

상향식 모형을 이용한 국내 주거부문의 온실가스 한계감축비용 분석

정용주·김후곤*·백천현**·김영진***†

부산외국어대학교 e-비즈니스학과, *경성대학교 경영정보학과,
동의대학교 산업경영공학과, *부경대학교 시스템경영공학부
(2014년 11월 3일 접수, 2015년 2월 6일 수정, 2015년 2월 11일 채택)

Marginal Abatement Cost Analysis for the Korean Residential Sector Using Bottom-Up Modeling

Yongjoo Chung, Hugon Kim*, Chunhyun Paik**, Young Jin Kim***†

Busan University of Foreign Studies, *Kyungsung University,

Donggeui University, *Pukyong National University

(Received 3 November 2014, Revised 6 February 2015, Accepted 11 February 2015)

요 약

상향식 모형을 이용하여 국내 주거부문의 온실가스 배출특성과 감축 잠재량을 도출하고 이를 바탕으로 한계감축 비용 분석을 수행하였다. 이를 위하여 먼저 상향식 모형의 필수 입력요소인 주거부문의 최종수요, 기준에너지시스템 (Reference Energy System; RES) 등을 정의하고 국내 통계데이터를 분석하여 필요한 활동량 데이터를 도출하였다. 기준 시나리오에서의 연도별 에너지 사용량 및 온실가스 배출량을 구하고 감축수단의 도입에 따른 감축잠재량 및 관련 비용을 분석하였다. 한계감축비용 분석 결과는 중장기적으로 부문별 온실가스 감축목표 달성을 위한 감축정책의 수립에 기여할 것으로 기대된다.

주요어 : 주거부문, 온실가스 배출, 상향식 모형, 감축잠재량, 한계감축비용분석

Abstract - A marginal abatement cost analysis has been conducted to analyze the effects of abatement measures on greenhouse gas (GHG) emissions for the Korean residential sector. A bottom-up model using MESSAGE has been developed by defining the energy demand and constructing the reference energy system for the residential sector. A great amount of activity data has also been analyzed. Abatement potentials and related costs of individual abatement measures are investigated. The result from the marginal abatement cost analysis may provide general guidelines and procedures for the establishment of GHG abatement policies.

Key words : Residential Sector, GHG Emissions, Bottom-Up Model, Marginal Abatement Cost Analysis

1. 서 론

범지구적인 기후변화에 대응하기 위한 국제적인 노력의 산물로 2005년 2월 교토의정서(Kyoto Protocol)가 공식 발효되어 감축의무를 지는 선진국을 중심으로

배출권거래제, 청정개발 메커니즘(Clean Development Mechanism; CDM) 등 교토의정서 실행 메커니즘을 이용한 온실가스 감축 노력과 함께 새로이 창출되고 있는 온실가스 감축 관련 기술개발을 통해 산업시장을 선점하려는 노력이 가속화되고 있다. 우리나라는 아직 온실가스 의무감축국에 포함되지 않았지만, 이미 감축 의무를 지고 있는 선진국을 대상으로 하는 대외무역 시장에서는 온실가스 배출규제가 무역규제로 작용하는

†To whom corresponding should be addressed.

부경대학교 시스템경영공학부

Tel : 051-629-6486 E-mail : youngk@pknu.ac.kr

많은 사례를 발견할 수 있다. EU는 지역 내에 반입되는 모든 차량에 대하여 1km 주행 시 평균 140g 이상의 CO₂를 배출하는 경우 수입을 제한하는 자발적 협약을 발효할 예정이며, 이 기준을 120g/km로 더욱 강화한다는 계획이다. 이는 우리나라 주요 수출품목 중 하나인 자동차의 수출 증대에 장애요인으로 작용할 수 있으며, 기타 수입품목의 경우에도 포장재의 처리에 까다로운 기준을 적용하는 등 이에 대한 대처가 필요한 상황이다. 더욱이 우리나라가 향후 감축의무를 지게 되는 경우 국민소득 실질성장률이 감소할 것으로 예상되어 국내에서도 온실가스 감축 관련 기술개발과 정책 수립이 시급하다. 이를 위하여 우리나라에서는 환경부 산하에 온실가스종합정보센터(GIR)를 두고 각 부문별로 인벤토리를 구축하여 온실가스 배출 현황을 조사함은 물론이고 향후 부문별, 산업별 및 기업별 감축목표 설정에 관한 연구를 활발하게 진행하고 있다. 또한 이렇게 설정된 감축목표를 달성하기 위해 각 부문별로 온실가스 배출량을 줄이기 위한 감축수단(또는 감축기술)의 개발에 대한 연구도 진행되고 있다. 예를 들어 폐기물을 소각하여 열이나 전기 등 에너지를 생산하는 기술(Waste to Energy; WTE)이나 농작물의 경작에서 발생하는 메탄 배출 감축기술 등을 들 수 있다. 감축기술을 도입하기 위해 수반되는 비용이나 도입 후 발생하는 편익은 다양하며, 감축기술의 도입을 통한 감축효과나 감축기술의 도입시점 또한 기술적 특성이나 연구개발 현황 등 제반 상황에 따라 차이가 있다. 따라서 기후변화에 효과적으로 대응하기 위한 최적의 정책을 설계하는데 있어 개별 감축기술의 감축잠재량(Abatement Potential), 감축비용, 감축시점 등을 동시에 고려할 필요가 있으며, 이에 관한 다양한 정보 획득이 가능하다는 측면에서 기후변화 관련 전문가들에 의해 한계감축비용(Marginal Abatement Cost) 분석은 널리 활용되고 있다.

IPCC(1996)에 따르면 1990년 건물부문의 에너지 사용량과 온실가스 배출량은 세계 전체의 1/3 가량을 차지하고 있다. 우리나라에서도 2007년 건물부문의 온실가스 배출량은 국가 전체의 22.6%를 차지하고 있으며, 선진국으로 갈수록 주력산업이 비에너지산업으로 전환되고 쾌적한 건축물과 편리한 생활의 추구로 건물부문의 온실가스 배출량이 국가 전체에서 차지하는 비중이 커지는 현상을 보이고 있다. 실제 일부 선진국의 건물부문 온실가스 배출 비중을 살펴보면, 미국 38%, 영국 41%, 일본 30% 정도로 우리나라보다 훨씬 높으며

OECD 평균도 약 31% 정도로 보고되고 있다. 이와 같이 건물부문은 온실가스 배출비중이 높는데 반해 에너지효율 향상을 위한 감축수단의 적용을 통해 부문 전체의 감축잠재량이 높을 뿐만 아니라 비용효과성도 높은 것으로 기대된다. (Mata et al., 2013a, 2013b) 본 연구에서는 온실가스 배출 비중이 상대적으로 높은 부문인 건물부문(Building Sector) 중에서도 주거부문(Residential Sector)을 대상으로 상향식 모형을 이용하여 온실가스 배출량을 도출하고, 나아가 주거부문에서 에너지효율 향상에 관한 감축기술의 도입에 따른 감축잠재량과 관련 감축비용을 분석하였다. 이를 위하여 대표적인 상향식(Bottom-up) 모형의 하나로서 온실가스 배출과 에너지 소비에 관한 기술 또는 정책의 효과를 분석하는데 광범위하게 활용되고 있는 MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts)를 이용하였다. MESSAGE는 IAEA(International Atomic Energy Agency)에서 온실가스 배출특성 및 감축정책의 효과를 분석하기 위한 목적으로 채택하고 있을 뿐만 아니라, 많은 국가에서 상향식 접근방법에 의한 중장기적인 온실가스 감축정책의 수립에 널리 적용하는 효과적인 분석 도구로 인식되고 있다(정용주 외, 2012).

본 연구의 목적은 크게 MESSAGE 모형을 이용하여 국내 주거부문의 온실가스 배출특성을 파악하고 주거부문의 감축수단별 한계감축비용(Marginal Abatement Cost)을 분석하는 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 먼저 온실가스 배출량을 산정하기 위해서는 주거부문의 에너지 수요와 그 흐름을 파악하여야 하며, 이를 위하여 주거부문의 기준에너지시스템(Reference Energy System; RES)을 구축하였다. RES를 통하여 주거부문의 에너지원별 소비량을 파악할 수 있으며 배출계수를 적용하여 온실가스 배출량을 산정할 수 있다. 한편 감축수단별 한계감축비용 분석을 위해서는 개별 감축수단의 적용으로 인한 감축잠재량과 감축비용을 파악하여야 한다. 이를 위하여 감축수단 또는 감축기술에 대한 데이터베이스를 분석하여 개별 감축수단의 효율 향상 효과, 보급률 추이, 도입 및 운영비용, 할인율 등을 MESSAGE 모형에 반영하면 감축수단을 적용하였을 때의 배출량과 관련 비용을 산정할 수 있다. 이를 감축수단을 적용하지 않았을 때의 배출량 및 비용과 비교함으로써 한계감축비용을 분석할 수 있다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2절에서는 주거부문의 온실가스 감축분석에 관한 선행연구에 대해 검토

하고, 3절에서는 주거부문의 온실가스 배출량 산정에 관한 전반적인 절차와 내용을 제시한다. 나아가 4절에서는 주거부문에 접목할 수 있는 8개의 감축수단에 대한 한계감축비용을 분석하고, 5절에서 결론 및 추후 연구방향에 대해 논의한다.

2. 관련 선행연구

기후변화에 효과적으로 대응하기 위한 방안으로 부문별 온실가스 배출특성을 분석하고 감축수단의 파급 효과를 분석한 연구는 활발하게 수행되어 왔다. 부문별로 수행된 연구를 살펴보면 글로벌 차원이나 지역 차원에서 수행된 경우도 있으나 국가차원에서 온실가스 배출 및 감축 관련 연구를 수행한 것이 대부분이다. 주거 또는 상업 건물부문에서 글로벌차원에서 수행된 연구의 대표적인 예로 Levine et al. (1996)을 들 수 있다. 1971년부터 1992년 사이에 수행된 연구를 분석하여 글로벌차원에서 지역별로 건물부문의 온실가스 배출현황을 분석하고 관련 감축수단에 대해 조사하였다. 또한 세 가지의 시나리오를 개발하여 각 시나리오별 2020년 건물부문의 온실가스 배출량을 전망하였다. Ürge-Vorsatz and Novikova (2008)는 80여 개 지역 및 나라를 대상으로 수행된 건물부문 상향식 모형의 온실가스 감축 관련 연구를 분석하여 글로벌 차원에서 온실가스 감축잠재량과 비용에 대한 분석결과를 제시하였으며, 2008년 이전까지 수행된 국가 및 지역 차원의 건물부문 온실가스 감축 관련 연구를 잘 정리하였다.

한편, 주거부문의 에너지 소비에 관한 모델링 기법은 Swan and Ugursal (2009)의 문헌연구를 참고한다. 빌딩부문의 모델링 기법에 관한 최근의 연구로는 Chung et al. (2012)와 Mata et al. (2013a)을 들 수 있다. Chung et al. (2012)은 주거부문을 대상으로 상향식 모형의 하나인 MESSAGE 모델링 기법에 관해 제안하고 있다. Mata et al. (2013)에서는 상향식 모형에 기반을 두고 건물부문의 온실가스 감축기술을 평가하는 ECCABS(Energy, Carbon, Cost Assessment for Building Stocks)라는 시스템을 개발하였으며, 스웨덴의 주거건물부문을 대상으로 개발한 시스템을 적용하여 분석한 결과를 Mata et al. (2013b)에 제시하였다.

스웨덴의 사례와 유사하게 국가차원에서 주거부문의 온실가스 배출 및 감축정책을 분석한 사례는 최근 들어 일부 발표되고 있다. Li (2008)은 에너지 및 기후

모형에 대한 문헌연구를 바탕으로 중국의 건물부문의 온실가스 감축잠재량에 대해 분석하였다. 이외에도 국가차원에서 주거 또는 상업 건물부문의 온실가스 감축잠재량 및 비용에 대한 분석을 수행한 연구로 독일(McKenna et al, 2013), 미국(Kialashaki and Reisel, 2013), 영국(Energy Element Ltd., 2013), 태국(Promjiraprawat et al., 2014) 등의 사례연구를 들 수 있으며, 특히 Jung (2014)은 국내 주거 및 상업 건물부문을 대상으로 감축잠재량을 분석한 연구를 제시하고 있다. 하지만 국내 주거부문을 대상으로 온실가스 배출특성과 더불어 한계감축비용분석을 수행한 연구는 아직 없는 것으로 파악된다. 마지막으로 여기서 언급한 연구 이외에도 주거 및 상업 건물부문의 온실가스 감축과 관련한 연구는 많이 있으나 본 연구와 직접적인 관련성이 높은 것만 정리하였음을 밝힌다.

3. 국내 주거부문의 온실가스 배출량 산정

상향식 모형을 이용한 부문별 온실가스 배출량 산정은 해당 부문의 에너지 수요 전망, RES 작성, 기술 DB 구축, 수리계획모형 개발 및 해법 도출의 과정을 거쳐 이루어진다. 본 절에서는 국내 주거부문을 대상으로 이러한 분석과정을 적용한 결과를 서술하였다.

3.1. 주거부문의 에너지 수요 전망

상향식 모형을 이용한 부문별 온실가스 배출량 산정을 위해서는 먼저 해당 부문의 에너지 수요를 파악하기 위한 실적 및 전망자료를 확보하고 이러한 수요가 어떻게 충족되는지를 이해하는 것이 필요하다. 여기서 에너지 수요라 함은 해당 부문에서 에너지를 통해 얻게 되는 최종산출물을 의미하는 것으로서, 교통부문에서는 승용차의 운행거리, 조선부문에서는 선박 건조량, 주거부문에서는 난방면적 등이 에너지 수요의 대표적인 예이다. 한편 이러한 수요는 석탄, 석유, 가스, 전기 등 다양한 에너지원의 소비를 통해 충족될 수 있으며, 개별 에너지 수요를 충족하기 위한 각 에너지원의 흐름을 네트워크 형태로 표현한 것이 RES이다. 따라서 부문별 에너지 수요를 어떤 에너지원과 어떤 기술을 이용하여 충족하는지를 쉽게 파악할 수 있도록 RES를 개발하는 것은 매우 중요하다. RES에 관한 보다 세부적인 내용은 Beller(1980)와 Bhattacharyya and Rimilsina(2010)를 참고한다.

주거부문의 에너지 수요는 냉방, 난방, 가전, 조명

및 취사의 5개 분야의 에너지 소비를 기준으로 구분하였으며, 난방분야에서는 난방면적을 그리고 난방 이외의 분야에서는 관련 기기의 가동대수를 각각 에너지 수요로 정의하였다. 개별 분야의 에너지 수요를 산출하기 위하여 주거부문의 가구수, 가구당 면적, 냉방/가전/조명/취사기기의 보급률 및 해당 연간에너지 소비량 등에 대한 현황 및 전망치가 필요하다. 여기서 거주시설(주택)은 건축시기와 시설형태에 따라 난방 효율이 상이하기 때문에 가구수와 가구당 면적은 건축시기와 시설형태에 따라 별도로 구분할 필요가 있다. 본 연구에서는 건축시기에 따라 2008년 이전과 이후로 구분하고, 시설형태에 따라 단독, 다세대, 아파트로 구분하여 가구수 및 가구당 면적을 파악하여 난방면적에 관한 수요데이터 산출에 사용하였다. 국토연구원(2011)에 따르면 2008년 이전 및 이후 주택의 에너지 원단위는 m^2 당 260 kWh 및 200 kWh 이며, 온실가스

종합정보센터의 기술 DB에 따르면 단독, 다세대 및 아파트의 기준부하는 각각 m^2 당 158.0 kWh, 161.9 kWh 및 122.7 kWh 로 나타났다. 또한 거주시설의 노후화에 따른 멸실을 반영하기 위하여 2008년 건설교통통계연보와 통계청 통계자료에 의한 평균 멸실율을 고려하여 2007년 거주시설의 2.5%가 매년 멸실되는 것으로 가정하여 신축 주택수를 산정하였다. 따라서 단위면적당 에너지 원단위와 난방면적을 이용하여 난방분야의 에너지 소비량을 구할 수 있다. 한편, 냉방, 가전, 조명 및 취사기기에 대한 보급률과 해당 연간에너지 소비량은 2005년에 수행한 ‘1차 에너지기술 DB’ 자료와 통계청 자료를 이용하여 수요데이터 산출에 사용하였다. 앞서 언급한 가구수와 개별 기기의 보급률을 이용하여 가동대수를 산출할 수 있으며, 기기별 가동대수를 해당 연간에너지 소비량과 곱하여 냉방/가전/조명/취사 분야의 에너지 소비량을 구할 수 있다.

Table 1. 주거부문의 에너지 수요 산출을 위한 기초자료

(단위: 천 m^2 , 천대)

연도		2007	2010	2015	2020	2025	2030
단독	2008년 이전	353,942	337,224	307,045	273,181	232,711	185,297
	2008년 이후	-	43,664	118,258	195,504	272,280	342,425
다세대	2008년 이전	149,622	142,555	129,797	115,482	98,374	78,331
	2008년 이후	-	18,458	49,991	82,645	115,101	144,754
아파트	2008년 이전	606,222	577,587	525,896	467,896	398,580	317,371
	2008년 이후	-	74,787	202,549	334,853	466,353	586,495
에어컨		7,638	9,182	11,648	13,832	15,616	16,901
선풍기		27,673	29,207	31,349	33,012	34,189	34,780
냉장고		24,875	26,719	29,286	31,264	32,668	33,426
텔레비전		26,748	28,952	32,019	34,379	36,057	36,982
세탁기		16,219	17,033	18,142	18,992	19,586	19,868
개인용 컴퓨터		17,791	21,471	26,965	31,395	34,670	36,748
전자레인지		13,868	15,272	17,094	18,388	19,246	19,681
청소기		14,314	15,655	17,367	18,569	19,361	19,750
다리미		16,105	16,894	18,006	18,881	19,503	19,808
비디오		11,164	6,003	6,913	7,795	8,425	9,538
가습기		5,746	5,660	6,367	7,034	7,446	7,948
전기밥솥		14,611	15,104	15,596	16,089	16,417	16,417
기타 가전		4,268	9,091	18,556	30,419	42,519	54,447
대기전력		16,417	17,152	18,192	19,012	19,594	19,871
조명		148,574	155,226	164,638	172,059	177,326	179,833
취사(LNG)		11,679	13,214	15,385	16,791	17,270	17,930
취사(LPG)		4,738	3,938	2,807	2,221	2,324	1,941

주거부문의 에너지 수요를 산출하기 위하여 필요한 건축시기 및 주택유형에 따른 난방면적과 냉방/가전/조명/취사 기기의 가동대수를 정리한 자료는 [Table 1]에 나타난 바와 같으며, 여기에 에너지 원단위를 곱하여 주거부문의 에너지 수요를 구할 수 있다.

3.2. 주거부문의 RES 작성

주거부문의 에너지 수요에 대한 자료가 취합되면 해당 수요를 충족하기 위하여 어떤 에너지원을 사용하고 어떤 기술을 적용하는지를 나타내는 RES를 작성하여야 하며, 이를 통하여 파악된 에너지원 유형별로 온실가스 배출계수를 적용함으로써 온실가스 배출량을 산정할 수 있다. RES는 에너지의 생성, 전달 및 소비되는 과정에 적용되는 기술과 에너지의 흐름을 네트워크로 표현한 것으로서, 본 연구에서 개발한 주거부문의 RES 예시는 다음 [Fig. 1]에 나타난 바와 같다. 주거부문에서 사용되는 에너지는 열, 전기, LNG 등을 들 수 있으며, 이러한 에너지는 수입, 채굴, 발전 등을 통하여 생성되며 이를 에너지기술이라고 부른다. 예를 들어 그림에서 ‘Elec Generator’는 전기를 생성하기 위한 에너지기술을 통칭한 것으로서 발전이 대표적인 에너지기술이라고 할 수 있다. 이렇게 생성된 전기는 냉방, 조명, 취사 등의 수요를 충족하기 위한 기기의 운전에 투입되는데, 이러한 기기의 운전은 수요를 충족하기 위한 기술로 취급할 수 있으며 이러한 기술을 수요기술이라고 한다. 예를 들어 조명 수요를 충족하기 위하여 조명기기를 사용하는 것을 의미하는 ‘Tech for lighting’은 수요기술을 나타낸다.

한편 그림에서 에너지의 투입과 산출에 관한 흐름은 화살표로 표시되어 있는데, 조명수요를 예로 들면 1단위의 전기가 조명기기에 사용되어 1단위의 조명수

요를 충족하는 것을 의미한다. 그림에서 조명분야의 경우에는 수요기술이 에너지를 입력으로 하여 수요를 직접 충족하는데 반해, 냉방이나 난방의 경우에는 더미수요를 통해 관련 수요가 충족되는 것을 알 수 있다. 조명이나 취사 등의 분야와는 다르게 냉방이나 난방은 건물의 에너지효율에 영향을 받기 때문에 효율 향상과 관련된 기술의 적용을 고려할 필요가 있다. 단열재로 벽이나 바닥을 시공하거나 고품유리를 사용하는 등 에너지효율 향상에 관한 패시브(Passive) 기술의 적용을 통해 동일한 냉방기기를 사용하더라도 충족되는 수요는 달라질 수 있다. 더미수요는 이와 같이 에너지효율 향상과 관련된 기술을 반영하기 위하여 도입된 것이다. 예를 들어 ‘Tech 1 for heating’은 단위면적의 난방수요를 충족하기 위하여 10단위의 LNG를 사용하며, 따라서 해당 난방기술의 입력은 10, 출력은 1이 된다. 만약 단열재 시공 등과 같은 ‘Passive Tech’ 적용을 통해 30%의 에너지를 절감할 수 있다면 10단위의 LNG를 이용하여 충족할 수 있는 난방수요는 증가할 것이다. 이를 반영하기 위하여 0.7을 입력으로 하고 1을 출력으로 하는 더미수요를 둬으로써 패시브 기술의 적용에 따른 에너지 절감효과를 RES에 반영하였다.

3.3. 기술 DB 및 수리계획모형의 개발

주거부문의 에너지 수요 전망과 이러한 수요를 충족하기 위한 에너지 흐름을 나타내는 RES를 구축하고 나면 에너지 수요를 충족하는 과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하기 위한 방법론이 필요하며 상향식 모형에서는 주로 수리계획모형을 이용한다. 대표적인 상향식 모형인 MESSAGE, MARKAL(Market Allocation) 등은 에너지 수요 전망과 RES의 에너지 흐름에 관한 정보를 입력으로 하여 부문별로 온실가스 배출량 산정을 위한 수리계획모형을 자동적으로 생성할 수 있다. 또한 주거부문의 에너지 수요를 충족하기 위하여 적용되는 개별 기술에 대해서는 적용가능시기, 수명, 에너지소비량, 에너지비용, 투자 및 운영비용, 단위당 온실가스배출량 등에 대한 세부적인 기술 DB가 필요하다. 예를 들어, 난방수요를 충족하기 위한 기술의 하나인 아파트용 기름보일러는 당장 적용이 가능한 기술로서 수명은 7년이고 등유를 사용하며 연간 0.115 TOE/m²의 에너지를 소비한다. 또한 도입(또는 설치) 비용은 10,852원/m², 에너지비용은 1,123,531원/TOE, 운영비용은 연간 775원/m²이고, 연

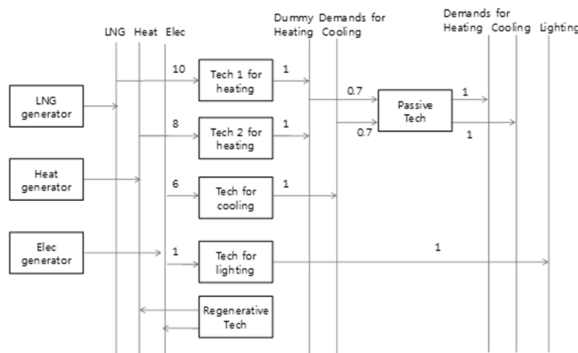


Fig. 1. 주거부문의 RES 예시

간 온실가스 배출량은 0.03톤/m²이며 현재 해당 기술이 이미 적용되어 있는 면적(또는 용량)은 91,413천m²이다. 본 연구에서 사용된 기술 DB에는 냉방 및 가전 분야에 80개의 기술, 난방분야에 17개의 기술, 조명분야에 9개의 기술, 취사분야에 2개의 기술, 패시브 기술분야에 29개의 기술이 포함되어 있다. 개별 기술의 기술자료 산출근거를 비롯한 기술 DB에 관한 세부적인 내용은 분량이 방대하여 여기서는 생략하였으며, 관심이 있는 연구자는 저자들에게 요청하여 확보할 수 있다. 이와 같이 주거분야의 에너지 수요 전망, RES 및 기술 DB를 이용하여 생성된 수리계획모형을 실행하여 최소의 비용으로 주어진 에너지 수요를 충족할 수 있는 에너지원별 사용량, 개별 기술의 용량 및 그에 따른 온실가스 배출량을 구할 수 있다. 본 연구에서는 MESSAGE를 이용하여 주거부문의 상향식 수리계획모형을 개발하고 온실가스 배출량을 산정하였다.

3.4. 기준시나리오에 따른 주거부문의 온실가스 배출량

기준시나리오 분석을 통해 온실가스 감축을 위한 추가적인 수단을 적용하지 않았을 때 주거부문의 온실가스 배출량을 산정하여야 하지만, 각 분야별로 개별 기술의 적용 또는 보급 양상이 어떻게 변화할 것인지를 정확히 예측하는 것은 매우 어려운 일이다. 그러므로 기준시나리오의 개발은 관련 분야 전문가들의 의견을 취합하는 정성적인 방법을 적용하는 것이 일반적이다. 본 연구에서도 주거부문 관련 전문가의 조언 및 관련 기관과의 협의를 통해 주거부문 온실가스 배출량 산정을 위한 기준시나리오를 개발하였다. 예를 들어, 기준시나리오에 의한 조명기술 분야의 기술적용 및 보급은 다음 [Table 2]에 나타난 바와 같으며, 향후

백열등의 점유율은 급속히 줄어들다가 2020년에 시장에서 사라지고 CFL과 형광등은 LED 기술에 의해 서서히 대체되는 것으로 가정하였다.

거주부문의 분야별 기준시나리오와 기술 DB를 바탕으로 MESSAGE를 실행하면 연도별로 분야별, 에너지원별 에너지 사용량과 온실가스 배출량을 구할 수 있다. 기준시나리오에 따른 거주부문의 분야별 에너지 사용량은 다음 [Table 3]에 나타난 바와 같으며, 난방분야의 에너지 소비가 가구부문 전체의 70% 가량을 차지하는 것으로 나타났다. 한편, 가구수의 증가와 생활수준의 향상으로 가전기기의 에너지 사용량은 증가하지만 LED 등의 고효율 조명기기의 보급으로 조명분야의 에너지 소비는 감소할 것으로 예상된다.

기준시나리오에 따른 거주부문의 에너지원별 사용량은 [Table 4]에 나타난 바와 같다. 석탄, 석유 및 열에너지는 난방분야에서만 사용되며, 거주부문에서 석탄 사용은 2030년에 아주 미미하고, 석유보일러 사용가구의 감소에 따라 석유 사용 또한 감소할 것으로 예상된다. 열병합 발전시설의 보급, 확산에 따라 열에너지 사용은 증가하지만 초기 인프라 구축에 많은 투자가 요구되어 보급, 확산에 한계를 보이며 증가추세가 점차 둔화될 것으로 예상된다. 반면, 상대적으로 저렴한 투자비와 에너지 비용이 요구되는 도시가스 보일러의 보급이 대폭 증가하여 2030년에는 난방분야 에너지 사용량의 80% 이상을 도시가스가 차지할 것으로 전망되었다. 전력은 대부분 냉방, 가전 및 조명분야에서 사용하는 에너지원으로서, 가전분야에서 전력 사용이 대폭 증가하여 전체적으로 전력 사용량은 증가하는 추세를 보인다. 끝으로 신재생 에너지의 사용은 2007년 0.34%에서 2030년 약 1.6% 정도로 비중

Table 2. 기준시나리오에 따른 가구당 조명기기별 보유대수 전망

항목	연도	2007	2010	2015	2020	2025	2030
	백열등	1.57	1.17	0.19	0.00	0.00	0.00
CFL	1.05	1.39	1.82	1.62	1.00	0.00	
형광등	4.10	3.97	3.24	2.84	2.38	1.86	
고효율 형광등	1.22	1.35	1.38	1.55	1.69	1.79	
LED	0.05	0.15	0.91	1.46	2.33	3.73	
LED 형광등	0.00	0.00	0.70	0.94	1.25	1.67	
기타	1.06	1.03	0.81	0.65	0.40	0.00	

Table 3. 기준시나리오에 따른 거주부문의 분야별 에너지 사용량

(단위: 천TOE)

분야 \ 연도	2007	2010	2015	2020	2025	2030
난방	13,564	15,611	16,727	17,753	18,595	18,883
취사	1,692	1,727	1,726	1,764	1,818	1,818
냉방	350	413	510	590	648	676
가전	3,343	3,685	4,273	4,830	5,285	5,591
조명	968	1,001	968	1,012	1,038	1,013
합계	19,917	22,437	24,203	25,949	27,383	27,981

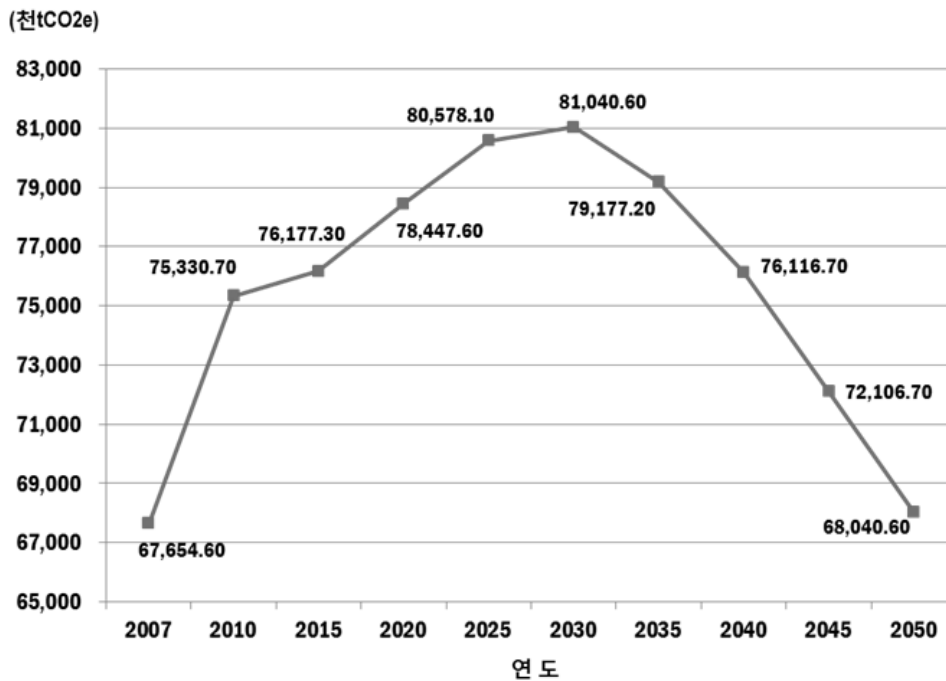


Fig. 2. 주거부문의 온실가스 배출량 전망

이 확대되며 이러한 추세는 지속될 것으로 예상된다. 마지막으로 기준시나리오에 따른 거주부문의 온실가스 배출량은 [Fig. 2]에 나타난 바와 같이, 2007년 6,770만톤에서 지속적으로 증가하여 2030년에 8,100만톤을 상회할 것으로 예상된다. 분석기간을 2050년까지로 늘려서 보면 2030년 이후에는 고효율 조명기기의 보급, 고효율 도시가스 보일러의 확산, 패시브 기술의 확산 등으로 인하여 점차 감소할 것으로 전망된다.

4. 국내 주거부문의 한계감축비용분석

한계감축비용분석은 개별 감축수단의 감축잠재량과 단위당 감축비용을 분석하여 감축수단별 비용효과성과 온실가스 감축잠재량의 관계를 표현함으로써 온실가스 감축정책에 따른 부문별, 기술별 파급효과를 분석하는데 효과적이다. 부문별로 온실가스 배출을 줄이기 위한 감축수단은 다양하며 감축수단별로 단위당 (tCO2e) 감축비용과 감축잠재량은 모두 다르며, 경제적인 측면에서는 단위당 감축비용이 낮으면서 감축잠

Table 4. 기준시나리오에 따른 에너지원별 사용량 및 비중 (단위: 천TOE, %)

에너지원	연도	2007	2010	2015	2020	2025	2030
석탄		1,119	1,173	860	640	368	214
		(5.62)	(5.23)	(3.55)	(2.47)	(1.34)	(0.76)
석유		4,022	3,818	2,254	1,549	1,696	1,262
		(20.19)	(17.02)	(9.31)	(5.97)	(6.20)	(4.51)
도시가스		8,761	10,921	13,160	14,642	15,239	15,803
		(43.99)	(48.67)	(54.37)	(56.43)	(55.65)	(56.48)
전력		4,661	5,099	5,751	6,432	6,970	7,280
		(23.40)	(22.73)	(23.76)	(24.79)	(25.45)	(26.02)
열에너지		1,286	1,511	1,820	2,022	2,266	2,437
		(6.46)	(6.74)	(7.52)	(7.79)	(8.27)	(8.71)
신재생에너지		69	94	144	217	319	455
		(0.34)	(0.42)	(0.60)	(0.84)	(1.17)	(1.63)
합계		19,917	22,437	24,204	25,949	27,382	27,981
		(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)

Table 5. 국내 주거부문의 온실가스 감축수단

감축수단	설 명
신축건물 에너지 효율향상	- 신규주택에 대한 에너지 절약 설계, 고효율 단열기술, 고효율 창호 및 도어 기술, 기밀강화시공 적용 - 2020년까지 신축건물 전체를 대상으로 함
기존건물 에너지 효율향상	- 기존 건축물의 노후 개선, 단열 및 창호 분야 신기술의 보급 - 2030년까지 기존 건물의 80%를 대상으로 함
고효율 보일러 보급확산	- 기름보일러나 일반보일러를 콘덴싱보일러로 교체 - 2030년까지 기름보일러 사용하는 가구의 80%, 도시가스 가구의 100%를 대상으로 함
고효율 냉방기기 보급확산	- 에어컨, 선풍기 등 주거부문 냉방기기의 고효율화 - 2015년까지 보급률 50%
고효율 가전기기 보급확산	- 대기전력을 포함한 가전기기의 고효율화 - 2020년까지 가전기기에 대한 고효율 신기술 보급률 100% - 2030년까지 대기전력에 대한 고효율 대기전력 기술 보급률 100%
조명기기 LED 교체강화	- 기준시나리오에서는 2020년까지 백열등을 LED로 교체하고 있음 - 2020년까지 백열등뿐만 아니라 CFL 까지 모두 LED로 교체
태양열 온수난방	- 기준시나리오에서는 태양열 온수난방 시스템의 보급률이 2030년에 2% 내외에 그침 - 2050년까지 태양열 온수난방 시스템 보급률 25%
그린홈 보급	- 국토부의 그린홈 보급정책을 반영한 것으로서 그린홈의 에너지 절감효과는 31.1%에 달함 (대한주택공사의 '미래를 여는 저탄소 녹색성장 이야기'의 요소기술 활용) - 2018년까지 신규 그린홈 100만호 건설

재량이 높은 감축수단을 우선적으로 채택하는 것이 바람직하다. 따라서 개별 감축수단의 감축비용과 감축 잠재량을 일목요연하게 정리하여 비교하는 것이 유용

하다. 국내 주거부문의 한계감축비용분석을 위하여 본 연구에서는 다음 [Table 5]에 제시된 8개의 감축수단을 고려하였다.

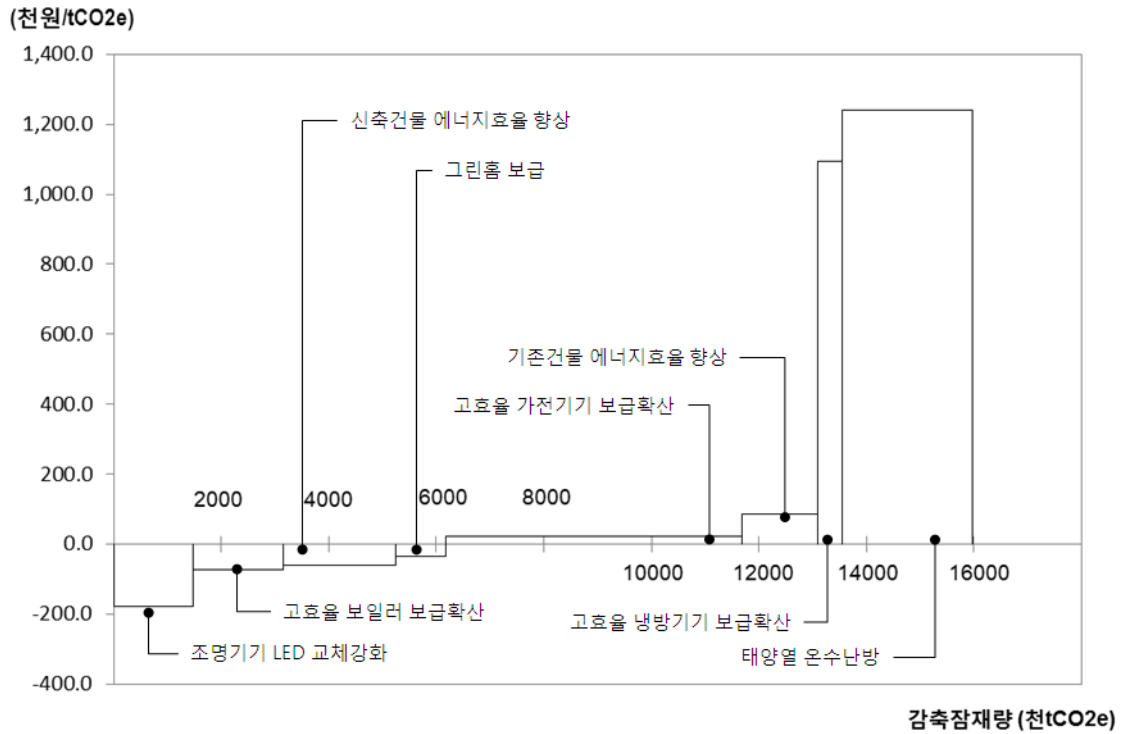


Fig. 3. 2020년 주거부문 한계감축비용곡선

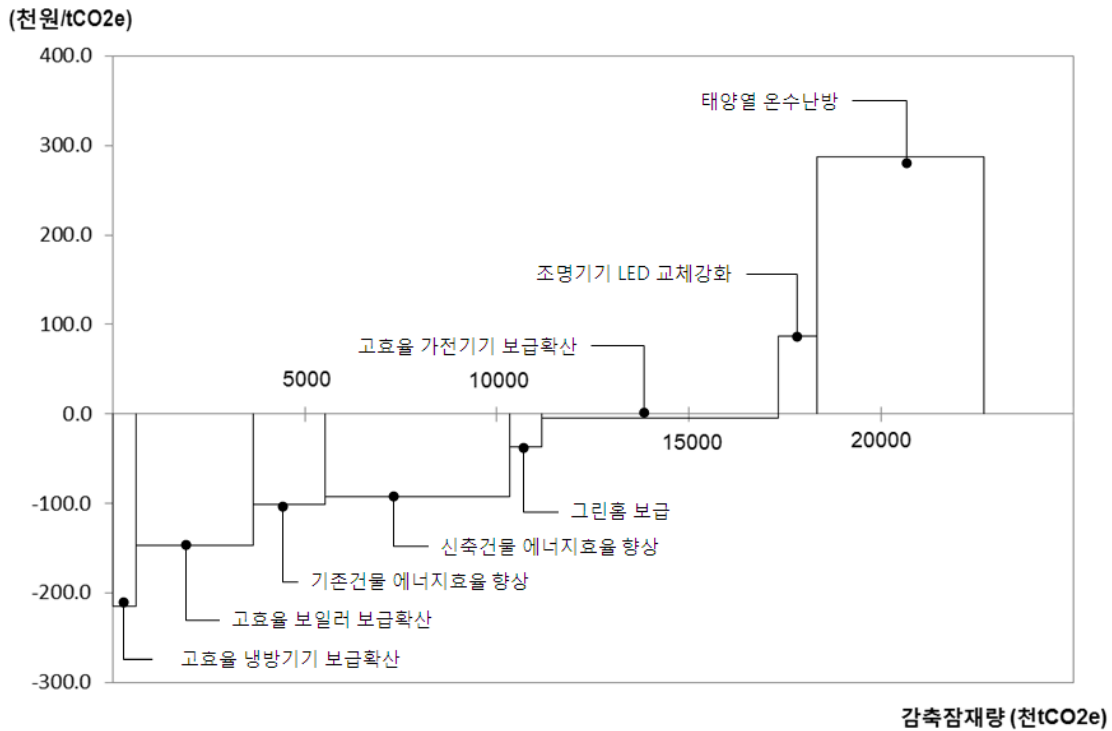


Fig. 4. 2030년 주거부문 한계감축비용곡선

MESSAGE를 이용하여 각 감축수단이 반영된 수리 계획모형의 최적해를 구하여 기준시나리오와 비교함

으로써 개별 감축수단의 감축잠재량과 관련 감축비용을 구할 수 있다. 이를 정리한 것은 [Table 6]과 같으

Table 6. 감축수단별 온실가스 감축잠재량 및 단위감축비용 (단위: 천tCO₂e, 천원/tCO₂e)

감축수단	2020년		2030년	
	감축잠재량	단위감축비용	감축잠재량	단위감축비용
신축건물 에너지 효율향상	2091.5	-59.6	4808.8	-93.0
기존건물 에너지 효율향상	1395.4	87.1	1869.7	-101.4
고효율 보일러 보급확산	1682.2	-74.1	3041.1	-147.1
고효율 냉방기기 보급확산	460.1	1092.6	613.8	-215.1
고효율 가전기기 보급확산	5516.4	23.4	6154.2	-4.5
조명기기 LED 교체강화	1472.5	-177.5	1014.0	86.6
태양열 온수난방	2426.7	1240.9	4330.7	287.3
그린홈 보급	932.2	-36.7	840.1	-36.5

며, 표의 자료를 이용하여 2020년과 2030년의 한계감축비용곡선을 도출하여 [Fig. 3, 4]에 제시하였다. 그림에 나타난 바와 같이 ‘조명기기 LED 교체강화’는 단기적으로는 비용효과적이지만 장기적으로는 그렇지 않은 감축수단인 반면, ‘고효율 냉방기기 보급확산’이나 ‘기존건물 에너지 효율향상’과 같이 장기적으로 비용효과적인 감축수단도 있다. 이는 감축수단 적용을 위한 초기도입비용이나 운영비용과 밀접한 관련이 있는 것으로 분석된다.

5. 결론

본 연구는 국내 주거부문을 대상으로 상향식 모형을 이용하여 부문별 온실가스 배출특성과 개별 감축수단의 한계감축비용 분석에 관한 사례연구 결과를 제시하였다. 주거부문의 에너지 수요, RES, 기술 DB 등을 정의하고 국내 통계데이터를 분석하여 필요 데이터를 도출하였다. 기준시나리오에서 분야별 및 연도별 에너지 사용량과 온실가스 배출량을 구하여 주거부문의 온실가스 배출특성을 분석하였다. 또한 8가지 감축수단을 대상으로 감축잠재량과 감축비용을 분석하여 한계감축비용곡선을 도출하였다. 이러한 분석결과는 주거부문을 대상으로 온실가스 감축정책을 계획하고 실행하는데 실질적인 가이드라인을 제시하는데 유용할 것으로 판단된다. 하지만 기술 DB의 구축, 기준시나리오의 개발, 감축수단의 보급 확산에 관한 전망 등을 위하여 관련 분야의 전문가 자문을 통한 정성적인 분석에 많이 의존한 것은 본 연구의 한계라고 할 수 있다. 이에 향후 연구주제로서 부문별 기술개발이나 보급, 확산에 관한 정량적이고 객관적인 분석방법론을 개발하여 이러한 한계점을 극복하는 것은 온실

가스 관련 정책의 적합성과 객관성을 제고하는데 기여할 것으로 기대된다.

Acknowledgement

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2014년)에 의하여 연구되었음.

Reference

1. Beller, M. (1980) Methodology for Assessing the Full Costs of Technology, *International Journal of Energy Research*, 4(3), 235-251
2. Bhattacharyya, S.C., and Rimilsina, G.R. (2010) A Review of Energy System Models, *International Journal of Energy Sector Management*, 4(4), 494-518
3. Chung, Y. Kim, H. Kim, Y.J., and Paik, C. (2012) MESSAGE Optimization Modeling for GHG Emissions of the Residential Sector, *ICIC Express Letters*, 6(3), 839-844
4. Element Energy Ltd., (2013) Review of Potential for Carbon Savings from Residential Energy Efficiency, Final Report for The Committee on Climate Change, Cambridge, UK
5. IPCC (1996) Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change, IPCC Technical Paper, IPCC
6. Jung, J.H. (2014) GHG Emissions and Mitigation Potential of Building Sector in Republic of Korea, *Climate Change and Green Growth*, 7(1), 51-64
7. Kialashaki, A., and Reisel, J.R. (2013) Modeling of

- the Energy Demand of the Residential Sector in the United States Using Regression Models and Artificial Neural Networks, *Applied Energy*, 108, 271-280
8. Levine, M.D., Price, L., and Martin, N. (1996) Mitigation Options for Carbon Dioxide Emissions from Buildings: A Global Analysis, *Energy Policy*, 24, 937-949
 9. Li, J. (2008) Towards a Low-Carbon Future in China's Building Sector - A Review of Energy and Climate Models Forecase, *Energy Policy*, 36, 1736-1747
 10. Mata, É., Kalagasidis, A.S., and Johnsson, F. (2013a) A Modelling Strategy for Energy, Carbon, and Cost Assessments of Building Stocks, *Energy and Buildings*, 56, 100-108
 11. Mata, É., Kalagasidis, A.S., and Johnsson, F. (2013b) Energy Usage and Technical Potential for Energy Saving Measures in the Swedish Residential Building Stock, *Energy Policy*, 55, 404-414
 12. McKenna, R., Merkel, E., Fehrenbach, D., Mehne, S., and Fichtner, W. (2013) Energy Efficiency in the German Residential Sector: A Bottom-Up Building - Stock - Model - Based Analysis in the Context of Energy-Political Targets, *Building and Environment*, 62, 77-88
 13. Motherway, B., and Walker, N. (2009) Ireland's Low-Carbon Opportunity, *Sustainable Energy Ireland*, Ireland
 14. Promjiraprawat, K., Winyuchakrit, P., Limmeechokchai, B., Masui, T., Hanaoka, T., and Matsuoka, Y. (2014) CO2 Mitigation Potential and Marginal Abatement Costs in Thai Residential and Building Sectors, *Energy and Building*, *Energy and Buildings*, In Press
 15. Swan, L.G., and Ugursal, V.I. (2009) Modeling of End-Use Energy Consumption in the Residential Sector: A Review of Modeling Technique, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1819-1835
 16. Ürge-Vorsatz, D., and Novikova, A. (2008) Potentials and Costs of Carbon Dioxide Mitigation in the World's Buildings, *Energy Policy*, 36, 642-661
 17. Tommerup, H., and Svendsen, S. (2006) Energy Savings in Danish Residential Building Stock, *Energy and Buildings*, 38, 618-626
 18. 국토연구원 (2011) 녹색도시·건축 활성화 방안 연구, 녹색성장위원회 연구보고서(발간등록번호 12-B552462-000009-01)
 19. 정용주, 백천현, 김후곤 (2012) 상향식 모형의 유형별 특징 및 접근방법, *기후변화와 녹색성장*, 3(1), 9-19