

선독 알고리즘에 의한 고속 가공 소프트웨어 구현

이 철 수(전남대학교 산업공학과) · 이 제 필(전남대학교 산업공학과 대학원)

The Implement of a High Speed Machining Software by Look-ahead Algorithm

Cheol-Soo Lee(Chonnam Univ.) · Je-Phil Lee(Chonnam Univ., Graduate School)

<Abstract>

This paper describes a look-ahead algorithm of PCNC(personal computer numerical control). The algorithm is based on acceleration/deceleration before interpolation never including a command error and determines a velocity value in end point of each block(or start point of each block). The algorithm is represented as following; 1) calculating two maximum arrival velocity(v_1 , v_2) by a acceleration value, a command velocity and distance in a previous block and a next block, 2) getting a tangent velocity(v_3) of the adjacent blocks, 3) choosing a minimum value among these three velocities, and 4) setting the value to a velocity 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.

Keywords : High Speed Machining(고속 가공), Look-ahead Algorithm(선독 알고리즘), 2-Step Motion Control Loop(2 단계 모션 제어 루프)

1. 서론

공작기계 분야에서 CNC(computerized numerical control)는 많은 범용 기계를 대체하고 있으며, 최근 들어 보다 더 고속·고정도를 요구하게 되었다. 공작기계에서 고속가공에 대한 기대는 항상 있어 왔지만, 기계적 요인과 절삭조건에 대한 환경적인 여러 가지 문제들로 인하여 실행되지는 못하였다. 공작기계의 기계적 구조의 단점과 절삭 조건을 만족시킬 수 있는 외적 환경이 갖추어 지게 됨으로써, 고속 가공에 대한 소프트웨어 알고리즘에 관심이 집중되고 있다⁽¹⁾⁽²⁾.

고속 가공을 달성하기 위하여 이미 지령된 이송 블록에 대해 절삭부하를 고려하여 각 블록에 새로운 절삭속도를 설정하는 연구가 있었으며⁽³⁾, 주어진 공구경로를 왜곡하여 새로운 공구경로를 생성함으로써 가공오차를 줄이면서 보다 빠른 절삭 가공을 수행하도록 하였다⁽⁴⁾⁽⁵⁾. 하지만 금형 가공과 같은 복잡한 가공에서는 요구되는 정도를 만족하면서 고속가공을 수행하기에는 적합하지 않다. 또, 복잡한 곡면 형상에 대하여 직선블록으로 생성하는 대신 곡선으로 생성하고 비선형보간을 통하여 고속가공을 구현하고 있다⁽⁶⁾⁽⁷⁾. 하지만 곡면을 직선 미소 블록이 아닌 곡선을 생성하는 방법은 곡선 형상에 대한 이해가 어려워 절삭 경로를 확인하기가 거의 불가능하며, 보편적인 곡선 표현이 정립되지 못하여 특정 CNC를 위한 전용 CAM이 필요하다⁽⁸⁾.

본 논문에서는 일반적인 CAM으로부터 생성된 모든 경로(미소 블록 포함)에 대하여 각 블록마다 최적의 절삭 속도를 산출하여 가공할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 이를 위하여 모션 제어부에서는 2 단계 모션 제어 루프로 시스템 성능을 최대한 발휘하면서 가공 정밀도를 향상시키도록 하고, 일반적인 CNC 시스템에서 서보 모터의 부드러운 구동을 위하여 사용하는 보간후 가감속(acceleration/deceleration after interpolation) 대신 보간전 가감속(acceleration/deceleration before interpolation)을 수행하여 지령에 의한 경로오차를 없애도록 한다.

그리고 제안된 알고리즘을 서로 다른 단일 축의 이송으로 이루어진 직각 블록과 여러 개의 미소 블록으로 이루어진 가공 경로에 적용하여 검증한다.

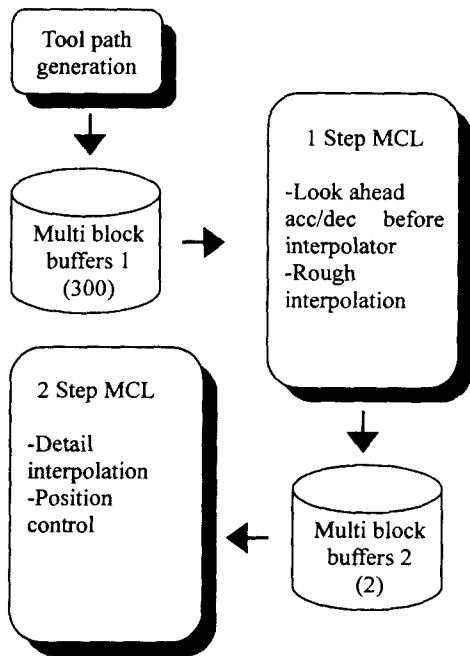
2. 고속가공을 위한 제어 SW의 구성

2.1 제안된 시스템의 SW 구조

일반적으로 CNC 시스템은 크게 해석부(interpreter), 공구 경로 생성부(tool path generation), 모션 제어부(motion control), 점점 처리부(PLC) 등으로 나눌 수 있다. 지령된 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 수행하여 절삭 가공을 수행한다⁽⁹⁾.

본 논문에서도 선독 알고리즘을 적용하기 위하여 다중 블록 버퍼를 이용한다. 다중 블록 버퍼의 개수는 제안된 알고리즘의 효율에 많은 영향을 미친다. 선독 알고리즘은 이미 지령된 블록들에 대하여 자신보다 후 블록들의 거리량과 방향 등을 고려하여 끝점의 속도를 결정하기 때문이다. 또 선독 알고리즘의 적용과 지령 오차를 없애기 위하여 보간전 가감속을 사용하고, 제안된 소프트웨어의 적용을 위하여 모션 제어부를 두 부분으로 나누어 제어의 효율을 높인다.



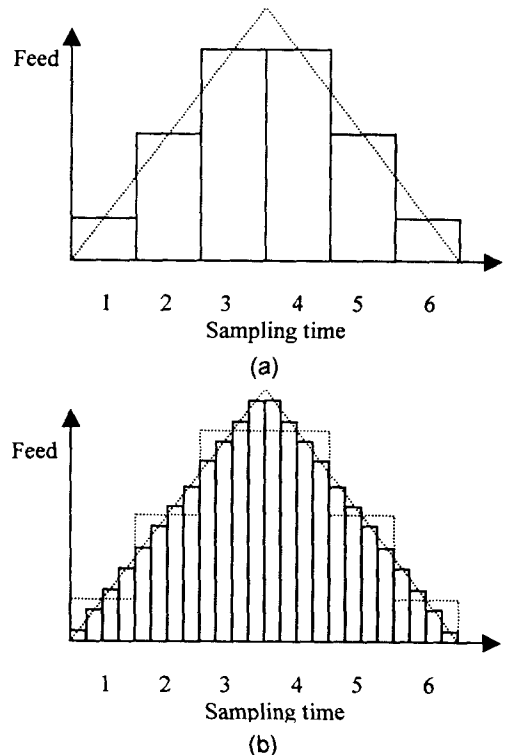
< Fig. 1> Proposal software architecture of motion control

<그림 1>은 제안된 모션 제어부의 구조를 나타내고 있다. 공구 경로 생성부로부터 각 블록에 대한 이송 거리와 이송 속도 등을 입력 받기 위하여 다중 블록 버퍼를 가지고 있다⁽¹⁰⁾. 1 단계 모션 제어부는 이 다중 블록 버퍼에 지령된 이송 블록들에 대하여 보간전 가감속을 통한 선독 알고리즘을 적용하며, 설정된 실행주기 간격으로 이송할 거리량을 구하여 두 번째 다중 블록 버퍼에 지령한다. 두 번째 다중 블록 버퍼는 첫 번째의 다중 블록 버퍼 보다는 간단한 구조를 가진다. 각 축의 이송량과 이송속도 등으로 구성되어 있다.

2.2.2 단계의 모션 제어 루프

일반적인 CNC의 모션 제어 루프에는 상위 시스템으로부터 지령된 위치량과 이송속도를 모션 제어 루프에서 실행주기 동안에 이송될 위치량을 구하여 구동 시스템을 제어한다.

단일 제어 루프는 구동 시스템을 실행주기 동안에 정밀 제어하면서 최적의 절삭 이송속도를 계산하고 실행주기당 이송할 위치 이송량을 구하는 것은 불합리하다. 실행주기는 절삭가공의 정밀도와 직접적으로 관계가 있으므로 이를 한 없이 크게 할 수도 없으며, 또한 최적의 절삭 이송속도의 계산 시간이 실행주기 시간을 넘지 않아야 한다.



<Fig. 2> Results of two step motion control loops: a)Rough velocity profile b)Detail velocity profile

선독 알고리즘을 적용함에 있어서 최적의 절삭 이송속도를 구하기 위해서는 계산상 많은 시간을 요구하므로 높은 시스템의 성능을 요구한다. 하지만 시스템 성능은 한계가 있으므로 이를 극복하기 위하여 본 논문에서는 2 단계의 모션 제어 루프를 제안한다. 첫째 단계의 모션 제어 루프에서는 각 블록마다 최적의 블록 이송속도를 계산하고, 설정된 실행주기 동안에 이송할 각 축의 거리량을 구하여 둘째 단계와 연결된 다중 블록 버퍼에 출력한다. 둘째 단계의 모션 제어 루프에서는 첫째 단계로부터 주어진 다중 블록 버퍼의 각 축의 이송량을 다시 둘째 단계의 실행주기 간격으로 세분화

여 구동부에 최종적으로 출력한다.

<그림 2>은 두개의 모션 제어 루프의 출력을 나타낸 것이다. <그림 2>-(a)는 첫째 단계로부터 생성되는 근사적 속도 프로파일(rough velocity profile)을 보인 것이고, <그림 2>-(b)는 둘째 단계로부터 출력되는 상세 속도 프로파일(detail velocity profile)을 보인 것이다.

3. 고속가공을 위한 선독 알고리즘

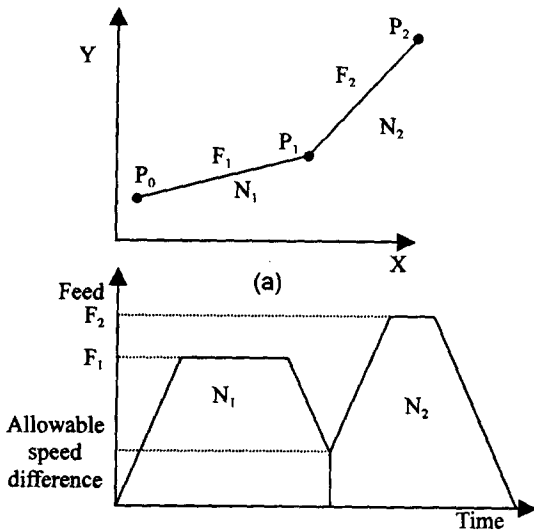
고속 가공을 위한 선독 알고리즘을 적용하기 위해서 본 논문에서는 모션 제어부를 2단계 모션 제어 루프로 나누고, 지령 오차를 없애기 위하여 보간전 가감속을 실행한다.

3.1 보간전 가감속

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

보간후 가감속은 이송량, 이송속도에 대하여 먼저 각 축별로 이송량과 이송속도를 분배하고 이를 바탕으로 하여 각 축별로 가감속 프로파일을 생성한다. 따라서 자동 가감속이 일어나는 절삭 가공에서는 가감속 구간인 두 블록의 교차점에서 윤곽 오차가 발생하게 되고 원호와 같은 형상을 가공할 때에 가감속 방법(직선형, 지수형, 파라볼릭형 등)과 원호의 반경과 이송 속도 등에 따라 경로 오차를 갖는다⁽⁶⁾. 또 감속에 필요한 거리보다 짧은 블록이 연속하여 있는 경우 가공속도에 제약을 가져 오게 된다. 고속가공을 수행하고자 하는 제어 시스템에서는 이는 치명적인 제약조건이 되며 설정된 이송속도에 도달하지 못한다⁽⁹⁾.

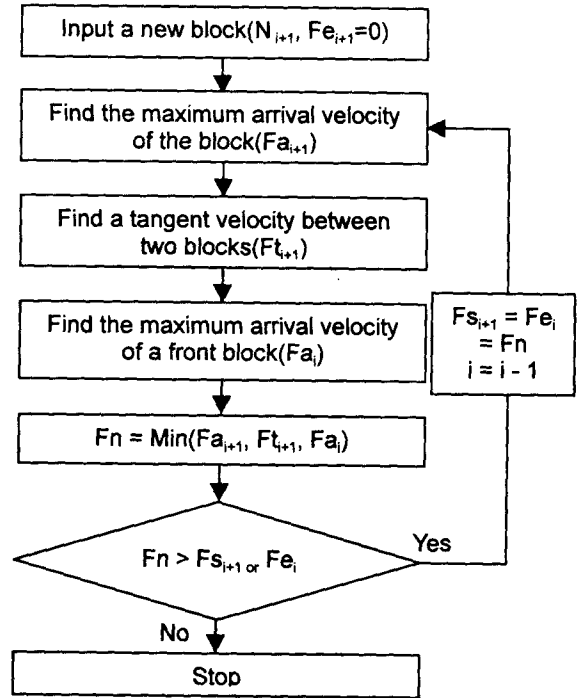
따라서 고속가공을 수행하기 위해서는 이러한 가감속 구간에서 발생하는 윤곽오차를 없애고 새로운 고속가공 알고리즘을 적용할 수 있는 보간전 가감속을 수행한다.



(b)
< Fig. 3> Example of acceleration/deceleration before interpolation: a) Command path b) Velocity profile

<그림 3>은 보간전 가감속의 예를 보이고 있다. 보간전 가감속은 지령된 이동량과 이송 속도로 먼저 가감속 프로파일을 생성한 후에 이것을 각 축별로 이송량을 분배한다. 각각 이송량과 이송 속도를 가진 두개의 선독 블록이 시간의 축에서 상호 교차하지 않게 가감속 프로파일이 만들어진다. <그림 3>-(b)에 나타난 것처럼 두 블록 사이의 지령에 의한 오차는 전혀 발생되지 않는다. 두 블록의 허용 오차 차이(allowable speed difference)는 기계의 이송 상태를 고려하여 적절한 값을 설정한다⁽⁹⁾.

3.2 미소 블록의 최적 속도 구하기



<Fig. 4> Getting velocity of start and end point between blocks

3 차원 자유곡면과 같은 형상에서 생성된 NC 데이터는 미소 블록들로 이루어져 있으므로 이를 최적의 가공속도를 만들기 위하여 본 논문에서는 보간전 가감속을 바탕으로 하여 선독 알고리즘을 적용한다.

<그림 4>은 미소 블록이 다중 블록 버퍼에 입력될 때 해당 블록들에 대하여 각 블록의 끝점(속

은 시작점)에서의 최적의 속도를 구하는 과정을 나타낸 것이다. 새로운 한 블록이 삽입되면 가감속을 고려하였을 때 그 블록의 최대 도달 속도($F_{a,i+1}$)를 구한다. 삽입된 블록과 바로 전 블록간의 관계에서 접선 속도($F_{t,i+1}$)를 구하고, 전 블록의 시작점의 속도를 기준으로 가감속을 고려하여 최대 도달 속도($F_{a,i}$)를 구한다.

계산된 3 개의 속도중 가장 낮은 값을 선택하여 전 블록의 끝점의 속도와 비교하여 더 커면 전 블록의 끝점(새로운 블록의 시작점)의 속도로 설정한다. 만약 두 블록간의 코너에서의 속도가 바뀌게 되면 전 블록들의 속도도 바뀔 수가 있으므로 선속 알고리즘을 계속 적용하여 두 블록간 코너의 속도를 재 설정한다.

3.2.1 최대 도달 속도 구하기

새로운 블록이 다중 블록 버퍼에 삽입되면 항상 그 블록 시작점과 끝점의 이송 속도는 모두 0이다. 물론, 현재 새로 삽입된 블록의 바로 전 블록의 끝점의 이송 속도도 0으로 설정 되어 있다. 왜냐 하면 어떤 경우에도 모든 블록이 종료되었을 때는 축 이송이 정지 하여야 하기 때문이다.

삽입된 블록의 시작점(또는 전 블록의 끝점)은 가감속 값과 지령 속도, 지령 위치량을 고려하여 도달 가능한 최대 속도를 구한다. 식 (1)은 직선형 가감속을 사용하여 삽입된 블록의 최대 도달 가능 속도 값을 구하는 식이다.

$$F_{s_{max}} = \sqrt{F_e \times F_e + 2 \times Acc \times Len} \quad (1)$$

단, $F_{s_{max}}$: 블록의 시작점의 최대 속도,

F_e : 블록의 끝점의 속도,

Acc : 지령명령이 있는 축중 가장 작은 가속도,

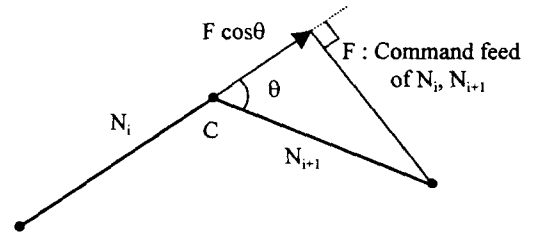
Len : 블록의 길이.

3.2.2 선후 블록의 교차점에서 접선속도 구하기

새로운 한 블록이 추가되었으므로 새로운 블록과 전 블록의 지령된 속도를 고려하여 두 블록의 교차점에서의 접선속도를 구한다. 제어하고자 하는 모든 축은 각각 허용 속도량이 있는데, 두 블록간의 지령된 모든 축의 두 블록의 교차점에서의 허용 속도량을 만족할 수 있는 접선속도를 구한다.

본 논문에서는 선 블록의 접선 방향에 대한 후 블록의 백터 성분을 가지고 두 블록의 교차점에서 접선속도를 구한다. <그림 5>은 선후 블록간의 교차점에서의 허용 속도를 구하는 것을 나타낸 것이다. 선 블록과 후 블록에 주어진 절삭속도가 F 일 때, 선 블록의 진행 방향으로의 후 블록의 성분은 $F \cos \theta$ 가 된다. 그런데 두 블록의 교차점 C 점을 전후로 두 실행주기 즉, N_i 의 실행주기의 이송속도는 F 이고 다음 실행주기의 속도는 $F \cos \theta$ 이

로, 두 이송 속도의 차를 실행주기로 나눈 것이 가감속이 된다. 식 (2)는 이를 정리한 것이다.



<Fig. 5> Finding a permitted velocity between two blocks

$$F_{s_{tan}} = \frac{Acc \times T_s}{1 - \cos \theta} \quad (2)$$

단, $F_{s_{tan}}$: 블록의 시작점의 접선 속도,

T_s : 제어 루프의 실행주기,

θ : π -선후 블록이 이루는 각.

C 점에서의 접선속도는 각 축의 가속도와 실행주기에 비례하고, 두 선후 블록이 이루는 내각에 반비례한다. 두 블록이 한 직선운을 이루는 경우는 값이 불능이 되므로 절삭속도 F 를 그대로 적용한다.

3.2.3 전 블록의 최대 도달 속도 구하기

새로 삽입된 블록의 전 블록은 이미 시작점과 끝점의 이송속도를 가지고 있다. 전 블록의 끝점의 새로운 절삭속도 값을 구하려 하기 때문에 현재 시작점의 절삭속도를 기준으로 주어진 가감속을 고려하여 끝점의 최대 도달 속도를 구한다. 식 (3)은 전 블록의 끝점에서의 최대 도달 속도를 구하는 식으로 식 (1)과 비교할 때 단지 기준이 되는 속도 값만 바뀔 수 있다.

$$F_{e_{max}} = \sqrt{F_s \times F_s + 2 \times Acc \times Len} \quad (3)$$

단, $F_{e_{max}}$: 블록의 시작점의 최대 속도,

F_s : 블록의 시작점의 속도,

Acc : 지령명령이 있는 축중 가장 작은 가속도,

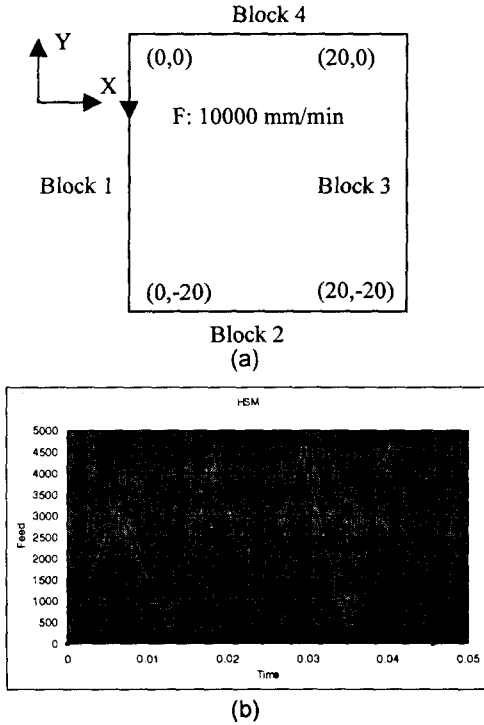
Len : 블록의 길이.

4. 선속 알고리즘의 검증

4.1 직각 블록들의 절삭 가공

절삭 가공에 있어서 가장 축의 이송을 잘 표현할 수 있는 것은 단축 이송으로 이루어진 직각 블록들의 경우이다. 본 논문에서도 서로 다른 단축으로 이루어진 절삭경로에 적용하여 두 블록의 교

차점에서 각 축의 움직임을 확인한다.

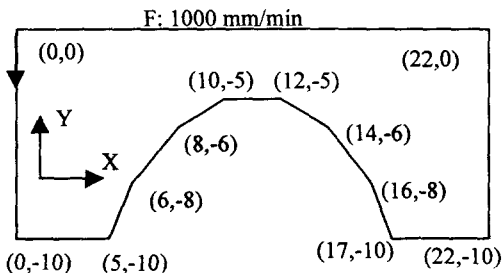


<Fig. 6> Generating the acc/dec profile of blocks having a right angle: a) Tool path b) Velocity profile

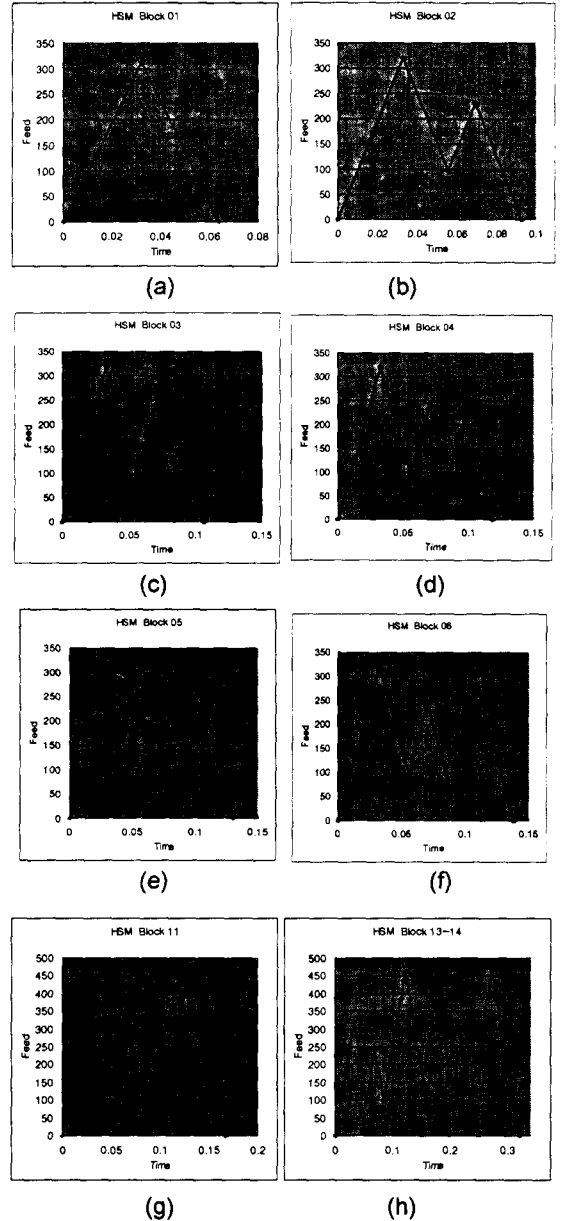
<그림 6>은 4 개의 블록으로 이루어진 직선 경로에 선속 알고리즘을 적용하여 얻은 가감속 프로파일을 표시한 것이다. 각 블록의 길이는 20mm 이고, 절삭이송 속도는 10000mm/min 이다. 단축 직각 이송의 경우 두 블록의 교차점 사잇각이 직각이기 때문에 대부분의 경우 코너에서 절삭속도는 허용 속도차(allowable speed difference)로 주어진다. 허용 속도차는 파라미터로 주어진 값이다. 여기서는 500 mm/min 로 설정하였다.

4.2 미소 블록들의 절삭 가공

미소 블록들로 이루어진 가공 경로가 있을 때, 고속가공 알고리즘을 적용하여 속도 프로파일을 생성하였다. <그림 7>은 속도 프로파일을 생성할 공구 경로를 표시한 것이다.



<Fig. 7> Tool path for generating a velocity profile



<Fig. 8> Example of generating a velocity profile

<그림 7>의 공구 경로는 절삭속도가 1000 mm/min 이므로 5 개의 긴 블록들과 7 개의 미소 블록으로 되어 있다. 3 개의 직각 교차점을 형성하고 있으며, 다른 블록들은 반 원을 보간한 형상을 취하고 있다. 허용 속도차는 100mm/min 으로 설정하였다.

<그림 8>은 <그림 7>의 공구 경로가 한 블록씩 선속 알고리즘에 적용하였을 때의 각각의 속도 프

로파일을 보인 것이다. <그림 8>-(a),(b),(c)는 직각 이거나 거의 직각에 가까우므로 허용 속도차가 교차점의 속도값으로 사용되었다. <그림 8>-(c)와 <그림 8>-(d)를 비교하여 보면 4 번째 블록이 삽입됨으로써 3 번째의 꼭지점의 속도값이 더 올라간 것을 알 수 있다. 이것은 3 번째 블록과 4 번째 블록이 이루는 내각이 크므로 속도값을 더 올릴 수 있는 것이다. 4~9 번째까지의 블록도 모두 내각이 크므로 절삭이송 속도값을 계속 올릴 수 있어, <그림 8>-(g)와 같이 된다. 그리고 이후의 블록들은 모두 직각을 이루는 데, 이는 허용 속도차가 교차점의 절삭 속도값으로 결정된다.

5. 결론

본 논문에서는 금형 가공과 같은 미소 블록이 많은 경우에 고속가공을 구현하기 위하여 모션 제어부의 구조와 보간전 가감속을 바탕으로 한 선속 알고리즘을 제시하였다.

모션 제어부는 고속가공을 위한 선속 알고리즘을 적용하기에 적합한 2 단계 모션 제어부를 제안하였다. 모션 제어부에 입력되는 블록들에 대하여 선속 알고리즘을 적용하기 위하여 많은 시간이 소요된다. 하드웨어 시스템의 성능을 향상시키는 것만으로는 한계가 있으므로 첫째 단계에서 선속 알고리즘을 수행하여 근사 보간을 한 후, 상세 보간을 하여 더 정밀가공을 할 수 있도록 하였다.

선속 알고리즘은 보간전 가감속을 바탕으로 하여 새로운 블록이 입력될 때마다 이미 입력되어 있는 블록들에 대하여 블록의 끝점(또는 시작점)에서 절삭 속도를 재 설정한다. 새로운 블록이 삽입되면, 가감속과 지령 속도를 고려하여 최대 도달 속도를 구한다. 삽입된 블록과 전 블록과의 교차점에서의 접속 속도를 구한다. 그리고 전 블록의 시작점을 기준으로 하여 최대 도달 가능한 속도를 구한 후, 세 개의 속도 중 가장 낮은 값을 선택하여 전 블록의 끝점(또는 삽입된 블록의 시작점)의 속도값으로 설정한다.

제안된 선속 알고리즘은 미소 블록이 많은 절삭 가공에 있어서 가공 정밀도는 물론 가공 시에

발생할 수 있는 가공 속도의 향상을 가져왔다.

참고문헌

1. 고태조, "금형산업에서의 고속가공 기술", '99 정밀가공부문 기술세미나, pp. 43~58, 1999.
2. U. Heisel, M. Gringel, "Machine tool design requirements for high-speed machining", Annals of the CIRP, Vol. 45, No. 1, pp. 389~392, 1996.
3. 이기우, 노상도, 신동욱, 한형상, 권성오, 안용준, "절삭부하를 고려한 NC 코드 후처리시스템 개발", 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp.347~352, 1999
4. 이철수, 이재필, "지령 경로의 왜곡에 의한 고속가공 경로의 생성에 관한 연구", 한국공작기계학회지 제 7 권 제 5 호, pp.15~28, 1998
5. 김용현, 고성림, "엔드밀의 코너 가공시 가공 정밀도 향상에 관한 연구", 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp.1138~1141, 1999
6. 류제국, "선반용 CNC의 샘플링 보간법을 적용한 스플라인 보간기", 조선대학교 석사학위논문, 1995
7. 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.
8. 박상봉, 이형국, "고속가공 기술의 노하우-운동 기술", 금형저널, 통권 182 호, pp. 156~174, 2/2000.
9. FANUC LTD., "FANUC Series 15-MMODEL B For Machining Center Operator's Manual(Programming)", 1994.
10. 이철수, 이재필, "실시간 제어에 의한 개방형 CNC 소프트웨어 모듈의 설계 및 구현", 한국공작기계학회지 제 8 권 제 5 호, pp.54~62, 1999