

재생 페트 플레이크의 시장 현황과 품질 평가 방안 연구

주민정 · 서상욱 · 이가은 · 오재영*

한국건설생활환경시험연구원

Study on the Market Conditions and Quality Evaluation Methods of post-consumer Recycled Polyethylene Terephthalate (PCR PET) Flake

Minjung Joo, Sang Uk Suh, Ka Eun Lee, and Jae Young Oh*

Korea Conformity Laboratories

Abstract PCR PET flake's market endeavors difficult situations of its oversupply and decreasing demands in South Korea. Since China banned the import of most recycled plastics, flake producers who mostly export the flakes lost their biggest market. The producers struggled to survive in the competitions with PCR PET flake from EU and 3rd countries but it was challenging due to substandard quality and increasing cost. Attempts to improve the quality of PCR PET flake have been made but they were only an individual company's efforts. The objective of this study was to understand the market status on PCR PET flake in South Korea and to present suggestions for improving its quality. The results of the questionnaires targeted to flake producers showed that no testing methods on PCR PET flake were standardized and there were critical factors to the quality such as moisture content, contaminants, and viscosity. Case studies of US, Japan and other countries had been done especially about testing methods and 76 samples from 21 companies were tested according to those methods. Based on the results, the final factors were decided as contaminants, moisture content, alkalinity index and intrinsic viscosity. There is a plan to standardize testing methods and they could be guidelines to improve the business competitiveness of PCR PET flake in South Korea.

Keywords Poly(ethylene terephthalate) (PET), post-consumer recycled, PCR PET flake, quality, standard

서론

최근 국제유가의 하락이 지속되면서¹⁾ 포장재료로 많이 사용되고 있는 Poly(ethylene terephthalate) (PET) 원소재(신제품)의 가격하락으로 이의 재활용 제품인 페트 플레이크(PCR PET flake)와의 가격차가 축소되었다. 이로 인한 페트 플레이크의 가격경쟁력 저하와 더불어 2018년 중국 정부가 발표한 고품폐기물 수입금지 조치로²⁾ 국내 페트 재활용 업체가 이중고를 겪고 있다. 중국은 2017년 7월 생활폐기물 플라스틱 8종을 수입금지 통보하고 중국 환경부 공고 제2018-06호(2018.4.13)에 따라 유예기한 1년을 부여하여

최종 2018년 12월 폐 PET 음료병 수입금지 조치를 시행하였다. 저하된 가격경쟁력과 국외 수요처 부재로 인한 국내 페트 플레이크의 수출 감소와 고품질의 해외 페트 플레이크에 대한 국내 수입은 증가하고 있는 현 상황에서 국내 페트 재활용 현황과 재생 페트의 품질에 대한 명확한 조사 분석이 필요하다. 국내 페트 재활용 업체의 경쟁력 제고와 순환자원 경제 활성화를 위해서는 폐 PET의 재활용성과 재생 페트의 품질 향상이 필요하고 이를 위해서는 폐기분리 배출, 수집·선별, 세척 등 폐기물 자원화 각 단계에서부터 이물질 저감 등 단계별 개선과 더불어 재활용 원료인 페트 플레이크의 품질관리가 필수적이다.

페트병은 생산자책임재활용제도(Extended producer responsibility, EPR)에서 재활용 의무대상 품목으로, 환경부가 매년 재활용 의무량 목표를 수립하고 생산자에게 재활용 분담금을 고지함으로써 이행(PET병 단일재질 무색: 재활용 의무율 81.1%, 분담금 단가 88원/kg)³⁾하고 있으며, 이러한

*Corresponding Author : Jae Young Oh
Korea Conformity Laboratories, 199, 1st Gasan Digital Road, Gumi-gu, Seoul, 153-803 Korea
Tel : +82-2-6912-2330
E-mail : jyoungoh@kcl.re.kr



Fig. 1. PET based packages with limited recyclability.

재활용 의무를 이행하지 않을 시 재활용부과금을 징수하고 있다. 또한, 2018년 5월에 수립된 ‘재활용 폐기물 관리종합 대책’에 따르면 환경부는 2030년까지 전체 플라스틱 폐기물 발생량을 50%로 감축하고 재활용율을 70%로 올리며 이 수치를 단계적으로 향상시킬 계획이다. 이러한 국가적 자원순환 정책 대응과 동시에 고품질의 페트 재생원료를 이용한 재활용 제품의 고부가가치화, 수요의 다각화 등 순환 경제 활성화를 위해서는 명확한 품질기준 확립을 통한 품질개선 노력이 필요하다.

페트 플레이크는 생산원료가 되는 압축품(Bale)의 품질에 영향을 받으며 그 압축품의 처리과정에 따라 최종 품질에 차이가 발생한다 (Fig 1). 합성수지 포장재는 복합재질이 적용된 경우 재활용 과정에서 쉽게 분리되지 않음에 따라 재활용되지 못하고 고체연료로 활용되며⁴⁾ 표면 인쇄나 다층 필름 류가 적용된 제품은 저급 제품의 생산에만 적용이 가능하다. 2018년 4월 개정된 자원재활용법에 따르면 재질·구조 개선 제도의 실효성을 확보하고자 의무생산자에게 포장재 재활용 용이성 등급 평가 의무를 부여하고 의무생산자가 포장재 재질·구조 기준을 준수하지 않을 경우 개선을 명령하고 개선명령 미이행 시 제조·수입·판매의 중단을 명령할 수 있음을 공포하였다. 이에 장기적으로는 페트 압축품 품질 향상에 따른 이물질 함량 감소로 재활용 공정효율과 페트의 재활용율을 높일 수 있을 것으로 기대되고 있다. 본 연구에서는 페트 재생 제품의 생산공정, 품질기준 등의 현황을 조사·분석을 통해 국내 페트 재활용 업계의 경쟁력 제고와 순환자원 경제 활성화를 위한 페트 플레이크의 품질 기준과 그의 시험법을 제시하고자 하였다.

연구방법

국내 재활용 페트 플레이크의 시장 현황을 파악하기 위

해 한국순환자원유통지원센터에 등록된 페트 재생제품 제조업체 22개 사업체를 대상으로 선정하여 페트 플레이크의 생산 종류, 재활용 공정, 품질기준 등에 대한 설문조사를 진행하였다. 설문조사의 응답내용과 국외 재활용 페트 플레이크 관련 사례 및 관련 품질 표준을 조사, 비교하여 페트 플레이크의 품질 기준 항목을 이물질 함량, 수분 함량, 고유점도로 선정하였다. 상기 사업체 중 21개 업체의 76개 플레이크 제품을 수거하여 ISO 12418-2⁵⁾와 ASTM D 4603⁶⁾을 참고하여 시험을 진행하였다.

이물질 함량은 식(1)을 이용하여 계산하였다.

$$c = \frac{m_1 \times 10^6}{m_0} \quad (1)$$

c: 이물질 함량(mg/kg), m_1 : 최종 측정 무게(g), m_0 : 시험편의 초기 무게(g)

수분 함량은 다음과 같이 식(2)를 이용하여 계산하였다.

$$w = \left(1 - \frac{m_1}{m_0}\right) \times 100 \quad (2)$$

w: 수분(%), m_1 : 건조 후 무게(g), m_0 : 건조 전 무게(g)

고유점도는 Ubbelohde Viscometer를 사용하여 phenol/1,1,2,2-tetrachloroethane solution(60:40 weight %)에 0.02 g/50 mL의 농도로 30°C에서 측정하였으며 식(3)을 이용하여 계산하였다.

$$\eta = \frac{0.25(\eta_r - 1 + 3 \ln \eta_r)}{c} \quad (3)$$

η_r : 상대점도, C: 용액점도(g/dL)

결과 및 고찰

1. 국내 페트 플레이크 생산 현황조사

한국포장재재활용사업공제조합에 따르면 2017년 기준 국내 페트병 출고 수입량은 약 273천톤, 재활용 실적은 약 231천톤으로 약 84.6%의 재활용율을 가진다. 페트 재생제품 생산업체의 설문조사 응답내용에 따르면 국내 페트 플레이크 제품은 Fig. 2과 같이 무색(clear), 유색(Green), 잡색(Brown), 복합색(Mixed)으로 분류가 되며 시트용(6%), 단섬유(53%), 밴드(10%), 수출(22%), 펠렛(10%), 기타(2%)로 사용되고 있다. 그 중에서는 무색은 크게 시트용 섬유훈용으로 나뉘고 단섬유의 생산비율이 가장 높은 것으로 나타났다. 잡색의 경우 맥주 등의 갈색 병을 플레이크화한 것으로 업체에 따라 갈색으로 부르기도 하며 복합색은 무색, 유색, 잡색을 제외한 나머지 제품이다. 한국순환자원유통지원센터에 따르면 2017년 기준 국내에 판매된 페트 플레이크 중 무색의 비율은 73.2%, 유색 22.7%, 복합색 4.1%로 집계되었다⁷⁾.

설문조사를 통하여 업체에서 활용하고 있는 재활용 공정을 Fig. 3과 같이 나타내었으며 이는 공동 공정도만을 포함한 그림으로 모든 업체가 조금씩 다른 공정을 가지고 있으며 순서나 각 공정의 반복단계가 페트 플레이크의 세척도에 영향을 미치는 만큼 업체 노하우에 따라 제품 품질에 차이가 발생한다. 재활용 공정은 Bale의 압축을 해제하고 비중분리를 통한 라벨을 제거한 후 색상을 나누며 색상선별과정 이후에는 업체에 따라 이물질제거, 라벨제거, 온수세척, 행균의 단계가 포함되기도 하며 각각의 횟수도 1~3에 따라 다양하다. 분쇄과정 후 온수세척, 탈수 이후 업체에 따라 추가적인 라벨제거나 온수세척의 단계가 포함되기도 한다. 재활용 공정 현황은 Fig. 4과 같이 색상선별 제품에 따라 차이를 보였으며 무색의 경우 좀더 많은 횟수의 선별, 세척, 행균의 과정을 거치는데 무색 플레이크(시트용)의 경우 가장 다수의 세척, 선별 과정을 거침에 따라 이물질의 함량이 품질에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 반면에, 유색, 잡색 제품의 경우는 상대적으로 소수의 공정으로 처리되고 있고 이로 인해 최종 제품에도 다수의 이물질 및 오취가 발생한다.

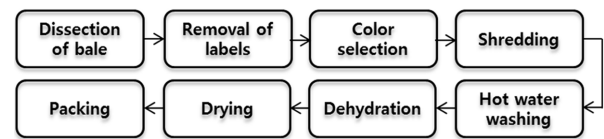


Fig. 3. General recycling process of PCR PET flake in South Korea.

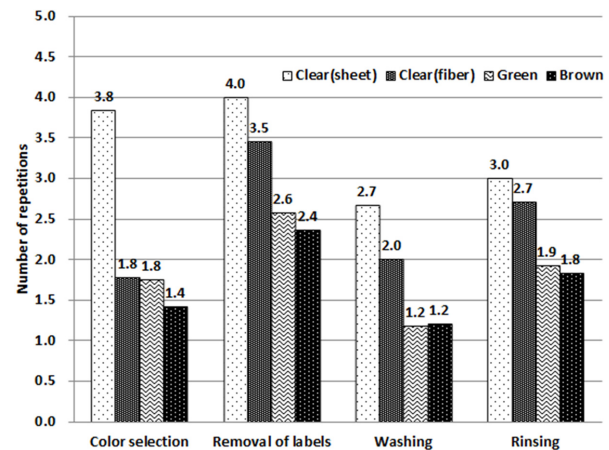


Fig. 4. Number of repetitions in recycling process of PCR PET flake.

2. 국내 페트 플레이크 품질 현황조사

생산업체의 품질 기준은 색상, 점도, 입자크기, 수분함량, PVC 함량, 알루미늄 함량, 부유물질 함량 7개의 항목으로 조사되었으며 업체에 따라 기준 항목의 수가 다르고 Fig. 5와 같이 공통적으로 포함되는 항목은 수분, 점도, 이물질함량, 색상, 기타이다. 품질 분석 관련 국내 표준은 없으며 각각의 업체가 필요에 의해 자체적인 관리기준을 정립하여 사용중인 것으로 파악되었다. 수요처에서 이슈가 되는 품질 문제는 대부분 이물질 함량으로 이물질 제거율이 높을수록 수요처에서 페트 플레이크의 재생형 시 생산 공정 속도 및 품질이 향상된다. 페트 플레이크 품질에 영향을 주는 이물질의 경우 Fig. 1과 같이 디스펜서 속의 금속마개나 스프링, 화장품병, 일회용컵, 복합재질 등이 순차적으로 문제가 되는 것으로 파악 되었으며 이는 비중선별이 불가능하고 분

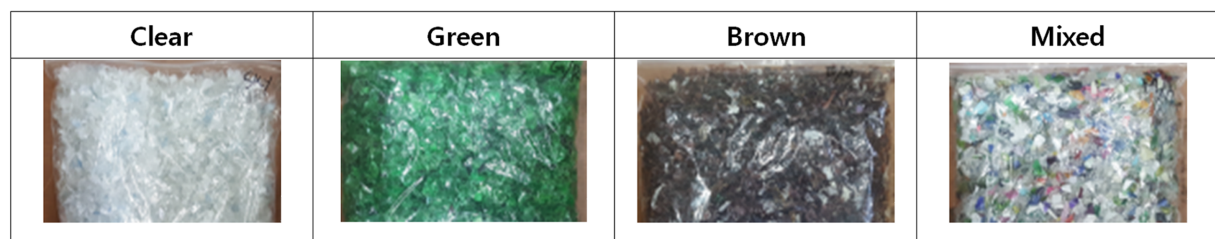


Fig. 2. Examples of PCR PET flake with different colors.

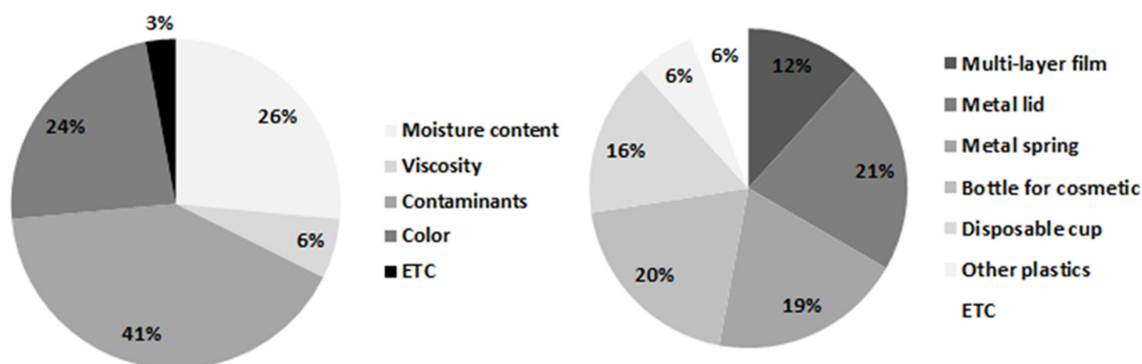


Fig. 5. Proportion on quality control factors of PCR PET flake(left), and types of contaminants affecting the quality of PCR PET flake(right).



Fig. 6. Example of contaminants measuring method on PCR PET flake in fields.

쇄과정의 기계 파손, 작은 입자는 용융 시 스크린을 막는 문제점을 발생시키기 때문으로 파악되었다.

페트 플레이크 업체의 품질기준 측정방법에 따르면 수분 함량은 주로 초기 무게와 건조 후 무게를 비교하는 방식으로 기록되며, Fig. 6와 같이 이물질 측정은 고온에서 가열 후 표시된 이물질을 육안으로 판단하는 간이 검사 방식을 사용하는 것으로 나타났다. 세척도와 색상 모두 육안검사로

진행됨에 따라 담당자의 경험치와 현장 상황의 의존도가 높은 실정이다.

3. 국외 페트 플레이크 사용 현황

미국과 일본의 경우 섬유, 시트 제품의 생산비율이 비슷하게 높았으며 시트의 두 가지 제품 군이 전체의 80%를 차지할 정도로 높은 것으로 집계되었다. 시트의 제품 생산 시 고점도의 페트 플레이크를 요구하므로 상대적으로 신제품 대비, 미국 일본 대비 국내 페트 플레이크의 품질이 떨어지는 것으로 판단된다. 섬유의 경우 장섬유, 단섬유로 나뉘며 장섬유에서 페트 플레이크의 고품질이 요구되는바 국내에서 단섬유만을 생산하는 현황을 고려하였을 시 국내 페트 플레이크의 품질 향상이 필요한 상황이다.

따라서, 품질관리 기준이 되는 국외 페트 재활용 제품의 시험방법에 관련된 표준을 국제기구, 미국, 일본을 중심으로 조사하였다. Table 1에 따르면 ISO 12418-1,2의 경우 이미 사용된 페트병을 재활용 한 재생 제품의 특성 시험방법을 세분화 한 것으로 의무사항에는 형태, 색상, 최대 페트 플레이크 사이즈, 최소 페트 플레이크 사이즈, 고유점도, 이물질 (라벨 등의 이물질, PVC 이물질, 접착제 등의 폴리

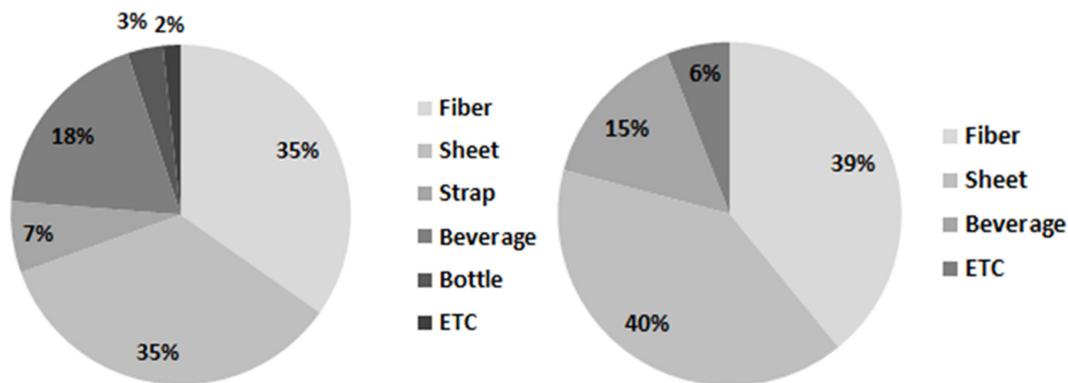
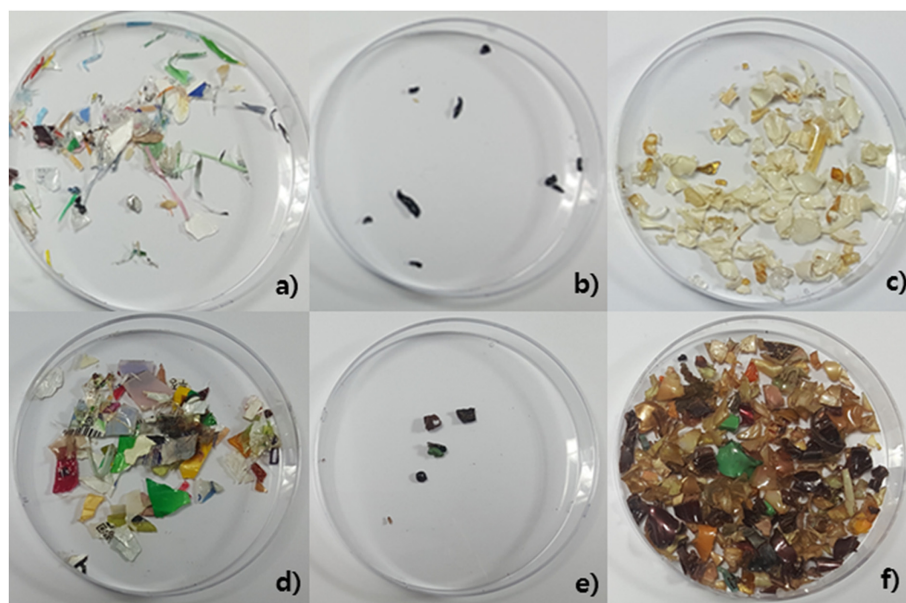


Fig. 7. Use of PCR PET flake in US(left), Japan(right).⁶⁾

Table 1. Testing standards on PCR PET flake in other countries

Standard number	Name
ISO 12418-1,2	Plastics – Post-consumer poly(ethylene terephthalate)(PET) bottle recyclates – Part 1: Designation system and basis for specifications – Part 2: Preparation of test specimens and determination of properties
ASTM D5577	Standard guide for techniques to separate and identify contaminants in recycled plastics
ASTM D5991	Standard practice for separation and identification of poly(vinyl chloride) (PVC) contamination in poly(ethylene terephthalate) (PET) flake
ASTM D5814	Standard practice for determination of contamination in recycled poly(ethylene terephthalate) (PET) flakes and chips using a plaque test
JIS K 7390	Test methods for reclaimed poly(ethylene terephthalate(PET) moulding materials from PET bottles

**Fig. 8.** Testing results of the contents of contaminants, Clear flake; a) label and other visible contaminants, b) PVC(Poly vinyl chloride), c) PO(Polyolefin), Brown flake; d) label and other visible contaminants, e) PVC(Poly vinyl chloride), f) PO(Polyolefin).

올리핀계열 이물질), 수분함량, 밀도가 있으며 추가시험으로 용융 체적 흐름율과, 알칼리지수, 필터링 가능성이 포함되어 있다. ASTM D 5577의 경우 육안검사 및 화학 처리를 통한 잔류물질에 대한 내용을 다루고 있으며 ASTM D 5991은 PVC오염의 분리 및 정성분석, ASTM D 5814는 용해 및 재결정화를 통하여 품질을 확인하는 방법을 포함한다. JIS K 7390은 ISO 12418-2와 비슷한 맥락의 시험항목을 가지고 있으며 일본의 경우 재이용품의 판정 기준까지 제시함에 따라 가장 적극적으로 페트 플레이크의 재활용에 대응하고 있다.

4. 국내 페트 플레이크 품질 시험 제시

국외 페트 플레이크 품질 평가 표준과 국내 현황을 고려하여 페트 플레이크의 품질 평가 항목을 업체와 논의하였으며 고유점도, 이물질, 감량율을 선정하여 페트 플레이크의

시험을 진행하였다. 이 시험의 결과는 이물질 함량(ppm), 추출 이물질의 특이사항, 고유점도, 함수율로 측정, 보고되었다.

Fig. 8은 이물질 시험결과로써 무색 플레이크 a) 6,624 ppm, b) 561 ppm, c) 28,072 ppm, 갈색 플레이크 d) 14,440 ppm, e) 4,053 ppm, f) 86,668 ppm으로 측정되었으며 전체 76개의 샘플의 이물질의 함량은 0~20%로 넓게 분포되어 있었다. 세척횟수가 상대적으로 낮은 갈색 플레이크에서 대체로 높은 이물질 함량을 보였으며 이물질은 대부분 라벨류, 금속, 담배필터 등으로 다양하였다. 대부분의 샘플에서 PVC는 검출되지 않음에 따라 적극적인 PVC 포장재의 사용규제로 인한 개선 효과로 판단된다. 함수율의 경우 0.61~1.8%로 나타났으며 평균 함수율은 0.94%였다. 고유 점도의 경우 0.63~0.75 dL/g로 나타났으며 신제품의 결과인 0.8 dL/g대비 상대적으로 낮았다.

페트 플레이크의 품질에 관련하여 직접적으로 영향을 미치는 항목은 이물질 함량으로 판단되었으며 함수율은 페트의 가수분해를, 고유점도의 경우는 섬유나 시트 생산 공정을 고려한 품질 기준으로 설정되었다. 상기의 시험결과와 국내 관련 업체 품질 관리 현황 조사를 종합하여 페트 플레이크의 품질평가 시험방법을 도출하였으며 관련항목은 고유점도, 이물질, 감량율, 알칼리지수로 선정하였다⁷⁾. 알칼리도도의 경우 세척과정에 남는 잔류 유기물이 최종 페트 플레이크의 변색에 영향을 미침에 따라 기준항목으로 선정되었다. 향후 국내 페트 플레이크의 품질개선을 위해서는 생산업체의 상기의 품질기준에 따른 품질관리의 지속적인 노력 필요하며 그 외 분리배출·수거, 선별·유통 등의 전순환과정에서의 협력이 수반되어야 한다. 따라서, 전순환과정 평가 방법 흐름⁸⁾에 대한 연구가 진행 중이며 이 외에도 화학적 재활용의 가능성 검토와 재활용 공정 개선 등 재활용 효율 향상을 위한 추가적 연구가 필요하다.

결 론

본 연구에서는 페트 플레이크의 시장과 품질 현황에 대한 조사를 진행하였다. 페트 플레이크 생산업체는 4종의 제품을 세척도에 따른 등급으로 나누고 업체별 자체적인 품질기준으로 관리하고 있는 것으로 파악되었다. 이에 국외 플레이크 사용현황과 시험표준을 조사하여 품질관리 항목과 시험방법을 도출하였으며 21개 업체의 76개 제품을 시험하였다. 시험결과에 따라 최종 4개의 평가 항목을 선정하였으며 이 시험방법을 「플라스틱-재활용 플라스틱-폴리에틸렌 테레프탈레이트 (PET) 병 재생재료의 시험방법」⁹⁾으로 국가표준화 할 예정으로 차후 페트 플레이크 관련 업체는

시험방법 표준에 근거하여 품질관리 및 품질개선을 할 수 있을 것이다. 또한, 재질·구조 기준 개선에 따라 포장재 설계 단계에서 재활용성이 고려되고 품질개선이 수반된다면 자원순환이 가능한 포장재의 생산이 촉진될 것으로 보인다. 앞으로 지속적인 전순환과정 재활용율의 향상을 위해서는 품질관리 외 단계별 재활용 공정과 품질 상관관계에 대한 이해와 추가적 보완 및 발전이 필요한 단계이다.

참고문헌

1. 2018년 국제유가 변화 및 유가변화 요인, 2019, 에너지경제연구원.
2. 중국-수입폐기물 관리목록 조정 무역기술장벽 심층분석 보고서, 2018, 국가기술표준원.
3. 2019년 포장재별 재활용 의무율 및 분담금 단가, 제2018-230호, 환경부.
4. 국내 포장 폐기물에 따른 재질별 재활용 공정 현황 및 재활용 문제점, J. Korea Soc. Packag. Sci & Tech, 2018, 24(2), 65-71.
5. ISO 12418-2, Plastics - Post-consumer poly(ethylene terephthalate) (PET) bottle recycles- Part 2: Preparation of test specimens and determination of properties, 2012.
6. ASTM D 4603, Standard test method for determining inherent viscosity of poly(ethylene terephthalate)(PET) by glass capillary viscometer, 2018.
7. 페트병 재활용제품(플레이크) 성분분석 및 경쟁력 제고방안 연구, 한국순환자원유통지원센터, 2018.
8. NAPCOR report on postconsumer PET container recycling activity, 2015.
9. 재활용 페트병 플레이크 KS 품질 시험방법 도출을 위한 연구, 한국환경산업기술원, 2019.

투고: 2020.04.14 / 심사완료: 2020.04.28 / 게재확정: 2020.04.28