



의료용 액체 표백제 용기 개발

Development of the Container for Liquid Bleach

西野 藤 嗣 / 라이온(주) 생산본부 포장기술부

1. 서두

그 동안 라이온사에서는 표백제 등 내용물에 의해 용기 내부의 압력이 상승하고 용기가 변형 될 위험이 있을 경우 변형을 막기 위해 단면 형상이 원형인 '실린더 형태 보틀'을 이용했다.

하지만 실린더 형태 보틀은 용량과 높이가 같을 경우 단면이 타원형에 가까운 형태의 보틀 '오벌(타원형) 형태 보틀'과 비교해서 정면에서 봤을 경우에 폭이 작고 상점에서 경쟁력이 떨어진다.

이번에는 내용액의 농축화에 의해 제품을 콤팩트화한 기획에 맞춰서 개발하게 된 의료용 액체 표백제용 오벌 형태 보틀의 개발을 다루었다.

1. 기본 요건 확인

가장 먼저 고려해야 할 점은 '소비자의 안전'과 '내용물의 보호'이다.

이번에 개발한 액체 표백제는 표백 성분으로 과산화수소를 이용했고 충격 하중을 받았을 경우 용기가 파손돼 내용액이 비산할 위험을 배제

해야 했다. 또한 용기와 내용액과의 적합성도 고려해야 한다. 용기와 내용액이 접촉하면서 변질 되는 일은 피해야 한다.

이번 용기에는 같은 액체 표백제로 사용 실적이 있는 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)을 사용했다.

디자인안 형태(용량 590ml, 중량 44g, L×W×H=82×60×174mm)로 시험 보틀을 직접 블로우 성형하고 표시 내용량 500ml의 액체 표백제를 충전한 상태에서 평가했으며 낙하 충격 시험에서 용기에 파손이 없고 보존 시험에서 내용물과 용기의 적합성 및 내용물의 보존 안정성에 대해서 문제가 없다는 것을 확인했다. 하지만 보존 안정성 확인을 위해 50°C 항온조에서 보존 시험을 했을 때 용기에 변형이 나타났다.

2. 용기 개선 검토

보존 시험에서 용기가 변형된 원인은 용기 내부의 압력 상승에 있다. 보틀의 변형은 사전에 예상됐지만 외관을 손상시키는 변형은 최대한 억제해야 한다. 특히 저부가 변형해서 용기가 흔들리는 것을 피해야 한다.

그래서 용기의 강도를 향상시키고 변형의 발생을 막는 검토를 했다.

용기의 강도는 ▲ 사용하는 소재의 물성 ▲ 용기의 두께 ▲ 용기의 형태에 의해 결정된다.

1) 사용 소재의 물성을 더욱 견고한 것으로 변경했을 경우 하중을 받았을 때의 변형량은 적게 되지만 충격 하중을 받았을 경우에 파손되기 쉽다. 또한 소재의 변경에 의해 내용물과의 적합성에 문제가 일어날 위험도 있다. 그렇기 때문에 사용하는 소재는 당초의 계획대로 HDPE로 했다.

2) 용기의 두께가 증가하면 용기의 강도는 향상하고 변형량은 적어진다. 두께를 늘리는 것은 우선 '플라스틱 사용량(중량)을 늘린다'고 생각할 수 있다. 하지만 환경 부하, 비용 등의 면에서 플라스틱 사용량을 늘리는 것은 최대한 피해야 한다.

3) 용기의 형상을 연구하는 것으로 강도를 향상시키고 변형량을 억제하는 검토를 했다.

목표 성능은 50°C에서 4주간 보존후의 변형이 동체부 팽창 4.0mm 이하, 저부 팽창 0.4mm 이하로 했다.

2-1. 동체부 개선

동체부의 단면 형상을 원형에 가깝게 하면(L 방향과 W방향의 비를 1에 가깝게 하면), 동체부의 변형을 막을 수 있을 것으로 예측했다. 하지만 '정면에서 봤을 때 최대한 크게 보이게 하고 싶다'라는 판매자들의 요망이 있어서 디자인을 고려한 동체부를 설계했다.

내부 압력을 받았을 때의 변형량을 예측하기 위해 FEM에 의한 강도를 해석했다.

2-1-1. FEM

FEM은 Finite element method로, 유한요소법, 공학적 수치 시뮬레이션 방법이다.

FEM 해석을 하는데는 ▲ 사용 소재의 물성값 ▲ 각부의 두께 ▲ 용기 형태 데이터로 작성한 수학 모델(해석 모델)이 필요하다.

소재의 물성값은 디자인안 형태의 성형품으로부터 측정해서 구했다.

각부의 두께는 디자인안 성형품의 '입구부', '건부', '동체부', '저부' ((그림 1) 참조)를 각각 측정해서 4개의 다른 값을 이용했다.

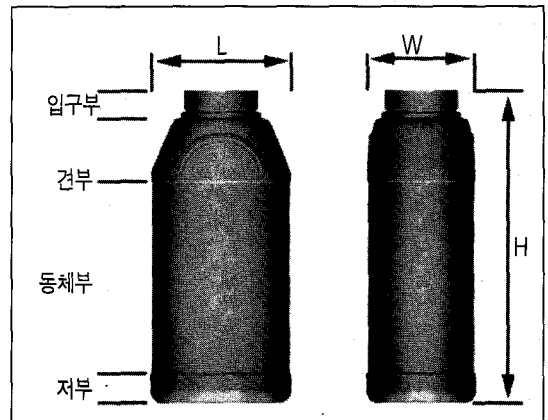
용기 형태는 형태 검토를 위해 3차원 CAD로 작성한 형상 데이터를 그대로 이용했다.

2-1-2. CAD

CAD는 Computer aided design으로 컴퓨터를 이용해서 형상을 작성하는 기술, 소프트웨어이다.

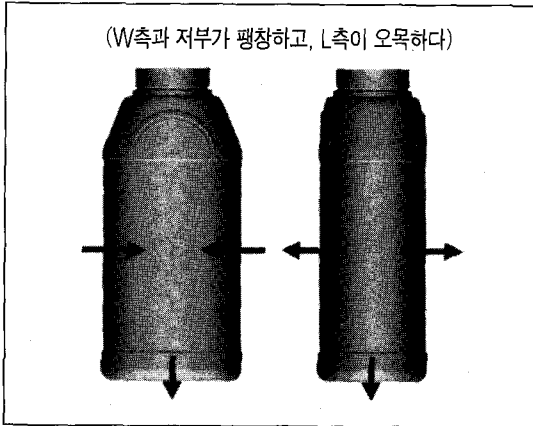
하중 조건은 정수압 시험으로 50°C에서 4주간 보존후 용기 변형량과 동등해진 압력값을 구

(그림 1) 용기의 각부 명칭





(그림 2) 변형모습



하고 적용했다.

최초로 디자인안 형태의 해석 모델을 작성해서 변형량을 FEM 해석한 결과 가압시험(정수압 시험)에 의한 변형량과 거의 같은 값이 나왔다. 이것으로 FEM 해석에 의한 변형량 예측에는 타당성이 있다고 판명됐다.

단면 형태가 변화하는 것으로 용기의 표면적이 변하고 각 부의 육후가 증감할 것으로 예측했다.

그 때문에 형태를 변화시킬 경우 표면적을 CAD의 표면적 계산 기능을 이용해서 두께의 데

이터에 반영시켰다.

이 조건들로부터 해석 모델을 작성하고 FEM 해석(계산에 의한 변형량의 사전 예측)을 했다. 한편 저부 형상은 디자인안과 같이 저부를 높인 것(4mm)으로 했다((그림 3) 참조).

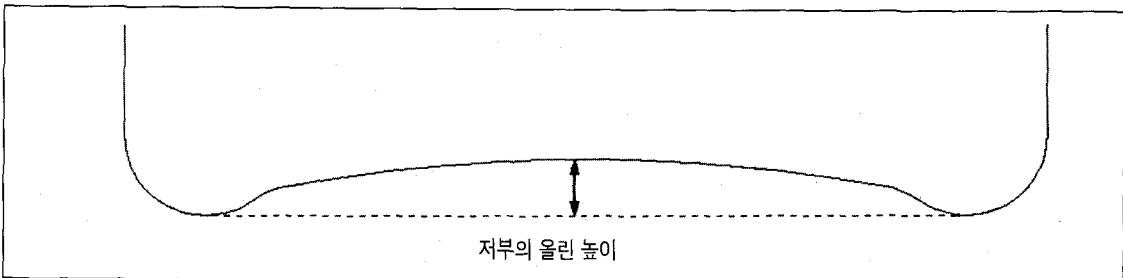
FEM 해석의 결과 당초의 예측대로 W방향 치수를 크게 하면 변형량이 적어졌다. 동일한 용량에서 W방향을 크게 하기 위해서는 L방향을 작게 해야 하는데 L방향을 작게 함으로써 상점에서 경합품과 나란히 진열했을 때 작게 보이는 것을 피해야 한다. 또한 실제로 사용할 때 잡기 쉬운 형태로 하는 것도 중요하다. W방향을 크게 하는 것으로 잡기 어려워지는 점을 피해야 한다.

이 점에 대해서는 해석 모델과 동일 형상의 목형을 작성해서 실제 손으로 잡기 쉬운 형상이라는 것을 확인했다.

이 검토를 통해 보틀의 치수를 $L \times W \times H = 82 \times 63 \times 168\text{mm}$ 로 했다(디자인안 : $82 \times 60 \times 174\text{mm}$. 뚜껑을 포함한 용기의 총 높이는 디자인안과 거의 동등해진다).

이 형상으로 FEM을 해석하면 동체부 L방향의 최대 변형량을 4mm 이하(디자인안의 약 50%)로 억제할 수 있을 것으로 예측된다.

(그림 3) 저부 절단면(저부를 H방향으로 절단한 그림)



2-2. 저부 개선

저부는 올린 높이를 디자인안의 4mm보다 높게 해서 강도를 높이는 검토를 했다.

2-1에서 구한 동체부 단면 형상을 이용해서 저부 형태를 작성하고 저부의 올린 높이를 변경하는 것으로 저부의 변형량이 어떻게 변화하는지 FEM 해석을 했다.

해석 결과 저부의 올린 높이를 4mm에서 6mm로 변경하면 변형량은 0.5mm 이하(디자인안의 약 73%)로 되고 8mm로 변경하면 0.4mm 이하(59%)로 억제할 수 있을 것으로 예측됐다. 이 결과를 통해 저부의 올린 높이를 8mm로 하기로 했다.

한편 검토를 통해 구한 동체부 형상과 저부 형상을 조합시킨 결과 예정했던 용량보다 조금 커졌기 때문에 건부 형상을 변경해서 용량을 조정했다. 이와 같이 검토로 구한 '건부', '동체부', '저부'를 조합시켜서 FEM 해석을 한 결과 동체부 변형량을 디자인안의 63%, 저부 변형량을 59%로 억제할 수 있을 것으로 예측했다.

3. 결과

개선안 형상으로 시품(중량 44g)을 블로우 성형하고 정수압 시험을 한 결과 동체부 변형량은 디자인안과 비교해서 약 64%(예측값 63%), 저부 변형량은 약 66%(59%)가 되었다.

저부 변형량이 사전의 예측값 보다도 약간 커졌지만 목표 성능을 충분히 만족시켰고 또한 50°C에서 4주간 보존한 시험에서도 문제가 없다는 것이 확인되었기 때문에 개선안 형상으로 상품화했다.

FEM 해석으로 구한 예측값과 시품 성형품의 실측치에 차이가 발생한 원인은 사전에 용기의 육후 분포를 충분히 예측할 수 없었기 때문이다.

특히 개선안 성형품의 저부는 디자인안의 성형품과 비교해서 각부에 육후의 불균일이 나타났고 얇은 부분이 예상보다 크게 변형해서 저부 전체의 변형량을 증가시켰다. 사전에 FEM 해석으로 이용한 해석 모델에 실제 성형품 저부의 육후 분포 데이터를 부여해 재계산한 결과 변형량이 실측값과 거의 같았다.

4. 향후 과제

용기 각부의 육후 분포가 용기 전체의 강도에 크게 영향을 준다는 것이 재 확인됐다. 용기의 강도를 예측하기 위해서는 정확한 육후 분포의 예측이 필수적이다.

하지만 사전에 블로우 성형품의 육후 분포를 정확하게 예측하는 것은 현재로서는 어려운 점이고 앞으로의 기술 확립이 절실하다.

또한 같은 금형과 블로우 성형기로 만든 성형품도 각 성형품마다 육후의 불균일을 볼 수 있다. 이 불균일은 성형 조건의 불균일에 의해 발생하는 것이며 조건 관리를 포함한 성형 기술의 향상을 도모해야 한다.

환경 부하 저감의 면에서 용기 포장에 이용하는 재료 사용량을 삭감하라는 요구가 있지만 단순하게 재료만 줄여버리면 용기 포장의 강도가 저하하고, '제조', '수송', '사용' 면에서 악영향이 우려된다. 그렇기 때문에 설계와 제조의 양면에서 더욱더 기술력의 향상을 꾀하고 보다 좋은 용기 포장을 제공하고 싶다. 