

축 평형단면의 형상정의에 의한 대형 스크류 가공프로그램 생성에 관한 연구

이원규*, 이민환**, 안중환***

Study on the Generation of Machining Program for Large Screws Defined by Longitudinal-Section Profile

W.K.Lee*, M.H.Lee**, J.H.Ahn***

ABSTRACT

In machining large screws such as those of extruders, it takes long time to machine them on conventional machines which usually use single-tipped fixed tools. And it is also difficult to use an existing CAD/CAM software when trying to get over the problems of conventional machines and making use of CNC machines. In this paper, generation of machining program using rotational tools for large screws defined by longitudinal-section profile is described. Use of rotational tools in machining plays an important role in saving machining time. In the sort of extruder screws, it is easy to define a screw shape by longitudinal-section profile, and by which improvement of dimensional accuracy can be expected. The CAM software developed in this paper is based on user's and designer's friendliness.

Key. Words : Screw (스크류), CAD/CAM (전산원용설계/제조), Rotational tools(회전공구), Longitudinal-section profile (축 평형단면형상), CNC lathe (수치제어선반)

1. 서론

사출성형기, 식품가공기, 소재운반장치, 농업용 기계, 건설장비 등에 많이 쓰이는 대형 스크류는 다양한 사용영역과 수요에도 불구하고 그 가공에 있어 자동화가 용이하지 않아 대부분 수동선반을 이용하여 가공이 이루어지고 있다. 따라서 대형 스크류의 가공은 작업자의 능력에 의해 그 정밀도가 좌우되고, 작업능률도 현저하게 낮은 것이 현재 대형 스크류 가공의 현실이다. 또한 CNC선반을 이용한다 하더라도 그 가공프로그램을 생성하는데 기존

의 CAD/CAM시스템 사용이 어렵고 이를 이용한 경우에도 많은 시간이 소요되고 있다⁽¹⁾.

이러한 문제들을 극복하기 위하여 일부업체에서는 스크류가공 전용기를 도입하여 사용하고 있지만 장비가 고가일 뿐만 아니라 스크류의 형상에 따라 사용공구 또한 따로 설계하고 주문제작을 해야 하므로 다량생산이 아닌 경우 이의 활용이 현실적이지 못하다. 즉 동일한 제품의 다량생산을 요구하는 경우가 드물어 전용기의 경우에는 그 활용의 시

* 울산대학교 기계·자동차공학과

** 대우정밀

*** 부산대학교 지능기계공학과

장성이 없으며 다품종 소량생산의 경우에는 스크류 가공에 제약이 따르므로 스크류가공 업체들은 대부분 영세함을 면치 못하고 있으며 제작단가가 높고 정밀도 향상에도 어려움이 많다.

따라서 본 논문에서는 일반적으로 대형 스크류의 형상정의 시에 사용되는 스크류의 축 평행단면 형상정의에 의하여 3축 CNC 선반의 NC 데이터를 생성하게 해 줌으로써^(2,3) 용이하게 가공프로그램을 작성하고 다수의 날을 가진 페이스 컷터(face-cutter)나 플랫(flat) 또는 볼노즈 앤드밀(ball-nose endmill)등의 회전공구를 사용하여 가공함으로써 그 가공시간을 단축시키며, 이러한 작업들을 일반 PC 및 범용의 3축 CNC 선반을 통해 작업자나 설계자들이 쉽게 사용할 수 있는 CAM 시스템의 개발^(4,5)에서 가장 중요하게 요구되는 공구위치 계산부분을 위주로 하여 기술할 것이다.

2. 스크류 형상 정의 및 공구위치 계산

2.1 스크류의 형상 정의

일반적으로 사출기 등에 사용되는 대형 스크류들의 가공을 위한 형상정의는 스크류의 축을 포함하며 축에 평행한 단면상에 이루어진다.

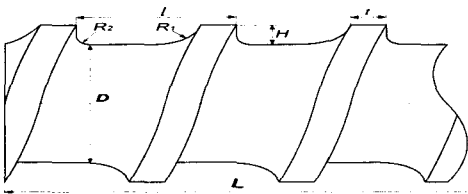


Fig. 1 Screw shape and design parameters

Fig. 1은 그 한 예를 보여주며 형상정의에 필요한 스크류 각 부분의 크기를 나타내는 파라미터가 표시되어 있다. 이와 같이 정의 되는 스크류의 형

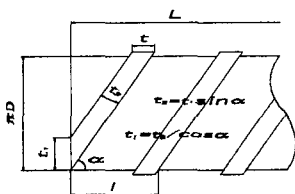


Fig. 2 A development view of a screw

상은 지금까지 단일 절삭날을 가진 고정공구를 사용하여 가공함으로써, 가공시간이 많이 소요되고 가공된 제품의 형상 균일성도 기대할 수 없었다.

이와 같은 문제점을 극복하기 위한 가장 직접적인 방법은 다수의 절삭날을 가진 절삭공구(예: 페이스 컷터 등)를 사용하여 CNC 선반상에서 가공하는 것이다. 이를 위해 본 시스템에서는 Fig. 1과 같이 정의된 스크류의 형상데이터를 다시 펼친 상태의 전개도에 의해 공구위치 데이터 계산에 필요한 시스템내부 파라미터들을 계산하도록 하였다.

Fig. 1에서 정의된 스크류 형상의 펼친그림은 Fig. 2와 같다. 정의된 파라미터들을 사용하여 Fig. 2에 표시된 시스템 내부 파라미터들을 값들로 변환하면 다음과 같은 식으로 표시할 수 있다.

$$\text{Helix 각도} : \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\pi D}{t}\right) \quad (1)$$

$$\text{전체길이 } L \text{이동시 Helix 회전수} : n = \frac{L}{t} \quad (2)$$

$$\text{Pitch폭 } t \text{의 축수직단면의 길이} : t_1 = t \cdot \tan \alpha \quad (3)$$

위의 식들 중 (3)식에 의해 그림1에서 설정한 R1, R2,

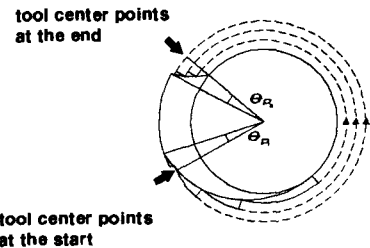


Fig. 3 Cross-section view of a screw and tool paths

t값들은 Fig. 3과 같은 스크류의 축 수직단면으로 다시 환산할 수 있다.

이와 같은 환산은 축 수직단면에서 공구의 요구되는 위치와 방향을 확인할 수 있게 해주며, 추후 시스템의 가공프로그램의 모사(simulation)를 위한 모듈에 활용할 수 있다.

Fig. 4는 축 평행단면 상에서 가공의 시작점(R1 부분) 및 끝점(R2부분), 공구의 단계별 가공경로를 보인다.

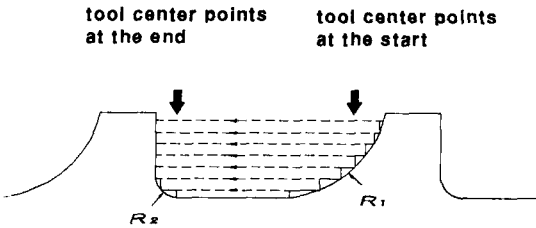


Fig. 4 Tool path simulation view on a longitudinal-section plane

$$P_1 = r \cdot \tan\left(\frac{90^\circ - \alpha}{2}\right) \quad (4)$$

$$x_1 = \frac{r}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{1}{\cos \alpha}$$

$$x_2 = r \cdot \tan \alpha$$

$$\therefore P_2 = r \left(\tan \alpha + \frac{1}{\cos \alpha} \right) \quad (5)$$

P_1, P_2 값을 중심각도로 변환하면

$$\theta_{P_1} = \frac{360^\circ \cdot P_1}{\pi D} \quad (6)$$

$$\theta_{P_2} = \frac{360^\circ \cdot P_2}{\pi D} \quad (7)$$

2.2 공구 위치 데이터의 계산

3축 CNC선반에서 회전공구를 사용하여 스크류를 가공하기 위해서는 공구의 가공시작점 위치와 가공끝점의 위치데이터가 필요하며 이들은 (X,Z,C)좌표형태를 갖는다.

공구는 가공소재에 대하여 나선(helix)형의 궤적을 따라 움직이며 가공하지만 전개도 상에서의 공구의 움직임은 직선 궤적을 따르므로 CNC선반에서의 보간 방식은 직선보간(G01 코드)이다. 시작점의 위치는 결국 이와 같은 나선의 시작부에서의 공구의 위치가 되며 가공끝점의 위치는 나선의 끝점에서의 공구의 위치이다. 따라서 축 평행단면상에 정의된 스크류 형상의 전개도 상에 변환된 나선을 가공하기 위해서는 공구의 직경과 나선의 각도에 의한 공구초기위치가 필요하며 가공시작시의 공구초기위치는 (X,Z,C)좌표에서 X 및 C값에 의존하게 된다. 이러한 공구의 초기위치를 정하기 위해 Fig. 2와 같은 전개도에서의 C좌표값을 계산하는 개략도를 Fig. 5에 보인다.

Fig. 5에서 가공시작점의 위치는 나선의 좌측 연장선 M_1 및 가공물의 왼쪽단면 W와 접하는 공구원(회전공구의 원)의 중심점이며, 이 점은 나선의 시작점과 가공물의 원주 방향으로 P_1 만큼의 거리를 갖는다. 같은 방법으로 가공끝점의 공구위치는 나선의 오른쪽 연장선 M_2 및 가공물의 왼쪽단면과 접하는 공구원의 중심점이고 이는 나선의 오른쪽 끝점과 가공물의 원주방향으로 P_2 만큼의 거리를 갖는다. 다음은 이들을 식으로 나타낸 것이다.

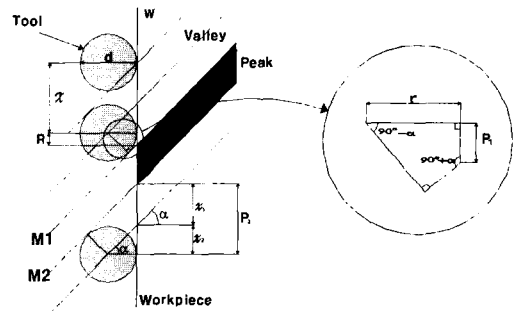


Fig. 5 The calculation of initial angle of C-axis for tool path setting

이러한 P_1, P_2 값을 가공시작점의 나선의 C좌표 데이터로 하여 가공시작점의 공구위치 데이터를 계산한다. 스크류의 좌측 끝 단면상의 나선 끝점의 C좌표는 스크류의 전체길이에 식(2)에서 구한 나선의 회전수 n 을 곱하여 구한다. 즉

$$\text{나선 끝점의 C 좌표} = \text{초기위치의 C 좌표} + \text{해당 길이에 대한 나선의 회전수}(n) \times 360^\circ \quad (8)$$

가공이 한번 이루어진 후, 다음 가공을 위해 C축이 이동할 수 있는 최대값(플랫 엔드밀로 가정)은 다음과 같은 간단한 비례식에 의해 계산된다.

$$360^\circ : \frac{L}{n} = x : d \quad d : \text{공구직경}, x : C\text{축 회전각}$$

$$x = \frac{360^\circ \cdot n \cdot d}{L} \quad (9)$$

2.3 공구보정

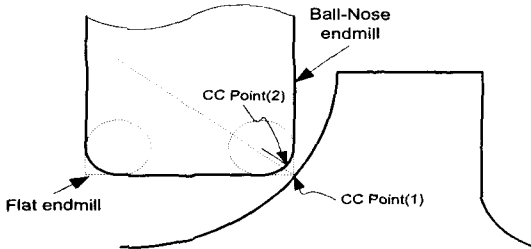


Fig. 6 CC points of flat endmill and ball-nose endmill

Fig. 1에서 R₁, R₂ 부분의 가공시 플랫엔드밀을 사용하면 계단형의 형상이 나타나므로 이를 매끄럽게 해 주기 위해 볼엔드밀이나 노우즈엔드밀을 사용한다. 이 경우 가공을 위한 앞에서의 공구좌표 계산방법을 그대로 적용할 수 없다. 따라서 Fig. 6과 같이 공구에 따른 좌표값의 보정 문제가 발생한다. 예로서 볼노우즈 엔드밀을 사용할 경우 CC점(2)를 CC점(1)로 이동하도록 보정해 주어야 한다. 이 경우 단순히 Fig. 1에서 설정한 형상 관련 변수들의 값을 근거로 하여 2차원적인 보정 데이터들을 계산할 수도 있지만, 스크류 가공시 실제로 공구가 소재와 면접촉을 하며, 관심의 축점인 CC점들은 이 접촉면 내에 놓이고, 이들은 공구중심점이 위치하는 축을 포함한 단면 내에 있지 않으므로 정확한 보정값을 구하기 위해서는 나선식에 대한 해석 및 나선과 공구가 접하는 CC점들에 대한 기하학적 해석이 필요하다. 다음 Fig. 7은 입체적인 나선의 모양을 나타낸다.

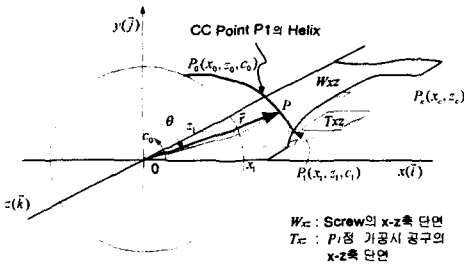


Fig. 7 The calculation of initial angle of C-axis for tool path setting

Fig. 7에서 정의단면 W_{xz}상의 CC점 P₁을 선정하면 그때의 C_i값은 0가 된다. 이로부터 나선의 초기위치 C₀를 구하면 다음과 같다.

$$C_1 = C_0 + \frac{Z_1}{l} \cdot 2\pi = 0 \quad l : \text{Lead}$$

$$\therefore C_0 = -\frac{2\pi \cdot Z_1}{l} \quad (10)$$

식(10)을 이용하여 P₀의 좌표를 구하고 이것으로부터 임의의 점 P에 대한 좌표식인 식(11)을

$$\begin{cases} x = x_1 \cos(C_0 - \theta) \\ z = -\frac{l}{2\pi} \cdot \theta \\ y = x_1 \sin(C_0 - \theta) \end{cases} \quad (11)$$

구할 수 있다. 따라서 나선의 벡터식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\vec{r} = x_1 \cos(C_0 - \theta) \vec{i} + x_1 \sin(C_0 - \theta) \vec{j} - \frac{l}{2\pi} \cdot \theta \vec{k} \quad (12)$$

그리고, Fig. 7의 x-z축 단면상에서 R₁을 반경으로 하는 원호 상의 P점을 통과하는 나선에 대한 벡터식을 구하면 다음과 같다.

$$\vec{R} = (x_c - R_1 \cos \alpha) \vec{i} + (z_c + R_1 \sin \alpha) \vec{k} \quad (13)$$

식(12)과 식(13)을 이용하여 볼노우즈 엔드밀의 중심좌표를 구하기 위한 P점에서 나선의 법선벡터는 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$\vec{N} = \left(\frac{d\vec{R}}{da} \right) \times \left(\frac{d\vec{r}}{d\theta} \right)_{\theta=C_0} \quad (14)$$

$$\vec{N} = (x_1 \cdot R_1 \cos \alpha) \vec{i} + \left(\frac{l \cdot R_1}{2\pi} \sin \alpha \right) \vec{j} - (x_1 \cdot R_1 \sin \alpha) \vec{k}$$

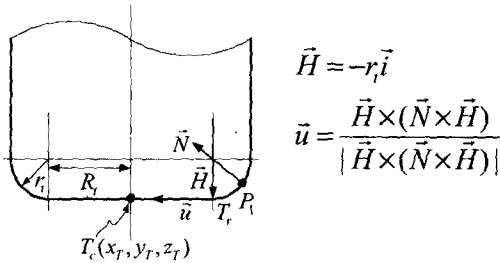


Fig. 8 Ball-nose endmill and associated vectors

식 (14)를 이용하여 Fig. 8에서와 같이 공구상의 CC점인 P_1 점으로부터 공구중심점인 T_c 까지의 벡터 $\vec{P_1T_c}$ 를 구하면, Fig. 7에서의 원점 O로부터 공구중심점 T_c 에 대한 벡터 $\vec{OT_c}$ 를 구할 수 있다. 그러면 벡터 $\vec{OT_c}$ 의 Z좌표인 Z_1 로부터 그에 해당하는 C축 값을 환산하여 공구중심좌표를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{P_1T_c} &= \frac{\vec{N}}{|\vec{N}|} r_i + \vec{H} + R_t \cdot \vec{u} \\ \vec{OT_c} &= \vec{OP_1} + \vec{P_1T_c} \end{aligned} \quad (15)$$

3. CAM System 프로그램

위에서 설명한 공구위치 계산방법을 사용하여 PC용 CAM 시스템을 개발하였으며, 이를 이용하여 단일 Lead와 나선산의 반경 R_1 과 R_2 를 가지는 스크류를 가공하였다.

개발한 CAM 시스템은 황삭부분과 정삭부분의 절입량을 조절하는 파라미터가 약간 다른데 황삭부분은 반경방향으로 주어진 절입량 만큼 가공이 이루어지도록 했고 정삭부분은 가공시간과 가공정도 향상을 위해서 나선산의 반경에 대해서 각도 단위로 절입량을 주도도록 하였다. 또한 내장시뮬레이터를 개발 통합하여 계산된 NC data에 의한 절삭과정을 디스플레이할 수 있도록 하였다.

Fig. 9단일 리이드를 갖는 스크류를 가공하기 위한 시스템 화면을 보이며, Fig. 10은 두 가지 다른 리이드를 갖는 스크류의 가공을 위한 화면이

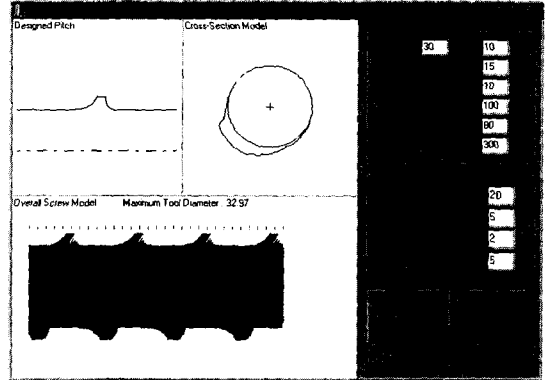


Fig. 9 CAM system developed for screw machined(1)

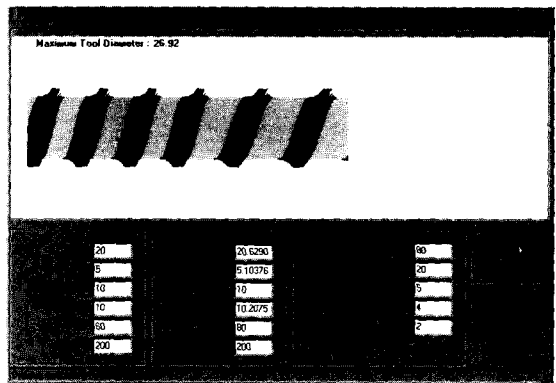


Fig. 10 CAM system developed for screw machined (2)



Fig. 11 Simulator included in the CAM system

고 Fig. 11은 시뮬레이터 화면을 보여준다.

4. 실험 및 고찰

본 연구를 통해서 개발한 스크류 가공 CAM 시스템으로 실제 나일론 수지 재료를 사용하여 가공해 보았다. 가공조건은 피이드 2.5, 스피들 속도 1000, 급속이송율은 25%이고 사용된 3축 CNC 선반은 HWACHON Hi-ECO21HS이다. 가공사양은 R_1 30mm, R_2 10mm, 직경 100mm, 길이 300mm 리이드 80mm인 스크류와 R_1 20mm, R_2 5mm, 직경 80mm, 길이 400mm, 두 가지 리이드 60mm와 80mm를 갖는 두개의 스크류에 대하여 가공하였다.

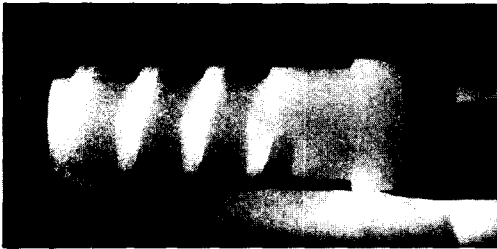


Fig. 12 Single-lead screw actually machined

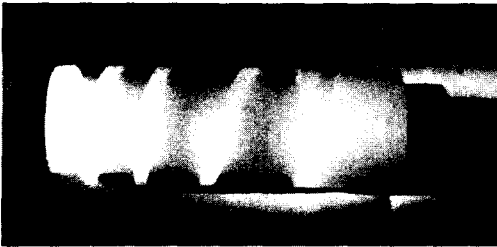


Fig. 13 Double-lead screw actually machined

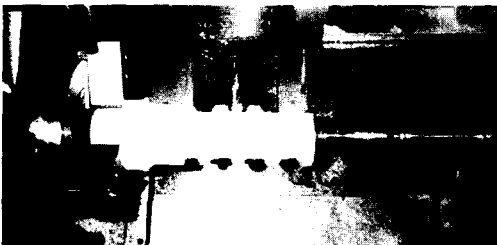


Fig. 14 Screw machining on a CNC lathe

스크류의 가공시간은 각각 약 40~50분 정도였고 가공된 스크류의 치수공차는 0.02mm 이내로 만족할 만한 결과를 얻었다.

5. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 기존의 범용 CAD/CAM 시스템을 통해서는 그 모델링과 가공프로그램 생성이 용이하지 않았던 대형 스크류 가공용 CAM 시스템을 개발하였다.
- (2) 스크류 도면상의 여러 파라미터 값들을 입력하여 축 평행단면의 형상을 정의함으로써 스크류 가공을 위한 NC 데이터를 생성할 수 있었고, 3축 CNC 선반을 사용, 실제로 가공하여 만족한 결과를 얻었다.
- (3) 플랫 앤드밀이나 볼노우즈 앤드밀과 같은 회전공구를 사용함으로써 기존의 고정공구나 또는 볼 앤드밀 공구를 사용할 때보다 가공시간을 줄일 수 있었다.
- (4) CAM 시스템 내에 내장된 시뮬레이터를 통하여 생성된 NC 데이터의 간섭여부와 가공데이터의 가공결과가 도면의 사양에 만족하는지를 실 가공 전에 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. 이원규, 안중환, "3축 선반에서의 스크류 가공을 위한 CAM시스템 개발," 한국정밀공학회지 제 15권 제2호, pp. 21~27, 1998.
2. Sheth, D. S and Mallcin, S., "CAD/CAM for Geometry and Process Analysis of Helical Groove Machining," Annals of the CIRP, Vol.39/1, pp. 129~132.
3. Kaldor, s. and Messinger, D. "On the CAD of Profiles for Cutters and Helical Flutes-Geometrical Aspects," Annals of the CIRP, Vol. 37/1, pp. 53~56.
4. 최병규, 전차수 외, "CAD/CAM 시스템과 CNC 절삭가공," 희중당, pp. 161~183, 323~372, 1996.
5. 박원규, 현동훈, "최신 CNC 가공," 청문각, pp. 67~152, 1996.