

스테이터 및 로터의 블랭킹에 관한 공정설계 및 금형설계 시스템

최재찬**, 김병민**, 김철*, 이승민*

An Automated Process Planning and Die Design System for Blanking of Stator and Rotor Parts

J.C. Choi**, B.M. Kim** C. Kim* and S.M. Lee*

ABSTRACT

This paper describes some research works of computer-aided design of blanking and piercing progressive die for stator and rotor parts. An approach to the system is based on knowledge based rules. The developed system is composed of six modules such as main program, input and shape treatment, production feasibility check, strip layout, die layout and drawing edit module. Using this system, design parameters (geometric shapes, die and punch dimensions and dimensions of tool elements) are determined and output is generated in graphic form. Knowledges for tool design are extracted from the plasticity theories, handbooks, relevant references and empirical know-hows of experts in blanking companies. The developed system provides powerful capabilities for process planning and die design of stator and rotor parts.

Key Words : Blanking & Piercing(블랭킹/피어싱), Knowledge Based Rules(지식베이스규칙),
Process Planning(공정설계), Tool Design(공구설계), Stator and Rotor(스테이터와 로터)

기호 설명

P	블랭킹 력
t	소재의 두께
BW1	제품형상간의 여유 폭
D_{bia}	제품의 최외각 형상의 지름
L_{pitch}	프로그레시브 다이에서의 이송피치
$l_{criteria}$	아이들공정의 필요 한계거리

$d_{o,n}$	n단계에 있어서의 다이 외경
$d_{i,n}$	n단계에 있어서의 다이 내경
n	공정수
condifact	제품과 다이형태에 따른 난이도
$L1_{block}$	다이블럭의 피드방향 길이
$L2_{block}$	다이블럭의 횡방향 길이
H_{dblock}	다이블럭의 높이
D_{die}	다이의 직경

* 부산대학교 대학원

** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터

D_{plate} 다이 지지대의 직경
 σ_{ai} 다이의 허용 굽힘 응력
 C_{br} 스프링의 굽힘힘비
 K_{spring} 스프링 상수
 N_{spring} 스프링의 갯수
 C_{strip} 스트립핑 계수

F_{strip} 스트립핑력
 $H_{stripper}$ 스트립퍼의 수직방향 이송틈새
 $A_{stripper}$ 스트립퍼의 수평방향 이송틈새
 $T_{stripper}$ 스트립퍼의 필요 두께
 $h_{stripper}$ 스트립퍼의 총 두께
 W 소재의 폭

1. 서론

최근 제품의 고품 기능화와 고 효율화를 추구하는 경향에 따라 산업기계의 부품의 근간을 이루는 모터의 성능 향상에 대한 관심이 집중되고 있다. 모터의 성능은 스테이터 및 로터의 제조 기술과 권선의 조립 기술에 크게 좌우되는데 이 중에서 특히 스테이터와 로터의 제조 기술은 모터 성능에 크게 영향을 미치게 된다. 박판제품을 블랭킹 또는 피어싱 함으로써 만들어지는 스테이터와 로터는 모터의 기종에 따라 슬롯의 모양과 갯수가 달라지게 된다. 따라서 스테이터와 로터의 블랭킹에 관한 공정 및 금형설계 자동화 시스템을 필요로 하게 되었다.

블랭킹에 관한 연구 동향을 살펴보면 1970년대에 들어서면서 프레스 금형용 자동설계 시스템의 연구가 활발하게 진행되어 1971년에 Shaffer⁽¹⁾가 박판 블랭킹용 CAD 프로그램인 PDDC(Progressive Die Design by Computer) 시스템을 개발하였고 뒤에 Fogg와 Jaimeson⁽²⁾은 다이 설계에 영향을 미치는 여러가지 요소들을 고려하여 더 개선된 PDDC 시스템을 개발했다. Shibata 와 Kunitomo⁽³⁾는 블랭크와 다이 레이아웃의 화면 출력을 목적으로 하는 CAD/CAM 시스템을 개발하였고 Nakahara⁽⁴⁾은 프로그래시브 다이설계를 위한 시스템을 도입하였다. 또한 Shirai 와 Murakami⁽⁵⁾는 프로그래시브 다이를 위한 CAD/CAM 시스템을 개발했다. 위의 연구 결과들은 스트립 레이아웃과 다이 레이아웃이 설계자에 의해 수동으로 조작 되어지고 금형설계 및 공정설계가 자동적으로 이루어 지지만 실질적인 도면으로 출력 시키지 못하였다.

본 연구에서는 AutoCAD환경 하에서 지원되는 AutoLISP언어를 사용하여 스테이터와 로터의 제품도면, 프레스의 용량, 소재의 재질과 두께, 열처리조건, 금형의 재질 등을 입력시키면 가공 가능성을 검사하고 공정 및

금형이 자동으로 설계되어지고 설계된 공정 및 금형이 직접 도면으로 출력되어지는 전문가 시스템을 개발하고자 하였다.

2. 규칙베이스 및 데이터베이스

본 연구에서 개발된 공정설계 및 금형설계 시스템의 규칙베이스 및 데이터베이스는 가공 가능성 검사 규칙, 스트립 레이아웃 규칙, 다이 레이아웃 규칙 등으로 이루어진다. 이들 규칙들은 스테이터와 로터의 설계변수, 공정설계, 금형설계에 대한 전문적인 지식을 소성역학이론, 각종 핸드북, 관련 문헌 및 생산 현장 전문가의 경험적 지식에서 추출하여 일반적이고 이론적 모순이 없는 사항에 대하여 규칙베이스로 구축하였다.

2.1 가공가능성 검사 규칙

규칙1) 제품의 형상간의 여유폭 및 제품의 상, 하변선과의 여유폭은 소재의 두께에 따라서 Table 1로 부터 결정된다.

Table 1. Spaces between blanking parts and strip edges

Workpiece Thickness (mm)	Parta Shape : Circular	
	BW1 (mm)	BW2 (mm)
~0.5	1.0	1.5
0.5~1.0	1.0	1.5
1.0~1.2	1.2	1.8
1.2~1.5	1.5	2.0
1.5~2.0	1.5	2.0
2.0~2.5	1.8	2.3
2.5~3.0	2.0	2.5
3.0~4.0	2.5	3.0
4.0~5.0	3.0	4.0
5.0~6.0	3.5	4.5
6.0~7.0	4.0	5.0
7.0~8.0	4.5	5.5
8.0~9.0	5.0	6.0
9.0~10.0	6.0	7.0

규칙2) 내부 형상사이의 최소 거리는 Table 2에서 제시한 값 보다는 커야 한다.

Table 2. Limit distances among internal features of blanked piece

Shape	Criteria
Line - Circle	Minimum Distance \geq Thickness
Circle - Circle	Minimum Distance $\geq 0.8 \times$ Thickness
Circle - Arc	Minimum Distance $\geq 0.9 \times$ Thickness
Line - Line	Minimum Distance $\geq (1.5 \sim 2.0) \times$ Thickness
Line - Arc	Minimum Distance $\geq 0.9 \times$ Thickness
Arc - Arc	Minimum Distance $\geq 0.8 \times$ Thickness

규칙3) 피어싱되는 구멍의 형상이 사각형이나 원형이면 피어싱의 가공 한계 치수는 형상, 두께, 물성치에 의존하여 Table 3의 조건을 만족해야한다.

Table 3. Minimum dimensions of holes by piercing depending on their shape, the thickness and on mechanical properties of parts.

Shape of Hole	Dimension of the Hole	Workpiece Material			
		Steel		Brass, Copper	Al, Zinc
		Hard	Soft	Minimum Size*	
Circular	d	1.2t	t	0.8t	0.7t
Rectangular	t	1.1t	0.9t	0.7t	0.6t

규칙4) Table 4에 존재하지 않는 소재이면 직경 또는 슬리트 폭이 두께(1t)보다 커야 한다.

Table 4. Mechanical properties of Tool Materials (Tool Steels)

Material		Density	Coefficient of thermal expansion	Hardness	Young's modulus	Yield strength	Poisson's ratio
JIS	AISI	ρ (g/cm ³)	α (μ m/m/°C)	HRC	E (kg/cm ²)	Sy (kg/cm ²)	ν
SKD 12	A2	7.86	13.7	62	20600	215	0.3
		7.86	13.7	60	20600	195	0.3
		7.86	13.7	58	20600	165	0.3
SKD 11	D2	7.70	12.2	62	20600	215	0.3
		7.70	12.2	60	20600	195	0.3
		7.70	12.2	58	20600	165	0.3
SKD 1	D3	7.70	12.4	62	20600	215	0.3
		7.70	12.4	60	20600	195	0.3
		7.70	12.4	58	20600	165	0.3
SKD 61	H13	7.76	12.2	56	21200	155	0.3
		7.76	12.2	54	21200	150	0.3
		7.76	12.2	52	21200	145	0.3
		7.76	12.2	50	21200	130	0.3
		7.76	12.2	47	21200	120	0.3
SKH 9	M2	7.76	12.2	42	21200	110	0.3
		7.76	12.2	35	21200	90	0.3
		8.16	10.5	65	22000	245	0.3
		8.16	10.5	64	22000	235	0.3
		8.16	10.5	62	22000	225	0.3
SKH 54	M4	7.97	10.5	65	23000	215	0.3
		7.97	10.5	64	23000	205	0.3
		7.97	10.5	63	23000	205	0.3
SKS 3	O1	7.85	13.9	62	20600	215	0.3
		7.85	13.9	61	20600	205	0.3
		7.85	13.9	60	20600	195	0.3
		7.85	13.9	58	20600	165	0.3
		7.85	13.9	54	20600	150	0.3
		7.85	13.9	50	20600	130	0.3
		7.85	13.9	44	20600	120	0.3
SKS 41	S1	7.88	13.6	58	20600	165	0.3
		7.88	13.6	56	20600	155	0.3
SCM 4	4140	7.845	13.7	35	20400	90	0.3
		7.845	13.7	28	20400	70	0.3
SNCM 8	4340	7.865	13.3	42	20600	110	0.3
		7.865	13.3	35	20600	90	0.3
		7.865	13.3	28	20600	70	0.3

A : Medium-alloy, air-hardening tool steels H : Hot work tool steels
 D : High-carbon, high-chromium tool steels M : High speed steels
 O : Oil-hardening tool steels 4140, 4340 : Alloy steels
 S : Shock-resisting tool steels
 * Coefficient of thermal expansion for temperature range 20~400 °C

규칙5) 제품에 코너 반경이나 필렛 반경이 존재하면 그 반경은 0.5t 보다 커야 한다.

2.2 스트립 레이아웃 규칙

규칙6) 파일롯트 구멍이 존재하면 처음 공정에서 피어싱한다.

규칙7) 파일롯트 구멍이 존재하면 이 구멍의 치수는 소재 두께의 3배 이상은 되어야 한다.

규칙8) 제품에 내부 형상이 존재하면 내부 형상을 먼저 가공한다.

규칙9) 2개 이상의 내부 형상이 동시에 피어싱 된다면 피어싱 다이의 벽 두께를 계산하여 그 두께가 Table 5의 값보다 작으면 공정을 분할한다.

Table 5. Minimum die wall thickness

Workpiece thickness (mm)	Tensile strength (kg/mm ²)				
	~ 40	40 ~ 50	50 ~ 61	61 ~ 70	70 ~
≤ 0.4	1.28	1.44	1.6	1.76	1.92
≤ 0.6	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
≤ 0.8	2.0	2.25	2.5	2.75	3.0
≤ 1.0	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6
≤ 1.2	2.8	3.15	3.5	3.85	4.2
≤ 1.5	3.2	3.6	4.0	4.4	4.8
≤ 2.0	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
≤ 2.5	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2
≤ 3.0	5.6	6.3	7.0	7.7	8.4
≤ 3.5	6.4	7.2	8.0	8.8	9.6
≤ 4.0	7.2	8.1	9.0	9.9	10.8
≤ 5.0	8.0	9.0	10.0	11	12.0

규칙10) 소재의 두께가 5mm보다 크면 외삽 법으로 보간한다.

규칙11) 가공가능성 검사 모듈에서 결정된 제품형상간의 여유폭(BW1)을 이용하여 블랭크의 초기이송피치가 아래식으로 결정한다.

$$L_{pitch} = D_{bla} + BW1$$

규칙12) 블랭킹 력에 대한 추력의 비는 가장 가혹한 조건인 0.2로 한다.

규칙13) 다이의 측면에 작용하는 면압은 아래식으로 결정한다.

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

여기서 F_d : 추력

BLR : 소재 두께에 대한 버니쉬 길이 비

P_{face} : 다이의 측면에 작용하는 면압
 L_{shear} : 전단 길이

규칙14) 다이의 측면에 작용하는 면압에 견딜 수 있는 다이의 외경은 아래식으로 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 $m : 1 \leq m \leq 1.155$
 σ_y : 다이의 항복 강도

규칙15) 각 공정에서는 블랭킹력에 의한 추력으로 인해 다이의 측면에 작용하는 면압을 견딜 수 있는 다이의 최대 외경을 결정 한 후에 각 공정의 가장자리에서 이웃하는 공정의 가장자리 까지의 한계거리는 아래식으로 결정한다.

$$l_{criteria} = \frac{(d_{o,n} + d_{o,n+1})}{2} - \frac{(d_{i,n} + d_{i,n+1})}{2}$$

여기서, $l_{criteria}$: 공정간의 한계거리
 규칙16) 스트립레이아웃에서 각 공정의 가장자리에서 이웃하는 공정의 가장자리까지의 최소 거리를 계산하여 그 최소거리가 한계거리($l_{criteria}$)보다 작으면 아이들공정 (Idle station)을 그 공정의 사이에 둔다.

규칙17) 아이들 공정이 필요하지 않을 경우에 입력된 다이블럭의 크기는 다음의 조건식으로 계산되며 계산된 이송피치를 그대로 적용하여 스트립레이아웃을 수행한다.

$$n \times L_{pitch} + 2 \times \text{condifact} \times H_{dblock} = L1_{dblock}$$

$$D_{bla} + 2 \times \text{condifact} \times H_{dblock} = L2_{dblock}$$

여기서 n : 공정수 condifact : 규칙 24)로부터 결정.
 규칙18) 아이들공정이 필요할 경우 입력된 다이블럭의 치수는 다음의 조건식으로 계산된다

$$(n + 1) \times L_{pitch} + 2 \times \text{condifact} \times H_{dblock} = L1_{dblock}$$

$$D_{bla} + 2 \times \text{condifact} \times H_{dblock} = L2_{dblock}$$

2.3 다이 레이아웃 규칙

규칙19) 프레스의 용량이 결정되면 다이블럭의 전장은 결정된다.

규칙20) 프로그레시브 다이에서의 하중(P)은 아래식으로 결정한다.

$$P = L_{pitch} \times t \times s$$

여기서 L_{shear} : 전단 길이 t : 소재의 두께 S : 전단 저항
 규칙21) 다이블럭의 두께는 사용자의 입력사항으로 하며 만약 다이블럭의 두께가 입력되지 않으면 소재의 두께에 따라 결정된다.

규칙22) 다이블럭의 두께에 대한 검증은 블랭크가 원형이면 아래의 식으로 한다.

$$H^2_{dblock} \geq \frac{2.5P}{\sigma_{ai}} \left(1 - \frac{D_{blank}}{1.5D_{dplate}}\right)$$

규칙23) 다이블럭의 두께에 대한 검증은 블랭크의 형상이 원형이 아니면 아래의 식으로 한다.

$$H_{dblock} \geq kP^{\frac{1}{3}}$$

여기서 k : 펀치의 윤곽길이에 관련된 보정계수
 규칙24) 전단날과 다이블럭의 바깥모서리 사이의 최소 거리는 단순 다이일 경우에는 다이블럭두께의 1.5~2.0배이며 복잡한 다이일 경우에는 2.0~3.0배이다.

규칙25) 추출방법이 중력 낙하 방식이고 재료 경사각이면 다이랜드부의 길이는 Table 6으로 부터 결정된다.

Table 6. Die land length

Material thickness [mm]	Die land length [mm]
0.0 ~ 0.5	3 ~ 5
0.5 ~ 5.0	5 ~ 7
5.0 ~ 10.0	10 ~ 15

규칙26) 추출 방법이 중력 낙하 방식이고 재료 경사각이 아니면 다이랜드부의 경사각은 Table 7로 부터 결정된다.

Table 7. Relief angle

Material thickness(mm)	Draft angle
0.0 < t ≤ 0.5	0.1' ~ 15'
0.5 < t ≤ 1.0	15' ~ 20'
1.0 < t ≤ 2.0	20' ~ 30'
2.0 < t ≤ 4.0	30' ~ 40'
4.0 < t	45' ~

규칙27) 추출 방식이 녹아웃방식(Knockout Type)이면 녹아웃을 설치한다.

규칙28) 프로그레시브 다이에서의 전 전단길이에 대한 하중 중심점은 아래의 식과 같다.

$$x = \frac{\sum E_i X_i}{\sum E_i}$$

$$y = \frac{\sum E_i y_i}{\sum E_i}$$

여기서 E_i : 각 엔티티의 전단 길이

규칙29) 코너에 있는 구멍은 구멍의 중심선에서 다이 블럭의 모서리까지의 거리가 적어도 구멍직경의 1.5배가 되는 지점에 위치해야 한다.

규칙30) 전단력의 중심이 프레스의 중심과 서로 일치하지 않는 경우에는 편심량이 다이블럭 전장치수의 30% 이하의 범위 안에 있도록 설계한다.

규칙31) 녹 아웃(knock out) 핀에 대한 모든 구멍들은 드릴링되고 리이밍 되어져야한다.

규칙32) 녹 아웃 핀의 갯수는 체결 보울트의 갯수와 같도록하고 일직선상에서 같은 피치로 배열 되도록 한다.

규칙33) 체결 보울트의 갯수는 스트립핑 력에 의하여 아래식으로 계산되어 진다.

$$F_{strip} = 300 \times d_f^2 \times n_f$$

여기서 d_f : 체결 보울트의 직경(cm)

n_f : 체결 보울트의 수

F_{strip} : 스트립핑 력 (kgf)

규칙34) 스트립 레이아웃에서 나온 결과에 따라 각 공정 사이의 최소 거리가 다이 블럭의 두께의 2배 보다 크면 다이는 분할이 이루어진다.

규칙35) 피어싱 펀치의 형상은 제품의 형상에 의해 결정되고, 블랭킹 펀치의 형상은 제품의 형상에서 틈새를 뺀 치수로 결정된다.

규칙36) 펀치의 길이는 스트립퍼 플레이트의 두께, 펀치 호울더의 두께, 펀치의 진입량, 재연삭량 등을 더한 값보다 커야한다.

규칙37) 펀치의 길이는 좌굴에 대한 한계값보다 작아야한다.

· 펀치에 가이드가 없을 경우

$$l \leq \sqrt{(\pi^2 EI / 4CP)}$$

· 펀치에 가이드가 있을 경우

$$l \leq \sqrt{(2\pi^2 EI / CP)}$$

여기서 CP: 안전 계수(2-3)

l : 펀치의 길이 E : 종탄성 계수(kgf/mm²)

I : 단면 2차 모멘트(kgf / mm⁴)

규칙38) 스트립퍼 플레이트의 전장은 다이블럭의 전장과 같이 한다.

규칙39) 스트립퍼 플레이트가 고정식이면 형상과 치수는 아래와 같다.

$$H_{stripper} = t + 2.4mm, \quad A_{stripper} = (1/7) \times t + 0.5$$

$$T_{stripper} = (W/30) + 2t, \quad h_{stripper} = H_{stripper} + T_{stripper}$$

규칙40) 스트립퍼 플레이트가 스프링식이면 Table 8로부터 C_{strip} 을 구한 후 스트립핑력을 아래의 식으로 결정한다.

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

Table 8. Stripping factor: C_{strip}

Clearance [%]	C_{strip}
0.0 ~ 2.5	0.2
2.5 ~ 5.0	0.15
5.0 ~ 7.5	0.1
7.5 ~ 10	0.05
10.0 ~ 12.5	0.025

규칙41) 상부다이의 공간은 사용되는 스프링의 최대치름을 제한한다.

규칙42) 스트립퍼 플레이트가 스프링식이면 스프링의 치수는 KS규격에서 선정한다.

규칙43) 스프링의 외경은 KS규격에 따라 사용자가 입력한다.

규칙44) 스프링의 예비압축량(l_{precom})은 3mm 부터 6mm 중에서 선택한다.

규칙45) 스프링의 작동시 압축길이는 아래의 식으로 구한다.

$$l_{workcom} = t + l_{punch} + l_{stripper}$$

여기서, $l_{workcom}$: 스프링의 작동시 압축 길이

l_{punch} : 다이 닫힘시 펀치의 진입량

$l_{stripper}$: 다이 열림시 스트립퍼의 진입량

규칙46) 스프링의 전체 압축길이는 아래의 식으로 구한다.

$$l_{totcom} = l_{prcom} + l_{workcom}$$

여기서, l_{totcom} : 스프링 전체 압축길이

l_{prcom} : 스프링 예비 압축량

규칙47) 스프링의 자유 길이는 아래의 식으로 구한다.

$$l_{spring} = \frac{l_{totcom}}{C_{br}}$$

여기서, l_{spring} : 스프링의 자유 길이

C_{br} : Table 9로 부터 결정

Table 9. Bend ratio: C_{br}

	Light load	Middle load	Heavy load	Extreme load
Long Life	0.25	0.25	0.2	0.13
Short Life	0.30	0.30	0.25	0.17
Limits	0.375	0.35	0.3	0.20

규칙48) 스프링의 자유길이와 외경을 기준으로 스프링에 관한 데이터베이스에서 스프링을 선정한다.

규칙49) 선정된 스프링 력은 아래의 식으로 결정한다.

$$F_{spring} = K_{spring} \times l_{totcom}$$

여기서, F_{spring} : 스프링 력

K_{spring} : 스프링 상수

규칙50) 선택된 스프링 력과 스트립핑 력으로 부터 스프링의 갯수를 계산하고 스프링의 갯수가 너무 많거나 적을 경우에는 사용자는 요구하는 스프링의 갯수를 입력하여 스프링을 다시 선정한다.

규칙51) 스프링의 위치는 같은 피치로 일렬로 배열한다. 만약 같은 피치로 되지 않는 경우는 중심점에서 같은 피치로 재조절한다.

규칙52) 다이와 펀치 사이의 틈새는 소재의 두께와 인장강도를 고려한 Table 10으로 부터 결정한다.

규칙53) 소재의 진 파괴 변형률을 알 경우에는 아래의

Table 10. Clearance according to thickness and tensile strength

Workpiece thickness [mm]	Tensile strength [kg/mm ²]			
	< 25.5	25.5~40.82	40.82~61.22	> 61.22
~ 1	0.025	0.025	0.03	0.035
1 ~ 2	0.03	0.03	0.035	0.04
2 ~ 3	0.035	0.035	0.04	0.045
3 ~ 5	0.04	0.04	0.045	0.05
5 ~ 7	0.045	0.045	0.05	0.055
7 ~ 10	0.05	0.05	0.055	0.06

식으로 틈새를 결정한다.

$$C_0 = \frac{t}{1.36 \exp(\epsilon_f) \left[\frac{2.3 \exp(\epsilon_f) - 1}{2 \exp(\epsilon_f) - 1} \right]}$$

여기서 C_0 : 펀치와 다이 사이의 틈새

ϵ_f : 소재의 진 파괴 변형률

3. 프로그램의 구성과 작동원리

본 연구에서는 스테이터와 로터의 공정설계와 금형설계를 자동화하기 위해서 "STRTDES" (Stator Rotor Design) 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 주 프로그램, 입력 및 형상처리 모듈, 가공가능성 검사 모듈, 스트립핑 이웃 모듈, 다이레이아웃 모듈, 도면 편집 모듈등 여섯 부분으로 나누어져있다. 본 시스템은 하나의 환경에서 수행되며 각 모듈들이 규칙베이스와 데이터베이스를 공유하므로 수행중 시스템을 중단하지 않고서 모든 과정을 수행할 수 있는 장점이 있다. 또한 시스템의 진행 방식은 선택의 다양성을 위하여 대화식을 이용하였다.

3.1 주 프로그램 (main program)

주 프로그램은 시스템의 전체 프로그램 및 작업환경을 관리하는 프로그램으로 전체의 구조는 Fig. 1과 같다.

3.2 입력 및 형상처리 모듈(input and shape treatment module)

3.2.1 입력 모듈

입력 모듈은 소재제원으로는 소재의 재료명 및 두께, 폭, 열처리조건에 대한 정보가 요구되어지고 소재의 재료명과 열처리 조건을 이용하여 소재의 기계적성질에 관한 정보를 데이터베이스로 부터 자동적으로 읽어 들인다.

3.2.2 형상처리 모듈

형상처리 모듈에서는 제품의 형상을 사용자가 직접 AutoCAD환경하에서 도면화하거나 혹은 도면화된 화일을 스크린 상에 나타냄으로써 입력된다. 입력된 형상은 프로그램에서 취급하기 위하여 형상 데이터를 수치형태로 변환되어 저장되어진다.

저장된 정보의 표현 형식은 다음과 같다.

- 직선과 원호로만 구성된 리스트의 표현형식

(0.0 (Sp Ep) (Sp Ep) (Sp Ep) · · ·

(Sp Ep Cp) (Sp Ep Cp) · · ·)

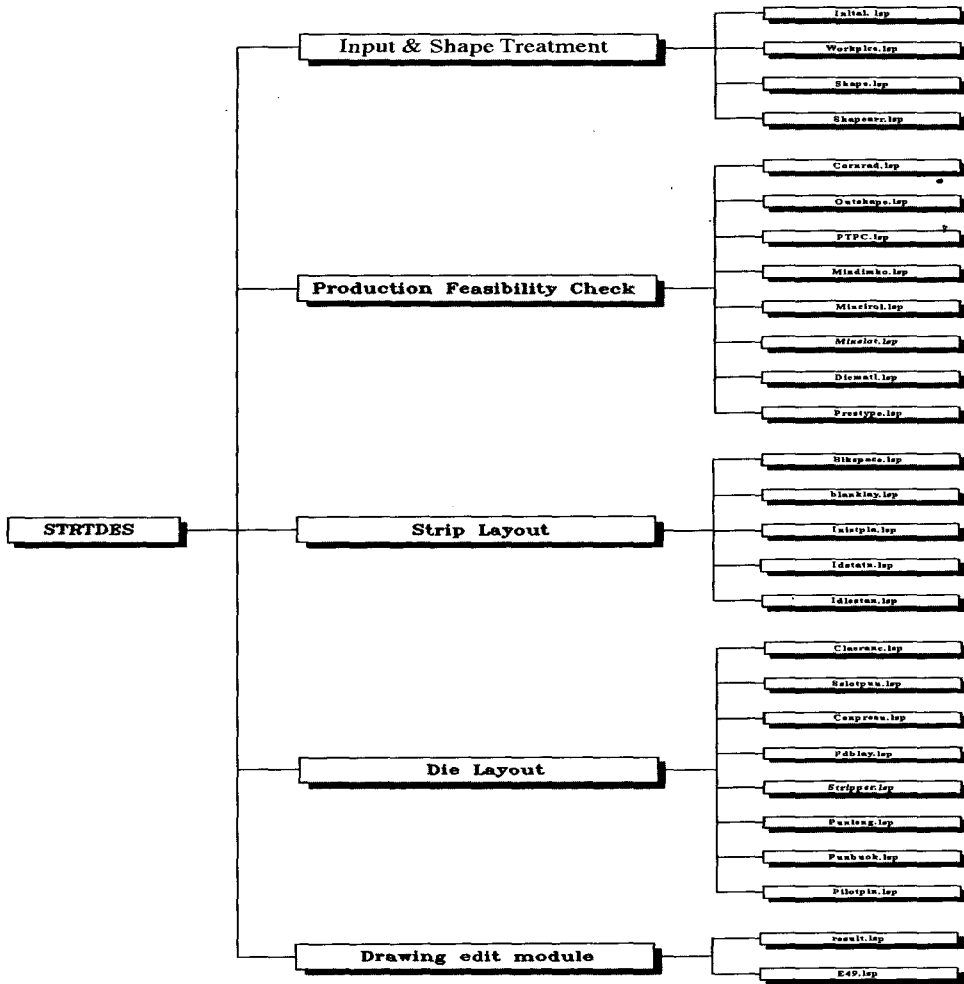


Fig.1 Block diagram for process planning and die design of stator and rotor

- 원호로만 구성된 리스트의 표현형식

$(0.0 (Cp R) (Cp R) (Cp R) \dots \dots \dots)$

여기서 $(Sp Ep)$ 는 도면요소가 직선, $(Sp Ep Cp)$ 는 원호이며, $(Cp R)$ 은 도면요소가 원이다. 그리고 $Sp(xs ys zs)$ 는 시작점이며 $Ep(xe ye ze)$ 는 끝점, $Cp(xc yc zc)$ 는 원호와 원인 경우에 중심점을 나타내며, R은 원의 반지름을 나타낸다.

직선과 원호로 구성된 리스트(List)는 설계에 용이하게 이용할 수 있도록 도면요소들을 페루프단위로 다시 작성한다.

$(0.0 ((p_1 p_2) (p_2 p_3 p_{c1}) (p_3 p_4) \dots \dots \dots$
 $(p_{n-1} p_n p_{cn}) (p_n p_1)) ((q_1 q_2) (q_2 q_3)$
 $(q_3 q_4 q_{c1}) \dots \dots \dots (q_{n-1} q_n q_{cn}) (q_n q_1))$
 $\dots \dots \dots)$

여기서, $(p_{n-1} p_n p_{cn}) (p_n p_1)$ 에서 p_n 은 $(p_{n-1} p_n p_{cn})$ 의 끝점인 동시에 $(p_n p_1)$ 의 시작점이고 p_{cn} 은 원호의 중심점이다. 또 $p_1(x_1 y_1 z_1)$ 에서 x_1 은 p 형식의 페루프에서 최소의 x 좌표값을 가지며, 이 p_1 을 기준으로 p 형식의 페루프는 시계방향으로 순환한다.

3.3 가공 가능성 검사 모듈

(production feasibility check module)

가공 가능성 검사 모듈은 형상처리 모듈에서 얻은 블랭크의 정보를 가지고 제품으로서의 성형 가능성을 검사하는 모듈로서 블랭크 윤곽이 블랭킹이나 피어싱으로 성형되어지는 것이 어렵거나 불가능한 기하학적 영역이 제시되어진다.

가공 가능성 검사시에 고려되어지는 요소들은 블랭킹 또는 피어싱될 두 내부 형상사이의 거리, 피어싱될 구멍의 직경, 제품의 코너 반경 및 필렛반경이다. 제품의 최외각 형상간의 여유폭은 소재의 두께에 따라 결정되며, 이 여유폭을 이용하여 이송피치가 결정되어진다.

3.4 스트립 레이아웃 모듈(strip layout module)

스트립 레이아웃 모듈은 가공가능성 검사 모듈에서 합격한 제품 형상의 공정순서를 결정하는 모듈이다. 이 모듈에서는 각 공정간의 블랭킹 하중에 의해 발생하는 다이 면압에 견딜 수 있는 다이 외경의 한계거리가 계산되어진다. 계산되어진 한계거리와 각 공정간의 최소 거리를 비교할 때 최소거리가 다이외경의 한계거리보다 작으면 면압에 의한 다이의 파손을 방지하기 위하여 아이들 공정이 추가된다.

3.5 다이 레이아웃 모듈(die layout module)

다이 레이아웃 모듈에서는 스트립 레이아웃 모듈에서 얻어진 플레이트 상의 공구배치 정보로써 설계 규칙을 만족하는 다이블럭, 펀치, 스트립핑가 설계되어진다. 또한 다이블럭은 스트립 레이아웃의 결과에 따라 자동적으로 분할되어진다. 이 모듈에 고려되는 설계변수들로는 다이와 펀치사이의 틈새로 인한 기하학적인 형상, 펀치의 좌굴 여부, 힘의 균형을 위한 하중의 중심점, 스트립핑력에 의한 스프링의 수와 배열, 체결보울트의 수와 배열, 녹아웃 핀의 수와 배열 등이 있다.

3.6 도면 편집 모듈(drawing edit module)

도면 편집 모듈에서는 스테이터와 로터의 공정설계 및 금형 설계 도면을 출력하기 위한 편집기능이 수행되어진다. 위의 각 모듈들이 수행되고 난 후 편집모듈을 이용하여 각 단계에서의 결과들을 출력시킬 수 있다.

4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 스테이터와 로터의 공정설계와 금형설계를 자동화하기 위해서 "STRIDES" 시스템을 개발하였고

이 개발된 시스템에 112프레임(frame) 4극 모터 코어용 스테이터 및 로터를 적용하여 보았다.

Fig. 2와 같은 스테이터와 로터의 실제 도면과 데이터들을 입력하여 각 모듈에서 계산되어 출력된 결과들에 대하여 살펴보기로 한다.


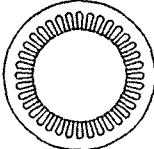
4.1 가공 가능성 검사

Fig. 3은 Fig. 2의 112 프레임 4극 모터 코어용 스테이터와 로터 도면을 시스템에 입력시켜 가공 가능성 검사 모듈에서 수행되어진 출력 결과를 나타낸 것으로 스테이터와 로터의 내부형상 사이의 최소 거리, 피어싱되는 구멍의 최소 지름, 최소 슬리팅 폭에 대한 치수, 최소 아크 반경의 치수들이 먼저 시스템 내로 인식되게 된다. 인식된 치수들은 가공 가능한 한계치수와 비교하여 가공 가능성이 판단되어진다. 그림에서 인식된 치수들이 가공 가능한 한계치수 보다 크므로 이 형상에 대해서 블랭킹 또는 피어싱 공정으로 가공이 가능함을 알 수 있다. 이와 같이 가공 가능성 검사 모듈에서는 가공 가능성 여부가 판단되어 스트립 레이아웃 모듈에 연결되고 실제 생산에서 발생할 수 있는 오류를 사전에 방지 할 수 있다.

4.2 스트립 레이아웃

앞의 가공 가능성 검사 모듈에서의 결과를 판단의 근거로 블랭킹 공정에 대하여 스트립 레이아웃 모듈이 수행한 결과, 출력된 초기 스트립 레이아웃과 최종 스트립 레이아웃을 Fig. 4에 나타내었다.

이 모듈에서는 이송 피치로 공정을 전개한 후에 각 공정간의 거리가 계산되어지며, 각 공정별 블랭킹 하중에 의한 다이면압에 견딜 수 있는 공정 사이의 한계거리가 계산되어진다. 112 프레임 4극 모터코어용 스테이터와 로터에서는 3번째 공정과 4번째 공정간의 거리는 15.54mm로써 블랭킹 하중에 의한 다이면압에 견딜 수 있는 공정간의 한계거리인 26.02mm보다 작으므로 면압에 의한 다이의 파손을 방지하기 위하여 이 공정 사이에 아이들 공정을 두어야 함을 알 수 있다. 스트립 레이아웃 모듈에서는 공정순서 및 아이들 공정의 여부가 결정되어져서 다이 레이아웃 모듈에 연결된다. 실제로 현장에서 수행되고 있는 스트립 레이아웃의 도면을 Fig. 5에 나타내었는데 그 결과는 공정설계 시스템에 의한 스트립 레이아웃과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

 * 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, O=COLD-ROLLED or A=SOFT Mat'l, O=HARD Mat'l

Input heat treatment condition <C/A>: C

 * WORKPIECE THICKNESS *

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

Input the Thickness : 10
 * After press return key to continue, wait for a minute!

 * KNOCK PIN DIAMETER *

Knock pin Diameter (mm)

Input the Diameter : 10
 * After press return key to continue, wait for a minute!

 * PASTER BOLT DIAMETER *

Pasterer bolt Diameter (mm)

Input the Diameter : 10
 * After press return key to continue, wait for a minute!

 * SPRING DIAMETER *

Spring Diameter (mm)

Input the Diameter : 30
 * After press return key to continue, wait for a minute!

 * DIE BLOCK MATERIALS *

1. TOOL_STEEL
 2. TUNGSTAIN CARBIDE

Select the Number : 2

*** TUNGSTAIN CARBIDE (W.C.) ***

JIS	HrA	JIS	HrA
G1P	82.0	D50L	87.5
G2P	91.5	D40L	86.5
D10	90.5	D60L	85.0
D20	90.0	D60L	83.5
D25	89.0	D71L	82.0
D30	88.0	A80	91.5
D40	87.0	UM	90.5
D50	88.0	TU10	82.5
D60	84.5	TU40	89.0
D25L	88.5		

Input - Material : D30
 Input - Hardness : 88

 * PUNCH MATERIALS *

1. TOOL_STEEL
 2. TUNGSTAIN CARBIDE

Select the Number : 2

*** TUNGSTAIN CARBIDE (W.C.) ***

JIS	HrA	JIS	HrA
G1P	82.0	D50L	87.5
G2P	91.5	D40L	86.5
D10	90.5	D60L	85.0
D20	90.0	D60L	83.5
D25	89.0	D71L	82.0
D30	88.0	A80	91.5
D40	87.0	UM	90.5
D50	88.0	TU10	82.5
D60	84.5	TU40	89.0
D25L	88.5		

Input - Material : D60
 Input - Hardness : 84.5

 * STRIPPER MATERIALS *

1. TOOL_STEEL
 2. TUNGSTAIN CARBIDE

Select the Number : 1

*** TOOL STEEL ***

JIS	AISI	HrC
SKD12	A2	58 60 62
SKD11	D2	58 60 62
SKD1	D3	58 60 62
SKD61	H13	35 42 47 50
		52 54 55
SKH9	M2	62 63 64 65
SKH5-4	M4	63 64 65
SKS3	O1	40 44 50 54
		58 60 61 62
SKS41	S1	56 58
SCM4	4140	28 35
SNCR8	4340	28 35 42

Input - Material : SKS3
 Input - Hardness : 80

Fig.2 Input data of the CAD program for stator and rotor

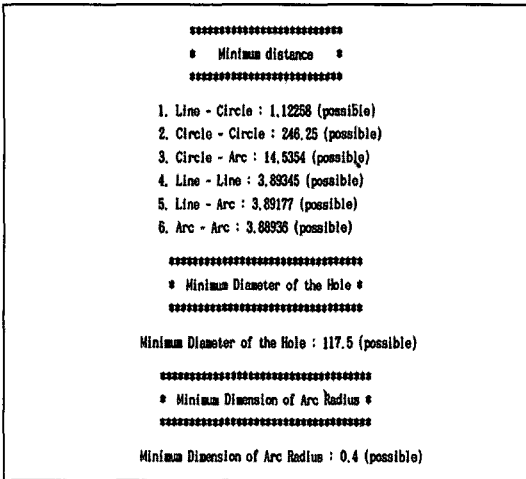


Fig.3 Output of production feasibility check

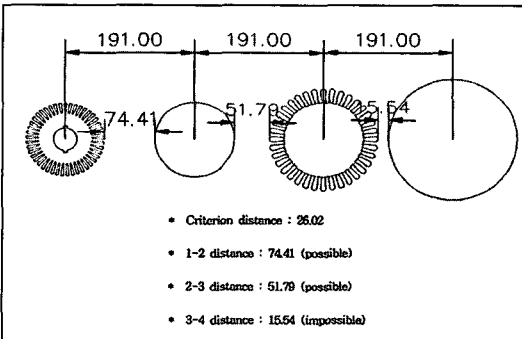


Fig.4-a Output of initial strip layout

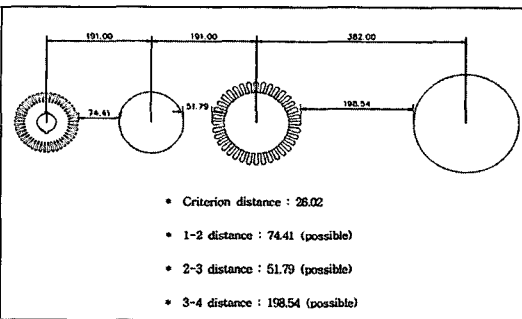


Fig.4-b Output of final strip layout

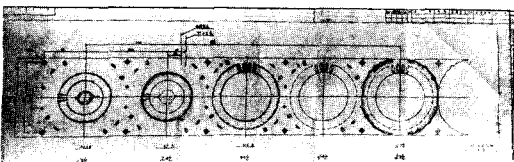


Fig.5 Strip layout carried out in blanking company

4.3 다이 레이아웃

스트립 레이아웃의 결과로써 얻어진 공정설계에 대하여 다이 레이아웃 모듈이 수행한 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6은 각각 다이블럭, 로터 슬롯 펀치, 스테이터 슬롯 펀치, 로터 블랭킹 펀치, 스테이터 블랭킹 펀치, 스트립퍼의 출력도면들을 나타낸 것으로 다이와 펀치사이의 틈새는 0.06mm이고 하중의 중심점은 스테이터 슬롯 중심으로부터 좌로 113.65mm인 곳에 위치함을 알 수 있고 이것은 전단력의 중심과 프레스 중심의 편차량이 55.15mm로써 다이블럭 전장치수의 30%이하의 범위 안에 있음을 알 수 있다. 또한 계산된 스트립핑력으로 부터 스프링의 수, 체결보울트의 수, 녹 아웃 핀의 수가 계산되어져서 다이블럭, 스트립퍼에 배열되어진다. 따라서 경험이 없는 사람이라도 설계가 용이하고 시간과 경비를 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

다이레이아웃의 결과에 따른 금형의 구조와 재료표는 Fig. 7과 같다.

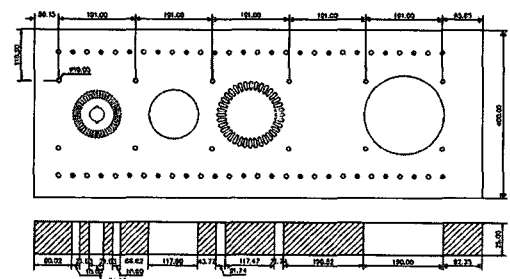
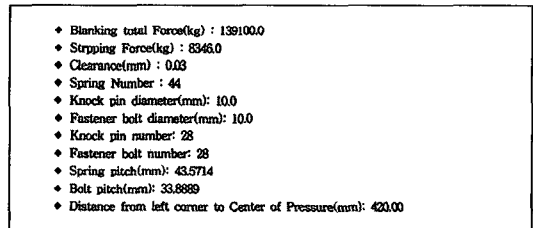


Fig.6-a Output of die layout(die block design)

5. 결 론

본 논문에서는 산업기계 부품의 근간을 이루는 모터 코어용 스테이터와 로터들의 블랭킹에 관한 공정설계 및 금형설계를 자동화 할 수 있는 CAD시스템(RTSTDES)을 개발하여 112 프레임 4극 모터 코어용 스테이터와 로터에 적용하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

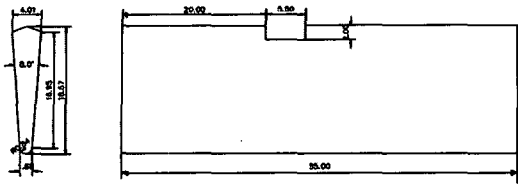


Fig. 6-b Output of die layout (rotor slot punch design)

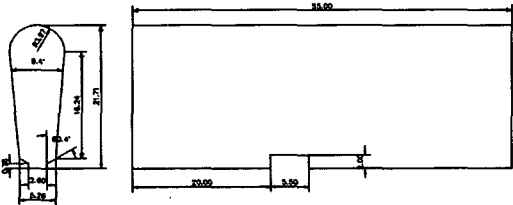


Fig. 6-c Output of die layout (stator slot punch design)

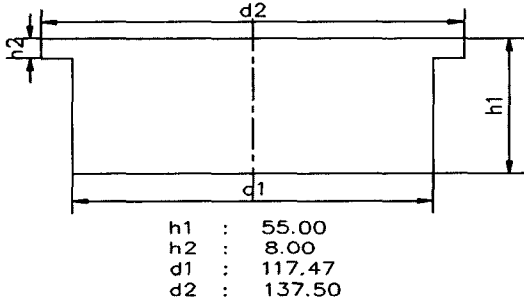


Fig. 6-d Output of die layout (rotor blanking punch design)

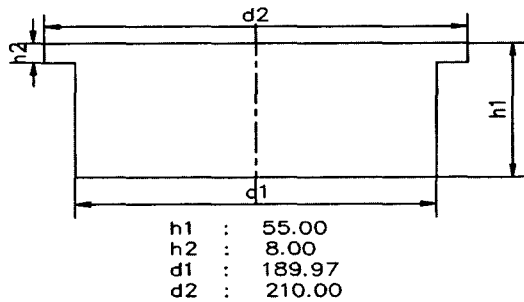


Fig. 6-e Output of die layout (stator blanking punch design)

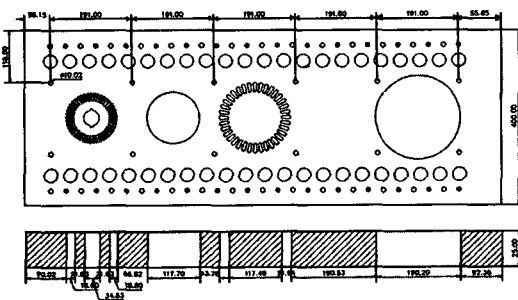
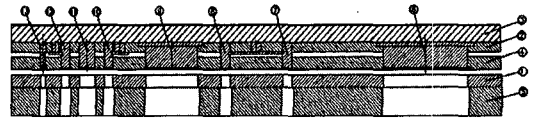


Fig. 6-f Output of die layout (stripper design)



NUMBER	1	2	3	4	5	6	7, 8
NAME	DIE	PUNCH HOLDER	BACKUP PLATE	STOPPER	DIE SHOE	STATOR BLANKING PUNCH	STATOR SLOT PUNCH
MATERIAL	D40	SKS3	SKS11	SKS3	SKS3	D30	D30
QUANTITY	1	1	1	1	1	1	3
REMARK							

NUMBER	9	10, 12	11	13
NAME	ROTOR BLANKING PUNCH	ROTOR SLOT PUNCH	ROTOR SHAFT PUNCH	PILOT PUNCH
MATERIAL	D30	D30	D30	D30
QUANTITY	1	43	1	1
REMARK				

Fig. 7 A structure of progressive die and bills-of materials

1. 프로그레시브 다이의 금형설계에 필요한 기술과 경험을 규칙 형태로 체계화하여 금형설계 방법을 정식화하였으며 공정 및 금형설계 자동화 시스템을 개발하였다.
2. 여러 종류의 스테이터와 로터는 물론 임의의 형상을 AutoCAD환경하에서 도면화하고 스크린 상에 로드 시키면 본 시스템은 도면화된 형상에 대하여 블랭킹 가공 가능성 여부를 검사하여 블랭크 형상이 가공 불가능할 때에는 가공 불가능 영역을 나타내고 가공 가능한 값을 제시할 수 있으므로 실제 생산에서 발생할 수 있는 오류를 사전에 방지할 수 있을 것이다.
3. 본 시스템은 아이들 공정의 추가 여부를 판단하여 다이의 파손을 막는 최적의 공정으로 자동설계 할 수 있을 것이다.
4. 본 시스템에서 설계된 스트립 레이아웃 결과는 실제 현장의 스트립 레이아웃 결과와 잘 일치하였다.
5. AutoCAD하에서 지원되는 AutoLISP언어를 사용하여 대화식으로 구성된 프로그램을 개발함으로써 경험이 없는 자라도 쉽고 정확하게 원하는 스테이터와 로터의 공정설계 및 금형설계 도면을 자동적으로 창출 할 수 있고 이로 인하여 설계시간의 단축을 가져 올 수 있으므로 현장적용이 기대된다.

후 기

본 연구는 효성중공업(주) 위탁과제 및 정밀정형 및 금형가공 연구센터의 지원하에 연구되었으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

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. Fumio, S.Choichiro and T. Mukumuru, "Computer progressive die design", Proceedings of 19th MTDR conference, pp. 171-176, 1978.
5. K. Shirai and H. Murakami, "A compact and practical CAD/CAM syatem for progressive dies", Bull. Jpn. Soc. of Prec. Engg., Vol. 23, No. 1, pp. 25-30, 1989.
6. Y.K.D.V. Prasad and S. Somasundaram, "CADDs : An automated die design system for sheet-metal blanking", Computing & control engineering journal, pp. 185-191, 1992.
7. Constantin Iliescu, "Cold-Pressing Technology", Elsevier, 1990.
8. D.F. Eary, E.A. Reed, "Technique of press-working sheet metal", Prentice-Hall, Inc., 1974.
9. F.W. Wilson, P. H. Harvey, "Die design handbook", Mcgraw-Hill company, 1963.
10. K. Lange, "Handbook of metal forming", McGraw-Hill book company, pp. 24.1-26.1, 1970.
11. F. Strasser, "The secret of successful press tool design", Tooling, Feb. pp.46-51, 1976.