 재활 착용 로봇(90) 측에 연결되어 물리적 연결 구조를 취한다. 이를 통해 재활 환자를 모사하는 더미 바디(11)와 재활용 착용 로봇(90) 사이에 발생하는 힘의 차이, 즉 상호 작용력을 감지하여 이를 통해 재활용 착용 로봇(90)으로부터 생성되는 보조력이 강직, 경직 긴급 사태 발생시 재활 환자에게 과도하게 작동하여 재활 환자의 신체 상해 내지 피해 발생을 일으키는 것을 어떻게 방지 내지 최소할 수 있는지와 같은, 긴급 사태 발생시 재활용 착용 로봇(90)의 안전성 평가가 실행될 수 있다.

[0108] 제어부(20)는 어드미턴스 모델링부(21)와, 관절 위치 제어기(23)를 포함한다. 어드미턴스 모델링부(21)는 재활 환자를 모사하기 위한 모델을 형성하는데, 입력되는 값, 즉 본 실시예에서 힘 센서를 통하여 감지되는 더미 바디(11)와 재활용 착용 로봇(90) 간의 상호 작용력으로서의 상호 작용 토크(τ_{ext})이 입력 신호로 어드미턴스 모

델링부(21)를 입력되고, 어드미턴스 모델링부(21)로부터 모델 목표 관절 각도(Θd)가 출력 신호로 출력된다.

[0109] 즉, 본 실시예에서 재활 환자, 특히 하지 마비 재활 환자의 경우 다음과 같은 어드미턴스 모델로 모델링된다.

[0111] 이때, 각각의 I,C,K 등의 계수 정보는 사전 설정 데이터로 저장부(30)에 포함되는데, 이러한 어드미턴스 모델링에 대한 계수 정보는 단수 특정 값이 아닌 복수 개의 값 내지 함수 형태로 구현될 수도 있음은 앞서 기술한 바와 동일하며, 이러한 계수의 변화는 재활용 착용 로봇(90)에 의하여 모사되는 재활 환자의 강직, 경직과 같은 긴급 사태에 대응한다.

[0112] 그런 후, 관절 위치 제어기(23)는 어드미턴스 모델링부(21)에서 출력되는 모델 목표 관절 각도(Θd)와, 인간형 로봇 더미(10)의 실제 관절 각도(Θ)를 이용하여 인간형 로봇 더미(10)의 거동을 제어하는 더미 구동부 제어 신호를 인가한다.

[0113] 즉, 관절 위치 제어기(23)는, 모델 목표 관절 각도(Θd)와, 실제 관절 각도(Θ)의 차이를 이용하여 산출된 값을 출력 제어 신호로 더미 구동부(13)에 입력한다. 이와 같은 관절 위치 제어기(23)에서의 출력 제어 신호는 제어 토크 형태로 구현되며 이는 새로운 입력 신호로 인간형 로봇 더미(10)의 더미 구동부(120)로 전달되어 재활 환자의 거동 모사를 실행하도록 한다.

[0114] 여기서, 출력 제어 신호로서의 제어 토크, 즉 더미 구동부(120)의 더미 구동부 구동 제어 신호로 형성되고, 이에 따라 더미 구동부(120)가 작동하여 더미 바디(11)의 소정의 조인트 관절 부위에서의 각도 변화가 발생한다.

[0115] 이러한 각도 변화는 앞서 기술한 감지부(50)의 관절 각도 센서로서의 관절 센서(51)가 이를 감지하고 감지된 관절 각도 정보는 상호 작동 상태 정보의 일유형으로 다시 제어부(20)로 전달되어 관절 위치 제어기(23)로 입력되기 위한 오차 신호를 형성하기 위한 실제 관절 각도(Θ)로 입력된다.

[0117] 또한, 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템(1)의 제어부(20)는 테스트 제어기(25)를 포함한다. 테스트 제어기(25)는 감지부(50)에서 감지된 상호 작동 상태 정보와 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터를 이용하여 재활용 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트 제어를 실행한다. 본 실시예에서 테스트 제어기(25)는 제어기(20)에 포함되는 구성을 취하나, 경우에 따라 테스트 제어기(25)가 제어기(20)와 분리되어 개별 배치되는 구성을 취할 수도 있는 등 다양한 변형이 가능하다. 다만, 본 실시예에서 테스트 제어기(25)는 운영자에 의하여 설정 선택된 테스트 모드가 어떤 것인지를 확인하고 해당 선택된 테스트 모드를 실행하여 데이터를 취득함으로써 재활용 착용 로봇의 성능을 평가하는 기능을 수행하는 제어 신호를 생성 출력 전달하는 구성요소를 지칭한다.

[0118] 한편, 앞서 기술한 저장부(30)는 사전 설정 데이터를 포함하는데, 본 실시예에서의 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터는 처방 궤적 데이터를 포함한다.

[0119] 이때, 테스트 제어기(25)는 재활 착용 로봇(90)의 관절 각도가 처방 궤적 데이터의 추종성을 테스트하도록 더미 구동부(13)에 구동 제어 신호가 인가되도록 한다. 즉, 테스트 제어기(25)는, 재활 착용 로봇(90)의 관절 각도가 처방 궤적 데이터의 추종성을 테스트하기 위하여 관절 위치 제어기(23)가 더미 구동부(13)에 구동 제어 신호를 인가하도록 한다. 이와 같은 과정을 통하여 의료진이 처방한 재활의 동작, 즉 처방 궤적 데이터를 재활용 착용 로봇이 재활 환자를 모사하는 인간형 로봇 더미(10)가 처방 궤적을 따라 거동하도록 보조력을 적절하게 제공하여, 인간형 로봇 더미(10)의 거동 궤적이 처방 궤적을 추종하는 추종성 테스트를 실행 가능하다.

[0120] 또한, 본 발명에 따른 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1)은 재활용 착용 로봇에 대한 처방 궤적 추종 테스트와 더불어 긴급 상황에 대한 안정성 테스트도 가능하다. 즉, 인간형 로봇 더미(10)가 모사하는 재활 환자의 강직, 경직과 같은 긴급 상황을 모사하여 테스트하는데, 제어부(20)의 테스트 제어기(25)는 재활 환자의 강직 상태 시 재활 착용 로봇(90)와 더미 바디(11) 간의 작용력을 감지하여 안전성을 테스트하도록 한다. 이를 위하여, 제어부(20)의 어드미턴스 모델링부(21)가 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터를 이용하여 조정될 수 있다. 즉, 앞선 처방 궤적 추종성 테스트에서의 어드미턴스 모델의 계수 정보와 다른 계수 정보가 제공되는데, 이러한 다른 계수 정보는 재활 환자의 강직 내지 경직 상태를 모사한다. 이와 같이 강직 내지 경직 상태를 반영한 어드미턴스 모델이 출력값은 모델 목표 관절 각도(Θd)로 출력되고, 관절 센서(51)에서 감지된 인간형 로봇 더미(10)의 실제 관절 각도(Θ) 및 모델 목표 관절 각도(Θd)의 차이는 관절 위치 제어기(23)로 피드백되고 관절 위치 제어기(23)는 더미 구동부(13)로 구동 제어 신호를 인가하고, 인간형 로봇 더미(10)와 재활용 착용

로봇(90)사이에 배치되는 힘센서(53)를 통하여 상호 작용력이 감지되어 재활용 착용 로봇(90)이 신속하게 긴급 상황에 대처하는지를 확인하는 안정성 평가가 이루어질 수 있다.

[0121] 이와 같은 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템(1)을 통한 테스트가 이루어지는 경우, 취득한 데이터를 통하여 재활용 착용 로봇의 평가가 이루어지는데, 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템(1)은 성능 평가부(70)를 더 구비할 수 있다. 성능 평가부(70)는 테스트 제어기(25)에 의하여 재활 환자 착용 로봇이 테스트되는 경우, 생성되는 상호 작동 상태 정보 및 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터를 이용하여 재활 환자 착용 로봇의 성능을 평가한다.

[0122] 성능 평가부(70)는 궤적 평가부(71)와 부하 평가부(73)를 포함한다.

[0123] 궤적 평가부(71)는 테스트 제어기(25)가 더미 구동부(13)에 구동 제어 신호를 관절 위치 제어기(23)를 통하여 인가하는 경우, 인간형 로봇 더미(10)의 실제 관절 각도(Θ)에 의하여 형성되는 실제 궤적 및 재활용 착용 로봇(90)이 추종해야 하는 처방 궤적 간의 괴리 정보를 통하여 궤적 추종성을 판단한다. 즉, 도 5에는 재활용 착용 로봇의 궤적 정확성인 궤적 추종성을 평가하는 테스트 상태도가 도시되는데, 재활용 착용 로봇이 착용된 인간형 로봇 더미는 트레드 밀(80) 상에서 보행 테스트가 실행될 수 있다. 트레드 밀(80)의 작동도 테스트 제어기(25)를 통하여 제어될 수 있다.

[0124] 재활용 착용 로봇은 의사에 의해 처방된 보행 궤적을 실시하도록 제어되며, 인간형 로봇 더미는 재활용 착용 로봇에 의한 보조력인 상호작용력으로부터 어드미턴스 제어 모델링(21)에서 생성된 기준 궤적대로 보행 궤적을 생성한다. 인간형 로봇 더미의 보행 궤적을 측정하면 처방된 보행 궤적과의 차이를 분석할 수 있다. 궤적 오차로부터 재활용 착용로봇의 궤적 정확성이 평가될 수 있다.

[0125] 도 6에 도시된 바와 같이 재활 환자에 대하여 의사 등이 처방한 처방 궤적과, 인간형 로봇 더미(10)의 실제 관절 각도(Θ)에 의하여 형성되는 실제 궤적 간의 괴리 정보를 이용하여, 재활용 착용 로봇(90)이 추종하는 동작에 의한 궤적 괴리가 사전 설정된 괴리도의 영역 내에 존재하는지, 또는 괴리도가 사전 설정 영역을 어느 정도 벗어나는지 여부를 궤적 평가부(71)가 비교 평가하여 재활용 착용 로봇(90)의 궤적 추종성을 판단 평가할 수 있다.

[0126] 또한, 부하 평가부(73)는 재활 착용 로봇(90)의 부하 안정성 여부를 판단한다. 즉, 테스트 제어기(25)가 관절 위치 제어기(23)를 통하여 더미 구동부(13)에 구동 제어 신호를 인가하는 경우, 재활 착용 로봇(90)의 관절 각도 및 목표 관절 각도와, 재활 환자의 강직 상태 시 재활 착용 로봇(90)와 더미 바디(11) 간의 작용력 및 사전 설정 데이터를 이용하여 재활 착용 로봇(90)의 부하 안정성 여부를 부하 평가부(73)가 판단 평가하는데, 도 7에 도시된 바와 같이 2족 보행 구조의 인간형 로봇 더미(10)의 레그 바디의 각각의 다리 측의 구조에 대하여 서로 상이한 강직 내지 경직 정도가 형성될 수도 있다.

[0128] 도 8에는 마비 환자 관절의 갑작스런 강직/경직 수준 변화를 모사하는 재활용 착용 로봇의 반응과 마비환자의 관절에 가해질 수 있는 부하 수준을 평가하는 데이터의 선도가 도시된다. 인간형 로봇 더미는 낮은 수준의 강직/경직을 갖는 재활환자의 관절을 모사하도록 어드미턴스 제어 모델링을 설정하고 재활용 착용 로봇에 의해 보행한다. 앞서 궤적 추종성 테스트에서와는 달리 보행 중 임의의 관절에 임의의 시점에 갑작스럽게 높은 강직/경직 수준을 나타내는 어드미턴스 제어 모델링으로 교체되어, 인간형 로봇 더미는 갑작스럽게 증가한 강직/경직 수준에 의해 처방된 궤적을 구현하기 어려운 상태가 되며, 인간형 로봇 더미와 체결된 재활용 착용로봇의 관절의 부하가 증가한다. 이때 인간형 로봇 더미에 가해지는 외력 수준과 재활용 착용로봇의 동적 거동을 분석하면 재활용 착용로봇의 강직/경직에 대한 궤적 구현 정확도와 안전 알고리즘 유무 혹은 유효성을 평가할 수 있다. 이 시험은 재활용 착용로봇이 높은 강직/경직이 발생한 재활환자의 관절에 강한 외력을 가하여 발생할 수 있는 부상을 미연에 방지하기 위한 성능을 평가할 수 있다. 재활 환자의 관절은 재활훈련 중 갑자기 높은 강직/경직이 발생하여 굳을 수 있는데, 재활용 착용 로봇이 긴급하게 정지하거나 적절한 동작을 실시하지 않으면 재활환자의 관절에 외력이 가해져 부상이 발생할 수 있다. 특히 재활용 착용로봇은 치료사(혹은 의사)에 의해 처방된 보행 궤적대로 동작하도록 제어되므로 재활환자의 관절이 굳은 상태에서 처방된 보행 궤적대로 운동하기 위해 재활용 착용로봇이 구동 모터 토크를 증가시키면 재활환자의 부상으로 이어질 수 있기 때문에, 긴급 상황에 신속히 대응하는 응답성, 부하 감쇠도 등을 확인하여 안전성 성능 평가를 실행할 수 있다.

[0129] 부하 평가부(73)는 재활 환자의 강직 경직 상태를 모사하도록 갑작스럽게 변화되는 계수 정보에 의하여 어드미터스 모델링을 거쳐 출력되는 목표 궤적의 급격한 변화는 인간형 로봇 더미(10)와 연결되는 재활용 착용 로봇

(90)의 관절 조인트의 부하를 증가시킨다. 이때, 인간형 로봇 더미(10)에 가해지는 외력 수준과 재활용 착용 로봇(90)의 동적 거동을 분석하면 재활용 착용 로봇(90)의 강직/경직에 대한 궤적 구현 정확도와 안전 알고리즘 유무 혹은 유효성을 평가할 수 있는데, 부하 평가부(73)는 인간형 로봇 더미(10)과 재활용 착용 로봇(90)의 사이에 개재되는 힘센서(53)를 통하여 상호 작용력을 평가하여 긴급 상황에 신속히 안전한 대응 동작을 재활용 착용 로봇(90)이 구현하는지 여부를 판단 평가할 수 있다. 즉, 예시적으로 재활용 착용 로봇(90)의 사이에 개재되는 힘센서(53)를 통하여 상호 작용력의 감쇠 시정수와 사전 설정 감쇠 시정수 범위를 비교하여 긴급 상황에서의 신속한 부하 제거를 통하여 재활 환자의 신체 손상 발생 가능성을 방지 내지 최소화시킬 수도 있고, 동시에 부하 제거를 적정선에 해결하여 부하 완전 제거로 인한 재활 환자의 지지력 상실로 낙상 등의 위험 발생을 방지할 수도 있는 등 사전 설정되어 저장되는 안전성 평가를 위한 기준값과의 비교 평가를 통해, 재활용 착용 로봇(90)의 안전성 평가 작업이 실행될 수도 있다.

[0131] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1)을 통한 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템 제어 방법을 설명한다.

[0132] 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템 제어 방법은, 도 9에 도시되는 바와 같이 제공 단계(S1)와 테스트 단계(S10)와 평가 단계(S30)를 포함한다.

[0133] 먼저, 제공 단계(S1)에서는 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템이 제공된다. 보다 구체적으로, 도 10에 도시되는 바와 같이, 제공 단계(S1)는 시스템 제공 단계(S1a)와, 기준 보행 궤적 제공 단계(S1b)를 포함한다. 시스템 제공 단계(S1a)에서는 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1)이 제공된다. 즉, 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1)은 재활 착용 로봇이 장착 가능하고, 관절 동작 구현 가능한 인간형 로봇 더미(10)와, 인간형 로봇 더미(10)의 구동을 제어하고 재활 착용 로봇의 신호를 입력받는 제어부(20)와, 목표 환자의 보행 관련 데이터를 입력받는 입력부(60)를 포함한다. 여기서, 제어부(20)는, 목표 환자 보행 관련 데이터로부터 보행 특성을 추출하고, 보행 특성에 기반하여 기준 보행 궤적을 산출하는 기준 보행 궤적 생성부(27)를 포함하고, 기준 보행 궤적에 따라 인간형 로봇 더미(10)에서 재활 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트가 실행되는 재활 착용 로봇 평가 시스템(1)을 제공한다.

[0134] 또한, 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1)은 제어부(20)와 전기적 소통을 이루고 재활 환자를 모사하는 모델의 사전 설정 데이터를 저장하는 저장부(30)와, 제어부(20)와 전기적 소통을 이루고 재활 환자를 모사하기 위한 인간형 로봇 더미(10)의 운동 궤적을 연산하는 연산부(40)와, 인간형 로봇 더미(10)와 재활 착용 로봇 사이의 상호 작동 상태 정보를 감지하는 감지부(50)를 포함하고, 감지부(50)에서 감지된 상호 작동 상태 정보와 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터를 이용하여 재활 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트 제어를 실행하는 테스트 제어기(25)를 포함하는 것을 특징으로 하는 재활 착용 로봇 성능 평가 시스템(1)이 제공되며, 이에 대한 구체적 구성은 앞선 실시예에서 기재된바, 구체적 구조에 대한 설명은 생략한다.

[0135] 기준 보행 궤적 제공 단계(S1b)에서는 시스템 제공 단계(S1a)의 제어부(20), 입력부(60), 저장부(30) 및 연산부(40)에 의하여 재활 환자를 모사하기 위한 인간형 로봇 더미(10)의 기준 보행 궤적이 생성 제공된다.

[0136] 도 11에 도시되는 바와 같이, 기준 보행 궤적 제공 단계(S1b)는 보행 특성 분석 단계(S40)와, 예비 보행 궤적 생성 단계(S50)와, 시뮬레이션 검증 단계(S60)와, 기준 보행 궤적 확정 단계(S70)를 포함한다.

[0137] 먼저, 보행 특성 분석 단계(S40)에서는 기준 보행 궤적 생성부(27)의 보행 특성 추출부(271)에서 입력되는 목표 환자 보행 관련 데이터에 기초하여 보폭, 보행 속도, 발 높이 중의 하나 이상을 포함하는 보행 특성이 추출된다.

[0138]

[0139] 예비 보행 궤적 생성 단계(S50)에서는 기준 보행 궤적 생성부(27)의 최적화 제어기(273)에서 추출된 보행 특성 및 인간형 로봇 더미(10)의 기구학 및 동력학 모델을 이용하여 예비 보행 궤적이 생성된다. 예비 보행 궤적 생성 단계(S50)는, 예비 보행 궤적 목적 함수 산출 단계(S51)를 포함한다. 예비 보행 궤적 목적 함수 산출 단계(S51)에서는 보행 특성 분석 단계(S40)에서 추출된 보행 특성 및 인간형 로봇 더미(10)의 기구학 및 동력학 모델을 이용하여, 예비 보행 궤적을 실행하는데 소요되는 소모 에너지가 목적 함수로 최적화 제어기(273)의 목적 함수 산출기(2731)에서 산출된다.

[0140] 이때, 예비 보행 궤적 목적 함수 산출 단계(S51)에서 목적 함수 산출기(2731)가 산출하는 소모 에너지는:

[0141] $J=\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{M}|\tau_{i,j}\bullet\omega_{i,j}|$ 이며, τi,j는 구동 관절의 구동 토크, ωi,j는 구동 관절의 각속도를, M은 동역학 모델의 시뮬레이션 구간 수를, j는 관절 표시자로 동역학 모델의 모터에 의하여 구동되는 구동 관절의 번호를 나타내는 점은 앞서 기술한 바와 동일하다.

[0143] 예비 보행 궤적 생성 단계(S50)는 예비 보행 궤적 목적 함수 최적화 단계(S53)을 포함하는데, 예비 보행 궤적 목적 함수 최적화 단계(S53)에서는 비선형 최소 제곱법(nonlinear least squre method), 내부점 방법(interior point method), sqp(순차 이차 계획법, Sequential quadratic programming method) 중의 적어도 하나를 포함하는 수치 최적화 방식으로, 최적화 제어기(273)의 수치 최적화 산출기(2733)에서, 목적 함수 산출기(2731)에서 산출된 목적 함수가 최적화된다.

[0144] 예비 보행 궤적 생성 단계(S50)는 예비 보행 궤적 목적 함수 유전 후보 산출 단계(S55)를 포함한다. 예비 보행 궤적 목적 함수 유전 후보 산출 단계(S55)에서는 예비 보행 궤적 목적 함수 최적화 단계(S53)에서 산출되는 최적화된 목적 함수 수치를 이용하여, 최적화 제어기(273)의 전역 최적화 유전 알고리즘 산출기(2735)에서 목적 함수의 유전 후보가 산출된다. 이때 사용되는 전역 최적화 유전 알고리즘 방식은 룰렛 휠 선택 방법(Roulette Wheel Selection method), 교차(Crossover method), 돌연변이, 초기화(Initialization method) 중의 적어도 하나를 포함한다.

[0145] 예비 보행 궤적 목적 함수 유전 후보 산출 단계(S55)가 실행된 후 유전 후보가 사전 설정 기준에 부합하는지 여부를 판단하는 후보 기준 부합 판단 단계(S57)가 더 실행될 수 있다. 예비 보행 궤적 목적 함수의 값이 사전 설정 기준에 부합하지 않는 경우 제어 흐름은 단계S51로 전환되어 최적화 과정을 반복한다. 반면, 단계 S57에서 유전 후보가 사전 설정 기준에 부합한다고 판단한 경우, 제어 흐름은 단계 S60으로 전환한다. 단계 S57의 실행은 후술되는 궤도 확정부(29)에서 실행될 수도 있고 기준 보행 궤적 생성부(27)에서 실행될 수도 있는 등 다양한 선택이 가능하다.

[0146] 시뮬레이션 검증 단계(S60)에서는 기준 보행 궤적 생성부(27)의 시뮬레이션 검증 제어기(275)에서, 상기 최적화 제어기(273)에서 생성된 예비 보행 궤적 및 3차원 멀티바디 다이나믹스 모델을 이용하여 시뮬레이션 실행 검증된다.

[0147] 그런 후, 기준 보행 궤적 확정 단계(S70)가 실행된다. 기준 보행 궤적 확정 단계(S70)에서는 시뮬레이션 검증 단계(S60)에서 검증 완결된 예비 보행 궤적이 사전 설정된 범위에 부합되는지 여부를 판단하는 제어부(20)의 궤적 확정부(29)에서 판단 실행되고, 예비 보행 궤적에 대한 목적 함수값이 기준값 내지 기준값 범위를 충족시키는 등의 기준에 부합한 경우 유전 부호로 산출된 예비 보행 궤적이 기준 보행 궤적으로 확정한다.

[0149] 앞서 기술된 바와 같이 제공 단계(S1)가 실행된 후 테스트 단계(S10)가 실행된다. 테스트 단계(S10)에서는 제어부(20)의 테스트 제어기(25)가 재활 착용 로봇(90)의 작동 성능을 평가하기 위한 하나 이상의 테스트 모드를 선택 실행하여 테스트 데이터가 취득된다. 테스트 단계(S10)에서는 앞서 기술한 제공 단계(S1) 중 기준 보행 궤적 제공 단계(S1b)에서 생성된 인간형 로봇 더미(10)의 기준 보행 궤적이 제공된다. 즉, 목표 환자의 보행 관련 데이터로부터 추출된 보행 특성에 기초하여 생성된 예비 보행 궤적 정보를 3D 멀티 바디 시뮬레이션을 통하여 검증후 확정된 기준 보행 궤적 정보에 따라 인간형 로봇 더미(1)를 통한 재활 착용 로봇의 테스트를 실행한다.

[0151] 테스트 단계(S10)는 테스트 모드 확인 단계(S110)와, 테스트 모드 실행 단계(S120)와, 테스트 데이터 취득 단계(S130)를 포함한다.

[0152] 테스트 모드 확인 단계(S110)에서는 재활용 착용 로봇에 대하여 현재 설정된 테스트 모드가 확인된다.

[0153] 테스트 모드 확인 단계(S110)는 테스트 모드 체크 단계(S111)와, 테스트 모드 판단 단계(S113)를 포함한다. 테스트 모드 체크 단계(S111)에서는 테스트 제어기(25)가 사용자에 의하여 선택된 테스트 모드를 체크한다. 사용자 내지 운영자에 의하여 테스트 모드가 선택되는 것은 궤적 추종 여부를 평가하기 위한 궤적 추종 모드와 갑작스런 강직 경직 상태의 긴급 상황시 안전성 여부를 테스트 하기 위한 부하 안전성 모드 중에서 실행되는데, 이러한 선택은 별도의 입력 수단을 통하여 이루어질 수도 있고, 사용자 내지 운영자에 의하여 초기 설정되어 저장

부(30)에 저장되는 작동 루틴에 따라 이루어질 수도 있는 등 다양한 선택이 가능하다.

[0154] 테스트 모드 판단 단계(S113)에서는 테스트 제어기(25)가 테스트 모드 체크 단계(S111)에서 체크된 테스트 모드가, 궤적 추종 모드인지, 부하 안정성 모드인지가 판단된다.

[0155] 궤적 추종 모드에서는 재활 착용 로봇(90)에 의하여 형성되는 재활착용 로봇(90)에 관절 각도가 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터에 포함되는 처방 궤적 데이터 추종 여부가 확인된다.

[0156] 부하 안정성 모드에서는 재활 환자의 강직 상태를 모사하도록 상기 인간형 로봇 더미(10)의 더미 구동부(13)가 작동하는 경우, 재활 착용 로봇(90)와 상기 인간형 로봇 더미(10)의 더미 바디(11) 간의 작용력을 감지하여 안전성이 테스트된다.

[0157] 그런 후 테스트 모드 실행 단계(S120)가 실행되는데, 테스트 모드 실행 단계(S120)에서는 테스트 모드 확인 단계에서 설정된 테스트 모드가 실행되고, 테스트 데이터 취득 단계(S130)에서는 테스트 모드 실행 단계(S120)에서 실행된 테스트 모드에 의한 테스트 데이터가 취득되어 저장부(30)에 저장된다.

[0158] 그런후, 테스트 제어기(25)는 평가 단계(S30)를 실행한다. 테스트 단계(S10)에서 취득한 테스트 데이터와 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터를 이용하여 재활 착용 로봇에 대한 평가 데이터가 산출된다.

[0159] 이러한 평가 단계(S30)에서는 테스트 제어기(25)가 성능 평가부(70)에 평가 제어 신호를 인가하여 소정의 평가 단계를 실행한다. 평가 단계(S30)는 궤적 평가 단계와 부하 평가 단계를 포함할 수 있다. 궤적 평가 단계에서는 테스트 제어기(25)가 더미 구동부(13)에 구동 제어 신호를 관절 위치 제어기(23)를 통하여 인가하는 경우, 궤적 평가부(71)는 인간형 로봇 더미(10)의 실제 관절 각도(Θ)에 의하여 형성되는 실제 궤적 및 재활용 착용 로봇(90)이 추종해야 하는 처방 궤적 간의 괴리 정보를 통하여 궤적 추종성을 판단한다. 즉, 재활 환자에 대하여 의사 등이 처방한 처방 궤적과, 인간형 로봇 더미(10)의 실제 관절 각도(Θ)에 의하여 형성되는 실제 궤적 간의 괴리 정보를 이용하여, 재활용 착용 로봇(90)이 추종하는 동작에 의한 궤적 괴리가 사전 설정된 괴리도의 영역 내에 존재하는지, 또는 괴리도가 사전 설정 영역을 어느 정도 벗어나는지 여부를 궤적 평가부(71)가 비교 평가하여 재활용 착용 로봇(90)의 궤적 추종성을 판단 평가할 수 있다.

[0160] 또한, 부하 평가 단계에서는 부하 평가부(73)가 재활 착용 로봇(90)의 부하 안정성 여부를 판단한다. 즉, 테스트 제어기(25)가 관절 위치 제어기(23)를 통하여 더미 구동부(13)에 구동 제어 신호를 인가하는 경우, 재활 착용 로봇(90)의 관절 각도 및 목표 관절 각도와, 재활 환자의 강직 상태 시 재활 착용 로봇(90)와 더미 바디(11) 간의 작용력 및 사전 설정 데이터를 이용하여 재활 착용 로봇(90)의 부하 안정성 여부를 부하 평가부(73)가 판단 평가한다. 여기서, 부하 평가부(73)는 직접 또는 테스트 제어부(25)를 통하여 재활 환자의 강직 경직 상태를 모사하도록 갑작스럽게 변화되는 계수 정보에 의하여 어드미터스 모델링을 거쳐 출력되는 목표 궤적의 급격한 변화는 인간형 로봇 더미(10)와 연결되는 재활용 착용 로봇(90)의 관절 조인트의 부하를 증가시킨다. 이때, 인간형 로봇 더미(10)에 가해지는 외력 수준과 재활용 착용 로봇(90)의 동적 거동이 분석되어 재활용 착용 로봇(90)의 강직/경직에 대한 궤적 구현 정확도와 안전 알고리즘 유무 혹은 유효성이 평가될 수 있는데, 부하 평가부(73)는 인간형 로봇 더미(10)과 재활용 착용 로봇(90)의 사이에 개재되는 힘센서(53)를 통하여 상호 작용력을 평가하여 긴급 상황에 신속히 안전한 대응 동작을 재활용 착용 로봇(90)이 구현하는지 여부를 판단 평가할 수 있다. 즉, 예시적으로 재활용 착용 로봇(90)의 사이에 개재되는 힘센서(53)를 통하여 상호 작용력의 감쇠 시정수와 사전 설정 감쇠 시정수 범위를 비교하여 긴급 상황에서의 신속한 부하 제거를 통하여 재활 환자의 신체 손상 발생 가능성을 방지 내지 최소화시킬 수도 있고, 동시에 부하 제거를 적정선에 해결하여 부하 완전 제거로 인한 재활 환자의 지지력 상실로 낙상 등의 위험 발생을 방지할 수도 있는 등 사전 설정되어 저장되는 안전성 평가를 위한 기준값과의 비교 평가를 통해, 재활용 착용 로봇(90)의 안전성 평가 작업이 실행될 수도 있다.

[0161] 도 14에는 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 인간형 로봇 더미의 목표 환자의 기준 보행 궤적에 따른 보행 상태를 모사하는 상태도가 도시되고, 도 15에는 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 인간형 로봇 더미의 목표 환자에 대하여 생성된, 보폭은 500㎜, 보행속도는 1kph, 그리고 발 높이는 100㎜에 대한 기준 보행 궤적이 도시된다.

[0162] 여기서, 보행 궤적 생성 알고리즘에 고려되어야 하는 환자 보행 특성을 나타낸 예시로 인간형 로봇 더미의 보행속도, 발 높이, 그리고 보폭은 목표 환자의 보행 특성에서 도출된 값이 적용되며, 보행 궤적 생성 알고리즘으로서의 최적화 과정을 통해 발 높이, 보폭, 그리고 보행속도에 따른 기준 보행 궤적이 생성되며, 이외에도 관절 각도 제한 상체 흔들림과 같은 특성을 고려될 수 있다. 테스트 과정을 통해 이의 궤적 추종 여부가 감지 제어

될 수 있고, 이러한 목표 환자의 기준 보행 궤적에 모사된 인간형 로봇 더미의 동작을 통해 재활용 착용 로봇의 보다 정확한 성능 시험 결과를 도출할 수 있다.

[0164] 또 한편, 본 발명의 본 발명의 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템 및 이의 제어 방법은 평가의 정확성 및 재활 대상자의 신체적 특성을 정확하게 모사하기 위한 구조를 더 구비할 수도 있다. 즉, 도 16에는 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 인간형 로봇 더미의 물성 변화를 위한 더미 부가 질량체가 부가된 경우의 모사 상태도가 도시되고, 도 17에는 본 발명의 일실시예에 따른 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템의 인간형 로봇 더미의 물성 변화를 위한 더미 부가 질량체가 부가된 경우를 모사하기 위한 구성의 블록선도가 도시된다.

[0165] 본 발명의 보행 궤적 생성형 재활 착용 로봇 평가 시스템(1)은 앞서 기술된 재활 착용 로봇이 장착 가능하고, 관절 동작 구현 가능한 인간형 로봇 더미(10)와, 인간형 로봇 더미(10)의 구동을 제어하고 재활 착용 로봇의 신호를 입력받아 재활 치료용 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트 실행을 제어하는 제어부(20)와, 목표 환자의 보행 관련 데이터를 입력받는 입력부(60)를 포함하고, 제어부(20)는, 목표 환자 보행 관련 데이터로부터 보행 특성을 추출하고, 보행 특성에 기반하여 기준 보행 궤적을 산출하는 기준 보행 궤적 생성부(27)를 포함하고, 기준 보행 궤적에 따라 인간형 로봇 더미(10)에서 재활 착용 로봇의 성능 평가를 위한 테스트가 실행되는 구성과 더불어, 목표 환자의 물성 반영하여 거동 특성 실행 가능하도록 목표 환자의 신체를 3차원 스캐닝하여 반영할 어디셔널 바디를 생성하는 어디셔널 바디 생성부(400)를 더 포함할 수 있다.

[0166] 이때, 어디셔널 바디 생성부(400)는 어디셔널 바디 스캐너(410)와, 어디셔널 바디 모델링부(420)를 포함하는데, 어디셔널 바디 스캐너(410)는 목표 환자의 신체를 3차원 스캐닝하여 어디셔널 바디 생성을 위한 공간 정보를 취득하고, 어디셔널 바디 모델링부(420)는 적어도 어디셔널 바디 스캐너(410)에 의하여 생성된 공간 정보를 이용하여 인간형 로봇 더미(10)에 배치할 어디셔널 바디를 모델링한다.

[0167] 이러한 어디셔널 바디 생성부(400)를 통하여 목표 환자의 신체 물성 반영을 위한 공간 정보를 통하여 어디셔널 바디(300)가 생성될 수 있다.

[0168] 즉, 도 16에 도시되는 바와 같이, 인간형 로봇 더미(10)에는 어디셔널 바디 모델링부(420)에서 모델링된 어디셔널 바디(300)가 부착될 수 있다. 이때, 상당수의 어디셔널 바디(300)는 골격적 요소보다는 지방등의 질량체를 구비하는바, 해당 공간 정보에 대한 비중은 목표 환자의 다른 물성 정보, 즉 체지방량 등의 간접적 물성 정보를 통하여 동일 내지 유사한 비중을 같는 질량체로 생성 구현될 수 있다. 경우에 따라, 스캐닝된 공간 정보로부터 질량 중심점의 수치적 해석을 통한 단일 질량체와 링크 구조의 형태로 부가될 수도 있는 등 설계 사양 등에 따라 다양한 구성이 가능하다.

[0169] 보다 구체적으로 본 발명의 어디셔널 바디 생성부(400)는 어디셔널 바디 스캐너(410)와, 어디셔널 바디 모델링부(420)를 포함하는데, 어디셔널 바디 스캐너(410)는 목표 환자의 신체를 3차원 스캐닝하여 어디셔널 바디 생성을 위한 공간 정보를 취득하고, 어디셔널 바디 모델링부(420)는 적어도 어디셔널 바디 스캐너(410)에 의하여 생성된 공간 정보를 이용하여 인간형 로봇 더미(10)에 배치할 어디셔널 바디를 모델링한다. 여기서, 모델링되는 어디셔널 바디(300)의 비중 등의 정보는 앞서 기술된 체지방율 및 사람의 일반적 특성 정보를 활용하여 모델 생성에 적용될 수도 있다. 이러한 모델링 정보는 시뮬레이션 상에서도 변화된 질량체로서의 보다 정확한 정보 제공을 통한 모사를 가능하게 하여 보다 정확한 제어를 이루게 하고, 실제 테스트 평가에서도 현물품으로서의 장착을 통해 보다 정확한 테스크 평가를 가능하게 할 수 있다.

[0170] 본 발명의 더미 바디(11)는 토르소 바디(110)와 레그 바디(120)를 포함한다. 여기서, 토르소 바디(110)는 목표 환자의 상부 몸체에 대응되고, 레그 바디(120)는 토르소 바디(110)에 연결되어 보행 궤적에 따른 보행 동작을 구현 가능하게 하는데, 본 발명의 어디셔널 바디(300)는 토르소 어디셔널 바디(310)와, 레그 어디셔널 바디(320)를 포함한다. 토르소 어디셔널 바디(310)는 토르소 바디(110)에 연결되고, 레그 어디셔널 바디(320)는 레그 바디(120)에 연결되는데, 이들의 연결은 전체적으로 또는 선택적으로 이루어질 수도 있는 등 다양한 선택과 변형이 가능하다. 이와 같은 어디셔널 바디를 통한 인간형 로봇 더미(10)

[0172] 본 발명의 보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템 및 이의 제어 방법은 반복성 및 객관성이 확보되는 인간형 로봇 더미를 이용하여 재활용 착용 로봇의 테스트하는 범위에서 설계 사양에 따라 다양한 변형이

가능하다.

부호의 설명

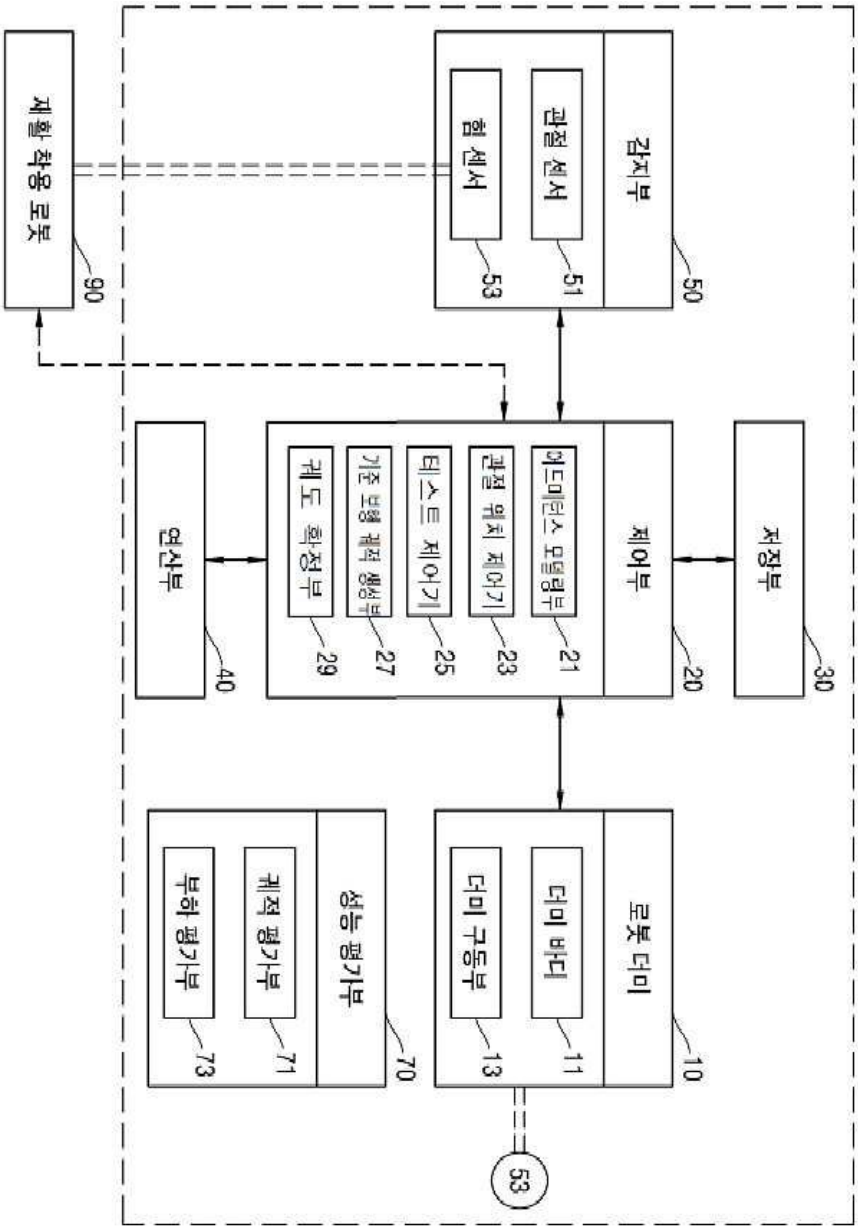
[0174] 1...보행 궤적 생성형 착용형 재활로봇 성능 평가 시스템

10...인간형 로봇 더미 20...제어부

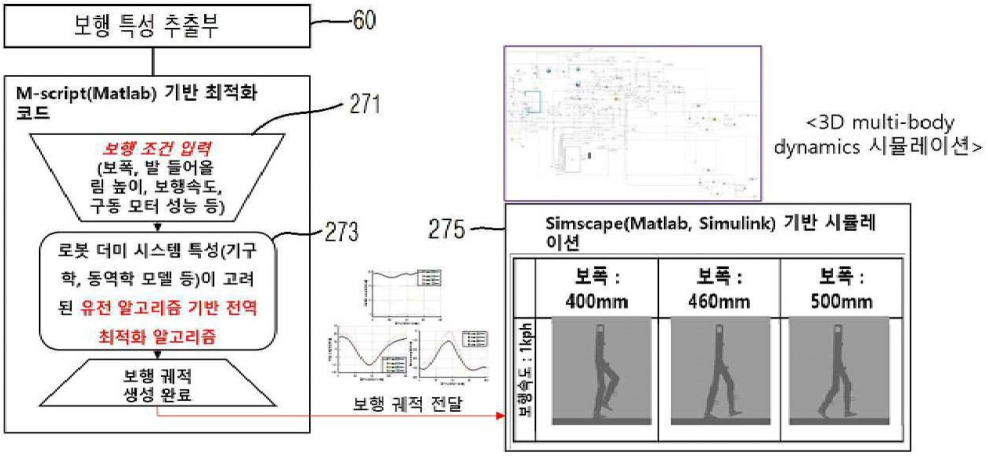
30...저장부

도면

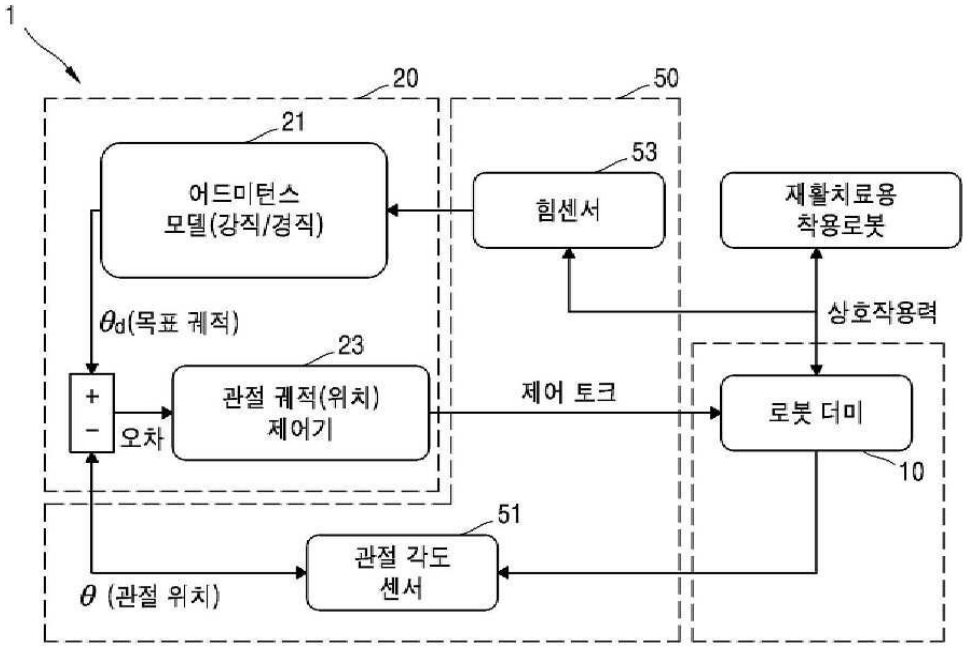
도면1



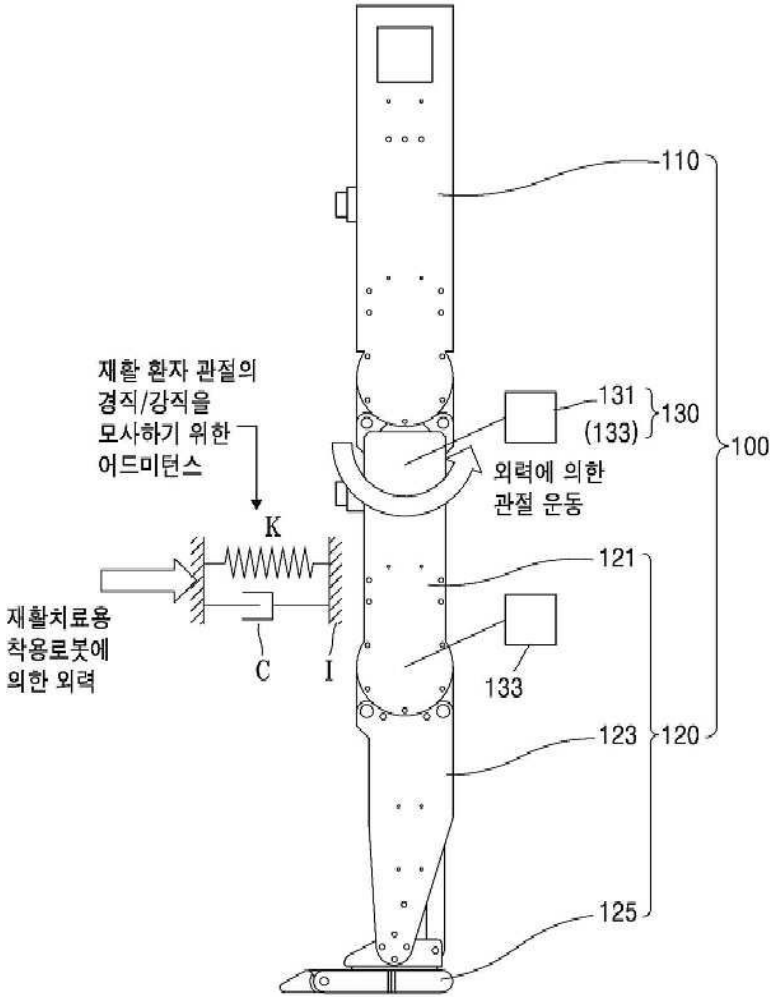
도면2


보행 특성 추출부
60
M-script(Matlab) 기반 최적화 코드
271
보행 조건 입력
(보폭, 발 들어올림 높이, 보행속도, 구동 모터 성능 등)
273
로봇 더미 시스템 특성(기구학, 동역학 모델 등)이 고려된 유전 알고리즘 기반 전역 최적화 알고리즘
보행 궤적 생성 완료
보행 궤적 전달
<3D multi-body dynamics 시뮬레이션>
275
Simscape(Matlab, Simulink) 기반 시뮬레이션
보폭 : 400mm
보폭 : 460mm
보폭 : 500mm
보행속도 : 1kph

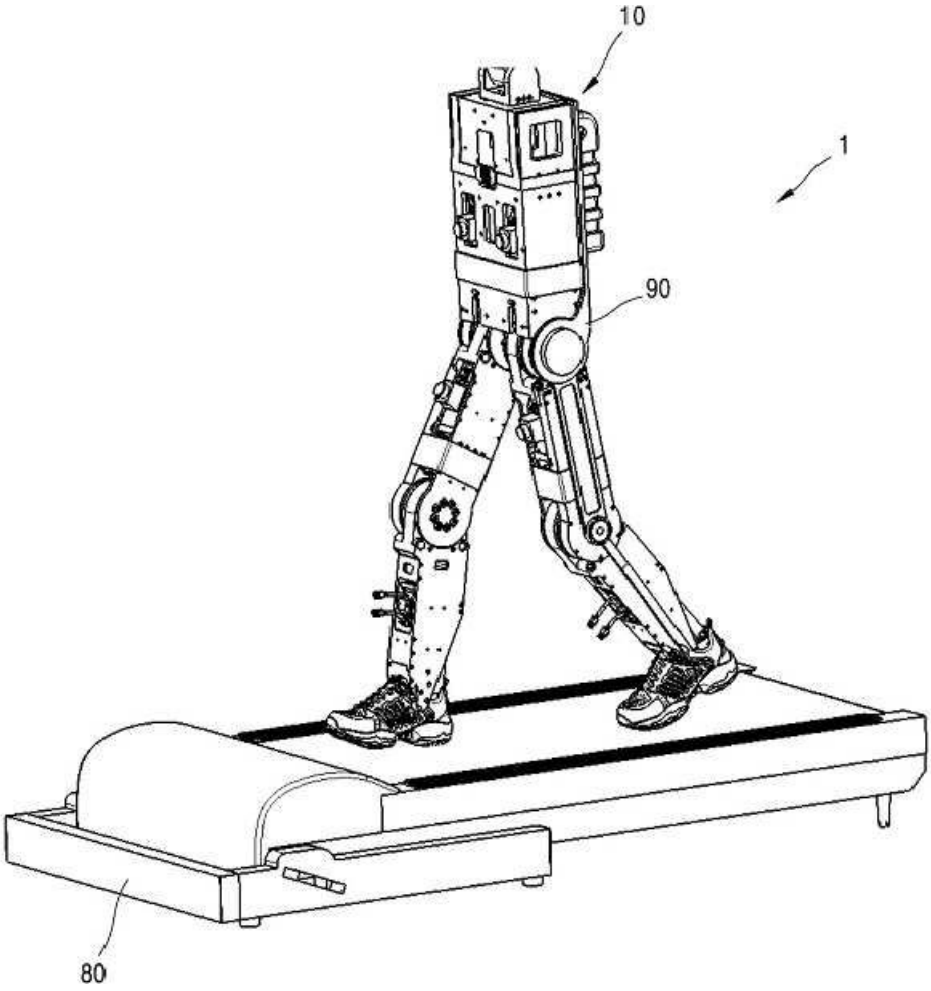
도면3


1
20
50
21
어드미턴스 모델(강직/경직)
53
힘센서
재활치료용 착용로봇
상호작용력
θd(목표 궤적)
23
+
−
오차
관절 궤적(위치) 제어기
제어 토크
로봇 더미
10
51
관절 각도 센서
θ (관절 위치)

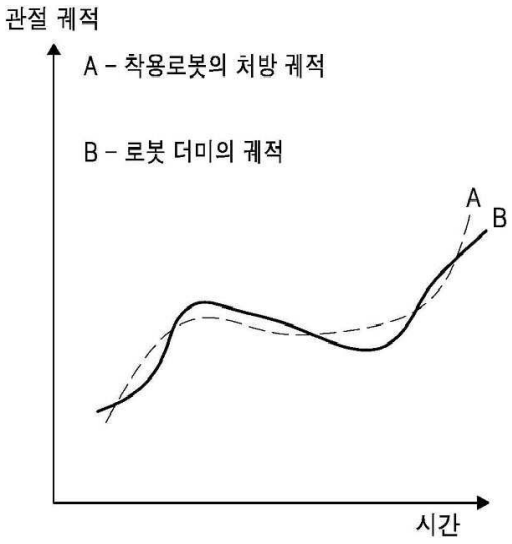
도면4


110
재활 환자 관절의
경직/강직을
모사하기 위한
어드미턴스
131
(133)
130
100
외력에 의한
관절 운동
K
121
재활치료용
착용로봇에
의한 외력
C
I
133
123
120
125

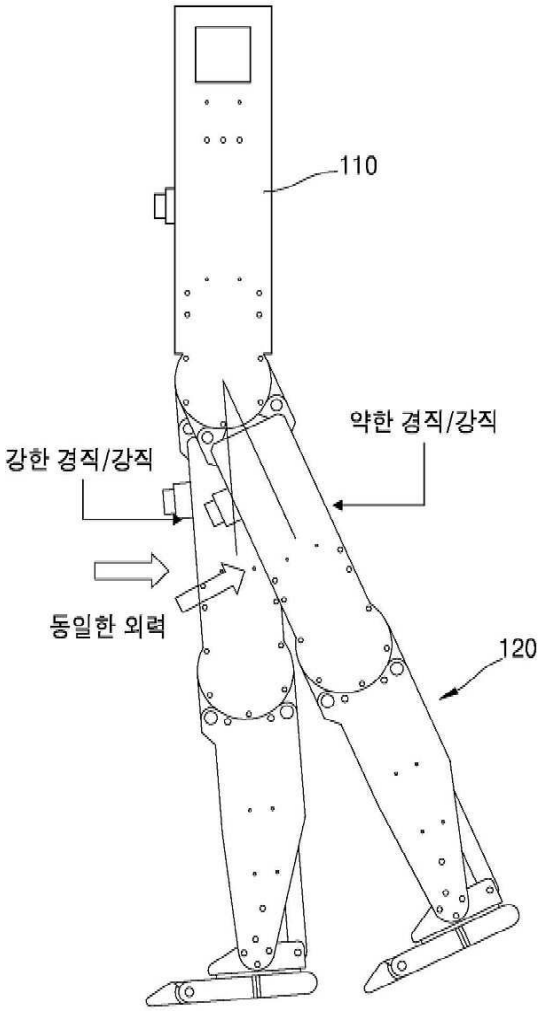
도면5



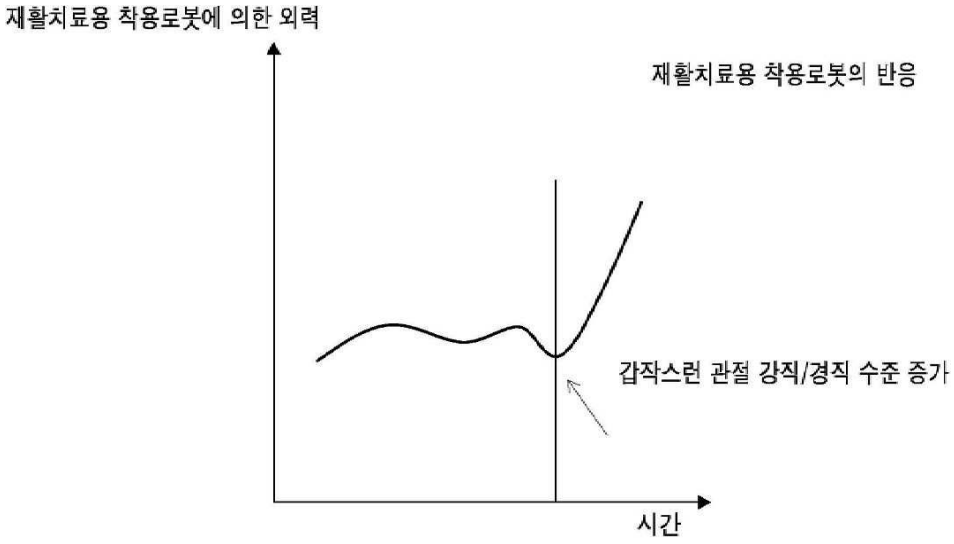
도면6



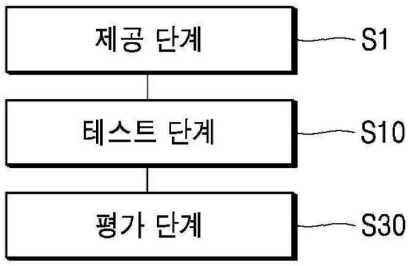
도면7


110
약한 경직/강직
강한 경직/강직
동일한 외력
120

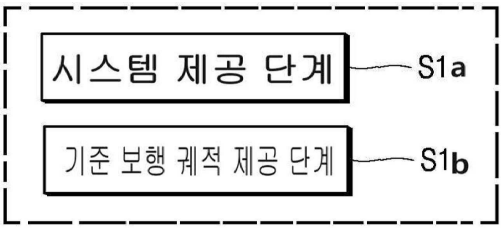
도면8


재활치료용 착용로봇에 의한 외력
재활치료용 착용로봇의 반응
갑작스런 관절 강직/경직 수준 증가
시간

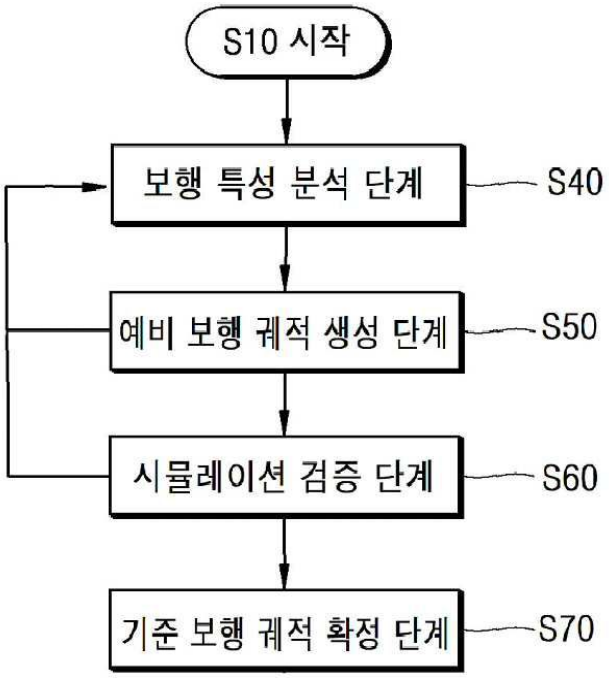
도면9



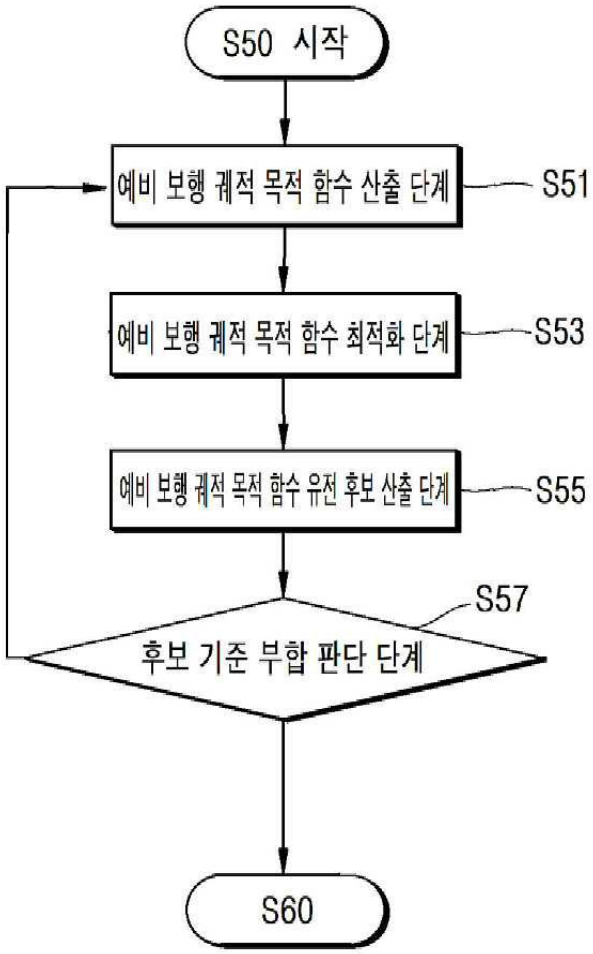
도면10



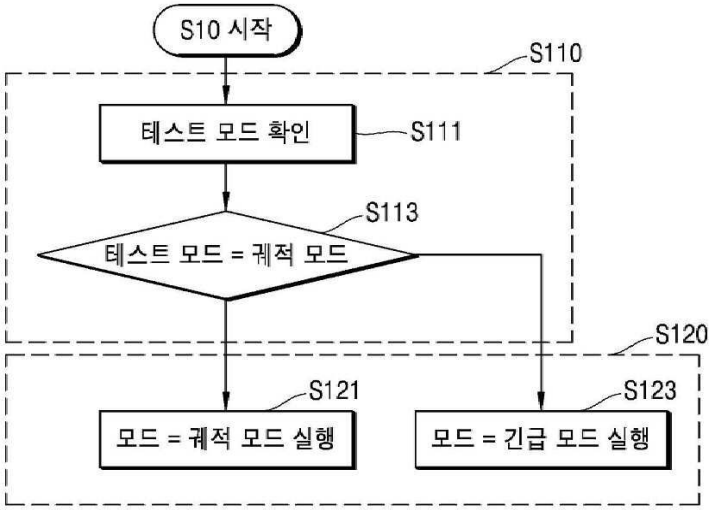
도면11



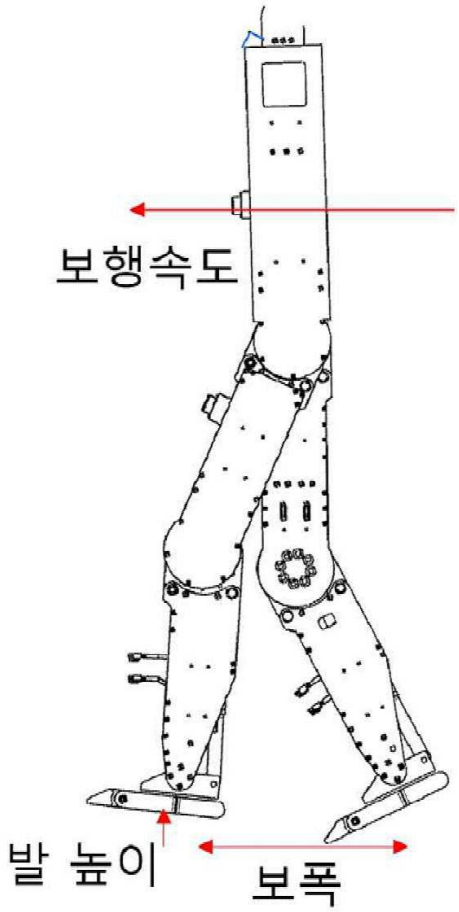
도면12


S50 시작
예비 보행 궤적 목적 함수 산출 단계
S51
예비 보행 궤적 목적 함수 최적화 단계
S53
예비 보행 궤적 목적 함수 유전 후보 산출 단계
S55
S57
후보 기준 부합 판단 단계
S60

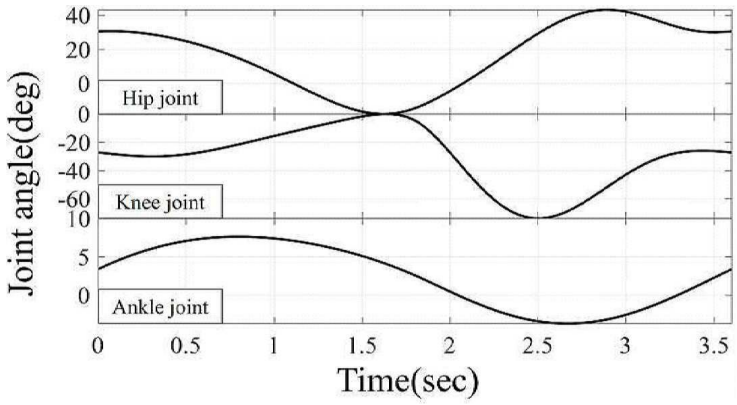
도면13


S10 시작
S110
테스트 모드 확인
S111
S113
테스트 모드 = 궤적 모드
S120
S121
모드 = 궤적 모드 실행
S123
모드 = 긴급 모드 실행

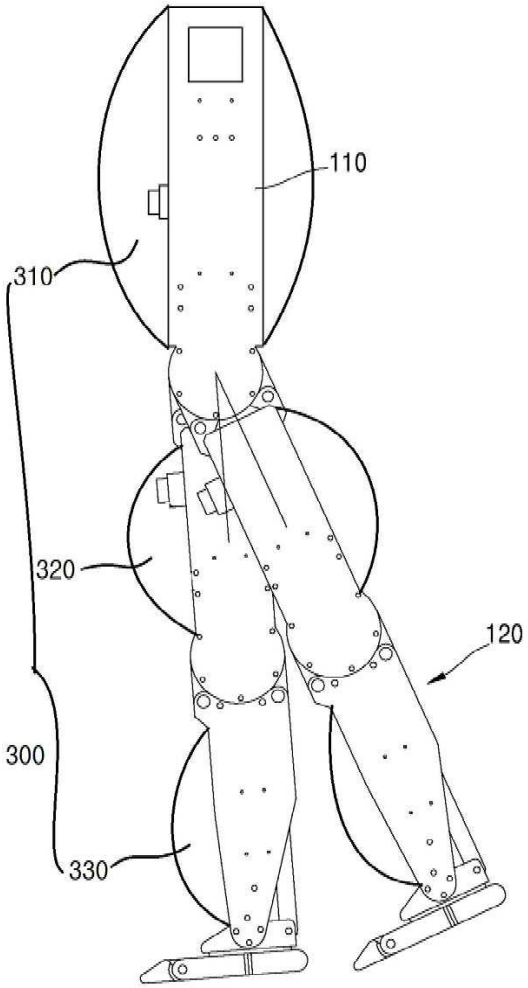
도면14


보행속도
발 높이
보폭

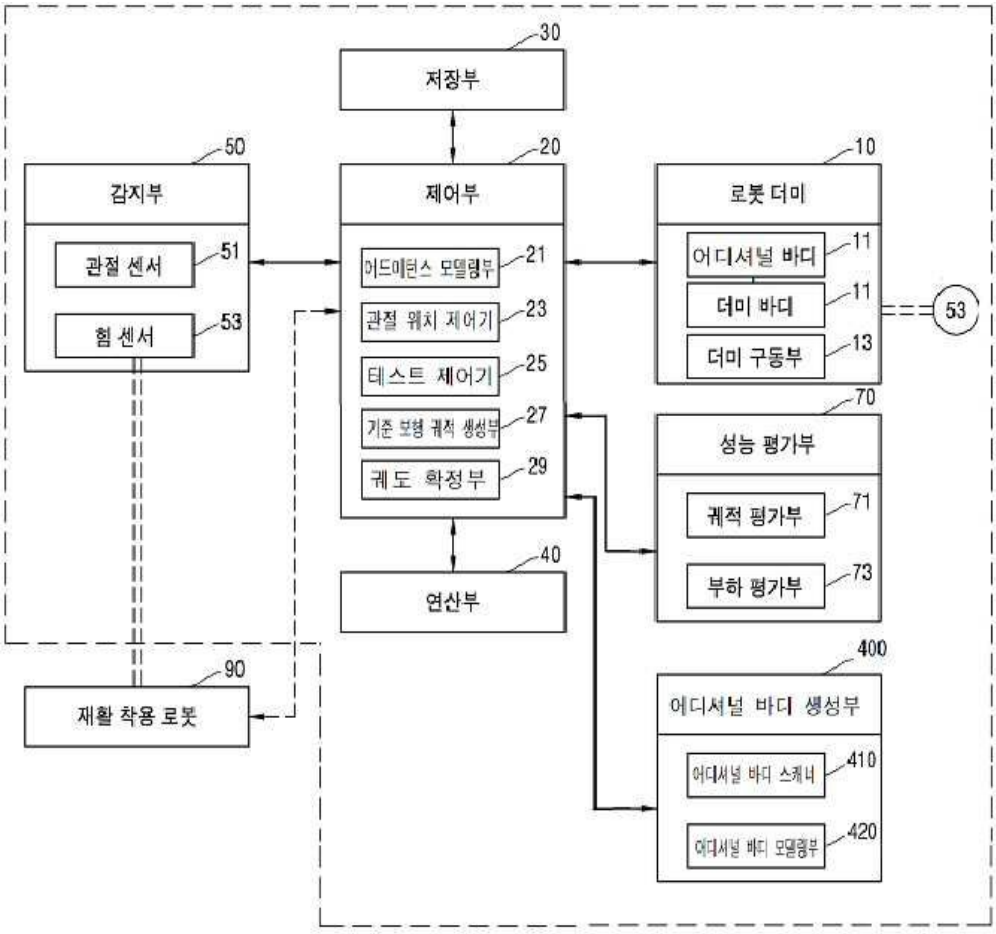
도면15


Joint angle(deg)
Hip joint
Knee joint
Ankle joint
Time(sec)
40
20
0
0
-20
-40
-60
10
5
0
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5

도면16



도면17


30
저장부
50
감지부
관절 센서
51
힘 센서
53
20
제어부
어드미턴스 모델링부
21
관절 위치 제어기
23
테스트 제어기
25
기준 보행 궤적 생성부
27
궤도 확정부
29
40
연산부
10
로봇 더미
어디셔널 바디
11
더미 바디
11
더미 구동부
13
53
70
성능 평가부
궤적 평가부
71
부하 평가부
73
400
어디셔널 바디 생성부
어디셔널 바디 스캐너
410
어디셔널 바디 모델링부
420
90
재활 착용 로봇