

## 퍼지 셋 이론을 이용한 전기제품의 프로그레시브 가공에 관한 연구

김재훈\*, 김영민\*, 김 철\*\*, 최재찬\*\*

A Study on Progressive Working of Electric Product  
by the using of Fuzzy Set Theory

J.H. Kim\*, Y.M. Kim\*, Chul Kim\*\*, J.C. Choi\*\*

### 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 four main modules, which are input and shape treatment, flat pattern layout, strip layout and die layout modules. The system is designed by considering several factors, such as bending sequences by fuzzy set theory, complexities of blank geometry, punch profiles, and the availability of a press equipment. Strip layout drawing generated in the strip layout module is presented in 3-D graphic forms, including bending sequences and piercing processes with punch profiles divided into for external area. The die layout module carries out die design for each process obtained from the results of the strip layout. 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(굽힘가공 순서), Die Layout(다이 레이아웃), Flat pattern layout(펼친 도면), Fuzzy set theory(퍼지 셋 이론), Knowledge Based Rules(지식 베이스규칙), Strip Layout(스트립 레이아웃)

### 1. 서론

최근 공업 제품이 정보통신산업의 발달로 중후 장대에서 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 업

격해지고 있다.<sup>[1]</sup> 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.<sup>[2-3]</sup> 그러나, 프로

2001년 4월 27일 접수

\* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

\*\* 부산대학교 기계공학부, 기계기술 연구소

그래시브 가공의 공정 및 금형설계는 대부분 숙련된 기술자의 경험과 직관적 판단에 의해 수행되고 있다. 이에 고정도화 및 납기 단축을 위한 컴퓨터를 이용한 설계기술의 필요성이 대두되어 숙련된 기술자의 경험을 정식화하여 컴퓨터를 이용한 설계 자동화에 관한 연구가 진행되고 있다.<sup>[4-5]</sup>

본 연구에서는 피어싱 및 굽힘 공정을 갖는 전기제품의 굽힘 공정에 영향을 미치는 여러 가지 인자들을 고려하여 공정 설계 규칙을 제시하였으며, 퍼지 셋 이론을 도입하여 이를 퍼지 행렬로 구성하여 퍼지값을 계산하였다. 퍼지값을 근거로 스트립 레이아웃모듈에서 프로그래시브 가공의 공정순서를 결정하였다. 또한, 스트립 레이아웃 모듈의 수행 결과로 얻어진 공정설계 데이터를 이용하여 다이 레이아웃 모듈에서는 펀치와 다이, 다이 플레이트, 펀치 플레이트, 스트리퍼 플레이트, 가이드 플레이트, 가이드 핀, 스프링, 체결볼트, 맞춤핀, 리프트 등과 같은 프로그래시브 금형의 주요부품들을 자동으로 설계할 수 있다.

## 2. 시스템의 구성

본 시스템은 입력 및 형상처리모듈, 플랫 패턴 레이아웃모듈, 스트립 레이아웃 모듈, 다이 레이아웃 모듈로 구축되어 있고, 하나의 환경에서 수행되며 각 모듈들이 규칙과 데이터 베이스를 공유하게 되어 있다. 또한, 시스템의 진행방식은 선택의 다양성을 위하여 대화식을 이용하였으며 시스템의 전체적인 구조를 Fig. 1에 나타내었다.

굽힘 공정을 갖는 전기 제품에 대하여, 입력 및 형상처리 모듈에서는 사용자가 제품의 형상 및 굽힘과 관련된 사항을 입력시키면 이를 자동 인식하여, 그 데이터를 플랫 패턴 레이아웃 모듈로 넘긴다. 플랫 패턴 레이아웃 모듈에서는 굽힘 여유량을 고려한 펼친 형태의 도면을 창출시키고, 스트립 레이아웃모듈에 전달한다.

스트립 레이아웃 모듈에서는 굽힘 공정에 대하여 퍼지 셋(Fuzzy set)이론을 적용하여 공정순서를 결정하고 각 공정의 가공력을 계산한다. 다이 레이아웃 모듈에서는 스트립 레이아웃의 결과를 이용하여 스프링 백을 고려한 펀치와 다이의 치수, 다이 플레이트, 스트리퍼 플레이트, 펀치 플레이트의 전장과 폭, 가이드 플레이트, 가이드 핀, 스프링, 체결

볼트의 위치와 개수 등의 금형부품을 설계한다.<sup>[6]</sup> 각 모듈의 기능적인 설명을 아래에서 상세히 다루었다.

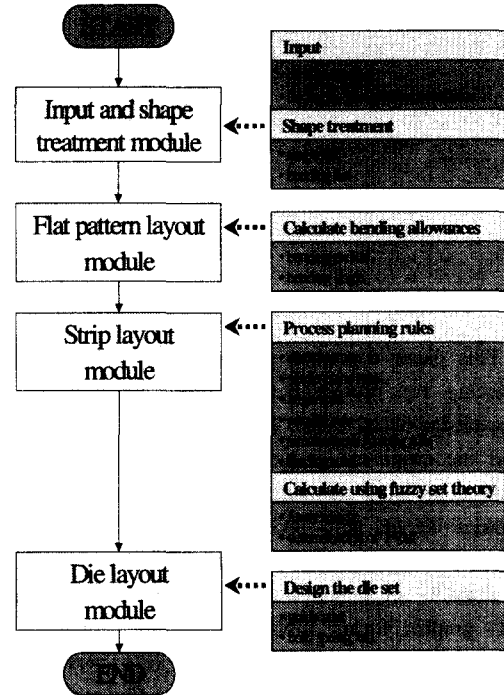


Fig. 1 Configuration of the system for progressive working

### 2.1 입력 및 형상처리모듈

입력 및 형상처리모듈은 입력과 형상처리모듈로 각각 나뉘어지는데, 입력모듈에서는 Fig. 2와 같이 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 형상인식을 위하여 형상 데이터를 설계에 용이한 수치 리스트 형식으로 변환시키는 모듈이다.<sup>[7]</sup>

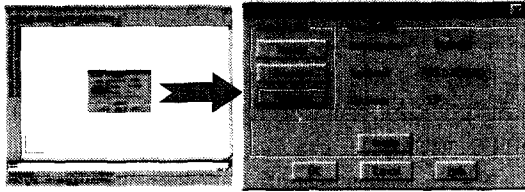


Fig. 2 Input of the material conditions of a product

2.1.1 평면의 형상리스트

제품은 굽힘선으로 나뉘어지는 평면들의 조합으로 정의되어지고, 각 평면은 외부형상과 내부의 홀(hole) 및 슬롯(slot) 형상으로 구성되어 있다. 제품의 도면 요소들은 랜덤하게 직선이나 원호의 조합으로 된 리스트와 원호로만 조합된 리스트로 구성되어 아래의 형식으로 저장되어진다.

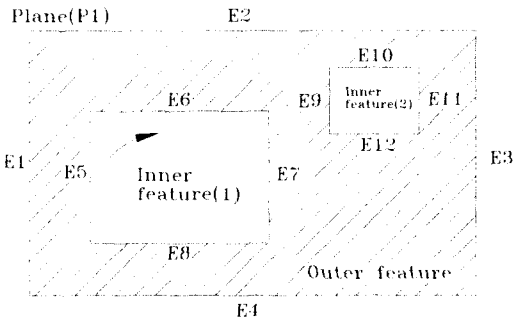


Fig. 3 Constitution of list for recognizing shape of plane

외부형상과 각각 내부형상들은 Fig. 3과 같이 하나의 평면 리스트를 구성한다. 이 때, 각 형상은 시계방향으로 페루프로 구성하는데, 내부형상(1)은 (E5 E6 E7 E8) 리스트 형식으로 이루어진다. 이런 방식으로 구성된 평면의 리스트들의 조합으로 제품의 형상리스트가 아래의 형식으로 구성된다.

- (( "P1" (외부형상 내부형상(1)... 내부형상(n))
- .....
- ( "Pn" (외부형상 내부형상(1).. 내부형상(n)))

2.1.2 제품의 굽힘 리스트

굽힘 공정을 갖는 제품에 대하여 굽힘에 대한 정보 및 굽힘선과 연결되는 평면과의 상호관계가 정의 되어져야 한다. 굽힘에 관해서는 Fig. 4와 같이 굽힘라인의 엔티티 정보, 굽힘각도, 굽힘반경, 굽힘이동정보로 평면에 대해서는 고정된 기준 평면(Mother plane)과 회전평면(Children plane)으로 리스트를 구성하여 아래의 형식으로 저장되어진다.

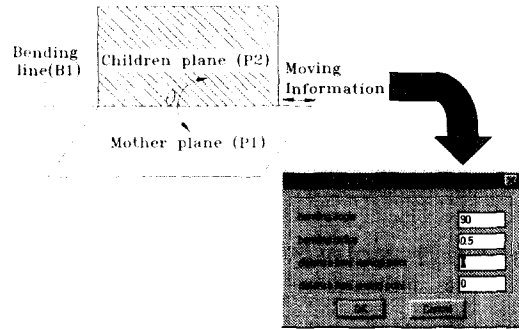


Fig. 4 Constitution of list for recognizing the bending part of a product

- (( "B1" (굽힘라인정보) 굽힘각도 굽힘반경 굽힘 이동정보 기준평면 회전평면)
- .....
- ( "Bn" (굽힘라인정보) 굽힘각도 굽힘반경 굽힘 이동정보 기준평면 회전평면))

2.2 플레이트 패턴 레이아웃 모듈

플레이트 패턴 레이아웃 모듈에서는 Fig. 5와 같이 각 굽힘라인에 대하여 데이터 베이스로부터 읽어 들인 소재의 재질에 따른 계수와 굽힘리스트에 저장되어 있는 굽힘반경, 굽힘각도를 추출하여 식 (1)에 의하여 굽힘 여유량을 계산한다.

$$L = a + b + \theta(r + \lambda t) \tag{1}$$

굽힘 리스트에 저장된 굽힘라인의 역순으로 굽힘과 관련된 평면을 자동적으로 탐색하여 평면의 각 질점을 회전시키고, 이를 다시 계산된 굽힘 여유량만큼 이동시킨다. 이러한 과정을 반복함으로써 펼친 형태의 도면을 그래픽 형태로 스크린 상에 출력시킨다.

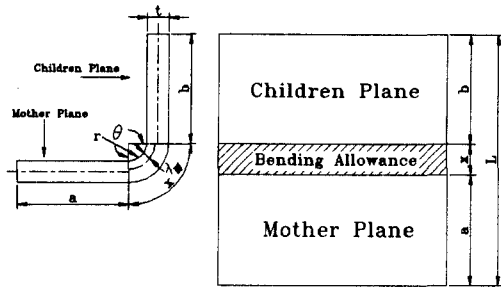


Fig. 5 Calculation of bending allowance between mother plane and children plane

### 2.3 스트립 레이아웃 모듈

스트립 레이아웃 모듈에서는 퍼지 셋 이론을 적용하여 최적의 굽힘 공정 순서, 가공력, 연결방법을 결정하여 3차원 형상의 공정설계 도면을 자동적으로 창출시킨다.

#### 2.3.1 공정설계 규칙

“Mother plane”은 서로 다른 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 여기서는 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. 이러한 방법으로 Mother plane의 결정이 불분명할 경우에는 각 평면과 가장 가깝자리에 놓여 있는 평면 사이의 굽힘선의 개수로 계산하여 작은 값을 가지는 평면으로 결정한다.

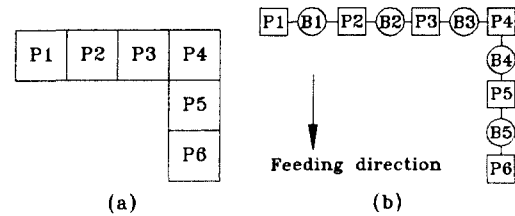


Fig. 6 Sample Part: (a) flat pattern (b) product structure

“Single plane”은 평면의 외부에 굽힘선으로 연

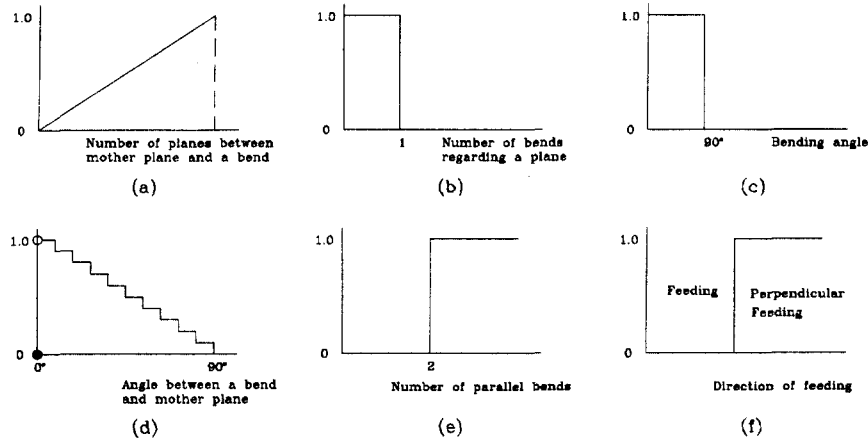


Fig. 7 Fuzzy membership functions

결된 평면의 개수가 하나만 있을 경우로 정의한다. Fig. 6-(a)에서는 평면 “P1”과 “P6”을 Single plane이라고 부른다.

굽힘 가공의 공정설계에서 앞의 공정에서 굽힘된 굽힘선(Bending line)을 기준으로 다음으로 수행할 굽힘 공정의 순서를 결정한다. 각 규칙들의 퍼지값이 높은 굽힘 공정이 먼저 수행된다. 각 규칙의 퍼지함수(Fuzzy membership function)를 기하학적으로 Fig. 7에 나타내었다.

**1) 거리 규칙**

Mother plane과 거리를 계산하는 방법은 굽힘(Bend)과 Mother plane사이 에 놓여진 평면의 개수를 계산한다. 각 굽힘과 Mother plane사이의 놓여진 평면의 개수를 계산하여 가장 큰 개수일 때, 퍼지값을 1로 하고, 나머지 개수의 퍼지값은 비례적으로 작아진다. Mother plane에 붙어 있는 굽힘의 퍼지값은 0이 된다. 굽힘 공정은 Mother plane에서 거리가 먼 것부터 먼저 수행된다. 이 규칙에 관한 퍼지함수(Fuzzy membership function)는 Fig. 7-(a)에 나타내었다.

**2) Single plane 규칙**

“Single plane”이란 평면에 하나의 굽힘만이 있는 경우를 의미한다. 제품의 가장 외곽부분에 있는 굽힘 공정은 제품에 기하학적으로 영향을 크게 주지 않으므로, Single plane에 있는 굽힘은 다른 굽힘 공정에 문제를 발생시키지 않는다면 먼저 수행한다. 이 규칙에 관한 퍼지 함수를 Fig. 7-(b)에 나타내었다

**3) 각도 규칙**

굽힘 공정의 굽힘각, 즉 고정평면(Mother plane)과 회전평면(Children plane)사이의 굽힘 각도가 90° 이상일 때, 이 굽힘 공정은 한 공정 또는 그 이상의 공정으로 나누어서 수행한다. 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. 7-(c)에 나타내었다.

**4) 평행 규칙**

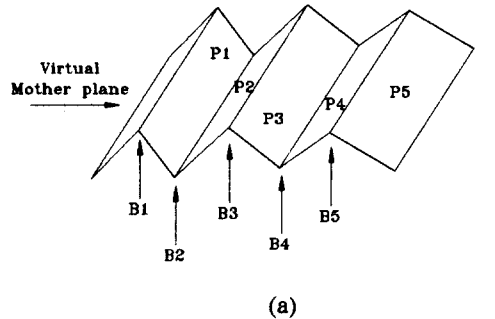
Mother plane에서 같은 방향에 놓여진 굽힘공정 중 굽힘선들이 평행할 경우, 각 굽힘공정의 굽힘각의 크기가 Mother plane과의 상대적인 굽힘 각도가 작을수록 굽힘공정을 동시에 수행할 수 있는 가능성이 크다. Mother plane에서 같은 방향에 놓여진 굽힘공정 중 평행하다는 의미는 아래의 식과 같이 정의된다.

$$VP = BLU_i \bullet BLU_j \geq 0.707 \quad (2)$$

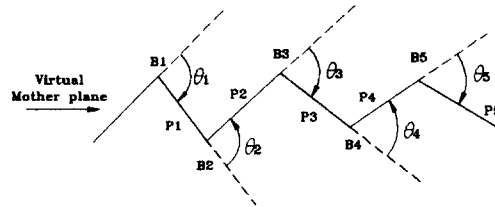
여기서, VP : 단위벡터의 방향 여현의 내적값

BLU<sub>i</sub> : i번째의 굽힘선의 단위방향벡터

BLU<sub>j</sub> : j번째의 굽힘선의 단위방향벡터



(a)



(b)

Fig. 8 Bending angle relative to virtual mother plane

Virtual mother plane과 상대적인 굽힘 각도를 구하는 방법은 Fig. 8과 같이 평면과 굽힘선이 놓여진 경우, 굽힘공정 B5는 B5, B4, B3, B2, B1의 굽힘각의 총합의 절대값이다. 이때, B1, B3, B5는 아래쪽으로 굽힘이 되므로 굽힘각이 음의 값을 가진다. 따라서, Mother plane과의 상대적인 굽힘각을 구하는 식은 아래와 같다.

$$\theta_{n, \text{sum}} = \text{ABS} \left( \sum_{i=k}^n \theta_i \right) \quad (3)$$

여기서,  $k$  : Virtual mother plane의 바로 앞의 굽힘선

$\theta_i$  :  $i$  번째 굽힘각

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

Mother plane과의 상대적인 굽힘각은  $0^\circ \sim 9^\circ$  일 때는 퍼지값을 1,  $90^\circ$  일 때는 퍼지값을 0으로 주었다. 각도에 따라 Fig. 7-(d)와 같이 퍼지값을 차등적으로 주었다.

### 5) 동시 가공 규칙

굽힘 공정에서 굽힘선의 방향벡터가 동일한 굽힘 공정들은 프로그래시브 금형의 셋업(set-up)방향도 동일하게 되므로, 금형의 간섭이 발생하지 않을 경우 동시에 가공을 수행할 수 있다. 동일한 굽힘선의 단위 방향벡터가 2개 이상 있는 굽힘공정은 퍼지값이 1이고, 없는 경우는 퍼지값이 0이다. 이 규칙에 관한 퍼지 함수는 Fig. 7-e)에 나타내었다.

### 6) 피딩 규칙

프로그래시브 금형에서는 굽힘 공정을 수행한 후, 제품을 진행할 수 있도록 굽힘의 방향에 따라서 상부의 스트리퍼 플레이트나 하부의 다이 플레이트에 도피자리(Escape area)가 필요하다. 이러한, 도피자리는 금형 강도의 감소, 가공비 증가, 소재를 고정시켜주는 부분의 감소 등을 고려할 때, 도피자리의 면적을 최소화 해야 한다. 도피자리의 면적을 최소화 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. 이 규칙에 대한 퍼지 함수는 Fig. 7-(f)에 나타내었다.

### 2.3.2 퍼지 셋을 이용한 계산방법

굽힘 공정에 대하여 각 규칙의 중요도를 나타내는 가중치가 부가된 퍼지값을 계산하여 가장 높은 퍼지값을 가진 굽힘부터 굽힘 공정을 수행한다.

#### 1) 퍼지 행렬(fuzzy matrix)

$$B = \{b_i | i = 1, 2, \dots, n\}$$

:  $b_i$ 는 각 굽힘 공정

$$R = \{r_j | j = 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

:  $r_j$ 는 각 공정설계 규칙

각각의 굽힘공정을 나타내는 행렬과 공정설계 규칙을 나타내는 행렬의 퍼지 관계를 다음과 같이 표현한다.

$$v_{ij} = f(b_i, r_j) \quad (4)$$

이를 퍼지 행렬[V]로 구성하여 Table 1에 나타내었다.

#### 2) FVM(Final value matrix)의 결정

FVM은 각 굽힘의 퍼지값을 계산하여 굽힘 공정의 순서를 결정하는 행렬이다. 굽힘 공정의 순서를 결정하기 위한 공정 설계 규칙의 우선 순위는 다음과 같다. 1) 마더 평면과 거리 규칙 2) 단일 평면 규칙 3) 각도 규칙 4) 평행 규칙 5) 동시가공규

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( $r_6$ )
$b_1$	$v_{MD}(b_1, r_1)$	$v_{SP}(b_1, r_2)$	$v_{Ag}(b_1, r_3)$	$v_{PB}(b_1, r_4)$	$v_{So}(b_1, r_5)$	$v_{Fd}(b_1, r_6)$
$b_2$	$v_{MD}(b_2, r_1)$	$v_{SP}(b_2, r_2)$	$v_{Ag}(b_2, r_3)$	$v_{PB}(b_2, r_4)$	$v_{So}(b_2, r_5)$	$v_{Fd}(b_2, r_6)$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$b_n$	$v_{MD}(b_n, r_1)$	$v_{SP}(b_n, r_2)$	$v_{Ag}(b_n, r_3)$	$v_{PB}(b_n, r_4)$	$v_{So}(b_n, r_5)$	$v_{Fd}(b_n, r_6)$

척 6) 피딩 규칙 순이다. 이에 따라 가중치가 부과된 가중치 행렬은 다음과 같이 정의된다.

$$W[R] = \{ r_1 \times 1.2, r_2 \times 1.0, r_3 \times 0.8, r_4 \times 0.6, r_5 \times 0.4, r_6 \times 0.2 \} \quad (5)$$

FVM은 아래와 같이 퍼지행렬[V]과 가중치행렬 W[R]의 곱으로 정의된다.

$$FVM(B) = [V] \times W(R) \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} FVM(b_1) \\ FVM(b_2) \\ \dots \\ FVM(b_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v(1,1) & v(1,2) & v(1,3) & v(1,4) & v(1,5) & v(1,6) \\ v(2,1) & v(2,2) & v(2,3) & v(2,4) & v(2,5) & v(2,6) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v(n,1) & v(n,2) & v(n,3) & v(n,4) & v(n,5) & v(n,6) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W(b_1) \\ W(b_2) \\ \dots \\ W(b_n) \end{bmatrix}$$

### 2.3.3 가공력 계산 및 연결방법

피어싱 및 굽힘공정의 가공력은 아래의 식으로 각각 계산된다.

$$P = \tau t l \quad (7)$$

- 여기서, P : 피어싱력(kg)
- τ : 소재의 전단응력(kg/mm<sup>2</sup>)
- t : 소재의 두께(mm)
- l : 전단길이(mm)

$$F = k \frac{bt^2(1.5 + \epsilon_r)\sigma_r}{6l} \quad (8)$$

- 여기서, F : 굽힘력(kg)
- k : 마찰에 의한 수정계수
- b : 굽힘선의 길이(mm)
- ε<sub>r</sub> : 굽힘에 의한 변형률
- σ<sub>r</sub> : 소재의 인장강도(kg/mm<sup>2</sup>)
- l : 굽힘금형의 어깨폭(mm)

재료 이용률, 소재의 압연방향과 굽힘선 간의 위치관계, 연결방법 등을 고려하여, Fig. 9와 같이 제품의 형상을 회전하거나 상하면이 바뀔 수 있도록 뒤집기를 수행한다. 소재의 연결방법은 한측연결, 굽힘선이 제품의 양측에 존재할 때 제품의 가운데 부분으로 연결해 가는 제품연결, 제품의 양측과 가운데 부분에 굽힘선이 존재할 때 사용되어지는 양측연결이 있다. Fig. 9는 양측연결의 경우로 제품과 제품사이의 여유량(Bridge width)을 자동으로 계산하여 스트립의 양측 연결부가 만들어진다.

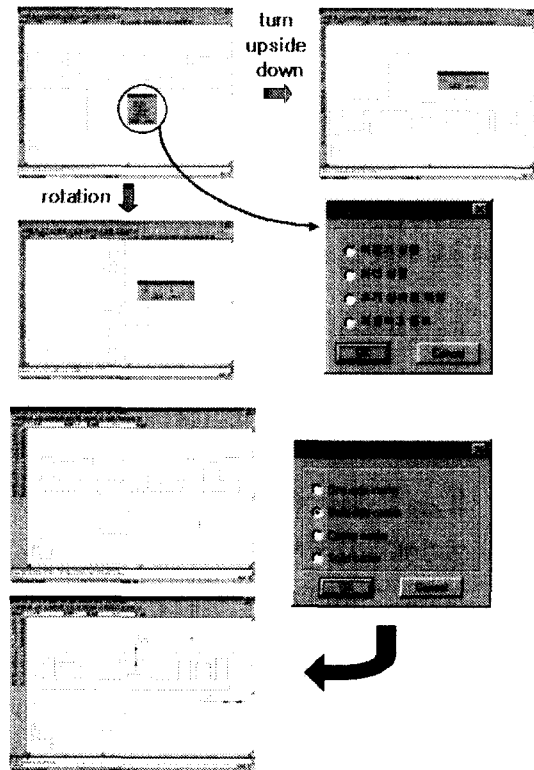


Fig. 9 Rotation and connection method of a flat pattern layout drawing for progressive working

### 2.4 다이 레이아웃 모듈

다이 레이아웃 모듈에서는 스트립 레이아웃 모듈에서의 결과를 이용하여 펀치와 다이를 비롯한 금형의 각 부품의 설계가 이루어진다.<sup>[8]</sup> 피어싱 펀

치는 제품의 치수로 다이 치수는 제품의 치수에 편 치다이의 클리어런스 만큼 더하여 계산되어지고, 굽힘 펀치 및 다이치수는 식 (9)에 의해 계산된 스프링백을 고려하여 계산된다.

$$K = \frac{\alpha - \Delta\alpha}{\alpha} = \frac{r_p + \frac{t}{2}}{r_t + \frac{t}{2}} \quad (9)$$

여기서,  $K$  : 스프링백 계수  
 $\alpha - \Delta\alpha$  : 가공 후의 제품의 굽힘 각도(rad)  
 $\Delta\alpha$  : 스프링백 각도(rad)  
 $r_p$  : 펀치의 각 반지름(mm)  
 $r_t$  : 굽힘 가공후의 제품의 내굽힘반지름(mm)

또한, 다이 플레이트, 스트리퍼 플레이트, 펀치 플레이트, 가이드 플레이트는 “스트립 레이아웃의 면적”을 기준으로 설계가 이루어진다.

스트리핑력은 스트립 레이아웃모듈에서 계산된 가공력으로부터 아래의 식으로 계산된다.

$$F_{strip} = P \times (1.1 \sim 1.2) C_{strip} \quad (10)$$

여기서,  $C_{strip}$  는 0.025~0.2의 값

체결볼트의 개수는 아래의 식으로 계산된다.

$$F_{strip} = 300 \times d_f^2 \times n_f \quad (11)$$

여기서,  $d_f^2$  : 체결볼트의 직경(cm)

$n_f$  : 개수

스프링의 개수는 아래의 식으로 계산된다.

$$l_{workcom} = t + l_{punch} + l_{stripper} \quad (12)$$

여기서,  $l_{workcom}$  : 작동시 스프링의 압축길이(mm)

$l_{punch}$  : 작동시 펀치진입길이(mm)

$l_{stripper}$  : 스트리퍼에 대한 펀치도피길이(mm)

$$l_{totcom} = l_{prcom} + l_{workcom} \quad (13)$$

여기서,  $l_{totcom}$  : 스프링의 전체 압축길이

$l_{prcom}$  : 스프링의 예비압축길이(mm)

$$l_{spring} = \frac{l_{totcom}}{C_{br}} \quad (14)$$

여기서,  $l_{spring}$  : 스프링의 자유길이(mm)

$C_{br}$  : 스프링의 휨비

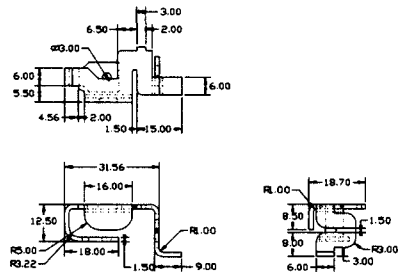
$$F_{spring} = K_{spring} \times l_{totcom} \quad (15)$$

여기서,  $K_{spring}$  : 스프링의 강성(kg/mm)

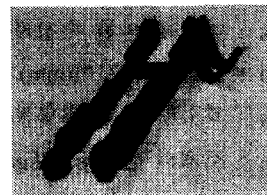
$$F_{strip} = F_{spring} \times n_s \quad (16)$$

여기서,  $n_s$  : 스프링의 개수

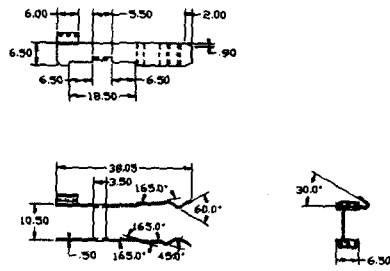
가이드 핀, 체결볼트, 스프링들은 간섭량을 체크하여 간섭이 발생하지 않는 적절한 위치에 배열한다.



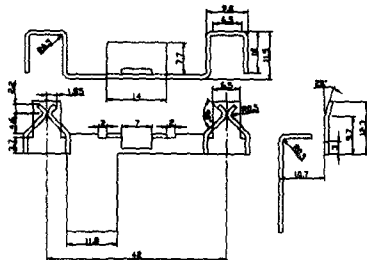
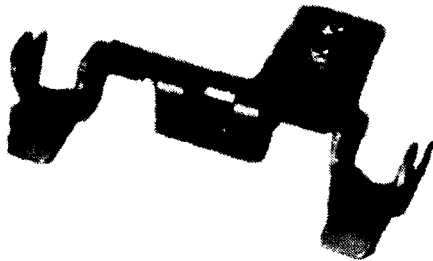
(a)







(b)



(c)

Fig. 10 A sample of electric product

### 3. 시스템의 적용 및 고찰

본 연구에서는 Fig. 10과 같은 굽힘 공정을 갖는 제품을 스트립 레이아웃 모듈 및 다이 레이아웃 모듈에 적용시켜 수행된 결과를 고찰하고자 한다.

#### 3.1 스트립 레이아웃 모듈에 적용

Fig. 10-(a)의 제품은 피딩 방향의 굽힘이 1개, 피딩의 수직 방향의 굽힘이 4개로 구성되어 있으며, 제품의 각 평면 및 굽힘들을 펼친 형태로 Fig. 11에 나타내었다.

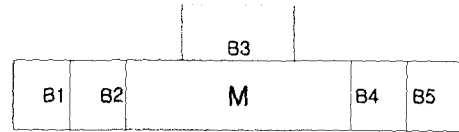


Fig. 11 The development figure of the product, Fig. 10-(a)

Table 2 Fuzzy set Matrix [V]

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
B1	1	1	0	0	1	1
B2	0	0	0	0	1	1
B3	0	1	0	0	0	0
B4	0	0	0	0	1	1
B5	1	1	0	0	1	1

Table 3 Fuzzy set Matrix [V] × W(R)

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Sum
B1	1.2	1	0	0	0.4	0.2	2.8
B2	0	0	0	0	0.4	0.2	0.6
B3	0	1	0	0	0	0	1
B4	0	0	0	0	0.4	0.2	0.6
B5	1.2	1	0	0	0.4	0.2	2.8

5개 굽힘공정을 각 공정설계 규칙에 적용했을 때, 굽힘공정 B1, B5는 Mother plane 사이에 평면이 1개, 굽힘공정 B2, B3, B4는 0개이므로 Mother plane 규칙에 의해 B1, B5의 퍼지값은 1점, B2, B3, B4의 퍼지값은 0점으로 계산되었다. 굽힘공정 B1, B3, B5가 단일평면에 놓여져 있으므로 Single plane 규칙에 의해 퍼지값이 1점, 굽힘공정 B2, B4는 0점으로 계산되었고, 모든 굽힘공정이 90° 이므로 각도 규칙에 의해 퍼지값이 0점으로 계산되었다. 굽힘공정 B1의 경우 Mother plane과의 상대적인 각도가 굽힘공정 B1, B2의 굽힘각의 합으로써 B1의 굽힘각 +90°, B2의 굽힘각이 -90° 이므로 총합은 0° 로 계산되며, 같은 방법으로 굽힘 공정 B5도 0° 로 계산되었다. 또한, 굽힘 공정 B2, B3, B4는 Mother plane과의 상대적인 각도가 90° 이므로 모든 굽힘공정이 평행규칙에 의해 0점으로 계산되었다. 굽힘공정 B1, B2, B4, B5의 굽힘선의 단위 방향 벡터가 동일하므로 동시가공 규칙에 의해 퍼지값이

1, 굽힘공정 B3은 동일한 단위 방향벡터가 없으므로 퍼지값이 0으로 계산되었다. 굽힘공정 B1, B2, B4, B5는 피딩방향에 수직에 놓여져 있으므로 피딩규칙에 의해 퍼지값이 1, 굽힘공정 B3은 피딩방향에 있으므로 퍼지값이 0으로 계산되었다. 이러한 방법으로 구한 퍼지행렬[V]를 Table 2, 퍼지행렬에 가중치를 곱한 퍼지값을 Table 3, 각 굽힘공정의 퍼지값을 나타내는 FVM의 값을 Fig. 12에 각각 나타내었다.

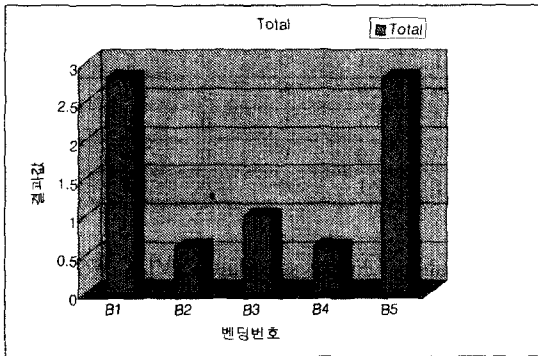


Fig. 12 Final fuzzy value of the product, Fig. 10(a)

Fig. 12에 나타난 것과 같이 이 제품은 거리규칙에 많은 영향을 받아 굽힘공정 B1, B5를 첫 공정에 수행하고, 굽힘공정 B3은 Single plane 규칙에 의해 굽힘공정 B2, B4보다 먼저 수행된다.

Fig. 10(b) 제품의 각 평면 및 굽힘들을 펼친 형태로 Fig. 13에 나타내었고, 각 공정설계 규칙에 적용하여 구한 FVM의 값을 Fig. 14에 나타내었다.

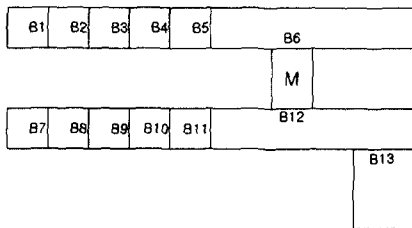


Fig. 13 The development figure of the product, Fig. 10(b)

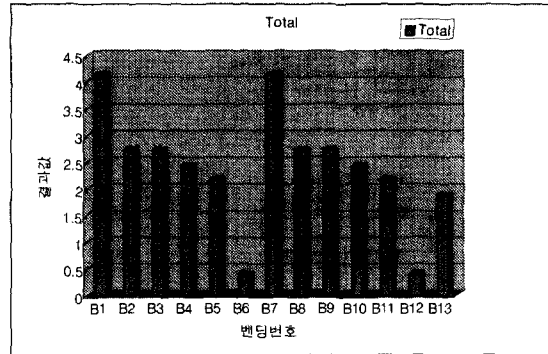


Fig. 14 Final fuzzy value of the product, Fig. 10(b)

굽힘공정 B1, B7은 먼저 수행되고, Mother plane 과 상대적인 각도 차이가 작으므로 평행 규칙에 의해 동시에 수행된다.

Fig. 10(c) 제품의 각 평면 및 굽힘들을 펼친 형태로 Fig. 15에 나타내었고, 각 규칙에 적용하여 구한 FVM의 값을 Fig. 16에 나타내었다.

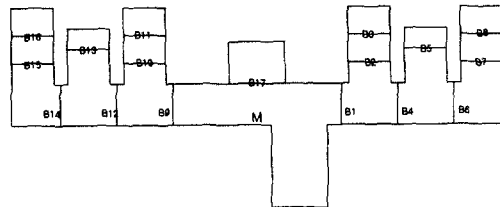


Fig. 15 The development figure of the product, Fig. 10(c)

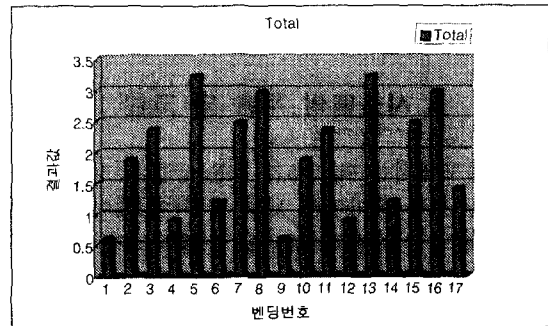


Fig. 16 Final fuzzy value of the product, Fig. 10(c)

또한, 시스템에서 얻어진 퍼지집합의 리스트를

Table 4에 나타내었고, 최종적인 퍼지계산 결과를 Fig. 17에 각각 나타내었다.

Table 4 List for calculating the fuzzy value, Fig. 10-(c)

<p>1) 각 밴딩에 대한 퍼지값 리스트</p> <p>((“F1” (0.0 1.0 0.0 0.0 1.0 0.0)) (“F2” (0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0)) (“F3” (0.25 0.0 1.0 0.5 1.0 0.0)) (“F4” (0.5 1.0 0.0 0.5 1.0 0.0)) (“F5” (0.25 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0)) (“F6” (0.5 1.0 1.0 0.7 1.0 0.0)) (“F7” (0.5 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0)) (“F8” (0.75 0.0 1.0 0.5 1.0 0.0)) (“F9” (1.0 1.0 0.0 0.5 1.0 0.0)) (“F10” (0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0)) (“F11” (0.25 0.0 1.0 0.5 1.0 0.0)) (“F12” (0.5 1.0 0.0 0.5 1.0 0.0)) (“F13” (0.25 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0)) (“F14” (0.5 1.0 1.0 0.7 1.0 0.0)) (“F15” (0.5 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0)) (“F16” (0.75 0.0 1.0 0.5 1.0 0.0)) (“F17” (1.0 1.0 0.0 0.5 1.0 0.0)))</p> <p>2) 가중치를 고려한 퍼지값 리스트</p> <p>((“F1” (0.0 1.0 0.0 0.0 0.4 0.0)) (“F2” (0.0 0.0 0.0 0.0 0.4 0.2)) (“F3” (0.3 0.0 0.8 0.3 0.4 0.0)) (“F4” (0.6 1.0 0.0 0.3 0.4 0.0)) (“F5” (0.3 0.0 0.0 0.0 0.4 0.2)) (“F6” (0.6 1.0 0.8 0.42 0.4 0.0)) (“F7” (0.6 0.0 0.0 0.0 0.4 0.2)) (“F8” (0.9 0.0 0.8 0.3 0.4 0.0)) (“F9” (1.2 1.0 0.0 0.3 0.4 0.0)) (“F10” (0.0 0.0 0.0 0.0 0.4 0.2)) (“F11” (0.3 0.0 0.8 0.3 0.4 0.0)) (“F12” (0.6 1.0 0.0 0.3 0.4 0.0)) (“F13” (0.3 0.0 0.0 0.0 0.4 0.2)) (“F14” (0.6 1.0 0.8 0.42 0.4 0.0)) (“F15” (0.6 0.0 0.0 0.0 0.4 0.2)) (“F16” (0.9 0.0 0.8 0.3 0.4 0.0)) (“F17” (1.2 1.0 0.0 0.3 0.4 0.0)))</p> <p>3) 각 밴딩에 대한 퍼지 결과값 리스트</p> <p>((“F1” 1.4) (“F2” 0.6) (“F3” 1.8) (“F4” 2.3) (“F5” 0.9) (“F6” 3.22) (“F7” 1.2) (“F8” 2.4) (“F9” 2.9) (“F10” 0.6) (“F11” 1.8) (“F12” 2.3) (“F13” 0.9) (“F14” 3.22) (“F15” 1.2) (“F16” 2.4) (“F17” 2.9))</p>
---

“ㄴ”자 형의 굽힘공정 B1, B4, B6은 제품의 외곽에서부터 B6, B4, B1 순으로 굽힘공정을 수행하였다. 그러나, 굽힘공정 B1을 수행할 때, 굽힘 공정 B6의 오른쪽에 있는 평면의 길이가 길어 굽힘과의 간섭이 발생한다. 따라서, 굽힘과의 간섭이 발생하지 않도록 굽힘공정 B4, B1, B6 순으로 굽힘 공정을 수행하였다.

이러한 방법으로 공정의 우선 순위가 구해진 스트립 레이아웃 도면을 Fig. 18에 나타내었다. 각 스테이지(stage)에서 계산된 피어싱력 및 굽힘력은 식 (7)~(8)에 의해 계산되어지고 그 결과를 Table 5에 나타내었다.

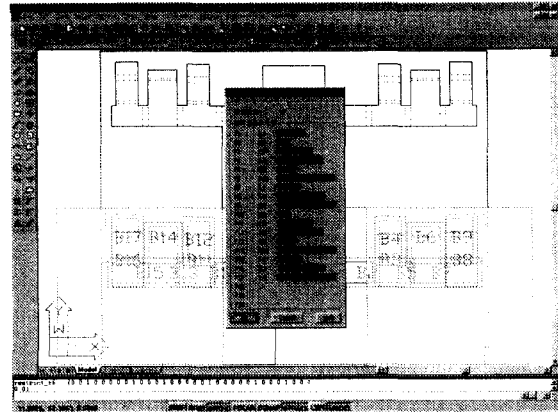


Fig. 17 Show the final fuzzy value on the system

Table 5 The results of force and shear length calculated in each stage

Stage	Shear length(mm)	Blanking Force(kg)	Bending Force(kg)	Total Force(kg)
1stage	190.286	5708.58	0	5708.58
2stage	268.311	8049.33	0	8049.33
3stage	0	0	963.63	963.63
4stage	80.036	2401.08	208.58	2609.66
5stage	206.508	6195.24	0	6195.24
6stage	0	0	156.432	156.432
7stage	0	0	83.43	83.43
8stage	0	0	83.43	83.43
Total	745.141	22354.23	1495.50	23,849.732

Fig. 18에서 나타난 공정순서를 고찰하면, 이송 오차를 줄이고 소재의 규격을 일정하게 만들기 위하여 소재의 양끝부분을 절단해 주는 사이드컷팅 공정이 수행되어지고 이를 Fig. 18-a)에 나타내었다. Fig. 18-b)에서는 Fig. 18-c)의 굽힘공정을 수행하기 위하여 해당되는 외부의 피어싱, 즉 노칭(notching) 공정을 수행하였다.

노칭펀치의 형상은 제품의 외곽형상에 따라 사용자와 대화식을 통하여 결정된다. 굽힘공정과 동시에 제품의 중앙부분의 피어싱 공정을 수행하고 이를 Fig. 18-c)에 나타내었다. Fig. 18-d)에서는 Fig. 18-f)에서 수행될 굽힘을 위한 노칭의 수행과 동시에 제품의 양쪽 끝부분의 굽힘공정을 수행한다.

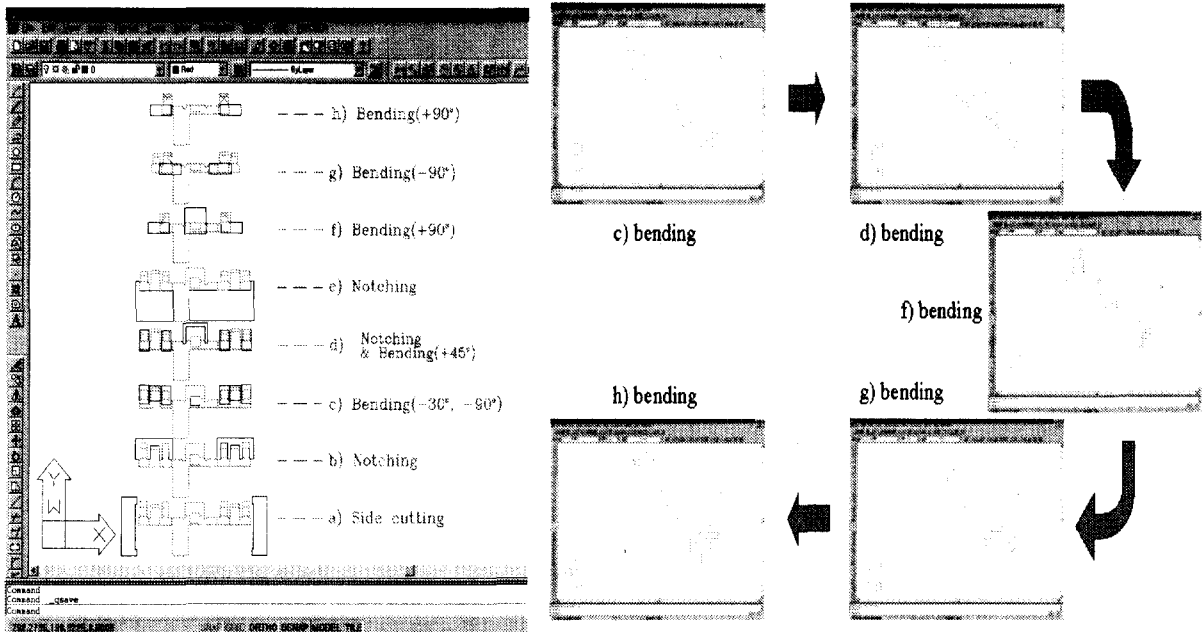


Fig. 18 The strip layout drawings generated in the strip layout module

Fig. 18-e)에서의 노칭공정을 통하여 Fig. 18-f)의 굽힘공정이 수행되어 진다.

피딩 방향과 일치하는 굽힘과 피딩 방향에 수직인 굽힘 공정들이 스트립의 가운데 부분과 양쪽 끝 부분에서 동시에 수행되어지고 이를 Fig. 18-f)에 나타내었다.

피딩 방향에 수직인 굽힘 공정은 제품의 중앙부를 기준으로 양쪽에 3개로 구성되어 있다. 공정 설계규칙에 따라 이들 굽힘 공정들을 수행하여 Fig. 18-g)와 Fig. 18-h)에 각각 나타내었다.

### 3.2 다이 레이아웃 모듈에 적용

다이 레이아웃 모듈에서는 스트립 레이아웃의 면적을 이용하여 금형의 폭과 길이를 계산한 후 금형의 크기를 결정하였다. 금형의 크기에 따라 가이드 핀의 수를 6개로 상하부 금형에 우선 배열하였다. 체결볼트의 수는 스트립 레이아웃에서 계산된 가공력을 이용하여 식(10)~(11)로부터 10개로 계산되었다. 체결볼트는 등간격으로 배열되는데, 이때 가이드 핀과의 간섭을 체크하여 간섭 발생 시에는 가이드 핀과의 간섭이 발생하지 않는 거리를 유지

하도록 이동시켰다.

상부 금형에서는 스트리핑력을 고려하여 식(12)~(16)에 의해 스프링의 개수를 10개로 결정하였다. 결정된 스프링들은 가이드 핀과의 간섭이 체크된 후 배열되었다. 리프트 핀은 공정에 간섭이 일어나는 부분을 제외한 나머지 다이 플레이트의 위치에 피치간격으로 배열하였다.

이 모듈에서는 펀치와 다이, 다이 플레이트, 펀치 플레이트, 스트리퍼 플레이트, 가이드 플레이트, 가이드 핀, 스프링, 체결볼트, 맞춤핀, 리프트 등과 같은 프로그래시브 금형의 주요부품들이 자동으로 설계되었다.

### 4. 결론

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

개발된 시스템의 장점은 다음과 같다.

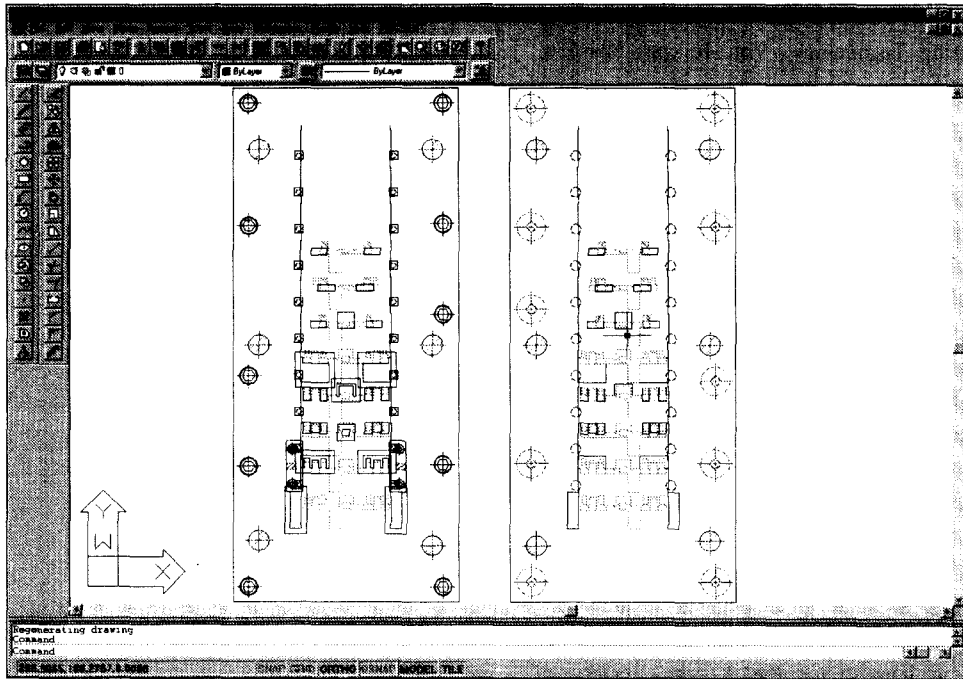


Fig. 19 The die layout drawing generated in the die layout module

1. 입력 및 형상처리 모듈에서는 제품의 3차원 형상의 평면 리스트와 굽힘 리스트의 수치 데이터로 변환시켜 3차원 형상의 리스트를 인식시킬 수 있다.
2. 플레이트 패턴 모듈에서는 이러한 형상 인식 정보를 가지고 펼친 형태의 도면을 창출시킬 수 있다.
3. 스트립 레이아웃 모듈에서는 굽힘 공정에 대하여 각 규칙을 퍼지 셋 행렬로 구성하여, 간섭이 발생하지 않는 공정순서를 결정하고, 스트립 레이아웃 도면을 3차원 형상의 그래픽 형태로 자동적으로 출력시킬 수 있다.
4. 다이 레이아웃 모듈에서는 스트립 레이아웃 모듈의 결과를 이용하여 급형의 주요 부품도면들을 자동적으로 창출시킬 수 있다.

시스템의 개발로 인하여 현장에서는 필요한 기술과 경험을 정량화하고 설계절차를 정식화시킴으

로써 설계지침의 표준화를 이룰 수 있다.

### 후기

이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(2000-041-E00083).

### 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, 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.803-813, 2000/9
3. 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.
4. 최재찬, 김병민, 김철, 김재훈, 김창봉, "반도체 리드 프레임 제조를 위한 프로그레시브 금형의 CAD/CAM 시스템 개발," *한국정밀공학회지*, 제 16권 제12호, pp. 230 ~ 238, 1999.
  5. 김재훈, 김철, 최재찬, "전기제품의 프로그레시브 가공을 위한 공정설계 자동화 시스템," *한국정밀공학회지*, 제17권 제8호, pp. 198 ~ 206, 2000.
  6. 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.
  7. Jae Hun Kim, Chul Kim, Jae Chan Choi, "A Study on the Development of Computer Aided Die Design System for Lead Frame, Semiconductor," *International Journal for the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 38-47, 2001/7.
  8. J.H.Kim, C. Kim, J.C.Choi, "An integrated CAD/CAM system for manufacturing lead frame for semiconductors," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 17, pp. 840-849, 2001/11.