

# 보행 지면반력 예측 시 발생하는 동역학적 잔류응력에 대한 원인 분석

## Analysis on residual forces during kinetic analyses of human motion and GRF prediction

\*정이환<sup>1</sup>, #구승범<sup>1</sup>

\*Y. Jung<sup>1</sup>, #S. Koo(skoo@cau.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>중앙대학교 기계공학부 바이오메케닉스 연구실,

Key words : Pelvis residual force, Musculoskeletal simulation, Ground reaction force

### 1. 서론

근골격 시뮬레이션을 사용하여 동역학 해석을 할 때에 실험데이터와 인체모델의 동역학적 불일치에 의한 잔류 힘과 토크가 골반에 가해지게 된다[1]. 동역학적 불일치에 의해 생기는 힘인 잔류응력은 해석 결과에 대한 오차로 나타내어 진다.

동역학적 불일치의 원인은 근육의 모멘트 압, 인체모델의 뼈 형상, joint kinematics, 인체모델의 관성 물성치(질량, 질량중심, 관성모멘트)등 여러 가지가 있다. 특히 인체의 관성 물성치는 피험자의 걸음 속도에 따라 영향을 미친다[2]. 이와 같이 동역학적 불일치 때문에 생기는 힘인 잔류응력의 크기는 지면반력 예측에 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 인체 보행지면반력의 예측 시 발생하는 동역학적 잔류응력에 대한 원인을 분석하였다.

### 2. 인체 운동 및 지면반력 측정

한 피험자를 대상으로 트레드밀 위에서 걷기(1.0m/s), 빨리 걷기(1.4m/s), 뛰기(3.0 m/s) 동작을 수행하였다. 마커 정보는 모션캡처 시스템을 사용하여 측정하였고 (Qualiysis System), 힘판이 내장된 트레드밀을 사용하여 지면반력을 측정하였다(Vertek Force Plate). 발을 제외하고 gait-full body marker set 을 사용하였고, 발에는 추가 마커를 이용하여 측정하였다 (Fig. 1).

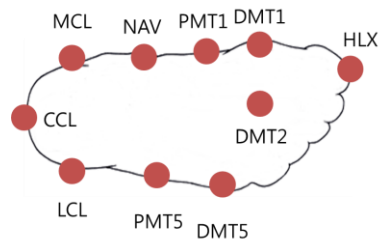


Fig.1 Foot marker placement

### 3. 지면반력 예측 인체 모델

지면반력 예측을 위한 인체모델은 총 36 자유도를 가지고 있고, 18 개의 조인트와 1000 개가 넘는 근육모델로 구성되어있다 (Fig.2). 지면반력을 예측하기 위해 양 발 아래에 각각 anterior-posterior(AP), medial-lateral(ML) 방향의 접촉요소를 설치 하여 지면마찰력을 예측할 수 있게 하였다 (Fig. 3).



Fig.2 Human musculoskeletal model

또한 수직 방향의 모멘트 접촉요소를 설치하여 지면 모멘트를 예측할 수 있게 하였다. 양발에 설치된 접촉요소는 지면 수직 힘이 40N을 넘을 때 작동이 되었다(fig. 3).

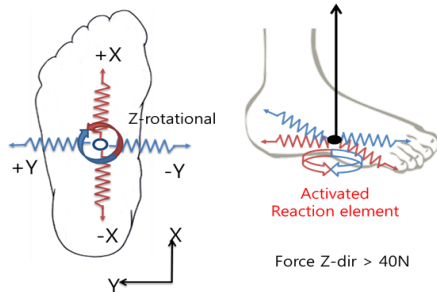


Fig.3 Reaction element setting method and condition of activation

골반에 가해지는 잔류응력은 총 5 방향으로 구성하였다(fig.5).

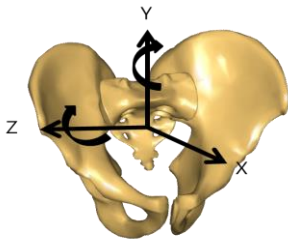


Fig.4 Installation of pelvis residual force

#### 4. 동역학적 잔류응력 비교

인체 모델과 실험데이터간의 동역학적 불일치에 의한 잔류응력을 계산하기 위해 속도가 다른 세가지 모델에 대한 근골격 해석을 수행하였다. 계산된 잔류응력을 예측된 지면반력과 함께 속도에 따라 비교하였다.

#### 5. 결과

예측된 지면마찰력과 잔류응력을 피험자의 체중으로 나누어 무 차원화 하였다. 걷기 속도가 다른 세가지 모델에 대한 근골격 해석을 수행하였다. 지면마찰력 예측 오차는 평균 제곱근 오차를 이용하여 나타내었고 또한

잔류 응력의 세 방향의 합력과 두 방향의 모멘트도 평균 제곱근 오차를 이용하여 구하였다 (Table. 1).

Table. 1 RMS error of estimated ground shear force and residual force and moment

RMS error			
	1.2 m/s	1.4 m/s	3.0 m/s
ML force	1.12(0.98)	1.66(1.61)	2.52(2.39)
AP force	2.54(2.19)	3.54(3.20)	4.28(4.23)
Residual force	6.91(3.44)	9.06(5.13)	24.18(12.78)
Residual moment	1.49(0.71)	2.03(1.30)	2.95(1.45)

#### 6. 결과 고찰 및 토론

지면반력 예측 시 생기는 잔류응력은 걷는 속도가 빠를 경우 커졌다. 그 원인은 인체모델의 관성 물성치와 실제 피험자의 물성치의 차이라고 생각된다. 인체의 보행속도가 낮을 때는 보행 중 인체 관성의 힘이 크지 않지만, 보행속도가 빨라질 때는 인체의 관성 힘이 점점 커지게 된다. 따라서 속도가 증가할수록 잔류응력과 지면 마찰력의 예측 오차가 커지는 것을 볼 수 있었다. 또한 다른 원인으로는 skin artifact 가 있다. 피험자의 속도가 증가 할수록 피부마커의 skin artifact 가 커지게 되고 이는 실제 실험과의 kinematics 오차를 만들기 때문에 잔류응력이 커진 원인이 될 수 있다.

본 연구에서는 인체 보행지면반력의 예측 시 발생하는 동역학적 잔류응력에 대한 원인과 잔류응력의 수준 정도에 대하여 분석하였다.

#### 후기

“이 연구는 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. NRF-2012-0000783).”

#### 참고문헌

1. Remy CD, Thelen DG, J Biomech Eng.131(3), 2009
2. Fregly BJ, Reinbolt JA, Chmielewski TL, Comput Methods Biomech Biomed Engin.,11(1):63-71, 2008