

Utilizing CAE to Develop Hand Soap Refill Packaging

손세정제 리필용기 개발의 CAE 활용

定家惠實 / 라이온(주) 생산기술연구본부
용기·포장기술연구소

1. 서론

CAE(Computer Aided Engineering)는 1970년대 후반 미국에서 제창된 ‘제품의 설계나 개발에 컴퓨터를 널리 활용한다’라는 개념이다. 그 후 컴퓨터의 진보, 범용 소프트웨어의 개발에 의해 폭넓게 보급됨에 따라 CAE는 공학적 과제를 예측하는 시뮬레이션이나 그것을 위한 툴(tool)을 의미하는 단어로 사용되고 있다.

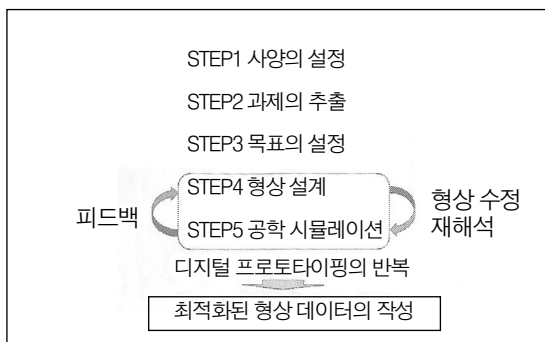
CAE는 자동차, 항공우주, 건설분야를 비롯해 많은 산업분야에서 적극적으로 활용되고 있다. 한편 포장용기분야에서는 비용·시간 등의 문제로 일부 대기업에서 제한적으로 이용하고 있다.

일본 라이온 주식회사가 용기 개발에 CAE를 활용한 것은 전기 CAE의 개념이 제창된 시기에 해당하는 1979년 NASTRAN(미국항공우주국(NASA)을 위해 개발된 구조해석프로그램)의 도입에서부터 시작됐다. CAE의 여명기에 기술을 도입했기 때문에 당초에는 어떻게 CAE를 사용할 것인가에 많은 시간을 들였다.

90년대에 들어서면서 비용 절감의 관점에서 플라스틱 양을 삭감한 용기 경량화가 요구되었

다. 그러한 흐름이 이어져 1996년에 CAE를 활용해 주방용 세제의 리필용기를 개발해 제21회 기노시타상을 수상하기에 이르렀다. 그 후에도 용기포장리사이클법의 시행으로 용기 경량화에 대한 CAE의 활용을 보틀 설계 시 정기적인 검토로써 계속해왔다. 최근 플라스틱의 환경문제에 대

[그림 1] 용기 형상 설계의 흐름



[표 1] 보틀의 사양

항목	설정
재질	PET
수지량	35g
외형 치수(L×W×H)	90×77×194.5(mm)
만주 내용량	900ml(내용물 : 800ml)
가식	권취 라벨

한 의식 고양이와 함께 용기 경량화에 대한 주목이 다시 강해지고 있다.

이 글에서는 최근의 보틀 경량화 검토 사례로써 ‘키레이키 레이’ 손세정제 리필용기의

[표 2] 제조에서부터 사용의 각 장면에서 요구되는 품질

장면	요구되는 품질
수송(포장재 제조사~동사 충전공장)	보틀이 손상되지 않는다.
충전	키팅 시에 보틀 손상이나 액체 넘침이 일어나지 않는다.
	충전 시(40℃)에서부터 차가워졌을 때까지 보틀의 움푹 패임이 보이지 않는다.
수송(동사 충전공장~창고)	보틀이 손상되지 않는다.
창고	수분 감량의 영향에 의한 보틀의 움푹 패임이 보이지 않는다.
사용 시	보틀을 쥐기 쉬울 것
	캡을 개봉하기 쉬울 것
	개봉 시에 액이 흐르지 않을 것
폐기 시	찌그러트리기 쉬울 것

박육화와 다양한 하중요건(보틀의 감용, 수송 시 충격 등)에 대응할 수 있는 형상설계에 관해 소개한다.

II. 용기 형상 설계의 흐름

동사의 용기 형상 설계의 기본적 흐름을 [그림 1]에 나타냈다. 먼저 제조에서부터 폐기에 이르는 과정에서 요구되는 사항을 고려한 기본사양의 설정(STEP1), 요구되는 품질을 만족하기 위한 과제의 추출(STEP2)과 설계목표를 설정(STEP3)한다. STEP4에서 STEP1~3을 고려한 형상 데이터를 설계하고, STEP5에서 CAE에 의해 설계한 형상이 설계 목표를 만족하고 있는지를 확인한다. CAE의 결과를 피드백해서 형상을 수정하고, 다시 CAE에서 확인하는 디지털 프로토타이핑(Digital Prototyping)을 반복하면서 최적화된 형상 데이터를 작성한다.

III. 사양 설정

기존 제품은 종이용기였는데, 필름과의 적층구조였기 때문에 용기 리사이클이 어려웠

[표 3] 형상 설계의 과제와 상정되는 하중

과제	상정되는 하중
감압에 의해 움푹 패이지 않을 것	온도 변화에 의한 헤드스페이스의 감용이나 장기 보존에 의한 감량에 유래하는 감압
수송 중 케이스 낙하에 의해 손상되지 않을 것	케이스 낙하 시에 보틀끼리 부딪히는 것에 의한 보틀 측면에 대한 충격
축방향 압축에 의해 손상되지 않을 것	키팅 시의 수직 하중
개봉 시에 액체 넘침이 없을 것	개봉 시의 쥐는 손가락에 의한 압력

다. 이 때문에 리사이클이 용이한 용기로 재설계하기로 하고 검토를 시작했다. 기존품과 가까운 형상 이미지가 되도록 충전 용량이 800ml인 사각형 보틀을 만들고, 충전 시 액체 넘침을 방지하기 위해 헤드 스페이스(내용물 이외의 용기 내 공간) 100ml를 확보, 만주 내용량은 900ml로 했다. 또한 동사에서 정기적으로 시장 제품 조사를 실시해 용기 용적에 대한 수지량에 관한 기준을 설정하고 있다. 이 제품은 리필제품이기 때문에 보다 환경에 배려한 보틀 수지량으로써 상기 기준보다 적은 35g으로 설정했다. 이 용기의 사양을 [표 1]에 나타냈다.

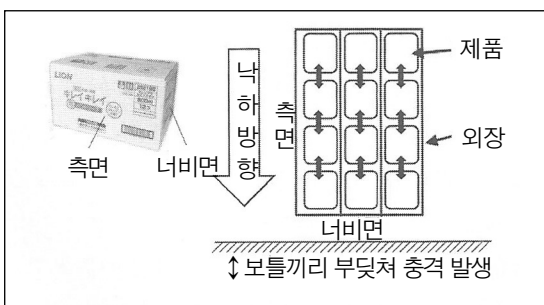
IV. 과제 추출

용기 제조에서부터 고객의 사용에 이르는 각 장면에서 요구되는 품질을 [표 2]에 정리했다. 또한 그것으로부터 [표 3]에 나타난 4가지 과제, ‘감압에 의한 움푹 패임’, ‘수송 중 케이스 낙하에 의한 손상’, ‘축 방향 압축에 의한 손상’, ‘개봉 시의 액체 흘림’ 등을 추출했다.

다음에 이번 설계에서 특히 중요했던 ‘내감압성능’ 및 ‘내케이스낙하성능’에 대한 대책을 중심으로 설명한다.

V. 설계목표의 설정

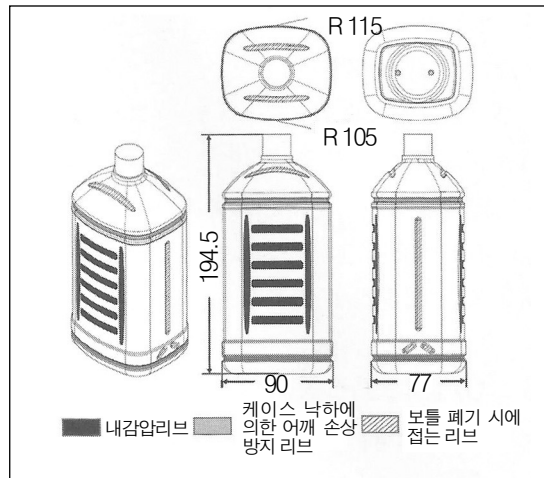
[그림 2] 수송 시에 우려되는 케이스 낙하



1. 내감압성능

PET보틀에서는 온도 변화나 경시에 의한 수분 감량에 유래하는 감압에 의해 발생하는 보틀 패임이 우려사항이다. 충전 시에서부터 냉한지로의 수송 냉각에 의한

[그림 3] 후보형상



감용적 예측값, 장기보존에 의한 내용물의 수분감량 예측값에서부터 상정해서 얻은 보틀의 최대감용적을 40ml로 했다. 보틀의 감압에 의한 변형 거동의 시뮬레이션에서 보틀 외관에 오목한 부분이 보이지 않는 최대감용적으로 정의한 '외관 한계'가 40ml 이상이 되는 것을 목표로 했다.

2. 내케이스낙하성능(보틀 측면에 대한 충격하중)

수송 중에 케이스 낙하가 일어나면, 어깨부의 손상이 우려된다. 이 개발의 수송포장설계에서는 케이스 속에 칸막이가 없는 '너비면 방향'으로 낙하가 일어나면, 보틀 어깨부분 끼리 부딪치는 충격에 의한 어깨부 손상이 상정되었다([그림 2]). 그 때문에 설계 시에는 보틀로 보틀을 압축하는 시뮬레이션 후에 움푹 패임이 잔존하지 않는 것을 목표로 했다.

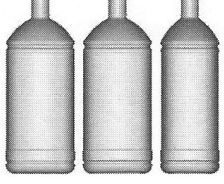
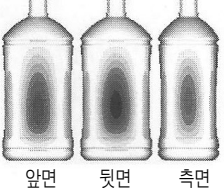
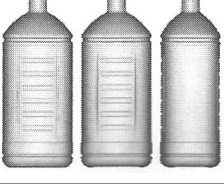
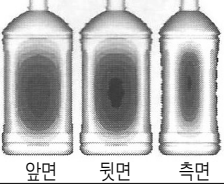
VI. 보틀의 형상 설계

'내감압성능', '내케이스낙하성능'을 위한 리브 배치 등 대책을 강구한 후보 형상([그림 3])을 설계했다. 다음에 그 상세한 내용에 관해 소개한다.

1. 내감압성능에 관한 형상 설계

감압에 의한 보틀 움푹 패임 대책으로써는 박육을 유지한 대응법으로 보틀 몸통부에 감압 흡수 패널을 배치하는 방법이 있다. 감압 흡수 패널 구조로써 잘 알려진 감압 흡수 오목 패널 안에 볼록 리브를 배치하는 형상은 가식이 권취 라벨이기 때문에 라벨 의장에 울퉁불퉁함이 생기기 쉬울 것으로 상정된다. 그 때문에 이것을 피해 몸통부에 오목가로 리브 6개로 그 양측에 오목 세로 리브를 배치하는 형상([그림 3] 검은 부분)을 설계하고, 더욱이 앞면과 뒷면의 R을 다른 값(앞면 R 105mm, 뒷면 R 115mm)으로 했다. 이 시책에 의해 리브가 배치된 지역 전체에서 감압에 의한 감용적을 흡수할 수 있어서 움푹 패인 부분을 찾기 어려워졌다. 또한 앞면보다 R이 큰 뒷면이 많이 오목해서 앞면의 오목한 부분이 잘 보이지 않게 되었다.

[그림 4] 감압 시뮬레이션 결과

형상 타입	형상 I (몸통부의 세로리브와 가로리브 없음)
형상도	
겉보기 한계 시의 변위 형세도	 (mm) 4.0, 3.5, 3.0, 2.5, 2.0, 1.5, 1.0, 0.5, 0.0
외관 한계 감용적(ml)	30
목표 도달 판단	미달
형상 타입	형상 II (몸통부에 세로리브와 가로리브를 배치)
형상도	
겉보기 한계 시의 변위 형세도	 (mm) 4.0, 3.5, 3.0, 2.5, 2.0, 1.5, 1.0, 0.5, 0.0
외관 한계 감용적(ml)	45
목표 도달 판단	달성

2. 내케이스낙하성능에 관한 형상 설계

수송 중 케이스 낙하에 의한 보틀의 어깨 손상에 관해서는 수송포장 속 보틀의 어깨부분 기리 부딪치는 충격에 의해 좌굴(buckling)이 생기고, 이것이 원래대로 돌아가지 않고 손상으로 남을 것으로 생각된다. 그 때문에 좌굴이 원래대로 돌아가는 성능을 향상시키는 것을 겨냥해 둘레 전체(全周) 리브를 어깨부에 배치했다. 더욱이 어깨부의 좌굴이 돌아갈 때에 보틀이 튀어오르고, 바닥부에도 밀어넣는 하중이 가해지는 것이 우려되기 때문에 바닥부에도 둘레 전체에 리브를 설치했다([그림 3] 회색 부분).

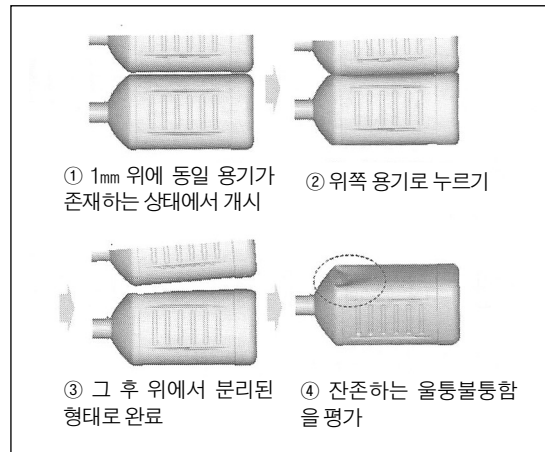
이상의 ‘내감압성능’, ‘내케이스낙하성능’의 설계에 더해 리필용 용기이기 때문에 사용 후 폐기하기 쉬움도 고려해 폐기할 때에 보틀을 쉽게 접을 수 있는 ‘접는 리브’([그림 3] 빗금 부분)를 설치했다.

VII. CAE에 의한 설계성능평가

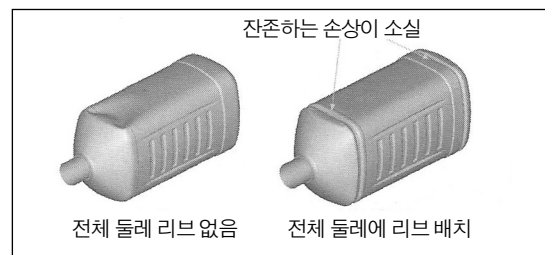
1. 내감압성능의 시뮬레이션

V 항의 1에서 서술한 것처럼 이 설계에서는 40ml 감용적했을 때에 보틀의 오목한 부분이 눈에 띄지 않는 것이 내감압성능의 목표이다. 설계한 형상의 감압변형거동을 시뮬레이션하고, 보틀의 외관에 오목한 부분을 인식하지 못하는 최대감용적으로 정의한 ‘외

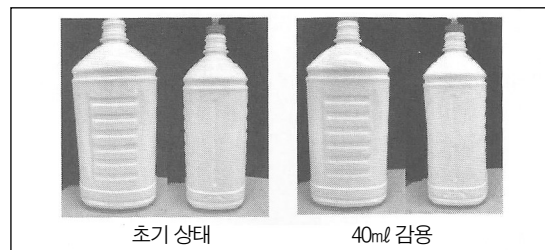
[그림 5] 손상 시물레이션



[그림 6] 손상 시물레이션 결과



[사진 1] 금형 성형품의 감압시험 결과



로 예측하고, 내케이스낙하성능을 평가했다. 내감압리브만을 배치한 형상에 관해 손상이 잔존하는 압력조건을 설정하고, 그 조건에서 손상의 잔존이 확인되지 않는 것을 평가조건으로 했다.

[그림 6]에 나타난 것처럼 어깨부 및 바닥부에 전체 둘레 리브를 설치하고 보틀로 보틀을 눌러도 잔존 손상이 확인되지 않는다는 평가 결과를 얻을 수 있었다. 둘레 전체에 리브를 배치해 좌굴이 쉽게 돌아가지 않은 것은 리브의 보강효과에 의해 좌굴이 돌아가는 레벨 크기로 억제되기 때문이라고 생각된다.

관 한계'가 목표값을 넘었는지를 평가했다.

[그림 4]에 나타난 것처럼 몸통부에 리브를 설치하지 않은 형상 I에서는 '외관 한계'가 30ml이고 목표에 도달하지 못한 것에 비해 후보형상인 몸통부에 세로 리브(오목)와 가로 리브(오목)를 배치한 형상 II에서는 '외관 한계'가 45ml가 되고 목표를 달성한다는 평가 결과를 얻을 수 있었다. 변위 형세도에 나타난 것처럼 몸통부에 리브를 배치한 형상 II에서는 리브가 존재하는 넓은 영역에서 감압을 흡수하고 있어서 설계에서 겨냥한 대로 '외관 한계'를 늘리는 것이 가능했다고 생각된다.

2. 내케이스낙하성능의 시물레이션

[그림 5]에 나타난 것처럼 보틀로 보틀을 눌렀을 때에 보틀에 잔존하는 손상을 시물레이션으

VIII. 시작 금형품에 의한 품질확인시험


이상으로 시뮬레이션으로 후보형상이 요구사양을 만족하는 것을 확인했기 때문에 시작금형을 제작해 실제 성형품을 입수했다. 내감압성능에 관해서는 감압시험([사진 1]), 내케이스낙하성능에 관해서는 낙하시험을 실시하고, 아무 문제가 없다는 것을 확인했기 때문에 개발을 완료했다.

IX. 결론

최근 CAE 활용에 의한 보틀 경량화 사례로써 ‘키레이키레이’ 손세정제 리필용기의 개발에 관해 소개했다. CAE란, 공학적 현상을 모델화해 계산하고 예측하는 기술이다. 동사에서는 수많은 아이디어를 검토하기 위해 지금까지 정밀도보다도 스피드를 중시한 모델화를 해왔다.

최근 플라스틱과 관련한 환경문제 의식의 고양으로 인해 보다 엄격한 조건에서 경량화 설계를 하고, 리사이클 플라스틱이나 식물유래 플라스틱 등 친환경 소재를 이용한 용기 설계가 증가할 것으로 예상된다. 이러한 추세에 대응하기 위해서는 시뮬레이션의 속도와 정밀도의 양립이 필요하다고 생각한다.

현재 유체구조연성해석에 의한 내용액 고려에 의한 정밀도 향상, 플라스틱 물성을 보다 고정밀도로 반영한 시뮬레이션 수법의 확립 등을 검토 중이다.

설계에서 CAE를 활용하면 다양한 의논이 심화된다는 효과도 있어서 앞으로도 CAE의 활용범위를 확장하기 위해 노력할 것이다. 



(사)한국포장협회
회원가입 안내



(사)한국포장협회
KOREA PACKAGING ASSOCIATION INC.

TEL. (02)2026-8655
E-mail : kopac@chollian.net