

손 부위 입는 로봇 개발을 위한 검지 손가락의 구동 방식에 대한 연구 A research of index finger mechanism for development of wearable robot for the hand

*인현기¹, 신민기¹, #조규진¹

*H. K. In¹, M. K. Sin¹, #K. J. Cho(kjcho@snu.ac.kr)¹
¹ 서울대학교 기계항공공학부

Key words : Wearable robot, Finger, Tendon actuation

1. 서론

손은 작은 부피임에도 불구하고 사람의 신체에서 가장 많은 자유도를 가진 부위이다. 이러한 많은 자유도를 제어 하기 위해 기존에 사용되던 직접구동과 같이 많은 수의 구동기가 필요한 방식 및 복잡한 구조물을 이용한 방식을 사용하면 실제 손에 비해 지나치게 부피가 커져서 실효성을 가지지 못한다. 따라서 실효성 있는 로봇 손을 만들기 위해서는 다른 구동 방식이 필요하다.

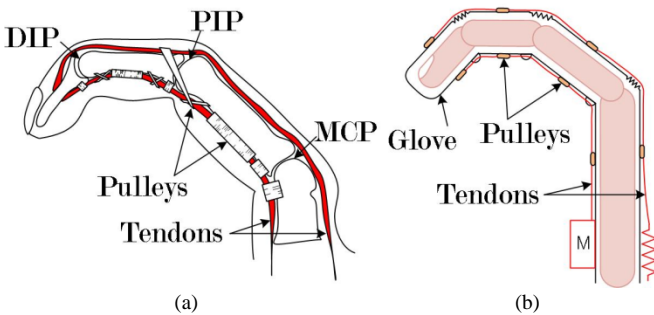


Fig. 1 The schematics of (a) human finger anatomy and (b) wearable robot for the hand. [1]

실제 사람의 손의 구동 방식을 살펴보면 관절에 직접 근육이 연결되어 움직이는 방식이 아니라 Fig. 1 (a)에서와 같이 손가락에는 힘줄만 붙어 있고 손가락 외부의 근육에 의해 힘줄이 당겨져 움직이게 된다. 이러한 방식에 착안하여 Fig. 1 (b)와 같이 손가락 외부 앞 뒷면에 각각 힘줄의 역할을 할 와이어를 부착하고 와이어를 당겨 구동하는 메커니즘을 이용하여 Fig. 2 와 같은 작은 크기의 손 보조 로봇을 제작하였다. 이렇게 와이어를 이용하는 방식을 사용하면 작고 간단한 구조로 제작이 가능하다.[2][3]

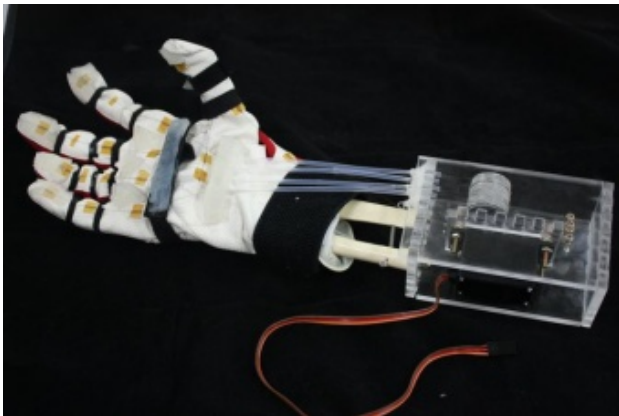


Fig. 2 The wearable robot on the hand skeleton model. [1]

손을 이용하여 물체를 안정적으로 잡기 위해서는 손가락의 운동 궤적의 제어 및 목적 물체와의 접촉면에서의 접촉력의 크기와 방향의 제어가 필요하다. 손부위 입는 로봇에서 이러한 제어를 하기 위해 검지 손가락의 굴곡/신전 와이어의 장력 조절에 따른 손끝에서의 특성 및 손가락의

궤적에 대한 해석을 수행하였다.

2. 해석

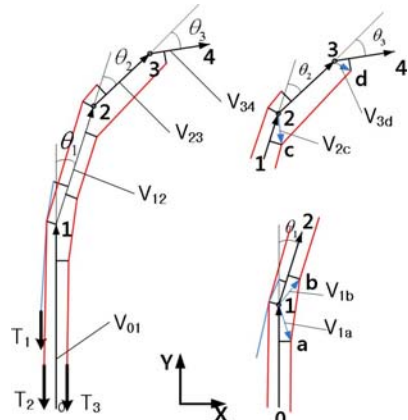


Fig. 3 Schematics of the mechanism for the index finger (a) is a whole system, (b) shows DIP, PIP Joint, (c) shows MCP Joint of the finger.

손가락과 입는 로봇은 Fig. 3 과 같이 단순화 하여 해석 할 수 있다. 이의 해석을 위해 우선 각 손가락 관절에 작용하는 모멘트의 평형을 아래의 세 식으로 나타낼 수 있다.

$$(I_{14,1}\ddot{\theta}_1 + I_{24,2}\ddot{\theta}_2 + I_{34,3}\ddot{\theta}_3) + b_1\dot{\theta}_1 + K_1\theta_1 = M_1 \quad (1a)$$

$$(I_{24,1}\ddot{\theta}_1 + I_{24,2}\ddot{\theta}_2 + I_{34,3}\ddot{\theta}_3) + b_2\dot{\theta}_2 + K_2\theta_2 = M_2 \quad (1b)$$

$$(I_{34,1}\ddot{\theta}_1 + I_{34,2}\ddot{\theta}_2 + I_{34,3}\ddot{\theta}_3) + b_3\dot{\theta}_3 + K_3\theta_3 = M_3 \quad (1c)$$

$I_{ij,k}$ 는 i 관절에서 j 관절 사이의 링크의 k 관절 중심에 대한 회전 관성 모멘트를 나타내고, M_i 는 구동 와이어들에 의해 i 관절에 발생하는 외력 모멘트를 나타낸다. 또한 K_i 는 손가락의 i 관절의 강성으로 일반적으로 비선형 특성을 갖고 있어 정확한 모델을 만들기 위해 측정값이 필요하지만, 본 논문에서는 손가락의 강성을 정성적으로 5 차함수로 모사한 값을 사용하였다.(Fig. 4 참조)

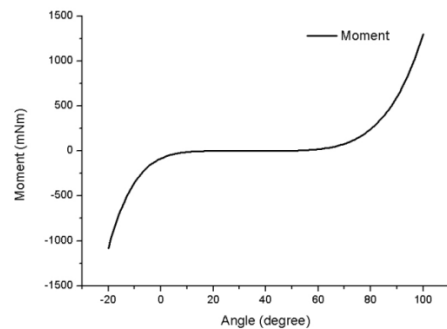


Fig. 4 The moment from finger joint stiffness.

대부분의 손동작은 비교적 느린 속도와 가속도로 움직이므로 식 (1)의 질량에 의한 항과, 감쇠에 의한 항은 무시할 수 있다. 따라서 손가락 강성과 외부 모멘트의 항만

으로 손가락의 움직임과 힘을 알 수 있다. 와이어와 손끝에서 외력에 의해 발생하는 각 관절에서의 모멘트는 다음의 간단한 벡터 계산을 통해서 얻을 수 있다.

$$M_1 = -r_3 \times (T_1 + T_2) + V_{1b} \times T_3 e_{ba} + V_{14} \times F \quad (2a)$$

$$M_2 = -r_2 \times T_2 + V_{2c} \times T_3 e_{dc} + V_{24} \times F \quad (2b)$$

$$M_3 = V_{3d} \times T_3 e_{dc} + V_{34} \times F \quad (2c)$$

T_1, T_2, T_3 는 각각 Fig. 3 에서 나타나는 굴곡/신전을 위한 와이어의 장력을 나타내고, F 는 외부 환경에 의해 손끝으로 전달 되는 접촉력을 나타낸다. 와이어의 방향벡터를 e_{ij} 와 관절의 중심과 와이어 상의 한 점을 연결하는 벡터의 외적을 통해 와이어의 장력에 의한 모멘트를 계산하였고, 관절에서 손끝을 잇는 벡터와 F 의 외적으로 접촉력에 의한 모멘트를 계산하였다.

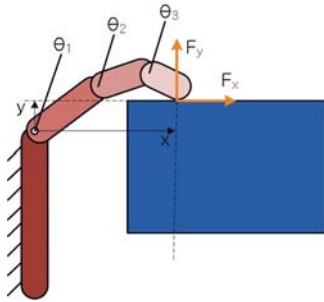


Fig. 5 schematics and the coordinate used in the analysis

$$l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) = x \quad (3a)$$

$$l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) = y \quad (3b)$$

위의 식 (3)은 Fig. 5 에서 나타난 관절의 각도와 손끝의 좌표를 나타내는 식이다. 수치해석을 이용하여 모멘트 평형을 나타내는 식(1)과, 위치 관계를 나타내는 식(3)을 연립하여 풀면 와이어의 장력 및 손끝의 위치와 손끝에서의 접촉력 사이의 상관관계를 알 수 있고, 그 때의 각 관절의 각도를 알 수 있다.

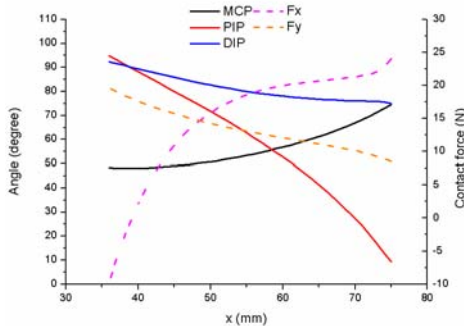


Fig. 6 Angle of finger joints and contact forces, when x or y coordinate is changed with $T_3=90$, (a) $y=0$.

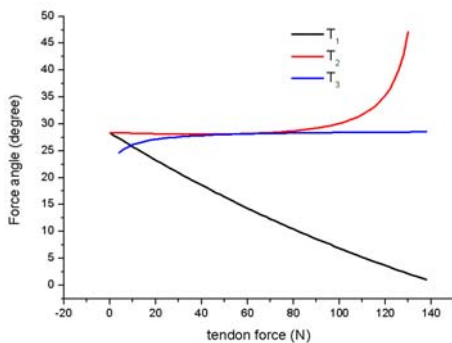


Fig. 7 Angle of contact force at the fingertip when the tensions of extension/flexion tendons are changed. ($T_1 = 0, T_2 = 0, T_3 = 90$)

90 N when the other tendon's force is changed, fingertip point $x = 55 \text{ mm}, y = 0 \text{ mm}$)

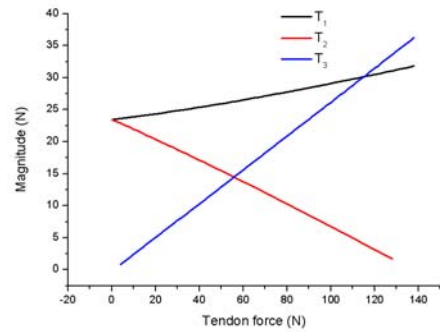


Fig. 8 Magnitude of contact force at the fingertip when the tensions of extension/flexion tendons are changed. ($T_1=0, T_2=0, T_3=90$ N when the other tendon's force is changed, fingertip point $x = 55 \text{ mm}, y = 0 \text{ mm}$)

3. 결과

위의 모델을 사용하여 굴곡/신전 와이어를 당기는 힘에 따른 손 끝에서의 힘의 방향과 힘의 크기를 예측해 보았다. Fig. 6 은 굴곡을 위한 와이어만을 일정한 힘으로 당겼을 때 손가락 끝의 위치에 따른 각 관절의 굽혀지는 각도와 접촉력의 x, y 방향을 나타내었고, Fig. 7 과 Fig. 8 은 굴곡/신전 와이어를 각각 당겼을 때 일정한 손끝 위치에서의 힘의 크기와 방향을 나타내었다. 힘의 방향은 $\arctan(F_y / F_x)$ 로 정의하였다.

4. 결론

해석 결과 손끝의 위치가 변함에 따라 같은 장력으로 와이어를 구동하여도 접촉력의 방향과 크기가 달라짐을 보였다. 또한 손 끝의 위치가 일정할 때 굴곡을 위한 와이어만 구동하면 장력의 증가에 따라 장력의 25 % 수준으로 선형적으로 접촉력이 증가하였고, 접촉력의 방향은 25° 에서 30° 사이로 비교적 일정 하였다. 또한 중간 마디에 부착되어 있는 신전 와이어(T_2)를 구동하게 되면 장력의 증가에 따라 접촉력은 줄어들었지만, 접촉력의 방향이 커짐을 알 수 있었다.

물체를 안정적으로 집기 위해서는 접촉력의 각도가 90° 에 근접하는 것이 유리하므로 손 끝의 위치를 제어하여야 하고, 접촉력의 방향과 힘의 최적값을 찾기 위해서는 신전 와이어의 구동 제어가 필요하다.

보다 정확한 모델을 위해 손가락 관절의 강성을 통해 얻어야 하고, 와이어 구동 방식의 2 자유도 링크 장치를 구현하여, 해석 결과를 검증해야 할 것이다.

참고문헌

- In, HyunKi., and Cho, Kyu-Jin., "Compact Hand Exoskeleton Robot for the Disabled," The 6th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2009), 86-89, 2009.
- Carrozza, M., Cappiello, G., Stellin, G., Zaccone, F., Vecchi, F., Micera, S., and Dario, P., "A cosmetic prosthetic hand with tendon driven under-actuated mechanism and compliant joints: ongoing research and preliminary results," Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on, 2661-2666, 2005.
- Carrozza, M., Suppo, C., Sebastiani, F., Massa, B., Vecchi, F., Lazzarini, R., Cutkosky, M., and Dario, P., "The spring hand: development of a self-adaptive prosthesis for restoring natural grasping," Autonomous Robots, **16**, 125-141, 2004.