KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY
Vol. 30, No. 1 31~42 (2024)
https://doi.org/10.20909/kopast.2024.30.1.31

일본의 페트 보틀 투 보틀 재활용 현황

이영수[1,2] · 박상윤[2,*] · 김도완[3] · 서종철[1,†]

[1]연세대학교, 과학기술융합대학, 패키징학과
[2]새한프라텍㈜
[3]국립강릉원주대학교, 생명과학대학, 해양바이오식품학과

Development of PET Bottle to Bottle Recycle in Japan

Youngsoo Lee[1,2], Sangyoon Park[2,*], Dowan Kim[3], and Jongchul Seo[1,*]

[1]Department of Packaging, Yonsei University,1 Yonseidae-gil, Wonju-si, Gangwon-do 26493, Republic of Korea
[2]Saehan Platec Co. Ltd., 851-11 Dureungyuri-ro, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, Republic of Korea
[3]Department of Marine Biofood Science, College of Life Science, Gangneung-Wonju National University, 7 Jukheon-gil, Gangneung, Gangwon-do, 25457, Republic of Korea

Abstract This review paper provides a detailed analysis of PET (polyethylene terephthalate) bottle recycling in Japan. Japan is a global leader in PET bottle recycling due to its advanced regulatory framework and proactive industry initiatives. Japan's success attributes to the widespread adoption of bottle-to-bottle recycling, driven by the beverage industry's commitment to sustainability. By utilizing post-consumer PET bottle recovery and food-grade mechanical recycling technologies, Japan has achieved significant milestones in PET bottle recycling. This paper examines regulatory frameworks, collection systems, reprocessing facilities, and food safety assessments to highlight Japan's innovative approaches to PET bottle recycling and their impact on global sustainability efforts. Drawing parallels with Korea's early stages of PET recycling, it suggests involving major beverage companies and re-evaluating regulations to promote bottle-to-bottle recycling. The focus is on the implications for Korea to promote circular economy principles in plastic recycling.

Keywords Bottle to bottle recycling, Post-consumer pet bottle, Food grade mechanical recycle, Sustainability, Circular economy, Sustainable waste management

서 론

플라스틱 포장 용기 중 페트병 (Polyethylene terephthalate bottle, PET bottle)은 투명하고 가벼우면서 강도가 높고 내열성이 좋은 특성으로 널리 사용되고 있다. 사용 후 재사용을 확대하기 위하여 소비자가 사용 후 배출하는 페트병을 폐기물로 수거 및 재활용 (Recycle)을 확대하도록 나라별 각각의 법규와 제도를 운영하고 있다. 사용한 페트병을 재생한 재생 페트는 섬유, 시트 등의 원료로 주로 사용되고 있으나, 자원의 유용한 이용과 이산화탄소 배출 억제 등의 수평 순환경제 (Horizontal circular economy) 달성에 부응하는 방법의 하나로, 재생 페트를 페트병 원료로 다시 사용하는 'Bottle to Bottle recycle (이하 BtoB 재활용)'에 대한 관심과 적용이 확대되고 있다[1]. BtoB 재활용은 사용이 끝난 페트병을 원료로 재생하여 새로운 식품 및 음료용 페트병으로 재이용하는 것으로 동일한 재료를 여러 번 자원 순환시키는 이상적인 수평적 재활용 방법이다[2]. 페트병은 대부분 음료 및 식품 용기로 사용하기 때문에 페트병에 적용할 재생 페트는 식품 위생상의 안전성을 확보하는 것이 중요하고, 페트병의 제조에 적합한 물성을 갖추어야 한다.

우리 정부는 재활용 시스템 구축을 위해 '자원의 절약과 재활용촉진을 위한 법률'[3]과 '자원 순환 기본법'[4]을 제정 시행하고 있다. 자원 순환형 사회 구축 전략에 의거한 정책

*Corresponding Author: Sangyoon Park
Saehan Platech Co. Ltd. 851-11 Dureungyuri-ro, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, Republic of Korea
Tel: +82-43-217-4051
E-mail: sypark@splatech.com
†Corresponding Author: Jongchul Seo
Department of Packaging, Yonsei University,1 Yonseidae-gil, Wonju-si, Gangwon-do 26493, Republic of Korea
Tel: +82-33-760-2697
E-mail: jcseo@yonsei.ac.kr

의 일환으로 '2020년 12월 생활 폐기물 탈 플라스틱 대책'을 발표하여 2025년까지 플라스틱 폐기물의 20% 감소와 분리배출된 플라스틱 재활용 비율 70% 상향, 2030년까지 플라스틱 용기에 재생 원료 30% 사용 등을 목표로 제시하였다[5]. 또한, BtoB 재활용을 확대하여 페트병의 재활용을 고도화하기 위하여 정부는 2021년 '기구 및 용기 포장의 기준 및 규격'을 개정하였다.[6] 더불어 2022년 '식품 용기 사용 재생원료 기준'[7]을 제정 고시하여 페트병 원료로 재생 페트를 적극적으로 사용할 수 있는 근거를 마련하였다. 사용 후 폐기되는 페트병의 수거 및 재활용 수량과 품질 개선을 위하여 '분리배출 표시제도'를 개정하였다. 2024년 1월부터 식품 및 음료용으로 사용하는 무색 페트병만 '무색 페트'로 표시하고 화장품, 생활용품 등에 사용하는 페트병은 '플라스틱' 으로 표시하도록 하고 있다[9]. 2021년 기준 국내 페트병의 전체 출고량 34.4만톤이며, 이중 약 26.8만톤이 재활용되었다. 전체 페트병 출고량 중 무색 단일 페트병의 출고량은 30.5만톤으로, 재활용량은 23.4만톤으로, 이는 77%의 재활용율로 일본의 87%에 비해서 낮은 수준이다[9]. 특히, 이 중 페트병 원료로 다시 사용할 수 있는 BtoB 재활용 사용량은 2022년 기준 약5천톤 정도로 미미한 수준으로 추정된다[10].

한편, 일본 정부는 2012년 4월에 재생 플라스틱 재료를 식품 용기 포장에 사용하는 재생 플라스틱재료의 안전성 확보에 필요한 기본적인 요건을 규정한 '식품용 용기 포장에 대한 재생 플라스틱재료의 사용에 관한 지침'[11]을 공표하였다. 일본 환경성은 2022년 4월부터 발효되는 '플라스틱에 관한 자원순환 촉진 등에 관한 법률'을 발표하였다[12]. 플라스틱 자원 순환 촉진법은 플라스틱 제품의 설계부터 사용 후 폐기물의 처리까지 플라스틱의 전 생애주기 (Life Cycle)에 걸쳐 고도의 자원순환 이용 (3R + Renewable)을 실현하여 순환 경제 형성을 촉진하는 것을 목표로 하고 있다. 2012년 물리적 재활용 페트(Mechanical recycled PET)를 사용한 제품이 출시된 이후 일본 대형 음료 업체를 중심으로 꾸준히 BtoB 재활용 사용량은 증가하였다[13]. 2022년에는 페트병 원료의 약 29%인 16.8만톤을 재생 페트로 사용하였다[14]. 일본의 페트병 재활용 (PET bottle recycle)은 수평순환 경제 확대를 위한 BtoB 재활용에 있어서 괄목할만한 선구적인 성과를 내고 있다. 이러한 성과의 배경에는 2021년 4월에 일본청량음료연합회가 '2030년 PET BtoB 재활용 사용 비율 50% 선언[15]을 발표한 이후, 일본 음료업체들의 적극적인 대응과 1) 사용 후 페트병 분리 배출 정착에 의한 고품질의 사용 후 페트병의 회수, 2)대형 재활용 사업자 등에 의한 물리적 재활용 기술과 품질의 확립, 그리고, 3) 신재 페트 (Virgin PET)와 경쟁할 수 있는 가격 경쟁력 등을 전제로 하고 있다[16].

본 연구에서는 사용 후 페트병의 고품질 회수와 식품안전성에 적합한 물리적 재활용 기술을 바탕으로 고품질의 BtoB 재활용 시장을 확대하고 있는 일본의 페트 용기 재활용에 관련한 법규와 제도, 사용 후 페트병의 수거 체계, 사용 후 페트의 재생 설비와 시스템, 식품안전성에 대한 평가, BtoB 재활용의 미래전망 등을 조사하여 정리하였다. 본 자

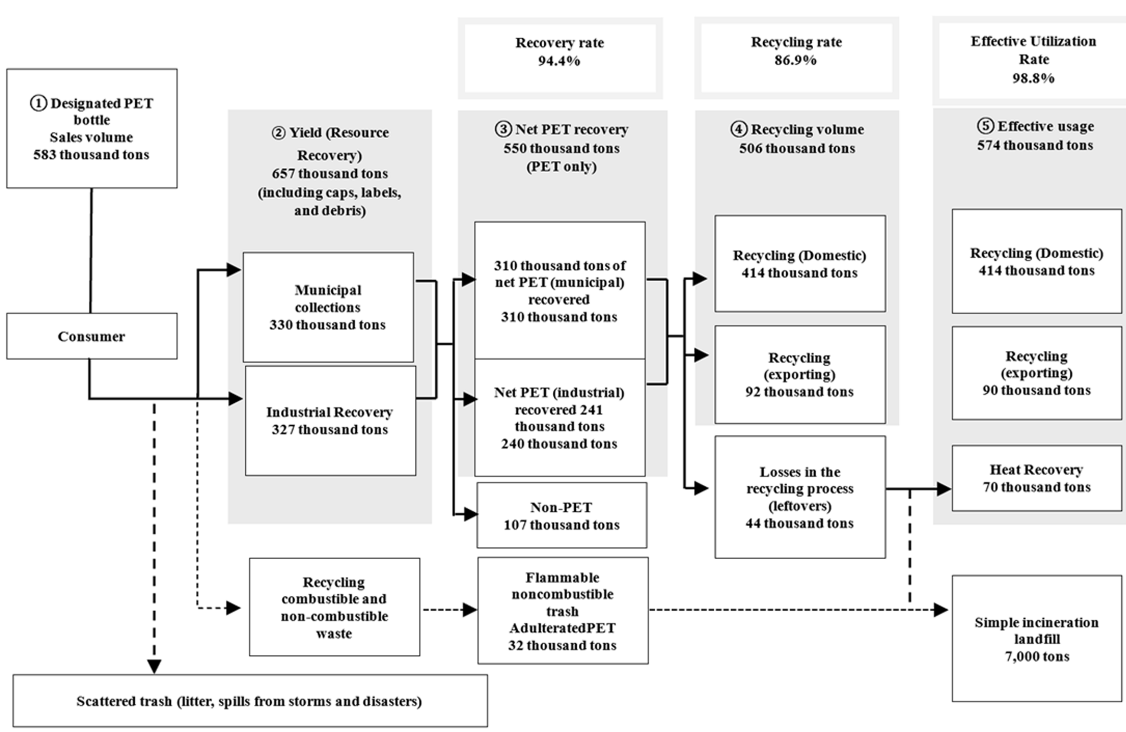


Fig. 1. Flow chart for recycling of used PET bottles in Japan (2022)[17].

료가 일본의 BtoB 재활용 현황을 바탕으로 국내의 페트병 BtoB 재활용 활성화를 위한 기술개발 및 제도 보완 등에 참고가 되었으면 한다.

일본의 페트병 재활용 현황

일본 페트병 재활용에 대한 통계 자료는 '일본페트용기리사이클추진협의회의'에서 발행한 2023년도 연차보고서를 사용하였다[17]. 보고서에 의하면, 2022년도 PET병 재활용 비율은 86.9%이며, 페트병으로 지정 판매한 중량은 58.3만톤이고, 여기에 캡, 라벨, 이물 등을 포함한 사용 후 회수량은 65.7만톤이다 (Fig. 1). 사용 후 회수된 페트의 재활용량은 50.6만톤으로 이를 판매 중량으로 나누면 86.9%의 재활용 비율이 되는데, 2012년 이후 매년 거의 비슷한 수준으로 사실상 포화점에 이른 것으로 생각된다. 한편, 재생 페트 원료로 재활용되지 못한 7.7만톤은 재활용 공정의 손실이나 일반 쓰레기에 혼입 배출된 것이며, 이 중 7만톤은 열 에너지화에 사용되어 사용 후 페트병의 유효 이용율은 98.8%수준으로 추정되고 있다. 재활용된 재생 페트 50.6만톤 중 해외로 수출된 9.2만톤을 제외하고, 일본 내 사용량은 41.4만톤으로 추정된다. 용도별 사용량을 보면 페트병 16.8만톤, 시트 12.8만톤, 섬유 4.1만톤 등이다. Fig. 2와 같이 BtoB 재활용 페트 사용량은 2010년 이후 점진적으로 증가해 왔으며, 특히 2022년도는 16.8만톤으로 전년대비 52.8% 증가하였으며, 페트병으로의 사용 비율은 29%로 대폭 증가하였다. 이는 2021년 4월 일본청량음료연합회가 '2030년 BtoB 재활용 페트 사용 비율 50% 선언'을 발표한 이후 일본 음료 업체들의 적극적인 참여와 이에 따른 재활용 사업자의 우수한 설비 증강의 결과로 보인다.

일본의 페트병 재활용 관련 법규와 제도

일본의 페트병 재활용시스템은 1995년에 제정되어 1997년부터 페트병에 시행하고 있는 '용기 포장 재활용법'에 근간을 두고 있으며, '식품용 용기 포장에 대한 재생 플라스틱 재료의 사용에 관한 지침'과 '플라스틱 자원 순환 촉진법' 등을 기반으로 BtoB 재활용 시스템을 적극 확대하고 있다[12].

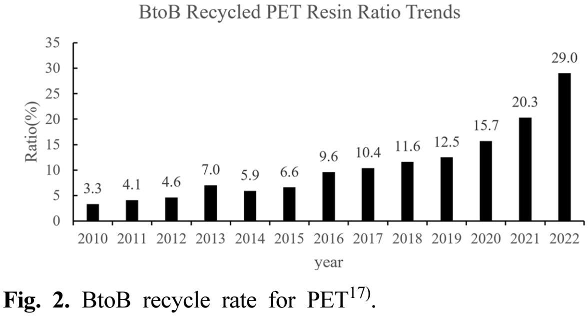


Fig. 2. BtoB recycle rate for PET[17].

1. 용기 포장 재활용법

일본의 용기 포장 재활용법[18]은 소비자의 분리 배출, 지자체의 분별 수집과 중간처리, 제품 생산자의 재활용이라고 하는 역할 분담 하에 용기 포장의 분별 수집 및 재 상품화를 촉진하는 것을 정한 법률이다. 사용 후 제품에 대하여 회수, 처리, 재활용 등 모든 책임을 생산자에게 부담하게 하는 엄격한 의미의 생산자 확대 책임 (Extended producer responsibility) 제도가 아니고, 분담 책임 (Shared responsibility)제도라고 할 수 있다[19]. 즉, 지자체가 가정으로부터 포장 폐기물을 회수, 선별, 보관하는 물리적, 재무적 책임을 지며, 회수한 포장 폐기물은 지정 법인인 '일본용기포장재활용협회'에 위탁 처리하거나, 상황에 따라서 독자 처리하기도 한다. 재활용 사업자는 용기포장재활용협회의 입찰에 참가하여 포장 폐기물을 낙찰을 받고, 적정 처리와 재활용에 관한 물리적 책임을 부담한다. 재활용 의무 생산자(제품 생산자)는 위탁 처리와 낙찰 사이에서 발생하는 비용을 각각의 배출량에 따라 부담하는 재무적 책임을 부담하는 것으로 재활용 의무를 이행하는 구조이다. 재활용 의무 생산자 (제품 생산자)가 사용 후 용기나 포장의 재활용의무를 이행하기 위해서는 3가지 방법이 있다[20].

1) 지정법인 (공익법인 일본용기포장재활용협회)에 위탁하는 방법으로 계약에 의해 정해진 위탁 요금을 지불함으로써 재활용의무를 이행한 것으로 한다.

2) 생산자가 직접 수거부터 재활용까지 자체적으로 하는 방법으로 일정한 기준을 충족하고 재활용 경로 전체를 주무장관이 인정한 경우 직접 또는 재활용 사업자에게 위탁하여 재활용 의무를 이행할 수 있다.

3) 배출 사업자가 직접 또는 위탁에 의해 자체적으로 회수하는 방법으로 일정 회수율(90% 이상)이 되는 것을 전제로 주무 장관의 인정을 받은 회수 방법으로 회수한 용기나 포장은 재활용 의무가 면제된다.

이 중 3)의 방법은 회수 가능한 맥주나 소주용 유리병 등에만 적용이 가능하고 페트병을 사용하는 제품생산자의 경우 대부분 1)의 방법으로 비용을 분담하고 지정 법인에 위탁하고 있다. 현재, 제품생산자가 일본용기포장재활용협회에 부담하는 재활용 위탁료는 재상품화 실시 위탁료와 재상품화 기여 위탁료 두 종류가 있다. 재상품화 실시 위탁료는 분별 수집된 사용 후 페트병을 재생품화하는 재활용 사업자에게 지불하고, 재상품화 기여 위탁료는 지자체가 고품질의 분별 수집을 실시하여 재활용 비용 절감에 효과가 있을 경우 일정 부분 지자체에 기여금으로 보상해주는 제도이다. 최근에는 순환경제에 대한 관심과 BtoB 재활용의 확대로, 대형 음료 제조업체를 중심으로, 사용 후 일본용기포장재활용협회에 위탁하지 않고 지자체와 직접 협력하여 페트병을 직접 수거하고 재활용하여 음료용 용기 원료로 재사용하는 2)의 방법이 증가하고 있다.

2. 식별 표시 마크 제도

1993년에 제정 시행된 ‘자원 유효이용촉진법’[21]에서는 사용 후 PET병의 재활용 용이성과 우수한 품질을 위하여 분별 수집해야 할 페트병만 ‘지정 페트 병’으로 구분하여 식별 표식을 하도록 의무화하고 있다. 현재 페트병으로 지정 표시되는 제품은 음료, 주류, 우유 등 음료 제품과 기름성분이 없는 간장, 식초 등의 조미료 제품으로 식별 표시 마크를 <PET> 또는 <1>을 사용하여 페트병으로 분리 배출하며, 유색이거나, 무색이지만 식용유, 소스 등 기름성분이 있는 식용유, 소스, 조미류와 세제 화장품 등 생활용품을 담은 페트병 등은 식별 마크 <플라>를 사용하고 일반 플라스틱으로 분류하여 배출하고 있다[22].

3. 식품용 용기 포장에 대한 재생 플라스틱 재료의 사용에 관한 지침

2012년 4월 후생노동성은 재생 플라스틱 재료를 식품용기 포장에 사용하는 재생 플라스틱재료의 안전성 확보에 필요한 기본적인 요건을 규정한 ‘식품용 용기 포장에 대한 재생 플라스틱재료의 사용에 관한 지침’을 공표하고, 재생 플라스틱 사용시 개별의 안전성에 관하여 용기포장제조업자가 후생노동성에 그 적합성을 조회하는 절차를 규정하고 있다. 물리적 재활용법 (Mechanical recycle)의 정의, 원료의 범위와 재활용 제조 관리에 관한 유의점, 그리고, 식품위생법에의 적합 등을 규정한 본 지침은 물리적 재활용에 의한 재생 페트 수지를 식품용 페트병 원료로 적용하는 기준으로 사용되고 있으며, 주요 내용은 다음과 같다[23]. 첫번째, BtoB 재활용 원료의 범위에 관한 기준은 식음료 용도로 사용 후 페트병을 분별 회수한 것으로 한정하고, 원료는 품질에 따라 다음 3가지로 분류한다.

Class 1: 식품용 페트병 제조 공장의 공정에서 회수된 부산물 페트

Class 2: 용기포장 재활용법에 의해 분리 수거 회수된 페트병 또는 식·음료용 유리병, 캔 등과 동시에 회수된 사용 후 페트

Class 3: Class 1과 2 이외의 방법으로 회수된 사용 후 페트병 식·음료용 이외의 플라스틱 용기나 기타 폐기물과 혼합 회수된 후, 식음료용으로 사용 후 페트병을 선별한 것으로 식품용 이외의 용기나 오염 물질이 혼입 되어있을 가능성이 높은 페트

물리적 재활용에서는 Class 1과 2의 사용을 원칙으로 하지만 선별이나 재활용 공정에서 기술의 고도화 등에 의하여 오염물질의 제거를 보증하는 것이 가능하다고 하면 Class 3도 사용할 수 있다. 둘째로 제조관리에 관련한 유의점으로, 재생 페트를 사용한 페트병에서 오염물질이 식품에 혼입하지 않는 보증과 제조 품질관리의 보증이다. 유해 또는 유독한 물질이 식품에 혼입하지 않는 것을 보증하는 방법으로 대리 오염 물질을 사용한 확인시험 (대리오염물질 시험)을 실시하고, 재생 페트 수지 또는 페트병에 대해 정기적으로 시험검사 등을 실시하여 안전성을 확인해야 한다. 대리오염물질시험은 미국 FDA법을 추천하며, 안전성 보증의 판단기준이 되는 대리오염물질 각각의 용출 허용 한도는 10 ppb이다. 또한, 안전성이 확인된 재생 페트 수지가 동등한 품질로 일정하게 제조되고 있는 것을 보증하기 위해서는 표준작업서 (Standard Operating Procedures, SOP)를

Table 1. Guidelines for PET bottle redesign

Component	Item	Guiding Principles (A: Required, B: Recommended)
Bottle	Body	A) PET mono material A) No coloring B) Make it easy to squeeze
Label	Materials, Detachability	A) Do not use PVC, aluminum, or laminated labels A) Material and thickness that can be separated in the recycling process A) The label printing ink will not transfer to the PET bottle
	Peelability, Detachability	B) Shrink labels have a longitudinal dotted line B) It is recommended that the adhesive used for labels, etc. minimize the area and amount applied so that it can be easily peeled off by hand and no label fragments or adhesive remain in the bottle after removal
Thickness (Cap)	Materials	A) PE or PP with a specific gravity of 1.0 min A) Do not use aluminum or PVC thickening A) If packing, etc. is used, the label should specify how to remove it after drinking
Other		B) When sticky materials such as price labels, checkout tear-off tape, etc. are applied at the retail sales stage, it is recommended that they be thick or labeled A) The handle is made of uncolored PET, or PE, PP with a specific gravity of 1.0 or less B) PE with a specific gravity of less than 1.0. We recommend that PP handles be replaced with non-colored PET handles A) Do not print directly on the bottle body (Excludes fine print such as expiration dates, lot numbers, etc.)

작성하고 적절한 위생관리, 원료 관리 및 공정품질관리를 실시하여야 한다.

이상의 지침에 근거하여 2012년 후생노동성에서 페트병 사업자 4개사가 사용하는 재생 페트의 안전성에 대한 조회를 하였으나, 조회 결과는 2021년에야 적합 판단이 나왔다. 이 기간 동안 일본 정부는 조회에 대한 검토를 하지 않았지만, 일본 대형 음료 업체들은 페트병의 BtoB 재활용을 적극 진행하여 왔다[24]. 즉, 안전성의 증명과 담보를 각 음료 업체에 맡긴 것으로, 재생 페트 수지를 식품용 페트병에 사용하는 BtoB 재활용은 식품위생법에 대한 적합성을 인정받은 일본 음료업체들의 식품 안전성에 대한 책임하에서 성장하고 있다고 볼 수 있다.

4. 페트병의 자체설계 가이드라인

일본 페트병 재활용 추진협의회에서는 1992부터 페트병의 자체 설계 가이드라인을 만들고 지속적으로 환경정책에 부합하도록 보완하고 개정해왔다. 2023년 3월에 개정된 최신 가이드라인 (Table 1)에서는 병, 캡, 라벨 등의 적용 원칙 기준을 설정하고 있으며, BtoB 재활용을 포함한 재활용 재료의 적용 제품에 대응하는 품질 기준을 제시하고 있다[25].

5. 플라스틱에 대한 자원 순환 촉진에 관한 법률

2019년 5월에 일본의 환경성과 산업경제성은 '플라스틱 자원순환 전략'을 수립하였다. 이 전략은 3R (Reduce, Reuse, Recycle)과 Renewable (재생자원의 활용)을 기본 원칙으로 하여, 2030년까지 플라스틱 용기포장의 60%를 재사용 및 재활용하고, 2035년까지 사용 후 플라스틱을 100% 재사용과 재활용하는 등 유효 이용 목표를 제시하였다[12]. 이러한 전략의 실행과 함께, 플라스틱 제품의 설계부터 사용 후 폐기물의 처리까지 플라스틱의 전 생애주기 전반에 걸쳐 자원의 고도 순환을 실현하여 순환경제를 촉진하기 위해 2022년 4월부터 시행되고 있는 플라스틱 자원순환 촉진법을 제정 시행하고 있으며, 개요는 다음과 같다[12].

1) 설계, 제조 단계: 생산자 (제조 사업자) 등이 노력해야 하는 환경배려 설계 (DfE: Design for environment)에 관한 지침을 책정하고 인증시스템을 만들어, 인증 제품에 대하여 국가가 솔선하여 조달한다. 국가에 의해 인증을 받는 경우에는 폐기물 처리법의 사업허가를 받지 않아도 사용 후 플라스틱의 자체적인 회수나 재활용이 인정된다.

2) 유통, 판매 단계: 일회용 플라스틱 제품의 사용을 억제하고 대체품으로의 전환을 요구하며, 일회용 제품의 대량 이용자에 대해서는 국가가 배출억제 권고명령 조치를 한다. 생산자와 마찬가지로 국가의 인증을 받는 경우 폐기물 처리법의 허가를 받지 않고도 회수나 재활용을 할 수 있다.

3) 배출, 회수, 재활용 단계: 지자체가 용기포장 재활용법의 근간을 활용하여 제품 플라스틱과 용기포장 플라스틱을 일괄 회수하고 재생하는 것이 가능하다. 또한 제조, 판매, 유통 사업자가 국가의 인정을 받는 경우에는 폐기물 사업 허가없이 지자체와 협력하여 지자체에 의한 선별 및 포장을 생략하고, 재활용 사업자가 직접 회수하고 재생하는 것이 가능하다.

본 법은 플라스틱 자원의 생산, 유통 판매에 관련한 각 주체의 의무나 책임은 명시되어 있지 않다. 그러나, 플라스틱 사용 제품의 생산, 판매, 유통 사업자가 지자체와 소비자와 협력하여 적극적으로 자체 회수, 재자원화를 이행할 것이 기대되므로 '기존의 용기 포장 재활용법', '식품 용기포장에 대한 재생 플라스틱 재료의 사용에 관한 가이드라인'과 더불어 BtoB 재활용의 확대를 촉진할 것으로 기대된다[26].

6. 일본청량음료연합회의 2030년 페트 BtoB 비율 50% 선언

페트의 BtoB 재활용을 선도하고 있는 일본 청량음료업계 단체인 일본청량음료연합회는 2018년 11월에 '청량음료업계의 플라스틱 자원순환 선언'을 하고, 페트병의 100% 유효이용을 목표로 한다는 것을 발표하였다. 이후, 2021년 4월 '2030년 페트 BtoB 재활용 비율 50%'를 선언하였다. 페트병의 수평적 재생인 BtoB 재활용을 2030년까지 50% 사용한다는 것은 현재의 기술과 경제성에 기반한 것으로 보인다. 장기적으로는 물질 재활용 기술의 진보, 화학적 재활용 기술의 발전, 그리고, 경제성 확보를 통한 보다 높은 페트 BtoB 재활용 비율을 목표로 하고 있다[15].

일본의 사용 후 페트병의 회수 및 재활용 시스템

사용 후 페트병은 소비자로부터 배출되어 지자체 (시, 군, 구)와 사업계의 두가지 경로로 회수되어 재활용된다. 지자체 회수는 가정으로부터 분리 배출되고 지자체가 분별 수집하는 경로이다. 이는 용기포장재활용법에 따라 소비자는 분별 배출, 지자체는 분별 수집과 선별 보관, 제품생산자는 재상품화를 담당하는 역할이 정해져 있다[27]. 반면에, 사업계 회수는 사용 후 페트병을 사업자 스스로의 책임하에서 재활용을 행하는 경로이다. 자동 판매기, 공장이나 사무 빌딩, 슈퍼마켓이나 편의점, 교통기관이나 공공시설 등 다양한 장소에서 플라스틱은 폐기물 처리법과 지자체의 조례 등에 따라 운용되고 있다. 특히, 2021년 일본청량음료협의회가 플라스틱 자원순환의 일원으로 '2030 까지 페트 BtoB 재활용 비율 50% 이상'을 선언하고, 이어 2022년 4월에는 '플라스틱 자원순환 촉진법'이 시행되면서 대형 음료회사가 중심이 되어, 지자체나 사업계와 협력하여 사용 후 페트병을 직접 회수하여 재활용하는 자체회수 방식을 확대하고 있다.

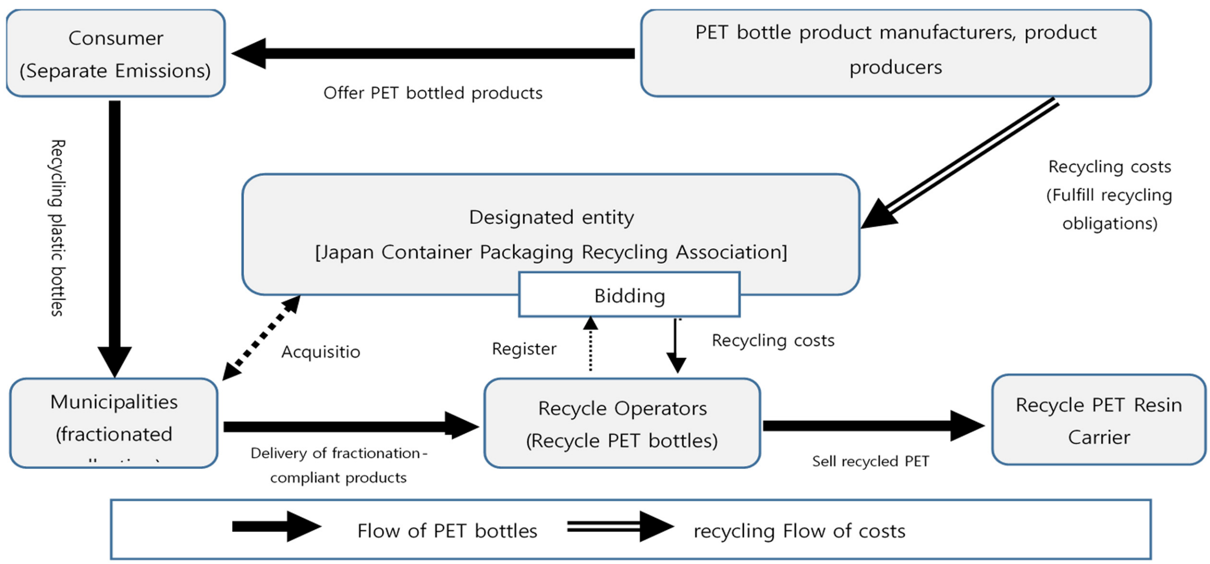


Fig. 3. Municipal take-back recycling flow chart[18].

1. 지자체 회수

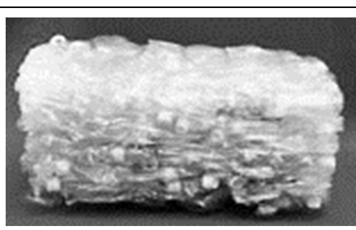
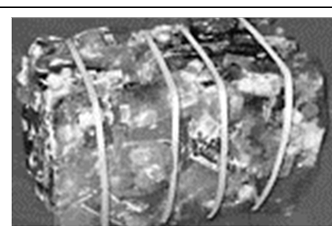
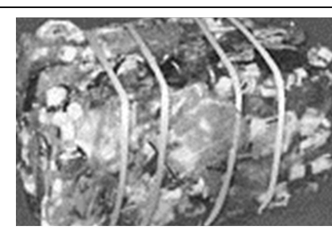
지자체 회수 방법은 지정 법인 경로와 독자 경로의 2개의 방법으로 구분되어 있다. 대다수 페트병 제품을 생산하는 음료회사 등 재활용의무사업자들은 지정 법인에 재생비용을 지불하여 재활용 의무를 이행하고 있다[28]. 지정법인 경로는 지자체 나 지자체의 위탁을 받은 분별 수집 사업자가 사용 후 페트병을 분별 수집한 후, 지정 보관 시설에서 선별, 압축하고 보관 후 지정 법인인 일본용기포장재활용협회에 인도하여 재활용하는 방법이다. 이 협회에 등록된 재생사업자 중 입찰을 통해 결정된 재생사업자에게 위탁하여 재활용을 실시한다 (Fig. 3). 한편, 독자 경로는 재활용 비용을 줄이고 재활용을 촉진하기위해 지자체가 단독 또는 공동으로 재활용계획을 수립하고, 정부의 인증을 받은 경우에는 지자체에 의한 선별, 압축, 보관 등을 생략하고, 지자체가 분리 수거한 사용 후 페트병을 직접 재생사업자에게 이송하여 재활용을 위탁하는 방법이다.

일본용기포장리사이클협회는 페트용기를 분리, 배출, 회수, 선별하여 정해진 부피로 압축 포장한 베일 (Bale)의 지속적인 품질 개선을 위하여 '페트병 분별기준 적합물 (베일)의 품질 등급 구분 및 배점기준'을 제정하고 있다[29]. 등급은 A, B, D의 3단계 등급으로 구분되며, Table 2와 같다. 2023년에 일본용기포장리사이클협회의 조사 통계에 따르면 A 등급은 95.1%, B 등급은 3.5% 수준으로 가정, 주택 등으로부터 분리배출한 사용 후 페트병을 지자체가 회수 선별한 품질은 매우 우수한 것으로 판단된다[30].

2. 사업계 회수

사업계 회수는 자동판매기 배출형, 사업자 자사 배출형, 이용자 배출형 (역, 레저시설 등) 등으로 구분되고, 각각의 형태로 발생하는 사용 후 페트병의 회수, 선별, 재활용을 실시하고 있다. 공공기관, 대형마켓, 빌딩, 사무실, 병원 등의 사업계에서는 배출 특성상 이물 등의 혼합 비율이 지

Table 2. Quality rating of post-consumer PET bottle sorting bales[29]

Grade A	Grade B	Grade D
		
1. All thickening is removed. 2. The inside of the bottle is rinsed, free of residue, and clean	1. Most of the cap is removed 2. Some of the contents remain and the bottle is slightly dirty.	1. The cap is barely removed 2. The contents remain, and the bottle is dirty. 3. The sides of the bale are very dirty and contain debris, such as plastic bags.

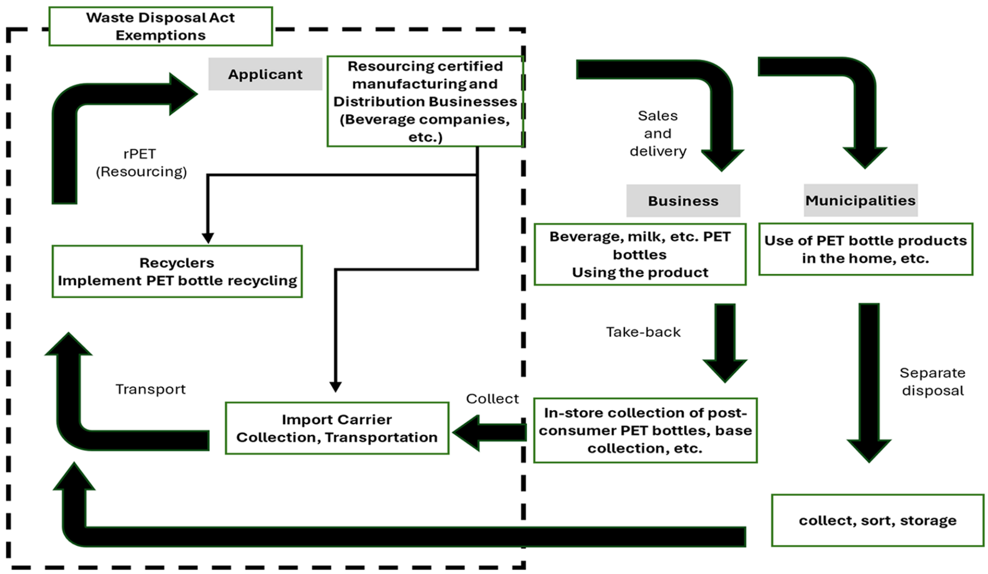


Fig. 4. Flowchart for PET bottle self-collection[12].

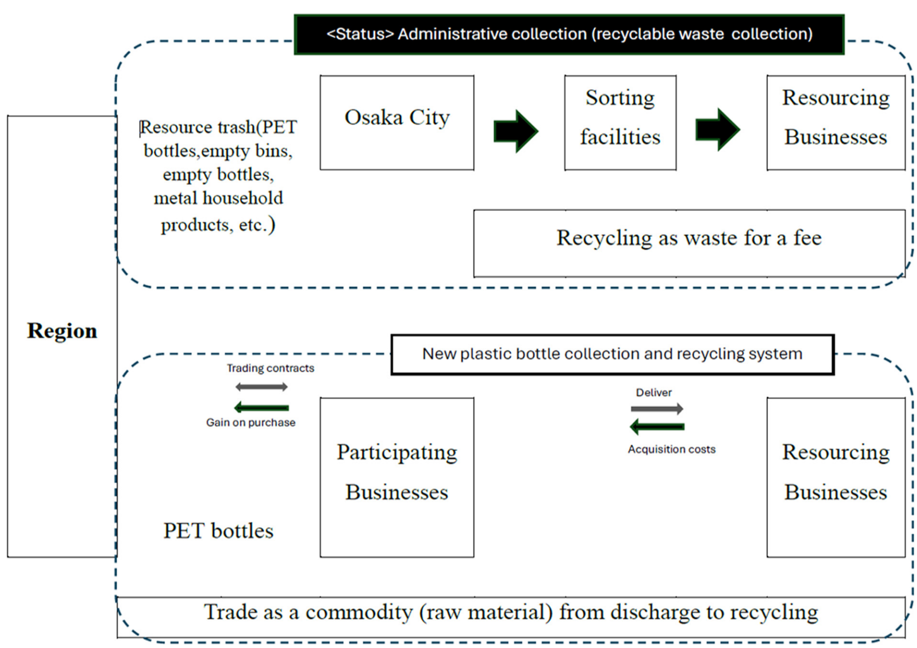


Fig. 5. Recycling flowchart for the new collection method[33]

차체 회수보다 월등히 높은 수준이다. 사용 후 페트병을 배출하는 사업체들은 대부분 폐기물 처리업체에 위탁하여 처리 의무를 이행하고 있지만, BtoB 재활용의 수요 확대에 대응하기 위해 사업계 회수 페트병의 적극적인 조달과 회수 품질 향상이 요구되고 있다. 이에 따라 재활용 업체와 협력하여 독자 처리를 하거나 음료업체와 협업하여 회수 페트병 품질의 향상을 위해 노력하는 등 처리 경로를 다양화하고 있다.

3. 제조 판매 사업자의 자체 회수

플라스틱에 관한 자원순환 촉진 등을 위해 플라스틱 사용 제품의 사용 후 재활용 의무 등을 가진 제조 및 판매 사업자들은 지자체나 소비자와 협력하여 자체회수 및 재자원화 사업을 적극적으로 행하는 것이 중요하다. 2022년 4월부터 시행한 플라스틱 자원순환 촉진법에 따르면, 제조 판매 사업자가 작성한 자체회수 및 재자원화 사업계획을 정부가 인정한 경우, 해당 사업자는 폐기물 처리법에 기반한 사업허가없이도 사용 후 플라스틱 제품의 자체회수 및 재

자원화 사업을 시행할 수 있게 되었다[31]. 사용 후 페트병의 경우 이미 자판기회수나 마켓 등에서 분리회수를 해왔으나, 자원순환 촉진법의 시행 이후 음료회사들이 지자체와 사업계 등과 협력하여 적극적인 자체회수를 확대해 나가고 있다 (Fig. 4). 2021년 11월 조사에 따르면 ㈜산토리는 도쿄를 포함한 8개 현의 지자체와 사용 후 페트병의 독자적인 회수 협약을 추진하고, 지자체로부터 직접 인수받은 분별 선별된 사용 후 페트병을 재활용하여 지자체 내 또는 인근의 자사 페트병 음료 생산공장에서 사용하고 있다[32]. 또한, ㈜코카콜라나 ㈜아사히음료 등의 회사도 이에 참여를 시작하고 있으며, 이는 음료 메이커, 재활용 사업자, 그리고 페트병 메이커가 함께 참여하는 컨소시움의 형태로 이루어지고 있다. 한편 오사카 시에서는 전국에서 처음으로 지자체와의 협약없이 회수사업자가 지역협의회와 직접 매매협약을 맺고, 사용 페트병만을 별도 매매하는 새로운 방식을 제안하였다[33](Fig. 5).

편의점 (Convenience store, CVS) 및 소매약국 등 유통소매 사업자, 상업시설, 공공시설 등은 음료 메이커의 제휴를 통해 회수거점에 페트병 전용 회수기를 설치하여 재활용을 촉진함으로써 방문고객과 사회에 대해 이미지개선과 홍보효과를 얻을 수 있다. 음료 메이커 또한 고품질의 사용 후 페트병의 안정적인 확보를 기대할수 있는 긍정적인 이점을 기대할수 있다. 모든 용기의 회수방법은 당사간 협의에 따라 결정되지만, 일반적으로 다음과 같은 기준으로 운영한다.

1) 페트병 전용 회수기를 점포 및 상업 시설에 설치한다 (Fig. 6).

2) 전용 자판기 설치 비용은 설치 사업자가 부담하며, 점포 및 상업 시설은 장소 대여만을 실시한다.

3) 전용 회수기에는 투명 보틀만 회수될 수 있도록 투입구에 센서 등을 설치한다.

4) 투입된 일정 수량 이상의 페트병에 대해 해당 점포나 상업 시설에서 활용 가능한 포인트를 받을 수 있다(예: 1포인트/5병).

2021년 이후 음료 메이커들이 회수 거점 사업자와 제휴를 통해 BtoB 재활용에 사용할 수 있는 고품질의 사용 후 페트병 회수시스템을 적극적으로 전개하고 있다. 2022년에 소개된 사례를 보면, (주)코카콜라와 (주)산토리는 소매약국 1위 업체인 (주)웰시아(Welcia)의 일본 동부지역 310개의 점포를 대상으로 전용회수기를 설치하였고, ㈜코카콜라는

Fig. 6. An example of a recycling machine in Japan[34].

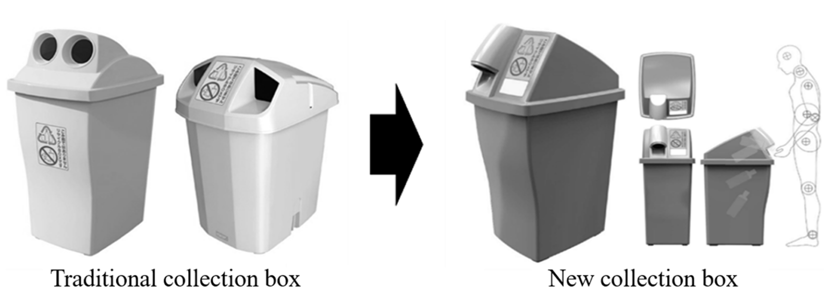


Fig. 7. New collection box for vending machines[35].

도쿄 마루노우치 지역의 빌딩 24동 등 대형 오피스 빌딩, ㈜산토리는 도쿄타워, 중부공항 등과 제휴하여 사용 후 페트병을 회수하고 있다[34].

한편, 일본에서는 널리 보급되어 있는 음료자판기가 대부분 페트병과 캔 제품으로 구성되어있으며, 자판기 옆에 회수박스가 설치되어 있다. 그러나 일반 쓰레기 등이 많이 혼입되어 있어 BtoB 재활용하기에는 적합하지 않았다. 이에 일본청량음료연합회는 일본자동판매협회와 공동으로 주입구가 아래에서 위로 넣는 방식으로 변경, 사용 후 페트병 외 뚜껑이나 이물질을 넣기 어려운 신기능 회수박스를 개발하였다 (Fig. 7). 기존 회수박스보다 일반쓰레기의 혼입비율이 50 % 이상 감소 가능한 신기능 회수박스는 2022년 10월부터 순차적으로 교체설치되고 있어 사업계 회수 및 재활용 효율성 제고에 크게 기여할 것으로 기대되고 있다[35].

일본의 BtoB 재활용 기술

재생 페트 수지를 음료용 페트병에 사용하기 위해서는 이물질과 유해물질 등 관련 식품위생법에 적합한 품질을 확보하는 것이 대전제가 된다. 분별 수집된 사용 후 페트병을 재생처리 하는 방법은 화학적 재활용 (Chemical recycle)과 물리적 재활용 (Mechanical recycle) 처리의 두가지 방법이 있다.

1. 화학적 재활용

화학적 재활용은 사용 후 페트병을 화학적으로 분해하여 단량체로 만들어 페트 수지로 재중합하는 방식으로, 신규 페트와 동일한 품질을 보장하기때문에 2004년부터 ㈜테이진화이버 등에서 식품용 용기포장에 사용할 수 있는 식품위생법 인가를 받았다[36]. 그러나, 높은 비용과 설비 투자 등으로 상업적으로 활성화되지 못하고, 현재 일본에서는 ㈜JEPLAN 1개사가 연간 1-1.5 만톤 정도 생산하고 있다. 최근에는 화학적 재활용의 단점인 가격 경쟁력을 개선하기 위하여 효소에 의한 페트병 분해기술의 상용화를 위한 연구가 시작되었다. 이 분해 효소법에서는 페트수지를 상압에서 해중합이 가능하여 에너지 소비가 대폭 절감될 것으로 예상된다. ㈜기린그룹은 ㈜미쓰비시케미컬과 시즈오카대학 등과 공동으로 사용 후 페트병 재활용뿐만 아니라 폐기되는 페트 제품들을 대상으로 화학적 재활용기술을 개발하고 시스템을 구축하여 2027년 가동을 목표로 하고 있다[37].

2. 물리적 재활용

BtoB용 물리적 재활용은 신규 페트와 동등한 수준의 안전 위생성을 확보하기 위해 보다 엄격한 품질 관리를 기본으로 하고 있다. 사용 후 페트병을 분쇄, 세정하는 통상의 재활용 공정 후에 잔존 이물과 오염된 화학물질 등을 제거하고 페트병 제조에 적합한 고유점도 (Intrinsic viscosity, IV)를 확보하기위해 고온 감압 하에서 특수한 처리를 행하는 슈퍼크리닝 (Super cleaning) 공정과 재축중합 (고상중합) 공정을 추가로 거친다. 일본 BtoB 재활용의 선두기업인 ㈜쿄에이산업이 식품용 페트병에 사용 가능한 물리적 재활용

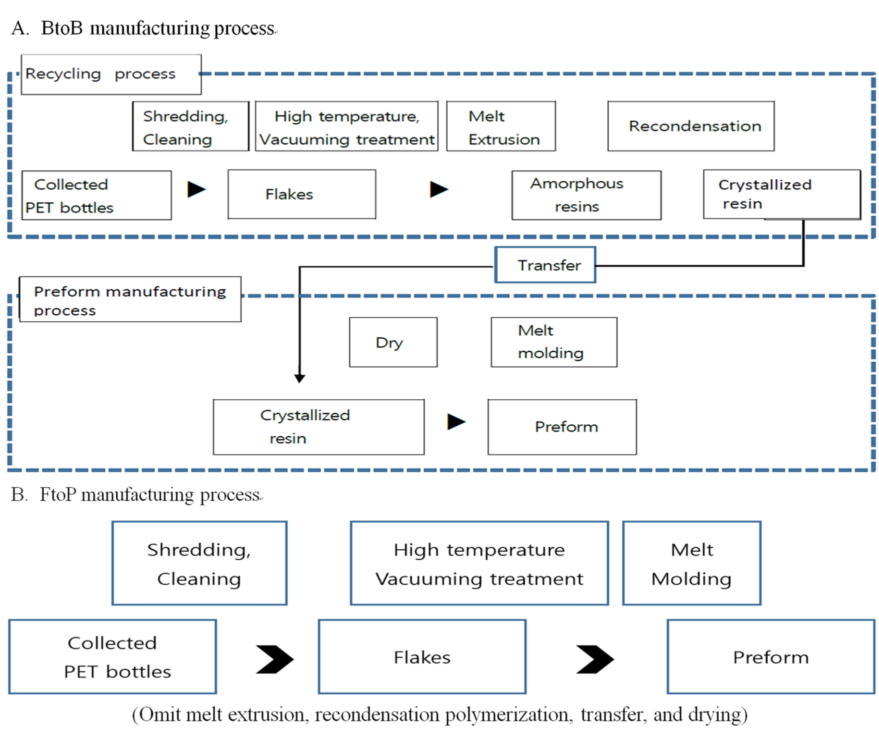


Fig. 8. PET BtoB recycle and FtoP manufacturing process.

Table 3. BtoB recycle plants and production capacity in Japan [40)]

Company name	Annual Capacity (tons)	When to run	Ccollaboration company	Remarks
Kyoei INC.	60,000	2012	Suntory Co.	Includes preform 600 million copies/year
Kyoei J&T Environment	60,000	2022	Suntory Co.	
FIGP	270,000	2015	Coca-Cola Co.	Includes a 150,000-ton expansion in 23 years
Toyotsu PET Recycle Systems	50,000	2022	Giraffe Drink Co.	
JEPLAN	20,000	2008	Asahi Co.	
URS Harima	40,000	2022	-	Export in full
Utsumi Recycle Systems	25,000	2022	-	

페트수지 제조기술을 개발하였으며, 식품위생법을 통과하였다. 이에, ㈜산토리와 공동으로 2011년 5월에 재생 페트 50% 함유, 2012년 4월에는 100% 함유된 페트병을 제조 및 판매를 시작으로 상업화하였으며, 현재 일본의 BtoB 재활용 사업자들은 물리적 재활용 페트를 제조 사용하고 있다[38)]. 최근에는 원가절감과 탄소저감의 목적으로 펠렛(pellet)화 공정과 재축중합공정을 생략하고 슈퍼크리닝한 플레이크 (Flake)를 용융사출하여, 연간 6억개 규모의 페트병 프리폼 (preform)을 생산하는 재생페트 플레이크를 활용한 프리폼 (Recycled PET Flake to Preform, FtoP) 공장을 ㈜쿄에이산업이 설치 가동하고 있다. FtoP 재활용기술은 재활용 사업자인 ㈜쿄에이산업, 음료업체인 ㈜산토리, 호주의 재활용 설비업체인 ㈜EREMA 및 이탈리아의 페트병 생산 설비업체인 (주)SIPA의 4개사가 공동 개발하여 2018년 가동을 시작하였다. 기존의 BtoB 재활용 페트의 제조 공정은 회수 페트병을 분별, 분쇄, 세정하여 만든 플레이크를 고온, 진공하에 처리하여 페트에 접착된 오염물질을 제거한다. 이후 용융 압출하여 펠렛 상태의 비결정 수지를 만든 후 재축중합공정을 통하여 페트병 제조에 적합한 결정화와 IV를 회복한 재생 페트수지를 완성한다. 재생 페트는 건조기로 이송되어 수분을 제거한 후 용융 사출 성형하여 페트병용 프리폼으로 제조된다. 반면, FtoP 재활용 페트 제조공정은 ㈜EREMA의 플레이크 처리설비를 이용하여 페트 플레이크에 접착된 오염 물질을 제거하고, 동시에 필요한 고유점도를 회복시킨 후 연결 설치된 ㈜SIPA의 사출 압축식의 프리폼 성형기에 공급하여 용융 사출 성형되어 프리폼을 제조하게 된다. 기존의 플레이크 용융 압출, 재축중합, 이송, 건조공정을 생략할 수 있게 되며, 재생 페트 제조의 원가절감은 물론 기존 공정 대비 약 25%의 탄소저감 효과가 있다고 한다[39)].

페트 BtoB 재활용 생산현황과 전망

일본의 페트 BtoB 재활용 공장의 2021년도까지의 생산능력은 ㈜쿄에이산업과 (주)Far East Ishitsuka Green PET (FIGP) 2개의 대형 재활용 사업자의 물리적 재활용이 18만톤, (주)PET Refine Technology (JEPLAN)의 화학적 재활용이 2.2만톤 등 20만톤을 상회하였다. 그러나, 2021년 4월 일본청량음료연합회가 <2030년까지 페트 BtoB 재활용 비율 50% 이상>을 목표로 하는 플라스틱 순환경제 선언 후 선발 2개 사를 비롯하여 신규 사업자의 증설로 2022년 18만톤, 2023년 15만톤 등 년간 33만톤규모의 물리적 재활용 생산설비가 도입되어 전체적으로 년간 50만톤을 초과하는 페트 BtoB 재활용 생산능력을 확보하게 되었다. 일본 재활용 사업자의 공장별 페트 BtoB 재활용 생산 능력은 Table 3과 같다[40)].

이러한 생산 능력 급증의 배경에는 크게 2가지 흐름이 있다. 첫째는 음료업체가 2030년 페트 BtoB 재활용 50% 실현을 위하여 재활용 사업자와 수요처인 음료 메이커와의 밀접한 협력 제휴가 구축되고 있다는 것이다. 대형 청량음료 업체인 (주)산토리는 (주)쿄에이산업, (주)아사히음료와 (주)코카콜라는 (주)FIGP로부터 페트병용 재생 페트수지나 프리폼 등을 공급받고 있다[41)]. (주)기린음료는 2022년부터 가동한 ㈜토요츠페트리사이클시스템로부터 재생 페트를 공급받아 자사 음료 페트병에 사용을 확대하고 있다. (주)아사히음료는 화학적 재활용 기업인 (주)JEPLAN와 협업을 맺고 있다[42)]. 두번째는 일본 시장에 해외산 페트수지를 공급하는 해외 원료 메이커나 일본 종합상사가 탄소중립 순환환경제 실현이라는 사회적 요구에 대응하여 재생페트수지의 공급 방침을 수립하고 진행해 왔다는 것이다. 대만의 원동 신세계 그룹 (FENC)은 자사가 일본에 판매하는 년간 30만톤 규모의 페트 수지에 대하여 전량 재활용하겠다는 목표로 ㈜이시츠카와 합작으로 2015년 (주)FIGP를 설립하여 현재 년간 12만톤의 동경공장을 가동하고 있고, 2023년에는 년간 15만톤의 히메지 공장을 신규로 증설하였다[43)]. 수입산 페트수지를 일본 국내에 판매하는 ㈜미쓰비시플라스틱은 2020년 페트 재활용 사업자로 일본 3위 규모인 ㈜우츠미리사이클시스템즈와 제휴하여 ㈜URS 하리마를 설

립, 2022년부터 가동을 개시하였다. 여기서 만든 플레이크는 장기적으로는 태국의 ㈜신광합섬에 수출하여 화학적 재활용 페트로 재생하여 다시 일본에 수입 판매할 계획이다. 한편, BtoB 재활용 생산 설비와 능력은 증가하고 있지만, 지자체에서의 분별 회수 등으로 고품질의 사용 후 페트병 공급에는 양적 한계가 있어, 증가되는 BtoB 재활용 수요에 대응하기에는 절대적으로 부족할 것으로 예상되고 있다. 이를 해결하기 위한 방안 중의 하나는 이물 등이 혼합되어 있어 지금까지 BtoB 재활용 원료로 사용하지 않았던 산업계 회수 등 저품질의 사용 후 페트병을 음료용 병으로 재활용하여 사용하는 것이다. 신규로 건설된 재활용 공장은 전처리 공정에 각종 이물 선별 제거장치를 보강 설치하여 캔, 유리병 등의 혼합물과 이물을 완벽히 제거하는 등 저품질의 사용 후 페트병을 BtoB 재활용을 실현할 수 있는 능력을 갖추고 있다[44].

결 론

일본의 페트 BtoB 재활용은 정부의 제도보다는 대형 음료업계 중심으로 탄소중립화와 친환경 기업 이미지 구축을 위한 적극적 의지로 확대되어 왔다. 음료용으로 생산 판매하는 페트병을 100% 회수 페트병 원료로 재사용하겠다는 업체도 있어 지속적으로 페트 BtoB 재활용은 증가할 것으로 예상된다. 일본 대형 음료 업체를 중심으로 하는 페트병 순환경제시스템 구축을 위한 최종 목표는 석유 유래 페트 원료 사용 제로화의 실현이다. 일본 ㈜산토리의 경우 2030년까지 재생소재 또는 식물유래 소재를 100% 사용하여 석유 유래 소재 신규 사용을 제로화화 하는 것을 회사의 플라스틱 기본방침으로 선언하고 있다.

페트의 BtoB 재활용의 확대에 따라 해결해야할 문제점과 대응방안도 활발히 연구되고 있다. 첫째는 BtoB용 재생페트 수요의 증가에 비해 공급이 부족할 것으로 예상되어 진다. 이를 타개하기 위하여 분리 수거율이나 회수 품질이 떨어지는 사업체 회수 페트병의 회수를 강화하는 노력과 분리수거를 하지않고 선별된 페트병이나 비식품용 페트를 재활용할 수 있는 화학적 재활용에 대한 기술개발과 상업적인 생산도 추진되고있다. 둘째는 신재 페트에 비하여 월등히 높은 재생 페트의 생산비용을 절감하기 위하여 회수 선별 비용의 절감, 재생 플레이크로 프리폼을 생산하는 등 재활용공정 단축, 물리적 재활용에 비해 원가 높은 화학적 재활용의 원가절감을 위한 단량체 분해기술 개발 및 수율 개선 등을 연구하거나 실용화 적용되고 있다.

우리나라는 현재 페트 BtoB 재활용은 시작단계에 있는 수준이나 이를 확대 적용하기 위해서는 무엇보다도 일본과 같이 페트병을 사용하는 대형 음료업체들의 적극적인 주도가 우선되어야 한다. 또한, 이를 뒷받침할 수 있는 사회, 문화적인 인식 변화와 함께 현실적 어려움을 고려한 정부의 규제나 기준을 재검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문을 준비하는 과정에서 일본의 페트 BtoB 재활용에 관련한 자료와 정보를 수집하는데 많은 도움을 주신 일본 Ritsumeikan University의 Nakamura Shingo 교수에게 감사드립니다.

참고문헌

1. Welle, F. 2011. Twenty years of PET bottle to bottle recycling-An Overview. Resour. Conserv. Recycl., 55, 865-875.
2. Jeon, I.S. 2022. Comparative analysis for policy measures on single-use plastic management between Korea and Japan. J. Korea Soc. Waste Manag., 39, 376-388.
3. Ministry of Environment. 2022. The Act on Saving and Promotion of Recycling of Resources. Law No. 19208.
4. Ministry of Environment. 2020. Basic law on resource circulation of electrical and electronic equipment and vehicles. Law No. 17326.
5. Ministry of Environment. 2020. Press Release - Explanation - Establishment of Measures to Reduce Plastic Life Cycle Generation and Recycling. Retrieved from http://me.go.kr/.
6. Ministry of Food and Drug Safety of Republic of Korea. 2022. Standards and specifications for packaging of instruments and containers. 2022-97.
7. MOE (Ministry of Environment). 2022, February 24. Standards for renewable materials used in food containers. Notification No. 2022-45.
8. Ministry of Environment. 2024, January 01. Guidelines on separated emissions labeling. Notification No. 2022-254.
9. Recycling Information System. 2021. Packaging Waste Generated and Recycled in 2021. Retrieved from http://recycling-info.or.kr/.
10. Kwon, D.Y. 2023. PET bottle recycling status and policy in Korea. Presentation at the Carbon Neutral Transition Conference.
11. Ministry of Health, Labor and Welfare. 2012. Guidelines for the Use of Recycled Plastic Materials in Food Containers in Japan.
12. Act on the Promotion of Resource Circularization for Plastics, etc. Retrieved from https://www.env.go.jp/content/000050379.pdf.
13. Takeda, M. 2013. Mechanical recycling: Introduction of beverage bottles using 100% recycled PET resin. Environmental Research, 172, 21–27.
14. PET Bottle Recycling Promotion Council. PET bottle recycle annual report. Retrieved from http://petbottle-rec.gr.jp/.
15. Circular economy partnership. Declaration of 50% bottle-to-bottle ratio in 2030. Retrieved from http://env.go.jp/.
16. Nakamura, S. 2021. New movement in PET bottle recycling

system in Japan. People & Environment, 47(3), 24-44.
17. PET Bottle Recycling Promotion Council. 2023. PET bottle recycle annual report 2023. Retrieved from https://petbottle-rec.gr.jp/.
18. Ministry of Environment. What is the container and packaging recycling act. In Environmental Regeneration and Resource Circulation. Retrieved from http://env.go.jp/.
19. Ueda, K., & Yamakawa, H. 2010. Environmental economics of Extended Producer Responsibility. Showado, Japan: 22-23.
20. Public Interest Incorporated Foundation Japan Containers and Packaging Recycling Association. Obligation to re-merchandise. Retrieved from http://jcpra.or.jp/.
21. Ministry of Environment. Overview of the Act on Promotion of Effective Utilization of Resources. In Environmental Regeneration and Resource Circulation. Retrieved from http://env.go.jp/.
22. PET Bottle Recycling Promotion Council. Identification mark. In PET Bottle Q&A. Retrieved from https://petbottle-rec.gr.jp/.
23. Guidelines for the use of recycled plastic materials in Japanese food containers.pdf
24. Beverage Japan. 2023, February. Special feature, "Thinking about the future of B to B recycling," No. 493, pp. 49-66.
25. PET Bottle Recycling Promotion Council. PET bottle independent Design Guidelines / Law, Guideline. Retrieved from https://petbottle-rec.gr.jp/.
26. Japan Institute of Energy. 2023 "Present and Future of Waste Plastics," Corona Publishing Co. Tokyo, Japan, pp. 9-11.
27. PET Bottle Recycling Promotion Council. Container and packaging recycling Law and division of Roles. In Basic knowledge. Retrieved from https://petbottle-rec.gr.jp/.
28. Nakamura, Shingo. 2021. New Movement in PET Bottle Recycling system in Japan. People & Environment, 47(3), 24-25.
29. PET Bottle Recycling Promotion Council. Collection, Sorting and Volume Reduction. In PET Bottle Q&A. Retrieved from https://petbottle-rec.gr.jp/.
30. Japan Container and Packaging Recycling Association. PET Bottle Quality Survey Results. Retrieved from http://jcpra.or.jp/.
31. The Act on Promotion of Plastic Resource Recycling. Voluntary collection and recycling by manufacturing, sales business, etc. Retrieved from https://www.env.go.jp/.
32. Nakamura, S. 2023. Advance of bottle to bottle to bottle. Ritsumeikan Business Review, 61(6), 114-129.
33. City of Osaka. "Dashikata Image." Retrieved from: https://www.city.osaka.lg.jp/kankyo/cmsfiles/contents/0000480/480794/01dashikata.jpg
34. Nakamura, S. 2023. Advance of Bottle to Bottle to Bottle. Ritsumeikan Business Review, 61(6), 116-117.
35. National Soft Drink Association. 2022, September 29. Recycle box next to bending machine: New functional specification that are highly effective in reducing foreign matter. Retrieved from http://kyodonewsprwire.jp/jp/prwfile/release/M102108/202209287343/_prw_PR1fl_TW2cRKbM.pdf.
36. Kenta, K., & Miki, T. 2022, May 25. Outlook for PET Bottle Horizontal Recycling Business from the Viewpoint of Patent Information. Paper presented at the 19th Information Professional Symposium.
37. Kirin Holdings Co. 2022, January 18. News release. Retrieved from https://kirinholdings.com/jp/newsroom/release/2022/0118_01.html.
38. Nakamura, S. 2018. Formation and transformation of PET bottle recycling system in Japan. People & Environment, 44(1), 28.
39. Ogasawara, N. 2021. Horizontal circulation of PET bottles for beverage by Flake to preform direct recycling technology. JPI Journal, 59(4), 246-249.
40. Rush to expand recycling equipment for PET bottle. Retrieved from http// plastic journal.net.
41. Kyoei Sangyo Corporation. Retrieved from http://kyoei-rg.co.jp
42. Nakamura, S. 2023. Advance of bottle to bottle to bottle. Ritsumeikan Business Review, 61(6), 118-119.
43. Far East Green PET Corporation. Retrieved from http://www.figp.co.jp/.
44. Nakamura, S. 2023. Advance of Bottle to Bottle to Bottle. Ritsumeikan Business Review, 61(6), 119.

투고: 2024.03.19 / 심사완료: 2024.04.01 / 게재확정: 2024.04.03