

# 꺾임 구조를 가진 미세주름 박판구조를 성형공정개발

## Development of a rubber forming process for the fabrication of a corrugated thin plate having a bent angle

\*김민훈<sup>1</sup>, #박상후<sup>2</sup>, 정호승<sup>3</sup>, 조종태<sup>4</sup>, 하만영<sup>1</sup>

\*M. H. Kim<sup>1</sup>, #S. H. Park(sanghu@pusan.ac.kr)<sup>2</sup>, H. S. Jung<sup>3</sup>, J. R. Cho<sup>4</sup>, M. Y. Ha<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>부산대학교 기계공학과, <sup>2</sup>부산대학교 정밀정형금형 및 금형가공연구소/기계공학과,  
<sup>3</sup>폴스로이스-부산대 대학기술센터, <sup>4</sup>한국해양대학교 기계정보공학부

Key words : Rubber Forming, Thin Sheet Forming, Corrugated Structure, Mooney-Rivlin Function

### 1. 서론

고무 성형법(rubber forming)이란 판재 성형의 한 방법으로 성형하려고 하는 판재의 한쪽 면에는 금형을 사용하고 반대쪽 면에는 가압하는 펀치의 역할로 두꺼운 고무를 사용하여 고무에 압력을 가하고 고무가 성형 블록을 감싸면서 판재에 균일한 정수압을 전달하여 판재를 성형하는 방법이다. 고무 성형법은 다른 판재 성형법보다 여러 가지 장점이 있다. 우선 한쪽만 금형을 사용하기 때문에 금형 제작비가 저렴하고 장치의 설치 시간이 짧고 공구 비가 적게 들어 다품종 소량이 가능하다. 또한, 판재 성형 면의 한쪽이 고무에 접하기 때문에 성형 제품에 기타 손상이 생기지 않아 완제품의 표면 상태가 좋은 장점들 때문에 자동차 부품과 같이 복잡하고 깊은 성형 제품의 가공에도 이용되고 있다<sup>(1)-(2)</sup>.

본 연구에서는 두께 100 μm 수준의 STS 304판재에 대하여 꺾임 구조와 복잡한 연속주름구조를 가지는 형상을 제작할 수 있는 고무 성형공정을 제안한다. 판형 열교환기 등에 적용하도록 판재에 균일한 정수압을 가하는 고무의 형상과 최대 허용 꺾임 각을 해석적으로 알아보려고 한다.

### 2. 유한요소해석

#### 2-1. 모델링 및 고무 물성치 분석

고무 성형공정의 기본적 공정변수 연구를 위해 PAM-STAMP를 이용하였으며 펀치(punch), 고무(rubber), 평판(solid-source)을 생성하였다.

PAM-STAMP에서는 고무의 변형률 에너지 밀도 함수로 식(1)과 같은 Mooney-Rivlin 함수의 두 상수

를 사용한다. 일반적으로 2가지 이상의 재료시험을 통하여 물질 상수를 구하는 것이 일반적이지만, 여기서는 상대 비교만을 통해 단순고무변형만 파악할 것이기 때문에 단축 인장시험만을 통하여 두 물질상수  $C_1$ ,  $C_2$ 를 결정한 후 Table 1에 정리하였다.

$$W = C_1(I_1 - 3) + C_2(I_2 - 3) \quad (1)$$

강성이 강할수록 성형하고자 하는 판재의 연속 주름의 사이로 고무가 침투할 수 없으므로 여기서는 가장 강성이 약한 실리콘 고무 경도 40의 물질상수를 해석에 이용하였다.

Table 1 Mooney-Rivlin constants of silicon rubber

specimen	$C_1$	$C_2$
silicon 경도40	0.4780	0.3495
silicon 경도45	0.4465	0.5211
silicon 경도50	0.5670	0.5750
silicon 경도60	0.1258	2.5349
silicon 경도70	-0.2308	3.7980

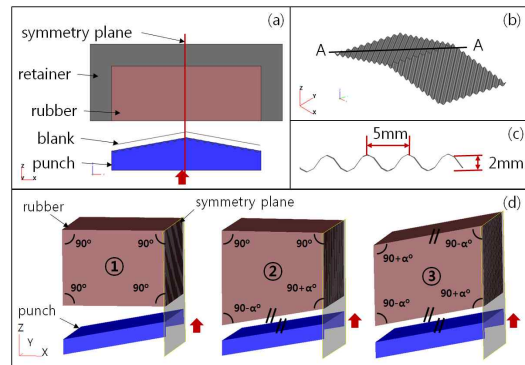


Fig. 1 (a)rubber forming whole model (b)target blank (c)A-A cross section of (b) (d)three different types of rubber shape

2-2. 해석조건 및 방법

고무의 형상에 따른 펀치 전면의 압력분포를 알아보기 비교하기 위하여 Fig. 1과 같이 3가지의 고무형상에 대하여 해석하였다. 또한, 3가지의 경우 중 가장 좋은 형상에 대하여 꺾임 각도에 따라 해석하였다. 해석조건으로는 꺾이는 부분을 기준으로 하여 전체 모델의 1/2 모델로 하였고 고무의 윗면은 x, y, z축 전 방향에 대하여 고정, 고무의 xz면은 y축 방향으로만 고정, 고무의 yz면은 x축 방향으로만 고정, 펀치는 z축 방향으로 상승시켰다.

3. 해석결과

Fig. 2는 ①~③ type의 고무가 펀치에 미치는 압력을 나타낸 것이고 펀치의 끝( $P_c$ )에서 symmetry plane( $P_o$ )까지 2mm 간격으로 비교하였다. ①의 경우 ②, ③과 같은 거리로 펀치가 고무를 밀 때 고무압력이 펀치 전 면적에 미치지 못해 비슷한 압력수준까지 도달하게 하여 식(2)를 이용하여 압력을 비교하였다. ①은 ②, ③에 비해 압력이 비교적 일정하지 못했고 ②, ③의 경우 같은 거리를 밀어도 ③이 더 높은 압력을 전달하면서 펀치 면 위치에 따른 압력차이도 작게 나타났다. Table 2의 (a)에서  $\Delta P$ 의 값을 비교해보면 ③의 경우가  $\Delta P$ 의 값이 가장 적음을 알 수 있다.

$$\Delta P = \frac{P_{max.} - P_{min.}}{P_{ave.}} \times 100 \quad (2)$$

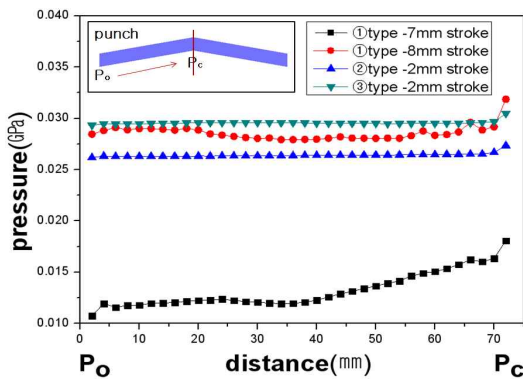


Fig. 2 Comparison of analysis results on punch pressure among three rubber type

Table 2 (a)  $\Delta P$  of three rubber type (b)  $\Delta P$  of ③type rubber according to angle( $\alpha$ )

(a)		(b)	
Three rubber type	$\Delta P$	③type- angle( $\alpha$ )	$\Delta P$
①type-7mm stroke	55.41	$\alpha=5^\circ$	1.91
①type-8mm stroke	13.7	$\alpha=10^\circ$	3.52
②type-2mm stroke	4.4	$\alpha=15^\circ$	4.21
③type-2mm stroke	3.89	$\alpha=20^\circ$	5.06
		$\alpha=25^\circ$	5.8

③type의 같은 높이(50mm)와 너비(50mm)를 가진 고무 형상으로 기울어진 각( $\alpha$ )에 따라 고무가 펀치에 미치는 압력을 비교하여 Table 2의 (b)에 나타났다.  $\alpha$ 의 값이 커질수록  $\Delta P$ 의 값이 커지는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

꺾임 구조를 가진 미세주름 박판구조물을 제작하기 위한 공정개발 과정에서 해석적으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) ③type의 고무 형상으로 하였을 때 펀치 전면에 가장 일정한 압력을 가한다는 것을 알 수 있었다.
- (2)  $\alpha$ 의 값이 커질수록 고무의 압력이 판재 전면에 일정하게 미치지 못해 미세주름판재의 성형균일성이 떨어질 것으로 예측된다.

후기

본 연구는 한국연구재단 우수연구센터유치사업과 한국산업기술평가원지원 지역연계기술개발사업(과제번호: 20090406000)에 의하여 수행되었음.

참고문헌

1. S.J.Shin, T.S.Lee, S.I.Oh, 1995, "Finite Element Modeling of Pad Deformation In Rubber Pad Forming( I)", 대한기계학회 춘계학술대회논문집 pp.331~336
2. 김용우, 김종국, 2002, "Measurement of mechanical Material Properties of Rubber Compounds Samples from a Pneumatic Tire", 한국공작기계학회 춘계학술대회 논문집, pp.404~409