

# 족압 감지/분석 센서시스템 기술동향

착용형 재활 로봇, 스마트 보철기구, 일상생활 동작 모니터링 등 다양한 분야에서 응용되는 보행 패턴의 감지와 분석을 위한 센서 시스템을 On-Shoe 타입, Off-Shoe 타입, 보행 인식 상업용 시스템으로 구분하여 동향을 살펴본다.

■ 허근섭, 이춘영  
(경북대학교 기계공학부)

## 1. 서론

고령화 사회 진입에 따른 노령인구의 증가는 로봇 기술을 활용하여 삶의 질을 향상시키기 위한 방법을 찾게 하였고, 그 결과 이를 위한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 노인성 질환을 포함한 일상생활의 불편에 대하여 보조할 수 있는 서비스 로봇의 시장은 증가될 것으로 전문가들은 예상하고 있으며, 특히 개인용 서비스 로봇을 이용한 생활 보조 시스템, 로봇을 이용한 재활 치료, 스마트 보철 기구를 통한 활동 보조기, 스마트 침대 및 다양한 개호 시스템은 선진국을 중심으로 산업화의 단계에 진입하고 있다. 이는 표 1에서 나타난 자료에서 보듯이 서비스 로봇에 대한 수요의 급격한 증가로 인해, 향후에는 제조용 로봇 시장을 추월할 것으로 예상된다[1]. 전문가들의 시장전망에서도 2018년에는 세계적으로 서비스로봇 시장이 전체의 약 85%를 차지할 것으로 예측하고 있다[2]. 특히, 일본에서는 1970년대

제조용 로봇을 주도한 이후, 고령화에 대비하여 실버 케어, 감성로봇 등 개인서비스로봇 시장 가능성을 타진하여, 국가 신성장 5대 전략분야로 선정하였다. 표 2는 일본 경제산업성(Ministry of Economy, Trade and Industry)에서 발표한 로봇 시장 예측 자료 중 개호, 복지, 개인용 이동지원 로봇 시장만을 나타낸 것이다[3].

개인의 보행 보조 로봇 시스템에서 공통적으로 요구하는 기능은 시스템의 제어를 위해 보행의 상태를 인식하거나, 사용자의 보행기능 모니터링을 통해 정상적인 보행의 척도를 평가하는 것이다[4]. 대표적으로, 보행보조 시스템의 각 관절 변수의 값, 가속도 센서, 자이로 센서, 족압 센서 등을 복합적으로 이용하여 구성한다. 그 중에서 족압의 패턴은 보행보조기의 제어를 위한 신호 생성에 활용될 뿐만 아니라 보행상태의 모니터링을 통한 평가에 있어 중요한 단서를 제공한다.

임상 보행 분석 (clinical gait analysis)에서는 걸음걸이의 패턴을

표 1. 세계로봇 및 서비스로봇 시장증가추세. (단위: 백만불)

분야	년	2005	2007	2008	연평균 증가율 (03~08)
전체로봇		7,471	8,071	9,365	16.0%
제조로봇		5,296	5,839	6,226	10.3%
서비스로봇		2,174	2,232	3,139	37.7%

표 2. 일본 로봇 시장 예측. (단위: 억엔)

분야	년	2015	2020	2025	2035
자립지원		134	397	825	2,206
개호지원		33	146	414	1,837
이동지원		21	498	2,653	2,897

조사하기 위해 광학식 추적 시스템을 사용하여 신체의 모션을 분석하거나, 입상의가 육안의 관찰을 통해서 수행하고 있다. 후자는 특별한 장치를 요구하지 않고 비용이 저렴하지만, 결과의 신뢰성이나 이전의 결과와의 비교가 어려운 단점이 있다. 전자는 고가의 장비와 유지보수 비용이 들지만, 정확한 데이터를 기반으로 분석결과의 신뢰성을 확보할 수 있다.

많이 알려져 있는 보행 파라미터 중 중요한 사항은 발 뒷꿈치 닿기 타이밍 (heel strike timing), 발가락 떨어지는 시기 (toe off timing), 뒤굽힘/바닥쪽굽힘 (dorsi-/plantar- flexion), 보폭 (stride length), 걸음 속도 (stride velocity) 등이다. 보행의 감지와 분석을 위해, 정확한 데이터의 획득과 분석기법은 의료, 재활, 복지, 서비스 등에 활용될 수 있다.

## 2. 본론

### 2-1. On-Shoe 타입 센서 시스템

발바닥과의 직접적인 접촉을 통해 족압을 측정하고자 하는 시도는 1960년대로 거슬러 올라간다. 족압의 분포를 측정하기 위해 다양한 압력센서를 이용하였고, 이러한 직접적인 측정법은 명백한 장점에도 불구하고, 제작된 신발에는 단점이 존재한다. 센서의 배치를 정확히 하기 위해 초기에 가정이나 시험이 필요하며, 보행 동작 중에 작용하는 수직 또는 전단력에 대한 강인성이 보장되어야 한다. 신발에 계장 (instrumentation)이 되므로 보행에 직접적인 영향을 주지 않도록 설계시에 고려되어야 한다[5].

Wertsch는 족압의 분포를 측정하기 위해 이례적인 시스템을 고안하였다. 잉크 종이를 사용하여 7개의 높은 압력이 가해지는 위치를 먼저 결정하고, 그곳에 FSR (Force Sensitive Resistor)를 배치한 후, 7 채널 증폭 회로와 10m의 쉴드선(shield cable)을 통해 PC에 데이터를 실시간으로 저장하고, 압력의 크기를 막대 그래프로 표시하였다[6]. 개발된 시스템을 이용하여 보행상태와 발을 질질 끄는 동작의 정량적인 비교, 감각인식 등의 연구에 활용하였다.

Housdorff는 보행 파라미터의 시간적인 특성을 감지할 수 있도록 "Footswitch" 시스템을 개발하였다. 신발의 안창에 두 개의 FSR을 발꿈치와 발가락 근처에 배치하고, 입각기(stance) 구간을 3% 오차내, 유각기(swing) 구간을 5% 이내로 계산할 수 있었다[7]. 이를 이용하여, 보행의 패턴, 어린이의 보행 성숙도, 노약자의 낙상 가능성 등을 예측하는데 활용하였고, 정상적인 보행과의 차이를 분석하였다.

Morley는 당뇨병 환자의 피부 궤양의 진행 정도를 예측하기 위해 압력, 온도, 습도 센서를 신발 바닥에 배치하고, 온보드 프로세서에 데이터를 4.5시간 저장하고 직렬통신으로 전송할 수 있도록 하였다[8].

보행 보조를 위해 사용되는 신경보철기구 (neuroprosthetics)는 FES (Functional Electrical Stimulation)를 이용하여 보행동작을 생성하도록 한다. Pappas는 보행의 4가지 상태 (stance, heel-off,

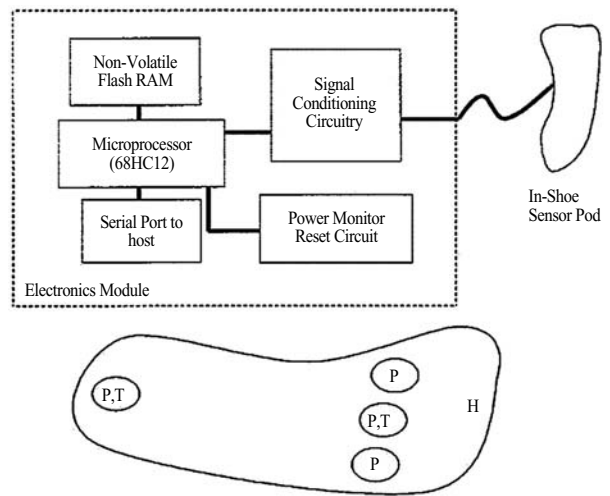


그림 1. On-Shoe 데이터 측정 시스템의 예 (P: 압력센서, T: 온도센서, H: 습도센서) [8].

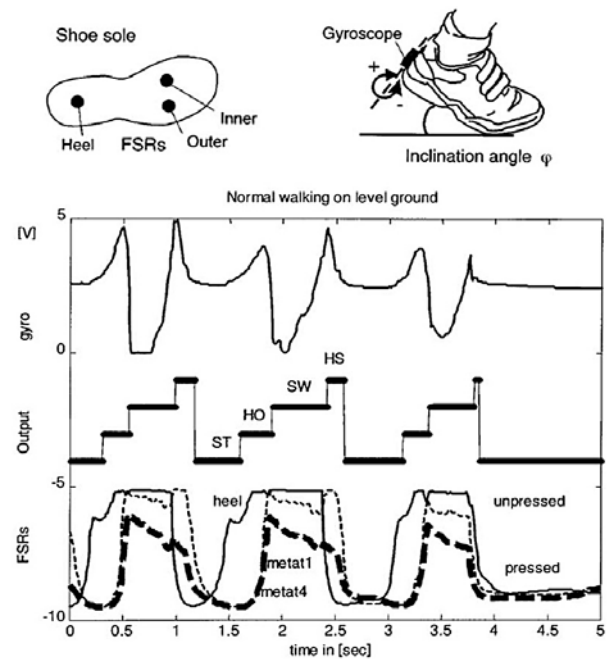


그림 2. On-Shoe 보행 타이밍 측정 시스템의 예 [9].

swing, heel-strike)를 구분하기 위한 장치를 개발하였다[9]. 세 개의 FSR 센서를 발꿈치, 첫번째 및 네번째 척골(metatarsal head)에 부착하였다. 척골에 부착된 FSR은 발에 작용하는 부하의 불균형에 관한 정보를 제공한다. 또한 신발의 뒷꿈치에 자이로스코프를 장착하여 시상면(sagittal plane)에서의 회전량을 측정하도록 하였다. 보행 상태를 인식하기 위한 알고리즘이 구현되어 정상적인 사람에 대해서는 99%의 정확도를 보이며, 보행이 부진한 경우에는 96%의 정확도를 가지며, 90ms 이내의 감지시간을 가진다.

MIT에서는 무선으로 데이터를 전송할 수 있는 착용형 신발

표 3. GaitShoe의 센서.

센서	측정범위	제조사/부품
Accelerometers	2g	Analog Devices ADXL202E
Gyroscopes	150deg/sec	Analog Devices ADXRS150
	300deg/sec	Murata ENC-03J
FSR	1~100N	Interlink Electronics FSR-400/402
Bend sensors	0~90deg	The Images Co. FLX-01
Electric Field Sensor	10~100pF	Motorola MC33794DH



그림 3. GaitShoe 시스템[17].

타입의 센서시스템을 개발하였다[17]. 사용된 센서는 표 3에 나타내었다.

### 2-2. Off-Shoe 타입 센서 시스템

On-Shoe 타입과 달리 계측시스템이 구비된 실험실에서 대상자의 보행에 따른 정보를 측정하는 방법이 있다. 보행 실험실 또는 의료적인 목적으로 사용된다.

Cutlip는 GAITRite® 시스템을 사용하여 4.6m 길이의 계장된 보도 (instrumented walkway)를 설치하고, 보폭의 길이, 입각기 시

표 4. GAITRite 사양[11].

크기	180 x 35.5 x .25 inches (L x W x H) in 16-foot model
영역	228 x 24 inches (L x W) in 12-foot model
무게	60 lbs. for 16-foot model (75 lbs. with wheeled carrying case)
샘플링	60Hz, 120Hz, 240Hz
통신	USB
전원	12Vdc
센서 수	18,432 sensors are placed on .5 inch centers arranged in a 48 x 288 grid
센서 크기	0.4 inches square, dual control
윗면재질	Vinyl with square thread reinforcement, waterproof and chemical resistant
바닥재질	Open cell foam rubber

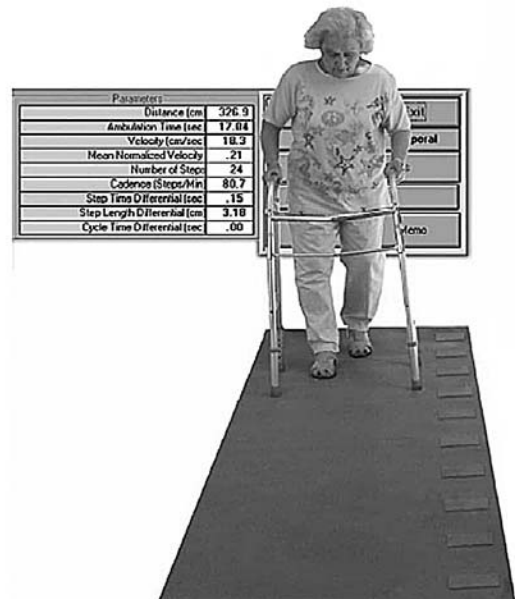


그림 4. GAITRite 시스템[11].



그림 5. Piezo-dynamometric 플랫폼[12].



그림 6. Miburi 댄스 인터페이스[13].

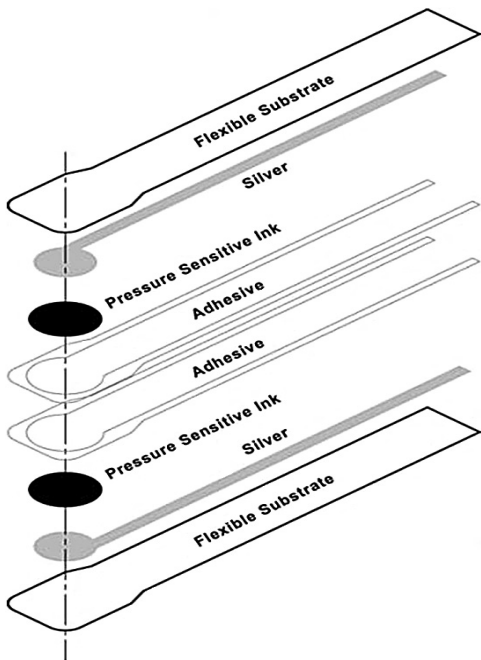


그림 7. FLEXFORCE® 압력센서의 구조[14].

간, 유각기 시간 등을 정확하게 측정하였다[10][11]. 그러나 보행 속도가 높아짐에 따라 정확도가 떨어지는 단점이 있다.

Giacomozzi 와 Macellari는 piezo-dynamometric platform 을 개발하여 발의 압력중심을 매우 정확하게 측정할 수 있고, 또한 어떠한 장치도 착용하지 않으므로 보행에 전혀 방해되지 않는 것이 장점이다[12].

### 2-3. 상용 센서 시스템

여러가지 용도로 신발 형태의 인터페이스를 가진 사용시스템이 개발되었다. Piezoelectric tap 감지기를 발가락과 뒷꿈치에 장착하여 개발한 댄스 인터페이스가 개발되었다[13].

Tekscan에서는 족압을 측정하기 위한 센서를 개발하여, 보행을 분석하고 압력분포를 해석할 수 있도록 상품화하였다. 약 1,000개의 셀을 통해 압력을 입력 받는다[14]. FlexiForce® 센서는 부하에 대한 힘의 상대적 변화를 감지하거나 일정량 이상의

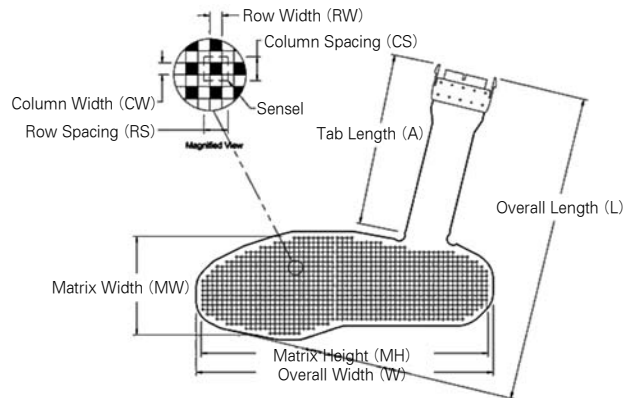


그림 8. INSOLIA® 압력센서[14].

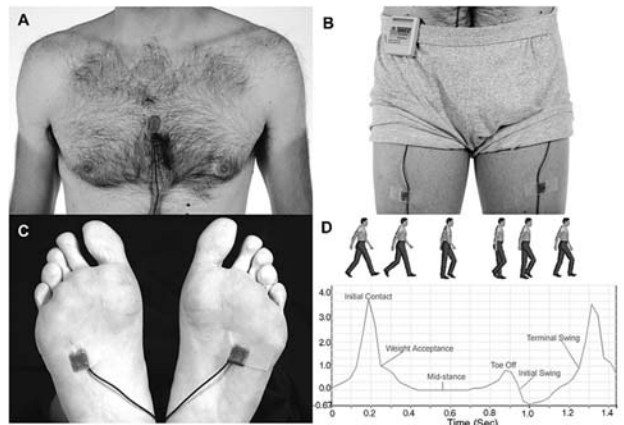


그림 9. IDEEA 가속도센서를 이용한 보행 분석[16].

힘에 대해 트리거하는 시스템, 접촉 또는 터치 감지를 위해 개발되었고, 유연성이 높고, 3% 이내의 선형성으로 압력측정을 위한 프로토타입 시스템을 구성할 때 효과적으로 사용할 수 있다. 화씨 400도까지의 고온에서 측정할 수 있는 모듈도 시판되고 있다.

신체에 5개의 2축 가속도 센서를 부착하여 보행의 시공간적인 파라미터를 추출하는 LifeGait 시스템은 32비트 마이크로프로세서로 동작하며, AA 사이즈 알카라인 배터리로 60시간 사용 가능한 휴대가능한 소형 시스템이다 [15][16].

### 2-4. 활용 분야

도마뱀 Bite Force 측정, Force Sensitive Insole, Grip Force 측정, Intubation Force 측정, 자동차 와이퍼 블레이드 힘 분포 측정, 타이어 트레드 분석을 위한 압력 이미지 생성, 의자 및 매트리스의 설계/제작을 위한 인체와 지지표면의 압력 분포 측정, 인간 친화적인 보철기구의 설계 및 평가, 동물 보행 패턴 분석, 운동 역학적 균형 분석 등에 활용되고 있다. 최근에는 실시간 데이터 전송을 통해, 스포츠, 의학, 전기자극, 물리 치료, 보조 기구, 로봇 등에 응용하는 시도가 이루어지고 있다 [17].

### 3. 결론

최근 로봇기술이 국가적 전략으로 투자되고, 고령화 사회에서의 로봇기술이 차지하는 역할이 강화되고 있는 가운데, 다양한 센서의 융합과 IT, BT 등 관련기술의 접목은 새로운 보행 감지 및 모니터링시스템의 개발을 앞당기고 있다.

족압 측정 센서 모듈은 보행 보조 로봇과 연계되어 보행 훈련의 정도와 체중지지 분포의 분석, 족압 패턴의 변화 등과 함께 로봇의 능동 제어에 활용될 수 있을 것이다.



그림 10. 도마뱀 Bite Force 측정(14).

### 참고문헌

- [1] World Robotics 2009, IFR (International Federation of Robotics, 2009.
- [2] 제1차 지능형로봇기본계획, 2009.
- [3] Robot market projections, <http://www.meti.go.jp/>, 2010.
- [4] 변증남, 박광현, 방원철, "서비스 로봇기반 지능형 주거 시스템과 관련기술-지능형 주거 시스템을 위한 센서 기술," 월간 자동화기술, pp. 88-95, 2002
- [5] Kerozek TW, LaMott EE, Dancisak MJ., "Reliability of an in-shoe pressure measurement system during treadmill walking," *Foot Ankle Int.*, vol. 17, no. 4, pp. 204-209, 1996.
- [6] Zhu HS, Maalej N, Webster JG, Tompkins WJ, Bach-Y-Rita P, Wertsch JJ, "An umbilical data-acquisition system for measuring pressures between the foot and shoe," *IEEE Trans Biomed Eng*, vol. 37, no. 9, pp. 908-911, 1990.
- [7] Hausdorff JM, Ladin Z, Wei JY, "Footswitch system for measurement of the temporal parameters of gait," *J Biomech*, vol. 28, no. 3, pp. 347-351, 1995.
- [8] Morley RE Jr, Richter EJ, Klaesner JW, Maluf KS, and Mueller MJ, "In-shoe multisensory data acquisition system," *IEEE Trans Biomed Eng*, vol. 48, no. 7, pp. 815-820, 2001.
- [9] Pappas IP, Popovic MR, Keller T, Dietz, and Morari M, "A reliable gait phase detection system," *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, vol. 9, no. 2, pp. 113-125, 2001.
- [10] Cutlip RG, Mancinelli C, Huber F, and DiPasquale J, "Evaluation of an instrumented walkway for measurement of the kinematic parameters of gait," *Gait Posture*, vol. 12, no. 2, pp. 134-138, 2000.
- [11] CIR Systems, Inc. <http://www.gaitrite.com>
- [12] Giacomozzi C, Macellari V, "Piezo-dynamometric platform for a more complete analysis of foot-to-floor interaction," *IEEE Trans Rehabil Eng*, vol. 5, no. 4, pp. 322-330, 1997.
- [13] <http://en.wikipedia.org/wiki/Miburi>
- [14] <http://www.tekscan.com/>
- [15] <http://www.portablegaitlab.com>
- [16] Nicola A. Maffioletti, M. Gorelick, In. Kramers-de Quervain, M. Bizzini, Jea. P. Munzinger, S. Tomasetti, and A. Stacoff, "Concurrent validity and intrasession reliability of the IDEEA accelerometry system for the quantification of spatiotemporal gait parameters," *Gait & Posture*, vol. 27, pp. 160-163, 2008.

[17] S. J. Morris Bamberg, Ari Y. Benbasat, D. Moxley Scarborough, David E. Krebs, and Joseph A. Paradiso, "Gait analysis using a shoe-integrated wireless sensor systems," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 12, no. 4, pp. 413-423, 2008.

저 자 약 력



**허근섭**

- 2009년 경북대 기계공학과 졸업.
- 2009년~현재 경북대학교 기계공학과 석사과정.
- 관심분야 : 로봇시스템 및 지능제어.



**이춘영**

- 1996년 한양대 전자공학과 졸업.
- 1998년 한국과학기술원 대학원석사.
- 2003년 한국과학기술원박사.
- 2005년 2월~현재 경북대학교 기계공학부 교수.
- 관심분야 : 지능로봇, 지능제어 및 메카트로닉스.