

유기성 폐자원화 기술개발 투자의 경제적 파급효과 분석

The Economic Effects of the Investments on Organic Waste-to-Energy Technology Development: An Input-output Analysis

조용철* · 백민지** · 유승훈***

I. 서론

기후변화에 대응하기 위한 수단으로 신재생에너지에 대한 관심이 높아지면서 버려지던 폐기물이 자원으로 활용되고 있다. 자원으로 활용되는 폐기물 중 유기성 폐기물은 바이오가스화 등을 통해 에너지로 전환되며, 축산분뇨, 음식물 쓰레기, 하수슬러지 등이 대표적이다. 즉, 일반폐기물 및 산업폐기물 등에서 유기화합물이 존재하는 폐기물을 활용하여 자원화하는 것을 유기성 폐자원화라 한다.

런던 협약에 따라 2012년에 가축분뇨·하수슬러지의 해양투기가 금지되고 2013년에는 음식물쓰레기의 해양투기가 금지되면서 효과적인 유기성 폐기물 처리 방안이 요구되고 있다. 이에 따라 정부는 유기성 폐자원화 시설 중 바이오가스화 활용시설을 2009년 45개소에서 2013년 61개소로 확대하여 유기성 폐기물을 처리하고 있다(환경부, 2014). 그러나 현재 국내에서 운영 중인 유기성 폐기물 자원화 시설은 낮은 효율과 운전 및 유지·관리 기술 부족으로 정상적인 가동이 어려운 상황이다(국회예산정책처, 2012). 따라서 폐기물 매립량을 획기적으로 줄이면서 보다 안정적인 자원순환사회를 구축하기 위해서는 유기성 폐자원화 기술개발을 위한 투자가 필요한 시점이다.

이에 따라 본 연구는 산업연관분석(input-output analysis) 중 수요유도형 모형(demand-driven model)을 적용하여 유기성 폐자원화 기술개발 투자가 가져올 경제적 파급효과를 분석하고자 한다. 산업연관분석을 이용하면 유기성 폐자원화 부문의 변동이 생산, 부가가치, 고용 등 국민경제에 미치는 각종 파급효과를 구분하여 분석할 수 있다. 이러한 분석과정에서 유기성 폐자원화 부문을 외생부문으로 취급하는 외생화(exogeneous specification) 분석을 통해 유기성 폐자원화를 중심으로 경제적 파급효과를 계량화한다. 본 연구의 이후 구성은 다음과 같다. 제 2절에서는 연구방법론인 산업연관분석 및 수요유도형 모형을 소개한다. 제 3절에서는 사용한 자료에 대해 설명한 후, 제 4절에서는 분석결과를 제시한다. 마지막 절은 결론으로 할애한다.

II. 연구방법론: 산업연관분석

1. 산업연관분석의 개요

본 논문에서는 유기성 폐자원화 기술개발 투자의 경제적 파급효과를 분석하기 위한 연구방법론으로 산업연

* 조용철, 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과 석사과정, 010-3101-7366, yccho@seoultech.ac.kr

** 백민지, 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과 석사과정, 010-6640-2190, mjbaek@seoultech.ac.kr

*** 유승훈, 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과, 010-6208-8762, shyoo@seoultech.ac.kr

관분석을 적용한다. 산업연관분석은 국민경제 전체를 포괄하는 산업연관표를 이용하여 각 부문의 생산 활동에 따른 부문간 상호연관관계를 수량적으로 파악하는 방법이다(Ghosh, 1958). 또한 산업연관분석은 산출량 결정에 대해 선형인 부문간 모형의 성격을 가지며 한 부문의 생산수준 변화가 다른 부문의 생산물에 대한 연속적인 수요를 어떻게 변화시키는지 분석할 수 있게 함으로써 거시적 분석이 미치지 못하는 산업간 연관관계의 분석에도 유리하다(Bulmer-Thomas, 1982; Miller et al., 1989; 강광하, 2000). 특히 산업연관분석은 투입요소의 판매와 구매사이의 연관관계를 강조하는 일반균형모형이므로, 경제적 영향을 전반적으로 예측하고 분석하는 데 유용한 방법이다(Miller and Blair, 2009).

2. 산업연관분석 기본모형

특정 재화는 다른 산업의 중간재로 공급되면서 또한 최종재로 소비되기도 한다. 산업연관표를 행으로 보면 이러한 관계를 파악할 수 있다. 편의상 i 부문에서 j 부문으로 투입되는 중간재의 양을 z_{ij} 라 정의하고, 최종재로 소비되는 양을 Y_i 라 하면 i 부문의 총산출은 중간수요와 최종수요의 합으로 구성된다. 경제 내에 n 개의 부문이 있을 때, 수입은 무시하고 국내에서의 거래관계에만 국한하여 이상의 관계를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$X_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} + Y_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + Y_i \quad (1)$$

여기서 a_{ij} 는 j 부문으로의 총투입 중에서 i 번째 부문에서 투입된 것의 비중($a_{ij} = z_{ij} / X_j$)으로 정의되며, 이를 투입계수(input coefficient) 또는 기술계수(technical coefficient)라고 한다. 그 이유는 이 비율이 각 부문의 투입구조 또는 기술구조를 나타내기 때문이다. 즉, j 부문의 총투입 중에서 i 부문에서 투입된 것의 비중은 그 부문 특유의 기술적 특성을 반영한다(Yoo & Yoo 2009).

이제 산업연관표를 열의 관점에서 살펴보면, j 부문의 총투입(X_j)은 중간투입(z_{ij})과 부가가치(W_j)의 합으로 구성된다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$X_j = \sum_{i=1}^n z_{ij} + W_j = \sum_{i=1}^n r_{ij} X_i + W_j \quad (2)$$

이때, r_{ij} 는 i 부문의 총 산출 중에서 j 부문으로 투입된 중간재의 비중($r_{ij} = z_{ij} / X_i$)을 의미하는데 이를 흔히 산출계수(output coefficient)라고 한다.

2. 수요유도형 모형

1) 생산유발효과

수요유도형 모형에서 분석대상인 유기성 폐자원화 부문(이하 K 부문)을 외생화하여 행렬로 나타낸 뒤 ‘ e ’란 상첨자를 붙여 생산유발효과를 식으로 정리하면 식 (3)이 된다.

$$\Delta X^e = (I - A^e)^{-1} (A_k^e \Delta X_K) \quad (3)$$

여기서, ΔX^e 는 유기성 폐자원화 부문을 제외한 다른 부문의 산출량으로서 유기성 폐자원화 부문의 산출 증감량을 의미한다. $(I - A^e)^{-1}$ 는 투입계수행렬에서 유기성 폐자원화 부문이 포함된 부분을 제외하고 작성한 레온티에프 역행렬을 나타낸다. A_K^e 는 투입계수행렬로서 A 에서 유기성 폐자원화 부문을 나타내는 열벡터 중 유기성 폐자원화 부문만 제외한 열벡터이며, X_K 는 유기성 폐자원화 부문의 산출액을 나타낸다(진세준 외, 2012).

식 (3)은 유기성 폐자원화 부문을 중심으로 생산유발효과를 나타내는 식으로서 유기성 폐자원화 부문의 산출이 경제 내 다른 부문의 산출에 미치는 직·간접적인 효과를 나타낸다. 또한 유기성 폐자원화 기술개발의 투자에 따른 산출효과 뿐만 아니라 타 산업 부문의 생산을 유발시켜 최종적으로 산업 전체 생산을 촉진 하는 연관효과가 있기 때문에 식 (3)으로부터 유기성 폐기물 자원화 부문의 총 산출 또는 총 투자로 인한 파급효과를 구할 수 있다.

2) 부가가치 유발효과

최종수요가 발생함에 따라 국내생산이 유발되고, 부가가치의 창출은 생산 활동에 의해서 이루어지므로 부가가치 창출은 최종수요의 발생 때문이라고 할 수 있다. 즉 부가가치 유발효과는 최종수요의 한 단위 변화가 부가가치 부문에 미치는 파급효과를 나타낸 것이다. 유기성 폐자원화 부문의 산출액 증가가 타 부문에 미치는 부가가치 유발효과를 파악하기 위해 최종수요의 변동이 없다는 가정을 하고 유기성 폐자원화 부문을 외생화 하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta W^e = \widehat{A}_v^e (I - A^e)^{-1} (A_H^e \Delta X_H) \quad (4)$$

이때, \widehat{A}_v^e 는 부가가치계수의 대각행렬에서 유기성 폐자원화 부문을 제외한 행렬을 의미한다. 식 (4)를 통해 유기성 폐자원화 부문의 산출액 증가에 따른 부가가치 유발 효과를 구할 수 있다(한진택 외, 2012).

3) 취업유발효과

최종수요와 취업유발을 연결하여 취업유발효과를 분석하기 위해서는 취업계수와 생산유발계수를 기초로 취업유발계수를 도출해야 한다. 취업계수(n_i)란 일정기간 동안 생산활동에 투입된 노동량(N_i)을 총산출액(X_i)으로 나눈 계수($n_i = N_i / X_i$)로서 한 단위 생산에 직접 소요된 노동량을 의미한다. 투입된 노동량(N_i)은 한국은행에서 발표한 산업연관표 부속표에 포함되어 있는 고용표에서 알 수 있다. 즉, 유기성 폐자원화 부문을 외생화하면 식 (5)와 같이 표현된다.

$$\Delta N^e = \widehat{n}^e (I - A^e)^{-1} (A_H^e \Delta X_H) \quad (5)$$

여기서 N^e 는 유기성 폐자원화 부문을 제외한 각 부문별 취업자수를 나타내며 ΔN^e 는 그 변동량을 의미한다. \widehat{n}^e 는 취업계수 대각행렬에서 풍력발전산업 부문의 행과 열을 제외시키고 남은 행렬이다.

III. 분석자료

본 연구에서는 한국은행에서 가장 최근에 발표한 2013년 산업연관표(한국은행, 2015)를 이용하여 유기성 폐자원화 기술개발 투자의 경제적 파급효과를 분석한다. 한국은행에서는 5년 단위로 산업연관표를 작성한다. 이때 5년 단위로 작성되는 표가 실측표이고 그 이후로는 매년 연장표가 발표된다. 본 연구에서 사용한 2013년 산업연관표는 2010년 실측표를 기준으로 발표된 연장표이며 국내 산업을 384개 부문으로 분류한다. 분석을 위해 먼저 유기성 폐자원화가 한국은행 산업연관표 산업분류체계상 어디에 포함되어 있는지를 확인 할 필요가 있다. 따라서 유기성 폐자원화 기술개발 투자로 국내에서 생산이 늘어나는 부문을 2013년 산업연관표의 기본부문에 근거하여 유기성 폐자원화 부문으로 정의한다. 유기성 폐자원화 부문은 여러 에너지 산업 부문이 복합적으로 포함되어 있으므로, 2013년 산업연관표의 기본부문에서 관계가 있는 산업 부문을 도출하였다. 이에 따라 유기성 폐자원화와 관계가 있는 산업 부문인 '278. 신재생에너지', '279. 도시가스', '280. 증기 및 온수'를 도출하여 유기성 폐자원화 부문으로 설정하였다.

본 논문에서는 분석의 효과를 높이기 위해 한국은행 30부문 대분류 방식에 근거하여 유기성 폐자원 부문은 제16부문의 '전력, 가스 및 증기'에 포함되어 있기 때문에 이를 제31부문으로 분리해내어 재구성하였다. 재구성한 산업연관표에 수요유도형 모형을 적용하여 유기성 폐자원화의 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과를 분석한다. 또한 외생화 분석을 적용하여 다른 산업에 미치는 경제적 파급효과를 분석한다.

IV. 분석결과

본 논문에서 사용한 자료는 한국은행에서 가장 최근에 발표한 2013년 산업연관표이다. 유기성 폐자원화 부문의 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과를 추정한 결과는 <표 1>에 제시되어 있다.

먼저, 유기성 폐자원화 부문의 생산유발효과는 유기성 폐자원화 부문의 최종수요가 한 단위 증가하였을 때, 이를 충족시키기 위한 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 생산액 수준을 나타낸다. 분석 결과를 살펴보면, 유기성 폐자원화 부문의 최종수요가 1원 증가하였을 때 타 산업에서 0.0798원의 생산을 유발시키는 것으로 분석되었으며, 국민경제 전체에서는 1.0798원의 생산을 유발하는 것으로 나타났다. 부문별로 자세히 살펴보면 '화학제품'(7부문)의 생산유발효과가 0.0119원으로 가장 크며, 다음으로는 '석탄 및 석유제품'(6부문) 0.0073원, '도소매서비스'(19부문) 0.0066원으로 생산유발효과가 큰 것으로 분석되었다. 생산유발 효과가 가장 작은 부문으로는 '교육 서비스'(28부문)가 0.0001원으로 나타났다. 이와 같은 분석결과는 유기성 폐자원화 시설에서 생산되는 SRF, 바이오가스 등이 발전소의 연료로 사용되기 때문인 것으로 판단된다.

유기성 폐자원화 부문의 부가가치 유발효과는 유기성 폐자원화의 최종수요가 한 단위 증가하였을 때, 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 부가가치액 수준을 나타낸다. 유기성 폐자원 부문의 1원 생산 증가에 대한 분석결과 '도소매서비스'(19부문)의 부가가치 유발효과 0.0034원으로 가장 크며, '화학제품'(7부문) 0.0023원, '금속제품'(10부문) 0.0017원 순으로 부가가치 효과가 큰 것으로 나타났다. 부가가치 유발효과가 가장 작은 부문은 '교육 서비스'(28부문)으로 0.0000원 이었다. 아울러 유기성 폐자원화 부문의 총 산출에서 부가가치가 차지하는 비중은 0.1481원으로 분석되었다. 따라서 유기성 폐자원 부문의 1원 생산 증가는 국민경제 전체적으로 0.1739원의 부가가치를 유발한다.

마지막으로 취업유발효과는 유기성 폐자원화 부문에서 10억원 생산에 따른 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 취업자 수를 의미한다. 분석결과를 살펴보면, '도소매서비스'(19부문)이 0.0899명으로 취업 유발

효과가 가장 크며 다음으로는 ‘사업지원서비스’(26부문)이 0.0627명, ‘운송서비스’(20부문)이 0.0294명 순으로 분석되었다. ‘석탄 및 석유제품’(6부문)의 경우는 0.0005명으로 가장 낮은 취업유발효과를 갖는 것으로 분석되었다. 아울러 유기성 폐자원화 부문에서의 10억원 생산에 대한 취업자 수는 0.2144명이며, 국민경제 전체의 취업유발 인원은 0.6354명으로 분석되었다.

<표 1> Economic effects of the investment in organic waste-to-energy sector based on demand-driven model.

Sectors		Production-inducing effects		Value-added creation effects		Employment-inducing effects	
		Values	Ranks	Values	Ranks	Values	Ranks
1	Agricultural, forest, and fishery products	0.0004	26	0.0002	23	0.0102	12
2	Mined and quarried products	0.0028	10	0.0016	5	0.0095	14
3	Food, beverages and tobacco products	0.0008	23	0.0001	26	0.0022	25
4	Textile and leather products	0.0008	22	0.0002	24	0.0037	21
5	Wood and paper products, printing and reproduction of recorded media	0.0048	7	0.0013	11	0.0229	6
6	Petroleum and coal products	0.0073	2	0.0005	18	0.0005	30
7	Chemical products	0.0119	1	0.0023	2	0.0157	8
8	Non-metallic mineral products	0.0003	27	0.0001	28	0.0008	28
9	Basic metal products	0.0042	8	0.0005	17	0.0032	23
10	Fabricated metal products, except machinery and furniture	0.0055	4	0.0017	3	0.0141	10
11	Machinery and equipment	0.0050	5	0.0014	7	0.0156	9
12	Electronic and electrical equipment	0.0050	6	0.0013	8	0.0074	15
13	Precision instrument	0.0011	20	0.0003	21	0.0041	19
14	Transportation equipment	0.0011	19	0.0003	22	0.0023	24
15	Other manufactured products and outsourcing	0.0010	21	0.0004	19	0.0073	16
16	Electricity, gas, and steam supply	0.0025	12	0.0006	15	0.0038	20
17	Water supply, sewage and waste management, remediation service	0.0016	17	0.0007	14	0.0073	17
18	Construction	0.0004	25	0.0001	25	0.0035	22
19	Wholesale and retail trade	0.0066	3	0.0034	1	0.0899	1
20	Transportation	0.0026	11	0.0009	12	0.0294	3
21	Food services and accommodation	0.0015	18	0.0006	16	0.0264	4
22	Communications and broadcasting	0.0018	15	0.0008	13	0.0102	13
23	Finance and insurance	0.0032	9	0.0016	4	0.0177	7
24	Real estate and leasing	0.0018	16	0.0013	10	0.0066	18
25	Professional, scientific, and technical services	0.0023	14	0.0013	9	0.0262	5
26	Business support services	0.0024	13	0.0016	6	0.0627	2
27	Public administration and defense	0.0001	29	0.0001	27	0.0011	27
28	Educational services	0.0001	30	0.0000	30	0.0008	29
29	Health and social work	0.0001	28	0.0001	29	0.0021	26
30	Cultural and other services	0.0007	24	0.0003	20	0.0139	11
Impacts on other sectors		0.0798		0.0258		0.4210	
Impacts on own sectors		1.0000		0.1481		0.2144	
Total		1.0798		0.1739		0.6354	

V. 결론

본 연구에서는 유기성 폐자원화 기술개발 투자의 국민경제적 파급효과를 정량적으로 평가하였다. 유기성

폐자원화 부문은 신재생에너지 부문, 도시가스 부문, 증기 및 온수 부문으로 구성되며, 한국은행에서 가장 최근에 발표한 2013년 산업연관표를 이용하여 분석하였다. 또한 유기성 폐자원화 부문을 중심으로 분석하기 위해 유기성 폐자원화 부문을 별도의 외생적인 부문으로 다루는 외생화 방식을 사용하였다. 즉, 외생화 방식을 사용하여 유기성 폐자원화 부문의 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과를 자기산업 효과와 타산업 효과로 구분하여 분석하였다. 주요 분석결과는 다음과 같이 요약된다.

유기성 폐자원화 부문의 1원 생산 또는 투자가 타 산업에 미치는 생산 및 부가가치는 각각 0.0798원, 0.0258원으로 분석되었으며, 10억원 생산이 0.4210명의 취업을 유발하는 것으로 나타났다. 또한 유기성 폐자원화 부문 자체에 미치는 효과를 포함한 국민경제의 전체적인 효과는 1.0798원의 생산 및 0.1739원의 부가가치를 유발하는 것으로 분석되었다. 아울러 유기성 폐자원화 부문의 10억원 생산 또는 투자에 따른 국민경제 전체의 취업유발효과는 0.6354명으로 나타났다.

본 연구에서 정량적으로 분석한 국내 유기성 폐자원화 부문이 국내 경제에 미치는 파급효과는 다음과 같은 의미를 갖는다. 첫째, 한국은행 산업연관표 산업분류체계상에서 유기성 폐자원화 부문이 정의 되어있지 않다. 따라서 유기성 폐자원화 부문을 새롭게 정의하여 국내 경제에 미치는 파급효과를 분석한 것이기 때문에 의미가 크다. 둘째, 유기성 폐자원화 부문을 예측한 정량적 정보는 유기성 폐자원화와 관련된 부문의 경제적 파급효과를 사전적으로 예측하는데 활용 될 수 있다. 향후 후속 연구로는 우리와 여건이 비슷한 일본이나 유기성 폐자원화를 실시하고 있는 국가들을 대상으로 분석 결과를 비교한다면 유용한 시사점의 도출이 가능할 것이다.

참고문헌

- 강강화 (2000), “산업연관분석론”, 연암사.
- 국회예산정책처 (2012), “유기성폐자원 바이오가스화 사업 평가”.
- 진세준 (2012), “풍력발전 해외수출의 경제적 파급효과 분석”, 「에너지공학회지」, 21(3) : 311-321.
- 한건택 (2012), “집단에너지산업의 국민경제적 파급효과 분석”, 「에너지공학회지」, 21(1) : 47-54.
- 한국은행 (2015), “2013년 산업연관표”.
- 환경부 (2014), “2013 유기성 폐자원 에너지 활용시설 현황”.
- Bulmer-Thoms, V (1982), *Input-output Analysis on Developing Countries*, New York: Wiley.
- Ghosh, A (1958), “Input-output Approach to an Allocative System”, *Economica*, 25: 58-64.
- Miller, Ronald E (1989), “Frontiers of Input-output Analysis” in Karen Polenske, Rose, Adam Z (eds.) Oxford: Oxford university Press.
- Miller, Ronald E (2009), “Input-output Analysis: Foundations and Extension” in Blair’s Peter D 2nd (eds.), New Jersey: Prentice-Hall.
- Yoo Seung-Hoon (2009), “The Role of the Nuclear Power Generation in the Korean National Economy: An Input-output Analysis” in Yoo Tae-Ho (eds), *Progress in Nuclear Energy*, 51: 86-92.