

## LEAP 모형을 이용한 건축물의 온실가스 감축 시나리오 분석 - 서울세관건물 그린리모델링 시범사업을 중심으로 -

윤영중\* · 김민욱\* · 한 준\*\* · 전의찬\*\*\*\*

\*세종대학교 대학원 환경에너지융합학과, \*\*녹색기술센터, \*\*\*세종대학교 환경에너지공간융합학과

### Analysis of GHG Reduction Scenarios on Building using the LEAP Model - Seoul Main Customs Building Demonstration Project -

Yoon, Young Joong\*, Kim, Min Wook\*, Han, Jun\*\* and Jeon, Eui Chan\*\*\*\*

\*Dept. of Environment and Energy, Sejong University Graduate School, Seoul, Korea,

\*\*Green Technology Center, Seoul, Korea,

\*\*\*\*Dept. of Environment and Energy, Sejong University, Seoul, Korea

#### ABSTRACT

This study is intended to set a greenhouse gas emission scenario based on green remodeling pilot project (Annex building of Seoul Customs Office) using LEAP model, a long-term energy plan analysis model, to calculate the energy saving and greenhouse gas emission till year 2035 as well as to analyze the effect of electric power saving cost. Total 4 scenarios were made, Baseline scenario, assuming the past trend is to be maintained in the future, green remodeling scenario, reflecting actual green remodeling project of Seoul Customs Office, behavior improvement and renewable energy supply, and Total scenario. According to the analysis result, the energy demand in 2035 of Baseline scenario was 6.1% decreased from base year 2013, that of green remodeling scenario was 17.5%, that of behavior improvement and renewable energy supply scenario was 21.1% and that of total scenario was 27.3%. The greenhouse emission of base year 2013 was 878.2 tCO<sub>2</sub>eq, and it was expected 826.3 tCO<sub>2</sub>eq, approx. 5.9% reduced, in 2035 by Baseline scenario. the cumulative greenhouse gas emission saving of the analyzing period were -26.5 tCO<sub>2</sub>eq by green remodeling scenario, 2.8k tCO<sub>2</sub>eq by behavior improvement and renewable energy supply scenario, and 2.0k tCO<sub>2</sub>eq by total scenario. In addition the effect of electricity saving cost through energy saving has been estimated, and it was approx. 634 million won by green remodeling scenario and approx. 726 million won by behavior improvement and renewable energy supply scenario. So it is analyzed that of behavior improvement and renewable energy supply scenario would be approx. 12.7% higher than that of green remodeling scenario.

*Key words:* LEAP Model, Green Remodeling, GHG Reduction, Future Energy Demand

#### 1. 서 론

국내 건물부문의 에너지 소비는 2011년 기준 국가 전체 최종에너지 소비의 약 20.5%(42,102 천TOE)를 차지하고 있으며, 이는 1990년 대비 약 59%가 증가한 수치이다(에너지경제연구원, 2013). 2013년 ‘에너지와 기후변화에 관한 주요경제포럼 MEF(Major Economies Forum on Energy and Climate)’ 회의에서는 국가 온실가스 감축목표 달성에 있어서 건물부문

의 중요성에 대해 강조하고, UN기후협약의 성공적 이행과 청정에너지 공급 및 건물부문을 포함한 국가 온실가스 감축에 대한 공동의 목표와 기준을 설정하였다(조상규, 2013).

건물부문의 녹색건축 및 온실가스 감축 관련 사업은 그동안 산업통상자원부, 환경부 주축으로 시행되어 왔으나, 2010년 이후 그린홈 100만호 보급사업, 혁신도시 녹색시범사업 등 녹색건축물 조성 관련 사업이 증가하면서 국토교통부 주관 사업이 증가하고 있다. 2013년 2월에는 건물부문 온실가스 감

† Corresponding author: [ecjeon@sejong.ac.kr](mailto:ecjeon@sejong.ac.kr)

Received July 13, 2016 / Revised August 9, 2016(1st), August 31, 2016(2nd) / Accepted September 12, 2016

축의 핵심 정책으로 ‘녹색건축물 조성지원법’이 제정됨에 따라 녹색건축물 활성화를 위한 다양한 정책들이 발표되고 있다. 최근 국토교통부에는 건물부문 온실가스 감축 및 에너지효율화 전략의 하나인 ‘건축물 에너지 수요 절감을 위한 그린리모델링 활성화 방안’을 발표하였으며, 그린리모델링 창조센터에서는 에너지 절감비용으로 공사비용을 분할·상환할 수 있는 제도를 운영하고 있다.

한편, 우리나라에서는 녹색건축물 건설에 따른 당위성과 방향성에 대한 연구는 많은 반면, 기존건축물에 대한 온실가스 감축정책 도입효과 및 실증사업을 분석한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 국토교통부의 ‘그린리모델링 시범사업’ 중 하나인 ‘서울세관 별관동 그린리모델링 시범사업’을 대상으로, 장기에너지계획 분석모형(LEAP)을 이용하여 에너지 절감 및 온실가스 감축 효과를 실증 분석하고, 이를 통해 시나리오별 전력 절감액을 분석하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 LEAP(Long-range Energy Alternatives Planning System) 모형의 개요

LEAP(Long-range Energy Alternatives Planning System) 모형은 에너지 절감과 온실가스 감축 효과를 분석하기 위한 모형으로, 스톡홀름 환경연구소-보스톤센터(Stockholm Environment Institute - Boston)에서 개발되었다. LEAP 모형은 정부 기관, 비정부 기관, 학계, 컨설팅 회사, 에너지 관련 기업을 포함한 전 세계 약 190개 이상의 국가에서 채택되어 사용하고 있다. LEAP 모형은 다른 모형에 비해 사용이 용이하고, 개도국 연구자들과 학생들은 무료로 사용이 가능하다는 장점이 있다.

LEAP 모형은 넓게는 국가 수준, 좁게는 특정 지역의 에너지 수급을 분석하거나, 수요부문, 발전부문, 전환부문 등 특정 부분을 대상으로도 분석이 가능하다. 시간적 범위는 중·장기로, 대체적으로 20~50년의 예측 기간을 분석 범위로 한다. 자료는 계층적인 구조(hierarchical tree)로 입력되며, 사회·경제적 변수들을 입력하는 핵심 가정 모듈, 수요 부문 분석 모듈, 통계 오차 모듈, 전환 부문 분석 모듈, 재고 변화 모듈, 자원 분석 모듈, 비에너지 부문 배출량 분석 모듈로 구성된다. 또한 시나리오별로 인구, GDP, 성장률, 산업구조 등의 주요 가정과 수요 부문의 활동도(activity) 파라미터, 에너지 집약도(Energy Intensity) 등을 통해서 부문별 최종 에너지수요를 전망할 수 있다.

본 연구의 경우 에너지 집약도(Energy Intensity)를 통해 에너지 소비량이 결정되도록 하는 에너지소비 활동도 분석(Activity Analysis)과 사용기기의 보급대수(Stock), 기기당 에너지 소비량(Energy Intensity per device)을 통해 분석하는 스톡 분석(Stock Analysis)을 사용하였다(Table 1).

### 2.2 LEAP 모형 입력자료

본 연구는 2013년도를 분석 기준년도로 하였으며, 서울세관 별관동의 리모델링이 종료되는 시점(2014년 10월 말)을 고려하여 2015년부터 2035년까지 시물레이션하였다.

공간적 범위는 그린리모델링을 실시하는 서울세관본부 별관동을 대상으로 하였다. 기준에너지시스템(Reference Energy System, RES)을 구축하기 위해서는 서울세관 별관동의 연면적, 근무인원 수, 조명기기 수와 에너지원 및 용도별 에너지 사용량 자료가 필요한데, 이는 서울세관 시설과의 내부자료를 사용하였다.

그린리모델링으로 인한 건물 및 부지 확장 계획은 없기 때문에, 연면적(13,251 m<sup>2</sup>, 지하 1~6층으로 구성)은 분석기간 동안 동일한 것으로 가정하였다. 직원 수는 2013년을 기준으로 278명이 근무했으며, 조명기기는 형광등(32 W × 2등용)이 1,034개, 백열등(60 W), FPX(13 W, 36 W), 유도등(5 W) 등이 158개 설치되어 있는데, 그린리모델링 사업에 따라 모두 LED 등으로 교체될 예정이다.

에너지원으로는 도시가스(LNG)와 전력을 사용하고 있었다. 용도는 난방·온수, 냉방, 취사, 조명, 기타 기기 부문으로 구분

Table 1. Method of analysis of LEAP model

Method of analysis	Calculation method and contents
Activity analysis	Activity level × energy intensity - Multiplied by the energy per activity level and the energy consumption per the activity unit. - Mostly used.
Stock analysis	Stock × energy intensity per stock - Multiplied by the stock and energy intensity per stock.
Transportation analysis	Stock of vehicles × annual average mileage × fuel efficiency - Used primarily in transportation demand analysis.

Source : Lim JK (2006).

된다. 에너지 사용량의 경우, 에너지원별(도시가스, 전력)로는 구분이 되어 있었지만 용도별로는 구분되어 있지 않아, '2011 에너지총조사보고서(에너지경제연구원, 2012)'의 공공빌딩 용도별 에너지소비량 자료를 이용하여 용도별로 할당하였다. 2035년까지의 에너지 수요는 실제 서울세관 별관동의 에너지 사용량 추세(2008~2013년)를 적용하여 전망하였다.

본 연구의 경우, 도시가스의 배출계수는 '에너지기본법 시행규칙'의 '에너지열량환산기준' 표에서 제시하는 도시가스(LNG)의 순발열량 데이터(9,550 kcal/Nm<sup>3</sup>)를 통해 산출하여 적용하였고, 전력의 경우 전력거래소의 2011년 사용단 온실가스 배출계수(0.4585 tCO<sub>2</sub>/MWh)를 적용하여 온실가스 배출량을 산정하였다.

### 3. 분석 대상 사업 및 시나리오 구성

#### 3.1 분석 대상 사업

##### 3.1.1 서울세관 그린리모델링 시범사업

서울세관 그린리모델링 시범사업(이하 서울세관 시범사업)은 시범사업 공모를 통해 2013년 3월 19일 국토교통부 고시 제2013-151호 '2013년 녹색건축물 조성 시범사업(공공건축물 그린리모델링)'으로 지정되었다.

서울세관 시범사업은 공공건축물의 녹색화를 유도하기 위해 기획설계를 지원하는 설계지원사업과 건축공사·기계설비공사·신재생에너지 설치 등의 공사비를 보조하는 시공지원사업으로 구분되는데, 서울세관 시범사업은 설계지원사업에

해당된다.

서울세관 시범사업은 기존 건축물에 대한 에너지 소비 패턴 분석부터 사후 모니터링까지의 내용을 포함하고 있으며, 사업 목표는 크게 4가지로 구분된다.

첫째는 에너지성능 개선을 통해 기존 건축물 대비 1차 에너지 소비량의 20%를 절감하는 것이다. 둘째는 녹색건축물 조성지원법의 에너지절약계획서 단열기준을 준수하여 신축수준의 단열성능을 구현하는 것이다. 셋째는 저비용 고효율 기술의 적용 검토와 기존장비를 최대한 재사용하는 것이다. 마지막으로 노후화된 외관을 개선하는 것이다.

#### 3.1.2 Seoul Custom 2035 모형 구축

서울세관 시범사업에 따른 에너지 수요를 전망하기 위해 Seoul Customs 2035모형을 구축하였다. Seoul Customs 2035 모형은 핵심가정모듈(Activity), 에너지 집약(강도)모듈(Energy Intensity), 에너지 수요모듈(Energy Demand), 환경 부하모듈(Environmental Loading)로 구분된다(Fig. 1).

서울세관 별관동의 에너지 사용 용도는 도시가스(LNG)를 에너지원으로 하는 난방·온수, 취사와 전력을 사용하는 냉방, 조명, 기기 기타로 구분된다. 에너지원으로는 전력의 사용량이 약 80% 정도였고, 도시가스가 나머지를 차지하였다(향후 그린리모델링 시나리오를 통해 태양광 발전이 보급될 예정임). 용도별 에너지 사용량은 기타 기기가 약 40%로 가장 많은 비중을 차지하고 있었고, 조명 23.6%, 냉방 16.8%, 난방/온수 16.1%, 취사 3.8% 순이었다(Fig. 2).

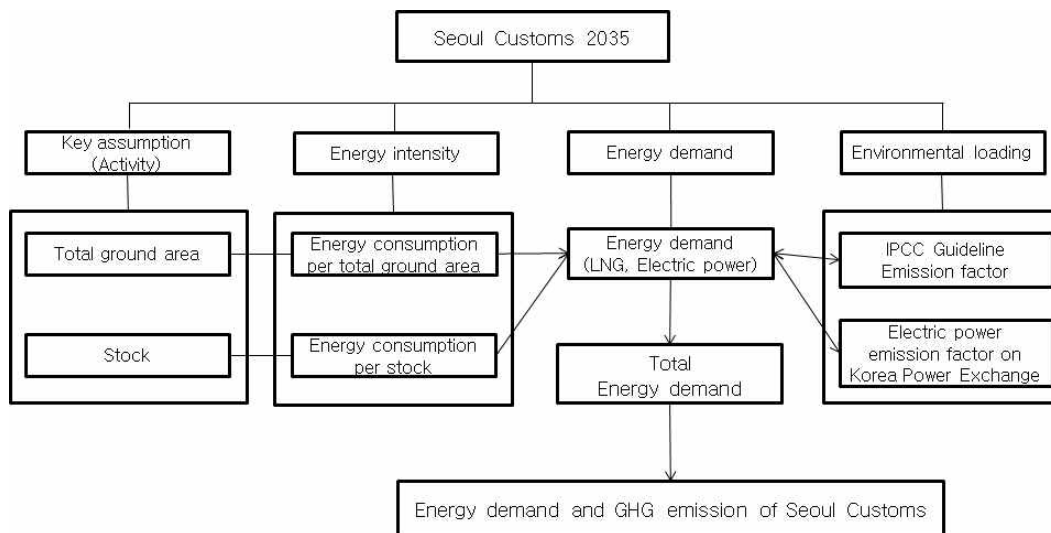


Fig. 1. Module of Seoul Custom 2035.

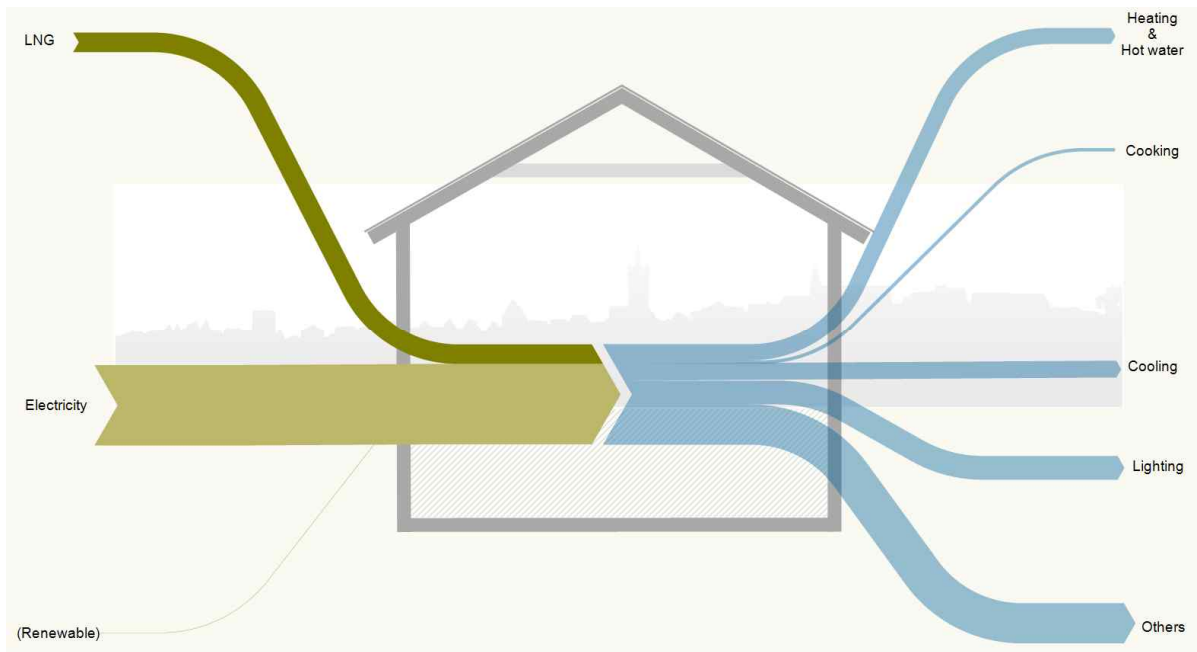


Fig. 2. Energy balance of Seoul Custom.

3.2 시나리오 구성

본 연구에서는 서울세관 시범사업 내용에 따른 에너지 절감 및 온실가스 감축 효과를 분석하기 위해 시나리오를 구성하였다. 시나리오는 그린리모델링이 실시되지 않는 상황을 가정한 ‘Baseline 시나리오’, 실제 사업을 반영한 ‘그린리모델링 시나리오’(EHP 도입, 단열강화, LED 조명교체), 그린리모델링 사업 수행 시 반영 가능한 ‘행태개선 및 재생에너지보급 시나리오’(행태개선, 태양광에너지 보급), 그리고 ‘그린리모델링 시나리오’와 ‘행태개선 및 재생에너지보급 시나리오’를 동시에 적용하는 ‘통합 시나리오’ 총 4가지로 구성하였다(Table 2).

3.2.1 Baseline 시나리오(BAU Scenario)

Baseline 시나리오(이하 BAU 시나리오)는 그린리모델링이 실시되지 않는 상황을 가정하였다. 따라서 서울세관 별관동의 과거(2009년)부터 현재(2013년)까지의 에너지사용량 감소율을 적용하여 2035년까지 전망하였다.

3.2.2 그린리모델링 시나리오(GRE Scenario)

그린리모델링 시나리오(이하 GRE 시나리오)는 실제 그린리모델링 사업 내용을 반영한 시나리오로, 설비 부분의 EHP 도입, 건축 부분의 단열 개선, 전기 부분의 LED 조명 교체라는 3가지 사업 내용을 포함하고 있다.

EHP 도입은 설비(기계)부분에서 기존의 GHP(Gas engine Heat Pump) 시스템을 EHP(Electric Heat Pump) 시스템으로 전환하는 내용이다. 세부적으로 EHP 도입은 설비 교체를 통하여 기존 난방·온수 부분의 주 에너지원이었던 도시가스(LNG)가 온실가스 배출계수가 높은 전력으로 대체되면서 온실가스 배출량이 증가하는 효과를 모형 내 적용하였다. 단열강화는 외피 리모델링과 이중창 설치로 인한 냉·난방에너지 소비 감소, 차양효과를 통한 조명 사용시간 감소 효과를 포함하고 있다. LED 조명교체는 기존 형광등 및 백열등을 LED 조명으로 교체하면서 에너지소비가 감소되는 내용을 적용하였다.

3.2.3 행태개선 및 재생에너지보급 시나리오(BAR Scenario)

서울세관의 에너지 절감대책(행태개선)과 서울세관 시범사업에는 공간적 제약으로 인해 실시되지 않았지만, 향후 그린리모델링사업 범위에 포함될 예정인 재생에너지 보급(태양광 에너지)을 추가하여 행태개선 및 재생에너지보급 시나리오(이하 BAR 시나리오)를 작성하였다.

‘행태개선’은 2011년부터 전력부문에서 전년도 에너지 사용량 대비 10% 절감을 의무화하고 있는 내용을 참고하여, 분석기간 동안 모형 내 전력 부문에 적용하였고, ‘재생에너지 보급’은 본관동 옥상에 실제로 설치되어 있는 5 kW급 태양광 발전 설비를 별관동 건물에 적용하는 내용을 포함시켰다.

Table 2. Scenarios for analysis energy savings on Seoul Main Customs building pilot project

Scenarios	Contents	Time of application	Contents of model application				
			Heating and hot water	Cooling	Cook	Light	Others
BAU scenario	The trend is to be maintained in the future.	None	Assuming the past trend is to be maintained in the future.				
GRE scenario	EHP introduction	Application 2015	(EHP) LNG → Electric power	(EHP) LNG → Electric power		(Enh) Time reduction 11.11%	
	Enhanced insulation		(EHP) 12.27% increase 2015	(EHP) 12.27% increase 2015			
	LED replacement	application the past trend after 2015	(Enh) Energy reduction 7.4%	(Enh) Energy reduction 7.4%	None	(LED) Energy reduction 25%	
BAR scenario	Behavior improvement	Application during analysis period	None	(Beh) Energy reduction : application annual (Application trend of behavior improvement)		(Beh) Energy reduction : application annual application annual	
	Renewable energy	Application 2015, application the past trend after 2015			(Ren) 3.53 TOE reduction		
TOT scenario	Integrated application (Effect of green remodeling and behavior improvement scenario)						

### 3.2.4 통합 시나리오(TOT Scenario)

통합 시나리오(이하 TOT 시나리오)는 GRE 시나리오와 BAR 시나리오의 모든 효과를 종합하여 모형 내 적용하였다. 위 시나리오를 종합하여 Table 2에 나타내었다.

## 4. 연구결과

### 4.1 시나리오별 장기 에너지 절감량 분석

LEAP 모형에 의한 분석 결과, BAU 시나리오의 에너지 수요는 분석기간 동안 연평균 1.2%씩 감소할 것으로 분석되었다. 같은 기간 동안 GRE 시나리오와 BAR 시나리오의 에너지 수요는 각각 연평균 3.8%, 4.6%씩 감소할 것으로 전망되었다. TOT 시나리오에는 6.2% 감소할 것으로 전망되었으며, 가

장 높은 에너지 절감률을 보였다. 최종년도의 경우, BAU 시나리오(173.8 TOE)를 기준으로 GRE 시나리오의 에너지 수요는 12.2%, BAR 시나리오는 16.1%, TOT 시나리오는 22.6%가 감소할 것으로 분석되었다(Fig. 3).

분석기간 동안 GRE 시나리오, BAR 시나리오, TOT 시나리오의 누적 에너지 절감량은 BAU 시나리오 대비 각각 341.6 TOE, 487.4 TOE, 699.2 TOE인 것으로 분석되었다. 각 시나리오의 연평균 누적 에너지 절감률을 분석해 보면, BAR 시나리오가 3.8%로 가장 높았고, GRE 시나리오가 3.3%, TOT 시나리오가 3.1%인 것으로 나타났다(Fig. 4).

위와 같은 결과가 나타난 이유는 그린리모델링의 경우, 사업 시행에 따른 효과가 동일하게 나타나는 반면, 행태개선의 경우에는 매년 에너지 절감 효과가 증가하기 때문이다. 따라서 BAR 시나리오의 연평균 에너지 절감률이 그린리모델링을

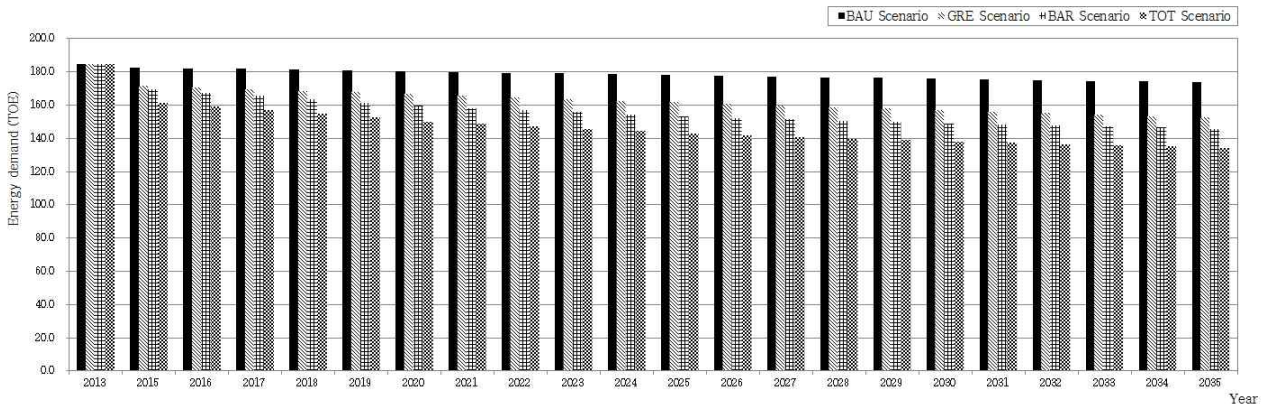


Fig. 3. Energy demand forecast for each scenarios.

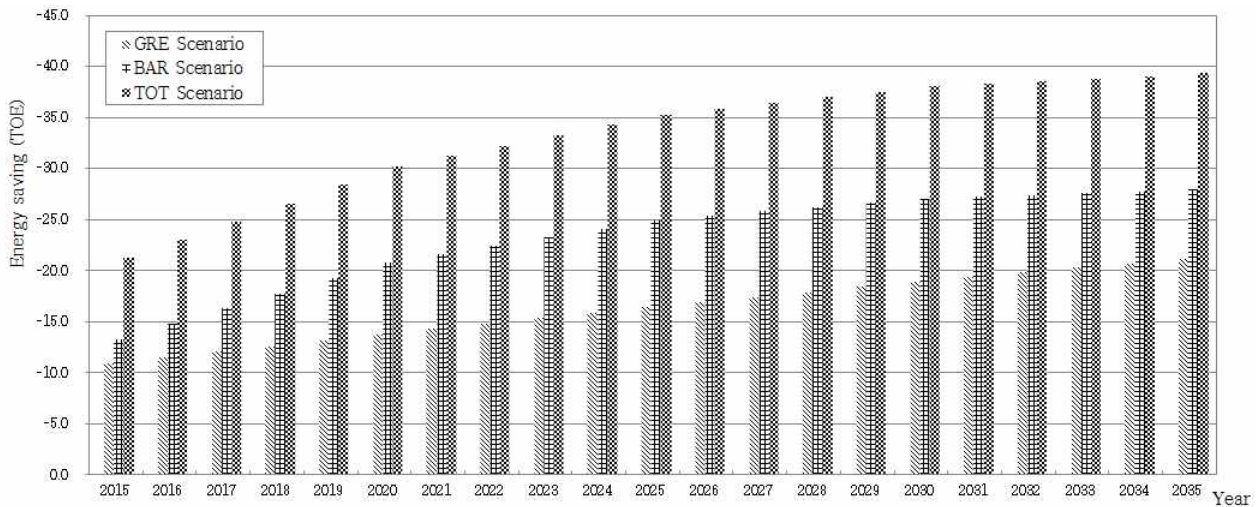


Fig. 4. Energy saving forecast(compared to BAU scenario).

적용하고 있는 GRE 시나리오와 TOT 시나리오의 연평균 에너지 절감률보다 높은 것으로 분석된다.

4.2 시나리오별 온실가스 감축량 분석

BAU 시나리오의 온실가스 배출량은 2013년 878.2 tCO<sub>2</sub>eq에서 2035년 826.2 tCO<sub>2</sub>eq로 5.9% 정도 감소할 것으로 전망되며, 같은 기간 동안 GRE 시나리오는 8.8%(연평균 1.8%), BAR 시나리오는 23.8%(연평균 5.3%), TOT 시나리오는 20.6%(연평균 4.5%)가 감소할 것으로 분석되었다(Fig. 5).

분석 결과, 2025년까지는 GRE 시나리오의 온실가스 배출량이 BAU 시나리오의 온실가스 배출량보다 오히려 더 많은 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 GRE 시나리오에 EHP 도입으로 온실가스 배출계수가 큰 전력의 사용량이 증가한 내용을 적용했기 때문인 것으로 분석된다. TOT 시나리오의 경

우에도 타 시나리오들에 비해 에너지 절감량은 많았지만, BAR 시나리오에 비해 온실가스 감축량이 크지 않은 이유는 EHP 도입으로 전력의 사용량이 증가했기 때문이다.

따라서 온실가스 감축을 가장 많이 한 BAR 시나리오가 GRE, TOT 시나리오보다 더 효과적인 온실가스 감축 시나리오라는 결론을 도출할 수 있다.

분석기간 동안 BAU 시나리오 대비 BAR 시나리오, TOT 시나리오의 누적 온실가스 감축량은 각각 2,768.1 tCO<sub>2</sub>eq, 2,030.3 tCO<sub>2</sub>eq인 것으로 분석되었고, GRE 시나리오의 경우 BAU 시나리오 대비 오히려 온실가스를 22.5 tCO<sub>2</sub>eq 배출한 것으로 분석되었다(Fig. 6).

모든 시나리오에서 온실가스를 지속적으로 감축했지만, EHP 도입으로 전력 사용량이 증가한 GRE 시나리오의 경우, BAU 시나리오 대비 오히려 온실가스를 배출한 것으로 분석

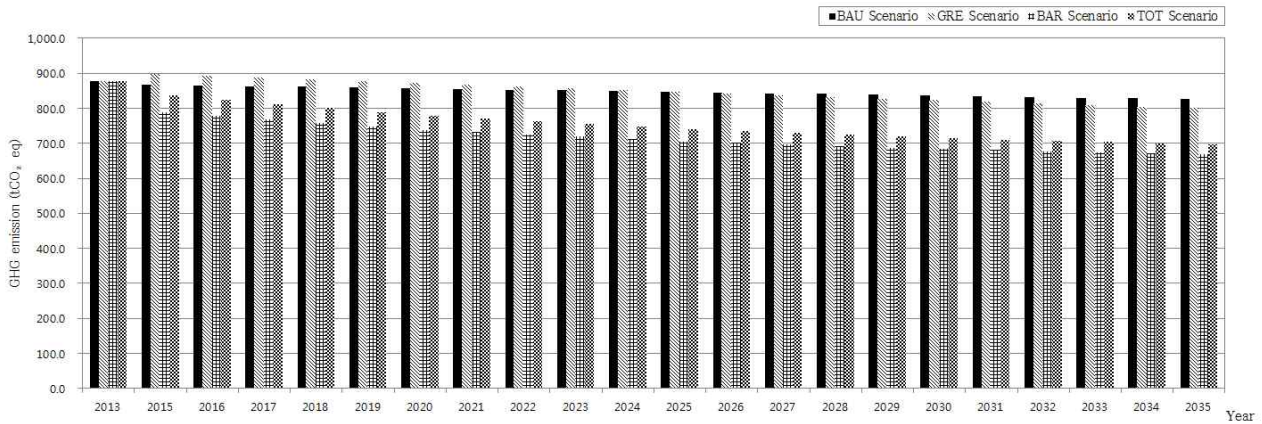


Fig. 5. GHG emission forecast for each scenarios.

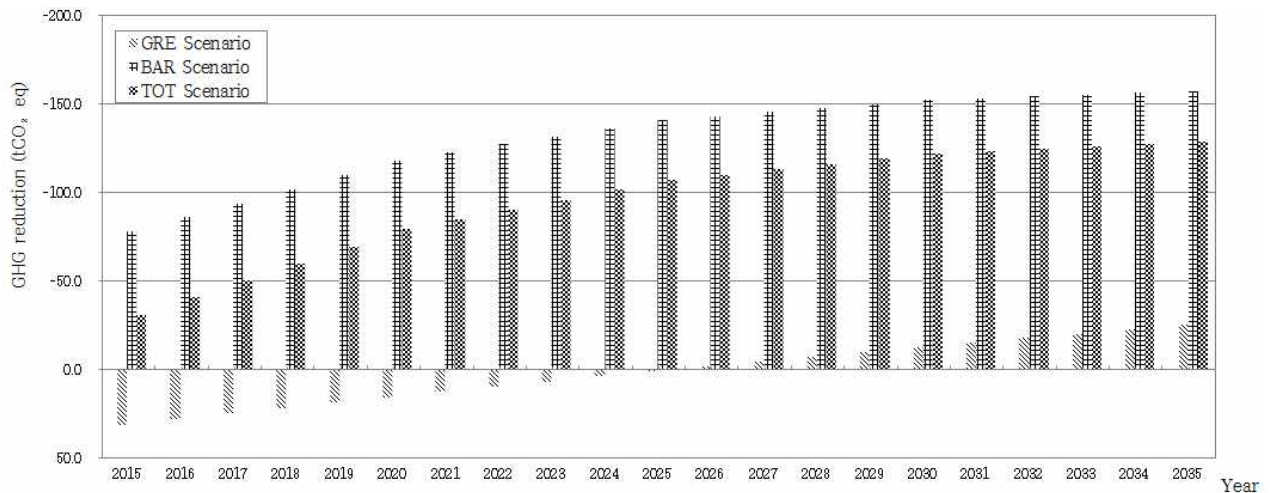


Fig. 6. GHG reduction forecast (compared to BAU scenario).

되었다. 세부적으로 BAU 시나리오 대비 GRE 시나리오의 온실가스 감축 추세를 보면, 2025년까지는 온실가스를 배출하였고, 2026년 이후부터 온실가스를 감축한 것으로 분석되었다. BAR 시나리오와 TOT 시나리오의 경우, 에너지 절감량과는 반대로 BAR 시나리오의 온실가스 감축효과가 TOT 시나리오의 온실가스 감축효과보다 더 큰 것으로 분석되었다.

#### 4.3 시나리오별 전력 절감액 분석

본 연구에서는 LEAP 모형을 이용하여 BAU 시나리오 대비 전력 절감량을 추정하고, 이를 금액으로 환산하였다. GRE 시나리오와 TOT 시나리오는 도시가스를 에너지원으로 사용하는 취사 부문, BAR 시나리오는 난방·온수, 취사 부문을 제외하고 전력 절감액을 산정하였다. EHP 도입을 적용한 GRE와 TOT 시나리오의 경우, 유지관리비 항목의 운영인건

비는 서울세관 시설과 직원이 직접 관리하기 때문에 제외하였다. 보전관리비는 초기투자비의 1.5%를 반영하였고(박률, 2003), 재생에너지 보급에서 태양광발전(5 kW)의 경우, 운전 유지비로 고정비의 1%를 적용하였다(김진형, 2010). 추가적으로 모든 시나리오에 적용된 전력가격 인상율은 제6차 전력수급계획에 따라, 과거(2001~2013년)의 전기요금 인상률 수준을 적용하였다.

위의 조건들을 적용하여 BAU 시나리오 대비 각 시나리오별 전력 절감액을 산정해 보면, GRE 시나리오는 약 6억 3천만 원, BAR 시나리오는 약 7억 3천만 원, TOT 시나리오는 약 10억 5천만 원의 전력 절감액이 발생하는 것으로 분석된다. GRE 시나리오 대비 BAR 시나리오와 TOT 시나리오의 전력 절감액은 각각 12.7%, 39.6% 정도 더 높은 것으로 분석되었다(Table 3).

Table 3. Analysis of electric power reduction cost for each scenarios (unit : million won)

Scenario	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Total
GRE scenario	20.1	21.2	22.3	23.3	24.4	25.5	26.5	27.5	28.5	29.5	30.5	31.4	32.3	33.2	34.1	35.1	35.9	36.8	37.7	38.5	39.4	633.5
BAR scenario	20.2	22.4	24.6	26.8	29.0	31.1	32.3	33.5	34.7	35.9	37.1	37.7	38.3	38.9	39.5	40.1	40.3	40.5	40.7	41.0	41.2	725.7
TOT scenario	31.8	34.5	37.1	39.8	42.5	45.2	46.7	48.3	49.8	51.4	52.9	53.7	54.6	55.4	56.3	57.1	57.5	57.9	58.3	58.7	59.1	1,048.6

### 5. 결 론

본 연구에서는 국토교통부의 ‘그린리모델링 시범사업’ 중 하나인 서울세관 별관동 사례를 대상으로, LEAP 모형을 이용하여 시나리오별 에너지 절감과 온실가스 감축 및 전력 절감 비용효과를 분석하였다.

시나리오는 총 4가지로, 그린리모델링이 실시되지 않는 상황을 가정한 ‘BAU 시나리오’, 실제 그린리모델링 사업 내용을 적용한 ‘GRE 시나리오’, 서울세관 내 에너지 절감대책(행태개선)에 재생에너지(태양광) 보급을 추가한 ‘BAR 시나리오’, 그리고 GRE 시나리오와 BAR 시나리오를 종합한 ‘TOT 시나리오’로 구성하였다.

2035년 BAU 시나리오의 에너지 수요는 기준년도인 2013년 대비 약 6.1% 감소할 전망이며, GRE 시나리오는 17.5%, BAR 시나리오는 21.1%, TOT 시나리오는 27.3% 감소할 것으로 분석되었다. 분석기간 동안 BAU 시나리오 대비 GRE 시나리오, BAR 시나리오, TOT 시나리오의 에너지 절감량은 각각 341.6 TOE, 487.4 TOE, 699.2 TOE로, TOT 시나리오의 에너지 절감량이 가장 많은 것으로 전망되었다.

BAU 시나리오의 온실가스 배출량은 2013년 878.2 tCO<sub>2</sub>eq에서 2035년 828.3 tCO<sub>2</sub>eq로 5.9% 정도 감소할 것으로 전망되었다. BAU 시나리오 대비 GRE 시나리오의 누적 온실가스 감축량은 분석기간 동안 약 -26.8 tCO<sub>2</sub>eq, BAR 시나리오는 약 2.8천 tCO<sub>2</sub>eq, TOT 시나리오는 약 2천 tCO<sub>2</sub>eq인 것으로 분석되었다. 이렇게 GRE 시나리오가 타 시나리오에 비해 온실가스를 오히려 배출하는 결과가 나타나는 이유는 EHP 도입에 따라 난방·온수의 에너지원인 도시가스(LNG)가 온실가스 배출계수가 높은 전력으로 전환되는 요인 때문인 것으로 해석된다.

전력 절감액은 GRE 시나리오의 경우 약 6억 3천만 원, BAR 시나리오는 약 7억 3천만 원, TOT 시나리오는 약 10억 5천만 원으로, TOT 시나리오의 전력 절감액이 가장 많은 것으로 분석되었다.

LEAP 모형을 이용한 분석 결과, 누적 온실가스 감축에서 오히려 온실가스를 배출하는 것으로 전망되는 GRE 시나리오보다 매년 온실가스 감축 효과가 증가하는 BAR, TOT 시나리오가 더 효과적인 온실가스 감축 시나리오라는 결론을 도출할 수 있다. 하지만, 그린리모델링은 노후화된 건물의 에너지 효율을 개선하는 것 이상의 쾌적성과 편리성을 함께 수반한다. 따라서 에너지 효율향상 사업들(단열강화, LED 조명교체, 재생에너지 보급 등)을 건물의 특성에 맞게 디자인하고, 이와 함께 행태개선 등을 수행한다면 그린리모델링을 통한 온실가스 감축 효과가 극대화될 것으로 판단된다.

더불어 본 논문은 LEAP 모형의 분석대상이 국가 및 지역을 다루는 타 연구에 비해, 현실적인 데이터 사용과 시나리오 구성을 통한 분석결과를 도출했다는 점에서 연구의 불확실성을 낮췄다는 장점이 있다. 또한 그린리모델링 실증사업을 연구에 적용시켜, 제도 시행 전 실증효과를 산정해보고, 시사점을 도출했다는 점에서 타 연구와의 차별성 및 본 연구의 의미를 찾을 수 있다. 하지만 그린리모델링은 현재 몇 곳의 시범사업 사례만 있을 뿐, 건물의 용도별·특성별 에너지 절감, 온실가스 저감 효과분석에 대한 연구가 미비하여 시나리오 구성 및 에너지 절감액 산정에 대한 구체성은 한계점으로 지적할 수 있다. 따라서 향후 이런 점들이 보완되어 많은 연구가 진행된다면, 그린리모델링 정책에 대한 면밀한 평가와 효과적인 건물에너지 절감 정책 수립이 가능하리라 사료된다.

### 6. 사 사

본 연구는 환경부 「기후변화특성화대학원사업」의 지원으로 수행되었습니다.

### REFERENCES

Aumnad P. 2010. Integrated energy and carbon modeling with a decision support system: Policy scenarios for low-



- carbon city development in Bangkok. *Energy Policy* 38 (2010):4808-4817.
- Cho SK, Kim YH. 2013. Compiling and analyzing GHGs emission statistics in building sector for green building policy. Architecture & Urban Research Institute, Korea.
- Choi SW, Kim JY, Park HS, Kim JT. 2012. The energy saving effect and economic assessment of office building according to the building envelope remodeling. *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment* 12(6):85-92.
- Jung CH. 2009. Evaluation on the energy reduction strategy of residential buildings in Seoul, Korea. *The Architectural Institute of Korea* 25(11):323-331.
- Kim JH. 2004. A study on a green remodeling system activation plan for the business building. Dissertation, Hanyang University.
- Kim KT, Lee GH, Koo BK, Lee HR, Son WD, Kim KR. 2013. Study on examples of reducing energy consumption through green remodeling of public office. *The Korean Solar Energy Society* 2013(11):127-129.
- Korea Energy Economics Institute. 2012. Energy consumption survey.
- Korea Energy Economics Institute. 2013. Yearbook of energy statistics.
- Korea Power Exchange. 2014. 2013 electric market statistics.
- Lee JH. 2013. Energy saving effect analysis according to improvement of wall and window system insulation in office buildings. Dissertation, Hanbat National University.
- Lim IH. 2014. A study on the correlation between actual value of green remodeling building and predicted value of energy simulations. Dissertation, Myungji University.
- Martin A, Mark P. 2008. Green building energy scenarios for 2030. Marbek Resource Consultants, Ltd, Canada.
- Papagiannis G, Dagoumas A, Lettas N, Dokopoulos P. 2007. Economic and environmental impacts from the implementation of an intelligent demand side management system at the European level. *Energy Policy* 36(2008):163-180.
- Park KH, Kim SM. 2011. Analysis of energy consumption of buildings in the University. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* 23(9):633-638.
- Park NB. 2011. Long-term scenario analysis for renewables transition in power sector. Dissertation, Seoul National University.
- Park YM, Lee MK. 2010. Feasibility analysis on replacing LED lighting with incandescent bulbs in public institution. *The Korean Society of Climate Research* 1(3):205-210.
- Rich B, Sam B, Jon K, Peter B. 2008. U.S. building-sector energy efficiency potential. Environmental Energy Technologies Division, California, U.S.A.
- Subhes CB, Govinda RT. 2014. A review of energy system models. *International Journal of Energy Sector Management* 4(4):494-518.
- Son WT, Lee KH, Park KS. 2013. A study on energy consumption of existing office building for green remodeling. *The Korean Solar Energy Society* 2013(11):120-122.
- Yoo JH. 2012. Analysis of greenhouse gas reduction potentials using LEAP model on Sejong University. Dissertation, Sejong University.