

컴퓨터수치제어(CNC) 플라즈마 아아크 절단장치 개발에 관한 연구

노태정*, 나석주*, 나규환**
 (*:한국과학기술원 생산공학과, **:충원기계주식회사)

1. 서론

고밀도 에너지 빔을 이용한 플라즈마 절단법은 알루미늄, 스테인레스강 등 특수 금속의 가공에도 사용 가능하고, 부품의 정밀도 및 가공속도 면에서 유리하므로 현장에서 많이 요구되고 있는 공정이다. 컴퓨터연용 설계, 제조(CAD/CAM)를 통한 절단공정의 자동화는 생산성의 향상 및 제품의 고급화를 위해서도 필연적으로 요구되는데, CAD에 의하여 얻어지는 절단형상에 대한 정보가 수치제어(NC) 데이터 변환장치를 통하여 NC언어로 구성된 파트 프로그램(part program)으로 변환되며, 이것의 입력으로 효율적이고 고속의 절단이 가능한 컴퓨터수치제어(Computer-Numerical Control:CNC) 플라즈마 절단시스템의 개발에 많은 관심을 보이고 있다.

본 연구에서는 플라즈마 절단공정에 효과적으로 적용될 수 있는 CNC 컨트롤러인 마이크로 컴퓨터의 선정, 보간기(interpolator) 알고리즘 및 속도제어용의 소프트웨어 프로그램 개발, 디지털 서어보 제어기구 설계, 2축 이송장치 설계, 제작 및 마이크로 컴퓨터와 제어기구의 연결등을 통하여 가격이 저렴한 CNC 플라즈마 자동절단 장치를 개발하였다.

2. 컴퓨터 수치제어 플라즈마절단 시스템 개발

본 연구에서 개발한 2축 이송장치는 백/피니언 구동방식으로 최소 지령단위(BLU)는 0.003665 mm이며, 일반적인 절단시스템의 0.01 mm 에 비하여 매우 작은값으로서 제어의 관점에서 볼때 충분한 위치분해능 및 정밀도를 가진다. 전체 제어시스템은 Fig.1에서 보는바와 같이 크게 CNC 컨트롤러인 마이크로컴퓨터와, 편차카운터, DA 변환기(digital-to-analog converter) 및 서어보 모터 증폭기등으로 구성된 디지털서어보 제어기구와, 회전속도계 및 엔코더를 부착한 서어보 모터로 구성되어 있다.

여기에서 CNC용 마이크로 컴퓨터는 Motorola-68000 CPU가 내장되었고, 이것은 빠른 시스템 클럭(=7.8336 MHz)과 32비트 연산이 가능하므로 부동점 처리기(FPU) 없이 $[-2^{31}, 2^{31}-1]$ 범위의 매우 큰 정수값을 빨리 연산할 수 있고 비트연산에 의한 제어가 가능하므로 CNC 컨트롤러로 사용하기에 매우 적합하다. 본 연구의 CNC 컨트롤러용 소프트웨어는 파스칼(PASCAL) 및 MC68000 어셈블리어를 사용하고 MPW Tool(Ver.2.0)을 이용하여 개발하였다^{1),2)}. 마이크로 컴퓨터에 내장된 NC 언어는 준비기능, 속도기능 및 보조기능등으로 구성되어 있으며 그에 대한 내용은 Table 1 에 나타내었고, 디지털서어보 제어기구에 대한 동작은 간단하게 Fig.2 에 나타내었다.

2.1. 소프트웨어 보간기

일반적으로 보간기는 2축 이상의 구동시스템이 원하는 경로를 따라서 이송할수 있도록 필요한 지령을 내리는 것으로서, 기존의 NC시스템에서는 하드웨어 보간기가 사용되었는데 요즘은 마이크로컴퓨터의 발달에 따라서 가격이 저렴하고 융통성있는 소프트웨어 보간기가 많이 사용되고 있는 추세이다³⁾. 본 연구에서는 기준점방식의 소프트웨어 보간기이며 이 알고리즘은 더하기, 빼기, 비교 및 시프트(shift)연산으로만 구성되어 간단하고 처리시간이 적게 소요되는 장점을 가진다.

2.1.1. 직선 보간(Linear Interpolation) 알고리즘

실제 직선의 기울기가 0에서 1의 범위에 있고 출발점(x1,y1)에서 끝점(x2,y2)까지 직선을 따라 절단한다고 가정하자. 이때 Fig.3에서 나타낸 바와같이 출발점을 원점으로 하면 출발점(0,0)과 끝점(dx,dy)으로 되고, 여기서 dx = x2-x1 및 dy = y2-y1 이다. 따라서 s-t 는

$$s - t = 2(dy/dx)(r+1) - 2q - 1 \quad (1)$$

으로 표시된다. 임의의 i-스텝에서의 결정변수(decision value) di는 다음과 같이 표시된다.

$$d_i = dx(s-t) = 2X_{i-1}dy - 2Y_{i-1}dx + 2dy - dx \quad (2)$$

식(2)로 부터 다음 단계의 결정 변수 di+1은

$$d_{i+1} = d_i + 2dy - 2dx(Y_i - Y_{i-1}) \quad (3)$$

으로 표현된다. 이상에서 만약 di가 양수이면 다음 보간점은 Ti가 선택되며, 따라서

$$d_{i+1} = d_i + 2(dy-dx) \quad (4)$$

으로 되고, 그렇지 않으면 Si가 선택되며

$$d_{i+1} = d_i + 2dy \quad (5)$$

으로 된다.^{4,5)} 그리고 1 보다 큰 기울기를 가진 직선에 대해서도 마찬가지로 방법으로 결정할 수 있다. 파트 프로그램에 의하여 시점과 종점좌표가 입력되면 두축(X,Y)의 이송방향, 기준축 및 두축의 소요펄스수등을 결정하여 두종류의 직선보간 알고리즘에 의하여 펄스를 출력시킨다.

2.1.2. 원호 보간(Circular Interpolation) 알고리즘

원호 C를 따라서 시계 방향으로 진행할 경우는 현재 위치 Pi-1(Xi-1,Yi-1)에서 다음 보간위치 Si 와 Ti 중에서 실제 원호와의 오차가 적은 쪽을 택한다, Fig.4. 이 때 각각의 오차 D(Si) 및 D(Ti)로부터 결정 변수 di는 아래와 같다.

$$d_i = ABS[D(S_i)] - ABS[D(T_i)] = 2X_{i-1}^2 + 4X_{i-1} + 2Y_{i-1}^2 - 2Y_{i-1} + 3 - 2R^2 \quad (6)$$

여기서 d_i 가 음수이면 S_i 가 선정되고, 다음 단계의 결정변수는 식(6)으로부터 다음과 같다.

$$d_{i+1} = d_i + 4X_i + 6 \quad (7)$$

또한 d_i 가 양수이면 T_i 가 선정되고 $X_i=X_{i-1}+1$, $Y_i=Y_{i-1}-1$ 으로 되며, 다음 단계의 결정변수는

$$d_{i+1} = d_i + 4(X_{i-1} - Y_{i-1}) + 10 \quad (8)$$

이 유도된다 (4), (5), (6). 최초 결정변수 d_1 은 시작점에서 오차가 없다고 가정하면 아래와 같다.

$$d_1 = 4X_0 - 2Y_0 + 3 \quad (9)$$

이상에서 다른 경우에 대하여서도 마찬가지로 방법으로 구할수 있고, 파트 프로그램에 의하여 원호방향, 시점, 시점과 중심점과의 거리 및 종점이 입력되면 8분원구역 및 방향, 시점, 이송방향 및 소요펄스수등을 결정하여 8가지의 원호보간 알고리즘에 의하여 펄스를 출력시킨다.

2.2. 절단속도 제어 알고리즘

임의 형상의 열절단 가공에 있어서 토오지가 절단형상의 윤곽을 따라서 주어진 선속도로 이송하는 것은 양호한 품질을 얻는데 매우 중요한 역할을 한다. 절단 선속도는 개발된 보간기의 특성에 의하여 (a)한축만 이송하는 경우 및 (b)두축 동시에 이송하는 경우의 두 가지로 구분할 수 있다. 즉 미시적으로 볼때 (b)의 경우는 펄스 한개 발생하는 시간에 두축이 동시에 1 BLU씩 이동하여 결과적으로 $\sqrt{2}$ BLU가 진행되기 때문에 한 축만 이동하는 (a)경우 보다는 선속도면에서 $\sqrt{2}$ 배 빠르다. 그러므로 두 경우에 대하여 같은 선속도를 유지하기 위하여 (b)의 경우는 (a)의 경우보다 2배 작은 속도에 상당하는 수치를 사용토록 하였다. 따라서 개발된 시스템은 절단형상의 윤곽에 관계없이 항상 주어진 선속도를 유지할수 있다 (5).

보간기의 출력펄스 주파수는, Fig.5에서 보는바와 같이, 레지스터에 절단 속도의 상당값(P_k)을 넣고서 계속 더하여 오버플로우(overflow)가 발생하면 보간기에서 1 BLU에 해당하는 펄스가 출력되고 이 때 소요되는 시간으로 속도를 제어된다. 여기서 P-레지스터의 상당 절단속도 수치, P_k 는 아래와 같다.

$$P_k = \text{round}[N_b \cdot 2^{n-1} / (60 \lambda f_c L_b / V - N_t)] \quad (10)$$

여기서, f_c : 마이크로 컴퓨터 클럭 주파수 [Hz], N_t : 보간 및 속도 제어 루틴 수행의 소요 클럭수, N_b : 속도 제어용 루틴 수행의 소요 클럭수, λ : 보정계수 (1축구동 경우 $\lambda=1$, 2축동시구동 $\lambda=1/\sqrt{2}$), V : 원하는 절단속도 [mm/min], L_b : 최소지령단위 [mm], n : 레지스터의 비트수 이다.

2.3. 절단폭(Kerf-width) 및 백래시(Backlash)의 보정

플라즈마 아아크 절단등과 같은 열절단에서 원하는 형상을 절단할때 실제로는 절단폭을 고려하여 절단폭 만큼 여유를 두어야 하는데 그 보정에 관한 기본 알고리즘은 논문 [5]에 나타나있다. 그리고 백래시 현상은 토오치를 부착한 이송장치의 방향전환시 피니언(pinion)과 랙(rack)의 틈새에 의하여 모터에 직결된 피니언은 구동되나 토오치의 실질적인 이동이 없으므로 발생된다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 마이크로 컴퓨터에 백래시 값을 입력시켜 소프트웨어적으로 융통성있게 보정해주는 방법을 사용하였다.

3. 절단 실험 및 결과

개발된 자동절단 장치를 사용하여 절단 토오지가 1000 mm/min의 속도로서 Fig.6의 절단형상에 대한 2.0mm의 절단폭 보상을 한 경로(path)를 따라서 움직이면서 절단하도록 Table 2의 파트 프로그램을 입력하였으며, 절단한 후의 절단형상을 Fig.7에 나타내었고 육안으로 관찰하여 절단 품질이 양호하였으며, 또한 절단시스템의 구동도 원활함을 알수 있었다.

4. 요약 및 결론

1) 개발에 사용된 마이크로 컴퓨터는 내부적으로 32비트 연산이 가능하여 매우 큰 절단형상에도 제약을 받지 않으며, 비트연산이 가능하여 제어가 용이하므로 CNC 컨트롤러로서 적합하였다. 임의의 절단형상을 절단시 위치 및 윤곽제어가 가능하도록 기존펄스 방식의 지선보간 및 원호보간의 기능을 갖는 소프트웨어 보간기를 개발하였고, 위치 분해능을 0.003665mm로 하였을때 속도 분해능 약 5mm/min에서 5000 mm/min 절단이송속도까지 가능하였다.

2) 소프트웨어적으로 절단속도를 정밀하게 제어하고 절단형상에 관계없이 절단경로를 따라서 주어진 절단선속도가 유지되도록 하였으며, 이것은 열절단등과 같은 공정에서는 양호한 품질을 얻는데 매우 중요한 것이다. 개발된 자동절단장치를 사용하여 시험절단한 결과 절단성능이 양호함을 알수 있었다.

3) 본 연구에서 구성한 디지털서보 시스템은 엔코더에 의하여 이송장치의 위치를 피이드백하여 위치 및 윤곽을 제어하고, 또한 회전속도계에 의한 모터의 속도를 피이드백하여 속도 제어뿐만 아니라 전체 제어시스템을 안정하게 하였다. 랙(Rack) 및 피니언(pinion) 구동방식은 위치 정밀도는 약간 떨어지나 제작가격이 저렴하므로 플라즈마 절단공정에 적합하였으며, 특히 대형장치의 구성에 확대적용이 용이할것이다.

참 고 문 헌

- 1) Macintosh Programmer's Workshop Reference (Version 2.0), Apple Computer, July, 1987.
- 2) Macintosh Family Hardware Reference, Addison-Wesley, 1987.
- 3) Y.Koren and O.Masory: Reference pulse circular Interpolatos for CNC systems, Trans. of ASME, J. of Eng. for Ind., Vol.103, pp.131-136

- 4) J.D.Foley and A.Van Dam: Fundamentals of Interactive Computer Graphics, Addison-Wesley, 1982.
- 5) S.J.Na, S.W.Park, S.H.Cho and T.J.Lho: A Microprocessor-based Shape and Velocity Control System for Plasma-Arc Cutting, Welding Journal, Feb., 1988, pp.27-33.
- 6) Bresenham, J.: A linear algorithm for incremental digital display of circular arcs, Communications of the ACM, Vol.20, 1977, pp.100-106

후 기

본 연구 내용은 상공부에서 시행한 88년도 공업기반기술 개발사업의 일환으로서 수행한 결과입니다.

Table 1. NC-code_list

code	function		
G-code	G00 G01 G02 G03	positioning(rapid traverse) linear interpolation circular arc interpolation(CW) circular arc interpolation(CCW)	
	G04	dwel time setting(--. sec.)	
	G40 G41 G42	Kerf-Width compensation off Kerf-Width compensation left Kerf-Width compensation right	
	G92	coordinate system setting	
	F-code	Fxxxx	xxxx [mm/min]
	H-code	H02 H03 H04 H05 H06 H07 H08 H09 H10	Program Stop Torch Up Torch Down Preheating On Preheating Off Cutting ON Cutting OFF Marking On Marking Off
others		Dxx.xx	kerf-width setting(xx.x mm)

Table 2. Part program of Fig.6

```

N0010 F1000
N0020 G00 X200. Y200.
N0030 G92 X0 Y0
N0040 M04
N0050 M07
N0060 G04 X5.0
N0070 G41 D2.0
N0080 G01 X0 Y100.
N0090 G01 X100. Y200.
N0100 G02 X200. Y100. I0 J100.
N0110 G01 X0 Y0
N0120 G40
N0130 M08
N0140 M03
N0150 M02

```

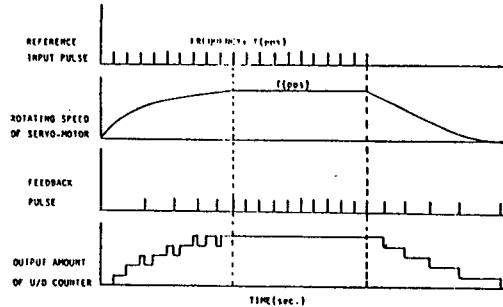


Fig.2 Digital servo control mechanism

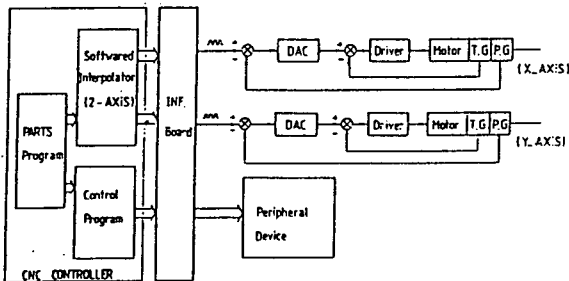


Fig.1 Schematic diagram of the reference-pulse CNC system

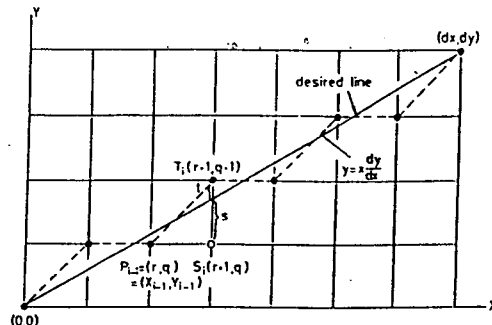


Fig.3. Line generated by the linear interpolation algorithm

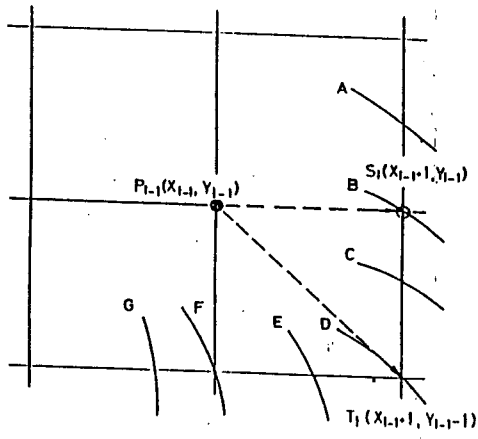


Fig.4 Decision points for the circular interpolation algorithm

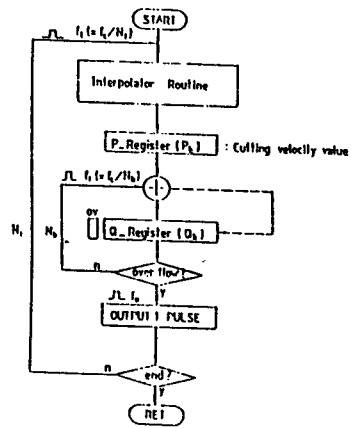


Fig.5 Flowchart of the velocity control program

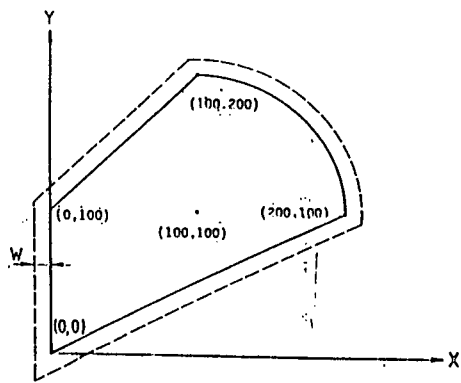


Fig.6 Configuration of the part to be cut(W:kerf-width)

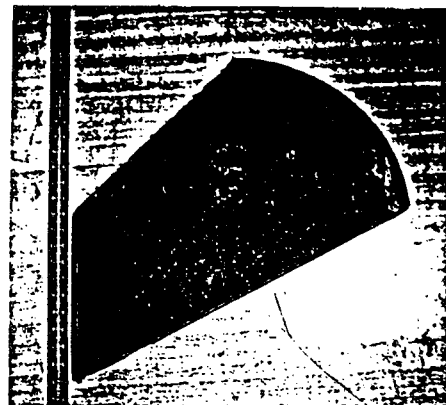


Fig.7 Appearance of the part of Fig.6 after cutting