

## GCAM을 이용한 건물부문 실내온도 규제의 효과 분석

백민호<sup>1)</sup> · Zulfikar Yurnaidi<sup>1)</sup> · 오재익<sup>1)</sup> · 김수덕<sup>1)\*</sup>

### Impact Analysis of Indoor Cooling Temperature Regulation for Buildings Sectors Using GCAM

Minho Baek, Zulfikar Yurnaidi, Jaekick Oh and Suduk Kim\*

(Received 25 November 2015; Final version Received 13 January 2016; Accepted 25 February 2016)

**Abstract :** This paper attempts to extend its impact analysis of indoor cooling temperature control to all types of buildings, which currently is only the obligation of public buildings under the Rational Energy Utilization Regulations, using Global Change Assessment Model (GCAM). Once the updates of building sector information for GCAM with its base year of 2005, model simulations are conducted for the cases of indoor temperature control of 18°C, 26°C, 28°C, respectively. Cumulative impacts expected up to 2030 since 2015 are 173.2 MTOE, USD 64.4Bil., 360.5 MTCO<sub>2</sub> for primary energy consumption reduction, energy import reduction and CO<sub>2</sub> emission reduction, respectively for the case of 28°C. Considering the fact that this amounts to 64.6% of total energy imports of 2013, it is recommended to reform the current indoor temperature regulation being extended to commercial buildings with properly designed incentive structure.

**Key words :** Indoor Cooling Temperature Regulation, Energy Census, GCAM (Global Change Assessment Model)

**요약 :** 본 연구는 공공기관 냉방온도 준수 의무를 전체 건물부문에 적용하였을 경우 예상되는 효과를 분석한다. 2005년 에너지총조사 건물부문 자료를 이용하여 기준년도 에너지소비량을 설정하고, 서울지역 시간대별 기온 데이터에 이용하여 18°C, 26°C, 28°C 기준의 연간 냉방도일을 산정하여 시나리오를 구성하여, Global Change Assessment Model (GCAM)을 사용하여 시뮬레이션하였다. 2015년부터 2030년까지 시나리오별 최대 누적 1차 에너지수입량 및 비용, 온실가스배출 저감량은 각각 173.2 MTOE, USD64.4Bil., 360.5 MTCO<sub>2</sub>이며, 상업용건물의 절감효과가 가장 큰 것을 확인하였다. 최대 누적비용 절감액이 2013년 에너지수입 총액의 64.6%에 달하는 규모라는 점에서, 에너지절감과 국제수지개선, 온실가스 저감을 위해 인센티브 구조를 제공함으로써 여름철 상업용 건물부문의 실내온도 규제정책을 에너지이용합리화의 한 방안으로 고려해 볼직하다.

**주요어 :** 건물실내온도 규제, 에너지총조사, GCAM (Global Change Assessment Model)

## 서론

우리나라 건물부문은 2012년 최종에너지 기준으로 42,914천 TOE를 사용하였으며, 이는 국가 에너지 소비량의 20.3%에 해당한다. 건물부문에서의 최종에너지 에너지 사용량비중은 가정부문, 상업부문, 공공부문에서 각각 50.1%, 38.7%, 11.1%를 점유하고 있다(KEEI, 2013). 특히 건물 에너지 소비 중 냉난방 에너지 사용량은 50% 이상을 차지하고 있으며, 가정부문의 에너지사용량은 감소하고

있는 반면, 상업·공공용 건물의 냉방용 에너지소비가 크게 증가하고 있다. 정부는 건물부문 에너지 소비 절약을 유도하기 위한 다양한 정책을 시행 중이며, 세계적으로도 건물부문은 에너지 공급, 수송, 산업, 건물 등 에너지수급과 관련한 부문 중에서 온실가스 배출량 저감 잠재력이 가장 큰 것으로 평가받고 있다(IPCC, 2007). Park 등(2010)에서는 국내의 하절기 전력절약정책을 중심으로 건물실내온도 규제정책을 알아보고, 규제의 비용편익을 분석하여 냉난방 온도를 1°C 조절할 경우, 공공기관 및 2,000 TOE이상의 건물에 대해 연간 212천 TOE(약 720억원)의 절감이 가능하다는 결과를 도출하였다.

건물부문에서 냉방에너지서비스 수요는 외기기온, 건물 효율과 냉방면적과 관련한 공학적 변수, 에너지서비스의 가격에 의해 결정되고, 냉방기준온도 상승에 의한 냉방에

1) 아주대학교 에너지시스템학과

\*Corresponding Author(김수덕)

E-mail; suduk@ajou.ac.kr

Address; Dept. of Energy Systems Research, Ajou University, Suwon, Korea

너지서비스 수요 감소의 효과는 최종에너지, 1차 에너지 및 스 변화와 이에 따른 에너지비용절감 및 온실가스 배출량 저감 등 영향을 주는 범위가 다양하므로, 통합평가 구조에서 분석해야한다. 냉난방도일과 건물부문 에너지사용량, 온실가스 배출량과 관련한 통합평가 모형을 이용한 최근의 연구는 다음과 같다. Zhou 등(2014)에서는 기후변화와 미국의 건물부문 에너지수요에 미치는 영향을 분석하였다. Eom 등(2012)에서는 중국 건물 부문의 장기적 온실가스 저감 효과에 대해 분석하였다. Yu 등(2014)에서는 중국을 동계, 하계 온도에 따라 지역을 4개로 구분하고 건물부문 에너지 사용량에 대한 장기효과를 분석하였다. Chaturvedi 등(2014)은 인도 건물부문 에너지정책의 장기효과를 분석하였다.

본 연구는 공공기관 냉방온도 규제기준이 전체 건물부문로 확대적용되는 경우를 가정, 이 때 예상되는 에너지 절감 효과를 분석한다. 선행연구에서는 건물부문을 주거용, 상업용으로 구분하고, 에너지서비스 수요는 난방, 냉방, 기타로 구분하였으나, 본 연구에서는 에너지종조사, 에너지통계연보 자료를 바탕으로 우리나라의 건물유형에 따라 주거용, 상업대형, 상업중소형, 공공용 등으로 구분한다. 또 상세 가전기기별 에너지서비스 추정결과를 활용하여 기준년도 데이터값을 완성한다. 완성된 기준년도 데이터값을 분석도구인 GCAM에 입력하여, 공공기관 에너지이용 합리

화 추진에 관한 규정 중 적정실내온도 준수 의무(MKE, 2011; MOTIE, 2014)가 전체 건물부문에 확대 적용되는 경우를 가정하여, 실내 냉방 기준온도 규제정책이 건물부문 에너지사용량에 미치는 효과를 분석해 본다. 이를 위해 건물부문 기준온도에 따른 냉방도일을 계산하고, 시나리오를 작성하여 에너지사용 및 온실가스 배출량 저감에 미치는 효과를 분석한다.

### 분석모형 및 자료

#### 분석모형

분석모형인 GCAM v.3.2는 세계의 에너지시스템을 14개 지역으로 구분하고, 경제-에너지-토지사용-기후시스템을 연결하여 세금, 보조금, 외생적 기술변화와 각종 규제 등의 조합이 에너지시스템, 토지사용, 기후에 미치는 영향을 통합평가하는 프로그램이다. 각 시스템의 수요는 인구, 국내총생산 등에 의해 부문별 활동량이 결정되며, 다양한 에너지 전환부문이 모형화되어 있다(Brenkert et al., 2003).

GCAM의 기준년도 데이터는 International Energy Agency (IEA) 에너지밸런스표를 원자료로 이용하여 작성되었다. 작성과정은 IEA 에너지밸런스표의 에너지 흐름(flow)과 에너지상품(product) 에너지원과 부문별로 합하여 사상(寫像)하면서 최종적으로 부문-에너지서비스-최종 에너지

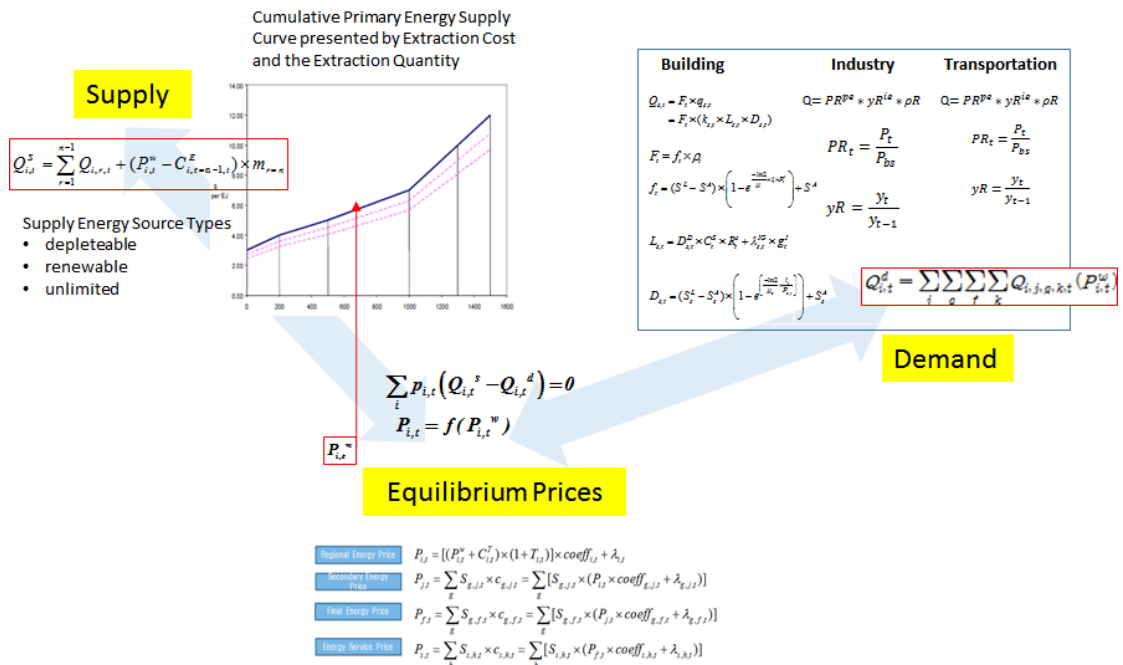


Fig. 1. Simplified Structure of GCAM Energy System.

월별 데이터를 제시한다(Kyle, 2010). Fig. 1은 건물, 산업, 수송부문을 최종에너지서비스 부문으로 모형화하고 있는 GCAM의 에너지시스템을 간략히 도식화해 본 것이다.<sup>1)</sup>

Sohn과 Kim(2015)에서는 우리나라 에너지경제연구원(KEEI)의 에너지밸런스표와 GCAM의 원자료인 IEA 에너지밸런스표를 비교하여 각종 부문과 발열량 등의 차이점을 지적하였다. 본 논문에서는 각종 자료의 차이점을 주지하고, GCAM의 기준년도 데이터를 기준으로 우리나라의 에너지소비 구조를 반영하여 재분류한다.

GCAM의 기준년도 건물부문 에너지 소비량 데이터와 우리나라 건물부문 에너지 소비량이 주어졌을 때, 우리나라의 에너지사용 구조를 반영한 에너지사용량( $\widehat{E}_n^j$ )은 GCAM 기준년도 데이터의 각 에너지원별 사용량( $E_n^G$ )에 우리나라의 에너지원별 사용량의 비중( $E_n^j / E_n^K$ )을 곱하여 식 (1)과 같이 각 부문별로 구한다. 여기서,  $n$ 은 에너지의 종류,  $i$ 는 에너지사용부문을 나타낸다.

$$\widehat{E}_n^j = (E_n^j / E_n^K) \times E_n^G \quad (1)$$

GCAM의 건물부문 모형은 에너지서비스 수요를 결정하는 사회경제적 변수의 관계를 나타낸 함수로 국내총생산(GDP), 1인당 소득과 건물수요의 관계를 나타낸 건물수요 함수, 건물바닥면적 수요함수에서 계산된 건물바닥면적과 에너지서비스 수요의 관계를 나타낸 에너지서비스 수요 함수 등으로 구성되어 있다. 에너지서비스 함수는 바닥면적의 가격 또는 에너지서비스의 가격에 의해 건물면적의 최적수준과 에너지서비스의 최적수준이 결정되는 포화함수이다. 건물부문 전체의 에너지서비스 수요( $Q_{s,t}$ )는 식 (2)에서 제시되는 바와 같이, 총 건물바닥 면적( $F_t$ )과 건물면적당 에너지서비스 수요( $q_{s,t}$ )의 곱으로 나타낼 수 있다. 이는 총 건물바닥 면적( $F_t$ ), 상수( $k_{s,t}$ ), 열부하 수요( $L_{s,t}$ ), 에너지서비스 밀도( $D_{s,t}$ )에 관한 식이다. 여기서  $s$ 는 에너지서비스의 용도(냉방, 난방, 기타)이며  $t$ 는 연도를 나타낸다. 모형에 관한 내용은 Baek 등(2015b), Lee와 Kim(2014), GCAM Building(2015)를 참고할 수 있다.

$$\begin{aligned} Q_{s,t} &= F_t \times q_{s,t} \\ &= F_t \times (k_{s,t} \times L_{s,t} \times D_{s,t}) \end{aligned} \quad (2)$$

1) 현재 컴파일된 모형과 간략한 운용메뉴얼은 다음에서 확인이 가능하다. [http://eml.ajou.ac.kr/eml/?page\\_id=692](http://eml.ajou.ac.kr/eml/?page_id=692)

## 데이터 및 시나리오

이 절에서는 우리나라 건물자료를 검토하여 건물유형-에너지원-에너지서비스별 에너지사용량을 분류 또는 추정하여 기준년도 데이터를 설정하고, 규제기준온도에 따른 냉난방도일 계상하여 시나리오를 구성하는 과정을 설명한다.

에너지통계연보의 에너지밸런스표는 건물부문을 주거용, 상업용, 공공용으로 구분하여 에너지원별 총 사용량을 제시하고 있으나, 세부 에너지서비스별로 구분할 수 없다. 반면, 에너지총조사의 가정부문, 상업/공공부문 조사데이터는 냉방, 난방, 온수, 취사와 가전 또는 사무기기 보유현황 및 규격 등을 포함한 에너지 이용설비, 취사연료와 용도별 총 연료사용량, 용도별 총 전력사용량 등의 현황 등을 포함하고 있다. 특히 가정부문 총조사 데이터는 가구별 주요 에너지 이용기기의 이용시간을 포함하고 있으나, 에너지 사용량 2,000 TOE 이상의 대형건물을 제외한 다른 건물들은 표본조사로 건물부문의 총 에너지 사용량을 알 수 없다. 최종에너지 수요량과 1차 에너지 수요량은 에너지서비스 수요에 의해 기인하여 그 수요량이 결정된다는 점을 상기하고, 에너지통계연보의 에너지밸런스표와 에너지총조사 자료를 보완하여 기준년도 건물유형별 에너지서비스를 산정한다.

2005년 건물유형-에너지서비스별 에너지사용량을 산정하기 위해 에너지경제연구원 측의 협조 하에 2005, 2008, 2011년 가정부문, 상업용 대형건물부문, 상업용 중소형 건물부문 에너지총조사의 원자료(MCIE, 2006; MKE, 2009; MKE, 2012)를 검토, 분석하였다. 원자료는 건물에서 사용하는 에너지를 연탄, 연료유, B-C유, 프로판, 도시가스, 전력, 지역난방, 바이오매스 등의 용도별 사용량 등을 제시하고 있다. 이 자료를 이용하여 건물유형별로 기준년도 에너지서비스별 에너지사용량을 분류한다. 특히 가전기기는 전력소비량에 대해 기기별 효율을 감안한 지표를 이용하여, 회귀분석을 통해 가전기기별 에너지서비스 수요를 추정하였다. 관련내용은 Lee와 Kim(2014)의 Table 4-7에 상세히 기술되어 있다.

시나리오는 우리나라의 건물 제한기준온도 현황을 검토하여 설정하였다. 우리나라의 냉난방온도 권장사항은 1991년 「에너지이용합리화법」에 의해 관련 근거가 신설되어 1992년 시행규칙에 대상 건축물의 범위와 제한기준온도(동절기: 18~20°C, 하절기: 26~28°C)가 의무사항으로 공고되었으며, 1993년에는 이 규제를 권장사항으로 완화하였다. 2005년에는 「공공기관 에너지이용합리화추진지침」에 제한기준온도(동절기: 20°C이하, 하절기: 26°C이상)를 재설정하였다. 현재 「공공기관 에너지이용합리화추진에 관한 규정」 제14조에는 적정실내온도 난방설비가 동시 평균 18°C이하, 냉방설비가 동시 평균 28°C 이상으

**Table 1.** Calculated Heating Degree Days (HDD) and Cooling Degree Days (CDD) from Base Temperature

Base Temperature (°C)		HDD (°C·day)	CDD (°C·day)	Scenario name
Heating	Cooling			
	28		954.8	CDD28
18	26	4582.3	1851.8	CDD26
	18		3259.8	CDD18

**Table 2.** Base-year Building Floorspace, Satiation Level of Building Floorspace, and Cooling Energy Service Demand by Building Sectors

Building Sectors	Base-year Floorspace (billion m <sup>2</sup> )	Satiation Level of Per Capita Floorspace (m <sup>2</sup> /person)	Satiation Level of Cooling Energy Service (Giga Joule/m <sup>2</sup> )
Commercial Large (CL)	0.1242	40	0.03
Commercial Small & Medium (CM)	0.5581	25	0.22
Public (PU)	0.1242	25	0.0907
Residential (RE)	1.049	51	0.005

**Table 3.** Socio-economic and Building Energy Related Input Data

Section	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Population (Thousand)	48,138	48,501	48,866	48,896	48,574	48,264	47,965	47,528	47,119	46,495
Labor Participation Rate	0.606	0.575	0.547	0.522	0.500	0.481	0.465	0.455	0.446	0.44
Shell Conductance	0.0586	0.0634	0.0466	0.040	0.040	0.035	0.0428	0.0418	0.0409	0.0402
Floor-Surface ratio	1.21			1.11			1.03			0.95

Source: GCAM 3.2 Data base

로 실내온도를 유지하되 몇 개의 예외사항을 두었다 (MOTIE, 2014).

본 연구에서는 제시된 모형을 이용하여, 우리나라의 실내냉방온도 규제의 장기적 효과를 추정하여 보고자 한다. 이를 위해 우선, 냉방도일과 난방도일을 계산한다. 기상청 (KMA)과 EPA는 일반적으로 일평균기온과 기준온도 18°C의 차이를 일별로 누적하여, 일평균기온이 기준온도 보다 높은 경우는 냉방도일로, 낮은 경우는 난방도일로 산정하는 방법을 제시하고 있다<sup>2)</sup>. 본 논문에서는 Zhou 등 (2013)<sup>3)</sup>의 방법을 적용하여, 2004년 1월 1일 1시부터 2008

년 12월 31일 24시까지 서울시 시간대별 온도자료를 이용하여 Table 1과 같이 난방도일과 냉방도일을 구하였다. 본 연구에서는 Table 1에서와 같이 CDD18은 18°C 기준의 냉방도일, CDD26은 26°C 기준의 냉방도일, CDD28은 28°C 기준의 냉방도일 등으로 정의하고, 냉방도일에 따른 시나리오도 이와 같은 이름으로 설정하였다.

Table 2와 Table 3에는 주요변수의 입력값을 제시하였다. 기준년도의 건물면적은 통계청 자료를 참고하였으며, 주거용건물의 포화면적은 GCAM의 기본값과 Eom 등 (2012)을 참고하여 국내 상업대형건물의 포화면적은 일반 상업용의 2배로 전제하고, 상업중소형, 공공용 등은 GCAM의 기준년도 상업용 건물면적의 국가별 건물 포화면적의 높은 값으로 반영하였다.

또한 에너지효율과 non-energy cost는 GCAM의 기본 입력값에서 동일한 에너지를 사용하는 에너지서비스 기술의 효율값을 차용하고, 건물부문의 열투과율과 건물바닥·외피 비율 등은 GCAM의 입력값을 사용하였다.

- 2) 냉방도일의 기준에 대해 KMA Encyclopedia(2015)에서는 섭씨 18도를 기준으로 제시하고 있으며, EPA(2015)는 화씨 65도를 제시하고 있는데, 이는 섭씨 18.3°C에 해당한다.
- 3) Zhou 등(2013)는 Maurer 등(2009)의 50년간(1950-1999)의 일별 기온자료를 이용하여, Pang(1997)을 참고하여, 월평균 온도( $T_m$ )와 표준편차( $\sigma_m$ )를 구한 뒤, 18°C를 중심으로 차이나는 온도의 분포에 대해 discrete density를 구하여 온도가 [ $T_m \pm 3\sigma_m$ ] 범위 내의 frequency를 모두 합하는 방식으로 난방 도일을 구하였다.

### 분석결과

이 장에서는 실내 냉방온도 규제기준에 따라 설정된 CDD18, CDD26, CDD28 등 세 가지 시나리오의 시물레이션 결과를 비교하여 규제온도의 전환효과를 분석한다. 우선 CDD18 시나리오를 특정한 실내온도 규제가 없는 기준 시나리오로 삼되, 이와 여타 시나리오 분석결과와의 차이를 각각 S1(CDD18과 CDD26의 차이), S2(CDD26과 CDD28의 차이), S3(CDD18과 CDD28의 차이, S1과 S2의 합과 같음)로 두고 최종에너지, 1차 에너지 사용량, 에너지 도입비용, 온실가스 배출에 미치는 영향 등을 분석한다. 최종에너지, 1차 에너지와 CO<sub>2</sub> 저감량의 누적치 산정은 5년 단위시물레이션 결과값을 선형으로 보간하여 계산하였다.

Fig. 2는 2005년 기준년도값을 근거로, 실내온도 규제가 없는 기준시나리오에 해당되는 CDD18의 2010, 2013년도의 시물레이션 결과 및 KEEI 에너지밸런스표 실적치, 그리고 2015년에 대한 시물레이션 결과를 그림으로 나타낸 것

이다. 최종에너지, 전력소비량 등의 차이는 GCAM이 사용하고 있는, 순발열량 기준의 IEA 에너지밸런스표값과 총발열량기준 KEEI 에너지밸런스가 이미 나타내고 있는 차이에 대한 Sohn과 Kim(2015)의 보고결과 범위 내에 있음을 보여주고 있다.

### 최종에너지

Fig 3은 각 시나리오별(CDD18, CDD26, CDD28) 최종에너지 사용량을 나타낸다. 2015년에서 2050년까지 전체 최종에너지는 연평균 1.43%씩 증가한다. 에너지원별 연평균 증가율은 석유 0.8%, 가스 1.78%, 전력 2.7% 등으로 최종에너지에서 석유의 비중이 점차 감소하고, 가스, 전력 등의 최종에너지 사용량은 증가한다. 2050년까지 최종에너지의 누적저감량은 S1에서 6.36 EJ(가스 1.28 EJ, 전력 5.00 EJ, 석유 0.08 EJ), S2에서 4.05 EJ(가스 0.82 EJ, 전력 3.19 EJ, 석유 0.05 EJ), S3에서 10.41 EJ(가스 2.10 EJ, 전력 8.19 EJ, 석유 0.31 EJ)로 나타났다. 여기서 S1은 냉방규제온도

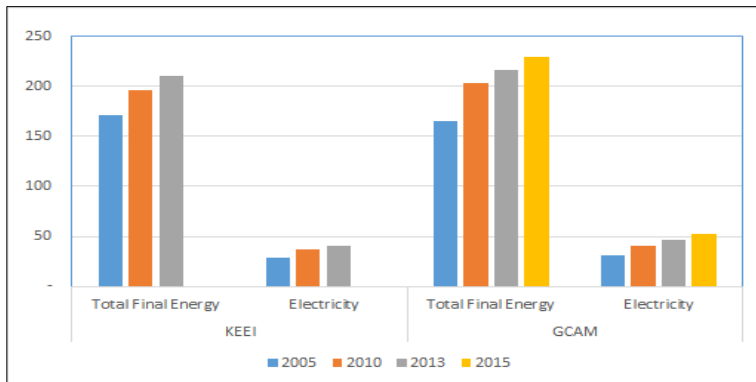


Fig. 2. Comparison of Reference Scenario Result and KEEI Energy Balance (Unit: MTOE)

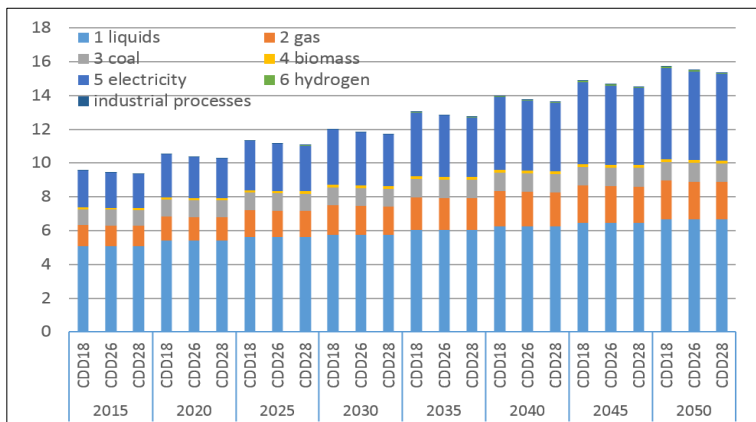


Fig. 3. Final Energy Consumption by Scenarios (Unit: EJ)

**Table 4.** Cumulative Energy Saving and Total Costs by Primary Energy

Scenarios	Primary Energy	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
S1	Crude oil	0.05 (1,463)	0.10 (2,766)	0.14 (3,954)	0.17 (5,021)	0.21 (6,028)	0.24 (6,991)	0.27 (7,914)
	Natural Gas	0.44 (5,943)	0.91 (12,174)	1.39 (18,595)	1.88 (25,109)	2.37 (31,685)	2.85 (38,178)	3.32 (44,414)
	Coal	0.80 (5,067)	1.66 (10,518)	2.58 (16,379)	3.58 (22,684)	4.66 (29,542)	5.83 (36,966)	7.08 (44,911)
	Nuclear	0.07 (93)	0.18 (232)	0.32 (410)	0.48 (622)	0.68 (871)	0.89 (1,147)	1.12 (1,435)
	Total	1.37 (12,566)	2.84 (25,690)	4.43 (39,338)	6.11 (53,437)	7.91 (68,127)	9.82 (83,282)	11.79 (98,675)
S2	Crude oil	0.03 (931)	0.06 (1,759)	0.09 (2,514)	0.11 (3,191)	0.13 (3,829)	0.15 (4,438)	0.17 (5,020)
	Natural Gas	0.28 (3,787)	0.58 (7,757)	0.89 (11,849)	1.20 (16,002)	1.51 (20,194)	1.82 (24,334)	2.12 (28,312)
	Coal	0.51 (3,228)	1.06 (6,701)	1.65 (10,435)	2.28 (14,453)	2.97 (18,822)	3.71 (23,550)	4.51 (28,611)
	Nuclear	0.05 (59)	0.12 (148)	0.20 (261)	0.31 (396)	0.43 (555)	0.57 (731)	0.71 (914)
	Total	0.87 (8,005)	1.81 (16,366)	2.82 (25,060)	3.89 (34,042)	5.04 (43,400)	6.25 (53,053)	7.51 (62,856)
S3	Crude oil	0.08 (2,395)	0.16 (4,525)	0.22 (6,468)	0.28 (8,213)	0.34 (9,857)	0.39 (11,429)	0.45 (12,933)
	Natural Gas	0.73 (9,729)	1.49 (19,931)	2.28 (30,444)	3.07 (41,111)	3.88 (51,879)	4.67 (62,513)	5.43 (72,726)
	Coal	1.31 (8,296)	2.71 (17,220)	4.23 (26,814)	5.85 (37,137)	7.62 (48,364)	9.54 (60,516)	11.59 (73,522)
	Nuclear	0.12 (152)	0.30 (380)	0.52 (672)	0.79 (1,019)	1.11 (1,426)	1.46 (1,878)	1.83 (2,349)
	Total	2.24 (20,571)	4.66 (42,056)	7.25 (64,398)	10.00 (87,479)	12.95 (111,527)	16.07 (136,335)	19.30 (161,531)

Unit: Exa Joule, Million US Dollar in the Parenthesis

를 18°C기준에서 26°C로, S2는 26°C기준에서 28°C로 각각 8°C 그리고 2°C 추가 증가시키는 것인데, 이에 따른 에너지절감 효과는 S1 대비 62.5~64.1% 정도의 수준을 보인다는 점이 주목할 만하다.

건물유형별 최종에너지 저감량<sup>4)</sup>은 상업중소형, 공공, 상업대형, 주거용 순으로 높게 나타나고, 2050년까지 각 건물별 최종에너지 누적저감량에 기여하는 에너지원별 비율은 전력 약 80%, 가스 약 20%, 그리고 석유가 약 1% 정도로 나타났다.

동 기간 에너지비용 저감액은 S1에서 164.5조원(가스, 전력 그리고 석유 각각 17.5, 144.0, 2.9조원), S2에서 104.8조원(가스, 전력 그리고 석유 각각 11.2, 91.7, 1.9조원), S3에서 269.3조원(가스, 전력 그리고 석유 각각 28.7, 235.7, 4.8조원)으로 나타났다.<sup>5)</sup> 이를 건물유형별로 살펴보면, S1

시나리오에서 상업대형 15.2조원, 상업중소 93.7조원, 공공 54.7조원, 주거 0.8조원, S2시나리오에서 상업대형 9.7조원, 상업중소 59.8조원, 공공 34.8조원, 주거 0.5조원, S3시나리오에서 상업대형 24.9조원, 상업중소 153.6조원, 공공 89.5조원, 주거 1.3조원 등이다.

### 1차 에너지

Table 4는 1차 에너지의 누적 수입저감량과 저감액을 표시하고 있다. 2050년까지 주요 1차 에너지 누적저감량은 S1에서 11.79 EJ, S2에서 7.51 EJ, S3에서 19.30 EJ이며 시

5) KEEI(2013)을 참고하여 냉방용 도시가스가격 13.67원/MJ, 보일러등유 1,394.1원/l(총발열량 8,790 kcal/l), 주거부문 주택용 저압 전력량 요금 57.90원/kWh, 상업중소형 일반용 전력(갑) 저압전력 여름철(7~8월 요금) 100.20원/kWh, 상업대형 및 공공용 일반용 전력(갑) 고압A 110.10원/kWh를 적용하여 시산하였다.

4) 상세 내용은 Baek 등(2015a)에서 확인할 수 있다.

**Table 5.** Cumulative Net CO<sub>2</sub> Emissions Mitigation by 2050(Unit: MTCO<sub>2</sub>)

Scenarios	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
CDD18	738.5	803.6	868.0	927.2	1020.4	1117.0	1222.5	1340.5
CDD26	717.6	781.5	844.4	902.4	993.9	1088.6	1192.6	1309.3
CDD28	704.3	767.4	829.3	886.6	976.9	1070.6	1173.6	1289.5
S1		106.7	220.2	340.7	468.2	604.5	749.3	901.2
S2		68.0	140.3	217.0	298.3	385.1	477.4	574.2
S3		174.7	360.5	557.7	766.4	989.6	1226.6	1475.4

나리오별 석탄, 천연가스, 원자력, 그리고 원유의 저감량은 S1의 경우, 각각 7.08, 3.32, 1.12, 0.27 EJ, S2의 경우, 각각 4.51, 2.12, 0.71, 0.17 EJ, 그리고 S3의 경우, 각각 11.59, 5.43, 1.83, 0.45 EJ이다. 2050년까지의 에너지 수입액저감 효과는 S1에서 USD98.7Bil., S2에서 USD62.9Bil., S3에서 USD161.5Bil.이다.<sup>6)</sup>

2015년에서 2050년까지 연평균 1차 에너지 증가율은 1.7%이다. 각 에너지원별로는 원유 약 0.4%, 천연가스 약 1.4%, 석탄 약 2.7% 원자력 약 3.0%의 증가율을 보인다. S1, S2, S3의 시뮬레이션 연도에서 건물의 냉방기준온도를 높였을 때 석탄, 가스, 원자력 순으로 그 사용량이 감소하였다. 이 때, 2050년까지 주요 1차 에너지 총 감소량의 약 60%는 석탄, 약 28%는 천연가스, 약 10%는 원자력, 약 2%는 원유에 기인한 것이다.

### 온실가스 배출량

2015년부터 2050년까지 온실가스 배출총량과 기준온도 변화(S1, S2, S3)에 의해 2050년까지 저감가능한 순 온실가스 배출량은 Table 5에 제시하였다.

모형의 산정결과를 바탕으로, 건물부문 최종에너지 소비량 저감에 의한 온실가스 배출 저감량은 발전부문의 CO<sub>2</sub> 배출량 감소에 의해 발생하는 간접 배출 저감량과 건물부문에서 가스, 석유 사용량 저감에 의해 발생하는 직접 배출 저감량 등으로 분리하여 계산하였다.<sup>7)</sup>

6) 에너지수입액은 환율변동과 무관하게 표시하기 위해 USD기준으로 표기하였으며, 여기서도 KEEI(2013)의 2012년 1차 에너지 수입액, 수입량을 이용하여 고유단위당 에너지도입비용을 계산하고, Exa Joule 단위의 GCAM 결과값을 각 에너지원별 고유단위로 변환 후 시산하였다.

7) 건물유형별, 에너지원별 온실가스 감축관련 상세 내용은 Back 등(2015a)를 참고할 수 있다.

## 결론 및 고찰

본 논문은 우리나라의 건물부문 냉방기준온도 추이를 바탕으로, 현재에는 공공부문의 건물에 적용되고 있는 실내온도규제가 향후 모든 유형의 건물에 적용된다는 가정 하에 시나리오를 설정하고, GCAM을 이용한 시뮬레이션 결과를 분석하여 2050년까지의 정책효과를 살펴보았다. 점검지표는 누적 에너지사용량 및 비용저감, 그리고 CO<sub>2</sub> 배출량 저감 등이다.

분석결과 건물의 냉방기준온도를 18°C기준에서 26°C로 상향조정하는 S1 시나리오에 비해, 26°C기준에서 28°C로 2°C를 추가 상향시키는 S2의 에너지절감 효과는 S1 대비 62.5~64.1% 정도의 수준을 보인다는 점을 확인하였다. 이 경우, 2050년까지의 누적저감량 및 저감액은 최종에너지 기준 4.05 EJ, 최종에너지 비용 104.8조원, 1차 에너지 7.51 EJ, 1차 에너지 수입비용 USD62.9Bil., 온실가스 누적 배출저감량 551.0 MTCO<sub>2</sub>로 나타났다. 실내온도규제를 18°C에서 28°C까지 상향하는 경우, 최종에너지 10.41 EJ, 최종에너지 비용 269.3조원, 1차 에너지 19.30 EJ, 1차 에너지 수입비용 USD161.5Bil., 온실가스 배출저감 1,416.0 MTCO<sub>2</sub>이 기대된다. 이러한 실내온도규제는 에너지사용 측면에서 냉방용 전력을 크게 절약할 수 있다는 점에서 하계 전력피크 저감에 일부 기여할 수 있을 것으로 보인다.

특히 주목할 점은 에너지이용합리화 정책에 따라 실내온도 규제의 대상이 되고 있는 공공부문의 효과는 전체의 28.3%만 차지하고 있고, 나머지는 상업용 대형건물 8.7%, 상업용 중소형 건물이 62.2% 그리고 주거용이 1% 등으로 나타난다는 것이다. 즉, 냉방온도규제의 효과는 상업용 중소형건물, 공공부문, 상업용 대형건물, 그리고 주거용 순으로 나타나고 주요 저감에너지는 전력형태로 나타난다는 점에서 현재 공공부문에만 의무적으로 적용되는 실내온도 규제가 다양하고 합리적인 방법으로 개선될 필요가 있다는 점을 지적할 수 있다.

공공부문 평가시 에너지이용합리화의 실적이 평가되고

있으나, 과도한 실내온도규제 등에 의한 업무효율저하 등 심각한 수준에 있다는 점에서 공공건물의 실내온도규제 정책을 인센티브 구조를 갖는 형태로 과감히 수정하고, 대신 상대적으로 높은 성과를 낼 수 있는 상업중소형 건물부문에 대해 인센티브구조를 통해 자발적 참여를 유도함으로써 여름철 에너지절감효과를 얻을 수 있는 제도가 마련되어야 할 것으로 보인다. 이러한 인센티브 구조의 한 사례가 실시간 요금제가 될 수 있다.

본 연구는 모형이 갖는 내재적 한계와 부족한 자료로 인해 여전히 개선되어야 할 부분이 많은 것이 사실이다. 우리나라의 인구, 건축물 유형별 건물면적, 건물별 에너지사용량 현황 및 소비자단계에서 사용하는 다양한 기기들의 에너지소비패턴 등에 대한 보다 상세한 정보가 필요하다. 또한 각 건축물 유형별 단열정도, 에너지사용밀도, 내부발열 효과의 측정 등 물리적인 측면의 정보도 필요하다. 현재보다 더 정교하게 미리 디자인 된 에너지총조사 통계자료의 확보 등, 관련 데이터를 통해 분석의 기준년도를 최근 년도로 수정함과 동시에 관련 상세자료를 update 하는 등의 후속연구가 지속적으로 필요해 보인다. 이러한 후속연구는, 예상되는 정부정책이 가져올 에너지부문의 효과를 정량적으로 제시함으로써, 관련 정책효과를 미리 평가하고, 예상되는 문제점 등을 사전에 점검하여 더 나은 정책방향 마련에 기초자료를 제공할 수 있다는 의의가 있다고 하겠다.

## References

- Baek, M.H., Yurnaidi, Z., Oh, J.I. and Kim, S.D., 2015a, "Impact Analysis of Indoor Temperature Regulation on Korean Building Sector," *Proceeding of 2015 Economics Joint Conference*, Korea Resource Economics Association, Yonsei University (Seoul), Daewoo Hall Annex B103, 24th February, pp. 147-177.
- Baek, M.H., Yurnaidi, Z., Oh, J.I. and Kim, S.D., 2015b, "Analyzing the Long-Term Impact of Energy Efficiency Improvement Programs on Large Commercial Buildings Using GCAM-EML," *Korean Energy Economic Review*, Vol. 14, No. 3, pp. 229-264.
- Brenkert, A.L., Smith, A.J., Kim, S.H. and Pitcher, H.M., 2003, *Model Documentation for the MiniCAM*, Pacific Northwest National Laboratory, WA, USA, pp. 1-69.
- Chaturvedi, V., Eom, J.Y., Clarke, L.E. and Shukla, P.R., 2014, "Long term building energy demand for India: Disaggregating end use energy services in an integrated assessment modeling framework," *Energy Policy*. Vol. 64, pp. 226-242.
- Eom, J., Kyle, G.P., Clarke, L.E., Patel, P.L. and Kim, S.H., 2012, *China's Building Energy Use: A Long-Term Perspective based on a Detailed Assessment*, Pacific Northwest National Laboratory, WA, USA, pp. 1-47.
- EPA (Environmental Protection Agency), 2015. 12. 20, <http://www3.epa.gov/climatechange/science/indicators/health-society/heating-cooling.html>.
- GCAM Buildings, 2015. 11. 20, <http://wiki.umd.edu/gcam/index.php/Buildings>.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007, *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.(eds.)]*. IPCC, Geneva, Switzerland, 104, pp. 55-62.
- KEEI (Korea Energy Economics Institute), 2013, *Yearbook of Energy Statistics*, Gyeonggi-Do. pp. 22-71.
- KMA (Korea Meteorological Administration) Encyclopedia, 2015. 12. 20, <http://web.kma.go.kr/communication/encyclopedia/list.jsp>.
- Kyle, P., 2010, *Documentation of GCAM Calibration (Internal Material)*, Pacific Northwest National Laboratory, WA, USA, pp. 1-16.
- Lee, S.I. and Kim, C.H., 2014, *A Unified System for Energy Conservation and Efficiency Program Evaluation: Assessing the Models for Energy Policy Analysis*, Korea Energy Economics Institute, Ulsan, pp. 1-107.
- Maurer, E.P., Adam, J.C. and Wood, A.W., 2009, Climate model based consensus on the hydrologic impacts of climate change to the Rio Lempa basin of Central America. *Hydrol Earth Syst Sci*, 13 pp. 183-194.
- MCIE (Ministry of Commerce Industry and Energy), 2006, *the 9th Edition(2005) Energy Consumption Survey*, Gyeonggi-Do, pp. 1-1067.
- MKE (Ministry of Knowledge Economy), 2009, *the 10th Edition (2008) Energy Consumption Survey*, Gyeonggi-Do, pp. 1-719.
- MKE (Ministry of Knowledge Economy), 2011, *Regulations on Energy Use Rationalization of Public Buildings*. MKE notification 2011-154, Gyunggi-do. pp. 1-14.
- MKE (Ministry of Knowledge Economy), 2012, *the 11th Edition (2011) Energy Consumption Survey*, Gyeonggi-Do, pp. 1-687.
- MOTIE (Ministry of Trade, Industry and Energy), 2014, *The 5th amendment of Regulations on Energy Use Rationalization of Public Buildings*, MOTIE Notification 2014-196, Gyunggi-do. pp. 1-32.
- Pang, T., 1997, *An Introduction to Computational Physics*, 2nd Ed., Cambridge University Press, New York, United States, pp. 1-402.



- Park, K.H., Lee, C.S. and Yang, J.E., 2010, *A Study on the Major Countries' Energy Saving Program in the Summer Season: Focused on the Building Indoor Temperature Regulations*, Korea Energy Economics Institute, Gyeonggi-Do. pp. 1-70.
- Sohn, J.C. and Kim, S.D., 2015, "Comparative Analyses of Korean Energy Balance Tables from KEEI and IEA (in 2009)," *Environmental and Resource Economics Review*, Vol. 24, No. 1. pp. 109-139.
- Yu, S., Eom, J.Y., Zhou, Y., Evans, M. and Clarke, L., 2014, "Scenarios of building energy demand for China with a detailed regional representation," *Energy*, Volume

67, pp. 284-297.

- Zhou, Y., Clarke, L., Eom, J.Y., Kyle, P., Patel, P., Kim, S.H., Dirks, J., Jensen, E., Liu, Y., Rice, J., Schmidt, L. and Seiple, T., 2014, "Modeling the effect of climate change on U.S. state-level buildings energy demands in an integrated assessment framework," *Applied Energy*, Vol. 113, pp. 1077-1088.
- Zhou, Y., Eom, J.Y. and Clarke, L., 2013, "The effect of global climate change, population distribution, and climate mitigation on building energy use in the U.S. and China," *Climatic Change*, Vol. 119, No. 3, pp. 979-992.



### 백민호

2010년 아주대학교 사회과학부 경제학과  
경제학사  
2012년 아주대학교 대학원 에너지시스템  
학과 경제학석사

현재 아주대학교 에너지시스템학과 박사과정수료  
(E-mail; minhobaek83@gmail.com)



### Zulfikar Yurnaidi

2008년 B. S. in Electrical Engineering, at  
Bandung Institute of Technology

현재 아주대학교 에너지시스템학과 석박사통합과정수료  
(E-mail; viczhoel@gmail.com)



### 오재익

1984년 서울대학교 제어계측공학과 공학  
학사  
1993년 M. S. in Computer and Information  
Science, University of Florida  
1996년 Ph. D. in Electrical and Computer  
Engineering, University of Florida

현재 사단법인 한국에너지모형연구회 대표  
아주대학교 에너지시스템학과 연구교수  
(E-mail; jaeickoh@ajou.ac.kr)



### 김수덕

1984년 서울대학교 경제학부 경제학사  
1993년 Ph.D. in Economics, Department  
of Economics, Rutgers, the State  
Univ. of NJ at New Brunswick

현재 아주대학교 에너지시스템학과 교수  
(E-mail; suduk@ajou.ac.kr)