One-Piece Bottle의 특성

송창우 / (주)효성 T&C 성형퍼포먼스유니트 대리

1. 개요

최근 국가적 차원에서 환경보호 및 자원재활용 촉진을 위하여 PET 제병업체 및 음료업체에 용기 단일재질화를 권장하고 있어 PET제병업체는 이에 적극적으로 대처함으로써 Market Share의 유지 및 까다로운 요구품질의 확보로 품질우위를 통한 시장점유율의 확대를 실현할 필요성이 대두되었다.

기술적으로는 PET병의 One-Piece화시 미연신 부위인 Bottom부에 충격 및 압력에 대한 내성을 부여하고 고속의 음료충전 Line에서의 주행안정성 및 음료충전 Line에서 사용되는 Alkali성 윤활제에 대한 내약품성을 부여하기 위한 Design설계, 가공조건 확립 등의 기술개발이 요구되었다.

2. 주요 요구 품질((표 1))

3. PET Bottle의 Stress Crack

3-1. 특성

Stress crack은 PET Bottle의 비결정 부분(PET Bottle)에 수분, 윤활제 등의 외부 활성인

(표 1) 주요 요구 품질

Items	Unit	Specifications	Remarks
1. Stess Crack	min	Not less than 45	Carter test
2. Burst Strenght	kgf	Not less than 10.5	
3. Drop Impact		Not fail	2m 22℃/30/90, 4℃/30/90
4. Thermal Stability			4.2Vol 22℃/1day+38℃/1day
Push up	mm	Not developed	
Diameter	%	Less than 3.0	0.5 *l* less than 2.5
Height	%	Less than 3.5	0.5 *l* less than 3.0
F/D Drop	mm	Less than 23	0.5 *l* less than 11
5. Top Load	kgf	Not less than 30	
6. F/D Variation			
60 PSI	mm	Max 1.5	
80 PSI	mm	Max 2.5	
7. CO_2 loss(14Wks)	%	Less than 17.5	0.5 *l*, 12Wks

주) 1.5 *l* Bottle, Coca Cola Spec 기준임

자가 미세한 흠집을 냄으로써 그 곳에 내부압력에 의한 Stress가 집중되고, 또한 점점 가속화되어 결국 깨지는 현상을 말한다.

3-2. Stress Crack의 Critical Area

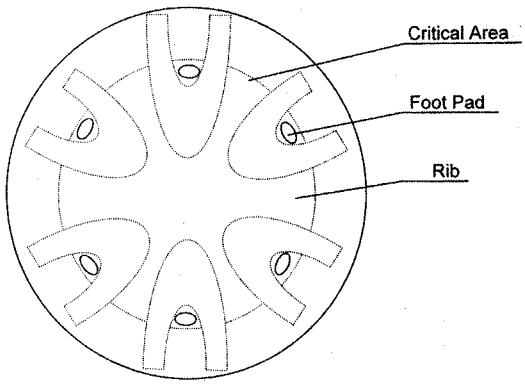
Bottom design 및 Critical area내의 품질결함시 내부압력에 의한 Stress가 증폭되어 Crack이 가속화 된다.

3-3. Stress Crack의 발생

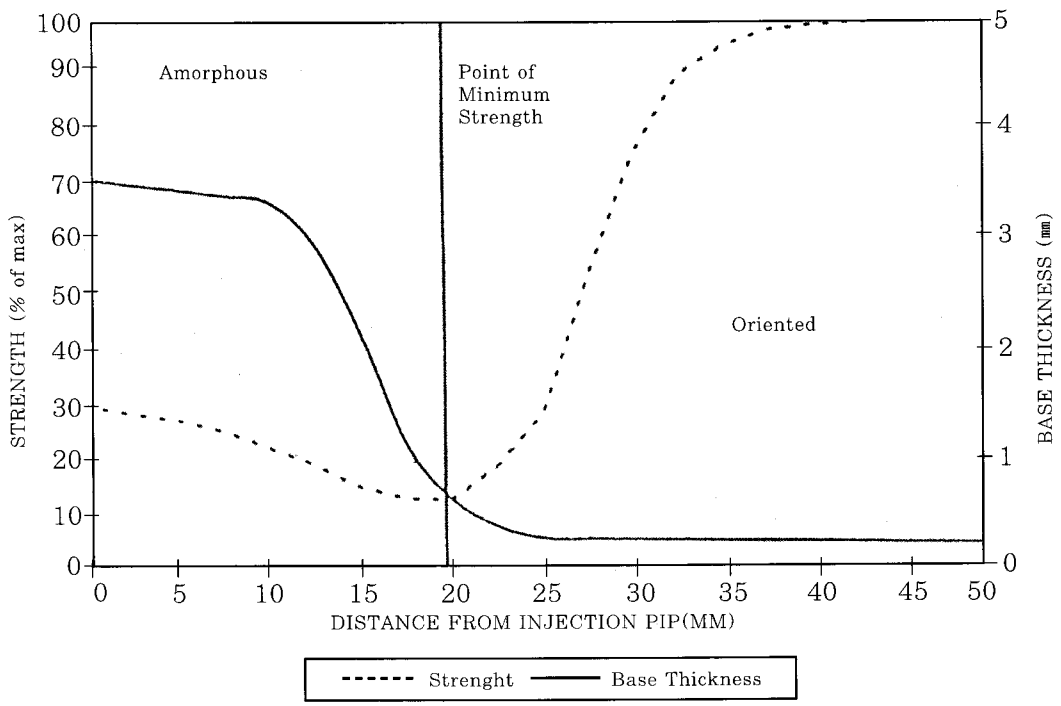
Amorphous PET는 인장응력과 변형응력에 의해 깨지기 쉽다. 일반적으로 Bottom부에 압력 및 온도가 가해져 발생하는 변형은 외부 표면의 Crack으로 발전한다.

Stress Crack은 Amorphous 부분 또는 Amorphous 부분(비결정부)과 Bi-oriented 부분(2축연신부)과의 경계면에서 발생한다. 인장강도를 보면 Amorphous부가 Bi-oriented부에 비해 상대적으로 낮다[그림 2]. Bottom부의 Stress는 CO_2 Vol 및 보관온도에 따라 크게 좌

〔그림 1〕 Base의 저면도



〔그림 2〕 PET Bottle Base의 두께분포 및 인장강도



우된다(Bottom부 Crack은 보관온도가 높을 경우 발생한다).

3-4. Stress Crack의 발생 형태

- Rib 불량 : 인접한 두 Leg 사이의 Rib를 가로질러 발생
- Dome 불량 : Gate nub의 한쪽에서 Dome을 가로질러 발생

3-5. Stress Crack 방지 Guide Line((표 2))

3-6. Stress Cracking Test 방법 (Carter Method - Short Time)

- Blowing 직후의 Bottle을 Cavity당 2본씩 준비한다.
- 4.6~4.7Vol의 CO_2를 Filling하여 실온에

〔표 2〕 Stress Crack 방지 Guide Line

구 분	Standerd	비 교
재질	● Virgin resin : IV 0.82 ↑ ● Preform : IV 0.76 ↑ ● Regrind : 5% ↓ (평균 3%)	▶ IV 저하시 Stress crack에 대한 내성↓ ▶ IV Drop 최소화 공정조건 설정 (Barrel 온도 & Shear heating ↓) ▶ 사용비율 및 Size 최소화
생산공정	● Inj. & Blowing line 표준화 ● PFM & Stress pattem & 중량 일관성 ● PFM End cap 결정화 : 1/2″↓ ● BTL 중량분포 편차 최소화 ● Base 중량관리 준수	▶ Stress crack 내성 저하 (PFM 백화 최소화) ▶ 균일하고 적정한 중량분포 유지 ▶ Base 중량 ↑ : 배향도가 낮아져 내성↓ Base 중량 ↓ : Wall부 Stress ↑
Stress 집중	● Base 두께의 급격한 변화를 피함 (Folded nubs, Stretch rod 자국) ● Nub centering : 0.2″↓ ● Critical area內 이물질, Bubble, Void 無 ● Orange peel 최소화 ● 손상 Mold 교체 및 수리 ● 연신백화 및 Hazy base 無 ● Feet의 I 완전성형	▶ Stress rod 간극 : 0.3㎜ ▶ Gate 결정화 및 Stress 집중이 유발되지 않도록 성형 ▶ Mold cleaning & Polishing ▶ Blowing시 온도 및 연신비율 적정조절 ▶ 적정 PFM 선정, Blow P2 : 40bar↑
보관	● 보관온도 및 사용시기의 정확한 점검 ● PFM &BTL 선입선출 체계 확립 ● 과잉생산 피함 ● 적재와 하적계획 조정 ●수송중 BTL의 고열노출 피함	
화학적영향	● PFM & BLT의 Conv oil 조절 ● Bottler Filling line lubricant 최소화 ● 누출된 음료 Check	▶ Ecolab사 제품(Coca Cola App, 得) ▶ Stress crack agent로 작용
주위환경	● 온도 상승 피함 ● 습한 곳을 피함	▶ Stress crack agent 활성 및 내부압 ↑

보관한다.

- 0.2% NaOH 수용액을 준비한다.

준비된 수용액에 충전 Bottle의 base가 잠길 정도로 담근다.

- Crack이 발생될 때까지 시간을 측정한다.
- 45분 이내에 Leak 또는 폭발이 없어야 한다.

4. Burst Strength

4-1. 특성

순간 가압(수압)에 의한 내부압의 강도를 측정하는 것으로 Bottom부의 품질결함 또는 중량의 배분이 비정상적일 때 Bottom 터짐이 발생한다.

4-2. Guide Line

- Shoulder부 중량을 빼고 BTM 중량을 높힐 경우 Burst 시 Crack을 방지할 수 있다(단, Shoulder부가 너무 얇을 경우 Burst 수치가 낮을 가능성이 높다).
- Blowing시 Center off를 방지해야 한다.
- Strech rod 간극이 너무 작을 경우 Bottom crack의 원인이 된다.
- preform 사출시 Gate 백화를 최대한 피해야 한다.

5. Drop Impact

5-1. 특성

충전상태(4.2Vol)로 2m 높이에서 Drop시 Bottom Crack의 유무를 Check하는 것으로 CO_2 Vol이 높거나 Bottom부 품질결함시 Bottom Crack이 발생한다.

5-2. Guide Line

- Blowing시 Bottom부의 적정 중량을 유지한다.
- Blowing시 Center off를 방지해야 한다.
- Preform 사출시 Gate 백화를 최대한 피해야 한다.

6. Thermal Stabillity

6-1. 특성

충전된 병을 고온상태에서 보관할 경우 내부압의 증가로 Dimension 변화 및 Rocker Bottom이 발생한다.

6-2. Coca Cola Specification (표 3)

6-3. Guide Line

- Bottom부 Design 설계시 Rocker Bottom 발생을 고려해야 한다.
- Blowing시 Bottom부 및 Body부의 적정 중량을 유지한다.
- Bottom부 두께분포의 급격한 변화를 피한다.
- Bottler는 음료(충전 Bottle)의 창고보관시 고온다습한 환경을 피해야 한다.

7. Top load & Fill point variation

7-1. 특성

Blowing시 적정 중량분포가 이루어지지 않았을 경우 하중에 견디는 힘이 약하게 될 뿐 아니라 Body부 팽창에 의한 Fill Point Drop이 발생한다.

〔표 3〕 Coca Cola Specification

항 목	기 준	2ℓ	1.5ℓ	1ℓ	0.5ℓ
1. Rocker Bottom	Not developed	-	-	-	-
2. Diameter	Not exceed %	3.0	3.0	2.5	2.5
3. Height	Not exceed %	3.5	3.5	3.0	3.0
4. Perpendicularity	Not deviate mm	5.0	7.0	N/A	N/A
		Up to 144 mm high 145 to 182 mm high 183 to 220 mm high Over 221 mm high			
5. Fill Point Drop	Max mm	23.0	23.0	16.0	11.0
6. Contour P/H Ratio	Not exceed %	90-92	90-92	88-90	88-90
7. Contour F/P Drop	Max mm	40	35	30	24

7-2. Guide Line

- Bottle Design 설계시 Top load에 의한 Bottle의 Distortion을 고려하여야 한다.

- Blowing시 Bottom부 및 Body부의 적정중량을 유지한다.

8. CO_2 Retention

8-1. 특성

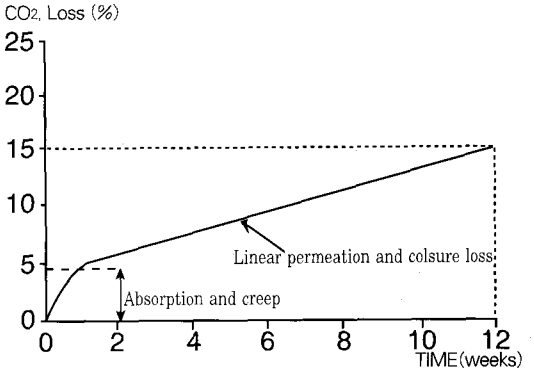
연신 PET는 음료의 적합성 및 Gas Barrier의 우수성에 의해 포장산업에 있어서 성공을 거두어 왔다. 또한 다른 열가소성 수지에 비해 가격 및 Barrier 특성에 있어 우수하다.

CSD(Carbonated Soft Drink)의 Shelf life는 일정 시간 내의 적정 CO_2 함량에 의해 결정된다.

8-2. CO_2 Loss Curve

CO_2 Loss Curve는 초기 2주동안에 Creep 및 Absorption Mechanism이 발생하고 2주가 지난 후부터는 시간경과에 따라 Linear하게 변한다. Bottle wall에 있어서 투과 factor는 나머지 3가지 현상보다 가장 중요하게 작용한다.

〔그림 3〕 PET Bottle의 CO_2 loss



8-3. CO_2 Loss Mechanism

CO_2 Loss는 아래의 4가지 현상의 조합을 통해 이루어진다.

- Bottle wall을 투과하는 gas 투과도
- Creep에 의한 용기 Volume 변화
- Bottle 수지로의 CO_2 흡수
- Plastic cap을 통한 CO_2 loss

$$L = \frac{P \times a \times t \times Ath}{T} + C + Q$$

L = Total CO_2 loss(%)

P = PET의 CO_2 투과 factor

a = 용기의 surface/volume ratio(in^2/cc)

t = 보관 시간(days)

Ath = 대기압

T = 평균 wall thickness(mm)

C = 압력하에 용기 행창(%)

Q = PET로의 CO_2 흡수(%)

1) Absorption

모든 고분자는 일정 수의 'Hole'을 갖고 있다. 따라서 Gas 분자는 고분자의 공극을 통하여 내부로 침투한다.

고분자가 Amorphous 상태일수록 밀도가 작고 공극이 많다.

연신 및 결정화도가 클수록 Absorption(흡수)은 감소한다.

2) Creep

Volume 증가는 내부압에 의한 장력으로 분자 사슬이 느슨하게 되어 발생한다.

초기 CO_2 및 온도가 높을 경우 Bottle의 Creep 현상이 일어난다. 일반적으로 Room Temp. 4Vol 상태의 Creep은 38℃ 24hrs에서 2배가 된다. 고분자의 연신 수준(적정 중량분포)은 Creep을 감소시키는데 있어 많은 영향을 미친다.

3) Plastic Cap으로의 CO_2 loss

일반적으로 이 Loss는 다소 작다.

수치적으로 Room Temp. 4Vol 상태에서 0.10~0.15㎤/Day이고 온도에 의해 증가한다.

Cap loss의 영향은 큰 Size에 비해 작은 Size에 있어 더욱 중요하다.

4) Permeation

분자 사이의 공극에 CO_2가 다 채워지게 되면 Gas 분자는 Bottle wall로 빠져나가기 시작한다. 보통 이 현상은 일주 보관 후 발생한다.

식품용 포장재질 중에서 연신 PET가 가장 낮은 Permeability Factor를 갖는다.

8-4. CO_2 loss의 개선방법

Shelf life는 Monolayer Small size의 경우 고온에 노출되면 심각하게 감소된다. 따라서 보관 장소에 각별히 주의해야 한다.

Gas Barrier를 개선하기 위해서는 아래와 같은 방법이 있다.

- 5% EVOH 또는 Nylon의 Coinjection.

〔표 4〕 Coca Cola Specification

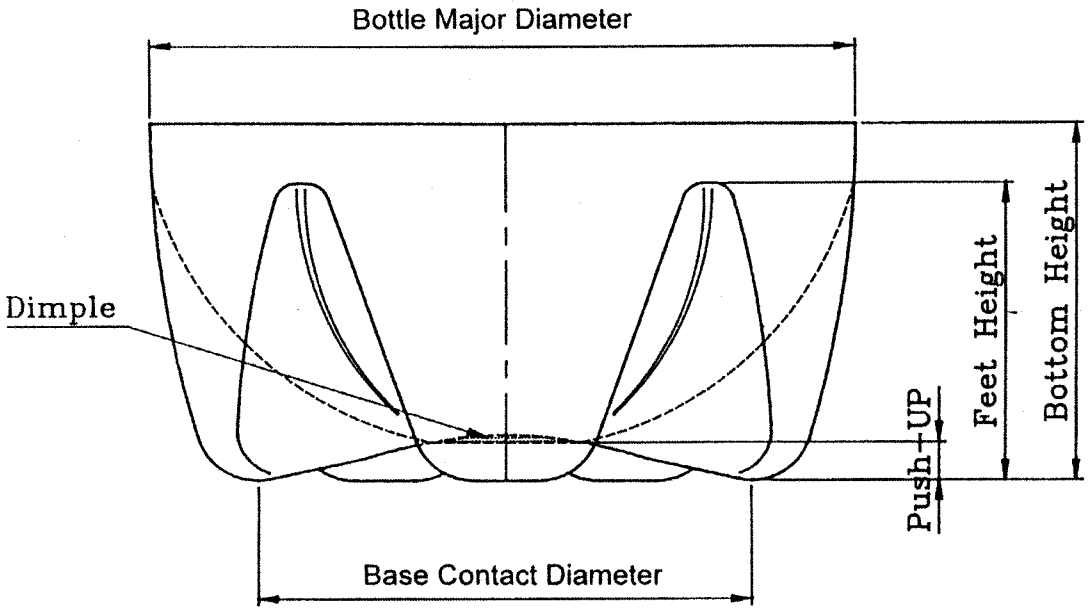
Polymer	CO_2	O_2	Steam
PET BIO	12-20	5-10	2-4
PVC BIO	20-40	8-15	2-3
PEhd	300	110	0.5
Polypropylene	150	450	0.5
Polycarbonate	550	265	75
Ntril	3	1	5

CO_2 & O_2 : ㎤ · mil/100sq · in-day-atm-at 23℃, 100%H.R.

H_2O : g · mil/100sq · in-day-at 38℃, 100%H.R.

1mil=24.4㎛ 100sq · in=645sq · ㎝

〔그림 4〕 Bottle Area의 주요명칭



→ 일반적으로 Gas barrier 2배 정도 up

- Blowing된 Bottle에 PVDC 또는 Polyurethane의 Coating.

→ 제조 및 Recycling의 어려움이 있다.

9. Bottom Area의 주요 명칭 (〔그림 4〕)참조

10. 맺음말

One-Piece Bottle의 핵심은 생산 Line에서 품질문제를 최소화하기 위한 생산 체제의 확립에 있다. One-Piece Bottle의 품질문제는 지난 몇 년간의 경험에 비추어 볼 때 외부 환경이 고온다습한 하절기인 5월 초부터 9월 말 사이에 집중 발생되어 왔다.

품질문제의 대부분은 Stress Crack, Rocker Bottom 등 Bottom 결함에 있다. 따라서 One-Piece Bottle의 핵심기술은 Bottom부 품질수준에 있다고 할 수 있다.

Bottom부 품질문제, 특히 Stress Crack은 Resin, 생산공정, 보관, 주위환경 등 각 인자가 복합적으로 작용할 때 발생하므로 원인규명이 어렵다.

따라서 모든 인자들의 영향을 최소화하는 방향으로 종합적인 접근을 해야 하며 어느 한 인자만의 최적화로는 해결될 수 없다. ko

매년 2월 25일은
(사)한국포장협회가 제정한
'포장인의 날'입니다.