

3축 선반에서 스크루 가공을 위한 Y축 Offset된 CL 데이터의 계산*

이원규, 정의준
기계.자동차 공학부

<요 약>

본 연구에서는 축 평행단면 형상정의에 의해 정의되는 플라스틱 압출기에 사용되는 대형 스크루의 가공을 위한 CL데이터의 계산과 더불어 Y축이 offset된 경우의 CL데이터 계산을 위한 식을 유도하였다. 이를 위하여 축 평행단면에서 정의되는 대형 스크루들은 주로 어떤 형상을 공통으로 갖는가를 연구하고 대표적인 형상정의를 정리하였으며 이를 바탕으로 CL데이터 계산을 위한 식이 유도되었다.

Calculation of CL data with Y axis offset for screw machining on 3-axis CNC lathe

W. K. Lee, W. J. Chung
School of Mechanical and Automotive Engineering

<Abstract>

In this study, derived was CL data calculation formula with Y-axis offset as well as that without the offset for machining of large screws whose shapes are usually defined by longitudinal sectional view and used as important parts of the plastic extrusion machines. For this, what kind of common shape the large screws usually have was first studied and definition of their typical shapes were arranged. Based on this arrangement, the CL data calculation formula was derived.

* 본 연구는 2000년도 울산대학교 학술연구조성비에 의해 수행되었음

1. 서론

3축 CNC 선반에서, 회전공구를 사용하여, 축 수직단면상에서 그 형상이 정의되는 직경과 리이드가 큰 대형 스크루의 가공에 대한 연구(1,2,3,4)에서는 가공속도를 증가시켜 단시간에 많은 양을 가공하기 위해 회전공구를 사용하였으며, 그 예로써, 특히 직경이 큰 페이스 컷터(Face Cutter)를 사용하여 가공시간을 단축하려 하였다. 이와 같은 가공방식에서의 특기할 사항은 커터의 중앙부에는 절삭 날의 부재로 인하여 절삭이 이루어지지 않기 때문에 스크루의 나사골 부분의 가공에서는 요철부가 발생할 수 있으며 이 현상을 방지하기 위해서는 절삭날의 폭과 같은 간격으로 골 부분의 절삭을 반복적으로 해 주어야 했다. 따라서 반복절삭을 회피하기 위해 주로 볼엔드밀 또는 볼노우즈 엔드밀이 사용되고 있다.

한편 이와 같은 가공 방식으로 골 부분의 요철부 발생은 방지할 수 있으나, 3축 선반에서 공구에 수직한 축(Y축)은 고정되어 있으므로 스크루의 처음 시작부에서 공구의 접근방식은 항상 Z축으로 여유를 두어 접근하고 있었다. 이는 다른 형상이 조합되지 않은 스크루의 경우에는 문제가 되지 않으나, 스크루의 중간부에서부터 나사가 시작되거나 또는 간헐적으로 반복되는 나사산을 가진 경우에는 인접부의 간섭으로 인하여 Z축의 여유분을 갖고 공구를 접근시킬 수 없는 문제점을 갖는다. 이에 대처하기 위해서는 회전공구(Face Cutter)가 Z축 방향이 아닌 X축 방향으로 접근하며 가공을 시작해야만 한다. 뿐만 아니라 공구를 Y축으로 offset시켜야만 X축 방향으로의 접근이 가능하므로 Y축으로 offset시킬 경우의 CL데이터는 앞에서 산출한 데이터와 다르게 된다.

따라서 본 연구의 목적은, 다양한 스크루를 CNC 선반에서 신속하게 가공하기 위하여 직경이 큰 회전공구(Face Cutter)를 사용할 때, 공구가 Y축 방향으로 offset되어 가공을 시작하는 문제의 해결방식을 따른 CL데이터를 산출하는데 필요한 식을 유도하는 것이다.

2. 축 평행단면 형상에 의해 정의되는 대형 스크루의 대표적 형상정의

도면상에 대형 스크루의 각부의 치수와 형상을 나타내는 방법에는 대체로 스크루의 축에 수직한 단면상에서 그 형상을 정의하는 방법과 스크루의 축을 포함하는 단면상에서 그 형상을 정의하는 방법으로 나뉜다(1,4,5). 전자는 스크루의 단면형상이 중요시되는 경우에 사용되고, 후자는 스크루의 길이 방향에 대한 형상이 중요시되는 경우에 사용된다.

플라스틱 압출기 등에 사용되는 대형 스크루는 일반적으로 나사산의 폭보다 나사골의 폭이 크고, 나사산의 높이는 나사의 골경에 비해 작으며 외경은 대체로 일정하다(6). 특별한 경우로는 나사의 골경이 변화하는 경우가 있으며, 리이드가 변화하는 경우도 있다. 이와 같이, 어떤 규격화된 양식을 이용하여 스크루의 형상을 표시하기 어려우므로 그림 1과 같이 개별적으로 도면에 그 형상을 표시하고 있다. 따라서 플라스틱 압출기 등에 사용되는 대형 스크루는 후자와 같이 스크루의 축 포함 단면상에서 형상을 기술하는 것이 일반적이다.

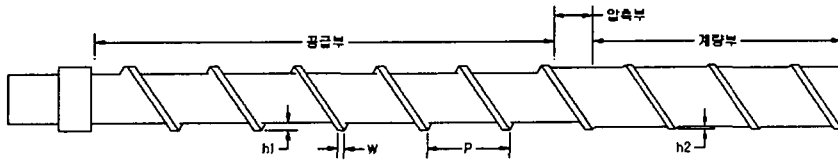


그림 1 압출 스크루의 도면 예

이 방법은 또한 다양한 형상의 스크루를 나타낼 수도 있다. 예를 들면, 리이드가 변화되는 스크루의 경우 스크루의 축선상의 어느 위치에서 리이드가 바뀌며, 바뀐 부분의 길이가 얼마인지를 표시하기 쉽다. 또한 골경이 다른 여러 부분의 조합으로 이루어진 스크루의 경우, 축 선상의 위치에 따른 골경의 변화를 표시하기가 용이하다.

한편, 이와 같은 스크루의 경우 스크루의 축에 수직인 단면상에서 그 형상을 기술하는 것이 어려울 뿐만 아니라, 기술이 가능하다 가정하더라도 그 기술은 복잡한 단면 형상의 계산을 필요로 하며 그 결과를 도면에 표시하기도 어렵고, 스크루의 각부에 대한 필요한 형상정보를 담을 수 없으므로 축 포함 단면상에서 그 형상을 나타내어야 함은 필연적이라고 할 수 있다.

가공과 관련된 스크루의 형상기술에 있어서는, 선반 상에서 고정공구를 사용하여 수작업에 의해 가공할 때, 축 포함 단면상에서 형상을 기술하는 것이 축 수직 단면상에서 기술하는 것보다 가공을 위한 도면의 이해가 훨씬 용이하다.

그러나 고정공구를 사용한 수작업에 의한 가공시에는 가공에 소요되는 시간이 길기 때문에, 그보다 신속한 가공을 위해 회전공구의 사용이 요구된다. 스크루의 단면형상이 중요시되는 전자의 경우 사용되는 회전공구는 비교적 직경이 작은 볼 엔드밀(Ball End-mill) 등과 같은 것이 가능하나, 수작업에 의해 가공한다면 가공을 위한 공구의 위치결정에 어려움이 따른다. 스크루의 축을 포함하는 단면상에서 그 형상을 정의하는 후자의 경우에는 고정공구의 사용으로도 가공이 가능하나 스크루 골의 폭이 산의 폭보다 훨씬 크기 때문에 신속한 가공을 위한 회전공구의 사용에서 직경이 타 공구와 비교하여 일반적으로 큰 페이스 커터나 또는 밀링 커터 등을 사용하여 가공할 수 있다. 여기에서도 역시 수작업에 의한 가공이라면 가공을 위한 공구 위치의 결정에는 어려움이 따른다. 즉 양자 모두에 있어 가공시간의 단축을 위해 회전공구를 사용한 수작업에 의한 가공방법을 택한다면 공구위치 결정의 어려움은 피할 수 없다. 이는 스크루 각 부분의 형상을 상세히 나타내기 위한 최선의 방법으로서 뿐만이 아니라 비록 고정공구를 사용하지만 수작업에 의한 공구위치의 계산이 용이하다는 점에서도 스크루의 형상을 기술해 주는 도면이 일반적으로 스크루의 축을 포함하는 단면상에서 이루어지고 있음을 나타낸다.

이와 같은 점들을 고려할 때, 본 시스템에 사용될 스크루의 형상기술 방법은 기존의 도면작성 방법에 기초해야만 함은 필연적이며, 따라서 스크루 전체로서 어떤 특별한 유형을 찾기가 어렵다. 그러므로 그 대표적인 기술방법을 정의하고 이를 기초하여 경우에 따른 그의 조합 및 응용으로 다양한 형상의 가공에 대처해야 할 것이다.

축 평행단면에서 정의되는 스크루의 도면에서 그 형상의 특징을 나타내는 부분을 정리하여 표시하면 그림 2와 같다. 이 그림에는 스크루 형상정의에 필요한 각 부분의 크기를 나타내는 파라미터가 표시되어 있다. 이와 같이 정의되는 스크루는 가장 대표적인 것으로서, 중요한 파라미터로는 그림 2에서 보인 바와 같이 스크루의 길이 L , 스크루의 내경 D , 나사산의 폭 t , 나사산의 높이 H 및 나사 골부분의 두 가지 라운드 부분들의 반경들이다.

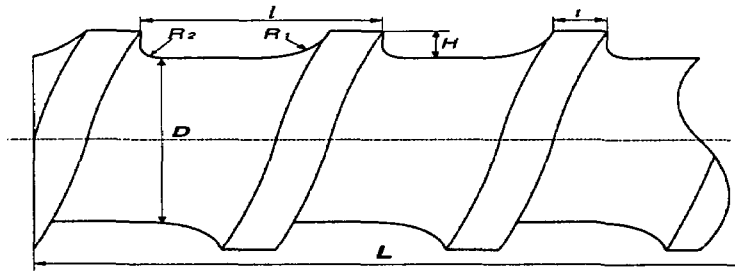


그림 2 스크루의 형상과 관련된 파라미터

3. 축 평행단면 형상정의에 의한 대형 스크루 가공을 위한 CL데이터의 계산

스크루의 가공을 위한 공구위치의 계산 전에 먼저 축 포함(평행)단면 정의에 의한 스크루의 일반적인 가공과정은 다음과 같다.

3.1 스크루의 가공과정

스크루의 가공과정은 축 수직단면 형상정의에 의한 스크루의 가공과정과 유사하나 다른 점은 한 방향으로만 가공이 이루어진다는 점이다. 이는 절삭량이 큰 공구, 즉 페이스 컷터나 또는 밀링 컷터를 사용할 수 있으므로 공구의 양방향 절삭을 할 정도로 가공시간의 절약을 요구하지 않기 때문이며, 가공 시작 부분과 가공 끝 부분은 항상 일정하게 하는 것이 프로그램의 작성을 용이하게 하기 때문이다.

가공과정을 그림으로 표시하면 그림 3과 같다.

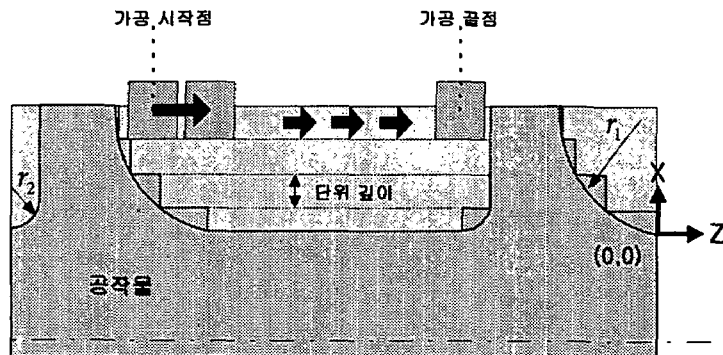


그림 3 X-Z 단면 가공 과정

그림 2와 3에서와 같이, 공구의 어떤 절삭깊이(depth of cut)에 대하여 라운드 r_1 이 있는 가공 시작 부분에서부터 r_2 가 있는 가공 끝 부분까지 가공이 이루어지고, 그 가공이 완료되면 다음의 절삭깊이에 대하여 같은 작업을 반복한다. 가공 공정별로 작업목적에 따라 공구를 교환하여 가공할 수 있다. 황삭공정에서는 중절삭 공구를 사용하고 공구의 절삭 경로의 개수를 최소화하고, 정삭공정에서는 r_1 , r_2 와 같은 라운드 부분들에 대해 부드러운 곡선부분을 가공하기에 용이한 볼 엔드밀 형상의 공구를 사용하는 것이 바람직하다.

이와 같은 가공에서, CL 데이터의 계산과 관련하여, 가공 시작점으로부터 가공 끝점까지는 많은 단계의 공구위치 값을 필요로 하나, 바람직한 점은 이들의 좌표가 동일한 X 좌표를 갖는다는 것이다. 즉 한 절삭깊이에 대하여 동일한 X 좌표 값에 다른 Z 좌표 값을 적용하면 된다는 것이다. 물론 이 Z 좌표 값은 추후 해당되는 C 좌표(Z축을 중심으로 회전하는 축의 좌표) 값으로 변환되어야 할 것이다.

3.2 공구 위치 계산

축 포함단면상에 형상이 정의되는 스크루의 가공시간 단축을 위해 지금까지 방법이었던 단일 절삭날을 가진 고정공구를 사용하여 가공하기 보다는 다수의 절삭날을 가진 절삭공구(예: 페이스 컷터 등)를 사용하여 CNC 선반 상에서 가공하는 것이다.

이를 위해, 그림 4와 같이 정의된 스크루의 형상데이터를 다시 펼친 상태의 전개도에 의해, 공구위치 데이터 계산에 필요한 변수들을 계산하도록 하였다. 이와 같은 방법을 취한 이유는, 축 수직단면 상에서의 형상으로 변환이 가능하다 하더라도, 축 포함단면상에서의 공구위치의 계산에 필요한 변수 값들을 사용하여 각 반경위치에 따른 펼친그림 상에서 공구위치를 계산하는 것이 더욱 용이하기 때문이다.

그림 3에서 정의된 스크루 형상의 전개도는 그림 4와 같다. 그림 3에서 정의된 변수들을 사용하여 그림 4에 표시된 변수들의 값들로 변환하면 다음과 같은 식으로 표시할 수 있다. 그림 3에서,

스크루 전체 길이 : L

라운드 부분의 반경 : r_1, r_2

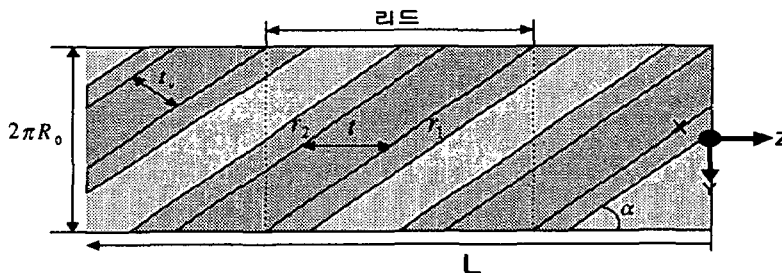


그림 4 스크루의 전개도

나사산의 폭	: t
나사산의 높이	: h
스크루 형상의 리이드	: $lead$
스크루 실린더의 최소반경	: R_0
스크루 실린더의 최대반경	: R_f
가공깊이에 따른 실린더의 반경	: R

라고 한다면,

치폭 (헬릭스에 수직) : $t_v = t \cdot \sin \alpha$

헬릭스 회전수 : $n = \frac{L}{lead}$ -----(1)

임의 헬릭스 경사각 : $\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{2\pi R}{lead} \right)$

이 되고, 이 식 (1)에 의해 공구 위치 계산을 위한 기본적인 변수들이 계산된다.

다음, X-Z 평면에 대하여 정의된 형상은 NC 가공데이터 생성을 위해서, X-Y 평면상에 정의되어야 한다. 이를 위해 형상정의 평면에서 Z축을 기준으로 그 구간에 따라 Z와 X와의 관계식을 알아야 한다. 이는 공구의 절삭깊이에 따라, 가공하려는 헬릭스의 X-Y 평면상에서의 시작 위치가 달라지고 따라서 이를 알아야 하기 때문이다. 그림 5를 참조하면, X-Z 평면에 주어지는 형상 데이터에 의해, 라운드 r_1 , r_2 부분들은 원의 방정식으로 나타낼 수 있으며, 나사산과 골 부분들은 직선으로 표현할 수 있다. 따라서 원호의 부분들과 직선 부분들에 있는 CC 점(Cutter Contact Point)들에 대한 좌표를 절삭깊이(f)와 관련하여 표현기 위해, 그림 5에서 h 와 r_1 , h 와 r_2 의 대소 관계 경우에 따른 OS_1 과 OS_2 의 식을 구하면 다음과 같다.

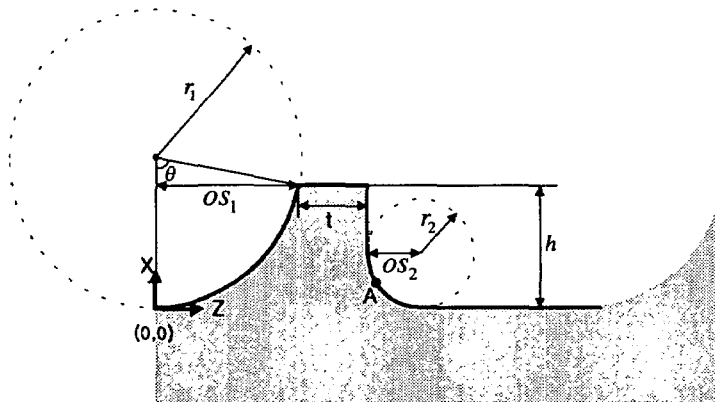


그림 5 스크루 형상 데이터 좌표

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| (1) $h > r_1, r_2$ 일 경우 | (2) $r_2 \leq h \leq r_1$ 일 경우 |
| $OS_1 = r_1$ | $OS_1 = \sqrt{2r_1h - h^2}$ |
| $OS_2 = r_2$ | $OS_2 = r_2$ |
| (3) $r_1 \leq h \leq r_2$ 일 경우 | (4) $h < r_1, r_2$ 일 경우 |
| $OS_1 = r_1$ | $OS_1 = r_1$ |
| $OS_2 = \sqrt{2r_2h - h^2}$ | $OS_2 = r_2$ |

와 같이 4가지 경우로 나뉜다.

위의 각 경우에 대하여,

i) 라운드 r_1 부분

원의 방정식이 $z^2 + (x - r_1)^2 = r_1^2$ 이므로

구간 $0 \leq z \leq OS_1$ 에서

$$\begin{aligned} x &= r_1 - \sqrt{r_1^2 - z^2} \\ z &= \sqrt{r_1^2 - (h - f - r_1)^2} \end{aligned} \quad \text{-----}(2)$$

ii) 라운드 r_2 부분

원의 방정식이 $(z - (OS_1 + t + OS_2))^2 + (x - r_2)^2 = r_2^2$ 이므로, 구간 $(OS_1 + t) \leq z \leq (OS_1 + t + OS_2)$ 에서

$$\begin{aligned} x &= r_2 + \sqrt{r_2^2 - (z - (OS_1 + t + OS_2))^2} \\ z &= OS_1 + t + OS_2 - \sqrt{r_2^2 - (h - f - r_2)^2} \end{aligned} \quad \text{-----(3)}$$

iii) 나사산 양 옆의 수직 직선부분과 나사골 수평 직선부분

1) 나사산의 좌측 수직 직선부분

(이 부분은 $r_1 \leq h$ 일 경우에 존재)

$$r_1 \leq x \leq h \quad \text{-----}(4)$$

$$z = OS_1$$

- 2) 나사산의 우측 수직 직선부분
(이 부분은 $r_2 \leq h$ 일 경우에 존재)

$$r_2 \leq x \leq h \quad \text{-----}(5)$$

$$z = OS_1 + t + OS_2$$

- 3) 나사골의 수평 직선부분

$$x = R_0 \quad \text{--- ---}(6)$$

$$OS_1 + t + OS_2 \leq z \leq lead$$

이고, 모든 경우에 대하여 $x = h - f$ 이다. f 는 절삭 단계별 절삭깊이이다.

Z 좌표 값이 z 라고 할 때, 가공 시작부 단면에서의 C 축 값 C 는 다음 식과 같이 구한다.

$$C = z \cdot \tan \alpha \cdot \frac{360^\circ}{2\pi R} \quad \text{-----}(7)$$

식 (7)을 사용하여 X-Z 평면 상의 모든 좌표 값은 가공 시작부에서의 C 축 값으로 환산된다.

3.3 Y 축의 offset

절삭량을 가능한 한 최대로 하고 골 부분의 표면 거칠기를 양호하게 하기 위해 공구중심을 Y축 방향으로 이동시켜 가공할 필요가 있다. 일반적으로 많이 사용하는 Bull-nose End-mill(절삭날의 끝 부분이 둥글게 되어 있음) 공구는 밀면 절삭날을 최대한 이용하기 위해서는 그림 6에서와 같이 공구 중심 위치를 Y축으로 offset시켜 가공한다. 여기서, 골부분 가공시 최대절삭을 위한 Y축 이동량 Y_{offset} 과 공구경로 간격(C축각) θ_{tool} 은 식(9)와 같이 구할 수 있다. 골부분을 정삭가공할 때, 그림 7과 같이 공구가 위치하고 공구동일 절입깊이에서 θ_{tool} 의 이동간격으로 그림 7에서 보이는 바와 같이 r_1 부분으로부터 r_2 부분으로 이동하면서 가공한다.

$$Y_{offset} = r_{tool} - (round + L_{cutter}) \quad \text{-----}(8)$$

$$\theta_{tool} = 2 \cdot \sqrt{(r_{tool} - round)^2 - Y_{offset}^2} \cdot \frac{360^\circ}{2\pi R} \quad \text{-----}(9)$$

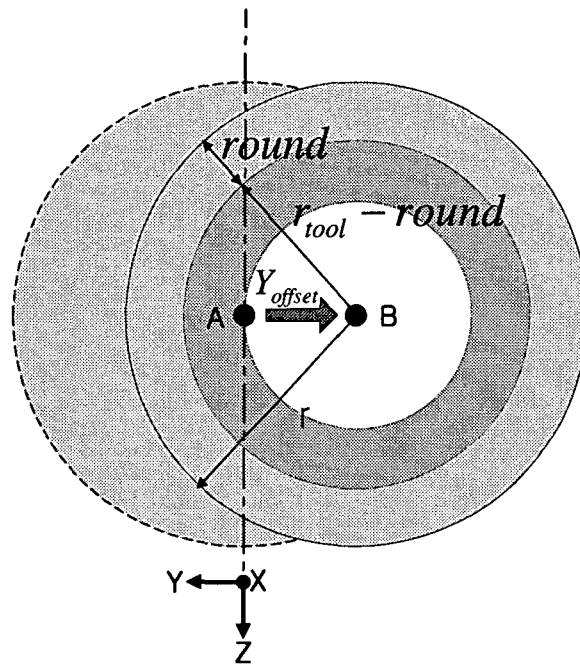


그림 6 Bull-nose End-mill을 사용한
정삭시의 Y축 offset

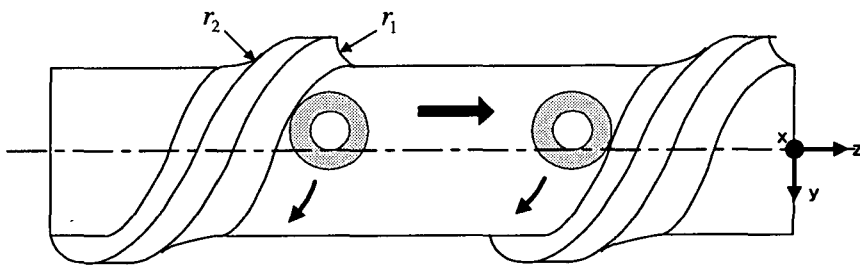


그림 7 (끝) 정삭시 공구경로

나사절삭의 황삭공정에서는 표면거칠기 문제를 고려할 필요가 없으므로 공구의 회전 중심(절삭속도 0)에서 가공이 이루어지지 않는 점은 무시하여도 좋으나, 정삭공정에서는 표면을 매끄럽게 가공하기 위해서는 CC(Cutter Contact)점의 절삭속도가 0이 되지 않도록 해 주어야 한다. 이를 위해 공구의 위치 계산에 앞의 식 (8)에 의한 Y축 좌표를 계산하고 이에 따라 가공시작 전에 공구의 Y축상의 위치를 조정한다. 다음, 가공 중에는 식 (9)를 이용하여 각각의 C좌표 계산에 반영한다.

4. 결론

본 연구에서는 3축 선반에서 대형 스크루 가공을 위한 Y축 offset된 CL 데이터의 계산을 위한 식을 유도하였다. 이를 위해 먼저 스크루의 축을 포함하는 단면상에서 그 형상이 정의되는 스크루의 대표적인 형상정의 방법을 기술하고, 그에 따라 가공을 위한 공구의 위치 데이터를 계산하는 식을 유도하였으며, 다음 Y축으로 offset시킬 경우에 추가로 C축 좌표에 고려해야 할 식을 유도하였다.

참고문헌

1. 이원규, 안중환, “3축 선반에서의 스크루 가공을 위한 CAM시스템 개발”, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 15, No. 2, pp21-27, February 1998
2. 이원규, “3축 CNC 선반에서 대형 스크루 가공을 위한 CL데이터의 계산”, Journal of Engineering Research, U.O.U., Vol. 30, No. 1, pp99-110, 1999
3. 이원규, 이민환, 안중환, “축 평행단면 형상정의에 의한 대형 스크루 가공프로그램 생성에 관한 연구”, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 17, No. 6, pp83-88, June 2000
4. 이원규, 안중환, 박규열, “축 수직단면 형상정의에 의한 대형 스크루의 가공시 공구간섭 검사”, Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 9, No. 3, pp169-177, June 2000
5. 이원규, “3축 선반용 대형 스크루가공 CAM 시스템에서의 스크루의 형상과 공구간섭의 특성 및 그 응용”, Journal of Engineering Research, U.O.U., Vol. 28, pp225-236, 1997
6. Baumeister and Marks, 7th Edition, “Standard handbook for Mechanical Engineers”, pp8-12, pp 14-17, 1967