

운동의 파지 역학 해석

Mechanical Analysis for Hand Pinch of Finger Motion

오 세 환* · 전 한 용** · 김 진 오† · 박 광 훈***

Se Hwan Oh, Han Youg Chun, Jin Oh Kim and Kwang Hun Park

1. 서 론

구조는 생체역학적으로 손 동작에 영향을 준다. 손의 질병이나 손상은 손 기능장애를 초래하게 된다⁽¹⁾. 이러한 환자들은 재활 훈련을 통하여 기능을 회복해야 하며, 손 재활 기구의 개발을 위해 손의 동역학에 대한 연구가 필요하다.

최근 서비스 로봇에 대한 관심이 증가하면서, 의료 서비스 로봇의 일종인 재활 훈련 로봇에 대한 연구가 활발하다⁽²⁾. 인체 하지뿐만 아니라 상지의 수 관절에 대한 동역학 및 진동 연구가 선행되었다^(3,4).

본 논문은 손 운동의 파지 역학 해석에 관한 연구이다. 손의 분절자세에 따라 변하는 파지력에 대해, Cardan 좌표변환을 이용하여 해석하였다.

2. 근골격 구조 및 운동형상학

Fig. 1에 보인 바와 같이 손은 중수골(metacarpals)과 근육들로 이루어져 있다⁽¹⁾. 손가락은 14개의 분절(segment)인 지절골(phalange)들과 지절간 관절(interphalangeal joint)들로 구성된다.

시지(index) 중수골에서 소지(little) 중수골까지는 손바닥 방향을 향하여 정렬되어 있다. 엄지(thumb) 손가락은 다른 손가락의 끝부분과 접촉이 가능하다.

손의 기능에는 지지 기능, 조작 기능, 파지 기능이 있다⁽¹⁾. 파지 기능에는 시지와 엄지가 일차적으로 사용되는 집기(pinch)가 있고, 그 예를 Fig. 2에 나타내었다.

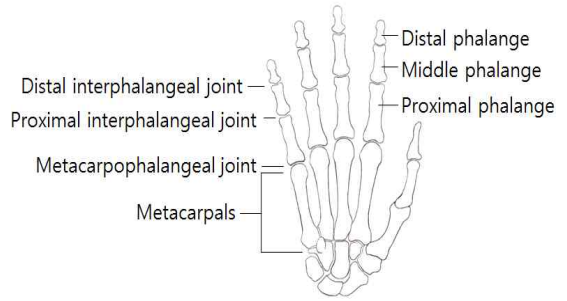


Fig. 1 Schematic of hand bones and joints

3. 파지력 해석

손 운동은 물체를 파지하기 위한 동적(dynamic) 움직임과 물체를 파지한 후 파지력을 유지하는 정적(static) 상태로 나눌 수 있다. 물체의 파지는 Fig. 2에서와 같이 주로 원위 지절골에 힘을 가한다. 원위 지절골에 작용하는 힘을 고려하여 Fig. 3과 같이 자유물체도를 설정하여 역학 해석을 하였다.

3.1 좌표계 설정

손의 분절에 고정된 국소(local) 좌표계는 길이 방향을 x축으로 설정하고, 분절 길이 방향과 수직인 힘이 작용하는 방향을 y축으로 설정하며, 이에 따라 z축을 결정한다⁽⁵⁾. 각 분절에 고정된 x축이 전역(global) 좌표계의 X축과 이루는 각을 α , y축이 Y

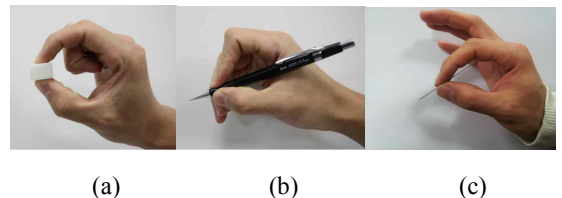


Fig. 2 Typical examples of pinch motions

† 정회원, 숭실대학교 공과대학 기계공학과

E-mail : jokim@ssu.ac.kr

Tel : (02) 820-0662, Fax : (02) 820-0668

* 정회원, 숭실대학교 대학원 기계공학과

** 정회원, 숭실대학교 공과대학 기계공학과

*** (주)피엔에스미캐닉스

이루는 각을 θ_1 , z 축이 Z 축과 이루는 각을 θ_3 라고 할 때, 전역 좌표를 국소 좌표로 변환하는 Cardan 변환 식은 다음과 같다⁽⁶⁾.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_2c_3 & s_3c_1 + s_1s_2c_3 & s_1s_3 - c_1s_2c_3 \\ -c_2s_3 & c_1c_3 - s_1s_2s_3 & s_1c_3 + c_1s_2s_3 \\ s_2 & -s_1c_2 & c_1c_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 $c_1 = \cos\theta_1$, $s_1 = \sin\theta_1$, $c_2 = \cos\theta_2$, $s_2 = \sin\theta_2$, $c_3 = \cos\theta_3$, $s_3 = \sin\theta_3$ 이다.

3.2 정적 해석

Fig. 3의 자유물체도에서 중수 지절 관절 (metacarpal joint)에 작용하는 반력 R_{xmt} , R_{Ymt} , R_{Zmt} 는 힘 평형방정식으로부터 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} R_{Xmt} \\ R_{Ymt} \\ R_{Zmt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_X \\ F_Y \\ F_Z \end{bmatrix} \quad (2)$$

힘 작용점과 중수 지절 관절 사이의 위치벡터 r_x , r_y , r_z 는 전역 좌표계로 역 변환 할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} 0 & r_Z & -r_Y \\ -r_Z & 0 & r_X \\ r_Y & -r_X & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & r_z & -r_y \\ -r_z & 0 & r_x \\ r_y & -r_x & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$[T] = \begin{bmatrix} c_{t2}c_{t3} & s_{t3}c_{t1} + s_{t1}s_{t2}c_{t3} & s_{t1}s_{t3} - c_{t1}s_{t2}c_{t3} \\ -c_{t2}s_{t3} & c_{t1}c_{t3} - s_{t1}s_{t2}s_{t3} & s_{t1}c_{t3} + c_{t1}s_{t2}s_{t3} \\ s_{t2} & -s_{t1}c_{t2} & c_{t1}c_{t2} \end{bmatrix}$$

여기서 Cardan 변환 각은 θ_{ti} ($i = 1, 2, 3$)이다. 중수 지절 관절의 힘 모멘트 M_{Xmt} , M_{Ymt} , M_{Zmt} 는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} M_{Xmt} \\ M_{Ymt} \\ M_{Zmt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & r_Z & -r_Y \\ -r_Z & 0 & r_X \\ r_Y & -r_X & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_X \\ F_Y \\ F_Z \end{bmatrix} \quad (4)$$

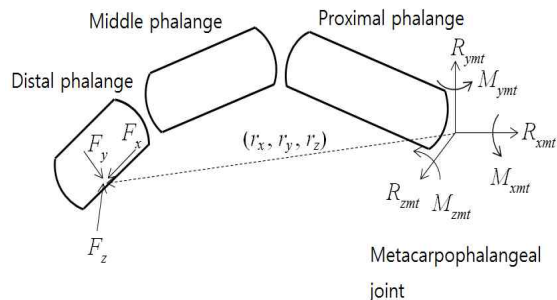


Fig. 3 Free-body diagram of the phalanges

3.3 동적 해석

가속도와 각가속도를 고려하는 운동 해석을 하였다. (지면 부족으로 생략하고, 발표자료에 포함함)

4. 결 론

원위 지절골에 작용하는 힘을 고려하여 중수 지절 관절에 작용하는 반력과 모멘트를 구하는 식을 나타내었다. 자유물체도를 설정하여 정적 해석을 하였고, 가속도와 각 가속도를 고려하는 동적 해석을 하였다.

이러한 해석을 파지력과 근전도의 상관관계를 밝히는데 이용하여, 손의 움직임을 반영하는 재활 훈련 장치나 로봇 등의 제작에 활용할 수 있다.

후 기

이 논문은 중소기업청에서 지원하는 2011년도 산학연 공동기술개발사업(No. 00046488)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- (1) Neumann, D. A., 2002, Kinesiology of the Musculoskeletal System, Mosby, St. Louis, Chapter 14.
- (2) Bae, H., Kim, J. O., Chun, H. Y., Park, K. H., Lee, K. W., 2011, Kinematic Characteristics of Walking-Assistance Robot, Transactions of the KSME(A), Vol. 35, No. 5, pp. 503-515.
- (3) Chun, H. Y., Kim, J. O., Park, K. H., 2010, Correlation of Human Carpal Motion and Electromyogram, Transactions of the KSME(A), Vol. 34, No. 10, pp. 1393-1401.
- (4) Chun, H. Y., Kim, J. O., Park, K. H., 2011, Vibration Response of a Human Carpal Muscle, Transactions of the KSNVE, Vol. 21, No. 1, pp. 31-40.
- (5) Winter, D. A., 2009, Biomechanics and Motor Control of Human Movement, 4th ed., John Wiley & Sons, Chapter 7.