

국가 온실가스 저감정책과 물산업 지원의 경제적 영향 분석 - 연산일반균형모형 분석

The Economic Impacts of Subsidizing Water Industry Under Greenhouse Gases Mitigation Policy in Korea: A CGE Modeling Approach

김재준* / 박성제**

Kim, Jae Joon / Park, Sung Je

Abstract

This paper constructed the single country sequential dynamic CGE model to analyze the economic impacts of subsidizing water industry under the GHG emission abatement policy in Korea. We introduced the carbon tax to reduce the GHG emission and made two scenarios. One is to transfer the total tax revenue to household. The other is to mix the tax transfer and water industry support. Our Simulation results show that the macroeconomic effects might be positive by subsidizing water industry compared with the pure tax transfer. However, the support of water industry doesn't contribute to head for the non-energy intensive economy because it's economic activity highly depend on fossil energy and energy intensive products as intermediate demand. This means that it is important to make efforts on the cost effective measures such as energy technology progress, alternative energy development, and energy efficiency improvement in water industry against climate change policy.

Keywords : CGE model, water industry, GHG emission, scenario, carbon tax

요 지

본 논문은 순차적인 일국 CGE 모형을 구축하여 국가의 온실가스 저감정책과 연계한 물산업 지원 정책의 경제적 파급효과를 분석하였다. 모형은 물산업과 에너지 부문을 세분화하였으며, 온실가스 저감수단으로 탄소세를 도입하였다. 시나리오는 탄소세수를 가계에 이전하는 경우와 물산업에 지원되는 경우로 구축해 모의결과를 비교분석 하였다. 분석결과 물산업 지원 정책은 GDP 기준 약 0.1% 수준의 온실가스 저감 비용을 절감하고 소비와 투자를 확대하는데 기여하는 것으로 나타났다. 그러나 물산업의 에너지 집약도가 높기 때문에 탄소세 부과로 인한 에너지 대체, 비에너지 집약적 산업구조 전환에의 기여도는 미미하였다. 따라서 온실가스 저감정책 하에서 물산업 발전을 위해 에너지 효율개선, 친환경 에너지 개발 및 활용 증진 등 비용효율적인 물산업 정책 추진이 중요할 것이다.

핵심용어 : 연산일반균형모형, 물산업, 온실가스 배출, 시나리오, 탄소세

* 교신저자, 서울시립대학교 경제학부 박사과정, 전 미래자원연구원 주임연구원/전 한국환경정책·평가연구원 연구원
(e-mail: kjjoon11@uos.ac.kr, Tel: 010-3299-4961)

Corresponding Author, Ph.D. Candidate., Department of Economics., University of Seoul, 163 Siripdaero, Dongdaemoon-gu, Seoul 130-743, Korea

** 미래자원연구원 원장 (e-mail: psungje@gmail.com)

President., Future Resources Institute, 371-28 Woorim rionsbuilding, Gasan-dong, Geumchen-gu, Seoul, Korea

1. 서 론

국제사회는 최근 포스트 교토체제의 확립을 통해 장기적이고 포괄적인 온실가스 저감 및 대응방향 마련을 위해 경주하고 있다. 교토체제 이후의 국제적인 공동대응 노력은 아직까지 가시화되지 않고 있지만 2009년 기준 세계 8위의 이산화탄소 배출국*인 우리나라의 향후 온실가스 저감 압력은 가중될 것으로 예상된다. 온실가스는 기후변화의 핵심 원인으로 인식되고 있으며, 기후변화로 인한 물 분야의 부정적 영향 또한 과학적인 증거로 나타나고 있다(IPCC, 2008). 물산업은 21세기 미래 산업으로 부각되고 있지만(김상문, 2009), 한편으로 온실가스 저감 영향에서 자유로울 수 없을 것이다(박성제 외, 2011).

물산업은 우리나라의 표준산업분류 또는 산업연관분류상 별도로 분리되지 않는다. 그러나 일반적으로 통용되는 정의에 따르면, 물산업은 「수도법」에서 규정한 수도사업, 「하수도법」에 의한 하수도사업, 하수재이용과 관련된 산업, 그리고 건설(댐), 장치기기 및 약품 제조 및 판매, 연구 기술 개발, 교육, 컨설팅 등 연관 산업을 포괄하는 것으로 정의된다.** 또한 보다 넓은 의미로 최근 정수사업과 생산 개발 및 판매업 등도 포함할 수 있다. 따라서 물산업은 일반 제조업뿐만 아니라, 건설 및 서비스업 까지 광범위한 산업연관관계를 가질 수 있다. 특히 우리나라는 제조업과 건설업 등에서 아직까지 에너지 집약적 산업구조로 댐, 상·하수도사업과, 물 관련 제조업, 그리고 연관서비스업 등이 에너지 사용과 직·간접적 관련성이 크다. 따라서 녹색성장정책으로 대변되는 우리나라의 온실가스 저감 정책은 물산업에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

본 논문에서는 연산일반균형(Computable General Equilibrium: 이하 CGE) 모형을 구축하여 우리나라의 온실가스 저감 정책 하에서 물산업 지원의 경제적 효과를 분석한다. 이를 통해 기후변화에 대응한 물산업의 발전방향을 제시해 보기로 한다. CGE 모형은 2005년을 기준년도로 하여 목표연도인 2020년까지 매년 일국의 일반균형을 순차적으로 계산한다. 모형구축 및 분석과정은 다음과 같다. 첫째, 에너지부문을 세분화하고 물산업을 분리하여 사회회계행렬을 작성한다. 둘째, 일반균형모형 방정식 체계를 작성하고 모형의 파라미터 추정 등 보정(Calibration) 작업을 수행한다. 셋째, 국가 중기 온실가스 저감 시나리오를 적용한

정책 시나리오를 구축한다. 본 연구는 온실가스 저감 정책 수단으로 탄소세를 부과한다. 탄소세는 배출권거래제도가 많은 행정비용을 초래한다는 점에서 보다 효율적인 시장기반 정책이다. 또한 탄소세수는 신재생에너지 투자 또는 소득재분배 등 정책수단으로 활용 가능하다는 점에서 장점이 있다.*** 넷째, 정책시나리오로써 탄소세수의 물산업 지원 시나리오를 구축하고 가계이전의 경우와 비교분석을 수행한다. 본 모형에서는 물산업에 대한 지원정책이 GDP, 소비, 투자, 산업구조 그리고 에너지 수요에 어떤 영향을 미치는지 살펴본다. 끝으로 온실가스 저감 정책에 대비한 물산업 부문의 전망 및 정책적 함의점을 도출해본다.

연산일반균형 모형은 온실가스 저감 목표 및 파급효과 분석을 위해 다양하게 활용되고 있다. CGE 모형은 국제 무역과 재정정책의 효과를 분석하기 위해 개발되어 왔으나, 1990년대 이후 기후변화 등 환경 및 에너지 정책분야에서 폭넓은 응용모형이 개발되었다(강상인, 김재준 2007). 그럼에도 불구하고 수자원정책 또는 물산업과 관련한 응용 CGE모형 개발 사례는 많지 않다.

Levent (2010)는 터키의 중장기 수력발전 확대정책이 거시변수(국내총생산-GDP, 소비, 투자, 수출, 수입, 무역수지, 탄소배출 등)에 미치는 효과를 분석하기 위해 TurGEM-D (Turkey General Equilibrium Model-Dynamics)을 이용하였다. 터키는 수입에너지 의존도가 큰 반면, 수력발전 잠재력 또한 상당한 것으로 평가하고 있다. 따라서 수력발전 확대가 장기적으로 터키의 거시경제와 온실가스 저감에 기여하는 것으로 나타났다. 물관리와 관련된 CGE 모형은 주로 수자원 공급제한의 경제적 효과를 다룬 연구(Berrittella et al., 2007; Seung et al., 2000)가 발전하고 있다. 수자원의 수요와 공급 및 국제적 이동과 관련된 CGE 모형은 주로 산업생산 및 소비와 물의 관계를 수치화 한 가상수(Virtual Water****) 개념을 활용하고 있다. 이들 CGE 모형은 주로 국제적인 상품거래에 내재된 수자원 거래 흐름을 추정하기 위해 다국 모형을 사용한다. 이 외에도 수자원 정책의 경제적 파급효과를 추정하기 위해 CGE 모형이 활용된 바 있다. Berck et al. (1990)은 지역(San Joaquin Valley in US)의 물 공급 제약의 효과를 평가하기 위해 지역 CGE 모형을 개발하였다. Berrittella et al. (2008)은 물 가격 및 물 사용에 대한 조세의 효과를 평가하기 위해

* OECD Factbook 2011-2012, CO₂ emission from fuel combustion, OECD, 1-중국, 2-미국, 3-러시아, 4-인도, 5-일본, 6-독일, 7-캐나다, 8-한국, 9-영국, 10-이탈리아.

** 환경부. (2006). 물산업 육성 5개년계획, p.1, wikipedia-water industry.

*** 배출권 거래제도는 최대한 많은 기업과 경제주체의 참여가 이루어질 때 효율적인 저감수단으로써 작동할 수 있다. 탄소세는 모든 개발 배출원의 감축을 유도할 수 있으므로 국가 단위 배출저감 목표 대비 비용 추정이 가능하다. 다만 배출권 거래제도에 비해 경제적 비용은 상대적으로 높게 예측된다(임재규와 김정인, 2003).

**** Chapagain and Hoekstra, 2004.

Table 1. Sector Classification

No	Codes	Sectors	No	Codes	Sectors
1	Agri	Agriculture ~mining	11	Pgas	Gas products
2	Manu	Non-energy manufacturing ¹⁾	12	Wele	Hydroelectric power generation
3	Emanu	Energy intensive manufacturing ²⁾	13	Aele	Nuclear power generation
4	W_Ind	Water Industry ³⁾	14	Fele	Fossil power generation and others
5	Cons	Construction	15	L	Labor
6	Serv	Services	16	K	Capital
7	Oil	Oil	17	H	Household
8	Gas	Gas	18	G	Government
9	Pcoal	Coal products	19	I	Saving, Investment
10	Poil	Oil products	20	F	Foreign (import, export)

¹⁾Food, Texile, Machine, Electronic equipments and Other Manufacturing

²⁾Chemicals, Metals and Metallic products, Other petroleum products

³⁾Water supply, Dam, Levee and Flood control construction, Water main line and drainage construction

다국, 다산업 모형(GTAP*)을 이용한 바 있다. 선행연구들은 수자원을 경제적 생산요소로 다루거나 수자원정책에 대한 산업영향과 거시적 분석을 위해 연산일반균형모형을 활용하고 있다.

본 논문의 CGE 모형은 물산업을 독립된 산업으로 구성하여 온실가스 감축 하에서 보조금 지원 정책을 평가한다는 점에서 선행 연구 모형과 차별성이 있다. 또한 국내 온실가스 저감 정책 하에서 물산업의 거시 경제적 파급효과를 분석한 선례로서 의의를 갖는다.

논문은 다음의 구성을 따른다. 제2절 모형에서는 논문에서 구축한 CGE 모형에 대해 자료와 모형구조 등을 상세히 기술한다. 제3절 분석결과에서는 모형을 이용한 모의분석 결과를 거시경제 부문과 에너지소비 및 저감비용으로 구분하여 비교 분석한다. 끝으로 제4절 결론에서는 분석결과를 통해 정책적 함의점을 도출해본다.

2. 모 형

2.1 자료

CGE 모형의 기본 자료는 일국의 경제주체 간 거래흐름을 묘사하는 사회회계행렬(Social Accounting Matrix: SAM)로 구축된다. SAM의 일관된 작성원칙은 별도로 존재하지 않는다. 다만 각 행과 열의 합은 일치해야 한다. 본 연구는 물산업 부문의 온실가스 저감 영향과 파급효과를 분석하기 위해 에너지부문과 물산업 부문을 분리한 SAM을 구성하였다. 산업부문은 2005년 산업연관자료를 기준으

* Global Trade Analysis Project, Hertel, 1997.

로 농림수산업, 일반제조업, 에너지집약적 제조업, 수입에너지(석유, 가스), 에너지제품(석탄제품, 석유제품, 가스제품), 전력(수력, 원자력, 화력 및 기타), 물산업, 건설업, 그리고 서비스업 등 14개 부문으로 구성된다. 물산업 부문은 수도사업, 상하수도시설, 그리고 하천사방업 등을 포함한다.

온실가스 저감 시나리오 구축과 연계된 에너지 부문(에너지 제품, 전력)소비 자료는 2005년 에너지 통계연보 자료**를 사용하였다. SAM은 산업연관표에서 제시되지 않는 가계나 정부의 저축 및 이천지출 등의 자료가 필요하다. 추가적인 입력자료는 한국은행의 국민계정자료***를 이용해 작성하였다.

이상 구축된 SAM은 일반적으로 행합과 열합이 일치하지 않는다. 본 논문은 엔트로피 차분방식(Entropy Difference Method)****을 이용해 SAM을 최종 조정하였다. 다음의 Table 1은 본 모형의 부문분류를 보여주고 있다. 최종 입력 자료로 작성된 SAM은 Table 7과 같다.

2.2 CGE 모형

2.2.1 모형 구조

(1) 생산

본 논문에서 정의한 14개 산업부문의 생산은 다단계 구

** 온실가스 배출계수: IPCC 탄소배출계수 활용(www.kesis.net.), 국가에너지통계종합정보시스템, 2005 기준자료(산업연관표, 2005)-는 국가 온실가스 배출전망의 기본 자료로 활용됨.

*** 국민계정, <http://ecos.bok.or.kr>.

**** 엔트로피 차분방식은 행합과 열합 이외에도 다양한 정보들을 이용해 추정하도록 고안된 방식으로 사전 수집정보의 행 또는 열 대비 엔트로피 차이의 조정을 통해 새로운 SAM을 추정한다. Robinson and El-Said (1997), 신동천(1999), 김의준 등(2002) 참조.

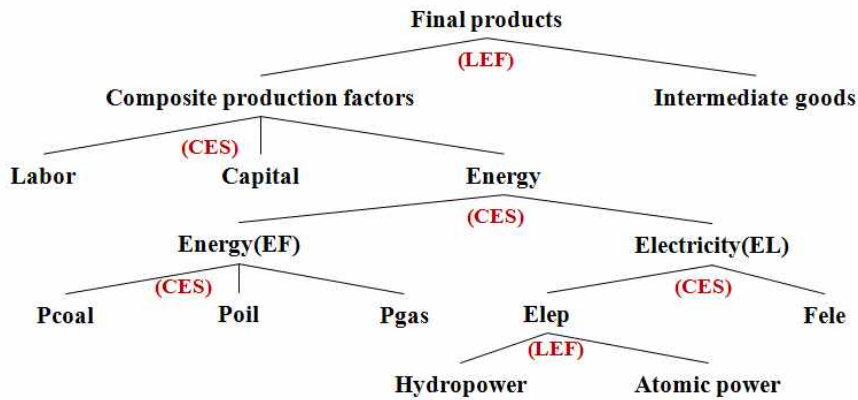


Fig. 1. Nested Production Structure

조를 따른다. 먼저 최종생산재화는 복합생산요소와 중간재화를 투입요소로 레온티에프(Leontief: LEF) 생산기술로 생산된다. 복합생산요소는 노동과 자본 등 본원적 생산요소와 복합에너지를 투입하여 고정대체탄력성(Constant Elasticity of Substitution: CES)기술로 생산된다. 다음으로 복합에너지는 화석에너지 복합재(EF)와 전력 복합재(EL)를 투입하여 CES 기술로 생산된다.

화석에너지 복합재는 석탄(Pcoal), 석유(Poil), 그리고 가스제품(Pgas)을 투입요소로 CES 기술로 생산되며, 전력 복합재는 일차에너지 복합재(Elep)와 화력 및 기타에너지(Fele)를 투입요소로 CES 기술에 의해 생산된다. 그리고 일차에너지는 수력발전과 원자력 발전을 투입하여 LEF 생산기술로 생산된다. 이상의 다단계 생산구조를 정리하면 Fig. 1과 같다.

(2) 재화공급과 수요

산업부문의 최종생산물은 고정전환탄력성(Constant Elasticity of Transformation: CET) 기술로 국내에서 소비되는 재화와 수출되는 재화로 전환되어 공급된다. CET는 CES 기술과 동일한 함수형태이나 탄력성 값은 음(-)의 값을 갖는다. 기업과 가계, 그리고 정부는 국내재와 수입재의 복합재를 수요한다. CGE 모형에서는 주로 수입되는 재화와 국내생산재화간의 소비에 있어서 불완전한 대체관계를 가정하며, 이를 아밍턴* 가정이라고 한다. 따라서 아밍턴 재화는 수입재와 국내재를 투입요소로 CES 기술에 의해 공급된다. 기업은 중간재로 아밍턴 재화를 수요하고 가계와 정부는 최종 소비재로써 수요한다.

가계는 가계저축과 아밍턴 재화 소비로 구성된 콥-더글러스 효용함수를 가지며, 매기 효용극대화 선택을 한다.

가계는 총 소득에서 직접세를 제한 가치분소득의 일정비율로 소비를 하고 나머지를 저축한다. 가계의 총 소득은 요소소득과 이전소득으로 구성된다. 정부의 수입은 산업부문의 생산세와 가계부문의 소득세로 구성된다. 정부는 일정한 수준으로 소비와 저축, 그리고 가계에 이전지출을 하며, 정부의 총 수입과 지출은 같다.

총 투자는 총 저축과 같다고 가정하며**, 총 저축은 가계저축, 정부저축, 해외저축부문에 구성된다. 실질투자는 투자재 지출 비용을 투자재 가격으로 나눈 값이다. 각각의 투자재 수요량은 산업별 실질투자의 레온티에프 기술에 의해 결정된다. 투자재 가격은 아밍턴재화 가격의 가중합과 같다.

해외부문은 시장에 수입재를 공급하고 수출재를 수요한다. 또한 해외 저축이 존재하여 수출이 수입을 초과할 경우 음(-)의 값을 갖게 된다. 본 연구에서는 소국개방경제를 가정하여 수출재와 수입재의 가격은 외생적으로 주어지며, 특히 수입 에너지 가격은 전망기간동안 일정수준 매년 상승한다고 가정한다. 또한 환율이 존재하여 해외시장의 균형을 조정한다.

(3) 시장균형

본 모형은 다 부문, 다 요소 시장이 존재한다. 균형에서 모든 시장재화의 공급은 수요와 같다. 시장균형조건을 만족하는 시장가격은 내생적으로 결정된다. 수입재와 수출재의 국내가격은 주어진 세계시장가격과 환율에 의해 결정된다. 아밍턴재화 및 국내 생산재화의 가격은 무이윤조건에 의해 결정된다.*** 최종 생산물의 가격은 복합생산요

* Armington, P. (1969) pp. 161-181. 이론 제기 저자명 인용.

** 이러한 CGE 모형은 saving-driven closure 조건을 가정한 경우라 명명됨.

*** 최적화 과정을 거쳐 도출된 아밍턴 재화 가격은 국내재와 수입재가격의 가중평균 합 형태로 나타남.

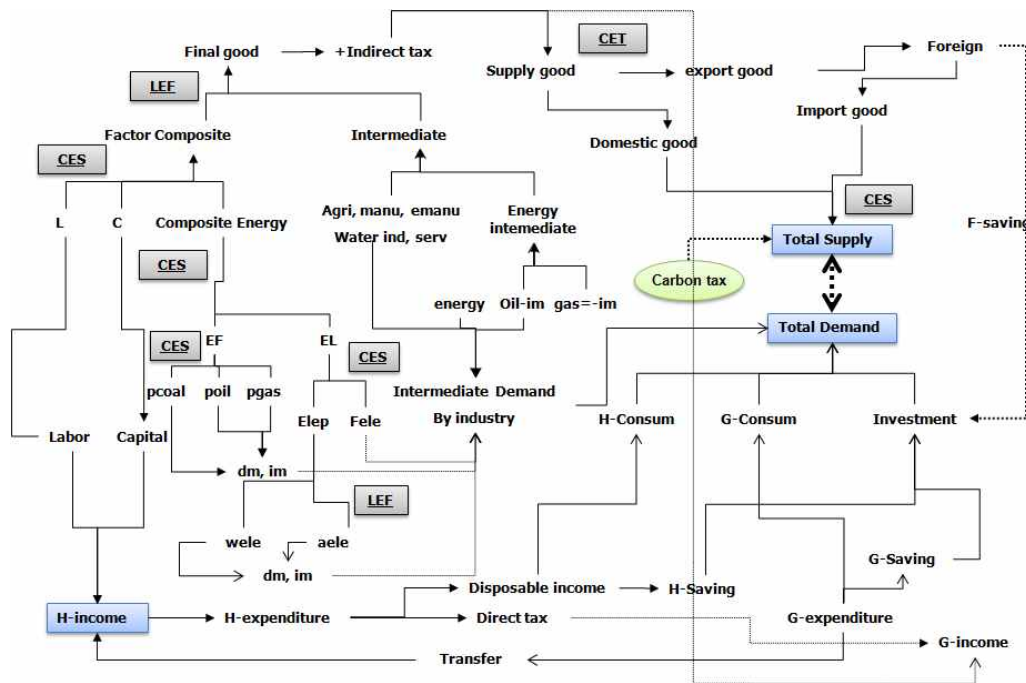


Fig. 2. CGE Model Diagram

소, 중간재, 그리고 간접세 등의 단위 생산비용에 의해 결정된다.

생산요소시장은 요소시장의 균형조건을 만족시킨다. 매기의 노동공급은 통계청의 인구전망자료를 이용해 외생적으로 주어진다. 매기 자본의 공급(K_t)은 전기의 자본(K_{t-1})에서 감가상각(δ)을 제외하고 신규투자(I_t)를 합하여 Eq. (1)과 같이 결정된다. 생산요소 수요량은 생산함수의 최적화를 통해 결정된다. 균형 요소가격은 요소시장 균형조건에 의해 매기 요소공급과 수요가 일치하도록 결정된다.

$$K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + I_t \quad (1)$$

본 논문은 온실가스 저감수단으로 탄소세(CT)를 부과하기로 한다. 탄소세는 최종적으로 시장에 공급되는 재화에 부과되며, 탄소배출계수(cte_j), 에너지사용량($cetp_j$), 아밍턴 에너지 재화 공급(x_j), 탄소세율(tr)에 의해 Eq. (2)와 같이 계산된다.*

$$CT = \sum_j tr \times cetp_j \times cte_j \times x_j \quad (2)$$

모형에서는 정부의 저감시나리오 하의 저감율에 따라 모형 내 온실가스 저감량이 결정되면 탄소세율이 결정되

* 탄소배출계수 단위: (TC: Ton of Carbon)/(TOE: Ton of Oil Equivalent), 에너지 사용량: TOE/백만단위(생산액 자료), j(석탄제품-pcoal, 석유제품-poil, 가스-gas)

도록 하였다. 본 논문의 CGE 모형구조를 도해하면 Fig. 2와 같다.

2.2.2 보정(Calibration)과 모수값 지정

SAM과 방정식 체계가 완료되면 각 함수식의 외생변수들은 SAM 자료를 이용해 보정과정을 통해 결정된다. 본 논문에서 주로 활용되는 CES 함수의 모수값들은 다음과 같이 계산된다. 일반적인 CES 생산함수는 Eq. (3)과 같다.

$$y = a \left[\sum_1^n \alpha_i x_i^\rho \right]^{\frac{1}{\rho}} \text{ where } \sigma = \frac{1}{1 - \rho} \quad (3)$$

여기서, y 는 생산량, x_i 는 투입요소이며, 필요한 모수값들은 규모계수 a 와 배분계수 α_i 이다. 만일 대체탄력성값 σ 가 주어지고 재화가격 p_i 가 결정**되면, 최적화 조건을 이용해 배분계수 값은 Eq. (4)와 같이 결정된다. 또한 규모계수 a 는 생산함수로부터 Eq. (5)와 같이 계산된다.

$$\alpha_j = p_j x_j^{1/\sigma} / \sum_{i=1}^n p_i x_i^{1/\sigma} \quad (4)$$

$$a = y / \left[\sum_1^n \alpha_i x_i^\rho \right]^{\frac{1}{\rho}} \quad (5)$$

** CGE 모형은 상대가격체계로 구축됨. 따라서 기준년도 자료를 보정할 때에는 재화 가격은 '1'로 설정하고 benchmark check를 수행. 본 모형은 General Algebraic Modeling System으로 프로그램 됨.

Table 2. Sectoral Elasticity of Substitution (ELS)

Sectors	r ¹⁾	ce ²⁾	fe ³⁾	cel ⁴⁾	s ⁵⁾	t ⁶⁾
Agri	0.5	0.7	0.7	0.7	1.2	-1.11
Manu	0.9	0.7	0.7	0.7	0.9	-0.99
Emanu	0.5	0.5	0.6	0.5	0.9	-0.9
Pcoal	0.4	0.5	0.4	0.5	2	-1.5
Poil	0.4	0.5	0.4	0.5	2	-1.5
Pgas	0.4	0.5	0.4	0.5	2	-1.5
Oil	0.4	0.5	0.4	0.5	2	-1.5
Gas	0.4	0.5	0.4	0.5	2	-1.5
Wele	0.4	0.4	0.5	0.4	2	-1.5
Aele	0.4	0.4	0.5	0.4	2	-1.5
Fele	0.4	0.4	0.5	0.4	2	-1.5
W_Ind	0.5	0.5	0.6	0.7	0.9	-0.9
Cons	0.5	0.5	0.6	0.7	0.9	-0.9
Serv	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	-0.99

¹⁾ELS for production factors, ²⁾ELS fossil fuel energy and electricity, ³⁾ELS between fossil fuel energy, ⁴⁾ ELS between primary electricity and fossil power generation, ⁵⁾ELS of armington function, ⁶⁾elasticity of transformation.
sources: Kang, S.J. (1999), Kim, E.J. et al. (2002), Shin and Kim (2011)

보정을 통해 결정되지 않는 외생변수들은 기존 연구결과를 활용하거나, CGE 모형과 별도로 추정과정을 거친다. 본 CGE 모형에서는 CES 및 CET 함수의 대체탄력성 자료는 기존의 값*들을 사용하며 Table 2와 같다. 이 밖에 저축률, 간접세율, 소득세율, 이전지출 비율 등은 사회회계행렬 자료에서 획득한다. 본 논문에서 감가상각률은 3.7%를 적용하였으며, 기준년도(2005년)의 자본 가격은 0.06으로 가정하였다. 노동 증가율은 통계청의 인구성장 전망과 한국은행의 노동생산성 증감률 자료**를 활용하였다. 또한 자연기술진보율은 1%씩 증가한다고 가정한다. 이 밖에 전망기간 동안 수입되는 석탄재화, 천연가스, 원유의 가격은 매년 각각 1%, 1.5%, 2% 증가한다고 가정하였다.

2.2.3 시나리오

본 연구는 정부가 발표한 온실가스 저감 정책***을 적용한 2 가지 저감시나리오를 작성한다. 모형은 2005년 이후 매년 2%씩 온실가스 배출량이 감소하여 2020년에는 기준 시나리오(Business As Usual: BAU) 대비 총 30%가 감소

* 기존 연구에서 물산업을 대한 대체탄력성 추정사례 또는 활용사례는 확인하기에 어려움이 있음. 따라서 본 연구는 물산업을 SAM 구조와 유사한 건설업 탄력치 자료를 적용. 보다 정밀한 분석을 위해서는 모수 추정 또는 객관적 추정사례의 값을 적용할 필요가 있음.

** 인구추이, <http://Kosis.kr>. 기업경영분석, <http://ecos.bok.or.kr>.

*** 본 모형은 저감수단으로 신재생에너지 기술개발, 산업부문 배출권 거래제 등은 도입하지 못하고 있음. 따라서 온실가스 저감의 경제적 비용이 과대 추정될 수 있음.

한다고 가정한다. 시나리오 1 (C_TAX- Transfer)에서는 저감수단으로 도입한 탄소세의 수입을 모두 가계에 이전해 주도록 설계한다. 이와 함께 시나리오 2 (W_Subsidy)에서는 탄소세수를 일부 물산업을 지원해주도록 한다. 물산업 지원 방식은 물산업의 공급 가격이 일정수준 하락하도록 보조금을 지급한다.****

3. 분석결과

3.1 거시경제 분석

본 논문은 탄소세 부과 시에 세수의 가계이전 효과와 물산업 지원정책 효과를 비교 분석한다. 기준 시나리오하에서 평균 실질 GDP 성장률은 약 3.95%이며, C_TAX-Transfer 하에서는 3.50%, W_subsidy는 약 3.51% 성장하는 것으로 나타났다(Table 3). 물산업 지원 시나리오에서 소비와 투자는 BAU 대비 각각 5.82%, 2.78% 감소하였다(Table 4). 그러나 C_TAX- Transfer와 비교해 소비는 약 0.31%, 투자는 약 0.87% 회복되는 것으로 나타났다.

탄소세를 부과할 경우 화석에너지 가격은 상승하게 되고 온실가스 저감의 경제적 손실이 발생한다. 그리고 석탄 및 석유에서 저 탄소 에너지원인 가스로의 대체가 발

**** 모형에서 물산업 가격은 아밍턴재화 평균가격의 1/2수준으로 결정되도록 정부 보조금을 지원하는 방식으로 설계하였음. 보조금률은 내생적으로 결정됨.

Table 3. GDP Change

(unit: billion won)

year	BAU		C_TAX-Transfer		W_Subsidy	
	Level	Growth Rate	Level	Growth Rate	Level	Growth Rate
2010	1060398	4.48%	1030870	3.89%	1033244	3.94%
2020	1522298	3.76%	1428453	3.40%	1430112	3.39%

Table 4. Consumption and Investment Change vs BAU

Year	C_TAX-Transfer		W_Subsidy	
	Consumption	Investment	Consumption	Investment
2010	-2.72%	-1.74%	-2.28%	-0.75%
2020	-6.13%	-3.65%	-5.82%	-2.78%

Table 5. The Industrial Structure Change Under Scenarios (nominal)

BAU	Year	Agri	Manu	Emanu	Cons	Serv
	2005	2.33%	30.58%	14.97%	7.30%	44.16%
	2010	2.21%	30.60%	14.48%	7.58%	44.46%
	2015	2.15%	30.64%	14.29%	7.69%	44.55%
	2020	2.12%	30.67%	14.17%	7.76%	44.60%
C_TAX-Transfer	Year	Agri	Manu	Emanu	Cons	Serv
	2005	2.33%	30.58%	14.97%	7.30%	44.16%
	2010	2.21%	31.17%	14.54%	7.48%	43.93%
	2015	2.16%	31.43%	14.24%	7.58%	43.92%
	2020	2.12%	31.59%	13.94%	7.68%	44.01%
W_Subsidy	Year	Agri	Manu	Emanu	Cons	Serv
	2005	2.33%	30.58%	14.97%	7.30%	44.16%
	2010	2.21%	31.14%	14.52%	7.55%	44.10%
	2015	2.16%	31.41%	14.22%	7.66%	44.07%
	2020	2.12%	31.56%	13.93%	7.75%	44.14%

생한다. 또한 에너지집약적인 산업(emanu)의 비중은 줄어들고 비 에너지제조업(manu), 서비스업(serv)의 비중은 늘어난다(Table 5). 물산업 지원 시나리오 하에서는 건설업 비중의 증가효과가 나타났다. 그 이유는 상하수도 시설, 하천사방 등 물 관련 산업의 건설업 중간수요가 높아서 연관효과가 나타난 것으로 이해된다. 그러나 물산업 지원이 비에너지 집약적 산업구조 전환에는 기여하지 않는 것으로 나타났다. 그 이유는 탄소세 부과가 에너지 집약적 산업비중은 감소시키지만 물산업의 에너지 수요가 높아서 물산업 지원이 비에너지 집약적 산업구조 변화효과를 일부 상쇄시키기 때문이다.

3.2 에너지 소비 및 저감비용

온실가스 저감수단으로 탄소세를 부과할 경우 전반적

인 1차에너지 소비량은 감소한다(Table 6, 4행). 석유의 소비는 기준 시나리오에서 약 56.1%를 차지하였으나, 가계이전 및 물산업 보조 에서는 각각 44.6%, 44.9%로 하락하였다. 그러나 가스의 소비는 증가하였다. 이것은 탄소함량이 적은 에너지로의 대체가 발생하였기 때문이다(Fig. 3).* 다만 물산업 지원 시나리오 결과 저탄소 에너지원로의 대체효과는 탄소세를 전액 가계에 이전하는 경우보다 오히려 감소하였다.

온실가스 저감에 따른 GDP 손실은 2020년에 BAU 대비 C_TAX-Transfer가 약 6.16%, W_Subsidy가 약 6.06% 감소하였다(Table 6). KEI (2010)에 따르면 온실가스 30% 저감에 따른 GDP 손실은 1.58~2.51%로 계산되었다. KEI

* 상대적으로 석탄은 소비비중은 늘어남. 석탄은 탄소함량이 많음에도 불구하고 수입가격 증가율이 원유나 천연가스에 비해 낮게 가정하였기 때문에 소비감소율이 원유에 비해 작게 나타남.

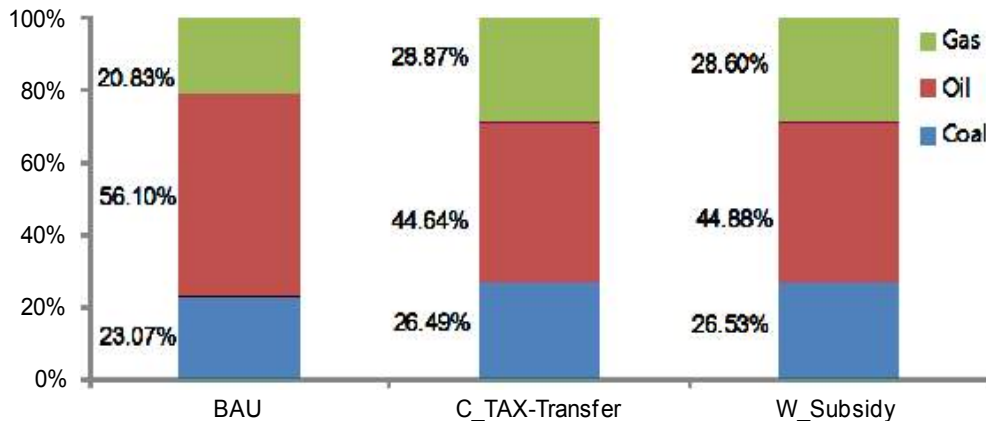


Fig. 3. Energy Consumption Structure by Energy Source (2020)

Table 6. Carbon Tax Rate, GDP and Energy Demand Change vs. BAU (2020)

Scenarios	Decreasing rate of GHG	Change rate of GDP (cost: million won/TC)	Change rate of energy demand (nominal, 2005)	Million won/TC
C_TAX-S	-30.00%	-6.16% (142)	-29.92%	0.08360
W_IND-S		-6.06% (139)	-30.06%	0.07959

(2010) 연구는 OECD GREEN 모형을 기반으로 한다. 따라서 탄소세가 일국이 아닌 세계를 대상으로 부과된 경우로 일국모형인 본 연구결과와 차이가 있다. 탄소세는 C_TAX-Transfer에서 톤 당 약 83,600원, W_Subsidy에서는 약 79,590원으로 계산되어 세수의 물산업 지원이 저감비용을 감소시키는 것으로 나타났다.* 한편 물산업 보조의 경우에 가계이전과 비교해 석탄 및 석유에너지 소비 비율이 약간 더 증가하였다. 이러한 결과는 현행 물산업의 에너지 집약적 상품수요가 높아서 온실가스 저감에 따른 비용부담이 커질 수 있음을 보여준다.

4. 결 론

본 논문은 국가 온실가스 저감정책 하에서 물산업 확대의 경제적 파급효과를 분석하였다. CGE 모형은 물산업과 에너지부문을 세분화한 사회회계행렬을 기본 자료로 순차적인 동태 일국 모형으로 작성되었다. 본 모형에서는 기준시나리오 대비 탄소세 부과 후 가계에 이전해주는 경우(C_TAX-Transfer)와 물산업에 보조금을 지원해 주는 시나리오(W_Subsidy)를 비교분석하였다.

탄소세 부과 결과 GDP 손실액은 약 139~142만원/TC로 계산되어 상당한 경제적 손실이 발생하는 것으로 나타

났다. 그러나 물산업 지원 시나리오는 평균적으로 약 0.1% GDP 손실을 저감하였고 소비 및 투자 손실을 일부 회복하였다. 또한 탄소세수 부담도 낮추는 결과를 보였다. 탄소세는 비에너지 집약적 산업구조로의 전환을 이끌고 친환경 에너지원로의 대체가 이루어짐을 확인하였다. 그러나 탄소세의 가계이전 시나리오와 비교할 때 탄소세의 물산업 지원 시나리오에서 친환경 산업구조 전환 및 에너지 대체효과는 크지 않았다. 오히려 탄소세 가계이전에 비해 물산업 지원 하에서 석탄과 석유의 실질소비가 증가하였다. 그것은 현행 물산업이 에너지집약적인 제조업과 연관성이 높고, 비에너지 산업에 비해 에너지 집약적인 산업구조를 보이기 때문이다.** 따라서 본 모형의 분석결과는 현행 물산업의 미래 온실가스 저감비용 부담이 클 것임을 시사한다.

본 모형에서는 신재생에너지 분야를 고려하지 않았다. 또한 미래의 에너지 기술개발로 인한 효율개선을 다루지 않고 있다. 그러므로 계산된 경제적 비용은 과대평가된 측면이 있다. 온실가스 저감의 경제적 비용문제를 효율적으로 해결하기 위해서는 에너지 효율개선과 신재생에너지 확대 등을 위한 기술개발이 중요하다. 특히 현재의 물산업이 에너지집약적인 산업 및 화석에너지 제품의 수요

* 이것은 본 모형에서 가계이전으로 인한 소비 증가효과보다 물산업 지원을 병행한 경우 산업의 생산증가효과가 더 크다는 것을 알 수 있다.

** 물산업의 총 산출액에서 화석에너지 생산물 및 전력 소비액 비중은 약 8.5%에 이른다. 이에 반해 비에너지 제조업은 약 1.3% 수준임. Table 7. 사회회계행렬의 산업별 투입구조에서 확인.

unit: billion won

Table 7. The Social Accounting Matrix

	agri	manu	emanu	pcoal	poil	pgas	oil	gas	wele	aele	fele	w_ind	cons	serv	L	K	H	G	I	F	sum
agri	2,856	25,780	8,912	4	0	0	0	0	0	0	0	32	724	5,300	0	0	13,259	0	1,222	600	58,690
manu	6,107	236,598	9,565	55	476	54	2	11	19	741	398	758	28,224	61,674	0	0	96,592	0	77,275	215,516	734,064
emanu	3,308	90,940	156,597	42	982	15	1	3	1	737	47	1,711	26,699	17,955	0	0	8,012	0	477	58,348	365,876
pcoal	33	2	2,533	1,956	0	0	0	0	0	0	3,615	106	0	14	0	0	71	235	0	10	8,576
poil	1,869	4,359	3,598	22	1,149	29	0	1	2	56	1,251	636	2,693	22,992	0	0	13,183	0	100	15,863	67,803
pgas	6	1,077	750	0	0	19	0	0	0	0	3,961	371	81	1,936	0	0	5,027	0	0	5	13,234
oil	0	0	10,001	0	33,956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43,957
gas	0	0	0	0	0	10,048	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0	10,090
wele	5	62	52	0	4	1	0	0	0	8	1	4	4	140	0	0	75	0	0	1	356
aele	161	1,875	1,566	7	103	25	0	0	4	87	41	124	115	3,937	0	0	2,224	0	0	23	10,292
fele	227	2,885	3,923	49	207	38	0	0	6	110	71	229	167	5,696	0	0	3,233	0	0	33	16,875
w_ind	20	624	632	1	238	0	0	1	0	0	0	942	15	1,622	0	0	1,633	0	7,211	1	12,941
cons	39	239	138	2	7	1	0	0	5	382	183	19	31	8,736	0	0	0	0	133,477	150	143,409
serv	4,612	78,723	32,409	213	1,691	271	2	11	39	1,545	856	1,367	20,150	242,675	0	0	322,330	120,010	36,061	52,776	915,739
L	3,223	77,052	24,436	324	917	640	1	5	104	1,086	1,440	2,843	39,495	245,551	0	0	0	0	0	0	397,118
K	22,649	60,023	36,471	308	2,881	1,554	157	139	155	5,195	4,490	3,307	14,460	218,125	0	0	0	0	0	0	369,913
H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	397,118	369,913	0	8,358	0	0	775,390
G	604	20,660	2,599	0	17,834	495	0	1	21	338	492	475	10,505	31,375	0	0	128,068	0	0	0	213,466
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	181,682	84,862	0	-10,679	255,865
F	12,969	133,164	71,694	5,593	7,360	42	43,794	9,918	0	9	28	17	47	48,010	0	0	0	0	0	0	332,646
sum	58,690	734,064	365,876	8,576	67,803	13,234	43,957	10,090	356	10,292	16,875	12,941	143,409	915,739	397,118	369,913	775,390	213,466	255,865	332,646	0

가 높다는 점은 미래의 온실가스 저감비용이 커질 수 있음을 의미한다. 따라서 온실가스 감축정책 하에서 물산업을 미래 핵심 산업으로 발전시키기 위해서는 친환경에너지 기술개발*, 에너지 이용효율 개선, 그리고 비에너지 집약적 생산구조로의 전환 등이 필요하다. 또한 물산업 내부적으로 온실가스 인벤토리 구축과 배출원 관리 등 자구적인 노력과 투자가 지속되어야 하겠다.

본 논문에서 물산업이 독립된 CGE 모형이 구축된 점은 선행 연구와 차별화된다. 특히 국가 온실가스 저감정책 하에서 물산업의 국민경제적 파급효과를 분석했다는 점에서 의의를 갖는다. 그럼에도 불구하고 물산업의 정책 분석 활용도를 높이기 위해 여러 가지 보완이 필요하다. 첫째는 물산업 자료 보완이 필요하다. 현재 물산업의 분류기준 표준화가 이루어지지 않은 사항이기 때문에 개별적인 자료 수집과정을 거쳐 보다 면밀한 물산업 구조 파악이 이루어져야 하겠다. 또한 CGE 모형을 이용하여 수자원의 생산요소로서의 경제적 가치 분석과 자원배분 효과 분석을 위한 자료구축이 중요할 것이다. 둘째, 국가의 온실가스 저감정책과 연계한 분석을 위해 물산업의 에너지 비용에 대해 추가적인 연구노력이 필요하다. 셋째, 보다 효율적인 물산업 정책 분석을 위해 사업장 자료, 배출 인벤토리 자료 등을 이용해 배출권 거래제 시나리오 등을 적용한 응용 CGE 모형 개발 노력이 지속되어야 하겠다.

감사의 글

2011년 5월 20일 수자원학회 학술발표회 수자원정책 세션에서 소중한 자문을 주신 여러분들께 진심으로 감사드립니다. 또한 서울시립대학교 산학연 녹색전문가 과정의 지원에도 감사드립니다.

REFERENCES

Armington, P. (1969). "A Theory of Demand for Product Distinguished by Place by Production." *IMF Staff Papers*, Vol. 16, pp. 161-181.

Bank of Korea (2008). *Input-Output Table 2005*.

Berck, P., Robinson, S., and Goldman, G.E. (1990). "The use of computable general equilibrium models to assess water policies." *Working Paper, No. 545*, Department of Agricultural and Resource Economics, UCB, UC Berkeley. pp. 1-25.

Berrittella, M., Heekstra, A.Y., Rehdanz, K., Roson, R., and Richard, S.J. Tol. (2007). "The Economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis." *Water Research*, Vol. 41, pp. 1799-1813.

Berrittella, M., Rehdanz, K., Roson, R., and Richard, S.J. Tol. (2008). "The Economic impact water taxes: a computable general equilibrium analysis with an international data set." *Working Papers No. 5*, Department of Economics, Ca' Foscari University of Venice.

Chapagain, A.K., and Hoekstra, A.Y. (2004) *Water footprint of nations*. Value of Water Research Series16, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands.

Hertel, T.W. (1997). *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*. Cambridge University press. pp. 13-16.

IPCC (2008). *Climate Change and Water*, IPCC Technical Paper VI. pp. 53-76.

Kang, S.J. (1999). *A Study for the modeling of Energy-Economy-Environment system*, Korea Energy Economic Institute.

Kang, S.I., and Kim, J.J. (2007). *Recursive Dynamic National CGE model, KEI-RE-07*. Korea Environmental Institute, pp. 82-85.

Kim, E.J., Kim, J.J., Shin, S.W., and Cho, J.H. (2002). "The Effect of Carbon Tax on the Economy, the Environment and the Health in Seoul." *Environmental and Resource Economic Review*, Vol. 11, No. 1, pp. 145-184. Korea Environmental Economics Association.

Kim, S.M. (2009) "Value of Water as an Industry." *Water and Future*, Vol 42, No. 10, pp. 37-42. Korea Water Resource Association.

Korea Energy Economics Institute. (2006). *Yearbook of Energy Statistics 2005*. pp. 128-129.

Korea Environment Institute (2010). *Development of Environment-Economy Model*. Ministry of Environment.

Levent, A. (2010). "The Economic and Environmental Impacts of Constructing Hydro Power Plants in Turkey: A Dynamic CGE Analysis (2004-2020)." *Natural Resources*, SciRes, Vol. 1, pp. 69-79.

* 신재생에너지 백서(2005), 그리고 국가에너지 기본계획(2008) 등에서 수력(소수력 포함)발전이 화석연료를 대체할 신재생에너지의 핵심분야로 전망.

- Lim, J.K., and Kim, J.I. (2003). "Analysis of Emission Trading and Carbon Tax Policy Mix for GHG mitigation." *Environmental and Resource Economic Review*, Vol 12, No. 3, pp. 245-274. Korea Environmental Economics Association.
- Ministry of Environment (2006). *Plan of Promoting Water Industry*. pp. 1-20.
- Ministry of Knowledge Economy. (2008). *New 1st Korean National Energy Master Plan 2008-2030*. pp. 18-25, 95-100.
- OECD (2012). *OECD factbook 2011-2012* OECD statistics.
- Park, S.J., Kim, J.J., and Kim, J. Y. (2011). "International Trend of Carbon footprint in Water Sector." *Water and Future*, Vol. 44, No. 4, pp. 36-44. Korea Water Resource Association.
- Robinson, S., and El-Said, M. (1997). "Estimating a Social Accounting Matrix Using Entropy Difference Methods." *presented at MERRISA project workshop*, Harere, Zimbabwe. International Food Policy Research Institute.
- Seung, C.K., Harris, T.R., and Englin, J.E. (2000). "Impact of Water reallocation: A Combined CGE and recreation demand model approach." *The annuals of Regional Science*, Vol. 34, No. 4, pp. 473-487.
- Shin, D.C. (1999). *Computable General Equilibrium Analysis of International Trade*. Segyeong Publishing Company, pp. 280-289.
- Shin, S.W., and Kim, J.J. (2011). "A Perspective on Green Tax in Korea." *Green Forum 2010 Volume1: Green Growth Issue & Policies*, National Research Council for Economy, Humanities, and Social Sciences., pp. 178-206.
- Statistical Data*
 Population Trend, KOSIS: <http://Kosis.kr>.
 Financial Statement Analysis, ECOS: <http://ecos.bok.or.kr>.
 National Account, ECOS: <http://ecos.bok.or.kr>.
 Input-Output Table, ECOS: <http://ecos.bok.or.kr>.
 IPCC Carbon Emission Coefficient, KESIS: www.kesis.net.

논문번호: 12-035	접수: 2012.03.29
수정일자: 2012.07.02/07.31/08.08	심사완료: 2012.08.08