

# Fuzzy set 이론을 이용한 프로그레시브 가공의 공정설계에 관한 연구

김영민\*, 김재훈(부산대 대학원 정밀기계공학과), 김철, 최재찬(부산대 기계공학부)

## A Study for Process Planning of Progressive Working by the using of Fuzzy Set Theory

Y. M. Kim, J. H. Kim (Precision Mech. Eng. Dept., PNU Graduate school),  
C. Kim, J. C. Choi (Mech. Eng. Dept., ERC/NSDM, PNU)

### ABSTRACT

This paper describes a research work of developing computer-aided design of a product with bending and piercing for progressive working. An approach to the system for progressive working is based on the knowledge-based rules. Knowledge for the system is formulated from plasticity theories, experimental results and the empirical knowledge of field experts. The system has been written in AutoLISP on the AutoCAD with a personal computer and is composed of three main modules, which are input and shape treatment, flat pattern layout and strip layout modules. Strip layout of the system is designed by using fuzzy set theory. Process planning is determined by fuzzy value according to several rules. Strip layout drawing generated in strip layout module is presented in 3-D graphic forms, including bending sequences and piercing processes with punch profiles divided into for external area. Results obtained using the modules enable the manufacturer for progressive working of electric products to be more efficient in this field.

**Key Words** : Bending sequence(굽힘가공순서), Die Layout(다이 레이아웃) Flat pattern layout(펼친도면), Fuzzy set theory(퍼지 셋 이론), Knowledge Based Rules(지식 베이스규칙), Strip Layout(스트립 레이아웃)

### 1. 서론

최근 공업 제품이 정보통신산업의 발달로 중후장대에서 경박단소화로 전환됨에 따라 프레스 금형 및 가공의 중요성은 더욱 증대되고 있으며, 그와 함께 공업제품의 고정도화, 다양화, 제품 life cycle 단축화로 인해 프레스 가공에 대한 요구도 한층 엄격해지고 있다. 이러한 요구와 생산성을 향상시키기 위하여 금형설계의 표준화가 절실하게 요구된다. 특히, 프레스 가공 중에서 형상이 복잡한 판재 제품을 만드는 프로그레시브 가공은 이러한 측면에서 표준화를 더욱 요구하고 있다. 그러나, 프로그레시브 가공의 공정 및 금형설계는 대부분 숙련된 기술자의 경험과 직관적 판단에 의해 수행되고 있다. 이에 고정도화 및 납기 단축을 위한 컴퓨터를 이용한 설계기

술의 필요성이 대두되어 숙련된 기술자의 경험을 정식화하여 컴퓨터를 이용한 설계 자동화에 관한 연구가 진행되고 있다. [1-6]

본 연구에서는 피어싱 및 굽힘 공정을 갖는 전기 제품에 대하여, 퍼지 셋 이론을 도입하여 굽힘 공정에 영향을 미치는 여러 가지 인자들을 고려하여 공정 설계 규칙을 제시하였으며, 이를 퍼지 행렬로 구성하여 퍼지값을 계산하였다. 이러한 퍼지값을 근거로 프로그레시브 가공의 공정순서를 결정하였다.

### 2. 시스템의 구성

본 시스템은 입력 및 형상처리모듈, 플랫 패턴 레이아웃모듈, 스트립 레이아웃 모듈로 구축되어 있고, 하나의 환경에서 수행되며 각 모듈들이 규칙과

데이터 베이스를 공유하게 되어 있다.

### 2.1 입력 및 형상처리모듈

입력 및 형상처리모듈은 입력과 형상처리모듈로 각각 나뉘어지는데, 입력모듈에서는 소재의 종류, 두께, 폭, 열처리 조건 등을 입력하면, 소재의 기계적 성질에 관한 정보를 데이터 베이스로부터 자동적으로 읽어 들인다.

형상처리 모듈은 굽힘 및 피어싱 공정을 갖는 제품에 대한 3차원 형상인식을 위하여 형상 데이터를 설계에 용이한 수치 리스트 형식으로 변환시키는 모듈이다. [6]

### 2.2 플레이트 패턴 레이아웃모듈

플레이트 패턴 레이아웃모듈에서는 각 굽힘라인에 대하여 데이터 베이스로부터 소재의 재질에 따른 계수와 굽힘리스트에 저장되어 있는 굽힘반경, 굽힘각도를 추출하여 굽힘 여유량을 계산한다. [6]

### 2.3 스트립 레이아웃모듈

스트립 레이아웃모듈에서는 프로그레시브 가공이 가능하도록 피지 셋 이론을 적용하여 굽힘 공정 순서를 결정하고, 연결방법을 결정하여 3차원 형상의 공정설계 도면을 자동적으로 창출시킨다.

#### 2.3.1 마더 평면(Mother plane)과 단일 평면(Single plane)의 정의

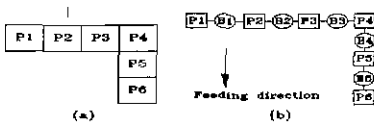


Fig. 1 Sample Part: (a) flat pattern  
(b) product structure

“Mother plane”은 두 가지의 의미로 정의된다. 하나는 굽힘 공정에서 상대적인 위치로써 고정되어 기준이 되는 평면을 의미하며, 기준이 되는 평면에 굽힘선을 따라 회전하는 평면을 “Children plane”이라 한다. 다른 하나는 굽힘 공정을 수행할 때 초기의 스트립 위치에서 변화하지 않는 평면, 즉 모든 굽힘선의 대하여 회전하지 않고 고정되어 있는 평면으로 정의되며 이 절에서는 후자의 의미로 정의된다. 이러한 Mother plane을 결정하는 방법은 1)다른 평면으로 둘러싸인 평면 2)제품의 중앙에 놓여진 평면 3)면적이 가장 큰 평면 등이 있다.

“Single plane”은 평면의 외부에 굽힘선으로 연결된 평면의 개수가 하나만 있을 경우로 정의한다. Fig. 1-(a)에서는 평면 “P1”과 “P6”을 Sing plane이라

고 부른다.

#### 2.3.2 공정설계 규칙

굽힘 가공의 공정설계에서 앞의 공정에서 굽힘된 굽힘선(Bending line)을 기준으로 다음으로 수행할 굽힘 공정의 순서를 결정한다. 따라서, 다음에 설명될 규칙들은 각 굽힘선과 굽힘선을 기준으로 회전되는 평면(Children plane)이 특정한 조건에 만족하는가에 따라 피지값(Fuzzy relationship grade)을 부여하였다. 또, 각 규칙들의 피지값이 높은 굽힘 공정이 낮은 굽힘공정보다 먼저 수행된다. 각 규칙의 피지함수를 기하학적으로 Fig. 2에 나타내었다.

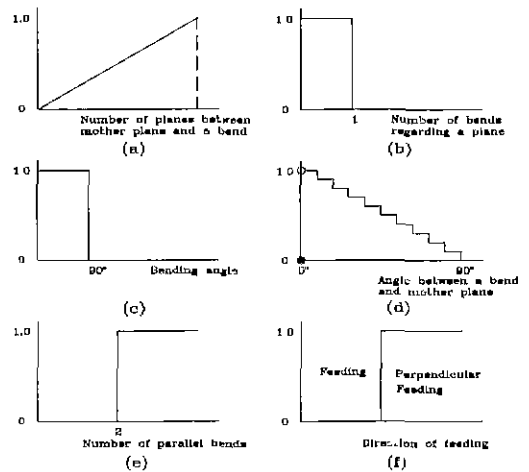


Fig. 2 Fuzzy membership function

#### 1) 마더 평면(Mother plane)과 거리규칙

굽힘 공정은 Mother plane에서 거리가 먼 것부터 먼저 수행한다. 즉, 제품의 외곽부터 중앙부로 굽힘 공정이 수행된다. Mother plane과 거리를 계산하는 방법은 굽힘과 Mother plane사이 놓여진 평면의 개수를 계산한다. 예를 들어, Fig. 1-(b)에서 “P3”이 Mother plane일 때, “B1”굽힘인 경우 “P2”평면이 하나만 있으므로 한 개이고, “B5”굽힘인 경우 “P5, P4, P3”평면이 존재하므로 세 개다. 이러한 방법으로 각 굽힘과 Mother plane사이의 놓여진 평면의 개수를 계산하여 가장 큰 개수일 때, 피지 값을 1로 하고, 나머지 개수의 피지값은 비례적으로 작아진다. Mother plane에 붙어 있는 굽힘의 피지값은 0이 된다. 이 규칙에 관한 피지함수는 Fig. 2-(a)에 나타내었다

#### 2) Single plane 규칙

제품의 가장 외곽부분에 있는 굽힘 공정은 제품에 기하학적으로 영향을 크게 주지 않으므로, Single plane에 있는 굽힘은 다른 굽힘 공정에 문제를 발생

사키지 않는다면 먼저 수행한다. 예를 들어, Fig. 1-(b)에서 Single plane은 "P1, P6"이고 이 규칙을 만족하는 굽힘은 "B1, B5"이다. 따라서, 이 규칙에 관한 "B1, B5" 굽힘의 퍼지값은 1이고 나머지 굽힘의 퍼지값은 0이다. 이 규칙에 관한 퍼지 함수는 Fig. 2-(b)에 나타내었다

### 3) 각도 규칙

굽힘 공정의 굽힘각, 즉 고정평면과 회전평면 사이의 굽힘 각도가 90° 이상일 때, 이 굽힘 공정은 한 공정 또는 그 이상의 공정으로 나누어서 수행한다. 그와 반대로 Fig. 1-(a)에서 P4, P5, P6과 같이 이웃한 평면들의 굽힘 각도가 90° 이하라고 가정한다면 B4, B5의 굽힘공정을 한번에 수행할 수 있다. 따라서, 굽힘 각도가 90° 미만인 굽힘 공정은 90° 이상인 굽힘 공정보다 먼저 수행한다. 이 규칙에서는 90° 이상의 굽힘 각도일 때는 퍼지값이 1이고 90° 미만의 굽힘 각도일 때는 퍼지값이 0이며, 퍼지함수는 Fig. 2-(c)에 나타내었다.

### 4) 평행 규칙

Mother plane에서 같은 방향에 놓여진 굽힘공정 중 굽힘선들이 평행할 경우, 각 굽힘공정의 굽힘각의 크기가 Mother plane과의 상대적인 굽힘 각도가 작을수록 굽힘공정을 동시에 수행할 수 있는 가능성이 커진다. Fig. 1-(a)에서 평면 P3을 Mother plane이라고 할 때는 Mother plane의 오른쪽에 놓여진 굽힘공정은 B3, B4, B5가 있다. 이 때, 굽힘공정 B5를 기준으로 생각하면, 굽힘공정 B4는 굽힘공정 B5와의 각 굽힘선의 방향 여현의 내적이 1이므로 평행하게 놓여 있다고 볼 수 있으며, 굽힘공정 B3은 굽힘공정 B5와의 각 굽힘선의 방향 여현의 내적이 0이므로 평행하지 않다.

또한, 굽힘공정 B5는 굽힘공정 B4만 같은 방향에 평행하게 놓여지므로 평면 P4를 가상의 마더평면(Virtual mother plane)이라고 정의하여 Mother plane 대신에 굽힘공정 B5의 굽힘각과 상대적 굽힘 각도를 계산한다.

Mother plane 또는 Virtual mother plane과 상대적인 굽힘 각도를 구하는 방법은 Fig. 3과 같이 평면과 굽힘선이 놓여진 경우, 굽힘공정 B5는 B5, B4, B3, B2, B1의 굽힘각의 총합의 절대값이다. 따라서, Mother plane과의 상대적인 굽힘각을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\theta_{n, \text{sum}} = \text{ABS} \left( \sum_{i=1}^k \theta_i \right) \quad (1)$$

여기서, k : Mother plane 또는 Virtual mother plane의 바로 앞의 굽힘선

$\theta_i$  : i 번째 굽힘각

$\theta_{n, \text{sum}}$  : n 번째 굽힘의 Mother plane과의 상대적인 굽힘각

이러한 방법으로 구한 Mother plane과의 상대적인 굽힘각은 0° ~ 9° 일 때는 퍼지값을 1, 90° 일 때는 퍼지값을 0으로 주었다. 각도에 따라 Fig. 2-(d)와 같이 퍼지값을 차등적으로 주었다.

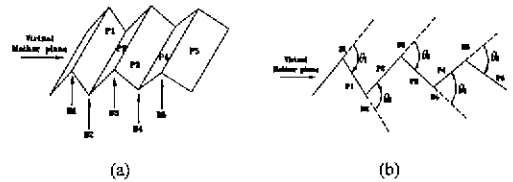


Fig. 3 Determine of virtual mother plane

### 5) 동시 가공 규칙

굽힘 공정에서 굽힘선의 방향벡터가 동일한 굽힘 공정들은 프로그래시브 굽힘의 셋업(set-up)방향도 동일하게 되므로, 굽힘의 간섭이 발생하지 않을 경우 동시에 가공을 수행할 수 있다. 따라서, 동일한 굽힘선의 방향벡터가 2개 이상 있는 굽힘 공정을 먼저 수행한다. Fig. 1-(b)에서는 굽힘공정 B1, B2, B3과 굽힘공정 B4, B5는 각각 굽힘선의 단위 방향벡터가 동일한 경우이다. 동일한 굽힘선의 단위 방향벡터가 2개 이상 있는 굽힘공정은 퍼지값이 1이고, 없는 경우는 퍼지값이 0이다. 이 규칙에 관한 퍼지 함수는 Fig. 2-(e)에 나타내었다.

### 6) 피딩 규칙

프로그래시브 굽힘에서는 굽힘 공정을 수행한 후, 제품을 진행할 수 있도록 굽힘의 방향에 따라서 상부의 스트리퍼 플레이트나 하부의 다이 플레이트에 도피자리가 필요하다. 이러한 도피자리는 굽힘강도의 감소, 굽힘 재료 손실, 소재를 고정시켜주는 부분의 감소 등을 고려할 때, 면적을 최소로 해야 한다. 도피자리의 면적을 최소로 하기 위해서는 도피자리의 면적이 크게 요구되는 굽힘 공정은 나중에 수행해야 한다. 따라서, 피딩 방향에 수직인 굽힘은 피딩 방향과 일치하는 굽힘보다 도피자리의 면적이 작으므로 피딩 방향에 수직인 굽힘 공정은 피딩 방향과 일치하는 굽힘 공정보다 먼저 수행된다. Fig. 1-(a)에서는 굽힘공정 B1, B2, B3는 피딩방향에 수직인 경우로 퍼지값은 1이고, 굽힘공정 B4, B5는 피딩 방향인 경우로 퍼지값은 0이다. 이 규칙에 대한 퍼지 함수는 Fig. 2-(f)에 나타내었다.

### 2.3.3 퍼지 셋을 이용한 계산방법

제품에 있는 모든 굽힘 공정에 대하여 각 규칙을 적용하여 퍼지값을 계산한다. 이 때, 각 규칙에 대한 중요도를 나타내는 가중치를 곱하여 더함으로써 각 굽힘 공정에 대한 합산된 퍼지값을 계산한다. 이런 방법으로 계산된 최종적인 퍼지값 중에서 가장 높은 값을 가진 굽힘공정부터 먼저 수행한다.

### 1) 퍼지 행렬(fuzzy matrix)

퍼지 관계는 각각의 굽힘공정을 나타내는 행렬과 공정설계 규칙을 나타내는 행렬의 관계로써 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 B &= \{b_i | i=1,2,\dots,n\} : b_i \text{는 각 굽힘공정} \\
 R &= \{r_j | j=1,2,3,4,5,6\} : r_j \text{는 각 공정설계규칙} \\
 v_{ij} &= f(b_i, r_j) \tag{2}
 \end{aligned}$$

퍼지 관계를 퍼지 행렬[V]로 구성하여 Table 1에 나타내었다.

굽힘공정이 각 규칙의 조건을 완전하게 만족시킬 경우는 퍼지값  $v_{ij}$ 는 1의 값을 가지고, 전혀 만족시키지 못할 경우는 퍼지값 0의 값을 가진다.

### 2) FVM(Final value matrix)의 결정

FVM행렬은 각 굽힘공정의 퍼지값을 최종적으로 계산하여 굽힘의 순서를 결정하는 행렬이다. 퍼지 셋 이론을 적용하기 위하여 제시한 각 규칙은 굽힘의 순서를 결정하는 중요도가 서로 다르며, 순서는 다음과 같다. 1) 마더 평면과 거리 규칙 2) Single plane 규칙 3) 각도 규칙 4) 평행 규칙 5) 동시가공규칙 6) 피딩 규칙 순이다. 이러한 규칙들은 중요도에 따라 가중치가 결정되는데, 가중치 행렬은 아래와 같이 정의된다.

$$W[R] = \{ r_1/1.2, r_2/1.0, r_3/0.8, \tag{3}$$

$$r_4/0.6, r_5/0.4, r_6/0.2 \}$$

FVM행렬은 퍼지행렬[V]과 가중치행렬W[R]의 곱으로 정의되며, 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 FVM(B) &= [V] \times W(R) \tag{4} \\
 \begin{bmatrix} FVM(b_1) \\ FVM(b_2) \\ \dots \\ FVM(b_n) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} v(1,1) & v(1,2) & v(1,3) & v(1,4) & v(1,5) & v(1,6) \\ v(2,1) & v(2,2) & v(2,3) & v(2,4) & v(2,5) & v(2,6) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v(n,1) & v(n,2) & v(n,3) & v(n,4) & v(n,5) & v(n,6) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W(b_1) \\ W(b_2) \\ \dots \\ W(b_n) \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Table 1 A fuzzy matrix [V]

	rule 1( $r_1$ )	rule 2( $r_2$ )	rule 3( $r_3$ )	rule 4( $r_4$ )	rule 5( $r_5$ )	rule 6( $r_6$ )
$b_1$	$v_{MD}(b_1, r_1)$	$v_{SP}(b_1, r_2)$	$v_{Ag}(b_1, r_3)$	$v_{PB}(b_1, r_4)$	$v_{So}(b_1, r_5)$	$v_{Fd}(b_1, r_6)$
$b_2$	$v_{MD}(b_2, r_1)$	$v_{SP}(b_2, r_2)$	$v_{Ag}(b_2, r_3)$	$v_{PB}(b_2, r_4)$	$v_{So}(b_2, r_5)$	$v_{Fd}(b_2, r_6)$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$b_n$	$v_{MD}(b_n, r_1)$	$v_{SP}(b_n, r_2)$	$v_{Ag}(b_n, r_3)$	$v_{PB}(b_n, r_4)$	$v_{So}(b_n, r_5)$	$v_{Fd}(b_n, r_6)$

## 3. 시스템의 적용 및 고찰

본 연구에서는 Fig. 4와 같은 굽힘 공정을 갖는 제품을 퍼지 셋 이론에 의한 굽힘 공정설계, 스트립 레이아웃 모듈에 적용시켜 수행된 결과를 고찰하고자 한다.

### 3.1 스트립 레이아웃 모듈에 적용



Fig. 4 A sample of electric product

Fig. 4(a) 제품의 각 평면 및 굽힘들을 펼친 형태로 Fig. 4(b)에 나타내었고, 각 규칙에 적용하여 구한 FVM의 값을 Fig. 5에 나타내었다.

굽힘 공정 B2, B3을 평행규칙에 적용시킬 때, 굽힘 공정 B2의 굽힘선과 굽힘공정 B1의 굽힘선의 방향여현의 내적이 값이 1이므로 Mother plane의 바로 오른쪽에 있는 평면을 Mother plane이라고 가정하고 상대적인 각도를 구한다.

Fig. 5에 나타난 것과 같이 굽힘공정 B5, B13은 굽힘공정 B8, B16보다 평행 규칙에 의해 높은 퍼지값이 계산되었지만, 동시가공 규칙에 의하여 동시에 굽힘공정이 수행된다. 또, 굽힘공정 B17과 같이 피딩 방향인 굽힘 공정보다 굽힘공정 B1과 같은 피딩의 수직인 방향인 굽힘공정보다 먼저 수행된다. 이러한 결과는 다른 규칙이 피딩규칙보다 우선한다는 것을 나타낸다. 또, "ㄷ"자 형의 굽힘공정 B1, B4, B6은 제품의 외곽에서부터 B6, B4, B1 순으로 굽힘공정을 수행하였다. 그러나, 굽힘공정 B1을 수행할 때, 굽힘공정 B6의 오른쪽에 있는 평면의 길이가 길어 금형의 간섭이 발생한다. 따라서, 금형의 간섭이 발생하지 않도록 굽힘공정 B4, B1, B6 순으로 굽힘 공정을 수행하였다.

이러한 방법으로 구해진 스트립 레이아웃 도면을 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 5에서 나타난 공정순서를 고찰하면, 이송오

차를 줄이고 소재의 규격을 일정하게 만들기 위하여 소재의 양끝부분을 절단해 주는 사이드컷팅 공정이 수행되어지고 이를 Fig. 6-a)에 나타내었다. Fig. 6-b)에서는 Fig. 6-c)의 굽힘공정을 수행하기 위하여 해당되는 외부의 피어싱, 즉 노칭공정을 수행하였다.

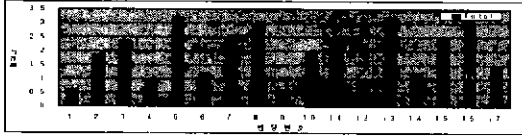


Fig. 5 Final fuzzy value of a sample

노칭편치의 형상은 제품의 외곽형상에 따라 사용자와 대화식을 통하여 결정된다. 굽힘공정과 동시에 제품의 중앙부분의 피어싱 공정을 수행하고 이를 Fig. 6-c)에 나타내었다. Fig. 6-d)에서는 Fig. 6-f)에서 수행될 굽힘을 위한 노칭의 수행과 동시에 제품의 양쪽 끝부분의 굽힘공정을 수행한다. Fig. 6-e)에서의 노칭공정을 통하여 Fig. 6-f)의 굽힘공정이 수행되어진다. 피딩 방향과 일치하는 굽힘과 피딩 방향에 수직인 굽힘 공정들이 스트립의 가운데 부분과 양쪽 끝 부분에서 동시에 수행되어지고 이를 Fig. 6-f)에 나타내었다.

피딩 방향에 수직인 굽힘 공정은 제품의 중앙부를 기준으로 양쪽에 3개로 구성되어 있다. 공정 설계 규칙에 따라 이들 굽힘 공정들을 수행하여 Fig. 6-g)와 Fig. 6-h)에 각각 나타내었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 굽힘 및 피어싱 공정을 갖는 전기 제품에 대하여 퍼지 셋 이론을 적용하여 굽힘 공정을 결정하여 프로그래시브 가공을 위한 스트립 레이아웃을 수행할 수 있는 시스템을 개발했다.

개발된 시스템의 장점은 다음과 같다.

1. 굽힘 공정에 대하여 각 규칙을 퍼지 셋 행렬로 구성하여, 간섭이 발생하지 않는 공정 순서를 결정하고, 스트립 레이아웃 도면을 얻을 수 있다.
2. 입력형상처리 및 플레이트 패턴 모듈에서는 펼친 형태의 도면을 창출하고, 설계의 자동화에 용이하도록 형상데이터를 수치데이터로 변환시켜 3차원 형상들의 리스트를 자동 인식 시킬 수 있다.
3. 굽힘 및 피어싱 공정을 갖는 전기 제품에 대하여 스트립 레이아웃 도면을 3차원 형상의 그래픽 형태로 자동적으로 출력시킬 수 있다.

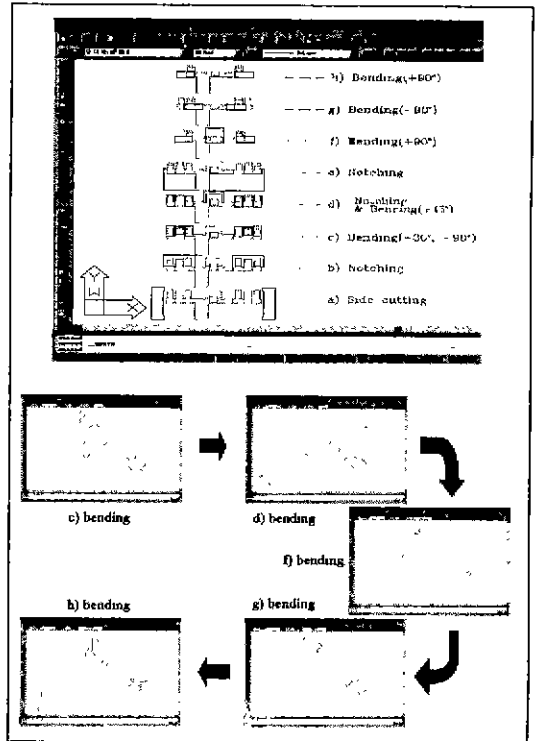


Fig. 6 The strip layout drawings generated in the strip layout module

시스템의 개발로 인하여 현장에서는 필요한 기술과 경험을 정량화하고 설계절차를 정식화시킴으로써 설계지침의 표준화를 이룰 수 있다.

#### 참고문헌

- 1 Y. Shibata and Y. Kunimoto, "Sheet metal CAD/CAM system," Bull Jpn Soc. Prec. eng., Vol 15, pp 219-224, 1981
- 2 J.C. Choi, B.M. Kim, H.Y. Cho, Chul Kim, "A compact and practical CAD system for blanking or piercing of irregular-shaped sheet metal products and stator and rotor parts," International Journal of machine tools manufacture, Vol 38, pp 931-963, 1998
- 3 J.C. Choi, C. Kim, Y. Choi, J.H. Kim, J.H. Park, "An Integrated Design and CAPP System for Deep Drawing or Blanking Products", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol 16, pp 801-813, 2000
- 4 J.C. Choi, C. Kim, J.H. Yoon, "An Automated CAD System for Progressive Working of Irregular Shaped Metal Products and Lead Frame for Semiconductors", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol 16, pp 624-634, 2000.
- 5 J.C. Choi, C. Kim, J.H. Kim, "An integrated CAD/CAM system for manufacturing lead frame for semiconductors", (in press)
- 6 김재훈, 김철, 최재환, "전기제품의 프로그래시브 가공을 위한 공정설계 자동화 시스템," 한국정밀공학회지, 제17권, 제5호, pp 198-206, 2000