

## 팁을 갖는 4 링크 메커니즘의 효용성

### Effectiveness of a Four-Link Mechanism with a Tip

김병호

경성대학교 전기전자메카트로닉스공학부 생체모방제어 및 로봇 연구실  
E-mail: kimbh@ks.ac.kr

#### Abstract

This paper presents an effectiveness of a four-link mechanism with a tip which has four joints, but only one is an active joint. Even though the degree-of-freedom of the mechanism is one, it can be applied to implement a combined joint motion adequately. So, this paper analyzes its motion for effective robotic applications.

**Key Words** : four-link mechanism, combined joint motion, effective robotic applications

#### 1. 서론

최근에 국내에서도 인간형 로봇이나 가정용 및 공공 안내용 로봇이 그림 1과 같이 다양하게 등장하고 있다 [1]-[3].

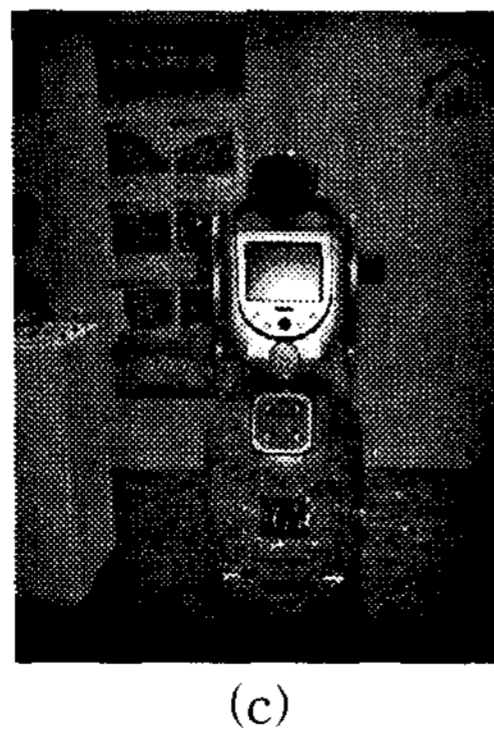
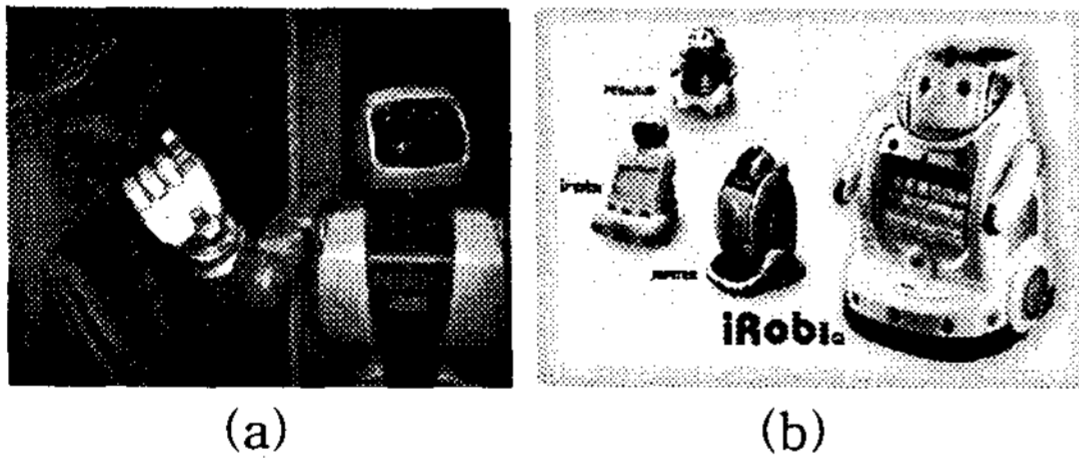


그림 1. 지능로봇: (a) Hubo 로봇, (b) 가정용 로봇, (c) 공공 안내용 로봇












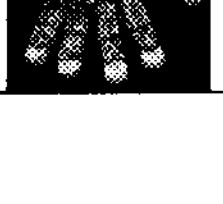
Fig. 1. Intelligent robots: (a) Hubo robot, (b) home robots, (c) a public service robot

어떤 지능로봇이 일반적인 물체를 파지하여 이동시키거나 조작하여 조립하는 등의 일상적인 작업을 수행하기 위해서는 다지 다 관절 손과 같은 조작 메커니즘이 매우 중요한 역할을 한다. 따라서 로봇 손 및 손가락에 관한 메커니즘이나 관련된 센서 및 신호처리, 제어 알고리즘 등에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며, H/W 및 S/W적으로 괄목할 만한 연구 성과가 이루어지고 있다 [4]-[8]. 특히, 인간형 로봇을 위한 손이나 의수의 개발을 목표로 할 경우에는 기본적으로 인간 손의 동작 메커니즘이나 관절의 운동특성에 관한 연구를 통하여 인간이 활용하고 있는 다양한 손 동작의 특징이나 장점을 모방하기 위한 다각적인 시도가 진행되고 있다 [9]-[13].

일반적으로 다지 손에 의한 물체의 조작행위는 각 손가락의 운동에 의하여 결정되기 때문에 각 손가락의 크기나 운동영역 및 관절 구동 메커니즘에 따라 구현 가능한 성능이 달라질 수 있다. 또한, 다지 손에 의한 물체의 조작을 보다 효과적으로 수행하기 위하여 물체의 조작에 참여하고 있는 각 손가락의 운동이 원활할 수 있도록 관절공간에서의 기구학적인 조합(kinematic combination)을 결정하는 문제도 매우 중요하다 [14].

본 논문에서는 현재까지 개발된 다양한 로봇 손의 개발 사례를 통하여 전반적인 로봇 손 메커니즘의 특징을 살펴본 다음, 로봇 손가락의 효과적인 관절 구동을 위한 팁을 갖는 4 링크

표 1. 주요 로봇 손 연구개발 사례 및 특징

관절구동 방식	로봇 손 이름	연구 기관	년도	기본구성 및 특징			사진
				손가락수 (관절수)	자유도	Actuator Type	
Tendons or Cables Driven by Remote Actuators	Utah/MIT hand	Utah 대학, USA	1984	4(16)	16	Pneumatic actuators	
	Stanford/JPL hand	Stanford 대학, USA	1987	3(9)	9	DC motors	
	Anthrobot-2 hand	Rensselaer 대학, USA	1993	5(20)	16	Servomotors	
	DIST hand	Genova 대학, Italy	1998	4(16)	16	DC motors	
	Robonaut hand	Nasa, USA	1999	5(12)	12	Brushless DC motors	
Belts/ Remote Actuators	DLR hand II	DLR, IORM, Germany	2001	4(16)	9	Brushless DC motors	
Direct or Semi-Direct Drive Actuators	Direct-Drive hand	New York 대학, USA	1995	5(15)	15	Miniature direct drive actuators	
	KIST hand	KIST, Korea	2000	4(15)	15	Built-in Ultrasonic motors	
	Gifu hand II	Gifu 대학, Japan	2002	5(20)	15	Built-in Servomotors	
	POSTECH hand 5	POSTECH, Korea	2004	3(12)	12	DC motors	
	NAIST hand	NAIST, Japan	2005	4(16)	12	DC motors	
	Keio hand	Keio 대학, Japan	2005	5(20)	20	Built-in Ultrasonic motors	

메커니즘을 제시하며, 이 메커니즘의 효용성을 분석하고자 한다.

## 2. 로봇 손 연구개발 사례 및 특징

다지 다 관절 손에 관한 연구는 지능형 서비스 로봇이나 인간형 로봇의 성능을 보다 구체화할 수 있는 필수적인 분야이기 때문에 다양

한 연구그룹에서 활발히 진행되었는데, 이러한 연구내용을 기구학적인 관점과 관절구동방식의 관점에서 대표적으로 분류하면, 표 1과 같이 정리할 수 있다 [15].

표 1에서 보는 바와 같이, 기존의 로봇 손 연구개발 사례를 통하여 다음과 같은 특징을 확인할 수 있다. 건이나 벨트를 이용하는 경우

에는 장착 및 유지보수의 용이성이 중요한 과제이고, 직접구동의 경우에는 상대적으로 로봇 손 안에 구동기(actuator)를 포함해야 하기 때문에 전체적인 손의 크기가 커지는 문제가 있다. 즉, 초기에 손을 정확하게 실장하기가 쉽지 않을 뿐만 아니라, 장시간 사용에 따른 손의 변형으로 인하여 정밀하게 제어하기가 어려운 점을 고려하면, 직접구동방식을 채택하는 것이 제어성능개선 측면에 있어서 유리하다고 할 수 있는데, 이러한 목적을 달성하기 위해서는 보다 소형화된 구동기 개발이 필수적임을 알 수 있다. 예를 들면, 현재 한국과학기술연구원(KIST) 등에서 활발하게 연구되고 있는 초음파 모터(ultrasonic motors)는 보다 소형화가 가능하다면, 이러한 목적으로 용이하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다 [16][17].

한편, 생체모방측면에서 로봇 손가락 구동 메커니즘을 구현하기 위한 연구도 매우 괄목할 만하다 [18]-[20].

### 3. 팁을 갖는 4 링크 메커니즘

본 논문에서 제시하고자 하는 팁을 갖는 4 링크 메커니즘은 인간의 손가락 운동을 모방하여 로봇 손가락의 관절 구동을 효과적으로 달성하기 위한 하나의 모델로서 고려하기 위한 것이다.

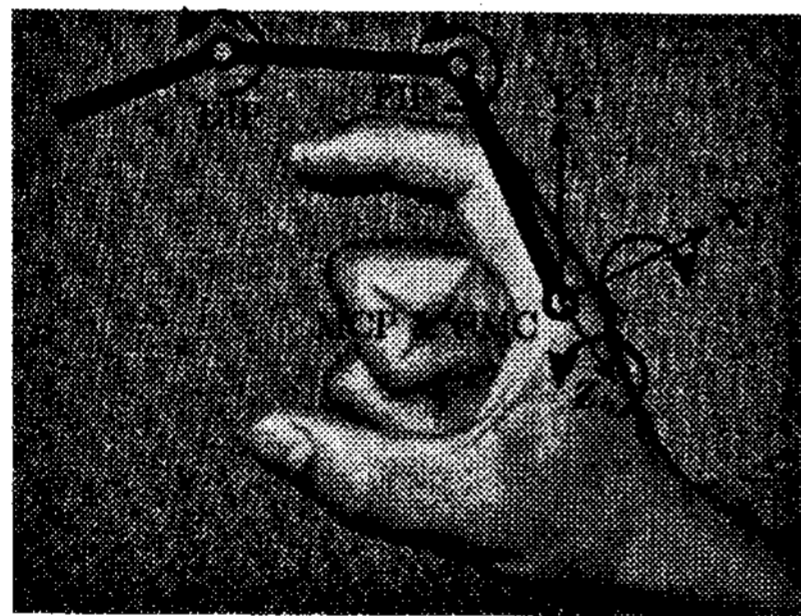


그림 2. 인간의 검지 손가락의 기구학적 모델  
Fig. 2. A kinematic model of human index finger

인간의 검지 손가락은 기구학적인 측면에서 그림 2와 같이 모델링할 수 있다 [19]. 여기서, 원위지절간(DIP, Distal InterPhalangeal) 관절의 운동은 근위지절(PIP, Proximal InterPhalangeal)관절의 동작에 의해 의존적으로 결정될 수 있고, 이러한 특성은 로봇 손가락의 2 자유도 평면운동에서 보다 유연한 파지영역을 확보하는데 유용하게 이용될 수 있다 [13].

따라서 본 논문에서는 이러한 특성을 기구학적으로 달성하기 위한 하나의 방법으로서 그림 3과 같은 손가락 관절 구동 메커니즘을 제시한다.

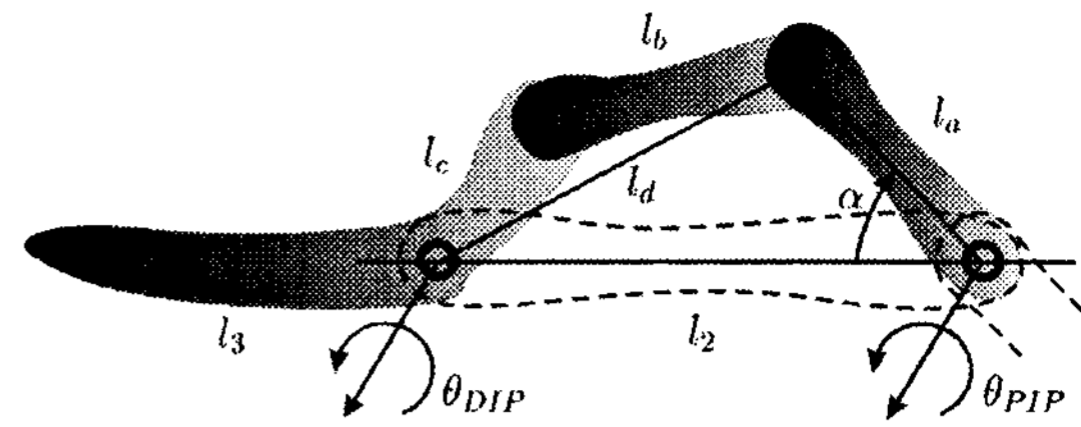


그림 3. 팁을 갖는 4 링크 메커니즘  
Fig. 3. A four-link Mechanism with a tip

그림 3에서 DIP관절과 PIP관절간의 운동은 다음과 같이 결정될 수 있다.

$$\theta_{DIP} = \lambda \theta_{PIP} \quad (1)$$

여기서,  $\lambda$ 는 인간의 검지 손가락 모델링으로부터 값이 결정될 수 있고, 범위는 사람에 따라 다를 수 있지만, 대략 0과 1사이값(0.3~0.7)으로 설정될 수 있다.

그러면, 식 (1)에서 비례상수  $\lambda$ 를 기구학적으로 결정하는 방법이 요구되는데, 두 관절간의 속도 관계식으로부터 다음과 같이 설정될 수 있다.

$$\lambda = \left( \frac{l_c \sin \alpha - l_2}{l_c \sin \alpha} \right) \left( \frac{l_a}{l_2 - l_a} \right) \quad (2)$$

여기서

$$\alpha = \sin^{-1} \left\{ \left( \frac{1}{2l_a \sqrt{l_2^2 + l_c^2}} \right) (l_2^2 + l_a^2 + l_c^2 - l_b^2) \right\} - \cos^{-1} \left( \frac{l_2}{\sqrt{l_2^2 + l_c^2}} \right)$$

또한, 식 (1)에서  $\lambda$ 는 양수이고, 손가락 관절의 운동성과 관련하여 두 관절의 운동방향성이 일치되기 위해서는 다음과 같은 제약조건을 모두 만족하도록 손가락의 링크 길이를 결정하여야 한다.

$$l_2 > l_a \quad (3)$$

$$0 < l_d < l_a + l_2 \quad (4)$$

$$0 < l_d < l_b + l_c \quad (5)$$

결국, 식 (2)~(5)로부터, DIP관절과 PIP관절간의 운동비  $\lambda$ 는 각 링크 파라미터의 값을 적절히 조정하여 설정하는 것이 가능함을 확인할 수 있다.

결과적으로, 그림 3에 제시한 메커니즘은 생체모방에 근거한 로봇 손가락의 PIP 관절과 DIP 관절간의 운동 메커니즘으로 활용하기 위한 하나의 모델이 될 수 있으며, 식 (2)에 나타난 조건식은 로봇 손가락 관절 구동 메커니즘의 설계에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

### 4. 결론

본 논문에서는 로봇 손가락의 관절을 보다

효과적으로 구동하기 위한 틱을 갖는 4링크 메커니즘을 제안하였고, 이 메커니즘의 기구학적 운동관계식을 제시하였다. 제안한 관절 운동 메커니즘은 인간의 손가락 운동을 모방하여 구현할 필요가 있는 인간형 로봇이나 서비스 로봇 및 의수의 손가락을 위하여 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 또한, 제시된 기구학적 운동관계식은 로봇 손가락 메커니즘의 효율적인 설계에 이용될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- [1] I.-W. Park, J.-Y. Kim, J. Lee, and J.-H. Oh, "Mechanical design of the humanoid robot platform, HUBO," *Advanced Robotics*, vol. 21, no. 11, pp. 1-15, 2007.
- [2] Yujinrobot, <http://www.yujinrobot.com>.
- [3] Robotech, <http://www.robotech.co.kr>.
- [4] K. Hirai, M. Hirose, Y. Haikawa, and T. Takenaka, "The development of Honda humanoid robot," *Proc. of IEEE Int Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1321-1326, 1998.
- [5] S. Jacobsen, E. Iversen, D. Knutti, R. Jhonson, and K. Biggers, "Design of the Utah/MIT dextrous hand," *Proc. 1986 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1520-1532, 1986.
- [6] C. S. Lovchik and M. A. Diftler, "The Robonaut Hand: A dextrous robot hand for space," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 907-912, 1999.
- [7] J. L. Pons, R. Ceres, and F. Pfeiffer, "Multifingered dextrous robotics hand design and control: a review," *Robotica*, vol. 17, pp. 661-674, 1999.
- [8] J. Butterfass, M. Grebenstein, H. Liu, and G. Hirzinger, "DLR-Hand II: Next generation of dextrous robot hand," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 109-114, 2001.
- [9] M. R. Cutkosky, "On grasp choice, grasp models, and the design of hands for manufacturing tasks," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 5, no. 3, pp. 269-279, 1989.
- [10] T. Iberall, "Human prehension and dextrous robot hands," *Int. Jour. of Robotics Research*, vol. 16, no. 3, pp. 285-299, 1997.
- [11] B. Massa, S. Roccella, M. C. Carrozza, and P. Dario, "Design and development of an underactuated prosthetic hand," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 3374-3379, 2002.
- [12] B.-H. Kim, "A joint motion planning based on a bio-mimetic approach for human-like finger motion," *Int. Jour. of Control, Automation, and Systems*, vol. 4, no. 2, pp. 217-226, 2006.
- [13] B.-H. Kim, "A study on characteristics of inter-articular coordination of human fingers for robotic hands," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, vol. 23, no. 7, pp. 67-75, 2006.
- [14] B.-H. Kim, "Neural-learning based inverse kinematics of a robotic finger," *Journal of Korean Fuzzy Logic and Intelligent Systems Society*, vol. 17, no. 7, pp. 862-868, 2007.
- [15] B.-H. Kim, "Research on driving mechanisms of robotic hands," *Journal of Research Institute of Engineering & Technology, Kyungsoong University*, vol. 14, no. 12, pp. 47-54, 2007.
- [16] B.-H. Kim, S.-R. Oh, B.-J. You, I. H. Suh, and H.-R. Choi, "Development of a new multi-fingered robot hand using ultrasonic motors and its control system," *Jour. of Control, Automation and Systems Engineering*, vol. 6, no. 4, pp. 327-332, 2000.
- [17] I. Yamano and T. Maeno, "Five-fingered robot hand using ultrasonic motors and elastic elements," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2684-2689, 2005.
- [18] K. A. Farry, I. D. Walker, and R. G. Baraniuk, "Myoelectric teleoperation of a complex robotic hand," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 12, no. 5, 1996.
- [19] M. Nordin and V. H. Frankel, *Basic biomechanics of the musculoskeletal system*, Lippincott Williams & Wilkins press, pp. 358-387, 2001.
- [20] L. Y. Chang and Y. Matsuoka, "A kinematic thumb model for the ACT hand," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1000-1005, 2006.