

기술경제 분석을 통한 미래 에너지시스템 전망 모형 구축

안 지 운 에너지경제연구원 부연구위원 (indra4@keei.re.kr)

1. 서론

미래에는 현재보다 다양한 에너지원 및 이용기술이 활용될 것으로 예상되며, 새로운 특성을 가진 기술이 나타날 가능성이 크기 때문에 에너지시스템의 미래를 전망할 때 보다 다양한 측면에서의 접근이 필요할 것으로 예상된다. 특히 정책적 목표를 설정하기에 앞서 보다 합리적인 방법을 통해 그에 대한 가이드라인을 제시하는 것이 매우 중요한데, 본고에서는 이를 위해 계량경제 시뮬레이션 모형을 통한 부분균형 분석 방법을 선택하였다.

미래 에너지전망은 에너지 관련 정책을 수립함에 있어 전제되어야 할 필수 전제 요건으로 지금도 다양한 방법으로 시도되고 있다. 미래에는 매우 다양한 에너지원 및 이용기술이 활용될 것으로 예상되며, 기술적인 특성 자체도 시간에 따라 빠르게 변화하거나 새로운 특성을 가진 기술이 나타날 가능성이 크기 때문이다. 따라서 에너지시스템의 미래를 전망할 때 보다 다양한 측면에서의 접근이 필요하다.

특히 우리나라의 에너지시스템은 대외 의존적인 에너지수급구조로 인해 외부적 충격에 매우 취약한데다 녹색성장 등 새로운 정책적 방향의 제시가 불확실성

을 더욱 크게 만들기도 하기 때문에 이러한 전망의 중요성이 더욱 크다. 특히 기술적·경제적 이해를 바탕으로 한 기술 측면에서의 경제성에 대한 접근이 매우 중요하며, 이를 통해 기술·경제 통합적인 관점에서 미래 에너지시스템의 상황을 전망할 수 있는 방안이 필요하다. 미시경제학적 측면에 기반한 연산가능일반균형모델(CGE)이나 선형계획최적화에 기반한 마칼(MARKAL) 모형들이 이를 다루고 있으나 많은 전제 조건 및 자료가 필요하여 가장 근본적인 단계에서의 청사진을 제공하기에는 어려움이 있다. 세부 시나리오 분석에 기반한 이들 방법론들을 효과적으로 운용하기 위해서는 사전에 거시적인 측면에서 청사진을 제공할 수 있는 방법론이 매우 중요하다.

따라서 본고에서는 거시경제적 측면의 구조적 관계에 기반한 시스템의 분석을 실시하고자 하며, 에너지, 환경 등과 결합하여 분석가능한 방법론으로서 계량경제 시뮬레이션을 이용한 부분균형모형을 선택하였다. 특히 시스템차원의 분석의 경우 에너지와 경제, 환경 시스템 간의 상호연관성을 전제로 하고 있으며(부경진 외, 2002), 모형의 자의성을 가급적 피하기 위해 외생적인 가정을 최소화하고 각 값들이 가능한 한 내생적으로 결정될 수 있도록 구조화하는데 노력을 기

울였다. 이를 위해서는 각 하위 시스템 간, 시스템 내 요소들 간의 관계 규명이 중요하다.

본고는 기술적·경제적 측면에서 에너지와 경제 요소들을 상호 진단하고 이를 토대로 미래에너지시스템의 구축에 대한 분석모형을 구축하는 것을 목표로 하고 있다.

이를 위해서 1차년도에 우선 국내외 미래전망 방법론들을 파악하고 선진국의 시스템을 조사하여 기존의 방법론들의 특징 및 장단점들을 파악하는 작업을 진행하였으며(안지운, 2009). 이를 통해 기반이 될 적절한 방법론을 선택하고 이를 개선하여 새로운 통합모형을 구축하며, 구축된 통합모형을 통해 미래 에너지원들의 소비 및 공급패턴을 분석하기 위한 연구 방향을 설정하였다.(안지운, 2010; 안지운, 2011)

이러한 방법론의 개발 및 모형 구축은 기술 및 경제

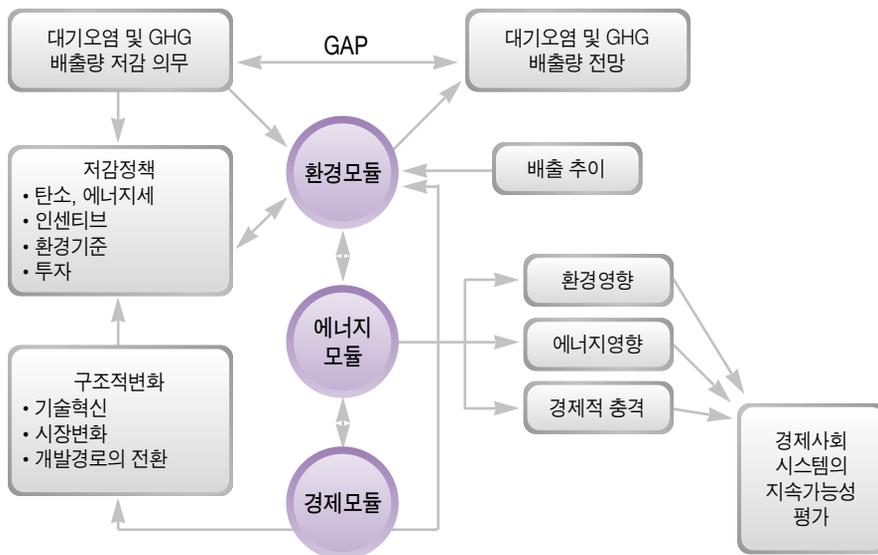
의 통합적 관점에서의 에너지시스템에 대한 조망을 통해 기술적 요소, 시장요소 등을 포괄적으로 모형화 하는데 중점을 두고 있으며, 향후 파급효과 분석 및 정책효과 분석 등에 활용할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 이를 통해 현 정책의 보완점 및 향후 개선방향 제시에도 기여할 것으로 기대하고 있다.

2. 선행연구

가. 계량경제 시뮬레이션 모형 연구

선행연구인 부경진 외(2002)에서는 계량경제 시뮬레이션 모형을 이용하여 온실가스 저감수단을 평가한 바 있다. 당시에는 이러한 시뮬레이션 분석이 대부분

[그림 1] 에너지·환경·경제 통합 계량경제 모형의 구조



자료: 부경진 외(2002)

수학적 모형인 CGE(임재규, 2001)에 집중되어 온 것에 반해 해당 연구에서는 거시경제이론에 입각하여 경제주체들의 행태에 주안점을 둔 계량경제 시뮬레이션 모형을 개발하였다.

해당 모형은 35개의 추정방정식(stochastic equations)과 42개의 항등식(identities)을 포함한 세 가지 모듈, 즉 경제모듈과 에너지모듈, 그리고 환경모듈로 구성되었다. 이 모형은 주요 정책변수인 소비세와 에너지세, 탄소세의 효과를 평가하기 위해 개발하였으며, 정책모의실험 외에도 탄소세의 에너지소비 및 경제에 미치는 영향을 측정가능하도록 설계하였다.

해당 모형은 경제주체들의 거시경제적인 행태에 주안점을 둔 계량경제 시뮬레이션 모형으로서, 연립방정식을 통해 모형을 추정하고 그 후 다양한 시나리오에 대한 정책 시뮬레이션을 실시하였다. [그림 1]은 해당 모형에서 사용된 시뮬레이션 모형의 개략적인 구조를 보여주고 있다.

해당 계량경제 시뮬레이션 모형은 몇 개의 분야, 즉 모듈의 개수를 한정해서 살펴보는 부분균형 모형으로 전체시스템을 분석하는 일반균형 모형인 CGE 모형에 비해서 다루는 범위는 좁지만, 변수들 간의 구조적인 연관관계를 파악하는 데에는 유리하다. 그리고 내생적인 관계 구성을 통한 함수적 형태를 설정함에 있어 유연하다는 장점을 가지고 있다.

[그림 1]은 모형의 주요한 요소들과 요소들이 서로 어떻게 영향을 주고받는지 보여주고 있다. 여러 변수 또는 함수는 모형의 전체 시스템의 구조를 특성화

하기 위하여 사용되었다. 외생변수들은 시스템의 외부에서 결정되는 일방향적 영향을 가지는 요인으로 가정되며, 내생변수들은 시스템 내에서 결정되는 요소이다. 해당연구에서는 시차변수(lagged variables)도 사용되었는데 이는 1기 또는 그 이상 기간의 시차를 가지는 변수를 의미한다. 이러한 시차변수들은 모형이 동태적인 특성을 갖게끔 하는 역할을 한다.

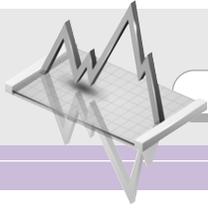
모듈들은 세 가지로 분류되어 있으나, 시스템 내에서 상호 영향을 주고받는 것으로 설계되어 있으며, 실제로는 프로그램 상에서는 하나의 시스템으로서 한꺼번에 시뮬레이션되었다.

경제모듈에서는 주로 국민계정(national accounts)¹⁾ 관련 요소들을 변수로 선정하였다. 국민계정은 부문별 총지출(gross expenditures), 형태별 총소득(gross income), 부문별 총생산(gross product) 등의 내용을 포함하고 있다. 해당 연구에서는 우선적으로 국민계정의 생산 측면을 모형화하고, 기본적인 상호의존성을 고려하기 위하여 기본 경제이론을 사용하였다. 특히 GDP는 가장 중요한 요소로서 다루어졌으며, 각 경제와 에너지 모듈을 연결하는 중요한 다리 역할을 하였다.

모형에서 GDP와 1차 에너지소비, 에너지원단위(energy intensity)와 같은 주요 내생변수들은 각 모듈의 주요 방정식에서 연결 변수로서 표현되며 상호연관성을 갖고 있다. 이러한 연결 변수들로 인해 해당 모형의 연립방정식(simultaneous equation) 형태가 된다.

경제 모형에서 변수 사이 관계의 선형성(linearity) 가정은 가장 기본적인 요소로서 다른 함수형태에 대한

1) 일정기간 중 국민경제를 구성하고 있는 모든 경제주체들의 다양하고 복잡한 경제활동의 결과와 일정시점에서 국민경제 전체의 자산과 부채상황을 정리해 보기 위하여 정해진 회계기준(국민계정체계)에 따라 작성한 국민소득 통계를 의미함.



특별한 이론적 뒷받침이 없는 이상 일반적으로 사용된다. 해당 연구의 시뮬레이션 모형에서도 대부분의 방정식들을 로그-선형의 함수 형태로 가정하였다.

해당 연구에서는 이와 같은 모형을 이용하여 외생변수에 대한 가정과 전제를 바탕으로 2002년부터 2020년까지 각 내생변수들을 전망하였다. GDP는 2001년~2020년 기간동안 3.9%의 연평균 증가율을 보일 것으로 전망되었으며, 1차 에너지 수요는 연평균 2.7%의 증가율로 늘어나 2020년에는 325,925천 TOE를 기록할 것으로 전망했다. 그리고 에너지부문의 CO₂ 배출은 연평균 2.0%의 증가율을 보일 것으로 예상되었다.

부경진(2003)에서는 모형의 형태 및 자료를 변경하여 분석을 다시 실시하였다. 동 모형을 이용하여 2개의 탄소세 부과 시나리오(5만원/TC, 10만원/TC)를 설정하여 과거에 대한 정책 시뮬레이션을 실시하였다. 탄소세 부과로 인한 에너지소비의 저감에 따른 탄소배출량의 저감의 시현과 함께 경제적 손실은 상대적으로 낮다는 것을 발견하였다. 5만원의 탄소세의 경우 1차에너지 저감률은 13.8%, 이산화탄소 저감률은 14.6%, GDP손실은 3.3%로 나타났다.

그리고 탄소세의 인상에 따라 이산화탄소 배출량의 저감규모가 체감할 수 있는 수준으로 나타났다. 이는 탄소세를 두 배로 인상하여도 이산화탄소 배출량이 두 배로 줄지 않는다는 것이다. 반면 탄소세의 경제적 충격은 비교적 큰 것으로 나타났다. GDP의 경우 앞서 언급한 바와 같이 최대 손실이 3.3%에 이르지만 이러한 손실은 장기에 걸쳐 점진적으로 줄어가는 것으로 나타났다.

나. 선행연구 검토

부경진 외(2002)와 부경진(2003)에서는 계량경제

시뮬레이션 모형을 효과적으로 사용하여 온실가스 저감 분석을 실시하였다. 이 모형들은 그 자체로도 기술·경제 통합모형이라 볼 수 있는데 두 연구 모두 환경기술개발투자와 화석연료의 CO₂ 배출 저감의 관련성을 찾아내고 있다. 이 모형들은 당시에는 효과적으로 사용가능한 모형이었으나 이를 그대로 현재에 적용시키기에는 몇 가지 문제가 있다.

첫째, 모형의 구조가 다소 복잡하다. 이는 변수나 회귀식의 많고 적음의 문제가 아니라 불필요한 부분들이 삽입되어 있다는 것이다. 예를 들어 이미 변수로 사용되고 있는 국내총생산이나 총소비지출과 직접적인 연관관계를 가지는 가처분소득 등을 굳이 추가적인 변수로 사용할 필요는 없다. 그리고 GDP에서의 분야별 구분 역시 이러한 복잡성을 증가시키는 요인으로 보인다. 이러한 모형의 복잡성은 모형의 해(solution)를 구하기 위한 시뮬레이션 모형의 수렴(convergence) 문제와 연결되기 때문에 어느 정도 필수적인 요소들만을 포함하는 것이 시뮬레이션을 효과적으로 수행하는데 도움을 줄 수 있다.

둘째, 에너지전환 부분 및 총고정자본형성 부분을 재정립할 필요가 있다. 석유나 석탄의 겨우 최종에너지 소비에 전환부분에서의 소비를 더하면 1차에너지 소비량이 되지만 가스의 경우 최종에너지소비 중 도시가스로 공급된 에너지는 1차에너지소비량 산정에서 제외하게 되므로 전환부분의 가스 소비량만이 1차에너지소비량으로 산정된다. 이는 본 연구의 에너지 모듈을 설명하는 부분에서 보다 자세하게 설명하고자 한다. 총고정자본형성의 경우 선행연구들에서는 무형고정자산은 고려하지 않았으나 이것이 최근 들어 급격히 증가²⁾하고 있음을 볼 때 본 연구에는 무형고정자산을 반드시 고려하도록 하였다.

셋째, 기술적인 부분의 분석을 보완할 필요가 있다. 특히 환경투자 외에 신재생에너지 등 신기술에 대한 내용을 담을 수 있는 여지가 없다는²⁾ 한계가 있다. 게다가 신재생에너지가 사용되는 분야가 산업과 가정 부문으로 한정되어 있는데, 지금의 시점에서는 수송 분야, 전환분야 등 전 부문에서 신재생에너지가 사용되고 있기 때문에 더 세부적인 변수 정의 및 분류가 필요할 것으로 보이며, 이를 고려할 수 있는 모형의 구축이 중요하다.

넷째, 수력, 원자력, 특히 각 부문에서의 신재생에너지의 소비량이 외생적으로 주어진다는 한계가 있다. 물론, 정책적인 의지를 통해 수립된 기본계획(지식경제부, 2008)이 존재하기 때문에 이를 반영한다는 점에서는 이러한 외생적 변수로 보는 것이 현실적으로 옳을 수 있다. 하지만 신재생에너지 소비량 등을 외생적으로 설정하면 기술투자가 신재생에너지 보급량에 미치는 효과와 같은 기술경제적인 분석의 여지가 좁아지게 된다. 따라서 선행연구들보다는 외생변수들을 대폭 줄이고 이를 내생변수화하는 노력이 필요하다.

마지막으로 모형식들의 이론적 뒷받침이 부족하다는 점이다. 이와 같은 모형들은 시계열자료(time series)를 사용하기 때문에 단위근 및 공적분 관련 검토가 꼭 필요하다. 부경진 외(2002)에서는 이와 같은 이론적 검증이 미실시된 반면, 부경진(2003)에서는 단위근 검정과 공적분 검정을 실시하여 이론적 뒷받침을 하고 있다. 그러나 공적분 검정의 경우 공적분 벡터의 존재 가능성을 검정하는 Johansen 검정

(Johansen, 1991)만을 실시했을 뿐 회귀계수들이 공적분 벡터로서 적절한지를 직접 검증하지는 않았다. 그리고 각 회귀식들의 형태, 설명변수를 선정한 이유, 시차변수를 사용한 이유 등에 대한 설명이 부족한 것으로 보인다.

본 연구에서는 이러한 사항들을 고려하여 모형을 개선하고 이론적인 기반을 다지기 위한 노력을 실시했다.

3. 자료 및 모형 구축

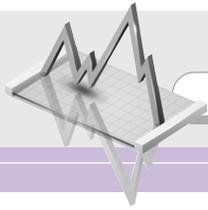
가. 분석 자료

계량경제 시뮬레이션 모형을 사용하기 위해서는 I/O 분석이나 CGE만큼은 아니다 하더라도 상당한 규모의 시계열 데이터가 필요하다. 특히 기본적으로 시계열 분석에 의존하기 때문에 일정기간 이상의 시점 간 자료 확보가 매우 중요하다.

모형 구축을 위한 자료들은 통계청과 한국은행, 환경부, 기타 유관기관으로부터 입수하였으며, 되도록 최신의 데이터를 반영하기 위해 노력하였다. 일부 자료는 연간 및 월별 에너지 수급 데이터 및 가격자료는 에너지경제연구원 및 국가에너지통계정보시스템에서, 환경에 대한 데이터는 환경부가 발간하는 환경통계연감(환경부, 2010a) 및 환경백서(환경부, 2010b)로부터 확보하였다.

2) 1990년의 (무형고정자산/건설투자)비율은 0.026에 불과하지만 2009년에는 0.107로 4배 가량 확대되었음.

3) 연구 당시에는 신재생에너지 보급이 본격적으로 시작되기 전이었기 때문에 사실상 이러한 고려가 필요하지 않았음.



1) 경제데이터

본 연구는 1990~2010년⁴⁾간 연도별 데이터를 사용하였다. 경제 모듈 데이터는 통계청⁵⁾과 한국은행⁶⁾, 국제에너지기구 및 기타 유관기관으로부터 입수하였다. GDP와 같은 대부분의 기초통계자료의 확보는 어렵지 않았으나 근로시간과 전산업 평균임금 등 일부 지표는 기간 중 산정 기준 변경 등으로 어려움을 겪었다. 가격이나 금액 관련 변수들은 모두 2005년을 기준으로 실질가치로 환산하였다.

총고용자수(TEMP)와 경제활동인구(TLF)는 통계청 국가통계포털(Korean Statistical Information Service)에서 자료를 입수하였다. 근로시간(WHR)과 임금(RWAG) 자료는 고용노동부의 통계자료에서 입수하였다. 두 변수의 경우 전산업 기준의 데이터가 10인 이상에서 5인 이상으로 확대되었기에 기존 자료에 맞추어 10인 이상을 기준으로 자료를 구했다. 해당 자료는 고용노동부에서 제공하는 통계자료를 사용하였다. 실업률(UNR)은 통계청에서 확보한 총고용자수(TEMP)와 경제활동인구(TLF)를 통해 산정하였다.

경제모듈에 포함되는 총수요부문의 경제데이터로는 지출과 투자자료를 사용하였다. 지출자료로는 민간소비지출(RPC), 정부소비지출(RGC), 총소비지출(RTC)을 사용하였고, 투자관련 자료로는 설비투자(RINVM), 건설투자(RINVC)를 사용하였다. 추가적으로 무형고정자산형성(RINVN) 등의 데이터가 사용되었으며, 위의

총수요부문의 데이터는 한국은행에서 입수하였다. 금리(INT)는 한국은행에서 1992년 이후부터 장외 데이터만 생성하는 회사채유통수익률 데이터를 사용하였다.

국제수지부문에서 사용된 데이터는 수출액(REXP), 수입액(RIMP), 수출단가지수(PEXP), 수입단가지수(PIMP), 달러화 환율(EXDR)을 사용하였다. 관련 데이터는 앞서 언급한 자료들과 마찬가지로 모두 한국은행 경제통계시스템에서 확보하였다.

물가는 2005년 기준 소비자물가지수(CPI05), 생산자물가지수(PPI05)를 사용하였다. 소비자물가지수와 생산자물가지수는 모두 한국은행으로부터 확보하였다.

총인구(POP) 데이터에 대한 자료는 통계청에서 수집하였다. 통계청에서는 조사 자료를 제공하는 것 뿐 아니라, 2050년까지의 인구추계치까지 제공하고 있다.

자동차등록대수(VEH) 추이는 통계청과 국토해양부로부터 자료를 입수하였다. 자동차 등록대수 증가 추세는 IMF 시기 직후 다소 주춤했던 것으로 보이고 이후 다시 증가하는 양상을 보이고 있다.

〈표 1〉에서는 경제 부분에서 사용된 내생, 외생 변수들을 정리해서 보여주고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 금액으로 표시되는 항목들은 모두 2005년 기준 실질금액으로 환산되었다.

2) 에너지데이터

본 연구에서는 2010년 연구에서 사용된 세분화된

4) 이는 가장 긴 시계(time span)에 해당하며, 데이터에 따라 이보다 짧은 시계를 가진 경우도 있음. 각 추정식의 회귀분석은 사용되는 변수 중 가장 짧은 시계의 변수에 맞춰 실시되었음.

5) 국가통계정보시스템, kosis.kr

6) 경제통계시스템, ecos.bok.or.kr



〈표 1〉 경제부분 사용변수

데이터 명	내 용	데이터 명	내 용
RGDP	국내총생산(십억 원)	RINVN	무형고정자산(십억 원)
RKS	자본스톡(십억 원)	INT	회사채유통수익률(%)
TEMP	총고용자(취업자 수)	REXP	수출(백만 달러)
TLF	경제활동인구수	RIMP	수입(백만 달러)
WHR	근로시간(월평균 근로시간)	PEXP	수출단가지수(2005=100)
RWAG	전산업 평균임금(원/월)	PIMP	수입단가지수(2005=100)
UNR	실업률(%)	CPI05	소비자물가지수(2005=100)
RPC	민간소비지출(십억 원)	PPI05	생산자물가지수(2005=100)
RGC	정부소비지출(십억 원)	DEKR	감가상각률
RTC	총소비지출(십억 원)	EXDR	대미 달러 환율(원/달러)
RINVM	설비투자(십억 원)	POP	인구(명)
RINVC	건설투자(십억 원)	VEH	자동차 등록대수(만대)

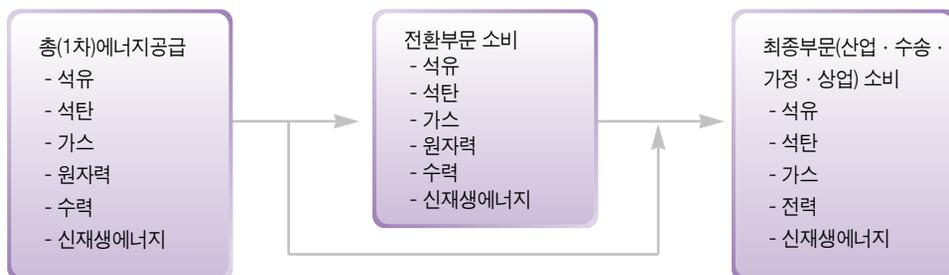
에너지 변수들을 이용하고 있다. 에너지소비 관련 연도별 데이터는 주로 에너지경제연구원 및 국가에너지 통계정보시스템을 통해 입수하였다.

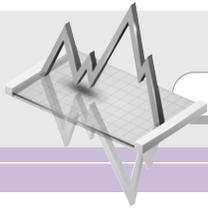
에너지소비 데이터는 에너지원별 총 1차에너지소비(TOT), 전환부분 에너지소비, 최종에너지소비(FINE)

등으로 구성되며, 단위는 모두 석유 환산톤(천 toe)으로 통일 했다. 에너지소비의 흐름은 [그림 2]와 같다.

단, 전환부분의 경우 [그림 2]와 같이 에너지원들이 투입되어 나온 산출물인 전력, 열, 도시가스가 이미 최종에너지소비에서 합산되어 있기 때문에 전환부분의

[그림 2] 에너지원 소비 흐름





에너지소비를 산정할 때 (전력+열에너지+도시가스)만큼의 에너지를 제외해야 한다는 점을 주의해야 한다.

본 연구에 사용되는 최종에너지소비량은 각각 산업, 가정 및 공공, 수송, 전환부문으로 구분하고 각 부문별로 에너지원별 소비량 자료를 확보하였다. 에너지부문에서는 회귀식이 가장 많은데 대부분이 원별·부문별 소비량을 추정하기 위한 식들이다.

이와 같은 소비량 데이터와 더불어 중요한 요소가

에너지원별 가격 이다. 최종에너지원별 가격, 즉, 석유, 석탄, 가스, 전력의 가격이 필요한데, 이들은 한국은행의 상세품목별 생산자물가지수로부터 확보하였으며, 이를 전체 생산자물가지수를 이용하여 실질가격으로 변환하였다.

구체적인 에너지소비 데이터 목록은 <표 2>와 같다.

수송부문의 신재생에너지 소비량은 통계체계상 따로 집계되지 않으며, 대부분이 바이오디젤이기 때문

<표 2> 에너지부문 사용변수

데이터 명	내 용	데이터 명	내 용
TOT	총 1차에너지소비 계	FINEH	가정상업공공부문 에너지소비 계
TOIL	총 1차에너지 중 석유소비량	OILH	가정상업공공부문 석유소비량
TCOL	총 1차에너지 중 석탄소비량	COLH	가정상업공공부문 석탄소비량
TGAS	총 1차에너지 중 가스소비량	GASH	가정상업공공부문 가스소비량
HYD	총 1차에너지 중 수력소비량	ELEH	가정상업공공부문 전력소비량
NUC	총 1차에너지 중 원자력소비량	ALTH	가정상업공공부문 신재생에너지소비량
TALT	총 1차에너지 중 신재생에너지소비량	HEATH	가정상업공공부문 열에너지소비량
FINE	최종에너지소비 계	FINET	수송부문 에너지소비 계
OIL	최종에너지 중 석유소비량	OILT	수송부문 석유소비량
COL	최종에너지 중 석탄소비량	GAST	수송부문 가스소비량
GAS	최종에너지 중 가스소비량	ELET	수송부문 전력소비량
ELE	최종에너지 중 전력소비량	ALTT	수송부문 신재생에너지량
ALT(TALT와 동일)	최종에너지 중 신재생에너지소비량	FINE_C	전환부문 에너지소비 계
FINEI	산업부문 최종에너지소비 계	OIL_C	전환부문 석유소비량
OILI	산업부문 석유소비량	COL_C	전환부문 석탄소비량
COLI	산업부문 석탄소비량	GAS_C	전환부문 가스소비량
GASI	산업부문 가스소비량	ALT_C	전환부문 신재생에너지 소비량
ELEI	산업부문 전력소비량	CF	전환(발전+지역난방+가스제조)부문 효율
ALTI	산업부문 신재생에너지소비량		



에 바이오디젤 보급량을 열량으로 환산하여 수송부문 신재생에너지 자료로 사용하였다⁷⁾.

1차에너지 중 수력과 원자력은 전환부문의 수력, 원자력과 동일한 양이기 때문에 전환부문에서는 표시하지 않았다. 전환부문의 믹스를 외생적으로 가정한 부경진 외(2002)와는 달리 본 연구에서는 원별 소비량 자체를 추정하여 사후적으로 믹스를 도출할 수 있게 하였다. 따라서 이러한 믹스가 별도의 변수로 사용되지 않는다.

여기서 전환부문의 효율(CF)이란 전환부문에 투입되는 에너지량과 전환부문을 거쳐 생성되는 에너지량 간의 비율을 의미한다. 다시 말하자면, 1차 에너지를 소비하여 2차에너지(전력, 도시가스, 열)를 얼마만큼 효율적으로 생산해낼 수 있는가를 보여주는 지표로서, 전환부문에서 발전효율이 개선됨에 따라 전환효율은 점차 높아지는 추세에 있다. 본 연구에서는 전환부문의 에너지소비 및 전력, 열, 가스 생산량이 추정되면 내생적으로 결정되는 내생변수로 설정하였다.

에너지원별 수요 추정식에 이용될 에너지가격 관련 데이터에 대한 설명은 <표 3>에 제시되어 있다.

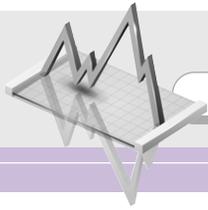
생산자 물가지수를 사용함에 있어 각 제품군에서 각 제품 가격으로 사용될 수 있는 것을 사용했다. 수송용 연료의 경우는 주로 사용되는 휘발유와 경유의 사용량의 비중을 가중치로 이용하여 휘발유 가격과 경유가격의 가중평균을 구하였다. 선박유는 분류상 수송용에 포함되기는 하나 비중이 매우 적어 제외했다. 가스 가격의 경우 LNG, LPG등의 가격이 복합적으로 작용하고 또 부문별로 이들이 차지하는 비중이 다르기 때문에 둘의 가격이 함께 반영되는 도시가스 가격을 사용하였다.

원유가격이나 천연가스 가격을 직접 사용하는 대신 생산자 물가지수를 사용하는 것은 원유가격보다 제품 가격을 사용하는 것이 합리적이라 판단되었기 때문이다. 이는 소비자들이 최종적으로 사용하는 것은 이들의 2차 가공 제품이기 때문에 원유나 천연가스 가격의 변동폭이 최종 생산품에 그대로 반영되지는 않기 때문이다.

<표 3> 에너지가격 사용변수

데이터 명	내 용
RPOIL	석유제품 가격(석유제품 생산자물가지수, 2005=100)
RPCOL	석탄 가격(무연탄 생산자물가지수, 2005=100)
RPELE	전력 가격(전력 생산자물가지수, 2005=100)
RPFUEL	수송연료 가격(가중평균 수송연료 생산자가격지수, 2005=100)
RPGAS	가스 가격(도시가스 생산자물가지수, 2005=100)

7) 에탄올, 바이오가스 등도 사용되고 있으나 아직 시범사업/실증 단계이기 때문에 그 사용량은 미미함.



〈표 4〉 신재생에너지기술 관련 변수

데이터 명	내 용
SP_ALT	신재생에너지 지원금액(백만원)
TL_ALT	신재생에너지분야의 누적 지적재산권(건수)

본 연구에서는 신재생에너지기술 관련 변수들도 사용했다. 신재생에너지는 아직 화석연료 시장처럼 기술수준 및 시장이 안정화되지 못했다. 따라서 기술개발 및 시장진입기에 있는 신재생에너지의 경우 시장 및 기술 데이터를 확보하기가 어려운 것이 사실이다.

SP_ALT는 신재생에너지 분야의 기술개발, 실증연구, 성능평가 지원 금액을 의미한다. 본 변수의 경우 전년도 연구와 같이 지식경제부(2008)를 통해 자료를 입수하려 했으나, 2004~2007년 이후의 자료가 업데이트 되지 않아 모형 추정에 사용하기에는 어려움이 있었다. 본 연구에서 기본 모형의 구동을 시험하기 위해 해당 기간의 평균 증가율을 구하여 매년 동일 비율로 변화하는 것으로 2004년 이전 데이터를 구축하였다⁸⁾. TL_ALT는 신재생에너지 분야의 기술 수준을 의미하는 변수로 특허 및 실용신안의 개수를 합산한 것이다. 지적재산권의 경우 한 번 획득하면 지속적으로 효과를 지니는 특징이 있기 때문에 당해연도 건수가 아닌 누적건수를 변수로 사용하였다. 이 변수도 구축된 시계열이 짧아 1997~2007년도 자료만을 입수하였다.

앞서 가격관련 표에서는 제시되지 않았으나 최종에너지원별 가격 중 신재생에너지에 대한 가격도 필요한 요소 중 하나이다. 그러나 신재생에너지의 경우 가격변수를 사용하는 데 몇 가지의 문제점을 가지고 있다. 첫째, 신재생에너지원의 경우 에너지원이 매우 다양하다는 점이다. 따라서 신재생에너지가격이라는 대표변수로 구축하는 데 무리가 있다. 마갈 모형과 같은 상향식 모형은 매우 구체적인 데이터를 사용하므로 이를 반영하는 것이 가능하나 본 모형에서와 같은 거시적인 관점의 모형에서는 세부적인 가격 데이터를 사용하는 것은 불가능하여, 지수화된 대표 가격 수치를 사용해야 하는데 이러한 수치를 구축하는 것은 실질적으로 어렵다. 둘째, 아직 에너지 시장이 비성숙하였기에 에너지의 시장 가격이 제대로 형성되지 못하였다. 신재생에너지 기술은 대부분 상용화 이전 단계라 가격이 빠르게 변화하고 있으며, 과거 자료의 시계(time span)도 매우 짧다. 따라서 일정 이상의 신뢰를 확보할 만한 시계의 가격 자료를 구하는 것이 어렵다. 따라서 여기서는 대리변수를 선정하였는데 이는 신재생에너지 누적사용량이다. 이를 대리변수로 사용

8) 이는 과거 시계열 자료를 기반으로 한 분석의 본질적 한계로 이 경우 데이터에 가정을 더하여 시계를 확장하던지 데이터를 구축할 수 없는 시점의 분석을 포기하던지 선택해야 함. 본 분석에서는 극히 일부의 변수 때문에 다른 변수들의 각 시점의 많은 자료를 포기하는 것은 비합리적이라 판단하여 가정을 설정하여 시계를 인위적으로 확장하였음.



〈표 5〉 신재생에너지기술 가격 및 효율향상 변수

데이터 명	내 용
CALT	총 1차에너지 중 누적신재생에너지소비량
CALTI	산업부문 누적신재생에너지소비량
CALTH	가정상업공공부문 누적신재생에너지소비량
CALTT	수송부문 누적신재생에너지량
CALT_C	전환부문 누적신재생에너지 소비량
EE	에너지 사용 효율

한 이유는 이와 같은 변수가 학습곡선(learning curve)을 반영할 수 있기 때문이다.

학습곡선은 대량 생산 역사에서 분석 도구로 자주 논의되었는데 가장 기본적인 개념은 누적생산량이 2배 증가하면 일정한 비율로 가격이 하락한다는 것이다. 즉 누적생산량은 가격을 대리할 수 있는 변수라 할 수 있으며 신재생에너지의 경우도 누적소비량을 가격의 대리변수로 사용할 수 있다고 볼 수 있다. 누적소비량은 각 부문별 및 전체 소비량을 모두 변수로 설정하였다. 그리고 또 하나 중요한 요소가 있는데 이는 에너지사용의 효율 향상이다. 경제를 성장시키면서 온실가스 배출을 저감하기 위해서는 무엇보다 에너지 사용 기술의 효율 향상이 중요하다. 이를테면, 효율이 10% 향상되는 것은 실제 에너지를 100만 투입하고도 110을 투입한 것과 마찬가지로의 성과를 낼 수 있게 되는 것을 의미한다. 현재 기후변화 및 녹색 성장을 위한 주요 수단으로 에너지 고효율화가 거론되는 것을 감안할 때 이와 같은 효율 인자의 도입은 필수적이라 할 수 있다. 실제로 이와 같은 효율 변수(EE)를 도입하지 않으면 효율 향상으로 에너지 투입

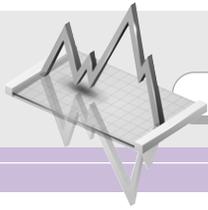
의 감소가 오히려 경기를 침체시키는 것으로 나타나게 된다.

3) 환경데이터

환경데이터로는 CO₂ 배출량(CO₂)과 환경투자액(RINVE)을 사용하였다. CO₂ 배출량은 국가에너지기구 자료를 통해 최신 업데이트 자료를 구할 수 있었다. 환경투자는 환경부를 통해 2008년까지의 자료를 확보할 수 있었다.

환경투자액은 환경기술개발 및 오염방지 노력을 통해 미래의 화석연료 단위당 CO₂ 배출(화석연료의 평균적 CO₂ 배출계수)을 얼마나 개선할 수 있는지 살펴보기 위한 변수로 환경오염방지투자와 환경기술개발투자의 합산을 통해 구하였다.

CO₂ 배출량 전망을 위해서는 화석연료의 CO₂ 배출계수 외에도 총 에너지대비 화석연료의 점유율, 에너지단위, 1인당 GDP 등이 필요한데 이러한 변수들은 여타 변수들로부터 생성되는 변수로써 다른 변수들 간의 계산을 통해 2차적으로 결정된다.



〈표 6〉 환경 관련 사용변수

데이터 명	내 용
CO ₂	CO ₂ 배출량(백만tCO ₂)
CO	CO 배출량(백만 tCO)
NO _x	NO _x 배출량(백만 tNO _x)
SO _x	SO _R 배출량(백만 tSOR)
RINVE	환경투자액(백만원)
CO ₂ R	화석연료의 CO ₂ 배출계수(CO ₂ /FOS)
CO	화석연료의 CO 배출계수(CO/FOS)
NO _x R	화석연료의 NO _x 배출계수(NO _x /FOS)
SO _x R	화석연료의 SO _x 배출계수(SO _x /FOS)
FOSR	총에너지 중 화석연료의 비중(FOS/TOT)
TEI	에너지원단위(TOT/RGDP)
RGDP1	1인당 GDP(GDP/POP)

나. 회귀식 추정 및 모형 구축

1) 모형 개요

모형 내 회귀식들의 추정은 안지운(2010)과 마찬가지로 OLS와 AR(1) 추정법을 사용했으며, 변수의 성격에 따라 적절하게 시차변수를 사용하였다. 추정 결과 대부분의 회귀식들이 양호한 예측력을 가진 것으로 나타났으며, 추정계수들은 대체적으로 경제이론과 부합하는 부호를 보였다. 많은 변수들이 단위근을 가지고 있었으나, 대부분의 회귀식의 추정계수들이 1% 유의수준에서 공적분 벡터의 역할을 하는 것으로 나타나 모형의 사용에 문제가 없음이 확인되었다. 따라서 단위근 및 공적분 검정결과 제시는 생략하도록 한다.

본 연구에서는 경제모듈의 거시경제학적 검토 및 보완에 특히 중점을 두었으며, 이를 위해서 거시경제 변수의 사용, 회귀식의 구조 등을 면밀히 검토하여 모형의 구조를 구성하였다.

본 모형에서는 시스템의 입력(input) 및 시나리오 요소로서의 외생변수, 시스템내의 요소 상호간 상관 관계를 파악하기 위한 내생변수들을 사용하고 있다. 그리고 그 구조를 표현하기 위한 회귀식 및 항등식들을 포함하고 있으며, 시차변수(lagged variable)를 사용하여 동태적 시스템을 구축하였다.

2) 모형 구축

전체 모형은 선행연구(부경진 외, 2002)와 마찬가지로

지로 경제(Economic) 모듈, 에너지(Energy) 모듈, 환경(Environmental) 모듈 등 3개의 하부 모듈로 구성되며, 에너지 모듈 내에 하부 기술 모듈이 들어가는 것으로 구성하였다. 여기에서 경제와 에너지, 환경, 기술 모듈의 회귀식 및 항등식들은 시스템 내에서 상호 영향을 주고받는 구조로 되어 있다⁹⁾.

본 연구에서 개발된 모형은 우선적으로 국민계정 중 주로 생산 측면을 모형화하였다. 그 구조는 선형연구들에 비해 단순하게 구성하였다. 경제 모듈에서는 부문을 따로 구분하지 않았으며, 생산, 소비, 무역, 가격 측면에 초점을 맞추었다.

에너지 모듈은 안지운(2010)과 동일하게 산업, 가정·상업·공공·기타, 수송, 전환부문으로 나누고 각 부문별로 원별 소비량을 구하였다.

모형은 총 90개의 변수들을 포함하고 있으며, 내생 변수 80개, 외생변수 10개¹⁰⁾로 구성되어 있다. 이는 선형연구들(부경진 외, 2002; 부경진, 2003)에 비해 외생변수 비율이 급격히 줄어든 것으로 각 부문별·원별 소비량, 생산자/소비자 물가지수들을 모두 내생 변수로 설정했기 때문이다.

실질GDP와 에너지소비량 등과 같은 내생변수들은 각 모듈 간 주요 방정식에서 연결 변수(linkage variables)로서 역할을 하며, 시스템이 하나의 단위로 구동할 수 있도록 해 준다. 관련 방정식들은 총 80개이며, 그 중 회귀식이 47개이다.

본 모형에서는 회귀식들에 대해서 일반적으로 자주

사용되는 로그-선형(log-linear) 형태를 가정하였다. 계량경제 모형에 도입되는 변수간의 구체적인 함수 형태를 제시하고 있지 않은 경우 대부분 선형 관계를 가정하게 된다. 특히 로그-선형 관계에서는 계수가 바로 탄력성을 의미하기¹¹⁾ 때문에 모형의 형태에서 변수들 간 탄력성을 직관적으로 관측할 수 있다는 점에서 유용하다.

특히 경제 모듈의 경우 그 구조가 복잡한데, 다음 그림은 이와 같은 경제 모듈의 구조도를 간략히 보여주고 있다. 이는 대략적인 구조를 나타낸 것으로 실제 수식 상으로는 보다 복잡적이며 순환적인(recursive) 관계를 가지고 있다.

경제 모듈에서 가장 중요한 변수는 실질GDP라 할 수 있는데, 이는 국민계정의 가장 핵심적인 요소이면서 에너지모듈과 연결시켜 주는 역할을 하기 때문이다. 본 연구에서는 GDP에 대해 콥-더글러스 생산함수의 변형 형태인 기본적인 불변대체탄력성(Constant Elasticity of Substitution: CES) 생산함수를 이용하였다. 이 생산함수는 경제활동과 에너지부문 간의 관계를 규정하는 중요한 연결고리로서 모형을 구성하는 핵심적인 역할을 한다. 또한, 총소비지출(RTC) 역시 경제 모듈에서 민간소비지출(RPC)과 정부지출(RGC)의 합으로 구해진 후 에너지 모듈의 회귀식에서 설명변수로 사용되어 경제 모듈과 에너지 모듈을 연결시키는 역할을 한다.

경제 모듈에서는 외생변수로 가정된 이자율이 투자

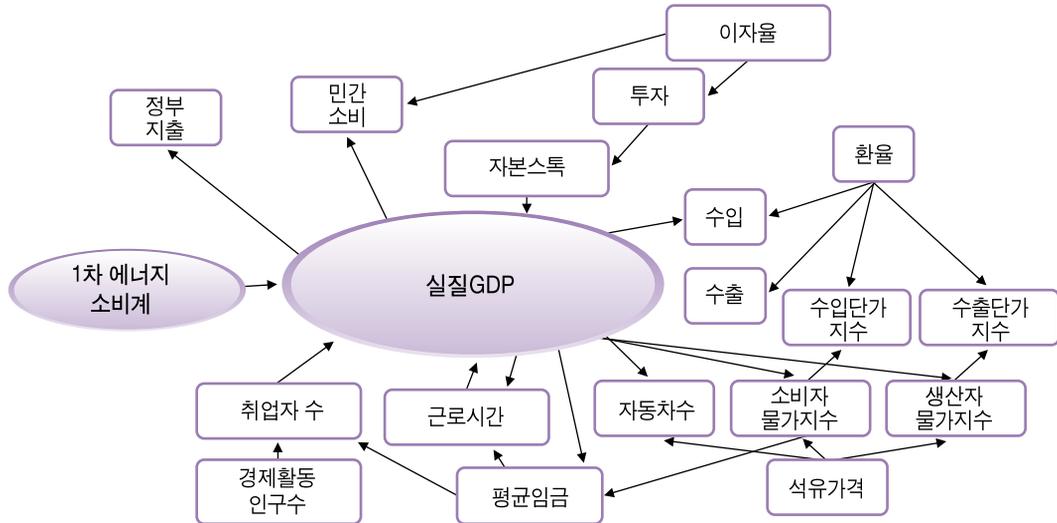
9) 그러나 모듈로 구분하는 것은 설명의 편의와 모형의 이해를 위한 구분일 뿐 실제로는 하나의 시스템으로 한 번에 작동함.

10) 이 10개 중 연도 및 추세 관련 변수로 외생적 가정에는 활용되지 않는 변수로 사실상 외생변수는 8개임.

11) 탄력성은 모형의 어떤 설명변수, 예를 들면 석유 가격이 1% 변화할 때 소비량이 얼마나(%) 변화하는지를 나타냄. 탄력성은 수학적으로 다음과 같이 표현됨.

$$\epsilon = \frac{\partial Q}{\partial P} \cdot \frac{P}{Q} = \frac{\partial \log Q}{\partial \log P}$$

[그림 3] 경제모듈 내 경제변수 간 관계도



량에 영향을 미치고 총고정자본으로 집계된 투자는 최종 산출물인 실질GDP의 투입요소로 작용을 하는 경로가 설정된다.

수요측면에서는 생산물시장, 화폐시장과 외환시장 그리고 공급측면에서 노동시장 균형을 고려하는 기초적 거시경제모형 중 이자율과 총산출을 양대 축으로 하는 IS-LM-BP 균형 모형은 관심 경제변수 혹은 거시경제정책 변화에 따른 총산출변동을 분석할 수 있다. 특히, 변동환율제 하에서 소규모개방경제에 대한 IS-LM-BP 모형은 경제규모가 상대적으로 작고 외환시장 개방도가 높은 우리나라 경제현실과 유사하다고 할 수 있다.

에너지 모듈은 [그림 2]의 에너지원 소비 흐름을 바탕으로 구성하였으며, 신재생에너지 소비량 변수들이 다른 화석에너지원과 보다 유기적으로 연계되도록 구조를 개선하였다. 예를 들어 신재생에너지 기술수준

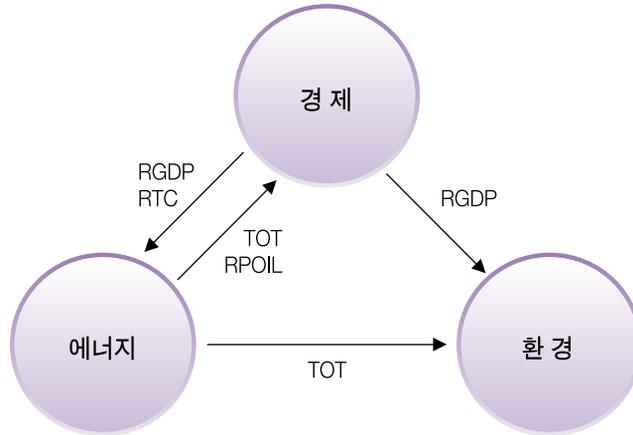
변수의 경우 투자액에 영향을 받는 내생변수로 설정되어 기술모듈의 유기적 관계를 강화하였다. 환경모듈에서는 온실가스인 이산화탄소 외에 환경오염물질은 일산화탄소, 질소산화화합물, 황산화화합물 등도 분석 대상에 추가되었다.

오염물질 배출량 관련 구조식은 선행연구 및 전년도 연구와 같이 Kaya(1990)에 의해 최초로 고안된 항등식을 변형하여 사용하였다. 이 항등식은 배출수준과 에너지원단위(energy intensity)를 사용하기 때문에 환경 모듈을 에너지, 경제 모듈과 효과적으로 연결 짓는 역할을 한다.

각 모듈 간 구조는 [그림4]와 같다.

경제 변수들 중 RGDP, RTC가 에너지 모듈의 투입변수가 되어 모듈간 연결역할을 하고 에너지 변수들 중에서는 총 1차에너지소비량(TOT)과 외생변수인 석유가격(RPOIL)이 모듈간 연결고리의 역할을 한다.

[그림 4] 경제, 에너지, 환경 모듈 간 구조



환경 모듈은 경제, 에너지 모듈에서 RGDP, TOT에 의해 영향을 받는다.

모형의 구체적인 구조 및 계수 추정치 등은 안지운(2011)에 첨부되어 있다.

4. 분석 결과

가. 외생변수 가정

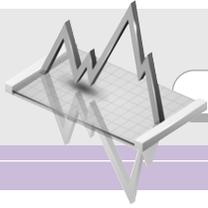
시나리오 분석을 위해서는 8개¹²⁾의 외생변수들 각각에 대해 가정을 해야 한다. 정책 효과 분석에서는 이러한 가정들을 얼마나 합리적으로 구성했는가에 따라 그 결과에 대한 신뢰도가 달라지게 되므로, 외생변수에 대한 가정에 신중해야 한다.

대미환율(ER), 이자(INT), 감가상각률(DEKR)은 특별한 추세를 가정할 만한 근거나 논리가 부족하기 때문에 일정한 값을 가정한다. 대미환율과 이자는 최신자료인 2010년의 1156원/달러, 4.66%로 가정하고 전망기간 동안 고정하였다. 환경투자액(RINVE)에 대해서는 안지운(2010)과 같이 데이터가 존재하는 과거 15년간의 평균연간상승률인 5.74%만큼 미래에도 계속 상승하는 것으로 가정했다.

감가상각률의 경우 일반적으로 합의된 수치가 존재하지 않아 가정을 설정하는 데 있어 애로사항이 존재하였다. 표학길(2003)에 의하면 우리나라 전산업의 감가상각률은 다음과 같이 제시되었다.

〈표 7〉에 따르면 국내 감가상각률은 시간이 지남에 따라 감소하는 것으로 나타난다. 이를 20년간 7.7에서 4.3으로 변화하는 것으로 간주하고 이 변화율(매년

12) 실제로 모형에 존재하는 외생변수는 총 10개이나 그 중 하나는 시간변수(TIME) 등 별다른 가정이 필요없는 2개의 변수는 논의에서 제외하였음.



〈표 7〉 감가상각률 추산

감가상각률		
1968~1977	1977~1987	1987~1997
7.7	6.6	4.3

2.96% 감소)를 매년 반영하였다. 기간 중 세 번째 구간인 1987~1997년의 중간년도인 1992년에 4.3%로 가정하고 이 감가상각률이 매년 2.96%씩 감소하는 것으로 설정했다. 이 결과 2030년에는 1.4% 수준까지 감소하게 된다. 이는 연 1~4%의 감가상각률을 제시한 바 있는 Haley(1976)의 결과와도 유사한 수치이다.

에너지효율(EE)의 경우 정부가 10~20년까지 12% 효율 향상을 목표로 하는 것을 고려하여 연간 1.2%씩 향상되는 것으로 가정하였다.

인구의 경우는 안지운(2010) 마찬가지로 통계청 추세 전망 자료를 사용하였다. 인구 전망자료에 따르면 향후 우리나라 인구는 2018~2019년경에 정점에 달한 후 차츰 감소할 것으로 예상하고 있다.

신재생에너지 기술변수인 지원금액에 대해서는 지식경제부(2008)의 신재생에너지 투자비의 증가율을 감안하여 산정하였다. 지식경제부(2008)에 따르면 2011~25년 사이의 신재생에너지 투자액의 연평균 증가율이 4.87%로 나타나는데, 이 증가율을 반영하여 신재생에너지 기술지원액의 증가 규모를 5%로 가정하였다. 이러한 투자액 증가분은 신재생에너지의 잠재량 및 개발 여건 등을 감안한 것으로 이 수치를 사용함으로써 사실상 이러한 요소가 이 모형에도 반영되었다고 할 수 있다.

나. 시나리오 분석

추정된 회귀식들과 항등식들로 구성된 모형을 통해 시뮬레이션 분석을 실시한 결과 본 연구에서는 2030년까지 상대적으로 안정된 예측치가 추정되었다.

구성된 모형을 통해서 시나리오 분석을 여러 차례 실시하였다. 우선, 외부 환경에 대한 결과를 보기 위해 석유가격 변동에 따른 시나리오 분석을 기준안, 고유가안, 저유가안으로 구성하여 실시하였으나, 저유가안의 경우 분석의 의의가 크게 없어 본 분석에서는 기준안과 고유가안의 두 가지 결과만 제시하였다.

다음에는 정책적인 변화를 고려하기 위해 에너지효율 향상과 신재생에너지에 대한 투자증가율을 사용하여 시나리오를 구성하였다. 에너지효율 관련해서는 에너지효율 향상이 빠르게 진행되는 고효율안, 효율 향상이 진행되지 않는 저효율안을 구성하여 기준안과 비교하였다. 신재생에너지 투자의 경우 투지지원액이 빠르게 증가하는 적극투자안, 증가하지 않는 소극투자안을 구성하여 기준안과 비교하였다.

1) 유가에 따른 시나리오 분석

본 분석에서는 석유가격 변화에 따른 시나리오 분석을 우선 실시해 보았다. 석유가격은 에너지 및 경

제 분야에 영향을 주요 요인 중 하나로 에너지자립도가 낮은 우리나라의 경우 경제요소들이 석유가격에 많이 좌우될 수밖에 없는 상황이다.

시나리오를 구성하기 위해 EIA(2011)의 원유가격 전망을 사용하였다. 원유가격 전망 및 변화 추이를 그대로 시나리오로 구성할 수 있으나 이에 대해서는 국제원유가의 움직임이 국내에서 소비되는 석유제품들의 가격에 그대로 모두 반영되는 것은 아니라는 문제점이 있다. 이를 감안하여 예측 기간 중(2010~30년)의 연평균 원유가격 증가율을 산정하여 이 증가율만큼 일정비율로 매년 변화한다고 가정하였다.

EIA(2011)의 유가전망에 따르면 기준안에서는 2010~2030년에 석유가격이 매년 2.05%, 고가격안은 4.63% 가량 상승하는 반면 저가격안은 매년 3.07%씩 가격이 하락하는데, 본 연구에서는 이와 동일한 비율로 석유가격(RPOIL)이 변화하는 것으로 가정하였다.

우선 GDP의 경우를 살펴보면, 기준안에서는 2012~2030년 연간 약 2.1% 상승하는데 이는 부경진외(2002)의 3.9%에 비교하여 다소 낮은 수치이다¹³⁾. 이는 부경진 외(2002) 이후의 최근 성장세의 완화로 인한 영향이 반영된 것이며, 신재생지원액, 감가상각률 등에 보다 합리적인 가정을 사용함으로써 변화한 것으로 보인다. 장기적인 전망에서 온실가스 저감 노력을 강화하면서 사실상 적극적인 경제성장을 추구함에 사실상 어려움이 있다는 것을 보여주고 있는 상황이라 할 수 있다. 또한 인구의 장기적인 감소 추세 역

시 장기 전망에서의 성장률 전망치 하락에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

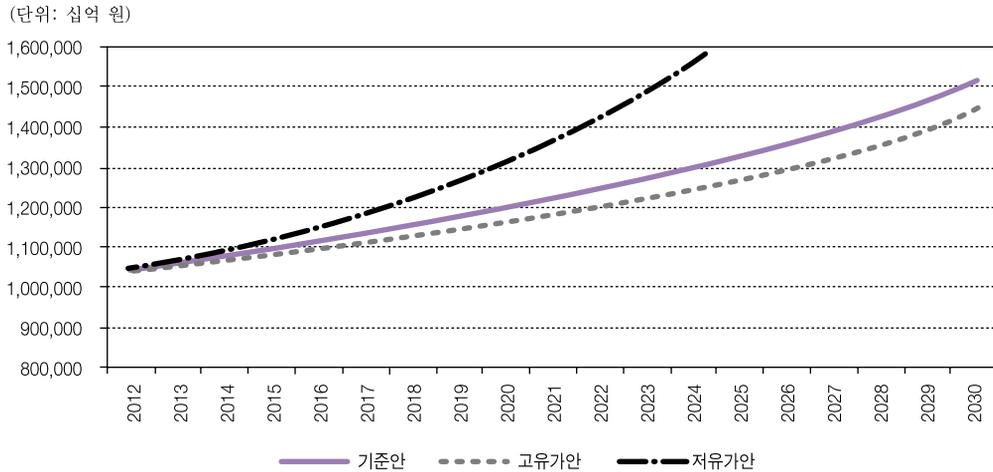
고유가안에서는 GDP 성장세가 보다 둔화되어 연간 약 1.8% 성장하는 추세를 보이고 있다. 예상보다 기준안에 비해 성장세가 많이 둔화되지는 않는데, 이는 에너지 부문은 실제 생활 및 기본 산업에 전반적으로 관련되어 있어 가격이 상승한다 하더라도 실제로 소비 규모를 축소하는 데에는 한계가 있어 그에 대한 소비 민감도가 크게 작용하지는 않기 때문으로 판단된다.

반면 저유가안에서는 다른 두 안과는 달리 성장세가 매우 가파르게 상승하는데, 이는 원유의존도가 높은 우리나라의 상황에서는 석유가격의 하락은 막대한 영향을 끼칠 수 있음을 의미한다. 고유가안에서 위축될 수 있는 부분은 한계가 있는 반면, 유가 하락으로 인해 성장할 수 있는 부분은 그다지 한계가 작용한다고 할 수 없기 때문이다. 실제로 연간 3% 이상의 유가하락은 에너지효율 향상 속도보다도 빠르기 때문에, 에너지효율화 및 신재생에너지 육성에 노력을 기울이지 않아도 될 정도의 상황을 가져올 수 있는 시나리오이기 때문에 사실상 본 분석에서는 큰 의미를 가지지 않는다.

화석연료 비중은 기준안에서는 매우 느린 속도로 하락하다가 2025년 이후 하락세가 빨라지는 추세를 보일 것으로 전망됐으며, 감소하는 화석연료부분은 신재생에너지가 대체하게 된다. 따라서 시간이 지날수록 신재생에너지 비중이 증가하게 된다. 기준안의 경우 2030년에 약 11%에 도달하게 되는데 이는 제3차 신재생기본계획(지식경제부, 2008)과 매우 유사한 수치

13) 감가상각률을 더 작게 가정하는 등 일부 외생변수를 변화시켜 보면 기존 선행연구들의 성장률을 근접하는 결과를 보이는데, 이러한 가정에 대한 근거에 명확하지 않으므로 본 연구에서는 결과를 사용하지 않았음.

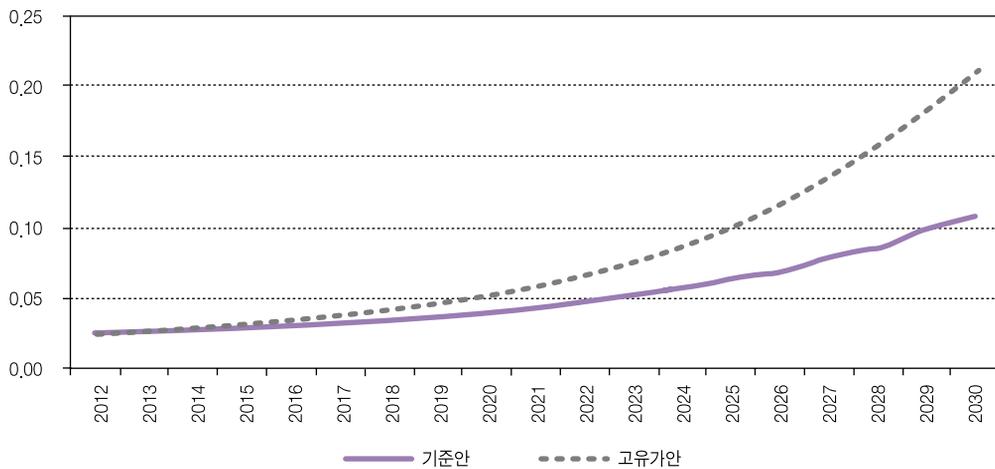
[그림 5] GDP 전망



이다. 고유가안에서는 유가상승으로 인해 신재생에너지 분야에 투자가 활성화되고 기술 수준이 빠르게 향상될 것으로 예상되어 2030년에 20%에 육박할 것으로 나타났다. 다만, 본 분석에서는 국내 신재생에너지

의 자원잠재량이나 개발여건 등을 고려하고 있지 않으므로 이러한 수치가 달성가능한지는 미지수이며, 이를 위해서는 잠재량 및 개발 환경 분석이 동행되어야 할 것으로 생각된다.

[그림 6] 신재생에너지 비중





2) 에너지효율 변화에 따른 시나리오 분석

기준안은 석유가격 시나리오 분석 시와 마찬가지로 에너지효율 향상이 매년 1.2%씩임을 가정하는 경우를 의미한다. 그리고 고효율안은 이의 2배인 2.4%씩 효율이 향상되는 경우, 저효율안은 효율향상이 없는 경우를 가정한다.

석유가격 시나리오 분석 시와 마찬가지로 우선 GDP의 경우를 살펴보면, 기준안에서는 2012~2030년 연간 약 2.1% 상승하는데 비해, 고유가안에서는 GDP 성장세가 보다 커져 매년 3.2% 가량 성장하게 되어 선행연구들과 비슷한 수치를 보인다. 에너지효율 향상은 더 많은 양의 에너지를 투입하는 것과 같으므로 이는 예상된 결과라 할 수 있다.

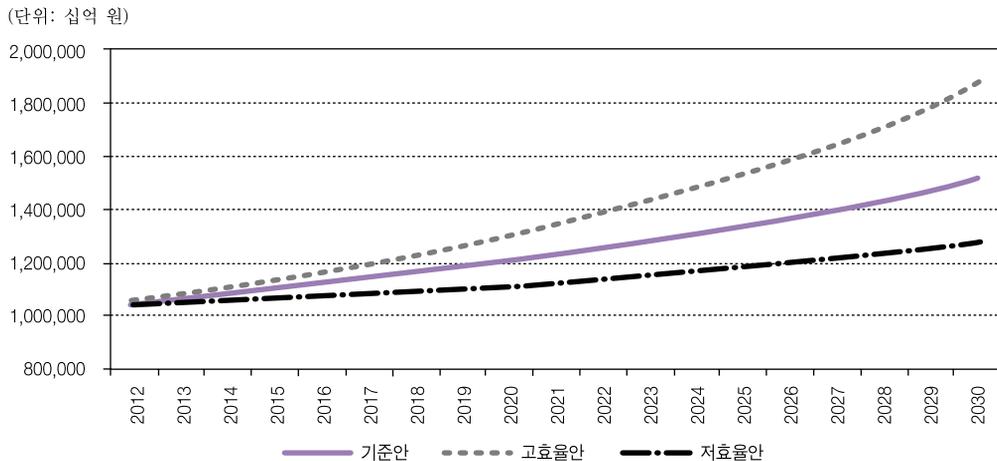
반면 저효율안에서는 다른 두 안과는 달리 성장세가 매우 둔화되어 연간 1.2% 정도밖에 상승하지 못한다. 즉 신재생에너지 육성, 온실가스 감축, 최근 경기 침체 등의 부담요인들을 극복하고 성장세를 계속하기

위해서는 효율 향상이 필수적인 사항으로 보인다.

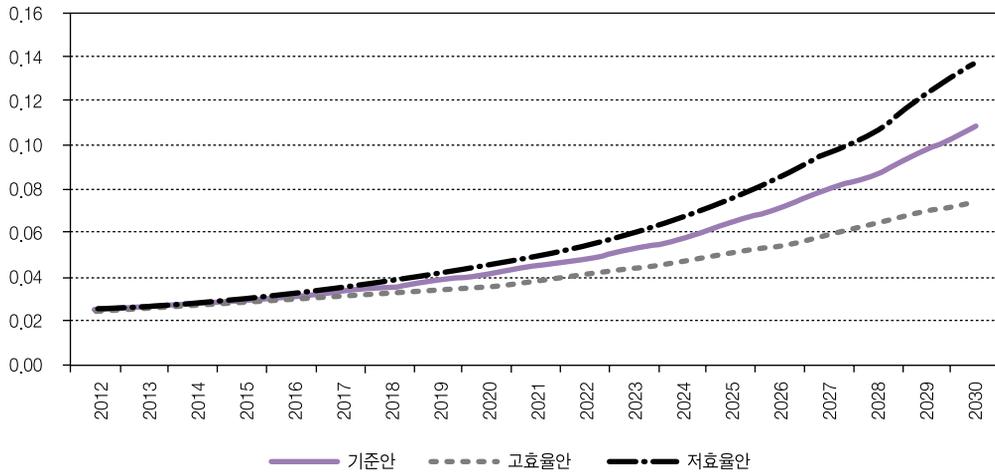
화석연료 비중은 고효율안에서 오히려 약간 증가하는 추세로 나타났다. 에너지효율 향상이라는 내용 중 대부분이 현재 사용 중인 화석연료의 효율적 사용이라는 측면에 초점을 맞추고 있으므로 이는 화석연료의 실질적인 가격 하락의 효과를 가져올 수 있다. 따라서 화석연료 사용이 증가하게 됨을 알 수 있다. 반대로 저효율안에서는 화석연료의 상대가격이 기준안에서보다 높은 것과 동일한 효과를 가지기 때문에 화석연료의 비중이 하락함을 알 수 있다.

신재생에너지 비중은 기준안의 경우 2030년에 약 11%에 도달하게 되는데 비해 고효율안에서는 7.4% 수준에 머물게 된다. 이는 앞서 언급했듯이 효율향상으로 인해 1차에너지소비량 자체가 큰 규모로 증가했기 때문이다. 반면, 저효율안에서는 오히려 신재생에너지 비중이 증가했는데, 이는 신재생에너지가 적극적으로 개발되었다기보다는 경기성장세 둔화로 인해 에너지소비량 자체가 감소한데서 기인한 것이다.

[그림 7] GDP 전망



[그림 8] 신재생에너지 비중



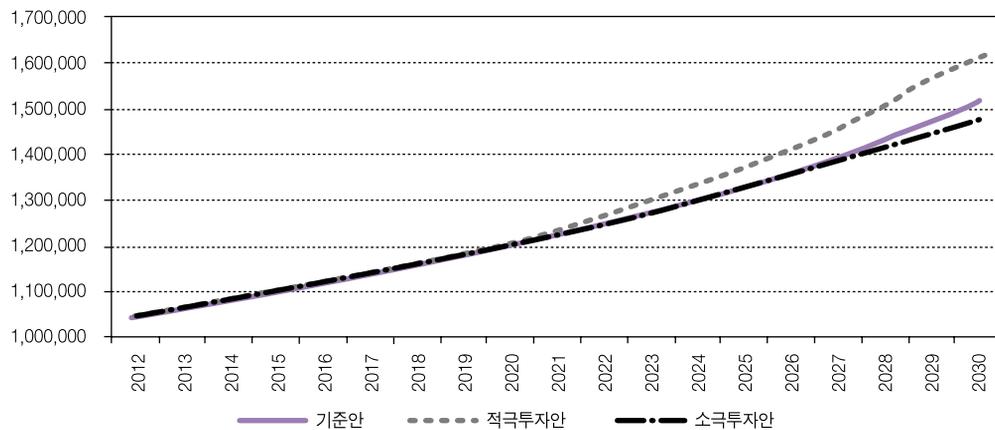
3) 신재생에너지 투자 적극성 변화에 따른 시나리오 분석

기준안은 앞서 설명한 바와 같이 매년 5%씩 연도별 투자지원액이 증가하는 경우를 가정한다. 신재생에너

지 적극투자안은 2020년까지는 매년 7.5%씩 증가하고 2030년까지는 기준안과 마찬가지로 5%씩 증가하는 경우로 설정하였다. 소극투자안은 전혀 증가하지 않는 것으로 설정하였다.

[그림 9] GDP 전망

(단위: 십억 원)



앞의 분석들과 마찬가지로 우선 GDP의 경우를 살펴보면, 기준안에서는 2012~2030년 연간 약 2.1% 상승하는데 비해, 적극투자안에서는 GDP 성장세가 보다 커져 매년 2.5% 가량 성장하였다.

반면 소극투자안에서는 성장세가 약간 둔화되어 연간 1.94% 정도 상승하였는데, 이는 기준안과 거의 차이가 없어 보인다.

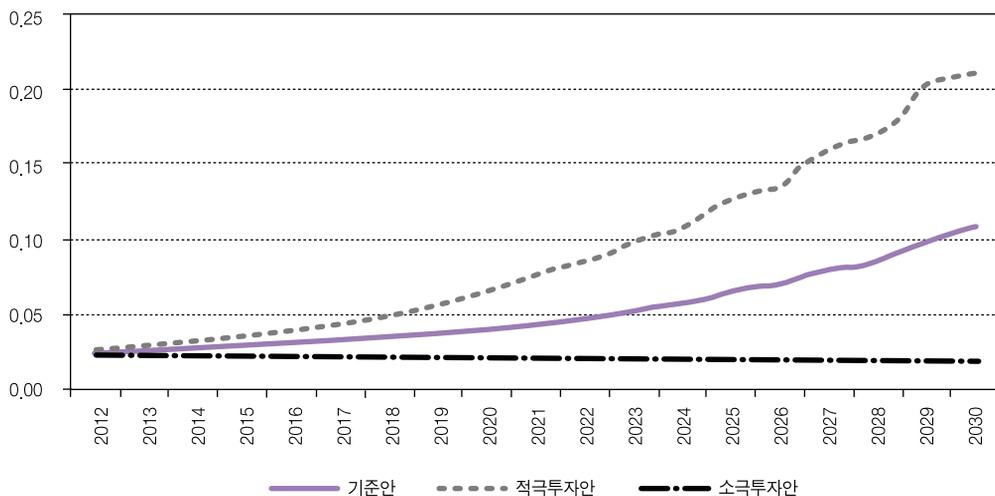
[그림 9]에서는 그 차이가 미세하여 잘 나타나지 않으나, 수치상 2018년까지 소극투자안이 GDP가 제일 크게 나타난다. 예를 들어 2015년의 경우 소극투자안의 GDP는 기준안보다 0.26%, 적극투자안보다 0.31% 가량 높다. 반면 적극투자안은 2016년까지 세 가지안 중에서 가장 수치를 보인다. 즉 신재생에너지에 대한 적극적인 투자는 2010년대 중반까지는 GDP를 약간 감소시키는 것으로 나타났다. 이는 신재생에너지가 화석연료에 대체함에 따른 전환효율의 하락과 경제성 측면의 하락으로 인한 것으로 파악된다. 그러

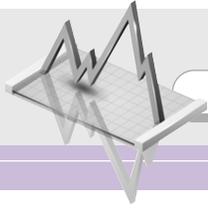
나 그 영향은 그다지 크지 않은 것으로 나타났으며, 그 이후에는 비용이 하락함에 따라 오히려 GDP를 증가시키는 것으로 나타났다.

화석연료 비중은 소극투자안에서 오히려 약간 증가하는 추세로 나타났다. 이는 신재생에너지 소비량이 증가하기는 하지만 총 1차에너지소비량의 증가율에 미치지 못하기 때문이다. 반면 적극투자안에서는 화석연료의 비중이 빠르게 감소함을 알 수 있다.

신재생에너지 비중은 기준안의 경우 2030년에 약 11%에 수준인 반면 적극안에서는 약 21%에 달하게 된다. 물론 자연적·물리적 한계는 고려하지 않은 것으로 일종의 상한 개념이라 할 수 있다. 반면, 소극투자안에서는 오히려 신재생에너지 비중이 약간 감소하는 추세를 보이는데, 이는 신재생에너지 소비량이 절대량 개념에서는 증가함에도 불구하고 총 1차에너지소비량의 상승분을 따라가지 못하는데 기인하고 있다.

[그림 10] 신재생에너지 비중





5. 결론

가. 연구의 기여도

첫째, 거시경제학적 검토를 통해 모형을 수정 및 보완하였다. 선행연구에서 다소 미흡한 부분으로 지적되었던 경제모들의 이론적 기반을 강화하고 모형의 체계를 개선하였다. 또한 설명변수가 종속변수에 대해 경기선행지수인 동행지수인지에 대해 파악하여 적절하게 시차변수를 사용하였다.

둘째, 신재생에너지 관련 요소들이 모형 안에서 보다 유기적으로 결합되도록 구성하였다. 선행연구들에서는 다른 에너지원들과의 대체 관계가 고려되지 않는데 반해 본 연구에서는 화석연료의 소비량 등에 영향을 미치도록 관계식을 구성하였다. 그리고 반대로 신재생에너지 소비량도 석유가격에 영향을 받도록 구조식을 개선하였다. 특히 신재생에너지 가격의 대리변수로서 누적소비량을 사용하여 그 중요성에도 불구하고 신재생에너지 가격을 사용하지 못한 선행연구의 한계를 극복하였다.

셋째, 에너지효율 등 기술적 요소들을 추가하고, 신재생에너지 기술수준 변수를 내생화하였다. 특히 에너지효율은 향후 경기성장에 직접적으로 영향을 미치는 요소로서 파악되었다.

넷째, 외생변수 설정 및 시나리오 가설 설정을 보다 현실을 반영하여 구성하였다. 감가상각률, 신재생에너지 투자지원액, 에너지효율 등을 선행연구 및 정부계획 등을 반영하여 전망치를 설정하였으며, 석유가격, 환율, 이자율 등은 선행연구보다 업데이트된 자료를 반영하여 추산하였다.

나. 분석결과 논의

시나리오 분석결과 검토를 통해 다음과 같은 내용들을 파악할 수 있었다.

석유가격 관련 시나리오 분석에서는 예상했던 바대로 대부분의 변수들이 석유가격에 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 기준안의 경우 일반적인 선행연구들보다 GDP 성장률이 낮게 나타났는데, 최근의 경기둔화 경향이 반영됨과 더불어, 인구감소 및 온실가스 저감 노력 등 장기적인 성장세 감소 요인이 작용한 탓으로 보인다.

에너지효율 관련 시나리오 분석을 살펴보면, 에너지효율 향상은 경기활성화에 매우 중대한 역할을 함을 알 수 있다. 일반적인 선행연구들의 성장률에 가까운 3%대의 GDP 성장을 위해서는 현재 정부 목표향 상율보다도 2배는 되는 수치인 2.4% 수준으로 매년 효율이 향상되어야 할 필요가 있다. 그러나 이러한 에너지효율 향상의 경우 조심해야 할 부분이 있다. 에너지효율 향상이 기후변화 대응의 중요한 수단임에도 불구하고, 그 자체로는 에너지가격 하락과 마찬가지로의 영향력을 가지고 있어 오히려 온실가스 저감이나 화석연료 절감에 오히려 역효과를 가져올 수도 있기 때문이다. 부경진 외(2002)에서는 에너지원별 대체관계를 내생적으로 고려하지 않고 에너지믹스를 외생적으로 주었기 때문에 이러한 화석연료 선호 효과가 나타나지 않았으나 이를 내생적으로 결정하게 되면 가격-수요 관계에 의해서 발생하게 되며, 이는 자연스러운 형태라 할 수 있다. 이와 같은 분석결과는 에너지효율 향상이 녹색성장 및 온실가스 저감에 중요한 수단 중 하나이긴 하지만, 이와 같은 목적에 부합하기 위해서는 에너지사용 절감 노력 및 소비 행태 개선이 동반되어야 함을 제시하고 있다. 그러나 너무 에너지 소비 자체를 억제하게 되면 경기침체를 초래할 우려

가 있으니 적절한 타협점을 찾는 것이 중요하다. 또한 에너지효율 향상은 기존의 화석연료를 선호하게 만들어 신재생에너지 확대를 늦추는 문제를 발생시키는 것으로 나타났다. 에너지효율 향상과 신재생에너지 보급 확대는 모두 녹색성장의 중요한 두 축이나 서로 간에 다소의 상충관계가 있음을 본 분석을 통해 알 수 있었다. 따라서 에너지효율 향상을 통해 경제성장을 도모하면서도 신재생에너지의 보급 비중을 확대하기 위해서는 보다 적극적인 신재생에너지 투자지원이 필요한 것으로 생각된다.

물론 신재생에너지에 대한 적극적 투자지원은 단기적인 관점에서 약간의 GDP 감소를 가져올 수 있으나 앞서 시나리오 분석에서 알 수 있듯이 GDP 감소는 크지 않으며, 장기적인 성장을 촉진하기 때문에 단기적인 GDP 감소는 우려하지 않아도 되는 것으로 생각된다.

다. 한계 및 개선방향

본 연구에서 앞서 언급한 바와 같은 연구 성과를 도출하긴 했지만, 여전히 일부 한계가 존재하는 것도 사실이다.

첫째, 신재생에너지는 다양한 분야가 존재하기 때문에 이를 하나의 지표로 아우르기가 어렵고, 관련 데이터들의 시계(time span)가 상당히 짧다는 점인데, 이는 시간이 지남에 따라 자료가 축적되어 상황이 점차 나아질 것으로 기대된다.

다른 한계점은 계량경제 시뮬레이션이 기본적으로 과거의 인과관계 및 구조에 기반하는 시계열 분석을 통해 이루어진다는 것인데, 이는 다른 방법론과의 통합 등을 통해 극복 가능할 것으로 기대된다.

본 연구에서 사용한 모형은 선행연구들의 문제점을 개선하여 계량경제 시뮬레이션 모형의 의의 및 활용 측면을 보여주고 있으나 사용 변수들의 자료 부족 등 한계에 아직은 실질적인 적용을 하기에는 다소 미진한 측면이 존재하는 것으로 보인다. 다만 이는 구조적인 문제라기 보다는 시계열 분석에 기반을 둔 분석 방법론들의 공통적 한계로 시간이 지나고 자료가 추가로 구축되어 감에 따라 점차 극복이 가능할 것으로 예상된다.

참고문헌

〈국내 문헌〉

- 국가에너지통계정보시스템, <http://www.kesis.net>
 국가통계정보시스템, <http://kosis.kr>
 부경진, 「분기별 계량경제 시뮬레이션 모형 개발을 통한 에너지·환경·경제지표의 전망 및 관련 정책의 평가」, 에너지경제연구원, 기본 03-09, 2003
 ———, 최도영, 「에너지·환경·경제 통합 계량경제 시뮬레이션 모형에 의한 온실가스 저감수단의 평가」, 에너지경제연구원, 기본 02-11, 2002
 안지은, 「기술경제 분석을 통한 미래에너지 시스템 구축 전망: 기술·경제 통합에너지 전망 기본모형 구축」, 에너지경제연구원, 기본 10-19, 2010
 ———, 「기술경제 분석을 통한 미래에너지 시스템 구축 전망: 기술·경제 통합에너지 전망 모형 구축」, 에너지경제연구원, 기본 11-33, 2011
 에너지경제연구원, 「에너지통계연보」, 2010

- 임재규, 「국내 GHG 감축을 위한 정책 포트폴리오에 대한 연구」, 에너지경제연구원, 2001
- 지식경제부·에너지경제연구원, 「제3차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획 수립 방안 연구」, 2008
- 표학길, 한국의 산업별·자산별 자본스톡추계(1953~2000), 「한국경제의 분석」, 제9권 1호, 2003
- 한국은행, 「2010년 3/4분기 실질 국내총생산」, 보도자료, pp. 1-19, 2010
- 환경부, 「환경통계연감 2010」, 2010a
- , 「환경백서 2010」, 2010b

〈외국 문헌〉

- EIA, *Annual Energy Outlook 2011*, 2011
- Haley, W.J., “Estimation of the Earnings Profile from Optimal Human Capital Accumulation,” *Econometrica*, v 44, Nov., pp. 1223-1238, 1976
- Kaya, Y., “Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios,” Paper presented to the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Paris, France, 1990