

## 자동차용 스프링 성형용 CAM 의 성형설계자동화 프로그램개발

박철우\*(부산대 정밀기계대학원), 이주현(부산대 정밀기계대학원),  
김영호(부산대 기계공학부,ERC/NSDM)

### A study on programming Development Forming Design Automated of CAM for Spring using Car

C. H. Park(Mecha. Eng. Dept. PNU), J. H. Lee(Mechanical Eng. Dept., PNU)  
and Y. H. Kim(Mechanical Eng. Dept. PNU, ERC/NSDM)

#### ABSTRACT

A CAM program for forming design Automated of CAM for Spring using car was developed in this study. This program was written in AUTO-LISP on the AUTO-CAD system with a personal. An approach to the system is based on the kinematic of the object function. We make a determination of an cam programming. A cam spline is continuous in displacement, velocity and acceleration. The best cam curve is obtained by changing the kinematic of the object function. The result has improved all characteristics such as velocity, acceleration and displacement compared with that of the modified cycloid curve

**Key Words :** Spring(스프링), AUTO-LISP, Cam(캠)

#### 1. 서론

캠은 직접 접촉된 종동절이 예정된 운동경로를 따라 움직일 수 있도록 운동을 전달하는 기계요소이다. 캠기구(Cam mechanism)는 캠(Cam), 종동절(Follower), 프레임(frame)등으로 간단히 구성되며 복잡한 형태의 운동도 쉽게 반복적으로 재현해 낼 수 있다.[1] 최근 들어 자동차산업분야를 위시하여 가전제품 등에 코일스프링의 사용량이 급증하고 그에 따른 스프링 제조 산업 역시 다양화, 전문화 되어 대량생산, 고-정밀성의 요구 또한 증가하고 있다. 동시에 스프링의 형상에 직접적인 영향을 미치는 캠의 설계와 제작 역시 그 중요성을 더해가고 있다.[2] 스프링의 형상과 특성치를 결정하는 인자는 자유장의 길이, 코일링 속도, 총권수, 스프링의 지름과 피치, 재료의 물성치 등 여러 가지가 있고 이러한 요구조건을 만족하는 스프링을 생산하기 위한 캠의 제작 역시 하중 조건과 기계구동속도, 기초원의 지름, 최대 lift 와 소재 물성치등 여러 가지 인자에 의해 지배되고 있다.[3,4] 이러한 여러 가지 인자를 고려하여 스프링의 형상을 결정짓는 캠

을 설계하고 가공하는 종래의 방식은 마모로 인한 캠의 변형과 수 가공으로 인한 최적 캠 프로파일의 재현 불가능이 가장 큰 문제점으로 제기되고 있다.

본 연구에서는 종래의 수 가공방식에서 벗어나 스프링의 특성을 결정짓는 캠의 형상을 CAD 화 함으로써 표준화를 완성하고 CAD 화 된 도면을 바탕으로 NC 공작기계로 캠을 제작함으로써 캠의 형상을 균일하고 정밀하게 제작할 수 있도록 최적 캠 profile 을 작도하는 CAD 프로그램을 개발하는 것을 목적으로 한다. 이를 통해 스프링의 불량률을 줄이고 캠과 스프링의 신뢰도를 향상시킬 수 있다. 또한 설계된 캠의 jerk, acceleration, velocity, displacement 등을 해석함으로써 설계에 대한 최적의 data 를 생성하는 방법을 개발, 실용화하는 것을 목적으로 한다.

#### 2. 스프링 성형기의 기구학적 해석

본 연구에서는 현재 사용되고 있는 대표적인 스프링성형기계 HTC-38 을 대상으로 해석모델을 선정하여 기구학적 해석을 하였다. Fig. 1 은 HTC-38 성형기

링크장치의 사진이다

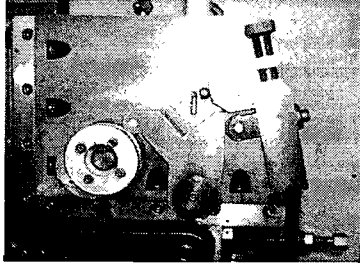


Fig. 1 Structure of HTC-38 Forming equipment

- CAM & link ①의 상관관계

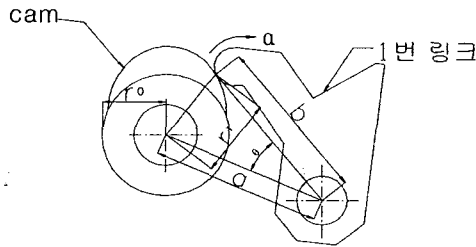


Fig. 2 CAM and Translating Roller Mechanism

Fig. 2는 CAM과 링크-1은 서로 구름운동을 하고 있다. 두 링크사이의 상대운동식은 다음과 같다.

$$r_0^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta$$

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{a^2 + b^2 - r_0^2}{2ab} \right)$$

$$r_0 = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos(\theta + \alpha)}$$

(\* $\alpha$ 는 링크② 회전( $\beta$ )시에 이루는 각도)

- Link ① & link ② 상관관계

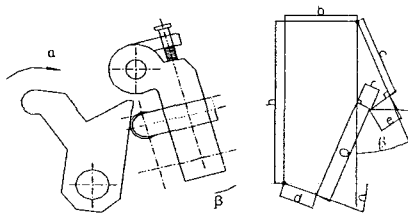


Fig. 3 Link ① & Link ② Mechanism

Fig. 3은 링크-1과 링크-2와의 미끄럼운동을 나타내고 있다. 두 링크사이의 상대운동식은 다음과 같다.

$$x: d \cos \alpha + Q \sin \alpha = b + c \sin \beta - e \cos \beta - r \cos \alpha$$

$$y: -d \sin \alpha + Q \cos \alpha = h - c \cos \beta - e \sin \beta + r \sin \alpha$$

$$Q = \frac{B + c \sin \alpha - e \cos \beta - r \cos \alpha - d \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$\alpha$ 와  $\beta$ 에 대한 관계식

$$b + c \sin \beta - e \cos \beta - r \cos \alpha - d \cos \alpha$$

$$= \tan \alpha (h - c \cos \beta - e \sin \beta + r \sin \alpha + d \sin \alpha)$$

- link ② & rear link(L6)의 상관관계

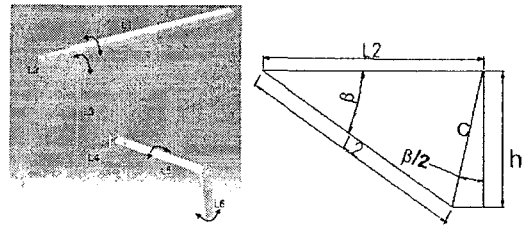


Fig. 4 Rear link(L6) of Mechanism

Fig. 4는 Rear 링크(L-6)의 상대운동식을 나타내고 있다.

$L_2$ 의 수직 아래 방향으로 이동거리(h)는

$$h = \sqrt{(2L_2^2 - 2L_2^2 \cos \beta)} \cdot \cos \frac{\beta}{2}$$

$L_6$ 의 회전각( $\beta'$ )는

$$h = \sqrt{(2L_4^2 - 2L_4^2 \cos \beta')} \cdot \cos \frac{\beta'}{2}$$

$$= \sqrt{(2L_2^2 - 2L_2^2 \cos \beta)} \cdot \cos \frac{\beta}{2}$$

$L_6$ 의 이동거리(h')는

$$h' = \sqrt{(2L_6^2 - 2L_6^2 \cos \beta')} \cdot \cos \frac{\beta'}{2}$$

### 3. 캠의 형상결정

압축코일스프링 성형기는 HTC-38, VF-615, MC-30, MC-50, CM-80 등의 모델이 있으며 스프링의 직경과 코일 수에 따라 모델이 결정된다. 각각의 성형기는 이송기어 배치에 따라 와이어 이송량이 변화되며 일반적으로 4 종류의 기어 배치를 가진다. 스프링 생산량에 맞춰 적정 기어 배치를 한다. 합수 요구 인자들의 함수결정을 위해선 중동절의 운동변화와 피치틀의 최대 이동량의 속도가 선행되어야 한다. VF 성형기가 이동량이 가장 적으며 CM-80이 이동량이 가장 커서 자유장이 큰 스프링을 생산하기에 적합하다. 가속도와 저크를 갖는 일반다항식 곡선이 고속운전을 하는 스프링 성형기에 적합하며 부분적으로 스프링백이 발생하는 하강 구간에서는 최대 장력을 발생시키는 사이클로이드 곡선을 적용하는 것이 바람직하다.

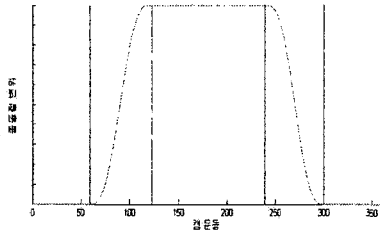


Fig. 5 Cam profile motion graphics

- 0°~ 60° : 일시정지구간
- 60°~120° : 상승구간(일반다항식곡선)
- 120° ~ 240° : 일시정지구간
- 240° ~ 300° : 하강구간(사이클로이드곡선)
- 300° ~ 360° : 일시정지구간

캠 크기를 결정 짓는 것은 성형기 내부의 캠 구동축 직경과 압력각, 곡률반지름, 피치량에 의해 결정된다. 압력각은 30° 이내가 적당하며 곡률반지름은 중동절 구름베어링의 직경 크기에 따른다. 스프링의 피치와 캠의 크기는 비례적이거나 너무 작거나 클 경우 기계 운전시 무리를 가하게 되므로 중동 장치들의 위치를 변화시켜 적당한 운동 변화를 주는 것이 좋다. Fig. 5 은 스프링 형상에 영향을 미치는 캠의 구간별 역할을 나타내고 있다.

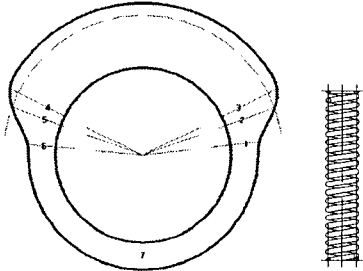


Fig. 6 Cam and Spring shape

Fig. 6 은 캠의 구간별 운동을 나타내고 있다 1-3 구간은 상승구간으로 스프링의 제작에 있어서 피치틀이 나오는 부분이다. 이 구간으로 최대피치가 결정되고 무효권수를 결정한다. 3-4 구간은 등피치 구간으로 피치틀이 계속적으로 밀어내고 있는 부분으로 이 구간은 최대피치가 유지되고 그로 인해 유효권수를 결정한다. 4-6 구간은 하강구간으로 밀어내고 있던 피치틀이 빠져나오는 부분이다. 이 구간은 피치틀이 완전히 들어오게 되면 여기에서 빠르게 들어오고 느리게 들어오기에 따라 스프링백을 좌우하게 된다. 스프링백은 스프링의 평행도와 직각도에 큰 영향을 미친다. 7 구간은 커팅구간으로 스프링제작에는 직접적인 영향을 미치지 않고 제작된 피치틀이 완전히 들어가고 스프링을 커팅날이 올라와서 완성된 스프링을 잘라내어 공정을 마무리 짓는다.

#### 4. 코일 스프링 성형용 캠 프로그램

본 연구에서는 우선, 생산에 이용하고 있는 최적화된 캠 프로파일의 특성치를 입력하면 자동으로 CAD 도면을 생성시키는 CAM 프로그램을 개발, 상용화 시키는 개발 순서도를 Fig. 7 에 나타내었다.

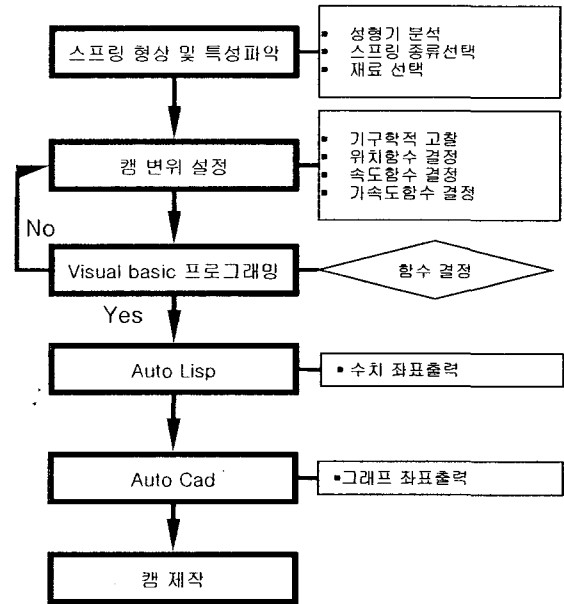


Fig. 7 Configuration of the system

#### 4.1 비주얼 베이직을 이용한 프로그램 코딩

비주얼 베이직 프로그램은 프로그램의 결과로 나타나는 입력 또는 출력 내용을 미리 눈으로 확인해 가면서 만들어 가면, 그에 따라 프로그램 코드가 선택되어 손쉽게 프로그램을 만들고 수정할 수 있는 프로그램이다. 결과를 눈으로 바로 확인할 수 있어 손쉽고 빠르게 프로그램 개발을 할 수 있다. 캠기구 형상설계 및 해석 프로그램의 전체구성은 Fig. 8 과 같다. 각각의 입력을 받아서 해석작업을 수행하여 정보를 그래프로 보여준은 물론, 출력데이터를 이용하여 애니메이션작업, AUTOLISP 에서 캠 형상까지 나타내준다.

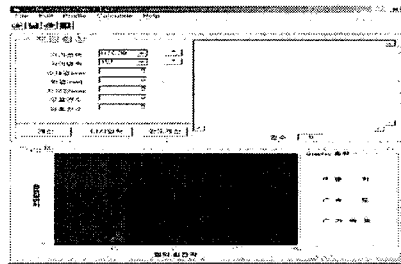


Fig. 8 Initial input windows of CAM Program

#### 4.1.1 입력부분

#### 4.1.1.1 스프링형상 입력

캠을 제도하기 위해 직접적으로 영향을 미치는 부분이다. 기기선택은 기기마다 기어단수 속도에 따른 와이어 이송량이 다르기 때문에 반드시 선택되어야 할 부분이다. 기어변속은 앞에서 설명한 바와 같이 와이어 이송량을 결정짓는 부분이다. 소재경, 외경, 자유장, 무효권수, 유효권수는 캠의 형상을 직접적으로 결정짓는다. Fig. 9에 \*부분을 누르면 기기에 대한 부가설명이 뜨도록 하여 스프링 기기에 대해 지식이 부족하더라도 사용할 수 있도록 하였다. 계산버튼을 누르면 각 요소들의 작동으로 좌표값이 출력창에 나오도록 하였다. 강도계산 버튼은 스프링 이론해석에 필요한 값들 즉 탄성계수, 펼친 길이, Solid length, 처짐, 스프링지수, whal 응력수정계수, 전단응력 값들을 계산할 수 있도록 구성된 형태이다.

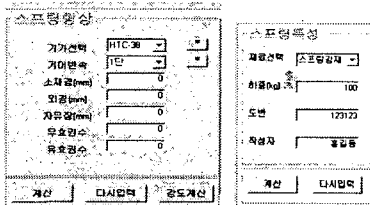


Fig. 9 Input windows programming spring shape and characteristics

#### 4.1.1.2 스프링특성 입력

재료선택과 하중을 입력함으로써 스프링의 설계 값을 자동 계산하기 위해 필요한 부분이다. 탄성계수, 펼친 길이, Solid length, 처짐, 스프링지수, whal 응력수정계수, 전단응력 값을 계산하기 위해 필요한 요소들은 스프링형상탭에 있는 값들을 이용하고 스프링특성탭에 보강으로 탄성계수, 하중만을 첨가하였다. 강도에 필요한 값들을 여러 번 넣어야 되는 불편을 덜었다. 도면과 작성자는 스프링설계시 꼭 필요한 부분으로 인쇄를 하였을 때 여러 파일들로부터 구분할 수 있다.

#### 4.1.2 출력부분

##### 4.1.2.1 캠 프로파일 좌표값 출력부분

스프링형상탭에서 계산버튼을 클릭했을 때 출력창에 Fig 10와 같이 나타난다. 이는 X,Y,Z의 좌표를 의미하고 이 자료를 통해 AUTOCAD에서 LISP을 통해 캠 형상을 그려낸다. 이 데이터를 AUTOLISP으로 읽어 들여 캠의 형상을 그려낸다.

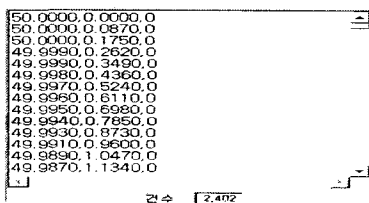


Fig. 10 Output windows of Coordinate value

##### 4.1.2.2 캠운동선도 그래프 출력부분

Fig. 11은 그래프 출력창은 “중동절 변위함수 해석”에서 기술한 바를 가지적으로 볼 수 있도록 나타내었다. 그래픽의 종류에 변위, 속도, 가속도를 클릭했을 때 그에 해당되는 그래프가 나타난다. 이 그래프는 캠의 회전한 각도 정도를 가지고 그 부분의 변위, 속도, 가속도를 눈으로 볼 수 있고 쉽게 해석할 수 있다. 따라서 그래프의 형상만으로 에러가 있는지 없는지를 판단할 수 있다. 변위, 속도, 가속도의 그래프는 피치틀의 이동구간, 최대 이송량 등이 중요한 정보를 담고 있다.

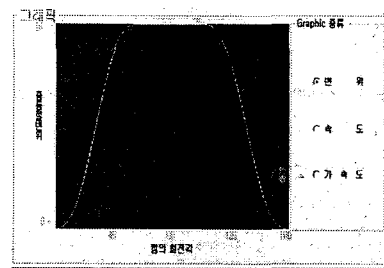
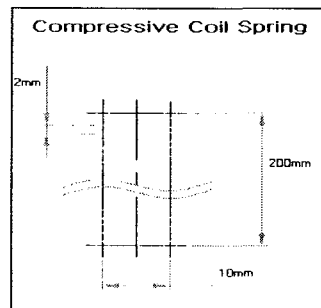


Fig. 11 Output windows of graphics

##### 4.1.2.3 스프링 이론 설계값 출력부분

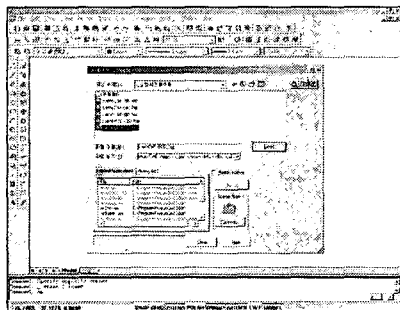
스프링특성탭에서 계산버튼을 클릭했을 때 출력창에 Fig. 12와 같이 나타난다. 두 부분으로 나누어 스프링형상, 스프링특성으로 나누었다. 스프링형상은 스프링형상탭에 직접입력했던 변수들 즉 기기선택, 기어단수, 소재경, 외경, 자유장, 무효권수, 유효권수, 총코일, 하중을 나타내었고 스프링특성에는 이론적으로 계산된 스프링의 특성 즉 탄성계수, 펼친 길이, Solid length, 처짐, 스프링지수, Whal 응력수정계수, 전단응력을 출력하도록 하였다. 이 데이터는 캠을 제작하고 그 캠에 대한 데이터로 현장작업자나 도면작성자가 편하게 작업하고 캠에 대해 이해할 수 있도록 하기 위해 만들었다. 스프링이 실제 기기의 부품으로 쓰여질 때 변형이나 파손을 막을 수 있기 때문에 이 데이터는 중요하다. 스프링을 제작할 때 허용범위를 정하여 그 허용범위를 넘지 않는 한도에서 설계하여야 한다.



**Fig. 12 Output windows of Spring Design value**

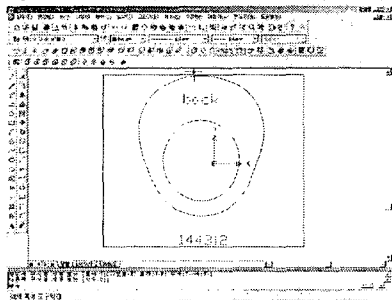
**4.2 Autolisp 을 이용한 CAD 파일 출력**

LISP 정보는 CAM 실행파일에서 출력된 데이터의 좌표값을 포인트로 찍어서 그 포인트를 연결하는 방식으로 LISP 프로그램은 짜여졌다. Fig. 13 은 AUTOCAD 에서 LISP 을 불러들일때의 화면이다. 이 화면에서 용도에 맞는 LISP 파일을 불러들여 사용한다. LISP 파일을 불러들이고 CAM 실행파일에서 출력된 데이터의 좌표값을 불러들이면 그 데이터에 대응하는 포인트가 생겨난다. 포인트를 다 찍으면 그 포인트를 라인으로 다시 연결해서 CAM 을 생성시킨다.



**Fig. 13 Output windows of Lisp file**

Fig. 14 은 포인트를 찍은 후 라인으로 연결해서 최종의 CAM 형상이 나타난 화면이다. 캠 형상만을 그리고 난 후에 캠 형상에 맞는 도면과 앞 뒤면을 구분 지어주는 "BACK" 이라는 단어를 추가하여 불편함을 덜었다. 이 파일을 가지고 절단기에 캠 파일을 넣으면 보는 것과 같은 CAM 이 제작된다.



**Fig. 14 Output windows of CAM program loading**

**5. 결론**

본 연구에서는 비주얼베이직과 Auto-LISP 를 이용해서 CAM 의 성형설계자동화 프로그램을 구축했다. 스프링성형기계 HTC-38 을 대상으로 기구학적인 운동방정식을 이용해서 운동방정식을 풀었다. 개발시스템의 특징은 다음과 같다.

1. CAM 의 형상을 표준화하여 빠른 시간 내에 스프

- 링의 생산이 가능하게 하였다.
2. 재료 및 하중을 입력함으로써 스프링의 설계값을 자동으로 계산할 수 있는 캠 프로그램을 개발하였다.
3. 어떤 스프링이라도 CAM 설계 자동화 프로그램을 이용하면 쉽게 CAM 을 제작할 수 있고 이 CAM 을 이용하여 쉽게 제품을 만들 수 있도록 하였다.

**참고문헌**

1. Kyung-Woo Lee, Jae-Sam Ban, Jong-Seok Kim, Kyu-Zong Cho. "A study on the development of the gear design program using auto lisp," Transactions of the Korean society machine Tool Engineers, Vol. 11, No. 2, 2002.
2. Tae-Young Shon, Min-Yang Yang, "Synthesis of optimum cam curve by Cubic spline," J. KSME, Vol. 19, No, 5, 1995.
3. Hyung-Hong Kwon, Sun-Jun Choi. "Design Automated of the compressive coil spring," JKSMTE, Vol. 9, No. 6, 2000.
4. 김준형, 안길형, 김수현, 박윤근 "고압 회로차단기의 비등속 회전 캠의 최적설계," 한국 정밀공학회지, 제 18 권, 제 12 호, pp. 47-53, 2001.
5. K. yoon, s.S. Rao, "Cam Motion Synthesis using Cubic Splines," Journal of Mechanical Design, Vol. 115, pp. 441-446, 1993.
6. H.Y. Cho, G.J. Nam, B.K. Oh, Y.H. Kim, J.H. Lee and J. Suh, "A Development of CAD Program for Metal Bellows Diaphragm", ksmem Vol. 27, No. 3, pp. 401-408, 2003