

고열 단조부품 핸들링을 위한 로봇 그리퍼의 방위 및 포지션 정밀제어에 관한 연구

A Study on a Precise Control of Position and Orientation of Robot Gripper for Forming Parts Handling in High Temperature

정양근^{1*}, 김민성², 조상영², 원종범³, 원종대⁴, 한성현⁵

Yang-Keun Jeong¹, Mim-seong Kim², Sang-Young Jo², Jong-Beom Won³,
Jong-Dae Won⁴, Sung-Hyun Han⁵

〈Abstract〉

In this paper, we describe a new approach to control method of a four joints-robot gripper for the purpose of parts assembling. The robot gripper is specifically modeled by using a 3D CAD program (ANSYS), considering artificial grippers, and then the proposed control method is illustrated through the dynamic simulation tool (Adams). Each gripper finger is individually controlled to be located at the optimal positions where the maximal joint torque can be calculated. To verified the effectiveness of the proposed control method, we proposed two cases for the reference position of gripper. By comparing the control performance of two method, the performance of the proposed control method was verified.

*Keywords : Intelligent Gripper, Precise Control, Force Control,
Position and Orientation*

1* 정회원, 교신저자, 경남대 대학원 첨단공학과
(E-mail: shintech@hanmail.net)
2 정회원, 경남대학교 대학원 첨단공학과
3 정회원, (주)SMEC, 대표
4 정회원, (주)영창로보테크, 대표
5 정회원, 경남대학교 기계공학부 교수 工博

1* Corresponding Author, Dept. of Advance Engineering,
Kyungnam University
2 Dept. of Advance Engineering, Kyungnam University
3 CEO, SMEC co., Ltd.
4 CEO, Youngchang Robotech co., Ltd.
5 Prof., school of mechanical Engineering, Kyungnam
University, Ph. D.

1. 서 론

로봇 그리퍼 개발연구는 로봇틱스에서 중요한 이슈 중 하나이다. 재활 및 의료용 로봇 분야에서는 불의의 사고나 선천적 장애에 의해 손이 없는 사람을 위한 지능 그리퍼를 개발하는 연구가 활발히 진행 중이다. 사람손이 가지는 유연하고 섬세한 매니플레이션 기능을 로봇손으로 대체하기 위해서, 구동기 및 센서, 물체의 정밀/강력 파지를 위한 제어기법 그리고 구동 메커니즘, 인공지능 제어 및 햅틱 등 다양한 분야에서 연구가 활발히 이루어져 왔다. 그 중에서도 로봇손을 실제 사람의 손과 흡사한 물리적 특성을 가지도록 개발하는 것이 중요한 이슈가 되고 있다.

본 연구에서는 로봇 그리퍼의 효과적인 제어법에 대해서 논하고자 한다. 분산 구동 메커니즘을 내장한 로봇 핑거의 기구학적 해석 및 토크 최적화 문제를 다루고 있으며, 수치적 접근을 통해 토크의 증대 및 최적 이동자 위치를 확인한다. ANSYS 프로그램으로 로봇 그리퍼의 모델을 구축하고, 상용 동역학적 시뮬레이션 툴인 아담스(adams) 및 matlab 시뮬링크를 활용하여 제안된 제어기법을 검증하고자 한다.

2. 본 론

2.1. 메커니즘 설계

로봇 그리퍼에 내장된 분산 제어 메커니즘은 사람 손가락에 분포한 근육의 관찰 및 분석으로부터 제안되었다[1-3]. 그리퍼에는 무수히 많은 근육이 마디에 고르게 분포되어 있으며, 이로 인해서 핑거가 섬세하고 유연한 동작이 가능하다. 손가락 마디에 분포된 각각의 근육은 다수의 힘

의 작용점이 분산되어 있는 것으로 간주할 수 있다. 또한 고정된 관절 각에 대해서 이동자의 위치를 변경할 수 있는 이 메커니즘은 그리퍼의 분포된 근육들의 힘의 작용점이 연속적으로 분산된 것처럼 그리퍼 운동 시 그리퍼의 자세에 따라 최적의 성능을 얻을 수 있는 장점이 있다. 따라서 이러한 특징은 경량의 고출력 로봇 핸드 설계를 가능하게 해주는 중요한 요소이다.

ANSYS를 활용하여 설계한 분산 제어 메커니즘을 내장한 4링크-4관절의 로봇 그리퍼 모델이다. 분산구동 메커니즘을 내장한 로봇 핑거의 설계 시 중요하게 다루어야 하는 설계 변수에는 로봇 핑거의 총 길이, 부피, 무게, 이동자 및 각 관절의 운동 범위 등이 있다.

2.2 로봇 그리퍼 분석

(1) 운동학적 해석

우선, 로봇 핑거의 자세 제어기의 설계에 앞서, 피드백 제어를 위한 위치 센서의 고찰이 필요하다. Fig 1은 각 변수에 대해 로봇 핑거 한 관절을 도식화한 그림이다. 로봇 핑거의 고정된 자세에 대해서, 이동자의 위치는 구조적 여유도로 인해, 유일하게 결정되지 않으며, 각 관절의 관절각과 다음의 상관관계를 가진다.[1,2,3,4]

$$x'_{j2} = -x'_{j1} \cos \theta_j + \sqrt{-x'^2_{j1} \sin^2 \theta_j + c_j^2} \tag{1}$$

여기서

$$x_{j1}' = x_{j1} - h_{j1} \tan \frac{\theta_{j1}}{2}$$

$$x_{j2}' = x_{j2} - h_{j2} \tan \frac{\theta_{j2}}{2}$$

$j = 1, 2, 3$ 이다. 즉, 로봇 핑거의 자세가 주어지고, 이동자 $j1$ (j 관절의 slider 1)의 위치도 정해진다면, 식 (1)로부터 기하학적으로 이동자 $j2$ (j 관절의 slider 2)의 위치를 도출할 수 있다. 여기서 주의할 점은 이동자 각각의 위치를 측정한다면, 구속조건을 이용하여 관절각의 근사해 (approximated solution)을 구할 수 있지만, 엄밀해(exact solution)를 구할 수 없다는 점이다. 근사해의 경우, 반복 수치계산으로 인해 소비되는 계산량이 커지게 되므로, 로봇 핑거 각각의 변수를 빠르고 정확하게 측정하기 위해서는 관절각과 이동자 $j1$ 에 위치 센서를 장착하는 것이 더욱 바람직하다.[5,6]

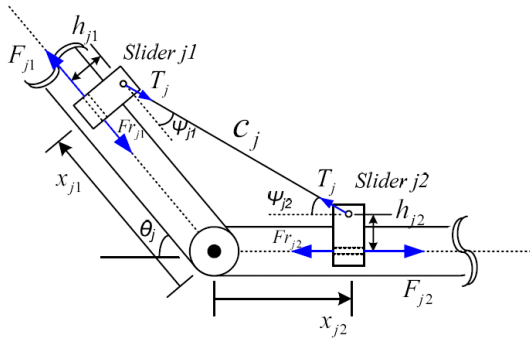


Fig. 1. Coordinated frame of gripper

(2) 토크 최적화 및 최적 이동자의 위치

이동자의 추력에 의해 로봇 핑거의 각 관절에 가해지는 토크를 유도하기에 앞서 문제의 복잡성을 피하기 위해, 다음의 가정을 고려하도록 한다.[7,8]

- 이동자 $j1$ 만 작동하며, 이동자 $j2$ 는 정지되어 있다.
- 각 이동자에 가해지는 마찰력은 쿨롱 마찰 모델을 따른다.

- 이동자는 천천히 움직인다.
- 위의 가정하에, 각 관절에 가해지는 토크를 유도하면, 다음과 같이 나타낼 수 있다.[2,3]

$$\tau_j = T_j(x_{j1}\sin\psi_{j1} + h_{j1}\cos\psi_{j1}) \quad (2)$$

(c)의 가정하에, 이동자의 관성력을 무시하면,

$$F_{j1} - \mu_{j1}T_j\sin\psi_{j1} - T_j\cos\psi_{j1} \approx 0 \quad (3)$$

식 (3)을 식 (2)에 대입하면 각 관절의 토크는 다음과 같이 유도된다.

$$\tau_j = F_{j1} \frac{x_{j1}\tan\psi_{j1} + h_{j1}}{1 + \mu_{j1}\tan\psi_{j1}} \quad (4)$$

여기서

$$\psi_{j1} = \tan^{-1} \left(\tan\theta_j \sqrt{\frac{c_j^2 - x_{j1}^2 \cos^2\theta_j}{c_j^2 + x_{j1}^2 \sin^2\theta_j}} \right)$$

이다.

만약 이동자의 추력이 주어질 경우, 식 (4)로부터 로봇 핑거의 각 관절의 토크는 다음과 같이 관절각과 이동자의 위치에 대한 함수로 표현할 수 있다.

$$\tau_j = f(\theta_j, x_{j1}) \quad (5)$$

따라서 식 (5)는 로봇핑거의 구조적 여유 자유도 및 분산구동 메커니즘의 영향을 잘 나타내고 있으며, 이러한 영향은 추가적인 설계변수를 제공해주는 역할을 한다. 로봇 핑거의 자세가 주어지는 경우, 다음과 같은 최적화 문제를 정의할 수 있다.

$$x_{j1}^* = \arg \max_{x_{j1} \in X_{all}} \|\tau_j(x_{j1})\| \quad (6)$$

여기서 X_{all} 은 이동자의 가능한 거리의 전체 집합이다

식 (6)에 정의된 최적화 문제를 통해서, 주어진 로봇 핑거의 자세 및 이동자의 추력에 대해서, 각 관절의 토크가 최대가 되도록 하는 이동자의 최적 위치를 얻을 수 있다.

3. 시뮬레이션

로봇 그리퍼의 말단의 목표지점(target position)이 정해지면, 로봇 핑거의 자세는 기하학적으로 다음의 관계식에 의해서 첫 번째 관절각(θ_1)의 함수로 나타낼 수 있다[9,10,11]

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{x_e - l_1 \sin \theta_1}{y_e - l_1 \cos \theta_1} \right) - \cos^{-1} \left(\frac{l_t^2 + l_2^2 - l_3^2}{2l_2 l_3} \right) - \theta_1 \quad (7)$$

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{l_t^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2 l_3} \right) \quad (8)$$

여기서

$$l_t = \sqrt{(x_e - l_1 \cos \theta_1)^2 + (y_e - l_1 \sin \theta_1)^2}$$

이다.

식 (7)과 식 (8)을 통해 주어진 목표지점에 대한 관절의 작동 범위를 구하면 다음과 같으며, 이를 Fig 2에 나타내었다.

$$\begin{aligned} 25.5^\circ < \theta_1 < 47.6^\circ, \\ 0^\circ < \theta_2 < 59.5^\circ, \\ 0^\circ < \theta_3 < 61.6^\circ \end{aligned}$$

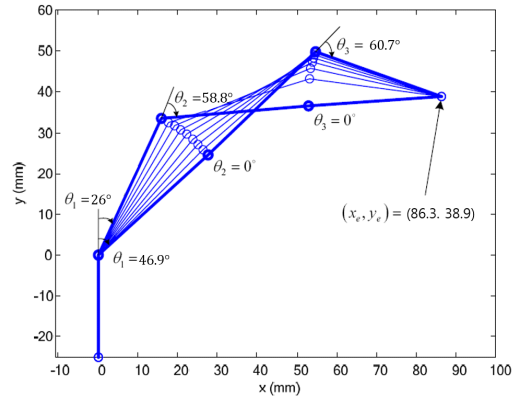


Fig. 2. Orientation of robot Gripper.

이러한 로봇 핑거의 자세 변화에 각 관절에서 생성되는 토크와 이동자의 최적 위치를 계산한 결과를 Fig 3와 Fig 4에 각각 나타내었다. 단, 해석의 간편화를 위해서 세 번째 관절에 대해서만 토크 변화를 나타내었다.

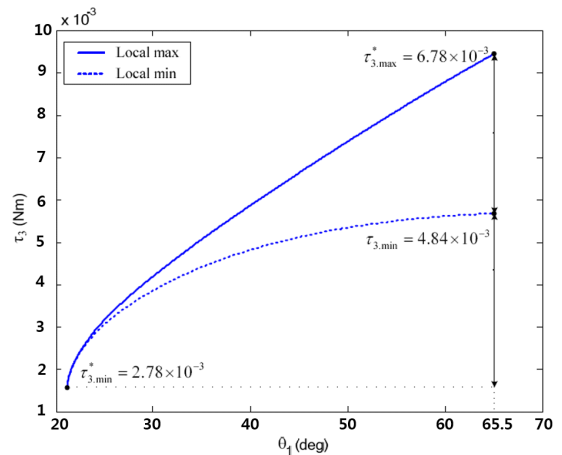


Fig. 3. Torque change due to gripper joint.

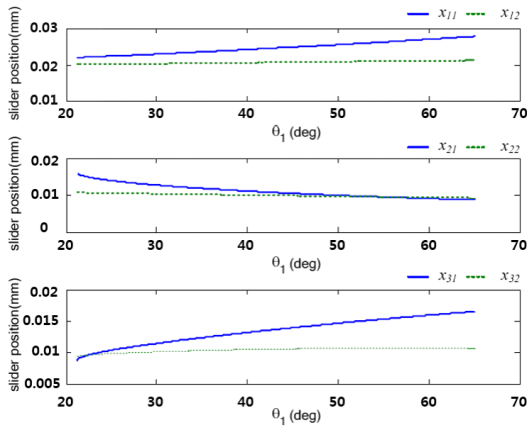


Fig. 4. Results due to joint angles.

4. 성능실험 및 고찰

로봇 그리퍼의 동적특성의 시뮬레이션을 통해, 그리퍼의 위치 조절이 제어성능에 미치는 효과를 검증하고자 Table 1과 같이 두가지로 고려하였다.

4.1 제어기 설계

본 연구에서 고려하는 로봇 그리퍼는 정해진 목표 지점에 대해서 자세 변경이 가능하고, 주어진 자세에 대해서도 이동자의 위치가 유일하게 결정되지 않는 여유 자유도의 설계변수를 가진다. 그리고 로봇 핑거의 제어 입력은 각 관절 당 4개씩 총4개가 필요하기 때문에, 토크 분배법 등의 다양한 자세 제어 방법을 생각할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 이동자의 위치가 로봇 핑거의 성능에 미치는 영향을 평가하는 것이 목표이며, 이를 위해서 이동자의 기준 경로를 추종할 수 있는 PI 제어기를 설계하였다. 각 관절당 2개의 제어 입력 중 하나는 로봇 그리퍼의 자세를 제어할 수 있도록 하며, 나머지 하나는 이동자의 최적 위치를 추종하도록 한다.

고정된 로봇 그리퍼 끝단의 목표 지점에 대해

서, 로봇 그리퍼의 자세를 이동시키면서 제어한 결과를 나타내었다. 토크 최적화 함수에 의해서 관절의 링크의 위치가 서로 다른 경우에 대해 다르게 나타남을 확인할 수 있으며, 이동자 및 관절각의 제어 성능은 각각의 경우 모두 유연하게 제어가 된 것을 확인할 수 있다.

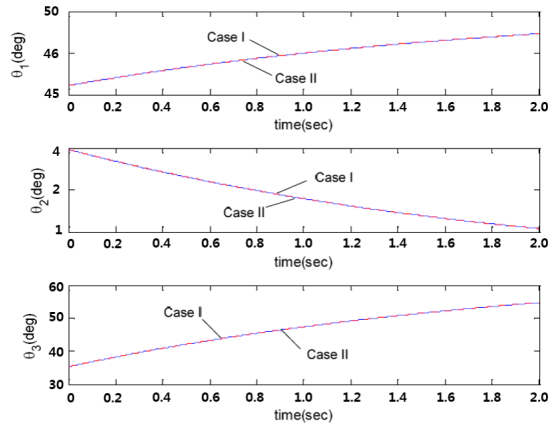


Fig. 5. Control results of joint angles.

5. 결론

본 연구에서는 4마디 4관절의 로봇 그리퍼의 플렉시블 제어방법을 연구하였다. 그리퍼 제어 및 구동 메커니즘은 로봇 그리퍼의 성능 향상을 위한 중요한 설계변수를 제공하기 때문에, 이동자의 자세 및 위치를 통해 최대 10개의 종류의 물건을 그리핑 할 수 있는 정도의 성능 향상을 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] L. E. Pezzin, T. R. Dillingham, E. J. MacKenzie, P. Ephraim, and P. Rossbach, "Use and satisfaction with prosthetic limb devices and related services," *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 85, pp. 368-375, 2004.
- [2] C. Cipriani, M. Controzzi, F. Vecchi, and M. C. Carrozza, "Embedded hardware architecture based on microcontrollers for the action and perception of a transradial prosthesis," *Proc. of the 2nd Biennial IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics Scottsdale*, pp. 848-853, 2008.
- [3] Y. J. Shin, K.-S. Kim, and S. Kim, "Application of sliding actuation mechanism to robot finger," 2009 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 550-553, 2009.
- [4] Y. J. Shin and K.-S. Kim, "Distributed actuation mechanism for a finger-type manipulator: theory & experiments," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 26, no. 3, pp. 569-575, June 2010.
- [5] Y. J. Shin, K.-S. Kim, and S. Kim, "BLDC motor driven robot finger design using the sliding actuation principle," *International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems & Robotics, Automation and Mechatronics*, pp. 550-553, 2010.
- [6] S. Kock and W. Schumacher, "A parallel x-y manipulator with actuation redundancy for high-speed and active-stiffness application," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 3, pp. 2295-2300, 1998.
- [7] T. Maeno and T. Hino, "Miniature five-fingered robot hand driven by shape memory alloy actuators," *Proc. of the 12th IASTED International Conference Robotics and Applications*, pp. 174-179, 2006.
- [8] R. Balasubramanian and Y. Matsuoka, "Biological stiffness control strategies for the ACT (Anatomically Correct Testbed) hand," *Proc. of 2008 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, pp. 737-742, 2008.
- [9] J. B. Rosmarin and H. H. Asada, "Synergistic design of a humanoid hand with hybrid DC motor sma array actuators embedded in the palm," 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 773-778, 2008.
- [10] N. Tsujiuchi, T. Koizumi, S. Nishino, Hiroyuki Komatsubara, T. Kudawara, and M. Hirano, "Development of pneumatic robot hand and construction of master-slave system," *Journal of system design and dynamics*, vol. 2, no. 6, pp. 1306-1315, 2008.
- [11] N. H. Chuc, J. K. Park, N. H. L. Vuong, D. Kim, J. C. Koo, Y. Lee, J.-D. Nam, and H. R. Choi, "Multi-jointed robot finger driven by artificial muscle

actuator,”2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 587-592, 2009.

- [12] V. Bundhoo, E. Haslam, B. B. Birch, and E. J. Park, “A shape memory alloy-based tendon-driven actuation system for biomimetic artificial fingers, part I: design and evaluation,”. *Robotica*, vol. 27, pp. 131-146, 2009.

(접수:2016.05.13. 수정:2016.05.25.개제확정:2016.06.10.)