

工學碩士 學位論文

박판 성형 가공에 있어서 스프링 백을 고려한
프로그레시브 다이 개발에 관한 연구

指導教授 沈 成 輔

이 論文을 工學碩士學位論文으로 提出함



2005年 2月

釜慶大學校 産業大學院

精密機械工學科

金 忠 煥

金忠煥의 工學碩士 學位論文을 認准함

2004年 12月 18日

主 審 工學博士 姜 大 敏 (印)

委 員 工學博士 尹 文 哲 

委 員 工學博士 沈 成 輔 

목 차

1. 서 론	1
2. 금형 설계	3
3. 스트립 프로세스 레이아웃의 설계	7
4. 이론적 배경	11
5. FEM 시뮬레이션	15
6. 금형 제작	29
7. 트라이 아웃	44
8. 결 론	46
참고 문헌	47
Abstract	49

기호 설명

$\Delta\theta$	스프링 백 각
θ_1	외력 제거 전 제품의 굽힘 각
θ_2	외력 제거 후 제품 각
ρ_1	중립면의 곡률 반경
ρ_2	잔류 곡률 반경
ϕ	선단 변형율
c	클리어런스
E	탄성 계수
I	단면 2차 모우멘트
k	스프링 백 계수
l	블랭크 팔의 길이
M	굽힘 모우멘트
R_1	외력 제거 전 제품의 굽힘 반경
R_2	외력 제거 후 제품의 반경
r_d	편치의 반경
r_p	다이의 반경
t	소재의 두께

1. 서 론

금형산업은 기간산업의 여러 분야에서 다양한 제품을 고품질 및 저가격으로 제품을 생산할 수 있게 된 것은 금형이라는 독특한 양산 체제의 영향이라고 사료된다.

금형산업은 날로 발전하여 자동차부품, 가전제품뿐만 아니라 정밀산업 분야의 반도체, 정보기술, 비행기, 로켓트, 우주선 등 모든 제품 생산에 사용되고 있다. 그러나 금형 발전에도 불구하고 구조적 문제점인 전문금형기술자의 부족과 영세성이 심각한 문제점으로 대두되고 있다.

금형개발에 필수적인 사항으로 Q·C·D(Quality, Cost, Delivery)를 맞춰야 하나 금형 직종의 기피현상으로 인한 금형 기술자의 감소로 심각한 인력난으로 인하여 금형기술의 낙후와 협력경쟁업체 간의 과다 경쟁으로 인한 금형 가격 하락 및 제품개발 주기단축으로 말미암아 노동 강도가 높아지고 있으며 임가공 비용 및 금형재료의 가격 상승으로 금형가격에 영향을 미치고 있어 더욱 어려운 환경에 처해있다.

프로그레시브금형은 단순한 부품은 물론이고 복잡한 부품도 소재를 금형^{1~4)}에 순차적으로 이송되면서 각 공정마다 서로 다른 작업을 수행하여 제품 형상이 완성되는 형태로 복합공정에서도 자동이송공급장치 등을 활용하여 무인자동화 할 수 있어 단 공정 프레스작업에 공정별로 필요한 작업인력을 여러 공정을 하나의 금형으로 만든 프로그레시브금형을 사용하면 인력난을 해결할 수 있다.

스프링 백에 관한 연구는 다양하게 연구되고 있으나 실험과 경험에 의존하는 경향이 있으며 정확한 계산과 해석이 난해하여 많은 시간과 인력을 요구하고 있어 금형제작에 있어서 품질저하 및 납기의 지연이 불가피하여 이를 해결할 수 있는 최적설계를 산업현장에서 요구하고 있다.

본 연구에서는 $t=0.8\text{mm}$ 타발 금형에 많이 사용하는 재료인 SPCC(냉간 압연강판)을 사용하여 스프링 백을 고려한 컷 오프 타입의 프로그레시브 다이로 벤딩가공 정밀금형개발에 관한 연구로서 DEFORM¹¹⁾을 이용한 FEM 시뮬레이션으로 스프링 백을 고려하였다.

금형설계⁹⁾의 품질을 높이기 위하여 스트립 프로세스 레이아웃의 최적화와 Unigraphics를 이용한 모델링, DEFORM을 이용한 성형공정의 FEM 시뮬레이션을 통해 금형설계의 최적화에 본 연구의 중요한 목적이다.

DEFORM을 이용한 FEM 시뮬레이션을 활용하여 금형 설계자 및 제작자의 경험이나 트라이아웃에 의존하여 해결하던 문제점들을 사전에 예측하고 대응하여 시행착오를 줄여 Q·C·D 최적화하는데 역점을 두어야 할 것이다.

2. 금형의 설계

2. 1 금형 개발 시스템

Fig. 1 은 금형을 개발하기 위해 금형 개발 시스템에 관한 흐름도를 나타내고 있다. 이것은 금형제작 기술과 표준화, 인력, 공구, 재료, 비용 등에 소프트웨어 및 하드웨어, 폭넓은 기술의 조화와 이론적인 바탕의 접목이 필요하다.⁷⁾

금형을 개발하기 전에 먼저 기본적인 제품도에 대한 검토와 연구가 필요하다. 검토가 충분히 이루어진 후에 공정 수와 프레스 사양에 따른 계획을 한다.

이 계획에 의하여 스트립 프로세스 레이아웃을 설계는 전체공정을 세우는 것으로 매우 중요하며 금형설계의 핵심이다. 성형부를 DEFORM으로 시뮬레이션하여 금형설계에 적용하고 제작도면에 따라 금형을 제작하여 검사하고 트라이아웃 하여 나타난 문제점은 설계에 반영하여 금형을 수정 보완할 필요가 있다.

이와 같은 금형설계, 제작, 트라이아웃 후에 나타나는 문제점을 DEFORM 시뮬레이션 해석을 통하여 예측 가능한 금형개발시스템은 금형설계의 품질을 높여 최적의 금형을 설계할 수 있고 정밀한 금형제작과 트라이아웃의 문제점을 사전에 제거할 수 있도록 하여 금형개발의 경쟁력을 한층 더 높일 수 있는 개발시스템이 요구되고 있다.

2. 2 제품도의 분석

본 연구에 사용된 재료는 냉간 압연강판 SPCC 로 하였다.

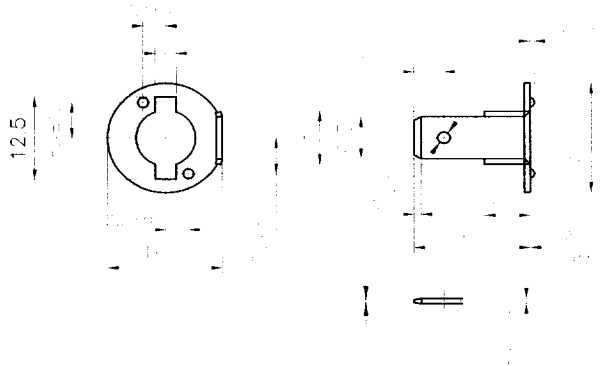
Table. 1은 SPCC 재료의 기계적 성질을 나타내고 있다.^{7, 8)}

Fig. 2에서 (a)는 AutoCAD를 사용하여 설계한 제품도를 나타내고 있다. 제품의 재료 두께는 0.8mm 벤딩 제품이며 버어 방향이 밑면으로 규제되어 있어 스트립 프로세스 레이아웃(strip process layout)을 컷 오프 타입(cut-off type)으로 설계하였다.

Fig. 2에서 (b)는 3차원 CAD 프로그램의 Unigraphics를 사용하여 제품을 3차원 모델링한 것으로 3차원 제품모델링을 통해서 프레스 타발 후 완성 제품을 미리 가시적으로 확인하여 볼 수 있으며 스트립 프로세스 레이아웃 설계에 사전에 제품도를 정확하게 검토 하는데 활용 할 수 있었다.

Table 1 Mechanical properties of SPCC

	Unit	Value
Young modules	GPa	200
Poison ratio	-	0.3
Tensile	MPa	760
Yield Strength	MPa	380



[Note]

1. Burr creating direction should be to the "A" surface

Material : SPCC Thickness : 0.8 mm

(a) Production part drawing



(b) Modeling of the product by the Unigraphics

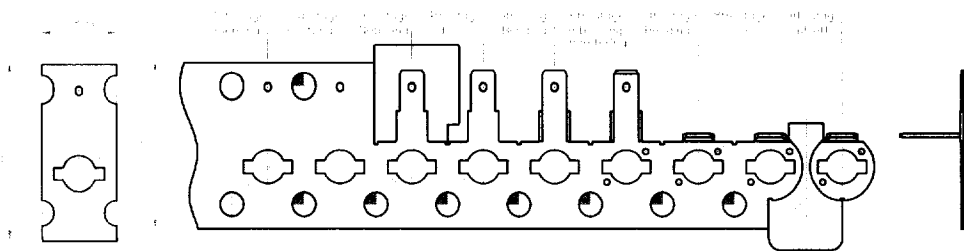
Fig. 2 Production part

3. 스트립 프로세스 레이아웃의 설계

3. 1 스트립 프로세스 레이아웃의 설계 분석

Fig. 3에서 (a)는 1열의 스트립 프로세스 레이아웃 설계도로 AutoCAD로 설계하였으며 벤딩부가 한쪽으로 편향되어 있는 비대칭형으로 스트립의 이송이 불안정하고 이송을 위한 가이드 리프트 편이 설치 공간의 확보가 어렵게 생각되고 스트립 이송 후 정확한 이송을 위한 파이롯팅을 1열로 배치로 배치하면 불안정 하다할 수 있다. 벤딩을 하기 위한 선수 작업공정의 노칭부도 한쪽으로 배치되어 있어 노칭부 타발 후 스트립의 변형이 예상되며 스트립의 이송에 영향을 줄 수 있다.

1열 스트립 프로세스 레이아웃 적용 금형은 다열 스트립 프로세스 레이아웃 적용 금형에 비하여 프레스 제품 생산시 타발재료 이용율이 낮고 생산성도 낮아 대량 생산에서 적합한 방법을 고려할 필요가 있고 다열 스트립 프로세스 레이아웃 적용 금형은 생산 수량에 맞는 툴링을 검토하고, 최적 설계, 금형의 제작성, 제작원가, 납기 등을 충분히 고려하여 타당할 경우에 적용하는 것이 타당하다고 하겠다.

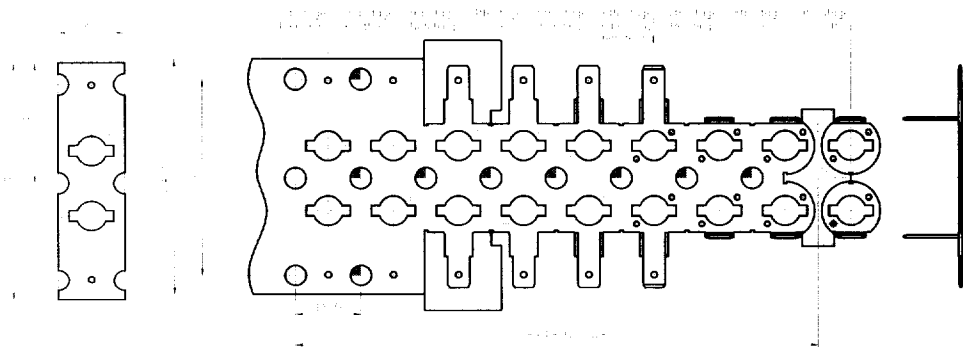


(a) Strip process layout of single row

따라서 연구개발 제품은 대량생산 제품으로 생산성 향상 및 1열 금형에서의 문제점을 고려하여 2열 스트립 프로세스 레이아웃을 검토하게 되었다.

Fig. 3 에서 (b)는 2열 스트립 프로세스 레이아웃으로 설계도면으로 스트립 이송시 가이드 리프트 핀(guide lift pin)으로 스트립을 지지하고 안내하여 안정적이며 이송 후 정확한 파이롯팅(piloting)에 의한 위치결정(locating)이 보장 된다. 상하 대칭형으로 금형제작이 하게 되면 대칭형으로 금형 구조가 적합하며 또한 개발제품은 대량생산 제품으로 생산성 향상 및 1열 금형에서의 문제점을 해소할 수 있어 2열 스트립 프로세스 레이아웃을 검토하게 되었다.

제품 양산시 1열 금형에 비하여 2열 금형으로 타발시 타발 재료비 30%가 절감되고, 프레스 제품 생산성은 200%를 향상 시킬 수 있어 기업의 경쟁력을 강화시킬 수 있다고 사료된다.



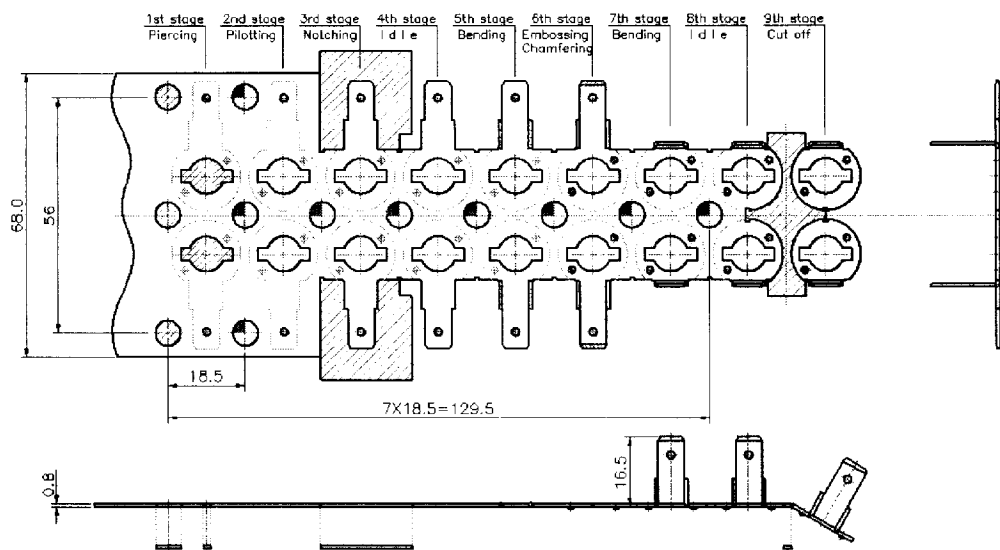
(b) Strip process layout of couple row

Fig. 3 Review of Strip process layout

3. 2 스트립 프로세스 레이아웃의 설계

Fig. 4은 AutoCAD를 이용하여 스트립 프로세스 레이아웃을 설계한 것을 보여주고 있다. 본 연구는 재료 이용률을 극대화 하여 생산원가를 낮추며 생산성을 향상시키기 위한 설계에 주안점을 두어 스트립의 이송을 원활히 하고 정확한 위치 결정과 제품 타발시 생길 수 있는 금형의 트러블을 최대한 줄여 안정적인 생산을 위하여 2열 금형으로 채택하였으며 스트립 프로세스 레이아웃을 총 9개의 스테이지로 구성되게 하였다.

스트립 프로세스 레이아웃의 공정별로 보면 첫 번째 공정은 파이롯팅용 피어싱과 중앙에 위치한 이형상의 피어싱 공정이며, 두 번째 공정은 스트립의 이송 후 정확한 위치 결정을 위한 간접 파이롯팅 공정이다. 세 번째 공정은 벤딩 및 챔퍼링을 위한 노칭 공정으로 선단부를 π -자 형태로 전단한다. 네 번째 공정은 공간을 확보하기 위한 공정으로 쉬어가는 아이들 공정이다. 여기서 아이들 공정이란 작업을 수행하지 않고 쉬는 스테이지로 펀치 설치 공간이 좁거나 프레스 작업시 금형에 가해지는 힘의 균등한 분배를 위하여 사용되며 때로는 직전 또는 직후 스테이지의 제작 오차 발생시 대체할 수 있는 여유를 줄 수 있음을 고려하였다. 다섯 번째 공정은 강도 보강용 벤딩부로 상방향으로 벤딩해야 한다. 여섯 번째 공정은 제품의 끝에 모따기를 하는 챔퍼 공정과 점용접을 위한 돌기부를 엠보싱하는 공정으로 설계하였으며 일곱 번째 공정이 본 연구의 핵심 공정으로 상방향 벤딩 공정으로 스프링 백 현상을 고려하여 벤딩펀치에 코이닝을 채택하고 DEFORM을 이용한 시뮬레이션이 필요한 공정으로 핵심 공정이다. 여덟 번째 공정은 아이들이며 마지막 아홉 번째 공정에서 컷터 오프하여 최종 제품을 얻게 된다.



1st stage	Differed shape piercing of central position and piercing to pilot
2nd stage	Indirected piloting process for accurate feeding
3rd stage	Symmetrical notching of bending portion
4th stage	Idle stage with consideration of die strength
5th stage	Left and right wing bending to upper direction
6th stage	Chamfering and embossing of edge portion
7th stage	90 degree bending of edge portion to the upper direction
8th stage	Idle stage as same effectiveness as 4 the stage
9th stage	Cut-off stage with a consideration off burr direction for product obtaining

Fig. 4 Drawing of strip process layout and its Flow chart

4. 이론적 배경

4. 1 균일한 굽힘일 경우

Fig. 5에서 균일한 굽힘 모우멘트 M 을 받으면 곡률 $1/\rho_1$ 으로 굽힘되는 블랭크는 이 굽힘 모우멘트를 제거하면 탄성적으로 회복된다. 이 때 완전히 하중을 제거한 후의 잔류곡률 $1/\rho_2$ 는 블랭크의 J·Bauschinger 효과를 무시하면 다음 식으로 된다.¹⁰⁾

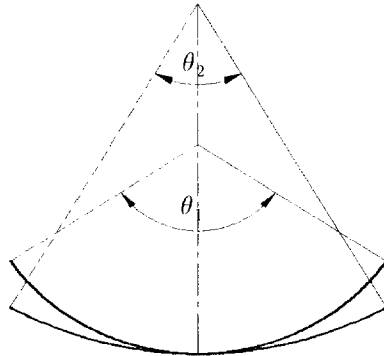


Fig. 5 spring back

$$\frac{1}{\rho_2} = \frac{1}{\rho_1} = \frac{M}{EI} \quad (1)$$

위식에서 스프링 백 각 $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$ 와 $\rho_1\theta_1 = \rho_2\theta_2 = l$ 대입하면

$$\Delta\theta = \frac{M\rho_1}{EI}\theta_1 = \frac{Ml}{EI} \quad (2)$$

곡률 $1/\rho_1$ 로 굽힘에 필요한 굽힘 모우멘트 M 은 단순변형 이론식에서 계산된다. 식 (2)는 스프링 백에 대하여 다음과 같은 의미를 갖는다.

- (1) 스프링백 각도는 종탄성계수에 반비례하고 블랭크의 길이에 비례한다.
- (2) 곡률이 클수록, 또 변형저항이 클수록 스프링백은 크다.
- (3) 블랭크의 길이와 곡률이 같으면 블랭크의 두께가 얇을수록 스프링백은 크다.

4. 2 불균일한 굽힘일 경우

Fig. 6에서 곡률 $1/\rho_1$ 이 불균일할 경우 블랭크 끝의 스프링 백 각도는 다음 식으로 계산된다.

$$\Delta\theta = \int_0^l \frac{M\rho_1}{EI} d\phi \quad (3)$$

X축은 0점에서 블랭크에 접촉되도록 하고 M 과 ρ_1 은 ϕ 의 함수로 나타낸다. 또, M 을 중립선에 따르는 길이 S 의 극수로 나타내면 다음과 같이 된다,

$$\Delta\theta = \int_0^l \frac{M}{EI} ds \quad (4)$$

여기서 l 은 블랭크의 길이이며 굽힘 모우멘트가 블랭크 전체에 대하여 같은 방향으로 작용하지 않고 부분적으로 반대 방향으로 작용할 때는 M 에 정(+), 부(-)를 하여 적분한다.

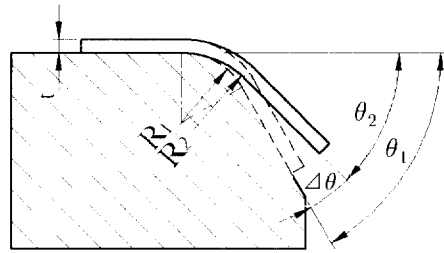


Fig. 6 Die of spring back

Fig. 6에서 R_1 은 외력 제거 전 제품의 굽힘 반경, R_2 는 외력 제거 후 제품의 반경, θ_1 은 외력 제거 전 제품의 굽힘 각, θ_2 는 외력 제거 후 제품 각이라 하고 단순변형 이론에 따라 다이에 접촉해 있는 상태와 분리된 상태에서 중립면의 곡률반경을 각각 $\rho_1 = R_1 + t/2$ 로 하면 다음 식이 성립한다.

$$P_1 Q_1 = \rho_1 \theta_2 \quad (5)$$

스프링 백에 대한 곡률 반경은 증가하고 굽힘 각은 감소한다. 따라서 스프링 백 계수 k 는

$$K = \rho_1 / \rho_2 = (R_1 + t/2) / (R_2 + t/2) \quad (6)$$

이며, 각 변화 $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$ 을 갖는 스프링 백이라고 한다. 또 식 (5)에 의하여 k 와 $\Delta\theta$ 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$K + \frac{\Delta\theta}{\theta_1} = 1 \quad (7)$$

플레이트(plate) 굽힘을 장방형 단면으로 생각하여 블랭크가 받는 면압이 작은 균일 굽힘과 같이 생각하여

$$M = 2 \rho^2 b \int_0^{2t} \sigma(\epsilon) \cdot \epsilon \cdot d\epsilon \quad (8)$$

$\Delta\theta / \theta_1$ 은 식 (8)에 의하여 다음 식으로 계산할 수 있다. 어느 정도 굽힘이 진행되면 직선에 근사할 때는 어느 정도 소성 굽힘이 진행됨으로

$$\frac{M}{Me} = \frac{1}{E+F} \left(F \cdot \frac{\rho_c}{\rho} + \frac{3}{2} E \right) \quad (9)$$

식 (9)가 성립하여

$$\frac{\Delta\theta}{\theta_1} = \frac{M \rho_1}{EI} \quad (10)$$

식 (10)는 다음과 같이 된다.

$$\frac{\Delta\theta}{\theta} = \frac{F}{E+F} + \frac{3 \sigma_c}{E+F} \cdot \frac{\rho_1}{t} \quad (11)$$

이 때 E, F, σ_c 는 블랭크 재료의 상수, $\Delta\theta / \theta_1$ 은 R_1 / t 의 1차식으로 표현 된다.

5. FEM 시뮬레이션

5. 1 스프링 백

통상 굽힘의 경우에 있어서 굽힘 모멘트를 받아 일정한 곡률로 굴곡된 판은 굽힘 모멘트를 제거할 때 탄성에 의해 원래의 형상으로 돌아가려는 스프링 백을 고려하였다.

Fig. 7은 스프링 백 형상을 사전에 예측하기 위하여 벤딩펀치의 굽힘 지점에 코이닝을 설치하여 그 부분의 재료를 강압하여 두께를 축소 시켜 스프링 백을 방지한다. 그러나 이 경우는 코이닝의 깊이에 따라 굽힘 지점부의 강도가 부족해져 절손되는 경우가 있다. 또한 스프링 백과 반대로 스프링 고^{8~9)}(spring go) 현상이 일어날 수 있으므로 이 점에 대한 충분히 고려하여 스프링 백 현상이 발생이 예상되는 벤딩공정에 대하여 DEFORM 시뮬레이션을 실시하였다.

Table 2는 스프링 백(spring back) 및 스프링 고(spring go)를 DEFORM 시뮬레이션하기 위하여 벤딩펀치의 코이닝 높이를 소재두께의 5%~30%까지 각각 적용한 값이다.

먼저 FEM 시뮬레이션을 하기 위하여 벤딩 후 스프링 백에 관한 연구를 위하여 지오메트리를 플레인 스트레인으로 가정하였다.¹¹⁾ 벤딩공정의 해석을 위하여 벤딩부를 1/2만을 2차원 모델링하여 DEFORM 시뮬레이션을 수행하였다. 이와 같은 방법은 시뮬레이션 시간을 절약하고, 변형이 크게 발생할 부분을 미리 예측하여 집중적으로 메쉬(mesh)를 줄 수 있어서 결과

값의 정확성을 얻어낼 수 있었다. 하지만 정확한 경계조건을 주어야만 가능하였다.⁷⁾

FEM 시뮬레이션을 통하여 얻은 공정조건, 즉 재료에 발생하게 될 스트레스와 스트레인 분포, 재료 두께의 변화, 펀치와 다이의 어깨반경의 영향 등은 과거의 숙련자의 노하우에 의존하여 왔던 많은 부분 등에 있어서 비용과 시간을 줄이면서 최적설계를 하는데 중요한 부분을 담당하고 있다.

따라서 이를 통하여 얻어진 시뮬레이션 결과를 설계에 반영하여 사전에 문제점을 제거하도록 하였다.

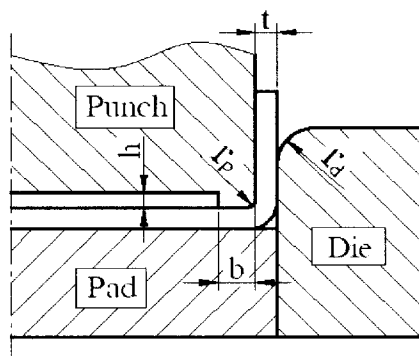


Fig. 7 Bending punch for coining

Table 2 Value of coining part of bending punch

b	h					
	h1	h2	h3	h4	h5	h6
0.8mm (100%)	0.04mm (5%)	0.08mm (10%)	0.12mm (15%)	0.16mm (20%)	0.20mm (25%)	0.24mm (30%)

5. 2 DEFORM 시뮬레이션 실험조건

Fig. 8은 DEFORM 시뮬레이션에서의 실험 조건으로 사용프레스는 산업현장에서 주로 사용하는 메카니컬 프레스(mechanical press) 로 설정하고 프레스 램의 속도는 1/sec로 60 SPM으로 설정하였다.¹¹⁾

일반적인 냉간가공에서 마찰계수는 0.09~0.12를 많이 사용하고 있으며 여기서는 0.12로 설정하고 DEFORM의 시뮬레이션 콘트롤(simulation control) 메인(main)에서 지오메트리(geometry)를 플레인 스트레인(plane strain), 모드(mode)를 디포메이션(deformation)으로 설정하고 스프링 백 현상을 해석하였다.

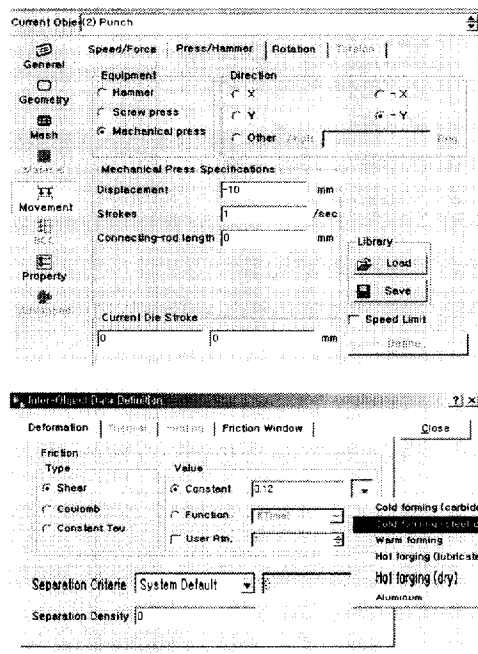


Fig. 8 Analysis of DEFORM properties for test

5. 3 벤딩 성형 조건

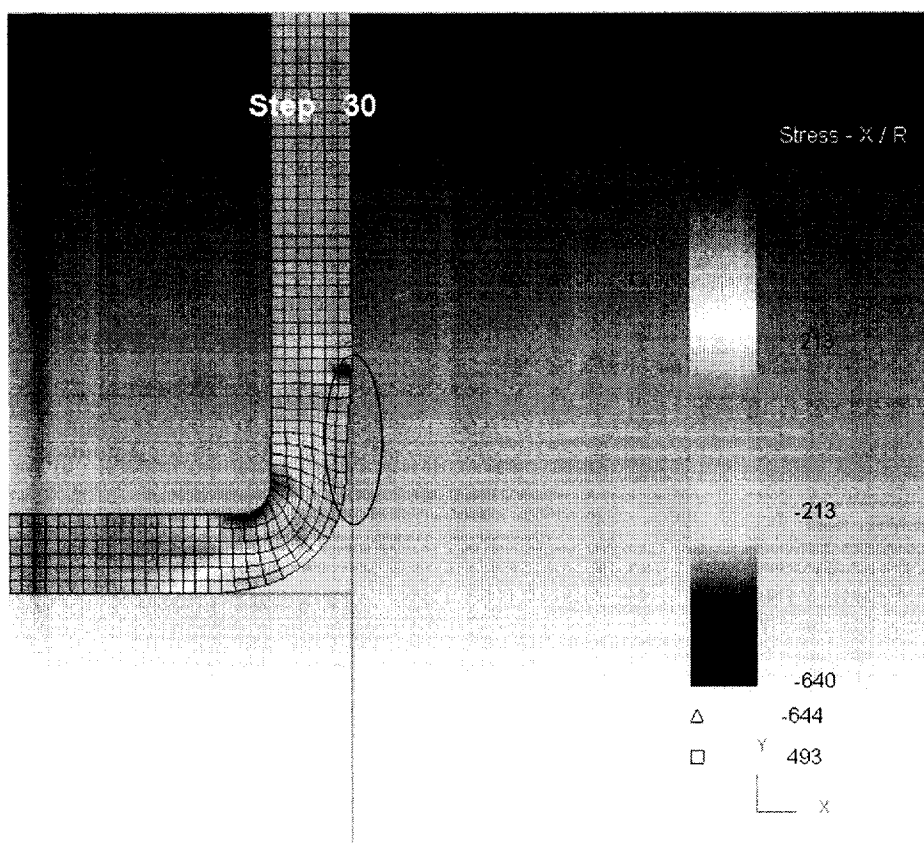
- 펀치의 모서리 반경 : R0.3 mm 고정
- 펀치와 다이 사이의 틈새(Clearance) : 0.04~0.08mm
- 다이의 모서리 반경 : 0.8mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm
각각 변화 주어 해석
- 벤딩펀치의 코이닝 높이 : 0.04mm, 0.08mm, 0.12mm, 0.16mm,
0.20mm, 0.24mm 각각 적용하여 해석

Fig. 9는 벤딩펀치의 곡률반경을 0.3mm로 모두 동일하게 적용하고 벤딩 다이반경을 각각 변경하면서 DEFORM 시뮬레이션 한 결과이다.

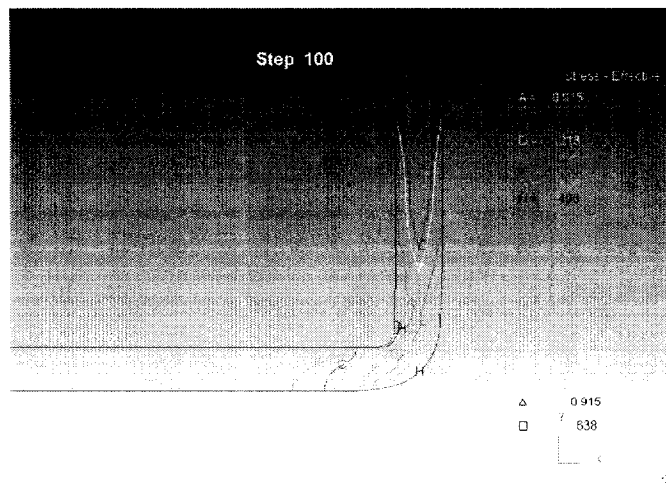
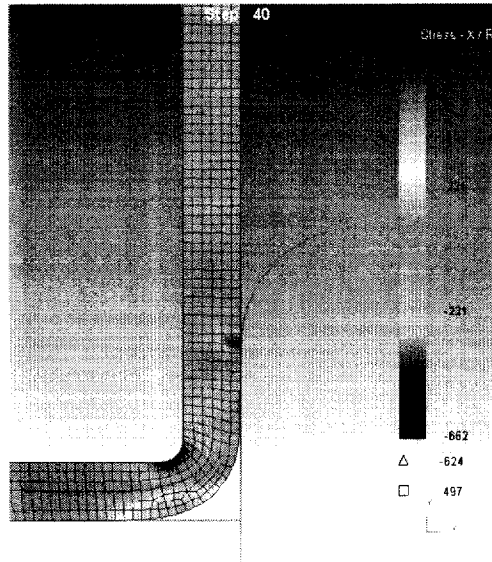
Fig. 9에서 (a)는 벤딩다이 반경이 0.8mm로 재료두께와 같은 치수로 적용하여 실험한 것으로 벤딩펀치가 하강하면서 벤딩 소재를 누르기 시작하는 초기에 작은 벤딩다이 반경으로 인하여 벤딩다이와 접촉하면서 소재의 접촉면에 국부적으로 과도한 스트레스와 스트레인이 집중적으로 발생하는 것을 볼 수 있으며 제품의 살 두께가 급격히 감소한 것을 볼 수 있다.

(b)는 벤딩다이의 반경을 1.6mm로 재료 두께의 2배를 적용하여 실험한 그래프로 스트레스와 스트레인이 줄고 살 두께의 변화도 완화되어 안정적인 모습이다.

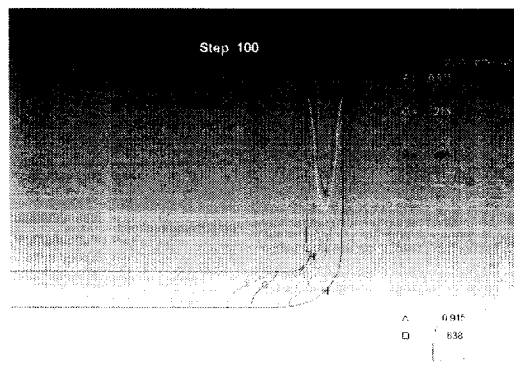
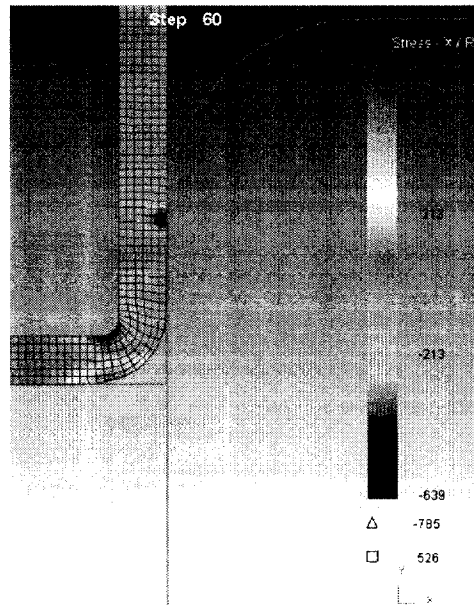
(c)는 벤딩다이의 반경을 2.4mm로 스트레스와 스트레인의 영향이 적어 벤딩 제품의 양호한 상태를 보여 주고 있어 벤딩다이 반경이 중요한 인자인 것으로 사료된다.



(a) Bending deformation $r_p=0.3\text{mm}$, $r_d=0.8\text{mm}$



(b) Bending deformation $r_p=0.3\text{mm}$, $r_d=1.6\text{mm}$



(c) Bending deformation $r_p=0.3\text{mm}$, $r_d=2.4\text{mm}$

Fig. 9 DEFORM simulation of Die radius

5. 4 스프링 백의 시뮬레이션

Fig. 10은 DEFORM 시뮬레이션에서 벤딩다이의 반경을 2.4mm를 적용하고 벤딩펀치에 작은 코이닝을 주어 강압한 후 벤딩펀치, 벤딩다이, 패드를 제거한 후 얻은 그래프로써 스프링 백이 나타난 현상을 보여 주고 있다.

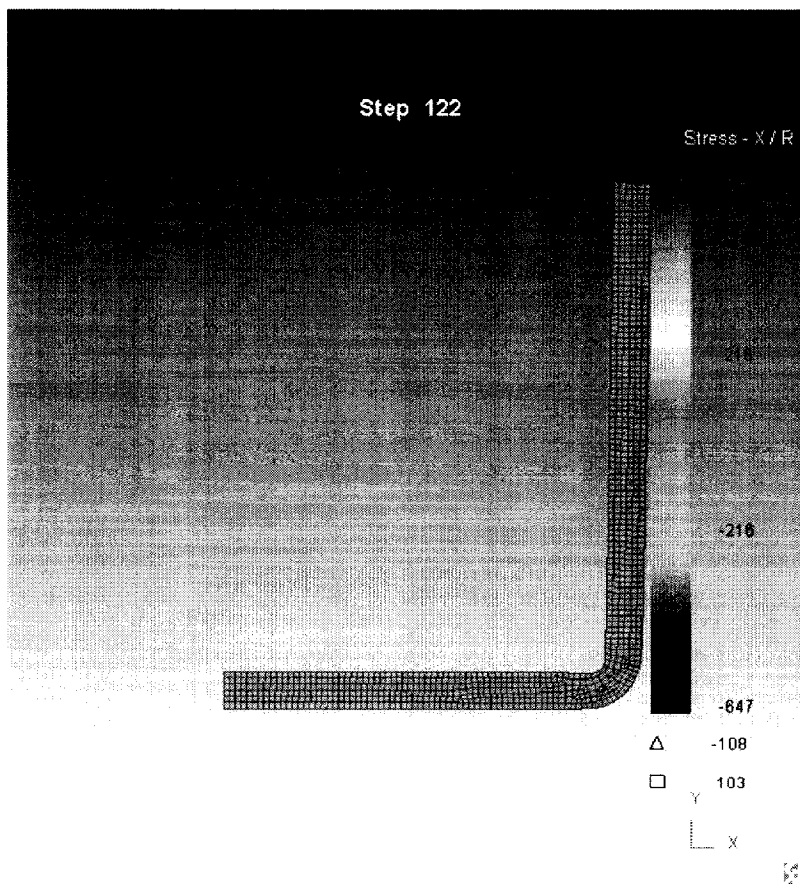
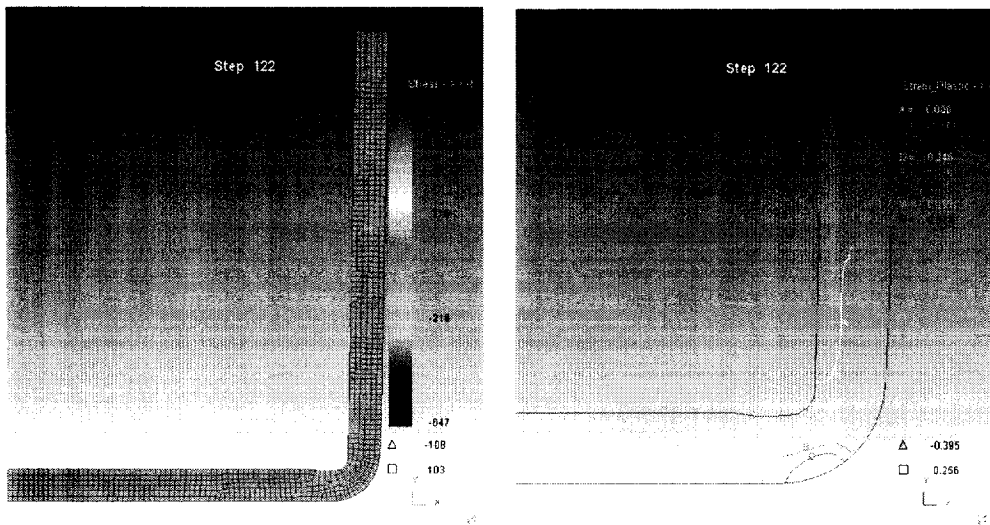


Fig. 10 Analysis of FEM Simulation

5. 5 스프링 백 현상에 따른 스트레스와 스트레인

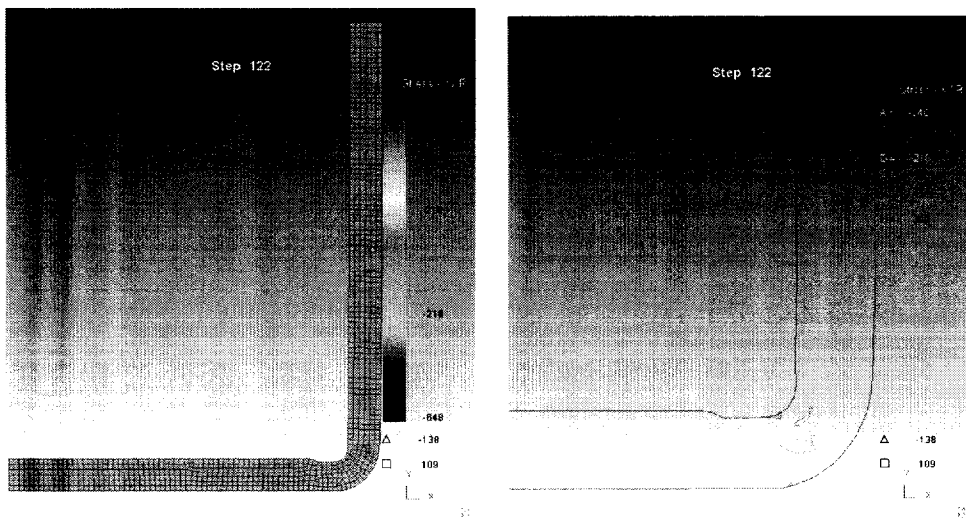
Fig. 11에서 (a)는 벤딩다이의 반경을 2.4mm를 적용하고 벤딩편치에 코이닝을 채택하여 벤딩부를 0.04mm 강압하여 DEFORM 시뮬레이션 실험한 그래프로 코이닝의 깊이가 0.04mm로 코이닝의 깊이가 재료 두께의 5%로 스프링 백 제거 효과가 극히 적게 나타났으며 스트레스도 적게 나타났다. (b)는 스트레인으로 값으로 인장응력이 발생하는 부분에 최대 값이 나타난다.



(a) DEFORM Simulation of Stress (b) DEFORM Simulation of strain

Fig. 11 Stress and Strain deformation of 0.04mm depth coining on the corner at the bending portion

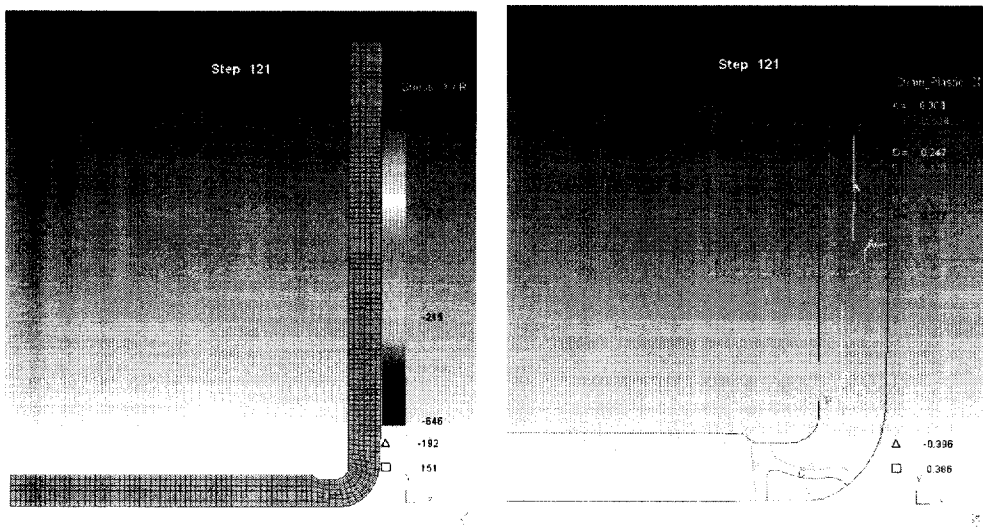
Fig. 12에서 (a)는 벤딩다이 반경을 2.4mm를 적용하고 벤딩펀치에 코이닝을 채택하여 벤딩부를 0.08mm 강압하였으나 코이닝의 깊이가 재료 두께의 10%로 스트레스가 적게 나타나고 스프링 백 현상은 약간 있으나 양호한 품질을 보이고 있다 (b)는 스트레인 그래프로 값은 적게 나타났다. 그러나 계속적인 프레스 타발시 펀치의 마모에 의한 스프링 백 현상이 나타날 가능성이 예상된다.



(a) DEFORM Simulation of Stress (b) DEFORM Simulation of strain

Fig. 12 Stress and Strain deformation of 0.08mm depth coining on the corner at the bending portion

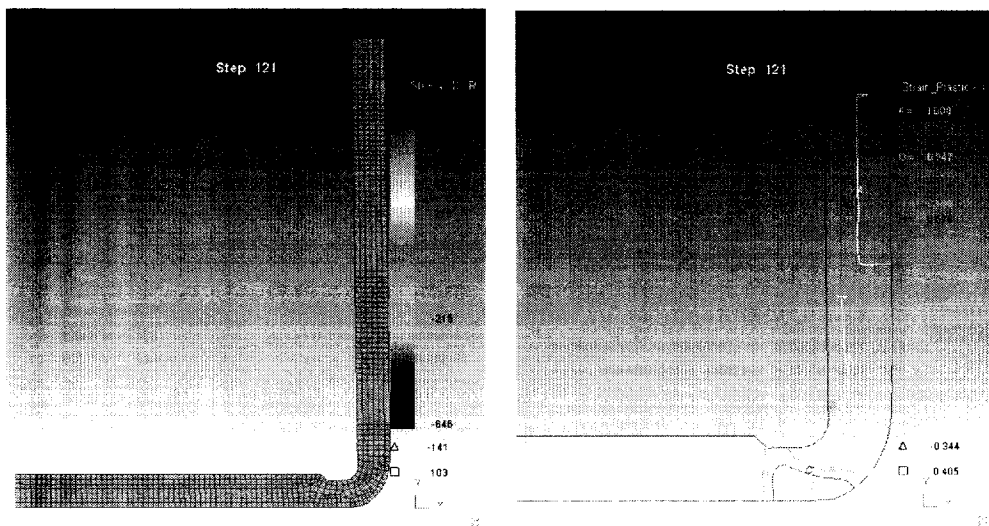
Fig. 13에서 (a)는 벤딩다이 반경을 2.4mm를 적용하고 벤딩편치에 코이닝을 채택하여 벤딩부를 0.12mm로 재료 두께의 15%의 코이닝 편치를 채택하여 강압하여 실험한 그래프로 스트레스가 적게 나타나고 스프링 백 현상은 제거되어 양호한 품질을 보이고 있다. (b)는 스트레인 그래프로 인장응력이 발생하는 부분과 패드와 접촉하면서 강압 받는 직선부분에 스트레인이 최대 값을 나타낸다. 스트레인 값은 높지 않아 제품의 품질에는 영향이 없는 것으로 판단된다. 코이닝을 채용 상태에서 가장 좋은 상태로 보여지고 있다.



(a) DEFORM Simulation of Stress (b) DEFORM Simulation of strain

Fig. 13 Stress and Strain deformation of 0.12mm depth coining on the corner at the bending portion

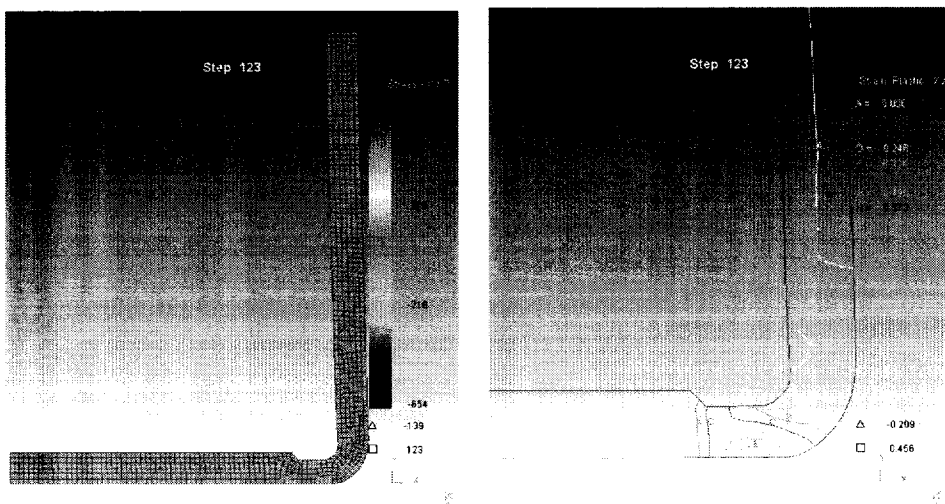
Fig. 14에서 (a)는 벤딩다이 반경을 2.4mm를 적용하고 벤딩편치에 코이닝을 채택하여 벤딩부를 0.16mm로 재료 두께의 20%의 코이닝 편치를 채택하여 강압하여 스트레스가 점점 높게 나타나고 스프링 고(spring go) 현상이 나타나기 시작하였다. (b)는 스트레인 그래프로 값은 점점 높게 나타났으며 코이닝 편치로 강압한 아래 부분의 직선부에 집중하여 변형되고 있어 제품의 강도 및 품질에 영향을 미칠 것인지 강도를 요구하는 벤딩 제품에는 충분한 검토를 해야 된다고 사료된다.



(a) DEFORM Simulation of Stress (b) DEFORM Simulation of strain

Fig. 14 Stress and Strain deformation of 0.16mm depth coining on the corner at the bending portion

Fig. 15에서 (a)는 벤딩다이 반경을 2.4mm를 적용하고 벤딩펀치에 코이닝을 채택하여 벤딩부를 0.20mm로 재료 두께의 25%의 코이닝 펀치를 채택하여 강압하여 스트레스가 점점 높게 나타나고 스프링 고(spring go) 현상이 점점 심하게 나타났으며, (b)는 스트레인 그래프로 값은 점점 높게 나타났으며 코이닝 펀치로 강압한 아래 부분과 위부분에 전체적으로 변형되고 있고 최대 값이 나타나고 있으며 특히 수직 방향으로 급격한 스트레인을 받고 있어 제품 강도와 높은 품질을 요구하는 벤딩 제품에 적용할 때는 충분한 검토와 실험이 필요할 것으로 사료된다.



(a) DEFORM Simulation of Stress (b) DEFORM Simulation of strain

Fig. 15 Stress and Strain deformation of 0.20mm depth coining on the corner at the bending portion

Fig. 16에서 (a)는 벤딩다이 반경을 2.4mm를 적용하고 벤딩펀치에 코이닝을 채택하여 벤딩부를 0.24mm로 재료 두께의 30%의 코이닝 펀치를 채택하여 강압하여 스트레스가 점점 높게 나타나고 스프링 고(spring go) 현상은 0.20mm를 적용한 것 보다 적게 나타났으며 (b)는 스트레인 그래프로 값은 점점 높게 나타났으며 코이닝 펀치로 강압한 부분은 코이닝펀치의 형상과 다른 단면의 윤곽이 형성되고 이로 인한 제품의 살 두께가 급격히 얇게 나타나서 강압 위부분과 아래 부분에 걸쳐 전체적으로 변형되고 있어 높은 제품 강도 및 품질을 요구하는 제품에는 적용하는데 곤란한 것으로 사료된다.



(a) DEFORM Simulation of Stress (b) DEFORM Simulation of strain

Fig. 16 Stress and Strain deformation of 0.24mm depth coining on the corner at the bending portion

6. 금형 제작

Fig. 17은 금형의 조립도를 나타내고 있다. 여기서 적용한 가동 스트리퍼 타입의 프로그래시브 금형은 상형의 펀치플레이트에 피어싱펀치, 노칭펀치, 벤딩펀치, 서브가이드 핀, 파이롯트 핀 등을 고정 시키고 U-벤딩은 상방향으로 벤딩펀치를 상형에 고정시켰으며 펀치플레이트와 스트리퍼플레이트 사이에 압축 코일 스프링으로 지지하고 스트리퍼 볼트와 스페이서로 일정한 간격을 유지 시키고 서브가이드 핀으로 안내하여 스트리퍼플레이트를 원활히 안내시켜 스트리핑을 유지 하였다. 하형의 다이플레이트에 벤딩다이, 벤딩패드, 가이드 리프트 핀 등을 조립 시키고 피어싱 및 노칭부의 인선날부의 경도 및 강도를 유지하기 위하여 도면과 같이HRC58~60으로 열처리하였다.

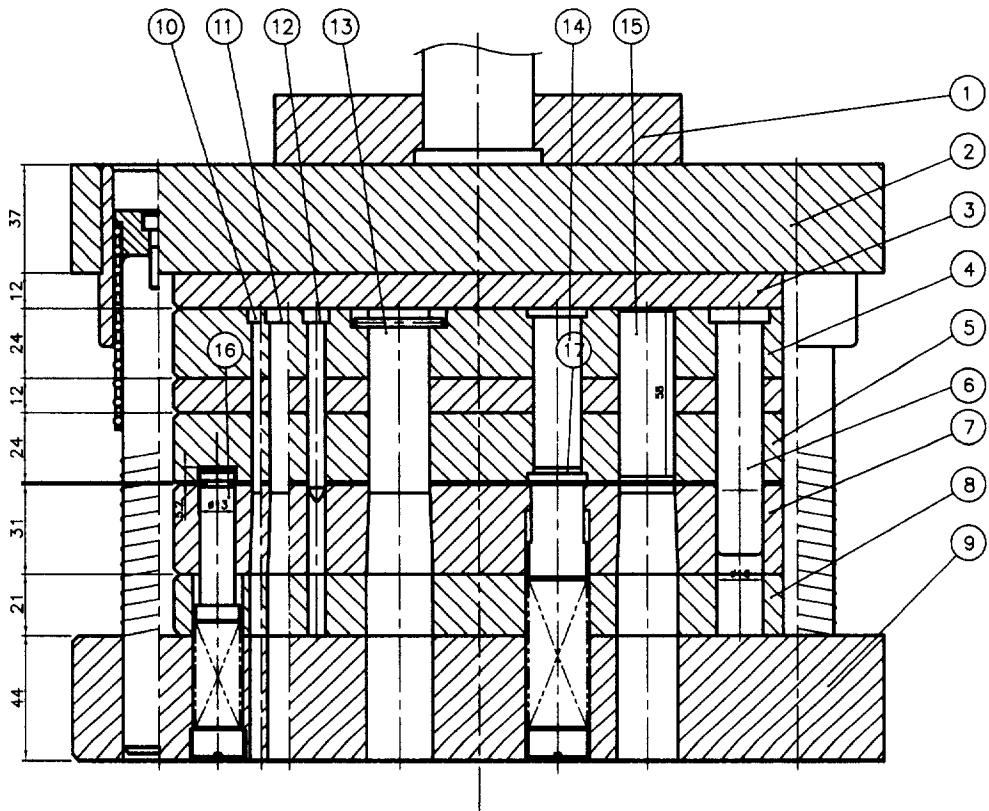
특히 벤딩부의 스프링 백을 제거하기 위하여 벤딩펀치에 코이닝에 높이를 0.12mm 적용하여 만들고 패드 압을 높이고 적절히 조절할 수 있도록 셋트스크류를 체결하여 압축 사각 코일스프링을 지지하여 트라이 아웃시 압력을 적당히 조절할 수 있도록 배려하였으며 금형의 트러스트에 의한 트러블을 줄이고 정밀도를 높이기 위하여 노칭펀치에 휠을 채택하고 서브가이드 핀을 설치하였으며 다이셋트는 볼 리테이너가 달린 다야몬드 타입의 다이셋트를 사용하여 정밀한 프로그래시브금형을 제작하였고 다이셋트를 사용함으로써 프레스 작업시 금형의 높은 정밀도가 보장되어 양질의 제품을 생산할 수 있으며 금형의 수명 연장과 프레스 타발시 트러블 등을 줄이 수 있고 제품 생산을 위하여 금형을 프레스에 셋팅시 작업자가 쉽게 셋팅할 수 있는 장점이 있어 작업 준비 시간을 단축시킬 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 18은 금형 제작에 사용된 각종 금형부품의 설계도면이다.

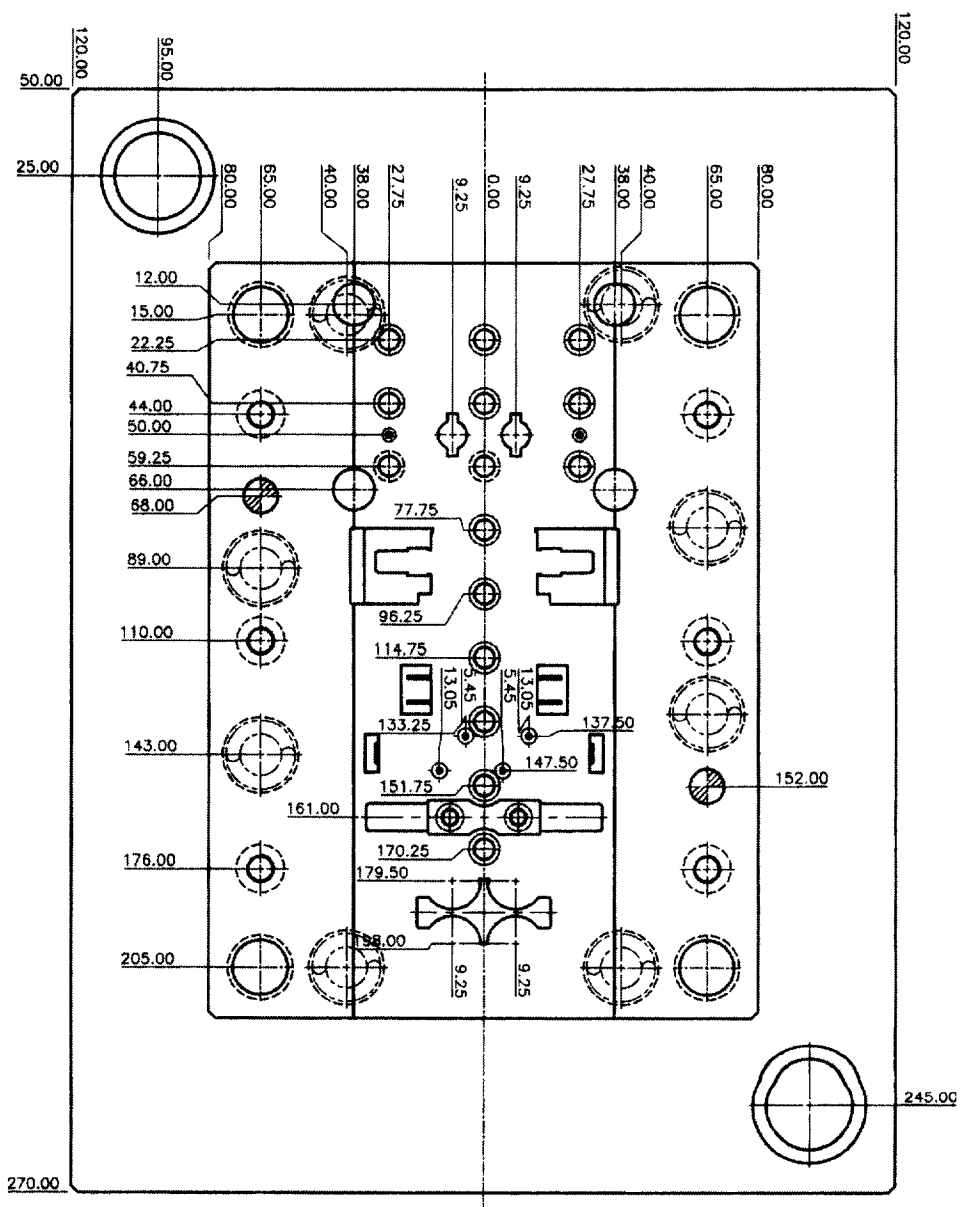
Fig. 18에서 (a)는 업퍼홀더로 다이셋트의 상판으로 프레스 램의 힘을 전체적으로 받아 금형에 전달하는 부품이며 재질은 S45C를 사용했으며 펀치 플레이트 백킹플레이트를 고정하는 렌치볼트 구멍을 밀링 머신과 드릴링 머신으로 가공한 후 맞춤핀 구멍을 동시 가공하였다.

(b)는 펀치 백킹플레이트로 펀치플레이트와 펀치를 고정하는 역할이며 사용 재질은 ST3로 펀치의 압력에 견딜 수 있도록 열처리(HRC50)하였다. (c)는 펀치플레이트로 펀치를 감싸주는 부품으로 재질은 S45C를 사용했으며 피어싱펀치, 노칭펀치, 벤딩펀치, 컷오프펀치 등을 정밀하게 끼워맞춤하여 고정 시켜야 하므로 펀치가 심어지는 안내부는 와이어 컷팅으로 정밀하게 가공하였다. (d)는 가동 스트리퍼 플레이트로 생산량을 고려하여 재질은 SKD11을 사용하고 열처리(HRC55)하고 평면연삭한 후 각종 펀치의 안내부와 가이드핀의 안내부 등은 와이어 컷팅하여 정밀하게 펀치를 안내하고 스트립을 제거시 원활하게 하였으며 타발소재를 직접 접촉하는 터널부는 소재두께(0.8mm)보다 0.05mm 작은 0.75mm로 정밀 연삭하여 금형의 바란스를 높여 안정성을 고려하였다. (e)는 다이플레이트로 초벌 가공 후 열처리(HRC58)하여 평면 연삭 후 인선부 및 기능부를 정밀 와이어 컷팅하였고 특히 피어싱펀치, 노칭펀치, 커오프펀치 등은 2회 이상 컷팅하여 치수 정밀도 및 표면 조도를 높이고 슬래그의 취출을 원활히 하기 위하여 스트레트 구간을 4mm를 유지한 후 사다리꼴 모양으로 전 둘레를 2번각을 1°주어서 가공하였다. (f)는 백킹플레이트이며 (b)와 같은 재질을 사용하고 가공하였다. (g)는 로우홀더로 다이 플레이트와 다이백킹 플레이트를 조립하기 위하여 밀링 머신과 드릴링 머신을 이용하여 카운터보어가공, 구멍 가공, 탭핑가공을 하고 다이플레이트와 다이백킹플레이트를 렌치볼트로 고정 후 맞춤핀 구멍을 동시 가공한 후 리밍하여 맞춤핀을 끼워 넣었다.

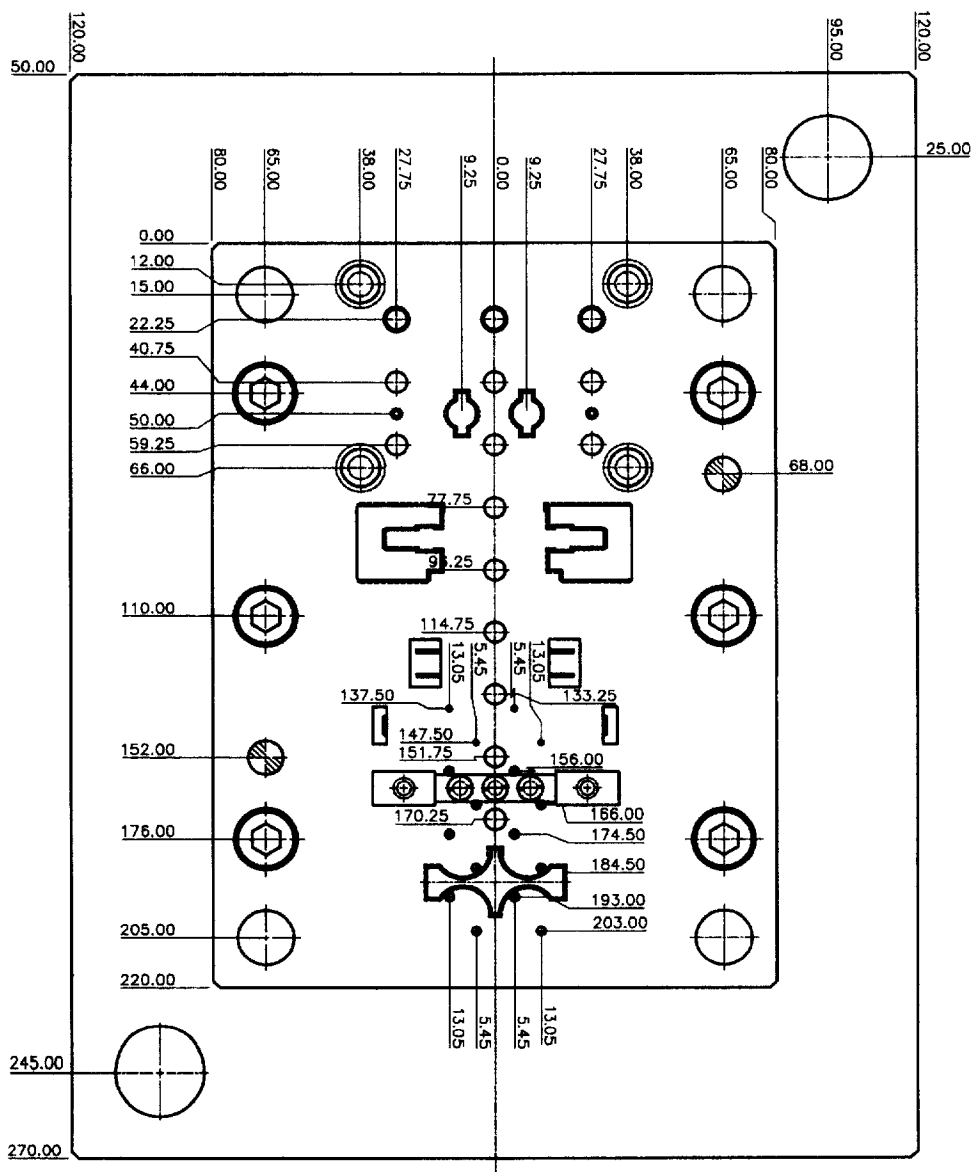
6. 1 금형제작 도면



(a) Front view of assembly section

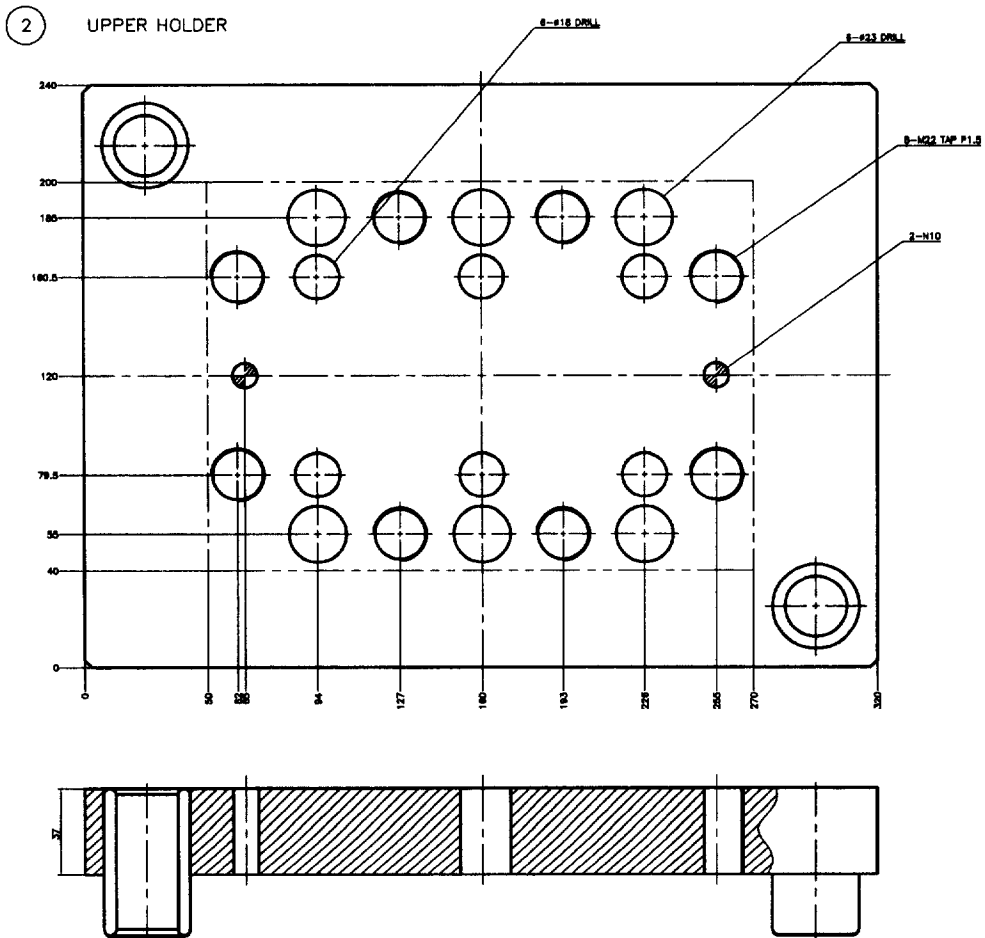


(b) Top view of assembly Upper Die set

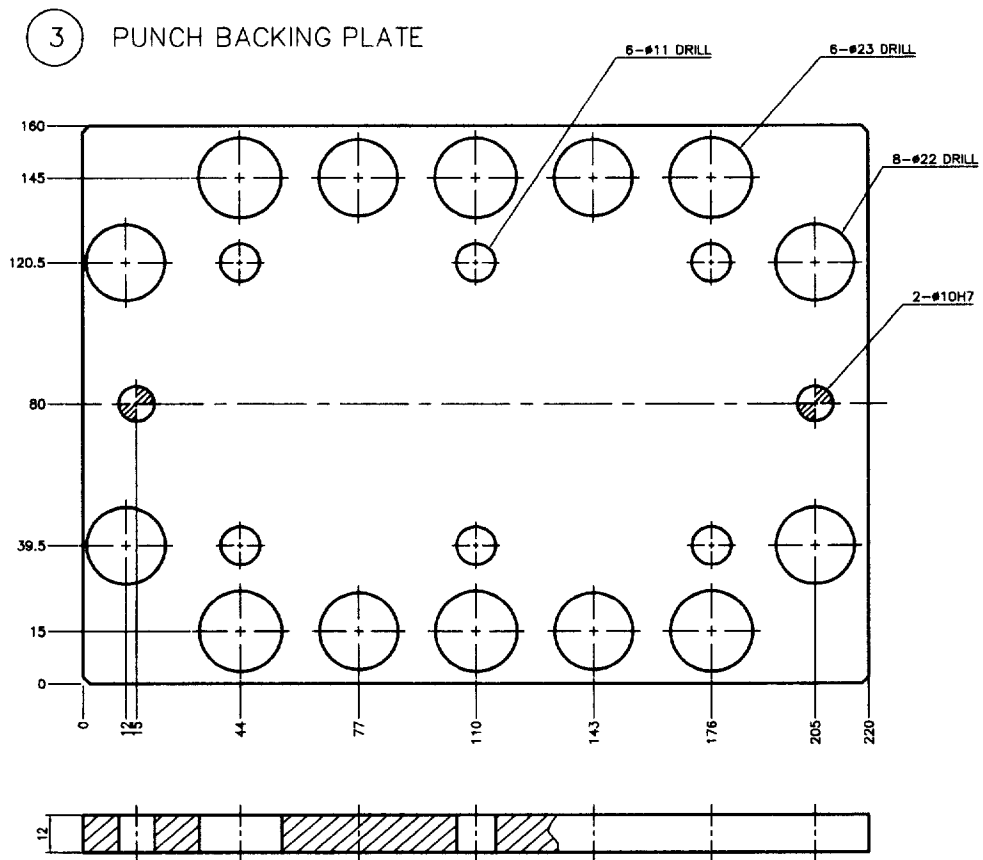


(c) Top view of assembly Lower Die set

Fig. 17 Assembly Drawing



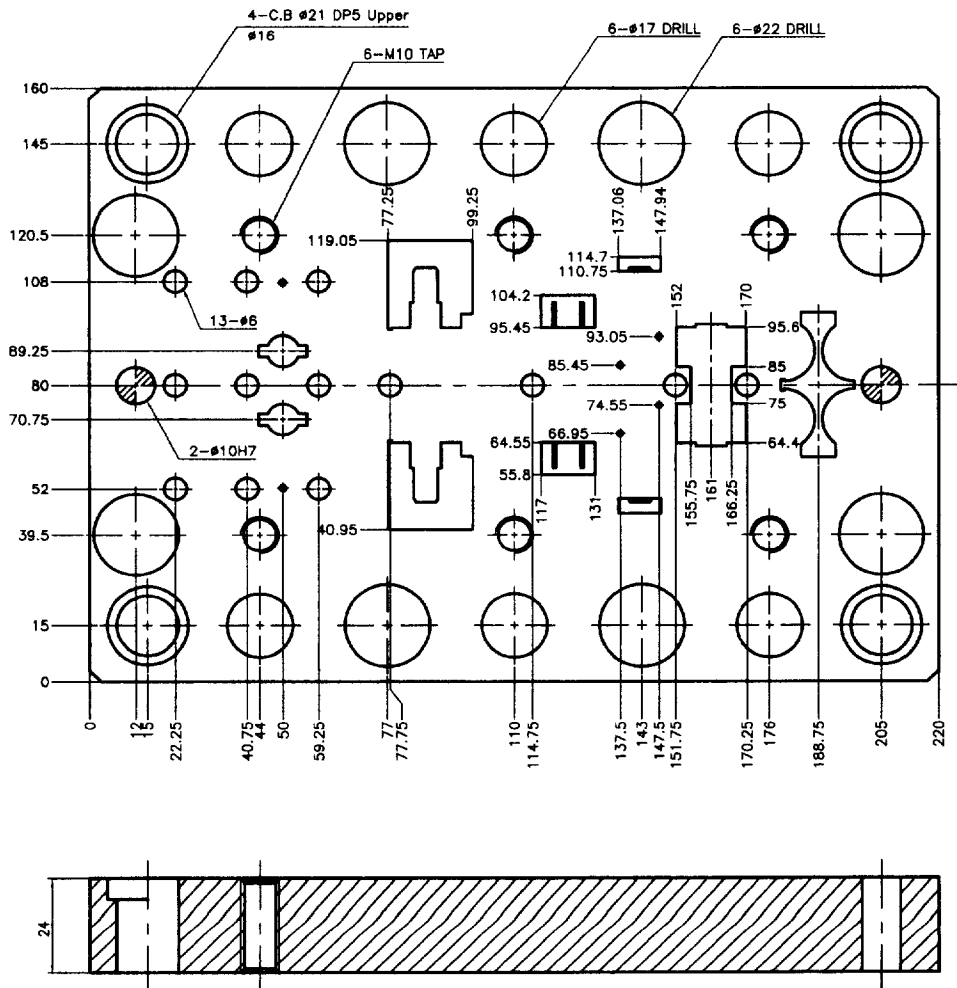
(a) Part Draw Upper holder



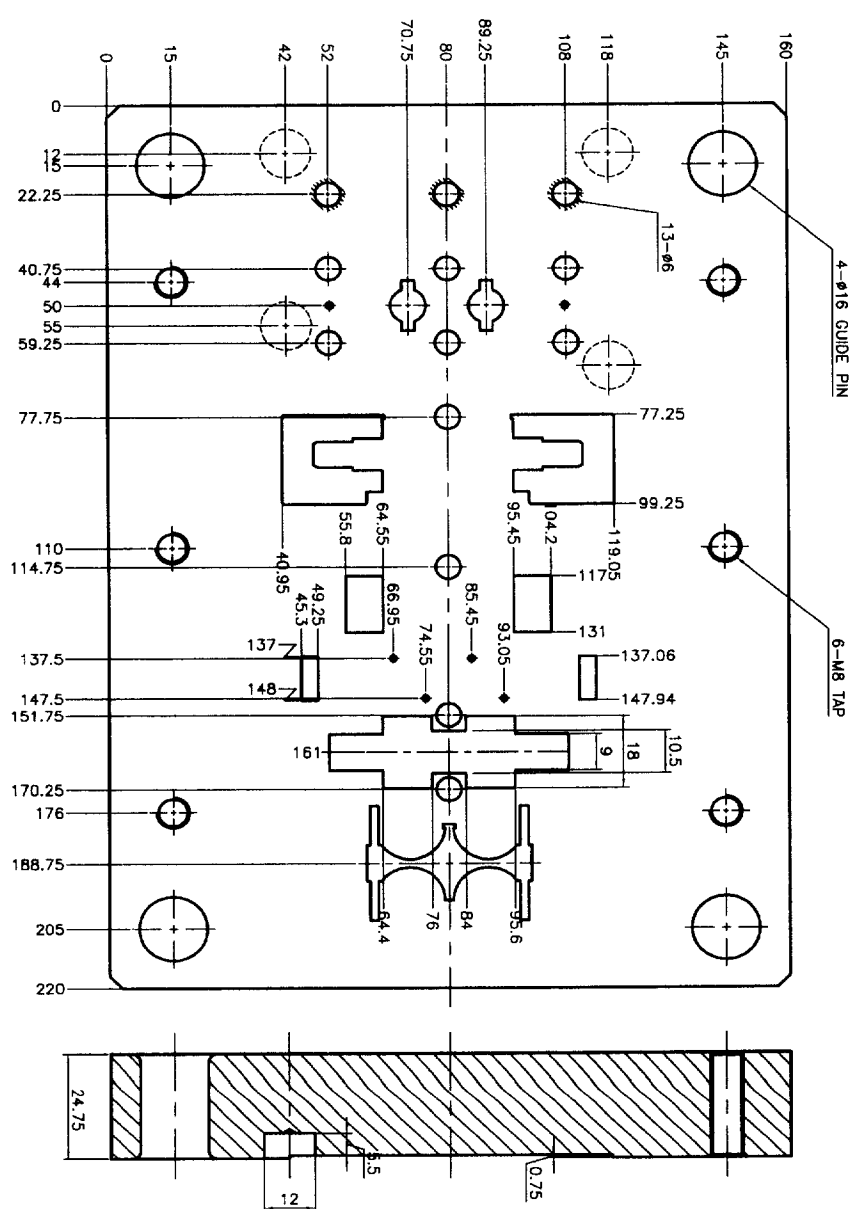
(b) Part Draw Punch Backing Plate

4

PUNCH PLATE

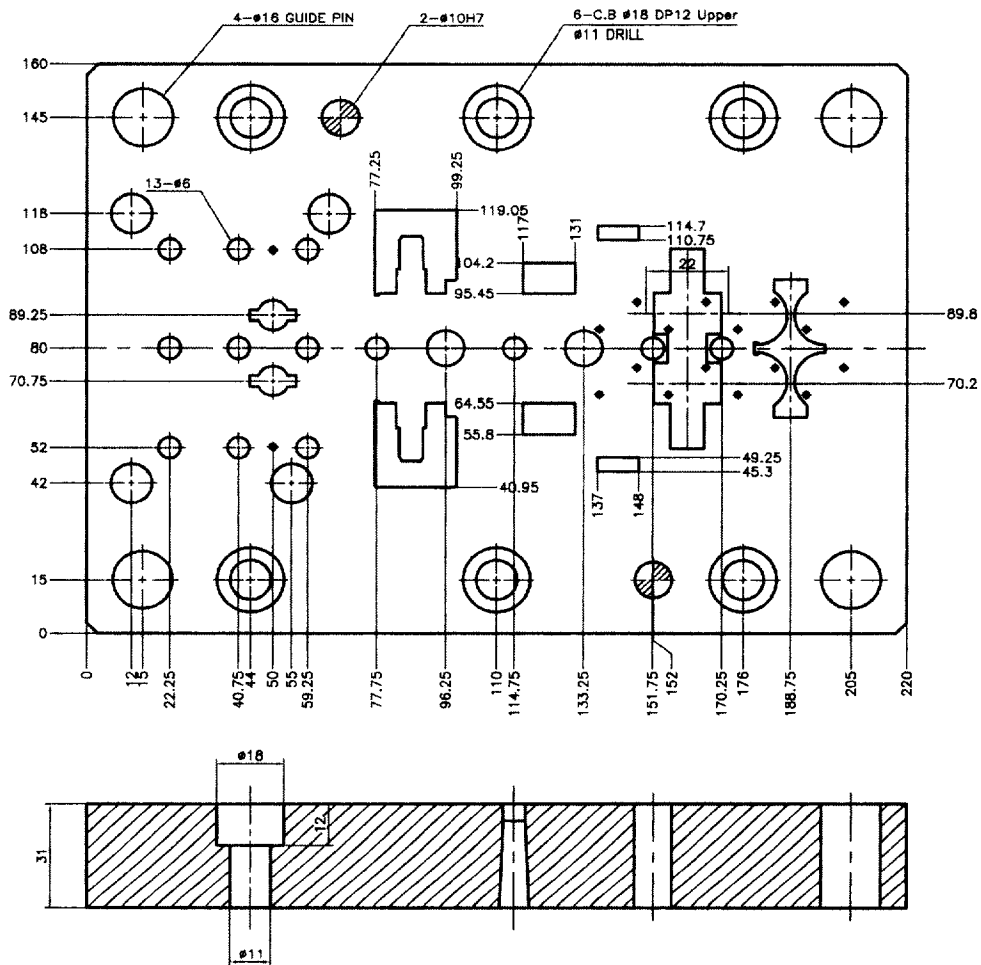


(c) Part Draw Punch Plate



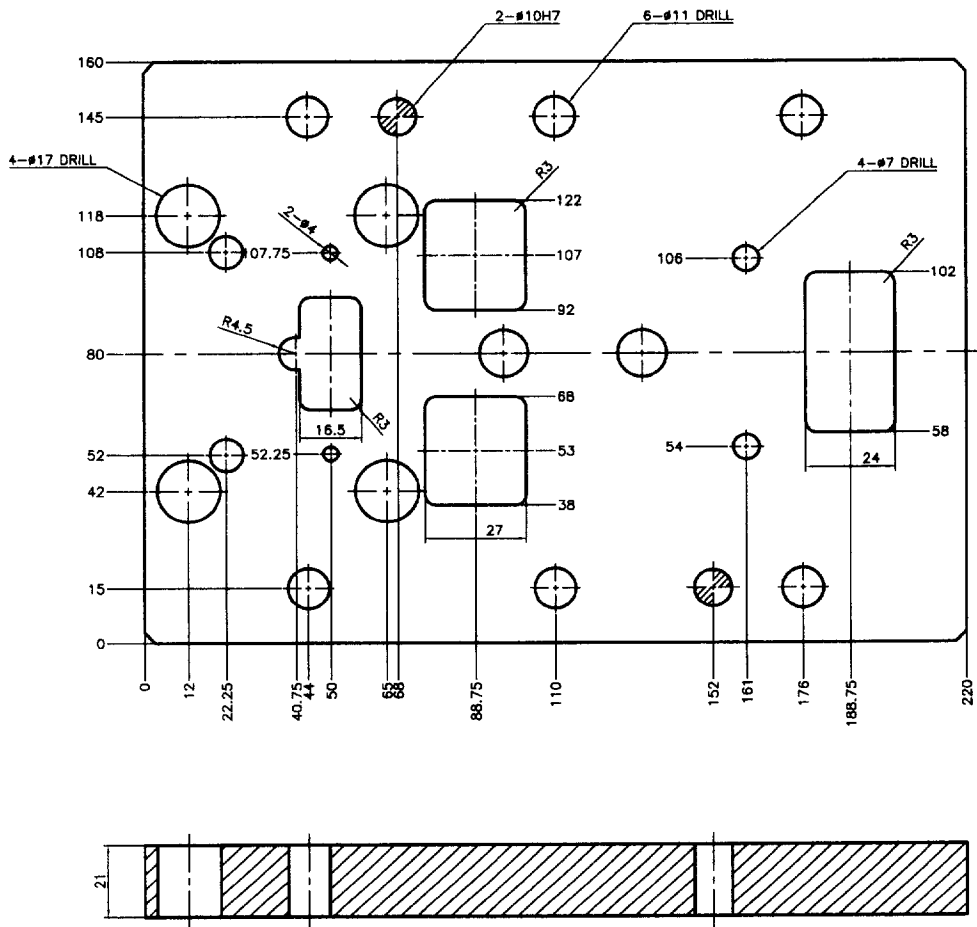
(d) Part Draw Stripper Plate

7 DIE PLATE



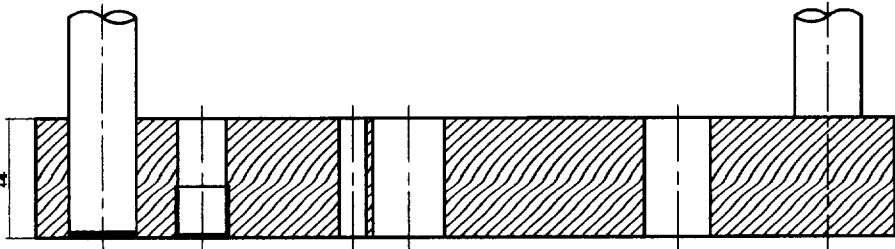
(e) Part Draw Die Plate

8 DIE BACKING PLATE



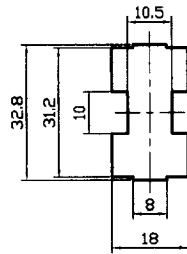
(f) Part Draw Die Backing Plate

9



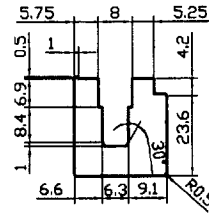
(g) Part Draw Lower holder

14 BENDING PUNCH



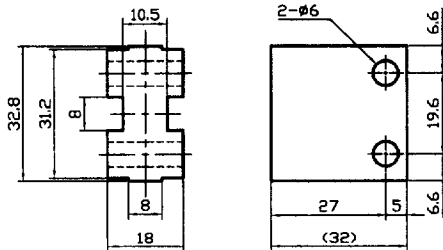
$t = 55$

13 NOTCHING PUNCH

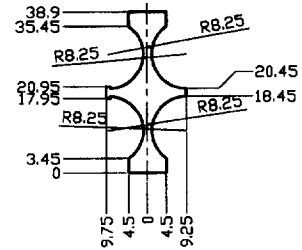


$t = 53$

17 BENDING DIE



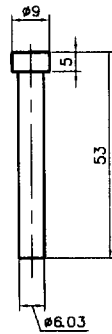
15 CUT-OFF PUNCH



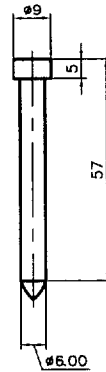
$t = 53$

(h) Part Draw Punch and Die

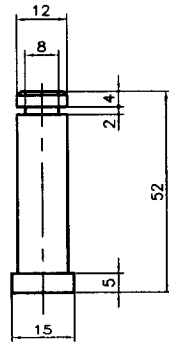
10 PIERCING PUNCH



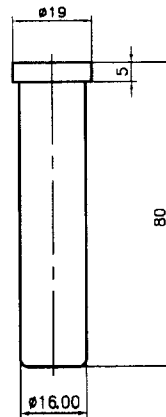
12 PILOT PIN



16 GUIDE LIFTER PIN



6 GUIDE PIN

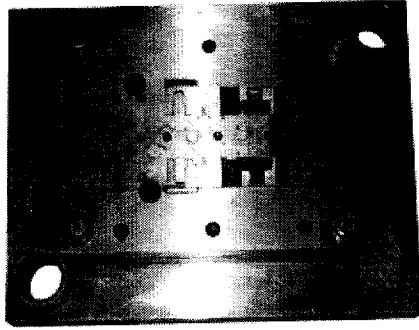


(i) Part Draw Piloting Pin and Guide Pin

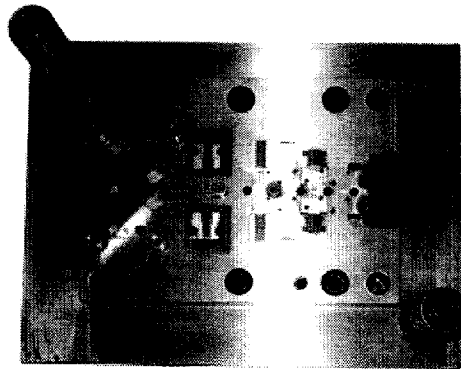
Fig. 18 Draw of die components

6. 2 금형 사진

Fig. 19는 금형을 상형과 하형으로 개방하여 촬영한 사진이다.



(a) Upper Die Assembly



(b) Lower Die Assembly

Fig. 19 Upper and lower die after die assembling at opening status

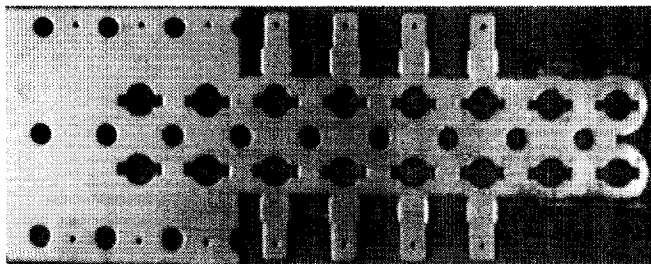
7. 트라이 아웃

Fig. 20에서 (a)는 제작된 금형을 사용하여 SPCC $t=0.8\text{mm}$ 소재를 이용하여 트라이아웃 한 결과로 얻어진 제품이며 (b)는 스트립 프로세스 레이아웃 사진을 보여주고 있다.

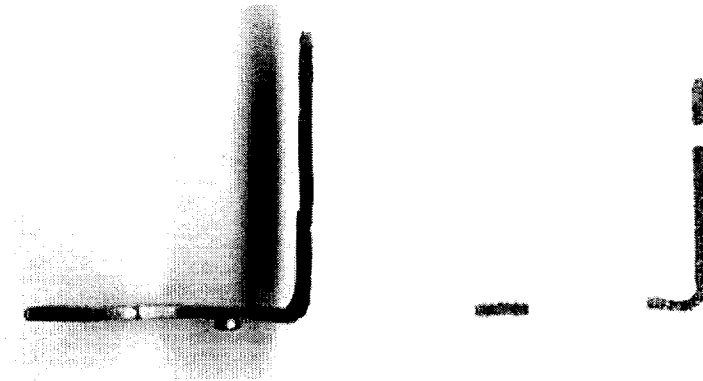
트라이아웃 작업 시 소재의 이송이 원활하고 각부의 치수를 만족하였으며 특히 상방향 벤딩부의 각도가 $90^\circ \sim 90.3^\circ$ 로 양호하게 나타나 본 연구를 거쳐 시행착고를 줄이고 품질에 만족하는 양질의 제품을 얻을 수 있어서 전반적인 프로세스 연구가 원만히 이루어 졌다고 사료되며 (c)는 제품을 절개하여 검사하여 품질을 만족하였다. (d)는 트라이아웃에 사용된 프레스 기계와 금형이다



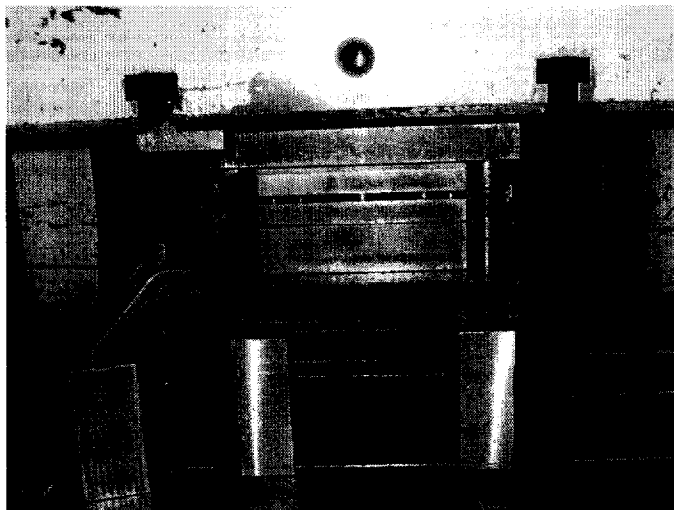
(a) Actual Production part



(b) Actual strip by tryout



(c) Actual test part



(d) die setting

Fig. 20 Actual part and strip by tryout

8. 결 론

본 연구에서는 재료 이용율을 높이고 생산성 향상과 소재 이송을 원활히 하며 벤딩시 힘의 균형을 위하여 2열 타발형식 금형으로 설계하고 스프링 백 현상이 예상되는 벤딩부를 DEFORM 시뮬레이션을 실시하여 최종설계에 반영한 다음 금형을 제작하여 트라이 아웃 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 벤딩부 클리어런스 5~10% 다이모서리 반경 2.0t~3.0t의 조건에서 외관이 양호하고, 벤딩부 코이닝을 재료 두께의 10~15%적용시 스프링 백이 허용오차 범위에 존재함을 알 수 있었다.

2. 벤딩 공정에 있어서 벤딩다이의 반경을 과도히 작게 적용했을 때 인장면의 측벽부분에 strain이 크게 발생하고 분포도 집중되며 벤딩다이의 반경이 작을수록 최대 strain 값이 커지는 사실을 알 수 있었다.

3. 금형설계 단계에서 제작 및 트라이아웃에서 발생할 수 있는 문제점들을 FEM 시뮬레이션을 통하여 그 결과를 최종설계에 반영 하므로써 제작 및 트라이 아웃의 비용절감과 공정의 손실을 줄여 설계의 최적화를 기할 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) Sim, Sung-Bo, Park, Sun-Kyu, Development of the Practical and Adaptive Die for Sheet Metals(1), Proceedings of KCORE Conference, pp.141148. May(1999)
- (2) Sim, Sung-Bo, Song, Young-Seok, Development for Practical and Adaptive Progressive Die for Design and Making of Marine Part Sheet Metals(1), Inter. Jour. of Oceam Eng. and Tech., KCORE, Vol. 2 No. 2, pp. 1925. (1999)
- (3) Sim, Sung-Bo, Jang, Chan-Ho, Sung, Yul-Min, Development of the Pilotless Type Progressive Die for Thin Sheet Metal, Inter. Proceeding of KCORE Conference, pp. 289~294. (2001)
- (4) Sim, Sung-Bo, Jang, Chan-Ho, Lee, Sung-Taeg, A study on the Development of Two side carrier Type Progressive Die for Multi-Stage Drawing Process. The Proceeding of the 2002 Autumm Conference of Korea Society Machine Tool Engineers, pp341~346, (2002)
- (5) Jung Il Choi, Chang Bong Kim, Chul Kim, Byung Min Kim, Jae Chan Choi, Development of Integrated Computer-Aided Process Planning System for Press Working Products, Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 16, No 8, pp. 59~70 August(1999)
- (6) Karl, a.Keys, Innovation in Die Design, SME, pp. 71~99. (1982)

- (7) 장찬호, 멀티 스테이지 드로잉 가공을 위한 프로그래시브 다이의 개발에 관한 연구 부경대학교 석사학위 논문(2003)
- (8) 이원표, “프레스가공기술”, (주)한국산업정보센터
- (9) 김세환, “프레스금형설계기술”, 기전연구소
- (10) 손양언, “금형설계”, 기전연구소
- (11) ATES, “DEFORM”메뉴얼

A Study on the Progressive Die for Sheet Metal Forming under the Consideration of Spring back

Chung-Hwan Kim

*Department of Mechanical Engineering
Graduate School of Industry
Pukyong National University*

Abstract

The progressive die performs a work of sheet metal processes with the piercing, notching, embossing, bending, drawing, cut-off etc. in the many kinds of pressing. Now a days, these have been evaluated as a advanced tooling method to increase the productivity and high quality assurance.

The first step analyzing of die design is product review, then the arrangement drawing of product design and strip layout process design should be done as a next steps with a FEM simulation for its problem solution.

After upper procedure were performed, it was started to make the die, then tryout and its revision of the die and product quality, safety, productivity etc were done continually.

For the all of these process, we mobilized the theory and practice of sheet metal forming, die structure, the function and activity of die

components, and the others of die machining, die material, heat treatment and know-how so on.

In this study the features of representative are product piece part analyzing through the FEM simulation of bending area with a spring back problem.

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 식견이 부족한 저를 항상 격려와 세심한 지도편달로 학문의 길로 이끌어 주신 심성보 지도교수님께 마음 깊이 감사를 드립니다. 아울러 대학원 수학기간 동안 부족한 저에게 많은 가르침을 주신 정밀기계공학과 교수님들께 감사드립니다. 특히 본 논문이 완성되기 까지 바쁘신 데도 불구하고 본 논문을 처음부터 끝까지 세심하게 충고와 조언을 아끼지 않으신 강대민 교수님과 윤문철 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

그 동안 초정밀 툴링 실험실에서 꾸준히 도와준 이성택 학우, 박귀운 군과 틈틈이 조언을 해주신 김영국 학우에게도 감사드리며 대학원에서 동문수학한 정규성, 박상홍 학우에게도 좋은 학창시절을 만들어 준 것에 기쁘게 생각합니다.

또한 본 논문을 위하여 물심양면으로 도와주신 (주)호성금속의 송부걸 이사님과 조영태 대리에게 이 자리를 빌어 깊은 감사를 드립니다.

저의 학업에 많은 배려를 해주신 부산인력개발원 황원익 원장님, 허본 능력개발처장님, 그리고 직간접적으로 도와주신 동료 교수님들과 직원들께 감사드립니다.

열심히 배우고 노력하는 계기로 삼아 후학을 열심히 가르치는 일에 정진 할 수 있도록 노력하겠습니다.

고향에서 자식의 학업을 대견해 하시며 든든한 후원자가 되어주신 아버지, 사위의 건강을 늘 걱정해주신 장모님, 형님과 형수님들께 이 작은 결실을 바치며, 항상 헌신적으로 내조를 아끼지 않은 내자 지경애와 딸 민주와 함께 이 결실의 기쁨을 함께하고자합니다.

여러분 모두 늘 건강과 행복이 가득하고 평온하길 바랍니다.

2004년 12월

김 충 환 올림