creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

경제학박사학위논문

폐기물 관리를 위한 통합경제모형 개발과 활용

2022년 08월

서울대학교 대학원

농경제사회학부 농업·자원경제학 전공

한 미 진

폐기물 관리를 위한
통합경제모형 개발과 활용

지도교수 권 오 상

이 논문을 경제학박사 학위논문으로 제출함
2022년 08월

서울대학교 대학원
농경제사회학부 농업·자원경제학 전공
한 미 진

한미진의 박사 학위논문을 인준함
2022년 08월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문 초록

폐기물 관리를 위한 통합경제모형 개발과 활용

서울대학교 대학원
농경제사회학부 농업·자원경제학 전공
한 미 진

우리나라는 일인 가구의 증가와 배달문화의 확산 등으로 인해 일회용품 사용이 증가하며 폐기물 발생량 역시 꾸준히 늘고 있다. 좁은 국토면적과 높은 인구밀도로 인해 폐기물 처리시설의 설치가 쉽지 않은 상황에서, 이와 같은 폐기물의 지속적 증가는 여러 사회문제를 초래하고 있다. 게다가 수도권 폐기물 매립지의 사용종료가 다가옴에 따라 폐기물의 매립량을 감축해야 하는데 이를 위한 '수도권매립지 생활폐기물 반입총량제' 역시 뚜렷한 효과를 보이지 못하고 있다.

이러한 상황에서 기후위기로 인해 폐기물 부문에서도 탄소 중립을 위한 온실가스 배출량 저감 목표를 설정하였다. 이에 따라 폐기물처리량뿐만 아니라 온실가스 배출량도 함께 줄여야 하는 상황이 되었다. 효과적인 정책목표 달성을 위해 정책의 효과를 비교 분석하기 위해서는 경제적 영향과 환경적 영향을 모두 고려할 수 있는 방법론이 필요하다. 이를 위해 환경과 경제 정보를 연계한 환경경제통합계정 자료를 구축하고, 환경-경제 통합분석을 통해 정책의 효과를 분석할 필요가 있다.

환경-경제 통합분석의 필요성이 높아짐에 따라 UN에서는 1993년 환경경제통합계정의 작성을 권고하였고, 이에 따라 우리나라에서도 환경보호지출

계정과 대기배출계정을 개발하여 편제하고 있다. 그러나 오랜 연구에도 불구하고 폐기물 부문에서는 통합계정이 개발되지 않았다.

본 연구에서는 폐기물 부문에 대하여 경제와 환경의 상호작용을 반영하는 환경경제통합계정을 구축하고, 이를 토대로 환경-경제 통합분석을 하여 정책분석에 적용하고 분석의 유용성을 제시한다. 보다 구체적으로는 기존의 투입산출표에 폐기물 정보를 결합한 폐기물산업연관표(Waste Input-Output table, WIO)를 구축하여 정책분석에 적용하고, 이를 토대로 환경연산일반균형(Environmental Computable General Equilibrium, 환경 CGE) 모형을 구축하여 경제적・환경적 파급효과를 분석한다.

첫 번째 연구에서는 WIO의 개념과 특징을 설명하고, 관련 분석모형을 소개한다. 다음으로 배분 행렬에 따른 시설별 폐기물처리량 변화를 통해 '수도권 생활폐기물 반입총량제'에 따라 직매립 생활폐기물을 10% 감축하는 방안을 분석한다. 그 결과 폐기물 소각 비율을 현재 대비 13% 늘리거나, 재활용 비율을 최소 68% 이상으로 높일 때 매립량 감축 목표를 달성할 수 있었다. 두 시나리오는 같은 정책목표를 달성할 수 있지만, 소각에 따른 대기오염 증가와 자원순환사회 구축을 위한 정책 방향 등을 고려할 때, 재활용 비율을 높이는 것이 장기적으로 더 나은 방안으로 보인다. 이와 같은 결과는 효율적인 폐기물 관리정책을 비교 분석한 것이라는 점에서 의미가 있으며, 폐기물의 배출량을 줄이지 않고도 처리방법의 변화를 통해 폐기물 매립량을 감축할 수 있음을 보인다.

환경적・경제적 파급효과 분석을 위하여 두 번째 연구에서는 앞서 구축한 WIO를 이용하여 환경 CGE 모형으로 확장한다. WIO는 환경 CGE 모형의 데이터인 환경사회계정행렬(Environmentally Extended Social Accounting Matrix, ESAM)의 기초자료가 되고, 배분 행렬을 이용한 분석방법은 환경 CGE 모형의 정책시나리오에 아이디어를 제공한다. 분석모형에는 폐기물의 배출 및 처리정보, 폐수방류량 등이 추가되고 이에 따른 경제주체의 비용부담이 반영되었으며, 에너지 투입을 세분화하여 온실가스 배출량을 계측하고 탄소세를 도입하였다. 이를 토대로 탄소 저감 목표에 따라 연간 4%의 온실가스를

저감하기 위해 탄소세를 도입하는 정책을 분석하였으며, 탄소세 3.2%를 도입하는 시나리오와 탄소세 2.9%를 도입하고 재활용률을 높이는 시나리오를 분석하였다. 이들 두 시나리오는 같은 수준의 온실가스 저감 목표를 달성하고 GDP 변화율 역시 비슷하였으나, 폐기물의 재활용률을 높일 때 폐기물의 배출량이 더 큰 폭으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 폐기물의 재활용률을 높이는 정책이 매립지 부족 문제의 대응 방안이 될 수 있으며, 온실가스 저감이라는 정책목표를 더 낮은 탄소세로 달성할 수 있다는 추가적인 효과가 있음을 보여준다. 이러한 결과는 환경-경제 통합분석을 통해 온실가스와 폐기물 부문에 동시에 적용할 수 있는 정책을 분석할 수 있으며, 정책의 부수적인 효과의 크기를 정량적으로 평가할 수 있음을 보여준다.

점차 경제와 환경을 통합적으로 고려하는 것이 중요해지고 있으므로 환경영향이나 정책효과의 분석에서 환경-경제 통합 모형의 필요성은 지속해서 높아질 것으로 보인다. 본 연구에서 구축한 WIO와 환경 CGE 모형은 관련 정책의 수립에 있어 더욱 유용한 분석을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 환경경제통합계정, 환경경제통합분석, 폐기물산업연관표, 환경사회계정행렬, 환경연산일반균형모형

학 번 : 2015-30392

목 차

제 1 장. 서론 ····· 1
제 1 절. 연구의 배경 및 필요성 ····· 1
제 2 절. 선행연구 검토 ····· 3
제 3 절. 연구의 목적 ····· 9
제 4 절. 연구내용 및 방법 ····· 10
제 5 절. 논문의 구성 ····· 11

제 2 장. 폐기물산업연관표의 구축 및 활용 ····· 12
제 1 절. 서론 ····· 12
1. 연구 배경 ····· 12
2. 선행연구 ····· 13
3. 연구목적 및 내용 ····· 16
제 2 절. 폐기물의 처분 및 재활용 현황 ····· 17
1. 폐기물의 발생 및 처리현황 ····· 17
2. 폐기물 처리시설 현황 ····· 21
3. 폐기물 관리정책 현황 ····· 26
제 3 절. 폐기물산업연관표 ····· 27
1. 폐기물산업연관표의 구성 및 특징 ····· 27
2. 폐기물 투입산출분석 ····· 28
제 4 절. 폐기물산업연관표 구축 ····· 36
1. 폐기물산업연관표의 구축 ····· 36
2. 폐기물산업연관표 결과표 ····· 39
제5절. 정책분석 결과 ····· 50
제6절. 소결 ····· 56

제3장. 환경연산일반균형 모형을 이용한 탄소세의

폐기물 저감효과 분석 ····· 58
제1절. 서론 ····· 58
1. 연구 배경 ····· 58
2. 선행연구 ····· 59
3. 연구목적 및 내용 ····· 61
제2절. 환경연산일반균형 모형 ····· 63
1. 환경연산일반균형 모형의 구분 ····· 63
2. 환경연산일반균형 모형 ····· 64
제3절. 분석자료 ····· 72
1. 환경사회계정행렬의 구조 ····· 72
2. 분석자료 ····· 76
제4절. 시나리오 및 분석결과 ····· 82
1. 분석 시나리오 ····· 82
2. 분석결과 ····· 84
제5절. 소결 ····· 89

제4장. 결론 ····· 91
참고문헌 ····· 93

부록 1. 현황 및 연결표 ····· 101
부록 2. 폐기물산업연관분석 결과 ····· 109
2-1. 오염배출계수 ····· 109
2-2. 배출유발분석 ····· 111
2-3. 탈동조화 분석 ····· 113
2-4. 가격모델 분석 ····· 117
부록 3. 탄력성의 통합 ····· 121
3-1. 탄력성의 통합 및 분배 원칙 ····· 121
3-2. CES 함수에서 탄력성의 통합 방법 ····· 123
3-3. 소득탄력성의 통합 방법 ····· 125

부록 4. 환경연산일반균형 분석결과(상세) ····· 127

Abstract ····· 132

표 목 차

<표 2-1> 폐기물 종류별 발생 추이 ····· 19
<표 2-2> 수도권매립지 규모 ····· 25
<표 2-3> 비정방형 폐기물산업연관표 ····· 27
<표 2-4> 탈동조화 지표 기준 ····· 33
<표 2-5> 폐기물산업연관표 산업분류 ····· 38
<표 2-6> 폐기물 분류 ····· 39
<표 2-7> 2015 폐기물산업연관표 ····· 42
<표 2-8> 2018 폐기물산업연관표 ····· 44
<표 2-9> 배분 행렬: 2015년 국내 폐기물 처리비율 ····· 48
<표 2-10> 배분 행렬: 2018년 국내 폐기물 처리비율 ····· 49
<표 2-11> 정책효과 시나리오의 배분 행렬 ····· 54
<표 2-12> 산업별·처리시설별 폐기물처리량 ····· 55

<표 3-1> 환경사회계정행렬의 구조 ····· 73
<표 3-2> 환경연산일반균형 모형의 산업분류 ····· 75
<표 3-3> 폐기물 처리단가 ····· 77
<표 3-4> 산업별 폐기물 부문 환경보호지출 ····· 78
<표 3-5> 투입요소간 대체탄력성 ····· 80
<표 3-6> Armington, CET 탄력성과 소득탄력성 ····· 81
<표 3-7> 2050 탄소중립 시나리오의
폐기물 감량 및 재활용률 목표 ····· 82
<표 3-8> 재활용폐기물 처리단가(시나리오2) ····· 84
<표 3-9> GDP, 온실가스 배출량, 폐기물 발생량 및
처리비용 변화 ····· 86
<표 3-10> 폐기물 저감량 변화 ····· 87
<표 3-11> 폐기물 처리비용 변화 ····· 87

<부표 1-1> 수도권매립지 생활폐기물 반입총량제 현황 ····· 101
<부표 1-2> WIO 산업분류 비교연계표 ····· 103
<부표 1-3> WIO 폐기물 분류 연결표 ····· 105
<부표 1-4> 환경 CGE 산업분류 비교연계표 ····· 106

<부표 2-1> 오염배출계수 ····· 110
<부표 2-2> 배출유발계수 ····· 111
<부표 2-3> 배출유발량 ····· 112
<부표 2-4> 폐기물 탈동조화 분석 ····· 114
<부표 2-5> 온실가스 탈동조화 분석 ····· 115
<부표 2-6> 폐수 탈동조화 분석 ····· 116
<부표 2-7> 생산자가격 파급효과 ····· 117
<부표 2-8> 소비자가격 파급효과 : 매립 가격 100% 상승 시 ·· 119
<부표 2-9> 소비자가격 파급효과 : 소각 가격 20% 상승 시 ···· 120

<부표 3-1> 탄력성 산업분류 비교표 ····· 122
<부표 3-2> 소득탄력성 산업분류 비교표 ····· 126

<부표 4-1> 산업부문별 온실가스 배출량 ····· 127
<부표 4-2> 폐기물 종류별 발생량 ····· 128
<부표 4-3> 산업부문별 폐기물 저감량 ····· 129
<부표 4-4> 산업부문별 저감시설별 폐기물 처리비용 ····· 130
<부표 4-5> 산업부문별 폐수 배출량 ····· 131

그 림 목 차

<그림 1-1> 환경경제계정의 체계 ····· 5
<그림 1-2> 물질흐름분석의 유형 ····· 6

<그림 2-1> 「폐기물관리법」상 폐기물 분류체계 ····· 17
<그림 2-2> 폐기물 종류별 발생 추이 ····· 19
<그림 2-3> 폐기물 종류별 처리현황 ····· 20
<그림 2-4> 소각시설 가동률 ····· 22
<그림 2-5> 기타시설 가동률 ····· 22
<그림 2-6> 매립시설의 시설 포화도 및 사용 가능 연한 ····· 23
<그림 2-7> 폐기물 처리업체 가동률 ····· 24
<그림 2-8> 경제성장과 환경부하 증가의 탈동조화 정도 ····· 32
<그림 2-9> 폐기물 처리시설별 처리량(전체) ····· 46
<그림 2-10> 폐기물 처리시설별 처리량
(재활용시설의 폐기물 제외) ····· 46
<그림 2-11> 소각 증가 시나리오에 따른 폐기물처리 변화 ····· 51
<그림 2-12> 재활용 증가 시나리오에 따른 폐기물처리 변화 ···· 52

<그림 3-1> 환경연산일반균형 모형의 생산구조 ····· 68

제 1 장. 서론

제 1 절. 연구의 배경 및 필요성

최근 일인 가구의 증가와 생활양식 변화 등으로 인해 일회용품 사용이 늘어나며 폐기물 발생량 역시 꾸준히 증가하고 있다. 우리나라는 좁은 국토면적과 높은 인구밀도로 인해 폐기물 처리시설의 설치가 쉽지 않은데, 수도권 폐기물 매립지 역시 사용종료를 앞두고 있어 관리에 어려움을 겪고 있다. 그뿐만 아니라 폐기물 처리단가가 높아지고 불법 방치폐기물이 증가하는 등, 관련 문제들로 인해 폐기물의 적절한 관리 및 처리의 필요성이 높아지고 있다.

이에 따라 정부에서는 순환경제사회를 구축하기 위해 폐기물의 순환이용 및 적정한 처분을 촉진하는 정책을 마련하고 기업과의 자발적 협약을 확대하는 등 다양한 노력이 이루어지고 있다. 그렇지만 이러한 정책을 적절히 평가할 수 있는 수단은 부족한 상황이다. 환경정책의 효과를 평가하기 위해서는 경제적 영향과 환경적 영향을 모두 고려해야 하는데, 많은 연구가 이들 중 한 가지 측면만을 분석하고 있기 때문이다. 폐기물의 발생량이나 처리량과 같은 환경정보는 물리량 단위이고 경제지표는 화폐단위이기 때문에, 각각의 자료는 구분되어 있으며 분석방법론 역시 독립적으로 발전해왔다. 이러한 상황에서 정책의 경제적 효과와 환경 영향을 동시에 분석하기 위해서는 환경과 경제 정보를 연계한 환경경제통합계정 자료를 구축할 필요가 있다.

UN에서는 1993년 환경경제통합계정(System of Environmental and Economic Accounts, SEEA)의 작성을 권고하였고 국내에서도 김승우(1998), 환경부(2002), 환경부(2005) 등의 연구에서 연계자료를 활용한 환경경제 통합분석의 필요성을 주장한 바 있다. 이후 1990년대부터 환경과 경제의 상호작용을 포괄적으로 살펴보기 위해 환경경제통합계정을 개발하는 연구가 수행되었다. 폐기물 부문에 대해서는 김승우(1998)에서 1995년 산업별 오염물질

배출원단위를 작성하고 이를 경제분석에 활용하는 방안을 제시하였고, 환경부(2006)에서는 2001년 기준 NAMEA-waste를 편제하였다. 그러나 이들 연구는 계정의 작성 가능성을 검토하기 위한 시범적 연구로 자료나 방법론의 한계를 드러내기도 하였으며, 이후에 폐기물 계정의 개발을 위해 추가로 수행된 연구도 계정의 개발로 이어지지는 않았다. 따라서 폐기물 부문의 정책분석을 위해서는 기존 연구를 바탕으로 새롭게 폐기물 부문의 환경경제통합계정을 개발하여 정책적 활용 가능성을 제시할 필요가 있다.

먼저 환경-경제 통합분석을 위한 기초자료로 폐기물산업연관표(Waste Input-Output table, WIO)를 구축하는 것이 필요하다. WIO는 산업연관표에 폐기물의 배출 및 처리시설 정보가 포함된 형태의 환경경제통합계정이다. 기존에는 정책효과 분석 시 폐기물 감축량을 도출하는 데에 그쳤지만, WIO를 이용하면 관련 정책의 경제적 영향과 폐기물 발생량의 변화를 함께 분석할 수 있고 감축 정책의 방향을 설정할 수도 있다. 특히 현재 수도권 등이 당면한 매립지 부족 문제 있어서 폐기물 처리 정책을 비교 평가하기 위해 폐기물의 발생과 처리 과정이 구조화되어 있는 WIO를 이용할 수 있다.

구체적인 환경정책 시나리오 분석을 위해서는 환경연산일반균형(Environmental Computable General Equilibrium, 환경 CGE) 모형이 필요하다. 환경 CGE 모형은 WIO를 CGE 모형으로 확장한 것으로, 통상적인 CGE 모형이 경제주체의 반응만을 대상으로 하는 것과 달리 폐기물 처리시설을 생산행위 부문으로 포함하며, 폐기물의 발생량이나 처리비용 등, 환경부문의 변화가 경제주체의 의사결정에 영향을 준다. 더불어 관련 보조금이나 세금, 오염저감 비용 등을 반영하여 환경부문에 미치는 정책효과를 분석할 수 있고 폐기물뿐만 아니라 온실가스와 폐수 배출량 등의 환경 영향도 반영할 수 있다. 환경 CGE 모형의 이러한 특성은 다양한 환경정책을 실증적으로 분석할 수 있게 한다. 특히 탄소배출 저감 정책에 따라 온실가스 배출량을 줄이면서 동시에 폐기물을 감축하는 정책도 분석할 수 있으며, 이와 같은 정책의 부수적인 효과(co-benefit)를 정량화할 수 있다.

제 2 절. 선행연구 검토

환경과 경제를 통합적으로 파악하기 위한 환경계정(environmental accounts)의 중요성은 1900년대 후반부터 강조되었다. 1987년 세계환경개발위원회(World Commission on Environment and Development, WCED)의 보고서 “우리 공동의 미래[1)]” 는 지속 가능한 발전(sustainable development)의 개념을 제시하면서 환경 정책과 개발전략의 통합 필요성을 강조하였고 1992년에는 리우에서 개최된 유엔환경개발회의(United Nations Conference on Environment and Development, UNCED)에서 “의제 21(Agenda 21)[2)]” 을 채택하며 포괄적인 행동 계획을 제시하였다. 이에 따라 각국은 지속 가능한 발전을 정책적 과제로 삼게 되었으며, 국제연합(United Nations, UN)에서는 환경경제통합계정(System of Environmental-Economic Accounting, SEEA)의 작성을 권고하였다.

그밖에도 각국에서 환경경제통합계정의 개발이 이루어져, 유럽통계국(Eurostat)의 SERIEE(Système européen pour le rassemblement des informations économiques sur l’environnement)[3)], 네덜란드의 NAMEA(National Accounting Matrix including Environmental Accounts), 프랑스의 자연유산계정(Natural Patrimony Accounting) 등 다양한 환경계정체계가 개발되었다. 2012년에는 국제연합이 환경경제통합계정을 국제통계표준으로 채택[4)]하여 2020년 기준 80여 개 국가에서 시범편제하고 있다.

환경계정은 환경과 경제를 통합적으로 분석하기 위한 수단으로, 기존의 국민계정에 포함되지 않는 부분을 물리적・화폐적으로 파악할 수 있도록 한다. 우리나라는 1990년대 중반 한국환경정책・평가연구원(현 한국환경연구원)에서 환경경제통합계정의 시범편제 및 녹색 GDP 추산 작업을 추진하였으

---

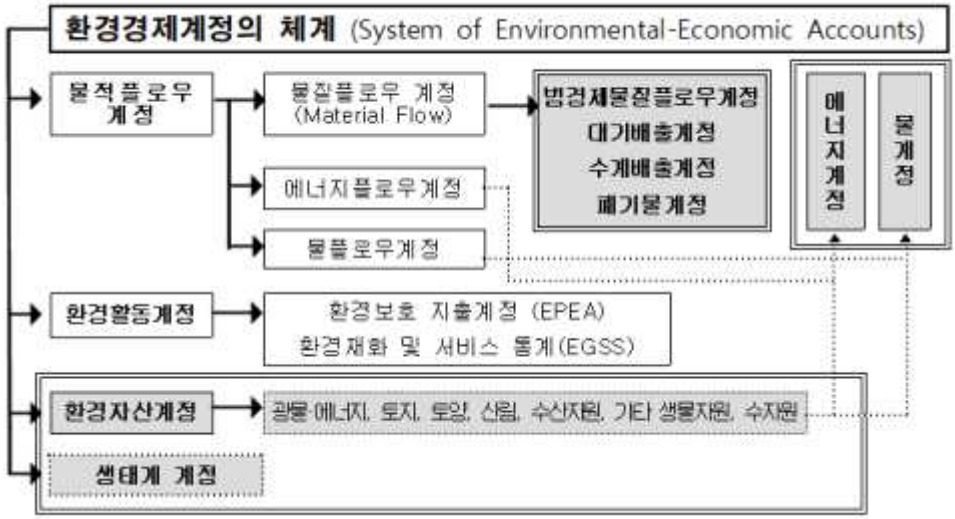
1) World Commission on Environment and Development(1987) 참고. 이 보고서는 흔히 브룬트란트 보고서(Bruntland Report)라고 불린다.
2) United Nations Conference on Environment and Development(1992).
3) ‘환경에 관한 경제적 정보의 수집을 위한 유럽체계’(European Commission, 1994).
4) United Nations(2014a), United Nations2014b).

며(김승우, 1994; 김승우 외, 1997; 김승우 1998), 환경부에서 ‘환경경제통합계정 개발 및 녹색 GDP 작성을 위한 중장기 추진계획(2001-2010)’을 수립하고 환경경제통합계정 작성을 위한 연구(환경부, 2002; 환경부, 2003; 환경부, 2004; 환경부, 2006; 환경부, 2007a; 환경부, 2007b)와 환경-경제 통합모델 개발을 위한 연구(환경부, 2005)를 수행한 바 있다. 그 결과 <그림 1-1>의 환경경제계정 중 범경제물질플로우계정(EW-MFA)과 오염물질 배출계정(대기, 수계, 폐기물), 환경자산계정(광물, 산림)을 시범 편제하였지만[5] 일부 계정만을 시범적으로 작성하는 데에 머물렀다. 이후 환경경제계정을 지속성을 갖춘 국가통계로 개발하기 위해 통계청에서 중・장기 개발계획(2014-2022)을 추진[6]하였으나 폐기물 계정 연구의 범경제물질플로우계정(EW-MFA) 작성은 2019년 이후 중단[7]되었다. 계정 작성을 위해서는 여러 부처의 자료를 통합적으로 이용해야 하기에 소관 부처 간 긴밀한 협력이 필요한데 현실적으로 어려움이 있었고, 예산을 들여 계정을 작성하더라도 이를 어떻게 활용할 수 있을지에 대한 청사진이 부재했다는 점, 시의성 문제 등이 계정 작성을 중단한 요인으로 지적된다.

현재는 환경부에서 환경보호지출계정[8]을, 통계청에서 대기배출계정을 독립적으로 편제하고 있으며, 폐기물 관련 계정은 환경부에서 NAMEA-waste를 시범적으로 편제[9]한 이후 더 이상의 연구가 진행되지 않고 있다. 통계청의 연구가 중단됨에 따라 현재 국가적인 차원에서 진행하는 폐기물 계정 연구는 없는 상황이다. 그러나 여전히 폐기물 계정의 필요성에 대한 공감은 있으므로, 국가적인 수준에서 환경경제계정 체계를 구축하기 위한 연구와 환경경제계정을 활용한 분석모형의 개발이 필요하다.

---

5) 환경부(2007c) 참고.
6) 통계청(2013), 강은영・이동수(2016), 강은영・유인상・김준범(2017) 참고.
7) 주문솔 외(2019) 참고.
8) 환경부, 한국환경정책・평가연구원(2012) 이후 지속해서 환경보호지출계정을 편제하고 있음.
9) 환경부(2006) 참고.



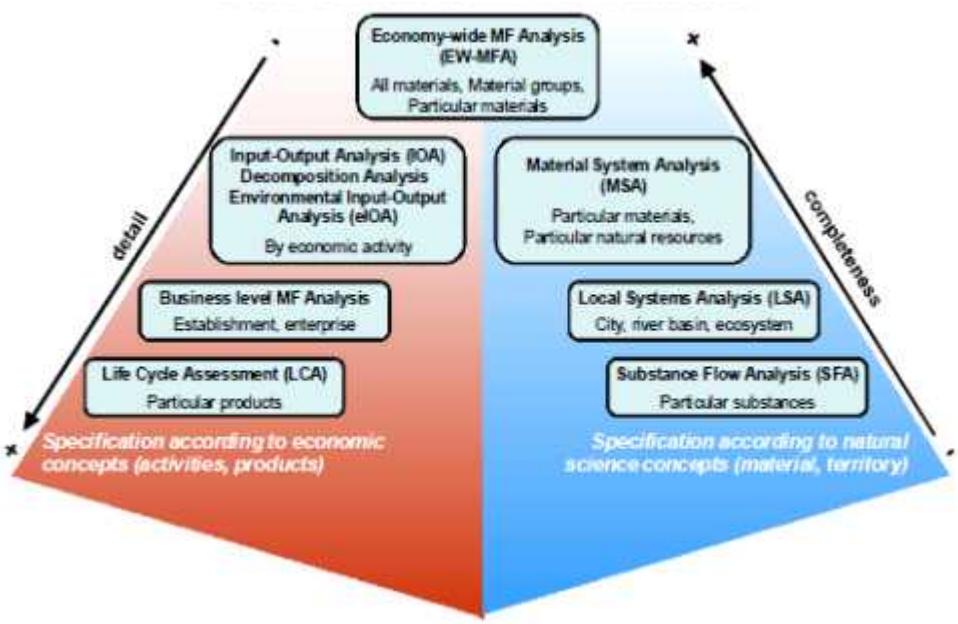
※자료: 통계청(2013).

<그림 1-1> 환경경제계정의 체계

이론적인 측면에서 물질흐름분석은 천연자원과 물질의 물리적 흐름을 연구하는 방법론으로, OECD(2008)에서는 물질흐름분석을 경제학적 관점과 자연과학적 관점, 분석대상의 상세도에 따라 <그림 1-2>와 같이 구분하고 있다. 그림에서 왼쪽의 방법론은 경제학적 관점에서 물질량을 바탕으로 화폐단위나 환경부하 등과 연계하여 평가하는 방법이며, 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)는 제품 수준을, 기업 단위 MFA는 기업 수준을, 투입산출분석(IOA)과 환경투입산출분석(eIOA)은 산업 수준을 분석한다.

국내에서는 조현정・고광훈・황용우(2007)에서 건축물 철거 시 발생하는 폐기물의 처리방법에 대하여 전과정평가를 이용한 환경성 평가와 비용편익분석을 기반으로 하는 경제성 평가를 통해 환경효율성(Eco-efficiency)을 평가하였다. 그 결과 현장처리 및 재활용이 가장 친환경적이고 경제적 가치가 높은 처리방법이라는 결론을 얻었다.

이소라 외(2018)에서도 생활폐기물 공공 처리시설을 대상으로 가연성폐기물과 유기성폐기물(음식물류폐기물)의 처리방법별 전과정평가를 통해 효율적인 관리방안을 제시한 바 있다. 해당 연구 역시 폐기물 처리시설의 경제성



※자료: OECD(2008), p.12.

<그림 1-2> 물질흐름분석의 유형

과 환경성을 분석하여 환경효율성을 평가한 것으로, 일종의 제품 수준의 환경경제 통합평가라고 할 수 있다. 처리시설 단위의 효율성 개선을 위해서는 이와 같은 연구가 효과적일 수 있다. 그러나 국가 경제 전체를 대상으로 하여 폐기물을 산업별로, 경제학적 측면에서 분석하고자 한다면 투입산출분석 또는 환경투입산출분석이 적합한 방법이라고 할 수 있다.

물질흐름분석에서 투입산출분석은 물리적투입산출표(PIOT)를 기반으로 한다. 또는 일종의 혼합플로우계정[10]인 네덜란드의 NAMEA나 환경투입산출분석을 위한 WIO 등을 이용할 수 있다.

NAMEA는 네덜란드의 중앙통계국이 1996년에 개발한 환경계정으로, 국민계정(National Accounting Matrix, NAM)의 외부에 환경계정(Environmental Accounts, EA)을 부가한 형태이다. 환경계정에는 대기오염물질, 폐기물, 폐수

10) 혼합플로우계정은 화폐단위로 표시된 투입산출표와 물적플로우계정을 통합한 형태로 구성되어 있다.

등의 환경오염물질이나 자연자원 등이 포함될 수 있다. 네덜란드를 비롯하여 노르웨이, 독일 등의 대부분 유럽국가가 NAMEA의 일부로 폐기물 계정을 편제하고 있으며, 일본 역시 폐기물 계정을 편제하고 있다(환경부, 2006).

그러나 NAMEA는 환경계정이 국민계정의 외부에 있는 형태이므로, 폐기물 계정만을 따로 편제한다면 물질 플로우계정의 형태를 띤다[11]. 이와 달리 독립된 혼합 플로우계정의 형태를 가지는 모형으로는 WIO를 들 수 있는데, WIO에서 경제 내의 제품 플로우는 화폐단위로 표시되고 환경에 해당하는 부분은 물리적 단위로 표시된다. 혼합 플로우계정은 경제와 환경정보를 하나의 표안에서 비교할 수 있다는 장점이 있다. WIO는 일본의 Nakamura and Kondo(2002)에서 소개한 이후 다양한 분석방법론이 개발되었다. 그러나 WIO와 이를 이용한 연구의 대부분이 폐기물의 발생량 및 처리방법에 초점을 맞추고 있다.

환경적 영향과 더불어 경제적 파급효과 분석을 시행하고자 하는 경우, 연산일반균형(Computable General Equilibrium, CGE) 분석을 고려할 수 있다. Xie and Saltzman(2000)은 CGE 모형에 환경 영향을 포함하여 중국의 생활폐기물에 대한 조세효과를 분석한 바 있다. 이러한 모형을 활용하여 환경적으로 확장된 형태의 환경 CGE 모형을 구축하여 분석에 활용할 수 있다.

아직 국내에는 이와 관련한 연구가 많지 않다. 환경경제 통합분석으로는 부경진(2002)에서 온실가스 배출 저감을 위한 탄소세 시나리오별 정책 시뮬레이션을 통해 비용효과분석을 수행하였다. 거시경제이론에 따라 에너지・환경・경제 통합 계량경제 시뮬레이션 모형을 개발하였는데, 환경 모듈에는 대기오염이 반영되었고 폐기물 부문은 고려하지 않았다. 환경부문과 폐기물 흐름을 통합하는 CGE 모형의 정교화는 Kang et al.(2006)에서 시도되었으나 정책효과에 대한 비교정태모형은 개발 단계에 머물렀다. 이후 강상인・김재준(2007)에서 축차 동태형 CGE 모형을 이용하여 환경오염방지 및 자원재활용산업을 분리하여 탄소세 도입의 효과를 분석하였다. 이소라・신상철・박

11) 일본의 폐기물 계정은 폐기물로 인한 환경부하를 화폐가치화 하여 물리적 양과 화폐가치를 함께 표현하는 것이 특징이다(환경부, 2006).

효준(2016)에서는 폐기물 재활용 부문에 조세 감면 혜택을 부여할 경우의 경제적 파급효과를 정태적 일반균형모형을 활용하였다. 다만 강상인・김재준(2007)과 이소라・신상철・박효준(2016)은 폐기물 부문을 분석대상으로 다루었을 뿐, 폐기물의 물리량을 직접 다루지는 않았다.

폐기물의 처리량과 같은 물리량 정보를 포함하는 환경 CGE 모형에 해당하는 연구는 이효창 외(2020)에서 이루어졌다. 해당 연구에서는 생산요소에 폐기물 처리와 재활용서비스를 포함하는 축차 동태 KLWR CGE 모형을 개발하고 폐기물처분부담금의 요율 인상에 따른 영향을 분석하였다. 그러나 이효창 외(2020)는 폐기물 종류 및 처리시설을 폐기물처리서비스와 재활용서비스의 두 가지로 구분하여 상세한 폐기물 종류별 변화를 볼 수 없고, 매립과 소각시설의 처리비율이 일정하다고 가정하고 있다. 본 연구에서는 WIO의 정보를 포함하여 환경 CGE를 구축함으로써 구체적인 폐기물의 발생량을 파악하고 폐기물의 처리비율이나 가격변화의 영향도 모형에 반영할 수 있도록 한다. 더불어 온실가스 배출량을 모형에 포함하여 온실가스 저감효과와 폐기물 감축 목표를 함께 분석하도록 한다.

제 3 절. 연구의 목적

본 연구에서는 폐기물 부문에 대하여 환경과 경제의 상호관계를 반영하는 환경경제통합계정을 작성하여 폐기물 관리정책의 수립 및 평가를 위한 기초자료를 제공하고, 환경-경제 통합모형의 구축 및 분석을 통해 당면한 문제에 대해 정책분석을 수행하는 것을 목적으로 한다.

이를 위해 환경경제통합계정에 관한 선행연구를 정리하고 모형을 구축하여 실증분석을 수행한다. 먼저 WIO를 구축하여 통합분석의 기초자료를 제공하고, 분석 가능한 모형을 소개한다. 그리고 '수도권 생활폐기물 반입총량제'에 따라 매립폐기물을 저감하기 위한 방안을 분석한다.

다음으로 구축한 WIO를 토대로 환경 CGE 모형으로 확장하여, 탄소세를 부과하여 온실가스 배출량을 줄이면서 폐기물의 재활용률을 높여 매립폐기물을 감축하는 정책의 경제적·환경적 파급효과를 분석한다. 이와 같은 시나리오는 정책의 부수적인 효과(co-benefit)를 정량화할 수 있다. 마지막으로 이들 실증분석결과를 토대로 정책적 시사점을 제공한다.

제 4 절. 연구내용 및 방법

본 연구에서는 환경-경제 통합분석이 가능한 환경경제통합계정 자료를 구축하고 분석을 시행한다. WIO를 구축하여 분석에 적용하고, 이를 토대로 환경 CGE 모델을 구축하여 온실가스 배출량을 감축하고 매립폐기물을 저감하는 정책의 경제적·환경적 파급효과를 분석한다.

제2장에서는 WIO의 구조와 특성을 소개하고, 구축한 한국의 WIO를 제시한다. WIO에는 기존의 투입산출표에 폐기물 배출량과 처리시설, 온실가스 배출량, 폐수방류량 정보 등이 포함되며, 생활계폐기물과 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물을 포괄하고 폐기물 분류를 세분하여 구체적인 폐기물 품목별 영향이 드러나도록 한다. 환경과 경제 정보를 모두 제공하는 특성을 이용하여 수행할 수 있는 오염배출분석, 배출유발분석, 탈동조화 분석, 가격모델 분석 등을 간단히 설명하고 부록 2에서 각각의 결과를 제시한다. 정책분석을 위해 '수도권 생활폐기물 반입총량제'에서 매립폐기물 저감을 위한 방안을 분석하고, 이를 통해 정책적 시사점을 제시한다.

제3장에서는 WIO를 토대로 환경사회계정행렬(Environmentally Extended Social Accounting Matrix, ESAM)을 구축하고 CGE 모형에 환경정보를 포함하는 환경 CGE 모형으로 확장한다. 분석모형에 폐기물 저감시설과 폐기물의 발생량 및 저감량, 처리비용, 배출세 등의 정보를 추가하여 환경정보의 변화가 경제주체의 의사결정에 반영되도록 하고, 에너지 투입을 세분하여 온실가스 배출량을 계산하며 폐수방류량 정보도 포함한다. 이렇게 구축한 환경 CGE 모형을 이용하여, 탄소저감 시나리오 하에서 탄소세를 부과하여 온실가스 배출량을 감축하면서 동시에 폐기물 매립량을 저감하고자 할 때의 효과를 분석한다. 이를 통해 폐기물의 재활용률을 높임에 따라 달라지는 정책의 경제적, 환경적 파급효과를 비교하고, 정책의 부수적인 효과를 계측한다.

제 5 절. 논문의 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 제2장에서는 WIO와 관련한 선행연구를 정리하고 폐기물 관련 현황을 살펴본다. WIO의 개념과 특징을 소개하고, WIO를 이용하여 분석 가능한 모형을 설명한다. 해당 모형을 이용한 분석결과는 부록 2에 제시한다. 본 연구에서 구축한 WIO를 제시하고, 이를 토대로 '수도권 생활폐기물 반입총량제' 에 따라 직매립 생활폐기물을 10% 감축하는 방안을 분석한다.

제3장에서는 앞에서 구축한 WIO를 이용하여 환경 CGE 모델을 구축하고 정책분석에 적용한다. 기존의 CGE모델에 폐기물 배출과 관련한 환경정보를 포함하여 모형을 확장하고, 산업을 세분하여 온실가스 배출량을 계산하고 탄소세를 부과한다. 매립폐기물과 탄소배출을 줄이기 위해 탄소세를 부과하고 폐기물의 처리방법을 달리했을 때의 경제적 파급효과와 온실가스 및 폐기물의 배출량 변화를 살펴본다. 마지막으로 제4장에서는 연구내용과 결과를 요약하고 연구의 의의를 살펴본다.

제 2 장. 폐기물산업연관표의 구축 및 활용

제 1 절. 서론

1. 연구 배경

오염관리의 측면에서 폐기물의 적절한 처리는 오래된 환경정책 중 하나이다. 사회의 발전에 따라 폐기물 관련 법안과 제도 역시 변화해왔으나, 여전히 풀어야 할 과제를 안고 있다. 특히 2018년 중국의 폐기물 수입금지로 인한 폐기물 대란은 우리나라의 폐기물 관리체계를 되돌아보는 계기가 되었다. 최근 일인 가구의 증가와 코로나19로 인한 배달문화의 확산으로 플라스틱을 비롯한 재활용폐기물의 양이 급증하고 있다. 우리나라는 좁은 국토면적과 높은 인구밀도로 인하여 매립지의 추가 건설이 어려운데, 폐기물의 증가로 폐기물 처리비용이 급격히 상승하자 불법 방치폐기물 문제가 불거졌다. 게다가 재생원료의 수출이 막히면서 폐플라스틱 재생원료 판매단가가 하락하는 등 연쇄적인 문제도 발생하고 있다. 이처럼 오염문제가 심각해지고 체계적인 폐기물 관리의 필요성이 높아지며 보다 적극적인 대응이 요구되고 있다.

정부에서는 '재활용 폐기물 관리 종합대책(2018.05.)', '불법 폐기물 관리 강화대책(2019.02.)', '자원순환 대전환(2020.09.)', '생활폐기물 탈 플라스틱 대책(2020.12.)'을 잇달아 수립하여 발표[12]하는 등의 대응을 하고 있다. 그러나 이러한 정책들이 어떤 영향을 미치는지, 정책목표를 충분히 달성하고 있는지에 대한 논의는 거의 이루어지지 않고 있다. 경제적 유인을 통해 정책목표를 달성하고자 하는 간접규제의 경우 정책효과를 평가할 수 있어야만 효과적인 규제 수준을 정할 수 있고, 정책에 따라서는 기업과 소비자의 행동이 어떻게 변화하는지도 중요하다. 이러한 측면에서 환경과 경제지표를 동시에 평가하고 정책효과를 분석할 수 있는 모형이 필요하다고 할 수 있다.

---

12) 환경부(2021a) 참고.

2. 선행연구

폐기물 처리방법에 따른 경제적 영향은 주로 산업연관표에 기반한 모형을 바탕으로 평가가 이루어져 왔다. 우리나라에서는 신상철(2012)에서 위생서비스 부문을, 박소연・임슬예・유승훈(2015)에서 하수처리 부문을 대상으로 산업연관분석을 통해 경제적 파급효과를 분석한 바 있다. 백민지・김호영・유승훈(2015)은 폐기물처리와 자원재활용서비스의 변화가 경제에 미치는 영향을, 조용철・박소연・유승훈(2015)은 유기성 폐기물 에너지화 시설을 확대할 때의 경제적 파급효과를 분석하였다. 그러나 이들 산업연관분석은 상품 흐름으로 인한 경제적 영향만을 고려하고 폐기물이나 하수의 흐름을 반영할 수 없어 환경부문에 미치는 영향을 파악할 수 없다는 한계를 가지고 있다.

산업연관표에 있는 잔폐물 항목 역시 분석자료로 활용하기에는 부족한 측면이 있다. 잔폐물은 "상품의 생산 과정에서 발생하는 스크랩이나 최종생산물의 사용 과정에서 발생하는 폐품, 고물 등으로 각 산업에서 원재료로 재투입이 되고 있으나 그것을 주 생산물로 생산하는 산업이 따로 없는(한국은행, 2014)" 것을 의미하는데, 이는 일종의 재활용자원으로서 엄밀히 말해 폐기물을 대표한다고 할 수 없다. 게다가 여러 품목을 '잔폐물'로만 표시하여 성상을 파악할 수 없고, 화폐단위이기 때문에 실제 잔폐물 발생량에 해당하는 물리량 정보를 알 수 없다는 어려움도 있다.

Leontief(1970)에서는 인간의 경제활동을 나타내는 투입산출표에 환경 영향을 고려하고자 이론적인 검토를 한 바 있다. Leontief가 제안한 "환경투입산출표(environmental input-output, EIO)"는 이산화탄소 배출이나 환경오염문제 등에 적용되었으며, Duchin(1990)에 의해 폐기물 및 관리문제로 확장되었다. 다만 Leontief-Duchin EIO 모델은 폐기물과 폐기물의 처리방법 사이에 일대일대응이 존재한다고 가정하여, 실제 폐기물의 처리 현실과 맞지 않는다는 한계가 있다.

Nakamura and Kondo(2002)는 기존의 산업연관표를 확장한 폐기물산업연관표(Waste Input-Output table, WIO)를 소개하고, 이를 기반으로 대체 폐기

물 관리정책의 효과를 평가하였다. WIO는 기존 Leontief- Duchin EIO 모형에서 일대일 제약을 완화한 것으로, 폐기물의 종류와 처리방법의 수가 일치하지 않아도 되며, 따라서 비정방행렬의 형태를 가지는 것이 특징이다. WIO에는 산업별로 다양한 폐기물의 배출 및 처리정보가 드러나 있어 폐기물 관련 정책의 환경적・경제적 파급효과를 분석하기에 적합하다. 이후 일본에서는 이와 관련된 분석방법이 다양하게 확장되었는데, 선형계획법(Linear programming)을 적용한 WIO-LP모형(Kondo and Nakamura, 2005)이나 수명이 다한 가전제품의 재활용에 대한 수명주기비용(Life-cycle costing, WIO-LCC) 분석(Nakamura and Kondo, 2006), WIO를 통합한 물질흐름분석(materials flow analysis, MFA; Nakamura et al., 2007) 등이 소개된 바 있다. 이후 Tsukui et al.(2015)와 Tsukui et al.(2017)에서는 지역 간 폐기물 투입산출(interregional waste input-output, IRWIO) 분석을 통해 지역 간 폐기물의 흐름을 반영하기도 하였다.

최근에는 Lenzen and Reynolds(2014), Reynolds et al.(2014)가 폐기물 공급사용표(waste supply-use tables, WSUTs)를 만들고 이를 호주 경제에 적용하는가 하면, Beylot et al.(2015), Liao et al.(2015), Salemdeeb et al.(2016)가 각각 프랑스와 대만, 영국의 WIO를 구축하고 분석에 활용하는 등 다른 국가에서도 분석에 활용하는 추세이다. 그뿐만 아니라 Tisserant et al.(2017)는 EXIOBASEv2를 이용하여 세계 48개 지역의 다지역 폐기물 계정을 제시하기도 하였다.

이처럼 여러 국가에서 WIO를 이용하여 계정을 작성하고 있지만, 이들 연구 대부분이 효과적인 폐기물 처리방법과 같은 환경적 측면에 초점을 맞추고 있고 이후 개발・소개된 분석방법론 역시 대부분 물질흐름분석의 성격이 강하다.

국내에서는 환경경제통합계정을 구축하기 위한 국가정책연구로서 폐기물 계정을 편제하고 분석하는 연구가 진행되었다. 한국환경연구원에서 환경경제통합계정을 시범편제하면서 생활 쓰레기와 사업장폐기물의 폐기물 배출계수를 계산하여 최종수요 변화로 인한 파급효과를 계산한 바 있고(김승우,

1998), 환경부에서 환경경제통합계정 개발을 위한 중장기 연구(2001~ 2010)를 통해 폐기물 배출계정인 NAMEA-waste를 편제하기도 하였다(환경부, 2006). 그러나 이들 두 연구는 생활폐기물과 사업장폐기물 등 폐기물 배출원을 기준으로 작성하여 성상이 구분되지 않는다. 한국환경연구원과 환경부에 이어 통계청에서 추진한 중장기계획(2014~2022)에서는 폐기물 계정을 편제하고자 하였지만, 계정을 구축하지 않은 채 중단되었다.

이후 손태환(2006)이 WIO의 적용 가능성을 검토하면서 국내에서 WIO 형태의 계정에 관한 연구가 이루어졌다. 신상철・박효준・한인성(2015)에서 2010년 한국은행 투입산출표를 이용하여 폐기물을 세 개의 범주로 나누고 소각 및 매립의 두 가지 처리부문을 포함하는 폐기물투입산출행렬을 구성하였다. 해당 연구에서는 간단한 WIO를 이용하여 배분 행렬의 변화에 따른 영향을 검토하였는데, 폐기물이 상세히 구분되지 않아 실질적인 정책분석에 활용하기 어렵고 분석 시나리오 역시 추상적인 수준에 머물렀다. 박두리(2018, 석사학위논문)에서는 사업장 배출시설계 폐기물을 분석대상으로 하여 2014년 WIO를 구축하였는데, 잔폐물이 원료로 다시 투입되는 양을 반영하여 WIO를 작성하고 처리부문은 매립과 소각으로 구분하였다. WIO를 구축할 때 재활용되는 품목은 별도로 폐기물의 처리방식으로 집계하거나 위의 논문처럼 원료로 투입되도록 처리할 수 있다. 원료로 투입하면 재활용폐기물의 규모가 표에서 드러나지 않고, 잔폐물 수요표의 투입액을 물질량으로 변환하는 과정에서 품목별 평균 판매액을 사용할 수밖에 없어 오차 발생 가능성이 있다. 게다가 국내의 경우 재활용을 정책대상으로 하는 경우가 많은데, 그러한 정책의 평가가 어렵고 실제 폐기물의 규모를 과소추정하게 된다는 한계가 있다.

가능한 포괄적이고 구체적인 정보를 담은 국가계정체계를 편제하여 매년 계정을 작성하는 것도 중요하지만, 범경제물질플로우계정(EW-MFA)과 같은 체계는 필요로 하는 정보의 양이 많고 자료조사도 어려워 계정 작성에 어려움이 있다. 작성한 계정을 어떻게 활용할지 고려할 때, WIO와 같은 형태의 계정을 작성하여 정책에 활용하는 것이 효율적일 것으로 보인다.

3. 연구목적 및 내용

본 연구에서는 WIO를 구축하여 정책분석의 기초자료를 제공하는 것을 첫 번째 연구목적으로 한다. WIO는 폐기물의 발생 및 처리에 관한 정보를 산업별 경제활동과 연결한 것으로, 폐기물과 경제가 서로에 미치는 영향을 분석에 반영할 수 있다. WIO를 이용하면 폐기물의 발생과 처리현황을 계수화하여 살펴볼 수 있고, 경제성장과 폐기물 발생과의 관계를 지표화하여 파악할 수도 있다.

두 번째 연구목적은 구축한 WIO를 이용하여 정책분석에 활용하는 것이다. WIO의 특징 중 하나는 배분 행렬을 이용하여 폐기물 종류와 처리시설의 일대일대응 제약을 완화하는 것인데, 폐기물의 종류별 처리비율을 나타내는 배분 행렬을 이용하여 정책분석을 할 수 있다. 본 연구에서는 배분 행렬에 따라 최종 폐기물처리량이 달라지는 특성을 이용하여 '수도권 생활폐기물 반입총량제'에 따라 매립폐기물을 줄이고자 할 때 어떤 전략을 사용하는 것이 유리한지 분석한다.

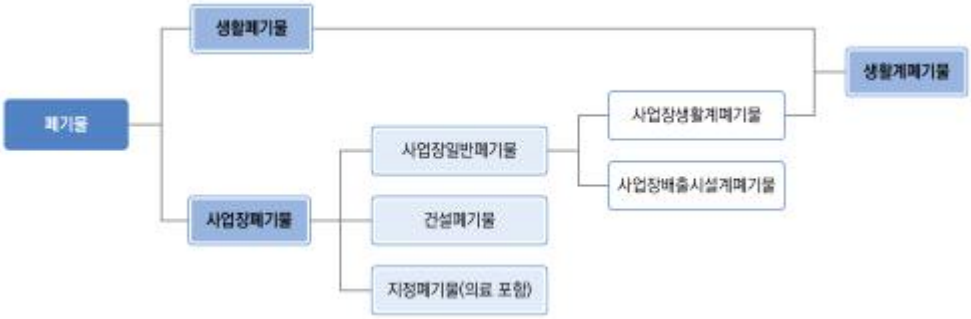
이러한 분석은 경제와 오염 배출의 관계를 지표화하고, 폐기물 정책을 위한 전략을 수립하며, 폐기물 처리비용의 변화가 경제에 미치는 영향을 분석할 수 있다는 점에서 유용하다. 본 연구에서는 폐기물을 배출원별이 아닌 성상별로 구분하고, 폐기물의 종류를 세분하며 재활용을 폐기물 처리방법의 하나로 포함하여 현황을 보다 구체적으로 파악하고 정책분석과 연계하고자 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2절에서는 폐기물을 둘러싼 현황을 개괄한다. 폐기물의 발생 및 처리현황, 처리시설의 현황과 수도권매립지를 둘러싼 문제, 반입총량제에 대하여 살펴보고 폐기물 관리정책을 검토한다. 제3절에서는 WIO의 구성과 특징을 살펴본 뒤, 폐기물 투입산출 모형을 설명한다. 제4절은 WIO 구축과정에 사용한 자료와 산업 및 폐기물 분류 등을 설명하고, 구축한 WIO와 배분 행렬을 제시한다. 제5절에서는 폐기물산업연관모형을 이용한 분석결과를 보여주고, 제6절에서는 연구내용을 요약하고 시사점을 제시한다.

제 2 절. 폐기물의 처분 및 재활용 현황

1. 폐기물의 발생 및 처리현황

폐기물은 “쓰레기, 연소재(燃燒滓), 오니(汚泥), 폐유(廢油), 폐산(廢酸), 폐알칼리 및 동물의 사체(死體) 등으로서 사람의 생활이나 사업 활동에 필요하지 아니하게 된 물질(「폐기물관리법」 제2조 제1호)” 로 정의하고, <그림 2-1>과같이 발생원에 따라 생활폐기물과 사업장폐기물로 구분할 수 있다.



※자료: 환경부・한국환경공단(2020).

<그림 2-1>「폐기물관리법」상 폐기물 분류체계

폐기물의 발생량은 다양한 경제요인에 영향을 받는다. 산업활동이 활발할 경우 공장가동률이 상승하고 소비가 확대되어 발생량이 증가하며, 따라서 국내 총생산과 폐기물의 증감률은 일정한 시차를 두고 비슷한 흐름을 보인다. 이 밖에 산업구조의 변화나 소비행태의 변화 등도 폐기물의 종류나 발생량에 영향을 주는데, 택배 시장이나 배달음식・편의점 도시락의 소비 확대, IT・서비스업 중심의 산업구조로의 변화, 건설산업의 변화 등도 폐기물의 발생량에 영향을 주는 요인이다.

최근 10년간의 연도별 폐기물 발생 추이를 살펴보면 <표 2-1> 및 <그림 2-2>와 같다. 생활계폐기물은 종량제와 재활용폐기물 및 음식물류폐기물 분리배출 정책으로 인해 비교적 안정적인 수준을 유지하고 있었으나, 2015년

이후 조금씩 증가하고 있다. 사업장폐기물 역시 증가추세를 보인다. 특히 사업장배출시설계 폐기물의 배출량 증가가 두드러져 2010년 전체 폐기물 배출량의 37%를 차지하던 사업장배출시설계 폐기물은 2019년 41%로 증가하였다. 업종별로는 1차 금속 제조업이 38%, 수도, 하수 및 폐기물처리, 원료재생업이 16%, 전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업이 15%를 차지하여 세 업종이 사업장배출시설계 폐기물 발생량의 69%에 달한다. 건설폐기물의 경우 건설경기의 침체로 인해 발생량에 큰 변동이 없다가, 2015년 이후 다시 증가하는 추세를 보인다. 지정폐기물은 전체 폐기물에서 차지하는 비중은 적으나 꾸준히 증가하고 있다.

발생한 폐기물은 수집・운반 과정을 거쳐 최종적으로 처분하거나 재활용한다. 「폐기물관리법」에서는 폐기물의 처분을 폐기물의 소각, 중화, 파쇄, 고형화 등의 중간처분과 매립 또는 해역 배출의 최종처분으로 구분하고 있으며(「폐기물관리법」 제2조 제6호), ‘전국폐기물 발생 및 처리현황’에서는 소각 이외의 중간처분을 ‘기타’로 통합하여 폐기물의 처리방법을 매립, 소각, 재활용, 기타로 구분한다.

<표 2-1> 폐기물 종류별 발생 추이

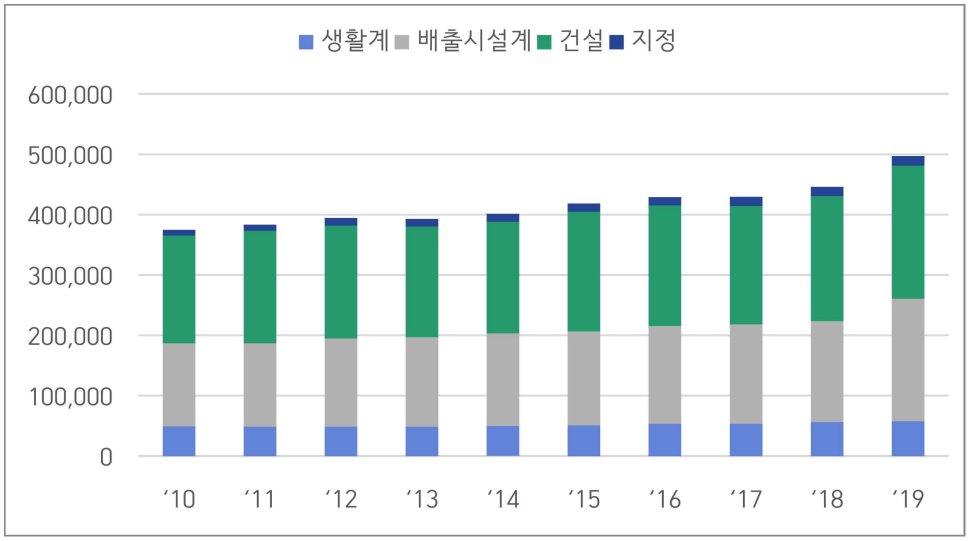
(단위: 톤/일, %)

연도	총 계		생활계[1]		사업장 폐기물					
					사업장 배출시설계		건설		지정[2]	
	발생량	증감률	발생량	증감률	발생량	증감률	발생량	증감률	발생량	증감률
2010	374,642	2	49,159	-3.4	137,875	11.5	178,120	-2.9	9,488	4.7
2011	383,333	2.3	48,934	-0.5	137,961	0.1	186,417	4.7	10,021	5.6
2012	394,496	2.9	48,990	0.1	146,390	6.1	186,629	0.1	12,487	24.6
2013	393,116	-0.3	48,728	-0.5	148,443	1.4	183,538	-1.7	12,407	-0.6
2014	401,658	2.2	49,915	2.4	153,189	3.2	185,382	1	13,172	6.2
2015	418,214	4.1	51,247	2.7	155,305	1.4	198,260	6.9	13,402	1.7
2016	429,128	2.6	53,772	4.9	162,129	4.4	199,444	0.6	13,783	2.8
2017	429,531	0.1	53,490	-0.5	164,874	1.7	196,262	-1.6	14,905	8.1
2018	446,102	3.9	56,035	4.8	167,727	1.7	206,951	5.4	15,389	3.2
2019	497,238	11.5	57,961	3.4	202,619	20.8	221,102	6.8	15,556	1.1

※주: 1) 생활계폐기물은 생활폐기물, 사업장생활계폐기물, 공사장생활계폐기물을 모두 포함함.

2) 지정폐기물은 사업장지정폐기물과 의료폐기물을 포함한 수치이며, 2010~2013 발생량은 연간 발생량을 환산한 값임.

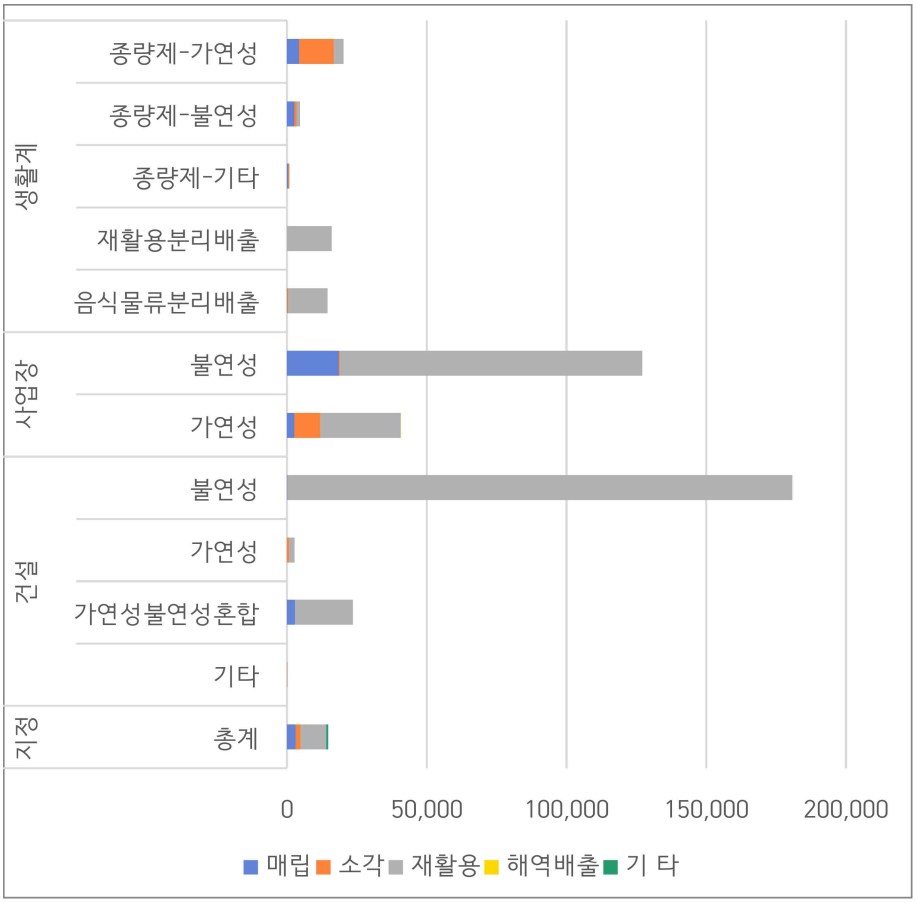
※자료: 환경부(2020).



※자료: 환경부(2020)에서 재구성.

<그림 2-2> 폐기물 종류별 발생 추이

폐기물 종류별로는 주된 처리방법에 차이를 보인다(그림 2-3 참고). 생활계 폐기물의 경우 전체 폐기물 발생량의 62%만 재활용되고 있어 여타 폐기물보다 재활용되는 비율이 낮다. 종류별로 살펴보면 분리 배출하는 폐기물은 대부분 재활용되지만, 종량제 배출 폐기물에서 매립 및 소각 처리되는 비중이 상당하다. 종량제 폐기물에서 29%가 매립되고 53%가 소각되며, 단 18%만이 재활용되고 있다. 이 중 매립되는 가연성폐기물은 소각이나 재활용 처리할 수 있도록 개선할 필요가 있다.



(단위: 톤/일)

※주: '사업장'은 사업장 배출시설계폐기물을 의미함.

※자료: 환경부(2020)에서 재구성.

<그림 2-3> 폐기물 종류별 처리현황

사업장 배출시설계폐기물은 82%가 재활용되고 있으며 13%가 매립, 6%가 소각 처리된다. 비율상으로는 크지 않지만, 처리량을 기준으로 보면 사업장 배출시설계폐기물 중 불연성폐기물이 가장 많은 매립량을 기록하고 있다. 건설폐기물은 98%가 재활용되는데 이러한 통계는 재활용업체가 수거해가는 양을 모두 재활용하는 것으로 간주한 것이어서 실질 재활용률[13]과는 거리가 있다는 점에 유의해야 한다. 지정폐기물은 63%가 재활용되고 21%가량이 매립되고 있는데, 규모는 크지 않다.

2. 폐기물 처리시설 현황

1) 폐기물 처리시설의 운영 현황

폐기물 처리시설은 중간처분시설과 최종처분시설로 구분한다. 중간처분시설은 다시 소각시설과 기타시설로 나뉘는데, 기타시설에는 증발, 농축, 파쇄 등의 기계적 시설과 반응, 응집, 침전, 고형화 및 안정화를 포함하는 화학적 시설, 그리고 소멸화, 호기성 및 혐기성 분해의 생물학적 시설이 있다. 최종처분시설에는 매립시설이 해당한다. 모든 시설은 다시 운영 주체에 따라 공공시설과 자가처분시설로 구분할 수 있다.

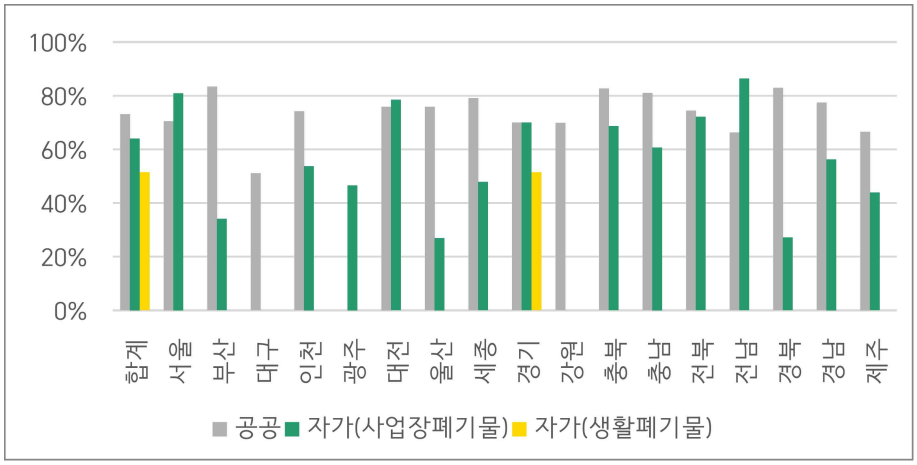
중간처분시설 중 소각시설은 지방자치단체의 시설용량이 전체의 72%로 자가처리시설보다 높고, 평균 가동률[14] 역시 지방자치단체 73%, 자가처리시설 64%로 공공시설에서 더 많은 소각폐기물을 처리하고 있다. <그림 2-4>에서도 자가처리시설은 지역별로 가동률에 상당한 편차를 보이지만 공공처리시설은 대구를 제외하고는 대체로 높은 가동률을 보인다.

기타시설은 소각시설과 매립시설을 제외한 모든 시설을 통칭하며, 선별시설과 음식물자원화시설, 혐기성 소화시설, 연료화 시설 등이 포함된다. 2018

13) 분리수거된 쓰레기가 실질적으로 재활용되는 비율. 재활용업체에서 선별 및 처리 과정을 거친 뒤 실제로 재활용되는 비율을 의미한다.

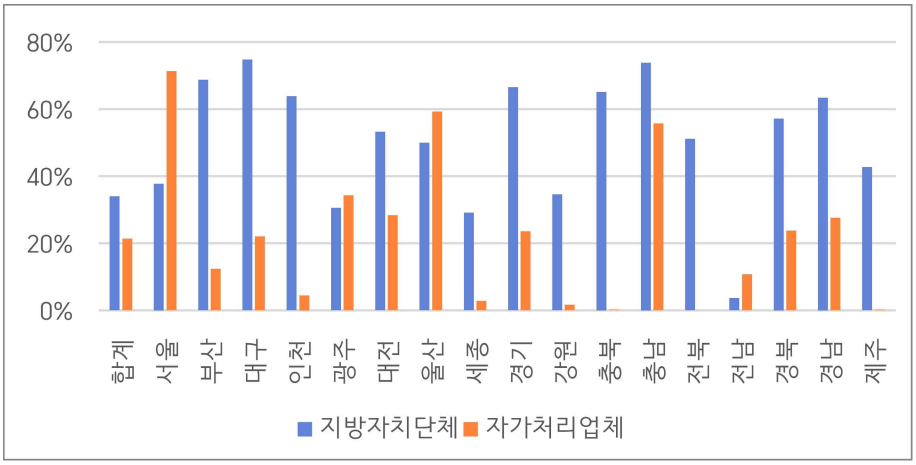
14) 가동률은 시설을 365일 가동하는 것을 가정하여 계산한 것으로 실제 가동률보다 낮을 수 있다.

년 처리량은 지방자치단체 467만 톤, 자가처리시설 884만 톤으로 자가처리시설에서 더 많은 양을 처리하고 있다. 평균 가동률은 지방자치단체 34%, 자가처리시설 21%로 높지 않으나 지역별 편차가 커서 서울(자가), 대구(공공), 충남(공공)은 가동률이 70%를 상회한다(그림 2-5 참고).



※주: 가동률은 2018년 처리량/(시설용량*365)*100으로 계산함.
※자료: 환경부・한국환경공단(2019)에서 재구성.

<그림 2-4> 소각시설 가동률

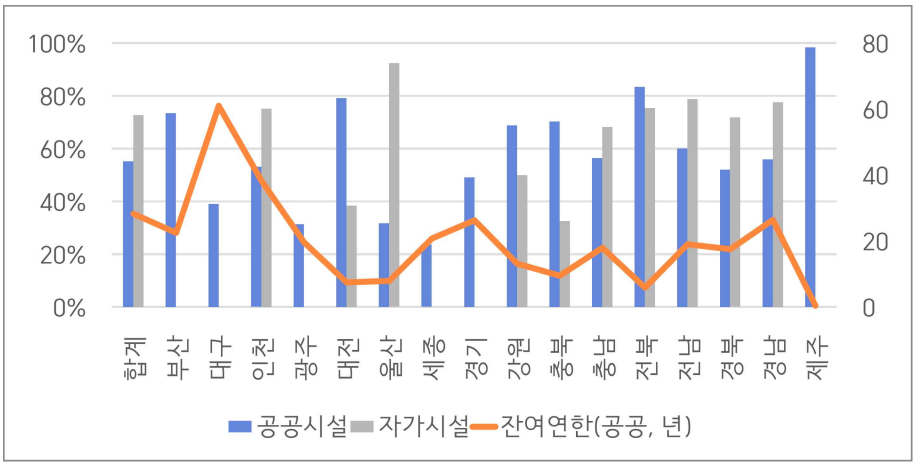


※주: 가동률 = 2018년 처리량/(시설용량*365)
※자료: 환경부・한국환경공단(2019)에서 재구성.

<그림 2-5> 기타시설 가동률

최종처분시설인 매립시설은 2018년 기준 지방자치단체 218개소, 자가처리업체 27업체가 운영되고 있으며 대량의 사업장폐기물을 배출하는 발전소 등에서 자가매립시설을 운영하는 것을 제외하면 대부분 공공매립시설에 의존하는 구조다. <그림 2-6>에서 볼 수 있듯 공공매립시설의 시설 포화도는 전국 평균 55%인데, 전북은 83%, 제주는 98%이며 대전과 울산, 충북, 전북 역시 사용 가능 연한이 10년 미만으로 거의 포화상태에 이르렀다.

매립시설은 부지선정 과정에서 주민 수용성을 확보하는 것이 어렵고 시설의 조성에도 수년이 소요되어 새로운 매립지를 조성하기가 쉽지 않다. 게다가 다른 지역의 매립지를 이용하는 경우에는 이해관계의 충돌로 인한 갈등이 대두되기도 한다. 인천의 수도권매립지를 공동으로 이용하고 있는 서울과 경기, 인천 지역의 경우 매립용량은 여유 있으나 계약 종료로 인해 새로운 매립지를 선정해야 하는 상황이다.

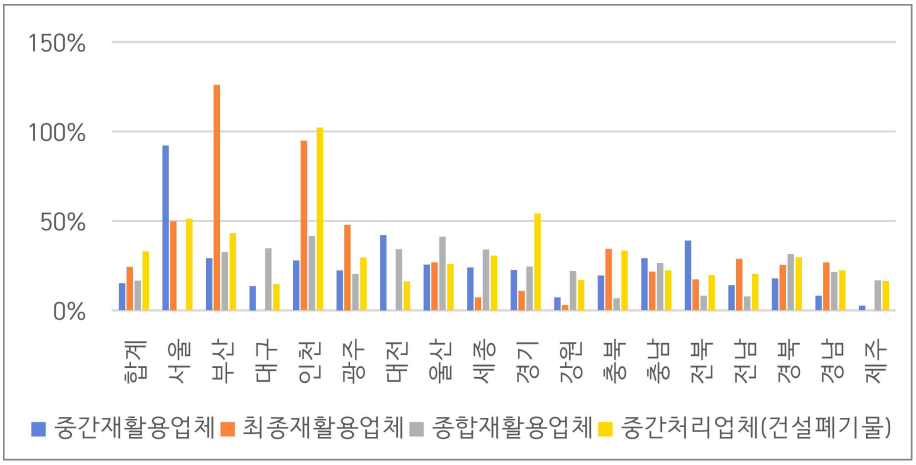


※시설 포화도 = 기매립량(㎥)/총매립용량(㎥)
※사용 가능 연한 = 잔여매립 가능량(㎥)/2018년 매립량(㎥)
※자료: 환경부・한국환경공단(2019)에서 재구성.

<그림 2-6> 매립시설의 시설 포화도 및 사용 가능 연한

재활용업체는 중간가공 폐기물을 만드는 중간재활용업체, 중간가공 폐기

물을 재활용하는 최종재활용업체, 중간재활용업과 최종재활용업을 함께 하는 종합재활용업체로 구분할 수 있다. 2018년 기준 중간재활용업체(1,334개소)가 416만 톤, 최종재활용업체(277개소)가 258만 톤을 처리하였으며 종합재활용업체(4,018개소)가 3,686만 톤을 처리하여 종합재활용업체의 규모가 가장 크다. <그림 2-7>은 이들 재활용업체의 가동률을 나타내는데, 업체 수가 많은 만큼 대체로 40% 이하의 낮은 가동률을 보인다. 다만 서울의 중간재활용업체와 부산, 인천의 최종재활용업체 가동률은 100% 안팎으로 포화상태에 이른 것을 볼 수 있으며 인천의 건설폐기물 중간처리업체 역시 102%의 가동률을 보인다.



※주: 가동률 = 2018년 처리량/(처리능력*365)
※자료: 환경부・한국환경공단(2019)에서 재구성.

<그림 2-7> 폐기물 처리업체 가동률

2) 수도권매립지와 반입총량제

수도권매립지는 난지도매립지의 사용종료 이후 수도권의 폐기물 매립을 위해 인천 서구에 조성한 대규모 광역 위생 매립지이다. 1992년에 매립을 시작하여 2016년 매립을 종료할 예정이었으나 대체부지를 찾지 못함에 따라 사용 기간을 2025년까지 연장하였다. 2016년에 포화될 것으로 예상한 매립장은 도시가스 보급 확대에 따른 난방방식의 변화와 쓰레기종량제 시행, 음식

물 및 재활용 쓰레기 분리수거, 소각률 증가 등으로 폐기물 매립량이 감소하여 현재 네 곳의 매립장 중 세 곳의 매립장을 이용하고 있다(표 2-2 참고).

매립용량이 남아있음에도 인천시에서 2026년에 매립지 사용을 종료하기로 한 것은 악취와 먼지, 침출수로 인한 오염에 따른 인근 주민들의 피해 때문이다. 사용 기간 연장 당시 매립종료 시점까지 서울・경기・인천의 3개 시도가 대체 매립지를 마련하기로 하였으나 지자체가 대책을 마련하지 않자 원인자 부담원칙을 내세워 지역에서 발생한 폐기물을 지역에서 처리하기를 주장하고 있다.

<표 2-2> 수도권매립지 규모

(단위 : 만㎡, 만 톤)

구분	매립 기간	부지면적	매립면적	매립용량
제1매립장	1992.02~2000.10	409	251	6,425
제2매립장	2000.10~2018.10	378	262	8,018
제3-1매립장	2018.09~	103	83	1,819
제4매립장 등		593		6,538
기타(시설단지)		117	-	-
총계		1,600	596	22,800

※주: 제4매립장 등은 제3매립장의 잔여부지(3-1매립장 제외)를 포함한 정보임.
※자료: 수도권매립지관리공사(https://www.slc.or.kr/main.do).

수도권에서는 쓰레기 매립지가 조기 포화되는 것을 막기 위해 2020년 1월 1일부터 지자체별로 매립지에 반입할 수 있는 폐기물의 총량을 제한하고, 이를 어기는 경우 폐기물 반입수수료를 100% 가산하여 징수하는 한편 일정 기간 반입을 정지하도록 하는 '수도권 생활폐기물 반입총량제'를 도입하였다. 이에 따라 지자체는 직매립 생활폐기물을 2018년 대비 10% 감축해야 한다. 그러나 2020년에 대상 지자체 58곳 중 43곳이 반입총량제를 위반한 것으로 나타났다(부표 1-1 참고). 지역별로는 서울시 25개 지자체 중 20개, 경기도 24개 지자체 중 14개, 인천 9개 지자체 모두가 반입총량제를 위반하였으며 서울시가 총량 대비 124.8%, 인천시에서 116.6%, 경기도 역시 111.3%를

반입하였다. 반입총량제는 반입수수료가 높지 않고, 5일간의 반입 중지조치 역시 2일과 3일로 나누어 불편을 줄여주고 있어 실효성이 없다고 지적된다.

3. 폐기물 관리정책 현황

1990년대의 폐기물 관리정책은 주로 폐기물의 발생 억제와 재활용 촉진을 중심으로 한다. 1991년 전국적으로 쓰레기 분리수거제도를 실시하여 분리배출 및 수거선별을 강화하였고 1992년 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」의 발효와 함께 포장 폐기물 발생억제제도, 일회용품 사용규제, 폐기물 부담금제도 등을 실시하였다. 1995년에는 쓰레기종량제, 1996년에는 사업장 폐기물 감량화제도를 통해 폐기물의 발생을 원천적으로 억제하고자 하였다.

2000년대에는 폐기물의 자원순환을 위한 여러 정책이 시행되었다. 대표적으로 생산자에게 일정 비율의 재활용의무를 부여하여 폐기물의 감량과 재활용을 촉진하는 생산자책임재활용제도(Extended Producer Responsibility, EPR; 2003년 시행)를 들 수 있다. 국세청 고시로 시행되던 빈용기보증금제도를 2002년부터 환경부에서 운영하는 한편 2008년에는 환경성보장제도(EcoAS)를, 2014년부터는 폐가전제품 무상방문 수거를 시행하였다. 2014년부터는 전국적으로 음식물류쓰레기종량제를 시행하며, 음식물류폐기물의 자원화를 촉진하기 위한 지원을 강화하고 있다.

그러나 폐기물 발생량의 증가와 매립 및 소각처리의 한계로 인해 정책 패러다임 전환에 대한 요구가 높아졌다. 이에 따라 폐기물의 발생을 최대한 억제하고 순환이용을 촉진하여 순환경제사회를 구축하는 것을 목적으로 하는 「자원순환기본법」이 2018년 시행되었다. 이후 제품 등 순환이용성 평가, 포장재 재활용용이성 등급평가 및 표시(재활용 등급제), 자원순환 성과관리제도, 순환자원 인정제도, 폐기물처분부담금제도 등이 시행되었다.

현재 폐기물 정책은 효율적인 생산과 소비, 물질재활용, 처리선진화 등을 바탕으로 자원순환사회를 구축하는 것을 목표로 한다. 자원순환 정책은 전 과정에 걸쳐 폐기물의 발생을 최소화하여 최종처분량을 줄이고, 자원순환이용률을 높이고자 한다.

제 3 절. 폐기물산업연관표

1. 폐기물산업연관표의 구성 및 특징

WIO는 투입산출표의 우측에 폐기물 처리시설의 정보가, 하단에 폐기물 분류별 발생량 정보가 연계된 형태를 띤다. 일반적으로 폐기물 종류와 폐기물 처리시설 수가 일치하지 않기 때문에, 투입산출표는 행과 열 수가 같은 정방행렬(square matrix)임에 반해 WIO는 비정방행렬(non-square matrix)이 된다. <표 2-3>은 산업부문, 폐기물 부문, 폐기물 처리부문을 포함하는 WIO의 구조를 나타낸다.

<표 2-3> 비정방형 폐기물산업연관표

	산업부문	폐기물 처리부문	최종수요	행 합
산업부문	X_0	X_z	X_f	X
폐기물 부문	W_0	W_z	W_f	W
부가가치	V_0	V_z	V_f	V
환경부하	E_0	E_z	E_f	E

※자료: 中村愼一郎(2000).

WIO의 상단부에 해당하는 산업부문 행은 경제활동과 폐기물 처리부문 사이의 투입산출 흐름을 나타내며 화폐단위로 표시된다. X_0는 N개의 산업으로 구성되는 투입산출표의 산업간 투입구조를 나타내며, X_z는 T개의 처리수단으로 구성되는 생산부문의 폐기물 처리부문 투입구조이다. X_f는 일반적인 투입산출표의 최종수요를 나타낸다. 하단부는 폐기물의 배출 흐름을 나타내며, 물량 단위로 표현된다. W_0는 생산부문의 폐기물 발생량, W_f는 최종수요 부문에서 배출되는 폐기물 배출량이며, W_z는 폐기물 처리부문에서 발생하는 폐기물의 배출량이다. WIO의 하단에는 이산화탄소 배출량이나 폐수발생량 등을 추가하여 환경부하(E)를 나타낼 수 있다.

비정방행렬 형태를 가지는 WIO를 분석에 이용하기 위해서는 배분 행렬(allocation matrix)을 통해 정방행렬로 전환해야 한다. 배분 행렬 S의 구성요소 S_{tk}는 폐기물 k 중에서 폐기물 처리시설 t에서 처리되는 물량의 비율을 의미한다. 폐기물 배출량을 나타내는 W_0와 W_z, W_f에 배분 행렬을 곱하면 배출된 폐기물의 처리부문별 처리량의 형태로 변환된다.

2. 폐기물 투입산출분석

WIO는 산업연관표를 확장한 것이므로, 전통적인 산업연관분석의 분석모형을 확장하여 폐기물 투입산출분석에 적용할 수 있다. 본 절에서는 WIO를 이용한 분석방법을 설명한다.

1) 투입계수 및 오염배출계수

WIO에서 $X_{ij}(i=1,...,N, j=1,...,N+T)$가 i에서 생산되어 j에서 이용되는 항목별 투입산출 흐름이라고 할 때, j는 N개의 산업과 T개의 폐기물 처리부문을 의미한다. 따라서 최종수요를 f_{X_i}라고 하면, (수식 2-1)이 성립한다.

(수식 2-1) $$X_i = (\sum_{j=1}^{N+T} X_{ij}) + f_{X_i} \ (i=1,...,N)$$

폐기물 부문에서도 마찬가지로 $W_{kj}(k=1,...,K, j=1,...,N+T)$가 j에서 발생하는 폐기물 k의 배출량이고 최종수요부문에서 발생하는 폐기물량이 f_{W_k}라면, 폐기물 배출량 사이에는 (수식 2-2)가 성립한다.

(수식 2-2) $$W_k = (\sum_{j=1}^{N+T} W_{kj}) + f_{W_k} \ (k=1,...,K)$$

이때 W_k는 폐기물 종류별 배출량으로, 배분 행렬 S_{tk}을 이용해서 변환한 정방형 폐기물투입산출행렬의 하단부는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

(수식 2-3) $$Z_t = \sum_{j=1}^{N+T} [\sum_k S_{tk}(W_{kj} + f_{W_k})] \ (t=1,...,T)$$

이 식에서 Z_t는 각 폐기물 처리시설에서 처리되는 전체 폐기물처리량을 의미한다. 위의 변수를 활용하여 투입계수(input coefficients) 및 오염배출계수(emission coefficients)를 다음과 같이 도출한다.

(수식 2-4)

$$\begin{aligned} A_X &= a_{ij}^X = X_{ij}/X_j \ (i,j=1,\ldots,N) \\ A_Z &= a_{it}^Z = X_{i,t}/Z_t \ \ (i=1,\ldots,N;t=1,\ldots,T) \\ G_X &= g_{kj}^X = X_{kj}/X_j \ (k=1,\ldots,K;j=1,\ldots,N) \\ G_Z &= g_{kt}^Z = X_{k,t}/Z_t \ \ (k=1,\ldots,K;t=1,\ldots,T) \end{aligned}$$

투입계수A_X는 j 산업부문이 한 단위의 생산물을 생산하는 데 필요한 i 산업부문으로부터의 투입액을, A_Z는 t 폐기물 처리부문이 한 단위의 폐기물을 처리하는 데 필요한 i 산업부문으로부터의 투입액을 의미한다. 배출계수 G_X는 j 산업부문이 한 단위의 생산물을 생산하는 과정에서 발생하게 되는 k 폐기물의 발생량, G_Z는 t 폐기물 처리부문이 한 단위의 폐기물을 처리하는 과정에서 발생하게 되는 k 폐기물 발생량이다.

2) 생산유발계수 및 오염유발계수

투입계수와 배출계수를 이용하여 산출량과 배출량을 나타내면 다음과 같다.

(수식 2-5)

$$\begin{aligned} X_i &= (\sum_{j=1}^{N} a_{ij}^X X_j) + (\sum_{t=1}^{T} a_{i,t}^Z Z_t) + f_{X_i} \ (i,j=1,\ldots,N;t=1,\ldots,T) \\ Z_t &= \sum_{k=1}^{K} s_{tk} (\sum_{j=1}^{N} g_{kj}^X X_j + \sum_{t=1}^{T} g_{kt}^Z Z_t + f_{W_k}) \ (j=1,\ldots,N;k=1,\ldots,K;t=1,\ldots,T) \end{aligned}$$

위의 수식을 이용하여 식을 행렬형태로 표현하면 (수식 2-6)과같이 폐기물 투입산출행렬을 나타낼 수 있다.

(수식 2-6)

$$\begin{pmatrix} X \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_X & A_Z \\ SG_X & SG_Z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} f_X \\ Sf_W \end{pmatrix}$$

이제 투입계수와 배출계수가 일정하게 유지되고 각 행렬의 역행렬이 존재한다고 가정한다. 이 식을 변수 X와 Z에 대해서 풀면 (수식 2-7)이 성립한다.

(수식 2-7) $$\begin{pmatrix} X \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I - A_X & -A_Z \\ -SG_X & I - SG_Z \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} f_X \\ Sf_W \end{pmatrix}$$

(수식 2-7)은 일반적으로 산업연관분석에서 사용되는 기본모형과 같은 구조를 가지며, 이 식에 나타난 역행렬 역시 확장된 형태의 Leontief 역행렬이라고 할 수 있다. (수식 2-7)에서 계산된 X는 생산유발액으로, 산업부문별 국내생산액이 어떤 최종수요에 의해 얼마만큼 유발되는지를 나타낸다. 마찬가지로 Z는 배출유발량(induced emissions)을 나타내며 최종수요에 의해 유발되는 산업부문별 폐기물 배출량을 보여준다. 본 연구에서 폐기물을 배출하는 최종수요는 민간소비뿐이므로, 가계의 최종수요에서 발생한 폐기물(Sf_W)이 한 단위 증가할 때 유발되는 폐기물 배출량을 의미한다. 가계의 최종수요와 폐기물 배출량은 비례하기 때문에, 이는 최종수요의 증가로 유발된 국내생산과 관련하여 발생한 배출량이라고도 할 수 있다. 최종수요 항목별 배출유발량을 G_{ik}라 할 때, 대응하는 각 최종수요의 합으로 나누면 다음과 같이 최종수요 항목별 배출유발계수(C_{ik})를 구할 수 있다.

(수식 2-8) $$C_{ik} = G_{ik} / \sum_i F_{ik}$$

생산유발계수는 최종 수요가 한 단위 증가할 때 이를 충족시키기 위하여 각 산업부문에서 직・간접적으로 유발되는 산출액의 크기를 말하고, 배출유발계수는 최종 수요가 한 단위 증가하였을 때 그 결과로 각 산업부문에서 직간접적으로 유발되는 배출량의 크기를 말한다.

마지막으로 최종수요 항목별 배출유발량을 산업부문별 배출유발의 합으로 나눈 값을 배출유발의존도(D_{ik})라고 한다. 배출유발의존도는 각 산업부문의 폐기물 배출량이 어떤 최종수요에 의해 얼마만큼 유도되는지를 비율로 표시한 것으로, 각 산업이 직간접적으로 어떤 최종수요에 의존하고 있는가 하는 수요 특성을 보여준다.

(수식 2-9) $$D_{ik} = G_{ik} / \sum_k G_{ik}$$

배출유발분석에서는 최종수요의 증가가 폐기물 처리시설에 미치는 영향을 파악할 수 있다.

3) 탈동조화 분석

일반적으로 경제 규모가 성장하면 폐기물의 배출량도 증가하는 것으로 알려져 있다. 그러나 경제가 성장해도 배출량이 증가하지 않거나 감소할 수 있는데, 이를 탈동조화(decoupling[15])라고 한다. 배출량을 산출로 나눈 배출강도(emission indensity)가 시간에 따라 감소하면 탈동조화가 일어나는 것으로 본다.

탈동조화가 일어나지 않는다고 가정하면 경제 규모의 성장에 따라 오염물질의 배출량도 증가하게 되므로, 탈동조화는 경제발전의 지속가능성을 보여주는 중요한 개념이다. OECD(2002)에서는 탈동조화 지수를 지속가능성 지표(Sustainability indicators)의 하나로 선정하고 다음과 같이 정의한다.[16] (수식 2-10)에서 EP는 환경부하(environmental pressures)이고, DF는 경제 구동력(driving force)이다.

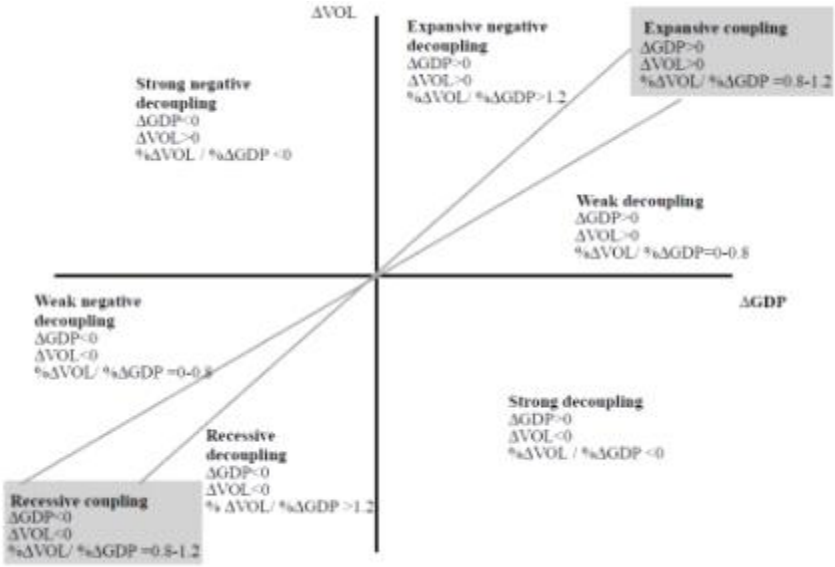
(수식 2-10) $$Ratio = \frac{(EP/DF)_{end\,of\,period}}{(EP/DF)_{start\,of\,period}}$$

이때 비율이 1보다 작으면 해당 기간에 탈동조화가 일어난 것이다. 탈동조화 현상이 강할수록 값이 작아지는 것을 피하고자 (수식 2-11)과같이 정의한다. 값이 0보다 크거나 같으면 환경효율성이 개선되고, 0보다 작으면 환경효율성이 악화되는 것을 의미한다.

(수식 2-11) $$Decoupling\,factor = 1 - Decoupling\,ratio$$

Tapio(2005)는 탈동조화를 온실가스 배출량의 GDP 탄력성($\triangle CO2/\triangle GDP$)으로 정의하고, <그림 2-8>의 여덟 가지로 구분하였다.

15) 환경부(2006)에서는 탈동조화(decoupling)를 "연계차단"이라는 용어로 번역하였다.
16) 일본 NAMEA에서는 환경효율개선지표(Environmental Efficiency Improvement Index, EEII)라는 용어를 사용한다(Ariyoshi, 2006 참고).



※주: Tapio(2005) 참고.

<그림 2-8> 경제성장과 환경부하 증가의 탈동조화 정도

이를 다른 환경부문에 적용하기 위해 (수식 2-12)로 표현할 수 있다. X_t와 X_0는 종료 시점과 초기의 환경부하이며, Y_t와 Y_0는 각각 종료 시점과 초기의 경제지표(GDP 또는 총산출)이다. 탈동조화 지표 기준은 <표 2-4>와 같다.

(수식 2-12) $$D_t = \frac{(X_t - X_0)/X_0}{(Y_t - Y_0)/Y_0}$$

이처럼 경제 정보와 환경정보를 동시에 이용하는 탈동조화 지표는 WIO와 같은 환경경제통합계정을 통해서 계산할 수 있는 대표적인 지수이기도 하다. 순환경제사회의 달성을 위해서는 탈동조화 지표를 성과지표로 삼을 수 있다.

<표 2-4> 탈동조화 지표 기준

	$\triangle X$	$\triangle Y$	D_t	Decoupling state
1	<0	>0	$D_t < 0$	strong decoupling
2	>0	>0	$0.8 \geq D_t > 0$	weak decoupling
3	>0	>0	$1.2 \geq D_t > 0.8$	expansive coupling
4	>0	>0	$D_t > 1.2$	expansive negative decoupling
5	>0	<0	$D_t < 0$	strong negative decoupling
6	<0	<0	$0.8 \geq D_t > 0$	weak negative decoupling
7	<0	<0	$1.2 \geq D_t > 0.8$	recessive coupling
8	<0	<0	$D_t > 1.2$	recessive decoupling

※자료: Tapio(2005); Wang et al.(2017)에서 도표화한 것을 재인용.

4) 균형가격모델[17)]

최근 폐기물 배출량 증가와 수출 금지 등으로 인해 매립시설과 소각시설의 처리비용이 급증하고 있다. 폐기물 처리비용은 규모가 크지 않아 크게 주목받지 않았지만, 처리비용 증가로 인해 불법 방치폐기물이 증가하는 등 사회적 문제로 떠오르고 있다. 가격모델 분석을 통해 이러한 폐기물 처리비용의 증가로 인한 생산자가격 파급효과와 소비자가격 파급효과를 분석한다.

특정 산업부문의 생산자가격이 상승했을 때, 다른 산업의 생산자가격에 영향을 미칠 수 있다. 폐기물 처리업 k의 가격이 상승하였다고 가정하면 해당 산업을 외생변수로 취급하여 j부문의 가격 균형식을 다음과 같이 쓸 수 있다.

(수식 2-13) $p_j = p_1 a_{1j} + \cdots + p_{k-1} a_{k-1j} + p_{k+1} a_{k+1j} + \cdots + p_n a_{nj} + (p_k a_{kj} + v_j)$

이 식을 행렬로 표시하면 다음과 같다.

(수식 2-14) $P^* = A'^* P^* + (P_k A_k'^* + V^*)$

P^*는 가격 열벡터에서 k부문의 가격을 제외한 열벡터이다. A^* 역시 k행을 제외한 투입계수 행렬이며, A'^*는 A^*의 전치행렬이다. A_k^*는 투입계수행렬

17) 본 절의 내용은 이데 마사히로(2007)를 바탕으로 한다.

A의 k행 벡터에서 k부문을 제외한 벡터로, k부문의 배분 벡터를 의미한다. V^*는 부가가치율의 열벡터에서 k부문을 제외한 열벡터이다. 위의 식을 P^*에 대해 정리하면 (수식 2-15)를 얻을 수 있다.

(수식 2-15) $$P^* = (I - A'^*)^{-1}(P_k A_k'^* + V^*)$$

k부문의 가격이 $\triangle P_k$만큼 상승한 경우 산업부문별 가격 상승분을 $\triangle P^*$라고 하면 다음 식이 성립한다.

(수식 2-16) $$P^* + \triangle P^* = (I - A'^*)^{-1}[(P_k + \triangle P_k)A_k'^* + V^*]$$

이때 (수식 2-16)에서 (수식 2-15)를 빼면 (수식 2-17)와 같이 특정 산업의 생산자가격 상승이 각 산업부문의 생산자가격에 미치는 파급효과를 나타내는 모델을 구할 수 있다.

(수식 2-17) $$\triangle P^* = (I - A'^*)^{-1} \triangle P_k A_k'^*$$

폐기물 처리업 k의 생산자가격이 한 단위 상승($\triangle P_k = 1$)하면, 각 산업의 비용은 $A_k'^*$만큼 증가하여 각 산업의 가격을 직접 상승시킨다. 그리고 $A_k'^*$는 A'^*를 통해 각 산업의 투입비용으로 파급된다.

다음으로 소비자가격 파급효과를 살펴본다. 앞서 계산한 파급효과가 기업물가지수(총평균) (Corperate Goods Price Index, CGPI) 및 소비자물가지수(종합) (Consumer Price Index, CPI)에 어느 정도 영향을 미치는지는 다음과 같이 구할 수 있다.

(수식 2-18) $$\triangle CGPI = \sum_{i=1}^{N} \triangle P_i \cdot \sum_{j=1}^{N} x_{ij} / \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} x_{ij}$$
$$\triangle CPI = \sum_{i=1}^{N} \triangle P_i \cdot Cp_i / \sum_{i=1}^{N} Cp_i$$

이때 $\sum_{j=1}^{N} x_{ij} (i = 1, 2, ..., n)$는 각 산업부문의 중간수요 합계이고,

$Cp_i(i=1,2,...,n)$는 산업부문별 민간소비지출을 의미한다. 레온티예프의 가격모델은 수요와 공급에 의해 결정되는 시장가격이 아니라, 생산비용의 변화에 따른 비용 상승 부분을 각 산업부문이 생산자가격에 그대로 전가할 경우 직간접적으로 파급되는 이론적인 값이라는 점을 유의해야 한다.

제 4 절. 폐기물산업연관표 구축

1. 폐기물산업연관표의 구축

1) 자료

본 연구에서는 2015년과 2018년의 WIO를 구축한다. 기존의 투입산출표에 해당하는 X_0, X_f, V_0는 한국은행의 2015년과 2018년 투입산출표 기본부문을 본 연구의 산업부문에 맞게 분류하여 사용한다.

폐기물의 배출량 정보를 나타내는 부분 중 W_0와 W_f는 환경부의 전국폐기물 발생 및 처리현황(2015, 2018) 자료를 이용한다. 산업부문별 폐기물 배출량은 업종별 사업장 배출시설계 폐기물과 건설폐기물 배출량을 이용하되, 건설폐기물은 건설업에서만 배출되는 것으로 간주한다. 최종수요부문의 폐기물 배출량은 사업장 생활계 폐기물[18]과 가정생활 폐기물 배출량을 이용한다.

폐기물 처리시설에서 발생하는 폐기물 배출량 W_z는 소각시설에서 소각 후 발생하는 비산재, 바닥재나 재활용 처리시설에서 재활용 후 남는 폐기물 등을 의미한다. 전국폐기물 발생 및 처리현황 통계는 2018년부터 폐기물 처리시설별 잔재물 발생 및 처리현황 정보를 추가로 제공하고 있는데, 시설별 2018년 처리량과 잔재물 발생 및 처리현황을 알 수 있다[19]. 다만 각 시설에서 발생하는 잔재물의 성분은 알 수 없으므로, 처리시설에서 발생한 잔재물의 성상 역시 일반폐기물과 같다고 가정하고 처리시설별 폐기물 성상 비율을 이용하여 성분별로 분해한다. 이렇게 구한 처리시설별 폐기물 발생량에 배분행렬을 곱하면 원자료의 잔재물 처리현황과 일치하게 된다. 2015년에는 이와 같은 정보가 제공되지 않아 전국폐기물통계조사(5차, 2016~2017)를 이용한

---

18) 사업장 생활계폐기물은 엄밀히는 산업별 배출량 정보로 분류되어야 하지만, 어떤 산업에서 배출되는지가 따로 집계되지 않고 배출량 또한 적으므로 최종수요부문에 통합하였다.

19) 2018년 처리량에는 보관량과 이월량이 포함되지 않아 전국폐기물 발생 및 처리현황 통계의 폐기물처리량보다 적으므로, 처리 시설별 폐기물처리량(톤/일)*365/2018년 처리량(톤)을 곱하여 보정하였다.

다. 매년 발표되는 전국폐기물 발생 및 처리현황 자료와 달리 전국폐기물통계조사는 5년 단위로 표본조사를 하므로, 2016년 표본 배출량을 나타내는 5차 보고서의 처리시설 별 폐기물 발생량 자료를 (수식 2-19)을 이용하여 2015년 전체 폐기물량 기준으로 환산한 뒤 2018년 자료와 동일하게 성분별로 분해한다.[20] 폐기물 처리부문의 투입구조를 나타내는 X_z는 투입산출표의 폐기물 처리업종을 이용한다. 구체적으로 산업연관표의 '폐기물 수집, 운반 및 처리(국공립)'과 '폐기물 수집, 운반 및 처리(산업)'에 국공립 및 산업의 매립 및 소각처리 비율을 곱하여 각각 매립 및 소각시설의 투입산출구조를 구하고, '자원재활용서비스'에서 재활용 부문의 투입산출구조를 구한다.

(수식 2-19) $$\text{처리시설폐기물발생량(표본)} \times \frac{\text{2015폐기물처리량(전체)}}{\text{2016폐기물처리량(표본)}}$$

환경부하(E_0)에는 온실가스 배출량과 폐수방류량 정보를 제시한다. 온실가스 배출량은 산업별 에너지원 사용량을 토대로 배출계수를 이용하여 계산하였다[21]. 폐수 배출량은 환경부・국립환경과학원(2017, 2020)의 "산업폐수의 발생과 처리"를 본 연구의 산업분류에 맞게 재구성하여 이용하였다.

2) 산업분류

본 연구에서는 폐기물 발생량이 적은 서비스업을 하나로 통합하고 제조업 부문을 세분하여 <표 2-5>와 같이 총 19개 산업으로 구분한다.

WIO 구축 시 서로 다른 산업분류를 가지는 자료원을 이용하기 때문에 각 자료의 산업분류를 연결하여 통일된 산업분류를 구성할 필요가 있다. 본고에서는 IO-KSIC 연계표를 참고하여 한국은행 투입산출표의 상품분류와 한국표

20) 2016년 폐기물처리량은 '전국폐기물통계조사'의 표본 폐기물처리량이고, 2015년 폐기물처리량은 '전국폐기물 발생 및 처리현황'의 전체 폐기물처리량이다.

21) 온실가스 배출량은 에너지사용에 따른 배출량과 비에너지 온실가스 배출량으로 구분할 수 있다. 에너지사용에 따른 배출량은 에너지밸런스를 바탕으로 에너지원별 총수요를 파악하고, 이를 각 산업에 할당한 뒤 배출계수를 곱하여 계산한다. 비에너지 온실가스 배출량은 해당 온실가스를 배출하는 산업에 배분한다. 구체적인 계산과정은 환경부・한국환경산업기술원(2021)의 온실가스 산업연관표 구축방법을 따른다.

준산업분류(9차)를 기준으로 하는 '전국폐기물 발생 및 처리현황' 및 '전국폐기물통계조사'의 분류기준을 연결하고, 이들 산업분류의 연계표는 <부표 1-2>에 제시한다.

<표 2-5> 폐기물산업연관표 산업분류

코드	산업명	코드	산업명
IND01	농림어업	IND11	기계 및 장비 제조업
IND02	광업	IND12	전기 및 전자, 정밀기기 제조업
IND03	음식료품 제조업	IND13	운송장비 제조업
IND04	섬유 및 가죽제품 제조업	IND14	가구 및 기타제품 제조업
IND05	목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	IND15	전기, 가스, 증기 및 수도사업
IND06	석탄 및 석유정제품 제조업	IND16	하수·폐기물 처리 및 환경복원업
IND07	화학물질 및 화학제품 제조업	IND17	건설업
IND08	비금속 광물제품 제조업	IND18	서비스업
IND09	1차 금속 제조업	IND19	공공행정, 국방 및 사회보장 행정
IND10	금속가공제품 제조업		

3) 폐기물의 분류 및 처리방법

WIO에는 <그림 2-1>의 폐기물 중에서 지정폐기물을 제외한 생활계폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물이 포함된다. 배출원에 따라 주로 배출되는 폐기물의 성상이 다르므로 각각의 폐기물은 서로 다른 분류기준을 가진다.

각 폐기물의 분류는 <표 2-6>과같이 재구성하여 가연성과 불연성, 가연성·불연성 혼합, 재활용 가능 자원 분리배출, 음식물류폐기물 분리배출로 구분되는 통합기준을 만들되[22], 각 폐기물의 고유한 특성을 살리는 방식으로 분류기준을 세분하였다. 2018년에 일부 폐기물 분류기준이 달라짐에 따라 2015년의 분류기준에서 '가연성-폐전기전자제품류'와 '가연성·불연성 혼합-기타'가 추가되었으며, 2015년의 WIO는 28종, 2018년의 WIO는 30종

22) 생활계폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물의 분류기준을 나타낸 폐기물 분류 연결표는 <부표 1-3>에 제시한다.

의 폐기물로 구분한다.

폐기물의 처리방법은 매립, 소각, 재활용의 세 가지 범주로 구분한다.

<표 2-6> 폐기물 분류

가연성	음식물・채소류, 종이류, 나무류, 고무・피혁류, 플라스틱류, 섬유류, 폐전기전자제품류*, 기타
불연성	건설폐재류, 무기성 오니류, 유리・도자기류, 금속류, 토사류, 기타
가연성・불연성 혼합	혼합건설 폐기물, 폐보드류, 폐판넬, 기타*
재활용 가능 자원 분리배출	종이류, 유리류, 고철・캔류, 합성수지류, 전기・전자제품류, 타이어, 폐유, 의류, 영농폐기물, 가구류, 기타
음식물류폐기물 분리배출	음식물류폐기물 분리배출

※주: * 2018년에 추가된 폐기물.

2. 폐기물산업연관표 결과표

1) 폐기물산업연관표

2015년과 2018년의 WIO는 각각 <표 2-7> 및 <표 2-8>과 같다. 표의 상단에 해당하는 산업부문은 투입산출 구조를 의미하며 화폐단위이고, 하단의 폐기물 부문은 각 산업에서 배출하는 폐기물 발생량으로 물량 단위이다. 산업활동에 따른 환경부하는 온실가스 배출량과 폐수발생량을 집계한다. 표의 우측에는 매립, 소각, 재활용으로 구분되는 폐기물 처리시설의 정보가 자리하며, 상단은 폐기물 처리시설의 투입구조, 하단은 폐기물처리 과정에서 발생하는 폐기물 발생량이다.

폐기물 배출량은 2015년 대비 2018년이 약 2천만 톤 감소하였다. 이러한 변화의 대부분은 재활용 처리시설에서 발생한 폐기물에서 기인하는 것으로, 2015년과 2018년의 처리시설 잔재물 발생량 계산방법의 차이[23] 때문이라고

23) 2015년의 처리시설 배출량은 표본조사 자료인 '전국폐기물통계조사(2016)'의 값을

볼 수 있다. 폐기물 처리시설에서 발생한 폐기물을 제외하면 산업부문과 가정에서 발생한 폐기물 배출량은 오히려 약 899만 톤가량 증가하였다. 산업별로는 ‘IND17. 건설업’이 가장 많은 폐기물을 배출하는데, 2018년에는 산업별 폐기물 배출량의 59.5%에 해당하는 연 7,665만 톤을 배출하였다. 다음으로 폐기물을 발생시키는 ‘IND09. 1차 금속 제조업’은 1,900만 톤(14.7%)의 폐기물을 배출하였다.

폐기물 종류별로는 ‘IND17. 건설업’의 ‘건설폐재류’가 가장 많은 배출량을 차지한다. ‘IND09. 1차 금속 제조업’의 ‘금속류’와 ‘IND17. 건설업’의 ‘혼합건설 폐기물’ 역시 건설폐재류처럼 상당한 양의 폐기물이 특정 산업에서 주로 배출되는 경우에 해당한다. 이들 종류를 제외하면 ‘불연성-기타’와 ‘가연성-기타’, ‘가연성-플라스틱류’ 순서로 폐기물의 발생량이 많은데, 이 중 플라스틱류는 단일 종류의 폐기물 중에서 여러 산업에 걸쳐 가장 많은 양이 발생하는 폐기물이다. 가정생활폐기물과 사업계 생활폐기물로 이루어지는 최종수요부문의 폐기물 배출량에서는 남은 음식물류 배출이 528만 톤으로 25.8%를 차지하며 가연성 기타(204만 톤, 10.0%), 종이류(189만 톤, 9.3%) 등이 뒤를 잇는다.

온실가스 배출량은 다소 증가하였다. 2015년과 2018년 모두 ‘IND15. 전기, 가스, 증기 및 수도사업’이 가장 많은 비중을 차지하며, 2018년에는 약 41.24%에 해당하는 3억 9만 톤 CO2eq.를 배출하였다. ‘IND09. 1차 금속 제조업’과 ‘IND18. 서비스업’은 2018년 기준 각각 15.65%, 11.84%를 배출하였다.

폐기물과 온실가스 배출량이 일부 다배출 산업에 집중된 것과는 달리, 폐수는 여러 산업에서 비슷한 양을 방류한다. 2018년 기준 ‘IND12. 기계 및 장비

이용하여 간접적으로 도출하였고, 2018년 처리시설 배출량은 ‘전국폐기물 발생 및 처리현황(2018)’의 잔재물 현황자료를 이용하였다. 전국폐기물 발생 및 처리현황 자료가 국내 전체를 조사한 자료이긴 하지만 새롭게 통계정보가 추가된 것으로서 아직 데이터가 엄밀하다고 할 수 없고, 전국폐기물통계조사 자료는 성상 조사까지 이루어지는 비교적 상세한 자료이지만 표본조사 자료를 전체 폐기물 배출량으로 환산한 것이므로 어느 한 데이터가 더 신뢰할 수 있다고 말하기 어렵다.

제조업’이 약 26.63%(3,032억 m3)의 폐수를 방류하였고, ‘IND07. 화학물질 및 화학제품 제조업’, ‘IND03. 음식료품 제조업’, ‘IND04. 섬유 및 가죽제품 제조업’, ‘IND05. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업’이 각각 10%를 약간 상회하는 수준의 폐수를 배출한다. 2018년에는 상위 세 개 산업의 폐수방류량만 증가하고 나머지 산업 모두에서 감소하면서 전체적으로 감소하였다.

<표 2-7> 2015 폐기물산업연관표

(단위: 십억 원, 톤, 천 톤 CO2eq., 천 m³)

		IND01	IND02	IND03	IND04	IND05	IND06	IND07	IND08	IND09	IND10	IND11	IND12
	IND01	3,176.2	5.5	35,357.7	750.5	992.4	7.0	1,127.2	8.0	16.7	16.5	19.7	26.4
	IND02	1.0	2.5	26.3	4.9	26.1	56,934.1	5,364.1	3,411.2	17,559.9	25.8	12.2	30.9
	IND03	9,242.8	8.7	22,340.0	779.0	74.6	74.0	1,212.2	38.2	81.3	81.0	89.8	105.4
	IND04	608.0	11.4	163.3	22,896.8	429.1	63.9	1,705.1	137.9	236.4	430.9	206.4	648.2
	IND05	638.3	12.8	2,355.6	908.3	13,755.3	130.3	1,668.1	452.4	300.6	816.4	430.0	1,455.2
	IND06	1,026.6	59.9	228.8	235.7	183.7	4,155.4	26,153.0	1,385.1	628.1	507.0	284.1	495.2
	IND07	4,625.8	124.3	3,167.5	7,143.4	2,932.8	2,107.6	80,648.8	1,772.4	1,589.3	5,156.3	4,761.3	29,238.5
	IND08	17.5	8.4	605.6	44.4	20.6	70.9	996.7	6,706.2	2,473.2	507.5	416.8	6,568.5
	IND09	49.2	5.3	7.0	24.8	40.4	181.8	1,881.9	653.7	45,331.5	18,738.9	10,689.6	15,599.6
	IND10	55.9	59.6	1,741.7	336.2	317.4	1,169.2	1,840.8	487.0	1,175.3	14,751.7	12,976.4	7,084.9
	IND11	185.5	23.8	146.8	158.3	149.8	462.3	737.7	219.8	606.9	1,196.9	9,018.0	130,079.3
	IND12	210.7	104.6	175.3	88.7	70.9	930.1	3,026.9	364.8	1,054.5	2,983.7	25,935.1	3,857.5
	IND13	242.8	62.8	22.7	23.2	43.6	89.7	230.1	156.6	117.7	199.2	881.5	114.8
	IND14	176.9	103.8	3,104.2	16,364.7	1,446.7	251.3	5,127.7	832.0	2,454.8	3,955.3	5,062.6	11,391.9
	IND15	733.3	106.1	1,191.4	1,160.5	1,447.8	1,890.4	6,163.5	1,684.6	6,944.2	1,960.2	1,268.0	4,846.6
	IND16	32.3	2.8	348.0	165.1	463.8	62.6	1,633.5	315.1	2,709.5	357.1	516.1	217.0
	IND17	71.6	13.9	63.2	26.1	26.2	50.0	178.5	31.8	144.4	95.2	84.5	230.2
	IND18	6,363.8	1,245.4	18,957.5	12,665.0	7,020.2	6,905.2	34,321.8	8,466.3	16,290.0	12,347.6	15,317.4	42,227.4
	IND19	96.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
가연성	음식물・채소류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	종이류	73.0	-	1,642.5	-	21,571.5	-	730.0	255.5	36.5	-	182.5	6,533.5
	나무류	1,350.5	620.5	19,929.0	1,934.5	238,527.5	1,058.5	16,863.0	8,723.5	16,790.0	30,988.5	18,286.5	21,425.5
	고무・피혁류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	플라스틱류	11,534.0	1,533.0	212,247.5	65,554.0	519,139.5	22,703.0	543,339.0	123,297.0	93,367.0	60,115.5	26,243.5	221,153.5
	섬유류	36.5	-	5,913.0	28,762.0	36.5	-	5,730.5	1,460.0	73.0	1,679.0	584.0	693.5
	기타	121,143.5	2,007.5	1,511,866.5	175,419.0	1,365,793.5	-	359,926.5	168,922.0	83,731.0	45,406.0	14,965.0	172,426.0
불연성	건설폐재류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	무기성오니류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	유리・도자기류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	금속류	-	547.5	387,703.0	109.5	7,482.5	-	12,300.5	78,438.5	1,539,843.0	161,147.5	6,752.5	26,426.0
	토사류	2,226.5	365.0	5,511.5	511.0	63,692.5	5,621.0	9,307.5	40,296.0	481,252.5	379,271.5	64,897.0	13,249.5
	기타	88,330.0	22,666.5	169,433.0	35,040.0	592,395.0	-	458,257.5	422,889.0	1,690,534.0	122,348.0	14,928.5	71,868.5
혼합	폐보드류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	폐판넬	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	혼합건설폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
재활용가능자원분리배출	종이류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	유리류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	고철・캔류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	합성수지류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	전기・전자제품류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	타이어	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	폐유	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	의류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	영농폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	가구류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	기타	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
남은음식물류배출		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
환경부하	CO2	3,820.0	647.1	8,671.7	6,664.5	11,367.8	36,226.0	58,341.1	24,780.7	122,245.5	8,175.4	5,116.2	23,719.4
	폐수방류량		22,274.6	130,238.0	138,995.1	116,136.8	34,017.9	153,659.9	47,513.8	121,909.3	32,977.1	-	292,362.5

<표 2-7> 2015 폐기물산업연관표(계속)

(단위: 십억 원, 톤, 천 톤 CO2eq., 천 m³)

		IND13	IND14	ND15	IND16	IND17	IND18	IND19	매립	소각	재활용	최종수요계
	IND01	14.7	567.2	6.5	6.4	490.5	11,024.8	299.1	0.9	0.4	1.5	18,992.9
	IND02	5.6	37.2	28,716.0	48.0	259.9	34.4	5.4	8.5	4.1	35.3	10.4
	IND03	81.9	670.6	34.5	27.5	81.0	43,663.6	858.8	0.3	0.1	11.9	54,101.1
	IND04	1,519.4	2,895.3	79.8	149.8	327.4	7,527.4	641.2	34.9	16.8	85.1	63,422.4
	IND05	340.2	2,242.5	225.9	41.7	4,584.6	14,218.1	493.4	4.8	2.3	27.2	4,858.2
	IND06	752.3	615.4	3,008.1	132.6	992.2	26,073.6	986.1	53.4	25.7	7.9	47,825.1
	IND07	17,796.7	4,606.9	2,116.5	335.8	8,634.0	37,504.3	477.1	119.5	57.6	82.8	89,708.9
	IND08	1,674.1	379.1	-11.2	64.8	21,121.2	1,244.8	89.7	0.3	0.2	57.6	3,061.0
	IND09	20,008.6	2,345.7	191.7	5.4	13,441.1	523.6	1.1	1.3	0.6	5.7	34,924.0
	IND10	21,014.6	2,453.6	546.4	122.7	16,662.0	4,789.1	456.0	12.5	6.0	70.0	19,674.8
	IND11	20,150.5	3,063.0	2,091.8	258.9	11,470.1	30,201.4	851.1	76.3	36.7	116.6	268,291.9
	IND12	10,299.5	1,987.4	587.3	268.7	5,431.0	2,414.0	183.7	30.0	14.4	170.2	101,751.7
	IND13	70,132.0	933.6	28.2	124.7	82.8	14,167.9	873.1	46.3	22.3	27.0	190,779.0
	IND14	8,542.7	7,066.6	256.0	220.9	2,241.9	10,854.5	458.2	9.5	4.6	161.7	16,723.1
	IND15	1,884.7	1,159.7	12,848.7	570.2	829.0	28,593.8	1,220.0	122.6	59.1	228.0	18,253.1
	IND16	151.6	100.3	93.6	512.0	96.7	4,000.3	203.0	184.7	89.0	18.8	3,278.2
	IND17	107.9	45.2	341.3	23.4	63.6	8,965.7	550.9	6.3	3.0	9.4	198,642.7
	IND18	33,497.3	14,113.4	5,214.3	4,132.3	39,558.0	438,230.7	16,105.7	1,116.2	537.6	2,012.8	918,647.9
	IND19	-	-	-	-	-	2,661.7	-	0.0	0.0	0.0	117,572.5
가연성	음식물・채소류	-	-	-	-	-	-	-	0.0	11,699.6	906,792.8	408,800.0
	종이류	1,861.5	328.5	-	292.0	3,321.5	4,234.0	109.5	0.0	65,817.2	4,624,810.1	1,987,242.5
	나무류	63,911.5	57,852.5	4,489.5	221,153.5	412,377.0	23,542.5	20,330.5	0.0	17,238.6	1,383,278.6	593,891.5
	고무・피혁류	-	-	-	-	-	-	-	0.0	9,881.7	807,654.1	345,801.0
	플라스틱류	202,721.0	329,996.5	32,448.5	1,344,258.5	641,378.0	98,112.0	25,988.0	0.0	52,958.5	7,665,928.5	1,364,625.5
	섬유류	9,782.0	1,898.0	1,715.5	7,519.0	9,526.5	4,599.0	-	0.0	1,441.0	104,202.2	-
	기타	133,371.0	307,293.5	44,165.0	3,439,212.5	165,527.5	674,666.0	425,444.0	0.0	331,342.0	12,438,430.4	2,079,405.0
불연성	건설폐재류	-	-	-	-	62,359,702.5	-	-	0.0	114,856.5	170,607.3	-
	무기성오니류	-	-	-	-	363,211.5	-	-	0.0	3,554.4	19,246.7	-
	유리・도자기류	-	-	-	-	14,855.5	-	-	0.0	26,567.7	282,720.9	227,395.0
	금속류	72,744.5	77,088.0	497,823.5	192,209.0	2,445.5	13,067.0	255.5	0.0	68,491.8	491,507.9	163,483.5
	토사류	190,092.0	102,236.5	7,263.5	585,788.5	6,716.0	13,687.5	5,146.5	0.0	74,130.7	498,848.3	255,792.0
	기타	153,993.5	186,259.5	10,401,149.5	2,166,311.5	243,601.0	218,452.5	110,595.0	0.0	716,054.8	4,801,739.9	1,030,723.5
혼합	폐보드류	-	-	-	-	53,545.5	-	-	0.0	5,042.8	31,699.7	-
	폐판넬	-	-	-	-	1,131.5	-	-	0.0	41.7	364.4	-
	혼합건설폐기물	-	-	-	-	8,571,988.5	-	-	0.0	177,040.5	1,055,916.4	-
재활용가능자원분리배출	종이류	-	-	-	-	-	-	-	0.0	2,610.8	1,659.0	1,647,500.5
	유리류	-	-	-	-	-	-	-	0.0	979.1	622.2	617,872.0
	고철・캔류	-	-	-	-	-	-	-	0.0	1,411.5	896.9	890,709.5
	합성수지류	-	-	-	-	-	-	-	0.0	1,535.0	975.4	968,637.0
	전기・전자제품류	-	-	-	-	-	-	-	0.0	116.8	74.2	73,693.5
	타이어	-	-	-	-	-	-	-	0.0	14.3	9.1	9,052.0
	폐유	-	-	-	-	-	-	-	0.0	22.7	14.4	14,308.0
	의류	-	-	-	-	-	-	-	0.0	89.3	56.7	56,356.0
	영농폐기물	-	-	-	-	-	-	-	0.0	257.6	163.7	162,571.0
	가구류	-	-	-	-	-	-	-	0.0	241.1	153.2	152,168.5
	기타	-	-	-	-	-	-	-	0.0	736.8	468.2	464,937.0
남은음식물류배출		-	-	-	-	-	-	-	0.0	16,025.9	418,218.5	5,190,117.5
환경부하	CO2	10,470.0	1,256.7	194,201.6	6,564.0	1,020.0	93,460.0	-	-	-	-	12,208.4
	폐수방류량	-	2,623.9	107,971.9	4,396.7	-	13,236.3	-	10,717.1	0.0	3,878.7	-

<표 2-8> 2018 폐기물산업연관표

(단위: 십억 원, 톤, 천 톤 CO2eq., 천 m³)

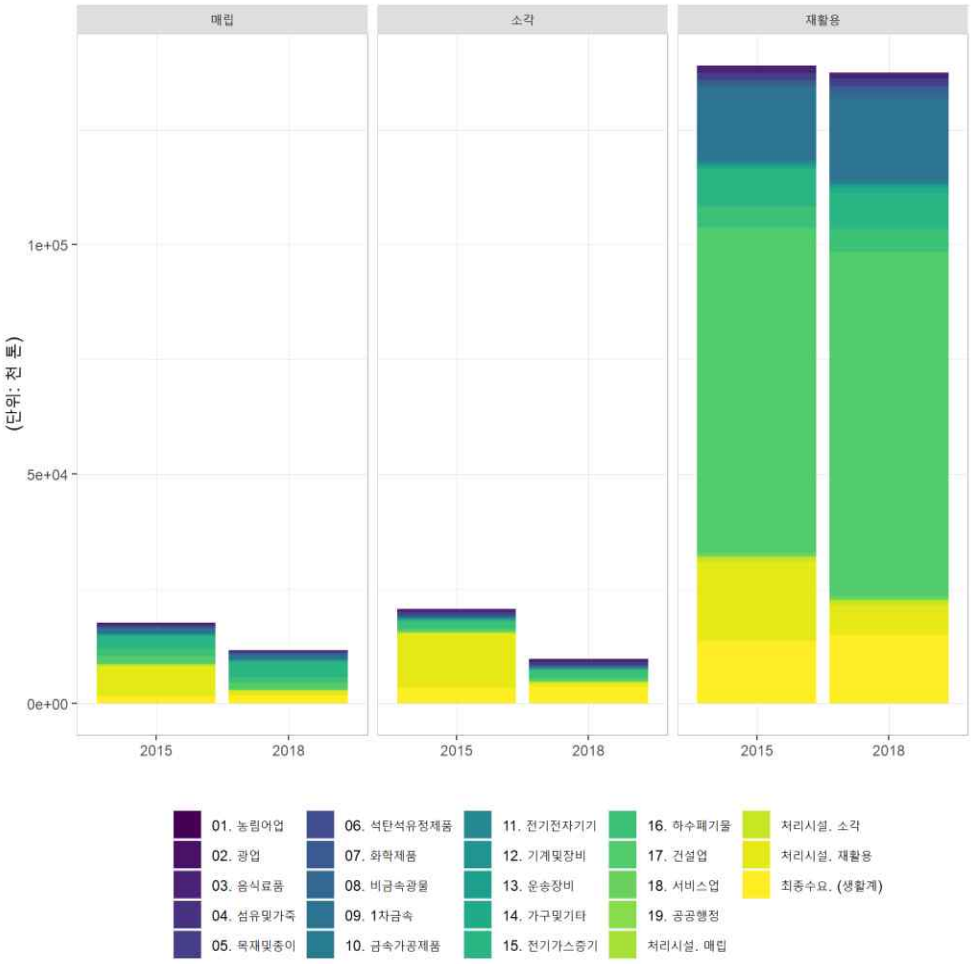
		IND01	IND02	IND03	IND04	IND05	IND06	IND07	IND08	IND09	IND10	IND11	IND12
	IND01	3,484.4	5.4	36,160.6	688.4	866.4	6.6	1,046.1	7.1	14.8	12.5	18.1	16.8
	IND02	1.1	3.1	31.3	3.5	26.9	83,522.2	6,726.4	3,864.3	22,815.5	24.4	12.6	33.9
	IND03	9,031.3	9.4	24,372.4	646.6	68.7	61.1	1,461.4	38.2	81.8	73.3	96.4	85.3
	IND04	738.1	15.3	177.5	21,175.2	377.7	94.1	1,613.0	180.1	283.1	432.3	245.3	593.1
	IND05	686.6	13.4	2,810.8	844.7	14,968.7	162.8	1,979.0	495.7	313.4	812.5	490.1	1,409.3
	IND06	1,630.5	137.2	482.1	369.9	274.2	6,373.8	34,209.1	2,073.4	776.2	743.8	536.5	848.3
	IND07	4,532.8	144.5	3,724.6	7,435.6	3,116.3	2,435.0	94,058.3	2,116.4	1,853.9	5,041.1	5,499.4	32,294.8
	IND08	22.1	8.9	778.7	39.0	-12.5	87.9	1,237.0	6,620.7	2,619.5	496.3	524.1	5,666.5
	IND09	53.7	7.7	4.5	15.9	34.5	216.4	2,307.1	809.9	53,473.5	19,475.2	12,303.2	18,671.5
	IND10	72.0	74.8	1,800.9	294.6	311.0	1,290.5	2,029.8	554.0	1,251.1	14,107.6	14,835.1	7,084.3
	IND11	219.7	95.5	227.1	98.6	64.0	1,013.6	2,949.9	346.0	988.8	2,618.4	28,447.9	4,433.4
	IND12	223.8	29.8	163.8	125.7	160.1	597.7	854.3	252.9	636.3	1,184.2	12,262.7	131,422.4
	IND13	199.9	57.8	29.6	20.1	50.0	124.1	299.0	217.0	144.0	212.9	1,212.8	139.5
	IND14	312.1	144.6	4,292.6	13,702.6	1,687.9	375.7	6,464.5	1,078.5	3,137.2	4,141.5	6,204.1	13,102.7
	IND15	891.2	117.4	1,364.2	959.2	1,394.3	2,488.9	7,284.3	1,702.9	7,526.9	1,829.2	1,315.0	4,959.5
	IND16	45.0	3.6	442.8	146.3	507.4	75.2	2,022.0	381.7	3,176.8	386.2	534.5	234.7
	IND17	88.5	18.1	84.2	22.7	28.8	67.9	218.9	38.9	173.6	98.4	101.7	255.6
	IND18	7,329.4	1,473.3	22,140.2	11,465.6	7,874.9	9,115.8	42,720.8	9,810.0	18,701.5	12,905.4	18,267.8	43,078.1
	IND19	84.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
가연성	음식물·채소류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	종이류	0.0	0.0	2,883.5	4,854.5	18,542.0	0.0	6,132.0	4,124.5	0.0	36.5	36.5	1,788.5
	나무류	949.0	146.0	18,396.0	27,995.5	285,503.0	2,409.0	31,353.5	36,792.0	17,082.0	19,016.5	108,332.0	36,573.0
	고무·피혁류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	플라스틱류	3,029.5	1,204.5	210,605.0	81,541.0	524,176.5	4,416.5	498,663.0	59,385.5	68,766.0	69,021.5	20,768.5	197,136.5
	섬유류	0.0	0.0	4,927.5	38,288.5	1,788.5	0.0	15,439.5	363,357.5	1,898.0	1,679.0	584.0	2,518.5
	폐전기 전자제품류	0.0	0.0	182.5	219.0	0.0	0.0	146.0	109.5	109.5	182.5	0.0	9,015.5
	기타	84,096.0	36.5	1,550,593.0	96,725.0	1,205,595.0	3,066.0	469,645.5	32,850.0	76,686.5	65,152.5	12,775.0	50,406.5
불연성	건설폐재류	0.0	2,263.0	1,496.5	730.0	730.0	1,241.0	29,674.5	526,512.5	6,387.5	1,496.5	2,883.5	1,679.0
	무기성오니류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	유리·도자기류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	금속류	0.0	693.5	16,388.5	4,599.0	3,066.0	0.0	11,023.0	48,362.5	164,512.435	410,041.0	35,222.5	20,111.5
	토사류	0.0	1,752.0	4,599.0	292.0	57,414.5	4,453.0	27,229.0	53,326.5	584,511.0	212,977.5	76,175.5	8,614.0
	기타	86,213.0	292.0	118,625.0	23,907.5	433,145.5	46,683.5	626,778.0	279,991.5	1,791,274.0	184,106.0	125,122.0	23,433.0
혼합	기타	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	폐보드류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	폐판넬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	혼합건설폐기물	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
재활용가능자원분리배출	종이류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	유리류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	고철·캔류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	합성수지류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	전기·전자제품류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	타이어	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	폐유	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	의류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	영농폐기물	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	가구류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	기타	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
음식물류폐기물 분리배출		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
환경부하	온실가스	26,773.6	287.9	1,402.0	756.1	615.2	3,802.5	48,163.8	40,914.6	113,850.5	2,378.1	1,676.7	16,035.4
	폐수방류량	-	17,241.5	140,903.5	126,366.3	115,399.9	28,969.3	166,123.9	50,248.8	59,811.5	27,961.6	-	303,234.7

<표 2-8> 2018 폐기물산업연관표(계속)

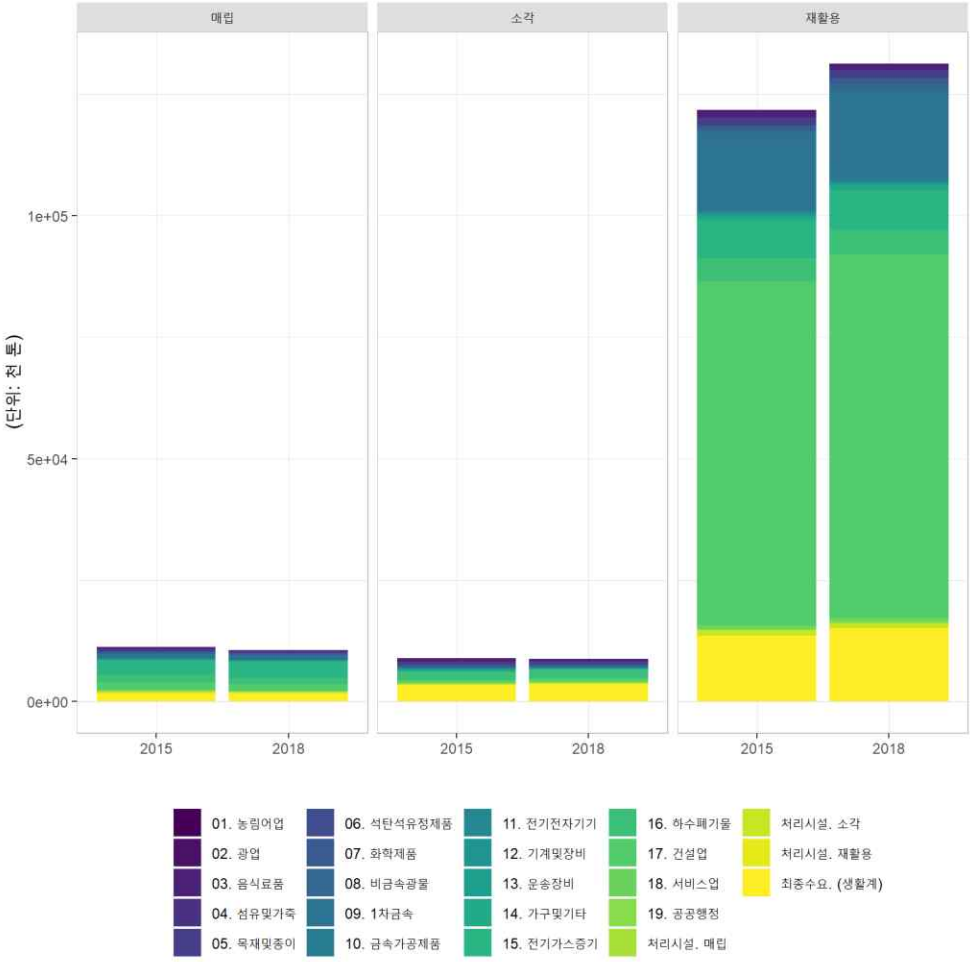
(단위: 십억 원, 톤, 천 톤 CO2eq., 천 m³)

		IND13	IND14	ND15	IND16	IND17	IND18	IND19	매립	소각	재활용	최종수요계
	IND01	9.6	428.0	6.8	5.5	514.4	12,002.9	321.3	0.9	0.5	1.1	19,159.9
	IND02	5.4	26.6	40,499.2	46.9	298.0	42.6	7.2	9.1	5.4	32.4	2,676.5
	IND03	49.5	541.8	44.5	14.6	89.1	53,797.7	804.7	-7.2	-4.2	9.6	73,754.7
	IND04	1,153.9	3,339.8	129.6	182.4	394.9	9,751.4	967.1	48.9	28.7	87.9	61,729.0
	IND05	261.6	2,606.9	339.9	54.1	5,245.3	15,616.3	675.0	7.6	4.4	32.5	6,209.7
	IND06	951.7	1,026.6	3,968.5	394.3	2,420.7	46,447.6	2,154.2	157.6	92.5	16.6	72,941.5
	IND07	15,697.6	5,194.1	2,535.1	386.5	10,610.3	45,594.4	624.4	140.5	82.4	76.2	120,531.4
	IND08	1,382.2	406.6	8.1	61.4	24,628.9	1,464.9	114.6	-0.5	-0.3	55.2	5,014.5
	IND09	17,027.3	2,722.3	263.4	-27.5	16,935.2	619.1	1.2	1.5	0.9	-15.9	42,226.2
	IND10	14,490.9	2,762.7	795.4	141.1	19,813.1	5,397.5	524.9	16.5	9.7	70.4	21,560.8
	IND11	7,264.3	1,962.5	802.1	288.2	6,197.0	3,141.1	230.0	90.6	53.1	101.5	132,808.7
	IND12	19,020.7	3,884.8	2,650.1	305.9	13,092.9	37,495.3	1,222.0	40.6	23.8	182.6	328,660.1
	IND13	65,116.1	928.7	51.3	177.3	111.2	16,563.9	950.5	68.0	39.9	30.2	169,271.7
	IND14	5,918.5	7,524.9	402.5	289.7	3,289.2	14,500.6	817.1	10.7	6.3	207.3	20,260.3
	IND15	1,410.1	1,096.8	15,100.8	654.5	943.9	31,951.6	1,558.4	153.4	89.9	220.4	19,310.0
	IND16	132.9	121.6	164.0	694.3	123.9	5,368.5	277.9	245.7	144.0	18.5	4,110.8
	IND17	80.7	51.8	478.2	28.6	85.5	11,330.9	772.8	8.5	5.0	9.8	257,735.2
	IND18	27,974.8	15,645.6	7,019.1	5,294.9	48,156.1	529,551.7	22,913.7	1,470.3	862.2	2,349.3	1,109,048.3
	IND19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3,241.3	0.0	0.0	0.0	0.0	144,019.8
가연성	음식물·채소류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12,427.3	82,643.6	636,523.5
	종이류	255.5	766.5	0.0	255.5	0.0	6,497.0	0.0	0.0	45,062.7	275,936.9	1,892,488.5
	나무류	42,157.5	251,959.5	6,022.5	170,747.0	359,014.0	21,060.5	28,835.0	0.0	13,962.0	144,466.5	618,529.0
	고무·피혁류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8,165.9	56,136.2	402,339.5
	플라스틱류	104,207.5	229,037.5	32,996.0	1,682,686.5	817,052.5	326,127.5	56,246.5	0.0	53,060.5	526,809.4	1,782,806.0
	섬유류	5,475.0	4,781.5	328.5	4,964.0	4,562.5	5,438.5	182.5	0.0	1,946.2	19,484.7	-
	폐전기 전자제품류	14,965.0	365.0	2,555.0	2,190.0	292.0	876.0	0.0	0.0	101.6	1,104.3	-
	기타	50,844.5	245,645.0	39,347.0	3,133,744.0	422,305.0	555,274.5	524,943.0	0.0	161,011.8	957,344.8	2,044,547.5
불연성	건설폐재류	4,964.0	50,516.0	23,944.0	38,215.5	65,539,071.5	7,008.0	9,198.0	0.0	176,891.6	2,247,049.7	-
	무기성오니류	0.0	0.0	0.0	0.0	456,396.0	0.0	0.0	0.0	1,699.3	16,685.0	-
	유리·도자기류	0.0	0.0	0.0	0.0	17,666.0	0.0	0.0	0.0	16,871.7	56,700.7	269,552.5
	금속류	73,912.5	21,352.5	49,384.5	376,351.5	21,206.5	54,385.0	1,350.5	0.0	69,963.0	664,209.7	181,295.5
	토사류	174,981.0	117,019.0	1,606.0	565,421.5	79,241.5	50,990.5	4,854.5	0.0	42,659.3	172,785.4	339,778.5
	기타	107,091.0	687,477.5	11,345,368.0	1,859,164.0	354,889.5	128,735.5	162,315.5	0.0	564,125.5	1,953,453.2	889,359.0
혼합	기타	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14,086.6	52,794.1	276,706.5
	폐보드류	0.0	0.0	0.0	0.0	59,677.5	0.0	0.0	0.0	584.8	3,091.4	-
	폐판넬	0.0	0.0	0.0	0.0	3,321.5	0.0	0.0	0.0	18.5	136.9	-
	혼합건설폐기물	0.0	0.0	0.0	0.0	8,516,581.5	0.0	0.0	0.0	114,733.2	519,726.3	-
재활용가능자원분리배출	종이류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4,107.0	52,837.3	1,562,747.5
	유리류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,254.2	16,135.6	477,237.5
	고철·캔류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,980.6	25,481.3	753,652.0
	합성수지류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3,802.2	48,916.6	1,446,787.0
	전기·전자제품류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	283.5	3,646.7	107,857.5
	타이어	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	75.8	974.9	28,835.0
	폐유	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.7	1,037.9	30,696.5
	의류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	185.4	2,385.5	70,554.5
	영농폐기물	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	429.4	5,523.8	163,374.0
	가구류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	642.8	8,269.6	244,586.5
	기타	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,492.7	32,068.9	948,489.0
음식물류폐기물 분리배출		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18,615.0	199,780.8	5,284,178.0
환경부하	온실가스	1,622.2	1,847.7	300,092.6	20,289.4	4,885.8	86,162.5	4,423.4	-	-	-	51,653.4
	폐수방류량	-	1,366,560.0	84,810,305.0	4,357,005.0	-	11,831,840.0	-	-	-	-	-

WIO의 산업별 폐기물 배출량에 배분 행렬을 곱하면 폐기물처리 시설별로 각 산업의 폐기물을 얼마나 처리했는지 알 수 있다. <그림 2-9>는 각 처리시설에서 산업과 폐기물 처리시설, 가정에서 배출한 폐기물을 얼마나 처리했는지, 2015년과 2018년에 처리량이 어떻게 달라졌는지 보여준다. 재활용 처리시설에서 발생한 폐기물량의 감소로 인해 매립량과 소각량, 재활용량 모두 2015년 대비 2018년의 처리량이 감소하였다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 이는 통계작성의 변화로 인한 것이므로, 이를 제외하면 <그림 2-10>과 같이



<그림 2-9> 폐기물 처리시설별 처리량(전체)



<그림 2-10> 폐기물 처리시설별 처리량(재활용시설의 폐기물 제외)

매립시설과 소각시설의 폐기물처리량 감소 폭은 크게 줄고, 재활용 폐기물의 처리량은 오히려 증가한다.

2) 배분 행렬(S)

2015년과 2018년의 폐기물 처리비율을 나타내는 배분 행렬은 각각 <표 2-9>, <표 2-10>과 같다. 가연성폐기물은 재활용되는 양을 제외하면 대부분 소각되지만 불연성폐기물은 재활용 비율이 높고 나머지는 대부분 매립되고 있다.

<표 2-9> 배분 행렬: 2015년 국내 폐기물 처리비율

		S_0		
		매립	소각	재활용
가연성	음식물・채소류	0.2053	0.6774	0.1173
	종이류	0.2334	0.6898	0.0768
	나무류	0.0622	0.2408	0.6970
	고무・피혁류	0.2054	0.7164	0.0782
	플라스틱류	0.0584	0.4119	0.5297
	섬유류	0.1245	0.3964	0.4790
	기타	0.2099	0.3112	0.4789
불연성	건설폐재류	0.0019	0.0000	0.9981
	무기성 오니류	0.0599	0.0000	0.9401
	유리・도자기류	0.7912	0.1593	0.0496
	금속류	0.0193	0.0042	0.9766
	토사류	0.2310	0.0073	0.7618
	기타	0.2753	0.0078	0.7169
혼합	폐보드류	0.6762	0.0014	0.3224
	폐판넬	0.2581	0.0323	0.7097
	혼합건설 폐기물	0.1393	0.0004	0.8603
재활용 가능자원 분리배출	종이류	0.0000	0.0000	1.0000
	유리류	0.0000	0.0000	1.0000
	고철・캔류	0.0000	0.0000	1.0000
	합성수지류	0.0000	0.0000	1.0000
	전기・전자제품류	0.0000	0.0000	1.0000
	타이어	0.0000	0.0000	1.0000
	폐유	0.0000	0.0000	1.0000
	의류	0.0000	0.0000	1.0000
	영농폐기물	0.0000	0.0000	1.0000
	가구류	0.0000	0.0000	1.0000
	기타	0.0000	0.0000	1.0000
남은 음식물류 배출		0.0112	0.0232	0.9656

<표 2-10> 배분 행렬: 2018년 국내 폐기물 처리비율

		S_0		
		매립	소각	재활용
가연성	음식물・채소류	0.1801	0.6280	0.1919
	종이류	0.2211	0.6651	0.1138
	나무류	0.0414	0.2963	0.6624
	고무・피혁류	0.1874	0.7188	0.0938
	플라스틱류	0.0531	0.3616	0.5853
	섬유류	0.0175	0.0561	0.9264
	폐전기전자제품류	0.0070	0.0000	0.9930
	기타	0.1353	0.2893	0.5739
불연성	건설폐재류	0.0005	0.0000	0.9995
	무기성 오니류	0.0122	0.0000	0.9878
	유리・도자기류	0.6232	0.2673	0.1095
	금속류	0.0146	0.0031	0.9823
	토사류	0.1720	0.0067	0.8213
	기타	0.2975	0.0083	0.6942
혼합	기타	0.5336	0.4199	0.0466
	폐보드류	0.0801	0.0000	0.9199
	폐판넬	0.0330	0.0000	0.9670
	혼합건설 폐기물	0.1211	0.0001	0.8787
재활용 가능자원 분리배출	종이류	0.0000	0.0000	1.0000
	유리류	0.0000	0.0000	1.0000
	고철・캔류	0.0000	0.0000	1.0000
	합성수지류	0.0000	0.0000	1.0000
	전기・전자제품류	0.0000	0.0000	1.0000
	타이어	0.0000	0.0000	1.0000
	폐유	0.0000	0.0000	1.0000
	의류	0.0000	0.0000	1.0000
	영농폐기물	0.0000	0.0000	1.0000
	가구류	0.0000	0.0000	1.0000
	기타	0.0000	0.0000	1.0000
음식물류폐기물분리배출		0.0097	0.0205	0.9698

제5절. 정책분석 결과[24]

WIO는 폐기물 처리시설과 폐기물의 종류가 일대일 대응하지 않기 때문에 배분 행렬(S)을 이용해서 폐기물의 처리시설별 처리량을 계산한다. 이를 통해 폐기물의 처리비율을 달리하면 처리시설별 처리량이 어떻게 달라질지에 대한 시나리오 분석을 수행할 수 있다.

서울・경기・인천의 지자체는 '수도권 생활폐기물 반입총량제'에 따라 직매립 생활폐기물을 2018년 대비 10% 감축해야 한다. 지자체는 쓰레기 종량제봉투의 가격을 올리고 재활용 폐기물의 회수를 강화하였으나 뚜렷한 효과를 보이지 못하고 있다.

폐기물의 발생량 자체를 줄이지 않아도, 발생한 폐기물의 처리방법을 달리함으로써 매립폐기물을 줄일 수 있다. 이때 소각을 늘리거나 재활용률을 높이는 방법 중 어떤 전략을 사용하는 것이 매립폐기물 저감이라는 목표달성에 유리할지 배분 행렬을 이용하여 분석할 수 있다. 먼저, 현재의 폐기물 처리비율을 나타내는 배분 행렬을 S_0라고 하자. 첫 번째 시나리오(S_1)에서는 매립량을 줄이기 위해 현행 폐기물 처리방식에서 재활용되는 비율은 유지하면서 소각량을 현행 대비 1~50%[25] 증가시키고 나머지 폐기물을 매립할 때 소각량을 몇 % 증가시켜야 매립량을 10% 줄일 수 있을지 살펴본다. 두 번째 시나리오(S_2)에서는 모든 종류의 폐기물 재활용률을 최소 몇 %로 늘려야 매립량 저감 목표를 달성할 수 있는지 검토한다. 폐기물의 재활용률을 50~100%[26]로

24) 본 절에서는 WIO를 이용한 정책분석인 시설별 폐기물처리량 분석만을 다루고, 앞에서 소개한 WIO 분석모형을 활용한 결과는 부록 2에서 제시하도록 한다.

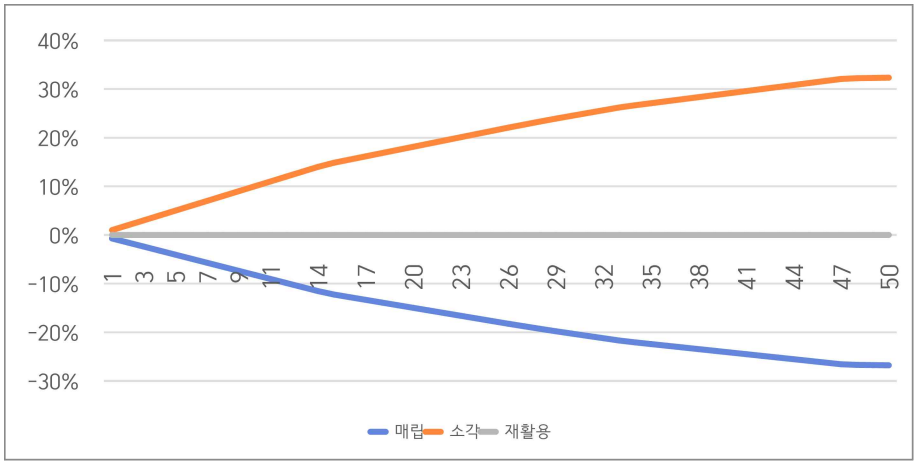
25) 재활용 비율을 늘리지 않으면서 소각처리 비율을 늘리는 데 한계가 있으므로 시나리오에서 소각처리 비율은 최대 50%까지 증가시키는 것으로 한다. 소각 비율이 50%가량 증가하면 대부분의 폐기물 매립비율이 크게 낮아져 소각처리 비율이 51~100% 증가하여도 매립 처리비율은 크게 변하지 않는다.

26) 2018년의 전체 폐기물 재활용 비율이 약 87%이므로 폐기물 품목별 최소 재활용 비율은 50% 이상으로 높이는 것으로 가정한다. 앞서 소각 비율은 현행 처리비율의 1~50%를 증가시키는 것이지만 재활용률은 처리비율 자체를 50~100%로 높이는 것임에 유의해야 한다.

끌어올리되, 이미 그보다 높은 비율로 재활용되는 폐기물은 현재의 재활용률을 유지하는 것으로 가정한다. 매립과 소각의 상대적인 처리비율은 현재 수준에서 유지한다.

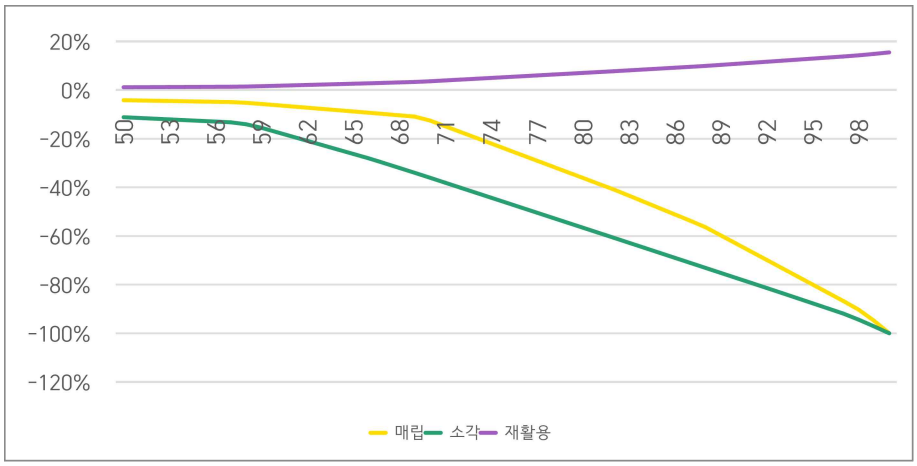
소각을 늘리는 시나리오(S_1)에서 폐기물처리량 변화율은 <그림 2-11>과 같다. S_1에서는 재활용 비율이 일정하게 유지되면서 소각이 늘고 매립이 감소하는데, 소각 비율을 13% 증가시킬 때 매립량 10% 저감 목표를 달성할 수 있고 소각량을 최대 50% 증가[27]시키면 매립량은 26.8% 감소한다.

소각 대신 재활용을 늘린다면 <그림 2-12>와 같이 매립 및 소각을 모두 줄일 수 있다. 폐기물 재활용을 늘리는 시나리오(S_2)에서는 재활용 비율이 낮은 폐기물 위주로 재활용 처리비율을 높이는데, 재활용 비율을 최소 68%로 늘렸을 때 매립폐기물을 10% 이상 감축할 수 있고, 소각처리량은 32% 감소한다. 이때 재활용되는 폐기물의 양은 현재(S_0) 대비 3% 증가한다.



<그림 2-11> 소각 증가 시나리오(S_1)에 따른 폐기물처리 변화

27) 소각량을 50%까지 증가시키는 시나리오에서도 평균 소각량 증가율은 35%에 그친다. 재활용을 제외한 전량을 소각처리하고 매립을 하지 않는 폐기물은 그 이상 소각 비율을 늘릴 수 없기 때문이다. 다시 말해, 시나리오의 증가율은 폐기물 종류별 최대 증가 폭을 의미하고, 그래프에서의 처리비율 변화율은 평균치를 의미한다.



<그림 2-12> 재활용 증가 시나리오(S_2)에 따른 폐기물처리 변화

정책목표인 매립폐기물 10% 감축을 위해 소각처리 비율을 13% 늘리는 S_1 시나리오와 폐기물 재활용률을 최소 68% 이상으로 늘리는 시나리오 S_2의 배분 행렬은 <표 2-11>과 같다. 각 배분 행렬(S)에 WIO의 폐기물 종류별 배출 흐름을 곱하면 <표 2-12>의 시설별 폐기물처리량을 구할 수 있다.

재활용 처리비율을 유지하면서 소각을 늘리는 경우, 소각 비율이 현재보다 13% 높아지면 반입총량제의 목표에 도달할 수 있다. 현재 소각시설의 가동률[28]이 70.5%임을 고려할 때 폐기물의 분리 및 선별을 강화한다면 소각처리를 13% 늘리는 것은 충분히 달성할 수 있다. 그러나 폐기물의 소각 과정에서 발생하는 대기 및 토양오염이 증가한다는 부담이 있고, 소각량의 증가 대비 매립량의 감소 폭도 작다.

현재 폐기물 감축을 위해 지자체에서 사용하는 정책들은 대부분 폐기물의 재활용률을 높이는 방향이고, 정책적으로도 2025년까지 플라스틱 폐기물의 재활용 비율을 70%로 상향[29]하는 것으로 하고 있어 장기적으로 정책목표의 수준과도 부합한다. 다만 이 시나리오는 재활용률이 낮은 폐기물을 중심으로

28) 지방자치단체 소각시설의 평균 가동률은 73%, 자가처리업체 중 생활폐기물 소각시설의 가동률은 51.4%, 사업장폐기물 소각시설의 가동률은 64%이고 전체 소각시설의 평균 가동률은 70.5%이다(환경부・한국환경공단, 2019 참고하여 저자 계산).
29) 환경부(2020년 12월 24일 보도자료) 참고.

재활용률을 높이도록 하고 있으므로 현실적으로 재활용률을 높이기 위한 구체적인 정책방안이 마련되어야 한다.

따라서 즉각적으로 현장에서 적용할 수 있는 시나리오인 폐기물의 분리선별을 강화하여 소각을 늘리는 방식으로 우선 매립지 문제에 대응(S_1)할 수 있으나, 궁극적으로는 재활용률이 낮은 폐기물의 재활용률을 높일 수 있는 (S_2) 정책방안을 마련하여 매립 및 소각량을 모두 줄이는 것이 필요할 것으로 보인다.

<표 2-11> 정책효과 시나리오의 배분 행렬

		S_1			S_2		
		매립	소각	재활용	매립	소각	재활용
가연성	음식물・채소류	0.0984	0.7097	0.1919	0.0713	0.2487	0.6800
	종이류	0.1347	0.7515	0.1138	0.0798	0.2402	0.6800
	나무류	0.0029	0.3348	0.6624	0.0392	0.2808	0.6800
	고무・피혁류	0.0940	0.8122	0.0938	0.0662	0.2538	0.6800
	플라스틱류	0.0061	0.4086	0.5853	0.0410	0.2790	0.6800
	섬유류	0.0102	0.0634	0.9264	0.0175	0.0561	0.9264
	폐전기전자제품류	0.0070	0.0000	0.9930	0.0070	0.0000	0.9930
	기타	0.0992	0.3269	0.5739	0.1020	0.2180	0.6800
불연성	건설폐재류	0.0005	0.0000	0.9995	0.0005	0.0000	0.9995
	무기성 오니류	0.0122	0.0000	0.9878	0.0122	0.0000	0.9878
	유리・도자기류	0.5885	0.3020	0.1095	0.2240	0.0960	0.6800
	금속류	0.0141	0.0035	0.9823	0.0146	0.0031	0.9823
	토사류	0.1711	0.0076	0.8213	0.1720	0.0067	0.8213
	기타	0.2964	0.0093	0.6942	0.2975	0.0083	0.6942
혼합	기타	0.4790	0.4744	0.0466	0.1791	0.1409	0.6800
	폐보드류	0.0801	0.0000	0.9199	0.0801	0.0000	0.9199
	폐판넬	0.0330	0.0000	0.9670	0.0330	0.0000	0.9670
	혼합건설 폐기물	0.1211	0.0001	0.8787	0.1211	0.0001	0.8787
재활용가능자원분리배출	종이류	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
	유리류	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
	고철・캔류	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
	합성수지류	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
	전기・전자제품류	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
	타이어	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
	폐유	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
	의류	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
	영농폐기물	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
	가구류	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
	기타	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
음식물류폐기물분리배출		0.0070	0.0232	0.9698	0.0097	0.0205	0.9698

※주: 매립폐기물 10% 감축 목표를 달성할 수 있는 시나리오의 배분 행렬로, S_1은 재활용 비율을 유지하며 소각량을 13% 증가시킬 때, S_2는 재활용을 최소 68% 이상으로 높이고 매립과 소각의 비율을 일정하게 유지하는 시나리오임.

<표 2-12> 산업별·처리시설별 폐기물처리량

(단위: 천 톤)

	S_0			S_1			S_2		
	매립	소각	재활용	매립	소각	재활용	매립	소각	재활용
IND01	37.2	26.4	110.5	33.9	29.9	110.5	34.4	20.2	119.7
IND02	0.5	0.5	5.4	0.4	0.6	5.4	0.5	0.4	5.5
IND03	258.9	533.5	1,134.1	191.7	602.8	1,134.1	204.1	404.0	1,320.6
IND04	27.6	71.4	180.1	18.4	80.6	180.1	22.6	55.2	201.3
IND05	345.7	639.3	1,543.2	264.3	722.4	1,543.2	295.9	497.8	1,736.2
IND06	15.4	3.6	43.2	14.9	4.1	43.2	15.2	3.0	44.0
IND07	284.3	335.8	1,095.3	241.3	379.5	1,095.3	261.7	258.1	1,196.4
IND08	109.8	67.8	1,227.1	101.1	76.7	1,227.1	107.3	58.3	1,239.2
IND09	887.7	122.5	17,987.7	871.9	138.4	17,987.7	884.3	111.1	18,002.6
IND10	110.7	53.8	799.1	103.8	60.8	799.1	107.6	43.1	812.9
IND11	58.2	45.0	278.7	52.3	50.9	278.7	57.3	40.7	283.9
IND12	28.1	98.3	224.8	15.3	111.1	224.8	23.7	77.1	250.5
IND13	77.4	67.7	433.7	68.7	76.4	433.7	74.4	54.7	449.8
IND14	281.1	235.8	1,091.6	250.8	266.5	1,091.6	269.5	195.2	1,144.3
IND15	3,383.8	119.0	7,998.7	3,368.4	134.5	7,998.7	3,382.1	113.4	8,006.1
IND16	1,176.6	1,586.5	5,066.2	974.8	1,792.7	5,066.2	1,051.2	1,221.3	5,561.2
IND17	1,319.0	535.5	74,796.1	1,250.0	605.1	74,796.1	1,287.2	429.3	74,934.7
IND18	142.7	291.0	721.8	105.7	328.9	721.8	119.3	221.4	815.7
IND19	124.4	182.1	480.6	101.5	205.8	480.6	106.1	139.6	542.2
매립	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
소각	247.4	129.7	954.0	230.8	146.5	954.0	220.9	79.1	1,031.3
재활용	1,000.8	848.1	6,297.4	891.9	958.3	6,297.4	866.0	534.9	6,746.7
최종수요	1,698.1	3,673.8	15,078.1	1,223.4	4,151.4	15,078.1	1,015.9	2,015.3	17,421.8
합계	11,615.4	9,667.1	137,547.4	10,375.3	10,923.9	137,547.4	10,407.2	6,573.2	141,866.6
변화율				-10.7%	13.0%	0.0%	-10.4%	-32.0%	3.1%

제6절. 소결

본 연구는 30여 종의 폐기물과 매립, 소각, 재활용시설을 대상으로 2015년과 2018년 WIO를 구축하고, 폐기물 관리정책의 분석에 적용하였다.

배분 행렬(S)을 이용하여 폐기물의 처리비율 변화에 따른 폐기물처리량 변화를 분석하였다. 수도권 폐기물 반입총량제의 목표인 매립폐기물 10% 감축을 위해 재활용은 유지하고 소각처리 비율을 증가시키는 시나리오(S_1)와 재활용 처리비율을 일정 비율 이상으로 늘리는 시나리오(S_2)를 통해 정책목표를 달성할 수 있는 폐기물 처리비율을 분석하였다. 재활용 비율을 유지하고 매립폐기물을 소각하는 경우 소각처리 비율을 현행 대비 13% 늘렸을 때(S_1) 반입총량제의 목표인 매립폐기물 10% 감소를 달성할 수 있다. 소각폐기물을 늘리지 않고 재활용을 늘리는 시나리오에서는(S_2) 재활용 비율을 최소 68% 이상으로 늘려 현재 재활용 처리비율 대비 평균 3% 이상 증가하면 정책목표를 달성할 수 있다. 소각 과정에서 대기 및 토양오염이 발생할 수 있다는 점을 감안하면 폐기물의 재활용을 늘리는 방안이 장기적으로 더 효과적일 것으로 보인다.

본 연구는 환경경제통합계정의 일종인 WIO를 구축하여 폐기물 계정의 작성 가능성을 보이고, 이를 정책분석에 활용하도록 하기 위한 연구이다. 여러 기관에서 폐기물 계정을 포함한 환경계정을 구축하려는 시도가 꾸준히 이루어져 왔다는 사실은 이러한 자료의 필요성을 방증한다. 이러한 상황에서 본 연구가 구축한 WIO와 이를 이용하여 제시한 분석방법은 환경-경제 통합분석의 가능성을 보여줄 수 있을 것으로 기대된다.

WIO의 구체적인 구축방법이나 분석방법은 연구목적에 따라 변화를 줄 수 있다. 폐기물의 재활용을 처리방법의 하나로 보는 방법 이외에 재활용 이후 산업별로 재투입되는 양을 제하여 폐기물의 순 배출량을 계상하는 방법도 검토할 수 있다. 한편, WIO에서 재활용으로 분리 배출된 생활폐기물은 모두 재활용하는 것으로 처리되는데, 이는 현재 우리나라의 폐기물 통계가 일차적으로 폐기물을 수집하는 시설을 기준으로 폐기물 처리방식을 집계하기 때문

이다. 폐기물의 재활용 과정에서 발생하는 잔재물은 다시 소각 및 매립처리 되므로 폐기물의 실질 재활용 비율은 통계보다 낮은 수준이고, 이 부분은 통계작성 기준의 정비가 필요하다.

제3장. 환경연산일반균형 모형을 이용한 탄소세의 폐기물 저감효과 분석

제1절. 서론

1. 연구 배경

기후위기로 인한 각종 기상재해와 폭염의 발생 빈도가 증가하면서, 더욱 적극적인 대응의 필요성에 따라 우리나라는 2020년 10월 2050년 탄소 중립을 선언하고 구체적인 저감 목표와 수단을 제시하는 탄소 중립 시나리오를 발표하였다(2050 탄소중립위원회, 2021). 폐기물 부문에서도 폐기물 감량 및 재활용, 바이오 플라스틱 보급, 바이오가스 에너지 활용, 매립지 준호기성 운영 강화 등을 통해 온실가스 배출량을 2018년 대비 74% 감축(4.4백만 톤 배출)하는 것을 목표로 하고 있다.

이에 따라 폐기물 발생량뿐만 아니라 온실가스 배출량도 함께 줄여야 하는 상황이 되었다. 전략적으로 두 가지 정책목표를 달성하기 위해서는, 폐기물 발생량과 온실가스 배출량을 동시에 파악할 수 있는 자료와 분석방법이 필요하다. 정책의 파급효과 분석을 위해서는 경제적 영향도 고려해야 하므로, 이를 모두 반영하여 정책의 효과를 판단할 수 있는 환경-경제통합분석의 필요성이 더욱 크다고 할 수 있다.

환경연산일반균형(Environmental Computable General Equilibrium, 환경 CGE)모형에서는 폐기물 배출량과 온실가스 배출량을 모두 집계하기 때문에 폐기물과 온실가스 부문에 정책을 동시 적용할 수 있다. 온실가스 배출 저감 정책은 화석연료를 대체하는 효과를 통해 온실가스를 감축하는 것을 가정하고 있다. 그러나 화석연료 대체효과를 고려하지 않아도 재활용률 제고 정책을 사용하면 낮은 탄소세로도 동일한 감축 목표를 달성할 수 있다. 본 연구에서는 이처럼 여러 부문에 걸친 정책을 시행하고자 할 때 환경 CGE 모형을

이용하여 효율적으로 정책을 달성하는 방안을 모색할 수 있음을 보인다.

2. 선행연구

경제적 파급효과 분석은 주로 산업연관분석이나 연산일반균형(Computable General Equilibrium, CGE) 분석을 이용한다. 산업연관분석은 산업연관표를 바탕으로 산업별 파급효과를 분석하는 방법으로, 부분균형과 달리 경제전체의 모든 산업부문을 고려하지만, 경제주체의 최적화 행위를 고려하지 못한다는 한계가 있다. CGE 분석의 경우 일반균형모형에서 외부충격 전후의 균형점 간 차이를 비교하며, 모든 경제주체의 최적화 행위를 반영하고 국가경제부문을 포괄할 수 있어 경제적 파급효과 분석에 용이하다는 장점이 있다.

일반적으로 CGE 모형을 이용한 경제적 파급효과 분석에서는 경제행위만을 대상으로 삼지만, 환경 영향을 포함하려는 시도 역시 있었다. Xie and Saltzman(2000)은 사회계정행렬(Social Accounting Matrix, SAM)에 환경변수를 추가하여 확장된 형태의 환경사회계정행렬(Environmentally Extended Social Accounting Matrix, ESAM)을 구축하고, 이를 바탕으로 중국의 생활폐기물에 대한 조세효과를 분석한 바 있다. 본 연구에서는 이러한 방식을 토대로 CGE 모형을 확장하여 폐기물 부문에 적용한다.

Wiebelt(2001)는 남아프리카 광업의 유해 폐기물에 부과하는 환경세가 각 부문에 미치는 영향을 분석한 바 있으며, Fæhn and Holmøy(2003)은 대외무역 자유화가 대기오염 및 고형폐기물의 퇴적에 미치는 영향을 평가하였다. 분석결과 무역 개혁은 장기적으로 오염도가 높은 수출산업으로의 구조변화를 초래하여 GDP의 감소에도 오염물질의 배출이 급증하는 결과를 초래한다.

Bartelings(2003)은 네덜란드의 경제성장과 고형폐기물 발생 간의 양의 상관관계를 분절(decoupling)하였을 때 폐기물의 감소 가능성을 분석하였다. 지방자치단체의 폐기물 수거 가격체계에 따른 영향을 분석한 결과, 작은 자치단체의 경우 선택적 단위기반 가격체계를 도입하는 것이 도시고형폐기물 감축에 효율적인 것으로 나타났다.

Okushima and Yamashita(2005)는 일본의 산업폐기물세 도입에 따른 가격 대체효과를 조망하고, 각 산업과 재활용자원에 미치는 영향을 검토하였다. 그 결과 일차 산업의 생산에는 거의 피해를 주지 않으면서 이차 산업의 성장과 재활용 활동을 촉진하여 효과적으로 최종 폐기물처리를 줄였다. 다만 분석대상 폐기물을 아홉 가지 재활용 가능 자원에 한정하고, 정책이 폐기물의 불법처분을 증가시킬 수 있음에도 이러한 가능성을 고려하지 않았다는 한계가 있다.

한편, EU에서는 지난 수십 년간 고형폐기물 발생량의 증가는 경제성장과 밀접한 관련이 있으며 이를 해결하기 위해 미래에 폐기물 발생과 경제성장을 분리해야 한다는 의제를 설정하였다. 이에 따라 Sjöström and Östblom(2010)에서는 스웨덴의 탈동조화 시나리오와 기준 시나리오의 폐기물 집약도를 비교 분석하는 연구를 수행하였다. 이후 해당 모형을 확장한 Östblom et al.(2010)에서 상・하향통합모형을 분석하였으며, 모든 시나리오에서 총 폐기물은 GDP보다 낮은 비율로 증가하지만, 절대적인 탈동조화는 발생하지 않았고 폐기물 감축 비용이 폐기물의 처리비용보다 비쌌다.

이 밖에도 Campoy-Muñoz et al.(2017)은 선형승수모형(linear multiplier models)을 이용하여 총생산과 GDP, 고용 측면에서 음식물쓰레기 감축이 국가 경제에 미치는 영향을 평가하였고, Li and Masul(2018)은 폐기물 관리부문을 구분하는 SAM을 구축하고 국가 수준의 동적 다부문 CGE 모델을 구성하였다. 2030년까지 중국 폐기물 관리부문을 분석한 결과 지속 가능한 시나리오에서 폐기물 관리비용이 2030년에 3,237억 위안으로 증가하고, GDP 비중은 0.23%로 떨어져 다른 두 가지 시나리오 대비 GDP 손실이 가장 컸다.

국내에서 폐기물 처리의 경제적 파급효과를 분석한 연구는 많지 않다. 경제주체의 반응과 시장을 통한 조정과정 등을 분석에 반영하기 위해서는 CGE를 이용한 분석을 생각해볼 수 있다. 이와 관련하여 Kang et al.(2006)에서 환경관리 부문과 폐기물 흐름을 통합하는 CGE 모형의 정교화를 시도한 바 있다. 그러나 해당 연구에서 정책효과에 대한 비교정태모형은 개발 단계에 머물렀다.

폐기물 배출을 직접 다루지는 않았으나 관련 내용을 분석한 연구로는 배정환(2012)과 이효창・김금수(2018)가 있다. 배정환(2012)에서는 유기성 폐기물 저감을 위해 축산 부문이나 식품 소비에 대해 간접배출부담금을 부과하여 바이오가스 생산을 위한 보조금으로 사용하는 방안의 경제적 환경적 효과를 비교하였다. 식품 소비에 부담금을 부과하는 경우에 비해 축산물 생산에 대한 간접부담금은 과세 부담이 높고 GDP와 총소비가 더 감소하므로 식품 및 음식점 소비에 대한 소비세가 더 적절할 것이라는 결론을 도출하였다.

이효창・김금수(2018)에서는 ORANI CGE 모형을 이용하여 폐기물 최종처분부담금이 산업에 미치는 일반균형효과를 분석하였다. 분석결과 폐기물처리업과 자원재활용서비스업, 1차 금속업, 수도 및 폐수처리업이 가장 크게 영향을 받았으나 전체적으로는 영향이 미미한 것으로 파악되었다.

이효창 외(2020)에서는 자본과 노동, 폐기물처리서비스, 재활용서비스를 생산요소로 간주하는 KLWR CGE 모형을 축차 동태모형으로 확장하고, 폐기물의 발생량과 재활용량, 최종처분량 등에 미치는 영향을 포함하여 처분부담금의 요율 인상 시나리오를 분석하였다. 해당 연구는 폐기물의 처리와 관련된 물리량 정보를 포함하는 환경 CGE 모형이라 할 수 있다. 그러나 매립과 소각폐기물을 구분하지 않고, 매립과 소각 처리비율이 일정하다는 가정을 하고 있다. 본 연구에서는 매립과 소각, 재활용 처리시설을 구분하고 폐기물 종류를 상세히 분류한다. 또한, 온실가스 배출량을 모형에 포함하여 탄소세 도입을 통한 온실가스 저감효과를 분석한다.

3. 연구목적 및 내용

본 연구에서는 폐기물의 배출 및 처리정보와 온실가스 배출량, 폐수 배출량 등의 정보를 포함하여 확장한 환경 CGE 모형을 구축하되, SAM에 환경변수를 포함하도록 확장된 ESAM을 구축하여 분석에 활용한다. 폐기물의 종류 및 처리시설을 폐기물처리서비스와 재활용서비스의 두 가지로 구분한 이효창 외(2020)와 달리, 폐기물처리시설을 매립, 소각, 재활용의 세 가지로 구분하여 매립과 소각에 미치는 영향의 차이도 식별하도록 한다. 배분 행렬을 도입하

여 폐기물과 처리시설의 일대일 제약을 완화하고, 폐기물 종류별 배출량과 처리시설별 처리량을 각각 계산하도록 한다. 또한, 에너지 투입을 세분하여 이에 따른 온실가스 배출량을 계산하도록 하고 탄소세를 반영한다.

본 연구에서는 탄소 중립 시나리오에 따라 연간 4% 이상의 온실가스 배출량을 저감한다는 목표를 달성하기 위해 탄소세를 도입한다. 이에 따라 GDP와 온실가스 배출량이 어떻게 달라지는지와, 폐기물의 배출량과 처리비용의 변화를 살펴본다. 분석 시나리오에서는 탄소세만을 도입하는 경우와 폐기물 재활용률을 높이면서 낮은 탄소세를 도입하는 경우를 비교하여 차이점을 살펴본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2절에서는 환경 CGE 모형의 개념과 구조를 설명한다. 제3절에서는 ESAM을 설명하고, 분석자료와 탄력성을 제시한다. 제4절에서는 시나리오와 분석결과를 보이고, 제5절에서는 연구내용을 요약하고 연구 의의와 한계점을 검토한다.

제2절. 환경연산일반균형 모형

1. 환경연산일반균형 모형의 구분

환경 영향을 고려하는 CGE 모형은 환경요소를 경제활동에 통합하는 방식에 따라 크게 두 가지 형태를 고려할 수 있다. 첫째는 생산 과정에 단위당 고정된 오염계수를 부과하여 생산에 비례하게 오염물질이 발생하도록 처리하는 방법이다. 이 모형에서 환경규제로 인한 가격 및 세금변화는 외생적으로 주어지며, 모형의 구조는 기본적인 CGE 모형과 크게 다르지 않다. 단위당 오염계수를 부과하는 방법은 생산된 재화의 일정 비율이 폐기물로 버려지고 나머지 재화가 경제 내의 중간재, 소비, 해외 부문에서 소비되도록 하는 방법과 생산 과정에서 자본, 노동, 에너지, 기타중간투입(K, L, E, M)의 일정 비율로 폐기물이 발생한다고 가정하는 방법이 있다. 후자의 방법은 Sjöström and Östblom(2010)과 Östblom et al.(2010)이 사용하였다. 이 방법은 폐기물의 종류가 몇 가지가 되어도 상관없고, SAM의 확장 없이 간단한 형태로 폐기물의 정보를 고려할 수 있다. 그러나 폐기물 처리시설이나 기타 환경정보를 반영할 수 없다는 한계가 있다.

두 번째는 경제 체제 내에 환경 피드백을 반영하는 방법이다. 생산함수에 오염관리비용을 고려하여 환경질이 생산성에 미치는 영향을 고려하거나, 오염물질의 배출과 저감 활동이 소비에 미치는 영향을 나타내기 위해 사회효용함수에 환경 영향을 통합할 수 있다. 이는 Xie and Saltzman(2000)에서 사용한 방법론으로, SAM에서 폐기물과 처리시설의 정보를 따로 집계하며 이때 폐기물과 처리시설의 숫자가 같아야 한다. 모형에서 함수가 추가되므로 오염 저감 활동이나 오염세, 오염관리 보조금이나 환경보상, 환경투자 등의 환경정보를 반영할 수 있어 사용 가능한 정책시나리오가 다양해진다는 장점이 있다.

본 연구에서는 ESAM으로 자료를 확장하고 관련 함수를 추가하는 Xie and Saltzman(2000)의 방법을 토대로 하되, Nakamura and Kondo(2002)가 WIO에

서 일대일 제약을 완화한 방법을 차용하여 폐기물의 종류와 저감시설의 수가 일치하지 않도록 모형을 확장한다.

2. 환경연산일반균형 모형

1) 모형의 기본구조

본 연구에서는 표준적인 CGE 모형 중 하나인 Ecomod(2018)을 본 연구의 목적에 맞게 수정 및 확장하여 사용한다. CGE 모형은 경제부문 간 재화와 생산요소의 흐름을 나타내는 균형식으로 이루어져 있다. 생산부문은 중간투입요소와 부가가치의 레온티예프 결합으로 국내생산(XD)을 창출하고, 국내생산은 수출재(E)와 국내에서 소비되는 국내재(XDD, 이하 국내재)로 나누어진다. 국내재는 수입재(M)와 결합하여 국내 총수요(X)를 생산하고, 국내 총수요는 다시 산업별 중간재 소비와 민간소비, 정부 소비, 투자 등으로 분배된다. 이와 같은 경제의 생산 및 소비구조에서 경제주체별 세부구조를 살펴보면 다음과 같다.

(1) 소비부문

N개의 소비재에 대하여 소비량을 C_i, 가격을 P_i라 할 때 소비부문은 하나의 대표적인 가계가 (수식 3-1)과 같은 LES(linear expenditure system) 효용함수를 가지는 것으로 가정하여 상대적인 가격변화에 따라 어느 정도 유연하게 대처할 수 있도록 한다.

가계는 노동소득과 자본소득, 정부로부터의 이전소득을 얻으며 소득의 일정 비율을 소득세와 저축에 사용하고, 최종소비로 인해 발생하는 가계폐기물에 비례하여 가계정화비와 폐기물처리비를 지출한다. 총소득 Y에서 소득세와 저축, 가계정화비, 폐기물처리비를 제외한 금액을 소비 가능한 예산이라고 하고 $CBUD$로 표시한다. 수식에서 μ_i는 소비재의 최소요구량이다.

(수식 3-1) $$P_iC_i = P_i\mu_i + \alpha H_i(CBUD - \sum_{j=1}^{N} P_j\mu_j),\ (i = 1,...,N),\ \sum_{j=1}^{N} \alpha H_j = 1$$

(2) 생산부문

각 산업은 자본과 노동, 에너지, 중간투입재를 생산요소로 사용하여 국내생산을 하며, 생산기술은 계층적 CES(nested constant elasticity of substitution) 생산함수의 형태를 지닌다.

생산부문에서는 국내생산(XD_i)의 일정 비율을 저축과 환경투자에 사용하고, 생산활동으로 인해 발생하는 폐기물의 처리비용을 부담한다. 이에 따라 국내생산에서 저축과 환경투자, 폐기물 처리비용을 제외한 만큼을 생산에 사용한다. 이는 자본-에너지-노동(KEL_i)과 중간투입재(IO_i)의 Leontief 결합으로 (수식 3-2)와 같이 나타낼 수 있으며, 하첨자 p는 폐기물 저감시설을 의미한다.

(수식 3-2) $$\begin{aligned} KEL_i &= aF1_i(XD_i - \sum_p PACOST_{i,p} - IDE_i - SS_i) \\ IO_i &= (1 - aF1_i)(XD_i - \sum_p PACOST_{i,p} - IDE_i - SS_i) \end{aligned}$$

자본-에너지-노동(KEL_i) 복합재는 두 번째 네스팅에서 자본-에너지(KE_i)와 노동(L_i)이 (수식 3-3)과같이 CES 결합하여 구성한다.

(수식 3-3) $$KEL_i = aF2_i(\gamma F2_i \cdot KE_i^{-\rho F2_i} + (1 - \gamma F2_i)L_i^{-\rho F2_i})^{-1/\rho F2_i}$$

위 식에서 $\sigma F2_i = \dfrac{1}{1 + \rho F2_i}$는 투입요소간의 대체탄력성(elasticity of substitution)을 의미하며 외생적으로 주어진다. $aF2$는 효율매개변수(efficiency parameter), $\gamma F2$는 각 투입요소가 차지하는 비중을 나타내는 배분매개변수(distribution parameter)이고 각각 모형 내에서 계산(calibration)된다.

마찬가지로 자본-에너지(KE_i)복합재는 자본(K_i)과 에너지복합재($ENINP_i$)가 CES 결합하여 생산된다.

(3) 저축 및 투자

가계와 기업은 일정 비율을 저축하는 것으로 가정하고, 정부저축과 해외저축은 고정저축을 가정한다. 생산부문에서 폐기물 부문의 환경보호지출에 사용한 금액도 저축에 포함된다. 투자 부문에서는 은행이 Cobb-Douglas 효용함수에 따라 투자수요에 맞게 저축을 분배한다.

(4) 정부 부문

정부는 생산물세와 소득세, 관세, 탄소세 등을 부과하여 정부 소비와 가계이전을 지출하고, 나머지는 정부저축으로 전환한다. 이때 가계이전은 가계에서 발생한 폐기물을 수거하여 처리비용을 부담하는 것이고, 이에 대하여 가계로부터 종량제봉투 구입비용(폐기물처리비)을 수취한다.

생산물세는 가계의 최종소비에 부과하는 대신 PEP(Partnership for Economic Policy)모형[30]의 구조를 반영하여 국내생산에 비례하게 부과한다. ‘IND19. 건설업’에서는 가계소비가 없지만 생산물세가 부과되고 ‘IND02. 석탄’은 가계소비는 있으나 생산물세가 음수로 부과되는 등 현실의 소비구조를 반영하기 위함이다.

(5) 해외 부문

국내총수요(X_i)는 국내재(XDD_i)와 수입(M_i)의 합이며, Armington 가정에 의해 국내 생산재를 불완전 대체하고 대체 정도는 CES(constant elasticity of substitution) 함수로 결정된다. 국내생산(XD_i)은 국내생산에 공급(XDD_i)하거나 수출(E_i)하는데, CET(constant elasticity of transformation) 함수에 따라 수출재는 국내재를 불완전 대체한다.

수출입은 생산부문에서 생산하는 상품에 대해서만 이루어지며, 저감시설의 저감 활동은 수출입이 이루어지지 않는 것으로 가정한다.

30) Decaluwé et al.(2012) 참고.

(6) 환경부문

위의 기본 CGE 모형에 폐기물과 온실가스, 폐수발생량을 추가하고 폐기물 처리시설과 처리비용, 관련 세금 등의 항목을 추가한다. 더불어 온실가스 배출량의 계측을 위해 에너지 투입을 세분하고 탄소세를 부과한다. 이에 따라 여러 변수와 함수가 추가되는데, 환경정보가 추가된 ESAM 구조와 추가 함수 등은 본 연구의 목적과 데이터에 맞게 구성하였다.

(7) 부분집합의 사용

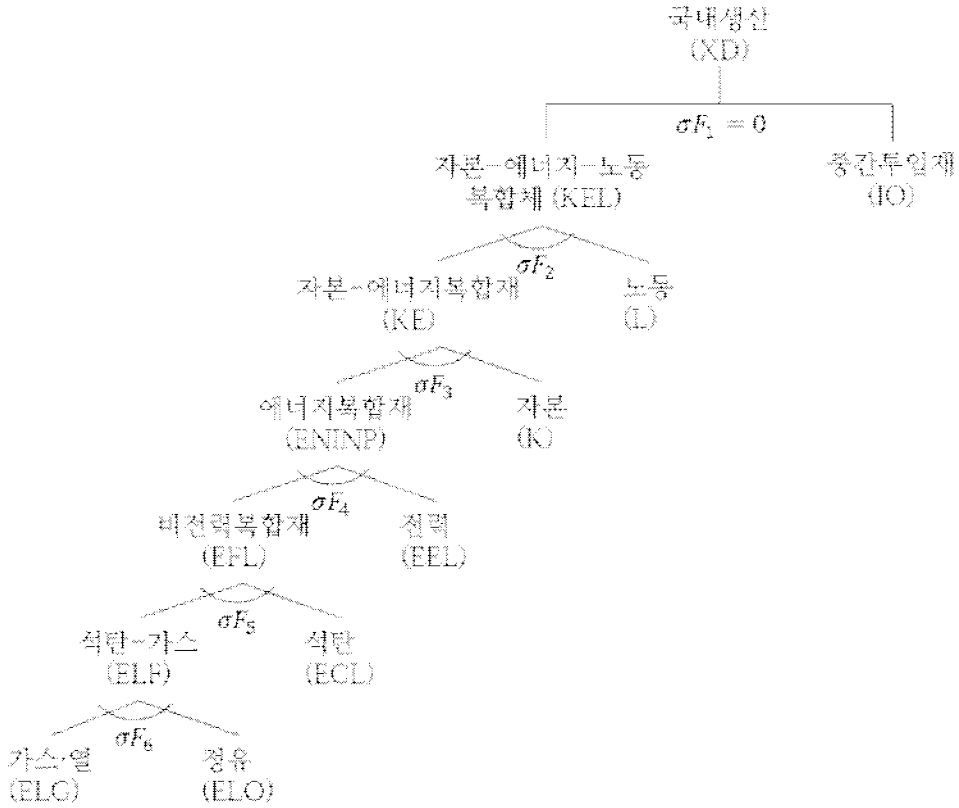
생산활동 J와 상품 I에서 저감시설 및 저감 활동을 구분하여 폐기물 처리정보를 추가함에 따라, 산업의 집합(sets)은 산업부문과 저감부문의 두 부분집합의 합으로 재정의한다. 즉 생산활동과 상품 21개의 집합(i)과, 저감 활동 및 저감 3개의 집합(p)으로 구분하고 전체 생산활동 및 상품은 24개의 부문(s)으로 구성한다.

폐기물의 저감시설은 매립, 소각, 재활용의 세 가지로 구분하고, 배출하는 폐기물의 종류는 제2장의 WIO와 같이 30가지로 구분한다. 폐기물의 종류(w) 역시 하나의 부분집합으로 설정하여 폐기물 종류별 배출량을 계측할 수 있도록 한다.

생산활동의 집합(i) 중에서 에너지 투입 역시 부분집합(e)으로 설정하며, 모형 내에서 함수의 적용 범위에 따라 적절한 부분집합을 사용한다.

(8) 에너지 투입과 온실가스 배출량

생산함수에서 에너지복합재($ENINP_i$)는 가스・열(ELG_i)과 정유(ELO_i), 석탄(ECL_i), 전력(EEL_i)이 순서대로 CES 결합하여 만들어진다. 가스・열(ELG_i)과 정유(ELO_i)가 결합하여 석탄-가스 복합재(ELF_i)를 만들고, 여기에 석탄(ECL_i)이 결합하여 비전력복합재(EFL_i)를 구성한다. 마지막으로 전력(EEL_i)이 결합하여 에너지복합재($ENINP_i$)를 만든다. 각 네스팅의 투입구조는 <그림 3-1>과 같다.



<그림 3-1> 환경연산일반균형 모형의 생산구조

온실가스 배출량은 에너지사용에 따른 배출량과 생산 공정에서 발생하는 비에너지 온실가스 배출량으로 구분할 수 있다. 가계의 온실가스 배출량($GHGH$)은 모두 에너지사용에 의한 것으로, 가계의 에너지 부문 소비에 비례하여 온실가스가 발생하는 것으로 간주한다. 산업의 경우 에너지 온실가스 배출량($eGHGJ_s$)은 에너지 투입에 비례하고, 비에너지 온실가스 배출량($neGHGJ_i$)은 국내생산에 비례하여 발생한다. 폐기물 부문의 비에너지 온실가스 배출량($neGHGJ_p$)은 폐기물 저감시설의 처리량에 비례한다.

(수식 3-4) $GHGH = eco2h \sum_{e} C_e$, $(e = gas, oil, col, ele)$

(수식 3-5) $eGHGJ_s = eco2j_s ENINP_s$

(수식 3-6) $neGHGJ_i = dco2j_i XD_i$

(수식 3-7) $neGHGJ_p = dco2j_p DA_p$

(수식 3-8) $GHGJ_s = eGHGJ_s + neGHGJ_s$

(9) 폐기물의 발생 및 저감, 배출

폐기물은 산업의 생산활동과 가계의 최종소비로 인해 발생하며, 각각 국내 생산과 가계의 최종소비에 비례한다. 가계폐기물(DGH_w)과 산업폐기물($DGJ_{s,w}$)은 각각 폐기물 종류별로 계측되며, 이들 값을 합하여 전체 폐기물 발생량을 구한다.

(수식 3-9) $DGH_w = dci_w \sum_{i} C_i$

(수식 3-10) $DGJ_{s,w} = dpi_{s,w} XD_s$

(수식 3-11) $DG_w = DGH_w + \sum_{s} DGJ_{s,w}$

발생한 폐기물은 각각 저감시설로 보내 처리한다. 가계와 산업에서 발생한 폐기물에 배분 행렬을 곱하여 각 저감시설에서 처리한 폐기물처리량을 구할 수 있다. 배분 행렬($SO_{w,p}$)은 폐기물 종류별 저감시설별 처리비율을 나타내는 행렬로, 제2장의 배분 행렬을 사용한다. 마찬가지로 가계폐기물 저감량(DAH_p)과 산업폐기물 저감량($DAJ_{p,s}$)을 더해 저감시설별 총 처리량을 구할 수 있다.

(수식 3-12) $DAH_p = \sum_{w} DGH_w SO_{w,p}$

(수식 3-13) $DAJ_{p,s} = \sum_{w} SO_{w,p} DGJ_{s,w}$

(수식 3-14) $DA_p = DAH_p + \sum_{s} DAJ_{p,s}$

마지막으로 폐기물 배출량(DE)은 총 폐기물 발생량에서 총 저감량을 제외

한 값으로 정의한다. 본 모형에서는 발생한 폐기물을 모두 저감하는 것으로 간주하지만, 저감시설의 처리능력을 함수에 반영하면 폐기물 발생량과 저감량의 차이를 통해 자연으로 배출되어 축적되는 폐기물 배출량을 계측할 수 있다.

(수식 3-15) $$DE = \sum_{w} DG_{w} - \sum_{p} DA_{p}$$

(10) 폐기물 처리비용

폐기물의 발생량 및 저감량, 배출량은 모두 물량 단위이며, 경제활동의 결과로 결정된다. 폐기물의 저감량에 외생적으로 주어진 폐기물 처리단가($PPA_{w,p}$)를 곱하면 폐기물의 처리비용을 구할 수 있다. 발생한 폐기물의 처리비용은 화폐단위로 계측되며 모형 내에서 경제주체의 균형식에 영향을 미친다. 각 산업에서 발생한 폐기물은 배출자가 처리비용($PACOST_{s,p}$)을 지불하며, 가계폐기물 처리비용($PACOSTH_{p}$)은 실질적으로 정부에서 부담한다. 가계와 기업의 폐기물 처리비용은 폐기물 저감시설의 소득이 된다.

(수식 3-16) $$PACOSTH_{p} = \sum_{w} DGH_{w} \left[PPA_{w,p} SO_{w,p} \right]$$

(수식 3-17) $$PACOST_{s,p} = \sum_{w} DGJ_{s,w} \left[PPA_{w,p} SO_{w,p} \right]$$

(11) 가계정화비

가계에서 배출한 폐기물은 정부(지방자치단체)에서 수거하여 처리한다. 가계에서는 종량제봉투를 구매해서 폐기물을 배출하고, 종량제봉투 판매수입($DTAX$)은 정부의 폐기물처리 예산으로 사용된다. 가계에서 발생한 폐기물 처리비용($PACOSTH_{p}$) 은 정부에서 가계에 이전지출 형태로 지급하여 실질적으로 정부가 지출하는 것으로 처리하고, 종량제봉투 판매수입을 폐기물 배출에 대한 세금($DTAX$)으로 간주하여 모형에 반영한다. 해당 세금은 가계의 폐기물 배출량에 비례한다.

(수식 3-18) $DTAX = twh\sum_{w} DGH_{w}$

(12) 기타 환경변수

기업에서는 저축을 제외한 금액의 일정 비율을 폐기물 부문의 환경투자(IDE_i)로 지출하고, 이 금액은 다른 저축과 함께 투자비용으로 사용된다.

(수식 3-19) $IDE_i = dei_i(XD_i - SS_i)$

폐수발생량(WWJ_i)은 국내생산에 비례하여 발생하는 것으로 간주한다.

(수식 3-20) $WWJ_i = dww_i XD_i$

제3절. 분석자료

CGE 모형의 분석자료로는 SAM을 사용한다. SAM은 경제주체 간 재화와 자원의 이동을 행렬의 형태로 표현한 것이다. 본 연구에서는 폐기물과 온실가스 배출량 등을 반영하기 위해 기존의 SAM에 폐기물의 발생량과 처리량, 처리비용, 환경투자, 보조금 등의 정보를 포함하여 ESAM 형태로 확장한다.

1. 환경사회계정행렬의 구조

ESAM은 Xie and Saltzman(2000)이 제안한 구조[31]를 참고하여 <표 3-1>과 같이 구성한다. 하늘색으로 표시된 부분은 기존의 SAM에는 없으나 새롭게 추가된 환경정보이다. SAM은 기본적으로 산업과 재화, 생산요소, 조세, 가계, 정부, 저축-투자, 해외 부문으로 구성되는데, ESAM에서는 각 산업과 재화에 폐기물과 오염 저감시설 정보[32]가 추가된다. 오염 저감시설은 폐기물 처리시설을 의미하며, 여타 산업의 생산활동에서 생산요소를 투입하여 재화를 생산하는 것과 마찬가지로 폐기물을 투입하여 오염물질을 정화하는 활동을 한다. 이에 따라 ESAM에는 각 산업 및 최종소비(가계 및 정부)로 인해 발생하는 폐기물의 배출량과 저감량, 폐기물의 처리비용을 비롯하여 폐기물 처리시설의 중간투입 정보, 폐기물 정화비용, 환경투자 등이 추가된다.

상품 I행의 '저감' 항목은 경제활동에서 발생하는 폐기물의 처리비용이다. 폐기물 저감시설별로 산업과 가계에서 발생한 폐기물의 처리비용이 해당하며, 이를 행 방향으로 합한 처리 시설별 폐기물 처리비용은 생산활동 J행의 상품 I열에 기재된다.[33]

---

31) Xie and Saltzman(2000)의 "Table 2: Framework of an Environmentally Extended Social Accounting Matrix" 참고.

32) ESAM의 구조를 나타낸 <표 3-1>에서 폐기물 처리시설은 "저감시설", 폐기물은 "저감"으로 표기한다.

33) 이론적으로는 정부에서 배출한 폐기물의 처리비용 역시 추가할 수 있으나, 국내 폐기물 배출통계에서는 정부에서 배출한 폐기물을 따로 집계하지 않으므로 포함하지 않았다.

<표 3-1> 환경사회계정행렬의 구조

		상품 I		생산활동 J		생산요소		제도부문			세금				환경투자	투자	오염물질	환경부하	
		재화	저감	생산	저감시설	자본	노동	가계	정부	해외	생산세	수입세	소득세	오염배출세				온실가스	폐수
상품 I	재화			중간투입	중간투입			민간소비	정부소비							고정자본형성			
	저감			저감비용				가계정화비											
생산활동 J	생산	국내재								수출							폐기물배출량	온실가스배출량	폐수배출량
	저감시설		폐기물저감																
생산요소	자본			영업잉여															
	노동			피용자보수															
제도부문	가계					영업잉여	피용자보수		이전지출										
	정부										생산세	수입세	소득세	정부이전					
	해외	수입																	
세금	생산세	생산세																	
	수입세	수입세																	
	소득세							소득세											
	오염배출세							폐기물처리비											
환경투자				환경투자															
저축				기업 저축				가계저축	정부저축	해외저축					환경투자				
오염물질				폐기물저감량															

가계정화비는 가정에서 배출한 폐기물의 처리비용으로, 지방자치단체에서 폐기물 처리비용을 부담하는 것을 반영하여 정부에서 이전지출의 형태로 가

계에 지급한다. 가계에서는 실질적으로 종량제봉투 구입비만 정부에 지불하며, ESAM에는 폐기물처리비 항목으로 반영된다.

기업에서 폐기물 부문에 투자한 금액은 기업의 환경투자로 포함된다. 환경투자는 다른 저축과 함께 투자에 사용된다.

이상의 ESAM 항목들은 모두 화폐단위이며, ESAM의 오른쪽과 하단에는 오염물질의 배출량과 같은 환경부하가 물량 단위로 추가된다. SAM은 정방형 구조를 가지기 때문에 ESAM의 화폐단위 부분 역시 정방형을 띄지만, 물리량 단위의 환경정보는 이로부터 자유롭게 구성할 수 있다. 폐기물 종류를 <표 2-6>과 같이 가연성폐기물과 불연성폐기물 등 30종으로 구분하고, 폐기물 처리시설은 매립, 소각, 재활용의 세 가지로 구분한다. 그리고 앞서 WIO에서 일대일대응 제약을 완화한 방식을 차용하여, 폐기물 종류별 배출량에 배분 행렬을 곱하면 처리 시설별 폐기물처리량이 도출되도록 한다.

산업분류는 WIO의 분류기준에서 에너지 투입을 석탄, 가스・열, 정유, 전력으로 구분하여 <표 3-2>의 21개 산업으로 구분한다[34]. 이로 인해 '원유'와 '기타광업'을 새로운 산업으로 분리하였으며, 기존의 '하수・폐기물처리 및 환경복원업'에 수도사업을 포함하여 '수도・폐기물처리 및 환경복원업'으로 개편했다. ESAM에서 민간소비지출이 음수인 부분을 조정하기 위해 '1차 금속 제조업'과 '금속가공제품 제조업'을 '금속 제조업'으로 통합하였다. 산업분류 중 'IND18. 수도・폐기물 처리 및 환경복원업'은 폐기물 저감시설의 정보를 포함하지 않도록 구성하여 저감시설 정보가 중복되지 않도록 하였다.

34) 산업연관표의 2015 기준년 분류와 한국표준산업분류(9차), 본 산업분류의 관계를 나타내는 연계비교표는 <부표 1-4> 참고.

<표 3-2> 환경연산일반균형 모형의 산업분류

산업명	산업기호	비고
IND01. 농림어업	agr	
IND02. 석탄	col	에너지 투입
IND03. 원유	rol	
IND04. 가스・열	gas	에너지 투입
IND05. 기타광업	min	
IND06. 음식료품 제조업	fdp	
IND07. 섬유 및 가죽제품 제조업	tex	
IND08. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	wpp	
IND09. 정유	oil	에너지 투입
IND10. 화학물질 및 화학제품 제조업	che	
IND11. 비금속 광물제품 제조업	nmm	
IND12. 금속 제조업	mpm	
IND13. 기계 및 장비 제조업	m_e	
IND14. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업	elm	
IND15. 운송장비 제조업	tpt	
IND16. 가구 및 기타제품 제조업	omf	
IND17. 전력	ele	에너지 투입
IND18. 수도 · 폐기물처리 및 환경복원업	swd	
IND19. 건설업	con	
IND20. 서비스업	ser	
IND21. 공공행정, 국방 및 사회보장	adm	

2. 분석자료

1) 투입 자료

ESAM은 2018년 한국경제를 대상으로 하며, 제2장에서 구축한 2018년 WIO[35]를 기초로 하고 추가로 국민소득계정 등을 사용한다.

WIO는 산업별로 폐기물 종류별 배출량을 제시한다. 여기에 배분 행렬을 곱하면 폐기물 저감시설별 폐기물 저감량을 구할 수 있고, 폐기물의 처리단가를 곱하면 폐기물 처리비용이 도출된다. 폐기물의 처리단가는 환경부(2016.01.29.), 한국환경공단(2019), 한국건설자원협회(2018)를 기준으로 <표 3-3>과같이 적용한다.

가계정화비 역시 가계의 폐기물 배출량에 폐기물 처리단가를 곱해서 구한다. 가계의 폐기물처리비용은 '청소예산 주민부담률 통계'에서 종량제봉투 판매수입을 이용한다. 가계의 소득세는 국민 계정 '제도부문별 소득계정'에서 가계 및 비영리단체의 '소득, 부 등에 대한 경상세'를 이용한다.

산업부문에서 지출하는 환경투자는 환경부(2021b)의 기업부문 업종별 환경보호지출에서 폐기물 부문의 지출액을 사용한다. 산업별 지출액은 <표 3-4>와 같다.

35) WIO 구축에는 한국은행 2018년 투입산출표 생산자가격 기본부문, 환경부의 전국폐기물 발생 및 처리현황(2018)과 산업폐수 발생 및 처리현황 자료 등을 이용한다.

<표 3-3> 폐기물 처리단가

(단위: 원/톤)

분류기준	통합기준	매립	소각	재활용
가연성	음식물・채소류	88,000	213,000	126,000
	종이류	88,000	213,000	97,000
	나무류	88,000	213,000	45,000
	고무・피혁류	211,000	213,000	84,667
	플라스틱류	211,000	213,000	133,500
	섬유류	88,000	213,000	52,000
	폐전기전자제품류	88,000	213,000	171,000
	기타	88,000	213,000	101,310
불연성	건설폐재류	43,000	213,000	38,000
	무기성 오니류	88,000	213,000	42,000
	유리・도자기류	88,000	213,000	38,500
	금속류	88,000	213,000	41,000
	토사류	88,000	213,000	61,000
	기타	88,000	213,000	89,000
가연성・불연성 혼합	기타	43,000	213,000	125,269
	폐보드류	43,000	213,000	37,452
	폐판넬	43,000	213,000	37,452
	혼합건설 폐기물	43,000	213,000	54,704
재활용 가능자원 분리배출	종이류			97,000
	유리류			38,500
	고철・캔류			498,667
	합성수지류			133,500
	전기・전자제품류			171,000
	타이어			67,000
	폐유			106,000
	의류			52,000
	영농폐기물			512,000
	가구류			45,000
	기타			172,067
음식물류폐기물분리배출				112,000
평균		89,167	213,000	112,653

※자료: 환경부(2016.01.29.), 한국환경공단(2019), 한국건설자원협회(2018)를 이용하여 저자 재구성.

<표 3-4> 산업별 폐기물 부문 환경보호지출

(단위: 십억 원)

산업명	환경보호지출계정 기준 업종	폐기물
IND01. 농림어업	농림어업	27.2
IND02. 석탄	광업, 석유정제화학	0.5
IND03. 원유	광업	0.0
IND04. 가스・열	광업, 석유정제화학, 전기가스수도업	18.5
IND05. 기타광업	광업	1.5
IND06. 음식료품 제조업	음식료품 및 담배	29.1
IND07. 섬유 및 가죽제품 제조업	섬유 및 가죽	4.7
IND08. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	목재종이출판인쇄	71.6
IND09. 정유	석유정제화학	94.9
IND10. 화학물질 및 화학제품 제조업	고무 및 플라스틱	21.7
IND11. 비금속 광물제품 제조업	비금속광물	35.2
IND12. 금속 제조업	1차금속, 조립금속 및 기계장비	480.5
IND13. 기계 및 장비 제조업	조립금속 및 기계장비	80.1
IND14. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업	조립금속 및 기계장비	27.0
IND15. 운송장비 제조업	운수장비	67.4
IND16. 가구 및 기타제품 제조업	기타제조업	7.6
IND17. 전력	전기가스수도업	28.0
IND18. 하수·폐기물 처리 및 환경복원업	전기가스수도업	2.1
IND19. 건설업	건설업	49.0
IND20. 서비스업	서비스업	51.5
IND21. 공공행정, 국방 및 사회보장	-	
합계		1,098.1

※주: 한 업종이 여러 산업에 해당하는 경우 환경보호지출액을 투입산출표 기준 총산출의 비중으로 배분하여 산업별로 분배하였다.

※자료: 환경부(2021b).

2) 탄력성 자료

분석에 필요한 수요의 소득탄력성과 생산요소 간 대체탄력성, Armington 탄력성, CET 탄력성은 환경부・한국환경산업기술원(2021)에서 추정한 탄력성을 이용한다. 위 연구에서는 한국의 E-KLEM DB와 수출입자료를 구축하여 모든 산업에 대해 일관성 있게 추정한 탄력성을 제시하고 있다. 이 탄력성을 본 연구의 산업분류에 맞게 통합하여 이용하되, 통합 방법은 동 연구에서 제시한 탄력성의 통합 방법을 참고한다.[36)]

생산함수에서 사용되는 투입요소간 대체탄력성은 <표 3-5>와 같다. 최대엔트로피(generalized maximum entropy, GME) 방법을 적용하여 추정한 탄력성을 사용하되, 탄력성 값이 작아 캘리브레이션이 되지 않으면 비용함수 추정법을 사용하여 추정한 값을 이용한다.

생산 과정에서 석탄을 사용하지 않는 산업은 생산함수에서 해당 네스팅이 없는 대신 하위 투입물 '석탄-가스'가 상위 네스팅에 '비전력복합재'로 전달되도록 했으며, 이에 따라 $\sigma F5$이 사용되지 않는다(<그림 3-1> 참고). 'IND03. 원유' 역시 투입요소로 정유와 전력만을 사용하므로 $\sigma F5$와 $\sigma F6$이 모두 불필요하며, 이들 값은 <표 3-5>에서 빈칸으로 남겨두었다. 탄력성이 사용되지만, 환경부・한국환경산업기술원(2021)에서 추정치가 제시되지 않은 경우에는 다른 탄력성의 평균값을 적용한다.

<표 3-6>은 Armington 탄력성과 CET 탄력성, 소득탄력성을 제시한다. 소득탄력성은 선형지출체계의 지출액 탄력성을 이용한다. 마찬가지로 탄력성 추정치가 제시되지 않는 경우 다른 탄력성의 평균값을 이용하고, 탄력성이 있더라도 값이 작아서 캘리브레이션이 되지 않으면 값을 적절히 조정하였다.

36) 구체적인 탄력성의 통합 방법은 부록 3에서 설명한다.

<표 3-5> 투입요소간 대체탄력성

산업명	(KE)L	KE	ENINP	EFL	ELF
	$\sigma F2$	$\sigma F3$	$\sigma F4$	$\sigma F5$	$\sigma F6$
IND01. 농림어업	0.931	0.995	1.06	1.102	1.003
IND02. 석탄	0.571	0.744	0.93	1.096	1.22
IND03. 원유	1.125	1.11	0.816*		
IND04. 가스・열	0.903	0.886	1.01		0.415
IND05. 기타광업	0.907	0.734	1.092	1.112	1.426
IND06. 음식료품 제조업	0.931	0.789	0.93	0.6*	1.112
IND07. 섬유 및 가죽제품 제조업	0.963	0.871	0.998		0.949
IND08. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	0.78	0.783	1.012		0.989
IND09. 정유	1.024	1.126	0.816*		0.905
IND10. 화학물질 및 화학제품 제조업	0.957	0.778	1.023	0.618	0.998
IND11. 비금속 광물제품 제조업	0.986	0.782	1.061	1.069	1.066
IND12. 금속 제조업	0.632	0.991	1.016	0.651	0.926
IND13. 기계 및 장비 제조업	0.988	0.869	0.868		0.988
IND14. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업	1.039	1.083	0.585		0.993
IND15. 운송장비 제조업	0.996	0.956	0.886		0.964
IND16. 가구 및 기타제품 제조업	0.709	0.634	1.004	1.163	1.003
IND17. 전력	1.019	0.906	0.625	0.996	0.972
IND18. 하수·폐기물 처리 및 환경복원업	1.041	1.093	0.147	0.6*	0.98
IND19. 건설업	0.944	0.765	1.151	0.837	1.007
IND20. 서비스업	0.742	0.821	0.74	1.094	0.831
IND21. 공공행정, 국방 및 사회보장	1.001	0.962	0.933	0.6*	1.067

※주: * 사용 가능한 탄력성이 없으면 다른 산업의 탄력성 평균값 또는 캘리브레이션 가능한 최솟값을 적용함.

※자료: 환경부・한국환경산업기술원(2021)의 탄력성 추정치를 산업에 맞게 재구성.

<표 3-6> Armington, CET 탄력성과 소득탄력성

산업명	Armington	CET	소득탄력성
	σA	σT	ϵY
IND01. 농림어업	0.933	-0.75	0.471
IND02. 석탄	0.4*	-1.089	0.28**
IND03. 원유	0.4*	-0.4*	0.28**
IND04. 가스・열	0.4*	-0.4*	0.28
IND05. 기타광업	0.4*	-0.67	0.28**
IND06. 음식료품 제조업	0.849	-0.984	0.441
IND07. 섬유 및 가죽제품 제조업	1.017	-0.798	1.268
IND08. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	1.068	-0.783	1.267
IND09. 정유	0.922	-0.621	0.481
IND10. 화학물질 및 화학제품 제조업	1.013	-1.072	0.916**
IND11. 비금속 광물제품 제조업	1.204	-0.515	0.916**
IND12. 금속 제조업	0.627	-0.909	0.916**
IND13. 기계 및 장비 제조업	1.093	-1.071	0.817
IND14. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업	1.022	-0.502	1.773
IND15. 운송장비 제조업	0.723	-1.484	0.627
IND16. 가구 및 기타제품 제조업	1.623	-0.4*	1.216
IND17. 전력	0.937**	-0.813**	0.29
IND18. 하수 · 폐기물 처리 및 환경복원업	0.937**	-0.813**	0.724
IND19. 건설업	0.937**	-0.813**	0.916**
IND20. 서비스업	0.937**	-0.813**	1.22
IND21. 공공행정, 국방 및 사회보장	0.937**	-0.813**	0.724

※주: * 탄력성 값이 너무 작아 캘리브레이션이 되지 않으므로 값을 조정해줌.
** 사용 가능한 탄력성이 없는 경우 다른 산업의 탄력성 평균값을 이용함.

제4절. 시나리오 및 분석결과

1. 분석 시나리오

2018년 기준 우리나라의 온실가스 총배출량 727.0백만 톤CO2eq. 중 폐기물 부문의 온실가스 배출량은 17.1백만 톤CO2eq.으로 국내 총배출량 대비 약 2.4%에 해당한다. ‘2050 탄소 중립 시나리오[37]’ 에 따르면 2050년 폐기물 부문의 온실가스 배출량 감축 목표는 2018년 17.1백만 톤 대비 74% 감축한 4.4백만 톤이다. 탄소 중립 시나리오의 중간목표에 해당하는 ‘2030 국가 온실가스 감축 목표(NDC) 상향안[38]’ 에서는 2030년까지 2018년 배출량 대비 40% 이상을 감축하는 것을 목표로 하고 있으며 이를 위한 연평균 감축률을 4.17%/년으로 설정하고 있다.

폐기물 부문의 온실가스 배출 저감을 위한 수단으로는 폐기물의 감량 및 재활용을 통한 처리량 최소화, 바이오 플라스틱 대체, 바이오가스의 에너지 활용, 매립지 준호기성 운영 강화 등을 추진한다. 2050 탄소 중립 시나리오에서 가장 많은 온실가스 배출량을 감축하는 방안은 폐기물의 감량 및 재활용 확대이다. 보다 구체적으로는 일회용품 사용을 제한하고 음식물쓰레기를 감축하며, 재생원료 사용을 의무화하여 2050년까지 폐기물을 25% 감량하고 재활용률 70~94%를 달성해야 한다(표 3-7 참고).

<표 3-7> 2050 탄소중립 시나리오의 폐기물 감량 및 재활용률 목표

구분	감량률	재활용률
생활 폐기물	‘50년 기준전망 대비 25%	‘18년 62% → ‘50년 90%
사업장 폐기물		‘18년 82% → ‘50년 94%
지정 폐기물		‘18년 66% → ‘50년 70%

※자료: 2050 탄소중립위원회 (2021. 10.).

37) 2050 탄소중립위원회 (2021. 10.) 참고.
38) NDC(Nationally Determined Contribution)는 ‘기후 변화 파리협정에 따라 당사국이 스스로 발표하는 국가 온실가스 감축 목표’ 이다. 상향안은 관계부처 합동(2021.10.18.) 참고.

이처럼 폐기물 부문의 국가 온실가스 감축 목표는 기본적인 폐기물 정책의 방향과도 일치한다. 일반적으로 폐기물의 감량 및 재활용 확대를 모형에 고려할 때는 기술진보에 따른 산업 재화나 화석연료 대체를 전제한다. 그러나 본 논문에서는 기술진보에 대한 전제 없이 폐기물 감량 정책이 온실가스를 감축하는 효과를 보여주고자 한다. 이에 따라 첫 번째 시나리오에서는 국가 온실가스 감축 목표의 연간 목표 저감량인 약 4% 저감을 위한 탄소세율 3.2%를 기업에 부과하는 경우의 파급효과를 분석한다.

두 번째 시나리오에서는 탄소세를 부과하면서 폐기물의 재활용률을 높이는 정책을 함께 시행하는 경우의 영향을 살펴본다. 제2장에서 2030년 직매립 금지 정책의 달성을 위해 재활용률을 최소 68% 이상으로 높이면 매립폐기물을 10% 감축할 수 있음을 보인 바 있다. 2030년 직매립 금지 정책을 적용하여 가연성 생활폐기물은 곧바로 매립을 금지하고, 소각 등 중간처리 후 매립하는 경우 폐기물의 매립으로 인한 온실가스 배출량을 감축할 수 있을 것으로 기대된다. 이 시나리오는 첫 번째 시나리오보다 온실가스 배출 감축 효과가 크기 때문에 탄소세율을 2.9%로 설정하고 재활용 비율을 높여 연간 감축 목표 4% 이상을 달성하도록 한다.

폐기물의 재활용률을 높이면 재활용 가격이 높아진다. 가계에서 재활용폐기물을 분리 배출하기 위한 노동이 더 투입되고 사업장폐기물의 재활용에 투입되는 비용도 증가하며, 재활용 처리업체의 처리량이 증가함에 따라 처리단가가 높아지기도 한다. 하지만 이러한 비용은 눈에 보이지 않거나 아직 실현되지 않았기 때문에 가격상승이 얼마나 될 것인지 정확히 예측하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 시나리오와 가까운 상황에서의 가격을 사용한다. 시나리오2에서는 현재 재활용 비율이 낮은 품목의 재활용 비율을 68%로 높이는 것을 가정한다. 2020년에는 대상 폐기물 중 일부 폐기물의 재활용 비율이 68%를 상회[39]하는데, 이들 폐기물의 경우 2020년의 재활용 가격을 적용하고, 여전히 재활용 비율이 낮은 폐기물[40]은 2022년의 재활용 가격을 적용[41]한다.

39) 환경부・한국환경공단(2021)에서 계산.
40) 정책대상 폐기물 대부분의 재활용 비율이 높아졌지만, 음식물・채소류나 종이류, 혼

변경된 가격은 <표 3-8>과 같고, 이때 전체 재활용 폐기물의 평균 가격 인상률은 약 8%이다.

<표 3-8> 재활용폐기물 처리단가(시나리오2)

(단위: 원/톤)

분류 기준	통합기준	재활용 비율		비고	재활용 처리단가
		2018	2020		
가연성	음식물・채소류	19%	8%	2022년 가격	170,000
	종이류	11%	9%	2022년 가격	147,000
	나무류	66%	80%	2020년 가격	73,000
	고무・피혁류	9%	61%	2022년 가격	120,000
	플라스틱류	59%	65%	2022년 가격	160,000
	기타	57%	53%	2022년 가격	138,000
불연성	유리・도자기류	11%	72%	2020년 가격	51,000
혼합	기타	5%	12%	2022년 가격	160,000

※주: BAU와 시나리오1의 재활용폐기물 처리단가는 <표 3-3> 참고.
※자료: 재활용 비율은 환경부・한국환경공단(2019, 2021)에서 저자 계산. 재활용 처리단가는 환경부(2019.12.30.), 환경부(2021.12.03.), 한국환경공단(2021), 한국건설자원협회(2022)를 이용하여 저자 재구성.

2. 분석결과

<표 3-9>는 분석결과에 따른 주요 지표를 보여준다. 기업에 탄소세 3.2%를 부과하는 시나리오 1에서 GDP는 기존의 1,905조 5천억 원에서 1,896조 원으로 0.50% 감소한다. 탄소세율을 2.9%로 낮추고 재활용률을 높이는 시나리오 2에서는 GDP가 1,897조 원으로 0.44% 감소한다. 시나리오 1과 2의 온실가스 배출량은 가계부문에서는 0.48%, 0.44% 감소하지만, 탄소세를 부과하는 산업

합 기타 폐기물은 여전히 낮은 비율에 머물러 있다. 이들은 특히 재활용이 어려운 특성을 가진 품목들로 이들 품목의 재활용률을 높이기 위해서는 별도의 정책이 필요할 것으로 보인다. 다만 이와 관련한 논의는 본고의 연구 범위를 벗어나기 때문에 자세히 다루지 않는다.

41) 가격자료는 환경부(2019.12.30.), 환경부(2021.12.03.), 한국환경공단(2021), 한국건설자원협회(2022)를 참고한다.

부문에서는 각각 4.46%, 4.48% 감소하여 전체 온실가스 배출량 저감 목표를 각각 4.17%, 4.19%로 달성한다.

온실가스 배출 저감 목표를 기준으로 탄소세를 설정하였기 때문에 온실가스 배출량과 GDP에 미치는 영향은 두 시나리오에서 비슷하다. 그러나 폐기물의 저감량과 처리비용에서는 차이를 보인다. 시나리오 1에서는 매립폐기물이 1.92%, 소각폐기물이 0.69%, 재활용폐기물이 0.99% 감소하는데, 시나리오 2에서는 매립폐기물이 11.74%, 소각폐기물이 32.05% 감소하는 반면 재활용폐기물이 2.69% 증가한다. 이는 폐기물 저감시설별 처리 규모의 차이에 기인한 것으로, 상대적으로 규모가 작은 매립과 소각시설의 처리량 감소 폭은 커지고 규모가 큰 재활용은 처리량의 증가 폭이 작아 보이는 것이다. 실제 폐기물의 총발생량 차이는 크지 않다. 다만 폐기물 처리비용은 시나리오 1에서 1.07% 감소하는 것과 달리, 시나리오 2에서는 재활용폐기물의 증가와 재활용 처리비용 증가로 인하여 전체 폐기물 처리비용이 1.71% 상승한다.

시나리오2가 보여주는 폐기물처리량의 차이는 폐기물 관리의 측면에서 유의미하다고 할 수 있는데, 매립과 소각을 감축하려는 정책 방향에 부합하기 때문이다. 현행 폐기물 정책은 매립지 부족 문제에 대응하고 지속가능한 사회를 구축하기 위해 폐기물의 발생부터 처리에 이르는 전 과정에서 폐기물의 발생을 줄이고 재활용률을 높임으로써 자원순환사회를 구축하는 것을 목적으로 하고 있다. 재활용률을 높이는 정책은 일차적으로는 매립과 소각을 줄임으로써 매립지 부족 문제를 해소하는 효과가 있고, 이차적으로는 온실가스 배출량을 저감하는 효과가 있다.

<표 3-9> GDP, 온실가스 배출량, 폐기물 발생량 및 처리비용 변화

(단위: 십억 원, 백만 톤 CO2eq., 천 톤, %)

			BAU	시나리오1		시나리오2	
					변화율		변화율
GDP			1,905,500	1,896,000	-0.50%	1,897,100	-0.44%
온실가스	가계		52.41	52.16	-0.48%	52.18	-0.44%
	산업		674.65	644.59	-4.46%	644.45	-4.48%
	전체		727.06	696.75	-4.17%	696.63	-4.19%
폐기물	발생량		158,847	157,199	-1.04%	158,074	-0.49%
	저감량	매립	11,615	11,392	-1.92%	10,252	-11.74%
		소각	9,667	9,601	-0.69%	6,568	-32.06%
		재활용	137,550	136,190	-0.99%	141,250	2.69%
폐기물 처리비용	가계	매립	159	158	-0.48%	94.49	-40.64%
		소각	759	755	-0.48%	404.34	-46.76%
		재활용	1,996	1,986	-0.49%	2,415	21.00%
	산업	매립	857	838	-2.19%	789.54	-7.89%
		소각	1,275	1,265	-0.81%	970.61	-23.91%
		재활용	6,359	6,280	-1.23%	6,927	8.94%
	전체		11,407	11,285	-1.07%	11,602	1.71%

폐기물의 저감량을 가계와 산업으로 나누어 살펴보자. <표 3-10>에 따르면 탄소세만을 부과했을 때에는 산업폐기물의 저감 폭이 더 크다. 그러나 재활용률을 함께 높이면 가계폐기물의 감소 폭이 더 두드러져, 재활용률 제고의 효과는 가계폐기물에서 더 크게 나타남을 확인할 수 있다.

가계와 산업 내의 처리시설별 차이를 살펴보면 가계에서는 시나리오 내에서 매립과 소각폐기물 감소량이 비슷한 수준으로 감소하는 것과 달리, 산업부문에서는 시나리오 1에서 매립폐기물이 더 감소하지만, 시나리오 2에서는 소각폐기물이 더 많이 감소한다. 각 시나리오에 따른 매립 및 소각량의 차이는 산업부문에서 두드러지는 셈이다. 이러한 경향은 폐기물 처리비용에서도 동일하게 드러난다(표 3-11 참고).

<표 3-10> 폐기물 저감량 변화

(단위: 천 톤)

		가계		산업		합계	
		저감량	변화율	저감량	변화율	저감량	변화율
매립	BAU	1698.1		9917.3		11615.4	
	시나리오1	1689.8	-0.5%	9702.4	-2.2%	11392.3	-1.9%
	시나리오2	1011.2	-40.4%	9240.6	-6.8%	10251.9	-11.7%
소각	BAU	3673.8		5993.4		9667.2	
	시나리오1	3656.0	-0.5%	5944.9	-0.8%	9600.9	-0.7%
	시나리오2	2006.2	-45.4%	4561.7	-23.9%	6567.8	-32.1%
재활용	BAU	15078.1		122469.5		137550.0	
	시나리오1	15005.0	-0.5%	121183.8	-1.0%	136190.0	-1.0%
	시나리오2	17343.8	15.0%	123909.6	1.2%	141250.0	2.7%

<표 3-11> 폐기물 처리비용 변화

(단위: 십억 원)

		가계		산업		합계	
		처리비용	변화율	처리비용	변화율	처리비용	변화율
매립	BAU	159.19		857.21		1016.40	
	시나리오1	158.42	-0.5%	838.39	-2.2%	996.82	-1.9%
	시나리오2	94.49	-40.6%	789.54	-7.9%	884.03	-13.0%
소각	BAU	759.43		1275.65		2035.08	
	시나리오1	755.75	-0.5%	1265.31	-0.8%	2021.06	-0.7%
	시나리오2	404.34	-46.8%	970.61	-23.9%	1374.95	-32.4%
재활용	BAU	1996.14		6358.94		8355.08	
	시나리오1	1986.46	-0.5%	6280.44	-1.2%	8266.90	-1.1%
	시나리오2	2415.38	21.0%	6927.35	8.9%	9342.73	11.8%

분석결과에 따른 산업부문별 온실가스 배출량과 폐기물 저감량, 폐기물 처리비용을 비롯하여 폐기물 종류별 발생량, 산업별 폐수발생량도 확인할 수 있다. 이와 같은 상세한 결과표는 부록 4에서 제시하도록 한다.

온실가스 배출량 4.2% 저감이라는 정책목표를 달성하기 위한 두 시나리오

에서 GDP와 온실가스 배출량은 비슷한 변화율을 보인다. 그러나 탄소세만을 부과하는 시나리오에 비해 폐기물 재활용률을 높이는 시나리오 2에서는 탄소세율을 3.2%에서 2.9%로 낮추면서 매립 및 소각폐기물이 더 큰 폭으로 감소하는 추가적인 효과를 확인할 수 있다.

제5절. 소결

본 연구에서는 환경정보를 추가한 ESAM을 구축하고, 환경정보를 고려한 환경 CGE 모형을 구축하여 환경-경제 통합 분석의 틀을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 주요 환경부하인 온실가스 배출량과 폐기물, 폐수 배출량을 추가하고 폐기물 처리비용이 경제주체의 의사결정에 반영되도록 하였다. 폐기물 종류와 처리시설의 일대일대응 제약을 완화하여 폐기물 종류별로 발생량을 파악하되 폐기물 처리정보는 처리시설별로 계산하여 현실과의 정합성을 높였다. 에너지 투입을 세분하여 온실가스 배출량 계산에 사용하고 이를 토대로 탄소세를 도입하였다. 이러한 과정을 통해 온실가스 배출량과 폐기물 저감을 목표로 하는 정책을 동시에 분석할 수 있도록 모형을 구성하였다.

국가 온실가스 감축 목표[42]에 따라 연간 4% 이상의 온실가스를 저감하기 위해 산업부문에 탄소세를 부과하는 경우 GDP와 온실가스, 폐기물 배출량과 처리비용의 변화를 살펴보았다. 탄소세 3.2%를 부과하는 시나리오 1과 탄소세 2.9%를 부과하고 재활용률을 높이는 시나리오 2를 비교하였을 때, 동일한 온실가스 저감 목표를 달성하는 시나리오에서도 폐기물의 처리량과 처리비용에 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 탄소세와 더불어 재활용률을 높이는 경우 동일한 탄소배출 저감 효과를 보이면서도 매립 및 소각폐기물이 감소하고 탄소세율을 낮추는 부수적인 효과를 얻을 수 있다.

이러한 분석결과는 재활용률 제고 정책이 매립과 소각량을 상당히 감소시켜 매립시설 부족 문제에 대응할 수 있으며, 온실가스 감축 목표를 낮은 탄소세로 달성할 수 있다는 두 가지 이점이 있음을 보여준다.

기후 변화와 더불어 오염문제가 심화하는 상황에서 여러 측면의 정책목표를 동시에 달성해야 하는 어려움이 더해지고 있다. 경제활동과 환경은 서로 영향을 주고받으며 긴밀히 연결되어 있어서 이러한 요소들을 동시에 파악할 수 있다면 보다 효과적이고 효율적인 정책을 시행할 수 있을 것이다. 그러나

42) 관계부처 합동(2021.10.18.) 참고.

아직 국내에는 경제분석에 환경변수를 포함하는 연구가 많지 않고, 특히 폐기물을 그 대상으로 하여 폐기물의 배출량과 처리정보를 포함하는 연구는 찾아보기 어렵다는 점에서 본 연구의 의의가 있다고 하겠다. 특히 본 연구에서는 온실가스 배출 저감 목표를 달성하면서 폐기물의 배출량도 감축하는 두 가지 정책목표를 동시에 분석하였으며, 그 과정에서 재활용률을 높임으로써 탄소세를 낮출 수 있다는 정책의 부수적인 효과를 보였다. 더불어 이러한 효과의 크기를 환경 CGE 모형을 통해 정량적으로 평가하여 환경-경제 통합 분석의 유용성을 제시하였다.

다만 기존의 투입산출구조에서 폐기물과 처리시설의 정보를 따로 분리하면서, 모형 구축에 필요한 투입정보가 충분치 않아 어려움이 있었다. 폐기물 처리시설의 경우 투입산출표 내에서 드러나는 수입구조가 명확하지 않다는 점도 어려움을 더한다. 폐기물 처리시설의 운영은 지자체와 자가처리업체로 구분되어 있고 상당한 규모를 지방자치단체에서 처리하고 있는데, 지방자치단체의 지출이 투입산출표 상에서 어느 항목에 잡히는지 명확하지 않다. 실제 폐기물 처리시설의 운영과 관련한 지출구조를 파악하여 반영할 수 있다면 데이터의 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

제4장. 결론

본 연구에서는 기후 변화와 환경문제에 효과적으로 대응하기 위한 수단으로서 경제와 환경을 통합적으로 고려할 수 있는 환경-경제 통합모델의 필요성을 제시하고, 이에 관한 실증분석 사례로서 WIO를 이용한 환경투입산출분석과 ESAM을 이용한 환경 CGE 모형을 다룬다.

UN에서 1993년 환경경제통합계정의 작성을 권고한 이후 우리나라에서도 오랜 시간에 걸쳐 계정을 개발하기 위한 연구가 진행되었다. 그 결과 일부 계정이 개발되어 편제되고 있으나, 폐기물 계정 등은 개발되지 않은 채로 멈추어 있는 상황이다. 폐기물 분야는 대개 생산자의 생산활동에 규제를 가하는 정책이 주를 이루고, 그 결과로서 폐기물의 배출량이나 처리량이 감소하는 등의 효과가 발생하기 때문에 환경경제통합분석의 필요성이 높다고 할 수 있다. 게다가 최근 폐기물로 인한 오염문제가 사회적으로 대두되고 있어 더욱 이러한 연구가 필요한 시점이라고 할 수 있다. 본 연구에서 구축한 WIO와 환경 CGE 모형은 경제모형에 환경정보를 포함하여 확장한 것으로, 환경정책에 따른 경제적, 환경적 파급효과를 동시에 분석할 수 있다.

첫 번째 분석모형에서는 배분 행렬에 따른 시설별 폐기물처리량 변화를 분석하여 '수도권 생활폐기물 반입총량제'에 따라 직매립 생활폐기물 10% 감축을 위한 폐기물 처리방안을 분석하였다. 그 결과 폐기물 소각 비율을 현재 대비 13% 늘리거나(S_1), 재활용 비율을 최소 68% 이상으로 높여서(S_2) 매립량 10% 감축을 달성할 수 있음을 확인하였다. 이들 시나리오는 모두 정책목표를 달성할 수 있으나, 자원순환정책의 방향과 소각에 따른 대기오염 등을 고려할 때 재활용 비율을 늘리는 것이 더 나은 방안으로 보인다.

두 번째 연구모형에서는 앞서 구축한 WIO를 토대로 ESAM을 구축하고, 환경 CGE 모형을 구축하였다. 기존 CGE 모형에 폐기물과 처리시설 정보를 추가하여 폐기물의 배출량과 처리량, 처리비용 등이 경제 체제 내에서 결정되도록 하였으며, 환경투자 등의 정보도 포함하였다. 에너지 투입을 세분하

여 이를 토대로 온실가스 배출량을 계측하고, 탄소세를 도입하여 모형에 반영하였다. 그 밖에 폐수방류량도 포함하였다. 분석모형으로는 탄소저감 시나리오에 따른 온실가스 저감 목표인 연간 4% 저감을 위해 탄소세를 도입하는 시나리오를 분석하였으며, 탄소세 3.2%를 도입하는 시나리오와 탄소세 2.9%를 도입하고 재활용률을 높이는 시나리오를 분석하였다. 동일한 온실가스 저감 목표를 달성하는 두 시나리오는 온실가스 배출량 변화와 GDP 변화율에는 비슷한 영향을 주었으나, 폐기물의 재활용을 높이는 시나리오에서 매립과 소각폐기물 배출량이 더 큰 폭으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 위의 두 가지 연구를 바탕으로 경제와 환경의 상호작용을 반영하는 분석모형을 구축하고 실증분석결과를 제시하였다. 점차 경제와 환경을 통합적으로 고려하는 것이 중요해지고 있으므로 환경-경제모형의 필요성은 지속해서 높아질 것으로 보인다. 이러한 연구가 자원순환 관련 정책의 수립에 있어 유용한 분석수단으로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

2050 탄소중립위원회. 2021. 『2050 탄소중립 시나리오』.

강은영, 이동수. 2016. “한국형 폐기물계정(Waste Account) 작성을 위한 기초 연구”. 『통계개발원 2016년 하반기 연구보고서 제Ⅱ권』, pp.163-187.

강은영, 유인상, 김준범. 2017. “EU・국내 폐기물 분류체계 분석 및 연계방안 연구”. 『통계개발원 2017년 하반기 연구보고서 제Ⅳ권』, pp.1-34.

관계부처 합동. 2021.10.18. 『2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안』.

김승우. 1994. 『환경계정체계 구축방안 연구』. 한국환경정책・평가연구원.

_____. 1998. 『환경오염계정 작성에 관한 연구』. 한국환경정책・평가연구원.

김승우, 홍종호, 김회성. 1997. 『산업별 환경조정 부가가치의 추정과 정책적 시사점』. 한국환경정책・평가연구원.

박두리. 2018. 『폐기물 관리정책의 경제적 파급효과 분석』. 한국과학기술원 석사학위논문.

박소연, 임슬예, 유승훈. 2015. “산업연관분석을 활용한 하수처리 부문의 경제적 파급효과 분석”. 『(한국) 상하수도학회지』, 29(2): 171-182.

배정환. 2012. “유기성 폐기물 간접부담금의 도입과 바이오가스 생산보조정책의 일반균형효과 분석”. 『자원・환경경제연구』, 21(1): 175-210.

백민지, 김호영, 유승훈. 2015. “폐기물처리 및 자원재활용서비스 부문의 경제적 파급효과 분석”. 『한국폐기물자원순환학회지』, 32(3): 247-259.

부경진. 2002. 『에너지・환경・경제 통합 계량경제 시뮬레이션 모형에 의한 온실가스 저감수단의 평가』. 에너지경제연구원 기본연구보고서 02-11.

손태환. 2006. “폐기물 감량화 및 경제: 폐기물 산업연관모형의 적용 가능성에 관한 연구”. 『한국폐기물자원순환학회 추계학술발표논문집』,

pp.516-520.
신상철. 2012. 『폐기물처리 관련 업종의 여건변화가 여타 산업에 미치는 영향 분석』. 한국환경정책・평가연구원.
신상철, 박효준, 한인성. 2015. 『자원순환경제로의 이행을 위한 정책평가 방법론 개선-폐기물산업연관표 구축 및 활용을 중심으로』. 한국환경정책・평가연구원.
에너지경제연구원. 2019. 『에너지통계연보』.
이데 마사히로. 2007. 『Excel을 활용한 산업연관분석 입문』. 제주대학교 출판부.
이소라. 2018. 『폐기물 처리방법별 환경효율성(Eco-efficiency) 평가 연구』. 한국환경정책・평가연구원.
이소라, 신상철, 박효준. 2016. 『자원순환사회 전환 촉진을 위한 재활용산업 활성화 방안: 재활용 관리제도 전환에 따른 영향 분석』. 한국환경정책평가연구원 연구보고서 2016-09.
이효창, 김금수. 2018. “폐기물처분부담금 부과가 산업별 생산과 고용에 미치는 일반균형효과: ORANI CGE 모형을 통한 시나리오 분석”. 『환경정책』, 26(4): 21-44.
이효창, 김진태, 김금수, 한택환. 2020. “폐기물처분부담금 인상은 매립지 부족을 완화시키는가 - 축차 동태 KLWR CGE 모형의 적용”. 『환경정책』, 28(1): 211-250.
조용철, 박소연, 유승훈. 2015. “유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 경제적 파급효과 분석”. 『한국혁신학회지』, 10(2): 159-173.
조현정, 고광훈, 황용우. 2007. “건축물 해체 폐기물 처리에 대한 환경성 및 경제성 분석”. 『대한환경공학회 학술발표논문집』, pp.1602-1609.
주문솔, 이소라, 이진혁. 2019. 『순환경제사회를 위한 물질흐름분석의 정책적 활용 동향 연구』. 한국환경정책・평가연구원.

통계청. 2013. 『환경경제계정 중장기 개발계획』.
한국건설자원협회. 2018. 『2018년도 건설폐기물 배출지별 중간처리단가』.
_____. 2022. 『2022년도 건설폐기물 배출지별 중간처리단가』.
한국은행. 2014. 『산업연관분석해설』.
_____. 2019. 『2015년 산업연관표』.
_____. 2020. 『2018년 산업연관표』.
한국환경공단. 2019. 『2019년 1월 재활용가능자원 가격조사 결과』.
_____. 2021. 『2021년 12월 재활용가능자원 가격조사 결과』.
환경부. 2002. 『환경경제통합계정(SEEA) 시범편제 및 발전방안 연구』.
_____. 2003. 『환경경제통합계정 개발 및 녹색GDP 작성 (I)』.
_____. 2004. 『환경경제통합계정 개발 및 녹색GDP 작성 (II)』.
_____. 2005. 『환경-경제 통합모델 개발과 향후 전망 - 동태적 산업연관분석모형을 중심으로-』.
_____. 2006. 『환경경제통합계정 개발 및 녹색GDP 작성 (IV)』.
_____. 2007a. 『환경경제통합계정 작성기반 구축 및 활용방안 연구(Ⅴ)』.
_____. 2007b. 『환경경제통합계정 작성기반 구축 및 활용방안 연구(VI)』.
_____. 2007c. 『2007년도 환경보전시책 추진상황 보고서』.
_____. 2016.01.29. 『방치폐기물 처리이행보증금 산출을 위한 폐기물의 종류별 처리단가』 (환경부 고시 제2016-27호).
_____. 2019.12.30. 『방치폐기물 처리이행보증금 산출을 위한 폐기물의 종류별 처리단가』 (환경부 고시 제2019-254호).
_____. 2020. 『2019 환경백서』.
_____. 2020.12.24. 『플라스틱 전주기 발생 저감 및 재활용 대책 수립』, 환경부 보도자료.
_____. 2021a. 『2020 환경백서』.
_____. 2021b. 『2019년 기준 환경보호지출계정 편제 연구』.

_____. 2021.12.03. 『방치폐기물 처리이행보증금 산출을 위한 폐기물의 종류별 처리단가』 (환경부 고시 제2021-259호).

환경부, 국립환경과학원. 2017. 『2017 산업폐수의 발생과 처리(2015년 12월 말 기준)』.

_____. 2020. 『2020 산업폐수의 발생과 처리(2018년도 기준)』.

환경부, 한국환경공단. 2016. 『전국 폐기물 발생 및 처리 현황(2015년도 2차 수정본)』.

_____. 2017. 『제5차(2016~2017년) 전국폐기물통계조사』.

_____. 2019. 『전국폐기물 발생 및 처리현황(2018년도)』.

_____. 2020. 『전국폐기물 발생 및 처리현황(2019년도)』.

_____. 2021. 『전국폐기물 발생 및 처리현황(2020년도)』.

환경부, 한국환경산업기술원. 2021. 『한국형 상하향식 온실가스 통합 감축 시스템 개발 : 기후변화대응 환경기술개발사업 제7차년도 최종보고서』.

환경부, 한국환경정책・평가연구원. 2012. 『환경경제통합계정 도입 및 환경정책 경제성 분석』.

한국은행 경제통계시스템. http://ecos.bok.or.kr/.

수도권매립지공사. “폐기물 고객센터 - 생활폐기물 반입 총량제현황.” https://dream-ics.slc.or.kr/cp/st/st0006/cpst0006/viewList.do.

中村愼一郎. 2000. “廃棄物処理と再資源化の産業連関分析”. *廃棄物学会論文誌,* 11(2): 84-93.

Ariyoshi, N. 2006. “The Development of Japanese NAMEA”. *In International Workshop for Interactive Analysis on Economy and Environment.* Cabinet Office, the Government of Japan, March.

Bartelings, H. 2003. Municipal solid waste management problems: an applied general equilibrium analysis (Doctoral dissertation). Qageningen University, the Netherlands.

Beylot, A., S. Vaxelaire, and J. Villeneuve. 2015. "Reducing gaseous emissions and resource consumption embodied in french final demand: how much can waste policies contribute?". *Journal of Industrial Ecology,* 20(4): 905-916.

Campoy-Muñoz, P., M. A. Cardenete and M. C. Delgado. 2017. "Economic impact assessment of food waste reduction on European countries through social accounting matrices". *Resources, Conservation and Recycling,* 122: 202-209.

Decaluwé, B., A. Lemelin, V. Robichand and H. Maisonnave. 2013. "The PEP-1-1 standard single country static CGE model". *Partnership for Economic Policy (PEP) Network.*

Duchin, F. 1990. "The conversion of biological materials and wastes to useful products". *Structural change and economic dynamics,* 1(2): 243-261.

Ecomod. 2018. *Energy and Environmental Techniques In General Equilibrium Modeling with GAMS,* Ecomod Modeling School, Prague.

European Commission. 1994. "SERIEE - The European System for the Collection of Economic Information on the Environment". Luxembourg.

Fæhn, T. and E. Holmøy. 2003. "Trade liberalisation and effects on pollutive emissions to air and deposits of solid waste. A general equilibrium assessment for Norway". *Economic Modelling,* 20(4): 703-727.

Kondo, Y., and S. Nakamura. 2005. "Waste input-output linear programming

model with its application to eco-efficiency analysis". *Economic Systems Research,* 17(4): 393-408.

Lenzen, M. and C. J. Reynolds. 2014. "A supply-use approach to waste input-output analysis". *Journal of Industrial Ecology,* 18(2): 212-226.

Leontief, W. 1970. "Environmental repercussions and the economic structure: An input output approach". *Review of Economics and Statistics,* 52(3): 262-271.

Li, G. and T. Masul. 2018. "Assessing China's Waste Management Activities Using a Computable General Equilibrium Model". *Chemical Engineering Transactions,* 63: 67-72.

Liao, M. I., P. C. Chen, H. W. Ma and S. Nakamura. 2015. "Identification of the driving force of waste generation using a high-resolution waste input-output table". *Journal of Cleaner Production,* 94: 294-303.

Nakamura, S. and Y. Kondo. 2002. "Input-output analysis of waste management". *Journal of Industrial Ecology,* 6(1): 39-63.

_____. 2006. "A waste input-output life-cycle cost analysis of the recycling of end-of-life electrical home appliances". *Ecological Economics,* 57(3): 494-506.

Nakamura, S., K. Nakajima, Y. Kondo and T. Nagasaka. 2007. "The waste input-output approach to materials flow analysis: Concepts and Application to Base Metals". *Journal of Industrial Ecology,* 11(4): 50-63.

OECD. 2002. *Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth (SG/SD(2002)1/FINAL).* Paris: OECD.

_____. 2008. *Measuring Material Flows and Resource Productivity.* Vol I. The OECD Guide.

Okushima and Yamashita. 2005. "A general equilibrium analysis of waste

management policy in Japan". *Hitotsubashi Journal of Economics,* 46(1):111-134.

Östblom, G., M. L. Söderman and M. Sjöström. 2010. "Analysing future solid waste generation-Soft linking a model of waste management with a CGE-model for Sweden". *Working paper No 118,* The National Imstotite of Economic Research (NIER).

Reynolds, C. J., J. Piantadosi and J. Boland. 2014. "A waste supply-use analysis of Australian waste flows". *Journal of Economic Structures,* 3(5): 1-16.

Salemdeeb, R., A. Al-Tabbaa and C. Reynolds. 2016. "The UK waste input-output table: linking waste generation to the UK economy". *Waste Management and Research,* 34(10): 1089-1094.

Kang, S., J. J. Kim and T. Masui. 2006. *National CGE modeling for Resource Circular Economy.* Korea Environmental Institute.

Sjöström, M. and G. Östblom. 2010. "Decoupling waste generation from economic growth—A CGE analysis of the Swedish case". *Ecological Economics,* 69(7): 1545-1552.

Tapio, P. 2005. "Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001". *Transport policy*, 12(2): 137-151.

Tisserant, A., S. Pauliuk, S. Merciai, J. Schmidt, J. Fry, R. Wood and A. Tukker. 2017. "Solid waste and the circular economy: a global analysis of waste treatment and waste footprints". *Journal of Industrial Ecology,* 21(3): 628-640.

Tsukui, M., S. Kagawa and Y. Kondo. 2015. "Measuring the waste footprint of cities in Japan: an interregional waste input-output analysis". *Journal*

of Economic Structures, 4(1): 1-24.

Tsukui, M., T. Ichikawa and M. Kagatsume. 2017. "Repercussion effects of consumption by domestic tourists in Tokyo and Kyoto estimated using a regional waste input-output approach". *Journal of Economic Structures,* 6(1): 1-17.

United Nations. 2014a. *System of Environmental-Economic Accounting 2012 : Central Framework.* New York: United Nations.

_____. 2014b. *System of Environmental-Economic Accounting 2012 : Experimental Ecosystem Accounting.* New York: United Nations.

United Nations Conference on Environment and Development. 1992. *Agenda 21.* Rio de Janeiro, Brazil. Retrieved from https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf

Wang, W., M. Li and M. Zhang. 2017. "Study on the changes of the decoupling indicator between energy-related CO2 emission and GDP in China". *Energy,* 128: 11-18.

Wiebelt, M. 2001. "Hazardous waste management in South African mining-a CGE analysis of the economic impacts". *Development Southern Africa,* 18(2): 169-187.

World Commission on Environment and Development. 1987. *Our Common Future.* Oxford: Oxford University Press.

Xie, J. and S. Saltzman. 2000. "Environmental policy analysis: an environmental computable general-equilibrium approach for developing countries". *Journal of Policy Modeling,* 22(4): 453-489.

부록 1. 현황 및 연결표

<부표 1-1> 수도권매립지 생활폐기물 반입총량제 현황

지역명	반입총량(톤) (쿼터량)	반입량(톤)	총량대비 반입비율(%)	지역명	반입총량(톤) (쿼터량)	반입량(톤)	총량대비 반입비율(%)
합 계	634,359	748,228.42	118.0				
서울시 소계	275,598	343,836.26	124.8	경기도 소계	262,562	292,191.14	111.3
서울시종로구	13,047	9,466.12	72.6	경기도부천시	31,551	41,670.52	132.1
서울시중구	13,540	11,375.11	84.0	경기도성남시	347	0	0.0
서울시용산구	6,609	8,894.95	134.6	경기도수원시	0	0	0.0
서울시성동구	9,148	9,106.31	99.5	경기도과천시	0	8.61	0.0
서울시동대문구	6,994	8,277.12	118.3	경기도광명시	8,749	9,950.36	113.7
서울시중랑구	6,386	6,630.12	103.8	경기도구리시	3,758	6,807.11	181.1
서울시성북구	3,803	5,206.35	136.9	경기도군포시	0	0	0.0
서울시도봉구	2,425	2,407.24	99.3	경기도남양주시	12,286	23,906.2	194.6
서울시노원구	1,530	1,926.26	125.9	경기도시흥시	33,481	20,281.87	60.6
서울시은평구	28,774	38,025.76	132.2	경기도안산시	31,944	34,961.62	109.4
서울시서대문구	8,861	11,300.25	127.5	경기도안양시	16,072	18,842.97	117.2
서울시마포구	13,793	12,391.45	89.8	경기도오산시	1,543	1,446.95	93.8
서울시양천구	4,421	6,733.83	152.3	경기도의왕시	2,967	5,493.88	185.2
서울시강서구	8,302	20,581.09	247.9	경기도의정부시	3,722	5,701.75	153.2
서울시구로구	8,676	17,541.46	202.2	경기도고양시	38,576	46,841.77	121.4
서울시영등포구	3,902	8,933.77	229.0	경기도파주시	0	0	0.0
서울시동작구	6,082	6,842.55	112.5	경기도김포시	17,738	32,562.27	183.6
서울시관악구	27,517	32,278.68	117.3	경기도하남시	912	1,919.01	210.4

지역명	반입총량(톤) (쿼터량)	반입량(톤)	총량대비 반입비율(%)	지역명	반입총량(톤) (쿼터량)	반입량(톤)	총량대비 반입비율(%)
서울시서초구	25,398	28,975	114.1	경기도화성시	2,584	19,273.54	745.9
서울시강남구	8,323	12,704.36	152.6	경기도양주시	0	0	0.0
서울시송파구	23,511	31,908.11	135.7	경기도평택시	38,763	2,226.64	5.7
서울시강동구	11,672	16,685.59	143.0	경기도광주시	8,838	13,199.04	149.3
서울시광진구	7,137	7,822.83	109.6	경기도포천시	145	1,820.01	1255.2
서울시강북구	2,014	3,086.34	153.2	경기도이천시	1,890	1,883.94	99.7
서울시금천구	23,733	24,735.61	104.2	경기도동두천시	0	0	0.0
인천시 소계	96,199	112,201.02	116.6	경기도안성시	1,350	890.46	66.0
인천시미추홀구	10,287	11,042.19	107.3	경기도가평군	2,700	0	0.0
인천시남동구	10,032	13,407.17	133.6	경기도용인시	648	549.26	84.8
인천시동구	3,177	3,294.16	103.7	경기도여주시	810	775.43	95.7
인천시부평구	22,470	24,285.73	108.1	경기도양평군	1,188	1,177.93	99.2
인천시서구	24,548	29,759.89	121.2				
인천시중구	8,229	8,367.53	101.7				
인천시계양구	11,664	13,332.74	114.3				
인천시연수구	4,843	7,192.89	148.5				
인천시강화군	949	1,518.72	160.0				

※주: 2020년 1월부터 12월까지의 누적 자료임.

※자료: 수도권매립지공사 홈페이지(https://dream-ics.slc.or.kr/cp/st/st0006/cpst0006/viewList.do) 참고.

<부표 1-2> WIO 산업분류 비교연계표

투입산출표 2015 기준년 대분류		한국표준산업분류(9차) 분류		산업분류	
코드	부문명	코드	대분류	코드	산업명
A	농림수산품	A	농업, 임업 및 어업	IND1	농림어업
B	광산품	B	광업	IND2	광업
C01	음식료품	C(10) C(11) C(12)	식료품 제조업 음료 제조업 담배 제조업	IND3	음식료품 제조업
C02	섬유 및 가죽제품	C(13) C(14) C(15)	섬유제품 제조업 의복, 의복액세서리 및 모피제품 제조업 가죽, 가방 및 신발 제조업	IND4	섬유 및 가죽제품 제조업
C03	목재 및 종이, 인쇄	C(16) C(17) C(18)	목재 및 나무제품 제조업;가구제외 펄프, 종이 및 종이제품 제조업 인쇄 및 기록매체 복제업	IND5	목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업
C04	석탄 및 석유제품	C(19)	코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업	IND6	석탄 및 석유정제품 제조업
C05	화학제품	C(20) C(21) C(22)	화학물질 및 화학제품 제조업 의료용 물질 및 의약품 제조업 고무제품 및 플라스틱제품 제조업	IND7	화학물질 및 화학제품 제조업
C06	비금속광물제품	C(23)	비금속 광물제품 제조업	IND8	비금속 광물제품 제조업
C07	1차 금속제품	C(24)	1차 금속 제조업	IND9	1차 금속 제조업
C08	금속가공제품	C(25)	금속가공제품 제조업	IND10	금속가공제품 제조업
C11	기계 및 장비	C(29)	기타 기계 및 장비 제조업	IND11	기계 및 장비 제조업
C09 C10	컴퓨터, 전자 및 광학기기 전기장비	C(26) C(27) C(28)	전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업 의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업 전기장비 제조업	IND12	전기 및 전자, 정밀기기 제조업

투입산출표 2015 기준년 대분류		한국표준산업분류(9차) 분류		산업분류	
코드	부문명	코드	대분류	코드	산업명
C12	운송장비	C(30)	자동차 및 트레일러 제조업	IND13	운송장비 제조업
		C(31)	기타 운송장비 제조업		
C13	기타 제조업 제품	C(32)	가구 제조업	IND14	가구 및 기타제품 제조업
C14	제조임가공 및 산업용 장비 수리	C(33)	기타 제품 제조업		
D	전력, 가스 및 증기	D	전기, 가스, 증기 및 수도사업	IND15	전기, 가스, 증기 및 수도사업
E	수도, 폐기물처리 및 재활용서비스	E	하수·폐기물 처리, 원료재생 및 환경복원업	IND16	하수·폐기물 처리 및 환경복원업
F	건설	F	건설업	IND17	건설업
G	도소매 및 상품중개서비스	G	도매 및 소매업	IND18	서비스업
H	운송서비스	H	운수업		
I	음식점 및 숙박서비스	I	숙박 및 음식점업		
J	정보통신 및 방송 서비스	J	출판, 영상, 방송통신 및 정보서비스업		
K	금융 및 보험 서비스	K	금융 및 보험업		
L	부동산서비스	L	부동산업 및 임대업		
M	전문, 과학 및 기술 서비스	M	전문, 과학 및 기술 서비스업		
N	사업지원서비스	N	사업시설관리 및 사업지원 서비스업		
P	교육서비스	P	교육 서비스업		
Q	보건 및 사회복지 서비스	Q	보건업 및 사회복지 서비스업		
R	예술, 스포츠 및 여가 관련 서비스	R	예술, 스포츠 및 여가관련 서비스업		
S	기타 서비스	S	협회 및 단체, 수리 및 기타 개인 서비스업		
T	기타	T	가구내 고용활동 및 달리 분류되지 않은 자가소비 생산활동		
O	공공행정, 국방 및 사회보장	O	공공행정, 국방 및 사회보장 행정	IND19	공공행정, 국방 및 사회보장 행정

<부표 1-3> WIO 폐기물 분류 연결표

	생활폐기물	사업장배출시설계 폐기물	건설폐기물	통합기준
가연성	음식물·채소류			음식물·채소류
	종이류	폐지류		종이류
	나무류	폐목재류	폐목재	나무류
	고무 피혁류	폐합성고무, 폐피혁**		고무·피혁류
	플라스틱류	폐합성수지	폐합성수지	플라스틱류
		폐섬유류	폐섬유	섬유류
		폐전기전자제품류*		폐전기전자제품류*
	기타	유기성오니류, 동식물성폐잔재물, 폐식용유, 기타	폐벽지	기타
불연성		폐석재*. 폐콘크리트류*	건설폐재류	건설폐재류
		무기성오니류	건설오니	무기성 오니류
	유리류	유리·도자기편류	폐유리, 폐타일 및 폐도자기	유리·도자기류
	금속류	광재류, 폐금속류	폐금속류	금속류
	토사류	폐주물사 모래류		토사류
	기타	연소재, 소각재, 분진류, 폐촉매, 폐석화·석고류, 흡착재·폐흡수재, 기타	기타	기타
가연성·불연성 혼합	기타(배출불명 등)*			기타*
			폐보드류	폐보드류
			폐판넬	폐판넬
			혼합건설 폐기물	혼합건설 폐기물
재활용 가능 자원 분리 배출	종이류			종이류
	유리병류			유리류
	캔류, 고철류(금속캔*)			고철·캔류
	합성수지류(비닐류*, 발포수지류*), 플라스틱류			합성수지류
	전자제품, 전지류, 형광등			전기·전자제품류
	타이어			타이어
	윤활유, 폐식용유			폐유
	의류			의류
	영농폐기물			영농폐기물
	가구류			가구류
	기타, 재활용잔재물*			기타
음식물류 폐기물 분리배출				음식물류 폐기물 분리배출

※주: * 2018년에 추가된 폐기물, ** 2018년에 제외된 폐기물.

<부표 1-4> 환경 CGE 산업분류 비교연계표

투입산출표 2015 기준년				한국표준산업분류(9차) 분류		산업분류	
대분류		기본부문(에너지)		코드	대분류	코드	산업명
A	농림수산품			A	농업, 임업 및 어업	IND01	농림어업
B	광산품	611	무연탄	B	광업	IND02	석탄
		612	유연탄				
		621	원유			IND03	원유
		622	천연가스(LNG)			IND04	가스열
			기타광업			IND05	기타광업
C01	음식료품			C(10) C(11) C(12)	식료품 제조업 음료 제조업 담배 제조업	IND06	음식료품 제조업
C02	섬유 및 가죽제품			C(13) C(14) C(15)	섬유제품 제조업; 의복제외 의복, 의복액세서리 및 모피제품 제조업 가죽, 가방 및 신발 제조업	IND07	섬유 및 가죽제품 제조업
C03	목재 및 종이, 인쇄			C(16) C(17) C(18)	목재 및 나무제품 제조업;가구제외 펄프, 종이 및 종이제품 제조업 인쇄 및 기록매체 복제업	IND08	목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업
C04	석탄 및 석유제품	1611	석탄코크스 및 석탄 관련제품	C(19)	코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업	IND02	석탄
		1612	연탄				
		1621	나프타			IND09	정유
		1622	휘발유				
		1623	제트유				
		1624	등유				
		1625	경유				
		1626	중유				
		1627	액화석유가스			IND04	가스열

투입산출표 2015 기준년				한국표준산업분류(9차) 분류		산업분류	
대분류		기본부문(에너지)		코드	대분류	코드	산업명
		1628	정제혼합용 원료유			IND09	정유
		1631	윤활유 및 그리스				
		1639	기타 석유정제제품				
C05	화학제품			C(20) C(21) C(22)	화학물질 및 화학제품 제조업;의약품 제외 의료용 물질 및 의약품 제조업 고무제품 및 플라스틱제품 제조업	IND10	화학물질 및 화학제품 제조업
C06	비금속광물제품			C(23)	비금속 광물제품 제조업	IND11	비금속 광물제품 제조업
C07 C08	1차 금속제품 금속가공제품			C(24) C(25)	1차 금속 제조업 금속가공제품 제조업;기계 및 가구 제외	IND12	금속 제조업
C11	기계 및 장비			C(29)	기타 기계 및 장비 제조업	IND13	기계 및 장비 제조업
C09	컴퓨터, 전자 및 광학기기			C(26) C(27)	전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업 의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업	IND14	전기 및 전자, 정밀기기 제조업
C10	전기장비			C(28)	전기장비 제조업		
C12	운송장비			C(30) C(31)	자동차 및 트레일러 제조업 기타 운송장비 제조업	IND15	운송장비 제조업
C13 C14	기타 제조업 제품 제조업가공 및 산업용 장비 수리			C(32) C(33)	가구 제조업 기타 제품 제조업	IND16	가구 및 기타제품 제조업
D	전력, 가스 및 증기	4501	수력	D	전기, 가스, 증기 및 수도사업*	IND17	전력
		4502	화력				
		4503	원자력				
		4504	자가발전				
		4505	신재생에너지				
		4610	도시가스			IND04	가스열
		4620	증기 및 온수 공급				
E	수도, 폐기물처리 및 재활용서비스			E	하수·폐기물 처리, 원료재생 및 환경복원업	IND18	수도·폐기물 처리 및 환경복원업
F	건설			F	건설업	IND19	건설업

투입산출표 2015 기준년				한국표준산업분류(9차) 분류		산업분류	
대분류		기본부문(에너지)		코드	대분류	코드	산업명
G	도소매 및 상품중개서비스			G	도매 및 소매업	IND20	서비스업
H	운송서비스			H	운수업		
I	음식점 및 숙박서비스			I	숙박 및 음식점업		
J	정보통신 및 방송 서비스			J	출판, 영상, 방송통신 및 정보서비스업		
K	금융 및 보험 서비스			K	금융 및 보험업		
L	부동산서비스			L	부동산업 및 임대업		
M	전문, 과학 및 기술 서비스			M	전문, 과학 및 기술 서비스업		
N	사업지원서비스			N	사업시설관리 및 사업지원 서비스업	IND20	서비스업
P	교육서비스			P	교육 서비스업		
Q	보건 및 사회복지 서비스			Q	보건업 및 사회복지 서비스업		
R	예술, 스포츠 및 여가관련 서비스			R	예술, 스포츠 및 여가관련 서비스업		
S	기타 서비스			S	협회 및 단체, 수리 및 기타 개인 서비스업		
T	기타			T	가구내 고용활동 및 달리 분류되지 않은 자가소비 생산활동		
O	공공행정, 국방 및 사회보장			O	공공행정, 국방 및 사회보장 행정	IND21	공공행정, 국방 및 사회보장

※주: 에너지 부문은 투입산출표 기본부문을 기준으로 세분하되, 한국표준산업분류의 경우 총산출의 비율에 따라 분배함.

* 한국표준산업분류의 '전기, 가스, 증기 및 수도사업'에는 수도가 포함되어 있음. 이를 총산출의 비율에 따라 분리하여 '하수 · 폐기물 처리, 원료재생 및 환경복원업'에 포함하였음.

부록 2. 폐기물산업연관분석 결과

2-1. 오염배출계수

오염배출계수(emission coefficients)는 (수식 2-4)와 같이 j 산업부문이 한 단위의 생산물을 생산하는 과정에서 발생하게 되는 k 폐기물의 발생량 G_X, t 폐기물 처리부문이 한 단위의 폐기물을 처리하는 과정에서 발생하게 되는 k 폐기물 발생량 G_Z를 의미한다.

2018년 WIO의 오염배출계수는 <부표 2-1>과 같다. 표 하단의 환경부하는 한 단위의 생산물을 생산하는 과정에서 발생하는 온실가스와 폐수방류량이다. 폐기물배출계수가 100 이상이면 붉은색, 10 이상이면 푸른색으로 표시하여 어떤 산업에서 어떤 종류의 폐기물이 많이 발생하는지 나타냈다. ‘IND17. 건설업’에서 발생하는 건설폐기물과 ‘IND16. 하수 · 폐기물처리 및 환경복원업’에서 발생하는 잔재물의 배출계수가 상당히 큰 것을 알 수 있다. 그 외에도 ‘IND09. 1차 금속 제조업’의 불연성 금속류와 ‘IND15. 전기, 가스, 증기 및 수도사업’의 불연성 기타 폐기물이 높은 폐기물배출계수를 보인다.

온실가스 배출계수는 ‘IND15. 전기, 가스, 증기 및 수도사업’과 ‘IND16. 하수 · 폐기물처리 및 환경복원업’에서 높았고(1 이상이면 붉은색으로 표시함), 폐수배출계수는 ‘IND05. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업’에서 가장 높아(1,000 이상이면 붉은색으로 표시함) 산업별 오염원의 차이를 확인할 수 있다.

<부표 2-1> 오염배출계수

		IND01	IND02	IND03	IND04	IND05	IND06	IND07	IND08	IND09	IND10	IND11	IND12	IND13	IND14	IND15	IND16	IND17	IND18	IND19	매립	소각	재활용
가연성	음식물・채소류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.001	0.001
	종이류	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.005	0.002
	나무류	0.0	0.0	0.1	0.4	5.6	0.0	0.1	0.8	0.1	0.2	1.7	0.1	0.4	2.6	0.1	9.5	25.6	0.0	5.0	0.000	0.001	0.001
	고무・피혁류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.001	0.000
	플라스틱류	0.0	0.0	1.3	1.1	10.2	0.0	2.0	1.3	0.5	0.8	0.3	0.8	0.9	2.4	0.3	93.7	58.2	0.2	9.8	0.000	0.005	0.004
	섬유류	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.1	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
	폐전기전자제품류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
	기타	1.1	0.0	9.9	1.3	23.6	0.0	1.9	0.7	0.5	0.7	0.2	0.2	0.4	2.5	0.4	174.6	30.1	0.4	91.3	0.000	0.017	0.007
불연성	건설폐재류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	11.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.2	2.1	4665.0	0.0	1.6	0.000	0.018	0.016
	무기성 오니류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.5	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
	유리・도자기류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.000	0.002	0.000
	금속류	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	1.0	114.2	4.6	0.5	0.1	0.6	0.2	0.5	21.0	1.5	0.0	0.2	0.000	0.007	0.005
	토사류	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.1	1.2	4.1	2.4	1.2	0.0	1.5	1.2	0.0	31.5	5.6	0.0	0.8	0.000	0.004	0.001
	기타	1.2	0.0	0.8	0.3	8.5	0.4	2.5	6.1	12.4	2.1	1.9	0.1	0.9	7.1	108.8	103.6	25.3	0.1	28.2	0.000	0.058	0.014
가연성・불연성 혼합	기타	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.001	0.000
	폐보드류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
	폐판넬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
	혼합건설 폐기물	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	606.2	0.0	0.0	0.000	0.012	0.004
재활용 가능자원 분리배출	종이류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
	유리류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
	고철・캔류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
	합성수지류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
	전기・전자제품류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
	타이어	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
	폐유	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
	의류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
	영농폐기물	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
	가구류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
	기타	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
음식물류폐기물분리배출		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.002	0.001
환경부하	GHG	0.36	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.19	0.89	0.79	0.03	0.03	0.06	0.01	0.02	2.88	1.13	0.35	0.06	0.77			
	폐수방류량	0.0	109.1	903.1	1657.2	2255.9	235.4	654.5	1087.4	415.2	314.0	0.0	1171.7	0.0	14.1	813.5	242.7	0.0	7.7	0.0			

2-2. 배출유발분석

일반적인 산업연관분석과 같이, 확장된 형태의 산업연관표인 WIO에서도 (수식 2-7)처럼 생산유발모형을 유도할 수 있다. 해당 식에서 Z는 배출유발량(induced emissions)을 나타내며, 최종수요에 의해 유발되는 폐기물 배출량을 보여준다. 이 값을 (수식 2-8)과같이 최종수요로 나누면 배출유발계수를 구할 수 있다. 배출유발량과 배출유발계수는 앞의 수식에서 볼 수 있듯 생산유발액과 생산유발계수와 함께 계산되지만, 본고의 관심은 폐기물 부문에 국한하므로 배출유발량과 배출유발계수만을 제시한다.

2018년의 WIO를 이용하여 계산한 배출유발계수는 <부표 2-2>와 같다. 최종수요부문 중에서는 민간소비지출에 해당하는 가정 생활폐기물만 집계되므로, 배출유발계수는 민간소비에서 유발된 국내생산을 생산하는 과정에서 발생하는 폐기물 배출량을 나타낸다.

<부표 2-2> 배출유발계수

	S_0	S_1	S_2
매립	6.79	4.42	3.76
소각	11.35	14.52	4.76
재활용	252.98	253.60	309.35

앞의 (수식 2-7)에서 확인할 수 있듯이 최종수요 항목별 배출유발량을 구할 때 배분 행렬을 곱하기 때문에 배출유발계수는 폐기물의 처리비율(S)을 어떻게 가정하느냐에 따라 달라진다. 현행 처리방식(S_0)에 따르면 배출유발계수는 매립 6.79, 소각 11.35, 재활용 252.98로, 재활용의 배출유발계수가 가장 크고 소각이 뒤를 잇는다. 소각처리를 높이고 매립을 줄이는 S_1 시나리오에서 매립의 배출유발계수는 4.42로 감소하고, 소각의 배출유발계수는 14.52로 증가한다. 폐기물의 재활용률을 높이는 경우(S_2)에는 매립과 소각 모두의 배출유발계수가 감소한다.

배출유발량 분석결과는 <부표 2-3>과 같다. 현재의 폐기물 처리비율(S_0)을 기준으로 할 때, 최종 수요가 한 단위 증가하면 각 산업부문에서 직간접적으로 유발되는 폐기물의 배출량은 매립 619만 톤, 소각 1,035만 톤, 재활용 2억 3,061만 톤이다. 소각 비율을 늘리는 시나리오(S_1)에서 최종수요의 한 단위 증가로 유발되는 매립폐기물은 403만 톤으로 줄고 소각은 1,324만 톤으로 늘어난다. 폐기물의 재활용 비율을 높이는 시나리오(S_2)에서는 최종수요로 유발되는 매립폐기물과 소각폐기물 모두 343만 톤, 434만 톤으로 감소한다.

최종수요 한 단위당 발생하는 재활용 폐기물이 매립이나 소각폐기물보다 확연히 크기 때문에, 재활용 처리비율을 늘릴 때(S_2) 매립이나 소각의 배출유발계수가 감소하는 것보다 큰 폭으로 재활용의 배출유발계수가 증가한다. 이에 따라 배출유발량의 합 역시 S_0, S_1에서는 약 2억 5천만 톤이지만 S_2에서는 2억 9천만 톤으로 늘어난다. 이는 언뜻 더 많은 폐기물이 발생하는 것으로 보일 수 있으나 재활용 폐기물은 순환자원으로 다시 사용되기 때문에 환경부하의 측면에서는 매립과 소각폐기물만을 고려해야 한다[43]. 최종 처분되는 매립 및 소각폐기물의 합은 S_0에서 1,654만 톤, S_1에서 1,727만 톤이지만 S_2에서는 777만 톤으로 감소한다.

<부표 2-3> 배출유발량

(단위: 천 톤)

	S_0	S_1	S_2
매립	6,186	4,031	3,428
소각	10,349	13,238	4,340
재활용	230,607	231,173	281,993

43) 다만 현재 국내 폐기물 통계에서 '재활용'은 실질 재활용을 의미하는 것이 아니라 폐기물 수집업체를 기준으로 한 것이므로 S_2에서 재활용 부문의 폐기물 역시 어느 정도는 증가할 수 있다. 이와 같은 불확실성을 해소하기 위해서는 실질 재활용을 바탕으로 통계가 정비될 필요가 있다.

2-3. 탈동조화 분석

지속가능성의 관점에서 경제성장 대비 환경부하의 변화를 나타내는 탈동조화(decoupling)를 파악하는 것은 매우 중요하다. 본 절에서는 Tapio(2005)가 제시한 여덟 가지 분류에 따라 각 산업의 탈동조화 지표를 분석한다. 본 연구에서 구축한 2015년과 2018년의 WIO를 이용하여 폐기물과 온실가스, 폐수 배출량의 탈동조화 지표를 구했으며, 경제 전체의 배출량을 총산출로 나누어 평균을 계산했다.

폐기물 부문은 전체적으로 생산은 증가하지만 폐기물 배출량은 그보다 적은 폭으로 증가하는 약한 탈동조화(weak decoupling) 현상을 보인다. 생산의 증가에도 폐기물 배출량이 감소하는 강한 탈동조화(Strong decoupling)를 보이는 산업은 ‘IND01. 농림어업’과 ‘IND02. 광업’, ‘IND03. 음식료품 제조업’, ‘IND05. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업’, ‘IND12. 기계 및 장비 제조업’, ‘IND16. 하수 · 폐기물처리 및 환경복원업’이다. 이 중 ‘IND16. 하수 · 폐기물처리 및 환경복원업’은 폐기물 배출량이 큰 산업으로, 해당 산업이 강한 탈동조화를 보인다는 점은 긍정적이다. 약한 탈동조화(weak decoupling)를 보이는 산업은 ‘IND09. 1차 금속 제조업’과 ‘IND15. 전기, 가스, 증기 및 수도사업’, ‘IND17. 건설업’, ‘IND18. 서비스업’이다. ‘IND04. 섬유 및 가죽제품 제조업’과 ‘IND13. 운송장비 제조업’은 퇴행적 탈동조화(recessive decoupling)를 보이는데, 생산이 감소하고 있으며 그보다 큰 폭으로 폐기물 배출량이 감소하고 있음을 뜻한다.

환경적인 측면에서 주목해야 할 산업들은 ‘IND06. 석탄 및 석유정제품 제조업’, ‘IND07. 화학물질 및 화학제품 제조업’, ‘IND08. 비금속 광물제품 제조업’, ‘IND10. 금속가공제품 제조업’, ‘IND11. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업’, ‘IND14. 가구 및 기타제품 제조업’, ‘IND19. 공공행정, 국방 및 사회보장 행정’이다. 이들 산업은 확장적 부정적 탈동조화(expansive negative decoupling)의 상태에 있다고 하는데, 생산이 증가하고 있지만, 그보다 큰 폭으로 폐기물 배출량이 늘어나고 있는 산업이다. 화학산

업이나 금속·비금속 관련 제조업 등 경제의 주요 제조업이 속해있으며, <부표 2-4>의 변화율을 보면 상당히 큰 폭으로 폐기물 배출량이 늘어나고 있어 정책적 관심이 필요함을 확인할 수 있다.

<부표 2-4> 폐기물 탈동조화 분석

	δY	δX	D_t	Decoupling state
IND01. 농림어업	0.02	-0.22	-9.2	Strong decoupling
IND02. 광업	0.08	-0.77	-10.0	Strong decoupling
IND03. 음식료품 제조업	0.20	-0.17	-0.8	Strong decoupling
IND04. 섬유 및 가죽제품 제조업	-0.07	-0.09	1.4	recessive decoupling
IND05. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	0.12	-0.10	-0.9	Strong decoupling
IND06. 석탄 및 석유정제품 제조업	0.62	1.12	1.8	expansive negative decoupling
IND07. 화학물질 및 화학제품 제조업	0.18	0.22	1.2	expansive negative decoupling
IND08. 비금속 광물제품 제조업	0.12	0.66	5.5	expansive negative decoupling
IND09. 1차 금속 제조업	0.17	0.12	0.7	weak decoupling
IND10. 금속가공제품 제조업	0.01	0.20	25.1	expansive negative decoupling
IND11. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업	0.18	1.60	9.1	expansive negative decoupling
IND12. 기계 및 장비 제조업	0.16	-0.34	-2.2	Strong decoupling
IND13. 운송장비 제조업	-0.10	-0.30	3.0	recessive decoupling
IND14. 가구 및 기타제품 제조업	0.09	0.51	5.6	expansive negative decoupling
IND15. 전기, 가스, 증기 및 수도사업	0.10	0.05	0.5	weak decoupling
IND16. 하수·폐기물처리 및 환경복원업	0.24	-0.02	-0.1	Strong decoupling
IND17. 건설업	0.30	0.05	0.2	weak decoupling
IND18. 서비스업	0.20	0.10	0.5	weak decoupling
IND19. 공공행정, 국방 및 사회보장 행정	0.23	0.34	1.5	expansive negative decoupling
평균	0.17	0.06	0.4	weak decoupling

<부표 2-5>는 산업별 온실가스 탈동조화 분석결과를 보여준다. 산업 전체를 보면 폐기물 배출량과 같이 약한 탈동조화 상태에 있는데, 폐기물 부문과 비교할 때 산업별 지표(D_t)의 격차가 크지는 않아서 약한 탈동조화 상태에 있는 산업이 7개에 달한다. 폐기물 부문에서 확장적 부정적 탈동조화 상태였던 'IND08. 비금속 광물제품 제조업'과 'IND14. 가구 및 기타제품 제조

업’이 강한 탈동조화 상태에 있어 온실가스 부문에 대해서는 긍정적으로 평가된다. 반면 ‘IND10. 금속가공제품 제조업’과 ‘IND19. 공공행정, 국방 및 사회보장 행정’은 폐기물 부문에 이어 온실가스 배출량에 대해서도 확장적 부정적 탈동조화 상태에 있어 주의를 요한다. 확장적 동조화(expansive coupling)는 경제가 성장하는 만큼 배출량이 증가하는 상태로, ‘IND03. 음식료품 제조업’과 ‘IND11. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업’, ‘IND12. 기계 및 장비 제조업’, ‘IND15. 전기, 가스, 증기 및 수도사업’이 해당된다.

<부표 2-5> 온실가스 탈동조화 분석

	δY	δX	D_t	Decoupling state
IND01. 농림어업	0.02	0.01	0.4	weak decoupling
IND02. 광업	0.08	0.11	1.5	expansive negative decoupling
IND03. 음식료품 제조업	0.20	0.21	1.1	expansive coupling
IND04. 섬유 및 가죽제품 제조업	-0.07	-0.08	1.2	recessive decoupling
IND05. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	0.12	0.06	0.5	weak decoupling
IND06. 석탄 및 석유정제품 제조업	0.62	0.25	0.4	weak decoupling
IND07. 화학물질 및 화학제품 제조업	0.18	0.08	0.4	weak decoupling
IND08. 비금속 광물제품 제조업	0.12	-0.03	-0.3	Strong decoupling
IND09. 1차 금속 제조업	0.17	-0.05	-0.3	Strong decoupling
IND10. 금속가공제품 제조업	0.01	0.03	3.5	expansive negative decoupling
IND11. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업	0.18	0.16	0.9	expansive coupling
IND12. 기계 및 장비 제조업	0.16	0.17	1.1	expansive coupling
IND13. 운송장비 제조업	-0.10	-0.18	1.7	recessive decoupling
IND14. 가구 및 기타제품 제조업	0.09	-0.06	-0.7	Strong decoupling
IND15. 전기, 가스, 증기 및 수도사업	0.10	0.10	1.0	expansive coupling
IND16. 하수·폐기물처리 및 환경복원업	0.24	0.04	0.2	weak decoupling
IND17. 건설업	0.30	0.09	0.3	weak decoupling
IND18. 서비스업	0.20	0.07	0.4	weak decoupling
IND19. 공공행정, 국방 및 사회보장 행정	0.23	0.38	1.7	expansive negative decoupling
평균	0.17	0.05	0.3	weak decoupling

마지막으로 폐수 부문의 탈동조화 분석결과는 <부표 2-6>과 같다. 탈동조화 상태가 표시되지 않은 산업은 폐수를 배출하지 않는 산업들이다. 폐수 부문은 평균적으로 강한 탈동조화 상태에 있다. 산업 대부분이 강한 탈동조화 상태에 있고, 'IND04. 섬유 및 가죽제품 제조업'을 제외한 나머지 산업은 약한 탈동조화 상태에 있어 생산 대비 폐수 배출량이 감소하고 있는 것을 확인할 수 있다.

<부표 2-6> 폐수 탈동조화 분석

	δY	δX	D_t	Decoupling state
IND01. 농림어업	0.02	-	-	
IND02. 광업	0.08	-0.23	-2.9	Strong decoupling
IND03. 음식료품 제조업	0.20	0.08	0.4	weak decoupling
IND04. 섬유 및 가죽제품 제조업	-0.07	-0.09	1.4	recessive decoupling
IND05. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	0.12	-0.01	-0.1	Strong decoupling
IND06. 석탄 및 석유정제품 제조업	0.62	-0.15	-0.2	Strong decoupling
IND07. 화학물질 및 화학제품 제조업	0.18	0.08	0.5	weak decoupling
IND08. 비금속 광물제품 제조업	0.12	0.06	0.5	weak decoupling
IND09. 1차 금속 제조업	0.17	-0.51	-3.0	Strong decoupling
IND10. 금속가공제품 제조업	0.01	-0.15	-18.8	Strong decoupling
IND11. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업	0.18	-	-	
IND12. 기계 및 장비 제조업	0.16	0.04	0.2	weak decoupling
IND13. 운송장비 제조업	-0.10	-	-	
IND14. 가구 및 기타제품 제조업	0.09	-0.48	-5.3	Strong decoupling
IND15. 전기, 가스, 증기 및 수도사업	0.10	-0.21	-2.2	Strong decoupling
IND16. 하수·폐기물처리 및 환경복원업	0.24	-0.01	0.0	Strong decoupling
IND17. 건설업	0.30	-	-	
IND18. 서비스업	0.20	-0.11	-0.5	Strong decoupling
IND19. 공공행정, 국방 및 사회보장 행정	0.23	-	-	
평균	0.17	-0.07	-0.4	Strong decoupling

2-4. 가격모델 분석

폐기물 발생량이 증가하면서 폐기물 처리시설이 포화상태에 도달함에 따라 폐기물의 처리단가는 지속해서 상승하고 있다. 이러한 폐기물 처리업의 가격상승이 생산자가격과 소비자가격에 어떤 영향을 줄 것인지 가격모델을 이용하여 분석할 수 있다.

<부표 2-7> 생산자가격 파급효과

	매립 가격 100% 상승	소각 가격 20% 상승
IND01. 농림어업	0.1610	0.0190
IND02. 광업	0.1779	0.0210
IND03. 음식료품 제조업	0.2799	0.0331
IND04. 섬유 및 가죽제품 제조업	0.3225	0.0381
IND05. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	0.2709	0.0320
IND06. 석탄 및 석유정제품 제조업	0.1580	0.0187
IND07. 화학물질 및 화학제품 제조업	0.3675	0.0434
IND08. 비금속 광물제품 제조업	0.2873	0.0340
IND09. 1차 금속 제조업	0.3053	0.0361
IND10. 금속가공제품 제조업	0.3781	0.0447
IND11. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업	0.2261	0.0267
IND12. 기계 및 장비 제조업	0.1641	0.0194
IND13. 운송장비 제조업	0.2234	0.0264
IND14. 가구 및 기타제품 제조업	0.2142	0.0253
IND15. 전기, 가스, 증기 및 수도사업	0.1827	0.0216
IND16. 하수·폐기물처리 및 환경복원업	2.4290	0.2871
IND17. 건설업	0.1729	0.0204
IND18. 서비스업	0.2709	0.0320
IND19. 공공행정, 국방 및 사회보장 행정	0.1333	0.0158
매립	-	0.2299
소각	1.9442	-
재활용	0.1694	0.0200

<부표 2-7>는 폐기물 처리시설[44] 중 매립, 소각시설의 처리비용이 상승하는 경우 각 산업과 폐기물 처리업종의 생산자가격 상승분을 나타낸다. ‘전국폐기물 발생 및 처리현황’에서 2015년 대비 2018년의 매립시설(지방자치단체)의 연간 유지관리비가 94%, 소각시설의 연간 유지관리비가 19% 상승한 것을 기준으로 매립시설의 비용이 100%, 소각시설 비용이 20% 상승하는 것을 가정하였다.

매립시설의 가격이 100% 상승하였을 때, 생산자가격이 가장 큰 폭으로 상승하는 산업은 ‘IND16. 하수・폐기물 처리 및 환경복원업’으로 2.43% 증가한다. 해당 산업은 하수, 폐수 및 분뇨 처리업을 포함하여 매립시설의 가격상승 영향을 크게 받는다. 두 번째로 상승 폭이 큰 산업은 소각시설로 1.94% 상승한다. 산업부문에서 가장 큰 영향을 받는 산업은 ‘IND10. 금속가공제품 제조업’으로, 0.38% 상승하는 데 그친다. 소각시설의 가격이 20% 상승하는 시나리오 역시 비슷한 경향을 보인다. ‘IND16. 하수・폐기물 처리 및 환경복원업’이 0.29%로 가장 큰 영향을 받고, 매립시설이 0.23% 상승하여 그 뒤를 잇는다. 나머지 산업부문과 재활용시설이 받는 영향은 미미하다.

다음으로 소비자가격 파급효과를 살펴본다. <부표 2-8>은 매립시설의 비용이 100% 상승하는 경우의 직접효과, 기업의 물가상승률과 소비자 물가상승률을 나타낸다. 직접효과($\triangle P_k A_k^{'*}$)는 각 산업이 직접 영향을 받아 발생하는 가격변화분이다. ‘IND16. 하수・폐기물 처리 및 환경복원업’에 미치는 직접효과가 2.26%로 가장 높고, 소각시설이 1.78%로 뒤를 잇는다. 나머지 산업에 미치는 직접효과는 0.2% 미만이다.

기업 물가상승률과 소비자 물가상승률에 미치는 영향은 생산자가격 변화보다 낮은 수준이다. 기업 물가상승률이 가장 높은 매립시설이 0.19% 수준이며, 다음으로 ‘IND18. 서비스업’이 0.05%로 뒤를 잇는다. 약 0.02%의 물가상승률을 보이는 ‘IND07. 화학물질 및 화학제품 제조업’을 제외하면 나머

44) 분석을 위해 기존 WIO의 ‘IND16. 하수・폐기물 처리 및 환경복원업’행에서 폐기물 처리시설인 매립, 소각, 재활용에 해당하는 부분을 분리한다. WIO를 이용한 앞의 분석은 화폐단위와 물리량 단위를 함께 사용하지만, 가격모델에서는 화폐단위만을 사용하여 전통적인 산업연관분석을 수행한다.

지 업종의 기업 물가상승률은 0.007% 미만에 그친다. 소비자 물가상승률에서는 0.09% 상승하는 매립시설보다 'IND18. 서비스업'의 물가상승률이 0.11%로 더 높다. 산업부문에서는 'IND03. 음식료품 제조업'이 0.007%, 'IND04. 섬유 및 가죽제품 제조업'이 0.003% 상승하여 소비자물가에 일부 영향을 받지만, 나머지 산업과 재활용시설의 소비자물가는 거의 영향을 받지 않는다.

<부표 2-8> 소비자가격 파급효과 : 매립 가격 100% 상승 시

	직접효과	기업 물가상승률	소비자물가상승률
IND01. 농림어업	0.0352	0.0008	0.0007
IND02. 광업	0.0411	0.0026	0.0000
IND03. 음식료품 제조업	0.1032	0.0038	0.0073
IND04. 섬유 및 가죽제품 제조업	0.0927	0.0016	0.0035
IND05. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	0.0877	0.0018	0.0001
IND06. 석탄 및 석유정제품 제조업	0.0137	0.0006	0.0003
IND07. 화학물질 및 화학제품 제조업	0.1545	0.0152	0.0018
IND08. 비금속 광물제품 제조업	0.1077	0.0020	0.0000
IND09. 1차 금속 제조업	0.0925	0.0054	-0.0001
IND10. 금속가공제품 제조업	0.1814	0.0065	0.0003
IND11. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업	0.0241	0.0022	0.0009
IND12. 기계 및 장비 제조업	0.0394	0.0010	0.0001
IND13. 운송장비 제조업	0.0197	0.0007	0.0007
IND14. 가구 및 기타제품 제조업	0.0592	0.0021	0.0006
IND15. 전기, 가스, 증기 및 수도사업	0.0383	0.0013	0.0008
IND16. 하수·폐기물처리 및 환경복원업	2.2558	0.0019	0.0034
IND17. 건설업	0.0131	0.0001	0.0000
IND18. 서비스업	0.1517	0.0531	0.1105
IND19. 공공행정, 국방 및 사회보장 행정	0.0703	0.0001	0.0002
매립	100.0000	0.1871	0.0909
소각	1.7779	0.0020	0.0009
재활용	0.0113	0.0000	0.0000

소각시설의 가격이 20% 상승하는 경우 'IND16. 하수·폐기물 처리 및 환경복원업'에 미치는 직접효과가 0.26%, 매립시설이 0.21%로 가장 높다(부표 2-9 참고). 나머지 산업부문에 미치는 직접효과는 0.03% 미만이다. 기업의 물가상승률은 소각시설의 물가상승률 0.02%, 'IND18. 서비스업'의 0.006%,

‘IND07. 화학물질 및 화학제품 제조업’ 0.002%를 제외하면 대부분 0.001% 미만으로 미미하다. 소비자 물가상승률 역시 매립시설에서와 마찬가지로 ‘IND18. 서비스업’이 0.013%로 가장 높다. 뒤이어 소각시설이 0.01%이고, 나머지 산업과 재활용시설은 거의 영향을 받지 않는다.

폐기물 처리시설의 가격상승은 ‘IND16. 하수 · 폐기물처리 및 환경복원업’과 매립 및 소각시설의 생산자가격에 주로 영향을 미친다. 그러나 매립 및 소각시설의 가격상승에 비해 파급효과는 작은 편이며 특히 소비자가격에 미치는 영향은 미미하다.

<부표 2-9> 소비자가격 파급효과 : 소각 가격 20% 상승 시

	직접효과	기업 물가상승률	소비자물가상승률
IND01. 농림어업	0.0041	0.0001	0.0001
IND02. 광업	0.0048	0.0003	0.0000
IND03. 음식료품 제조업	0.0121	0.0004	0.0009
IND04. 섬유 및 가죽제품 제조업	0.0109	0.0002	0.0004
IND05. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	0.0103	0.0002	0.0000
IND06. 석탄 및 석유정제품 제조업	0.0016	0.0001	0.0000
IND07. 화학물질 및 화학제품 제조업	0.0181	0.0018	0.0002
IND08. 비금속 광물제품 제조업	0.0126	0.0002	0.0000
IND09. 1차 금속 제조업	0.0109	0.0006	0.0000
IND10. 금속가공제품 제조업	0.0213	0.0008	0.0000
IND11. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업	0.0028	0.0003	0.0001
IND12. 기계 및 장비 제조업	0.0046	0.0001	0.0000
IND13. 운송장비 제조업	0.0023	0.0001	0.0001
IND14. 가구 및 기타제품 제조업	0.0069	0.0002	0.0001
IND15. 전기, 가스, 증기 및 수도사업	0.0045	0.0002	0.0001
IND16. 하수 · 폐기물처리 및 환경복원업	0.2645	0.0002	0.0004
IND17. 건설업	0.0015	0.0000	0.0000
IND18. 서비스업	0.0178	0.0062	0.0130
IND19. 공공행정, 국방 및 사회보장 행정	0.0082	0.0000	0.0000
매립	0.2085	0.0004	0.0002
소각	20.0000	0.0219	0.0107
재활용	0.0013	0.0000	0.0000

부록 3. 탄력성의 통합

3-1. 탄력성의 통합 및 분배 원칙

환경부・한국환경산업기술원(2021)에서 추정한 탄력성을 본 연구의 환경 CGE 모형에 적용하기 위해서는 산업분류를 본 연구와 연결해야 한다. 탄력성의 분배 또는 통합 적용 원칙은 환경부・한국환경산업기술원(2021)에서 제시한 방법을 따르되, 이하에서는 구체적인 적용방법에 대하여 설명한다.

탄력성과 본 연구의 산업분류가 같은 경우에는 추정된 탄력성을 그대로 적용하고, 탄력성이 본 연구의 여러 산업에 해당하면(disaggregation) 각 산업에 해당 탄력성을 동일하게 적용한다. 본 연구의 한 산업이 여러 산업의 탄력성을 모두 포함하는 경우(aggregation)에는 해당하는 탄력성을 적절히 통합하여 하나의 탄력성으로 만든다. 만약 여러 탄력성이 여러 산업에 복잡하게 얽혀있다면(overlap), 각 산업의 비중과 탄력성을 이용하여 계산해야 한다.

탄력성의 통합에는 여러 산업의 탄력성을 통합하여 통합산업의 탄력성 추정치를 구하는 “수평적 통합(horizontal aggregation)”과, 서로 다른 중첩함수의 의사결정 단계가 줄어들면서 발생하는 “수직적 통합(vertical aggregation)”이 있다. 환경부・한국환경산업기술원(2021)에서는 본 연구에서 가정한 중첩구조별 탄력성 추정치를 대부분 제공하고 있으므로, 본 절에서는 수평적 통합만을 다루도록 한다.

본 연구의 산업분류와 탄력성의 산업분류를 비교하면 <부표 3-1>과 같다[45]. 일대일대응 하는 산업은 제공된 탄력성을 그대로 적용하고, ‘IND02. 석탄’, ‘IND04. 가스・열’, ‘IND12. 금속 제조업’, ‘IND20. 서비스업’은 해당하는 산업의 탄력성을 통합하여 적용한다.

45) <부표 3-1>의 산업분류는 투입요소간 대체탄력성, Armington, CET 탄력성에 대하여 적용한다.

<부표 3-1> 탄력성 산업분류 비교표

산업분류	환경부・한국환경산업기술원(2021) 산업 기준
IND01. 농림어업	01. 농림어업
IND02. 석탄	02. 석탄
	09. 석탄제품
IND03. 원유	03. 원유
IND04. 가스・열	04. 천연가스
	20. 도시가스
	21. 증기 및 온수
IND05. 기타광업	05. 기타광업
IND06. 음식료품 제조업	06. 음식료품
IND07. 섬유 및 가죽제품 제조업	07. 섬유/가죽
IND08. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	08. 목재 및 종이, 인쇄
IND09. 정유	10. 정유
IND10. 화학물질 및 화학제품 제조업	11. 화학제품
IND11. 비금속 광물제품 제조업	12. 비금속광물제품
IND12. 금속 제조업	13. 1차 금속제품
	14. 금속제품
IND13. 기계 및 장비 제조업	15. 기계
IND14. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업	16. 전기 및 전자기기
IND15. 운송장비 제조업	17. 운송장비
IND16. 가구 및 기타제품 제조업	18. 기타 제조업 제품 및 임가공
IND17. 전력	19. 전력
IND18. 하수·폐기물 처리 및 환경복원업	22. 수도, 폐기물 및 재활용서비스
IND19. 건설업	23. 건설업
IND20. 서비스업	24. 도소매서비스
	25. 음식점 및 숙박서비스
	26. 운송서비스
	27. 정보통신 및 방송 서비스
	28. 금융 및 보험 서비스
	29. 부동산 및 임대
	30. 전문, 과학 및 기술 서비스
	31. 사업지원서비스
	32. 교육서비스
	33. 보건 및 사회복지 서비스
	34. 문화 및 기타 서비스
IND21. 공공행정, 국방 및 사회보장	35. 공공행정 및 국방

3-2. CES 함수에서 탄력성의 통합 방법

여러 산업을 통합한 산업의 탄력성을 구하기 위해서는 통합된 산업이 각 산업에서 발생하는 생산자의 반응을 왜곡하지 않도록 해야 한다. CES 생산함수에서 대체탄력성을 집계하는 관례적인 방법은 산업별 총비용을 가중치로 하여 대체탄력성을 더해주는 방법인데, 이러한 방법은 분석결과에 왜곡을 초래한다. 환경부・한국환경산업기술원(2021)은 개선된 통합 방법을 다음과 같이 제시한다.[46)]

N개의 투입요소 i를 가지는 산업 j의 생산이 다음과 같은 CES 생산함수를 가진다고 하자.

(수식 부록-1) $$y^j = \left[\sum_{i=1}^{N} \alpha_i^j x_i^{j^{\frac{\sigma_j - 1}{\sigma_j}}} \right]^{\sigma_j / (\sigma_j - 1)}, \quad \sum_{i=1}^{N} \alpha_i^j = 1$$

각 산업의 투입물에 대한 지출액(expenditure)이 $e_i^j = w_i x_i^j$일 때, (수식 부록-2) 및 (수식 부록-3)과같이 지출액의 합과 그 비중을 구한다.

(수식 부록-2) $$E^j = \sum_i e_i^j, \ E_i = \sum_j e_i^j, \ E = \sum_i \sum_j e_i^j$$

(수식 부록-3) $$s_i^j = \frac{e_{ij}}{E^j}, \ s_i = \frac{E_i}{E}, \ s^j = \frac{E^j}{E}, \ \theta_i^j = \frac{e_{ij}}{E_i}$$

산업 통합이전의 대체탄력성(σ_j)과 투입요소 i 수요의 가격탄력성(ϵ_i^j)간에는 (수식 부록-4)의 관계가 있다.

(수식 부록-4) $$\epsilon_i^j = -\sigma_j (1 - s_i^j)$$

이를 산업별로 통합하여 (수식 부록-5)의 평균(average) 자기가격 탄력성을

46) 이하의 내용은 환경부・한국환경산업기술원(2021)의 내용을 본 연구의 탄력성 통합에 맞게 요약 정리한 것이다.

도출할 수 있다.

(수식 부록-5) $$\epsilon_i = \sum_j \theta_i^j \epsilon_i^j = -\sum_j \theta_i^j \sigma_j (1 - s_i^j)$$

통합하는 산업에 적용하는 대체탄력성을 σ^A라 하면, 통합산업모형의 자기가격 탄력성 ϵ_i^A는 다음을 충족해야 한다.

(수식 부록-6) $$\epsilon_i^A = -\sigma^A (1 - s_i), \ s_i = \frac{E_i}{E}$$

따라서 통합산업의 대체탄력성은 ϵ_i와 ϵ_i^A를 일치시키는 것이어야 한다. 이러한 항등관계는 투입물별로 모두 성립해야 하므로 i 투입물에 대하여 대체탄력성 σ_i^A를 다음과 같이 정의할 수 있다.

(수식 부록-7) $$\epsilon_i^A = -\sigma_i^A (1 - s_i) = -\sum_j \theta_i^j \sigma_j (1 - s_i^j) = \epsilon_i$$

(수식 부록-8) $$\sigma_i^A = (1 - s_i)^{-1} \sum_j \theta_i^j \sigma_j (1 - s_i^j)$$

이상의 관계를 충족하는 대체탄력성 σ_i^A를 도출한 후, 통합대상 산업의 전체 생산비에서 투입물별 생산비가 차지하는 비중을 반영해 통합산업의 최종 대체탄력성을 도출한다.

(수식 부록-9) $$\sigma^A = \sum_i s_i \sigma_i^A = \sum_i s_i (1 - s_i)^{-1} \sum_j \theta_i^j \sigma_j (1 - s_i^j)$$

Armington 탄력성과 CET 탄력성 역시 CES 함수 형태로부터 도출되는 탄력성이므로 앞의 절차를 그대로 적용할 수 있다. 다만 ‘IND17. 전력’과 ‘IND18. 하수 · 폐기물 처리 및 환경복원업’, ‘IND19. 건설업’, ‘IND20. 서비스업’, ‘IND21. 공공행정, 국방 및 사회보장’은 수출입이 없는 산업이므로 다른 산업의 탄력성 평균값을 이용한다. ‘IND04. 가스 · 열’에서 ‘20. 도시가스’와 ‘21. 증기 및 온수’ 역시 수출입이 없으므로 ‘04. 천연가스’의 탄력성을 그대로 적용한다. 이들 산업을 제외하고 ‘IND02. 석탄’,

‘IND12. 금속 제조업’에 대하여 (수식 부록-9)에 따라 Armington 탄력성과 CET 탄력성을 통합한다.

3-3. 소득탄력성의 통합 방법

본 연구의 수요함수는 LES(linear expenditure system)를 가정하고 있으며, CGE 모형의 매개변수로 통합된 형태의 소득탄력성(η)만 구하면 된다. $\alpha_i = \frac{p_x x_i}{m}$, 즉 x_i가 전체 지출액에서 차지하는 지출 비중이라고 할 때, Engel aggregate 조건 $\sum_i \alpha_i \eta_i = 1$이 충족되도록 개별 산업의 소득탄력성($\eta_i$)을 가중평균하여 통합 소득탄력성을 도출한다.

<부표 3-2>에서 ‘IND15. 운송장비 제조업’과 ‘IND20. 서비스업’에 해당하는 소득탄력성을 위 조건에 따라 통합하여 구하고, 환경부・한국환경산업기술원(2021)에서 제공하지 않는 산업의 탄력성은 비슷한 산업의 탄력성이나 다른 산업의 탄력성 평균값을 적용한다.

<부표 3-2> 소득탄력성 산업분류 비교표

산업분류	환경부・한국환경산업기술원(2021) 소득탄력성 산업 기준
IND01. 농림어업	5. 농림어업
IND02. 석탄	2. 도시가스 *
IND03. 원유	2. 도시가스 *
IND04. 가스・열	2. 도시가스
IND05. 기타광업	2. 도시가스 *
IND06. 음식료품 제조업	4. 음식료품
IND07. 섬유 및 가죽제품 제조업	10. 섬유, 가죽
IND08. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	9. 제지, 목재, 유리, 요업
IND09. 정유	3. 가정용 에너지
IND10. 화학물질 및 화학제품 제조업	**
IND11. 비금속 광물제품 제조업	**
IND12. 금속 제조업	**
IND13. 기계 및 장비 제조업	11. 기계
IND14. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업	12. 전기/전자
IND15. 운송장비 제조업	6. 수송용 에너지
	7. 자동차
	8. 철도, 도로 및 기타 수송
IND16. 가구 및 기타제품 제조업	13. 기타 제조
IND17. 전력	1.전기
IND18. 하수·폐기물 처리 및 환경복원업	16. 공공 기타(+폐기물)
IND19. 건설업	**
IND20. 서비스업	14. 가정 서비스
	15. 상업 서비스
IND21. 공공행정, 국방 및 사회보장	16. 공공 기타(+폐기물)

※주: 사용 가능한 탄력성이 없는 경우 다른 산업의 탄력성 평균값을 이용한다. 유사한 산업의 탄력성이 있는 경우 그 값을 이용하고(*), 그렇지 않은 경우 전체 탄력성의 평균값을 적용한다(**).

부록 4. 환경연산일반균형 분석결과(상세)

<부표 4-1> 산업부문별 온실가스 배출량

	BAU			시나리오1						시나리오2					
							변화율						변화율		
	에너지	비에너지	전체	에너지	비에너지	전체	에너지	비에너지	전체	에너지	비에너지	전체	에너지	비에너지	전체
IND01. 농림어업	3.373	23.375	26.748	3.220	23.295	26.515	-4.5%	-0.3%	-0.9%	3.234	23.303	26.537	-4.1%	-0.3%	-0.8%
IND02. 석탄	.	.	.	.	.	.				.	.	.			
IND03. 원유	0.0000803	.	0.0000803	0.0000739	.	0.0000739	-7.9%		-7.9%	0.0000745	.	0.0000745	-7.2%		-7.2%
IND04. 가스·열	8.057	.	8.057	7.500	.	7.500	-6.9%		-6.9%	7.55	.	7.550	-6.3%		-6.3%
IND05. 기타광업	0.287	.	0.287	0.276	.	0.276	-3.8%		-3.8%	0.277	.	0.277	-3.5%		-3.5%
IND06. 음식료품 제조업	1.423	.	1.423	1.366	.	1.366	-4.0%		-4.0%	1.37	.	1.370	-3.7%		-3.7%
IND07. 섬유 및 가죽제품 제조업	0.766	.	0.766	0.729	.	0.729	-4.8%		-4.8%	0.732	.	0.732	-4.4%		-4.4%
IND08. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	0.624	.	0.624	0.597	.	0.597	-4.3%		-4.3%	0.599	.	0.599	-4.0%		-4.0%
IND09. 정유	3.816	.	3.816	3.572	.	3.572	-6.4%		-6.4%	3.593	.	3.593	-5.8%		-5.8%
IND10. 화학물질 및 화학제품 제조업	47.183	1.060	48.242	45.304	1.040	46.344	-4.0%	-1.9%	-3.9%	45.477	1.042	46.519	-3.6%	-1.7%	-3.6%
IND11. 비금속 광물제품 제조업	9.381	32.149	41.529	9.042	31.888	40.930	-3.6%	-0.8%	-1.4%	9.085	31.957	41.043	-3.2%	-0.6%	-1.2%
IND12. 금속 제조업	107.836	6.307	114.143	103.094	6.248	109.342	-4.4%	-0.9%	-4.2%	103.607	6.258	109.866	-3.9%	-0.8%	-3.7%
IND13. 기계 및 장비 제조업	1.702	.	1.702	1.623	.	1.623	-4.6%		-4.6%	1.631	.	1.631	-4.2%		-4.2%
IND14. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업	2.888	11.889	14.777	2.719	11.861	14.580	-5.9%	-0.2%	-1.3%	2.737	11.876	14.613	-5.2%	-0.1%	-1.1%
IND15. 운송장비 제조업	1.643	.	1.643	1.558	.	1.558	-5.2%		-5.2%	1.566	.	1.566	-4.7%		-4.7%
IND16. 가구 및 기타제품 제조업	1.858	.	1.858	1.793	.	1.793	-3.5%		-3.5%	1.799	.	1.799	-3.2%		-3.2%
IND17. 전력	291.626	0.292	291.918	274.550	0.279	274.828	-5.9%	-4.5%	-5.9%	276.045	0.28	276.324	-5.3%	-4.1%	-5.3%
IND18. 하수·폐기물 처리 및 환경복원업	1.418	3.724	5.141	1.339	3.698	5.038	-5.6%	-0.7%	-2.0%	1.338	3.689	5.028	-5.6%	-0.9%	-2.2%
IND19. 건설업	4.914	.	4.914	4.726	.	4.726	-3.8%		-3.8%	4.75	.	4.750	-3.3%		-3.3%
IND20. 서비스업	86.925	.	86.925	83.500	.	83.500	-3.9%		-3.9%	83.828	.	83.828	-3.6%		-3.6%
IND21. 공공행정, 국방 및 사회보장	4.460	.	4.460	4.304	.	4.304	-3.5%		-3.5%	4.318	.	4.318	-3.2%		-3.2%
매립	.	7.834	7.834	.	7.683	7.683		-1.9%	-1.9%	.	6.914	6.914		-11.7%	-11.7%
소각	.	7.096	7.096	.	7.047	7.047		-0.7%	-0.7%	.	4.821	4.821		-32.1%	-32.1%
재활용	.	0.749	0.749	.	0.741	0.741		-1.1%	-1.1%	.	0.769	0.769		2.7%	2.7%
계	580.180	94.475	674.652	550.812	93.780	644.592	-5.1%	-0.7%	-4.5%	553.536	90.909	644.447	-4.6%	-3.8%	-4.5%

<부표 4-2> 폐기물 종류별 발생량

		BAU			시나리오1						시나리오2					
								변화율						변화율		
		가계	산업	합계	가계	산업	합계	가계	산업	합계	가계	산업	합계	가계	산업	합계
가연성	음식물・채소류	636.5	95.1	731.6	633.4	94.2	727.6	-0.5%	-1.0%	-0.5%	633.7	100.7	734.4	-0.4%	6.0%	0.4%
	종이류	1892.5	367.2	2259.7	1883.3	363.7	2247.0	-0.5%	-0.9%	-0.6%	1884.0	384.6	2268.6	-0.4%	4.8%	0.4%
	나무류	618.5	1622.8	2241.3	615.5	1610.7	2226.2	-0.5%	-0.7%	-0.7%	615.8	1626.2	2241.9	-0.4%	0.2%	0.0%
	고무・피혁류	402.3	64.3	466.6	400.4	63.7	464.1	-0.5%	-1.0%	-0.6%	400.5	68.2	468.8	-0.4%	6.1%	0.5%
	플라스틱류	1782.8	5566.9	7349.7	1774.2	5521.5	7295.6	-0.5%	-0.8%	-0.7%	1774.8	5572.6	7347.4	-0.4%	0.1%	0.0%
	섬유류	.	477.6	477.6	.	473.6	473.6		-0.8%	-0.8%	.	476.3	476.3		-0.3%	-0.3%
	폐전기전자제품류	.	32.4	32.4	.	32.1	32.1		-1.0%	-1.0%	.	32.2	32.2		-0.5%	-0.5%
	기타	2044.5	9738.1	11782.6	2034.6	9673.9	11708.5	-0.5%	-0.7%	-0.6%	2035.4	9742.0	11777.3	-0.4%	0.0%	0.0%
불연성	건설폐재류	.	68672.0	68672.0	.	68153.2	68153.2		-0.8%	-0.8%	.	68535.2	68535.2		-0.2%	-0.2%
	무기성 오니류	.	474.8	474.8	.	471.2	471.2		-0.8%	-0.8%	.	473.8	473.8		-0.2%	-0.2%
	유리・도자기류	269.6	91.2	360.8	268.2	90.4	358.7	-0.5%	-0.9%	-0.6%	268.3	92.3	360.7	-0.4%	1.2%	0.0%
	금속류	181.3	18332.9	18514.2	180.4	18159.2	18339.7	-0.5%	-0.9%	-0.9%	180.5	18249.9	18430.4	-0.4%	-0.5%	-0.5%
	토사류	339.8	2240.9	2580.7	338.1	2222.3	2560.4	-0.5%	-0.8%	-0.8%	338.3	2231.7	2570.0	-0.4%	-0.4%	-0.4%
	기타	889.4	20902.2	21791.6	885.0	20274.3	21159.3	-0.5%	-3.0%	-2.9%	885.4	20394.1	21279.4	-0.4%	-2.4%	-2.4%
가연성・불연성 혼합	기타	276.7	66.9	343.6	275.4	66.3	341.6	-0.5%	-0.9%	-0.6%	275.5	68.5	344.0	-0.4%	2.4%	0.1%
	폐보드류	.	63.4	63.4	.	62.9	62.9		-0.8%	-0.8%	.	63.2	63.2		-0.2%	-0.2%
	폐관넬	.	3.5	3.5	.	3.5	3.5		-0.8%	-0.7%	.	3.5	3.5		-0.2%	-0.2%
	혼합건설 폐기물	.	9151.0	9151.0	.	9081.6	9081.6		-0.8%	-0.8%	.	9131.0	9131.0		-0.2%	-0.2%
재활용 가능 자원 분리 배출	종이류	1562.7	56.9	1619.7	1555.2	56.4	1611.6	-0.5%	-1.0%	-0.5%	1555.7	61.8	1617.6	-0.4%	8.6%	-0.1%
	유리류	477.2	17.4	494.6	474.9	17.2	492.1	-0.5%	-1.0%	-0.5%	475.1	18.9	494.0	-0.4%	8.6%	-0.1%
	고철・캔류	753.7	27.5	781.1	750.0	27.2	777.2	-0.5%	-1.0%	-0.5%	750.3	29.8	780.1	-0.4%	8.6%	-0.1%
	합성수지류	1446.8	52.7	1499.5	1439.8	52.2	1492.0	-0.5%	-1.0%	-0.5%	1440.3	57.2	1497.5	-0.4%	8.6%	-0.1%
	전기・전자제품류	107.9	3.9	111.8	107.3	3.9	111.2	-0.5%	-1.0%	-0.5%	107.4	4.3	111.6	-0.4%	8.6%	-0.1%
	타이어	28.8	1.1	29.9	28.7	1.0	29.7	-0.5%	-1.0%	-0.5%	28.7	1.1	29.8	-0.4%	8.5%	-0.1%
	폐유	30.7	1.1	31.8	30.5	1.1	31.7	-0.5%	-1.1%	-0.5%	30.6	1.2	31.8	-0.4%	8.6%	-0.1%
	의류	70.6	2.6	73.1	70.2	2.5	72.8	-0.5%	-1.0%	-0.5%	70.2	2.8	73.0	-0.4%	8.6%	-0.1%
	영농폐기물	163.4	6.0	169.3	162.6	5.9	168.5	-0.5%	-1.0%	-0.5%	162.6	6.5	169.1	-0.4%	8.6%	-0.1%
	가구류	244.6	8.9	253.5	243.4	8.8	252.2	-0.5%	-1.0%	-0.5%	243.5	9.7	253.2	-0.4%	8.5%	-0.1%
	기타	948.5	34.6	983.1	943.9	34.2	978.1	-0.5%	-1.0%	-0.5%	944.2	37.5	981.8	-0.4%	8.6%	-0.1%
음식물류 폐기물 분리배출		5284.2	218.4	5502.6	5258.5	216.3	5474.8	-0.5%	-1.0%	-0.5%	5260.5	235.8	5496.3	-0.4%	8.0%	-0.1%
합계		20452.9	138394.1	158847.0	20353.7	136845.0	157198.7	-0.5%	-1.1%	-1.0%	20361.2	137712.8	158074.0	-0.4%	-0.5%	-0.5%

※주: 산업부문의 폐기물 발생량은 폐기물 종류별, 산업별 발생량을 모든 산업에 대하여 더한 값임.

<부표 4-3> 산업부문별 폐기물 저감량

	BAU			시나리오1						시나리오2					
							변화율						변화율		
	매립	소각	재활용	매립	소각	재활용	매립	소각	재활용	매립	소각	재활용	매립	소각	재활용
IND01. 농림어업	37.23	26.42	110.52	37.10	26.33	110.14	-0.3%	-0.3%	-0.3%	34.28	20.10	119.37	-7.9%	-23.9%	8.0%
IND02. 석탄	0.10	0.05	0.57	0.09	0.05	0.55	-5.2%	-5.8%	-4.6%	0.09	0.04	0.56	-6.2%	-23.1%	-2.1%
IND03. 원유	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.0%	0.0%	0.0%	0.00	0.00	0.01	0.0%	-3.1%	0.0%
IND04. 가스·열	1149.46	40.53	2717.42	1080.45	38.10	2554.28	-6.0%	-6.0%	-6.0%	1086.01	36.63	2571.21	-5.5%	-9.6%	-5.4%
IND05. 기타광업	0.43	0.46	4.86	0.42	0.45	4.82	-0.9%	-1.1%	-1.0%	0.41	0.36	4.93	-4.0%	-21.3%	1.4%
IND06. 음식료품 제조업	258.85	533.49	1134.14	257.95	531.63	1130.19	-0.3%	-0.3%	-0.3%	203.51	402.71	1316.36	-21.4%	-24.5%	16.1%
IND07. 섬유 및 가죽제품 제조업	27.56	71.35	180.10	27.32	70.74	178.56	-0.9%	-0.9%	-0.9%	22.42	54.79	199.73	-18.7%	-23.2%	10.9%
IND08. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	345.74	639.34	1543.16	343.29	634.81	1532.23	-0.7%	-0.7%	-0.7%	294.11	494.69	1725.48	-14.9%	-22.6%	11.8%
IND09. 정유	14.87	3.49	41.74	14.35	3.37	40.27	-3.5%	-3.5%	-3.5%	14.24	2.80	41.13	-4.2%	-19.8%	-1.5%
IND10. 화학물질 및 화학제품 제조업	284.31	335.82	1095.28	279.05	329.61	1075.03	-1.8%	-1.8%	-1.8%	257.30	253.77	1176.40	-9.5%	-24.4%	7.4%
IND11. 비금속 광물제품 제조업	109.83	67.84	1227.10	108.94	67.29	1217.15	-0.8%	-0.8%	-0.8%	106.72	57.92	1231.81	-2.8%	-14.6%	0.4%
IND12. 금속 제조업	998.38	176.29	18786.79	988.95	174.63	18609.21	-0.9%	-0.9%	-0.9%	984.92	152.53	18669.28	-1.3%	-13.5%	-0.6%
IND13. 기계 및 장비 제조업	58.17	45.01	278.69	57.88	44.79	277.27	-0.5%	-0.5%	-0.5%	57.03	40.54	282.83	-2.0%	-9.9%	1.5%
IND14. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업	28.06	98.35	224.80	27.99	98.11	224.26	-0.2%	-0.2%	-0.2%	23.63	77.06	250.19	-15.8%	-21.6%	11.3%
IND15. 운송장비 제조업	77.45	67.65	433.68	76.78	67.07	429.96	-0.9%	-0.9%	-0.9%	73.82	54.25	446.50	-4.7%	-19.8%	3.0%
IND16. 가구 및 기타제품 제조업	281.09	235.85	1091.63	279.05	234.14	1083.71	-0.7%	-0.7%	-0.7%	267.85	194.05	1137.43	-4.7%	-17.7%	4.2%
IND17. 전력	2079.47	73.13	4915.48	1986.99	69.88	4696.87	-4.4%	-4.4%	-4.4%	1993.95	67.11	4720.24	-4.1%	-8.2%	-4.0%
IND18. 하수·폐기물 처리 및 환경복원업	1331.94	1591.97	5433.43	1322.89	1581.14	5396.48	-0.7%	-0.7%	-0.7%	1195.53	1215.28	5874.36	-10.2%	-23.7%	8.1%
IND19. 건설업	1319.05	535.50	74796.13	1309.22	531.51	74239.10	-0.7%	-0.7%	-0.7%	1282.15	424.98	74548.19	-2.8%	-20.6%	-0.3%
IND20. 서비스업	142.75	291.02	721.83	142.04	289.59	718.28	-0.5%	-0.5%	-0.5%	118.82	220.46	812.21	-16.8%	-24.2%	12.5%
IND21. 공공행정, 국방 및 사회보장	124.38	182.15	480.65	125.20	183.35	483.81	0.7%	0.7%	0.7%	106.79	140.49	545.53	-14.1%	-22.9%	13.5%
소각	.	.	.	.	.	.				.	.	.			
재활용	247.41	129.65	954.03	245.81	128.81	947.87	-0.6%	-0.6%	-0.6%	149.26	53.44	696.73	-39.7%	-58.8%	-27.0%
계	1000.78	848.06	6297.41	990.67	839.49	6233.78	-1.0%	-1.0%	-1.0%	967.80	597.71	7539.11	-3.3%	-29.5%	19.7%

<부표 4-4> 산업부문별 저감시설별 폐기물 처리비용

	BAU			시나리오1						시나리오2					
							변화율						변화율		
	매립	소각	재활용	매립	소각	재활용	매립	소각	재활용	매립	소각	재활용	매립	소각	재활용
IND01. 농림어업	3.30	5.63	10.48	3.29	5.61	10.45	-0.3%	-0.3%	-0.3%	3.03	4.28	13.55	-8.0%	-23.9%	29.3%
IND02. 석탄	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.04	0.0%	0.0%	-5.1%	0.01	0.01	0.04	0.0%	-27.3%	5.1%
IND03. 원유	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-3.5%	-3.5%	-3.5%	0.00	0.00	0.00	-9.5%	-23.2%	9.1%
IND04. 가스·열	101.23	8.63	241.02	95.15	8.12	226.55	-6.0%	-6.0%	-6.0%	95.62	7.80	228.66	-5.5%	-9.6%	-5.1%
IND05. 기타광업	0.05	0.10	0.29	0.04	0.10	0.29	-2.2%	-1.0%	-1.0%	0.04	0.08	0.32	-8.9%	-21.6%	11.8%
IND06. 음식료품 제조업	24.16	113.63	115.74	24.07	113.24	115.33	-0.4%	-0.3%	-0.3%	18.97	85.78	177.53	-21.5%	-24.5%	53.4%
IND07. 섬유 및 가죽제품 제조업	2.96	15.20	16.47	2.93	15.07	16.33	-0.9%	-0.9%	-0.9%	2.38	11.67	23.14	-19.5%	-23.2%	40.5%
IND08. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	33.85	136.18	149.64	33.61	135.21	148.58	-0.7%	-0.7%	-0.7%	28.51	105.37	213.75	-15.8%	-22.6%	42.8%
IND09. 정유	1.34	0.74	3.62	1.29	0.72	3.49	-3.5%	-3.5%	-3.5%	1.27	0.60	3.77	-4.6%	-19.8%	4.1%
IND10. 화학물질 및 화학제품 제조업	28.28	71.53	109.70	27.75	70.21	107.67	-1.8%	-1.8%	-1.8%	25.12	54.05	140.52	-11.2%	-24.4%	28.1%
IND11. 비금속 광물제품 제조업	10.04	14.45	67.13	9.96	14.33	66.59	-0.8%	-0.8%	-0.8%	9.68	12.34	70.67	-3.6%	-14.6%	5.3%
IND12. 금속 제조업	88.76	37.55	861.70	87.92	37.20	853.55	-0.9%	-0.9%	-0.9%	87.36	32.49	864.82	-1.6%	-13.5%	0.4%
IND13. 기계 및 장비 제조업	5.26	9.59	18.70	5.23	9.54	18.60	-0.5%	-0.5%	-0.5%	5.12	8.64	21.46	-2.5%	-9.9%	14.8%
IND14. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업	3.76	20.95	23.85	3.75	20.90	23.79	-0.2%	-0.2%	-0.2%	3.07	16.41	32.45	-18.2%	-21.6%	36.0%
IND15. 운송장비 제조업	7.50	14.41	33.71	7.43	14.29	33.42	-0.9%	-0.9%	-0.9%	7.02	11.56	39.15	-6.4%	-19.8%	16.1%
IND16. 가구 및 기타제품 제조업	26.23	50.24	91.11	26.04	49.87	90.45	-0.7%	-0.7%	-0.7%	24.72	41.33	110.41	-5.8%	-17.7%	21.2%
IND17. 전력	183.13	15.58	435.99	174.98	14.88	416.60	-4.4%	-4.4%	-4.4%	175.57	14.29	419.77	-4.1%	-8.2%	-3.7%
IND18. 하수·폐기물 처리 및 환경복원업	128.21	339.09	511.77	127.34	336.78	508.29	-0.7%	-0.7%	-0.7%	113.62	258.85	672.17	-11.4%	-23.7%	31.3%
IND19. 건설업	73.38	114.06	3045.94	72.83	113.21	3023.25	-0.7%	-0.7%	-0.7%	69.07	90.52	3076.51	-5.9%	-20.6%	1.0%
IND20. 서비스업	14.69	61.99	71.84	14.62	61.68	71.49	-0.5%	-0.5%	-0.5%	12.09	46.96	102.20	-17.7%	-24.2%	42.3%
IND21. 공공행정, 국방 및 사회보장	11.31	38.80	46.46	11.39	39.05	46.77	0.7%	0.7%	0.7%	9.68	29.92	67.80	-14.4%	-22.9%	45.9%
소각	21.32	27.53	71.90	21.18	27.36	71.44	-0.6%	-0.6%	-0.6%	12.85	11.33	58.88	-39.7%	-58.9%	-18.1%
재활용	88.47	179.76	431.86	87.58	177.95	427.49	-1.0%	-1.0%	-1.0%	84.75	126.34	589.80	-4.2%	-29.7%	36.6%
계	857.21	1275.65	6358.94	838.39	1265.31	6280.44	-2.2%	-0.8%	-1.2%	789.54	970.61	6927.35	-7.9%	-23.9%	8.9%

<부표 4-5> 산업부문별 폐수 배출량

	BAU	시나리오1		시나리오2	
			변화율		변화율
IND02. 석탄	17.24	16.45	-4.6%	16.53	-4.1%
IND03. 원유	140.90	135.98	-3.5%	136.39	-3.2%
IND04. 가스・열	126.37	118.78	-6.0%	119.46	-5.5%
IND05. 기타광업	115.40	114.29	-1.0%	114.47	-0.8%
IND06. 음식료품 제조업	28.97	28.87	-0.3%	28.88	-0.3%
IND07. 섬유 및 가죽제품 제조업	166.12	164.70	-0.9%	164.80	-0.8%
IND08. 목재 및 종이제품 제조업, 인쇄업	50.25	49.89	-0.7%	49.94	-0.6%
IND09. 정유	59.81	57.71	-3.5%	57.88	-3.2%
IND10. 화학물질 및 화학제품 제조업	27.96	27.44	-1.9%	27.50	-1.7%
IND11. 비금속 광물제품 제조업	.	.		.	
IND12. 금속 제조업	303.24	300.37	-0.9%	300.88	-0.8%
IND14. 전기 및 전자, 정밀기기 제조업	1.37	1.36	-0.3%	1.37	-0.1%
IND16. 가구 및 기타제품 제조업	4.36	4.33	-0.7%	4.33	-0.6%
IND17. 전력	.	.		.	
IND18. 하수·폐기물 처리 및 환경복원업	11.83	11.75	-0.7%	11.72	-0.9%
IND20. 서비스업	.	.		.	
계	1053.82	1031.92	-2.1%	1034.15	-1.9%

Abstract

Developing an Integrated Economic Model for Waste Management

Mijin Han
Department of Agricultural Economics and Rural Development
The Graduate School
Seoul National University

With the rise of single-person households and delivery cultures, the use of disposable products is increasing, along with the amount of waste. Because of the limited land area and high population density in South Korea, it is difficult to install waste treatment facilities. Under these circumstances, the continuous increase in waste is causing various social problems. In addition, as the end of the use of the Sudokwon Landfill Site approaches, it is necessary to reduce the amount of waste in landfills; however, the Household Waste Regulation System is not showing a clear effect.

To this end, due to the climate crisis, the target to reduce greenhouse gas emissions and achieve carbon neutrality was set in the waste sector. Accordingly, it is necessary to reduce not only the amount of waste but also the amount of greenhouse gas emissions. In order to compare the effects of policies, a methodology that can consider both economic and environmental impacts is needed.

Therefore, it is necessary to establish environmental economic accounting and to analyze the effect of policies through integrated environmental and economic analysis.

As the need for integrated environmental and economic analysis increased, the UN published the System of Environmental Economic Accounting (SEEA) in 1993 and recommended the used of this system in each country. Accordingly, Korea has developed the Environmental Protection Expenditure Account (EPEA) and the NAMEA-air, but no waste account has been developed.

In this study, environmental economic accounting for waste is established, and based on this, an integrated environmental and economic analysis is conducted using a newly constructed environmental computable general equilibrium (e-CGE) model.

In the first study, the concept and characteristics of the waste input-output (WIO) table are explained, and the related analysis model is introduced. Methods for reducing the landfilled municipal waste by 10% in accordance with the Household Waste Regulation System are analyzed by changing the amount of waste treated by each facility according to the allocation matrix. As a result, the goal of reducing landfill volume could be achieved by increasing the waste incineration ratio by 13% or increasing the recycling ratio to at least 68%. Both scenarios can achieve the same policy goal, but considering the need to become a resource recycling society and the increasing in air pollution caused by incineration, improving the recycling rate is the superior long-term option. This study is meaningful in that it is a comparative analysis of efficient waste management policies and that it shows that landfill waste can be reduced by changing treatment methods without reducing waste emissions.

In the second study, the Environmentally Extended Social Accounting Matrix (ESAM) is constructed based on the previously developed WIO table. It is then expanded to the e-CGE model. Environmental information such as waste emission and treatment and waste water discharge is added to the e-CGE model, and the cost of the economic agents is reflected accordingly. Based on this, the scenario of introducing a carbon tax to reduce greenhouse gases by 4% per year is analyzed according to the carbon reduction scenario. The first scenario introduces a carbon tax of 3.2%, and the second introduces a carbon tax of 2.9% and increases the recycling rate. These two scenarios can achieve the same greenhouse gas reduction target and show similar rates of change in the GDP, but waste emissions can decrease more significantly when the recycling rate of waste is improved. This shows that policy that increases the recycling rate of waste can be a countermeasure to the problem of the landfill shortage and that the policy goal of reducing greenhouse gas emissions can be achieved with a lower carbon tax. These results show that integrated environmental and economic analysis can examine policies that are simultaneously applied to the greenhouse gas and waste sectors and can quantitatively evaluate the magnitude of the incidental effects of the policies.

As it is becoming increasingly important to consider the economy and the environment in an integrated manner, an environmental and economic integration model in the analysis of environmental impacts or policy effects is urgently needed. It is expected that the WIO table and the e-CGE model constructed in this study can provide useful analysis that can help establish related policies.

Keywords : Environmental and Economic Accounts, Integrated Environmental and Economic Analysis, Waste Input-Output table, Environmentally Extended Social Accounting Matrix, Environmental Computable General Equilibrium model

Student Number *:* 2015-30392