



# 메커니컬 리사이클에 의한 ‘보틀 to 보틀’

## Approach to ‘Bottle to Bottle’ by Mechanical Recycling

山北龍兒 / 이시즈카그린페트(주) 도쿄공장

### 1. 일본의 현재 상황

PET보틀의 리사이클은 이미 세계적으로 이루어지고 있으며, 리사이클 원료를 사용한 제품은 슈퍼마켓에서 쉽게 구입할 수 있다. 또한 그 종류가 해마다 늘어 「PET보틀의 리사이클」은 보다 친숙한 것이 되고 있다.

숫자를 살펴보면, 유럽의 리사이클율은 20%에서 40%대로 추이하는 반면 일본은 PET보틀 회수율이 2012년부터 90%이상의 높은 수준을 유지하고 있다. 회수된 PET보틀의 리사이클율도 85%이상이 되기 때문에 세계적으로 보아도 높은 수준이라 할 수 있다.

지금까지 일상에서 배출된 PET보틀은 「머티어리얼 리사이클」에 의해 일상생활에서 사용하는 물건(주로 비식품용 제품)으로 리사이클 되어 왔는데, 최근 머티어리얼 리사이클의 하나로써 ‘보틀 to 보틀’을 실현할 수 있게 한 메커니컬 리사이클법이 확립되었다.

〔그림 1〕에 나타난 것처럼 사용이 끝난 PET보틀은 다시 PET보틀로 되돌리는 것이 가능

해졌다. 또한 그 리사이클 PET보틀도 다시 회수되어 또 다시 리사이클 되는 것이 가능해져 PET보틀이라는 자원을 최대한으로 이용할 수 있다.

### 2. ‘보틀 to 보틀’의 현재 상황

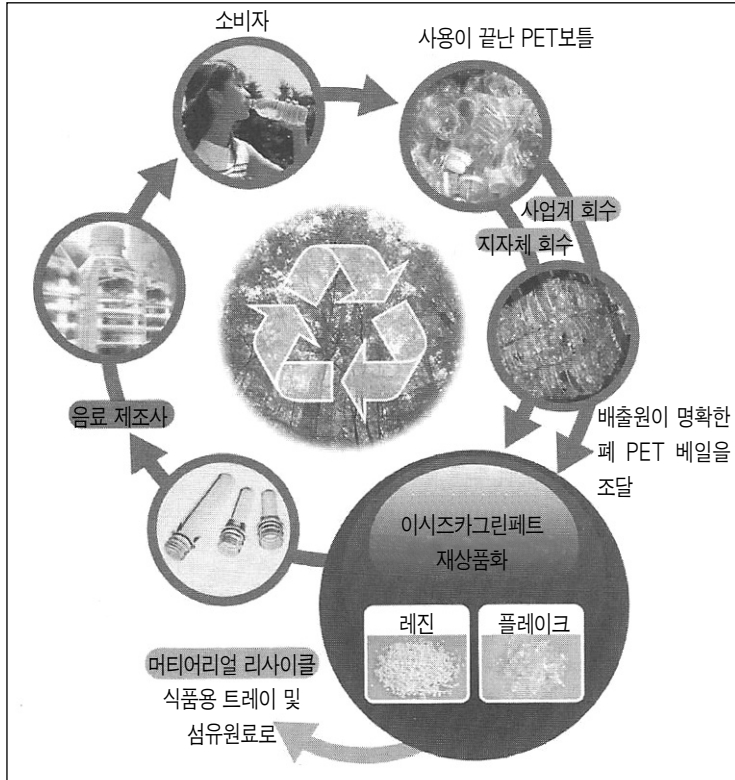
음료용 보틀을 위한 리사이클 레진을 생산하기 위해서는 안전, 비용 등에서 몇 가지 전제 조건을 갖춰야만 한다. ‘보틀 to 보틀’의 리사이클방법에는 케미컬 리사이클(화학적 재생법)과 메커니컬 리사이클(물리적 재생법)의 2가지 종류가 있다.

케미컬 리사이클은 사용이 끝난 자원을 화학 반응에 의해 조성 변환한 후에 리사이클하는 방법으로, PET보틀을 모노머로 화학분해한 뒤 재중합하는 것이다.

메커니컬 리사이클은 보틀을 선별, 분쇄, 세척해 표면의 오염, 이물을 충분히 빼낸 다음 고온에 노출해 수지 내부에 흡착하고 있는 오염물질을 휘발시켜 제염(除染)하는 리사이클방법이다.



[그림 1] “보틀 to 보틀” 비즈니스 모델



두 방법 모두 ‘보틀 to 보틀’을 달성할 수 있지만, 일본에서 PET보틀의 리사이클을 및 ‘보틀 to 보틀’ 비율을 높이기 위해서는 안전, 비용에 대한 종합적인 고려가 필요하다.

케미컬 리사이클에 의한 ‘보틀 to 보틀’은 앞에서 서술한 것처럼 PET보틀을 모노머로 화학분해한 다음 재증합해 PET 레진을 만드는 방법이다. 따라서 배출된 PET보틀이 잔액, 이물질 등에 의해 오염될 가능성이 낮다.

메커니컬 리사이클은 화학분해없이 물리적 세척, 선별에 의해 잔액, 이물질 등을 제거한 다음에 보틀을 용해, 다시 PET 레진으로 만드

는 것이기 때문에 화학적 재생법에 비해 안전성이 낮다고 할 수 있다. 최근에는 오염물질이 혼입돼도 단계적 세척, 선별 및 제염공정을 조합해 오염에 의한 안전성 저하를 줄일 수 있게 되었다.

또한 미국 FDA(식품의약품국) 등으로부터 안전위생성에 관한 승인을 받아 실용화되고 있다. 더욱이 대형 설비 등을 사용하지 않기 때문에 제조비용을 저감시킬 수 있을 뿐만 아니라 환경부하가 낮아진다는 이점도 있다.

이 때문에 일본의 PET보틀 리사이클을 높이기 위해서는 메커니컬 리사이클에 의한 ‘보틀 to 보틀’의 실현이 매우 중요하다.

### 3. 메커니컬 리사이클 프로세스

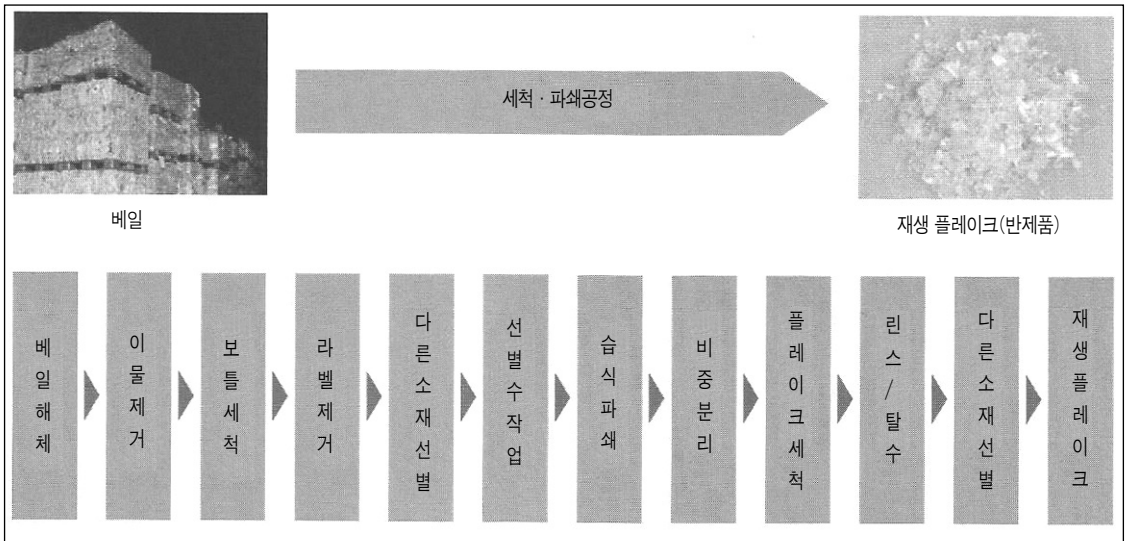
메커니컬 프로세스에 의한 재생 레진 제조공정은 ▲ 세척/파쇄공정 ▲ 압출/SSP공정의 2가지로 구성된다.

다음에 각 공정의 역할에 관해 서술한다.

#### 3-1. 세척/파쇄공정

[그림 2]에 세척·파쇄공정의 공정도를 나타냈다. [그림 2]에 나타낸 것처럼 베일(회수된 PET보틀을 하나의 큰 덩어리로 묶은 것)이라

[그림 2] 메커니컬 리사이클 공정도(세척·파쇄공정(베일 원료⇒재생 플레이크))



고 하는 원료를 라인에 투입하고 해체한다. 베일 원료 안에는 PET 소재 이외의 이종재 보틀, 자성 금속(철 등), 비자성 금속(알루미늄 등), 라벨, 캡 등이 들어있다.

이 공정에서는 보틀 상태에서 이물을 철저히 제거하고, 고온에서 알칼리 세척도 한다. 구체적으로는 라벨 분리기 및 풍력 선별기를 함께 사용해 라벨을 제거하고, 자선기(磁選機), 금속검출기, 마그네틱박스 등을 활용해 철 및 알루미늄 등의 금속류를 제거한다. 또한 자동보틀선별장치를 도입해 광학적 선별방식으로 PET 이외의 이종재를 제거할 수도 있다. 이러한 프로세스를 통과한 보틀은 파쇄기에 넣기 전에 선별 수작업으로 최종적인 외관 확인이 이루어진다.

그 다음 파쇄기에 투입해 일정 사이즈로 파쇄된다. 파쇄된 것을 플레이크라고 한다. 플레이크 안에는 PET 소재 외에 일부, 보틀의 네

크부분에 남은 캡 링이나 캡(주로 PP/PE 소재)도 함께 파쇄된다. 그래서 파쇄 후 처음으로 비중 분리층이라고 하는 수조에 플레이크를 공급한다. 비중차이를 이용해 PET 소재와 PP/PE 소재를 분리하고, PET 플레이크만을 다음 공정으로 보낸다. 반송된 플레이크는 다시 고온에서 알칼리 세척이 이루어진다. 그 다음 잔류 알칼리 성분을 제거하기 위해 린스 세척/탈수가 이루어진다. 이후 플레이크 안에 최종적으로 잔존하는 미세분말, 라벨조각, 컬러 플레이크 등을 Z형 세퍼레이터 및 플레이크 소터를 이용해 철저히 제거한다.

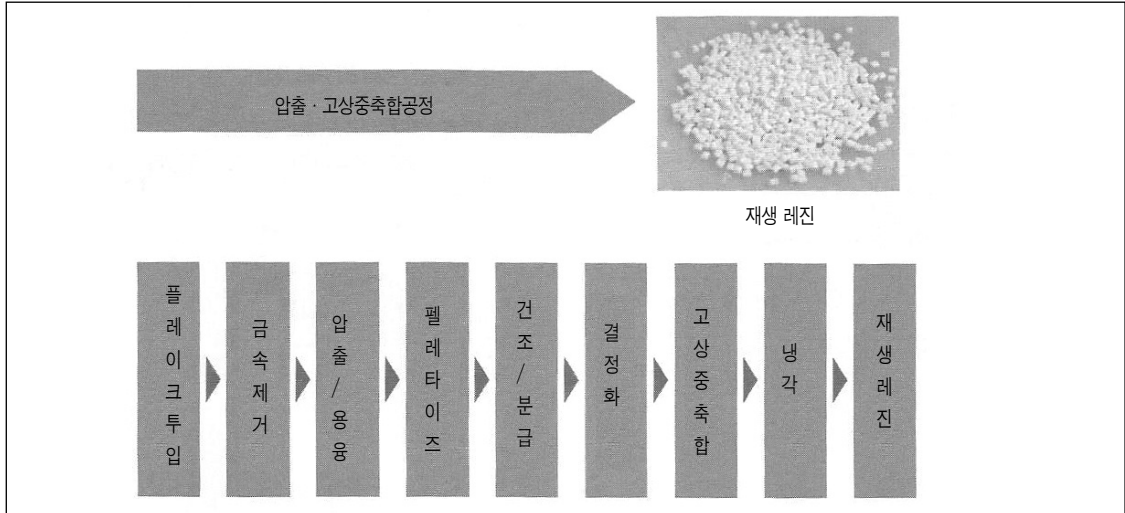
이상의 공정을 거쳐 얻은 플레이크([그림 2] 안의 사진)은 저장 사일로(silo)로 반송된다.

### 3-2. 압출/SSP공정

[그림 3]에 압출/SSP공정 공정도를 나타냈다. 플레이크가 사일로에서부터 압출기로 공급



[그림 3] 메커니컬 리사이클 공정도(압출/SSP공정(재생 플레이크⇒재생 레진))



된다. 압출기로 공급되기 직전에 금속검출기 및 마그네틱박스로 플레이크 안의 금속을 제거한다.

투입된 플레이크는 압출기 안에서 용융되고, 진공 탈기에 의해 휘발성분을 제거한다. 그리고 필터를 통해 이물을 제거한 다음 다이헤드로 압출한다. 압출된 용융 폴리머는 수냉(水冷)되고, 어느 정도 고화한 시점에서 펠레타이저(pelletizer)라고 하는 장치에 의해 칩 모양으로 잘린다. 그 다음 탈수기로 건조시키고, 규격 내 칩 사이즈를 고르기 위해 진동체로 분류한 뒤 저장 사일로로 반송한다. 이 시점에서는 미결정 칩의 형태이다.

이어서 사일로에 공급된 미결정 칩은 결정화 장치로 공급된다. 여기에서는 후공정에서 칩끼리 융착하는 것을 막기 위해 고온의 질소 분위기 하에서 결정화를 한다. 결정화한 칩은 고온 질소에 의해 반응탑으로 반송된다. 그리고 반응탑 안에서의 고상중축합반응에 의해 온도와

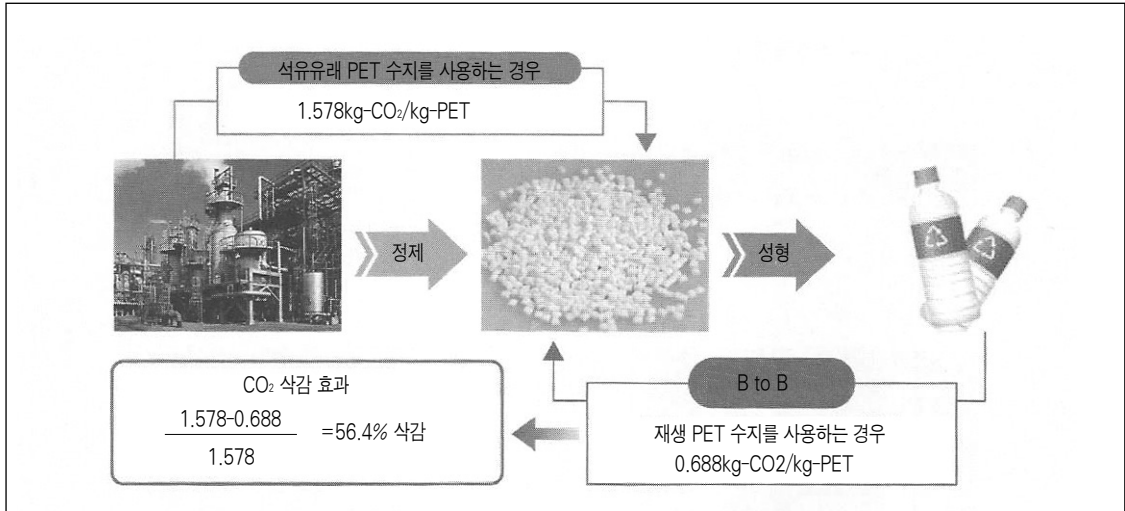
대류시간을 컨트롤하면서 소정의 IV값으로 조정된다. 반응탑에서 나온 칩을 냉각한 후 품질 검사용 사일로에 저장하고, 품질측정결과를 바탕으로 각 제품 사일로로 반송한다.

이상의 2가지 공정을 부감하면, 세척/파쇄/압출/SSP의 공정을 거쳐 최종적으로 식품용료용으로 적합한 레진이 생산되기 때문에 제1단계 반제품인 플레이크를 곤포·이동하지 않고, 연속적으로 다음 공정에 투입하는 쪽이 비용 면에서 메리트가 있다.

그 때문에 베일의 투입에서부터 세척, 선별, 파쇄, 압출, 결정화 등의 공정을 거쳐 최종적인 제품인 레진까지, 일관 생산하는 비즈니스가 생겼다. 이는 PET보틀 리사이클율의 촉진에 있어서도 합리적인 시도라고 생각된다.

앞으로 원료인 PET보틀 자체도 다양한 개발이 이루어질 것이라 생각된다. 그때 안전·안심의 식품음료용 레진을 제공하기 위해 PET

[그림 4] LCI 분석에 의한 이산화탄소 배출량의 삭감 효과



보틀의 변화에 대응한 제조공정을 연구해야만 한다. 또한 원료의 변화 외에 제품 쪽도, 폭넓은 제품에 사용할 수 있도록 제조공정의 조건 등을 컨트롤하는 것으로 다양한 니즈에 대응할 수 있도록 노력해야 한다.

#### 4. 환경에 대한 기여

환경에 대한 기여는 이산화탄소 배출량이라는 시점에서부터, 석유유래 레진에 비해 리사이클 레진 쪽이 환경에 우수하다는 것이 LCI 분석 결과에 의해 증명되고 있다.

레진 제조공정에서 이산화탄소가 배출되지만, (주)산업정보연구센터에 위탁해 동사의 재생레진 일관생산라인에 대한 LCI 분석을 했다. 그 결과, [그림 4]에 나타낸 것처럼 석유유래 레진과 비교하면 리사이클 레진의 이산화탄소 배출량은 약 56%(정격전력·설계능력 배

이스) 낮은 결과를 얻었다. 기존의 머티리얼 리사이클과 거의 비슷한 수준이다.

#### 5. 앞으로의 전망

지금까지의 PET보틀은 석유유래의 것이 대부분으로, '보틀 to 보틀'의 리사이클이 가능해지면 석유 자원을 거의 사용하지 않게 될 것이다. 앞으로 유한한 자원을 어떻게 이용, 재이용하는가가 더욱 중요하다.

'보틀 to 보틀'은 리사이클 외에 자원의 순환을 촉진하는 재이용(리유스)의 일면도 있다고 생각한다.

물론, 현재 일본에서 '보틀 to 보틀'을 포함해 머티어리얼 리사이클까지 범위를 넓힌다 해도 배출된 PET보틀을 모두 리사이클할 수는 없다. 자원의 국내 순환을 어떻게 촉진할 수 있을지 또한 앞으로의 과제이다. 