

기계 특성에 근거한 5축 밀링가공 시간의 예측

소법식*, 정용호**, 정희진*

5-axis Milling Machining Time Estimation based on Machine Characteristics

So, B.S.*, Jung, Y.H.** and Jeong, H.J.*

ABSTRACT

In this paper, we present a machining time estimation algorithm for 5-axis high-speed machining. Estimation of machining time plays an important role in process planning and production scheduling of a shop. In contrast to the rapid evolution of machine tools and controllers, machining time calculation is still based on simple algorithms of tool path length divided by input feedrates of NC data, with some additional factors from experience. We propose an algorithm based on 5-axis machine behavior in order to predict machining time more exactly. For this purpose, we first investigated the operational characteristics of 5-axis machines. Then, we defined some dominant factors, including feed angle that is an independent variable for machining speed. With these factors, we have developed a machining time calculation algorithm that has a good accuracy not only in 3-axis machining, but also in 5-axis high-speed machining.

Key words : Machining time, 5-axis, Feed-angle, Machine behavior, NC data, CAD/CAM

NOMENCLATURE

- ϕ_i : i번째와 i+1번째 NC 블록간의 Feed angle
- S_i : i번째와 i+1번째 NC 블록간의 Step length
- X_i, Y_i, Z_i : i번째 이송축 NC 블록
- A_i, B_i, C_i : i번째 회전축 NC 블록
- H_i : 회전에 대한 이송 동작 거리의 비
- N_{nc} : 지령된 이송속도를 만족하기 위한 NC 블록 처리 속도
- N_{con} : 컨트롤러의 NC 블록 처리 속도
- F_c : 지령된 이송속도

1. 서 론

5축 가공은 3축 가공에서 불가능한 형상의 가공이 가능할 뿐 아니라 한 번의 공작물 장착으로 대부분의 가공이 가능하기 때문에 높은 가공 정밀도와 효율을

제공하는 기술이다. 최근에는 생산성을 극대화하기 위해 5축 공작기계에 고속가공기술을 부가하고 있다. 이러한 5축 고속가공은 3축 가공보다 가공비용이 높기 때문에 가공 시간에 대한 정확한 예측을 필요로 하며, 이는 공정 계획과 일정 계획을 위해서도 필수적인 요소로 작용한다. 그런데 대부분의 가공 시간의 계산 방법들은 CAM시스템에서 생성한 공구 경로 길이를 지령 이송속도로 나누고 추가적인 경험치를 감안하여 계산하는 기본적인 알고리즘을 사용하였다¹⁾. 비록 이러한 방법은 저속 가공과 3축 가공에서는 좋은 결과를 보이고 있으나 고속의 5축 동시가공에서는 이론적인 가공 시간과 실제 가공 시간 사이에 상당한 차이를 보이고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다음과 같은 연구가 진행되었다. Yan 등은 NC 블록에 대해 이송속도 프로파일을 세 가지 경우로 나누고 각각에 대한 실제 가공 시간을 계산할 수 있는 해석적인 모델을 제시하였다²⁾. Rodriguez 등은 가속 성능과 공구의 방향 변화에 대한 실험 결과를 바탕으로 고속가공에서 적용이 가능한 가공 시간 평가 알고리즘을 개발하였다³⁾. Manucl과 Rodriguez는 포켓 가공에서 공구가 진행되는 방향의 변화에 대해 동작 시간을 측정하

*부산대학교 정밀기계공학과 대학원
**교신저자, 종신회원, 부산대학교 기계공학부
- 논문투고일: 2006. 10. 17
- 심사완료일: 2006. 10. 20

고, 이를 이용하여 실제에 가까운 기계의 가속도와 이송속도를 계산하였다^[4]. Dugas 등은 고속가공에서 공구와 컨트롤러의 한계를 고려한 실제 이송속도를 구할 수 있는 알고리즘을 제안하였다^[5]. 그러나 이제까지의 이러한 연구들은 3축 가공에 대해 초점이 맞추어져 있으며 5축 동시가공에 대해서는 전혀 고려된 바가 없다.

본 연구에서는 5축 동시가공의 실제 가공 시간을 보다 정확히 예측하기 위하여, 이송 동작과 회전 동작의 특성을 고려하고 기계의 가속 특성, 가공 부하 등 5축 밀링 가공 시간의 예측 방법을 제안한다.

2. 5축 가공 시간에 관련된 주요 인자

일반적으로 공작기계의 가공 속도는 지령된 이송속도로 동작하는 것으로 여겨지고 있으나, 여러 가지 이유 때문에 공작 기계의 실제 이송속도는 지령된 이송속도와는 차이를 나타낸다. 따라서 5축 가공 시간을 예측할 때, 공구 경로 길이를 지령 이송속도로 나누는 기존의 방법은 적지 않은 오차를 야기시킨다. 5축 공작 기계의 이송속도에 영향을 미치는 주요 인자에는 지령된 이송속도와 기계의 가속 특성, 가공 부하 등이 있는데, 고속가공의 경우에 가공 부하는 큰 영향을 미치지 않는다. 본 연구에서는 5축 동시 고속가공의 경우 실제 이송속도와 지령된 이송속도의 차이를 분석하기 위해, 앞에서 언급한 요소 이외에 다음과 같이 주요 인자들을 고려하였다.

2.1 Feed angle

5축 가공으로 가공하는 대상은 자유곡면을 가지는 경우가 많은데, 이러한 자유곡면의 5축 가공 시간은 가공 경로의 길이뿐 아니라 가공 경로의 곡률에도 영향을 받는다. 이러한 두 가지 요소를 동시에 고려하기 위해 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 feed angle(ϕ)을 정의하였다.

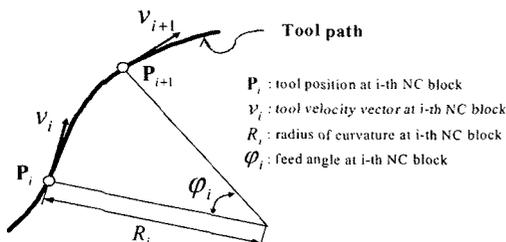


Fig. 1. Definition of feed angle.

이것은 식 (1)에 나타난 것처럼 연속적인 두개의 NC 블록에서 공구 경로의 보간 길이(step-length)와 곡률 반경과의 비율로 나타낼 수 있으며, 동시에 공구의 진행 방향에 대한 변화량을 의미한다.

$$\phi_i = \frac{S_i}{R_i} = \cos^{-1}(v_i \cdot v_{i+1}) \quad (1)$$

5축 가공의 동작 특성을 분석하기 위해 feed angle에 따른 동작 시간을 측정하였다. 이를 위해 실험 조건은 무 부하 상태이며 가공 경로는 원형 궤적을 사용하였다. Fig. 2는 5축 공작 기계가 이송 동작만 수행할 때 feed angle에 따른 동작 시간을 보여주는 특성 그래프이다.

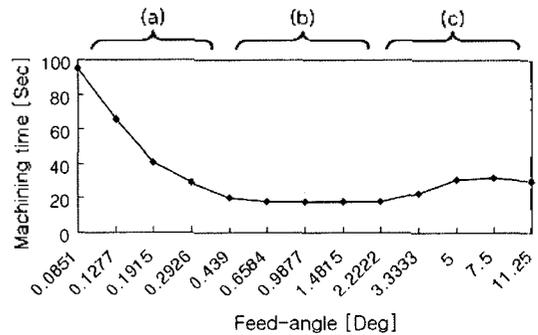


Fig. 2. Machining time vs. feed angle.

Fig. 2의 (a) 영역은 정밀 가공을 위해 가공 데이터의 블록 길이를 너무 짧게 적용하거나 과도한 지령 이송속도를 적용한 경우로서 지령 이송속도를 만족하기 위해 요구되는 NC 블록 처리 속도가 컨트롤러의 블록 처리 속도 한계를 넘기 때문에 필연적으로 가공 시간의 증가를 가져오게 되는 경우이다. (c) 영역은 공구의 방향 변화가 크기 때문에 연속 동작에서 속도 저하가 발생하는 경우이다. 즉, 이 경우는 이송속도를 일정하게 유지하기 위해 과도한 기계의 가속 성능이 요구되며, 기계의 가속 성능이 충분하지 못한 경우 실제 가공 시간은 예상시간보다 증가한다. (b) 영역은 지령된 이송속도를 충분히 따라갈 만큼 컨트롤러와 기계의 가속 성능이 우수한 경우이다. 이와 같이 feed angle은 가공 시간의 특징을 잘 나타내는 주요한 항목이다.

2.2 NC 블록 처리 속도

5축 가공에서 공구 경로 상의 보간 길이가 아주 짧은 경우, 실제 이송속도가 지령된 이송속도 보다 훨씬

느리게 나타난다. 이러한 원인 중의 하나는 컨트롤러가 입력된 NC 블록을 처리하는 속도의 한계 때문이다. 컨트롤러의 블록 처리 속도(N_{COW})는 컨트롤러가 1초에 처리할 수 있는 최대 NC 블록의 개수로 정의한다. 또한 NC 블록 속도(N_{NC})는, 공구가 지령된 이송속도(F)로 동작하기 위해 1초 동안 지나야할 NC 블록의 개수로 정의하며, n 번째 블록의 NC 블록 속도(N_{NC})는 식 (2)를 이용하여 계산할 수 있다. 컨트롤러의 NC 블록 처리 능력은 Fig. 2의 (a)-(c) 전체 구간에 걸쳐서 실제 가공 속도에 제한을 주는 역할을 한다.

$$N_{NC} = \frac{1 F_C}{60 S_i} \quad (2)$$

2.3 회전제에 대한 이송 동작의 비율

5축 동시가공에서는 공구가 공작물에 대해 이송 동작과 회전 동작을 동시에 수행한다. 5축 가공기의 이송과 회전 동작을 위한 각각의 서보모터의 용량과 기어 비는 서로 다를 수 있으며, 독립적인 운동 요소를 가지므로 동작특성도 서로 독립적으로 고려되어야 한다. 그러므로 본 연구에서는 이송동작과 회전 동작을 동시에 고려하기 위하여 식 (3)과 같이 회전제에 대한 이송의 비율을 정의하였다. 일반적으로 이송 동작에 대한 단위는 mm이며, 회전 동작에 대한 단위는 degree를 사용한다^{6,7)}.

$$H_i = \frac{S_{t,i}}{S_{r,i}} = \frac{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}}{\sqrt{\Delta A^2 + \Delta B^2 + \Delta C^2}} \quad (3)$$

3. 가공 시간의 계산

본 장에서는 앞에서 언급한 가공 속도에 대한 주요한 인자들을 이용하여 실제 가공 시간을 계산하는 알고리즘을 설명한다. Fig. 3은 제안된 알고리즘에 대한 전체적인 흐름을 나타내고 있다.

자유곡면에 대한 5축 가공의 NC 블록은 대부분 직선 보간(G01 code) 명령과 이에 대한 목표 위치의 기계 좌표값으로 구성되어 있다. 가공 시간을 구하기 위해서는 각 가공 명령(NC 블록)을 수행하는 동안의 가공 속도 양상을 구해야 한다. 그런데 하나의 NC 블록에 의해 동작하는 실제 공구의 궤적은 양 끝에서 공구의 방향 변화를 위한 곡선 구간과 곡선 구간 사이를 진행하는 직선 구간으로 표현할 수 있다. 즉, 하나의 NC 블록에 대한 속도 프로파일은 일정한 속도로 제어되는 곡선 구간과 기계의 가감속이 적용되는 직선 구간으로 구성되며 본 연구에서는 다음과 같이 두 단계로 구한다. 첫째 단계는 가공 명령의 끝부분에서의 곡선 구간에 대한 실제 속도를 구하는 단계로서, Fig. 3의 (b) 과정에 해당된다. 이는 후속하는 가공 명령과 컨트롤러의 블록 처리 속도, 그리고 기계의 가감속 성능을 고려하여 구한다. 가공 명령의 시작 부분에서의 곡선 구간에 대한 속도 양상은 Fig. 3의 (a)와 같이 이전의 가공 명령에 대한 속도 양상에서 이미 구해진다. 다음 단계는 직선 구간에 대한 속도 프로파일을 구하는 것으로 Fig. 3의 (c) 과정에 해당되며, 앞에서 구한 양 끝 부분의 곡선구간의 속도와 기계의 가감속 성능을 이용하여 구한다.

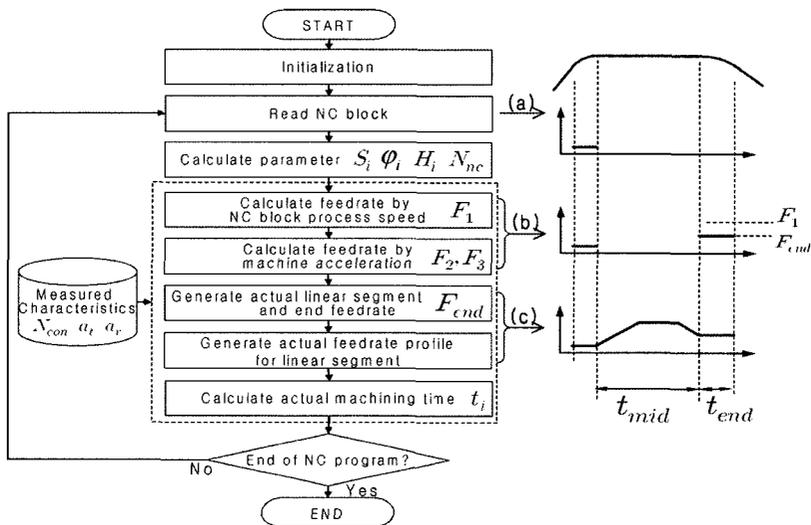


Fig. 3. Schematic diagram of machining time estimation.

3.1 NC 블록 처리 속도에 의해 제한되는 이송속도

어떤 가공 명령에 대해서도 기계의 동작은 컨트롤러가 처리 가능한 속도를 초과하여 동작하지 못한다. 즉, 지령된 이송속도를 만족하기 위해 요구되는 NC 블록 처리 속도(N_{NC})가 컨트롤러의 처리 가능 속도(N_{CON})를 초과하는 경우, 컨트롤러는 속도를 낮추게 되는데, 컨트롤러의 처리 가능 속도와 요구되는 NC 블록 처리 속도의 비에 비례하여 속도가 저하된다. 이러한 특성은 어떤 다른 요소보다 우선적으로 적용되므로 실제의 동작 속도를 구할 때 가장 우선적으로 고려되어야 한다. 컨트롤러의 블록 처리 능력에 의해 제한되는 실제 이송속도(F_1)는 식 (4)와 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{if } (N_{NC} > N_{CON}) \quad F_1 &= F_c \frac{N_{CON}}{N_{NC}} \\ \text{else} \quad F_1 &= F_c \end{aligned} \quad (4)$$

3.2 NC 블록의 곡선 구간에서의 이송속도

최근의 공작 기계들은 고품위의 가공면을 얻기 위해 가공 명령들을 미리 읽어 들여 부드러운 동작이 되도록 하는 선행 선독(Look-ahead Interpolation) 기능이 적용된 컨트롤러를 채택하고 있다. 이러한 컨트롤러의 동작은 Fig. 4에서 나타낸 바와 같이 공구가 P_{i-1} 에서 P_i 를 지나 P_{i+1} 로 진행되는 경우, 컨트롤러에 미리 정의된 공차 'e' 범위에 진입할 것으로 예상되면 목표지점인 P_i 에 정확히 도달하지 않더라도 그 다음 목표인 P_{i+1} 지점으로 이동하는 부드러운 동작을 수행하게 된다^{6,7)}. 이 기능은 NC 블록의 방향 변화에 대해 공구가 부드러운 곡선 궤적을 따라 동작하게 하

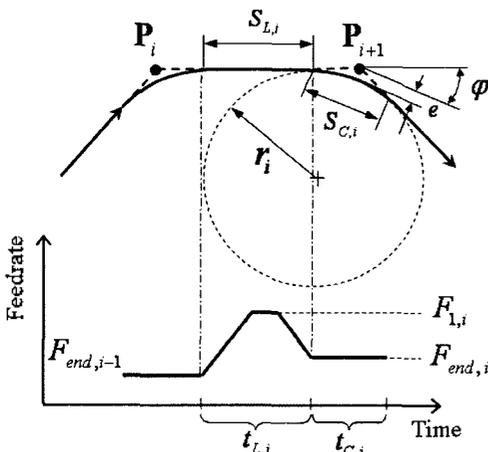


Fig. 4. Velocity profile.

로 가공 속도의 감소를 최소화 하며 동시에 보다 부드러운 가공면을 생성한다. 이러한 곡선 궤적을 원호 곡선으로 가정하는 경우, 원호의 반경은 Manuel⁶⁾에 의해 제안된 식으로 계산할 수 있다.

그러나 Manuel이 제안한 반경 계산식은 작은 feed angle이 적용되는 자유곡면의 경우 과도하게 큰 값으로 계산되어 실제 이송속도를 구하는데 상당한 오차를 가져올 수 있다. 따라서 본 연구에서는 feed angle이 작은 경우, 실제 기계의 가속 특성을 고려한 원호의 반경을 채택하도록 식 (5)와 같이 제안하였다. 식 (5)에서 a_i 는 이송 동작에 대한 실제 가속도이며, 이것은 식 (6)에 의해 계산될 수 있다. 또한 $F_{measure}$ 는 Fig. 2의 (b) 구간과 (c) 구간의 경계에서 측정된 실제 이송속도이며, $F_{1,i}$ 는 식 (4)에서 구한 F_1 의 이송 동작에 대한 속도 성분이다. 회전 동작의 속도(F)도 이송 동작 속도와 동일한 방법으로 계산된다.

$$\begin{aligned} F_i &= \sqrt{r_i a_i} = \sqrt{\min(r_{1,i}, r_{2,i})} a_i \\ &= \sqrt{\min\left(\frac{F_{1,i}^2}{a_i}, \frac{e \cos(\phi/2)}{1 - \cos \cos(\phi/2)}\right)} a_i \end{aligned} \quad (5)$$

$$a_i = F_{measure}^2 \frac{1 - \cos(\phi/2)}{e \cos(\phi/2)} \quad (6)$$

5축 동시동작에서 실제 가공 속도는 이송 동작의 속도(F_1)와 회전 동작의 속도(F_r)를 동시에 고려해야 하는데, 본 연구에서는 식 (7)과 같이 두 가지 종류의 합성 속도를 고려하였다. 따라서 최종적으로 NC 블록 선분의 양 끝단인 원호 곡선에 대한 이송속도($F_{end,i}$)는 식 (8)과 같이 앞에서 구한 세 가지 이송속도(F_1, F_2, F_3)중 가장 작은 값의 지배를 받게 되므로, 가장 작은 값을 선택함으로써 구할 수 있다.

$$F_2 = F_r \sqrt{1 + 1/H^2} \quad F_3 = F_r \sqrt{1 + H^2} \quad (7)$$

$$F_{end,i} = \min(F_1, F_2, F_3) \quad (8)$$

식 (8)의 세 가지 이송속도 중에서, F_1 이 적용된 경우는 컨트롤러의 블록 처리 한계에 의해 전체 속도가 제한되는 경우이다. F_2 가 적용되는 경우는 회전 동작보다 이송 동작 변화가 크거나 기계의 이송축의 가속 성능이 약하여, 5축 동시동작의 합성 속도가 이송 동작의 속도 한계에 의해 제한되는 경우이다. 반대로 F_3 가 적용되는 경우는 이송 동작보다 회전 동작의 변

위가 크거나 회전축의 가감속 성능이 약하여, 회전 동작에 의해 전체 5축 동시동작의 합성 속도가 제한되는 경우이다.

3.3 NC 블록의 직선구간에서의 이송속도

직선 보간 명령에 의해 동작하는 실제 공구의 제적 중, 양 끝에서 공구의 방향 변화를 위한 곡선 구간들 사이는 직선 구간으로 나타낼 수 있다. 이러한 직선 구간에서의 속도 양상은, Fig. 4의 하단과 같이 가공 명령의 양 끝단 근처인 곡선 구간에서의 이송속도 ($F_{end,i-1}$, $F_{end,i}$)를 경계로 하여, 선형적인 가감속 구간으로 나타낼 수 있다. 5축 동시동작에서의 가감속은 식 (9)와 같이 이송과 회전의 가속도를 합성함으로써 구할 수 있다. 식 (9)에서 a_r 은 회전 동작에 대한 실제 가속도이며 식 (6)과 같은 방법으로 구한다. 합성 가속도와 Yan^[2]의 연구에서 제안한 방법을 이용하여 Fig. 5와 같이 3가지 종류로 분류하여 속도 양상을 구할 수 있다.

$$a_{RES} = \sqrt{a_t^2 + a_r^2} \tag{9}$$

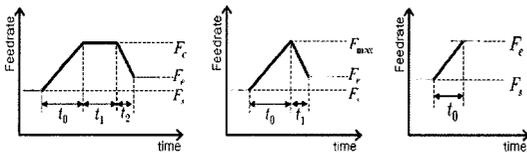
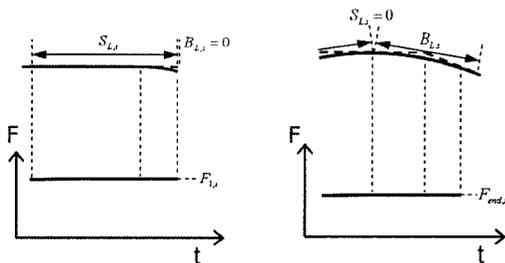


Fig. 5. Yan's classification of feedrate profile^[2].

그러나 Fig. 6과 같이 특수한 경우에는 직선구간에서의 실제 이송속도가 일정하게 유지된다. (a)의 경우는 지령 이송속도가 저속이거나 기계의 가감속 성능이 우수한 경우로서, 곡선구간의 동작속도가 컨트롤러의 블록치리 속도(N_{CVM})에 의해 결정되는 경우이다. 또한, (b)의 경우는 기계의 가감속 성능이 상대적



(a) CASE 1 (b) CASE 2

Fig. 6. Constant feedrate profile.

으로 매우 취약하여 저하된 가공 속도가 일정하게 유지되는 경우이다.

3.4 전체 가공 시간의 계산

하나의 가공 명령을 수행하는 동안의 가공 시간은 Fig. 4와 같이 가공 명령의 곡선 구간에서의 가공 시간($t_{C,i}$)과 직선구간에서의 가공 시간($t_{L,i}$)의 합으로 나타낼 수 있다.

곡선 구간에서의 공구 속도는 일정하므로, 가공 시간은 곡선 구간의 길이($S_{C,i}$)를 속도로 나누어 구할 수 있다. 그런데 5축 가공에 있어서 구간의 길이는 사실상 길이 단위의 이송 변위와 각도 단위의 회전 변위가 복합되어 있으므로 일반적인 관계연산으로 나타낼 수 없다. 그러므로 본 연구에서는 곡선 구간의 길이를 식 (10)과 같이 공구 속도에 지배적인 영향을 주는 동작축의 보간 길이(S_i^*)와 가공 명령의 보간 길이(S_i)의 비율을 이용하여 구하였다. 이때 S_i^* , ϕ_i^* , γ_i^* 는 각각 부하가 많이 걸리는 동작에 대한 보간 길이, feed-angle 그리고 원호 반경이다.

$$S_{C,i} = S_i \frac{(r_i^* + e) \sin(\phi_i^*/2)}{S_i^*} \tag{10}$$

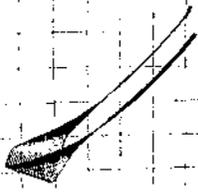
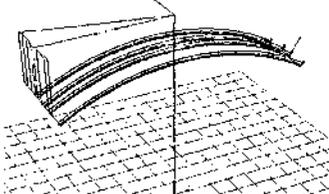
직선구간에서의 가공 시간($t_{L,i}$)은 앞의 Fig. 5에서 구한 속도 양상의 그래프를 적분하여 구할 수 있다^[2]. 따라서 전체 NC 데이터에 대한 가공 시간은 식 (11)과 같이 각각의 NC 블록에 소요되는 시간을 모두 더함으로써 계산된다.

$$t_{TOTAL} = \sum_i (t_{L,i} + t_{C,i}) \tag{11}$$

4. 적용 및 결과

제안된 알고리즘의 유효성을 검증하기 위해, MIKRON사^[8]의 UCP710 모델의 5축 공작기계를 대상으로 제안된 알고리즘에 의해 계산된 가공 시간과 상용 소프트웨어^[9]에 의해 계산된 시간 및 실제 측정된 가공 시간과 비교하여 Table 1에 나타내었다. 첫번째 실험 대상은 임펠러의 날개 부분으로서, 상용 소프트웨어를 이용한 경우 실제 가공 시간과 비교한 오차는 56.7%를 보인 반면, 제안된 알고리즘에 의한 가공 시간의 오차는 6.7%를 나타내었다. 두번째 모델은 타이어 급형의 그루브 형상의 가공 কে적으로서, 상용 소프트웨어에 의한 가공 시간의 계산은 6%의 오차를 보인 반면, 제안된 알고리즘에 의한 가공 시간은 2.5%의 오차를 나타내었다.

Table 1. Comparison of the results

Tool path Test methods	 A part of Impeller (F5000)	 Tire mold grooves (F1000-F5000)
Commercial program	230.38 seconds	789.58 seconds
This research	156.84 seconds	764.13 seconds
Actual machining time	147 seconds	745 seconds

5. 결 론

5축 동시가공의 동작은 추가적인 회전축의 동작과 실제 공작 기계의 가감속 특성 때문에, 생성한 공구 경로 길이를 지령된 이송속도로 나누고 추가적인 경험치를 감안하는 기존의 방법들은 실제 가공 시간과 많은 차이를 나타낸다. 본 연구에서는 5축 가공 시간을 정확히 예측하기 위해 가공 속도에 영향을 주는 주요한 인자를 정의하고, 이에 대해 수학적 모델에 의한 해석적인 방법과 실험적인 방법을 통한 기계의 가감속 특성을 동시에 고려함으로써 보다 정확한 5축 고속가공 시간을 계산하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 공작기계의 가공 시간에 대한 동작 특성을 고려하기 때문에 더 정확한 가공 시간의 예측이 가능하며, 기존의 상용 소프트웨어의 결과와 비교함으로써 알고리즘의 유효성을 검증하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부/한국과학재단의 국가핵심연구센터사업(R15-2006-022-03002-0)의 부분 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Maropoulos, P. G., Baker, R. P. and Paramor, K.

1. Y. G., "Integration of Tool Selection with Design Part 2: Aggregate Machining Time Estimation", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 107, pp. 135-142, 2000.
2. Yan, X., Shirase, K., Hirao, M. and Yasui, T., "NC Program Evaluator for Higher Machining Productivity", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 39, pp. 1563-1573, 1999.
3. Rodriguez, C. A., Harnaut, T., Wang, Y., Akgerman, N. and Altan, T., "Estimation of Machining Time in High Speed Milling of Prismatic Parts", *In North American Manufacturing Conference (NAMRC XXVII)*, Berkeley, California, pp. 142.1-142.6, May, 1999.
4. Manuel, M. and Rodriguez, C. A., "Influence of Tool Path Strategy on the Cycle Time of High-speed Milling", *Computer-Aided Design*, Vol. 35, pp. 395-401, 2003.
5. Dugas, A., Lee, J. J., Terrier, M. and Hascoët, J. Y., "Development of a Machining Simulator Considering Machine Behavior", *Proceedings of the IMECHE Part B Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 217, No. 9, pp. 1333-1339, 2003.
6. HEIDENHAIN TNC426/TNC430 Technical Manual.
7. SINUMERIK 840D/840Di/810D Description of Functions Special Functions (FB3), 09.01 Edition 2001.
8. Mikron Technology, <http://www.mikron.com>
9. Vericut 5.2, <http://www.vericut.com>



소 범 식

1997년 영남대학교 기계공학부 학사
1999년 영남대학교 기계공학부 석사
2000년~현재 부산대학교 기계공학부
박사과정
관심분야: System modeling and simulation, 5-axis high-speed machining, Software engineering, CAD/CAM



정 용 호

1983년 부산대학교 기계공학과 학사
1990년 서울대학교 기계설계학과 석사
1993년 서울대학교 기계설계학과 박사
1993년~1996년 삼성항공(주) 수석 연구원
1996년~현재 부산대학교 기계공학부 부
교수

관심분야: Geometric Modeling, 5-axis high-speed machining, Assembly Modeling, CAD/CAM



정 희 진

2005년 영남대학교 기계공학부 학사
2005년~현재 부산대학교 정밀기계공학과
석사과정
관심분야: Machine Component Design, CFD, CAD/CAM