

대형 캠 타입 이송장치의 설계에 관한 연구

이택민[†] · 이동윤* · 양민양**

(2003년 3월 7일 접수, 2003년 11월 20일 심사완료)

Study on the Design of Cam-type Transfer Unit

Taik-min Lee, Dong-yoon Lee and Min-yang Yang

Key Words : Cam(캠), Cam-Type Transfer Unit(캠 타입 이송장치), Transfer Unit(이송장치), Conjugate Cam(복소캠), Torque Reduction Cam(토크 저감 캠)

Abstract

This paper presents design solutions for cam type transfer unit in which feeding, lifting, and clamping motions are generated by cams. In order to achieve faster transfer motion, each designed cam must satisfy the given specifications such as velocity, acceleration, jerk, pressure angle, cam thickness, and torque. To reduce absolute torque magnitude and torque variation, a conjugate cam and a torque reduction cam are used respectively. The conjugate cam eliminates the redundant pre-load by using complementary cam to avoid jumping between a cam and a follower. The torque reduction cam reduces the torque variation by applying opposite torque to a cam shaft. The experimental result shows the reductions of the absolute torque value and torque variation. The improvement of working speed and life span of cam type transfer unit can be expected.

- 기호설명 ————
- x : 링크중단의 위치
 - P, P_1, P_2 : 캠과 종동절간의 접촉력
 - F_{cyl} : 실린더의 압축력
 - M_e : 링크중단의 등가무게
 - F_{pre} : 캠과 종동절간의 예압
 - F_{weight} : 캠의 자중에 의한 힘
 - c : 캠의 무게중심과 캠축간의 거리
 - d : P 의 방향과 캠축간의 수직거리
 - e : 캠중심과 캠종동절 베어링 간의 거리
 - t : 캠 두께
 - α : 압력각
 - ρ : 캠의 밀도
 - μ : 캠종동절 베어링의 마찰계수

- θ : 캠의 회전각도
- ω : 캠의 각속도
- $r(\theta)$: 캠의 프로파일

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 급형의 작업 공간에 공급하고, 프레스 가공 후에 취출하는 작업으로 이루어 진다. 따라서, 프레스 작업의 속도를 증가시키고 안전한 프레스 작업을 위해서, 재료의 송급, 배출을 자동화하는 이송장치 또한 중요한 프레스 자동화 장비의 하나이다.⁽²⁾ 본 논문은 이러한 이송장치 중 캠(cam) 방식으로 구동되는 이송장치의 설계에 관한 논문으로써, 설계 시에 고려해야 할 사항과 해결 방법에 관한 것이다.

이송장치는 구동의 방식에 따라 서보타입 이송장치와 캠타입 이송장치로 분류할 수 있다. 서보

[†] 책임저자, 회원, 한국기계연구원 첨단산업기술연구부
E-mail : taikmin@kimm.re.kr
TEL : (042)868-7451 FAX : (042)868-7176

* 한국과학기술원 대학원 기계공학과

** 회원, 한국과학기술원 기계공학과

모터를 이용한 이송장치의 구동은 제어의 용이성과 유지 보수의 편리함으로 인해 널리 확산되고 있으나, 파워의 한계로 인해 대형 프레스 가공의 취출에는 사용되어 질 수 없다. 따라서, 대형 프레스 가공의 취출에는 캠에 의하여 구동되는 캠타입 이송장치가 사용된다. 캠은 직접 접촉된 종동절(follower)을 원하는 운동경로를 따라서 반복적으로 움직일 수 있도록 운동을 전달하는 기계요소로서 프레스용 이송장치와 같은 자동화 장치에의 적용이 적합한 기계요소이다.⁽⁵⁾⁽⁶⁾ 캠기구(cam mechanism)는 다른 구동기구에 비하여 복잡한 형태의 운동도 쉽게 반복적으로 재현해 낼 수 있으며, 부하능력이 높고, 고속에서도 안정된 신뢰성 높고 정속한 운동을 얻을 수 있다.⁽⁵⁾

캠 타입 이송장치는 이송을 위한 구동부가 캠 타입으로 이루어진 이송장치로서 전체의 구조는 Fig. 1 과 같다. 하나의 축에 수평이동캠(feed cam), 수직이동캠(Lift cam), 그리고 물림캠(Clamp cam)이 장착되어 있으며 이 축은 프레스의 슬라이드 운동(slide motion)과 동기화되어 있다. 이송장치 전체의 운동 메커니즘은 Fig. 2 와 같다. 먼저 수평이동캠에 의해서 Feed Bar 가 ①에서 ②와 같이 가공물을 향해 이동한다. 그 다음, 물림캠에 의해 가공물들을 ③과 같이 잡은 후에 수직이동캠에 의해 ④에서 ⑤와 같이 가공물들이 들어올려진다. 이렇게 들어올려진 가공물들은 다시 수평이동캠에 의해 이송이 되며 그 다음 수직이동캠에 의해 내려오며 물림캠이 가공물들을 놓음에 의해 한 주기가 끝나게 된다. 이처럼, 캠 구동부는 수평이동캠, 수직이동캠 그리고 물림캠 등 3 개의 캠이 서로 동심축으로 연결되어 있다.

기존의 캠기구로 이루어진 장비들은 각각의 캠기구들의 속도, 가속도, 저크, 압력각 등을 최적으로 설계하는 방식^(6, 7)으로 원하는 운동을 수행하는 것이 가능하였다. 그러나, 대형캠 타입 이송장치와 같이 캠 하나의 기초원이 1m 정도 되는 대형 캠기구는, 워낙 큰 힘이 걸리게 되는 기계장치이므로 축에 막대한 토크가 걸리게 되며, 또한 토크의 변화량도 상당히 크게 되어 일정 한계값 이상의 고속 운전이 불가능하다.

이러한 문제점에 대한 연구로는 캠구동기구의 동역학적 해석을 통해 토크의 변화량을 분석한 연구⁽⁸⁾와 캠구동기구에 있어서 토크의 변화에 의한 캠축의 비틀림 진동의 해석에 대한 연구⁽⁹⁾가 수행된 바 있다. 하지만, 이러한 연구들은 그 근본적인 문제점인 토크의 절대값을 줄이거나, 토크의 변화량을 줄이는 방법을 제시하지 못하고 있다.

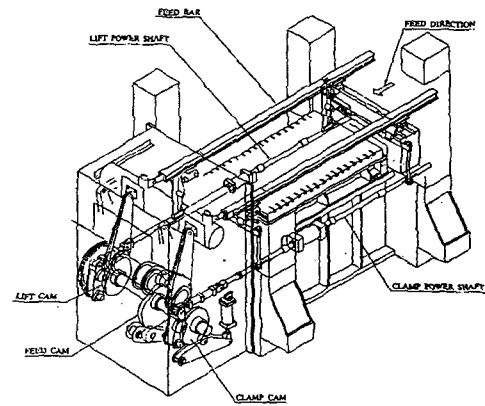


Fig. 1 Cam-type transfer unit

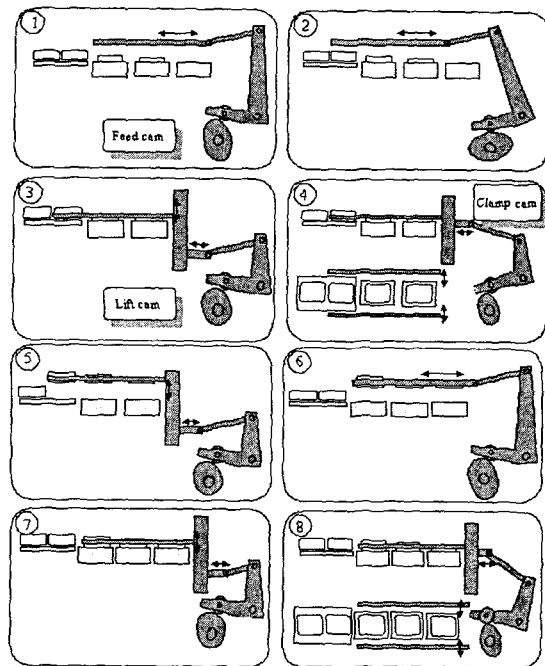


Fig. 2 Mechanism of cam-type transfer unit

본 연구에서는, 각각의 캠기구들의 속도, 가속도, 저크, 압력각 등을 최적으로 설계하는 방식뿐만 아니라, 토크의 절대 값을 줄일 수 있는 복소캠(conjugate cam)을 설계하는 방식과 토크의 변화량을 줄이는 토크저감캠(torque reduction cam)을 설계하는 방식을 제시하여, 고속운동에 적합한 대형 캠타입 이송장치를 설계하는 방식을 제시하고자 한다. 단일 캠 방식은 캠기구 운동의 복귀와 캠과 종동절 사이의 점핑을 방지하기 위하여 상당한 크기의 예압이 필요로 되는데 반해, 두 장의 캠에 하나의 종동절이 상하로 붙게 되어 자동적으로 점핑을 방지하는 복소캠 방식은 불필요한 예압을 줄

이게 되어 전체적인 토크의 절대값을 줄일 수 있다. 토크저감캠은, 각각 캠의 토크를 계산하고 이를 합하여 축에 걸리는 전체 토크를 구한 후, 이에 반대 방향의 토크를 주는 캠기구로써, 전체적인 토크의 변화량을 줄여준다.

본 연구에서 제시한 설계 및 해석을 통해 개발된 캠타입의 이송장치는 대형 프레스 가공의 자동화 라인에서 생산성을 대폭 향상시킬 수 있으며, 캠타입 이송장치의 수명과 기능을 극대화 하는데 이바지할 것이다.

2. 캠 기구의 기본적인 설계

캠 타입 이송장치에서, 원소재의 수평이송(Feed), 수직이송(Lift), 물림(Clamp)이송의 구동을 위해 설계된 각각의 캠기구들은 일반적으로 아래와 같은 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 1차 미분값이 연속적으로 변해야 한다. 불연속적인 1차 미분값은 무한대의 2차 미분값을 유발시킨다.

(3) 2차 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 중동절로 제대로 전달되지 않을 뿐더러, 마찰력이 존재할 경우 중동절이 안내면에 끼이게 되는 효과를 가져온다.

(6) 생성된 캠의 크기와 두께가 제한되어야 한다. 캠과 롤러의 접촉점에는 원하는 링크부의 가속과 예압을 위한 힘이 전달된다. 캠이 파손되

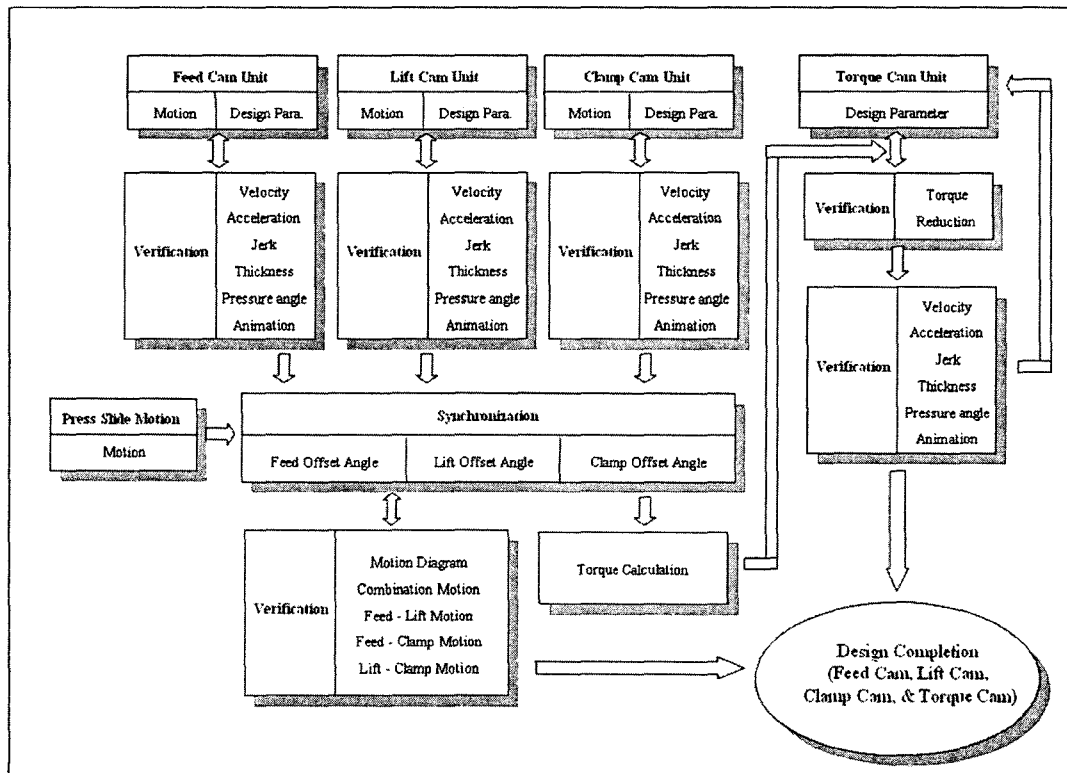


Fig. 3 Block diagram for the design of cam type transfer unit

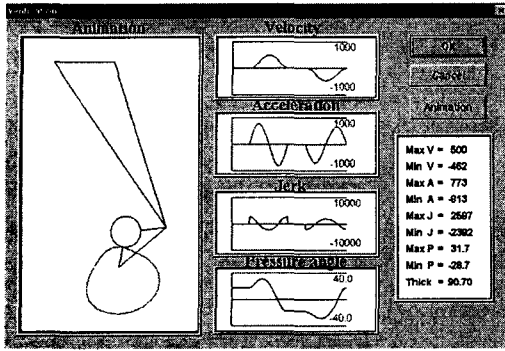


Fig. 4 Basic cam analysis for cam type transfer unit

지 않고 이러한 힘을 견딜 수 있기 위해서는 일정 두께 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 슬라이드 운동과 동기화하여, 사전 시뮬레이션을 통해 검증한다. 삼차원의 시뮬레이션과 움직임의 정면도, 평면도, 그리고 측면도를 통해 쉽게 검증할 수 있다.

위에 설명한 내용을 캠타입 이송장치용 캠 기구가 만족하는지를 기하학적 관계와 동역학적인 관계를 이용한 수식전개 및 계산을 통하여 Fig.4 와 같이 검증하였으며, 설계사양 한계값을 넘어가는 경우에는 기초원의 크기, 캠곡선의 선택, 롤러의 크기, 종동절의 길이, 실린더 용량의 크기, 그 외에 캠기구부의 설계 제원 등의 설계변수들을 바꾸어서 다시 캠기구를 설계하고 검증하는 반복작업을 통해 각각의 캠기구의 설계를 수행하였다.

3. 복소캠의 설계

일반적으로 단일캠 타입의 캠기구에서는 캠과 종동절의 접촉을 계속 유지하기 위해 Fig. 5 와 같이 스프링, 공압, 혹은 유압을 사용하여 구속력을 만들어 주어야 한다. 이에 반해, Fig. 6 과 같이 2개의 평판캠과 각각의 캠에 접하고 있는 롤러로 구성되어 있는 복소캠은, 2개의 캠에 종동절이 양쪽에서 잡아 주기 때문에 자동적으로 종동절이 캠에서 떨어지지 않는다.

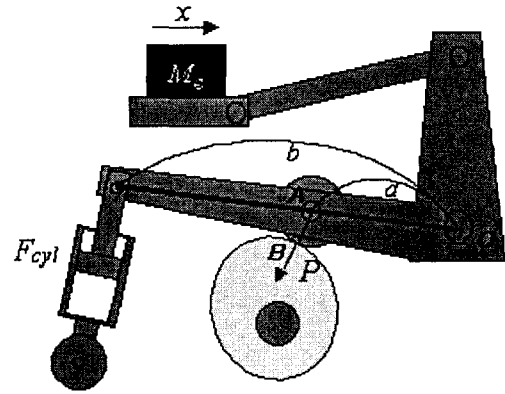


Fig. 5 Single cam type transfer unit

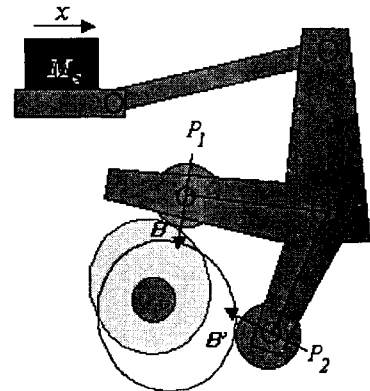


Fig. 6 Conjugate cam type transfer unit

이상적인 경우, 복소캠은 캠과 종동절 사이에 예압을 걸어주지 않아도 점핑이 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 감쇄할 수 있다는 사실을 알 수 있었다.

3.1 단일 캠 타입의 접촉력 분석

단일 캠 타입 이송장치의 경우, 종동절과 캠 사이에는 종동절이 캠에서 떨어지지 않기위한 예압과 기구부 종단의 질량을 움직이기 위한 힘에 의한 압력이 존재한다. 즉, Fig. 4 의 경우 캠과 롤러의 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_e)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.

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

식 (1)의 캠(D-R-D-R)의 한 회전에 따른 롤러와 캠사이에 걸리는 접촉력의 변동을 그래프로 나타내면 개략적으로 Fig. 7 과 같다.

Fig. 7 에서 P 값의 AC 성분은 식 (1)에서 캠곡선의 가속속도로 인하여 생긴 것이며, 그 크기는 M_e 와 캠 프로파일, 캠의 회전속도에 비례한다. DC 성분은 캠과 종동절 사이의 점핑을 방지하기 위해 가해진 예압(F_{cyl})으로 인하여 발생한 것이다. 여기서 만약 예압이 충분치 않아서 P 값이 음수가 될 경우에는, 점핑이 발생하므로 최소한 Fig. 6 에서와 같이 전구간에서 P 값이 양수가 될 수 있을 정도의 예압이 필요하다.

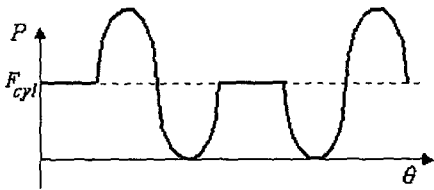
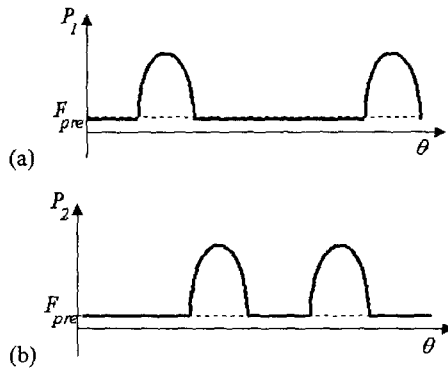


Fig. 7 Contact force between cam and follower for single cam type transfer unit



(a) Contact force on B (b) Contact force on B'
Fig. 8 Contact force between cam and follower for conjugate cam type transfer unit

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) 롤러의 가속도 > 0

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

$$P_2 = F_{pre}$$

ii) 롤러의 가속도 = 0

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

$$P_2 = F_{pre}$$

iii) 롤러의 가속도 < 0

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

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

이다.

식 (2),(3),(4)의 캠의 한 회전에 따른 롤러와 캠사이에 걸리는 접촉력의 변동을 개략적인 그래프로 나타내면 Fig. 8 과 같다.

결과적으로 Fig. 7 와 Fig. 8 을 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. 토크 저감 캠의 설계

캠기구의 축에 작용하는 토크는, 설계된 캠기구의 회전에 따라 크기와 방향이 여러 모로 변하게 된다. 토크 저감 캠이란, 기존 캠 기구를 작동하기 위해 필요로 되는 토크에 대해 반대 방향으로 토크를 발생하도록 고안된 캠을 말하며, 이를 통해서 최대 토크를 줄이고 토크의 변동량을 작게 함으로써 보다 안정된 운동을 기대할 수 있게 된다. 따라서, 토크저감캠을 설계하기 위해서는 기존의 캠기구에 의해 캠축에 작용하고 있는 토크를 먼저

계산하고, 이에 상응하는 토크저감캠을 설계해야 한다.

4.1 캠축에 작용하는 토크

캠 축에 작용하는 토크는 식 (5)와 같이 캠의 자중에 의한 토크, 종동절로부터 전달되는 힘에 의한 토크, 마찰력에 의한 토크, 캠의 관성모멘트에 의한 가속 토크 이렇게 크게 4 가지로 나눌 수 있다.

$$T = T_{weight} + T_{follower} + T_{friction} + T_{acceleration} \quad (5)$$

위의 4 가지 항목 중 차례대로 3 개의 항목은 부하 토크, 마지막 한 항은 관성모멘트에 의한 가속 토크이다. 부하토크는, 캠 기구가 정상적인 동작을 하고 있을 경우 필요한 토크의 크기를 나타내며, 관성모멘트에 의한 가속토크는 캠 기구를 정지상태로부터 정상상태까지 구동하기 위해 필요한 토크로써, 두가지 모두 원동기의 선정에 필요한 정보이다.

(1) 캠의 자중에 의한 토크

캠의 무게 중심은 캠 형상의 편심적인 특징으로 인해서, 캠축과 일치하지 않는 경우가 많다. 이 경우, 캠축에는 캠의 자중에 의해서 식 (6)과 같은 토크가 작용하게 된다.

$$T_{weight} = F_{weight} \times c \times \sin(\theta) \quad (6)$$

(2) 종동절(follower)로부터 전달되는 힘에 의한 토크

캠의 회전을 위해서는 종동절로부터 전달되는 힘에 의해서 캠축에 작용하는 토크보다 큰 토크가 동력원으로부터 전달되어야 한다. 다음의 식 (7)은 종동절로부터 전달되는 힘에 의해서 캠축에 작용하는 토크를 나타내고 있다.

$$T_{follower} = P \times d \quad (7)$$

여기서, 캠과 플러의 접촉력(P)과 축과의 수직거리(d)는 캠의 프로파일, 캠기구의 구체적인 설계치수에 의한 압력각, 캠의 회전 위치 등에 따라 계속 변하는 값이다.

(3) 마찰력에 의한 토크

캠중심과 종동절의 베어링사이의 마찰력에 저항하기 위한 토크는 다음의 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{friction} = \mu P \times e \quad (8)$$

(4) 캠의 관성모멘트에 의한 가속 토크

캠이 정지상태에서 원하는 속도까지 도달하기 위해 필요한 가속토크를 구하기 위한 캠의 관성모멘트는

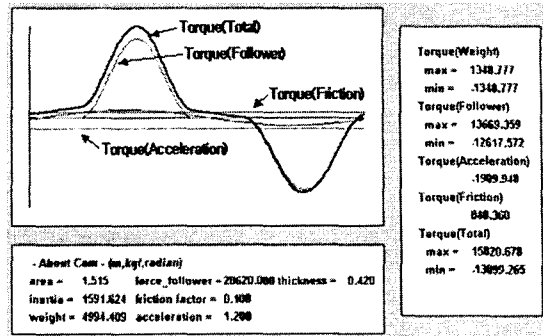


Fig. 9 Simulation for torque generated by single cam

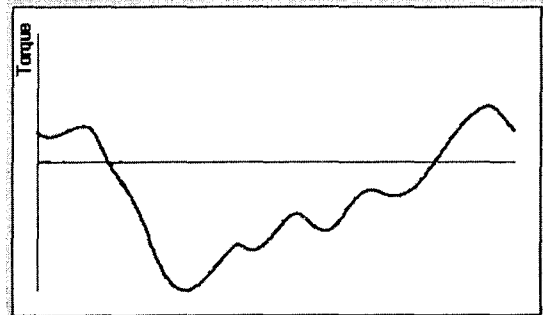


Fig. 10 Simulation for torque generated by three cams

다음의 식 (9)와 같이 표현된다.

$$I = \int_0^{2\pi} \rho t \frac{1}{4} \{r(\theta)\}^4 d\theta \quad (9)$$

대형캠 타입 이송장치 중 수평이송의 구동을 위한 캠에 의해서 캠축에 전달되는 토크를 Fig. 9와 같이 구하였다. 종동절로부터 전달되는 힘에 의한 토크가 월등히 크고 자중, 마찰력, 가속에 의한 토크는 작게 나온다는 것을 볼 수 있다. 캠타입 이송장치의 경우, 총 3 개의 캠이 하나의 캠축에 장착되어 유기적으로 동작되므로, 3 개의 캠의 토크를 더해서 캠축에 작용하는 총 토크의 합을 Fig. 10과 같이 구하였다.

4.2 토크 저감 캠의 구조

캠의 종류는 종동절(follower)의 움직임에 따라, 크게 병진(translation)형과 요동(oscillation)형으로 나눈다. 병진형 캠은 설계하기도 쉽고, 계산상의 편리함도 갖고 있다. 하지만, 종동절이 가이드를 따라서 움직여야 하기에, 종동절과 가이드와의 마찰력이 작용하는데, 특히, 압력각이 커졌을 경우 이 마찰력의 크기는 더욱 더 커지게 되고 이러한 마찰력은 캠에 힘을 전달하는 실린더의 용량을 크게 하는 이유를 제공하게 되는 것이다.

이에 반해, 요동형 종동절은 위의 왕복형 종동

질의 단점을 많이 보완한다. 우선, 병진형 캠에 비해서 압력각의 여유가 크다. 압력각을 크게 가져갈 수 있다는 것은 토크 저감 캠을 설계할 때 적은 용량의 실린더를 이용할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 중동절 끝을 더욱 연장하여 지렛대의 원리를 이용하여 실린더의 용량을 적게 할 수도 있다.

위와 같은 결과에 비추어 비록 계산의 어려움은 있지만, 여러 가지 장점을 많이 갖고 있는 요동형 캠을 토크 저감 캠의 기본 구조로서 채택을 하고, 그 개략적인 구조는 Fig. 11 과 같다. 실린더를 이용해서 캠에 힘을 전달하고, 이 힘에 의해서 캠 축에 전달되는 토크가, 기존의 캠 축에 작용되는 토크를 상쇄하는 효과를 준다.

4.3 토크 저감 캠의 설계

보통, 캠의 설계는 캠 기구의 움직임으로부터 캠의 프로파일을 구하는 것임에 비해, 토크 저감 캠의 설계는, 원하는 토크의 값으로부터 캠의 프로파일을 구하는 것이다. 토크저감캠은 기존 캠기구의 토크를 낮추는 기능을 수행할 수 있도록 캠 프로파일이 생성되어야 하는 것은 물론이며, 이 역시 일종의 캠기구이므로, 2 장에서 설명한 바와 같은, 기존의 캠기구가 만족해야할 속도, 가속도, 저크, 압력각, 캠두께, 기구간의 간섭 등의 조건들을 설계사양 한계값 이내로 만족해야 한다.

본 연구에서는 Fig. 3 에 나타나 있는 바와 같이, 먼저 설계자가 기초원의 크기, 캠곡선의 선택, 플러의 크기, 중동절의 길이, 실린더 용량의 크기, 그 외에 캠기구부의 설계 제원 등의 설계변수들을 결정한 후, 토크저감을 위한 캠 프로파일을 형성하고, 토크저감이 충분히 이루어졌는지를 검증한 후에, 속도, 가속도, 저크, 압력각, 캠두께, 기구간의 간섭을 Fig. 3 와 같이 차례로 검증하여, 이 중 만족하지 못하는 요소가 있으면, 설계변수를 다시 변경하고 검증하는 반복 작업에 의해 토크저감 캠을 설계하였다.

토크저감을 위한 캠 프로파일 형성 방법은, 캠에 의해 중동절이 상승하거나 하강할 때 토크가 양의 방향 혹은 음의 방향으로 걸리게 되고, 그 외의 경우(Dwell)에는 토크가 걸리지 않는다는 것을 이용한 것이다. 따라서 기존의 캠기구에 걸리고 있는 토크의 극값이 존재하는 위치와 그 극값의 크기, 그리고 극값의 부호를 전체 토크의 선도로부터 알아내어, 그 극값의 반대 방향으로 토크를 걸어줄 수 있도록 토크저감캠의 상승과 하강을 배치한다. Fig. 12 는 설계된 토크저감캠의 예로써,

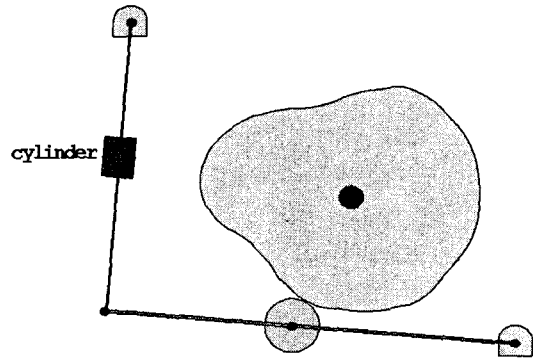


Fig. 11 Structure of Torque Reduction Cam

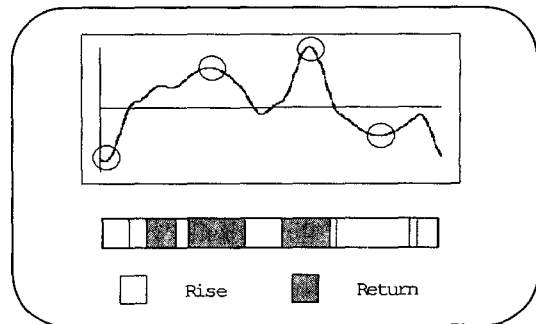


Fig. 12 Cam profile generation method for torque reduction cam

토크저감캠의 토크선도와 캠형상의 관계를 보여준다 상승과 하강하는 구간의 크기가 작을수록 발생하는 토크가 커지며, 상승 및 하강하는 각 구간의 한가운데에서, Fig. 12 에 표시된 바와 같이, 극부적인 최대토크가 발생한다.

위와 같은 원리를 이용하여 토크저감캠의 설계는 이루어지며, 본 연구에서는 설계자가 토크저감캠을 설계한 후 토크 저감이 충분히 이루어지지 않았을 경우 다시 수정하여 토크저감캠을 생성하는 반복적인 설계방식을 사용하였다.

Fig. 13 은 토크 저감 캠을 장착하기 전의 토크 선도와 반대방향의 토크가 발생하는 토크저감캠의 토크선도, 토크저감캠을 장착한 후의 토크선도를 보여준다. 반대방향의 토크를 걸어주는 토크저감캠의 사용을 통해, 토크의 절대값과 토크의 변동폭이 줄어드는 것을 볼 수 있다.

5. 프로토타입의 제작 및 실험

5.1 프로토타입의 제작

위에서 제시한 설계방식을 통하여 실물크기의 1/10 의 프로토타입을 제작하였다. 전체적인 설계사양은 아래와 같다.

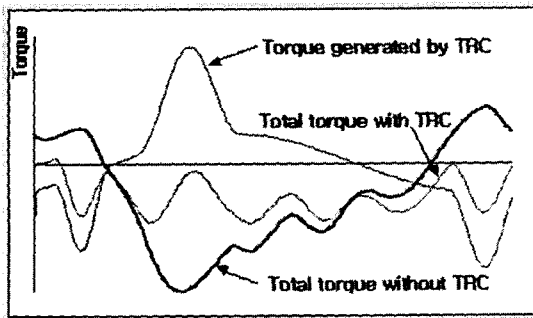


Fig. 13 Simulation for total torque generated with torque reduction cam and without torque reduction cam

Table 1 Specification for prototype of cam type transfer unit

Specification of prototype			
Cam	Conjugate cam type : Feed cam, Lift cam, Clamp cam		
	Single cam type : Torque cam 1:10 scale-down model		
	Minimum radius(mm)	Maximum radius (mm)	Stroke of linkage(mm)
Feed cam	40.0	90.0	210.0
Lift cam	51.0	76.0	50.5
Clamp cam	63.0	76.0	25.3
Torque cam	Swinging Roller Follower Type		
motor	AC servo Motor		

수평이동캠, 수직이동캠, 물림캠이 복소캠 형식으로 장착되었으며, 토크저감 캠이 1 개 장착된다. 각각의 캠의 크기는 Table 1 에 나타난 바와 같다. 따라서, 한 개의 축에 7 개의 캠이 붙게 되며, 이의 구동을 위해서 AC servo 모터를 사용하였으며 정속회전과 원하는 각도 만큼 회전이 가능하다.

Unigraphics CAD 소프트웨어를 이용하여 솔리드 모델로 Prototype 을 Fig. 14 와 같이 디자인하였으며 Fig. 15 와 같이 제작하였다.

프로토타입에 사용된 캠은 P20 계열의 초경 인서트타입의 직경 30mm 엔드밀을 이용하여 가공하였으며 중삭으로 절삭 깊이 1mm, 정삭으로 0.3mm 를 주어 가공하였다.

5.2 토크 측정 실험

제작된 프로토타입에 토크미터를 장착하여 토크 저감 캠을 부착하기 전과 후의 캠 축의 토크

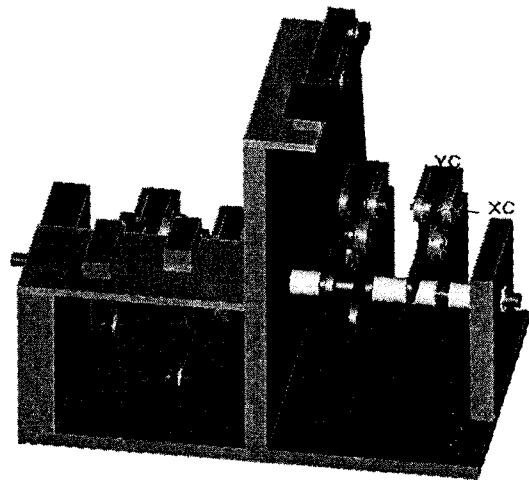


Fig. 14 Prototype designed by solid modeler

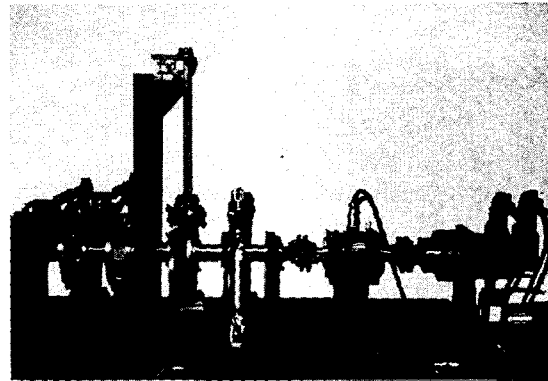


Fig. 15 Developed prototype

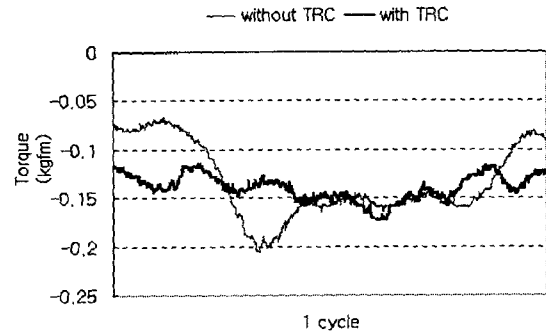


Fig. 16 Measurement of total torque generated with torque reduction cam and without torque reduction cam

변화를 Fig. 16 과 같이 측정하였다. 토크저감캠의 장착 전의 토크 선도와 장착 후의 토크선도는 그 형상이 Fig. 13 의 시뮬레이션 결과와 거의 비슷하다는 것을 볼 수 있다. 하지만 토크 선도가 시뮬

레이션 결과에 비해 음의 방향으로 이동되어 있는 것을 발견할 수 있다. 이러한 음의 방향으로의 평행 이동은 마찰력에 의한 영향이라고 볼 수 있다. 소프트웨어적인 해석에서 고려할 수 없었던 여러 가지 마찰력들이 실험 장치에 작용을 하고 있다. 우선, 가장 크게 영향을 주는 것으로서 캠과 롤러 사이의 마찰력을 들 수 있다. 캠과 롤러사이에는 중동절로부터 전달되는 힘에 대한 구름 마찰력이 작용하고 있다. 하지만, 중동절로부터 전달되는 힘 중에서 복소캠의 원활한 동작을 위한 예압의 양을 실험 장치에서는 측정할 수가 없었다. 본 실험장치에서 예압을 가해주는 정도에 따라 토크선도가 위아래로 움직이는 것을 측정할 수 있었다. 그외에, 링크사이의 연결부, 캠축과 베어링 등에 작용한 마찰력으로 인해 전체적인 토크선도가 내려갔다.

이러한 마찰에 의한 토크는 토크의 DC 값을 일정한 값만큼 내려가게 하고 AC 값에는 영향을 주지 않는다. 따라서 실험 결과 역시, 토크 저감캠을 장착함으로써 인해서, 캠 축에 작용하는 토크의 DC 값은 시뮬레이션에서 예상한 것 보다 적게 12%정도 감소시켰지만, 토크의 변동폭은 61% 정도 감소시킬 수 있었다.

6. 결 론

본 논문은 대형캠 타입 기구부에 의해 구동이 발생하는 이송장치의 설계에 관한 논문으로써, 설계시 고려해야 할 사항들과 이를 해결하기 위한 설계방식을 아래와 같이 제시하였다.

(1) 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.

(2) 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.

(3) 각각의 기존 캠들에 의해 발생하는 토크의 값들을 계산하여 반대방향으로 토크를 발생시켜줌에 의해 토크를 줄여주는 토크저감캠을 설계하여 토크의 절대값도 줄이며, 토크의 변화량을 줄이는 설계를 하였다.

위의 사항들을 고려한 설계를 통해 프로토타입을 제작하여, 설계 방식을 검증하였다. 본 연구를 통해 부하능력이 높고 고속에서도 안정된 신뢰성 높고 정숙한 대형캠 타입 이송장치의 제작에 기여하였으리라 생각하며 프레스 작업의 취출 작업 속도를 빠르게 하고 캠과 캠축의 수명을 연장함에 의해 대형캠 타입 이송장치의 수명과 기능 향상에 크게 이바지 하였으리라 생각한다.

참고문헌

- (1) Kalpakjian, S., 1995, *Manufacturing Engineering and Technology*, Addison Wesley, Boston, p. 444.
- (2) DeGarmo, E. P., Black, J. T., Kohser, R. A., 1988, *Materials and Processes in Manufacturing*, Macmillan, New York, p. 490.
- (3) Chen, F. Y., 1982, *Mechanics and Design of Cam Mechanism*, Pergamon Press Inc., Oxford.
- (4) Makino, Y., 1989, "Important Cam Mechanism," *Machine Design*, Vol. 33, No. 3, pp. 26~29 (in Japanese).
- (5) Nishiyoka, M., 1986, "state-of-the-Art Cam Design," *Machine Design*, Vol. 30, No. 15, pp. 26~41 (in Japanese).
- (6) Erdman, A. G., Sandor, G. N., 1991, *Mechanism Design - Analysis and Synthesis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- (7) Rothbart, H. A., 1956, *CAMS - Design, Dynamics, and Accuracy*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- (8) Shin, J. H., Kim, J. S., Ha, K. H., 1997, "A Study on the Kinetodynamic Analysis for General Disk Cam Driving Slider Mechanisms," *Trans. Of KSME*, Vol. 21, No. 6, pp. 871~883.
- (9) Kim, H. B., Jeon, H. S., Lee, J. W., Park, Y. S., 1990, "Dynamic Stability Analysis of a Single Cam Drive Mechanism," *Trans. of KSME*, Vol. 14, No. 3, pp. 526~533.