

스텝핑 모터를 이용한 2축 윤곽제어 장치 개발에 관한 연구

김 고 형 * 이 기 설 **

*** 영남대학교, 기계공학과

Development of two axis contouring control system based on stepping motor

Kyo H. Kim and Ki S. Lee

Yeungnam University

Abstract

Microprocessor-based software DDA interpolator is developed and applied to two axis contouring control of X-Y table. Developed assembly program is composed of feedrate, linear and circular DDA interpolation routines. Reference-pulse type of open-loop stepping motor control system in which the micro-computer produces a sequence of reference pulses for each axis of motion is adopted.

To test performance of the developed program, X-Y table drive system based on stepping motor and shaft encoder is designed. Contouring error of the system in linear and circular path is within $\pm 0.2\text{mm}$.

1. 서 론

수치제어(numerical control:NC)에서 공구와 가공물 사이의 상대운동은 각 축을 독립적으로 구동시켜 줌으로써 얻을 수 있으며, NC에서 축 구동에 필요한 신호는 기계제어장치(machine controller unit;MCU)에서 보내어 준다. 기계제어장치는 가공부품의 기하학적 형상 및 공구 이송속도를 입력으로 하여 공구 이동에 필요한 보간과정, 이송 및 가감속 제어를 수행한다. 보간과정은 몇 개의 주어진 점으로부터 가능한한 원만한 곡선을 발생시키는 과정으로 공구의 도중경로와 이송속도차 고려되는 윤곽제어(contouring control)의 경우에는 이 과정이 꼭 필요하다. NC에서 보간과정은 보간자(interpolator)에 의하여 이루어지며, 보간자는 구조에 따라 보간계산을 고정된 전자회로에 의해 수행하는 하드웨어 보간자와 컴퓨터 프로그램에 의해 수행하는 소프트웨어 보간자로 나눌 수 있다. 재래의 NC에서는 보간과정 및 이송율 계산을 하드웨어에 의존해 왔으나 근래 CNC(computer numerical computer)의 등장과 함께 점차 기계제어장치에서 하드웨어에 의한 의존도가 낮아지는 추세에 있다. 본 연구에서는 가공부품 데이터 처리, 이송율 계산 및 보간계산은 마이크로컴퓨터를 이용한 소프트웨어 방식을 사용하였다.

소프트웨어 보간 알고리즘으로는 계수형 미분해석기(Digital Differential Analyser, DDA)방식, 대수연산(Stairs approximation)방식 및 최소오차경로 추적(Direct search)방식들이 있다. 윤곽제어에서 가장 중요한 것은 경로에서 공구 이송속도의 균일성이며, 특히 절삭가공에서 공구의 이송속도의 균일성은 직접적으로 가공면의 표면조도에 영향을 미치기 때문에 본 연구에서는 위의 세가지 보간 알고리즘 가운데서 가장 속도의 균일성이 좋은 DDA 방식을 채택하였다. 그리고 윤곽제어에서 가공경로는 대개 직선과 원호 구간의 조합으로 구성되어질 수 있기 때문에, 본 연구에서는 직선 및 원호 보간만 고려하기로 한다.

2축 윤곽제어를 위한 제어시스템에서 구동모터는 스텝모터를 사용하였으며, 스텝모터에서 축 구동거리 및 속도는 펄스수 및 펄스율에 비례하기 때문에 위치 및 속도 제어는 개회로 제어 방식을 택하였으며, 지령위치 및 속도와 테이블의 출력위치 및 속도를 서로 비교 검토하기 위하여 X 및 Y축에 디지털 엔코더를 사용하여 제어시스템의 성능을 검사하였다.

2. 소프트웨어 DDA보간자

DDA 작분자에 의한 보간계산은 프로그램 수행에 의한 소프트웨어 방식이나 전용로직회로에 의한 하드웨어 방식에 의해 수행할 수 있다. DDA보간자는 적분 과정이 필요하고, 어셈블리 프로그램에 적합하기 때문에 본 연구에서는 2축 윤곽제어를 위해 소프트웨어 보간 방식을 채택하였다. Fig 1은 이송율, 직선 및 원호보간자들의 프로그램 유통도를 나타낸다. 이송율 보간자에 공급되는 외부클럭 주파수 f 는 최대 이송율수 S_0 를 최소 이동 단위로 나누어준 값이 된다. 직선 및 원호보간에 공급되는 외부클럭 주파수는 이송율 보간자에서 발생된다.

속 제어가 필요하게 된다. 관성부하에 대한 자기동 주파수의 최대치 값은 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$f_1 = \sqrt{\frac{f_s}{1 + \frac{J_s}{J_R}}} \quad (1)$$

여기에서, f_s : 모우터의 최대자기동 주파수

J_R, J_L : 로우터 및 부하의 관성 모우먼트

Fig.2의 제어시스템에서 X축 스텝모우터의 관성부하가 있는 경우의 자기동 주파수의 최대치는 200PPS(Pulse per second)가 되고 Y축 모우터는 500 PPS가 된다. 즉, 본 제어시스템에서 가감속제어를 하지않을 경우 X축 및 Y축 최대이송속도는 각각 30cm/min 와 75cm/min 가 된다.

구동회로는 모우터 고정자 권선에 여자순서를 결정하는 논리회로(사이퀀서)와 전류를 공급하는 전력제어회로(변환기)로 구성되어 있다. 논리회로는 스텝모우터 전용 컨트롤러 PMM8713을 사용하여 드라이버 회로를 구성하였다. 이 IC는 C-MOS이며 18VDC의 광범위 전원으로 사용할 수 있다. 4상 모우터에서 θ_c , E_A 및 E_B 단자의 입력설정에 따라 4상여자나 3-4여자방식을 설정할 수 있으며, 본 제어시스템에서는 메모리과가 우수하고 토오코변동이 적어 보다 안정화된 회전특성을 얻을 수 있는 4상 여자방식을 택하였다. 소프트웨어 보간자의 출력신호에 따라 스텝모우터가 일정위치 및 속도로 구동되는지의 여부를 확인하고 X-Y테이블의 자료 설정을 위하여 리드나사의 끝에 엔코우드를 부착하였다. 엔코우더는 1회전당 1000개의 2상펄스와 1개의 원점 신호펄스가 나오는 광전식 인크리멘탈영을 사용하였다. 회전시 회전방향에 따라 2상신호를 정전 및 역전 신호로 변환하기 위하여 업/다운 판별 회로를 사용하였다. 2상신호 출력의 전진 및 지연신호 사이에는 각 신호의 1사이클(T)에 대하여 T/4의 위상차가 있게 되는데, 이 차는 입력속의 회전방향에 따라서 전진패턴이 되거나 지연패턴이 되어 출력된다. 2상신호A와 E에 의해 각 패턴의 에지(edge)변화를 포착하여 축의 회전방향이 반시계방향(CCW)의 경우는 업펄스를 출력하고, 시계방향(CW)의 경우는 다운펄스를 출력하도록 되어있다. 업/다운 판별회로의 출력은 속도측정과 위치검출을 위하여 6522타이머와 업/다운 카운터 회로를 거쳐 컴퓨터와 연결된다. 컴퓨터는 6502 중앙처리 장치와 48KB의 RAM 과 12KB의 ROM을 가진 마이크로 컴퓨터를 사용하였다.

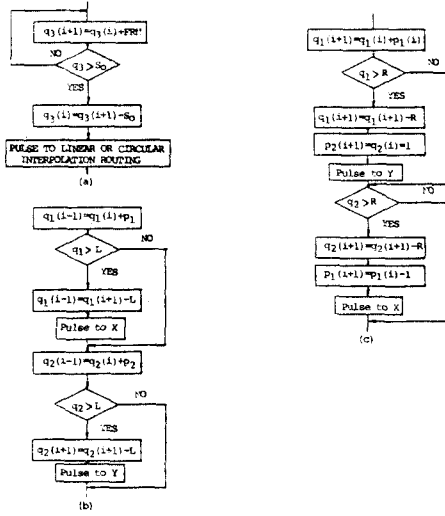


Fig.1 Flowcharts of a software DDA interpolator. (a)Feedrate suboutline (b)linear interpolator (c)circular interpolator.

3. 제어시스템의 구성

수치제어 장치에서 제어시스템은 구동축의 위치와 속도를 제어하는 역할을 한다. 각 축은 제어시스템을 구성하고 있는 보간자의 명령신호에 따라 독립적으로 구동하여 원하는 궤적을 발생시킨다. 제어시스템은 NC시스템의 성능 사양과 제작비용을 고려하여 개회로나 폐회로 시스템으로 구성된다. 본 연구에서 X-Y 테이블 구동모터는 스텝모터를 사용하였으며, 스텝모터에서 축구동거리 및 속도는 압력펄스주 및 펄스율에 비례하기 때문에 제어시스템은 개회로를 채택하였다. Fig.2는 2축윤곽제어를 위한 개회로 제어시스템을 나타낸다.

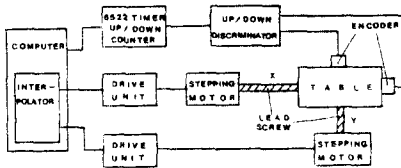


Fig.2 Schematic diagram of control system

테이블 이송은 THK 사의 리드길이 5mm의 정밀리드나사를 사용하여 얻었으며, X 및 Y축 최대이송거리는 각각 300mm와 200mm가 된다. 스텝모우터의 구조는 큰 토오코에서 작은 스텝각을 얻을 수 있는 바이파일러 권선을 가진 유니폴러 4상 하이브리드형을 사용하였으며, 스텝각은 1.8°이다. 스텝모우터는 단계적인 동작을 반복하면서 회전하므로, 관성부하의 크기에 따라 특성이 바뀐다. 관성부하가 커지면, 자기동주파수가 저아되고 자기동영역이 좁아진다. 특히 관성부하가 커질 경우 슬루우영역에서의 운전이 필요할 경우에는, 가감

4. 제어시스템 구동 및 고찰

본 절에서는 앞절에서 구성된 제어시스템을 소프트웨어 DDA 보간자를 적용하여 구동함으로써 2축 윤곽 제어 시스템의 성능을 검사하고자 한다. Fig.3는 소프트웨어 DDA 보간자를 이용한 2축 윤곽 제어시스템 구동을 위한 제어프로그램의 유희흐름도를 나타낸다. 프로그램은 크게 서비스, 이송율 보간, 직선 및 원호보간 서브프로그램들로 구성되어 있다. 프로그램은 모두 6502 CPU를 위한 어셈블리 언어로 작성되었다. 어셈블리 프로그램의 메모리 용량은 고급언어 프로그램의 반 정도밖에 초요되지 않으므로 어셈블리 언어를 사용하면 메모리 용량을 절약할 수 있고, 프로그램

프로그램 실행에 있어서도 어셈블리 프로그램의 실행속도는 컴파일된 프로그램보다 네배정도 빠르다. 특히 소프트웨어 DDA 보간자의 성능은 프로그램 실행속도에 따라 크게 좌우되기 때문에 어셈블리 언어에 의한 프로그램 작성은 필수적이라 할 수 있다. 효과적인 소프트웨어 DDA 보간 과정을 위해서는 전체 프로그램에서 보간 반복과정은 프로그램 수행중 필요할 때는 언제든지 수행되어야 하고, 기다리는 시간에는 다른 프로그램을 수행하여 전체 프로그램 실행시간을 줄이도록 하여야 한다. 이러한 방법은 컴퓨터에서 인터럽트 기능을 이용함으로써 가능하다. 어셈블리 언어는 이러한 인터럽트 기능의 수용과 외부와의 신호교환면에 있어서도 고급언어의 사용 경우보다 매우 용이한 장점을 가지고 있다.

가공품의 기하학적 정보는 블록 단위로 입력되며, 서비스 프로그램에서는 소프트웨어 DDA보간 계산에 필요한 모든 데이터들을 준비하는 과정이 된다. 이 과정에서는 기하학적 정보가 사용자와 대화형식으로 키보드에 의해 10진수로 입력되고, 입력된 10진 정보는BLU 단위로 환산되어 16진수로 메모리에 저장시키게 된다. 준비완료키가 입력되면, 첫번째 블록의 데이터들이 처리되고 마지막 블록이 처리될때까지 반복루틴이 진행되며, 블록 정보가 처리될때 인터럽트 기능에 의해 보간 프로그램이 수행된다.

스텝모우터에 의한 위치제어에는 자기동 영역에서 비교적 낮은 일정속도로 구동하는 방법과 슬로우 영역(slew region)을 이용한 고속 가감속구동 방법이 있다. 고속 가감속 구동에서는 기동시 비교적 낮은 주파수에서 서서히 가속시켜서 어느 상한 주파수로 정속구동하며, 그 후 서서히 감속시켜 위치 결정을 하게된다. 소프트웨어 방식에 의한 제어시스템에서는 하드웨어에 의한 제어방식과 다르게 가감속 구간 및 주파수 결정에 많은 시간이 소요되므로, 본 연구에서 모우터 구동방식은 자기동 영역내에서 일정속도로 구동하도록 하였다. 구동 장치의 최대이송 속도는 X 축 자기동 주파수의 최대값 200pps에 해당하는 30cm/min 가 된다. X-Y 테이블의 최소 이동거리(BLU)는 0.025mm 이므로 이송율 보간자의 외부클럭 주파수 f 는 200pps 가 된다. 외부클럭 펄스는 6522 타이머의 프리런닝 모드(free-running mode)를 이용하여 펄스를 발생시켰으며, 발생된 펄스는 보간프로그램을 수행하기 위한 인터럽트 신호로 사용된다. 인터럽트 신호에 따라 이송율 보간과정에서 출력 펄스가 발생되고, 출력펄스마다 직선 혹은 원호보간 과정이 수행된다. 직선 및 원호보간에서의 출력펄스수가 목표치와 일치되면 다음 블록의 정보를 수행하게 된다.

Fig.4 는 2축 윤곽제어 시스템의 성능검사를 위한 시험편의 기하학적 형상을 나타낸다. 시험편은 7개의 블록 데이터로 구성되며, 3개의 직선보간 구역과 2개의 원호보간 구역으로 나누어져 있다. 주어진 시험편에서 직선 및 원호 경로에서의 윤곽오차는 $\pm 0.2\text{mm}$ 정도가 되었다.

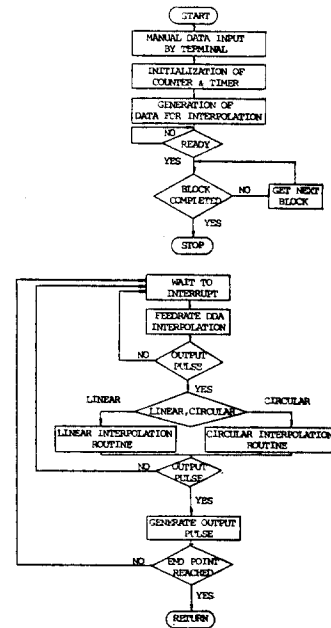
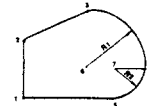


Fig.3 General flow-chart of control system



DATA POINT	X CO-ORDINATE	Y CO-ORDINATE
1	0mm	0mm
2	0	50
3	50	75
4	100	25
5	75	0
6	50	25
7	75	25

R 1 = 50 mm
R 2 = 25 mm

Fig.4 Test component

5. 결론

본 연구에서는 6502마이크로 컴퓨터를 이용하여 2축 윤곽제어를 위한 직선보간 및 원호보간 기능을 가진 소프트웨어 DDA 보간자를 개발하였다. 프로그램은 실행 시간이 단축되고, 외부신호들과 연결이 용이한 어셈블리 언어로 작성되었으며, 서비스, 이송율 보간, 직선보간 및 원호보간 서브프로그램으로 구성하였다. 개발된 소프트웨어 DDA 보간자의 성능검사를 위하여 스텝핑 모우터를 이용한 X-Y 테이블 구동장치와 제어회로를 설계 및 제작하였으며, 제어방식은 DDA 방식에 적합한 기준 펄스 방식을 택하였다. 제어시스템의 성능은 직선 및 원호경로에서 윤곽오차가 $\pm 0.2\text{mm}$ 정도 되었다.

6. 참 고 문 헌

- (1) Koren, Y., "Design of Computer Control for Manufacturing Systems" Trans. ASME, J. of Engineering for Industry, Vol. 101, August 1979.
- (2) Koren, Y., Computer Control of Manufacturing System, McGraw-Hill Book Company, 1983.
- (3) Kipiniak, W., and Quint, P., "Assembly vs. Compiler Languages," Control Eng., Feb, 1968.
- (4) Plas, J., and Blammaert, J., "A Stepping Motor Drive Assembly Especially Designed for CNC Systems," Thirteenth International M.T.D.R. Conference, Birmingham, Sept. 1972.
- (5) Vigour, H.E., "Effect of Servomechanism Characteristics on Accuracy of Contouring Around a Corner," Trans. Amer. Inst. Election Eng., Vol. 82, No.66, 1963.
- (6) Pfeiffer, T., and Derenbach, T., "Report on a Special CNC System," Fourteenth International M.T.D.R. Conference, Manchester, Sept. 1973.