

고압가스 용기의 제조를 위한 금형설계에 관한 연구

최영[#], 윤지훈^{*}, 박윤소^{*}, 최재찬^{**}

A Study on the Die Design for Manufacturing of High Pressure Gas Cylinder

Young Choi[#], Ji Hun Yoon^{*}, Yoon So Park^{*} and Jae Chan Choi^{**}

ABSTRACT

This paper describes a research work on the die design for the deep drawing & ironing(D.D.I.) of high pressure gas cylinder. D.D.I die set is large-sized die used in horizontal press, which is usually composed of drawing, and ironing die. Design method of D.D.I. die set is very different from those of conventional cold forging die set.. Out diameter of the die set is fixed because of press specification and out diameter of the insert should be as small as possible for saving cost of material. In this study, D.D.I die set has been designed to consider those characteristics and the feasibility of the designed die has been verified by FE-analysis. In addition, the automated system of die design has been developed in AutoCAD R14 by formulating the applied methods to the regular rules.

Key Words : D.D.I.(디프 드로잉과 아이어닝의 연속 공정), Die design(금형설계), FTM(플렉시블 허용오차법), FE-analysis(유한요소 해석), Insert(인서트), Interface diameter(분할직경), Shrink ring(보강링)

1. 서론

소화기와 LPG 가스통 등과 같은 고압 가스용기의 새로운 생산방식 중 하나인 D.D.I.(deep drawing & ironing) 공정은 하나의 펀치를 이용하여 한번의 프레스 행정(stroke)에 디프 드로잉 및 여러 개의 아이어닝 다이를 이용하여 연속적으로 원통형 용기를 성형하는 공정이다¹. 이를 Fig. 1에 나타낸다.

D.D.I. 공정을 이용하여 가스용기를 생산하고자 할 때, 프레스 행정이 아주 길고 대용량의 수평식

프레스가 필요하다. 최근 행정이 길고 대용량의 수평식 프레스²가 개발되어 D.D.I. 공정을 이용한 고압가스용기의 제조가 가능하게 되었다. 국내에 정격하중 650[tonf] 및 펀치행정 8.2[m] (단방향 4.1[m])의 수평식 프레스가 도입되어, 고압용기의 제조가 시도되고 있다^{1,2}. 수평식 프레스의 구조를 Fig. 2와 Table 1에 나타낸다. Fig. 2에 보이는 부품 중에서 재드로잉 다이(redrawing die) 및 아이어닝 다이(ironing die)는 높은 압력을 받으면서 제품을 성형하는 금형이다.

접수일: 2003년 12월 30일; 게재승인일: 2004년 4월 9일
교신저자: 인제대학교 수송기계부품기술혁신센터
E-mail ychoi@inje.ac.kr Tel. (055) 320-3755
* (주) 엔케이
** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소

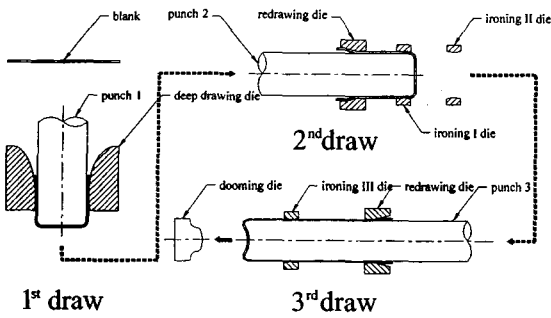


Fig. 1 D.D.I. forming process

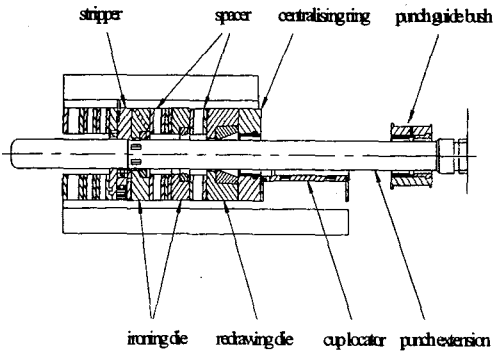


Fig. 2 Assembly of D.D.I. press²

Table 1 The functions of part lists in each press

부 품	역 할
Stripper	성형된 컵을 펀치로부터 분리
Punch extension	프레스와 펀치를 연결
Punch bush guide	펀치의 처짐 방지
Redrawing die	재드로잉 시 사용
Ironing die	컵의 벽 두께를 일정하게 성형하는 다이
Cup locator	앞(前) 공정에서 성형된 컵을 놓는 부품
Centralising ring	컵의 편심 방지
Spacer	다이와 다이 사이의 간격을 유지

본 연구에서는 복합공정인 D.D.I. 공정에 사용되는 대형 금형의 설계를 위하여 기술을 정식화하였으며, 설계된 금형을 유한요소 해석을 통하여 타당성을 검토하였다. 또한, 금형설계 자동화 시스템을 AutoCAD R14 환경 하에서 AutoLISP 언어로 구축하였다.

2. 금형설계

2.1 D.D.I. 금형의 특징

고압가스 용기의 D.D.I. 공정에 사용되는 금형은 일반적인 냉간단조 금형과 달리 설계 시 고려해야 될 사항이 있다.

첫째, 일반금형은 Table 2에 나와 있는 것처럼 소형이므로 내경 대 외경비가 크고 외경에 대한 제약이 적다³. D.D.I. 금형은 Fig. 2에서처럼 하나의 성형단계(Draw)에서 금형의 외경이 같아야 하고 프레스 내부에 장착되는 제약 때문에 내경 대 외경비를 2.0-3.0 내에서 설계를 해야 한다.

둘째, 일반금형은 하나의 행정에 하나의 공정이 적용되기 때문에, 금형의 높이 및 펀치의 행정(stroke)에 대한 제약이 적다. 하지만, D.D.I. 공정은 드로잉과 아이어닝의 복합공정이다. 따라서, 드로잉 금형, 아이어닝 금형 외에도, 편심을 없애기 위한 여러 가지 부품 및 소재와 펀치의 분리를 위한 스트리퍼 등의 많은 부품이 필요하기 때문에 펀치의 행정(stroke)에 대한 제약이 많고, 이에 따라 금형의 높이도 제한이 있다.

셋째, D.D.I. 금형은 냉간단조 금형으로는 크기가 큰 대형 금형이기 때문에, 제작비가 비싸다. 특히 아이어닝 금형은 인서트를 초경으로 하기 때문에 특히 제작비가 많이 든다. 따라서 설계 시 제작비를 절감하기 위해 인서트의 외경을 일반적인 금형 분할비보다 작게 설계를 해야 한다.

2.2 D.D.I. 금형의 설계방법

D.D.I. 금형의 설계방법은 다음과 같다. 일반적인 금형을 설계할 때, 내경이 정해지면 Table 2에 따라 외경이 결정되지만, D.D.I. 금형은 공정설계에 의해 내경이 결정되고, 프레스 사양에 의해 외경이 정해진다. 외경이 결정되고 나면, 분할직경과 간섭량을 결정해야 하는데, 분할직경의 일반적인 결정은 식(1)과 (2)를 사용한다⁴. 여기서, 사용된 식은 예압된 금형의 설계에서 모든 링이 동시에 항복한다는 조건과 초경일 경우 원주방향의 인장응력을 허용하지 않는다는 조건으로부터 얻어진다. 그러나 금형재료의 발전에 의해 초경의 경우 인장응력이 발생하더라도 항복하지 않는 기계적 특성을 가지기도 하고, 실제 성형가공 시에 발생하는 내압은 금형설계 시 고려한 최대내압이 아니므로, 일반적인 금형설계 방법으로 D.D.I. 공정에

적절한 금형설계를 수행하기 어렵다. 본 연구에서는 플렉시블 허용오차법(FTM: flexible tolerance method)에 의한 냉간압출 금형설계 방법⁵을 적용하여 D.D.I. 금형특성에 맞는 금형설계를 수행하였다.

1) 인서트기 일반 공구강일 때

$$d_m = \frac{d_i}{Q\sqrt{\frac{S_{Y2}}{S_{Y1}}}} \quad (1)$$

2) 인서트기 초경합금일 때

$$d_m = \frac{d_i}{\sqrt{Q^2 + Q\sqrt{1 + Q^2}}} \quad (2)$$

여기서, d_m 은 분할직경[mm], d_i 는 인서트의 내경[mm], d_o 는 보강링의 외경[mm], Q 는 인서트의 직경비(d_i/d_o), S_{Y1} 은 인서트의 항복강도[kgf/mm²], S_{Y2} 는 보강링의 항복강도[kgf/mm²]이다.

Table 2 Diameter ratio of general die³

Number of shrink rings	Diameter ratio d_o/d_i^*
0	4-5
1	4-6
2	4-6

* d_o : Outer diameter of the Die [mm]

d_i : Inner diameter of the Die [mm]

각각 링들의 억지끼워맞춤에 의해 예압된 금형이 체결된다. 이때 간섭량에 의해 금형은 보강되거나 혹은 항복될 수도 있다. 또한 체결 후 내압의 작용으로 항복할 수 있다. 그러므로 체결과정과 최종적으로 내압이 작용할 때 보강링 및 금형 인서트의 항복여부를 판단하고 안전한 분할직경비(diameter ratio) 및 간섭량(interference)을 선택하여야만 한다.

억지끼워맞춤에서 k 번째 링의 변위는 식(3)과 (4)와 같다.

1) 원통의 내면 d_{k-1} 의 직경 변화

$$U_{ki} = A_{ki}p_{k-1} - B_{ki}p_k \quad (3)$$

$$A_{ki} = \left\{ \frac{(1-\nu_k)Q_k^2 + (1+\nu_k)}{E_k(1-Q_k^2)} \right\} d_{k-1}$$

$$B_{ki} = \left\{ \frac{2}{E_k(1-Q_k^2)} \right\} d_{k-1}$$

2) 원통의 외면 d_k 의 직경 변화

$$U_{ko} = A_{ko}p_{k-1} - B_{ko}p_k \quad (4)$$

$$A_{ko} = \left\{ \frac{2Q_k^2}{E_k(1-Q_k^2)} \right\} d_k$$

$$B_{ko} = \left\{ \frac{(1-\nu_k) + (1+\nu_k)Q_k^2}{E_k(1-Q_k^2)} \right\} d_k$$

여기서, p_k 는 k 번째 접촉면에서의 접촉압력, E_k 와 ν_k 는 k 번째 링의 탄성계수와 프와송비, Q_k 는 k 번째 링의 직경비이다.

본 연구에서의 D.D.I. 금형은 인서트를 포함하여 총 2개의 링으로 구성된 경우이다. 접촉조건에 의해 접촉면에서의 직경에 대한 간섭량(Z_1)은 식(5)와 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} z_1 &= U_{2i} - U_{1o} \\ &= (A_{2i} + B_{1o})p_1 - B_{2i}p_2 - A_{1o}p_0 \end{aligned} \quad (5)$$

위의 식은 다음과 같이 압력에 대한 식으로 간략화 된다.

$$p_1 = \frac{A_1}{C_1} + \frac{B_1}{C_1} p_0 \quad (6)$$

여기서, 각각의 상수들은 아래와 같다.

$$A_1 = X_1 + Z_1 B_2 = X_1, \quad B_1 = Y_1, \quad C_1 = 1$$

$$X_1 = \frac{z_1}{A_{2i} + B_{1o}}, \quad Y_1 = \frac{A_{1o}}{A_{2i} + B_{1o}},$$

$$Z_1 = \frac{B_{2i}}{A_{2i} + B_{1o}}$$

금형의 체결상태에서의 외압과 내압의 경계조건은 외압 $p_2 = 0$ 와 내압 $p_0 = 0$ 이다. 이로부터 금형의 체결상태에서의 접촉압력이 결정된다.

식(6)에 의해, 분할직경비와 간섭량을 반복적인 방법에 의해 최적으로 결정하고 체결 후의 접촉압력을 구하여 각 링에 대해 항복판정을 수행한다. 이때 재료의 항복강도는 Table 3과 같다. 보강링의 항복강도를 응력상태에 따라 압축인 경우 S_c , 인장인 경우, S_t 를 항복강도에 곱하여 재료특성과 안전율을 고려하였다.

각 링의 항복은 Tresca 항복조건에 의해 식(7)과 같이 되고, 분할직경비, 접촉압력 및 간섭량에 대한 제약조건은 식(8)과 같다. 여기서 Q_c 와 Z_c 는 각각 분할직경비의 한계값과 억지끼워맞춤 공정에서의 간섭량의 한계값을 의미한다.

Table 3 Yielding strength according to the state of hoop stress

Compressive ($\sigma_\theta < 0$)	Tensile ($\sigma_\theta \geq 0$)	ring
$Y = S_c \times S_Y$	$Y = S_t \times S_Y$	$Y = S_o \times S_Y$

$$(Y_1/2)(1-Q_1^2) - |p_0 - p_1| \geq 0 \quad (7)$$

$$(Y_2/2)(1-Q_2^2) - |p_1 - p_2| \geq 0, \quad Q = Q_1 Q_2$$

$$0 < Q_k \leq Q_c, \quad 0 \leq p_0, p_1, p_2, \quad 0 \leq z_1 \leq z_c \quad (8)$$

그러면 식(6)에 의해 보강링으로 예압된 금형의 접촉압력을 계산한 후 식(7)과 (8)에 의해 체결과정에서 발생하는 제약조건들이 결정된다.

또한, 식(9)과 같이 목적함수를 최대내압으로 하였다. 여기서 체결된 금형에서 최대내압 작용 시 하나의 링이 항복한다는 가정에 의해 금형 인서트 가 항복하는 내압을 최대내압으로 설정하고, 이 최대내압을 견디도록 설계하였다. 식(10)는 사용된 설계변수들을 나타낸 것이다.

$$F(\{X\}) = -p_{o,max} = (A_1 - C_1 p_1) / B_1 \quad (9)$$

$$\{X\} = \{Q_1, Q_2, z_1\} \quad (10)$$

최대내압 작용 시 금형인서트가 인장 또는 압축 상태에서 항복한다는 가정에 의해 식(11)과 같이 금형인서트의 내·외압을 구할 수 있다.

$$p_0 = \frac{A_1 + C_1 D_1}{C_1 - B_1}, \quad p_1 = \frac{A_1 + B_1 D_1}{C_1 - B_1} \quad (11)$$

여기서, $D_1 = Y_1/2(1-Q_1^2)$ 이다.

앞에서 선택한 설계변수를 식(11)에 대입하여 계산된 내압 및 접촉압력이 식(7)과 식(8)의 제약조건식에 다시 대입하여 최대내압 작용시의 제약조건을 구성한다. 이상과 같이 구성된 여러 제약조건을 만족하면서 목적함수를 최소화하는 즉, 최대내압을 견디는 설계변수를 FTM 알고리즘으로 구하였다.

본 논문에서는 두가지 방법으로 금형의 안전성을 검토하였다. 인서트 내경 및 외경에서의 응력 및 보강링의 내경 및 외경에서의 응력을 Rémi의 식으로 계산하여 금형의 안전성을 평가한다⁶.

1) 인서트의 내경에서 반경방향 응력(σ_r)과 원주 방향의 응력(σ_θ)

$$\sigma_r = \frac{r_i^2 \cdot p_i - r_m^2 \cdot p}{r_m^2 - r_i^2} - \frac{(p_i - p) \cdot r_m^2}{(r_m^2 - r_i^2)} \quad (12)$$

$$\sigma_\theta = \frac{r_i^2 \cdot p_i - r_m^2 \cdot p}{r_m^2 - r_i^2} + \frac{(p_i - p) \cdot r_m^2}{(r_m^2 - r_i^2)} \quad (13)$$

2) 인서트의 외경에서 응력

$$\sigma_r = \frac{r_i^2 \cdot p_i - r_m^2 \cdot p}{r_m^2 - r_i^2} - \frac{(p_i - p) \cdot r_i^2}{(r_m^2 - r_i^2)} \quad (14)$$

$$\sigma_\theta = \frac{r_i^2 \cdot p_i - r_m^2 \cdot p}{r_m^2 - r_i^2} + \frac{(p_i - p) \cdot r_i^2}{(r_m^2 - r_i^2)} \quad (15)$$

3) 보강링의 내경에서 응력

$$\sigma_r = \frac{r_m^2 \cdot p}{r_o^2 - r_m^2} - \frac{p \cdot r_o^2}{(r_o^2 - r_m^2)} \quad (16)$$

$$\sigma_\theta = \frac{r_m^2 \cdot p}{r_o^2 - r_m^2} + \frac{p \cdot r_o^2}{(r_o^2 - r_m^2)} \quad (17)$$

4) 보강링의 외경에서 응력

$$\sigma_r = \frac{r_m^2 \cdot p}{r_o^2 - r_m^2} - \frac{p \cdot r_m^2}{(r_o^2 - r_m^2)} = 0 \quad (18)$$

$$\sigma_\theta = 2 \cdot \frac{r_m^2 \cdot p}{r_o^2 - r_m^2} \quad (19)$$

이 식들은 사용하기 편리하지만, 금형의 내부 형상을 원통형으로 가정하기 때문에 실제와 다르다. 그래서, 또 하나의 방법으로 유한요소 해석을 통하여 타당성을 검토한다. 상용 유한요소 시뮬레이션 프로그램(DEFORM)에 적용시켜 실제 작업시 금형에 작용하는 압력분포를 얻고, 이를 이용하여 구조해석 유한요소 프로그램인 ANSYS에 적용시켜 보강 후와 작업 중에 금형이 안전한지를 판단한다⁶⁻⁷. 특히, 아이어닝 금형같은 경우, 인서트 재질이 초경이기 때문에 인장을 받지 않는가에 중점을 두어야 한다.

3. 시스템의 구성

본 연구에서 고압가스 용기를 위한 D.D.I. 금형 설계 자동화 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 AutoCAD R14.0 환경에서 수행된다. 시스템의 다양성을 위하여 대화식을 이용하였고, 초보자도 손쉽게 작동할 수 있도록 되어 있다. 구축된 시스템의 전체적인 흐름도를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3에서 점선 내부에 표시된 부분이 금형설계에 관한 부분이다. 시스템을 구동하기 위해서는, 공정설계 자동화 시스템에서 산출된 결과나 사용자가 계산한 결과를 입력한다. 입력이 되고 나면 설계할 부품의 종류를 선택한다. 펀치관련 부품은 부품의 종류를 선택하고 나면 즉시 설계가 된다. 다이 관련 부품은 선택할 부품을 선택하고 나면, 인서트(insert)와 보강링(shrink ring)의 재질을 사용자가 입력을 해야 된다. 재질을 선정하고 나면, 재료 절감 설계방법과 일반 설계방법 중에서 설계 방법을 선택한다. 선택이 끝나면, 도면이 설계된다. 선택된 도면을 이용하여 상용 유한요소 해석 프로그램(ANSYS)을 이용한 구조해석을 한다. 구조해석 후 금형에 문제가 발생한다면, 공정설계 변경을 통하여 문제를 해결할 수 있다.

3.1 중요한 설계규칙

고압가스 용기를 위한 D.D.I. 금형설계를 수행하기 위하여 본 시스템에서는 소성이론 및 현장기술자의 경험을 설계규칙으로 정식화하였다. 금형설계에 관련된 규칙은 다음과 같다.

3.1.1 설계규칙(Design rules)

D Rule 1) 각 성형단계가 시작하기 전에 반드시

구상화 풀림 열처리를 한다².

D Rule 2) 각 성형단계가 시작하기 전에 반드시 윤활처리를 한다².

D Rule 3) 드로잉과 아이어닝 다이사이의 거리는 드로잉시 하중에 최대하중을 지나서 하강하고 있을 때, 아이어닝 공정이 시작되도록 한다, 즉, 재드로잉 다이 위의 소재가 남아 있는 부분이 1/2 정도 남아 있을 때 아이어닝이 시작되도록 거리를 설정한다².

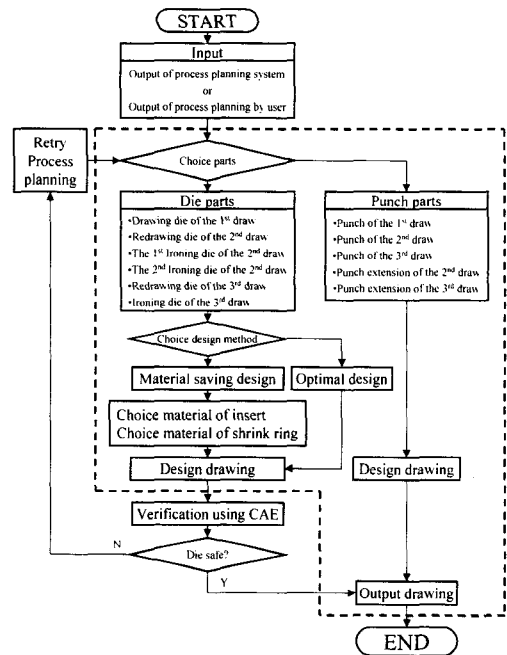


Fig. 3 Configuration of the system

D Rule 4) 아이어닝과 아이어닝 다이 사이의 거리는 전자의 아이어닝시 가공되는 컵 직경보다 크게 한다⁹.

D Rule 5) 2nd Draw에서 드로잉, 아이어닝, 아이어닝으로 된다면 컵이 세 공정에 걸쳐서 동시에 성형되지 않도록 다이 사이의 거리를 결정한다².

D Rule 6) 2nd Draw 및 3rd Draw에서 펀치와 펀치홀더의 길이의 합은 4.2[m]이다².

D Rule 7) 2nd Draw 및 3rd Draw에서 펀치홀더의 외경은 펀치의 외경과 같다^{2, 9}.

D Rule 8) 스트리퍼(stripper)의 직경은 열렸을 때 (open) 성형되는 컵의 외경보다 커야 하고 닫혔을

때(close)는 컵의 외경보다 작고 펀치의 외경보다 크다².

D Rule 9) 컵 로케이터(cup locator)는 전(前) 공정에서 성형된 컵의 길이보다 길다².

D Rule 10) 컵 로케이터(cup locator)의 내경은 전 공정에서 성형된 컵의 외경과 같다².

D Rule 11) 센터라이징 링(cnetralising ring)의 내경은 전 공정에서 성형된 컵의 외경과 같다².

D Rule 12) 펀치 부시 가이드(punch bush guide)의 내경은 펀치 및 펀치 홀더의 외경과 같다^{2, 9}.

D Rule 13) 2nd Draw 및 3rd Draw에서 다이의 외경은 700[mm] 또는 800[mm]로 한다².

D Rule 14) 다이 사이의 거리는 스페이서(spacer)로 조절한다².

D Rule 15) 펀치, 금형 및 각종 부품들은 동심도가 맞게 설계 및 설치된다².

D Rule 16) 센터라이징 링, 재드로잉 다이, 아이어닝 다이 및 스트리퍼의 외경은 같다².

D Rule 17) 다이 설계시 인서트와 보강링의 조립은 열박음으로 한다².

D Rule 18) 열박음시 보강링을 가열하고 인서트를 냉각한다^{2, 8}.

D Rule 19) 다이, 펀치 및 펀치홀더는 응력제거(stress relieve)를 해야 한다².

D Rule 20) 드로잉 다이 및 아이어닝 다이의 인서트 상단부의 직경은 전 단계 제품의 직경보다 크다².

D Rule 21) 1st Draw에서 펀치의 곡률 반경(corner radius)은 두께에 따라 보간하여 결정하며 Table 4에 따른다¹⁰.

Table 4 Punch corner radius of the 1st Draw according to blank thickness

Blank thickness <i>t</i> [mm]	Punch corner radius at 1 st Draw	
	<i>r_{pn}</i> [mm]	
4~6	3~4 <i>t</i>	
6~10	1.8~2.6 <i>t</i>	
10~15	1.6~1.8 <i>t</i>	
15~20	1.3~1.6 <i>t</i>	

D Rule 22) 2nd Draw 이후의 펀치 곡률 반경은 다음 식에 의해 결정되며, Fig. 4에 나타낸다¹⁰.

$$r_{p2} = (d_{p2} - d_{p1})/2 + r_{p1} \quad (20)$$

$$r_{p3} = (d_{p3} - d_{p2})/2 + r_{p2}/4 \quad (21)$$

$$r_{p(n)} = (d_{p(n)} - d_{p(n-1)})/2 + r_{p(n-1)}/4 \quad (22)$$

여기서, r_{p2} 는 2nd Draw의 펀치 곡률 반경[mm], r_{pn} 는 n^{th} Draw의 펀치 코너 반경[mm], d_{p1} 는 1st Draw의 펀치 직경[mm], d_{p2} 는 2nd Draw의 펀치 직경[mm], d_{pn} 는 n^{th} Draw의 펀치 직경[mm]이다.

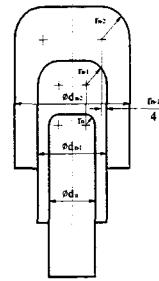


Fig. 4 Determination of punch corner radius after the 1st Draw

D Rule 23) 마지막 성형단계에서 펀치의 곡률반경은 다음 식에 의해 결정된다¹⁰.

$$r_{pn} = 0.075d_o \quad (23)$$

여기서, d_o 는 제품외경[mm]이다.

D Rule 24) 마지막 성형단계의 바닥성형을 위한 펀치형상을 Fig. 5에 나타내었으며, 다음 조건을 만족한다¹¹.

$$a_1 \geq 2a, a_2 \geq 2a \quad (24)$$

$$h = 0.12D, r = 0.75D \quad (25)$$

여기서, a, a_1, a_2, D, h 및 r 은 Fig. 5와 같다.

D Rule 25) 드로잉 다이 경사각은 15°로 한다².

D Rule 26) 아이어닝 다이 경사각은 10°로 한다².

D Rule 27) 금형을 이동하기 위한 아이볼트를 위한 구멍을 한 개 이상 설치해야 한다².

D Rule 28) 다음 단계의 성형단계에서 드로잉시 클리어런스가 적다면 앞 단계의 성형단계 펀치에 테이퍼를 주지 않는다².

D Rule 29) 마지막 성형단계에서는 펀치에 테이퍼를 준다².

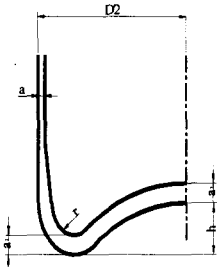


Fig. 5 Concave base ends

3.1.2 계산 규칙(Calculate Rule)

C Rule 1) 드로잉과 아이어닝 다이 설계시 최적 설계에 의한 분할직경은 식(1) 및 (2)에 따른다⁴.

C Rule 2) 드로잉과 아이어닝 다이 설계시 재료 절감설계에 의한 분할직경, 간섭량 및 보강시 접촉면압은 식(3)-(11)에 따른다².

C Rule 3) 보강시 접촉면압은 식(7) 및 (8)에 따른다^{6, 8}.

C Rule 4) 보강시 각 부분의 응력 분포는 인서트 및 보강링의 허용응력보다 작다^{6, 8}.

C Rule 5) 금형제작의 편의를 위해, 분할직경의 소수점 이하는 반올림하고, 5[mm] 간격으로 한다².

C Rule 6) 금형제작의 편의를 위해, 간섭량은 0.05[mm] 간격으로 나타낸다².

3.1.3 시험 규칙(Test Rule)

T Rule 1) 간섭량에 대해 열박음이 가능한 온도는 아래 식을 따른다⁸.

$$t = \frac{z}{\alpha \cdot d_m} \tag{26}$$

여기서, a 는 선펡창 계수[℃], t 는 열박음시 필요한 보강링 가열온도[℃]이며, 보강링의 템퍼링(tempering) 시의 온도[℃]보다 낮아야한다.

T Rule 2) 열박음시 온도는 보강링의 열처리 온도보다 낮아야 한다⁸.

T Rule 3) 간섭량에 대한 응력 분포는 식(9)-(16)에 따르며, 금형의 허용강도보다 낮다^{4, 8}.

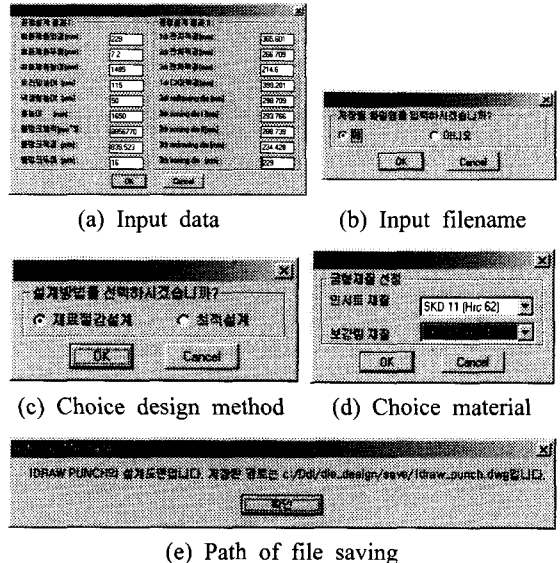
4. 시스템의 적용 및 고찰

본 연구에서는 고압가스 용기의 D.D.I 제작을 위해 개발된 D.D.I 공정설계 자동화 시스템¹에 의해 설계된 결과를 금형설계 시스템에 적용시켜 금형설

계 결과를 고찰하고자 한다. 적용할 고압가스 용기는 $\phi 229.0[mm] \times 7.2[mm] \times 1485.0h[mm]$ 제품이다.

4.1 금형설계 시스템의 적용

사용자가 부품의 종류를 선택하고, Fig. 6 (a), (b), (c), 및 (d)처럼 입력을 하면, 시스템이 구동된다. Fig. 6의 (a)에서는 공정설계의 계산된 데이터를 나타내고 있으며 사용자에게 수정이 가능하다. (b)를 통해서 저장할 파일명과 경로를 입력한다. (c)에서는 설계방법을 선택할 수 있으며, (d)에서는 금형 재질을 입력할 수 있다. (e)에서는 부품이 설계된 후의 저장경로를 나타내고 있다.



(a) Input data (b) Input filename (c) Choice design method (d) Choice material

(e) Path of file saving

Fig. 6 DCL on die design system

Table 5 Main size of each die set[mm]

금형종류	내경	외경	분할 직경	간섭 량
Drawing die of the 1 st draw	399.20	1149.92	871.52	0.90
Drawing die of the 2 nd draw	298.71	699.84	505.00	1.05
The 1 st ironing die of the 2 nd draw	293.82	699.84	420.00	1.15
The 2 nd ironing die of the 2 nd draw	288.77	699.84	415.00	1.15
Drawing die of the 3 rd draw	234.43	699.84	430.00	0.85
Ironing die of the 3 rd draw	229.00	699.84	355.00	1.00

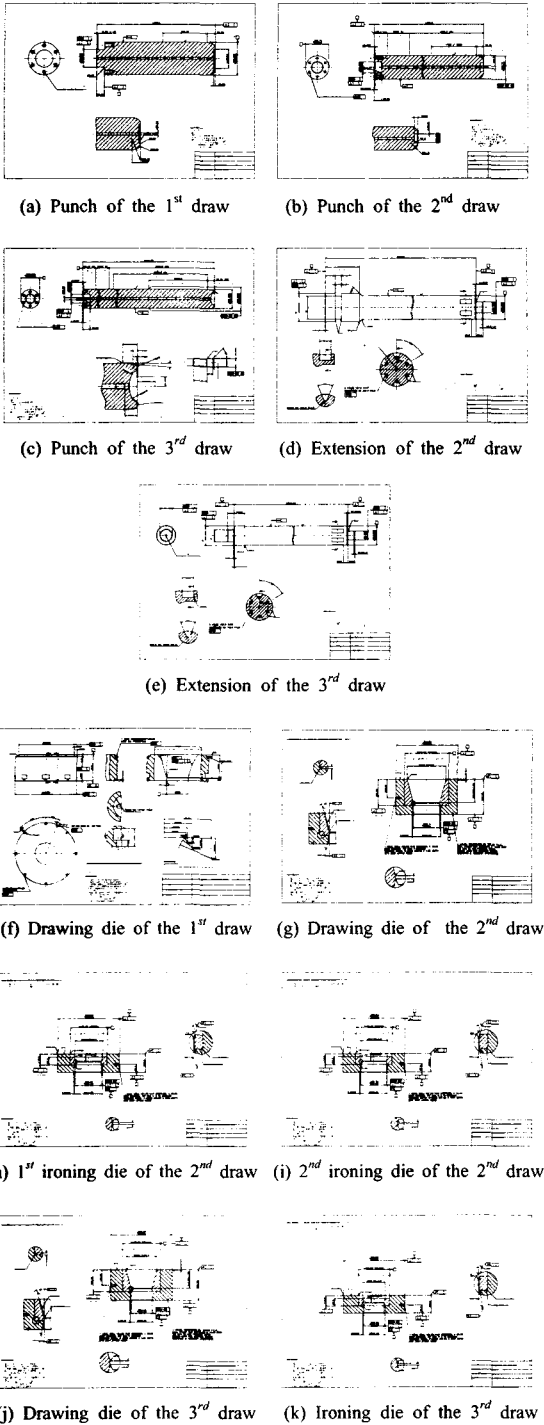


Fig. 7 Drawing of $\phi 229 \times 7.2t$ product

시스템을 구동시켜서 나타난 결과들을 Fig. 7과 Table 5에 나타내었다. 설계방법은 재료절감 설계로 하였으며, 재질 선택시, 드로잉 금형의 경우에는 인서트를 SKD11(HRC62), 보강링을 SKD61(HRC47)로 하였고, 아이어닝 금형의 경우, Gti50(HRC91), 보강링을 SKD61(HRC47)로 선택하였다.

금형설계시, 인서트가 초경인 경우 인장시 압축강도의 25%를 허용하고, 보강링의 경우 압축강도의 75%를 허용하여 설계하였다. 이러한 허용치는 금형에 이론적인 최대내압이 작용할 경우의 허용값이다. 이렇게 초경 인서트에 인장시 허용값을 설정함으로써 인서트의 크기가 작은 금형설계가 가능하다. 대형금형에서 고가의 금형재료인 초경재료 사용을 줄임으로써 금형비용을 상당히 절감할 수 있다. 실제의 성형작업에서 초경 인서트에 인장응력이 작용하게 되면, 금형 파손 위험이 있으므로 실제 금형에 작용하는 하중을 강소성 유한요소법으로 평가하고 이를 이용한 금형해석을 통해 금형설계 단계에서 확인하여야 한다.

4.2 유한요소 해석

설계된 도면을 유한요소 시뮬레이션 프로그램인 DEFORM에 적용시켜 실제 작업 시 금형에 작용하는 압력을 파악하였다. Fig. 8-9에 이를 나타내었다. 이를 이용하여 유한요소 구조해석 프로그램인 ANSYS에 적용시켜 보강후와 작업중에 금형이 안전하지를 판단하였다^{10, 11}. 특히, 아이어닝 금형의 경우, 인서트 재질이 초경이기 때문에 인장을 받지 않는가에 중점을 두었다. Fig. 10-11에 이를 나타내었으며, 다른 공정의 금형은 유사하므로, 생략하였다.

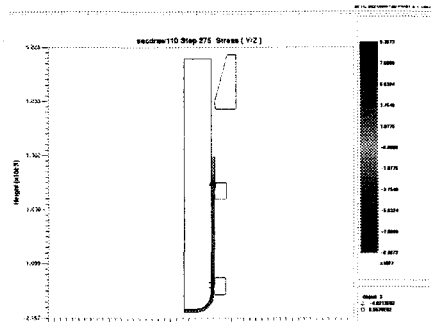


Fig. 8 FE simulation(DEFORM) for the 2nd draw

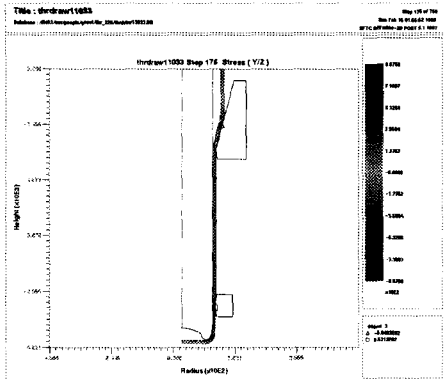
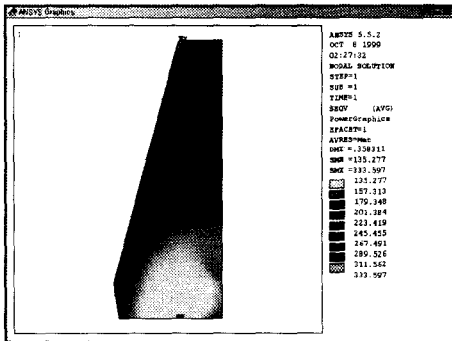
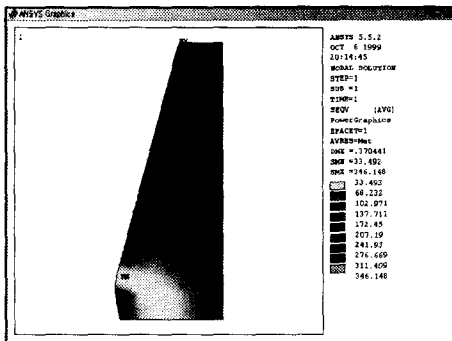


Fig. 9 FE simulation(DEFOR) for the 3rd draw

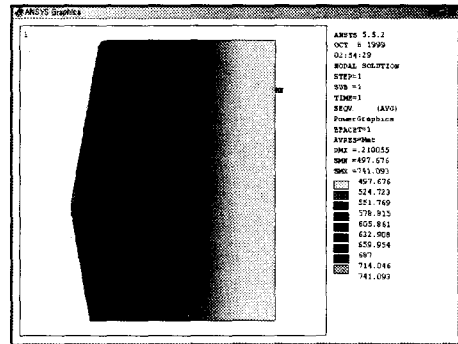


(a) After press fitting

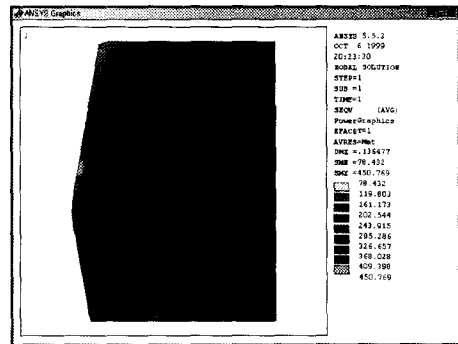


(b) During redrawing

Fig. 10 FE analysis(ANSYS) of the redrawing die of the 2nd draw



(a) After press fitting



(b) During ironing

Fig. 11 Ansys analysis(ANSYS) of the 1st ironing die of the 2nd draw

4.3 시제품 제작

설계된 도면에 따라 제작된 금형을 이용하여 원형철판으로부터 각 draw별로 제품을 성공적으로 생산하였으며, Fig. 12에 나타내었다.



Fig. 12 The cups formed in each draw

5. 결론

본 연구에서는 열간 및 냉간단조, 디프드로잉 및 블랭킹 공정해석과 금형설계 및 가공에 관한 경험과 지식을 바탕으로 규칙을 정식화하여 D.D.I (deep drawing & ironing) 금형설계에 관한 규칙을 정립하고 금형설계 자동화 시스템을 개발하였다.

개발된 자동설계 시스템을 이용함으로써, 초보자의 경우라도 숙련된 기술자 수준의 결과를 쉽게 얻을 수 있다. 또한, 이러한 금형설계 자동화 시스템은 설계에 필요한 시간 단축으로 인한 제품의 적기공급을 가능하게 하여 제품 경쟁력 상승에 기여할 수 있다.

- 1) 일반 금형과 설계방법이 다른 D.D.I. 금형설계 규칙을 정립하였다.
- 2) D.D.I. 금형의 제작비를 절감하기 위한 재료절감 설계 방법을 정립하였고, 유한요소 해석 및 각종 계산식을 이용하여 적용함으로써, 성형시 고가의 금형이 보호될 수 있도록 하였다.
- 3) 개발된 금형설계 시스템에서는 공정설계 시스템에서 계산된 결과 또는 사용자가 계산한 결과를 이용하여, 주요 금형을 자동 설계한다.
- 4) 개발된 시스템의 결과를 FEM 시뮬레이션을 통하여 검증하였고, 시제품 제작에 성공적으로 적용하였다.

참고문헌

1. Yoon, J. H., Jung, S. Y., Choi, Y., Kim, C. and Choi, J. C., "A Study on the Development of Computer-Aided Process Planning System for the Deep Drawing & Ironing of High Pressure Gas Cylinder," J. of KSPE, Vol. 19, No. 2, pp. 177-186, 2002.
2. Brochure of Fielding Co. Ltd, UK, 1998.
3. Lange, K., "Handbook of Metal Forming," pp. 15.86-15.88, 1985.
4. Lange, K., "Production of Steel Parts by Cold Forging," ICFG, pp. 1-8, 1978.
5. Yeo, H. T., "Study on the Design and Analysis of Precision Cold forging Dies with Stress Rings," PhD Thesis DongEui Univ., 2003.
6. Adler, G. and Walter, K., "Berechnung von Einfachen und Mehrfachen Preßpassungen," Industrie Anzeiger, pp. 21-25, 1967.
7. Yeo, H. T., Choi, Y. and Hur, K. D., "Analysis and Design of the Prestressed Cold Extrusion Dies by FEM," Proc. of AFDM '99, Pusan, Korea September 7-9, pp. 431-436, 1999.
8. 澤辺弘, "冷間鍛造の基礎と應用," 株式會社産報, pp. 134-161, 1968.
9. Report of National Machinery LLC, "Tool Design and Part Shape Development for Multi-die Cold Forming," National Machinery LLC, 1990.
10. Kim, S. H., Han, Y. H. and Lee, S. H., "Die Design. Handbook," TaeKwang, pp. 247-366, 1992.
11. Brochure of NK Co. Ltd, "Pressure Vessels," pp. 8-9. 2000.