

폐기물 수출입 흐름 변화가 폐기물 관리에 미치는 영향

§이 상 훈

계명대학교 환경학부 환경과학전공

Impacts for Waste Management According to Waste Trade

§Sang-hun Lee

Dept. of Environmental Science, Keimyung University, 1095 Dalgubeol-daero, Daegu, Korea

요 약

본 연구는 폐기물 무역(수출입) 규제 등 폐기물 관리의 여건변화가 폐기물 관리에 미치는 영향을 분석하기 위한 사례를 검토하고 그에 따른 분석 방안을 정리하였다. 검토결과, 영향분석을 위해서는 우선 국내 혹은 지역내 최근 폐기물 양을 산정하고, 폐기물 수입경로 및 국내유입량 변화에 따른 향후 폐기물 양의 변화추이를 합리적으로 예측하는 것이 중요하다. 또한 폐기물 물질흐름이나 환경규제 등에 중점을 둔 전통적 관점 이외에도, 다양한 측면에서의 요인을 목록화하고 그에 따른 시나리오를 도출하는 것이 효과적이다. 각 시나리오에 대한 분석방법은 크게 정성적 및 정량적 기법으로 구분할 수 있는데 최근의 국제정세가 향후 불확실성이 크고 혁신적 변화가 수반될 가능성이 존재하는 경우 정성적 기법을 우선 적용하고, 이후 국제정세의 불확실성이 감소한 상황에서의 점진적 변화 예측 시 정량적 기법을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이러한 검토를 기반으로 본 연구에서는 최근 우리나라 폐기물 수출입 여건으로 인한 영향분석 방안 및 절차를 구축하였다. 최근 보건 및 경제위기 등 불확실성이 큰 점을 감안하여, 전략적 분석은 가능한 다양한 측면에서의 시나리오 도출에 중점을 두고, 각 시나리오별로 활용 가능한 분석기법 적용방안을 제시하였다.

주제어 : 폐기물, 무역(수출입), 시나리오, 영향분석, 예측

Abstract

This study reviewed the examples on analyses of the potential impacts to waste management, due to the recent trends of waste trade regulation, and summarized an analysis strategy of the impacts. As a result, a desirable analysis may begin with reasonable estimation of recent waste amounts and flows, and reasonable prediction of the future trends of waste amounts. Then, it is effective to list various key factors and derive future scenarios of the impacts, as well as employ the traditional viewpoints focusing on waste material flow or environmental regulations. The applicable analyses for each scenario can be largely divided into qualitative and quantitative methods. Due to a high uncertainty in the recent international situations with entailing possible innovative economic changes, qualitative methods may be considered in advance, and then quantitative techniques may be utilized to predict gradual changes at relieved uncertainty of the situations. Based on this review so far, proper methodology and procedures for the impact analysis were suggested on recent waste trade conditions in Korea. Given existence of the recent uncertainties such as the health and economic crises, the analysis preferably focused on deriving strategic scenarios with respect to various aspects, and suggested analysis methods applicable to each scenario.

Key words : Waste, Trade (Export/Import), Scenario, Impact Analysis, Prediction

· Received : May 8, 2020 · Revised : June 11, 2020 · Accepted : June 19, 2020

§ Corresponding Author : Sang-hun Lee (E-mail : shlee73@kmu.ac.kr)

Department of Environmental Science, Keimyung University, Osan Hall 303, 1095 Dalgubeol-daero, Dalseo-gu, Daegu 42601, Korea
©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

올바른 폐기물 관리는 리사이클링을 통한 자원순환, 환경오염방지 및 보건위생 측면에서 매우 중요하다¹⁻⁶⁾. 특히 우리나라는 국토가 좁고 인구밀도가 높아 매립후보지가 적고, 미세먼지나 황사 등 대기오염에 대한 우려로 폐기물 매립이나 소각처리를 고려하기가 쉽지 않다⁷⁾. 또한 제조업 중심의 경제구조로 인하여 다양한 성상의 사업장 유해폐기물도 많이 배출되고 있는 실정이다⁸⁾. 최근에는 배달문화의 보편화와 COVID-19 보건위기사태로 인하여 일회용 플라스틱 사용량이 늘어 폐기물 수거 및 적치문제가 대두되고 있다⁹⁾. 국제적으로도 런던협약으로 인한 슬러지나 가축분뇨의 해양투기 금지¹⁰⁾, 중국의 폐기물 수입 금지조치(China ban), 바젤협약개정안으로 인한 선진국 유해폐기물 및 기타폐기물(플라스틱 쓰레기 등)의 개발도상국으로의 수출금지(Basel Ban Amendment) 및 규제강화 등이 이미 시행 중이거나 예정이다^{12,13)}. 이러한 국제정세들로 인해 국내 폐기물 관리의 어려움이 가중되고 있는데, 이러한 어려움은 궁극적으로 청정생산, 폐기물 발생 저감과 효과적인 처리/처분 그리고 무엇보다도 폐기물 리사이클링의 극대화 및 자원순환의 고부가가치화를 통해 풀어나가야 된다는 점은 분명하다^{2,8,11)}. 그러나 이러한 해결책은 관련분야의 기술발전, 경제적/정책적 지원 그리고 시민의식의 증진 등 다양한 분야에서의 장기적 전략이 수반되어야 하며^{8,11)}, 이는 폐기물 관련 이슈가 국내 폐기물 산업 및 관리시스템에 미칠 수 있는 영향의 분석이 선행되어야 한다^{2-6,14)}. 그리고 이러한 영향분석은 다양한 관점에서 이루어져야 하며 종종 불확실성도 감안해야 한다¹⁵⁻²⁰⁾. 기존 국내 폐기물 수출입 관련 연구는 관리체계 및 일부 폐기물의 물질흐름 측면에서 연구가 수행되었으나³⁻⁶⁾, 다양한 영향분석기법을 다룬 연구는 아직 미진한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 전략적 관점에서 폐기물의 수출입 관련 여건 변화가 향후 폐기물 관련 산업 및 시장에 미칠 수 있는 영향의 분석에 적용 가능한 기법과 적용 방안을 소개하려 한다.

2. 연구방법

본 연구는 먼저 폐기물 수출입 및 (국제 혹은 지역적) 흐름 관련 문헌을 선정하고, 이들 연구에서 다룬 중요한

요인(Factor)이나 영향분석 기법을 중점적으로 검토하였다. 기법의 범위는 통계적, 정성적 및 정량적 방법론을 모두 포함하며, 정성적 방법론의 경우 영향분석 관련 다양한 요인과 시나리오 도출에 중점을 두었다. 검토 후 최근 큰 변화를 겪고 있는 폐기물 수출입 관련 국제정세에 따라 폐기물 유입량 증가가 국내 폐기물 관리 여건에 미칠 수 있는 영향을 분야별 시나리오 형태로 도출하고, 각 시나리오별 적용가능한 영향분석방법을 제시하였다.

3. 결과 및 토의

3.1. 폐기물 발생 예측

폐기물 관련 중대한 영향은 해당 국가 혹은 지역으로의 폐기물(혹은 폐기물내 특정 성분) 발생량 혹은 유입량의 변화와 관련된 경우가 많다. 따라서 영향분석을 위해서는 분석대상 폐기물(혹은 폐기물내 대상성분)의 향후 유입 또는 발생추세의 합리적 예측이 선행되어야 한다. 일반적인 폐기물 발생량의 예측은 폐기물 발생량의 과거 경향을 파악, 이를 미래예측에 적용는 경향법, 단순 혹은 다중회귀식을 이용하는 방법 그리고 모든 변수들의 동적 추이를 산정하는 동적모사법 등 다양한 기법이 있다²¹⁾. 그러나 이들은 주로 국내 폐기물 발생량을 대상으로 한 것이다. 한편, 국가간 폐기물 수출입으로 인한 유입량까지 고려하여 미래시점에서의 폐기물 양을 예측한 연구로는 Brooks et al. (2018)의 연구를 참조해 볼 수 있다¹¹⁾. 이들 연구의 주요 내용 중 하나는 중국의 폐플라스틱 수입금지(2017년 Polyethylene이나 Polystyrene 등의 폐플라스틱의 중국수입금지)시행으로 인한 폐기물 흐름 변화를 예측한 것이었다. 금지조항시행 이전 원래 중국은 다른 나라로부터 엄청난 양의 플라스틱 폐기물을 수입하였으나, 수입금지 이후 중국으로의 폐플라스틱 유입이 크게 변화할 수 밖에 없는데 그들은 이러한 조건 하에 중국내 처리대상 폐플라스틱의 총량의 연도별 변화를 예측하였다.

구체적으로, Brooks et al.이 적용한 기법은 원단위 산정과 단순회귀모델을 혼합하여, 중국내 플라스틱 폐기물량의 연도별 추세를 회귀분석법으로 예측하였다¹¹⁾. 그들은 기존연구에서 중국내 일인당 폐기물 발생량과 폐기물내 플라스틱 함유율 대표값을 설정하고²²⁾, (2010-2016년 간) 매년 폐기물 및 폐플라스틱 발생량을 추정하였다. 그리고 이를 폐기물수입량과 합산하여 매년 중국내 (관리대

상) 총 폐기물량 및 총 폐플라스틱양을 산정하였다. 또한 폐플라스틱의 영향지표는 연도별 수입 폐플라스틱 추정량을 중국내 총 폐기물로 나눈 값으로 정의하였다. 그들은 (0% 수입금지 가정) 2030년까지의 중국 폐플라스틱 BAU (Business-as-usual) 누적량과 (100% 수입금지가정하의) 누적량의 차이를 변이된(Displaced) 폐플라스틱량으로 정의하였다. 연도별 총 폐플라스틱량 예측치는 단순 회귀기법을 적용하였는데, 1988-2016년간의 연도별 자료를 선형곡선으로 외삽한 경우, 동일기간을 2차 곡선으로 외삽한 경우, 그리고 보다 최근 (2006-2016)년 자료를 선형외삽한 경우를 비교하여 누적 폐플라스틱량이 중간치(111백만 MT)가 나오는 경우를 대표값으로 선정하였고 다른 두 외삽조건 결과를 변동치(63 백만MT 및 195 백만 MT)로 설정하였다¹¹⁾. 참고로 폐플라스틱 등 교역물품의 수출입 무역데이터는 UN Comtrade 데이터베이스 등에서 제공받을 수 있다²³⁾. 여기서 무역상품을 분류하고 명명하는 코드시스템이 활용되는데 주로 HS 시스템이 국제적으로 많이 통용된다^{3,5,6)}.

이러한 예측기법은 폐기물 수출입 여건 변화에 따른 향후 국내 폐기물 양의 예측에 적용될 수 있다¹¹⁾. 국내 폐기물 수출입에 영향을 주는 제도는 전술된 중국의 수입금지 조치와 유사한 다른 개발도상국의 규제 혹은 관련 국제협약을 들 수 있다. 후자의 경우 바젤협약 및 금지개정안이 대표적인데, 금지 개정안(Ban Amendment)에 따르면, 당 개정안에서 지목된 선진국(OECD 및 EU 회원국, 리히텐슈타인 등)은 다른 국가(편의상 개발도상국가로 칭함)로 유해 및 기타 폐기물의 수출을 금지 및 규제해야 한다는 것이다¹³⁾. 이러한 금지개정안의 효력이 우리나라에도 미치게 되면 개발도상국으로의 폐기물 수출은 사실상 거의 금지되어야 하는 반면, 다른 선진국에서 우리나라로의 폐기물 수입량은 증대될 수 있는 가능성이 존재한다^{4,24)}. 이러한 수출입 여건변화로 인한 국내 폐기물 양의 향후 변화는 본 장에서 거론된 방식으로 접근이 가능하리라 기대된다.

3.2. 다양한 요인 도출

전술한 바와 같이 폐기물 발생량이나 교역량 등 수치자료를 바탕으로 하는 폐기물 연구가 진척되었으면, 이후에는 보다 다양한 관점에서 중요한 요인을 도출하고 이에 대한 심도 있는 영향분석이 수반되어야 한다. 예를 들어,

Davis et al. (2019)는 일부 개발도상국내 특정지역(Hub라고 지칭하였음)내 WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment 폐전기 혹은 폐전자기기) 처리 및 관련 산업이 집중되는 현상을 자세히 관찰하여, 다양한 측면에서 Hub 지역의 생성과 성장 원인을 규명하고자 하였다²⁰⁾. 기존에는, 개발도상국으로의 폐기물 집중현상을 PHH (Pollution Haven Hypothesis: 오염도피처가설)라는 개념으로 설명하였다. 이는 오염 집약적 경제 활동이 처리비용이 저렴하고 환경규제가 느슨한 지역으로 이전되는 현상을 의미하며 환경규제로 인해 소요되는 비용을 줄이기 위한 일종의 비교우위 전략으로 쉽게 이해될 수 있다²⁰⁾. WEEE의 경우 Breivik et al.은 전 세계 WEEE 생성, 선진 OECD 국가 WEEE 수출 등의 추정치를 수집하여 OECD (North)에서 비OECD (South) 국가로의 WEEE의 무역흐름 및 물질수지를 구성하였다²⁵⁾. Davis et al.은 이러한 North-to-South 물질흐름연구의 한계점을 지적하였는데, 통계 자료를 통한 물질흐름 연구만으로는 폐기물 Hub 지역 생성/성장 과정과 이유를 엄밀히 설명하지 못한다는 점을 부각시켰다. 이러한 현상은 선진국과 개발도상국간의 소득수준이나 처리비용의 문제뿐 아니라, 보다 더 다양한 요인을 복합적으로 고려해야 된다는 의미이다²⁰⁾. 그들이 제시한 Case study 중 하나는 이스라엘내 WEEE가 집중된 hub지역인 헤브론 남서쪽 4개의 마을을 조사한 연구결과이다. 이들은 West Line으로 알려져 있으며 주로 팔레스타인이 이스라엘내 WEEE를 해체하여 금속을 판매하는 비공식 재활용사업을 벌이고 있었다. 이러한 지역의 생성 및 성장은 기존의 이론(해당지역의 낮은 환경 기준과 이스라엘-팔레스타인간 인건비 차이)으로 어느 정도 설명되지만, 다른 지역이 아닌 그 지역에 hub가 형성되었는지 이유를 해명하는 데는 기존의 이론만으로는 부족하다. 그들은 장기간 관찰결과 기존 이론에 제시한 것 이외에 여러 요인들을 제시하였다(Table 1 참조).

또 다른 예로, Lin et al.의 연구에서는 중국의 폐기물 수입금지 조치 이후, 홍콩에 적체된 WEEE로 인한 토양 오염 등의 환경오염문제를 검토하였다¹⁾. 중국은 전술한 폐플라스틱 외 WEEE 관련에서도 2000년대 세계에서 가장 큰 수입국이었는데, 2010년대 중국이 수입금지정책을 시행하기 시작하면서 불법 WEEE의 수입량은 감소하고 있는 대신 홍콩(HK)으로의 유입량이 늘어 상당량의 수입 WEEE가 홍콩내 New Territory 북부에 적치되고 있다고

Table 1. The various factors on generation and growth of WEEE hub regions according to a previous study²⁰⁾

Category	Causes	Impacts
Economic levels	Discrepancy of economic levels (GDP) between WEEE producers and the residents in the hub region	Waste movement into the hub region
Environmental regulation	Loose environmental regulation in the hub region	Illegal storage, treatment and disposal of WEEE allowed
Occupations of residents	Similarity to the past jobs of the residents (e.g. repair and re-use of waste furniture)	Facilitated job transfer to WEEE recycling industry
Unemployment rate	High unemployment rates due to economic difficulties experienced over the hub regions	Working population concentrating to WEEE recycling industry
Working age	Abundant young working population	Low labor costs in WEEE recycling
Commodity prices	High metal prices	Metal recovery industry from WEEE motivated and sustained
Land use & ownership	Unclearified land ownership near the hub region	Facilitated illegal dumping of WEEE into the land in the hub region
Market entry	Easy market entry due to low technical difficulty	Easy participation of even poor working population
Accessibility	Good accessibility from WEEE producers in Israel	Stable supply of WEEE from Israel
Other related Industry	Other industry (e.g. recycle equipment vendor, WEEE incinerator operation, metal traders) related to WEEE recycling industry concentrating in the hub region	Recycling industry in the hub region in expansion

보고하였다. 이들이 참고한 폐기물 관련 정보는 GPS 추적센서를 폐기물시료에 부착시켜 폐기물 이동 궤적과 양을 파악한 자료였다²⁶⁾. 또한 이들은 유해성분과 해당 성분의 노출경로를 검토하여, 적치된 WEEE내 중금속이나 난분해성 유기물 같은 잔류성독성성분이 주로 토양으로 유입되고 그 외에도 대기 및 수질을 오염시키면서 결국에는 인간이나 생태계 건강을 위협한다고 언급하였다¹⁾.

3.3. 시나리오 도출 및 분석기법

과거 혹은 현재 발생된 폐기물 발생 및 오염현상은 현황조사 및 데이터를 통해 분석가능하다. 하지만 여기서 더 나아가 미래에 발생할 폐기물 관련 사건(재난, 협약, 정책 혹은 사회적/기술적 변화 등)으로 인한 영향의 분석을 위해서는 먼저 관련 사건으로 인해 발생 가능한 가상의 미래 시나리오를 구축하는 것이 효과적이다¹⁵⁻¹⁷⁾. 시나리오 분석을 기반으로 하는 정성적/정량적 평가기법에는 여러가지가 있는데, 이 중 정성적 기법의 한 종류인 SAFS (Sustainability Assessment Framework for Scenarios)는 평가범위지정(Scoping), 목록 분석(Inventory analysis), 위험(Risk)/기회(Opportunity)평가 및 해석(Interpretation) 단계로 구성된다. 범위지정 단계에서 평가목표와 범위가 정의되고 평가관점이 결정된다. 목록분석에는 현황파악, 시

나리오 도출 및 관련 정보수집에 중점을 둔다. 위험/기회 평가에서는 목록분석에서 도출된 시나리오 및 자료를 이용하여 요인별 상관관계 분석 및 전문가 토론 등 다양한 방안을 거쳐 위험 및 기회를 평가한다. 마지막으로 다양한 측면에서의 결과 해석 및 통합적 평가를 수행한다. 이러한 SAFS는 미래의 불확실성이 크거나 향후 장기적 시점에서의 정성적 영향분석 및 예측에 적용 가능하다^{15,16)}. 이 기법은 환경과 사회적 측면을 고려한 2060년 미래 스웨덴 ICT 사회의 시나리오 평가에 적용된 사례가 있다¹⁶⁾.

한편 정량적 평가는 그 기법이 매우 다양한데, 간단하게는 도출된 시나리오별로 평가대상항목을 Checklist나 Matrix 형식으로 작성하고 평가항목 별 중요도나 발생가능성 등에 따른 점수를 부과하여 항목별로 비교하거나 합산하는 방법이 있다^{15,17)}. 이 경우 항목별 평가시 객관성을 도모하기 위해 주로 다양한 분야의 여러 전문가들이 참여한 자문회의나 Workshop을 활용한다. 평가대상이 되는 시나리오가 어떤 상품이나 서비스 등 명확하고 상세하게 범위를 지정할 수 있는 것이라면 LCA (Life Cycle Assessment: 전과정평가)기법이나 개량된 유사기법(LCSA: Life Cycle Sustainability Assessment)을 활용할 수도 있다¹⁵⁾. LCA의 평가절차도 SAFS와 유사하게 목적/범위지정 → 목록(평가항목별 투입/산출 흐름정보)분석 → 목

로별 영향평가 → 전반적 평가 및 해석으로 분류할 수 있다²⁷⁾. LCA는 주로 상품이나 서비스 생산에 소요되는 환경/자원 투입/산출 물량이나 비용 등 명확히 정량화가 가능한 흐름과 결과를 다루며 단기적인 시점(상품/서비스의 생산 혹은 수행개시에서 폐기 또는 종료시까지)에서 평가 하는데 주로 이용된다.

또한 전술된 홍콩의 폐기물 사례에서 알 수 있듯이¹⁾, 환경적 측면에서 폐기물에서 발생하는 (주로 유해)폐기물 내 오염물질로 인하여 인근 거주민이나 생태계가 입는 환경적 피해 즉 위험도(Risk)를 평가하기 위해 위해성평가(Risk Assessment)를 적용할 수도 있다. 이 기법 독립적 수행 혹은 다른 기법(예: LCA)과의 연동 운영 모두 가능하다²⁸⁾. 참고로 폐기물의 유해성(혹은 독성)은 폐기물 자체의 특성으로 간주되어 유해성분별 기준 데이터나 별도의 독성(유해성)평가를 통해 파악가능하지만 위해성은 폐기물 유해성분의 수준별 수용체(Receptor)내 반응(Dose-response Relationship) 및 해당 성분이 수용체(폐기물 인근 거주민이나 생태요소)까지 도달하는 노출(Exposure) 경로 및 수용체와의 노출빈도/강도도 고려한다. 이는 위해성평가 실시를 위해서는 폐기물의 유해성에 대한 정보 뿐 아니라 원칙적으로 노출정보 즉 폐기물 및 수용체의 시공간적 분포와 전달경로 등이 예측되어야 한다^{28,29)}.

4. 폐기물 수출입 영향분석 기법 선정 및 수행 전략 사례

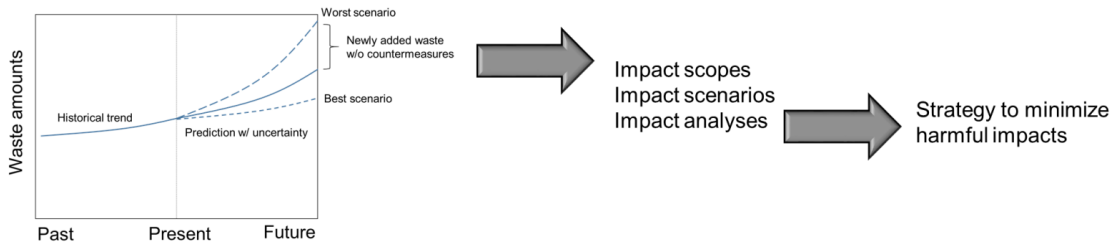
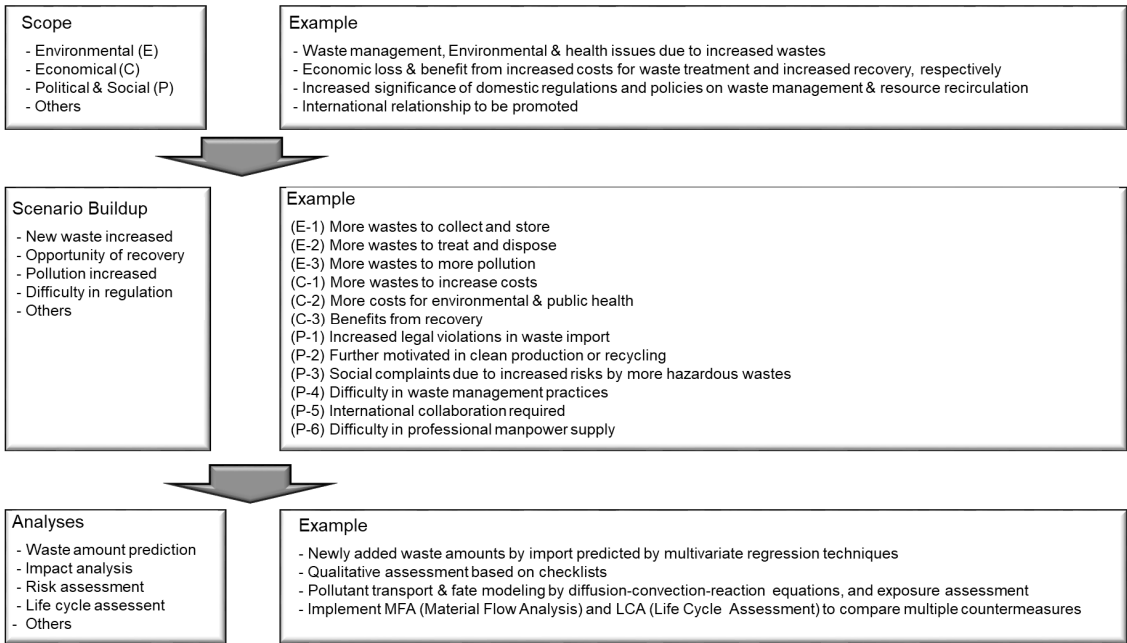
본 연구에서는 소개된 기법을 토대로 유해폐기물의 국가간 이동 흐름 변화가 해당 국가내 폐기물 관리에 미치는 영향 분석 전략을 구축하고자 한다. 이는 국제정세 측면에서, 바젤협약의 개정안으로 인한 선진국에서 후진국으로의 폐기물 수출 규제나 중국 및 동남아시아 국가들의 우리나라 폐기물 수입금지 혹은 규제가 강화됨을 전제한다. 또한 이러한 폐기물 무역환경은 국내 폐기물의 수출은 어렵고 다른 선진국 폐기물의 국내유입은 증대되어 국내 폐기물양이 증대되는 상황을 전제할 수 있다. 이러한 조건 하에서 국내 폐기물 시장 및 다양한 측면에서의 영향분석 전략을 제시하고자 한다.

폐기물 수입량이 늘 경우 국내 시장이 받는 영향을 시나리오 형태로 제시하면, 우선 폐기물 관리 및 환경 측면(E)에서 (E-1) 국내 유입폐기물 통관/운반/저장 부담 증

가; (E-2) 처리/회수 및 최종처분(매립) 시설로의 폐기물 유입량 증대 및 처리/회수/처분 부담 증가; (E-3) 유해성분 함유 수입폐기물의 방치 혹은 투기로 인한 대기/수질/토양오염 및 인간/생태계 건강 위협 등이 있을 것이다. 경제적 측면(C)에서는 (C-1) 폐기물 총 운반/저장 및 처리/회수/최종처분 비용 증가; (C-2) 환경오염방지 및 보건비용 증가; (C-3) 폐기물내 유기물질 포함시 자원회수 이익; (C-4) 폐기물 관련 사업 매출증가로 인한 경제적 가치 상승 등이 있을 수 있다. 한편 정책이나 법적, 사회적 측면(P)에서는 (P-1) 폐기물 관련 불법수입, 통관/유통/처분시 폐기물 조성이나 분류항목 등의 운영미숙, 허위기재나 미신고 우려; (P-2) 청정생산, 재활용 및 자원순환 기술개발 및 관련 투자 마인드 증가; (P-3) 폐기물 유입/방치 및 유해성과 오염위해성으로 인한 인근 주민 불안과 민원증가; (P-4) 기존 폐기물 관리 혹은 재활용 규제(자발적협약, 생산자책임재활용제도, 보증금 제도 등) 불법/편법 운영 우려 증대 (P-5) 폐기물 무역 당사국의 협약이나 국제협력(개발도상국내 효율적 오염방지 및 재활용 기술 지원, 선진 폐기물 수출과 폐기물 감시협업) 제의; (P-6) 관련 전문인력 Pool 확충 및 교육/홍보 요구 등을 예상할 수 있다. 이와 같은 단계별 시나리오를 Table 2에 정리하였다.

평가 방법으로는 (1) 우선 유입폐기물 및 이로 인해 국내에 존재하는 총 폐기물량을 합리적으로 예측하고 국내 폐기물 관련 시설 현황을 파악하면 시나리오 E-1과 E-2를 평가할 수 있으며, 폐기물내 유가성분 및 폐기물 관리의 가격(비용 및 수익)구조 등을 파악하면 C-1, C-3, C-4도 어느 정도 평가할 수 있을 것이다. 반면, 시나리오 E-3와 C-2는 폐기물의 양과 유해성분 아니라 노출평가(노출경로 및 수용체 흡수량파악) 등을 포함한 위해성평가를 적용하는 것이 원칙이다. 문제는 위해성평가 중에 포함된 노출평가를 제대로 수행하려면 오염원인 유해폐기물과 피해를 입는 수용체(Receptor: 오염원 인근 거주민 및 생태요소)의 시공간적 분포가 먼저 예측되어야 한다. 이러한 평가는 상기 물질흐름 혹은 경제성 평가 이외에도 Davis et al.의 연구에서²⁰⁾ 소개된 지리적 교통접근성 및 토지이용 등 다양한 측면을 고려하여 수행되어야 하기 때문에 평가자 입장에서는 부담이 될 수도 있을 것이다. 이 경우 기존의 위해성 대신 폐기물내 유해성분 종류 및 함량 등을 위주로 한 유해성(독성)을 중점적으로 고려하고, 노출경로 및 폐기물/수용체 등의 시공간적 분포 등은 적절한 가

Table 2. Demonstration of the analysis procedure on the impacts of increased waste imports to domestic waste management



1. Waste amount estimation & prediction
2. Defining impacts
3. Extract countermeasures for each impact

Fig. 1. A procedure to predict waste amount trends¹¹⁾, and organize impact assessment and establish the strategy to respond the potential impacts.

정을 통해 보다 단순화된 위해성 평가기법을 개발하는 방안도 생각해 볼 수 있다²⁹⁾. 한편 정책이나 법적, 사회적 시나리오(P)의 평가는 비록 단기적이라고 해도 환경이나 경제측면보다는 객관화 및 정량화 측면에서 불확실성이 커 전문가 워크샵이나 자문 등을 통한 정성적 평가기법을 적용하고, 예전 유사 사례에서의 정량적 정보 등을 참조하여 정량평가기법의 활용을 고려할 수도 있을 것이다.

이러한 분석결과를 통해 폐기물 수출입 등 흐름이 국내 폐기물 관리 및 관련 산업 전반에 미치는 영향을 광범위하고 심도 있게 파악할 수 있으며 그에 대응하는 해결책도 보다 용이하게 도출될 수 있다. 일례로 중국의 경우와 같

이 개발도상국의 폐기물 수입금지조치가 다른 국가로 확대된다면, 우리나라와 다른 선진국의 폐기물 수출은 줄고 그에 따라 폐기물의 국내 적체가 심화될 것이다. 더구나 기존에 개발도상국으로 수출되었던 폐기물까지 우리나라로 유입될 경우 국내 폐기물량은 더더욱 많아질 것이다. 이는 일차적으로 국내 폐기물 취급(통관/운반/저장) 및 처리/회수에 부담을 주게 되는데 특히 기존에 취급 혹은 처리 최대용량대비 실제 취급/처리량이 높은 시설의 경우에 해당 시설확장이나 인근지역의 폐기물의 적치 문제를 겪을 수 있으므로 용량 및 가동률에 따라 시설 혹은 적치공간의 확장이라는 대응책이 요구된다. 또한 폐기물의 유해

성분의 취급/처리/회수로 인한 국내 환경오염의 증대에는 오염 Hotspot의 예측 및 감시와 기오염지역의 처리가 요구된다. 경제적 측면에서는 비용과 편익이 구분되는데 비용측면에서는 증대된 폐기물량으로 인한 취급/처리/회수 비용 증가와 환경오염으로 인한 환경관리 및 보건비용이 증가하므로 이에 대한 공공/민간차원에서의 지원이 필요할 수 있다. 한편, 유기물질이 많은 폐기물을 적극수입하고 청정회수기술을 통해 유기물질 회수이익의 증대와 그에 따른 관련 사업의 활성화를 도모해야 한다. 마지막으로 정책적/법적/사회적 측면에서 폐기물 불법 흐름의 철저한 감시 및 감독, 폐기물 청정관리 활성화 유도, 환경오염으로 인한 민원 예방 및 대응, 폐기물 편법관리 예방, 폐기물 국제협력 안전 활성화 그리고 관련 인력 및 교육/홍보의 장 마련 등의 대응책이 마련되어야 한다. Fig. 1에 본 연구에서 도출된 폐기물 발생추세 평가 및 예측, 영향 분석 및 전략 도출에 대한 방안을 도식화하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 폐기물 수출입 변화 등 폐기물 관리 여건변화가 국내 폐기물 수거, 처리, 재활용 및 최종처분 관련 산업에 어떠한 영향을 끼치는지 평가하기 위한 다양한 분석기법을 검토하였다. 우선 여건 변화로 인한 향후 국내에 유입될(혹은 발생될) 폐기물량 및 전체 폐기물량 등을 예측하여야 한다. 이는 과거 폐기물 발생 추세와 원단위를 이용하여 또는 추측하여 예측할 수 있다. 또한 폐기물 무역 즉 국제적 흐름이나 거래의 경우 주로 수출국과 수입국간의 소득격차로 인한 인건비 및 환경규제의 차이 등 경제적 및 법률적 측면의 인하여 폐기물 물질흐름이 발생한다고 알려져 있다. 그러나 이를 지역적 측면에서 상세히 분석하면 상기 경제적 법률적 요인으로 인한 물질흐름이나 규제환경 이외에도 거주민의 직업, 실업률, 연령 분포, 인구, 교육환경과 더불어 교통 접근성, 지역정책, 기술환경, 산업구조 등 다양한 요인이 관련되어 있으며 이는 기존의 개발도상국내 집중된 재활용산업지역의 발생 및 성장에서 거론되었다. 영향분석은 폐기물 관리 여건변화로 인한 국내 폐기물 산업이 받을 수 있는 영향을 세부적으로 목록화하여 시나리오의 형태로 도출하는 것부터 시작하는 것이 효과적이다. 이 후 도출된 시나리오를 기반으로 정성적 혹은 정량적 분석을 수행하게 되는데 비교

적 불확실성이 큰 정세에서는 대체로 정성적 기법을 우선적으로 적용해 보고, 불확실성이 감소하면 전과정평가 등 정량적 평가를 통해 점진적 변화를 예측해 보는 방식이 바람직할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 상기 검토한 영향분석기법을 검토로 최근 국내 폐기물 수출입 여건 변화에 따른 영향분석전략을 제시하였다.

References

1. Lin, S., Man, Y.B., Chow, K.L., et al., 2020 : Impacts of the influx of e-waste into Hong Kong after China has tightened up entry regulations. *Crit. Rev. Env. Sci. Rec.*, 50(2), pp.105-134.
2. Giannis, A., Chen, M., Yin, K., et al., 2017 : Application of system dynamics modeling for evaluation of different recycling scenarios in Singapore, *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, 19, pp.1177-1185.
3. Choi, Y., Choi, H-J., Rhee, S-W, 2018 : An improvement plan on the management of transboundary movement of waste in Korea, *J. Korea Soc. Waste Manag.*, 35(3), pp. 202-211.
4. Korea Environmental Institute, 2019 : An analysis on the Transboundary Movements of Wastes and their effect on Korea, KEI report 2019-03.
5. National Institute of Environmental Research, 2018 : Study on the performance improvement of domestic management system for effective control of transboundary movements of waste, NIER-RP2018-087.
6. Korea Ministry of Environment, 2019 : Study on preparation of enhancement of domestic management system of the waste in international trade: Final report, KME report.
7. Korea Ministry of Environment, 2006 : Volume-based waste fee system in Korea, *Korea Environmental Policy Bulletin*.
8. Korea Environmental Institute, 2014 : Resource circulation promotion plan through industrial waste target management system (I), KEI report 2014-09-04.
9. URL (accessed in May 1 2020): <https://www.hankyung.com/economy/article/202004100527i>
10. Korea Environmental Institute, URL (accessed in May 1 2020) : <http://www.mof.go.kr/article/view.do?menuKey=376&boardKey=10&articleKey=10434>
11. Amy L. Brooks, Shunli Wang, Jenna R. Jambeck, 2018 : The Chinese import ban and its impact on global plastic waste trade, *SCI ADV*, 4,1-7 DOI: 10.1126/sciadv.aat0131
12. URL (accessed in May 1 2020) : <https://jmagazine.joins.com/economist/view/326676>
13. Basel Convention URL (accessed in May 1 2020) : <http://www.basel.int/TheConvention/Amendments/Proposedamend>

- ments/tabid/7906/Default.aspx
14. Parajuly, K., Fitzpatrick, C., 2020 : Understanding the impacts of transboundary waste shipment policies: the case of plastic and electronic waste, *Sustainability*, 12, pp. 2412-2425.
 15. Fauré, E., Arushanyan, Y., Ekener, E., et al., 2017 : Methods for assessing future scenarios from a sustainability perspective, *Eur. J. Futures Res.*, 5(17), <https://doi.org/10.1007/s40309-017-0121-9>
 16. Arushanyan, Y., Björklund, A., Eriksson, O., et al., 2017 : Environmental assessment of possible future waste management scenarios, *Energies*, 10(247), doi:10.3390/en10020247
 17. Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K-H., et al., 2006 : Scenario types and techniques: Towards a user's guide, *Futures*, 38, pp.723-739.
 18. Um, N., Kang, Y-Y., Kim, K-H., et al., 2018 : Strategic environmental assessment for effective waste management in Korea: A review of the new policy framework, *Waste Manage.*, 82, pp.129-138.
 19. Coelho, L.M.G., Lange, L.C., Coelho, H.M.G., 2017 : Multi-criteria decision making to support waste management: A critical review of current practices and methods, *Waste Manag. Res.*, 35(1), pp.3-28.
 20. Davis, J-M., Akese, G., Garb, Y., 2019 : Beyond the pollution haven hypothesis: Where and why do e-waste hubs emerge and what does this mean for policies and interventions?, *Geoforum* 98, pp.36-45.
 21. Sudokwon Landfill Site Management Co., 2005 : Installation and management guideline for waste landfill, Report: 2005-11-040-01.
 22. Jambeck, J.R., Andrady, A., Geyer, R., et al., 2015 : Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, pp. 768-771.
 23. URL: (accessed in May 1. 2020) <https://comtrade.un.org/>
 24. Um, N., Oh, J-K., Kim, K-H., et al., 2019 : Current issues and perspectives on transboundary movement of wastes in Korea, *International Symposium of Electronic Waste and End-of-Life Vehicles*, Jeju, Korea, May 19-22.
 25. Breivik, K., Armitage, J.M., Wania, F., et al., 2014 : Tracking the global generation and exports of e-waste: do existing estimates add up? *Environ. Sci. Technol.*, 48(15), pp.8735-8743.
 26. Baldé, C. P., Forti, V., Gray, V., et al., 2017 : *The Global E-waste Monitor-2017*. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna.
 27. URL (accessed in May 1 2020) : <http://www.suniltelecom.com/upload/bb/Notice/%EC%A0%84%EA%B3%BC%EC%A0%95%ED%8F%89%EA%B0%80%EA%B0%9C%EC%9A%94.pdf>
 28. Walser, T., Bourqui, R.M., Studer, C., 2017 : Combination of life cycle assessment, risk assessment and human biomonitoring to improve regulatory decisions and policy making for chemicals. *Environ. Impact Assess. Rev.*, 65, pp.156-163.
 29. Ji, S., Jo, H., Shin, H., et al., 2019 : A strategy for the risk assessment of abandoned mine filler materials, *J. of Korean Inst. of Resources Recycling*, 28(4), pp.59-64.

이상훈

- 퍼듀대학교 Biological Engineering 박사
 - 현재 계명대학교 환경학부 환경과학전공 조교수
 - 당 학회지 제27권 6호 참조
-