

상업부분에 있어서 이산화탄소 저감방안에 관한 연구

이동근 · 정태용* · 윤소원**

상명대학교 환경조경학과, 일본 지구환경전략연구기관*, 상명대학교 대학원 환경자원학과**

A Study on the Reduction Measures of CO₂ Emission in the Commercial Sector of Korea

Lee, Dong Kun · Jung, Tae Yong* · Youn, So Won**

Dept. of Environmental Science & Landscape Architecture, Sangmyung University

Research Fellow, Institute for Global Environmental Strategies, Japan*

Graduate School Dept. of Environmental Science and Landscape Architecture, Sangmyung University**

Abstract

The purpose of the study is to propose the concrete and realistic alternative measures for CO₂ emission reduction on commercial sector.

To achieve the purpose, this study adopted AIM/KOREA simulation model modified from AIM(Asia-Pacific Integrated Model) originally developed by Japan National Environmental Research Institute.

The results of simulation demonstrate that the CO₂ emission from the commercial sector in 1995 was estimated 864 million TC(tons of carbon); however, according to the base scenario, CO₂ emission in 2020 is expected to be increased to 1,872 million TC, which is 2.17 times greater than that in 1995.

In order to mitigate the ever-increasing CO₂ emission, the results of AIM/KOREA simulations under various scenarios showed that the 30-thousand-won carbon tax scenario does not successfully motivate the selection of advanced technology; however, with the 300-thousand-won carbon tax, a substantial amount of CO₂ emission reduction by 1.69 million TC from the BaU((Business-as-Usual)scenario is expected to be achieved by year 2020. Such substantial reduction of CO₂ emission under the 300-thousands-won carbon tax scenario is due to the introduction of advanced technology, such as use of condensing boilers, forced by heavier carbon tax. Under the scenario that presumes the maximum introduction of gas-burning industrial appliances, an 2.66 million TC of CO₂ reduction was expected.

The results of this study suggest that the CO₂ emission reduction measures can be interpreted

in many different views. However, if people and industries are fully aware of the economic benefit of energy saving, a certain level of CO₂ reduction by a successful introduction of advanced energy saving technology appears to be achieved without carbon tax or subsidies.

Keywords : commercial sector, CO₂ emission, reduction measures, technology selection

I. 연구의 배경 및 목적

도시화와 산업화로 인하여 인간의 활동이 증가하고 이에 따라 온실가스의 배출이 급속히 증가함에 따라 기후변화협약 등 지구온난화 방지를 위한 국제적인 노력이 UN을 중심으로 활발하게 진행되고 있다. 특히, 환경과 무역을 다루는 새로운 다자간 협상(그린라운드)이 진행되고 있어 기후변화협약의 부속의정서 협상에서 무역규제조항을 채택할 가능성도 배제할 수 없다. 1997년 12월 초 일본의 교토에서 개최된 제3차 기후변화협약 당사국 총회에서⁹⁾ 선진국(OECD+동유럽)은 국가별로 온실가스(CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆) 총 배출량을 2008년에서 2012년 사이에 5% 정도 감축하는 것에 합의한 바 있고, 우리나라도 향후 기후변화협약 당사국 총회에서 의무대상국이 될 가능성이 크다. 따라서, 온실가스 저감을 위한 압력이 가중될 것이므로 에너지 다소비형인 국내산업구조를 시급히 개편하고 온실가스 배출저감 기술개발을 개발하여야 한다. 이를 위해서 에너지 사용현황을 조사·분석하고 관련 신기술, 정책 적용 및 온실효과가스 저감 잠재량을 평가하고 이를 체계화 할 필요성이 있다.

본 연구에서는 국가보고서에서도 기술한바와 같이 향후 온실가스의 증가가 급격하게 높아질 산업부분^{2)~4)}을 대상으로 온실가스 중 가장 비중이 큰 이산화탄소의 저감을 위한 구체적이며 현실적인 대안을 제시하고자 한다. 즉, 이산화탄소 저감 잠재량, 저감 비용 및 저감기술의 적용 가능성 과 저감수단들의 효과¹⁰⁾를 평가하여 국내 에너지 절감방안 및 온실효과가스 배출저감대책 수립에 활용하도록 하는 것을 목적으로 한다.

II. 이산화탄소 저감모형 구축

1. 분석모형의 구조와 특징

본 연구에서는 지구온난화 저감 대책 평가모형으로 일본의 국립환경연구소가 개발한 AIM (Asia-Pacific Integrated Model for Evaluating Policy Options to Reduce GHG Emission and Global Warming Impacts)을 기초로 하여^{11)~13)} 우리나라에 적용 가능한 AIM/KOREA모형¹⁾⁵⁾을 구축하였다. 즉, AIM의 에너지수요 모형을 우리나라의 경우에 수정·적용시키되, AIM의 배출모형(Emission Model)만을 대상으로 한다. 이렇게 하여 개발된 AIM/KOREA모형은 기술선택(고효율기기), 에너지효율, 에너지서비스 수요, 관련 사회·경제적 변수, 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량의 변수관계를 시뮬레이션 할 수 있는 “최종에너지소비모형 (Energy End-use Model)”이다. 특히 우리나라에 현재 보급되었거나 보급가능성이 높은 기술을 검토할 수 있도록 하였다.

AIM/KOREA 모형은 <그림 1>에 나타난 것과 같이 3개의 모듈로 구성되어 있다. 첫 번째 모듈은 에너지소비량을 각종 수요(에너지 서비스)별로 산정하는 “에너지 서비스량 산출 모듈”이다. 이 모듈은 사회·경제의 제 변수를 결정하는 외부모형 또는 소비행태의 변화, 경제활동실태, 생활방식, 그리고 기타의 주요 경제변수를 반영하는 특정 시나리오에 의해서 에너지 서비스 수요량(예를 들면 난방수요량)을 추정한다. 두번째는 에너지효율 개선 정도를 산정하는 “에너지효율 산출 모듈”이다. 끝으로 여러 에너지절약기술 중

가장 비용효과적인 기술선택을 결정하는 “기술선택 모듈”이다. 세 가지 모듈 외에 부수적인 모듈로서 이 세 가지 모듈을 통합해 부분적인 최적화 계산을 하는 모듈도 AIM/KOREA에 포함되어 있다.

AIM/KOREA는 소위 “상향모형”으로서 에너지 가격 변화에 의한 기술 대체와 이에 따른 에너지소비량 변화를 산정하여 이산화탄소 배출량을 추정한다. 따라서 이산화탄소 배출저감을 위한 개별 정책의 유효성을 구체적으로 평가하는 것이 가능하다. 또한 에너지수요모형에 에너지 절약 기술선택 모듈을 연결시켜 분석함으로써 개별 기술

의 시장도입 정도와 에너지효율개선의 효과에 대한 예측을 가능하게 한다. 나아가 이 모형은 이미 완성되어 있는 AIM 세계모형과 연결시킬 수 있으므로 앞으로 이산화탄소 저감을 위해 세계환경 협력을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

2. 시뮬레이션 절차

AIM/KOREA의 전체적인 시뮬레이션은 다음의 절차에 따라 실행된다(그림 2).

- ① 외부시나리오(국가에너지 전망치)등에 의해 에너지 서비스량(냉난방 수요량 등)을 산출한

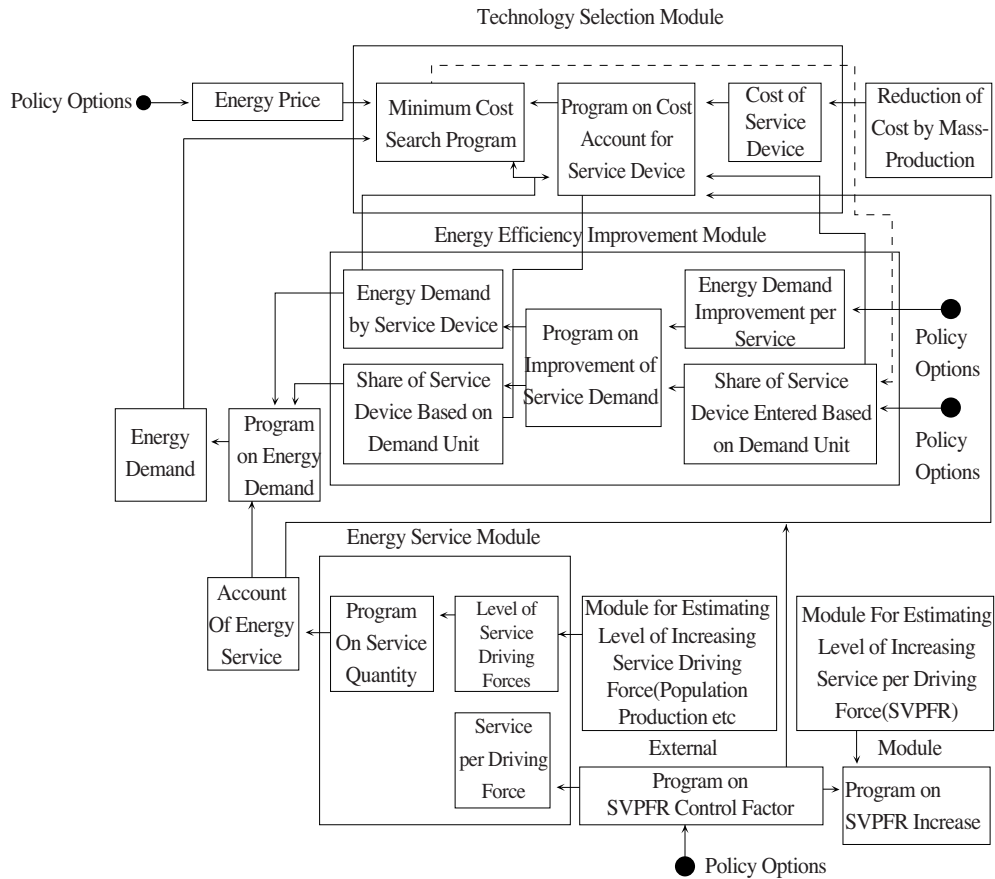


그림 1. AIM End-use Energy Demand Model의 구조

Source: Morita, T., Y. Matsuoka, M. Kainuma, K. Kai, H. Harasawa and D. K. Lee, 1994.

다. 기준 년도의 에너지 서비스량은 실제의 에너지소비량에 의해 작성되고 미래의 에너지 서비스량은 사회·경제시나리오에 의해 외생적으로 결정된다.

- ② 에너지 서비스를 충족시키기 위해 신규 또는 기존의 서비스기술이 선택된다. 이때 각 분야 별로 신규 또는 기존 서비스기술의 선택은 최소비용원칙에 의한다.
- ③ 선택된 서비스기술을 가동시키는데 필요한 에너지 소비량을 계산한다.
- ④ 이상에서 구해진 연료 종류별 에너지 소비량을 기초로 이산화탄소 배출량을 추정한다. 동시에 에너지절약형 기술의 도입현황, 즉 연도별 기존 기술과 새로운 에너지절약형 기술의 도입 상태를 계산한다.
- ⑤ 이산화탄소 저감을 위한 다양한 시나리오들을 도입해 Bau(business-as-usual, 기준 시나리오)와 비교해 그 타당성을 검토한다.

국제에너지기관의 MARKAL, 스톡홀름환경연구소의 LEAP, 프랑스 글르노블대학 정책·경제연구소의 MEDEE 등 다른 모형과 비교하였을 때 AIM/KOREA의 주요 특성 중의 하나는 구성모듈 중 “기술선택모듈”이 존재한다는 점이다. 기술선택의 기준은 그 시점에서 이용하고 있는 기술이 교체 시기가 된 경우 즉, 내구 연수가 종료된 경우와 교체 시기가 아직 되지 않은 경우에 따라 달라진다. 이용되고 있는 기술의 내구 연수가 종료되었을 때 소비자는 서비스 수요를 충족시키기 위해 다시 기존기술을 도입할 것인지 아니면 가격은 비싸지만 에너지절약형인 기술을 도입할 것인지를 결정하게 된다. 이를 위해 기술도입의 초기비용(구입비용)과 연료·유지비용(가변비용)의 합을 기준으로 기존 기술과 에너지절약형 기술을 비교하여 적은 비용의 기술을 선택한다. 한편, 현재 이용되고 있는 기술의 교체시기가 아직 도달되지 않았을 때에는, 기존의 기술을 전혀 새로운

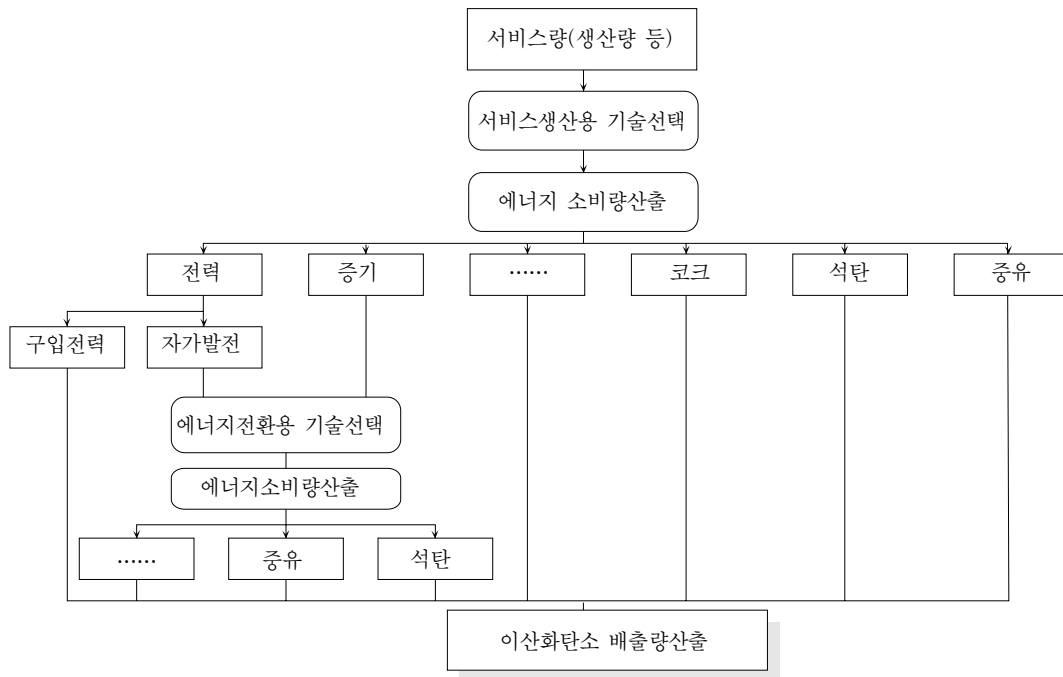


그림 2. AIM/KOREA 모형의 시뮬레이션 절차

기술로 전체를 개량하는 경우와 기존 기술과 동일한 기술로 부분 개량하는 경우를 생각할 수 있는데, 어떠한 경우에도 기술개량에 필요한 비용이 기존 기술에 의한 에너지절약비용보다 적은 경우에만 적용가능하다. 이 모형에서는 비용을 고려한 기술의 선택을 하고 있다. 여기에서 이미 난방 서비스를 제공하는 기술을 갖고 있는 경우와 그렇지 못한 경우의 평가 방법이 다르다.

비용에는 일반적으로 고정비용과 연료비용 등 유지관리에 관계되는 가변비용이 있다. 유지관리와 관계되는 비용은 매년 필요하지만 고정비용과 기기 등을 구입할 때에 필요하다. 에너지기술은 몇 년 사용되기 때문에 기술의 도입을 검토하는 경우에는 미래의 비용도 고려하여 비교한다.

기술을 갖고 있지 않으며 기술 교환시기에 도달한 경우에는 도입가격도 포함하여 가장 싼 기술을 선택한다. 이미 기술이 있으며 아직 교환시기에 도달하지 않는 경우에 사용중인 기술에서는 운전비용을 합계한 비용을 고려한다. 구입하거나 개량한 경우 운전비용이 절감되어 도입비용을 상쇄할 경우 도입이 가능하게 된다.

이산화탄소배출량을 저감하는데 있어 최종수요 측면에서 어떠한 에너지절약기술을 도입할 수 있는가가 중요한 관건이 된다. AIM/KOREA 모형에서는 에너지가격의 변화에 의해 기술대체가 일어나는 현상을 중심으로 하여 에너지소비의 변화를 추적하는 방식에 의해 추정할 수 있다. 따라서 개개의 구체적인 정책의 유효성을 평가하거나 다양한 정책을 조합한 경우의 효과를 평가하는 것이 가능하다. 또한 에너지수요모형에 기술선택모형을 연결시킴으로써 개별 기술의 실태를 포함한 에너지효율개선의 예측을 가능하게 한다.

3. 시뮬레이션 대상기간과 입력자료

가. 대상부문 및 대상기간

본 연구에서의 시뮬레이션 대상부문은 향후 에

너지소비가 증가할 상업부분을 대상으로 한다. 이는 1995년 현재 이산화탄소 배출량이 864만 톤 소톤으로 다른 부분(산업, 수송 등)에 비교해 많지는 않으나 향후 상업, 서비스산업의 발달로 인하여 급격한 에너지 사용량 증가가 예상되어 이를 저감할 수 있는 대안이 필요하기 때문이다.

그리고 시뮬레이션은 자료의 이용 가능성과 관련된 에너지절약 기술의 예측 가능성을 고려하여, 1995년을 기준 연도로 하여 1년 단위로 2020년까지 시행하였다.

우선 1995년도를 기준 연도로 설정한 것은 자료의 이용가능성을 고려한 것이다. 우리나라에서는 3년에 한번씩 에너지센서스 조사가 실시되고 있고 최근의 조사는 1995년을 대상으로 한 것이다. AIM/KOREA 모형에 적용시킬 수 있는 부문의 에너지소비량에 대한 자료로서는 에너지센서스 조사가 가장 자세한 정보를 제공하고 있다.

2020년까지의 기간설정은 관련 에너지절약기술의 발전정도와 사용기간 등을 고려하여 결정한 것이다. 현재 사용되고 있는 기술의 사용 연수가 대부분 약 20~30년이므로, 현 수준의 기술과 다음 세대의 기술이 예측 가능한 수준에서 대상기간을 2020년으로 한정하였다. 물론, 대상기간을 더 확대한 시뮬레이션도 가능하나, 현재로서는 그때 당시 도입될 기술에 대한 정보가 없으므로 시뮬레이션 결과의 불확실성이 높아질 것이다. 특히 2020년은 향후 기후변화협약과 관련하여 우리 나라 협상전략에 매우 중요한 연도이기도 하다. 앞장에서 설명한 바와 같이 선진국은 대개 2010년경을 기준으로 이산화탄소 저감방안을 제시하고 있으나 우리 나라는 2010년을 기준으로 저감방향을 설정하기는 현실적으로 힘들 것으로 생각된다. 본 연구에서도 2020년을 주요 목표 연도로 설정하였다.

나. 입력자료

본 모형의 시뮬레이션에 입력되는 에너지원에

대한 자료는 대상이 되는 연료종류별 발열량³⁾, 가격, 이산화탄소 배출계수⁴⁾ 등이다. 에너지 서비스는 에너지 소비에 의해 발생하는 물리적 효율을 나타내며, 그 단위는 에너지 소비 형태에 따라 정의된다.

여기에서 에너지 서비스라고 하는 것은 에너지 소비에 의해 기대되는 효율을 말하며, 단위는 에너지 목적에 따라 정의된다. 난방의 경우에는 난방에 필요한 열량인 칼로리로 나타낼 수 있다.

서비스 기술은 에너지 서비스를 충족시키기 위한 기술로 기존 기술은 물론이고 향후 개발될 에너지 절약 기술도 대상이 된다. 예를 들면 전기와 열을 생산하고 있는 열병합발전기술도 서비스기술이다. 시뮬레이션하는데 있어서 필요한 자료는 <표 1>과 같이 요약된다.

III. 이산화탄소 저감방안 평가

1. 상업부문의 모형화

가. 개요

본 모형에서의 상업부문은 공공, 도 소매업, 음식 및 숙박업, 통신업, 금융 및 보험업, 교육서비스업, 보건 및 사회복지사업, 기타 사회서비스업, 부동산서비스업⁶⁾을 포함하고 있으나 각각을 개별로 분석하지 않고 상업부문으로 서비스 제공량과 에너지소비량과의 관계를 도출해내어 장래의 서비스수요량의 시나리오하에서, 최적기술의 조합에 의한 에너지 소비량을 시뮬레이션하였다.

서비스분야로서는 냉방, 주(主)난방·온수, 보조난방, 취사, 조명, 동력, 기타를 설정하였다. 또한 상업부문에서는 하나의 서비스기기가 하나 이상의 서비스원으로부터 하나 이상의 서비스를 동시에 제공하고 있는 특징을 갖고 있다. 예를 들면, 열병합발전은 가스나 석유를 연소시켜 전력을 얻으며 동시에 그 배열을 이용하여 주난방 등의 서비스를 제공하는 특징이 있다는 것처럼 에너지를 다단계로 이용하고 있다. 그리고 조명 등의 전력을 사용하는 서비스기기는 한전으로부터의 구매전력은 물론이고 열병합발전으로부터 얻은 전력을 이용할 수도 있다. 따라서 상업부문에서는 일대 일의 선택이 항상 가장 적합하다고 볼 수는 없다. 따라서, 여기에서 하나의 기기가 가장 효율이 좋게 복수서비스를 제공할 수 있도록 기술의 선택을 결정하게 하는 선형계획법을 이용한 기술의 적합서비스모듈을 사용했다.

서비스량은 바닥면적을 기준으로 산정하였다. 즉, 기준 연도의 각 서비스는 분야의 에너지소비량이 해당 분야의 [단일서비스량]에 해당한다.

나. 주요입력자료 내역

상업부문에서는 모든 계산이 서비스량 단위에서 행해진다. 에너지 소비량이 바닥면적에 비례한다는 전제에서 바닥 면적 단위로 에너지 소비량을 추정하였다. 여기에서 서비스는 에너지소비의 결과로서 나타나는(혹은 기대되는) 효율을 나타낸다. 상업·기타부문에서의 서비스량의 단위는 용도(즉, 냉방 주난방, 온수 보조난방 등)에 따라 정의된다.

표 1. AIM/KOREA의 필요입력자료

구 분	데 이 타
에너지소비량	부분별 에너지 소비량
단위에너지서비스당 에너지소비량	에너지소비량/에너지서비스
에너지서비스기술	기기별 사용기간, 가격, 에너지효율, 에너지원
에너지서비스량	바닥면적
이산화탄소 배출계수	에너지원별 이산화탄소 배출계수

서비스량은 바닥면적에 비례한다고 가정한다. 조명, 동력 등에 사용되는 기술에 관해서는 기준년에 있어서 단위면적 당 소비에너지를 단위서비스량으로 한다. 냉방, 주난방 온수, 보조난방에 사용되는 기술은 기준년에 있어서 단위면적당의 에너지 소비량에 각각의 효율을 곱한 것을 단위서비스량으로 한다.

즉, [기준서비스량] = {[기준년의 단위면적당 용도별 에너지 소비량] × [각종 연료 효율]} × [바닥면적]

예를 들면, 냉방의 에너지소비량의 산출은 다음과 같다.

$$\text{냉방의 에너지 소비량} = \{\text{냉방용도의 단위면적당 [전력사용량] × [cop]} + \{\text{가스사용량} × [\text{연소효율}] + \{\text{석유사용량} × [\text{연소효율}]\} × [\text{바닥면적}]\}$$

다음에는 각 에너지 용도(냉방, 주난방·온수, 취사 등)별로 선정대상이 되는 기기에 관한 정보를 집계하였다. 집계하는 정보는 각 기기의 에너지 소비량과 그 효율, 가격 및 사용 연수이다. 현재 상업·기타부분에 사용되는 각 기기의 비율을 고려한 평균치를 산정하는 것이 바람직하지만, 자료조사의 난이도 등에 의해 그 기기의 대표적인 모형의 자료를 사용하였다.

각 용도별로 대표기기의 에너지소비량, 서비스제공(공급)량, 가격, 사용 연수를 나타내었다. 단, 가격에 대해서는 [표시가격]을 사용해, 그 가격과 실제의 판매가격과 다를 수가 있다. 단, 기술선택이 없는 서비스종의 기술로 가격자료를 얻을 수 없는 기기에 대해서는 가상의 값을 이용하였다.

또한 [서비스제공(공급)량]이라고 하는 것은 각 기기 서비스 수요를 어느 정도 만족하는가를 나타내는 것으로, 예를 들면, 1대의 콘텐츠보일러가 1년간에 제공하는 주난방 온수 칼로리량이 7722(103Mcal)이면 콘텐츠보일러의 서비스량은 7722이다. 가장 점유율이 큰 회사의 대표적 모형을 대표모형으로 선정하였다.

냉방부분의 에어컨은 대표적인 기기의 대표적

인 냉방능력으로부터 소비에너지량을 산정한다. 또한 소비에너지량의 대표기기 1대의 서비스량(즉, [단위서비스량])에 대한 비율로부터 대표기기 서비스제공량을 산정하였다.

이러한 방법에 의해 추계된 자료를 집약한 것을 <표 2>에 나타내었다. 그리고 각 기술의 도입 현황을 <표 3>에 나타내었다.

그리고 기술도입제한은 각 서비스기술기기가 각 서비스분야에 정하는 것이 가능한 최대비율을 다음과 같이 설정했다. 예를 들면 기준시나리오에서는 주난방·온수용으로 도시가스 보일러를 배관망 등의 현실적인 제약으로 에너지경제연구원의 [기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구]의 자료³⁾를 이용하여 2020년의 최대도입가능성을 56.7%로 하였다. 2020년 제약이 없는 서비스기기에 대해서는 100을, 제약조건이 있는 서비스기기에 대해서는 그 제약조건을 사용했다.

2. 시뮬레이션 결과

가. 시나리오 설정

시뮬레이션은 기후변화협약대응실천계획수립을 위한 연구(1998)에서 검토되어 제시하고 있는 기준시나리오(Bau), 기기고정 시나리오, 탄소세도입 시나리오(3만원, 30만원), 보조금 시나리오, 최대저감가능 시나리오 등 6개 시나리오에 대하여 실시하였다.

기준시나리오는 각 주체가 투자회수 연수 3년 이내에 경제성에 관한 합리적인 판단^{12),13)}을 하여 기본적으로 기술 선택이 행하여지는 것을 전제로 한 시나리오이다. 여기에서는 탄소세, 보조금 등의 대책을 가정하지 않는다. 상업부분에 있어서 에너지소비량은 모두 기준년도, 기준세대에 있어서 에너지서비스량(단위서비스)을 기초로 하였다. 따라서 냉방, 주난방, 온수 등 각 서비스용도의 서비스수요량이 바닥면적에 비례한다고 가정해 먼저 기준년에 있어서 국내 전 서비스수요량

표 2. 상업부문의 기술자료

용도	기기명	연료	가격 (만원)	수명 (년)	서비스량 (서비스)	에너지소비량 (103Mcal)
냉방	LNG열병합발전(전력중심)	LNG	160.6	30	3.81	10,392
	LNG열병합발전(열중심)	LNG	131.5	30	22.16	15,225
	에어콘	전기	247.0	6	57.30	2,590
	냉동기	전기	4130.0	10	2345.63	107.01
	고효율에어콘	전기	254.7	6	57.30	2,072
	흡수식냉온수기(경유)	경유	8140.0	10	4129.83	343,125
		전기	8140.0	10	4129.83	10,543
	흡수식냉온수기(중유)	중유	8140.0	10	4129.83	362,722
		전기	8140.0	10	4129.83	10,543
	흡수식냉온수기(LNG)	LNG	8140.0	10	4129.83	402.46
	전기	8140.0	10	4129.83	10,543	
	흡수식냉온수기(등유)	등유	8140.0	10	4129.83	362,722
		전기	8140.0	10	4129.83	10,543
주난방, 온수	LNG열병합발전(전력중심)	LNG	160.6	30	38,131	10,392
	LNG열병합발전(열중심)	LNG	131.5	30	54.93	15,225
	흡수식냉온수기(경유)	경유	8140.0	10	5443.2	511,152
		전기	8140.0	10	5443.2	13,468
	흡수식냉온수기(중유)	중유	8140.0	10	5443.2	539,352
		전기	8140.0	10	5443.2	13,468
	흡수식냉온수기(LNG)	LNG	8140.0	10	5443.2	511,152
		전기	8140.0	10	5443.2	606.06
	흡수식냉온수기(등유)	등유	8140.0	10	5443.2	539,352
		전기	8140.0	10	5443.2	13,468
	석탄보일러	석탄	20500.0	10	38610	6582.24
	경유보일러	경유	3190.0	10	15444	1843.68
	등유보일러	등유	3190.0	10	15444	1843.68
중유보일러	중유	3390.0	10	15444	1651.32	
LNG보일러	LNG	3760.0	10	15444	1801.8	
LPG보일러	LPG	3760.0	10	15444	1801.8	
컨덴싱보일러	LNG	112750.0	10	77220	8227.8	
보조난방	석탄히터	석탄	20.0	5	100	22.0
	경유히터	경유	35.6	5	102	10,231
	등유히터	등유	35.6	5	102	10,231
	LNG히터	LNG	24.0	5	51.6	5,664
	LPG히터	LPG	24.0	5	51.6	5,664
	전력히터	전기	84.8	5	9.7	0.97
취사	석탄렌지	석탄	45.0	10	324	32.5
	경유렌지	경유	45.0	10	324	32.5
	등유렌지	등유	45.0	10	324	32.5
	LNG렌지	LNG	43.7	10	324	32.5
	LPG렌지	LPG	43.7	10	324	32.4
	전력렌지	전기	40.0	10	200	20.0
	중유렌지	중유	45.0	10	324	32.5
조명	백열등	전기	0.06	1	1.0	0.152
	형광등	전기	0.15	8	1.0	0.051
	서크라이인형광등	전기	0.30	8	1.0	0.076
	고효율형광등	전기	0.30	8	1.0	0.038

표 3. 상업부분 기술도입현황 (단위 : %)

용도	기기명	1995년
냉방	LNG열병합발전(전력중심)	0.0
	LNG열병합발전(열중심)	0.0
	에어콘	58.4
	냉동기	35.5
	고효율에어콘	0.0
	흡수식냉온수기(경유)	0.2
	흡수식냉온수기(중유)	0.0
	흡수식냉온수기(LNG)	5.9
흡수식냉온수기(등유)	0.0	
주난방, 온수	LNG열병합발전(전력중심)	0.0
	LNG열병합발전(열중심)	0.0
	흡수식냉온수기(경유)	0.1
	흡수식냉온수기(중유)	0.0
	흡수식냉온수기(LNG)	3.0
	흡수식냉온수기(등유)	0.0
	석탄보일러	0.3
	경유보일러	51.2
	등유보일러	23.5
	중유보일러	12.9
	LNG보일러	6.0
	LPG보일러	3.0
컨덴싱보일러	0.0	
보조난방	석탄히터	0.2
	경유히터	22.6
	등유히터	74.0
	LNG히터	1.2
	LPG히터	2.0
	전력히터	0.0
취사	석탄렌지	1.5
	경유렌지	0.9
	등유렌지	3.7
	LNG렌지	15.6
	LPG렌지	78.3
조명	백열등	3.1
	형광등	93.9
	스크라인형광등	1.1
	고효율형광등	1.8

을 산정하였다(표 4).

다음에는 서비스 수요량의 장래치 시나리오⁸⁾를 작성하였다. 서비스 수요량의 증가는 바닥면적 증가에 비례한다고 가정하였다. 여기에서, 서비스 수요량의 산정에 사용한 각 변수의 값을 표

에 나타내었다. 1995년의 서비스량을 1로 하면 장래의 서비스량 추정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다(표 5).

기기고정 시나리오(Sc1)는 이산화탄소 저감기술에 경제성이 있음에도 불구하고 국민의 이해가 부족하거나 기술도입을 저해하는 어떤 제약이 있어 생산량 등이 증가하여도 에너지 서비스 생산기술이 현재 비율로 추이되는 시나리오이다. 탄소세, 보조금 등의 대책은 없는 것으로 가정한다.

탄소세 도입 시나리오(Sc2, Sc3)는 탄소 1톤당 3만원과 30만원의 탄소세만 부과하는 시나리오이다. 탄소세 도입은 1999년부터 실시하며 보조금으로서 탄소세 환류는 가정하지 않는다.

보조금 도입 시나리오(Sc4)는 1999년 탄소세 3만원의 낮은 세율로 확보한 재원으로 2000년부터 최적 이산화탄소 저감기술 축진을 위해 구입하려는 기기 중 투자회수기간을 3년으로 가정하여 가격 대비 이산화탄소의 저감이 가장 큰 기기순으로 보조금을 사용하는 시나리오이다.

최대 이산화탄소 저감시나리오(Sc5)는 현재의 기술로 이산화탄소 저감이 가능한 부문에 대해 경제성이나 시장제한 등을 고려하지 않고 이산화탄소저감을 위한 최대의 기기를 도입하는 시나리오이다. 탄소세, 보조금 등의 모든 수단이 고려된다.

나. 시뮬레이션 결과

1) 기준시나리오하(Bau)에서의 이산화탄소 배출량 추이

본 연구결과에 의하면 1995년도의 상업·기타 부문에서의 이산화탄소 배출량은 약 864만 탄소톤이었던 것이 2020년도에는 1,872만 탄소톤으로 약 2.17배 증가될 것으로 전망된다(그림 3). 이와 같은 높은 증가율은 에너지 절약형 기술에 의한 배출저감보다 서비스량 증가에 의한 배출량 증가가 더 크기 때문이다. Bau하에서의 상업·기타부문 기술별 점유율을 보면 에너지 절약형 기술이 점유율 제한을 두지 않으면 점차적으로 그 비율

표 4. 상업부문에 있어서 각 서비스분야별 기준 년도 서비스수요량

용 도	기준년 총에너지소비량(10^3 TOE)	기준년 총서비스수요량(서비스)	기준년 기준서비스수요량(Mcal/m ²)
냉 방	622.8	1,267.9	50.5
주난방·온수	3,820.9	3,269.5	103.3
보조난방	1,474.1	1,407.4	56.1
취 사	1,168.0	1,125.0	44.8
조 명	1,488.0	2,746.0	109.4
동 력	671.0	671.0	26.7
기 타	990.0	990.0	39.4
계	10,234.8		

표 5. 상업부문에 있어서 장래의 서비스량 시나리오

서비스량	1995	1997	1998	2000	2005	2010	2020
면 적(m ²)	251	284	297	302	408	449	613
면 적(1995=1)	1	1.132	1.183	1.203	1.625	1.790	2.444
주 난 방	1	1.132	1.183	1.203	1.625	1.790	2.444
보조난방	1	1.132	1.183	1.203	1.625	1.790	2.444
냉 방	1	1.132	1.183	1.203	1.652	1.790	2.444
취 사	1	1.132	1.183	1.203	1.625	1.790	2.444
동 력	1	1.132	1.183	1.203	1.625	1.790	2.444
조 명	1	1.132	1.183	1.203	1.625	1.790	2.444
기 타	1	1.132	1.183	1.203	1.625	1.790	2.444

이 증가되고 있음을 알 수 있다(표 6). 예를 들면 냉방에서 고효율에어콘의 보급이 확대되어 2020년에는 거의 100%까지 보급이 확대됨을 알 수 있다. 또한 고효율형광등도 2020년에 거의 100%로 증가하는 것으로 나타났다.

2) 기기고정 시나리오하(Sc1)에서의 이산화탄소 배출량 추이

2020년도에는 이산화탄소배출량이 1,965만 탄소톤으로 1995년 대비 약 2.28배 증가될 것으로 전망되고(그림 3) Bau시나리오보다 93만 탄소톤이 더 많다(그림 4). 이는 현재의 기기별 도입 비율이 이산화탄소 저감기술에 경제성이 있음에도 불구하고 국민의 이해가 부족하거나 기술도입을 저해하는 어떤 제약이 있어 생산량 등이 증가하여도 에너지 서비스 생산기술이 장래에도 계속 같은 추이로 전망되기 때문이다.

3) 탄소세 도입 시나리오하(Sc2, Sc3)에서의 이산화탄소 배출량 추이

탄소세는 스웨덴, 노르웨이 등 이미 탄소세를 부과하고 있는 국가를 참고로 하여^{3),4),14)} 탄소 1톤당 3만원의 탄소세와 30만원의 탄소세 부과시 이산화탄소 저감효과를 추정하였다.

먼저 3만원 수준의 탄소세율(Sc2)은 Bau하의 시나리오와 동일한 경향을 보이고 있다(그림 3). 이는 3만원 수준의 탄소세의 도입으로는 기술선택에 어떠한 변화를 주지 못한다는 것을 의미한다(표 7). 한편 30만원의 탄소세율(Sc3)은 2020년도는 1,703만 탄소톤으로 Bau시나리오 대비 이산화탄소 배출량이 169만 탄소톤이 저감될 것으로 보인다(그림 4). 이는 탄소세의 도입으로 인하여 컨텐싱보일러 등이 도입되어 이산화탄소 배출량을 저감시켰기 때문이다(표 7). 또한 10만원 탄소

표 6. Bau하에서의 상업·기타부문 기술별 점유율의 변화

(단위:%)

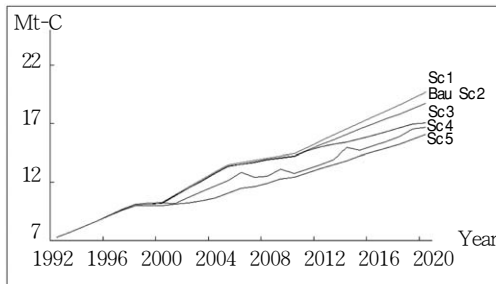
용도	기기명	1995년	2000년	2010년	2020년
냉방	LNG열병합발전(전력중심)	0.0	0.0	0.0	0.0
	LNG열병합발전(열중심)	0.0	0.0	0.0	0.0
	에어콘	58.4	16.7	0.0	0.0
	냉동기	35.5	48.4	26.9	0.0
	고효율에어콘	0.0	20.0	60.0	97.0
	흡수식냉온수기(경유)	0.2	2.2	6.1	1.5
	흡수식냉온수기(중유)	0.0	0.0	0.0	0.0
	흡수식냉온수기(LNG)	5.9	10.7	1.0	0.0
	흡수식냉온수기(등유)	0.0	2.0	6.0	1.5
주난방, 온수	LNG열병합발전(전력중심)	0.0	0.0	0.0	0.0
	LNG열병합발전(열중심)	0.0	0.0	0.0	0.0
	흡수식냉온수기(경유)	0.1	1.1	3.1	0.7
	흡수식냉온수기(중유)	0.0	0.0	0.0	0.0
	흡수식냉온수기(LNG)	3.0	5.4	0.5	0.0
	흡수식냉온수기(등유)	0.0	1.0	3.0	0.7
	석탄보일러	0.3	0.2	0.1	0.0
	경유보일러	51.2	55.4	74.1	86.1
	등유보일러	23.5	19.3	4.3	0.0
	중유보일러	12.9	12.8	12.5	12.2
	LNG보일러	6.0	4.8	2.4	0.2
LPG보일러	3.0	0.0	0.0	0.0	
컨덴싱보일러	0.0	0.0	0.0	0.0	
보조난방	석탄히터	0.2	0.2	0.1	0.0
	경유히터	22.6	38.1	65.4	43.3
	등유히터	74.0	49.4	0.0	0.0
	LNG히터	1.2	12.3	34.5	56.7
	LPG히터	2.0	0.0	0.0	0.0
	전력히터	0.0	0.0	0.0	0.0
취사	석탄렌지	1.5	1.2	0.6	0.1
	경유렌지	0.9	20.7	47.4	43.2
	등유렌지	3.7	23.0	11.7	0.0
	LNG렌지	15.6	23.8	40.3	56.7
	LPG렌지	78.3	31.3	0.0	0.0
	전력렌지	0.0	0.0	0.0	0.0
	중유렌지	0.0	0.0	0.0	0.0
조명	백열등	3.1	0.0	0.0	0.0
	형광등	93.9	78.5	39.3	3.5
	서크라이인형광등	1.1	0.0	0.0	0.0
	고효율형광등	1.8	21.5	60.7	96.5

세 부과시 2020년에 1,810만 탄소톤으로 나타났다.

4) 보조금 도입 시나리오하(Sc4)에서의 이산화탄소 배출량 추이

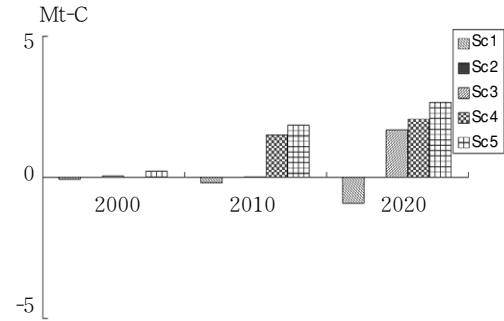
3)에서의 3만원의 탄소세를 보조금으로 환원할 때에는 2020년에 1,667만톤으로 Bau 대비 이산화탄소배출량이 206 만톤으로 11%저감되는 것으로

나타났다(그림 4). 보조금의 효과가 30만원의 탄소세를 보다 높은 것은 난방, 취사 등에 가스사용 기기가 더 도입되어 이산화탄소 배출량을 더 저감시켰기 때문이다(표 7).



주: Sc1: 기고정, Sc2, Sc3: 탄소세 3만원, 30만원도입, Sc4: 보조금도입, Sc5: 최대이산화탄소저감

그림 3. 상업·기타부문의 시나리오별 이산화탄소 배출전망



주: Sc1: 기고정, Sc2, Sc3: 탄소세 3만원, 30만원도입, Sc4: 보조금도입, Sc5: 최대이산화탄소저감

그림 4. 상업·기타부문의 시나리오별 이산화탄소 저감량

5) 최대 이산화탄소저감 시나리오하(Sc5)에서의 이산화탄소 배출량 추이

가스사용기기 등이 최대로 도입될 수 있도록 시뮬레이션을 한 결과(표 7), 2020년에 1,607만톤으로 Bau 대비 이산화탄소 배출량이 266 만톤 저감되는 것으로 나타났다(그림 4).

IV. 결론

이산화탄소 최적 저감대책을 도출하기 위하여 일본국립환경연구소가 중심이 되어 개발한 지구 온난화 평가모형으로 유명한 AIM(Asia-Pacific Integrated Model)모형을 수정한 AIM/KOREA 모형을 개발하여 시뮬레이션하였다. 대상분야는 상업부문으로 하였다.

시뮬레이션에서는 Bau(Business As Usual)의 기준시나리오와 더불어 기고정 시나리오, 탄소세도입 시나리오(3만원, 30만원), 보조금 도입 시나리오, 최대 이산화탄소 저감가능시나리오 등 6개 시나리오에 대하여 실시하였다.

시뮬레이션 결과, 상업부문에서는 1995년도에 이산화탄소배출량이 864만 탄소톤이었던 것이 기준시나리오에서는 2020년도에는 1,872만 탄소톤으로 약 2.17배 증가될 것으로 전망된다. 이러한 증가분을 저감하기 위하여 여러 가지 시나리오에서

시뮬레이션한 결과 3만원 수준의 탄소세율의 시나리오에서는 기술선택에 어떠한 변화를 주지 못하였지만 30만원의 탄소세율은 2020년도에 Bau시나리오 대비 이산화탄소 배출량이 169만 탄소톤 저감될 것으로 보인다. 이는 탄소세의 도입으로 인하여 컨텐싱보일러 등이 도입되어 이산화탄소 배출량을 저감시켰기 때문이다. 그리고 3만원의 탄소세를 보조금으로 환원하는 시나리오에서는 난방 등에 가스사용 기기가 더 도입되어 이산화탄소 배출량이 206만 탄소톤이, 가스사용기기 등이 최대로 도입될 수 있는 시나리오에서는 이산화탄소배출량이 266만 탄소톤이 저감되는 것으로 나타났다. 한편 이산화탄소 저감기술이 경제성이 있음에도 불구하고 현재의 기술점유율이 변화를 보이지 않는다면 기준 시나리오보다 93만 탄소톤이 더 많이 배출되는 것으로 추정되었다.

이상의 결과에서 보면 이산화탄소 저감대책은 보는 시각에 따라 여러 해석이 가능하나 높은 탄소세의 도입보다 낮은 세율에 의한 보조금의 정책이 보다 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 이러한 정책의 도입을 앞더라도 에너지절약에 대한 경제적 이익에 대하여 국민이나 기업의 이해가 있으면 에너지절약기술이나 신기술의 도입이 가능해져 어느 정도의 이산화탄소배출량의 저감이 가능한 것으로 나타났다.

표 7. 상업·기타부분의 시나리오별 기술별 점유율의 변화

용도	기기명	1995년	2020년					
			Bau	Sc 1	Sc 2	Sc 3	Sc 4	Sc 5
냉방	LNG열병합발전(전력중심)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	LNG열병합발전(열중심)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	에어콘	58.4	0.0	58.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	냉동기	35.5	0.0	35.5	0.0	0.0	0.0	0.0
	고효율에어콘	0.0	97.0	0.2	97.0	80.0	80.0	76.6
	흡수식냉온수기(경유)	0.2	1.5	0.0	1.5	10.0	10.0	2.3
	흡수식냉온수기(중유)	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0
	흡수식냉온수기(LNG)	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.0
	흡수식냉온수기(등유)	0.0	1.5	0.0	1.5	10.0	10.0	0.0
주난방, 온수	LNG열병합발전(전력중심)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	LNG열병합발전(열중심)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	흡수식냉온수기(경유)	0.1	0.7	0.1	0.7	5.0	5.0	1.4
	흡수식냉온수기(중유)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	흡수식냉온수기(LNG)	3.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	12.7
	흡수식냉온수기(등유)	0.0	0.7	0.0	0.7	5.0	5.0	0.0
	석탄보일러	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	경유보일러	51.2	86.1	51.2	86.1	5.0	0.0	1.2
	등유보일러	23.5	0.0	23.5	0.0	6.2	0.0	0.5
	중유보일러	12.9	12.2	12.2	12.2	12.2	0.9	0.3
	LNG보일러	6.0	0.2	6.0	0.2	0.2	0.2	0.2
LPG보일러	3.0	0.0	3.8	0.0	14.6	37.8	41.9	
	컨덴싱보일러	0.0	0.0	0.0	0.0	56.7	50.9	41.8
보조난방	석탄히터	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	경유히터	22.6	43.3	22.6	43.3	11.2	0.0	0.9
	등유히터	74.0	0.0	74.0	0.0	32.1	43.3	0.0
	LNG히터	1.2	56.7	1.2	56.7	56.7	56.7	56.7
	LPG히터	2.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	42.4
	전력히터	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
취사	석탄렌지	1.5	0.1	1.5	0.1	0.1	0.0	0.0
	경유렌지	0.9	0.0	0.9	43.2	12.7	0.0	0.0
	등유렌지	3.7	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	0.1
	LNG렌지	15.6	99.9	15.6	56.7	56.7	56.7	56.7
	LPG렌지	78.3	0.0	78.3	0.0	30.6	43.3	43.2
	전력렌지	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	중유렌지	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조명	백열등	3.1	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	형광등	93.9	3.9	93.9	3.5	0.0	0.0	3.7
	서크라인형광등	1.1	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	고효율형광등	1.8	96.1	1.8	96.5	100.0	100.0	96.3

한편 이 모형에도 아래에 기술하는 한계가 있다. 첫째, 현재 Top-down 모형과 완전하게 연계가 되어 있지 않아 에너지수요를 외생적으로 부여하고 있으므로, 에너지 가격 상승의 직접적인 가격 효과나 저축의 감소에 의한 간접적인 경제

영향이 고려되지 않으므로 거시적인 경제 손실의 추정은 어렵다.

둘째, 기술선택 시 제도적 장해 등의 사회적 비용을 고려하지 않음으로서 개별 기술선택에 의한 이산화탄소 배출 저감량이 과대 평가될 가능

성이 있다.

셋째, 현재 실용화되지 않은 기술은 대상으로 하지 않으므로 전체적인 이산화탄소배출의 저감량이 과소 평가될 가능성이 있다.

이러한 한계는 에너지기술모형의 본질적 제약에 기인하거나, 모형이 개발 중에 있기 때문이다. 따라서, 본 연구의 결과를 해석함에 있어서 이러한 점에 유의할 필요가 있다. 그러나 이러한 한계를 감한하여도 개개의 구체적인 정책의 유효성을 평가하거나 각종 정책을 종합할 경우의 효과를 평가하는 도구로서 경제학적 패러다임의 재현에 치중하는 보통의 경제학적 모형과 비교해 구체성과 정책지원능력이 있어서는 우수하다고 볼 수 있다.

또한, 본 분석은 현재 입수가 가능한 자료만으로 시뮬레이션을 하였고 발전 부분 등의 이산화탄소 저감은 고려하지 않았으므로 실제보다 과소 평가될 수도 있다. 이는 향후 보다 상세한 자료에 기초하여 전체부분이 통합되면 해결이 가능할 것이다. 또한 다양한 시나리오분석이 추가되면 보다 구체적이며 현실적인 대안의 도출이 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김승우, 이동근, 전성우, 1996, "기술선택을 고려한 수송부문 이산화탄소 배출량 저감방안의 평가", 자원경제학회지, 제5권 제2호, pp. 203-223.
2. 에너지경제연구원, 1993, 「이산화탄소 저감대책과 비용분석」.
3. 에너지경제연구원, 1994, 「기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구」.
4. 에너지경제연구원, 1998, 「기후변화협약대응실천계획수립을 위한 연구」
5. 이동근, 1995, 「산성비 원인물질 저감방안에 관한 연구 I -저감기술선택모형개발을 중심으로」, 한국환경기술개발원.
6. 통상산업부, 1996, 「에너지총조사보고서」.
7. 통상산업부·에너지경제연구원, 1997, 지역에너지통계자료.
8. 한국개발연구원, 1995, 「신경제장기구상」.
9. International Energy Agency, 1998, Elaborating the Clean Development Mechanism under the Kyoto Protocol, OECD Information paper, <http://www.iea.org/ieakyo.doocs/cdmela.htm>, December 1998.
10. IPCC, 1997, Climate Change and Integrated Assessment Models, Proceedings of the IPCC Asia-Pacific Workshop on Integrated Assessment Models.
11. Morita, T., et al., 1994, Global Carbon Dioxide Emission Scenarios and their Basic Assumption (1994 Survey), Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Environmental Agency for Japan.
12. Morita, T., Y. Matsuoka, M. Kainuma, K. Kai, H. Harasawa and D. K. Lee, 1994, "Asian-Pacific Integrated Model for Evaluating Policy Options to Reduce Greenhouse Gas Emissions and Global Warming Impacts," National Institute for Environmental Studies.
13. Morita, T., Y. Matsuoka, M. Kainuma, K. Kai, H. Harasawa and D. K. Lee, 1995, "An Energy Technology Model for Forecasting Carbon Dioxide Emissions in Japan," National Institute for Environmental Studies, 23. Investments in Energy Efficiency Opportunities, Washington, D.C.
14. 富士綜合研究所, 1996, 温室効果ガス吸収豫測手法等調査報告書.