

리브 형상 및 개수에 따른 사각플라스틱 페트병의 강성보강에 관한 연구

이영훈^{1,2}. 박범진^{1,3}. 정의철¹. 오정길⁴. 홍석관^{1,†}

한국생산기술연구원 금형성형부^{1,†}
한양대학교 에리카 기계공학과²
한국공학대학교 기계공학과³
(주) 동아정밀 공업⁴

A study of Improvement of Stiffness for Plastic PET bottle with Different Geometries and Numbers of Rib

Young-Hoon Lee^{1,2}. Bum-Jin Park^{1,3}. Eui-Chul Jung¹. Jung-Gil Oh⁴. Seok-Guwan Hong^{1,†}

Mold Forming Research Section, Kore Institute of Industrial Technology^{1,†}
Mechanical Engineering, Hanyang University Erica²
Mechanical Engineering, Tech University of Korea³
DongA Prec. Co. Ltd⁴

(Received December 16, 2023 / Revised December 16, 2023 / Accepted December 31, 2023)

Abstract: Excessive use of plastic bottles contributes to a significant environmental issue due to the high volume of plastic waste generated. To address this, efforts are needed to reduce the weight of plastic bottles. However, indiscriminate weight reduction may compromise the essential rigidity required for plastic bottles. Extensive research on rib shape for pressure vessels are exists, but there is a few research of rib shapes to enhance the stiffness of plastic bottles. The following results were obtained from the analyses conducted in this study. 1) Among the rib cross-sections of square, trapezoid, and triangle, the buckling critical load of PET bottles with square-shaped ribs is improved by about 14% compared to the buckling critical load of PET bottles without ribs. 2) The buckling critical load is improved by about 18% when a square-shaped rib with an aspect ratio of 0.2 is applied, compared to the buckling critical load of the bottle without the rib. 3) When longitudinal and transverse square ribs were applied to the axial direction of the PET bottle, the buckling critical load was improved by about 32% and 58% compared to the buckling critical load of the PET bottle without ribs, respectively, indicating that applying longitudinal ribs is effective in reinforcing the stiffness of PET bottles. 4) When 14 transverse ribs were applied, the maximum improvement was about 48% compared to the buckling critical load of the plastic bottle without ribs. 5) When 3 longitudinal ribs were applied on each side, the maximum improvement was about 76% compared to the buckling critical load of the bottle without ribs. Therefore, it was concluded that for effective stiffness reinforcement of a 500ml square bottle with a thickness of 0.5mm, 3 square-shaped ribs with an aspect ratio of 0.2 should be applied in the longitudinal direction relative to the axial direction of the bottle.

Key Words: Aspect Ratio, Blow molding, Elastic Buckling Analysis, PET bottle, Rib

1. 서론

플라스틱 페트병은 사출 블로우 성형(injection blow molding)에 의해 생산된다. 사출 블로우 성형

은 프리폼(preform)이라고 불리는 중공 성형품을 예열한 후 기체의 압력으로 성형하는 공법으로 다양한 플라스틱 용기를 제조하는 공정으로 사용된다¹⁾. 한 해 우리나라 인구가 소비하는 페트병은 약 49억개로, 500 ml 생수병으로 일렬로 나열했을 때, 지구를 10바퀴도 넘게 돌 수 있는 양이다²⁾. 이를 전 세계적인 범위로 확대하면 한 해 페트병에 사용하는 폴

†교신저자: skhong@kitech.re.kr

* 본 논문에 대한 저작권은 저자들에게 있으며 CC BY-NC-SA를 만족하는 조건으로 이용할 수 있습니다.

라스틱 양이 방대하다는 것을 알 수 있다. 친환경에 대한 관심이 높아지고 플라스틱을 가공하는 공정에서 발생하는 환경문제가 심해짐에 따라³⁾ 플라스틱 사용량을 줄이기 위해 페트병의 무게를 줄이는 공정이 필요하며 그와 관련한 환경 규제에 관한 법규 또한 강화되는 추세이다⁴⁾. 하지만 무조건적인 무게의 감소는 플라스틱 페트병이 가져야 하는 최소한의 강성을 유지하지 못하는 결과를 초래할 수 있기 때문에 페트병의 강성보강을 할 수 있는 리브 구조를 추가하는 것은 필수적이다. Wei 등⁵⁾은 정수압을 받는 원형 압력용기에 사다리꼴 형태의 리브 구조물이 용기의 좌굴 임계하중에 끼치는 영향에 대한 연구를 수행하여 강성 보강에 효과적인 사다리꼴 형상을 도출하였다. Zhu 등⁶⁾은 폴리머 복합소재의 원형 실린더 쉘에 다양한 형태의 리브 구조물이 있을 때 좌굴 형태에 관한 연구를 수행하였다. 이때 사용한 리브의 형태는 리브의 단면적이 사각형, I형, 사다리꼴 형태를 사용하였고, 넓이가 같은 경우와 이차 단면모멘트가 같은 경우 두가지에 대해서 ABAQUS의 선형 좌굴 해석을 통해 각각의 케이스에 대한 좌굴 형태를 살펴보고 실제 제품 제작과 해당 제품에 대한 압축실험을 수행하였다. Shi 등⁷⁾은 탄소 섬유 소재의 얇은 쉘 구조에 그리드(grid) 형태의 리브 구조를 넣었을 때 탄소 섬유 쉘의 좌굴 형태를 살펴보는 연구를 수행하였다. 한병기 등⁸⁾은 중공 단면을 갖는 구조물의 좌굴 형태가 중실단면을 갖는 구조물의 좌굴 형태와 다름을 파악하였고, 얇은 두께의 사각 튜브의 좌굴 임계 응력식을 도출하여 해당 형태의 구조물의 국부 좌굴 형태에 대한 이론적인 연구를 수행하였다. 하지만 선행 연구들에서는 리브 형태에 따른 사각 플라스틱 페트병의 강성보강에 관한 연구는 이루어지지 않았기 때문에 본 연구에서는 선행 연구들에서 용기의 강성보강에 효과적인 리브 형태와 종류를 참고하여^{5,7)} 본 연구의 타겟이 되는 사각 플라스틱 페트병의 강성보강에 효과적인 리브의 형태를 도출하고자 한다. 또한 본 연구를 바탕으로 경량화 된 페트병의 강성보강에 관한 후속 연구를 진행할 수 있을 것으로 예상된다.

2. 본론

2.1 리브 형상에 따른 페트병의 좌굴 임계하중 값 변화

본 연구에서는 리브의 형상에 따른 500 ml 사각 페트병의 좌굴 임계하중 값의 변화를 파악하기 위해서 리브의 단면적이 동일한 넓이(1.48 mm²)인 사각형, 사다리꼴, 삼각형 형상의 리브와 동일한 이차 단면 모멘트(0.067 mm⁴)를 갖는 세가지 형상의 리브를 각각 Table 1, Table 2와 같이 설계하였다. Fig.1은 각각의 형상과, 해당 형상을 결정하는 요소인 가로, 세로 부분을 나타낸 것이고, Table 1과 Table 2에서 각각 요소들의 값을 나타내었다.

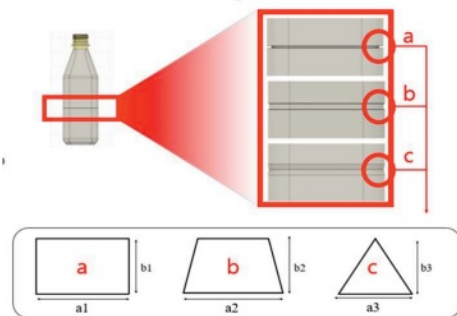


Fig.1 Cross-sectional shape of ribs: (a) rectangle shape, (b) trapezoid shape, (c) triangle shape

Table 1 Factors of cross-sectional shape with same area

Factor	Length(mm)
a1	2.00
a2	2.30
a3	1.83
b1	0.74
b2	0.69
b3	1.59

Table 2 Factors of cross-sectional shape with same moment of inertia

Factor	Length(mm)
a1	2.00
a2	2.36
a3	0.09
b1	0.74
b2	0.71
b3	0.08

Table 3 Mechanical Properties of 500ml squared PET bottle

Properties	Unit	Value
Density	kg/mm ³	1.34×10 ⁶
Young's Modulus	MPa	1863.4
Poisson's ratio	-	0.389
Yield strength	MPa	52.81
Tensile strength	MPa	52.81

선형 좌굴 해석에 사용한 프로그램은 ANSYS를 사용하였으며, 정적 구조해석과, 선형 좌굴해석을 연계하여 사용하였다. 해석에 사용한 플라스틱 용기의 기계적 물성은 Table 3과 같다. 선형 좌굴 해석 시, 페트병의 넥(neck)부분과 숄더(shoulder)부분은 접합(bonded) 구조를 주어 진행하였다. 선형 좌굴 해석을 진행하기 위해서 면(face)로 이루어진 모델에 두께를 부여할 때, 실제 페트병의 캡 부분이 바디부분에 비해 두껍게 제작되는 점을 고려하였다⁹⁾. 선형 좌굴 해석을 진행할 때, 캡(cap) 부분의 두께를 1 mm이하로 부여하면, 넥 부분에서 소성변형이 일어나 유의미한 해석 결과를 얻지 못하였기 때문에 1 mm로 설정하였다. 바디 부분과 숄더 부분의 두께는 실제 블로우 성형된 플라스틱 페트병의 두께 분포와 유사하게 0.5 mm로 설정하였다⁹⁾. Fig.2는 압축 실험의 경계조건을 선형 좌굴 해석에서 표현한 것이다. Fig.2(a)은 용기의 가장 윗부분에 적용한 하중(top load)이고, Fig.2(b)은 용기의 지지면이다(support face). 이때, 좌굴 하중 승수(buckling load multiplier)로 나타나는 좌굴 해석 결과에 적용한 하중을 곱하여 용기의 좌굴 임계하중을 도출하였다. 정적 구조해석 결과의 최대 von-mises stress 값이 용기에 사용한 소재의 항복 강도 보다 크면 해석이 선형 구간 밖에서 일어났다고 할 수 있기 때문에 유의미한 결과라고 할 수 없다. 따라서 정적 구조해석의 von-mises stress의 최대값과 소재의 항복강도 비교를 통해 용기가 선형 구간 내에서 변형하는지 확인하였다.

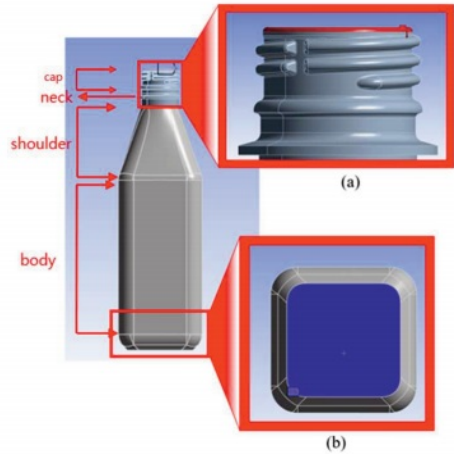


Fig.2 Boundary condition for linear buckling analysis: (a) top load for linear buckling analysis, (b) support face for linear buckling analysis

2.2 리브 종횡비(aspect ratio)에 따른 페트병의 좌굴 임계하중 변화

사각형 형상의 종횡비에 따른 용기의 좌굴 임계하중 값 변화를 파악하기 위해서 Table 4 와 같이 넓이의 변화가 없는 사각형 리브 단면에 종횡비의 변화를 주어 선형 좌굴 해석을 진행하였고, 이때 구속 조건은 2.1절과 동일하게 적용하였다. 종횡비 값은 선형연구를 참고하여 설정하였다⁹⁾. 이때 Fig.3에서 a1은 리브 단면의 가로, b1은 세로를 나타내었고, k는 페트병에 리브가 적용 되어있는 부분의 폭을 나타내었다.

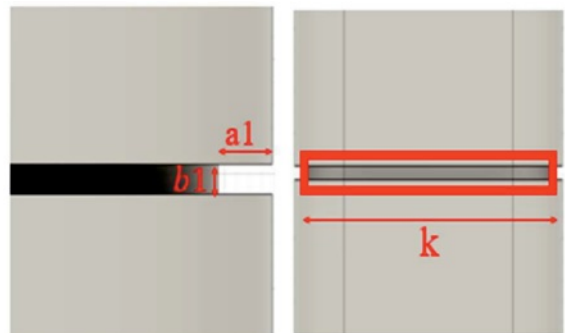


Fig.3 a1, b1 factor for aspect ratio and k value

Table 4 Aspect ratio and k values

Aspect ratio(b1/a1)	b1(mm)	a1(mm)	k(mm)
0.2	2.7	0.54	54.0
0.25	2.41	0.60	54.6
0.3	2.20	0.66	55.0
0.375	1.97	0.74	55.4
0.4	1.90	0.76	55.7
0.6	1.55	0.93	56.3

2.3 리브 적용 방향에 따른 페트병의 좌굴 임계하중 변화

페트병에 적용한 리브의 방향에 따라 좌굴 형태와 좌굴 임계하중 값이 달라지는 것을 파악하고자, 페트병의 축 방향에 대한 횡방향과 종방향에 대한 선형 좌굴 해석을 진행하였다. Fig.4(a), Fig.4(b)와 같은 형태로 횡 방향, 종방향의 리브를 페트병에 적용하였고, 리브의 형상은 2.1절과 2.2절의 해석 결과에서 가장 효과적으로 용기의 좌굴 임계하중 값을 향상을 보인 종횡비 0.2의 사각형 형상을 적용하였다. 종방향에 4개의 리브가 적용되기 때문에 횡 방향에도 4개의 리브를 적용하였다. 이때 동일한 부피의 두 용기에 대해 해석을 진행하기 위해 종 방향 리브의 길이는 횡방향 리브 둘레의 길이와 동일하게 설계하였다. 해석의 경계조건은 2.1절의 Fig.2와 동일하다.

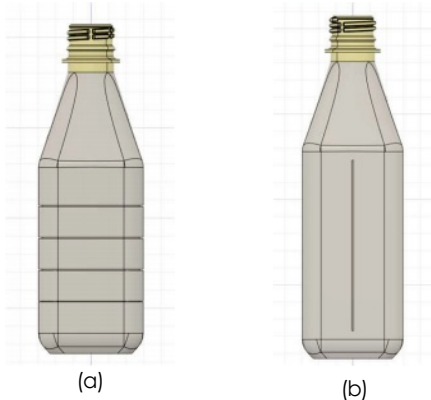


Fig.4 PET bottle with different direction ribs: (a) PET bottle with transverse direction, (b) PET bottle with longitudinal direction

2.4 리브 개수에 따른 페트병의 좌굴 임계하중 변화

두 가지 방향에서 각각 리브의 개수에 따른 페트병의 좌굴 임계하중 값 변화를 파악하고자, 2.3절에서 사용한 리브의 형상과 동일한 리브를 Fig.5와 같이 개수를 늘려가며 선형 좌굴 해석을 진행하였다. Fig.5(a)에서 횡 방향 리브 사이의 거리(h)는 식(1)을 통해서 산출하였고, Fig.5(b)에서 종 방향 리브 사이의 거리(s)는 식(2)를 통해서 산출하였다.

$$h = \frac{L_1 - (w \times n)}{n + 1} \quad (1)$$

여기서 L_1 은 페트병의 바디부분의 길이, w 는 리브 단면적의 높이, n 은 리브의 개수이다.

$$s = \frac{L_2 - (w \times m)}{m + 1} \quad (2)$$

L_2 는 페트병의 바디부분 단면의 폭 길이, w 는 리브 단면적의 높이 m 은 리브의 개수이다.

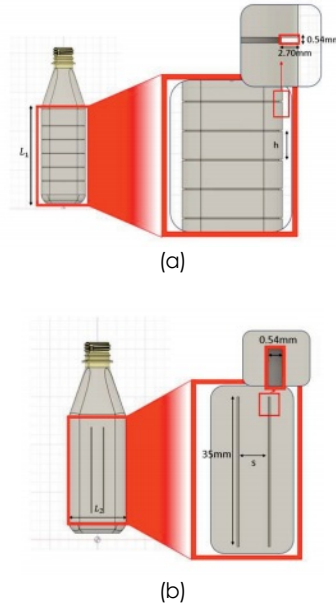


Fig.5 PET bottle with different number of transverse and longitudinal ribs: (a) PET bottle with different number of transverse ribs, (b) PET bottle with different number of longitudinal ribs

Table 5 h, s values with different number of ribs

	L_1 (mm)	w(mm)	n(개)	h(mm)
Case 1	109.89	0.54	0	0
			5	17.8
			10	9.4
			14	6.8
			15	6.5
			18	5.2
			21	4.4
Case 2	L_2 (mm)	w(mm)	m(개)	s(mm)
	37.42	0.54	0	0
			1	0
			2	12.1
			3	8.9

3. 해석결과 및 분석

3.1. 리브 형상에 따른 페트병의 좌굴 임계하중 변화

동일한 단면적의 서로 다른 세가지 리브 형상에 따른 페트병의 좌굴 임계하중 변화는 Table 6과 Fig.6에 나타냈다. 리브를 적용하지 않은 페트병의 좌굴 임계하중은 252N이고 사각형, 사다리꼴, 삼각형 형상의 리브를 적용한 페트병의 좌굴 임계하중은 288N, 277N, 285N으로 리브를 적용하지 않은 페트병의 좌굴 임계하중에 비해서 약 14%, 13%, 9% 향상되었다. 동일한 이차 단면 모멘트의 서로 다른 세가지 리브를 적용한 페트병의 좌굴 임계하중은 Table 7 과 Fig.7에 나타냈다. Table 7 과 Fig.7에서 볼 수 있듯이 동일한 이차 단면모멘트를 가지는 사각형, 사다리꼴, 삼각형 형상의 리브를 적용한 페트병의 좌굴 임계하중은 각각 288N, 276N, 261N으로 리브를 적용하지 않은 페트병의 좌굴 임계하중에 비해 약 14%, 9%, 3% 향상되었다. 이런 해석 결과는 Fig.3에 나타나 있는 k 값이 사각형, 사다리꼴, 삼각형 각각 51.00 mm, 53.42 mm, 51.82 mm 로 사각형 형상 리브의 k값이 가장 작기 때문에 가장 큰 좌굴 임계하중 값을 갖는 것으로 사료된다.

Table 6 Critical Buckling Load with same cross-sectional area

Shape of Rib	Critical Buckling Load
No rib	252
Rectangle	288
Trapezoid	277
Triangle	285

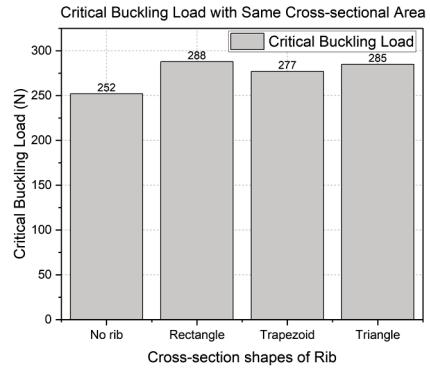


Fig.6 Critical Buckling load with same cross-sectional area

Table 7 Buckling Critical Load of PET bottle with same moment of inertia

Shape of Rib	Critical Buckling Load (N)
No rib	252
Rectangle	288
Trapezoid	276
Triangle	261

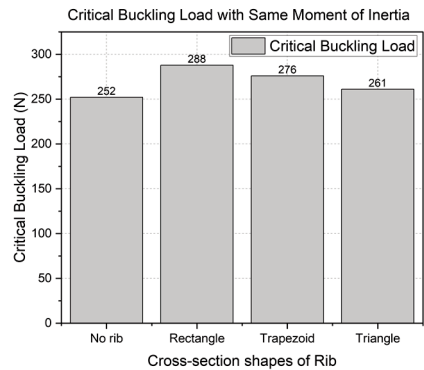


Fig.7 Critical Buckling Load with same moment of inertia.

3.2 리브 종횡비에 따른 페트병의 좌굴 임계하중 변화

리브의 종횡비에 따른 좌굴 임계하중 값의 변화는 Table 8과 Fig.8에 나타냈다. 해석 결과 k 값이 작아 질수록 좌굴 임계하중이 증가하는 경향을 보였고, 이는 3.1 절의 해석 결과와 동일한 경향을 갖는 것으로 확인하였다. 종횡 비 0.2일 때 좌굴 임계하중이 296N으로 리브를 적용하지 않은 페트병의

좌굴 임계하중에 비해 약 18%로 가장 크게 향상되었다.

Table 8 Critical Buckling Load with different aspect ratio

Aspect Ratio($b1/a1$)	k(mm)	Critical Buckling Load(N)
0.2	54.0	296.0
0.25	54.6	292.0
0.3	55.0	290.0
0.375	55.4	288.0
0.4	55.7	285.7
0.6	56.3	285.6

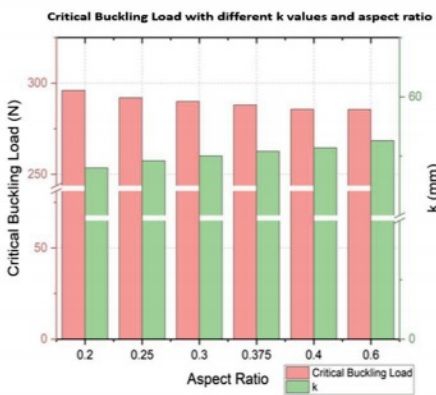


Fig.8 Critical Buckling Load with different k values and aspect ratio

해석 결과, 사각형, 사다리꼴, 삼각형 형상의 리브 중 중횡비 0.2의 사각형 단면을 갖는 리브를 페트병에 적용하는 것이 강성보강에 가장 효과적인 것으로 파악하였다.

3.3 리브 적용 방향에 따른 페트병의 좌굴 임계하중 변화

페트병의 축에 대해 동일한 부피의 횡방향과 종방향의 리브를 적용한 용기의 좌굴 임계하중 값은 Table 9와 Fig.9과 같다. 횡방향과 종방향의 리브를 적용하였을 때 리브를 적용하지 않은 페트병의 좌굴 임계하중에 비해 각각 약 32%, 58% 향상되었다. 따라서 동일한 부피의 리브를 페트병에 적용할 때는 종방향의 리브가 강성보강에 효과적이라는 것을 파악하였다. Fig.10는 횡방향과 종방향의 리브를 적용하여 해석을 진행하였을 때 나타나는 용기의 좌굴 형태이다. 적용 방향에 따른 좌굴 임계하중

값의 차이가 생기는 원인은 Fig.10(a), Fig.10(b)와 같이 종 방향의 리브를 적용하면 페트병의 좌굴이 전체좌굴(Global buckling)형태로 발생하였고, 횡방향의 리브를 적용한 페트병에서는 국부좌굴(local buckling)이 일어났기 때문에 사료된다.

Table 9 Critical Buckling Load with different rib directions

Rib Direction	Critical Buckling Load(N)
No rib	252
Transverse	334
Longitudinal	400

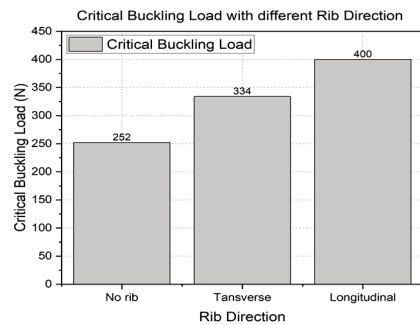


Fig.9 Critical Buckling Load with different rib directions

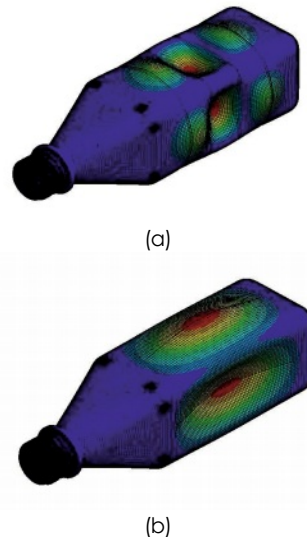


Fig.10 Buckling mode for different directions of ribs: (a) Buckling mode with transverse ribs, (b) Buckling mode with longitudinal ribs

3.4 리브 개수에 따른 페트병의 좌굴 임계하중 변화

중 변화

횡방향의 리브의 개수에 따라 수행한 페트병의 선형 좌굴 해석 결과는 Table 10과 Fig.11과 같다. 리브의 개수가 14개까지 증가함에 따라 리브가 없는 페트병의 좌굴 임계하중 값에 비해 최대 약 48% 좌굴 임계하중 값이 향상되었다.

Table 10 Critical Buckling Load with different number of transverse ribs

Number of Rib(개)	Critical Buckling Load(N)
0	252
5	343
10	366
14	377
15	359
18	315
21	249

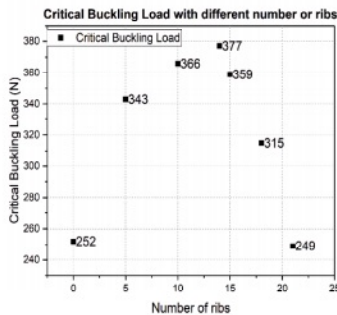


Fig.11 Critical Buckling Load with different number of transverse ribs

중 방향 리브의 개수를 늘려가며 페트병에 대한 선형 좌굴 해석 결과는 Table 11과 Fig.12과 같다. Fig.5(b)에서 보이는 바와 같이 페트병 옆 면에 리브를 3개까지 증가시키기에 따라 좌굴 임계하중 값이 리브가 없는 페트병의 좌굴 임계하중 값이 최대 약 76%까지 향상되었다. 3개 이상의 리브를 적용하였을 때는 페트병에서 선형구간 내에서 좌굴이 일어나지 않기 때문에 유의미한 좌굴 임계하중 값을 얻지 못하였다.

Table 11 Critical Buckling Load with different number of longitudinal ribs

Number of Rib(개)	Critical Buckling Load(N)
0	252
1	400
2	422
3	443

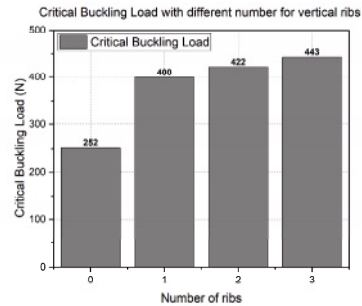


Fig.12 Critical Buckling Load with different number of longitudinal ribs

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 500 ml 사각 페트병의 강성보강을 위한 리브의 형상, 중횡비, 적용방향, 개수에 따른 플라스틱 용기의 좌굴 임계하중 변화를 Ansys의 선형 좌굴 해석을 통해서 살펴보고, 효과적으로 페트병의 강성을 증가시킬 수 있는 리브의 형상, 중횡비, 적용방향과 개수를 다음 과 같이 도출하였다.

1) 리브 형상에 따른 좌굴 임계하중 값의 변화를 파악하기 위해 동일한 면적과 동일한 이차단면 모멘트 두가지 경우에 대한 사각형, 사다리꼴, 삼각형 형상의 리브를 적용하여 해석한 결과 사각형 형상의 리브를 적용하여 해석한 결과 사각형 형상의 리브를 적용하지 않은 페트병의 좌굴 임계하중에 비해 약 14% 향상되었다.

2) 서로 다른 중횡비를 갖는 6개의 사각형 형상의 리브를 적용한 페트병에 대해 선형 좌굴 해석을 진행한 결과 중횡비 0.2인 사각형 형상의 리브를 적용했을 때 리브를 적용하지 않은 페트병의 좌굴 임계하중에 비해 18%의 가장 효과적인 향상율을 보였다.

3) 페트병의 축방향에 대한 중방향과 횡방향으로 리브를 적용하여 선형 좌굴 해석을 진행하였을 때, 중방향으로 리브를 적용한 페트병과 횡방향으로 리브를 적용한 페트병 각각 리브를 적용하지 않은 페트병에 비해 32%, 58%향상된 결과를 보였다. 따라서 횡방향으로 리브를 적용하는 것보다 중방향으로 리브를 적용하는 것이 페트병의 강성보강에 효과적이다.

4) 횡방향으로 리브를 적용하여 개수를 늘려갔

을 때, 리브의 개수가 14개까지 증가함에 따라 좌굴 임계하중 값이 증가하였고, 리브를 적용하지 않은 페트병의 좌굴 임계하중에 비해 최대 약 48%의 향상을 보였다.

5) 종방향으로 리브를 적용하여 개수를 늘려갔을 때, 리브의 개수가 3개까지 증가함에 따라 좌굴 임계하중 값이 증가하였고, 리브를 적용하지 않은 페트병에 비해 좌굴 임계하중이 최대 약 76% 향상되었다. 그 이상의 리브를 적용하여 해석을 진행하였을 때는 선형 구간 내에서 좌굴이 발생하지 않았기 때문에 유의미한 값을 얻지 못하였다.

위의 결과들을 토대로 볼 때, 일정 두께의 페트병의 강성을 보강하기 위해서는 종횡비 0.2를 갖는 사각형 형상의 리브를 종방향으로 각 면에 3개씩 적용하는 것이 가장 효과적이라는 것을 도출하였다. 본 연구를 토대로 경량화 된 페트병의 강성보강에 관한 추후 연구를 진행할 수 있을 것으로 예상된다.

후기

본 연구는 2023년도 산업통상자원부 우수기업 연구소 육성사업(ATC+) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다

참고문헌

- 1) Hong, S.G., Song, M.J., Ko, Y.B., Cha, B.S., Finite element analysis of a injection blow molding process for the thick-walled PET bottle, Design & Manufacturing, Vol. 12:3 5, 2018.
- 2) 이한, "연간 49억개...페트병은 어떻게 버리나?", 그린 포스트 코리아, 2021.12.22., <https://www.greenpostkorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=131018>
- 3) Sandu. C., Takacs. E., Suaria. G., Borgogno. F., Laforsch. C., Löder. M.M.G.J., Tweehuysen. G., Florea. L., Society Role in the Reduction of Plastic Pollution, Handbook of Environmental Chemistry, 2020.
- 4) Jung. S.T., Kim. H.J., Wi. E.C., Kim. M.S., Lee. J.B., Baek. S.Y., Hinge Design and Injection Molding Simulation of Cosmetic Cushion Fact Container Using Eco-Friendly Mataerials, Design & Manufacturing, Vol. 13, 2019.
- 5) Wei. R., Shen. K., Pan. Guang., Optimal design of trapezoid stiffeners of composite cylindrical shells subjected to hydrostatic pressure, Thin-Walled Structures, Vol.166, 2021.
- 6) Zhu. Y., Guan. W., Wang. W., Dong. C., Zhang J., Buckling performance of stiffened polymer composite cylindrical shell, Engineering Structures, Vol. 295, 2023.
- 7) Shi. S., Sun. Z., Ren. M., Chen. H., HU. X., Buckling resistance of grid-stiffened carbon-fiber thin-shell structures, Composite: Part B, Vol. 45, 2013.
- 8) B.K.Han., B. H. Park., D. S .Ahn., The Relationship Between Local and Overall Buckling of Rectangular Tubes, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 22, 887-894, 1998.
- 9) Woo. I.Y., Nam. K.W., Kim. B.J., Lyu. M.Y., Experimental and Computer Simulation of Stretch Blow Molding for Carbonated Soft Drink PET Bottle. Polym. Korea, Vol.46, 257-265, 2022.

저자 소개

이영훈 (Young-Hoon Lee)



- 2019년 3월 한양대학교 에리카 기계공학과 입학
- 2023년 7월~현재 한국생산기술연구원 금형성형부분 현장실습

<관심분야>

설계 CAE, 3D 모델링

오정길 (Jung-Gil Oh)



- 2009년 2월 단국대학교 기계공학과 석사
- 2021년 6월~ 현재 동아정밀공업주, 부설연구소, 책임연구원

<관심분야>

사출연신블로우금형 및 성형 CAE

박범진 (Bum-Jin Park)



- 2018년 3월 한국 공학대학교 기계공학과 입학
- 2023년 7월~현재 한국생산기술연구원 금형성형부분 현장실습

<관심분야>

설계 CAE, 3D 모델링

홍석관 (Seok-Kwan Hong)

[정회원]



- 2015년 8월 단국대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2004년 3월~ 현재 한국생산기술연구원, 금형성형부분, 선임연구원

<관심분야>

프레스 공정해석, 사출 공정해석, 좌측화, 인공지능

정의철 (Eui-Chul Jeong)

[정회원]



- 2014년 단국대학교 기계공학 학사
- 2016년 단국대학교 대학원 기계공학 석사
- 2022년 단국대학교 대학원 기계공학 열유체 박사
- 2022년 8월~ 현재 한국생산기술연구원 금형성형부분, 포스트 닥터 :

<관심분야>

사출성형 및 금형