

축 수직단면 형상정의에 의한 대형 스크류의 가공시 공구간섭검사

이원규*, 안중환**, 박규열*

Tool interference check in machining of large screws defined by cross-section view

Won-Kyu Lee*, Jung-Hwan Ahn**, Kyu-Yeol Park*

Abstract

In machining screws which are important members in mono pumps or progressive cavity pumps, CNC turning center with 3 axes is usually used. This sort of screw machining requires large amount of CL data points and rotational tools are used in machining. When working out the CL data points, consideration of possible tool interference is important in order to avoid undercut. This paper describes the checking methods of tool interference that could occur in the screw machining on the CNC turning center. First of all a specific shape of a screw cross-section that could commonly be applied to all screws was chosen, and then possible tool interference associated with that shape was identified. Checking method was mathematically developed and verified. This checking method will be utilized in the CAM system developed by the authors for screw machining on the 3-axis CNC turning center.

Key Words : CNC(컴퓨터 수치제어), Screw(스크류), Tool interference(공구간섭), 3-axis Turning Center(3축 터닝센터)

1. 서론

플라스틱 사출기, 워 기어 또는 축방향의 운반기 등에 사용되는 비교적 대형인 스크류의 가공은 고가의 다축(4축 이상) CNC가공기에서보다는 저가의 3축(x, z 및 c축) 터닝센터에서 가공하는 것이 일반적이다. 간단한 형상을 가진 스크류의 경우는 재래식 선반에서 고정공구의 사용으로도

가공이 이루어지나, 일반적으로는 볼랜드밀을 사용하여 가공하며, 스크류의 단면형상에 따라 많은 공구위치를 결정해 주어야 하므로 많은 시간이 소요된다. 따라서 동일한 가공물에 대하여 전과 동일한 공구위치를 반복 결정해 주기보다는 CNC가공기를 사용하여 가공프로그램을 미리 작성하여 반복 사용하는 것이 바람직하다. 또한 CNC가공기를 사용하는 경우 스크류 가공을 위한 전용 CAM시스템의 개발

* 울산대학교
** 부산대학교

사용도 가능하다. CNC가공기의 활용을 위한 CAM시스템 들은⁽⁶⁻⁸⁾ 이 가공기의 출현 이후 지속적으로 개발 발전되어 왔지만, 이들의 대부분은 범용 CAD시스템과 연계된 CAM 시스템들로서⁽⁹⁻¹¹⁾, 특히 스크류와 같이 규칙적인 형상을 가지면서도 상당히 많은 가공 데이터를 요하는 경우에는 적합하지 않았다. 그 이유는 일반적인CAD시스템에서 모델링 및 가공을 위한 데이터 산출작업이 용이하지 않기 때문이었다. 따라서 3축(x-z-c축) CNC선반의 C축 적용 가공인 스크류 가공을 용이하게 할 수 있는 CAM시스템의 개발이 필요하였으며, 이에 본 저자는 스크류 가공전용 CAM시스템의 개발을 시도하였고⁽¹²⁾, 이 CAM시스템의 개발에서 해결해야 할 중요한 문제점의 하나로 가공물과 공구간의 간섭문제를 언급하였다. 이 문제와 관련하여 문헌을 조사한 결과, 스크류의 가공과는 거리가 있는 스크류의 활용과 관련된⁽¹⁻²⁾, 또는 스크류의 설계와 관련된⁽³⁾ 논문들과, 나선형상의 가공과 관련하여 가장 활용이 많은 트위스트 드릴공구의 홈가공에 대한 몇몇의 논문들만을 찾을 수 있었다. 이들은 주어진 단면형상을 갖는 드릴의 나선홈을 가공하기 위해 원판형의 가공공구의 단면형상설계를 위한 것이거나 또는 그 역으로 주어진 원판형의 가공공구에 의해 가공되는 드릴홈의 단면형상을 예측하는 것에 대한 논문들이었다.⁽⁴⁻⁵⁾ 또는 원판형 가공공구의 필요소에 의한 홈가공 결과에 대한 기하학적 해석으로 필요소의 반경의 크기, 세팅조건 등에 의한 나선형 홈형상에의 영향 등에 대한 것으로서,⁽¹¹⁾나선형 곡면의 가공이라는 점과 그 형상정의가 공작물의 회전축에 수직한 단면상에서 이루어지고 있다는 점에서는 본 논문의 내용과는 공통점을 가지나 사용공구가 범용의 볼엔드밀이 아닌 원판형의 공구를 사용한다는 점에서 다르고 또 전용 공구연삭기가 아닌 범용의 NC선반에서 나선형 가공을 한다는 점에서는 본 논문의 내용과는 거리가 있다.

본 논문에서는, 이와는 다른, 스크류 가공을 위한 CAM 시스템에서 요구되는 공구와 소재간의 간섭을 검사하는 방법을 연구하였다. 이를 위해 먼저 대형 스크류를 범용 3축선반에서 볼엔드밀을 사용하여 가공하는 과정에 대하여 간단히 소개하고 스크류 형상의 기하학적 특성 및 과정에서 발생가능한 공구의 간섭을 규명할 것이다.

2. 범용 3축 선반에서의 축 수직단면 정의에 의한 대형 스크류의 가공과정 및 공구간섭변수

범용 3축선반에서 스크류의 가공은 주축과 평행한 표면 및 수직한 단면에 형상을 가공하는 경우가 있다. 본 논문

- (1) X89.393 Z-120 C181
- (2) X89.393 Z 20 C-29

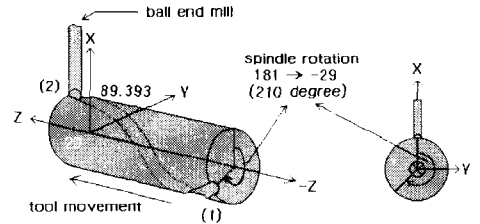


Fig. 1 Step 1과 2

- (3) X89.373 Z 20 C-28
- (4) X89.373 Z-120 C182

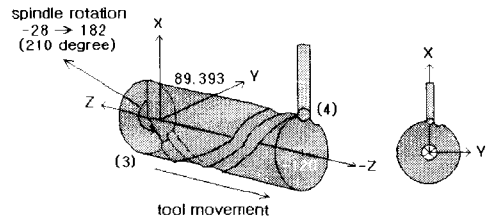


Fig. 2 step 3와 4

에서는 회전공구를 사용하여 주축에 평행한 면에 어떤 형상을 가공하는 스크류를 대상으로 하고 있으며 대표적인 스크류의 형상 및 가공과정을 알아보면 다음과 같이 4단계로 구성된다.

- ① 1단계 : 소재 우단에서의 스핀들 및 공구위치 결정 (Fig. 1)
- ② 2단계 : 공구의 z축 이동 및 스핀들의 c축회전(Fig. 1)
- ③ 3단계 : 스핀들의 일정각 회전(Fig. 2)
- ④ 4단계 : 공구와 스핀들의 반대방향 이동(Fig. 2)

이와 같은 과정에서 공구의 상향절삭 및 하향절삭을 고려한다면 ③ 및 ④ 단계들이 ① 및 ② 단계들로 대체되거나 또는 그 반대로 대체될 수도 있다.

이 가공과정에서 공구간섭은 일반적인 자유곡면가공에서의 공구간섭문제와 다르다. 즉 공구의 위치마다 간섭여부를 판단해야 할 필요가 없으며 앞의 가공과정의 매 1단계 및 3단계에서 간섭여부만을 판단하면 된다. 왜냐하면

1 및 3단계에서 공구의 위치가 결정된 후 공구의 이동은 가공물의 축방향으로 동일한 헬릭스를 따라가기 때문이다. 또한 가공물의 직경이 가공물 축방향의 위치에 따라 변화되지 않고 일정하게 유지되는 경우(즉, 축 방향으로 경사진 스크류가 아님) 1단계 및 3단계에서의 공구위치는 본질적으로 그 특성이 같다. 본 논문에서 취급하는 스크류는 그 직경과 리이드가 일정하므로 1단계에서의 간섭만을 검토하면 된다. 따라서 가공물의 단면형상과 리이드 공구의 크기 및 CC점(Cutter Contact Point)의 위치가 간섭판단의 주요 변수가 된다.

3. 스크류 형상의 특징 및 공구간섭의 종류

가공물과 공구의 간섭문제를 취급하기 위해서는 먼저 가공물의 표면형상특징에 대하여 인식하고, 다음 사용공구와 관련하여 발생가능한 공구간섭의 종류와 그 특성 또는 한계성을 판단하여야 한다.

3.1 스크류 형상의 특징

스크류의 표면형상의 구성은 자유곡면과는 달리 규칙성이 있으며 그 구성요소는 서로 다른 크기의 반경을 가진 헬릭스들로 되어 있다. 이들 헬릭스들의 공통점은 동일한 리이드를 갖는다는 점이다. 본 논문에서 취급하는 대표적인 스크류의 단면을 구체적인 그림으로 나타내면 Fig. 3에서와 같다. 각 헬릭스의 반경은 중심 O점으로부터 스크류 단면의 외곽선상에 있는 헬릭스의 시점까지의 거리이다. 가공하려는 스크류의 길이와 리이드의 길이에 따라 헬릭스의 회전수가 결정되며 수 많은 이들 헬릭스들에 의해 스크류의 표면형상이 이루어진다. 이와 같은 헬릭스들에

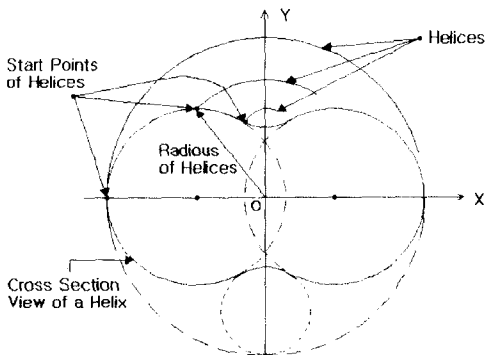


Fig. 3 스크류의 단면과 그의 헬릭스

의해 형성되는 스크류의 곡면은 해석함수의 식으로 표시되지만 그 식이 삼각함수를 포함하고 있는 초월함수식이므로 어떤 값을 기준으로한 해를 일반적인 식으로 구하는 것은 불가능한 특징을 갖고 있다. 또한 이들 헬릭스는 공구와 소재의 접촉점(CC점)의 이동궤적이 된다는 특징이 있으며 따라서 이들 헬릭스들이 공구의 간섭을 판단하는데 이용될 수 있다. 스크류의 표면형상을 이루는 이와같은 헬릭스들은 공간에서 상호거리가 일정하게 유지되므로, 하나의 헬릭스에 수직인 평면이 다른 헬릭스에도 수직인가를 확인해 볼 필요가 있다. 왜냐하면 만일 단일 수직평면을 갖는다면, 스크류를 이 단일 수직평면으로 절단할 때 생성되는 절단곡선의 곡률반경 최소치를 단 한번 계산하고 이를 공구의 반경과 비교하여 간섭을 판단할 수 있기 때문이다. 직관적으로는 이들 두 헬릭스는 동일한 수직평면을 갖지 않는다.

따라서 스크류 곡면이 비록 해석함수로 표시될 수 있다 하더라도, 스크류 곡면상의 어느 한 헬릭스에 수직인 평면이 스크류 곡면을 절단할 때 생성되는 곡선과, 동일한 평면으로 공구(엔드밀) 절삭날의 구를 절단할 때 생성되는 곡선(이는 항상 공구의 반경과 같은 크기의 반경을 갖는 원이다)과의 교차상태를, 단 한번만 판단함으로써 공구의 간섭여부를 판단할 수는 없음을 알 수 있다. 그러므로 스크류 단면상에서 공구접촉점 매 위치마다 그 위치에 해당하는 헬릭스의 수직 평면을 구하여, 그 평면으로 스크류와 공구 절삭날의 구를 절단할 때 생성되는 두 곡선의 교차여부를 검토함으로써 공구와 공작물간의 간섭을 판단해야 한다. 그러나 이와 같이 스크류의 단면상에서 공구의 매 위치마다 공구의 간섭여부를 계산해야 하는 불편함이 있는 한편 이 문제를 간단화 시켜주는 한가지 특성이 있다. 그것은 스크류의 축에 수직인 단면($Z=0$ 평면)상에서 공구와 공작물의 접촉점(CC점)을 지나며 그 접촉점을 포함하는 헬릭스에 수직인 평면은 항상 좌표계(X-Y-Z 좌표계)의 원점을 통과한다는 점이다. 이와 같은 특성은 헬릭스에 수직인 평면이 스크류와 공구 절삭날의 구를 절단할 때 생성되는 곡선식들의 계산을 용이하게 해 준다.

3.2 스크류 가공시 간섭의 종류와 검사방법

이와 같은 특징을 갖는 스크류의 형상을 볼랜드밀을 사용하여 가공할 때 발생 가능한 공구와 공작물과의 간섭은 2가지 경우가 있을 수 있다.

첫번째는 스크류의 단면형상이 Fig. 4(a)에서와 같이 포켓 형상을 가질 때 공구의 날 또는 몸체와 스크류의 인접

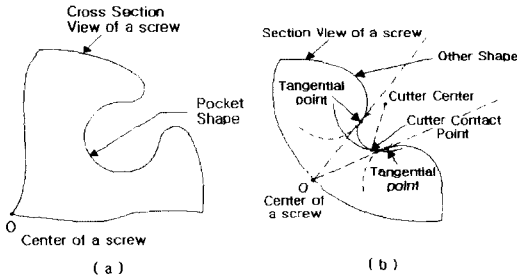


Fig. 4 2가지 종류의 공구 간섭

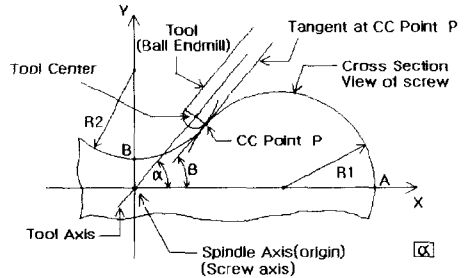


Fig. 6 스크류의 단면도 및 공구의 상대위치

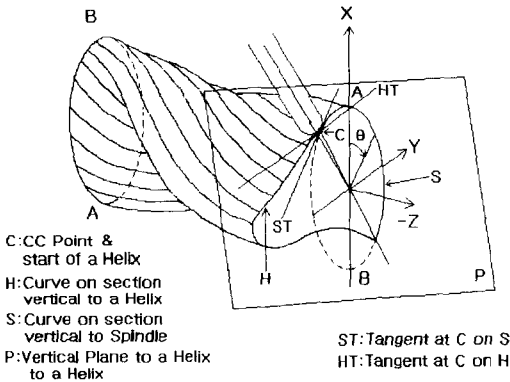


Fig. 5 스크류 상의 한 헬릭스에 수직인 단면에 보인 스크류의 절단면

산과의 간섭이 존재하는 경우이며, 두번째는 Fig. 4(b)에서와 같이 공구가 공작물과 접촉하며 헬릭스를 따라 이동할 때 접촉점에서 공작물에 대한 공구의 상대운동 방향에 수직인 평면에 나타나는 스크류의 곡면의 곡률반경이 공구의 곡률반경보다 작은 경우이다.

첫번째의 경우의 간섭은 J.H.Oliver 등에 의한 'gouge detection algorithm'^[11]을 이용하여 발견할 수 있으나, 본 논문에서는 다음에 기술하는 바와 같이 이보다 훨씬 간단한 알고리즘의 사용으로 발견할 수 있다. 이 알고리즘을 설명하기 위해 Fig. 5에 스크류의 단면 일부와 공구의 접촉상태를 도시하였다. 이 그림에서, 스크류 단면 외곽선의 구성은 다수의 원호들(반경 R_1 및 R_2 인 원호들)의 접속으로 되어 있으며, 스크류의 전체 단면형상은 그림에서 보인 1상한 형상의 X축 및 Y축 대칭으로 되어 있다. A점은 반경 R_1 의 원호가 시작되는 점이다. P점은 반경 R_1 및 R_2 인 원호들이 접하는 점으로 이 그림에서는 현재의 CC점과

일치하고 있다. B점은 반경 R_2 인 원호가 Y축과 만나는 점이다. 먼저 형상이 일의적으로 구성되는 영역(원호 AP 및 PB)에서는 포켓형상의 존재를 검토할 필요가 없다. 왜냐하면 스크류 단면 외곽선의 구성은 다수의 원호들의 접속으로 되어 있기 때문이다. 포켓형상의 존재와 관련해서는 단지 원호들의 접속점(Fig에서 P점)의 특성만을 고려한다. 그림에서는 P점만이 1상한에서의 접속점이다. 그림에서와 같이 P점이 공구가 소재와 접하는 CC점이라고 할 때 공구의 중심과 좌표계의 원점을 연결한 공구중심선의 기울기(α)를 구한다. 다음 P점에서의 접선을 구하고 이 접선의 기울기(β)와 앞에서 구한 공구중심선의 기울기를 비교하여, 접선의 기울기가 공구중심선의 기울기보다 크면 포켓형상이 존재하고 그렇지 않으면 존재하지 않는다.

본 논문은 3축 범용선반에서의 스크류 가공을 대상으로 하고 있으므로 두번째 경우의 간섭만을 고려하면 된다. 이 경우의 곡률반경은 Fig. 6에서 보인 바와 같이 스크류 단면형상의 외곽선이 갖는 곡률반경과는 다르다. 그 이유는 스크류의 단면 형상이 축방향을 따라 이동할 때 회전하기 때문이다. 또한 이 경우, 공구와 공작물과의 접촉은 Fig. 7에서와 같이 이루어지므로, 첫 번째 경우의 간섭문제만 해결되면, 리이드가 작은 스크류의 가공에서도 공구의 몸체와 스크류의 인접산과의 간섭은 있을 수 없는 특징이 있다. 이와 같은 특징은 간섭문제의 해결을 더욱 간단하게 해 준다.

4. 헬릭스 수직단면의 최소곡률반경계산에 의한 간섭체크

먼저 스크류의 축에 수직인 단면곡선 상의 한 점(CC점)에서 그 점을 지나는 헬릭스에 수직인 평면을 구한다. 다음 이 평면이 스크류 곡면을 절단할 때 생성되는 교차곡

선과 공구 절삭날의 구를 절단할 때 생성되는 교차곡선을 구한다. 그 곡선식들을 그 수직평면 내의 $u-v-w$ 좌표계(Fig. 8 참조)로 변환하여 $u=0$ 인 평면상에서 두 교차곡선의 실형이 나타나도록 하여 그 교차곡선의 식을 v, w 변수로 나타내고, 이로부터 그 접촉점에서의 곡률반경을 구하여 공구의 반경과 비교하여 간섭을 판단한다. 이 때 곡률반경의 절대값이 공구의 반경보다 크면 간섭이 존재하지 않고 공구의 반경보다 작게 되면 간섭의 가능성이 있다.

이와같이 구한 곡률의 절대값이 공구와 실제로 간섭이 발생하는가를 시각적으로 쉽게 판단하기 위해 그 계산 결과를 컴퓨터의 그래픽 기능을 이용하여 디스플레이 상에 나타낸 공구궤적의 시뮬레이션 화면에 추가시키고 스크류의 한 종류에 대한 적용 결과를 보였다. 다음은 이상의 과정을 좀 더 구체적으로 설명한다.

4.1 스크류 형상의 최소곡률반경의 계산

4.1.1 헬릭스 상의 임의점을 지나며 그 헬릭스에 수직인 평면식의 유도

먼저 Fig. 7을 참조하여, $Z=0$ 인 평면상의 G*점에서 시작하여 리이드 L 을 가지며 θ 만큼 회전하여 G점을 통과하는 헬릭스를 생각한다. 그러면 G*점의 위치벡터는

$$\begin{aligned} \mathbf{R}^* &= X^* \cdot \mathbf{i} + Y^* \cdot \mathbf{j} + 0 \cdot \mathbf{k} \\ &= (C_1 + R_1 \cdot \cos \alpha) \cdot \mathbf{i} + R_1 \cdot \sin \alpha \cdot \mathbf{j} \end{aligned} \quad (1)$$

따라서 $X^* = R_1 \cos \alpha + C_1$, $Y^* = R_1 \sin \alpha$ 이 되고, 이를 좌표변환하여 G점의 좌표 (X,Y)를 구하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} X &= (R_1 \cos \alpha + C_1) \cos \theta - (R_1 \sin \alpha) \sin \theta \\ &= X^* \cos \theta - Y^* \sin \theta \end{aligned} \quad (2)$$

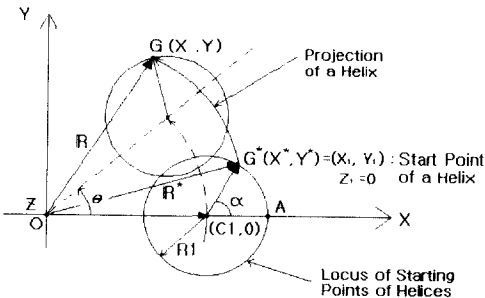


Fig. 7 X-Y 평면에 투상한 스크류 곡면의 한 헬릭스

$$\begin{aligned} Y &= (R_1 \cos \alpha + C_1) \sin \theta + (R_1 \sin \alpha) \sin \theta \\ &= X^* \sin \theta + Y^* \cos \theta \end{aligned} \quad (3)$$

헬릭스에서 Z좌표는 회전각 θ 에 비례하므로

$$Z = \frac{L}{2\pi} \theta \quad (4)$$

이 된다. 따라서 G*점에서 시작하는 헬릭스 HG를 벡터식으로 표시하면

$$\mathbf{R} = X \cdot \mathbf{i} + Y \cdot \mathbf{j} + Z \cdot \mathbf{k} \quad (5)$$

또한 이와 같은 헬릭스들로 이루어지는 스크류 곡면의 식은 다음과 같다.

$$(X - C_1 \cos \theta)^2 + (Y - C_1 \sin \theta)^2 = R_1^2 \quad (6)$$

Fig. 7, 8을 참조하여, 식 (2), (3), (4) 및 (5)로부터 헬릭스 상의 임의점에서의 접선벡터는 일반적으로 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{R}}{d\theta} &= [(R_1 \cos \alpha + C_1) \cos \theta - (R_1 \sin \alpha) \sin \theta] \cdot \mathbf{i} \\ &+ [(R_1 \cos \alpha + C_1) \sin \theta - (R_1 \sin \alpha) \cos \theta] \cdot \mathbf{j} \\ &+ \frac{L}{2\pi} \cdot \mathbf{k} \end{aligned} \quad (7)$$

이 식에서 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 의 계수를 각각 A, B, C 라고 하면 식 (7)로 표시되는 벡터를 수직으로 갖는 평면의 식은 다음과 같다.

$$A \cdot (X - X_1) + B \cdot (Y - Y_1) + C \cdot (Z - Z_1) = 0 \quad (8)$$

여기서 X_1, Y_1, Z_1 은 헬릭스의 시점 즉 $Z_1 = 0$ 인 평면 상에서 곡면상의 한 점이다. 따라서

$$A = -R_1 \sin \alpha = -Y_1, \quad B = C_1 + R_1 \cos \alpha = X_1,$$

$$C = \frac{L}{2\pi}, \quad Z = 0, \quad \theta = 0$$

이다. 이 값들을 식 (8)에 대입하면 헬릭스에 수직인 평면의 식을 구할 수 있다. 그 식은

$$-Y_1 X + X_1 Y + \frac{L}{2\pi} Z = 0 \quad (9)$$

이며, 이 식으로 표시되는 평면은 항상 원점을 통과하는 것을 알 수 있다.

4.1.2 스크류 곡면을 절단할 때 생성되는 교차곡선의 유도

식 (9)으로 표시되는 수직평면이 스크류의 곡면을 절단할 때 생성되는 곡선식을 구하기 위해, 식 (9)에서 Y 및 Z 의 함수로 표시된 X 를 식 (6)에 대입하여 구할 수 있다. 그러면

$$\left(\frac{X_1}{Y_1}Y + \frac{L}{2\pi Y_1}Z - C_1 \cos\theta\right)^2 + (Y - C_1 \sin\theta)^2 = R_1^2 \quad (10)$$

이 된다. 그러나 식 (10)으로 표시되는 곡선은 $Y-Z$ 평면에 투영한 곡선식이므로 이는 그 수직평면 상의 곡선을 나타내지 못한다. 따라서 수직평면 상에 나타나는 곡선의 식을 구하기 위해 좌표계의 변환을 사용한다. 즉, 원점이 $X-Y-Z$ 좌표계의 원점과 동일하고 u 축이 그 평면에 수직이 되는 $u-v-w$ 좌표계(국부좌표계)를 설정하여, $v-w$ 좌표를 사용해서 곡선식을 나타낸다. 먼저 식 (10)에서

$$l = -Y_1, \quad m = X_1, \quad n = \frac{L}{2\pi} \quad (11)$$

라 하면, 식 (9)은

$$lX + mY + nZ = 0 \quad (12)$$

가 되고, 이는 Fig. 8에서 원점을 지나며 그의 수직벡터가 V 로 표시되는 평면의 식이 된다.

이 V 벡터를 적절히 회전하여 X 축과 일치시키면 수직평면은 $Y-Z$ 평면과 일치한다. 즉 u 축과 X 축, v 축과 Y 축, w 축과 Z 축이 서로 일치한다. 변환을 위해 V 벡터를 X 축을 중심으로 δ_x 만큼, Y 축을 중심으로 δ_y 만큼

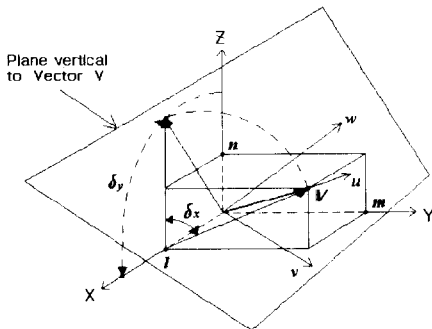


Fig. 8 한 헬릭스의 접선벡터 V 및 그에 수직하며 원점을 지나는 평면

회전변환 시키면 다음과 같은 식을 얻는다.

$$X = \mu_x \cdot v + \nu_x \cdot w \quad (13)$$

$$Y = \mu_y \cdot v + \nu_y \cdot w \quad (14)$$

$$Z = \mu_z \cdot v + \nu_z \cdot w \quad (15)$$

여기서

$$\mu_x = 0 \quad \nu_x = -\sin \delta_y$$

$$\mu_y = \cos \delta_x \quad \nu_y = -\sin \delta_x \cos \delta_y \quad (16)$$

$$\mu_z = -\sin \delta_x \quad \nu_z = -\sin \delta_x \cos \delta_y$$

이고, 여기서

$$\sin \delta_x = \frac{m}{(n^2 + m^2)^{\frac{1}{2}}}, \quad \sin \delta_y = \frac{(m^2 + n^2)^{\frac{1}{2}}}{(l^2 + m^2 + n^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (17)$$

$$\cos \delta_x = \frac{n}{(n^2 + m^2)^{\frac{1}{2}}}, \quad \cos \delta_y = \frac{l}{(l^2 + m^2 + n^2)^{\frac{1}{2}}}$$

이다. 다음, 단면상의 곡선식을 구하기 위해서는 식 (14) 및 (15)를 식 (10)에 대입한다. 그러면

$$(a_1 v + b_1 w - C_1 \cos\theta)^2 + (a_2 v + b_2 w - C_1 \sin\theta)^2 = R_1^2 \quad (18)$$

이 되고, 이 식에서 θ 역시 v 와 w 의 식으로 나타내면

$$\theta = e \cdot v + f \cdot w \quad (19)$$

이다. 여기서 $e = -\frac{2\pi}{L} \sin \delta_x$, $f = \frac{2\pi}{L} \cos \delta_x \cos \delta_y$ 이고, 식

(18)에서 상수들의 식은

$$a_1 = \frac{X_1}{Y_1} \cos \delta_x - \frac{L}{2\pi Y_1} \sin \delta_x, \quad a_2 = \cos \delta_x$$

$$b_1 = \frac{X_1}{Y_1} \sin \delta_x \cos \delta_y + \frac{L}{2\pi Y_1} \cos \delta_x \cos \delta_y$$

$$b_2 = \sin \delta_x \cos \delta_x \text{ 이다.}$$

이 식 (18)가 헬릭스에 수직한 단면상에 나타나는 스크류의 절단면의 국부좌표계에서의 모양을 나타내는 교차곡선식이 되며, 이 식을 사용하여 해당점에서의 곡률반경을 구한다.

4.1.3 접촉점에서의 곡률반경의 계산

접촉점에서의 곡률반경을 구하기 위해, 스크류의 절단면의 실제의 형상을 나타내는 교차곡선식인 식 (18)를 미분하여야 한다. 이 때 절단면의 좌표계인 $u-v-w$ 좌표계의 각 축이 $X-Y-Z$ 좌표계의 어떤 축과 일치하는가에 주의해야 한다. 또한 절단평면의 수직축이 $X-Y-Z$ 좌표계의 어느 축과 일치하는가에 주의해야 한다. 식 (18)의 유도에서는 u 축과 X 축, v 축과 Y 축, w 축과 Z 축이 일치하며 u 축이 절단평면의 수직축이다. 따라서 $v-w$ 평면상에 스크류 절단면의 실형이 나타나며, 변환에 의해 $v-w$ 평면은 $Y-Z$ 평면과 일치하므로 결국 $Y-Z$ 평면에 그 실형이 나타난다. 그러므로 v 를 w 로 미분하여 곡률반경을 구한다.

식 (18)를 w 로 미분하면

$$dv/dw = -[(b_1 + fC_1 \sin \theta)(a_1 v + b_1 w - C_1 \cos \theta) + (b_2 - fC_1 \cos \theta)(a_2 v + b_2 w - C_1 \sin \theta)] / [(a_1 + eC_1 \sin \theta)(a_1 v + b_1 w - C_1 \cos \theta) + (a_2 - eC_1 \cos \theta)(a_2 v + b_2 w - C_1 \sin \theta)]$$

이 된다. 이를 다시 w 로 미분하여 $\frac{d^2v}{dw^2}$ 를 구하고, 다음과

같이 일반적인 곡률반경식인 $\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2v}{dw^2}}{[1 + (\frac{dv}{dw})^2]^{3/2}}$ 를 이용하여 ρ 를 구한다.

4.2 곡률반경 비교를 통한 간섭체크의 적용

가공곡률반경을 구하면 이를 공구반경과 비교하여 간섭을 판단하는 것은 간단하다. 가공곡률반경을 ρ 라 하고 공구반경을 R_1 라 할 때, 물론 $\rho > R_1$ 이면 간섭이 없으며, $\rho < R_1$ 이면 간섭이 존재한다.

앞에서 설명한 가공곡률반경 ρ 를 구하는 과정을 C 언어를 사용하여 프로그래밍하여 현재 부분적으로 개발한 3축 선반용 CAM 소프트웨어에 통합시켜 검토하여 보았다.

한 예로서, Fig. 9에서 보인바와 같은 스크류의 단면에 대해 필요한 파라미터 값을 대입하여 가공곡률반경 ρ 를 계산하였다. 여기서 $R_1=28, R_2=50, D=40, R_3=5$ (간섭 없음: Fig. 11) 과 6(간섭 있음: Fig. 12)를 취하였으며, 그 결과를 수치만으로 확인하기가 곤란하므로 계산 결과의 수치를 CAM 소프트웨어의 시뮬레이션 부분에 통합시켜 컴퓨터 디스플레이에 나타나어 보였다. 스크류의 단면 형상을 가공하는 공구의 위치를 나타내는 그림에 추가하여 가

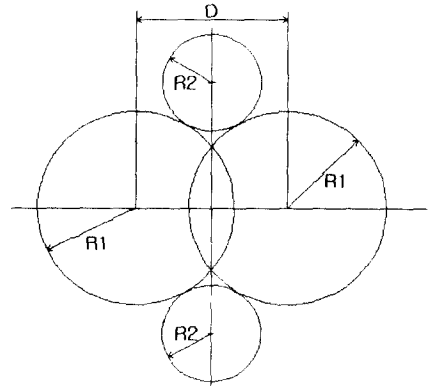


Fig. 9 대표적인 스크류의 단면형상에 대한 입력 파라미터들

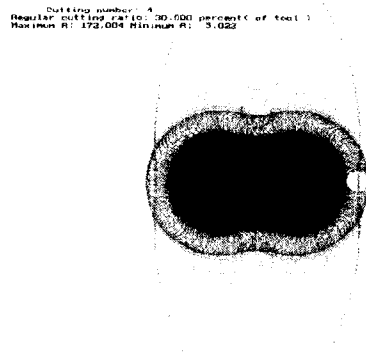


Fig. 10 간섭이 존재하지 않는 경우

공곡률중심을 공구와 가공물의 접촉점에서 수직방향에 표시하였다. 이 그림에서는 곡률반경의 최대 최소치 및 마지막 정삭 가공만을 위한 곡률중심궤적만을 나타내었으며, 스크류 단면 외곽에 표시한 곡선궤적이 공곡률중심의 궤적이다.

먼저 곡률반경의 계산 프로그램이 정확히 작동하는가를 검토하기 위해 리이드값을 무한대에 가깝게 커다란 값을 입력시킨 결과가 Fig. 10에 나와 있다. 이 그림으로부터 곡률반경계산 프로그램이 정확히 작동됨을 확인할 수 있다.

Fig. 11은 간섭이 없는 경우이며 Fig. 12는 간섭이 존재하는 경우이다.

그림으로부터 알 수 있듯이 곡률중심의 궤적이 공구중심궤적 밖에 있는 한 가공 중 공구의 간섭은 없다. 그리고 어느위치에서 가장 작은 곡률반경을 갖는가를 쉽게 판단

Cutting number : 3
 Regular cutting ratio : 30.000 percent (of tool)
 Maximum R : 30.000 Minimum R : 20.000

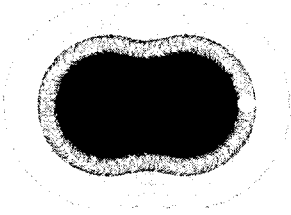


Fig. 11 무한대에 가깝게 큰 리이드 값을 입력시켰을 경우의 곡률반경의 모사

Cutting number : 3
 Regular cutting ratio : 30.000 percent (of tool)
 Maximum R : 272.000 Minimum R : 3.000

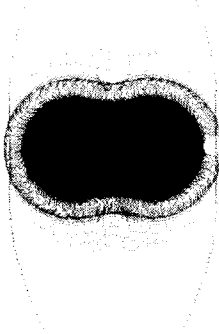


Fig. 12 간섭이 없는 경우

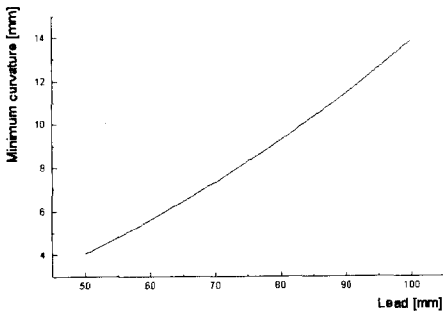


Fig. 13 리이드에 따른 최소 곡률반경의 크기

할 수 있다.

또한 앞에서와 동일한 스크류 단면형상에 대하여 리이드에 따른 최소곡률반경의 크기를 구하여 Fig. 13에 나타

내었다. 이 그림로부터 최소곡률반경의 크기는 당연히 리이드에 따라 커지거나 또는 작아지고 있음을 보인다. 그러나 그 관계는 선형적이 아니지만 거의 직선에 가까운 경향을 보이고 있다. 물론 스크류의 단면형상에 따른 곡률반경의 변화가 각 단면형상에 따라 달리 나타날 수 있거나 그 경향은 이와 크게 차이나지 않을 것으로 추정된다. 따라서 이와 같은 경향으로부터 리이드에 따른 공구의 크기를 대략적으로 추측할 수 있으며, 이를 간섭회피를 위한 공구선택에 활용할 수 있다. 뿐만 아니라 이는 연속적인 리이드의 변화를 갖는 스크류의 가공을 위한 시스템의 개발에서 공구의 교환 및 선택문제를 더욱 간단화 할 수 있다.

5. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 3축 선반에서 스크류의 가공시 발생 가능한 간섭은, 스크류의 축 수직단면 형상의 매 CC점에서의 접선의 기울기가 공구축 기울기보다 크지 않는 한, 헬릭스에 수직인 스크류 단면의 곡률반경과 공구곡률반경의 차이에 의한 간섭뿐이다.
- (2) 스크류의 곡면상의 한 헬릭스에 수직인 평면은 동일 곡면상의 다른 헬릭스에는 수직이 되지 않으므로, 공구와 공작물의 매 접촉시작점에서 곡률반경을 계산하여 간섭을 판단해야 한다.
- (3) 리이드에 따른 곡률반경의 변화는 거의 선형적이므로, 동일한 스크류 단면형상에 대하여 리이드의 변화에 따른 공구의 선정이 간단하다. 이는 동일 단면을 가 지나 리이드가 다른 스크류의 가공시 공구선택 및 교환문제를 용이하게 해 준다.
- (4) 본 연구에서 유도한 가공곡률의 반경식은 3축 선반에서의 스크류가공용 CAM 소프트웨어에 통합하여 사용할 수 있다.

참고 문헌

- (1) 홍성오, 조규제, 김재열. "CNC 선반에서 볼 나사 열변형에 따른 위치결정 정도 개선에 관한 연구", 한국공작기계학회. 제8권 제1호 pp. 45~51, 1999.
- (2) U. Sander, Klaus Schonert, "Operational conditions of a screw-feeder-equipped high pressure roller mill",

- Powder Technology 105, pp. 282~287, 1999.
- (3) G. A. Campbell, C. Wang, Diana Hunt, & E. Reopold, "Screw Design and Newtonian Fluid Flow", Antec '99, pp. 136~142.
- (4) Sheth. D. S. and Mallcin. S. "CAD/CAM for Geometry and Process Analysis of Helical Groove Machining", Annals of CIRP, Vol. 39/1, pp. 129~132.
- (5) Kaldor. S. and Messinger. D. "On the CAD of Profile for Cutters and Helical Flute-Geometrical Aspects", Annals of the CIRP, Vol. 37/1, pp. 53~56.
- (6) 전차수, 박세형, 전용태, "자유곡면 5축 NC 가공을 위한 CAM 시스템 개발", 한국정밀공학회지 제10권 제1호, pp. 51~61, 1993.
- (7) 전용태, 박세형, "Development of a CAM system for Impeller Machining", 대한기계학회 춘계학술대회논문집(I), pp. 217~220, 1994.
- (8) KOSEF 88-0218-04, "선반 가공용 CAM시스템의 개발", 한국과학재단, 1992.
- (9) Publication 03703-010000-5010 "Autosurf" Release 2.1, 1993~1994.
- (10) MicroCADD Reference and User Guide etc. IBM. 1987.
- (11) MicroStation Reference Guide and User's Guide, Version 5, Intergraph, 1993
- (12) 이원규, 안중환 "3축선반에서 스크류 가공을 위한 CAM 시스템 개발", 한국정밀공학회지, 제15권 제2호, pp. 21~27. 1998.
- (13) J. H. Oliver, D. A. Wysocki, E. D. Goodman, "Gouge Detection Algorithms for Sculptured Surface NC generation", Journal of Engineering Industry, Vol.1, pp.139~144, 1993.