

복소캠을 이용한 캠 타입 이송장치의 설계

이택민*(한국기계연구원), 이동윤(KAIST 기계공학과 대학원), 양민양(KAIST 기계공학과)

Study on the Design of Cam-type Transfer Unit using Conjugate Cam

Taik-min Lee* (KIMM), Dong-yoon Lee(KAIST), and Min-yang Yang(KAIST)

ABSTRACT

This thesis suggests design considerations and solutions for cam type transfer unit in which feed, lift, and clamp motions are occurred by cams. For fast transferring and avoiding cam breakage, each designed cam must satisfy the given specifications such like velocity, acceleration, jerk, pressure angle, cam thickness, and torque. To reduce absolute torque magnitude, conjugate cam is suggested. Conjugate cam eliminates the redundant pre-load by using complementary cam and follower to avoid jumping between them. The result from the prototype shows the reductions of the absolute torque value, and it indicates that conjugate cam could enhance the working speed of cam type transfer unit and extend of the life span of cam type transfer unit.

Key Words : Cam(캠), Cam-type transfer unit(캠타입이송장치), Transfer unit(이송장치), Conjugate cam(복소캠).

1. 서론

프레스 가공은 짧은 시간에 원하는 형상을 성형 가공할 수 있는 방법으로써, 자동차, 전기, 전자 부품의 생산에 널리 사용되어 왔다[1]. 프레스의 가공 공정은 주기적으로 단속하는 단순 반복동작으로 일정한 주기 운동을 하고 있는 기계의 슬라이드에 가공재를 일정시간 내에 금형의 작업 공간에 공급하고, 프레스 가공 후에 취출하는 작업으로 이루어진다. 따라서, 프레스 작업의 속도를 증가시키고 안전한 프레스 작업을 위해서, 재료의 공급, 배출을 자동화하는 이송장치 또한 중요한 프레스 자동화 장비의 하나이다[2]. 이러한 이송장치 중 대형 프레스 가공에는 부하능력이 높고, 고속에서도 안정적이고 신뢰성 높으며, 정속한 운동을 얻을 수 있는 캠 타입 이송장치가 사용되고 있다. 본 논문은 캠 타입 이송장치의 설계에 관한 논문으로써, 설계시에 고려해야 할 사항과 해결 방법에 관한 것이다.

캠 타입 이송장치는 수평 방향 움직임(Feed Motion), 수직 방향 움직임(Lift Motion), 물림 움직임(Clamp Motion)을 담당하는 3 개의 캠 기구로 구성되며, 각각의 캠이 하나의 축에 연결되어 프레스 가공의 주기와 동기되어 동작하며, 전체의 구조

는 Fig.1 과 같다.

캠 타입 이송장치의 설계를 위하여 기본적으로 고려해야 하는 사항은 다음과 같다.

(1) 각각의 움직임을 제어하는 캠 기구가 최적으로 설계되어야 한다. 구현하고자 하는 링크기구로 이루어진 이송부(Feeder)의 기구적인 운동을 캠의 종동절의 운동으로 변환한 후, 종동절 운동의 타이밍 선도와 캠 기구의 사양, 기구학적 제한 조건들을 고려하여 적절한 캠 곡선을 선택하여야 한다. 최적의 캠곡선을 선정하기 위해서는 속도, 가속도 및 저크가 고려되어야 하며, 압력각도 일정한 값 이하가 되어야 한다. 또한, 캠의 두께를 최적화하여 캠의 파손을 방지하여야 한다[3].

(2) 각각의 캠과 프레스의 운동을 하나의 축에 동기화하여야 한다. 각각의 캠들이 유기적으로 연결되어 캠 타입 이송장치를 구동하므로 각 움직임 간의 간섭이 없도록 검증하는 작업이 필요하다.

(3) 캠과 종동절사이의 압력을 줄여야 한다. 일반적인 단일 캠의 경우 캠 기구 운동의 복귀와 캠과 종동절간의 점핑을 방지하기 위하여 상당한 크기의 예압이 필요한데 반해, Fig. 3 과 같은 복소캠을 장착하게 되면 불필요한 예압을 줄이게 되어, 캠과 종동절사이의 압력을 감소시킬 수 있게 되며, 결과적으로 캠의 두께 및 캠 기구의 구동에 필요한

토크의 크기를 감소시키는 효과를 얻을 수 있다

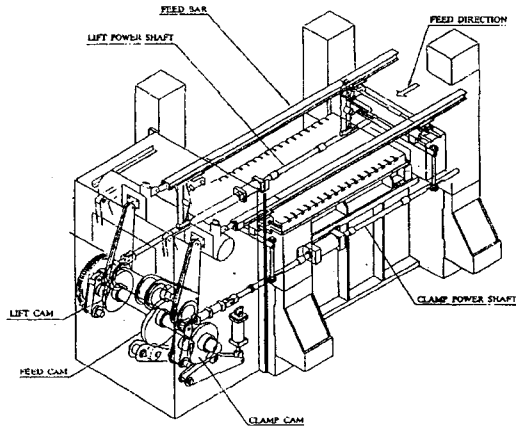


Fig. 1 Cam-type transfer unit.

2. 캠기구의 기본적인 설계

캠 타입 이송장치에서, 원소재의 수평이동(Feed), 수직이동(Lift), 물림(Clamp)을 위한 개개의 설계된 캠기구들이 다음의 설계 기준을 만족해야 한다.

(1) 캠 프로파일이 원소재의 수평이동, 수직이동, 물림을 정확하게 수행할 수 있도록, 캠의 상승과 하강의 위치와 높이가 각각의 설계 사양을 만족해야 한다.

(2) 캠 프로파일의 1 차 미분값이 연속적으로 변해야 한다. 불연속적인 1 차 미분값은 무한대의 2 차 미분값을 유발시킨다.

(3) 2 차 미분값이 연속적으로 변해야 하며 일정값 이하로 제한 되어져야 한다. 불연속적인 가속도는 무한대의 저크를 유발시키며, 큰 가속도는 큰 관성력을 유발시켜, 진동 소음, 높은 응력 및 마모의 원인이 된다.

(4) 저크가 일정값 이하로 제한 되어져야 한다. 저크는 관성력의 시간에 따른 변화율로써 충격의 정도를 나타낸다. 기계 요소에 가해지는 충격은 소음을 일으키며, 표면의 마모나, 이웃 부품에 피로를 유발시켜 기계 수명을 단축시킨다.

(5) 압력각이 일정값 이하로 제한 되어져야 한다. 압력각이 너무 클 경우 힘이 캠에서 종동절로 제대로 전달되지 않을 뿐더러, 마찰력이 존재할 경우 종동절이 안내면에 끼이게 되는 효과를 가져온다.

(6) 생성된 캠의 크기와 두께가 제한되어야 한다. 캠과 로울러의 접촉점에는 원하는 링크부의 가속과 예압을 위한 힘이 전달된다. 캠이 파손되지 않고 이러한 힘을 견딜 수 있기 위해서는 일정 두

께 이상이어야 한다. 하지만 너무 두꺼운 두께는 축에 무리한 하중을 주며 제작에 어려움을 준다.

(7) 캠기구 운동 시에 캠과 링크 기구 간의 간섭이나, 충돌이 있어서는 안된다. 설계된 운동기구의 시뮬레이션을 통해 이를 검증한다.

(8) 프레스 작업 중에 이송을 한다던지, 수평이동과 물림의 현상이 동시에 발생하는 등의 간섭이나, 충돌이 있어서는 안된다. 이를 방지하기 위해, 하나의 축에 각각의 캠들을 연결하고, 프레스의 슬라이트 운동과 동기화하여, 사전 시뮬레이션을 통해 검증한다. 삼차원의 시뮬레이션과 움직임의 정면도, 평면도, 그리고 측면도를 통해 쉽게 검증할 수 있다.

3. 복소캠의 설계

일반적으로 단일캠 타입의 캠기구에서는 캠과 종동절의 접촉을 계속 유지하기 위해 Fig. 2 와 같이 스프링, 공압, 혹은 유압을 사용하여 구속력을 만들어 주어야 한다. 이에 반해, Fig. 3 과 같이 2 개의 평판캠과 각각의 캠에 접하고 있는 로울러로 구성되어 있는 복소캠은, 2 개의 캠에 종동절이 양쪽에서 잡아 주기 때문에 자동적으로 종동절이 캠에서 떨어지지 않는다.

이상적인 경우, 복소캠은 캠과 종동절 사이에 예압을 걸어주지 않아도 접점이 생기지 않으므로 원활한 운동이 이루어진다. 하지만, 가공과 조립을 하면서 오차가 생기고, 완전한 강체가 아니므로 생기는 순간적인 변형이 생기므로, 항상 종동절과 캠이 접촉할 수 있도록 하기 위해서 두개의 롤러 사이에 적당한 예압을 걸어주어야 한다.

단일 캠 타입과 복소캠 타입의 종동절과 캠 사이에 걸리는 접촉력의 분석을 통해, 복소캠타입의 토크값이 단일 캠타입의 경우에 비해 토크값을 절반정도로 감소할 수 있다는 사실을 알 수 있었다.

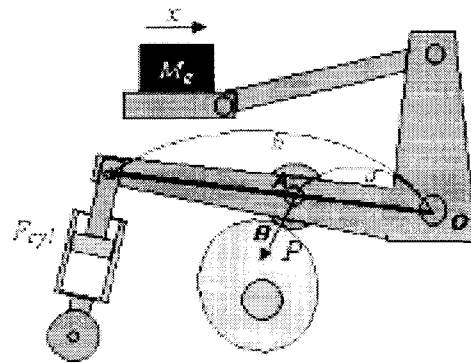


Fig. 2 Single cam type transfer unit.

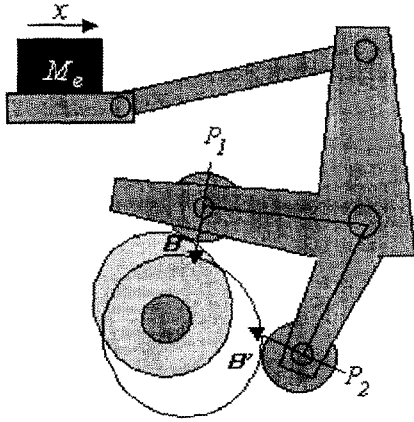


Fig. 3 Conjugate cam type transfer unit.

3.1 단일 캠 타입의 접촉력 분석

단일 캠 타입 이송장치의 경우, 종동절과 캠 사이에는 종동절이 캠에서 떨어지지 않기 위한 예압과 기구부 종단의 질량을 움직이기 위한 힘에 의한 압력이 존재한다. 캠과 로울러의 접촉점 B 에는 실린더의 압축력과 링크 기구의 가속운동을 위한 힘이 걸린다.

실린더의 압축력은 일반적으로 능동제어를 하는 것이 아니므로, 일정 힘이 계속 작용하고 있는 것으로 가정하고, 링크의 무게에 비해서 수십배 이상 큰 무게(M_c)가 링크기구의 종단에 있다고 생각하여 링크의 무게를 무시할 수 있다고 가정한다. 또한 F_{cyl} 이 OA 의 방향과 수직 방향으로 압축을 하고있으며 캠이 회전함에 따라 그 각도가 얼마 벗어나지 않는다고 가정하였을 때, 이때 B 에 걸리는 캠과 종동절 사이의 접촉력 P 는 식 (1)과 같다.

$$P = (M_c \cdot \frac{d^2x}{d\theta^2} \cdot \omega^2 + F_{cyl} \cdot \frac{b}{a}) / \cos(\alpha) \quad (1)$$

식 (1)의 캠(D-R-D-R)의 한 회전에 따른 로울러와 캠사이에 걸리는 접촉력의 변동을 그래프로 나타내면 개략적으로 Fig. 4 와 같다.

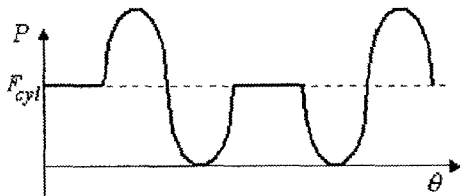


Fig. 4 Contact force between cam and follower for single cam type transfer unit.

Fig. 4 에서 P 값의 AC 성분은 식(1)에서 캠곡선의 가속속도로 인하여 생긴 것이며, 그 크기는 M_c 와 캠 프로파일, 캠의 회전속도에 비례한다. DC 성분은 캠과 종동절 사이의 점핑을 방지하기 위해 가

해진 예압(F_{cyl})으로 인하여 발생한 것이다. 여기서 만약 예압이 충분치 않아서 P 값이 음수가 될 경우에는, 점핑이 발생하므로 전구간에서 P 값이 양수가 될 수 있을 정도의 예압이 필요하다.

3.2 복소캠 타입의 접촉력 분석

복소캠 타입에서도 캠의 구동에 관계된 힘을 해석할 때, 단일캠 타입의 가정을 그대로 사용한다. 복소캠에서 캠과 종동절 사이에 걸리는 힘은, 기구부 종단의 질량을 움직이기 위한 힘과 가공과 조립의 오차로 인해 발생하는 종동절과 캠 사이의 점핑을 보상하기 위한 예압에 의한 힘이 존재한다. 따라서, 캠과 종동절 사이에 걸리는 힘 P_1, P_2 는 각각

i) 로울러의 가속도 > 0

$$P_1 = (M_c \cdot \frac{d^2x}{d\theta^2} \cdot \omega^2 + F_{pre}) / \cos \alpha \quad (2)$$

$$P_2 = F_{pre}$$

ii) 로울러의 가속도 = 0

$$P_1 = F_{pre} \quad (3)$$

$$P_2 = F_{pre}$$

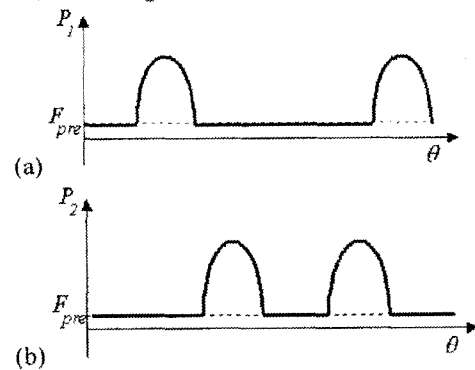
iii) 로울러의 가속도 < 0

$$P_1 = F_{pre} \quad (4)$$

$$P_2 = (M_c \cdot \frac{d^2x}{d\theta^2} \cdot \omega^2 + F_{pre}) / \cos \alpha$$

이다.

식 (2), (3), (4)의 캠의 한 회전에 따른 로울러와 캠사이에 걸리는 접촉력의 변동을 개략적인 그래프로 나타내면 Fig. 5 와 같다.



(a) Contact force on B (b) Contact force on B'

Fig. 5 Contact force between cam and follower for conjugate cam type transfer unit.

결과적으로 Fig. 4 와 Fig. 5 를 비교하여 보면, 이상적인 복소캠은 예압이 필요 없으므로, 단일캠에 비해 캠과 종동절에 걸리는 힘을 절반으로 줄일 수

있고 이로 인해 토크도 절반으로 줄일 수 있다. 하지만, 가공오차와 조립오차로 인해 예압이 반드시 필요하므로, 가공 및 조립 기술에 따른 예압의 크기에 따라 복소캠 사용 효과의 정도가 좌우될 것이다.

4. 프로토타입의 제작

위에서 제시한 설계방식을 통하여 실물크기의 1/10의 프로토타입을 제작하였다. 수평이동캠, 수직이동캠, 물림캠이 복소캠 형식으로 장착되었으며, 토크저감 캠이 1개 장착된다. 따라서, 한 개의 축에 7개의 캠이 붙게 되며, 이의 구동을 위해서 AC servo 모터를 사용하였으며 정속회전과 원하는 각도 만큼 회전이 가능하다. Unigraphics CAD 소프트웨어를 이용하여 솔리드모델로 Prototype 을 Fig. 6 과 같이 디자인하였으며 Fig. 7 과 같이 모델링하였다. 프로토타입에 사용된 캠은 P20 계열의 초경 인서트타입의 직경 30mm 엔드밀을 이용하여 가공하였으며 중삭으로 절삭 깊이 1mm, 정삭으로 0.3mm 를 주어 가공하였다.

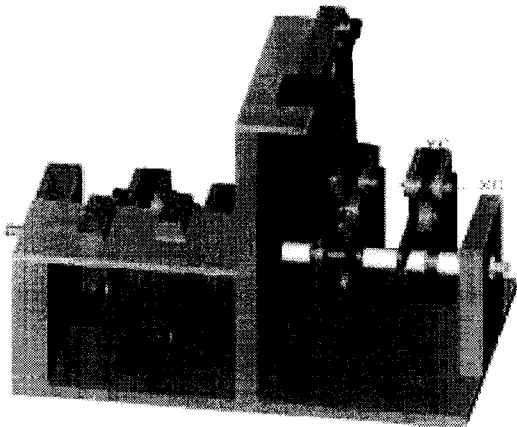


Fig. 6 Prototype designed by solid modeler.

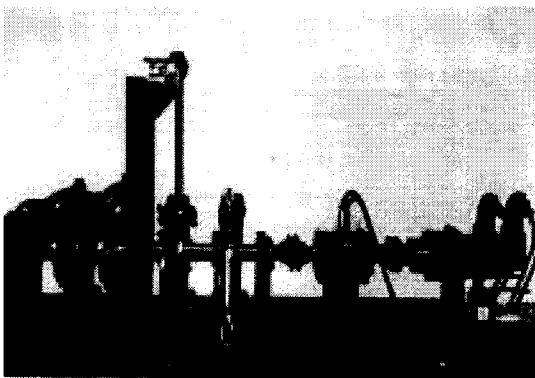


Fig. 7 Developed prototype.

5. 결론

본 논문은 캠타입 기구부에 의해 구동이 발생하는 이송장치의 설계에 관한 논문으로써, 각각의 캠이 최적으로 설계되기 위하여, 각각의 캠곡선의 속도, 가속도, 저크를 고려하고, 압력각의 크기를 제한하고, 캠의 두께를 최적화하는 설계를 하였고, 캠타입 이송장치의 간섭을 시뮬레이션함에 의해 충돌을 방지하도록 설계하였다. 또한, 캠과 중동절 사이에 점핑을 방지하기 위해 불필요한 예압이 계속해서 걸리게 되는 단일캠의 단점을 보완하기 위해서, 반대편에 또하나의 중동절을 보완하여 주는 복소캠을 설계하여 토크의 절대값을 줄이는 설계를 하였다.

본 연구에서 제시한 설계 및 해석을 통해 프로토타입을 제작하여, 설계 방식을 검증하였다. 본 연구를 통해 부하능력이 높고 고속에서도 안정된 신뢰성 높고 정속한 캠타입 이송장치의 제작에 기여하였으리라 생각하며 프레스 작업의 취출 작업 속도를 빠르게 하고 캠과 캠축의 수명을 연장함에 의해 생산성의 향상에 크게 이바지 하였으리라 생각한다.

참고문헌

1. Kalpakjian, "Manufacturing Engineering and Technology," pp. 444, Addison Wesley, 1995
2. E. Paul DeGarmo, J Temple Black, Ronald A. Kohser, "Materials and Processes in Manufacturing," pp. 490, Macmillan, 1988
3. Arthur G. Erdman, George N. Sandor, "Mechanism Design - Analysis and Synthesis", Prentice Hall, 1991
4. 이동윤, "토크 저감 캠의 설계에 관한 연구", 한국과학기술원 석사학위논문, 1999
5. Fan. Y. Chen, "Mechanics and Design of Cam Mechanism.", Pergamon Press Inc., 1982
6. Harold A. Rothbart, "CAMS - Design, Dynamics, and Accuracy". John Wiley & Sons, Inc., 1956