

Vision, IMU 및 고전센서를 활용한 보행 분석 시스템의 개발 및 응용 현황

하지 절단 환자들의 활동성을 보장하는 의족을 개발하고자 하는 노력이 지속적으로 이루어졌다. 초기에 사용된 수동형 의족은 보행을 보조하는데 그쳤지만, 다양한 공학기술의 발전에 따라 의족을 통한 동력보조 뿐만 아니라 근육의 역할을 대신하는 수준에 이르렀다. 이러한 생체친화적인 의족개발을 위해서는 다양한 기법들이 적용된 세밀한 보행 측정이 필요하다. 이러한 보행 측정 자료는 동력의족 개발뿐만 아니라 의료 계통에서 보행진단의 척도가 되기도 하고 최근 건강과 운동에 대한 관심이 높아지면서 운동 자세교정이나 개인 헬스케어용으로 활용되기도 한다. 본 기술논문에서는 이러한 보행의 측정 요소와 필요성에 대해 다루고, 보행 측정에 적용되는 다양한 센서를 활용한 제품이나 연구를 소개할 것이다.

나수인, 이영삼 (인하대학교)

1. 서론

현대사회에서는 의학과 기술의 발전으로 인해 산업 재해 등이 줄어들고 지체손상 환자의 비율이 감소할 것으로 예측하였다. 그러나 교통사고, 산업재해, 스포츠 등의 사고나 당뇨병이나 말초혈관질환, 또는 악성종양과 같은 질병으로 인해 하지 절단이나 하지마비를 겪게 되는 환자들이 증가함에 따라 하지 절단 환자나 보행 이상자의 비율이 일정하게 유지되고 있다[1].

이러한 절단 환자들을 위한 능동형 의족은 모터 등을 이용한 동력을 부여하여 무릎 각도를 제어하기 때문에 수동형 의족보다 사용자의 피로감이 적고 자연스러운 보행이 가능하다. 일반적으로 동력 의족에서의 동력원에 모터를 사용하나 MR(Magneto-Rheological)유체를 활용하여 MR 댐퍼나 MR 브레이크를 이용한 연구 사례가 있다[2,3]. 이 외에도 해외에서 다양한 구조의 동력의족과 복합적인 보행 환경에서 걸을 수 있는 로봇의족에 대한 연구가 활발하다[4]. 최근 국내의 대구 융합기술연구센터 의료지원로봇연구실에서 실제 발목과 비슷한 1.4kg의 발목로봇의족을 개발하였으며 세계최고수준의 발목회전력을 구현하였다[5]. 세계 능동형 의족 시장규모는

10조원, 국내 시장규모는 245억 원이다. 지금까지 능동형 의족은 수천만 원대부터 억 원대에 이르기까지 고액의 비용을 지불해야 했지만 저가형 로봇의족이 개발되어 보편화된다면 잠재적으로 확장될 시장의 규모가 매우 클 것으로 기대된다.

능동형 의족의 착용자가 움직임과 외부환경의 부하에 대응하고 실제 인체와 동일한 수준의 움직임을 재현하기 위해서는 정확한 보행진단이 필수적이다. 그러나 기존의 보행측정 시스템은 전문화된 실험 공간과 고가의 측정 장비를 사용함으로써 소비자의 비용적인 부담이 증가하고 소규모 연구실의 의족 연구에 진입장벽이 되고 있다. 이에 따라 저가형 IMU 센서나 비전 센서를 이용한 생체 역학정보를 인식하는 기술들이 활발히 연구되고 있다[6].

보행측정은 능동형 의족의 제어시스템이 정상보행을 맞게 설정되었는지 확인할 수 있게 해줄 뿐만 아니라 의족 착용자의 신체적 특성 및 불균형 문제를 진단함으로써 사용자의 만족감을 증대시킬 수 있다. 보행 이상으로 인한 신체 평형과 보행문제가 발생하면 낙상빈도가 늘게 되고 환자들의 생활력을 위축시킬 수 있기 때문에 보행 측정을 통해 진단하고 적절한 처방 및 운동을 통해 문제를 개선할 수 있다[7]. 보행 진단을 통해 뇌성마비, 당뇨마비 환자들의 병증을 효과적으로 검진

할 수 있고 재활치료에도 보행 분석은 필수적이다. 이렇듯 보행 측정은 능동형 의족 개발뿐만 아니라 의료, 헬스케어 등 다양한 분야에서 적용성이 높기 때문에 저비용의 보행측정 기술이 활발히 연구되어야 한다.

본 기술 논문에서는 의료, 헬스케어 목적의 다양한 보행측정 시스템의 개발이나 연구에 대하여 사례별로 기술 동향을 조사한 결과를 제시하고, 각각이 가지는 특징이나 기대 효과 등을 언급한다. 2장에서는 보행 분석에 필요한 측정 요소에 대해 간략히 설명하고, 3장에서는 IMU 및 고전센서를 이용한 보행측정 시스템들을 소개한다. 4장에서는 비전센서를 활용하여 보행측정시스템을 구현한 사례들을 소개한다. 마지막 5장에서는 조사한 전체 내용을 정리하고 기술 논문에 대해 결론을 제시한다.

2. 보행 분석 시 측정 요소

과거에는 주로 의사나 기타 관찰자의 육안으로 이상보행을 확인했다. 그러나 이 방식은 의사의 경험과 관찰에 의해서 진단되는 방법으로 같은 조건에서도 분석 결과가 따라 달라질 수 있다는 한계점을 가지고 있다. 또한 이상 보행에 대한 치료가 진행되더라도 과거의 보행 상태와 비교하기에 어려움을 가지고 있다[8]. 보행 분석이 제대로 이루어지지 않는다면 능동형 의족에 착용자의 움직임 패턴을 반영하지 못하기 때문에 몸의 비대칭성을 유발하는 등 환자에게 큰 불편함을 안겨 줄 것이다. 따라서 정확한 측정을 통해 개인의 보행 특성을 반영한 진단이 내려질 수 있도록 하는 것이 중요하다.

인간의 보행 측정 및 분석은 1880년대 마이브리지(Edward Muybridge)라는 사진작가의 연속 촬영을 통해 보행을 측정하려는 시도가 생체역학분야의 출발점이 되었다. 1950년대 이후 역동역학 해석을 위해 관절모멘트를 계산하여 사용하고 있다. 1940-50년대에는 근육활동을 규명하기 위해 근전도(EMG: Electromyography)에 관한 연구가 활발히 이루어지고 최근에는 최적화기법을 통한 근력 예측이 가능해지며 컴퓨터 모델링과 함께 비약적으로 발전되어 왔다[9,10].

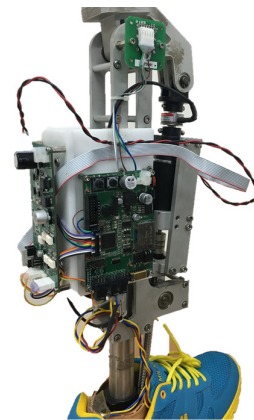
보행은 Force 측정, Torque 측정, Motion 측정으로 크게 나누어 측정할 수 있다. 보행 시 발생하는 근 활성도를 측정하여 근력 예측 결과 신뢰도 검증, 동역학적 변인 결과의 타당성 등을 검증할 수 있다. 또는 발이 지면에 작용하는 반발력을 측정하여 힘과 모멘트, 압력중심 등을 알 수 있고 피험자의 신체정보를 이용하여 역동역학적 해석을 수행할 수 있다. 보행에서 기구학 및 동역학 해석은 각 관절에 필요한 힘과 모멘트를 구하

는 역동역학(inverse dynamics)연구와 골격 모델에 근육 모델을 포함하는 근골격계 모델을 구성하고 근육에서 발생하는 힘을 추정하여 최적화 기법을 이용하는 순동역학연구로 크게 나누어 볼 수 있다[11].

전체 보행은 무릎관절의 임피던스 특징에 따라 분류가 가능하며 무릎의 각도에 따라 지면에 가하는 하중과 무릎에 가해지는 임피던스 측정을 통해 각 보행 단계가 나누어진다. 이렇게 측정된 임피던스를 이용해 능동형 의족을 임피던스 제어함으로써 무릎의 부하에 반응하는 움직임을 만들어 낼 수 있다.

그림 1의 ①은 [1]에서 제안된 개발한 능동형 의족의 Prototype으로서 임피던스 제어를 적용하고 있다. 그림 1의 ②은 정상인이 의족을 착용하여 의족 보행을 측정하기 위해 어댑터를 부착한 모습이며, 보행자의 속도에 맞추어 제어가 이루어진다. 무릎관절의 각도를 측정하기 위해 마그네틱 엔코더와 능동형 의족의 동력원인 모터의 각을 측정하기 위해 광학식 엔코더를 사용한다. 그림 2는 능동형 의족을 착용하고 보행 측정한

①



②

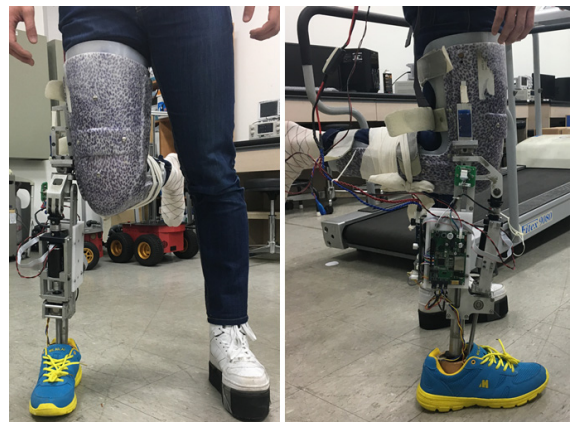


그림 1. 능동형 의족 시스템의 개발 사례[1] : ①임베디드 시스템을 부착한 능동형 동력의족, ②어댑터를 이용한 동력의족의 착용.

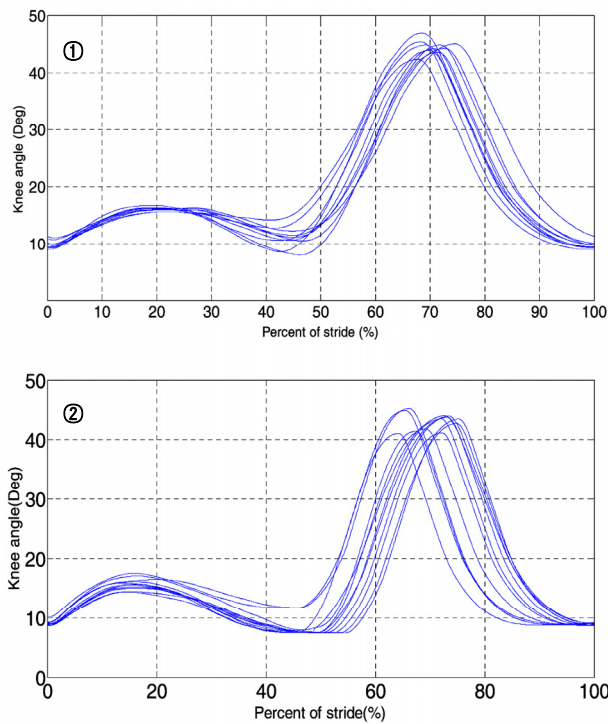


그림 2. 보행 시 무릎관절 각도 데이터[1] : ① 평시 보행 시 무릎관절 각도, ②경사로 보행 시 무릎관절 각도.

무릎관절 각도를 궤적화한 것이다. 궤적에서 보이는 첫 번째 굴곡은 Stance 단계에서 나타나며 발뒤꿈치가 바닥에 닿는 충격을 흡수하는 단계이다. 두 번째 굴곡은 Swing flexion 단계에서 Swing 단계로 넘어가는 과정을 나타낸다.

그림에서 나타난 무릎관절 측정값이 일정하지는 않지만 의족이 정상인의 보행을 수행하고 있음을 정성적 또는 정량적으로 비교하기 위해서는 기준이 되는 정상 보행 측정 데이터가 필수적이다. 능동형 의족 개발에 있어서 정상 보행 데이터가 제대로 반영되었을 때, 의족 착용자의 의족에 대한 적응시간을 줄일 수 있으며 안정적인 보행 동작을 보장할 수 있다.

그림 3은 대학병원 뇌성마비 클리닉에서 사용하는 인체 동작 분석 검사의 측정 방식을 나타내고 있다. 3차원 보행 분석 검사는 환자의 보행 상태를 매우 정밀하게 분석할 수 있도록 다양한 검사가 동시에 진행된다. 기존의 보행 분석 방법인 이학적 검사(근력 측정, 관절 운동 범위)와 비디오 촬영이 포함되어 있다. 뿐만 아니라 보행 시 특정 근육의 활성이나 힘의 생산 정도를 알 수 있는 Force Plate를 이용한다. 영상과 다양한 센서를 통해 측정된 보행 데이터를 이용하여 보행 단계를 세분화하여 나타낼 수 있다. 이러한 분석 결과를 통해 뇌성마비

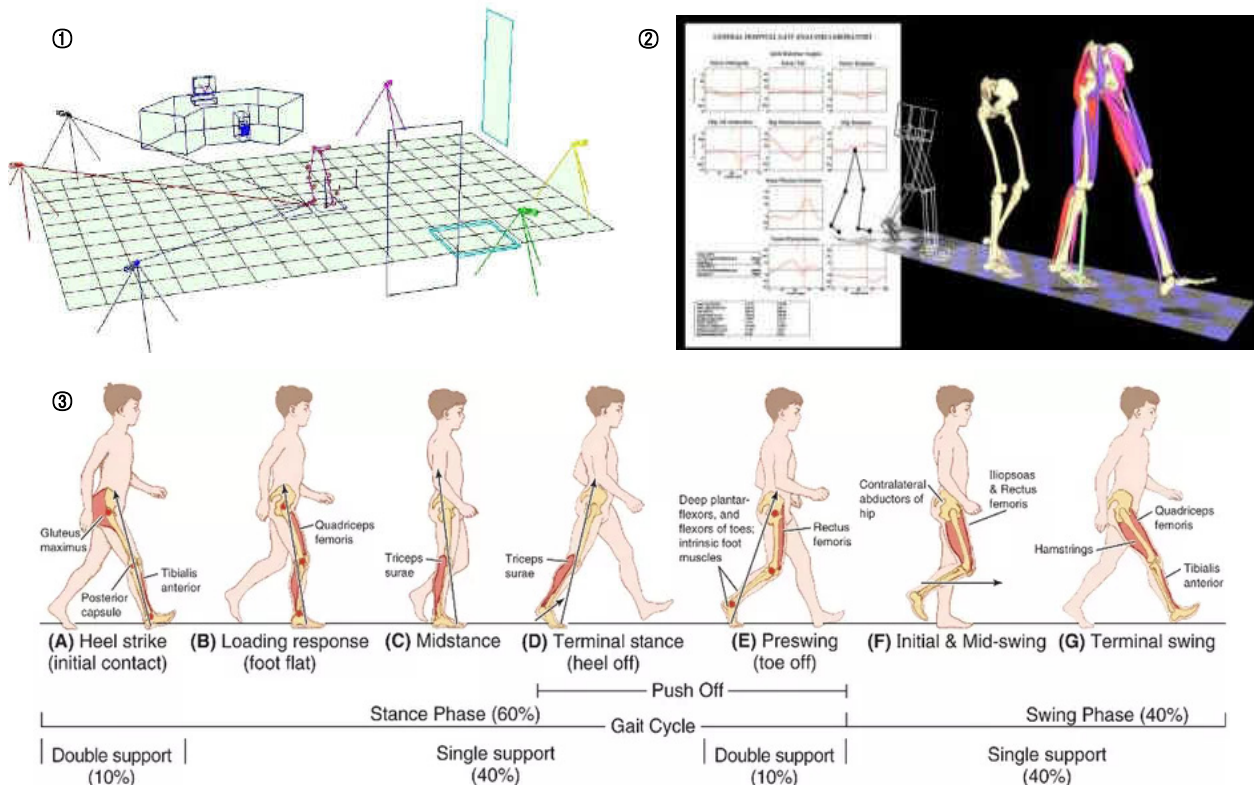


그림 3. 인체 동작 분석 검사 : ① 컴퓨터 3차원 보행 분석검사, ② 실시간 이상보행 디스플레이[8], ③ 보행주기에 따른 정상보행의 움직임.

와 당뇨로 인한 마비 등의 병증을 진단하거나 보행 장애 개선을 위한 재활치료의 목적으로 이용할 수 있다.

그러나 그림 3과 같이 특수화된 측정 공간과 장비의 사용은 능동형 의족 개발비용을 높이는 요인이 된다. 또한 큰 비용과 오랜 시간이 분석에 소요되기 때문에 하지 절단자가 아닌 보행 이상자는 초기에 보행 장애를 인식할 기회가 적다. 이렇게 전문화된 보행 측정 시스템은 소규모 병원에서 측정 장비를 구비하기에 부담이 되기 때문에 어쩔 수 없이 계속해서 의사들이 육안으로 확인하는 방법에 의존하여 진단을 내릴 수밖에 없을 것이다. 따라서 저렴하면서 각 분절과 관절 운동을 기술하는 운동학적 변수들(관절각도, 각속도, 각가속도)을 측정할 수 있는 측정 시스템의 개발이 필요하다.

3. IMU 및 고전센서를 보행 측정에 활용한 사례

기존의 보행 측정 방식은 전문화된 데이터 프로세싱, 목적에 맞게 센서가 부착된 특수한 공간, 적외선 카메라 등의 전문화된 장비를 사용하며 타인에 의해 측정되는 한계점을 가지고 있었다[12]. 그러나 최근 건강과 운동에 대한 관심이 높아

지면서 이러한 전문적인 장비나 기술 없이도 쉽게 착용하고 사용할 수 있는 형태의 웨어러블 헬스케어 디바이스가 많이 개발되고 있다. 단순히 오락과 패션 기능을 넘어서 건강관리를 위한 기술영역으로 확대해가며 구글 등 외국뿐만 아니라 국내에서도 다양한 상품이 개발되고 있다.

웨어러블 기기를 이용한 개인 건강기록(PHR: Personal Health Record)을 관리하고, 각 개인의 유전적 분석과 함께 개인 맞춤형 빅데이터를 이용한 헬스케어가 가능해질 것이다[13]. 그 중 보행 측정과 관련된 몇 가지 사례들을 소개한다.

3.1. Sensoria Socks

그림 4의 ①은 Heapsylon사에서 개발한 Sensoria Socks이다. 평범한 양말처럼 생겼지만 특수 섬유로 제작되어 나쁜 냄새를 방지하고, 일반 양말처럼 세탁이 가능하다. 블루투스로 연결되는 발찌(Anklet)를 착용하면 보행 횟수, 이동 거리, 보행 속도, 칼로리 소모량, 페이스, 접지 방법, 체중 이동 등을 계산해준다[14]. 발에 하중이 실리는 정도를 분석하여 걸음 걸이를 교정할 수도 있다[15]. 특히나 당뇨병 환자의 경우 혈

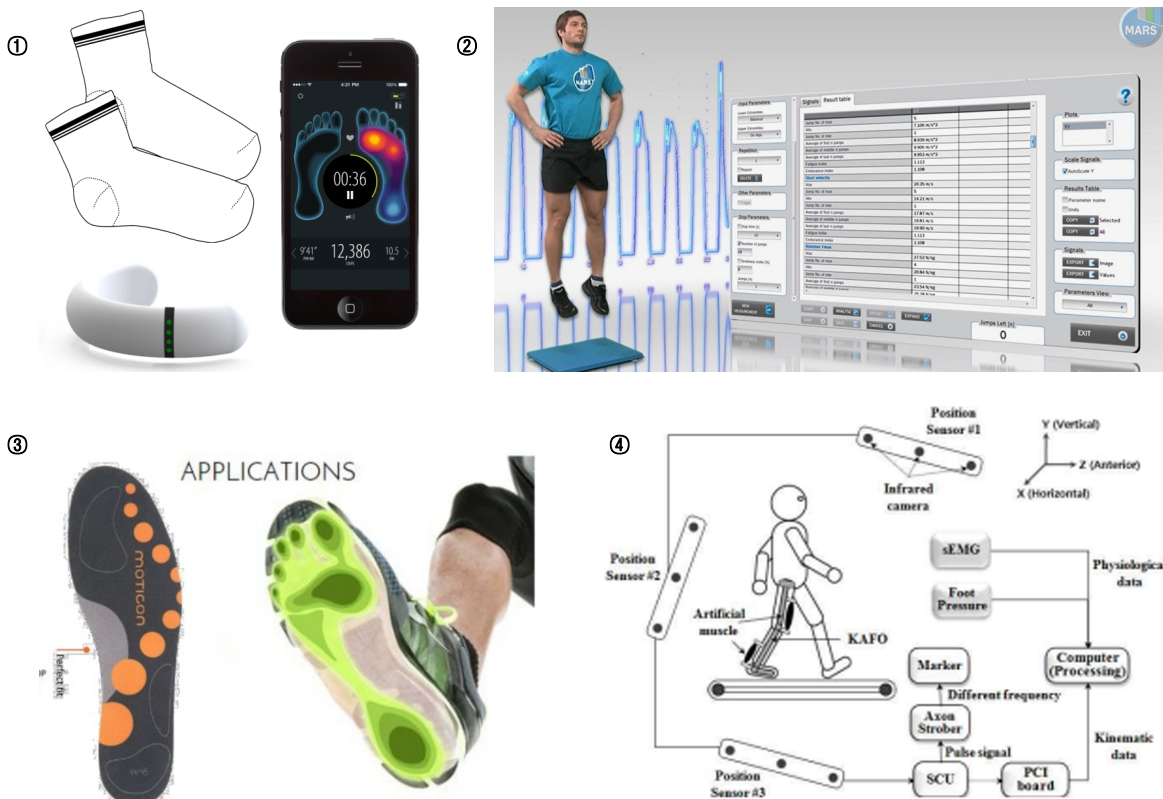


그림 4. 보행 측정용 웨어러블 헬스케어 디바이스 : ① Sensoria Socks[14], ② Kistler[16], ③ Moticon[17], ④보행 재활 훈련용 장하지 보조기 (powered KAFO)[18].

액순환장애나 약해진 신장으로 인해 정상보행을 유지하는 것이 어려워질 때가 있다. Sensoria Socks을 이용하면 발에 걸리는 하중을 계산해 당뇨병으로 인한 보행장애를 조기진단할 수 있다.

3.2. Kistler Force Plate

Kistler Force Plate는 보행 시 족압력을 측정하기 위한 기구이다. 압전 측정 기술을 사용하여 연구, 재활의료, 스포츠 등 다양한 용도에서 힘과 모멘트 측정을 할 수 있다. 수직 점프 후 안정화 성능 평가 및 양다리 대칭 테스트를 할 수 있고[16] 데이터를 분석하기 쉽게 성능매개변수로 디스플레이 해주어 사용자 친화적인 제품이다. 이 외에도 20개의 테스트 모듈이 있고 사용자의 동작 분석 기능을 제공하고 있어 용도에 맞게 사용이 가능하다. 그러나 뇌성마비와 같은 질병상의 이유로 보행 장애를 겪을 경우, 다리 끌림이 있는 보행을 하기 때문에 Force Plate만으로 보행을 측정하기에 적절치 않은 부분이 있다.

3.3. Moticon (Feet Sensor Pad)

이 패드는 훈련과 재활의 목적으로 개발되었으며 각 신발의 패드에 발바닥 압력을 측정할 수 있는 센서가 부착되어 있다. 내장된 압력감지센서 및 모션감지 3D 가속도계를 이용하여 압력측정, 무게측정, 밸런스 측정, 모션 측정 등이 동시에 일어난다[17]. 모바일 폰을 이용하여 본인의 보행 상태에 대한 피드백과 라이브 뷰 실시간 스트리밍 기능을 통해 자세교정에 효과를 볼 수 있다. 스포츠 과학 및 임상연구에 활용이 가능하다.

3.4. 보행 재활 훈련용 장하지 보조기

[18]에서는 장하지 보조기를 착용하고 발목 관절의 추진력과 함께 무릎관절 신전 운동 보조에 의한 관성력을 보조 받는 실험(그림 4의 ④; powered KAFO)을 통해, 피험자가 네 가지 조건에서 트레드밀 보행을 수행했을 때, 보행 운동에 관여하는 하지 근력과 족압 특성을 비교 분석하고 있다.

해당 보조기는 사용자의 한쪽 하지를 지지해주는 기본 골격 프레임과 사용자의 하지를 고정시켜주는 고정대, 두 개의 인공 공압 근육(Shadow Robot Company Ltd), 족관절 보조기로 이루어져 있다. 피험자 스스로가 착용할 수 있도록 밴드를 이용하여 본인의 체형에 따라 조절가능하다.

4. 비전 센서를 활용한 생체신호 측정 사례

초기의 영상처리분야는 주로 우주개발프로그램 등에 쓰이며 소실된 영상의 질을 재구성과 필터링을 이용해 복원하는 용도에 활용되었다. 그러나 오늘날에는 영화, 의료산업, 산업 자동화에 이르기까지 다양한 분야에 활용되고 있다. MRI(자기공명 영상 기술)에서 필요한 의료 영상을 고배율, 고해상도로 보여주거나 3D 구현을 통해 현실감 있게 치료부위를 확인할 수 있다. 머신 비전을 활용한 조립라인은 오류율 0.03%의 자동화 공장을 구현하기도 한다.

이러한 비전 센서를 활용한 생체 인식 분야도 활발한 연구가 진행되고 있다. 생체 인식은 도난이나 분실의 우려가 없는 인증수단이고 암호화를 해제하는 방식에서 홍채인식, 얼굴인식 등의 영상 처리 기법을 사용한다[16].

4.1. GATS (Gait Analysis Training System)

GATS는 보행 분석 시스템과 분석 알고리즘 및 재활 콘텐츠를 제공한다. 건강 이상의 조기 발견에서부터 진단과 재활 치료 등의 건강관리를 위한 제품이다[17]. 앞서 소개한 IMU 센서 모듈과 함께 비전 센서를 사용하는 제품이다. 블루투스 통신으로 연결되어 있는 3축 IMU 센서를 신체에 부착할 수 있고, 동시에 모니터링 세트의 후면에 부착된 양면카메라로 비전 정보를 받아들일 수 있다. 두 센서 융합정보는 모니터링 컴퓨터에서 간편하게 보행 분석 정보를 확인할 수 있다. 각 분절의 회전값 변화 측정 알고리즘과 보행 주기에 따른 관절각 분석이 가능하다.

4.2. GRAIL

GRAIL은 신경 및 신경근 문제, 정형외과 환자 및 노인, 장애인의 보행에 대한 분석과 교육을 위한 제품이다. 반원 형태의 스크린이 전면에 위치해 있고 사용자로 하여금 VR 영상을 통해 가상세계에서 자연스러운 보행 환경에 노출되게 만든다. 자체 계량 옵션을 갖춘 러닝머신과 통합 모션 캡처 시스템, 3개의 비디오카메라 및 EMG 시스템이 결합되어 시각적 자극과 함께 수 분 내에 수백 가지 보행 단계를 측정할 수 있다. 이러한 환경에서 보행 패턴의 변화를 측정하면 병리학적 보상 전략을 식별하고 정량화하거나 동적 안정성을 결정할 수 있다. 보행 분석이 완료되면 즉시 보행 장애를 진단하고 이를 개선하기 위한 재활교육과정을 시작할 수 있다[20]. 기존의 보행 분석에 소요되는 시간과 비용이 크기 때문에 소수의 환자에

계만 보행 분석의 기회가 주어진 것에 반해 GRAIL은 개인이 소유하고 쉽게 보행 진단을 받을 수 있다.

4.3. 비전 및 IMU 센서 융합을 이용한 보행 측정 시스템

그림 3의 보행 측정 시스템의 경우 저렴하고 가벼운 측정기구부를 통해 높은 접근성을 가진 측정 장비를 개발한 것이 특징이다[22]. 저가형 보행 측정시스템 제작을 위해 적외선 카메라를 대체하여 Marker와 스마트폰을 이용해 비전 정보를 추출한다. 그러나 저가형 측정 장비에도 불구하고 비전과 IMU 센서 데이터를 융합해 각각이 가지는 한계점을 개선하며, 능동형 의족에서 엔코더로 측정된 무릎 각도와 데이터 비교를 통해 실효성을 입증하고 있다.

이러한 측정 데이터는 자체적인 디스플레이를 통해 각각의 관절에서 추출된 보행 분석을 제공한다. 보행 분석 디스플레이를 통해 양 다리의 균형성이나 의족 착용 시에 정상인 보행 데이터와 비교 등의 즉각적인 보행 진단이 가능하다. 또한 보행 측정 대상자의 체형에 관계없이 쉽게 탈부착 가능한 측정 장비이기 때문에 병원이나 의족 센터에서 보행 진단에 활용

할 때 기존의 장비에 비해 편리하게 사용할 수 있다.

4.4. Kinect

Microsoft Kinect 센서는 골격 데이터를 사용하여 보행 분석을 수행할 수 있다. 기존의 영상처리 기법들이 2D 영상 분석에 그쳤다면 Kinect는 내장된 RGB 카메라와 적외선 카메라를 이용하여 물체와의 3D 거리를 측정할 수 있다[23]. 이에 따라 제한된 세트 내에서 보행자가 앉거나 회전하는 등의 신체 일부가 가려지더라도 움직임을 어느 정도 인식할 수 있다. Kinect를 이용하여 인간의 골격을 20가지의 관절로 분류하고 보행을 통해 머리, 팔꿈치, 무릎 등이 보행에 중요한 요소가 된다는 연구결과가 있다[24-25].

5. 결론

본 논문에서는 국내외에서 개발되고 있는 보행 측정 시스템에 대한 기술 동향을 IMU 및 고전 센서와 비전 센서로 나누어 소개하였다. 능동형 의족을 개발함에 있어 인체유사성을 지

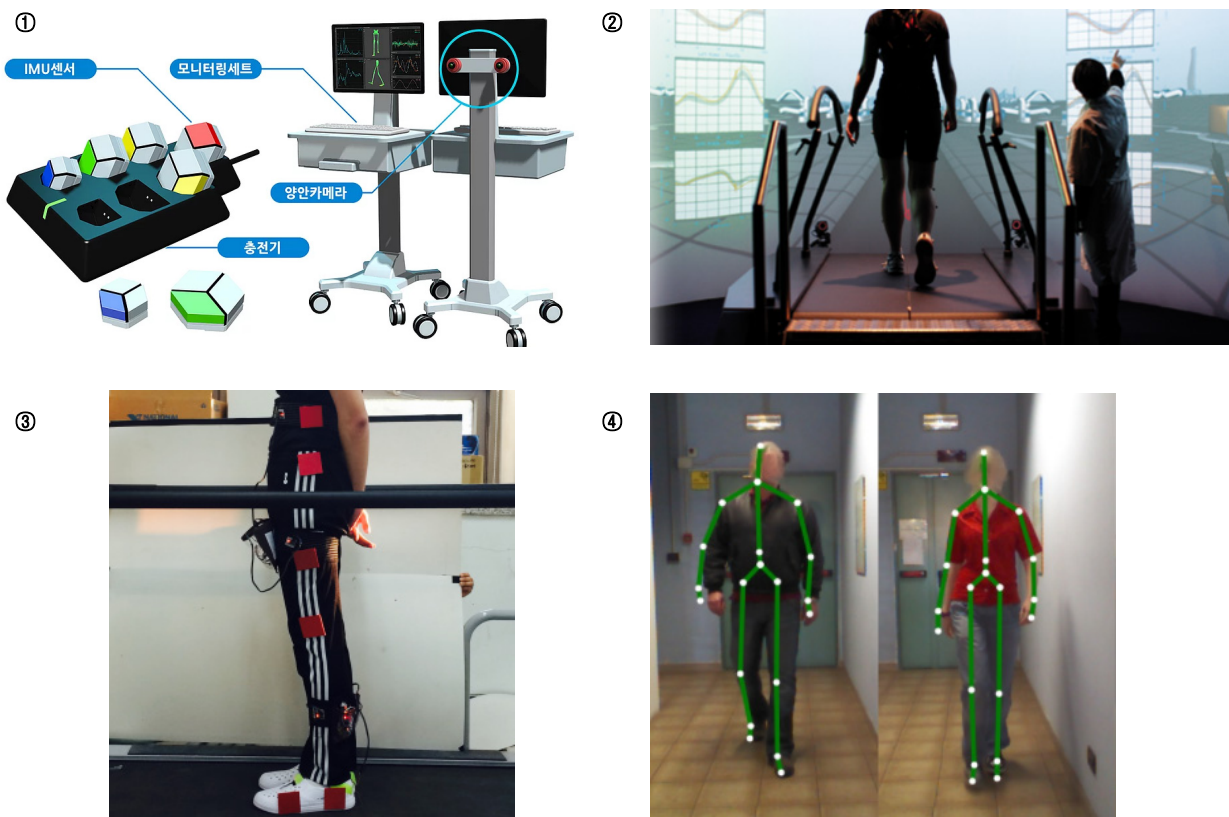


그림 5. 비전 센서를 이용한 보행 측정 디바이스 : ①GATS 제품구성[17], ②Motec사의 Grail[20], ③비전 및 IMU 센서 융합을 이용한 보행 측정 시스템[21] ④Kinect를 이용한 보행 분석[22].

향하기 위해서는 보행 측정 시스템은 매우 중요하다. 보행 측정 시스템이 보행 진단, 헬스케어 등의 다양한 분야에 적용될 수 있어 다양한 보행측정 시스템 개발의 필요성이 점차 증대될 것이라 판단된다. 특히나 기존의 보행 측정 시스템은 고가의 장비를 사용하고 전문화되어 있어 보행 장애가 있더라도 쉽게 진단받기 어려웠지만 안정성과 자유도를 높이기 위해 최근에는 비전 데이터를 이용하는 경우가 많아졌다.

보행 측정에 비전 센서를 단독으로 활용하는 것은 여러 한계점을 가지고 있다. 측정 과정에서 현재의 영상과 이전 영상을 비교하는 등의 많은 시간이 소요되는 계산이 필요하고 적외선 카메라가 아니라면 3차원 데이터를 인식하는데 어려움을 갖는다. 그러나 기존의 IMU, 엔코더와 같은 관절각 측정 센서들에 비전 데이터를 융합함으로써 제한된 보행 환경에서 벗어나 실제 보행 상태와 가까운 환경에서 역동적인 동작을 측정하고 분석하는 연구가 가능해졌다.

이러한 센싱 및 영상 처리 분야의 발전은 능동형 의족개발에 큰 기여를 가지고 있다. 기존의 의족에서 개개인의 신체적 특징을 반영하더라도 절단환자들이 비용적인 부담을 덜 겪을 수 있도록 저가형 장비로도 고성능 측정알고리즘 개발에 노력을 기울여야 한다. 앞으로도 기계공학, 로봇공학, 생체공학이 함께 융합되어 모든 사람이 동등한 위치에서 신체적인 차별을 겪지 않도록 상호 연구가 활발히 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] B. E. Jo and Y. S. Lee, "Development of an active powered prosthesis system using position-based impedance control," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 23, no. 4, pp. 233-239, April 2017.
- [2] F. Li, H. Xie, W. Yuan, and Y. Liu, "The Application Research of MR Damper in Intelligent Bionic Leg," *Control and Decision Conference*, 2009. Chinese, pp. 1327-1331, 2009.
- [3] J. P. Park, J. W. Kang, and S. B. Choi, "Design and Analysis of Above Knee Prosthetic Leg Using MR Damper," *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering (in Korean)*, vol. 26, no. 2, pp. 165-171, 2016.
- [4] S. Au, M. Berniker, and H. Herr, "Powered ankle-foot prosthesis to assist level-ground and stair-descent gait," *Neural Networks*, vol. 21, no. 4, pp. 654-666, Mar. 2008.
- [5] 중앙일보, 기계연, 내 발처럼 가볍고 편한 로봇의족 개발, <http://news.joins.com/article/21516618>.
- [6] M. I. Chidean, E. Arco, E. Morgado, J. R. BARGUENO, and A. J. Caamano, "Ambulatory gait measurement system for natural environments," *International Journal of IEEE Sensors*, vol. 17, no. 4, pp. 1144-1153, December 2016.
- [7] G. C. Han, "Gait Analysis and Postural Test Using Acceleration Sensor," *Journal of the Korean Balance Society*, vol. 11, no. 1, pp. 52-59, June 2012.
- [8] Brain lesion disease (cerebral palsy) clinic and human motion analysis laboratory, <http://os.eulji.ac.kr/61Clinic/Cerebral.htm>.
- [9] Y. G. Kim and Y. H. Kim, "생체역학에서의 보행분석," vol. 50, no. 12, pp. 32-36, December 2010.
- [10] D. A. Winter, *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, 4th Ed., John Wiley&Sons, New York, 2009.
- [11] S. J. Song, S. Y. Kim, Y. T. Kim, and S. D. Lee, "Computation of Ground Reaction Forces During Gait using Kinematic Data," vol. 35, no. 4, pp. 431-437, April 2010.
- [12] J. M. Hausdorff, "Gait dynamics, fractals and falls: finding meaning in the stride-to-stride fluctuations of human walking," *International Journal of Human movement science*, vol. 26, no. 4, pp. 555-589, Aug 2007.
- [13] 박익민, 노정훈, 최병관, 신명준, "헬스케어용 웨어러블 디바이스의 개발 및 응용 현황," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 22, no. 4, pp. 27-34, December 2016.
- [14] Sensoria, footwear, <http://www.sensoriafitness.com/>.
- [15] Robilitive, Sensoria Socks-걸음걸이와 운동량을 분석해주는 스마트 양말, <http://robilitive.com/2692>.
- [16] KISTLER Group, Update Kistler MARS 2.1, <https://www.kistler.com/kr/en/about-us/media-and-news/news/article/update-kistler-mars-21/>.
- [17] C.C. Weiss, Moticon sensor insoles track your feet for injury and performance, <http://newatlas.com/moticon-sensor-insoles/30920/>.
- [18] K. Kim, J. J. Kim, M. Heo, G.Y Jeong, M. H. Ko, and T. K. Kwon, "Development of knee ankle foot orthosis for gait rehabilitation training using plantarflexion and knee extension torque," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 16, no. 10, pp. 948-956, October 2010.

- [19] R.biotech, about GATS, <https://www.rbiotech.kr/gats-sensor>.
- [20] Motec, product about grail, <https://www.motekforcelink.com/products/>
- [21] S. I. Na and Y. S. Lee, "Development of a gait measurement system using data fusion of vision and IMU sensors," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 23, no. 5, pp. 347-353, April 2017.
- [22] E. Gianaria, Human classification using gait features, http://www.di.unito.it/~gianaria/project_gait.html.
- [23] H. N. Gwang, S. C. Moon, D. H. Go, and S. G. Lee, "Study of Gender Classification of the twenties based on Body Recognition Using Kinect Sensor," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 25 no. 4, pp. 233-239,
- [24] E. Gianaria, N. Balossino, Marco Grangetto, and M. Lucenteforte, "Gait characterization using dynamic skeleton acquisition," on IEEE 15th International Workshop on Multimedia Signal Processing, pp. 440-445, October 2013.
- [25] E. Gianaria, N. Balossino, Marco Grangetto, and M. Lucen-

teforte, "Human classification using gait features," in *Biometric Authentication (Lecture Notes in Computer Science)*, V. Cantoni, D. Dimov, and M. Tistarelli, Eds. New York, NY, USA: Springer-Verlag, 2014, pp. 16-27, doi: 10.1007/978-3-319-13386-7_2.

저자약력



나 수 인

- 2016년 인하대 전기공학과 졸업
- 2016년~현재 동 대학원 석사과정
- 관심분야: 임베디드 시스템, 메카트로닉 시스템 제어, 영상 기반 계측 시스템

이 영 삼

제어·로봇·시스템학회지, 제21권 제2호 참조