

형태합성에 의한 새로운 6 절 기구 로보트 손의 개념설계

이경원*, 이황진**

Conceptual Design of New Six-Bar Robot Hand by Type Synthesis

Kyeong-Won Lee*, and HwangJin Lee**

ABSTRACT

This paper describes the conceptual design of new robot hand by type synthesis. The conventional robot hands with rotational movement have bad controllability because the distance between the final rotational joint and the center of things grasped is changed according to the size of things grasped. This paper uses the systematic procedure of type synthesis and the knowledge for designing robot hands. The new 6-bar Watt 1 type conceptual robot hand with rectilinear translational movement is proposed.

Key Words : Robot Hand (로보트 손), Type Synthesis (형태합성), Conceptual Design (개념설계), Kinematics (기구학), Systematic Design (체계적인 설계)

1. 서론

기구설계 과정을 체계적으로 수행하도록 하여 필요에 의하여 기구를 보다 효율적이면서도 구조(structure)와 기능(function)이 같은 조건 안에서는 가장 뛰어나도록 설계하려는 노력이 오래전부터 시도되어 왔다. 이러한 노력의 일환으로 주어진 링크 수와 자유도를 만족하는 모든 종류의 기구연쇄를 생성하는 방법에 대한 연구가 많이 수행되어 실제로 이용되기에에는 아직 어려운 정도로 많은 수의 링크로써 구성되는 기구 연쇄들까지 생성해내었다. 그러나 이러한 기구연쇄로부터 가장 일맞은 기구를 만들어 내는 과정에는 설계에 대한 경험과 전문적인 지식과 창의성까지도 필요로 하기 때문에 이에 대한 연구는 아직 좋은 결과를 보여주지 못하

고 있다.

본 논문에서는 로보트의 손(hand)를 대상으로, 제안되어진 체계적인 기구 설계 과정 중의 형태 합성에 의해서 6 절기구의 새로운 개념설계안을 도출하였다.

2. 체계적인 기구설계 과정

Olson, Erdman과 Riley⁽¹⁾ 등은 기구의 구조(structure)와 기능(function)을 분리하는 개념에 근거하여, 이전에 발표된 여러 연구들을 토대로 기구설계를 위한 체계적인 과정을 다음과 같은 과정으로 구분하여 제안하였다.⁽²⁾

* 한국산업기술대학교 기계설계학과

** LG 산전 (주) 인천연구소 에스컬레이터팀

2.1 문제의 정의

- (1) 구조적 요건 (topological requirement)
 - (가) 운동의 성격 (평면, 공간)
 - (나) 자유도 (입력의 갯수)
- (2) 기능적 요건 (functional requirement)
 - (가) 출력의 갯수
 - (나) 각 출력에 의하여 수행되는 작업
 - (다) 각 작업의 복잡도
- (3) 제한 조건 (constraint)
 - (가) 치수 제한 조건
(dimensional constraint)
 - (나) 관성 제한 조건
(inertial constraint)

2.2 형태 합성 (type synthesis)

- (1) 구조 합성 (topological synthesis)
 - (가) 구조적 요건을 만족하는 기본 운동 체인 (basic kinematic chain)을 열거 (enumeration)한다.
 - (나) 각각의 기본 운동 체인에서 고정 링크를 정하여 기본 기구 (basic mechanism)를 열거 한다.
- (2) 구조 해석 (topological analysis)
 - (가) 자유도의 형태를 판별하고, 입력을 가하는 방법을 결정한다.
 - (나) 기능적 요건을 만족하기 위한 출력들을 정한다.
 - (다) 정해진 입력과 기능적 요건들에 근거하여 조인트 형태를 정한다.
 - (라) 각 기구를 기능적 요건에 근거하여 평가 (evaluation)한다.

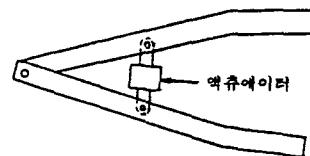
2.3 치수 합성 (dimensional synthesis)

- (1) 운동학적 합성 (kinematic synthesis)
 주어진 형태의 기구에서 기능적 요건을 만족하도록 치수를 결정한다.
- (2) 운동학적 해석 (kinematic analysis)
 치수 제한 조건과 운동학적 기준에 근거하여 기구를 평가한다.
- (3) 동역학적 해석 (dynamic analysis)
 관성 제한 조건에 근거하여 기구를 평가한다.

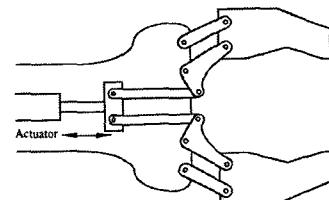
3. 로보트의 손 (Robot hand) 설계

로보트는 어떠한 작업을 자동적으로 수행하는 기계장치로서, 최종적으로 물건을 집는 실제 작업을 하는 것은 로보트의 손이다. 따라서, 로보트의 손은 로보트의 기술전반에서도 중요한 위치에 있다고 할 수 있으나 이에 대한 연구는 다음과 같은 이유에서 활발히 이루어지지 않고 있다. ^{(3), (4), (5)}

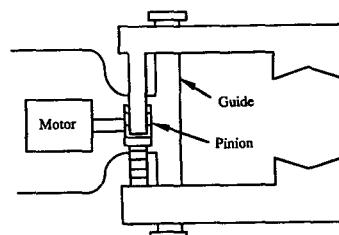
- (1) 정밀한 메카니즘의 설계가 필요한 점
 - (2) 액추에이터와 부속기구의 소형화가 곤란한 점
 - (3) 손의 센서기술이 아직 별로 발달되지 않은 점
- 지금까지 개발되어온 로보트 손은 그 기능과 구조에 따라 Fig.1과 같은 것이 있다. ^{(3), (4), (5)}



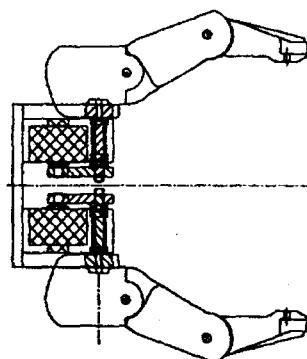
(a) 회전 개폐형 hand



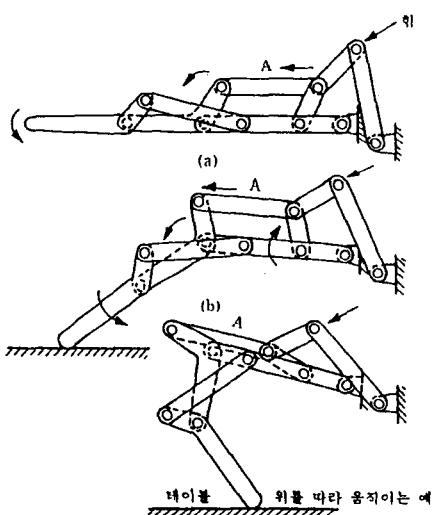
(b) 평행 회전 링크 기구형 hand



(c) 평행 슬라이드 기구형 hand



(d) 손가락형 Open link hand



(e) 벨트드라이브 hand

Fig. 1 Conventional Robot Hands

물건을 집는 끝단이 회전 조인트에 연결된 회전 링크의 회전 운동의 대칭 기구로 구성된, 회전 링크 기구형 로보트 손의 문제점은 잡는 물건의 크기에 따라 손으로부터 물체의 중심까지의 거리가 변하고, 즉 집는 위치가 집는 물건의 형상에 따라서 변하여, 집는 동작이 직선운동의 대칭 기구로 물건을 집는 기구에 비해서 불안정하다.

회전링크 기구형 손의 문제점을 개선하기 위한 새로운 로보트 손 기구의 설계를 체계적인 형태

합성을 수행하는 과정과 이에 쓰이는 몇 가지 설계 지식과 규칙들은 다음에 같이 기술될 수 있다.

(1) 대칭성을 갖는 기구를 설계하기로 한다.

--- 1 자유도, 1 출력 기구

(2) 출력링크 --- 이절 링크, 플로팅 링크

(floating link)

특히 고정링크와의 거리는 3 이상이어야 한다. 출력의 형태가 직선 병진 운동이어야 하므로, 출력링크와 고정링크와의 거리가 1, 즉 고정링크에 직접 연결되어진 링크에 연결된다면 출력링크는 고정링크에 대하여 원운동을 하고, 거리가 2 이면 출력링크에 원운동 고정링크에 연결된 링크에 연결되어 원호운동으로 하기 때문에 필요한 출력인 직선을 병진 운동을 할 수 없다.

(3) 입력 링크 --- 요동운동

(치수 설계에 이용되는 지식)

(4) 고정 링크 --- 이절 링크, 삼절 링크

모두 가능하다.

(5) 조인트 형태

--- 안정적인 동력 전달을 위해서 면접촉 2 차원 조인트를 고려한다. 이 중 미끄럼 조인트는 직선 운동을 하는 가이드로 일반적으로 회전조인트보다 제작이 어렵고 비싸며 청결을 유지해야 하는 단점이 있어 배제하고 가격과 성능, 기능 등을 고려하여 모두 회전조인트로 정한다.

(6) 링크 수

자유도 = 1

$$= 3 * (\text{링크 수} - 1)$$

$$- 2 * \text{면접촉 조인트 수}$$

를 만족하는 기구의 링크 수는 4, 6, 8, ..의 짹수이어야 한다. 그 중 링크 수가 4인, 4 절 기구는 플로팅 링크가 고정링크에 대해서 원호운동을 하여 직선 병진 운동이 불가능하므로 다음 간단한 1 자유도 구조로, 링크 수가 6 인 6 절 링크 기구와 8 이상의 링크 수를 갖는 기구를 고려한다.

체계적인 기구설계 과정을 새로운 로보트의 손의 개념설계에 적용하기 위해서 정리하면 다음과 같다.

3.1 문제의 정의

(1) 구조적 요건 (topological requirement)

(가) 운동의 성격 ---> 평면기구

(나) 자유도(입력 갯수) ---> 1 자유도

(2) 기능적 요건 (functional requirement)

(가) 출력의 갯수 ---> 1 출력

(나) 각 출력에 의하여 수행되는 작업

---> 직선 병진 운동

(다) 각 작업의 복잡도

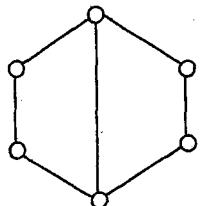
(3) 제한 조건 (constraint)

(가) 차수 제한 조건

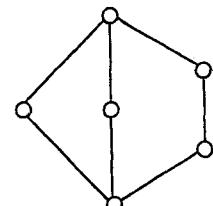
(dimensional constraint)

(나) 관성 제한 조건 (inertial constraint)

--- 가벼울수록 좋다.



Watt's chain



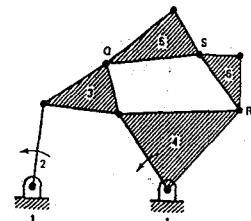
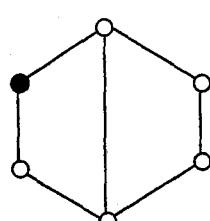
Stephenson's chain

Fig. 2 Chains for six-bar linkage

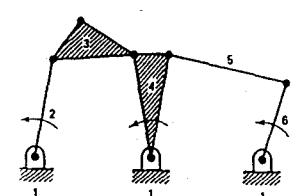
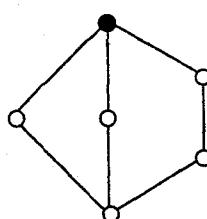
그래프에 대칭성이 있으며 고정링크를 정하는 방법에 따라 얻어지는 기구 종류의 수는 모두 5가지이다. 고정링크를 겹게 칠해진 꼭지점(vertex)으로 나타낸 것이 Fig.3 이다.^{(6),(7)}

Watt's chain에서 이원링크 (Binary link : 한 링크에 2 개의 조인트가 연결된 링크)가 고정링크인 기구를 Watt I Type 이라 하고, 삼원 링크가 고정링크인 기구를 Watt II Type 기구라 한다.

Stephenson's chain 에 대해서도, 고정링크를 어떤 링크로 하느냐에 따라서 Fig. 3 의 (c), (d), (e)의 3 Type으로 분류되어 사용된다.



(a) Watt I type basic mechanism



(b) Watt II type basic mechanism

3.2 형태 합성 (type synthesis)

(1) 구조 합성 (topological synthesis)

- (가) 구조적 요건을 만족하는 기본 운동 체인 (basic kinematic chain)의 열거 (enumeration) --- 6 절 링크기구 열거
- (나) 각각의 기본 운동체인에서 고정링크를 정하여 기본 기구 (basic mechanism)를 열거한다.

(2) 구조 해석 (topological analysis)

- (가) 자유도의 형태를 판별하고, 입력을 가하는 방법들을 결정한다.
 - (나) 기능적 요건을 만족하기 위한 출력들을 결정한다.
 - (다) 정해진 입력과 기능적 요건들에 근거하여 조인트 형태를 결정한다.
- 모두 회전 조인트
- (라) 각 기구를 기능적 요건, 설계 지식에 근거하여 평가(evaluation)한다.

4. 기구연쇄로부터 기구의 생성 및 평가

1 자유도 6 절 기구 연쇄 (chains for six-bar linkage)에는 두 개의 삼원 링크 (ternary link : 조인트가 3 개 붙어 있는 링크) 가 바로 연결되어 있는 Watt 연쇄와 바로 연결되어 있지 않아 있는 Stephenson 연쇄만이 있다.^{(6),(7)} 이 기구 연쇄(basic kinematic chain)는 수학적인 그래프 (graph)로, 꼭지점(vertex)은 실제 기구의 링크를, 선(edge)은 기구의 조인트를 나타낸다.

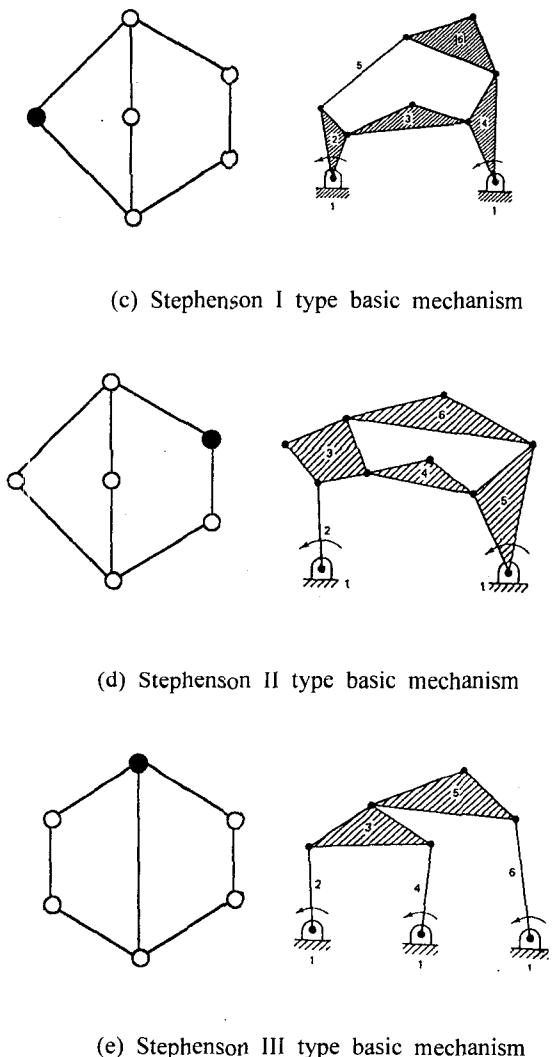


Fig. 3 Basic kinematic chain for six-bar linkage

위의 5 가지 기구에 대하여, (2) 번째 지식을 적용하면, (a) Watt I type 기구만이 다음과 같은

Fig.4 구조로 만족시킬 수 있다. 즉 고정링크와 출력링크 사이의 거리는 3 이상인 경우에 해당된다.

이와 같은 구조의 기본 기구 그래프를 실제 기구로 변환하여 개략적인 그림으로 표시하면 Fig.5와 같은 형태가 된다.

이 6 절 기구는 출력 링크가 직선 병진 운동을 하는 로보트의 손으로써 사용이 가장 적당한 새로운 기구로, 형태 합성된 개념의 한 가지이며 나중에 여러 설계 조건을 만족하도록 상세 치수 합성 과정을 통해서 원하는 기구의 정확한 치수를 결정해야 한다.

중에 여러 설계 조건을 만족하도록 상세 치수 합성 과정을 통해서 원하는 기구의 정확한 치수를 결정해야 한다.

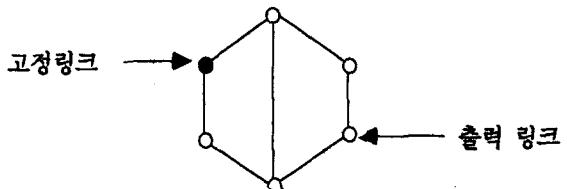


Fig. 4 A basic kinematic chain for six-bar linkage to satisfy the design knowledge on robot hands

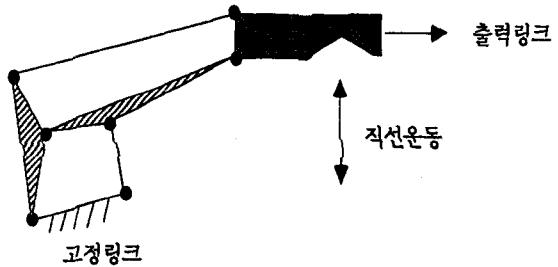


Fig. 5 A six-bar mechanism to satisfy the design knowledge on robot hands

이 6 절 기구는 출력 링크가 직선 병진 운동을 하는 로보트의 손으로써 사용이 가장 적당한 새로운 기구로, 형태 합성된 개념의 한 가지이며 나중에 여러 설계 조건을 만족하도록 상세 치수 합성 과정을 통해서 원하는 기구의 정확한 치수를 결정해야 한다.

5. 결론

본 연구는 직선 병진 운동을 하는 새로운 로보트 손의 개념설계를 위하여 제안된 체계적인 기구 설계 중 형태합성 과정과 로보트 손에 관한 설계지식을 사용하였다. 이를 통해서 1 자유도, 6 절 기구로 2 개의 삼원 링크가 바로 연결되어 있고, 이

원 링크가 고정 링크인, Watt I type의 6 절 기구가
직선 병진 운동을 하는 새로운 로보트 손을 구현하는
기구 형태의 후보임을 알 수 있었다.

이 기구의 실용화를 위해서 여러 설계 조건
을 만족하도록 상세 치수 합성 과정을 통해서 구체
적인 치수 및 형상을 갖는 메카니즘을 얻을 수 있
으며 상세 치수 합성 후에 만약 6 절 기구에서 원
하는 메카니즘이 없다면 8 절 기구 등 더 복잡한
기구를 설계할 수도 있다.

직선 병진 운동의 더 효과적인 구현을 위해
서 그립퍼 (Gripper) 형상을 변형할 수 있다.⁽⁸⁾

제안된 이 기구의 실용성의 확인을 위해서
는 실제 제작 후에 다른 기구들과 비교하는 과정이
필요하며 종래의 설계자의 경험, 직관, 진화적이고
점진적인 개량에 의한 방법에 의한 로보트 손의 종
래의 설계 방법이 아닌, 체계적인 기구 설계 형태
합성 방법론을 적용하여 개선된 새로운 기구 후보
로서의 기구 형태 (Mechanism type), 즉 개념 설계
안(Conceptual design)을 본 논문에서 제안하였다.

참고문헌

1. D. G. Olson, A. G. Erdman and D. R. Riley,
"A Systematic Procedure for Type Synthesis of
Mechanism with Literature Review,"
Mechanism and Machine Theory, Vol. 20,
No. 4, pp. 285-295, 1985.
2. 김 정태, "평면 기구의 열거와 형태합성에 관
한 연구," KAIST 박사학위논문, pp. 12-22,
1991.
3. Li-Ren Lin and Han-Pang Huang,
"Mechanism Design of A New Multifingered
Robot Hand," Proc. 1996 IEEE
International Conference on Robotics and
Automation, pp. 1471-1476, 1996.
4. S.C. Jacobson, E.K. Iversen, D.F. Knutti, R.T.
Johnson and K.B. Biggers, "Design of the
Utah/M.I.T. Dextrous Hand," Proc. 1986
IEEE International Conference on Robotics and
Automation, pp. 1520-1532, 1986.
5. 이 황진, "축약그래프를 이용한 기구 연쇄의
열거 및 형태합성에의 응용," KAIST 박사학위
논문, pp. 83-91, 1993.
6. A.G. Erdman, G.N. Sandor, Mechanism
Design, Analysis and Synthesis, Prentice
Hall, 3-rd ed., pp. 506-519, 1998.
7. Titus, J., A.G. Erdman and D. Riely, "The
Role of Type Synthesis in the Design of
Machines," Proc. of the 1989 NSF
Engineering Design Research Conference
(June 11-14), Amherst, Mass. : University of
Massachusetts, pp. 451-474, 1989.
8. 이 경원, 이 황진, "형태합성에 의한 새로운
로보트손의 개념설계," 1999년도 대한기계학회
춘계학술대회 논문집 A, pp. 206-210, 1999.