환경영향평가 Vol. 24, No. 5(2015) pp.487~498 J. Environ. Impact Assess. 24(5): 487~498(2015) ISSN 1225-7184
http://dx.doi.org/10.14249/eia.2015.24.5.487

Research Paper

기후변화와 사회 · 경제적 요소를 고려한 가정 부문 냉난방 에너지 사용량 변화 예측

이미진* · 이동근 · 박찬*** · 박진한**** · 정태용***** · 김상균****** · 홍성철******

서울대학교 대학원*, 서울대학교 조경·지역시스템 공학부**, 국토연구원 국토관리도시연구본부***,
서울대학교 협동과정 조경학****, 연세대학교 국제학대학원*****, 국립환경과학원 지구환경연구과******

Prediction of Heating and Cooling Energy Consumption in Residential Sector Considering Climate Change and Socio-Economic

Lee, Mi-Jin* · Lee, Dong-Kun · Park, Chan*** · Park, Jin-Han**** · Jung, Tae-Yong***** · Kim, Sang-Kyun****** · Hong, Sung-Chul******

Graduate School, Seoul National University*
Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University**
Land Management and Urban Research Division, Korea Research Institute for Human Settlements***
Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University****
Graduate School of International Studies, Yonsei University*****
Global Environment Research Division, National Institute of Environmental Research******

요 약 : 기온상승과 인구 및 GDP 증가의 영향으로 인해 에너지 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제에 대응하기 위해 에너지 수요에 대한 예측이 필요하다. 따라서 본 연구는 에너지 수요관리, 특히 전력부하를 유발하는 냉난방 에너지 수요 관리에 도움이 되고자 가정 부문 냉난방 에너지의 미래 사용량을 예측하고자 한다. 에너지 사용량을 산정하는데 있어 서비스 수요의 산출이 필요하다. 따라서 서비스 수요 산정식을 이용하여 이를 먼저 도출하고, AIM/end-use 모델을 이용하여 에너지 사용량을 산정하였다. 산정 결과 냉난방 서비스 수요는 2010년에 비해 2050년에 모두 증가하는 추세를 보였다. 하지만 에너지 사용량에서 난방은 감소하고, 냉방은 증가하는 것으로 예측되었다.

주요어 : AIM 모델, 냉난방도일, 서비스 수요, RCP 시나리오, SSP 시나리오

Abstract : The energy problem has occurred because of the effects of rising temperature and growing population and GDP. Prediction for the energy demand is required to respond these problems. Therefore, this study will predict heating and cooling energy consumption in residential sector to be helpful in energy demand management, particularly heating and cooling energy demand management. The AIM/end-use model was used to estimate energy consumption, and service demand was needed in the AIM/end-use model. Service demand was estimated on the

Corresponding Author: Lee, Dong Kun, Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University
Tel: +82-2-880-4875 E-mail: dklee7@snu.ac.kr
Received: 6 July, 2015. Revised: 29 September, 2015. Accepted: 2 October, 2015.

basis of formula, and energy consumption was estimated using the AIM/end-use model. As a result, heating and cooling service demand tended to increase in 2050. But in energy consumption, heating decreased and cooling increased.

Keywords : AIM model, Heating and cooling degree days, Service demand, RCP scenarios, SSP scenarios

I. 서 론

기후변화로 인한 기온상승의 영향은 근래에 들어 더욱 심각하게 나타나고 있다. RCP 시나리오에 따르면 RCP 4.5에 의해 모의된 기온은 현재에 비해 21세기 말 (2070~2099)에 약 2.8℃, RCP 8.5 시나리오에서는 약 4.8℃ 증가할 것이라고 예측되었다(Lee *et al.*, 2013). 특히 우리나라에서 기온 상승 수준은 전 지구 평균 기온 상승의 2배에 달하고 있는 것으로 보고되었다(Korea Meteorological Administration, 2014).

이러한 기온상승의 영향은 에너지 소비에도 영향을 주었고(Lim *et al.*, 2013), 수급문제와 같은 에너지 문제를 더욱 심화시켰다. 매년 에너지 수급문제가 발생하며, 특히 냉방기기와 난방기기의 전력화에 따라서 전력 수급의 문제가 심각한 문제로 제시되었다(Lee *et al.*, 2011). 우리나라의 기상특성상 냉 · 난방부하가 집중되는 여름과 겨울에 전국적인 정전사고가 주로 발생하며, 냉방기기와 난방기기의 보급이 보편화되면서 더욱 빈번하게 일어나고 있다(Lee *et al.*, 2010).

Wilbanks *et al.*(2008)에 의하면 기후변화의 맥락에서 기온 상승으로 인해 난방에서의 에너지 소비는 감소할 것이며, 냉방 에너지에 대한 수요는 더 증가할 것이라고 전망하였다. 또한 난방 에너지 수요의 감소, 냉방 에너지 수요의 증가에 따라 그에 대한 연료의 감소와 증가가 일어날 것이라고 전망하였다. 이처럼 기후변화의 맥락에서 냉 · 난방 에너지에 대한 관리는 에너지 수요 관리 측면에서 중요한 문제이다. 특히 우리나라는 에너지의 97%를 수입에 의존하고 있으며(Korea Energy Economics Institute, 2011), 에너지 수요관리는 2100년까지 한계상승 온도인 2℃ 목표달성을 위한 핵심정책이다(IPCC, 2013).

기후변화와 마찬가지로 인구증가와 경제성장과 같은 사회경제적 요소 또한 에너지 소비에 영향을 미치는 주요 요소이다. BP Energy outlook 2035(2014)에 따르면 에너지 수요 증가의 핵심요인은 인구와 소득의 증가여부라고 언급하였다. 가정 부문은 에너지 사용에 있어서 직접적으로 인구와 소득의 증감을 반영할 수 있는 부문으로, 우리가 실질적으로 사회경제적 요소의 변화를 체감할 수 있다. 또한 가정 부문의 에너지 사용량에 있어서 냉 · 난방이 차지하는 비중이 매우 큼에 따라 기후변화에 따라 가정 부문에서의 에너지 사용량 변화 역시 클 것으로 보인다(Korea Energy Economics Institute, 2011).

국내에서 가정부문의 에너지 수요 변화를 추정한 논문은 많이 연구되어 있지 않으며, Jeong *et al.*(2014)의 연구는 기후변화만을 고려하여 에너지 수요 변화를 추정하고 있다. 따라서 좀 더 정확한 예측을 위하여 본 연구에서는 사회경제 및 기후변화 시나리오를 반영한 가정 부문의 냉난방 부문 에너지 사용량 변화를 추정하고자 하며, 이러한 결과를 바탕으로 에너지 수요 관리에 도움이 되고자 한다.

II. 연구범위 및 방법

1. 연구범위

본 연구는 가정 부문의 냉난방 부문을 분석대상으로 하였으며, 기준 연도와 목표 연도는 각각 2010년, 2050년으로 설정하였다. 기준 연도의 설정은 정확한 에너지 사용량 산정을 위해 2011 에너지 총조사 보고서의 조사대상기간인 2010년을 기준으로 하였다. 목표 연도는 IPCC 5차 보고서에서 배출량 감축에 있어 2050년, 2100년을 중기, 장기 목표로 설정하였다. 에너지 관리는 배출량 감축을 위한 핵심 방안으로 제시되는 만큼 본 연구에서도 이러한 사항을 고려하여 현실성 있는 전망을 위해 중기 미래인 2050년으로 목표 연도를 설정하였다.

Table 1. Foundation stat of number of household member (Five year period)

year	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Total population(person)	49,410,366	50,617,045	51,435,495	51,972,363	52,160,065	51,888,486
Number of household	17,359,333	18,705,004	19,878,399	20,937,339	21,716,589	22,260,603
Household size(person)	2.85	2.71	2.59	2.48	2.40	2.33

시나리오는 국가별 사회경제 변화와 정책기술을 조합하여 변화를 전망한 사회경제 시나리오인 IIASA의 SSP(Shared Socio-Economic Pathways)에서 BAU(Business As Usual), 저성장(Low), 고성장(High)의 세 가지 시나리오를 사용하였다.[1] 기후변화 시나리오로는 IPCC의 RCP(Representative Concentration Pathway) 4.5 시나리오와 8.5 시나리오를 사용하였다.

2. 연구방법

본 연구의 흐름은 다음과 같다. 에너지 사용량 도출을 위해서 서비스 수요 산정이 선행되어야 한다. 서비스 수요 산정은 산정식을 통해 도출되며, 에너지 사용량은 도출된 산정식을 바탕으로 AIM/end-use 모델을 이용하여 도출된다.

1) 서비스 수요

가정 부문의 에너지 서비스 흐름은 에너지, 기기, 서비스 순으로 구성되며, 가정 부문의 서비스 수요 산정은 기본적으로 다음 식을 따른다.

$$ESD = \sum (A \times S \times I) \quad (1)$$

각 부문별로 서비스 수요를 산정 하는 식은 세부 요소에서는 차이가 나지만 전체적으로는 위와 같은 구조를 유지한다(Schipper and Meyers, 1992). A는 활동도, S는 구조, I는 강도를 의미하며(Isaac and van Vuuren, 2009), 구체적인 변수로는 A는 냉난방 부문에서 가구수를 의미하며 S는 가구당 면적과 같은 요소들을 포함하고, I는 난방에서 난방도일, 기기의 효율, 단열 수준, 냉방에서는 냉방도일, GDP 기기의 효율 등을 의미한다.

본 연구에서는 서비스 수요를 도출하기 위한 사회경제적 주요 요소로 인구와 GDP, 가구원수와 가구수, 가구당 면적과 가구당 GDP를 사용하였고, 기후변화 요소로는 냉 · 난방도일을 사용하였다.

(1) 인구와 GDP

인구와 GDP 자료는 IIASA에서 SSP를 기반으로 전망한 자료를 활용하였다. 인구 시나리오는 저성장, BAU, 고성장 시나리오를 사용하였고, GDP 자료 또한 저성장, BAU, 고성장 시나리오를 사용하였다.

(2) 가구원수와 가구수

앞서 도출된 SSP의 총인구자료와 통계청 가구수 2010년 ~ 2035년 자료를 바탕으로 가구원수를 도출하였다(Table 1).

미래 가구원수를 추정하기 위해 시계열분석을 통하여 식 (2)를 도출하였고, 2050년까지 가구원수를 예측하였다. 식 (2)에서 H는 가구원수를 의미하며, t는 시기를 의미한다. 모형의 계수는 통계적으로 유의하며(p값 0.00 〈 0.05), 계수의 정상성, 가역성 또한 $|0.770| < 1$로 조건을 만족한다. 해당 모형의 적합성은 Ljung-Box 검정을 실시하여 유의확률이 0.577로 5%보다 크므로 잔차가 백색잡음이라는 가설을 기각하지 않는다. 따라서 적합한 모형이라는 결론을 내릴 수 있다. 또한 추정된 가구원수를 바탕으로 시나리오 별 가구수를 도출하였다.

$$H_t = 0.770 \times (H_{t-1} - 0.001) + 0.001 \quad (2)$$

(3) 가구당 GDP와 가구당 면적

추정된 가구수를 바탕으로 가구당 GDP와 가구당 면적을 산출하였다. 가구당 GDP는 IIASA의 GDP와 추정한 가구수를 통해 도출하였다. 가구당 면적 산

1) 국내 기관에서는 2050년까지의 GDP 전망을 하고 있지 않아 IIASA의 시나리오를 사용하였다. 본 연구에서는 단순히 사회경제적 요소만을 고려한 것이 아니라 기후변화의 영향도 함께 고려하였기 때문에 미래 기후 변화에 대한 영향을 고려하여 작성된 시나리오인 IIASA의 시나리오가 가장 적합하다고 판단하였다. 세 시나리오는 정책, 생활방식, 환경인식 등에 대한 수준을 통해 구분되었다.

Table 2. Foundation stat of area per person (Five year period)

year	1990	1995	2000	2005	2010
area/person(m^2)	13.2	15.6	17.9	21.3	24.5

출은 1인당 주거 면적과 가구원수를 바탕으로 도출되었다. 1인당 주거 면적의 산출은 Table 2에 나타난 1990년 ~ 2010년 자료를 활용하였고, GDP를 반영하여 회귀분석을 시행하였다.

1인당 주거 면적은 식 (3)을 통해 도출되었으며, R 제곱 값은 0.999로 통계적으로 유의하다고 결론 내릴 수 있다. 이때 1인당 최고면적인 선진국 평균값 $45m^2$를 넘지 않도록 적용하였다.

$$\begin{aligned} Area\ per\ person = 45 \div (1 + 4.886092 \\ \times \exp(-0.0000795 \\ \times GDP\ per\ person)) \end{aligned} \quad (3)$$

(4) 난방도일과 냉방도일

가정 부문의 에너지 사용량을 산정하는 데 있어서 기후변화 요소에 제일 민감하게 반응하는 부분은 난방, 냉방 부문이다. 이는 두 부문이 서비스 수요 산정에 있어서 냉 · 난방도일을 변수로 포함하고 있기 때문이다. 난방도일(HDD)과 냉방도일(CDD)은 건물의 난방, 냉방에 필요한 에너지 수요를 반영하기 위한 정량적인 지표이며, 많은 연구자들이 에너지 수요에 대한 기후변화의 영향을 평가하기 위해 이용하고 있다(Matzarakis and Balafoutis, 2004; Christenson *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2014).

난방도일과 냉방도일은 특정기간에 대한 기준온도와 외부 기온 사이의 온도 차의 합으로 구하며, 외부 기온이 기준온도보다 낮으면 난방이 필요하고, 기준온도보다 높으면 냉방이 필요하게 된다(Lee *et al.*, 2014). 여기서 기준온도는 편안한 상태를 유지하기 위해 난방이나 냉방 시스템을 작동시킬 필요가 없는 기온으로 정의된다(Hekkenberg *et al.*, 2009).

국내에서는 이 지표가 지역별 기후 특성을 나타내는 자료로 사용되기도 하며, 도시 별 냉난방도일을 산정하기도 한다(Seo, 2013). 그러나 국내에서 난방도일과 냉방도일의 기준온도를 공식적으로 지정하지는 않고 있으며, 따라서 국내 논문에서의 기준 온도는 논문에 따라 다양하게 나타난다. 그렇기 때문에 본 연구에서는 일반적으로 많이 활용되는 기준 온도를 이용하였으며, 난방도일의 기준 온도를 18℃, 냉방도일의 기준 온도는 24℃로 사용하였다.

본 연구에서는 RCP 시나리오를 바탕으로 각 그리드 공간의 도일값을 산출한 후에 시군구별로 평균 도일값을 산출하였다. 그 후, 시군구별 인구가중을 이용하여 시도, 국가의 냉난방도일을 도출하였다. 미래 변화는 시군구별 인구변화는 없다고 가정한 상태에서 시군구별, 시도별 인구가중을 활용하여 최종적으로 미래 냉난방도일을 산출하였다. 또한 기후 변수의 특성상 편차가 크게 나타나므로 10년 평균 자료를 사용하였다.

(5) 기기 조사

가정 부문의 서비스 수요 산정에 있어서 가전기기의 보급현황 또한 중요한 요인이기 때문에 가전기기의 경우 한국전력거래소에서 보급한 가전기기 보고서를 참고하였다.

연구에 사용된 난방기기와 냉방기기는 표 3과 같다. 난방기기는 크게 보일러와 전기 히터로 구성되며, 보일러는 연료에 따라 나뉘게 된다. 난방기기 중 Insulation level은 단열 유무와 정도에 따라 구분 되었으며, 냉방기기는 에어컨만을 고려하였다. Coefficient for performance란 효율과 같은 개념으로 에너지 1을 투입했을 때 나오는 출력 값이며, 비중(Share)은 해당년도에 기기가 차지하는 비율을 뜻한다.

2) 에너지 사용량 산정 방법

본 연구에서는 에너지 사용량을 산정하기 위하여 AIM/end-use 모델을 기반으로 한국 가정 부분에 적합하도록 모델을 만들어 사용하였다. AIM/end-use 모델은 일본 NIES(National Institute for Environmental Studies)에서 개발된 모델로 국가의 에너지, 경제, 환경 시스템 내에서 세부 기술 선택을 통해 에너지 사용량과 온실가스 배출량을 산정하는 상향식 모델이다.

AIM/end-use 모델에서 기술 선택은 모델 내에서 서비스 수요의 만족, 에너지 및 소재 공급의 가용성 및 기타 시스템의 제약 등과 같은 몇몇 제약 조건 하에서

Table 3. Device information

Service	Device	Energy source	Coefficient for performance	Share(2010)
Heating	Coal boiler	Coal	0.7	1%
	Kerosene boiler	Kerosene	0.8	19%
	Condensing boiler(LNG)	LNG	0.9	6%
	LNG boiler	LNG	0.8	37%
	Heat boiler	Heat	1	6%
	LPG boiler	LPG	0.8	9%
	Air conditioner, old type	Electricity	3.3	20%
	Air conditioner, conventional type	Electricity	5	
	Air conditioner, efficient type	Electricity	5	
	Air conditioner, best available technology	Electricity	5	
	Biomass boiler	Biomass	0.7	2%
	Insulation level 1(without insulation)		1.0	40%
	Insulation level 2		2	60%
	Insulation level 3		2	
	Insulation level 4		3.3	
	Insulation level 5		3.3	
Cooling	Air conditioner, old type	Electricity	3.3	
	Air conditioner, conventional type	Electricity	3.3	100%
	Air conditioner, efficient type	Electricity	5	
	Air conditioner, best available technology	Electricity	5	

시스템 비용이 최소화되는 선형 최적화를 통해 이루어진다. 시스템 비용은 초기 비용, 기술 운영비용, 에너지 비용, 세금, 보조금 등을 포함한다. AIM/end-use는 여러 해를 동시에 계산 할 수 있는 재귀 동적 모델이며, 정책 대응을 포함한 다양한 시나리오 분석이 가능하다(Hibino *et al.*, 2000).

본 연구에서는 단순히 기후변화 요소뿐 아니라 새로운 기술의 도입, 에너지 가격변화, 정책 변화 등과 같은 미래의 경제성변화에 따른 기술 선택을 적용하여 에너지 사용량을 추정하기 위해 AIM/end-use 모델을 사용하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 시나리오 설정

1) 인구와 GDP

IIASA의 국내 인구 전망에 의하면 세 시나리오 모두 증가하다가 감소하는 모습을 보이며, 저성장에서 고성장 시나리오로 갈수록 인구가 감소하는 시점이 늦어졌다. 그러나 2050년의 인구가 기준년도 대비 크게 차이 나지 않는 것으로 나왔다.

반면 GDP는 세 시나리오 모두 2050년까지 꾸준히 증가하였고, 세 시나리오 모두 기준년도 대비 2배 이상 증가하며, High 시나리오에서는 3배 이상 까지도 증가하였다.

2) 가구원수와 가구수

가구원수는 미래로 갈수록 점차적으로 감소하는 경향을 보이며, 2010년에는 2.85명이지만 2050년에는 가구원수가 2.22명으로 약 2명에 가까운 것으로 나타났다(Table 4). 2010년에는 1인 가구의 비율이 전체 가구의 20%이상을 차지하며, 그에 따라 현재까지의 가구원수는 계속해서 감소하는 경향을 보였다. 이러한 추세에 따라 총인구수가 증가함에도 불구하고, 미래의 가구원수는 감소할 것으로 추정된다.

가구수는 총 인구수와 가구원수에 의해 도출되는

Table 4. Prediction of household size

year	2010	2020	2030	2040	2050
Household size (person)	2.85	2.59	2.40	2.27	2.22

데, 총 인구수가 증가하고 가구원수가 감소함에 따라 점차적으로 가구수는 증가하는 경향을 보인다. BAU 시나리오 기준 2010년에는 16.9 백만 가구에서 2050년에는 20.8 백만 가구까지 증가한다. 다만 인구가 크게 증가하는 고성장 시나리오를 제외한 BAU, 저성장 시나리오에서는 2030년 이후로 총 인구수가 감소하기 때문에 가구수 또한 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 1).

3) 가구당 GDP와 가구당 면적

가구당 GDP는 세 시나리오에서 모두 증가하는 경향을 나타냈다(Fig. 2). 이는 국내 총 GDP가 기준년도 대비 2배에서 3배 이상 증가함에 따른 것이다. 2010년 기준 BAU에서 가구당 GDP는 최저 63.0 백만 원이며, 2050년에는 최저 119.5 백만 원에서 최대 154.8 백만 원으로 2010년 대비 200% 이상까지 증가하였다.

반면 가구당 면적은 BAU 기준 2010년에는 69.83m^2, 2050년경에는 95.78m^{2}로 최대 면적을 보이며 계속해서 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2). 가구당 면적은 가구의 경제수준의 영향을 받기 때문에 GDP의 영향을 받게 된다. 따라서 GDP가 증가함에 따라 가구당 면적 또한 증가하는 것으로 볼 수 있다. 하지만 2030년을 기점으로 가구당 면적의 증가 추세가 미미한 경향을 보이는데 이는 가구원수가 감소함에 따라 나타난 결과이다.

4) 난방도일과 냉방도일

난방도일의 경우 RCP 시나리오별로 약간의 차이를 보였지만 전반적으로 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 3). 2010년대에는 RCP 4.5와 8.5 시나리오에서 각각 2661.19, 2686.22도일로 2683.61도일인 기준년도 대비 약간 감소하거나 별다른 변화를 보이지 않았고, 2020년대에는 대체적으로 감소한 모습을 보였다. 2030년대에는 두 시나리오 모두 기준년도 대비 낮아졌으며, 2040년대에도 일부 증가하는 경향을 보였으나, 각각 2499.67, 2471.58도일로 기준년도 대비 감소한 것으로 나타났다.

반면 냉방도일의 경우, 전반적으로 증가하는 경향을 나타냈다(Fig. 3). 2010년대에는 124.57, 123.79도일로 184.69도일인 기준년도 대비 낮은 경향을 나타냈으나, 2020년대에는 약간 증가하는 모습을 보였다. 2030년대에는 2020년대에 비해 상당히 증가하였고, 2040년대에는 각 175.25, 246.99도일로 시나리오별 차이를 보이기는 하지만 최대 2010년대에 비해 2배 이상 증가하는 것으로 나타났다.

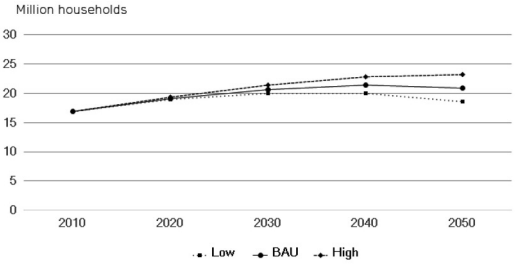
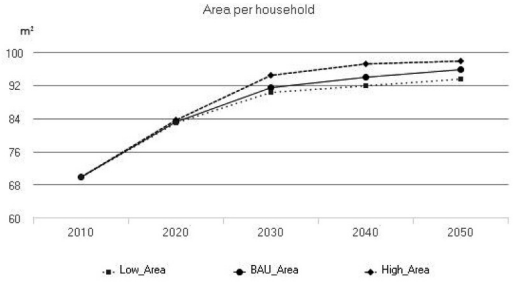


Fig. 1. Prediction of the number of households per each scenarios



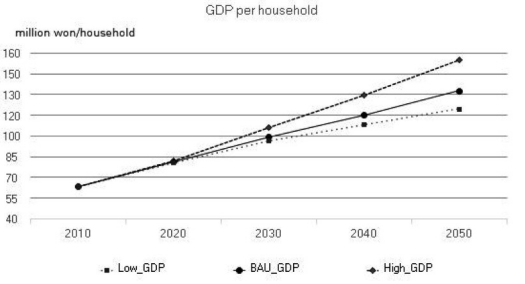


Fig. 2. Area and GDP per household

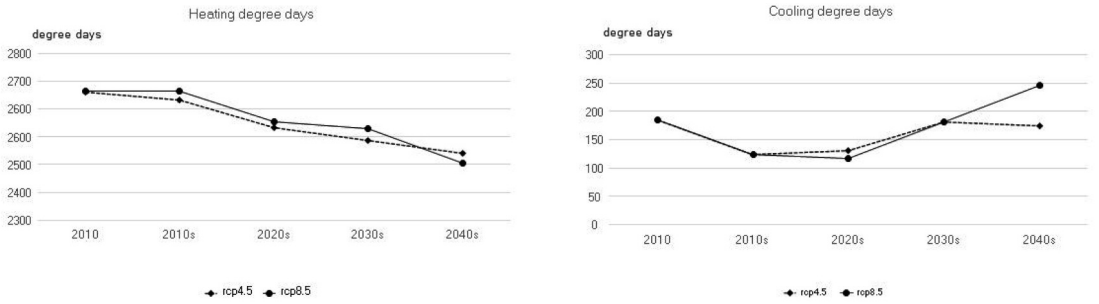


Fig. 3. Heating and cooling degree days

2. 냉난방 서비스 수요

가정 부문의 난방 서비스 수요는 2040년까지 증가하다가 2050년까지는 감소하는 경향을 보였으며, 냉방 서비스 수요는 2050년으로 갈수록 점차적으로 증가하는 경향을 가진다. 난방 부문과 냉방 부문 모두 고성장 시나리오 일수록 저성장에 비해 더 많은 수요를 필요로 한다(Fig. 5).

난방의 서비스 수요는 2010년에서 21.63 MTOE를 나타내나 2050년에는 시나리오에 따라 30.86 MTOE ~ 37.11 MTOE까지 최대 170%까지 증가한다. 저성장과 고성장 시나리오에서는 큰 차이를 보이는 것과 달리 RCP 4.5 시나리오와 RCP 8.5 시나리오 사이에서의 차이는 크지 않다.

하지만 2040년대로 가면서 RCP 8.5 시나리오에서의 서비스 수요가 감소하다가 RCP 4.5 시나리오의 서비스 수요보다 작아지는 모습을 볼 수 있다. 이는 RCP 8.5 시나리오에서의 기온이 RCP 4.5 시나리오의 기온보다 높기 때문에 난방에 대한 수요가 적어짐에 따라 나타나는 현상으로 볼 수 있다.

냉방 서비스 수요는 2010년에는 2.79 MTOE를 나타내나 2050년에는 5.18 MTOE ~ 8.22 MTOE로 최대 290%까지 증가하는 경향을 나타낸다. 이는 난방 서비스 수요의 절댓값에 비하면 작은 값이지만 증가율은 난방보다 큰 것으로 나타났다. 2040년까지는 난방 서비스 수요와 유사한 경향을 보이지만 2040년 이후에 RCP 8.5 시나리오에서 난방 서비스 수요가 줄어드는 모습과는 달리 냉방 서비스 수요는 기온 상승의 영향으로 인해 계속해서 증가하는 경향을 볼 수 있다.

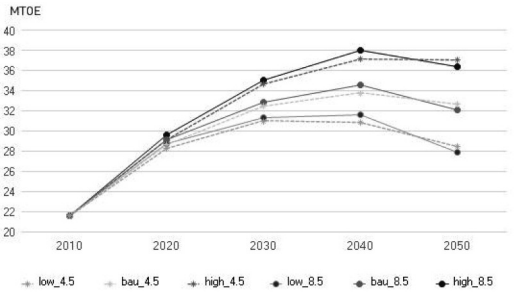


Fig. 4. Heating service demand

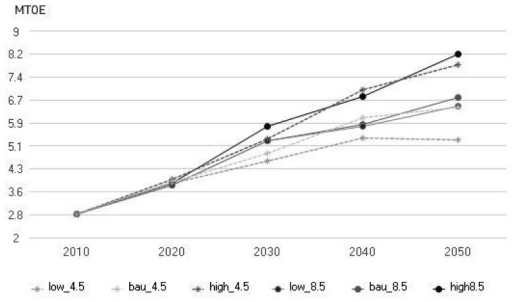


Fig. 5. Cooling service demand

3. 에너지 사용량

가정 부문의 난방 에너지 사용량은 Fig. 6과 같다. RCP 4.5 시나리오의 저성장 시나리오와 BAU 시나리오에서 에너지사용량은 2010년에 13.48 MTOE이지만 2050년에는 각 각 10.91, 12.54 MTOE로 감소하였다. 고성장 시나리오에서는 2050년에 13.99 MTOE로 난방 에너지 소비량이 증가하는 것을 보아 고성장 시나리오일수록 에너지를 더 많이 사용한다는 것을 알 수 있다. RCP 8.5 시나리오에서 난방 에너지 사용량은 2050년에 저성장, BAU, 고성장 순대

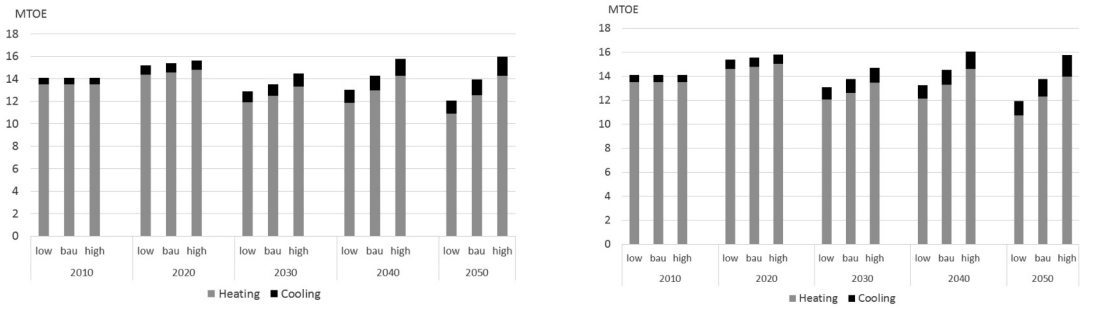


Fig. 6. Heating and cooling energy consumption (RCP4.5/8.5)

로 10.72, 12.31, 13.99 MTOE로 RCP 4.5 시나리오와 상당히 유사한 모습을 보인다. 이는 2050년까지 기후시나리오 간의 차이가 거의 나타나지 않고, 기본적으로 같은 사회경제 시나리오를 바탕으로 두고 있기 때문이다.

반면 냉방 에너지 사용량의 경우 난방 에너지에 비해 차지하는 비중은 적지만 기온상승의 영향으로 인해 계속해서 증가하는 모습을 볼 수 있다. RCP 4.5 시나리오의 저성장, BAU, 고성장 시나리오에서 에너지사용량은 2010년에 0.61 MTOE이지만 2050년에는 각 각 1.15, 1.39, 1.70 MTOE로 증가하였다. 이는 난방 에너지 사용량과 유사하게 저성장에서 고성장 시나리오로 갈수록 증가 폭이 커지는 것을 알 수 있다. 난방 에너지와 마찬가지로 RCP 8.5 시나리오에서도 2050년의 저성장, BAU, 고성장 시나리오 에너지 사용량은 1.22, 1.46, 1.78 MTOE로 RCP 4.5 시나리오와 모두 비슷한 경향을 보인다.

IV. 결 론

본 연구에서는 기후변화와 사회경제적 요소를 고려하여 가정 부문의 냉난방 에너지 사용량을 예측하였다. 에너지 사용량 예측을 위해 서비스 수요를 산정하고, 또한 서비스 수요를 산정하기 위한 기초자료로 가구수, 가구당 GDP, 냉 · 난방도일 등을 작성하였다. 도출된 결과를 바탕으로 기후변화와 사회경제적 시나리오에 따른 가정 부문의 냉난방 에너지 사용량 변화를 분석하였다.

예측 결과 Wilbanks *et al.*(2008)의 전망대로 국내 가정 부문에서도 난방의 에너지 사용은 감소하고, 냉방의 에너지 사용은 증가하는 경향을 볼 수 있었다. 이는 기온상승의 영향이 작용하였을 것이다.

그러나 앞서 가정 부문의 냉난방 서비스 수요를 도출하였을 때 난방에 대한 서비스 수요는 전반적으로 증가하는 경향을 보였으나, 에너지 사용량에서는 고성장 시나리오를 제외한 두 시나리오에서 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. 일반적으로 수요와 그에 따른 사용량은 비례한다. 하지만 본 연구에서는 에너지 사용량 산정에 있어서 서비스 수요와의 경향이 일치하지 않는 것으로 나타났는데, 이는 기기 효율의 증가로 인한 것으로 보여진다. 또한 보일러를 기반으로 한 우리나라의 주거문화의 영향을 받은 것으로 보이며, 1인 가구의 증가로 인해 가구수가 증가함에 따른 영향을 받은 것으로 보인다.

반면 냉방에 대해서는 서비스 수요와 에너지 사용량 모두 증가하는 경향을 보였다. 냉방의 주된 에너지원은 전기 에너지이며, 기후 변화가 더욱 심화되는 장기적인 미래에는 냉방 수요의 증가로 인한 전기 사용량이 지금보다 더욱 증가할 것이다. 또한 냉방의 경우 주로 단기간에 많은 전력을 사용하므로 전력 피크 문제를 야기할 수도 있다.

본 연구의 결과로 나타난 2010년 가정 부문의 총 에너지 사용량은 21.9 MTOE로 에너지 총조사 보고서에서 제시한 2010년 가정 부문 에너지 사용량인 21.923 MTOE와 상당히 유사한 값이 나온 것을 확인할 수 있다. BAU 시나리오를 기준으로 도출된 냉난방 에너지는 약 14.1 MTOE로 가정 부문 총 에너지 사용량의 약 64%를 차지하고 있다. 따라서 가정 부

문에서의 냉난방 에너지 관리가 중요함을 알 수 있다.

본 연구를 통해 미래의 냉난방 에너지 사용량을 예측할 수 있었다. 그러나 도출된 결과가 어떤 요인에 의해 어느 정도 영향을 받은 것인지에 대해서는 알 수 없었다. 이는 차후 분석을 통해 밝혀낼 수 있을 것이다. 또한 에너지 사용량이 전국단위로 산정되었는데, 각 지역별로 기후특성과 지역 특성이 다르므로 이에 따른 에너지 사용 패턴 또한 달라질 것이다. 따라서 이러한 가정 부문의 특성상 전국 단위의 에너지 관리보다 지역 단위의 에너지 관리가 더 효율적일 것으로 생각한다. 그러나 본 연구에서는 분석 초기 단계에서부터 지역단위로 분석이 이루어지지 못했다는 한계점을 가진다. 이에 따라 향후 연구에서는 각 지역의 기후특성과 에너지 사용 패턴 특성을 고려하여 지역별로 에너지 사용량을 산정하는 연구가 진행되어야 할 것이다. 하지만 그럼에도 불구하고 본 연구 결과는 향후 가정 부문 에너지 수요관리에 있어서 대책 및 정책을 수립할 때, 정확한 수요 예측을 통해 블랙아웃을 방지하고, 예비 전력 및 에너지의 과다 추정을 방지하여 낭비되는 에너지로 인한 손실이 없도록 도움을 줄 수 있다. 이와 같이 기후변화 및 사회경제적인 변화를 고려하여 에너지 사용량을 예측하는 것은 미래에 좀 더 현실적인 방안을 제시하기 위한 참고자료로 사용될 수 있을 것이다.

사 사

이 연구는 “미래 동아시아 사회 · 경제 변화를 고려한 장 · 단기 체류 기후변화 유발물질 배출 특성 규명” 과제 및 “2015년도 BK21 플러스 사업(서울대학교 협동과정조경학 그린인프라 창조 인재 양성팀)”의 지원을 받아 수행된 연구임.

인용문헌

김유란, 홍원화, 서윤규, 전규엽. 2011. 공동주택 가족구성원별 전력소비성향에 관한 연구, 한국주거학회, 22(6), 43-50.

서동현. 2013. 대한민국 도시별 냉난방도일 산정 및 방법에 관한 연구, 한국태양에너지학회, 33(2), 198-201.

이경미, 백희정, 조천호. 2014. 한국의 미래 냉방도일과 난방도일 변화 전망, 기후연구, 9(1), 1-13.

이수지, 권보연, 정대호, 조경희, 김문석, 하승목, 김현아, 김별님, Masud MA, 이은일, 김용국. 2013. 기후변화 대응을 위한 RCP 시나리오 기반 국내 열지수와 불쾌지수 예측, 한국기상학회 대기, 23(2), 221-229.

이종욱, 위영민, 이재희, 주성관. 2011. 계절별 최대전력수요를 고려한 수요관리 프로그램 설계, 대한전기학회 하계학술대회. pp.272-273.

이학노, 한진현, 이명훈. 2010. 전력피크의 추정 및 예측에 대한 연구, 에너지경제연구, 9(2), 83-99.

임현진, 정수관, 원두환. 2013. 지구온난화가 가정부문 에너지 소비량에 미치는 영향 분석: 전력수요를 중심으로, 에너지경제연구, 12(2), 33-58.

정지훈, 김주홍, 김백민, 김재진, 유진호, 오종열. 2014. 미래 기후변화에 따른 가정 및 상업부문 에너지수요 변화 추정, 한국기상학회 대기, 24(4), 515-522.

한국전력거래소. 2012. 2011년 가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사, pp.22-52.

Bob D. 2014. BP Energy Outlook 2035, BP, February 2015, 9.

Christenson M, Manz H, Gyalistras D. 2006. Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland, Energy Conversion and Management, 47, 671-686.

Hekkenberg M, Moll HC, Schoot Uiterkamp AJM. 2009. Dynamic temperature dependence patterns in future energy demand models in the context of climate change, Energy, 34(11), 1797-1806.

Hibino G, Pandey R, Matsuoka Y, Kainuma M. 2003. A Guide to AIM/Enduse Model, Climate Policy Assessment, Springer Japan, pp.247-398.

IPCC. 2013. Summary for Policymakers, In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp.13-18.

Isaac M, D. Van Vuuren DP. 2009. Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change, Energy Policy, 37(2), 507-521.

Korea Energy Economics Institute. 2011. Energy Consumption Survey, Ministry of Knowledge Economy, pp.529-603.

Matzrakis A, Balafoutis C. 2004. Heating degree-days over Greece as an index of energy consumption, International Journal of Climatology, 24, 1817-1828.

Schipper L, Meyers S. 1992. Energy Efficiency and Human Activity:Past Trends, Future Prospects, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp.53-69.

Wilbanks TJ, Bhatt V, Bilello DE, Bull SR, Ekmann J, Horak WC, Huang YJ, Levine MD, Schmalzer DK, Scott MJ. 2008. Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States, U.S. Climate Change Science Program, pp.7-26.

http://www.kma.go.kr/index.jsp

References

Bob D. 2014. BP Energy Outlook 2035, BP, February 2015, 9.

Christenson M, Manz H, Gyalistras D. 2006. Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland, Energy Conversion and Management, 47, 671-686.

Hekkenberg M, Moll HC, Schoot Uiterkamp AJM. 2009. Dynamic temperature dependence patterns in future energy demand models in the context of climate change, Energy, 34(11), 1797-1806.

Hibino G, Pandey R, Matsuoka Y, Kainuma M. 2003. A Guide to AIM/Enduse Model, Climate Policy Assessment, Springer Japan, 247-398.

IPCC. 2013. Summary for Policymakers, In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp.13-18.

Isaac M, D. Van Vuuren DP. 2009. Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change, Energy Policy, 37(2), 507-521.

Jeong J, Kim J, Kim B, Kim J. 2014. Estimation of Energy Use in Residential and Commercial Sectors Attributable to Future Climate Change, Atmosphere. Korean Meteorological Society, 24(4), 515-522.

Kim Y, Hong W, Seo Y, Jeon G. 2011. A Study on the Electricity Consumption Propensity by Household Members in Apartment Houses, Journal of the Korean Housing Association, 22(6), 43-50.

Korea Energy Economics Institute. 2011. Energy Consumption Survey, Ministry of Knowledge Economy, pp.529-603.

Korea Power Exchange, 2012, 2011 household

appliances penetration rate and power consumption behavior survey, pp.22-52.

Lee H, Han J, Yi M. 2010. Electricity Peak Equation: Estimation and Prediction, Korean Energy Economic Review, 9(2), 83-99.

Lee J, Wi Y, Lee J, Joo S. 2011. A Design of Demand Response Program in Consideration of Seasonal Peak Load, The Korean Institute of Electrical Engineers. pp.272-273.

Lee K, Baek H, Cho C. 2014. Future Projection of Changes in Cooling and Heating Degree Days in Korea, KU Climate Research Institute, 9(1), 1-13.

Lee S, Kwon B, Jung D, Jo K, Kim M, Ha S. 2013. Future Prediction of Heat and Discomfort Indices based on two RCP Scenarios, Atmosphere. Korean Meteorological Society, 23(2), 221-229.

Lim H, Jung S, Won D. 2013. An Analysis of the Impact of Global Warming on Residential Energy Consumption: Focused on the Case of Electricity Consumption, Korean Energy Economic Review, 12(2), 33-58.

Matzrakis A, Balafoutis C. 2004. Heating degree-days over Greece as an index of energy consumption. International Journal of Climatology, 24, 1817-1828.

Schipper L, Meyers S. 1992. Energy Efficiency and Human Activity:Past Trends, Future Prospects, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp.53-69.

Seo D. 2013. A Study on Heating and Cooling Degree-Days Calculation Methods for South Korean Cities, The Korean Solar Energy Society, 33(2), 198-201.

Wilbanks TJ, Bhatt V, Bilello DE, Bull SR, Ekmann J, Horak WC, Huang YJ, Levine MD, Schmalzer DK, Scott MJ. 2008. Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States, U.S. Climate Change Science Program, pp.7-26.

http://www.kma.go.kr/index.jsp

〈부록〉 냉난방도일 결과

Table 5. Heating and cooling degree days

	Heating degree days		Cooling degree days	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
2010	2683.614	2683.614	184.6967	184.6967
2015	2857.52	2961.766	169.3801	111.2978
2020	2517.607	2737.63	115.2845	67.4770
2025	2595.7	2562.858	164.6748	158.8397
2030	2748.824	2630.76	63.8663	191.1109
2035	2390.016	2558.748	273.6515	119.302
2040	2361.514	2342.493	218.4504	151.3942
2045	2534.906	2354.189	98.15979	255.0435
2050	2270.682	2257.399	222.2176	320.0787