

# 관절 운동 및 족저압을 이용한 하지 모멘트 분석 시스템 연구 Study for Moment Analyzing system with Joint motion and Foot Plantar Pressure

\*이채혁<sup>1</sup>, #이순걸<sup>1</sup>, Reyes Gurerra Carlos Alberto<sup>1</sup>, Jun Feng<sup>1</sup>, 김병수<sup>1</sup>

\*Chae hyeuk Lee<sup>1</sup>, #Soon geul Lee (sglee@khu.ac.kr)<sup>1</sup>, Byung soo Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 기계공학과

Key words : Gait, knee moment, motion, foot plantar pressure, knee brace

## 1. 서론

최근 사회의 빠른 고령화에 따라 거동이 불편한 노약자들의 운동을 돕는 재활 및 운동 보조기구에 대한 연구와 개발이 활발해지고 있다. 이 같은 보조 기구들은 사용자의 신체 상태나 거동과 같은 생체 신호에 따라 그 동작을 제어하는 지능형 시스템을 가진 것이 많다. 생체 신호들 중 각 신체 부위에서의 동역학적 해석 결과가 운동 보조기구 제어의 기준으로서 자주 이용된다.

지금까지의 많은 연구에서는 3D 카메라를 이용한 모션캡처 시스템과 force plate를 이용하여 보행의 역동역학적 해석을 수행하여 왔다. 이러한 방법은 그 시스템이 설치된 실험 공간 내에서만 해석이 가능하여 보행 보조 기구와 같이 이동성이 보장되어야 하는 시스템에 적용되기에는 무리가 따른다.

본 논문에서는 힘감지저항(FSR)과 관성센서를 이용하여 보행 보조 기구의 제어에 이용될 수 있는 족저압 및 하지 운동 측정 시스템을 구현하고, 이를 통해 보행 시 무릎 관절에서의 모멘트를 산출하는 연구를 수행하였다. 얻어진 무릎 모멘트 산출 결과를 기존의 3D 카메라 모션캡처 시스템에 의한 결과치와 비교하여 대체가능성을 검토하였다.

## 2. 실험 도구 및 방법

### 2.1. 족저압 및 하지 운동정보 측정시스템

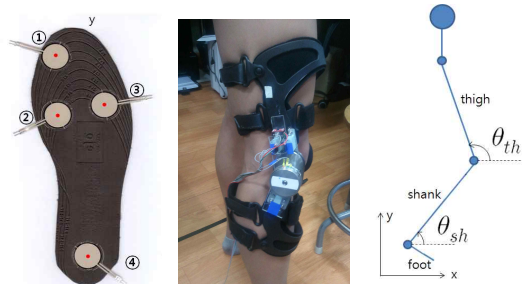
운동 보조 기구를 구성하는 요소들은 무게가 가볍고 크기가 작아야 하며 이동성이 보장되어야 한다. 이러한 점들을 고려하여 FSR 센서를 족저압 측정에 사용하였다. 그림 1의 (a)와 같이 신발 깔창에 부착되는 형태로 제작하였다.

하지의 운동 정보는 니브레이스에 그림 1의 (b)와 같이 센서 모듈을 부착하여 측정하였다. 비교적 운동 속도와 진동이 작은 허벅지에 MEMS 기반의 저가의 가속도계와 자이로 센서를 부착한 후, 보상

필터를 이용하여 분절(segment)의 기울기 변화를 산출하였다. 니브레이스의 무릎 관절에는 포텐시오미터를 연결하여 허벅지와 정강이 사이의 상대 각을 측정하였다. 모든 신호는 저주파 통과 필터를 이용하여 처리되었다.

### 2.2. 모멘트 산출을 위한 하지 운동 모델

무릎 관절에서의 모멘트를 산출하기 위하여 그림 1의 (c)와 같은 모델에 Whittlesey(1996)가 Newton-Euler Model(Winter, 1980)을 가정하여 만든 이중 진자 방정식을 적용하였다. 각 관절을 모두 경첩관절로 가정하고, 자유도가 없는 방향의 모멘트와 지면과 평행한 방향의 지면반력은 그 영향이 비교적 작으므로 고려 대상에서 제외하였다. 각 분절을 원뿔 두 개가 맞대고 있는 형태의 모델로 가정하여 각 분절의 질량과 관성모멘트를 추정하였다. 각 변수와 식은 다음과 같다.



(a) FSR sensors at shoes (b) Motion measuring system (c) Leg model  
Fig. 1. Experimental setup and the leg model

Table 1. The characteristics of subjects

	몸무게 (kg)	발길이 (cm)	키 (cm)	하지 (cm)	상지 (cm)	다리길이 (cm)
실험자1	64	260	178	47	46	93
실험자2	57	265	169	45	41	86
실험자3	53	265	167	44	41	85

$$M_{knee} = I_{sh}\alpha_{sh} + 0.5m_{sh}l_{sh}[l_{th}\alpha_{th}\cos(\theta_{sh} - \theta_{th}) + l_{th}\omega_{th}^2\sin(\theta_{sh} - \theta_{th}) + a_x\cos\theta_{sh} + (a_y + g)\sin\theta_{sh}] - F_{gr}(c_x - k_x)$$

$I$ : 관성모멘트     $\alpha$ : 각가속도     $m$ : 질량  
 $l$ : 분절 길이     $\theta$ : 각변위     $\omega$ : 각속도  
 $a$ : 골반가속도     $g$ : 중력가속도     $F_{gr}$ : 지면반력  
 $th$ : 허벅지     $sh$ : 정강이  
 $k_x$ : 무릎의  $x$ 좌표     $c_x$ : 지면반력중심의  $x$ 좌표

### 2.3. 보행 실험

보행은 3 m를 총 네 걸음으로 이동하여 실시되었다. 시선은 벽면의 마크에 고정시키고, 팔을 양 허리에 붙여 흔들지 않는 상태로 고정하였다. 총 3명의 실험자들이 실험을 수행하였으며, 표 1에 각 실험자들에 대한 신체 정보를 표기하였다. 얻어진 결과를 검증은 위하여 3D 카메라와 force plate를 이용한 실험을 동시에 진행하였다. 이는 B. Bresler(1950)에 의해 제안되어 이후 여러 연구에서 이용, 개선되며 검증된 방법이다.

### 3. 실험 결과

수집한 데이터와 하지 운동 모델을 이용하여 오른쪽 무릎에서의 flexion/extension 모멘트의 변화를 산출하여 그림 2에 나타내었다. 그래프는 오른발 뒤꿈치가 땅에 닿는 순간부터 나타낸 것이다. 실선은 본 논문에서 제안한 측정 시스템과 인용된 하지 운동 모델을 이용하여 산출한 결과이고, 점선은 검증의 기준이 되는 데이터로서 기존의 3D 카메라와 force plate를 이용하여 산출한 결과이다.

표 2는 실험 결과 중 주요한 항목들을 나타낸 것이다.

### 4. 결론

본 논문에서는 FSR 센서와 포텐시오미터, 가속도계, 자이로 센서를 이용하여 보행 시 무릎에서의 모멘트 변화를 산출하고 이를 모션캡처 시스템을 이용하여 검증하는 연구를 수행하였다.

두 경우 모두 엄지발가락에 최대의 힘이 가해지는 구간에서 최대모멘트가 발생했으며, 두 방법 간 최대 시점의 차이는 0.08 sec 이내로 작게 나타났다. 최대 시점을 기준으로 하여 전후의 모멘트 증감 양상은 흡사하게 나타났으나 전체적으로 모멘트 오차가 크게 나타났다. 따라서 모멘트의 정확한 최대 시점만을 입력으로 하는 제어에는 적용될 수 있으나 모멘트의 정확한 크기 변화가 입력이

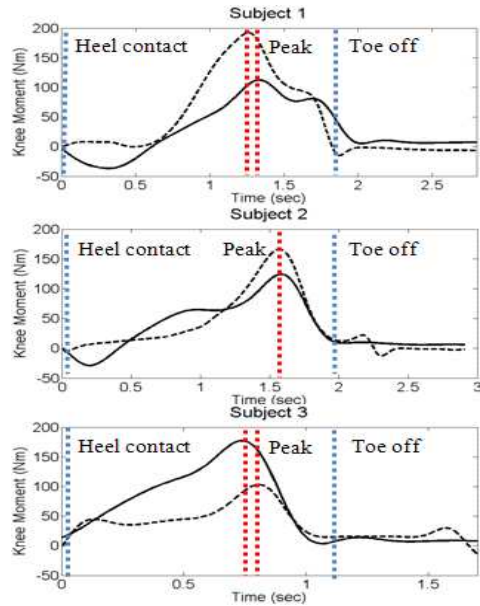


Fig. 2. The change of moment at knee

Table 2. The error in calculated moment and the timing of peak moment

	모멘트 최대 오차 (Nm)	최대 오차 발생 시점 (sec)	Peak 모멘트 오차 (Nm)	Peak 발생 시점 시차 (sec)
실험자1	-93.75	1.18	-79.83	+0.08
실험자2	-42.68	1.55	-41.86	+0.01
실험자3	+97.09	0.69	+74.37	-0.08

되는 제어에 적용되기에는 개선이 필요하다.

### 후기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업의 지원(10035544)과 보건의료기술진흥 사업의 지원(A101987)의 연구결과로 수행되었음.

### 참고문헌

- Whittlesey, S.N., "An alternative model of the lower extremity during locomotion" Journal of Biomechanics, 12, 269-279, 1996.
- Winter, D.A., "Overall principle of lower limb support during stance phase of gait" Journal of Biomechanics, 13, 923-927, 1980.
- 김윤혁, "보행분석의 세계", 기계저널, Vol. 50, 32-36, 2010.
- 김로빈, "보행시 속도와 보폭 변화에 따른 하지관절의 운동역학적 분석", 연세대학교, 2000.