

◆ 특집 ◆ 직선 · 회전모터 구동 이송 · 회전체 연구 XIII

## 압축기용 셸바디의 성형공정 개발에 관한 연구

### A Study on the Development of Forming Process for a Compressor Shell Body

김민정<sup>1</sup>, 오원정<sup>2</sup>, 신동초<sup>3</sup>, 이춘만<sup>2,✉</sup>  
Min-Jeong Kim<sup>1</sup>, Won-Jung Oh<sup>2</sup>, Dong-Cho Shin<sup>3</sup>, and Choon-Man Lee<sup>2,✉</sup>

<sup>1</sup> 창원대학교 클러스터사업단 (R&D Cluster Agency, Changwon National University)

<sup>2</sup> 창원대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Changwon National University)

<sup>3</sup> 주식회사 동구기업 금형기술연구소장 (Dietech Center, Dong-Gu Co., Ltd.)

✉ Corresponding author: cmlee@changwon.ac.kr, Tel: +82-55-213-3622

Manuscript received: 2016.6.28. / Revised: 2016.7.19. / Accepted: 2016.7.22.

*The shell body is the main exterior part of a compressor, and production of shell bodies has increased along with a growing demand for air conditioners, refrigerators, air compressors, and so on. Cracks frequently occur in the process of welding a shell body. In this study, a deep drawing process for creating a shell body from a blank is developed. The technique consists of a four-step deep drawing and a two-step trimming process. Analysis is performed by DEFORM software to examine the safety of the deep drawing and trimming processes. The deep drawing process for the shell body developed in this study would have wide application in many industrial fields.*

KEYWORDS: Deep drawing (딥드로잉), Shell body (셸 바디), Forming process (성형공정)

#### 기호설명

|  |  |
|--|--|
| $d_n$ = Diameter of Punch for N process (mm)     | $A$ = Surface area of product (mm <sup>2</sup> ) |
| $m$ = Limit drawing rate                         | $D_0$ = Diameter of blank (mm)                   |
| $d_{n-1}$ = Diameter of Punch for N process (mm) | $d$ = Diameter of neutral plane                  |
| $t$ = Thickness of material (mm)                 | $d_i$ = Inner diameter of neutral plane          |
| $h$ = Height of neutral plane (mm)               | $F_a$ = Spring load of random stroke (kgf)       |
| $H$ = External height (mm)                       | $\Delta F$ = Rate of load increase (kgf)         |
| $r$ = Radius of curvature of neutral plane (mm)  | $F_f$ = Load of final process (kgf)              |
| $R$ = Internal radius of curvature (mm)          | $\varepsilon$ = Effective strain (mm/mm)         |
| $A'$ = Area of blank (mm <sup>2</sup> )          | $n$ = Number of process                          |
|  | $F_n$ = Maximum load of process (N)              |
|  | $F_{press}$ = Safe working load of press (N)     |

### 1. 서론

오늘날 압축기는 에어컨, 냉장고 등 냉각·응축제품에 적용되는 핵심부품 중 하나로서 세계적인 기업들에서 생산, 판매하고 있다. 압축기는 고효율화, 토출 유량의 대용량화 그리고 유지 및 보수성의 편리성을 중시하는 방향으로 발전하였고, 이를 개선하기 위한 연구 또한 활발히 진행되고 있다.<sup>1-5</sup> 이러한 압축기의 구조에서 핵심부품인 스크롤 (Scroll)을 고정하고 내부에서 회전하는 모터의 고정자 (Stator)와 회전자 (Rotor) 축을 지지하는 메인 프레임은 고정하는 역할을 셸바디 (Shell Body)라는 외관부품이 담당하고 있다.<sup>6</sup> 현재 셸바디는 사각의 철판을 R-포밍 (Roll Forming) 한 후 접합면을 용접하여 제작하고 있으나 제품의 품질 향상을 위하여 딥드로잉 (Deep Drawing) 공정으로 제작하고자 한다.

본 연구에서는 원형 블랭크 (Blank)로부터 단단 딥드로잉 공정으로 셸바디를 성형하는 공정을 개발하여 시제품을 제작한 후 실험을 통해 공정설계 및 해석의 신뢰성을 검증하고자 한다.

### 2. 성형공정 개발

드로잉성형으로 개발하고자 하는 제품의 높이가 절단여유 20 mm를 더한 270 mm이다. 이는 드로잉비 (Drawing Rate)가 4.25에 이르는 고난도 딥드로잉 성형이 필요하며 적정 드로잉률, 재드로잉률 값을 적용하여 성형가능 공정수를 계산하였다.<sup>7</sup>

#### 2.1 공정수 예측 및 검증

한계 드로잉률 0.55(1공정)과 한계 리드로잉률 0.75(2공정 이후)을 적용하여 각 최종 제품의 내경 (Inner Diameter)에 다다른 공정수를 파악하여 식(1)에서 보는 바와 같이 최소 공정수를 계산했다.

$$\begin{aligned}
 n \text{ Process} : d_n &= m \times d_{n-1} \\
 n &= 1 \sim 4 \\
 d_0 &= \text{Diameter of Blank}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

SPCC 1종 강판을 이용하여 최종형상을 성형하기 위해서는 최소 4공정이 이루어져야 하며 이를 공정 별로 보면 Fig. 1과 같다.

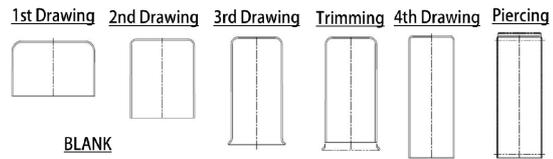


Fig. 1 A design of 4 step deep drawing processes

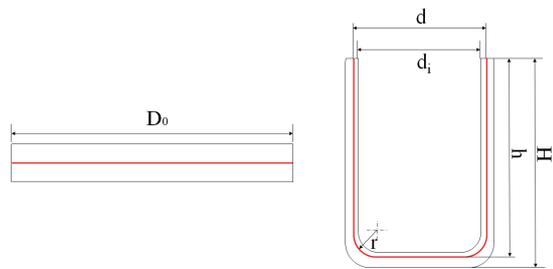


Fig. 2 Blank and the final shape of the neutral plane

#### 2.2 블랭크 치수 예측 및 검증

블랭크의 중간 면 (Neutral Plane)의 위치(내측에서 40%, 외측에서 60%)를 고려하고 성형 전, 후의 체적이 같다는 조건을 이용하여 블랭크 치수를 계산하였다. 식(2)에 전체 도면 치수에서 중간 면을 계산하기 식을 나타내었다.

$$\begin{aligned}
 d &= d_i + 2 \times 0.4 \times t \\
 h &= H - t \times 0.6 \\
 r &= R + t \times 0.4
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

$d/r = 10 - 15$ 일 경우 굽힌 반경을 고려하는데 이 경우  $d/r$ 값이 14.27이므로 식(3)을 이용하였다.

$$d_0 = m \sqrt{d^2 + 4dh + 0.5r}
 \tag{3}$$

이 식에서 계산된 블랭크 지름에서 트리밍 (Trimming) 여유로  $1.5 - 2t$ 를 고려하여 적절한 블랭크 지름의 치수를 계산해 낼 수 있다.<sup>8</sup>

#### 2.3 가스스프링 강성 선정

성형 중 발생하는 제품의 주름을 방지하기 위한 블랭크 홀더와 패드는 가스스프링으로 작동되며 블랭크 홀더력은 식(4)와 같이 가스스프링의 행정 (Stroke)에 따라 변하게 된다. 하지만 블랭크 홀더가 블랭크에 접촉하게 되면 이후의 행정 변화는 미미하므로, 본 해석에서는 블랭크와 접촉하는 순간의 블랭크 홀더의 실제 행정 (Active Stroke)를 계

Table 1 Condition of Forming Analysis

|                  |             |
|------------------|-------------|
| Material         | SPCC - 1    |
| Yield strength   | 132.44 mm/s |
| Tensile strength | 0.1         |
| Young's modules  | 0.05        |
| Elongation       | 0.4 mm      |

산하여 식(4)에 적용하여 일정한 힘을 적용하였다. 패드에 적용되는 가스스프링의 행정은 펀치의 행정과 반비례하므로 블랭크에 가해지는 힘은 점점 감소하게 된다. 이러한 패드력  $\Delta F$ 는 식(4)에 의해 계산하였다.

$$F_a = F_i + \Delta F$$

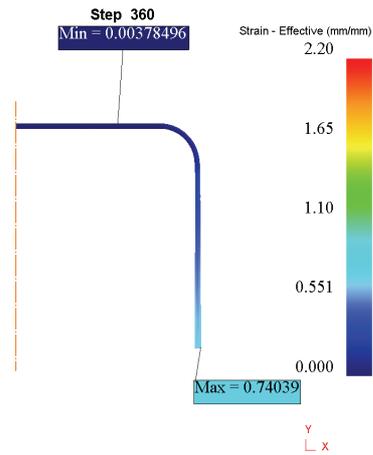
$$\Delta F = \frac{(F_f - F_i)}{L_M} \times L_A \tag{4}$$

여기서  $F_i$ 는 초기 가스스프링 힘이고,  $F_a$ 는 작용위치의 가스스프링 힘이며  $L_M$ 은 최대 행정이고  $L_A$ 는 실제행정이다.

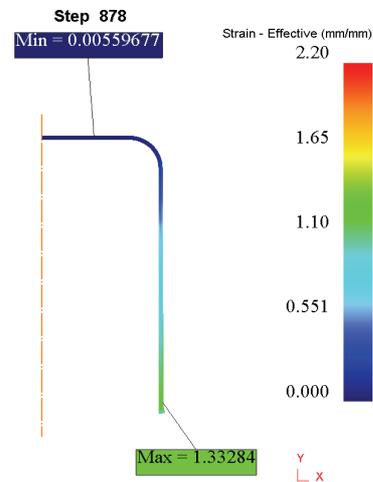
### 3. 공정 별 성형해석

성형해석에는 소성 유한요소해석 프로그램인 DEFORM 11.0 verion을 사용하였고 해석조건은 Table 1과 같다. 드로잉비가 높은 다단 딥드로잉으로 총 스트로크가 높기 때문에 축대칭 (Axisymmetric)을 적용하여 해석하였고 총 2,253 step으로 해석되었다.

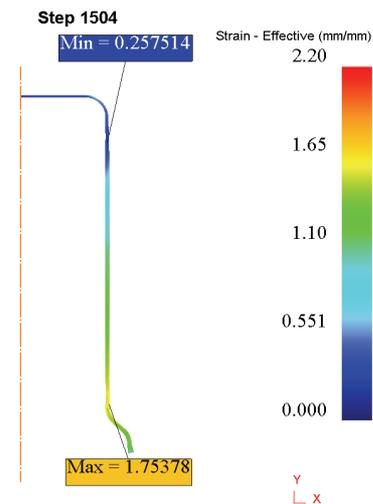
1공정 (First Drawing)의 성형해석은 1 - 360 step, 2공정 (Second Drawing)의 성형해석은 361 - 879 step, 3공정 (Third Drawing)의 성형해석은 880 - 1,504 step, 트리밍은 형상 수정 후 이전 step인 1,054 step의 피가공물 데이터를 보간하여 1 step으로 해석하였으며, 4공정 (Forth Drawing)은 1,055 - 2,252 step으로 해석하였다. Piercing 또한 마찬가지로 형상을 수정한 후 2,252 step의 데이터를 보간하여 1 step으로 해석하였다. 본 해석에서는 각 공정 별 소재 유효 변형률 (Effective Strain)을 통해 소재의 파단 여부 및 변형 경향을 파악하였다. 여기서 유효 변형률은 각 스텝에서의 변형률 속도로부터 계산되고, 스텝 별로 축적된다. 따라서 인장, 압축에 대해 상쇄효과가 없다. 최대응력 발생 부위의 최대 유효 변형률이 소재의 연신율 (Elongation Percentage)를 초과한다면 실제 성형에서 파단이 일어나거나 찢



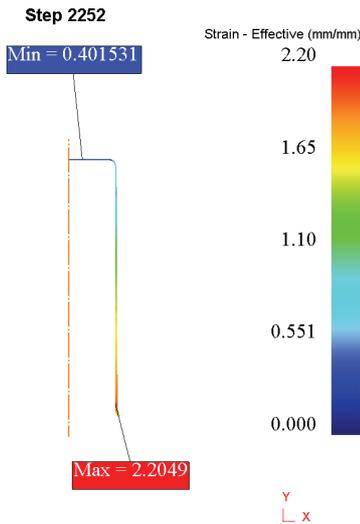
(a) Result of 1st Drawing



(b) Result of 2nd Drawing



(c) Result of 3rd Drawing



(d) Trimming and Result of 4th Drawing

Fig. 3 Analysis result of deep drawing for shell body

어지는 등의 현상이 발생할 것으로 판단할 수 있으므로, 소재의 연신율은 중요한 설계 기준이 된다.

3.1 성형력(성형하중)

펀치에 가해지는 각 공정 별 최대 하중을 Fig. 4와 Table 2에 나타내었다. Table 2에 나타난 성형력(성형하중)은 각 공정 중 발생한 수직하중의 최대값이다.

3.2 블랭크의 두께 변화를

두께가 가장 얇아진 부분은 제품의 최 상단 부위이며, 이 부위의 두께는 약 3.095 mm로 도출되었다. 반면, 두께가 가장 두꺼운 부분은 제품의 최 하단 부위이며, 이 부위의 두께는 약 3.191 mm로 계산되었다.

3.3 해석결과

Fig. 3에서 유효 변형률은 최소 0.74에서 최대 2.20으로 계산되었고, 본 소재의 연신율은 42 - 48% 이므로 설계된 성형공정은 파단, 찢어짐 현상에서 부터 안전한 것으로 판단된다.

또한 4공정을 수행하기 위한 성형력(성형하중)은 246.56 ton으로 나타났다. 따라서 4공정의 펀치의 동력은 한 프레스에서 전달되므로 프레스는 정격 용량 246.56 ton 이상의 프레스를 사용해야 한다는 것을 알 수 있다.

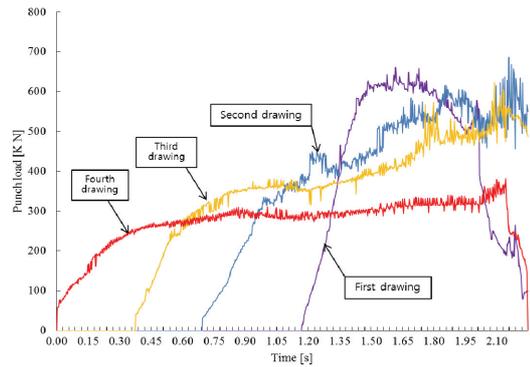


Fig. 4 Punch loads for each processes

Table 2 Maximum load for each process

|             | kN       | ton    |
|-------------|----------|--------|
| 1st Drawing | 725.31   | 74.01  |
| 2nd Drawing | 685.94   | 69.99  |
| 3rd Drawing | 622.26   | 63.50  |
| 4th Drawing | 382.81   | 39.06  |
| Sum         | 2,416.32 | 246.56 |

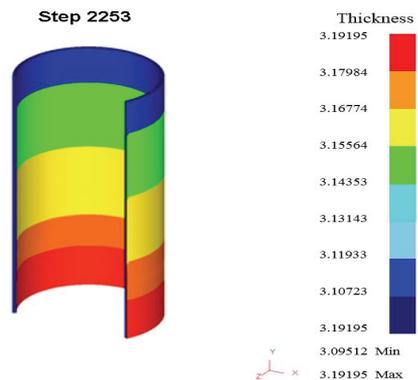


Fig. 5 Thickness of final process

4. 실험

유한요소해석 결과값을 기반으로 시제품을 제작한 후, 공정설계 및 해석의 신뢰성을 검증하기 위하여 시제품을 상부로부터 등 간격으로 12군데를 선정하여 절단 후 시편을 채취하고 시험항목에 대하여 시험측정을 하였다.<sup>9</sup>

4.1 실험장비 및 방법

측정항목은 드로잉비, 내경, 진원도 (Roundness), 두께변화율 (Thickness Variation), 그리고 높이 (Height)



Fig. 6 Measurement of the workpiece

Table 3 Results of the measurement

| Measurement items       | unit  | Goal         | Data            |
|-------------------------|-------|--------------|-----------------|
| Drawing ratio           | mm/mm | 3.0          | 3.23 - 3.24     |
| Roundness               | mm    | 0.2          | 0.06 - 0.17     |
| The thickness variation | %     | 10           | 0.02 - 3.41     |
| Inner diameter          | mm    | 111.75 ± 0.2 | 111.73 - 111.87 |
| Height                  | mm    | 250 ↑        | 277.97 - 284.61 |

이다. 측정 시 반복 정밀도를 확보하기 위하여 12개의 시편에 대하여 3번 반복 측정하였다.

측정장비는 Carl Zeiss의 3차원측정기로 장비의 측정범위는 X축, Y축으로 600 mm, Z축 300 mm이며 분해능은 0.1 μm이다.

드로잉비는 블랭크 지름과 제품 지름을 측정하여 계산하였고, 진원도는 제품 내경의 진원도를 측정하였다. 시편을 구간별 두께를 측정하여 소재 두께와 비교하였으며 3차원 측정기로 내경을 가로, 세로 구간별로 나누어 측정하였고 높이 또한 이 장비로 측정하였다.

#### 4.2 실험결과

드로잉비 4.25에 이르는 고난도 딥드로잉 성형을 위하여 공정 별 성형 해석을 통하여 필요 최소 공정 수, 성형력(성형하중) 값들을 통하여 시편을 제작하였다. 그리고 측정값과 개발 목표 값을 공정설계 및 해석의 신뢰성을 검증하기 위하여 3차원 측정기를 통하여 Table 3의 측정값들을 얻을 수 있었고 이를 통해 공정설계 및 해석이 적절했음을 알 수 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 압축기용 셸바디를 성형하기 위한 공정 설계를 하였다. 이를 위해 소성 유한요소

해석 프로그램인 DEFORM 11.0 version을 이용하였고 해석결과를 통해 최종 공정 설계를 하였다. 이러한 공정설계의 신뢰성을 검증하기 위하여 시제품을 제작하고 시편을 채취, 3차원 측정기로 측정하여 해석 값과 실험 값을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 유한요소 해석을 이용하여 압축기용 셸바디를 성형하기 위한 공정을 제시하였고, 그 결과로 시제품을 제작하였다. 실험을 통한 해석결과의 검증으로 공정설계 및 해석데이터의 정당성을 확인하였다.

(2) 드로잉 공정설계 시 필요한 블랭크 치수는 트리밍 여유를 고려하여 382 mm가 적당하며, 드로잉률을 고려한 최소 공정수는 4공정으로 예측되었다.

(3) 본 논문에서 제시한 딥드로잉 성형공정은 원통모양의 제품들에 대해 기술의 확대 적용이 가능할 것이다.

#### 후 기

이 논문은 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원에서 지원하는 2015년도 지역특화산업육성사업(No.1415141248)의 연구 수행으로 인한 결과임.

#### REFERENCES

- Gloeckl, H. and Lange, K., "Computer Aided Designing of Blanks for Deep Drawing Irregular Shaped Components," Proc. of NAMRC, Vol. 11, pp. 243-252, 1983.
- Kampuš, Z. and Kuzman, K., "Experimental and Numerical (FEM) Analysis of Deep Drawing of Relatively Thick Sheet Metal," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 34, No. 1, pp. 133-140, 1992.
- Kim, T. J., "Dynamic Behavior Analysis of a Reciprocating Compressor Body with Variable Rotating Speed," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 11, No. 8, pp. 374-383, 2001.
- Lee, U. S., "Trend of Compressor Technology for Air Conditioners," Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 5-12, 1999.
- Lee, K. S., Chung, W. J., and Kim, J. H., "Formability

- and Dimensional Characteristics of Stretch-Drawn Beryllium-Copper Sheet Products,” Transactions of Materials Processing, Vol. 20, No. 5, pp. 357-361, 2011.
6. Seol, S. S., Lee, C. M., Choi, C. H., Oh, W. J., and Shin, D. C., “Analytical Study of a Multi-Stage Deep Drawing for Forming of Compress Shell Body,” Proc. of KSPE Autumn Conference, p. 266, 2015.
  7. Yoh, E. G., Jo, S. H., and Lee, Y. S., “A Study on the Formability Factors of Axisymmetric Multi-Stage Deep Drawing Process,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 11, No. 4, pp. 6-11, 2002.
  8. Park, S. Y., “Press Mold Design,” Seon-Hak, p. 131, 2002.
  9. Park, S. B., Choi, Y., Kim, B. M., and Choi, J. C., “A CAD/CAM System for Deep Drawing Dies in a Simple-Action Press,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 87, No. 1, pp. 258-265, 1999.