

연산일반균형(CGЕ) 모형에 관한 고찰*

최 환**

본 논문은 CGE(Computable General Equilibrium) 모형에 관한 기존의 연구들을 고찰한 것이다. 그 목적은 기존의 연구들을 살펴봄으로써 CGE 모형의 현주소를 이해하고 앞으로의 연구방향을 설정하는데 도움이 될 수 있는 기본적인 내용을 소개하는데 있다. 이를 위해 우선, 전통적인 일반균형이론으로부터 CGE 모형에 이르는 CGE 모형의 연혁과 CGE 모형의 구조를 살펴보고, 다양한 형태의 CGE 모형을 네 가지 기준—모형화(modelling) 전통, 거시마감(macro closure) 방식, 시장경쟁정도, 모형의 동태성 여부—을 이용하여 분류하였으며, 마지막으로 CGE 모형을 이용한 연구결과들을 응용분야별—무역(자유화)·재정 정책, 환경·에너지 정책—로 살펴보았다.

특히 CGE 모형의 분류는 신고전학과 CGE 모형에 현실적인 측면들을 반영하는 과정에서 비롯된 다수의 연구들을 몇 가지 기준에 의해 구분한 것이다. 첫째, 모형화 전통에 따라 CGE 모형을 Johansen 모형, Scarf-Shoven-Whalley 모형, Adelman and Robinson 모형, 그리고 Hudson and Jorgenson 모형으로 구분하였다. 둘째, 거시마감 방식에 따라 CGE 모형을 신고전학과 거시마감방식과 거시적 구조주의자 거시마감방식으로 구분하였다. 거시적 구조주의자 거시마감방식을 Johansen 방식, Keynesian 방식, 그리고 Fisherian 방식으로 구분하였다. 셋째, 시장경쟁정도에 따라 CGE 모형을 완전경쟁 모형과 불완전경쟁 모형으로 구분하였다. 마지막으로, 모형의 동태성 여부에 따라 CGE 모형을 정태 모형과 동태 모형으로 구분하였다.

* 본 논문은 필자의 박사학위논문, 「금융연산균형모형에 관한 연구」, 연세대학교 대학원, 2002. 제2장을 수정·보완한 것이다. 이 논문은 2002년도 두뇌한국21 사업에 의하여 지원되었음.

** 고려대학교 경제학과 BK21사업단, 서울특별시 성북구 안암동 5가 1, 136-701.

I. 서 론

복잡다단한 국민경제의 전체적인 흐름을 체계적으로 이해하고, 다양한 형태의 경제정책 혹은 경제제도의 변화가 경제변수들에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 국민경제 전반에 걸친 구조방정식체계가 요구된다. 이러한 구조방정식체계를 일반균형모형(*general equilibrium model: GE model*)이라고 한다. 일반균형모형은 연립방정식체계를 이룬다. 만일 연립방정식체계의 해가 존재한다면, 연립방정식체계의 해(*solutions*)를 구함으로써—경제 전체의 일반균형을 계산함으로써—특정한 가정하에서 국민경제가 어떤 상황에 놓여 있는지에 대한 정보를 갖게 된다. 일반균형모형의 해를 초기 균형점이라고 하고, 특정한 형태의 경제정책 혹은 제도변화를 일반균형모형에 반영하게 되면 국민경제는 제도변화에 따른 조정과정을 거친 후 새로운 균형상태에 도달하게 된다. 이 때 새로운 균형과 초기 균형을 비교함으로써 경제정책 혹은 제도변화에 따른 경제적 효과를 파악할 수 있게 된다. 즉, 균형간 비교상태분석이 가능해진다.

하지만 현실적인 의미에서 더욱 중요한 것은 위에서 언급된 일반균형이론의 현실문제에 대한 적용가능성이다. CGE(*Computable General Equilibrium*) 모형은 추상적인 일반균형모형에 생산기술, 선호관계, 생산요소부존량, 정부의 경제정책 등에 관한 구체적인 가정을 도입하여 경제의 일반균형을 묘사하는 방정식체계로 표현된다. 따라서 CGE 모형은 일반균형이론, 즉 일반균형모형의 현실가능태라고 볼 수 있다. CGE 모형은 많은 연구자들에 의해서 경제정책 혹은 제도변화에 따른 경제적 효과를 일반균형적 관점에서 분석할 수 있는 유용한 도구로 평가받고 있다.

본고에서는 CGE 모형에 관한 기존의 연구들을 고찰하고자 한다. 그 목적은 CGE 모형의 연혁과 구조, 전개과정, 그리고 응용분야에 대한 기존의 연구를 살펴봄으로써 CGE 모형의 현주소를 이해하고 앞으로의 연구방향을 설정하는데 도움이 될 수 있는 기본적인 내용을 소개하는데 있다.

본고의 구성은 다음과 같다. 제II절에서는 전통적인 일반균형이론으로부터

CGE 모형에 이르는 CGE 모형의 연혁과 CGE 모형의 구조를 살펴본다. 제Ⅲ절에서는 다양한 형태의 CGE 모형을 네 가지 기준—모형화(modelling) 전통, 거시마감(macro closure) 방식, 시장경쟁정도, 모형의 동태성 여부—에 의해서 분류한다. 제Ⅳ절에서는 CGE 모형을 이용한 연구결과들을 응용분야별—무역(자유화)·재정 정책, 환경·에너지 정책—로 살펴본다.

II. CGE 모형의 연혁 및 구조

1. CGE 모형의 연혁

사유재산권이 인정되고 의사결정권이 각 경제주체에게 분산되어 개별적인 행동의 자유가 보장되는 시장경제를 가정할 때, 일반균형은 개별경제주체들이 일정한 제약하에서 자신의 목적을 적정화한 결과로서 모든 시장의 초과수요가 영보다 작거나 같게 되는 상태로 정의될 수 있다.¹⁾

일반균형의 개념은 중농주의자의 경제이론체계에 처음으로 등장하였다. 특히 1758년 프랑스의 중농주의 경제학자 Quesnay는 『경제표』에서 부문간 거래(intersectoral flow)를 명시적으로 분석하고 있다.²⁾ 또한 1776년에 출간된 『국부론』에서, Smith는 각자의 私利에 따라 움직이는 개별경제주체들의 독립적인 행동이 어떻게 하여 한정된 자원을 가지고 있는 국민경제내에서 사회적 혼란과 무질서를 야기하지 않고 조화로운 상태를 가져다 주는가에 관해 관심을 가졌고, 이러한 균형상태는 시장을 통한 조정의 결과로 생겨날 수 있다고 믿었다. 그 후 Smith의 생각은 Ricardo와 Marx에 의해 보다 개선되었고, 특히 Marx의 단순

1) Arrow and Debreu [8], Debreu [27].

2) 「경제표」에서 케네는 생산과정, 화폐 및 상품의 유통, 그리고 소득의 분배 과정을 보여 준다. 케네의 경제표에 나타난 사상은 경제학의 체계에 중요한 영향을 미쳤다. ① 생산적 노동 및 비생산적 노동의 개념, 경제잉여의 개념, ② 생산과정의 상호의존성, 그리고 ③ 화폐 및 상품의 순환적 흐름과 화폐의 축장에서 유래할 수 있는 바의 경제공황의 문제 등이 있다. Hunt [48] 참고.

한 형태의 확대 재생산(simple extended reproduction) 모형과 상대가격(relative price)의 개념은 일반균형이론의 구조적 기초가 되었다. 19세기 말 Jevons, Menger, Walras에 의해 창안된 한계효용 개념은 소비이론의 기초가 되었다.

확대 재생산 모형에 기초한 생산이론과 효용이론에 기초한 소비이론은 경제 내의 두 가지 힘, 즉 공급과 수요에 대한 정의를 가능하게 하였고, 시장에서 공급과 수요를 일치시키는 균형화 변수, 즉 시장가격의 존재를 인식하게 하였다.

『순수정치경제학원리』에서 Walras (1874)는 일반균형모형의 체계를 정식화하였고, 그 후 Cassel [17]은 Walras의 일반균형모형을 보완하여 Walras-Cassel 체계를 구성하였다. 1930년대 들어, Walras-Cassel 체계는 Schlesinger (1935)에 의해서 재구성되었고, Wald [96]는 미적분학을 이용하여 재구성된 Walras-Cassel 체계에 일정한 가정하에서 유일한 해가 존재함을 증명하였다. 이에 반해 Kuhn [56]과 Dorfman, Samuelson and Solow [33]는 쌍대성 정리를 이용하여 균형 해의 존재를 증명하였다.

1940년대에 이르러, 경쟁균형의 존재를 규명하는 일반균형이론은 고정점 정리(fixed point theorem)를³⁾ 이용하기 시작하였다. Arrow and Debreu [8]는 개별 소비자의 소비집합과 개별생산자의 생산집합, 개별경제주체의 행태 가정 및 시장청산조건이 구체적으로 반영된 일반균형모형의 경쟁균형이 존재함을 증명하였다.⁴⁾ 일반균형의 존재 증명에 관한 다수의 논의들을 일반화시켜 정리한 연구로는 Debreu [27]와 McKenzie [67]가 있다.

일반균형의 존재 증명에 관한 연구는 추상적인 경제를 대상으로 일반균형이 존재하기 위한 가장 일반적인 조건들을 찾아내고, 이들 조건들하에서 일반균형의 존재를 증명하는 것을 목적으로 하였다. 일반균형은 개별경제주체들이 일정한 제약하에서 자신의 목적을 적정화한 결과로서 모든 시장의 초과수요가 영보다 작거나 같게 되는 상태를 말한다. 결국, 초과수요함수체계가 연속성, 영차

3) Takayama [94] 참조.

4) McKenzie [66]는 Kakutani의 고정점 정리를 이용하여 일반균형의 존재를 증명하였다. Arrow and Debreu [8], McKenzie [66], 그리고 Nikaido [71]는 거의 동시에 일반균형의 존재를 증명하였다.

동차성, Walras 법칙이라는 속성을 갖기만 하면 초과수요균형이 존재한다는 것이 증명되었다.

사실상 Debreu [28], Mantel [65], 그리고 Sonnenschein [91] [92]은 양의 가격 하에서 초과수요함수체계는 연속성, 영차 동차성, 그리고 Walras 법칙 이외의 어떤 속성도 갖지 않는다는 것을 증명하였다.

만일 일반균형모형의 균형 해가 존재한다면, 이 해(solution)를 계산함으로써 특정한 가정하에서 시장경제가 어떤 상황에 놓여 있는지에 대한 정보를 알 수 있다.⁵⁾ 일반균형모형의 해를 초기 균형점으로 하고, 경제정책 혹은 제도변화를 일반균형모형에 반영하게 되면 시장경제는 제도변화에 따른 조정과정을 거친 후 새로운 균형상태에 도달하게 된다. 이 때 새로운 균형점과 초기 균형점을 비교함으로써 경제정책 혹은 제도변화에 따른 경제적 효과를 파악할 수 있다.

국민경제 전체를 대상으로 한 최초의 계산모형은 Johansen [51]에 의해서 개발되었다. Johansen은 일반균형모형에 포함된 모든 방정식체계를 선형화시킨 후, 선형화된 연립방정식체계의 해를 역행렬을 이용하여 근사치로 계산하는 방법을 사용하였다.⁶⁾

여러 학자들이 추상적인 가정체계하에서 고정점 정리를 이용하여 일반균형의 존재를 증명한 것과는 달리 일반균형을 실제로 계산하는 방법은 1960년 중반에 이르러서야 비로소 Scarf [82] [84]에 의해서 본격적으로 시도되었다. 초과수요 분석방법을 이용한 Arrow and Debreu [8] 전통의 최초의 응용모형(applied model)은 Shoven and Whalley [86]에 의해서 설정되었다. Scarf에 의해 개발된 알고리즘은 Shoven and Whalley [87] [88]에 의해 조세를 포함한 일반균형모형과 관세를 포함한 일반균형모형의 균형 해를 계산하는데 적용되었다.

초과수요분석방법은 CGE 분석방법으로 전환될 수 있다.⁷⁾ CGE 분석방법을

5) 일반균형모형의 균형 해를 계산해야 하는 필요성에 대한 논의는 균형의 존재 증명과는 관계없이 사회주의 계획경제를 담당하던 Barone (1908)과 Range (1936)에 의해 제기되었다. Scarf [83] 참조.

6) Johansen [51] 모형을 이용한 비교정태분석의 경우, 정책변화 혹은 제도변화의 폭이 큰 경우에는 균형의 위치가 큰 폭으로 변동하기 때문에 결과를 해석하는데 상당한 주의가 요구된다.

7) Ginsburgh and Keyzer [35] 참고.

이용하여 국민경제의 일반균형을 계산한 최초의 모형은 Adelman and Robinson [6]에 의해서 설정되었다.⁸⁾ Dervis *et al.* [29]은 Adelman and Robinson [6] 전통의 CGE 모형을 기본구조로 하는 표준적인 CGE 모형의 기본구조를 제시하고 있다.⁹⁾

2. CGE 모형의 구조

일반균형모형의 기본 구조는 경제를 구성하는 기본 요소를 확정함으로써 결정된다. 가장 단순한 형태의 일반균형모형은 경제주체를 소비자와 생산자로 구분하고, 모든 시장은 완전경쟁상태에 있으며 생산요소는 모두 소비자가 소유한다고 가정함으로써 설정될 수 있다. 이 때 소비자는 예산제약하에서 효용을 극대화하고, 생산자는 기술제약하에서 이윤을 극대화하는 방식으로 행동한다. 개별경제주체의 최적화 행위를 통해 얻어진 결과가 시장청산조건을 만족시켜야 한다는 조건을 설정함으로써 일반균형모형의 기본 구조가 결정된다.

일반균형모형은 다음과 같은 성분(항목)들에 의해서 묘사될 수 있다.¹⁰⁾ 첫째, 경제주체들을 설정해야 한다. 위에서 제시된 단순한 형태의 왈라지언 일반균형 모형에서는 개별경제주체를 생산자와 소비자로 정의하였다. 둘째, 행동규칙은 개별경제주체의 동기를 반영하는 형태로 설정되어야 한다. 위의 예에서 소비자는 예산제약하에서 효용을 극대화하고, 생산자는 기술제약하에서 이윤을 극대화하는 방식으로 행동한다고 가정하였다. 셋째, 개별경제주체들은 그들이 관찰하는 신호에 기초하여 의사결정을 한다. 위의 예에서, 가격은 개별경제주체들이 자신의 적정화 문제를 푸는 과정에서 알아야 되는 유일한 신호이다. 넷째, 개별경제주체들이 상호작용을 하는 게임의 법칙(rules of game)—경제의 제도적 구조—을 설정해야 한다. 위의 예에서, 모든 시장의 완전경쟁 가정과 모든 생산요소는 소비자에 의해 소유된다는 가정이다. 완전경쟁이라는 가정은 개별경제주체

8) 비선형 연립방정식체계의 해를 찾는 알고리즘의 개발과 계산능력의 향상으로 인해 비선형 연립방정식체계의 선형화 과정은 불필요해졌다.

9) CGE 모형의 기본구조와 분석방법은 Dervis, de Melo and Robinson [29]를 참고.

10) Rosbinson [77]을 참고.

들은 가격 순응자이고 가격은 신축적이라는 것을 함의한다. 즉, 시장은 완비되어 있고 가격기구는 원활하게 작동하고 있다는 것을 의미한다. 또한 생산요소에 대한 소유권이 확정되어 있어야 하며, 이에 기초하여 소득분배방식이 결정된다.

개별경제주체, 그들의 행태 가정, 그리고 경제의 제도적 구조에 대한 설정이 끝난 후에도, 일반균형모형은 완전히 확정된 상태는 아니다. 이는 개별경제주체가 자신의 제약하에서 적정화 문제를 푼 결과—소비자의 경우에는 재화에 대한 수요와 생산요소의 공급에 관한 의사결정, 생산자의 경우에는 재화의 공급과 생산요소에 대한 수요에 관한 의사결정—은 시장에서 주어진 신호, 즉 가격에 대한 반응이기 때문에 소비자와 공급자의 반응이 항상 일치하는 것은 아니라는 것을 의미한다.

따라서, 다섯째, 우리는 이들 수요와 공급의 불일치를 해소시킬 수 있는 균형 조건을 설정해야만 한다. 이것이 일반균형모형의 시스템 제약, 즉 시장청산조건과 거시마감방식이다. 일반균형은 모든 개별경제주체들의 의사결정과정과 시스템 제약을 동시에 만족하는 신호의 집합으로 정의된다. 신호는 시스템 제약을 충족시키는 균형화 변수의 역할을 한다. 완전경쟁하에서의 일반균형모형에서, 일반균형은 개별경제주체들이 일정한 제약하에서 자신의 목적을 적정화한 결과로서 모든 시장의 초과수요를 영(零)이 되게 하는 가격과 수량의 집합으로 정의된다.

CGE 모형은 위에서 설명된 추상적인 일반균형모형에 생산기술, 선호관계, 생산요소부존량, 정부의 경제정책 등에 관한 구체적인 가정을 도입함으로써 설정된다. 이 때 CGE 모형은 경제의 일반균형을 묘사할 수 있는 연립방정식체계로 표현된다. 따라서 CGE 모형은 일반균형이론, 즉 일반균형모형의 현실가능태라고 볼 수 있다.

Ⅲ. CGE 모형의 분류

본 절에서는 다양한 형태의 CGE 모형을 네 가지 기준—모형화(modelling) 전

통, 거시마감(macro closure) 방식, 시장경쟁정도, 모형의 동태성 여부—을 이용하여 분류하고자 한다. 이 과정에서 각각의 모형의 기본구조와 특성들을 살펴보고, 또한 초기의 CGE 모형이 갖고 있는 분석상의 한계점들이 어떻게 극복되고 있는지 살펴본다.

1. 모형화 전통에 따른 분류

CGE 모형은 크게 모형화(modelling) 전통에 따라 네 가지 방식으로 전개되었다.¹¹⁾ 첫째는 Johansen [51] 전통의 계산모형, 둘째는 Scarf [82] [84], Shoven and Whalley [86] [87] [88] 전통의 계산모형,¹²⁾ 셋째는 Adelman and Robinson [6] 전통의 계산모형, 그리고 넷째는 Hudson and Jorgenson [47] 전통의 계산모형이다.

11) CGE 모형의 분류방식에 대한 규정은 존재하지 않는다. 따라서 학자마다 상이한 분류방식을 제시하고 있다. 아래에서는 몇 가지의 대표적인 분류방식을 인용하여 제시한다. Bhattacharyya [11] 참고.

① Clarete and Roumasset [19]:

- i) Solution algorithm.
- ii) Numerical specification: Calibration or Econometric estimation.
- iii) Structural framework: Neoclassical or Nonneoclassical.

② Dervis, de Melo and Robinson [29]:

- i) Models focusing on international trade, growth, economic structures, and/or income distribution.
- ii) Models of public finance.
- iii) Multi-country, international trade models.
- iv) Energy related works.

③ Schubert [85]

- i) Multisectoral growth (MSG) models's tradition following Johansen's tradition.
- ii) Herberger, Scarf, Shoven, and Whalley approach.
- iii) Structuralist and other social accounting matrix (SAM) based models approach.
- iv) Econometric models in the tradition of Jorgenson and his disciples.
- v) Intertemporal optimization models by Manne and his followers.

* Models of each tradition can then be classified according to their spatial coverage (regional, national, multinational, global), sectoral disaggregation, periodicity (single period, multi-period), nature (static, dynamic), etc..

12) Scarf-Shoven-Whalley을 이하 'SSW'라고 칭함.

Johansen [51] 모형은 최초의 CGE 모형이다. Johansen 모형에서는 경제주체를 생산자, 소비자, 정부, 그리고 해외부문으로 구분하고 있다. 생산자와 소비자는 자신의 적정화 문제를 푼다. 즉, 생산자는 이윤극대화 문제를, 소비자는 효용극대화 문제를 푼다.

공급측면에서, 산업별 생산량은 노동투입량, 자본투입량, 그리고 기술수준에 의해 결정된다. 중간 투입물 수요와 수입재 중간수요는 투입산출계수에 의해 결정되지만, 노동과 자본은 대체 가능한 생산요소로 간주되어 선형로그(linear logarithmic)형 생산함수나 Cobb-Douglas 형 생산함수로 가정된다. 반면에 소비자는 대표적인 소비자로 가정된다. 민간소비수요는 소비자의 효용극대화 과정에서 결정된다. 하지만 정부소비수요, 순수출(수출-수입) 수요, 그리고 생산자의 투자수요는 외생적으로 결정되는 것으로 가정한다. 결국, 최종수요 중 소비수요만 내생변수이고 나머지는 모두 외생변수로 가정하고 있다. Johansen [51]은 CGE 모형의 균형 해를 수준 변수(level variable)로 결정하는 것이 아니라 변동률(rate of change)로 결정한다. 즉, 외생변수의 변동률이 내생변수의 변동률에 미치는 영향을 파악하는 형태이다.

Johansen [51] 모형은 후에 노르웨이 경제를 대상으로 개발된 Longva *et al.* [59]의 MSG(Multi-Sectoral Growth) 모형과 오스트레일리아 경제를 대상으로 개발된 Dixon *et al.* [32]의 ORANI 모형으로 확장되었다. 특히, Longva *et al.* [59]은 Armington 가정을 모형에 반영하여 국내재, 수출재, 수입재를 차별화된 제품으로 간주하고 있다. 최근에 Johansen 모형의 분석방법을 따르는 계산모형으로 GTAP(Global Trade Analysis Project) 모형이 개발되었다.¹³⁾

SSW 전통의 CGE 모형은¹⁴⁾ Harberger [42] [43] [44] 전통에 따른 조세정책의 경제적 효과를 분석하기 위해서 개발되었는데, Shoven & Whalley는 SSW 모형을 개별국가의 조세정책과 국제무역정책을 분석하는데 사용하였다.¹⁵⁾

13) GTAP 모형은 Johansen 모형과 마찬가지로 방정식의 변수를 수준변수가 아니라 변화율로 표시하고 있다는 점에서 Johansen 모형의 전통을 따르고 있다고 볼 수 있다.

14) SSW 전통의 모형을 AGE(applied general equilibrium) 모형이라고 한다. 하지만 본고에서는 AGE 모형을 일반균형모형(general equilibrium model)의 응용모형(applied model)으로 정의한다. 따라서 SSW 모형을 CGE 모형의 한 형태로 간주한다.

15) SSW 모형의 조세정책과 무역정책에 대해서는 Shoven and Whalley [89]를 참고, SSW 모

SSW 전통의 CGE 모형은 미국경제를 대상으로 설정된 Ballard, Fullerton, Shoven and Whalley ([9]: 이하 'BFSW'로 칭함)의 일반균형조세모형(general equilibrium tax model)으로 확장되었다. 여기서는 BFSW [9] 모형의 일반적인 특징을 언급함으로써 SSW 전통의 CGE 모형이 갖는 특징을 살펴보고자 한다.

BFSW [9] 모형에서 경제주체는 생산자, 소비자, 정부, 해외부문으로 구분된다. 모든 생산요소는 소비자가 소유하는 것으로 가정한다. 생산자, 소비자, 그리고 정부 모두 자신의 목적을 적정화하는 방식으로 행동한다고 가정한다.

공급측면에서, 생산부문은 19개 산업부문으로 세분화된다. 개별산업은 하나의 제품을 생산한다. 개별산업의 생산활동은 두 단계로 구분된다. 상위생산함수는 레온티에프 형 생산함수로 가정되고, 생산요소는 복합요소(부가가치)와 중간 투입물로 구성된다. 다시 복합요소는 노동과 자본의 함수로 CES 형태의 하위생산함수를 가정한다. 이 때 생산자는 복합요소 한 단위를 최소비용으로 생산하는 비용극소화 문제에 직면하게 된다.

수요측면에서, 소비자는 12개 그룹으로 세분화된다. 각각의 소비자 그룹은 예산제약하에서 효용극대화 문제를 푸는 과정에서 세 단계의 의사결정을 한다. 단계 1에서는 현재의 소득을 현재의 소비와 미래의 소비(저축)로 배분하기 위한 적정비율을 결정한다. 이 때 효용함수의 형태는 CES 형태이다. 단계 2에서는 소득 중 미래의 소비지출액을 제외한 소득제약하에서 현재의 소비를 여가와 복합재 소비수요로 배분하는 적정 비율을 결정한다. 이 때 효용함수의 형태는 CES 형태로 가정한다. 단계 3에서는 소득 중 미래의 소비지출액과 여가에 대한 소비지출액을 제외한 소득제약하에서 산업별 소비재의 소비량을 결정한다. 이 때, 개별소비자 그룹의 복합재 수요함수는 Cobb-Douglas 형태이다. 소비자는 15개의 소비재에 의해서 만들어진 복합재를 소비한다. 이 때 15개의 소비재 제품은 19개의 생산재에 의해서 생성된다.¹⁶⁾

정부부문은 다양한 租稅收入으로부터 정부재원을 조달하고, 이를 노동, 자본 서비스, 그리고 정부소비지출과 소비자에 대한 이전지출에 사용한다. 정부부문은 균형재정을 유지한다.

형의 기본구조나 응용에 관해서는 Shoven and Whalley [90]를 참고.

16) 생산재로부터 소비재로의 전환은 G-matrix에 의해 이루어진다.

해외부문은 상품거래활동에만 참가하고 자본거래활동에는 참가하지 않는 것으로 가정한다. 따라서, 상품거래에 따른 수출액과 수입액에 의해서 상품수지가 결정되고, 생산요소 이동의 불가능성에 의해 상품계정은 곧 경상수지가 되고 결국 국제수지가 된다. 국제수지는 항상 균형상태에 있다고 가정한다. 또한 BFSW [9] 모형에서는 국내재, 수출재, 그리고 수입재를 동질적인 제품으로 가정한다.

BFSW [9]는 SSW 전통의 모형을 조세정책의 경제적 효과를 분석하는데 적용하였고, Whalley [97]는 세계무역모형을 이용한 무역정책의 경제적 효과를 분석하는데 응용하였다. 또한 에너지정책과 환경정책을 평가하는데 이용되고 있다. Goulder [37]와 Borgess and Goulder [13]는 SSW 모형을 에너지 관련 연구에 적용하였다. Whalley and Wigle [98]¹⁷⁾과 Goulder [38]는 SSW 모형을 세계경제를 대상으로 이산화탄소 배출저감의 경제적 효과를 평가하기 위해서 확대 적용시켰다.

Adelman and Robinson [6]은 개발도상국(한국) 경제를 대상으로 소득분배·빈곤 문제와 경제성장 문제를 분석할 수 있는 모형을 개발하였다. Adelman and Robinson [6] 모형은 생산자, 소비자, 정부, 해외부문으로 구분하였을 뿐만 아니라, 금융부문을 명시적으로 포함하였다.¹⁸⁾ 이들은 생산부문을 29개의 산업으로 구분하였고, 각 산업은 다시 규모(size)에 따라 4개 그룹으로 구분하였다. 또한 가계부문은 모두 15개 그룹으로, 즉 임금노동자(7개), 자가고용자(2개), 자본가(1개), 농업부문(5개)으로 구분하였다. 정부부문은 균형재정을 달성한다는 제약을 갖지 않는 것으로 가정하였다. 해외부문은 상품거래를 통하여 모형내에 포함되는데, 상품거래는 다섯 가지 유형으로 구분되어 있다.¹⁹⁾ 금융부문은 통화(M1:

17) Pezzy [75]는 Whalley and Wigle [98]을 이용하여 EC와 OECD에서 일방적인 CO₂ 통제의 영향을 분석하였다.

18) 일반적으로 이들의 모형을 최초의 Financial CGE 모형으로 분류한다.

19) 비경쟁수입품(noncompetitive imports), 가격이 국내시장에서 결정되는 경쟁수입품(competitive imports whose prices are determined in the domestic market), 가격이 국내시장에서 결정되는 수출품(exports whose prices are determined in the domestic market), 국내가격이 해외시장가격에 의해서 결정되는 경쟁수입품(competitive imports whose domestic prices are set by the world price), 그리고 국내가격이 해외시장가격에 의해서 결정되는 수출품(exports whose domestic price are set by the world price).

현금통화와 요구불예금)를 포함하고 있다.

Adelman and Robinson [6] 모형은 표준적인 CGE 모형의 기본구조로 준용되고 있다. Dervis, de Melo and Robinson [29]은 선형 연립방정식체계를 이용한 산업연관분석(투입산출분석)과 비선형(nonlinear) 연립방정식체계인 CGE 분석모형의 기본구조와 그 응용 및 분석 방법을 제시하고 있다.²⁰⁾

Dervis, de Melo and Robinson [29]은 기존의 Adelman and Robinson [6] 모형을 보다 신고전학과 일반균형모형의 성격에 근접하도록 설정하였다. 이들은 개별경제주체를 기업(생산자), 가계(소비자), 정부, 해외 부문으로 구분한다. 이때, 기업은 이윤을 극대화하고 가계는 효용을 극대화하는 방식으로 행동한다. 정부는 생산자와 소비자로부터 조세를 징수하고 이를 기초로 하여 경제활동을 수행한다. 반면에 해외부문은 명시적인 의사결정을 하지 않는 것으로 가정한다. 이들 모형에서는 분석대상 경제를 소규모 개방경제로 가정하기 때문에 세계시장가격은 외생변수로 주어지고 수출과 수입은 국내 생산자의 의사결정과정에 결정되는 것으로 가정한다. 또한 경제내의 총저축이 곧 총투자로 전환되는 거시마감방식을 취하고 있다.

Johansen, SSW, 그리고 Adelman and Robinson 모형의 공통점은 기본적으로 다부문 모형이고, 동시에 캘리브레이션(calibration) 방식을 이용하여 모수(parameter)를 설정한다는 것이다.²¹⁾ 이러한 방식은 연립방정식 체계의 모수를 계량경제학적 방법을 통해 추정하는 절차를 필요로 하지 않는다는 것을 의미한다. 즉, 캘리브레이션 방식은 기준년도(benchmark year) 통계자료를 이용하여 연립방정식의 모수를 특정한 값으로 설정하는 것이다.

CGE 모형의 또 다른 형태는 모수를 계량경제학적 방법(econometric method)을 통해 추정하고 이들 추정방정식을 연립방정식체계의 일부분으로 포함시키는 것이다. 이러한 방법은 Hudson and Jorgenson [47]에 의해 시작되었다. Hudson and Jorgenson [47] 모형은 미국의 에너지정책 변화가 미국경제의 장기성장에 미치는 영향을 분석하기 위해서 개발되었다. 특히, 에너지정책 변화에 따른 상품가격 및 생산요소가격 변동이 개별산업이 선택하는 생산기술에 영향을 미친

20) CGE 모형에 대한 상세한 내용은 Dervis, de Melo and Robinson [29]을 참고.

21) Mansur and Whalley [64].

다는 점을 모형설정 과정에 반영하고 있다.

Hudson and Jorgenson 모형은 생산자 거래모형과 거시계량모형으로 구성되어 있다. 생산자 거래모형은 우선 산업을 9개로 구분하고 있으며, 각각의 산업은 다시 네 가지 생산요소에 의해서 산출물을 생산하는 것으로 가정한다. 즉, 생산모형은 2단계 생산과정을 거치게 된다. 이러한 생산모형을 소위 KLEM 모형이라고 한다. KLEM 모형의 첫 번째 단계에서, 부문별 산출량은 자본(K), 노동(L), 에너지(E), 그리고 비에너지(M)의 함수로 설정된다. 두 번째 단계에서, 에너지(E) 투입물과 비에너지(M) 투입물은 에너지 관련 부문모형과 비에너지 관련 부문모형내에서 각각 결정된다. 여기서 에너지 투입물은 5개의 에너지 관련 투입물에 의해서 생성되고, 비에너지 투입물은 나머지 4개의 비에너지 관련 투입물에 의해서 생성된다.

생산자 거래모형의 주요 기능은 부문별 산출물 가격뿐만 아니라 투입-산출 계수표를 생성시키는 것이다. 그러나 균형 산출물 가격을 구하기 위해서는 자본서비스, 노동서비스, 그리고 수입 중간재 가격이 사전에 결정되어야 한다. 수입 중간재 가격은 외생적으로 결정되는 것으로 가정한다. 반면에, 자본서비스와 노동서비스의 가격은 명시적인 요소시장 균형조건을 포함하는 Klein-Goldberger 유형의 계량경제모형내에서 결정된다. 비대체성 정리(non-substitution theorem)에 의하면, 자본서비스와 노동서비스의 가격이 일정하게 고정되어 있는 한, 생산모형에 의해서 결정된 부문별 산출가격, 즉 투입-산출 계수는 부문별 산출량 수준에 의해 영향을 받지 않는다. 결과적으로, 부문별 산출량 수준은 최종수요의 선형함수이다.

Hudson and Jorgenson 모형은 생산자 거래모형을 거시계량모형에 연계시킴으로써 완결된다. 이 때, 거시계량모형내에서 결정된 총소비지출, 총투자지출, 정부소비지출 그리고 순수출(수출-수입)은 생산자 거래모형의 해에 대한 제약으로 작용한다. 정부소비지출과 순수출은 외생적으로 결정된다고 가정한다. 결과적으로 위의 두 과정에서 투입-산출 계수와 산업별 최종수요가 결정되면 산업별 산출량이 결정되고 이를 기준으로 산업별 에너지 수요를 예측할 수 있게 된다.

Hudson and Jorgenson 전통의 모형은 시간이 지남에 따라 생산자 거래모형을 세분화시키는 한편 소비자 모형도 확대시키고 있다. 최근에 소비자 모형은 3단

계 최적화 과정을 도입하고 있다. 1단계에서는 부(wealth)를 시간에 걸쳐 배분하고, 2단계에서는 소비와 여가의 배분에 관한 의사결정을 하고, 3단계에서는 소비지출에 관한 의사결정을 한다. 또한 소비자 그룹을 세분화하고 있다. Jorgenson and Wilcoxon [54]에서는 생산자 거래모형을 35개의 산업으로 세분화하였고 소비자 그룹 또한 매우 상세하게 세분화하여 설정하고 있다. Jorgenson and Wilcoxon 모형은 기존의 에너지 모형을 이용하여 환경문제를 명시적으로 다루고 있다. Hudson and Jorgenson 전통의 계산모형은 에너지정책과 환경정책을 동시에 다룰 수 있는 방향으로 전개되고 있다.

2. 거시마감방식에 따른 분류

신고전학과 일반균형모형이 개발도상국(LDCs)의 경제현실을 설명하는데 적합하지 않다는 공통된 인식은 신고전학파의 일반균형모형에 개발도상국의 경제현실, 즉 구조적인 측면들을 반영하게 하였다.²²⁾ Robinson [77]은 CGE 모형에 개도국 경제의 구조적인 측면이 반영되는 정도에 따라 탄력성 구조주의자(elasticity structuralist) CGE 모형, 미시적 구조주의자(micro structuralist) CGE 모형, 그리고 거시적 구조주의자(macro structuralist) CGE 모형으로 구분하였다.²³⁾

22) Taylor [95]는 구조주의자 CGE 모형의 특징을 다음과 같이 언급하고 있다. ① They begin their analysis by singling out economically relevant sets of people and institutions and specifying how they fit into available data on income and wealth distributions. ② They are not set up in "real" terms. Rather, they explicitly include prices and income flows in nominal or money terms, of the sort that actual firms, people, and ministers of finance face. ③ Different prices are under varying degrees of controls by distinct groups in the economy—a focus on nominal magnitudes permits realistic treatments of financial markets and economic power. ④ There is the question how much rationality and price-mediated substitution to include in the specification. ⑤ Their behavior depends crucially upon their description of causal linkages in the macroeconomic system. Taylor [95], pp. 2~7.

23) Chenery [18]는 개발도상국에서는 탄력성 구조주의자 특징과 미시적 구조주의자 특징이 혼재되어 있다고 주장한다. 이러한 개도국의 특징을 반영한 CGE 모형을 신고전학과 구조주의자(neoclassical structuralist) CGE 모형이라고 한다. 따라서 Adelman & Robinson 전통의 CGE 모형은 크게 신고전학과 구조주의자 CGE 모형과 거시적 구조주의자 CGE 모형으로

탄력성 구조주의자 CGE 모형은 노동과 자본 간의 대체성, 국내재와 수출재 간의 대체성, 그리고 국내재와 수입재 간의 대체성의 정도가 불완전하다고 가정한다. 일반적으로 신고전학과 CGE 모형에서는 재화의 동질성을 가정하고 있기 때문에, 수출재와 국내재, 그리고 수입재와 국내재는 완전대체재로 가정한다. 하지만, 탄력성 구조주의자 CGE 모형은 기본적으로 신고전학과 CGE 모형의 속성²⁴⁾을 유지하고 있는 상태이다.

미시적 구조주의자 CGE 모형은 실질적인 의미에서 개발도상국의 경제현실을 반영하게 된다. 이들은 시장이 정상적으로 작동하지 않거나 시장 자체가 존재하지 않는다고 가정한다. 미시적 구조주의자 CGE 모형은 생산요소 특히 자본재의 산업간 이동이 자유롭지 않고, 가격(임금)은 경직적이고, 시장은 왜곡되어 있다고 가정한다. 이러한 가정은 가격을 왜곡시키는 조세(간접세와 관세)의 도입을 가능하게 한다.

구조주의자 CGE 모형에서는 거시마감(macro closure) 방식이 어떻게 설정되느냐에 따라 모형의 성격이 상이하게 된다. 가장 간단한 형태의 거시마감방식은 소득은 모두 소비된다고 가정하는 것이다. 이는 소득순환흐름에서 누출과 주입이 발생하지 않는 경우를 가정한 것이다. 일반적으로 소득순환흐름에서 누출의 예로 저축, 輸入, 정부의 租稅收入을 들 수 있고, 주입의 예로 투자, 수출, 그리고 정부의 지출을 들 수 있다. 즉, 총누출과 총주입이 같아지게 되면 경제의 소득순환흐름은 균형을 이루게 된다. 누출과 주입은 총저축과 총투자로 축약된다. 그러나 저축과 투자의 주체가 상이하기 때문에 일반적으로 저축과 투자가 일치되지 않는다. 따라서 저축과 투자를 일치시키는 메커니즘이 요구되는데 이것이 곧 거시마감방식이다.

탄력성 구조주의자 CGE 모형과 미시적 구조주의자 CGE 모형은 저축이 투자를 결정하는 거시마감방식을 가정한다. 즉, 모형내에서 저축이 내생적으로 결정되면 투자는 자동적으로 저축만큼 이루어진다.

하지만 거시적 구조주의자 CGE 모형은 신고전학과 구조주의자 CGE 모형의 거시마감방식과는 다른 형태의 거시마감방식을 가정한다. 거시적 구조주의자

구분된다. Robinson [77] [79].

24) 생산요소는 완전고용되고, 가격기구의 원활한 작동하에 시장이 청산된다.

CGE 모형은 거시마감방식에 따라 세 가지 형태로 구분된다. 첫째는 Johansen 방식이다. Johansen 방식의 CGE 모형에서는 투자가 거시경제균형을 결정한다. 이는 투자를 외생화하여 총투자와 총저축이 일치한다는 균형조건을 채택하는 방식이다. 이 때, 거시경제 조정과정은 소비의 조정을 통해서 이루어진다. 둘째는 Keynesian 방식이다. Keynesian 방식에서는 실질투자를 외생화하고, 총투자와 총저축이 일치한다는 균형조건을 채택한다. 또한 저축은 가치분소득의 함수로 정의된다. 이 때 거시경제 조정과정은 물가수준의 조정을 통해서 이루어진다.²⁵⁾ 셋째는 Fisherian 방식이다. Fisherian 방식에서는 저축과 투자를 이자율의 함수로 정의한다. Fisherian 방식에서는 저축과 투자가 동시에 결정되기 때문에, 총저축과 총투자를 일치시키는 균형화 변수가 요구된다. 이 때 균형화 변수로 사용되는 것이 이자율이다. Fisherian 방식의 CGE 모형에 금융자산을 명시적으로 도입할 필요는 없다. 하지만 만약 금융자산을 명시적으로 도입하고 금융자산의 발행 및 보유 상태에 따라 자본소득이 분배된다면 Fisherian 방식의 거시적 구조주의자 CGE 모형은 금융연산균형모형(financial computable general equilibrium model: FCGE 모형)으로 확대된다.

3. 시장경쟁정도에 따른 분류

완전경쟁(perfect competition)과 규모에 대한 수확불변(CRTS) 생산기술을 가정하는 신고전학과 선통의 CGE 모형을 이용하여 무역자유화의 경제적 효과를 분석한 연구결과들이 현실을 제대로 설명하지 못한다는 지적을 받아 왔다. 이는 분석에 사용된 모형이 현실경제의 불완전경쟁(imperfect competition)과 규모의 경제(economies of scale)와 같은 현상을 반영하지 못하기 때문이다.

신고전학과 CGE 모형의 단점을 보완하고 현실경제의 특징을 반영하는 취지

25) Keynesian 거시마감방식은 다음과 같은 방식으로 조정된다. 투자가 외생적으로 증가하였다 고 하자. 이는 총수요의 증가로 이어지고 총수요의 증가는 물가상승으로 이어진다. 물가상승은 다시 실질임금을 하락시키고 실질임금의 하락은 기업의 노동수요를 증가시킨다. 노동수요의 증가는 산출물의 증가로 이어지고, 이는 소득의 증가로 이어진다. 소득의 증가는 결국 저축의 증가로 이어진다. 이러한 과정은 저축이 투자와 일치하게 될 때까지 계속된다.

에서 불완전경쟁과 규모의 경제를 CGE 모형에 포함시키는 일련의 연구가 수행되었다. 일반적으로 이들 연구에서는 일부 산업(제조업을 포함한 일부 산업)의 생산기술을 규모에 대한 수확체증(IRTS)으로 가정하여 생산기술의 현실적인 측면을 반영하거나, 생산비용의 일부가 고정비용이라는 가정을 도입하여 규모의 경제를 모형에 포함시키고 있다. 규모의 경제는 불완전경쟁 상태를 유발하고, 불완전경쟁하에서 생산자는 한계비용과 한계수입을 일치시키는 방식으로 가격을 결정한다. 규모의 경제와 불완전경쟁을 CGE 모형에 도입함으로써 생산자의 이윤극대화 조건이 달라지고, 결과적으로 불완전경쟁 CGE 모형을 이용한 분석 결과는 완전경쟁 CGE 모형을 이용한 분석결과와 다른 양상을 띠게 될 것이다.

Harris [45]는 캐나다 경제를 소규모 개방경제로 가정하고, 산업을 완전경쟁산업과 불완전경쟁산업으로 구분하였고, 불완전경쟁산업의 산업조직(industrial organization: IO)적 특징으로 규모의 경제, 명시적인 가격설정방식, 제품차별화를 고려하였다. Harris는 완전경쟁모형, 제품차별화를 포함한 IO 모형, 그리고 제품차별화를 포함하지 않은 IO 모형으로 구분하여 무역자유화(unilateral free trade: UFT, multilateral free trade: MFT)의 경제적 효과를 분석하였다. Harris는 규모의 경제가 존재하는 불완전경쟁하에서 CGE 모형을 이용한 무역자유화의 경제적 효과가 규모의 경제가 존재하지 않는 완전경쟁하에서 CGE 모형을 이용한 무역자유화의 경제적 효과에 비해서 후생수준이 더 높다는 것을 확인하였다.

Cox and Harris [20]는 캐나다 경제를 대상으로 무역자유화의 경제적 효과를 분석하기 위하여 두 가지 모의실험을 수행하였다. 첫째는 UFT이고, 둘째는 MFT이다. 이 때 사용된 분석모형에서는 제조업 부문의 일부 산업에 규모의 경제와 불완전경쟁이 존재한다고 가정하고 있다. 분석결과에 따르면, 무역자유화는 캐나다 경제에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 무역자유화의 경제적 효과는 UFT의 경우에는 GNP의 2~5% 정도에 이르고, MFT의 경우에는 GNP의 8~10% 정도에 이르는 것으로 나타났다. 무역자유화의 긍정적인 효과는 산업내 합리화(intra-industry rationalization)와 산업간 합리화(inter-industry rationalization)에 의해서 설명될 수 있는데, 무역자유화의 경제적 효과는 산업내 합리화에 의해서 유발된 비중이 큰 것으로 나타났다.

Devarajan and Rodrick [30]은 카메룬 경제를 대상으로 일부의 산업에 불완전

경쟁과 규모의 경제가 존재한다는 가정하에 무역자유화의 경제적 효과를 분석하고 있다. Devarajan and Rodrick에서는 모의실험 방식을 다음과 같이 설정하고 있다. 모의실험 방식은 ① 완전경쟁, CRTS 생산기술, 시장진출입의 불가능성을 가정한 경우, ② 불완전경쟁, CRTS 생산기술, 시장진출입의 불가능성을 가정한 경우, ③ 불완전경쟁, 규모의 경제, 그리고 시장진출입의 불가능성을 가정한 경우, ④ 불완전경쟁, 규모의 경제, 그리고 자유로운 시장진출입을 가정한 경우로 구분하고 있다. 완전경쟁과 CRTS 생산기술하에서 무역자유화(관세철폐)는 수입재의 국내가격 하락에 따른 수입수요 증가로 이어지고, 반면에 국내재의 가격 상승으로 인한 국내재 수요 감소로 인해 산출량은 감소하게 된다. 그러나 불완전경쟁과 CRTS 생산기술하에서 무역자유화는 완전경쟁과 CRTS 생산기술하에서 무역자유화를 실시하는 경우와 다른 결과를 보여 주고 있다. 무역자유화는 무역자유화 이전의 과점기업이 직면하고 있던 시장수요곡선을 좌측으로 이동시키는 동시에 수요의 가격탄력성을 증가시키는 방향으로 변화시키는 과정에서 경쟁성 제고효과(pro-competition effect)를 유발한다. 따라서 과점기업의 시장공급량은 증가할 수 있게 된다. 또한 불완전경쟁과 규모의 경제가 존재하는 경우, 과점기업의 시장공급량 증대는 평균비용의 감소를 유발하고 이는 다시 가격 인하 요인으로 작용하고, 동시에 평균비용과 한계비용이 차이를 줄임으로써 자원배분의 효율성을 증대시킨다.

de Melo and Roland-Holst [23]는 과점시장하에서 관세와 보조금의 경제적 효과를 CGE 모형을 이용하여 분석하고 있다. 분석모형은 시장구조와 행태 가정에 따라 세 가지로 구분된다. 즉, ① CRTS와 완전경쟁 가격설정방식, ② 일부 산업에서 IRTS와 정상이윤조건을 만족시키는 경쟁시장 가격설정방식, 그리고 ③ 정상이윤조건, 자유로운 시장진출입, 일부 산업에서 IRTS와 과점적 경쟁방식(cournot 경쟁)이다. 각각의 분석모형에 ① 10%의 수입관세를 부과하는 경우, ② 10%의 수입관세를 부과하고 10%의 수출보조금을 지급하는 경우로 나누어 모의실험을 하고 있다. 분석결과에 따르면, 시장구조와 행태 가정이 무역정책의 효과를 결정하는데 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다.

4. 모형의 동태성 여부에 따른 분류

정태적 CGE 모형의 문제점 중 하나는 경제정책 혹은 경제제도의 변화에 따른 동태적 효과를 명시적으로 고려할 수 없다는 것이다. 이는 결국 정책 모의 실험의 경제적 효과를 과소평가하게 한다. 즉, 대부분의 정태적 CGE 모형을 이용한 정책 모의실험 결과에 따르면, 무역자유화(관세 인하)로부터 얻게 되는 사회후생의 증가는 미미한 것으로 나타났다. 정태적 CGE 모형을 이용하는 경우, 자본재와 소비재 수입에 대한 관세인하의 경제적 효과는 자본재의 경우와 소비재의 경우가 동일하게 된다. 그러나 현실적으로 자본재 수입에 대해 부과된 관세율을 인하하는 경우는 소비재 수입에 부과된 관세율을 인하하는 경우와 달리 다음 기의 자본스톡(capital stock)에 영향을 미치게 된다. 이는 결국 다음 기의 생산에 영향을 미침으로써 관세인하의 동태적 효과를 유발하게 된다.

이러한 문제점을 개선하기 위한 노력의 하나가 정태적 CGE 모형을 동태적 CGE 모형으로 전환시킨 것이다. 여기에서는 동태적 CGE 모형을 시간 반복적(time recursive) CGE 모형과 시간에 걸친 동태적 최적화(dynamic inter-temporal optimization) CGE 모형으로 구분하여 살펴본다.

1) 시간 반복적 CGE 모형

현실적인 문제로 인해 일반적으로 사용되는 동태적 CGE 모형은 시간 반복적 CGE 모형이다. 시간 반복적(time recursive) CGE 모형에서, 특정시점(현기)의 균형은 시차를 갖는 내생변수, 현기의 외생변수, 그리고 사전에 확정된 현기의 파라미터에 의해서 결정된다. 시간 반복적 CGE 모형은 한 시점에서의 정태적 CGE 모형의 균형과 다음 시점에서의 정태적 CGE 모형의 균형이 시차를 갖는 내생변수에 의해서 연결된다.

개별경제주체들의 의사결정 문제는 정태적 CGE 모형과 별다른 차이가 없다. 개별경제주체들의 의사결정과정에서 저축의 규모가 결정되면 저축이 곧 투자를 결정하는 거시마감방식에 따라 투자는 자동으로 결정된다. 그러나 이렇게 결정

된 투자는 다음 기의 자본스톡을 형성하게 되고 자본스톡의 변동은 생산함수를 통해 산출량에 영향을 미치게 되는데, 이 점이 시간 반복적 CGE 모형을 정태적 CGE 모형과 다르게 한다. 즉, 한 시점에서 투자 규모가 결정되면 시간 반복적 CGE 모형에서는 다음 기의 자본스톡에 영향을 미치고 자본스톡의 변동은 생산함수를 통해 산출량에 영향을 미치게 된다. 따라서 시간 반복적 CGE 모형은 경제정책의 동태적 효과를 자본축적과정을 통해 명시적으로 분석할 수 있는 장점을 지니고 있다. 시간 반복적 CGE 모형의 대표적인 예로는 Dynamic GTAP 모형과 GREEN 모형을 들 수 있다.

Dynamic GTAP 모형은 Ianchovichina and McDougall [49]에 의해 개발되었다. Dynamic GTAP 모형은 GTAP 모형(Hertel [46])에 투자결정방식(자본축적과정)을 명시적으로 고려함으로써 시간 반복적 CGE 모형으로 전환된 것이다.

GTAP 모형은 시장청산조건, 생산자 행태 가정, 소비자 행태 가정, 저축과 투자 항등식—세계통합 거시마감방식(global macro closure)—, 그리고 세계통합수송활동(global transportation activity)으로 구성된다. GTAP 모형은 지역간 거래가 이루어지는 세계통합시장(global market)이 존재한다는 점에 있어서 기존의 국가모형과 다르다. 지역내 경제주체는 가계와 생산자로 구분된다. 가계는 생산요소(토지, 노동, 자본)를 모두 소유하고, 이들 생산요소를 생산자에게 공급함으로써 소득을 얻게 된다. 가계의 소득은 소비와 저축으로 처분된다.

가계(소비자)의 의사결정과정은 3단계로 구성된다. 1단계, 즉 상위단계에서는 소득제약하에서 콕-더글라스 형태의 효용함수를 극대화하는 소비 수준과 저축 수준을 결정한다. 2단계, 즉 중간단계에서는 가계의 소비재 수요를 국내재 소비 수요와 수입재 소비수요로 구분하는 과정에서 적정비율을 결정한다. 이 단계에서 가계의 소비재 함수는 Armington 함수로 가정된다. 3단계, 하위단계에서는 수입재 소비수요를 무역상대국으로부터의 소비재 수출공급으로 배분하는 의사결정을 한다. 이 단계에서 수입재 소비수요 함수는 CES 형으로 가정된다.

생산구조는 다층구조(nested structure)를 갖는다. 개별산업에는 하나의 생산자가 존재하고 생산자는 생산과정에서 3단계에 걸친 의사결정을 한다. 1단계, 즉 상위단계에서는 복합요소(부가가치)와 중간투입물을 이용하여 최종산출물을 생산한다. 이 때 생산함수는 레온티에프 형으로 가정된다. 2단계, 즉 중간단계에

서는 생산과정이 두 가지로 분리되어 있는데, 하나는 복합요소(부가가치)를 생산하는 과정이고 다른 하나는 중간투입물을 생산하는 과정이다. 복합요소(부가가치)는 토지, 노동, 자본을 투입하여 생산하는데, 이 때 가정되는 생산함수의 형태는 CES 형태이다. 또한 산업별 중간투입물은 중간재 국내수요와 중간재 수입수요로 구분된다. 상위단계에서 결정된 산출물을 생산하는 과정에서 중간재 국내수요와 중간재 수입수요는 중간투입물로 사용되기 때문에 생산자는 결국 산출량 제약하에서 비용극소화 문제에 직면하게 되고, 이를 푸는 과정에서 중간재 국내수요와 중간재 수입수요가 결정된다. 이 때 가정되는 생산함수는 CES 형태이다. 이렇게 중간재 국내수요와 중간재 수입수요가 결정되면, 3단계, 즉 하위단계에서 중간재 수입수요는 무역상대국의 수출공급으로 할당되어야 한다. 이는 결국 중간단계에서 결정된 중간재 수입수요를 생산하는 과정에서 무역상대국의 수출공급이 투입물로 사용되기 때문에 생산자는 결국 중간재 수입수요 제약하에서 비용극소화 문제에 직면하게 되고, 이를 푸는 과정에서 무역상대국의 수출공급이 결정된다. 이 단계에서 다시 CES 형 생산기술이 가정된다.

생산자는 국내 최종소비수요(가계소비, 투자수요)를 충족시키고 남은 재화를 다른 지역경제에 수출 공급한다. 또한 생산자는 자본재를 공급한다. 자본재 생산은 산출물 생산과 동일한 방식으로 이루어진다. 단지 자본재 생산과정에서는 중간투입물을 사용한다.

개별지역의 생산자가 자본재를 공급하면 세계통합은행(global bank)은 모든 지역에서 공급된 자본재를 구입한다. 한편 개별지역의 가계부문에서는 저축을 처분하기 위해서 자본재 구입을 원하게 되고 세계통합은행은 자본재를 재판매함으로써 가계부문의 자본재 수요를 충족시켜 준다. 그러므로 세계통합은행은 개별지역들의 저축을 합한 총저축과 세계경제 차원의 총투자를 연결시켜 준다. 따라서 세계경제 차원의 총저축과 총투자가 일치하게 된다. 또한 개별지역의 저축과 투자는 일치하게 된다.

세계통합시장에서 개별지역의 수출공급을 투입물로 이용하여 또 다른 개별지역의 수입수요로 변환시키는 경제활동은 세계통합수송부문(global transportation sector)에 의해서 이루어진다. 세계통합시장에서의 fob 수출가격과 cif 수입가격의 차이는 세계통합수송부문의 활동에 의해 창출된 부가가치로 볼 수 있다.

Ianchovichina and McDougall [49]은 국제자본이동을 Dynamic GTAP 모형에 반영하는 과정에서 '일시적 불균형 접근방식'을 사용하고 있다. 투자에 대한 지역적인 제한이 없을 경우 저축은 기대수익률이 가장 높을 것으로 예상되는 지역에 투자된다. 그 결과 투자수익률은 전 지역에 걸쳐 동일하게 된다. 그러나 단기적으로 투자수익률이 전 지역에 걸쳐 동일하게 되는 것은 사실상 불가능하다. 따라서, Ianchovichina and McDougall [49]은 단기적으로 투자수익률이 지역별로 상이할 수 있지만 장기적으로 전 지역에 걸쳐 투자수익률이 동일한 값으로 수렴한다고 가정한다. 단기적으로 지역별 투자수익률은 상이하게 되고, 결과적으로 지역별 투자 규모도 상이하게 된다. Dynamic GTAP 모형에서는 모든 지역의 투자수익률이 장기 투자수익률로 수렴해 가는 과정에서 투자 규모가 결정되고, 이 과정에서 지역별 투자 규모의 차이는 결국 자본스톡에 영향을 미쳐 산출량의 차이를 유발하게 된다.

또 다른 시간 반복적 CGE 모형으로 알려진 OECD [72]에서 개발한 GREEN (GeneRal Equilibrium ENvironmental) 모형은 다부문 다지역²⁶⁾ 시간 반복적 CGE 모형으로, 1985년도를 기준년도로 하여 2050년까지 매 5년 간격으로 GDP를 비롯한 경제변수, 에너지 소비, 이산화탄소 배출량을 전망하도록 구축되어 있다.

GREEN 모형에서 개별지역의 개별경제주체는 생산자, 소비자, 정부 그리고 해외부문으로 구분한다. 생산부문은 15개 부문으로 세분화된다. 에너지 공급 및 배분과 관련된 생산활동부문은 모두 12개 부문이고,²⁷⁾ 나머지는 농업부문, 에너지 집약적 산업들, 그리고 기타 산업 및 서비스 부문으로 구성되어 있다. 소비재는 4개 품목, 즉 음식료품, 연료 및 동력, 수송 및 통신, 기타 재화 및 서비스로 구성되어 있다.

생산요소는 세 가지 종류, 즉 노동, 자본, 부문별 고정투입요소로 구성되어 있다. 본원적 생산요소인 노동과 자본(재)의 공급은 사전적으로 결정된다. 노동은 산업간 이동이 자유롭고, 따라서 임금은 모든 산업에서 동일하다. 노동시장

26) 12개 지역으로 구분되어 있다.

27) 석탄, 원유, 천연가스, 석유, 전력(5개 부문)과 back-stop technology 부문(7개 부문)으로 구성되어 있다.

이 청산되는 과정에서 임금이 결정된다. 자본(재)은 기존의 자본재(old capital)와 신규자본재(new capital)로 구분되고, 기존의 자본재는 산업간 이동이 불완전한 반면 신규자본재는 산업간 이동이 자유롭다. 사양산업의 자본재는 기존의 자본재 시장에서 거래된다. 농업부문의 토지, 석탄, 원유, 천연가스 부문의 매장량(reserves of base product), 전력부문의 발전소는 고정투입요소에 해당하며, 농업, 석탄, 전력 부문의 고정투입요소는 우상향하는 공급계획을 가정하는 반면, 원유와 천연가스 부문은 자원고갈(resource depletion)모형을 가정한다.

생산구조는 다층구조를 갖는다. 일단 산출량이 주어지면, 생산자는 기술제약 하에서 이윤극대화 행위를 한다. 즉, 주어진 산출물을 최소의 비용으로 생산한다. CRTS 생산기술을 가정한다. 생산의 1단계(상위단계)에서는 레온티에프 생산기술을 가정하며, 주어진 산출량을 생산하는 과정에서 비에너지 복합물과 자본-노동-에너지-고정투입요소 복합물의 투입량을 결정한다. 2단계에서는, 생산기술을 CES 형으로 가정하며, 생산과정은 두 가지로 분리되어 있다. 하나는 비에너지 복합물을 생산하는 과정이고, 다른 하나는 자본-노동-에너지-고정투입요소 복합물을 생산하는 과정이다. 비에너지 복합물을 국내재와 수입재를 투입하여 생산하고, 자본-노동-에너지-고정투입요소 복합물은 노동과 자본-에너지-고정투입요소의 복합물을 투입하여 생산한다. 여기서 수입재는 Armington 생산기술에 의해 다른 지역의 수출과 연결된다. 즉, 수출은 타국의 수입에 의해서 결정된다. 3단계에서는, 생산기술을 CES 형으로 가정하며, 자본-에너지-고정투입요소 복합물을 에너지 복합물과 자본-고정투입요소 복합물을 투입하여 생산한다. 여기서 에너지 복합물은 비전력에너지 복합물과 전력에너지 복합물을 이용하여 CES 생산기술로 생성된다. 4단계에서는, 생산기술은 레온티에프 형으로 가정하며, 자본-고정투입요소 복합물을 자본과 고정투입요소를 이용하여 생산한다. 이러한 생산과정으로부터 생산자는 GREEN 모형의 15개의 산출물과 노동과 자본에 대한 수요를 발생시킨다.

GREEN 모형에서는 대표적인 가계를 가정한다. 경제내의 모든 본원적 생산요소(자본과 노동)는 가계에 의해 소유되며, 생산요소시장을 통하여 생산부문에 공급된다. 따라서 가계는 모든 소득을 분배받는다. 가계는 소득의 일부를 직접 세로 정부에 납부하고 남은 가처분소득을 소비와 저축으로 처분한다. 가계는 예

산제약하에서 효용극대화 문제를 푸는 과정에서 소비와 저축의 양을 결정한다. 이 때 의사결정과정은 해당 기의 효용을 극대화하는 방식으로 이루어진다. 소비재는 생산재로부터 생성된다. 각각의 소비재는 레온티에프 생산기술을 이용하여 산출물에 의해 생성된다.

정부는 간접세, 직접세, 연료세를 부과하여 재원을 마련하고 정부의 실질지출은 GDP의 일정비율로 정해져 있다. 조세수입과 정부지출의 차이를 정부저축이라고 정의하고 정부저축은 일정하게 고정되어 있는 것으로 가정한다. 따라서 정부지출과 정부저축이 고정되어 있기 때문에 조세수입의 변동을 통해서 정부의 예산제약을 충족시켜야 한다.

또한 해외부문과 관련된 사항으로 무역수지는 고정되어 있다는 가정하에 (실질)환율을 내생변수로 가정한다. 수입수요는 비에너지 복합재를 생산하는 과정에서 결정되고, 반면에 수출공급은 타 지역의 수입수요에 의해 결정된다.

투자는 경제내의 총저축에 의해서 내생적으로 결정된다. 즉, 가계저축, 정부저축, 그리고 해외저축의 합으로 정의된 총저축이 결정되면 자동적으로 총투자가 결정된다. 총투자가 결정되면 레온티에프 변환기술에 의해 투자수요가 결정된다.

모든 시장은 청산된다. 산출물은 국내에서 소비되거나 수출된다. 한편 국내재는 수입재와 결합되어 비에너지 복합물로 전환된다. 비에너지 복합물은 국내 생산물시장을 통하여 생산부문의 중간 투입물로 사용된다. 산출물은 레온티에프 생산기술을 통해 가계 및 정부의 소비수요 또는 투자수요로 사용되는 소비재로 전환된다.

개별지역의 무역수지를 모두 합한 총합은 항상 영(零)이라고 가정한다. 세계 경제는 무역을 통해 연계되어 있다. 세계물가지수를 OECD의 GDP 디플레이터를 정의하고 있으며, 세계물가지수를 기준(numeraire)으로 고정시켜 개별지역의 물가수준을 상대가격으로 파악하고 있다.

모형의 동태성은 자본축적(capital accumulation), 에너지 고갈(energy depletion), 기술변화(technology change)²⁸⁾를 통해 명시적으로 반영되고 있다. 여기서 자

28) 노동생산성 증가, 에너지 효율 증가, 그리고 자본생산성 증가로 나타난다.

본축적만 내생적으로 결정되고 나머지 요인들은 모형의 가정에 기초하고 있다.

2) 시간에 걸친 동태적 최적화 CGE 모형

정태적 CGE 모형의 또 다른 문제점은 개별경제주체의 행태 가정이 비일관성을 갖는다는 것이다. 정태적 CGE 모형에서 개별경제주체는 한 시점에서 자신의 이익을 극대화한다. 즉, 개별경제주체는 한 시점에서 자신의 제약하에서 최적화 행동을 한다. 하지만 정태적 CGE 모형은 시간에 걸친 선택 문제라는 관점에서 볼 때 시간에 걸친 최적화 행동을 반영할 수 없다. 결국, 정태적 CGE 모형을 이용한 최적선택의 단순한 나열이 동태적 관점에서 볼 때 최적선택의 궤적이라는 것을 보장할 수 없다. 이는 정태적 CGE 모형을 시간에 걸친 동태적 최적화 CGE 모형으로 전환시킬 필요성을 야기한다.

결국, 소비자와 생산자의 의사결정 문제는 시간에 걸친 동태적 최적화 문제로 설정되어야 한다. 따라서 시간에 걸친 동태적 최적화 CGE 모형에서는 효용함수를 시간에 걸쳐 분리가능(inter-temporal separable)하다고 가정한다. 소비자는 시간에 걸친 예산제약하에서 시간에 걸친 효용함수를 극대화하는 방식으로 행동한다. 또한 생산자는 기업의 현재가치를 극대화하는 방식으로 행동한다.

모든 경제주체가 시간에 걸친 동태적 최적화 문제를 풀게 되면 장래가격들의 흐름은 매기마다 시장에서 형성되는 실재가격들과 일치하게 된다. 결국, 모든 경제주체들이 실재가격들과 일관된 행동을 하게 되면 경제는 완전한 형태의 균형에 도달하게 된다. 이런 상태의 균형하에서는 매기마다 자본의 생산비용과 자본의 시장가격이 일치하게 되고 모든 산업의 이윤율이 동일하게 된다. 이 과정에서 매기마다 각 산업별 투자가 결정되고 결과적으로 투자는 시간에 걸친 동태적 효율성을 달성하게 된다.

하지만, 정태적 CGE 모형을 시간에 걸친 동태적 최적화 CGE 모형으로 전환하는 과정에서 CGE 모형의 기본적인 특징인 다부문 모형이라는 성격이 훼손된다. 또한 무한계획모형으로 CGE 모형의 해를 구할 수 없기 때문에, 말기를 설정하고 말기 이후의 상황은 특정한 형태로 가정해야 한다. 이는 결국 말기와 말기

조건을 어떻게 설정하느냐에 따라 모형의 해가 상이해질 수 있음을 시사한다.

시간에 걸친 동태적 최적화 CGE 모형의 대표적인 예는 Jorgenson and Wilcoxon [53] [54]과 McKibbin and Wilcoxon [69] [70]을 들 수 있다.

특히 McKibbin and Wilcoxon [69] [70] 모형은 McKibbin and Sachs [68] 모형과 Jorgenson and Wilcoxon [54] 모형을 결합시킨 것으로 볼 수 있다. McKibbin and Sachs [68] 모형은 개별경제주체를 기본적으로 소비자와 생산자로 구분하고 이들은 각각 시제간 선택 문제에 직면하는 것으로 가정한다. 하지만 McKibbin and Sachs [68] 모형은 일부분 모형이다. 반면에 Jorgenson and Wilcoxon [53] [54] 모형은 다부문 모형을 전제하고 있다. 따라서 McKibbin and Wilcoxon [69] [70]은 시간에 걸친 최적화 CGE 모형에 다부문 모형의 특징을 결합시키고 있다.

시간에 걸친 동태적 최적화 모형의 또 다른 예로 ETA-MACRO 모형을 들 수 있다. ETA-MACRO 모형은 Manne and Richels [61]에 의해 에너지 부문에 초점을 맞추어 개발된 모형이다. ETA-MACRO 모형은 후에 Global 2100 모형으로 확장되었고, Global 2100 모형은 Peck and Teisberg [74]에 의해 CETA(carbon emission trajectory) 모형의 토대가 되었다. Rutherford [80]에 의해 Global 2100 모형은 CRTM(carbon rights trade model)으로 확장되었다. Manne and Rutherford [63]는 Global 2100 모형을 CGE 모형의 형태로 확장시켰다.

IV. CGE 모형의 응용분야

CGE 모형은 계산모형의 전통에 따라 응용분야를 달리하면서 현실문제의 해결을 위한 분석도구로써 널리 사용되고 있다. Johansen 전통의 계산모형은 개별 국가의 경제성장 문제뿐만 아니라 세계경제를 대상으로 한 무역자유화정책과 환경정책의 경제적 효과를 분석하는데 사용되고 있으며, SSW 전통의 계산모형은 재정학과 국제무역 분야에서 조세정책(간접세, 법인세, 직접세 등)과 무역정책을 분석하는데 사용되고 있다. 신고전학과 구조주의자 CGE 모형²⁹⁾은 주로

재정, 국제무역, 자원 및 환경, 그리고 경제발전 분야에서 조세정책(간접세), 무역정책(관세 및 비관세장벽), 에너지정책 및 환경정책, 소득분배 및 빈곤, 경제성장 등 다양한 형태의 경제문제를 분석하는데 사용되고 있으며, Hudson and Jorgenson 전통의 계산모형은 에너지정책(에너지 가격)과 환경정책(환경세)의 장기적이고 동태적 효과를 분석하는데 사용되고 있다.

본 절에서는 이 모형들이 현실에서 어떻게 적용되고 있는지에 대해 각각의 연구분야별로 살펴본다.

1. 무역(자유화) 및 재정 정책

1980년대 중반 이후, 개별국가 차원에서의 정책분석은 선진국뿐만 아니라 대부분의 개도국에서도 많은 연구가 이루어졌지만, 개별국가 차원에서의 조세정책과 무역정책에 관한 초기의 분석모형과 분석결과는 Shoven and Whalley [89]와 de Melo [21]에 잘 정리되어 있으므로, 이 연구들에 대해서는 본고에서 별도로 검토하지 않는다.

이에 반해 세계경제를 대상으로 한 CGE 모형은 개별국가 차원의 CGE 모형을 연계시키는 방식으로 다자간 무역협정(multilateral trade agreements)의 경제적 효과를 분석하고 있다. 이와 관련된 초기의 분석모형으로 Whalley [97]와 Deardorff and Stern [26]의 미시간 모형이 있다.

Whalley [97]는 도쿄라운드(Tokyo Round)의 합의안(proposals)을 평가하기 위해서 다양한 형태의 다지역 모형을 사용하였다. 분석결과에 의하면, 개별국가의 입장에서는 다자간 협정을 통해 합의된 방식으로 관세인하정책을 실시했을 경우가 개별국가 차원에서 일방적인 관세인하정책을 실시하는 경우보다 더 바람직한 것으로 나타났다. 하지만 개별국가 차원에서 일방적인 관세인하정책의 실시하는 수입재의 국내가격 하락에 따른 소비자의 후생증가로 인해 이득을 얻었으

29) 신고전학과 구조주의자 CGE 모형은 기본적으로 탄력성 구조주의자 CGE 모형의 가정을 수용하면서 미시적 구조주의자 CGE 모형의 가격왜곡 현상을 포함한다. 신고전학과 구조주의자 CGE 모형은 Dervis, de Melo and Robinson [29]의 기본구조를 갖는 CGE 모형을 의미한다.

며, 세계경제 차원에서 무역자유화가 실시되는 경우 개별국가들은 이득을 얻는 것으로 나타났다. 그러나, 일부의 국가들만 무역자유화를 실시하는 경우에는 교역조건 악화로 인해 손실을 보는 것으로 나타났다. Deardorff and Stern [26]에 따르면, 도쿄라운드 합의안과 같은 관세인하 협정이 무역, 고용, 사회후생에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다. 하지만 개별국가의 일방적인 관세인하는 수입재의 국내가격 하락에 따른 소비자의 후생증가로 인해 이득을 얻는 것으로 나타났다.

최근 들어 국제무역과 요소이동의 확대는 세계경제 차원에서 국가간 그리고 지역간의 관계를 심화시켰다. 이러한 세계경제의 통합화·지역화 추세는 세계경제 차원에서의 정량적(quantitative) 정책분석의 필요성을 증대시켰다. 즉, GATT하에서의 UR(Uruguay Round) 협상, EU(European Union)의 확대, APEC (Asia-Pacific Economic Cooperation), 그리고 라틴 아메리카의 MERCOSUR³⁰⁾가 그러한 예이다.

우루과이 라운드(UR) 협정에 따른 농업부문 무역자유화의 경제적 효과를 분석하기 위해 개발된 모형으로는, Basic Linked System(Parihk *et al.* [73], Fischer *et al.* [34])과 OECD에 의해 개발된 RUNS 모형(Gunning *et al.* [40], Burniaux and van der Mensbrugge [16])이 있다.³¹⁾

EFTA, NAFTA와 같은 자유무역지대의 형성, AFTA와 같은 자유무역지대 형성을 위한 협정이 논의되는 과정에서 자유무역지대의 확산에 따른 경제적 효과를 분석하기 위한 세계경제모형의 개발이 계속되어 왔다. GTAP 모형은 이 과정에서 개발된 모형이다. Hertel [46]은 다부문 다지역 CGE 모형인 GTAP 모형을 이용하여 무역자유화의 경제적 효과를 분석하고 있다. 또한 GTAP 모형은 지역통합을 통한 지역내 무역자유화의 경제적 효과를 분석하는데 사용되고 있다.

최근에 소규모 개방경제하에서 CGE 모형을 이용한 정책분석은 조세정책(간접세율, 환경세율, 그리고 관세율)간의 경제적 효과를 직접 비교하는 방식의 연

30) 회원국은 아르헨티나, 브라질, 파라과이, 우루과이로 구성되어 있다.

31) 농업부문 무역자유화의 경제적 효과에 대한 분석결과는 Goldin and Knudsen [36]를 참고. 농업부문 무역자유화는 개도국의 저소득층의 후생수준을 감소시키는 것으로 나타났다. 이는 UR 협정의 결과로 식량의 세계시장가격이 상승하기 때문이다.

구와 이들 정책변수의 일부를 내생화시키는 방식으로 정책변수간의 상호작용을 명시적으로 분석하는 연구가 수행되어 왔다. 이들 연구는 다수의 왜곡상태가 존재할 때, 하나의 왜곡상태를 제거하는 것이 사회후생을 반드시 증가시킨다는 보장이 없다는 '차선의 이론'(theory of the second best)에 토대를 둔 분석으로 볼 수 있다. Lee and Roland-Holst [58]는 인도네시아 경제의 CGE 모형을 이용하여 관세인하(tax removal)가 사회후생을 증가시키지만, 오염배출량을 증가시킨다는 결론을 얻었다. 무역자유화 조치와 환경오염 배출세를 부과하는 정책조합은 사회후생을 증가시키는 동시에 정부의 정책목표 달성을 가능하게 해 주는 것으로 나타났다. Konan and Maskus [55]는 다양한 무역자유화 정책을 분석하기 위해 이집트 경제를 대상으로 한 CGE 모형을 개발하였다.³²⁾ 이 때 정부의 실질 수입(real revenue)을 일정하게 고정시키기 위해 국내세를 내생화시켰다. 이들은 사회후생의 증가분(welfare gains)을 조세개혁의 효과, 관세개혁의 효과, 그리고 두 개혁의 상호작용에 따른 효과로 구분하고자 한다. 사회후생은 정부수입을 어떤 방식으로 대체하는가에 크게 의존하는 것으로 나타났다.

2. 환경 및 에너지 정책

1992년 6월 UN 환경개발회의에서 온실가스 배출 감축을 위한 기후변화협약이 154개국에 의해 채택되어 1994년 3월에 발효되었다. 또한 1997년 12월 교토(Kyoto)에서 개최된 제3차 당사국총회에서 선진국의 온실가스 감축목표를 주요 내용으로 하는 『교토의정서』(Kyoto Protocol)가 채택되었으며, 1998년 11월 부에노스 아이레스에서 개최된 제4차 당사국총회에서는 공동이행제도, 청정개발제도, 배출권거래제 등 교토메커니즘 운용과 관련된 구체적인 작업을 2000년까지 완료한다는 『부에노스 아이레스 행동계획』이 채택되었다.

이러한 논의과정에서 온실가스 배출 감축에 따른 경제적 효과를 개별국 혹은

32) 시나리오는 소비세와 자본세를 철폐하는 경우, 소비세는 철폐하고 자본세는 단일화하는 경우, 자본세는 철폐하고 소비세를 단일화하는 경우, 관세 통합, EU와의 자유무역협정, 일방적인 관세철폐 등을 포함하고 있다.

전세계적인 차원에서 분석해야 할 필요성이 대두되었다. 온실가스 배출 감축은 화석연료 사용의 감소로 이어지고 산업생산과 직결된다. 따라서 온실가스 배출 감축 문제는 화석연료를 중간투입물로 사용하는 모든 산업부문에 직접적인 영향을 미치게 됨에 따라 경제 전반에 걸친 파급효과를 유발한다. 이와 같은 환경 관련 문제의 특수성으로 인해 많은 연구자들은 환경정책의 경제적 효과를 파악하기 위한 분석도구로 CGE 모형을 이용하고 있다.

환경 CGE 모형은 오염 관련 경제활동을 모형에 반영시키는 정도에 따라 두 가지로 구분된다. 첫 번째 유형은 CGE 모형에 가격 혹은 세금을 외생적으로 변동시키는 방법을 도입하거나, 오염배출량을 일정수준으로 유지시키는 방법을 모형에 도입하는 것이다.³³⁾ 이는 부문별 산출량 혹은 중간투입물 단위당 고정된 오염계수를 이용하여 오염배출량을 추정하거나, 환경규제와 관련된 가격과 세금을 외생적으로 변동시키는 방식으로 이루어진다. 이러한 방식은 표준적인 CGE 모형의 기본 구조는 변화시키지 않으면서 오염배출과 관련된 활동을 상세히 설정한다. 두 번째 유형은 경제시스템에 환경관련 '환류효과'(feedback effect)를 도입하는 것이다.³⁴⁾ Jorgenson and Wilcoxon [53]으로 대표되는 환경 CGE 모형은 생산함수에 오염통제비용(pollution control costs)을 도입한다. 또 다른 방식은 환경의 질이 생산성에 미치는 영향을 모형에 명시적으로 고려하는 것이다. 또한 오염원 배출과 오염원 저감활동이 소비에 미치는 효과를 표현하기 위해 다수의 환경 CGE 모형은 환경관련 요인을 소비함수에 포함시킨다.

조세정책을 통한 온실가스 배출 감축에 따른 경제적 효과를 분석한 대표적인 연구는 Jorgenson and Wilcoxon [54]이 있다.³⁵⁾ Jorgenson and Wilcoxon [54]은 이산화탄소 배출량의 규제기준을 달성하기 위해 탄소세(carbon tax), 에너지세(energy tax), 에너지종가세(ad valorem tax on energy)를 부과하면, 미국의 경제 성장에 어떠한 영향을 미치는지 분석하였다. 분석결과에 따르면, 세 가지 정책 모두 경제 성장에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났지만, 그 중 탄소세를

33) Blitzer *et al.* [12], Lee and Ronald-Holst [57], 그리고 Boyd and Uri [15].

34) 생산함수의 변형의 경우: Gruver and Zeager [39], Robinson [78]. 효용함수의 변형의 경우: Piggott *et al.* [76].

35) 이산화탄소 배출규제의 경제적 효과를 분석한 논문은 Manne and Richels [62], Whalley and Wigle [98] 등이 있다.

부과했을 때 미국경제 전체에 미치는 영향이 가장 적었다. 이 때 석탄광업(coal mining)부문이 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 에너지세의 부과는 부담의 일부를 원유(oil extraction)부문으로 이전시켜 경제 전반에 걸친 영향은 탄소세 부과에 비해 큰 것으로 나타났다. 미국경제에 가장 큰 영향을 미친 정책은 에너지 증가세를 부과한 경우이다. 이는 이산화탄소 배출량을 일정 수준으로 안정화시키고자 하는 목적을 달성하기 위한 수단으로 사용된 탄소세 또는 에너지세에 비해 에너지 증가세가 에너지 가격을 크게 상승시키기 때문이다.

탄소세 부과와 관련된 문제는 오염배출량을 감소시키기 위해 탄소세를 부과하는 과정에서 발생한 정부의 탄소세 수입을 어떤 방식으로 재분배하는 것이 바람직한가에 관한 것이다. Bovenberg and Goulder [14]는 미국경제를 대상으로 환경세와 관련된 분석(세수입 재분배 문제)을 위한 CGE 모형을 개발하였다. 정부수입을 고정시킨 상태에서, 탄소세 부과에 따른 세수입 증가를 가계에 총괄(lump-sum) 이전을 하는 경우와 소득세율을 인하하는 경우로 구분하여 사회후생비용을 측정하고 있다. 분석결과에 따르면, 탄소세 수입을 소득세율을 인하시키는 방식으로 가계에 돌려주는 것이 사회후생을 상대적으로 증가시키는 것으로 나타났다.

최근 들어, 많은 연구자들은 교토의정서에 합의된 온실가스 배출 감축 의무 이행시 발생될 파급효과를 분석하고 있다. 이 연구들은 온실가스 배출 감축을 위한 메커니즘으로서의 개별적 감축과 배출권 거래제도를 도입하는 경우를 직접 비교하는 방식으로 진행되었다.³⁶⁾ 분석결과에 따르면, 배출권 거래제도가 온실가스 감축으로 인해 발생하는 경제적 비용을 감소시키는 것으로 나타났다. 특히, EPPA 모형을 이용한 Jacoby *et al.* [50]은 부속서 I 국가들³⁷⁾이 2005년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 20% 감축하여 2050년까지 배출량 수준을 지속할 경우에 발생하는 경제적 비용을 계산하였는데, 2030~2050년에 배출권 거래

36) 개별적 감축은 개별국가의 국내정책으로서 탄소세를 부과하는 방식이다. 배출권 거래제도는 국제 배출권 거래제도의 도입을 통해 선진국 전체의 온실가스 의무 감축량을 달성하는 방식이다.

37) 기후변화협약상 구속력 있는 감축의무를 부담하는 국가를 의미한다. 기후변화협약 채택 당시에는 35개국이었으나, 1997년 제3차 당사국 총회시에는 크로아티아, 슬로바키아, 슬로베니아, 모나코, 리히텐슈타인 등 5개국이 추가되어 현재는 40개국에 이르고 있다.

제하에서 발생하는 경제적 비용이 개별적 감축을 하는 경우보다 60~70% 낮은 것으로 나타났다. 배출권 거래제를 실시하는 경우, 경제적 비용이 감소하는 이유는 배출권 거래가 거래에 참여하는 국가들의 온실가스 한계저감비용을 일치시키기 때문이다.

V. 결 론

본 논문은 CGE 모형에 관한 기존의 연구들을 고찰한 것이다. 그 목적은 기존의 연구들을 살펴봄으로써 CGE 모형의 현주소를 이해하고 앞으로의 연구방향 설정하는데 도움이 될 수 있는 기본적인 내용을 소개하는데 있다. 이를 위해 우선, 전통적인 일반균형이론으로부터 CGE 모형에 이르는 CGE 모형의 연혁과 CGE 모형의 구조를 살펴보았고, 다양한 형태의 CGE 모형을 네 가지 기준—모형화(modelling) 전통, 거시마감(macro closure) 방식, 시장경쟁정도, 모형의 동태성 여부—을 이용하여 분류하였으며, 마지막으로 CGE 모형을 이용한 연구결과들을 응용분야별—무역(자유화)·재정 정책, 환경·에너지 정책—로 살펴보았다.

특히 CGE 모형의 분류는 신고전학과 CGE 모형에 현실적인 측면들을 모형에 반영하는 과정에서 비롯된 다수의 연구결과들을 몇 가지 기준에 의해 구분한 것이다. 첫째, 모형화 전통에 따라 CGE 모형을 Johansen 모형, Scarf-Shoven-Whalley 모형, Adelman and Robinson 모형, 그리고 Hudson and Jorgenson 모형으로 구분하였다. 둘째, 거시마감방식에 따라 CGE 모형을 신고전학과 거시마감방식과 거시적 구조주의자 거시마감방식으로 구분하였다. 거시적 구조주의자 거시마감방식을 Johansen 방식, Keynesian 방식, 그리고 Fisherian 방식으로 구분하였다. 셋째, 시장경쟁정도에 따라 CGE 모형을 완전경쟁 모형과 불완전경쟁 모형으로 구분하였다. 마지막으로, 모형의 동태성 여부에 따라 CGE 모형을 정태 모형과 동태 모형으로 구분하였다.

위에서 살펴본 CGE 모형들은 기본적으로 실물부문을 분석대상으로 한 실물

CGE(real CGE) 모형들이다. 하지만 이러한 실물 CGE 모형은 현실경제의 두 축, 즉 실물부문과 금융부문 중 실물부문만을 분석대상으로 하고 있다는 약점이 있다. 따라서, 실물 CGE 모형을 확대시키는 또 다른 방법은 실물부문 CGE 모형에 금융부문을 명시적으로 포함시키는 것이다. 금융부문을 포함한 CGE 모형을 금융연산균형(Financial CGE: FCGE) 모형이라고 한다. 금융연산균형(FCGE) 모형에서는 기존의 CGE 모형에서는 분석할 수 없었던 금융부문과 실물부문을 연계시킨 분석이 가능해진다. 금융연산균형모형은 CGE 분석을 이용하여 보다 일반적인 경제현상을 분석할 수 있는 계기가 될 것이다.

■ 참고 문헌 ■

1. 강운영, 『탄소세가 국민경제에 미치는 영향: 동태적 일반균형모형』, 에너지경제연구원, 1998.
2. 신동천, 『국제무역의 연산균형분석』, 세경사, 1998.
3. _____, 『CGE모형 구축을 위한 사회회계행렬(SAM) 작성방법 연구』, 조사/연구자료, 한국은행 경제통계국, 2000.
4. 정인교, 『한·중 FTA의 경제적 효과와 정책시사점』, 대외경제정책연구원, 2001.
5. 조정엽, 『Top-Down 모형 구축을 위한 연구 - 교토메카니즘 분석을 위한 Global CGE 모형 개발』, 에너지경제연구원, 1999.
6. Adelman, I. and S. Robinson, *Income Distribution Policy in Developing Countries: A Case Study of Korea*, Stanford, California: Stanford Univ. Press, 1978.
7. Armington, P., "A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production," *IMF Staff Papers* 15, 1969, pp. 159~178.
8. Arrow, K. J. and G. Debreu, "Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy," *Econometrica* 22, 1954, pp. 265~290.
9. Ballard, C. L., Fullerton, L. H., Shoven, J. B. and J. Whalley, *A General Equilibrium Model for Tax Policy Evaluation*, Chicago: University of Chicago

Press, 1985.

10. Bergman, L. "The Development of Computable General Equilibrium Modelling," in L. Bergman, D. W. Jorgenson and E. Zalai, eds., *General Equilibrium Modelling and Economic Policy Analysis*, Basil Blackwell, 1990, pp. 3~30.
11. Bhattacharyya, S. C., "Applied General Equilibrium Models for Energy Studies: A Survey," *Energy Economics* 18, 1996, pp. 145~164.
12. Blitzer, C. R., Richard, S. E., Supriya Lahiri, and Alexander Meeraus, "Growth and Welfare Losses from Carbon Emissions Restrictions: A General Equilibrium Analysis for Egypt," *The Energy Journal* 14(1), 1993, pp. 57~81.
13. Borgess, A. and L. H. Goulder, "Decomposing the Impact of Higher Energy Prices on Long-term Growth," in H. E. Scarf and J. B. Shoven, eds., *Applied General Equilibrium Analysis*, Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
14. Bovenberg, A. L. and L. H. Goulder, "Optimal Environmental Taxation in the Presence of Other Taxes: General Equilibrium Analyses," *American Economic Review* 86, 1996, pp. 985~1000.
15. Boyd, R. and N. D. Uri, "The Cost of Improving the Quality of the Environment," *Environment and Planning A*, 23, 1991, pp. 1163~1182.
16. Burniaux, J. M. and D. van der Mensbrugghe, "The RUNS-model: A Rural-urban, North-South General Equilibrium Model for Agricultural Policy Analysis," *Technical Paper*, 33, Paris: OECD development Centre, 1990.
17. Cassel, G., *Theory of Social Economy*, tr. by McCabe, London, T. Fisher Unwin, 1923.
18. Chenery, H. B., "The Structural Approach to Development Policy," *American Economic Review* 65(2), 1975, pp. 310~316.
19. Clarete, R. L. and J. A. Roumasset, "CGE Models and Development Policy Analysis: Problems, Pitfalls, and Challenges," *American Journal of Agricultural Economics* 68, 1986, pp. 1212~1216.
20. Cox, D. and R. Harris, "Trade Liberalization and Industrial Organization: Some Estimates for Canada," *Journal of Political Economy* 93, February, 1985, pp. 115~145.
21. de Melo, J., "Computable General Equilibrium Models for Trade Policy Analysis

- in Developing Countries: A Survey," *Journal of Policy Modeling* 10, 1988, pp. 469~504.
22. _____ and D. Tarr, *A General Equilibrium Analysis of U.S. Foreign Trade Policy*, The MIT Press, 1992.
23. _____ and D. W. Roland-Holst, "Tariffs and Export Subsidies When Domestic Markets Are Oligopolistic," in J. Mercenier and T. N. Srinivansan, eds., *Applied General Equilibrium Model*, Ann Arbor: University of Michigan Press, 1994.
24. _____ and S. Robinson, "Production Differentiation and the Treatment of Foreign Trade in Computable General Equilibrium Models of Small Economies," *Journal of International Economics* 27, 1989, pp. 47~67.
25. Deardorff, A. V. and R. M. Stern, "The Structure and Sample Results of the Michigan Computational Model of World Production and Trade," in T. N. Srinivasan and J. Whalley, eds., *General Equilibrium Trade Policy Modelling*, Cambridge, MA: MIT Press, 1986, pp. 151~188.
26. _____, *The Michigan Model of World Production and Trade*, Cambridge, 1986.
27. Debreu, G., *Theory of Value*, New York: Wiley, 1959.
28. _____, "Excess Demand Functions," *Journal of Mathematical Economics* 1, 1974, pp. 15~23.
29. Dervis, K., de Melo, J. and S. Robinson, *General Equilibrium Models for Development for Policy*, Cambridge University Press, 1982.
30. Devarajan, S. and D. Rodrik, "Pro-competitive Effects of Trade Reform: Results from a CGE-model of Cameroon," *European Economic Review* 35, 1991, pp. 1157~1184.
31. Dixon, P. B., Parmenter, B. R. and J. M. Horridge, "Forecasting versus Policy Analysis with the ORANI-model," in H. Motamen, eds., *Economic Modelling in the OECD Countries*, London: Chapman and Hall, 1987.
32. Dixon, P. B., Parmenter, B. R., Sutton, J. and D. P. Vincent, *Orani: A Multi-sectoral Model of the Australian Economy*, Amsterdam: North-Holland, 1982.
33. Dorfman, R., Samuelson, P. and R. Solow, *Linear Programming and Economic Analysis*, New York: McCraw-Hill, 1958,
34. Fischer, G. K., Frohberg, K., Keyzer, M. A. and K. S. Parikh, *The Basic*

- Linked System: A Tool for International Food Policy Analysis*, Amsterdam: Kluwer, 1988.
35. Ginsburgh, V. and M. Keyzer, *The Structure of Applied General Equilibrium*, Massachusetts London, England: The MIT Press Cambridge, 1997.
 36. Goldin, I. and O. Knudsen, eds., *Agricultural Trade Liberalization*, Paris: OECD Development Centre and Washington: World Bank, 1990.
 37. Goulder, L. H., "A General Equilibrium Analysis of U.S. Energy Policies," ph. D dissertation, Stanford University, 1982.
 38. _____, "Effects of Carbon Taxes in an Economy with Prior Tax Distortions," *Journal of Environmental Economics and Management*, 29(3), 1995, pp. 271~297.
 39. Gruver, G. and L. Zeager, "Distributional Implications of Taxing Pollution Emissions: A Stylized CGE Analysis," *Paper Presented at the Fifth International CGE Modelling Conference*, Oct. Ontario, Canada: University of Waterloo, 1994, pp. 27~29.
 40. Gunning, J. W., Carrin, G. and J. Waelbroeck(with Burniaux, J. M. and J. Mercenier), "Growth and Trade of Developing Countries: A General Equilibrium Analysis," *Discussion Paper*, 8210, CEME, Universite Libre de Bruxelles, 1982.
 41. Gunning, J. W. and M. A. Keyzer, "Applied General Equilibrium Models for Policy Analysis," in Behrman and T. N. Srinivasan, eds., *Handbook of Development Economics*, vol. 3, ch. 35, 1995. 8.
 42. Harberger, A. C., "The Corporation Income Tax: An Empirical Appraisal," *Tax Revision Compendium*, 1 (House Committee on Ways and Means, 86th Congress, First Session), 1959, pp. 231~240.
 43. _____, "The Incidence of the Corporation Income Tax," *Journal of Political Economy* 70, 1962, pp. 215~240.
 44. _____, "Efficiency Effects of Taxes on Income from Capital," in M. Krzyzaniak, eds., *Effects of Corporation Income Tax. Symposium on Business Taxation*, Detroit: Wayne State University Press, 1966.
 45. Harris, R., "Applied General Equilibrium Analysis of Small Open Economies with Scale Economies and Imperfect Competition," *American Economic Review*,

- 74, 1984, pp. 1016~1032.
46. Hertel, T., *Global Trade Analysis Project Model Documents*, London: Cambridge University Press, 1996.
 47. Hudson, E. A. and D. W. Jorgenson, "U.S. Energy Policy and Economic Growth, 1975-2000," *The Bell Journal of Economics*, 5, Management Science, 1974, pp. 461~514.
 48. Hunt, E. H., *History of Economic Thought: A Critical Perspective*. Wadsworth Pub. Co, 1970.
 49. Ianchovichina, E. I. and R. A. McDougall, "Structure of Dynamic GTAP," *GTAP Technical Paper*, Center for Global Trade Analysis, Prudue University, W. Lafayette, US, 2000.
 50. Jacoby, H. D., Richard S. Eckarus, A. Denny Ellerman, Ronald G. Prinn, David M. Reiner and Z. Yang, "CO₂ Emissions Limits: Economic Adjustments and the Distribution of Burdens," *The Energy Journal* 18(3), 1997, pp. 31~58.
 51. Johansen, L., *A Multi-sectoral Study of Economic Growth*, Amsterdam: North Holland, 1960.
 52. Jorgenson, D. W., "Econometric Methods for Applied General Equilibrium Modeling," in H. E. Scarf and J. B. Shoven, eds., *Applied General Equilibrium Analysis*, Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
 53. _____ and P. J. Wilcoxon, "Intertemporal General Equilibrium Modeling of U.S. Environmental Regulation," *Journal of Policy Modeling* 12, 1990, pp. 715~744.
 54. _____, "Reducing U.S. Carbon Dioxide Emissions: An Assesment of Different Instruments," *Journal of Policy Modeling* 15, 1993, pp. 491~520.
 55. Konan, D. E. and K. E. Maskus, "Joint Liberalization and Tax Reform in a Small Open Economy: the Case of Egypt," *Journal of Development Economics* 61, 2000, pp. 368~392.
 56. Kuhn, H. W., "On a Theorem of Wald," in H. W. Kuhn and A. W. Tucker, eds., *Linear Inequilities and Related Systems*, Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1956.

57. Lee, H. and D. Roland-Holst, "International Trade and the Transfer of Environmental Costs and Benefits," *Technical Papers*, 91, Paris: OECD Development Centre, 1993.
58. _____, "The Environmental and Welfare Implications of Trade and Tax Policy," *Journal of Development Economics* 52, 1997, pp. 65~82.
59. Longva, S., Lorentsen, L. and O. Olsen, "The Multi-Sectoral Growth Model MSG-4: Structure and Empirical Characteristics," in F. R. Forssund, M. Hoel and S. Longva, eds., *Production, Multi-sectoral Growth and Planning*, The Netherlands: Elsevier, 1985.
60. Lächler, U., "The Elasticity of Substitution Between Imported and Domestically Produced Goods in Germany," *Weltwirtschaftliches Archiv*, 121, 1985, pp. 74~96.
61. Manne, A. S. and R. G. Richels, "ETA-MACRO: A Model of Energy-Economy Interaction," in J. Hitch eds., *Modeling Energy-Economy Interactions: Five Approaches, Research Paper*, 5, Washington DC: Resources for the Future, 1977.
62. _____, "CO₂ Emission Limits: An Economic Analysis for the U.S.A.," *Energy Journal* 11, 1990, pp. 51~85.
63. Manne, A. S. and T. Rutherford, "International Trade in Oil, Gas and Carbon Emission Rights: An Intertemporal General Equilibrium Model," *The Energy Journal* 15, 1994, pp. 57~76.
64. Mansur, A. H. and J. Whalley, "Numerical Specification of Applied General Equilibrium Models: Estimation, Calibration and Data," in H. E. Scarf and J. B. Shoven, eds., *Applied General Equilibrium Analysis*, Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
65. Mantel, R. R., "On the Characterization of Aggregate Excess Demand," *Journal of Economic Theory* 7, 1974, pp. 348~353.
66. McKenzie, L. W., "On Equilibrium in Graham's Model of World Trade and Other Competitive Systems," *Econometrica* 22, April, 1954
67. _____, "On Existence of General Equilibrium for a Competitive Market," *Econometrica* 27, January, 1959.
68. McKibbin, W. J. and J. Sachs, *Global Linkages: Macroeconomic Inter-*

- dependence and Co-operation in the World Economy*, Brookings Institution, 1991.
69. McKibbin, W. J. and P. J. Wilcoxon, "The Global Consequences of Regional Environmental Policies: An Integrated Macroeconomic, Multi-sectoral Approach." in Y. Kaya, N. Nakicenovic, W. D. Nordhaus and F. L. Toth, eds., *Costs, Impacts and Benefits of CO₂ Mitigation*, IIASA, Australia, 1993.
70. _____, "The Theoretical and Empirical Structure of the G-Cubed Model." *Economic Modelling* 16, 1997, pp. 123~148.
71. Nikaido, H., "On the Classical Multilateral Exchange Problem." *Metroeconomica* 8, August, 1956.
72. OECD, *GREEN: The Technical Reference Manual*, 1993.
73. Parikh, K. S., Fischer, G. K., Frohberg, K. and O. Gulbrandsen, *Towards Free Trade in Agriculture*, Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1987.
74. Peck, S. D. and T. J. Teisberg, "Global Warming Uncertainties and the Value of Information: An Analysis using CETA," *Resource and Energy Economics* 15, 1993, pp. 71~97.
75. Pezzy, J., "Analysis of Unilateral CO₂ Control in the European Community and OECD," *The Energy Journal* 13, 1992, pp. 55~77.
76. Piggott, J., Whalley, J. and R. Wigle, "International Linkages and Carbon Reduction Initiatives," in K. Anderson and R. Nlackhurst, eds., *The Greening of World Trade Issues*, The University of Michigan Press, 1992.
77. Robinson, S., "Multisectoral Models," in H. Chenery and T. N. Srinivasavn, eds., *Handbook of Development Economics* 2, 1989, pp. 884~947.
78. _____, "Pollution, Market Failure, and Optimal Policy in an Economy Wide Framework," *Working Paper*, 559, Department of Agricultural and Resource Economics, Berkeley: University of California, 1990.
79. _____, "Macroeconomics, Financial Variables, and Computable General Equilibrium Models," *World Development* 19(11), 1991, pp. 1509~1525.
80. Rutherford, T., "The Welfare Effects of Fossil Carbon Restrictions: Results from a Recursively Dynamic Trade Model," *OECD Working Papers*, 112, Paris: OECD, 1992.
81. Scarf, H. and J. Shoven, eds., *Applied General Equilibrium Analysis*, Cambridge:

- Cambridge University Press, 1984.
82. Scarf, H. E., "The Approximation of Fixed Points of a Continuous Mapping," *SIAM, Journal of Applied Mathematics* 15, 1967, pp. 1328~1343.
 83. _____, "Computation of General Equilibria," in J. Eatwell, M. Milgate and P. Newman, eds., *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*, New York, 1987.
 84. _____(with T. Hansen), *The Computation of Economic Equilibria*, New Haven: Yale University Press, 1973.
 85. Schubert, K., Les modèles d'équilibre général calculable: une revue de la littérature, *Revue d'économie politique* 103, 1993, pp. 777~825.
 86. Shoven, J. and J. Whalley, "A General Equilibrium Calculation of the Effects of Differential Taxation of Income from Capital in the U.S.," *Journal of Public Economics* 1, 1972, pp. 281~322.
 87. _____, "General Equilibrium with Taxes: A Computation Procedure and an Existence Proof," *Review of Economic Studies* 40, 1973, pp. 475~490.
 88. _____, "On the Computation of Competitive Equilibrium on International Markets with Tariffs," *Journal of Public Economics* 8, 1974, pp. 211~224.
 89. _____, "Applied General Equilibrium Models of Taxation and International Trade: An Introduction and Survey," *Journal of Economic Literature* 22, 1984, pp. 341~354.
 90. _____, *Applying General Equilibrium*, Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
 91. Sonnenschein, H., "Market Excess Demand Functions," *Econometrica* 40, 1972, pp. 549~563.
 92. _____, "Do Walras' Identity and Continuity Characterize the Class of Community Excess Demand Functions," *Journal of Economic Theory* 6, 1973, pp. 345~354.
 93. Stone, R., "The Accounts of Society," *The American Economic Review* 87(6), 1997, pp. 17~29.
 94. Takayama, A., *Mathematical Economics*, second edition. Southern Illinois University and Kyoto University, Cambridge University Press, 1985.
 95. Taylor, L., "Structural CGE Models," in L. Taylor, eds., *Socially Relevant Policy*

- Analysis: Structural Computable General Equilibrium Models for the Developing World*, The MIT Press, 1990, pp. 1~70.
96. Wald, A., "On Some Systems of Equations of Mathematical Economics," *Econometrica* 19(7), 1936, pp. 637~670.
97. Whalley, J., *Trade Liberalization among Major World Trading Areas*. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.
98. _____ and R. Wigle, "Cutting CO₂ Emissions: The Effects of Alternative Policy Approaches," *The Energy Journal* 12, 1991, pp. 109~124.