

Worm 절삭가공 시 Planetary Milling Cutter 와 Side Milling Cutter 의 간섭에 관한 연구

*이민환¹, 강동배², 권태웅², 김화영³, 안중환⁴

¹ 대우정밀(주) 기술연구소, ²부산대학교 대학원 지능기계공학과, ³부산대학교 기계기술연구소, ⁴부산대학교 기계공학부

A Study on the Interference of Planetary Milling Cutter and Side Milling Cutter in worm machining

*M. H. Lee¹, D. B. Kang², T. W. Kwon², H. Y. Kim³, J. H. Ahn⁴

¹ Tech. Center of Daewoo Precision Ind., Co. Ltd., ² Graduate school of Mech. Eng. Pusan National Univ. ³ RIMT of Pusan National Univ., ⁴ Div. Of Mech. Eng. Pusan National Univ.

Key words : Worm, Tool Interference, Planetary Milling Cutter, Side Milling Cutter, Automatic Lathe

1. 서론

자동차에 대한 고급화와 안전에 대한 요구의 증가로 각종 편의장치 및 안전장치를 구동하기 위한 모터의 사용이 지속적으로 증가하고 있다. 자동차에 사용되는 대부분의 모터가 감속기로서 웜(Worm)과 웜휠(Worm Wheel)의 구조를 채용하고 있다. 웜과 웜휠의 감속기 구조는 감속비가 크고 크기가 작을 뿐만 아니라 구동 소음과 진동에서도 일반적인 기어 감속 보다 좋은 성능을 보인다. 그러나 기어 구동시 지속적인 마찰이 일어나는 형태이기 때문에 윤활이나 웜과 웜휠의 정밀도가 성능에 큰 영향을 미친다. 특히 웜은 웜 감속기의 핵심 부품으로 마모, 기어효율, 소음 및 진동에 직접적으로 영향을 미치는 가장 민감한 부품이다. 최근에 이러한 웜의 정밀도를 높이고 대량생산에 적합한 생산 방식으로서 자동 CNC 선반에서 플래네터리 밀링(Planetary Milling)과 사이드 밀링(Side Milling)을 이용한 고속 나사 절삭 방법이 제안 되었다.³ 두 절삭 방법은 기존의 대량생산 방식으로 사용되던 전조 가공(Roll Forming)에 비해 가공 정밀도를 향상시키고 공정을 단순화하여 비용을 크게 절감할 수 있는 방식으로 평가 받고 있다. 그러나, 두 가공법으로 웜의 나사를 가공할 때 웜의 사양과 커터의 형상에 따라 간섭이 발생할 수 있기 때문에 가공 정밀도 향상을 위해서는 적절한 공구 설계가 필요하다. 따라서, 간섭 기구에 대한 정확한 메커니즘과 간섭부 대한 연구가 절실히 요구되고 있다. 본 연구에서는 플래네터리 밀링과 사이드 밀링에 대한 이론적인 공구 궤적을 산출하고 나사면과 공구 사이의 간섭의 유무를 시뮬레이션 함으로서 두 가공법의 간섭에 대한 장단점을 분석한다. 또한, 공구 설계 시 고려해야 할 이론적 정보도 함께 제시하고자 한다.

2. 가공 메커니즘

Fig. 1 은 플래네터리 밀링과 사이드 밀링의 가공 원리를 나타내는 개략도이다. 플래네터리 밀링은 공작물 중심축으로부터 편심되어 있는 공구홀더의 내륜에 공구가 배치되어, 저속 회전하는 공작물에 대해 공구홀더가 고속 회전 할 때 공구가 공작물을 감싸 안은 방향으로 가공이 이루어진다. 특징은 Cusp 의 높이가 작고 칩의 길이가 길어지기 때문에 표면정도 향상과 절삭력 감소의 효과가 있다.² 그러나 상대적으로 공구홀더의 크기가 커지고 내륜에 장착되는 공구 개수가 제한될 수 밖에 없기 때문에 공구 낱당 절삭량이 많아지고, 공구회전 속도도 높이 올리기 어렵다.

사이드 밀링은 저속 회전하는 공작물에 대해 외륜에 여러 날을 가진 공구홀더가 고속으로 회전할 때 바깥 방향으로 절삭이 이루어진다. 상대적으로 작은 홀더 반경에 많은 바이트를 장착할 수 있기 때문에 절삭부하를 더 많은 바이트에 분담시킬 수 있다. 따라서, 공구수명에 유리하고 회전

속도도 높일 수 있는 장점이 있다.

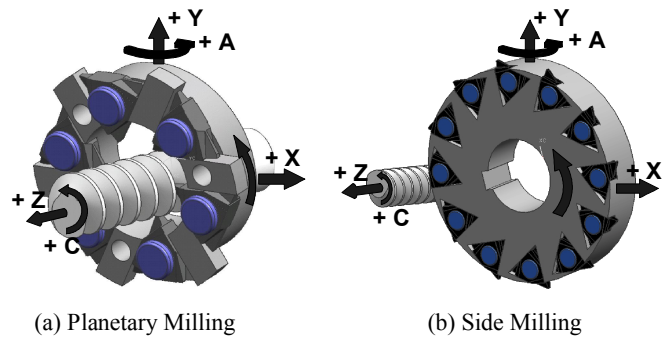
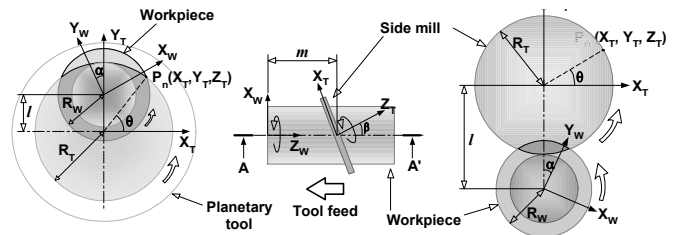


Fig. 1 Mechanism of Worm Machining in Automatic Lathe

3. 공구 궤적에 대한 수학적 모델

Fig. 2 는 플래네터리 밀링과 사이드 밀링 가공 시 공작물 좌표계와 공구 좌표계를 표시한 공구-공작물 좌표계의 개념도이다. 공구 좌표계는 식 (1)에 의해 공작물 좌표계로 변환된다. α 는 공작물 좌표계에서 공작물의 회전각도, β 는 공작물 좌표계에서 나선각, l 과 m 은 공작물 좌표계 원점에서 공구 원점까지의 거리를 각각 나타낸다. 식 (2)는 공구 좌표 (X_T, Y_T, Z_T) 가 공작물 좌표 (X_W, Y_W, Z_W) 로 변환된 결과이다.¹



θ : Angular position of the m th tool tip, β : Thread helix angle, α : Rotational angle of workpiece

Fig. 2 Tool-Workpiece Interaction in Planetary Milling and Side Milling

$$H = R_1 T R_2 \tag{1}$$

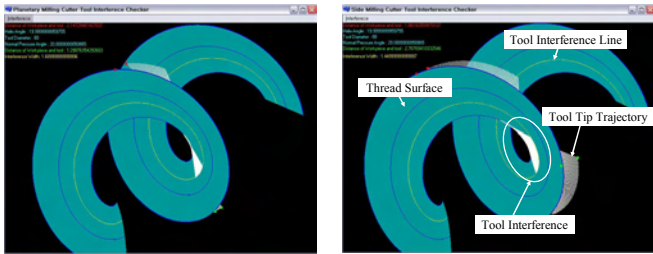
$$R_1 = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l \\ 0 & 0 & 1 & m \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} ca \cdot c\beta & -sa & ca \cdot s\beta & -l \cdot sa \\ sa \cdot c\beta & ca & sa \cdot s\beta & l \cdot ca \\ -s\beta & 0 & c\beta & m \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 & [P_n(X_w, Y_w, Z_w, 1)]^T = \mathbf{H}[P_n(X_T, Y_T, Z_T, 1)]^T \quad (2) \\
 & = \begin{bmatrix} X_T \cdot c\alpha \cdot c\beta - Y_T \cdot s\alpha + Z_T \cdot c\alpha \cdot s\beta - l \cdot s\alpha \\ X_T \cdot s\alpha \cdot c\beta + Y_T \cdot c\alpha + Z_T \cdot s\alpha \cdot s\beta + l \cdot c\alpha \\ - X_T \cdot s\beta + Z_T \cdot c\beta + m \\ 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

4. 시뮬레이션 및 결과 고찰

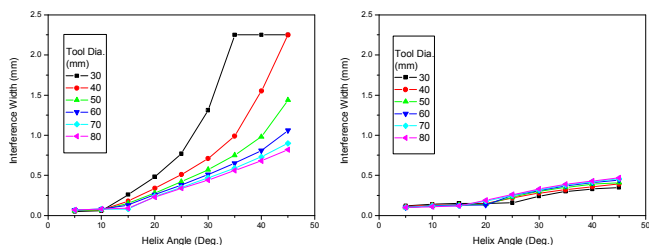
Fig. 3 은 Fig. 2 의 공구-공작물 좌표계와 식 (2)를 이용한 시뮬레이션 프로그램의 실행 결과를 나타낸다. 나사면 위에 표시되어 있는 공구 궤적이 간섭을 표시하는 것이고 나사면 위의 노란선은 간섭이 일어나는 영역을 표시한다. 간섭이 일어나는 영역은 플레네터리 밀링과 사이드 밀링 모두 이뿌리 부분에서 시작되어 간섭량이 커짐에 따라 점차 이끝원 쪽으로 그 영역이 확대되었다. 이뿌리 부분에서 간섭이 시작되는 이유는 웜의 경우 나사면의 압력각에 의해 이뿌리의 치폭이 이끝의 치폭보다 커서 공구가 회피해 나갈 수 있는 면적이 적고 나사의 특성상 이뿌리의 나선각이 이끝의 나선각보다 크기 때문이다.



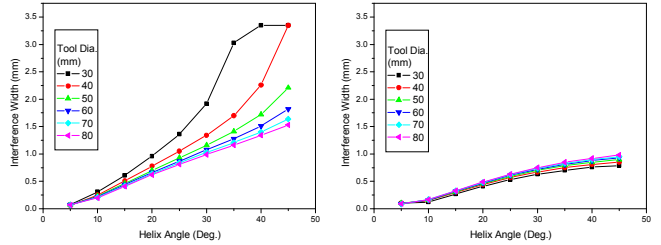
(a) Planetary Milling (b) Side Milling

Fig. 3 Tool Interference Simulation

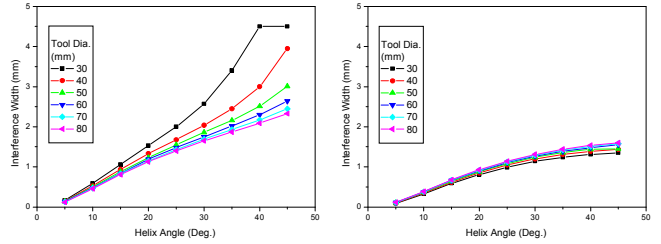
Fig. 4 는 웜의 사양 및 커터의 직경에 따른 시뮬레이션 결과를 정리한 것이다. 시뮬레이션 조건은 웜의 경우 외경 18mm, 나선각 5°~45°, 모듈 1.0~2.5, 공구 직경 30~80mm 이고 나사면의 압력각은 법선 방향 20° 이다. 결과에서 플레네터리 밀링이 사이드 밀링에 비해 간섭이 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 특히 플레네터리 밀링의 경우 나선각이 커질수록 간섭되는 영역이 급격히 증가한다. 그리고 공구의 직경이 작을수록 간섭이 많이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 공구 직경 30mm 의 경우 모듈 1.0 에서는 나선각 30° 이상, 모듈 1.5 와 2.0 에서는 나선각 40° 이상에서 전 나사면에서 간섭이 일어나는 것을 확인할 수 있다. 반면에 사이드 밀링은 전체적인 간섭량이 플레네터리 밀링보다 작고 공구 직경에 대해서도 간섭의 영향이 작을 뿐만 아니라 나사 전면이 간섭 받는 경우는 일어나지 않았다. 그러나 플레네터리 밀링과는 달리 공구 직경이 증가함에 따라 간섭이 커지는 것을 발견할 수 있다. 즉, 플레네터리 밀링은 공구를 크게 할수록 사이드 밀링은 공구를 작게 할수록 공구 간섭에 유리하다.



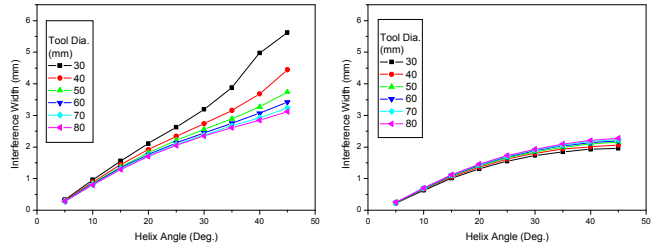
(a) Planetary Milling-Module 1.0 (b) Side Milling-Module 1.0



(a) Planetary Milling-Module 1.5 (b) Side Milling-Module 1.5



(a) Planetary Milling-Module 2.0 (b) Side Milling-Module 2.0



(a) Planetary Milling-Module 2.5 (b) Side Milling-Module 2.5

Fig. 4 Tool Interference Results according to Worm and Cutter Parameter

5. 결론

본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 간섭에 있어서 사이드 밀링이 플레네터리 밀링보다 우수하였다.
2. 간섭이 일어나는 부위는 이뿌리 부분에서 가장 먼저 일어나고 간섭이 커짐에 따라 점차적으로 이끝 쪽으로 간섭 영역이 확장되었다.
3. 플레네터리 밀링은 공구가 커질수록 간섭에 유리하고 사이드 밀링은 공구가 작을수록 간섭에 유리하였다.
4. 두 가공법 모두 나선각 및 모듈은 커질수록 간섭 부위도 각각 증가하였다.

후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구 결과로 수행되었음.

참고문헌

1. Ahn, J. H., Kang, D. B., Lee, M. H., Kim, H. Y., Kim, S. H. and Cho, K. K., " Investigation of Cutting Characteristics in Side-milling A Multi-thread Worm Shaft on Automatic Lathe," Annals of the CIRP, 55, pp.63-66, 2006
2. Wehmann, R., "The Whirling Process for Improved Worm Gears," Gear Solutions Magazine, pp. 48-53, October 2003.
3. Kang, D. B., Lee, M. H., Kim, H. Y. and Ahn, J. H., "Integration of worm manufacturing processes on automatic lathe," Proc. of International Symposium on Flexible Automation, pp.63-66, 2006.