

# 구속을 갖는 굽힘 및 피어싱용 제품의 프로그레시브 가공을 위한 자동화된 CAD 시스템

최재찬\*, 김 철\*

## An Automated CAD System of Product with Bending Constraints and Piercing for Progressive Working

J.C. Choi\*, Chul Kim\*

### ABSTRACT

This paper describes a research work of developing a computer-aided design of product with bending constraints and piercing for progressive working. An approach to the CAD system is based on the knowledge-based rules. Knowledge for the CAD 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, production feasibility check, and strip-layout module. Based on knowledge-based rules, the system is designed by considering several factors, such as radius and angle of bend, material and thickness of product, complexities of blank geometry and punch profile, bending sequence, and availability of press. Strip layout drawing generated by piercing with punch profiles divided into automatically for external area is shown into graphic forms, including bending sequences for the product with piercing and bending constraints. Results obtained using the modules enable the designer and manufacturer of piercing and bending dies to be more efficient in this field.

**Key Words** : Bending & Piercing(벤딩/피어싱), Knowledge Based Rules(지식 베이스규칙), Bending sequence(굽힘가공순서), Production Feasibility Check(가공가능성검사), Strip Layout(스트립레이아웃)

### 1. 서론

굽힘 및 피어싱 공정을 갖는 제품의 가공가능성 검사와 스트립-레이아웃은 대부분 숙련된 기술자의 경험과 직관적 판단에 의해 수행되어왔다. 그러나, 최근에는 고정도화 및 납기 단축으로 인하여 컴퓨터를 이용한 설계기술의 필요성이 대두되었다. 그리하여, 숙련된 기술자의 경험을 정식화하여 컴퓨

터를 이용한 설계 자동화에 관한 연구가 보고되고 있다. [1-6] 1971년에 Shaffer<sup>[1]</sup>가 Progressive Die Design by Computer(PDDC) system을 개발했으며 뒤에 Fogg와 Jaimson<sup>[2]</sup>은 다이-레이아웃에 영향을 미치는 여러 가지 요소들을 고려하여 더 개선된 PDDC system을 개발했다. 그러나, 이 시스템의 단

\* 부산대학교 기계공학부, 정밀정형 및 금형가공 연구센터

점은 번지동이고 긴 공정시간이 소요된다. Shibata와 Kunitomo<sup>[14]</sup>는 플랫패턴레이아웃과 다이레이아웃의 화면출력을 목적으로 하는 CAD/CAM 시스템을 개발하였고, Nakahara<sup>[4]</sup> 등은 프로그래시브 다이레이아웃을 위한 시스템을 도입하였다. 또한, Choi<sup>[5]</sup> 등은 불규칙 형상 박판제품의 블랭킹 및 피어싱 공정에 대한 공정 및 급형설계 자동화 시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 구속을 갖는 굽힘 및 피어싱 가공 제품에 대하여 프로그래시브 가공을 위하여 제품의 외부영역에서 펀치형상의 분할이 자동으로 이루어 지도록 하여 피어싱 가공을 수행하였고, 또한 간섭이 발생하지 않도록 굽힘 가공의 공정순서를 결정하였으며, 동시에 굽힘가공을 할 수 있는 공정들은 한 공정에서 작업함으로써 최소의 공정으로 굽힘가공을 수행할 수 있는 자동화된 CAD 시스템을 개발했다.

## 2. 시스템의 구성

본 시스템은 입력 및 형상처리모듈, 플랫패턴레이아웃모듈, 가공가능성 검사모듈, 스트립레이아웃모듈로 구축되어 있고, 하나의 환경에서 수행되며 각 모듈들이 규칙과 데이터 베이스를 공유하므로 수행 중 시스템을 중단하지 않고서 모든 과정을 수행할 수 있는 장점이 있다. 또한, 시스템의 진행방식은 선택의 다양성을 위하여 대화식을 이용하였으며 시스템의 전체적인 구조를 Fig. 1에 나타내었다.

구속을 갖는 굽힘 및 피어싱 제품도면에 대하여 제품의 형상과 재질, 두께, 굽힘반경, 굽힘각도 등을 입력모듈에서 입력시키면 형상처리모듈에서는 제품도면을 자동으로 인식하여 플랫패턴레이아웃모듈로 넘긴다. 플랫패턴레이아웃모듈에서는 굽힘여유량을 고려한 펼친 형태의 도면을 창출시킨다. 펼친 형태의 형상데이터를 설계의 자동화에 용이한 수치데이터로 변환시키고, 변환된 수치데이터를 가공가능성 검사모듈로 전달시킨다. 가공가능성 검사모듈에서는 제품의 가공 가능성을 검사한 후, 성형 가능한 데이터를 스트립레이아웃모듈에 전달한다.

스트립레이아웃모듈에서는 구속을 갖는 굽힘 공정에 대하여 간섭이 발생하지 않는 공정순서를 결정한 후, 동시에 할 수 있는 굽힘 공정을 고려하여 최소의 굽힘 공정수를 결정한다. 굽힘 가공의 공정순서가 결정되면, 구속을 갖는 굽힘 및 피어싱

제품에 대하여 외부영역의 피어싱 펀치형상을 만들어 프로그래시브 가공을 수행할 수 있는 공정설계 도면을 자동적으로 창출한다. 이러한 시스템을 구성하는 각 모듈들의 기능적인 설명은 아래에서 간략히 다루고자 한다.

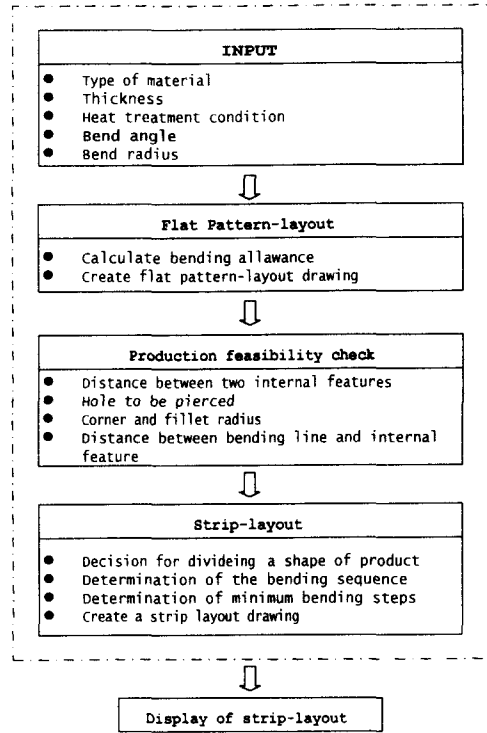


Fig. 1 Modular structure of the CAD system

### 2.1 입력 및 형상처리모듈

#### (input and shape treatment module)

소재의 종류, 두께, 폭, 열처리 조건, 굽힘반경, 굽힘각도 등을 입력하면, 입력모듈은 소재의 기계적 성질에 관한 정보를 데이터 베이스로부터 자동적으로 읽어 들인다.

### 2.2 플랫패턴레이아웃모듈

#### (flat pattern layout module)

플랫패턴레이아웃모듈은 구속을 갖는 굽힘 및 피어싱 제품도면에 대하여 입력된 굽힘반경, 굽힘각도, 소재의 재질 및 두께, 내부형상, 외부형상 및 굽힘선에 대한 수치리스트의 정보를 가지고 굽힘여유량을 계산하여 펼친 형태의 도면을 그래픽 형태

로 스크린상에 출력시키고, 편진 형태의 영상데이터를 설계에 용이하게 사용할 수 있는 수치데이터로 변환시켜 저장한다. 이 모듈에서 굽힘방향은 자동으로 인식되어지고, 굽힘선들은 중립축에서 굽힘호의 중간지점에 위치한다.

### 2.3 가공가능성검사모듈

#### (production feasibility check module)

가공가능성검사모듈은 플랫폼패턴레이아웃모듈에서 구한 블랭크의 정보로 성형가능성을 검사하는 모듈로써, 블랭킹이나 피어싱으로 블랭크 윤곽을 성형할 경우, 가공가능한 기하학적 영역을 제시한다. 가공가능성 검사시에 고려되는 요소들은 블랭킹 또는 피어싱될 두 내부형상 사이의 거리, 피어싱될 구멍의 직경, 제품의 코너 및 필렛반경, 굽힘선과 내부형상 사이의 거리이다.

### 2.4 스트립레이아웃모듈

#### (strip layout module)

스트립레이아웃모듈은 위의 각 모듈들을 수행하여 얻은 결과에 따라, 프로그래시브 가공을 위하여 제품의 외부영역에서 편지형상의 분할이 자동으로 이루어지도록 하여 피어싱 가공을 수행하고, 구속을 갖는 굽힘에 대하여 간섭이 발생하지 않도록 공정순서를 결정하고, 동시에 굽힘가공을 할 수 있는 공정들은 한공정에서 작업함으로써 최소의 공정으로 굽힘 가공을 수행하게 된다. 이러한 결과를 토대로 하여 이 모듈에서는 공정설계도면이 자동적으로 창출되어진다.

#### 2.4.1 굽힘가공 순서의 구속

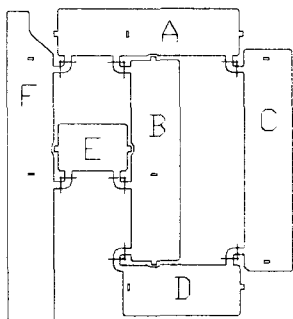


Fig. 2 Bending sequence according to strip-layout rules

구속을 갖는 굽힘의 공정순서를 결정하기 위하여 각각의 굽힘면을 Fig. 2와 같이 기호로 나타내었고, 각각의 굽힘면들에 대하여 굽힘공정의 구속을 검사하는 방법을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Constraints on the bending sequence

Wall	Walls to be assembled with	Constraints on bending sequence
A	B	(B A)
	C	(A C)
	F	(A F)
B	D	(B D)
	E	(E B)
C	D	(D C)
E	F	(E F)

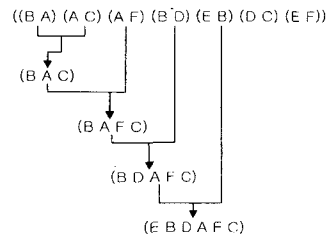
Table 1에 나타난 것과 같이 굽힘면 A는 B,C,F와 구속이 되고, B는 D와 E, C는 D, E는 F와 구속되어 있다. 이러한 구속조건들을 이용하여 다음과 같은 굽힘의 구속리스트가 만들어진다.

$$((B A) (A C) (A F) (B D) (E B) (D C) (E F)) \quad (1)$$

여기서 서브리스트 (B A)는 B를 먼저 굽힘 가공을 하고 난 후 A를 굽힘 가공하는 것을 의미한다.

#### 2.4.2 굽힘가공 순서의 결정

구속을 갖는 굽힘에 대하여 간섭이 발생하지 않는 공정순서를 결정하기 위해서, 굽힘의 구속리스트의 첫 번째 서브리스트로부터 순서대로 굽힘면의 전후를 고려하여 굽힘의 공정순서 리스트에 첨가시킨다. 이러한 과정을 간략하게 나타내면 다음과 같다.



이와 같은 과정을 거처서 최종적으로 얻어진 굽힘의 공정순서 리스트는 아래와 같다.

$$(E B D A F C) \quad (2)$$

### 2.4.3 최소 굽힘 공정수의 결정

굽힘의 공정순서 리스트(2)은 굽힘면이 6개이므로 6번의 굽힘 공정을 수행해야 한다. 그러나, 이러한 공정순서는 구속에 대한 간섭을 발생시키지 않으나, 굽힘 가공이 가능한 최소의 공정수라고는 할 수 없다. 따라서, 최소의 굽힘 공정수를 결정하기 위하여 굽힘의 공정순서 리스트의 처음과 끝의 요소를 제외하고 2개씩 묶어 리스트로 만들어 아래와 같이 나타내었다.

$$((E B) (B D) (D A) (A F) (F C)) \quad (3)$$

2개의 인접한 서브리스트들이 굽힘의 구속리스트에 존재하지 않으면 3개의 굽힘면들은 동시에 굽힘가공을 할 수 있다. 그런데 리스트(3)에서는 이러한 경우가 발생하지 않았고 리스트(3) 가운데 서브리스트, (D A)는 굽힘의 구속 리스트(1)에 존재하지 않는다. 그러므로 굽힘면 D와 A는 동시에 가공이 가능함을 알 수 있고, 서브리스트, (F C)도 한 공정에서 동시에 굽힘가공을 수행 할 수 있다. 그리하여 굽힘의 최소 공정순서 리스트를 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$(E B (A D) (F C)) \quad (4)$$

리스트(4)에서 6개의 면에 대한 굽힘공정을 수행하는데 필요한 최소 공정수는 4공정임을 알 수 있다. 여기서 굽힘의 최소 공정순서 리스트(4)의 서브리스트(A D) 또는 (F C)의 공정순서에 대하여 우선 순위는 중요하지 않다.

## 3. 시스템의 규칙 및 데이터베이스

본 시스템은 구속을 갖는 굽힘 및 피어싱 제품에 대하여 입력 및 형상 처리, 플랫폼패턴레이아웃, 가공가능성검사, 스트림-레이아웃에 대한 전문기술을 소성역학이론, 축적 되어온 연구결과 및 현장전문가의 경험적 지식에서 추출하여 일반적이고 모순이 없는 사항에 대하여 규칙과 데이터베이스를 구

축하였다. 경험적인 설계지침들과 노하우를 체계화시켜 정량화한 규칙은 의사결정에 기초한 "IF [conditions] THEN [actions]" 형태의 생성규칙을 사용하였으며, 조건부의 정보에 따라서 결과부의 정보를 계산하며 결과부의 출력 정보는 다음 조건부의 입력 정보가 된다. 또한, 정량화된 데이터는 시스템 내의 추가적인 구축을 용이하게 할 수 있다.

### 3.1 플랫폼패턴레이아웃 규칙

규칙1) 굽힘제품의 플랫폼패턴레이아웃은 직선부와 굽힘부로 나누어지고 굽힘부분을 별도로 계산한다.

규칙2) 플랫폼패턴레이아웃의 전개길이는 아래의 식으로 결정한다.

$$L = \sum A_i + x, \quad x = \frac{\theta}{360} 2\pi(r + \lambda t)$$

여기서,  $A_i$ : 직선부의 길이

$x$ : 굽힘부의 길이

$\theta$ : 굽힘각도

$r$ : 굽힘반경

$t$ : 제품두께

$\lambda$ : 데이터베이스로부터 구한다.

규칙3) 중립축은  $r/t$ 가 작을수록 중립축은 내측으로 이동하고  $r/t$ 가 5 이상이면 중립축은 제품두께의 중앙으로 한다.

규칙4)  $r/t$ 가 0.2이하일 때의 V-굽힘에서 굽힘부의 길이는 아래의 식으로 한다.

$$x = 0.5t$$

규칙5)  $r/t$ 가 0.2이하일 때의 U-굽힘에서 굽힘부의 길이는 아래의 식으로 한다.

$$x = (0.45 \sim 0.5)t$$

규칙6) 굽힘선은 중립축에서 굽힘호의 중간지점에 위치한다.

### 3.2 가공가능성검사 규칙

규칙1) 제품형상간의 여유폭 및 제품의 상, 하 변선과의 여유폭은 소재의 두께에 따라서 데이터 베이스로부터 결정된다.

규칙2) 내부형상 사이의 최소거리는 데이터 베이스에서 제시한 값 보다는 커야한다.

규칙3) 피어싱 구멍의 형상이 사각형이나 원형이면 피어싱의 가공한계치수는 형상, 두께, 물성치에 의존하여 데이터 베이스의

조건을 만족해야한다.

- 규칙4) 데이터 베이스에 존재하지 않는 소재이 면 직경 또는 슬리트 폭은 두께( $t$ ) 보다 커야 한다.
- 규칙5) 제품의 코너 및 윗렛 반경은  $0.5t$  보다 커야 한다.
- 규칙6) 굽힘선과 내부형상사이의 최소거리는 다음조건식을 만족해야한다.

$$r < g$$

여기서,  $g$ : 굽힘선과 내부형상사이의 최소거리  
 $r$ : 굽힘반경

### 3.3 스트립레이아웃 규칙

- 규칙1) 굽힘면 A가 인서트(Insert)이고, 굽힘면 B가 슬롯(Slot)이면, (AB)의 서브리스트로 표현된다.
- 규칙2) 구속을 갖는 굽힘의 공정순서 리스트는 다음과 같은 순서로 결정한다.
  - 가. 굽힘의 공정순서 리스트를 초기화시킨다.
  - 나. 굽힘의 구속 리스트의 첫 번째 서브리스트를 굽힘의 공정순서 리스트에 삽입한다.
  - 다. 굽힘의 구속 리스트의 서브리스트를 순서대로 삽입하여 굽힘면의 전후를 고려하여 굽힘의 공정순서 리스트에 위치시킨다.
- 규칙3) 굽힘의 최소 공정순서 리스트를 결정하기 위하여, 굽힘의 공정순서 리스트의 요소가  $n$ 개라고 하면 첫 요소와 끝요소를 제외하고 요소를 두 개씩 묶어  $(n-1)$ 개의 서브리스트를 만든다. 이 때, 하나의 서브리스트의 뒤의 요소가 다음 서브리스트의 첫 요소가 되도록 한다.
- 규칙4) 규칙3)에 의해 만들어진 리스트의 서브리스트들 중에서 굽힘의 구속 리스트에 있는 서브리스트를 제외하여 굽힘의 최소 공정순서 리스트를 결정한다.
- 규칙5) 구속을 갖는 굽힘 및 피어싱 제품의 스트립-레이아웃은 외부영역에서 피어싱가공을 먼저 수행한다.
- 규칙6) 서로 관련이 있는 내부형상이 존재할 때 편치 장착이 가능하면 첫 번째 공정에서 가공한다.
- 규칙7) 첫 번째 다이블랭크를 나열된 피치의 가

장 좌측에 배열하고 공정 순서에 따라 두 번째 다이블랭크를 첫 번째 다이블랭크가 놓여진 피치에 놓일 때 겹쳐지지 않으면 첫 번째 피치에 배열하고 겹쳐지면 두 번째 피치로 이동한다. 이와 같은 방법을 연속적으로 수행한 후, 스트립-레이아웃을 완료한다.

- 규칙8) 다이측면에 작용하는 면압은 아래식으로 결정한다.

$$P_{face} = \frac{F_d}{L_{shear} \times t \times BLR}$$

여기서, BLR: 소재 두께에 대한 버니쉬 길이 비(mm)

$F_d$ : 측방력  $t$ : 소재두께

$L_{shear}$ : 전단길이의 총합

- 규칙9) 다이측면에 작용하는 면압에 견딜 수 있는 다이외경은 아래의 식으로 결정한다.

$$d_o = \frac{d_i}{\sqrt{\frac{\sqrt{3}P_{face}}{m\sigma_y} \sqrt{2 - \left(\frac{\sqrt{3}P_{face}}{m\sigma_y}\right)^2} - 1}}$$

여기서,  $m$ :  $1 \leq m \leq 1.155$

$\sigma_y$ : 다이의 항복 강도

$d_i$ : 다이내경

- 규칙10) 절단면의 파단면을 외측으로 굽히면 균열이 발생하기 쉬우므로 절단면의 전단면을 외측에 설정한다.

- 규칙11) V-자유굽힘 가공력은 아래의 식으로 결정한다.

$$P_1 = C_1 \times \frac{B \times t^2 \times \sigma_b}{L}$$

여기서,  $P_1$ : 굽힘가공력

$C_1$ : 보정계수

(데이터베이스로부터 구함)

$B$ : 굽힘선 길이

$t$ : 판 두께

$\sigma_b$ : 재료의 인장강도

(데이터베이스로부터 구함)

### 4. 시스템의 적용 및 고찰

본 연구에서는 Fig. 3과 같은 구속을 갖는 굽힘

빛 피어싱 제품을 개발된 CAD 시스템에 적용시켜, 각 모듈에서 수행된 결과에 대하여 고찰하고자 한다.

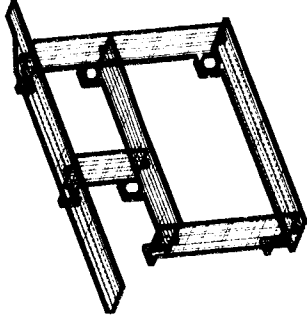


Fig. 3 Drawing of a sample

#### 4.1 플랫폼패턴레이아웃모듈에 적용

사용자가 Fig. 3과 같은 구조를 갖는 굽힘 빛 피어싱 제품 도면을 Table 2과 같이 입력시킬 때, 이 모듈에서는 Fig. 4와 같은 펼친 형태의 도면이 창출되어지고, 설계의 자동화를 용이하게 하기 위하여 펼친 형태의 형상데이터를 수치데이터로 변환시킨다. 수치데이터로 변환된 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 2 Input data of input and shape treatment module for a sample blank

```

*****
* Material Selection *
*****

1. Steel
2. Al
3. Zinc, Cu, Brass, Tin,
   Bronze, Lead, Nickel,
   Si
4. Non-exist Metal

Select the Number : 3
Select the material (Ex: Cu): Si

*****
* HEAT TREATMENT CONDITIONS *
*****

A=ANNEALED, C=COLD-ROLLED or
A=SOFTMat'l, C=HARD Mat'l
    
```

input heat treatment condition (C/A): C

```

*****
* WORKPIECE THICKNESS *
*****

Workpiece Thickness (mm)
<0.001... 10.0>

■ Input the Thickness : 1.0

*****
* Input bend_angle and bend_radius *
*****

Input bend_angle(1) ( degree ) ! : 90
Input bend_radius(1) ( mm ) ! : 1.5
Input bend_angle(2) ( degree ) ! : 90
Input bend_radius(2) ( mm ) ! : 1.5
Input bend_angle(3) ( degree ) ! : 90
Input bend_radius(3) ( mm ) ! : 1.5
Input bend_angle(4) ( degree ) ! : 90
Input bend_radius(4) ( mm ) ! : 1.5
Input bend_angle(5) ( degree ) ! : 90
Input bend_radius(5) ( mm ) ! : 1.5
Input bend_angle(6) ( degree ) ! : 90
Input bend_radius(6) ( mm ) ! : 1.5
    
```

▶ After press return key to continue,wait for a minute!

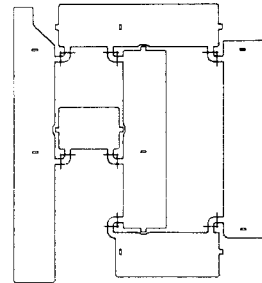


Fig. 4 Flat pattern layout drawing generated in flat pattern-layout module for the sample blank

#### 4.2 가공가능성검사모듈에 적용

Fig. 3과 같은 1mm의 두께를 가진 구조를 갖는 굽힘 및 피어싱 제품을 가공가능성검사모듈에 적용시킬 때, 이 모듈에서는 선과 선, 선과 호, 선과 원 사이의 가공가능한 내부형상 최소거리 및 굽힘선과 내부형상 사이의 최소거리를 계산하여 가공가능한 영역을 Fig. 5에 나타내었다. 또한, 제품의

코너반경 및 피어싱된 내부구멍들의 가공가능성에 대한 검사 결과는 Table 4에 각각 나타내었다.

Table 3 Numerical date list carried out in flat pattern-layout module for the sample blank

Numerical list of internal shape :			
((46.675 53.1 0.0) (46.675 53.4 0.0))	((46.675 53.4 0.0) (46.775 53.4 0.0) (rev))	((46.775 53.1 0.0) (47.975 53.1 0.0))	
((47.975 53.1 0.0) (48.075 53.4 0.0) (rev))	((48.075 53.4 0.0) (48.075 53.1 0.0))		
((48.075 53.1 0.0) (47.975 53.0 0.0) (47.975 53.1 0.0) (rev))			
((47.975 53.0 0.0) (46.775 53.0 0.0))			
((46.775 53.0 0.0) (46.675 53.1 0.0) (rev))			
Numerical list of external shape :			
((67.5 32.1 0.0) (67.5 34.0 0.0))	((67.5 34.0 0.0) (68.0 34.5 0.0) (68.0 34.0 0.0) (rev))		
((68.0 34.5 0.0) (69.9 34.5 0.0))	((69.9 34.5 0.0) (70.0 34.4 0.0) (69.9 34.4 0.0) (rev))		
((70.0 34.4 0.0) (70.0 33.5 0.0))	((70.0 33.5 0.0) (70.5 33.0 0.0) (70.5 33.5 0.0))		
((70.5 33.0 0.0) (74.4 33.0 0.0))	((74.4 33.0 0.0) (74.5 32.9 0.0) (74.4 32.9 0.0) (rev))		
((74.5 32.9 0.0) (74.5 32.2 0.0))	((74.5 32.2 0.0) (74.5 32.1 0.0) (74.6 32.2 0.0))		
((74.6 32.1 0.0) (75.65 32.1 0.0))	((75.65 32.1 0.0) (75.75 32.2 0.0) (75.65 32.2 0.0))		
((75.75 32.2 0.0) (75.75 32.9 0.0))	((75.75 32.9 0.0) (75.85 33.0 0.0) (75.85 32.9 0.0) (rev))		
((75.85 33.0 0.0) (80.5 33.0 0.0))	((80.5 33.0 0.0) (81.0 33.5 0.0) (80.5 33.5 0.0))		
((81.0 33.5 0.0) (81.0 79.5 0.0))	((81.0 79.5 0.0) (80.5 80.0 0.0) (80.5 79.5 0.0))		
((80.5 80.0 0.0) (75.85 80.0 0.0))	((75.85 80.0 0.0) (75.75 80.1 0.0) (75.85 80.1 0.0) (rev))		
((75.75 80.1 0.0) (75.75 80.8 0.0))	((75.75 80.8 0.0) (75.65 80.9 0.0) (75.65 80.8 0.0))		
((75.65 80.9 0.0) (74.6 80.9 0.0))	((74.6 80.9 0.0) (74.5 80.8 0.0) (74.6 80.8 0.0))		
((74.5 80.8 0.0) (74.5 80.1 0.0))	((74.5 80.1 0.0) (74.4 80.0 0.0) (74.4 80.1 0.0) (rev))		
((74.4 80.0 0.0) (70.5 80.0 0.0))	((70.5 80.0 0.0) (70.9 79.5 0.0) (70.5 79.5 0.0) (rev))		
((70.9 79.5 0.0) (70.0 78.6 0.0))	((70.0 78.6 0.0) (69.9 78.5 0.0) (69.9 78.6 0.0) (rev))		
((69.9 78.5 0.0) (68.0 78.5 0.0))	((68.0 78.5 0.0) (67.5 79.0 0.0) (68.0 79.0 0.0) (rev))		
((67.5 79.0 0.0) (67.5 80.9 0.0))	((67.5 80.9 0.0) (67.6 81.0 0.0) (67.6 80.9 0.0) (rev))		
((67.6 81.0 0.0) (73.4764 81.0 0.0))			
((73.4764 81.0 0.0) (73.5211 81.0106 0.0) (73.4764 81.1 0.0))			
((73.5211 81.0106 0.0) (74.4789 81.4894 0.0))			
((74.4789 81.4894 0.0) (74.5236 81.5 0.0) (74.5236 81.4 0.0) (rev))			
((74.5236 81.5 0.0) (75.7289 81.5 0.0))			
((75.7289 81.5 0.0) (75.7711 81.4894 0.0) (75.7289 81.4 0.0) (rev))			
((75.7711 81.4894 0.0) (76.7289 81.0106 0.0))			
((76.7289 81.0106 0.0) (76.7736 81.0 0.0) (76.7736 81.1 0.0))			
((76.7736 81.0 0.0) (91.4 81.0 0.0))	((91.4 81.0 0.0) (91.5 80.9 0.0) (91.4 80.9 0.0) (rev))		
((91.5 80.9 0.0) (91.5 78.5 0.0))	((91.5 78.5 0.0) (93.0 77.0 0.0) (93.0 78.5 0.0))		
((93.0 77.0 0.0) (95.4 77.0 0.0))	((95.4 77.0 0.0) (95.5 76.9 0.0) (95.4 76.9 0.0) (rev))		
((95.5 76.9 0.0) (95.5 36.1 0.0))	((95.5 36.1 0.0) (96.4 36.0 0.0) (96.4 36.1 0.0) (rev))		
((96.4 36.0 0.0) (93.0 36.0 0.0))	((93.0 36.0 0.0) (91.5 34.5 0.0) (93.0 34.5 0.0))		
((91.5 34.5 0.0) (91.5 32.1 0.0))	((91.5 32.1 0.0) (91.4 32.0 0.0) (91.4 32.1 0.0) (rev))		
((91.4 32.0 0.0) (76.7736 32.0 0.0))			
((76.7736 32.0 0.0) (76.7289 31.9894 0.0) (76.7736 31.9 0.0))			
((76.7289 31.9894 0.0) (75.7711 31.5106 0.0))			
((75.7711 31.5106 0.0) (75.7289 31.5 0.0) (75.7289 31.6 0.0) (rev))			
((75.7289 31.6 0.0) (74.5236 31.5 0.0))			
((74.5236 31.5 0.0) (74.4789 31.5106 0.0) (74.4789 31.6 0.0) (rev))			
((74.4789 31.5106 0.0) (73.5211 31.9894 0.0))			
((73.5211 31.9894 0.0) (73.4764 32.0 0.0) (73.4764 31.9 0.0))			
((73.4764 32.0 0.0) (67.6 32.0 0.0))			
((67.6 32.0 0.0) (67.5 32.1 0.0) (67.6 32.1 0.0) (rev))			
Numerical list of bend line :			
((94.0 33.25 0.0)(94.0 37.25 0.0))	((94.25 33.5 0.0)(90.25 33.5 0.0))		
((94.25 79.5 0.0)(90.25 79.5 0.0))	((94.0 79.75 0.0)(94.0 75.75 0.0))		
((68.75 33.5 0.0)(64.75 33.5 0.0))	((68.5 33.25 0.0)(68.5 37.25 0.0))		
((68.75 79.5 0.0)(64.75 79.5 0.0))	((63.75 79.5 0.0)(67.75 79.5 0.0))		
((68.5 79.75 0.0)(68.5 75.75 0.0))	((64.0 79.75 0.0)(64.0 75.75 0.0))		
((63.75 52.5 0.0)(67.75 52.5 0.0))	((64.0 52.75 0.0)(64.0 48.75 0.0))		
((68.75 52.5 0.0)(64.75 52.5 0.0))	((68.5 52.75 0.0)(68.5 48.75 0.0))		

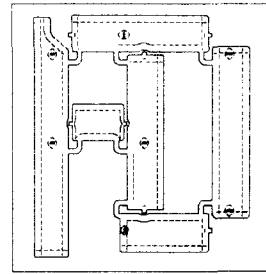


Fig. 5 The feasible area carried out production feasibility check module for the sample blank

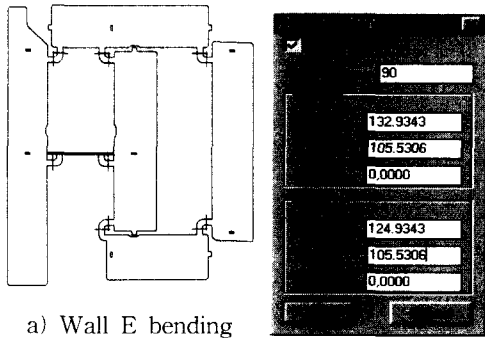
Table 4 Calculated results of minimum dimensions of holes, distance between internal features for the sample blank

Min. Diameter of Circle G.T. Criteria
Min. Diameter : 4.0mm
Limit Diameter : 1.0mm
Min. Rectangular Distance G.T. Criteria
Min. Rectangular Distance : 1.00499mm
Limit Distance : 1.0mm

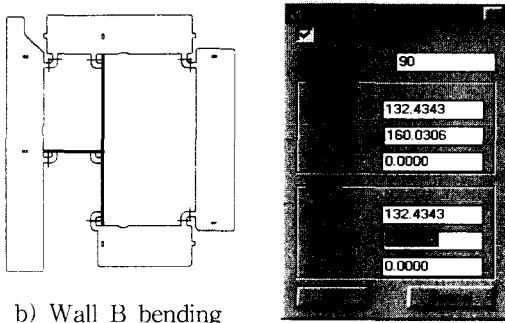
### 4.3 스트립레이아웃모듈에 적용

Fig. 3과 같은 구조를 갖는 굽힘 및 피어싱 제품을 스트립레이아웃모듈에 적용시킬 때 이 모듈에서 수행되어 출력된 결과를 Fig. 6와 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 6은 스트립레이아웃 규칙에 의하여 결정된 공정순서에 따라 굽힘가공이 수행되어 지는 과정을 보여주며, Fig. 7은 구조를 갖는 굽힘 및 피어싱 제품에 대하여 개발된 자동화된 CAD 시스템의 스트립-레이아웃모듈에서 스트립레이아웃 도면이 창출되어지는 과정을 보여준다. Fig. 7-a)는 입력된 제품의 형상을 보여준다. Fig. 7-b)는 제품의 외부 형상의 피어싱 펀치가 자동적으로 창출된 결과를 나타내었다. Fig. 7-c)는 각 형상별로 설계규칙에 의하여 창출된 다이블랭크 형상들을 보여준다. 각 형상들에 대하여 창출된 다이블랭크 형상들은 주변길이 순서로 자동적으로 인식되어지고, 가장 왼쪽 피치로부터 다이블랭크 주변길이 순서대로 피어싱 될 형상들을 배열하는데 Fig. 7-e)는 1번 다이블랭크가 피치에 배열되는 것을 보여준다. 2번부터 8번 다이

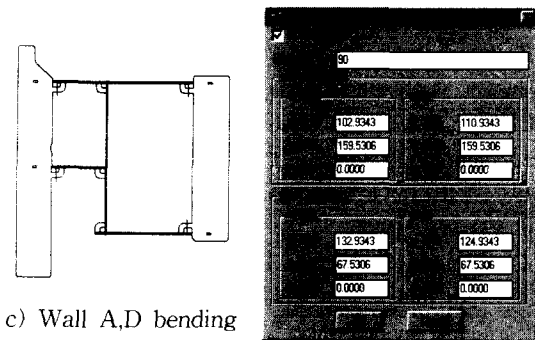
블랭크까지는 간섭이 발생하지 않으므로 첫 번째 피치에 그대로 놓여진다. 9번 다이블랭크가 첫 번째 피치에 놓여질 때 Fig. 7-f)에서 보여진 것처럼 첫 번째 피치에 있는 다이블랭크와 간섭이 생긴다.



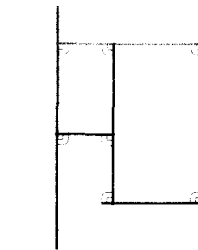
a) Wall E bending



b) Wall B bending



c) Wall A,D bending



d) Wall F,C bending

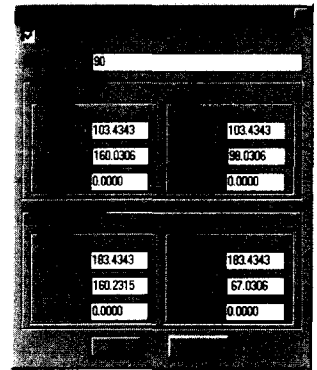


Fig. 6 Bending sequence flow chart according to strip-layout rules

Fig. 7-a)는 입력된 제품의 형상을 보여준다. Fig. 7-b)는 제품의 외부 형상의 피어싱 펀치가 자동적으로 창출된 결과를 나타내었다. Fig. 7-c)는 각 형상별로 설계규칙에 의하여 창출된 다이블랭크 형상들을 보여준다. 각 형상들에 대하여 창출된 다이블랭크 형상들은 주변길이순서로 자동적으로 인식되어지고, 가장 왼쪽 피치로부터 다이블랭크 주변길이 순서대로 피어싱 될 형상들을 배열하는데 Fig. 7-e)는 1번 다이블랭크가 피치에 배열되는 것을 보여준다. 2번부터 8번 다이블랭크까지는 간섭이 발생하지 않으므로 첫 번째 피치에 그대로 놓여진다. 9번 다이블랭크가 첫 번째 피치에 놓여질 때 Fig. 7-f)에서 보여진 것처럼 첫 번째 피치에 있는 다이블랭크와 간섭이 생긴다. 그리하여 9번 다이블랭크는 Fig. 7-g)에 보여진 것처럼 다음피치에 놓여진다. 이와 유사한 방법으로 각각의 연속되는 다이블랭크를 정해진 피치에 처음으로 놓여지고 간섭이 생기면 다음 피치로 이동시킨다. 그 결과를 Fig. 7의 h)에서 o)까지에 나타내었다. Fig. 7-p)에서는 1개의 굽힘선에서 90° 방향의 굽힘가공이 수행되어지는 것을 보여주고 있으며 Fig. 7의 q)에서 s)까지는 1개 또는 2개의 굽힘선이 90° 방향의 V-굽힘가공을 수행하게 된다. 굽힘의 공정순서는 스트립레이아웃 규칙에 의하여 결정되어진다. 또한, Fig. 7-t)으로부터 압력중심이 계산되어지고 이것을 다이세트의 중심과 일치시키므로써 균형잡힌 프로그래시브 가공을 할 수 있다.



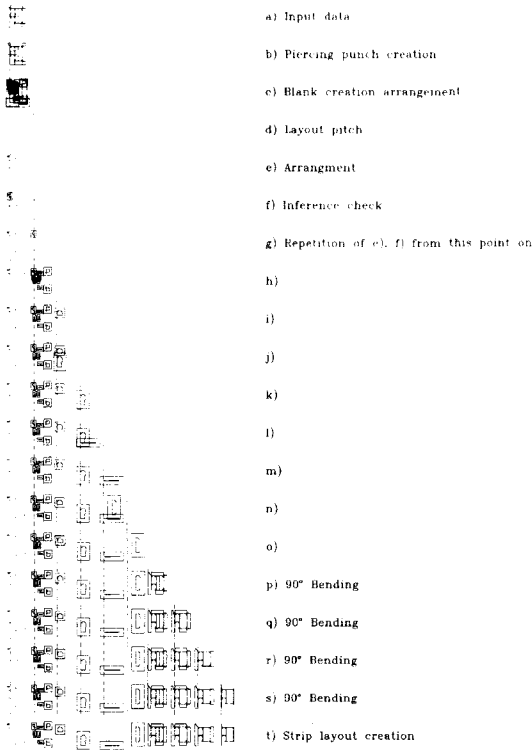


Fig. 7 Automatic strip layout for a sample blank with bending constraints and piercing

### 5. 결론

본 연구에서는 구속을 갖는 굽힘 및 피어싱 제품에 대하여 프로그레시브 가공을 위한 스트립레이아웃을 수행할 수 있는 자동화된 CAD 시스템을 개발했다.

개발된 시스템의 장점은 다음과 같다.

1. 플랫폼테이아웃모듈에서는 펼친 형태의 도면을 창출하고, 설계의 자동화에 용이하도록 그 형상데이터를 수치데이터로 변환시켜 내부형상, 외부형상, 굽힘선 리스트를 자동인식 할 수 있다.
2. 구속을 갖는 굽힘 가공에 대하여 간섭이 발생하지 않는 공정순서를 결정하고, 또한 동시에 굽힘가공을 할 수 있는 공정들은 한 공정에서 작업함으로써 최소의 공정으로 굽힘가공을 수행할 수 있다.

3. 구속을 갖는 굽힘 및 피어싱 제품에 대하여 프로그레시브 스트립레이아웃 도면을 그래픽 형태로 자동적으로 출력시킬 수 있다.

시스템의 개발로 인하여 현장에서는 필요한 기술과 경험을 정량화하고 설계절차를 정식화시킴으로써 설계지침의 표준화를 이룰 수 있고 초보자의 교육에 쉽게 활용될 수 있다. 또한, 개발된 시스템을 AutoCAD환경에서 구현시킴으로써 시스템의 결과를 다른 CAE 소프트웨어 및 CAM 가공용 소프트웨어와 원활한 연결을 할 수 있도록 하였다.

### 후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

### 참고 문헌

1. G. Schaffer, "Computer design of progressive dies," *Am. Mach.*, Vol. 22, pp. 73-75, 1971.
2. B. Fogg and Jaimeson, "The influencing factors in optimizing press tool die layouts and a solution using computer aids," *CIRP Annals*, Vol. 24, pp. 429-434, 1975.
3. Y. Shibata and Y. Kunimoto, "Sheet metal CAD/CAM system," *Bull. Jpn. Soc. Prec. eng.*, Vol. 15, pp. 219-224, 1981.
4. S. Nakahara, T. Kojima, S. Tamura, A. Funimo, S. Choichiro and T. Mukumuru, "Computer progressive die design," *Proceedings of 19th MTDR conference*, pp. 171-176, 1978.
5. 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.
6. J.C. Choi, B.M. Kim, H.Y. Cho, Chul Kim, J.H. Kim, "An integrated CAD system for the blanking of irregular-shaped sheet metal products," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 83, pp. 84-97, 1998.