

# 검지 끝단 힘에 의한 손가락 관절 토크의 해석

## Analysis of Finger Joint Torques Caused by the Force on the Index Finger Tip

\*이계한<sup>1</sup>, 김윤정<sup>1</sup>, 정광훈<sup>1</sup>, 조재영<sup>2</sup>, 김동민<sup>3</sup>, #이수진<sup>1</sup>

\*Kyeahan Rhee<sup>1</sup>, Yoon Jeong Kim<sup>1</sup>, Gwang Hun Jeong<sup>1</sup>, Jae Young Jho<sup>2</sup>, Dong Min Kim<sup>3</sup>, #Soo-Jin Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>명지대학교 기계공학과, <sup>2</sup>서울대학교 화공생물학부, <sup>3</sup>홍익대학교 전기공학과

Key words : Joint Torque, Pinch Task, Static Analysis

### 1. 서론

고령자들의 노화가 진행됨에 따라서 근골격 기능이 약화되고, 노인성 질환이나 경추 손상의 후유증으로 인하여 많은 경우 마비 장애를 갖게 된다. 근골격 기능이 약화되거나 마비 장애가 발생한 경우에 많은 사람들이 손의 운동 기능의 문제로 인하여 일상 생활에서 큰 불편을 겪게 된다. 그러므로 고령자 및 장애인들의 손 운동 기능을 보조하기 위한 다양한 보조 기기들이 개발되고 있다. 외골격 형의 손 운동 보조 장치는 착용이 간편하여 사용이 용이하나, 동력장치가 크고 무거워 사용에 불편한 문제점이 있다. 고분자 구동체는 다른 기계적 구동기들에 비하여 가벼우며 근육과 유사한 구동을 할 수 있어 기구적인 측면에서도 단순한 구현이 가능한 장점이 있다. 그러나 일반적으로 고분자 구동체들의 구동력은 전기 기계적 구동기에 비하여 작은 단점이 있다. 효율적인 고분자 구동체를 이용한 손외골격 장치의 개발을 위해서는 필요한 구동력을 미리 예측하여 설계 시 구동력을 최소화하는 설계를 수행할 필요가 있다. 본 연구에서는 기존 기반 연구<sup>1,2,3</sup>를 이용하여 검지 손가락 끝단의 지지력을 유지하는데 필요한 각 관절의 토크를 예측하고자 한다. 본 연구는 향후 고분자 구동체를 이용한 외골격의 설계에 활용될 수 있다.

### 2. 손가락 정역학적 모델

#### 2.1 관절 좌표계 정의

손가락의 정역학적 모델을 위해, 검지손가락을 한 평면에 존재하는 3 자유도 매니퓰레이터(manipulator)로 가정한다. 본 논문에서는 검지손가락의 세 관절인 MCP(metacarpophalangeal), PIP(proximal interphalangeal), DIP(distal interphalangeal) 관절에 대해서만 고려한다. 손가락 끝단(Tip)은 집기 작업 시 접촉 힘이 가해지는 지점으로 집기 힘은 끝단에 수직으로 가해진다고 가정한다.  $L_1, L_2, L_3$ 은 MCP에서 Tip까지 손가락 각 링크의 길이를 나타내며  $H$ 는 엄지손가락 첫 관절에서 MCP 관절 중심까지의 거리를 나타낸다 각 관절의 각도인  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 는 반 시계 방향의 각도를 양의 방향으로 정의한다.

#### 2.2 정적 모델

손가락 끝단(Tip)에 가해지는 집기 힘과 관절 토크와의 관계는 다음과 같이 표현된다<sup>4,5</sup>.

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \end{bmatrix} + J^T \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix} \quad (1)$$

$F_x$ 와  $F_y$ 는 손가락 끝단에 가해지는 외력으로 좌표계에서 수평 방향과 수직 방향의 힘 성분을 나타낸다.  $T_1, T_2, T_3$ 는 손가락 끝단에 가해지는 힘을 지지하기 위하여 요구되는 각 관절(MCP, PIP, DIP)의 토크를 나타내며  $G_1, G_2, G_3$ 는 중력으로 인한 토크이다.

### 3. 손가락 정적 모델 파라미터(Parameter)

집기 작업을 수행할 때 손가락 길이는 각 관절 각도와 결합하여 각 관절 토크에 영향을 미친다. 그러므로 각 관절 사이의 길이 파라미터를 적절하게 결정하기 위하여 20 대 남녀 다섯 명을 대상으로 검지 손가락 각 관절 사이의 길이를 측정하였다. 측정 시 버니어 캘리퍼스(vernier caliper)를 이용하였으며 손가락 각 관절의 중심에서 다음 관절 중심까지의 거리를 기준으로 측정하였다. 손가락 질량은 참고 문헌<sup>3</sup>의 데이터를 기반으로 측정된 손가락 길이와 참고 문헌의 손가락 길이를 비교하여 비례식으로 추정하였다.

### 4. 손가락 관절토크 정적 해석

집기 작업 시 손가락 끝단에 가해지는 힘은 100 gf 를 사용하였고 이 힘은 항상 손가락 끝면에 수직 방향으로 작용한다고 가정하였다. 제한한 정적 모델을 사용하여 집기 작업 시 요구되는 각 관절의 토크를 해석한 결과 Table 1 과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 각 관절의 토크 중 MCP 토크가 가장 크게 나왔으며 이는 MCP 관절이 손끝으로부터 가장 멀리 떨어져 있기 때문이다. 각 관절의 각도에 따라서 각 관절 토크는 변한다. 본 논문에서 해석한 관절의 각도는 집기 작업시 사람의 손가락 각도를 측정 한 것인데 물체를 집을 경우 각도가 변할 수 있다. 그러므로 집기 작업 대상 물체의 크기가 정해진다면 그에 따라 손가락 운동 보조기구의 정적 구동력 한계는 결정될 것이다. 또한 MCP 관절의 경우 관절토크의 18%정도가 중력으로 인해 발생한 것을 볼 수 있다. 그러므로 중력이 작용하지 않는 방향으로 집기작업을 수행할 경우 중력 토크 만큼 손가락 운동 보조기구의 구동력 한계는 더 줄어들 것이다.

### 5. 결론

본 논문에서는 엄지와 검지를 이용하여 집기 작업을 수행할 때 요구되는 MCP 관절의 정적 토크를 해석하였다. MCP 관절 토크를

Table 1 Static analysis of finger joint torque

Joint	Angle (deg)	Joint Torque (Ncm)	Gravity Torque (Ncm)
MCP	-23	6.71	1.24
PIP	-36	4.23	0.23
DIP	-22	2.24	0.06

해석하기 위하여 손가락의 정적 모델을 개발하였고 실험을 통해서 손가락의 길이 파라미터를 추정하고 그에 비례하여 질량 파라미터를 결정하였다. 개발된 정적 모델을 사용하여 각 관절 토크를 해석하여 손가락 운동 보조기구의 정적 구동력 한계를 검토하였다.

### 후기

이 논문은 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-공공복지안전사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0020456).

### 참고문헌

1. 김병호, “로봇 손을 위한 인간 손가락의 관절간 운동특성 고찰”, 한국정밀공학회지, **23(7)**, 67-75, 2006.
2. 김경수, 김윤혁, “근력과 관절력 예측을 위한 손의 생체역학 모델”, 대한인간공학회, **28(3)**, pp. 1-6, 2009.
3. Petroff, N., Kim, D., Reisinger, P. and Mason, A.C. ,“Fuzzy-Control of a Hand Orthosis for Restoring Tip Pinch, Lateral Pinch, and Cylindrical Prehensions to Patients with Elbow Flexion Intact”, IEEE Transaction on Neural Systems and Rehabilitation, Vol. 9, No. 2, pp. 225-231, 2001.
4. 박기철, “여유자유도 로봇 매니플레이터의 위치/충돌/힘 제어에 관한 연구”, 석사학위논문, 정밀공학과, KAIST, 1993.
5. Craig, J.J., “Introduction to Robotics, 2<sup>nd</sup>Edition”, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., pp. 195-210, 1989.