

# 근활성화도 평가를 위한 MADYMO 모델 개발 Development of MADYMO model for estimating muscle activations

\*김성용<sup>1</sup>, 김동훈<sup>1</sup>, #채수원<sup>2</sup>

\*S. Y. Kim<sup>1</sup>, D. H. Kim<sup>1</sup>, #S. W. Chae(swchae@korea.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 고려대학교 기계공학과 대학원, <sup>2</sup> 고려대학교 기계공학과

Key words : Muscle activation, Static optimization, MADYMO, Upper limb

## 1. 서론

자동차, 의학 분야 등에서 컴퓨터를 이용한 인간 모델의 개발에 대한 관심이 증가하고 있다. 컴퓨터에 의한 인간 모델은 실험의 제한적 특성과 비용 및 시간 절약의 이유로 차량 충돌 더미에서부터, 인간 공학에 이르기까지 많은 연구가 있다. 컴퓨터에 의한 인간 모델은 크게 외력에 의해 거동이 발생하는 수동적 모델(passive model)과 근육 등의 내부적 요소에 의해 움직임을 일으키는 능동적 모델(active model)로 나눌 수 있다.

수동적 모델은 다양한 부위의 유한 요소 모델(finite element model)과 다물체 동역학 모델(multi body dynamics model) 등이 수립되어 자동차 충돌 분야 등에서 널리 이용되고 있다. 능동적 모델은 근육에 의해 움직임이 발생하는 모델로 인간 거동 연구, 작업 공간의 안정성 향상 및 인간 공학적 기계 설계 등의 다양한 분야에서 적용을 하고 있다.

본 연구에서는 인간 모델(ellipsoid, facet, FE model)등을 제공하고, FE 해석 및 상해치 분석 등의 다양한 응용이 가능한 MADYMO™ 를 이용하여 능동적 모델을 구현하여 주어진 동작에 대한 근육의 활성화도를 계산하고자 하였다.

## 2. 본론

### 2.1 연구 방법

근활성화도 평가 모델의 개발을 위해 상지(upper limb)부분의 골격과 근육을 MADYMO™ 를 이용하여 모델링하였으며, 근활성화도를 계산하기 위해 최적화 방법을 이용하였다. 완성된 모델을 이용하여 주어진 동작에 대해 근활성화도를 계산한 후, 계산된 근활성화도를 근육에 적용하여 모델이 주어진 동작으로 움직이는 것을 확인하고자 하였다.

### 2.2 상지 부위 모델 구현

상지 부분의 모델의 관절 특성 및 기하학적 특성은 MADYMO™ 에서 제공되는 Facet occupant models[1]의 일부분을 적용하였다. 상지 부분의 모델은 Fig. 1 과 같이 견갑골(scapular), 상완골(humerus), 요골(radius), 척골(ulna), 손(hand)로 나누었다.

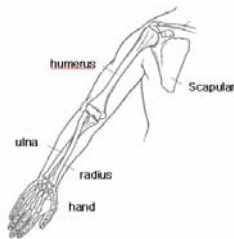


Fig. 1 Bones of the upper limb

본 연구에서는 손과 요골, 척골이 형성하는 손목(wrist) 조인트와 요골, 척골과 상완골이 형성하는 팔꿈치(elbow) 조인트 그리고, 상완골과 견갑골 형성하는 어깨(shoulder) 조인트를 spherical joint 로 설정하였다. 관절의 운동 범위(range of motion) 및 관절 특성은 RAMSIS™ 의 모델에 기초로 만들어졌으며, 비선형 특성을 가지고 있다.

모델의 외형은 MADYMO™ 에서 제공되는 FE arm 모델에서 Fig. 2 와 같이 늑골(rib), 손, 요골, 척골, 상완골을 적용하였으며, 강체의 특성을 부여하였다.

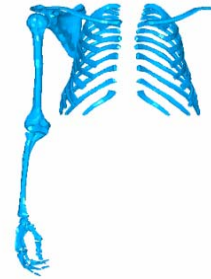


Fig. 2 Skeletal model

### 2.3 근육 모델 구현

#### 2.3.1 근육 원리

근육은 MADYMO™ 에 적용된 Hill type 근육을 사용하였다.[2] Hill type 근육은 Fig.3 과 같이 수축 근육(contractile element, CE)과 피동 근육(parallel element, PE), 그리고 근(tendon, SE), 근육의 질량(M)으로 이루어져 있으며, 근육의 총 하중(Fmus)은 수축 근육의 하중(Fce)과 피동 근육의 하중(Fpe)의 합으로 나타난다.

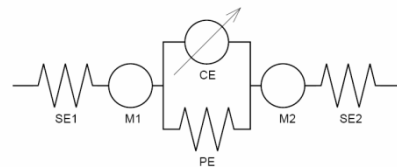


Fig. 3 Muscle mechanism

실제 능동적 움직임을 구현하는 근육인 수축 근육은 식 (1)과 같은 함수로 나타난다.

$$F_{mus} = A \cdot F_{max} \cdot f_L \cdot f_v \quad (1)$$

위의 식에서 A 는 근 활성화도를 나타낸 것으로, 0 에서부터 1 까지의 일반화된 값으로 나타낸다. Fmax 는 등척성 상태(isometric)에서 근육의 최대힘을 나타내고, fv 와 fL 은 각각 수축 근육 힘과 수축 속도에 관한 함수와 수축 근육 힘과 근육의 길이에 대한 함수이다.

#### 2.3.2 근육 모델링

상지 부위의 근육은 총 31 개의 근육을 모델링 하였으며, 근육의 길이, 근육의 최대힘 등의 파라미터는 L.Delp[3]의 연구에 제시되어있는 수치를 인용하였다. 관절간 사이에 근육의 기시부(origin)와 정지부(insertion)로 나누어 골격에 위치시켰으며, 근육 위치에 대한 검증을 위해 Fig.4 와 같이 근육의 moment arm 을 L.Delp 의 연구와 비교를 하였다.

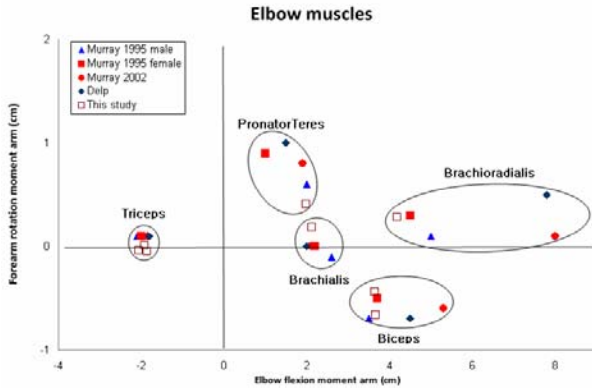


Fig. 4 Moment arms at each muscle

최종 수립된 모델은 Fig. 5 와 같다

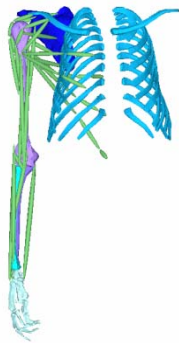


Fig. 5 Muscle model

2.4 정적 최적화 방법

능동적 모델에서 움직임은 관절 조인트와 관절에 붙어 있는 근육이 일으키는 힘에 의해 발생한다. 인체에는 관절 조인트의 자유도 보다 근육의 자유도가 더 많아 움직임을 위해 근육에서 발생되는 힘이 여러 개의 해를 가질 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 여러 연구에서 정적 최적화 방법등을 이용하여 근육의 힘을 예측하였다.

정적 최적화 방법은 Pierce [4]등의 연구와 같이 근육에 발생하는 스트레스를 최소화 하는 방법과 Anderson[5]등의 연구와 근육의 움직임을 발생시키는 근활성화도를 목적 함수의 정의하는 방법이 있다. Pierce 등의 방법은 근육의 생리학적 특성을 반영을 못한다는 단점으로 인해 본 연구에서는 식 (3)과 같이 m 개의 근육에서 발생하는 근육의 근활성화도(A) 제곱의 합이 최소가 되도록 목적 함수를 설정하였다.

$$J = \sum_{i=0}^m A_i(t)^2 \tag{3}$$

제한 조건은 식 (4)와 같이 컨트롤에 의해 움직임을 추종하는 각 조인트의 torque(Tj)를 측정하여 torque 를 일으키는 근육의 힘(Fi)과 각 조인트 모멘트 팔(ri) 합으로 설정하였다.

$$\sum_{i=1}^m F_i(t) \cdot r_{i,j}(t) = \tau \tag{4}$$

2.5 모션 추종 방법

MADYMO™ 에서 근육을 포함하는 모델을 수립한 후, Fig. 6 와 같이 컨트롤러로 MADYMO™ 모델이 움직임을 추종하게 하였다. 각 조인트의 torque 를 이용하여 해석 동안 0.001 초의 스텝마다 최적화를 수행하여 근육의 근활성화도를 계산 하였다. 계산된 근활성화도를 수립된 MADYMO™ 모델의 근육에 적용하여, 거동을 비교하였다.

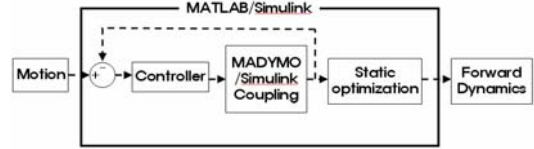


Fig. 6 Motion control schematic

3. 결과

팔꿈치 관절의 굴곡 작용(flexion)에 대해 근육의 활성화도를 계산하였다. Fig. 7 에서와 같이 굴곡 작용에 대해 후방 부위(posterior)에 비해 전방 부위(anterior)에 위치한 brachioradialis, biceps 등의 근육들이 활성화 되는 것을 확인 할 수 있다.

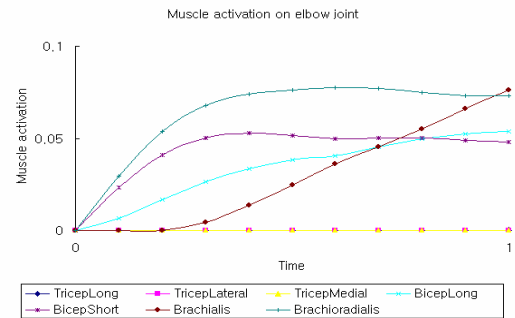


Fig. 7 Muscle activations during elbow joint flexion

계산된 근활성화도를 이용하여 근육에 적용 후, 입력된 모션과 비교를 하였다. Fig. 8 에서와 같이 근육 힘들의 조합으로 입력된 모션과 동일한 움직임이 나타남을 확인할 수 있었다.

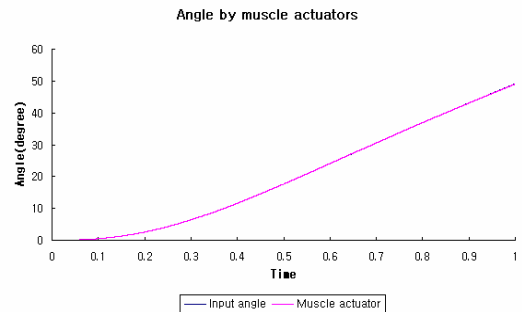


Fig. 8 Elbow joint angle using muscle actuators with activations

4. 결론

본 연구에서는 MADYMO™ 를 이용하여, 근육의 근활성화도를 평가하고자 하였다. 더미 충돌 해석으로 쓰이는 MADYMO™ 를 인간공학적인 분야로의 확대 사용뿐만 아니라, 충돌 해석 시에도 능동 근육을 작용시킴으로써 현실적인 충돌 모델이 가능하라고 판단된다.

참고문헌

1. MADYMO™, "MADYMO human model manual Version 6.3"
2. MADYMO™, "MADYMO Theory manual Version 6.3"
3. Katherine R.S. Holzbaur, Wendy M. Murray, Scott L. Delp, "A Model of the Upper Extremity for Simulating Musculoskeletal Surgery and Analyzing Neuromuscular Control", Annals of Biomedical Engineering, Vol.33, No.6, pp.829-840, 2005
4. Janine E. Pierce, Guoan Li, "Muscle forces prediction using optimization methods are coordinate system dependent", Journal of Biomechanics, Vol. 34, pp.695-702, 2005
5. Frank C. Anderson, Marcus G. Pandy, "Static and dynamic optimization solutions for gait are practically equi-valent", Journal of Biomechanics, Vol. 34, pp. 153-161, 2001