

# Environmental Degradation Index for the Reduction of Packing Wastes

Ho-jin Hong · Hyun-min Cho · Seong-Hoon Choi<sup>†</sup>

Depart. of Management Engineering, Sangmyung University

## 포장 폐기물 감량을 위한 환경저해지수 제안

홍호진 · 조현민 · 최성훈<sup>†</sup>

상명대학교 경영공학과

The plastic waste problem is deepening all over the world. Plastic wastes have serious impacts on our lives as well as environmental pollution. The production and use of plastics increases every year, but once they are produced, they usually roam the earth for hundreds or thousands of years to pollute the environment. Although there is growing interest in plastic issues around the world and environmental regulations are being tightened, but no clear solution has yet been found. This study suggests Environmental degradation index (EDI). EDI can help raise consumers' attention to plastic wastes. In addition, EDI will contribute to reduce them in the future. As far as we know, this is the first study. We developed EDI for the confectionery packaging. This study defines four factors that may affect the environment of confectionery packaging: greenhouse gas emissions, energy consumption, methane emissions, and packaging space ratio. Then we quantify the value of each element and compute EDI as the sum of the four component values. In order to evaluate the feasibility of EDI proposed in this study, confectionery-packaging materials distributed in Korea were collected and analyzed. First, the types of confectionery are classified into pies, biscuits, and snacks and basic data was collected. Then the values of the four components were calculated using existing research data on the environment. We can use the proposed EDI to determine how much a product packing affects the environment.

**Keywords :** EnvironmEntal Pollution, Plastic, Packing Waste, Environmental Degradation Index

### 1. 서 론

해가 갈수록 소비자들은 다양하고 새로운 상품을 찾게 되면서 상품의 사용주기는 계속 짧아지고 있다. 이에 따라 쓰레기양은 지속해서 증가하고 있다. 그 중 대기환경에 큰 영향을 끼치는 플라스틱 쓰레기에 대한 환경문제가 심각한 수준이다.

우리가 일상생활에서 무심코 버린 플라스틱 쓰레기가

썩지 않고 바다로 모이면서 엄청난 규모의 플라스틱 섬이 만들어지고 있다. 플라스틱은 한번 생산되면 수백 년, 길게는 수천 년씩 썩지 않고 지구를 떠돌며 환경을 오염시킨다. 플랑크톤, 물고기, 해양 포유류들이 미세 플라스틱을 먹이로 착각하여 섭취하면서 먹이사슬 내 수중생태계에 심각한 문제를 일으키고 있다[13]. 미세 플라스틱을 섭취한 해양생물은 물리적 상해, 섭식 행동 변화, 소화기 장애, 에너지 분배감소에 의한 결과로 치명적인 영향을 받고 있는 것으로 확인되었다. 결국, 플라스틱에 의한 환경오염은 생태계 파괴뿐만 아니라 인류에게도 큰 재앙을 가져오기 때문에 전 세계적으로 플라스틱 쓰레기에 관한 연구를 활발히 진행하고 있다.

Received 29 December 2019; Finally Revised 14 February 2020;  
Accepted 27 February 2020

<sup>†</sup> Corresponding Author : shchoi@smu.ac.kr

이에 본 논문에서는 우리가 주위에서 흔히 접하는 대표적인 쓰레기인 과자 포장재가 환경에 얼마나 영향을 미치는지를 평가할 수 있는 척도인 환경저해지수(Environmental Degradation Index, 이하 EDI)를 제안하고자 한다. 과자 포장재가 환경에 나쁜 영향을 주는 요소를 온실가스 배출량, 에너지 소비량, 메탄가스 배출량, 그리고 포장 공간 비율의 4가지로 규정하고 각 요소의 값을 정량화한다. 그리고 4가지 구성요소 값의 합으로 EDI를 계산한다.

기존에 사용되고 있는 환경성과지수(Environmental Performance Index, 이하 EPI), 히그 지수(Higg Index) 등이 있지만 본 연구에서 제안한 EDI와 차이점이 있다. 먼저 EPI는 전 세계 국가를 대상으로 인간 보전에 대한 환경 압력을 줄이고 생태계 지속성과 천연자원의 건전한 관리에 관한 국가별 환경성적을 평가하여 순위를 매기는 국제 환경성과평가 지수이다[1]. 이를 통해 전 세계 국가들이 환경개선에 대한 경각심을 가지고 환경정책을 변화시키는 계기가 되었다. 그리고 히그 지수는 의류 등과 같은 소재 1kg을 생산하는데 들어가는 환경부담 요인을 지수로 나타낸 것이다[15]. 의류 산업의 경우 염색 등 제조 과정에서 대량의 화학물질과 물, 많은 연료가 소비되어 환경에 부정적인 영향을 미친다. 히그 지수는 소재 생산부터 폐기까지의 전 과정을 참고해 얼마나 친환경적으로 제품을 만드는지를 수치화해 지속 가능한 환경에 대한 소비자의 관심을 높이고 있다[15].

위의 두 지수와 비교했을 때 모두 환경개선을 위한 방향으로 사용된다는 공통점이 있지만, EDI는 EPI와 달리 전 세계 국가를 대상으로 국가별 환경성적을 평가하여 순위를 매기는 지수가 아닌 기업별로 생산하는 제품에 대하여 환경저해 정도를 평가하고 순위를 매기는 지수이다. 마찬가지로 EDI는 히그 지수와 달리 오직 플라스틱 포장재의 생산과 폐기과정에서 나타나는 환경저해 정도를 수치화하고 제품대비 플라스틱 포장재의 과대포장 여부를 조사해 합산한 지수이므로 기존의 두 지수와는 차이점을 갖는다. 저자들이 아는 한 본 연구와 관련된 기존 연구는 없으며 최초로 제안하는 것이다.

환경부는 최근 ‘포장재 재질·구조개선 등에 관한 기준’ 개정안을 확정하고 고시한다고 밝혔다[10]. 개정안의 주요 내용은 페트병 등 9개 포장재의 재질·구조를 재활용 용이성에 따라 재활용 용이성 최우수, 우수, 보통, 어려움 등의 등급으로 구분하고, 업계에 혜택을 제공하는 등 생산단계부터 재활용이 쉽게 설계되도록 이끄는 체도를 담은 것이다[10]. 본 논문에서 제안하는 EDI는 산출된 값을 통해 포장재의 재질별로 환경에 얼마나 영향을 미치는지를 평가할 수 있는 척도이기 때문에 이번 개정안과 다르다고 할 수 있다.

본 연구를 통해 제안하는 지수는 포장 폐기물 감량 및

환경문제에 대한 인식 제고를 유도할 수 있을 것으로 예상하며, 향후 플라스틱 쓰레기 감량에 도움이 될 것으로 기대된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 제 2장에서는 포장 폐기물 개요에 대하여 다룬다. 제 3장은 EDI의 구성요소들을 제안하고 제 4장에서는 3장의 제안된 구성요소들을 이용하여 개발된 EDI 계산식과 분석 결과를 제시한다. 마지막으로 제 5장에서는 결론을 기술한다.

## 2. 포장 폐기물 개요

### 2.1 포장 폐기물의 의미와 특성

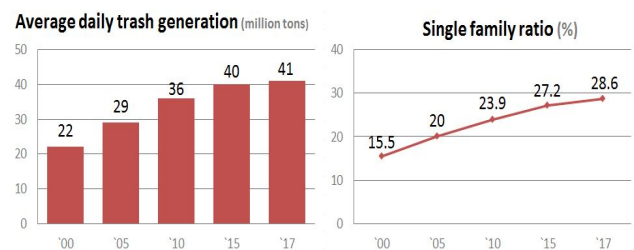
폐기물이란 생활이나 사업 활동에 더 이상 필요하지 않게 된 물질이다. 국내법에서 폐기물은 폐기물관리법에 따라 ‘생활폐기물’과 ‘사업장폐기물’로 분류된다[10]. 그중 포장 폐기물은 생활폐기물에 속하게 되며, 포장 재료나 용기가 본래 기능을 상실하고 폐기될 때 생활쓰레기의 일부로 배출되는 것을 말한다.

우리나라의 경우 포장 폐기물은 생활쓰레기의 약 25%를 차지하고 있고, 용적비는 약 60%라고 한다. 포장재 사용량 또한 한해에 8.4% 증가 추세를 보인다[6]. 포장 폐기물로 인한 환경오염을 개선하기 위해서 국가 차원의 제도 와 소비자의 인식개선이 필요하다.

### 2.2 포장 폐기물 발생과 처리 현황

#### 2.2.1 포장 폐기물 발생 현황

환경부[10]가 발간한 기재된 ‘2013년 4차 전국 폐기물 통계조사’에 따르면 1인당 쓰레기의 양은 가구 구성원이 적을수록 많았다. 일평균 쓰레기 배출량을 조사한 결과, 1인가구는 207g으로 4인가구의 2배가 넘는 것으로 파악되었다[10]. 2000년도만 하더라도 1인가구의 비율은 22만 가구(15.5%) 정도이었지만, 2017년에는 어느새 562만 가구(28.6%)로 증가하여 현재 우리나라 가구 형태 중 가장 큰 비중을 차지하고 있다.



<Figure 1> Comparison of Single-House and Waste Growth[10]

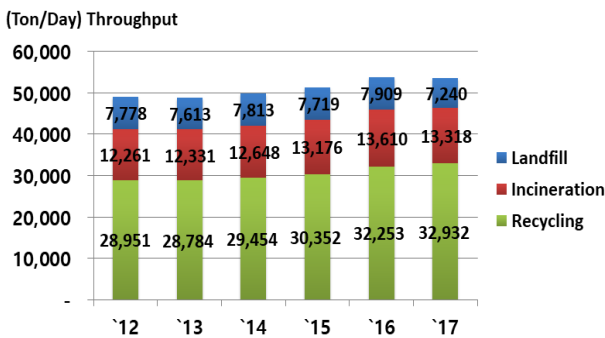
<Figure 1>에서 볼 수 있듯이 1인 가구의 비중은 매년 증가하고 있는데, 이에 따라 일평균 쓰레기 발생량도 증가하고 있다. 우리나라 쓰레기 발생량(2017년 기준)은 일평균 41만 톤(사업장, 건설 현장을 포함한 수치)이다. 2000년도 기준 22만 톤에서 17년 사이에 약 1.8배 증가했다. 포장 폐기물 발생량은 별도로 집계하고 있지 않고 생활폐기물 총계에서 추정하여 파악하고 있다. 이처럼 1인 가구 비중의 증가로 인하여 발생하는 포장 폐기물의 발생량도 매년 증가하고 있다.

2.2.2 포장 폐기물 처리현황

폐기물을 처리하는 방식에는 재활용, 소각, 매립, 등이 있다. 우리나라는 대개 소각과 재활용에 의한 폐기물 처리 방식을 사용하고 있다. 매립을 통한 폐기물 처리방식은 토양오염 문제, 쓰레기 매립지 부족 등으로 인해 매년 감소하고 있는 실태이다. 구체적으로 재활용은 2012년 59.1%에서 2017년 61.6%로 소폭 증가하였고, 소각은 2012년 25%에서 2017년 24.9%로 일정한 추이를 보인다. 매립은 15.95%에서 2017년 13.5%로 꾸준히 감소하였다(<Figure 2> 참조).

2.3 과자 포장재 구성

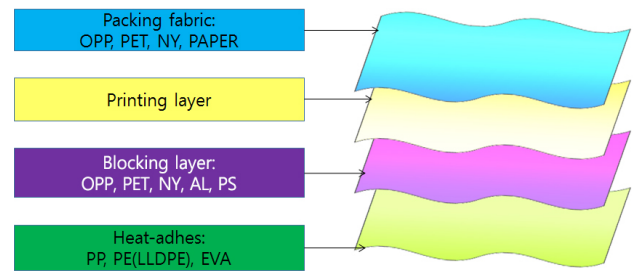
과자 포장재의 내부는 신선도를 유지하고 과자의 눅눅함을 줄여서 맛을 보존하기 위해서 은색의 알루미늄 재질의 포장재로 구성되어 있다. 과자 제품을 포장하기 위해서 내충격성, 산소 차단성, 차광성 등 여러 가지 기능이 있는 포장재가 사용된다.



<Figure 2> Trends in the Amount of Domestic Waste Disposals[9]

과자 포장지는 눈으로 보기에는 한 겹 같지만 실제로는 <Figure 3>과 같이 여러 겹의 포장재를 겹쳐서 만드는데 이것을 다층 포장재라고 한다. 이렇게 여러 겹으로 이루어진 포장지는 산소를 차단할 뿐만 아니라 수분과 빛도 차단하는 특성이 있다. 이러한 이유로 다층 포장재가 과자, 라면 등 식품의 포장지로 주로 사용되고 있다. 식품 포장을 위한 다층 포장재를 구성하는 물질에는 연신 프로필렌

(oriented polypropylene, OPP), 폴리에틸렌 테레프탈레이트 (polyethylene terephthalate, PET), 나일론(nylon, NY), 알루미늄 포일(aluminium-foil, AL), 폴리스티렌(polystyrene, PS), 폴리프로필렌(polypropylene, PP), 폴리에틸렌(polyethylene, PE), 선형 저밀도 폴리에틸렌(linear low density polyethylene, LLDPE), VMPET(vacuum metalized polyethylene terephthalate), 에틸렌 초산비닐(ethylene vinyl acetate, EVA), 무연신 랜덤 PP(cast polypropylene, CPP), 이오노머(ionomer, ION) 등이 있다[10].



<Figure 3> Basic Composition of Packaging Materials[12]

과자류의 포장을 위한 다층 포장재의 대표적인 구성 세 가지로 OPP+PE+VMPET+PE, OPP+PE+VMPET+PE+CPP, 그리고 OPP+PE+VMPET+PE+ION을 들 수 있다[12]. 이제 과자 포장재로 많이 쓰이고 있는 OPP, PE, PP, VMPET 소재의 주요 특성을 알아보기로 한다. 먼저 OPP는 가열 접착을 할 수 없고 가열로 수축하지만, 투명성, 방습성, 내유성 항목에서 우수한 특징이 있다. OPP 필름은 PE와 달리 투명성이 좋고 제품을 물이나 먼지로부터 보호하는 역할을 한다.

PP는 내열성이 높고 유동성이 좋으며 내약품성이 뛰어나 각종 포장재 필름이나 가전 부품, 식품용 밀폐 용기와 즉석조리 식품 용기로 사용되고 있다. 아울러 탄소와 산소만으로 구성되어 인체에 해로운 원료가 없으며, 연소 시에 다이옥신과 같은 유해물질이 발생하지 않는 친환경 소재이다.

PE는 원료 가격이 싸고 가공하기 쉬워 대량 생산되는 제품의 포장재로 적합한 소재이다. PE의 특성으로는 다양한 색을 사용할 수 있다는 점과 내한성, 절연성, 내유성을 들 수 있다. 그리고 반투명하고 식품 위생성이 있어 식품 포장에 많이 이용되고 있다.

끝으로 VMPET 필름은 플라스틱 필름의 표면에 얇은 알루미늄 층을 코팅하여 형성된 복합 유연 포장재의 일종이다[3]. 플라스틱 필름의 특성뿐만 아니라 금속의 특성도 가지고 있어서 우수한 성능과 아름다운 외관을 보유했다. 아울러 가격도 저렴하여 강한 실용성을 지닌 포장재로 널리 쓰이고 있다[3].

### 3. 환경저해지수(EDI)의 구성요소

#### 3.1 포장공간 비율

환경부는 최근, 이중포장 금지, 과대포장 규제 대상 확대, 제품대비 과대포장을 방지하기 위해 ‘자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률’의 하위법령 개정안을 발표하였다[10]. 그리고 ‘1+1’ 상품이나 증정품을 포함한 상품에 쓰이는 비닐 이중포장이 금지되고 소형 전자제품 포장도 포장공간의 비율 35% 이하, 포장 횟수 2차 이내로 제한하기로 했다[14].

환경부에 기재된 ‘포장재질·포장방법에 관한 기준’에 따르면 1차식품, 가공식품, 음료, 주류, 과자류 등의 포장 횟수 기준은 2차 이내이지만, 날개 포장은 제외된다. 날개 포장을 한 후 여러 개를 함께 포장하는 단위제품의 경우 날개 포장은 포장공간의 비율 및 포장 횟수의 적용대상으로 보지 않는다. 완충재 역할을 하는 고정 트레이 등도 포장 횟수에서 제외된다[11]. 즉 날개 제품 포장을 위한 포장, 이를 고정하는 고정 트레이로 2차 포장, 그리고 박스에 제품을 담은 3차 포장까지 이뤄져도 문제가 되지 않는다.

이처럼 소비자의 쓰레기 배출만 규제하는 방안이 추가하여 기업들을 규제하는 방안이 필요하다고 판단된다. 이에 본 논문에서는 제품의 실내용물 대비 포장이 얼마나 과한지를 확인할 수 있는 포장공간 비율을 EDI에 포함될 구성요소의 하나로 선정하였다.

#### 3.2 생산 과정 온실가스 배출량

20세기 후반 지구온난화 등의 문제로 인하여 전 세계적으로 환경문제에 큰 관심을 갖게 되었다. 국제에너지기구(IEA)에 따르면, 우리나라는 1990년 대비 2013년 1인당 온실가스 배출량 증가율이 110.8%로 가장 높은 수치를 기록하였다. 온실가스 배출량을 낮추는 것이 시급한 상황이다.

이와 마찬가지로 2010년부터 최근 6년간 플라스틱 생산량은 연평균 4%씩 증가해, 2015년에는 4억 700만 톤에 이르렀다[7]. 증가하는 플라스틱 생산량에 맞추어 플라스틱 생산단계에서도 더 많은 양의 온실가스를 배출하고 있다. 뿐만 아니라 처리단계, 전환단계의 온실가스 배출량도 적지 않기 때문에 간과되어서는 안 된다. 온실가스 배출은 단계적 구분을 떠나 전반적으로 중요한 환경위해 요인이라고 할 수 있다. 플라스틱 종류별 온실가스 배출량을 정리한 것이 <Table 1>이다[1,3]. 본 논문에서는 <Table 1>의 수치들을 개발하려는 EDI 지수에 반영하기로 한다.

<Table 1> Reference Values of Plastic Types[4]

(Unit : 1pmol = 10<sup>-12</sup>mol, 1MJ = 10<sup>6</sup>J)

Evaluation criteria	Plastic types		
	PP	PE	PET
Greenhouse gas emission in production (g/g)	1.9	2.1	3.2
Methane gas emission in disposal (pmol/g/d)	170	4,100	500
Energy consumption in production (MJ/kg)	77	80	82

#### 3.3 방치 과정 메탄가스 배출량

Karl 등[2]의 연구 결과에 따르면, 일상에서 흔히 사용하는 플라스틱 쓰레기가 햇빛에 포함된 자외선에 노출되면 녹으면서 강력한 온실가스인 메탄을 방출한다는 것이다. 분해되지 않고 방치된 플라스틱이 80억 톤을 넘어섰고, 앞으로 20년 이내에 플라스틱 생산량이 두 배로 늘어나는 점을 고려하면, 이에 따른 메탄가스 배출량이 많이 증가할 것이라고 발표했다[2]. 특히 버려진 플라스틱이 자외선과 해류에 의해서 미세한 조각으로 변하면 메탄가스 배출량이 더 증가한다고 밝혔다. 이렇게 되면 플라스틱의 표면적이 증가하기 때문에 햇빛에 의한 화학반응도 증가한다. 이처럼 플라스틱은 생산단계에서도 큰 문제이지만 버려지거나 폐기되어 방치된 플라스틱은 햇빛에 노출되어 메탄가스를 배출함으로써 지구온난화에 더 큰 영향을 미친다.

위의 <Table 1>을 참조하면 플라스틱 종류별로 일평균 햇빛에 노출되었을 때 배출되는 메탄가스 배출량을 확인할 수 있다. 지구온난화에 영향을 미치는 온실가스로는 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화황의 직접 온실가스와 일산화탄소, 질소 가스, 비-메탄휘발성 유기물질의 간접 온실가스로 구분할 수 있으며, 온실가스 별로 지구온난화에 기여하는 정도가 다르다[13].

일반적으로 이산화탄소를 기준으로 가스별 기여 정도를 명시한 것을 지구온난화 지수(GWP, Global Warming Potentials)라 하고, 각 국가에서는 온실가스 배출량을 산정할 때 가스별 지구온난화 지수를 고려한 톤 단위로 배출량을 산정하고 있다[13]. <Table 2>를 참조하면 메탄은 지구온난화를 유발하는 온실효과가 이산화탄소보다 21배나 강하기 때문에 버려진 플라스틱의 문제점이 크다고 판단된다. 이에 본 연구에서는 플라스틱 종류별로 햇빛에 노출되어 발생하는 메탄가스 배출량을 EDI에 반영될 기준으로 선정하였다.

<Table 2> Global Warming Potential(GWP) by Greenhouse Gas[13]

Greenhouse Gas	GWP
Carbon dioxide	1
Methane	21
Nitrous oxide	310
Hydro fluoro carbon	150~11,700
Per fluoro carbon	6,500~9,200
Sulphur hexafluoride	23,900

### 3.4 생산시과정 에너지 소비량

<Table 1>에서 플라스틱 종류별 에너지 소비량을 살펴 보면, 플라스틱을 생산할 때 종류별로 다른 에너지 소비량을 보이는데 에너지 소비량이 가장 많은 종류는 PET이며 kg당 82MJ(1MJ = 10<sup>6</sup>J)를 소비한다. 가장 좋은 방법은 플라스틱 생산량을 줄이는 것이지만 불가피하게 생산해야 한다면 에너지를 절감하며 생산하는 편이 에너지를 사용하는 측면에서도 효율적일 것으로 생각한다. 따라서 본 논문에서는 개발하려고 하는 지수에 반영될 기준으로 선정하였다.

## 4. 구성요소별 환경저해성 정량화 방법

먼저 본 논문에서 사용되는 기호와 변수들을 정리하면 아래와 같다.

### 기호 및 변수

- $k$  : 첨자로 과자 내용물(contents)은  $c$ , 과자 포장(envelope)은  $e$ , 제품(box)은  $b$ 임.
- $H_k$  : 높이( $k = b, c$ )
- $L_k$  : 길이( $k = b, c$ )
- $T_k$  : 두께( $k = b, c$ )
- $V_k$  : 체적( $k = b, c, e$ )
- $W_k$  : 폭( $k = b, c$ )
- $X_{i1}$  : 과자  $i$ 의 포장재 생산과정 온실가스 배출량(g/g)
- $X_{i2}$  : 과자  $i$ 의 포장재 방치과정 메탄가스 배출량(pmol/g)
- $X_{i3}$  : 과자  $i$ 의 포장재 생산과정 에너지 소비량(MJ/g)
- $X_{i4}$  : 과자  $i$ 의 포장재 포장공간 비율(%)
- $m_j$  : Min  $X_{ij}$  for  $i$
- $M$  : Max  $m_j$  for  $j$
- $w_j$  : 구성요소별 가중치( $j = 1, 2, 3, 4$ )  
(단,  $w_j > 0, w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$ )

<Table 3> Symbols and Weights of the Component

Symbols	Descriptions	Weights
$w_1$	GHG emissions in plastic production process	0.4
$w_2$	Methane gas emission quantity in plastic disposal process	0.2
$w_3$	Energy Consumption in Plastic Production Process	0.3
$w_4$	Ratio of Pavement Space for Pavement Materials	0.1

<Table 3>에서 Weights는 구성요소별 환경저해 정도를 나타내는 상대적인 중요도 값이다. 플라스틱에서 나오는 온실가스는 생산단계에서 1,085 Mt(61%), 가공 단계에서 535 Mt(30%), 소각 등 영구폐기단계에서 161 Mt(9%)가 배출된다[7]. 그뿐만 아니라 우리나라는 다른 선진국보다 화석에너지에 대한 의존도가 높다. 그리고 석탄, 석유 등의 화석에너지에 의존하는 만큼 막대한 온실가스 배출을 동반할 수밖에 없는 실정이다. 세계 CO<sub>2</sub> 배출원 1위는 석탄(46%)이며 석유가(33%)로 많은 비중을 차지하고 있다. 이론적으로는 100% 재생에너지로 전환한다면 온실가스 배출이 51%까지 줄어드는 것으로 추산된다[7].

이를 근거로 본 연구에서는 상대적으로 환경저해 정도가 가장 큰 플라스틱 생산과정에서의 온실가스 배출량 가중치를 0.4, 플라스틱 생산과정에서의 에너지 소비량 가중치를 0.3, 플라스틱 방치과정에서의 메탄가스 배출량 가중치를 0.2, 플라스틱 포장공간비율의 가중치를 0.1로 각각 선정하였다.

### 4.1 국내 과자 비교분석을 통한 기초 데이터 수집

기초 자료수집을 위해 2리터 메스실린더, 캘리퍼스, 계량 저울, 비비탄 총알을 측정 도구로 사용하였다. <Figure 4>의 과자들을 대상으로 환경부[11]가 제시하고 있는 포장공간의 비율 · 포장횟수 간이측정 방법에 따라 직접 측정 도구를 활용하여 물리적인 기초 자료를 수집하였다. 수집한 데이터로는 과자 종류를 크게 스낵류, 비스킷류, 파이류로 분류하고 제품 전체 무게(단위 : g), 과자 내용물 무게(단위 : g), 포장재 무게(단위 : g), 종이 포장재 무게(단위 : g), 제품 전체 부피(단위 : ml), 과자 부피(단위 : ml), 과자 무게 1g당 플라스틱 포장재 무게(단위 : g), 포장재의 재질 등으로 분류하였다.

<Figure 5>는 봉지류 과자의 측정 방법을 보여주고 있다. 우선 첫째로 측정 대상 과자 제품의 전체 무게를 측정한다. 둘째로 제품 체적을 측정하는데 환경부[11]가 제시하는 방법을 따르기로 한다. 제품 체적은 제품의 상단 부분을 개봉하여 메스실린더와 제품의 개봉 입구가 맞게 하여 과자 내용물을 자유낙하 시켜서 측정한다[11].

이때, 손으로 메스실린더 하단부를 가볍게 2~3회 두드려 준다. 다만, 제품의 길이, 형태, 무게 등이 일정한 경우 개별로 측정하여 산출한다[11]. 셋째로 플라스틱 포장용기의 무게를 측정한다. 넷째로 포장 용적은 직경 5.8~6.0 mm, 무게 0.15g 이하의 플라스틱 구슬을 사용하여 실링 부분이 닫힐 수 있을 때까지 충전하여 최대 부피를 측정하여 산출한다.



<Figure 4> Examples of Domestic Snacks



<Figure 5> Method for Determination of Baggy Snack

다음은 박스류 과자의 측정 방법이다. 우선 첫째로 과자의 총무게를 측정한다. 둘째로 포장용기(상자)의 무게를 측정한다. 셋째로 플라스틱 포장용기의 무게와 과자의 무게를 측정한다. 넷째로 포장용기의 부피를 측정하는데, 포장용기의 두께가 10mm를 초과할 경우는 그 초과 부분을 포장용적에 포함한다[11]. 그리고 포장용기의 두께가 일률적이지 않은 경우가 있는데 이 경우에 초과하는 두께는 포장용적에 포함해야 한다[11]. 그러나 과자의 경우 대부분 포장용기의 두께가 10mm 이하이기 때문에 고려할 필요가 없다. 10mm 이하인 중합 제품은 앞뒷면 및 양 옆면에 한하여 미달하는 두께의 60%를 포장용적에서 제외하고, 단위제품은 실측한 안치수만으로 포장용적을 산출한다[11]. 플라스틱 완충·고정체가 사용된 제품의 전체 포장 용적은 다음의 식 (1)을 이용하여 계산한다.

$$V_b = [L_b - 2(10 - T_b) \times 0.6] \times [W_b - 2(10 - T_b) \times 0.6] \times H_b \quad (1)$$

일반적으로 포장상자의 두께가 10mm 이하인 제품의 경우는 실측한 포장용기의 안치수를 계측하여 산출한다[11]. 포장용적은 아래의 식 (2)를 이용하여 구한다.

$$V_c = L_c \times W_c \times H_c \quad (2)$$

마지막으로 과자를 따로 포장용기에서 분리하여 제품 체적을 측정하면 아래의 식 (3)과 같다.

$$V_e = L_e \times W_e \times H_e \quad (3)$$

이상의 방법을 적용하여 제품별로 측정된 기초 데이터의 일부가 <Table 4>에 정리되어 있다.

<Table 4> Basic Data by Product

(Unit : Weight(g), Volume(ml))

Category	Company	Product	Total weight	Contents weight	Packing weight	Total volume	Contents volume	Packing material
2	A	a	93	64	3	960	440	PP
2	C	b	65	50	1	372	159	PP
1	B	c	494	410	12	3,350	978	PP
3	D	d	217	209	11	1,860	1,400	PE
3	E	e	237	230	7	1,660	1,220	PE
3	B	f	79	72	7	1,580	1,120	PE

Note : Category : 1-Pic, 2-Biscuit, 3-Snack.

#### 4.2 생산과정 온실가스 배출량 산출 방법

생산과정 온실가스 배출량은 수집된 데이터를 바탕으로 하여 산출하였다. 우선, 자료를 수집하는 과정에서 과자 내용물의 무게에 따라 산출량 차이가 크다는 것을 확인할 수 있었고, 다양한 형태와 종류로 생산된 과자들을 총무게와 포장재의 무게만으로 온실가스 배출량을 산출하기에는 어려움이 있었다. 본 연구에서는 수집된 데이터 중 과자 무게 1g당 플라스틱 포장재 무게(= 과자 포장재 무게/과자의 총무게)를 <Table 1>에 나타나 있는 배출량에 곱함으로써 생산과정 온실가스 배출 산출량을 정량화하였다. 과자별 생산과정 온실가스 배출량은 아래의 식 (4)와 같다.

$$X_{11} = [(과자 무게 1g당 플라스틱 포장재 무게(g)) \times \text{생산시 온실가스 배출량}(g/g) \times (\frac{M}{m_1})] \quad (4)$$

### 4.3 방치과정 메탄가스 배출량 산출 방법

방치과정 메탄가스 배출량은 위 항목들과 마찬가지로 과자 1g당 플라스틱 포장재 무게(= 과자 포장재 무게/과자 총무게)에 <Table 1>에 나타나 있는 햇빛 노출시 플라스틱 종류별 메탄가스 배출량을 곱하고 여기에 메탄 1pmol의 무게를 곱하여 단위를 통일시켜 정량화하였다. 산출된 배출량은 하나의 단위로 통일시킴으로써 다른 기준들과의 통합하여 합산할 수 있다. 과자별 방치과정 메탄가스 배출량은 아래의 식 (5)와 같다.

$$X_{i2} = [(과자무게 1g당 플라스틱 포장재 무게(g)) \times CH_4 1pmol의 무게(g) \times 방치시 메탄가스 배출량(pmol/g/d) \times (\frac{M}{m_2})] \quad (5)$$

### 4.4 생산과정 에너지 소비량 산출 방법

생산과정 에너지 소비량은 마찬가지로 수집된 데이터를 활용해 과자 무게 1g당 플라스틱 포장재 무게(= 과자의 포장재 무게/과자의 총무게)에 <Table 1>의 플라스틱 생산과정 에너지 소비량을 곱하여 과자별 생산시 에너지 소비량을 정량화하였다. 과자별 생산과정 에너지 소비량은 아래의 식 (6)과 같다.

$$X_{i3} = [(과자무게 1g당 플라스틱 포장재 무게(g)) \times 생산시 에너지 소비량(MJ/g) \times (\frac{M}{m_3})] \quad (6)$$

### 4.5 포장 공간의 비율 산출 방법

과자 포장 공간의 비율은 수집된 데이터를 바탕으로 아래의 식(7)과 같이 산출하였다.

$$X_{i4} = [(\frac{V_e - V_c}{V_e} \times 100 \times (\frac{M}{m_4}))] \quad (7)$$

### 4.6 EDI 산출 방법

앞의 4.2~4.5절에서 기술한 4가지 구성요소를 이용하면 EDI를 계산할 수 있다. 그런데 각 구성요소의 단위가 달라서 비교가 쉽지 않은 문제가 발생한다. 본 연구에서는 각 구성요소의 값을 해당 구성요소의 최소치로 나타낸 4개의  $m_j$ 와  $m_j$  중에서 최대치인  $M$ 을 통하여 표준화를 시키고 가중치를 곱함으로써 4개 환산치를 합하여 EDI를 계산하는 방법을 제안한다. 특정 단위 값에 영향을 받지 않도록 항목별 표준화를 통하여 가중치를 적용한 것이다. 제품  $i$ 의 EDI에 대한 구체적인 산출 방법은 아래의 식 (8)과

같다. 이렇게 구한 EDI 값을 이용하면 제품별 환경저해 정도를 비교할 수 있다.

$$EDI_i = \sum_{j=1}^4 (X_{ij} \times w_j) \quad (8)$$

온실가스 배출량, 에너지 소비량, 메탄가스 배출량, 그리고 포장공간의 비율, 4개의 항목별 환경저해성은 모두 0점의 최소 점수를 갖고 합산을 통한 최소 환경저해성은 0점이 된다. 즉 본 연구에서 제안하는 EDI는 0점에 가까울수록 친환경적인 포장 제품임을 나타낸다. 그리고 EDI 값이 큰 제품일수록 상대적으로 환경에 미치는 부정적인 영향이 크다는 것을 의미한다.

### 4.7 EDI 계산 사례와 분석

이제 EDI 계산 사례를 알아보기로 한다. <Table 5>는 제품별로 산정된 EDI의 일부이다. 과자를 비스킷류, 스낵류, 파이류 등 세 종류로 분류하였을 때, 제품별 EDI 값은 비스킷류의 점수가 가장 낮고 스낵류의 점수가 가장 높은 것을 확인할 수 있다.

<Table 5> EDI Calculation by Product

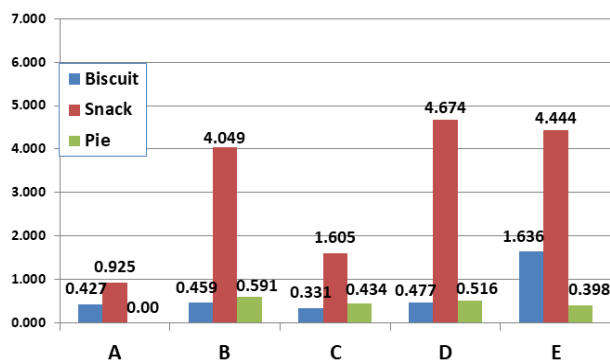
Category	Company	Product	Greenhouse gas(X1)	Methane gas (X2)	Energy (X3)	Packing space (X4)	Total
2	C	b	0.071	0.036	0.053	0.057	0.217
1	B	c	0.104	0.052	0.078	0.071	0.305
2	A	a	0.167	0.083	0.125	0.054	0.429
3	E	e	0.120	1.305	0.084	0.027	1.536
3	D	d	0.207	2.257	0.146	0.025	2.635
3	B	f	0.382	4.168	0.269	0.029	4.848

Note : Category : 1-Pic, 2-Biscuit, 3-Snack.

<Figure 6>은 과자 종류별로 산정된 기업별 EDI 평균값을 나타내는 그래프이다. 대부분의 스낵류 포장재는 환경오염이 심한 PE 재질로 구성되어 있어서 EDI가 높게 산정되는 것을 확인할 수 있다. A사의 경우, 스낵류 포장재를 PE 재질이 아닌 PP 재질로 생산하여 가장 좋은 결과를 나타낸다.

많은 기업은 생산성과 비용 측면에서 상대적으로 유리한 PE 재질 플라스틱을 포장재를 사용하고 있다. 농림축산식품부[8]의 “2014 가공식품 세분시장 현황조사”에 의하면 2012년 기준으로 스낵 과자류의 생산량이 약 418,000톤으로 파악되었다. 수집된 기초 데이터에 따르면 스낵류 과자 1g당 플라스틱 포장재 무게의 평균을 추정하면 0.0805g임을 알 수 있다. 스낵류 과자의 생산량이 계속 증가하는 것을

참고하면, 연평균 33,649톤 이상의 플라스틱 포장재가 생산되는 것으로 추정할 수 있다. <Table 1>을 참조하여 스낵류 포장재로 주로 쓰이는 PE 재질을 PP 재질로 대체한다면 온실가스 배출량이 연평균 약 6,730톤 감소할 수 있을 것으로 예상된다.



<Figure 6> Enterprise EDI Average by Product

## 5. 결 론

플라스틱은 우리의 일상생활에 편리함을 더해주고 있으나, 플라스틱은 분해되지 않고 남아서 환경을 오염시키고 있으며 점차 우리에게 큰 재앙으로 다가오고 있다. 이미 전 세계적으로 플라스틱 문제에 관한 관심이 커지며, 환경 관련 규제가 강화되고 있지만, 아직 명확한 해결 방안이 나오지 않는 상황이다.

본 논문에서는 플라스틱 포장 폐기물의 감량을 위해 제품별 환경 저해도를 평가할 수 있는 척도인 EDI를 제안하였다. EDI는 과자 포장재의 온실가스 배출량, 플라스틱 생산과정 에너지 소비량, 방치과정 메탄가스 배출량, 포장 공간 비율을 정량화하여 합산한 후 환경에 얼마나 영향을 미치는지 평가할 수 있는 지수이다.

본 연구를 통해 개발한 지수는 배출 및 소비량 등을 기반으로 산정되기 때문에 객관적이고 정량적이며, 평가자의 주관에 따라서 결과가 달라지는 문제점을 해결하였고 볼 수 있다. 개발된 지수를 통해 서로 다른 단위를 갖는 기준 간의 비교를 쉽게 할 수 있을 뿐만 아니라, 다양한 기준을 하나의 종합지수로 나타내어 각 제품별 환경저해도의 비교 및 분석을 쉽게 해줄 것이라고 판단된다.

또한, EDI를 활용하여 환경친화 등급을 설정한 후 제품 포장지에 환경친화 등급을 부여한다면, 소비자가 눈으로 직접 확인할 수 있으므로 환경오염에 대한 인식 제고에 이바지할 수 있을 것으로 기대된다. 아울러 제품을 생산하는 기업에서도 친환경적인 제품을 생산하도록 유도할 수 있으며, 향후 포장 폐기물 감량을 통해 환경문제 해결에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

## References

- [1] Environmental Performance Index, <https://epi.envirocenter.yale.edu>, 2020.
- [2] Ferron, S, Wilson, S.T., and Karl, D.M., Production of methane and ethylene from plastic in the environment, *PLOS ONE*, 2018, pp. 1-13.
- [3] GreenPak, <http://ko.gvacpack.com/info/what-is-vmpet-film-25401389.html>, 2020.
- [4] Kim, H.H., SERI Management Note, Earth protecting material, decaying plastic, *Samsung Economic Research Institute*, 2011, pp. 3-4.
- [5] Korea Environment Corporation, <http://www.keco.or.kr>, 2018.
- [6] Korea Federation for Environmental Movements, <http://kfem.or.kr/?p=38225>, 2019.
- [7] Lee, G.Y., Plastic is the main culprit of the warming in 2050, *Hankyoreh News*, [http://www.hani.co.kr/arti/science/science\\_general/890370.html](http://www.hani.co.kr/arti/science/science_general/890370.html), 2019. 04. 17.
- [8] Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs, *Current status of processed food segmentation market*, 2014, pp. 31-32.
- [9] Ministry of Environment, 2017 National Waste Generation and Disposal Status, 2018.
- [10] Ministry of Environment, <http://me.go.kr>, 2020.
- [11] Ministry of Environment, Simplified measurement method for packing materials and packaging methods of products, 2015.
- [12] Research Institute of Dasan Pack Co., Ltd, Internal technical report, 2019.
- [13] Shin, Y.S., Attack of Microplastic, *MDJournal*, <http://www.mdjournal.kr/news/articleView.html?idxno=30550>, 2019.
- [14] Song, B.G., Eliminate plastic double packaging and create new regulations for packaging of electronic products, the government's drive to prevent overpacking, *KukiNews*, <http://www.kukinews.com/news/article.html?no=622657>, 2019.
- [15] Sustainable Apparel Coalition, <https://apparelcoalition.org/the-higg-index>, 2019.

## ORCID

Ho-jin Hong | <http://orcid.org/0000-0001-8093-2358>  
 Hyun-min Cho | <http://orcid.org/0000-0001-9030-4144>  
 Seong-Hoon Choi | <http://orcid.org/0000-0003-0152-2356>