

# 초음파 모터를 이용한 다지 다관절 로봇 손 및 제어시스템 개발

## Development of a Robot Hand using Ultrasonic Motors and Its Control system

김 병호<sup>†\*</sup>, 최 혁렬<sup>°</sup>, 오 상록<sup>†</sup>, 유 범재<sup>†</sup>, 서 일홍<sup>†</sup>, 이 중원<sup>†</sup>

† : 한국과학기술연구원 정보전자연구부 (Tel.: (02)958-5748, Fax.: (02)958-5709)

‡ : 한양대학교 전자공학과 (Tel.: (0345)408-5802, Fax.: (0345)408-5803)

° : 성균관대학교 기계공학부 (Tel.: (0331)290-7449, Fax.: (0331)295-1937)

### Abstract

A robotic hand using ultrasonic motors and its control system is developed. It has four fingers and fifteen articulated joints. The distal joint of each finger is directly driven by ultrasonic motor and all joints except the distal joint has low transmission gear mechanism with the motor. The designed robotic hand has several advantages such as a compact size compared to the hand using conventional dc motors and good control performances compared to the hand using tendons to drive joints. A VME-bus based hand control system and ultrasonic motor driver are also developed and the designed hand is now being tested in real-time by using developed control system.

**Keyword** : *Robotic Hand, Ultrasonic Motors*

### 1. 서론

최근 로봇 분야의 연구 방향이 산업용 로봇에서 서비스 로봇으로 발전되어 가면서 다양한 기능을 효과적으로 수행할 수 있는 로봇 손에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1]-[5]. 이러한 연구의 핵심은 로봇 손의 기구학적인 문제와 유연한 구동방식에 관한 연구 및 실시간 제어가 가능하도록 설계한 제어시스템 구축으로 분류해 볼 수 있다.

기존의 연구 결과를 살펴 보면, Jacobsen [1] 등은 4 개의 손가락을 갖는 Utah/MIT hand 를 개발하였는데, 각 손가락은 공압 실린더에 의해 구동되는 텐던(tendon)을 이용하여 독립적으로 제어되며, 4 개의 관절로 구성되어 있다. Loucks [2] 등에 의해 개발된 Stanford/JPL hand 는 로봇 손의 전반부에 장착한 구동 메카니즘(mechanism)에 연결된 텐던을 이용하여 각 관절이 구동된다. 이 로봇 손은 3 개의 손가락을 갖고 있고, 각 손가락은 3 개의 관절로 구성되어 있다. Anthrobot-2 Hand [3] 는 5 개의 손가락을 갖는 로봇

손으로서, 각 손가락은 텐던 시스템을 통한 서보 모터에 의해 구동되는 4 개의 관절로 구성되어 있다. Toshiba Hand [4] 는 4 개의 손가락을 갖고 있는데, 각 손가락은 서보 모터에 연결된 선(wire-driven)에 의해 구동되는 4 개의 관절로 구성되어 있다. Barrett Hand [5] 는 텐던 구동 방식의 3 지 로봇 손으로서, 단지 4 개의 모터에 연결된 텐던을 이용하여 전체 7 개의 관절을 구동하기 때문에 손의 운동에 있어서 제한이 따른다. 이러한 기존의 다지 로봇 손은 텐던 메카니즘을 근거로 개발되었기 때문에 구동원(actuator)을 포함한 로봇 손의 전체적인 시스템이 크게 되고, 초기에 텐던을 정확하게 실장하기가 쉽지 않을 뿐만 아니라, 장 시간 사용에 따른 텐던의 변형으로 인하여 정밀하게 제어하기가 어렵다. 최근에는 모터를 로봇 손가락의 관절에 직간접으로 부착하여 기존의 성능을 개선하기 위한 연구가 진행되고 있다[6].

본 논문에서는 기존의 방식이 안고 있는 문제점을 개선하기 위하여 구동원을 손가락 관절에 장착한 형태의 로봇 손을 개발하였다. 개발한 로봇 손은 4 지 15 관절의 반 직접구동형(semi-direct)으로서 관절 구동원을 손가락 내부에 포함시킨 구조로 설계되었고, 구동원으로는 초음파 모터를 이용한 것이 특징이다. 또한 이 로봇 손의 각 손가락 끝관절(distal joint)은 초음파 모터에 의해 직접 구동되며, 나머지 관절은 저 감속비에 의한 기어메카니즘에 의해 힘 전달비를 조절하였다. 그리고 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 이용한 다축 초음파 구동기를 새롭게 설계하여 VME-bus 를 기반으로 한 실시간 제어시스템을 구축하였다. 이러한 연구결과는 추후 유연한 로봇 손의 개발 및 제어에 관한 연구에 이용될 수 있다.

### 2. 로봇 손의 구조 및 기구학적 특징

개발한 로봇 손은 인간의 손 모양을 모델로 하여 설계하였고, 4 개의 손가락, 15 관절로 구성이 되어 있으며, 그 형상은 그림 1 과 같다. 그림 2 (a), (b), (c)

에는 로봇 손가락의 관절구성 및 기구학적 운동개념을 나타내었다. 여기서, 각 손가락의 자유도는 표 1에 제시하였다.

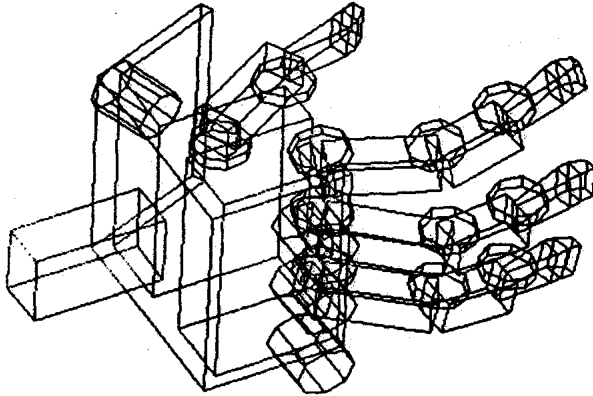


그림 1: 로봇 손의 형상  
Fig. 1: Form of the robot hand

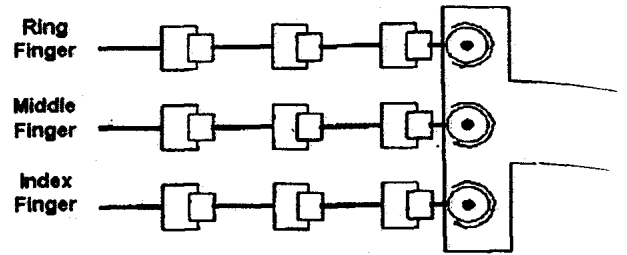
표 1: 로봇 손의 자유도  
Table 1: D.O.F of the robot hand

Items	Flexion -Extension	Adduction -Abduction
엄지(Thumb)	2	1
검지(Index finger)	3	1
중지(Middle finger)	3	1
약지(Ring finger)	3	1

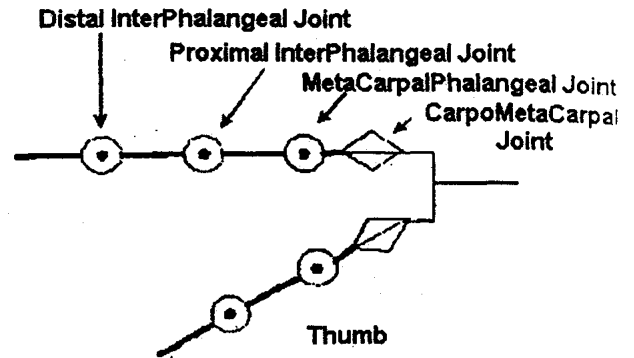
개발한 로봇 손의 각 손가락의 운동범위는 그림 3(a), (b)에서 보는 바와 같이, 각 손가락의 상하방향 운동(Flexion & Extension)은 서로 다른 운동범위를 갖도록 하였고, 또한 좌우방향의 운동(Adduction & Abduction)은 상호 대칭이 되도록 설계하였다. 그리고 각 손가락 마디의 길이는 그림 2(c)를 참조하여 표 2에 제시하였다.

표 2: 로봇 손의 링크 파라미터  
Table 2: Link parameters of the robot hand

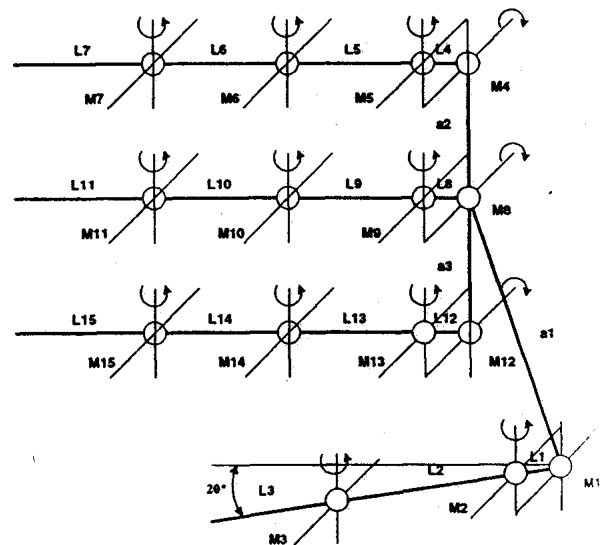
Link	Length(mm)
L1, L4, L8, L12	7
L2	62
L3, L7, L11, L15	35
L5, L9, L13	56
L6, L10, L14	41
a1	80
a2, a3	45



(a)

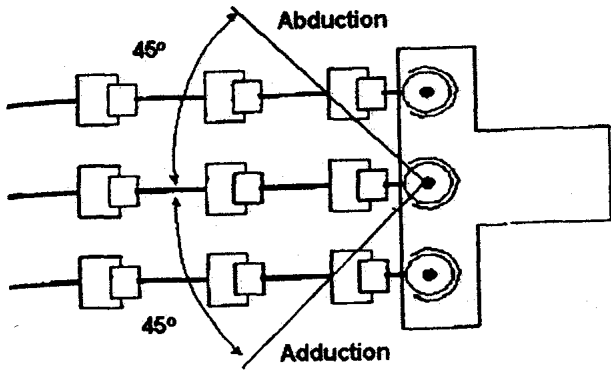


(b)

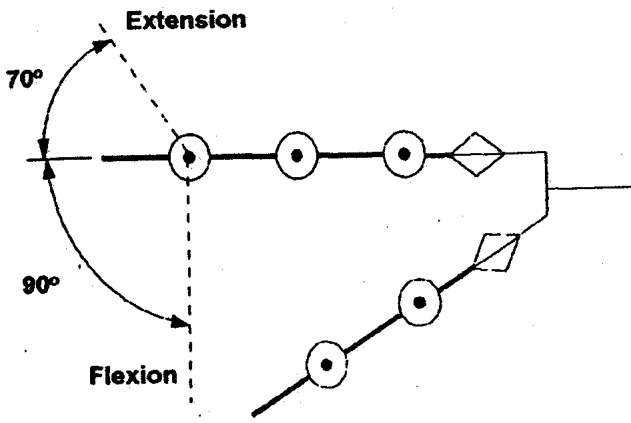


(c)

그림 2: 로봇 손의 운동개념도  
(a) 윗면도 (b) 측면도 (c) 기구학적 운동방향  
Fig. 2: Configuration of the robot hand  
(a) Top view (b) Side view (c) Motion of joints



(a)



(b)

그림 3: 로봇 손가락의 운동범위  
(a) 좌우방향 운동 (b) 상하방향 운동

Fig. 3: Dynamic range of each finger of the robot hand  
(a) Abduction-Adduction (b) Extension-Flexion

### 3. 로봇 손의 구동 메카니즘

개발한 로봇 손은 각 관절의 구동원으로서 초음파 모터를 이용한 것과 반 직접(semi-direct) 구동방식이 특징이다. 초음파 모터는 초음파 진동에너지를 이용하여 모터의 회전자와 고정자의 마찰력을 회전력으로 변환시키는 새로운 형태의 모터로서, 크기 대 토오크 비가 크고, 중량이 가벼우며, 자계의 영향을 받지 않는 등의 장점을 갖고 있다[8].

개발한 로봇 손은 동력전달계의 손실을 최대한 줄이기 위하여 각 손가락의 끝관절(distal joint)은 직접 구동이 되도록 하였고, 나머지 관절은 모터와 저 감속비의 기어 메카니즘(gear mechanism)을 혼용한 반 직접방식으로 설계되었다. 여기서, 감속기는 평기어(spur gear)를 사용하였고, 각 관절의 동력전달비는 표 3에 제시하였다.

개발한 로봇 손에 사용된 초음파 모터는 일본 신성공업사의 USR30-B3 모델이며, 주요 사양은 표 4에

제시하였다. 그리고 위치제어를 목적으로 각 관절에 위치센서(potentiometer, FCP12A)를 부착하였다.

표 3: 로봇 손의 동력전달비

Table 3: Power transmission ratio of the robot hand

Items	DIP	PIP	MCP	CMC
Thumb	1:1	-	9:1	2:1
Index finger	1:1	3:1	9:1	2:1
Middle finger	1:1	3:1	9:1	2:1
Ring finger	1:1	3:1	9:1	2:1

\* DIP(Distal InterPhalangeal joint),  
PIP(Proximal InterPhalangeal joint),  
MCP(MetaCarpalPhalangeal joint),  
CMC(CarpoMetaCarpal joint)

표 4: 초음파 모터(USR30-B3)의 사양  
Table 4: Specification of Ultrasonic Motor (USR30-B3)

Items	Specification
구동 주파수	50 KHz
구동 전압	110 Vrms
정격 토오크	0.05 Nm(0.5 KgfcM)
최대 토오크	0.1 Nm(1.0 KgfcM)
정지 토오크	0.1 Nm(1.0 KgfcM)
정격 출력	1.3 W
정격 회전수	250 rpm
회전 방향	CW, CCW
응답성	1 msec 이하
중량	20 g

### 4. 제어 시스템 설계

로봇 손의 제어를 위한 제어 시스템은 시스템의 확장성을 고려하여 VME-bus를 기반으로 설계하였고, 실시간 멀티태스킹(multi-tasking)을 위하여 Vx-Works 실시간 운영체제를 이용하였으며, 그 구성은 그림 4와 같다. 여기서, 초음파 모터 구동기는 Kato [7] 등이 제안한 위상차를 이용한 제어 개념을 근거로, FPGA를 이용하여 4축 구동이 가능하도록 새롭게 설계하였다. 이러한 제어시스템은 초음파 모터 구동 보드를 병렬로 추가함에 의해 두 개 이상의 초음파 모터를 이용한 로봇 손의 제어가 가능하다.

### 5. 결론

본 논문에서는 초음파 모터를 이용한 새로운 형태의 로봇 손과 이를 제어하기 위한 제어시스템을 개발하였다. 개발한 로봇 손은 초음파 모터를 구동원으로 이용한 것으로서, 구동원과 기어를 혼용한 형태의 반

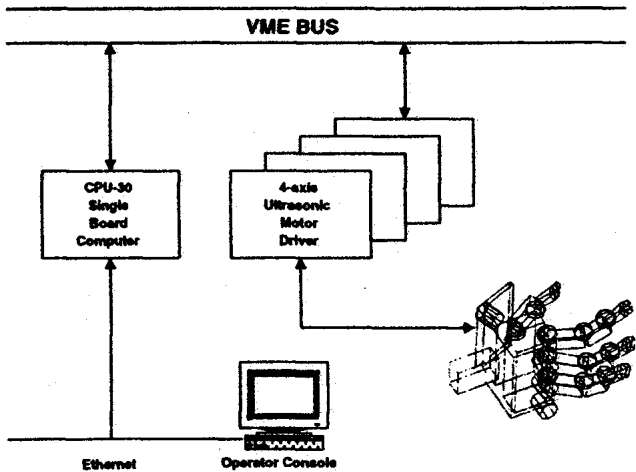


그림 4: VME-bus 를 기반으로 한 로봇 손 제어시스템  
Fig. 4: VME-bus based robot hand control system

직접 구동방식을 채택하였기 때문에, 기존의 직류모터를 이용한 경우나 텐던(tendon) 방식에 의한 로봇손의 경우보다 간단한 구조를 갖고 있을 뿐만 아니라, 제어성을 한층 더 개선할 수 있으며, 분해 및 조립에 의한 수리(maintenance)가 용이한 장점이 있다. 또한 개발한 제어시스템은 확장성이 용이하기 때문에 두대 이상의 로봇 손을 위한 제어장치 개발에 응용이 가능하다.

개발된 로봇 손 및 제어시스템은 현재 성능측정중에 있으며, 추가적으로 손가락의 기구적인 모양새 보완과 구동 방법, 그리고 힘 센서나 접촉센서를 고려한 제어(sensor-based control) 등에 관한 연구를 수행중에 있다.

### 참고 서적

- [1] S. Jacobsen, E. Iversen, D. Knutti, R. Jhonson, and K. Biggers, "Design of the Utah/MIT dextrous hand," *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1520-1532, 1986.
- [2] C.S. Loucks, V.C. Johnson, P.T. Boissiere, G.P. Starr, and J.P.H. Steele, "Modeling and control of the Stanford/JPL hand," *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 573-578, 1987.
- [3] M.S. Ali, K.J. Kyriakopoulos, and H.E. Stephanou, "The kinematics of the Anthrobot-2 dextrous hand," *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 705-710, 1993.

- [4] H. Hashimoto, H. Ogawa, M. Obama, T. Umeda, K. Tatuno, and T. Furukawa, "Development of a multi-fingered robot hand with fingertip tactile sensors," *Proc. of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 875-882, 1993.
- [5] -, "Barrett hand BSM8-200 manual," *Barrett Technology Inc., Cambridge, Massachusetts, USA*, 1994.
- [6] 김 병호, 유 범재, 오 상록, 서 일홍, 박 증오, 이 중원, "초음파 모터를 이용한 다관절 로봇 손가락의 개발," *제어계측, 자동화, 로봇틱스 연구회 합동 학술발표회*, pp. 351-354, 3 월 1996.
- [7] A. Kato, K. Ito, and M. Ito, "Adjustable compliant motion of ultrasonic motor," *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 5, No. 5, pp. 434-437, 1993.
- [8] T. Sashida, and T. Kenjo, "An introduction to ultrasonic motors," *Oxford science publications* 1993.