

온실가스 감축에 대한 기술진보와 탄소세수 환원의 경제적 파급효과*

오진규**·조경엽***

〈요 약〉

본 연구는 내생적 성장이론에 기반을 둔 일반균형모형(CGE)을 구축하고 탄소세수 환원의 이중배당 가능성을 평가하고 있다. 분석 시나리오는 탄소세 수입 활용 방법에 따라 정부지출 확대, 소비세, 근로소득세, 법인세 등 기존 조세의 세율 인하, 그리고 신기술에 대한 R&D 지원 등 7개로 구성된다. 분석 결과에 따르면 신기술 도입과 탄소세 수입 환원정책은 온실가스 감축에 따른 GDP 손실을 큰 폭으로 낮추는데 기여하지만 분석기간 동안 GDP 손실이 여전히 발생하는 것으로 나타나고 있다. GDP 손실의 개선효과는 신기술에 대한 R&D 지원, 법인세 인하, 근로소득세 인하, 소비세 인하, 정부지출 증가 순으로 크게 나타난다. 탄소세 수입을 R&D 지원으로 활용할 경우 장기적으로 경제성장과 온실가스 감축이 동시에 달성되는 것으로 나타난다.

주제어 : 탄소세 수입 환원, 신재생에너지 발전기술, 이중배당 가설

* 본 논문은 에너지경제연구원 2011년 기본연구보고서 “에너지부문의 기후변화 대응과 연계한 녹색성장 전략연구: 녹색성장 정책수단의 성장동인화 방안 연구”의 일부 내용을 수정·보완한 것임. 논문의 질적 향상에 크게 기여해 주신 익명의 심사자들의 유익한 논평에 감사드린다.

** 에너지경제연구원 선임연구위원 (제1저자).

*** 한국경제연구원 선임연구위원 (교신저자).

This study has developed Computable General Equilibrium (CGE) model reflecting endogenous growth economic theory, with the aim of analyzing double dividend hypothesis. This study analyzes possibility of economic growth and environmental improvement at the same time when government recycles the revenue of carbon tax to reduce existed taxes such as consumption tax, labor income tax, corporate tax. It also assesses the case of subsidy on R&D investment of renewable energy. With new and renewable generation technology adopted and disseminated, GDP loss would be lessened to a great degree. Tax recycling would provide economic gain by reducing distortion existed in the existing fiscal structure. The magnitude of economic gains from carbon tax recycling is biggest for recycling into corporate tax, and labor income tax, and then consumption tax in this order. It is also shown that double dividend effects occur in dynamic terms when government uses a carbon tax revenue to subsidize on R&D investment. At the end of the analysis period, emissions reduction would not result in GDP loss but in GDP gain. In particular, recycling into R&D increase would produce the largest and fastest GDP gain. Thus, implementing emissions reduction target would require careful consideration of economic effects by various policy instrument, including carbon tax.

Keywords : tax recycling of carbon tax revenue,
renewable technology progress, double dividend hypothesis

JEL 분류 : D5, Q4

I. 서 론

우리나라는 기후변화의 심각성과 국제사회의 대응에 발맞추기 위해 2009년 12월 코펜하겐 당사국총회에서 우리나라의 ‘온실가스 감축목표’를 국제사회에 공표하고, 2020년에 추세배출량(Business as Usual emissions:BAU) 대비 30%를 감축하기로 하였다. 이는 기후변화협약상 Non-Annex I 국가의 감축목표 중 가장 강한 감축목표이다. 동시에 우리나라는 이산화탄소를 비롯한 온실가스를 감축함과 동시에 경제성장을 지속적으로 달성하는 ‘저탄소-녹색성장’을 달성하기 위한 여러 가지 방안을 모색하고 있다. 그 일환으로 본 연구는 환경세의 일종으로서의 탄소세를 정책수단으로 한 온실가스 감축목표 달성에 있어서 기술진보, 이중배당가설, R&D 투자의 경제적 파급효과를 분석한다.

이중배당가설에 대해서는 오랜 동안 다양한 주장이 제기되었다. 일반적으로 환경오염을 내재화하는 최선의 환경세(피구비언 세)는 기존의 조세체계에 왜곡이 없는 최선의 세계(first best world)를 가정하고 있다. 이러한 가정이 비현실적이라는 비판이 제기됨에 따라 기존의 조세왜곡이 존재하는 차선의 세계(second best)에서 적정 환경세율을 찾는 연구가 진행되었다. 차선의 세계에서 적정 환경세율은 최선의 환경세보다 높아야 한다는 연구와 반대로 낮아야 한다는 연구로 나누어진다. 이러한 환경세에 대한 논란은 온실가스 배출을 억제하여 지구온난화를 막고자 하는 기후변화 문제에도 적용된다. 이는 환경세의 일환으로 탄소세를 부과하여 이산화탄소 등 온실가스 배출을 억제할 수 있기 때문이다.

차선의 세계에서 환경세율은 최선의 환경세보다 높아야 한다고 주장하는 대표적인 연구로 Tullock (1967), Terkla (1984), Pearce (1991), Repetto *et al.* (1992) 등을 꼽을 수 있다. 차선의 세계에서는 환경세를 통해 환경개선이라는 일차배당(first dividend)과 세수환원을 통해 기존의 조세왜곡을 완화하는 이차

배당(second dividend)을 동시에 달성할 수 있다는 것이다. 이들은 환경세를 통해 환경개선을 달성할 수 있고 세수환원효과(tax recycling effect)를 통해 기존의 조세왜곡을 완화하여 전반적인 조세체계의 효율성을 제고할 수 있기 때문에 적정 환경세는 피구비언 세보다 높아야 한다고 주장하고 있다. 높은 환경세를 통해 확보된 세수를 환원할 경우 이중배당이 가능하다는 견해는 1990년대 초반까지 주류를 이루어왔다.

Bovenberg and de Mooij (1994), Parry (1998), Goulder (1995), Fullerton (1997) 등은 환경세 자체가 기존 조세와 부정적인 상충관계를 유발하고, 이와 같은 조세상충효과(tax interaction effect)가 세수환원효과를 상쇄하기 때문에 이중배당가설이 성립하지 않는다고 주장하고 있다. 환경세는 다음 세 가지 경로를 거쳐 기존의 조세왜곡을 더욱 악화시키는 방향으로 작용한다. 첫째는 물가 상승으로 실질임금이 하락하여 노동시장이 왜곡되는 효과를 초래한다. 두 번째는 실질임금이 감소하면 정부의 세수입이 감소하게 되고 이에 따라 세금 인상이 불가피한 효과가 발생한다. 마지막으로 물가 상승은 정부의 실질 세수입 감소를 의미하기 때문에 기존의 세금을 인상해야 하는 효과가 발생한다. 이러한 조세상충효과로 인해 환경세가 기존의 조세왜곡을 더욱 악화시키는 방향으로 작용하기 때문에 적정 환경세율은 최선의 환경세보다 낮아야 한다고 주장하고 있다. 결국 차선의 세계에서 최적의 탄소세 또는 환경세는 조세상충효과와 세수환원 효과의 크기에 따라 경제의 효율성과 후생 수준이 결정된다. Bovenberg and de Mooij (1994), Parry (1998), Goulder (1995), Fullerton (1997) 등은 조세상충 효과가 조세환원효과보다 일반적으로 크기 때문에 이중배당가설이 성립하지 않는다고 주장하고 있다.¹⁾

1) 이중배당가설은 크게 강한 가설과 약한 가설로 나누어진다. 강한 가설은 탄소세 수입을 단순히 이전지출로 사용하는 것보다 기존의 조세부담을 완화하는 방향으로 사용하는 것이 더 비용 효과적이라는 것이다. 강한 가설은 탄소세 수입으로 기존 조세를 인화하는 정책은 탄소세로 인한 총비용을 항상 영(0) 또는 음(-)이 되도록 한다는 가설이다. 대부분의 기존 연구가 약한 가설이 성립한다는 것을 보여주고 있지만, 강한 가설의 성립 여부에 대해서는 이견을 보이고 있다.

그러나 최근 들어 Kim (2002), Ballard *et al.* (2005), West and Williams (2004) 등은 보다 일반화된 모형에서는 이중배당가설이 성립할 수 있음을 보여주고 있다. 이들의 연구는 경제성장이 생산요소와 외생적으로 주어지는 기술진보에 의해서만 달성되는 것이 아니라 내생적으로 결정되는 인적 자본, R&D, 지식 및 기술 등에 의해서 달성될 수 있다는 내생적 성장모형에 기초하고 있다. 이들은 세수환원이 투자 및 기술 개발과 효과적으로 조합될 때 사회적 후생은 물론 경제성장도 역U자 형태의 모습을 나타낼 수 있다고 주장하고 있다. 따라서 환경세의 강화가 어느 특정의 성장 극대화점까지는 적어도 경제성장과 사회적 후생이 동시에 달성할 수 있음을 보여주고 있다.²⁾

이와 같은 결과는 현재 우리나라에서 추구하는 ‘저탄소-녹색성장’ 과 관련하여 중요한 의미를 가지게 된다. 즉, 탄소세와 같은 환경정책이 기술을 유인하고 유인된 기술진보가 경제성장을 유도하는 메커니즘을 보여주고 있는 것이다. 이에 탄소세수가 기존의 조세왜곡을 완화하거나 기술진보를 촉진하는 방향으로 사용된다면 환경과 성장의 조화가 촉진될 가능성이 존재하게 된다.³⁾ 본 연구의 목적은 이러한 가능성을 실증분석을 통해 검증하는데 있다. 이를 위해 본 연구는 탄소세가 기술의 진보를 유인하고 기술진보가 다시 탄소세에 영향을 미치는 내생적 성장모형을 구축하여 탄소세 수입의 조세환원효과를 분석하고 있다.

본 논문은 제Ⅱ장에서 내생적 성장모형을 반영한 일반균형모형(CGE)을 구축하고, 제Ⅲ장에서 실증분석을 수행하고, 제Ⅳ장에서 결론을 맺는다.

2) Fullerton and Kim (2006)과 김승래 (2008)를 참조하기 바란다.

3) 세수입 환원과 관련된 내용은 분석시나리오에서 보다 자세히 설명하기로 한다.

II. 분석모형

1. 생산함수와 기술진보의 반영방식

본 연구의 분석모형은 연산가능일반균형모형(Computable General Equilibrium : CGE)에 근간을 두고 있으며, 기술진보를 반영하기 위해 오진규(2010)와 조경엽(2010)의 기본모형에 신재생에너지 발전기술을 다음과 같이 반영하여 내생적 성장모형으로 확대하였다.⁴⁾ 기본모형에 대한 설명은 조경엽(2010)에 자세히 나와 있어 수식을 통한 기본모형의 설명은 생략하였다. Goulder and Schneider(1999)와 같이 신재생에너지 발전 기술은 R&D 투자비용을 요구하는 경합적인 요인과 외부효과를 유발하는 비경합적인 요인으로 구분된다.⁵⁾ 비경합적인 기술은 생산비용을 유발하지 않으면서 각 산업의 생산성 향상에 기여하는 확산효과(spillover effect)를 갖는다. 반면 경합적인 신재생에너지 발전 기술은 R&D 투자를 통해서 형성되고 녹색전력을 생산하는데 하나의 투입요소로 간주된다. 따라서 경합적인 기술은 녹색전력을 생산하는 데 드는 하나의 생산비용으로 간주되기 때문에 기존의 투자를 구축하는 효과를 유발하게 된다.

외부성을 가지는 비경합적인 기술진보를 가정하면 기본모형의 생산함수는 다음과 같이 규모에 대한 수확 체증의 함수가 된다.

-
- 4) 본 모형은 기본적으로 오진규(2010), 조경엽(2010)과 동일하지만 이들 모형은 신재생에너지가 화석연료와 바로 대체된다고 가정한 반면, 본 연구에서는 신재생에너지 발전 전력이 기존 전력과 대체관계가 있다고 가정하였다.
- 5) 본 연구에서는 환경정책이 유인하는 신기술로 신재생에너지 발전 기술만 고려하기로 한다. 녹색기술로 미래형 자동차, 고효율 난방기기, 그린홈 등 다양한 기술들이 언급되고 있지만 관련 데이터의 부재와 모형의 복잡성을 고려하여 본 연구에서는 이들을 분석에서 제외하기로 한다. 이러한 녹색기술들이 모두 반영될 경우 본 연구의 분석 결과가 달라질 수 있음을 밝힌다.

$$Y_{i,t} = \phi(A)_{i,t} \left[\alpha \overline{KLE}_{i,t}^\rho + (1-\alpha)XA_{i,t}^\rho \right]^{\frac{1}{\rho}} \quad (1)$$

여기서 A 는 식 (8)에서 설명할 신재생에너지 발전 기술을 의미하며, \overline{KLE} 는 자본, 노동, 에너지의 복합재화를 의미하고, \overline{E} 는 녹색전력을 포함한 에너지 복합재화를 의미하며, XA 는 아밍톤 재화로 이루어진 중간재화를 의미한다. 외부효과를 유발하는 $\phi(A)_{i,t}$ 를 제외하면 식 (1)은 규모에 대한 수확불변이 성립된다. 그러나 $\phi(A)_{i,t}$ 가 포함되면 식 (1)은 규모에 대한 체증함수가 되기 때문에 일반균형의 원칙에 위배된다.⁶⁾ 이를 해결하기 위해서 본 연구는 Markusen (2002)이 제시한 연산 방법을 이용하였다. 식 (1)을 Markusen (2002)이 제시한 함수형태로 다음과 같이 전환하여 연산하였다.⁷⁾

기술에 대한 비배제성에 따른 수확체증의 문제가 발생하는 경우 연산의 어려움이 발생하게 된다. 본 연구는 이를 연산가능한 일반균형 틀 내에서 다음과 같은 방법으로 연산하였다.

$$Y_{i,t} = (Y_{i,t}^{\beta_t})F(V_{i,t}) \quad 0 < \beta_t < 1 \quad (2)$$

여기서 $Y_{i,t}^{\beta_t}$ 는 외부효과($\phi(A)_{i,t}$)로 인한 생산증가분을 의미하고, β_t 는 규모에 대한 체증 정도를 나타내는 변수를 의미하며, $F(V_{i,t})$ 는 규모에 대한 수확 불변인 항목 $\left[\alpha \overline{KLE}_{i,t}^\rho + (1-\alpha)XA_{i,t}^\rho \right]^{\frac{1}{\rho}}$ 을 의미한다.

Markusen은 β 를 변수가 아닌 모수(parameter)로 정의하고 있지만, 본 연구

6) 일반균형이 성립하기 위해서는 영의 이윤(zero profit), 시장 청산(market clearance), 소득 균형(income balance)의 세 가지 조건이 충족되어야 한다. 그러나 $\phi(A)_{i,t}$ 가 추가되면 영의 이윤조건이 성립되지 않는다. 즉, 투입된 생산요소인 노동, 자본 그리고 중간재화가 생산에 기여한 대가를 지불하고도 잉여분이 남게 된다. 따라서 외부효과가 추가되면 규모에 대한 수확체증의 함수가 된다.

7) 본 연구에서 이용한 MPSGE(Mathematical Programming System for General Equilibrium) 프로그램에 외부성을 가지는 생산함수를 적용하기 위해서 Markusen (2002)이 제시한 방법을 원용하였다.

에서는 신재생에너지의 도입 정도에 따라 외부효과의 정도가 달라질 수 있다는 점을 강조하기 위해서 이를 변수로 가정하였다.

$$\beta_t = \frac{A_t^{1/\gamma}}{A_t} - 1, \quad \gamma < 1 \quad (3)$$

이는 신재생에너지 생산기술이 진보할수록 β 가 커지게 되어 규모에 대한 체증효과가 커진다는 의미를 내포하고 있다.⁸⁾

식 (2)는 연산을 위해 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$Y_{i,t} = F(V_{i,t})^{1/(1-\beta_i)} = Y_{i,t,0} + Y_{i,t,1} \quad (4)$$

여기서 $Y_{i,t,0}$ 는 투입요소와 중간재화로 생산된 생산량으로써 규모에 대한 수학 불변이 성립한다. 따라서 최적화 조건을 적용하면 $Y_{i,t,0}$ 는 일반균형 틀 내에서 결정될 수 있다. 외부효과인 추가적인 생산량 $Y_{i,t,1}$ 은 다음과 같이 모형 내에서 결정된다.

$$Y_{i,t,1} = F(V_{i,t})^{1/(1-\beta_i)} - Y_{i,t,0} = Y_{i,t,0}^{1/(1-\beta_i)} - Y_{i,t,0} \quad (5)$$

이와 같이 외부효과로 추가된 생산이 가계의 수입으로 배분된다고 가정하면, 가계가 받은 총 가치($Y_{i,t,1} + Y_{i,t,0}$)는 i 산업이 수학불변의 생산기술로 생산한 가치 $Y_{i,t,0}$ 보다 많아 시장 청산 조건이 충족되지 않는다. 따라서 이러한 불균형을 해소하기 위해 가계가 추가분만큼 i 산업에 $s_{i,t}$ 율로 보조를 한다고 가정하였다. $p_{i,t}$ 를 i 산업의 최종재화에 대한 생산자 가격이라고 가정하고, $q_{i,t}$ 를 소비자 가격이라고 가정하면, 시장청산 조건이 성립하기 위해서는 $q_{i,t}(1 - s_{i,t}) = p_{i,t}$ 가 성립되어야 한다. $s_{i,t}$ 는 모형 내에서 다음과 같이 결정된다.

8) $\gamma = 0$ 이면 기술의 외부효과가 무한대가 된다는 의미가 되어 현실적이지 못한 가정이 되며, $\gamma < 0$ 인 경우 기술이 진보할 경우 사회 전체의 생산성이 하락한다는 의미를 내포하고 있어 현실적이지 못한 두 경우는 분석에서 고려하지 않기로 한다.

$$q_{i,t}(Y_{i,t,0}^{1/(1-\beta_i)}) = p_{i,t}Y_{i,t,0} \text{ or } (1-s_{i,t}) = Y_{i,t,0}^{\beta_i/(1-\beta_i)} \quad (6)$$

$$s_{i,t} = Y_{i,t,0}^{\beta_i/(1-\beta_i)} - 1 \text{ or } s_{i,t} = Y_{i,t,1}/Y_{i,t,0} \quad (7)$$

조경엽 (2010)과 오진규 (2010)와 같이 신재생에너지 발전 기술은 다음과 같은 형성법칙에 따라 축적된다고 가정하였다.

$$A_{t+1} = (1-\delta_a)A_t + v_a RD_t \quad (8)$$

$t+1$ 기의 신기술 수준 A_{t+1} 은 감가상각(δ_a)을 제외한 현재의 신기술 A_t 에서 R&D 투자가 더해져 축적된다.⁹⁾ v_a 는 R&D 투자가 기술축적에 기여하는 정도를 의미한다. 투자에 비해 기술이 빠르게 구현되느냐 여부와 경제성 유무는 다른 차원의 문제로 볼 수 있다. 예컨대, 원천기술과 같이 투자에 비해 기술이 빠르게 진보한다고 해도 경제성이 없어 현실적으로 도입되지 않는 기술이 존재할 수 있다. 그러나 시장에 도입되고 산업생산에 실질적으로 기여하는 기술만을 고려할 경우 경제성이 기술 축적에 매우 중요한 역할을 수행하게 된다. 여기서 v_a 가 1보다 크다면 R&D 투자가 아주 성공적이어서 투자비용에 비해 기술이 빠르게 축적된다는 의미를 내포한 반면, v_a 가 1보다 작다면 투자비용에 비해 기술이 더디게 축적된다는 의미를 가진다. 온실가스 감축규제가 도입되기 이전에는 신기술이 경제성이 없어서 도입이 되지 않는 기술로 정의되고 있기 때문에 본 연구에서는 v_a 가 1보다 작다고 가정하였다.¹⁰⁾ 온실가스 감축으로 인해 기존의 화석연료의 비용이 상승하게 되거나 R&D 투자의 효율성이 개선되어 신기술의 경제성이 향상된다면 신기술이 시장에 도입된다.

9) 감가상각 δ 는 기술의 창조적 파괴로 간주할 수 있다. 이에 대한 자세한 데이터가 없어 본 연구에서는 0으로 가정하기로 한다.

10) 본 연구에서 v_a 는 기존 화석발전 단계 대비 신재생에너지 발전단가로 반영하고 있다. 보다 자세한 내용은 <표 3>에 나타나 있다.

2. 탄소세와 신재생에너지 발전기술 도입의 최적화 방식

1) 탄소세

본 연구에서 에너지 복합재화는 크게 전력과 비전력으로 나누어지고 비전력은 이산화탄소를 배출하는 화석연료의 복합재화로 구성된다. 화석연료의 아밍톤 복합재화는 국내에서 생산된 화석연료와 해외에서 수입한 화석연료의 복합재화로 구성된다. 아밍톤 복합재화는 가계와 생산 부문에 중간재화로 사용된다.

탄소세와 같은 온실가스 감축규제가 없는 경우 이산화탄소 배출로 생산비용이 증가하지 않지만 탄소세가 부과되면 이산화탄소 배출이 생산비용 상승요인으로 작용한다. <그림 1>에서 보듯이 석탄, 석유, 가스와 같은 화석연료는 연료비용과 더불어 이산화탄소 배출비용이 추가된다. 화석연료별 이산화탄소 배출가격이 곧 탄소세율과 동일하고 이는 한계감축비용과 일치하게 된다. 이산화탄소는 연료별 소비량에 따라 각각 상이한 배출계수를 통해 발생한다. 이를 수식으로 설명하면 다음과 같다.

$$FE_{fe,t} = \min [\alpha XA_{fe,t}^e, (1 - \alpha) CO_{2fe,t}] \quad (9)$$

$FE_{fe,t}$ 는 아밍톤 화석연료 복합재화($XA_{fe,t}^e$)와 이산화탄소($CO_{2fe,t}$)가 복합된 화석연료복합재화를 의미한다. 하첨자 fe 는 석탄, 석유제품, 천연가스를 대변한다. 그리고 위첨자 e 는 에너지 효율향상을 반영한 유효에너지 수요를 의미한다. 즉, $XA_{fe,t}^e = aee_{i,fe,t} XA_{fe,t}$ 로서 에너지 효율향상 aee_i 는 연료별·산업별로 차이가 있다고 가정하였다. 식 (9)와 같이 $CO_{2fe,t}$ 와 화석연료를 레온티에프 함수로 정의하는 이유는 $CO_{2fe,t}$ 배출은 에너지와 특정한 배출계수로 고정되어 있기 때문이다. 산업과 가계에서 사용하는 에너지 복합단계는 동일하다고 가정하였기 때문에 산업과 가계를 대변하는 하첨자 i 와 c 를 생략하였다. <그림 1>에서 나타난 화석연료 복합과정은 지면 관계상 생략하기로 한다.¹¹⁾

정부가 산업별 한계저감비용에 대한 모든 정보를 가지고 있다고 가정하면, 정부는 다음과 같은 비용 최소화 문제로부터 산업 전체의 한계저감비용 또는 탄소세를 도출하게 된다.¹²⁾

$$\min \sum_j (P_{xa,fe,j,t} XA_{fe,j,t}^e + P_{carb,fe,j,t} CO_{2,fe,j,t}) \quad (10)$$

$$\text{s.t. } FE_{fe,j,t} = \min [\alpha XA_{fe,j,t}^e, (1 - \alpha) CO_{2,fe,j,t}] \quad (11)$$

$$\text{s.t. } CO_{2,fe,j,t} = \lambda_{fe,j} XA_{fe,j,t}^e \quad (12)$$

$$\text{s.t. } \sum_j \sum_{fe} CO_{2,fe,j,t} = \sum_j \sum_{fe} \chi_{j,t} CO_{2,fe,j,t,bau} \quad (13)$$

여기서 $P_{carb,fe,j,t}$ 는 에너지원별·산업별 한계저감비용을 의미하며, $\lambda_{fe,j}$ 는 j 부문의 화석연료별(fe) 이산화탄소 배출계수를 의미한다. $\chi_{j,t}$ 는 정부가 부과하는 산업별 배출허용률을 의미한다. 따라서 t 기의 j 부문 전체에서 배출하는 배출량은 기준시나리오의 이산화탄소 배출량 $CO_{2,fe,j,t,bau}$ 의 $\chi_{j,t}$ 만큼을 배출해야 한다는 제약 조건이 추가된다. 여기서 $\chi_{j,t}$ 는 1보다 작아야 한다. 따라서 위의 비용 최소화 문제는 j 부문 전체의 배출허용량을 준수하기 위한 j 부문 전체의 화석연료 사용과 이에 따른 이산화탄소 배출비용을 최소화하는 문제로 요약된다. 위의 비용 최소화 문제는 j 부문 전체의 비용을 최소화하기 때문에 개별 산업의 배출허용 기준은 충족되지 않을 수 있다. 즉, 한계저감비용이 높은 산업은 배출허용 기준보다 많이 배출하고 한계저감비용이 낮은 산업은 감축을 많이 하여 허용 기준보다 적게 배출하게 된다. 따라서 균형에서는 $P_{carb,fe,j,t} = P_{carb,t}$ 와 같이 모든 산업이 동일한 한계저감비용에 직면하게 된다.

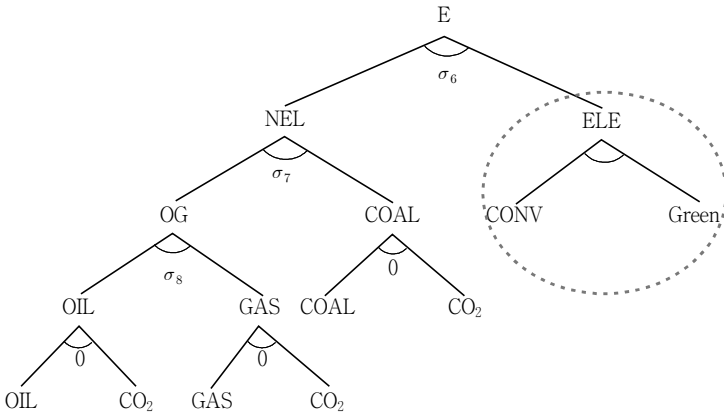
11) 수식을 통한 에너지 복합 과정은 조경엽 (2010)에 자세히 나타나 있다.

12) 본 연구에서는 모든 산업의 한계저감비용이 동일해지는 공통탄소세에 초점을 맞추기로 한다. 비용최소화 문제로 도출되는 한계저감비용이 공통탄소세와 동일하기 때문에 본 연구에서는 탄소세와 한계저감비용을 동일한 개념으로 사용하기로 한다.

2) 신재생에너지 발전기술 도입의 최적화 방식

각 산업과 가계는 여러 복합 단계를 거쳐 생산된 에너지 복합재화를 소비하게 된다. 신재생에너지 발전 기술이 가능하다고 가정하면 에너지 복합단계에 기존 전력과 녹색전력의 복합단계가 추가된다. 이는 <그림 1>에 동그라미 점선으로 표시되어 있다.

<그림 1> 녹색전력이 추가된 상황에서의 에너지 복합구조



녹색전력과 기존 전력과의 복합단계의 최적화 문제를 살펴보면, 신재생에너지를 사용하여 생산되는 t 기의 녹색전력($Y_{green,t}$)과 기존 전력($Y_{conv,t}$)은 다음과 같은 최적화 조건에 따라 도입된다.

$$\min P_{conv,t} Y_{conv,t} + P_{green,t} Y_{green,t} \quad (14)$$

$$\text{s.t. } P_{conv,t} < P_{green,t} \text{ if } v_a < 1 \quad (15)$$

$$Y_{green,t} = 0 \text{ if } P_{conv,t} < P_{green,t} \quad (16)$$

$$Y_{conv,t} = \phi(A_t) f(K_t, L_t, XA_t, E_{fossil,t}, CO_{2,t}) \quad (17)$$

$$Y_{green,t} = \phi(A_t) f(K_t, L_t, XA_t, A_t) \quad (18)$$

여기서 $P_{conv,t}$ 는 기존 전력 가격을 의미하며, $P_{green,t}$ 는 녹색전력 가격을 의미한다. 식 (10)과 식 (11)은 녹색전력이 현재 경제성이 없어 시장에 도입되지 않는다는 현실을 반영하기 위한 조건들이다. 현재 온실가스 감축이 시행되지 않고 있고, 신재생에너지에 R&D 투자 효율이 낮은 상태에 있어 $P_{green,t}$ 는 $P_{conv,t}$ 보다 높다. 온실가스 감축을 이행해야 한다면 식 (12)에서 보듯이 온실가스 배출은 생산비용을 상승시키는 요인으로 작용하게 되어 기존 전력의 가격이 상승하게 된다. 식 (13)은 녹색전력의 생산함수를 보여주고 있다. 본 연구에서 기존 전력과 녹색전력 한 단위를 생산하는데 필요한 노동, 자본, 중간재화의 양은 동일하다고 가정하였다.¹³⁾ 따라서 녹색전력 생산과 기존 전력 생산비의 차이는 생산에 투입되는 신재생에너지 관련 기술사용 비용, 화석연료 투입 비용, 온실가스 저감 비용의 차이에서 발생한다. 따라서 온실가스 감축이 강화될수록, 그리고 신재생에너지에 대한 R&D 투자 효율이 향상될수록 녹색전력의 경제성이 좋아져 시장에 보급되는 양이 늘어나게 된다. 녹색전력과 기존 전력의 생산기술이 모두 볼록(concave) 함수라 가정하면 생산량이 증가할수록 한계생산성은 체감하게 되어 균형에서는 $P_{conv,t} = P_{green,t}$ 와 같이 같아지게 된다. 즉, 한계비용이 같아지는($mc_{conv,t} = mc_{green,t}$) 점에서 기존의 전력과 신재생에너지를 이용한 녹색전력 생산이 결정된다.

<그림 1>에 나타난 기타 부분의 에너지 복합가정은 생략하기로 한다. 에너지와 자본·노동 복합과 자본과 노동의 복합과정에 대한 자세한 설명은 조경엽(2010)에 수록되어 있어 생략하기로 한다.

13) 이와 같은 가정은 무리한 가정이라 할 수 있다. 그러나 신재생에너지 전력을 생산하는데 투입되는 노동, 자본, 중간재화에 대한 구체적인 데이터가 축적되어 있지 않은 상황을 고려하면 불가피한 측면이 있다. 따라서 다른 조건이 동일하다는 가정 하에 단지 화석연료를 사용하는 기존전력 생산 기술과 화석연료를 사용하지 않는 신재생에너지 발전 기술의 생산비용의 차이가 탄소세와 신기술 개발비용에서 발생한다고 가정하기로 한다.

3. 여타 경제부문의 모형

아밍톤 복합재화는 국내재화와 수입재화($XM_{j,t}$) 간의 불완전 대체관계의 CES 함수를 통해 복합된다.

$$XA_{j,t} = [\alpha XM_{j,t}^\rho + (1-\alpha)XD_{j,t}^\rho]^{1/\rho} \quad j \in e, ne \quad (19)$$

가계는 하나의 대표소비자로 구성된다. 가계는 완전한 예측능력(perfect foresight)을 가지며 시점간(intertemporal) 예산제약조건하에 시점간 효용을 극대화한다. 대표소비자의 효용함수(U)는 시간에 대해 분리 가능(separable)한 CES 함수로 가정한다.

$$\max U(Z_t) = \sum_{t=0} \beta^t \frac{Z_t^{1-\theta}}{1-\theta} \quad (20)$$

$$Z_t = [\alpha C_t^\rho + (1-\alpha)(1-H_t)^\rho]^{1/\rho} \quad (21)$$

여기서 β 는 시간에 대한 할인율을 의미하고, C_t 는 소비복합재화를 의미하며, $1/\theta$ 는 시점간 대체탄력성(inter-temporal elasticity of substitution)을 나타내고, H_t 는 근로시간을 의미한다. 따라서 $(1-H_t)$ 는 여가시간을 의미한다. Z_t 는 t 기에 가계에서 소비한 총 소비재화로서 소비복합재화와 여가로 구성된다. $\frac{1}{1-\rho}$ 는 소비복합재화와 여가의 대체탄력성을 의미하고, α 는 각 복합재화가 차지하는 비중을 나타내는 모수이다.

C_t 는 소비복합재화로서 다음과 같이 에너지와 비에너지의 재화로 복합된다.

$$C_t = [\alpha XA_{c,ne,t}^\rho + (1-\alpha)E_{c,t}^\rho]^{1/\rho} \quad (22)$$

여기서 $XA_{c,ne,t}$ 는 가계에서 소비한 비에너지 아밍톤 복합재화를 나타내고, $E_{c,t}$ 는 가계에서 소비하는 에너지 복합재화를 의미한다.

가계의 시점간 예산제약식은 다음과 같다.

$$\sum_t p_{c,t} C_t + \sum_t p_{k,t} I_{k,t} = \sum_t w_t L_{r,t} + \sum_t r_t K_{r,t} + \sum_t Tr_t \quad (23)$$

제약식에 나타난 가격은 모두 세후가격을 나타내며, 시간에 대한 할인율을 반영한 가격을 의미한다. 따라서 $p_{c,t}$ 는 할인율을 반영한 소비복합재화의 세후 가격을 의미한다. 따라서 균제상태(steady state)에서 $p_{c,t}$ 는 $\frac{1}{(1+r^*)^{t-1}} P_{c,0}$ 로 정의된다. 이때 $p_{c,0}$ 는 기준연도의 복합소비재화의 가격을 의미하고, r^* 는 균형 이자율을 의미한다. $p_{k,t}$ 는 할인율이 반영된 투자재의 세후가격, w_t 는 세후 임금률, r_t 는 자본의 세후 수익률을 나타낸다. 노동과 자본의 산업간 이동이 자유롭다고 가정하면 각 산업이 직면한 임금율과 자본수익률은 동일하다. $I_{k,t}$ 는 총 투자로 가계의 저축, 정부저축, 지역간 수출입 불균형의 합으로 정의된다. 그리고 Tr_t 는 할인율이 반영된 정부이전소득으로서 정부가 가계에게 이전한다.

정부는 세금을 통해 수입을 얻고 정부소비와 가계이전을 통해 이를 지출한다. t 기의 정부수입(Φ_t)은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \Phi_t + D_{g,t} = & \sum_i \tau_{k,i,t} R_t K_{i,t} + \sum_i \tau_{l,i,t} W_t L_{i,t} \\ & + \sum_i \tau_{i,t} P_{i,t} Y_{i,t} + \sum_i \tau_{m,i,t} P_{m,t} XM_{i,t} \end{aligned} \quad (24)$$

여기서 $D_{g,t}$ 는 정부부채를 의미하고, $\tau_{k,i,t}$ 는 i 부문에서 발생한 자본소득에 대한 세율을 의미하며, R_t 는 자본에 대한 세전이윤을 의미한다. 또한 $\tau_{l,i,t}$ 는 i 부문에서 발생한 근로소득에 대한 세율을 의미하고, W_t 는 세전 임금률을 의미한다. $\tau_{i,t}$ 는 i 재화에 대한 소비세를 의미하고, $P_{i,t}$ 는 세전 가격을 의미하며, $\tau_{m,i,t}$ 는 i 수입재화에 부과된 관세를 의미하고, $P_{m,i,t}$ 는 이에 대한 세전 수입

가격을 의미한다.

정부의 지출(Γ_t)은 다음과 같이 정의된다.

$$\Gamma_{r,t} = \sum_i p_{xa,i,t} XA_{g,i,t} + Tr_{r,t} \quad (25)$$

$p_{xa,i,t}$ 는 정부가 소비하는 i 아밍톤 재화($XA_{g,i,t}$)에 대한 세후가격을 의미한다.

본 모형은 소국개방경제를 가정한다. 이 경우 수입재화의 가격은 외생적으로 주어진다. 무역수지불균형은 환율변동에 의해 다음과 같이 조정된다.

$$\sum_i P_{xe,i,t} XE_{i,t} - \sum_i P_{xm,i,t} XM_{i,t} + P_{ex,t} B_0 = 0 \quad (26)$$

여기서 $P_{xe,i,t}$ 는 i 재화의 세후수출가격을 나타내며, $P_{xm,i,t}$ 는 i 재화의 세후수입가격을 나타낸다. $P_{ex,t}$ 는 환율을 의미하며, B_0 는 기준연도의 무역수지 불균형을 의미한다. 이는 환율이 매년 변동하여 기준연도의 무역수지가 매년 유지된다는 의미를 가진다.

4. 입력데이터 및 보정

1) 입력데이터

본 연구에 사용된 데이터는 2007년도 산업연관표를 기준으로 작성된 사회행렬(SAM)이다. SAM은 특정기간 동안 한 국가 또는 지역의 경제적 거래를 요약한 표로 정의할 수 있다. SAM 분석대상 산업의 투입과 산출, 가계의 소비와 소득, 정부의 수입과 지출, 수출입에 데이터로 구성된다. 본 모형은 2007년을 기준연도로 하여 2050년까지 총 53기간을 분석대상기간으로 하고 있으며, 분석대상산업은 농림·수산업, 광업, 제조업, 서비스업, 전력, 석유, 가스 등 7개의 산업으로 구성된다.

2) 보정

본 연구에서 화석연료는 에너지 효율향상을 감안한 유효에너지 단위로 다음과 같이 측정된다.

$$XA_{fe,i,t}^e = \frac{g_{fe,i,t}^e}{(1+gr)^{t-1}} XA_{fe,i,t} \quad (27)$$

여기서 gr 은 연평균 경제성장률을 의미하며, $g_{fe,i,t}^e$ 는 i 산업의 화석연료 수요 증가율을 의미한다. 경제성장률이 화석연료의 수요증가율보다 빠르다면 에너지 효율이 향상된다는 의미이다. 본 연구에서는 에너지 효율향상 $\frac{g_{fe,i,t}^e}{(1+gr)^{t-1}}$ 가 산업별·연료별 이산화탄소 배출전망과 일치하도록 조정하였다.

시간 할인율 β 는 0.9615로 설정하였다. 이는 균형이자율 r 을 4%로 가정하고 $1/(1+r)$ 로 시산하였다. 시점간 대체탄력성($\mu_1 = 1/\theta$)은 0.5로 설정하였다.¹⁴⁾ 소비와 여가의 대체탄력성은 Rasmussen and Rutherford (2004)에 따라 0.8로 설정하였다. 비에너지 아밍톤 복합재화와 에너지와의 대체탄력성 μ_3 는 Bernstein *et al.* (1999)에 기초하여 0.25로 설정하였다. 생산부문에서 수출재화와 국내재화 간의 전환 탄력성(σ_1)과 아밍톤 복합재화의 탄력성(σ_4)은 1.9~3.4 범위에서 재화마다 차등하여 적용하였다. 이는 손양훈·신동천 (1997)의 아밍톤 복합재화 탄력성 범위와 일치한다. 노동과 자본의 대체탄력성(σ_5)은 GTAP 모형에 기초하여 1~1.26 범위에서 산업별로 차등하여 적용하였다. 석탄, 원유, 천연가스 산업의 노동과 자본의 대체탄력성은 0.2로 다른 산업에 비해 상대적으로 낮게 설정하였다. 대부분의 산업의 경우 1.26으로 설정되었으며, 서비스 산업의 경우 1.44

14) 우리나라의 경우 상대적 위험회피를 나타내는 θ 는 1.5~4.0으로 추정되고 있다. 구분열 (1992)은 θ 를 1.74로 추정하였으며, 남주하 (1997)는 2.5, 이민원 (1992)은 1.44로 추정하였다. 외환위기 이후의 자료를 이용하여 추정한 최진석 (2006)에 따르면 θ 가 3.8~6.0의 범위를 갖는다.

로 다른 산업에 비해 노동과 자본의 대체탄력성이 상대적으로 높다.

환경정책은 단기적으로 청정연료로의 전환을 유발하고, 중단기적으로 보다 효율적인 기기의 대체를 유발한다. 따라서 본 연구에서는 에너지원간 대체탄력성과 에너지 복합재화와 에너지와의 대체탄력성은 시간이 지남에 따라 점진적으로 증가한다고 가정하였다. 기준연도의 대체탄력성은 Bernstein *et al.* (1999)과 같이 석유제품과 가스의 대체탄력성(σ_8)은 2~3으로 설정하였고, 석유가스 복합재화와 석탄과의 대체탄력성(σ_7)은 0.1~0.3, 화석연료 복합재화와 전력과의 대체탄력성(σ_6)도 0.1~0.3 범위에서 산업별로 다르게 설정하였다.

자본의 감가상각률 δ 는 0.07로 가정하여 내구년을 약 14년으로 가정하였으며, 신재생에너지 발전 기술과 관련된 감가상각률 δ 는 0으로 가정하였다.

5. 시나리오 및 전제조건

1) 분석 시나리오 구성

본 연구는 기술진보의 역할과 이중배당가설에 대한 실증적 분석을 위해 일곱 가지의 시나리오를 구성하여 분석하였다. 시나리오별 영향분석의 가장 중요한 변수로서 GDP에 대한 영향과 온실가스 감축비용에 대한 영향의 두 가지를 중심으로 분석하였다. 정책 분석 시나리오는 <표 1>에서와 같이 총 일곱 가지로 구분된다. 이들은 모두 정부의 온실가스 감축목표를 달성하는 것을 목표로 하며 기본적으로 탄소세를 활용하여 분석한다. 정부는 2009년 11월 17일 국무회의에서, 우리나라의 국가온실가스 감축목표로서 ‘2020년 배출전망치(Business as Usual: BAU) 대비 30% 감축’을 결정하였다. 일곱 가지 시나리오 모두 2020년 정부 감축목표를 달성하는 것으로 설정하였다. 나아가, 2030년과 2050년의 감축률은 본 연구의 목적상 추세를 반영하여 2050년에 BAU 배출량 대비 50%를 감축하는 것으로 가정하였다. 감축목표를 달성하기 위해 정부가 탄소세를 부과한다는 조건하에 세수환원의 유무 그리고 신재생에너지 발전 기술 도입의 유무에

〈표 1〉 7개 분석 시나리오의 구성

시나리오	감축수단	신재생에너지 내생화 유무	탄소세수 활용
시나리오 1	탄소세	없음	세수환원 없음(정부지출로 사용)
시나리오 2	탄소세	내생적으로 결정	세수환원 없음(정부지출로 사용)
시나리오 3	탄소세	내생적으로 결정	목표관리제(산업별 재화의 보조금으로 지원)
시나리오 4	탄소세	내생적으로 결정	소비세로 환원
시나리오 5	탄소세	내생적으로 결정	근로소득세로 환원
시나리오 6	탄소세	내생적으로 결정	법인세로 환원
시나리오 7	탄소세	내생적으로 결정	R&D 투자 지원

따라 다음과 같이 시나리오를 구성하였다.¹⁵⁾

시나리오 1은 세수환원 및 신재생에너지 발전 기술이 없다는 가정하에 온실가스 감축목표를 탄소세를 부과하여 달성하는 경우이다. 시나리오 2는 신재생에너지 발전기술을 모형에 감안한 경우이다. 따라서 시나리오 2에서는 탄소세가 신재생에너지의 발전 기술의 도입 정도를 결정하고 신재생에너지 발전 기술은 탄소세에 영향을 미치는 구조를 가지고 있다. 따라서 시나리오 1과 시나리오 2를 비교함으로써 동일한 온실가스 감축목표를 달성함에 있어서 신재생에너지 발전기술의 진보가 GDP 및 감축비용에 미치는 효과를 비교할 수 있다. 시나리오 3은 정부가 추진하고 있는 목표관리제의 영향을 분석한다. 목표관리제가 다른 시나리오와 다른 점은 온실가스 배출권에 대한 권리를 기업이 갖는다는 점이다. 본 연구에서 목표관리제는 정부가 탄소세를 부과한 후 이를 다시 각 기업에게 환급한다고 가정하였다.

15) 본 연구에서 탄소세는 온실가스 배출에 대한 수요와 공급에 의해서 결정된다. 온실가스 배출의 수요는 각 화석연료 사용에 따른 산업별 배출량에 의해 결정되고 공급은 우리나라 총 배출량에서 감축목표를 제외한 양으로 결정된다. 즉, 공급이 수요보다 작기 때문에 온실가스 배출에 대한 가격이 형성되고, 이는 곧 탄소세와 동일하게 된다. 수식을 통한 설명은 조경엽 (2010)을 참조하기 바란다.

시나리오 4, 5, 6, 7은 탄소세를 부과한 후 거두어들인 세수입을 기존의 세금을 인하하거나 신재생에너지 발전기술에 대한 R&D 지원으로 사용하는 경우이다. 시나리오 1과 시나리오 2에서는 탄소세 부과에 따른 세수입을 정부지출로 사용한다고 가정한 반면 시나리오 4~6에서는 정부의 세수중립을 가정하고 있다. 즉, 탄소세로 증가되는 정부 세수를 다른 세를 인하하는 데 활용하여 정부 전체의 세수 총량은 동일하도록 하였다. 시나리오 4는 소비세를 인하하는 데 활용하고, 시나리오 5는 근로소득세 인화로 환원하며, 시나리오 6은 법인세 인화로 환원한다. 시나리오 2와 시나리오 4~6을 비교분석함으로써 이중배당가설에 대한 분석을 하였다. 시나리오 7은 탄소세수를 기술개발에 대한 R&D 투자에 활용하는 경우를 분석한다. 시나리오 1과 시나리오 2의 경우도 감축목표 달성을 위한 수단으로 탄소세를 활용하되, 탄소세수를 조세왜곡을 완화하기 위해 다른 세금을 낮추는 데 활용하거나 또는 R&D 투자에 활용하지 않고, 일반재정에 산입하여 정부의 일반재정지출을 증대시키는 경우이다. 이상의 시나리오들을 비교 분석함으로써 신재생에너지 발전기술의 기술진보와 탄소세의 세수입 환원효과 및 R&D 투자 효과를 분석하였다.

2) 분석의 주요 가정

화석연료 연소에서 배출되는 온실가스 배출은 경제성장과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 경제성장률은 중요한 가정이다. 추세상의 온실가스 배출량, 즉 BAU 배출량은 경제성장 전망에 따라 상이하게 나타난다. 본 연구는 KDI의 성장률 전망에 기초하여 경제성장률을 <표 2>와 같이 가정하였다.¹⁶⁾

추세를 나타내는 BAU 배출량을 추정하기 위해서는 성장률 전망과 더불어 에너지 효율향상에 대한 전망이 필요하다. 에너지 효율향상은 에너지경제연구원 에서 제시한 에너지원별 수요와 이산화탄소 배출량과 일치하도록 조정하였다.

16) KDI 전망치와 모형의 전망치를 일치시키기 위해 자본과 노동의 공급을 조정하였다. 따라서 본 연구에서 제시한 성장률은 KDI 전망치와는 약간의 차이가 발생하게 된다.

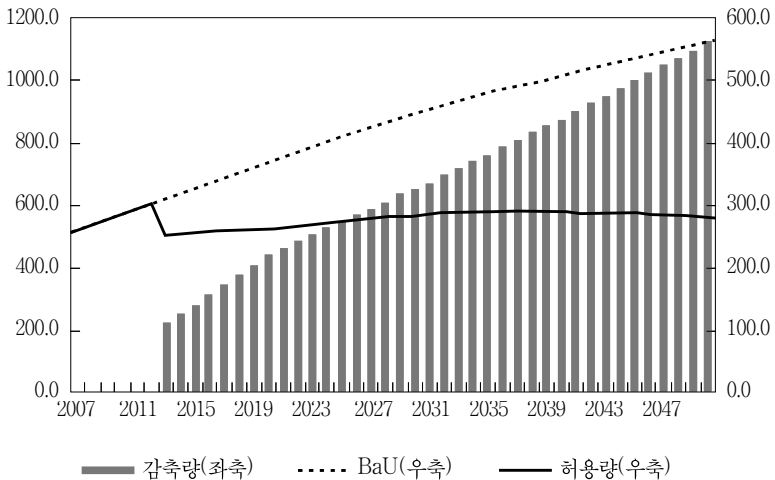
〈표 2〉 경제성장률 가정

(단위 : %)

연도	연평균 성장률	연도	연평균 성장률
2008	3.6	2030	2.1
2010	3.5	2035	1.7
2015	3.4	2040	1.5
2020	3.1	2045	1.3
2025	2.5	2050	1.2

〈그림 2〉 BAU 배출량, 배출허용량 및 감축량

(단위 : 백만 tCO₂)



이와 같이 추정된 이산화탄소 배출량과 30% 감축목표 달성을 위한 감축량은 <그림 2>에 제시되어 있다. 점선과 실선은 BAU 배출량과 허용량을 보여주고 있으며, 막대그래프는 두선의 차이로 추정되는 감축량을 보여주고 있다. 2020년의 BAU 온실가스 배출량은 약 7억 4,000만 tCO₂에 달할 전망이다. 국가온실가스 감축목표에 따라 2020년에 BAU 대비 30%를 감축할 경우 허용량은 5.2억

tCO₂에 달하고, 감축량은 2억 2,000만 tCO₂에 달할 전망이다, 2050년의 BAU 배출량은 11.2억 tCO₂에 달할 전망이다. 본 연구에서는 시간이 지날수록 감축비용이 점차 증가하여 2050년에는 BAU 대비 50%를 감축한다고 가정하고 있기 때문에 2050년의 감축량은 5억 6,000만 tCO₂에 달한다.¹⁷⁾ 2020년 이전의 감축목표는 2020년에 30%에 달하도록 2013년부터 점진적으로 증가한다고 가정하였다. 따라서 2013년의 BAU 대비 감축률은 18.3%, 2015년에 21.6%, 2019년에 28.3%로 가정하였다. 따라서 2013년 배출 전망은 약 6억 2,000만 tCO₂에 달하고, 감축량은 약 1억 1,000만 톤에 달한다.

녹색기술의 대표기술로서 본 연구는 신재생에너지를 활용한 전력생산기술을 설정하고 분석하였다. 신재생에너지의 경제성은 기술의 소요비용, 탄소 및 오염물질 배출에 따른 외부비용의 합으로 평가하고 있다. MIT (2008)의 연구에 따르면 석탄 발전이 3.7~6.2센트/kwh로 가장 저렴하고, 다음은 가스가 4.4~5.6센트/kwh로 저렴하다. 풍력 발전 단가는 석탄 발전에 비해 1.12~1.19배 높은 것으로 평가되고 있다. 태양광 발전 단가는 17.8~53.6/kwh로 석탄 발전 단가에 비해 4.8~10.7배 높으며, 가스 발전 단가에 비해 4.0~9.6배 높게 나타나고 있다. 따라서 본 연구에서는 신재생에너지 발전기술의 초기 도입 단가는 기존

〈표 3〉 신재생에너지 발전기술 비용 관련 가정

연도	기존 기술 대비(배)	연도	기존 기술 대비(배)
2007	5.00	2030	1.00
2010	3.77	2035	1.00
2015	2.35	2040	1.00
2020	1.47	2045	1.00
2025	1.00	2050	1.00

17) 감축률은 시간에 따라 점차 증가하여 2030년에는 BAU 대비 약 37%, 2040년에는 약 43%, 2050년에는 약 50%에 달한다.

전력 생산에 비해 5배 비싼 것으로 가정하였다. 시간이 지남에 따라 신재생에너지 발전기술의 비용은 점차 하락하여 기존의 발전기술 비용과 동일한 수준으로 수렴한다고 가정하였다. 따라서 <표 3>에서 보듯이 신재생에너지 발전비용이 기존의 화석연료 발전비용과 같아지는 시점을 2025년으로 가정하였다.

Ⅲ. 분석 결과

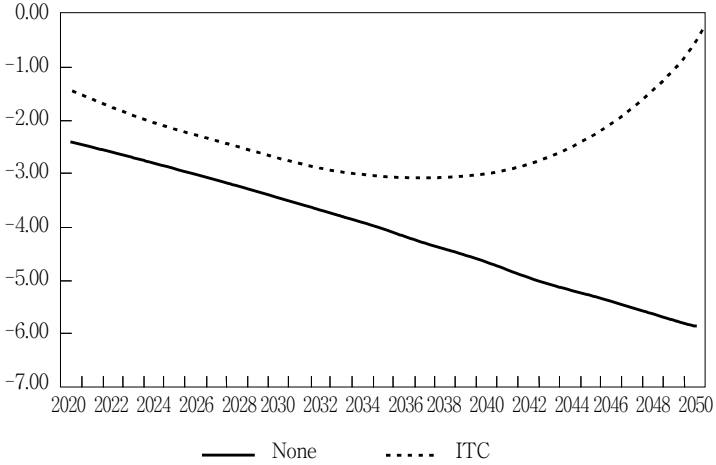
1. 시나리오별 GDP에 대한 영향

1) 신재생에너지 발전기술 도입의 GDP 효과

온실가스 감축의 GDP 영향과 신재생에너지 발전기술 도입이 GDP 변화에 미치는 효과는 <그림 3>과 <표 4>에 나타나 있다.¹⁸⁾ 신재생에너지 발전 기술 도입과 탄소세 수입 환원 없이 탄소세 부과를 통해 감축목표를 이행할 경우 큰 폭의 GDP 손실이 불가피한 것으로 분석되었다. 이는 시나리오 1의 결과를 보면 명확히 나타난다. 시나리오 1의 결과를 살펴보면 GDP 손실은 2020년에 -2.39%, 2030년에 -3.46%, 2050년에 -5.85%에 달한다. 2020년~2050년에 걸쳐 연평균 -4.23%의 GDP 손실을 보여준다. 신재생에너지 발전기술이 도입되지 않는다면 GDP 손실은 지속적으로 증가할 전망이다. 이는 녹색기술의 도입이나 탄소세 수입을 그냥 정부지출로 사용한다면 온실가스 감축과 경제성장이 분명히 상충됨을 보여준다. 녹색기술진보가 없는 경우, 온실가스 감축에 따른 GDP 손실을 완화하는 수단으로 본 연구에서는 에너지 효율향상, 천연가스와 같은 청정연료로의 전환, 보다 효율적인 기기로의 전환을 고려하고 있다. 이와 같은 수단만으로는 온실가스

18) 신재생에너지 발전기술이 없는 시나리오 1은 None로 표시되어 있고, 신재생에너지 발전기술이 도입되는 시나리오 2는 ITC로 표시되어 있다.

〈그림 3〉 신재생에너지 발전기술에 따른 GDP 변화 (시나리오 1, 2)
(단위 : %)



주: None은 시나리오 1, ITC는 기술진보를 나타내는 시나리오 2임.

〈표 4〉 신재생에너지 발전기술에 따른 GDP 변화 (시나리오 1, 2)
(단위 : %)

연도	시나리오 1 기본	시나리오 2 기술진보	연도	시나리오 1 기본	시나리오 2 기술진보
2020	-2.39	-1.45	2036	-4.17	-3.05
2021	-2.50	-1.60	2037	-4.29	-3.06
2022	-2.61	-1.74	2038	-4.41	-3.04
2023	-2.71	-1.88	2039	-4.54	-3.01
2024	-2.82	-2.01	2040	-4.66	-2.96
2025	-2.92	-2.14	2041	-4.79	-2.88
2026	-3.03	-2.26	2042	-4.92	-2.77
2027	-3.14	-2.38	2043	-5.05	-2.64
2028	-3.24	-2.49	2044	-5.17	-2.46
2029	-3.35	-2.60	2045	-5.29	-2.26
2030	-3.46	-2.69	2046	-5.42	-2.01
2031	-3.58	-2.78	2047	-5.53	-1.72
2032	-3.69	-2.86	2048	-5.65	-1.38
2033	-3.81	-2.93	2049	-5.75	-0.99
2034	-3.93	-2.98	2050	-5.85	-0.56
2035	-4.04	-3.02	연평균	-4.23	-2.34

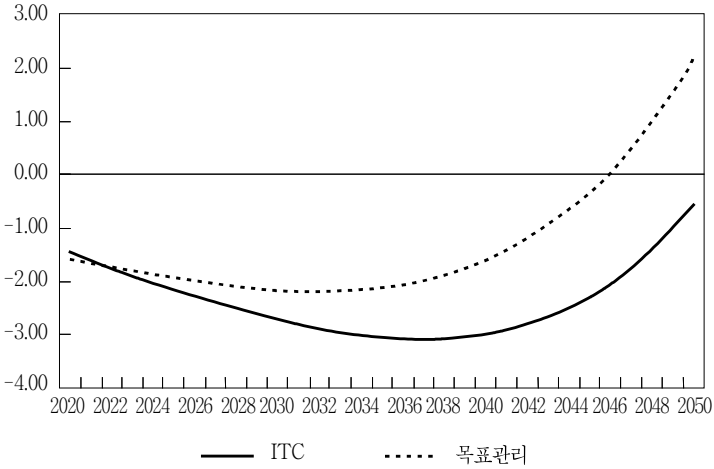
감축량이 커지면서 나타나는 GDP 손실을 상쇄할 수 없기 때문에 <그림 3>과 <표 4>에서 보듯이 GDP 손실이 시간이 지날수록 증가하게 된다.

시나리오 2의 결과를 보면, 신재생에너지 발전기술이 도입되면 GDP 손실 폭은 크게 작아질 것으로 분석되었다. 신재생에너지 발전기술이 도입되면 온실가스 감축에 따른 GDP 손실은 2020년에 -1.45%, 2030년에 -2.69%, 2040년에 -2.96%, 2050년에 -0.56%가 될 것으로 추정되었으며, 2020년~2050년간 연평균 -2.34%의 손실을 보여준다. 신재생에너지 발전기술이 도입되지 않는 시나리오 1에 비해 GDP 손실은 2020년에 -0.94%p 감소하고, 2050년에는 -5.29%p로 감소할 전망이다. 온실가스 감축에 따른 GDP 손실을 신기술 도입이 상당 수준 상쇄할 수 있음을 보여준다. 신재생에너지 발전기술 도입이 없는 경우 GDP 손실은 시간이 지날수록 지속적으로 증가하는 반면, 신재생에너지 발전기술이 도입되면 GDP 손실 폭이 계속 증가하다가 2037년 이후 점차 감소하는 것으로 나타나고 있다. 2050년의 경우를 보면 시나리오 1의 경우 GDP 손실이 -5.85%인 데 반해 시나리오 2의 경우 -0.56%로 큰 폭으로 감소하는 것으로 분석되었다. 신재생에너지 발전기술 도입이 증가할수록 온실가스 감축비용이 낮아져 생산자 비용이 낮아지고 사회 전체의 생산성이 증가하여 더 많은 온실가스를 더 적은 비용으로 감축할 수 있음을 보여주고 있다. 그러나 신재생에너지 발전기술에 R&D 투자는 기존 자본에 대한 투자를 구축하기 때문에 이러한 신기술의 효과가 온실가스 감축에 따른 GDP 감소효과를 완전히 상쇄하지는 못하는 것으로 평가되고 있다. 2050년이 되어도 GDP는 손실을 보이고 있다. 단, 신재생에너지 발전기술 도입의 효과는 시간이 지날수록 그 효과가 확대되어 GDP 손실 폭은 2037년을 기점으로 작아지는 것으로 분석되었다.

2) 목표관리제의 GDP 효과

신재생에너지 발전기술이 도입되는 시나리오 2의 경우 탄소세를 통한 세수입이 정부의 일반계정으로 산입되어 일반재정지출로 사용된다고 가정하고 있다. 이는 배출권에 대한 권리가 정부에게 귀속된다는 의미이다. 한편 목표관리제는

〈그림 4〉 신재생에너지 발전기술에 따른 GDP 변화 (시나리오 2, 3)
(단위 : %)



주: ITC는 기술진보를 나타내는 시나리오 2, 목표관리는 시나리오 3임.

〈표 5〉 신재생에너지 발전기술에 따른 GDP 변화 (시나리오 2, 3)
(단위 : %)

연도	시나리오 2 기술진보	시나리오 3 목표관리제	연도	시나리오 2 기술진보	시나리오 3 목표관리제
2020	-1.45	-1.56	2036	-3.05	-2.02
2021	-1.60	-1.64	2037	-3.06	-1.94
2022	-1.74	-1.71	2038	-3.04	-1.83
2023	-1.88	-1.78	2039	-3.01	-1.70
2024	-2.01	-1.84	2040	-2.96	-1.55
2025	-2.14	-1.90	2041	-2.88	-1.36
2026	-2.26	-1.96	2042	-2.77	-1.14
2027	-2.38	-2.01	2043	-2.64	-0.89
2028	-2.49	-2.06	2044	-2.46	-0.60
2029	-2.60	-2.10	2045	-2.26	-0.25
2030	-2.69	-2.12	2046	-2.01	0.13
2031	-2.78	-2.14	2047	-1.72	0.57
2032	-2.86	-2.15	2048	-1.38	1.06
2033	-2.93	-2.14	2049	-0.99	1.61
2034	-2.98	-2.12	2050	-0.56	2.22
2035	-3.02	-2.08	연평균	-2.34	-1.14

배출권에 대한 권리가 기업에 귀속된다는 점에서 시나리오 2와 차이를 보인다. 본 연구에서 이를 반영하기 위해 정부가 탄소세 수입을 모두 산업 보조금으로 환원한다고 가정하였다.

목표관리제를 통해 온실가스 감축목표를 달성하는 경우, GDP 손실은 2020년에 -1.56% , 2030년에 -2.12% , 2040년에 -1.55% 에 달한다. 그런데, 2046년부터 GDP가 증가세로 돌아서서 2050년에 2.22% 에 달하는 GDP 증가가 예상된다. 배출권에 대한 권리를 정부에서 기업으로 이전하는 것만으로 GDP 손실을 시나리오 2의 연평균 -2.34% 에서 시나리오 3의 -1.14% 로 연평균 -1.14% p씩 줄일 수 있을 것으로 평가된다.

이와 같이 GDP 손실이 감소하는 이유는 정부의 일반재정지출보다 기업의 생산활동이 GDP 증가에 더 크게 기여한다는 의미를 내포하고 있다. 배출권에 대한 권리를 기업이 갖는다면 생산비용이 낮아지고 수출이 증가하는 한편 자본과 노동에 대한 수요가 증가하고, 이에 따라 가계의 소득이 증가하고 소비가 증가하는 효과를 기대할 수 있다. 따라서 탄소세 수입을 정부지출로 사용하는 것보다는 배출권에 대한 권리를 기업에게 부여하는 것이 GDP 측면에서 보다 바람직한 것으로 평가된다. 분석 후반기에 들어서면 온실가스 감축으로 인한 GDP 손실보다 목표관리제를 통한 기업대응의 활성화와 이로 인한 GDP 증가가 더 커져서, 온실가스 감축과 GDP 증가가 동시에 가능해지는 것으로 나타났다.

3) 세수환원의 GDP 효과

앞서 문헌조사에서 살펴보았듯이 탄소세 등 환경세 강화를 통해 온실가스 감축을 통한 환경개선과 경제성장을 동시에 달성할 수 있다는 이중배당가설의 성립여부는 연구자에 따라 다른 입장을 보이고 있다. 온실가스를 감축하기 위한 규제, 즉 목표관리제, 탄소세, 배출권거래제, 강제적 규제 등은 기존의 조세왜곡을 더욱 악화시키는 조세상충효과와 세수입 환원을 통해 기존의 조세왜곡을 완화하는 세수환원효과를 동시에 가지고 있다. 세수환원효과가 조세완충효과보다 크다면 이중배당가설이 성립할 수 있다. 반대로 조세상충효과가 세수환원효과

보다 크다면 이중배당가설이 성립하지 않는다. 이중배당가설이 성립한다면 탄소세 등 환경세를 더 강화해야 한다는 이론적 근거가 될 수 있다. 반대로 이중배당가설이 성립하지 않는다면 환경세를 피구비언 세보다 낮게 유지해야 한다는 논리가 성립한다. 배당가설의 성립여부는 한 경제의 구조, 기존 조세의 왜곡 정도 등에 의해 영향을 받는다.

이중배당가설을 분석하기 위해 조세중립을 가정하여, 온실가스 감축목표 달성에 필요한 수준으로 탄소세를 부과하고 탄소세수는 환류하여 소비세, 근로소득세, 법인세 등 기존 세의 인하에 활용하도록 하고 분석하였다.

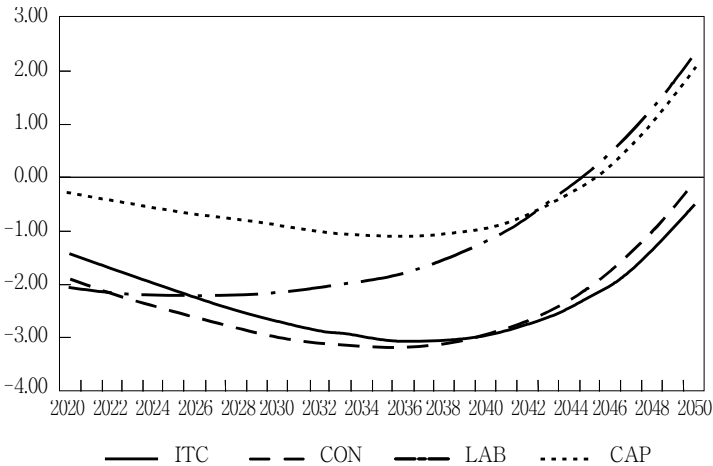
현재의 조세체계에는 소비세, 근로소득세, 법인세 등 다양한 세금이 존재하고 있으며, 조세의 비효율성도 세금의 종류에 따라 각각 상이하다. 따라서 탄소세 수를 어떤 세금을 인하하도록 환원하는 것이 보다 효율적인지는 실증분석의 몫으로 남는다. 본 연구는 소비세, 근로소득세, 법인세 등 기존의 세금별로 시나리오를 작성하고 세수환원효과를 분석하였다. 탄소세의 세금별 세수환원효과는 <그림 5>와 <표 6>에 나타나 있다. 시나리오 4~시나리오 6을 신재생에너지 발전기술을 도입하는 기술진보 시나리오인 시나리오 2와 비교하여 검토한다.

시나리오 4는 탄소세 수입을 소비세를 인하하는 방향으로 사용하는 경우를 나타낸다. 시나리오 4의 경우, 온실가스 감축에 따른 GDP 손실을 반전시키는 GDP 개선효과는 그리 크지 않은 것으로 나타나고 있다. 탄소세수를 소비세 인하로 환원하는 경우, 시나리오 2에 비해 2040년까지 GDP 손실은 더 커질 전망이다. 2040년 이후에 가서야 시나리오 2보다 GDP 손실이 작은 것으로 나타나고 있다. 연평균으로 보면 시나리오 2의 GDP 손실(-2.34%)에 비해 소비세로의 환원에 따른 GDP 손실(-2.40%)이 0.06%p 약간 큰 것으로 나타나서 양 시나리오간에 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과를 보이는 이유는 본 모형의 구조상 정부지출과 가계의 소비지출 간의 차이가 크지 않기 때문이다. 실제 소비세의 비효율성이 다른 세금에 비해 크지 않은 것으로 분석되고 있다. 따라서 소비세를 인하하는 경우 조세환원효과가 상대적으로 크지 않을 전망이다.

시나리오 5는 탄소세 수입을 근로소득세를 인하하는 방향으로 사용하는 경우를 나타낸다. 탄소세 수입을 근로소득세를 인하하는 방향으로 사용하는 시나리오 5의 경우, 소비세에 비해 조세환원효과가 상대적으로 큰 것으로 분석된다. <표 6>에서 보듯이 근로소득세를 인하할 경우에는 2020년에 -2.07%, 2030년에 -2.15%, 2040년에 -1.17%에 달하는 GDP 손실이 발생하지만, 2045년부터는 GDP가 증가할 전망이다. 근로소득세를 인하할 경우 연평균 GDP 손실은 -1.04%에 달하는 것으로 추정되었다. 따라서 탄소세수를 정부의 일반재정지출로 사용하는 시나리오 2의 연평균 GDP 손실이 -2.34%인 데 비해, 근로소득세로의 환원으로 인한 연평균 GDP 손실은 -1.04%로서 -1.3%p 감소할 전망이다. 즉, 시나리오 2에 비해 근로소득세로의 환원을 나타내는 시나리오 5가 GDP 손실폭을 상당히 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 더욱이 근로소득세로의 환원시 2045년부터 GDP가 절대적으로 증가함에 따라, 2045년 이후에는 이중배당가설이 성립하는 것으로 분석되었다.

<그림 5> 탄소세 세수 환원의 GDP 효과

(단위: %)



주: ITC는 기술진보(시나리오 2), CON은 소비세로의 환원(시나리오 4), LAB는 근로소득세로의 환원(시나리오 5), CAP는 법인세로의 환원(시나리오 6)을 나타냄.

〈표 6〉 탄소세 세수 환원의 GDP 효과

(단위 : %)

연도	시나리오 2 기술진보	시나리오 4 소비세 환원	시나리오 5 근로소득세 환원	시나리오 6 법인세 환원
2020	-1.45	-1.92	-2.07	-0.29
2021	-1.60	-2.06	-2.11	-0.35
2022	-1.74	-2.18	-2.15	-0.41
2023	-1.88	-2.30	-2.17	-0.47
2024	-2.01	-2.41	-2.19	-0.54
2025	-2.14	-2.52	-2.20	-0.60
2026	-2.26	-2.63	-2.20	-0.67
2027	-2.38	-2.72	-2.20	-0.73
2028	-2.49	-2.81	-2.20	-0.79
2029	-2.60	-2.89	-2.18	-0.85
2030	-2.69	-2.97	-2.15	-0.91
2031	-2.78	-3.03	-2.12	-0.96
2032	-2.86	-3.09	-2.07	-1.01
2033	-2.93	-3.13	-2.01	-1.05
2034	-2.98	-3.15	-1.94	-1.07
2035	-3.02	-3.16	-1.85	-1.09
2036	-3.05	-3.16	-1.76	-1.09
2037	-3.06	-3.14	-1.64	-1.07
2038	-3.04	-3.09	-1.50	-1.04
2039	-3.01	-3.03	-1.34	-0.98
2040	-2.96	-2.94	-1.17	-0.90
2041	-2.88	-2.82	-0.97	-0.80
2042	-2.77	-2.68	-0.75	-0.67
2043	-2.64	-2.50	-0.50	-0.50
2044	-2.46	-2.29	-0.21	-0.30
2045	-2.26	-2.05	0.11	-0.04
2046	-2.01	-1.76	0.46	0.26
2047	-1.72	-1.42	0.84	0.61
2048	-1.38	-1.04	1.27	1.02
2049	-0.99	-0.61	1.75	1.49
2050	-0.56	-0.13	2.28	2.04
연평균	-2.34	-2.40	-1.04	-0.39

주: 시나리오 3은 목표관리제로서 이 표에 포함되어 있지 않음.

시나리오 6은 탄소세 수입을 법인세를 인하하는 방향으로 사용하는 경우를 나타낸다. 탄소세 수입을 법인세를 인하하는 방향으로 사용하는 경우, 조세환원 효과가 큰 것으로 분석되었다. 법인세로의 환원은 2020년에는 -0.29% , 2030년에는 -0.91% , 2040년에는 -0.90% 에 달하는 GDP 손실이 발생하며, 2046년부터는 GDP가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 다른 시나리오에 비해 GDP 손실의 폭이 크게 작아지는 것으로 나타난 것이다. 시나리오 6의 GDP 손실은 연평균 -0.39% 로서 시나리오 2의 -2.34% , 시나리오 4의 -2.40% 에 비해 손실폭이 크게 작아지며, 시나리오 6의 -1.04% 에 비해서도 손실폭이 작아지는 것으로 분석되었다. 연평균으로 볼 때 법인세를 인하할 경우 조세환원효과가 근로소득세 인하보다도 클 것으로 분석되었다. 연도별 GDP 변화를 살펴보면 2043년을 기점으로 법인세 인하(시나리오 6)와 근로소득세 인하의 세수환원효과가 정반대로 나타나고 있다. 2043년 이전에는 법인세 인하(시나리오 6)가 GDP 측면에서 바람직하며, 반대로 2043년 이후에는 근로소득세 인하(시나리오 5)가 바람직한 것으로 나타나고 있다. 이는 신재생에너지 발전기술이 상대적으로 적게 도입되는 전반기 시기에는 자본의 경제적 기여도가 중요한 반면, 신기술 도입이 확대되는 후반기에는 반대로 자본의 경제적 기여도가 하락하기 때문인 것으로 분석된다. 이는 자본의 경제적 기여도가 높은 초기 시기에 법인세 인하를 통해 조세의 왜곡을 완화하는 것이 필요함을 의미한다.

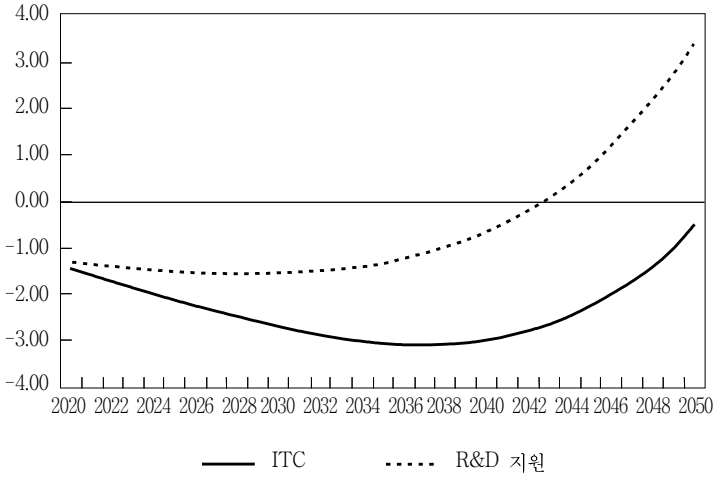
4) R&D 지원의 GDP 효과

경제성장이 기술진보를 촉진하고 기술진보가 다시 경제성장을 견인하는 내생적 성장모형에서 기술진보를 확대하는 방향으로 탄소세수를 사용한다면 이중배당가설이 성립할 수 있다는 연구들이 최근 활발히 진행되고 있다. 이러한 측면에서 탄소세 수입을 R&D 지원으로 환원할 경우의 GDP 변화를 살펴본다.

<표 7>에 나타나 있듯이 탄소세수를 R&D 지원에 활용할 경우 2020년의 GDP 손실은 -1.33% , 2030년에는 -1.52% , 2040년에는 -0.62% 에 달하다가, 2043년부터 GDP가 증가세로 돌아서고 2050년에는 GDP 증가가 3.44% 에 달할

〈그림 6〉 R&D 지원을 위한 세수 환원의 GDP 효과

(단위 : %)



주: ITC는 기술진보(시나리오 2)의 경우임.

〈표 7〉 R&D 지원을 위한 세수 환원의 GDP 효과

(단위 : %)

연도	시나리오 2 기술진보	시나리오 7 R&D 지원	연도	시나리오 2 기술진보	시나리오 7 R&D 지원
2020	-1.45	-1.33	2036	-3.05	-1.21
2021	-1.60	-1.37	2037	-3.06	-1.10
2022	-1.74	-1.41	2038	-3.04	-0.97
2023	-1.88	-1.44	2039	-3.01	-0.81
2024	-2.01	-1.47	2040	-2.96	-0.62
2025	-2.14	-1.49	2041	-2.88	-0.41
2026	-2.26	-1.51	2042	-2.77	-0.16
2027	-2.38	-1.53	2043	-2.64	0.12
2028	-2.49	-1.54	2044	-2.46	0.45
2029	-2.60	-1.53	2045	-2.26	0.82
2030	-2.69	-1.52	2046	-2.01	1.23
2031	-2.78	-1.51	2047	-1.72	1.70
2032	-2.86	-1.48	2048	-1.38	2.22
2033	-2.93	-1.44	2049	-0.99	2.80
2034	-2.98	-1.38	2050	-0.56	3.44
2035	-3.02	-1.30	연평균	-2.34	-0.35

전망이다. <그림 6>에서 보듯이 정부지출 대신 R&D 지원을 위해 세수를 활용할 경우 모든 연도에서 GDP 손실폭이 축소되는 것을 볼 수 있다. GDP가 증가세로 전환된 2043년 이후에는 GDP 증가폭이 빠르게 확대되는 모습을 보이고 있다. 이와 같이 GDP가 빠르게 증가하는 이유는 R&D 확대에 의한 신기술 도입이 시간이 지날수록 체증적으로 증가하고 이에 따른 확산효과도 체증적으로 확대되기 때문인 것으로 분석된다.

연평균 GDP 손실은 -0.35% 에 달해 정부지출로 사용하는 경우에 비해서는 -1.99% p 감소하고, 근로소득세에 비해서는 -0.69% p, 자본소득세에 비해서는 -0.04% p 감소하는 것으로 추정되어 GDP 측면에서 세수를 R&D 지원으로 활용하는 것이 가장 바람직한 것으로 분석되었다.

2. 시나리오별 감축비용에 대한 영향

1) 신재생에너지 발전기술 도입의 감축비용 효과

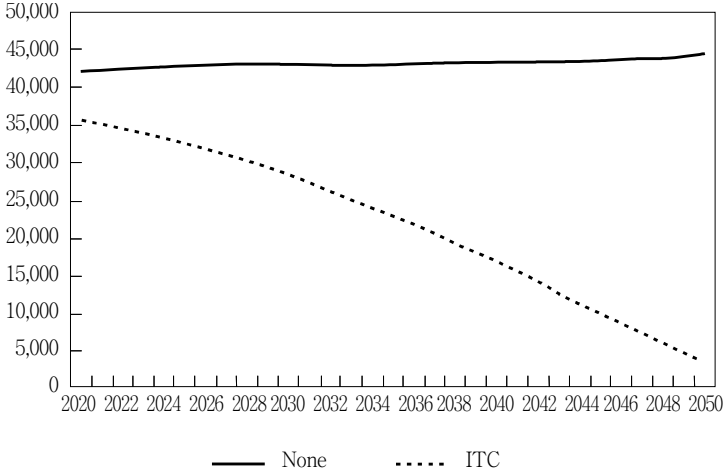
온실가스 감축규제가 도입되면 기업에게 청정연료로의 대체를 통해 온실가스를 감축하려는 대체효과(substitution effect), 생산 자체를 줄여 달성하려는 산출효과(output effect), 신기술을 도입하려는 기술유인효과(induced technology effect)가 발생하게 된다. 이러한 효과들의 상호작용으로 감축비용 수준이 결정되게 된다.

시나리오 1에서 보듯이 국가감축목표 달성을 위해 발생하는 감축비용은 CO₂ 1톤당 2020년에 42,183원에서 2030년에 43,139원, 2040년에 43,283원, 2050년에 44,540원으로 조금씩이나마 계속 증가하는 모습을 보이고 있다. 온실가스 감축량의 증가에 비해 감축비용이 상대적으로 완만한 증가세를 보이는 이유는 시간이 지날수록 에너지 효율이 빠르게 향상되고 에너지원간의 대체 탄력성도 시간이 지날수록 증가한다고 가정하였기 때문이다.

시나리오 2에서 보듯이, 신재생에너지 발전기술이 도입되면 감축비용은 큰 폭

〈그림 7〉 신재생에너지 도입에 따른 감축비용 변화

(단위 : 원/tCO₂)



주: ITC는 기술진보(시나리오 2)의 경우임.

〈표 8〉 신재생에너지 도입에 따른 감축비용 변화

(단위 : 원/tCO₂)

연도	시나리오 1 기본	시나리오 2 기술진보	연도	시나리오 1 기본	시나리오 2 기술진보
2020	42,183	35,718	2036	43,208	21,803
2021	42,348	35,177	2037	43,219	20,590
2022	42,502	34,597	2038	43,234	19,352
2023	42,638	33,977	2039	43,256	18,090
2024	42,756	33,312	2040	43,283	16,805
2025	42,854	32,602	2041	43,316	15,491
2026	42,934	31,834	2042	43,362	14,167
2027	43,005	31,025	2043	43,425	12,836
2028	43,059	30,173	2044	43,505	11,506
2029	43,103	29,279	2045	43,606	10,157
2030	43,139	28,338	2046	43,726	8,792
2031	43,156	27,340	2047	43,875	7,445
2032	43,170	26,306	2048	44,057	6,123
2033	43,182	25,235	2049	44,277	4,831
2034	43,193	24,129	2050	44,540	3,575
2035	43,203	22,987			

으로 감소할 전망이다. 신재생에너지 발전기술이 도입되면 CO₂ 톤당 감축비용은 2020년에 35,718원, 2030년에 28,338원, 2040년에 16,805원, 2050년에 3,575원으로 추정된다. 이와 같이 신재생에너지 발전 기술의 도입에 따른 감축비용 감소효과는 시간이 지날수록 크게 확대될 전망이다. 이는 신재생에너지 발전기술이 도입되면 전력부문의 감축잠재량이 크게 확대되기 때문이다. 전력부문의 감축잠재량이 커질수록 감축비용이 상대적으로 비싼 여타 산업에서 조금씩 감축하여도 국가감축목표를 달성할 수 있기 때문에 결과적으로 감축비용이 하락하게 된다.

2) 목표관리제하의 감축비용

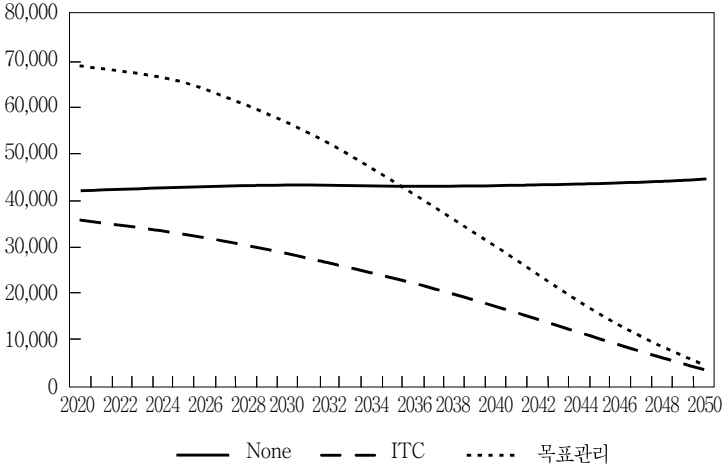
목표관리제하의 감축비용은 상대적으로 매우 높게 나타나고 있다. <그림 8>과 <표 9>에서 보듯이 2020년에 CO₂ 톤당 감축비용은 69,015원으로 신기술 도입이 없는 경우보다도 높을 전망이다. 그러나 2030년대 중반 이후부터 감축비용이 빠르게 감소하여 2050년에는 CO₂ 톤당 감축비용이 4,381원으로 하락할 전망이다.

목표관리제는 배출권에 대한 권리가 기업에 있기 때문에 배출한 만큼 배출권에 대한 권리를 인정받을 수 있다. 따라서 기업의 입장에서 보면 배출권의 권리를 보다 많이 확보할 유인이 존재한다. 따라서 온실가스를 감축하려는 유인이 적기 때문에 감축목표를 달성하기 위한 감축비용이 높아지는 것으로 분석된다.¹⁹⁾ 감축잠재량이 가장 큰 전력산업이 배출을 줄이려는 유인이 크게 감소한다는 점이 목표관리제하의 감축비용이 크게 상승하는 원인으로 작용한다. 그러나 신재생에너지와 같이 신기술의 보급이 확대되면 기술진보에 따른 감축비용의 하락효과가 커질 전망이다. 이에 따라 목표관리제하에서도 2040년 이후의 감축비용은 시나리오 2의 수준으로 접근하게 된다.

19) 본 연구는 기업이 배출한 수준만큼 잉여를 갖는 것으로 가정하였다. 그리고 감축목표는 감축비용이 모두 같아지는 점에서 결정되도록 모형을 설계하였다. 따라서 감축비용이 상대적으로 싼 산업에서 상대적으로 많이 감축하고 감축비용이 비싼 산업에서 상대적으로 적게 감축하게 된다.

〈그림 8〉 목표관리제 도입에 따른 감축비용 변화

(단위 : 원/tCO₂)



주: ITC는 기술진보(시나리오 2)의 경우임.

〈표 9〉 목표관리제 도입에 따른 감축비용 변화

(단위 : 원/tCO₂)

연도	시나리오 2 기술진보	시나리오 3 목표관리제	연도	시나리오 2 기술진보	시나리오 3 목표관리제
2020	35,718	69,015	2036	21,803	41,240
2021	35,177	68,537	2037	20,590	38,388
2022	34,597	67,901	2038	19,352	35,502
2023	33,977	67,101	2039	18,090	32,600
2024	33,312	66,125	2040	16,805	29,699
2025	32,602	64,967	2041	15,491	26,794
2026	31,834	63,597	2042	14,167	23,943
2027	31,025	62,060	2043	12,836	21,161
2028	30,173	60,356	2044	11,506	18,397
2029	29,279	58,484	2045	10,157	15,721
2030	28,338	56,443	2046	8,792	13,152
2031	27,340	54,201	2047	7,445	10,728
2032	26,306	51,830	2048	6,123	8,455
2033	25,235	49,339	2049	4,831	6,339
2034	24,129	46,739	2050	3,575	4,381
2035	22,987	44,042			

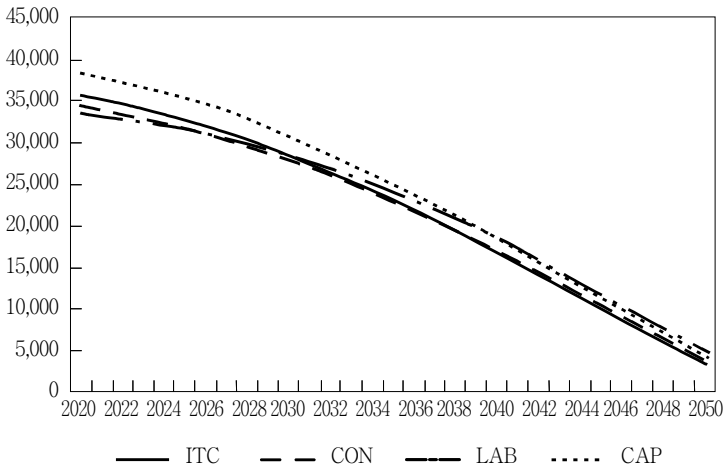
3) 조세왜곡 완화를 위한 세수 환원의 감축비용 효과

<그림 9>와 <표 10>에서 보듯이 소비세, 근로소득세, 법인세 중 GDP 손실이 가장 적었던 법인세의 경우가 전반적으로 감축비용(탄소세율)이 높을 전망이며, 다음으로 근로소득세와 소비세 순으로 높게 나타난다. 이는 산출효과 때문인 것으로 분석된다. 법인세로 환원하는 경우 다른 세금을 인하하는 경우에 비해 산업생산이 증가하고 이에 따라 온실가스 배출에 대한 수요가 증가하기 때문이다.

<표 10>에서 보듯이 법인세로의 환원의 CO₂ 톤당 감축비용은 2020년에 38,404원, 2030년에 30,811원, 2040년에 18,336원, 2050년에 4,414원으로 추정된다. 근로소득세 인하의 CO₂ 톤당 감축비용은 2020년에 33,389원, 2030년에 28,577원, 2040년에 18,487원, 2050년에 5,003원으로 추정된다. 앞서 살펴보았듯이 GDP 손실은 2043년까지는 법인세를 인하할 경우가 근로소득세에 비해 손실

<그림 9> 조세왜곡 완화를 위한 세수 환원의 감축비용 효과

(단위 : 원/tCO₂)



주: ITC는 기술진보(시나리오 2), CON은 소비세로의 환원(시나리오 4), LAB은 근로소득세로의 환원(시나리오 5), CAP는 법인세로의 환원(시나리오 6)을 나타냄.

〈표 10〉 조세왜곡 완화를 위한 세수 환원의 감축비용 효과

(단위 : 원/tCO₂)

구분	시나리오 2 기술진보	시나리오 3 소비세 환원	시나리오 4 근로소득세 환원	시나리오 5 법인세 환원
2020	35,718	34,476	33,389	38,404
2021	35,177	34,007	33,137	37,925
2022	34,597	33,501	32,839	37,382
2023	33,977	32,954	32,495	36,775
2024	33,312	32,361	32,101	36,105
2025	32,602	31,722	31,657	35,373
2026	31,834	31,027	31,138	34,569
2027	31,025	30,290	30,573	33,709
2028	30,173	29,510	29,960	32,796
2029	29,279	28,687	29,296	31,830
2030	28,338	27,816	28,577	30,811
2031	27,340	26,888	27,782	29,728
2032	26,306	25,922	26,941	28,603
2033	25,235	24,919	26,053	27,439
2034	24,129	23,878	25,117	26,236
2035	22,987	22,799	24,132	24,996
2036	21,803	21,675	23,086	23,713
2037	20,590	20,521	21,998	22,403
2038	19,352	19,337	20,868	21,069
2039	18,090	18,125	19,697	19,712
2040	16,805	16,887	18,487	18,336
2041	15,491	15,616	17,226	16,935
2042	14,167	14,331	15,938	15,528
2043	12,836	13,033	14,624	14,118
2044	11,506	11,731	13,294	12,713
2045	10,157	10,407	11,923	11,283
2046	8,792	9,059	10,517	9,852
2047	7,445	7,724	9,113	8,443
2048	6,123	6,408	7,721	7,064
2049	4,831	5,118	6,348	5,719
2050	3,575	3,859	5,003	4,414

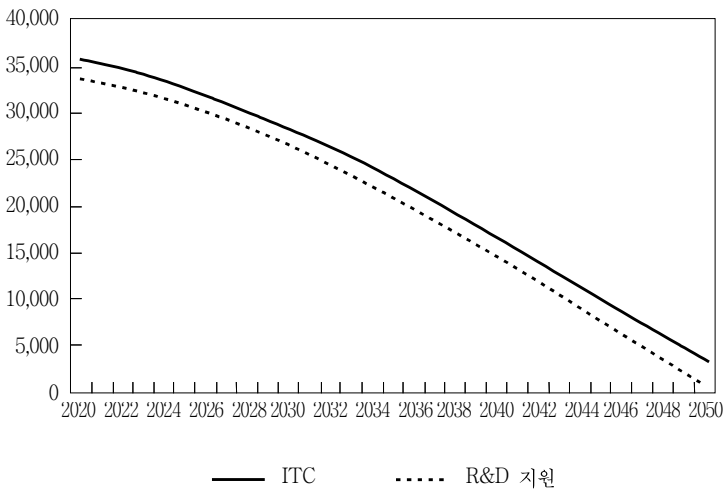
이 작게 나타나며, 그 이후에는 근로소득세 인하시 GDP 손실폭이 더 작아지며 나아가 GDP 증가폭이 더 커지는 것으로 나타났다. 따라서, 감축비용은 2043년 이전까지는 법인세로의 환원시 더 크며, 그 이후에는 근로소득세로의 환원시 더 큰 것으로 분석되었다.

4) R&D 지원정책의 감축비용 효과

<그림 10>과 <표 11>에서 보듯이 R&D 투자지원은 신재생에너지 발전기술 도입을 촉진하기 때문에 지원이 없는 경우에 비해 모든 연도에서 감축비용이 하락할 전망이다. 정부가 탄소세 세수입을 R&D 지원으로 활용할 경우 CO₂ 톤당 감축비용은 2020년에 33,504원, 2030년에 26,577원, 2040년에 14,600원, 2050년에 1,106원으로 추정된다. R&D 지원이 없는 일반적인 기술진보를 나타내는 시나리오 2와 비교하면, 2020년에 -2,214원(6.2%), 2030년에 -1,761원(6.2%), 2040년에 -2,205원(13.1%), 2050년에 -2,469원(69.1%)이 감소할 전망이다.

<그림 10> R&D 지원의 감축비용 효과

(단위 : 원/tCO₂)



주: ITC는 기술진보(시나리오 2), R&D 지원은 시나리오 7의 경우임.

〈표 11〉 R&D 지원의 감축비용 효과

(단위 : 원/tCO₂)

연도	시나리오 2 기술진보	시나리오 7 R&D 지원	연도	시나리오 2 기술진보	시나리오 7 R&D 지원
2020	35,718	33,504	2036	21,803	19,812
2021	35,177	33,077	2037	20,590	18,546
2022	34,597	32,593	2038	19,352	17,254
2023	33,977	32,052	2039	18,090	15,938
2024	33,312	31,451	2040	16,805	14,600
2025	32,602	30,791	2041	15,491	13,234
2026	31,834	30,054	2042	14,167	11,866
2027	31,025	29,265	2043	12,836	10,465
2028	30,173	28,423	2044	11,506	9,059
2029	29,279	27,527	2045	10,157	7,664
2030	28,338	26,577	2046	8,792	6,280
2031	27,340	25,555	2047	7,445	4,927
2032	26,306	24,490	2048	6,123	3,610
2033	25,235	23,383	2049	4,831	2,335
2034	24,129	22,235	2050	3,575	1,106
2035	22,987	21,047			

따라서 R&D 지원은 GDP 뿐만 아니라 감축비용 측면에서 그 파급효과가 매우 클 것으로 분석되었다.

IV. 결 론

기후변화에 대한 국내외적 대응이 강화됨에 따라 우리나라는 온실가스 국가 감축목표를 설정한 바, 2020년에 BAU 대비 30%를 감축하기 위해 다양한 정책을 추진하고 있다. 이와 관련하여 ‘저탄소-녹색성장’의 역할에 대한 논의도 활

발히 진행되고 있다. 본 연구는 탄소세를 정책수단으로 한 온실가스 감축목표 달성에 있어서 기술진보, 이중배당가설, R&D 투자의 경제적 파급효과를 분석하였다.

본 연구는 기술변화와 기술진보의 역할을 충분히 반영하기 위해, 기술진보가 내생적으로 결정되는 내생적 성장이론을 반영하여 일반균형모형을 구축하였다. 본 연구의 결과는 기본적으로 신재생에너지 발전기술 도입이 확대될수록 온실가스 감축비용은 큰 폭으로 하락하지만 GDP 손실은 여전히 발생하는 것으로 분석되고 있다. 이는 Goulder and Schneider (1999), Buonanno, Carraro and Galeotti (2002), Gerlagh and Zwaan (2003) 등의 연구 결과와 일치한다. 신기술 도입은 온실가스 감축비용을 큰 폭으로 낮출 수 있지만 R&D 투자의 구축효과로 GDP 손실이 발생할 수 있음을 보여주고 있다.²⁰⁾

시나리오 1에서 보듯이 신재생에너지 발전기술로 대표되는 녹색기술이 도입되지 않는다면, 2020년에 BAU 대비 30% 감축 및 2050년에 BAU 대비 50% 감축은 GDP 손실을 초래한다. GDP 손실은 2020년에 2.39%, 2030년에 3.46%, 2040년에 4.66%, 2050년에 5.85%까지 증가한다.

신재생에너지 발전기술로 대표되는 녹색기술이 도입되면(시나리오 2), 녹색기술이 GDP 상승을 견인함에 따라 전체적인 온실가스 감축에 따른 GDP 감소폭은 크게 작아지지만 절대적인 수준에서는 GDP 손실이 발생한다. 그러나 신재생에너지 발전기술을 통한 GDP 상승 견인효과는 2020년에 -0.94%p, 2050년에는 -5.29%p로 크게 나타났다. 2020년의 경우, -0.94%p의 GDP 상승견인 효과는 시나리오 1의 GDP 감소폭인 -2.39%의 약 39%에 해당하는 매우 큰 수치이다. 시나리오 2의 분석 결과 신재생에너지 발전기술로 대표되는 녹색기술의 유인이 GDP를 상승시킴을 보여준다. 그러나 총 수치는 아직 음(-)이어서 녹색기술로 인한 GDP 상승이 온실가스 감축으로 인한 GDP 손실을 능가하지 못한다. 그럼

20) Gerlagh and Zwaan (2003)는 학습효과에 의하여 화석연료 사용을 줄이는 방향으로 기술이 발전한다면 장기적으로 GDP도 함께 증가할 수 있음을 보여주고 있다.

에도 불구하고 녹색기술의 활용이 중장기적으로 경제성장에 크게 기여함을 보여 준다. 따라서 녹색기술이 적절히 도입되도록 하는 정책이 필요함을 알 수 있다.

녹색기술이 내생적으로 도입되는 시나리오 2와 목표관리제를 나타내는 시나리오 3을 비교하면, 투자재원을 정부보다 민간이 활용하는 경우가 온실가스 감축에 따른 GDP 손실을 작게 만들음을 보여준다. 목표관리제는 배출권에 대한 권리가 기업에 귀속되는 바, 이 경우의 GDP 손실은 2020년에 -1.56% , 2030년에 -2.12% , 2040년에 -1.55% 에 달한다. 그러나 2046년부터 GDP가 증가세(+)로 돌아서 2050년에 2.22% 에 달하는 GDP 증가가 예상된다. 이는 매우 중요한 결과이다. 배출권에 대한 권리를 정부에서 기업으로 이전하는 것만으로도 GDP 손실을 연평균 -1.2% 씩 줄일 수 있음을 의미한다. 목표관리제를 나타내는 시나리오 3의 특징은 동일한 투자재원을 정부보다 민간이 활용하는 경우 GDP를 증진시킴을 보여준다.

시나리오 4(소비세로의 환원), 시나리오 5(근로소득세로의 환원), 시나리오 6(법인세로의 환원)을 비교한다. 탄소세는 탄소배출에 대한 비용을 증가시킴으로써 탄소저배출형 녹색기술의 개발을 촉진시킨다. 탄소세 부과시 확보되는 탄소세수의 환원방식에 따라 이중배당이 달성되는지가 중요한 사항이다.

탄소세 수입을 환원하는 경우 GDP 손실을 개선시키는 효과는 법인세로의 환원이 가장 크며, 그 다음이 근로소득세로의 환원이 크고, 마지막으로 소비세로의 환원이 가장 작다. 정부의 국가감축목표가 명시되어 있는 2020년 이후 2050년까지의 GDP 영향을 연평균으로 보면, 탄소세 수입을 소비세로 환원하는 경우 온실가스 감축에 따른 GDP 손실은 2050년까지 연평균으로 -2.40% 이다. 근로소득세로 환원하는 경우 GDP 손실이 2050년까지 연평균으로 -1.04% 로 크게 작아지며, 법인세로 환원하는 경우 -0.39% 로 더욱 작아짐을 보여주고 있다. 이는 녹색 신기술이 도입되지 않는 경우(시나리오 1)의 연평균 -4.23% , 녹색 신기술이 내생적으로 도입되는 경우(시나리오 2)의 연평균 -2.34% 와 비교할 때 탄소세 수입을 정부지출로 사용하는 것보다 기존의 조세왜곡을 완화하는 방향으로 상용할 때 GDP 견인효과가 상당함을 보여준다.

이는 향후 정부정책에 매우 중요한 시사점을 제시해 준다. 정부재원의 지출 방식에 따라 GDP에 대해 크게 영향을 미칠 수 있음을 보여주기 때문이다. 정부는 온실가스 감축목표 달성시 탄소세수의 환원방식에 따라서 GDP 손실의 개선효과가 달라지며, 법인세로의 환원, 그 다음에 근로소득세로의 환원, 그 다음에 소비세로의 환원의 순서로 GDP 손실의 개선효과가 크다는 점을 고려해야 한다.

한편, 탄소세 수입을 R&D 지원으로 환원할 경우의 GDP 영향은 분석기간 연평균 -0.35% 로 가장 작게 나타났으며, GDP의 절대적 증가는 2043년부터 발생하여 GDP에 대한 긍정적 효과가 가장 큰 정책으로 분석되었다.

즉, 탄소세 수입을 R&D 지원으로 사용할 경우의 GDP 변화는 또 다른 결과들을 보여준다. R&D 지원을 위해 세수를 활용할 경우 GDP 손실은 2020년에 -1.33% , 2030년에 -1.52% , 2040년에 -0.62% 에 달하다가 2043년부터 GDP가 증가세로 돌아서고 2050년에는 GDP 증가가 3.44% 에 달할 전망이다. 정부지출 대신 R&D 지원을 위해 세수를 활용할 경우 모든 연도에서 GDP 손실이 축소되고 있다. 2020년~2050년간의 연평균 GDP 손실은 0.35% 로서 여타 시나리오의 결과와 크게 대비된다. 탄소세 수입을 R&D 지원으로 사용할 경우 GDP 손실은 근로소득세로의 환원(시나리오 5)에 비해서는 연평균으로 $-0.69\%p$, 법인세로의 환원(시나리오 6)에 비해서는 연평균으로 $-0.04\%p$ 로 감소하는 것으로 추정되었다.

본 연구가 탄소세 부과에 따른 환경적 편익을 명시적으로 분석하지는 않았지만, 탄소세 수입을 소비세, 근로세, 법인세 감면에 사용하면 그만큼 소비와 산출이 늘어나서 동태적으로는 탄소세 부과로 인한 환경적 편익이 감소할 가능성이 존재한다. 따라서 탄소세 수입을 신재생에너지 등 녹색기술 개발 지원에 사용할 때 환경적 편익도 동태적으로 유지될 가능성도 높아진다.

향후 연구 과제를 살펴보면 다음과 같다. 보다 광범위한 신기술을 분석에 포함시키도록 해야 한다. 예를 들어, 수송부문의 그린카의 도입, 건물부문의 제로배출기술의 적용 등 향후 몇 십 년 내에 활용될 수 있는 기술들을 기술진보 시

나리오에 포함하여 분석할 필요가 있다. 이를 위해 산업별·기술별 신기술 보급률과 개발비용을 보다 정확히 추정할 필요가 있다. 또한, BAU 전망에 대한 지속적인 갱신이 필요하다. 정확한 BAU 배출량하에서 국가감축량과 신기술 도입 효과를 평가할 때 분석의 정확도가 향상될 것이다. 본 연구에서 고려한 신재생에너지 발전기술과 관련된 부분에서도 보다 정확한 데이터 구축이 요구된다. 온실가스 저감비용은 신재생에너지 발전기술의 도입 정도에 따라 크게 영향을 받는다. 본 연구에서는 언급하지 않았지만 분석 결과가 2050년경에 신재생에너지 발전 비중이 약 90%를 차지하여 기존 전력 기술을 대부분 대체할 것으로 전망하고 있다. 현재 신재생에너지 발전기술이 매우 더디게 도입되고 있는 점을 고려하면 매우 비현실적인 결과일 수 있다. 신기술과 관련된 신뢰할 수 있는 데이터 구축은 향후 연구과제로 남겨두기로 한다.

◎ 참고 문 헌 ◎

1. 구분열, “소비에 근거한 CAPM의 실증적 연구”, 「재무관리연구」, 한국재무관리학회, 1992, pp. 1 ~ 22.
2. 김승래, “온실가스 감축정책의 설계: 녹색성장을 위한 조세정책 방향을 중심으로”, 「녹색성장: 국가성장전략의 모색」, KDI, 2008.
3. 김학수, “법인세 한계유효세율의 추정 및 시사점”, 한국경제연구원, 2009.
4. 남주하, “소비준거 자산가격모형을 이용한 소비행태의 분석: 소비의 내구성과 습관성”, 「경제학연구」, 한국경제학회, 1997, pp. 1121 ~ 1166.
5. 손양훈·신동천, “환율변동이 에너지 산업에 미치는 영향”, 「경제학연구」, 제45집 제1호, 한국경제학회, 1997, pp. 123 ~ 139.
6. 오진규, “에너지부문의 기후변화 대응과 연계한 녹색성장 전략 연구”, II. III년도 연구, 에너지경제연구원, 2010, 2011.
7. 이민원, “소비변동의 합축성: 향상소득가설과 유동성 제약”, 「경제학연구」, 한국경제학회, 1992, pp. 469 ~ 489.

8. 조경엽, “국가온실가스 감축목표 평가와 시사점”, 한국경제연구원, 2010.
9. 최진석, “위협회피, 위험증가 효과와 예비적 저축에 관한 연구”, 부산대학교, 경제학과, mimo, 2006.
10. Ballard, C. L., H. Goddeeris, and S. K. Kim, “Non-homothetic Preferences and the Non-Environmental Effects of Environmental Taxes,” *International Tax and Public Finance*, 12, 2005, pp. 115 ~ 130.
11. Bernstein, P. M., W. O. Montgomery, and T. F. Rutherford, “Global Impacts of the Kyoto Agreement : Results from MS-MRT Model,” *Resource and Energy Economics*, 21, 1999, pp. 375 ~ 413.
12. Bovenberg, A. L. and R. A. de Mooij, “Environmental Levies and Distortional Taxation,” *American Economic Review*, 84, 1994, pp. 1085 ~ 1089.
13. Buonanno, P., C. Carraro, and M. Galeotti, “Endogenous Induced Technical Change and the Costs of Kyoto,” *Resource and Energy Economics*, 25, 2002, pp. 11 ~ 34.
14. Fullerton, D., “Environmental Levies and Distortional Taxation : Comment,” *American Economic Review* 87, 1997, pp. 245 ~ 251.
15. Fullerton, D. and S. R. Kim, “Environmental Investment and Policy with Distortional Taxes and Endogenous Growth,” NBER Working Paper 1207, National Bureau of Economic Research, Inc. Cambridge, MA, 2006.
16. Gerlagh, R. and van der Zwaan, “Gross World Product and Consumption in a Global Warming : Model with Endogenous Technological Change,” *Resource and Energy Economics*, 25, 2003, pp. 35 ~ 57.
17. Goulder, L., “Environmental Taxation and the Double Dividend : A Reader’s Guide,” *International Tax and Public Finance*, 2, 1995, pp. 157 ~ 183.
18. Goulder, L. and S. H. Schneider, “Induced Technological Change and the Attractiveness of CO₂ Abatement Policies,” *Resource and Energy Economics*, 21, 1999, pp. 211 ~ 253.
19. Kim, S. R., “Optimal Environmental Regulation in the Presence of Other Taxes,” *Contributions to Economic Analysis and Policy*, 1(1), Article 4, *The B. E. Journal of Economic Analysis and Policy*, 2002, pp. 1 ~ 25.
20. Markusen, J., “General Equilibrium Modeling using GAMS and MPSGE : Tutorial,”

<http://spot.colorado.edu/~makunsen/>, 2002.

21. Parry, W. H., "A Second Best Analysis of Environmental Subsidies," *International Tax and Public Finance*, 5, 1998, pp. 153 ~ 170.
22. Pearce, D., "The Role of Carbon Taxes in Adjusting to Global Warming," *The Economic Journal*, 101, 1991, pp. 838 ~ 848.
23. Rasmussen, T. N. and T. F. Rutherford, "Modeling Overlapping Generation in a Complementarity Format," *Journal of Economic Dynamics and Control*, 28(7), 2004, pp. 1383 ~ 1409.
24. Repetto, R. and R. C. Dower, Robin Jenkins, and Jacqueline Geoghegan, Green Fees, World Resources Institute, Washington, D.C., 1992.
25. Terkla, D., "The Efficiency Value of Effluent Tax Revenues," *Journal of Environmental Economics and Management*, 11(2), 1984, pp. 107 ~ 123.
26. Tullock, G., "The Welfare Costs of Monopolies, Tariffs, and Theft," *Western Economic Journal*, 5, 1967, pp. 224 ~ 232.
27. West, S. and R. Williams, "Empirical Estimates for Environmental Policy Making in a Second Best Setting," NBER Working Paper 1033, National Bureau of Economic Research, Inc. Cambridge, MA. 2004.

접수일(2012년 5월 4일), 수정일(2012년 6월 8일), 게재확정일(2012년 6월 14일)