

주거용 건물부문 태양열 기술 보급에 따른 누적 온실가스 감축 효과 분석

Cumulative GHG Reduction Impact Analysis by the Diffusion of Solar Thermal Energy Concerning Technologies for the Residential Sector

이동은* · 김승진* · 전의찬**†

*세종대학교 기후변화협동과정, **세종대학교 환경에너지융합학과
Rhee, Dong-eun*, Kim Seung Jin* and Jeon, Eui-Chan**

*Cooperate Course for Climate Change, Sejong University.,

**Department of Environment and Energy, Sejong University

ABSTRACT

A key driver for climate change caused by global average temperature rise is greenhouse gas cumulative emissions that stay for long term in the atmosphere. Although at the moment there is no GHG emission, global warming will continue owing to GHG cumulative emission. In this study, scenarios are developed based on two types of optimistic and conservative diffusion goal. There were a total of 6 alternatives scenarios. The objective of this study are to compare scenarios in terms of GHG cumulative emissions and alternative fuels. An object of analysis is the residential buildings and time frame of scenarios is set up by 2030. And this study uses the LEAP model that is a bottom-up energy model. In conclusion, It is important to set specific diffusion pathway for mitigating climate change virtually.

Key words : LEAP Model, Greenhouse Gas, Residential Sector

1. 서론

지구 평균 기온 상승에 따른 기후변화는 대기 중 장기간 체류하고 있는 온실가스의 영향을 많이 받는다. 즉, 장기적인 관점에서 볼 때 지구온난화의 주요 요인은 온실가스의 누적 배출량이다. 인간활동으로 인한 CO₂ 배출이 멈추어도 기후변화의 영향은 수 백 년 동안 지속될 것이며, 과거에 배출된 CO₂의 15~40% 이상이 1,000년 이상 대기 중에 남

아 있을 것이다(IPCC, 2013). IPCC 제 5차 평가보고서에 따르면 지구의 평균온도 상승 2 °C를 지키기 위해 탄소 1,000 GtC 배출이 필요하지만, 2011년에 이미 531 GtC을 방출되었다고 한다. 이에 따라 실질적인 기후변화 완화를 도모하기 위해서는 연간배출량뿐만 아니라, 누적배출량 효과가 중요하게 다뤄질 필요가 있다.

국가 온실가스 감축을 위한 여러 부문 중 건물부문은 최종에너지 소비에서 전체 직접 배출 중 17%

†Corresponding author : E-mail: ecjeon@sejong.ac.kr

의 책임이 있으며, 2050년까지 BAU는 2010년 대비 약 50% 가량 증가할 것이라고 예측한다(IEA, 2013). 건물 부문은 산업이나 수송에 비해 감축에 따른 산업 경쟁력에 미치는 영향이 낮고, 감축잠재량이 크기 때문에 국가 온실가스 감축 목표 달성에 주요 역할이 기대되고 있다. 이에 따라 정부는 2011년 건물부문의 온실가스를 2020년까지 BAU 대비 26.9% 감축하기로 목표를 설정하였고, 세부적으로는 가정부문 27.0%, 상업부문 26.7%를 감축하기로 하였다(GIR *et al.*, 2011). 주거건물의 온실가스 감축을 위해서는 가정 내의 용도별 에너지 소비 중 가장 높은 비중을 차지하는 난방 및 온수부문에 대한 화석연료의 소비를 줄여야 할 것이다. 이에 따라 히트 펌프, 태양열 시스템, 소형 열병합발전소는 장기적으로 중요한 역할을 맡게 될 기술로 주목되고 있지만, 투자비용이 높다는 경제적 단점 때문에 아직 충분히 보급되지 못하고 있다. 그 중에서도 태양열에너지원은 신재생 열분야로서 자원 부존량이 풍부하여 활성화 여지가 크에도 불구하고, 관련 정책의 미흡으로 활성화가 되지 못하고 있다(MOTIE, 2013). FIT(Feed in Tariff)와 RPS(Renewable Portfolio Standard)와 같은 정책은 전력분야의 보급제도이며, 신재생에너지 중에서도 태양광에 지원이 집중되고 있다. 이는 전력에너지와 열에너지 간 불균형을 초래하는 요인 중 하나로 나타나고

있다. 하지만 태양열에너지는 상대적으로 효율이 높고 경제성이 있기 때문에, 보급 가능성이 큰 신재생에너지 이용 설비로 볼 수 있다(Jeong *et al.*, 2012).

본 연구는 국내 주거용 건물을 대상으로 2030년까지 낙관적, 보수적 보급목표로 구분하여 경로가 다른 6가지 시나리오를 구성하고, 태양열에너지 보급경로에 따른 온실가스 누적배출량을 비교하는 한편 에너지 대체효과를 분석하였다. 실질적으로 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해서는 경로의 중요성을 부각시키고, 효율적인 재생에너지 보급 정책을 위한 의사 결정에 기여하고자 한다.

2. 분석 방법

2.1 연구 범위 및 절차

LEAP(Long-range Energy Alternatives Planning)¹⁾은 모형 구축에 앞서 Fig. 1에 제시된 ‘Basic Parameters’ 기능을 이용하여 연구의 분석범위(Scope)와 년도(Years)를 간단하게 설정할 수 있다. 본 연구는 에너지 수요와 온실가스 배출량 분석에 초점을 맞추고 있기 때문에 ‘Scope’ 탭에서 전환 및 1차 에너지원의 항목을 제외하였다. ‘Years’ 탭에서는 기준년도를 2011년도로 입력하고, 2012년부터 2030년까지 1년 단위로 분석하도록 설정하였다.

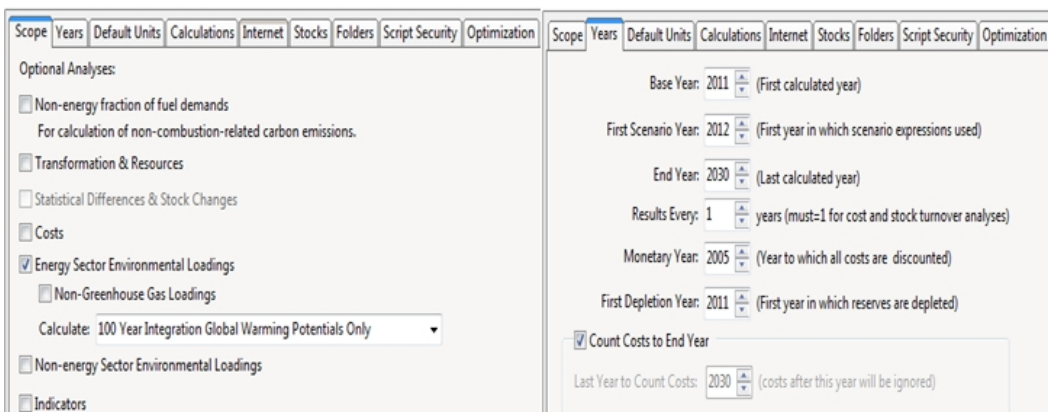


Fig. 1. Basic parameters data set.

1) SEI(2011).

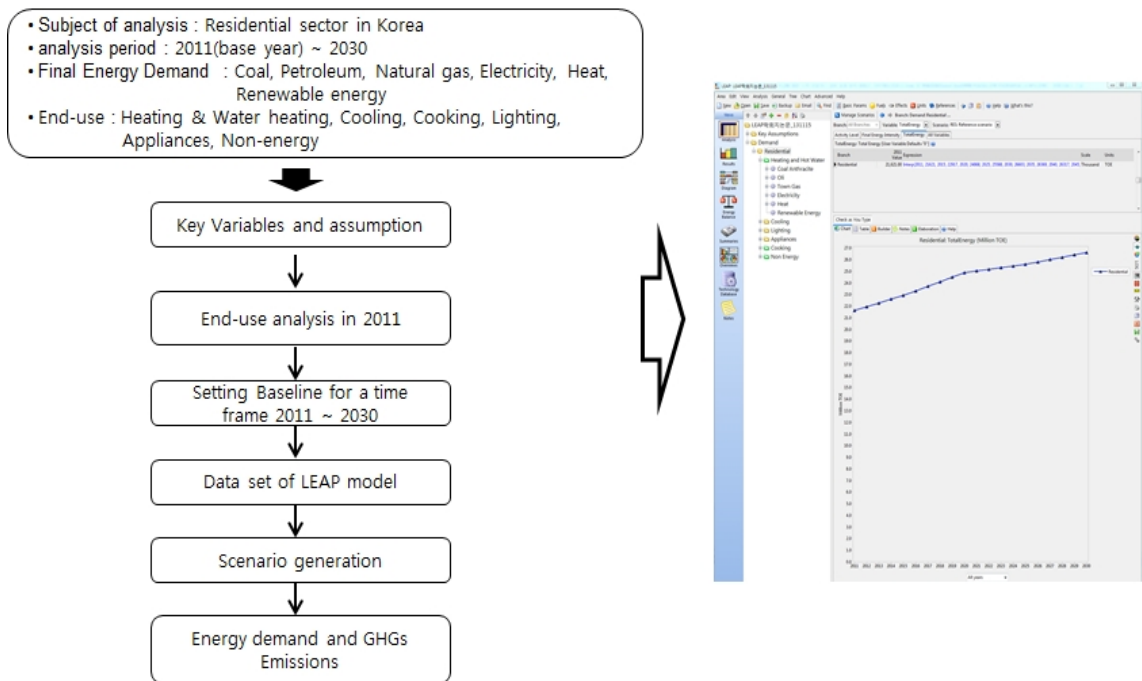


Fig. 2. Methodological framework of this study.

분석절차는 연구범위를 설정하고, 주요 활동자료를 선정하여 2011년을 기준으로 RES(Reference Energy System)를 구축하였다. RES를 기반으로 2011~2030년 기준 시나리오(baseline scenario)와 대안 시나리오를 구축하였다. 이러한 과정은 시뮬레이션 모형인 LEAP을 활용하여 에너지 수요 전망과 온실가스 배출량 전망 결과 확인이 가능하다.

2.2 LEAP 모형 구축

본 연구에서 활용된 LEAP은 에너지 수요와 공급의 양 측면에서 기술변화를 분석하여 에너지 수요, 에너지 전환 및 온실가스 배출량 평가, 시나리오별 비용 및 물리적 영향 평가가 가능한 상향식 분석 모형이다(Yoo *et al.*, 2012; Jo *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2013). 또한, LEAP은 외삽 및 성장률과 같은 기능을 사용하여 미래 에너지 수요와 관련된 배출량 추정이 가능하다는 것이 특징이다. LEAP 모형 구축 과정은 크게 2단계로 구분할 수 있는데, 첫 번째는 핵심가정(Key Assumptions) 모듈을 이용하

여 주요 활동자료를 입력하고, 두 번째는 상위부문과 하위부문, 최종 용도를 계층적으로 자료를 입력하여 에너지 수요 모듈을 구축하는 것이다(KIER, 2013). 본 연구에서 주거용 건물은 상위 부문에 해당하고, 하위부문은 에너지 사용용도인 난방 및 온수, 냉방, 조명, 취사, 가전기기, 비에너지로 구성하였다. 가장 하위부문에는 에너지원 또는 에너지이용 기술에 대한 필요한 자료를 입력하였다. 에너지 수요(Demand) 모듈이 만들어진 후에는 활동자료와 에너지원 단위, 연료 구성비, 총 에너지소비량을 입력할 수 있는 탭이 생성되어 에너지 수요 전망과 온실가스 배출량을 간편하게 계산할 수 있었다. 이처럼 LEAP 모형은 다른 상향식 모형에 비해 상대적으로 다루기가 쉽고, TED(The technology and environmental database)에 링크된 오염물질에 대한 배출계수를 사용할 수 있으며, 에너지사용에 대한 온실가스 배출량을 평가할 수 있다.

본 연구에서 LEAP 모형을 선택한 이유는 위에 언급한 바와 같이 분석대상에 따라 분석에 필요한 입력 자료와 구조를 신축적으로 조정하여 다른 모

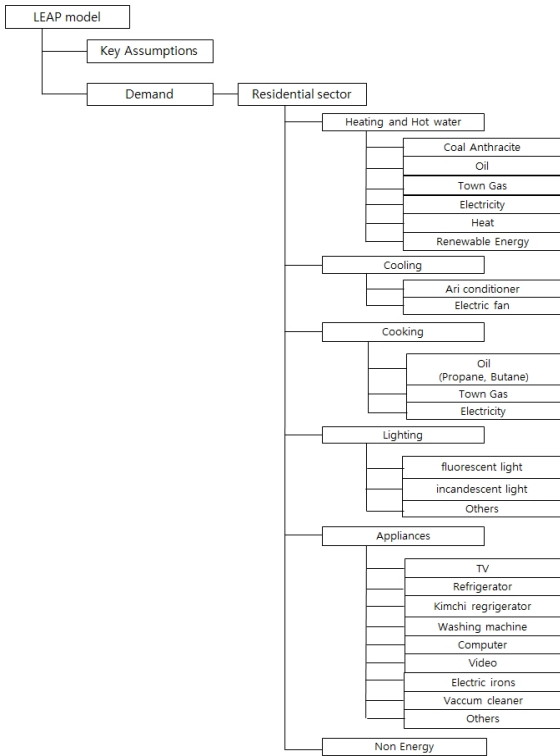


Fig. 3. LEAP model structure.

형에 비해 상대적으로 쉽게 모형을 구축할 수 있기 때문이다. 따라서 기술 보급률에 따른 시나리오 시물레이션이 가능하여 연구 결과를 도출하는데 LEAP 모형이 적합하다는 판단을 하였고, Fig. 3과 같

이 LEAP 모형 분석 구조를 구축하였다.

3. 시나리오 구축

3.1 기준 시나리오(Baseline Scenario)

3.1.1 기준에너지시스템(Reference Energy System, RES) 구축

본 연구는 2011년을 기준년도로 설정하여 RES를 구축하였다. RES를 작성하기 위해 2011년도 에너지밸런스표(KEEI, 2012)와 2010년도 용도별 에너지 소비를 조사한 에너지 총조사(MKE, 2012)를 활용하였다. 주거용 건물부문의 에너지 소비용도는 난방 및 온수, 냉방, 취사, 조명, 가전기기, 비에너지부문 6개로 구분하였고, 에너지원은 에너지통계연보(KEEI, 2012)의 Energy Balance 표에서 제시하고 있는 분류를 적용하여 석탄, 석유, 도시가스, 지역난방, 전력, 신재생에너지로 구분하였다. 2011년 주거용 건물부문의 용도별 에너지 소비량은 난방이 67.6%로 가장 많은 부분을 차지하며, 취사(14.8%), 기타 가전기기(10.5%), 조명(5%), 냉방(1.9%), 비에너지가(0.3%) 순으로 소비비중을 보이고 있다(Table 1 참고).

3.1.2 에너지 수요 기준 시나리오

Table 1. Useful energy service by energy sources, 2011

Unit : kTOE

	Heating and hot water	Cooling	Cooking	Lighting	Appliances	Non-energy
Coal	872					
Oil	3,503		174			58
Nature gas	8,477		1,649			
Electricity	173	420	1,382	1,088	2,270	
Heat	1,512					
Renewable energy	83					
Total	14,620 (67.6%)	420 (1.9%)	3,205 (14.8%)	1,088 (5.0%)	2,270 (10.5%)	58 (0.3%)

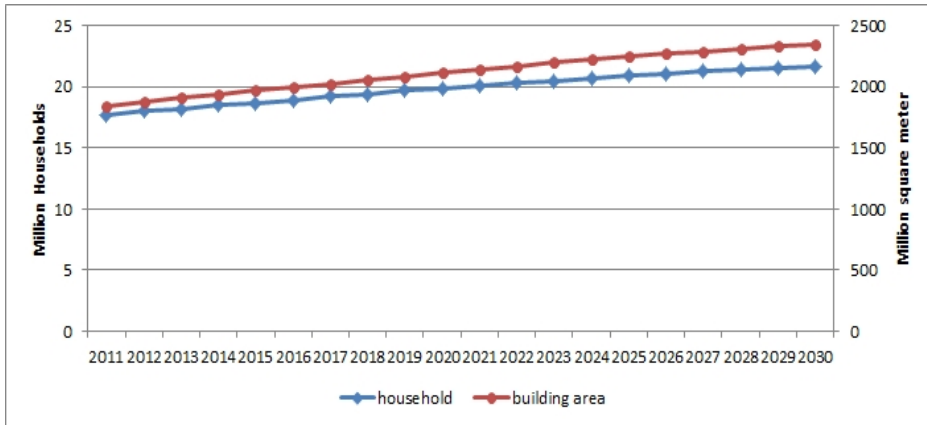


Fig. 4. Projected key variables-household size and floor space of residential building in Korea for the time period of 2011~2030.

Source : <http://kosis.kr/>, KEEI(2012)

에너지 수요 및 온실가스 배출량을 전망하기 위해 사용된 활동변수는 주로 인구, 소득, 가구 수, 주거 면적이 활용된다. 본 연구에서 주요 활동자료는 가구 수와 주거면적을 사용하고, 2030년까지 각각의 활동변수는 Fig. 4와 같이 증가하는 모습을 보인다. 가구수는 통계청 홈페이지에 제시된 장래 가구추계 자료를 사용하고, 주거 연면적은 KEEI (2011)에서 제시한 5년 단위 증가율을 적용하여 활용하였다. 난방 및 온수, 취사, 비에너지부문은 에너지를 대표 기술로 가정하여 연료의 특성치를 기술로 정의하고, 최종에너지 집약도를 주거면적당 에너지 사용량으로 계산하였다. 냉방, 조명, 기기부문의 경우는 가구수를 기준으로 한 기기의 보급률을 활동자료로 사용하고, 최종에너지 집약도는 기기당 에너지 사용량이다. 난방 및 온수, 취사, 비에너지부문은 연료 구성비를 적용하여 최종에너지 소계가 개별 연료의 비율별로 배분된다. 반면, 냉방, 조명, 가전기기 부문은 조명기기 및 가전기기 자료(KPE, 2011; KEEI, 2010)를 이용하여 보급대수와 에너지 집약도 자료를 이용하여 해당 부문의 에너지 소비량이 산정된다. 냉방부문은 에어컨과 선풍기를, 조명부문은 백열등, 형광등, 기타 등을, 기기부문은 TV, 냉장고, 김치냉장고, 세탁기, 컴퓨터, 비디오, 전기다리미, 진공청소기, 기타 가전제품 등

을 적용하였다.

기준시나리오는 대안 시나리오의 감축효과를 분석하기 위해서 구축할 필요가 있으며, 특정 정책 또는 신규 기술 보급 등 대안시나리오의 에너지 수요 또는 온실가스 배출량 등의 변화를 비교할 수 있는 대상이 된다. 이는 과거 추세가 지속되는 것으로 새로운 정책의 도입이 없는 것을 가정하고 있다. 건물부문 기준 시나리오를 작성하기 위해 2011년 RES를 기반으로 온실가스 감축 마스터플랜 수립 기반구축 연구(KEMC, 2011)에서 제시하고 있는 에너지원별 수요 증감율을 적용하였다(Table 2 참고). 에너지원별 수요를 전망하고, 그 수치를 사용하여 분석기간 동안의 용도별 에너지 수요량을 계산하고, 총 에너지 수요량을 전망하였다.

Table 3에 따르면 주거용 건물의 에너지 수요는 2011~2030년 동안 연평균증가율이 1%로 나타났고, 이는 다른 부문에 비하여 상대적으로 낮지만, 2030년까지 지속적으로 증가할 것으로 전망되었다. 과거 주거건물의 에너지원은 등유, 경유와 같은 석유의 비중이 높았으나, 현재는 감소 추세를 보이고 있다. 또한, 연탄 수요는 1990년대 이전까지는 주거용건물의 에너지 소비량에서 큰 비중을 차지하였으나, 2011년 기준 약 6%를 차지하며, 2030년에는 약 1% 미만을 차지할 전망이다. 현재 국내 주거건물의

Table 2. Energy demand rate of increase

Unit : %

Sector		2010~2020	2020~2030	2030~2040
Energy demand in fuel	Coal	-8.3	-10.6	-12.5
	Oil	-4	-4.6	-5.5
	Natural gas	2.7	1.3	0.1
	Electricity	2.8	0.9	-0.4
	Heat	3.6	0.9	0.9
	Renewable energy	2.7	5.3	5.6
Energy demand in end-use	Heating and hot water	1.6	0.7	-0.2
	Cooking	0.8	0.3	-0.1
	Cooling	4.8	3	1.8
	Lighting	1.6	-0.9	-3.1
	Appliances	1.7	1	0.6

Source : KEMCO(2011).

주요 에너지원은 도시가스 및 전력 등으로 구성되고 있으며, 열에너지는 점차 증가하고 있는 추세이다. 그 중에서 재생에너지원의 비중은 아직 미비하지만, 미래 주거용 건물에서 제로에너지 의무화, 그린홈 보급 등과 같은 주택부문 신재생에너지 보급 정책으로 재생에너지원의 비중이 증가될 것으로 예상하는 바이다.

3.2 보급 경로 시나리오(Alternative Scenarios)

주거용 건물부문에서 온실가스 감축의 주된 장

애물은 에너지 소비에 대한 소비자의 낮은 인식과 감축기술에 대한 높은 비용으로 기술의 보급이 느리다는 것이다. 낮은 기술의 보급을 해결하기 위한 핵심요인은 정부의 정책적 의지에 따른 보급제도가 강화되는 것으로 가정하였다. 태양열에너지 보급 목표는 제 3차 신·재생에너지 기술개발 및 이용보급 기본계획 수립방안 연구보고서(MKE, 2008)를 기준으로 2030년 수렴점을 설정하였다. 본 연구에서는 정부의 재생에너지 보급 사업 중 그린홈백만호 사업의 최종 목표 년도인 2020년 기점으로 태

Table 3. Energy demand forecasting in reference scenario

Unit : kTOE

Sector	2011	2015	2020	2025	2030
Heating and hot water	14,620	15,050	16,006	16,291	16,835
Cooling	420	559	706	848	977
Cooking	3,205	3,525	3,988	4,184	4,398
Lighting	1,088	1,082	1,065	1,039	998
Appliances	2,270	2,464	2,619	2,758	2,883
Non-Energy	58	49	40	32	25
Total energy demand in residential sector	21,661	22,729	24,424	25,152	26,116

Table 4. Penetration rate of solar heat energy by scenarios, 2015~2030

Unit : %

	Scenario	Level	2015	2020	2025	2030	2015~2030 AAGR
Optimistic	O_FA	Fast action	3.75	4.65	6.20	8.14	4.5
	O_GA	General action	2.42	4.37	6.35	8.14	6.8
	O_SA	Late action	0.51	1.25	3.22	8.14	15.5
Conservative	C_FA	Fast action	3.75	4.65	5.26	5.57	2.6
	C_GA	General action	1.74	3.09	4.46	5.57	6.6
	C_SA	Late action	0.47	1.05	2.46	5.57	13.8

양열에너지 보급 경로를 다르게 설정하여 대안시나리오를 구성하였다. 2030년까지 태양열에너지에 대해 최종 보급목표는 같지만, 경로가 다른 총 6가지 대안시나리오를 두 가지 성향으로 구분하여 구성하였다. 낙관적 보급 목표를 가진 3가지 낙관적 시나리오(Optimistic scenario)는 2030년까지 8.1%, 목표를 달성하지 못하는 3가지 보수적 시나리오(Conservative scenario)는 과거 추세를 반영하여 2030년까지 5.6%라는 보급량을 추정하였다. 2012 신재생에너지 백서에 제시된 태양열 공급량을 기준으로 과거 추세 자료를 입력하였고, 세부적인 경로는 초기보급이 빠른 시나리오(Fast action, FA), 지속적인 시나리오(General action, GA), 보급이 느린 시나리오(Slow action, SA)로 구분하였다.

본 연구는 재생에너지 보급 제도를 통해 난방 및 온수 부문에서 연료 대체가 나타나, 태양열 설비인 집열기를 지붕이나 옥상 등에 설치하고, 이를 통해 얻은 열량을 이용하여 온수를 생산하고, 난방에너지원으로 사용하는 기술이라고 제한하였다.

4. 모형 분석 결과

온실가스 배출량 산정을 위해 온실가스 배출계수는 LEAP 모형 기술·환경 DB에 입력되어 있는 IPCC Tier1 값을 기본적으로 활용한다. 전력의 온실가스 배출계수는 전력거래소에서 발표한 2011년도 사용단 배출계수(0.4585 tCO₂/MWh, 0.0052 kgCH₄/MWh, 0.0040 kgN₂O/MWh)를 적용하였고, 열의 배출계수는 2.6810 tCO₂eq/TOE(KICT, 2013)

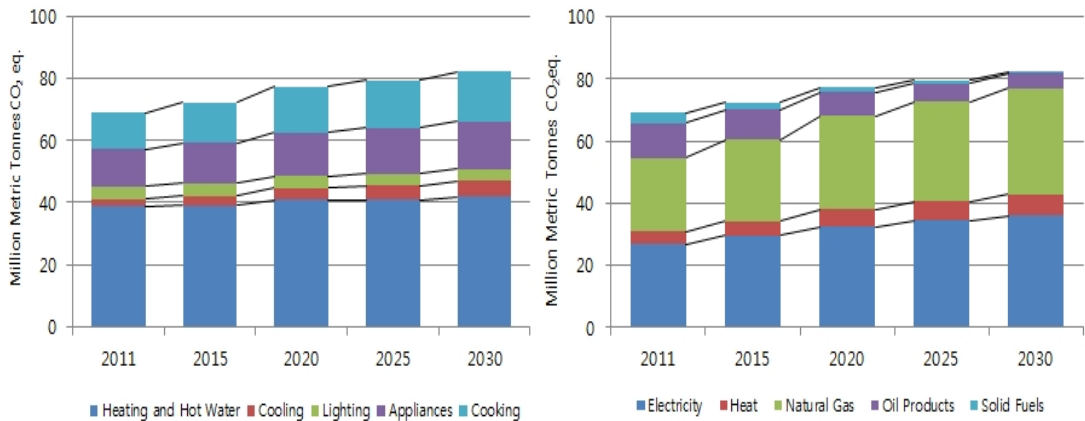


Fig. 5. Greenhouse-gas emissions by end-use and fuel category, reference scenario.

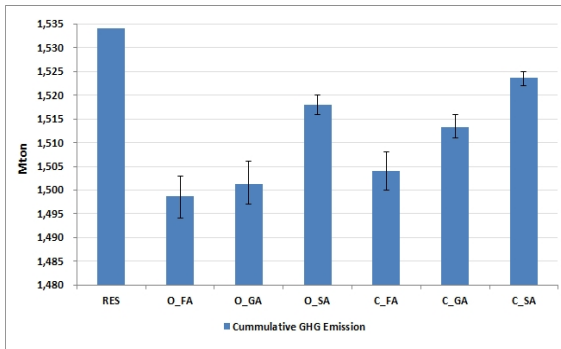


Fig. 6. Comparison of cumulative GHG emission, 2030.

값을 사용하였다. 온실가스 배출계수는 미래에도 2011년값과 동일하게 적용되는 것으로 가정하였다.

가정부문의 온실가스 배출량 전망 결과는 Fig. 4와 같으며, 기준시나리오의 2011년 배출량은 69.2 백만tonCO₂eq.가 배출되고, 2030년까지 82.5 백만tonCO₂eq. 배출될 것으로 전망되었다. 주거용 건물 부문 온실가스 배출량에서 가장 큰 비중을 차지하는 용도는 난방 및 온수이지만 그 증가량은 크지 않고, 오히려 냉방부문이 평균군 3%씩 빠르게 증가할 전망이다(Fig. 5 좌측 참고). 주거용 건물에서 전력 및 천연가스의 배출량은 증가하지만, 석탄 및 석유의 배출량은 감소할 전망이다(Fig. 5 우측 참고).

대안시나리오의 온실가스 배출량은 태양열에너지 보급경로에 따라 화석연료 소비를 대체를 목적으로 시나리오별 2030년 연간배출량은 동일하지만, 2030년까지 총 누적배출량은 차이를 보이고 있다. 보급 경로에 따른 누적 배출량은 초기 보급 속도가 가장 빠른 시나리오가 온실가스를 적게 배출하는 것으로 분석되었으며, 빠른 초기 보급 속도의 중요성을 강조한다. 또한, 열에너지원의 보급을 목표로 하였기 때문에 전력 대체효과는 분석에서 제외하였고, 화석에너지를 태양열에너지로 대체함으로써 나타는 감축효과는 석유, 열에너지, 도시가스 순으로 차이를 보였다(Fig. 6 참고).

5. 결론

본 연구에서는 상향식 에너지 분석 모형인 LE-

AP 모형을 이용하여 2030년까지 주거용 건물부문의 에너지 수요와 온실가스 배출량을 전망하고, 태양열에너지 보급 경로와 에너지원 대체에 따른 온실가스 누적효과를 비교하였다. 대안시나리오는 태양열에너지 보급 경로의 차이를 두고 크게 초기 보급이 빠른 시나리오, 지속적인 시나리오, 보급이 느린 시나리오로 구분하였다.

주거용 건물의 재생에너지 보급 경로에는 다양한 요인들이 영향을 미치지만, 본 연구에서는 정부의 의지와 보급정책에 기반하여 기술의 보급 경로가 달라진다고 설정하였다. 어떤 경로를 선택하고 어떤 에너지를 대체하느냐에 따라 온실가스 누적 감축효과는 달라진다. 미래 에너지 위기와 기후변화 문제에 대응하기 위해 온실가스 감축 목표가 설정되고 있지만, 문제의 원인을 파악하고 실질적인 기후변화를 해결하기 위해서는 감축 목표에 대한 경로를 설정하는 것이 중요할 것으로 판단된다. 본 연구의 시나리오 분석 결과, 기술의 빠른 초기 보급은 최종적으로 온실가스 누적 감축 효과가 크다는 결과를 도출할 수 있었다. 이는 학습효과에 의한 기술진보를 가져와 비용 감소라는 경제적 측면의 효과도 예상하는 바이다.

본 연구의 한계점은 태양열 기술만을 중점적으로 주거용 건물부문 에너지원 대체를 분석하였기 때문에 좀 더 다양한 신·재생 에너지 믹스에 따른 결과를 도출하기 어려웠다는 점이다. 또한, 본 연구는 기술 보급 속도에 따른 온실가스 배출 경로의 효율성만 고려하여 분석을 진행하였지만, 향후 보급 속도에 따른 비용측면에 대한 누적효과를 분석하는 연구도 필요할 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 한국연구재단 BK21 PLUS 사업의 지원을 통해 이루어진 것입니다(20130603).

References

- KEEI(Korea Energy Economics Institute). 2011. 2011 The prospect for the future energy.

- KEEI(Korea Energy Economics Institute). 2012 Year-book of energy statistics.
- KEMCO(Korea Energy Management Corporation), 2011. Study of master plan for greenhouse gas reduction.
- GIR(Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea), Ministry of Environment, Ministry of Knowledge Economy, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Ministry of Strategy and Finance, Presidential Committee on Green Growth. 2011. Roadmap for the implementation of low-carbon green community in 2020.
- MOTIE(Ministry of Trade, Industry and Energy). 2013. Research on promotion of renewable energy.
- Yoo JH, Park NB, Jo MH, Jeon EC. 2012. Analysis of greenhouse gas reduction potentials in a university using bottom-up model. *Climate Change Research* 3: 183-193.
- KEEI(Korea Energy Economics Institute). 2010. Study on the residential sector energy consumption retrospective estimates.
- KPE(Korea Power Exchange). 2011. Appliances penetration and household power consumption behavior survey report.
- Jeong YS, Mun SH, Yu KH. 2012. The greenhouse-gas mitigation potential analysis by distribution of solar thermal system in housing sector. *Journal of The Korean Solar Energy Society*, 32:32-39.
- Jo MH, Park NB, Jeon EC. 2013. Application of LEAP model to reduce GHG emissions from residential sector. *Climate Change Research* 4:211-219.
- MKE(Ministry of Knowledge Economy). 2008. The third basic plan for the renewable energy technology development, dissemination and use.
- MKE(Ministry of Knowledge Economy). 2012. 2011 Energy consumption survey.
- KICT(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology). 2013. Development of greenhouse gas forecast model in building sector using the MESSAGE model.
- KIER(Korea Institute of Energy Research). 2013. Development of energy technology analysis model in non-industrial sector using the LEAP model.
- IEA. 2013. Transition to sustainable buildings : Strategies and opportunities to 2050.
- IPCC. 2013. The 5th Assessment Report.
- Park NB, Yun SJ, Jeon EC. 2013. An analysis of long-term scenarios for the transition to renewable energy in the Korean electricity sector. *Energy Policy* 52:288-296.
- SEI, 2011. LEAP User Guide for Version 2011. <http://kosis.kr/>