https://doi.org/10.21289/KSIC.2020.23.2.313

단일 직선 구동형 적응형 그리퍼 설계

Design of an Adaptive Gripper with Single Linear Actuator

김기성[1], 김한성[2*]
Giseong Kim[1], Han Sung Kim[2*]

〈Abstract〉

In this paper, two types of linear actuation methods for the previously proposed adaptive gripper are presented, which includes actual parallelogram inside a five-bar mechanism and has the advantages of smaller actuation torque and larger stroke over the commercial adaptive gripper by RobotiQ. The forward/inverse kinematics and statics analyses for two types of linear actuations are derived. From the inverse kinematics and statics analyses, linear actuation type I is selected and the gripper prototype is designed.

Keywords : Adaptive Gripper, Parallel grip, Power grip, Kinematics, Statics, Ball Screw

1 경남대학교 기계융합공학과
E-mail: shark-cat@hanmail.net
2* 경남대학교 기계공학부 교수
E-mail: hkim@kyungnam.ac.kr

1 Dept. of Mechanical Convergence Engineering, Kyungnam University
2* Corresponding author, Dept. of Mechanical Engineering, Kyungnam University Professor

1. 서 론

Pick-and-Place, 정밀조립 등 로봇 자동화 분야에 다양한 그리퍼(gripper)가 사용되고 있다. 최근 협동로봇[1]의 수요가 증가하면서 다양한 형상의 작업물을 파지할 수 있는 전동식 적응형 그리퍼(adaptive gripper) 연구에 관한 관심이 증가하고 있다.

자유도 측면에서 그리퍼 메커니즘을 구분하면 1자유도 그리퍼, 2자유도 이상 다자유도 그리퍼, 그리고 1, 2자유도를 물체의 형상에 따라 기구적으로 변경할 수 있는 적응형 그리퍼로 구분할 수 있다. 1자유도[2,3] 그리퍼는 경량화가 가능하고 단순한 설계 및 제어 등의 장점을 갖지만 고정된 형상만 파지하는 단점을 갖는다. 로봇 핸드와 같은 다자유도 그리퍼[4-6]는 다자유도로 인하여 유연한 동작 및 다양한 형상의 작업물을 파지할 수 있지만, 자유도가 증가함에 따라 중량 및 비용의 증가, 복잡한 설계 및 제어를 요구하게 된다[7].

이러한 문제를 해결하기 위해 1, 2자유도를 전환하여 다양한 형상의 작업물 파지가 가능한 적응형 그리퍼에 관한 연구가 증가하고 있다[8]. 평행사변형 기구 사이에 직선 스프링을 부착하여 직선 스프링 개수에 따라 자유도를 증가가 가능한 적응형 그리퍼가 연구되었다[9]. 힘줄을 기반으로 설계된 메커니즘의 적응형 그리퍼가 연구되었다[10]. 이외에도 적응형 그리퍼 메커니즘에 대한 다양한 연구가 제시되었다[11-13].

본 논문에서는 Fig. 1과 같이 5절 기구 안쪽에 실제 평행사변형 기구를 장착한 적응형 그리퍼에 대한 설계결과[14]를 기반으로 양쪽 그리퍼 메커니즘을 1개의 직선 구동기로 구동할 수 있는 구동부 메커니즘의 해석방법 및 설계결과를 제시하고자 한다. 2개의 회전 구동기로 각각 좌우 그리퍼 메커니즘을 구동하는 방법[14]에 비하여 1개의 직선 구동기로 양쪽의 그리퍼 메커니즘을 구동하면 부품 비용 감소, 제어의 단순성, 파지 시 중심 정밀도 향상 등의 장점이 있다.

2. 그리퍼 메커니즘

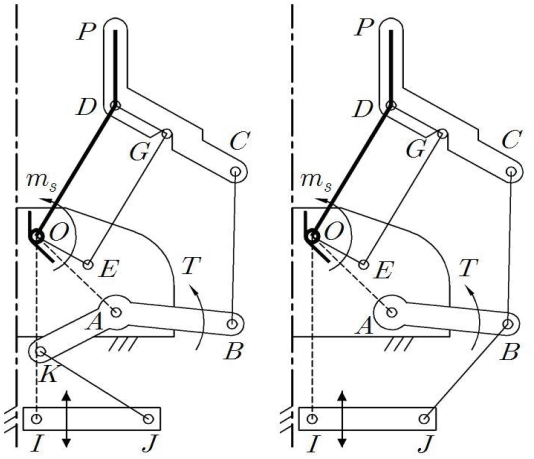
제안하는 그리퍼 메커니즘은 Fig. 1과 같이 5절 기구($ODCBA$)와 구동부로 구성된다. 여기서 5절 기구는 기존 연구에서 제안한 적응형 그리퍼 메커니즘[14]을 사용하였고 기존 연구의 그리퍼는 A점에 회전 구동기 2개를 양쪽에 장착하였다. 본 연구에서는 1개의 직선 구동기를 이용하여 좌우 양쪽의 기구를 동시에 구동하는 메커니즘을 제안한다. 유형 I은 Fig. 1(a)와 같이 중앙의 직선 구동기가 $OIJKA$ 링크를 구동시킨다. 반면, 유형 II는 Fig. 1(b)와 같이 중앙의 직선 구동기가 $OIJBA$링크를 구동시킨다. 단일 직선 구동기의 추력으로 양쪽 A점에 장착된 회전 구동기 대신 토크 T를 발생시킬 수 있다.

적응형 그리퍼 메커니즘은 작업물의 형상에 따라 양쪽의 PD링크가 수직을 유지하여 2개의 PD 링크가 평행하게 작업물을 파지하는 평행그립(parallel grip)과 양쪽의 PD링크가 작업물을 감싸는 파워그립(power grip)이 가능하다[14].

2가지 유형 모두 식 (1)을 이용하면 평행그립은 링크 수 $n=8$, 조인트 수 $j=10$, 조인트 자유도의 합 $\sum f_i=10$으로 1자유도를 가지고 파워그립은 $n=7$, $j=8$, $\sum f_i=8$로 2자유도를 갖는다.

$$F=3(n-j-1)+\sum f_i \tag{1}$$

유형 I은 $OIJKA$링크를 안쪽에 장착할 수 있어 소형화 설계가 가능하지만 KAB링크에 모멘트가 작용한다는 단점이 있고, 유형 II는 JB링크가 외부에 노출되지만 AB링크에 단순 힘이 작용한다는 장점이 있다.



(a) Type I (b) Type II

Fig. 1 Adaptive gripper mechanism for the gripper type

3. 위치해석

3.1 메커니즘 모델링

Fig. 2는 유형 I 및 유형 II에 대한 오른쪽 그리퍼 메커니즘의 벡터 루프 다이어그램(vector-loop diagram)을 나타낸다. 유형 I과 유형 II 그리퍼 구동부의 벡터 루프 방정식은 각각 다음과 같다.

$$\textbf{(Type I)}\ \overline{OI}+\overline{IJ}=\overline{OA}+\overline{AK}+\overline{KJ} \tag{2}$$

$$\textbf{(Type II)}\ \overline{OI}+\overline{IJ}=\overline{OA}+\overline{AB}+\overline{BJ} \tag{3}$$

그리퍼 5절 기구는 유형 I과 유형 II에 대하여 동일하고 기구학적 변수는 다음과 같이 정의된다. l_2, l_3, l_4, l_5는 5절 기구의 링크 길이를 나타내고 $\theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$는 링크 각도를 나타낸다. $l_1=\overline{OA}$ 및 θ_1은 고정링크의 길이 및 각도를 나타내고 $l_p=\overline{PD}$ 이고 $\delta=\angle CDP$로 정의된다.

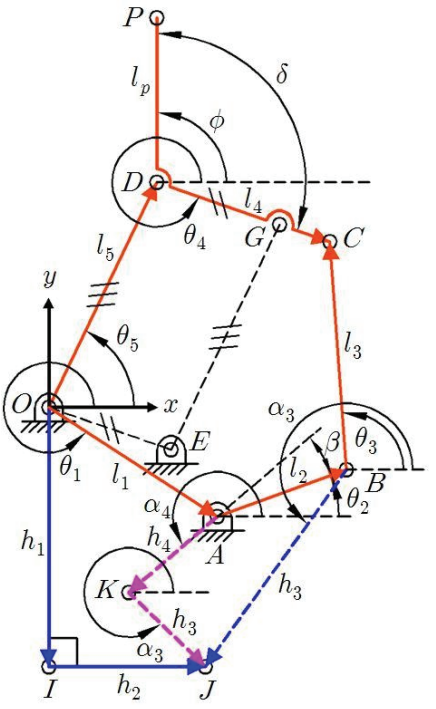


Fig. 2 Vector-loop diagram for the gripper type

그리퍼 구동부에 대한 유형 I의 기구학적 변수는 다음과 같이 정의된다. h_1, h_2, h_3, h_4는 구동부의 링크 길이를 나타내고 β는 l_2와 h_4 사이의 각도를 나타낸다. α_3, $\alpha_4=\theta_2+\beta+\pi$는 링크 각도를 나타낸다. 그리퍼 구동부에 대한 유형 II의 기구학적 변수는 다음과 같이 정의된다. h_1, h_2, h_3는 구동부의 링크 길이를 나타내고 α_3는 링크 각도를 나타낸다. δ, β를 제외한 모든 각도는 x축으로부터 측정된 각도이다.

3.2 정기구학

평행그립인 경우, $\phi=90^\circ$, $\theta_4=\phi-\delta$로 일정하게 유지되고 정기구학은 직선 구동기 위치 h_1이 주어졌을 때 위치 p_x를 구하는 문제로 정의된다. 단, p_y, θ_5는 종속적으로 구해진다. 한편, 파워그

립인 경우 정기구학은 h_1, θ_5가 주어졌을 때 p_x, p_y를 구하는 문제로 정의된다. 여기서, θ_5는 추가로 측정되어야 한다.

유형 I의 식 (2)를 기구학적 변수로 표현하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} h_2 &= l_1 c\theta_1 + h_4 c\alpha_4 + h_3 c\alpha_3 \\ -h_1 &= l_1 s\theta_1 + h_4 s\alpha_4 + h_3 s\alpha_3 \end{aligned} \tag{4}$$

α_3를 소거하기 위하여 위 식을 다음과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} h_3 c\alpha_3 &= -h_4 c\alpha_4 - (-h_2 + l_1 c\theta_1) \\ h_3 s\alpha_3 &= -h_4 s\alpha_4 - (l_1 s\theta_1 + h_1) \end{aligned} \tag{5}$$

위 식에 대하여 양변을 제곱하고 더하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} h_3^2 = h_4^2 &+ 2h_4(l_1 c\theta_1 - h_2)c\alpha_4 + (l_1 c\theta_1 - h_2)^2 \\ &+ 2h_4(l_1 s\theta_1 + h_1)s\alpha_4 + (l_1 s\theta_1 + h_1)^2 \end{aligned} \tag{6}$$

위 식을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\kappa_{11} s\alpha_4 + \kappa_{12} c\alpha_4 = \kappa_{13} \tag{7}$$

여기서 $\kappa_{11} = 2h_4(l_1 s\theta_1 + h_1)$,
$\kappa_{12} = 2h_4(l_1 c\theta_1 - h_2)$,
$\kappa_{13} = h_3^2 - h_4^2 - (l_1 c\theta_1 - h_2)^2 - (l_1 s\theta_1 + h_1)^2$이다.
$t_1 \equiv \tan(\alpha_4/2)$로 정의하고 식 (7)을 t_1에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$(\kappa_{P13} + \kappa_{P12})t_1^2 - 2\kappa_{P11}t_1 + (\kappa_{P13} - \kappa_{P12}) = 0 \tag{8}$$

위 식을 α_2에 대하여 구하면 다음과 같다.

$$\alpha_4 = 2\tan^{-1}\left(\frac{\kappa_{11} \pm \sqrt{\kappa_{11}^2 + \kappa_{12}^2 - \kappa_{13}^2}}{\kappa_{13} + \kappa_{12}}\right) \tag{9}$$

θ_2는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta_2 = \alpha_4 - \beta - \pi \tag{10}$$

식 (5)로부터 α_3는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\alpha_3 = \mathrm{Atan2}(s\alpha_3, c\alpha_3) \tag{11}$$

유형 II의 식 (3)을 기구학적 변수로 표현하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} h_2 &= l_1 c\theta_1 + l_2 c\theta_2 + h_3 c\alpha_3 \\ -h_1 &= l_1 s\theta_1 + l_2 s\theta_2 + h_3 s\alpha_3 \end{aligned} \tag{12}$$

α_3를 소거하기 위하여 위 식을 다음과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} h_3 c\alpha_3 &= -l_2 c\theta_2 - (l_1 c\theta_1 - h_2) \\ h_3 s\alpha_3 &= -l_2 s\theta_2 - (l_1 s\theta_1 + h_1) \end{aligned} \tag{13}$$

위 식에 대하여 양변을 제곱하고 더하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} h_3^2 = l_2^2 &+ 2l_2(l_1 c\theta_1 - h_2)c\theta_2 + (l_1 c\theta_1 - h_2)^2 \\ &+ 2l_2(l_1 s\theta_1 + h_1)s\theta_2 + (l_1 s\theta_1 + h_1)^2 \end{aligned} \tag{14}$$

위 식을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\kappa_{21} s\theta_2 + \kappa_{22} c\theta_2 = \kappa_{23} \tag{15}$$

여기서 $\kappa_{21} = 2l_2(l_1 s\theta_1 + h_1)$,
$\kappa_{22} = 2l_2(l_1 c\theta_1 - h_2)$,
$\kappa_{23} = h_3^2 - l_2^2 - (l_1 c\theta_1 - h_2)^2 - (l_1 s\theta_1 + h_1)^2$이다.

$t_2 \equiv \tan(\theta_2/2)$로 정의하고 식 (7)을 t_2에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$(\kappa_{23}+\kappa_{22})t_2^2 - 2\kappa_{21}t_2 + (\kappa_{23}-\kappa_{22}) = 0 \quad (16)$$

위 식을 θ_2에 대하여 구하면 다음과 같다.

$$\theta_2 = 2\tan^{-1}\left(\frac{\kappa_{21} \pm \sqrt{\kappa_{21}^2+\kappa_{22}^2-\kappa_{23}^2}}{\kappa_{23}+\kappa_{22}}\right) \quad (17)$$

여기서, 양의 부호는 Fig. 2의 초기형상과 대칭 형상이므로 음의 부호만을 해로 선택한다.
식 (13)으로부터 α_3는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\alpha_3 = \mathrm{Atan2}(s\alpha_3, c\alpha_3) \quad (18)$$

2가지 유형에 대하여 θ_2를 구하면 기존 연구의 그리퍼 정기구학 해석[14]을 참고하여 p_x 및 p_y, θ_5를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} p_x &= c_x - l_4 c\theta_4 + l_p c\phi \\ p_y &= c_y - l_4 s\theta_4 + l_p s\phi \\ \theta_5 &= \mathrm{Atan2}(d_y, d_x) \end{aligned} \quad (19)$$

3.3 역기구학

평행그립인 경우, $\phi = 90^\circ$, $\theta_4 = \phi - \delta$는 고정상수로 유지되고 역기구학은 위치 p_x가 주어졌을 때 직선 구동기 위치 h_1을 구하는 문제로 정의된다. 단, p_y, θ_5는 종속적으로 구해진다. 한편, 파워그립인 경우 역기구학은 p_x, ϕ가 주어졌을 때 h_1, θ_5를 구하는 문제로 정의된다. 여기서, θ_5는 측정이 필요하다.

기존 연구의 그리퍼 역기구학 해석[14]을 참고하여 θ_2 및 p_y, θ_5는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \theta_2 &= 2\tan^{-1}\frac{\kappa_1 \pm \sqrt{\kappa_1^2+\kappa_2^2-\kappa_3^2}}{\kappa_3+\kappa_2} \\ p_y &= l_p s\phi \pm \sqrt{(l_p s\phi)^2 - (p_x^2 - 2l_p c\phi p_x + l_p^2 - l_5^2)} \\ \theta_5 &= \mathrm{Atan2}(s\theta_5, c\theta_5) \end{aligned} \quad (20)$$

여기서 $\kappa_1 = 2l_2(c_y - l_1 s\theta_1)$, $\kappa_2 = 2l_2(c_x - l_1 c\theta_1)$, $\kappa_3 = (c_x - l_1 c\theta_1)^2 + (c_y - l_1 s\theta_1)^2 + l_2^2 - l_3^2$이다.

유형 I의 식 (4)를 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} h_3 c\alpha_3 &= -(l_1 c\theta_1 + h_4 c\alpha_4 - h_2) \\ h_3 s\alpha_3 &= -(l_1 s\theta_1 + h_4 s\alpha_4) - h_1 \end{aligned} \quad (21)$$

위 식에 대하여 양변을 제곱하고 더하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} h_3^2 = {} & (l_1 c\theta_1 + h_4 c\alpha_4 - h_2)^2 \\ & + (l_1 s\theta_1 + h_4 s\alpha_4)^2 + h_1^2 \\ & + 2(l_1 s\theta_1 + h_4 s\alpha_4)h_1 \end{aligned} \quad (22)$$

위 식을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$h_1^2 + 2\kappa_{14}h_1 + \kappa_{15} = 0 \quad (23)$$

여기서 $\kappa_{14} = l_1 s\theta_1 + h_4 s\alpha_4$,
$\kappa_{15} = (l_1 c\theta_1 + h_4 c\alpha_4 - h_2)^2 + (l_1 s\theta_1 + h_4 s\alpha_4)^2 - h_3^2$이다. h_1은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$h_1 = -\kappa_{14} \pm \sqrt{\kappa_{14}^2 - \kappa_{15}} \quad (24)$$

여기서, 음의 부호는 Fig. 2의 초기형상과 대칭 형상이므로 양의 부호만을 해로 선택한다.

유형 II의 식 (12)를 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} h_3 c\alpha_3 &= -(l_1 c\theta_1 + l_2 c\theta_2 - h_2) \\ h_3 s\alpha_3 &= -(l_1 s\theta_1 + l_2 s\theta_2) - h_1 \end{aligned} \quad (25)$$

위 식에 대하여 양변을 제곱하고 더하면 다음과 같다.

$$h_3^2 = (l_1 c\theta_1 + l_2 c\theta_2 - h_2)^2 + (l_1 s\theta_1 + l_2 s\theta_2)^2 + h_1^2 + 2(l_1 s\theta_1 + l_2 s\theta_2)h_1 \quad (26)$$

위 식을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$h_1^2 + 2\kappa_{24}h_1 + \kappa_{25} = 0 \quad (27)$$

여기서 $\kappa_{24} = l_1 s\theta_1 + l_2 s\theta_2$,
$\kappa_{25} = (l_1 c\theta_1 + l_2 c\theta_2 - h_2)^2 + (l_1 s\theta_1 + l_2 s\theta_2)^2 - h_3^2$이다. h_1은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$h_1 = -\kappa_{P24} \pm \sqrt{\kappa_{P24}^2 - \kappa_{P25}} \quad (28)$$

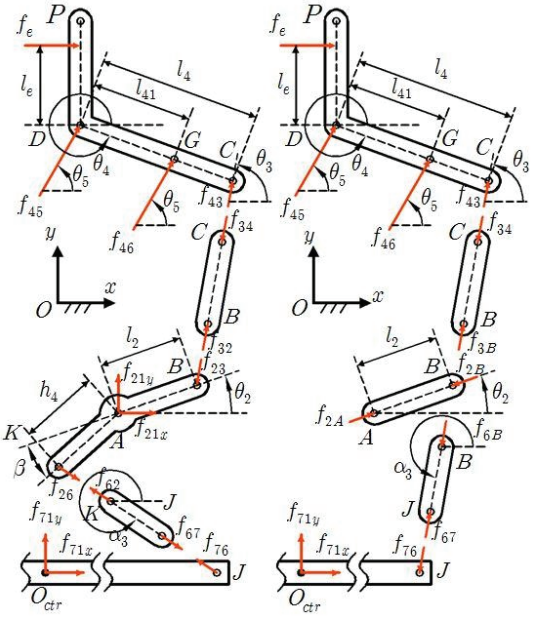
여기서, 음의 부호는 Fig. 2의 초기형상과 대칭 형상이므로 양의 부호만을 해로 선택한다.

4. 정역학

유형 I 및 유형 II에 대한 정역학 해석을 수행하고 그리퍼 메커니즘의 자유물체도(Free- Body Diagram, FBD)를 Fig. 3(a), Fig. 3(b)와 같이 나타낼 수 있다. 먼저 기존 연구의 그리퍼[14] 정역학 해석을 참고하여 f_{43}은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$f_{43} = \frac{f_e s\theta_5}{s(\theta_3 - \theta_5)} \quad (29)$$

유형 I의 경우 f_{26}은 다음과 같이 구한다. 단, $f_{23} = f_{43}$이다.



(a) Type I (b) Type II

Fig. 3 FBD of the two-type grippers

$$\sum T_A = -f_{43} l_2 s(\theta_3 - \theta_2) + f_{26} h_4 s(-\alpha_3 + \theta_2 + \beta) = 0 \quad (30)$$

$$f_{26} = \frac{f_{43} l_2 s(\theta_3 - \theta_2)}{h_4 s(-\alpha_3 + \theta_2 + \beta)} \quad (31)$$

f_{71x}과 f_{71y}은 다음과 같이 구한다. 단, $f_{76} = f_{26}$이다.

$$\sum F_x = f_{71x} - f_{26} c\alpha_3 = 0$$
$$\sum F_y = f_{71y} - f_{26} s\alpha_3 = 0 \quad (32)$$

$$f_{71x} = f_{26} c\alpha_3$$
$$f_{71y} = f_{26} s\alpha_3 \quad (33)$$

여기서 직선 구동기의 추력은 f_{71y}이다.

유형 II의 경우 f_{2B}와 f_{6B}는 다음과 같이 구한다. 단, $f_{3B} = f_{43}$이다.

$$\boldsymbol{f}_{3B}+\boldsymbol{f}_{2B}+\boldsymbol{f}_{6B}=0 \tag{34}$$

$$\begin{bmatrix} f_{2B} \\ f_{6B} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta_2 - c\alpha_3 \\ s\theta_2 - s\alpha_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} f_{43}c\theta_3 \\ f_{43}s\theta_3 \end{bmatrix} \tag{35}$$

f_{71x}과 직선 구동기 추력 f_{71y}은 다음과 같이 구한다. 단, $f_{76}=f_{6B}$이다.

$$\begin{aligned} \sum F_x &= f_{71x}+f_{6B}c\alpha_3=0 \\ \sum F_y &= f_{71y}+f_{6B}s\alpha_3=0 \end{aligned} \tag{36}$$

$$\begin{aligned} f_{71x} &= -f_{6B}c\alpha_3 \\ f_{71y} &= -f_{6B}s\alpha_3 \end{aligned} \tag{37}$$

5. 성능 분석 및 고찰

그리퍼 5절 기구의 치수설계는 기존 연구의 그리퍼 최적설계 결과[14]를 사용하였다. 한쪽 기준 45mm 스트로크(stroke)를 만족할 수 있도록 그리퍼 구동부 링크의 치수를 역기구학을 이용하여 결정하였다.

유형 I과 유형 II의 기구학적 치수는 각각 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 그리퍼 구동부의 직선 구동기는 삼익THK[15]사의 전조 볼나사인 MTF0601-3.7 (1mm pitch)로 선정하였다. Fig. 4는 파지력 $f_e=250\mathrm{N}$ 일정하게 작용할 때 p_x에 따른 직선 구동기의 추력 $|f_{71y}|$을 나타내는 그래프이다.

Fig. 4와 같이 p_x가 최대의 경우는 유형 I/II가 유사한 추력이 필요하나, p_x가 최소에서는 유형 I이 유형 II보다 최대추력이 작음을 알 수 있다. 따라서 p_x에 따라 최대추력 및 추력의 변화가 작은 유형 I 메커니즘을 시작품의 구동부 메커니즘으로 선정하였다.

Table 1. Kinematic parameters of type I
(θ_1, δ, β [deg] and others are in [mm])

Parameters	l_1	θ_1	l_p	l_2	l_3
Values	26	-50	38	26	47
Parameters	l_4	l_5	δ	h_2	h_3
Values	17	49	122	16	16
Parameters	h_4	β			
Values	16	25			

Table 2. Kinematic parameters of type II
(θ_1, δ, β [deg] and others are in [mm])

Parameters	l_1	θ_1	l_p	l_2	l_3
Values	26	-50	38	26	47
Parameters	l_4	l_5	δ	h_2	h_3
Values	17	49	122	20	30

Fig. 4는 한쪽 그리퍼 메커니즘에 250N의 파지력이 작용할 때에 직선 구동기의 필요한 추력을 나타내므로 양쪽 그리퍼 메커니즘에 250N의 파지력이 작용할 때는 Fig. 4의 추력의 2배가 됨을 알 수 있고 1mm pitch의 전조 볼나사를 구동하기 위한 모터의 토크는 Fig. 5와 같이 계산된다.

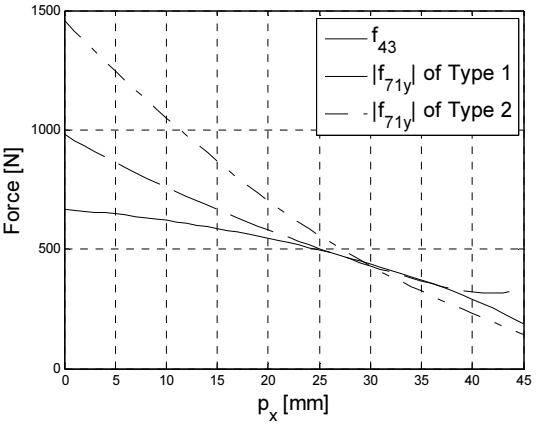


Fig. 4 Thrust force with respect to stroke for type I/II

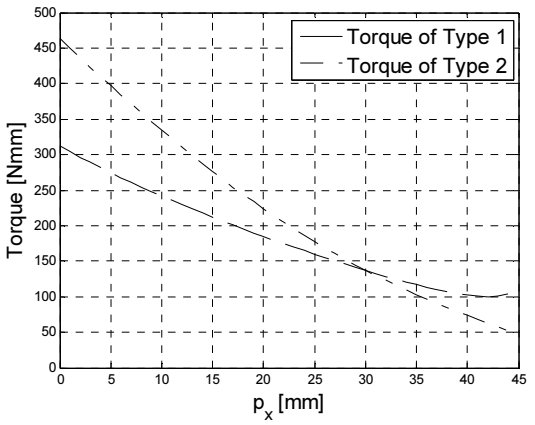


Fig. 5 Motor torque with respect to stroke for type I/II

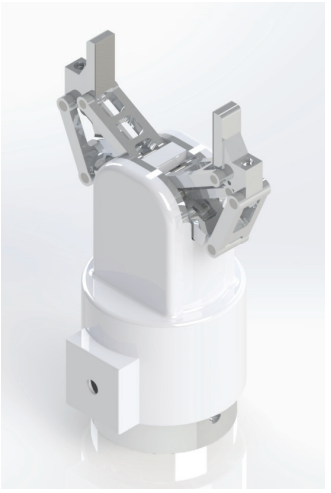


Fig. 6 3D modeling of the adaptive gripper with actuation type I

Fig. 6은 유형 I 구동부로 설계된 그리퍼 시작품의 3D 모델링을 나타낸다.

6. 결 론

본 논문에서는 단일 직선 구동형 적응형 그리퍼의 구동부 메커니즘, 해석방법 및 설계결과를 제시한다. 평행그립과 파워그립의 경우에 대한 정기구학, 역기구학 및 속도해석, 정역학을 유도하였다. 그리퍼 구동부 유형 I과 유형 II에 대하여 스트로크를 만족하는 구동링크의 치수설계를 제시하고 추력 f_{71y}를 비교하여 최대추력 및 추력의 변화가 작은 구동부 유형 I을 선정하였다. Fig. 4를 참조하면, 그리퍼의 x 위치가 증가할수록 주어진 파지력을 지지하기 위한 직선 구동기의 추력은 감소함을 알 수 있다. 즉, 같은 모터 토크가 작용하였을 때, x 위치가 증가할수록 파지력이 증가함을 알 수 있다. 따라서 제안하는 그리퍼는 질량이 큰 물체를 파지하기에 적합한 메커니즘임을 알 수 있다. 설계된 치수설계를 기반으로 시작품의 설계를 완료하였고 시작품 제작, 메커니즘의 작동성, 중심정밀도, 지능제어기 개발을 수행하고자 한다.

후 기

본 논문은 중소벤처기업부의 해외수요처연계기술개발사업(과제번호:G21S278506201)을 통해 개발된 성과이고 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

[1] Cherubini, A. Passama, R. Crosnier, A. Lasnier, A. Fraisse, P. 2016. Collaborative manufacturing with physical human.robot interaction, Robot. Comput. Integr. Manuf. Vol. 40, pp. 1-13.
[2] https://onrobot.com/ko/products/rg2-gripper
[3] Yifan Lu et al. 2019. A novel design of a parallel gripper actuated by a large-stroke shape memory alloy actuator, International Journal of Mechanical Sciences, pp. 74-80.
[4] S. Jacobsen, E. Iversen, D. Knutti, R. Jhonson,

and K. Biggers, 1986. Design of the Utah/MIT dextrous hand, Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 1520-1532.

[5] C. S. Loucks, V. C. Johnson, P. T. Boissiere, G. P. Starr, and J. P. H. Steele, 1987. Modeling and control of the Stanford/JPL hand, Proc. of IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, pp. 573-578.

[6] M. S. Ali, K. J. Kyriakopoulos, and H. E. Step-hanou, 1993. The kinematics of the Anthrobot-2 dextrous hand, Proc. of IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, pp. 705-710.

[7] Montambault, S. Gosselin, C. 2001. Analysis of Underactuated Mechanical Grippers, Transactions of the ASME, Vol. 123, pp. 367-374.

[8] Laliberte, T. Birglen, L. Gosselin, C. 2002. Underactuation in robotic grasping hands, Machine Intelligence & Robotic Control, Vol. 4, No. 3, 1–11.

[9] Manz, M. Bartsch, S. Simnofske, M. and Kirchner, F. 2016. Development of a Self-Adaptive Gripper and Implementation of a Gripping Reflex to Increase the Dynamic Payload Capacity, VDE Verlag GmbH, pp. 56-62

[10] Dubey, V. N. Crowder, R. M. 2004. Grasping and Control Issues in Adaptive End Effectors, ASME, pp. 1-9.

[11] Zhang, W. Chen, Q. Sun, Z. Zhao, D. 2003. Under-actuated passive adaptive grasp humanoid robot hand with control of grasping force, IEEE Imterational Conference on Robotics and Automation, pp. 696-701.

[12] Telegenov, K. Tlegenov, Y. Hussain, S. Shintemirov, A. 2015. Preliminary Design of a Three-Finger Underactuated Adaptive End Effector with a Breakaway Clutch Mechanism, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 27, No. 5, pp. 496-503

[13] C. Meijneke, G. A. Kragten, and M. Wisse, 2011. Design and performance assessment of an underactuated hand for industrial applications, Mechanical Sciences, Vol. 2, pp. 9-15.

[14] Kim, G. S. Kim, H. S. 2019. Study on the Design of a Novel Adaptive Gripper, Journal of the Korean Society of Industry Convergence, Vol. 22, No. 3, pp. 325-335.

[15] http://www.e-lmsystem.co.kr/index.jsp

(접수: 2020.02.24. 수정: 2020.03.30. 게재확정: 2020.04.03.)