

공구 궤적오차 최소화를 위한 궤적 선형화 알고리즘 data linearization algorithm for -a is machining

*소범식¹, #정용호²

*B. S. So¹, #Y. H. Jung(yhj@pusan.ac.kr)²

¹ 경북하이브리드부품연구원, ² 부산대학교 기계공학부

Key words : 5-axis machining, NC linerization, NC post-processor, CAD/CAM

1. 서론

5축 가공은 두 회전축에 의해 공구의 자세를 자유롭게 설정할 수 있어 복잡한 형상의 가공이 가능하며 공작물 셋업 횟수를 줄일 수 있으므로 효과적인 가공이 가능하다. 그러나 공구 자세의 변화 때문에 기계좌표계와 공작물좌표계는 서로 비선형적인 관계가 되며, 결국 공구의 궤적오차 측면에서는 5축 가공이 3축 가공보다 오히려 불리하게 된다[1]. 특히 5축 가공은 공구가 특정 자세에서 공작물 좌표계와 기계 좌표계 간의 비선형성이 극대화 되는 특이영역이 존재하며, 공구가 이러한 영역을 지나는 경우 작동축의 과도한 회전과 함께 비정상적인 공구 궤적이 발생된다. Affouard 등[2]은 table-tilting type 5축 공작기계에서 이러한 특이영역을 원뿔 모양으로 형상화 하고 공구경로를 변형함으로써 이를 회피할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 그러나 공구경로는 공구 간섭을 고려하여 생성되었기 때문에 공구경로를 쉽게 바꿀 수 없다. 일반적으로 특이영역에서의 공구 궤적오차는 NC 후처리 과정에서 가공 명령을 추가함으로써 줄일 수 있으며 이러한 과정을 5축 가공에서의 NC 궤적 선형화라 한다. 상용 CAM 소프트웨어에 주로 적용되는 일반적인 선형화 방법은 공구 궤적오차가 큰 구간의 가공 명령에 대해 공구가 직선으로 움직일 수 있도록 작은 미소구간의 NC 가공 명령을 삽입하는 것이다. 그러나 이러한 NC 궤적 선형화 방법은 필요 이상의 많은 가공 명령을 삽입하여야 하기 때문에 컨트롤러가 처리해야 할 가공 명령의 개수가 과도하게 증가하고 결국 가공 속도가 저하되는 결과를 초래한다. 이러한 문제를 극복하기 위한 방법으로 가공 명령마다 중간 위치에서의 궤적오차가 공차보다 큰 경우에만 새로운 가공 명령을 삽입하는 처리를 전체 가공 명령에 대해 궤적 오차를 만족할 때 까지 반복하는 방법이 있다. 그러나 이 방법은 중간점이 아닌 곳에서 최대 오차가 발생할 수 있는 문제와 가공 명령이 공차에 대해 불균일하게 삽입되는 문제를 해결할 수 없다. Choi 등[3]은 Spindle-tilting type 5축 공작기계에서 공구의 자세변화량에 대해 필요한 가공 명령의 개수를 미리 계산하여 가공 명령을 삽입하였다. 이 방법의 경우 불필요하게 삽입되는 가공 명령의 개수는 줄일 수 있으나 선형화 후의 오차는 여전히 불균일한 상태로 남는다. 선형화 후의 오차가 균일하지 않다는 것은 비록 전체 가공 명령구간에 대해 궤적 오차가 공차를 만족하더라도 효율적인 선형화 방법이라 할 수 없다. 그러므로 본 논문에서는 NC 궤적 선형화를 위해 삽입할 가공 명령의 개수 뿐 아니라 가공 명령의 합리적인 매개변수 구간 크기를 결정함으로써 선형화 후의 NC 궤적 오차가 균일한 선형화 알고리즘을 제시하고자 한다.

2. 삽입할 가공 명령의 개수

본 연구에서 제안하는 선형화 과정을 Fig.1에 나타내었다. 어느 한 가공 명령에서 공구 궤적오차가 지정된 허용오차(e_{tol})보다 큰 경우 선형화 처리는 크게 세 단계로 나타낼 수 있다. 즉, 궤적 오차를 기준으로 삽입해야 할 가공 명령의 개수를 결정하는 단계와 공구 위치(CL) 데이터를 가공명령 개수만큼 균일하게 적용하였을 때의 궤적 오차 분포, 그리고 마지막으로 궤적 오차의 분포로부터 삽입할 가공 명령을 매개변수의 간격을 조정하는 단계가 그것이다. Fig.2는 공구자세가 특이영역을 지날 때 발생하는 실제 공구 궤적을 나타내었으며, 왜곡된 구간 p_0p_1 에 대해 적절한 가공 명령을 추가함으로써 왜곡된 공구궤적을 수정할 수 있다.

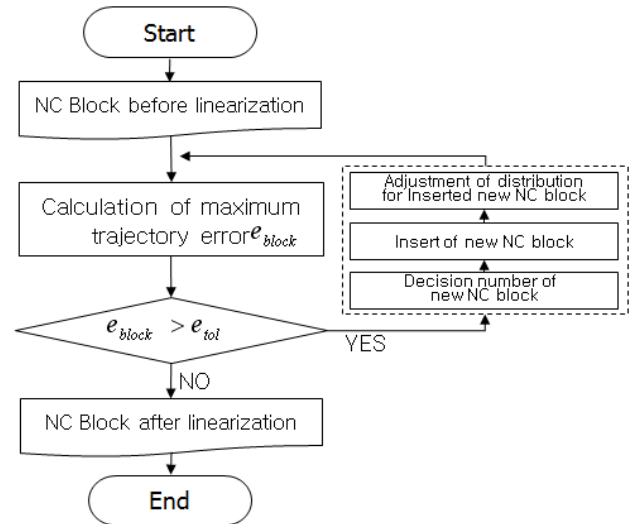


Fig. 1 Schematic diagram of NC data linearization

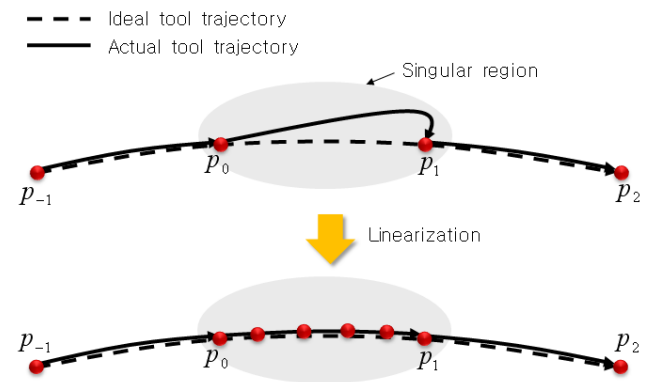


Fig. 2 Actual tool trajectory in singular region

특이영역에서 NC 궤적 선형화를 위해서는 먼저 한 가공명령에서의 공구 궤적오차(e_{block})를 정확하고 빠르게 계산해야 하며 이것은 So 등[4]의 연구 결과를 이용하여 쉽게 계산할 수 있다. 가공 명령에서의 공구 궤적오차(e_{block})가 허용오차(e_{tol})를 넘는 경우 우선적 절한 개수의 새로운 가공 명령을 삽입하여야 한다. 이때 삽입해야 할 가공 명령의 구간 개수(n)는 가공 명령이 삽입된 후 공구궤적 평균 오차가 삽입된 후의 구간 개수(n)의 제곱과 반비례한다는 관계로부터 식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$n = 1 + TRUNC\left(\sqrt{\frac{e_{block}}{e_{tol}}}\right) \quad (1)$$

where, $TRUNC()$: Convert real number to integer number

3. 가공 명령의 삽입과 매개변수 간격의 조정

Fig. 3은 $n-1$ 개의 새로운 가공 명령을 공작물 좌표계의 직선 경로 매개변수(k)에 대해 균등하게 삽입하여 선형화한 상태를 나타내고 있다.

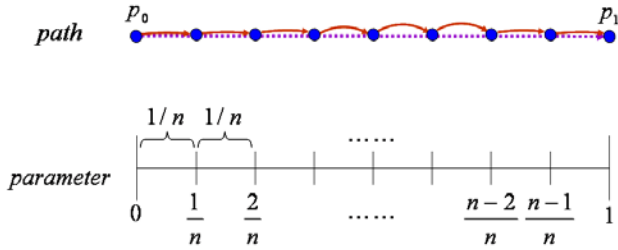


Fig. 3 Tool trajectory error of uniform parameter interval

직선 경로에 대해 새로운 가공명령을 균등하게 삽입하여 선형화를 하는 경우 Fig. 2에 나타난 바와 같이 선형화 후의 궤적오차가 크기가 일정하지 않다. 이러한 경우 최대 구간 오차가 허용 공차보다 클 가능성이 발생한다. 본 연구에서는 선형화 후 궤적오차가 균일해 지도록 삽입할 가공 명령 사이의 간격을 조절하였다. 즉, 매개변수(k)의 구간 크기는 구간 개수(n)에 반비례하며, NC 가공 명령 삽입 후 궤적오차의 크기의 제곱근에 비례하므로 궤적오차의 크기를 일정하게 하기 위한 매개변수(k)의 구간 크기는 식 (2)와 Fig. 4와 같이 균일한 매개변수(k) 간격에서의 오차의 제곱근에 반비례하는 관계로 나타낼 수 있다.

$$\Delta k_i = \frac{1/\sqrt{e_i}}{\text{total size}} \quad (2)$$

$$\text{where, total size} = \sqrt{\sum_{i=0}^n \frac{1}{e_i}}$$

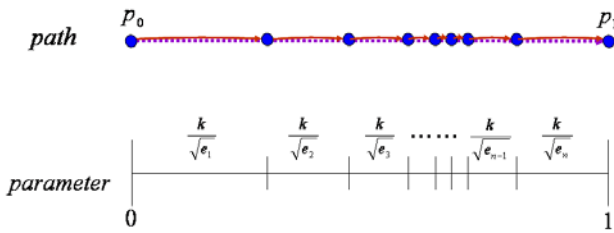


Fig. 4 Tool trajectory error of uniform chordal error

이와 같이 새롭게 정렬된 매개변수(k)를 이용하여 삽입될 가공 명령을 구하고 삽입함으로써 공구 궤적오차가 균일한 효과적인 NC 궤적 선형화를 수행할 수 있다.

4. 적용 사례

Table 1은 임펠러 가공 데이터의 한 가공 명령으로서 본 연구에서 제시된 선형화 알고리즘의 유효성을 검증하기 위해 NC 궤적 오차가 가장 큰 가공 명령을 추출한 것이다.

Table 1 Example data for NC linearization (MIKRON, UCP710)

	Workpiece coordinate	Machine coordinate
P_0	$x_0 = 75.2110$ $y_0 = -51.4295$ $z_0 = 228.6808$ $i_0 = 0.0095944$ $j_0 = 0.0159479$ $k_0 = 0.9998268$	$X_0 = -90.9595$ $Y_0 = 7.3103$ $Z_0 = 227.6341$ $A_0 = 1.0664$ $C_0 = 148.9685$
P_1	$x_1 = 74.5130$ $y_1 = -50.5510$ $z_1 = 228.6857$ $i_1 = 0.0175379$ $j_1 = -0.0167668$ $k_1 = 0.9997056$	$X_1 = 14.9523$ $Y_1 = -86.1435$ $Z_1 = 229.5962$ $A_1 = 1.3903$ $C_1 = 46.2876$

허용오차(e_{tol})가 0.01인 경우 Table 1의 P_0P_1 가공 명령에 대해 본 연구에서 제시된 선형화 알고리즘을 적용하면 9개의 새로운 가공 명령을 추가하여 선형화 과정을 완료할 수 있다. Fig. 5는 9개의 새로운 NC 가공 명령을 균등하게 적용한 선형화 결과와 본 연구에서 제안한 선형화 결과에 대해 가공 명령별 공구궤적오차 분포를 나타낸 것이다.

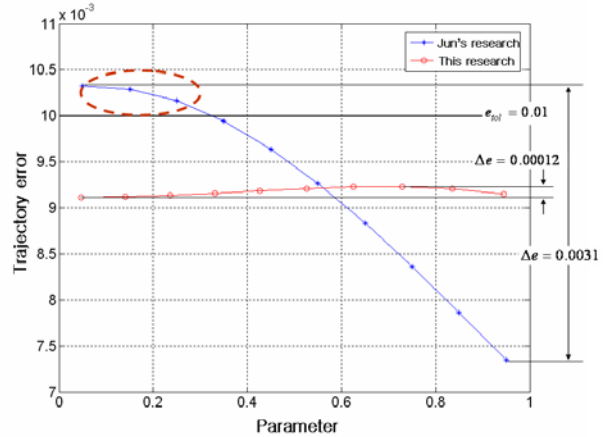


Fig. 5 New NC block trajectory error after NC block linearization

추가되는 NC 가공 명령을 파라미터에 따라 균등하게 적용하는 기존의 선형화 방법에 의한 결과는 선형화 후의 궤적 오차가 불균일하기 때문에 허용 공차(e_{tol})를 만족하지 않는 구간이 발생할 수 있으며 이 경우 추가적인 가공 명령의 삽입이 필요하다. 반면에 본 연구에서 제안한 선형화 알고리즘을 적용한 경우 NC 가공 명령의 파라미터를 효과적으로 재배치하였기 때문에 선형화 후의 궤적 오차가 기존의 방법에 비해 20~30배 정도 균일함을 보여준다.

결론

본 연구는 5축 가공에서 공구 궤적 오차가 크게 증가하는 특이영역에 대한 효과적인 NC 궤적 선형화 알고리즘을 제시하였으며, 두 가지 측면에서 진보된 결과를 나타내었다.

첫째, 선형화를 위해 추가해야 할 가공 명령의 개수를 NC 궤적을 나누는 횟수와 줄어드는 궤적오차와의 관계를 이용하여 효과적으로 구할 수 있는 방법을 제안하였다.

둘째, NC 궤적 선형화를 위해 CL데이터 기준에서 균일한 파라미터 간격으로 가공 명령을 추가하는 대신 구간별 궤적오차를 고려하여 파라미터 간격을 합리적으로 분포시킴으로써 선형화 후의 궤적 오차를 균일하게 하였다.

참고문헌

1. Tsutsumi, M. and Saito, A., "Identification of angular and positional deviations inherent to 5-axis machining centers with a tilting-rotary table by simultaneous four-axis control movements", International Journal of Machine Tools & Manufacture, 44, 1333-1342, 2004.
2. Affouard, A., Duc, E., Lartigue, C., Langeron, J.M. and Bourdet, P., "Avoiding 5-axis singularities using tool path deformation", International Journal of Machine Tools & Manufacture, 44, 415-425, 2004.
3. Choi, B.K., Park, J.W. and Jun, C.S., "Cutter-location data optimization in 5-axis surface machining", Computer-Aided Design, 25(6), 377-386, 1993.
4. 소범식, 정용호, 태동빈, 윤재득, "5축 가공 특이영역에서의 공구궤적 오차 평가," 한국정밀공학회 2007년도 추계학술대회 논문집, 157-158, 2007.