

## 원형컵 드로잉의 성형해석에 의한 최적설계

정완진\*, 김종호\*

### Optimal Design in cylindrical cup drawing by forming analysis

W.J.Chung, J.H.Kim (Seoul National University of Technology)

#### Abstract

A systematic investigation for the process design in deep drawing is necessary to improve the quality of drawn cups. This study concentrates mainly on the influence of process design strategy on the product quality. Several types of process design were chosen from initial blank of 100mm in diameter to make final cup of 50mm in diameter. Forming analysis are carried out to find out optimal design in terms of drawing force. We assume that the case which shows minimum drawing force in the subsequent operations is the best case. Through experiments it is found that the case which shows minimum drawing force also results in minimum drawing force and better product quality than other case. Thus, it is shown that this design strategy is very effective in the improvement of quality in drawn cups.

**Key Words** : Deep Drawing, Forming Analysis, Minimum Drawing Force, Product Quality

#### 1. 서론

현재 금속성형분야에서 디프 드로잉 공정은 성형품의 강도에 비해 경량이면서, 제조원가가 낮고 양호한 표면가공 및 높은 정밀도를 얻을 수 있는 장점이 있어 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 원형컵 제품의 경우에는 몇 단계 공정을 거쳐 제작되는 것이 일반적이며 여러번의 공정을 필요로 하는 제품이므로 중간공정설계에 따라 제품의 품질이 좌우되므로 중간공정 설계방법에

대한 체계적인 접근방법이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 같은 치수의 컵을 성형하는 데 있어 여러 가지 설계를 비교 검토함에 있어 해석적인 방법을 이용하여 연속적인 공정 중에 최소 드로잉 하중을 보여주는 공정을 최적공정으로 가정하였다. 실제 이에 따른 실험을 수행하고 드로잉 하중 및 성형품 품질을 관찰함으로써 해석을 이용한 평가의 신뢰성을 검증하고자 한다. 이와 같은 체계적인 방법을 제안하고 검증함으로써 원형 컵 드로잉 설계에 활용할 방법론을 제시하고자 한다.

\* 서울산업대학교

## 2. 유한요소해석을 이용한 공정설계

본 연구는 0.5mm의 STS 304를 가지고, Fig. 1과 같은 최종성형품을 만들기 위하여 공정설계를 하였다. 1차 드로잉공정으로 성형한 제품과 서로 다른 드로잉비를 적용시킨 두 개의 재드로잉 공정을 통해 두께 변화, 경도, 치수 정밀도, 성형품의 형상 등을 비교 검토하고자 한다.

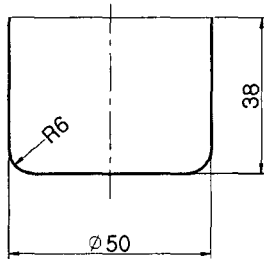


Fig.1 A finished cup after drawing

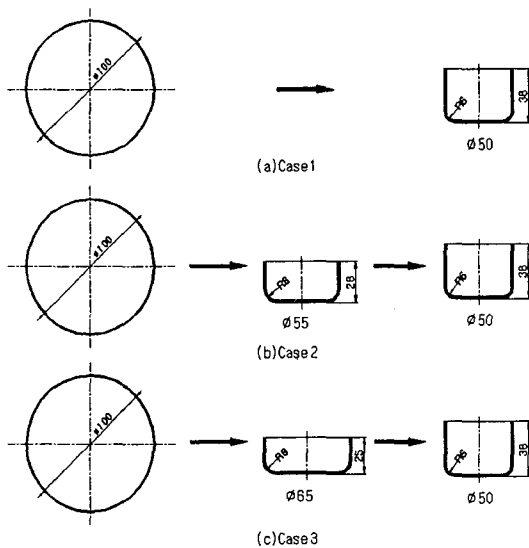


Fig. 2 Initial Process design

먼저 기존의 설계경험을 토대로 Fig. 2와 같은 초기설계를 하였다. 저자들에 의한 최근 실험에 의한 연구[1]결과 case2와 case3과 같이 2단계로 성형하는 것이 1번에 성형하는 것보다 좋은 결과를 얻을 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 case2나 case3 초 드로잉과 재 드로잉 시 성형력

이 불균일함을 확인할 수 있었다. 또한 성형결과를 검토한 결과에서도 Case 2와 Case 3의 공정 중 어느 것이 더 좋은 공정이라고 단정하기가 힘들었고, 균일 드로잉력을 가지는 공정설계를 적용하여 보다 나은 제품을 얻을 수 있을 것이라는 가정을 토대로 최적공정설계를 탐색하였다.

Case 2는 초드로잉력이 크고 Case 3는 재드로잉력이 크므로 Case 2와 3사이에 균일한 하중분포를 나타내는 공정이 존재하는 것을 예상할 수 있기 때문에 Case 2와 Case 3사이에서 초드로잉의 직경을 55mm에서 65mm의 범위에서 1mm 간격으로 변화시키며 초드로잉과 재드로잉에서 드로잉력이 균일하게 나오는 공정을 찾아 보았다.

본 연구에서는 균일 Drawing force를 가지는 공정설계를 탐색하기 위해 유한요소 해석 S/W인 Z-STAMP를 이용하여 3차원으로 1차 드로잉과 재드로잉 공정에 대하여 해석하였다. 소재는 3차원 솔리드모델러인 Pro/Engineer를 사용하여 금형설계에 맞게 모델링하였으며 Pro/Mesh를 사용하여 유한요소를 생성하였다. 1차 드로잉에 대한 메시 형상을 Fig. 3에 나타내었다. 금형의 경우는 삼각형의 유한요소를 생성하고, 다이 각 반지름과 펀치 각 반지름 부분의 경우는 보다 정밀한 해석을 위해 유한요소를 세밀하게 생성하였다. 해석에 사용된 물성치는 기존 문헌의 물성치데이터 및 인장시험을 통해 얻어진 결과를 적용하여 Table 1과 같이 입력하였다. 해석에 사용된 블랭크 홀딩력은 예비실험을 통하여 구하였으며 3절에 설명하였다.

Table 1 Material data for cup drawing analysis by Z-STAMP simulator

Young's modulus, $E(N/m^2)$	$19.60 \times 10^9$
Poisson's Ratio	0.28
Density( $g/cm^3$ )	7.20
Lankford value, $r_m$	1.12
Workhardening Constant, $K(N/m^2)$	$153.00 \times 10^6$
Workhardening exponent(n)	0.69
Thickness(mm)	0.50

### 3. 실험방법 및 측정방법

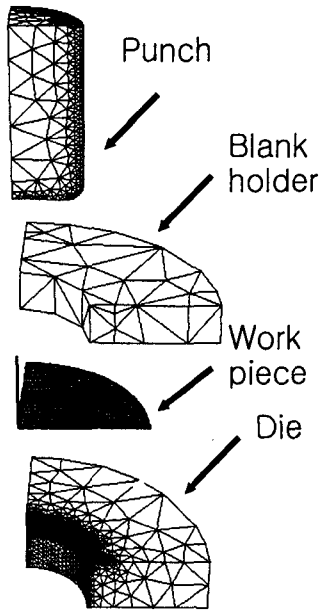


Fig. 3 A mesh for first drawing die

Fig.4는 해석결과 얻어진 드로잉력을 보여주며 이 결과에서  $\phi 59$ 일 때 드로잉력이 가장 균일하게 나타났으며 이 공정을 최적공정으로 선정하였다. 이 공정을 case 4로 명명하고 직경 59mm로 초드로잉한 다음 직경 50mm로 재드로잉하도록 한다.

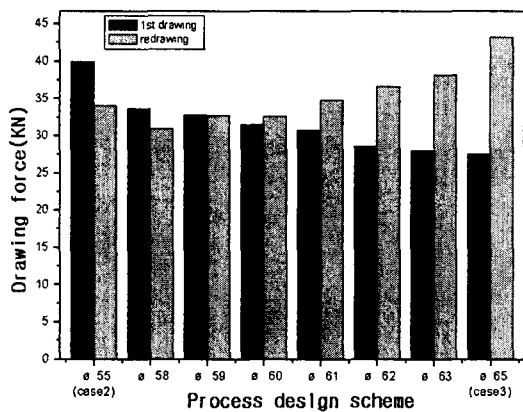


Fig. 4 Comparison of drawing force for process design scheme

실험은 만능 박판성형성 시험기에서 1차 및 2차 드로잉성형을 하기 위해 필요한 금형부품을 설계·제작하여, 윤활관계, 틈새(clearance), 펀치와 다이 각 반지름, 드로잉속도 등을 일정하게 유지시킨 후 예비실험을 통해 블랭크 홀딩력을 구하고, 얻어진 블랭크 홀딩력을 일정하게 유지시킨 후, 공정설계(1공정 완료, 3가지 드로잉률 변화에 따른 2공정 완료)에 대해 실험을 수행한다. 실험을 통해 얻어진 결과와 유한 요소 해석프로그램인 Z-Stamp를 통해 얻어진 이론 결과 등을 비교하여 이론해석의 유용성과 함께 실험의 정확성을 검증해보고자 한다. 블랭크 홀딩력 및 마찰조건 등의 공정조건들은 예비실험을 통해 설정되었으며 자세한 내용은 참고문헌[1]에 수록되어 있다.

Fig. 5에 실험에 의한 각 공정조건에 따른 드로잉하중과 스트로크(stroke)선도를 나타내는 것으로 각각의 경우에 대한 초드로잉 하중과 재드로잉 하중을 동시에 나타내었다. 최적공정으로 예측된 Case 4는 실제 드로잉 실험 결과에서도 초드로잉 시 45.1kN, R재드로잉 시 45.7kN으로써 드로잉하중이 거의 비슷하게 나왔고, Case 1에 비해 최대 드로잉하중 감소 비율이 1차 드로잉시는 26.7%, 2차 드로잉시는 25.7%로 나타났다. 또한 case 2와 case 3에 대해서도 현저하게 균일한 하중결과를 나타내어 두께가 보다 균일한 제품을 얻을 수 있을 것이라고 판단되었다.

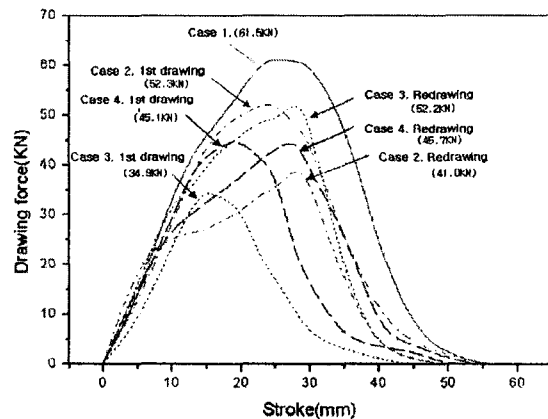


Fig. 5 Drawing force-stroke curve for STS 304 material for different process designs

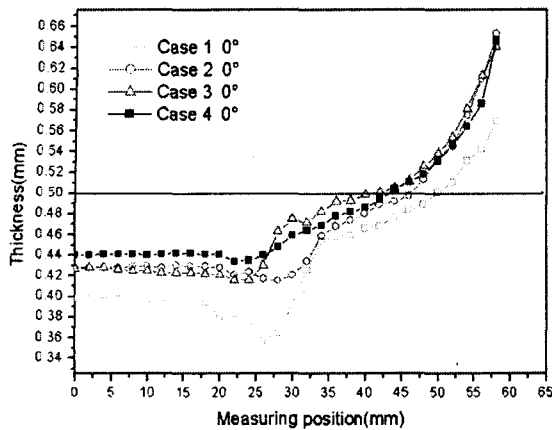


Fig. 6 Thickness distribution of STS 304 drawn cup w. r. t. the rolling direction

Table 2 Comparison of outer diameter for drawn cups

Process	Height		Variation ( $\Delta h$ )	Average of outer diameter ( $D_w$ )		
	Upper ( $h_{max}$ )	Lower ( $h_{min}$ )		0°	45°	90°
				h=30	h=30	h=30
Case 1	43.73	40.73	3.00	52.46	51.72	52.49
Case 2	42.06	39.19	2.87	52.49	51.86	52.19
Case 3	40.28	38.19	2.09	52.42	51.72	52.37
Case 4	40.38	37.31	3.07	51.88	52.23	52.27

Process	Dia. variation in cross-section ( $\Delta D$ )		Mean diameter ( $D_A$ )		Diameter variation to height direction ( $D_M$ )
	h=20	h=30	h=20	h=30	
Case 1	0.29	0.77	52.00	52.10	1.04
Case 2	0.27	0.60	52.23	52.10	0.23
Case 3	0.60	0.70	52.07	52.06	0.37
Case 4	0.19	0.39	51.80	52.13	0.34

Fig. 6에 실험에 의하여 측정된 두께분포를 나타내었는데 중심에서 25~30mm 거리에 있는 지점은 펀치 각 반지름 원호가 끝나 측벽과 연결되는 부분으로 이곳에서 재료 두께가 가장 얇게 되어 있다. STS304 소재는 가공경화지수 ( $n$ ) 값이 매우 큰 소재이므로 측벽과 플랜지에서 가공경화 현상이 크게 발생하여 그 영향으로 펀치 밀면에서의 두께감소가 현저히 나타났다.

제드로잉 공정으로 성형된 제품은 Case 1의 경우보다 고른 두께 분포를 나타내며, Case 2, Case 3, Case 4의 제품 밀면에서의 두께가 균일함을 알 수 있다. Case 4의 경우 가장 제품의 밀면부가 두께감소 현상이 적게 일어났고, 가장 균일한 두께 분포가 나타난다.

성형품 외경의 평균 치수 측정 결과가 압연방향 각도에 따라 Table 2에 주어져 있다. 압연방향에 따라 귀현상이 일어날 뿐만 아니라, 45도 방향에서 외경치수가 수십 미크론 작은 것으로 나타났다. 또한 높이 방향으로 20mm, 30mm위치에서의 치수비교에서는 밀부분 직경이 제일 작고, 높이가 증가에 따라 증가하다가 상부에서는 감소하는 경향을 보이고 있으며, 높이방향의 외경편차는 Case 1은 1.04mm를 보이고, Case 2는 0.23, Case 3은 0.37, Case 4는 0.34로 단일 공정인 Case 1이 다공정의 Case 2, Case 3, Case 4보다 치수 산폭이 큰 것으로 나타났다. 압연방향에 따른 진원도(평면방향의 외경편차)도 측정위치가 높을수록 편차가 증가하는데 Case 1의 경우는 그 편차가 0.6~0.77mm로 Case 2 0.27~0.60, Case 3 0.38~0.70, Case 4 0.19~0.39에 비해 크게 측정되었다.

#### 4. 결론

원형컵의 드로잉 공정설계에 있어 연속되는 공정이 균일한 하중으로 성형될 경우 최적의 결과를 얻을 수 있다. 가정하에 본 연구를 수행하였다. 유한요소해석에 의해 구해진 하중을 토대로 초드로잉 하중과 제드로잉 하중이 균일한 공정을 최적공정으로 선정하였다. 최적공정 및 기타 제안된 공정들에 대하여 실험을 수행하여 결과를 비교 검토한 결과 제안된 최적공정이 성형력에 있어서 균일하여 금형의 수명을 향상시킬 수 있고 저하중으로 성형할 수 있으며 제품품질에 있어서도 매우 우수한 결과를 보였다. 따라서 본 연구에서 제안된 균일하중을 갖는 공정설계가 최적공정이라는 가정과 유한요소해석을 이용한 하중예측 방법론이 매우 유효함을 입증하였다.

#### 참고 문헌

- (1) 이재명, 김중호, 원시태, " 원형컵 드로잉의 공정설계변화가 제품품질에 미치는 영향", 한국소성가공학회지, 제11권, 제8호, pp. 716-723.
- (2) Z-stamp User manual, Cubic Tech Co., 2002.