

퍼지셋을 이용한 피어싱 및 굽힘공정을 갖는 전기제품의 공정순서 결정기법 개발

김재훈*, 김 철#

Development of a Process Sequence Determination Technique by Fuzzy Set Theory for Electric Product with Piercing and Bending Operations

J.H. Kim*, Chul Kim#

ABSTRACT

This paper describes a research work to develop a computer-aided design for the product made by progressive working of bending and piercing. 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, strip layout modules. The system is designed by considering several factors, such as piercing and 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 piercing and bending sequences 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 : Piercing and Bending Sequence(피어싱 및 굽힘가공순서), 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 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 엄격해지고 있다. 이러한 요구와 생산성을 향상시키기 위하여 금형설계의 표준화가 절실하게 요구된다. 특히, 프레스 가공 중에서 형상이 복잡한 판재

접수일: 2005년 1월 26일; 게재승인일: 2005년 6월 29일

* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소

교신저자: 부산대학교 기계기술 연구소

E-mail chulki@pusan.ac.kr Tel. (051) 510-2489

제품을 만드는 프로그래시브 가공은 이러한 측면에서 표준화를 더욱 요구하고 있다. 이에 고정도화 및 납기 단축을 위한 컴퓨터를 이용한 설계기술의 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 관하여 공정에 영향을 미치는 여러 가지 인자들을 고려하여 피어싱 공정 설계 규칙과 굽힘 공정 설계 규칙을 정립했다. 이를 토대로 공정과 그 공정의 설계규칙의 관계를 퍼지값으로 나타낸 퍼지행렬과 각 규칙의 중요도를 나타내는 가중치가 부가된 행렬의 곱으로 구성된 FVM(Final Value Matrix)를 만들었다. 이 FVM을 근거로 피어싱 및 굽힘 공정을 갖는 전기 제품의 제조를 위한 프로그래시브 가공의 공정순서가 자동적으로 결정되어진다. 이렇게 결정된 공정순서에 따라 스트립 레이아웃 모듈에서는 공정설계 도면이 자동적으로 창출되어지는 공정설계 자동화 시스템을 개발했다.

2. 시스템의 구성

본 시스템은 입력 및 형상처리모듈, 플래트 패턴 레이아웃모듈, 스트립 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.

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

스트립 레이아웃 모듈에서는 피어싱 및 굽힘 공정에 대하여 퍼지 셋(Fuzzy set)이론을 적용하여 공정순서를 결정하고 각 공정의 가공력을 계산한다. 각 모듈의 기능적인 설명을 아래에서 상세히 다루었다.

2.1 입력 및 형상처리모듈

입력 및 형상처리모듈은 입력과 형상처리모듈

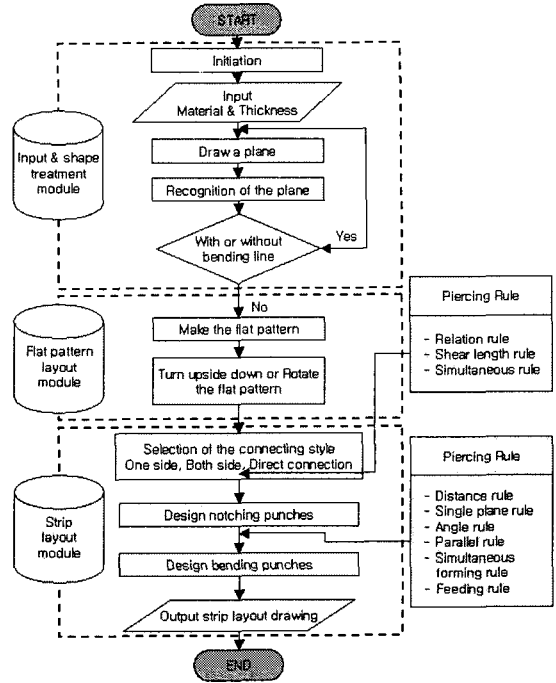


Fig. 1 Configuration of the system for progressive working

로 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 형상인식을 위하여 형상 데이터를 설계에 용이한 수치 리스트 형식으로 변환시키는 모듈이다.

2.2 플래트 패턴 레이아웃 모듈

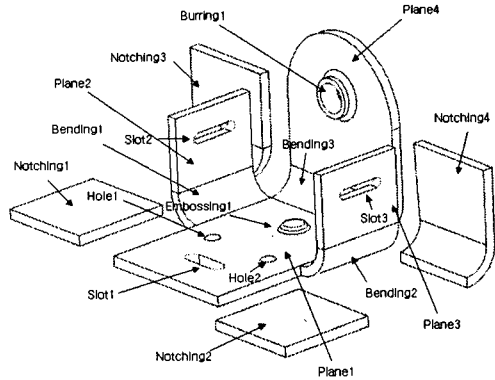
플래트 패턴 레이아웃 모듈에서는 각 굽힘라인에 대하여 데이터 베이스로부터 읽어 들인 소재의 재질에 따른 계수와 굽힘리스트에 저장되어 있는 굽힘반경, 굽힘각도를 추출하여 식(1)에 의하여 굽힘 여유량을 계산한다.

$$L = a + b + \theta(r + xt) \quad (1)$$

여기서, a : length of mother plane
 b : length of children plane
 θ : bending angle

- r : bending radius
- x : coefficient according to r/t
- t : sheet thickness

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.



2.3 스트립 레이아웃 모듈

스트립 레이아웃 모듈은 퍼지 셋 이론에 의한 최적의 굽힘 공정 순서를 결정하여 3차원 형상의 공정설계 도면을 자동적으로 창출한다.

2.3.1 피어싱 공정 설계 규칙

2.3.1.1 관계규칙

피어싱될 영역에 따라 적용되는 규칙으로 is-in, is-on, is-along이 있다. 평면 내부에 있는 홀이나 슬롯은 is-in, 평면위에 있는 엠보싱, 버링, 너링등은 is-on, 평면의 외곽 형상인 노칭은 is-along관계로 정의되어지며 각 형상의 관계를 도식적으로 Fig. 2에, 이들의 퍼지함수를 Fig. 3-(a)에 나타내었다.

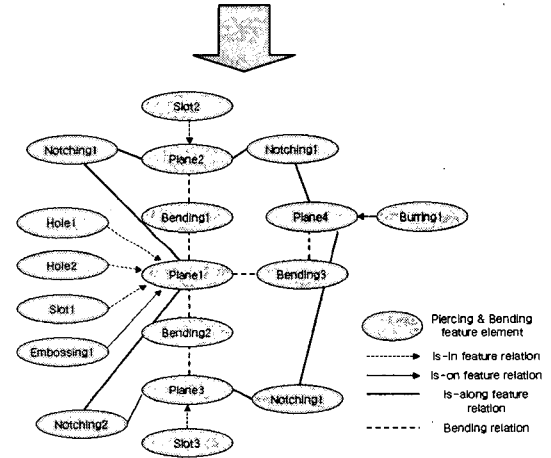


Fig. 2 Definition of relation rules from feature model

2.3.1.2 전단길이 규칙

피어싱될 형상의 전단길이의 크기 순서로 우선 순위를 결정하는 규칙으로, 이 규칙에 관한 퍼지함수를 Fig. 3-(b)에 나타내었다.

2.3.1.3 피어싱 동시가공 규칙

피어싱될 형상이 서로 근접하여 하나의 펀치로 가공이 가능할 경우에 적용되는 규칙으로, 이 규칙에 관한 퍼지함수를 Fig. 3-(c)에 나타내었다.

2.3.2 굽힘 공정설계 규칙

굽힘 공정을 수행할 때 초기의 스트립 위치에서 변화하지 않는 평면, 즉 모든 굽힘선에 대하여 회전하지 않고 고정되어 있는 평면을 “Mother plane”이라 하고 굽힘선을 따라 회전하는 평면을 “child-ren plane”이라 한다.

Mother plane을 결정하는 방법은 1)다른 평면으로 둘러싸인 평면 2)제품의 중앙에 놓여진 평면 3)면적이 가장 큰 평면 등이 있다.

평면의 외부에 굽힘선으로 연결된 평면의 개수가 하나만 있을 경우에 “Single plane”이라 한다. Fig. 4-(a)에서 평면 “P1” “P6”은 Single plane이다.

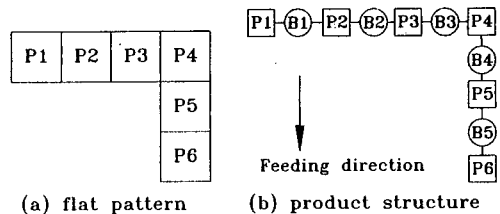


Fig. 4 Product structure of flat pattern

Table 1 A fuzzy matrix [V]

	rule1(r_1)	rule2(r_2)	rule3(r_3)	rule4(r_4)	rule5(r_5)	rule6(r_6)	rule7(r_7)	rule8(r_8)	rule9(r_9)
p_1	$v_{RA}(b_1, r_1)$	$v_{SL}(b_1, r_2)$	$v_{SP}(b_1, r_3)$	0	0	0	0	0	0
p_2	$v_{RA}(b_2, r_1)$	$v_{SL}(b_2, r_2)$	$v_{SP}(b_2, r_3)$	0	0	0	0	0	0
.....
p_n	$v_{RA}(b_n, r_1)$	$v_{SL}(b_n, r_2)$	$v_{SP}(b_n, r_3)$	0	0	0	0	0	0
b_1	0	0	0	$v_{MD}(b_1, r_4)$	$v_{SP}(b_1, r_5)$	$v_{AG}(b_1, r_6)$	$v_{PB}(b_1, r_7)$	$v_{SO}(b_1, r_8)$	$v_{Fd}(b_1, r_9)$
b_2	0	0	0	$v_{MD}(b_2, r_4)$	$v_{SP}(b_2, r_5)$	$v_{AG}(b_2, r_6)$	$v_{PB}(b_2, r_7)$	$v_{SO}(b_2, r_8)$	$v_{Fd}(b_2, r_9)$
.....
b_n	0	0	0	$v_{MD}(b_n, r_4)$	$v_{SP}(b_n, r_5)$	$v_{AG}(b_n, r_6)$	$v_{PB}(b_n, r_7)$	$v_{SO}(b_n, r_8)$	$v_{Fd}(b_n, r_9)$

2.3.2.1 거리규칙

굽힘(Bend)과 Mother plane사이에 놓여진 평면의 개수에 따라 퍼지함수의 퍼지값을 정하는 규칙으로서 이에 관한 퍼지함수(Fuzzy membership function)를 Fig. 5-(a)에 나타내었다.

2.3.2.2 단일 평면 규칙

한 평면에 굽힘이 하나만 존재하는 경우에 적용되는 규칙으로서 이 규칙에 관한 퍼지 함수를 Fig. 5-(b)에 나타내었다.

2.3.2.3 각도 규칙

고정 평면과 회전평면 사이의 굽힘 각도에 따라 퍼지함수의 퍼지값을 정하는 규칙으로서 이 규칙에 관한 퍼지 함수를 Fig. 5-(c)에 나타내었다.

2.3.2.4 평행 규칙

Mother plane에서 같은 방향으로 놓여진 굽힘공정 중 굽힘선이 서로 평행할 때 적용되는 규칙으로

Mother plane과의 상대적인 굽힘각에 따라 퍼지함수의 퍼지값을 결정한다.

평행 규칙이 적용되는 범위는 아래와 같다.

$$VP = BLU_i \cdot BLU_j \geq 0.707 \tag{2}$$

여기서, VP : 단위벡터의 방향 벡터의 내적값
 BLU_i : i번째의 굽힘선의 단위방향벡터
 BLU_j : j번째의 굽힘선의 단위방향벡터

Mother plane과의 상대적인 굽힘각을 구하는 식은 아래와 같다.

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

여기서, k : Virtual mother plane의 바로 앞의 굽힘선

θ_i : i 번째 굽힘각

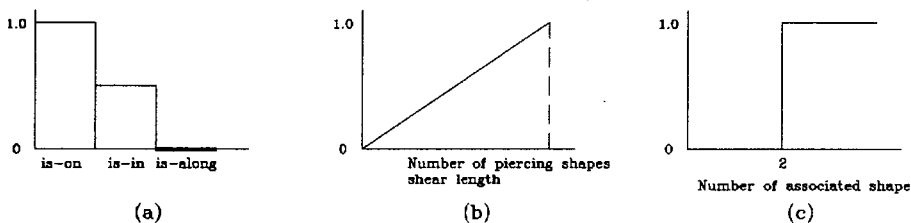


Fig. 3 Fuzzy membership functions for piercing process

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

이 규칙에 관한 퍼지함수를 Fig. 5-(d)에 나타내었다.

2.3.2.5 굽힘 동시 가공 규칙

굽힘선의 방향 벡터가 동일한 굽힘공정에 적용되는 규칙으로서 동일한 굽힘선의 단위 방향 벡터의 개수에 따라 퍼지함수의 퍼지값을 정하는 규칙으로서 이 규칙에 관한 퍼지 함수를 Fig. 5-(e)에 나타내었다.

2.3.2.6 피딩 규칙

굽힘선이 놓여진 방향에 따라 퍼지함수의 퍼지값을 정하는 규칙으로서 이 규칙에 관한 퍼지 함수를 Fig. 5-(f)에 나타내었다.

2.3.3 퍼지 셋을 이용한 계산방법

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

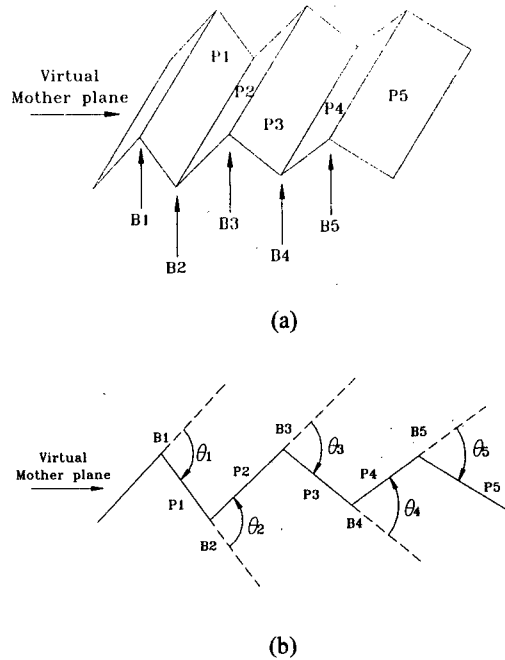


Fig. 6 Bending angle relative to virtual mother plane

2.3.3.1 피어싱 공정을 관한 퍼지 행렬 (fuzzy matrix)

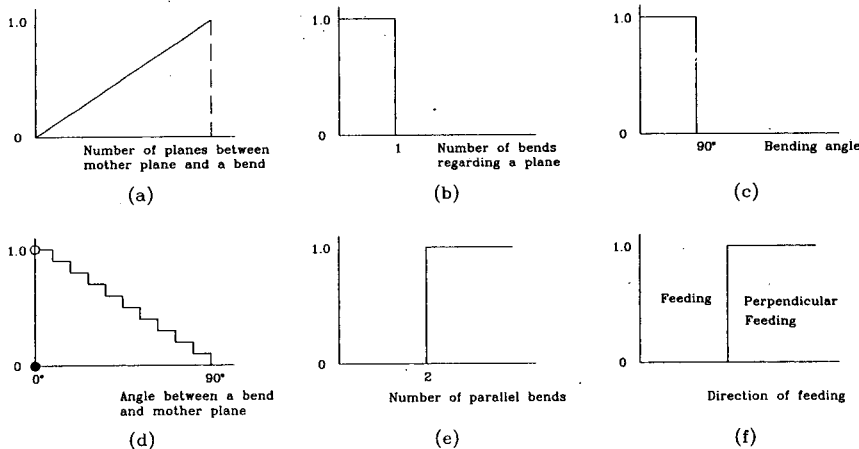


Fig. 5 Fuzzy membership functions for bending process

$$P = \{p_i | i = 1, 2, \dots, n\}$$

: p_i 는 각 굽힘 공정

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

: r_j 는 각 공정설계 규칙

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

$$v_{ijp} = f(p_i, r_j) \tag{4}$$

2.3.3.2 굽힘 공정을 관한 퍼지 행렬

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

: b_i 는 각 굽힘 공정

$$R = \{r_j | j = 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$$

: r_j 는 각 공정설계 규칙

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

$$v_{iib} = f(b_i, r_j) \tag{5}$$

이를 퍼지 행렬[V]로 구성하여 Table 1에 나타내었다.

2.3.3.3 FVM(Final value matrix)의 결정

FVM은 각 굽힘의 퍼지값을 계산하여 굽힘 공정의 순서를 결정하는 행렬이다. 피어싱 공정의 순서를 결정하기 위한 우선 순위는 1) 관계 규칙 2) 전단길이 규칙 3) 피어싱 동시가공 규칙이고, 굽힘 공정의 경우는 다음과 같다. 1) 거리 규칙 2) 단일 평면 규칙 3) 각도 규칙 4) 평행 규칙 5) 굽힘 동시가공규칙 6) 피딩 규칙 순이다. 이에 따라 가중치가 부과된 가중치 행렬은 다음과 같이 정의된다.

$$W_p[R] = \{r_1*2.0, r_2*1.5, r_3*1.0\} \tag{6}$$

$$W_b[R] = \{r_4*1.2, r_5*1.0, r_6*0.8, r_7*0.6, r_8*0.4, r_9*0.2\} \tag{7}$$

굽힘 및 피어싱 공정인 경우에 FVM은 아래와 같이 퍼지행렬[V]과 가중치행렬W[R]의 곱으로 정의된다.

$$FVM = [V_p] \times W_p(R) + [V_b] \times W_b(R) \tag{8}$$

$$\begin{bmatrix} FVM(p_1) \\ \dots \\ FVM(p_n) \\ FVM(b_1) \\ \dots \\ FVM(b_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_p(1,1) & v_p(1,2) & v_p(1,3) \\ v_p(2,1) & v_p(2,2) & v_p(2,3) \\ \dots \\ v_p(n,1) & v_p(n,2) & v_p(n,3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W(p_1) \\ W(p_2) \\ \dots \\ W(p_n) \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} v_b(1,4) & v_b(1,5) & v_b(1,6) & v_b(1,7) & v_b(1,8) & v_b(1,9) \\ v_b(2,4) & v_b(2,5) & v_b(2,6) & v_b(2,7) & v_b(2,8) & v_b(2,9) \\ \dots \\ v_b(n,4) & v_b(n,5) & v_b(n,6) & v_b(n,7) & v_b(n,8) & v_b(n,9) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W(b_1) \\ W(b_2) \\ \dots \\ W(b_n) \end{bmatrix}$$

2.3.4 가공력 계산 및 연결방법

피어싱 및 굽힘공정의 가공력은 아래의 식으로 각각 계산된다.

$$P = \tau t l \tag{9}$$

여기서, P : 피어싱력(kg)

τ : 소재의 전단응력(kg/mm²)

t : 소재의 두께(mm)

l : 전단길이(mm)

$$F = k \frac{bt^2(1.5 + \epsilon_r)\sigma_r}{6l} \tag{10}$$

여기서, F : 굽힘력(kg)

k : 마찰에 의한 수정계수

b : 굽힘선의 길이(mm)

ϵ_r : 굽힘에 의한 변형률

σ_r : 소재의 인장강도(kg/mm²)

l : 굽힘금형의 어깨폭(mm)

재료 이용률, 소재의 압연방향과 굽힘선 간의 위치관계, 연결방법 등을 고려하여, 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.

3. 시스템의 적용 및 고찰

본 연구에서는 Fig. 7과 같은 굽힘 공정을 갖는 제품을 스트립 레이아웃 모듈 및 다이 레이아웃 모듈에 적용시켜 수행된 결과를 고찰하고자 한다.

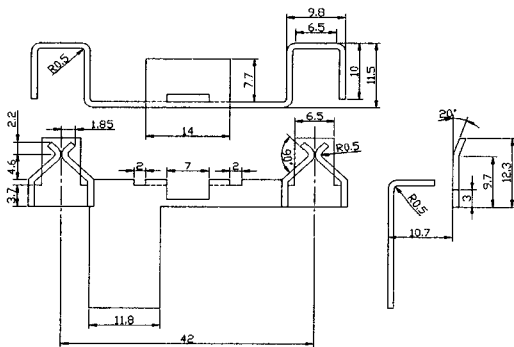


Fig. 7 A sample of the electric product

3.1 입력 및 형상처리모듈에 적용

사용자가 굽힘 공정이 있는 제품에 대하여 Fig. 8-a)와 같이 소재의 종류 및 열처리조건, 두께를 입력시킨 후, 각 평면별로 형상 데이터를 입력하였다. 이 때, 사용자의 편의를 위하여 X-Y평면상에 입력할 수 있도록 시스템이 구성되었다.

하나의 평면의 형상데이터가 자동적으로 인식되고 나면, Fig. 8-b)와 같이 굽힘라인을 선택되어지고, 선택되어진 굽힘라인에 해당되는 굽힘각도, 굽힘반경, 굽힘라인의 이동정보등을 입력한다. 굽힘에 대한 정보가 입력되고 나면, 다음 평면을 입력할 수 있도록 스크린을 클리어(clear)한 후, 굽힘 라인만이 다시 그려진다.

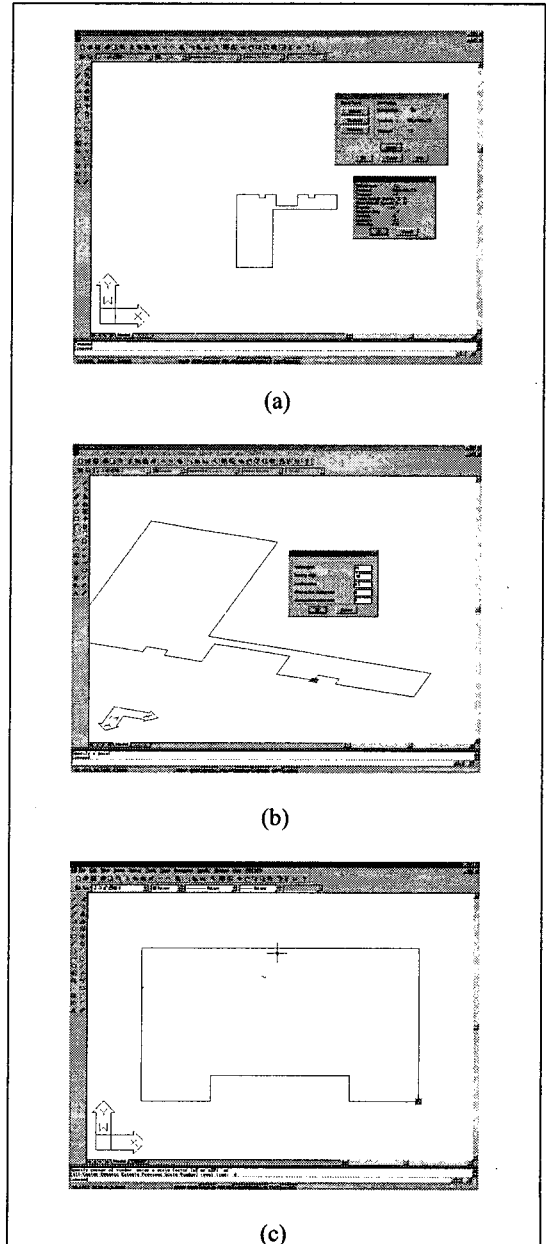
Fig. 8-c)와 같이 두 번째 평면을 입력하면, 자동적으로 형상을 인식하여, 굽힘된 후의 제품형상을 Fig. 8-d)와 같이 스크린 상에 사용자가 알 수 있도록 시스템이 나타내었다.

이러한 과정을 통해서 자동 인식된 제품의 형상

리스트와 굽힘 리스트를 Table 2에 나타내었다.

3.2 플레이트 패턴 레이아웃모듈에 적용

입력 및 형상처리 모듈에서 자동적으로 인식된 평면의 형상리스트와 굽힘리스트를 이용하여, 플레이트 패턴 레이아웃 모듈에서는 펼친 형태의 도면을 출력시킨다.



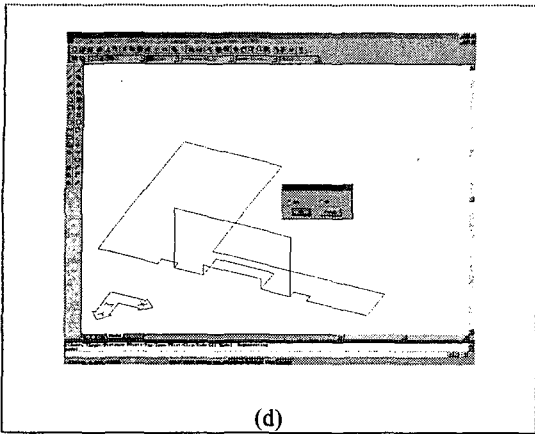


Fig. 8 Application to the input and shape treatment module for recognizing part drawing

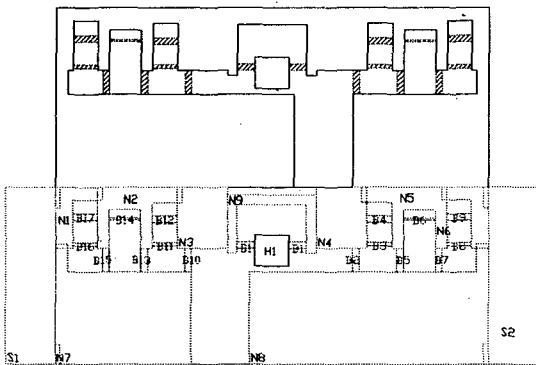


Fig. 9 The results generated out in flat pattern layout module

굽힘 리스트에 저장되어 있는 굽힘의 역순으로, 소재의 재질에 따라 데이터 베이스로부터 얻은 굽힘 계수와 굽힘리스트에 저장된 굽힘반경, 굽힘각도를 추출하여 굽힘 여유량을 계산한다. 굽힘 여유량이 계산되며 굽힘과 관련되는 평면을 자동적으로 탐색하여, 이에 해당되는 평면위의 각 절점을 회전시키고, 이를 다시 계산된 굽힘 여유량 만큼 이동시켰다.

이러한 과정을 반복하여 Fig. 9와 같이 펼친 형태의 도면을 그래픽 형태로 스크린 상에 출력시켰다. 여기서, 해칭 부분은 굽힘 여유량을 나타낸 것이다.

Table 2 List for shape of parts and bending line

1) 평면의 형상 리스트

```

(("P1" (((0.0 0.0 0.0) (1.13276e-015 18.5 0.0)) ((1.13276e-015 18.5 0.0) (1.13276e-015 23.2 0.0))
((1.42054e-015 23.2 0.0) (7.3 23.2 0.0)) ((7.3 23.2 0.0) (7.3 22.2 0.0))
((7.3 22.2 0.0) (9.3 22.2 0.0)) ((9.3 22.2 0.0) (9.3 23.2 0.0))
(9.3 23.2 0.0)) ((9.3 23.2 0.0) (12.8 23.2 0.0)) ((12.8 23.2 0.0) (12.8 19.7 0.0))
((12.8 19.7 0.0) (19.8 19.7 0.0))
((19.8 19.7 0.0) (19.8 23.2 0.0)) ((19.8 23.2 0.0) (23.3 23.2 0.0))
((23.3 23.2 0.0) (23.3 22.2 0.0)) ((23.3 22.2 0.0)
(25.3 22.2 0.0)) ((25.3 22.2 0.0) (25.3 23.2 0.0)) ((25.3 23.2 0.0) (32.6 23.2 0.0))
((32.6 23.2 0.0) (32.6 18.5 0.0))
((32.6 18.5 0.0) (11.8 18.5 0.0)) ((11.8 18.5 0.0) (11.8 0.0 0.0)) ((11.8 0.0 0.0) (0.0 0.0 0.0))))
..... (중략) .....
("P18" (((-23.927 30.2435 -4.36074e-015) (-23.927 33.0715 -3.47256e-015))
(-23.927 33.0715 -3.47256e-015)) ((-23.927 33.0715 -8.08028e-016))
(-18.927 33.0715 -8.08028e-016)) ((-18.927 33.0715 -8.08028e-016) (-18.927 30.2435 -3.47256e-015))
(-18.927 30.2435 -3.47256e-015)) ((-18.927 30.2435 -3.47256e-015) (-23.927 30.2435 -4.36074e-015))))

```

2) 벤딩 리스트

```

(("B1" ((23.3 23.2 0.0) (19.8 23.2 0.0)) ((12.8 23.2 0.0) (9.3 23.2 0.0))) -90.0 0.5 0.0 0.0 "P1" "P2")
("B2" ((32.6 23.2 0.0) (32.6 18.5 0.0))) 90.0 0.5 0.0 0.0 "P1" "P3")
..... (중략) .....
("B16" (((-6.5 23.7 6.5) (-6.5 23.7 1.5))) 45.0 0.5 0.0 0.0 "P16" "P17")
("B17" (((-3.26145 26.9385 6.5) (-3.26145 26.9385 1.5))) -90.0 0.5 0.0 0.0 "P17" "P18"))

```

Table 3 Fuzzy set Matrix $[V_p]$ for piercing

	R1	R2	R3
H1	0.5	1	0
N1	0	0.89	1
N2	0	0.56	1
N3	0	0.33	1
N4	0	0.33	1
N5	0	0.56	1
N6	0	0.89	1
N7	0	0.11	0
N8	0	0	0
N9	0	0.67	0

3.3 스트립 레이아웃 모듈에 적용

Fig. 9에 나타난 것과 같이 1개의 내부슬롯과 9개의 노칭을 포함함 10개의 피어싱 공정을 피어싱 공정설계 규칙에 적용하여 구한 피어싱 퍼지행렬 $[V_p]$ 과 피어싱 퍼지행렬에 가중치를 곱한 피어싱

퍼지값 FVM(p)를 Table 3과 Fig. 10에 각 나타내었다. 피어싱 공정 H1은 평면 내부에 있으므로 관계 규칙에 의해 퍼지값은 0.5이고, N1~N9는 평면에 따른 노칭공정이므로 퍼지값은 0이다. H1, N1~N9의 피어싱 공정을 전단길이 규칙에 적용하여 전단길이가 작은 것부터 큰 순서로 순차적으로 퍼지값을 계산했다. N1~N3, N4~ N6는 동시에 편치의 가공이 가능하므로 동시가공 규칙에 의해 퍼지값을 1로 계산했다.

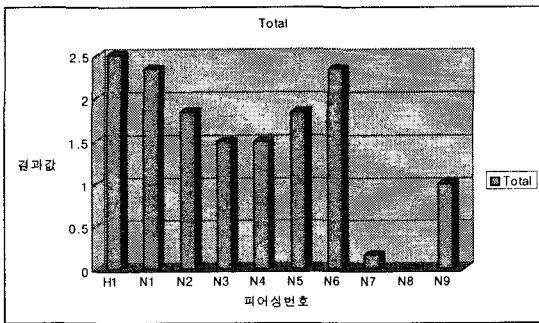


Fig. 10 Final fuzzy value for piercing process

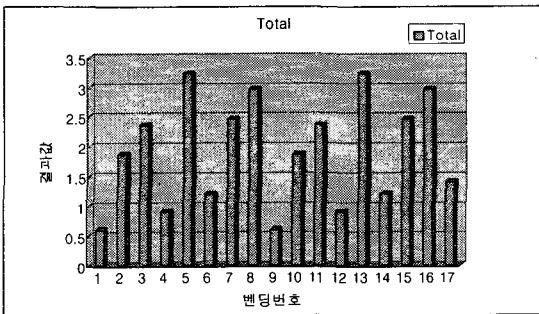


Fig. 11 Final fuzzy value for bending process

굽힘공정인 경우에 각 규칙에 적용하여 구한 FVM(b)의 값을 Fig. 11에 나타내었다.

“ㄷ”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 금형과의 간섭이 발생한다. 따라서, 금형과의 간섭이 발생하지 않도록 굽힘공정 B4, B1, B6 순으로 굽힘 공정을 수행하였다. 이러한 방법으로 공정의 우선 순위가 구해진 스트립 레이아웃 도면을 Fig. 12에 나타내었다. Fig. 12에서 나타난 공정순서를 고찰하면,

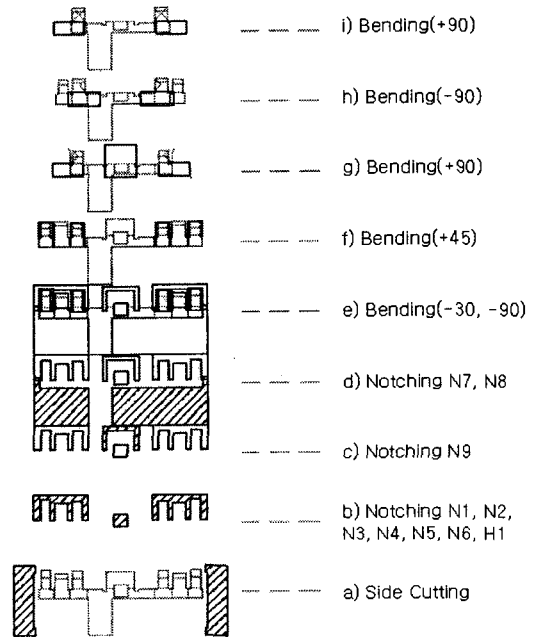


Fig. 12 The strip layout drawings generated in the strip layout module

Table 4 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	80.036	2401.08	0	2401.08
4stage	206.508	6195.24	0	6195.24
5stage	0	0	963.63	963.63
6stage	0	0	208.58	208.58
7stage	0	0	156.432	156.432
8stage	0	0	83.43	83.43
9stage	0	0	83.43	83.43
Total	745.141	22354.23	1,412.072	23,766.302

이송오차를 줄이고 소재의 규격을 일정하게 만들기 위하여 소재의 양끝부분을 절단해 주는 사이드컷팅 공정이 수행되어지고 이를 Fig. 12-a)에 나타내었다. Fig. 12-b)에서는 외부의 피어싱, 즉 노칭(notching) 및 내부 슬롯 공정을 수행하였고, Fig. 12-c)에서는 피어싱 N9공정, Fig. 12-d)에서는 N8 및 N9 공정을 수행하였다. 피딩 방향과 일치하는 굽힘과 피딩 방향에 수직인 굽힘 공정들이 스트립의 가운데 부분

과 양쪽 끝 부분에서 동시에 수행되어지고 이를 Fig. 12-g)에 나타내었고, 피딩 방향에 수직인 굽힘 공정은 제품의 중앙부를 기준으로 양쪽에 3개로 구성되어 있다. 공정 설계규칙에 따라 이들 굽힘 공정들을 수행하여 Fig. 12-h)와 Fig. 12-i)에 각각 나타내었다. 또한, 각 스테이지(stage)에서 계산된 피어싱력 및 굽힘력은 식 (9)~(10)에 의해 계산되어지고 그 결과를 Table 4에 나타내었다.

4. 결론

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

개발된 시스템의 장점은 다음과 같다.

1. 스트립 레이아웃 모듈에서는 굽힘 및 피어싱 공정에 대하여 각 규칙을 퍼지 행렬과 가중치 행렬의 곱으로 구성된 FVM을 계산하여, 간섭이 발생하지 않는 공정의 우선순위를 결정하고, 이에 따라 스트립 레이아웃 도면을 그래픽 형태로 자동적으로 출력시킬 수 있다.
2. 입력 및 형상처리 모듈에서는 제품의 3차원 형상의 평면 리스트와 굽힘 리스트의 수치 데이터로 변환시켜 3차원 형상의 리스트를 인식시킬 수 있다.
3. 플레이트 패턴 모듈에서는 이러한 형상 인식 정보를 가지고 펼친 형태의 도면을 창출시킬 수 있다.

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

참고문헌

1. Shibata, Y. and Kunimoto, Y., "Sheet metal CAD/CAM system," Bull. Jpn. Soc. Prec. eng., Vol. 15, pp. 219-224, 1981.
2. Choi, J.C., Kim, C., Yoon, J.H., "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.

3. Kim, J. H., Kim, Chul, Choi, J. C., "An Automated Process Planning System for Progressive Working of Electric Products," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 17, No.8, pp.198-206, 2000.
4. Kim, N. S., Jung, H. G., Kang, C. G., "A Study on Development of Program for an Automated Thixoforming Process Design," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 18, No.1, pp.44-55, 2001.
5. Lee, C. M., Song, I. S., Jung, W. G., "A Study on the Automatic Design of Dies for Hot Extrusion of Aluminium Alloys," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 20, No.1, pp. 135-143, 2003.
6. Kim, E. S., Kim, J. H., Park, Y. S., Kim, Chul, Choi, J. C., "Development of an Automated Design System of CNG Composite Vessel using Steel Liner Manufactured by D.D.I Process," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 20, No.1, pp. 205-213, 2003.