

에너지시스템 분석 모형을 통한 국내 건물부문 온실가스 감축시나리오 분석

GHG Mitigation Scenario Analysis in Building Sector using Energy System Model

윤성권^{*†} · 정영선^{**} · 조철흥^{***} · 전의찬^{****}

Yun, Seong Gwon^{*†}, Jeong, Young Sun^{**}, Cho, Cheol Hung^{***}
and Jeon, Eui Chan^{****}

^{*}세종대학교 기후변화협동과정, ^{**}한국건설기술연구원,

^{***}세종대학교 기후변화센터, ^{****}세종대학교 환경에너지융합학과

^{*}Cooperate Course for Climate Change, Sejong University

^{**}Korea Institute of Construction Technology

^{***}Climate Change Research Center, Sejong University

^{****}Department of Environment and Energy, Sejong University

요 지

본 연구는 건물부문 에너지기기(조명, 가전기기, 냉난방, 공조, 취사 등) 효율개선 정책방향과 탄소세정책을 시나리오로 구성하여 장기 에너지 계획 및 비용최적화 분석이 가능한 MESSAGE 모형을 통해 에너지 소비량과 온실가스 감축잠재량, 총 비용을 분석하였다. 효율개선 시나리오는 2010년부터 2030년까지 기준시나리오 대비 약 5,600천 TOE(전력 2,303 천TOE)의 에너지 저감 효과가 발생하였고, 104 MtCO₂eq의 온실가스를 감축하는 것으로 나타났다. 그에 따른 총 비용은 2,706,993백 만원으로 전망된다. 탄소세적용 시나리오는 74 MtCO₂eq의 누적 온실가스 감축 효과가 발생하였고, 총 비용은 2,776,473백 만원으로 전망된다. 시나리오별 톤당 온실가스 감축 비용 범위는 -475~272원/tCO₂eq 사이로 나타나고, 효율개선 축시나리오가 온실가스 감축정책 방향으로 우선순위가 가장 높은 것으로 나타났다. 향후 건물부문의 온실가스 감축정책은 에너지 효율개선 정책을 우선적으로 펼쳐야 할 것으로 판단된다.

키워드 : 건물부문, 에너지시스템 분석 모형, 온실가스 감축시나리오

ABSTRACT

This study analyzed directions of the energy product efficiency improvement and Carbon Tax

[†] Corresponding author : E-mail: yooneffect@gmail.com

for the domestic building sector. In order to analyze GHG reduction potential and total cost, the cost optimization model MESSAGE was used. In the case of the “efficiency improvement scenario,” the cumulative potential GHG reduction amount - with respect to the “Reference scenario” - from 2010 to 2030 is forecast to be 104 MtCO₂eq, with a total projected cost of 2.706 trillion KRW. In the “carbon tax scenario,” a reduction effect of 74 MtCO₂eq in cumulative potential GHG reduction occurred, with a total projected cost of 2.776 trillion KRW. The range of per-ton GHG reduction cost for each scenario was seen to be approximately -475~272 won/tCO₂eq, and the “efficiency improvement scenario” showed as the highest in the order of priority, in terms of the GHG reduction policy direction. Regarding policies to reduce GHG emissions in the building sector, the energy efficiency improvement is deemed to be deployed first in the future.

Key words : Building Sector, Energy System Model, GHG Mitigation Scenario

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

과거 급속한 경제성장을 통한 무분별한 에너지 사용은 대기 중에 많은 온실가스를 배출하였고, 지구온난화 및 기후변화 현상을 야기하고 있다. 우리나라는 그에 대응하기 위하여 2020년까지 배출전망치(Business As Usual, BAU) 대비 30% 감축하는 목표를 설정하고 있다. 감축목표 달성을 위한 부문별 목표는 산업(18.2%), 발전(26.7%), 수송(34.3%), 건물(26.9%)로 나타난다(환경부, 2014). 특히 건물부문은 전체 최종에너지에서 차지하는 비중이 크게 나타나고, 상대적으로 감축잠재량이 높기 때문에 에너지 소비를 줄이는 데 효과적이다.¹⁾ 우리나라는 전체에서 건물이 차지하는 비중이 26%로 상대적으로 낮게 나타나지만, 에너지소비 패턴이 선진국의 행태로 변화하기 때문에 건물부문의 에너지 소비는 지속적으로 증가할 것으로 전망된다.

정부는 건물부문의 에너지 소비와 온실가스 감축을 위해 건축물 설계기준 강화, 건물효율등급, 건물 에너지소비총량제, 건물에너지관리시스템 등 여러가지 정책을 펼치고 있다. 최근 환

경부에서 마련한 국가 온실가스 감축 로드맵에서도 건물 에너지효율정책을 활성화하여 건물 부문 감축목표를 달성하는 계획을 발표하였다. 또한, 건물부문은 전력과 열 등 온실가스 간접배출량의 비중이 크기 때문에 탄소세제도와 같이 전환부문의 온실가스 감축을 위한 정책이 필요하다.

본 연구에서는 건물부문의 핵심적인 온실가스 감축정책으로 평가되는 효율개선 정책과 탄소세정책을 시나리오로 구성하여 에너지 소비량과 온실가스 감축잠재량을 분석하고, 그에 따른 총 비용을 분석하고자 한다. 분석 결과를 바탕으로 온실가스 감축을 위한 정책의 우선순위와 그에 대한 시사점을 제언하고자 한다.

1.2 연구범위 및 방법

국내 건물부문을 가정과 상업부문으로 구분하여 분석하였다. 가정부문의 용도는 난방 및 온수, 냉방, 조명, 가전기기, 취사로 구분하고, 상업부문은 난방 및 온수, 냉방, 조명, 동력 및 기타, 취사로 구분하였다. 최종에너지는 에너지통계연보의 에너지수급밸런스표와 동일하게 석탄, 석유, 도시가스, 전력, 열, 신재생에너지로

1) 2010년 기준 건물의 에너지 사용 비중은 영국(43%), 독일(42%), 일본(35%), 미국(32%)

구분하였다. 본 연구는 국내 건물부문 온실가스 감축정책을 대상으로 MESSAGE(Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental impacts) 모형을 이용해 시나리오별 온실가스 감축량과 비용을 분석하였다. MESSAGE 모형은 기술에 대한 상세한 자료를 바탕으로 환경적·정책적·기술적 제약 하에서 비용효과적인 공급방안을 분석하는 모형이고, 기기에 의한 효율개선, 관련 제도 적용 등 여러 상황을 반영한 모형 설계가 가능하다. 분석 기준년도는 2010년으로 설정하였고, 분석 기간은 2030년까지 5년 단위로 분석을 실시하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 선행연구 분석

모형을 통한 온실가스 감축잠재량 분석 연구는 장기 에너지 계획 분석이 가능한 상향식(bottom-up) 모형을 많이 이용한다. Jeong *et al.* (2012)은 LEAP 모형을 이용하여 국내 가정의 온실가스 감축잠재량을 분석하였고, 박년배 외(2013)는 LEAP 모형을 활용하여 비산업부문인 건물(가정, 상업, 공공·기타) 부문에 대한 장기 에너지 및 온실가스 저감잠재량을 분석할 수 있는 분석모형을 개발하였다. 조철홍 외(2013)는 MESSAGE 모형을 통해 국내 건물부문 온실가스 전망 모형을 구축하였다. 국외는 Page *et al.*(2010)은 MiniCAM(The Mini Climate Assessment Model) 모형을 이용하여 미국 건물부문 에너지 수요와 기술, 정책(None, 450ppm) 등을 시나리오로 구성하여 온실가스 감축잠재량을 분석하였다. Eom *et al.*(2012)은 GCAM(Global Change Assessment Model) 모형을 이용하여 중국 건물부문의 온실가스 감축잠재량과 감축정책에 따른 비용을 분석하였다.

2.2 건물부문 온실가스 감축정책

건물부문 온실가스 감축정책은 건물의 에너지효율 개선 정책, 건물 에너지기 기 효율 개선 정책, 건물 에너지 관리정책으로 구분할 수 있다. 건물 에너지효율 개선 정책은 「건물 에너지절약 설계기준 강화」, 「건물 에너지효율등급 인증제도」, 「친환경건축물 인증제도」 등 건물 자체가 에너지 절약이 가능한 시스템을 구축한다. 에너지기 기 효율 개선 정책은 「고효율에너지기자재인증제도」, 「에너지소비효율등급표시제도」 등 건물 내 기기의 에너지 투입 대비 산출 효율을 개선하여 에너지 소비를 저감하는 것을 목표로 한다. 마지막으로 에너지관리 정책은 「건물에너지관리시스템」, 「에너지소비총량제」 등 건물 내 주요 설비를 효율적으로 관리하여 에너지 낭비를 줄이는 것을 목표로 한다.

3. 온실가스 감축모형 구축

3.1 MESSAGE 모형 소개

MESSAGE(Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental impacts) 모형(Messner and Strubegger, 1995)은 상향식 에너지 시스템 모형으로 에너지 정책 분석 및 계획, 중장기 온실가스 감축 목표치 산정 등에 널리 사용하고 있다(Nakićenović *et al.*, 1998; Nakicenovic and Swart, 2000; Metz, 2001; Metz, 2007; Riahi *et al.*, 2011; GEA, 2012). MESSAGE 모형은 주어진 제약조건을 충족시키면서 최적의 에너지공급계획을 도출하는 것을 주요 목적으로 하고 있으며, 기본적으로 최적화 이론의 가장 기본적인 모형인 선형계획법(Linear Programming method)에 기반을 두고 있다(환경부, 2012). 에너지시스템의 틀인 기준에너지 시스템(RES: Reference Energy System)을 구축하고, 에너지 수요, 외부 제약조건, 각 기술에 대한 특성치(비용, 효율, 이용률 등)를 필요로 한다.

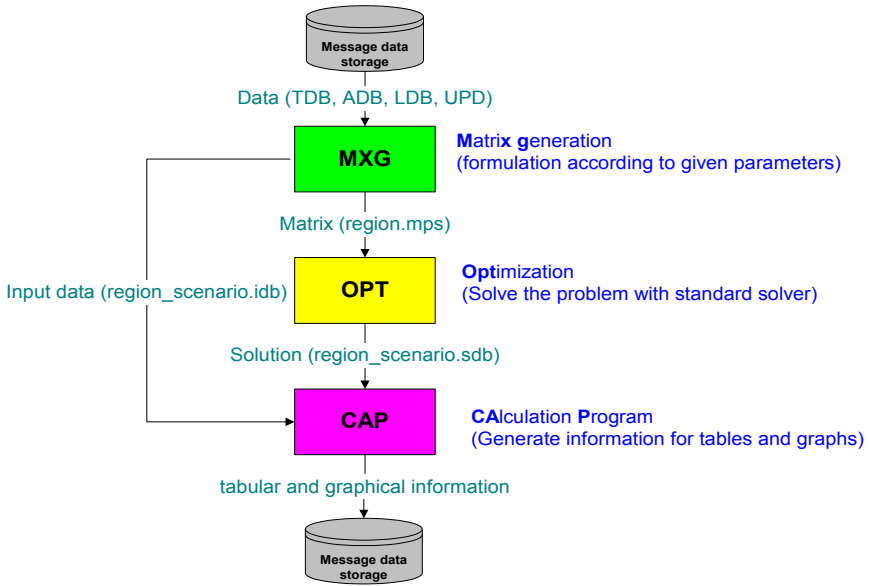


Fig. 1. MESSAGE flow.
Source: IAEA(2007)

Fig. 1은 MESSAGE모형의 작동 절차와 단계를 흐름도로 나타낸 것이다. 첫 번째 단계는 모형을 조사하고자 하는 에너지 시스템의 경계

와 구조를 정의하고, 에너지원과 에너지기술의 특성에 대한 정량적 데이터를 입력하는 단계이다. 두 번째는 첫 번째 단계에서 입력된 데이

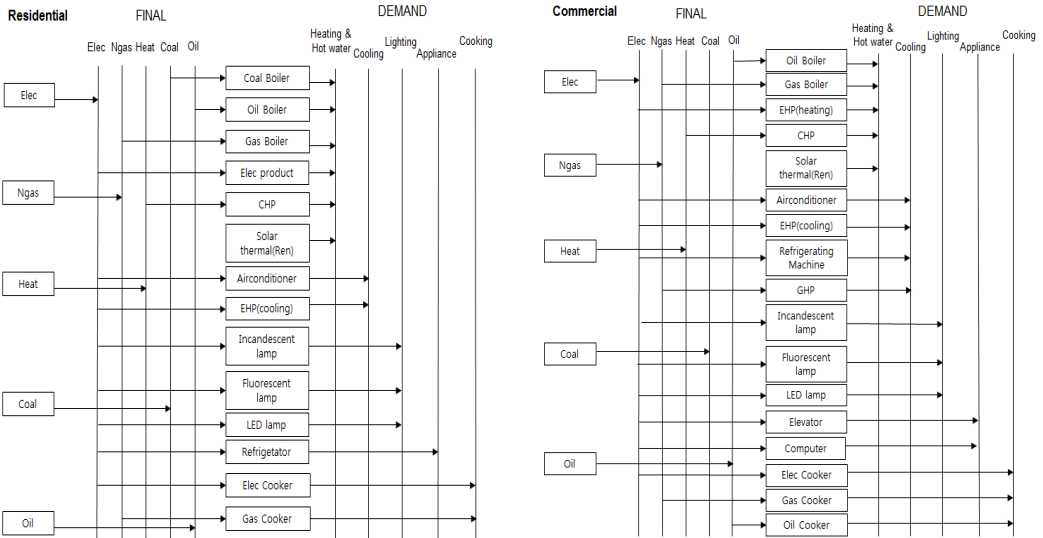


Fig. 2. Building sector RES(message model).

터들이 MXG(Matrix Generator)라는 프로그램을 통해 수학적 행렬식으로 전환되는 단계이다. 세 번째 단계는 행렬식으로 전환된 수학적 선형 공식을 OPT(Optimization) 프로그램으로 풀어

최소 비용의 해를 구하는 과정이다. 마지막 단계는 세 번째 단계에서 구해진 모형의 결과를 CAP(Calculation Program)을 통해 표와 그래프로 보여주는 과정이다.

Table 1. Technical information

		Relative efficiency	Lifetime (year)	Investment cost (1,000 KRW/TOE)	O&M* cost (1,000 KRW/TOE)
Residential	Oil boiler	85%	10	280	14
	Coal boiler	30%	10	221	11
	Gas boiler	80%	10	250	13
	Elec product	95%	3	327	16
	CHP (Combined Heat and Power)	-	-	-	-
	Ren(Solar thermal)	50%	10	7,000	350
	Air conditioner	3.44 COP**	6	667	33
	Incandescent lamp	14L/W***	1,000h	10	1
	Fluorescent lamp	60L/W	12,000h	15	1
	LED lamp	90L/W	50,000h	100	5
	Appliance(refrigerator)	-	10	900	45
	Elec cooker	-	7	216	11
	Gas cooker(gas range)	-	7	588	29
Commercial	Commercial oil boiler	85%	10	2,000	100
	Commercial gas boiler	80%	10	3,800	190
	Electric heat pump (heating)	3.41 COP	10	567	28
	Electric heat pump (cooling)	3.41 COP	10	567	28
	Refrigerating machine	4.7 COP	15	456	23
	GHP(Gas Heat Pump)	1.0 COP	15	1,000	50
	Power(elevator)	-	-	-	-
	Oil cooker	-	10	283	14

* O&M(Operation and Maintenance).

** COP(Coefficient of Performance).

*** L/W(Lumen/Watt).

Source : 환경부(2012), 전력거래소(2011), 산업통상자원부 홈페이지 재구성.

MESSAGE 모형에 입력하기 위한 건물부문 RES는 Fig. 2와 같다. 각 용도별로 보급비중이 높은 기술을 대표기술로 선택하였다. 즉, 난방 및 온수에서 석탄과 석유, 도시가스는 각각 연탄보일러, 등유보일러, 가스보일러를 대표 기술로 선택하였고, 전기제품과 신재생을 이용한 난방기술은 보급이 많이 된 전기장판과 태양열온수기를 대표 기술로 선택하였다.

3.2 건물부문 MESSAGE 모형 구축 및 기술 특성치

건물부문의 기술 특성은 Table 1과 같다. 각 기술은 고유단위로 작성하였고, 기술에 따른 효율은 용도에 맞게 상대적으로 적용하였다. IEA(2011 a), IEA(2012), Thomas, D(2010)에서 기술에 따른 운영·유지비를 투자비의 1~8% 내외로 설정한 것을 참고하여 본 연구에서는 5%로 가정하였다. 주요 기기의 누적설비용량은 환경부(2012)의 가정상업분야 기술 DB 결과를 바탕으로 구성하였다.

3.3 기준시나리오

기준시나리오는 시간의 흐름에 따라 자연적인 효율개선이 발생하지만, 온실가스 감축을 위한 추가적인 정책은 고려하지 않은 시나리오이다. 주요 전제는 다음과 같다. 기준년도 이후 발생하는 미래의 가치를 현재의 가치로 할인하기 위해서 5.0%의 할인율을 적용하였고, 에너지 수요는 제1차 국가에너지기본계획의 가정·상업부문 최종에너지 수요 전망(기준안)을 적용하였다. 가정과 상업부문의 에너지원별·용도별 에너지 수요는 2012 에너지통계연보(지식경제부, 2012b)의 2010년 에너지원별 최종에너지와 2011 에너지총조사보고서(지식경제부, 2012a)의 용도별 최종에너지 비중을 적용하여 산정하였다. 연료가격은 IEA(2011 b)의 연료 가격 전망을 이용하였고, 배출계수는 국가 온실가스 배

출계수(온실가스종합정보센터, 2013 b)를 이용하였다.

3.4 효율개선 시나리오

효율개선 시나리오에서는 에너지기기(조명, 가전기기, 냉난방, 공조, 취사 등)의 효율개선을 통한 온실가스 감축정책을 의미하고, 기준시나리오와 비교하여 적극적인 효율개선을 적용하였다. 2050년까지 에너지 기기효율이 평균 20% 개선되는 것으로 분석한 Page *et al*(2010) 연구를 참고하여 본 연구는 목표연도가 2030년이기 때문에 평균 10% 효율이 개선되는 것으로 가정하였고, 효율개선에 의한 추가 기술비용은 국립환경과학원(2010)의 연간균등비용(투자비용+운영·유지비용)을 적용하였다. 효율과 투자비는 기준년도 이후 선형적으로 증가하여 2030년에 해당 값을 달성하는 것으로 가정하였다. 효율개선 시나리오의 효율과 투자비는 Table 2와 같다.

3.5 탄소세적용 시나리오

국내의 경우, 다른 에너지원에 비해 전력가격이 낮게 나타나는 이유는 에너지가격에서 세금이 차지하는 비중이 다르기 때문이다. 그래서 탄소세 적용을 통해 에너지원간 대체탄력성을 이용하여 온실가스를 감축한다. 탄소세 적용을 위한 온실가스 배출비용은 온실가스 배출계수와 탄소가격을 곱하여 도출하였다. 탄소가격은 SCC(2013)에서 할인율의 변동에 따라 13,000원~260,000원/tCO₂ 사이로 추정하고 있다. 본 연구에서는 탄소가격을 50,000원/tCO₂로 설정하였고, 2015년부터 적용하였다. 에너지원별 단위당 온실가스 배출비용에 2010년 에너지가격을 더해 탄소세 적용 후 에너지가격을 산출하였고, 2015년부터 탄소세가 적용되어 서서히 에너지원간 대체가 나타난다. 전력 CO₂e 배출계수는 전력거래소 2010년 사용단 기준이고, 열 CO₂e

Table 2. Efficiency and investment cost (1,000 KRW/TOE)

		2010		2030	
		Efficiency	Investment cost	Efficiency	Investment cost
Heating & hot water	Gas boiler	80%	250	90%	275
	Commercial gas boiler	80%	3,800	90%	4,180
	Electric heat pump (heating)	3.41COP	567	4.16COP	737
	Ren(solar thermal)	50%	7,000	65%	7,500
Cooling	Electric heat pump (cooling)	3.41COP	567	4.16COP	737
	Refrigerating machine	4.7COP	456	6.4COP	616
	GHP (Gas Heat Pump)	3.14COP	1,000	5.02COP	1,600
Lighting	LED lamp	90 L/W	100	120L/W	130

* COP(Coefficient of Performance).

** L/W(Lumen/Watt).

Source : 환경부(2012), Page *et al.*(2010) 재구성.

Table 3. Cost estimates of GHG emissions per unit of energy source

	GHG emission factor	GHG emissions costs*	GHG emissions costs
Elec	0.466(kgCO _{2eq} /kWh)	23(KRW/kWh)	268(1,000 KRW/TOE)
Oil	2.44(kgCO _{2eq} /L)	122(KRW/L)	139(1,000 KRW/TOE)
Ngas	2.23(kgCO _{2eq} /m ³)	112(KRW/m ³)	106(1,000 KRW/TOE)
Coal	1.855(kgCO _{2eq} /kg)	93(KRW/kg)	199(1,000 KRW/TOE)
Heat	1.813(kgCO _{2eq} /만 kcal)	91(KRW/만 kcal)	90(1,000 KRW/TOE)

* GHG emissions costs = Emission factor(tCO_{2e}/Unit) × 50,000(KRW/tCO₂).

배출계수는 SH공사 2010년 노원, 목동 열병합 발전소 배출계수 평균을 이용하였다. 에너지원 별 단위당 온실가스 배출비용 추정결과는 Table 3과 같다.

본 연구에서는 두 정책의 분석결과를 바탕으로 우선순위를 파악하는 데 목적이 있기 때문에 통합시나리오는 분석에서 제외하였다.

4. 시나리오 분석 결과

4.1 에너지 소비량

건물부문 에너지원별 최종에너지 전망은 Fig. 3과 같다. 기준시나리오에서는 2010년 37,390 천TOE에서 2030년 56,059 천TOE로 증가할 것으로 전망되고, 효율개선 시나리오에서는 2010

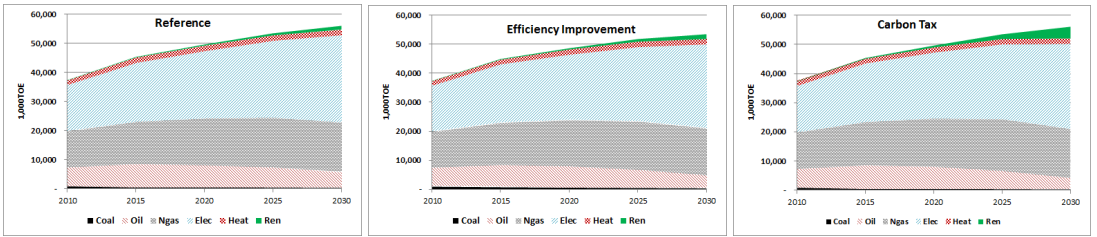


Fig. 3. Final energy outlook(2010~2030).

년 37,390 천TOE에서 2030년 53,479 천TOE로 증가할 것으로 전망된다. 탄소세적용 시나리오에서는 2010년 37,390 천TOE에서 2030년 56,094 천TOE로 증가할 것으로 전망된다.

효율개선 시나리오는 기준시나리오와 비교하여 석유의 비중이 감소하고, 전력과 재생에너지, 도시가스의 비중이 증가하는 것으로 나타났다. 가정부문의 가스보일러(난방)와 태양열(난방)에서의 사용량이 증가하였고, 상업부문의 경우 EHP(난방), 태양열(난방), 냉동기(냉방), GHP(냉방)에서 사용량이 증가하였다. 즉, 효율개선을 적용한 기술인 가스보일러, EHP, GHP, 냉동기, 태양열의 에너지 사용량이 증가한 것으로 분석되었다. 탄소세적용 시나리오는 석유와 전력의 비중이 감소하고, 도시가스와 재생에너지의 비중이 증가하는 것으로 나타났다. 탄소세적용 시나리오에서 재생에너지는 연료세가 없기 때문에 상대적 비용우위 현상이 나타날 수 있다. 그래서 재생에너지 보급률이 매년 20% 이상 증가할 수 없도록 제약을 주었다. 기술별로 상업부문의 GHP(냉방)와 가스취사에서 사용량이 증가하였고, 석유보일러(난방)와 EHP(냉방)에서 수요가 감소하였다.

4.2 온실가스 배출량

시나리오별 에너지 사용량과 원별 소비 비중을 통해 온실가스 감축잠재량을 분석하였다. 효율개선 시나리오는 2020년부터 온실가스 감축효과가 나타나기 시작했고, 2030년에 기준대비

약 10 MtCO₂eq의 온실가스 감축효과가 발생하였다. 2010~2030년까지 누적 온실가스 총 배출량은 4,154 MtCO₂eq로 나타났고, 같은 기간 기준대비 104 MtCO₂eq의 온실가스를 감축하였다. 탄소세적용 시나리오에서는 2030년에 기준대비 약 9 MtCO₂eq의 온실가스 감축효과가 발생하였다. 누적 온실가스 총 배출량은 4,184 MtCO₂eq로 나타났고, 같은 기간 기준대비 74 MtCO₂eq의 온실가스를 감축하였다.

4.3 비용

2010년부터 2030년까지 총 비용은 다음과 같다. 비용은 기술유형 별 투자비용(구입비용)과 운영·유지비용, 연료비용으로 구성된다. 효율개선에 의한 추가 기술비용은 국립환경과학원(2010) 연간균등비용(투자비용+운영·유지비용)을 적용하였다. 효율개선 시나리오에서는 장기적으로 연료를 적게 사용하기 때문에 기준시나리오보다 총 비용이 낮게 나타난다. 기준시나리오 대비 효율개선 시나리오의 톤당 온실가스 감축비용은 (-475원/tCO₂eq)으로 장기적으로 효율개선이 비용을 절약할 수 있는 것으로 나타났다. Mckinsey(2010)의 Global GHG Abatement Cost Curve에서도 주요 가전과 조명기기의 효율 향상은 비용효과적인 온실가스 감축수단이라고 설명하고 있다. 반면에 탄소세적용 시나리오의 총 비용은 기준시나리오 대비 약 0.7%(200억 원) 정도 증가하였고, 톤당 온실가스 감축비용은 (272원/tCO₂eq)으로 나타났다.

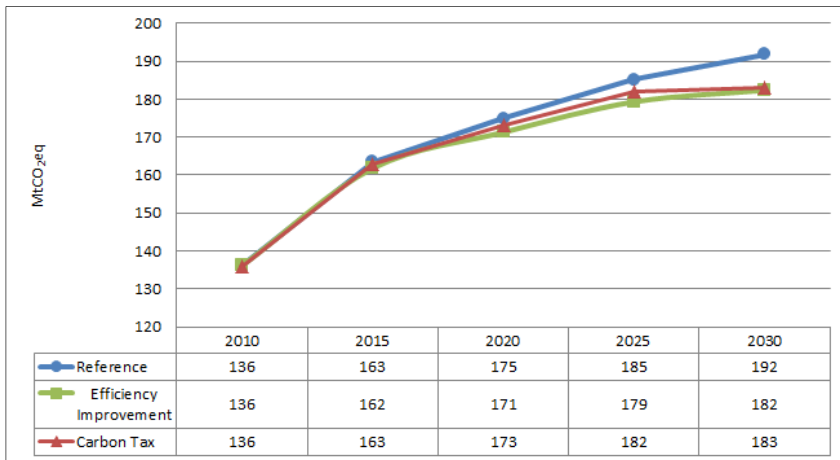


Fig. 4. Outlook of GHG emissions.

Table 4. Total cumulative cost (1,000,000 KRW)

	Reference scenario	Efficiency improvement scenario	Carbon tax scenario
Investment cost	376,940	379,210	396,660
O&M cost	888,068	894,467	888,263
Fuel cost	1,491,241	1,433,315	1,491,550
Total cost	2,756,249	2,706,993	2,776,473
Reduction cost	-	-475(KRW/tCO ₂ eq)	272(KRW/tCO ₂ eq)

5. 결론

본 연구는 국내 건물부문의 온실가스 감축정책을 시나리오로 구성하여 에너지 소비량과 온실가스 감축잠재량 그리고 비용분석을 위해 비용최적화 모형인 MESSAGE를 이용하였다. 두 정책을 비교한 결과, 효율개선 시나리오의 총비용이 약 700억 원 더 낮은 것으로 나타났고, 톤당 온실가스 감축비용은 장기적으로 비용을 절약할 수 있는 것으로 나타났다. 효율개선 시나리오는 냉난방 및 조명기기의 효율을 개선하여, 소비를 감소시키는 대표적인 에너지 수요관리정책이다. 분석결과에서도 효율개선 시나리오에서는 2010년부터 2030년까지 기준 시나리

오 대비 약 5,600천 TOE(전력 2,303천 TOE)의 에너지 저감 효과가 발생하였다. 탄소세적용 시나리오는 건물부문에서 간접배출량의 비중이 크기 때문에 적용하였지만, 현재의 수준보다 더 높은 수준의 탄소가격 혹은 배출원단위 개선 정책이 필요함을 시사한다.

본 연구에서 산정한 총 비용은 투자비용(구입비용)과 운영과정에 들어가는 운영·유지비용, 연료비용으로 구성된다. 에너지 공급부문과 다르게 수요부문은 모형에서 요구하는 기술에 따른 세부적인 비용을 구성하는 데 한계가 있다. 그래서 기술의 일반적인 시장가격을 가지고 최대한 합리적인 추정을 통해 모형에서 요구하는 비용을 만들어낸다. 향후 정부 부처에서 발간

하는 온실가스 감축기술 DB가 더 정교해진다 면 본 연구에서 요구하는 비용의 신뢰성을 더 끌어 올릴 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 총 비용 외에 추가적으로 요구되는 정책 및 사회적 비용을 고려한 분석이 요구된다.

사사

이 연구는 2014년도 한국건설기술연구원의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임(과제번호 : 2014-0047).

참고문헌

국립환경과학원, 2010, 온실가스 감축기술 분석 과 비용분석(상업 · 공공부문).
 박년배 외, 2013, LEAP 모형을 활용한 비산업 부문 에너지기술 분석모형 개발, 한국에너지 기술연구원.
 에너지경제연구원, 2010, 제5차 에너지이용합리 화기본계획 수립연구.
 온실가스종합정보센터, 2013a, 2010년 국가 온 실가스 배출량, 온실가스종합정보센터 보도 자료.
 온실가스종합정보센터, 2013b, 국가 온실가스 배출계수.
 전력거래소, 2011, 2011년 가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사 결과보고서.
 조철홍 외, 2013, MESSAGE를 활용한 건물부 문 온실가스 전망 모형 구축, 한국건설기술 연구원.
 환경부, 2012, 온실가스 배출 전망 및 감축잠재 량 예측 · 분석 · 평가 기술 개발.
 환경부, 2014, 국가 온실가스 감축. 2020년 로 드맵 마련, 환경부 보도자료.
 Eom, J., L. Clarke, S. Kim, P. Kyle, and P. Patel, 2012, China's building energy demand : Long-term implications from a detailed asse-

ssment, *Energy*, **46**, 405-419.

GEA, 2012. Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future, Cambridge University press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
 International Atomic Energy Agency, 2007. Model for energy supply strategy alternatives and their general environmental impacts user manual.
 International Energy Agency, 2011a, Energy-efficient buildings : Heating and cooling equipment, technology roadmap.
 International Energy Agency, 2011b, World energy outlook.
 International Energy Agency, 2012, Energy technology perspectives 2012.
 Jeong, Y., K. Kim, and K. Yu, 2012, Assessment of CO₂ emissions and reduction potential in residential buildings in South Korea, The Second International Conference on Building Energy and Environment, Proceedings.
 Mckinsey & Company, 2010, Impact of the financial crisis on carbon economics.
 Messner, S., and M. Strubegger, 1995: User's Guide for MESSAGE III. WP-95.
 Metz, B., 2001, Climate Change 2001: Mitigation: Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
 Metz, B., 2007. Climate Change 2007-Mitigation of Climate Change: Working group III Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press.
 Nakićenović, N., A. Grübler, and A. McDonald,

1998. *Global Energy Perspectives*, Cambridge University Press.
- Nakicenovic, N., and R. Swart, 2000. IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES). Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- Page, K., C. Leon, R. Fang, and J. Steven, 2010, Climate policy and the long-term evolution of the U.S. buildings sector, **The Energy Journal**, **31**, 145-172.
- Riahi, K., S. Rao, V. Krey, C. Cho, V. Chirkov, G. Fischer, G. Kindermann, N. Nakicenovic, and P. Rafaj, 2011. RCP 8.5-A Scenario of comparatively high greenhouse gas emissions, **Climatic Change** **109**, 33-57.
- Social Cost of Carbon Working Group, 2013, Technical Support Document : Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis.
- Thomas, D., B. Erin, and S. Elizabeth, 2010, Commercial and industrial CHP technology cost and performance data analysis for EIA.