

## 오메가형 벨로즈관의 성형을 위한 유한요소해석

이정훈\*, 김낙수\*\*, 전병희\*\*\*

\*서강대학교 대학원 기계공학과

\*\*서강대학교 기계공학과

\*\*\*인덕전문대 기계설계과

## Finite Element Analysis for Forming Processes of $\Omega$ -type Bellows Tube

Junghoon Lee\*, Naksoo Kim\*\*, Byunghee Jeon\*\*\*

\*Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Sogang Univ.

\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Sogang Univ.

\*\*\*Dept. of Mechanical Design, Induk Junior College

### Abstract

The study presents a computer-aided analysis and its design for the forming process of  $\Omega$ -type bellows tube. Finite element analysis was carried out to perform the process simulation. Based on the analytic results of various conditions, the forming conditions used for angled U-type bellows tube were settled. The 3D modeling was constructed by I-DEAS and PAM-STAMP was used for process simulation. It is concluded that the spring back of formed bellows influences  $\Omega$ -shape and these results can be used for the process design.

Key words : Bellows, Process simulation, Finite Element Method

### 1. 서론

단면의 모습이 주름진 산과 골의 형상을 갖는 벨로즈(bellows)는 주로 배기, 배관계통에 흐르는 고온, 고압의 유체에 의해 발생하는 축변형량을 흡수하여 변형 및 파손을 방지하는 완충장치의 하나로, 단면의 형상에 따라서 U-형, S-형 및  $\Omega$ -형으로 분류되며 이들의 형상은 그림 1과 같다.  $\Omega$ -형 벨로즈의 성형을 위한 실험적 연구[1] 및 소성가공이 용이한 U 및 S-형 벨로즈에 관한 연구사례가 보고되고 있다[2-4].

본 연구에서는  $\Omega$ -형 벨로즈 제작시 시행오차를 줄이기 위해 상용프로그램인 I-DEAS를 이용해 3차원 모델링을 하여 3차원 Explicit Code인 PAM-STAMP로 성형 해석을 수행함으로써  $\Omega$ -형 벨로즈 성형용 금형설계에 유용하게 쓰일 수 있도록 하였다.

## 2. 성형해석

### 2.1 형상정의 및 모델링

본 연구에서 고려한  $\Omega$ -형 벨로즈의 성형과정은 그림 2에 나타난 것처럼 기존의 U-형 벨로즈로부터 하부가 각이진 U-형 벨로즈를 얻어낸 후 최종형상인  $\Omega$ -형 벨로즈를 성형하는 것으로서, 두 번째 단계인 각이진 U-형 벨로즈에서  $\Omega$ -형 벨로즈를 성형하는 과정을 PAM-STAMP를 이용하여 해석한다.

문헌[1]의 방법을 수정하였으며, 내부에 맨드릴이 있는 경우의  $\Omega$ -형 벨로즈 성형과정은 그림 3과 같다. 바깥쪽의 성형다이는 회전운동과 동시에  $\Omega$ -형상을 만들기 위한 반지름 방향의 직선운동을 한다.

본 연구에서는 해석시간 단축을 위해 성형과정을 단순화 하였다. 성형중 벨로즈는 원주방향으로 변형이 없다고 가정하여 원형이 아닌 직선형의 각이진 U-형 벨로즈로 정의하였고(그림 4) 이에따라 성형다이의 회전운동은 벨로즈의 길이방향(X방향)으로의 직선운동으로 바꾸었다. 성형다이는  $\Omega$ -형상을 만들기 위한 직선운동(Y방향)도 한다. 맨드릴은 벨로즈를 지지해주는 역할을 하므로 단순화된 성형과정에서는 평판으로 바꾸었다.(그림 5)

단순화된 각이진 U형 벨로즈의 형상과 성형다이의 형상을 각각 그림 4, 그림 5에 나타내었다. 벨로즈의 길이는 성형다이가 3개라 가정하였으므로 원주의 1/3 (90.853mm)로 하였다. 또한 성형다이는 회전운동이 아닌 벨로즈 길이 방향으로 직선운동을 하므로 원주의 1/6로 정의 하였다.

벨로즈와 성형다이, 맨드릴역할의 평판의 절점 및 요소수는 표 1과 같다.

### 2.2 소재의 물성치

벨로즈성형에 일반적으로 사용되는 재료는 압연된 STS304로써, 그 물성치는 표 2에 나타내었다[6]. STS304의 유동응력식은 식(1)과 같으며, 수직이방성이 고려된 평균 Rankford 값( $\bar{R}$ )은  $\bar{R}=0.847$ 이다[5].

$$\bar{\sigma} = 23.112 \bar{\epsilon}^{0.266} \text{ kgf/mm}^2 \quad (1)$$

### 2.3 해석 및 경계조건

벨로즈의 길이방향 양끝단은(그림 4의 A) 길이방향으로의 변위가 없다고 가정하였으므로 X방향 변위를 고정시켰고 벨로즈 옆면의 다음 벨로즈산과 이웃하는 부분(그림 4

의 B) 역시 변위가 없으므로 Z방향 변위를 고정시켰다. 또한 벨로즈가 1회전 하는 동안 성형다이가 2mm의 양만큼 벨로즈를 누르게 되므로 본 해석 조건의 경우 성형다이는 벨로즈를 3번 지나며 각각의 경우 0.6667mm만큼 벨로즈를 눌러준다. 이러한 조건에 따라 벨로즈의 속도를 변화시켜가면서 해석을 수행하였다.(표3) 여기서의 성형다이의 속도는 해석시간을 줄이기 위해 실제 성형공정속도보다 가속하였다.

성형다이의 회전운동을 직선운동으로 정의함에 따라 성형다이와 벨로즈간의 마찰은 없다고 가정 하였다.

### 3. 해석결과

각각의 해석조건으로 3번에 걸친 stroke에서 벨로즈의 처음, 중간부분과 끝부분의(그림 5의 A,B,C) 단면형상을 비교해보면 다음의 그림 6, 그림 7과 같다. 성형 후 단면형상을 보면 성형다이가 진입하는 부분의 형상이 2회와 3회 stroke에서 원하는  $\Omega$ -형상으로 성형되지 않았다. 이것은 2,3회 성형시 성형다이의 진입부는 산의 높이가 점진적으로 낮아지지 못하고 급격한 변형이 일어났기 때문이다.

벨로즈의 중간부분의(그림 5의 B부분) 각 stroke에서 벨로즈산의 끝단의 높이 변화는 그림 8에 나타내었다. 성형다이가 지나간 후 벨로즈의 탄성회복에 의해 벨로즈산의 높이가 약간 올라가는 경향을 볼 수 있다.

그림 10에서와 같이 해석결과와 기대되는 형상을 비교해 볼 때 벨로즈하단부의 형상이 기대되는 형상만큼 얻어지지 않았으며 이는 성형과정에서 모든 변형이 벨로즈의 산에서 일어나지 않고 벨로즈의 하단부까지 변형이 일어났기 때문이다. 그림 9의 변형을 분포에서도 이러한 경향을 볼 수 있다.

이상의 결과로 부터 원하는 벨로즈 형상과는 다소 차이가 남을 알 수 있었고 이것은 벨로즈산의 높이변화가 점진적이지 못한것과 벨로즈 자체의 탄성회복에 의한 것임을 알 수 있었다.

### 4. 결론

$\Omega$ -형 벨로즈를 성형하기위한 방법의 하나로 3개의 성형다이를 이용한 성형과정을 제안하였고 이를 토대로 성형해석을 수행하였다. 성형다이의 속도를 변화시켜가며 성형된 벨로즈의 형상을 비교하였고 그 결과로  $\Omega$ -형상을 얻어 낼 수 있었으나 성형높이의 변화가 점진적이지 못했고 또한 벨로즈 자체의 탄성회복으로 인해 원하는 형상을 얻어내지는 못하였다.

벨로즈의 형상을 전체적으로 비슷한 형상으로 얻어내기 위해서는 벨로즈 주위를 성형다이가 여러바퀴 회전하며 점진적인 변형을 주어야 하며 또한 원하는 형상을 얻기 위해서는 벨로즈의 탄성회복량을 예측한 stroke가 필요하다.



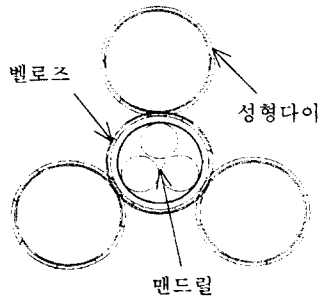


그림 3 벨로즈, 성형다이 및 맨드릴의 배치

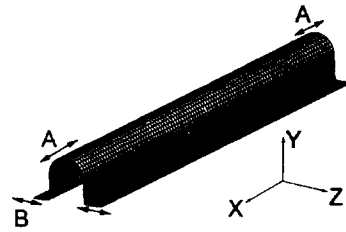


그림 4 해석에 사용된 각이진 U-형 벨로즈 모델

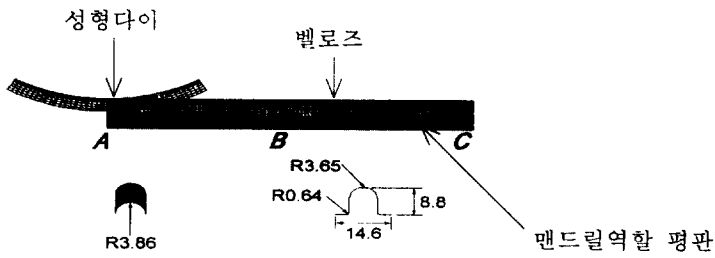


그림 5 단순화된 성형과정

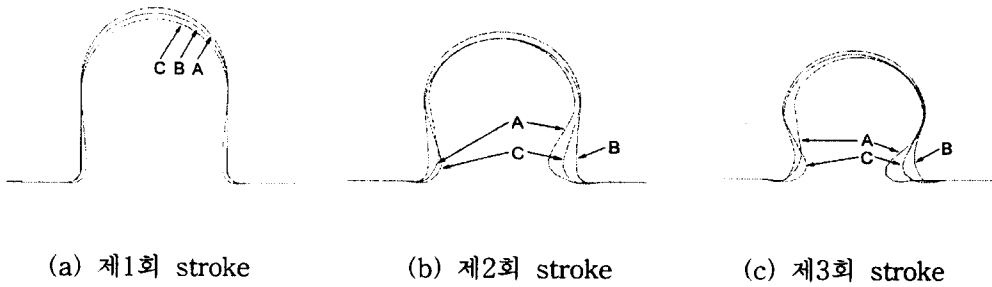


그림 6 성형 후 단면비교 (해석 I)

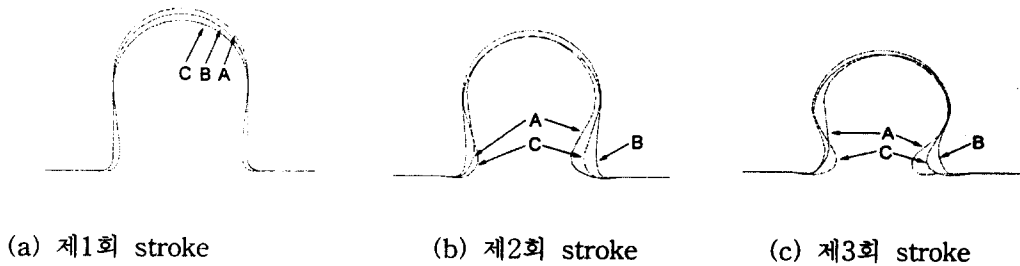


그림 7 성형 후 단면비교 (해석 II)

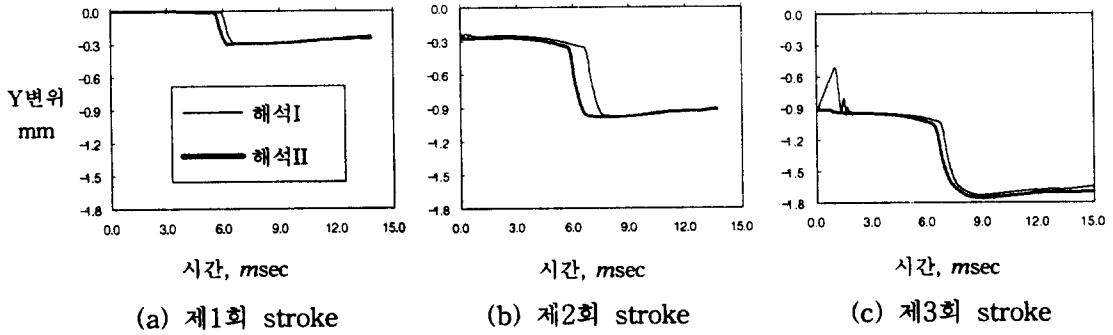


그림 8 성형중 벨로즈산 끝단의 높이 변화

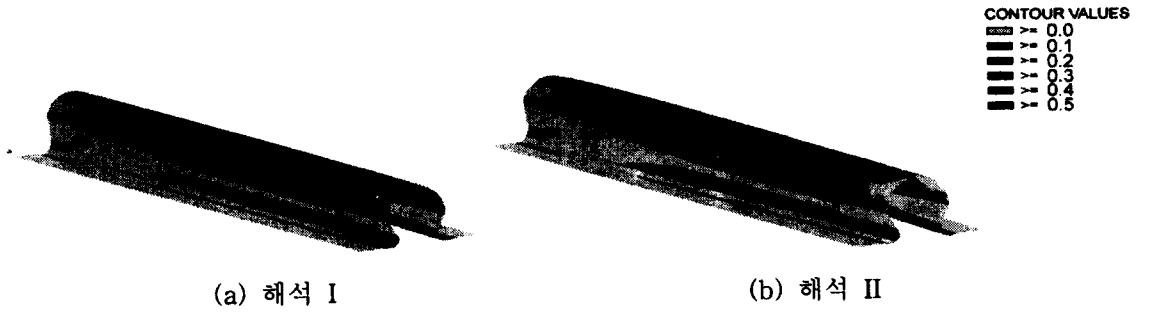


그림 9 변형률 분포 (maximum plastic strain)

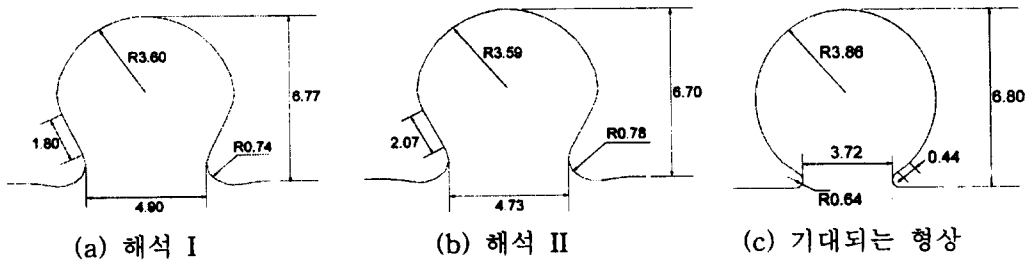


그림 10 해석후 형상과 기대되는 형상의 비교