

## 경사면에 구멍이 있는 판재 부품의 프레스 드로잉에 관한 연구

이지호\*, 전차수\*\*,#

\*경상국립대학교 대학원 융합기계공학과, \*\*경상국립대학교 산업시스템공학부, 공학연구원

### A Study on the Press Drawing of a Sheet Metal Part with Holes on the Slope

Ji-Ho Lee\*, Cha-Soo Jun\*\*,#

\*Department of Convergence Mechanical Engineering, Gyeongsang National University,

\*\*Department of Industrial and Systems Engineering & Engineering Research Institute, Gyeongsang National University

(Received 02 August 2021; received in revised form 13 August 2021; accepted 23 August 2021)

#### ABSTRACT

In this study, to create circular holes on an inclined conic face, we developed a novel process of vertical piercing on the plane before drawing, instead of applying an expensive cam-piercing method. The pierced holes are deformed during the drawing, and their shapes are affected by the size of the center hole. Using the Abaqus CAE program, the deformation tendency of the holes, according to the diameter of the center hole, was identified, and the diameter for securing the roundness of the side holes were determined through actual experiments. The developed process was successfully applied to mass production of the part, and a cost reduction is expected.

**Keywords :** Press Working(프레스 가공), Drawing(드로잉), Hole Deformation(구멍 변형), Abaqus(아바쿠스)

## 1. 서 론

프레스 드로잉 부품의 경사면에 원형 구멍을 가공하기 위해서는 일반적으로 드로잉(drawing) 공정 후 캠 피어싱(cam piercing) 공정을 추가하게 된다. Fig. 1은 자동차 변속기 부품인 sun-plate의 프레스 가공 공정도인데, (a)는 기존 공법이고 (b)는 평면에 먼저 피어싱을 한 후 드로잉을 하는 개선 공법이다. (a)의 경우 캠 피어싱 금형 제작비가 많이 들 뿐만 아니라 제품을 양산할 때 금형 유지보수

비용도 증가하는 문제점이 있다.

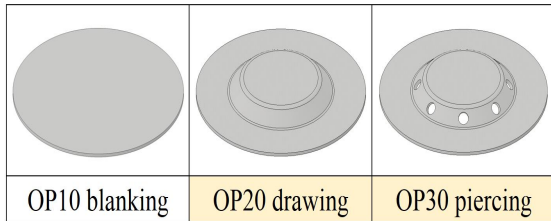
프레스 가공 중에서 드로잉은 프레스 가공기술이 집약되어 있어서 연구가 활발히 진행되고 있다. Kim 등은 다단 딥 드로잉(deep drawing)으로 압축용 셸 바디(shell body)를 성형하는 방법을 연구하였고<sup>[1]</sup>, Choi와 Kim은 알루미늄 소재를 사용하여 다단 드로잉 공정으로 제품을 성형할 때 각 공정마다 나타나는 품질 변화를 고찰하였다<sup>[2]</sup>. 이외에도 타이타늄이나 스테인리스 등 다양한 재질에 대한 드로잉 성형성에 관한 연구가 있었다<sup>[3-6]</sup>.

본 연구는 Fig. 1 (b)와 같이 프레스 드로잉 제품의 경사면에 원형 구멍(circular hole)을 만들기 위해 캠 피어싱 공정이 필요 없는 성형 방법을

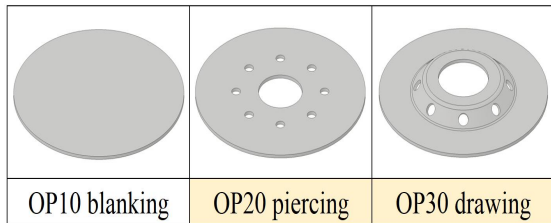
# Corresponding Author : csjun@gun.ac.kr

Tel: +82-55-772-1693, Fax: +82-55-772-1699

제안한다. 드로잉을 할 때 중앙 구멍의 크기에 따라 주변 구멍의 변형이 영향을 받는 것에 착안하여 주변 구멍의 진원도 공차를 보장하는 중앙 구멍의 크기를 찾는 것을 연구 목표로 정하였다.



(a) as-is process



(b) to-be process

Fig. 1 Processes diagram of press working

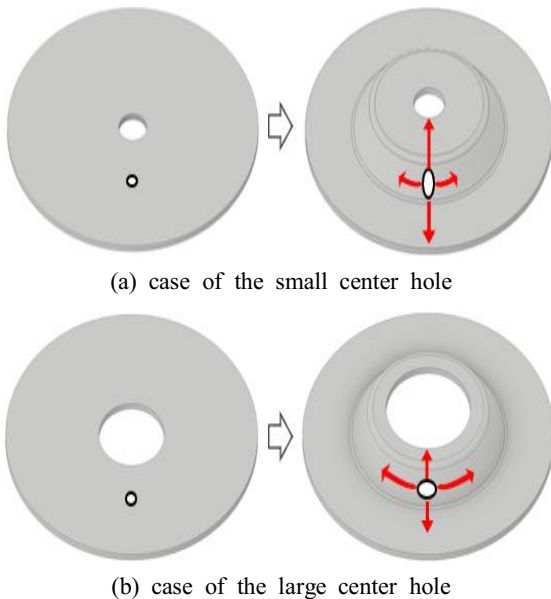


Fig. 2 Strain distributions & deformation of the side holes according to the center hole diameter

## 2. 드로잉 가공

드로잉은 평평한 철판을 펀치로 눌러 다이 안에 유입시켜 이음매가 없는 용기 모양으로 성형하는 가공법이다.

Fig. 2의 (a)와 (b)는 드로잉 가공 시 중앙 구멍 크기에 따른 경사면 구멍 부분의 변형을 분포를 나타낸다. (a)와 같이 중앙 구멍의 크기가 작으면 드로잉 시 반경 방향으로 인장력이 크게 작용하여 경사면 구멍은 세로로 더 길어지게 되고 (b)와 같이 중앙 구멍이 커지면 경사면의 구멍은 가로가 긴 타원 형상으로 변형된다.

## 3. 연구 방법 및 해석

### 3.1 연구 방법과 목표

소재의 중앙 구멍 크기에 따라 드로잉 가공 후 경사면의 구멍 형상이 결정되므로, 경사면에 진원도가 좋은 구멍을 만들 수 있는 최적의 중앙 구멍 크기를 구하기 위해 해석 프로그램을 사용하고자 한다.

Fig. 3의 (a)와 같이 드로잉 전 소재에 8개 주변(경사면) 구멍의 치수를  $\phi 7.2$ 로 설정하고, 이 구멍이 Fig. 3의 (b)와 같이 드로잉 후  $\phi 8.0 \pm 0.25$ 가 될 수 있는 중앙 구멍 크기를 구하는 것이 목표이다.

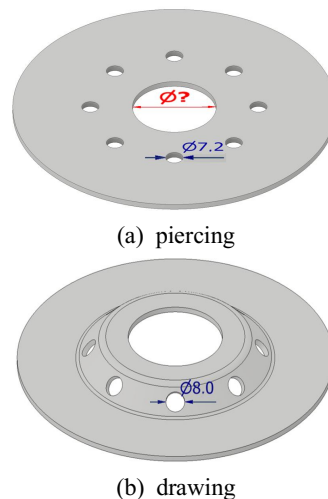


Fig. 3 Product shape with dimensions

본 연구에 사용된 소재는 자동차구조용 열연 강판 SAPH440이며 두께 t2.3, 소재 원판의 지름은  $\Phi 135$ 이다.

### 3.2 드로잉 해석

미리 피어싱 된  $\Phi 7.2$  구멍은 드로잉 가공 시 변형되어 전체적으로 커지게 된다.

그래서 모의실험을 통해 소재의 중앙 구멍 크기에 따라 드로잉 후  $\Phi 7.2$  구멍이 변형되는 경향을 확인하고자 한다.

Fig. 4와 같이 금형을 모델링하고 해석을 위해 상용프로그램인 Abaqus를 사용하였다. 소재의 중앙 구멍 크기는 각각  $\Phi 30$ ,  $\Phi 32$ ,  $\Phi 34$ ,  $\Phi 36$ ,  $\Phi 38$ ,  $\Phi 40$ 으로 총 6종에 대해 해석을 진행하였다.

### 3.3 해석 결과 및 분석

드로잉 시 구멍이 변형되는 경향을 알아보기 위해 일반적인 강판의 물성치를 적용하여 해석을 진행하였다.

Fig. 5는 소재의 각 중앙 구멍 크기에 따른 드로잉 공정의 해석 결과를 보여준다.

Table 1에서 소재의 중앙 구멍 크기에 따른 6종의 해석 결과를 치수로 나타내었다. 중앙 구멍 크기가  $\Phi 34$ 일 때, 경사면 구멍의 가로, 세로 길이의 차이가 0.03으로 가장 좋은 결과를 보였다.

Fig. 6은 중앙 구멍의 크기에 따른 경사면 구멍의 가로, 세로 길이의 변화를 그래프로 나타내었다. 중앙 구멍  $\Phi 34$ 와  $\Phi 36$  사이 경사면 구멍에서 진원도가 가장 좋게 나타났다.

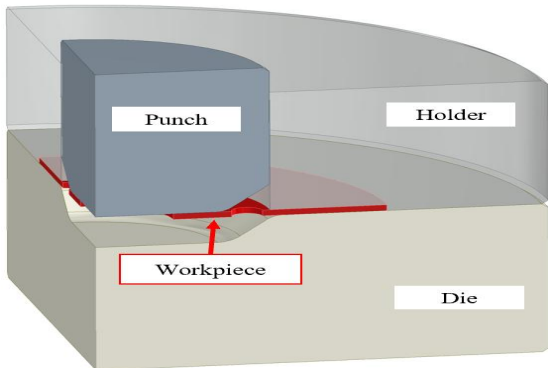
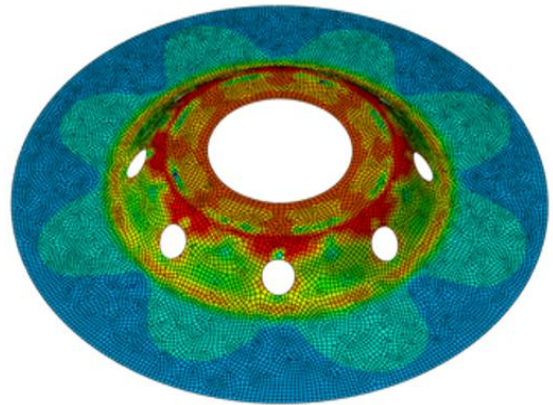
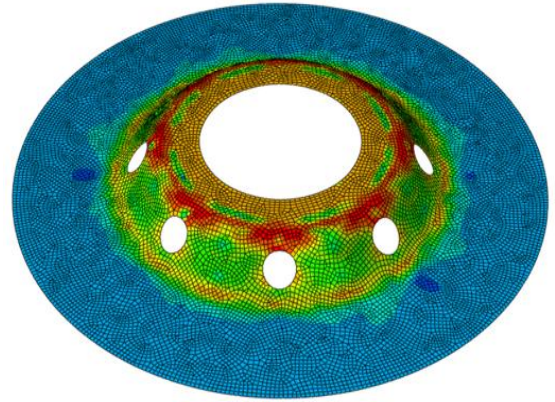


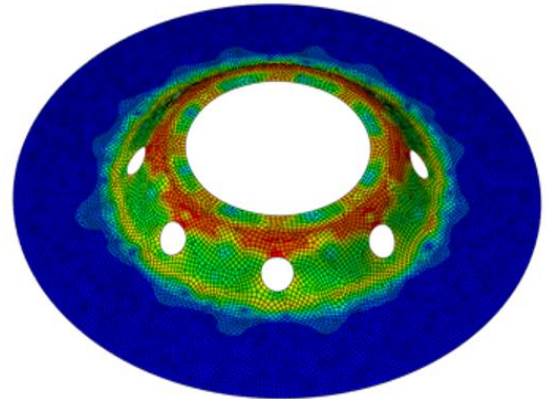
Fig. 4 Press die modeling for simulation



(a)  $\Phi 30$  center hole



(b)  $\Phi 34$  center hole

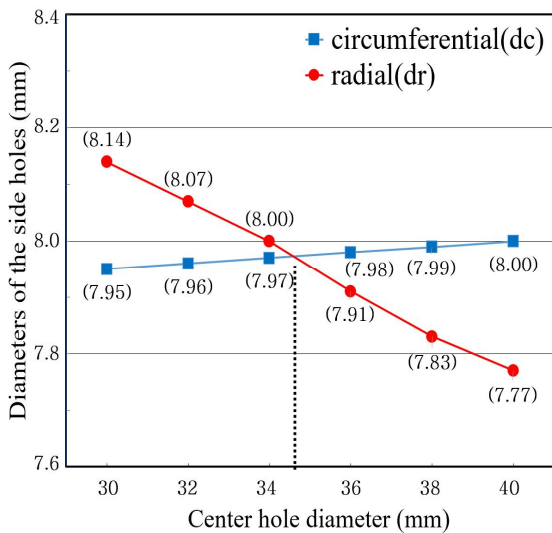


(c)  $\Phi 40$  center hole

Fig. 5 Simulation results according to center hole sizes

**Table 1 Hole deformation result in simulation**

No.	Center hole size	Φ8 hole size			Difference (dc-dr)	Remark
		Shape	Circumferential (dc)	Radial (dr)		
1	30.00		7.95	8.14	-0.19	
2	32.00		7.96	8.07	-0.11	
3	34.00		7.97	8.00	-0.03	Acceptable
4	36.00		7.98	7.91	0.07	
5	38.00		7.99	7.83	0.16	
6	40.00		8.00	7.77	0.23	



**Fig. 6 Deformation of a side hole according to the diameter of the center hole using Abaqus**

## 4. 실험 결과 및 고찰

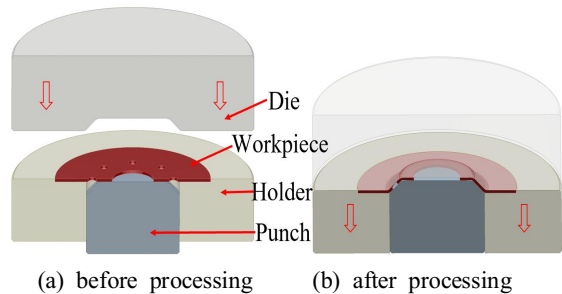
### 4.1 드로잉 실험 결과

해석과 같은 조건으로 중앙 구멍 크기의 샘플을 만들어서 실제 실험을 통해 결과를 비교하고자 한다.

편치를 하형에 설치한 상향 드로잉 금형을 제작하고, 해석할 때와 같이 중앙 구멍 크기를 Φ30에서 Φ40까지 2mm 간격으로 6종의 소재 샘플을 제작하여 실험하였다.

Fig. 7은 가공 전후 금형과 소재를 모델링한 것이며 Fig. 8은 드로잉 공정 후의 실제 샘플 형상이다.

Table 2는 실험 샘플의 측정값을 나타낸다. 실제 실험에서도 중앙 구멍의 크기에 따라 경사면 구멍의 변형은 시뮬레이션과 같은 경향을 보였다. 중앙 구멍의 크기에 상관없이 경사면 구멍은 모든



**Fig. 7 Schematic diagram of a press die**



**Fig. 8 Experiment all results in press drawing**

**Table 2 Dimension measurement result in experiment**

No.	Center hole size	Φ8 hole size		Difference (dc-dr)	Remark	
		Shape	Circumferential (dc)			Radial (dr)
1	30.00		7.60	8.21	-0.61	
2	32.00		7.70	8.14	-0.44	
3	34.00		7.81	8.04	-0.23	
4	36.00		7.92	7.90	0.02	Acceptable
5	38.00		7.99	7.79	0.20	
6	40.00		8.02	7.68	0.34	

방향으로 커지기는 하지만 중앙 구멍이 작을 때는 드로잉 가공 시 반경 방향 지름( $d_r$ )이 더 많이 늘어나고, 중앙 구멍이 커지면 원주 방향 지름( $d_c$ )이 더 크게 나타났다.

Fig. 9는 중앙 구멍의 크기에 따른 경사면 구멍의 원주 방향과 반경 방향 지름의 변화를 그래프로 나타내었다. 해석에서는 경사면 구멍 형상이 중앙 구멍  $\phi 34$ 일 때 가로, 세로 차이 값이 0.03으로 가장 잘 나왔으나 실험에서는  $\phi 36$ 에서 0.02로 가장 좋은 결과가 나왔다. 해석과 실험이 전체적인 경향은 같으나 구체적인 수치에 약간의 차이가 나는 이유는 해석 시에 정확한 소재의 물성치와 마찰계수 등의 실험 조건이 달라졌기 때문인 것으로 판단된다.

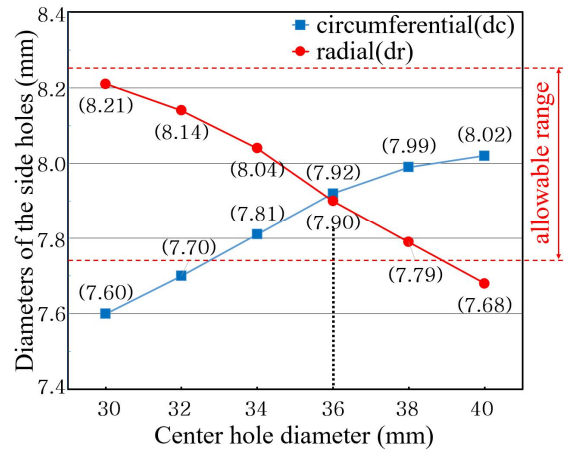
이 실험 조건에서는 목표( $\phi 8.0 \pm 0.25$ )로 하는 경사면 구멍의 치수를 중앙 구멍  $\phi 34$ 에서  $\phi 38$ 까지 범위에서 만족하는 결과를 보였고,  $\phi 36$ 에서 가장 좋은 결과가 나왔다.

실험 결과로 볼 때, 초기  $\phi 7.2$ 의 구멍이 약 10% 커져서  $\phi 7.9$  정도가 되었으므로 좀 더  $\phi 8.0$

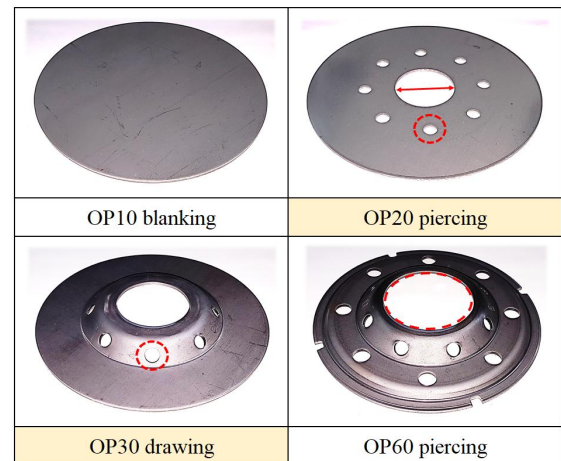
에 근접한 구멍을 만들기 위해서 초기 구멍을  $\phi 7.3$ 로 적용했다면 더 좋은 결과(약  $\phi 8.03$ )가 나왔을 것으로 판단된다.

### 4.2 프레스 공정 적용

실제 실험에서 소재의 중앙 구멍이  $\phi 36$ 일 때 경사면 구멍의 친원도가 가장 좋게 나왔으므로 Fig. 10과 같이 제품생산 시 OP20 공정의 중앙 구멍을  $\phi 36$ 으로 적용했고, 마지막 OP60 공정에서 제품 사양에 맞게 피어싱하여 양산에 적용하였다.



**Fig. 9 Deformation of a side hole according to the diameter of the center hole by experiment**



**Fig. 10 Product work process**



## 5. 결 론

본 연구에서는 드로잉 경사면의 구멍에서 진원도를 확보하기 위하여 기존의 캠 피어싱 공법을 적용하지 않고 공정 순서를 바꿔 평면에 수직 피어싱을 하고 드로잉을 하는 공법을 고안하였다. 소재의 중앙 구멍 치수가 드로잉 경사면의 구멍 형상에 미치는 영향을 확인하기 위해 중앙 구멍 치수를 변수로 설정하고,  $\phi 30$ 에서  $\phi 40$ 까지 2 mm 간격으로 범위를 정하여 해석과 실험을 진행하였다. 샘플 실험과 해석 결과를 비교하고, 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 드로잉 가공 시 경사면의 변형을 분포를 해석을 통해 확인하였다. 소재의 중앙 구멍 크기에 따라 드로잉 가공 시 구멍 주위에 인장, 압축력의 분포가 달라져 경사면의 구멍 형상도 변하는 결과가 나왔다.
2. 실제 소재의 실험 결과는 해석과 비슷한 경향을 나타내었다. 다만, 해석에서는 중앙 구멍이  $\phi 34$ 일 때 진원도가 가장 잘 나왔지만, 실제 실험에서는  $\phi 36$ 일 때 경사면 구멍의 가로, 세로 길이의 차이가 0.02로 가장 좋은 결과가 나왔다. 이는 해석 시에 정확한 소재의 물성치와 마찰 등의 실험 조건이 달라졌기 때문인 것으로 판단된다.
3. 중앙 구멍  $\phi 36$ 의 실험 결과, 초기  $\phi 7.2$ 로 피어싱 된 구멍이 드로잉 후 경사면에 약  $\phi 7.9$ 가 되었다. 약 10% 정도 커졌기 때문에 좀 더  $\phi 8.0$ 에 근접한 구멍을 만들기 위해서 초기 구멍을  $\phi 7.3$ 로 적용했다면 더 좋은 결과(약  $\phi 8.03$ )가 나왔을 것으로 판단된다.
4. 본 연구 결과에 따른 개선된 공정을 실제 제품 생산에 적용하여 그 효과를 검증하였다. 이를 통하여 금형 제작 비용을 줄이고 향후 유지보수 비용도 절감할 수 있게 되었다.

the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 33, No. 8, pp. 635-640, 2016.

2. Choi, J. M. and Kim, J. H., "Dimensional Accuracy of Cylindrical Cups in Multi-Stage Drawing of Aluminum Sheet Metal," Transactions of Materials Processing, Vol. 24, No. 2, pp. 115-120, 2015.
3. Shin, G. S., Park, J. G., Kim, J. H., Kim, Y. S., Park, Y. H. and Park, N. K., "Effect of Processing Conditions on the Deep Drawability of Ti-6Al-4V Sheet at Warm Temperatures," Transactions of Materials Processing, Vol. 24, No. 1, pp. 5-12, 2015.
4. Kim, Y. S. and In, J. H., "Evaluation of Press Formability of Pure Titanium Sheet," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 17, No. 3, pp. 380-388, 2016.
5. Lee, C. K. and Kim, Y. C., "A Study on Changes in Thickness of STS304 Material in the Progressive Drawing Process," Arch. Metall. Mater., Vol. 62, No. 2, pp. 1319-1323, 2017.
6. Park, J. W., Ku, T. W. and Kang, B. S., "Numerical Simulation for a Multi-Stage Deep Drawing of Anisotropic SUS409L Sheet into a Rectangular Cup," Transactions of Materials Processing, Vol. 22, No. 3, pp. 133-142, 2013.

## REFERENCES

1. Kim, M. J., Oh, W. J., Shin, D. C. and Lee, C. M., "A Study on the Development of Forming Process for a Compressor Shell Body," Journal of