

환경산업연관표 작성 및 분석방법에 관한 연구

지속가능한 성장, 지구온난화를 비롯한 환경오염문제, 기후관련국제협약 등이 우리사회 및 국제적으로 중요한 이슈로 대두되면서 경제발전, 에너지 이용, 환경보전의 관계에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 본 연구는 경제-에너지-환경을 대상으로 하는 분석연구의 데이터 이용제약을 완화하고 신뢰성을 증진시키는 방법으로 환경산업연관표를 제안하고, 이를 이용한 에너지 및 환경오염물질에 대한 투입산출 분석결과를 제시한다.

환경산업연관표는 산업연관표의 내용과 형태에 각 산업의 에너지이용 실태와 환경데이터를 삽입하여 확장시킨 것으로, 산업간 관계에 따른 에너지이용의 정도와 이에 따라서 배출되는 환경오염물질의 관계를 드러낸다. 이를 통해서 경제주체들이 의식하고 사용하는 에너지 외에, 부지불식간에 사용하는 에너지의 양과 에너지이용으로 배출시키는 환경오염물질의 통과·이동경로를 상세하게 파악할 수 있고, 에너지수요에 대한 구조분석, 폐기물과 오염물의 발생량 예측, 생산기술 개선과 대체생산 또는 재활용에 따른 효과분석 등을 가능하게 한다.

본 연구에서는 기후변화협약과의 관계, CO₂ 관련자료들의 축적 정도, 데이터이용의 용이성, 해외환경산업연관표들의 사례 등에 비추어 CO₂ 만을 대상으로 하여 우리나라의 환경산업연관표 2000을 작성하였다. 그리고 이를 이용하여 우리나라의 산업별 CO₂ 발생량, 환경원단위, 유발 CO₂ 발생량 등을 추정하고 비교분석하였다.

* 본고는 이화여자대학교 경제학과 김은경 교수가 집필하였음. 본고의 내용은 집필자의 개인 의견으로 한국은행의 공식견해를 나타내는 것이 아니며 2회에 걸쳐 게재할 예정이다

<p>I. 서론</p> <p>II. 환경산업연관표의 정의와 구성</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 환경문제의 대두 2. Leontief 모형에 의한 환경문제 구조 3. 지속가능발전을 위한 환경산업연관표의 필요성 4. 환경산업연관표의 형태 5. 환경산업연관표의 기본구조 6. 일본의 환경산업연관표 <p>III. 우리나라 환경산업연관표 2000 작성 및 분석</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 분류표 2. 기본거래표 	<ol style="list-style-type: none"> 3. 에너지관련표 4. 환경오염물질(CO₂) 발생량 추정 5. 우리나라 환경산업연관표 2000을 이용한 분석 <p>IV. 우리나라의 환경산업연관표의 시계열(1990-1995-2000) 분석</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 국민경제의 CO₂ 배출구조의 변화 2. 부문별 CO₂ 배출구조의 변화 3. 구조변화에 따른 유발 CO₂ 배출량의 시계열 변화 <p>V. 결론</p>
--	---

I. 서론

경제성장과 환경보전을 동시에 달성하는 지속적 성장(sustainable development)의 개념은 이미 오래전부터 논의되어 오고 있다. 환경보전과 경제성장의 양립이 이미 오래 전부터 논의되어 왔음에도 불구하고 그 양자를 동시에 달성하는 것이 어렵다는 인식도 널리 확산되어 있는 점에 기초하여 볼 때에 지속적 성장이 얼마나 어려운 과제이면서 절실한 과제인가를 가늠할 수 있다.

부(負)의 재화의 발생이 이른바 공해로서 생활환경을 악화시키거나 또는 사회적 효용수준을 저하시킨다는 점은 1960년대 후반부터 인식되기 시작하였다. 이러한 인식이 점차로 확대되면서 1960년대 이후에는 개별기업, 가계, 경제사회 전체적으로도 생산·유통·소비의 각 단계에서 발생하는 부의 재화의 저감 또는 억제 의 필요성이 커졌다.

각 국가들은 자신들이 처한 환경과 상황의 차이 때문에 환경문제에 대해서 서로 다른 시각을 갖는다. 선진국과 같이 경제성장을 어느 정도 달성한 나라는 경제성장보다는 환경보전을 우선시하기 쉽고, 이에 비해 국민소득과 총생산을 증가시키는 것을 우선시하는 개발도상국이나 후진국의 경우에는 환경보전보다 경제성장에 초점을 맞추기 쉽다. 우리나라 역시 1970년대부터의 경제성장 속에서 환경 악화를 초래하였고, 1990년대부터 본격적으로 환경문제를 논의할 때까지 환경문제는 경제성장을 달성하는 과정 속에서 크게 주목받지 못했다. 그러나 2000년대에 들어서면서 환경문제는 커다란 이슈로 자리를 잡았고, 현재의 우리나라의 입장은 지속적인 경제발전을 이루어야 하며, 동시에 환경문제도 중요시해야 하는 상황이라고 할 수 있다.

세계의 여러 나라들은 환경의 중요성을 인식하고 환경문제를 심각하고 다루고 있다. 그리고 세계 주요국은 환경문제에 적극적으로 대응하기 위하여 다양한 형태의 정책들을 사용하고 있다. 특히 주요 선진국들이 직면하고 있는 기후변화협약은 각 국의 온실가스저감의 의무적 이행을 내용으로 하며, 국제적인 이산화탄소(CO₂) 저감 대책으로서 공동이행제도, 배출권 거래, 청정개발체제 등을 내용으로 하는 교토메카니즘이 모색되어 실행되고 있으며, 이를 위한 다양한 실행방안, 구체적 정책, 대응책 등이 논의되고 있다.

그러나 많은 논의와 연구에도 불구하고 구체적인 정책이 더디어지고 있다. 이러한 원인의 한 가지는 각 국의 에너지절약기술의 실태, 환경오염 현황, 구체적인 CO₂ 저감의 효과를 실증적으로 분

석하기 위한 기초데이터들이 갖추어져 있지 않기 때문이다. 예를 들어 교토의정서의 교토메카니즘에서 언급하고 있는 공동이행제도, 배출권 거래, 청정개발체제 등과 같은 것이 우리나라 및 다른 국가에 도입되었을 때에 어떠한 결과를 가져오는가, 그리고 구체적인 CO₂ 저감을 위한 수단으로 탄소세나 에너지세 등을 도입하였을 때에 국내·외의 경제성장에 어떠한 영향을 미치는가를 판단하여야 이러한 시책들의 도입 여부를 판단할 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 산업연관표와 환경을 접목한 환경산업연관표를 우리나라의 2000년을 대상으로 하여 작성한다. 이를 통해서 우리나라의 경제 내의 경제주체간 및 산업간의 상품흐름에 수반되는 환경오염물질의 흐름을 이해할 수 있게 된다. 그리고 나아가서는 환경오염물질 저감을 위한 시책이 어느 산업 및 어느 경제주체를 대상으로 하여 이루어져야 하는가를 명확하게 할 수 있으며, 우리나라의 경제주체들이 환경오염문제에 보다 적극적으로 대응할 수 있는 방법을 제시할 수 있다.

환경산업연관표라는 개념은 경제활동에서 배출되는 모든 오염물질을 포함하는 개념이므로 대상으로 하는 오염물질은 그 배출대상을 대기, 수질, 토양 등으로 하고 있으며 다각적이라고 할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 기후변화협약과의 관계, 대기오염의 심각성, CO₂ 관련자료들의 축적 정도, 데이터이용의 용이성, 해외의 환경산업연관표들의 사례 등에 비추어 CO₂ 만을 대상으로 하여 추정을 하고자 한다. 재활용제품, 각종 폐기물, 수질오염물질, 토양오염물질 등과 같은 보다 다양한 오염물질에 대한 관련자료들이 이용가능하게 되면 환경산업연관표의 대상범위를 보다 확대하여

상세한, 그리고 진정한 의미의 환경산업연관표를 작성할 수 있을 것이다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 II 장은 환경산업연관표의 정의와 구성에 대한 것이다. 환경문제가 제기된 배경과 경과, 그리고 산업연관표에 환경을 접목시키는 과정을 정리하고, 환경산업연관표의 필요성에 대해서 언급한다. 더하여 환경산업연관표의 형태와 기본구조에 대해서 기술하고 해외의 환경산업연관표의 사례로서 일본의 환경산업연관표에 대해서 살핀다.*

제 III 장에서는 우리나라의 환경산업연관표 2000의 작성과 분석 결과를 제시한다. 에너지원들의 분류, 에너지관련데이터들의 작성 및 인용, 관련데이터들의 적용 방법 등을 논의한다. 우리나라의 에너지관련표 작성에 관련정보로서 사용되는 일본의 에너지투입량표 작성법과 일본의 산업별 연소비율 추정과정에 대해서도 기술한다. 그리고 환경오염물질(CO₂) 발생량의 추정도 살핀다. 여기에서 만들어진 우리나라 환경산업연관표 2000을 이용한 분석결과로서 환경원단위, 경제주체별 CO₂ 배출구조, 산업별 생산액당 CO₂ 발생량, 산업별 소비에너지열량당 CO₂ 발생량, 생산유발에 의한 CO₂ 배출량 등을 추정하여 분석한다.

제 IV 장은 우리나라의 환경산업연관표의 시계열(1990-1995-2000) 분석이다. 정부기관이 공표하는 우리나라의 환경산업연관표는 아직 없으나, 관련연구기관이 작성한 1985년 환경산업연관표,

* 초기의 연구계획에서는 해외의 환경산업연관표 사례로서 일본과 캐나다를 조사하고자 하였다. 조사과정에서 캐나다의 경우에 환경산업연관표는 작성된 적이 없고, 산업연관표의 산업분류와 지구온난화가스 통계(GHG inventory)의 산업분류가 동일하다는 점에 근거하여 두 개의 통계를 연계한 대기오염물질 통계표가 작성된 것이 있다고 밝혀졌다.

1990년 환경산업연관표와 1995년 환경산업연관표가 있다. 이 표들의 분류를 본 논문에서 작성한 환경산업연관표 2000과 비교하기 위하여 분류를 재조정하고 접속불변표의 형태로 만들어서 우리나라의 환경오염물질에 대한 시계열분석을 실시한다. 3개년도를 대상으로 하여 국민경제의 CO₂ 배출구조의 변화, 산업구조변화에 따른 CO₂ 배출구조의 변화, 유발 CO₂ 발생량의 변화를 비교분석한다. 그리고 제 V 장에서 결론을 내린다.

II. 환경산업연관표의 정의와 구성

I. 환경문제의 대두

산업혁명을 거친 이후로 현대의 경제사회는 원재료와 에너지자원의 역할을 담당시키기 위해서 대량의 천연자원을 생산과정에 투입하며 많은 양의 재화를 생산하고, 이를 유통하고 소비하는 과정을 거쳐서 이전에는 없었던 급속한 성장구조의 변화를 수반하는 발전을 이루어 왔다. 이러한 경제발전의 양상은 현재 선진국으로 평가되는 국가들이 경제발전의 과정에서 공통적으로 밟아온 길이라고 할 수 있으며, 산업연구소(産業研究所)*(2002)는 이러한 경제발전의 형태를 천연자원대량소비형으로 정의하기도 했다. 천연자원대량소비형의 경제발전은 생산, 유통, 소비의 과정을 통해서 총투입과 총산출로 측정할 수 있는 정(正)의 시장가치를 갖는 재화(goods)를 만들며, 이와 동시에 시장에서 평가할 수 없는 부(負)의 재화(bads)를 발생시키고 있다.

경제발전을 이루던 많은 국가들이 천연자원대량소비형의 경제발전형태를 지속적으로 촉진하고 추진하는 과정이었던 1970년대에는 2차례에 걸친 석유위기가 있었다. 석유위기는 고갈성 자원인 원유의 공급(수출)을 통해서 경제발전을 이루려던 산유국이 석유공급을 제한하여 원유시장에서의 원유가격을 급등시키면서 발생한 큰 혼란이었다. 산유국의 이러한 움직임은 재생산이 불가능한 자

* Keio Economic Observatory, KEO

원인 원유에 크게 의존하고 있었던 세계경제의 불안정 요인을 현저하게 드러나게 하였다.

2차례에 걸친 석유위기는 원유가격의 상승을 초래하였고, 동시에 선진국들에게 ① 에너지절약을 유도하는 기술적인 에너지효율의 개선, ② 원유 의존으로부터의 탈피를 목표로 하는 에너지원의 다양화의 2가지 현상을 유도하였다. 이러한 노력으로 오염물질을 줄이기 위해서 고정발생원인 공장에서 배출되는 오염물질과 이동 오염원인 자동차로부터 발생하는 오염물질을 다른 물질과 결합시켜 고정화해서 대기 중에 직접 배출시키지 않는 제거기술이 개발되는 등, 다각도에서의 기술개발로 에너지원의 연소과정에서 발생하는 대기오염물질의 배출계수는 감소하였으며 에너지절약이 적극적으로 추진되어 성과를 이루어졌다. 그러나 에너지절약이 추진되는 과정 속에서도 에너지의 소비는 지속적으로 증가하여 에너지총 소비량은 감소하지 않았고, 오히려 증대하는 경향이다. 이와 함께 증가하는 에너지소비가 만들어내는 폐기물들도 비례적이지는 않지만 지속적으로 증가하였다. 이러한 폐기물들은 생태계의 균형을 파괴하고 인체를 필두로 하는 생명체에 직접적인 피해를 주는 오염물질 외에, 지구환경의 온난화를 유발하는 물질들이 주로 많으며, 이에 기인하여 탄소화합물의 대량 배출이 문제시되고 있다.

폐기물을 경제적 가치가 없는 무가재(無價財)로 평가한다고 하더라도 현실적으로 가계부문과 산업부문이 배출하는 폐기물이 매년 증대하고 있는 현실은 경제체제의 큰 부담이다. 처리능력을 상회하는 폐기물의 배출량은 그 처리처분이 사회적으로 큰 문제이며, 경제적으로는 추가비용을 지속적으로 발생시키고 있다. 폐기물

이 문제화되는 것은 다음의 2가지 때문이다. 즉 ① 처리과정에서 유해물질이 발생하고, ② 처리과정에서의 기술적 문제와 관련되어 처리능력 및 설비를 확대하기 위한 한계비용이 매년 상승한다는 것이다. 이러한 문제점들 때문에 지속적으로 늘어나고 있는 폐기물이 사회적으로 보았을 때에 효율적으로 처리되지 못하고 대부분이 미처리된 상태로 누적되고 있으며, 이미 상당한 양의 폐기물이 누적되어 있다고 평가할 수 있다. 이러한 측면에서 폐기물의 누적은 명백하게 환경을 악화시키고 사회전체의 효율적인 자원배분을 왜곡한다. 이 점에서 폐기물은 단순한 무가재가 아니라 경제적으로도 사회적으로도 부(負)의 가치를 갖는 재화로 평가해야 한다.

선진국에서는 오래 전부터 부정적인 외부효과를 일으키고 부의 재화 즉, 환경오염물질들과 공해가 생활환경을 악화시키고 사회적 효용수준을 저하시킨다는 점은 인식하여 왔으며, 이러한 인식은 1960년대 후반부터 보다 큰 흐름을 형성하기 시작하였다. 사람들이 환경오염으로 인해서 많은 직·간접의 피해를 보고 생태계의 균형이 흐트러져 문제점들을 표면화시켰다. 그리고 환경문제의 심각성이 현저해지자 선진국에 이어 많은 개발도상국들도 이러한 점들을 인식하고 있다. 이에 1960년대 이후에는 개별기업, 가게, 경제사회 전체적으로도 생산, 유통, 소비의 각 단계에서 발생하는 부정적 외부효과와 부의 재화의 저감 또는 억제에 필요성이 강하게 제기되었다. 근래에 들어서 경제발전이 보다 앞선 나라의 경우에 다른 개발도상국이나 후진국에 비해서 상대적으로 환경에 대한 부하가 낮아지는 것으로 나타난다. 이러한 경향은 각 국의 경제발전과

환경부하의 관계에 적용해서 환경쿠즈네츠 역U자곡선가설*로 설명되고 있다.**

2. Leontief 모형에 의한 환경문제 구조

산업연관표는 거시경제를 나타내는 통계로서 국민경제와 지역경제의 전체적 규모와 구조를 반영하고 있다. 산업연관표를 이용하는 연구들은 주로 기준연도에서 산업의 생산활동이 중간재 소비를 통해서 다른 산업과 어떻게 관계를 갖고 있는가를 파악하였으며, 직접효과와 산업간 관계에 따른 간접효과를 포함해서 파악하는 것을 주요대상으로 하였다.

많은 경제분석이나 공공투자, 정부정책의 효과를 가늠하기 위해서 산업연관표가 다양하게 쓰이고 있지만, 최근에 산업연관표를 이용한 분석에서 활발한 움직임이 있는 것은 경제활동과 에너지문제 및 환경문제를 접목시키는 분야이다. 전통적인 형태의 산업연관표의 내용과 형태를 약간 변형하여 폐기물과 오염의 예측, 에너지소비구조의 분석, 생산기술의 개선과 대체생산의 효과분석, 재활용의 각종 효과분석 등이 가능해지고 있다.*** 이는 기존에 산업연관표를 이용하여 하던 연구들의 대상을 보다 확대하여 각 산업의 생산활동에서 쓰이는 에너지들과 생산과정에서 부산물로서 배출되

* 환경쿠즈네츠 역U자곡선가설이란, 경제발전의 전반에는 경제성장에 따라서 환경에 대한 부하가 높아지지만 후반이 되면 경제성장을 지속하면서 환경에 대한 부하를 저하시킨다는 것이다.

** 기존연구에서도 환경쿠즈네츠 역U자곡선가설의 검증결과는 다양해서 가설을 지지하는 경우와 함께 지지하지 않는 경우도 있다.

*** Tsuchii et al.(1996)

는 환경오염물질들이 중간재 소비를 통해서 다른 산업과 어떻게 관계를 갖고 있는가를 파악하고, 에너지소비와 환경오염물질 배출에 따른 직접효과와 산업간 관계에 따른 간접효과를 모두 포함해서 고려하는 것으로 구체화되고 있다.

Leontief는 1970년에 열린 “국제공해심포지움”에서 “공해의 파급과정과 산업구조 투입산출분석에 의한 접근”이라는 연설을 통하여 산업연관표에 환경의 개념을 처음으로 도입하였다. 여기에서 Leontief는 기존의 산업연관표에서 고려하지 않았던 공해의 발생량과 공해제거활동비용을 추가한 “공해분석용 산업연관표”를 제안하였다. 생산 및 소비과정에서 발생하는 대기오염물질에 주목하여 공해분석용 산업연관표를 만들어 공해제거비용을 측정하려고 하였으며, 이에 대한 분석체계를 제시하고자 하였다. 이를 통해서 Leontief는 생산활동과 공해발생의 관계, 공해방지활동의 비용, 공해방지활동이 생산활동과 산업구조에 미치는 영향 등에 관해 분석하려고 하였다.* “공해분석용 산업연관표”는 생산과정에서 투입된 화석연료 단위당**의 대기오염물질***의 발생계수를 산업별로 추계하여, 이를 기존의 Leontief의 모형에 첨부하는 형태를 갖는다.

<그림 1>에서 나타나듯이 Leontief의 모형에 의한 환경문제의 구도에서는 최종수요(외생)에서 출발하는 생산흐름이 생산구조와 소비구조의 구조파라미터를 경유해서 정의 재화와 부의 재화를 만든다. 한 경제주체 또는 한 국가는 정의 재화인 최종수요수준(총

* Kuroda et al.(1996)

** 칼로리단위로 환산한 에너지투입량이다.

*** 예를 들면 광산화를 등을 말한다.

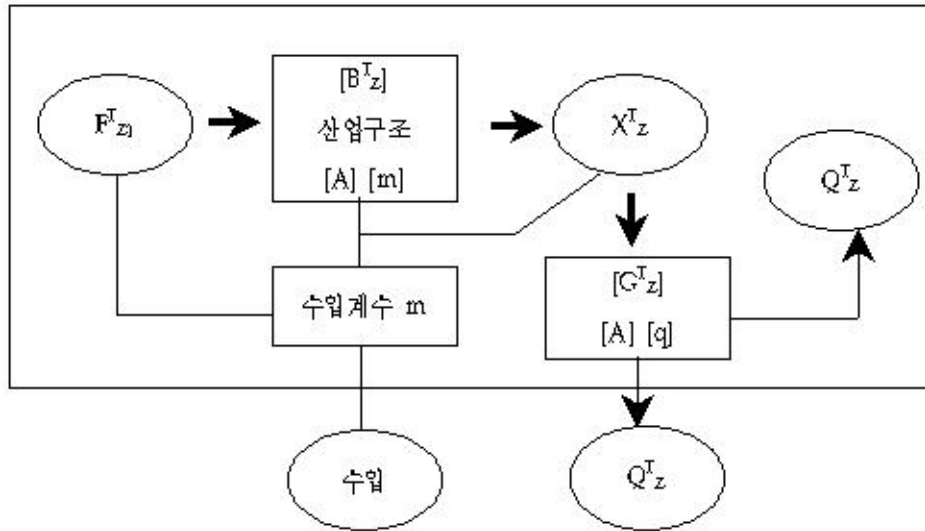
생산)과 환경을 악화시키는 부의 재화(Q^T)의 수준으로 자신의 효용수준을 결정하게 되고 효율적 선택을 하게 된다.

그러나 문제는 생산을 유지하고 효용을 극대화하려는 과정에서 정의 재화를 생산하면 필연적으로 부의 재화가 발생하고, 이 부의 재화들이 누적된다는 점이다. 따라서 정의 재화의 산출이 일정하고 최종수요의 수준이 일정하여도 늘어나는 부의 재화 때문에 최종적으로 효용수준은 낮아진다. 과거에는 생산에 따라서 발생하는 부의 재화의 부정적인 효과를 자연환경(생태계)이 갖고 있는 정화기능에서 흡수하였고, 경제주체들은 추가적인 비용을 부담하지 않고 경제생활을 영위하면서 효용을 만족시킬 수 있었다. 그러나 과학 및 기술수준의 발전에 힘입어서 생산이 급속하게 증대하면서 대량생산과 대량소비의 사회가 도래하였고, 자연환경의 정화기능을 상회하는 부의 재화가 발생되고 누적되어 정화되지 않는 부(負)의 효과가 증대되어 왔다.

대량생산과 대량소비의 사회 속에서 폐기물이라는 부의 재화의 문제가 심각해지고, 이러한 상황 속에서 자국의 경제가 지속적 성장(sustainable development)을 실현할 수 있는지의 여부가 중요한 이슈로 떠올랐다. 그리고 지속적인 성장을 위해서 어떠한 제도와 정책을 실시해야 하는가를 살피는 것이 중요성을 갖기 시작했다.

<그림 1>

Leontief의 모형에 의한 환경문제의 구도



3. 지속가능발전을 위한 환경산업연관표의 필요성

인류가 경제발전을 하는 과정에서 지구온난화가스는 기하급수적으로 축적되었다고 할 수 있다. 경제성장과 생활수준의 사이에는 정의 상관관계가 있다는 것에 기초하여 선진국의 대열에 들어 있는 모든 국가들이 공업화의 과정을 통하여 경제발전을 촉진하는 경제성장정책을 추진하였다. 그리고 이후의 개발도상국 및 후진국들도 선진국들이 밟은 경제발전과정을 걷고 있으며, 걸으려 하고 있다. 이들 국가들이 고려하는 경제발전의 과정이 근대적 공업화이다. 그리고 이 근대적 공업화는 다량의 에너지수요와 이를 위한

화석연료의 대량사용이라는 특징을 갖는다.

근대적 공업화를 달성하는데 사용된 에너지들의 대부분은 지구 온난화가스인 이산화탄소를 다량으로 배출하는 화석연료로 충당되었다. 이 화석연료들을 연소하여 그 결과로 지구온난화가스의 배출이 증가하였고 지구온난화를 가속화시키게 되었다. 대기오염물질들 중에서 지구온난화에 영향을 미치는 것들은 지구온난화가스(Greenhouse Gas, GHG)라고 한다. 즉 지구온난화*를 유발하는 가스이며, 수증기, 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 프론, 수소불화탄소(HFCs)** 과불화탄소(PFCs)***, 육불화황(SF₆)**** 등이 이에 속한다. 이 중에서 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆)는 자연계에는 본래 존재하지 않았던 것으로 인간이 합성한 가스이다.

지구온난화라는 문제를 인식하기 시작하면서부터 환경보전과 경제성장의 양립 또는 환경과 경제활동의 조화를 현대경제사회에서 중요한 과제 중의 하나로 다루게 된 것은 부인하기 어렵다. 환경에 대한 관심이 커지고 중요시되면서 산업연관표를 이용한 분석에서도 환경분야와의 접목이 주목을 받고 있다.

지구온난화를 보는 시각은 다양하다고 할 수 있다. 즉 어느 부분에 초점을 맞추는가에 따라서 환경문제, 경제문제, 에너지문제로

* 대기 중에 있는 지구온난화가스가 지표로부터 방출되는 장파인 적외선을 흡수하여 지구가 더워지는 현상이다.

** 물연성 무독성 가스로 취급이 용이하다. 냉장고 및 에어컨의 냉매, 발포, 세정, 반도체의 에칭가스 등으로 사용되며 우리나라에서 소비되는 HFCs의 99%는 냉매이다.

*** 탄소와 물소의 화합물이며 반도체 제조공정에서 사용한다.

**** 상온에서 무색, 무취, 무독의 특성을 갖는 기체이다. 500°C이상의 열에서도 안전하지만 물순물이 들어가면 분해되어 유독하다. 반도체 생산과정과 가스결연개폐기 및 가스결연연압기에 사용된다.

구분할 수 있다. 지구온난화가스의 증가로 인한 지구온난화가 지구환경의 변화를 초래하고 있다는 측면에서 본다면 범지구적 차원의 환경문제로 볼 수 있다. 그리고 지구온난화에 대응하기 위한 국제적 협약인 기후변화협약에 대한 이행은 각 국에게 지구온난화가스 배출량의 감축을 요구하고 있으므로, 이는 직접적으로 에너지 수요와 공급에 영향을 미치게 되고 가계, 기업 등 모든 에너지 수요자들의 경제활동에 변화를 초래하게 된다는 측면에서는 경제문제로 볼 수 있다. 더하여 지구온난화에 대한 대처방안이 에너지 절약, 연료대체 등과 같은 에너지문제에 있다는 점을 고려한다면 에너지문제로 인식하게 된다. 이러한 세 가지 측면은 서로 유기적으로 연결되어 있어서 분리해서 보기는 어렵다.

경제발전과 에너지 이용, 그리고 나아가서는 환경보전의 관계에 대한 실증분석을 하고자 할 때에 이용가능한 신뢰성이 있는 데이터를 손쉽게 구할 수 없는 데이터의 이용제한성은 기존연구에 있어 큰 제약이었다. 이러한 현실에 대해 기존의 연구들은 모두 동일하게 언급하고 있다.

더하여 지구온난화정도를 추정하는 것에는 많은 불확실성이 존재한다. 이는 데이터의 이용제한성에 따른 것은 아니며, 지구온난화에 대한 연구가 충분히 이루어지지 않았기 때문에 야기된 문제라고 볼 수 있다. 즉 경제시스템, 탄소순환계, 기후시스템을 연결하는 동태성에 대하여 충분한 연구가 이루어지지 못하여서 지식이 결여되어 있고, 이에 불확실성이 증대되고 있다. 경제시스템이 갖는 불확실성은 앞으로 50년에 걸친 에너지수요예측, 예측치 중에서의 화석연료의 비중, 지구온난화의 규모에 대한 추정이 쉽지 않

다는 점에 기인한다. 관련국제기관과 연구기관들이 에너지수요를 예측하여 발표하고 있지만, 에너지수요예측의 설명변수로 사용되는 인구의 증가, 기술의 진보, 화석연료자원의 잠재부존량, 화석연료의 가격 등이 이미 불확실성을 많이 갖고 있기 때문에 그 분석결과도 많은 불확실성을 갖게 된다.

다음은 탄소순환계가 갖는 불확실성이다. 이는 이산화탄소의 흡수와 배출 시의 해양과 육지의 역할에 대한 지식의 한계 때문에 발생한다. 탄소순환계에 대해 파악하고 있지 못하면 경제활동에 의한 이산화탄소의 배출량 확정되더라도 대기 중의 이산화탄소의 농도가 얼마나 빨리 상승하는가를 알 수 없고, 궁극적으로는 지구 온난화의 정도를 파악할 수 없다. 탄소순환계에서 대기 중의 이산화탄소가 증가하는 것은 정의 피드 백(feed back) 과정과 부의 피드 백 과정에 의한 것으로 알려져 있다. 정의 피드 백과정이란, 대기 중의 이산화탄소가 증가하면 기후의 온난화를 초래하고, 이것이 산림의 성장을 방해하고 결과적으로 산림의 이산화탄소 섭취량이 감소하여 이산화탄소의 축적량이 증가하는 것을 만드는 것이다. 그리고 부의 피드 백 과정이란, 대기 중의 이산화탄소가 증가하면 이산화탄소가 광합성과정에서 식물의 비료로 사용되어 식물이 성장하게 되고, 이에 따라 식물의 이산화탄소 섭취량이 증가하고 결과적으로 이산화탄소의 축적량이 감소하는 것이다.

마지막으로 기후시스템이 갖는 불확실성을 들 수 있다. 지구표면은 기온이 상승함에 따라 북극의 빙산이 녹고, 얼음의 양이 줄어드는 현상이다. 그러나 기온의 상승이 반드시 나쁜 것은 아니며, 기온이 상승하여 얼음이 감소하면 우주로 반사되는 태양방사열의

양이 감소하는 정의 피드 백 효과를 갖게 된다. 그리고 기온이 상승하면 물의 증발이 늘어나고 구름이 증가한다. 구름은 단열성을 가지므로 구름이 증가하면 기온이 올라가고, 구름이 보다 많은 방사에너지를 보관하게 된다. 동시에 구름은 태양방사열을 반사하므로 구름이 넓게 위치할수록 우주에 반사되어지는 태양방사열이 많아지는 효과를 갖게 된다. 기후시스템에서 해양은 지구의 온난화를 약화시키고 온난화의 초기에서의 속도를 늦춘다.

이러한 점에 비추어 볼 때에 환경을 대상으로 하는 연구는 많은 불확실성을 갖게 된다. 이러한 불확실성이 많아질수록 연구의 결과에 대한 신뢰성은 감소한다고 볼 수 있다. 이러한 신뢰성의 저하를 막고자 한다면 지구환경체계에 대한 많은 연구가 이루어져야 함은 물론이고, 동시에 정확한 데이터가 제공되어야 한다. 실증 분석 결과의 신뢰성을 높이고 데이터이용의 제약을 완화시키는 환경산업연관표에 대한 필요성은 이러한 측면에서도 지속적으로 제기되어 왔으며, 그 수요 또한 높았다.

환경산업연관표는 기본적으로 기존의 산업연관표와 환경을 접목한 것이다. 그러나 단순히 산업연관표에 환경데이터를 삽입하는 형태가 아니라, 환경오염물질의 배출이 생산과 에너지이용에 따른 산물이라는 점에 근거하여 각 산업의 에너지이용 상태를 중심으로 다루고 있다. 산업연관표가 산업의 생산활동이 중간재소비를 통해서 다른 산업과 어떻게 관계를 갖고 있는가를 분석하고, 직접효과와 산업간 관계에 따른 간접효과를 포함해서 파악하고자 할 때에 유용하게 사용되었던 점은 환경문제를 고찰함에 있어서 직·간접효과를 고려한 분석방법이 중요하다는 점에서 활용의 의의를

갖는다.

환경산업연관표는 기존의 산업연관표에 각 산업이 사용하고 있는 에너지이용 실태를 정확하게 반영하고 산업간의 관계에 따른 에너지이용의 정도와, 이에 따라서 배출되는 오염물질의 관계를 표현하고 있다. 이러한 점에 따라서 경제주체들이 의식하고 사용하는 에너지 외에 자신도 모르는 사이에 사용하고 있는 에너지의 양과 에너지이용에 의하여 배출되고 있는 환경오염물질이 어떠한 경로를 거쳐서 발생되고 이동하고 있는가를 상세하게 보여줄 수 있다. 이와 같이 환경산업연관표를 이용하는 에너지 및 환경오염물에 대한 투입산출분석은 생산과 소비활동의 많은 단계에서 이용되고 있는 화석연료의 연소에 따른 환경부하를 분석하는 분석방법으로서 적합하다고 할 수 있다.

대기오염물질의 발생에 따른 지구온난화라는 문제를 심각하게 고려하고 있는 각 국들은 기후변화협약이라는 국제적 협약을 체결하였다. 세계의 각 국가들이 지구온난화문제를 심각하게 받아들이고 있는 상황을 고려할 때에 환경산업연관표는 경제활동에 따른 에너지이용과 이에 따른 지구온난화가스 배출 경로의 정보를 해당 국가 외에 세계의 모든 인류에게 공유하게 할 수 있게 한다. 그리고 환경산업연관표는 모든 인류들이 공평하게 에너지이용을 줄이고, 에너지이용의 효율성을 높이며, 공평하고 효율적으로 지구온난화가스 배출을 부담할 수 있는 지표의 역할을 하게 될 것이다.

지구온난화가스를 줄이는 방법들 중에서 많이 논의되고 있는 것은 화석연료 중에서 고농도의 이산화탄소를 배출하는 석탄에서 배출량이 적은 천연가스로 전환하는 것, 연료효율을 확보해서 에

너지의 절약효율을 높이는 것, 자연생태계의 이산화탄소의 섭취량을 늘리기 위해서 지구의 산림을 재생하는 것, 미래의 에너지수요에 대응하기 위해 화석연료를 재생가능한 에너지원으로 대체하는 것 등을 들 수 있다. 그러나 실제로 이러한 계획이 적용되었을 때에 가져올 효과의 크기를 예측할 수 있는 실증연구들이 데이터의 이용제한성 때문에 활발히 이루어지지 못하고 있다.

4. 환경산업연관표의 형태

환경산업연관표를 만들기 위해서 우선 결정해야 하는 것은 환경산업연관표의 분류이다. 환경산업연관표는 산업별 및 에너지품목별의 분류에 따라서 에너지소비량과 대기오염물질배출량을 추계한다. 그 분류를 설정하는 것은 연구의 목적에 따라서 달라질 수 있지만, 공표되는 산업연관표의 분류를 따르는 것이 가장 일반적이라고 할 수 있다. 공표되는 산업연관표들은 몇단계에 걸친 분류기준을 가지므로 그 중에서 가장 적합한 분류를 골라야 한다. 산업분류의 구분이 가장 상세한 기본분류를 선택한다면 각 산업의 기술이 갖고 있는 에너지를 절약하고 환경부하를 저감하는 기술적 정보를 그대로 사용할 수 있으며, 많은 연구의 기초자료로서 유용할 것이다.

에너지분류도 연구의 목적에 따라서 달라질 수 있다. 공표 산업연관표는 에너지품목에 관한 데이터를 일부 갖고 있다. 그러나 모든 에너지원들을 담고 있는 것이 아니므로 일부 에너지원들에 대해서는 관련 데이터를 이용하여 도출해야 한다. 더해서 에너지

원들 중에서 특이한 성격을 갖는 것이 있다. 예를 들자면 LNG, 고로(高爐)가스와 전기로(轉爐)가스 등과 같은 부수적 발생가스를 들 수 있다. 이러한 부생가스들을 공표 산업연관표의 물량표에는 기재되어 있지 않지만, 에너지절약기술에 대한 평가를 위해서는 반드시 필요한 품목이다.

그리고 환경산업연관표가 대상으로 해야 하는 오염물질을 결정하여야 한다. 지구온난화가스들이 만들어지고 배출되는 곳을 보면 우선 이산화탄소(CO₂)는 해양과 육지식물과 같은 자연적 발생원도 있으며, 자연의 흡수원으로서 해양, 육지식물, 대기권을 들 수 있다. 그리고 반자연적 발생원으로서 사회의 경제활동을 들 수 있고, 경제활동 속에서 에너지를 사용할 때에 CO₂가 발생한다. CO₂는 전체온실가스배출의 80% 이상을 차지하며, 반자연적 발생원으로부터 발생하는 양이 많아 인위적 지구온난화가스라고도 불린다. 메탄(CH₄)은 폐기물, 농업 및 축산에서 발생하며 아산화질소(N₂O)는 산업공정에서 발생하며 비료를 사용할 때도 발생한다. 그리고 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆)는 냉매로 사용되거나 세척용으로 사용되며, 이 과정에서 발생한다.

지구온난화가스의 종류가 다양하지만 대부분의 정책이나 대응들은 이산화탄소에 초점을 맞추고 있다. 그 이유는 우선 첫째로, 이산화탄소가 인위적 온실효과의 최대 원인이기 때문이다. 이산화탄소의 인위적 온실효과에 대한 기여도가 55%로 다른 지구온난화가스들 중에서 가장 높다.* 둘째로 탄소순환이 다른 지구온난화가

* 다른 지구온난화가스들의 인위적 온실효과에 대한 기여도를 보면 메탄이 15%, 아산화질소가 6%, 기타 가스들이 7% 정도이다.

스에 비해서 상대적으로 더 알려져 있어서 이해되어 있다는 것이다. 그리고 셋째로 이산화탄소에 대한 데이터가 축적되어 있다는 것이다. 이러한 측면에서 다른 지구온난화가스보다 이산화탄소가 접근하기 쉽다. 이에 환경산업연관표도 이산화탄소에 많은 비중을 할애하고 있다.

환경산업연관표가 제시하는 CO₂ 배출량은 개별산업의 생산과정에 관한 정보에 근거해서 그 산업의 CO₂ 배출량을 보다 정확하게 추정한다. CO₂ 배출량은 에너지들의 에너지소비량과 탄소함유량에 근거하여 추정되기도 하지만, 환경산업연관표는 각 산업의 생산과정, 그리고 각 산업의 생산기술에 맞추어서 사용하는 에너지들을 상세하게 기록하고 있으므로 보다 정확한 CO₂ 배출량을 추정한다. 그러나 모든 산업에 대해서 동일한 추정방법을 사용하는 것이 아니며, 일부산업부문에 대해서는 그 산업부문의 특성과 생산과정을 고려해서 에너지원의 연소 비율을 계산해서 CO₂ 배출량을 추정하고, 일부산업부문에 대해서는 탄소수지균형*을 계산해서 CO₂ 배출량을 구한다.

환경산업연관표는 기본거래표, 에너지투입량표, 에너지소비물량표, 대기오염물질배출량표의 5개의 표로 구성된다.** 환경산업연관표의 기본거래표는 공표되는 산업연관표의 기본거래표(명목)을 공통분류에 따라 재집계하는 것이다. 그리고 에너지투입량표는 각 산업부문이 사용하는 에너지종류에 초점을 맞춘 것으로, 각 에너지가 각 산업에 투입되는 정도를 각 에너지의 고유의 단위로 기재

* 에너지원으로서 투입한 탄소량과 제품 및 가스로 산출된 탄소량의 균형관계이다.

** 이러한 구성은 연구의 목적에 따라서 달라질 수 있다. 본 연구에서는 가장 일반적인 형태의 사례를 제시한다.

한다.

에너지소비물량표는 에너지투입량표와 동일한 형태를 갖지만, 에너지투입량표 중에서 에너지의 원료사용분을 제외하고 연소에 사용한 에너지의 양, 즉 원료로서 사용된 에너지의 양을 제외하고 연료로서 사용된 에너지의 양만을 표시한다. 이렇게 에너지투입량표와 에너지소비물량표를 구분하는 것은 보다 정확한 대기오염물질발생량을 추정하기 위해서이다. 대기오염물질 발생량을 추정할 때에 원료와 연료를 구분하지 않고 각 산업의 에너지투입량을 사용하면 실제로 연소에 쓰이지 않은 즉, 원료로 쓰인 에너지까지 연소시켰다고 생각하게 되므로 실제로 배출된 대기오염물질발생량을 과대추정하게 된다. 따라서 에너지투입량표와 에너지소비물량표를 구분하는 과정은 자국의 대기오염물질 배출량을 정확하게 추정하기 위해 반드시 필요한 것이다.

에너지소비열량표는 에너지소비물량표를 열량단위(kcal)로 환산한 표이다. 각 에너지의 고유단위로 되어 있는 에너지소비량을 열량단위로 환산하는 과정을 통해서 에너지원들이 갖고 있는 고유단위를 넘어서 에너지원간의 비교와 에너지원간의 합산을 할 수 있다. 이러한 환산 시에 열량단위인 kcal을 사용할 수도 있고, 석유환산치인 TOE(Ton of Oil Equivalent)를 사용할 수도 있고, 일의 단위인 Jule을 사용할 수도 있다. 어떠한 환산단위를 사용하는가의 여부는 연구의 목적에 따라서 달라질 수 있지만, 이러한 환산과정에서 에너지원간의 비교와 합산을 원활하게 하기 위해서 이루어진다는 점에는 차이가 없다.

대기오염물질(CO₂) 발생량표는 각 산업부문에서 발생하고 있는

대기오염물질을 기재한 것이다. 이 표는 각 산업별로 에너지가 연료로 쓰인 양만을 계산한 에너지소비물량표를 이용하여 각 에너지의 탄소함유량을 고려하여 추정한다. 상기에서 언급한 것과 동일하게 에너지투입량표를 이용한다면 각 산업의 생산과정에서 원료로 쓰인 에너지까지 고려하는 것이 되므로 실제로 배출된 대기오염물질보다 과대추정될 것이다.

환경산업연관표가 대상으로 하는 대기오염물질을 CO₂에 국한한다면 CO₂의 배출량(emission)은 CO₂의 발생량(generation)과 거의 같다고 할 수 있다. 왜냐하면 다른 지구온난화가스 또는 대기오염물질과 다르게 CO₂는 발생량이 거의 대부분 대기 중으로 배출되기 때문이다.

<그림 2>

환경산업연관표 구조



자료: 에너지경제연구원(2005)

그러나 환경산업연관표가 대기오염물질배출량표에서 대상으로 하는 대기오염물질을 SO₂*까지 확대한다면, 발생량과 배출량은 구분되어야 한다. SO₂는 탈황(desulfurization)설비의 보급정도에 따라서 발생량과 배출량 사이에 큰 차이를 만든다. 실제로 대기 중에 배출되는 SO₂는 발생량에서 탈황된 양을 제외한 배출량이다. 최신의 탈황장치의 탈황률은 95% 이상이므로, 일본과 같이 탈황설비의 보급률이 높은 나라의 SO₂ 배출량은 발생량과 크게 달라진다. 따라서 대상으로 하고 있는 대기오염물질에 따라서 추정범위를 설정하는 것이 달라진다. 현실적으로 각 국의 탈황설비보급에 관한 정보는 손쉽게 입수할 수 없다. 따라서 탈황률이 파악되지 않은 상황에서는 SO₂에 관한 분석은 배출량이 아닌 발생량을 대상으로 하게 된다.

그리고 일종의 보충자료로서 제공되는 에너지성분표가 있다. 이 에너지성분표는 각 에너지들의 특성을 표기하는 것으로 각 에너지의 칼로리, 탄소함유량을 기재하고 있다. 이러한 정보는 환경산업연관표가 사용하고 있는 에너지원들의 기준을 명시하는 것으로서 제시하는 자료들의 정확성과 투명성을 높인다는 의미를 갖는다.

5. 환경산업연관표의 기본구조

환경분석용 산업연관 모형은 다음의 식들로 구성된다. 우선 부

* SO₂ 발생량은 각 에너지에 포함되는 유황분에 의해 결정되며, 그 함유율은 산지에 따라서 다르다.

문별 에너지투입량을 X_{ei} 이에 따른 대기오염물질의 발생량을 Q_i 로 정의하면 발생계수(q_e)는 (2.1)과 같다.

$$\frac{Q_{ei}}{X_{ei}} = q_e \quad (2.1)$$

이 발생계수는 화석연료들의 황성분 함유량과 같은 오염물질함유량 등의 성분이 같고 연소조건이 일정하다면 어느 부문에 투입되더라도 일정하다. 그리고 성분이 다른 화석연료가 k 개 있다면 발생계수는 투입되는 연료별로 정의할 수 있다.

$$\frac{Q_{e(k)i}}{X_{e(k)i}} = q_{e(k)} \quad (2.2)$$

하나의 화석연료의 투입(X_{ei})과 국내총생산(X_i)의 관계에 근거해서 화석연료의 투입계수를 (2.3)과 같이 얻을 수 있다. 그리고 (2.1)과 (2.3)에 근거해서 발생계수(q_e)와 투입계수(a_{ei})가 외생적으로 결정된다고(given) 가정하여 부문별 오염물질의 발생량을 구할 수 있다.

$$\frac{X_{ei}}{X_i} = a_{ei} \quad (2.3)$$

$$Q_{ei} = q_{ei} \cdot a_{ei} \cdot X_i \quad (2.4)$$

부문별 오염물질의 발생량($Q_{e,i}$)은 공통의 발생계수, 부문별 에너지투입계수, 산출량으로 결정된다. 그리고 부문별산출량 단위당 오염물질발생량을 $q_{e,i} \cdot a_{e,i} = a_{e,i}$ 로 하고, 이것을 대각요소로 하는 행렬을 $G=[g]$ 로 표기하면 부문별 오염물질발생량 벡터 $Q=(Q)$ 는 (2.5)와 같다. (2.5)는 Leontief의 산업연관 모형인 $B[(I-m)F+E] = X$ 에 대기 오염물질발생계수를 추가한 것이며, 환경산업연관모형의 원형이다.

$$Q = G \times X = G \times B[(I-m)F+E] \quad (2.5)$$

F	국내최종수요
E	수출수요
m	수입계수
I	단위행렬
B	$[I - (I-m)A]^{-1}$
A	투입계수

6. 일본의 환경산업연관표*

일본은 1960년대 초에 산업연관표의 개념을 도입하여 “쇼와(昭和) 26년(1951년) 산업연관표”를 만들기 시작하였으며, 공식적인 정부통계로서 “쇼와(昭和) 30년(1955년) 산업연관표”을 만들어 발표하기 시작하였다. 그리고 현재에도 산업연관표를 추계하여 작성하고 있다. 일본 정부는 Leontief가 자국에서 1970년에 열린 “국제공해심포지움”에서 “공해분석용 산업연관표”를 제안하였던 점에 착안하여, 1971년에 통상산업성(通商産業省, 현재의 경제산업성)이 도쿄(東京), 치바현(千葉縣), 사이타마현(埼玉縣), 카나가와현(神奈川縣)을 대상으로 “1968년 산업공해분석용 산업연관표”를 작성하였다. 지방을 중심으로 하였던 산업공해분석용 산업연관표 작성은 일본 전국을 대상으로 하는 데이터의 작성으로 확대되었고, 1976년에 “1973년 산업공해분석용 산업연관표”를 작성하게 되었다.

통상산업성이 1973년에 만든 “1968년 산업공해분석용 산업연관표”는 재화·서비스를 만드는 생산활동과 생산에 포함되어서 이루어지고 있는 공해방제활동을 하나의 생산활동(activity)으로 분할하고자 하였다.** 그러나 이러한 방법은 다음과 같은 문제점들 때

* 해외에서 작성되고 있는 환경산업연관표의 사례로서 일본 외에 캐나다의 사례를 조사하고자 하였다. 캐나다의 경우는 일본 또는 본 연구에서 작성한 형태의 환경분석용 산업연관표는 작성하고 있지 않다. 캐나다정부는 기후변화협약에 대비하여 GHG(Green House Gas) inventory를 작성하고 있으며, 이 GHG inventory가 산업연관표의 산업분류와 동일하므로 산업연관표와 1:1로 맞출 수 있다는 견해 근거하여 산업연관표와 산업부문별 CO₂ 발생량으로 이루어져 있는 데이터를 만들 수 있다. 이러한 캐나다의 환경관련데이터는 CO₂에 초점을 맞추고 있는 경우에는 CO₂ 발생의 주체들이 상세하게 구별되므로 유용하다고 할 수 있다. 하지만 본 연구에서 작성하고 있는 환경산업연관표의 작성방법과는 다른 작성방법에 근거하고 있으므로 해외사례로서는 일본의 환경산업연관표에 초점을 맞추고 있다.

** 통상산업성(通商産業省) 조사통계부(調査統計部) 통계해석과(統計解析課)(1976)

문에 실제로 분할은 하지 못하였다. 첫 번째, 산업연관표의 기본거래표에서는 생산활동과 공해방제활동이 합쳐진 투입구조를 갖고 있기 때문에 분할에 필요한 2가지의 활동에 대한 신뢰성이 있는 기초통계가 갖추어지지 않은 상황에서 기본거래표의 상세분류의 단계에서 더 이상 분할하는 것은 불가능하다. 두 번째, SO_x의 경우에 세멘트제조, 석재가스생산 등은 그 생산활동이 탈황과정을 포함하므로 생산활동과 공해방제활동을 구분하기 어렵다. 세 번째, CO₂ 배출에서는 제거 또는 저감활동이 없으며, 에너지절약 등은 CO₂ 배출량을 저하시키는 활동의 하나지만 생산활동으로부터 분리할 수 없다.

초기의 의욕과는 달리 1973년의 “1968년 산업공해분석용 산업연관표”의 작성 이후로는 일본정부의 데이터의 작성은 이루어지지 않았다. 정부를 대신하여 게이오대학(慶應義塾大學)의 산업연구소(産業研究所)가 산업공해분석용 산업연관표를 작성하기 시작하였으며, 1992년에 일본의 “1985년 공표산업연관표”의 기본거래표에 따른 에너지표, CO₂표, SO_x표, NO_x표를 작성하였고, 이에 기본거래표, 에너지투입량표, 에너지투입열량표, CO₂ 배출량표, SO_x 배출량표, NO_x 배출량표를 환경산업연관표로서 작성하였다. 그리고 산업연구소는 이에 더해서 실제로 연소된 에너지열량표와 1차에너지기준의 열량표도 작성하였다.

산업연구소가 추진하는 환경산업연관표의 작성은 1985년 표의 작성에 이어 1990년 표의 작성으로 이어졌으며, 1996년에 “1990년 일본 환경산업연관표”가 작성되었다. 1990년 표가 작성된 1996년은 지구환경문제와 CO₂에 대한 관심이 높았던 시기였다.

1997년의 제3차 당사국총회(COP3)에서 채택한 교토의정서(Kyoto Protocol)*는 일본의 온실효과가스 배출량을 2008년부터 2012년까지의 1차의무이행기간에 걸쳐서 1990년의 배출량에 비해 6% 저감하겠다고 명시하고 있다. 교토의정서(Kyoto Protocol)는 국제적인 CO₂ 저감 대책으로서 공동이행제도(Joint Implement, JI), 배출권 거래(Emission Trading, ET), 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM)등을 내용으로 하는 교토메카니즘(Kyoto mechanism)을 규정하였다. 그러나 실제로 교토메카니즘을 실행하기 위한 구체적인 실행정책이 신속하게 이루어지지 못하는 원인의 한 가지는 각 국의 환경오염 현황, 에너지 절약 기술의 실태, 구체적인 CO₂ 삭감의 효과를 실증적으로 분석하기 어렵기 때문이다. 이러한 교토의정서의 실행을 위해서 일본 국내에서는 CO₂ 저감기술을 보다 쉽게 평가할 수 있는 데이터가 필요하다는 인식이 높아졌다.

* 선진국 및 시장경제 이행국의 온실효과가스 배출의 소멸을 목적으로 한 의정서이다.

<그림 3>

일본의 환경산업연관표 구조

		재화서비스부문 1~405	최종수요 (405 X 11)	생산액 (405 X 1)
A 재화서비스부문	1~405 5	금액표 (405 X 405) 단위: 생산자가격표시 백만엔 에너지소비구성		
		부가가치 (10 X 405)		
		생산액 (1 X 405)		
B 에너지품목	1~50	물량표 (50 X 405) 단위: 에너지원 고유		
C 에너지품목	1~50	열량표 (50 X 405) 단위: Tcal		
D 에너지품목	1~50	CO ₂ 발생량표 (50 X 405) 단위: t-CO ₂		
E 에너지품목	1~50	CO ₂ 공제량표 (50 X 405) 단위: t-CO ₂		
F 에너지품목	1~50	CO ₂ 배출량표 (50 X 405) 단위: t-CO ₂		

자료: Asakura, K., H. Hayami, M. Mizoshita, M. Nakamura, S. Nakano, M. Shinozaki, A. Washizu, K. Yoshioka, (2001) 環境分析用産業聯關表, 慶應義塾大學 出版會

환경산업연관표가 완성되면 정책입안자들의 관심인 기후변화협약과 같은 지구온난화가스배출 협정이 경제성장에 미치는 영향, 기후변동이 경제시스템에 미칠 영향을 최소한으로 하기 위해서 저감해야 하는 CO₂의 적정배출량을 구체화할 수 있기 때문이다.* 더하여 CO₂ 삭감을 위한 구체적인 수단으로 배출부담금제에 해당하는 탄소세 또는 에너지세 등이 거론되고 있으나, 그러한 세금들의 시행여부를 결정하기 위해서는 시행에 따른 자국의 경제 및 타국과의 무역에 대한 영향을 파악해야 한다.**

이에 맞추어 산업연구소는 기존의 환경산업연관표에서 다루고 있던 SO_x 표, NO_x 표를 더 이상 작성하지 않는다고 결정하고, 에너지표와 CO₂ 표의 작성에 초점을 맞추기 시작하였다. 이에 산업연관표의 기본거래표의 소분류와 같은 부문분류를 갖는 에너지표와 CO₂ 표를 추정하기 시작하였다.***

그리고 계속해서 2001년에는 1995년 환경산업연관표를 작성하였다. 1995년 환경산업연관표가 작성됨에 따라서 1985년-1990년-1995년의 환경산업연관표 데이터가 구비되었고, 이에 따라서 일본 1개국을 대상으로 하는 환경산업연관표는 산업연구소의 데이터베이스로 구체화되었다. 이를 통해 다기간에 걸친 시계열분석을 할 수 있는 토대를 마련하였다. 추가하여 산업연구소는 2004년에 “2000년 환경산업연관표”를 작성하였다.

일본 자국만을 대상으로 하는 환경산업연관표 외에 일본은 아시

* Duraiappah(1993)

** Duraiappah(1993)

*** 일본의 공표 산업연관표의 기본거래표는 1990년 데이터를 기준으로 할 때에 소분류기준으로 경제활동항목은 403개, 상품항목은 519개, 에너지종류는 53개이다.

아국가들을 대상으로 하는 환경산업연관표도 작성하였다. 정확히 환경산업연관표로 규정하기는 그 형태에 미흡한 점이 있으나, 환경산업연관표로의 전환이 가능하다는 측면에서 환경산업연관표의 범주에 넣을 수 있다. 이 작업을 수행한 곳은 아시아경제연구소(アジア經濟研究所)이며, 아시아경제연구소는 아시아의 각 국을 대상으로 지역간 국제산업연관표인 아시아 9개국의 산업연관표(Economic Environment Input Output, EEI-O)를 2000년까지 5년간격으로 작성하였다. EEI-O는 산업연관표의 기본거래표와 에너지투입량표로 구성되어 있으며, 데이터베이스 내에서 명시적으로 환경문제를 고려하는 형태는 아니다. 이러한 점 때문에 환경산업연관표라고 규정하기는 어렵다. 그러나 에너지투입량표를 갖고 있으므로 이에 근거하여 환경오염물질의 배출량을 추정할 수 있다.

EEI-O를 분석에 사용할 때에는 다음의 사항들에 주의해야 한다. 첫째로 각 국의 데이터들이 공통분류에 따라 분류된 것이 아니므로 데이터베이스의 산업분류가 각 나라별로 다르며, 각 나라의 발전단계가 이미 공업화에 접어들고 있음에도 불구하고 초기의 산업발전단계에 근거하여 1차산업을 상세하게 다루고 있다. 그리고 둘째로 국가별로 에너지분류도 다르게 구성되어 있으며, 각 에너지의 단위도 각 나라의 고유단위를 사용하고 있어 국제비교를 하기 위해서는 각 국의 데이터를 재가공해야만 한다.

일본 게이오대학(慶應義塾大學)의 산업연구소(産業研究所)를 중심으로 하는 미래개척학술연구추진사업 복합영역 "아시아지역의 환경보전프로젝트(未來開拓 學術研究 推進事業 複合領域 アジア地域の環境保全プロジェクト, 1997년~2002년)"는 2002년에 아시아의

“환경에너지문제분석용 산업연관표(Economic Development and Environment Navigation, EDEN) EDEN1990, EDEN 1995”를 작성하였다.*

그 동안 경제발전과 환경보전의 관계에 대한 실증분석에 있어 이용가능한 데이터를 손쉽게 구할 수 없는 데이터의 이용제한성은 기존연구에 있어 큰 제약이었지만, EDEN이 완성됨에 따라서 이러한 제약은 일부 완화된다. EDEN과 같은 환경산업연관표는 산업간의 관계를 기준으로 하면서 오염물질의 관계를 표기하므로 인류가 자신도 모르는 사이에 배출하고 있는 지구온난화가스가 어떠한 경로를 거치고 있는지를 상세하게 보여준다. 그리고 다국가를 대상으로 한 경제활동과 지구온난화가스배출의 정보가 모두에게 공유되어짐으로써 인류가 공평하게 지구온난화가스 배출을 부담할 수 있는 지표를 제공하기도 한다.

EDEN은 아시아 9개국(일본, 한국, 중국, 말레이시아, 싱가포르, 태국, 인도네시아, 필리핀, 대만)의 1990년과 1995년을 대상으로 하고 있다. 그리고 EDEN은 각 국의 산업연관표를 공통분류(내생부분 76, 최종수요 4, 부가가치 4)에 따라 재집계한 기본거래표(A표, 명목)와 부속표들로 구성된다. 부속표에는 에너지투입량(B표, 에너지종류 22, 내생부분 76, 최종수요 4), 에너지소비물량표, 에너지소비열량표, 대기오염물질발생량표, 에너지성분표가 있다. 이러한 구성은 기본적으로 케이오대학 산업연구소의 “1990년 환경산업

* 본 연구내용은 일본 학술진흥회(日本 學術振興會)가 주관하고 케이오대학 산업연구소(慶應義塾大學 産業研究所)가 참여하고 있는 미래계적 학술연구 추진사업(未來開拓 學術研究 推進事業) 복합영역 아시아지역의 환경보전(複合領域 アジア地域の環境保全) (1997년~2002년)의 연구결과의 일부이다.

연관표”에 기초하고 있다.

에너지소비물량표(C표, 에너지종류 22, 내생부분 76, 최종수요 4)는 B표 중에서 에너지의 원료사용분을 제외하고 연소에 사용한 에너지의 양만을 표시한다. 에너지소비열량표(D표, 에너지종류 22, 내생부분 76, 최종수요4)는 C표를 열량단위로 환산한 표이다. 대기오염물질(CO₂, SO₂)발생량표(E표, 대기오염물질종류 2, 내생부분 76, 최종수요 4)는 C표와 에너지성분표를 이용하여 발생한 대기오염물질의 양을 표시한다. 에너지 성분표(T표, 에너지종류 22, 상세정보 3)는 각 에너지들의 열량, 탄소함유량, 황함유량을 표시한다.

EDEN은 산업연구소의 일본 환경산업연관표의 연장선에 위치하면서, 일본의 환경산업연관표를 확장하여 공통분류에 따라서 조정된 데이터베이스이다. EDEN은 기본거래표에 있어서는 9개국의 공표 산업연관표의 근간이 되는 산업표준분류(SIC)의 단계에서 각국의 산업비교를 거쳐 재집계하였으므로 산업간의 국제비교가 가능하다. 그리고 에너지분류도 공통분류를 적용하므로 국가간의 직접적인 비교가 가능하다. 더하여 EEI-O에서 제외되었던 환경문제를 데이터베이스의 형태로 명시적으로 고려하여 대기오염물질의 발생량도 포함하고 있다.

EDEN은 일본을 제외한 다른 나라의 산업연관표에 가설부문(假設部門)*이 설정되지 않은 점에 근거하여, 일본의 자가용 여객

* 가설부문이란, 산업부문으로서는 존재하지 않으나 표를 작성함에 있어서 편의상 가공의 부문을 설정하는 것이다. 일본은 1970년 표에서부터 가설부문을 신설하였으며 자가용자동차운송, 자가(自家)창고(1975년 표에서 폐지), 자가교육, 자가연구, 자가포장(1985년도 표에서 폐지), 사무용품, 철조각 및 비철금속조각이 있다. 그러나 일본은 1990년 표에서부터 원칙적으로 자가용자동차운송부문을 제외한 자가활동부문을 폐지하였다.

자동차 운송(7131-01)*, 자가용 화물 자동차 운송(7132-02), 기업 내 연구개발(8222-01)을 공표된 산업연관표의 기본분류의 단계에서 모두 내생부문에 분배하고 있다.** 그리고 A표와 B표간의 정합성을 유지하고자 B표의 기초데이터(raw data)에 관해서도 이러한 작업을 실시하고 있다.

EDEN에서 주의할 점은, E표의 데이터가 CO₂ 배출량과 SO₂ 배출량이 아니라 발생량이라는 점이다. CO₂의 경우는 그 발생량이 거의 대부분 대기 중으로 방출된다고 여겨도 좋으나, SO₂의 경우는 탈황(desulfurization)을 고려해야 한다. 실제로 대기 중에 배출되는 SO₂는 발생량에서 탈황된 양을 제외한 것이다. 그러나 EDEN은, 각 국의 탈황 보급 실태에 관한 정보가 입수되지 않는 점에 기인하여 탈황율을 파악하지 않으므로 SO₂에 관해서는 발생량에 관한 분석만이 가능하다 EDEN1990은 일본과 중국에 관해서 SO₂ 발생량 외에 SO₂ 배출량도 추계하고 있다. SO₂ 발생량은 각 에너지에 포함되는 유황분에 의해 결정되며, 그 함유율은 산지에 따라서도 다르며, SO₂ 발생량 분석을 통해서도 각 국의 에너지 믹스 연료용 에너지의 종류와 그 구성비를 볼 수 있다.

* ()안의 수치는 일본의 공표 산업연관표의 기본분류의 열 코드이다.

** 일본의 산업연관표는 우리나라의 산업연관표와 다르게 가설부문이 설정되어 있다. 한·일간의 국제비교분석을 위한 데이터를 완성시키려면 분류가 공통적으로 적용되어야 한다.