

국내 생활폐기물 분야 플라스틱 비재활용 처리량 요인분해 연구

Decomposition Analysis on Non-Recycled Plastics in Domestic Residential Wastes

한 준*
Joon Han

요약: 플라스틱으로 인한 환경오염 피해가 늘어나고 플라스틱 재활용의 중요성이 커지고 있는 가운데, 재활용되지 않고 소각, 매립 등으로 처리되는 플라스틱 양을 줄일 필요성이 더욱 커지고 있다. 플라스틱 비재활용 처리량은 여러 복합적인 요인들에 의한 영향을 받고, 요인별 효과가 각기 다르기 때문에 이에 대한 면밀한 분석이 필요하다. 이 연구는 로그 평균 디비지아 지수(Log Mean Divisia Index; LMDI) 방법론을 활용하여 1998~2018년 기간 생활폐기물 분야에서의 플라스틱 비재활용 처리량 변화에 관한 특성을 분석하였다. LMDI 방법론은 에너지 소비 특성이나 CO₂ 배출 특성 연구에서 많이 활용되는 방법론이지만, 여러 장점이 많고 적용 가능성이 높아 폐기물 분야에서도 활용될 수 있다. 이 연구에서는 우리나라 생활폐기물 분야에서 발생되었으나 재활용되지 않고 처리된 플라스틱 양의 변화를 비재활용률 효과, 플라스틱 비율 효과, GDP 대비 폐기물 배출량 효과, 가구당 GDP 효과, 가구인원 역수 효과, 인구 효과로 분해하고, 각 효과들이 플라스틱 비재활용 처리량에 미친 영향을 분석하였다.

핵심주제어: 생활폐기물, 플라스틱 비재활용 처리, LMDI

Abstract: While the environmental damage caused by plastics is increasing and the need to reduce the amount of plastics that are not recycled by incineration, landfill, etc. is increasing, it is necessary to closely analyze the characteristics of the amount of non-recycled plastics that are affected by various factors. This study analyzed the change in non-recycled plastics in residential waste from 1998 to 2018 using the Log Mean Divisia Index (LMDI) methodology. While the LMDI methodology is widely used in energy and climate change studies, it can also be used in waste studies because it has broad applicability and many advantages. This study decomposed the changes in the amount of non-recycled plastic from the domestic residential sector into the non-recycling rate effect, the plastic ratio effect, waste per GDP, GDP per household, the reciprocal household number effect, and the population effect. And this study analyzed the effects of the factors.

Key Words: Residential Waste, Non-Recycled Plastics, LMDI

* 인천연구원 연구위원

I. 서론

1907년 합성수지를 원료로 한 최초의 플라스틱이 개발된 이후 성형과 내구성, 편리함, 저렴한 비용 등의 장점으로 인해 1950년 전 세계 1.5백만 톤 정도이던 플라스틱 생산량은 폭발적으로 증가하여 2018년 322백만 톤에 이르게 되었다(Garside, 2019). 그러나 이렇게 생산된 플라스틱 중 대략 9% 정도만 재활용되고 12%는 소각, 79%는 매립 내지 그냥 버려진다고 추정된다(2015년 기준)(Geyer et al., 2017). 게다가 최근에는 미세플라스틱에 의한 환경오염 및 피해가 심각하다는 사실이 드러나면서 플라스틱 사용에 대한 우려가 더욱 커지고 있다(박정규·간순영, 2014; 안대한·김정인, 2018; 이혜성·김용진, 2017; 한국해양과학기술원, 2015; 한국환경공단, 2014; Engler, 2012; Jambeck et al., 2015; Karami et al., 2017; Talsness et al., 2009; UNEP, 2016; Yang et al., 2011).

플라스틱으로 인한 환경오염을 줄이기 위해서는 무엇보다 플라스틱 소비를 줄이는 동시에, 사용한 플라스틱에 대해 소각이나 매립보다는 재활용이 확대되도록 할 필요가 있다. 사실 우리나라는 다른 선진국에 비해 재활용 비율이 상당히 높은 것으로 알려졌다(OECD, 2015). 그러나 우리나라 재활용 통계가 실제 재활용되는 양이 아니라 재활용업체로 반입되는 폐기물량을 기반으로 집계되어서 실질 재활용량과는 다르다는 점이 부각되면서 플라스틱 재활용 문제는 더욱 이슈가 되었다.¹⁾

이런 가운데 정부는 2018년 ‘재활용 폐기물 관리 종합대책’을 발표하면서 2030년까지 플라스틱 폐기물 발생량을 절반으로 줄이고 재활용률을 기존 34%에서 70%까지 끌어올린다는 목표를 제시했다(관계부처 합동, 2018b). 이를 위해 제조 생산 단계에서 재활용이 어려운 제품(음식 음료·생수 페트병 등)은 단계적으로 퇴출시키고, 생산자의 재활용 책임을 강화

1) 박기묵·임진희, 2019.6.10., “[팩트체크] 대한민국 재활용률 세계 2위, 숨겨진 비밀,” 노컷뉴스, <https://www.nocutnews.co.kr/news/5159798>.

이승희, 2018.11.5., “그 많던 폐기물은 어디로 갔나 - [쓰레기와 함께 살기②] 우리나라가 쓰레기 재활용률 세계 2위라고?,” 오마이뉴스, http://www.ohmynews.com/NWS_Web/View/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0002483947.

하기로 했다. 유통 소비 단계에서는 과대 포장을 억제하고, 2022년까지 1회용컵 및 비닐봉투 사용량을 2015년 대비 35% 줄이기로 했으며, 국민 대상 집중 홍보를 통해 분리 배출된 폐기물 중 재활용 불가능한 이물질 비율을 2016년 38.8%에서 2022년 10% 미만까지 줄이기로 했다. 아울러 폐비닐류 물질 재활용률은 2016년 28%에서 2022년 40%로 높이기로 했다.

이와 같이 사용한 플라스틱에 대한 재활용을 늘려가는 것, 다시 말하면 소각이나 매립처럼 재활용되지 못하는 플라스틱 폐기물 처리량을 줄여가는 것이 중요하다. 재활용되지 못하는 플라스틱 폐기물량, 즉 플라스틱 비재활용 처리량을 실제적으로 줄여가기 위해서는 이에 영향을 주는 요인들이 무엇이고 그것들이 미치는 영향력이 어떠한지를 면밀히 분석하는 것이 필요하다. 왜냐하면 플라스틱 비재활용 처리량은 플라스틱 배출량 변화나 재활용률 변화, 1인 가구 비율, GDP, 인구 등 다양한 요인에 의한 복합적인 영향을 받기 때문이다.²⁾ 이런 다양한 요인들이 플라스틱 비재활용 처리량에 미치는 효과를 분석하고, 이에 기반해 비재활용량은 감소시키고 재활용량은 증가시키도록 하는 정책 설계가 중요하다. 그러나 아직까지 이와 관련한 연구는 국내에서 거의 없었다.

한편, 기후변화, 에너지 분야에서는 지수분해분석(Index Decomposition Analysis: IDA) 방법론을 활용하여 CO₂ 배출량 변화나 에너지 소비량 변화의 특성을 분석한 연구들이 많았다. 지수분해분석은 기본적으로 항등식 'I=P×A×T' (I: 환경영향, P: 인구, A: 풍요, T: 기술)의 변형인 Kaya 항등식을 활용하여 특정 변수의 변화량을 분해하여 분석하는 방법이다(Kaya, 1990). 예를 들어, 온실가스 배출량의 경우 항등식 '배출량=(인구×GDP/인구×에너지/GDP×배출량/에너지)'를 활용하여 온실가스 배출량에 영향을 미치는 요인들, 즉 인구, 1인당 GDP, 에너지 원단위, 배출계수가 온실가스 배출량에 미치는 영향을 각각 분석할 수 있다.

이러한 지수분해분석 방법론은 특정 항등식을 구성할 수 있다면 다른

2) 예를 들어, 플라스틱 재활용량은 플라스틱 배출량 자체가 줄어들어 감소할 수도 있고, 재활용률이 줄어들어 감소할 수도 있다.

분야에서도 얼마든지 적용할 수 있다. 그런 맥락에서 이 연구에서는 지수 분해분석의 한 방식인 로그 평균 디비지아 지수(Log Mean Divisia Index; LMDI)를 활용해 우리나라 생활 폐기물 중 플라스틱 재활용량 변화량의 특성을 분석하였다. 생활폐기물 분야는 전체 폐기물의 10.5%를 차지하고, 플라스틱 비중이 사업장생활폐기물에 이어 두 번째로 큰 분야(13.4%)이다 (환경부·한국환경공단, 2019).

이 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 OECD 국가 생활폐기물 배출 및 재활용 추이를 살펴보고, III장에서는 LMDI 방법론 소개 및 이 연구에서 구성한 항등식을 설명하고, 분석기간과 자료를 제시하였다. IV장에서는 분석결과를 제시하였고, 이를 바탕으로 V장에서 결론을 정리하였다.

II. OECD 국가 생활폐기물 배출 및 재활용 추이

1. OECD 국가 폐기물 배출 현황

다음 <표 1>은 1998~2018년 동안 OECD 국가들의 연간 1인당 생활폐기물 배출량 추이를 나타낸 것이다. 표에서 보듯이, OECD 국가들은 평균적으로 2013년 기준 1인당 연간 521 kg의 폐기물을 배출했으며, 2003~2013년 기간 1인당 연간 폐기물 배출량이 연평균 증가율(Compound Annual Growth Rate; CAGR) -0.6%로 약간씩 감소하는 추세였다. 한편, 우리나라는 2013년 기준 1인당 연간 생활폐기물 배출량이 353 kg으로 OECD 평균보다 꽤 낮았고 OECD 27위였다. 한편, <표 2>는 OECD 국가들의 생활폐기물 재활용률 추이를 나타낸 것이다. OECD 국가들은 2013년 기준 평균 24.1%의 재활용률을 나타냈고, 2003~2013년 기간 재활용률이 CAGR 2.0%로 약간씩 증가하는 추세였다. 우리나라의 경우, 재활용률이 58.7%로 가장 높았고, 2003~2013년 기간 CAGR 2.6%로 OECD 평균보다 약간 더 높았다. 이를 통해 우리나라는 생활폐기물 분야에서 OECD 국가 중에서 비교적 배출량이 적고, 재활용률은 높음을 알 수 있다.

〈표 1〉 OECD 1인당 연간 생활폐기물 발생량(generated) 추이 (1998~2018년)

(단위: kg/인)

	1998	2003	2008	2013	2018	2003-2013 CAGR (%)
덴마크	593	672	829	774	771	1.4
미국	740	765	748	726	-	-0.5
스위스	616	676	742	704	705	0.4
이스라엘	-	613	632	629	675	0.3
룩셈부르크	624	685	702	617	614	-1.0
독일	652	608	597	611	614	0.0
뉴질랜드	-	765	-	594	781	-2.5
호주	-	-	614	589	-	-
오스트리아	495	563	599	573	576	0.2
네덜란드	576	587	596	525	516	-1.1
OECD 평균	543	552	543	521	525	-0.6
프랑스	507	507	539	520	527	0.3
아이슬란드	447	486	669	510	-	0.5
노르웨이	649	406	492	496	736	2.0
핀란드	465	464	520	493	551	0.6
그리스	372	420	460	492	-	1.6
이탈리아	473	522	551	492	498	-0.6
영국	542	592	538	475	459	-2.2
스페인	558	640	550	451	476	-3.4
스웨덴	436	463	481	451	440	-0.3
포르투갈	417	448	516	441	511	-0.2
벨기에	450	463	477	436	409	-0.6
리투아니아	444	389	426	425	464	0.9
슬로베니아	583	419	538	413	485	-0.2
터키	529	464	399	400	414	-1.5
헝가리	484	463	456	380	384	-2.0
한국	349	384	386	353	-	-0.8
일본	422	424	374	350	-	-1.9
라트비아	246	301	346	344	407	1.3
체코공화국	292	279	305	305	350	0.9
슬로바키아공화국	322	280	312	303	413	0.8
폴란드	307	258	318	296	329	1.4
에스토니아	396	413	391	293	405	-3.4
칠레	-	303	336	-	-	-
아일랜드	558	733	730	-	-	-
멕시코	318	319	339	-	-	-

주1. 2013년 수치 내림차순으로 배열

주2. 이 자료는 municipal waste data로서 household and similar waste, bulky waste, electronic & electric equipment waste 등이 포함

자료 : OECD 데이터를 바탕으로 가공하여 작성(OECD 통계시스템)

〈표 2〉 OECD 생활폐기물 재활용률 추이 (1998~2018년)

	1998	2003	2008	2013	2018	2003-2013 CAGR (%)
한국	34.9	45.2	58.4	58.7	-	2.6%
독일	31.2	43.2	47.0	46.6	49.5	0.8%
스위스	32.2	32.5	33.5	33.6	30.9	0.3%
스웨덴	27.2	31.6	34.0	33.1	29.9	0.5%
벨기에	23.4	29.2	33.5	32.0	34.7	0.9%
호주	-	30.3	30.7	30.9	-	0.2%
슬로베니아	8.0	11.5	21.0	28.8	53.9	9.7%
룩셈부르크	19.8	23.0	26.1	28.3	28.1	2.1%
영국	8.7	13.3	23.4	27.3	27.1	7.4%
덴마크	22.6	25.6	34.2	26.3	31.3	0.3%
이탈리아	8.7	12.0	16.4	25.7	31.6	7.9%
미국	21.4	22.7	24.5	25.5	-	1.2%
오스트리아	22.4	22.4	30.2	25.3	25.8	1.2%
아이슬란드	9.0	14.2	17.3	25.3	-	6.0%
OECD 평균	16.8	19.8	22.8	24.1	25.9	2.0%
네덜란드	21.6	26.2	24.8	23.9	27.0	-0.9%
노르웨이	16.9	31.4	28.8	23.4	31.0	-2.9%
프랑스	11.6	15.0	18.5	21.7	25.1	3.7%
헝가리	1.4	2.7	13.7	21.4	29.0	23.1%
체코공화국	0.6	0.6	10.2	21.2	27.2	41.8%
리투아니아	0.0	0.0	7.4	21.0	27.0	-
일본	12.1	16.8	19.3	20.4	-	1.9%
라트비아	0.0	2.3	5.7	19.9	22.2	24.3%
핀란드	25.4	25.1	25.2	19.0	29.1	-2.7%
폴란드	0.1	1.5	8.9	15.8	26.2	26.9%
스페인	-	-	15.4	15.5	18.3	-
에스토니아	0.0	16.8	17.6	13.7	25.8	-2.0%
포르투갈	1.9	4.8	10.4	12.9	12.8	10.3%
그리스	8.1	8.1	15.7	12.2	-	4.2%
이스라엘	-	-	-	7.3	6.7	-
슬로바키아공화국	1.7	3.1	3.7	6.7	26.8	7.9%
터키	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	-
칠레	-	-	-	-	-	-
멕시코	2.4	2.5	3.6	-	-	-
아이슬란드	8.3	25.1	31.5	-	-	-
캐나다	21.2	-	17.5	-	-	-

주. 2013년 수치 내림차순으로 배열

자료: OECD 데이터를 바탕으로 가공하여 작성(OECD 통계시스템)

2. 우리나라 폐기물 배출 통계

우리나라 폐기물 통계는 다음 <그림 1>과 같이 생활폐기물과 사업장 폐기물로 구분되며, 사업장폐기물은 사업장일반폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물로 구분된다. 그리고 사업장일반폐기물은 다시 사업장생활계폐기물과 사업장배출시설계폐기물로 나뉘는데, 사업장생활계폐기물은 생활폐기물과 같이 합쳐 생활폐기물로 간주된다. 다시 말하면, 생활폐기물은 사업장폐기물 이외의 폐기물, 혹은 일련의 개보수 공사 및 작업 등으로 인해 생기는 5톤 미만의 폐기물을 말한다(환경부·한국환경공단, 2019).

<그림 1> 우리나라 폐기물 통계 분류



출처 : 환경부·한국환경공단(2019)

우리나라 폐기물 통계는 환경부가 전국 모든 시·군·구 기초지자체 관할 폐기물처리업체로부터 받는 보고를 바탕으로 매년 작성되고 있는데(환경부·한국환경공단, 2019), 그중에서 생활폐기물 통계와 관련된 목록은 <표 3>과 같다. 생활폐기물은 크게 종량제 방식에 의한 배출, 재활용 가능 자원 분리 배출, 음식물류 폐기물 분리배출로 구분할 수 있다. 여기서 재활용량은 '재활용시설로 반입 처리된 관할구역내의 재활용을 목적으로 별도로 분리 배출한 연간 폐기물 양'을 의미한다.

〈표 3〉 생활폐기물 통계 구분

배출 방식	세부 구분	
종량제 방식에 의한 혼합 배출	가연성	음식물채소류
		종이류
		나무류
		고무피혁류
		플라스틱류*
	기타	
	불연성	유리류
		금속류
		토사류
		기타
기타(배출불명 등)		
재활용 가능자원 분리 배출	종이류	
	유리병류	
	캔류	
	플라스틱류*	
	합성수지류*	
	발포수지류*	
	전자제품	
	전지류	
	타이어	
	윤활유	
	형광등	
	고철류	
	의류	
	영농폐기물	
	가구류	
	폐식용유	
	기타	
음식물류 폐기물 분리 배출		

* 이 연구에서 플라스틱 범주로 간주한 항목
출처 : 환경부 환경통계포털

3. 우리나라 플라스틱 폐기물 통계

우리나라 분야별 폐기물 배출량 및 비중과 분야별 폐플라스틱 배출량 및 비중은 다음 〈표 4〉와 같다. 표에서 보듯이 2018년 기준 전체 폐기물 배출량 중에서 건설폐기물이 75.5백만 톤 정도(46.5%)를 차지하여 가장

비중이 컸고, 그다음 사업장 배출시설 폐기물 61.2백만 톤(37.7%), 생활폐기물 17.1백만 톤(10.5%) 등의 순이었다. 페플라스틱의 경우, 사업장 배출시설 폐기물 분야에서 5.0백만 톤(58.9%)을 차지해 가장 비중이 컸고, 그다음 생활폐기물 분야 2.3백만 톤(27.0%), 건설폐기물 분야 0.7백만 톤(7.9%) 순이었다. 폐기물 배출량 중에 페플라스틱 비중을 분야별로 살펴보면 사업장 생활폐기물 분야가 15.0%로 가장 컸고, 그다음 생활폐기물 분야(13.4%), 사업장 배출시설 폐기물(8.2%) 순이었다.

〈표 4〉 우리나라 분야별 폐기물 배출량 및 페플라스틱 배출량 (2018년 기준)

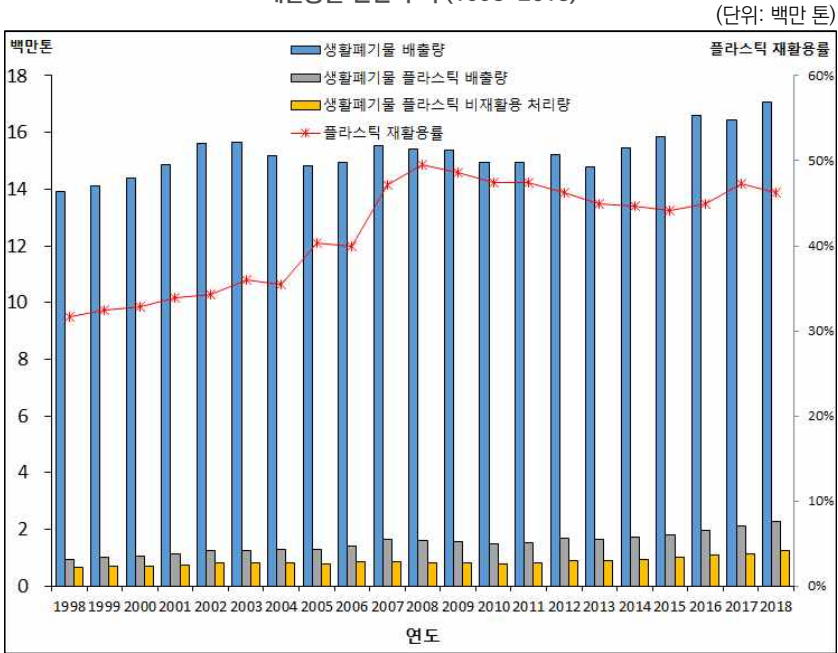
(단위: 톤)

	사업장 배출시설폐기물	사업장 생활폐기물	생활폐기물	건설 폐기물	지정 폐기물	계
전체 배출량(a)	61,220,319 (37.7%)	3,389,427 (2.1%)	17,063,495 (10.5%)	75,537,079 (46.5%)	5,378,575 (3.3%)	162,588,893 (100%)
페플라스틱 배출량(b)	5,001,230 (58.9%)	509,577 (6.0%)	2,290,266 (27.0%)	666,490 (7.9%)	21,170 (0.2%)	8,488,732 (100%)
페플라스틱 비중 (b/a×100)	8.2%	15.0%	13.4%	0.9%	0.4%	5.2%

자료: 환경부·한국환경공단(2019)을 바탕으로 작성

한편, 1998~2018년 기간 동안 우리나라 생활폐기물 배출량 및 플라스틱 배출량, 플라스틱 비재활용 처리량 추이는 다음 〈그림 2〉와 같다. 여기서 플라스틱 배출량은 종량제 방식에 의해 혼합 배출되는 양과 재활용 가능하여 분리 배출되는 양을 합한 수치이다. 그리고 플라스틱 비재활용 처리량은 플라스틱 배출량에서 재활용 가능하여 분리 배출되는 양과 종량제 방식에 의해 혼합배출된 후 재활용된 양을 뺀 수치이다. 그림에서 보는 바와 같이, 생활폐기물 배출량은 1998~2018년 기간 동안 연평균증가율 1.0%로 서서히 증가했고, 플라스틱 배출량은 4.6%로 빠르게 증가했다. 한편, 플라스틱 비재활용 처리량은 연평균증가율 3.3%로 증가했고, 플라스틱 재활용률은 2008년 49.1%까지 증가했다가 이후 감소추세이다.

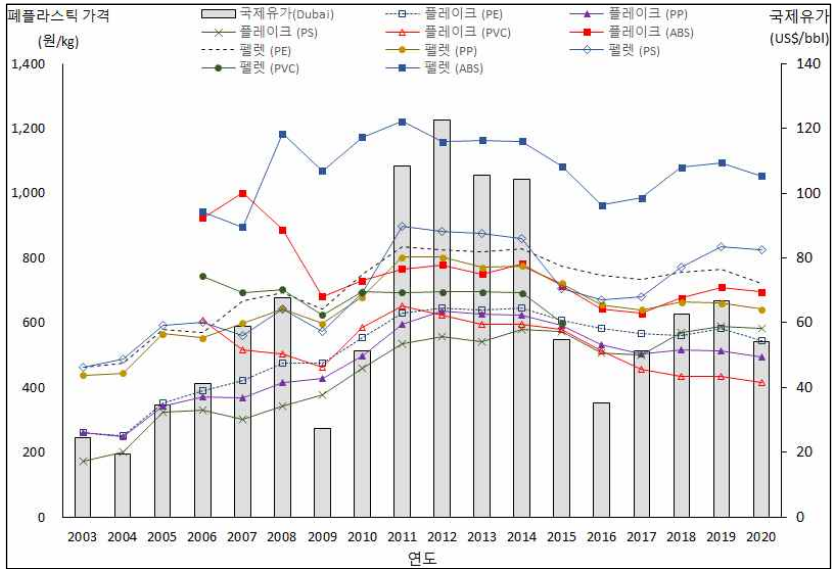
〈그림 2〉 우리나라 생활폐기물 분야 배출량, 플라스틱 배출량, 플라스틱 비재활용 처리량 및 재활용률 연간 추이 (1998-2018)



자료: 환경부 환경통계포털 데이터를 가공

플라스틱 재활용이 얼마나 되는가는 무엇보다 폐플라스틱의 경제성과 밀접한 관련이 있기 때문에(이희선, 2018) 2003~2020년 기간 재활용 가능한 폐플라스틱의 국내 가격 및 국제유가 추이를 살펴보면 다음 〈그림 3〉과 같다. 그림에서 보듯이, 재활용이 가능한 폐플라스틱의 가격은 국제유가와 대략 비슷한 추세를 보인다. 이는 폐플라스틱 가격이 국제유가에 어느 정도 영향을 받기 때문인데, 국제유가가 신규 플라스틱 가격에 영향을 주고 그에 따라 경쟁관계에 있는 재활용 가능한 폐플라스틱의 경제성도 영향을 받은 것으로 추정된다. 예를 들어, 2008년 글로벌 경제위기가 닥쳐 국제유가가 급감했을 때 폐플라스틱의 가격도 상당히 떨어졌다. 그리고 그로 인해 〈그림 4〉와 같이 우리나라 폐플라스틱 수출량 또한 2010년부터 대폭 감소하는 양상을 보였다.

〈그림 3〉 우리나라 폐플라스틱 가격 추이 및 국제유가 추이 (2003-2020)

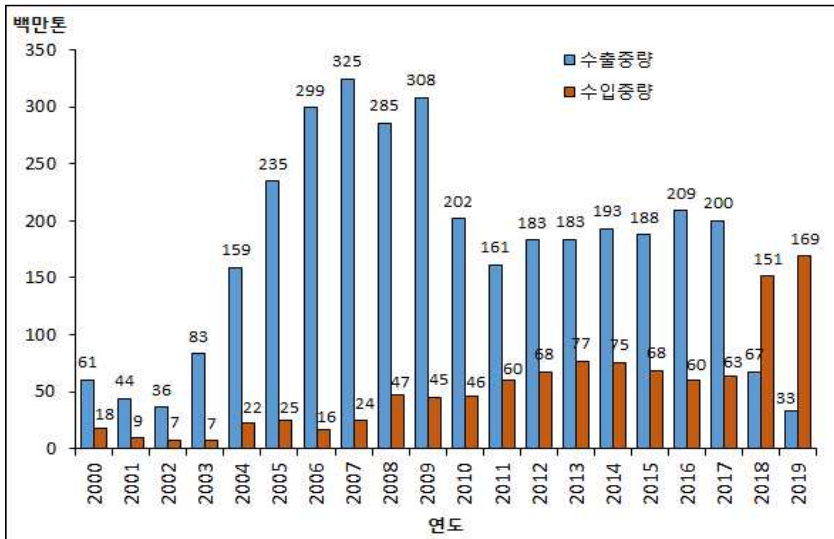


주. 가격은 매년 3월 기준 가격임

자료: 자원순환정보시스템 자료 및 국가에너지통계종합정보시스템을 바탕으로 가공

〈그림 4〉 우리나라 폐플라스틱 수출입통계 (2000-2019)

(단위: 백만 톤)



자료: 관세청 수출입무역통계

III. 방법론

1. LMDI 분석

지수분해분석(Index Decomposition Analysis; IDA)은 경제시스템의 변화를 몇 개의 지수로 단순화하는 지수 이론(Index Theory)에 근거한 방법론으로서(김진수·허은녕, 2005; 진상현·정경화, 2013) 1970년대 후반부터 에너지 소비특성 연구나 온실가스 배출특성 연구에서 많이 활용되어 왔다(Ma, 2014; Mairet and Decellas, 2009; Rogan et al., 2012; Zhao et al., 2012; 김수이·김현석, 2011; 김수이·정경화, 2011). 지수분해분석은 여러 개의 요인으로 구성된 중심 함수를 정의한 뒤 이를 다양한 방식으로 분해하여 중심 함수에 미치는 각 요인들의 영향을 분석한다(Ang, 2004). 다시 말하면, 특정 기간 중심 함수값의 변화가 있었을 때 이것에 영향을 미친 각 요인들의 효과를 분석하는 것이다. 지수분해분석의 장점은 적은 양의 자료만 가지고도 분석이 가능하고, 기준년도 및 비교년도 자료만 있으면 분석할 수 있어 분석기간에서 제한이 적으며, 기준년도와 비교년도 간 비율 변화나 변화량 모두 분석할 수 있다는 것이다(김진수·허은녕, 2005).

지수분해분석에 해당되는 방식은 여러 가지가 있는데, 그 중에서 로그 평균 디비지아 방식(Log Mean Divisia Index; LMDI)은 기준년도와 비교년도의 로그 평균을 이용하여 각 요인들의 영향을 분석하는 방식이다(김수이, 2018; 에너지경제연구원, 2007). LMDI는 요인들에 의한 분해 후에 잔차(residuals)가 남지 않고, 이론적 근거가 튼튼하고, 적용 가능성이 넓으며, 결과 해석 또한 용이하다는 점 때문에 우수하다는 평가를 받고 있다(Ang, 2004; Muller, 2006).

지수분해분석 방법 및 LMDI 방식이 주로 에너지 소비 특성이나 온실가스 배출 특성 연구에 주로 활용되긴 했지만, 적용 가능성이 높아 다른 분야에도 적용이 가능하며, 폐기물 분야에도 이미 적용된 적이 있다(He et al., 2018). 이런 배경에서 이 연구는 LMDI 방법을 적용하여 우리나라 생

활폐기물 분야에서 발생하는 플라스틱 중 재활용되지 못하고 처리되는 양의 특성을 분석하였다. 구체적으로는 우리나라 생활폐기물 분야 플라스틱 비재활용 처리량의 변화를 비재활용률 효과, 플라스틱 비율 효과, GDP 대비 폐기물 배출량 효과, 가구당 GDP 효과, 가구인원 역수 효과, 인구 효과로 분해하고, 각 효과들이 플라스틱 비재활용 처리량에 미친 영향을 분석하였다. 요인들을 이와 같이 선정한 것은 Kaya(1990)를 기반으로 해서 플라스틱 배출이라는 환경영향이 인구 특성과 소득 특성, 플라스틱 배출 양상에 의한 영향을 받는다는 개념을 고려해서이다.

여기서 활용된 요인들을 좀 더 자세히 살펴보면 다음과 같다. 먼저 비재활용률 효과는 배출되는 플라스틱 대비 재활용되지 않는 플라스틱의 양의 비율을 의미한다. 비재활용률 효과가 커질수록 재활용되지 않고 처리되는 플라스틱 배출량이 커지게 된다. 플라스틱 비율 효과는 배출되는 폐기물에 포함된 플라스틱의 비율을 의미하며, 이 효과가 커질수록 플라스틱 비재활용 처리량도 늘어나게 된다. GDP 대비 폐기물 배출량 효과와 가구당 GDP 효과는 모두 그 효과가 클수록 플라스틱 비재활용 처리량도 늘어난다. 가구인원 역수 효과는 최근 1인가구가 늘어나는 것을 반영해 포함시킨 요인이다. 가구인원수가 적을수록, 다시 말하면 1인가구가 많을수록, 쓰레기 배출량이 오히려 높으며(환경부, 2013), 최근 1인 가구 증가로 인해 플라스틱 배출도 늘어나고 있다.³⁾ 1인 가구 증가에 따른 가구인원 역수의 증가는 플라스틱 비재활용 처리량을 증가시키는 방향으로 영향을 준다. 아울러 인구 효과 역시 플라스틱 비재활용 처리량이 커지는 쪽으로 영향을 준다.

한편, 우리나라 생활폐기물 분야에서의 플라스틱 비재활용 처리량은 다음과 같은 항등식으로 표현함으로써 여러 효과들로 분해하여 나타낼 수 있다.

3) 변기성, 2019.4.6., “[쓰레기의 나라]⑤ 배달 음식, 도시락 포장재… 1인 가구가 부른 쓰레기의 비극,” KBS, <http://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=4174796>.

$$NR = \frac{NR}{PL} \times \frac{PL}{WA} \times \frac{WA}{GP} \times \frac{GP}{FA} \times \frac{FA}{PO} \times PO = R \times L \times W \times G \times F \times P \quad (1)$$

NR = 플라스틱 비재활용 처리량

PL = 플라스틱 배출량

WA = 폐기물 배출량

GP = 실질 GDP

FA = 가구수

PO = 인구

N = 플라스틱 배출량 대비 플라스틱 비재활용 처리량 (비재활용률 효과)

L = 폐기물 배출량 대비 플라스틱 배출량 (플라스틱 비율 효과)

W = GDP 대비 폐기물 배출량 (GDP 대비 폐기물 배출량 효과)

G = 가구수 대비 GDP (가구당 GDP 효과)

F = 인구 대비 가구수 (가구인원 역수 효과)

P = 인구 (인구 효과)

이때 플라스틱 비재활용 처리량이 시간의 함수라고 가정하고 시간에 대해 미분하면 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있고, 이는 다시 (3)과 같이 표현할 수 있다. 식 (3)을 시간(0→T)까지 적분하면 식 (4)와 같고, 다시 양변에 $\frac{NR(T) - NR(0)}{\ln(NR(T)/NR(0))}$ 를 곱하면 식 (5)와 같다.

$$\frac{1}{NR} \frac{dNR}{dt} = \frac{1}{N} \frac{dN}{dt} \times \frac{1}{L} \frac{dL}{dt} \times \frac{1}{W} \frac{dW}{dt} \times \frac{1}{G} \frac{dG}{dt} \times \frac{1}{F} \frac{dF}{dt} \times \frac{1}{P} \frac{dP}{dt} \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} \ln NR = \frac{d}{dt} \ln N \times \frac{d}{dt} \ln L \times \frac{d}{dt} \ln W \times \frac{d}{dt} \ln G \times \frac{d}{dt} \ln F \times \frac{d}{dt} \ln P \quad (3)$$

$$\ln \frac{NR(T)}{NR(0)} = \ln \frac{N(T)}{N(0)} + \ln \frac{L(T)}{L(0)} + \ln \frac{W(T)}{W(0)} + \ln \frac{G(T)}{G(0)} + \ln \frac{F(T)}{F(0)} + \ln \frac{P(T)}{P(0)} \quad (4)$$

$$NR(T) - NR(0) = \frac{NR(T) - NR(0)}{\ln(NR(T)/NR(0))} \times \left[\ln \frac{N(T)}{N(0)} + \ln \frac{L(T)}{L(0)} + \ln \frac{W(T)}{W(0)} + \ln \frac{G(T)}{G(0)} + \ln \frac{F(T)}{F(0)} + \ln \frac{P(T)}{P(0)} \right] \quad (5)$$

여기서 $\frac{NR(T) - NR(0)}{\ln(NR(T)/NR(0))} \times \ln \frac{X(T)}{X(0)}$ 형태를 X_{eff} 라고 정의하면 식 (5)는 식 (6)과 같이 정리할 수 있다.

$$\Delta NR = NR(T) - NR(0) = N_{eff} + L_{eff} + W_{eff} + G_{eff} + F_{eff} + P_{eff} \quad (6)$$

이와 같이 플라스틱 비재활용 처리량의 변화는 비재활용률 효과, 플라스틱 비율 효과, GDP 대비 폐기물 배출량 효과, 가구당 GDP 효과, 가구인원 역수 효과, 인구 효과로 분해할 수 있다.

2. 분석 기간과 분석자료

이 연구의 분석 기간은 1998년부터 2018년까지이며, 매 5년 단위로 분석을 하였다. 이 연구에 사용된 자료는 인구, 가구수, 실질 GDP, 생활폐기물 배출량, 생활폐기물 중 플라스틱 배출량, 생활폐기물 중 플라스틱 비재활용 처리량 자료이다. 실질 GDP는 2015년도 기준년 가격 수치를 활용하였다. 생활폐기물 배출량, 플라스틱 배출량, 플라스틱 비재활용량 자료는 모두 환경부 환경통계포털 자료를 활용하였는데, 플라스틱 비재활용 처리량의 경우 플라스틱 배출량에서 재활용 가능하여 분리 배출되는 양과 종량제 방식에 의해 혼합배출된 후 재활용된 양을 빼서 산정하였다.

IV. 분석결과

LMDI를 이용해 1998~2018년 기간 우리나라 생활폐기물 분야 플라스틱 비재활용 처리량을 요인 분해한 결과는 다음 <표 5> 및 <그림 5>와 같다. <그림 5>는 <표 5> 내용을 그래프로 가시화한 것이다. <표 5>에서 보듯이, 1998~2018년 사이 우리나라 생활폐기물 분야 플라스틱 비재활용 처리량은 591,957톤 증가했는데, 이는 플라스틱 비율 효과(626,063톤)의 영향을 가장 크게 받았고, 그다음 GDP 대비 폐기물 배출량 효과(-618,934톤), 가구당 GDP 효과(442,726톤), 가구인원 역수 효과(271,033톤), 비재활용률 효과(-217,422톤), 인구 효과(88,492톤) 순으로 영향을 받았다. 즉, 이 기간 폐기물에 포함된 플라스틱 비중 증가가 플라스틱 비재활용 처리량이 626,063톤만큼 증가하도록 영향을 주었다. 반면, GDP당 배출하는 폐기물 감소는 플라스틱 비재활용 처리량이 618,934톤만큼 감소하도록 영향을 주었다. 마찬가지로 가구당 GDP 증가와 1인 가구 증가, 인구 증가는 플라스틱 비재활용 처리량이 증가하도록 각각 442,726톤, 271,033톤, 88,492톤만큼 영향을 주었다. 플라스틱 배출량 대비 비재활용 처리량 감소, 즉 재활용률 증가는 플라스틱 비재활용 처리량이 217,422톤 감소하도록 영향을 주었다.

기간별로 구분해보면, 2013~2018년 기간에 생활폐기물 플라스틱 비재활용 처리량이 328,099톤만큼 증가해 다른 기간에 비해 가장 크게 증가했다. 이는 이전 기간과 비교했을 때 가구인원 역수 효과 증가(100,222톤)가 상대적으로 컸고, GDP 대비 폐기물 배출량 효과 감소(-3,410톤)가 상대적으로 작았기 때문이다. 구체적으로 배경을 살펴보면, 국내 인구 증가율이 점차 감소하는 상황에서 2013~2018년 기간에 가구수 연평균증가율이 2.2%로 이전 기간(평균 2.0%)에 비해 더 높았다. 즉, 1인 가구가 대폭 늘어나면서 플라스틱 비재활용 처리량이 대폭 증가하는데 영향을 준 것이다. 그리고 GDP당 폐기물 배출량 효과의 감소폭이 시간이 지남에 따라 점차 줄어들었는데, 이는 우리나라가 소득 증가에 따라 소득당 폐기물 배출량

이 줄어들고 있음을 보여준다.

효과별로 보면, 비재활용률효과와 경우 2003~2008년 기간에 대폭 감소했다가 2008~2013년 기간에만 유달리 (+)로 증가한 것이 특징이다. 이는 2003~2008년 기간 사이 국제유가가 증가했다가 2008년 이후 대폭 하락함에 따른 영향으로 풀이된다. 즉, 국제 유가 증가는 신규 플라스틱 가격 상승을 유발하고 그에 따라 경쟁관계에 있는 재활용 가능한 폐플라스틱의 경제성도 상승하여 플라스틱 비재활용 처리량이 줄어든 것이다. 이후 국제 유가가 하락하게 되었을 때는 반대로 영향을 미쳤다. 가구인원 역수 효과의 경우, 앞서 기술한대로 가구수 연평균증가율이 가장 높았던 2013~2018년 기간에 1인 가구가 대폭 늘면서 가구인원 역수 효과 역시 가장 컸다. 아울러 가구당 GDP 효과 증가폭은 시간이 지남에 따라 점차 줄어들었고, GDP 대비 폐기물 배출량 효과는 점차 증가했다. 플라스틱 비율 효과의 경우, 2008~2013년 기간에 플라스틱 비율 증가폭이 이전 기간 대비 대폭 줄었다가 2013년 이후 다시 증가하였다. 이는 플라스틱 비율이 플라스틱 재활용량의 영향을 많이 받기 때문이다.⁴⁾ 즉, 앞서 기술한 대로, 2008~2013년 기간에 국제유가 하락 영향으로 플라스틱 재활용량이 감소하였고 이것이 플라스틱 배출량 감소에도 많은 영향을 주었다.

〈표 5〉 우리나라 생활폐기물 플라스틱 비재활용 처리량 분해분석 결과

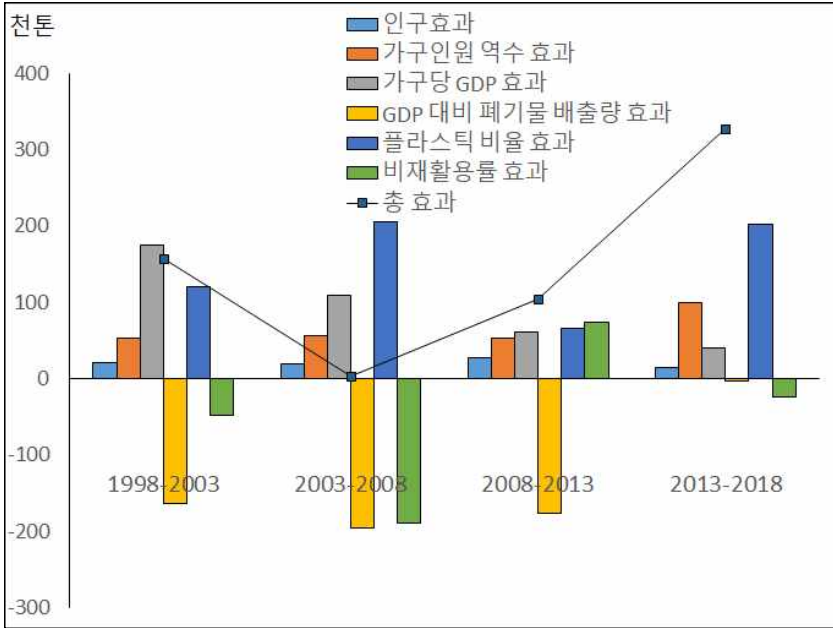
(단위: 톤)

	1998-2003	2003-2008	2008-2013	2013-2018	1998-2018
인구효과	20,932	18,797	27,047	14,084	88,492
가구인원 역수 효과	52,390	56,093	52,522	100,222	271,033
가구당 GDP 효과	175,046	108,306	60,988	39,974	442,726
GDP 대비 폐기물 배출량 효과	-164,425	-195,357	-176,013	-3,410	-618,934
플라스틱 비율 효과	120,907	205,052	65,206	201,361	626,063
비재활용률 효과	-48,120	-190,081	74,567	-24,132	-217,422
총 효과	156,731	2,810	104,317	328,099	591,957

4) 플라스틱 배출량에서 플라스틱 재활용량이 차지하는 비중은 2008년 기준 34.2%, 2013년 기준 23.7%, 2018년 기준 19.5%였다.

〈그림 5〉 우리나라 생활폐기물 플라스틱 비재활용 처리량 분해분석 결과

(단위: 톤)



V. 결론

이 연구는 LMDI 방법론을 활용하여 1998~2018년 기간 동안 우리나라 생활폐기물 중 플라스틱 비재활용 처리량 변화의 특성을 분석한 연구이다. LMDI 방법론은 원래 에너지 소비특성이나 CO₂ 배출특성을 분석하는데 많이 활용되는 방법론이지만, 여러 장점이 많고 적용가능성이 높아서 이 연구에서 활용하였다. 구체적으로는 우리나라 생활폐기물 분야 플라스틱 비재활용 처리량 변화를 비재활용률 효과, 플라스틱 비율 효과, GDP 대비 폐기물 배출량 효과, 가구당 GDP 효과, 가구인원 역수 효과, 인구효과로 분해하였고, 각 효과들이 플라스틱 비재활용 처리량에 미친 영향을 분석하였다. 이 연구를 통해 얻은 주요 결과 및 정책적 시사점은 다음과 같다.

첫째, 1998~2018년 기간 우리나라에서 재활용되지 않은 플라스틱 처리량이 증가한 것은 플라스틱 비율 효과의 영향이 가장 컸다. 이는 결국 생활용품에서 차지하는 플라스틱의 비중 증가가 재활용되지 않는 플라스틱 처리량 증가에서 가장 중요한 요인이라는 것이다. 플라스틱으로 인한 환경오염이 점차 심각해지는 것을 고려했을 때, 플라스틱 생산과 소비 자체를 줄여나갈 수 있도록 해야 하며, 이를 위해 일회용 플라스틱 사용 규제나 과도한 포장 규제를 비롯해 친환경적인 비플라스틱 소재로의 대체 지원 등 다각적인 대책이 강화되어야 한다.

둘째, 2008~2013년 사이 플라스틱 비재활용 처리량이 대폭 증가했는데, 이는 국제유가 하락에 따라 재활용 가능한 폐플라스틱 가격이 하락한 영향을 받은 것으로 추정된다. 플라스틱 재활용 확대의 중요성을 고려할 때, 재활용 가능한 폐플라스틱 가격을 시장에만 맡겨둘 것이 아니라 생산자책임재활용제도(EPR) 강화, 배출되는 폐플라스틱 잔재물 감소를 위한 분리배출 감독 강화, 재활용업체 지원 등을 통해 플라스틱 재활용 수거 및 처리 시스템이 잘 유지되도록 관리할 필요가 있다.

셋째, 플라스틱 비재활용 처리량 증가와 관련해 인구효과로 인한 영향보다 1인 가구 증가로 인한 영향이 더 크게 나온 것은 주목할 만한 결과이다. 1인 가구의 경우, 편의성 때문에 배달음식 등에서 일회용품 사용이 많기 때문이다. 이와 관련해 배달음식업체에서 일회용품 사용을 줄이도록 규제 및 교육, 관리 감독을 강화해야 하며, 재사용 내지 재활용이 용이한 제품 사용이 확대되도록 대책을 강구해야 한다.

넷째, 우리나라에서 플라스틱 실질 재활용량에 관한 조사 및 통계 구축이 아직 제대로 되고 있지 않은 상황에서 향후 이에 대한 체계적이고 정기적인 조사와 통계 구축이 되어야 한다. 정부는 이미 폐기물 발생량 중 실질 재활용량의 비율인 순환이용률 목표를 제시한 바 있다(관계부처 합동, 2018a). 이 목표 달성을 위해서라도 실질재활용량에 대한 정확한 집계가 필요하며, 재활용 수거업체에 의한 정확한 보고가 이루어질 수 있도록 관계 당국의 지원과 감독이 더 강화되어야 한다.

■ 참고문헌 ■

- 관계부처 합동, 2018a, 『재활용 폐기물 관리 종합대책』, 세종: 관계부처합동.
- _____, 2018b, 『제1차 자원순환기본계획(2018~2027)』, 세종: 관계부처합동.
- 김수이, 2018, “국내 발전부문의 온실가스 배출 요인 분해 분석,” 『에너지경제연구』, 17(1), pp.241-264, DOI: 10.22794/keer.2018.17.1.009.
- 김수이·김현석, 2011, “LMDI 방법론을 이용한 국내 제조업의 에너지 소비 요인 분해 분석,” 『에너지경제연구』, 10(1), pp.49-76, DOI: 10.22794/keer.2011.10.1.003.
- 김수이·정경화, 2011, “LMDI 방법론을 이용한 국내 제조업의 온실가스 배출 요인분해 분석,” 『자원·환경경제연구』, 20(2), pp.229-254.
- 김진수·허은영, 2005, “구조분해분석을 통한 국내 산업별 에너지 소비 변화요인 연구,” 『자원환경경제연구』, 14(20), pp.257-290.
- 박기목·임진희, 2019.6.10., “[팩트체크] 대한민국 재활용률 세계 2위, 숨겨진 비밀,” 노컷뉴스, <https://www.nocutnews.co.kr/news/5159798>.
- 박정규·간순영, 2014, “잔류성.생물축적성 물질 피해저감을 위한 미세플라스틱(Microplastic) 관리방안,” 『환경정책연구』, 13(2), pp.65-98, DOI: 10.17330/joep.13.2.2014.06.65.
- 변기성, 2019.4.6., “[쓰레기의 나라]⑤ 배달 음식, 도시락 포장재... 1인 가구가 부른 쓰레기의 비극,” KBS, <http://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=4174796>.
- 안대한·김정인, 2018, “미세플라스틱으로 인한 해양오염 방지 정책,” 『환경정책』, 26(3), pp.77-102, DOI: 10.15301/jepa.2018.26.3.77.
- 에너지경제연구원, 2007, 『산업부문 에너지이용효율화 추이 분석기법 및 Tool 개발』, 과천: 산업자원부.
- 이승희, 2018.11.5., “그 많던 폐기물은 어디로 갔나 - [쓰레기와 함께 살기②] 우리나라가 쓰레기 재활용률 세계 2위라고?,” 오마이뉴스, http://www.ohmynews.com/NWS_Web/View/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0002483947.
- 이혜성·김용진, 2017, “우리나라 미세플라스틱의 발생잠재량 추정-1차 배출원 중심으로,” 『바다: 한국해양학회지』, 22(3), pp.135-149.
- 이희선, 2018, 폐플라스틱의 발생과 재활용 현황, 『한국의 사회동향 2018』, (pp.263-269), 대전: 통계청 통계개발원.
- 진상현·정경화, 2013, “지역별 온실가스 배출특성에 관한 연구: 지수분해분석을 중심으로,” 『한국정책과학학회보』, 17(2), pp.1-26.
- 한국해양과학기술원, 2015, 『미세플라스틱에 의한 연안환경 오염 연구』, 안산: 한국해양과학기술원.
- 한국환경공단, 2014, 『세계 플라스틱 재활용의 전망과 동향』, (KECO: 2014-RE08-25 2014 국제환경정보 동향자료집), 인천: 한국환경공단.

- 환경부, 2013, 『제4차(2011~2012년) 전국폐기물통계조사』, 세종: 환경부.
- 환경부·한국환경공단, 2019, 『전국 폐기물 발생 및 처리 현황(2018년도)』, 세종: 환경부.
- Ang, B. W., 2004, "Decomposition Analysis for Policy-making in energy: Which is the preferred method?," *Energy Policy*, 32(9), pp.1131-1139, DOI: 10.1016/S0301-4215(03)00076-4.
- Engler, R. E., 2012, "The complex interaction between marine debris and toxic chemicals in the ocean," *Environmental Science & Technology*, 46(22), pp.12302-12315, DOI: 10.1021/es3027105.
- Garside, M., 2019, *Global plastic production from 1950 to 2017 (in million metric tons)*, Statista, Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>.
- Geyer, R., J. R. Jambeck, and K. L. Law, 2017, "Production, use, and fate of all plastics ever made," *Science Advances*, 3(7), e1700782, DOI: 10.1126/sciadv.1700782, Retrieved from <https://advances.sciencemag.org/content/advances/3/7/e1700782.full.pdf>.
- He, H., C. J. Reynolds, Z. Zhou, Y. Wang, and J. Boland, 2018, "Changes of waste generation in Australia: Insights from structural decomposition analysis," *Waste Management*, 83, pp.142-150, DOI: 10.1016/j.wasman.2018.11.004.
- Jambeck, J. R., R. Geyer, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, and A. Andrady, 2015, "Plastic waste inputs from land into the ocean," *Science*, 347(6223), pp.768-771.
- Karami, A., A. Golieskardi, C. K. Choo, V. Larat, T. S. Galloway, and B. Salamatinia, 2017, "The presence of microplastics in commercial salts from different countries," *Scientific Reports*, 7, 46173, DOI: 10.1038/srep46173.
- Kaya, Y., 1990, *Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: Interpretation of proposed scenarios*, IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Paris, p.76.
- Ma, C., 2014, "A multi-fuel, multi-sector and multi-region approach to index decomposition: An application to China's energy consumption 1995~2010," *Energy Economics*, 42, pp.9-16, DOI: 10.1016/j.eneco.2013.11.009.
- Mairet, N. and F. Decellas, 2009, "Determinants of energy demand in the French service sector: A decomposition analysis," *Energy Policy*, 37, pp.2734-2744, DOI: 10.1016/j.enpol.2009.03.002.
- Muller, A., 2006, *Putting decomposition of energy use and pollution on a firm footing - Clarifications on the residual, zero and negative values and strategies to assess the performance of decomposition methods*, (Working Papers in

- Economics 215), Goteborg, Sweden: Goteborg University, Department of Economics.
- OECD, 2015, *Environment at a glance 2015-OECD indicators*, Paris: OECD Publishing.
- Rogan, F., C. J. Cahill, and B. P. O. Gallachoir, 2012, "Decomposition analysis of gas consumption in the residential sector in Ireland," *Energy Policy*, 42, pp.19-36, DOI: 10.1016/j.enpol.2011.10.059.
- Talsness, C. E., A. J. Andrade, S. N. Kuriyama, J. A. Taylor, and F. S. Vom Saal, 2009, "Components of plastic: Experimental studies in animals and relevance for human health," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 364(1526), pp.2079-2096.
- UNEP (United Nations Environment Programme), 2016, *Frontiers 2016 report: Emerging issues of environmental concern*, Nairobi, Kenya: UNEP.
- Yang, C. Z., S. I. Yaniger, V. C. Jordan, D. J. Klein, and G. D. Bittner, 2011, "Most plastic products release estrogenic chemicals: A potential health problem that can be solved," *Environmental Health Perspectives*, 119(7), p.989.
- Zhao, X., N. Li, and C. Ma, 2012, "Residential energy consumption in urban China: A decomposition analysis," *Energy Policy*, 41, pp.644-653, DOI: 10.1016/j.enpol.2011.11.027.
- OECD 통계시스템, <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MUNW>.
- 관세청 수출입무역통계, <https://unipass.customs.go.kr/ets/index.do>.
- 국가에너지통계종합정보시스템, <http://www.kesis.net/main/main.jsp>.
- 자원순환정보시스템, <https://www.recycling-info.or.kr/rrs/main.do>.
- 환경부 환경통계포털, <http://stat.me.go.kr/nesis/index.jsp>.

한준: 서울대학교 환경대학원 환경계획학과에서 박사학위를 취득하였고 현재 인천연구원에서 연구위원으로 재직 중이다. 기후변화 및 에너지 관련 다양한 정책연구들을 수행하고 있으며, 주요 연구 실적으로는 "An analysis of the electricity consumption reduction potential of electric motors in the South Korean manufacturing sector", "지속가능발전을 위한 에너지 지표에 관한 연구", "우리나라 전력화(Electrification)의 CO₂ 배출 영향 연구", "신고리 5·6호기 공론화 언론보도에 대한 언어 네트워크 분석: 한겨레, 조선일보를 중심으로" 등이 있다(joon@ii.re.kr).

투 고 일: 2020년 04월 05일
심 사 일: 2020년 04월 06일
게재확정일: 2020년 05월 01일