

고압가스 용기를 위한 Deep Drawing & Ironing(D.D.I.) 공정설계 시스템 개발에 관한 연구

윤지훈*, 정성윤*, 최영**, 김철***, 최재찬***

A Study on the Development of Computer-Aided Process Planning System for the Deep Drawing & Ironing of High Pressure Gas Cylinder

Ji Hun Yoon*, Sung Yuen Jung*, Young Choi**, Chul Kim***, Jae Chan Choi***

ABSTRACT

This paper describes a research work on the development of computer-aided design system for the deep drawing & ironing of high pressure gas cylinder. An approach to the design system is based on the knowledge-based rules. Knowledge for the system is formulated from plasticity theories, handbook, experimental results and the empirical knowledge of field experts. This system has been written in AutoLISP on the AutoCAD R14.0 using personal computer. This system is composed of three modules which are input, process design and drawing.

Key Words : D.D.I.(디프 드로잉과 아이어닝의 연속 공정), Knowledge-based rules(지식 베이스 규칙), Drawing ratio(드로잉비), Ironing area reduction ratio(아이어닝 단면적 감소률), Process planning(공정설계)

1. 서론

소화기와 LPG 가스통 등과 같은 고압 가스용기의 생산방식은 이음새 없는 튜브(seamless tube)를 사용하여 바닥성형(bottom forming)과 접합(closing) 공정 및 열간 오목성형 공정(forming to concave bottom)을 거쳐서 만들어진다. 고압가스용기와 기존의 생산공정(conventional process)을 Fig. 1에 나타낸다. 이러한 생산방식은 고가의 재료비와 재료 보편상의 문제점이 있다. 또한, 경량화된 고품질의 고압가스용기의 생산이 어렵다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 소형용기 제조 시 사용되는 D.D.I.(deep drawing & ironing) 공정을 도입하여 고압가스 용기를 제작하고자 한다. D.D.I. 공정을 이용하여 대용량 가스용기를 생산하고자 할 때, 프레스 행정이 아주 길고 대용량의 수평식 프레스가 필요하다. 최근 행정이 길고 대용량의 수평식 프레스⁽¹⁾가 개발되어 D.D.I. 공정을 이용한 고압 가스용기의 제조가 가능하게 되었다. 국내에 정격 하중 650[tonf] 및 편치행정 8.2[m] (단방향 4.1[m])

2001년 7월 20일 접수

* 부산대학교 대학원

** 인제대 기계자동차공학부

*** 부산대 정밀정형 및 금형가공연구소

의 수평식 프레스가 도입되어 D.D.I. 공정을 이용한 고압가스 용기의 제조가 시도되고 있다.⁽²⁾

본 연구에서는 후판의 블랭크를 D.D.I. 공정에 적용시켜 고압가스 용기를 제조하는 공정설계 기술을 정식화하여 고압가스 용기 성형공정의 공정설계 자동화시스템을 AutoCAD 환경하에서 AutoLISP 언어로 개발한다.

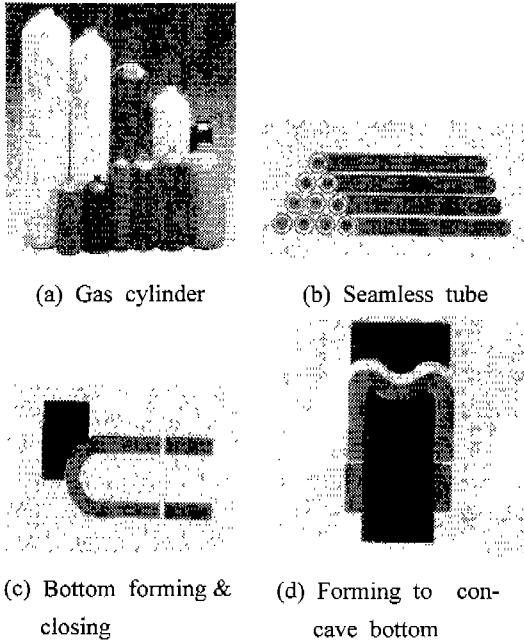


Fig. 1 Gas cylinder and conventional process.

2. Deep Drawing & Ironing (D.D.I.)

D.D.I. 공정은 하나의 펀치를 이용하여 한번의 프레스 행정(stroke)에 디프 드로잉 및 여러 개의 아이어닝 다이틀 이용하여 연속적으로 원통형 용기를 성형하는 공정이다. 이를 Fig. 2에 나타낸다. 재드로잉과 아이어닝 연속 공정이 Fig. 2의 2차 성형단계(draw)와 3차 성형단계에 나타나 있다.

본 연구에서 고려하는 D.D.I. 공정은 Fig. 2와 같다. 초기 짙은 단동형 수직 프레스에서 블랭크로부터 디프 드로잉되며(1차 성형단계), 수평식 프레스를 이용하여 Fig. 2의 2차 성형단계, 3차 성형단계에서 각각 재드로잉과 아이어닝이 연속적으로 진행된다. 3차 성형단계의 펀치행정 마지막 단계에서 바닥성형(bottom forming)이 이루어진다. 각

성형단계(Draw) 이전에 소재는 완전 풀림 및 구상화 열처리가 되고, 윤활(인산염 피막) 처리된다. 이러한 고압가스 용기의 전체적인 제작 공정을 Fig. 3에 보인다.

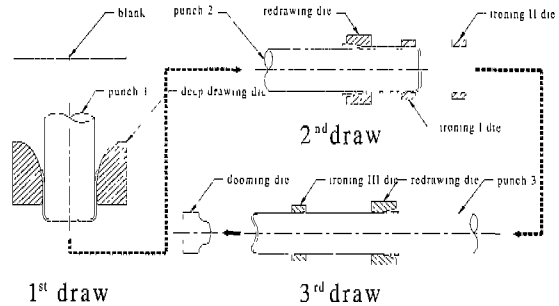


Fig. 2 D.D.I. forming process.

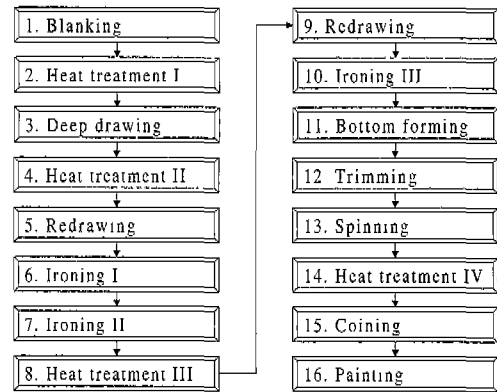


Fig. 3 Process for gas cylinder.

3. 시스템의 구성

본 연구에서 고압가스 용기를 위한 D.D.I. 공정 설계 자동화 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 입력(input), 공정설계(design process) 및 도면편집(drawing) 모듈로 구성되어 있으며, 초보자도 손쉽게 작동할 수 있도록 되어있다.

본 연구에서 구축된 시스템의 전체적인 흐름도는 Fig. 4와 같다.

개발된 시스템은 하나의 환경에서 수행되며 각 모듈들이 규칙과 데이터 베이스를 공유하므로 수행중에 시스템을 중단하지 않고서 모든 과정을 수행할 수 있는 장점이 있다. 또한 시스템의 다양성을 위하여 대화식을 이용하였으며, 개발된 시스템

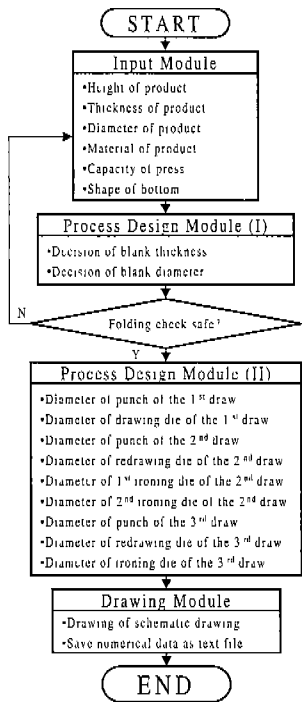


Fig. 4 Configuration of the system.

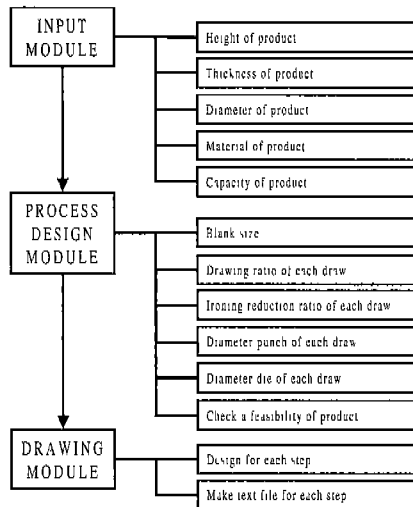


Fig. 5 Modular structure of system.

의 전체적인 모듈 구조를 Fig. 5에 나타내었다.

설계하고자 하는 고압가스 용기의 치수와 프레스 사양을 입력시키면 입력모듈에서는 트리밍 여유와 스피닝 여유를 고려한 프레스 가공에서의 최

종제품의 치수가 결정된다.

공정설계 모듈에서는 우선 최종제품과 같은 부피를 가지는 블랭크의 두께 및 직경을 결정한다.

블랭크의 치수가 결정이 되고 나면, 1차 성형단계에 대한 드로잉비(drawing ratio)가 정해지고, 클리어런스를 고려한 다이와 펀치의 직경이 결정된다. 2차 성형단계에서는 재드로잉, 아이어닝 I 및 아이어닝 II 순서로 공정이 설계되며, 3차 성형단계에서는 재드로잉, 아이어닝 순서로 공정이 결정된다. 그리고 각 성형단계(draw)마다 드로잉비와 아이어닝 단면적 감소률(ironing area reduction ratio)이 결정되며 이에 따라 가공가능성을 검사한다. 즉 최종제품이 제작 가능한지와 프레스 용량을 만족하는 지를 검사한다. 그리고 도면편집 모듈에서는 각 공정의 결과를 이용하여 다이, 펀치 및 제품의 개략도를 자동으로 설계하고 각종 중요한 정보를 문자파일 형태로 저장한다. 시스템을 구성하는 각 모듈들의 기능적인 설명은 아래에서 간략히 다루고자 한다.

3.1 입력(Input) 모듈

이 모듈은 제작하고자 하는 고압가스 용기 제품의 외경과 높이, 벽두께, 소재 그리고 프레스의 스트로크와 용량이 입력된다. 화면상에 트리밍(trimming)과 스피닝(spining) 여유량을 고려한 제품의 개략도가 드로잉된다. 이들 가공여유량은 제품 직경에 관한 데이터 베이스로부터 결정된다.

3.2 공정설계(Design process) 모듈

이 모듈은 가장 중요한 모듈로서 각 성형단계의 치수와 각 공정별 제품의 치수를 결정한다. 우선 입력 모듈로부터 블랭크의 체적이 결정이 되면 바닥두께가 벽두께의 두배 이상이 되어야 하고, 바닥두께가 블랭크의 두께와 같아야 하며, 열처리시 두께가 5%정도 산화된다는 조건 및 D.D.I. 공정중 드로잉 공정이 최대, 아이어닝 공정이 최소가 되도록 블랭크의 두께와 직경을 결정한다. 이렇게 블랭크가 결정이 되면, 1차 성형단계에서의 한계 드로잉비에 따라 펀치 직경과 디프 드로잉 다이의 내경을 결정한다. 그리고, 1차 성형단계에서의 직경에 한계 재드로잉비를 적용하고 나머지 내경감소율을 이용하여 2차 성형단계와 3차 성형단계에서 재드로잉비를 결정한다. 재드로잉시 클리어런스를 고려하여 다이 내경 및 펀치 직경을 결정한다.

다. 그리고 2차 성형단계에서 아이어닝 I과 아이어닝 II에서 단면감소율이 같도록 아이어닝량을 최대 총 단면적 감소율(50%)을 넘지 않도록 결정한다. 3차 성형단계에서는 아이어닝시 단면감소율이 최대단면적 감소율인 (35%)를 넘지 않도록 아이어닝량을 결정한다. 이렇게 각 성형단계에서 치수가 결정이 되면 제품의 D.D.I. 공정에서의 길이가 펀치의 행정길이에 비해 합당한지 등을 검사하고 결정한다.^{(1), (9)}

3.3 도면편집(Drawing) 모듈

이 모듈에서는 결정된 각 공정의 결과에 따라 제품, 다이, 그리고, 펀치의 개략도를 AutoCAD 화면상에 나타내고, 또한 결과를 문자파일로 자동 저장한다

3.4 중요한 시스템규칙(System rules)

고압가스 용기를 위한 D.D.I. 공정설계를 수행하기 위하여 본 시스템에서는 소성이론 및 현장기술자의 경험을 시스템규칙으로 정식화하였다.

3.4.1 설계규칙(Design rules)

설계규칙 1) 제품의 바닥두께와 블랭크의 두께는 같다.⁽¹⁾

설계규칙 2) 각 성형단계에서 드로잉 공정과 아이어닝 공정이 같이 존재한다면 드로잉 공정을 먼저 성형한다.⁽¹⁾

설계규칙 3) 각 성형단계마다 드로잉 공정과 아이어닝 공정이 존재한다면 가능한 드로잉을 최대한 하고 아이어닝을 최소로 한다.⁽¹⁾

설계규칙 4) 성형단계를 최소로 설계한다.⁽¹⁾

설계규칙 5) 성형단계에서 공정 수를 줄일 수 있다면 공정 수를 최소로 줄인다.⁽¹⁾

설계규칙 6) 블랭크의 체적은 체적일정조건에 따라 제품의 체적과 같다.⁽¹⁾

설계규칙 7) 1차 성형단계의 초드로잉에서 드로잉비는 가능한 최대로 한다.⁽¹⁾

설계규칙 8) 1차 성형단계의 초드로잉에서 클리어런스는 1.05로 한다.^{(1), (3)}

설계규칙 9) 두 번째 드로잉 이후에서 클리어런스는 1.0으로 한다.^{(1), (3)}

설계규칙 10) 마지막 성형단계의 드로잉시 클리어런스는 0.95로 한다.^{(1), (3)}

설계규칙 11) 1차 성형단계에서 펀치의 곡률반경

(corner radius)은 두께에 따라 보간하여 결정하며 Table 1에 따른다.⁽⁴⁾

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

<i>t</i>	<i>r_{p1}</i>
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>

여기서, *t*는 블랭크의 두께[mm], *r_{p1}*는 1차 성형단계의 펀치 곡률 반경[mm]이다.

설계규칙 12) 2차 성형단계 이후의 펀치 곡률 반경은 다음 식에 의해 결정되며, Fig. 6에 나타나 있다.⁽⁴⁾

$$r_{p2} = \frac{d_{p2} - d_{p1}}{2} + r_{p1} \tag{1}$$

$$r_{p3} = \frac{d_{p3} - d_{p2}}{2} + \frac{r_{p2}}{4} \tag{2}$$

$$r_{p(n)} = \frac{d_{p(n)} - d_{p(n-1)}}{2} + \frac{r_{p(n-1)}}{4} \tag{3}$$

여기서, *r_{p2}*는 2차 성형단계의 펀치 곡률 반경[mm], *r_{pn}*는 *n*차 성형단계의 펀치 코너 반경[mm], *d_{p1}*는 1차 성형단계의 펀치 직경[mm], *d_{p2}*는 2차 성형단계의 펀치 직경[mm], *d_{pn}*는 *n*차 성형단계의 펀치 직경[mm]이다.

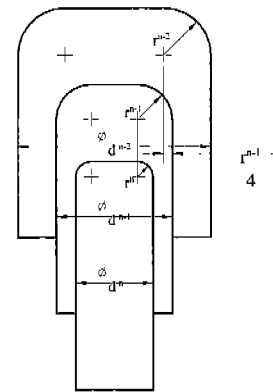


Fig. 6 Determination of punch corner radius after the 1st Draw.

설계규칙 13) 마지막 성형단계에서 펀치의 곡률 반경은 다음 식에 의해 결정된다.⁽⁴⁾

$$r_{pm} = 0.075d_o \quad (4)$$

여기서, d_o 는 제품의경[mm]이다.

설계규칙 14) 드로잉과 아이어닝 다이사이의 거리는 드로잉시 하중에 최대하중을 지나서 하강하고 있을 때, 아이어닝 공정이 시작되도록 한다, 즉, 재드로잉 다이 위의 소재가 남아 있는 부분이 1/8정도 남아 있을 때 아이어닝이 시작되도록 거리를 설정한다.⁽¹⁾

설계규칙 15) 아이어닝과 아이어닝 다이 사이의 거리는 전자의 아이어닝시 가공되는 컵 직경보다 크게 한다.⁽⁵⁾

설계규칙 16) 2차 성형단계에서 드로잉, 아이어닝 I, 아이어닝 II 순서로 성형된다면 컵이 세 공정에 걸쳐서 동시에 성형되지 않도록 다이 사이의 거리를 결정한다.⁽¹⁾

설계규칙 17) 1차 성형단계에서의 초드로잉 공정은 Fig. 7에 나타나 있는 것처럼 블랭크 홀더가 없는 tractrix 다이에서 작업한다.^{(1), (10), (11)}

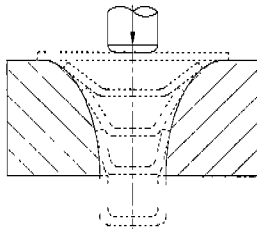


Fig. 7 Successive stages in tractrix drawing.

설계규칙 18) 아이어닝이 연속된다면 아이어닝시 두께 감소량은 첫 번째 아이어닝시 단면적 감소율과 두 번째 아이어닝시 단면적 감소율이 같도록 결정한다.

설계규칙 19) 바닥성형 공정은 마지막 성형단계의 마지막 공정에서 한다.⁽¹⁾

설계규칙 20) 다음 단계의 성형단계에서 드로잉시 클리어런스가 적다면 앞 성형단계의 펀치에 테이퍼를 주지 않는다.⁽¹⁾

설계규칙 21) 마지막 성형단계에서는 펀치에 테이퍼를 준다.⁽¹⁾

설계규칙 22) 마지막 성형단계의 바닥성형을 위한 펀치형상을 Fig. 8에 나타내었으며, 다음 조건을 만족해야 한다.⁽¹²⁾

$$a_1 \geq 2a, a_2 \geq 2a \quad (5)$$

$$h = 0.12D, r = 0.75D \quad (6)$$

여기서, a, a_1, a_2, D, h 및 r 은 Fig. 8과 같다.

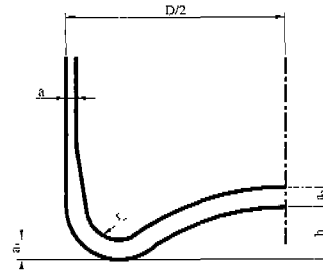


Fig. 8 Concave base ends.

3.4.2 계산규칙(Calculate rules)

계산규칙 1) 스피닝(spining)과 트리밍(trimming) 여유량을 고려한 제품의 체적은 다음 식과 같다.

$$V = \frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2) \cdot H_{total} + \frac{\pi}{4} d_i^2 \cdot t_o \quad (7)$$

여기서, V 는 제품의 체적[mm³], d_i 는 제품내경[mm], t_o 는 블랭크의 두께[mm], H_{total} 는 스피닝 여유량과 트리밍 여유량을 고려한 제품의 높이[mm]이다.

계산규칙 2) D.D.I. 공정에서 스피닝(spining)과 트리밍(trimming) 여유량을 고려한다면 제품의 높이는 다음과 같다.⁽¹⁾

$$H_{total} = H_{trim} + H_{spin} + H \quad (8)$$

여기서, H 는 제품의 몸통높이[mm], H_{spin} 는 스피닝 여유량[mm], H_{trim} 는 트리밍 여유량[mm]이다.

계산규칙 3) D.D.I 공정에서 스피닝과 트리밍시 여유량은 Table 2에 따른다.^{(1), (12)}

Table 2 Suggested limits of trimming and spinning allowances.[mm]

Outer diameters of product [mm]	Height of Trimming allowances, H_{trim}	Height of Spinning allowances, H_{spin}
141.3	75	30
165.2	75	36
177.8	75	38
197	75	42
232	100	50
267.4	100	58

계산규칙 4) 블랭크의 두께는 다음 식과 같으며, 1.05는 열처리 공정시 산화되는 량을 고려한 보정 량이다.⁽¹⁾

$$t_o \geq (2t_{wall}) \times 1.05 \quad (9)$$

여기서, t_{wall} 는 최종제품의 벽두께[mm]이다.

계산규칙 5) 각 아이어닝 공정에서 한계 단면적 감소율은 35%로 한다.⁽¹⁾

계산규칙 6) 초드로잉 작업시 하중은 아래식에 따른다.⁽¹⁾

$$F_{cup\ drawing} = \pi \cdot k_1 \cdot d_{p1} \cdot t_o \cdot \sigma_y \quad (10)$$

여기서, $F_{cup\ drawing}$ 는 컵드로잉시 하중 [tonf], k_1 는 윤활계수로서 1.05, σ_y 는 소재의 항복강도[kgf/mm²]이다.

계산규칙 7) 재드로잉 작업시 하중은 아래식에 따른다.⁽¹⁾

$$F_{redrawing} = \pi \cdot k_2 \cdot d_{p2} \cdot t_{11} \cdot \sigma_y \cdot \sqrt{(b_2 - 1)} \quad (11)$$

여기서, k_2 는 윤활계수로서 1.3, t_{11} 는 1차 성형 단계의 첫 번째 공정 후 벽두께[mm], b_2 : 2차 성형 단계에서의 드로잉비이다.

계산규칙 8) 아이어닝 작업시 하중은 상계법에 따라 아래식에 따른다.⁽⁷⁾

$$F_{ironing} = [(\dot{E}_i + \dot{E}_{s1} + \dot{E}_{s2} + \dot{E}_{s3} + \dot{E}_{s4}) / v_f] \cdot R_{pre}^2 \quad (12)$$

여기서, Fig. 9 참조.

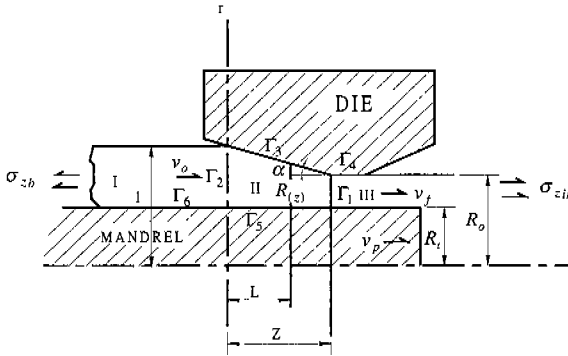


Fig. 9 Single ironing with a mandrel.

여기서, \dot{E}_i 는 내부 변형에너지 소비율, \dot{E}_{s1} 는 속도불연속면이고 Γ_1 에서 전단에너지소비율, \dot{E}_{s2} 는 속도불연속면이고 Γ_2 에서 전단에너지소비율 \dot{E}_{s3} 는 공구접촉불연속면, Γ_3 에서 마찰에너지소

비율, \dot{E}_{s4} 는 속도불연속면, Γ_4 에서 전단에너지소 비율, R_{pre} 는 아이어닝 공정 이전의 컵의 바깥반 경, v_f 는 편치속도이다.

계산규칙 9) 드로잉과 아이어닝 작업시 컵이 두 공정에서 동시에 성형된다면 하중은 아래식에 따른다.⁽⁷⁾

$$F_{pre+ir} = (\sigma_{zb} + \sigma_{zir}) \cdot A_{ir} \quad (13)$$

여기서, σ_{zb} : 초드로잉, 재드로잉 또는 아이어닝 공정시 단독으로 컵에 작용하는 축방향응력으로 동시에 절릴 때는 후장장력[kgf/mm²], σ_{zir} 는 아이어닝 공정시 컵에 작용하는 축방향응력[kgf/mm²], A_{ir} 는 아이어닝 공정후 컵단면적[mm²]이다.

계산규칙 10) 연속되는 아이어닝 작업시 컵이 두 공정에서 동시에 성형된다면 하중은 아래식에 따른다.⁽⁷⁾

$$F_{pre+ir} = (\sigma_{zb} + \sigma_{zir}) \cdot A_{ir} \quad (14)$$

계산규칙 11) 드로잉과 아이어닝 공정에서 단면적 감소율은 아래식에 따른다.⁽¹⁾

$$R.A. = \frac{A_f - A_o}{A_o} \times 100[\%] \quad (15)$$

여기서, A_f 는 성형후의 컵단면적[mm²], A_o 는 성형전의 컵단면적[mm²]이다.

계산규칙 12) 각 성형단계에서 총 단면적 감소율에 대한 계산 공식은 다음과 같다.⁽¹⁾

$$R.A_{total} = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100[\%] \quad (16)$$

여기서, A_o 는 각 성형단계에서 시작 전의 컵단면적[mm²], A_f 는 각 성형단계 성형후의 컵단면적[mm²]이다.

3.4.3 시험규칙(Test rules)

시험규칙 1) 드로잉 작업시 한계 드로잉비(LDR) 이상으로 성형할 수 없다.^{(1), (3)}

시험규칙 2) 초드로잉 작업시 한계 드로잉비(LDR)는 2.2로 한다.^{(1), (3)}

시험규칙 3) 두 번째 드로잉이라면 한계 드로잉비(LDR)는 1.35로 한다.^{(1), (3)}

시험규칙 4) 세 번째 이후의 드로잉이라면 한계 드로잉비(LDR)는 1.25로 한다.^{(1), (3)}

시험규칙 5) 아이어닝 작업시 한계 단면적 감소

을 이상으로 성형할 수 없다.⁽¹⁾

시험규칙 6) 아이어닝 작업시 한계 단면적 감소율은 35%이다.^{(3), (6)}

시험규칙 7) 각 성형단계에서 총 한계 단면적 감소율은 50%이다.⁽¹⁾

시험규칙 8) 각 성형단계의 펀치 직경은 최소 2%이상 감소하여야 한다.⁽³⁾

시험규칙 9) D.D.I 공정으로 생산하는 제품이면 최종제품의 바닥두께는 벽두께의 두 배 이상이 되어야 한다.⁽¹⁾

시험규칙 10) 블랭크의 직경은 다음조건을 만족하여야 한다.⁽¹⁾

$$D = b_1 \cdot b_2 \cdot \dots \cdot b_n \cdot d_o \quad (17)$$

여기서, D 는 블랭크의 절삭가공과 열처리 후의 직경[mm], b_1 는 1차 성형단계에서의 드로잉비, b_n 는 n 차 성형단계에서의 드로잉비이다.

시험규칙 11) 2차 성형단계와 3차 성형단계, ...에서 드로잉비는 n 차 성형단계의 드로잉 여유량을 고려하여, 2차 성형단계의 드로잉비가 한계값에 이르지 않도록 2차 성형단계와 3차 성형단계의 드로잉비를 조정하고, 다음 조건을 만족하는 기하평균을 이용한다.⁽¹⁾

$$b' = \sqrt[n]{\frac{b_{2,pre} \cdot b_{3,pre} \cdot \dots \cdot b_{n,pre}}{b_{2,max} \cdot b_{3,max} \cdot \dots \cdot b_{n,max}}} \quad (18)$$

$$b_2 = b_{2,max} \cdot b', b_3 = b_{3,max} \cdot b', b_n = b_{n,max} \cdot b'$$

여기서, $b_{2,pre}$ 는 2차 성형단계에서의 예비 드로잉비, $b_{n,pre}$ 는 n 차 성형단계에서의 예비 드로잉비, $b_{2,max}$ 는 2차 성형단계에서의 한계드로잉비, $b_{n,max}$ 는 n 차 성형단계에서의 한계드로잉비이다.

시험규칙 12) 드로잉 및 아이어닝 작업시, 넥킹(necking) 및 찢어짐(tearing)이 발생하지 않으려면 아래 두식을 만족하여야 한다.⁽⁸⁾

$$F_{forming} < F_{press} \quad (19)$$

펀치 선단부를 통해 전달가능한 최대 하중보다 작아야 한다.

$$F_{forming} < F_{t,max} \quad (20)$$

여기서,

$$F_{t,max} = \pi \cdot d_m \cdot t_o \cdot \sigma_u \quad (21)$$

여기서, d_m 는 제품의 평균직경[mm], σ_u 는 소재의 극한인장강도[kgf/mm²]이다.

시험규칙 13) 아이어닝 작업시, 소성불안정 현상이 발생하지 않으려면, 아래 두 식을 만족하여야 한다.⁽⁹⁾

$$\sigma_z' = \frac{4}{3} \cdot n \cdot K \cdot \bar{\epsilon}^{n-1} \quad (22)$$

여기서, $\bar{\sigma} = K \cdot \bar{\epsilon}^n$, K 는 소성계수(plastic coefficient), n 는 소재의 가공경화 지수이다.

위의 조건을 사용하여 하중과 비교하여 소성불안정 현상이 발생하지 않는 영역을 아래와 같이 판별하였다.

$$\sigma_z \leq \sigma_z' \quad (23)$$

여기서, σ_z 는 펀치 선단부에 걸리는 축방향응력[kgf/mm²], σ_z' 는 소성불안정이 발생하는 축방향응력[kgf/mm²]이다.

시험규칙 14) 성형하중이 프레스 용량을 초과하면 성형할 수 없다.⁽¹⁾

시험규칙 15) 초드로잉 작업시 폴딩 현상이 발생하지 않으려면, 블랭크의 두께에 대한 펀치 직경비(d_p/t_o)와 블랭크 직경비(D/t_o)를 구하여 적용할 때, Fig. 10의 곡선의 왼쪽 아래 영역에 위치하여야 한다.⁽¹⁾

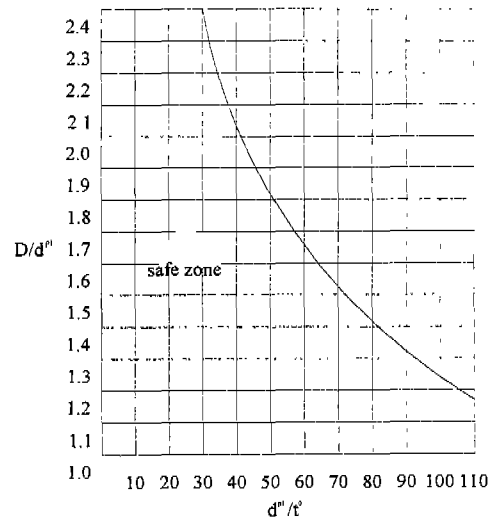


Fig. 10 Folding check diagram for cup drawing.

4. 시스템의 적용 및 고찰

본 연구에서는 고압가스 용기의 제작을 위해 개발된 D.D.I. 공정설계 자동화 시스템에 직경-232.0,

두께-5.4, 높이-1385.0 제품을 적용하여 각 모듈에서 수행된 결과를 고찰하고자 한다.

시스템의 구동은 입력 모듈, 공정설계 모듈 및 도면편집 모듈 순서로 순차적으로 실행된다.

4.1 입력(Input) 모듈

사용자가 Fig. 11 (a), (b), (c) 및 (d)와 같이 시스템에 입력을 시키면 시험규칙 1, 2, 3) 및 시험규칙 9)을 이용하여 입력된 데이터를 바탕으로 트리밍 여유량과 스피닝 여유량을 고려한 제품의 체적을 계산하고 AutoCAD 화면상에 출력한다.

4.2 공정설계(Design process) 모듈

입력모듈에서 계산된 최종제품의 체적과 블랭크의 체적이 체적일정조건에 따라 같으므로 설계규칙 1, 6), 시험규칙 4) 및 시험규칙 10)에 따라 이를 만족하는 블랭크의 두께와 직경이 결정된다.

1차 성형단계에서는 설계규칙 3, 7) 및 시험규칙 1, 2)에 의해 한계 드로잉비($b_1=2.2$)이 적용되었고, 설계규칙 8)에 의해 클리어런스는 1.05가 적용되었다. 설계규칙 17)에 의해 초드로잉 금형은 블랭크 홀더 없는 *tractrix* 다이로 설계되었다. 이렇게 1차 성형단계의 공정이 결정된 후, 결정된 블랭크의 두께와 직경을 이용하여 시험규칙 15)에 따라 결함발생가능성 검사(folding check)를 한다. 이러한

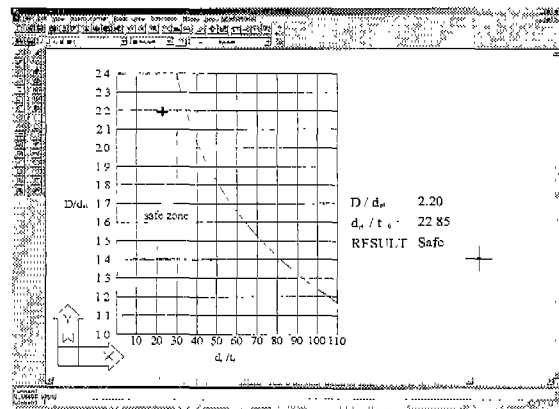


Fig. 12 Result of folding check.

1차 성형단계의 결함 발생가능성 검사를 한 결과가 Fig. 12에 나타나 있다.

2차 성형단계에서는 재드로잉, 아이어닝 I, 아이어닝 II 순서로 공정이 설계된다. 재드로잉시 드로잉비는 설계규칙 9), 시험규칙 11)에 따라 3차 성형단계에서 재드로잉시 여유가 있으므로, 2차 성형단계에서 여유량을 고려하여 드로잉비($b_2=1.34$)로 설정되었으며, 클리어런스는 1.0이 적용되었고, 아이어닝시 설계규칙 18) 및 시험규칙 5, 11, 12)에 따라 아이어닝 I와 아이어닝 II에서의 단면적 감소율은 18.0%로 설계되었다.

3차 성형단계에서는 재드로잉 및 아이어닝 III 순서로 설계가 되었으며, 설계규칙 19, 22)에 따라 박삭성형 공정이 추가되었다. 또한, 설계규칙 10)에

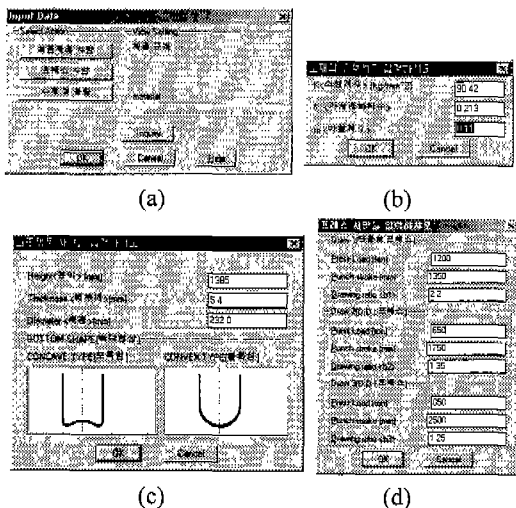


Fig. 11 DCL on input module.

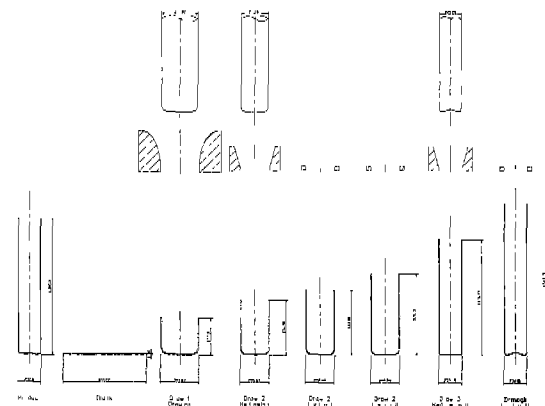


Fig. 13 Schematic drawing designed by system.

Outer diameter of product : 232.0 [mm]	Ratio of reduction area to the 1 st ironing of the 2 nd Draw : 12.2302 [%]
Wall thickness of product : 5.4 [mm]	Ratio of total reduction area to the 1 st ironing in 2 nd Draw : 37.7686 [%]
Length of product : 1385.0 [mm]	Height of cup after the 1 st ironing of the 2 nd Draw : 663.813 [mm]
Height of trimming allowance : 112.7 [mm]	Wall thickness after the 1 st ironing of 2 nd Draw : 9.67309 [mm]
Height of spinning : 50 [mm]	Diameter of the 2 nd ironing die of the 2 nd Draw : 289.291 [mm]
Total Volume : 639157e+006 [mm ³]	Section area of cup after the 2 nd ironing of the 2 nd Draw : 6917.63 [mm ²]
Thickness of blank : 11.5 [mm]	Ratio of reduction area to the 2 nd ironing in 2 nd Draw : 12.2302 [%]
Diameter of blank : 841.221 [mm]	Ratio of total reduction area to the 2 nd ironing in 2 nd Draw : 50.0 [%]
Section area of blank : 30391.9 [mm ²]	Height of cup after the 2 nd ironing of the 2 nd Draw : 826.184 [mm]
Drawing ratio of the 1 st Draw : 2.2	Wall thickness after the 2 nd ironing of 2 nd Draw : 7.82311 [mm]
Punch diameter of the 1 st Draw : 370.873 [mm]	Drawing ratio of the 3 rd Draw : 1.22837
Die diameter of the 1 st Draw : 395.023 [mm]	Punch diameter of the 3 rd Draw : 221.2 [mm]
Section area of cup after deep drawing of the 1 st Draw : 13835.3 [mm ²]	Diameter of redrawing die the 3 rd Draw : 235.282 [mm]
Ratio of reduction area after deep drawing of the 1 st Draw : 54.4771 [%]	Section area of cup after redrawing of the 3 rd Draw : 5048.53 [mm ²]
Height of cup after deep drawing of the 1 st Draw : 372.182 [mm]	Ratio of reduction area after redrawing of the 3 rd Draw : 27.0194 [%]
Drawing ratio of the 2 nd Draw : 1.34098	Height of cup after redrawing of the 3 rd Draw : 1178.49 [mm]
Punch diameter of the 2 nd Draw : 273.644 [mm]	Wall thickness after redrawing of 3 rd Draw : 7.0408 [mm]
Diameter of redrawing die the 2 nd Draw : 296.644 [mm]	Diameter of redrawing die of the 3 rd Draw : 232.0 [mm]
Section area of cup after redrawing of the 2 nd Draw : 10301.8 [mm ²]	Section area of cup after ironing of the 3 rd Draw : 3844.18 [mm ²]
Ratio of reduction area after redrawing of the 2 nd Draw : 25.5396 [%]	Ratio of reduction area to ironing of the 3 rd Draw : 23.8555 [%]
Height of cup after redrawing of the 2 nd Draw : 554.781 [mm]	Ratio of total reduction area to ironing in 3 rd Draw : 44.4293 [%]
Diameter of the 1 st ironing die the 2 nd Draw : 292.991 [mm]	Height of cup after ironing of the 3 rd Draw : 1547.7 [mm]
Section area of cup after the 1st ironing of the 2 nd Draw : 8609.71 [mm ²]	Wall thickness after ironing of 3 rd Draw : 5.4 [mm]

Fig. 14 Result of D.D.I. system running for diameter-232.0, thickness-5.4 Product.

의해 재드로잉시 두께감소가 발생하므로, 설계규칙 20, 21)에 따라 펀치에 테이퍼가 주어졌다. 각 성형단계의 설계결과가 Fig. 13에 나타나 있다.

4.3 도면편집(Drawing) 모듈

이 모듈에서는 결정된 공정설계 모듈의 계산된 값에 따라 Fig. 13에 보이는 것처럼 자동으로 설계가 수행되었고, Fig. 14에 보이는 것처럼 문자파일로 출력이 되었다.

4.4 결과 비교

직경-165.2, 두께-3.89, 높이-920.0 인 제품을 시스템에 적용시켜 나온 결과를 Table 3과 같이 영국 필딩사(Fielding Ltd.)에서 제안한 것과 비교하면, 개발된 시스템에서 계산된 공정이 타당함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 고압가스 용기를 제조하는 데 있어 신 공법인 D.D.I (deep drawing & ironing) 공정의 설계에 관한 규칙을 정립하고 자동설계 시스템을 개발하였다.

개발된 자동설계 시스템을 이용함으로써, 초보자의 경우라도 숙련된 기술자 수준의 결과를 쉽게 얻을 수 있다. 이러한 공정설계 자동화 시스템은 설계에 필요한 시간 단축으로 인한 제품의 적기공

Table 3 Compare results between system and Fielding Ltd. for diameter-165.2, thickness-3.89 product.⁽¹⁾

Draw	Dimension	System [mm]	Fielding Ltd. [mm]
Blank		φ 558.85	φ 548.0
1 st Draw	die	φ 263.92	φ 269.0
	punch	φ 245.02	φ 250.0
	thickness	9.09	9.5
2 nd Draw	die	φ 199.17	φ 196.5
	punch	φ 187.32	φ 185.0
	thickness	5.93	5.75
3 rd Draw	die	φ 165.2	φ 165.2
	punch	φ 157.42	φ 157.42
	thickness	3.89	3.89

급을 가능하게 하여 제품 경쟁력 상승에 기여할 수 있다. 개발되어진 시스템이 앞으로 나아가야 할 방향은 다음과 같다.

1. 정확한 설계를 위해서 CAE와의 연계를 용이하게 할 수 있어야 한다.
2. 지속적인 연구를 통하여 금형설계 자동화 시스템 개발로 이어져야 한다.

후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형 가공 연구센터(ERC/NSDM)를 통한 한국과학재단 우수 연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Brochure of Fielding Co. Ltd, UK, 1998.
2. 최재찬, 김철, 최영, 윤지훈, 정성윤, "고압가스 용기를 위한 Deep Drawing & Ironing(D.D.I) 공정설계 시스템 개발에 관한 연구," 대한기계학회, 추계학술대회 논문집, pp. 957-961, 1999.
3. C. Iliescu, "Cold-Pressing Technology," pp. 257~398, 1990.
4. 김세한, 한윤희, 이승희, "금형설계 자료집," pp. 247-366, 대광서림, 1992.
5. National Machinery, "Tool Design and Part Shape Development for Multi-die Cold Forming"
6. Mi, X, Yang. Y., Liang. Y, " Experimental Study on Ironing of Stainless Steel and Optimization of Process Parameters," pp. 1653~1656, 1993.
7. K. T. Chang and J. C. Choi, "Upper-Bound Solutions to Tube Extrusion Problems Through Curved Dies," Trans. of ASME J. Eng. Ind., pp. 1108-1112, 1972.
8. 전기찬, 박관금속의 성형, 반도출판사, pp. 155~177, 1993.
9. W. Schmid and J. Reissner, "Critical Deformation In The Ironing of Deep-Draw Cups," Int. J. Mech., pp. 597-604, 1982.
10. B. Avitzur, "Handbook of Metal-Forming Processes," pp. 581-739, 1983.
11. D. M. Woo, "Analysis of Deep-Drawing Over a Tractrix Die," Tran. ASME, J. Eng. Mater. Tech., pp. 337-341, 1976.
12. Brochure of NK Co. Ltd, "Pressure Vessels," pp. 8-9.