

인체 하지부 자세에 따른 무릎 구속력의 변화

Change of knee joint constraint force depending on human lower limb posture

조영남* · 유흥희†
 Young Nam Jo and Hong Hee Yoo

1. 서 론

인체에 관한 연구는 이미 오래 전부터 많은 사람들의 연구 대상이었다. 특히 문명의 발달과 그에 따른 생활 수준의 향상으로 최근에는 어느 때보다도 더 활발히 연구가 진행되고 있다. 이제는 질병이나 상해의 치료뿐만 아니라 재활, 노약자를 위한 보조기구, 전투시 군인들의 신체 능력과 생존성향상을 위한 연구까지 그 범위가 넓어지고 있다.

생체역학, 특히 근골격계(musculoskeletal system)에 관한 연구는 최근 수십 년 동안 많은 발전을 이루어 냈다. 1938년 A.V.Hill에 의해 근육의 수학적 모델이 제시되었다. 이후 Delp는 1990년 이전까지 보고된 젊은 사체 데이터를 참고하여 인체 하지 운동과 관계되는 43개 근육들에 대한 근육-건 파라미터 값들을 구하였고 이를 바탕으로 SIMM(Software for Interactive Musculoskeletal Modeling)이라는 근골격계 운동 해석 프로그램을 개발하였다. Menegaldo 등은 SIMM을 바탕으로 근육의 길이를 그와 관련된 관절의 회전각도로 표현되는 근사식을 제안하였다. 이러한 연구들을 토대로 근육-건이 발생시키는 힘과 관절의 구속력을 구할 수 있고 인체 관절의 동적해석이 가능하며 인체 하지의 운동 역시 해석할 수 있다.

이러한 기존 연구들을 토대로 인체 하지부를 모델링하고 앉았다 일어서는 동작에서 무릎뼈에 얼마만큼의 압축력이 가해지는지를 상용툴을 이용해 구해보았다.

2. Hill 근육 모델

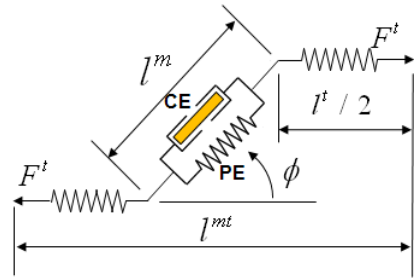


Fig. 1 Hill-type muscle model

Fig. 1은 Hill 근육 모델을 도식화 하여 나타낸 것이다. ϕ (우모각)의 각도로 기울어져 있는 부분이 근육이고 근육 주위에 붙어 있는 것이 근육과 뼈를 연결해 힘을 전달해주는 건이다. 여기서 l_m 은 근육의 길이, l_t 는 양쪽 건의 길이의 합, l_{mt} 는 근육-건 전체 길이, F^t 는 근육에 의해 골에 전달되는 힘이 된다.

근육은 능동적인 힘을 내는 부분(CE)과 수동적인 힘을 내는 부분(PE)으로 이루어져 있다. 근육의 능동적인 힘은 활성도와 근육의 길이에 따라 그리고 수동적인 힘은 근육의 길이에 따라 Fig.2와 같은 형태로 주어진다.

이를 수식으로 나타내면 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$\tilde{F}^t = \{ \tilde{f}_A(l)a(t)f(v) + \tilde{f}_P(l) \} \cos(\phi) \quad (1)$$

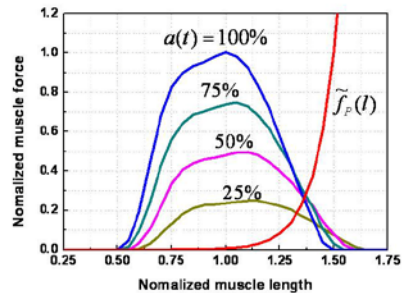


Fig. 2 Normalized muscle length and force relation

† 교신저자; 정희원, 한양대학교 기계공학부

E-mail : hhyoo@hanyang.ac.kr

Tel : (02) 2220-0446, Fax : (02) 2293-5070

* 한양대학교 대학원 기계공학과

여기서 \tilde{F}^t , \tilde{f}_A , \tilde{f}_P 는 각각 골에 전달되는 힘, 근육의 능동적인 힘과 수동적인 힘을 근육의 최대 등척 근력 즉, 그 근육이 낼 수 있는 가장 큰 힘으로 무차원화 한 값이다. $a(t)$ 는 활성화도, $f(v)$ 는 근육 수축 속도에 따른 함수이다.

이 식을 건의 변형률에 관한 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$\tilde{F}^t = \begin{cases} 0 & \varepsilon \leq 0 \\ 1480.3\varepsilon^2 & 0 < \varepsilon < 0.0127 \\ 37.5\varepsilon - 0.0127 & 0.0127 \leq \varepsilon \end{cases} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{l^t - l_s^t}{l_s^t} = \frac{l^m(\theta) - l^m \cos \phi - l_s^t}{l_s^t} \quad (3)$$

여기서 l_s^t 는 건의 슬랙길이다.

3. 인체 하지부 모델

인체 모델은 Fig.3과 같이 saggital 평면에 정강이, 허벅지, 무릎뼈, 몸통의 네 강체로 모델링 하였다. 또한 네 개의 근육을 Hill 근육 모델을 이용하여 모델링 하였다. 그림에서 Rf, Vi, Gas, Bif는 각각 rectus femoris, vastus intermedius gastrocnemius, biceps femoris caput longus 근에 해당된다. 여기에 사용된 근육의 파라미터들은 Table.1에 표시하였다.

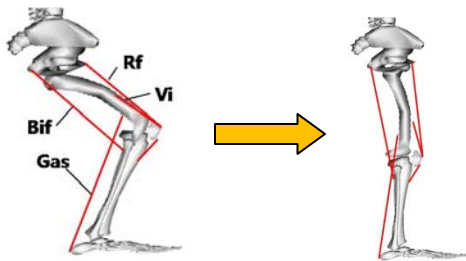


Fig. 3 Lower limb model

Table 1 Selected muscle-tendon parameters

muscle	F_o^m	l_o^m	ϕ_0	l_s^t
Rf	780	8.4	5	34.6
Vi	1235	8.7	3	13.6
Gas	1115	4.5	17	40.8
bif	1030	10.9	0	34.1

4. 무릎관절 구속력

무릎 뼈가 관절을 누르는 힘 즉 다른말로 하면 무릎 뼈에 가해지는 압축력을 무릎관절 구속력으로 정의하고 네 근육 모두 10%의 활성화도에서 모션이 일어난다는 가정 하에 Fig.3에서와 같이 1.5초 동안 무릎을 굽힌 상태에서 일어서는 동작에서의 구속력을 상용틀을 이용하여 구해보았다.

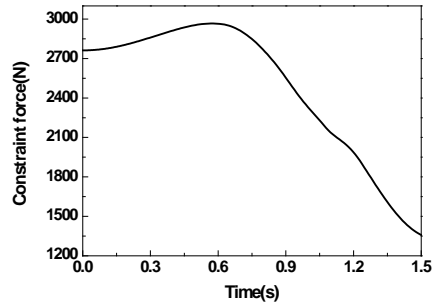


Fig. 4 Constraint force at knee joint

5. 결 론

본 연구에서는 Hill 근육 모델을 이용하여 인체 하지부를 모델링하고 계단을 오를 때에는 체중의 3~5 배 가량의 큰 압축력이 가해지는 무릎뼈의 구속력을 상용틀을 이용해 구해보았다.

후 기

이 논문은 2011 년 국방과학연구소 생존성 기술 특화연구센터의 사업으로 지원받아 연구되었음.

이 논문은 2011 년도 2 단계 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었음.