

고속가공을 위한 2단계 모션 제어 루프와 선독 알고리즘의 구현

이철수*, 이재필*

The Implement of 2-Step Motion Control Loop and Look Ahead Algorithm for a High Speed Machining

Cheol-Soo Lee*, Je-Phil Lee*

Abstract

This paper describes a look ahead algorithm of PC-NC(personal computer numerical control). The algorithm is based on acceleration/deceleration before interpolation which doesn't include a command error and determines a feedrate value at the end point of each block(or start point of each block). The algorithm is represented as following; 1) calculating two maximum arrival feedrates (F_1, F_2) by an acceleration value, a command feedrate, and the distance of a NC block, 2) getting a tangent feedrate (F_3) of the adjacent blocks, 3) choosing a minimum value among these three feedrates, and 4) setting the value to a feedrate of a start point of the next block(or a end point of the previous block).

The proposed look ahead algorithm was implemented and tested by using a commercial RTOS(real time operation system) on the MS-Windows NT 4.0 in a PC platform. For interfacing to a machine, a counter board, a DAC board and a DIO board were used. The result of the algorithm increased a machining precision and a machining speed in many short blocks.

Key Words : High Speed Machining(고속가공), Look Ahead Algorithm(선독 알고리즘), 2-Step Motion Control Loop(2 단계 모션 제어 루프), Acceleration/deceleration Before Interpolation(보간전 가감속)

1. 서 론

공작기계 분야에서 CNC(computerized numerical controller)는 많은 범용 기계를 대체하고 있으며, 최근 들어 보다 더 고속·고정도를 요구하게 되었다. 공작기계에서 고속가공에 대한 기대는 계속되어 왔지만, 기계적 요인과

절삭조건에 대한 환경적인 여러 가지 문제들로 인하여 실현되지는 못하였다. 근래 공작기계의 기계적 구조와 고속 스피들, 절삭 조건을 만족시킬 수 있는 주변 환경의 급속한 발전은 고속가공의 가능성에 대한 확신을 주었으며, 현재 활발한 연구와 함께 상품화가 이루어지고 있다.⁽¹⁾

공작기계에서 주축의 고속 회전은 20000 RPM 이상

* 전남대학교 산업공학과

회전이 가능하게 되었으며, 각 테이블의 이송속도도 볼 스크류의 리드각을 크게 하거나 리니어 모터 기술을 이용하여 50 m/min에 근접할 수 있게 되었다.⁽²³⁾ 고속 절삭가공에서 초미립 초경 공구의 사용은 절삭 시에 발생하는 여러 가지 문제들을 극복할 수 있게 하였다.^(4,5) 또, 고속 터릿(turret)과 ATC(automatic tool change) 등이 개발되어 가공에 대한 전체 가공시간을 최소화하였다.⁽¹⁾ 이와 같이 공작기계의 기계적 구조의 단점과 절삭 조건을 만족시킬 수 있는 외적 환경의 변화는 고속가공에 대한 소프트웨어 알고리즘에 관심이 집중되고 있다.

고속가공을 실현하기 위하여 이미 지령된 이송 블록에 대해 절삭부하를 고려하여 각 블록에 새로운 이송속도를 설정하는 연구가 있었으며⁽⁶⁾, 일반적인 P-제어 시스템에 피드포워드 제어(feed-forward control)를 도입하여 경로오차를 보정하였다.^(7,8,9) 또 다른 연구로서는 주어진 공구경로를 왜곡하여 새로운 공구경로를 생성함으로써 가공오차를 줄이고 보다 빠른 절삭가공을 수행하도록 하였다.^(10,11) 이런 방법들은 금형가공처럼 미소 블록이 대부분을 이루는 절삭가공에서는 요구하는 정도를 만족하면서 고속가공을 수행하기에는 적합하지 않다. 이를 보완하기 위하여 복잡한 곡면 형상에 대하여 직선 블록으로 생성하는 대신 곡선으로 생성하고 비선형 보간을 통하여 고속가공을 구현하고 있다.^(12,13,14) 하지만 곡면을 직선 미소 블록이 아닌 곡선을 생성하는 방법은 곡선 형상에 대한 이해가 어려워 절삭경로를 확인하기가 거의 불가능하며, 보편적인 곡선 표현이 정립되지 못하여 특정 CNC를 위한 전용 CAM이 필요하다.⁽¹⁵⁾

본 논문에서는 일반적인 CAM으로부터 생성된 모든 경로(미소 블록 포함)에 대하여 최적의 이송속도를 산출하여 가공할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 즉, 단순한 직선 경로에서부터 복잡한 미소 블록으로 이루어진 가공까지 가공 정밀도와 기계 구조에 부합되는 최적 이송속도로 가공할 수 있는 방법을 제시한다.

이를 위하여 모션 제어부에서는 2단계 모션 제어 루프로 시스템 성능을 최대로 발휘하면서 가공 정밀도를 향상시키고, 일반적인 CNC 시스템에서 서보 모터의 부드러운 구동을 위하여 사용하는 보간후 가감속(acceleration/deceleration after interpolation) 대신 보간전 가감속(acceleration/deceleration before interpolation)을 사용하여 지령에 의한 경로오차를 없애도록 한다. 연속된 미소 블록들을 선독(look ahead)하여 가공 경로의 모든 블록들의 교차점에서 허용된 범위 내에서 최적의 이송속도를 결정함으로

서 고속가공을 수행할 수 있도록 한다. 그리고 이를 서로 다른 단일 축의 이송으로 이루어진 직각 블록과 여러 개의 미소 블록으로 이루어진 가공 경로에 적용하여 검증한다.

2. 고속가공을 위한 제어 S/W의 구성

2.1 제안된 시스템의 S/W 구조

일반적으로 CNC 시스템은 크게 해석부(interpreter), 공구 경로 생성부(tool path generation), 모션 제어부(motion control), 접점 처리부(PLC) 등으로 나눌 수 있다. 이송 경로의 최종적인 제어를 담당하는 모션 제어부는 공구 경로 생성부로부터 공구 경로를 지령 받기 위하여 다중 블록 버퍼(multi block buffers)의 구조를 가지고 있으며, 다중 블록 버퍼에 지령된 연속 블록들에 대하여 자동가감속(automatic acceleration/deceleration)을 통하여 절삭가공을 수행한다.^(16,17) Fig. 1은 일반적인 CNC 시스템에서 모션 제어부의 소프트웨어 구조를 대략적으로 나타낸 것이다.

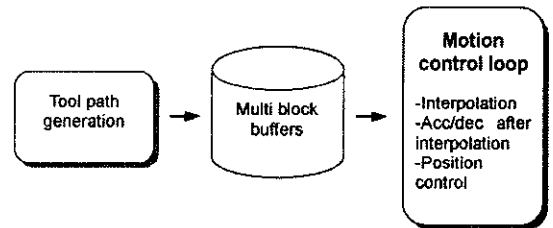


Fig. 1 General software architecture of motion control for a CNC system

다중 블록 버퍼는 모션 제어부에서 절삭가공 시에 가공면의 품질을 높일 수 있도록 자동가감속을 수행할 수 있는 방법을 제공하며 시스템의 안정성을 높여준다. 하지만 다중 블록 버퍼에 지령된 블록들에 대하여 일반적인 자동가감속만을 수행하는 CNC 시스템은 복잡한 자유 곡면과 같은 형상으로부터 생성된 NC데이터를 가공할 때에는 이송속도에 제약을 받게 된다.⁽¹⁷⁾

본 논문에서는 이런 제약을 벗어나고 가공 정밀도와 제어의 효율성을 높이기 위하여 모션 제어부를 2단계로 나눈다.

Fig. 2는 제안된 모션 제어부의 구조를 나타내고 있다. 공구 경로 생성부로부터 각 블록에 대한 이송거리와 이송속도 등을 입력 받기 위하여 다중 블록 버퍼를 가지고 있다.^(16,17) 근사적 제어 루프(rough control loop)에서는 다중

블록 버퍼에서 지령된 이송 블록들에 대하여 보간전 가감속을 바탕으로 선독 알고리즘을 적용하여 최적의 가감속 프로파일을 생성한다. 그리고 생성된 이송속도 프로파일로부터 설정된 실행주기(sampling time) 간격으로 이송될 거리량을 구하여 미세 제어 루프(fine control loop)의 다중 블록 버퍼에 지령한다. 두 번째의 다중 블록 버퍼는 첫 번째의 다중 블록 버퍼 보다 간단한 구조를 가진다. 근사 제어 루프의 실행주기 동안 이송될 각 축의 이송량과 이 실행주기의 시작점과 끝점에서의 이송속도만으로 구성되어 있다.

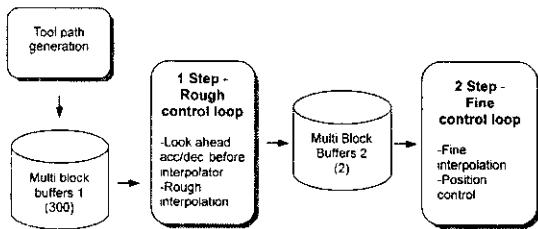


Fig. 2 Proposed software architecture of motion control

2.2 2단계의 모션 제어 루프

고속가공을 수행하기 위해서는 다중 블록 버퍼에 이미 지령된 이송 블록들에 대하여 제안된 선독 알고리즘을 적용하여 최적의 이송속도를 구하여야 한다. 지령된 각 블록들의 이송속도와 각 블록 간의 직진도, 다중 블록 버퍼의 개수 등에 따라 새로운 한 블록이 추가될 때마다 다중 블록 버퍼에 있는 블록들의 최적 이송속도를 구하는 시간이 결정된다. 즉, 지령된 이송속도가 크면 클수록, 지령된 이송속도에 도달하기 위하여 새로운 블록이 추가될 때마다 다중 블록 버퍼에 있는 블록들에 대해서 최적의 이송속도를 구하는 시간이 더 길어지게 된다. 또, 지령된 블록간의 직진도가 높을수록 더 많은 블록들에 대하여 최적 이송속도를 계산하게 된다. 다중 블록 버퍼의 개수도 마찬가지로 근본적인 시간 제약을 설정한다.

일반적인 단일 제어 루프는 제안된 알고리즘을 적용하기에는 적합하지 않다. 실행주기는 절삭가공의 정밀도와 직접적으로 관계가 있으므로 이를 한 없이 크게 할 수도 없으며, 최적의 이송속도 계산 시간이 실행주기 시간을 넘지 않아야 하기 때문이다.

본 논문에서 제안한 근사적 제어 루프에서는 각 블록마다 각 축의 가감속을 고려하여 블록의 최적 이송속도를

계산하고, 설정된 실행주기 동안에 이송할 각 축의 이송량을 구하여 미세 제어 루프의 다중 블록 버퍼에 출력한다. 미세 제어 루프에서는 다중 블록 버퍼의 각 축의 이송량을 다시 미세 제어 루프의 실행주기 간격으로 세분하여 구동부에 최종적으로 출력한다.

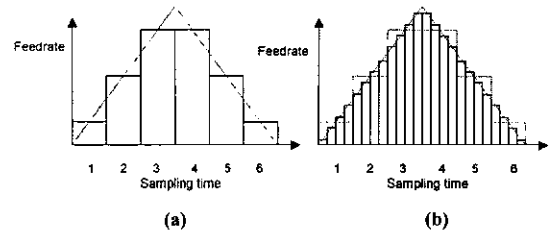


Fig. 3 Outputs of 2-step motion control loops :
(a) Rough feedrate profile (b) Fine feedrate profile

Fig. 3은 두개의 모션 제어 루프의 출력을 나타낸 것이다. Fig. 3-(a)는 근사적 제어 루프에서 생성되는 이송속도 프로파일을 보인 것이고, Fig. 3-(b)는 미세 제어 루프에서 출력되는 이송속도 프로파일을 보인 것이다. 이렇게 함으로써 지령 정밀도를 향상시키고 기계의 추종오차를 감소시켜 전반적인 가공 정밀도를 향상시킨다.

3. 고속가공을 위한 선독 알고리즘

3.1 보간전 가감속

일반적인 CNC의 모션 제어부는 이송할 거리에 대하여 각 축별로 보간한 후, 가감속 프로파일을 생성하는 보간후 가감속을 사용한다.

Fig. 4는 보간후 가감속을 보인 것이다. 보간후 가감속은 이송량, 이송속도에 대하여 먼저 각 축별로 이송량과 이송속도를 분배하고, 이를 바탕으로 하여 각 축별로 가감속 프로파일을 생성한다. 따라서 자동가감속이 일어나는 절삭가공에서는 가감속 구간인 두 블록의 교차점에서 경로 오차가 발생하게 되고 원호와 같은 형상을 가공할 때에 가감속 방법(직선형, 지수형, 파라볼릭형 등)과 원호의 반경과 이송속도 등에 따라 경로오차를 갖는다. 또 미소 블록들이 연속하여 있는 경우 이송속도에 제약을 가져오게 된다. 고속가공을 수행하고자 하는 제어 시스템에서는 이는 치명적인 제약조건이 되며, 설정된 절삭 이송속도에 도달하지 못한다.⁽¹⁷⁾

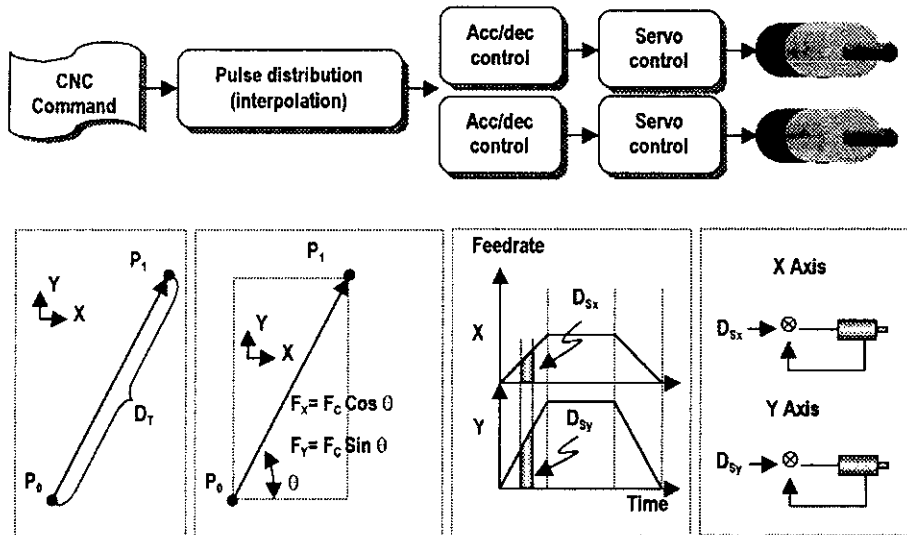


Fig. 4 Acceleration/deceleration after interpolation

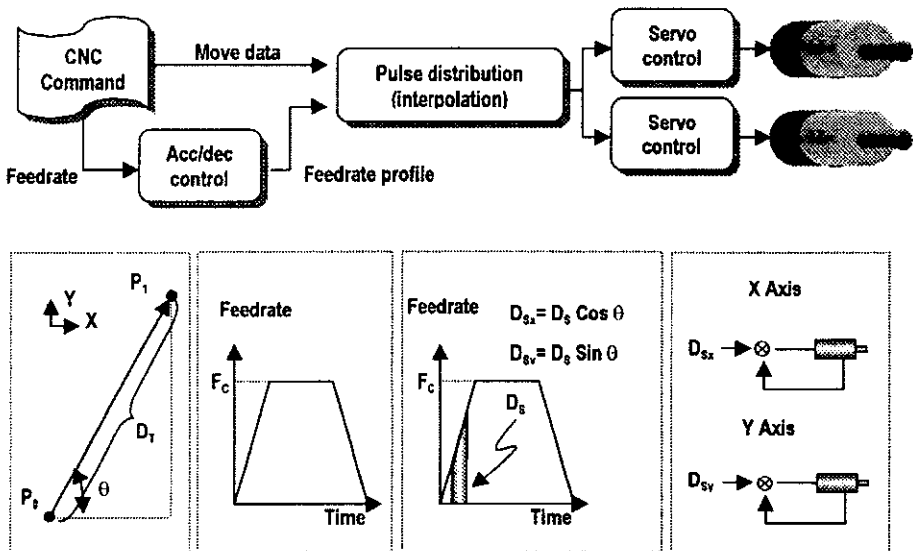


Fig. 5 Acceleration/deceleration before interpolation

고속가공을 수행하기 위해서는 이러한 가감속 구간에서 발생하는 경로오차를 제거하고, 제안된 선독 알고리즘을 적용할 수 있는 보간전 가감속을 수행한다. Fig. 5는 보간전 가감속의 과정을 보인 것이다. 보간후 가감속과는 달리

지령된 이송속도로 먼저 가감속 프로파일을 생성한 후 지령거리를 각 축별로 이송량을 분배하게 된다.

Fig. 6은 보간전 가감속의 예를 보이고 있다. 두 개의 블록이 주어질 때 각 블록을 가감속 프로파일을 생성

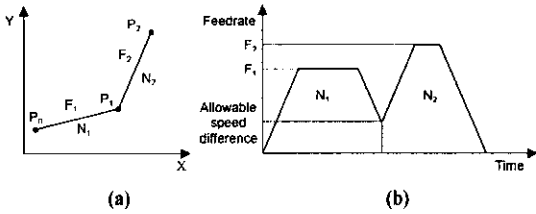


Fig. 6 Example of acceleration/deceleration before interpolation:
(a) Command path (b) Feedrate profile

하여 시간의 축 상에 교차하지 않게 한다. Fig. 6-(b)에 나타난 것처럼 두 블록 사이의 지령에 의한 오차는 전혀 발생되지 않는다. 두 블록의 허용 이송속도차(allowable speed difference)는 기계의 이송 상태를 고려하여 적절한 값을 설정한다.¹⁷⁾ 보간전 가감속은 본 논문의 선독 알고리즘을 적용하는데 매우 중요하다.

3.2 미소 블록의 최적 이송속도 구하기

주어진 미소 블록들에 대하여 최적의 이송속도를 구하기 위해서는 각 블록들의 교차점에서 적절한 이송속도를 설정하여야 한다. Fig. 7은 미소 블록이 다중 블록 버퍼에 입력될 때 해당 블록들에 대하여 각 블록의 끝점(혹은 시작점)에서의 최적의 이송속도를 구하는 과정을 나타낸 것

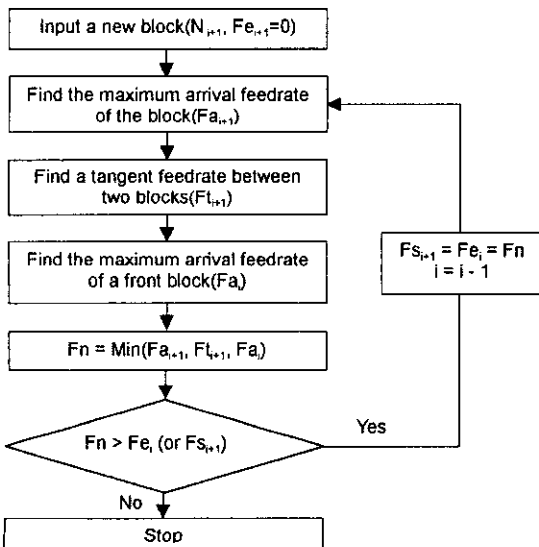


Fig. 7 Getting the feedrate of start and end point between blocks

이다. 새로운 한 블록이 삽입되면 가감속을 고려하여 그 블록의 최대 도달 이송속도 (Fa_{i+1})를 구한다. 새로 삽입된 블록과 바로 선(先) 블록간의 관계에서 접선 이송속도 (Ft_{i+1})를 구하고, 선 블록의 시작점의 이송속도를 기준으로 가감속을 고려하여 최대 도달 이송속도(Fa)를 구한다.

계산된 3개의 이송속도 중 가장 낮은 값을 선택하고, 선 블록 끝점의 이송속도 보다 크면 선 블록의 끝점(새로운 블록의 시작점)의 이송속도로 설정한다. 만약 두 블록간의 교차점에서의 이송속도가 바뀌게 되면 다중 블록 버퍼에 있는 모든 블록들의 이송속도도 바뀔 수가 있으므로 선독 알고리즘을 계속 적용하여 두 블록간 교차점의 이송속도를 재 설정한다.

3.2.1 후(後) 블록의 최대 도달 이송속도 구하기

새로운 블록이 다중 블록 버퍼에 삽입되면 항상 그 블록 시작점과 끝점의 이송속도는 모두 0이다. 물론, 현재 새로 삽입된 블록의 바로 선 블록의 끝점의 이송속도도 0으로 설정 되어 있다. 어떤 경우에도 모든 블록이 종료되었을 때는 모든 축의 이송이 정지 되어야 하기 때문이다.

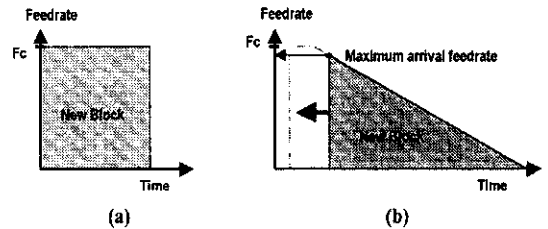


Fig. 8 Calculating the maximum arrival feedrate at a new(or next) block: (a) Command feedrate profile (b) Feedrate profile for a maximum arrival feedrate

Fig. 8에서 처럼 삽입된 블록의 시작점(또는 선 블록의 끝점)은 가감속 값과 이송속도, 이송거리를 고려하여 도달 가능한 최대 이송속도를 구한다. Fig. 8-(a)는 새로 삽입된 블록을 표시한 것이며, Fig. 8-(b)는 블록의 시작점의 최대 이송속도를 구하는 것이다. 끝점의 이송속도(여기서는 0)를 기준으로 축의 가감속을 고려하여 블록의 길이 만큼을 시간의 축상에서 이동했을 때의 도달 가능한 이송속도를 표시한 것이다. 식 (1)과 (2)로부터 얻은 식 (3)은 직선형 가감속을 사용하여 삽입된 블록의 최대 도달 가능 이송속도 값을 구한 것이다.

$$(Fe \times t) + \frac{1}{2}(Fs_{max} - Fe)t = Len \quad (1)$$

$$Fe + Acc \times t = Fs_{max} \quad (2)$$

$$Fs_{max} = \sqrt{Fe^2 + 2 \times Acc \times Len} \quad (3)$$

- 단, Fs_{max} : 블록의 시작점의 최대 이송속도,
- Fe : 블록의 끝점의 이송속도,
- Acc : 지령명령이 있는 축중 가장 작은 가속도,
- t : 이송 시간,
- Len : 블록의 길이.

3.2.2 두 블록의 교차점에서 접선 이송속도 구하기

새로운 한 블록이 추가되면 새로운 블록과 선 블록의 이송속도를 고려하여 두 블록의 교차점에서의 접선 이송속도를 구한다. 제어하고자 하는 모든 축은 각각 가감속 값이 있으므로, 두 블록의 교차점에서 이송 지령이 있는 모든 축의 가감속 값을 만족하는 접선 이송속도를 구한다.

본 논문에서는 선 블록의 접선 방향에 대한 후 블록의 벡터 성분으로 두 블록의 교차점에서 접선 이송속도를 구한다. Fig. 9는 선 후 블록간의 교차점에서의 허용 이송속도를 구하는 것을 나타낸 것이다. 선 블록과 후 블록에 주어진 이송속도가 F일 때, 선 블록의 진행 방향으로의 후 블록의 성분은 $F \cos \theta$ 가 된다. 그런데 두 블록의 교차점 P_1 점을 전후로 N_i 의 마지막 실행주기의 이송속도는 F이고, N_{i+1} 의 첫 번째 실행주기의 이송속도는 $F \cos \theta$ 이다. 따라서 가감속 값은 두 이송속도의 차를 실행주기로 나눈 것이다. 식 (4)는 이를 정리하여 접선속도를 구한 것이다.

P_1 점에서의 접선 이송속도는 각 축의 가속도와 실행주기에 비례하고, 두 선 후 블록이 이루는 내각에 반비례한다. 두 블록이 한 직선을 이루는 경우는 값이 불능이 되므로 이송속도 F를 그대로 적용한다.

$$Fs_{tan} = \frac{Acc \times Ts}{1 - \cos \theta} \quad (4)$$

- 단, Fs_{tan} : 블록의 시작점의 접선 이송속도,
- Ts : 제어루프의 실행주기,
- θ : π - 선 후 블록이 이루는 각.

3.2.3 선 블록의 최대 도달 이송속도 구하기

새로 삽입된 블록의 선 블록은 이미 시작점과 끝점의 이송속도를 가지고 있다. Fig. 10에서와 같이 선 블록의 끝점의 새로운 이송속도 값을 구하려 하기 때문에 현재

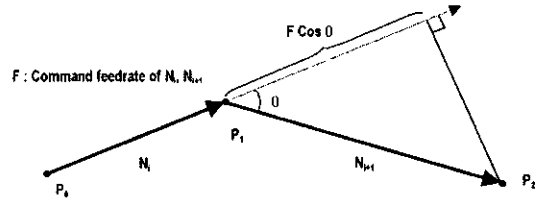


Fig. 9 Calculating a permitted feedrate between two blocks

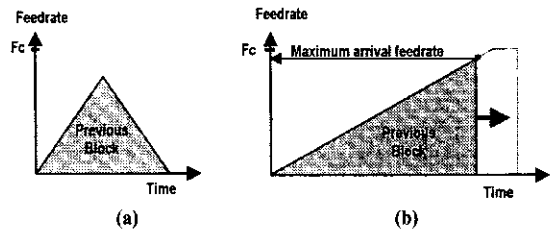


Fig. 10 Calculating the maximum arrival feedrate at a previous block: (a) Command feedrate profile (b) Feedrate profile for a maximum arrival feedrate

시작점의 이송속도를 기준으로 주어진 가감속을 고려하여 끝점의 최대 도달 가능한 이송속도를 구한다. 식 (5)는 선 블록의 끝점에서의 최대 도달 이송속도를 구하는 식으로 식 (3)과 비교할 때, 단지 기준이 되는 이송속도 값만 바뀔 수 있다.

$$Fe_{max} = \sqrt{Fs^2 + 2 \times Acc \times Len} \quad (5)$$

- 단, Fe_{max} : 블록의 시작점의 최대 이송속도,
- Fs : 블록의 시작점 이송속도,
- Acc : 지령명령이 있는 축중 가장 작은 가속도,
- Len : 블록의 길이.

4. 고속가공 알고리즘의 검증

제안된 고속가공 알고리즘을 검증하기 위하여 단축으로만 이송되는 가공 경로와 각 블록의 방향이 일정하지 않은 여러 개의 미소 블록으로 이루어져 있는 가공 경로에 대하여 시뮬레이션을 수행한다. 또, 이를 Window NT 4.0에 실시간 OS(real time operation system)를 사용한 PC-NC(personal computer numerical control) 시스템에서 테스트 한다. PC-NC 사양은 인텔 펜티엄 II 400MHz CPU에

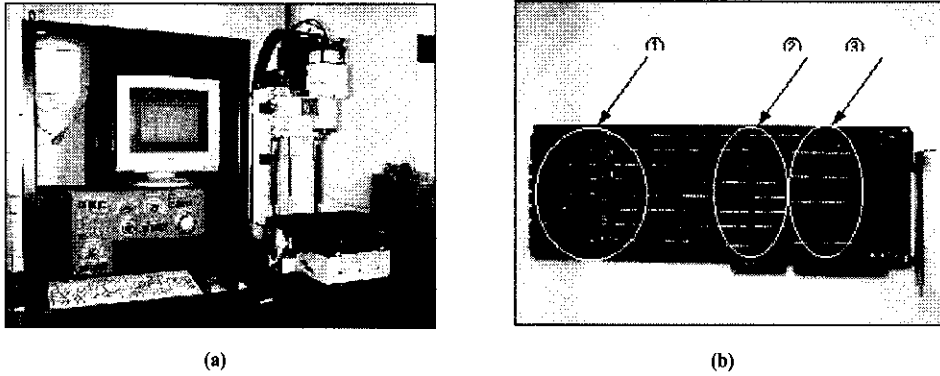


Fig. 11 3-axis PC-NC system: (a) 3-axis milling machine and PC-NC (b) Motion interface board ① 12 bits DAC (8 channels) ② 24 bits counter (8 channels) ③ 72 bits DIO

8채널 24Bits 카운터와 8 채널 12Bits DAC, 72Bits DIO를 가지고 있는 모션 인터페이스 보드를 장착한 개방형 시스템 구조를 가지고 있다.¹⁰⁾ Fig. 11-(a)는 본 알고리즘을 테스트한 3축 PC-NC 시스템이며, Fig. 11-(b)는 기계와의 인터페이스를 위하여 제작한 모션 인터페이스 보드이다.

4.1 직각 블록의 고속가공 시험

절삭가공에 있어서 축의 이송을 가장 잘 표현할 수 있는 것은 단축 이송으로 이루어진 직각 블록들의 경우이다. 본 논문에서도 서로 다른 단축으로 이루어진 절삭경로에 적용하여 두 블록의 교차점에서 각 축의 움직임을 확인한다.

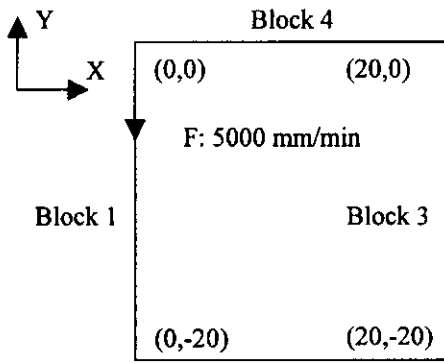
Fig. 12는 4개의 블록으로 이루어진 직선 경로에 선독 알고리즘을 적용하여 얻은 이송속도 프로파일을 표시한 것이다. Fig. 12-(a)는 이송경로를 표시한 것으로 각 블록의 길이는 20 mm이고, 이송속도는 5000 mm/min이다. Fig. 12-(b)는 선독 알고리즘을 적용하여 얻은 이송속도 프로파일이다. 단축 직각 이송의 경우 두 블록의 교차점 사이각이 직각이기 때문에 교차점에서 이송속도는 허용 이송속도차(allowable speed difference)로 주어진다. 허용 이송속도차는 파라미터로 주어진 값이며, 여기서는 100 mm/min로 설정하였다. Fig. 12-(c)는 이송속도 프로파일을 각 축별 성분으로 분해한 것이다. 그리고 Fig. 12-(d)는 실제 기계상에서 이를 테스트하여 얻은 결과치를 표시한 것이다.

4.2 미소 블록들의 고속가공 시험

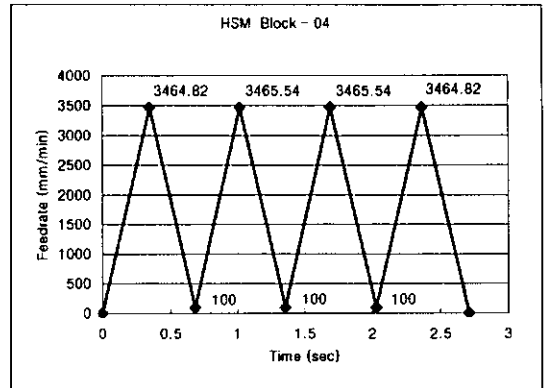
연속된 미소 블록들로 이루어진 가공 경로에 대하여 고속가공 알고리즘을 적용하여 이송속도 프로파일을 생성하고, 이를 PC-NC 시스템에서 테스트한다.

Fig. 13은 이송속도 프로파일을 생성할 공구 경로를 표시한 것이다. 공구 경로는 이송속도가 4000 mm/min이며, 3개의 긴 블록들과 3개의 반원을 직선 보간한 77개의 미소 블록으로 되어 있다. 허용 이송속도차는 100 mm/min으로 설정하였다.

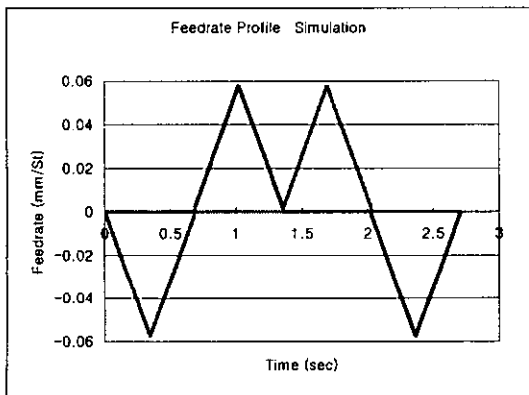
Fig. 14는 Fig. 13의 공구 경로를 한 블록씩 선독 알고리즘에 적용하여 생성된 이송속도 프로파일을 보인 것이다. Fig. 14-(a)는 처음 한 블록에 대한 이송속도 프로파일을 보이고 있다. Fig. 14-(b)는 10개의 블록에 대한 이송속도 프로파일을 보인 것으로 긴 두 블록은 각각 지령한 이송속도에 도달하였으며, 원호를 이루는 8개의 미소 블록들이 약 3000 mm/min에 까지 도달하고 있다. Fig. 14-(c)와 Fig. 14-(d)는 더 많은 미소 블록들이 들어옴으로써 약 3200 mm/min으로 이송되고 있다. Fig. 14-(e)는 두 번째 원호 구간의 미소 블록들에 대한 이송속도 프로파일을 보이고 있으며, 이송속도가 약 1100mm/min에 도달함을 알 수 있다. Fig. 14-(f)는 80개의 모든 블록에 대한 이송속도 프로파일이며, 세 번째 원호 구간의 이송속도는 약 550 mm/min로 이송됨을 알 수 있다. 세 개의 원호 구간에서 반지름이 작을수록 이송속도가 작아지는 것은 이송 블록의 길이가 더 작고 각 블록간의 직진도가 더 떨어지기 때문이다. 또, 블록간에 직각으로 연결된 부분은 허용 이송속도차보다 더 낮은 이송속도가 계산됨으로 이를 허용 이송속도차로 설정된다.



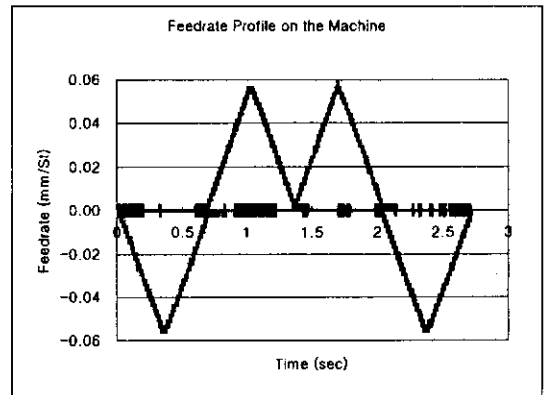
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 12 Testing the feedrate profile of blocks (angle = 90°): (a) Tool path (b) Feedrate profile (c) Feedrate profile by simulation (d) Result of test on the machine (St : Sampling time)

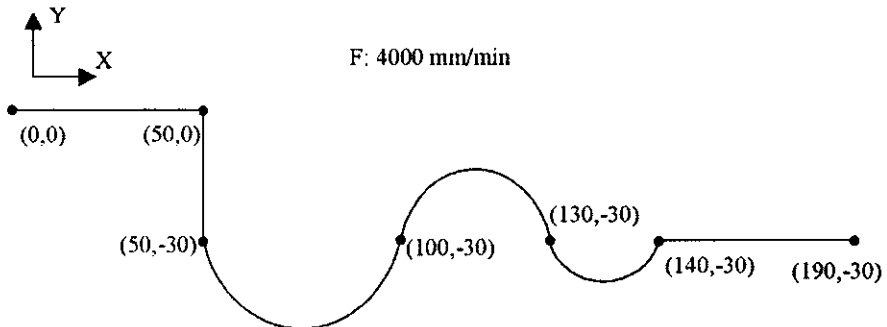
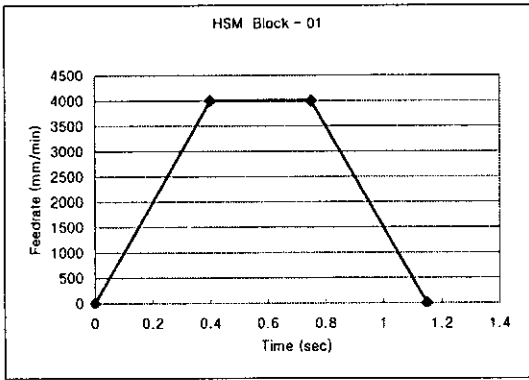
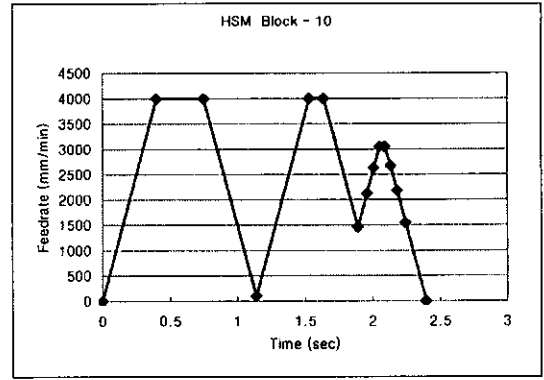


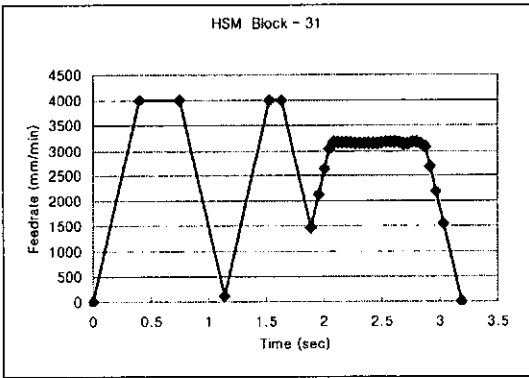
Fig. 13 Tool path for generating a feedrate profile



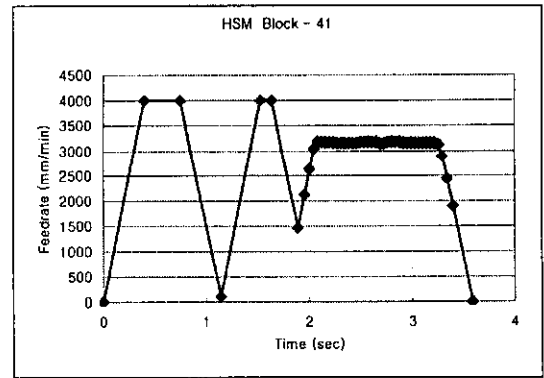
(a)



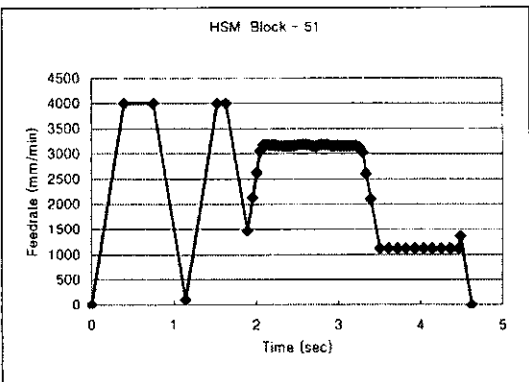
(b)



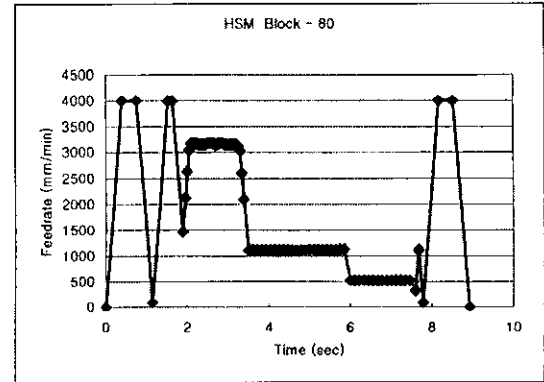
(c)



(d)

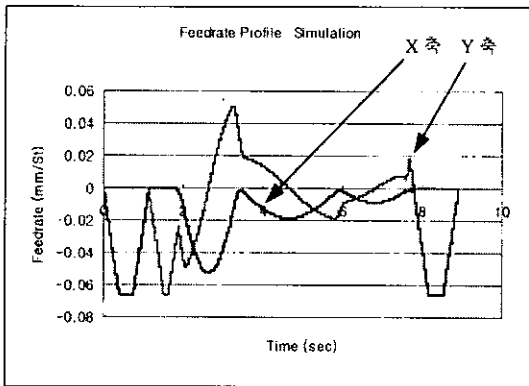


(e)

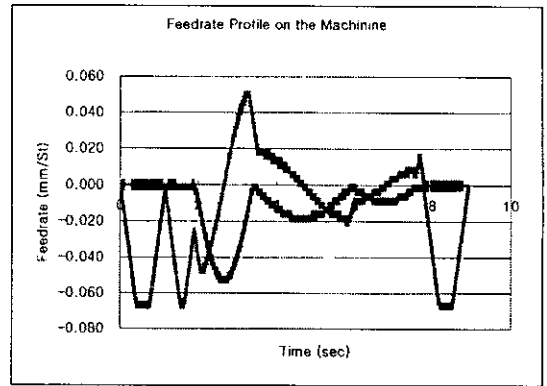


(f)

Fig. 14 Example of generating a feedrate profile



(a)



(b)

Fig. 15 Feedrate profile of each axis: (a) Feedrate profile by simulation (b) Result of test on the machine (St : Sampling time)

Fig. 15는 Fig. 14(f)를 각 축의 이송속도 프로파일로 분해한 것이다. Fig. 15-(a)를 보면 X 축의 경우 77개의 미소 블록들에서 설정된 가감속 값을 만족하면서 부드러운 이송속도 프로파일을 보이고 있다. Y 축은 3개의 원호 구간에서 X 축의 최고 점에서 항상 이송 방향이 바뀌어 갈 수 있다. Fig. 15-(b)는 기계에서 테스트하여 얻은 결과치를 표시한 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 금형가공처럼 미소 블록이 많은 경우에 고속가공을 구현하기 위하여 모션 제어부의 구조와 보간 전 가감속을 바탕으로 한 선독 알고리즘을 제시하였다.

모션 제어부는 고속가공을 위한 선독 알고리즘을 적용하기에 적합한 2단계 모션 제어부를 제안하였다. 첫째 단계에서 선독 알고리즘을 수행하여 근사 보간을 한 후, 둘째 단계에서 상세 보간을 수행하여 보다 더 정밀한 가공과 제어의 효율성을 높일 수 있었다.

선독 알고리즘은 보간전 가감속을 바탕으로 하여 새로운 블록이 입력될 때마다 이미 입력되어 있는 블록들에 대하여 블록의 끝점(또는 시작점)에서 이송속도를 재 설정한다. 제안된 선독 알고리즘은 미소 블록이 많은 절삭가공에 있어서 가공 정밀도와 절삭 이송속도의 향상을 가져왔다.

참고 문헌

- (1) 고태조, "금형산업에서의 고속가공 기술", '99 정밀가공부문 기술세미나, pp. 43~58, 1999.
- (2) T. Majima, "Development of ultra-high speed milling machine", Proceedings of the 6th International Machine Tool Engineers Conference, Osaka, Japan, Oct. 31, pp. 61~83, 1994.
- (3) U. Heisel, M. Gringel, "Machine tool design requirements for high-speed machining", Annals of the CIRP, Vol. 45, No. 1, pp. 389~392, 1996.
- (4) R. C. Dewes, D. K. Aspinwall, "The use of high speed machining for the manufacture of hardened steel dies", Transactions of the NAMRI of SME, Vol. 25, pp. 21~26, 1996.
- (5) M. A. Elbestawi, L. Chen, C. E. Becze, T. I. Ei-Wardany, "High-speed milling of dies and molds in their hardened state", Annals of the CIRP, Vol. 46, No. 1, pp. 57~62, 1997.
- (6) 이기우, 노상도, 신동묵, 한형상, 권성오, 안용준, "절삭부하를 고려한 NC코드 후처리시스템 개발", 한국정밀공학회 추계 학술대회 논문집, pp. 347~352, 1999
- (7) D. Dumur, P. Boucher, "New predictive solutions to very high speed machining", CIRP, Vol. 43, No. 1, pp. 363~366, 1994.

- (8) D. Dumur, P. Boucher, "Constrained predictive control for motor drives", CIRP, Vol. 45, No. 1, pp. 355~358, 1996.
- (9) E. D. Tung, M. Tomizuka, Y. Urushisaki, "High speed end milling using a feed forward control architecture", Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 118, pp. 178~187, 1996.
- (10) 이철수, 이재필, "지령 경로의 왜곡에 의한 고속가공 경로의 생성에 관한 연구", 한국공작기계학회지 제7권 제5호, pp. 15~28, 1998
- (11) 김용현, 고성립, "엔드밀의 코너 가공시 가공 정밀도 향상에 관한 연구", 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 1138~1141, 1999
- (12) Daniel C. H. Yang, Tom Kong, "Parametric interpolator versus linear interpolator for precision CNC machining", CIRP, Vol. 26, No. 3, pp. 225~234, 1994.
- (13) M. Shpitalni, Y. Koren, C. C. Lo, "Rcaltime curve interpolators", CIRP, Vol. 26, No. 11, pp. 832~838, 1994.
- (14) J. Scherer, "High speed, high-precision machining with NURBS interpolation", Proceedings of 2nd International Machining & Grinding Conference, Dearborn, USA, Sep. 8~11, pp. 709~716, 1997.
- (15) 박상봉, 이형국, "고속가공 기술의 노하우-운동기술", 금형저널, 통권182호, pp. 156~174, 2/2000.
- (16) 이철수, 이재필, "실시간 제어에 의한 개방형 CNC 소프트웨어 모듈의 설계 및 구현", 한국공작기계학회지 제8권 제5호, pp. 54~62, 1999.
- (17) FANUC LTD., "FANUC Series 15-M MODEL B For Machining Center Operator's Manual(Programming)", 1994.