

메커니즘 합성을 통한 기계설계[§]

이 장 용^{*†}

* 한국생산기술연구원

Mechanism Design Using a Mechanism Configuration Method

Jang Yong Lee^{*†}

* Korea Institute of Industrial Technology

(Received June 21, 2011; Revised August 30, 2011; Accepted September 11, 2011)

Key Words: Mechanism Design(기구설계), Configuration Design(구성설계), Mechanism Synthesis(기구구성), Degree of Freedom(운동자유도)

초록: 기구 메커니즘의 작동해석과 관련하여 해석기하적 방법과 도식적 방법에 대한 연구가 있어왔다. 반면에 주어진 목적에 맞게끔 메커니즘을 구성하는 것에 대한 연구는 그리 많이 이루어지지 않았는데 일반 산업체 현장에서는 주로 과거에 활용된 메커니즘을 응용하는 방식으로 메커니즘 설계를 수행하여 왔다. 이런 방식은 설계초기 단계에서 가능한 모든 기구구성에 대해 숙고할 필요가 있는 메커니즘 설계자의 기구 선택범위를 제한하는 측면이 있다. 본 논문에서는 개념설계 단계에서 활용될 수 있는 기구 메커니즘 구성에 관한 새로운 방법론을 제시한다. 이를 활용하여 설계자는 창의적인 기구구성을 보다 효율적으로 수행할 수 있게 된다.

Abstract: Analysis method for mechanism has been fully developed and relatively easy work compared to mechanism synthesis. Developing or creating a new mechanism for a given task is a creative job. In this case, a few theories are developed such as type synthesis. However, these methods are not sufficient for mechanism designers to sufficiently take into account alternative mechanism models during the initial phase of the mechanism design process. This paper presents the configuration design of mechanisms using graphical representation in the conceptual design stage. In this stage of kinematic synthesis, one needs to select mechanisms and configure appropriately to realize the desired motion of a machine. Graphical representation of mechanisms is proposed in this paper to help a designer to be highly creative and efficient in the initial design process. It is possible to easily design and analyze the mechanism of a machine by using this method.

1. 서 론

기계 메커니즘의 구성은 링크 기구(링크 메커니즘, 메커니즘)들이 조인트(joint)를 통해 서로 조합하는 방식으로 연결되어 동력원에서 전달된 운동이 변환되고 분리되거나 통합되는 방식으로 이루어진다. 이러한 기계 메커니즘을 효과적으로 분석하기 위해서는 일정 기능을 수행하는 여러 개의 단위 메커니즘으로 나누어서 생각하는 것이 보다 쉽고 일반화된 방법이다.⁽¹⁻³⁾ 메커니즘 설계나 단위 메커니즘의 조합을 통한 새로운 메커니즘 개발

에 대한 연구는 상대적으로 적은 편인데^(1,2) Chiou and Kota⁽¹⁾는 메커니즘을 입력운동과 출력운동의 관계에 따라 분류하고 이에 기반하여 메커니즘 개념설계를 위한 43 개의 ‘단위기구 메커니즘(kinematic building blocks)’을 작성하였다. 그리고 이를 활용한 메커니즘의 구성설계 자동화 기법을 도입 하였다. Zou 등⁽⁴⁾은 그래프 이론(graph theory)에 근거하여 설계과정에서 주요 변수의 조정이 메커니즘의 기구적 운동에 미치는 영향을 분석하였다. Zou⁽⁵⁾는 그래프를 통해 기구적 운동의 전달을 벡터 그래프 형태로 표현하였다.

링크의 길이, 조립각도를 결정하는 메커니즘 설계에 대해서는 많은 연구가 있어 왔다.⁽⁶⁻⁹⁾ 이러한 기구해석에 근거한 설계는 그 적용범위가 주어진 하나의 기능만을 만족시키는 단위 메커니즘에 국한된 경우가 대부분이어서 여러 개의 메커니즘의

§ 이 논문은 2011년도 대한기계학회 생산 및 설계공학부분 춘계학술대회(2011.6.30-7.1, 라마다프라자 제주호텔)발표논문임

† Corresponding Author, caravan@kitech.re.kr

© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

조합을 통한 기계설계에서는 적용되기가 어렵다. 여기서 단위 메커니즘이란 하나의 입력운동과 출력운동이 있는 최소단위의 메커니즘을 의미하는데 예를 들면 슬라이더 크랭크(sliding-crank), 캠(cam) 등이 여기에 해당한다.

새로운 메커니즘 구성을 위해서는 개념설계단계에서 적절한 메커니즘을 선택 및 조합할 필요가 있다. 이 과정에서 설계자는 많은 설계 대안들을 검토해 보는 것이 필요한데 이러한 설계과정을 구성설계(Configuration design)라고 정의할 수 있다.^(10,11) 본 논문에서는 메커니즘의 구성설계에 활용될 수 있는 새로운 방법론을 제안하였는데 이것은 Zou 등⁽¹²⁾이 제안한 벡터 그래프와는 다른 것으로서 단위 메커니즘의 입력운동 및 출력운동과 메커니즘의 구조에 관한 정보를 표현하였다.

2. 단위 메커니즘

2.1 메커니즘 구성요소

기계제품은 여러 개의 단위 메커니즘으로 구성되어 있기 때문에 이들 단위 메커니즘을 도식화하여 각 메커니즘의 연결 관계를 나타내면 기계 전체의 운동흐름을 알 수 있게 된다. 메커니즘의 주된 기능은 운동을 전달하는 것이므로 단위 메커니즘의 도식적 표현에 입력운동과 출력운동이 표현되어야 한다. 저자는 Kirschman and Fadel⁽¹⁾의 운동분류법에 기반하여 메커니즘이 전달하는 운동을 다음과 같은 4 가지 형태로 분류하였다.

- Rotary motion(R) : 360° 회전 운동
- Oscillate motion(O): 어떤 중심축에 대한 회전 왕복 운동
- Linear motion (L) : 직선 왕복운동
- Complex motion(C): 폐쇄곡선 운동(closed curvilinear motion)

위에 적은 4가지 운동의 머리글자 R, O, L, C 가 도식적 메커니즘 요소에서 각각의 운동을 나타내기 위해 사용되며 운동의 방향은 각 문자 밑에 첨자로 표현한다. 도식적 표현에는 메커니즘의 링크와 조인트에 대한 정보도 담겨 있어야 하는데 Fig. 1에 슬라이더 크랭크 메커니즘을 표현한 도식적 메커니즘 요소의 한 예를 나타내었다.

Fig. 1의 메커니즘은 3개의 핀(pin) 조인트와 1개의 미끄럼 조인트로 이루어지고 (3P1S) 4개의 링크가 있는 (4 BAR) 메커니즘을 나타내며 이것은 회전운동을 회전축에 연직 한 평면의 직선 운동으로

변형시킨다 ($R_i \rightarrow L_{jk}$). 도식적 메커니즘 요소에서 조인트는 아래와 같이 표현된다.

- P : Pin joint
- S : Sliding joint
- H : Half joint (조인트에 의해 연결되는 두 링크기구 사이의 운동자유도가 2 인 상태)
- C : Contact joint(두 곡면 사이의 접촉에 의한 연결상태. 이 경우 완전 조인트(full joint), 불완전 조인트(half joint) 모두 가능함)
- T : Touch joint(두 링크 사이의 접촉에 의한 힘의 전달. 두 링크가 항상 접촉하고 있지 않음)

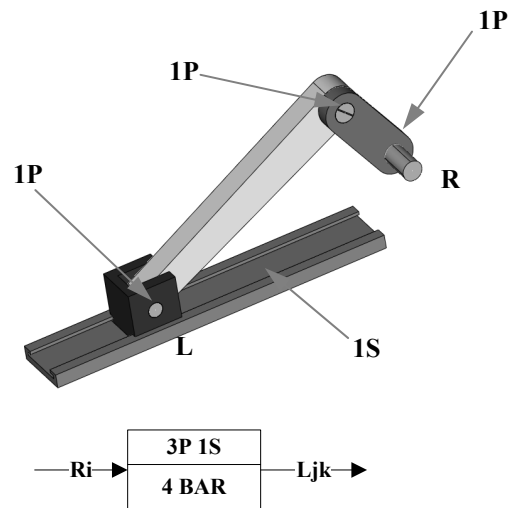


Fig. 1 Graphical element of mechanism (GEM)

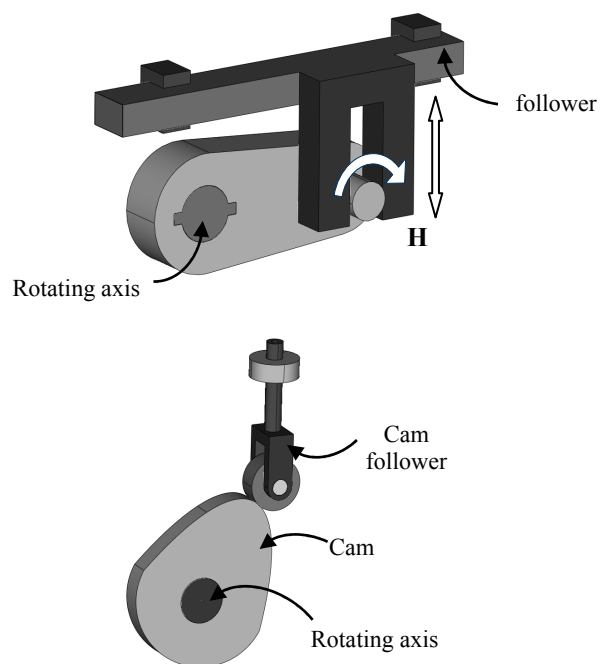


Fig. 2 Contact joint

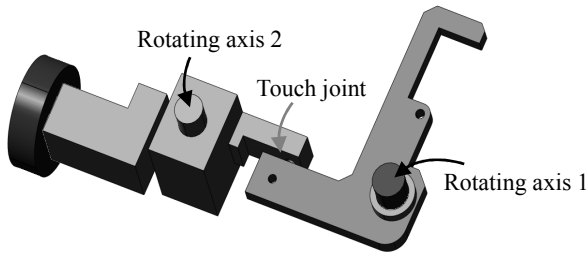


Fig. 3 Touch joint

Fig. 2에 C 조인트를 활용한 메커니즘의 예를 Fig. 3에는 T 조인트를 활용한 메커니즘의 예를 각각 나타내었다. 도식적 메커니즘 요소가 표현하는 메커니즘의 정보는 다음과 같다.

- i. 메커니즘의 입력운동과 출력운동 (Rotate motion, Linear motion Complex motion, Oscillatory motion)
- ii. 메커니즘의 운동 자유도 (Degree of Freedom)
- iii. 링크 수
- iv. 조인트의 수와 종류

본 논문에서는 다양한 기계제품에 공통적으로 사용되는 메커니즘을 논문 및 참고서적과^(1,2) 현장 경험에 근거하여 조사하였고 선택된 메커니즘을 도식적 메커니즘 요소로 나타내었다. 그리고 이것을 본 절에서 소개한 운동 분류법에 따라서 도식적 메커니즘 요소리스트(GEM list)를 만들었다.

Fig. 4에 리스트에서 일부 발췌한 내용을 도시하였다.

Fig. 4 에서 첫머리에 나타낸 표식은 각 문자가 의미하는 운동의 변환 가능 유무를 표현한다. 예를 들어 두 개의 영문자 O(Oscillate motion) 양쪽 방향으로 화살표가 있는 부분은 운동의 역진이 가능함을 나타내고($0 \rightleftarrows 0$), 그렇지 않은 경우는 한 방향으로만 운동의 전달이 이루어지는 메커니즘임을 나타낸다($0 \rightarrow 0$).

Fig. 4 는 역진운동이 가능한 3 개의 메커니즘과 한 방향의 운동만이 가능한 1 개의 메커니즘을 보여주는데 본 논문에서는 GEM list 의 요소들과 그것들이 대표하는 실제 메커니즘들을 조사하여 메커니즘 구성리스트를 작성하였다. 설계자는 자신이 선택한 GEM 에 대응하는 실제 형상의 메커니즘을 메커니즘 구성리스트에서 찾을 수 있다. 이 리스트에 있는 메커니즘들은 구체화된 형상을 갖고 있으나 링크의 치수는 정하여 지지 않는다.

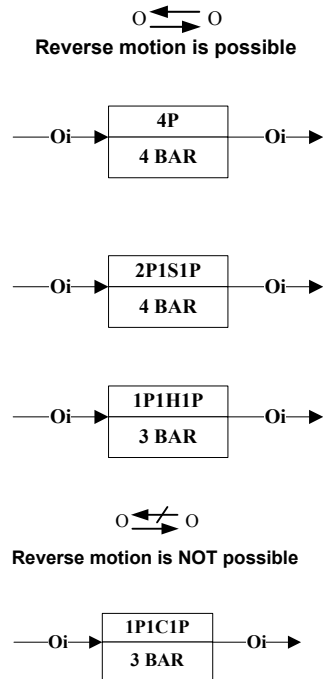


Fig. 4 Examples of GEM list

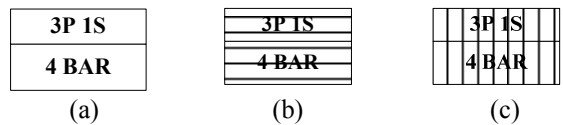


Fig. 5 Graphical representation of mechanisms

2.2 메커니즘의 도식적 표현

기계시스템의 메커니즘을 구성하기 위해, 전 절에서 수록한 GEM 이외에 사용된 도식적 기호들은 다음과 같은 것들이 있다. 운동이 링크와 조인트에 의하여 기구학적으로 명확히 정의되는 정상적인 메커니즘은 Fig. 5(a)와 같이 표현되며 공간(3 차원) 운동을 하는 메커니즘은 Fig. 5(b)와 같이 나타내어진다. 끝으로 기구학적으로 명확히 정의되지 않는, 불완전한 메커니즘은 Fig. 5(c)와 같이 표현된다

단위 메커니즘 사이에서 인접한 메커니즘의 출력운동이 다른 메커니즘의 입력이 되는 경우와 입력을 공유하는 경우가 있다. 이러한 메커니즘의 연결 관계를 3 가지 경우로 나누어서 표현하였는데, 두 메커니즘이 조인트에 의해 연결되어 운동하는 경우와(Fig. 6(a)) 서로 접촉에 의하여 연결되어 있는 경우(Fig. 6(b)), 그리고 두 메커니즘 중 첫 번째 메커니즘이 두 번째 메커니즘의 조립상태(링크 사이의 조립각도)를 조절하는 역할만 하고 실제 기계가 작동될 때, 운동의 전달은 이루어지지 않는 연결 상태이다(Fig. 6(c)).

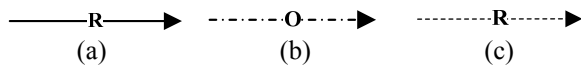


Fig. 6 Graphical representation of connection among mechanisms



Fig. 8 Graphical representation of five bar mechanism of sewing machine

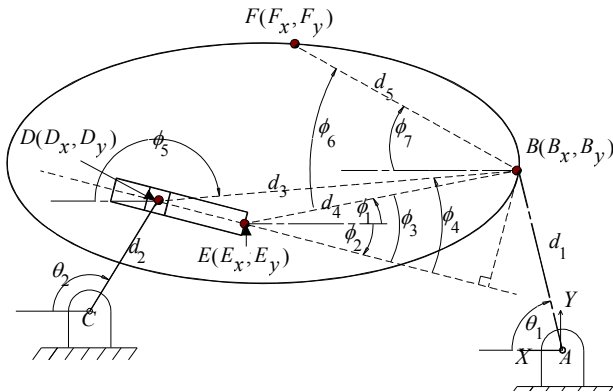


Fig. 7 Five bar mechanism of sewing machine

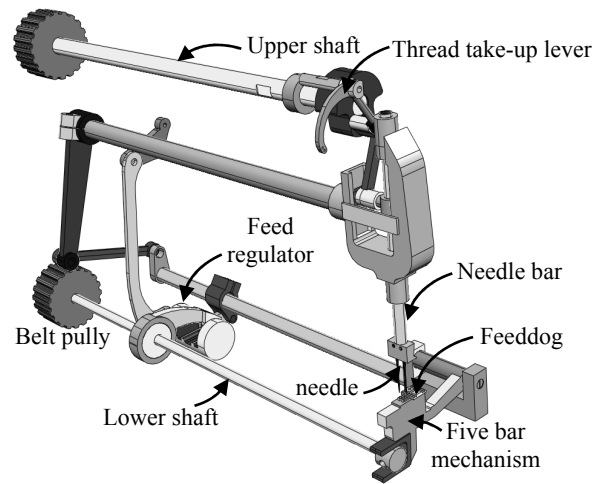


Fig. 9 Industrial sewing machine

기계시스템의 메커니즘을 본 논문에서 제안한 도식적인 방법으로 표현하기 위한 순서를 정리해보면 다음과 같다.

- i. 기계에서 요구되는 최종 출력운동을 결정한다. (운동의 방향성 포함)
- ii. 기계의 동력원 (예를 들어 모터, 엔진 등)과 그것의 종류를(회전운동, 직선운동 등) 결정한다.
- iii. 전술한 i 항에서 결정한 출력운동이 두 개 이상 있다면 그것들 사이의 관계를 명시한다.
- iv. 구성 메커니즘들의 작동 조건에 대해 명시한다. (예를 들어 구동조건이 사람 등에 의하여 조절되어야 하는지의 여부)
- v. 전술한 i, iii, iv 항에서 설명한 조건을 만족시키며, 기계의 동력원으로부터 출력운동까지의 운동의 흐름을 담당하는 GEM 들을 선택하고 GEM 사이의 관계를 설정한다.
- vi. 메커니즘 구성리스트에서 전술한 v. 항에서 정해진 메커니즘 요소들에 상응하는 실제 메커니즘들을 선택한다.

도식적 메커니즘 구성방법에 의해 폐쇄곡선 운동인 공업용 재봉기 톱니의 운동을 표현할 수 있다. Fig. 7에 5절기구인 톱니의 kinematic diagram을 도시하였다(Fig. 9참조).

톱니 운동메커니즘을 본 논문에서 제시한 도식적 표현법에 의해 나타내면 Fig. 8과 같다.

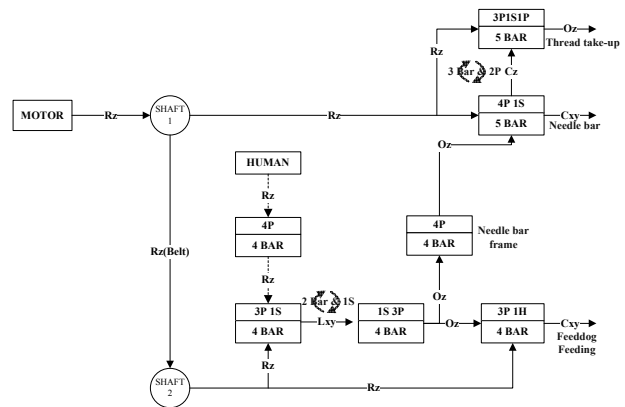


Fig. 10 Graphical representation of Sewing machine mechanism

3. 설계 적용 예

3.1 공업용 재봉기

공업용 재봉기는 대부분이 기구 메커니즘으로 이루어진 정밀한 기계제품으로 본 논문에서 제안된 내용을 적용하기에 적합하다. Fig. 9에 공업용 재봉기를 도시하였다. 모터로부터 회전력을 받은 축(upper shaft)이 벨트에 의해 또 다른 축(lower shaft)에 동력을 전달하고 두 개의 축에 연결된 메

커니즘들이 최종적으로 톱니(feeddog)에서 서로 만나게 된다. Fig. 10에 공업용 재봉기의 메커니즘 구성을 본 논문에서 제안한 도식적인 방법으로 나타내었다. 모터로부터 받은 동력은 Rz 방향의 회전운동을 발생하여 shaft 1(upper shaft)을 회전시키고 벨트에 의해 shaft 2(lower shaft)로 회전운동이 전달된다. 동시에 shaft 1의 회전운동은 5절기구를 통해 바늘대(needle bar) 운동과 실채기(thread take-up lever) 운동으로 전달된다.

한편 벨트에 의해 shaft2 로 전달된 회전운동 Rz는 Fig. 7에 나타난 오절기구의 점 C를 축으로 회전운동을 발생시켜서 톱니(feeddog)의 운동을 유발한다. 오절기구의 또 다른 회전축인 점 A의 운동 Fig. 7)은 분파된 shaft 2의 회전운동(Fig. 9, Fig. 10)이 절환기(feed regulator) 4절기구를 통해 요동운동으로 변환하여 발생된다.

봉제작업이 이루어지는 것은 Fig. 10에 나타난 운동전달의 마지막 단계에서 두 개의 C (Complex) 운동과 하나의 O (Oscillatory) 운동이 서로 기구학적으로 연관되어 작동하는 과정에서 이루어지는데 각각의 운동은 톱니 및 바늘의 운동과 실채기의 운동을 나타낸다(Fig. 9).

메커니즘의 도식적 표현법(Fig. 10)은 실제 구성 상태(Fig. 9)에서는 알기 어려운 운동의 흐름과 각 단위 메커니즘의 역할을 입력운동에서부터 출력운동까지 쉽게 파악할 수 있게 해주는 유용한 도구이며 새로운 기계 메커니즘의 설계에도 응용될 수 있다.

3.2 식모기(植毛機) 철심 이송장치

식모기는 진공청소기의 브러시에 모(毛)를 삽입하는 기계장치로서 전기 모터에서 회전력을 얻는다. 식모기의 메커니즘 구성을 도식적 방법을 이용하여 나타내면 Fig. 11과 같다. 그림에서 식모기의 5개의 출력운동이 표현되어 있고 모두 6개의 단위 메커니즘으로 구성되었음을 보여준다.

그림에서 실 이송 메커니즘은 완전하지 않은 메커니즘으로 표현되었는데 이 메커니즘은 링크 사이의 한 연결이 조인트가 아닌 접촉에 의해 이루어진다(조인트 연결 '2P1T2P'의 가운데 두 개의 문자 '1T'가 그것을 나타낸다) 이러한 불완전한 메커니즘(엄밀한 의미에서 메커니즘이 아니다)이 구성요소로 있는 기계는 작동의 정교성, 소음 및 진동의 감소, 유지 보수 비용의 감소 등을 위해서 개선될 필요가 있다.

철심이송(wire feeding) 메커니즘은 링크기구들이 2개의 평면에 위치하여 운동의 궤적이 3차원으로

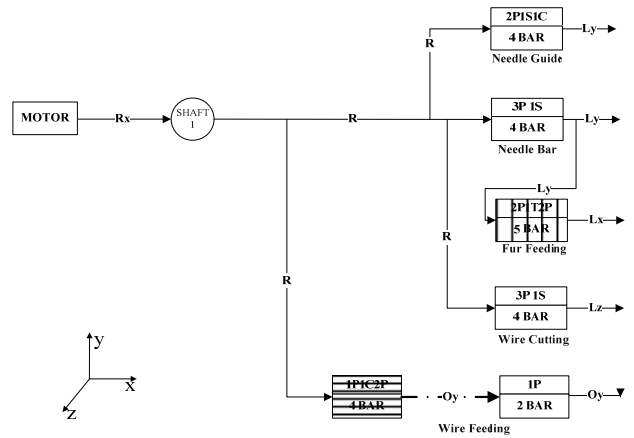


Fig. 11 Graphical representation of Fur inserting machine mechanism

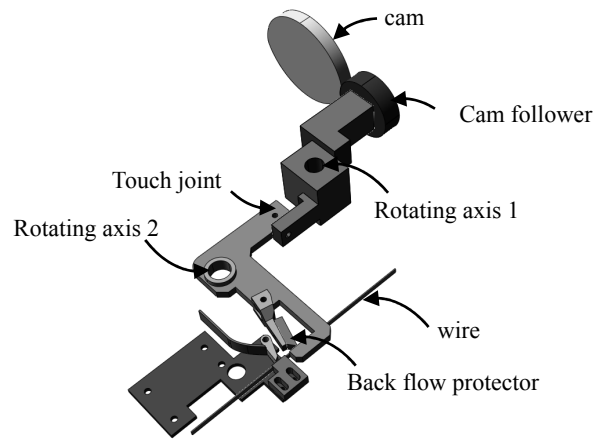


Fig. 12 Wire feeding mechanism

이루어진다. 그리고 이 메커니즘의 출력운동이 일점쇄선으로 표시된 것은(Fig. 6 참조) 운동의 흐름이 일정한 조인트가 없이 접촉을 통해서 전달된다는 것을 의미한다. 접촉으로 운동이 이루어질 때는 정밀한 운동의 전달이 어렵고 접촉점(면)에서 마모가 심하게 발생하므로 잦은 부품 교체로 인한 부품의 유지, 보수비용이 많이 들게 된다. Fig. 12에 철심이송 메커니즘의 형상모델링을 도시하였다.

도식적 설계기법을 사용하여 새롭게 구성한 식모기의 메커니즘을 Fig. 13에 나타내었다. 이전 메커니즘과 비교할 때 최초 입력운동인 모터의 운동 방향이 다르며 메커니즘들의 연결 관계가 서로 다르다. 이러한 구성설계의 결과로서 본래 식모기의 문제점인 불완전한 메커니즘이 제거 되었으며 접촉에 의해 운동하던 철심이송작업이 조인트에 의해 구동되는 메커니즘으로 대체 되었다. 설계자는

그림에 나타난 메커니즘 구성을 이용하여 주어진

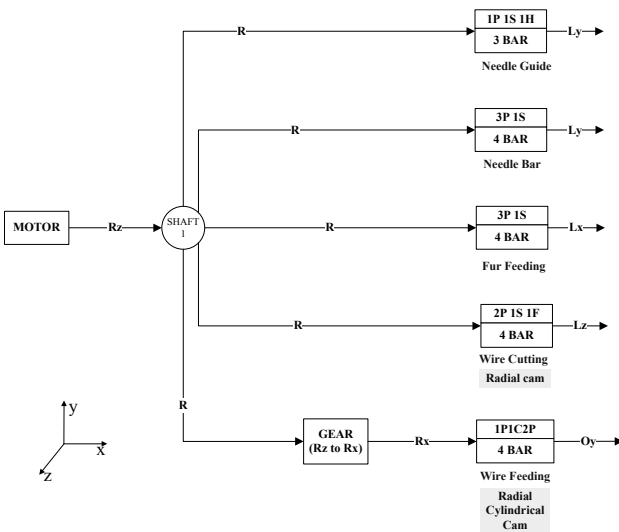


Fig. 13 A new mechanism of fur inserting machine using graphical representation

기능을 수행하는 메커니즘의 실제 형상을 메커니즘 구성리스트에서 선택할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 메커니즘의 개념설계에서 유용하게 사용될 수 있는 도식적 구성설계 방법론을 제안하였다. 이러한 방법은 여러 개의 메커니즘이 조합된 복합적인 기능의 기계시스템 개념설계에서 보다 효과적으로 적용될 수 있다. 그래서 주어진 기능과 자유도를 만족시켜 주는 메커니즘에 대한 다양한 가능성을 설계 초기단계에서 설계자에게 제공할 수 있다.

도식적 메커니즘 구성설계의 장점들을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 설계 요구 조건을 만족하는 메커니즘의 링크와 조인트 종류에 대한 정보를 Grubler's formula에 기반하여 설계자에게 제공한다.
- (2) 여러 Mechanism 들의 연결 과정을 쉽게 알아볼 수 있다.
- (3) 어떤 메커니즘의 운동전달을 위한 입력(입력의 개수에 상관없이)과 결과를 명확히 나타낸다.
- (4) 여러 메커니즘의 연결 관계를 쉽게 파악할 수 있으므로 기계시스템에서 하나의 메커니즘을 변경할 때 그것이 전체 시스템에 미치는 영향을

쉽게 파악 할 수 있다.

(5) 다양한 메커니즘들을 하나의 기호로 간단히 표현하는 방법을 제공한다.(예를 들어 3P1S, 4BAR 라는 표현을 통해서 많은 메커니즘을 나타낼 수 있다)

(6) 기존 기계시스템의 동작을 분석하는데 사용될 수 있다.

(7) 기계시스템에서 요구되는 운동들을 구현하기 위하여 여러 개의 메커니즘을 서로 조합하는 보다 쉬운 방법을 제공한다. 따라서 메커니즘들의 조합으로 구성되는 기계(기계시스템)의 초기 설계 단계에서 유용하다. 특히 complex motion 의 구현 등에 유용하게 사용될 수 있다.

참고문헌

- (1) Chiou, S.-J. and Kota, S., 1999, "Automated Conceptual Design of Mechanisms," *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 34, pp. 467~495.
- (2) Grosjean, J., 1991, *Kinematics and Dynamics of Mechanisms*, McGRAW-HILL.
- (3) Shigley & Mischke, 1986, *Standard Handbook of Machine Design*, McGRAW-HILL.
- (4) Zou, H., Abdel-Malek, K.A. and Wang, J. Y., 1997, "Design Propagation in Mechanical Systems: Kinematic Analysis," *Journal of Mechanical Design*, Vol. 119, pp. 338~345.
- (5) Erdman, A. G., (editor), 1993, *Modern Kinematics: Developments in the Last Forty Years*, John Wiley & sons, Inc.
- (6) Mruthyunjaya, T.S., 2003, "Kinematic Structure of Mechanisms Revisited," *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 38, pp. 279~320.
- (7) Farhang, K. and Basu, P. S., 1994, "Kinematic Analysis and Synthesis of Three-Input, Eight-Bar Mechanisms Driven by Relatively Small Cranks," *Journal of Mechanical Design*, Vol. 116, pp. 931~935.
- (8) Lee, M.-Y., Erdman, A. G. and Gutman, Y., 1994, "Applications of Kinematic/Kinetic Performance Tools in Synthesis of Multi-DOF Mechanisms," *Journal of Mechanical Design*, Vol. 116, pp. 452~461.
- (9) Thorpe, J. F., 1989. *Mechanical Systems Components*, Allyn and Bacon.
- (10) Brown, D. C. and Chandrasegaran, B., 1985. *Expert System for a Class of Mechanical Design Activity*, J.S. Gero (ed.), IFIP, pp.259~282.