

# Y축이 Off-Set된 회전공구를 사용한 스크류 가공시스템

최낙현\*, 이원규\*\*, 안중환\*\*\*

## Screw machining system by use of rotational tool with Y axis off-set on a CNC turning center

N.H.Choi\*, W.K.Lee\*\*, J.H.Ahn\*\*\*

**Key Words:** CAM system, 3-axis lathe, extruder screw, tool path, tool change, machining time

### Abstract

In this study, screw machining system by use of a rotational tool such as an end-mill or a face cutter with Y axis off-set on a CNC turning center was developed for quick machining. In this system, it was possible to use different tools for different processes, and by off-setting the tool in Y direction by calculated amount, it was possible to avoid tool interference problem which could occur within the central area at the end of a tool. In addition, machining a screw with a helix of up to 3 different leads combined and with tapered minor diameter was possible.

### 1. 서론

사출기에 사용되는 압출스크류는 수동선반 가공이 대부분이고, CNC선반과 스크류가공 전용기를 사용하는 경우가 있지만, 스크류의 형상 모델링이 어렵기 때문에 자동화가 미미한 것이 현실이다. 또한 장비의 가격면이나 공구의 제약으로 인해 경제성과 생산성에 문제를 안고 있다<sup>(1)</sup>.

이러한 현실에서 범용 CNC선반의 기능을 최대한 활용하여, 압출스크류와 같은 복잡한 형상을 가공하기 위한 전용 CAM 시스템을 개발하고자 한다. 이를 통해 객관적인 생산효율과 정밀도의 향상을 기대할 수 있다.

전용 CAM 시스템 개발을 위해, 설계상의 형상 데이터에 따른 축 수직단면형상을 정의하고, NC 가공데이터를 생성하여 리드(lead)가 일정한 스크

류, 리드가 1번 변하는 스크류를 가공한 연구가 있다<sup>(1)(2)</sup>.

선행 연구에 기초하여, 본 연구는 3축 CNC선반으로서 터닝센터에서 엔드밀(end mill)과 같은 회전공구를 사용하여 황삭, 정삭 및 가공부위별 작업을 세분화하였다. 이를 통하여 정확한 치수형상을 가공함과 동시에, 공구경로를 최적으로 설정하여 가공시간을 단축하는데 중점을 두었다.

또한, 리드가 2번 변하는 스크류, 내경이 테이퍼형상으로 변하는 스크류의 가공 프로그램을 추가하였고, 실제적인 스크류 가공에 적용하기 위해 각 스크류 형상을 조합할 수 있도록 사용자 인터페이스를 추가하였다.

### 2. 최적 가공경로

#### 2.1 황삭, 정삭 작업별 공구 교환

본 연구에서, 작업부위별로 작업목적에 따라 공구를 교환하도록 하였다. 그림1과 2에서 황삭시, 플랫 엔드밀(flat-endmill) 형상의 중절삭공구를

\* 부산대학교 지능기계공학과  
 \*\* 울산대학교 기계공학과  
 \*\*\* 부산대학교 기계공학부

사용하여 절삭깊이에 대해, 단위시간당 절삭량을 최대로 하고 공구의 절삭경로를 최소화하였다.

황삭공정 후,  $r_1, r_2$ 의 round 부분을 정삭할 때에는 부드러운 곡선부분을 가공하기에 용이한 볼 엔드밀(ball-endmill) 형상의 공구를 사용한다. 가공시간과 정밀도의 측면에서 효율적이다.

밀링 커터나 페이스커터 형상의 공구바닥부분이 절삭가능한 공구를 사용하여 스크류내경(R)의 끝부분을 정삭한다. 상용 블로우즈 엔드밀로도 절삭공구의 이동간격을 짧게 공구경로를 적절히 조정함으로써 허용오차내의 형상을 가공할 수 있다.

그림1, 그림2에서 보면, 공구의 교환에 따른 간섭을 방지하지 위해, 공구의 가공초기위치, 가공시작점, 가공끝점, 또한 CL데이터 생성을 위해 각 공구에 따라  $\theta_{pl}, \theta_{pl}^{(2)}$  등을 각각 계산, 적용하여야 한다.

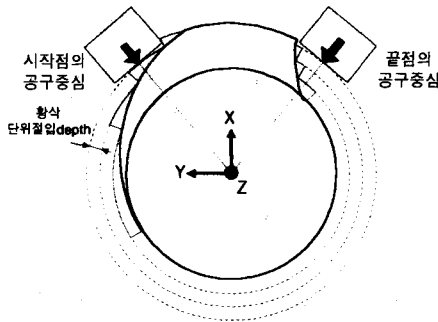


그림 1 축수직 단면의 가공초기위치

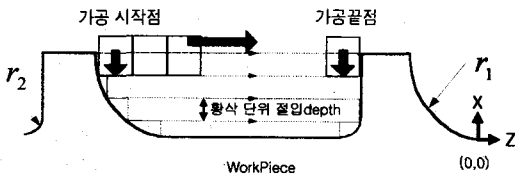


그림 2 축평행 단면의 가공 개략도

## 2.2 황삭 공구경로

절삭량이 많은 황삭가공에서는, 공구경로를 최소화하고 가공시간을 줄이기 위해 한번의 공구경로에 가능한 최대절삭을 하는 것이 생산량 증대의 측면에서 유리하다. 그림1과 2를 참고하면, 이

를 위해서 현재 가공점에서 가공완료 후, 다음 가공점으로 이동하기 위한 최대값(flat endmill로 가정)을 계산해야 한다.

그림 3에서 보는 바와 같이, 헬릭스(Helix) 경사각  $\alpha$ , 나사산의 높이 h, 골경 R인 스크류에서 반경  $r_{tool}$ 인 공구가 최대절삭을 위해 이동해야 하는 직선거리는 P이다. 이 값을 공구가 위치한 절입깊이(depth)에 따른 공구최대 이동각(C축값)  $\theta_{tool}$ 로 환산한다.

$$P = 2 \cdot \frac{r_{tool}}{\cos \alpha} \quad (1)$$

$$\theta_{tool} = P \cdot \frac{360^\circ}{(R + h - depth)}$$

즉, 공구는 각 절입깊이의 가공시작점에서 끝점 방향으로  $\theta_{tool}$ 간격의 공구경로가 설정된다.

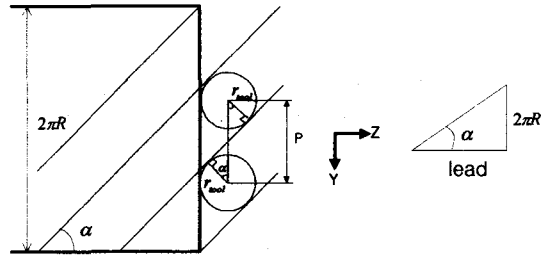


그림 3 공구 이동간격

그림 4는 XY단면에서의 가공 시작부이다. 황삭의 절삭과정을 볼때, 공구의 형상에 따라 날부분에서는 절삭가공이 이루어지지만, 중심부근에서 절삭이 이루어지지 않는다. 그러므로 가공시작부에서 공구의 형상에 따라 절입깊이와 방향을 계산해 주어야 한다. 만약,  $R_0$ 에서  $R_1$ 의 반경으로 절입해 들어갈 때, 최대 절입깊이( $depth_{max}$ )는 그림에서와 같이 계산되어 질수 있다. 공구바닥부분의 절삭가능 길이가  $L_{cutter}$ 일때, 공구의 가공위치 depth에 따라  $R_0$ 와  $R_1$ 의 값이 변경되고 그에 따른  $depth_{max}$ 가 계산될 수 있다.

$$\cos \theta = \frac{L_{cutter}}{R_0}$$

$$R_1 = R_0 \cdot \sin \theta \quad (2)$$

$$\therefore depth_{max} = R_0 \cdot (1 - \sin \theta)$$

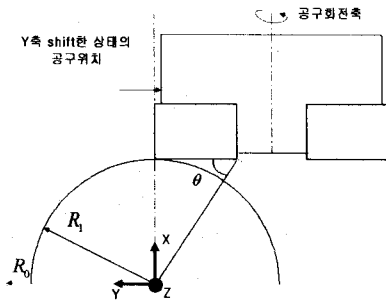


그림 4 가공시작부의 Y축 shift

### 2.3 공구간섭과 정밀도 향상을 위한 Y축 shift

황삭가공시, 가공시작부로의 공구 절입을 위한 Y축의 조정이 필요하다. 실제의 가공에서, 가공재료의 시작부에는 어떤 형상의 부품을 가지고 있기 때문에 스크류의 가공은 재료의 중간 부분에서부터 이루어진다. 공구의 날 끝부분에서 가공이 우선적으로 행해져야 하고 헬릭스를 따라 Y축 방향으로 가공이 진행되어야 한다. 그렇지 않을 때에는 공구의 파손과 같은 심각한 문제가 발생할 것이다. 즉, 가공시작부에서 절입방향과 깊이를 정해주어야 한다.

그림 5에서 보이는 것처럼 최적 공구경로를 갖기 위한 Y축 조정량( $Y_{shift}$ )은 공구의 반경값이다.

$$Y_{shift} = r_{tool}$$

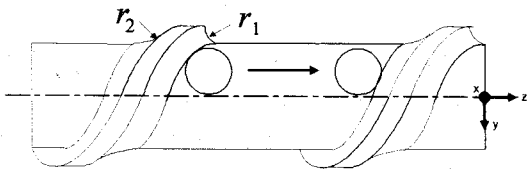


그림 5 황삭시, Y축 shift

골정삭시 정확한 형상치수 가공을 위한 요건은 골부분의 CL데이터를 정확하게 계산하는 데에 있다. 이는 골부분의 정확한 X축 좌표에 공구의 절삭점이 존재해야 함을 말한다. 가공 메카니즘에서 볼 때, C축(Z축의 회전축)회전시 골정삭을 위한 가공데이터는 XZ평면에 직교하면서 X축 최고점에 도달했을 때 생성됨을 알 수 있다. 그림 6에서 보이는 것과 같이 골정삭시, 최대 절삭공구

경로를 갖기 위한 Y축 shift량은 아래와 같다.

$$Y_{shift} = r_{tool} - L_{cutter}$$

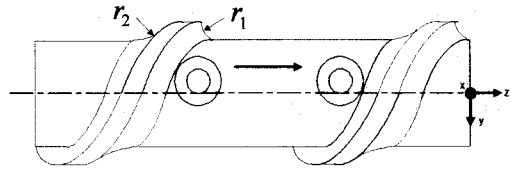


그림 6 (골)정삭시, Y축 shift

round정삭시 골정삭에서와 마찬가지로 공구와 가공재료의 절삭부위가 계산된 CL데이터와 동일하게 일치되어 가공되어야 하며, 이는 골정삭과 동일한 평면위치에 존재한다. 이 평면에 공구의 절삭점을 위치시키기 위해, 그림 7에서 보이는 것처럼 스크류의 헬릭스면과 XZ평면이 만나는 점과, 스크류의 헬릭스면과 공구가 수직으로 만나는 점이 동일하게 되도록 해야 한다. 공구의 형상에 근거하여 Y축 shift값이 계산된다. 이때 round  $r_1$ ,  $r_2$ 의 가공시 각각 Y축 shift값의 크기는 동일하지만, +/- 방향을 바꾸어 정삭가공해야 한다.

$$Y_{shift} = r_{tool} \cdot \cos \alpha$$

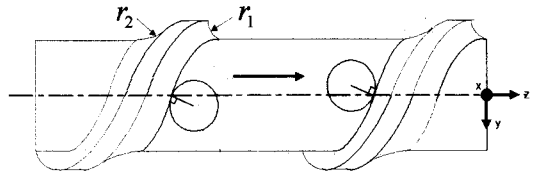


그림 7 (round)정삭시, Y축 shift

### 2.4 정삭 최대절삭을 위한 공구 이동간격

가공물을 보면 정삭시에 스크류내경 R에 위치한 골부분을 상용 플랫 엔드밀과 볼 노우즈 엔드밀로 가공하였을 때 절삭이 완전히 이루어지지 않고 굵고 지나간 흔적이 남아서 가공상태가 좋지 않게 된다. 그림 1과 2를 보면, Z축의 회전축 C축이 회전하면서, 공구가 Z축으로 이동하여 스크류의 형상을 가공하게 된다. 그림 8에서, 공구의 바닥부분이 공구중심으로 일정각도를 이루고 있고 가공물의 형태가 원형이기 때문에 공구중심

의 밑부분에서 절삭이 일어나지 않고 공구중심으로 들어가게 된다. 다시 이 부분이 공구밑부분에서 나가게 된다. 이로 인해 가공물의 상태가 공구에 남은 흔적이 남고 정확한 위치가 가공되지 않는다.

이에 대해 정확한 형상을 가공하기 위해 Z축과 평행한 면을 가공할수 있는 밀링커터나 페이스커터와 같은 형상의 공구가 요구된다. 그리고 상용 엔드밀 공구를 사용하더라도 공구의 절삭 이동간격을 작게 하고, 공구 경로를 적절히 선정함으로써 이 부분의 형상정밀도를 높일 수 있다.

그림 8은 공구의 바닥부분의 형상에 따라 공구중심을 Y축 shift했을 때, 최대 절삭을 하기위한  $Y_{shift}$ 와 공구 이동각 사이의 관계를 나타낸다. 이것은 식(3)과 같이 계산된다.

$$\theta_{tool} = 2 \cdot \sqrt{(r_{tool} - round)^2 - y_{shift}^2} \cdot \frac{360^\circ}{2\pi R} \quad (3)$$

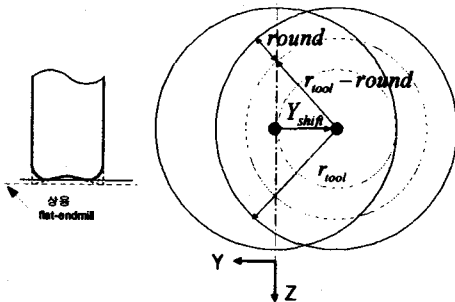


그림 8 상용 엔드밀과 Y축 조정량

### 3. 실험 및 고찰

#### 3.1 CAM 시스템

스크류형상을 정의하여<sup>(1)(2)</sup> 최적 공구경로를 적용하였고, 가공부위에 따라 작업목적에 맞는 공구를 교환하여 사용함으로써 형상치수와 가공시간을 단축하도록 하였다.

이를 적용하여 리드가 일정한 스크류, 리드가 변하는 스크류, 그리고 내경이 테이퍼형상으로 변하는 스크류를 가공하였다.

실제 스크류 가공에서는 이러한 고정적인 형상들이 조합된 스크류 형상 가공이 요구되기 때문

에 스크류의 용도에 따른 가공방식이 필요하다 하겠다. 복잡한 스크류의 형상을 사용자가 조합하여 완성된 형상을 정의하여 가공할 수 있도록 사용자 인터페이스를 개선하였다.

그리고 일반적으로 C축, X축, Y축 3축 동기 선반에서 스크류가공이 이루어지고 있고 Y축은 수동조작이기 때문에 부분작업별 Y축 shift값을 사용자에게 지적해 주어야 할 필요가 있다.

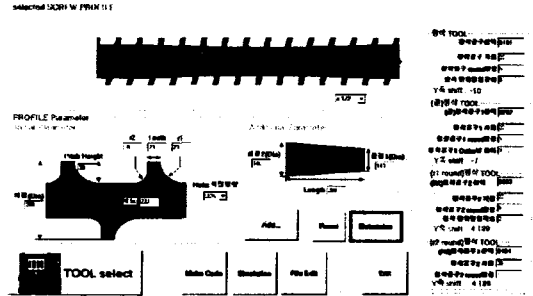


그림 9 CAM system

#### 3.2 실험 결과 및 고찰

HWACHON Hi-ECO21HS 터닝센터에서 나일론수지를 재료로 사용하였으며, 가공조건 feed 2.5, spindle 1000, 급속이송% 25%에서 본 연구에서 계산된 공구경로를 적용하여 단일 리드, 리드가 변하는 스크류, 그리고 골경이 테이퍼형상으로 변하는 스크류를 가공해 보았다.

직경 d(반지름 r)의 볼노우즈 엔드밀 한 공구를 사용하고, 절삭 공구이동 간격을  $\frac{360^\circ \cdot d}{lead}$ 로

가공한<sup>(1)(2)</sup> 결과가 그림 12(b)이다. 이것은 절삭경로가 중복됨으로써 가공시간이 낭비되고, 골부분에서 가공 표면상태가 양호하지 않다. 본 연구에서 계산된 공구 경로를 적용하여 가공했을 때의 결과가 그림 12(a)이고, (b)의 경우보다 가공 표면 상태가 양호하였다.

가공조건에 따라 차이는 있지만,  $r_1=20$ ,  $r_2=10$  나사산 폭 10, 나사산 높이 20, 리드 100, 전체 길이 300의 스크류를 가공시 약 30~40분 정도가 소요되며, (b)의 경우에 비해 5~10여분정도 단축되었다.

골경이 테이퍼 형상으로 변하는 스크류의 경우는 공구의 바닥부분 형상때문에 골경이 일정한

스크류보다는 골부분의 표면정도가 다소 좋지 않지만, 허용치내의 표면상태를 얻을 수 있다. 골경이 일정한 스크류와 유사한 표면정도를 얻기 위해서는 가공경로를 증가시켜 가공해야 한다. 이 때문에 10~20분 정도 가공시간이 더 소요되었다.

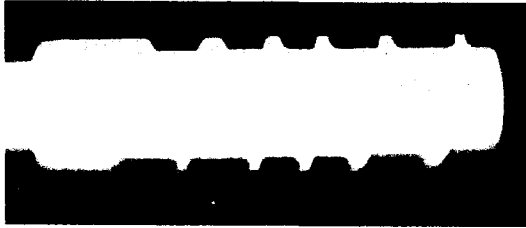


그림 10. 리드가 2번 변하는 스크류

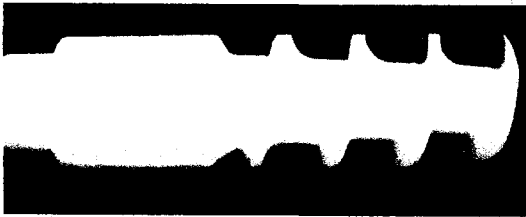
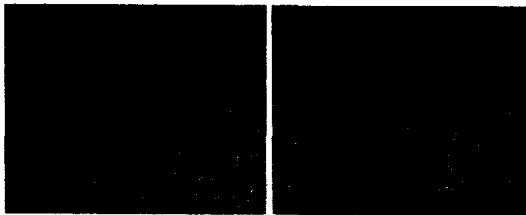


그림 11 내경이 테이퍼 형상인 스크류



(a) 최적 공구경로 적용 (b) 적용하지 않음  
그림 12 공구 절삭경로에 따른 표면상태

#### 4. 결론

본 연구와 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 공구의 절삭공정을 줄이면서 최대의 절삭량을 위한 최적의 공구경로를 설정하여 가공시간을 단축하였다.
- (2) 가공시간과 정밀도 향상을 위해 황삭, 정삭 그리고 가공부위별로 공구를 교환하여 가공하였다.
- (3) 가공시간과 정밀도 측면에서 개선을 도모하기

위한 방법들을 적용하여 단일 리드, 리드가 변하는 스크류, 골경이 테이퍼 형상으로 변하는 단일 리드의 스크류를 가공하였다. 그리고 사용자 인터페이스를 개선하여 실제 스크류 가공에 적용하고자 하였다.

#### 참고문헌

1. 이원규, 안중환, “3축 선반에서의 스크류 가공을 위한 CAM시스템 개발”, 한국정밀공학회지 제15권 제2호 1998.2 pp.21~27
2. 이민환, 이원규, 안중환 “회전공구를사용한 축평행단면정도에 의한 screw가공용 CAM시스템 개발”, 한국정밀공학회98' 추계학술대회논문집 (I) pp.629~632
3. 전차수 “자유곡면 NC가공에서의 공구간섭방지” 한국과학기술원 pp.10~17, 36~43 1989
4. 박원규, 현동훈, “최신 CNC 가공”, 청문각, pp.67~152, 1996
5. 노상래, “CNC 프로그래밍 & 加工法” 일진사, pp.51~152, 328~338, 1994