

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

## 굽힘 및 피어싱 공정을 갖는 불규칙형상 제품의 프로그레시브 가공을 위한 네스팅 및 공정설계 자동화 시스템

최재찬\*, 김병민\*, 김철\*

### An Automated Nesting and Process Planning System of Irregularly Shaped-Sheet Metal Product With Bending and Piercing Operation for Progressive Working

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

#### ABSTRACT

This paper describes a research work of developing a computer-aided design of irregularly shaped-sheet metal product with bending and piercing operation 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 five main modules, which are input and shape treatment, flat pattern-layout, production feasibility check, blank-layout, 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, and availability of press. This system is capable of unfolding a formed sheet metal part to give flat pattern and automatically account for the adjustment of bend allowances to match tooling requirements by checking dimensions and the best utilization ratio of blank-layout within bending production feasibility area which is beyond  $\pm 30^\circ$  degrees intersecting angle between grain flow and bending edge line and which is suitable to progressive bending operation. Also the strip-layout drawing generated by a bending and a piercing operation according to punch profiles divided into automatically for external area of irregularly shaped-sheet metal product is displayed in graphic forms.

**Key Words** : Bending & Piercing(벤딩/피어싱), Knowledge Based Rules(지식 베이스 규칙), Shape Treatment(형상처리), Flat Pattern-Layout(플래트패턴-레이아웃), Production Feasibility Check(가공가능성검사), Bending Production Feasibility Area(굽힘가공가능영역), Blank-Layout(블랭크-레이아웃), Strip-Layout(스트립-레이아웃)

\* 부산대학교 기계공학부, 정밀정형 및 금형가공 연구센터

## 1. 서 론

최근 산업의 소형화, 경량화 및 고속화의 경향에 따라 각종 금형설계의 표준화가 절실히 요구되고 있다. 특히 펀치와 다이틀을 이용하여 판재로부터 원하는 형상의 부품을 생산하는 전단가공은 부품의 호환성 및 정밀도 측면에서 더욱 이러한 표준화가 요구되고 있다. 그런데 굽힘을 갖는 블랭킹 또는 피어싱 가공의 경우에, 가공가능성 검사, 블랭크-레이아웃, 스트립-레이아웃은 대부분 숙련된 기술자의 경험과 직관적 판단에 의해 수행되어왔다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 숙련된 기술자의 경험을 정식화하여 컴퓨터를 이용한 설계 자동화에 관한 연구가 진행되고 있다.<sup>(1-12)</sup> 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 고려한 한층 더 개선된 PDDC system을 개발했다. 그러나 이 시스템의 단점은 반자동이고 긴 공정시간이 소요된다는 것이다. Shibata 와 Kunitomo<sup>(3)</sup>는 블랭크-레이아웃과 다이-레이아웃의 화면출력만을 목적으로 하는 CAD/CAM 시스템을 개발하였고, Nakahara<sup>(4)</sup> 등은 프로그래시브 다이-레이아웃을 위한 시스템을 도입하였다. 또한 Choi 등은 굽힘반경, 굽힘각도, 재질, 및 두께에 따른 굽힘 여유량을 고려한 플래트패턴-레이아웃모듈을 개발하여 각 형상별 다이블랭크의 크기에 따른 공정순서와 굽힘공정을 갖는 블랭킹 및 피어싱용 스트립-레이아웃을 수행할 수 있게 하였다.

본 연구에서는 이미 개발된 시스템에 가공가능성 검사 모듈을 보완하여 제품의 내부형상이 굽힘에 미치는 영향을 고려한 설계를 수행하도록 하였으며, 이미 개발된 블랭크-레이아웃모듈에 스트립의 굽힘강도를 고려한 굽힘 가공 가능영역에서 프로그래시브 가공이 이루어져서 최대이용률을 구하는 블랭크-레이아웃모듈로 수정 보완하였다. 또한 굽힘 및 피어싱 공정을 갖는 불규칙형상 제품의 프로그래시브 가공을 위하여 제품의 외부영역에서 펀치형상의 분할이 자동으로 이루어져서 피어싱을 수행하는 스트립-레이아웃모듈을 개발했다. 그리하여 확장 보완된 시스템은 굽힘 및 피어싱 공정을 갖는 불규칙형상 제품에 대하여 굽힘가공이 가능한 영역에서 프로그래시브 가공을 위한 네스팅 및 공정설계를 자동으로 수행할 수 있다.

## 2. 시스템의 구성

본 시스템은 입력 및 형상처리모듈, 플래트패턴-레이아웃모듈, 가공가능성 검사모듈, 블랭크-레이아웃모듈, 스트립-레이아웃모듈로 나뉘어져 있다. 그리고 시스템은 하나의 환경에서 수행되며 각 모듈들이 규칙과 데이터 베이스를 공유하므로 수행중 시스템을 중단하지 않고서 모든 과정을 수행할 수 있는 장점이 있다. 또한 시스템의 진행 방식은 선택의 다양성을 위하여 대화식을 이용하였으며 시스템의 전체적인 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

굽힘 및 피어싱 공정을 갖는 불규칙형상 제품도면을 AutoCAD상에 나타내어 개발된 시스템에서 로딩(load-)시키면, 시스템의 입력모듈에서는 도면을 자동적으로 인식하고 제품에 대한 데이터의 입력을 요구한다. 입력된 데이터는 굽힘여유량을 고려하여 펼친형태의 도면을 창출하는 플래트패턴-레이아웃모듈에 전달된다. 플레

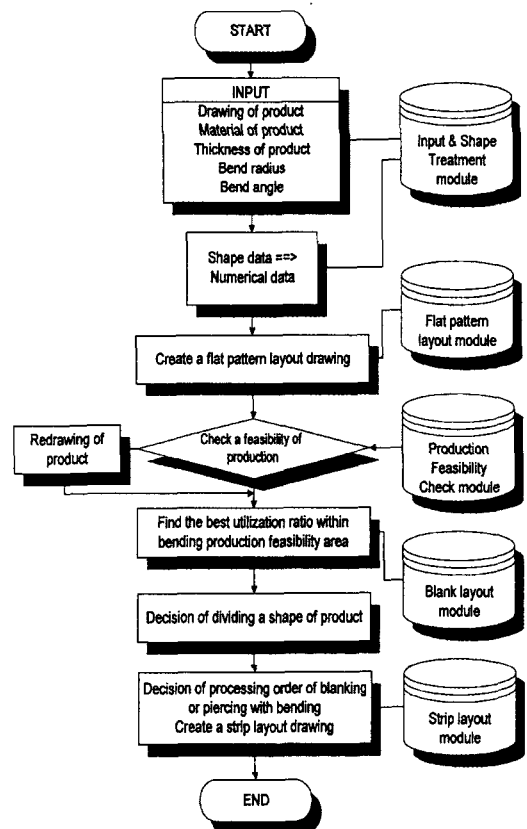


Fig. 1 Configuration of the system

트패턴-레이아웃모듈에서는 그 결과를 내부형상의 거리, 코너 및 필렛반경, 피어싱될 최소구멍의 직경, 굽힘선과 내부형상 사이의 거리를 검사하는 가공가능성 검사모듈로 넘긴다. 가공가능성 검사모듈에서는 성형가능한 데이터를 굽힘강도를 고려한 굽힘가공 가능영역의 범위에서 최대 재료이용률을 구하는 블랭크-레이아웃모듈에 전달한다. 블랭크-레이아웃모듈에서는 그 결과를 굽힘가공 가능영역에서 최대재료이용률을 가지는 블랭크-레이아웃도면으로 스트립-레이아웃을 자동으로 수행하는 스트립-레이아웃모듈에 전달한다. 이러한 시스템을 구성하는 각 모듈들의 기능적인 설명은 아래에서 자세히 다루고자 한다.

2-1. 입력 및 형상처리모듈(input and shape treatment module)

제품형상을 AutoCAD상에 직접 그리거나 혹은 도면화된 파일을 스크린 상에 나타내어 소재의 종류, 두께, 폭, 열처리 조건 등을 입력하면, 입력모듈에서는 소재의 기계적 성질에 관한 정보를 데이터 베이스로부터 자동적으로 읽어 들이고 형상처리모듈에서는 제품의 형상데이터를 설계에 용이한 수치데이터로 변환시켜 저장한다. 변환된 수치데이터들은 내부형상, 외부형상, 굽힘선 수치리스트로서, 시스템의 각 모듈들에서 데이터로 사용된다.

2-2. 플랫패턴-레이아웃모듈(flat pattern-layout module)

플랫패턴-레이아웃모듈은 굽힘공정을 갖는 불규칙형상 제품도면을 입력된 굽힘반경, 굽힘각도, 소재의 재질 및 두께, 내부형상, 외부형상 및 굽힘선 수치리스트로 굽힘여유량을 계산하여 창출된 펼친형태의 도면을 그래픽 형태로 스크린상에 출력시킨다. 이 모듈에서 굽힘방향은 자동으로 인식되어지고, 굽힘선들은 중립축에서 굽힘호의 중간지점에 위치한다.

2-3. 가공가능성 검사모듈(production-feasibility check module)

가공가능성 검사모듈은 플랫패턴-레이아웃모듈에서 구한 블랭크의 정보로서, 제품의 가공가능성을 검사하는 모듈이다. 블랭크의 블랭킹 및 피어싱의 가공가능성을 검사할 경우, 내부형상 사이의 거리, 피어싱될 구멍의 직경, 제품의 코너 및 필렛반경을 데이터 베이스에 저장된 한계치수와 비교하고, 블랭크의 굽힘가공의 가공가능성을 검사할 경우에는 굽힘선과 내부형상 사이의 거리를 한계치

수와 비교하여 가공가능한 기하학적 영역을 제시한다.

2-4. 블랭크-레이아웃모듈(blank-layout module)

블랭크-레이아웃모듈은 스트립의 압연방향에 대하여  $\pm 30^\circ$  밖의 영역과 여러개의 굽힘가공을 프로그래시브 가공으로 수행할 수 있는 영역을 동시에 만족하는 굽힘가공 가능영역에서 제품의 최외각 여유폭을 고려한 후, 재료의 이용률을 최대로 하기 위하여 블랭크들을 스트립에 배열하는 모듈이다. 이에 대한 알고리즘을 Fig. 2에 나타내었으며 불규칙형상 제품에 대하여 단열배열 뿐만 아니라 동형쌍배열 및 이형쌍배열에 대해서도 굽힘가공 가능영역에서 재료의 이용률을 최대로 하는 블랭크-레이아웃 도면을 창출시킬 수 있다.

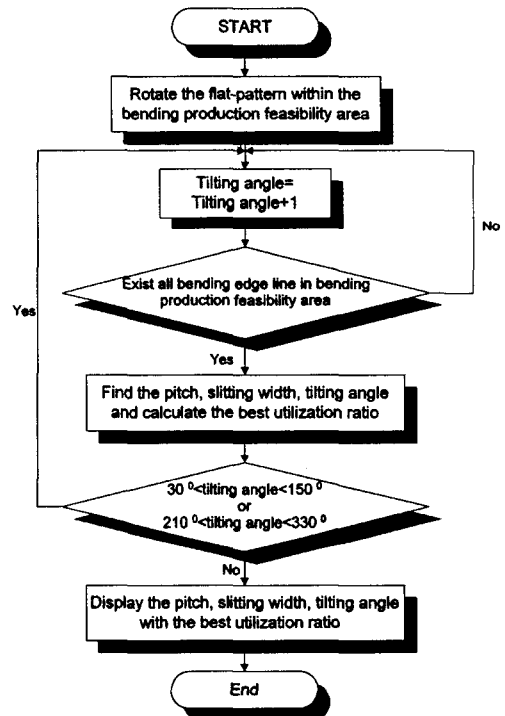


Fig. 2 Flow chart of blank layout module satisfied with bending production feasibility area

2-5. 스트립-레이아웃모듈(strip-layout module)

스트립-레이아웃모듈은 굽힘가공가능영역에서 최대의 재료이용률을 가지는 블랭크-레이아웃에 대하여 스트립-레이아웃이 자동으로 수행되도록 제품의 외부영역에서

편치형상의 분할이 자동으로 이루어져서 피어싱을 수행한다. 또한 이 모듈에서는 분할된 블랭크의 각 형상별로 다이면압을 견딜 수 있는 다이블랭크의 크기에 따른 공정 순서와 여러개의 굽힘공정이 프로그래시브 가공으로 가능한 공정순서를 결정한다. 굽힘공정에 대한 스트립-레이아웃은 굽힘가공이 이루어진 후의 평면도로서 창출된다.

### 3. 시스템의 규칙 및 데이터베이스

본 시스템은 피어싱 및 굽힘가공의 공정변수, 플레이트패턴-레이아웃, 가공가능성검사, 블랭크-레이아웃, 스트립-레이아웃에 대한 전문기술지식을 소성역학이론, 축적되어온 연구결과 및 현장전문가의 경험적 지식에서 추출하여 일반적이고 모순이 없는 사항에 대하여 규칙과 데이터베이스를 구축하였다. 경험적인 설계지침들과 노하우를 체계화하여 정량화시킨 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.

#### 규칙 및 데이터베이스

##### 3-1. 플레이트패턴-레이아웃 규칙

- 규칙1) 굽힘제품의 플레이트패턴-레이아웃은 직선부와 굽힘부로 나누어지고 굽힘부만을 별도로 계산한다.
- 규칙2) 플레이트패턴-레이아웃의 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 5미만일 때 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.

- 규칙7) 굽힘방향은 플레이트패턴-레이아웃도면의 윗쪽을 "+"방향, 아랫쪽을 "-"방향으로 한다.

##### 3-2. 가공가능성검사 규칙

- 규칙1) 제품형상간의 여유폭 및 제품의 상·하변선과의 여유폭은 소재의 두께에 따라서 데이터 베이스로부터 결정된다.
- 규칙2) 내부형상 사이의 최소거리는 데이터 베이스에서 제시한 값보다는 커야한다.
- 규칙3) 피어싱 구멍의 형상이 사각형이나 원형이면 피어싱의 가공한계치수는 형상, 두께, 물성치에 의존하여 데이터 베이스의 조건을 만족해야한다.
- 규칙4) 데이터 베이스에 존재하지 않는 소재이면 직경 또는 슬리트 폭은 두께( $t$ ) 보다 커야 한다.
- 규칙5) 제품의 코너 및 필렛 반경은  $0.5t$  보다 커야 한다.
- 규칙6) 불규칙형상 내부영역의 가공은 가능하지만 형상 외부영역의 가공이 불가능한 경우, 가공 불가능한 형상 외부영역의 피어싱가공을 먼저 수행한다.
- 규칙7) 굽힘선과 내부형상사이의 최소거리는 다음조건식을 만족해야한다.

$$g > r + 2t$$

- 여기서  $g$ : 굽힘선과 내부형상사이의 최소거리
- $r$ : 굽힘반경
- $t$ : 제품의 두께

##### 3-3. 블랭크-레이아웃 규칙

- 규칙1) 블랭크-레이아웃의 효율은 재료의 이용률(utilization ratio, UR)에 의하여 결정되어지며 아래의 식으로 결정한다.

$$UR = \frac{\text{블랭크의 면적}}{\text{블랭크를 만드는데 필요한 스톡(stock)의 면적}}$$

- 규칙2) 굽힘가공의 불가능한 영역은 스트립의 압연방향에 대하여  $\pm 30^\circ$  이내에 있는 영역으로 한다.
- 규칙3) 굽힘가능한 영역은 여러개의 굽힘가공을 프로그래시브 가공으로 수행할 수 있는 영역과 스트립의 압연방향에 대하여  $\pm 30^\circ$  밖의 영역을 동시에 만족하는 영역이다.
- 규칙4) 굽힘가공이 가능한 영역에서 반시계 방향으로  $1^\circ$ 씩 회전시켜 가면서 최고의 UR을 가지는 위치를 찾은 후, 그 위치에서 피치(pitch), 슬리팅(slitting)폭, 블랭크-레이아웃의 배열방향을 정한다.
- 규칙5) 블랭크 내부에 있는 구멍 또는 임의의 형상들은 블랭크-레이아웃에 영향을 미치지 않기 때문에 무시한다.
- 규칙6) 제품의 최외각 여유폭은 박판소재의 두께에 의하여 결정된다.

### 3-4. 스트립-레이아웃 규칙

- 규칙1) 굽힘공정을 갖는 불규칙형상 제품의 스트립-레이아웃은 외부영역에서 피어싱가공을 먼저 수행한다.
- 규칙2) 파일롯트 구멍이 존재하면 처음 공정에서 피어싱가공을 한다.
- 규칙3) 파일롯트 구멍이 존재하면 이 구멍의 치수는 소재 두께의 3배 이상 되어야 한다.
- 규칙4) 제품의 내부형상이 존재하면 내부형상을 먼저 가공한다.
- 규칙5) 서로 관련이 있는 내부형상이 존재할 때 펀치 장착이 가능하면 첫 번째 공정에서 가공한다.
- 규칙6) 피어싱될 구멍들이 서로 근접해 있거나 기능적으로 관련이 없다면 이 구멍들은 여러 공정으로 분배되어진다.
- 규칙6) 일반적으로 노치(notch)들이 존재할 경우, 첫 번째 공정에서 피어싱 가공을 한다.
- 규칙7) 복잡한 펀치의 사용을 피하기 위하여 블랭크 형상을 간단한 형상으로 분할한다.
- 규칙8) 각 형상의 주변길이(perimeter)를 계산한 후, 주변길이 순으로 공정순서를 결정한다.
- 규칙9) 복잡한 제품으로부터 분할되어진 각각의 블랭크 형상에 대하여 측방력에 의한 다이면압을 견딜 수 있는 다이 블랭크의 크기를 결정한다.
- 규칙10) 다이면압을 견딜 수 있도록 설계된 다이 블랭크들 중에서 가장 큰 다이 블랭크를 스트립-레이아웃

의 배열피치로 사용한다.

- 규칙11) 첫 번째 다이블랭크를 나열된 피치의 가장 좌측 피치에 배열하고, 공정 순서에 따라 두 번째 다이 블랭크를 첫 번째 다이블랭크가 놓여진 피치에 놓을 때, 겹쳐지지 않으면 첫 번째 피치에 배열하고 겹쳐지면 두 번째 피치로 이동한다. 이와 같은 방법을 연속적으로 수행한 후, 스트립-레이아웃을 완료한다.
- 규칙12) 블랭킹력에 대한 측방력의 비는 데이터베이스로부터 구한다.
- 규칙13) 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

- 규칙14) 다이측면에 작용하는 면압을 견딜 수 있는 다이 블랭크의 외경은 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

$d_i$  : 다이 블랭크의 내경

- 규칙15) 굽힘가공시 절단면의 파단면을 외측으로 굽히면 균열이 발생하기 쉬우므로 절단면의 전단면을 외측에 설정한다.

- 규칙16) V-자유굽힘 가공력은 아래의 식으로 결정한다.

$$P_l = C_l \times \frac{B \times t^2 \times \sigma_b}{L}$$

여기서  $P_l$  : 굽힘가공력

$C_l$  : 보정계수 (데이터베이스로부터 구함)

B : 굽힘선 길이

t : 판 두께

$\sigma_b$  : 재료의 인장강도 (데이터베이스로부터 구함)

규칙17)U-자유굽힘 가공력은 아래의 식으로 결정한다

$$P_2 = \frac{C_2}{3} \times B \times t \times \sigma_b$$

여기서  $P_2$  : U자유굽힘 가공력  
 $C_2$  : 보정계수 (데이터베이스로부터 구함)  
 $B$  : 굽힘선 길이

규칙18)L-굽힘 가공력은 아래의 식으로 결정한다.

$$P_3 = \frac{P_2}{2}$$

여기서  $P_3$ : L-굽힘 가공력

#### 4. 시스템의 적용 및 고찰

본 연구에서는 개발된 프로그래시브 가공을 위한 네스팅 및 공정설계 시스템에 굽힘 및 피어싱 공정을 갖는 불규칙형상 제품을 적용시켜, 시스템의 각 모듈에서 수행되어져서 출력된 결과들을 고찰하고자 한다.

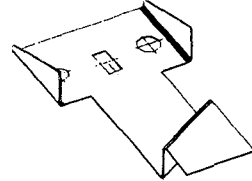
##### 4-1. 입력 및 형상처리모듈에 적용

사용자가 Fig. 3과 같은 굽힘 및 피어싱 공정을 갖는 불규칙형상 제품에 대하여 Table 1과 같이 요구 조건을 입력시킬 때, 형상처리모듈은 입력된 형상의 도면을 인식하고 랜덤한 수치데이터의 리스트를 각 모듈에서 프로그램을 수행하는데 용이한 페루프형태의 리스트로 만든다. 자동으로 창출된 페루프 형태의 수치리스트인 내부형상, 외부형상, 굽힘선 수치리스트를 Table 2에 나타내었다. 변환된 수치리스트는 펼친 도면을 창출시키기 위하여 플랫폼패턴-레이아웃모듈에 전달된다.

##### 4-2. 플랫폼패턴-레이아웃모듈에 적용

Fig. 3과 같은 굽힘반경 2mm, 굽힘각도 90°, 두께 0.5mm인 실리콘 스틸(Silicon steel)의 불규칙형상 제품을 플랫폼패턴-레이아웃모듈에 적용시킬 때, 입력된 값으로 굽힘여유량을 계산하고 형상처리모듈의 수행결과 얻은 수치리스트를 사용하여 창출된 플랫폼패턴-레이아웃을 Fig. 4에 나타내었다. 4개의 굽힘 선들은 중립축에서 굽힘호의 중간지점에 위치하고, 굽힘방향은 창출되어진 플랫폼패턴-레이아웃도면의 윗쪽을 +방향으로 아랫쪽을 -방향으로 하여 인식되었다.

Table 1 Input data of input angle 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'1, C=HARD Mat'1

Input heat treatment condition <C/A>: C
*****
* WORKPIECE THICKNESS *
*****

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

# Input the Thickness : 0.5
*****
* Input bend_angle and bend_radius *
*****
Input bend_angle(1) ( degree ) ! : 90
Input bend_radius(1) ( mm ) ! : 2.0
Input bend_angle(2) ( degree ) ! : 90
Input bend_radius(2) ( mm ) ! : 2.0
Input bend_angle(3) ( degree ) ! : 90
Input bend_radius(3) ( mm ) ! : 2.0
Input bend_angle(4) ( degree ) ! : 90
Input bend_radius(4) ( mm ) ! : 2.0

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

Table 2 Numerical data list carried out in shape treatment module for a sample blank

```

Numerical list of internal shape :
((38.0 116.054 0.0) (38.0 130.054 0.0))
((38.0 130.054 0.0) (44.0 130.054 0.0))
((44.0 130.054 0.0) (44.0 116.054 0.0))
((44.0 116.054 0.0) (38.0 116.054 0.0))
((59.5 125.054 0.0) (5.95902))
((21.5 125.054 0.0) (4.1231))

Numerical list of external shape :
((-14.5107 107.054 0.0) (5.48927 147.054 0.0))
((5.48927 147.054 0.0) (76.5107 147.054 0.0))
((76.5107 147.054 0.0) (96.5107 107.054 0.0))
((96.5107 107.054 0.0) (57.0 107.054 0.0))
((57.0 107.054 0.0) (57.0 -1.05384 0.0))
((57.0 -1.05384 0.0) (25.0 -1.05384 0.0))
((25.0 -1.05384 0.0) (25.0 107.054 0.0))
((25.0 107.054 0.0) (-14.5107 107.054 0.0))

Numerical list of bend line :
((25.0 18.4979 0.0) (57.0 36.9731 0.0))
((25.0 46.5517 0.0) (57.0 65.0269 0.0))
((11.2447 107.054 0.0) (11.2447 147.054 0.0))
((70.7554 107.054 0.0) (70.7554 147.054 0.0))
    
```

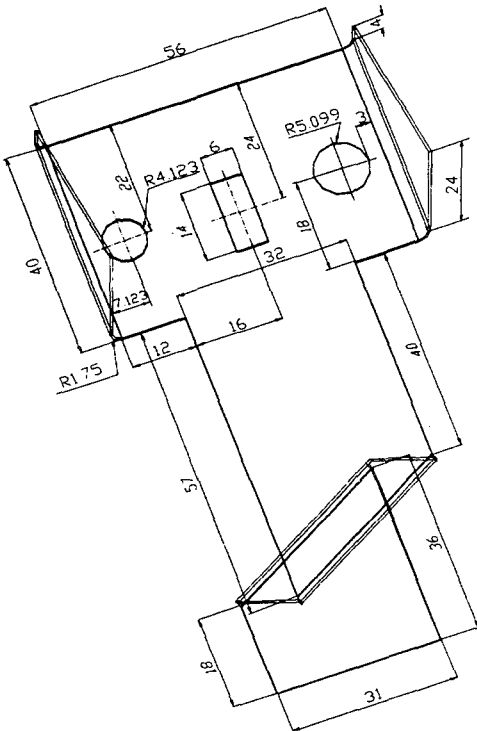


Fig. 3 Drawing of a sample blank

#### 4-3. 가공가능성검사모듈에 적용

Fig. 4와 같은 0.5mm의 두께를 가진 플래트패턴-레이아웃도면을 가공가능성 검사모듈에 적용시킬 때, 선과 선, 선과 호, 선과 원 사이의 가공가능한 내부형상의 최소거리 및 굽힘선과 내부형상 사이의 최소거리를 계산하여 피어싱 및 굽힘가공을 위한 가공가능한 영역을 Fig. 5에 제시하였다. 또한 제품의 코너반경, 피어싱될 내부구멍, 내부형상의 거리, 굽힘선과 내부형상 사이의 거리에 대한 검사 결과를 Table 3에 나타내었다. 위의 결과로부터 내

Table 3 Calculated results of minimum dimensions of holes, distance between bend line and internal feature, and distance between internal features for a sample blank

<p>Min. Diameter of Circle G.T. Criteria                  Min. Diameter : 8.25mm                  Limit Diameter : 0.6mm</p> <p>Min. Rectangular Distance G.T. Criteria                  Min. Rectangular Distance : 11.80mm                  Limit Distance : 0.55mm</p> <p>Min. Distance between bend line and internal feature L.T. Criteria                  Min. Distance between bend line and internal feature : 2.88mm                  Limit Distance : 3.0mm</p> <p><b>Production infeasibility!</b></p>
--

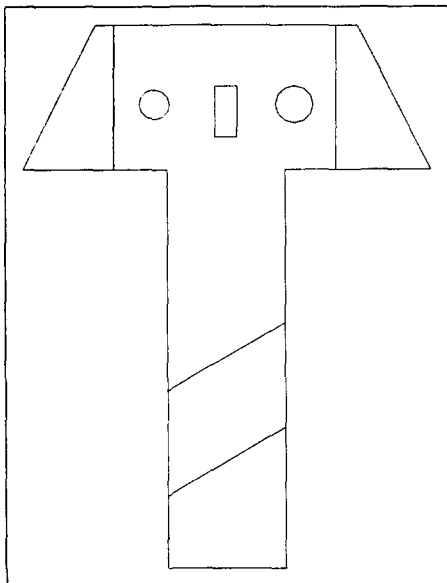


Fig. 4 Flat pattern drawing carried out flat pattern-layout module

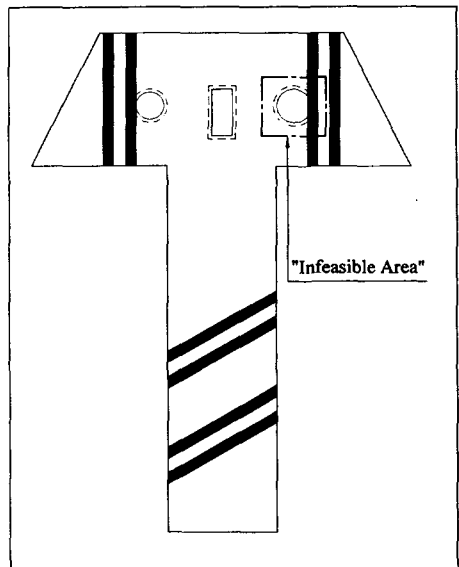


Fig. 5 The infeasible area carried out production feasibility check module for a sample blank

부형상 사이의 최소거리와 피어싱될 내부구멍은 가공 가능한 영역에 있는 반면에 굽힘선과 내부형상 사이의 최소 거리는 가공가능한 영역에 있지 않으므로 가공가능한 영역으로 재설계를 수행하여 이를 Fig. 6에 나타내었다.

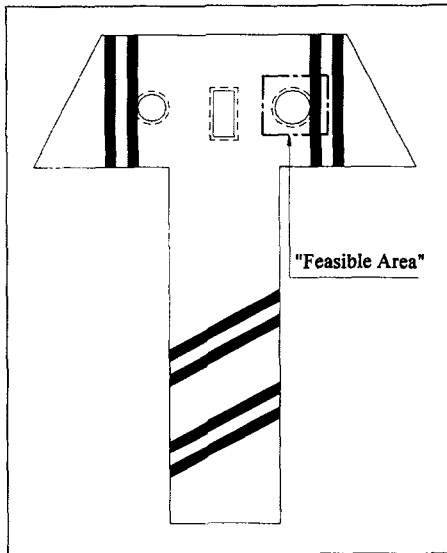


Fig. 6 Redesigned drawing satisfied with bending production feasibility area

4-4. 블랭크-레이아웃모듈에 적용

Fig. 3과 같은 굽힘 및 피어싱을 갖는 불규칙형상 제품을 블랭크-레이아웃모듈에 적용시킬 때, 스트립의 압연방향에 대하여  $\pm 30^\circ$  밖의 영역과 여러개의 굽힘가공을 프로그레시브 가공으로 수행할 수 있는 영역을 동시에 만족하는 굽힘가공 가능영역의 각도를 Table 4에 나타내었다. 굽힘가공이 가능한 영역 안에서 tilting 각도에 따른 재료이용률과 그 영역에서의 최대 재료이용률을 Fig. 7-1부터 Fig. 7-3에 각각 나타내었다.

Table 4 Range of angle for bending production feasibility area satisfied bend strength for progressive working

Range of Angle for bending production feasibility area
0° - 24°
56° - 60°
204° - 240°

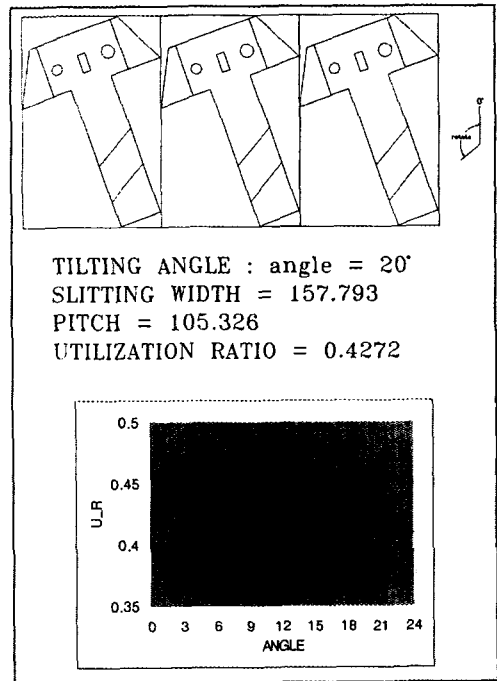


Fig. 7-1 Blank-layout with the best utilization within angle of bending production feasibility area, 0° ~ 24°

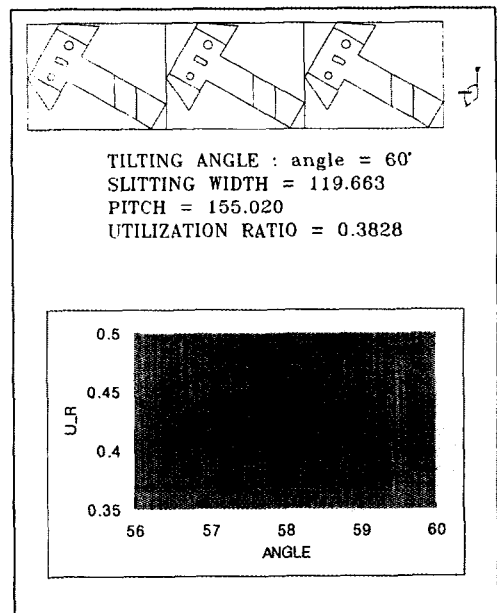


Fig. 7-2 Blank-layout with the best utilization within angle of bending production feasibility area, 56° ~ 60°



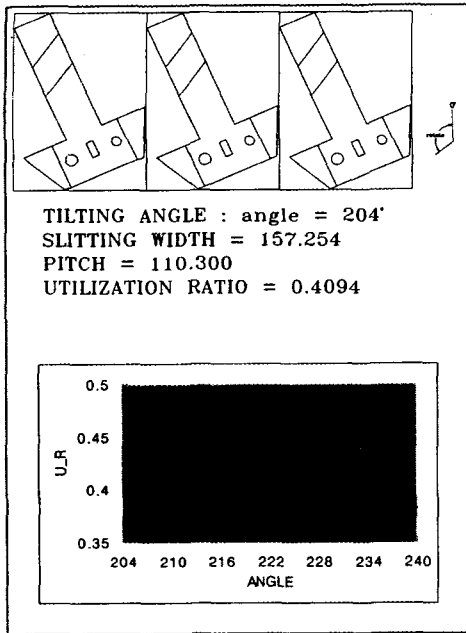


Fig. 7-3 Blank-layout with the best utilization within angle of bending production feasibility area, 204° ~ 240°

0° ~ 24°의 굽힘가능영역에서 최대 재료이용률은 42.7% 로서, tilting 각도 20°, 슬리팅 폭 157.8mm, 피치 105.3mm이고, 56° ~ 60°의 굽힘가능영역에서 최대 재료이용률은 40.9% 로서, tilting 각도 60°, 슬리팅 폭 119.7mm, 피치 155.0mm이다. 또한 204° ~ 240°의 굽힘가능영역에서 최대 재료이용률은 40.7% 로서, tilting 각도 204°, 슬리팅 폭 157.3mm, 피치 110.3mm이다. 위의 결과로부터 굽힘공정이 가능한 전 영역에서의 최대 재료이용률은 42.7%이고, 이 때의 tilting 각도는 20°, 슬리팅 폭은 157.8mm, 피치는 105.3mm임을 알 수 있다. 이 모듈에서 구한 결과치들을 토대로 스트립-레이아웃이 수행되어진다.

4-5. 스트립-레이아웃모듈에 적용

Fig. 3와 같은 굽힘 및 피어싱을 갖는 불규칙형상 제품을 스트립-레이아웃모듈에 적용시킬 때, 이 모듈에서 수행되어 출력된 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 8-a)는 굽힘가능영역에서의 최대 재료이용률을 가지는 플레이트패턴 형상을 보여준다. 각 내부형상들에 대하여 창출된 다이블랭크의 주변길이가 자동적으로 계산되어져서 주변길이 순으로 다이블랭크들을 가장 왼쪽 피

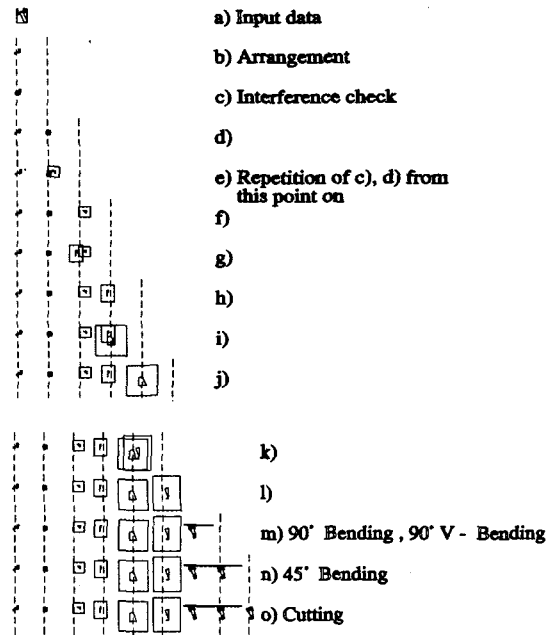


Fig. 8 Automatic strip-layout for a sample blank with bending and piercing operation

치로부터 배열하는데 Fig. 8-b)는 1번 및 2번 다이블랭크가 첫 번째 피치에 배열되는 것을 보여준다. 3번 다이블랭크가 첫번째 피치에 놓여질 때 Fig. 8-c)에서 보여진 것처럼 1번 및 2번 다이블랭크와 간섭이 생긴다. 그리하여 3번 다이블랭크는 Fig. 8-d)에 보여진 것처럼 다음 피치에 놓여진다. 이와 유사한 방법으로 각각의 연속되는 다이블랭크를 정해진 피치에 놓고 간섭이 생기면 다음 피치로 이동시킨다. Fig. 8의 e)에서 l)까지는 제품의 외부 영역에서 펀치형상의 분할이 자동으로 이루어져서 분할된 형상에 따라 피어싱을 수행하면서 연속되는 다이블랭크 사이의 간섭을 체크하고 있다. Fig. 8-m)은 2개의 굽힘선에서 90° 방향의 굽힘가공과 1개의 굽힘선에서 90° V-굽힘 이 동시에 수행되어지는 것을 보여주고, Fig. 8-n)은 45° 방향의 굽힘가공이 순차적으로 수행되는 것을 보여준다. 그리하여 최종적으로 Fig. 8-o)과 같은 절단공정을 수행함으로써 원하는 제품의 형상을 얻을 수 있다. 또한 Fig. 8-o)로부터 프로그래시브 가공을 위한 하중중심을 계산하여 이것을 다이세트의 중심과 일치시키므로써 균형잡힌 블랭킹 및 굽힘가공을 수행할 수 있다.

따라서 개발된 시스템을 사용하면 굽힘 및 피어싱공정을 갖는 불규칙형상 제품의 플레이트패턴-레이아웃 및 가공

가능성 검사, 굽힘가공가능영역에서 최대 재료이용률을 가지는 블랭크-레이아웃 도면으로 스트립-레이아웃을 자동적으로 수행하기 때문에 경험이 없는 자라도 네스팅 및 공정설계를 쉽고 정확하게 수행할 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 굽힘 및 피어싱을 갖는 불규칙형상 제품의 프로그레시브 가공을 위한 플랫패턴-레이아웃, 블랭크-레이아웃, 스트립-레이아웃을 수행할 수 있는 네스팅 및 공정설계 자동화 시스템을 개발했다.

개발된 시스템의 장점은 다음과 같다.

1. 입력 및 형상처리모듈은 각 모듈을 구성하고 있는 프로그램을 수행시키기 위하여, 임의의 입력된 도면의 형상을 자동 인식하여 설계에 용이한 페루프형태의 수치데이터 리스트인 내부형상, 외부형상, 굽힘선 리스트를 만들 수 있다.
2. 굽힘 및 피어싱 공정을 갖는 불규칙형상 제품에 대하여 펼친 형태의 도면으로 창출시켜 제품의 가공가능성을 검사할 수 있도록 하였다.
3. 굽힘공정이 가능한 영역에서의 최대 재료이용률을 구하는 블랭크-레이아웃을 수행할 수 있다.
4. 최대의 재료이용률을 가지는 블랭크-레이아웃 도면에 대하여 제품의 외부영역에서 편치형상의 분할이 자동으로 이루어져서 분할된 형상에 따라 피어싱 공정을 수행하며, 여러개의 굽힘공정이 프로그레시브 가공으로 가능한 스트립-레이아웃 도면을 창출시킬 수 있다.

개발된 네스팅 및 공정설계 자동화 시스템을 이용하면 초보자라도 쉽게 성공적인 플랫패턴-레이아웃, 굽힘이 가능한 영역에서의 블랭크-레이아웃, 최대 재료이용률을 가지는 블랭크-레이아웃 도면으로 스트립-레이아웃을 수행할 수 있으므로 숙련된 기술자를 양성하는데 필요한 시간과 비용을 대폭적으로 줄일 수 있다. 또한 숙련된 설계자의 네스팅 및 스트립-레이아웃의 결과는 설계자의 경험에 따라 다르므로 초보자의 교육 및 제품생산에 있어 표준화된 설계지침을 확정하기 어렵게 만든다. 그러나 이에 대한 필요한 기술과 경험을 정량화하고 설계절차를 정식화하여 설계지침을 표준화시킬 수 있으며, 초보자의 교육에 쉽게 활용될 수 있다. 그리고 개발된 시스템은 Auto-

CAD환경에서 구현되었기 때문에 시스템의 결과를 CAM 가공용 소프트웨어인 IDEAS 및 DUCT5의 환경에 맞도록 연결시킬 수 있으므로 가공의 자동화를 실현시킬 수 있다.

## 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. 최 재찬, 김 병민, 김 철, 이 승민, "스테이터 및 로터의 블랭킹에 관한 공정설계 및 금형설계 시스템," 한국정밀공학회지, 제13권, 제8호, pp. 40-51, 1996.
6. 최 재찬, 김 병민, 김 철, 김 재훈, "스테이터 와 로터 및 불규칙한 박판제품의 블랭킹에 관한 공정설계 시스템," 한국정밀공학회지, 제13권, 제9호, pp. 46-53, 1996.
7. 고 대철, 김 철, 김 병민, 최 재찬, "요소제거기법에 의한 판재 전단가공의 유한요소 시뮬레이션," 한국정밀공학회지, 제13권, 제11호, pp. 114-123, 1996.
8. 최 재찬, 김 병민, 조 해용, 김 철, "스테이터 및 로터의 블랭킹 및 피어싱에 관한 자동화된 금형설계 시스템," 한국정밀공학회지, 제14권, 제5호, pp. 22-33, 1997.
9. 최 재찬, 김 병민, 김 철, 김 재훈, 김 호관, "불규칙한 형상의 박판제품에 관한 블랭킹 및 피어싱용 공정설계 시스템(II)," 한국정밀공학회지, 제14권, 제7호, pp. 39-48, 1997.

10. 최 재찬, 김 병민, 김 철, 김 호관, "불규칙형상 박판제품의 블랭킹용 네스팅 시스템," 한국정밀공학회지, 제14권, 제11호, pp. 171-179, 1997.
11. 최 재찬, 김 병민, 김 철, 윤 지훈, "불규칙형상 박판제품에 관한 블랭킹 및 피어싱용 통합적 CAD 시스템," 한국정밀공학회지, 제15권, 제2호, pp. 124-133, 1998.
12. 최 재찬, 김 병민, 김 철, "굽힘공정을 갖는 불규칙형상 박판제품의 블랭킹 및 피어싱용 공정설계 시스템," 한국정밀공학회지, 제15권, 제3호, pp. 18-23, 1998.
13. Y. K. D. V. Prasad and S. Somasundaram, "CADDS : An automated die design system for sheet-metal blanking," Computing & control engineering journaling, pp. 185-191, 1992.
14. K. Shirai and H. Murakami, "A compact and practical CAD/CAM system for progressive dies," Bull. Jpn. Soc. of Prec. Eng., Vol. 23, No. 1, pp. 25-30, 1989.
15. F. Strasser, "The secret of successful press tool design," Tooling, February, 1976.
16. D.F. Eary, E.A. Reed, "Technique of press-working sheet metal," Prentice-hall, Inc., 1974.
17. F.W. Wilson, P. H. Harvey, "die design handbook," Mcgraw-hill company, 1963.
18. K. Lange, "Handbook of metal forming," Mcgraw-Hill book company, pp. 24.1-26.1, 1970.