

Latest Trends in Biaxial Stretch Blow Molding Technology and Sustainable Packaging

2축 연신 블로우 성형 기술의 최신 동향과 지속가능한 패키지

F. 아마리 / 프런티어(주) 성형기술개발 총괄부장
T. 아토베 / 프런티어(주) 기술부문 기술개발센터

I. 도입

당사는 PET 수지를 시작으로 각종 열 가역성 수지를 2스테이지법으로 2축 연신 블로우 성형하는 기술을 구사하는 등 음료용에 머물지 않고 여러 분야에서 공헌하는 성형기술 및 서형기의 개발·판매를 시행하고 있다. 원-오프의 특수한 성형기에서 대량 생산에 대응하는 대형 로터리식 블로우 성형기까지 다양하게 취급하고 있다.

1970년대에 PET보틀이 일본 국내에서 생산된 것으로부터 40년 이상이 된다. 당사에서는 PET보틀 탄생의 미명기부터 개발에 참여한 선구자다. 그 기술을 구사해 일본산 최초의 2스테이지법 블로우 성형기를 제조 판매해 창업 30년을 맞이했다.

기기 메이커이지만 10년 후 플라스틱 업계를 둘러싼 환경을 무시하지 않고 단순히 기기를 파는 것 뿐 아니라 회사로써 사회나 업계에 존재 의의를 명확히 하고, 여기에 가치를 제공할 필요가 있어 이번 기회에 기고하였다. 플라스틱 업계를 둘러싼 탈 플라스틱, 탈 탄소, 플라스틱 쓰레기 문제를 포함한 환경, SDGs(만들 책임, 사용할 책임)를 배경으로 '플라스틱 스마트' (현명하게 사용하는 것)를 추진하고자 본 원고에 당사 동향을 소개한다.

II. 차세대를 향한 RFID택 내장 보틀

1. 소개

PET수지 등으로 대표되는 2축 연신 블로우 성형법에 의해 얻어진 보틀에 대해 당사는 RFID등의 전자 정보 택을 보틀에 내장시키는 기술을 개발했다. 이것에 의해 제품에 정보를 탑재하는 것이 가능하게 되어 여러 가지 효과가 기대된다. 특징으로는 입구에 적층 구조가

[사진 1] 스택 플리폼법(왼쪽), 넥피스 인서트법(오른쪽)



되어있던 외층과 내층의 층간에 택이 삽입되어져있다. 전용 스마트 폰으로 택을 검지하여 쓰인 정보를 읽을 수 있는 것으로 PET보틀을 포함한 수지 보틀의 새로운 사용법을 제안하여 성형기 수주에 도움이 된다.

2. RFID의 설명

RFID는 근거리 무선을 사용한 자동 인식 기술이며 탑재정보

의 변신·내용변경이 가능, 대형 어패럴 메이커에서는 상품 관리를 위해 개별로 RFID를 부착하는 것으로 누실시간의 감축이나 계산대 업무의 효율화를 실현하고 있다.

3. RFID 차용의 배경과 장점

2022년 4월, 플라스틱 자원 순환 촉진법이 시행되었다. 플라스틱 제품 설계 단계에서부터 리사이클·폐기되기까지 전 과정에서 환경을 배려하는 것이 요구되기 때문이다. 기존 기술의 문제로 용기 바깥 둘레 표면에 RFID택이 배치되어있는 경우, 변경이 가능하다. 당사는 RFID를 보틀에 내장하는 것으로 제조에서 리사이클·폐기되기까지를 트레이스 하여 서버 등에서 데이터 관리를 하는 활용방법을 검토 중이다. 그 예로써 플라스틱 쓰레기 문제·환경문제·물류·재고·생산관리의 에너지감소에 효과가 기대되며 환경 에너지에 기여·공헌한다고 생각되어진다. 또한 해외에서 행해지고 있는 일본제품에 대한 위조방지효과도 기대된다. 현재 세계적으로 감염병 등 미증유의 위험에 직면해 업무의 자동화 및 효율화 즉, '디지털화'가 빈번한 과제이며 이것에 대응 가능한 기술이라고도 여겨진다.

4. RFID택 내장 보틀

[사진 1]에 당사가 개발 중인 보틀을 소개한다. 성형방법은 스택 플리폼법, 넥피스 인서트법 2가지다.

스택 플리폼법은 대소2종류의 플리폼을 같은 축에 겹친 형태로 블로우 성형된 적층 보틀이

다. 내측 입구의 바깥 면에 택을 붙여 외층과 겹친 상태로 블로우 성형하는 것으로 RFID택 내장 보틀이 완성된다. 택이 삽입된 입구는 성형가공공정에서 택에 손상·파단·변형하게 하는 가열·가압·연신 없이 내외 층에 보호되어 있으므로 내용물과 접촉하지 않는다. 또한 RFID택은 외부에 접촉하지 못하므로 위조방지 효과가 기대된다. 이것에 더해 2층 구조 보틀의 입구는 캡을 장착하는 것으로 택의 안전성이 담보된다. 스택 폴리폼법의 적층 보틀은 간장 등 조미료 나 화장용품의 용기로 사용되고 있다. 적층 보틀의 외층에 공기구멍을 설치하는 것으로 내용액의 감소가 없는 내장이 쉬링크된 '적층 박리 보틀'도 스택 폴리폼법에서 만들어지므로 적층 박리 보틀과 RFID택의 조합도 생각할 수 있다.

다음으로 넥피스 인서트법은 폴리폼 본체의 입구 외부면에 별도 부품으로써 성형한 스크류 형태를 붙인 원통체의 넥피스가 장착되어 고정된 적층 보틀이다. 입구와 넥피스와의 사이에 택이 배치되어 있다. 택부착 폴리폼을 2축연신 블로우 성형하는 것으로 택 부착 보틀이 얻어진다. 당사 개발품인 'PET보틀 음료 형태의 RFID내장 보틀'의 특징은 넥피스와 내측 보틀을 분해하는 것이 가능한 구조라는 것이다. 내장된 넥피스와 내층면 보틀 입구의 바깥 쪽에 붙인 간격에 외력을 가하는 것으로 분해된다. 일단 떼어진 넥피스를 다시 부착하지 못하는 구조(위조방지)로 안전성 담보가 가능하다. 택을 제거하여 각각 분별하는 것에 의해 리사이클성의 배려가 가능하다. 또한 넥피스 분해용의 간격을 PET보틀 음료용 캡에 붙여 있는 링상의 PE밴드(템퍼 에비던스 밴드)로 보호되어 있다. TE밴드라는 것은 입구 나사부에 필 펄프 캡 본체와 캡 본체의 스킵트부의 하단에 파단 브리지를 매개로 연결시킨 링상의 밴드이다. 뚜껑을 열면 캡 하부의 뜯는 선이 절단되어 뚜껑이 열린다. 넥피스 분해용의 간격은 개봉 여부에 관계없이 항상 TE밴드로 보호되므로 외부 위험요소로부터의 방지도 한층 담보된다.

III. 수평 리사이클 PET보틀의 新 제안

1. 리사이클 PET수지

수평 리사이클(보틀 to 보틀)은 메커니컬 리사이클법과 케미컬 리사이클법이 있다. 메커니컬 리사이클법은 사용완료 PET보틀을 회수, 선별, 분석, 알칼리세정, 펠렛화하여 PET수지 제조설비의 고체 중합조에 투입한다. 그 안에서 투입된 수지를 고온·진공하에서 질소 퍼지를 하면서 리사이클 PET내부에 남아있는 오염물질을 확산시킨다. 부착·흡착된 오염물질을 제거하면 동시에 분자량을 보틀 그레이드의 IV0.8정도로 올리는 방법이다. 반면 케미컬 리사이클법은 회수, 선별, 분석, 알칼리 세정 후에 해중합(에틸렌 글리콜 첨가), 수지 제조 시에 중간 원료였던 BHET까지 되돌려 이것을 정제

[사진 2] 고체 중합 없는 rPET



한 후에 재중합하고, 고체상 중합공정을 거쳐 IV0.8정도로 올리는 방법이다. 해중합에서 재중합까지 사이에 오염물질이 제거되므로 고품질의 PET수지로 재생 가능한 것이 특징이다.

2. 수평 리사이클 PET보틀

2021년에 회수된 PET보틀의 보틀 to 보틀 비율은 33%(PET 보틀 리사이클 추진협회 자료)

이다. 음료 업계에서는 2030년에 50%를 목표로 폐 PET보틀의 조달에서 재자원화까지의 과정을 추진해 가고 있다.

3. 수평 리사이클 新제안

당사는 순환형 시점에서 고체 중합한 IV0.8정도의 보틀 그레이드 뿐 아니라 IV치 0.6 직후의 식품용으로써 사용가능한 수지·시트 그레이드로의 보틀 성형 기술의 개발을 추진하고 있다. 이것들은 회수된 것 중 약50%를 차지하고 있으며 제품의 사용 후에는 리사이클 되지 않고 소각되는 것이 많다. 당사의 새로운 제안은 수지·시트 드레이드에 버진 PET나 개질제(분자연장부착)등을 조합시키는 방법이다.

이는 수지 메이커와 공동 개발 중이다. [사진 2]는 당사가 개발 중인 보틀이다. 장점은 2가지가 있다.

보틀 to 보틀 비율의 상황과 장래적으로는 고체중합공정의 단축에 있어 에너지 비용 감축도 생각할 수 있다. 국내에서 리사이클 PET의 비용 저감에 기여할 것이 기대된다.

4. 해외의 동향

중국 등 해외에서도 케미컬 리사이클 PET의 제조를 개시하였다. 반-덤핑으로 고중합도의 PET수지에는 최대 53%가 과세되고 있다. 이후 IV0.6 정도에서의 수지가 수입되는 경우 본 취지에서 얻어진 당사의 식견, 성형기술이 기여할 것이라고 생각된다.

[사진 3] 종이 슬리브보틀



곤란하다. 또한 리터너블 PET보틀은 원-웨이(one-way) 보틀보다 환경부하가 적어지는 것은 보틀 회수율이 90%이상, 판매처에서 공장까지의 반송거리가 100km 미만이라고 하는 상당히 한정된 조건하에서만 가능하다(PET보틀 리사이클 추진협의회 자료). 소비자를 둘러싸고 있는 리사이클을 촉진해 그 플랫폼을 만드는 것이 필요하다고 생각한다.

IV. 종이와 복합 보틀

1. 종이 슬리브 보틀

감(減) 플라스틱을 콘셉트로 한 종이제 용기와 보틀이 주목되고 있다. 기존의 케이블 튜브, 브릭팩으로 칭하는 종이팩은 종이용기라고 불리며 어쨌든 종이에 폴리에틸렌을 라미네이트한 합성수지 가공지로 된다. 또한 현재 프레스 리스 되어있는 종이제 보틀의 구조는 강화된 종이의 외관에 얇은 라미네이트 시트가 사용되어진다. 그 접착하는 외포는 외층 구조의 복합 용기도 있다. 당사는 종이 슬리브를 외관으로 해 내측을 PET보틀의 단일 소재로 한 종이 슬리브 보틀을 제안하고 있다. 이는 [사진 3]에 나타내었다. 감 플라스틱의 흐름에서 경량화가 요구되어지고 있는 것은 강도, 특히 좌굴강도의 저하가 걱정된다.

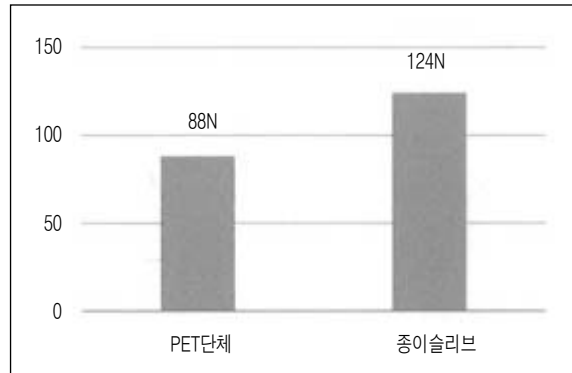
당사가 제안하는 종이 슬리브 보틀의 성형방법은 폴리폼을 가열한 후 최후성형품의 형상에 대응한 금형에서 블로우 성형하는 공정에 있어 종이 슬리브를 금형 내 삽입해 블로우 성형하는 것이다. 종이 슬리브 내면을 성형할 때의 열과 압력에 의해 종이와 접합시키는 성형방법을 차용한다. 강도 면에서 경량화가 곤란한 제품은 종이 슬리브로 보

5. PET보틀 재사용에 관하여

환경성에서는 PET보틀의 재사용은 안전성과 환경부하 문제가 있다(2009년 8월중간보고 [페트 보틀을 시작으로 한 용기 포장의 재사용 등의 순환적인 이용에 관한 연구회])고 말한다.

리터너블(반환할 수 있는) 보틀은 예상치 못한 오염이 있는 경우 PET보틀에 흡착된 오염물질을 PET보틀 상태에서의 세정 검사로는 100% 소거가

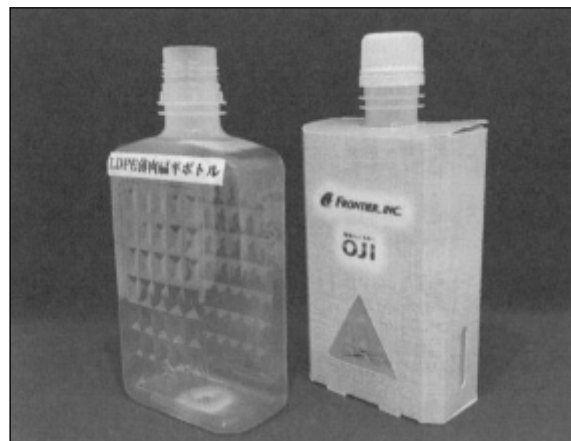
[그림 1] 좌굴강도 비교: PET단체 종이 슬리브



틀을 보강하여 한층 더 높은 경량화를 추구한다.

[그림 1]에서 좌굴 강도 비교 데이터를 나타내었다. 또한 종이 슬리브의 외면은 표시 면적이 크고 장식이 가능하므로 우수한 방법이다. 보틀로 사용 후에 종이와 PET를 각각 소비자가 간단하게 분해가능하다. 지구온난화 대책으로 석유 사용량 감축, 해양 플라스틱 쓰레기 대책으로 감 플라스틱이 세계 공통의 과제가 되어있으므로 더욱 경량화가 요구되어져 강도저하를 억제하기 위한 제안이다.

[사진 4] LDPE 은박 편평 보틀



2. 종이 용기 상자와 조합시킨 편평 보틀

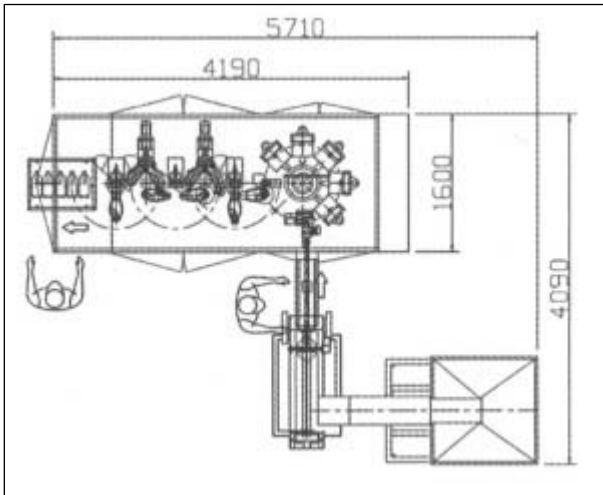
현재 채워 넣는 용기로써 여러 가지 파우치가 사용되고 있다. 당사는 모노머터리얼로 리사이클성이 좋고 파우치 대체의 '박내 편평 보틀'을 제안한다. 아우터 케이스의 종이용기 상자와의 조합으로 메일편 등의 형태로써도 대응가능하다고 생각한다. [사진4]에 LDPE보틀 사진을 나타내었다. 성형 실적으로는 PET 폴리메틸펜텐이 있다. 박내 편평 보틀 더블 블로우 성형을 차용하였다.

현재 채워 넣는 용기로써 여러

V. 더블 블로우 성형 기술

PET보틀의 더블 블로우 성형방식은 1985년경에 해외 메이커에서 시판된 기술인 고내열의 PET보틀을 제조하는 것을 목적으로 개발됐다. 1차 성형품을 리커버리 오픈이라고 불리는 약 200℃ 적외선식 오븐에서 약 90초 정도(약 8m) 열처리하여 2차 블로우로 최종제품을 얻는 것이다. 해당 기술이 개발된 후 37년이 경과했다.

[그림 2] FX-1LD기기 구성(특허 번호 6661133)



당사도 이 기술에 대한 몇 번의 경험이 있다. 더블 블로우 방식에 의한 내열 보틀은 최종 제품보다 10~30% 큰 1차 성형품을 만들며 연신 배향 결정화도가 높다.

이것에 의해서 히트 셋과 잔류응력을 제거하는 것으로 배향 결정의 특징을 최대화시켜 단기간에 내열성을 향상시키는 기술이다.

1. 블로우 성형기 FX-1LD의 소개

[그림 2]에 당사 더블 블로우 성형기의 기기구성을 나타내었다. 특징으로는 수평 다관절 로봇을 사용하여 폴리폼 또는 블로우 성형품의 운송 경로를 플렉서블(유연)하게 변경 가능한 기구를 대비해놓았다. 각 위치 간 이동 경로를 소정의 범위에서 임의로 설정 가능하여 운송의 일시 정지도 가능하다.

예를 들어 블로기에 검사 장치를 조립하면 폴리폼 또는 블로우 성형품의 판정을 블로기 내의 운송 중간 공정에서 가능하게 했다. 조립시킨 장치 별로 운송 중간 공정에 있어서 폴리폼 내장가열 · 내부온도측정 · 중간가열 여기에 보틀 검사 후 상착 작업도 가능하게 했다.

FX형은 가열 폴리폼의 취출 위치, 1차 및 2차 블로우 성형장치를 소정의 간격으로 동일 직선상에 배치하였다. 1차 및 2차 블로우형 각각을 직선으로 직행하는 방향의 같은 방향으로 위치하는 수직개폐 중심선을 중심으로 하여 직행방향, 다른 방향이 개폐하는 개폐형 기구로 되어 있다.

동일직선상 배치되어 있으므로 각 블로우형의 교환 작업 등을 동일한 방향에서 행하는 것이 가능하다.

2. 폴리에틸렌 수지용 더블 블로우 성형방식

PET수지의 블로우 성형은 100℃ 전후에 폴리폼을 가열 · 연화시켜 연신의 프로파일

[표 1] 낙하강도 시험 결과

	다이렉트 블로우	더블 블로우
낙하 병수	8병	8병
파손 발생 수	6병	0병
파손 발생률	75%	0%

[표 2] 인장응력 비교

	다이렉트 블로우	더블 블로우
종	23MPa	45MPa
횡	22MPa	44MPa

로써는 최초에 연신된 부위가 향하는 것으로 근방의 열량을 가진 두꺼운 부분에 연신이 전해져 뒤 틀림 경화로 보틀이 변하게 된다. 성형 가능한 온도 범위 내에서 더욱 고속으로 연신하여 물리적 강도를 얻을 수 있는 수지가 된다. 당사에서는 더블 블로우의 기술을 올레핀수지에도 응용해 개발

하고 있다. 올레핀계 수지의 2축 연신 블로우 성형은 국부적으로 가는 연신상태(넥킹 연신)의 특징이 있어 PET와 비교해 성형 난이도가 높다.

또한 폴리폼의 가열은 용점 가까운 온도까지 이르므로 드로 다운되기 쉬워 그것을 변화시키는 것은 불안정하다. 게다가 착색한 경우는 색 얼룩의 영향에 의해 가열하기 어렵고, 폴리폼의 완성도에 크게 영향을 끼친다.

당사의 방식은 용점 근방까지 가열시킨 폴리폼을 1차형에서 중간 형상으로 변형, 접촉 가열로 균일 온도화한 후에 2차 성형(최종 제품 형상)을 행한다. 이때 2차 성형전의 온도가 중요해 수지의 결정화 개시온도영역에서 블로우 하는 것으로 장력이 더해져 성형성이 향상되어 2축 연신 배향의 효과적인 보틀을 형성할 수 있다.

3. HDPE의 더블 블로우 성형의 우위성

2스테이지법에 있어서 HDPE재에서의 싱글 블로우와 더블 블로우 보틀을 테스트하였다.

보틀 용량은 1L이하의 중용량, 입구 직경은 약 20mm로 행한다. 그 결과 두께의 분포 경향은 거의 동등하지만, 보틀 원주방향의 편육율에 있어서 더블 블로우에 우위성이 보여진다.

4. HDPE

다이렉트 블로우는 파이프 상에서 압출한 유연한 상태의 파리스를 금형에서 눌러 압축 공기를 블로우 핀으로 불어넣어 제품을 얻는 방법이다. 화장품이나 일용품 등 잡기에 관한 이형제품의 성형이 가능하며 다른 수지를 적층시킨 다층성형도 가능한 성형 방법이다.

[사진 5] 잔류 압출 세미 셀룰로오스 보틀



[사진 6] 헤미 셀룰로오스 첨가 바이오 폴리에스테르 보틀



5. 성형 방법에 따른 강도 비교

다이렉트 블로우 보틀과 더블 블로우 보틀을 비교하였다. 비교방법은 중량, 형상이 서로 비슷한 보틀로 시험하였다. 두께는 약 0.4~0.5mm로 하여 다이렉트 블로우 HDPE 보틀의 재

료 밀도에 근접한 그레이드를 선정하였다. (밀도: 0.953g/cm³: JIS K7112) 그 결과 낙하 강도 시험(만수 상태에서 2m에서 8회 연속)으로 [표 1]에 나타낸 것처럼 더블 블로우 폼에서 손상이 없었다. 다음으로 인장 강도 시험에서 인장 응력은 더블 블로우 폼에 있어서 확연한 차이가 보이지만 더블 블로우 폼과 비교하여 약 2배 향상되어 있다. 올레핀 수지 보틀을 경량화하는 것에 따라 더블 블로우는 우위라고 말할 수 있다. [표 2]에 나타내었다.

VI. 헤미 셀룰로오스 활용 및 생분해성 플라스틱

바이오 마스 플라스틱의 시험은 탈 플라스틱 정책으로 각사에서 추진되고 있다. 그 가운데 PLA, 바이오 PET 등의 식물유래 수지는 식용 가능한 원료 유래이며, 기후 변동에 커다란 영향을 받는다. 이 원료로 된 옥수수나 사탕수수는 바이오 연료로의 공급은 불안정하다는 염려가 있다. 당사는 원료가 풍부한 식물의 검토에서 헤미 셀룰로오스를 비롯한 바이오 플라스틱을 활용하여 보틀화하는 것을 제안하고 있다. 헤미 셀룰로오스의 추출 바이오 플라스틱화는 가공 기술을 가진 벤처 기업이 시행하며 당사에서는 보틀 성형을 실시하였다. 헤미 셀룰로오스는 다당류인 수지화가 가능하다. 예를 들어 목재의 50%는 셀룰로오스, 30%가 헤미 셀룰로오스, 20%가 리그닌이다. 펄프의 주성분인 셀룰로오스는 종이 원료, 그 외에 식품 등에서 유효하게 활용되고 있다. 반면에 헤미 셀룰로오스는 압출이나 가공이 어려워 대부분은 폐지되고 있다. 당사는 두부 제조

[사진 7] PET + 폴리 메틸펜텐 블렌드 보틀



생각한다.

과정에서 나온 오키라와 보리 잔류로 만든 수지를 사용한 보틀을 개발하였다. [사진 5]에 나타내었다. 식물유래 수지는 석유 유래수지와 비교하여 성형 시에 탄화되어 황변하기 쉽다. 당사에서는 베이스 수지를 선정하여 헤미 셀룰로오스를 첨가제로 한 투명성이 있는 바이오 폴리에스테르 보틀을 개발하였다. [사진 6]에 나타내었다. 시인성이 요구되어지는 용도에의 검토가 가능하다고

VII. PET에 폴리메틸펜텐을 블렌드한 차광보틀

폴리메틸펜텐은 내열성 내약품성을 가진 고기능 폴리올레핀 수지로 열가소성 수지 가운데 밀도가 가장 작은 0.83g/cm³이다. 당사에서는 착색 및 차광성으로 사용된 탄화 티탄이외에 차광성을 발현하는 방법을 재료 메이커와 고려하고 있다. PET폴리메틸펜텐은 블렌드한 보틀을 [사진7]에 나타내었다. 탄화 티탄은 리사이클로 제거되지 않는다는 정보도 있다. 폴리메틸펜텐을 블렌드 한 것으로 유기물만으로 보틀이 되는 리사이클성도 검토하는 것도 용이하지 않을까 생각한다. 우유나 맥주 등은 태양광·조명 등에 쏘이는 것으로 ‘일광취(오프 플레이버)’라고 불리는 악취가 발생한다. 일광취 대책으로써 용기에 차광성이 요구되어져 착색에 의한 대책이 주류로 되어있다. 자외선 차장 영역 400nm의 차광성은 착색 블렌드에 약하지만 그 외 영역에 있어서는 우수하다고 알려져 있다.

VIII. 마무리

고객에게 새로운 용기의 발상을 드리는 것을 목표로 집필하였다. 지속가능한 포장 용기의 세계적인 메인 스트림을 EU가 리드하여 다른 지역이 추종하는 구도로 되어있다. 당사도 국내 뿐 아니라 해외의 정보, 동향을 주시하면서 기계, 용기 개발이 필요하다고 생각한다. 1994년의 창업 이래 블로우 성형기를 제조할 뿐만 아니라 고객과 함께 사회·업계의 과제에 도전하여 기대를 뛰어넘을 수 있는 새로운 기술개발에 몰두하고 있다. 