

에너지기술R&D의 파급효과 자기측정방식 정형화 연구*

허은녕

서울대학교 지구환경시스템공학부

heoe@snu.ac.kr

Suggestion of a Standard Self-Evaluation Procedure for Energy Technology R&D Effects

Eunnyeong Heo

Seoul National University

1. 연구의 배경

고유가의 장기화와 교토의정서의 효력발생 등으로 인하여 어느 때보다도 에너지기술 R&D에 대한 관심이 높아가고 있다. 우리나라의 대표적인 에너지기술 R&D분야로는 크게 에너지절약·효율화기술과 신·재생에너지기술이 있으며, 대표적인 국가 에너지기술R&D사업으로는 과학기술부의 21C프론티어사업인 이산화탄소 저감 및 처리 기술개발사업단(CDRS), 산업자원부의 신·재생에너지 기술개발사업단(풍력, 태양광, 수서연료전지) 등을 들 수 있으며, 에너지기술연구원을 비롯하여 많은 국책연구원에서도 연구가 진행되고 있다. 한편 에너지기술개발R&D사업은 2000년대에 들어 그 효과에 대하여 여러 의문이 제기되고 있는 실정이다. 에너지절약기술, 신·재생에너지기술 및 에너지산업구조조정 연구에 20년 이상 투자하였으나 그 효과가 매우 미약하다는 것이다. 이러한 의문에 대한 대답의 일환으로 여러 국가R&D사업에서 기술개발의 효과를 표현하려는 노력이 이어지고 있다.

본 연구는 이러한 에너지기술 R&D의 기술개발효과를 기술 개발자 스스로 손쉽게 측정할 수 있도록 하는 방법을 구상하여본 것이다. 기존의 사례를 보면 기술개발자들이 기술의 파급효과를 산정하여 표현하는데 어려움을 느끼고 있을 뿐만 아니라 그 방법 역시 다양하여 일관성이 없었다. 본 연구에서는 에너지절약·효율화기술이 주종을 이루고 있는 CDRS사업의 기술개발R&D 중 고온순산소 연소 기술 분야를 대상으로 하여 개발기술적용을 통한 기대효과를 산정해 보았다.

이산화탄소 저감 및 처리 기술개발 사업(CDRS사업)은 21세기 프론티어 사업 중 하나로 이산화탄소 발생을 억제하는 기술과 발생된 이산화탄소를 저비용으로 처리하는 기술 개발을 통해 2012년도 연간 9백만 톤 저감, 경제적 효과 1조 5천억원 달성을, 기술 수준 세계 10위권 진입 및 의무감축시 경제적 부담 최소화를 목표로 하고 있는 사업이다. 고온순산소 연소 기술은 해당 산업에 투입되는 에너지의 사용 효율을 증대시켜 결과적으로 이산화탄소 배출량의 저감효과를 가져온다. 에너지 저감 기술의 효과를 분석하기 위해서는 수요 산업에 해당 기술이 적용됨으로 인해 발생하는 직접 에너지 저감 효과를 정확히 산출하고 산업간의 연관관계로 인해 발생하게 되는 간접 에너지 저감 효과 또한 파악하여야 한다. 이를 통해 기술의 효과를 정확히 분석할 수 있게 되고 기술 및 사업의 목표달성을 정도, 그리고 국가 지원의 타당성 등을 뒷받침할 수 있는 객관적인 자료를 제시할 수 있을 것이다.

주요어 : 직접 에너지 저감량, 정형화

* 이 연구(논문)는 과학기술부 지원으로 수행하는 21세기 프론티어 사업(이산화탄소 저감 및 처리 기술개발)의 일환으로 수행되었습니다.

이러한 파급효과의 산정과 관련된 대표적인 연구로는 에너지경제연구원[8]과 배위섭 외[5]를 들 수 있다. 본 연구는 이들 두 연구의 모형을 바탕으로 하여 기술개발에 의한 에너지 효율 증대와 이산화탄소 배출량의 저감, 이에 따른 직·간접적인 파급효과를 표현하고 이를 쉽게 산정할 수 있는 정형화된 모델을 제시하고자 한다. 우선 해당 에너지기술개발 과제들을 에너지저감 및 이산화탄소 저감 유형과 저감량의 산출방식에 따라 열 가지로 분류하고 각각의 분류에 정형화(Standardization)된 방식을 적용하여 직접 에너지 저감량을 산출하는 방법론을 연구해 보고자 한다.

2. 정형화 과정

2-1 CDRS 개발기술의 파급효과 정량화 표기방식 통일을 위한 조사

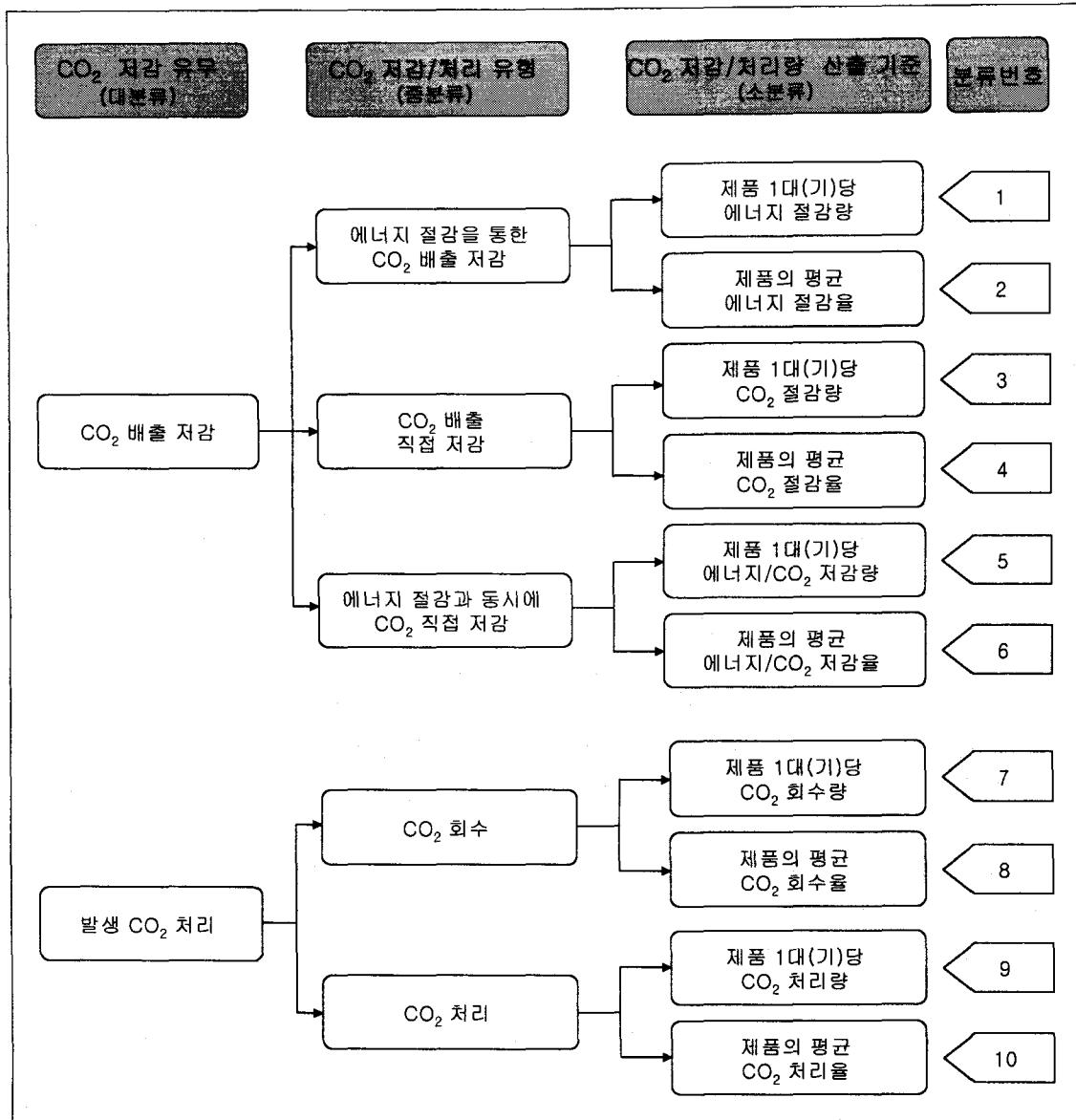
이산화탄소 저감 및 처리 기술개발 사업(CDRS사업)에서 개발기술에 의한 에너지 효율 증대, 이산화탄소 저감/처리량, 경제적 파급효과의 분석은 사업의 성과를 직접적으로 나타내주는 내용이며, 각 과제의 연구 결과에 대한 평가를 내릴 수 있는 기준이 된다. 이러한 기대효과의 산정을 위해 필요한 기초 자료를 수집하기 위하여 CDRS사업의 33개 총괄 과제 책임자를 대상으로 한 「CDRS 개발기술의 파급효과 정량화 표기방식 통일을 위한 조사」를 실시하였다. 개별 기술의 특성을 충분히 반영하면서 가능한 통일된 형식의 기초 자료 확보를 위하여 우선 기술의 특성에 따라 33개 과제를 총 10개의 소 분류로 세분화하였고, 분류에 따른 기대효과 산정과정을 정형화하였다.

기술의 분류과정은 기대효과의 정확한 산정을 위해 개별 기술들을 다음의 3단계에 걸쳐 세분화하여 그룹을 설정하였다. 1단계로 개별 기술들을 이산화탄소 저감 여부에 따라 이산화탄소 저감 기술과 이산화탄소 처리 기술로 나누었고, 2단계에서는 1단계에서 분류된 기술들을 이산화탄소의 저감 및 처리 유형에 따라 기술들을 세분화하였다. 3단계에서는 2단계에서 분류된 기술들을 제품 1대(기) 당 에너지 절감량(또는 이산화탄소 저감량 및 회수·처리량)을 이용하는지 제품의 평균 에너지 절감량(또는 이산화탄소 저감량 및 회수·처리량)을 이용하는지에 따라 다시 세분화하였다.

이러한 기술의 분류는 에너지 절감량 산정 및 에너지 절감을 통한 이산화탄소 배출 저감량, 이산화탄소 회수·처리량의 산정과정의 정형화를 추구하였다. 다시 말해, 각 분류에 따른 개별기술 기대효과의 산정과정을 정형화하여 이를 통해 기대효과 산정결과에 대한 타당성 제고와 기술별 기대효과에 대한 비교분석의 기준을 마련하였다.

에너지 저감 기술의 효과를 분석하기 위해서는 수요 산업에 해당 기술이 적용됨으로 인해 발생하는 직접 에너지 저감 효과를 정확히 산출하여야 하기에 수요산업의 분류 E한 중요하다. 본 연구에서는 수요산업의 분석을 위하여 허은녕 외 [13]에서 작성된 기술-제품-산업연관도를 바탕으로 하여 해당 기술의 연관 산업을 산업연관표상의 168부문 통합 소분류에 따라 재분류하여 사용하였다. 또한 이들 분류를 활용하여 직접적인 기대효과 산정과정의 정형화 이후 개발기술에 의한 타 산업으로의 간접적인 파급효과 분석을 위한 기초자료로 활용하였다. 타산업으로의 간접적인 파급효과의 분석은 산업연관분석(Input-Output Analysis)를 활용하는 방법을 선택하였으며, 이를 기술 개발자가 직접 활용하여 분석하기에는 어려움이 있을 것으로 판단하여 일단 번 연구에서는 제외하였다. 추후 이를 보다 더 쉽게 산정할 수 있는 정형화 연구를 진행하고자 한다.

[표1] 이산화탄소 저감 및 처리량 산출을 위한 기술 분류



2-2 기대효과 산정과정

에너지기술, 특히 에너지절약·효율화기술 R&D의 경우 그 기대효과는 크게 직접적인 에너지저감과 이산화탄소저감, 그리고 발생이산화탄소의 처리의 세 가지 효과로 대변된다 (배위섭 외[5], 에너지경제연구원[8]). 본 연구는 이산화탄소 저감 및 처리 기술개발 사업(CDRS사업)을 대상으로 하기에 에너지저감의 궁극적 목표가 이산화탄소저감인 측면을 고려, 기대효과 산정과정에서 기술분류에 따라 총 10개의 방법으로 정형화하였다. 여기서 기술별 기대효과의 차이에 따른 에너지 절감량, 이산화탄소 회수·처리량과 같은 차이를 제외하면 계산순서의 특징은 3단계 기술 분류의 기준이 되었던 제품 1대(기) 당 에너지 절감량(또는 이산화탄소 저감량 및 회수·처리량)을 이용하는지 제품의 평균 에너지 절감량(또는 이산화탄소 저감량 및 회수·처리량)을 이용하는지에 따라 구별할 수 있다. 다음 [표 2]에는 특히 고온순산소 연소기술이 해당되는 분류번호-1과 분류번호22에 해당하는 기술의 기대효과 산정과정을 나타내었다.

[표 2] CDRS 개발기술의 파급효과 정량화 표기방식 통일을 위한 산정방법

<분류번호-1에 해당하는 기술의 기대효과 산정과정>

계산순서
① 기존 제품 1대(기)의 시간당 에너지 사용량
② 신제품의 에너지 절감률
③ 일일 평균 가동 시간
④ 연 평균 가동 일수
⑤ 신제품 1대(기)당 연간 에너지 절감량 ($① \times ② \times ③ \times ④$)
⑥ 2012년 기준 신제품의 예상 보급 대수
⑦ 2012년 기준 총 연간 에너지 절감량 ($⑤ \times ⑥$)
⑧ 2012년 기준 총 연간 CO ₂ 저감량 ($⑦ \times \text{IPCC 탄소 배출 계수}$)

<분류번호-2에 해당하는 기술의 기대효과 산정과정>

계산순서
① 2012년 기준 (해당 산업의) 연간 총 에너지 사용량
② 신제품의 에너지 절감률
③ 신기술의 예상 보급률 또는 대체율
④ 2012년 기준 연간 에너지 절감량 ($① \times ② \times ③$)
⑤ 2012년 기준 총 연간 CO ₂ 저감량 ($④ \times \text{IPCC 탄소 배출 계수}$)

3. 실증분석

효율증대, 전열촉진, 배가스 청정처리를 위한 순산소 연소 기술의 개발은 고회도 화염의 안정적 제어가 가능한 연소시스템 기술, 노즐·가열공간내벽의 국부과열에 대응한 내열재료와 성형기술, 저가의 고순도 산소 제조기술의 개발로 이루어진다. 따라서 순산소 연소 기술 개발의 타당성을 제시하기 위하여 각각의 기술개발을 통해 생산될 고온 순산소 연소 시스템을 기준으로 기대효과를 분석하였다. 순산소 연소 기술은 「CDRS 개발기술의 파급효과 정량화 표기방식 통일을 위한 조사」의 기술분류에 따라 분류번호1에 해당하는 기술로 먼저 해당 산업에서의 기존 연소 시스템 대비 에너지 절감에 따른 직간접 기대효과를 분석하고, 에너지 절감을 통한 비용 절감 및 이산화탄소 배출량의 저감 효과를 분석하였다.

3-1 분석 자료

순산소 연소 기술과 관련하여 분석에 필요한 자료는 「CDRS 개발기술의 파급효과 정량화 표기방식 통일을 위한 조사」를 통하여 구하였다. 조사를 통하여 구하여진 자료의 기준시점은 이산화탄소 저감 및 처리 기술개발 사업(CDRS사업)이 완료되는 시점인 2012년이다.

순산소 연소 시스템의 연관 산업과 수요 비율은 허은녕 외[13]에서 작성된 기술-제품-산업연관도를 바탕으로 석유화학산업, 철강산업, 비철금속산업으로 나타난 순산소 연소 시스템의 연관산업을 산업연관표 상의 168부문 통합소분류 항목에 따라 재분류하여 조사하였다. 또한 순산소 연소 시스템의 대상 저감 에너지원 비율은 6개 에너지 항목(원유, 천연가스, 석탄류, 연료유, 전력, 도시

가스)의 2000년 산업연관표 상의 비율에 준하여 석탄류(23.69%), 연료유(50.31%), 전력(19.45%), 도시가스(6.55%)로 적용하였으며, 2012년 기준 산업연관표는 2000년 산업연관표를 바탕으로 추정하여 사용하였다.²⁾ 물량 단위로 나타난 에너지 저감량을 금액으로 나타내기 위한 환산단위는 Park & Heo[19]를 따라 석탄, 연료유, 전력, 도시가스 각각 0.2162, 0.6389, 1.0002, 0.5623(단위: 백만 원/TOE)을 사용하였다.

[표 3] 고온 순산소 연소 시스템 관련 자료(0.3MW급 연소기 기준)

기존 제품 1대의 시간당 에너지 사용량	0.027TOE
기존 제품 대비 신제품 1대당 에너지 절감률	45%
일일 평균 가동 시간	24시간
연 평균 가동 일수	365일
해당산업	
석유화학 기초제품	20
무기화학 기초제품	5
유리제품	10
도자기	5
선철 및 합금철	20
조강	20
비철금속과	20

3-2 순산소 연소 기술의 직·간접 기대효과 분석

정형화 방법을 바탕으로 하여 이산화탄소 저감 및 처리 기술개발 사업(CDRS사업)의 순산소 연소 기술R&D의 직접 에너지 저감효과를 산정한 과정 및 결과는 다음과 같다.

[표 4] 고온 순산소 연소 시스템 기술 R&D 직접 에너지 저감효과 산정

- ① 기존 제품 1대(기)의 시간당 에너지 사용량 : 0.027(TOE)
- ② 신제품의 에너지 절감률 : 45(%)
- ③ 일일 평균 가동 시간 : 24(hr.)
- ④ 연 평균 가동 일수 : 365(days)
- ⑤ 신제품 1대(기)당 연간 에너지 절감량(①× ②× ③× ④)

$$= (기존 제품 1대(기)의 시간당 에너지 사용량) \times (\text{신제품의 에너지 절감률}) \times (\text{일일 평균 가동 시간}) \times (\text{연 평균 가동 일수})$$

$$= 0.027(\text{TOE}) \times 45(\%) \times 24(\text{hr.}) \times 365(\text{days})$$

$$= 106.4(\text{TOE/yr.})$$
- ⑥ 2012년 기준 신제품의 예상 보급 대수 : 25,000대
- ⑦ 2012년 기준 총 연간 에너지 절감량(⑤× ⑥)

$$= (\text{신제품 1대(기)당 연간 에너지 절감량}) \times (\text{2012년 기준 신제품의 예상 보급 대수})$$

$$= 106.2(\text{TOE/yr.}) \times 25,000(\text{대})$$

$$= 2,660,000(\text{TOE/yr.})$$

2) 에너지수요전망, 중기수요전망 참고(에너지경제연구원)

다음으로 순산소 연소 기술을 통한 간접 에너지 저감효과를 산정하기 위해 추정된 산업연관표(혼합모형) 상에서 직접 에너지 투입계수와 총 에너지 투입계수를 구하였다. 산업연관표(혼합모형) 상의 에너지 산업 부분에서 순산소 연소 시스템을 통해 저감될 에너지양이 타 산업에 미치는 효과를 산정하기 위하여 강광하[1], Miller & Blair[21], Park & Heo[19] 등 산업연관분석방법론에서 언급된 에너지산업분석방법인 직접 에너지 투입계수와 총 에너지 투입계수를 구하였다. 이를 통해 순산소 연소 시스템 적용 전과 후의 투입계수 변화를 파악하였으며, 투입계수의 변화량을 통해 에너지 저감량을 산정하였다.

[표 4] 순산소 연소 시스템 적용에 따른 에너지 투입 계수

	직접 에너지 투입계수(δ)	총 에너지 투입계수(α)
순산소 연소 시스템 적용 전	15.6294	56.1875
순산소 연소 시스템 적용 후	15.2526	53.7253
직접 효과 대비 간접 효과		4.5985

위 표에서 알 수 있듯이 순산소 연소 시스템의 적용 후 총 에너지 투입계수가 감소하였으며, 직접 투입계수의 변화량 대비 간접 투입계수의 변화량이 약 4.6배로 나타났다. 곧, 순산소 연소 시스템의 적용으로 인해 2,660,000TOE의 직접적인 에너지 저감 효과 외에 산업 전반에 걸쳐 간접적으로 12,236,000TOE의 에너지 저감 효과가 나타남을 알 수 있다.

산정된 에너지 저감량을 바탕으로 에너지 저감에 따른 해당산업의 비용절감액과 이산화탄소 배출 저감량을 구한 결과는 다음 표와 같다. 이때 산정되는 수치는 당연히 순산소 연소 시스템 적용으로 인해 연과산업의 에너지 저감 효과가 모두 해당산업의 에너지 비용절감으로 나타난다고 가정하고 산정한 값이다.

[표5] 순산소 연소 기술 적용에 따른 에너지 비용절감 및 이산화탄소 배출저감 기대효과

	에너지 비용절감(백만 원/yr.)	이산화탄소 배출저감(TC/yr.)
직접 기대효과	123,468.29 ³⁾	1,699,474 ⁴⁾
간접 기대효과	567,954.12	7,817,580.4
총 기대효과	691,422.41	9,517,504.4

3-3 순산소 연소 기술의 기타 파급효과

순산소 연소 기술 개발을 통한 기타 파급효과를 고려하여보았다. 여라가지 파급효과가 계산 가능하겠으나, 여기서는 대표적인 기술개발 R&D의 효과인 수입대체 효과를 산정하였다. 수입대체 효과는 원단위의 수입대체금액으로 나타낼 수 있다(배위섭 외[5]). 여기서는 제품을 개발함으로써

3) 2012년 기준 총 연간 에너지 절감액

$$= \sum_{i=1}^n [(총 연간 에너지 절감량) \times (\text{대상 저감 에너지원 비율})_i \times (\text{금액 환산단위})_i]$$

4) 2012년 기준 총 연간 CO₂ 저감량

$$= (\text{총 연간 에너지 절감량}) \times (\text{IPCC 탄소 배출 계수}) \\ = 2,660,000(\text{TOE}/\text{yr.}) \times 0.6389(\text{TC}/\text{TOE})$$

얻을 수 있는 연간 수입 대체량에 수입품의 금액(평균치)을 고려하여 계산하는데 순산소 연소 시스템의 경우 국내 보유 기술이 없으므로 「CDRS 개발기술의 파급효과 정량화 표기방식 통일을 위한 조사」를 통해 조사된 2012년 예상 보급대수의 절반(50%)를 수입기자재의 대체량으로 간주하였으며, 수입품의 금액은 미국의 제품을 기준으로 0.3MW급 순산소 연소기의 평균단가를 이용하여 다음과 같이 간략히 계산하였다.

$$\begin{aligned}\text{수입대체 금액} &= \text{수입품의 금액(원/unit)} \times \text{수입 대체량(unit)} \\ &= \text{미국의 순산소 연소기 평균단가(원/unit)} \times 2012\text{년 기준 국내 순산소 연소기 예상보급대수(unit)의 } 50\% \\ &= 7,000,000(\text{원}/\text{unit}) \times 12,500(\text{unit}) \\ &= \mathbf{87,500(\text{백 만 원})}\end{aligned}$$

4. 연구의 의의

본 연구는 이산화탄소 저감 및 처리 기술개발 사업(CDRS사업)을 대상으로 하여 에너지기술 R&D의 기술개발효과를 기술 개발자 스스로 손쉽게 측정할 수 있도록 하는 방법을 구상하여본 것이다. 이를 위하여 에너지 저감 및 이산화탄소 저감 기술을 에너지 저감 및 이산화탄소 저감 특성에 따라 열 가지로 분류하고 그 분류에 따라 정형화된 계산 방식을 제시함으로써 직접 에너지 저감량의 산출에 타당성을 부여하고 이후 직접 에너지 저감량을 바탕으로 산업연관분석 및 에너지투입산출 분석을 이용하여 간접 에너지 저감량을 산출할 때 산출된 값에 대한 정확성 및 타당성을 부여하는 방법론을 제시하는데 의의가 있다.

본 연구에서는 직접저감효과를 산정하는 방법을 정형화하는데 그쳤으나 앞으로 간접파급효과 역시 보다 손쉽게 측정할 수 있는 방법을 개발하고자 한다. 현재로는 산업연관분석을 활용하고 있는데, 이를 보완, 회귀분석을 통해 추정하는 등의 보다 신뢰도가 높은 추정방법을 이용한 분석이 필요할 것으로 보고, 이와 같은 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

[참 고 문 현]

- [1] 강광하, 「산업연관분석론」, 연암사, 2000,
- [2] 김태온, “산업연관표를 이용한 부품·소재산업의 수입증가요인분석”, 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 석사학위논문, 2004.
- [3] 김태유 외, 부품소재기술개발사업 성과분석체계 기획에 관한 연구, 산업자원부, 2001
- [4] 박태순, “에너지투입산출모형을 이용한 산업별 이산화탄소 배출량 산정과 탄소세 영향 분석”, 서울대학교 환경계획학과 석사논문, 1994.
- [5] 배위섭 외, “에너지 절약기술 개발사업의 성과분석 연구”, 산업자원부, 2002
- [6] 산업기술정책연구소, “공업기반기술개발사업 10년 성과분석 및 개선방안 수립연구”, 1998
- [7] 손재익, 박상도, 이영수 외, 기후변화협약과 연계된 에너지 원천기술기획, 한국에너지기술연구소 보고서, 1998
- [8] 에너지경제연구원, “에너지절약 기술개발사업의 성과분석 및 사후관리방안 연구”, 통상산업부, 1997.
- [9] 에너지경제연구원, 「에너지수요전망」
- [10] 정미애, “국내 생물산업의 구조와 산업연관분석”, 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 석사

학위논문, 2003

- [11] 한국과학기술평가원, “국가 연구개발사업의 전략적 기획을 위한 기술평가 연구”, 연구보고 99-02, 1999
- [12] 한국과학기술평가원, “특정연구개발사업 평가시스템의 선진화 방안”, 연구보고 99-04, 1999
- [13] 허은녕 외, “1차년도 선정기술개발과제의 기술-제품-산업연관도”, 이산화탄소 저감 및 처리 기술개발 사업 정책연구보고서, 서울대학교 지구환경경제연구실, 2003
- [14] 허은녕 외, “CDRS 선정기술의 경제적 평가 및 산업파급효과 분석 중간보고서”, 이산화탄소 저감 및 처리 기술개발 사업 정책연구보고서, 서울대학교 지구환경경제연구실, 2004
- [15] 황용수 & John M. Logsdon, “정부연구 개발 프로그램 평가에 관한 연구”, 과학기술정책관리 연구소, 1993.
- [16] Bozeman, B., & J. Melkers, "Evaluation R&D Impacts: Methods and Practice, Kluwer Academic Publisher", 1993
- [17] Brennan, M., E. Schwartz, "Evaluating Natural Resource Investments", *Journal of Business*, 58-2, 135-157, 1985
- [18] Ormala, E., "Nordic Experiences of the Evaluation of Technical Research and Development", *Research Policy*, Vol. 18, 1989
- [19] Park, H. and E. Heo, 'The direct and indirect household energy requirements in the Rep. of Korea from 1980 to 2000 - an input-output analysis', 6th IAEE European conference, 2004
- [20] Papers on Input-Output Techniques, *International Conference*, 2002
- [21] Miller, Ronald E. and Peter D. Blair, *Input-Output Analysis*, 1985
- [22] US Department of Energy (DOE), "Procedures for Peer Review Assessments", Office of Energy Research, Office of Program Analysis, Report No. DOE/ER-0491P, April, 1991