

# 녹색성장전략 달성을 위한 산업별 R&D 투자의 경제적 성과분석\*

김성태\*\* · 조경엽\*\*\* · 이상돈\*\*\*\* · 임병인\*\*\*\*\*

본 논문은 21세기 한국경제의 과제로 대두된 온실가스 감축을 통한 환경보호와 경제성장을 동시에 달성하려고 추진하는 녹색성장 전략의 실현가능성을 검증하기 위하여 2007년 한국경제를 동태 연산가능 일반균형으로 재현하여 구축한 뒤, 산업별 R&D 투자의 경제적 성과를 분석하였다. 녹색성장 가능성을 평가하기 위한 시나리오는 온실가스 감축을 위한 신기술 도입 유무, 정부지원 유무, 생산단가 변화 등에 따라 5가지로 구성되며 분석결과는 다음과 같다. 첫째, 우리나라 정부가 온실가스 감축을 위한 신기술 도입과 정부의 R&D 투자지원 없이 국가 온실가스 감축목표를 이행할 경우, GDP 손실은 시간이 지날수록 확대되는 것으로 나타났다. 둘째, 온실가스 감축을 위한 신기술은 도입되나 정부의 R&D 투자 지원이 없는 경우, 초기에는 GDP가 감소되나 2033년부터는 GDP가 증가하는 양상을 보이고 있다. 셋째, 신기술 도입에 대한 정부의 R&D 투자지원은 2029년 이후 GDP를 증가시키고 온실가스를 감축시켜 저탄소 녹색성장을 달성시키는 것으로 나타났다. 넷째, 녹색기술의 핵심 중 하나인 신재생에너지의 경우 모멘텀 기술로 전환되어 신성장 동력을 창출할 가능성이 낮은 반면, 그린자동차는 IT 기술이 보였던 패턴과 유사하여 R&D 투자자본이 빠르게 형성되고, 이를 통해 기술혁신이 이루어지고 가격이 하락하여 모멘텀 기술로 기능하여 저탄소 녹색성장을 실현시킬 가능성이 높은 것으로 나타났다. 이상의 분석결과에서, 첫째 녹색성장 목표를 달성하기 위해서는 온실가스 감축을 위한 신기술은 무조건 도입되어야 하고, 둘째 정부는 신재생에너지보다는 그린자동차 관련 R&D 투자를 우선적으로 지원하는 것이 적절하며, 셋째 녹색성장 전략은 정치적 체제에 관계없이 한국경제의 장기전략으로 일관되게 추진되어야 한다는 정책적 시사점을 도출할 수 있었다.

\* 이 논문은 2009년도 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구과제임(No. 32A-2009-1-B00040).

\*\* 제1저자, 청주대학교 경제통상학부 교수, 전화: (043) 229-8182, E-mail: stkim@cju.ac.kr

\*\*\* 공동저자, 한국경제연구원 선임연구위원, 전화: (02) 3771-0042, E-mail: glcho@keri.org

\*\*\*\* 공동저자, 한국직업능력개발원, 전화: (02) 3485-5025, E-mail: sdlee@krivet.re.kr

\*\*\*\*\* 교신저자, 충북대학교 경제학과 교수, 전화: (043) 261-2216, E-mail: billforest@hanmail.net

논문투고일: 2011. 3. 3 수정일: 2011. 4. 12 게재확정일: 2011. 6. 1

## 6 녹색성장전략 달성을 위한 산업별 R&D 투자의 경제적 성과분석

핵심주제어: 녹색성장, 녹색기술, R&D 투자, 동태CGE모형, 일반균형 분석  
경제학문헌목록 주제분류: O3, O4, Q2

### I. 서 론

21세기에 들어서며 한국경제는 1960년대 경제개발 초기 이후 줄곧 추구하여 온 요소투입형-양적 성장전략이 한계에 봉착됨에 따라 새로운 경제성장 전략을 모색하게 되었다. 우선 양적 중심 성장전략은 질적 중심 성장전략으로 대체되었으며 요소투입형 성장전략은 기술혁신을 통한 성장전략으로 대체되었다. 이와 함께 기후변화와 지구온난화 문제는 전 세계가 해결하여야 될 글로벌 문제로 대두되었다. 이에 따라 온실가스 감축을 통하여 기후변화와 지구온난화 문제를 극복하고 동시에 경제성장을 달성하겠다는 저탄소-녹색성장이 새로운 국가발전 전략으로 대두되었다.<sup>1)</sup> 이와 같은 국가발전 전략 기조 하에서 교토의 정서에 의무감축국으로 지정되지 않은 우리나라 정부는 대내외적으로 2020년에 BaU 대비 30%에 달하는 온실가스를 감축하겠다는 국가 감축목표를 설정하였음을 발표하였다.<sup>2)</sup> 녹색성장(green growth)이란 용어는 2000년 1월 27일자 *Economist*에서 최초로 언급된 것으로 알려져 있다. 우리나라에서는 2008년 녹색성장이 국정과제로 대두된 이후 다양하게 정의하고 있다.<sup>3)</sup>

한편, 우리나라 정부는 2009~2013년 기간 중에 약 107조 원에 달하는 재원을 녹색기술에 투자하여 2020년까지 세계 7대, 2050년까지 세계 5대 녹색강국에 진입하겠다고 선언하였다.<sup>4)</sup> 그러나 정부의 기대와는 달리 저탄소-녹색성장

1) 녹색성장과 관련하여 그 동안 우리나라는 국가에너지기본계획(2008. 8.), 기후변화 대응 종합기본계획(2008. 9. 19), 그린에너지 산업발전 전략(2008. 9), 녹색성장 산업발전 전략(2008. 12. 2) 등과 같은 다양한 계획을 발표하였다. 이를 비롯하여 정부에서 발표된 녹색성장 10대 전략 중 R&D 관련 전략은 녹색기술의 신성장동력화와 고도의 융합기술 개발에 초점을 맞추고 있다.

2) BaU(또는 BAU)는 “Business As Usual”의 약어로서 특정 경제나 기업이 현재 성장률을 유지하는 경우 미래의 에너지 온실가스 배출량에 대한 전망치를 의미한다. 간단히 BAU는 특정 시점의 온실가스 배출전망치로 생각하면 된다.

3) 예를 들어, 녹색성장위원회(2009)에서는 환경(green)과 경제성장(growth)의 선순환, 삶의 질 개선 및 생활의 녹색혁명, 국제 기대에 부합하는 국가위상 정립, 「저탄소녹색성장 기본법」 제2조에서는 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 기후변화와 환경 훼손을 줄이고 청정에너지와 녹색기술의 연구개발을 통하여 신성장동력을 확보하며 새로운 일자리를 창출해 나가는 등 경제와 환경이 조화를 이루는 성장이라고 정의하고 있다.

4) 정부는 “녹색성장 국가전략 및 5개년 계획”을 통해 3대 추진전략 및 10대 정책방향, 50개

이 성공적으로 정착하여 온실가스 국가 감축목표를 경제적 손실 없이 달성할 가능성은 그다지 높아 보이지 않는다. 왜냐 하면, 온실가스 감축 자체가 막대한 경제적 비용을 수반하고, 녹색기술 또한 적은 비용으로 개발할 수 있는 것들이 아니기 때문이다. 온실가스를 감축하기 위해서는 생산 자체를 감소시키거나 에너지 효율향상과 에너지 전환이 필요하다. 문제는 이러한 노력들이 모두 공짜로 이루어지는 것이 아니라 비용을 수반하게 된다는 점이다. 생산자 비용 상승은 최종재화의 가격을 상승시켜 수출이 둔화되고 소비를 감소시킬 것이다. 따라서 생산자 비용을 낮추어 국제경쟁력을 유지하기 위해서는 새로운 기술개발이 필수적이다. 만약에 낮은 비용으로 신기술, 더 나아가 녹색기술을 개발하고 효율적으로 보급한다면 정부가 기대하는 온실가스 감축과 경제성장을 동시에 달성할 가능성이 높아질 것이다. 녹색기술이란 온실가스를 보다 저렴한 비용으로 줄이고 확산효과를 통해 경제 전체의 효율성 향상에 기여할 수 있는 기술을 의미하는데, 이와 관련하여 최근에 많은 논의가 이루어지고 있다.

문제는 녹색기술도 특성상 새로운 성장동력을 창출할 수 있는 모멘텀 기술로 발전하기에는 여러 장애요인이 존재하고 있다는 것이다. 이병태(2010)에 따르면, 모멘텀 기술은 생산을 빨리하게 하고, 복제가 쉬우며 전파를 용이하게 한다. 또한 규모의 경제를 구가할 수 있어 지속적으로 생산단가를 낮출 수 있어야 하며, 지속적인 혁신이 가능하여 생산과 전파의 속도를 더욱 향상시킬 수 있어야 한다. 그러나 현재의 녹색기술은 과거의 IT 기술과 달리 대규모의 자본투자를 요구하는 기술들로 구성되어 있고 온실가스 감축이라는 제약조건이 붙어 있기 때문에 IT 기술에 비해 기업의 투자유인이 미약한 것으로 평가되고 있다. 또한 이병태(2010)는 녹색기술이 첨단기술과 기초기술에 바탕을 두고 빠르게 발전하고 있어 지속적인 혁신은 가능하나 복제가 비교적 어려운 상황이고 개별 기술을 이용한 제품의 설치나 사용가능한 지역이 제한적이라는 단점이 있어 IT 버블 당시와 달리 녹색산업의 경우 버블 발생가능성이 낮고 이에 따라 녹색산업의 육성이 더디게 진행될 가능성이 높다고 지적하고 있다.<sup>5)</sup>

이러한 관점에서 본 연구는 녹색기술로 대표되는 신재생에너지와 그린자동차가 모멘텀 기술로 발전할 가능성에 대하여 실증적으로 평가하는 데 목적을 두

실천 과제와 387개 세부 과제를 발표하고 있다.

5) 기술이 발전하기 위해서는 어느 정도 거품(bubble)이 필요하다. 거품은 자본형성에 도움을 주고 치열한 경쟁을 유발하여 경제의 효율성을 높이는 순기능을 가지고 있다. 그러나 거품을 넘어 새로운 성장산업으로 도약하기 위해서는 혁신을 주도하는 모멘텀 기술이 존재해야 한다.

## 8 녹색성장전략 달성을 위한 산업별 R&D 투자의 경제적 성과분석

고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제I절의 서론에 이어 제II절에서는 녹색기술의 개념에 대하여 소개하고, 기존연구에 대하여 정리한다. 제III절에서는 녹색성장을 추구하기 위한 전략 중 주요 R&D 투자사업의 경제적 파급효과를 분석하기 위한 모형을 설정하게 될 것이다. 분석모형은 우리나라 경제를 생생하게 재현한 동태 계산가능 일반균형모형(Dynamic Computable General Equilibrium Model)이 될 것이다. 제IV절에서는 녹색성장 추진전략에서 수립된 녹색 R&D 투자에 대하여 신재생에너지와 그린자동차 분야를 중심으로 경제적 성과를 비교하여 분석하는 정책 모의실험을 수행하고 경제적 파급효과를 분석한다. 제V절에서는 녹색성장을 위한 정책 모의실험에 대한 분석결과를 요약하며 정책적 시사점을 제시하게 될 것이다.

## II. 녹색기술 개요와 기존연구

### 1. 녹색기술 개요<sup>6)</sup>

본 연구의 핵심 주제인 녹색기술(green technology)은 기본적으로 에너지 절약 기술과 신재생 에너지 기술 등과 같이 탄소배출량이 아예 없는 에너지원과 탄소배출량을 저감시킬 수 있는 기술, 그리고 에너지·나노·환경·생명공학 등 다양한 기술을 융합한 기술을 총칭하는 용어로 정의된다. 녹색기술은 저탄소화와 녹색산업화에 기여하여 환경보호와 경제성장이 선순환되는 녹색성장의 전략적 구심점이다. 따라서 녹색기술이 녹색성장의 주요 성장 동력원으로 부상할 것으로 예상되며, 실제로 녹색기술은 기존산업에 비해 일자리 창출효과가 커서 ‘고용 없는 성장’ 문제를 해결할 수 있는 방안의 하나로 기대되고 있다.

한편, 우리나라 산업은 제조업 및 에너지 다소비 산업 비중이 높아 기후변화 대응을 위한 이산화탄소 감축비용이 선진국에 비해 높으므로 기존산업을 저탄소구조로 전환함으로써 이산화탄소 감축비용을 줄이고, 우리의 강점 기술을 활용하여 신성장동력이 될 녹색기술을 적극적으로 발굴할 필요가 있다. 그런데 우리나라의 영역별 녹색기술 수준은 전반적으로 선진국 대비 50~70%에 불과하다(<표 1> 참조). 따라서 지속적으로 증가하고 있는 온실가스 배출량을 줄이기 위해서 우리나라 정부는 2012년에 선진국 대비 80% 수준, 2020년에는 선진국 대비 90% 수준까지 녹색기술 수준을 끌어올리는 것을 목표로 설정하고 있

6) 본 절은 녹색기술 연구개발 종합대책(안)(2009)에서 발췌, 인용한 것이다.

〈표 1〉 녹색기술 연구개발 영역

대분류		중분류		소분류
구분	기술 수준	구분	기술 수준	
예측기술	60%	기후변화 예측 및 영향 평가	60%	기후변화 예측, 지구환경변화 영향평가, 기후변화 적응
에너지원 기술(input)	60%	재생에너지	62%	태양광, 풍력, 바이오에너지, 해양에너지, 지열, 태양열, 수력, 복합·기반
		원자력/핵융합	64%	원자력, 핵융합
		수소·연료전지	55%	수소제조, 수소저장, 연료전지
고효율화 기술(process)	61%	화석연료 활용성 향상 및 고효율화	59%	석탄 액화(CTL) 및 가스화, 가스 액화(GTL), 신화석연료
		수송부문 효율성 향상	67%	자동차, 철도, 선박해양, 우주항공, 교통물류
		녹색국토	56%	그린시티, 그린홈/그린빌딩
		친환경 제조공정/소재 효율성 향상	59%	친환경 공정 및 제품, 제조공정/소재 효율성 향상
		전력효율성 향상	62%	LED·IT기기, 초전도활용·전력IT, 발전 효율성, 향상 에너지 저장
사후처리기술(by-product)	57%	대기오염 모니터링 및 제어	57%	CO <sub>2</sub> 포집저장처리, Non-CO <sub>2</sub> 모니터링 및 처리
		수질환경	62%	수처리, 수자원 확보
		환경복원	57%	생태계 복원, 토양지 하수복원
		폐기물	57%	폐기물 자원화 및 에너지화, 폐기물 처리
		환경보건	54%	위해성 평가
무공해 산업 경제(지식기반)육성	-	CT, 소프트 기반 IT, 지식서비스 등		가상현실

자료: 녹색기술 연구개발 종합대책(안)(2009), pp. 15, 30의 표를 통합하여 작성한 것임.

다. 참고로 정부는 녹색기술의 융합화 촉진, 기초·원천 연구 확대, 기존산업 그린화 및 신성장 동력화, 녹색기술 인프라 구축 등을 녹색기술 발전전략으로 수립하여 추진할 예정이다.

이제 녹색기술에 대한 R&D 투자액을 살펴본다(〈표 2〉 참조). 현재 녹색기술

10 녹색성장전략 달성을 위한 산업별 R&D 투자의 경제적 성과분석

〈표 2〉 연도별 녹색기술 R&D 투자금액

(단위: 조 원)

연도	2008 <sup>1)</sup>	2009	2010	2011	2012	비고
녹색기술 R&D(A)	1	1.2	1.4	1.7	2.0	· 2008~2012년 누계: 7.3 · 연평균 19% 증
현 정부 대선공약의 국가 R&D 투자(B)	38.0	43.7	50.0	57.5	66.3	
A/B*100(%)	2.63	2.75	2.8	2.96	3.0	

주: 1) 2007년 녹색기술 R&D 규모(0.9조 원, 집행기준)에 2008년 정부 R&D 증가율(11.1%)을 적용한 추정치임.

자료: 녹색기술 연구개발 종합대책(안), 제29회 국가과학기술위원회/제3회미래기획위원회, 2009. 1. 13.

R&D는 정부 전체 R&D 투자의 약 10%를 차지하고 있는데, 2007년 금액기준으로 보면 0.89조 원에 불과하다. 더구나 기초·응용연구보다 개발연구에 편중되어 기초연구 17%, 응용연구 26%, 개발연구 57% 등의 비중을 보여주고 있다. 정부는 녹색기술 발전전략을 추진하기 위해 녹색기술 관련 R&D 투자액의 국가 전체 R&D 투자액 대비 비중을 2008년 2.63%(1조 원)에서 2012년 3.0%(2조 원)로 높일 계획이다.

## 2. 기존연구

여기서는 본 논문의 연구주제와 유사한 기존연구들을 살펴보자. 우선 R&D 투자의 경제적 파급효과를 분석한 연구를 살펴보면 다음과 같다. R&D 투자의 생산성 파급효과 및 경제성장 효과 등을 분석한 연구로는 이원기·김봉기(2003), 서중해(2002), 문홍배(1997), 이병기(1995), 송준기(1994), 장진규·안두현(1992), 하준경(2005), 신범철·이의영(2009) 등이 있다. 특히, 하준경(2005)은 이원기·김봉기(2003), 서중해(2002), 문홍배(1997), 이병기(1995), 송준기(1994), 장진규·안두현(1992) 등이 주로 산업별 생산성과 같은 미시적 측면에서 중점을 두어 분석하고 있음에 반해 R&D 집약도를 이용하여 경제성장을 설명하였다. 신범철·이의영(2009)은 중소기업의 R&D 투자가 생산성에 미치는 효과에 초점을 맞춘 연구이다. 최근 김성태·임병인·조경엽(2007)과 김성태·임병인·김명규(2010) 등은 CGE모형을 이용하여 R&D 투자정책의 경제적 파급효과를 분석하였지만, 녹색기술 투자에 초점을 맞춘 연구는 아니었다.

최근 들어 저탄소 녹색성장과 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 조경엽(2010)은 신기술이 모형 내에서 결정되는 내생적 성장모형을 구축하고 국가온실가스 감축목표의 경제적 효과를 평가하고 있다. 조경엽(2010)은 신기술 도입이 온실가스 감축으로 인한 GDP 손실을 대폭 줄이기는 하지만 경제성장과 온실가스 감축 목표를 동시에 달성할 가능성이 낮다고 평가하고 있다.

반면, 노대래(2010)는 정부가 신기술 R&D에 대한 지원을 대폭 증가시키면 2020년대 중후반부터 경제성장과 온실가스 감축이 병행될 수 있음을 보여주고 있다.

오진규(2010)는 신기술 관련 생산단가에 대한 다양한 시나리오를 설정하고 온실가스 감축목표를 평가하고 있는데, 저탄소 녹색성장의 성공 여부는 신기술 생산비용과 매우 밀접한 관계가 있음을 보여주고 있다. 본 연구도 이들 모형과 같이 내생적 성장모형을 이용하여 저탄소 녹색성장을 평가하고 있다.

본 연구는 이상에서 살펴본 기존연구들과 몇 가지 점에서 차이가 있다. 첫째, 본 연구는 녹색기술의 도입과 정부의 녹색성장을 위한 R&D 투자에 대한 지원 효과를 포함한 정부의 저탄소 녹색성장정책의 성공가능성을 실증적으로 평가하고 있다. 둘째, 기존 CGE모형 관련 연구들이 주요 파라미터를 다른 연구에서 제시된 모형의 파라미터 값들을 사용하여 분석결과의 신뢰도가 상대적으로 낮았음에 비해, 본 연구에서는 국내 자료를 이용하여 산업별 생산함수를 직접 추정하여 생산의 대체탄력성을 추정하였다. 셋째, 정부의 녹색성장 전략이 성공하기 위해서 필요한 조건들을 주요 녹색기술의 도입과 정부의 R&D 투자에 대한 지원의 관점에서 규명하였다.

### Ⅲ. 녹색성장 친화형 R&D 투자의 경제적 파급효과 분석모형

#### 1. 분석모형: 개요

본 논문의 분석모형은 기본적으로 조경엽(2010) 모형에서 출발한다. 조경엽(2010) 모형은 신기술이 내생적으로 결정되는 연산가능한 완전동태모형(Dynamic Computable General Equilibrium Model)에 속한다. 가계는 소비와 여가로 구성된 시제 간(intertemporal) 효용을 극대화하는 경제주체로서 노동과 자본을 기업에 대여함으로써 소득을 얻고 이를 소비와 저축으로 지출하게 된다. 가계저축은

12 녹색성장전략 달성을 위한 산업별 R&D 투자의 경제적 성과분석

정부지축과 해외지축을 결합하여 총투자를 결정한다. 기업은 재화를 생산하여 소비재화, 투자재화, 정부재화, 중간재화로 국내에 판매하고 나머지는 수출함으로써 판매수입을 얻게 된다. 재화판매로 얻은 수입은 노동, 자본, 중간재화를 구매함으로써 모두 지출된다. 정부는 법인세, 근로소득세, 소비세, 관세를 통해 세금을 거두어 정부지출과 가계이전으로 지출한다. 기업에서 구매하는 중간재화는 국내 재화와 수입 재화의 불완전 대체관계로 구성된 Armington 복합재화 형태로 생산된다.

본 분석모형은 2007년을 기준연도로 하여 2040년까지 총 34년을 분석대상 기간으로 설정하였다. 매기는 자본축적과 기술진보에 의해 연계된다. 분석대상 산업은 <표 3>에서 볼 수 있듯이 석탄·석유·가스, 전력 등 4개의 에너지산업, 농림수산업, 광업, 12개의 제조업, 건설업과 9개의 서비스업을 포함하여 총 29개 산업으로 구성된다.

<표 3> 분석대상 산업

	산업	산업연관분류 번호		산업	산업연관분류 번호
S01	석탄	012, 052	S16	전기 및 전자기기	096~105
S02	석유	012, 053~055	S17	정밀기기	106~107
S03	가스	014, 120	S18	수송장비	109~115
S04	전력	119, 120	S19	기타 제조업	116~118
S0	농림수산업	001~011	S20	건설	123~128
S06	광업	012~018	S21	도소매	129
S07	음식료	019~034	S22	음식점 및 숙박	130~131
S08	섬유 및 가죽제품	035~045	S23	운수	132~140
S09	목재 및 종이	046~050	S24	방송 및 통신	141~145
S10	인쇄 및 복제	051	S25	금융 및 보험	144~145
S11	화학제품	056~069	S26	부동산 및 사업서비스	147~154
S12	비금속광물제품	070~075	S27	공공행정 및 국방	155
S13	1차금속제품	076~083	S28	교육 및 보건	156~159
S14	금속제품	084~087	S29	사회 및 기타 서비스	160~169, 122
S15	일반기계	088~095	신기술	신재생에너지	



## 2. 모형의 특징

본 연구에서 사용한 분석모형은 신기술부문을 제외하면 그 구조가 조경엽(2010)과 동일하다.<sup>7)</sup> 조경엽(2010)은 신재생에너지가 전력생산에 사용되는 화석연료와 대체관계에 있다고 가정하였다. 그러나 본 연구에서 전력은 화석발전을 통해 생산되는 전력과 신재생에너지를 사용하여 생산된 전력으로 구성된다고 가정하였다. 그리고 수요자는 가격수준을 비교하여 기존의 전력 또는 신재생 전력을 선택하고, 그린자동차도 기존 자동차와 다른 생산구조로 생산되고 가격수준에 따라 시장에서 선택되는 구조를 가지고 있다고 가정하였다. 이와 같이 본 연구는 조경엽(2010)과 같이 전력과 대체관계에 있는 신재생에너지와 수송장비와 대체관계에 있는 그린자동차를 명시적으로 반영한다. 이하에서는 본 연구에서 사용한 분석모형의 특성을 상세히 설명한다.

### (1) R&D 투자모형

본 분석모형은 R&D 투자의 다양한 특성을 반영한다. R&D 투자는 기술적 외부성과 비경합성 및 R&D 투자효과가 장기에 걸쳐 누적적으로 시현되는 누적효과(cumulative effect)와 투자효과가 일정 기간이 지난 다음 시현되는 지연효과(lagged effect)가 존재하는 특성을 가진다.<sup>8)</sup> R&D 투자의 누적효과와 지연효과를 파악하기 위해서는 동태모형이 필요하다. 또한 R&D 투자에 의한 생산기술의 진보가 가지는 기술적 외부성과 비경합성을 파악하기 위해서는 특정 산업에 대한 R&D 투자가 전 산업으로 확산되는 이전효과 또는 익일효과(spillover effect)를 파악해야 한다. 따라서 생산과정에 있어서 산업 간 상관관계를 명확하게 분석모형에 반영하여야 한다. 이상의 특성에 근거하여 본 연구에서 사용하는 모형은, 첫째 연구개발 투자의 경제적 파급효과를 시제에 걸쳐 파악하기 위한 동태모형이고, 둘째 특정 산업의 R&D 투자가 해당 산업의 생산함수의 투입요소에 포함되어 R&D 투자의 직접효과와 함께 여타 산업의 생산성에 미치는 간접효과(외부효과)를 모두 모형에 반영하며, 셋째 경제성장이 물적자본(physical capital)과 인적자본(human capital)의 축적과 함께 경제 전체의 지적자본(knowledge capital) 축적에 의해 견인되는 것 등을 반영한 것이라고 정리할 수

7) 조경엽(2010)은 Goulder and Schneider(1999)와 동일한 방법으로 신기술을 모형에 반영하고 있다. 기본 분석모형은 <부록>을 참조.

8) 김병우(2008) 역시 R&D를 통해 축적된 지식자본은 비경합성을 가지므로 결국 최종생산을 생산할 때 규모의 수익체증 현상이 나타날 수 있다고 지적하였다.

있다.

(2) 신기술

1) 전력부문의 신재생에너지

신기술은 조경엽(2010)과 같이 경합적 기술진보와 비경합적 기술진보로 구분된다. 외부성을 가지는 비경합적인 기술진보를 고려하면 <부록>에 소개된 생산함수 (A-1)를 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.  $i$  산업에서 생산되는  $t$ 기의 재화 ( $Y_{i,r,t}$ )는 자본·노동·에너지 복합재화( $KLE_{i,t}$ )와 아밍톤 중간재화( $XA_{i,t}$ )를 사용하여 다음과 같이 생산된다(단, 산출량:  $Y$ ).

$$Y_{i,t} = \varphi(A_t) [\alpha KLE_{i,t}^{\rho} + (1-\alpha)XA_{i,t}^{\rho}]^{1/\rho}. \quad (1)$$

$\bar{E}$ 는 대체에너지와 기존에너지와의 경쟁을 통해 선택될 에너지 복합재화를 의미한다.  $A$ 는 외부성을 가지는 사회 전체의 기술수준을 의미한다.  $\varphi(A)_{i,t}$ 는 사회 전체의 기술수준에 대한 증가함수로 다음과 같은 함수로 가정하였다.

$$\varphi(A)_{i,t} = \frac{Y_{i,t}^{1/(1-\gamma_i)}}{Y_{i,t}}, \quad (2)$$

$$0 < \gamma_i < 1, \quad \varphi(A)_{i,t} \geq 1. \quad (3)$$

$\gamma_i$ 는 산업  $i$ 의 지식확산계수로서 1보다 작다고 가정한다. 외부성을 가지는 기술은 식 (2)와 같은 함수를 통해 각 산업의 생산에 기여하게 된다. 따라서 식 (2)는 수확체증의 함수로서 규모의 경제가 가능함을 나타낸다. 기술진보로 인한 산업별 총요소생산성은  $\gamma$ 와 산출량( $Y$ )과 비례하는 것을 나타낸다. 즉,  $\gamma$ 가 클수록 그리고 산출량이 클수록 산업별 총요소생산성은 커지게 됨을 의미한다.

본 연구는 Goulder and Schneider(1999)와 같이 배제성을 가지는 신기술이 다음과 같은 형성법칙에 따라 축적이 된다고 가정하였다.<sup>9)</sup>

$$NE_{t+1} = (1-\delta_a)NE_t + v_a RD_t. \quad (4)$$

9) 본 연구에서는 신고전학파의 성장모형에 주로 사용되는 물적자본의 축적과 같이 기술도 선형적으로 축적된다고 가정하였다. 모형이 수렴가능하도록 한다는 점 등에서 선형을 가정하는 것이 유리한 측면이 있으나 기술진보는 비선형적으로 이루어진다고 가정하는 것이 보다 현실적이라 할 수 있다. 또한 R&D 투자와 연계된 신기술을 만들어 내는 생산함수를 모형 내에 첨가하는 것도 보다 현실적인 기술혁신을 반영하는 방법이라 할 수 있다. 이는 향후 연구과제로 남겨 두기로 한다.

다음 기의 신기술  $NE_{t+1}$ 은 감가상각( $\delta_a$ )을 제외한 현재의 신기술  $NE_t$ 에 R & D 투자( $RD_t$ )가 더해져 축적된다.  $\nu_a$ (R&D 투자가 기술축적에 기여하는 정도)가 1보다 크다면 R&D 투자가 아주 성공적이어서 투자수준 이상으로 기술이 축적되는 반면,  $\nu_a$ 가 1보다 작다면 투자 이하로 기술이 발전함을 의미한다.<sup>10)</sup> 현재 시점에서 기술이 경제성이 없어서 도입되지 않는 것이라면  $\nu_a$ 는 1보다 작아야 한다. 만약  $\nu_a$ 가 0.5라면 1단위 신기술을 생산하기 위한 비용이 기존의 화석연료 생산비용에 비해 약 2배 비싸기 때문에 시장에서 도입되지 않는다는 것을 말한다. 만약에 온실가스 규제로 화석연료의 가격이 상승하거나 신기술의 생산단가가 낮아진다면 신기술이 경제성을 확보하게 되어 점차 시장에 도입될 것이다. 이를 수식으로 설명하면, 온실가스 감축이 시행되면 생산비용 극소화 조건을 통해 화석에너지 복합재화( $NEL_t$ )에 대한 수요가 결정된다. 신재생에너지의 생산구조도 동일한 방법으로 생산되지만 신재생에너지는 이산화탄소를 배출하지 않기 때문에 이산화탄소에 대한 제약조건이 없다는 점이 다르다. 신기술이 도입되고 기존의 화석연료와 신기술과의 선택이 가능하다면 비용극소화 원리에 따라 신기술이 도입된다.

$$\min P_{nel,t}NE_{L_t} + P_{re,t}NE_t, \tag{5}$$

$$\text{s.t. } P_{nel,t} < P_{re,t} \quad \text{if } \nu_a < 1, \tag{6}$$

$$NE_t = 0 \quad \text{if } P_{nel,t} \leq P_{re,t}, \tag{7}$$

$$NE_t = \bar{\alpha}_t NEL_t \quad \text{if } P_{nel,t} \geq P_{re,t}. \tag{8}$$

여기서  $P_{nel,t}$ 은 화석에너지 복합재화의 가격으로서 온실가스 감축으로 인한 배출권 거래가격 또는 탄소세를 포함한 가격을 의미한다. 온실가스 감축규제가 없는 경우  $P_{nel,t}$ 는 항상 신재생에너지의 가격  $P_{re,t}$ 보다 낮은 수준에 있게 되는데, 이는 신기술은 경제성이 없어(식 (4)의  $\nu_a < 1$ 임을 의미) 시장에 도입되지 않는다는 조건을 충족하고 있다.<sup>11)</sup> 신재생에너지의 도입 메커니즘은 식 (7)로

10) 본 연구에서는  $\nu_a$ 를 확정적인 모수로 가정하고 있다. 그러나 R&D를 통한 신기술이 상용화 단계로까지 발전하는 데는 확률적으로 접근하는 것이 보다 현실적인 가정이라 할 수 있다.  $\nu_a$ 를 확정적인 것으로 가정할 경우, R&D 성과평가에 대한 오차가 과대평가될 수 있는 문제점을 가지고 있다. 확률적 기술진보를 반영하기 위해서는 확정적 일반균형 모형보다는 확률적 일반균형모형 구축이 요구된다. 본 연구에서는 기존연구에 기초하여 신재생에너지와 그린자동차의 생산단가의 시점 간 변화만을 반영한다. 신기술 생산단가의 시점 간 변화는 모형의 전제조건에서 보다 자세히 설명한다.

11) 이와 관련하여 강성진(2010)은 신재생에너지 부문의 발전원가가 화석연료의 원가보다 높기 때문에 민간부문이 해당 산업에 진출할 유인이 없으므로 정부가 직접 원가 차이를 지급하거나 또는 시장을 통해 해결할 수 있는 정책을 시행해야 한다고 주장하였다.

16 녹색성장전략 달성을 위한 산업별 R&D 투자의 경제적 성과분석

요약할 수 있다. 식 (7)은 온실가스 감축이 시행되더라도 높은 투자비용으로 신기술가격이  $P_{nel,t}$ 보다 높으면 시장에 도입되지 않는다는 의미이다. 식 (8)은 온실가스 감축이 이행되고 화석연료의 가격이 상승할 때 신재생에너지가 도입되는 과정을 보여준다. 신재생에너지의 경제성은 화석연료가격이 상승하여 확보될 수도 있지만 정부의 지원으로 신재생에너지의 생산비용이 하락할 때에도 확보될 수 있다. 그러나 신기술이 경제성을 확보하더라도 투자의 비가역성(irreversibility), 기다림 효과, 기존 에너지에 대한 의존성 등으로 신기술이 시장에 더디게 도입될 것이다. 이러한 효과는 식 (8)의  $\bar{\alpha}_t$ 를 통해 반영된다. 즉,  $\bar{\alpha}_t$ 는 신재생에너지로 급격히 전환되지 않고 서서히 전환되도록 하는 역할을 한다는 것이다.

2) 수송부문의 그린자동차

전력과 같이 기존의 자동차도 비용극소화 원리에 따라 생산된다. 그린자동차도 기존의 자동차와 동일하게 비용극소화 조건으로 생산되지만 기존의 자동차에 비해 온실가스를 적게 배출한다는 장점을 지니고 있다. 신재생에너지와 같이 그린자동차(GC)도 다음과 같은 형성법칙에 따라 축적이 된다.

$$GC_{t+1} = (1 - \delta_c)GC_t + \nu_c RDGC_t. \quad (9)$$

$t+1$ 기의 그린자동차( $GC_{t+1}$ )는 감가상각( $\delta_c$ )을 제외한 현재( $t$ 기)의 그린자동차 스톡( $GC_t$ )에 R&D 투자( $RDGC_t$ )가 더하여 축적된다. 전력부문의 대체에너지와 같이  $\nu_c$ 는 R&D 투자가 신기술 축적에 기여하는 정도를 의미하며, 신기술의 정의에 따라 1보다 작다고 가정하였다. 기존의 자동차와 그린자동차에 대한 수요는 다음과 같은 비용극소화 조건에 의해 결정된다.

$$\min P_{conv,t} Y_{conv,t} + P_{new,t} Y_{new,t}, \quad (10)$$

$$\text{s.t. } P_{conv,t} < P_{new,t} \quad \text{if } \nu_c < 1, \quad (11)$$

$$Y_{new,t} = 0 \quad \text{if } P_{conv,t} \leq P_{new,t}, \quad (12)$$

$$Y_{new,t} = \bar{\alpha}_c Y_{conv,t} \quad \text{if } P_{conv,t} \geq P_{new,t}. \quad (13)$$

여기서  $P_{conv,t}$ 은 화석연료를 사용하는 기존 자동차가격을 의미하며,  $P_{new,t}$ 은 그린자동차가격을 의미한다.  $P_{conv,t}$ 와  $P_{new,t}$  모두 온실가스 감축으로 인한 배출권 거래가격 또는 탄소세를 포함한 가격을 의미한다.  $Y_{conv,t}$ 는 기존 자동차 생산량을,  $Y_{new,t}$ 는 그린자동차 생산량을 나타낸다. 온실가스 감축이 시행되

지 않을 경우 기존 자동차 복합재화의 가격은 그린자동차의 가격보다 항상 저렴하다. 신기술 정의에 따라 식 (9)에 나타난  $v_c$ 가 1보다 작기 때문에 온실가스 감축이 이행되지 않는다면 그린자동차의 가격은 항상 높게 유지된다. 식 (11)은 이러한 신기술 도입 메커니즘을 보여주고 있다. 식 (12)와 식 (13)은 온실가스 감축이 시행되면 비용극소화에 따라 기존 자동차 복합재화 또는 그린자동차 중 선택이 가능함을 보여주고 있다. 식 (11)은 경제성 문제로 그린자동차가격이 기존 자동차의 가격보다 높아 그린자동차가 도입되지 않음을 보여준다. 반대로 식 (13)은 온실가스 감축으로 인해 기존 자동차가격이 높아져 그린자동차가 도입될 수 있음을 보여주는 식이다. 식 (13)의  $\bar{\alpha}_{c,t}$ 는 그린자동차로의 급격한 전환을 방지하기 위한 모수이다.

### 3. 입력자료와 Calibration

본 모형에 입력된 자료는 2007년도 산업연관표를 기준으로 작성된 사회회계 행렬(Social Accounting Matrix: SAM)이다.<sup>12)</sup> 산업별 이산화탄소 배출량과 산업별 생산량 증가의 차이는 에너지 효율향상으로 해소된다고 가정하였다. 본 연구에서 화석연료는 에너지 효율향상을 감안한 유효에너지 단위( $XA_{fe,i,t}^e$ )로 다음과 같이 측정된다.

$$XA_{fe,i,t}^e = \frac{g_{fe,i,t}}{(1+gr)^{t-1}} XA_{fe,i,t} \quad (14)$$

여기서  $XA_{fe,i,t}$ 는 아밍톤 화석연료 복합재화,  $gr$ 은 연평균 경제성장률,  $g_{fe,i,t}$ 는  $i$ 산업의 화석연료 수요증가율을 각각 의미한다. 경제성장률이 화석연료 수요증가율보다 높다면 에너지 효율이 향상된다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 에너지 효율향상  $g_{fe,i,t}/(1+gr)^{t-1}$ 가 산업별 연료별 이산화탄소 배출전망과 일치하도록 조정하였다.

시점 간 대체탄력성( $\mu_1=1/\theta$ )은 조경엽(2010)과 같이 0.5로 설정하였다.<sup>13)</sup> 소

12) SAM은 특정 기간 동안 한 국가 또는 지역의 경제적 거래를 요약한 표라고 정의할 수 있다. SAM 분석대상 산업의 투입과 산출, 가계의 소비와 소득, 정부의 수입과 지출, 수출입 자료 등으로 구성된다.

13) 우리나라의 경우 상대적 위험회피를 나타내는  $\theta$ 는 1.5~4로 추정되고 있다. 구본열(1992)은  $\theta$ 를 1.74로 추정하였으며, 남주하(1993)는 2.5, 이민원(1992)은 1.44로 추정하였다. 외환위기 이후의 자료를 이용하여 추정한 최진석(2006)에 따르면  $\theta$ 가 3.8~6의 범위를 갖는다.

18 녹색성장전략 달성을 위한 산업별 R&D 투자의 경제적 성과분석

〈표 4〉 주요 투입 생산요소 간 대체탄력성

	석유 & 가스( $\sigma_8$ )		석탄 & 석유·가스( $\sigma_7$ )		화석연료 & 전력( $\sigma_6$ )		자본 & 노동( $\sigma_5$ )	에너지 & 자본·노동( $\sigma_3$ )	아밍톤 복합재화( $\sigma_4$ )
	2007	2040	2007	2040	2007	2040			
S01	0.50	0.67	0.10	0.13	0.10	0.13	1.00	0.20	0.50
S02	0.50	0.67	0.10	0.13	0.10	0.13	1.00	0.20	0.50
S03	0.50	0.67	0.10	0.13	0.10	0.13	0.48	0.20	0.50
S04	0.50	0.67	0.10	0.13	0.25	0.33	0.48	0.20	1.90
S05	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.39	0.20	1.90
S06	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.42	0.20	2.90
S07	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.45	0.20	2.90
S08	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.59	0.20	2.90
S09	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.59	0.20	2.90
S10	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.32	0.20	2.90
S11	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.42	0.20	2.90
S12	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.61	0.20	2.90
S13	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.84	0.20	2.90
S14	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.52	0.20	2.90
S15	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.39	0.20	2.90
S16	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.45	0.20	2.90
S17	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.35	0.20	2.90
S18	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.52	0.20	2.90
S19	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.44	0.20	2.90
S20	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.61	0.20	2.90
S21	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.77	0.20	2.90
S22	1.00	1.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.37	0.20	2.90
S23	2.00	2.66	0.25	0.33	0.30	0.40	0.73	0.20	2.90
S24	2.00	2.66	0.25	0.33	0.25	0.33	0.66	0.20	1.90
S25	2.00	2.66	0.25	0.33	0.25	0.33	0.57	0.20	1.90
S26	2.00	2.66	0.25	0.33	0.25	0.33	0.60	0.20	1.90
S27	2.00	2.66	0.25	0.33	0.25	0.33	0.45	0.20	1.90
S28	2.00	2.66	0.25	0.33	0.25	0.33	0.53	0.20	1.90
S29	2.00	2.66	0.25	0.33	0.25	0.33	0.31	0.20	1.90
HOUS	2.00	2.66	0.25	0.33	0.25	0.33	1.00	0.20	1.90

주: 주요 투입요소 간 대체탄력성은 〈부록〉의 그림을 참조할 것.

비와 여가의 대체탄력성은 Rasmussen and Rutherford(2004)에 따라 0.8로 설정하였다. 비에너지 아밍톤 복합재화와 에너지와의 대체탄력성  $\mu_3$ 는 Bernstein *et al.*(1999)에 기초하여 0.25로 설정하였다.

현재와 미래의 우리나라 정부의 환경정책은 단기적으로는 기존연료의 청정연료로의 전환을 유발하고, 중장기적으로는 기존기기를 보다 효율적인 기기로 대체하게 만들 것이다. 이러한 특성을 감안하여 에너지원 간 대체탄력성과 에너지 복합재화와 에너지와의 대체탄력성은 시간이 지남에 따라 점진적으로 증가한다고 가정하였다. 기준연도의 대체탄력성은 Berntein *et al.*(1999)와 같이 석유제품과 가스의 대체탄력성( $\sigma_8$ )은 2~3으로 설정하였고, 석유·가스 복합재화와 석탄과의 대체탄력성( $\sigma_7$ )은 0.1~0.33, 화석연료 복합재화와 전력과의 대체탄력성( $\sigma_6$ )도 0.1~0.33 범위에서 산업별로 다르게 설정하였다. 생산부문에서 수출재화와 국내 재화 간의 전환 탄력성( $\sigma_1$ )과 아밍톤 복합재화의 탄력성( $\sigma_4$ )은 1.9~3.0 범위에서 재화마다 차등적으로 적용하였다. 화석연료는 조경엽(2010)과 같이 0.5로 설정하였다. 에너지는 장기계약을 통해 도입되기 때문에 상대적으로 대체탄력성이 낮을 것이다.

자본과 노동에 대한 대체탄력성은 본 연구에서 직접 추정하였는데, 석탄과 석유 부문에서 탄력성이 1로 가장 컸고, 기타 서비스산업이 0.31로 자본과 노동의 대체탄력성이 가장 낮았다(〈표 4〉 참조).

## IV. 녹색성장 달성을 위한 정책 모의실험

### 1. 정책 모의실험 분석을 위한 전제조건

#### (1) 경제성장률과 에너지 효율향상

우리나라의 온실가스 감축목표가 BaU 대비 30%로 공포되었기 때문에 우리가 감축해야 할 목표량은 BaU 전망수준에 따라 달라진다. BaU 하의 이산화탄소 배출량을 추정하기 위해서는 성장률 전망과 더불어 에너지 효율향상에 대한 가정이 필요하다. 본 연구에서는 BaU 성장률을 오진규(2010)가 제시한 고성장과 저성장 시나리오의 중간 값을 사용한다(〈표 5〉 참조). 에너지 효율향상은 에너지경제연구원에서 제시한 에너지원별 수요와 이산화탄소 배출량과 일치하도록 조정하였다.

〈표 5〉 경제성장률 전망치

(단위: %)

연 도	오진규(2010)		본 연구
	저성장	고성장	
2010	4.0	4.4	4.2
2020	3.1	4.0	3.5
2025	2.5	3.4	3.0
2030	1.9	2.8	2.6
2035	1.6	2.5	2.2
2040	1.3	2.2	1.8

경제성장률 전망과 에너지 효율향상 전망을 바탕으로 추정한 이산화탄소 배출량과 저감량은 〈표 6〉과 같다(〈그림 1〉, 〈그림 2〉 참조). 이산화탄소 배출량은 2020년에 약 6억 7,000 tCO<sub>2</sub>에 달할 전망이다. 국가 온실가스 감축목표에 따라 2020년에 BaU 대비 30%를 감축할 경우 저감량은 약 2억 tCO<sub>2</sub>에 달한다. 그리고 시간이 지날수록 저감비율이 점진적으로 증가하여 2040년에는 BaU 대비 50%를 감축한다고 가정하였다. 이에 감축량은 2030년 3억 3,000만 tCO<sub>2</sub>, 2040년 약 5억 tCO<sub>2</sub>에 이르는 것으로 계산되었다. 온실가스 감축은 2013년부터 이루어져 BaU 대비 감축률이 2013년에 12.5%였다가 2020년에는 30%까지 증가한다고 가정하였다.

저감목표를 달성하기 위한 정책수단으로는 공통탄소세를 가정하였다. 각 산업과 가계의 초기 할당량은 기준 시나리오의 배출량 대비 감축률을 동일하게 적용하였다. 이는 2020년의 감축률이 30%이기 때문에 각 산업과 가계의 배출 허용량은 BaU 배출량 대비 각각 70%에 달한다는 것을 의미한다. 단위당 저감비용은 각 산업마다 상이하지만 공통탄소세 부과로 형성되는 균형점에서는 각 산업이 동일한 단위당 저감비용에 직면하게 된다. 공통탄소세보다 저감비용이 높은 산업은 주어진 감축량보다 적게 감축하면서 생산활동을 하는 반면, 저감비용이 낮았던 산업은 감축량보다 더 많은 양을 감축하게 된다. 이는 저감비용이 낮은 산업은 많이 감축하고 저감비용이 높은 산업은 적게 감축함으로써 국가 전체의 감축목표를 최소비용으로 달성할 수 있는 방법이다. 결국 공통탄소세는 모든 산업의 한계저감 비용이 같아지게 하는 역할을 하게 된다. 본 연구에서는 정부가 동일한 세수를 유지한다는 동일 세수조건(equal tax revenue

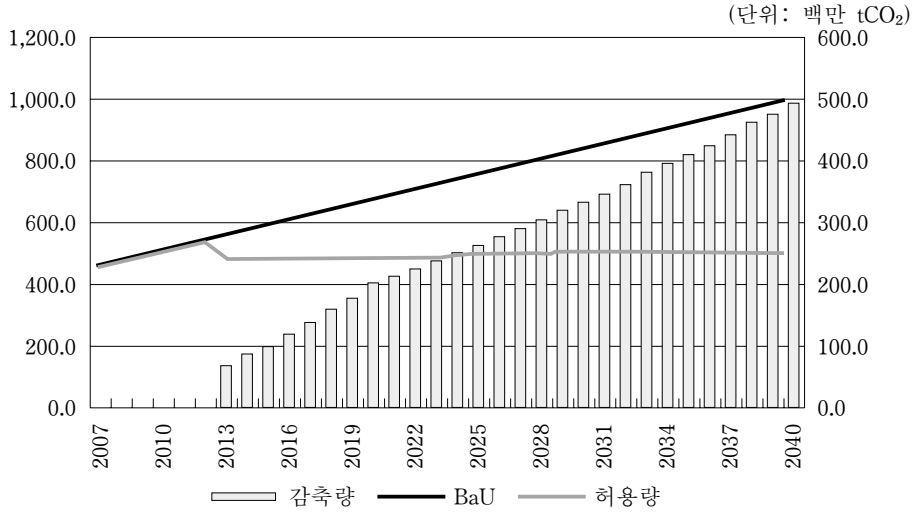


〈표 6〉 이산화탄소 배출량, 허용량, 감축량

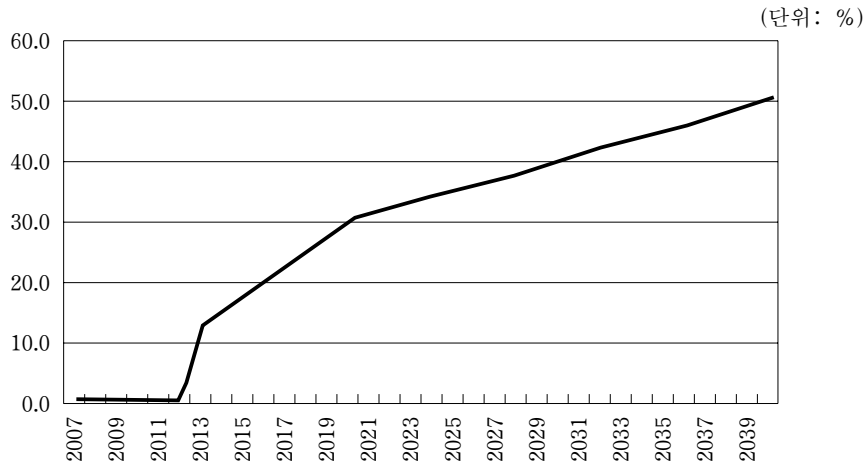
(단위: 백만 tCO<sub>2</sub>)

연도	BaU	허용량	감축량	감축률(%)
2007	458.6	458.6	458.6	0.0
2008	472.7	472.7	472.7	0.0
2009	487.3	487.3	487.3	0.0
2010	502.2	502.2	502.2	0.0
2011	517.6	517.6	517.6	0.0
2012	533.4	533.4	533.4	0.0
2013	549.6	480.9	68.7	12.5
2014	566.1	481.2	84.9	15.0
2015	582.9	480.9	102.0	17.5
2016	600.0	480.0	120.0	20.0
2017	617.4	478.4	138.9	22.5
2018	634.8	476.1	158.7	25.0
2019	652.4	472.9	179.5	27.5
2020	670.0	468.9	201.0	30.0
2021	686.6	473.7	212.9	31.0
2022	703.5	478.3	225.2	32.0
2023	720.3	482.6	237.8	33.0
2024	737.2	486.5	250.7	34.0
2025	754.1	490.1	264.0	35.0
2026	770.4	493.0	277.4	36.0
2027	786.7	495.6	291.2	37.0
2028	803.1	497.9	305.3	38.0
2029	819.6	499.9	319.7	39.0
2030	835.9	501.5	334.5	40.0
2031	851.3	502.2	349.1	41.0
2032	866.7	502.6	364.1	42.0
2033	882.3	502.8	379.5	43.0
2034	897.9	502.7	395.1	44.0
2035	913.5	502.3	411.2	45.0
2036	929.5	501.9	427.7	46.0
2037	945.8	501.2	444.6	47.0
2038	962.4	500.4	462.1	48.0
2039	979.4	499.4	480.0	49.0
2040	996.7	498.3	498.4	50.0

22 녹색성장전략 달성을 위한 산업별 R&D 투자의 경제적 성과분석



〈그림 1〉 BaU 하의 배출전망, 배출허용량, 감축량



〈그림 2〉 BaU 대비 저감률

constraints)을 토대로 공통탄소세로 확보된 세수입만큼 근로소득세를 인하하는 것으로 가정하였다.

(2) 신기술 관련 단위당 생산비용의 전제조건

신기술 관련 비용은 조경엽(2010)과 오진규(2010)의 연구에 기초하여 가정하였다. 조경엽(2010)과 오진규(2010)는 MIT의 환경경제연구소가 추정된 자료에

기초하여 신재생에너지 비용 시나리오를 구성하였다.

MIT의 환경경제연구소에 따르면(〈표 7〉 참조), 석탄발전 단가는 3.7~6.2센트/kwh에 달하며, 가스발전 단가는 4.4~5.6센트/kwh에 달한다. 풍력발전 단가는 4.4~18.7센트/kwh로 석탄발전에 비해 1.2~3.0배 높고 가스발전 단가에 비해 1.0~3.3배 높다. 태양광발전 단가는 17.8~53.6/kwh로 석탄발전 단가에 비해 4.8~10.7배 높으며, 가스발전 단가에 비해 4~9.6배 높게 나타나고 있다.

〈표 7〉 에너지원별 전력단가

구분	석탄	가스	풍력	태양광	바이오매스	원자력	자료원/ 비고
단가(US센트/KWh)	3.7~5.0 (pulverized) 4.4~5.6 (fluidized) 5.0~6.2 (IGCC)	4.4~5.6 (combined cycle)	4.4~13.7 (연안) 7.5~18.7 (해양)	17.8~53.6	3.1~10.6	5.0~5.6	a* (2005년 기준)
	4.7~4.8 (pulverised)	—	—	—	—	6.7~7.0 (85% 가동 률 기준)	b, c
탄소비용** 포함 단가 (US센트/ KWh)	5.6~7.5 (pulverized) 6.2~8.1 (fluidized) 6.9~8.7 (IGCC)	5.0~6.9	3.5~10.0 (연안) 5.0~15.0 (해양)	6.9~32.4	3.1~9.4	5.0~5.6	a (2030년 전망)
	7.3~8.2 (pulverized) (CCS 설치 또 는 탄소세 부 과시)	—	—	—	—	—	b
매장량	155년분	64년분	재생가능	재생가능	재생가능	85년분	a

주: 1) \*는 2005년 유로화의 달러화 전환 환율 1.25를 적용하고, \*\*는 탄소비용은 이산화탄소 1톤당 25~37달러로 계상함.

2) 전력단가는 가동률, 설비수명, 연료가격, 발전방식, 발전구조(집중형/분산형), discount rate, 인플레이션을 등의 변수에 따라 달라짐에 유의하여 비교.

3) pulverized, fluidzed, IGCC는 석탄발전 방식, combined cycle은 가스발전 방식의 일종임.

4) CCS: 탄소 포획저장

자료: a: EC(2007), b: MIT(2007), c: MIT(2003); 조경엽(2010)과 오진규(2010)에서 재인용함.

24 녹색성장전략 달성을 위한 산업별 R&D 투자의 경제적 성과분석

〈표 8〉 신기술 관련 비용 전제조건(기존 기술생산 단가 대비 배수)

연도	신재생에너지	그린자동차
2007	5.00	2.50
2010	3.77	2.14
2015	2.35	1.66
2020	1.47	1.28
2025	1.00	1.00
2030	1.00	1.00
2035	1.00	1.00
2040	1.00	1.00

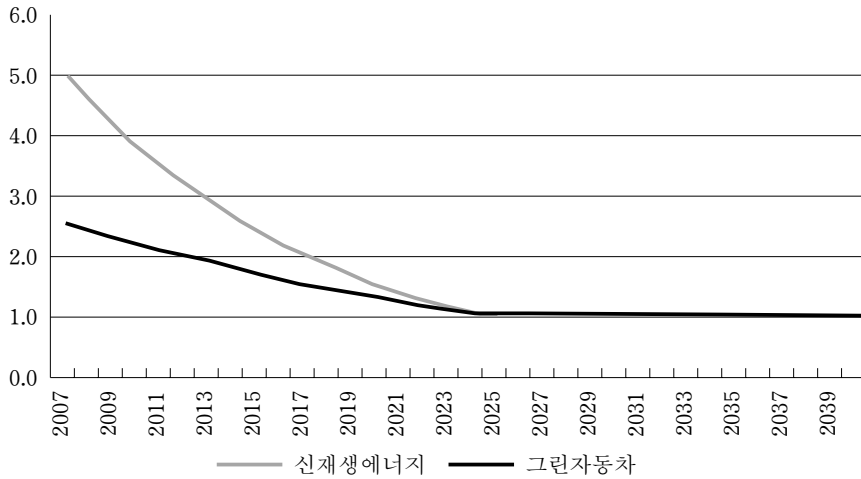
한편, 그린자동차는 그린 동력시스템의 활용 또는 이에 준하는 개선으로 기존 내연기관 대비 연비가 높고 CO<sub>2</sub> 배출량도 적은 차량을 말한다.<sup>14)</sup> 조경엽(2010)과 오진규(2010)는 매킨지 보고서를 인용하여 차량 1대당 평균판매가격을 1만 5,000달러로 설정할 경우 하이브리드자동차의 해당 가격은 2005년에 평균 판매가격보다 6,867달러 더 비싼 2만 1,867달러, 2020년에 2,841달러 더 비싼 1만 7,841달러로 추정하고 있다. 결국 기존의 자동차에 비해 하이브리드자동차의 가격이 2005년에 1.5배이던 것이 2020년에는 1.1배로 거의 기존 자동차의 가격과 같아지게 된다는 것이다. 연료전지자동차는 해당 가격이 10억 원 정도로 예상되어 현재는 시장성이 없지만, 2025년쯤에는 해당 5,000만 원 이하로 현 자동차가격과 같은 수준으로 떨어질 것으로 전망된다.

이상의 정보를 바탕으로 신재생에너지는 2007년 현재 기존의 화석발전에 비해 5배 높고 이후 점차 감소하여 2015년에 2.35배, 2020년에 1.47배로 떨어지다가 2025년부터는 기존 화석발전 단가와 같아지고, 그린자동차의 생산단가는 2007년에 2.5배에서 2015년에 1.66배, 2020년에 1.28배로 하락하다가 2025년부터 기존 자동차 생산단가와 같아진다고 가정하였다(〈표 8〉 참조).

(3) R&D 투자의 전제조건

R&D 투자는 모형 내에서 결정되지만 신기술에 대한 2007년 초기의 R&D 투

14) 그린 동력시스템이란 화석연료를 사용하지 않아 배출가스, CO<sub>2</sub> 등이 발생하지 않는 무공해 동력 시스템으로서 하이브리드차, 플러그인 하이브리드차, 수소연료전지차, 전기자동차 등을 꼽을 수 있다.



〈그림 3〉 신기술 관련 비용 전제조건(기존 기술생산 단가 대비 배수)

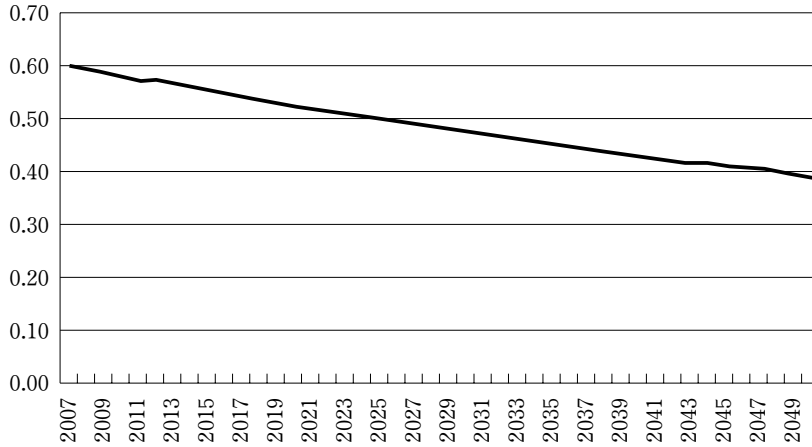
자는 외생적으로 주어진다. 그러나 초기 투자가 외생적으로 주어진다고 할지라도 신기술 비용이 높아 경제성이 확보되지 않으면 도입되지 않는다. 반대로 신기술이 경제성을 확보한다면 외생적으로 주어진 초기의 R&D 투자 정도에 따라 도입량이 영향을 받을 수 있다. 신재생에너지에 대한 초기 R&D 투자는 전력발전을 위해 투입된 현재의 화석연료 비용의 10%인 1조 2,679억 원에 달한다고 가정하였으며, 그린자동차에 대한 R&D 투자는 현재 자동차 생산에 대한 자본투자의 10%인 1조 8,366억 원으로 가정하였다. 오진규(2010)와 같이 신재생에너지에 대한 초기 R&D 투자는 정부재원으로 충당되고 그린자동차에 대한 초기 R&D 투자는 민간의 저축으로 충당한다고 가정하였다.

#### (4) 신기술의 탄소배출 기여도

전력생산에 이용되는 신재생에너지는 탄소를 전혀 배출하지 않는 신기술이며, 반면에 그린자동차는 여전히 탄소를 배출하지만 연비 향상 등으로 기존 자동차에 비해 온실가스를 적게 배출한다고 가정하였다. 조경엽(2010)은 MIT대학의 에너지환경연구소 전망에 기초하여 그린자동차의 배출 기여도를 추정하였는데, 그린자동차는 기존 자동차의 에너지사용량과 탄소배출에 비해 2007년에 약 60% 수준이고, 이후 점차 효율이 개선되어 2050년에는 40% 이하로 연료사용과 배출수준이 낮았다.<sup>15)</sup> 본 연구는 조경엽(2010)과 같이 그린자동차의 탄소배

15) MIT대학의 에너지환경연구소는 디젤 하이브리드자동차의 연비는 2010년에 가솔린자동차

26 녹색성장전략 달성을 위한 산업별 R&D 투자의 경제적 성과분석



〈그림 4〉 기존 자동차 대비 미래형 자동차의 연료사용 및 탄소배출 비율 전망

출 기여도를 〈그림 4〉와 같이 가정하였다.

## 2. 녹색성장 가능성 평가를 위한 정책 모의실험 시나리오

저탄소 녹색성장 가능성을 평가하기 위해 시나리오를 온실가스 감축을 위한 신기술의 도입 유무, 정부지원의 유무, 생산단가 변화에 따라 다섯 가지로 구성하였다(〈표 9〉 참조).

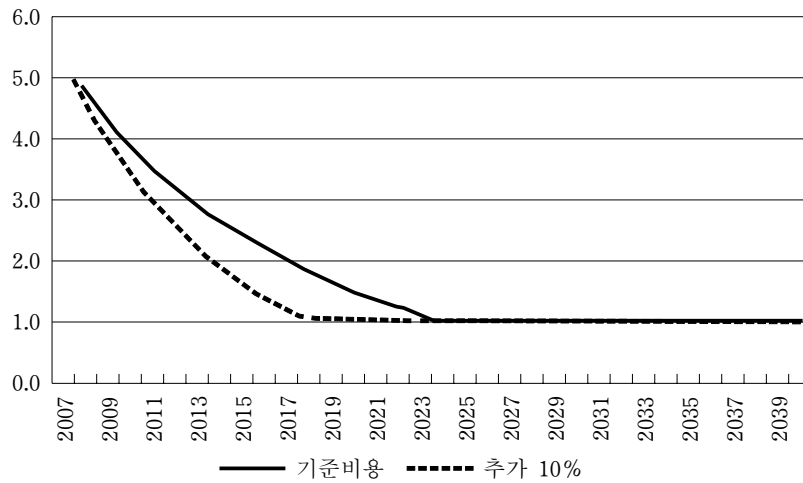
시나리오 1(이하, SCN1)은 온실가스 감축을 위한 신기술 도입 없이 우리 정부가 온실가스 감축의무를 이행하는 경우이다. 시나리오 2(이하, SCN2)는 온실가스 감축을 위한 신기술이 도입되지만 신기술 개발에 대한 정부의 지원이 없는 경우이다. SCN2는 신기술의 R&D 투자변화, 도입비중 변화, 저감비용 분석과 동일한 조건을 전제로 하고 있다. 시나리오 3(이하, SCN3)은 정부의 R&D 지원효과를 분석하기 위해 신기술 도입과 더불어 정부의 R&D 투자지원이 이루어지는 것을 가정하고 있다. 신재생에너지와 그린자동차에 대한 정부지원은 2013년에 각각 1조 원을 지원하는 것으로 가정하였다.<sup>16)</sup> 시나리오 4(이하, SCN4)와 시나리오 5(이하, SCN5)는 신재생에너지와 그린자동차의 생산단가의 변화에 따른 효과를 분석하기 위하여 설정된 시나리오이다. 두 시나리오 모두 신기술

에 비해 46%, 디젤자동차에 비해 21% 우수한 것으로 평가하고 있으며, 2030년에는 가솔린자동차의 연비에 비해 67%, 디젤자동차에 비해 42% 우수할 것으로 전망하고 있다.

16) 지원규모가 2013년에 1조 원이지만 지원규모는 매년 경제성장률만큼 증가하는 것으로 가정하였다.

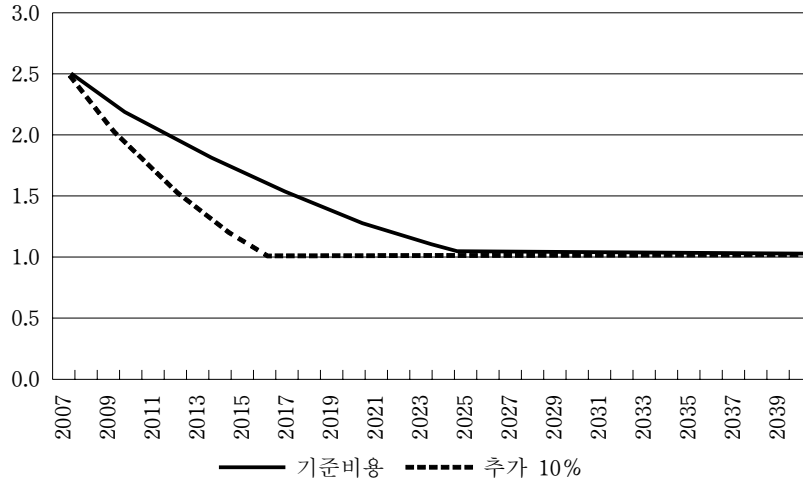
〈표 9〉 GDP 효과 분석을 위한 시나리오

	SCN1	SCN2	SCN3	SCN4	SCN5
신기술 도입 유무	×	○	○		
정부 지원 유무	×	×	각 1조원	각 1조 원	각 1조 원
신재생에너지 비용 추가 인하	NONE	기준비용	기준비용	기준비용 + 10% 감소	기준비용
그린자동차 비용 추가 인하	NONE	기준비용	기준비용	기준비용	기준비용 + 10% 감소



〈그림 5〉 신재생에너지의 비용 시나리오(기존 화석발전 단가 대비 배수)

도입과 정부의 지원규모는 SCN3과 동일하지만 신기술 관련 기준비용에 대한 조건이 각각 상이하다. SCN4에서는 신재생에너지의 생산단가가 기준비용에서 추가적으로 10%가 더 인하되는 경우를 가정하였다. 이와 같이 단가가 추가적으로 10% 더 인하된다고 가정하면 〈그림 5〉에서 보듯이 기존의 화석발전 단가와 같아지는 시점이 2018년으로 앞당겨진다. SCN5는 그린자동차의 생산단가가 기준비용에 비해 10% 추가 인하를 고려한 시나리오이다. 이와 같이 그린자동차의 생산단가가 더 인하되면 기존 자동차 생산단가와 같아지는 시점이 2016년으로 앞당겨진다.



〈그림 6〉 그린자동차의 비용 시나리오(기존 자동차 생산단가 대비 배수)

### 3. 모의실험 분석결과

#### (1) 신재생에너지와 그린자동차 관련 신기술 평가

여기서는 먼저 녹색기술이 신성장동력을 창출할 수 있는 모멘텀 기술로 발전할 수 있는지를 평가한다. IT 산업의 경우, IT 버블이 발생하고 이로 인해 IT 산업이 성장할 수 있는 자본이 형성되었고, 초기에 조달된 자본을 통해 시장형성과 기술발전이 다시 일어나는 양(+)<sup>1)</sup>의 순환과정을 경험한 바 있다.

〈표 10〉은 신재생에너지와 그린자동차가 이병태(2010)에서 제시한 모멘텀 기술로 발전할 수 있는 가능성을 평가하기 위한 주요 지표들의 변화를 보여주고 있다. 초기의 R&D 투자가 외생적으로 주어지더라도 신기술의 경제성 여부에 따라 R&D 투자규모는 모형 내에서 결정된다. 〈표 10〉과 〈그림 7〉에서 보듯이 신재생에너지의 R&D 투자는 그린자동차의 R&D 투자에 비해 상대적으로 더디게 증가하고 있다. 신재생에너지의 R&D 투자는 2020년에 약 1조 9,000억 원에 그치고 있는 반면, 그린자동차의 R&D 투자는 12조 8,000억 원에 달할 전망이다. 그린자동차의 R&D 투자는 빠르게 증가하여 2030년에 50조 5,000억 원, 2035년에 59조 8,000억 원에 달할 전망이다. 신재생에너지의 R&D 투자는 2030년에 9조 8,000억 원, 2035년에 12조 6,000억 원으로 그린자동차의 R&D 투자에 비해 상대적으로 더디게 증가할 전망이다.

〈그림 8〉에서 볼 수 있듯이 R&D 투자비중과 마찬가지로 총전력생산 대비

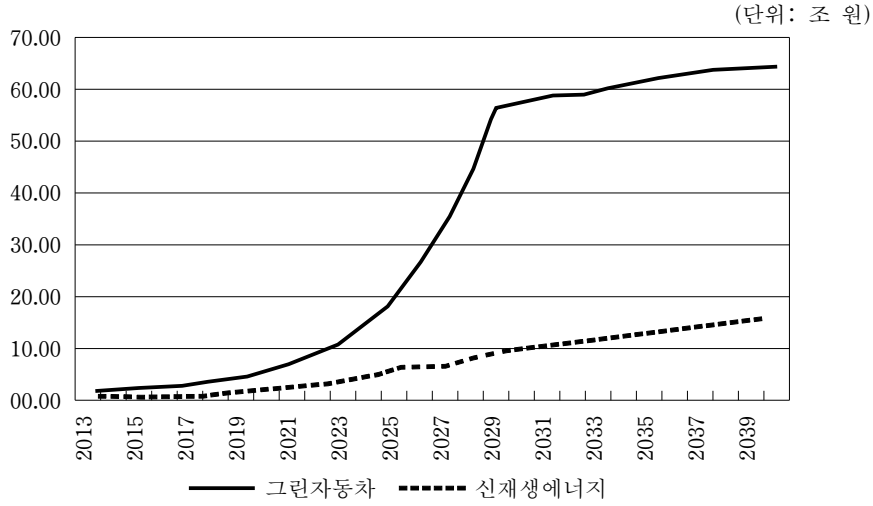


〈표 10〉 신재생에너지 및 그린자동차 관련 주요 변수변화

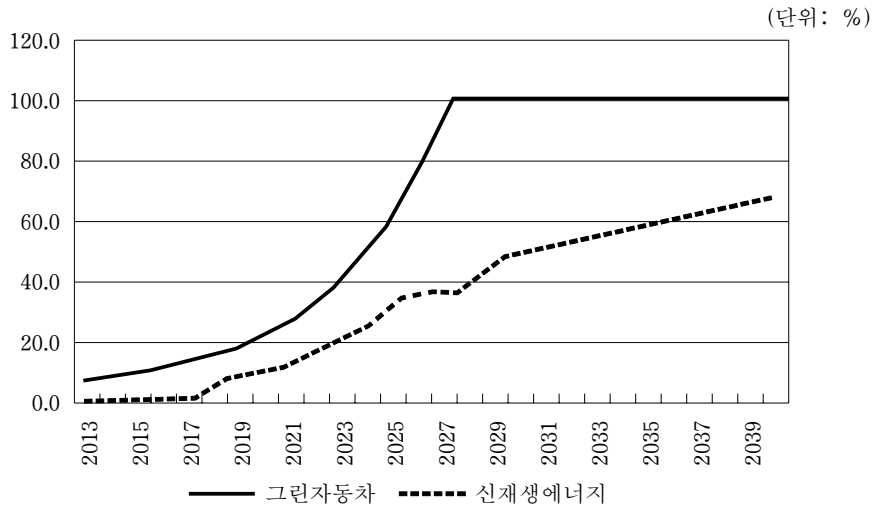
	R&D 투자 (조 원)		총생산 대비 비중 (%)		가격* (%)		생산량* (%)	
	신재생	그린자동차	신재생	그린자동차	전력	자동차	전력	자동차
2013	0.2	1.8	1.2	9.2	6.1	-0.5	-5.9	-8.7
2014	0.2	2.1	1.3	10.4	9.9	0.2	-7.0	-10.7
2015	0.2	2.5	1.6	11.9	13.8	1.0	-8.3	-12.9
2016	0.3	2.9	1.8	13.7	18.0	1.8	-9.5	-15.1
2017	0.4	3.4	3.0	16.0	21.6	2.6	-10.7	-17.1
2018	1.3	4.1	8.8	18.5	21.3	2.5	-11.1	-17.6
2019	1.5	4.9	10.5	22.0	24.7	3.1	-12.1	-19.3
2020	1.9	6.0	12.8	26.5	27.6	3.7	-13.1	-20.9
2021	2.3	7.5	15.4	31.5	25.5	3.3	-13.1	-20.7
2022	2.9	9.4	18.8	37.8	22.4	2.6	-12.9	-20.0
2023	3.7	12.0	23.2	45.7	18.2	1.8	-12.4	-18.9
2024	4.8	15.6	28.7	55.6	12.9	0.7	-11.5	-17.1
2025	6.2	20.2	35.5	68.1	6.5	-0.5	-10.3	-15.0
2026	6.7	26.3	36.8	85.3	3.8	-1.1	-9.6	-14.5
2027	6.7	34.2	36.2	100.0	4.3	-2.9	-9.6	-10.1
2028	8.0	44.5	42.3	100.0	4.9	-7.8	-10.0	6.7
2029	9.3	56.0	48.7	100.0	5.5	-11.3	-10.3	24.4
2030	9.8	57.2	50.5	100.0	5.8	-11.2	-10.3	23.1
2031	10.3	58.1	52.3	100.0	6.0	-11.0	-10.3	21.4
2032	10.9	59.0	54.1	100.0	6.1	-10.8	-10.2	19.8
2033	11.4	59.9	56.0	100.0	6.2	-10.7	-10.2	18.1
2034	12.0	60.8	57.8	100.0	6.3	-10.5	-10.2	16.5
2035	12.6	61.6	59.8	100.0	6.5	-10.3	-10.2	15.0
2036	13.2	62.2	61.6	100.0	6.6	-10.1	-10.1	13.2
2037	13.9	62.9	63.5	100.0	6.7	-9.9	-10.1	11.4
2038	14.5	63.5	65.5	100.0	6.8	-9.6	-10.1	9.7
2039	15.2	64.0	67.4	100.0	7.0	-9.4	-10.0	8.0
2040	15.9	64.6	69.4	100.0	7.1	-9.2	-10.0	6.3

주: 가격과 생산량 변화는 신재생에너지와 그린자동차를 포함한 총전력과 총자동차의 가격과 생산량의 변화를 의미함.

30 녹색성장전략 달성을 위한 산업별 R&D 투자의 경제적 성과분석



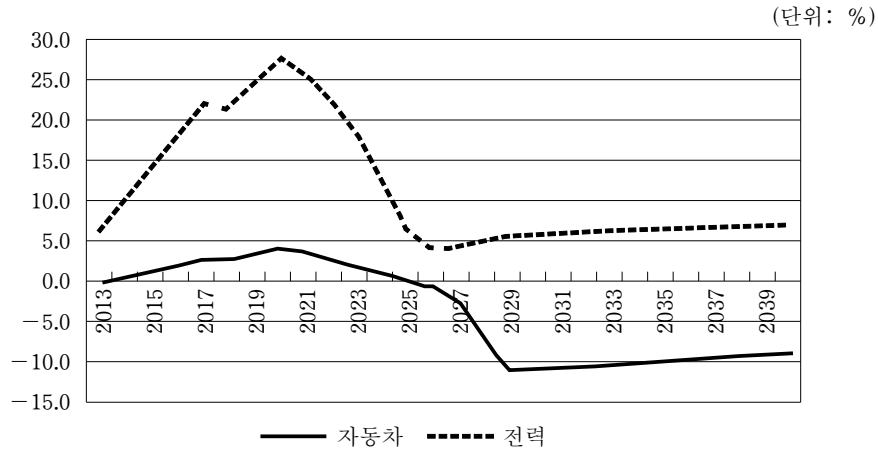
<그림 7> SCN2의 R&D 투자변화



<그림 8> SCN2의 신재생에너지와 그린자동차의 비중변화

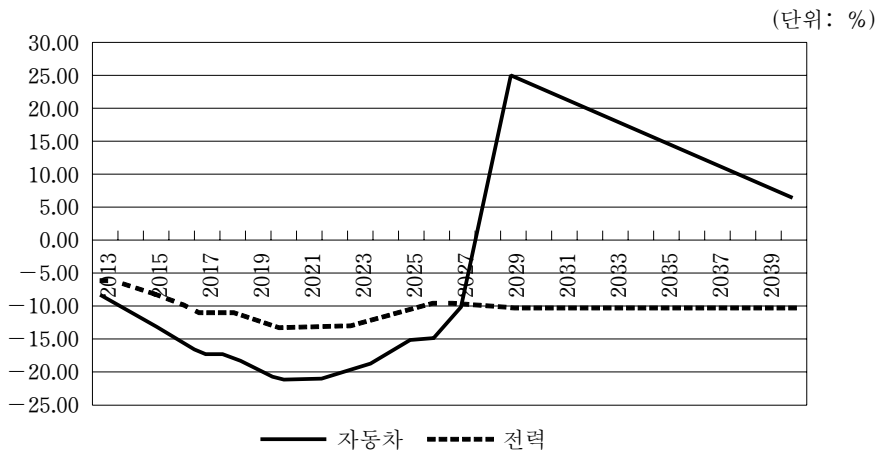
신재생에너지 비중과 자동차 생산 대비 그린자동차의 비중변화도 유사한 패턴을 보이고 있다. 그린자동차로의 전환이 빠르게 진행되어 2027년부터는 전부 그린자동차로 대체될 전망이다. 반면에 신재생에너지는 보급이 상대적으로 더디어 총전력생산 대비 신재생에너지의 비중은 2013년에 1.8%, 2020년에 12.8%, 2030년에 50%에 달하다가 2040년에 약 70%에 달할 전망이다.

이와 같은 차이는 가격변화에서 찾을 수 있다. <그림 9>에서 볼 수 있듯이



주: 신재생에너지와 그린자동차를 포함한 전력 및 자동차의 가격변화를 의미함.

〈그림 9〉 SCN2의 전력 및 자동차가격 변화



주: 신재생에너지와 그린자동차를 포함한 전력 및 자동차의 BaU 대비 생산량 변화를 나타냄.

〈그림 10〉 SCN2의 총전력과 자동차 생산변화

신재생에너지를 포함한 전력의 가격은 2020년까지 빠르게 상승하다가 점차 하락하지만, 이후에도 BaU의 전력가격에 비해 5% 내외의 높은 가격으로 공급될 전망이다. 또한 그린자동차를 포함한 자동차의 가격도 2020년까지 증가하는 경향을 보이다가 감소하기 시작하여 2025년부터는 BaU의 자동차가격보다 낮은 가격으로 공급될 전망이다. 이와 같이 온실가스 감축에 따른 생산비용 상승에도 불구하고 가격이 BaU보다 낮게 유지되는 것은 기술혁신 때문이다.

〈그림 10〉에서 보듯이 전력은 신재생에너지 도입에도 불구하고 BaU 대비 전

### 32 녹색성장전략 달성을 위한 산업별 R&D 투자의 경제적 성과분석

기간에 걸쳐 생산량이 감소할 전망이다. 그린자동차의 생산량도 2027년까지는 BaU 생산량보다는 낮은 수준에 머물고 있지만 2027년 이후에는 BaU보다 생산량이 많아질 전망이다.

그린자동차의 경우, R&D 투자자본이 빠르게 형성되고 이를 통해 기술혁신이 이루어지고 가격이 하락하여 기존의 자동차를 빠르게 대체해 나갈 전망이다. 이상에서 살펴보았듯이 그린자동차는 IT 기술이 보였던 패턴과 유사한 패턴을 보이고 있다.

신재생에너지는 투자자본이 상대적으로 더디게 형성되고 기술혁신도 더디게 진행되어 가격이 하락하는 현상이 발견되지 않고 있다. 그 이유는 풍력, 태양광 발전이 지리적으로 설치가 제한적이고 대규모 투자가 필요하므로 그만큼 기술혁신이 상대적으로 어렵기 때문이다. 따라서 그린자동차는 신성장 동력을 창출할 수 있는 모멘텀 기술로 발전할 가능성이 매우 높은 반면, 신재생에너지는 상대적으로 그 가능성이 낮다고 볼 수 있다.

#### (2) 저감비용

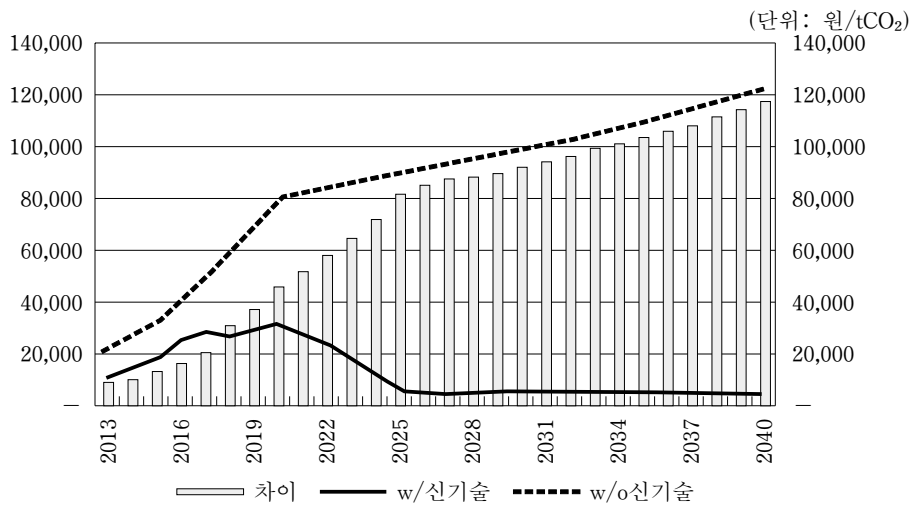
본 연구는 공통탄소세를 온실가스 감축수단으로 채택하고 있어 저감비용은 공통탄소세와 동일하다. 신재생에너지와 그린자동차와 같은 신기술 도입이 저감비용에 미치는 효과를 평가하기 위해 본 소절에서는 신기술 도입이 없는 경우를 함께 분석하였다. 신기술 도입이 없는 경우 저감비용은 2013년에 2만 1,678원/tCO<sub>2</sub>에 달하며, 2020년에 8만 213원/tCO<sub>2</sub>, 2030년에 9만 9,163원/tCO<sub>2</sub>, 2040년에 12만 2,999원/tCO<sub>2</sub>에 달해 시간이 지날수록 저감비용이 지속적으로 상승할 전망이다. 이와 같이 저감비용이 지속적으로 상승하는 이유는 온실가스 감축량이 시간이 지날수록 증가하기 때문이다.

신재생에너지와 그린자동차와 같은 신기술이 도입되면 저감비용은 2013년에 1만 1,784원/tCO<sub>2</sub>에서 2020년에 3만 2,935원/tCO<sub>2</sub>으로 증가하지만 2020년 이후에는 지속적으로 감소하여 2030년에 6,176원/tCO<sub>2</sub>, 2040년에 5,237원/tCO<sub>2</sub>으로 감소할 전망이다. 신기술 도입으로 인한 저감비용 감소효과는 2013년에 9,894원/tCO<sub>2</sub>, 2020년에 4만 7,278원/tCO<sub>2</sub>, 2030년에 9만 2,987원/tCO<sub>2</sub>, 2040년에 11만 7,762원/tCO<sub>2</sub>으로 점점 커지게 될 전망이다. 이는 앞서 살펴보았듯이 시간이 지날수록 신기술 도입이 증가하기 때문이다. 결국 <표 11>과 <그림 11>에서 보듯이 신기술이 도입되면 저감비용은 획기적으로 낮아질 것으로 보인다.

〈표 11〉 신기술 도입에 따른 저감비용 변화

(단위: 원/tCO<sub>2</sub>)

연도	신기술 도입 유무		차이	연도	신기술 도입 유무		차이
	○	×			○	×	
2013	11,784	21,678	9,894	2027	5,548	93,361	87,813
2014	16,397	28,142	11,745	2028	5,869	95,262	89,393
2015	20,937	35,118	14,180	2029	6,189	97,194	91,006
2016	25,577	42,660	17,083	2030	6,176	99,163	92,987
2017	29,209	50,841	21,632	2031	6,133	101,174	95,041
2018	27,763	59,748	31,985	2032	6,042	103,254	97,213
2019	30,726	69,493	38,768	2033	5,945	105,406	99,460
2020	32,935	80,213	47,278	2034	5,845	107,636	101,791
2021	29,374	82,123	52,750	2035	5,741	109,953	104,212
2022	25,046	84,018	58,972	2036	5,639	112,298	106,659
2023	19,909	85,887	65,978	2037	5,537	114,760	109,223
2024	14,018	87,762	73,745	2038	5,435	117,355	111,920
2025	7,784	89,633	81,849	2039	5,334	120,096	114,762
2026	5,301	91,486	86,186	2040	5,237	122,999	117,762



〈그림 11〉 신기술 도입에 따른 저감비용 변화

### (3) GDP 변화를 통한 저탄소 녹색성장 가능성 평가

저탄소 녹색성장에서 중요한 목표는 온실가스 감축과 함께 경제성장률을 일정 수준으로 유지하는 것이다. 이와 같은 녹색성장의 정책대안별 성과를 평가하기 위해서는 정책대안 시나리오별로 GDP에 미치는 파급효과를 분석하는 것이 필요하다.

〈표 12〉는 〈표 9〉에 제시된 시나리오별 GDP 변화를 보여주고 있다. 온실가스 감축을 위한 신기술 도입과 정부의 R&D 투자지원 없이 국가 온실가스 감축목표를 이행하는 SCN1에서 2020년의 GDP 손실은 1.95%이던 것이 2030년에 3.82%, 2040년에 6.68%로 손실 폭이 점차 확대될 전망이다. 이에 따른 2020~2040년 기간 동안 연평균 GDP 손실은 4.24%에 달할 것으로 전망된다.

온실가스 감축을 위한 신기술은 도입되나 정부의 R&D 투자지원은 없는 SCN2에서는 〈그림 12〉에서 보듯이 GDP 손실은 2020년에 5.41%로 SCN1보다 크지만, 2023년 이후 GDP 손실규모가 감소하기 시작하여 2030년에는 0.30%로 줄었다가, 2033년부터는 오히려 GDP가 증가하는 모습을 보이고 있다. 신기술 도입에도 불구하고 2032년까지 GDP 손실이 발생하는 이유는 온실가스 감축에 따른 경제적 비용과 더불어 R&D 투자가 기존투자를 구축하는 효과가 크기 때문인 것으로 분석된다. SCN2의 2020~2040년 기간 동안의 GDP 손실은 1.55%에 달하고 있기 때문에 신기술 도입으로 인한 GDP 손실은 연간 2.69%p씩 감소할 전망이다. 그러므로 온실가스 감축을 위한 신기술 도입이 GDP에 미치는 효과는 그렇지 않은 경우에 비하여 GDP를 연간 2.69% 포인트 증가시키는 것을 의미한다.

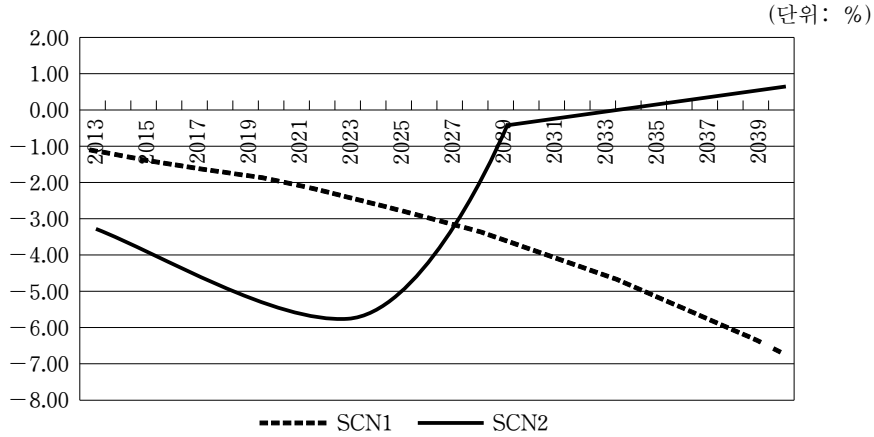
〈그림 13〉은 신기술 도입에 대한 정부의 R&D 투자지원 효과를 파악하기 위한 SCN3의 모의실험 결과를 보여준다. 정부지원으로 인한 GDP 손실은 2020년까지는 오히려 지원이 없는 경우보다 크게 나타나고 있다. 그 이유는 다음과 같다. R&D 투자지원에 필요한 재원을 마련하기 위해서는 정부는 기존의 정부지출 수준을 줄이거나 세금을 인상해야 할 것이다. 본 연구에서는 R&D 투자지원에 필요한 재원을 마련하기 위해 정부지출을 줄이는 것으로 가정하였다. 신기술에 대한 정부의 R&D 투자지원이 증가할수록 정부지출은 감소하고, 정부지출의 감소는 총수요를 감소시키기 때문에 GDP는 감소하게 된다. 한편, 신기술 도입은 그린자동차와 신재생에너지 가격의 하락을 통하여 GDP를 증가시키는데 그 효과는 초기에는 작으나 시간이 지남에 따라 점차 증가하게 된다. 따라서

〈표 12〉 시나리오별 GDP 변화

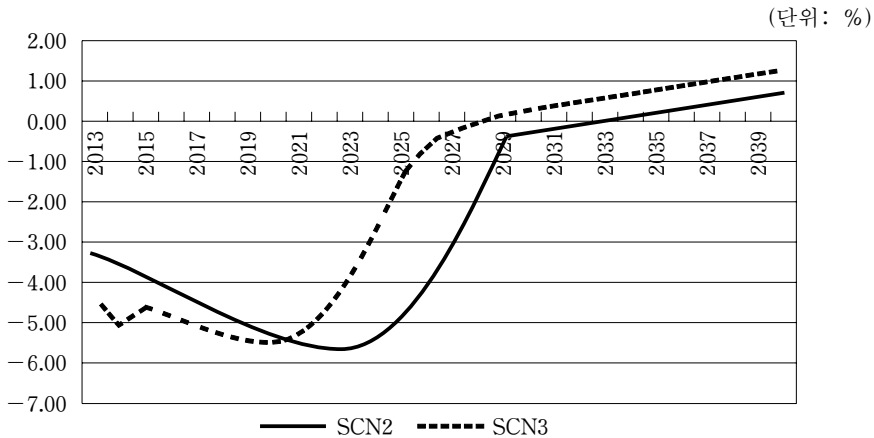
(단위: %)

연 도	SCN1	SCN2	SCN3	SCN4	SCN5
2013	-1.17	-3.32	-4.57	-4.66	-4.76
2014	-1.27	-3.52	-5.12	-5.22	-4.46
2015	-1.37	-3.83	-4.71	-4.81	-4.48
2016	-1.47	-4.17	-4.81	-4.83	-4.37
2017	-1.58	-4.51	-5.10	-5.06	-4.10
2018	-1.70	-4.79	-5.29	-5.26	-3.62
2019	-1.82	-5.10	-5.42	-5.40	-2.92
2020	-1.95	-5.41	-5.47	-5.42	-2.02
2021	-2.11	-5.61	-5.30	-5.21	-1.56
2022	-2.27	-5.72	-4.81	-4.69	-1.45
2023	-2.43	-5.69	-3.95	-3.77	-1.28
2024	-2.61	-5.46	-2.78	-2.52	-1.03
2025	-2.79	-4.96	-1.25	-0.90	-0.71
2026	-2.98	-4.26	-0.69	-0.30	-0.33
2027	-3.18	-3.27	-0.24	-0.16	0.00
2028	-3.38	-1.92	-0.04	-0.03	0.12
2029	-3.60	-0.43	0.10	0.11	0.24
2030	-3.82	-0.30	0.24	0.25	0.37
2031	-4.05	-0.20	0.34	0.35	0.46
2032	-4.30	-0.10	0.45	0.46	0.55
2033	-4.56	0.00	0.55	0.56	0.64
2034	-4.82	0.10	0.66	0.67	0.74
2035	-5.10	0.20	0.76	0.77	0.83
2036	-5.39	0.28	0.85	0.85	0.90
2037	-5.69	0.36	0.93	0.94	0.98
2038	-6.01	0.44	1.03	1.03	1.06
2039	-6.33	0.54	1.13	1.13	1.16
2040	-6.68	0.65	1.25	1.25	1.26
2020년~2040년간 연평균	-4.24	-1.55	-0.45	-0.39	0.20

36 녹색성장전략 달성을 위한 산업별 R&D 투자의 경제적 성과분석



〈그림 12〉 신기술 도입에 따른 GDP 효과



〈그림 13〉 신기술에 대한 정부지원의 GDP 효과

정부의 신기술에 대한 R&D 투자지원은 GDP를 감소시키는 음(-)의 효과와 증가시키는 양(+)의 효과가 상존하고 총효과는 상반되는 효과의 상대적인 크기에 의해 결정될 것이다. 모의실험 결과, 정부의 신기술에 대한 R&D 투자지원이 이루어지는 초기에는 GDP 감소효과가 GDP 증가효과를 압도하여 GDP는 감소하게 된다. 그러나 시간이 경과하면 신기술 도입으로 인한 GDP 증가효과가 정부지출 감소에 따른 GDP 감소효과를 상쇄하게 된다. 앞서 살펴보았듯이 신기술의 도입은 중·단기적으로 큰 폭으로 증가하지 않으므로 2020년 이전에는 정부지원으로 인한 GDP 손실은 오히려 커지는 것으로 나타나고 있다. <표

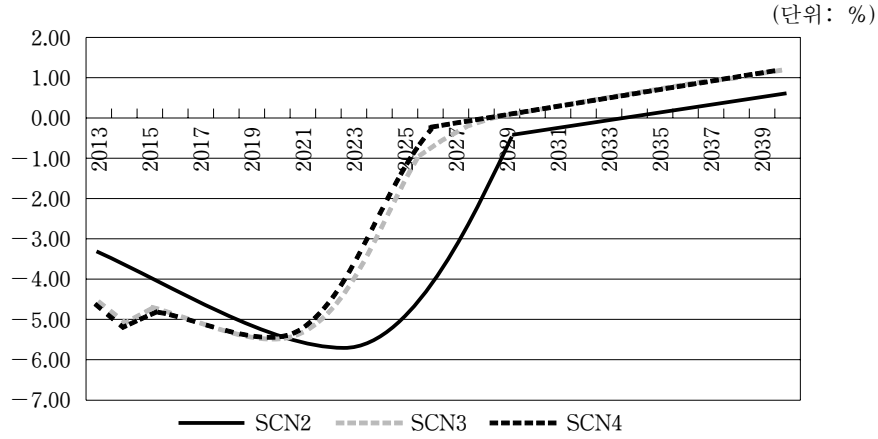


12)와 <그림 13>에서 보듯이 정부지원이 없는 SCN2에서 GDP 손실은 2013년에 3.32%이고 2020년에 5.1%이지만 정부지원이 있는 SCN3의 GDP 손실은 2013년에 4.57%이고 2020년에는 5.42%에 달할 전망이다. 그러나 신기술 도입이 확대되면서 점차 GDP 감소폭이 줄어들다가 일정 시점 이후에는 정부지출 감소에 따른 GDP 손실보다는 신기술 도입에 따른 편익이 더 커지기 시작하여 정부지원으로 인한 GDP 손실은 큰 폭으로 감소하게 된다. 즉, <그림 13>에서 보듯이 2021년 이후부터는 SCN3의 GDP 손실이 SCN2의 GDP 손실보다 작아진다. GDP가 증가로 돌아서는 시점도 SCN2보다 4년 빨라져 2029년부터 저탄소 녹색성장이 실현될 전망이다.

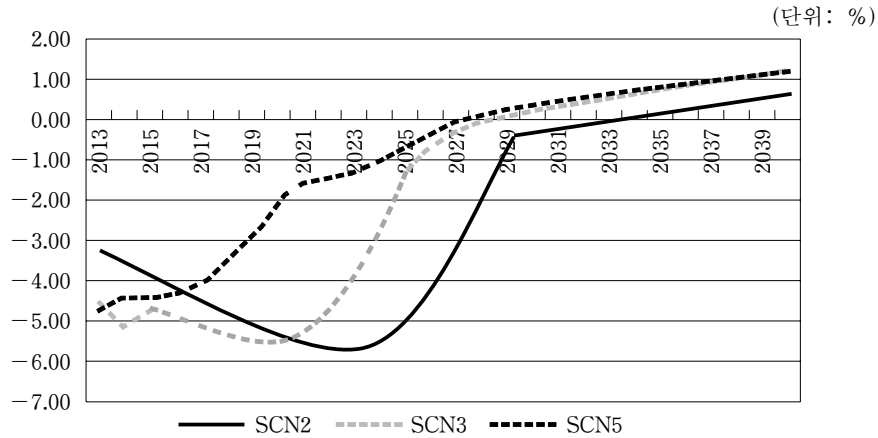
이제 신재생에너지와 그린자동차가 신성장 동력을 창출할 수 있는 모멘텀 기술로 발전할 수 있는 가능성을 GDP 변화를 통해 평가해 본다. SCN4와 SCN5는 정부지원이 증가하면 신재생에너지와 그린자동차의 생산단가가 낮아진다는 것을 전제하고 있다. 이 전제에 의해 정부지원으로 신재생에너지와 그린자동차의 생산단가가 기준비용보다 매년 10%씩 낮아진다고 가정하였다. 먼저 신재생에너지의 생산단가가 낮아지는 SCN4의 경우 <그림 14>에서 보듯이 SCN3에 비해 GDP 손실이 작아지기는 하지만 큰 차이를 발견할 수 없다. <표 12>에 나타나 있듯이 2020~2040년 기간의 연평균 GDP 손실의 차이는 0.06%p에 그치고 있다. 이는 앞서 보았듯이 신재생에너지가 모멘텀 기술로 발전하여 신성장 동력을 창출할 가능성이 낮다는 것을 보여주는 것이다.

SCN5는 그린자동차의 생산단가가 정부지원으로 매년 10%씩 낮아질 경우의 GDP 변화를 보여주고 있다. <그림 15>에서 보듯이 정부지원이 그린자동차의 생산단가를 낮추지 못하는 SCN3에 비해 GDP 손실이 큰 폭으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 앞서 분석한 바와 같이 그린자동차는 신성장 동력을 창출하는 모멘텀 기술로 발전할 가능성이 높다는 것을 보여주고 있는 것이다. 또한 2020~2040년 기간의 연평균 GDP도 0.2%p씩 증가할 것으로 전망되고 있어 그린자동차의 R&D 지원과 이에 따른 생산단가가 감소한다면 저탄소 녹색성장이 실현될 가능성이 존재한다.

이상의 분석결과는 녹색기술에 대한 철저한 평가로 지원의 우선순위를 명확히 하는 것이 저탄소 녹색성장이 성공하는 데 중요한 요인으로 작용하게 될 것이라는 점을 설명해 준다. 녹색기술은 대규모의 초기 투자를 요구하기 때문에 창조적인 아이디어만으로 창업할 수 있는 IT 기술과는 분명히 다르다. 여기에 더해 녹색기술은 온실가스 감축이라는 제약조건과 지리적 제약을 받는다. 따라



〈그림 14〉 신재생에너지 비용 하락의 GDP 효과



〈그림 15〉 그린자동차 비용 하락의 GDP 효과

서 정부지원이 경제적 비용을 수반한다는 점을 고려한다면 모멘텀 기술로 발전할 수 있는 기술을 선별하여 지원을 집중하는 것이 매우 중요할 것으로 보인다.

## V. 결론 및 정책적 시사점

지금까지 2007년 자료로서 구축한 동태CGE모형을 가지고 녹색기술로 대표되는 신재생에너지와 그린자동차가 모멘텀 기술로 발전할 가능성 있는지를 과학적이고 실증적으로 분석·평가하고자 정책대안별 모의실험을 수행하였다. 모의

실험 결과들을 요약하면, 첫째 우리 정부가 온실가스 감축을 위한 신기술 도입과 정부의 R&D 투자지원 없이 국가 온실가스 감축목표를 이행할 경우, GDP 손실은 시간이 갈수록 확대되는 것으로 나타났다. 둘째, 온실가스 감축을 위한 신기술 도입이 GDP에 미치는 효과는 신기술 도입이 없는 경우에 비하여 GDP를 연간 2.69% 포인트 증가시키는 것으로 추정되었다. 셋째, 정부의 녹색기술에 대한 R&D 투자지원은 GDP를 증가시켜 2029년부터 저탄소 녹색성장이 실현되는 것으로 나타났다. 넷째, 신재생에너지와 그린자동차가 신성장 동력을 창출할 수 있는 모멘텀 기술로 발전할 수 있는 가능성을 GDP 변화를 통해 각각 분석한 결과, 그린자동차는 신성장 동력을 창출할 수 있는 모멘텀 기술로 발전할 가능성이 매우 높은 반면, 신재생에너지는 그 가능성이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 다섯째, 신재생에너지와 그린자동차 부문에 신기술이 도입되면 저감비용은 획기적으로 낮아질 것이라고 전망되었다.

이상의 분석결과에서 정책적 시사점을 도출하면, 첫째 녹색성장 목표를 달성하기 위해서는 온실가스 감축을 위한 신기술이 무조건 도입되어야 한다는 것이다. 신기술 도입은 신기술이 도입되지 않는 경우에 비하여 2020~2040년 기간 동안 GDP를 연평균 2.69%p 더 증가시킬 것이기 때문이다. 둘째, 녹색성장 전략은 국가적 정책목표로 단기전략보다는 장기전략이라는 점에 유의하여 정부는 정치적 환경변화에 관계없이 지속적으로 녹색성장을 달성하기 위한 정책을 장기간 수행하여야 된다는 점이다. 이는 온실가스 감축과 관련된 신기술이 도입되어도 일정 기간 GDP를 오히려 감소시키나, 현재 시점에서 보아 훨씬 미래라고 볼 수 있는 전환기, 예를 들어 2033년이 되어서야 GDP가 증가하기 때문이다. 셋째, 현재 녹색기술의 핵심적인 정책과제로 대두되고 있는 신재생에너지와 그린자동차 중 신재생에너지보다는 그린자동차가 상대적으로 모멘텀 기술이 될 가능성이 크므로 국가적인 차원에서 그린자동차에 대한 지원을 더 강화할 필요가 있다.

## 부록: 기본 분석모형

### 1. 생산부문

산업별 최종재화는 <부도 1>에 나타난 생산복합단계, <부도 2>에 나타난 아밍톤 복합단계, 그리고 <부도 3>의 에너지 복합단계를 거쳐 생산된다. 우선 <부도 1>에 나타난 생산재화의 복합단계를 살펴보기로 한다.  $i$  산업에서 생산되는  $t$ 기의 재화( $Y_{i,t}$ )는 자본·노동·에너지 복합재화와 아밍톤 중간재화를 사용하여 다음과 같이 생산된다.

$$Y_{i,t} = [\alpha KLE_{i,t}^\rho + (1-\alpha)XA_{i,t}^\rho]^{1/\rho} \quad (\text{A-1})$$

여기서  $KLE_{i,t}$ 와  $XA_{i,t}$ 는  $t$ 기에  $i$  생산부문에 투입된 자본·노동·에너지 복합재화와 아밍톤 복합재화를 의미한다.

부문  $i$ 에서 생산된 최종재화  $Y_{i,t}$ 는 수출재화와 국내 소비재화로 전환된다. <부도 1>의 맨 윗 단계에 나타난 바와 같이  $Y_{i,t}$ 가 불변전환 탄력성(constant elasticity of transformation)에 의해  $t$ 기의 수출재화( $XE_{i,t}$ )와 국내 소비재화( $XD_{i,t}$ )로 전환된다고 가정하면 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$[\alpha XE_{i,t}^\rho + (1-\alpha)XD_{i,t}^\rho]^{1/\rho} = Y_{i,t} \quad (\text{A-2})$$

$XD_{i,t}$ 는 국내에 판매된  $i$  최종재화를 의미하며,  $XM_{i,t}$ 는 해외로 판매한 수출재화를 의미한다.

산업과 최종 소비부문에서 사용하는 아밍톤 복합재화는 국내 재화와 수입 재화 간 불완전 대체관계를 통해 형성된다. 산업과 최종 소비부문에서 사용되는 아밍톤 복합재화  $j$ 는 수입 재화와 국내 재화와 불완전 대체관계를 통해서 에너지와 비에너지의 아밍톤 복합재화( $XA_{j,t}$ )가 형성된다.<sup>17)</sup>

$$XA_{j,t} = [\alpha XM_{j,t}^\rho + (1-\alpha)XD_{j,t}^\rho]^{1/\rho} \quad j \in e, ne, \quad (\text{A-3})$$

$$XA_{j,t} = XA_{i,t} + XA_{c,i,t} + XA_{g,i,t} + XA_{inv,i,t} \quad j \in e, ne. \quad (\text{A-4})$$

17) 국내 재화와 수입 재화의 복합과정을 설명하는 방법은 Armington 방식과 Heckscher-Ohlin 방식이 있는데, Heckscher-Ohlin 방식은 국내 재화와 수입 재화가 완전대체가 된다고 가정하기 때문에 국내에서 소비되는 두 재화는 동일한 가격으로 형성된다.

여기서  $XM_{j,t}$ 는 해외로부터 수입한 에너지와 비에너지 재화를 의미한다. 식 (A-4)는 아밍톤 복합재화는 산업의 중간재화( $XA_{i,t}$ ), 가계의 소비재화( $XA_{c,i,t}$ ), 정부 소비재화( $XA_{g,t}$ ), 투자재화( $XA_{inv,i,t}$ )로 배분된다는 의미이다.

자본·노동 복합재화는 다음과 같이 노동과 자본의 CES함수로 구성된다.

$$KL_{i,t} = [\alpha K_{i,t}^\rho + (1-\alpha)L_{i,t}^\rho]^{1/\rho}. \quad (A-5)$$

여기서  $K_{i,t}$ 와  $L_{i,t}$ 는  $i$ 부분에 투입된 노동과 자본을 의미한다.

자본은 다음과 같은 법칙에 의해 축적된다.  $t+1$ 기의 자본량( $K_{t+1}$ )은 감가상각  $\delta K_t$ 을 제외한  $t$ 기의 자본량( $K_t$ )과 투자( $I_t$ )에 의해 형성된다.

$$K_{t+1} = (1-\delta)K_t + I_t. \quad (A-6)$$

여기서  $\delta$ 는 감가상각률을 의미한다.<sup>18)</sup> 총투자  $I_t$ 는 가계저축, 정부의 저축 그리고 해외로부터의 자본유입의 합으로 정의된다.

$$I_t = S_{c,t} + D_{g,t} + B_t. \quad (A-7)$$

여기서  $S_{c,t}$ 는  $t$ 기 가계저축을 의미하며,  $D_{g,t}$ 는 정부의 부채를 의미하며,  $B_t$ 는 무역수지에 따른 자본유출입을 의미한다.

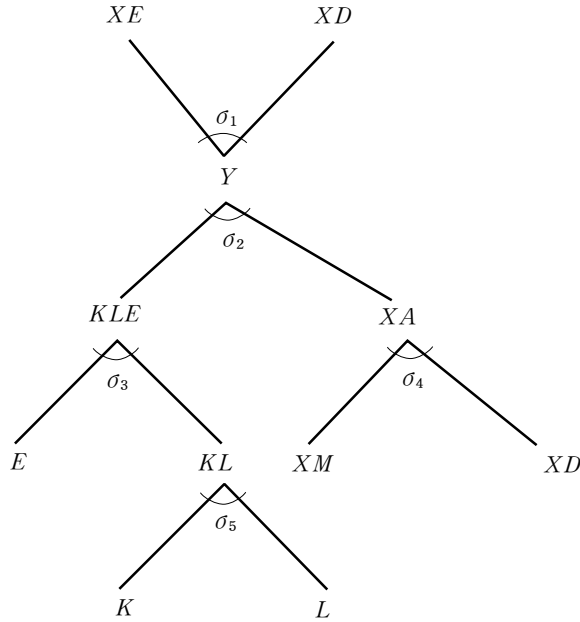
<부도 1>에는 산업별 생산구조를 나타내고 있다. 그림의 제일 하단에는 노동( $L$ )과 자본( $K$ )이 투입되어 자본·노동 복합재화( $KL$ )로 생산되는 것을 나타내며, 생산함수는 식 (A-5)와 같이 CES생산함수 형태를 갖고 자본·노동 대체탄력성은  $\sigma_5$ 인 것을 나타낸다.

유사한 방법으로 하단으로부터 2단계 좌측에서 자본·노동 복합재화와 에너지( $E$ )가 투입되어 자본·노동·에너지 복합재화( $KLE$ )가 생산되며, 생산함수는 CES생산함수 형태를 갖으며 투입요소 간 대체탄력성은  $\sigma_3$ 이다.

하단으로부터 2단계 우측에서는 국내 재화( $XD$ )와 수입 재화( $XM$ )가 투입되어 아밍톤 중간복합재화( $XA$ )가 생산되며 생산함수는 CES생산함수 형태를 갖으며 투입요소 간 대체탄력성은  $\sigma_4$ 이다.

하단으로부터 3단계에서는 앞서 설명하였듯이 자본·노동·에너지 복합재화( $KLE$ )와 아밍톤 중간복합재화( $XA$ )가 투입되어 최종생산재( $Y$ )가 생산되며, 생산함수는 식 (A-1)과 같은 CES생산함수 형태를 갖으며, 투입요소 간 대체탄력

18) 본 연구에서는 자본이동이 자유롭다는 가정 하에 지역에 상관없이 감가상각률은 모두 동일하도록 캘리브레이션하였다.



〈부도 1〉 산업의 생산구조

성은  $\sigma_2$ 이다.

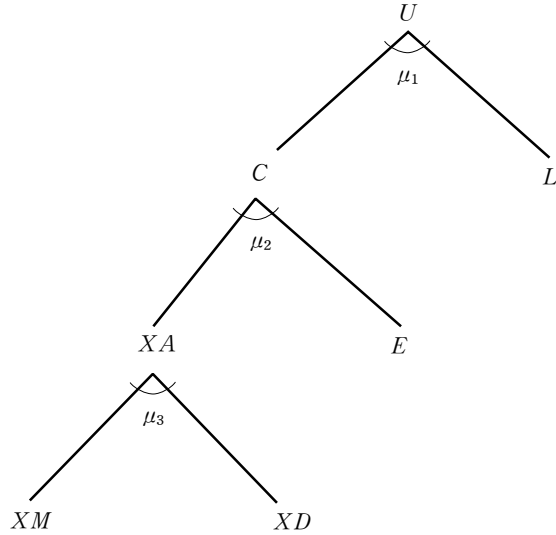
## 2. 가계부문

단 하나의 대표소비자로 구성된 가계는 미래에 대한 완전 예측능력(perfect foresight)을 가지고 시제 간(intertemporal) 예산제약조건 하에 시제 간 효용을 극대화한다. 대표소비자의 효용함수( $U$ )는 다음과 같이 시간에 대해 분리가능(separable)한 CES(constant elasticity of substitution)함수로 가정한다.

$$\max U(Z_t) = \sum_{i=0}^{\infty} \beta^i \frac{Z_t^{1-\theta}}{1-\theta}, \quad (\text{A-8})$$

$$Z_t = [\alpha C_t^\rho + (1-\alpha)(1-H_t)^\rho]^{1/\rho}. \quad (\text{A-9})$$

여기서  $\beta$ 는 시간에 대한 할인율을 의미하며,  $C_t$ 는 소비 복합재화를 의미하며,  $1/\theta$ 는 시제 간 대체탄력성(intertemporal elasticity of substitution)을 나타낸다.  $H_t$ 는 가계의 근로시간을 의미하므로 가계에 할당된 시간을 1이라고 가정하면  $1-H_t$ 는 여가시간을 의미한다. 따라서  $t$ 기에 가계에서 소비한 총소비재



〈부도 2〉 가계의 소비구조

화(full consumption)는 식 (A-9)에서와 같이 소비복합재화와 여가로 구성된  $Z_t$ 로 표기할 수 있다.  $1/(1-\rho)$ 는 소비복합재화와 여가의 대체탄력성( $\mu_1$ )을 의미하며,  $\alpha$ 는 각 복합재화가 차지하는 비중을 나타내는 모수이다. 가중치 모수( $\alpha$ )와 대체탄력성을 결정하는 모수( $\rho$ )는 수식마다 다른 표기를 사용해야 하나 서술의 편의상 이하 수식에서 모두 동일하게 표시하기로 한다.<sup>19)</sup>

가계의 효용은 〈부도 2〉와 같은 복합단계를 거쳐 형성된다.

가계의 시점 간 예산제약식은 다음과 같다.

$$\sum_t p_{c,t} C_t + \sum_t p_{k,t} I_{k,t} = \sum_t w_t L_{r,t} + \sum_t r_t K_{r,t} + \sum_t T r_t. \quad (A-10)$$

예산제약식에 나타난 가격은 모두 세후가격을 나타내며, 시간에 대한 할인율을 반영한 가격을 나타낸다. 따라서  $p_{c,t}$ 는 할인율을 반영한 소비 복합재화의 세후가격을 의미한다. 따라서 균계상태(steady state)에서  $p_{c,t}$ 는  $[1/(1+r^*)]^{t-1}$   $p_{c,0}$ 로 정의된다. 이때  $p_{c,0}$ 는 기준연도의 복합소비재화의 가격을 의미하고,  $r^*$ 는 균형이자율을 의미한다.  $p_{k,t}$ 는 할인율이 반영된 투자재의 세후가격을,  $w_t$ 는 세후 임금률을,  $r_t$ 는 자본의 세후 수익률을 나타낸다. 노동과 자본이 산업 간 이동이 자유롭다고 가정하면 각 산업이 직면한 임금률과 자본수익률은 동일하

19) 이하 대체탄력성과 가중치 모수에 대한 설명은 생략하기로 한다.

다.  $I_{k,t}$ 는 총투자로 가계의 저축, 정부저축, 지역 간 수출입 불균형의 합으로 정의된다. 그리고  $Tr_t$ 는 할인율이 반영된 정부이전소득으로서 정부로부터 가계에 이진되는 소득을 의미한다.  $C_t$ 는 소비 복합재화로서 다음과 같이 에너지와 비에너지의 재화로 복합된다.

$$C_t = [\alpha XA_{c,ne,t}^\rho + (1-\alpha)E_{c,t}^\rho]^{1/\rho}. \quad (A-11)$$

여기서  $XA_{c,ne,t}$ 는 가계(c)에서 소비한 비에너지(ne) 아밍톤 복합재화로서 아밍톤 복합단계를 거쳐 형성된다. 그리고  $E_{c,t}$ 는 가계에서 소비하는 에너지 복합재화를 의미한다. 가계에서 소비되는 에너지 복합재화도 다음에서 설명할 에너지 복합단계와 동일한 과정을 거쳐 형성된다. 비에너지 아밍톤 복합재화(XA)와 에너지 복합재화(E) 간 대체탄력성은 <부도 2>에서와 같이  $\mu_2$ 가 된다.

<부도 2>의 제일 하단에는 비에너지 아밍톤 복합재화(XA)가 국내 재화(XD)와 수입 재화(XM)가 투입되어 생산되는 것을 나타내며 두 재화 간 대체탄력성은  $\mu_3$ 이다.

### 3. 에너지부문

에너지원별 복합재화는 아밍톤 복합단계를 거쳐 생산된다. <부도 3>의 최상단에서 보듯이 에너지 복합재화(E)는 전력(EL)과 비전력(NEL)이 투입되어 생산되며, 생산함수는 CES생산함수의 형태를 갖게 되며 전력과 비전력 사이의 대체탄력성은  $\sigma_6$ 가 된다.

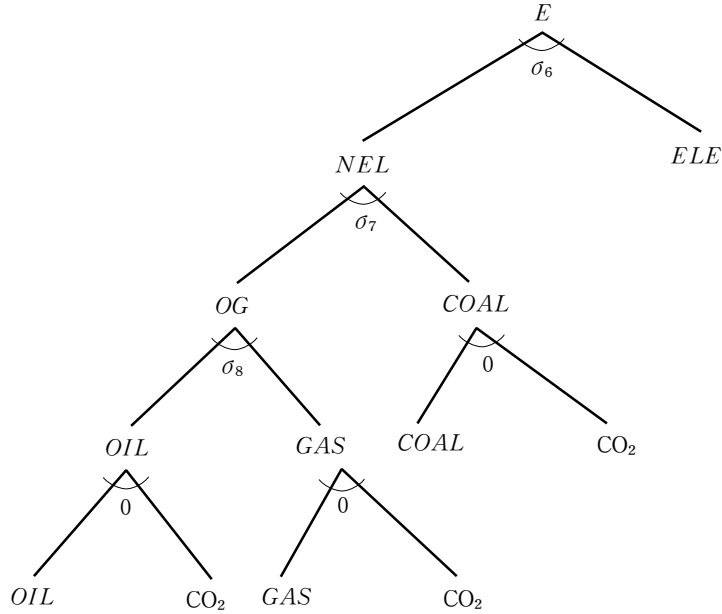
비전력은 이산화탄소를 배출하는 화석연료의 복합재화로 구성된다. 화석연료의 아밍톤 복합재화는 국내에서 생산된 화석연료와 해외에서 수입한 화석연료의 복합재화로 구성된다. 아밍톤 복합재화는 가계와 생산부문에 중간재화로 사용된다. 가계와 산업에서 사용되는 에너지 복합재화는 에너지원별 대체탄력성이 각각 상이하지만 동일한 과정을 거쳐 생산된다고 가정하였다.

이산화탄소는 연료별 소비량에 따라 각각 상이한 배출계수를 통해 발생한다. 이를 수식으로 설명하면 다음과 같다.

$$FE_{fe,t} = \min[\alpha XA_{fe,t}^\rho, (1-\alpha)CO_{2fe,t}^\rho]. \quad (A-12)$$

$FE_{fe,t}$ 는 아밍톤 화석연료 복합재화( $XA_{fe,t}^\rho$ )와 이산화탄소( $CO_{2fe,t}$ )가 복합된 화석연료 복합재화를 의미한다. 하첨자  $fe$ 는 석탄, 석유제품, 천연가스를 대





〈부도 3〉 에너지 복합구조

변한다. 그리고 상첨자  $e$ 는 에너지 효율향상을 반영한 유효에너지 수요를 의미한다. 즉,  $XA_{fe,t}^e = aeei_{fe,t} XA_{fe,t}$ 로서 에너지 효율향상  $aeei$ 는 연료별·산업별로 차이가 있다고 가정하였다. 식 (A-12)와 같이  $CO_{2fe,t}$ 와 화석연료를 레온티에프함수로 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.

〈부도 3〉에서 보듯이 이산화탄소와 결합된 화석연료는 석유( $OIL$ )와 가스( $GAS$ )가 우선 복합되고 이는 다시 석탄( $COAL$ )과 복합되어 비전력 에너지( $NEL$ )를 생산하게 된다.

$$OG_t = [\alpha FE_{oil,t}^\rho + (1-\alpha) FE_{gas,t}^\rho]^{1/\rho} \tag{A-13}$$

$OG_t$ 는 석유와 천연가스로 구성된 복합재화를 의미한다. 석유·천연가스 복합재화는 석탄과 복합되어 비전력 복합재화( $NEL_t$ )를 생산한다.

$$NEL_t = [\alpha OG_t^\rho + (1-\alpha) FE_{coal,t}^\rho]^{1/\rho} \tag{A-14}$$

마지막으로 비전력 복합재화는 아밍톤 전력 복합재화( $XA_{el,t}$ )와 복합되어 에너지 복합재화( $E_t$ )를 생산한다.

$$E_{r,t}=[\alpha NEL_t^\rho+(1-\alpha)XA_{el,t}^p]^{1/\rho}. \quad (A-15)$$

#### 4. 정부부문

정부는 근로소득세, 자본소득세, 소비세, 관세를 통해 수입을 얻고 정부 소비와 가계이전을 통해 이를 지출한다. 정부 지출과 수입과의 차이는 재정적자 또는 정부 저축으로 정의된다.  $t$ 기의 정부 수입( $\Phi_t$ )은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \Phi_t + D_{g,t} = & \sum_i \tau_{k,i,t} R_t K_{i,t} + \sum_i \tau_{l,i,t} W_t L_{i,t} \\ & \sum_i \tau_{i,t} P_{i,t} Y_{i,t} + \sum_i \tau_{m,i,t} P_{m,t} X M_{i,t}. \end{aligned} \quad (A-16)$$

여기서  $D_{g,t}$ 는 정부 부채를 의미한다.  $\tau_{k,i,t}$ 는  $i$ 부문에서 발생한 자본소득에 대한 세율을 의미하며,  $R_t$ 는 자본에 대한 세전이윤을 의미한다.  $\tau_{l,i,t}$ 는  $i$ 부문에서 발생한 근로소득에 대한 세율을 의미하며,  $W_t$ 는 세전 임금률을 의미한다.  $\tau_{i,t}$ 는  $i$ 재화에 대한 소비세를 의미하며,  $P_{i,t}$ 는 세전가격을 의미한다. 소비세는 산업연관표에 나타난 간접세와 보조금의 합으로 정의하였다.  $\tau_{m,i,t}$ 는  $i$ 수입재화에 부과된 관세를 의미하고,  $P_{m,i,t}$ 은 이에 대한 세전 수입가격을 의미한다.

정부의 지출( $\Gamma_t$ ) 측면은 다음과 같이 정의된다.

$$\Gamma_{r,t} = \sum_i P_{xa,i,t} XA_{g,i,t} + Tg_{r,t}. \quad (A-17)$$

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

#### 5. 대외거래

본 모형은 소국 개방경제를 산정하고 있기 때문에 수입재화의 가격은 외생적으로 주어진 것으로 간주한다. 그러나 무역수지 불균형은 환율변동에 의해 조정된다고 가정하였다.

$$\sum_i P_{xe,i,t} XE_{i,t} - \sum_i P_{xm,i,t} XM_{i,t} + P_{ex,t} B_0 = 0. \quad (\text{A-18})$$

여기서  $P_{xe,i,t}$ 는  $i$ 재화의 세후수출가격을 나타내며,  $P_{xm,i,t}$ 는  $i$ 재화의 세후 수입가격을 나타낸다.  $P_{ex,t}$ 는 환율을 의미하며,  $B_0$  기준연도의 무역수지 불균형을 의미한다. 따라서 환율이 매년 변동하여 기준연도의 무역수지가 매년 유지된다.

## 참 고 문 헌

- 강성진, “녹색성장과 한국경제,” 『한국경제연구』 제28권 제1호, 한국경제연구학회, 2010, 153~177.
- 구본열, “소비에 근거한 CAPM의 실증적 연구,” 『재무관리연구』, 한국재무관리학회, 1992, 1~22.
- 국가과학기술위원회, 『2006년도 국가연구개발사업 조사·분석 보고서』, 2006.
- 국가과학기술위원회·미래기획위원회, 『녹색기술 연구개발 종합대책(안)』, 2009.
- 김병우, “R&D투자와 설비투자,” 『한국경제연구』 제21권, 한국경제연구학회, 2008, 33~58.
- 김성태·임병인·김명규, 『R&D투자의 경제적 파급효과 추정모형 연구』, 한국과학기술기획평가원 연구용역보고서, 2010.
- 김성태·임병인·조경엽, 『국가 R&D 사업의 경제적 성과분석: Total Roadmap 9대 분야를 중심으로』, 과학기술부 용역보고서, 2007.
- 남주하, “소비준거 자산가격모형을 이용한 소비행태의 분석: 소비의 내구성과 습관성,” 『경제학연구』, 한국경제학회, 1997, 1121~1166.
- 노대래, “탄소세를 활용한 신기술 투자유인의 GDP 영향 분석,” 경원대학교 박사학위논문, 2010.
- 녹색성장위원회, 『녹색성장전략』, 2009.
- 문홍배, “연구개발투자의 기업생산성 증대효과,” 『산은조사월보』 1997년 11월호, 한국산업은행, 1997.
- 서중해, 『우리나라 민간기업 연구개발활동의 구조변화』, 정책연구시리즈 2002-08, 한국개발연구원, 2002.
- 송준기, “R&D 자본과 생산성 관계에 관한 실증적 분석,” 『산업조직연구』 제3집, 한국산업조직학회, 1994.
- 신범철·이의영, “중소기업의 R&D 투자가 생산성에 미치는 효과,” 『한국경제연구』 제26권, 한국경제연구학회, 2009, 151~178.
- 오진규, “저탄소녹색경제 평가모형 구축과 시나리오 분석,” 에너지경제연구원, 2010.
- 이민원, “소비변동의 함축성: 항상소득가설과 유동성제약,” 『경제학연구』, 한국경제학회, 1992, 469~489.

- 이병기, “제조업부문의 연구개발과 생산성 관계분석—민간과 정부의 연구개발 효과,” 『한국경제』 제22권, 1995.
- 이병태, “IT 버블 경험과 녹색산업의 성공 전략,” 한국경제연구원, 2010.
- 이원기·김봉기, “연구개발투자의 생산성 파급효과 분석,” 『조사통계월보』 2003년 5월호, 한국은행, 2003.
- 장진규·안두현, “국내 제조업의 연구개발투자와 생산성,” 『과학기술정책』 제4권 제2호, 한국과학기술연구원, 1992.
- 조경엽, “국가 온실가스 감축목표 평가와 시사점,” 한국경제연구원, 2010.
- 최진석, “위험회피, 위험증가 효과와 예비적 저축에 관한 연구,” mimo, 2006.
- 하준경, “연구개발의 경제성장 효과 분석,” 『금융분석』, 한국은행, 2005, 83~105.
- 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, 375~413.
- Goulder, L. H. and S. H. Schneider, “Induced Technological Change and the Attractiveness of CO<sub>2</sub> Abatement Policies,” *Resource and Energy Economics* 21, 1999, 211~253.
- Rasmussen, T. N. and T. F. Rutherford, “Modeling Overlapping Generations in a Complementarity Format,” Department of Economics, University of Aarhus and University of Colorado, 2001.

[Abstract]

## An Analysis on the Economic Performance of Industrial R&D Investments to Achieve Green Growth Strategy

Sung Tai Kim\* · Kyeong Lyeob Cho\*\* · Sang Don Lee\*\*\* · Byung In Lim\*\*\*\*

The purpose of this paper is to examine the possibility of achieving the long-run economic growth strategy by the green technology R&D investments. We develop the Dynamic Computable General Equilibrium Model in order to analyze the economic effects of the green technology R&D investments. Especially, we introduce the new technology for the new renewable energy and the green car in the model focusing on the trade-off between economic costs and cutting down the greenhouse gas.

We set up five policy simulation scenarios to assess the possibility of achieving the green growth strategy by pursuing the green technology R&D investments. Five scenarios can be classified according to the criteria such as the introduction of the new green technology, the existence of the government R&D support, and so on. The policy simulation results are as follows. First, without a new green technology and a government R&D investment for the green technology(Scenario 1), the GDP loss will be larger as time goes by in the future. Second, with new green technology, the GDP will start to increase since 2033. Third, the government R&D investments for supporting the new green technology will help Korea achieve green growth in 2029. Fourth, it is less likely for the new renewable energy to create a new growth engine, while it is more likely for the green car to create a new growth engine in Korea. Fifth, the green car turns out to become a momentum technology for Korea, since it satisfies the necessary conditions for momentum technology.

The policy implications emerging from our findings are as follows. First, we have to introduce the new green technology for reducing the greenhouse gas to achieve the green growth in Korea. Second, we should pursue the long-term-oriented policy to achieve the green growth consistently regardless of political governance, since the green growth strategy is a long-term rather than short-term national policy agenda. Third, we had better strengthen the green car project rather than new renewable energy as a national agenda.

**Keywords:** green growth, green technology, R&D investment, dynamic CGE model, general equilibrium analysis

**JEL Classification:** O3, O4, Q2

\* First Author, Department of Economics, Cheongju University, Tel: 82-43-229-8182, E-mail: stkim@cju.ac.kr

\*\* Coauthor, Senior Research Fellow, Korea Economic Research Institute, Tel: 82-2-3771-0042, E-mail: glcho@keri.org

\*\*\* Coauthor, Research Fellow, Korea Research Institute for Vocational and Educational Training, Tel: 82-2-3485-5025, E-mail: sdlee@keivet.re.kr

\*\*\*\* Corresponding Author, Department of Economics, Chungbuk National University, Tel: 82-43-261-2216, E-mail: billforest@hanmail.net