

원통형 용기의 다단계 딥드로잉 공정설계에 관한 사례 연구

김두환*

(1998년 3월 26일 접수)

A Case Study on the Process Planning for Multi - Stepped Deep Drawing of Complex Circular Shells

Doo Hwan Kim

Abstract

This article is aimed primarily at establishing a process planning method for complex circular shells. For the deep drawing of complex shaped shell, the optimum process design is required to reduce the trial cost, improve the quality, increase the productivity and shorten the delivery. The present approach which is related to the optimum process planning is based on the empirical knowledge through trial and error in the industrial field. In order to check the validity and the effectiveness of proposed work, a sample process design has been applied to the multi-stepped deep drawing of complex shell considering the process variables such as drawing rate, radius and blank development. In particular, the difference between the limiting drawing rate and the optimum drawing rate has been discussed and the usefulness of present suggestion has been shown.

Key Words : Multi - Stepped Deep Drawing, Process Planning, Empirical Knowledge, Drawing Rate

1. 서론

딥드로잉 가공은 얇은 박판(Sheet Metal)으로 용접이나 리벳(Rivet) 등의 공정을 거치지 않고, 이음매 없는 중공의 용기를 다단계(Multi-Step)로 나누어 성형하는 소성가공의 한 부류이며, 이 가공의 소성변형거동은 매우 복잡하다. 특히 원주 방향으로 압축응력(Circumferential Compression)이 작용하기 때문에 주름(Wrinkles)이나 파단(Tears)과 같은 결함(Defects)이 종종 발생된다. 그러므로 최종 몸통 직경 까지 성형을 하기 위한 최적 공정

설정과 용기의 측벽 두께(Wall Thickness)에 대한 박육(Thickness Thinning)현상을 예측 및 최소화 하는 것이 딥드로잉 가공의 중요 연구과제이다.

최근 이 분야의 공정설계에 관련된 연구 논문들이 다수 보고 되고 있다.^(1~5) 그러나 대부분 컴퓨터를 이용한 설계 자동화에 비중을 둔 내용들이다. 그러한 시스템들의 산업 분야에 응용 여부는 아직 미지수이며, 일부 응용되고 있더라도 제한적이어서 이 분야에 대한 좀더 많은 연구가 진행되어야 한다고 사료된다.

본 연구에서는 딥드로잉 공정설계에 관한 관련 자료의

* 만도기계(주) 생산기술원

유용성 검증과 공정설계의 절차 확립 및 대량 생산성을 고려한 딥드로잉 공정변수(Process Variables)들의 정립을 목적으로 하였다. 본 연구의 특징은 복잡한 소성이론(Plasticity Theory)은 배제하고 아주 기본적인 기초 이론과 핸드북에 나와 있는 경험식(Empirical Equation), 시행착오를 통한 경험지식(Empirical Knowledge) 및 실험자료(Experimental Data) 등을 토대로 고찰하였다.

상기 제품의 가공 공정은 크게 블랭크 전개(Blank Development), 몸통(Body)부 성형, 머리(Head)부 성형 및 트리밍(Trimming), 피어싱(Piercing) 과 같은 후가공의 4단계로 대별하였다.⁽⁶⁾

본 연구에서는 머리부 성형을 고려한 몸통부 성형 최적 공정 설계에 관련된 드로잉 율(Drawing Rate), 펀치와 다이의 반경(Radius) 및 클리어런스(Clearance) 등의 성형 공정변수(Process Variables) 중에서, 특히 딥드로잉 강(KS, SCP3 상당)의 드로잉 율(Drawing Rate)에 관한 관련 자료⁽⁸⁻¹⁵⁾의 유용성에 대해 검증을 수행하였다.

2. 딥드로잉 공정설계의 단계별 방법론 분석

2.1 블랭크 치수(Flat Blank Size)의 결정

공정 설계를 수행하는데 있어서 가장 먼저 해야 할 단계가 정확한 블랭크를 전개하는 것이다. 일반적으로 소성가공 이론을 전개할 때 최초 판 두께(Initial Sheet Thickness)가 변하지 않는다는 가정하에서 이론을 정립한다. 그러나 실제로는 최초 두께의 15~25% 정도 감소되며, 국부적으로는 50% 정도⁽⁷⁾ 까지 얇아지므로 두께 변형을 고려해야 한다. 만일 두께의 얇아짐을 고려하지 않고 계산한다면 치수가 커져 드로잉성에 많은 영향을 끼쳐 제품의 품질이나 공정 수의 증가를 가져오는 경우도 있다. 특히, 두께 감소로 말미암아 블랭크 치수에 상당한 영향을 주는 것이 트리밍 여유(Trimming Allowance)이다. 적절한 여유를 주어 계산해야 하지만, 경우에 따라 지나치게 벽 두께가 얇아질 것으로 예측될 때는 트리밍 여유를 고려하지 않아도 된다.

실험상으로 볼 때, 계산치 보다 실제 블랭크 치수는 약 2~5% 정도 작아지는 경향이 있다. 또한 프레스의 성형 속도에 따라 다소 차이가 발생되는데, 예를 들면 유압식에서는 치수가 적정했는데 기계식에서 부족한 경우도 종종 발생되므로 주의해야 한다.

딥드로잉 용기(Shell)에 대한 블랭크 치수 전개 방법들이 많이 연구되어 왔다. 대부분 다음 3가지 방법들에 의해

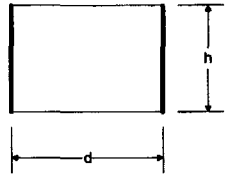
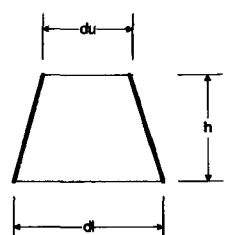
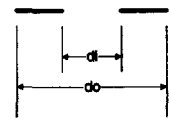
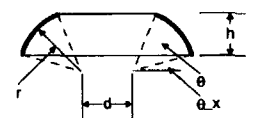
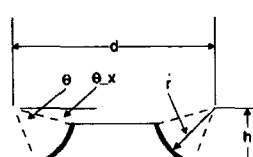
행해지고 있다.⁽²⁾

- 수학적 계산 방법
- 도해(Graphical Layouts)에 의한 방법
- 양자 혼용에 의한 치수 결정 방법들이 있다.

본 연구에서의 블랭크 치수 계산은 Press Hand Book에 정의된 공식을 이용하여 제품의 표면적을 계산하는데 Table 1의 형상 요소(Shape Element)를 공식으로 정의 하였다.⁽⁸⁾

위에서 소개된 방법을 이용하여 대상 제품의 표면적(Surface Area)이 계산되면 이 값을 다음 식(1)에 대입하여 블랭크 치수를 구하며, 만일 형상이 단순한 원통 형

Table 1 Deep drawing shape elements

Shape element	형상 및 매개 변수
Cylinder	
Cone	
Ring	
Convex ring	
Concave ring	

상일 경우에는 간단한 Table를 이용하여 최초 블랭크 치수를 구할 수도 있다.⁽⁸⁾

$$D = 1.128\sqrt{\text{Surface_area}} \quad (1)$$

2.2 몸통부 드로잉에 필요한 최소 공정 수 및 최적 공정 수의 결정

2.2.1 한계 드로잉 율(Limiting Drawing Rate, LDR)에 의한 최소 공정 수의 결정

블랭크 치수가 결정되면 이 블랭크(Blank)로 제품도에 명기된 몸통부 직경을 갖는 형상으로 성형하기 위하여 필요한 최소 공정 수를 결정해야 한다. 최소 공정 수 결정에는 상대 판 두께비를 고려한 한계 드로잉 율(Limiting Drawing Rate) Table 2가 이용된다.⁽⁸⁻¹⁷⁾

최소 드로잉 공정 수를 구하기 위해 이 표에서 상대 판 두께비(Thickness-to-Blank Diameter Ratio)를 고려하여 최소 드로잉 공정 수를 구한다. Table 2에 관련된 한계 드로잉 율(m)은 다음 식(2) 와 같이 나타낸다.

$$m_1 = d_1/D, \quad m_2 \sim m_n = d_2/d_1 \sim d_n/d_{n-1} \quad (2)$$

여기서 m은 한계 드로잉 율이며, d는 각 공정(Step)의 몸통부 내경, n은 드로잉 공정 수, D는 블랭크 직경, t는 최초 판 두께이다. Fig. 1과 Fig. 3의 실선은 재료 SPCE, t=2.3에 대한LDR Table 2에 의해 계산된 최소 드로잉 율(LDR)과 공정 수를 Graph로 나타낸 한 실례이다.

2.2.2 최적 공정 수의 결정

다단계 재 드로잉 (Multi - Stepped Redrawing)을 요하는 제품들은 단지 몇 천 개 정도 생산하기 위한 공정설계라면 2.2.1절에서 결정된 최소 드로잉 공정 수 그대로 사용해도 무리가 없을 것이다. 그러나 수 십만 개 이상의 대량 생산일 경우 공정 설계는 보다 안전한 방향으로 이루어져야 한다. 즉, 생산성, 금형 수리비, 품질 등 총 원가(Total Cost)를 고려하여 문제 없이 원활한 가공을 하기 위해서는 공정간의 가공 균형성 유지 즉, 드로잉 율 재분배와 드로잉성(Drawability) 향상을 위해 공정 수를 최소 공정 수에서 1공정 정도 추가하여 여유 있는 가공을 하는 편이 바람직하다는 것이 고찰되었다

다음에 최적 공정 수 결정 여부의 판단에 관련된 총 축소량(Cumulative Reduction)을 계산하는 간단한 경험식(3), (4), (5)를 다음과 같이 나타내었다.⁽¹⁶⁾

$$\%R = (\alpha Dt - \alpha d_1 t)100/\alpha Dt = [(D - d_1)/D]100 \quad (3)$$

$$\%R_{total} = [1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \dots (1 - R_{n-1})]100 \quad (4)$$

$$d_f = D(1 - R_{total}) \quad (5)$$

여기서 R은 축소율(Percentage Reduction)이며, D는 블랭크 직경, d_n는 n번째 공정의 직경, R₁~R_n은 1공정에서 n번째 축소량이고, R_{total}은 총축소율, d_f는 최종 몸통 직경(Final Body Diameter)이다. 이 경험식은 몸통 직경 d_f 까지 드로잉 하는데 필요한 총 축소율이 된다.

이러한 식들을 다시 드로잉 율(m)로 바꾸어 표현하면 다음과 같다.⁽¹⁷⁾

Table 2 Limiting drawing rate tables for cylindrical shells of various mild Steels^(8,10)

No. of Step	drawing rate	Ratio of thickness of materials and blank diameter t/ D (%)					
		2.0 ~ 1.5	1.0 ~ 0.6	0.6 ~ 0.3	0.3 ~ 0.15	0.15~0.08	
1	m ₁	0.48~0.50	0.50~0.53	0.53~0.55	0.55~0.58	0.58~0.60	0.60~0.63
2	m ₂	0.73~0.75	0.75~0.76	0.76~0.77	0.78~0.79	0.79~0.80	0.80~0.82
3	m ₃	0.76~0.78	0.78~0.79	0.79~0.80	0.80~0.81	0.81~0.82	0.82~0.84
4	m ₄	0.78~0.80	0.80~0.81	0.81~0.82	0.82~0.83	0.83~0.85	0.85~0.86
5	m ₅	0.80~0.82	0.82~0.84	0.84~0.85	0.85~0.86	0.86~0.87	0.87~0.88

Workpiece Material - Rst 14(SAE),

Source : Complied from,⁽¹⁸⁾ Converted by^(8,10)

$$d_f / D = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \dots m_{n-1} = m_{total} \quad (6)$$

$$d_f = D \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \dots m_{n-1} \quad (7)$$

위 식에서 총 드로잉 율($K=d_f/D$)은 마지막 몸통 직경을 성형하기 위한 절대값으로 $K=m_{total}$ 이 되어야 하며, 만일 $K > m_{total}$ 로 되면 어느 공정에서 지나치게 가공량이 많다는 것을 의미하므로 공정간 m 의 양 재 분배가 이루어져야 한다. 여기서 K 와 m_{total} (최소 Cumulative Drawing Rate)의 관계에 따라 공정 수 추가 여부를 결정지으며 일정한 범위를 벗어날 경우 공정 수를 1공정 정도 추가하여 최적 공정 수를 결정짓는 것이 바람직하다.

본 연구에서 얻어진 최적 공정 수 결정에 관련된 경험식 (8), (9)를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K - m_{total} < [(8 \sim 9)K] / 100 \text{ 일 경우,} \\ \text{[최소 공정 (n)+1]} \quad (8)$$

$$K - m_{total} \geq [(8 \sim 9)K] / 100 \text{ 일 경우,} \\ \text{[최소 공정 수(n)+0]} \quad (9)$$

위 경험식은 최초 판 두께가 1.6~2.3 mm 범위(또는 상대판 두께비 0.6이상)에 적용하는 것이 이상적이며, Fig. 1과 Fig. 3의 점선은 최적 공정 수 결정 방법에 의해 설계된 한 실례이다.

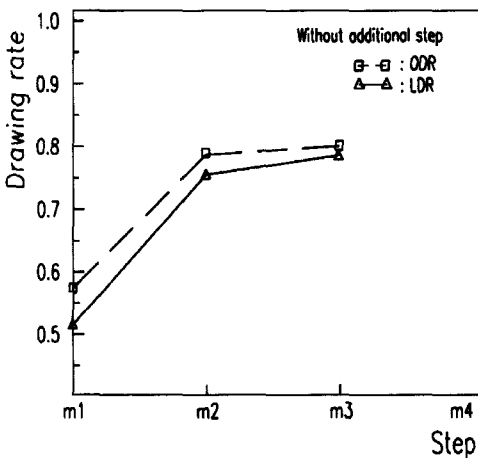


Fig. 1 Comparison of variations of optimum drawing rate and limiting drawing rate in each step of deep drawing

2.3 최적 공정 수 결정에 따른 드로잉 율 재 분배와 공정 별 몸통부의 결정

최적 공정 수 결정에 따라 공정간 드로잉 율의 재 분배는 최소 공정 수의 결정 과정에서 1차 결정된 공정별 직경을 공정간 드로잉 율에 비추어 조정하여 안전하고 균형 있는 가공이 되도록 공정별 직경을 재 결정하는 과정이다. 또한 재 분배는 공정간 가공의 균형을 유지하여 가공 중 파단이 일어나거나 특정 부분의 두께가 얇아지는 것을 방지하고 머리부 성형을 용이하도록 하는 것이다.

몸통부의 드로잉 최소 공정 수를 결정하는 과정에서 각 공정별 몸통부 직경도 이미 결정된다. 그러나 이 초기의 직경들은 한계 드로잉 율을 적용한 값이므로 공정설계에 바로 이용할 수는 없으며 공정별 직경을 다시 결정하기 위하여, 공정별 드로잉 율을 재 분배해야 함을 관찰하였다. 더우기, 2.2.1 절에서 설명한 대로 안전 공정 수를 확보하기 위해 1공정이 추가된다면 재 분배는 필수적이라고 보았다.

이 연구에서 드로잉 율의 재분배 원칙은 다음과 같이 적용하였다.^(6,9)

- m_1 을 소재 두께에 따라 C_1 이상으로 결정했다.
- $m_2 \sim m_n$ 을 $C_2 \sim C_3$ 정도로 결정했다.
- 공정이 진행됨에 따라 드로잉 율을 약간씩 증가 시켰다.(가공 경화를 고려)
- 전체적으로 m 값들을 비교하여 가공의 Balance를 유지하였다.

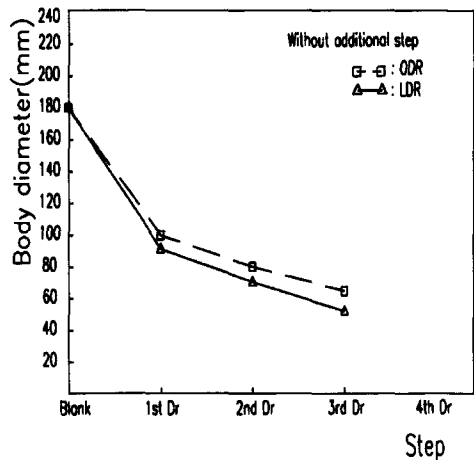


Fig. 2 Comparison of variations of body diameter for optimum drawing and limiting drawing in each step of deep drawing

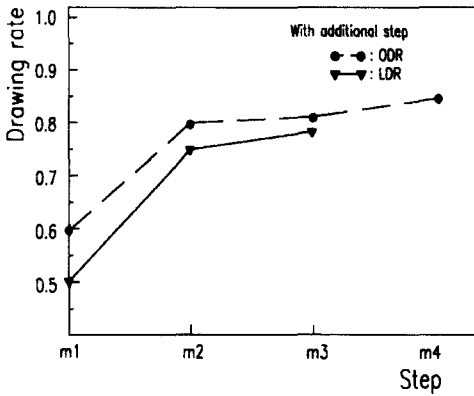


Fig. 3 Comparison of variations of optimum drawing rate and limiting drawing rate in each step of deep drawing

본 연구에서는 위의 재 분배 원칙과 2.2.2절에서 소개한 최적 공정 수 경험식을 연관 지어 고찰하였다. 일단 최적 총 드로잉 울(K)과 최소 총 드로잉 울(m_{total})의 차이가 클 수록 가공의 여유가 많은 상태이므로 드로잉 재 분배가 이루어 지도록 하였다. 그러나 그 차이가 적을 경우 충분한 드로잉성을 갖지 못하므로 최적 공정 수 결정 규칙에 따라 1공정이 추가 되도록 하였다.

여기서 고찰된 것은 가공 여유가 많다면, 소성변형이 가장 많이 되는 초기 드로잉 울(m_1)에 다소 큰 값을 적용하여 가공의 안전성을 높이는 것이 바람직하다. 따라서 공정 수 추가 여부에 따라 C_1 의 값을 결정해야 함을 알 수 있었다.

2.4 머리부 성형 공정 형상의 결정

몸통부 성형이 종료되어 제품이 원하는 몸통부 직경으로 되면, 다음 단계로 제품의 머리부를 원하는 형상으로 가공하기 위하여 단계별 머리부 성형을 거쳐야 한다. 머리부 성형 공정 설계에서는 각 공정에 대한 단계별 중간 성형 공정들의 단면 형상을 결정한다. 공정별 단면 형상(Profile)은 전반적으로 매끄러운 윤곽을 유지하여 재료 흐름(Metal Flow)이 원활하게 이루어지도록 한다. 또한 소재가 남거나 모자라서 제품이 쭈글쭈글해지거나 파단이 일어나지 않도록 전후 동일한 적정 표면적을 고려해야 한다. 그러나 실제 딥드로잉 가공 중 소재의 두께가 상당량 변하기 때문에 표면적이 일정하다고 볼 수 없다. 본 연구에서는 머리부 성형을 딥드로잉(Deep Drawing) 가공이라기 보다는 장출성형(Stretch Forming)으로 보아 다소 두께의 감소를 고려하였다.

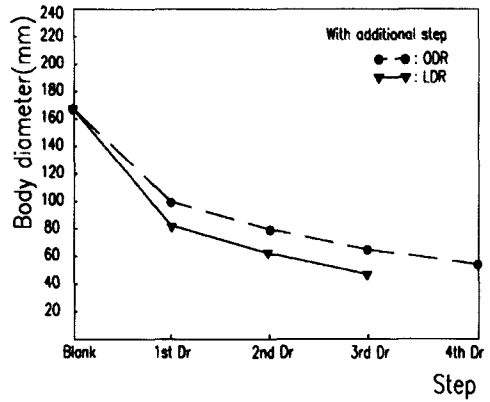


Fig. 4 Comparison of variations of body diameter for optimum drawing and limiting drawing in each step of deep drawing

여기에서도 몸통부 드로잉 울과 마찬가지로 머리부 성형 공정 설계의 몇 가지 Rule을 다음과 같이 적용하였다.

- 머리부의 드로잉 울(Drawing Rate) $m_1 = C_4 \sim C_5$, $m_2 \sim m_n = C_6 \sim C_7$ 정도로 결정하였다.^(6,9)
- 머리부 성형은 1공정에 1단차를 가공하였다.
- 중간 성형품의 각 단차의 높이는 표면적 일정 조건으로부터 결정하였다.
- 중간 성형품의 각 단차의 코너(Corner) 및 어깨(Shoulder)는 공정의 진행에 따라 약간씩 줄이는 개념으로 결정하였다.
- 머리부 단차의 복합 가공 여부는 과거 사례를 참고하여 결정하였다.

위와 같은 몇 가지의 원칙에 의해 설계된 예를 Fig. 5에 나타내었다.

2.5 드로잉 공정별 단면 형상(Profile) 결정

머리부 성형 공정 설계에서 각 공정별 직경과 드로잉 울이 결정되면 마지막으로 공정별 단면의 형상(Profile)을 결정하게 된다. 몸통부 드로잉 공정의 단면 형상 결정은 가공 중 파단이 일어나거나 특정 부분의 두께가 얇아지는 것을 방지하고, 몸통부 성형과 머리부 성형을 원활히 하는데 상당히 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 형상은 어깨 반경(Shoulder Radius), 코너 반경(Corner Radius), 높이(Height)로 구성되는데 이 중 어깨 반경과 코너 반경이 결정되면 높이는 공정별 중간 성형품의 표면적을 2.1절에서 소개된 방법으로 계산한 제품 표면적과 같다는 조건으로부터 구할 수 있다. 여기에서 공정별 단면의 형상은

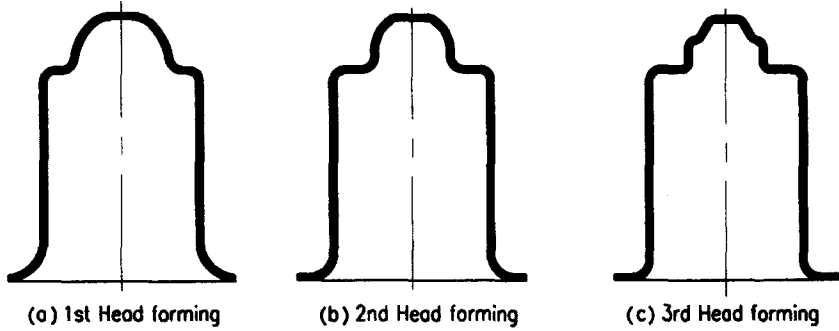


Fig. 5 Typical example of head forming using several design principles

펀치(Punch)형상에 의해 결정되며, 그 형상은 각(Angular) 또는 반경(Radial)으로 하는데 다이의 기본 형상에 따라 결정하게 된다.^(2,6) 기본 형상들은 Fig. 6과 Fig. 7에 각각 나타내었으며, 본 연구에서는 반경 형상(Radial Type)으로 실험하였다.

초기 드로잉 다이의 반경(Radius)은 다음의 Kaczmarek의 경험식(10)을 이용하여 결정하였다.⁽⁸⁾

$$R = 0.8\sqrt{(D-d)t} \quad (10)$$

여기서 D 는 블랭크 직경이며, d 는 몸통부 직경, t 는 최초 판 두께이다.

초기 드로잉 이후 각 공정(Step)별 펀치와 다이 반경은 동일한 치수 개념으로 순차적으로 작게 성형 시키는 방법으로 하였고, Step의 수, Shell의 두께, 재질 및 기타 딥 드로잉 변수(Deep Drawing Parameters)를 고려해서 작도할 때 최종적인 형상을 결정하였다.

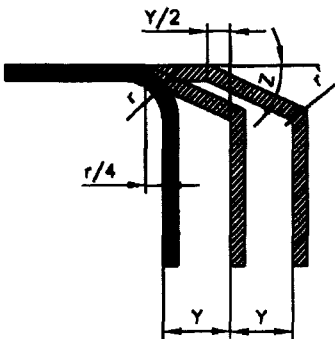


Fig. 6 Angular bottom corners layout for conical dies

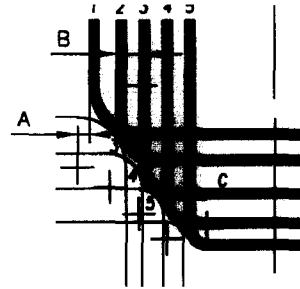


Fig. 7 Radial bottom corners layout for radial dies

3. 다단계 원통형 제품의 공정 설계 및 시제품 제작

3.1 최소와 최적 공정 수 비교 분석

최소 공정 수(한계 드로잉 율)에 의해서 계산된 각 공정별 드로잉 율 및 몸통 직경 변화의 관계와 최적 공정 수 공정설계법에 의해 실험된 공정별 드로잉 율 및 몸통 직경 변화 관계의 연구 결과는 다음의 Fig. (1),(2),(3),(4)와 같다. 그림을 살펴보면 공정별 드로잉 율의 변화와 직경의 변화가 일정한 경향을 보임을 알 수 있다.

여기에서 고찰된 것은 한계 드로잉 율 Table 2에 의해 계산된 Fig. 3결과가 최적 공정 수 설계 보다 1공정 정도 적은 것을 알 수 있다. 그리고 또 다른 고찰은 한계 드로잉 율 Table 2에서 계산된 최소 공정 수 그대로 사용하면 마지막 공정에서 여유가 너무 많다는 것을 알 수 있으며, 공정(Step)간 가공 균형(Balance)을 유지하기 위해 드로잉 율(Drawing Rate)의 재 분배가 반드시 이루어져야 함을 인식하게 되었다.

최적 공정 수에서 한계 드로잉 율 값보다 큰 값을 취한 이유는 두 가지로 보았다. 첫번째는 한계 드로잉 율 값이

실험실(Laboratory)에서 연구된 것들로 극한 상태의 수치(Limiting Drawing Ratio, 1.8~2.1^(14~16)) 들이며, 실제 응용에는 위험성이 높다. 두 번째는 박판의 재질, 금형 조건, 프레스, 블랭크 홀더의 장치 및 윤활에 따라 드로잉 성이 크게 영향을 받아 드로잉성이 향상되기 보다는 오히려 저하되기 때문이다. 또한, 초기 드로잉에서 드로잉을 값이 큰 것을 볼 수 있는데, 그것은 초기 드로잉에서 소성 변형(Plastic Deformation)이 가장 많이 일어나기 때문에 보다 안전한 가공을 하기 위한 것임이 본 연구를 통해서 고찰 되었으며, Fig. (1)과 (3)을 총합적인 드로잉 비로 표현하면 Fig. (8), (9)와 같다.

3.2 최적 공정 수에 의한 공정설계 및 시제품 제작 예상기 방법에 의한 공정설계로 시제품을 제작하여 상당히 양호한 결과를 얻었다. Fig.10은 최초의 판 두께가 2.3 mm이고, 재질이 SCP3(KS)인 제품에 관한 공정설계 연구 사례의 시제품 예이다. 제품 상태를 검토한 결과 내경 정도(Inner Diameter Accuracy) 및 진원도가 양호하였으며, 특히 두께 얇아짐(Wall Thinning)이 14% 이내로 만족할 만한 결과를 얻었다.

4. 결론

이상과 같은 연구를 통해서 다단계의 딥드로잉을 거치

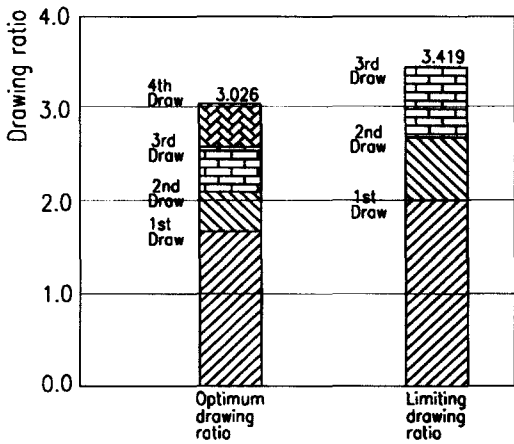


Fig. 8 Comparison of cumulative drawing ratio of optimum drawing ratio and limiting drawing ratio in each step of deep drawing with additional step

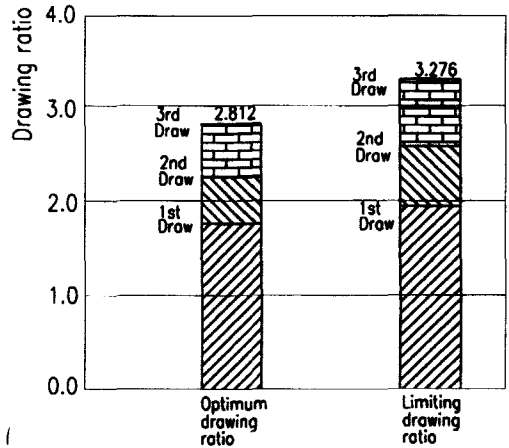


Fig. 9 Comparison of cumulative drawing ratio of optimum drawing ratio and limiting drawing ratio in each step of deep drawing without additional step

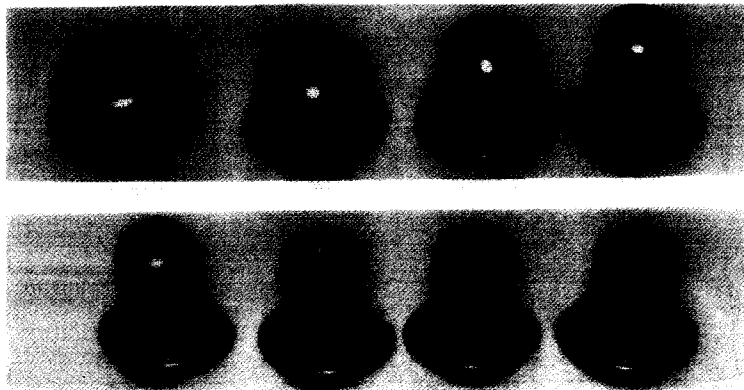


Fig. 10 Typical example designed by process planning method for multi-stepped deep drawing of complex circular shell

는 복잡한 원통형 용기에 대한 성공 여부를 결정 짓는 관련 공정변수(Process Variables)중 드로잉 율(Drawing Rate)에 대한 기존 자료의 유용성(Usefulness)을 검증하였고, 전문가의 경험 지식과 현장의 시행착오(Trial and Error or Tryout)를 통해 얻은 자료, 실제 실험 및 대량양산을 통해 최적 드로잉 율(Optimum Drawing Rate)과 몸통부와 머리부에 관련된 몇 가지의 설계 원칙 및 공정설계의 단계별 방법론을 확립하였다.

참고문헌

- (1) 박상봉, 최 영 외 3인, 1996, 축대칭 디프 드로잉 제품의 공정설계 시스템에 관한 연구 (I), (II), 한국소성가공학회지 제5권 제1호, pp. 27~36, 61~71.
- (2) X.D. FANG, M. TOLOUEI-RAD, 1994, Rule-Based Deep-Drawing Process Planning for Complex Circular Shells, Engng Applic. Artif. Intell. Vol. 7, No. 4, pp. 395~405.
- (3) Eshel, M. Barash, W. Johnson, 1986, Automatic Generation of Process Outlines of Forming and Machining Process, ONR Contract No. 83K0385, Final Report, Vol 5, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- (4) Zone-Ching Lin, Chi-Hui Huang, An Investigation of an Expert System Employing Chinese for Deep-Drawing of a Press Die Design, 中國機械工程學刊第十四卷第一期第 63~77頁 (民國八十二年).
- (5) Masatoshi Kitano, Enhanced PC(personal computer) Aided Metal-Die Applications Software, Technical Report, 1986, Vol. 32 No. 116, KOMASU CO. Japan.
- (6) 만도기계 생산기술원, 1997, "Deep Drawing 성형가공을 위한 금형설계 전문가시스템의 개발 연구보고서".
- (7) 日刊工業新聞社 編集委員會 編, 1982, "프레스 型設計 체크리스트", p. 252.
- (8) 太田 哲, 1990, 프레스加工と型技術, 日刊工業新聞社", pp. 54~61, 69~72, 79~83.
- (9) 日刊工業新聞社 編集委員會 編, 1984, "프레스技術, 第22卷 第13號, p. 66.
- (10) 日刊工業新聞社 編集委員會 編, 1993, "新프레스加工データブック", pp. 236~237, 233.
- (11) SCHULER CO., 1962, METAL FORMING, pp. 40~47.
- (12) Donald F. Eary and Edward A. Reed, 1974, Techniques of Pressworking Sheet Metal, Prentice-Hall, Inc., pp. 145~149.
- (13) 日刊工業新聞社 編集委員會 編, 1982, "프레스 型設計 체크리스트 pp. 173~174.
- (14) K. Lange, 1985, Handbook of Metal Forming, Mc-Graw-Hill Book Company, pp. 20.13~20.20
- (15) David A. Smith, 1990, Die Design Handbook, SME, pp. 10-10~10-15.
- (16) EDWARD M. MIELNIK, 1991, Metalworking Science and Engineering, McGraw-Hill Book Company, pp. 803~805.
- (17) Aida Engineering, Ltd, 1992, AIDA Press Handbook, pp. 100~103.
- (18) Romanowski, E., 1959, Handbook of Blanking Technology(in Germany), Berlin, VER Verlag Technik.