

연구보고서 99-12

에너지-경제-환경시스템의 모형화에 관한 연구

姜升振



에너지경제연구원
KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE

Copyright(o) 1999. KEEI

목 차

I. 서론

II. 한국의연산일반균형모형의 개발

1. 모형의 개요

- 가. 기본 구조
- 나. 부문분류
- 다. 부문별 모형구조 및 경제주체의 형태
 - 1) 생산부문
 - 2) 가계부문
 - 3) 정부의 역할
 - 4) 투자부문
 - 5) 해외부문
- 라. 균형조건
- 마. 이산화탄소 배출 및 감축정책수단

2. 도시가스 수용가수 추이

- 가. 생산부문의 방정식
 - 1) 총생산 결정
 - 2) 생산요소 복합재
 - 3) 생산요소 수요
 - 4) 에너지 중간재의 수요
 - 5) 화석에너지 복합재
 - 6) 전력 복합재
 - 7) 중간투입재
 - 8) 생산부문의 가격관계
- 나. 수출 및 국내재
- 다. 수입 및 재화의 공급
- 라. 탄소세 도입시의 에너지가격

3. 최종수요부문

- 가. 가계부문 방정식
 - 1) 가계소득
 - 2) 소비지출 : 확장 선형지출체계
 - 3) 소비재의 전환
- 나. 정부부문 방정식
 - 1) 정부수입
 - 2) 정부이전지출
 - 3) 정부저축 및 소비
- 다. 투자 및 자본축적
 - 1) 총투자
 - 2) 자본재수요
 - 3) 자본축적

4. 모형의균형 및 기타변수의 계산

- 가. 균형조건

- 1) 해외부문의 Closure rule
- 2) 각 시장의 균형
- 3) 이산화탄소 배출
- 나. 거시경제변수의 계산
- 다. 외생변수의 변화

Ⅲ. 입력자료 및 모수의 결정

- 1. 자료 및 사회회계행렬
 - 가. 가스안전사고 총괄
 - 나. 원인별·사용처별 사고현황
- 2. 모수의 계산
 - 가. 모수의 결정방법
 - 1) CES 함수
 - 2) Cobb-Douglas 함수
 - 3) Leontief 함수
 - 4) ELES 함수
 - 나. 파라미터 값 선택
 - 다. 계산 파라미터

Ⅳ. 시나리오별 정책모의 실험 결과

- 1. BAU 시나리오
 - 가. BAU 시나리오 추정방법
 - 1) 일부 파라미터의 조정
 - 2) 외생변수의 전망
 - 나. 경제성장 전망
 - 다. 에너지수요 전망
 - 라. 이산화탄소 배출전망
- 2. 탄소세 부과에 따른 효과
 - 가. 탄소세 도입의 개념
 - 나. 세계단일 탄소세 부과효과
 - 다. 탄소세 크기에 따른 시뮬레이션
- 3. 이산화탄소 배출 목표 부과시의 효과
 - 가. 배출목표 설정의 개념
 - 나. 배출목표 수준 및 한계비용
- 4. 국제 배출권 거래시의 효과분석
 - 가. 국제 배출권거래의 개념
 - 나. 국제 배출권거래제 도입시의 효과분석
 - 다. 정책수단별 효과비교

Ⅴ. 요약 및 결론 : 정책 대응 및 모형개선방향

1. 정책적 시사
2. 분석의 한계 및 향후 개선방향

참고문헌

표 목 차

- <표Ⅱ-1> 부문분류표
- <표Ⅱ-2> 생산부문의 방정식
- <표Ⅱ-3> 중간투입재 수요방정식
- <표Ⅱ-4> 생산부문의 가격관계식
- <표Ⅱ-5> 재화 공급부문의 방정식
- <표Ⅱ-6> 가계부문 방정식
- <표Ⅱ-7> 정부부문 방정식
- <표Ⅱ-8> 투자와 자본축적 방정식
- <표Ⅱ-9> CO₂ 배출 및 균형조건

- <표Ⅲ-1> 사회회계행렬의 구조
- <표Ⅲ-2> 사회회계행렬(1990년도)
- <표Ⅲ-3> 조정된 산업연관표
- <표Ⅲ-4> 소비재 전환행렬
- <표Ⅲ-5> 생산부문의 대체탄력성 및 자본가격 조정계수
- <표Ⅲ-6> 소비재수요의 소득탄성치
- <표Ⅲ-7> 외생 파라미터
- <표Ⅲ-8> 에너지와 이산화탄소 배출 관련 파라미터
- <표Ⅲ-9> 칼리브레이션 방법에 의해 계산된 파라미터

- <표Ⅳ-1> 생산부문 화석에너지 배분계수 조정
- <표Ⅳ-2> 가계소비부문 화석에너지 배분계수 조정
- <표Ⅳ-3> 인구 및 노동공급 전망
- <표Ⅳ-4> 국제 에너지 가격 변화
- <표Ⅳ-5> 경제성장 전망(기준 시나리오)
- <표Ⅳ-6> 에너지수요 및 원단위(기준 시나리오)
- <표Ⅳ-7> 이산화탄소 배출(기준 시나리오)
- <표Ⅳ-8> 세계단일 탄소세 추정치
- <표Ⅳ-9> 세계단일 탄소세 도입에 따른 효과
- <표Ⅳ-10> GRREN 모형의 세계탄소세 도입 결과
- <표Ⅳ-11> 배출수준에 따른 한계감축비용
- <표Ⅳ-12> 배출수준에 따른 경제적 효과
- <표Ⅳ-13> 배출감축 요인별 분석
- <표Ⅳ-14> 배출권 거래제의 효과 분석(1995년 수준 배출시)
- <표Ⅳ-15> 정책수단별 GDP 감소 비교(1995년 수준 배출시)
- <표Ⅳ-16> 배출목표 수준에 따른 배출권 거래제의 효과

그림 목 차

- [그림 II-1] 모형 내에서의 재화와 용역의 흐름
- [그림 II-2] 다단계 생산구조
- [그림 II-3] 수요와 공급의 균형

- [그림 IV-1] 에너지소비구조(기준 시나리오)
- [그림 IV-2] 탄소세 도입의 개념도
- [그림 IV-3] 탄소세에 따른 CO₂ 감축량
- [그림 IV-4] 탄소세 도입에 따른 GDP 손실
- [그림 IV-5] 이산화탄소 감축과 GDP 손실
- [그림 IV-6] 배출목표 설정의 개념도
- [그림 IV-7] 목표 설정에 따른 배출수준
- [그림 IV-8] 국제 배출권거래제의 개념도

요 약

기후변화협약과 교토의정서를 통해 선진국들은 온실가스 배출을 1990년 대비 5% 이상 감축하기로 하였다. 반면, 우리나라는 선진국의 경제수준에 이르기 위해서는 상당기간 제약 없는 경제발전이 필요하며, 선진국과 비견되는 온실가스 감축은 국민경제에 큰 파급효과를 미칠 것으로 예상된다. 따라서, 비록 우리나라는 온실가스 감축의무를 지고 있지 않지만, 기후변화협약에 대한 대응방안 및 협상전략 수립을 위하여 여러 가지 시나리오 및 정책대안별로 에너지 및 경제에 대한 파급효과를 분석할 필요성이 있다.

본 연구는 우리나라의 에너지사용으로부터 발생하는 이산화탄소배출 감축정책의 효과를 분석하기 위하여 새로운 연산 일반균형모형을 개발하여 분석하였다. 본 모형은 다부문 축차적 동태모형으로, 2030년까지 매 5년 단위로 GDP를 비롯한 경제변수, 에너지소비, 이산화탄소 배출량을 전망할 수 있도록 설계되어 있다. 부문분류는 크게 생산부문, 소비부문, 해외부문으로 나뉘지며, 생산부문은 8개의 비에너지 생산부문, 5개의 에너지생산부문, 그리고 3개의 수입에너지 부문을 포함한다. 또한 최종소비부문은 가계소비, 정부소비, 투자소비로 구성된다.

본 연구에서는 우리나라의 온실가스 감축을 위한 세계 단인 탄소세 도입, 국내 정책수단만으로 주어진 온실가스 배출목표 설정, 그리고 국제 배출권거래제 도입 등 세 가지의 온실가스 감축정책 시나리오를 분석하였다. 분석결과, 첫째, 우리나라의 이산화탄소 한계감축비용이 세계 수준보다 높기 때문에, 세계 탄소세 도입이 우리나라 경제에 미치는 영향을 최소화할 수 있다. 그러나 국내의 이산화탄소 배출은 계속 증가한다. 둘째, 국내 정책수단만으로 1995년 또는 2000년 수준으로 온실가스 배출목표를 설정할 경우에는 감축비용이 매우 높으며, 경제에 미치는 영향도 매우 클 것으로 분석된다. 예를 들면, 2020년에 온실가스 배출을 1995년 수준으로 감축할 경우, 온실가스는 기준 시나리오 대비 51% 감축하여야 하고 한계감축비용은 탄소톤당 846 달러에 이르며, GDP는 4.4% 감소하는 것으로 나타났다. 셋째, 우리나라의 온실가스 배출목표 설정시, 국제 배출권거래제에 참여함으로써, 비록 배출권 구입을 위하여 상당한 비용을 지불해야 하나 경제에 미치는 충격을 완화할 수 있다. 즉, 앞서와 같은 감축의 경우, GDP의 0.9%에 해당하는 비용을 배출권 구입을 위해 해외에 지출해야 하나, 전체 GDP 감소는 2.2%로 완화된다.

본 연구의 결과를 종합해 보면, 우리나라의 온실가스 감축의무 부담시, 국내 정책수단만으로 대응하는 것은 우리 경제에 큰 부담이 된다고 나타났다. 따라서 온실가스 감축의무 부담시에는 국제 배출권거래제, 공동이행, 청정개발체제 등 교토의정서 메커니즘을 적극 활용하여 비용효과적으로 온실가스를 감축할 필요가 있다고 판단된다. 또한, 배출목표 수준이 바로 배출권 구입 또는 판매 수준을 결정하므로, 배출목표 설정에 있어서 신중하게 대처할 필요가 있다.

그리고, 본 연구에서는 온실가스 감축을 위해 탄소세나 국제 배출권거래제 등의 가격정책의 효과만을 분석하였다. 그러나 본 연구의 결과는 가격정책에만 의존한 온실가스 감축은 그 비용이 매우 크며, 한계가 있다는 것을 보여주고 있다. 따라서 경제에 부담을 완화 시키기 위해서는 가격정책과 더불어 에너지기술 개발, 산업구조 및 수송구조 조정 등을 동시에 병행하여야 함을 시사하고 있다.

I. 서론

기후변화협약상의 온실가스 규제를 강화하기 위하여 97년 12월 교토 의정서가 채택되었으며, 이에 따라 선진국들은 2008-2012년 기간 동안 온실가스 배출을 1990년 대비 평균 5.2% 감축하기로 하였다. 우리나라는 기후변화협약 상 개도국으로 분류되어 있어 온실가스 배출 감축의무를 부과 받지 않고 있으나, 선진국들은 개도국들, 특히 우리나라와 같이 신규OECD 가입국에 대해서 2008-2012년 기간부터 자발적인 온실가스 감축의무 부담을 요망하고 있다. 우리나라는 경제가 안정기에 접어든 선진국과는 달리 빠른 경제성장을 이루어 왔으며, 이에 따라 에너지소비 및 온실가스 배출도 매우 높은 증가세를 보여 왔다. 또한, 우리나라가 선진국의 경제수준에 이르기 위해서는 상당기간 제약 없는 경제발전이 필요하다. 그런데 대부분의 온실가스 배출이 에너지사용으로부터 발생되며, 에너지는 경제활동과 매우 밀접히 연관되어 있다. 우리나라는 철강, 석유화학 등의 에너지 집약적 산업의 비중이 매우 높은 에너지 다소비형 산업구조를 가지고 있다. 또한 우리나라의 자동차 보급율이 선진국에 비해 낮은 수준에 있어 향후 수송용 에너지수요가 지속적으로 증가될 것으로 예상된다. 따라서 IMF 금융위기 극복 후 경제가 회복세에 접어들면서 에너지소비 및 온실가스 배출이 계속 증가할 것이다.

이러한 상황에서 우리나라가 선진국과 비견되는 수준의 온실가스 감축은 국민경제에 큰 파급효과를 가져올 것으로 예상된다. 따라서, 에너지와 경제, 그리고 환경을 동시에 고려하는 분석모형을 개발하여, 온실가스 감축 시나리오별로 국민 경제에 미치는 파급효과를 분석하고자 한다. 나아가 분석결과를 토대로 이산화탄소 감축 대응전략이 정책적 시사점 도출하고, 온실가스 배출 감축압력에 대한 대응논리를 개발하고자 한다.

본 연구에서는 이러한 분석을 위하여 에너지-경제-환경을 동시에 고려할 수 있는 연산일반균형(CGE: Computable General Equilibrium)모형을 개발한다. 연산일반균형모형의 이용은 노르웨이의 Johansen(1960)의 경제성장론에 따른 자원배분 연구, Harberger(1962)의 조세정책의 효과 연구로부터 시작되었으며, 이후 경제개발 및 산업구조, 조세 및 재정정책, 국제무역, 농업 및 에너지 분야 등에 다양하게 이용되어 왔다. 연산일반균형모형의 특징은 경제의 생산, 소비부문 등을 전체적으로 다루고 환류 효과(feedback effects)를 고려할 수 있으며, 특정 경제정책이 자원배분에 미치는 효과를 일관된 체계하에서 분석할 수 있다. 또한, 가격변수가 내생화 되고, 경제내의 모든 재화의 수요, 공급이 균형을 이루는 상대가격체계를 찾을 수 있으며, 일반적으로 가격이 시장의 수급상황에 따라 신축적으로 변한다는 가정을 채택한다.

에너지분야에서는 제1차 석유파동 이후 연산일반균형모형이 이용되기 시작하였으며, Hudson & Jorgenson (1974)의 모형, Manne & Richels (1977)의 ETA-MACRO 모형 등이 그 효시를 이루고 있다. 이들 모형은 국제 에너지가격 상승 또는 에너지공급 제약시의 경제적 효과를 분석하고 있다. '80년대 이후 환경문제에 대해 관심이 고조되면서, 연산일반균형 모형은 에너지 사용으로 인한 대기오염 또는 이산화탄소 감축 등을 분석하기 위하여 사용되기 시작하였다. 대부분의 연산일반균형모형에서는 온실가스 배출을 감축하기 위한 경제적 정책수단으로 탄소세/에너지세, 배출권거래제 등을 도입하여 시장경제원리에 따른 효과를 분석하고 있다.

그러나, 같은 이론적 배경(일반균형이론)에도 불구하고, 모형개발자에 따라 매우 다양한 형태의 모형이 사용되고 있다. 즉, 부문분류, 지역적 범위, 분석기간 및 동태 분석, 경제주체의 기대에 대한 가정, 생산 및 소비구조, 생산함수 및 효용함수 선택, closure rule 등에 따라 다양한 모형이 존재한다.

II. 한국의 연산일반균형모형의 개발

본 연구에서는 한국에서의 에너지사용으로부터 발생하는 이산화탄소배출 감축정책이 국민경제에 미치는 효과를 분석하기 위하여 새로운 연산일반균형모형을 개발한다.

한국의 에너지분야 및 온실가스 감축분야에 적용된 모형으로는 유상희/최충규(1994), 손양훈/신동천(1996), S.H.Kim(1995) 등이 있다. 유상희/최충규(1994)는 산업연관분석을 기초로 우리나라의 탄소세 부과시의 경제적 효과를 분석하였으며, 손양훈/신동천(1996)은 연산일반균형모형을 사용하여 전력요금의 변화가 경제에 미치는 영향을 분석하고 있다. 그러나 이 두 연구는 생산부문에서 에너지를 포함한 중간투입 재화의 투입비율이 일정하다고 가정하고 있다. 즉, 모형 내에서 생산부문에서 에너지와 타 생산 요소간의 대체가 불가능하다고 보고 있다. 따라서, 에너지가격 변화 또는 탄소세 부과 시에 에너지와 타 요소와의 대체관계, 그리고 가격수준과 탄소함량이 다양한 에너지원 간의 대체관계를 분석할 수 없는 한계를 가지고 있다.

S.H.Kim(1995)은 제2세대모형(The Second Generation Model:SGM)의 한국 모듈을 개발하여 적용하였다. SGM은 미국 PNNL의 J.Edmonds등에 의해 개발된 세계의 여러 지역 및 국가를 포함하는 세계 연산일반균형모형(Global CGE)이며, 에너지사용 등 인류의 경제활동으로부터 발생하는 지구온실가스 감축정책의 효과를 분석하는 모형이다. 그러나 동 모형은 에너지부문을 제외한 생산부문을 단지 농업과 기타산업의 2부문으로만 분류하고 있어, 온실가스 감축이 각 산업에 미치는 효과를 자세하게 분석할 수 없다는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 상기 연구들에서 각각 한계점을 극복하기 위하여, 비에너지 생산부문을 세분하여 다단계 생산구조를 도입하여 이산화탄소 감축정책이 각 산업에 미치는 효과를 분석하고, 에너지와 타 생산요소 간 및 에너지원간 대체관계를 분석할 수 있도록 구성되었다. 그리고 최종소비부문에서도 에너지사용 특성에 따라 소비재를 재구성하는 방법을 사용한다. 그러나 본 연구에서 한국에 적용된 기존 모형으로부터 모형의 일부 함수식 및 주요 파라미터의 값을 채택하여 사용했음을 밝혀두고자 한다.

1. 모형의 개요

가. 기본 구조

본 연산일반균형(CGЕ)모형은 한국의 에너지부문의 이산화탄소 감축정책이 국민경제에 미치는 영향을 분석하기 위해 개발되었다.¹⁾

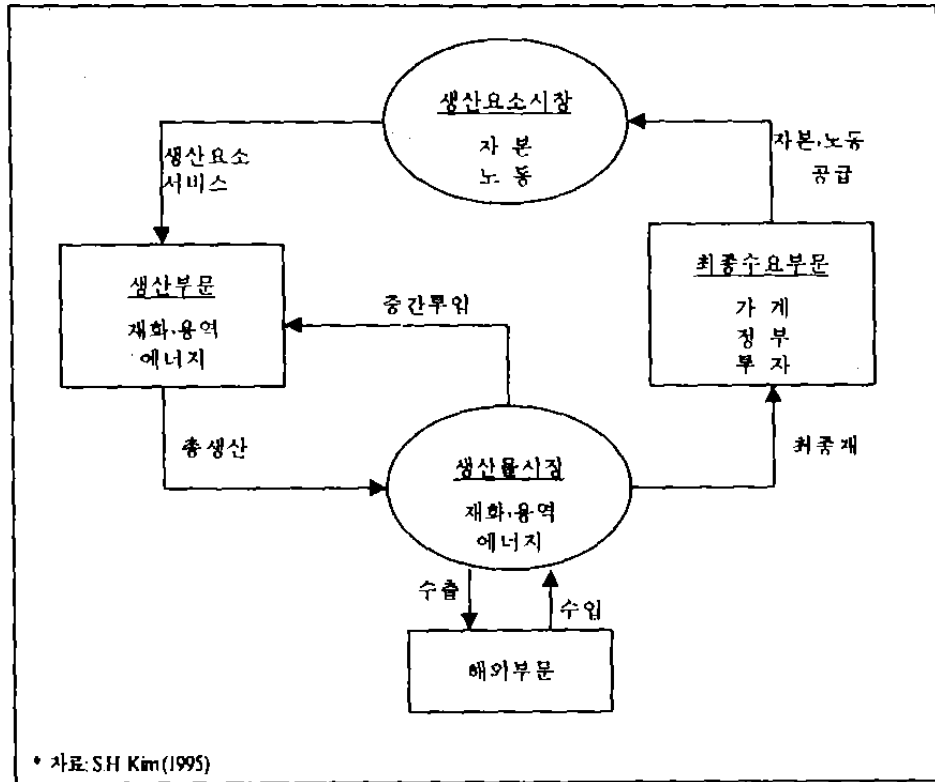
본 모형의 특징은 다부문 축차적 동태(recursive dynamic)모형으로, 1990년도를 기준년도로 하여 2030년까지 매 5년 간격으로 GDP를 비롯한 경제변수, 에너지소비, 이산화탄소 배출량을 전망하도록 설계되어 있다. 즉, 모형 내에서 생산자 및 소비자들은 근시안적인 경제활동을 영위한다는 가정하에, 현재의 의사결정은 과거의 실적에 기초하며 미래의 상황에 의해서 영향을 받지 않는다고 보는 것이다. 따라서 본 모형에서는 과거의 실적자료에 기초하여 매기간별로 경제의 균형을 계산하며, 외생적으로 결정되는 노동증가, 기술개발, 국제 에너지가격을 포함한 국제재화가격의 변화와 모형에서 내생적으로 결정되는 자본축적에 의해 다음 기간의 균형이 계산된다.

본 모형에서의 부문분류는 크게 생산부문, 최종수요부문, 해외부문의 3부문으로 대별되며, 생산요소 시장과 생산물 시장에서 수요와 공급의 균형이 이뤄진다. 그러나 해외시장에서는 환율이 고정되어 있다는 가정하에 수출과 수입의 균형을 찾지 않으며, 경제상황에 따라 무역의 불균형이 존재할 수 있다. 모형 내에서 재화와 용역의 흐름은 [그림II-1]에 나타난 바와 같다.

먼저 자본과 노동의 생산요소는 가계에 의해 소유되며, 생산요소시장을 통하여 생산부문에 공급된다. 생산부문에서는 이 생산요소와 중간투입재화를 사용하여 재화 및 용역과 에너지 제품을 생산하며, 생산된 산출물은 수출되거나 국내에서 소비된다. 한편 수입재화 및 수출을 제외한 국내재화는 국내 생산물시장을 통하여 생산부문의 중간투입 재화로 사용되거나, 가

계 및 정부의 소비 또는 투자 등의 최종소비재로 사용된다.

[그림 II-1] 모형 내에서의 재화와 용역의 흐름



나. 부문분류

본 모형에서의 생산부문, 최종수요부문, 해외부문, 생산요소 등의 분류는 <표II-1>에 나타난바와 같다. 우선 모형에서 고려된 재화와 용역은 총 16개로 분류되었으며, 이중 국내에서 생산되는 부문은 13개이며, 국내에서 생산되지 않는 비경쟁 수입부문부문에 원유, 천연가스, 우라늄 등의 3개 제품이 포함된다.

<표 II-1> 부문분류표

부 문	번 호	부 문 명 칭	포 함 세 부 문
생산부문	1	농 업	농림어업
	2	에너지다소비산업	화학, 비금속 광물, 일차금속
	3	장 비 산 업	금속제품, 기계, 전기전자기기
	4	수 송 장 비	자동차, 선박, 기타 수송장비
	5	기 타 산 업	광업, 음식료품, 섬유, 목재, 종이, 인쇄출판, 기타 제조업
	6	전 설 업	
	7	운 수 통 신	운수창고 통신업
	8	서 비 스	기타서비스, 공공서비스
(에너지)	9	석 탄	석탄, 석탄제품
	10	석 유 제 품	
	11	도 시 가 스	도시가스 열공급
	12	일 차 전 력	수력, 원자력
	13	화 력 발 전	화력발전, 자기발전
(수입)	14	원 유	(비경쟁 수입)
	15	천 연 가 스	(비경쟁 수입)
	16	우 라 뇨	(비경쟁 수입)
최종수요	17	가 계	
	18	정 부	
	19	투 자	
해외부문	20	해 외 부 문	수출 수입 외국자본유입(해외직부)
생산요소		노 동	
		자 본	

생산부문에서는 우선 비에너지 생산부문이 부문의 특성에 따라 8개 부문으로 분류되고, 에너지부문은 각 에너지제품별 탄소함량에 따라 석탄, 석유제품, 도시가스, 일차전력(수력/원자력), 화력발전의 5개 부문으로 분류된다. 특히, 전력부문에서 수력, 원자력 등의 일차전력은 이산화탄소 배출이 전혀없는 발전 기술이므로, 화석에너지를 연료로 사용하는 화력발전과 구분하였다.

최종수요 부문은 가계, 정부, 투자 부문으로 분류하였으며, 가계는 자본과 노동 등 생산요소를 공급하며 최종소비의 주체이다. 정부는 정부저축 및 정부소비지출을 행하며, 투자부문은 투자재를 소비한다. 또한, 해외부문에서는 재화와 용역의 수출 및 수입, 그리고 해외저축이 이루어 진다. 또한 본 모형의 본원적 생산요소로서 노동과 자본을 고려하였다.

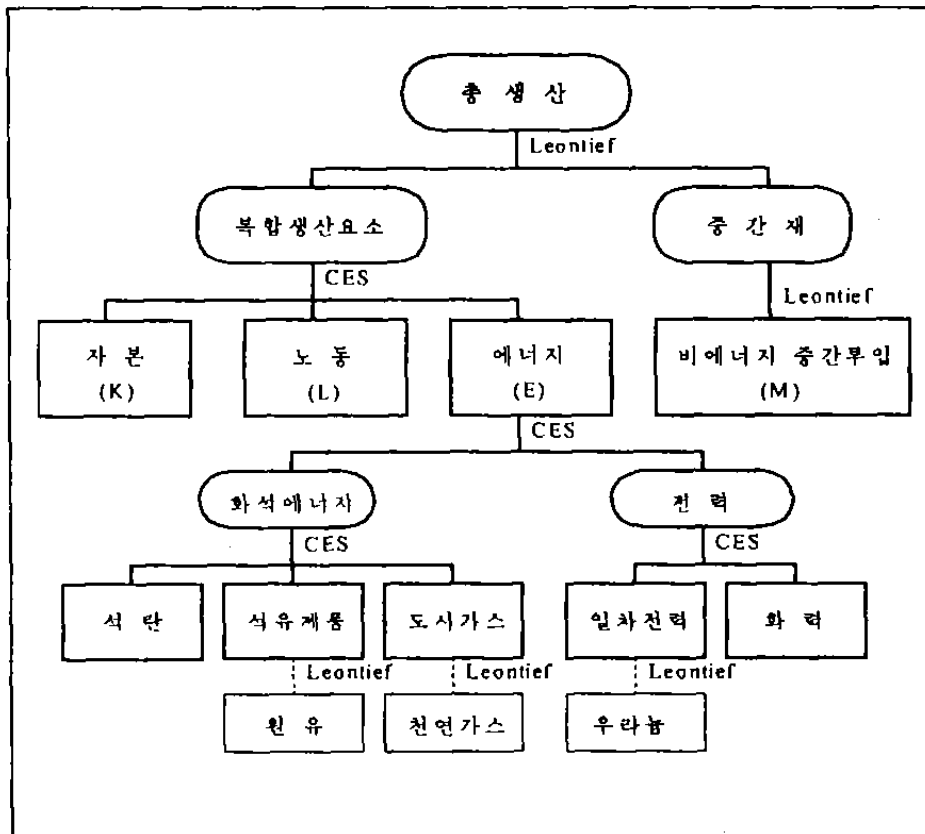
본 모형에서는 이러한 각 부문별로 대표적인 경제활동주체가 존재하며, 이들이 경제활동 관련 의사결정을 한다고 가정한다.

다. 부문별 모형구조 및 경제주체의 행태

1)생산부문

생산은 기본적으로 자본(K), 노동(L), 에너지(E), 비에너지 중간투입(M)을 생산요소로 하는 KLEM의 다단계 생산구조에 의해 이루어진다.([그림 II-2] 참조) 이러한 다단계 생산구조하에서 생산자는 단계별로 의사결정을 하게 된다. 우선, 생산량은 자본-노동-에너지(KLE) 복합생산요소와 중간재의 레온티에프 생산기술에 의해 이루어 지는 것으로 가정했으므로 이들의 투입비율은 가격변화에 관계 없이 일정하다. 둘째, 복합생산요소는 자본, 노동, 에너지 등 3개 생산요소의 불변대체탄력성(Constant Elasticity of Substitution : CES)함

[그림 II-2] 다단계 생산구조



수에 의해 구성된다. 이러한 CES 함수의 특징은 투입요소간에 상대가격 변화에 따라 대체가 이루어진다는 점이다. 즉, 에너지가격이 상승할 경우, 에너지는 자본 또는 노동과 대체될 수 있다.

중간재는 비에너지 중간투입재의 레온티에프 생산기술에 의한 복합재이다. 따라서, 중간투입재의 수요는 중간재수요 및 생산량에 비례하며, 중간투입재 간의 상대가격 변화에 의한 대체는 불가능하다. 또한 에너지는 최종에너지 제품의 복합재인데, 두 단계의 CES 생산기술에 의해 구성된다. 먼저, 에너지는 화석에너지와 전력으로 나누어진다. 다음으로 화석에너지는 다시 석탄, 석유제품, 도시가스로 구분된다. 한편, 전력은 이산화탄소 배출이 없는 일차전력(수력, 원자력)과 화석연료를 사용하는 화력발전으로 구분된다. 그리고 국내생산이 없는 비경쟁 수입제품인 원유, 천연가스, 우라늄은 각각 석유제품, 도시가스, 일차전력(원자력) 생산에 원료로 사용된다(레온티에프 생산기술). 이와 같은 에너지의 생산구조는 우리나라의 에너지산업구조 및 탄소함량이 상이한 에너지원간의 대체관계를 반영하기 위하여 채택되었다. 한편, KLE 복합생산요소 생산에 있어서는 중립적인 기술진보를 가정하였다. 즉, 이러한 기술진보는 자본, 노동, 에너지의 결합기술의 발달로, 생산요소 투입의 증가 없이도 복합생산요소의 생산을 증가 시키는 것을 말하며, 생산요소의 상대가격 변화가 없을 경우에 모든 생

산요소에 대해 동일한 율의 기술진보가 적용된다.

본 모형에서의 생산자는 완전경쟁 상태하에서 생산활동을 영위하는 가격 순응(Price-taker)로 가정하였으며, 모든 생산단계에서 1차 동차 생산함수를 채택하였다. 따라서 자본에 대한 시장가격에 따른 정상적인 보수 이외에 추가적인 이윤은 존재하지 않는다(zero profit condition). 또한, 자본 및 노동의 생산요소는 시장상황에 따라 부문간 이동이 자유롭다고 가정하였다.²⁾ 이러한 가정하에서는 기본적으로 전 생산부문에 걸쳐 노동 및 자본에 대한 단일 가격만(부문별 자본수익률에 대한 일부 조정계수 제외)이 존재한다.³⁾

2)가계부문

가계부문은 근시안적인 기대에 의해 행동하는 대표적인 한 소비자에 의해 경제활동이 이루어진다고 보았다. 모형 내에서 가계는 노동공급, 저축을 통한 자본의 공급, 그리고 최종소비의 3가지 주요 기능을 수행한다. 우선, 노동공급은 인구증가 및 경제활동인구 비율증가 등을 감안하여 외생적으로 이루어진다. 그리고, 가계의 저축과 소비지출은 확장 선형지출체계(Extended Linear Expenditure System : ELES)에 의해 동시에 결정된다. 이러한 ELES는 OECDdml GREEN 모형(J.M. Burniaux et al., 1992)에서 채택되었으며, 일반적으로 널리 쓰이는 선형지출체계(Linear Expenditure System : LES)와 비슷하나, 저축이 효용함수에 고려되어 있는 점이 다르다.

한편, 소비재는 에너지소비 특성에 따라 음식료품, 가전기기, 수송, 기타 제조품, 서비스, 석탄, 석유제품, 도시가스, 전력 등 9개로 재분류 하였다. 특히 가전기기 및 수송은 이용시에 에너지를 사용하기 때문에 일부 에너지와 통합하여 구성되는 복합재이다. 가전기기는 장비산업 최종소비재와 전력의 레온티에프(Leontief) 복합재이며, 수송은 대중교통(운수업) 최종소비재와 개인수송의 콥-더글러스(Cobb-Douglas) 복합재이다. 여기서 개인수송은 다시 수송장비 최종소비재(자동차)와 석유제품(자동차 연료)의 레온티에프(Leontief) 복합재이다. 이와 같은 소비재 구성방식은 에너지가격의 변화가 가전기기 및 수송의 수요에 미치는 영향을 보기 위해서다. 즉, 자동차 연료가격이 상승할 경우, 개인수송은 그 사용비용이 높아져 대중교통과 대체될 것이다. 나머지 소비재들은 기타 최종재의 레온티에프 결합기술에 의해 전환되는 것으로 보았다.

3)정부의 역할

본 모형에서 정부는 생산활동을 하지 않고 최종소비자로서의 역할만 한다고 가정하였다. 즉, 공공행정, 국방, 교육 등의 정부서비스 생산활동은 생산부문의 서비스업에 포함시켰다. 따라서 모형 내에서 정부는 크게 3가지 기능을 수행한다. 첫째는 조세부과의 기능이다. 조세는 정부수입의 원천이며, 생산품에 대한 간접세, 수입상품에 대한 수입세, 가계소득에 대한 직접소득세, 그리고 탄소세로 구성된다. 둘째는 정부저축, 셋째는 최종소비지출의 기능이다. 예산수지균형 가정에 따라 정부는 조세수입을 저축(정부투자), 가계 이전지출, 그리고 정부 소비로 모두 지출한다고 보았다. 또한 탄소세 부과시에 탄소세 수입은 재정의 중립성 가정에 가계에 이전 지출된다.

4)투자부문

모형에서 총투자는 총저축에 의해 결정된다. 즉, 가계, 정부, 해외저축 모두가 투자재원으로 사용된다. 여기서 해외저축은 자본수지 균형의 가정에 따라, 무역수지 적자시에는 적자폭 만큼의 해외저축이 유입되며, 흑자시에는 자본의 해외유출(음의 해외저축)이 발생한다고 보았다. 이러한 한 연도의 투자는 다음해 초에 이루어지는 것으로 가정하였다. 따라서 한 기간의 자본축적은 감가상각을 제외한 전년도 자본스톡에 전년도의 총투자(실물투자)를 합한 수치가 된다.

또한 국민경제 내에는 동일한 자본이 존재하며, 자본의 부문간 이동이 자유롭다고 가정하였다. 따라서 부문간의 자본의 배분은 자본의 한계생산성에 따라 신축적으로 이루어진다.

5) 해외부문

한국경제는 소규모 개방경제이므로 국내의 상황변화가 국제가격에 영향을 미치지 않는다고 가정하였다. 따라서 외생적으로 주어진 국제가격과 모형내에서 결정되는 국내가격과의 관계에 의해서 수출입이 결정된다. 그리고 본 모형에서는 고정환율제를 채택하여, 무역수지 균형을 위한 환율을 계산하지 않는다. 대신에 국내 경제상황에 따라 무역흑자 또는 적자가 발생하도록 모형이 설계되어, 이산화탄소 감축정책이 무역수지에 미치는 영향을 분석할 수 있도록 하였다.

수출에 대해서는 생산과정에서 불변전환탄력성(Constant Elasticity of Transformation : CET)결합생산함수에 의해 국내재와 수출재의 구분이 이루어진다. 또한 수입은 Armington의 가정을 채택하였다. 이에 따르면, 국내재와 수입재는 동일부문의 재화일지라도 불완전 대체관계에 있으므로 국내가격과 국제가격 비율에 따라 각각의 비율이 결정된다. 이러한 국내재와 수입재의 Armington 복합재는 생산부문의 중간수요, 가계와 정부의 최종소비, 그리고 투자재로 사용된다. Armington 복합재에서 수입재화의 비율은 각 용도별로 상이할 수 있으므로 사용 용도에 따라 다른 국내재/수입재 복합재를 사용해야 하나, 모형의 단순화를 위하여 모든 용도에 대해 동일한 복합재를 사용하는 것으로 가정하였다.

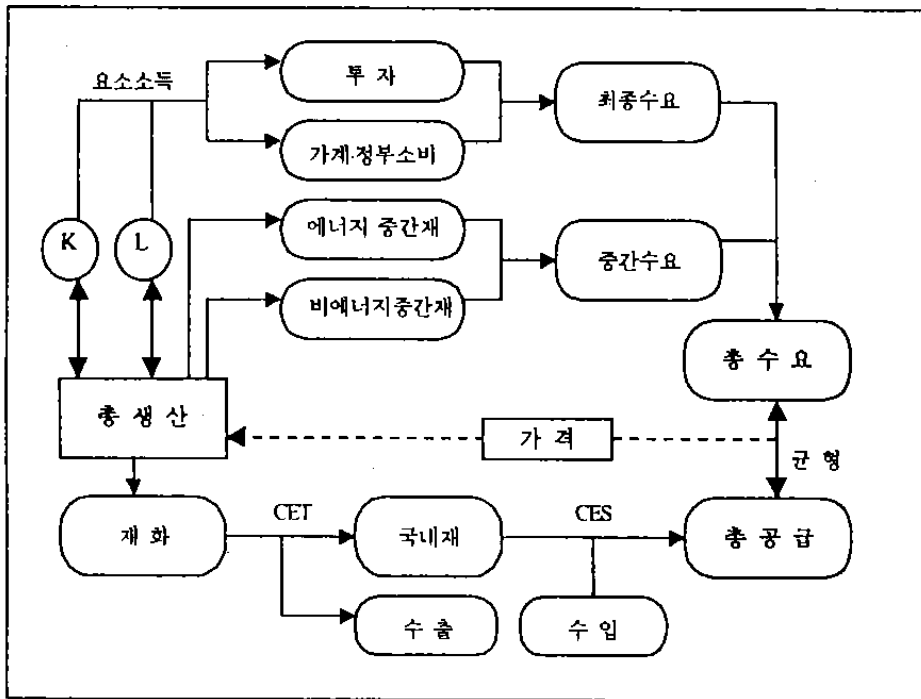
라. 균형조건

본 모형에서는 13개 국내생산 재화 및 자본과 노동에 대한 총수요와 총공급의 균형을 이루는 가격을 찾는다. 모형의 균형을 찾는 과정은 [그림 II-3]에 나타나 있다. 자본 및 노동의 양, 그리고 재화의 가격이 주어질 때, 각 부문의 생산량을 구할 수 있으며, 이 생산량은 국내재와 수출재로 구분된다. 국내재는 다시 수입재와 결합하여 재화와 용역의 총공급을 이룬다. 한편, 수요측면에서는, 생산량이 주어지면, 투자수요와 가계 및 정부의 최종소비수요, 그리고 에너지 및 비에너지 중간재 수요가 결정된다. 이러한 최종수요 및 중간수요의 합이 재화와 용역에 대한 총수요가 된다. 총수요와 총공급간에 불균형이 발생하면, 재화와 용역의 가격을 변화시키면서 균형을 이루는 가격을 찾는다. 다음으로는 같은 방법으로 노동 및 자본의 수요와 공급의 균형을 이루는 가격을 찾는다.

이와 같은 과정을 왈라스(Walras)는 모색과정(tatonnement process)이라고 했으며, 경제 전체를 총괄하는 경매인(auctioneer)에 의해서 균형가격을 찾을 수 있다고 했다. 연산일반균형 모형에서는 복잡한 현실을 행태방정식으로 단순화 시켰으므로, 이를 해결해 주는 컴퓨터 프로그램에 의해 균형가격을 찾을 수 있다. 본 연구에서는 GAMS(General Algebraic Modeling System) 소프트웨어의 비선형 연립방정식을 해결해 주는 MINOS 프로그램을 사용하였다.

그러나, 이러한 일반균형체계는 상대가격 체계만을 계산할 수 있으며, 가격의 수준은 결정하지 못한다. 전통적인 신고전파(neo-classic)경제이론에서는 가격수준은 화폐수량설에 입각하여 통화량의 크기에 의해서 영향을 받는다. 그러나 일반적으로 연산일반균형모형에서는 경제상황에 따라 변하지 않는 기준가격(numeraire)을 정하며, 여타의 모든 가격은 이 기준가격에 대한 상대가격이 된다.

[그림 II-3] 수요와 공급의 균형



실제 대부분의 모형에서는 노동의 가격(임금), 또는 외생적으로 주어진 평균 물가수준을 기준가격으로 정한다. 본 모형에서는 이 두가지 방법을 시나리오에 따라 선택적으로 사용하였다. 즉, 기준 시나리오에서는 외생적으로 주어진 물가수준을 기준가격으로 하였으나, 정책 시나리오에서는 탄소세의 도입이 물가수준에 미치는 영향을 파악하기 위해 기준 시나리오에서 구해진 노동의 가격을 기준가격으로 채택하였다.

마. 이산화탄소 배출 및 감축정책수단

에너지수요와 이산화탄소 배출은 석탄, 석유제품, 천연가스, 일차전력에 대해 각각의 평균 에너지환산계수 및 평균 이산화탄소 배출계수를 적용하여 계산한다. 비록 석탄과 석유제품에는 에너지환산계수 및 온실가스 배출계수가 상이한 다양한 에너지제품이 존재하나, 이들 제품의 구성비가 일정하다고 가정하여, 석탄과 석유제품의 기준년도의 평균 에너지환산계수 및 평균 온실가스 배출계수를 적용하였다.

이산화탄소 배출감축 정책수단으로 탄소세, 국제적 배출권거래를 도입하였다. 탄소세는 화석 연료 연소에서 발생하는 양에 따라 부과되는 종량세이며, 이에 대해서 두 가지 시나리오를 분석한다. 첫째는 주어진 탄소세하에서 경제 및 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 분석하고, 둘째는, 주어진 이산화탄소 배출목표 하에서 이를 달성하기 위한 필요 탄소세를 추정한다. 후자의 경우, 정책변수로서 배출목표가 주어졌을 때의 이산화탄소의 잠재가격(shadow price)을 모형 내에서 구한다. 즉, 배출목표를 이산화탄소의 공급, 경제활동에서 배출되는 양을 이산화탄소의 수요로 보아 또 하나의 균형조건에 의해 탄소세가 결정된다.

주석 1) 교토의정서에서 규제 받는 온실가스는 에너지부문 (연료연소 및 탈루성), 산업공정 부문, 용제 및 기타제품, 농업부문, 폐기물부문 등에서 발생하는 이산화탄소(CO₂), 메탄가스(CH₄), 이산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆) 등 6개의 기체이다. 이중 화석에너지 사용으로 인한 온실가스 배출이 우리나라 총 배출의 약 80%를 차지한다.

주석 2) 물론 생산요소의 부문간 이동이 자유롭다는 것은 매우 강한 가정이다. 그러나, 기투자된 자본에 대해서는 부문별로 고정되어 있다는 가정(putty-clay)하에서는 본 모형의 해를 구할 수 없었다.

주석 3) 산업연관표의 자료를 이용하여 부문별 이윤율을 계산한 결과 농업 등의 부문의 이윤율이 타부문에 비해 매우 높게 나타났다. 이는 농업부문에 토지, 천연자원 등 생산자본에 집계되지 않는 생산요소들이 고려되지 못했기 때문이다. 본 연구에서는 이러한 요인들을 감안하기 위하여, 일부 부문의 자본수익률에 대해 조정계수를 적용했다. 이에 대해서는 나중에 자세히 설명한다.

2. 생산부문 및 재화의 공급

본 절에서부터는 본 모형에서 채택한 구체적인 함수식 및 그것이 갖는 경제적인 의미에 대해 설명한다. 그리고 각 행태 방정식에 최적화 조건에 따라 각 방정식의 해를 구하여, 이를 모형운용 프로그램에 입력한다.

가. 생산부문의 방정식

본 모형에서는 다단계 생산구조를 채택하였으므로, 생산자의 의사결정도 단계적으로 이루어진다.

1) 총생산 결정

총생산은 생산요소 복합재와 중간재의 레온티예프 생산기술에 의해 이루어진다.

$$XT_i = \min \left[\frac{XB_i}{axb_i}, \frac{M_i}{(1 - axb_i)} \right], i=1, 2, \dots, m+n$$

XT_i : 총생산

XB_i : 생산요소 복합재(KLE)

M_i : 비에너지 중간 투입요소 복합재

axb_i : 생산요소 복합재의 투입계수

m : 비에너지 부문의 수

n : 에너지부문의 수

비용최소화의 조건에 따라 생산요소 복합재 및 중간재의 수요, 그리고 생산재화의 세전가격은 다음과 같이 결정된다.

$$XB_i = a \times b_i XT_i$$

$$M_i = (1 - axb_i) XT_i$$

$$PR_i = axb_i PB_i + (1 - axb_i) PM_i$$

PR_i : 생산재화의 세전가격

PB_i : 생산요소 복합재(XB)의 가격

PM_i : 중간재(M)의 가격

그런데, 생산요소 복합재(XB)는 생산요소의 투입량에 의해 결정되므로, 총생산은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$XT_i = XB_i / \alpha b_i$$

2) 생산요소 복합재

생산요소 복합재는 자본, 노동, 에너지의 불변대체탄력성(CES) 함수에 의해 생산된다.

$$\begin{aligned} XB_i &= XB_i(K_i, L_i, E_i) \\ &= AB_i(\alpha b_{1i} \sqrt[\sigma b_i]{K_i^{\rho b_i}} + \alpha b_{2i} \sqrt[\sigma b_i]{L_i^{\rho b_i}} + \alpha b_{3i} \sqrt[\sigma b_i]{E_i^{\rho b_i}})^{1/\rho b_i} \end{aligned}$$

AB_i : 스케일 파라미터

K_i : 자본

L_i : 노동

E_i : 에너지

αb_{ji} : 배분계수, $\sum \alpha b_{ji} = 1$

$\rho b_i = (\sigma b_i - 1) / \sigma b_i$, σb_i : 대체탄력성

3) 생산요소 수요

자본스톡의 양이 일시적으로 고정되어 있다고 가정하면, 나머지 생산 요소들은 가변 요소이므로 총이윤은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Pi_i = PB_i XB_i - (PL * L_i + PE_i * E_i)$$

Π_i : 총이윤

PL : 노동가격(전부문 동일)

PE_i : 에너지 복합재 가격

생산요소의 상대가격이 한계생산성과 같다는 이윤극대화 조건을 적용하면, 노동과 에너지 복합재의 수요는 다음과 같이 구해진다.

$$\frac{L_i}{XB_i} = AB_i^{\sigma b_i - 1} \alpha b_{2i} \left(\frac{PB_i}{PL} \right)^{\sigma b_i}$$

$$\frac{E_i}{XB_i} = AB_i^{\sigma b_i - 1} \alpha b_{3i} \left(\frac{PB_i}{PE_i} \right)^{\sigma b_i}$$

그리고, 이러한 요소수요를 생산함수에 대입시키면, 생산요소 복합재의 생산은 다음과 같이

된다.

$$XB_i = AB_i \alpha b_i^{1/(1-\sigma b_i)} Z_i^{\sigma b_i/(1-\sigma b_i)} K_i$$

$$Z_i = 1 - (AB_i PB_i)^{\sigma b_i - 1} (\alpha b_{2i} PL_i^{1-\sigma b_i} + \alpha b_{3i} PE_i^{1-\sigma b_i})$$

Z_i : 생산함수의 임시 중간변수

따라서, 생산요소 복합재의 생산은 생산요소 및 복합재의 가격, 그리고 자본스톡의 양에 의해 결정되며, 자본스톡에 비례함을 알 수 있다. 그리고, 모형의 전제에 따라 자본의 부문간 이동이 자유롭다고 가정했으므로, 비용최소화의 조건에 따라 각 부문의 자본수요는 다음과 같이 구해진다.

$$\frac{K_i}{XB_i} = AB_i^{\sigma b_i - 1} \alpha b_i \left(\frac{PB_i}{PK_i} \right)^{\sigma b_i}$$

PK_i : 자본의 가격

그런데, 비록 경제내에서 자본은 부문간 이동이 자유롭다고 가정했으나, 자본의 가격(자본의 수익률)은 부문별로 차이가 있는 현실을 반영하기 위해, 자본의 가격에 대해 부문별 조정계수를 적용하였다. 예를 들면, 농업부문의 경우, 토지는 실제 생산자본 스톡에 집계되어 있지 않으므로 산업연관표 상의 이윤과 농업부문의 자본스톡 추정치(표학길, 1992)를 비교해 볼 때, 자본에 대한 수익률이 매우 높게 나타나고 있다. 반면, 공공서비스를 포함하는 서비스업의 경우 공공서비스부문이 자본수익률이 매우 낮으므로 해서 서비스업 전체의 자본수익률이 타 부문에 비해 비교적 낮게 나타나고 있다. 따라서 이와 같은 부문별 수익률의 차이를 반영하기 위해 전체적인 기준 자본수익률에 부문별 조정계수를 곱하였다. 이에 따라 모형 내에서는 자본의 수급균형을 이루는 기준 자본수익률을 구한다.

$$PK_i = fac_i \times r$$

fac_i : 부문별 자본수익률 조정계수

r : 기준 자본수익률

이상과 같이 생산부문 각 단계의 최적화조건에 의해 구하여진 방정식들이 모형내에 입력되며, 이는 <표II-2>에 정리되어 있다. 여기서 보면, 모든 실물변수는 생산요소 및 재화의 가격의 함수로 표시됨을 알 수 있으며, 이들 가격은 모형의 균형조건에 의해 구해진다.

<표 II-2> 생산부문의 방정식

$$\begin{aligned}
 (1) \quad Z_i &= 1 - (AB_i PB_i)^{\sigma_{b_i}-1} (\alpha b_{2i} PL_i^{1-\sigma_{b_i}} + \alpha b_{3i} PE_i^{1-\sigma_{b_i}}) \\
 (2) \quad XB_i &= AB_i \alpha b_{1i}^{1/(\sigma_{b_i}-1)} Z_i^{\sigma_{b_i}/(1-\sigma_{b_i})} K_i \\
 (3) \quad K_i &= AB_i^{\sigma_{b_i}-1} \alpha b_{1i} \left(\frac{PB_i}{PK_i} \right)^{\sigma_{b_i}} XB_i \\
 (4) \quad L_i &= AB_i^{\sigma_{b_i}-1} \alpha b_{2i} \left(\frac{PB_i}{PL} \right)^{\sigma_{b_i}} XB_i \\
 (5) \quad E_i &= AB_i^{\sigma_{b_i}-1} \alpha b_{3i} \left(\frac{PB_i}{PE_i} \right)^{\sigma_{b_i}} XB_i \\
 (6) \quad XT_i &= XB_i / abx_i \\
 (7) \quad M_i &= (1 - abx_i) XT_i
 \end{aligned}$$

4) 에너지 중간재의 수요

에너지는 다음과 같이 CES함수에 의한 화석에너지와 전력의 복합재로 구성된다.

$$E_i = AE_i \left[\alpha_{ei}^{\rho_{ei}} EN_i^{\rho_{ei}} + (1 - \alpha_{ei})^{\rho_{ei}} EL_i^{\rho_{ei}} \right]^{1/\rho_{ei}}$$

AE_i : 스케일 파라미터

EN_i : 화석에너지

EL_i : 전력

α_{ei} : 배분계수

$\rho_{ei} = (\sigma_{ei} - 1) / \sigma_{ei}$, σ_{ei} : 대체탄력성

생산자는 상기의 에너지 복합재 생산기술제약 하에서 다음과 같은 총에너지 비용을 최소화한다.

$$PE_i E_i = PEN_i EN_i + PEL \times EL_i$$

PEN_i : 화석에너지 가격

PEL : 전력가격(전부문 동일)

비용최소화의 1차 조건에 따라 화석에너지 및 전력의 수요는 다음과 같이 계산된다

$$\frac{EL_i}{E_i} = AE_i^{\sigma e_i - 1} (1 - \alpha e_i) \left(\frac{PE_i}{PEL} \right)^{\sigma e_i}$$

그리고 상기의 화석에너지 및 전력의 수요함수를 에너지비용함수에 대입하면, 에너지 복합재의 가격은 다음과 같이 화석에너지 및 전력의 가격의 함수로 나타낼 수 있다.

$$PE_i = AE_i^{-1} \left[\alpha e_i PEN_i^{1 - \sigma e_i} + (1 - \alpha e_i) PEL^{1 - \sigma e_i} \right]^{\frac{1}{-\sigma e_i}}$$

5) 화석에너지 복합재

화석에너지는 다시 석탄, 석유제품, 도시가스 등의 CES 복합재이다. 따라서 상대가격이 변하면, 에너지원간의 대체가 발생할 수 있다.

$$EN_i = AN_i \left(\sum_j \alpha_{nij} \nu^{\sigma_{ni}} XM_{ij}^{\rho_{ni}} \right)^{\frac{1}{\rho_{ni}}}$$

AN_i : 스케일 파라미터

XM_{ij} : i 생산부문에 j 재의 중간투입 수요

α_{nij} : 배분계수, $\sum_j \alpha_{nij} = 1$, j {석탄, 석유제품, 도시가스}

$\rho_{ni} = (\sigma_{ni} - 1) / \sigma_{ni}$, σ_{ni} : 대체탄력성

에너지 복합재에서와 같은 방법으로 비용최소화 조건에 따라, 각 화석에너지원의 중간수요 및 화석에너지 복합재의 가격은 다음과 같이 계산된다.

$$\frac{XM_{ij}}{EN_i} = AN_i^{\sigma_{ni} - 1} \alpha_{nij} \left(\frac{PEN_i}{PX_j} \right)^{\sigma_{ni}}, j \in \{\text{석탄, 석유제품, 도시가스}\}$$

$$PEN_i = AN_i^{-1} \left(\sum_j \alpha_{nij} PX_j^{1 - \sigma_{ni}} \right)^{\frac{1}{-\sigma_{ni}}}$$

PX_j : 재화의 가격(세후가격)

6) 전력 복합재

전력 또한 일차전력(수력/원자력)과 화력발전의 CES 복합재이다.

$$EL_i = AL \left[\alpha l^{1/\sigma l} XM_{ij}^{\rho l} + (1 - \alpha l)^{1/\sigma l} XM_{ik}^{\rho l} \right]^{\sigma l}$$

AL : 스케일 파라미터

αl : 배분계수

$\rho l = (\sigma l - 1) / \sigma l$, σl : 대체탄력성

마찬가지 방법으로 비용최소화 조건에 따라, 생산부문에서 사용되는 전력 대한 일차전력과 화력의 배분 및 전력가격은 다음과 같이 계산된다. 여기서 이한 점은 전력복합재의 가격은 전 부문에 걸쳐 동일하다고 보았다.⁴⁾

$$\frac{XM_{ij}}{EL_i} = AL^{\sigma-1} \alpha \left(\frac{PEL}{PX_j} \right)^\alpha, \quad j \in \{\text{일차전력}\}$$

$$\frac{XM_{ik}}{EL_i} = AL^{\sigma-1} (1-\alpha) \left(\frac{PEL}{PX_k} \right)^\alpha, \quad k \in \{\text{화력}\}$$

$$PEL = AL^{-1} \left[\alpha \times PX_j^{1-\sigma} + (1-\alpha) PX_k^{1-\sigma} \right]^{-\frac{1}{\sigma}}$$

7) 중간투입재

중간재는 비에너지 중간투입재 및 원유, 천연가스, 우라늄 등 수입에너지원의 레온티에프 복합재이다.⁵⁾

$$M_i = \min \left\{ \frac{XM_{i1}}{am_{i1}}, \frac{XM_{i2}}{am_{i2}}, \dots, \frac{XM_{im}}{am_{im}}, \frac{XM_{i,m+n+1}}{am_{i,m+n+1}}, \dots, \frac{XM_{i,m+n+p}}{am_{i,m+n+p}} \right\}$$

XM_{ij} : i 부문의 j 재의 중간투입 수요

am_{ij} : 중간재 투입계수

p : 비경쟁수입 에너지부문의 수

중간재 생산의 비용최소화 조건에 따라, 중간투입재의 수요 및 중간재의 가격은 다음과 같이 계산된다.

$$\frac{XM_{ij}}{M_i} = am_{ij}, \quad j=1, 2, \dots, m, m+n+1, \dots, m+n+p$$

$$PM_i = \sum_j am_{ij} PX_j$$

따라서 생산부문에서의 에너지 및 비에너지 총 중간재 수요는 다음과 같다.

$$DM_j = \sum_{i=1}^{m+n} XM_{ij}, \quad j=1, 2, \dots, m+n+p$$

DM_j : 총 중간재 수요

이와 같은 생산부문의 에너지 및 비에너지 중간투입재 수요방정식은 <표 II-3>에 요약되어 있다.

<표 II-3> 중간투입재 수요방정식

$$\begin{aligned}
 (8) \quad EN_i &= AE_i^{\sigma e_i - 1} \alpha e_i \left(\frac{PE_i}{PEN_i} \right)^{\sigma e_i} E_i \\
 (9) \quad EL_i &= AE_i^{\sigma e_i - 1} (1 - \alpha e_i) \left(\frac{PE_i}{PEL} \right)^{\sigma e_i} E_i \\
 (10) \quad XM_{ij} &= AN_i^{\sigma n_i - 1} \alpha n_j \left(\frac{PEN_i}{PX_j} \right)^{\sigma n_i} EN_i, j \quad \{\text{석탄, 석유제품, 도시가스}\} \\
 XM_{ij} &= AL^{\sigma l - 1} \alpha l \left(\frac{PEL}{PX_j} \right)^{\sigma l} EL_i, j \quad \{\text{차전력}\} \\
 XM_{ik} &= AL^{\sigma l - 1} (1 - \alpha l) \left(\frac{PEL}{PX_k} \right)^{\sigma l} EL_i, k \quad \{\text{화력}\} \\
 XM_{ij} &= a_{mij} M_i, j=1, 2, \dots, m, m+n+1, \dots, m+n+p \\
 (11) \quad DM_j &= \sum_{i=1}^{m+n} XM_{ij}, j=1, 2, \dots, m+n+p
 \end{aligned}$$

8) 생산부문의 가격관계

앞서 본 바와 같이 생산자는 가격신호에 따라 생산결정을 한다. 따라서 생산부문의 가격관계를 명시할 필요가 있다. 우선, 생산과정에서 간접세가 부과된 후의 생산재화의 가격은 다음과 같다.

$$PT_i = (1 + int_i) PR_i$$

PT_i : 생산재화의 세후 가격

int_i : 간접세율

PR_i : 생산재화의 세전 가격

여기서 생산자가 받는 가격은 세전 가격(PR_i)이며, 국내재 및 수출재의 가격은 세후 가격(PT_i)이 된다. 그리고 앞서 보았듯이, 생산재화의 세전가격은 생산요소 복합재 가격과 중간재 가격의 선형결합으로 표시된다.

$$PR_i = axb_i PB_i + (1 - axb_i) PM_i$$

그런데, 세전 가격(PR_i)는 재화시장에서 수요와 공급의 균형조건에 의해 결정되므로, 이를 생산요소 복합재 가격을 결정하는 식으로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$PB_i = [PR_i - (1 - axb_i)PM_i] / axb_i$$

그리고 기준 시나리오 하에서 기준가격(numeraire)은 생산재화의 세후 가격지수를 채택하였다.

$$\sum_i pax_i PT_i = 1$$

pax_i : 생산재화(XT)의 세후 가격지수 가중치

즉, 기준 시나리오 하에서 생산자물가지수는 전망기간동안 일정하다고 보았다. 따라서 생산요소 및 모든 재화의 가격은 이 기준가격에 대한 상대가격이 된다. 그리고, 생산부문에서 각 단계의 가격관계는 <표II-4>에 정리되어 있다.

<표II-4> 생산부문의 가격관계식

(12) $PT_i = (1 + int_i) PR_i$
(13) $\sum_i pax_i PT_i = 1$
(14) $PK_i = fac_i \times r$
(15) $PEN_j = AN_j^{-1} \left(\sum_j \alpha_{nj} PX_j^{1-\sigma_n} \right)^{\frac{1}{-\sigma_n}}, j \in \{\text{석탄, 석유제품, 도시가스}\}$
(16) $PEL_k = AL^{-1} \left[\alpha_l \times PX_j^{1-\alpha_l} + (1 - \alpha_l) PX_k^{1-\alpha_l} \right]^{\frac{1}{-\alpha_l}}, j \in \{\text{차전력}\}, k \in \{\text{화력}\}$
(17) $PE_i = AE_i^{-1} \left[\alpha_{ei} PEN_i^{1-\sigma_{ei}} + (1 - \alpha_{ei}) PEL^{1-\sigma_{ei}} \right]^{\frac{1}{-\sigma_{ei}}}$
(18) $PM_i = \sum_j am_{ij} PX_j$
(19) $PB_i = [PR_i - (1 - axb_i)PM_i] / axb_i$

나. 수출 및 국내재

생산과정에서 수출재 및 국내재는 총생산으로부터 불변전환탄력성(Constant Elasticity of Transformation : CET)에 의해 다음과 같이 전환된다.

$$XT_i = AT_i \left[\alpha_i^{1/\sigma_i} XX_i^{\sigma_i} + (1 - \alpha_i)^{1/\sigma_i} XD_i^{\sigma_i} \right]^{1/\alpha_i}$$

AT_i : 스케일 파라미터

XX_i : 수출재

XD_i : 국내재
 α_i : 배분계수
 $\rho_i = (\sigma_i - 1) / \sigma_i$, σ_i : 전환탄력성

그리고 간접세가 이미 생산재화에 부과되어 있으므로, 생산자는 조세를 포함한 가격을 기준으로 수출재 및 국내재를 나눈다. 따라서 생산자의 총판매수입(간접세 포함)은 다음과 같이 결정된다.

$$PT_i XT_i = PWX_i XX_i + PD_i XD_i$$

PT_i : 생산재화의 세후 가격
 PWX_i : 수출재의 국제가격(외생적으로 주어짐)
 PD_i : 국내재의 가격

전환기술 제약하에서 판매수입 극대화의 조건에 따라 수출 및 국내재의 공급은 다음과 같이 결정된다.

$$\frac{XX_i}{XT_i} = AT_i^{\sigma_i - 1} \alpha_i \left(\frac{PT_i}{PWX_i} \right)^{\sigma_i}$$

$$\frac{XD_i}{XT_i} = AT_i^{\sigma_i - 1} (1 - \alpha_i) \left(\frac{PT_i}{PD_i} \right)^{\sigma_i}$$

그리고 상기의 수출 및 국내재의 공급식을 CET 함수에 대입하여 풀면, 생산재화의 세후 가격을 다음과 같이 수출재의 국제가격과 국내재의 가격의 함수로 표시할 수 있다.

$$PT_i = AT_i^{-1} \left[\alpha_i PWX_i^{1 - \sigma_i} + (1 - \alpha_i) PD_i^{1 - \sigma_i} \right]^{\frac{1}{1 - \sigma_i}}$$

그런데, 생산재화의 세후가격은 이미 결정되어 있고, 수출재의 국제가격도 외생적으로 주어지 있으므로, 이식을 다음과 같이 국내재의 가격 함수식으로 전환할 수 있다.

$$PD_i = (1 - \alpha_i)^{\frac{1}{\sigma_i - 1}} \left(AT_i^{1 - \sigma_i} PT_i^{1 - \sigma_i} - \alpha_i PWX_i^{1 - \sigma_i} \right)^{\frac{1}{1 - \sigma_i}}$$

다. 수입 및 재화의 공급

모형내에서 각 경제주체는 수입재와 국내재로 구성된 아밍톤(Armington) 복합재를 사용한다. 아밍톤 복합재는 수입재와 국내재간에 불완전 대체관계가 성립한다는 가정하에 다음과 같이 표현된다.

$$XS_i = AS_i \left[\alpha_{s_i} \rho_{s_i} X F_i^{\rho_{s_i}} + (1 - \alpha_{s_i}) \rho_{s_i} X D_i^{\rho_{s_i}} \right]^{1/\alpha_{s_i}}$$

XS_i : Armington 복합재

AS_i : 스케일 파라미터

XF_i : 수입재

α_{s_i} : 배분계수

$\rho_{s_i} = (\sigma_{s_i} - 1)/\sigma_{s_i}$, σ_{s_i} : 아밍톤 대체탄력성

이 아밍톤 복합재가 재화의 총공급을 구성하며, 총공급 비용은 다음과 같이 정의된다.

$$PS_i XS_i = PD_i XD_i + PF_i XF_i$$

PS_i : 아밍톤 복합재의 가격

PF_i : 수입재화의 가격(수입세 포함)

총공급비용 최소화조건을 적용하여 위의 식을 재정리하면, 다음과 같이 수입재화 및 아밍톤 복합재의 가격을 구할 수 있다.

$$\frac{XF_i}{XD_i} = \frac{\alpha_{s_i}}{(1 - \alpha_{s_i})} \left(\frac{PD_i}{PF_i} \right)^{\sigma_{s_i}}, i = 1, 2, \dots, m+n$$

$$PS_i = AS_i^{-1} \left[\alpha_{s_i} PF_i^{1 - \sigma_{s_i}} + (1 - \alpha_{s_i}) PD_i^{1 - \sigma_{s_i}} \right]^{1/(1 - \alpha_{s_i})}$$

그런데, 비경쟁 수입재는 국내생산이 없으므로, 이 재화의 수입량은 국내수요와 같으며, 국내가격은 가격은 수입가격(수입세 포함)과 일치한다.

$$XF_i = DM_i, i = m+n+1, \dots, m+n+p$$

$$XS_i = XF_i, i = m+n+1, \dots, m+n+p$$

$$PS_i = PF_i, i = m+n+1, \dots, m+n+p$$

한편, 수입재화의 가격은 외생적으로 주어진 국제가격에 수입세(관세포함)부과후의 가격이다.

$$PF_i = (1 + tm_j) PWM_i, i = 1, 2, \dots, m+n+p$$

tm_j : 수입세율

PWM_i : 수입재의 국제가격(외생적으로 주어짐)

라. 탄소세 도입시의 에너지가격

탄소세는 국내에서 사용되는 모든 화석연료에 대해 부과되며, 이산화탄소의 배출량에 따라 결정되는 종량세이다.⁶⁾

$$PX_i = PS_i + (ef_i \times tc), i=1, 2, \dots, m+n+p$$

PX_i : 탄소세 부과 후 재화의 가격

ef_i : CO₂ 배출계수 (tC),

$ef_i > 0, i \in \{\text{석탄, 석유제품, 천연가스}\}$

tc : 탄소세율(\$/tC)

그리고 국내에서의 에너지 전환과정을 고려하여, 한국의 에너지통계기준에 따른 1 차에너지, 즉 석탄, 석유제품, 천연가스 등의 화석연료에 대해 탄소세를 부과하는 것으로 하였다. 따라서, 탄소세 부과 시나리오에서는 탄소세 부과 후의 재화가격(PX)이 국내 거래가격이 된다.

<표 II - 5> 재화 공급부문의 방정식

(20) $XX_i = AT_i^{\alpha_i-1} \alpha_i \left(\frac{PT_i}{PWX_i} \right)^{\alpha_i} XT_i$

(21) $XD_i = AT_i^{\alpha_i-1} (1 - \alpha_i) \left(\frac{PT_i}{PD_i} \right)^{\alpha_i} XT_i$

(22) $XF_i = \frac{\alpha_i}{(1 - \alpha_i)} \left(\frac{PD_i}{PF_i} \right)^{\alpha_i} XD_i, i=1, 2, \dots, m+n$

$XF_i = DM_i, i=m+n+1, \dots, m+n+p$

(23) $XS_i = AS_i \left[\alpha_i^{1/\alpha_i} XF_i^{\alpha_i} + (1 - \alpha_i)^{1/\alpha_i} XD_i^{\alpha_i} \right]^{1/\alpha_i}, i=1 \dots m+n$

$XS_i = XF_i, i=m+n+1, \dots, m+n+p$

- 가격관계식

(24) $PD = (1 - \alpha_i)^{1/(\alpha_i-1)} \left(AT_i^{1-\alpha_i} PT_i^{1-\alpha_i} - \alpha_i PWX^{1-\alpha_i} \right)^{1/(1-\alpha_i)}$

(25) $PF_i = (1 + tm_i) PWM_i, i=1, 2, \dots, m+n+p$

(26) $PS = AS^{-1} \left[\alpha_i PF_i^{1-\alpha_i} + (1 - \alpha_i) PD^{1-\alpha_i} \right]^{1/(1-\alpha_i)}, i=1 \dots m+n$

$PS = PF_i, i=m+n+1, \dots, m+n+p$

(27) $PX_i = PS_i + (ef_i \times tc), i=1, 2, \dots, m+n+p$

$ef_i > 0, i \in \{\text{석탄, 석유제품, 천연가스}\}$

주석 4) 경제 전체내에서 특정 재화는 부문에 관계없이 동일한 재화를 사용하므로, 특정 재화 가격은 모든 소비부문에 걸쳐 동일하다. 전력의 경우 생산은 일차전력 및 화력발전소에 이루어지므로, 단위당 생산비는 양자간에 차이가 있을 수 있다. 그러나, 전력복합재 발전원에 관계없이 동일한 재화이며, 소비자는 이 전력복합재를 사용한다.

주석 5) 앞에서 원유, 천연가스, 우라늄 등의 비경쟁 수입 에너지원은 석유제품, 도시가스, 1차전력 등의 에너지산업의 원료로 사용되며, 생산량에 비례한다고 했다. 이러한 에너지원은 에너지산업에서만 전량 사용되고, 타 생산요소와의 대체관계가 없으므로, 계산의 편의를 위해 중간재로 편입시켰다. 이와 같은 방법은 계산상의 기술적인 편의성 때문에 사용했으며, 결과에는 영향을 미치지 않는다.

주석 6) 본 모형에서 탄소세 및 배출량은 시나리오에 따라 정책변수 또는 내생변수가 된다. 정책적으로 탄소세가 주어지면 배출량은 내생변수가 되며, 배출목표가 정책적으로 주어지면 탄소세는 내생적으로 결정된다.

3. 최종수요부문

가. 가계부문 방정식

가계는 노동공급, 최종소비 및 저축의 3가지 기능을 수행한다. 우선 노동공급은 인구증가 및 경제활동인구 비율의 변화에 따라 외생적으로 주어진다.

$$LS = LS^*$$

LS:노동공급

1) 가계소득

본 모형에서 가계는 자본 및 노동 등 모든 생산요소를 소유한다고 보았다. 따라서, 자본과 노동에 대한 보수는 가계에 귀속되며, 가계의 총소득은 자본 및 노동 수입, 그리고 정부의 이전지출로 구성된다.

$$YH = \sum_i (PL \times L_i) + \sum_i (PK_i \times K_i) + TRG$$

YH: 가계소득

$\sum_i (PL \times L_i)$: 노동소득

$\sum_i (PK_i \times K_i)$: 자본소득

TRG: 정부이전소득

그리고 가계가 지출할 수 있는 가처분 소득은 총소득에서 직접소득세를 차감한 금액이 된다.

$$YD = YH - DT = (1 - td)YH$$

YD:가계 가처분소득

DT:직접소득세

td:직접소득세율

2) 소비지출 : 확장 선형지출체계

가계의 소비 및 저축을 결정하기 위하여 확장 선형지출체계(Extended Linear Expenditure System:ELES)를 도입하였다.⁷⁾ 이러한 ELES에서 가계는 다음과 같이 예산제약 하에 효용 함수를 극대화 한다.

$$U = \sum_j \alpha_j \ln(XC_j - pop \times CB_j) + \beta_s \ln SH$$

$$s.t. \sum_j PC_j XC_j + SH = YD$$

XC_j : 소비재 수요

pop: 인구

CB_j : 일인당 기초소비

α_j : 소비재별 한계소비성향

β_s : 한계저축성향, $\sum_j \alpha_j + \beta_s = 1$

SH: 가계저축 (금액기준)

PC_j : 소비재 (XC_j)의 가격

효용극대화의 조건에 따라 소비재수요 및 가계저축은 다음과 같이 결정된다.

$$XC_j = pop \times CB_j + \frac{\alpha_j}{PC_j} (YD - pop \sum_k PC_k CB_k)$$

$$SH = \beta_s (YD - pop \sum_k PC_k CB_k)$$

본 모형에서는 다단계 생산구조를 채택하였으므로, 생산자의 의사결정도 단계적으로 이루어 또한, 소비재 수요의 소득탄성치는 다음과 같으며, 소비재수요의 한계소비성향(최저소비를 제외한 추가소득에 대해)고 평균소비성향(총소득에 대해)의 비율로 표현될 수 있다.

$$\eta_j = \frac{\partial XC_j}{\partial YH} \frac{YH}{XC_j} = \frac{\alpha_j YD}{PC_j XC_j} = \frac{\alpha_j}{p\alpha_j}$$

$$\alpha_j = \frac{PC_j (XC_j - pop \times CB_j)}{YD - pop \sum_k PC_k CB_k} : \text{한계소비성향}$$

$$p\alpha_j = \frac{PC_j XC_j}{YD} : \text{평균소비성향}$$

3) 소비재의 전환

소비재는 에너지소비 특성에 따라 음식료품, 가전기기, 수송, 기타 제조품, 서비스, 석탄, 석유제품, 도시가스, 전력 등 9개로 재분류 하였다. 특히 가전기기 및 수송은 이용시에 에너지를 사용하기 때문에 일부 에너지와 통합하여 구성되는 복합재이다.

우선, 가전기기는 장비산업 최종소비재(가전제품)와 전력의 레온티에프(Leontief)복합재이며, 다음과 같이 표시된다.

$$XC_2 = \min \left[\frac{DC_{i2}}{acp}, \frac{ELP}{(1 - acp)} \right]$$

XC_2 : 가전기기수요

DC_{i2} : 장비산업 최종소비재(가전제품) 수요

ELP : 가전제품용 전력수요

acp : 전환계수

가전기기 소비재의 전환을 위한 비용최소화의 조건으로부터, 가전기기용 장비산업 최종소비재 및 전력 수요, 그리고 가전기기 소비재의 가격은 다음과 같이 계산된다.

$$DC_{i2} = acp \times XC_2, i \quad \{\text{장비산업}\}$$

$$ELP = (1 - acp)XC_2$$

$$PC_2 = acp \times PX_i + (1 - acp)PEL, i \quad \{\text{장비산업}\}$$

또한 가전기기용 전력도 일차전력과 화력의 복합재이므로 다음과 같이 배분된다.

$$\frac{DC_{i2}}{ELP} = AL^{\sigma l - 1} \alpha l \left(\frac{PEL}{PX_l} \right)^{\sigma}, i \quad \{\text{일차전력}\}$$

$$\frac{DC_{k2}}{ELP} = AL^{\sigma l - 1} (1 - \alpha l) \left(\frac{PEL}{PX_k} \right)^{\sigma}, k \quad \{\text{화력}\}$$

둘째, 수송은 운수업 최종소비재(대중교통)와 개인수송의 콥-더글러스(Cobb-Douglas)복합재이다.

$$XC_3 = ACT \times DC_B^{\alpha ct} TID^{(1 - \alpha ct)}$$

ACT : 스케일 파라미터

αct : 배분계수

TID : 개인수송

가전기기와 마찬가지로 수송소비재 전환의 비용최소화 조건에 따라, 수송소비재를 위한 운수업 최종소비재(대중교통) 및 개인수송 수요는 다음과 같이 계산된다.

$$\frac{DC_{i3}}{XC_3} = \alpha ct \frac{PC_3}{PX_i}, i \quad \{\text{운수.통신}\}$$

$$\frac{TID}{XC_3} = (1 - \alpha ct) \frac{PC_3}{PTID}$$

$$PC_3 = ACT^{-1} \left(\frac{PX_i}{\alpha ct} \right)^{\alpha ct} \left(\frac{PTID}{1 - \alpha ct} \right)^{1 - \alpha ct}$$

여기에 개인수송은 다시 수송장비 최종소비재(자동차)와 석유제품(자동차 연료)의 레온티에프(Leontief) 복합재이다.

$$TID = \min \left[\frac{DC_{i3}}{atid}, \frac{DC_{k3}}{1-atid} \right]$$

atid: 전환계수

마찬가지로 개인수송 전환의 비용최소화 조건으로부터 개인수송용 수송장비 및 석유제품 수요, 그리고 개인 수송 가격은 다음과 같이 결정된다.

$$DC_{i3} = atid \times TID, i \quad \{\text{수송장비}\}$$

$$DC_{k3} = (1 - atid) TID, k \quad \{\text{석유제품}\}$$

$$PTID = atid \times PX_i + (1 - atid) PX_k, i \quad \{\text{수송장비}\}, k \quad \{\text{석유제품}\}$$

PTID: 개인수송 가격

셋째, 가전기기용을 제외한 가계의 전력수요 또한 일차전력과 화력의 복합재이므로, 다음과 같이 구분된다.

$$\frac{DC_{i9}}{XC_9} = AL^{\sigma-1} \alpha \left(\frac{PC_9}{PX_i} \right)^{\sigma}, i \quad \{\text{일차전력}\}$$

$$\frac{DC_{k9}}{XC_9} = AL^{\sigma-1} (1 - \alpha) \left(\frac{PC_9}{PX_k} \right)^{\sigma}, k \quad \{\text{화력}\}$$

PC₉=PEL: 전력가격(전부문 동일)

마지막으로, 나머지 소비재는 해당 최종재의 레온티에프 복합재로 가정했다.

$$XC_j = \min \left[\frac{DC_{1j}}{ac_{1j}}, \frac{DC_{2j}}{ac_{2j}}, \dots, \frac{DC_{m+n,j}}{ac_{m+n,j}} \right], j=1, 4, 5, 6, 7, 8$$

DC_{ij}: 가계소비 최종재 수요

ac_{ij}: 소비재 전환계수, $\sum_j ac_{ij} = 1$

따라서 비용최소화의 조건으로부터 가계소비용 최종재의 수요 및 소비재의 가격은 다음과 같이 결정된다.

$$DC_{ij} = ac_{ij} XC_j, j=1, 4, 5, 6, 7, 8$$

$$PC_j = \sum_{i=1}^{m+n} ac_{ij} PX_i, j=1, 4, 5, 6, 7, 8.$$

이를 종합하면, 가계부문의 9 개의 소비재 전환을 위해 사용되는 최종재의 총 수요는 다음과 같다.

$$DH_i = \sum_{j=1}^9 DC_{ij}, i=1, 2, \dots, m+n$$

DH_i: 가계소비 최종재 총수요

가계부문의 저축 및 소비 관련 방정식은 <표 II-6>에 정리되어 있다.

<표 II-6> 가계부문 방정식

$$(28) YH = \sum_i (PL \times L_i) + \sum_i (PK_i \times K_i) + TRG$$

$$(29) YD = YH - DT = (1 - td)YH$$

$$(30) XC_j = pop \times CB_j + \frac{\alpha_j}{PC_j} (YD - pop \sum_k PC_k CB_k)$$

$$(31) SH = \beta_s (YD - pop \sum_k PC_k CB_k)$$

$$(32) ELP = (1 - acp)XC_2$$

$$(33) TID = (1 - \alpha ct) \frac{PC_3}{PTID} XC_3$$

$$(34) DC_{i2} = acp \times XC_2, i \in \{\text{장비산업}\}$$

$$DC_{i2} = AL^{\sigma l - 1} \alpha l \left(\frac{PEL}{PX_i} \right)^{\sigma} ELP, i \in \{\text{일차전력}\}$$

$$DC_{k2} = AL^{\sigma l - 1} (1 - \alpha l) \left(\frac{PEL}{PX_k} \right)^{\sigma} ELP, k \in \{\text{화력}\}$$

$$DC_{i3} = \alpha ct \frac{PC_3}{PX_i} XC_3, i \in \{\text{운수통신}\}$$

$$DC_{i3} = atid \times TID, i \in \{\text{수송장비}\}$$

$$DC_{k3} = (1 - atid) TID, k \in \{\text{석유제품}\}$$

$$DC_{i9} = AL^{\sigma l - 1} \alpha l \left(\frac{PC_9}{PX_i} \right)^{\sigma} XC_9, i \in \{\text{일차전력}\}$$

<표 II-6>에서 계속

$$DC_{k9} = AL^{\alpha l - 1} (1 - \alpha l) \left(\frac{PC_9}{PX_k} \right)^{\alpha l} XC_9, k \in \{\text{화력}\}$$

$$DC_{ij} = ac_{ij} XC_j, j=1, 4, 5, 6, 7, 8$$

$$(35) DH_i = \sum_{j=1}^9 DC_{ij}, i=1, 2, \dots, m+n$$

- 가계부문의 가격관계

$$(36) PTID = atid \times PX_i + (1 - atid)PX_k, i \in \{\text{수송장비}\}, k \in \{\text{석유제품}\}$$

$$(37) PC_2 = acp \times PX_i + (1 - acp)PEL, i \in \{\text{장비산업}\}$$

$$PC_3 = ACT^{-1} \left(\frac{PX_i}{\alpha ct} \right)^{\alpha ct} \left(\frac{PTID}{1 - \alpha ct} \right)^{1 - \alpha ct}, i \in \{\text{운수.통신}\}$$

$$PC_9 = PEL$$

$$PC_j = \sum_{i=1}^{m+n} ac_{ij} PX_i, j=1, 4, 5, 6, 7, 8$$

나. 정부부문 방정식

1) 정부수입

모형내에서 정부수입은 기본적으로 생산품에 대한 간접세, 수입상품에 대한 수입세, 그리고 가계소득에 대한 직접세로 구성된다. 그리고 탄소세 도입시에는 탄소세수입이 이에 추가된다.

$$YG = IDT + IMT + DT + CT$$

YG: 정부수입

IDT: 간접세

IMT: 수입세

DT: 직접소득세

CT: 탄소세

각 조세의 세율은 제품별로 사전적으로 정해진 세율에 따라 계산되며, 간접세 및 수입세는 해당 재화의 생산액 또는 수입액에 부과되는 종가세(ad valorem tax)이며, 반면 탄소세는 해당 화석에너지의 탄소함량에 따라 부과되는 종량세이다.

$$IDT = \sum_{i=1}^{n_1+n} int_i PR_i XT_i$$

$$IMT = \sum_{i=1}^{n_1+n+p} tm_i PWM_i XF_i$$

$$DT = Id * YH$$

$$CT = \sum_{i \in cf} (ef_i \times tc) XS_i, cf = \{\text{화석연료}\}.$$

2) 정부이전지출

정부이전지출은 간접세와 수입세 수입의 일정비율로 가정한다. 그리고 탄소세 부과시에는 조세중립의 원칙에 따라 정부의 탄소세 수입은 전액 가계에 이전지출 된다고 보았다.

$$TRG = tr \times (IDT + IMT) + CT$$

TRG: 정부 이전지출

tr: 정부의 정상 이전지출 비율

3) 정부저축 및 소비

정부는 총정부수입에서 가계이전지출을 제외한 금액의 일정비율을 저축한다고 보았다. 그리고 정부수입에서 가계이전지출 및 저축을 공제한 나머지 금액 전부가 정부소비에 사용된다고 가정한다. 따라서 정부의 총수입과 지출은 항상 균형을 이룬다. 또한 산업연관표상에서 보면 정부의 거의 모든 소비지출은 서비스업부문의 공공서비스에 대해서 이루어지므로, 정부는 서비스업의 재화만 구입하는 것으로 보았다.

$$SG = mgs * (YG - TRG)$$

$$PX_s DG_s = (YG - TRG - SG), s \in \{\text{서비스}\}$$

SG : 정부저축

mgs: 정부저축율

DG : 정부의 최종수요

<표 II-7> 정부부문 방정식

$$\begin{aligned}
 (38) \quad YG &= IDT + IMT + DT + CT \\
 (39) \quad IDT &= \sum_{i=1}^{m+n} int_i PR_i XT_i \\
 (40) \quad IMT &= \sum_{i=1}^{m+n+p} tm_i PWM_i XF_i \\
 (41) \quad DT &= td * YH \\
 (42) \quad CT &= \sum_{i \in cf} (ef_i \times te) XS_i, cf = \{\text{화석연료}\} \\
 (43) \quad TRG &= tr \times (IDT + IMT) + CT \\
 (44) \quad SG &= mgs * (YG - TRG) \\
 (45) \quad DG_s &= (YG - TRG - SG) / PX_s, s \in \{\text{서비스}\}
 \end{aligned}$$

다. 투자 및 자본축적

1) 총투자

본 모형의 closure rule 에 따라 총투자는 총저축에 일치한다. 총저축은 가계저축, 정부저축, 그리고 해외저축의 합이 된다. 이러한 총투자는 금액기준 투사이므로, 실질투자는 명목투자 금액을 자본재의 가격으로 나눔으로써 구해진다.

$$INV = SH + SG + SF$$

$$IT = INV / PI$$

INV : 총투자(금액기준)

SF : 해외저축

IT : 실질투자

PI : 자본재 가격

2) 자본재수요

경제 전체에 한 가지의 자본재가 존재한다는 가정하에, 총 투자는 다음과 같이 자본재의 레온티에프 함수에 의해 구성된다. 즉, 투자형성에 투입되는 각 자본재의 투입비율이 일정하다.

$$IT = \min \left[\frac{DI_1}{av_1}, \frac{DI_2}{av_2}, \dots, \frac{DI_{m+n}}{av_{m+n}} \right]$$

DI_i : 자본재수요

av_i : 전환계수, $\sum_i av_i = 1$

투자재 조달의 비용최소화 조건에 따라 각 투자재의 수요 및 자본재(투자)의 가격은 다음과

같이 결정된다.

$$DI_i = av_i IT$$

$$PI = \sum_i av_i PX_i$$

3) 자본축적

앞서 설명했듯이 금년도의 총투자는 연말에 실현되는 것으로 가정하였으므로, 한 연도의 총 자본스톡은 전년도의 감가상각을 제외한 자본스톡에 전년도의 투자를 합한 양이 된다.

$$KS_t = (1 - \delta k) KS_{t-1} + IT_{t-1}$$

KS_t : t기의 자본스톡

δk : 자본 감가상각률

IT_t : t기의 투자

그런데, 본 모형에서는 5년 단위로 전망이 이루어지므로 매년도의 투자 및 자본스톡을 계산하지 않는다. 따라서 중간년도의 투자는 일종의 보간법에 의해 전망년도의 자본스톡을 구할 필요가 있다. 상기의 자본스톡 형성과정을 여러연도(j 개의 연도)에 대해 쓰면, 다음과 같다.⁸⁾

$$KS_t = (1 - \delta k) [(1 - \delta k) KS_{t-2} + IT_{t-2}] + IT_{t-1}$$

:

$$KS_t = (1 - \delta k)^n KS_{t-n} + \sum_{j=1}^n (1 - \delta k)^{j-1} IT_{t-j}$$

그리고, 중간년도의 투자는 다음과 같이 한 전망기간(t 연도)에서 다음 전망기간(t+n 연도) 동안 일정한 증가율(연평균 g)로 매년 증가한다고 가정한다.

$$IT_j = (1 + g) IT_{j-1}$$

$$g = \left(\frac{IT_t}{IT_{t-n}} \right)^{1/n} - 1: \text{투자의 연평균증가율}$$

상기의 투자 증가식을 자본축적식에 대입하면, 한 연도(t)의 자본스톡은 다음과 같이 전기(t-n)의 자본스톡과 투자의 함수로 표시된다.

$$KS_t = (1 - \delta k)^n KS_{t-n} + \sum_{j=1}^n (1 - \delta k)^{j-1} (1 + g)^{n-j} IT_{t-n}$$

$$KS_t = (1 - \delta k)^n KS_{t-n} + \frac{(1 + g)^n - (1 - \delta k)^n}{g + \delta k} IT_{t-n}$$

그런데, t연도의 투자를 사전적으로 알 수 없으므로, 투자의 연평균 증가율(g)는 사전적으로 결정되지 않는다. 투자의 연평균 증가율(g)는 t 연도의 투자에 따라 변하며, t 연도의 투자는 모형내에서 계산된다. 따라서 t 연도의 자본스톡도 t 연도의 결과에 따라 결정된다.

<표 II-8> 투자와 자본축적 방정식

$$\begin{aligned}
 (46) \quad & INV = SH + SG + SF \\
 (47) \quad & PI = \sum_i a v_i P X_i \\
 (48) \quad & IT = INV / PI \\
 (49) \quad & D I_t = a v_i IT \\
 (50) \quad & g = \left(\frac{IT_t}{IT_{t-n}} \right)^{1/n} - 1 \\
 (51) \quad & K S_t = (1 - \delta k)^n K S_{t-n} + \frac{(1 + g)^n - (1 - \delta k)^n}{g + \delta k} IT_{t-n}
 \end{aligned}$$

주석 7) 본 모형은 경제주체의 근시안적 행동에 의거한 축차적 동태모형이다. 이러한 모형에서 가계저축은 통시적인 행동(intertemporal behavior)에 의해 결정되지 못하고, 대부분의 경우 이자율에 연동되는 특정(ad-hoc) 함수에 의해서 결정되는 것으로 본다. 본 모형에서는 저축이 미래소비를 위하여 현재소비를 유보하는 것으로 보아, 소비자의 효용함수에 포함시켰다. 이와 같은 방식은 OECD의 GREEN 모형에서 도입되었다. 이러한 ELES의 장점은 후에 설명된 바와 같이 칼리브레이션 과정에서 소비의 소득탄성치를 반영할 수 있다는 점이다.

주석 8) 이러한 자본축적 과정은 OECD의 GREEN모형(J.M.Bumiaux et al.)의 방법을 채택하였다

4. 모형의 균형 및 기타변수의 계산

가. 균형조건

1) 해외부문의 Closure rule

본 모형에서는 고정환율제의 가정하에 무역수지 균형을 찾지 않는다. 따라서 경제상황에 따라 무역수지의 적자 또는 흑자가 발생할 수 있다. 무역수지 불균형이 발생할 경우, 해외저축을 통하여 조정한다. 즉 무역수지가 적자일 경우는 양(+)의 해외저축이 유입되며, 흑자일 경우에는 음(-)의 해외저축(자본의 해외유출)이 발생한다. 즉, 해외저축은 다음과 같이 총수입액과 총수출액의 차이로 결정된다.

$$SF = \left(\sum_{i=1}^{m+n+p} P W M_i X F_i \right) - \left(\sum_{i=1}^{m+n} P W X_i X X_i \right)$$

SF: 해외저축

2) 각 시장의 균형

본 모형에서 투자와 저축의 균형을 이루기 위한 이자율, 그리고 수출입 균형을 위한 환율을 구하지 않으므로, 재화시장 및 생산요소시장에서 수요와 공급의 균형을 찾는다. 첫째, 재화 시장에서는 비경쟁 수입을 제외한 13개 재화의 총수요와 총공급의 균형을 이루는 가격체계

를 찾는다. 재화시장의 균형조건은 다음과 같다.

$$XS_i = DM_i + DI_i + DH_i + DG_i, i=1,2,\dots,m+n$$

- XS_i : 총공급
- DM_i : 중간수요 계(에너지 포함)
- DI_i : 투자수요
- DH_i : 민간 최종수요
- DG_i : 정부 최종수요

둘째, 생산요소시장에는 자본시장과 노동시장이 존재하는데, 자본시장에서는 총자본스톡과 각 부문의 자본수요의 합을 일치시키는 자본수익률을 찾으며, 노동시장에서는 노동의 공급과 수요의 균형을 이루는 노동가격(임금)을 구한다. 이들의 균형조건은 다음과 같다.

$$KS = \sum_{i=1}^{m+n} K_i : \text{자본시장 균형조건}$$

$$LS = \sum_{i=1}^{m+n} L_i : \text{노동시장 균형조건}$$

3) 이산화탄소 배출

이산화탄소 배출은 다음과 같이 각 화석에너지 사용량에 해당 배출계수를 곱하여 구한다.

$$EMC_i = ef_i X_i, i \in \{\text{화석연료}\}$$

EMC_i: CO₂ 배출량

ef_i: CO₂ 배출계수

그런데, 이산화탄소 배출목표가 설정되어 있을 경우에는 배출목표를 이산화탄소의 공급으로 보고, 화석에너지로부터의 배출을 수요로 보아, 다음과 같이 추가적인 이산화탄소 균형조건에 의해 탄소의 잠재가격(Shadow price), 즉 탄소세를 구한다.

$$EMCF = \sum_{i \in cf} EMC_i, cf = \{\text{화석연료}\}$$

EMCF: CO₂ 배출목표(정책변수)

$$\begin{aligned}
 (52) \quad & EMC_i = e f_i X S_i, \quad i \in \{\text{화석연료}\} \\
 (53) \quad & SF = \left(\sum_{i=1}^{m+n+p} P W M_i X F_i \right) - \left(\sum_{i=1}^{m+n} P W X_i X X_i \right) \\
 (54) \quad & X S_i = D M_i + D I_i + D H_i + D G_i, \quad i=1, 2, \dots, m+n \\
 (55) \quad & K S = \sum_{i=1}^{m+n} K_i \\
 (56) \quad & L S = \sum_{i=1}^{m+n} L_i \\
 (57) \quad & E M C F = \sum_{i \in cf} E M C_i, \quad cf = \{\text{화석연료}\}
 \end{aligned}$$

나. 거시경제변수의 계산

한 기간에 대해 모형의 균형이 이루어지면, 국내총생산(GDP), 에너지수요(열량기준), 소비자물가 등의 거시경제변수를 계산할 수 있다. 우선, GDP는 정의식에 따라 다음과 같이 총생산량에서 중간투입재의 합을 차감하여 계산한다.

$$GDP = \sum_{i=1}^{m+n} X T_i - \sum_{i=1}^{m+n+p} D M_i$$

GDP: 국내총생산

열량기준 에너지수요는 기준년도 가격기준 각 일차에너지수요에 에너지원별 열량환산계수를 곱하여 계산한다.

$$E N_i = \varphi_i X S_i, \quad i \in \{\text{일차에너지}\}$$

$E N_i$: 에너지원별 소비 (열량기준)

φ_i : 에너지원별 열량환산계수

이산화탄소 감축이 물가수준에 미치는 효과를 보기 위하여, 다음과 같이 소비자 물가지수를 계산한다.

$$CPI = \sum_j p a x c_j P C_j, \quad j=1, 2, \dots, 9$$

CPI: 소비자물가지수

$p a x c_j$: 물가지수 가중치

$P C_j$: 소비재의 가격

다. 외생변수의 변화

한 전망년도에서 다음 전망년도로 넘어가기 위해서는 자본스톡, 노동공급, 국제가격변화, 기술진보 등의 수치가 주어져야 한다. 자본스톡은 자본축적과정에 의해 모형의 내부에서 결정되지만, 나머지 변수들의 변화는 외생적으로 주어져야 한다.

노동공급은 다음과 같이 인구증가 및 경제활동인구 비율에 따라 외생적으로 계산된다.

$$LS_t = pa_t \times POP_t$$

LS_t : t기의 노동공급

pa_t : t기의 경제활동인구 비율

POP_t : t기의 인구수

국제에너지 가격을 포함한 수출입재화의 국제가격 변화는 다음과 같이 전망 구간별 외생적으로 주어진 증가율에 의해 결정된다.

$$PWi_{i,t} = PWi_{i,t-n}(1 + pwcn)^n, i=1,2,\dots,m+n+p$$

$$PWX_{i,t} = PWX_{i,t-n}(1 + pwcn)^n, i=1,2,\dots,m+n$$

$PWi_{i,t}$: 수입재의 국제가격

$PWX_{i,t}$: 수출재의 국제가격

$pwcn$: 국제가격 연평균 변화율

마지막으로 외생적으로 주어지는 기술진보는 다음과 같이 생산요소 복합재 생산함수의 스케일 파라미터가 연평균 기술진보율 만큼 증가한다고 보았다.

$$AB_{i,t} = AB_{i,t-n}(1 + h_i)^n$$

$AB_{i,t}$: 생산요소 복합재 생산함수의 스케일 파라미터

h_i : 연평균 기술진보율

Ⅲ. 입력자료 및 모수의 결정

연산일반균형모형을 운용하는데 중요한 단계중의 하나가 입력자료를 정리하고 필요한 파라미터를 추정하는 것이다. 계량경제 모형에서는 통계학적 기법을 사용하여 모든 파라미터를 추정하지만, 일반적으로 연산일반균형모형에서는 기준년도의 자료를 바탕으로 칼리브레이션(Calibration) 방법을 사용하여 필요한 모수를 계산한다. 기술적으로 볼 때, 본 모형과 같이 다부문, 다단계 연산일반균형모형에서 수많은 방정식과 파라미터를 각 함수의 특성에 맞게 추정하는 일은 매우 어렵다. 본 모형에서는 1990년을 기준년도로 하여, 칼리브레이션 방법을 이용하였다.¹⁾

칼리브레이션 방법에 의해 모수를 정할 경우, 암묵적으로 기준년도의 경제가 균형상태에 있다는 가정을 전제로 한다. 이러한 칼리브레이션 과정은 대체로 3단계로 진행된다. 첫째, 모형에 필요한 자료를 사회회계행렬(Social Accounting Matrix: SAM)의 형태로 구성한다. 이러한 사회회계행렬은 경제내의 재화의 흐름을 체계적으로 정리한 것이다. 둘째, 칼리브레이션 과정에서 모든 파라미터를 동시에 추정할 수 없으므로 일부 파라미터, 주로 대체탄력성의 값을 사전에 결정한다. 셋째, 사회회계행렬의 자료와 주어진 파라미터를 사용하여, 경제의 균형조건에 따라 나머지 파라미터의 값을 계산한다.

1. 자료 및 사회회계행렬

가. 사회회계행렬의 구성

본 모형의 운용에 필요한 대부분의 자료가 사회회계행렬에 요약되어 있다. 사회회계행렬의 구조는 <표Ⅲ-1>에 나타난 바와 같으며, 이를 각 부문별로 분류할 수 있다.

- 생산부문 : 생산부문은 생산활동에 투입되는 재화 및 생산요소의 사용량에 대한 자료를 포함하며, 산업연관표상의 중간투입 및 부가가치 투입이 이에 해당된다.
- 생산요소 : 생산요소부문은 생산활동에서의 부문별 요소소득 원천 및 경제주체별 배분을 보여준다.
- 경제주체부문 : 경제주체부문은 가계, 정부, 투자, 해외부문의 수입원별 수입 및 용도별 지출을 나타낸다.

<표Ⅲ-1> 사회회계행렬의 구조

지출 수입	생 산		요 소	경제주체			합 계
	활 동	재 화		가 계	정 부	자본계정	
생산활동		재화공급					총 생산
재 화	중간수요			가계소비	정부소비	투 자	총 수요
요 소	요소투입						요소수입
가 계			요소소득		이전지출		가계소득
정 부	간접세	관 세		직접세			정부수입
자본계정				가계저축	정부저축		총 저축
해 외		수 입				해외저축	해외지출
합 계	총생산비	총 공급	요소지출	가계지출	정부지출	총 투자	해외수입

그러나, S.Robinson(1989)이 지적했듯이, 정형화된 표준 사회회계행렬은 존재하지 않는다. 즉, 이러한 사회회계행렬은 모형의 구조, 부문분류, 행태방정식 및 가정에 따라 다양하게 나

타날 수 있다. 예를 들어, 모형이 세계개편을 분석대상으로 할 경우 정부부문 및 조세내역이 세분되며, 또한 소득분배 문제를 다룰 경우에는 가계부문이 다양한 기준에 따라 구분된다. 사회회계행렬을 구성하는데 가장 중요한 자료는 경제의 각 부문의 투입/산출관계를 보여주고 있는데 산업연관표이다. 본 연구에서는 1990년 산업연관표의 세분류표(161x161)을 이용하여, 모형의 부문분류에 따라 재구성하였다. 이외에도 국민계정, 인구 및 고용 통계, 투자 및 자본스톡 자료, 에너지소비 및 이산화탄소 배출 통계 등이 본 연구에서 사용되었다.

그러나, 다양한 통계자료로부터 모형의 구조 및 가정에 맞게 사회회계행렬을 구성하는 데는 몇 가지 조정이 필요하다. 첫째, 161x161의 산업연관표를 사용하였으나, 전력부문이 단일부문으로 통합되어 있어, 수력/원자력 및 화력발전의 구분, 그리고 원유 및 천연가스의 수입의 구분은 396x396 산업연관표를 이용하였다. 또한, 산업연관표에는 우라늄 수입액은 명시되어 있지 않으므로, 우라늄 수입통계를 이용하여 자료를 추정하였다. 또한 산업연관표상에서 천연가스는 도시가스 부문 및 발전용으로 사용되고 있으나, 본 모형의 가정에 따라 천연가스는 전부 도시가스 제조용으로 사용되며, 발전부문에서는 도시가스를 사용하는 것으로 조정되었다.

둘째, 산업연관표의 재정리 과정에서 모형에서 고려되지 않는 부문, 즉 재고변동 및 통계오차 부문을 삭제하였다. 그러나 이 단계는 산업연관표상의 투입/산출에 대한 전체적인 균형을 맞추어야 한다.

셋째, 산업연관표상의 일부 부문을 모형의 구조에 따라 통합하였다. 민간 및 정부투자를 한 개의 투자부문으로, 수입세 및 관세를 수입세로, 그리고 생산에 대한 정부보조금을 간접세와 합산하여 처리했다. 따라서 사회회계행렬상의 간접세는 전부보조금을 제외한 것이다.

넷째, 민간 및 정부저축, 가계에 대한 직접세, 정부의 이전지출 등의 거시경제 변수는 국민계정을 이용하였다. 이 과정에서도 모형의 구조 및 가정에 따라, 거시경제 변수를 통합하거나 단순화시켰다.

다섯째, 에너지부문에서 투입산출관계를 조정하였다. 산업연관표는 산업간의 거래를 나타내는데, 한 에너지부문 내에서도 하위의 산업부문간, 그리고 업체간의 거래내역까지 포함하고 있다. 예를 들어 석탄산업의 경우, 모형에는 석탄광업과 석탄제품 제조업을 하나로 통합하였다. 그런데, 석탄광업의 상당량의 석탄이 석탄제조업으로 투입되기 때문에, 통합된 석탄산업에서는 많은 양의 석탄이 소비되는 것처럼 나타난다. 또한 석유제품의 경우도 정유시간의 거래 때문에 석유제품산업에서도 많은 양의 석유제품이 소비되는 것처럼 나타난다. 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위해, 한 에너지산업에서 거래되는 동일산업의 에너지는 해당산업의 거래실적을 참고하여 조정하였다.

여섯째, 칼리브레이션 과정을 쉽게 하기 위해 모든 수치를 10억원 단위에서 반올림하였으며, 전체 생산량에 비해 매우 작은 수치는 영으로 처리하였다.

마지막으로 수출은 생산시에 불변전환탄력성 함수에 의해 결정되는 것으로 보았으므로, 산업연관표의 체계와는 다르게 총수요에서 제외하였다. 이러한 과정을 거쳐 작성된 통합된 사회회계행렬은 <표Ⅲ-2>에 나타나 있으며, 조정된 산업연관표는 <표Ⅲ-3>에 수록되었다.

<표Ⅲ-2> 사회회계행렬(1990년도)

단위 : 10 억원

구분	1	2	3	4	5	6	7	8	9
지출	생산		생산요소		경제주체				합계
수입	활동	재화	노동	자본	가계	정부	자본	해외	
생산부문									
1 활동		362,557						53,155	415,712
2 재화	237,281				97,022	18,187	67,987		420,477
생산요소									
3 노동	79,690								79,690
4 자본	82,111								82,111
경제주체									
5 가계			79,690	82,111		4,524			166,325
6 정부	16,630	4,189			12,285				33,104
7 자본					57,018	10,393		576	67,987
8 해외		53,731							53,731
9 합계	415,712	420,477	79,690	82,111	166,325	33,104	67,987	53,731	

<표 III-3> 조정된 산업연관표(계속)

단위 : 10 억원

번호	6 건설	7 업운수통	8 선서비	9 스석	10 탄석유	11 제품도시가스
1	48	0	557	35	0	0
2	8594	331	2261	43	140	3
3	5025	348	2752	45	112	4
4	127	846	1377	17	4	1
5	1884	100	8253	29	61	0
6	110	58	3242	12	10	1
7	879	1848	3695	192	43	4
8	6227	2457	20171	101	214	69
9	5	6	132	66	0	0
10	607	2111	1275	12	405	77
11	3	2	93	0	14	35
12-13	81	150	1365	48	21	4
14	0	0	0	0	4818	0
15	0	0	0	0	0	326
16	0	0	0	0	0	0
17	23590	8257	45173	600	5842	524
18	11275	5754	33957	434	264	90
19	6465	5166	32829	267	323	74
20	2392	929	3793	15	651	17
21	20132	11849	70579	716	1238	181
22	43722	20106	115752	1316	7080	705
23	-104	-4429	-5481	0	-819	0
24	0	1444	2661	916	2383	0
25	0	0	11	9	166	0
26	0	1444	2672	925	2549	0
27	43618	17121	112943	2241	8810	705

<표 III-3> 조정된 산업연관표(계속)

단위 : 10 억원

번호	12 일차전력화	13 력원	14	15 유천연가스우	16 라늄	17 중간부입계
1	0	0	0	0	0	17625
2	51	3	0	0	0	57123
3	57	53	0	0	0	32280
4	2	1	0	0	0	6894
5	2	2	0	0	0	38956
6	147	149	0	0	0	4045
7	9	48	0	0	0	9928
8	159	142	0	0	0	50872
9	0	314	0	0	0	1511
10	0	471	0	0	0	7695
11	0	343	0	0	0	567
12-13	164	121	0	0	0	4523
14	0	0	0	0	0	4818
15	0	0	0	0	0	326
16	118	0	0	0	0	118
17	709	1647	0	0	0	237281
18	241	273	0	0	0	79690
19	1915	725	0	0	0	82111
20	107	93	0	0	0	16630
21	2263	1091	0	0	0	178431
22	2972	2738	0	0	0	415712
23	0	0	0	0	0	-53155
24	0	0	4610	314	118	53731
25	0	0	208	12	0	4189
26	0	0	4818	326	118	57920
27	2972	2738	4818	326	118	420477

<표 III-3> 조정된 산업연관표(계속)

단위 : 10 억원

번호	부문	18	19	20	21	22
		가계소비	정부소비	투	자취	총수요
1	농업	6614	0	83	6697	24322
2	에너지소비	4098	0	0	4098	61221
3	장비산업	5211	0	16917	22128	54408
4	수송장비	4535	0	7249	11784	18678
5	기타산업	25651	0	831	26482	65438
6	건설업	0	0	39573	39573	43618
7	운수통신	7000	0	193	7193	17121
8	서비스	40743	18187	3141	62071	112943
9	석탄	730	0	0	730	2241
10	석유제품	1115	0	0	1115	8810
11	도시가스	138	0	0	138	705
12-13	전력	1187	0	0	1187	5710
14	원유	0	0	0	0	4818
15	천연가스	0	0	0	0	326
16	우라늄	0	0	0	0	118
17	중간투입계	97022	18187	67987	183196	420477

나. 소비재전환

국내재화 수입재의 아밍톤 복합재료부터 전환과정을 거쳐 소비재가 구성된다. 이러한 소비재 전환행렬은 <표 III-4>에 나타난 바와 같다. 예를 들어 1990년에 음·식료품 소비재는 22조4720억원 어치 소비되었으며, 이는 농업제품 6조1550억원, 음·식료품제조업을 포함하는 기타산업제품 16조3170억원으로 구성된다. 이 행렬은 여러 가지 통계자료를 이용하여 작성되었는데, 비에너지 소비는 한국은행에서 발간한 도시가구 소비지출 내역을, 용도별 에너지 소비는 에너지경제연구원에서 실시한 에너지 총조사 보고서 및 에너지 가격 자료를 각각 이용하여 추정하였다.

<표 III-4> 소비재 전환행렬

단위 : 10억원

부	분	XC1	XC2	XC3	XC4	XC5	XC6	XC7	XC8	XC9	합	계
농	업	6 155			459							6 614
다	소				4 098							4 098
장	비		5 211									5 211
수	송			4 535								4 535
기	타	16 317			9 334							25 651
자	실											0
운	수			5 870		1 180						7 050
서	비					40 743						40 743
석	탄						730					730
석	유			600				515				1 115
도	시								138			138
일	차		364							253		617
화	력		336							234		570
합	계	22 472	5 911	10 955	13 891	41 921	730	515	138	487		97 022

주 : XC1 : 음.식료품, XC2 : 가전기기, XC3 : 수송, XC4 : 기타제조품, XC5 : 서비스, XC6 : 석탄, XC7 : 석유제품, XC8 : 도시가스, XC9 : 전력.

주석 1) 본 모형의 운영에 있어서 1990년 자료를 이용한 주 이유는 한국의 자본스톡 추정에 관한 자료가 1990년까지 밖에 입수되지 않았기 때문이다. 그러나 산업연관표가 입수 가능한 최근연도(1995년)로 기준연도를 정하여 최근의 경제상황을 반영할 필요성이 있음을 지적해 두고자 한다.

2. 모수의 계산

사회회계행렬이 작성되고 나면, 모형을 운용하여 기준연도의 상태가 재현될 수 있도록 파라미터의 값을 정해야 한다. 그러나 대부분의 경우 모든 파라미터의 값을 동시에 결정할 수는 없다. 따라서 불변대체탄력성(CES)함수 및 불변전환탄력성(CET)함수에 대해서 탄력성의 값을, 그리고 소비자의 확장선형지출체계에서는 소비재수요의 소득탄력성을 모형의 외부에서 선택하여 주고 나서 나머지 파라미터의 값을 계산한다.

가. 모수의 결정방법

본 모형에서는 생산, 수출입 및 소비부문에서 불변대체탄력성(CES) 함수, 콥-더글러스(Cobb-Douglas) 함수, 레온티예프(Leontieh) 함수, 확장선형지출체계(ELES) 등의 4가지 형태의 함수를 사용한다.

1) CES 함수

CES 함수는 모형의 대부분의 복합재 구성에 사용되는데, 인자가 2개인 함수와 여러 개인 함수가 있다. 전자는 에너지복합재, 전력복합재, 아밍톤(Armington) 수입함수, 수출전환함수 등에서 사용되며, 후자는 생산요소 복합재와 화석에너지 복합재에서 사용된다. 일반적인 CES 함수형태는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Y = A \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i^{1/\sigma} X_i^\rho \right]^{1/\rho}$$

Y: 종속변수

X_i: 독립변수(인자)

A: 스케일 파라미터

$$\alpha_i: \text{배분계수 } \sum_1^n \alpha_i = 1.$$

$$\rho = (\sigma - 1)/\sigma, \sigma: \text{대체탄력성(주어짐)}$$

생산함수의 경우, 최적화의 1계조건에 따르면 각 생산요소의 한계생산성의 비율은 생산요소의 상대가격과 같다.

$$\frac{\partial Y / \partial X_i}{\partial Y / \partial X_1} = \left(\frac{\alpha_i}{\alpha_1} \right)^{1/\sigma} \left(\frac{X_i}{X_1} \right)^{1/\sigma} = \frac{P_i}{P_1}, i=2, \dots, n$$

P_i: X_i의 가격

이를 재정리하면, α_i는 α₁의 함수로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\alpha_i = \alpha_1 \left(\frac{P_i}{P_1} \right)^\sigma \frac{X_i}{X_1}, i=2, \dots, n.$$

그런데, α_i의 합은 1이므로 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = \alpha_1 + \sum_{i=2}^n \alpha_i = \alpha_1 + \sum_{i=2}^n \left[\alpha_1 \left(\frac{P_i}{P_1} \right)^\sigma \frac{X_i}{X_1} \right] = 1$$

이를 다시 재정리하면, α₁의 값은 다음과 같이 구해진다.

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \sum_{i=2}^n \left[\left(\frac{P_i}{P_1} \right)^\sigma \frac{X_i}{X_1} \right]} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{P_i}{P_1} \right)^\sigma \frac{X_i}{X_1} \right]} = \frac{P_1^\sigma X_1}{\sum_{i=1}^n [P_i^\sigma X_i]}$$

이를 일반화 하면, α_i의 값은 다음과 같이 대체탄력성 및 생산요소의 양과 가격의 함수로

표현된다.

$$\alpha_i = \frac{P_i^\sigma X_i}{\sum_{j=1}^n P_j^\sigma X_j}, i=1, \dots, n.$$

그런데, 대부분의 경우, 칼리브레이션 과정에서 계산의 편의를 위해 가격지수를 사용하며, 기준년의 가격을 1($P_i=1$)로 고정한다. 이 경우 배분계수(α_i)는 총 생산요소 투입에 대한 i 생산요소(X_i)의 비율이 된다.

그리고 CES 함수는 규모의 경제가 불변인 1차동차 함수이므로 총수입과 총비용이 같다는 영의 이윤조건($P_y Y = \sum_i P_i X_i$)으로부터 Y 의 가격 및 스케일 파라미터(A)의 관계를 다음과 같이 쓸 수 있으며, 모든 X_i 및 Y 의 가격이 1로 주어지면, A 의 값도 항상 1이 됨을 알 수 있다.

$$A = P_y^{-1} \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i P_i^{1-\sigma} \right]^{1/(1-\sigma)}$$

인자가 2개인 CES 함수의 파라미터 값도 이 방법을 원용하여 계산할 수 있다.

2) Cobb-Douglas 함수

Cobb-Douglas 함수는 가계부문 최종소비재에서 수송 복합재의 전환과정에서 사용된다. 그런데, Cobb-Douglas 함수는 대체탄력성이 항상 1인 CES 함수의 특수한 경우에 해당한다. Cobb-Douglas 함수의 형태는 다음과 같다.

$$Y = A \times X_1^\alpha X_2^{1-\alpha}$$

α : 배분계수

최적화의 1차조건으로부터 α 와 A 의 값을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\alpha = \frac{P_1 X_1}{P_y Y}$$

$$A = \frac{Y}{X_1^\alpha X_2^{1-\alpha}} \quad \text{또는} \quad A = P_y^{-1} \left(\frac{P_1}{\alpha} \right)^\alpha \left(\frac{P_2}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha}$$

P_y : Y 의 가격

P_1, P_2 : X_1 과 X_2 의 가격

상기의 식에서 보면, 배분계수(α)의 값은 가격에 관계없이 총생산비에서 X_1 이 차지하는 비율(금액기준)임을 보여주고 있다.

3) Leontief 함수

Leontief 함수는 총생산 함수, 중간재 전환함수, 자본재 전환함수, 일부 소비재 전환함수에서 사용된다. 이 함수도 대체탄력성이 항상 0인 CES 함수의 특수한 경우이며, 함수의 형태는 다음과 같다.

$$Y = \min \left[\frac{X_1}{a_1}, \dots, \frac{X_n}{a_n} \right]$$

a_i : 투입계수(불변)

본 함수에서 투입계수는 가격에 관계없이 일정하므로 요소간의 대체관계가 발생하지 않는다. 칼리브레이션 과정에서 투입계수(a_i)는 투입재화의 양(X_i)과 생산량(Y)의 비율이 된다.

$$a_i = X_i / Y.$$

4) ELES 함수

확장선형지출체계(ELES) 함수는 가계의 저축 및 소비를 정하기 위하여 사용되며, 다음과 같은 가계의 효용함수 및 예산제약조건으로부터 도출된다.

$$U = \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln(X_i - C_i) + \beta \ln S \quad \text{또는} \quad U = \prod_{i=1}^n (X_i - C_i)^{\alpha_i} S^{\beta}$$

$$\text{s.t. } \sum_i P_i X_i + S = YD \text{ (예산제약조건)}$$

X_i : 소비재수요

C_i : 최저소비

α_i : 소비배분계수

β : 한계저축성향, $\sum_i \alpha_i + \beta = 1$

S : 가계저축(금액기준)

$$X_i = C_i + \frac{\alpha_i}{P_i} (YD - \sum_k P_k C_k)$$

$$S = \beta (YD - \sum_k P_k C_k).$$

예산제약조건 하에서 효용극대화 조건에 따라 각 소비재수요 및 저축은 다음과 같이 정해진다.

$$X_i = C_i + \frac{\alpha_i}{P_i} (YD - \sum_k P_k C_k)$$

$$S = \beta (YD - \sum_k P_k C_k).$$

이 소비재수요함수에는 배분계수(α_i) 및 최저소비(C_i) 등 두 개의 파라미터가 동시에 결정

되어야 한다. 일반적으로는 최저소비(C_i)의 값을 사전에 결정하고 배분계수(α_i)를 계산하는 방법을 사용하고 있으나, 본 모형에서는 OECD의 GREEN 모형에서처럼 각 소비재수요의 소득탄성치를 줌으로써, 배분계수(α_i) 및 최저소비(C_i)의 값을 계산한다. 수요방정식으로부터 소득탄성치는 다음과 같이 계산된다.

$$\eta_i = \frac{\partial X_i}{\partial YD} \frac{YD}{X_i} = \frac{\alpha_i YD}{P_i X_i} = \frac{\alpha_i}{\theta_i}$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(X_i - C_i)}{YD - \sum_k P_k C_k} = \frac{P_i(X_i - C_i)}{S + \sum_k P_k(X_k - C_k)}$$

$$\theta_i = \frac{P_i X_i}{YD}$$

여기서 볼 때, 소득탄성치는 한계소비성향(α_i : 최저소비를 위한 지출을 제외 한 지출의 계수)과 평균소비성향(θ_i : 총지출의 계수)의 비율로 표시된다. 따라서 기준년도의 자료로부터 평균소비성향(θ_i)을 구할 수 있으므로, 소득탄성치가 주어지면 한계소비성향 (α_i)을 계산할 수 있다. 그리고 한계저축성향(β)은 다음과 같이 계산된다.

$$\beta = 1 - \sum_k \alpha_k$$

그리고 α_i 와 β 의 값이 계산되고, 소비재의 가격이 주어지므로 쉽게 최저소비의 양(C_i)을 계산할 수 있다. 그러나 본 모형에서 최저소비는 인구증가효과를 고려하기 위해 일인당 최저소비를 고정시키고 인구수를 곱하여 계산된다.

나. 파라미터 값 선택

앞서 설명했듯이 칼리브레이션 과정에서 모든 파라미터의 값을 동시에 계산할 수는 없다. 따라서 일부의 파라미터 값을 주어야 하는데, 이는 주로 CES 함수의 대체탄력성이다. 물론 대체탄력성은 계량경제학적 방법으로 추정할 수 있으나, 추정에 많은 자료와 시간이 요구된다. 더구나, 우리나라와 같이 경제성장과정이 짧고 경제구조의 변화속도가 빠르기 때문에 추정하는데 어려움이 가중된다. 따라서 본 연구에서는 기존의 연구에서 추정되었거나, 기존 한국의 연산일반균형모형에 적용되었던 탄성치의 값을 종합하여 사용하였다.²⁾ 생산부문의 각 복합재의 대체탄성치 및 부문별 자본가격 조정계수는 <표 III-5>에 나타난 바와 같다. 그리고 전력부문의 수력/원자력과 화력의 복합재의 대체탄력성은 전부문 동일하게 0.5를 적용하였다.

<표 III-5> 생산부문의 대체탄력성 및 자본가격 조정계수

부 문	복 합 계			수출	수입	조정 계수
	요 소	에너지	비전력			
농림어업	0.5	0.6	0.7	3.9	1.5	3.0
에너지다소비	0.5	0.4	0.5	2.9	2.5	1.0
장비산업	0.7	0.6	0.7	2.9	2.1	1.0
수송장비	0.7	0.6	0.7	2.9	2.1	1.0
기타산업	0.7	0.6	0.7	2.9	2.6	1.0
건설업	0.7	0.6	0.7	0.7	2.0	2.0
운수·통신	0.5	0.4	0.5	0.7	2.0	1.0
서비스	0.7	0.6	0.7	0.7	2.0	0.75
석 탄	0.5	0.4	0.5	2.9	5.0	1.4
석유제품	0.5	0.4	0.5	2.9	2.0	1.0
도시가스	0.5	0.4	0.5	2.9	0.5	1.0
일차전력	0.5	0.4	0.5	2.9	0.5	1.0
화 력	0.5	0.4	0.7	2.9	0.5	1.0

한편, 자본가격 조정계수는 일부부문에서 자본수익률이 타 부문과 크게 차이가 나는 것을 조정하기 위하여 도입되었다. 사회회계행렬상의 자본수익률과 표학길(1992)의 부문별 자본스톡 추정치를 비교할 때 이와 같은 현상이 나타난다. 따라서 전체 자본수익률 평균을 1로 보았을 때, 일부부문의 자본수익률 조정계수 <표 III-5>의 마지막 열에 나타나 있다.

위의 자본수익률 조정계수는 부문간의 이윤율의 비로 볼 수 있다. 평균자본수익률은 다음과 같이 부문별 조정계수로 나눈 이윤의 합을 총 자본스톡으로 나눈 값이 되며, 부문별 자본가격은 평균자본 수익률에 부문별 조정계수를 곱한 값이 된다.

$$r = \frac{\sum_i (\pi_i / fac_i)}{KS}$$

$$PK_i = r \times fac_i$$

r: 평균자본수익률

π_i : i 부문의 이윤

KS: 총자본스톡

PK_i : i 부문의 자본가격

fac_i : 자본가격 조정계수

한편, 전체 자본에 대한 감가상각율은 연 2.5%을 적용하였다. 그리고 가계의 소비재 수요에 대한 소득탄성치는 <표 III-6>에 나타나 있으며, 이는 GREEN 모형에서 사용한 수치를 원용하였다.

<표 III-6> 소비재수요의 소득탄성치

	소 비 재	소득탄성치
1	음 . 식료품	0.6
2	가 전 기 기	1.0
3	수 송	1.1
4	기 타 재 화	0.9
5	기 타 서 비 스	1.1
6	석 탄	0.0
7	석 유 제 품	0.9
8	도 시 가 스	1.2
9	전 력	1.0

다. 계산 파라미터

본 모형의 운용에 필요한 파라미터는 크게 3종류가 있다. 첫째는 사회회계행렬로부터 직접 계산하는 외생 파라미터이며, 각종 세율, 물가지수 산정을 위한 물가가중치, 그리고 정부저축률 등이 이에 해당되며, <표 III-7>에 나타나 있다.

<표 III-7> 외생 파라미터

	int	tm	pax
농림어업	0.00928	0.04096	0.05258
에너지다소비	0.01474	0.08805	0.13348
장비산업	0.02986	0.09941	0.12169
수송장비	0.09867	0.07313	0.04762
기타산업	0.06331	0.10536	0.17701
경설업	0.05788	0.00000	0.10517
운수.통신	0.04844	0.00000	0.04837
서비스	0.03388	0.00413	0.27844
석탄	0.01153	0.00983	0.00317
석유제품	0.10126	0.06966	0.01703
도시가스	0.02471	0.00000	0.00170
일차전력	0.03735	0.00000	0.00715
화력	0.03516	0.00000	0.00659
원유	0.00000	0.04512	0.00000
천연가스	0.00000	0.03822	0.00000
우라늄	0.00000	0.00000	0.00000
	간접세율	수입세율	물가가중치
기타 파라미터			
td = 0.07386	: 직접소득세율		
tr = 0.21730	: 정부이전지출률		
msg = 0.36365	: 정부저축률		

둘째, 에너지소비 및 이산화탄소 배출과 관련된 파라미터는 기준년도의 에너지 소비실적, 이산화탄소 배출량, 그리고 사회회계행렬의 해당변수를 이용하여 계산되며, <표 III-8>에 나

타난 바와 같다. 여기서 에너지 전환과정 및 수출입을 고려하여, 석탄, 석유제품, 일차전력, 천연가스에 탄소세를 부과하는 것으로 하였으며, 타 에너지분야는 전환과정에서 이중계산을 방지하기 위해 탄소세 부과 대상에서 제외하였다.

<표 III-8> 에너지와 이산화탄소 배출 관련 파라미터

번호	에너지	에너지 전환계수	이산화탄소 배출계수	배출계수 (금액기준)	100\$/TC 부과시 가격인상률
		TOE/백만원	TC/TOE	TC/백만원	
9	석탄	10.9	1.06	11.5	82%
10	석유제품	5.7	0.75	4.2	30%
12	일차전력	5.0	0	0	0%
15	천연가스	9.3	0.64	5.9	42%
* 참고자료 (탄소세는 직접 부과되지 않음)					
11	도시가스	4.7	0.64	3.0	21%
13	원유	9.1	0.75	6.8	48%

세 번째 그룹의 파라미터는 사회회계행렬의 자료를 이용하여 칼리브레이션 방법에 의해 계산되는 파라미터이며, <표 III-9>에 나타나 있다. 이들 파라미터의 값은 대체탄력성의 크기에 따라 변한다.

이러한 파라미터 값들은 모형 프로그램에서 직접 계산수식을 사용하여 계산할 수 있으나, 본 연구에서는 프로그램의 외부에서 모든 파라미터를 계산한 다음 그 값을 프로그램에 직접 입력하였다. 한편, 최근에 개발된 GAMS/MPSGE 프로그램에서는 이러한 칼리브레이션 과정이 대체탄력성의 값과 사회회계행렬 만 주어지면, 파라미터의 값이 자동적으로 계산된다.

<표 III-9> 칼리브레이션 방법에 의해 계산된 파라미터

1. 생산부문 파라미터					
부문	axb	AB	ab ₁	ab ₂	ab ₃
S01	0.67890	0.72813	0.84641	0.12951	0.02408
S02	0.34356	0.45196	0.64953	0.21051	0.13996
S03	0.31295	0.54148	0.53101	0.43603	0.03296
S04	0.32700	0.70680	0.50228	0.46217	0.03555
S05	0.27917	0.67529	0.47796	0.45648	0.06556
S06	0.47637	0.83359	0.40727	0.55827	0.03446
S07	0.70218	0.51923	0.57633	0.30385	0.11982
S08	0.63449	0.40399	0.60355	0.36560	0.03085
S09	0.63982	0.64785	0.45985	0.41862	0.12153
S10	0.23701	0.89658	0.49221	0.19042	0.31737
S11	0.42128	0.63341	0.43147	0.24839	0.32014
S12	0.81662	0.28424	0.90900	0.05415	0.03685
S13	0.85464	0.56385	0.50159	0.08940	0.40901

axb: 생산요소복합재 배분계수
 AB: 생산요소 복합재의 스케일 파라미터
 ab₁: 자본의 배분계수
 ab₂: 노동의 배분계수
 ab₃: 에너지의 배분계수

생산부문

S01	농림어업
S02	에너지다소비 산업
S03	장비산업
S04	운수장비
S05	기타산업
S06	건설업
S07	운수.통신
S08	서비스
S09	석탄
S10	석유제품
S11	도시가스
S12	일차전력
S13	화력

2. 에너지 복합제 및 화석에너지 복합제

부문	ae	an9	an10	an11
S01	0.87981	0.03005	0.96995	0.00000
S02	0.67508	0.36613	0.61175	0.02212
S03	0.38396	0.01333	0.94222	0.04444
S04	0.43627	0.06742	0.91011	0.02247
S05	0.39032	0.01600	0.97000	0.01400
S06	0.88362	0.00813	0.98699	0.00488
S07	0.93389	0.00283	0.99622	0.00094
S08	0.52356	0.08800	0.85000	0.06200
S09	0.61905	0.84615	0.15385	0.00000

S10	0.95227	0.00000	0.96659	0.03341
S11	0.96552	0.00000	0.68750	0.31250
S12	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
S13	0.90312	0.27837	0.41755	0.30408

ae: 화석에너지의 배분계수

ang: 석탄의 배분계수

an10: 석유제품의 배분계수

an11: 도시가스의 배분계수

3. 중간재 투입계수

부문	am.1	am.2	am.3	am.4
S01	0.27753	0.13691	0.03348	0.02892
S02	0.00851	0.68275	0.03344	0.00524
S03	0.00009	0.29760	0.49097	0.01090
S04	0.00000	0.24985	0.30501	0.26321
S05	0.27759	0.11678	0.02455	0.00451
S06	0.00210	0.37538	0.21949	0.00555
S07	0.00000	0.05528	0.05812	0.14128
S08	0.01317	0.05344	0.06505	0.03255
S09	0.07384	0.09072	0.09494	0.03586
S10	0.00000	0.02592	0.02073	0.00074
S11	0.00000	0.00735	0.00980	0.00245
S12	0.00000	0.09358	0.10459	0.00367
S13	0.00000	0.00754	0.13317	0.00251

부문	am.5	am.6	am.7	am.8
S01	0.32013	0.00898	0.03405	0.15999
S02	0.09290	0.00327	0.02674	0.14715
S03	0.01985	0.00141	0.02097	0.15821
S04	0.01854	0.00135	0.01418	0.14785
S05	0.41584	0.00126	0.02034	0.13914
S06	0.08229	0.00480	0.03839	0.27199
S07	0.01670	0.00969	0.30862	0.41032
S08	0.19507	0.07663	0.08734	0.47677
S09	0.06118	0.02532	0.40506	0.21308
S10	0.01129	0.00185	0.00796	0.03961
S11	0.00000	0.00245	0.00980	0.16912
S12	0.00367	0.26972	0.01651	0.29174
S13	0.00503	0.37437	0.12060	0.35678
부문	am.14	am.15	am.16	
S01	0.00000	0.00000	0.00000	
S02	0.00000	0.00000	0.00000	
S03	0.00000	0.00000	0.00000	
S04	0.00000	0.00000	0.00000	
S05	0.00000	0.00000	0.00000	
S06	0.00000	0.00000	0.00000	
S07	0.00000	0.00000	0.00000	
S08	0.00000	0.00000	0.00000	
S09	0.00000	0.00000	0.00000	

S10	0.89189	0.00000	0.00000
S11	0.00000	0.79902	0.00000
S12	0.00000	0.00000	0.21651
S13	0.00000	0.00000	0.00000

$a_{m,j}$: 중간재 투입계수

4. 수출입 및 자본재 파라미터

부분	α_t	α_s	a_v
S01	0.03847	0.13584	0.00122
S02	0.12341	0.20549	0.00000
S03	0.29025	0.34006	0.24883
S04	0.16108	0.11077	0.10662
S05	0.22776	0.13162	0.01222
S06	0.00238	0.00000	0.58207
S07	0.22028	0.08434	0.00284
S08	0.04735	0.02366	0.04620
S09	0.00000	0.41276	0.00000
S10	0.11568	0.28933	0.00000
S11	0.00000	0.00000	0.00000
S12	0.00000	0.00000	0.00000
S13	0.00000	0.00000	0.00000

α_t : 수출의 배분계수

α_s : 수입의 배분계수

a_v : 자본재 전환계수

5. 전력 복합재 파라미터

$\alpha_1 = 0.52049$: 일차전력의 배분계수

6. 가계소비부문 파라미터

소비재		ac	CB
BC1	음.식료품	0.08753	0.23892
BC2	가전기기	0.03837	0.01282
BC3	운수	0.07823	0.00058
BC4	기타재화	0.08116	0.05951
BC5	기타서비스	0.29937	0.00221
BC6	석탄	0.00000	0.01703
BC7	석유제품	0.00301	0.00221
BC8	도시가스	0.00108	-0.00028
BC9	전력	0.00316	0.00106

ac: 소비재 배분계수

CB: 일인당 최저소비

7. 가계부문 기타 파라미터

$b = 0.40809$: 한계저축성향

$acp = 0.88158$: 가전기기 전환계수

$ACT = 1.99609$: 수송 복합재 스케일 파라미터

$act = 0.53126$: 공공수송 배분계수

$ATID = 0.88315$: 개인수송 전환계수

8. 소비재 전환계수

부문	ac.1	ac.4	ac.5	ac.6	ac.7	ac.8
S01	0.27390	0.03304	0.00000	0.0	0.0	0.0
S02	0.00000	0.29501	0.00000	0.0	0.0	0.0
S03	0.00000	0.00000	0.00000	0.0	0.0	0.0
S04	0.00000	0.00000	0.00000	0.0	0.0	0.0
S05	0.72610	0.67195	0.00000	0.0	0.0	0.0
S06	0.00000	0.00000	0.00000	0.0	0.0	0.0
S07	0.00000	0.00000	0.02815	0.0	0.0	0.0
S08	0.00000	0.00000	0.97185	0.0	0.0	0.0
S09	0.00000	0.00000	0.00000	1.0	0.0	0.0
S10	0.00000	0.00000	0.00000	0.0	1.0	0.0
S11	0.00000	0.00000	0.00000	0.0	0.0	1.0
S12	0.00000	0.00000	0.00000	0.0	0.0	0.0
S13	0.00000	0.00000	0.00000	0.0	0.0	0.0

ac.j: 소비재 전환계수

주석 2) 연산일반균형모형에서 대체탄력성을 비롯한 여러 가지 탄성치의 크기가 모형의 결과에 결정적인 영향을 미친다고 알려져 있다. 그러나, 상당수의 경우 탄성치의 값은 모형운 영자의 판단에 의해 결정된다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 일부 연구에서는 다른 값의 탄 성치를 적용하여 탄성치 값의 변화에 따른 Simulation을 실시하는데, 본 연구는 이를 실시 하지 않은 한계점이 있다.

IV. 시나리오별 정책모의실험 결과

본 장에서는 우리나라의 에너지부문의 온실가스 감축에 따른 경제 파급효과를 분석하고자 한다. 아직까지 우리나라의 온실가스 배출목표가 설정되지 않은 시점에서는 미래에 가능한 여러 가지 시나리오를 분석하는 것이 중요하다.

이러한 시나리오 분석을 위하여, 우선 1990년부터 2030년까지 5년 간격으로 기준(BAU) 시나리오를 구한다.¹⁾ 기준 시나리오는 인구증가, 에너지가격을 포함한 수출입재화의 국제가격, 그리고 기술진보 등의 외생 변수와 내생 변수인 자본축적을 고려하여 작성된다. 이러한 시나리오에서 국내총생산(GDP), 에너지수요, 이산화탄소 배출 등을 전망할 수 있으나, 이는 정책모의실험을 위한 기준 시나리오이다. 그리고 탄소세 부과 및 이산화탄소 배출목표 설정에 따른 정책시나리오를 전망하고 기준 시나리오와 비교하여 정책도입에 따른 경제적 효과를 분석한다.

1. BAU 시나리오

가. BAU 시나리오 추정방법

1) 일부 피라미터의 조정

연산일반균형모형에서 기준 시나리오 전망 시에 일반적으로 기준년도(1990년)의 피라미터 값을 고정시킨다. 그러나, 우리나라의 경우 1990년과 1995년 사이에 에너지소비 구조가 크게 변화하였다. 즉, 석탄의 국내생산 및 소비가 크게 줄었으며, 반면 1986년에 도입된 LNG는 그 수요가 급격하게 증가하였다. 따라서 이러한 에너지소비구조 변화를 감안하기 위해, 1995년부터는 생산 및 소비 관련 일부부문의 화석에너지 복합재의 배분계수를 조정하였으며, 그 결과는 <표IV-1> 및 <표IV-2>에 나 있다.

<표IV-1> 생산부문 화석에너지 배분계수 조정

부 분	1990 년의 파라미터			1995 년의 파라미터		
	an9	an10	an11	an9	an10	an11
농림어업	0.0300	0.9700	0.0000	0.0300	0.9700	0.0000
다소비산업	0.3661	0.6118	0.0221	0.3661	0.5848	0.0491
장비산업	0.0133	0.9422	0.0445	0.0133	0.8880	0.0987
운수장비	0.0674	0.9101	0.0225	0.0674	0.8827	0.0499
기타산업	0.0160	0.9700	0.0140	0.0160	0.9529	0.0311
건설업	0.0081	0.9870	0.0049	0.0081	0.9811	0.0108
운수·통신	0.0028	0.9962	0.0010	0.0028	0.9951	0.0021
서비스	0.0880	0.8500	0.0620	0.0213	0.8500	0.1287
(에너지원)	석탄	석유제품	도시가스	석탄	석유제품	도시가스

<표IV-2> 가계소비부문 화석에너지 배분계수 조정

소 비 재	1990 년 파라미터		1995 년 파라미터	
	ac	CB	ac	CB
석 탄	0.0000	0.0170	0.0000	0.0027
석 유 제 품	0.0030	0.0022	0.0035	0.0025
도 시 가 스	0.0011	-0.0003	0.0053	-0.0014

주: ac: 소비재 배분계수, CB: 일인당 최저소비

2) 외생변수의 전망

모형에서 사용되는 외생변수는 3가지가 있다. 첫째, 중립적인 기술진보는 생산요소 복합재 생산함수의 스케일 파라미터의 값이 증가하면서 이루어 지는데, 농업 및 에너지부문은 연평균 0.6%, 나머지 생산부문은 연평균 1.0%씩 기술진보가 이루어지는 것으로 보았다.

둘째, 인구 및 노동공급 전망은 기존의 전망치를 참고하여 이루어 졌으며, <표IV-3>에 나타난 바와 같다.

셋째, 비에너지 재화의 국제가격은 전망기간 동안 불변으로 가정했으며, 에너지가격은 2000년 이후 자원의 희소성을 반영하여 점차 상승할 것으로 가정하였다. 즉, 2000년 이후, 석탄 및 우라늄의 국제가격은 연평균 0.8%, 석유제품 및 천연가스 가격은 연평균 1.5%, 원유가격은 연평균 2.0% 각각 상승한다고 가정하였다.(<표IV-4> 참조)

<표IV-3> 인구 및 노동공급 전망

연 도	인 구	연평균증가율	노 동 공 급	백 만 명
	백 만 명		취업자 비율	
1990	42.9	1.0%	42.2%	18.1
1995	44.9	0.9%	44.5%	20.0
2000	46.9	0.9%	46.0%	21.6
2005	48.8	0.8%	47.5%	23.2
2010	50.3	0.6%	49.0%	24.6
2015	51.3	0.4%	50.5%	25.9
2020	52.1	0.3%	52.0%	27.1
2025	52.6	0.2%	53.5%	28.1
2030	52.9	0.1%	55.0%	29.1

나. 경제성장 전망

기준 시나리오 하에서 경제성장은 노동증가, 기술진보, 자본축적에 의해 이뤄진다. <표IV-5>에 나타난 경제성장 전망결과에 따르면, 경제 성장률은 2000년대 초반까지는 비교적 높으나, 이후 점차 둔화되어 2020년 이후에는 2% 대에 이를 것으로 전망된다.

<표IV-4> 국제 에너지 가격 변화

연 도	석 탄	석유제품	원 유	천연가스	우 라 늑
1990	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1995	0.884	0.786	0.827	0.759	0.604
2000					
2005	연 평균	연 평균	연 평균	연 평균	연 평균
2010	0.8%	1.5%	2.0%	1.5%	0.8%
2015	상 승	상 승	상 승	상 승	상 승
2020					
2025					
2030					

따라서 우리나라의 GDP규모는 2010년에 1990년 대비 약 3배 증가한 528조원, 2030년에는 1990년 대비 5.2배 증가한 922조원에 이를 것으로 예상된다. 한편 일인당 GDP는 '90년 불변 가격 기준으로 2000년대에 10,000불, 2020년 이후에 현재 선진국 수준인 20,000불 대에 이를 것이다.²⁾

<표IV-5> 경제성장 전망(기준 시나리오)

연 도	GDP (조원)	GDP (십억\$)	GDP 성장률	일인당 GDP (US\$)
1990	178	252	10.0%	5 879
1995	259	365	7.7%	8 148
2000	345	488	5.9%	10 395
2005	435	615	4.8%	12 599
2010	528	746	3.9%	14 828
2015	622	879	3.3%	17 128
2020	719	1016	2.9%	19 510
2025	820	1158	2.6%	22 007
2030	922	1303	2.4%	24 644

주 : 1990년 불변가격, 1990년도 환율 적용 (1\$=708원).

다. 에너지수요 전망

에너지수요도 <표IV-6>에 나타난 바와 같이 GDP성장에 따라 90년 92백만 TOE에서 2000년에 거의 2배 수준인 180백만 TOE로 매우 빠르게 증가하다가, 이후 크게 그 증가세가 둔화되어 2030년에는 2000년의 2배 수준인 370백만 TOE에 이를 것으로 전망된다.³⁾ 이와 같은 에너지수요 증가는 GDP 증가에는 못 미치며, 따라서 단위 GDP당 에너지원단위는 1990년 0.52 TOE/백만원('90년 불변가격 기준)에서 1995년 0.54 TOE/백만원까지 증가하다가 장기적으로 계속 감소하여 2030년에는 0.4 TOE/백만원에 이를 전망이다. 이러한 기준 시나리오 하에서의 에너지원단위 감소는 우선 생산부문의 기술진보 및 지속적인 장기 국제에너지가격 상승 때문이다.

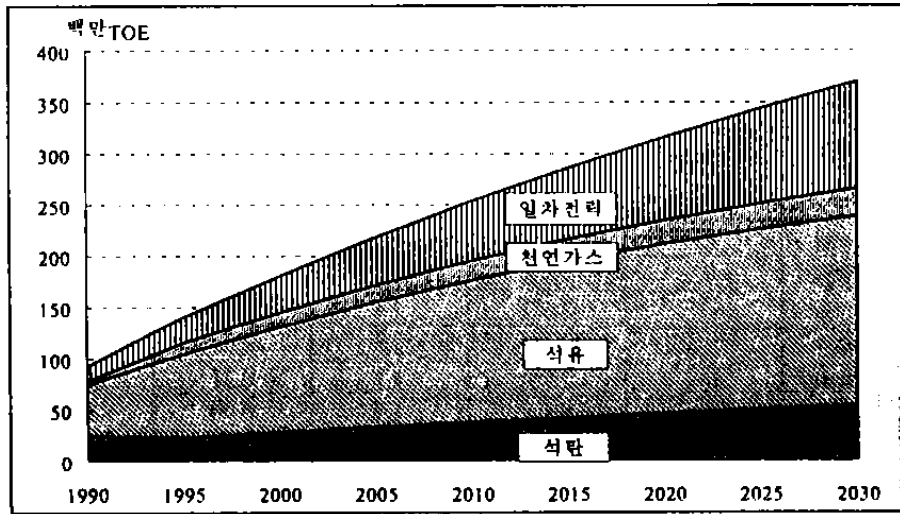
참고로 S.H. Kim(1995)이 SGM을 이용하여 추정한 기준 시나리오하의 2030년의 에너지수요 전망은 본 연구에서 보다 낮게 추정되었다. 이러한 차이는 모형의 구조 및 가정의 차이에 기인한다. 특히 S.H. Kim(1995)은 2006년 이후부터 한국의 원자력 발전소의 신설이 없다는 제약을 주었기 때문에, 경제전체적인 에너지 비용의 수요증가가 둔화되는 것으로 사료된다. 그러나 본 연구에서는 수력/원자력 등 일차전력에 제약을 두지 않았으며, 따라서 화석에너지의 국제가격 상승 및 장기적으로는 전력수요의 상대적인 증가로 총 에너지에서 일차전력의 비중은 계속 증가할 것으로 전망된다. 반면, 석유의 비중은 계속 감소하며, 석탄 및 천연가스의 비중은 1995년 수준을 계속 유지할 것으로 전망된다. 물론 이러한 기준 시나리오 전망은 현재의 경제 및 에너지 정책이 2030년까지 지속된다는 가정하에서 이루어진 것이다. 기준 시나리오에서의 에너지소비구조는 [그림IV-1]에 나타난 바와 같다.

<표IV-6> 에너지수요 및 원단위(기준 시나리오)

연 도	일차에너지		에너지원단위		SGM ¹
	백만 TOE	연 평균 증가율	TOE/백 만 원	연 평균 증가율	백만 TOE
1990	92	10.4%	0.52	0.52%	92
1995	139	8.6%	0.54	0.86%	128
2000	180	5.2%	0.52	-0.73%	159
2005	218	3.9%	0.50	-0.79%	190
2010	253	3.1%	0.48	-0.84%	220
2015	286	2.4%	0.46	-0.87%	247
2020	316	2.0%	0.44	-0.89%	269
2025	344	1.7%	0.42	-0.91%	285
2030	370	1.5%	0.40	-0.92%	293

주 1): S.H. Kim(1995) 이 SGM 을 이용하여 추정한 수치임.

[그림 IV-1] 에너지소비구조(기준 시나리오)



라. 이산화탄소 배출전망

에너지사용에 따른 이산화탄소 배출전망은 <표IV-7>에 나타나 있다. 이산화탄소 배출은 1990년에 65백만 TC(탄소톤)에서 2005년에 1990년 수준의 2배를 넘어서며(136백만 TC), 2030년에는 1990년 대비 3.3배 수준인 212백만 TC에 이를 것으로 전망된다. 일인당 이산화탄소 배출을 보면, 1990년 1.5 TC에서 1995년에 2 TC, 2010년에 3.1 TC로 급격히 증가하나, 이후 증가세가 둔화되어 2030년에 4.0 TC에 이를 것으로 예상된다. 그러나 이러한 이산화탄소 배출은 경제성장 및 에너지수요 증가 보다는 낮게 증가할 것이며, 이에 따라 이산화탄소 배출 관련 지표는 계속 개선될 것으로 보인다. 즉, 단위 GDP당 이산화탄소 배출은 1990년 0.26 TC/천불('90년 불변가격 기준)에서 2030년 0.16 TC/천불로 낮아지며, 단위에너지 당 평균 배출계수도 0.71 TC/TOE에서 0.57 TC/TOE로 낮아진다. 이는 전술한 바와 같이 에너지원단위 감소 및 이산화탄소 배출이 없는 일차전력의 비중이 증가하기 때문이다.

<표IV-7> 이산화탄소 배출(기준 시나리오)

연 도	CO2 배출량			CO2/GDP TC/천\$ 90	CO2/Ener TC/TOE
	백만 TOE	증 가 율	일인당배출 (TC)		
1990	65	8.2%	1.5	0.26	0.71
1995	92	7.1%	2.0	0.25	0.66
2000	115	4.6%	2.4	0.24	0.64
2005	136	3.5%	2.8	0.22	0.62
2010	155	2.7%	3.1	0.21	0.61
2015	172	2.1%	3.3	0.20	0.60
2020	187	1.7%	3.6	0.18	0.59
2025	200	1.4%	3.8	0.17	0.58
2030	212	1.2%	4.0	0.16	0.57

주석 1) 연산일반균형모형은 장기 Simulation 모형이다. 그런데, 본 모형처럼, 축차적 동태모

형에서 40년간의 전망 Simulation을 실시하는 할 경우, 출력자료 처리에 많은 시간과 노력이 소요된다. 따라서, 대부분의 경우 전망구간을 5-10년으로 하여 모형을 운용한다.

주석 2) 이와 같은 경제성장전망은 1990년 자료를 기준으로 하였으며, 97년 말에 경험한 IMF 금융위기를 반영하지 않은 것이다. 이를 고려할 경우에는 장기경제성장이 달라질 수 있다.

주석 3) 본 연구에서는 1990년을 기준연도로 하였기 때문에 1995년의 GDP, 에너지수요, 이산화탄소 배출량이 실적치와 다르게 나타나 있다. 그러나 본 모형은 단기적인 전망 보다는 장기적인 추세를 파악하고자 한 것이다

2. 탄소세 부과에 따른 효과

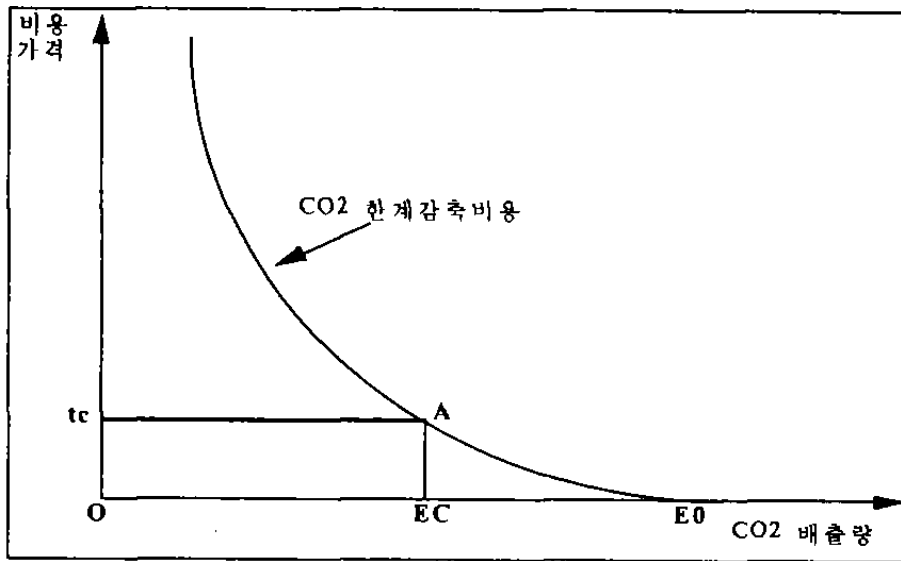
본 절에서는 우리나라의 탄소세 도입에 따른 모의실험을 실시한다. 첫째, 세계단일 탄소세 부과효과를 분석하고, 둘째, 탄소세 크기에 따른 시뮬레이션을 실시한다.

가. 탄소세 도입의 개념

탄소세는 인간의 활동으로부터 배출되는 이산화탄소 배출을 억제하기 위한 정책수단의 하나이다. 공해물질 또는 이를 배출하는 행위에 대하여 조세를 부과하여 공해물질의 배출을 억제하는 이론은 영국의 경제학자 피구(Pigou)에 의해 제기되었다. 이 이론에 따르면 공해물질, 즉 외부효과를 발생하는 활동에 대해 외부효과 만큼의 조세를 부과함으로써 외부비용을 내생화 할 수 있다. 그러나, 지구온난화 현상은 범 지구적이고, 그 파급효과가 장시간에 걸쳐 광범위하게 일어나므로, 이 현상으로 인하여 입게 되는 외부비용을 측정하기는 거의 불가능하다. 따라서, 유럽의 에너지/탄소세 제안에서처럼 외부비용을 파악하지 못하는 상태에서 일정률의 조세를 부과하게 된다. 이렇게 특정한 감축목표가 설정되지 않은 상태에서 부과되는 조세를 공해물질 감축을 위한 "유인적인 조세"라고 한다.

이러한 유인적인 탄소세의 개념을 [그림IV-2]를 이용하여 설명할 수 있다. 그림에서와 같이 이산화탄소 감축량에 대해 체증적인 한계감축비용곡선이 있다고 가정하자. 탄소세 t_c 부과시의 배출량은 EO 수준이며, 탄소세의 부과에 따라 배출은 점차 감소한다. 만일 t_c 만큼의 탄소세를 부과하면, 배출은 한계감축비용과 탄소세의 크기가 같아지는 점인 EC 수준으로 감소하게 된다. 이 경우 총 탄소세액의 크기는 사각형 O-EC-A- t_c 면적만큼이 된다.

[그림 IV-2] 탄소세 도입의 개념도



나. 세계단일 탄소세 부과효과

비록 세계 탄소세 도입에 대한 국제적인 공감대가 형성되지 않고 있으나, 여기서는 분석목적으로 이를 도입할 경우의 우리나라 경제에 미치는 영향을 보고자 한다. 그러나 본 모형은 일국(National CGE) 모형이므로 세계 탄소세를 추정할 수 없는 한계를 가지고 있다. 따라서 세계 탄소세의 효과를 분석하기 위해서는 탄소세 수준을 임의적으로 정하거나, 다른 세계 모형에서 추정한 탄소세를 이용해야 한다. 본 연구에서는 OECD(1993)의 GREEN 모형에서 추정한 세계 이산화탄소 배출 안정화를 위한 세계평균 탄소세를 채택하였다. 그런데, GREEN 모형에서는 1985년 불변가격 기준으로 탄소세를 추정하였으나, 본 연구의 기준년도(1990년)와 일치시키기 위하여 <표 IV-8>와 같이 미국의 물가지수를 이용하여 1990년 불변가격 기준으로 환산하였다.

또한, GREEN 모형에서 추정되지 않은 중간년도에 대해서는 일정증가율을 적용하여 보간법으로 계산하였다. 그리고 탄소세 수준이 시간에 따라 계속 증가하나, 2005년에서 2010년 사이에 다소 낮아지는 이유는 GREEN 모형에서 2010년부터 이산화탄소를 배출하지 않는 미래 에너지대체기술(backstop technology)이 도입된다고 가정했기 때문이다. 따라서 본 모형에 적용한 세계 탄소세는 탄소 톤당 2000년에 93달러, 2010년에 124달러, 그리고 2030년에 199달러에 이른다.

<표 IV-8> 세계단일 탄소세 추정치

연 도	원 추정치 (\$/TC)	적용 가격 (\$/TC)
2000	77	93
2005	103	125
2010	102	124
2015	---	141
2020	133	161
2025	---	180
2030	164	199

*주 : GREEN 모형에서 세계 CO2배출 안정화를 위한 세계 탄소세 (1985년 불변가격)를 미국의 물가지수를 적용하여 1990년 불변가격으로 환산하였음.

이러한 탄소세의 부과로 인하여 화석연료의 가격이 상승하며, 이에 따라 이산화탄소 배출은 <표 IV-9>에서 보는 바와 같이 기준 시나리오 대비 2000년에 17.0%, 2010년에 19.3%, 2030년에 22.4% 감소하며, 에너지수요는 각각 13.6%, 15.0%, 16.5% 감소한다. 이와 같이 에너지 수요 감소가 이산화탄소 보다 작은 이유는 첫째, 탄소함유가 많은 에너지원에서 탄소함유가 적은 에너지원으로, 그리고 화석에너지에 비화석 에너지로 에너지원간 대체가 일어나기 때문이다. 둘째, 탄소세 부과로 인한 화석에너지 가격의 상승은 에너지 전체의 가격을 상승시켜, 에너지가 자본, 노동 등 타 생산요소로 대체되기 때문이다. 또한 이러한 탄소세의 부과는 에너지비용 상승으로 인하여 에너지다소비 산업의 생산이 위축된다. 따라서 탄소세 도입으로 인한 에너지소비의 제약 등 인위적인 자원 배분의 왜곡으로 국내총생산은 기준 시나리오로 대비 2000년 0.3%, 2010년 0.9%, 2030년 1.3% 감소한다.

<표 IV-9> 세계단일 탄소세 도입에 따른 효과

연 도	CO ₂ 배출 (MTC)	CO ₂ 감축	GDP 손실	에너지 수요감소
2000	95	17.0%	0.3%	13.6%
2005	108	20.2%	0.7%	16.0%
2010	125	19.3%	0.9%	15.0%
2015	137	20.2%	1.1%	15.5%
2020	147	21.2%	1.2%	16.1%
2025	157	21.9%	1.3%	16.4%
2030	165	22.4%	1.3%	16.5%

이와 같은 결과를 같은 탄소세를 부과할 경우의 GREEN 모형의 세계전체 결과와 비교해 볼 때, <표 IV-10>에서와 같이 이산화탄소 감소율은 2030년의 경우 GREEN 모형에서는 55%로 나타나 본 모형에서 보다 현저히 크게 나타나고 있다. 양 모형의 구조 및 가정, 지역적 범위에서 큰 차이가 있어 직접 결과를 비교하기는 어려우나, 이와 같은 차이의 가장 큰 이유는 본 모형에서는 GREEN 모형에서와 달리 태양열, 태양광 등 비탄소 미래대체기술 (Backstop Technology)을 도입하고 있지 않기 때문이다. 즉, 미래대체기술은 현재는 경제성

이 없으나, 탄소세 부과 등으로 에너지가격이 일정수준 이상 상승할 경우 도입될 가능성이 있는 기술이다. 한편, 같은 탄소세 부과시 GREEN 모형에서의 세계 GDP 감소율은 2030년 1.9%로 본 모형의 결과와 상대적으로 차이가 크지 않다. 그러나, 본 모형의 결과에서 GDP 감소율이 상대적으로 작은 이유는, 한국이 소요 에너지의 상당부분을 수입에 의존하고 있으므로 탄소세 부과에 따라 에너지수입이 감소하며, 타 에너지생산국과는 달리 국내 에너지산업에 미치는 영향이 작기 때문이다.

<표 IV-10> GREEN 모형의 세계탄소세 도입 결과

연 도	탄 소 세 (\$/TC)	CO2 감소	GDP 감소
2000	77	18%	0,4%
2005	103	25%	0,7%
2010	102	33%	1,0%
2020	133	46%	1,6%
2030	164	55%	1,9%

주 : GREEN 모형에서 세계 이산화탄소 배출을 1990년 수준으로 안정화 시킬 경우의 결과임.
(1985년 불변가격 기준)

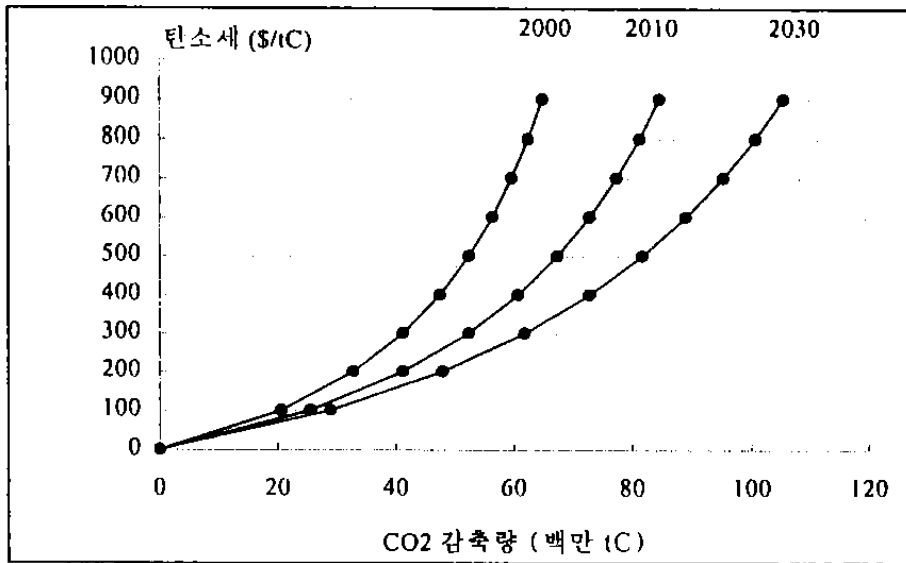
자료 : J.O. Martins et al. (1993), OECD (1993).

다. 탄소세 크기에 따른 시물레이션

앞서의 세계탄소세 수준은 유일한 것이 아니며 모형에 따라 다르게 추정되고 있다. 여기서는 분석의 목적으로 탄소톤당 100달러에서 9000달러까지 탄소세를 부과할 경우의 이산화탄소 감축 및 GDP 손실을 추정한다.⁴⁾ 우선 탄소세 부과에 따른 이산화탄소 감축량, 또는 "탄소세 곡선"(Carbon Tax Curve)은 [그림 IV-3]에 나타나 있다. 예를 들어, 2000년에 톤당 300달러의 탄소세를 부과할 경우 약 4천만 탄소톤의 이산화탄소 배출이 감축되며, 2030년에 900달러의 탄소세 부과시에는 약 1억6백만 탄소톤의 배출이 감축된다. 여기서 특기할 사항은 온실가스 감축량이 많아질수록 필요탄소세가 체증한다는 점이다. 즉 이산화탄소의 한계 감축비용이 체증한다.

한편, 탄소세에 따른 GDP 손실은 [그림 IV-4]에 나타나 있는 바와 같이 탄소세 크기에 거의 비례적으로 증가하는 것으로 나타난다. 또한 동일 탄소세 부과시에 GDP에 미치는 영향은 시간이 지남에 따라 증가하나, 장기적으로는 다소 감소한다. 예를 들면, 탄소톤당 900달러의 탄소세 부과시의 GDP 감소율은 2000년에 3.8%, 2010년에 4.9%, 2020년에 5.63%로 증가하다가 2030년에는 5.58%로 다소 둔화된다. 이는 본 모형의 구조 및 가정, 그리고 시물레이션 방법에 기인한다.

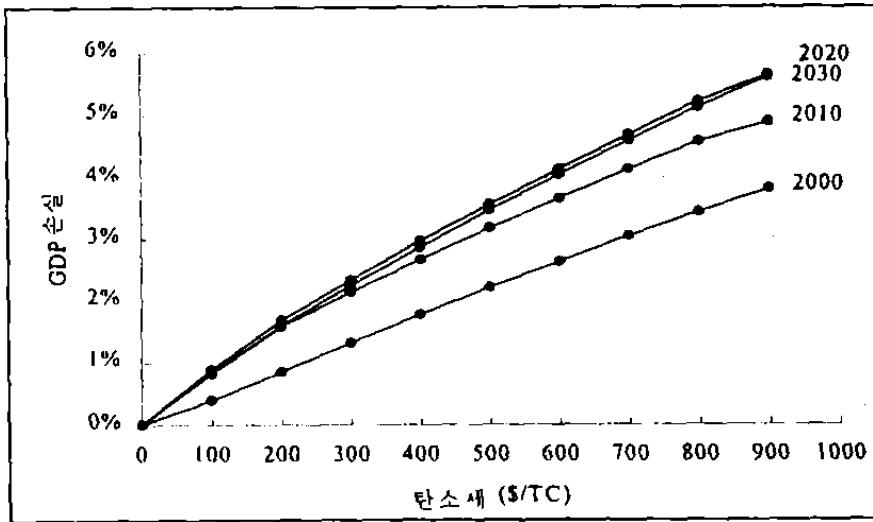
[그림 IV-3] 탄소세에 따른 CO₂ 감축량



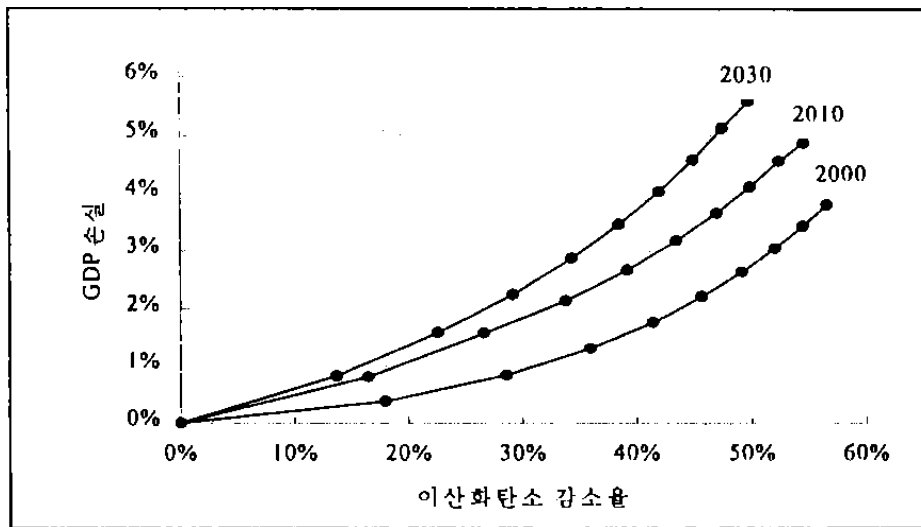
우선 시뮬레이션은 동일한 탄소세를 2000년 이후 전 전망기간에 적용하여 이루어졌다. 따라서, 첫 기간의 탄소세 부과는 GDP 감소 및 이에 따른 투자의 감소를 초래하며, 따라서 다음기간의 자본스톡이 기준 시나리오에 비해 감소한다. 그러므로 다음기간에는 탄소세 부과 효과 뿐만 아니라 자본스톡의 감소에 의해 GDP 감소폭이 커진다. 이러한 현상은 시간이 지날수록 커진다. 그러나, 기준시나리오 작성시 외생변수인 국제에너지 가격이 계속 상승한다고 가정하였다. 따라서, 동일 탄소세(중량세) 부과에 따른 화석에너지 가격 상승률은 시간이 지남에 따라 낮아진다. 그런데 모형내에서 실물변수는 상대가격 변화율에 영향을 받으므로, 장기적으로 중량세 부과에 의한 효과는 체감한다. 이 때문에 2030년의 GDP 감소율이 2020년에 비해 작게 나타난다.

그리고 이산화탄소 감축비율과 GDP 손실관계는 [그림 IV-5]에 나타나 있다. 이 그림에서 보면, 첫째 이산화탄소 감소율이 커질수록 GDP 감소는 체증한다. 즉 추가적인 온실가스 감축은 점점 더 비용이 많이 든다는 것을 뜻한다. 둘째, 동일한 감축비율에 대해서 GDP 손실은 시간이 지남에 따라 증가하는데, 이는 앞서서와 마찬가지로 탄소세 미부과시의 국제에너지 가격이 계속 증가한다는 가정에 따른 것이다. 부연하면, 장기적으로는 에너지 가격이 높으므로 이에 적응하여 기준시나리오에서 에너지원단위가 이미 개선되어 있는데, 추가적인 감축은 더 많은 경제적 비용을 수반한다.

[그림 IV-4] 탄소세 도입에 따른 GDP 손실



[그림 IV-5] 이산화탄소 감축과 GDP 손실



주석 4) 탄소세 시뮬레이션을 위해서는 탄소세크기에 따라 모형을 여러번 운용해야 한다. 여기서는 일정 탄소세를 도입한다고 가정하고 1990년부터 2030년까지 전체 전망기간에 대해 총 9번의 모형을 운용한 결과를 취합한 것이다.

3. 이산화탄소 배출목표 부과시의 효과

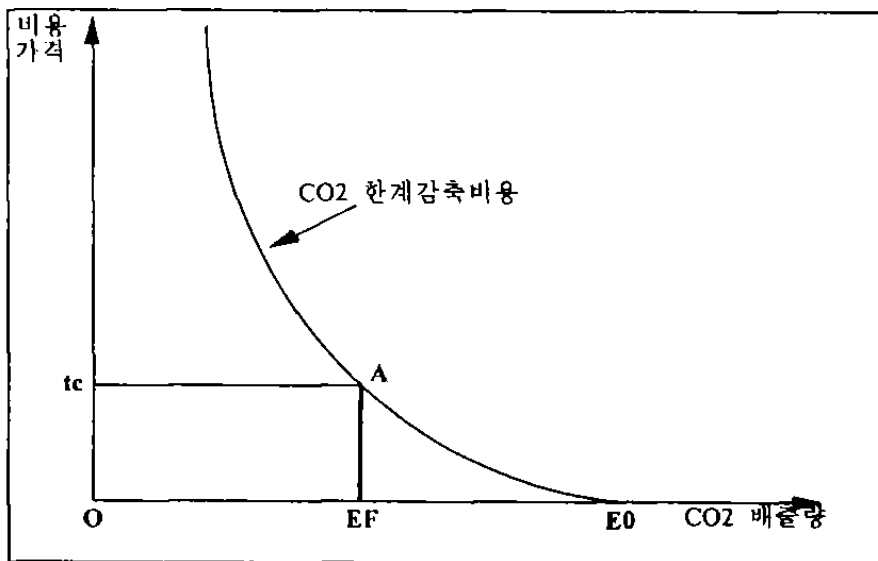
1997년 채택된 교토의정서에 의거 선진국들은 온실가스 배출목표를 부과받았다. 우리나라의 경우 배출목표를 부과받지 않고 있으나, 감축의무 부담시를 대비하여 배출목표 시나리오별 모의실험을 실시한다. 즉, 1995년 또는 2000년의 기준 시나리오 수준으로 온실가스 배출을 안정화시킬 경우의 한계 배출감축비용(또는 국내 배출권가격), GDP 등에 미치는 효과를 분석한다.

가. 배출목표 설정의 개념

탄소세의 경우와 마찬가지로 배출목표 설정의 개념을 [그림 IV-6]을 이용하여 설명할 수 있다.

그림에서와 같이 이산화탄소 감축량에 대해 체증적인 한계감축비용곡선이 있다고 가정하자. 기준 시나리오하의 배출량은 E0 수준이며, EF의 감축목표를 부과한다고 가정한다. 이 경우 배출목표를 달성하기 위한 감축한계비용은 tc가 된다. 즉, 배출목표 달성을 위하여 탄소세를 도입할 경우에는 tc만큼의 탄소세를 부과해야하며, 국내 배출권거래제 도입시에는 배출권가격이 tc에 이른다.

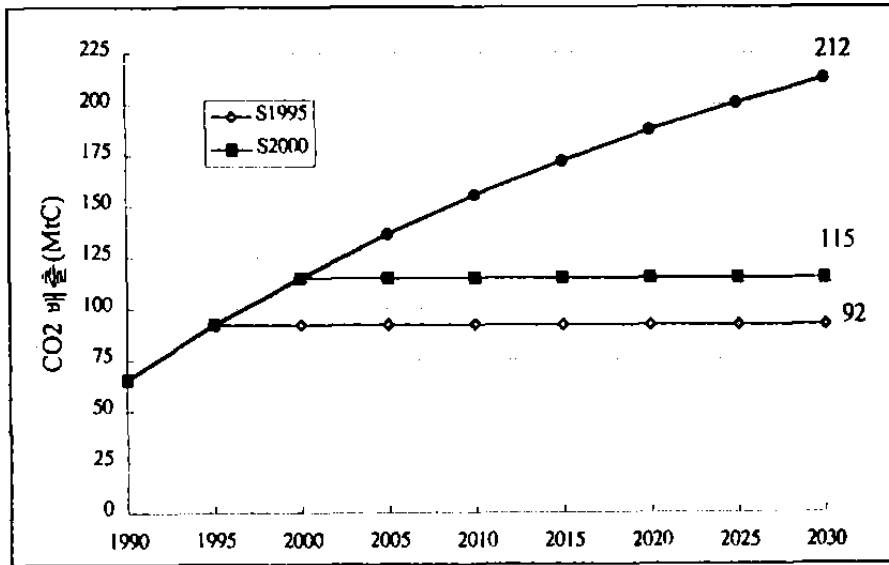
[그림 IV-6] 배출목표 설정의 개념도



나. 배출목표 수준 및 한계비용

기준 시나리오하의 이산화탄소 배출, 그리고 1995년 및 2000년 수준으로 배출을 안정화시킬 경우는 [그림 IV-7]에 나타나 있다. 이산화탄소 배출을 1995년 수준(92백만 TC)으로 안정화시키기 위해서는 기준시나리오 대비 2000년에 20%, 2010년에 47%, 2030년에는 57%의 이산화탄소 배출을 감축해야 한다. 또한 2000년 배출수준(115백만 TC)으로 안정화하기 위해서는 2010년에 26%, 2030년에는 46%의 배출을 감축해야 한다.

[그림 IV-7] 목표 설정에 따른 배출수준



이러한 배출목표를 달성하기 위한 이산화탄소 한계감축비용은 <표 IV-11>에 나타나 있다. 본 모형의 결과에 따르면 1995년 수준으로 이산화탄소 배출을 안정화시키기 위한 한계비용은 2010년에 탄소 톤당 439달러에서 2030년에 1329달러가 된다. 또한 2000년 수준의 안정화를 위해서는 각각 194달러, 747달러에 이를 것으로 분석된다.

<표 IV-11> 배출수준에 따른 한계감축비용

연도	1995년 수준		2000년 수준	
	CO2 저감	한계비용 (\$/tC)	CO2 저감	한계비용 (\$/tC)
2000	20%	117		
2005	33%	265	16%	88
2010	41%	439	26%	194
2015	47%	632	33%	314
2020	51%	846	39%	447
2025	54%	1080	43%	592
2030	57%	1329	46%	747

이러한 이산화탄소 한계감축비용은 외국의 타 모형의 추정에 비하면 매우 높은 수준이다 이와 같이 한계감축비용이 높은 이유는 첫째, 기준 시나리오 하에서 지속적인 경제성장으로 에너지소비 및 이산화탄소 배출이 지속적으로 증가하므로 이산화탄소 배출 안정화를 위해서는 감축비용이 매우 높기 때문이다. 둘째, 본 모형에서는 화석에너지가격이 크게 상승할 경우에도 미래의 대체에너지기술(Backstop Technologies)을 모형에서 고려하지 않았으며, 셋째 높은 에너지가격 상승에 상응하는 에너지절약 기술개발, 산업구조 조정, 수송구조의 변동 등을 모형 내에서 고려하지 못했기 때문이다.

온실가스 배출 안정화정책이 경제에 미치는 영향은 <표 IV-12>에 요약되어 있다. 이산화탄소의 한계감축비용 만큼의 탄소세를 부과하여 1995년 수준으로 안정화 시킬 경우, 2030년에

GDP는 5.9% 감소하고, 민간소비는 7.6% 감소하며, 탄소세부과에 따른 물가과급효과로 소비자물가는 24% 상승하는 것으로 분석된다. 또한 2000년 수준의 안정화를 위해서는, 2030년에 GDP는 3.5% 감소하고, 민간소비는 4.4% 감소하며, 소비자물가는 216.5% 상승하는 것으로 예상된다.

<표 IV-12> 배출수준에 따른 경제적 효과

연 도	1995년 수준			2000년 수준		
	GDP	민간소비	소비자 물가	GDP	민간소비	소비자 물가
2000	-0.5%	-0.9%	3.7%			
2005	-1.4%	-2.2%	7.9%	-0.3%	-0.6%	2.6%
2010	-2.4%	-3.5%	12.1%	-0.9%	-1.4%	5.5%
2015	-3.2%	-4.8%	16.2%	-1.6%	-2.3%	8.4%
2020	-4.4%	-5.8%	20.1%	-2.3%	-3.1%	11.2%
2025	-5.2%	-6.8%	24.0%	-2.9%	-3.8%	13.9%
2030	-5.9%	-7.6%	27.6%	-3.5%	-4.4%	16.5%

그런데, 본 분석의 결과에 의하면, 매우 높은 탄소세(한계감축비용)에도 불구하고 GDP 손실 등 경제적 충격이 작게 나타나고 있다. 이와 같은 이유는 첫째, 자본의 자유로운 부문간 이동을 가정함으로써 (기 투자된 자본에 대해서도) 높은 탄소세 충격에 경제가 신속적으로 조정이 이루어지기 때문이다. 둘째, 이산화탄소 감축정책으로 인하여 에너지수입이 큰 폭으로 감소하므로 국제수지가 개선되고 GDP에 대한 충격이 완화된다. 셋째, 정부의 탄소세 수입이 민간(가계)으로 이전되어 조세환급(tax recycling) 효과로 민간수요가 진작된다. 넷째, 수출에 대한 함수식을 CET 함수를 도입함으로써, 생산자가 국내소비 감소를 보충하기 위하여 수출을 증대시키는 현상(일종의 dumping)이 발생하기 때문이다.

한편 이산화탄소 배출관련 지표를 분석하기 위해 이산화탄소 배출을 다음과 같은 관계식으로 표현할 수 있다.

$$EMC = GDP \times \frac{E}{GDP} \times \frac{CO_2}{E}$$

즉, 이산화탄소 배출은 경제활동수준(GDP), 단위 경제활동당 에너지소비(E/GDP, 에너지원 단위), 단위 에너지소비당 이산화탄소 배출(CO₂/E, 평균배출계수)의 식으로 분해(decompose)할 수 있다. 이에 따라 이산화탄소 배출 안정화시의 분석별과는 <표 IV-13>에 나타나 있다.

<표 IV-13> 배출감축 요인별 분석

1995년 수준 안정화				
연도	GDP	Ener/GDP	CO ₂ /Ener	CO ₂ 배출
2000	-0.5%	-15.7%	-4.7%	-20.1%
2010	-2.4%	-30.9%	-12.3%	-40.8%
2020	-4.4%	-37.4%	-18.0%	-50.9%
2030	-5.9%	-40.7%	-22.6%	-56.8%
2000년 수준 안정화				
연도	GDP	Ener/GDP	CO ₂ /Ener	CO ₂ 배출
2010	-0.9%	-19.5%	-7.2%	-26.0%
2020	-2.3%	-28.2%	-12.5%	-38.6%
2030	-3.5%	-32.6%	-16.8%	-45.9%

2030년에 1995년 수준으로 배출을 감축할 경우, 배출은 56.8% 감축하는데, 생산활동(GDP) 감소에 의해 5.9%, 에너지 원단위 감소에 의해 40.7%, 단위 에너지소비당 이산화탄소 배출 감소에 의해 22.6%로 나타나, 에너지 원단위 감소가 가장 큰 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 여기서 GDP당 에너지원단위 감소는 탄소세 부과시에 에너지가격 상승으로 인하여 에너지가 자본과 노동의 본원적 생산요소와의 대체 및 에너지다소비 산업의 상대적인 생산위축, 즉 산업구조변화 효과를 반영하고 있다. 또한, 에너지소비당 이산화탄소 배출 감소는 탄소세 부과로 인한 화석에너지 가격 상승으로 탄소함량이 많은 에너지원에서 탄소함량이 적거나 이산화탄소를 배출하지 않는 에너지원으로 에너지원간 대체가 이루어지기 때문에 나타난다.

4. 국제 배출권거래시의 효과분석

이상에서 본 바와 같이 우리나라의 온실가스 한계감축비용은 매우 높게 추정된다. 이는 온실가스 배출을 1995년 수준 또는 2000년 수준으로 안정화 시키는 목표를 설정하고, 국내 배출권 거래제를 도입할 경우 배출권 가격이 매우 높아지게 됨을 의미한다. 따라서 국제 배출권가격이 우리나라의 이산화탄소 한계감축비용 보다 낮을 경우에는 국제 배출권거래제에 참여하여, 국내 경제에 미치는 과급효과를 완화시킬 수 있다. 즉, 국제 배출권시장에서 배출권을 구입하여, 국내에서의 온실가스 저감량을 줄일 수 있다. 그런데, 우리나라는 소규모 개방 경제이므로 국제 배출권가격은 국제시장에서 결정되며, 분석시에는 타 Global 모형에서 추정한 결과를 이용한다.

가. 국제 배출권거래제의 개념

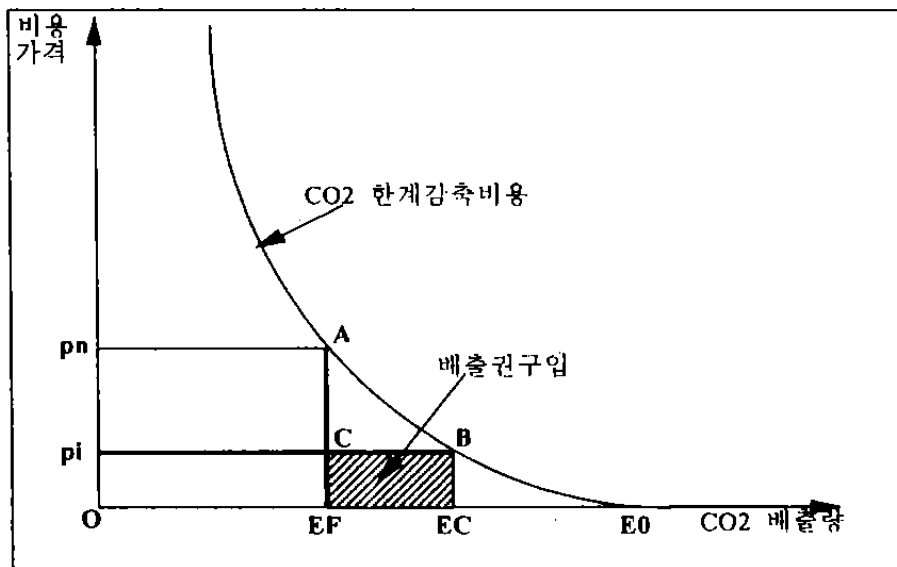
탄소세와 배출목표 설정의 경우와 마찬가지로 국제 배출권거래제의 개념을 [그림 IV-8]을 이용하여 설명할 수 있다. 이 개념도는 앞서의 두 그림을 중첩시킨 것이다. 기준시나리오 하의 배출량은 E0수준이며, EF의 감축목표를 부과한다고 가정한다. 이때 국내 배출권거래제를 통하여 배출목표를 달성할 경우 국내 배출권가격은 p_n 이 된다. 그런데, 국제 배출권 가격이 이보다 낮은 p_i 수준이라고 하자. 우리나라가 국제 배출권거래제에 참여할 경우, 배출권의 국내 거래가격은 p_i 가 되며, 배출량은 EC가 된다. 따라서 국내 배출량(EC)이 배출목표(EF)를 초과하므로, 배출목표 달성을 위해서는 배출 초과분(EC-EF) 만큼은 외국에서 구입해야

한다.

그런데, 배출감축 총비용은 한계감축비용을 감축량에 대해 적분한 양이다.⁵⁾ 따라서 국내 배출권거래제로만 배출목표를 준수할 경우 총비용은 그림의 A-EF-E0의 면적에 해당된다. 그러나 국제 배출권거래제에 참가시에 배출감축비용은 그림의 B-EC-E0의 면적에 해당되며, 배출권을 해외에서 구입하기 위해 사각형 C-EF-EC-B에 해당하는 금액을 해외에 지불해야 한다.

따라서 국제 배출권거래제에 참가시의 배출목표 달성 총비용은 그림의 C-EF-E0-B의 면적에 해당하며, 우리나라는 A-C-B의 면적에 해당하는 만큼의 비용을 줄일 수 있다.⁶⁾

[그림 IV-8] 국제 배출권거래제의 개념도



나. 국제 배출권거래제 도입시의 효과분석

우리나라의 이산화탄소 배출목표를 1995년 수준으로 정했을 경우의 효과는 <표 IV-14>에 나타난 바와 같다. 이때 국제 배출권가격은 앞서 탄소세 효과 분석에서 정한 세계 단일 탄소세와 동일한 수준에서 결정된다고 보았다. (<표 IV-8> 참조)

본 모형에 의한 분석결과, 국제 배출권거래제 개념도에서 보았듯이, 국제 배출권가격이 국내의 한계감축비용보다 낮으므로, 우리나라의 이산화탄소 배출은 기준 시나리오에서 보다는 낮으나 지속적으로 증가한다. 따라서 해외에서 배출권을 구입해야 하는데, 구입량은 2030년 72.4백만 탄소톤에 이르며, 이를 위해 2030년 GDP의 1.1%에 해당하는 144억 달러를 해외에 지불해야 한다. 또한 국제 배출권거래제 도입으로 인한 화석에너지사용 제한 및 배출권 구입비용 지불로 인한 투자재원의 감소로 2030년의 GDP는 기준 시나리오 대비 1.4% 감소하여, 전체적으로 2.5%의 GDP감소가 발생한다.

<표IV-14> 배출권 거래제의 효과 분석(1995년 수준 배출시)

연도	CO2 배출 (MTC)	배출권 구입			CO2 감축 GDP 손실	GDP 총손실
		구입량 (MTC)	구입액 (십억 \$)	구입액/ GDP		
2000	95.2	3.5	0.3	0.1%	0.4%	0.4%
2005	108.4	16.6	2.1	0.3%	0.8%	1.1%
2010	125.0	33.3	4.1	0.6%	1.0%	1.5%
2015	136.9	45.2	6.4	0.7%	1.1%	1.9%
2020	147.0	55.3	8.9	0.9%	1.3%	2.2%
2025	156.1	64.4	11.6	1.0%	1.4%	2.4%
2030	164.1	72.4	14.4	1.1%	1.4%	2.5%

다. 정책수단별 효과비교

이상에서 우리는 우리나라의 온실가스 감축을 위한 세계 단일탄소세, 국내수단만으로 배출 목표 설정, 국제 배출권거래제 도입 등의 세가지 정책수단 도입에 따른 효과를 분석했다. 각 정책수단별 GDP에 미치는 효과는 <표IV-15>에 요약되어 있다.⁷⁾

<표IV-15> 정책수단별 GDP 감소 비교(1995년 수준 배출시)

연도	세계 탄소세	배출권거래 미도입시	배출권거래 도입시
2000	0.3%	0.5%	0.4%
2005	0.7%	1.4%	1.1%
2010	0.9%	2.4%	1.5%
2015	1.1%	3.2%	1.9%
2020	1.2%	4.4%	2.2%
2025	1.3%	5.2%	2.4%
2030	1.3%	5.9%	2.5%

분석결과, 첫째, 우리나라의 이산화탄소 한계감축비용이 세계 수준보다 매우 높기 때문에, 세계 탄소세 도입이 우리나라 GDP에 미치는 영향을 최소화 할 수 있다. 하지만 이산화탄소 배출은 계속 증가한다. 그러나, 세계탄소세에 대한 국제적인 공감대가 형성되고 있지 않아

도입 가능성은 작다. 둘째, 국내 정책수단만으로 1995년 또는 2000년 수준으로 온실가스 배출목표를 설정할 경우에는 한계감축비용이 매우 높으며, GDP에 대한 영향도 매우 클 것으로 분석된다. 셋째, 우리나라의 온실가스 배출목표 설정시, 국제 배출권거래제에 참여함으로써 비록 배출권 구입을 위하여 상당한 비용을 지불해야 하나 경제에 미치는 충격을 완화할 수 있다. 그러나 이러한 분석은 국제 배출권시장이 완전하다는 가정하에서 이루어진 것이며, 시장의 왜곡이나 일부국가의 독점적 행위가 있을 경우에는 배출권거래제의 잇점이 줄어들는다.

또한, 국제 배출권거래제 참여시에 배출목표 수준 또한 매우 중요하다. 배출목표 설정 그 자체가 일국이 배출권 순구입국이 되느냐, 순판매국이 되느냐를 바로 결정하게 된다.⁸⁾ 본 연구에서의 분석결과 이산화탄소 배출목표를 1995년 수준에서 정하느냐, 아니면 2000년 수준에서 정하느냐가 우리나라의 배출권 구입여부 및 구입량을 바로 결정한다. <표IV-16>에서 보면, 두 시나리오간 온실가스 (순)구입량의 차이는 바로 배출목표의 차이와 같음을 알 수 있다. 또한 2000년 수준의 이산화탄소 배출목표를 부여받을 시에는 2000년과 2005년에는 일부 배출권을 외국에 판매할 가능성도 있는 것으로 분석된다.

<표IV-16> 배출목표 수준에 따른 배출권 거래제의 효과

연 도	배 출 권 국제가격 (\$/tC)	배출목표 (배출권거래제 도입)			
		1995년 수준 (92 MtC)		2000년 수준 (115 MtC)	
		구 입 액	GDP 비중	구 입 액	GDP 비중
2000	93	0.3	0.1%	-1.8	-0.4%
2005	125	2.1	0.3%	-0.8	-0.1%
2010	124	4.1	0.6%	1.3	0.2%
2015	141	6.4	0.7%	3.2	0.4%
2020	161	9.0	0.9%	5.2	0.5%
2025	180	11.7	1.0%	7.5	0.6%
2030	199	14.5	1.1%	9.9	0.8%

주석 5) 본 개념도에 의한 분석은 부분균형에서 이루어지는 현상을 설명한 것이므로 일반균형에서의 결과와 정확하게 일치하지 않는다. 하지만 본 개념도는 이해를 쉽게 하기 위해 사용되었다.

주석 6) 국제 배출권가격이 국내의 한계감축비용보다 높을 경우에는 배출권을 판매하게 되며, 이 경우에는 국내수단만으로 배출목표 달성의 경우보다 이득이 있음을 보일 수 있다.

주석 7) <표IV-15>에서 세계 탄소세와 배출목표를 설정시에 각각 임의적인 탄소세 수준 및 배출목표를 설정하였으므로, 이 두 경우의 GDP 감소효과의 크기를 직접 비교 하는 것은 의미가 없다. 하지만, 우리나라의 이산화탄소 감축 한계 비용이 세계평균 보다 높은 수준에 있

으므로, 우리나라의 경제에 미치는 영향에 대한 정책수단별 상대적인 비교는 가능하다.

주석 8) 교토의정서상에서 대부분의 구소련 국가들은 1990년 수준의 온실가스 배출목표를 부여 받았다. 그런데, 시장경제로의 이행과정에서 이들 국가들의 경제위축으로 현재의 온실가스 배출이 1990년 수준보다 훨씬 낮은 수준이며, 1차 공약기간(2008-2012)의 배출도 1990년 수준을 초과하지 않을 전망이다. 따라서 이들 국가들은 온실가스 배출목표를 높게 받음으로 해서 저감노력이 없이도 상당한 양의 온실가스 배출권(소위 hot air)을 판매할 수 있을 전망이다.

V. 요약 및 결론 : 정책 대응 및 모형개선방향

1. 정책적 시사

본 연구에서는 우리나라의 온실가스 감축정책이 경제에 미치는 영향을 연산일반균형모형을 이용하여 분석하였다. 분석결과 우리나라의 온실가스 감축의무 부담시, 국내 정책수단만으로 대응하는 것은 우리 경제에 큰 부담이 된다고 나타났다. 따라서 온실가스 감축의무 부담시에는 국제 배출권거래, 공동이행, 청정개발 체제 등 교토의정서 메커니즘을 적극 활용하여 비용효과적으로 온실가스를 감축할 필요가 있다고 판단된다. 또한, 배출목표 수준이 바로 배출권 구입(또는 판매) 수준을 결정하므로, 배출목표 설정에 있어서 신중하게 대처할 필요가 있다.

그리고, 본 연구에서는 온실가스 감축을 위해 탄소세나 국제 배출권거래제 등의 가격정책의 효과만을 분석하였다. 그러나 본연구의 결과는 가격정책만에 의한 온실가스 감축은 그 비용이 매우 크며, 한계가 있다는 것을 보여주고 있다. 따라서 경제에 부담을 완화 시키기 위해서는 가격정책과 더불어 에너지기술 개발, 산업 및 수송구조 조정 등을 동시에 병행하여야 함을 시사하고 있다.

2. 분석의 한계 및 향후 개선방향

다른 모든 모형과 마찬가지로 본 연구에서 사용된 모형에도 비현실적이거나 단순화된 가정을 도입되었다. 첫째, 가격정책 효과분석에 있어서 가장 중요한 변수인 대체탄력성 등 중요한 파라미터를 추정하지 않고 외국의 연구에서 사용된 것을 인용하였다. 둘째, 모형내에서 금융시장의 행태를 고려하지 못하였으며, 자본이 부문간에 신속적으로 이동이 가능하다는 강한 가정을 채택하였다. 셋째, 수출함수를 불변전환 탄력성 함수를 선정함으로써, 탄소세 도입에 따른 내수의 위축을 수출로서 보상받으려는 생산자의 행태에 따라 국제수지에 대한 결과가 왜곡되었다. 넷째, 탄소세 도입에 따라 화석에너지 가격이 크게 상승할 경우 도입이 예상되는 미래의 신에너지 대체기술 및 기술개발 효과에 대한 분석이 미약하였다.

따라서 모형을 개선하기 위해서는 단순화된 가정을 완화할 필요가 있다. 물론 자료의 제약이나 모형운용상의 문제 등으로 비현실적인 가정이 도입되나, 현실을 최대한 반영할 수 있도록 모형을 개선해야 할 것이다. 우선 국내 탄소세 도입시에 정부의 조세환급 및 세제개혁, 그리고 국내 배출권거래제 도입시의 배출권 할당방법 등에 대한 분석이 필요하다. 그리고, 기술개발 측면을 고려하기 위해 상향식(Bottom-Up)모형과의 연계하여 운영하는 방안도 장기적으로 모색해야 할 것이다. 마지막으로 모형의 각 부문별 방법론 개발, 필요 자료의 수집 및 정리, 실증분석 등에 상당한 노력과 시일이 소요되므로 단계적으로 모형을 개선해 나가야 한다.

참 고 문 헌

- 국무조정실 (1999), 『기후변화협약 대응 종합대책』
- 손양훈, 신동천 (1996), 『연산일반균형모형의 개발 및 응용 : 전기요금의 경제적 효과에 관한 연구』, 에너지경제연구원
- 에너지경제연구원, 『에너지통계연보』
- 에너지경제연구원, 『에너지총조사 보고서』, 1993, 1996.
- 에너지경제연구원, 상공자원부 (1994), 『기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구』, 1차년도 최종보고서
- 유상희, 최충규 (1994), 『기후변화협약의 국내산업에 대한 영향과 평가』, 산업연구원
- 통계청, 『한국 주요경제지표』
- 통상산업부, 에너지경제연구원 (1995), 『기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구』, 2차년도 최종보고서
- 한국은행, 『경제통계연보』
- 한국은행, 『국민계정』
- 한국은행, 『1990년 산업연관표』, 1993.
- ADELMAN, I. and ROBINSON, S. (1978), *Income Distribution Policy in Developing Countries : a Case Study of Korea*, Stanford CA., Stanford University Press.
- ARMINGTON, P.S (1969), "A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production ", *IMF Staff Papers*, Vol. 6, pp. 159-178.
- BARKER, R., EKINS P. and JOHNSTON N. (ed.) (1995), *Global Warming and Energy Demand, Global Environmental Change Program*, London, Routledge, 336p.
- BRGMAN L. (1988), "Energy Policy Modelling : A Survey of General Equilibrium Approaches", *Journal of Policy Modeling*, Vol. 10 (3), pp. 377-399.
- BERGMAN L. (1991), "Energy Policy Modelling : A General Equilibrium Effects of Environmental Policy : A CGE Modeling Approach", *Environmental and Resources Economics*, Vol. 1, pp. 43-61.
- BHATTACHAYYA S.C. (1996), " Applied General Equilibrium Model for Energy Studies : A Survey", *Energy Economics*, Vol. 18, pp. 145-164.
- BURNIAUX M. et al. (1992), "GREEN : A Model for the costs Policies to Reduce Global Emissions of CO₂", *OECD Economic Review*, No. 19, pp. 55-102.

- CHANG K. P. (1994), "Capital-Energy Substitution and the Multi-level CES Production Function," *Energy Economics*, Vol. 16(1), pp. 22-26.
- CLINE W.R. (1992), *The Economics of Global Warming*, Institute for International Economics, Washington, DC, 399 p.
- CONRAD K.(1994), "Applied General Equilibrium Modeling for Environmental Policy Analysis", *Annals of Operations Research*, Vol. 54, pp. 129-49.
- CONRAD K. (1997). "Environmental Economics and Technological Progress - some Thoughts but no Progress", Presented at the Workshop on *Induced Technological Change and the Environment*, IIASA, Austria, 66 p.
- CRPPER M.L. and OATES W.E. (1992), "Environmental Economics : A Survey", *Journal of Economic Literature*, Vol. 30, pp. 675-740.
- DEATON A. and MUELLAUER J. (1980), *Economics and Consumer Behavior*, Cambridge, Cambridge University Press, 450 p.
- DERVIS K., DE MELO J. dt ROBINSON S. (1982), *General Equilibrium Models for Development Policy*, A World Bank Research Publication, Cambridge, Cambridge University Press, 526 p.
- EDMONDS J. and REILLY J.M. (1985), *Global Energy - Assessing the Future*, Oxford, Oxford University Press, 317 p.
- EDMONDS J. et al. (1993), "Modeling Future Greenhouse Gas Emissions : The Second Generation Model Description", in KLEIN L.R. and LO F.C. (ed.), *Modelling Global Change, Proceedings of The United Nations University Conference on Global Change and Modelling* (1991), United Nations University Press, pp. 295-340.
- FINON D. (1994), *Overview on the European Modelling Exercises on the CO₂ Mitigation Costs*, IEPE, Grenoble, 31 p.
- GODARD O. (1993), "Taxes", *Les instruments économiques internationaux et le changement climatique*, OECD, Paris, pp. 45-107.
- GOULDER L.H. (1982), A General Equilibrium Analysis of US Energy Policies, ph. D. Dissertation, Stanford University, 254p.
- GOULDER L.H. (1994), Effects of Carbon Taxes in an Economy with Prior Tax Distortions : An Intertemporal General Equilibrium Analysis, Working Paper, Stanford University, 32 p.
- GOULDER L.H. and SCHNEIDER S. (1996), *Induced Technological Change, Crowding Out, And the Attractiveness of CO₂ Emissions Abatement*, Institute for International Studies, Stanford University, Stanford, 28 p.

- GRUBB M. et al. (1993), "The Costs of Limiting Fossil-Fuel CO₂ Emissions : A Survey and Analysis", *Annual Review of Energy and Environment*, Vol. 18, pp. 397-478.
- HENDERSON J.M. and QUANDT R.E. (1971), *Microeconomic Theory : A Mathematical Approach*, Tokyo, McGraw-Hill, 431 p.
- HOURCADE J.C. and BARON R. (1993), "Permis d'émissions negociables", *Les instruments économiques internationaux et le changement climatique*, OECD, Paris, pp. 11-44.
- HUDSON E.A. and JORGENSON D.W. (1974) "US Energy Policy and Economic Growth, 1975-2000", *The Bell Journal of Economics and Management Science*, Vol. 5, pp. 461-541.
- IMF, *International Monetary Statistics*.
- JORGENSON D.W. SLESNICK D.T. and WILCOXEN P.J. (1992), "Carbon Taxes and Economic Welfare", *Brookings Papers on Economic Activity : Microeconomics*, Brookings Institution, Washington, DC. pp. 393-454.
- JORGENSON D.W. and WILCOXEN P.J. (1993), "Energy Prices, Productivity and Economic Growth", *Annual Review of Energy and Environment*, Vol. 18, pp. 343-395.
- JOHANSEN L. (1960), *A Muliti-Sectoral Study of Economic Growth*, North-Holland, Amsterdam.
- KANG S.J. (1994), *L'apport des modeles d'équilibre general al'analyse des effets sur l'economie d'une taxe carbonique : Etude a Partir de la construction d'un modele pedagogique*, Memoire de DEA, Universite de sciences sociales de Grenoble/IEPE, 89 p.
- KANG S.J. (1999), *L'analyse des effets Economiques de politiques d'environnement par un modele d'équilibre general applique : Le cas de la Coree du sud*, Ph. D. Dissertation, Universite de sciences sociales de Grenoble/IEPE, 371 p.
- KIM S.H (1995), *Stabilization for Carbon Emissions : A Viable Option for the Republic of Korea?*, Ph. D. dissertation in Energy Technology and Policy, MIT, 157 p.
- MANNE A.S. and RICHELIS R. (1977), "ETA-MACRO : A Model of Energy-Economy Interaction", in J. Hitch (ed.), *Modeling Energy-Economy Interactions : Five Approaches*, Research Paper No. 5, Resources for the Future, Washington, DC.
- MANNE A.S. and RICHELIS R. (1991), "Global CO₂ Reductions : The Impacts of Rising Energy Costs", *The Energy Journal*, Vol. 12(1), pp. 87-107.
- MANNE A.S. and RICHELIS R. (1993), "The EC Proposal for Combining Carbon and Energy Taxes : The Implications for Future CO₂ Emissions", *Energy Policy*, January, pp. 5-12.

- MANNE A.S. and RUTHERFORD T.F. (1994), "International Trade in Oil, Gas and Carbon Emission Rights : An Intertemporal General Equilibrium Model", *The Energy Journal*, Vol. 15 (1), pp. 57-76.
- MANNE A.S., MENDELSON R. and RICHELIS R. (1995), "MERGE : A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies", *Energy Policy*, Vol. 23 (1), pp. 17-34.
- MARTINS J.O. et al. (1993), "The Cost of Reducing Emissions : A Comparison of Carbon Tax Curves with GREEN", in OECD (1993a), *The Costs of reducing Carbon Emissions : Results From Global Models*, OECD Documents, Paris, pp. 67-94.
- NORDHAUS W.D. (1991), "To Slow or not to Slow : The Economics of the Greenhouse Effect", *The Economic Journal*, n° 101, pp. 920-937.
- NORDHAUS W.D. (1993), "Rolling the 'DICE' : An "Optimal Transition Path for Controlling Greenhouse Gases", *Resource and Energy Economics*, Vol. 15, pp. 27-50.
- OECD (1993a), *The Costs of reducing Carbon Emissions : Results from Global Models*, OECD Documents, Paris, 160 p.
- OECD (1993b), GREEN : The Technical Reference Manual, Resource Allocation Division, economics Department, Paris, 93 p.
- PEARCE D.W. et al. (1994), "The Economics of Sustainable Development", *Annual Review of energy and Environment*, Vol. 19, pp. 457-474.
- PEARCE D.W. and TURNER R.K. (1990), *Economics of Natural Resources and the Environment*, Harvester Wheatsheaf, Hempstead, 378 p.
- PECK S.C. and TEISBERG T.J. (1992), "CETA : A Model for Carbon Emissions Trajectory Assessment", *The Energy Journal*, Vol. 13 (1), pp. 55-77.
- PYO H.K. (1992), *A Synthetic Estimate of the national Wealth of Korea : 1953-1990*, Seoul
- ROBINSON S. (1989), "Multisectoral Models", in CHENERY H. et SRINIVASAN T.N. (ed.), *Handbook of Development Economics*, Vol. II, Elsevier Science Publishers B.V.
- RUTHERFORD T. (1993), "The Welfare Effects of Fossil Carbon Restrictions : Results from a Recursively Dynamic Trade Model", in OECD (1993a), *The Costs of reducing Carbon Emissions : Results from Global Models*, OECD Documents, Paris, pp. 95-105.
- RYU J.C. et al. (1989), *Sectoral Energy Demand Analysis in the Republic of Korea : Analysis and Outlook*, Korea Energy Economics Institute, 175 p.

- SHOVEN J.B. and WHALLEY J. (1984), "Applied General Equilibrium Models of Taxation and International Trade : Introduction and Survey", *Journal of Economic Literature*, Vol. 22, pp. 1007-1051.
- SHUKLA P.R. (1995), "Greenhouse Gas Models and Abatement Costs for Developing Nations : A critical assessment", *Energy Policy*, Vol. 23 (8), pp. 677-687.
- SILBERBERG E. (1981), *The Structure of Economics : A Mathematical Analysis*, Tokyo, McGraw-Hill, 543 p.
- SUWA A. (1991), "Les modeles d'equilibre general calculable", *Economie et Prevision*, No. 97, pp. 69-76.
- UNEP (1992), *UNEP Greenhouse Gas Abatement Costing Studies, Phase One Report*, Denmark, 157 p.
- VARIAN H.R. (1978), *Microeconomic Analysis*, New York, Norton, 284 p.
- WEYANT J.P. (1997), "Technological Change and Climate Policy Modeling", Presented at the Workshop on Induced Technological Change and the Environment, IIASA, Austria, 66 p.
- WHALLEY J. and WIGLE R. (1991), "Cutting CO₂ Emissions : The Effects of Alternative Policy Approaches", *The Energy Journal*, Vol. 12 (1), pp. 109-124.
- WHALLEY J. and WIGLE R. (1993), "Results for the "OECD Comparative Modelling Project from Whalley-Wigle Model", in OECD (1993a), *The Costs of reducing Carbon Emissions : Results from Global Models*, OECD Documents, Paris, pp. 125-139.