

〈論 文〉

CAD/CAM 통합을 위한 설계도면의 자동변환

김 호 룡* · 김 양 경**

(1988년 1월 25일 접수)

Automatic Conversion of Design Drawing for CAD/CAM Integration

Ho Ryong Kim and Yang Kyeong Kim

Key Words : 2-D Design Drawing (2차원 설계도면), 3-D Object (3차원 입체), Automatic Drawing Conversion (자동도형 변환), Tool Path Generation (공구경로 발생), CAD/CAM Integration (전산기 이용설계 및 가공의 통합)

Abstract

An algorithm and its computer program were developed for the computer aided automatic conversion from 2-D design drawing, which includes arbitrary curves, to a 3-D object, and the 3-D object obtained from the developed program was used to generate the tool path of NC milling machine. The algorithm and its computer program developed were applied to several real objects for their feasibility check and showed satisfactory results. Therefore, it was proved that the algorithm and its program developed can be applied to the CAM for the mechanical parts having arbitrarily curved shapes by automatically generating its 3-D object. As a result of this study a basic theory for the integration of CAD/CAM was established which will prompt the improved quality and productivity.

1. 서 론

설계 도면은 일반적으로 3개의 기본 투상도(평면도, 정면도, 측면도)로 구성되어 있으며, 3차원 입체 도형을 정투상법으로 표현한다. 정투상법에 의해 표현된 설계 도면사이에는 일정한 관계가 있으므로 설계 도면이 의미하는 입체 도형을 파악할 수 있다.

그러나 설계 도면이 복잡한 경우에 입체 도형을 파악하는데 많은 시간과 노력이 요구되며 또한 많은 시행착오를 감수해야 한다. 이에 컴퓨터를 이용하여 입체 도형으로의 자동 변환에 관한 연구가 구

준히 수행되어 왔다.

1973년 Idesawa⁽¹⁾가 직선으로 이루어진 다면체의 경우에 한하여 설계 도면으로부터 입체 도형을 산출하는 연구를 하여 자동 변환 프로그램을 제시한 후 많은 연구가 이루어졌다. 1985년 장길수⁽²⁾는 직선으로 이루어진 다면체의 입체 도형으로의 자동 변환에 관한 수식화 과정을 유도하고, 은선을 파선으로 변환하여 입체 도형의 파악을 용이하게 하였다. 1986년 윤태수⁽³⁾는 직선으로 이루어진 다면체 뿐만 아니라 원과 원호가 포함된 기계 부품용 설계도면의 입체 도형 자동변환에 관한 연구를 발표하였다.

한편 현대의 산업계에서는 생산성을 향상시키기 위해 CAD/CAM 기술에 의한 설계 및 생산의 대량화 및 정밀화가 요구되고 있다. 따라서 최근의 연구는 이제까지 분리되었던 설계와 생산을 통합시

*정회원, 연세대학교 공과대학 기계공학과

**연세대학교 대학원

키기 위해 컴퓨터를 이용한 입체 도형으로의 자동 변환뿐만 아니라 NC 공작기계를 이용하여 기계 요소나 부품을 자동 가공하기 위한 프로그램의 개발이 진행되고 있다.

본 연구에서는 직선 및 원과 원호가 포함된 설계도면 뿐만 아니라 단순한 수식으로 표현할 수 없는 곡면 즉 선직선(ruled surface)을 포함한 기계 부품용 설계도면의 입체 도형으로의 자동 변환과, 자동 변환된 입체 도형으로부터 임의의 위치에 대한 단면을 도출하여 CAM의 기본 요소인 NC 공작기계의 공구 경로를 발생시키는 과정의 알고리즘을 개발하고 이것을 컴퓨터 프로그램화하여 산업계에 필수적인 CAD/CAM 통합을 위한 기초 이론을 확립하고자 한다.

2. 자동변환에 관한 기초이론

2.1 점의 정의

2차원 설계도면의 입체 도형으로의 자동변환 및 NC 공작 기계의 공구 경로를 발생시키는 과정에서 기초자료인 점은 Fig. 1과 같이 설계도면 상에서는 표준점(standard node), 접점(tangency node) 및 보조점(auxiliary node)으로 나누어진다. 표준점은 직선의 교점이며 접점은 직선과 곡선의 교점이다. 보조점은 다른 투상도에서의 접점을 해당 투상도에 표시한 점으로서 투상도에 의해 결정된다.

2.2 임의의 곡면 형성

기계부품 중에는 원과 원호를 제외한 여러가지 곡면을 포함하고 있다. 이러한 곡면은 단순한 수식으로 표현할 수 없는 것이 많다. 따라서 곡면을 표현하기 위해 3차 다항식 스플라인 곡선을 사용한다. 3차 다항식 스플라인 함수 $S(x)$ 는 구간 $x_i \leq$

$x \leq x_{i+1}$ 에서 3차 다항식이므로 2차미분의 선형 내삽 공식을 적분하면

$$S'(x) = S'(x_i) + (x-x_i)S''(x_i) + \frac{S''(x_{i+1})-S''(x_i)}{2(x_{i+1}-x_i)}(x-x_i)^2 \quad (1)$$

다시 2차 적분하면 다음과 같은 스플라인 함수를 얻는다.

$$S(x) = F_i + S'(x_i)(x-x_i) + \frac{1}{2}S''(x_i)(x-x_i)^2 + \frac{\{S''(x_{i+1})-S''(x_i)\}}{6(x_{i+1}-x_i)}(x-x_i)^3 \quad (2)$$

여기서 F_i 는 주어진점의 종축좌표값 즉 $F_i = F(x)_i$ 이다.

식 (2)의 $S''(x_i)$ 는, $h_i = x_{i+1} - x_i$ 라 놓으면 다음과 같은 복귀공식(recurrence formula)로부터 구한다.

$$h_{i-1}S''_{i-1} + 2(h_{i-1} + h_i)S''_i + h_iS''_{i+1} = 6\left(\frac{F_{i+1} - F_i}{h_i} - \frac{F_i - F_{i-1}}{h_{i-1}}\right) \quad (3)$$

여기서 $i=1, 2, 3, \dots, n-1$ 이다.

본 연구에서는 x_0 와 x_n 에서의 곡률(curvature)이 0이 되도록 $S''_0 = S''_n = 0$ 를 추가하여 구한 자연 스플라인(natural spline)을, 임의의 곡면을 형성하기 위해 사용하였다.

2.3 설계도면으로부터의 기초자료 작성

직선에 대한 기초자료 작성은 참고문헌 (2)의 방법에 따라 작성하였으며, 원과 원호에 대한 기초자료 작성은 참고문헌 (3)의 방법에 따라 작성하였다.

곡면의 기초자료 작성은 각 투상도에 대하여 곡면의 수, 곡면상의 점의 수, 곡면의 종류(폐곡면의 경우 내곡면일 때는 1, 외곡면일 때는 2, 그외 개

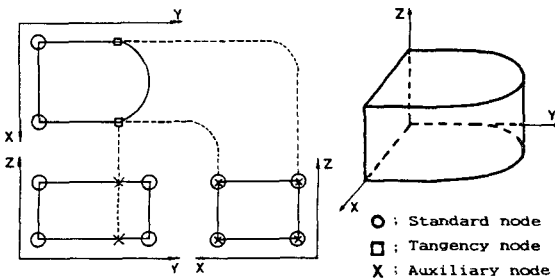


Fig. 1 Coordinates of 3-views with the kinds of nodes

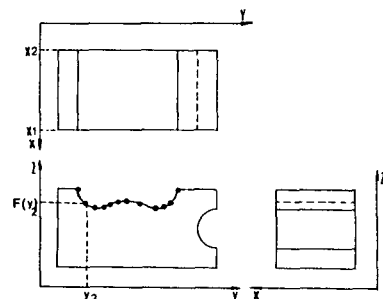


Fig. 2 Input for a curved surface in design drawing

곡면의 경우에는 임의의 수), 곡면의 상면과 하면에 상당하는 좌표, 곡면상의 점의 데이터 $[(x, f(x))$ 또는 $(y, f(y))$ 또는 $(z, f(z))]$ 의 순으로 작성한다.

즉 Fig. 2와 같이 Y-Z평면에 곡면이 있는 경우, 1(곡면의 수), 11(곡면상의 점의수), 0(곡면종류), $x_1, x_2, y_1, f(y_1), y_2, f(y_2) \dots y_{12}, f(y_{12})$ 의 순으로 작성한다.

2.4 입체 도형으로의 자동 변환

자동변환에 있어 기초과정인 꼭지점 생성, 모서리 구성, 허상제거 및 면구성에 관한 알고리즘은 참고문헌 (2)의 것을 사용하였으며 원주 구성, 원호면 구성, 은선(hidden line) 및 은면(hidden surface) 결정, 원주 및 원호면의 은면 결정에 관한 알고리즘은 참고문헌 (3)의 것을 사용하였다.

(1) 곡면 구성

곡면의 데이터가 입력되면 데이터로부터 스플라인 곡선을 구하여 곡면을 구성하는 좌표값을 산출한다. 이 때 구하여진 스플라인 곡선에 의한 모서리 2개가 한쌍을 이루어 곡면을 구성한다.

(가) 곡면의 가시곡면과 은곡면 결정

Fig. 3과 같이 곡면의 평면중 한 평면이 가시평면이면 다른 평면은 은평면이다.

Fig. 3에서 곡면의 한 평면을 기준으로 하여 면

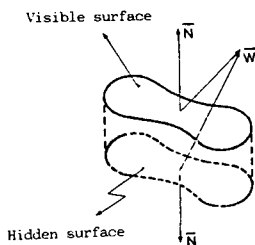


Fig. 3 Criterion for the visible and hidden surface

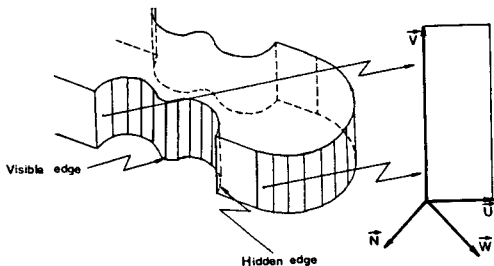


Fig. 4 Criterion for the visible and hidden edges of an arc and curved surface

에서 바깥쪽으로 향하는 방향벡터 \overline{N} 과 시선벡터 \overline{W} 의 내적으로 가시곡면과 은곡면을 구분한다.

(나) 은곡면에서 가시곡선과 부분 은곡선 결정

은곡면에서 가시곡선과 부분 은곡선의 결정방법은 Fig. 4와 같이 곡면을 여러개로 등분한 후 $\overline{N} \cdot \overline{W}$ 의 부호에 의해 결정한다. 원호와 다른점은 곡면의 형태에 따라 모선이 여러개 발생하여 모선에 의해 가시곡선이 은곡선이 되는 경우가 있다. 이러한 점은 모선과 곡선과의 교점의 관계를 이용하여 은선 처리한다.

(다) 곡면의 모선구성

모선은 모든 물체에서와 마찬가지로 가시면과 은면의 경계에서 발생하므로 이 경계가 되는 점을 구하여 연결, 모선을 구형한다.

(2) 화면 좌표계 구성

3차원 입체를 2차원 화면에 표시하기 위한 화면 좌표계의 구성은 관측점이 좌표의 원점을 향한 원근 투상법을 이용한다. 직각 좌표계에서 구해진 좌표값은 다음과 같은 단계를 거쳐 화면 좌표계로 변환시킨다.

직각 좌표계 (X, Y, Z) -구 좌표계 (X', Y', Z') -눈 좌표계 (Xe, Ye, Ze) -화면 좌표계 (SX, SY) .

3. 공구 경로 발생에 관한 알고리즘

3.1 입체 도형에서의 단면 형성

입체 도형의 단면을 구하기 위해 먼저 좌표축 방향으로 절단할 때 절단면과 입체 도형의 모서리와 교점을 다음과 같이 구한다.

XY평면에 평행한 단면 즉 Z 값이 일정한 평면의 형상을 구한다고 하면

$$\begin{aligned} (X - X_1) &= (X_2 - X_1) / (Z_2 - Z_1) (Z_{cut} - Z_1) \\ (Y - Y_1) &= (Y_2 - Y_1) / (Z_2 - Z_1) (Z_{cut} - Z_1) \end{aligned} \tag{4}$$

여기서 Z_{cut} 는 구하려는 단면의 Z 값이며, $(X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2)$ 는 절단면에 수직인 입체 도형의 모서리를 이루는 두 꼭지점의 좌표 값이다. 식 (4)로부터 X-Y 평면에 대한 단면의 구성점의 좌표값을 구하며, 이와 동일한 방법으로 Y-Z 평면, X-Z 평면에 대한 단면의 구성점도 생성한다. 위에서 얻어진 생성점으로부터 단면을 형성하기 위해서는 생성점들간의 모서리 형성 관계와 점의 성질(표준점, 접점)이 필요하게된다. 이러한 관계들은 모서리 형성 조건에 의하여 구하여지며 이 관계에

따라 생성점들을 연결하여 단면을 형성시킨다.

3.2 공구 경로 발생

단면이 형성 되면 NC 공작 기계의 공구 경로를 발생시킬 수 있다. 공구의 경로를 발생시키기 위해서는 공구의 종류와 크기를 지정해 주어야 한다. 본 연구에서는 NC 밀링 공작기계의 2차원 엔드밀 공구를 사용하여 가공하며 가공물은 정지되어 있고 공구가 반시계 방향으로 진행하는 것으로 간주하여 공구의 경로를 결정한다.

꼭지점의 각진 부분에서의 공구 경로 발생은 Fig. 5와 같이 직선으로 구성된 꼭지점에서는 직선 보간법을 사용하고 일반 스플라인과 직선으로 구성된 꼭지점에서는 원호 보간법을 사용하였다.

(1) 직선에 대한 공구 경로 발생

공구 경로의 발생시 공구의 반경만큼의 간격(offset)을 주어야 한다. 이 간격을 주는 방향은 공구진행방향(시계반대방향)의 오른쪽이어야 하며, 이것은 다음과 같이 실행한다.

먼저 공구가 시작하는 제 1 점과 제 2 점 사이의 공구 경로의 결정에 있어서 간격을 주는 방향은 제 3의 위치에 따라 결정한다. 즉 벡터 $\vec{I2}$ 와 벡터 $\vec{I3}$ 의 벡터적 $\vec{I2} \times \vec{I3}$ 이 음(-)이면 점 3쪽으로 간격을

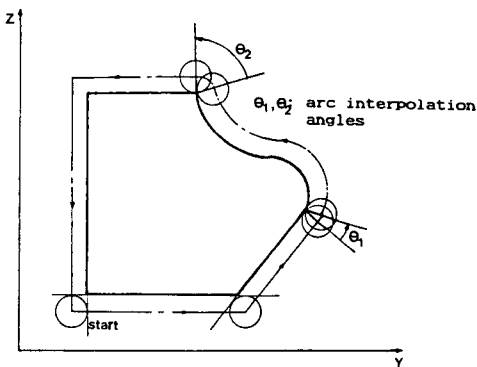


Fig. 5 Linear interpolation and arc interpolation

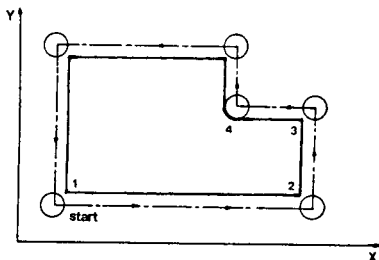


Fig. 6 Tool path generation for the straight line

주고, 양(+)이면 점 3의 반대편으로 간격을 준다. 이 방법으로 점 2와 3사이, 점 3과 4사이에 간격을 주면 Fig. 6과 같은 공구 경로를 얻게된다.

공구의 최초 시작점과 제 n번 점의 연결점의 값이 같을 경우 그 단면에 대한 공구 경로를 종료한다.

(2) 곡선에 대한 공구 경로 발생

단면상에 원이 존재하는 경우 원이 외원주일 때는 원의 반지름에 엔드밀의 반경을 더하여 원을 형성하여 공구 경로를 발생시키며, 내 원주의 경우에는 반대로 엔드밀 반경만큼을 감소시켜 공구 경로를 발생시킨다. 원호에 대해서도 같은 방법으로 공구 경로를 발생시킨다(Fig. 7).

스플라인 곡선에 대해서는 공구의 경로가 각 순간점에서 엔드밀의 반경만큼 떨어진 점이며 이 점은 각 순간점과의 가장 가까운 점, 즉 두 점 사이의 수직거리라는 점을 고려하여 스플라인 곡선의 각 점에서의 법선을 구하여 공구 반지름만큼 간격(offset)을 주어 공구 경로를 구한다(Fig. 7).

공구 반경만큼 간격이 주어진 스플라인(offset spline)곡선의 방정식은 다음과 같이 얻어진다.

$$S(x) = \{[C_{3,i}D + C_{2,i}]D + C_{1,i}\}D + F_i \quad (7)$$

여기서 $D = x - x_i, x_i \leq x < x_{i+1}$

$C_{1,i}, C_{2,i}, C_{3,i}$: 스플라인 계수

식 (7)을 함축 함수(implicit equation)로 표시하면 $\{[C_{3,i}D + C_{2,i}]D + C_{1,i}\}D + F_i - S(x) = 0$

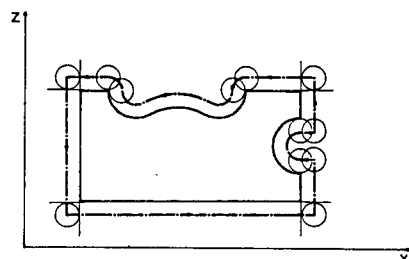


Fig. 7 Toolpath generation for the object including spline curve

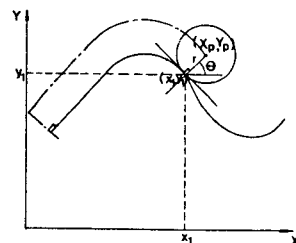


Fig. 8 Offset spline curve

$$Gx(x, S(x)) = 3C_{3,i}D + 2C_{2,i}D + 2C_{2,i}D + C_{1,i} \quad (8)$$

$$Gs(x, S(x)) = -1$$

여기서 Gx, Gs 는 식 (8)을 변수 x 와 s 에 대해 각각 편미분한 것이다.

법선의 방정식의 함축 함수는

$$Gs(x_1, S(x_1))(x - x_1) - Gx(x_1, S(x_1))(S(x) - S(x_1)) = 0 \quad (9)$$

법선의 기울기는

$$\tan\theta = \frac{Gs(x_1, S(x_1))}{Gx(x_1, S(x_1))} \quad (10)$$

따라서, 스플라인 곡선의 $(x_1, S(x_1))$ 점에서의 공구 경로 (X_p, Y_p) 는

$$X_p = X_1 + r \cos\theta$$

$$Y_p = S(x_1) + r \sin\theta \quad (11)$$

r : 공구의 반경

이다(Fig. 8).

4. 컴퓨터 알고리즘의 적용 결과

본 연구에서 개발된 컴퓨터 프로그램을 이용하여, 직선 및 곡면이 포함된 설계 도면의 입체 도형으로의 자동 변환에 대한 컴퓨터 결과는 Fig. 9 Fig. 10과 같다. Table 1은 Fig. 9의 설계 도면으로부터 입체 도형을 얻기 위한 입력 자료로서 각 점들의 상호 관계의 설정 및 자동 변환에서 필요한 입력 자료이다. 또한 Fig. 9(b)~Fig. 10(b)에는 변환된 입체 도형으로부터 단면 형상을 구하여 공구

Table 1 Input data of Fig 9(a)

View point coordinate: Rho(ρ)=500, Distance=450, Theta(θ)=0.5(rad), Phi(ϕ)=0.8(rad)					
Straight line data input					
Node No.	Top view : 8, Front view: 8, Side view: 8				
	Node number	Coordinate value	Adjacent node No.	Group number	Node nature
Top view	T ₁	1, 1	2, 7, 0	1, 2	Standard
	T ₂	5, 1	1, 8, 0	2, 3	Standard
	T ₃	5, 7	8, 6, 4	3, 5	Tangential
	T ₄	5, 9	3, 5, 0	3, 4	Standard
	T ₅	1, 9	4, 6, 0	4, 1	Standard
	T ₆	1, 7	3, 5, 7	1, 5	Tangential
	T ₇	1, 2	1, 8, 6	1, 6	Tangential
	T ₈	5, 2	2, 7, 3	3, 6	Tangential
Front view	F ₁	1, 5	2, 8, 0	1, 2	Standard
	F ₂	1, 1	1, 3, 0	2, 3	Standard
	F ₃	9, 1	2, 4, 0	3, 4	Standard
	F ₄	9, 2	3, 5, 0	4, 5	Tangential
	F ₅	9, 4	4, 6, 0	5, 6	Tangential
	F ₆	9, 5	7, 5, 0	7, 6	Standard
	F ₇	7, 5	6, 8, 6	7, 0	Tangential
	F ₈	2, 5	1, 7, 3	1, 0	Tangential
Right side view	R ₁	5, 5	2, 8, 0	1, 2	Standard
	R ₂	5, 4	1, 7, 3	2, 6	Standard
	R ₃	5, 2	2, 6, 4	2, 5	Standard
	R ₄	5, 1	3, 5, 0	2, 3	Standard
	R ₅	1, 1	4, 6, 0	3, 4	Standard
	R ₆	1, 2	3, 5, 7	4, 5	Standard
	R ₇	1, 4	6, 2, 8	6, 4	Standard
	T ₈	1, 5	1, 7, 0	4, 1	Standard

Curve data input

Circle No.	Top view : 0, Front view : 0, Side view : 0
	Radius of circle: Coordinate of center: Coordinate of top and bottom surface of cylinder nature of cylinder : 1 for internal and 2 for external cylinder
Arc No.	Top view : 0, Front view : 1, Side view : 0
	Radius of arc : 1 Coordinate of center : (9, 3) Starting angle (θ_1) and construction angle (θ_2) : 90, 270 (degree) Coordinate of top and bottom surface of cylinder : 5, 1 Nature of cylinder : 1
Arbitrary curve	Top view : 0, Front view : 1, Side view : 0
	Knot number : 24 Nature of arbitrary curve : arbitrary number Coordinate of top and bottom surface : 5, 1 Coordinate value of data point : (2.00, 5.00) (2.00, 4.91) (2.02, 4.83) (2.06, 4.66) (2.13, 4.50) (2.36, 4.23) (2.66, 4.06) (3.00, 4.00) (3.34, 4.06) (3.50, 4.13) (3.82, 4.28) (4.50, 4.40) (5.18, 4.28) (5.50, 4.13) (5.66, 4.06) (6.00, 4.00) (6.34, 4.06) (6.50, 4.13) (6.64, 4.23) (6.82, 4.43) (6.91, 4.58) (6.94, 4.66) (6.99, 4.83) (7.00, 5.00)

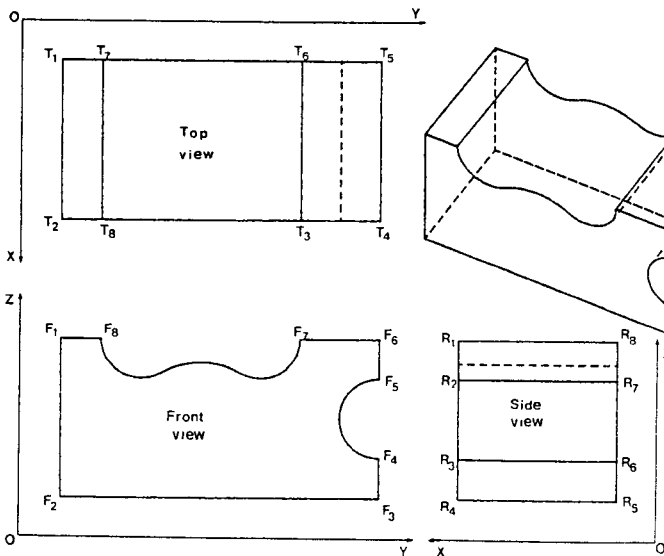


Fig. 9(a) Example of an object having an arc and arbitrary curve in front view

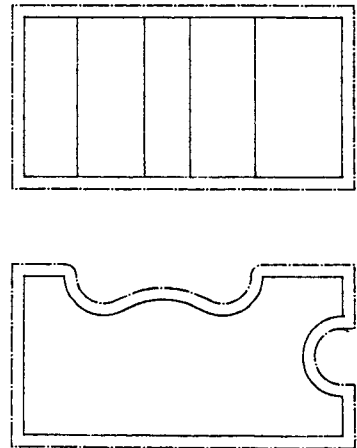


Fig. 9(b) Tool path of the Fig. 9(a)

경로를 발생 시킨 컴퓨터 결과를 도시하였다.

5. 결 론

(1) 직선은 물론, 원, 원호 및 임의의 곡면이 포

함된 2차원 설계 도면을 3차원 입체 도형으로 자동 변환시켰다.

(2) 변환된 입체 도형으로부터 단면 형상을 구하여 NC 공작기계의 공구 경로를 발생시킴으로써, 설계 도면을 가공에 직결시킬 수 있는 CAD/CAM

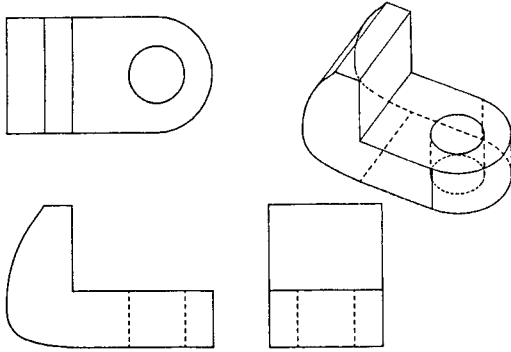


Fig. 10(a) Example of an object having an arc and circle in top view and arbitrary curve in front view

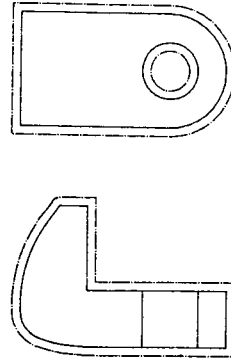


Fig. 10(b) Tool path of the Fig. 10(a)

통합에 관한 기초 이론을 확립하였다.

후 기

본 논문은 한국학술진흥재단의 1986년도 연구비 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 관계제위께 감사한다.

참 고 문 헌

- (1) Idesawa, M., 1973, "A System to Generate a Solid Figure from a Three View", Bulletin of the JSME, Vol. 16, N.92, pp.216~225.
- (2) 장길수, 김호룡 1986, "마이크로 컴퓨터에 의한 3투상도의 입체도형 자동 변환", 연세대학교 산업기술연구소 논문집, 제18권, 제 2 호, pp.241~247.
- (3) 윤태수, 김호룡 1987, "원을 포함한 설계도면의 입체도형으로의 자동 변환", 대한기계학회 춘계학술대회.
- (4) Faux, I.D., and Pratt. M.J., 1981, "Computational Geometry for Design and Manufacture", Elish Horwood, pp.154~167.
- (5) Sakurai, H., and Gossard, D.C., 1983, "Solid Model Input Through Orthographic Views", Computer Graphics, Vol. 17, No. 3, pp.243~252.
- (6) Aldefeld, B., 1983, "On Automatic Recognition of 3D Structures from 2D Representations", Computer-Aided Design, Vol. 15, No. 2, pp.59~64.
- (7) James, E.B., 1985, "NC Machine Tool Path Generation from CSG Part Representations", Butterworth and CO.Ltd., Vol. 17, No. 2, pp.69~76.
- (8) Wang, C.Y., 1981, "Shape Curve and Classification of the Parametric B-Spline Cubic Curve", IPC Business Press, Vol. 13, No. 4, pp.199~206.