

CGE 모형을 이용한 다목적댐 운영의 경제파급효과 분석: 용수공급기능을 중심으로^{*}

정기호** · 김재현***

〈요약〉

본 연구는 다목적댐 운영을 통한 안정적인 수자원 공급이 국가경제에 기여하는 경제적 파급효과를 분석한다. 분석을 위해 17개 주요 다목적댐이 고려되며, 다목적댐에서 공급되는 수자원을 여름과 겨울로 구분하여 별도의 생산요소로 포함하는 연산기능 일반균형모형(computable general equilibrium model : CGE)을 2007년을 기준연도로 하여 구축한다.

분석 내용은 다목적댐 용수 공급의 양적 측면과 안정적 용수 공급 측면을 구분하여, 전자에 대해서는 수자원 수요 충족에 따른 경제적 파급효과를 분석하고, 후자에 대해서는 수자원 공급의 불확실성 감소에 따른 리스크 프리미엄을 추정한다. 분석 결과, 다목적댐이 운영되지 않을 경우에 수자원을 집약적으로 투입하는 농림수산 및 수도 산업의 생산과 농림수산 산출물이 중간재로 많이 사용되는 음식료 산업의 생산이

* 이 논문은 2010년도 정부재원(교육과학기술부 인문사회연구역량강화사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2010-327-B00123). 저자들은 유익한 제언으로 논문의 개선에 크게 도움을 준 익명의 두 분 심사위원들에게 심심한 감사를 드립니다.

** 경북대학교 경제통상학부 교수 (제1저자).

*** 경북대학교 경제학과 대학원 박사과정 (공동저자).

크게 감소하는 것으로 나타났으며, 철강과 전기전자 등의 산업들은 대체로 생산이 증가하는 것으로 나타났다. GNP는 벤치마크 해 대비 0.22~0.68% 감소하는 것으로 분석되었다. 한편 리스크 프리미엄은 상대적 위험회피 척도 값을 0.5~3.0의 범위에서 고려할 때 약 40억 원~240억 원의 범위를 갖는 것으로 나타났다.

주제어 : 수자원 관리, 다목적댐, CGE 모형, 경제파급효과, 리스크 프리미엄

This study analyzes the contribution to the national economy of the stable water supply through managing multi-purpose dam. For the analysis, we consider 17 major multi-purpose dams and build a CGE model with summer water and winter water being the production factors as the base year of 2007.

We analyze the economic impact of meeting water demand due to the dam management and estimate the risk premium of reducing the uncertainty of water supply. The analysis results show a significant production decrease in the industries of agriculture, forestry and fisheries and tap water as well as the food and beverage industry using the former industries' output as intermediates in the production and show an production increase largely in steel industry and electronic and electrical industries. Being compared to the benchmark solution, GNP is analyzed as being reduced by 0.22~0.68%. Meanwhile, the risk premium is estimated to be about 4 billion to 24 billion won for the value of the measure of relative risk aversion in the range of 0.5 to 3.0.

Keywords : water resource management, multi-purpose dam,
CGE model, economic impact analysis, risk premium

JEL Classification : D5, Q2

I. 서 론

기후변화 영향으로 우리나라에도 최근 홍수와 가뭄 등 기상이변의 발생빈도와 강도가 증가하고 있다. 이러한 기상환경 변화는 수자원과 관련된 환경 여건이 불리한 우리나라의 상황을 더욱 악화시킬 것으로 예상되며, 치수 및 안정적 용수 공급을 포함한 수자원 관리에 대해 다각도의 연구 필요성이 제기되고 있다.

우리나라는 수자원의 부존량 그리고 보전과 이용 측면에서 구조적으로 어려운 환경 여건을 갖고 있다. 첫째로, 우리나라의 연평균 강수량은 세계평균의 1.3 배에 달하지만 인구 일인당으로 환산된 강수량은 세계 평균의 11%에 불과한 수자원 부족국가이다. 둘째로, 연도별 및 지역별 강수량의 편차가 심하며 계절별 강우량 또한 편차가 심한 특징을 갖는다. 예컨대, 연도별 최저 강우량(1939년)과 최고 강우량(1998년)의 차이는 2.4배 그리고 내륙과 해안지방의 강수량 편차는 1.7배에 이르며, 연강수량의 2/3가 여름철에 집중되고 있다. 셋째로 동고서저의 지형적 특성으로 하천경사가 급하여 댐을 건설하여 비를 저장하지 않으면 모두 바다로 유출되는 지형적 특성을 갖는다. 따라서 하천수, 댐, 지하수 등 의 총 이용량은 수자원 총량의 26%에 불과하다.

이러한 환경 여건의 어려움을 극복하고 안정적인 용수 공급과 체계적인 치수 관리를 위해서 우리나라는 수자원 관리에 다양한 노력을 기울여 왔다. 특히 1960년부터 건설이 시작된 다목적댐은 빠르게 증가하는 용수 수요를 안정적으로 충족시키고 홍수조절 능력을 확충시켰으며 대규모 공공투자사업을 통해 국가경제 성장과 국민복지 향상에 크게 기여하여 왔다.¹⁾ 본 연구는 우리나라의 수자원 관리에서 큰 역할을 담당하고 있는 다목적댐에 초점을 맞추어, 17개 주요

1) 다목적댐은 두 가지 이상 용도로 이용되는 댐을 말하며(법제처, <http://www.moleg.go.kr>), 주요 기능은 생활용수·공업용수·하천유지용수·농업용수·발전용수 등의 용수공급과 홍수 조절에 이용된다(정남숙, 2001).

다목적댐 운영에 따른 안정적 용수 공급이 국가경제에 대해 갖는 경제적 파급 효과를 분석한다.²⁾ 특히 다목적댐 용수 공급의 양적 측면과 안정적 측면을 구분하여, 전자는 수자원 수요의 충족에 따른 경제적 파급효과를 분석하고, 후자는 수자원 공급의 불확실성 감소에 따른 리스크 프리미엄을 추정하고자 한다.

본 연구의 분석 방법은 다목적댐에서 공급되는 수자원을 별도의 생산요소로 포함하는 연산가능일반균형모형(computable general equilibrium model : CGE)을 구축하는 것이다. CGE 모형은 경제 여건 변화가 유발하는 가격변화와 이에 따른 시장참여자들의 행동 변화 및 부문간의 환류효과(feedback effects)를 일반균형 구조에서 분석할 수 있는 기법으로서 최근 경제, 에너지, 환경 등 광범위한 주제의 연구에서 활용되고 있다. 국외에서는 다양한 CGE 모형들이 개발되어 수자원 관련 정책이나 경제적 파급효과 분석에 활발하게 활용되어 왔다. Berck *et al.*(1990)은 California San Joaquin Valley 지역을 대상으로 수자원 정책 효과를 평가하였고, Strzepek *et al.*(2007)은 이집트 아스완 댐의 경제적 파급효과를 분석하였으며, Berrittella *et al.*(2007)은 물공급 제약의 경제적 파급효과, Brouwer *et al.*(2008)은 수질개선의 직간접 경제적 파급효과, van Heerden *et al.*(2008)은 남아프리카공화국에서의 물 사용에 대한 조세 도입의 파급효과 등을 분석하였다. 반면에 수자원 분야의 국내 문헌들은 CGE 모형을 적용한 사례는 저자의 지식 한도 내에는 없으며, 주로 수자원 자체 혹은 댐 건설이 가져오는 편익에 초점을 맞추어 조건부가치평가법(Contingent Valuation Method)이나 컨조인트분석법(Conjoint Analysis Method)과 같은 비시장재 가치평가법을 활용하는 연구에 집중되어 있다.³⁾

-
- 2) 본 연구에서 고려하는 17개 다목적댐은 밀양댐, 대청댐, 용담댐, 섬진강댐, 주암본댐, 주암조 절지댐, 부안댐, 보령댐, 장흥댐, 소양강댐, 충주댐, 횡성댐, 안동댐, 남강댐, 남강(보강)댐, 임하댐, 합천댐 등이다. 다목적댐별 상세한 정보는 http://www.kncold.or.kr/ds2_3.html를 참조하기 바란다.
 - 3) 비시장재가치평가법을 이용하여 댐 혹은 댐호수의 경제적 가치를 분석한 국내 연구로는 곽승준·유승훈(1999), 여준호 외(2003), 김용주·유용성(2005), 권오상 외(2005), 권오상(2006) 등이 있다.

본 연구는 해외 선행연구들을 원용하되 우리나라의 수자원 환경 여건과 본 연구 목적 그리고 자료의 이용 가능성을 고려하여 적절하게 변형한 수자원 CGE 모형을 구축한다. 예컨대, 이집트 아스완 댐의 경우를 고려한 Strzepek *et al.*(2007)은 수자원과 토지 그리고 농업부문의 곡물과 야채를 모두 계절별로 구분하고 계절별 수자원과 토지를 결합하여 하나의 투입요소로 고려하되 결합비율을 선형계획법에 의해 결정하는 복잡한 구조를 택하고 있지만, 본 연구에서는 우리나라의 자료 이용 여건을 감안하여 이러한 구조를 대폭 단순화하여 수자원 만 별도의 생산요소로서 계절별로 구분하는 접근법을 사용한다.

구체적으로 본 연구는 전통적인 본원적 생산요소인 노동과 자본 이외에 수자원을 추가로 고려한다.⁴⁾ 이때 여름과 겨울의 수자원 여건이 뚜렷하게 구분되는 우리나라의 자연환경을 반영하여 수자원을 여름물과 겨울물로 구분한다. 따라서 본 연구의 CGE 모형에서 고려되는 생산요소는 노동, 자본, 여름물, 겨울물 등 모두 네 가지가 된다. 구축된 CGE 모형을 이용하여, 우리나라 다목적댐 운영이 가져오는 안정적인 수자원 공급의 경제적 파급효과를 분석하고 수자원 공급 불확실성 감소에 따른 리스크 프리미엄을 추정한다. 본 연구에서 리스크 프리미엄은 Kolstad(2004)를 따라 모든 시나리오에 걸친 확실성 등가소득(the certainty equivalent income)과 기대소득의 차이로서 정의된다.

다목적댐 운영은 국가경제와 댐 주변 지역경제에 다양한 파급효과를 유발한다. 본 연구는 국가경제 파급효과에 연구범위를 한정하며, 다목적댐의 기본적인 역할이라고 할 수 있는 안정적인 용수 공급과 홍수조절 중 전자에 초점을 맞춘다. 그러나 홍수조절 기능에 대해서도 모형분석에 필요한 홍수피해의 적절한 시나리오가 개발되면 본 연구에서 개발되는 수자원 CGE 모형을 홍수조절 기능의 경제적 파급효과 분석에도 적용할 수 있을 것이다.

4) 수자원은 다목적댐 용수 이외에도 지하수, 농업용 저수지, 일반하천 용수 등이 있다. 본 연구는 CGE 모형의 활용을 위해 요금이 부과되는 다목적댐 용수로만 수자원의 범위를 한정하며, 이러한 분석범위의 제약은 다목적댐이 존재하지 않을 경우의 수자원 감소효과를 과대 평가할 가능성이 있다. 본 연구의 제Ⅲ장 제3절에 제공되는 분석 결과는 이러한 제약 하에서 해석되어야 할 것이며, 이러한 문제점을 지적한 심사위원에게 심심한 감사를 표한다.

이후 본 연구의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ장에서는 분석모형인 CGE 모형의 구조와 리스크 프리미엄의 계산 방법을 소개한다. 제Ⅲ장에서는 CGE 모형에 투입되는 자료와 CGE 모형의 비교정태분석에 사용되는 시나리오를 설명하고 다목적댐이 존재하지 않을 경우의 경제파급효과 분석 결과와 리스크 프리미엄의 추정 결과를 제시한다. 마지막으로 제Ⅳ장에서는 연구의 내용을 요약하고 결론을 제시한다.

II. 분석모형

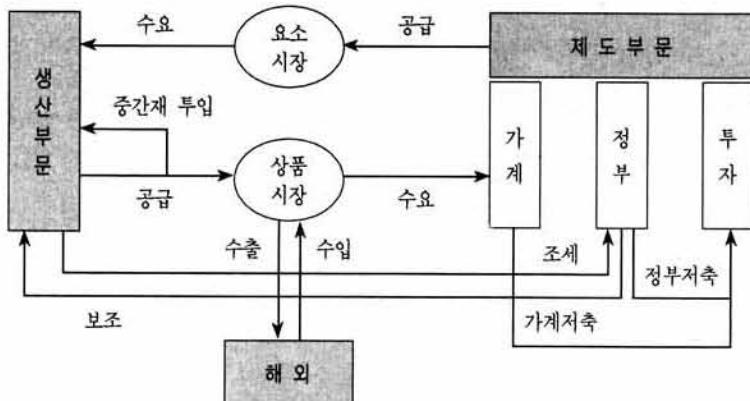
1. CGE 모형의 구조

본 연구에서 구축하는 CGE 모형은 소규모 개방형 완전경쟁 정태 CGE 모형이다.⁵⁾ 모형의 상세한 수식은 부록에서 다루고, 여기에서는 모형의 개념적 구조를 논의한다. <그림 1>은 모형의 개괄적인 재화와 요소흐름을 보여준다. 모형은 생산부문과 제도부문으로 구분되고 이들 두 부문은 생산물시장과 요소시장에서 거래한다. 생산물시장에서 생산부문은 제도부문에 재화를 공급하고 제도부문은 재화를 구입하여 소비한다. 생산되는 생산물 중 일부는 생산을 위한 중간재로 투입된다. 요소시장에서 제도부문은 생산부문에 생산요소를 공급하고 생산부문은 생산요소를 구입한다. 모형에서 조세 납부와 보조금 지급은 시장 외적인 거래로 처리된다.

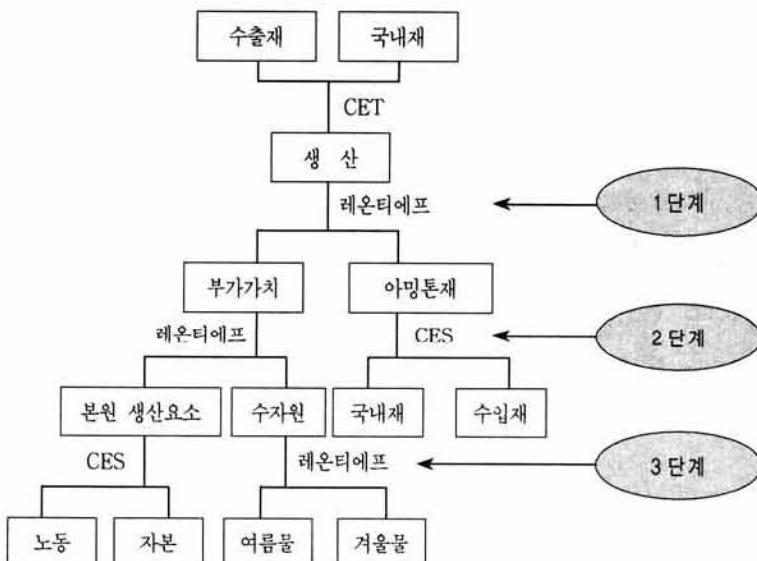
제도부문에서 가계는 노동과 자본을 보유하여 요소시장에 공급하며 정부는 수자원을 보유하여 시장에 공급한다고 가정한다. 따라서 가계의 수입 원천은 노동수입과 자본수입이며 정부의 수입 원천은 조세와 수자원 사용에 대한 수입이다. 정부의 지출은 정부소비와 정부저축으로 구성되고 가계의 지출은 소비지출과 조세 및 가계저축으로 구성된다.

5) CGE 모형의 상세한 소개는 신동천(1999)을 참조하기 바란다.

〈그림 1〉 본 연구의 CGE 모형 기본구조



〈그림 2〉 생산기술의 트리구조



생산기술은 〈그림 2〉와 같이 3단계 구조로 되어 있다. 가장 최상위 단계에서, 각 최종산출물은 중간재와 부가가치 복합체의 레온티에프(Leontief) 함수로 결합되어 만들어진다. 〈그림 2〉에서는 부가가치 복합체가 노동과 자본 등 본원

생산요소들의 복합체와 수자원의 레온티에프 함수로 결합되며, 중간재 복합체는 아밍تون 가정(Armington, 1969)에 따라 국내재와 수입재의 불완전 대체재로 구성된다. 가장 아래 단계에서는, 노동과 자본의 본원 생산요소는 CES 함수로 결합되며, 여름물과 겨울물은 서로 대체가 되지 않는 레온티에프 함수로 결합된다. 따라서 본 연구에서는 노동과 자본 등 전통적인 본원 생산요소와 수자원이 그리고 여름물과 겨울물이 각각 서로 대체되지 않는 것으로 가정된다. 최종 생산물을 불변변환탄력성(Constant Elasticity of Transformation: CET) 함수에 의해 국내재와 수출재로 나누어져서 국내 시장에서 판매되거나 해외로 수출하게 된다.

2. 리스크 프리미엄

다목적댐의 주요 기능은 홍수조절과 더불어 안정적인 용수 공급이다. 후자 기능에 따른 다목적댐 운영의 가장 큰 혜택은 편차가 심한 수자원 공급을 안정적으로 유지해 주면서 국가경제에 대해 불확실성을 감소시켜 주는 것이다.

본 연구는 다목적댐 운영에 따른 수자원 공급의 불확실성 감소가 국가경제에 기여하는 리스크 프리미엄을 추정한다. 다목적댐이 존재하지 않는다면 수자원 공급의 변동성은 높아지고 이에 따라 경제의 불확실성이 제고되며, 이러한 불확실성은 확실한 경우에 대해 갖는 리스크 프리미엄으로 측정될 수 있다.

먼저 확실성 등가소득(the certainty equivalent income) Y^{CE} 을 다음과 같이 정의할 수 있다(Kolstad, 2004).

$$U(Y^{CE}) = E\{U(Y)\} \quad (1)$$

식 (1)에서 U 는 효용이며, Y 는 본 연구의 경우에서는 다목적댐이 존재하지 않을 경우 불확실성이 증가할 것으로 예상되는 국민소득이다. 따라서 식 (1)에서 Y^{CE} 는 불확실한 소득의 기대효용과 동일한 수준의 효용을 낳는 확실한 소득을 의미한다.

위험을 회피하는 경제주체에 대해서는 불확실한 대안의 소득은 확실한 대안의 소득보다 높아야 하므로,

$$Y^{CE} < E(Y) \quad (2)$$

의 관계가 성립하며, 리스크 프리미엄(Risk Premium : RP)은 다음과 같이 정의 된다.

$$RP = E(Y) - Y^{CE} \quad (3)$$

본 연구는 Arrow-Pratt의 상대적 위험회피 척도(Arrow-Pratt measure of relative risk-aversion)가 모든 소비 수준에서 상수인 경우를 고려하며,⁶⁾ 이 경우에 가장 많이 사용되는 효용함수 형태인 식 (4)의 멱효용함수(power utility function)를 가정한다(Lengwiler, 2004 ; Hens and Rieger, 2010).

$$U(C) = \begin{cases} \frac{C^{1-p}}{1-p}, & p \neq 1 \\ \ln C, & p = 1 \end{cases} \quad (4)$$

단, p 는 상대적 위험회피 척도

멱효용함수의 경우에, 확실성 등가소득과 리스크 프리미엄은 각각 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$Y^{CE} = \begin{cases} \{E(Y^{1-p})\}^{1/(1-p)}, & p \neq 1 \\ \exp\{E(\ln Y)\}, & p = 1 \end{cases} \quad (5)$$

$$RP = E(Y) - Y^{CE} \quad (6)$$

6) Arrow-Pratt의 상대적 위험회피 척도에 대해서는 Pratt(1964)를 참조하기 바란다.

III. 분석 결과

1. 자료

본 연구는 다목적댐 운영에 따른 댐 용수의 공급 및 수요를 포함하는 수자원 관련 통계자료에 대해 2007년 수치를 사용하며, 이에 따라 CGE 모형의 추정에 필요한 기초통계인 사회계정행렬(Social Accounting Matrix : SAM) 구축도 2007년 산업연관표를 이용한다.⁷⁾

산업분류는 수도부문을 별도의 산업으로 분류하기 위해 2007년 산업연관표의 168개 소분류에서 출발하여 13개 산업으로 재통합하였으며, 결과는 <표 1>에 요약되어 있다.

본 연구는 밀양댐, 대청댐, 용담댐, 섬진강댐, 주암본댐, 주암조절지댐, 부안댐, 보령댐, 장흥댐, 소양강댐, 충주댐, 횡성댐, 안동댐, 남강댐, 남강(보강)댐, 임하댐, 합천댐 등의 우리나라 17개 주요 다목적댐의 댐 용수를 고려한다.

계절 구분은 상대적으로 수자원 수요가 집중되는 6~11월 기간을 여름으로 명칭하고, 나머지 기간을 겨울로 명칭한다.⁸⁾ 수자원 공급의 자료는 17개 다목적 댐들의 월별 저수량을 여름물에 대해서는 6~11월 기간에 대해 합산하고, 겨울 물에 대해서는 12월과 1~5월 기간에 대해 합산한 다음 댐 용수의 원수 가격인 47.93원/m³을 곱하여 공급액을 계산한다.

생산 과정에 투입되는 수자원 자료는 먼저 산업별 댐 용수의 사용량을 계산하고 다음으로 계산된 사용량에 일률적으로 댐 용수의 원수 가격 47.93원/m³을 곱하여 사용액을 계산한다. 다목적댐 용수의 산업별 사용은, 댐 용수 사용 계약

7) 본 연구에서 사용된 다목적댐의 댐 용수 관련 자료는 수자원공사로부터 2007년의 자료를 제공받았으며 이에 따라 분석의 기준연도를 2007년으로 설정하게 되었다.

8) 이러한 계절 구분은 수자원공사 경제정책연구소의 전문가 자문을 구하여 설정하였다.

〈표 1〉 산업분류

통합번호	부문명	소분류 번호
1	농림수산	001~011
2	음식료	019~034
3	섬유의복	035~045
4	목재종이	046~050
5	석유화학	052~069
6	비금속	070~075
7	철강	076~081
8	기계	088~095
9	전기전자	096~105
10	운송장비	109~115
11	기타	012~018, 051, 082~087, 106~108, 116~118
12	수도	122
13	기타서비스	119~121, 123~168

을 맺은 2007년 사업체별 자료를 이용하였다. 동 자료는 사업체별로 사용한 댐 용수의 수종을 원수, 침전수, 정수로 구분하여 월별 사용량이 기록되어 있다. 산업별 사용량은 다음과 같이 계산한다.

$$1차 산업 용수 사용량 = 농업용수$$

$$2차 산업 용수 사용량 = 원수 + 침전수$$

$$3차 산업 중 수도업의 용수 사용량 = 생활용수 + 2차 산업의 정수 사용량$$

$$3차 산업 중 기타 부문의 용수 사용량 = 0으로 가정$$

이렇게 도출된 수자원의 공급과 수요는 전자가 후자에 비해 여름의 경우에는 상대적으로 부족한 상태이고, 겨울의 경우에는 너무 초과하기 때문에, CGE 모형에서 수자원 시장의 균형 해를 위해서는 양자의 값을 일치시킬 필요가 있다.

본 연구에서는 이를 위해 벤치마크 해(benchmark solution)를 구할 때는 각 산업에의 수자원 투입의 합을 수자원 수요 및 공급 수치로 사용한다. 이렇게 되면 벤치마크 해에서 수자원 시장은, 본 연구에서 벤치마크 수자원 가격으로 고려하는 원수 가격인 47.93원/m³에서 균형이 이루어지게 된다.

CGE 모형의 벤치마크 해는 함수들의 모수와 외생변수들의 값들의 함수가 된다. 따라서 모형 해를 도출하기 위해서는 먼저 함수들의 모수 값이 결정되어야 한다. 본 연구는 CGE 모형의 연산을 위한 프로그램으로서 Rutherford(1987, 1999)에 의해 개발된 GAMS에 기반한 MPSGE 언어를 사용하는데, 이 경우에 모형의 모수는 가중치 모수(Share Parameter)와 CES 함수의 대체탄력성의 두 가지가 존재한다(Rutherford, 2002). 이 중에서 전자는 기준연도의 SAM으로부터 칼리브레이션 과정을 통해 추정될 수 있지만, 후자인 대체탄력성은 자료의 부족 때문에 일반적으로 레온티에프 함수나 콥-더글라스 함수와 같은 특정한 함수형태에 의해 가정되거나 기존연구의 탄력성 값을 원용하여 사용된다.

국내 산업들의 대체탄력성 값을 추정한 국내연구로는 신동천(1996), 문석웅(1999) 그리고 김대훈(2004)의 연구 등이 있다. 신동천은 1978~1992년의 KOTIS 및 산업연관표 자료를 이용해 수입재와 국내재 사이의 대체탄력성을 추정하였다. 문석웅(1999)은 업데이트 시뮬레이션 기법을 이용하여 각 산업의 수입재와 국내재의 대체탄력성을 추정하였다. 김대훈(2004)은 신동천(1996)의 탄력성 추정기법을 그대로 활용하되 표본을 2000년 자료까지 확대하여 수입재와 국내재의 대체탄력성을 추정하였다. 본 연구에서도 이들 선행연구들의 결과를 원용하여, 수입재와 국내재의 대체탄력성의 경우 신동천(1996)의 연구에서 추정된 대체탄력성 2~4의 평균값에 가까운 3의 값을 이용하였다. 생산의 탄력성 값은 일반적으로 생산요소와 중간재화 간의 대체탄력성을 매우 낮도록 가정하는 국내외 선행연구(김영덕 · 조경엽, 2006 ; Bernstein *et al.*, 1999)의 관례에 따라 레온티에프 함수를 가정하여 0의 값을 사용하였으며, 노동과 자본의 탄력성은 산업분석에서 일반적으로 가정되는 콥-더글라스 함수를 가정하여 1의 값을 사용하였고, 그 밖의 탄력성 값을 0.5로 가정하였다.

2. 시나리오

다목적댐 운영의 경제적 파급효과 분석과 리스크 프리미엄의 추정은 구축된 CGE 모형의 비교정태분석을 통해 수행되는데, 이를 위해서는 다목적댐이 존재하지 않을 경우 가상적인 수자원 공급에 대한 시나리오가 필요하다. 본 연구에서 시나리오는 상대적으로 수자원 수요가 집중되는 여름물에 대해서만 고려하며, 특히 아스완 댐에 대한 Strzepek *et al.*(2007)의 사례를 따라 다목적댐이 없을 경우의 가상적인 여름물 공급량을 1974~2007년 기간에 걸쳐 매년 관측된 각 다목적댐에 유입되는 유입량으로 설정한다.

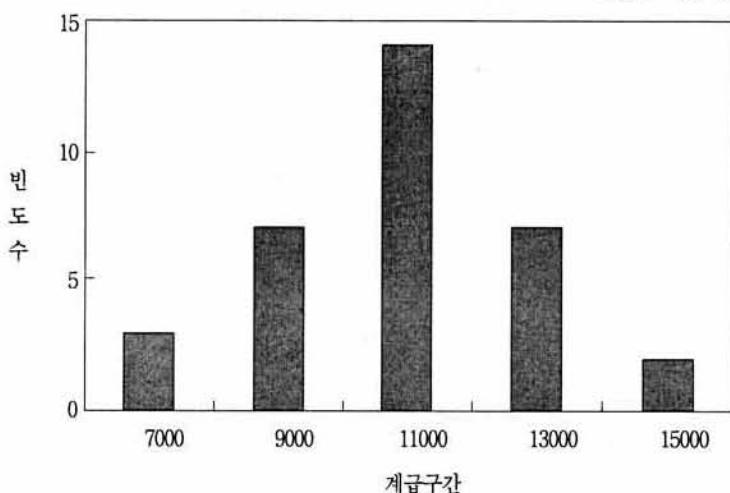
구체적으로는 다목적댐이 존재하지 않을 경우의 경제적 파급효과 분석을 위해서 17개 다목적댐에 대한 2003년, 2005년, 2007년 3개 연도의 유입량을 각각 수자원공급 시나리오로서 고려하고, 리스크 프리미엄의 추정을 위해서는 1974~2007년의 34개 연도의 유입량을 다목적댐이 존재하지 않는 가상적인 수자원 공급의 표본 자료로 설정한다. <그림 3>은 1974~2007년 기간 연도별 여름철 다목적댐의 유입량 값의 분포를 보여주며 연간 변동성이 매우 높다는 것을 알 수 있다.

한편 앞서 논의된 바와 같이 벤치마크 해에서 각 산업에의 수자원 투입의 합을 수자원 공급으로 고려하기 때문에, 시나리오에서 고려되는 다목적댐 유입량도 동일한 비율로 조정될 필요가 있으며 동 비율 값은 <표 2>에 주어진다.

여름물 공급량 시나리오에 <표 2>의 비율을 적용한 다음에 원수 가격인 47.93원/ m^3 ³을 적용하였을 때 CGE 모형에 사용되는 벤치마크의 균형 수자원 수급과 여름물 공급의 시나리오는 <표 3>과 같다.⁹⁾

9) 본 연구에서는 다목적댐이 존재하지 않는 가상적 상황에 대해 용수 공급량에 대해서만 시나리오를 설정하고 이용요금은 다목적댐이 존재하는 경우의 수치를 그대로 이용하고 있다. 그러나 CGE 모형에는 공급량이 아니라 공급액이 입력되므로, 엄밀하게 다목적댐이 존재하지 않는 상황을 설정하려면 용수 공급량과 이용요금 각각에 대해 시나리오를 설정해야 할 것이다. 본 연구의 분석 결과는 용수 공급량에만 초점을 맞춘 제한적인 내용으로서 해석되어야 한다.

〈그림 3〉 여름물 다목적댐 유입량의 분포

(단위 : 백만 m³)

〈표 2〉 시나리오 조정비율

(단위 : 백만 m³)

	여름물	겨울물
2007년 물공급량(a)	12,339.65	11,940.41
2007년 물투입량(b)	15,597.56	3,213.40
조정비율(= b/a)	1.2640	

〈표 3〉 수자원 수급 자료

연도	벤치마크 (백만 원)		여름물 공급 시나리오	
	여름물	겨울물	금액 (백만 원)	벤치마크 대비 변화율 (%)
1974			707,273	-5.39
1975			667,107	-10.77
1976			663,545	-11.24
1977			598,439	-19.95
1978			652,912	-12.66
1979			660,648	-11.63

CGE 모형을 이용한 다목적댐 운영의 경제파급효과 분석

(계속)

연 도	벤치마크 (백만 원)		여름물 공급 시나리오	
	여름물	겨울물	금액 (백만 원)	벤치마크 대비 변화율 (%)
1980			655,660	-12.30
1981			698,642	-6.55
1982			612,857	-18.02
1983			634,979	-15.06
1984			713,049	-4.62
1985			730,835	-2.24
1986			678,848	-9.20
1987			848,275	13.47
1988			643,284	-13.95
1989			697,523	-6.70
1990			790,792	5.78
1991			591,745	-20.85
1992			508,340	-32.00
1993			607,077	-18.80
1994			441,199	-40.98
1995			559,384	-25.18
1996			477,201	-36.17
1997			527,476	-29.44
1998			699,088	-6.49
1999			630,450	-15.67
2000			605,126	-19.06
2001			361,939	-51.59
2002			438,177	-41.39
2003			567,967	-24.03
2004			430,845	-42.37
2005			321,679	-56.97
2006			427,014	-42.88
2007	747,591	154,018	407,473	-45.50

3. 경제파급효과 분석 결과

먼저 다목적댐이 존재하지 않을 경우 가상적인 수자원 공급 감소의 파급효과를 살펴본다. 시나리오는 앞서 논의된 바와 같이, 17개 다목적댐에 대한 2003년(시나리오 1), 2005년(시나리오 2), 2007년(시나리오 3) 3개 연도의 여름물 유입량을 각각 다목적댐이 존재하지 않을 경우의 가상적인 여름물 공급 시나리오로서 고려한다.

<표 4>는 수자원 공급 감소에 따른 산업별 생산의 변화를 보여준다. 분석 결과, 수자원을 집약적으로 투입하는 농림수산 및 수도 산업의 생산과 농림수산

〈표 4〉 산업별 생산 변화

기준해 (십 억)	시나리오 1(2003년)		시나리오 2(2005년)		시나리오 3(2007년)		
	수 준 (십 억)	변화율 (%)	수 준 (십 억)	변화율 (%)	수 준 (십 억)	변화율 (%)	
농림수산	44,939	32,311	-28.10	16,717	-62.80	22,919	-49.00
음식료	76,594	65,105	-15.00	51,318	-33.00	56,756	-25.90
섬유의복	40,930	38,392	-6.20	35,159	-14.10	36,469	-10.90
목재종이	21,270	20,611	-3.10	19,717	-7.30	20,079	-5.60
석유화학	256,903	257,931	0.40	258,444	0.60	258,444	0.60
비금속	26,019	26,852	3.20	28,231	8.50	27,632	6.20
철강	109,610	114,104	4.10	119,913	9.40	117,612	7.30
기계	86,367	85,849	-0.60	85,244	-1.30	85,417	-1.10
전기전자	211,250	241,248	14.20	295,116	39.70	270,823	28.20
운송장비	164,497	164,990	0.30	166,964	1.50	165,977	0.90
기타	125,180	127,433	1.80	130,938	4.60	129,436	3.40
수도	3,994	3,539	-11.40	2,976	-25.50	3,203	-19.80
기타서비스	1,229,679	1,232,138	0.20	1,224,760	-0.40	1,228,449	-0.10

〈표 5〉 거시경제변수 변화

기준해 (십 억)	시나리오 1(2003년)		시나리오 2(2005년)		시나리오 3(2007년)	
	수 준 (십 억)	변화율 (%)	수 준 (십 억)	변화율 (%)	수 준 (십 억)	변화율 (%)
GNP	975,013	-0.22	968,383	-0.68	970,333	-0.48
소 비	529,976	-2.90	493,408	-6.90	502,417	-5.20
투 자	273,082	-3.50	248,232	-9.10	254,786	-6.70
정부지출	143,262	8.20	163,892	14.40	161,313	12.60
소비재가격	1	1.03	1.07	7.40	1.06	5.50
임 금	1	1.05	1.11	11.20	1.09	9.00
자본가격	1	0.95	0.91	-9.30	0.92	-7.70

산출물이 중간재로 많이 사용되는 음식료 산업의 생산이 크게 감소하는 반면에 철강과 전기전자 등의 산업들은 대체로 생산이 증가하는 것으로 분석된다.¹⁰⁾

〈표 5〉는 거시경제변수들의 변화를 보여준다. 다목적댐이 존재하지 않을 경우 GNP는 벤치마크 해 대비 0.22~0.68% 감소하며, 수요 구성 항목별로는 가계소비와 투자수요가 각각 2.90~6.90%와 3.50~9.10% 감소하고, 정부지출은 8.20~14.40% 증가하는 것으로 분석되었다. 소비재가격은 2.90~7.40% 증가하고, 요소가격은 임금은 5.30~11.20% 증가하는 반면에 자본가격은 4.70~9.30% 감소하는 것으로 나타났다.

4. 리스크 프리미엄 분석 결과

〈표 6〉은 벤치마크 해에서 사용된 17개 다목적댐이 있는 경우와 없을 경우 기대되는 수자원 공급량의 차이만큼 수자원 공급량이 변화할 때 34개 시나리오 별 GNP의 변화를 보여준다. 예를 들어, 1974년도의 경우는, 기준연도인 2007년

10) 본 연구의 분석대상으로서 수자원 범위의 제약과 한계에 대해 각주 4)를 참조하기 바란다.

〈표 6〉 GNP 변화

연도	기준해 (십 억)	시나리오 (십 억)	변화율 (%)	연도	기준해 (십 억)	시나리오 (십 억)	변화율 (%)
1974		956,780	-1.87	1991		966,920	-0.83
1975		959,900	-1.55	1992		964,190	-1.11
1976		960,193	-1.52	1993		968,675	-0.65
1977		958,340	-1.71	1994		963,215	-1.21
1978		962,533	-1.28	1995		967,115	-0.81
1979		963,020	-1.23	1996		964,873	-1.04
1980		962,923	-1.24	1997		967,018	-0.82
1981		964,970	-1.03	1998		970,918	-0.42
1982		961,558	-1.38	1999		970,040	-0.51
1983		962,728	-1.26	2000		969,358	-0.58
1984		965,458	-0.98	2001		964,288	-1.10
1985		965,945	-0.93	2002		970,528	-0.46
1986		965,750	-0.95	2003		972,868	-0.22
1987		969,845	-0.53	2004		970,430	-0.47
1988		964,385	-1.09	2005		968,383	-0.68
1989		967,798	-0.74	2006		970,723	-0.44
1990		969,845	-0.53	2007	975,013	970,333	-0.48

의 17개 다목적댐 저수량에서 1974년의 다목적댐 유입량을 뺀 크기만큼 수자원 공급량이 감소하는 시나리오를 적용할 경우 GNP가 기준연도 GNP에 비해 1.87%만큼 감소하는 것을 보여준다. 34개 전체 시나리오에 대해서, 기준해 대비 GNP 감소분은 평균 약 0.93%로 계산되었다.

확실성 등가소득은 효용의 평균값과 동일한 효용을 낳는 소득으로서 불확실한 소득 흐름 대신에 택할 수 있는 안전한 소득 수준이며, 리스크 프리미엄은 전술한 바와 같이 기대소득과 확실성 등가(certainty equivalence)의 차이로 계

산된다. 본 연구의 상황에서는 17개 다목적댐이 존재하지 않을 경우 수자원 공급이 불안정하게 되고 이에 따라 국민소득 흐름이 불안정하게 될 때 국민소득 흐름이 낳는 효용의 평균값과 동일한 수준의 효용을 낳는 안전한 소득 수준으로서 해석될 수 있다.

기대소득은 34개 시나리오 전체에 걸친 소득의 기대값으로 추정할 수 있으며, 확실성 등가의 추정치는 식 (5)와 식 (6)에서 모집단 평균(expectation) 연산자 E 대신에 표본평균 연산자 $n^{-1}\sum$ 를 대체함으로써 다음과 같이 도출된다.

$$Y^{CE} = \begin{cases} \left\{ \frac{1}{34} \sum_{i=1}^{34} (Y_i^{1-p}) \right\}^{1/(1-p)}, & p \neq 1 \\ \exp \left\{ \frac{1}{34} \sum_{i=1}^{34} (\ln Y_i) \right\}, & p = 1 \end{cases} \quad (7)$$

$$RP = \frac{1}{34} \sum_{i=1}^{34} Y_i - Y^{CE} \quad (8)$$

단, Y_i 는 i 번째 시나리오에서 계산된 GDP

상대적 위험회피 척도 p 의 값에 따라 확실성 등가소득의 추정값이 달라지므로 리스크 프리미엄의 값 역시 달라진다. 본 연구는 상대적 위험회피 척도에 대해 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 등 7개의 값을 고려하고 각각에 대해 리스크 프리미엄(RP)을 계산하는 접근을 따른다. <표 7>에서 리스크 프리미엄은 약 40억 원~240억 원의 범위를 갖는 것으로 나타났다. 위험기피에 대해 일반적으로 가정되는 단위 위험회피 척도($p=1$)의 경우에 리스크 프리미엄은 2007년 기준으로 약 80억 원으로 추정되었으며 위험회피 척도가 커질수록 리스크 프리미엄의

<표 7> 리스크 프리미엄

상대적 위험회피 척도 (p)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
확실성 등가소득 (십억 원)	965,933	965,929	965,925	965,921	965,917	965,913
리스크 프리미엄 (십억 원)	3.99	7.98	11.97	15.96	19.96	23.96

크기도 비례해서 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 리스크 프리미엄은, 다목적댐이 존재하지 않을 경우 수자원 공급의 변동성이 증가하게 되고 이에 따라 국민소득 변동성이 증가할 때 이러한 리스크를 회피할 수 있는 선택권에 대한 기대소득 증가분이다. 따라서 다목적댐 운영을 통해 수자원공급의 변동성이 감소함으로써 우리나라 국민경제가 피할 수 있게 된 국민소득 변동 리스크의 경제적 가치로서 해석될 수 있다.

IV. 결 론

본 연구는 우리나라의 수자원 관리에서 중추적인 역할을 수행하는 다목적댐 운영이 국가경제에 기여하는 파급효과를 2007년을 기준연도로 하여 분석하였다. 17개 주요 다목적댐이 저장하여 공급하는 수자원을 여름과 겨울 등 계절별로 구분하여 별도의 생산요소로 고려하는 CGE 모형을 구축하였고, 17개 다목적댐이 없을 경우의 시나리오를 적용하여 국가경제에 미치는 파급효과를 분석하고 리스크 프리미엄을 추정하였다. 시나리오는 여름물에 대해서만 적용되었으며, 1974~2007년 기간 17개 다목적댐으로의 여름철 유입량을 다목적댐이 없을 경우의 가상적인 수자원 공급량으로 고려하였다.

분석 결과, 2003년과 2005년 그리고 2007년의 3개 연도 여름물 유입량을 시나리오로 적용하였을 때 산업별 생산의 경우에는 수자원을 집약적으로 투입하는 농림수산 및 수도 산업의 생산과 농림수산 산출물이 중간재로 많이 사용되는 음식료 산업의 생산이 감소하는 것으로 나타났으며, 철강과 전기전자 등의 산업들은 대체로 생산이 증가하는 것으로 나타났다. GNP는 벤치마크 해 대비 0.22~0.68% 감소하는 것으로 분석되었다. 다목적댐이 존재하지 않을 경우 이러한 GNP 감소는, 반대로 다목적댐이 국가경제에 기여하는 크기로 해석될 수 있다. 한편 1974~2007년 기간의 34개 여름물 유입량을 시나리오로 적용하여

계산된 리스크 프리미엄은 상대적 위험회피 척도 값을 0.5~3.0의 범위에서 고려할 때 약 40억 원~240억 원의 범위를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 리스크 프리미엄은 다목적댐 운영을 통해 수자원공급의 변동성이 감소함으로써 우리나라 국민경제가 피할 수 있게 된 국민소득 변동 리스크의 경제적 가치이다.

본 연구의 제약을 언급하면, 첫째로 본 연구는 시장이 존재하는 재화/용역만을 분석대상으로 포함할 수 있는 CGE 모형의 특성 때문에 요금이 부과되는 다목적댐 용수에만 초점을 맞추어 고려하였다. 즉, 용수공급이 다목적댐의 저장용수로만 이루어진다는 가정에 기초하였다. 그러나 실제 활용되는 수자원은 다목적댐 용수 이외에도 지하수, 농업용 저수지, 일반하천 용수 등이 있으며, 특히 농업용수에서 다목적댐 용수가 차지하는 비중은 10% 미만이므로, 다목적댐 용수에 한정한 본 연구의 분석 결과는 이러한 연구범위 제약 하에서 해석될 필요가 있다. 만약 다목적댐 용수 이외의 용수 공급을 포함시켰다면, 다목적댐이 존재하지 않을 경우의 시나리오에 대해 생산이 크게 감소하는 것으로 나타났던 1차 산업의 경우 생산 감소 효과가 분석 결과보다는 많이 줄어들 것으로 예상된다. 두 번째 제약으로는 다목적댐이 존재하지 않는 가상적인 경우의 시나리오에서 벤치마크에서와 동일한 용수요금이 부과되는 것으로 처리한 점이다. 다목적댐 용수 요금은 댐의 건설 및 이용비용을 보전하기 위해 부과되는 것이므로, 다목적댐이 존재하지 않는 경우라면 이용요금도 부과되지 않거나 거의 없는 것으로 처리하는 것이 타당할 것이다.

향후 가능한 연구 발전 방향을 언급하면, 첫째는 국내 수자원과 해외 수자원 간의 직간접 대체 관계를 모형에서 분석하는 것이다. 국내에 수자원 공급이 감소하여 수자원 가격이 증가할 경우 수자원이 집약적으로 체화된 수입재를 수입 함으로써 국내 수자원 부족분을 간접적으로 해결할 수 있는데 이 경우에 해외 수자원을 체화한 수입재를 얼마만큼 수입할 필요가 있는지를 분석하는 것은 흥미로운 주제일 것이다. 둘째로, 본 연구는 안정적인 수자원 공급의 파급효과를 분석함으로써 다목적댐의 가뭄 방지 기능에 초점을 맞추었는데, 또 다른 주요 기능인 침수를 통한 홍수 방지의 파급효과를 분석할 수 있도록 CGE 모형을 변

형하는 것이다. 이를 위해서는 산업별 홍수 피해에 대한 신뢰할 만한 시나리오를 개발하는 것이 필요하다. 이 방향의 연구는 저자의 별도 연구를 통해 현재 추진 중에 있다.셋째로는 우리나라 수자원 공급은 강수량에 크게 의존하는데 연간 강수량은 현재의 기후변화 여건에서도 매우 불안정하지만 시간이 지날수록 변동성은 크게 증가할 것으로 기대된다. 국내외 대부분의 CGE 모형은 확실성 모형으로서 기후변화의 변동성 증가와 같이 불확실성이 큰 요소를 모형에 반영하기가 어렵다. 따라서 불확실성을 모형에 반영하는 CGE 모형의 연구도 향후 매우 흥미로운 주제일 것으로 사료된다. 마지막으로 본 연구의 제약점이었던 다목적댐 용수로만 한정된 수자원의 정의를 농업부문과 비농업부문 등 부문별로 세분하여 다양한 유형의 용수를 포함하도록 확장하여 정의하고 다목적댐이 존재하지 않는 가상적인 시나리오에서 용수요금의 적정 가격을 반영한 시나리오 내용을 보완하는 것이다. 이를 위해서는 특히 후자에 대해서 수자원의 잠재가격 연구가 수행될 필요가 있다.

〈부록〉 CGE 모형 구조

1. 생산부문

생산부문은 생산을 위해 노동과 자본의 함수로 이루어진 부가가치와 중간재를 투입하는 구조를 가진다. 중간재는 국내재와 수입재의 불완전 대체재로 구성된다. 그리고 최종 생산물은 불변변환탄력성(Constant Elasticity of Transformation : CET) 함수에 의해 국내재와 수출재로 나누어진다. 투입물은 부가가치와 아밍톤 복합재의 형태로 구성된 중간재 투입으로 구성되며 레온티에프 함수의 형태를 가진다. 부가가치는 다시 본원적 생산요소인 노동과 자본, 그리고 수자원 투입으로 구성된다. 수자원은 본원적 생산요소와 대체가 되지 않는 것으로 가정되어 레온티에프 함수의 형태를 가지며 노동과 자본은 CES 함수의 형태로 가정하였다.

$$Y_i = \gamma_{Y,i} [\alpha_{Y,i} XA_i^\rho + (1 - \alpha_{Y,i}) VA_i^\rho]^{1/\rho} \quad (1)$$

$$XA_i = \gamma_{A,i} [\alpha_{A,i} XD_i^\rho + (1 - \alpha_{A,i}) XM_i^\rho]^{1/\rho} \quad (2)$$

$$VA_i = \gamma_{V,i} [\alpha_{V,i} LK_i^\rho + (1 - \alpha_{V,i}) W_i^\rho]^{1/\rho} \quad (3)$$

$$LK_i = \gamma_{V,i} [\alpha_{LK,i} L_i^\rho + (1 - \alpha_{LK,i}) K_i^\rho]^{1/\rho} \quad (4)$$

식 (1)~식 (4)에서 기업은 국내에서 생산된 생산물(XD)과 수입된 생산물(XM)의 복합재인 아밍톤 재화로 구성된 중간투입(XA), 본원적 생산요소인 노동(L)과 자본(K)의 복합투입물(LK)과 물(W)로 결합되는 부가가치(VA)를 투입하여 산출물(Y)을 생산한다.

수자원 투입은 식 (5)와 같이 여름물($s W$)과 겨울물($w W$)의 복합체로 이루어진다.

$$W_i = \gamma_{V,i} [\alpha_{W,i} s W_i^\rho + (1 - \alpha_{W,i}) w W_i^\rho]^{\frac{1}{\rho}} \quad (5)$$

투입물 수요는 식 (6)과 같이 기업의 비용최소화 원리에 의해 결정된다. 단, pw_s 는 여름물의 투입가격을 그리고 pw_w 는 겨울물의 투입가격을 의미한다.

$$\text{Min. } pa_i XA_i + wL_i + rK_i + pw_s s W_i + pw_w w W_i \quad (6)$$

$$\text{s.t. } Y_i = \gamma_{Y,i} [\alpha_{Y,i} XA_i^\rho + (1 - \alpha_{Y,i}) VA_i^\rho]^{\frac{1}{\rho}}$$

$$XA_i = \gamma_{A,i} [\alpha_{A,i} XD_i^\rho + (1 - \alpha_{A,i}) XM_i^\rho]^{\frac{1}{\rho}}$$

$$VA_i = \gamma_{V,i} [\alpha_{V,i} LK_i^\rho + (1 - \alpha_{V,i}) W_i^\rho]^{\frac{1}{\rho}}$$

$$LK_i = \gamma_{V,i} [\alpha_{V,i} L_i^\rho + (1 - \alpha_{V,i}) K_i^\rho]^{\frac{1}{\rho}}$$

$$W_i = \gamma_{V,i} [\alpha_{W,i} s W_i^\rho + (1 - \alpha_{W,i}) w W_i^\rho]^{\frac{1}{\rho}}$$

기업의 생산은 국내재 생산(XD)과 수출재 생산(XE)으로 이루어지며 국내재와 수출재는 CET 함수에 의한 불완전 대체관계에 있는 것으로 가정된다. 생산활동의 결정은 식 (7)로 표현할 수 있다.

$$\text{Max. } pd_i XD_i + pe_i XE_i \quad (7)$$

$$\text{s.t. } Y_i = \gamma_{X,i} [\alpha_{X,i} XD_i^\rho + (1 - \alpha_{X,i}) XE_i^\rho]^{\frac{1}{\rho}}$$

기업의 수입은 $P_i Y_i$ 이며 기업의 생산량은 식 (8)과 같은 단위이윤을 극대화하는 모형에 의해 결정된다.

$$\text{Max. } \Pi_i = P_i Y_i - C_i(\underline{P}, Y_i) \quad (8)$$

그런데 기업의 이윤극대화 문제는 완전경쟁시장에서는 기업의 정상이윤조건, 즉 0의 초과이윤조건과 동일하다. 따라서 기업의 생산량을 결정하는 문제는 식 (8)의 이윤함수를 0으로 만드는 문제와 동일하게 된다.

2. 가계부문

가계는 식 (9)에서와 같이 주어진 예산제약 하에서 효용함수를 극대화한다.

$$\begin{aligned} \text{Max. } U &= \gamma_{C,i} \left[\sum_{i=1}^n \alpha_{C,i} C_i^\rho \right]^{\frac{1}{\rho}} \\ \text{s.t. } \sum_{i=1}^n P_i C_i &= M \end{aligned} \quad (9)$$

가계소득(M_h)은 식 (10)에서와 같이 노동소득과 자본소득으로 구성되며, 요소부존소득이 가계의 소득과 일치해야 함을 의미한다.

$$w\omega_L + r\omega_K = M_h \quad (10)$$

효용극대화 소비량은 식 (9)의 효용극대화 모형에서 도출되며 식 (11)과 같이 가격과 소득의 함수로 표현될 수 있다.

$$C_i = C_i(\underline{P}, M_h) \quad (11)$$

3. 정부부문

정부 수입은 식 (12)에서와 같이 수자원 판매수입과 조세수입으로 구성된다. 단, R_g 는 정부의 수입을, 그리고 T_x 는 정부의 조세수입을 의미한다.

$$p_W \omega_W + T_x = R_g \quad (12)$$

4. 시장균형

시장균형은 식 (13)과 식 (14)에서 재화시장과 요소시장의 균형으로 구분된다.

$$Y_i(\underline{P}) - \sum_{j=1}^n XA_{ji}(\underline{P}) - C_i(\underline{P}, M) = 0 \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n F_i = \omega_F, \forall F = \{L, K, W\} \quad (14)$$

식 (13)은 기업의 공급량과 기업의 중간수요와 대표적 가계의 최종수요의 합이 일치함을 의미하고, 식 (14)는 요소부존량과 기업의 요소수요량이 일치해야 함을 의미하며, 이러한 시장균형으로부터 생산물 가격 및 요소 가격이 결정된다.

◎ 참고 문 헌 ◎

1. 곽승준 · 유승훈, “영월 동강댐 건설로 인한 환경피해의 사회적 비용: 자연보존의 화폐적 가치추정”, 고려대학교 경제연구소 용역과제보고서, 1999.
2. 권오상, “선택실험법을 이용한 댐호수의 특성별 휴양가치 분석”, 「자원 · 환경경제 연구」, 제15권, 제3호, 2006, pp. 555~574.
3. 권오상 · 김원희 · 이혜진 · 허정희 · 박두호, “댐호수의 특성별 휴양가치 분석”, 「자원 · 환경경제연구」, 제14권, 제4호, 2005, pp. 867~891.
4. 김대훈, “수입재와 국내재의 대체탄력성 비교”, 세종대학교 석사학위논문, 2004.
5. 김영덕 · 조경엽, “수도권 공공기관 지방이전의 경제적 효과”, 「경제학연구」, 제54집, 제2호, 2006, pp. 143~183.
6. 김용주 · 유용성, “팔당호 및 한강 수질개선의 비시장가치 측정: 속성가치측정법을 이용하여”, 「자원 · 환경경제연구」, 제14권, 제2호, 2005, pp. 337~381.
7. 문석웅, “산업별 국내재/수입재간 대체탄력성에 관한 연구: CGE 모형에 의한 업테

- 이트 시뮬레이션 기법의 응용”, 「경제학연구」, 제47집, 제4호, 1999, pp. 47~81.
8. 신동천, “수입재와 국내재의 대체탄력성에 관한 연구”, 「경제학연구」, 제44집, 제2호, 1996, pp. 101~118.
9. 신동천, 『국제무역의 연산균형 분석』, 세경사, 1999.
10. 여준호 · 김광임 · 문현주 · 신지현 · 이정인, “환경을 고려한 다목적댐의 가치추정에 관한 연구”, 한국환경정책평가연구원 연구보고서, 2003.
11. 정남숙, “댐건설의 지역파급효과분석 및 지역개발정책의 방향”, 한양대학교 석사학위논문, 2001.
12. 한국은행, 『2007년 산업연관표』, 2009.
13. Armington, P., “A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production,” *IMF Staff Papers*, 16, 1969, pp. 159~178.
14. Berck, P., S. Robinson, and G. Goldman, “The Use of Computable General Equilibrium Models to Assess Water Policies,” Working Paper No 545, University of California at Berkeley, Department of Agricultural and Resource Economics, 1990.
15. Bernstein, P., W. Montgomery, and T. Rutherford, “Global Impacts of the Kyoto Agreement: Results from MS-MRT Model,” *Resource and Energy Economics*, 21, 1999, pp. 375~413.
16. Berrittella, M., A. Y. Hoekstra, K. Rehdanz, R. Roson, and R. S. J. Tol, “The Economic Impact of Restricted Water Supply: A Computable General Equilibrium Analysis,” *Water Research*, 42, 2007, pp. 1799~1813.
17. Brouwer, R., M. Hofkes, and V. Linderhof, “General Equilibrium Modelling of the Direct and Indirect Economic Impacts of Water Quality Improvements in the Netherlands at National and River Basin Scale,” *Ecological Economics*, 66, 2008, pp. 127~140.
18. Hens, T. and M. Rieger, *Financial Economics*, Springer, 2010, p. 40.
19. Kolstad, C. D., *Environmental Economics*, Oxford University Press, 2004.
20. Lengwiler, Y., *Microfoundations of Financial Economics*, Princeton University Press : Princeton, 2004, p. 91.
21. Pratt, J., “Risk Aversion in the Small and in the Large,” *Econometrica*, Vol. 32, 1964, pp. 122~136.

22. Rutherford, T., "Applied General Equilibrium Modeling," Ph. D. thesis, Department of Operations Research, Stanford University, 1987.
23. Rutherford, T., "Applied General Equilibrium Modeling with MPSGE as a GAMS Subsystem : An Overview of the Modeling Framework and Syntax," *Computational Economics*, 14, 1999, pp. 1~46.
24. Rutherford, T., "Lecture Notes on Constant Elasticity Functions," 2002.
<http://www.gamsworld.eu/mpsge/debreu/ces.pdf>
25. Strzepek, K. M., G. W. Yohe, R. S. J. Tol, and M. W. Rosegrant, "The Value of the High Aswan Dam to the Egyptian Economy," *Ecological Economics*, 66, 2007, pp. 117~126.
26. van Heerden, J. H., J. Blignaut, and M. Horridge, "Integrated Water and Economic Modelling of the Impacts of Water Market Instruments on the South African Economy," *Ecological Economics*, 66, 2008, pp. 105~116.

접수일(2012년 1월 25일), 수정일(2012년 3월 9일), 게재확정일(2012년 3월 12일)