



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

LEAP모형을 이용한 그린리모델링의  
온실가스 감축 시나리오 분석

-서울세관 시범사업을 중심으로-

Analysis of GHG reduction scenarios on Green  
remodeling using the LEAP Model

-Seoul Main Customs demonstration project-

2015년 2월

세종대학교 대학원

기후변화협동과정

윤영중

석사학위논문

LEAP모형을 이용한 그린리모델링의  
온실가스 감축 시나리오 분석

-서울세관 시범사업을 중심으로-

Analysis of GHG reduction scenarios on Green  
remodeling using the LEAP Model

-Seoul Main Customs demonstration project-

2015년 2월

세종대학교 대학원

기후변화협동과정

윤영중

# LEAP모형을 이용한 그린리모델링의 온실가스 감축 시나리오 분석

-서울세관 시범사업을 중심으로-

Analysis of GHG reduction scenarios on Green  
remodeling using the LEAP Model

-Seoul Main Customs demonstration project-

지도교수 전 의 찬

이 논문을 정책학 석사학위논문으로 제출함

2015년 2월

세종대학교 대학원

기후변화협동과정

윤 영 중

윤영중의 석사학위논문을 인준함

2015년 2월

심사위원장 한 준 (인)

심사위원 김 지 효 (인)

심사위원 전 의 찬 (인)

## 국문초록

최근 이상기온으로 인해 에너지 수요가 증가추세를 보이고 있고, 원전가동 불안정 및 화력발전소 건설 차질 등에 따른 예비 전력부족, 에너지 수급 불균형이 심화되고 있는 추세이다. 이렇게 매년 반복되는 에너지 수급 불균형 문제 해결과 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위해서 각 부문별 조속한 해결책이 요구되고 있다.

한편 독일, 영국 등 선진국에서는 건물부문의 에너지효율 향상을 목표로 설정하고, 건축물 개·보수에 대한 보조금, 무이자 융자 등의 재정지원을 통해 다양한 유도방안을 추진 중이다. 국내에서도 최근 그린홈사업, ESCO, 탄소제로하우스 등의 녹색건축을 통한 건물부문의 온실가스 감축 계획을 2020년 로드맵에서 국가 목표로 밝힌 바 있다. 더불어 이를 구체화하기 위하여 녹색건축물 조성지원법 및 기본계획을 통해 국가 전략 및 이행계획, 전략적 감축효과를 제시하고 있지만 아직 미흡한 실정이다.

현재 건축연한 15년 이상 경과된 건축물은 건축물의 74.1% 정도로, 전체 에너지 사용량의 21%(선진국의 약 40% 수준)를 차지하고 있다. 따라서 건물부문의 온실가스 목표 달성을 위해서는 기존건축물의 성능향상이나 리모델링을 통한 정책시행이 이에 대한 대안으로 떠오르고 있다. 하지만 그린리모델링은 현재 서울세관 별관동을 비롯한 10군데에서 시범사업을 추진하고 있는 수준으로 그 실증사례 연구가 미비하여 이에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구는 장기에너지계획 분석모형인 LEAP모형을 활용하여 그린리모델링 시범사업(서울세관 별관동)에 따른 온실가스 감축 시나리오를 구축하고, 2035년까지의 에너지 절감 및 온실가스 감축량과 이에 따른 전력 절감비용 효과를 분석하고자 한다.

시나리오는 크게 4가지로, 과거 추세가 미래에도 그대로 유지되는 것을 가정한 Baseline 시나리오, 실제 서울세관의 그린리모델링 사업 내용을 반영한 그린리모델링 시나리오(냉·난방 시스템 교체, 단열강화, LED 조명 보급)와 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오, 통합 시나리오로 구성하였다.

분석결과 2035년 Baseline 시나리오의 에너지 수요는 기준년도인 2013년 대비 약 5.9%정도 감소할 전망이며, 그린리모델링 시나리오는 기준년도 대비 18.9%, 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오는 21.6%, 통합시나리오는 27.7%정도 감소할 것으로 분석되었다. Baseline 시나리오의 온실가스 배출량은 2013년 2.1천 tCO<sub>2</sub>eq에서 2035년 1.98천 tCO<sub>2</sub>eq로 약 5.8%정도 감소할 것으로 전망되었으며, Baseline 대비 그린리모델링 시나리오의 누적 온실가스 감축량은 분석기간 동안 약 2.2천 tCO<sub>2</sub>eq, 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오는 6.5천 tCO<sub>2</sub>eq, 통합 시나리오는 6.7천 tCO<sub>2</sub>eq인 것으로 분석되었다. 또한 최종년도의 시나리오별·용도별 온실가스 배출량 비중을 통해 그린리모델링 시나리오는 조명과 냉방 부분에서, 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오는 기기 및 기타와 조명 부분에서 주로 온실가스를 감축한 것으로 분석되었다.

더불어 본 연구에서는 에너지 절감 효과를 통해 전력절감비용 효과를 산정하였는데, 그린리모델링 시나리오는 약 6억 7천만 원, 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오는 약 8억 1천만 원으로, 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오의 전력절감비용 효과가 그린리모델링 시나리오보다 약 17.3% 정도 높은 것으로 분석되었다.

결과적으로 시행년도 전·후로만 효과가 크게 나타나는 건축의 특성 상 초기에는 그린리모델링 시나리오가, 중·장기에는 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오가 더 효과적인 에너지 및 온실가스 감축 시나리오라는 결론을 도출할 수 있다. 하지만, 그린리모델링은 노후화된 건물의 에너지 효율을

개선하는 것 이상의 쾌적성과 편리성을 함께 수반한다. 따라서 에너지성능 개선 세부 프로세스(단열강화, LED조명 교체, 재생에너지 보급 등)들을 건물 특성별로 최적화 및 다각화하여 시행하고, 이와 함께 행태개선 등을 수행한다면 온실가스 감축 효과가 더 극대화될 것으로 사료된다.

**주요어 : LEAP모형, 그린리모델링, 온실가스 감축, 장기에너지 수요**



## 목 차

제1장 서 론 .....	1
제1절 연구의 배경 및 목적 .....	1
제2절 연구의 범위 및 방법 .....	4
제2장 이론적 고찰 .....	7
제1절 국내 건물부문의 에너지 수요 추이 분석 .....	7
1. 건물부문 총 에너지 소비량 변화 추이 .....	7
2. 부문별·에너지원별 최종에너지 소비량 변화 추이 .....	8
제2절 건물부문 온실가스 감축 정책 .....	12
1. 해외정책 동향 .....	12
2. 국내정책 동향 .....	21
제3절 그린리모델링 .....	26
1. 그린리모델링의 정의 및 개념 .....	26
2. 그린리모델링 시범사례 .....	29
제4절 선행연구 고찰 .....	31
1. LEAP모형을 활용한 건물부문 선행연구 사례 .....	31
2. 그린리모델링 관련 선행연구 사례 .....	34
3. 기존연구와의 차별성 .....	35
제3장 모형구축 및 분석방법 .....	37
제1절 LEAP모형 .....	37
1. LEAP모형의 개요 .....	37
2. LEAP모형의 분석원리 .....	41

제2절 기준에너지시스템(RES, Reference Energy System) 구축 .....	47
1. 서울세관 그린리모델링 사업 .....	47
2. LEAP모형 입력자료 및 주요 전제 .....	50
3. 모형 구성 .....	52
제3절 시나리오 구성 .....	54
1. Baseline 시나리오(Baseline, BAU Scenario) .....	54
2. 그린리모델링 시나리오(Green remodeling, GRE Scenario) .....	54
3. 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오(Behavior improvemnet & Renewable energy, BAR Scenario) .....	56
4. 통합 시나리오(Total, TOT Scenario) .....	57
제4장 연구결과 .....	59
제1절 서울세관 별관동 온실가스 감축 시나리오 분석 .....	59
1. 에너지 절감량 분석 .....	59
2. 온실가스 감축량 분석 .....	61
3. 시나리오별 전력절감비용 분석 .....	64
4. 종합 분석 .....	66
제5장 결론 .....	68
제1절 요약 및 결론 .....	68
제2절 연구의 의의 및 한계 .....	71
참 고 문 헌 .....	73
ABSTRACT .....	80

## 표목차

<표 2-1> 독일의 녹색건축물 관련 법률, 제도 및 프로그램 .....	14
<표 2-2> 미국의 녹색건축물 관련 법률, 제도 및 프로그램 .....	16
<표 2-3> 영국의 녹색건축물 관련 법률, 제도 및 프로그램 .....	18
<표 2-4> 일본의 녹색건축물 관련 법률, 제도 및 지침 .....	20
<표 2-5> 부문별 온실가스 감축목표 .....	21
<표 2-6> 각 부처별 건물에너지 절약정책 및 제도 .....	23
<표 2-7> 녹색건축물 기본계획의 수립 내용 .....	24
<표 2-8> 녹색건축물 관련 법·제도 .....	25
<표 2-9> 그린리모델링 예비사업자 .....	27
<표 2-10> 서울스퀘어 그린리모델링 사업개요 .....	29
<표 2-11> LEAP모형을 이용한 건물부문 선행연구 .....	32
<표 3-1> 에너지·기후변화 분석모형 비교 .....	39
<표 3-2> LEAP모형의 부문별 주요 활동도 자료 .....	44
<표 3-3> LEAP모형의 분석 방법 .....	45
<표 3-4> 서울세관 별관동 건물 개요 .....	48
<표 3-5> 전력부문 온실가스 배출계수 .....	51
<표 3-6> 시나리오 구성 .....	58
<표 4-1> 시나리오별 전력절감비용 분석 .....	65

## 그림목차

〈그림 1-1〉 연구 흐름도 .....	6
〈그림 2-1〉 건물부문 최종에너지 소비량 변화 추이(2003~2012) .....	8
〈그림 2-2〉 가정부문 에너지원별 최종에너지 소비량 변화 추이(2003~2012) ....	9
〈그림 2-3〉 상업부문 에너지원별 최종에너지 소비량 변화 추이(2003~2012) ..	10
〈그림 2-4〉 공공부문 에너지원별 최종에너지 소비량 변화 추이(2003~2012) ..	11
〈그림 2-5〉 그린리모델링 사업절차 .....	28
〈그림 3-1〉 모델링 과정 비교 .....	40
〈그림 3-2〉 LEAP모형의 메인 화면 .....	42
〈그림 3-3〉 LEAP모형의 시나리오 작성 .....	43
〈그림 3-4〉 Freedonia의 Key Assumptions .....	43
〈그림 3-5〉 Freedonia의 Demand(Household 예시) .....	44
〈그림 3-6〉 LEAP모형의 결과값 출력 화면 예시 .....	45
〈그림 3-7〉 LEAP모형의 기준에너지시스템 다이어그램 및 에너지밸런스 예시 ...	46
〈그림 3-8〉 LEAP모형의 구조 .....	46
〈그림 3-9〉 서울세관 별관동의 그린리모델링 프로세스 .....	49
〈그림 3-10〉 Seoul Customs 2035의 모듈 구조 .....	52
〈그림 3-11〉 서울세관 별관동의 Energy Balance .....	53
〈그림 4-1〉 시나리오별 에너지 수요 전망 .....	59
〈그림 4-2〉 Baseline 시나리오 대비 에너지 수요 절감량 전망 .....	60
〈그림 4-3〉 시나리오별 온실가스 배출량 전망 .....	61
〈그림 4-4〉 시나리오별·용도별 온실가스 배출량 비중(2035년) .....	62
〈그림 4-5〉 Baseline 시나리오 대비 온실가스 감축량 전망 .....	63
〈그림 4-6〉 Baseline 시나리오 대비 에너지 절감량 및 온실가스 감축량 전망 ..	67

# 제1장 서론

## 제1절 연구의 배경 및 목적

1990년부터 2011년까지 22년간 한국의 연평균 온실가스 총 배출량 증가율은 4.2%로, 경제위기였던 1998년을 제외하고 매년 지속적으로 온실가스 배출량이 증가해왔다. 그 결과로 1990년 대비 2011년 우리나라의 연료연소에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량 증가율은 약 156%로 OECD국가 중 1위<sup>1)</sup>이며, 전년대비 증가율은 약 4%로 칠레, 터키, 에스토니아, 일본 다음으로 높은 5위이다(온실가스종합정보센터, 2014).

현재 건물부문의 온실가스 배출량은 국가 전체 온실가스 배출량의 4분의 1에 해당하는 약 23%로, 타 산업 부문에 비해 증가폭이 가장 큰 부분이다. 국가 간 비교를 하면, 선진국으로 갈수록 쾌적성·편리성에 대한 요구 증가로 인해 건물부문 온실가스 배출량 비중이 높게 나타나고 있으며, 국내의 경우에도 가구 소득 증대 및 쾌적한 환경에서 거주하고자 하는 인식이 향상됨에 따라 건축물 에너지 소비와 온실가스 배출은 지속적으로 증가될 전망이다(조상규 외, 2013).

제2차 국가에너지기본계획(산업통상자원부, 2014)에서는 전망기간(2011 ~ 2035년)동안 총 에너지 수요는 연평균 약 1.3%씩 증가하고, 2035년 건물부문의 에너지 소비는 2011년 대비 약 40%정도 증가될 것으로 예상하고 있다. IPCC 보고서(2007)에서는 건물분야의 온실가스 배출량이 전 세계 배출량의 약 4분의 1에 해당하며, 감축잠재량이 가장 크면서도 저감에 소요되는

---

1) 전 세계적으로는 개도국들의 배출량 급증 추세에 따라 배출량 증가율 순위가 비교적 낮은 37~60위 수준임.

비용은 가장 낮은 분야로 구분하고 있다. 또한 2013년 ‘에너지와 기후변화에 관한 주요경제포럼 MEF(Major Economies Forum on Energy and Climate)<sup>2)</sup>’ 회의에서도 국가 온실가스 감축목표 달성에 있어서 건물부문의 중요성에 대해 공유하고 건물부문 온실가스 감축에 대한 공동의 목표와 기준을 설정하였다.

건물부문의 온실가스 배출이 급격한 증가 추세에 있고, 타 산업부문에 비해 감축할 수 있는 여력이 큰 부문이기 때문에 국가 온실가스 감축 계획에서도 건물부문의 온실가스 감축<sup>3)</sup>을 핵심과제로 다루고 있다.

몇 년 전까지 건물부문의 녹색건축 및 온실가스 감축 관련 사업은 산업통상자원부, 환경부가 주축이 되어 시행되어 왔으나, 2010년 이후로 그린홈 100만호 보급사업, 혁신도시 녹색시범사업 등 녹색건축물 조성 관련 사업이 증가하면서 국토교통부 사업이 증가하고 있다. 2013년 2월에는 건물부문 온실가스 감축정책의 핵심 정책으로 ‘녹색건축물 조성지원법’이 제정됨에 따라 녹색건축물 조성에 부합하고, 녹색건축물 기본계획 수립에 기여할 수 있는 다양한 정책들이 발표되고 있다. 최근에는 건물부문 온실가스 감축 및 에너지효율화 전략 중 녹색건축 조성지원 사업의 일환으로 ‘건축물 에너지 수요 절감을 위한 그린리모델링 활성화 방안’이 상정되었으며, 에너지 절감비용으로 공사비용을 분할·상환할 수 있는 방안을 그린리모델링 창조센터<sup>4)</sup>를 통해 제공하고 있다.

한편, 현재 우리나라에서는 녹색건축물 관련 신규건설 정책에 따른 당위

---

2) ‘기후변화와 에너지 안보에 관한 주요국 포럼’으로 2009년 3월 미국 오바마 대통령에 의해 설립되었으며, 주요 선진국 및 개도국(미국, 영국, 유럽연합, 호주, 캐나다, 한국, 일본, 중국, 인도, 멕시코 등 총 17개국)이 모여 UN기후협약의 성공적 이행과 청정에너지 공급 및 온실가스 감축을 위해 상호 협의하는 회의임.

3) 건물부문은 2020년 배출전망치(BAU) 대비 온실가스 26.9%를 감축하는 것을 목표로 하고 있으며, 이러한 건물부문의 감축목표 달성을 위해 신축건축물에서 25.2%, 기존건축물에서 49.8%, 행태개선을 통해 24.9%를 감축해야함.

4) 그린리모델링 창조센터 홈페이지([www.greenremodeling.or.kr](http://www.greenremodeling.or.kr))

성과 방향성에 대한 논의와 모델링을 통한 정량적 분석 연구는 상대적으로 많은 반면, 기존건축물에 대한 정책도입 효과 및 실증사업을 분석한 논문은 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 국토교통부의 ‘그린리모델링 시범사업’ 중 하나인 서울세관 별관동 사례를 대상으로, 그린리모델링을 통한 에너지 절감에 대하여 고찰하고, 실제 사업을 바탕으로 한 감축 시나리오를 구성하였다. 더 나아가 서울세관 별관동 그린리모델링의 에너지 절감 및 온실가스 감축 효과를 실증 분석하고, 이를 통해 시나리오별 전력절감비용 효과를 도출하고자 한다. 더불어 본 연구를 통해 그린리모델링 정책 도입에 대한 실효성과 시사점을 검토할 수 있기를 기대한다.

## 제2절 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 국토교통부의 그린리모델링 실증사업 대상인 서울세관 별관동의 에너지 수요를 분석하여 온실가스 인벤토리를 구축하고, 장기에너지 및 환경계획 모형인 LEAP(Long-range Energy Alternatives Planning system) 모형을 활용하여 2035년까지 서울세관 별관동 그린리모델링 사업에 따른 온실가스 저감 잠재량을 분석하고자 한다.

연구에 앞서 국내 건물부문의 에너지 수요 특성을 분석하고, 국내·외 녹색건축물 정책에 대하여 조사하였다. 그리고 그린리모델링 정책 및 시범사업사례, 서울세관 그린리모델링 사업에 대한 소개, 선행연구 고찰을 통한 연구추세 분석, LEAP모형에 대한 이해를 통해 연구를 진행하기 위한 이론적 배경들을 검토하였다.

본 연구의 기준년도는 자료가 확보된 2013년으로 설정하였고, 실제 사업이 끝나는 시점(2014년 10월 말)을 기준으로 하여, 2015년부터 2035년까지 시뮬레이션 하였다. 분석을 위해 필요한 모형의 활동도(Activity)와 에너지 수요(Energy Demand) 자료는 서울세관의 실제 연면적과 에너지원(도시가스(LNG), 전력, 태양광) 자료를 사용하였다. 그리고 난방·온수, 냉방, 취사, 조명, 기기 및 기타 부문의 용도별 에너지 사용량을 파악하여, 부문별로 그린리모델링 사업에 따른 온실가스 감축 시나리오를 설계하였다.

시나리오는 크게 4가지로 구분할 수 있는데, 과거 추세가 미래에도 그대로 유지되는 것을 가정한 Baseline 시나리오, 실제 서울세관의 그린리모델링 사업 내용을 반영한 Green remodeling 시나리오(냉·난방 시스템 교체, 단열강화, LED 조명 보급)와 Behavior improvement & Renewable energy 시나리오(행태개선, 재생에너지(태양광) 보급), 그리고 Total 시나리오로 구성하였다.

온실가스 배출량 산정을 위한 에너지원의 배출계수는 도시가스의 경우,



LEAP모형 내 TED기능에 설정되어 있는 IPCC 배출계수를 활용하였으며, 전력은 전력거래소 사용단 배출계수를 사용하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다.

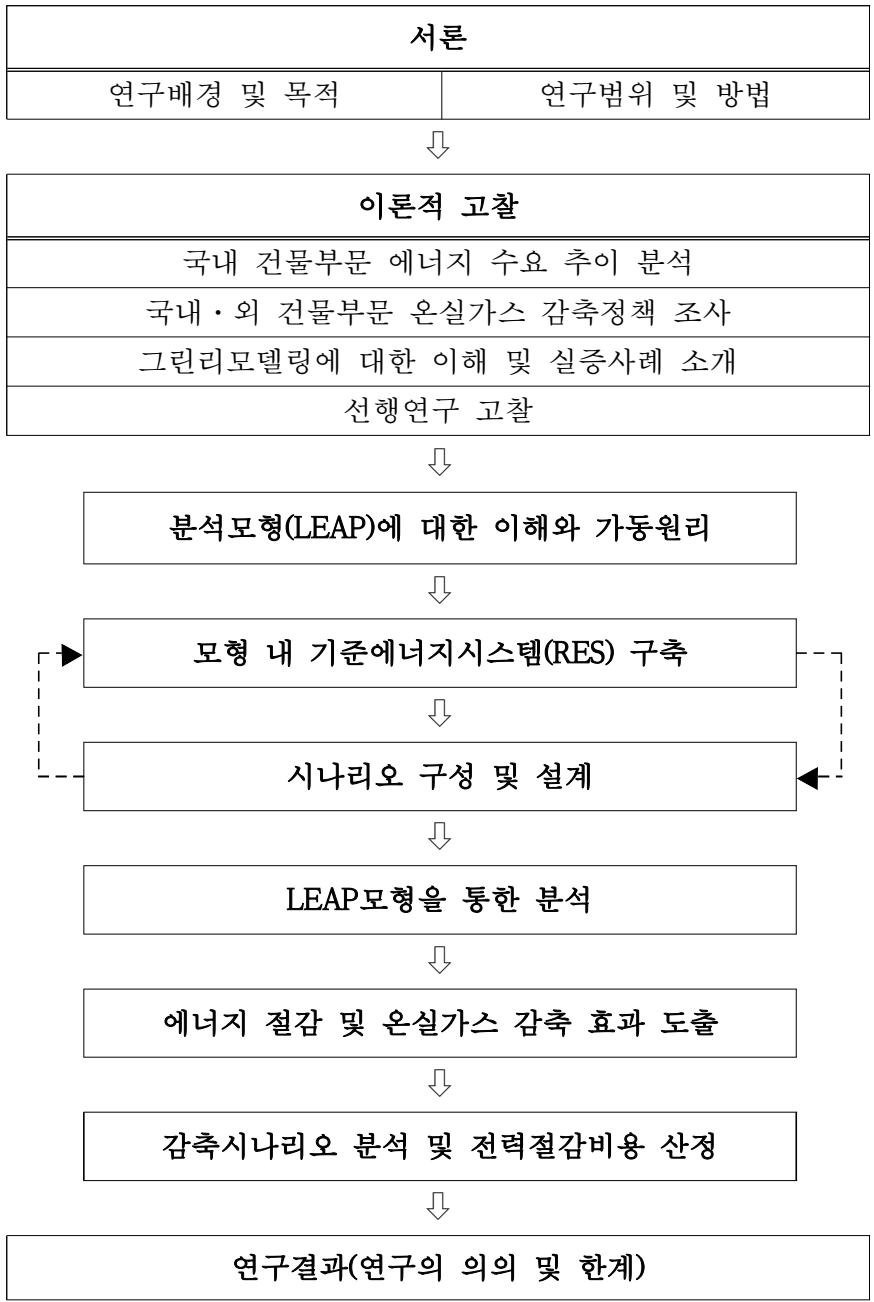
제 1장은 서론으로 연구 배경 및 목적, 방법과 범위에 대하여 서술하였다.

제 2장은 이론적 고찰로, 국내 건물부문의 부문별·에너지원별 에너지 수요 추이 분석, 국내·외 건물부문의 온실가스 감축정책 조사, 그린리모델링 정책 및 시범사업, 서울세관 그린리모델링 사업 소개, 선행연구 고찰로 구성하였다.

제 3장은 모형구축 및 분석방법으로, 분석모형(LEAP)에 대한 이해와 모형 내 입력 및 전제 자료, 모형구성 및 시나리오 설정에 대한 내용을 작성하였다.

제 4장은 연구결과로, LEAP모형을 활용하여 2035년까지 서울세관 별관동의 그린리모델링 사업에 따른 에너지 수요 변화 추이를 예측하고, 온실가스 감축 최적 시나리오를 탐색하였으며, 이를 통한 전력절감비용 효과를 분석하여 결과를 종합하였다.

제 5장은 결론으로, 전반적인 연구결과 요약과 함께 본 연구의 의의 및 한계, 시사점을 도출하였다.



〈그림 1-1〉 연구 흐름도

## 제2장 이론적 고찰

### 제1절 국내 건물부문의 에너지 수요 추이 분석

#### 1. 건물부문 총 에너지 소비량 변화 추이

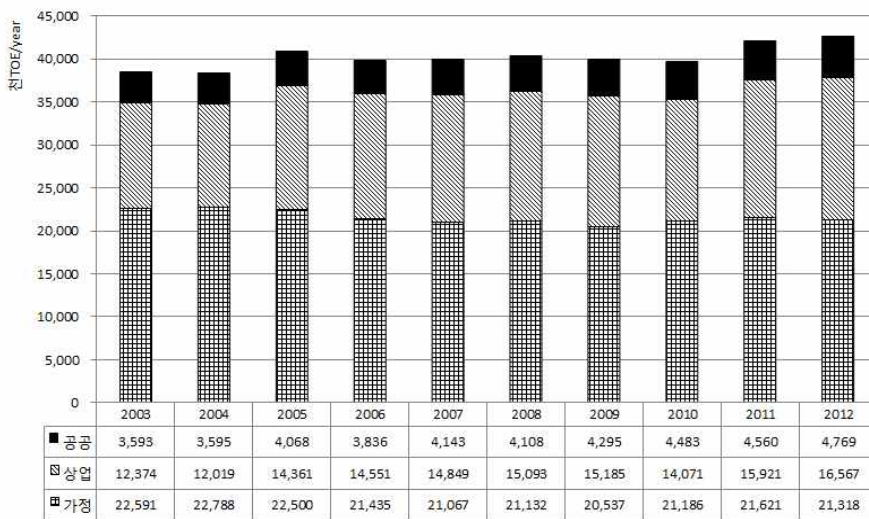
건물부문에 해당하는 가정·상업부문과 공공부문의 총 에너지 소비량 변화 추이는 에너지경제연구원에서 3년에 한 번씩 발간하는 에너지총조사 보고서<sup>5)</sup>와 1년 주기로 발간되는 에너지통계연보<sup>6)</sup>를 통해 파악할 수 있다. 하지만 에너지총조사 보고서의 경우, 상업·공공부문이 명확히 구분되어 있지 않기 때문에 각 부문별 정확한 에너지 수요를 파악하기 힘들다. 따라서 본 연구의 경우 건물부문의 에너지 수요 추세분석을 위한 분석 자료로 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2013)의 연도별 에너지 수급 밸런스 데이터를 사용하였다.

에너지통계연보 자료를 분석한 결과, 2003년부터 2012년까지 최근 10년 동안 건물부문 전체 최종에너지 소비량은 38,558천 TOE에서 42,654천 TOE로 연평균 1.13%씩 약 11% 증가하였다. 가정부문의 에너지 소비량은 2003년 22,591천 TOE에서 2012년 21,318천 TOE로 약 6%정도 감소했으나, 상업부문의 경우 동 기간 동안 12,374천 TOE에서 16,567천 TOE로 약 34%정도 증가하여 전체 건물부문의 최종에너지 소비증가를 주도하였다. 공공부문도

5) 에너지총조사 보고서는 표본 추출 조사를 통해 보다 세부적인 정보를 제공하고 있으나 국가 에너지 통계 작성 방식과 반대로 통계적 기법을 이용한 상향식 추정치를 총 합계로 제시하고 있어 같은 연도의 같은 부문 연간 에너지 소비량 합계 정보가 상이하게 나타남(조상규 외, 2013). 현재 최신은 2011년도 에너지총조사 보고서임.

6) 에너지통계연보는 국가 총 에너지 밸런스로부터 하향식으로 산정되는 동일한 통계 데이터에 기초하고 있음. 단, 집계 부문의 구분과 지역별 정보 제공 유무에 있어 차이가 있을 뿐임(조상규 외, 2013). 현재 최신은 2013 에너지통계연보임.

상업부문과 마찬가지로 같은 기간 동안 에너지소비량이 3,593천 TOE에서 4,769천 TOE로 약 33%정도 증가했으나 전체 건물부문 에너지 소비에서 차지하는 비중이 약 11%정도로 높지 않은 수준이다(그림 2-1).



<그림 2-1> 건물부문 최종에너지 소비량 변화 추이(2003~2012)

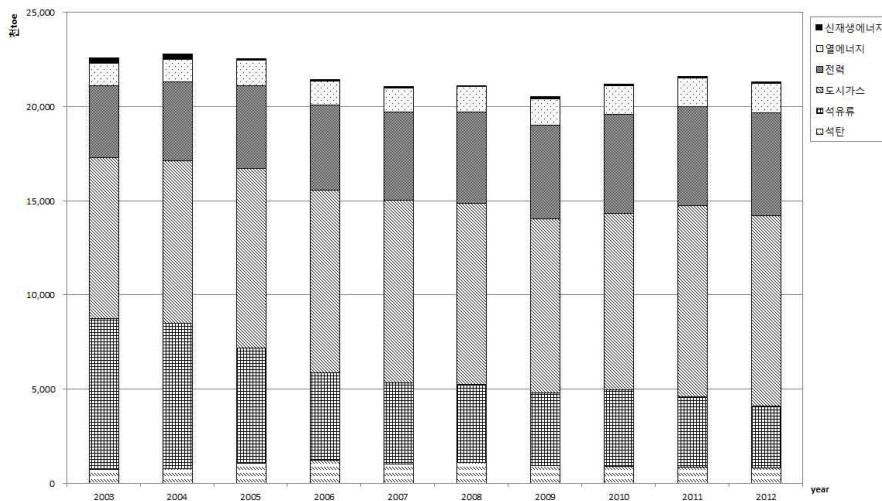
자료: 2013 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2013)

## 2. 부문별·에너지원별 최종에너지 소비량 변화 추이

### 가. 가정부문

가정부문의 경우 최근 10년 동안(2003~2012년) 최종에너지 소비가 6%정도 소폭 감소하였는데, 이러한 변화의 주요 요인은 에너지 소비구조의 변화에 기인한다. 에너지원별로 보면, 석유류 소비에 의한 최종에너지 소비량은 2003년 8,040천 TOE에서 2012년 3,272천 TOE로 약 59%가 감소하였다. 반면 가정부문 전력 소비는 동 기간 동안 3,833천 TOE에서 5,464천 TOE로

약 43%정도 증가하였다. 따라서 가정부문 최종에너지 소비량의 감소는 전력이 석유류를 대체함에 따라 소폭 줄어든 것으로 분석된다. 2012년 기준 가정부문의 에너지원별 비중은 도시가스가 절반에 가까운 47%, 전력 26%, 석유류 15%, 열에너지 7%, 석탄 4%, 재생에너지 1%미만 순으로 나타난다 (그림 2-2).



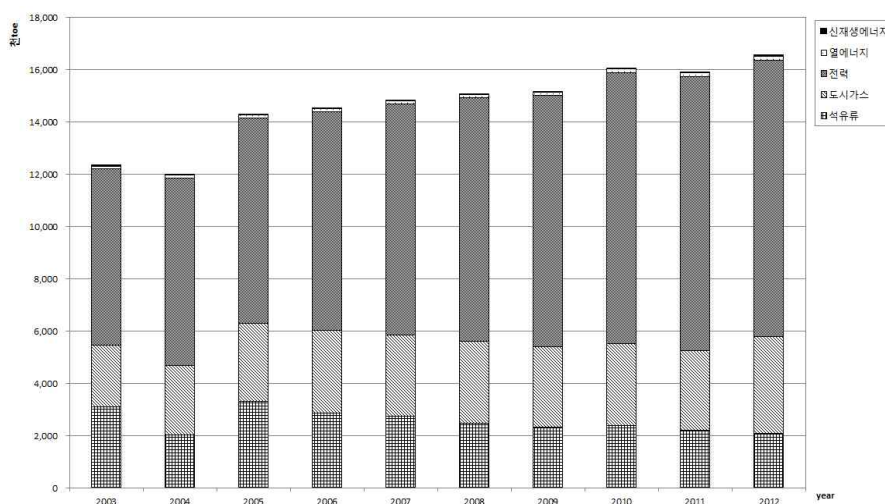
<그림 2-2> 가정부문 에너지원별 최종에너지 소비량 변화 추이(2003~2012)

자료: 2013 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2013)

### 나. 상업부문

상업부문은 타 부문보다 최종에너지 소비증가율이 높은 부문으로, 이는 건물부문의 전체적인 에너지소비 총량의 증가에 기인한다. 가정부문과 마찬가지로 같은 기간 동안 전력 소비가 증가하고 석유류 소비가 감소하는 추세로 에너지원별 소비량 변화가 나타나는데 그 변화의 폭이 가정부문보다 크지 않다. 더불어 열에너지의 경우 2012년 159천 TOE로 2003년 89천 TOE

대비 약 79%정도 대폭 증가했지만 그 양이 미비하다. 에너지원별 비중은 2012년 기준으로 전력 64%, 도시가스 22%, 석유류 13%, 열에너지 1%, 재생에너지 1%미만 순으로 나타난다(그림 2-3).



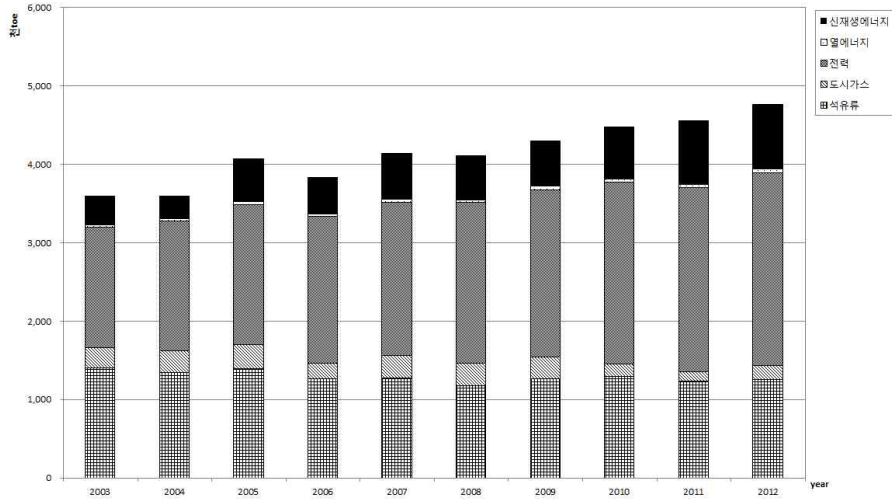
<그림 2-3> 상업부문 에너지원별 최종에너지 소비량 변화 추이(2003~2012)

자료: 2013 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2013)

#### 다. 공공부문

공공부문의 경우도 2003년부터 2012년까지 에너지 소비 총량이 크게 증가하였다. 에너지원별로 보면, 타부문과 마찬가지로 석유류가 차지하는 비중이 축소되고 전력 비중이 증가하였다. 하지만, 가정·상업 부문과 달리 도시가스 소비량이 2003년 259천 TOE에서 2012년 181천 TOE로 약 30%정도 감소하였고, 재생에너지 사용량이 동 기간 동안 364천 TOE에서 832천 TOE로 2.3배 정도 크게 증가하였다(그림 2-4). 이는 정부 차원의 ‘공공건물 신재생에너지 이용의무화 제도’ 등의 시행에 따른 공공부문 재생에너지

보급 확대가 그 주요 요인인 것으로 분석된다.



<그림 2-4> 공공부문 에너지원별 최종에너지 소비량 변화 추이(2003~2012)

자료: 2013 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2013)

건물부문 에너지 수요 특성을 분석한 결과, 총 에너지 수요 증가 및 높은 에너지소비 증가율, 에너지 소비구조 특성 상 그린리모델링 제도를 민간에 도입할 시 상업부문에 우선적으로 도입하는 것이 더욱 효과적일 것이라 분석된다.

## 제2절 건물부문 온실가스 감축 정책

본 절에서는 해외 각국의 녹색건축물 조성 관련 법률, 제도 및 프로그램 현황과 건물부문의 녹색건축물 조성을 위한 국내 건축 법규 및 정책, 관련 제도를 문헌조사를 통해 기술하였다. 이를 통해 주요 국가별 녹색건축물 조성 관련 정책 및 제도의 특징을 비교·분석하고, 우리나라 건물부문의 온실가스 감축정책을 검토하고자 한다.

### 1. 해외정책 동향

#### 가. 독일

독일은 유럽 내 온실가스 최대 배출국 중 하나로, 유럽연합의 녹색건축물 관련 정책에 대응하여 국가 목표를 설정하고, 이에 따른 많은 정책들을 시행하고 있다.

독일은 교토의정서와 유럽연합의 목표에 따라 2020년까지 1990년 대비 온실가스 배출량 40% 감축<sup>7)</sup>을 국가목표로 설정하였는데, 이는 1990년 기준 CO<sub>2</sub> 발생량의 21% 절감에 해당한다. 이에 따라 독일 정부에서는 독일의 에너지와 기후 통합프로그램인 IEKP(Integriertes Enerfienn-und Klimaprotram m)<sup>8)</sup>을 통과시켰다. 특히, 건축분야의 경우 건물부문의 에너지효율을 단계적으로 꾸준히 상승시켜 왔으며<sup>9)</sup>, 오래된 건축물의 경우 최저 에너지효율 기준을 재설정하여 이를 보수 및 현대화시키는 방안을 검토 중이다.

또한 독일은 강력한 연합정부 시스템과 이를 바탕으로 한 주차원의 지방

7) 유럽연합의 경우, 2020년 BAU대비 30% 온실가스 감축을 목표로 하고 있음.

8) 2007년 8월 23일 통과, 독일 내각의 30가지 구체적인 개별 조치들을 포함하고 있음.

9) 2012년 건물부문의 에너지효율을 30%로 향상



자치시스템이 강력히 구축되어 있어 기후변화 및 녹색건축물 관련 정책의 추진에 있어 효과적인 정책 추진이 가능하다. 따라서 국가 기후변화 및 에너지 정책을 위하여 지방정부 차원에서는 자발적 합의와 조정 프로젝트, 촉진 프로그램의 형태로, 기초 지자체 차원에서는 각종 CO<sub>2</sub>감축 프로그램과 다양한 프로젝트를 통해 국가 온실가스 감축 목표 달성을 지원하고 있다.

<표 2-1> 독일의 녹색건축물 관련 법률, 제도 및 프로그램

구분		내 용
법 률	재생에너지법 <sup>10)</sup>	• 대형건물에 한해 난방의 일정비용을 의무적으로 신재생에너지로 보급하는 정책으로, 보조금, 용자제도와 같은 국가 보조금 혜택을 통해 국민들의 적극적인 참여와 관심을 유도하고 있음.
	에너지절약법 <sup>11)</sup> (Energy Saving Act, EnEG)	• 에너지의 수입의존도를 낮추기 위해 1976년 제정된 법으로, 이를 통해 단열, 난방시스템, 난방비 규정 등이 마련되었음.
	에너지절약 규정 <sup>12)</sup> (Energy Saving Ordinance, EnEV)	• 2002년에 도입되었으며, 에너지절약법(EnEG)에서 더 나아가 난방, 온수, 환기에 대한 내용을 포함하는 포괄적인 접근방식으로 발전되었음.
	난방비에 관한 법률 (Heating Costs Act)	• 1981년 제정되어 2009년에 개정된 법률로, 세입자가 현 소비량을 기준으로 전보다 높은 비율의 난방비를 지불하게 함으로 더 많은 에너지를 절약하여 그에 따른 인센티브를 얻도록 하며, 집주인들은 더 높은 에너지 절약 대책을 채택하도록 유도하는 법률임.
	에너지와 난방에 관한 법률 <sup>13)</sup> (Renewable Energy and Heat Act)	• 건물의 난방과 온수 사용으로 소요되는 에너지를 신재생에너지로 충당한다는 법안으로, 태양, 바이오매스, 지열에너지를 사용해야 한다는 내용을 포함함.
	재생가능한 에너지원에 관한 법률 (Renewable Energy Sources Act, EEG)	• 2000년 신재생에너지 산업을 국가 성장 동력으로 육성하기 위한 기반을 마련하기 위해 제정되었으며, 재생가능한 에너지로서의 전력을 비축할 수 있는 근거를 마련하였음.
제 도 및 프 로 그 램	에너지소비량인증서 <sup>14)</sup> (Energy expenditure Certificates)	• 2003년 독일에너지청(DENA)이 도입한 에너지패스(Energiepass) 제도를 변경한 것으로 2008년부터 단계적으로 도입되었음. 이 제도는 주택, 상가의 임대 또는 매매 시 건물 소유자가 건물 에너지 소비량을 의무적으로 표시하는 제도임.
	에너지효율인증서 (Energy Performance Certificates)	• 건물의 에너지를 기록하고 초록(좋음), 빨강(나쁨), 노란색과 갈색(중간)으로 건물의 에너지 성능을 표시하는 인증서임.
	CO <sub>2</sub> 건축물 개·보수 지원 프로그램	• 건축물 에너지 감소와 CO <sub>2</sub> 발생 저감을 위해 외곽의 형체나 형상을 개선하는 프로그램임. 지붕피복, 난방시설개선, 외벽과 창문 교체 및 개선 등의 방안을 주요 내용으로 함.
	재생가능 에너지 조성프로그램	• 풍력, 바이오매스, 태양광 분야의 확산을 위한 제도로, 1990년 풍력에너지를 시작으로 2000년 바이오매스, 태양광발전 분야까지 확장되었음.
	주택 근대화 프로그램 (Eco PLUS)	• 에너지절약규정(EnEV)의 개보수 공사 중에서 지붕, 외벽, 최상층 천장의 단열재 사용에 대해서 저리용자를 제공하기 위한 것으로, 신재생에너지를 사용한 열공급 시스템의 개선도 지원함.
	국가 기후보전 프로그램 (The National Climate Protection Programme)	• 온실가스 배출 감축을 위한 구체적인 대책을 마련한 프로그램으로, 2008-2012년까지의 5개년 계획으로 1990년 기준 21%의 온실가스 배출량을 감소시키고자 하는 목적을 가지고 있음.

10) 1990년 '신재생에너지의 의무구매제도'를 대체하는 법

11) 단열규정의 경우 연간 난방에너지의 상한, 열관류율 등의 기준을 정하여 신축건물 및 기존건물에 이 규정을 준수하도록 규제하고 있음.

12) 신축건물에 대한 에너지소비량을 현재 기준보다 30% 더 낮추도록 규정하고 기존 건물에 대한 절연조치와 난방시스템의 교체를 강화함으로써 소비부문 에너지절약에 크게 기여하고 있음.

13) 2009년 이후 신축 건물의 경우 15% 이상의 태양에너지, 50% 이상의 액체 또는 고체 바

자료: 녹색건축물 기본계획 수립을 위한 사례연구(오성훈 외, 2012) 및 녹색건축 조성 활성화 방안(유광흠, 2010) 참조하여 편집

## 나. 미국

미국은 1997년 교토의정서가 체결되면서 2001년 ‘국가에너지정책(National Energy Policy, NEP)’을 수립하고 에너지 효율 향상과 에너지 절감을 국가 핵심 에너지 정책으로 강조하였다. 2005년에는 ‘에너지정책법(Energy Policy Act 2005)’을 통해 에너지 효율과 신재생에너지의 사용을 확대하는 기본방침을 가지고, 각 부문별로 정책적 수단을 마련하였다. 2009년 3월에 발의된 ‘미국청정에너지안보법(American Clean Energy and Security Act of 2009, ASESAs)’은 청정에너지의 확대 및 전환, 에너지효율 향상, 온실가스 감축의 네 부문의 소주제를 주요 내용으로 하고 있다.

하지만, 교토의정서 의무이행기간(2008~2012년)이 끝나고, 미국은 개도국과 선진국 간의 서로 다른 감축목표량에 따른 자국 산업의 타격을 이유로 향후 교통의정서 비준을 취소하였다. 그러나 오바마 정부 이후 미국은 기후 변화 문제에 대해 적극적으로 대응함과 동시에 그린에너지 산업분야의 육성을 통해 경제위기를 극복하고자 하는 강력한 의지를 표명해왔다. 또한 최근 미국의 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)은 녹색건축물의 조성 및 촉진을 독려하고 있다(이민석 외, 2011).

미국의 경우 녹색건축물 조성에 대한 기본계획은 국가차원에서 시행되는 것이 아니라, 각 주정부 내에 고유 법률체계와 입법·사법·행정 등 각 조 직을 두고 독립적으로 법·제도를 운영 중인데, 정부는 각 주법의 영역에

---

이오매스 또는 50% 이상의 지열을 활용해야 한다는 내용을 포함하고 있음.

14) 에너지소비량인증서에는 건물 명칭, 준공 연도, 냉·난방기 설치 연도 등 기본적인 데이터 뿐 아니라, 열에너지 소비량, 전력 소비량 등의 내용이 포함됨.

대해서 원칙적으로 관여하지 않고 있다(오성훈 외, 2012).

<표 2-2> 미국의 녹색건축물 관련 법률, 제도 및 프로그램

구분		내용
법 률	미국청정에너지안보법 <sup>15)</sup> (American Clean Energy and Security Act, ASES)	• 2009년 3월 31일 발의된 기후변화 대응관련 주요 법안으로 녹색성장과 고용, 온실가스 감축과 탄소배출권 거래를 통한 청정 에너지 경제 달성 및 기후변화 대응에 필요한 모든 규정을 포괄적으로 다루는 법안임.
	에너지효율의무화제도 (Energy Efficiency Resources Standard, EERS)	• 에너지 공급업자들에게 에너지 효율 개선에 따른 인센티브를 제공해 이를 시장에서 거래하도록 하는 시장친화적 제도임.
제 도	HERS (Home Energy Rating System)	• 주거부문 건축물의 에너지 성능을 평가하는 인증제로, 3층 이하 주거건축물 및 단독주택에 적용, RESNET(Residential Energy Service Network)에 의해 운영되는 국가 시스템임.
	빌딩 아메리카 (Building America, BA)	• 에너지 효율이 높은 빌딩 건설을 위한 프로그램으로, 주거용은 2020년, 비주거용은 2025년부터 제로에너지 건축을 의무화한다는 목표임.
프 로 그 램	내후화 지원 프로그램 <sup>16)</sup> (Weatherization Assistance Program, WAP)	• 1976년부터 시행된 제도로, 미국 에너지부(DOE, Department of Energy)가 저소득 계층의 주택 에너지 효율을 향상시켜 에너지 비용을 절감하고, 건강과 안전을 도모할 목적으로 시행하고 있는 내후화 서비스 제공 사업임.
	EEM <sup>17)</sup> (Energy Efficient Mortgage)	• 에너지 스타인증이 된 집을 구매하거나, 기존 건물에 에너지효율 향상을 위해 시설투자를 한 경우, 에너지 효율에 따른 Credit으로 주택담보대출을 상환하거나 장기저리 용자를 제공받을 수 있게 한 제도임.
	LEED 그린빌딩 인증제도 <sup>18)</sup>	• 환경평가기술을 기준으로 건물의 생애주기(Life Cycle) 관점에서 성능을 평가하고, 건축시장을 활성화시키기 위한 환경성능 평가제도임.

자료: 녹색건축 조성 활성화방안(유광희, 2010), 녹색건축물 활성화를 위한 제도 기반 구축 방안 연구(이민석 외, 2011), 녹색건축물 기본계획 수립을 위한 사례연구(오성훈 외, 2012) 참조하여 편집

- 15) 2005년 기준 2020년 17%, 2050년 83% 온실가스 감축 목표를 설정하였고, 청정에너지 사용 확대, 에너지 효율 향상, 온실가스 감축, 청정에너지로의 전환 등이 내용이 소주제로 포함됨.
- 16) 지난 30년 동안 WAP의 실시로 큰 에너지 비용 절감효과가 발생하였는데, 가구들은 연평균 \$358, 평균 가스난방소비의 32%를 절약하였으며, 이 외에도 물 소비 감소, 주택 질 향상, 자산가치 증가 등의 부수적인 효과를 발생시킴.
- 17) 기존건물에 에너지효율화 시설투자를 한 경우, \$4000 혹은 건물가치의 5%까지 용자를 보증해줌.
- 18) 미국 그린빌딩 협의회(U.S Green Building Council)에서 시행하고 있는 제도로, 2009년 그린빌딩 인증시스템의 새로운 버전으로 LEED Version 3을 구성함(LEED 2009, LEED Online, New Building Certification Model).

#### 다. 영국

영국은 전 세계적으로도 기후변화에 대해 가장 적극적으로 대응하고 있는 국가로, 다양한 분야에서 광범위한 정책과 제도 및 프로그램을 시행하고 있다. 2008년 세계최초로 ‘기후변화법(Climate Change Act)’을 제정했으며, 이 법률에 따라 기후변화위원회(Committee on Climate Change)<sup>19</sup>를 설립하였다. 더불어 ‘에너지법(Energy Act)’과 ‘계획법(Planning Act)’을 제정하여 영국이 저탄소경제로 전환하고, 장기적·안정적인 에너지 공급 확보를 통해 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 토대를 마련하였다.

영국은 이산화탄소 총 배출량의 2/3가 주택, 비주거용 건물(상업, 공공), 산업이 차지하고 있어 건물의 탄소제로화 정책이 국가 이산화탄소 감축에 큰 역할을 차지하고 있으며, 주요 감축 영역이라 할 수 있다.

2002년 제정된 ‘지속가능하고 안전한 건축물에 관한 법(Sustainable and Secure Buildings Act 2004)’은 환경보호, 지속가능한 개발 도모를 위한 근거를 마련하였으며 건물 시공과 디자인에 한정되었던 하위법령인 ‘건축규제(Building Regulations)’의 고려 범위를 확대시켰다. 2007년에는 10년 이내 주택에서 발생하는 탄소를 제로로 달성하기 위해 ‘환경친화적인 미래를 위한 건축안(Building a Greener Future Consultation)’을 검토했으며, 탄소제로주택을 위한 탄소 무배출 제도, 에너지 효율등급 제도 등의 정책을 마련하였다. 또한 탄소제로 달성을 위한 기후변화 관련 ‘PPS(Planning Policy Statement on Climate Change)’와 ‘지속가능한 주택법(the Code for Sustainable Homes)’를 발표하였다. 위의 법들에 의거하여 ‘에너지성능건축물지침(Energy Performance of Building Directive)’ 내에 2007년 도입된 에너지 성능 인증시스템을 보완하고, 건축규제와 연동함으로써 관련 건

19) 기후변화위원회는 2003년 에너지백서(Energy White Paper)에서 설정한 1990년 대비 2050년 CO<sub>2</sub> 배출량 60% 감소 목표를 80%로 증가시킴.

축법의 강화를 점진적으로 추진 중이다(이민석 외, 2011).

<표 2-3> 영국의 녹색건축물 관련 법률, 제도 및 프로그램

구분		내 용
법 률	건축법 (Building Act)	• 1984년에 제정되어, 2004, 2006년에 개정되었으며, 신축 및 개축 건물의 에너지 성능기준 향상을 도모하기 위한 법임.
	지속가능하고 안전한 건축물법 (Sustainable and Secure Buildings Act)	• 건축법(Building Act)을 토대로 2004년에 제정되었으며, 환경보호, 지속가능한 개발 도모 등을 보다 높은 수준으로 올리기 위해 디자인과 시공에 한정된 건축규제를 완화한 법
	기후변화법 (Climate Change Act)	• 2008년 세계 최초로 온실가스 감축을 위한 탄소예산 제도 수립을 골자로 하여 수립되었으며, 민간 기업들의 녹색산업에 대한 적극적 투자와 녹색상품 및 서비스 개발을 유도화함.
제 도 및 프 로 그 램	계획정책지침 (Planning Polic Statement)	• 개별 지방정부의 계획이 국가 및 지역 정책의 방향에 반영될 수 있도록 하는 제도적 보완장치로서 PPS/PPG <sup>20)</sup> 를 마련하여 공간계획에 대한 국가정책지침을 제공함.
	에너지효율 책임제 (Energy Efficiency Commitment, EEC)	• 기존 주택의 에너지효율성 증진을 위한 정책으로 허가권자에 의해 결정된 목표 달성을 위해서 전기, 가스 공급업자가 가정의 에너지효율을 향상시키기 위한 의무를 수행하도록 요구하는 제도
	에너지효율기준 (Energy Efficiency Standards)	• 주택을 포함한 건물을 사용하는 사람들의 안전 및 보건을 위해 설계나 시공 시 다양한 규제 적용을 목적으로 함.
	SAP <sup>21)</sup> (Standrad Assessment Procedure)	• 신축 및 기존 건축물에 대해 건물 에너지성능을 평가하고, 이에 대한 표시를 의무화하기 위한 기준을 제공함.
	건물에너지 성능 인증서	• EU의 EPBD 이행을 위해 시행된 제도로, 모든 건축물의 에너지 효율 등급을 A-G로 구분하며, 주택시행령(The Housing Act)에 근거하여 주택정보패키지제도(Home Information Packs)는 주택에 관한 정보에 에너지 성능 인증서를 포함하도록 하고 있음.
	지속가능주택규정 (Code for Sustainable Homes, CSH)	• 기존의 신축주택 평가를 위한 'Ecohomes' 를 2007년 4월부터 대체하는 규정으로, 에너지 효율 등 7개 주요 부문에 관한 의무적 이행수준을 규정하고 있음.
	에너지 절약감면제 (Landlord Energy Saving Allowance, LESA)	• 임대 주택 부문의 에너지 효율 촉진을 위해 2004년 이래 시행한 제도로, 임대 사업자가 건물에 법정 에너지 절약시설을 설치할 경우, 설치비용을 과세대상에서 공제해줌.
	BREEAM (BRE Environmental Assessment Method)	• 친환경 건축 및 커뮤니티를 유도할 수 있는 설계도구이며, 이와 함께 친환경성능 인증프로그램으로 널리 사용됨.

20) 지속가능개발의 제공, 주택, 지역 공간적 전략, 재생가능한 에너지, 계획과 오염통제 등의 내용을 포함하고 있음.

21) SAP2005는 건물 에너지성능 관련 DER(Dwellig CO<sub>2</sub> Emission Rate), TER(Target CO<sub>2</sub> Emission Rate), SAP Rating, EI(Environmental Impact Rating) 총 4가지 지표를 제공함.

자료: 녹색건축 조성 활성화방안(유광흠, 2010), 녹색건축물 활성화를 위한 제도 기반 구축 방안 연구(이민석 외, 2011), 녹색건축물 기본계획 수립을 위한 사례연구(오성훈 외, 2012) 참조하여 편집

## 라. 일본

일본은 국제적으로 기후변화 대응을 위한 협의가 시작되었던 1990년대 초부터 에너지 효율 향상을 위한 법적 규제를 강화해왔다. 1993년에는 ‘에너지사용 합리화에 관한 법률(에너지절약법)’을 개정하여 에너지절약에 대한 기본방침 책정과 에너지관리 지정공장에 관계된 정기보고의 의무지정 등을 추가하였다. 2000년 ‘에너지절약법’의 개정을 통해서도 대규모 오피스 등 대규모 공장시설에 준하는 건축물에 대한 에너지 관리 의무, 2000 m<sup>2</sup>이상 비주거 건축물의 에너지절약 조치 신고 의무를 규정하였다. 이후 2005년 2월 교토의정서의 발효와 함께 본격적으로 에너지 이용합리화에 대한 정책을 강화하였다(이민석 외, 2011).

건물부문의 경우 에너지 절약기준을 충족하는 주택의 보급 촉진을 위해, 성능 표시제도의 활용 촉진, 법제적 조치 강화 등을 함께 실시하였다. 또한 지역의 특성에 대응한 다양한 설계 시공법이 활용되도록 적절하게 기준을 수정하여 실시하였다. 더불어 2,000 m<sup>2</sup> 이상의 주택을 포함한 건축물의 신축 및 대규모 리모델링을 하는 경우에 에너지절약 조치 신고가 의무화 되었다.

<표 2-4> 일본의 녹색건축물 관련 법률, 제도 및 지침

구분		내 용
법 률   제 도  및 지 침	에너지 사용 합리화에 관한 법률 <sup>22)</sup> (에너지절약법)	<ul style="list-style-type: none"> <li>공장 시설, 기계, 기구 등에 관한 종합적 에너지절약 추진을 위해 분야별로 사업자의 노력을 규정함.</li> </ul>
	지구온난화대책계획서 제도	<ul style="list-style-type: none"> <li>온실가스 배출량이 많은 사업장을 대상으로 지구온난화대책계획서의 제출과 공표를 요구하는 제도임.</li> </ul>
	에너지환경계획서 제도 <sup>23)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>도내의 일정 규모 이상으로 전기를 사용하는 수요자에게 전기 사업자의 에너지환경계획서와 에너지상황보고서를 의무적으로 제출하도록 공표하고 있는 제도임.</li> </ul>
	건축물환경계획서 제도	<ul style="list-style-type: none"> <li>총 건평 1만 m<sup>2</sup>를 초과하는 건축물의 신축 및 증축의 경우, 건축주의 '건축물환경계획서' 제출을 의무화하고, 도쿄 도를 비롯한 시행하는 도내 홈페이지에 공표하는 것을 규정함.</li> </ul>
	맨션환경성능표시 제도	<ul style="list-style-type: none"> <li>가정부문 온난화 대책의 하나로 대규모 신축 또는 증축 맨션을 대상으로 하며, 건물의 단열, 설비의 에너지절약 성능, 장기 수명, 녹화 등 4개 부문의 환경 성능을 라벨의 표시로 의무화하는 제도임.</li> </ul>
	차세대 에너지 기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>현재 건축물의 단열성능, 기밀성능 기준, 일사침입 방지 기준 강화 등 기준 대비 20% 에너지 절감형 주택 구현을 목적으로, 건축물의 요구 성능을 향상시키기 위한 기준의 강화 안을 설정하고 있음.</li> </ul>
	주택의 에너지 절약 기준과 지침	<ul style="list-style-type: none"> <li>거주수준의 향상을 목표로 하면서 현재의 에너지 소비량을 증가시키지 않고 그 수준을 달성할 수 있도록 하기 위해 냉·난방을 중심으로 열손실계수, 일사취득계수 등을 강화하는 지침</li> </ul>
	환경 공생주택 인증제	<ul style="list-style-type: none"> <li>'환경공생주택 추진협의회'에서 개발한 제도로써, 에너지절약, 자원고도활용, 지역적합 및 환경친화, 건강, 쾌적 등의 항목에 등급을 부여하는 것이 아닌 평가를 통해 인정여부만을 결정하는 제도임.</li> </ul>
CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency)	<ul style="list-style-type: none"> <li>건물의 life cycle에 따라 기획, 신축, 기존, 개수라는 4가지 평가기법을 통해 건축물의 환경품질·성능과 건축물 환경부하의 양 측면에서 평가가 가능한 제도</li> </ul>	

자료: 녹색건축 조성 활성화방안(유광흠, 2010), 녹색건축물 활성화를 위한 제도 기반 구축 방안 연구(이민석 외, 2011), 녹색건축물 기본계획 수립을 위한 사례연구(오성훈 외, 2012) 참조하여 편집

22) 에너지 소비량이 대폭 증가하고 있는 업무부문과 가정부문에서의 에너지사용의 합리화를 한층 더 강화 추진하기 위해서 2008년 5월에 개정됨.

23) CO<sub>2</sub> 배출계수, 전년도 CO<sub>2</sub> 배출량, 당해연도 목표 및 장기목표, 재생에너지 공급량 및 비율목표 등을 포함하고 있음.



## 2. 국내정책 동향

우리나라 온실가스 감축정책은 1997년 교토의정서 채택과 함께 시작되어, 같은년도 ‘신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진 법률’을 개정하였으며, 2006년 ‘에너지기본법’을 제정하였다. 이후 2009년 녹색성장위원회에서 ‘국가전략 및 5개년 계획<sup>24)</sup>’을 통해 국가 차원의 온실가스 감축 목표를 2020년까지 배출전망치(BAU)대비 온실가스 30%를 감축하는 것으로 설정하였다. 이 중 현재 국가 전체 에너지 소비량의 약 25%정도를 차지하고 있는 건물부문은 배출전망치(BAU) 대비 온실가스를 26.9% 감축하는 것을 목표로 하고 있다(표 2-5). 2010년에는 ‘저탄소 녹색성장 기본법’을 제정하고 관련 법규 및 제도를 정비했으며, 2012년에는 국토교통부 내에 녹색건축과가 신설되어 건물부문의 다양한 정책과 사업을 시행하고 있다. 또한 그동안 건물부문 온실가스 감축에 대해 친환경, 지속가능 등 다양한 용어 및 법규로 혼란스러웠던 정책은 2013년 ‘녹색건축물 조성 지원법’이 제정되면서 녹색건축이라는 용어 통칭과 함께 관련 법규 및 제도들이 정비되었다.

<표 2-5> 부문별 온실가스 감축목표

단위 : 백만 tCO<sub>2</sub>eq

	산업	수송	건물	공공기타	농림어업	폐기물	국가전체
2020BAU	439.0	99.6	167.6	17.9	28.5	13.8	776.1*
목표배출량	357.7	65.4	122.6	13.4	27.0	12.1	543.0**
감축량	81.3	34.2	45.0	4.5	1.5	1.7	233.1
감축률(%)	18.5	34.3	26.9	25.0	5.2	12.3	30.0

\* 배출량 총계(776백만 tCO<sub>2</sub>eq)는 도시가스(2.0) 및 탈루배출량(7.6)이 추가된 수치임.

\*\* 국가전체 목표배출량 및 감축량은 전환부문(64.9)을 포함한 수치임.

자료: 국가 온실가스 감축, 2020년 로드맵 마련 보도자료 편집, (환경부, 2014년)

24) 녹색성장 5개년 계획에서는 건물부문 온실가스 감축목표 달성을 위해 건물에너지 효율등급 및 친환경 건축물 인증제 적용 대상 확대, 주거용 건물 등 건물별 설계기준 마련, 신재생에너지 설비를 지원하는 그린홈 100만호 사업 등이 포함되었음.

더불어 그동안 건물부문의 온실가스 감축정책은 공공건축물의 에너지 효율화, 에너지절약형 건물 보급, 설계기준 강화 등 신축 건물의 물리적 요소 관리를 통한 정책 시행이 주를 이루고 있었다(유정현 외, 2012; 조상규 외, 2013). 그러나 최근에는 인증제도 및 에너지 효율화의 대상을 기존 건축물로 확대하고 에너지 소비증명제 등의 시행을 통해 건물 에너지 소비량을 관리하며, 그린리모델링 시범사업을 실시하는 등 녹색건축 정책의 대상이 신규 건축물에서 기존 건축물로 점차 확대되고 있는 추세이다(조상규 외, 2013).

이러한 제도는 주로 환경부, 산업통상자원부, 국토교통부를 중심으로 운영되고 있다. 먼저 환경부는 ‘저탄소 녹색성장법’에 근거하여 온실가스·에너지목표관리제, 온실가스 배출권거래제 등의 제도를 운영하면서 국가 온실가스 감축에 중점을 두고 있으며, 산업통상자원부는 ‘에너지이용합리화법’과 ‘신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법’에 근거하여 에너지의 효율적인 이용과 재생에너지의 보급에 중점을 두고 있다. 국토교통부는 2012년 녹색건축과를 신설하고, ‘녹색건축물 조성지원법’ 및 하위 법령 등을 제정하여 건물부문 온실가스 감축을 위한 정책을 추진 중에 있는데, 본 연구에서 다루고자하는 그린리모델링의 경우도 이에 포함된다(조상규 외, 2013)(표 2-6).

<표 2-6> 각 부처별 건물에너지 절약정책 및 제도

환경부	산업통상자원부	국토교통부
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 친환경 건축물인증제도</li> <li>• 국가 온실가스 종합정보관리</li> <li>• 탄소포인트제도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건축물 에너지효율등급 인증제도</li> <li>• 냉난방온도제한 건물의 지정</li> <li>• 자발적협약(VA)</li> <li>• 에너지사용량 신고</li> <li>• 에너지진단</li> <li>• 신재생에너지의 설치의무 및 인증설비 사용의무</li> <li>• 공공건물 신재생에너지 이용 의무화 제도</li> <li>• 신재생에너지이용 건축물인증제도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건축물 에너지절약계획서</li> <li>• 건축물 에너지효율등급 인증제도</li> <li>• 친환경 건축물인증제도</li> <li>• 주택성능등급인정제도</li> <li>• 친환경 주택성능 평가제도</li> <li>• 지능형 건축물 인증제도</li> <li>• 건물부문 온실가스·에너지 목표관리제</li> <li>• 에너지소비총량제</li> <li>• 에너지소비증명서(예정)</li> <li>• 건물부문 온실가스 정보 및 통계 제출</li> <li>• 신재생에너지이용 건축물인증제도</li> <li>• 건축물 에너지평가사</li> <li>• <b>그린리모델링제도</b></li> </ul>

자료: 건물부문의 에너지 효율화를 위한 국가 건물에너지 통합관리 시스템의 활용방안 연구 (유정현 외, 2012)

#### 가. 녹색건축물 조성지원법 및 하위 법령

‘녹색건축물 조성지원법’ (법률 제 11385호)은 2013년 2월 제정되어 동년 3월 23일부로 시행된 법안으로 국토교통부 녹색건축과에서 발의하였다.

이 법은 ‘저탄소 녹색성장 기본법’에 따른 녹색건축물의 조성에 필요한 사항을 정하고, 건축물 온실가스 배출량 감축과 녹색건축물의 확대를 통하여 저탄소 녹색성장 실현 및 국민의 복리 향상에 기여함을 목적으로 한다고 제1조(목적)에서 밝히고 있다.

더불어 동 법안에서는 “녹색건축물”이란 ‘저탄소 녹색성장 기본법’ 제 54조에 따른 건축물을 말하며, “녹색건축물 조성”이란 녹색건축물을 건축하거나 녹색건축물의 성능을 유지하기 위한 건축활동 또는 기존 건축물을 녹색건축물로 전환하기 위한 활동을 말한다고 녹색건축물과 녹색건축물 조성에 대해 정의하였다.

기본원칙은 5가지로 ① 온실가스 배출량 감축을 통한 녹색건축물 조성,

② 환경친화적이고 지속가능한 녹색건축물 조성, ③ 신·재생에너지 활용 및 자원 절약적인 녹색건축물 조성, ④ 기존건축물에 대한 에너지효율화 추진, ⑤ 녹색건축물의 조성에 대한 계층 간, 지역 간 균형성 확보를 원칙으로 하며, 이에 따라 법이 추진되어야 한다고 밝히고 있다.

주요내용으로는 녹색건축물 기본계획, 건축물 에너지 및 온실가스 관리대책, 녹색건축물 등급제 시행 등이 있으며, 녹색건축물 조성을 촉진하기 위하여 아래와 같은 사항이 포함된 녹색건축물 기본계획을 5년마다 수립해야 한다(표 2-7).

<표 2-7> 녹색건축물 기본계획의 수립 내용

녹색건축물 기본계획 수립의 주요내용
1. 녹색건축물의 현황 및 전망에 관한 사항
2. 녹색건축물의 온실가스 감축, 에너지 절약 등의 달성목표 설정 및 추진 방향
3. 녹색건축물 정보체계의 구축·운영에 관한 사항
4. 녹색건축물 관련 연구·개발에 관한 사항
5. 녹색건축물 전문인력의 육성·지원 및 관리에 관한 사항
6. 녹색건축물 조성사업의 지원에 관한 사항
7. 녹색건축물 조성 시범사업에 관한 사항
8. 녹색건축물 조성을 위한 건축자재 및 시공 관련 정책방향에 관한 사항
9. 그 밖에 녹색건축물 조성의 촉진을 위하여 필요한 사항

자료: 녹색건축물 조성지원법(국토교통부 녹색건축과, 2013)

#### 나. 관련제도

녹색건축물 조성을 위한 관련 제도로는 온실가스·에너지 목표관리제, 건축물 에너지효율등급 인증제, 공공기관 에너지이용합리화 제도, 신재생에너지 설치의무화 제도, 신재생에너지 이용 건축물인증제, 에너지절약계획서, 친환경건축물 인증제 등이 있으며, 각 정책별 특징은 다음과 같다(표 2-8).

<표 2-8> 녹색건축물 관련 법·제도

구분	대상	평가항목	인증등급	인센티브
온실가스·에너지 목표관리제	일정기준 이상 온실가스를 배출하는 업체 및 사업장(건물부문 2013년 기준 53개)	해당년도의 평균 온실가스 배출량	평가	-
건축물 에너지효율 등급인증제	신축공동주택 및 업무용 건축물	총에너지 절감률, (연간)단위면적당 1차 에너지 소비량	5등급	취·등록세 감면
공공기관 에너지 이용합리화제도	중앙기관, 지자체, 공공기관	추진실적보고서의 분석결과와 실태점검 결과	업무평가	예산 편성시 반영
신재생에너지 설치의무화제도	연면적 3천 m <sup>2</sup> 이상	신재생에너지 공급의무비율	공급의무비율로 허가	-
신재생에너지 이용 건축물인증제	연면적 1천 m <sup>2</sup> 이상의 신축업무시설	신재생에너지 공급률	5등급	취득세 감면
에너지절약계획서	2천 m <sup>2</sup> ~ 1만 m <sup>2</sup>	에너지성능지표점수(EPI)로 평가	EPI 일반:65점, 공공:74점 이상	건축기준 완화
친환경건축물 인증제	모든 신축건물	토지이용, 교통, 에너지, 재료 및 자원, 수자원, 환경오염, 유지관리, 생태환경, 실내환경	4등급	취득세, 재산세, 환경개선부담금 감면, 건축기준 완화

자료: 녹색건축물 기본계획 수립을 위한 사례연구(오성훈 외, 2012) 및 각 법령 참조하여 편집

## 제3절 그린리모델링

### 1. 그린리모델링의 정의 및 개념

녹색건축물 조성지원법에서는 “기존 건축물을 환경 친화적 건축물로 만들기 위해 에너지성능 향상 및 효율 개선을 목적으로 하는 행위”를 그린리모델링이라 정의하고 있다. 따라서 그린리모델링이란 노후화 되었거나 효율이 낮은 건축물에 대해 건축주나 사업자가 투자비용을 조달하여 에너지 성능개선 공사를 추진하고, 에너지 절감과 수익성 개선액에 기반하여 사업비를 회수하는 사업이다.

그린리모델링의 대상이 되는 건물은 2012년도 기준 약 680만동(74.1%)정도로 추산되며, 향후 국토교통부가 에너지 다소비 건물에 대한 에너지 소비량을 데이터베이스화하여 그 정보를 홈페이지([www.greentogether.go.kr](http://www.greentogether.go.kr))를 통해 공개하여 그린리모델링 대상 건축물 발굴을 지원하고 시장을 활성화할 전망이다(정재훈, 2014).

현재 그린리모델링은 공공건축물 대상의 시범사업을 통해 민간부문으로 확산 유도하고 있으며, 2013년 10개소의 공공기관을 선정하여 사업 시행 중에 있다. 또한 민간금융과 업무협약을 체결, 건축주가 은행으로부터 자금을 조달하고 에너지 절감액으로 대출금을 상환할 수 있도록 이차보전<sup>25)</sup> 방법을 통해 저금리 자금지원 방안을 마련하고, 사업계획서 검토 및 기술지원, 성능검증 등 사업에 대한 공공지원을 위해 그린리모델링 창조센터<sup>26)</sup>를 구성하였다. 사업 대상은 연면적 3천 m<sup>2</sup>이상, 건축물 용도별 사용승인일 15년 이상 경과된 건축물을 대상으로 단위면적당 에너지 사용량이 많은 건축물

25) 에너지 예상 절감액 및 대출금 상환기간에 따라 이차보전비 신청(비주거 건물 건당 최대 1.2억 원, 주거 건물 건당 최대 1.2백만 원), 이차보전율은 2~4% 임.

26) 한국시설안전공단, 한국감정원, 에너지관리공단 등의 전문인력으로 구성됨.

을 우선순위로 선정할 계획이고, 이를 위해서 건축물 면적, 용도, 사용승인 일 등의 건축물 유형에 따른 에너지 사용량 분석이 필요한 시점이다.

정부에서는 그린리모델링 사업을 시행하고자 2014년 1월에 일정기준 이상의 기술 인력과 자본금 및 사무실을 갖춘 종합 및 전문 그린리모델링 예비사업자 171곳을 선정하였다. 예비사업자는 종합그린리모델링 사업자와 전문그린리모델링 사업자로 나뉘는데 종합 사업자는 건축법상 신축을 제외한 허가행위 사업과 전문 사업자가 하는 업무범위를 포함한다. 전문 사업자는 전체 창호 면적의 15%이상 교체하는 창호 수선, 외피면적의 15%이상 교체하는 외피 등의 단열재 수선, 기계설비 또는 전기설비를 교체하는 설비수선 등이 사업 영역이다(표 2-9).

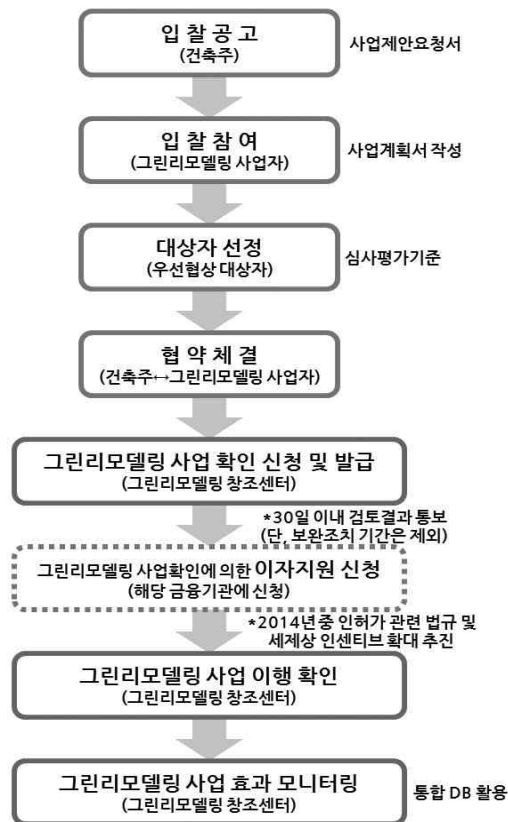
<표 2-9> 그린리모델링 예비사업자

구분	종합그린리모델링 사업자	전문그린리모델링 사업자
기술인력	건축사 또는 특급기술자 1명	중급기술자 1명
자본금	법인 2억원, 개인 4억 원 이상	-
사무실	분양면적 66 m <sup>2</sup> 이상	분양면적 33 m <sup>2</sup> 이상
범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>전문그린리모델링 사업자 업무범위를 포함</li> <li>건축법상 신축을 제외한 허가행위 사업</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>전체 창호면적 15% 이상을 교체하는 창호수선</li> <li>외피면적 15% 이상을 교체하는 외피 등 단열재 수선</li> <li>기계 또는 전기 설비 등을 교체하는 설비 수선사업</li> </ul>

자료: 그린리모델링 사업 본격화(Korea Mech. Const. Contractors Association, 2014)

사업절차는 건축주의 입찰공고에 사업제안요청서 및 사업계획서를 작성하여 참여하며, 심사에 따라 대상자로 선정된 업체는 협약을 체결한다. 그린리모델링 창조센터에서 그린리모델링 사업 확인 후, 해당 금융기관에 이자지원을 신청할 수 있다. 이러한 절차를 마친 후 그린리모델링 창조센터로

부터 사업 이행 확인을 받고, 사업에 따른 효과를 모니터링 하는 방식으로 사업이 진행된다(그림 2-5).



<그림 2-5> 그린리모델링 사업절차

자료: 그린리모델링 사업 본격화(Korea Mech. Const. Contractors Association, 2014)



## 2. 그린리모델링 시범사례

그린리모델링 사업은 현재 시범사업만 운영되고 민간이 직접 투자한 프로젝트가 거의 없기 때문에, 국내에서는 흔치 않은 대규모 리모델링 프로젝트이면서 민간이 투자한 서울스퀘어 프로젝트를 시범사례로 소개한다. 서울역 앞에 위치한 대우센터빌딩은 30년간 한국의 대표 오피스 건물로 운영되어 오다가 2007년 8월부터 그린리모델링 계획에 의한 설계가 진행되고 2009년 9월까지 21개월동안 공사가 진행되었다(표 2-10).

〈표 2-10〉 서울스퀘어 그린리모델링 사업개요

구분	내 용
사업명	서울스퀘어(구 대우센터빌딩) 리모델링
용도	업무시설, 판매 및 영업시설, 근린생활시설
연면적	132,806.05 m <sup>2</sup> (40,173.33평)
건폐율/용적율	75.84% / 1,130.39%
층수	지하2층, 지상 23층, 옥탑 3층
발주자	(주)케이알원 기업구조조정 부동산 투자회사
건축설계	(주)정림건축종합사무소, (주)아이아크건축사무소
기계설계	삼신설계(주)
시공	(주)대우건설
CM	한미글로벌(주)

자료: 그린리모델링 사업 본격화(Korea Mech. Const. Contractors Association, 2014)

서울스퀘어 그린리모델링의 경우 설계 초기에 건물의 구조 등을 변경하는 대수선 공사로 계획하였으나 인허가 상의 문제로 수선공사로 변경하여 기존 단층유리의 외부창호를 복층 유리로 교체하여 전체창호 면적 15% 이상 교체하는 창호수선 공사, 열원, 공조기계설비 또는 전기설비 교체하는

설비수선이 포함된 전문 그린리모델링 대상 공사이다.

창호 변경에 대한 성능개선 비율은 창호전체 면적이 9,726.7 m<sup>2</sup>일 때 개선 전 창호의 단층유리 열관류율을 6.1 W/(m<sup>2</sup>·K)로 가정하였으며 개선 후 24 mm 복층유리 열관류율은 3.3 W/(m<sup>2</sup>·K)으로 반영하였다. 냉난방 프로그램은 RTS-SAREK<sup>27)</sup>을 이용하여 창호 개선 전/후의 냉난방 부하를 비교한 결과 약 40% 정도의 냉난방 부하가 절감되므로 그린리모델링 일차 조건은 만족했다. 그리고 건물 전체에 대하여 개선 전 냉난방 부하는 7,259,071 W, 개선 후 난방 부하는 8,901,071 W로 성능개선 비율은 약 18% 정도였다. 이후 기계 및 전기 설비공사의 개선 전후에 대한 연간에너지를 ECO<sub>2</sub> 등의 프로그램으로 분석하여야 하나 개선 전에 대한 입력 사항 값들이 많이 미비하여 평가하지 못하였다. 냉난방부하 절감, 열원 장비 등의 효율 개선은 1차 에너지 소요량(또는 에너지 소요량)의 성능개선 비율이 우수하여 이차 지원을 받을 수 있을 것으로 판단하였다(정재훈, 2014).

---

27) 2006년 대한설비공학회 공조부하계산 표준화프로그램 특별위원회에서 발표하였으며, 냉난방부하 계산 및 효율적인 장비를 선정하는 기능을 수행하는 프로그램임.

## 제4절 선행연구 고찰

### 1. LEAP모형을 활용한 건물부문 선행연구 사례

LEAP모형은 특정 부문을 대상으로 분석이 가능하고, 분석하고자 하는 대상과 각 시나리오에 따라 입력하는 데이터의 양과 수준이 달라진다. 본 연구의 경우 공간적 범위가 크진 않지만, 건물의 실제 자료를 사용하기 때문에 구체적인 분석이 가능하도록 모형이 설계되었다.

모형 구축 시 데이터의 이용가능성과 분석결과의 신뢰도 향상을 위해 관련 선행연구 검토가 필요하다. 기존 건물부문 선행연구들은 크게 에너지구조 전환, 기기교체 및 효율향상 그리고 신재생에너지도입 등의 시나리오로 구성되어 있었으며, 각 시나리오 마다 BAU 대비 감축 목표가 설정되어 있었다. 분석기간은 대체로 2030~2050년 정도로 중·장기 분석기간을 설정하고 있었다(표 2-11).

세부적으로 건물부문 시나리오는 에너지 절약 및 효율 설계기준 강화, 기존건물에 대한 개·보수, 신재생 에너지 보급 등이 있었으며 기기·가전부분은 고효율기자재 인증, 대기전력저감, LED 보급사업 등 기술적 시나리오가 주를 이루고 있었다.

건물 부문에선 신재생에너지 보급과 관련하여, 태양광 에너지 보급에 대한 시나리오가 주를 이루고 있었다.

<표 2-11> LEAP모형을 이용한 건물부문 선행연구

논문	분석대상	기간	기준년	감축수단(시나리오)	분석결과	비고
박정근 (2014)	태양광 주택보급의 온실가스 감축 및 경제성 평가	2014 ~ 2030	2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>BAU 시나리오</li> <li>대안 시나리오(태양광 발전설비 보급)</li> </ul>	2030년 BAU 대비 약 1,021.8천 tCO <sub>2</sub> e의 감축효과	정성적 평가도 포함. (태양광발전을 사용하면 침투부하일 때 가장 많은 전력량 생산으로 국가 전력난에 큰 도움이 될 것임.)
박효정 외 (2012)	대학의 온실가스 감축잠재량 분석 : 한양대학교 안산캠퍼스를 중심으로	2007 ~ 2020	2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>고정연소 부문 감축 시나리오</li> <li>이동연소 부문 감축 시나리오</li> <li>조명 부문 감축 시나리오</li> </ul>	2020년 BAU 대비 총 24% 감축 효과	
우정호 외 (2012)	대학의 온실가스 배출원 파악 및 감축 잠재량 파악	2007 ~ 2020	2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>LED 램프 보급 시나리오</li> <li>태양광 발전교환 시나리오</li> <li>점유센서의 설치 시나리오</li> </ul>	2020년 BAU 대비 5.3% 온실가스 감축 효과	
유정화 (2011)	대학의 온실가스 감축잠재량 분석 : 세종대학교를 중심으로	2011 ~ 2020	2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>기준 시나리오</li> <li>고효율 기기 사용 확대 시나리오</li> <li>LED고효율 조명기기 사용 시나리오</li> <li>통합 시나리오</li> </ul>	2020년 기준 시나리오 대비 23.7% 감축 효과	
에너지 경제연구원 (2012)	국내 전체 에너지 부문의 온실가스 감축량 분석	2011 ~ 2020	2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>건물부문 : 건축물 에너지절약설계기준, 건축물 목표관리제, 공공기관 에너지이용합리화</li> <li>기기·가전부문 : 고효율기자재 인증제, 대기전력저감, 에너지프론티어, LED 보급사업</li> <li>신규정책 : 기존건물 에너지효율향상 지원</li> </ul>	2020년 BAU 대비 가정 부문 5.0%, 상업부문 9.5%, 공공·기타 부문 8.2% 감축 효과	건물부문 관련 정책 시나리오만 정리함.

<표 2-11 계속>

임재규 (2006)	국내 온실가스 배출량 변화 및 감축잠재량	2002 ~ 2030	2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BAU(기준 전망)</li> <li>• 에너지부문 : 천연가스 보급 확대</li> <li>• 수송부문 : 경차 보급 확대</li> <li>• 건물부문 : 대기전력 1 W 프로그램, 건축물의 에너지 절약 설계 기준 강화, 고효율 기자재 인증대상 품목 확대, 지역난방 보급 확대</li> <li>• 종합 : 종합 감축 정책</li> </ul>	2030년 온실가스 배출량은 BAU 대비 6.7% 감소	정책수단별 감축효과를 제시. 감축정책의 비용효과 분석은 하지 않음.
최종석 (2012)	가정부문 온실가스 감축잠재량 분석	2012 ~ 2030	2011	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BAU 시나리오</li> <li>• 대안 시나리오(태양광 시스템 보급)</li> </ul>	2030년 BAU 대비 3.9%의 온실가스 절감 효과	2030년까지 태양광이 11.0% 보급된다고 가정함.
Aumnad Phdungsilp (2009)	방콕 도시의 에너지 및 온실가스 감축량	2005 ~ 2025	2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 16가지 지속가능한 정책을 시나리오화</li> <li>• 가정, 상업, 공공, 수송 부문으로 나눔.</li> <li>• 가정부문 : 높은 에너지효율 기기 홍보, 패시브디자인 하우스, 자연채광용 창호</li> <li>• 상업부문 : 효율적인 HVAC<sup>28)</sup> 시스템, 자연채광 시스템, HVAC와 조명 시스템에 관한 행동변화</li> </ul>	상업부문의 경우 (채광) 조명 시스템 보급이, 가정부문은 에너지효율 높은 기기 사용이 가장 큰 효과를 유발	방콕을 저탄소 도시로 만들기 위한 정책을 시나리오화하여 분석함.
Jeong et al. (2012)	국내 가정 부문 CO <sub>2</sub> 배출량	2008 ~ 2030	2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BAU 시나리오</li> <li>• 신규 주택의 에너지 효율 개선 시나리오</li> <li>• 기존 주택의 개보수 시나리오</li> <li>• 고효율 보일러 시나리오</li> <li>• 난방 및 온수용 태양열온수기 사용 시나리오</li> </ul>	2030년에 BAU 대비 신규주택의 에너지효율 개선 시나리오에서 5.5% 감축으로 가장 많이 저감	
Kadian et al. (2007)	인도 델리 가정 부문의 온실가스 장기 배출 저감량	2001 ~ 2021	2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BAU 시나리오</li> <li>• 연료 대체 시나리오</li> <li>• 에너지 효율 개선 시나리오</li> <li>• 통합 시나리오</li> </ul>	에너지 효율 개선 시나리오의 에너지 소비 저감 잠재량이 가장 높지만, 배출계수 높은 연료 사용으로 배출량 저감 효과는 없었음.	온실가스 및 대기오염물질 배출량을 분석함.

28) Heating, Ventilating and Air conditioning

## 2. 그린리모델링 관련 선행연구 사례

그린리모델링 연구사례는 현재 정책을 실시하기 위한 시범사업 중에 있기 때문에 시범사례를 소개하고, 리모델링으로 인한 개선 전·후 에너지 절감 요소들을 건축공학적으로 비교·분석하는 등 향후 연구를 위한 선행연구 수준의 논문이 주를 이루고 있었다.

(임인혁, 2014)에서는 노원에코센터를 대상으로, ISO 13790을 기반으로 한 건축물 에너지시뮬레이션인 CE3<sup>TM29</sup>을 이용하여 건물에너지 요구량과 수요를 계산하고, 기존에 설치된 모니터링 시스템 데이터를 통해 건물에너지 실적값과 시뮬레이션값의 차이를 비교·분석하였다. 이를 통해 오차요소와 수정요소를 도출하고 입력요소를 변경한 시뮬레이션을 진행하여 입력요소의 수정이 오차율<sup>30</sup>에 미치는 영향을 분석하였으며, 건물 에너지소비에 영향을 끼치는 요소<sup>31</sup>들의 오차를 최소화하는 방법을 제안하였다.

(김기태 외, 2013)는 그린리모델링 대상 건축물인 대전 공공청사를 대상으로, 실증사업의 에너지 절감 효과를 건축 공학적인 측면에서 분석하였다. 대전 공공청사의 경우 건물 외피 그린리모델링을 통한 효과만을 측정·분석했는데, 이를 통해 전기와 도시가스 사용량의 약 11%, 29%정도가 절감되는 효과를 유발했다고 분석하였다. 하지만 3달간(2013년 1~3월)의 데이터만을 사용했기 때문에, 향후 지속적인 모니터링을 통한 분석이 필요하다는 한계를 보였다.

(정재훈, 2014)에서는 그린리모델링 민간 시범사례인 서울스퀘어의 사업 프로세스와 설비 계획 및 설계를 소개하고, 창호변경에 따른 냉·난방 개선

---

29) 건물에너지 요구량을 계산할 수 있는 프로그램임(ISO 13790은 건물에너지 성능지침 국제 표준임).

30) [(예측값-실측값)/실측값\*100%]

31) 실내온도, 월간사용일수, 일일사용시간, 기기발열량, 일일급탕, 요구조도, 점등시간, 단열 외피, 재생에너지 태양광 전지판 성능 등

효과를 분석하였다. 창호 변경에 대한 냉·난방 부하 절감효과는 약 40%정도로 나타났으며, 건물 전체에 대한 성능개선비율은 약 18%정도 나타나는 것으로 분석되었다.

### 3. 기존연구와의 차별성

현재 국내 선행연구를 보면, 녹색건축물 관련 신규건설 정책 도입에 따른 당위성과 방향성에 대한 논의와 상향식, 하향식 모형 등 모델링을 통한 경제성 분석 및 장기에너지 수요 예측, 온실가스 감축량 분석 연구는 상대적으로 많은 편이다.

먼저 모형을 통한 건물부문의 연구사례는 다양하지만 몇 가지 추세가 나타난다. 첫째로, 범위가 크다는 것이다. 모형의 특성 상, 지역적 범위는 국가나 지역 수준의 연구가 주를 이루었다. 하지만 이는 모형의 지역적 범위가 커질수록 구체성이 떨어질 수 있다는 문제점을 함께 수반한다. 둘째로는 시나리오의 단순화이다. 시나리오들은 대부분 투명하지 않은(일부 오픈되어 있지 않은) 정책을 반영하기 때문에, 연구자의 많은 가정을 바탕으로 작성된다. 따라서 시나리오들은 현실을 반영하기 보다는 미래의 상황을 가정하여 작성되는 부분이 많다. 마지막으로 모형의 기반이 되는 에너지사용량 및 관련 세부통계 자료의 한계로 인한, 신뢰성이 떨어지는 모형 구축이다. 국가 통계의 경우 업데이트가 자주되지 않고, 투명하지 않은 통합적 자료 공개로 인해 모형의 질을 떨어뜨린다.

따라서 본 연구는 모형 구축 시 서울세관 별관동의 실제 자료를 최대한 활용하여 세부적으로 모형을 작성하고, 실제 사업 프로세스를 시나리오에 반영하여 위와 같은 문제를 최대한 고려하였다.

그리고 그린리모델링 시행에 따른 연구는 현재 시범사업 수준이기 때문

에 사례를 소개하고, 각 세부내용에 대한 효과를 분석하기 보다는 단순히  
창호교체로 인한 냉·난방 개선 효과, 외피 개선으로 인한 에너지사용량 절  
감 효과 정도를 건축공학적 측면에서 분석한 수준으로 소수 존재하였다.

이에 본 논문은 상향식 모형(LEAP)을 이용하여 그린리모델링 시범사례를  
시나리오화하고, 이를 토대로 에너지 절감 및 온실가스 감축, 전력절감비용  
효과를 분석하고자 한다는 점에서 연구의 학술적 가치를 찾을 수 있다. 더  
나아가 본 연구가 그린리모델링 정책 도입 전 실효성 검토 및 정량적 분석  
의 선행연구가 되기를 기대한다.



## 제3장 모형구축 및 분석방법

### 제1절 LEAP모형

#### 1. LEAP모형의 개요

LEAP(Long-range Energy Alternatives Planning System)모형은 에너지 정책과 기후변화 완화 평가를 분석하기 위한 모형으로, 스톡홀름 환경연구소-보스톤 센터(Stockholm Environment Institute - Boston)에서 개발되었다.<sup>32)</sup> 현재 LEAP모형은 정부 기관, 비정부 기관, 학계, 컨설팅 회사, 에너지 관련 기업을 포함한 전 세계 약 190개 이상의 국가에서 채택되어 사용하고 있다. 특징으로는 분석이 다른 모형에 비해 쉬우며, 개도국 및 학생들은 무료로 사용할 수 있다는 등<sup>33)</sup>의 장점과 최소 비용 해를 도출하는 최적화 모형이 아니라는 단점<sup>34)</sup>이 있다.

LEAP은 전 세계적으로 에너지 및 환경 정책 영향을 평가하는 모형으로 많이 사용되고 있는데, 중국의 경우 중국에너지연구소(Chinese Energy Research Institute, ERI)에서 국가 에너지 정책 및 계획을 분석하는데 사용하고 있고, 미국은 천연 자원 방위 위원회(the Natural Resources Defense Council, NRDC)에서 청소 차량과 그 연료를 장려하는 정책에 대한 국가 연비 기준을 분석하는데 사용하고 있다. 우리나라에서는 제1차 기후변화협약

32) LEAP모형은 에너지·환경·발전에 대한 커뮤니티 홈페이지(<http://www.energycommunity.org>)에서 다운받을 수 있음.

33) LEAP모형의 다른 장점은 ① 단순하며, 계산 과정이 투명하고 모형의 구조를 유연하게 수정할 수 있으며 자료 요구 수준이 높지 않고, ② 완전 경쟁을 가정하지 않으며, ③ 비용 자료를 구하기 어려운 이슈에 대해서도 분석할 수 있으며, ④ 에너지 및 기후변화 정책에 대한 역량을 제고하는데 매우 유용하다는 것임.

34) 하지만 LEAP 2011 모형부터 발전 부문에 대해 최적화 분석 기능이 추가되었음.

대응 종합대책(국무조정실, 1999)과 기후변화협약 제3차 국가보고서 준비 과정(임재규, 2006), 그리고 2011년 발표된 부문별·업종별 온실가스 감축목표 설정에 LEAP모형이 사용되었으며, 이 외에도 학계, 비정부기관, 연구소 등 다양한 조직에서 사용하고 있다.

LEAP모형은 상향식(Bottom-up) 모형에 해당하며, 에너지 수요와 공급에 대한 세부 분석과 에너지 기술 변화에 따른 분석이 가능하다. 상향식 모형은 제약 조건 하 목적 함수를 달성하기 위한 최적해를 구하는 최적화 모형(Optimization Model)과 대안 시나리오에 따른 에너지 시스템을 계산하는 회계 모형(Accounting Model)으로 구분할 수 있다. 최적화 모형에는 MARKAL, MESSAGE, WASP 등이 있으며, 회계 모형에는 LEAP, MEDEE 등이 있다(표 3-1). 회계 모형은 시나리오에 기반한 결과를 도출하며 최적 비용 및 기술 대안을 찾아가는 과정에서 시나리오를 수정하게 되는 반면, 최적화 모형은 시나리오별로 비용이 가장 적게 소요되는 에너지기술 조합을 찾아낸다<sup>35)</sup>(그림 3-1).

상향식 모형이든 하향식 모형이든, 기준년도의 에너지 시스템이나 사회회계행렬을 수립하는데 가장 많은 노력이 요구되며, 시나리오 작성 후 결과가 합리적인지를 검토하여 시나리오를 재수립하고 결과를 해석하는 과정을 거친다(박년배, 2011).

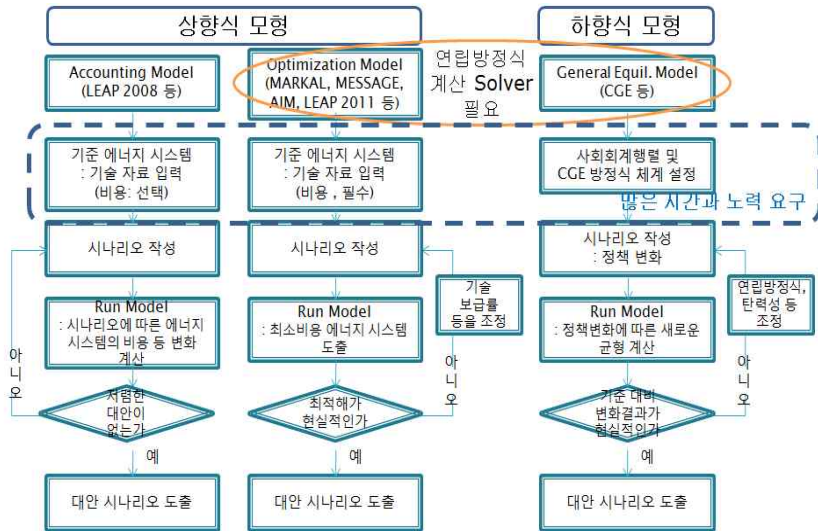
---

35) 이 경우 비용이 가장 저렴한 기술로 몰릴 수 있기 때문에 기술 보급률을 조정하는 과정을 거침.

<표 3-1> 에너지·기후변화 분석모형 비교

기준	상향식 최적화 모형	상향식 회계 모형	하향식 계량경제 모형	하이브리드	전력 계획 모형
모형 예시	MARKAL/TIMS, MESSAGE 등	LEAP, MAED/MEDEE	ERASME 등	NEMS, WEM 등	WASP
지리적 범위	지역~세계, 주로 국가	국가, 광역 가능	국가	국가, 세계	국가
적용 범위	환경, 에너지 시스템, 무역	환경, 에너지 시스템	환경, 에너지 시스템	환경, 에너지 시스템, 에너지 사업	환경, 전력 시스템
기술 범위	광범위	광범위, 보통 사전 정의	가변적, 보통 제한적	광범위, 보통 사전 정의	광범위하지 않음
자료 요구	광범위	광범위 (제한된 자료 작업 가능)	높음	높음~광범위	광범위
속련도	매우 높음	높음	매우 높음	매우 높음	매우 높음
가격 정책 분석 역량	높음	불가	높음	보통 가능	가능
비가격 정책 분석 역량	우수	매우 우수	매우 우수	매우 우수	우수
농촌 에너지	가능 (대부분 제약적)	가능	가능 (대부분 제약적)	가능 (대부분 제약적)	어려움
신기술 추가	가능	가능	어려움	가능 (일부 제약적)	가능
분석 기간	중기~장기	중기~장기	단기, 중기, 장기	중기~장기	중기~장기
계산 프로그램	상용 LP산술 프로그램 필요	불필요	계량경제 소프트웨어 필요	상용 소프트웨어 필요	상용, 허가받은 소프트웨어 필요

자료 : A review of energy system models(Subhes C. Bhattacharyya et al., 2010)



〈그림 3-1〉 모델링 과정 비교

자료 : 발전 부문 재생가능 에너지 전환을 위한 장기 시나리오 분석(박년배, 2011) 참고하여 작성

LEAP모형은 계속해서 업데이트되고 있는데, LEAP 2011 모형은 발전 부문에 대해 최적화 분석 기능이 추가되었으며 LEAP 2012 모형은 WEAP (Water Evaluation And Planning) 모형과 연계하여 에너지와 물에 대하여 상호연계한 분석이 가능하다. 현재 최신 업데이트 버전은 LEAP 2014로, Office 2013에 대한 지원 기능이 추가되었다.

또한 수요 부문 분석, 전환 부문 분석, 자원 부문 분석, 환경 분석 등을 종합적으로 할 수 있으며, 에너지수급 및 온실가스 배출량의 차이에 대한 분석과 사회적 비용편익 분석을 실시할 수 있다.

## 2. LEAP모형의 분석원리

LEAP모형은 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.

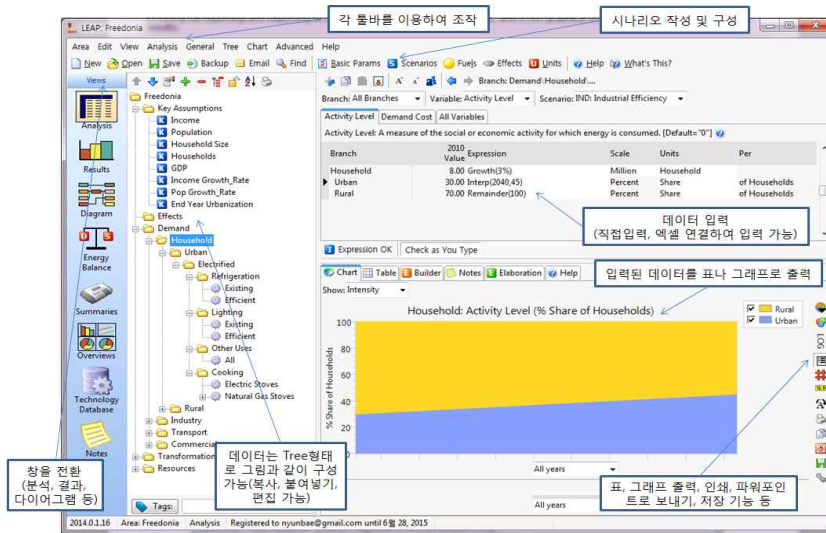
또한 시나리오별로 인구, GDP, 성장률, 산업구조 등의 주요 가정과 수요 부문의 활동도(activity) 파라미터, 에너지 집약도(Energy Intensity) 등을 통해서 부문별 최종에너지 수요를 전망할 수 있는데, 본 연구의 경우 에너지 집약도(Energy Intensity)를 통해 에너지 소비량이 결정되도록 하는 에너지 소비 활동도 분석(Activity Analysis)과 사용기기의 보급대수(Stock), 기기당 에너지소비량(Energy Intensity per deviec)을 통해 분석하는 스톡 분석(Stock Analysis)을 사용하였다.

더불어 LEAP모형에는 대기오염물질 배출계수가 탑재(TED)<sup>36)</sup>되어 있어서, 환경영향을 계산할 수 있다. 하지만 배출량 산정 시 주의할 점은 TED의 기본 배출계수는 life-cycle 배출계수가 아닌 직접 배출계수<sup>37)</sup>이다. 따라서 연료의 각 카테고리에서 연료에 대한 효과적인 값을 직접 입력하는 것도 하나의 방법이 된다(박년배, 2011).

36) IPCC Tier 1 온실가스 배출계수, 지구온난화지수(IPCC 2차보고서의 GWP, Global Warming Potential)

37) 예를 들어, 자동차에 대한 배출계수는 차량에서의 직접 배출임. 이 값은 석유 정제 및 석유 추출에서 업스트림 배출은 포함하지는 않음.

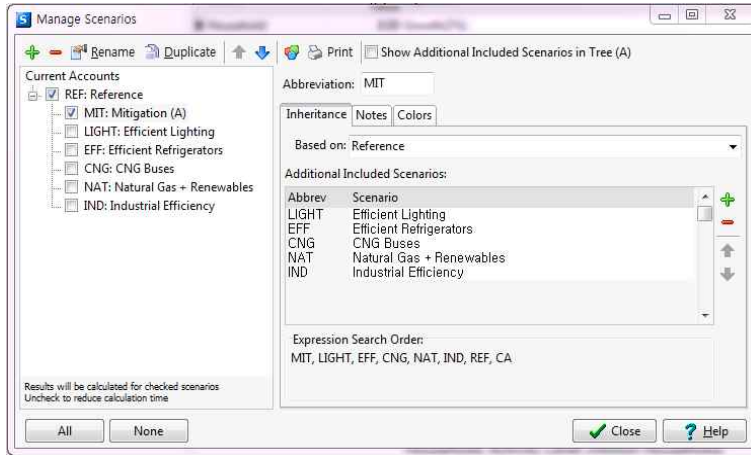
LEAP모형의 화면과 아이콘들의 기본적인 의미는 아래와 같다(그림 3-2).



<그림 3-2> LEAP모형의 메인 화면

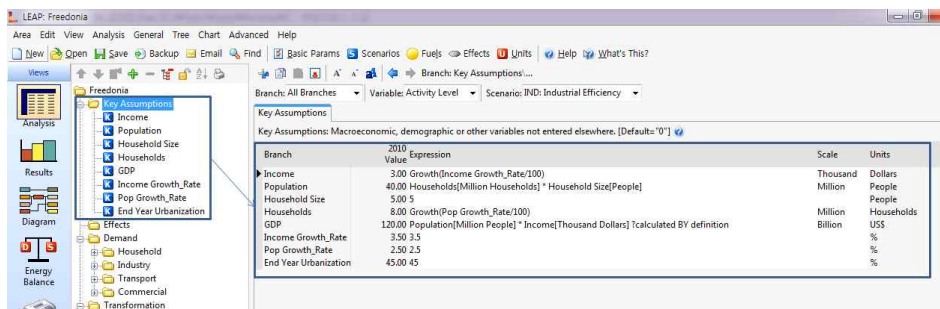
시나리오를 통한 분석은 기준년도에 대한 에너지 수요와 전환 부문 등 에너지 공급 자료를 입력하고, 분석하고자 하는 기간까지의 기준 전망(BAU) 시나리오를 설정한 후, 연구자가 분석하고자 하는 정책, 사회적 비용과 혜택 및 환경에 미치는 영향 등을 비교하여 대안 시나리오<sup>38)</sup>를 작성한다(그림 3-3). 이를 토대로 최종에너지 수요, 발전원별 전력 생산량, 1차 에너지 공급, 온실가스 배출량, 비용(실질 또는 할인) 등을 산정할 수 있다.

38) 기준이 되는 시나리오와 연결하여 대안 시나리오를 작성할 수 있으며, 개별 시나리오의 영향뿐 아니라, 여러 시나리오가 결합될 때 발생하는 상호 작용을 평가할 수 있음.



<그림 3-3> LEAP모형의 시나리오 작성

핵심 가정(Key Assumptions) 모듈에는 GDP, 인구, 가구수, 1인당 소득, 산업구조, 건물연면적, 이동거리 등 에너지 수요 전망을 할 때 활용되는 주요 활동도 자료들을 외부 자료를 인용하여 입력할 수 있으며, 에너지 수요, 전환, 자원 부문 등에 데이터를 입력할 때 연결하여 사용할 수 있다(그림 3-4, 표 3-2).



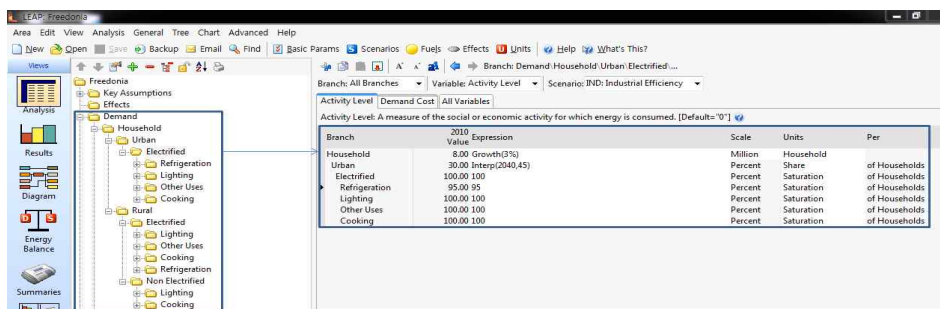
<그림 3-4> Freedonia의 Key Assumptions

<표 3-2> LEAP모형의 부문별 주요 활동도 자료

부문	주요 활동도 자료
가정 부문	인구, 가구수, 가구당 인구, 주택공급율, 연면적
상업 부문	건물수, 연면적, 기기수, 업종별 생산, 근로자 수
수송 부문	인구, 소득, 차량등록대수, 운행회수 및 거리, 톤·km, 인·km
산업 부문	GDP, 부가가치 부문별 비율, 제조업 부가가치 업종별 비율, 생산량

자료 : 임재규, 2006, p.37. 수정

수요(Demand) 모듈에서는 연구자의 연구범위, 자료수집 가능 정도 등을 고려하여 부문별, 용도별로 세분화된 최종 에너지 수요 자료를 입력한다(그림 3-5). 에너지 수요는 세 가지 방법으로 계산할 수 있는데, 연료 구성비와 환경 영향을 입력하고, 시나리오를 분석 하면 에너지 수요와 온실가스 배출량을 전망할 수 있다. 대체로 활동도 분석과 스톡 분석 방식을 많이 사용하며, 교통부문 분석 시 수송부문 분석 방식이 효과적이다(표 3-3).



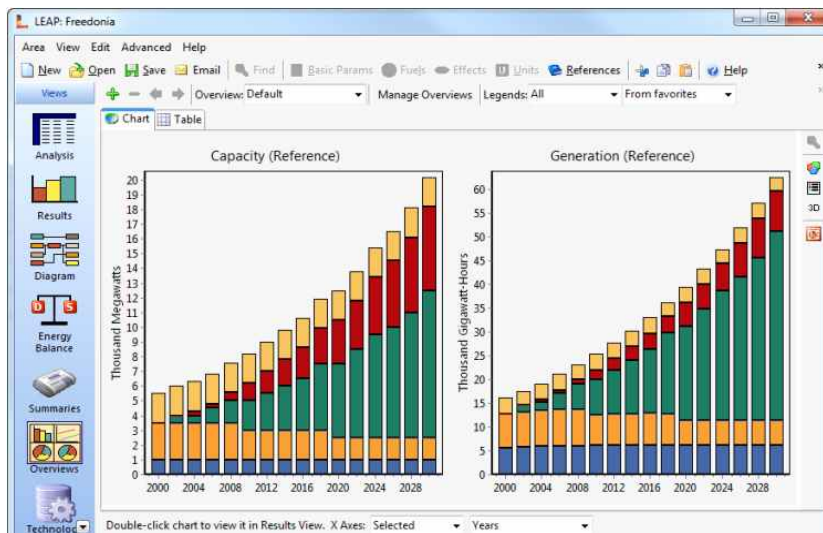
<그림 3-5> Freedonia의 Demand(Household 예시)



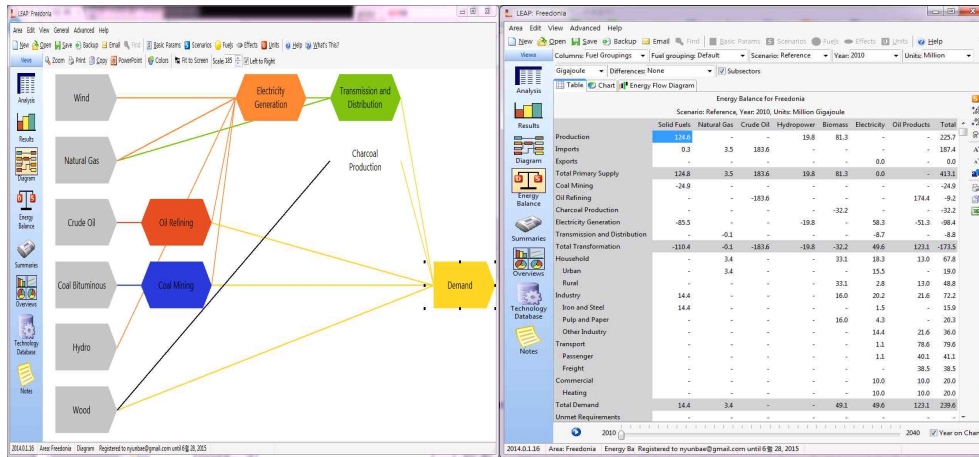
<표 3-3> LEAP모형의 분석 방법

분석방법	계산방법 및 내용
활동도 분석 (Activity Analysis)	활동량 수준(activity level) × 에너지 집약도(energy intensity)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>에너지 소비에 영향을 미치는 활동량 수준과 단위 활동당 에너지 소비량을 곱해 에너지 수요를 구함.</li> <li>가장 많이 사용되는 방식</li> </ul>
스톡 분석 (Stock Analysis)	에너지 사용 제품의 보급 대수(stock) × 제품의 에너지 집약도의 곱
	<ul style="list-style-type: none"> <li>제품의 보급 대수와 제품의 에너지 소비량을 곱해 에너지 수요를 구함.</li> </ul>
수송부문 분석	자동차 보급 대수 × 연 평균 주행거리 × 자동차 연비의 곱
	<ul style="list-style-type: none"> <li>교통 수요 분석에서 주로 사용함.</li> </ul>

LEAP모형의 결과 보기 창을 클릭하면 시나리오별 에너지 및 온실가스 배출 전망값을 그래프나 표로 출력할 수 있으며, 파워포인트로 출력된 결과를 보낼 수도 있다(그림 3-6). 더불어 분석 기간 동안의 에너지수급밸런스, 기준에너지 시스템(Reference Energy System, RES) 다이어그램도 얻을 수 있다(그림 3-7).

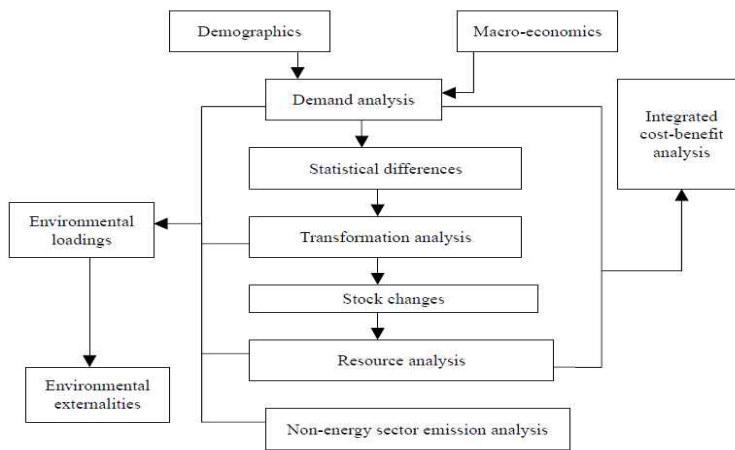


<그림 3-6> LEAP모형의 결과값 출력 화면 예시



<그림 3-7> LEAP모형의 기준에너지시스템 다이어그램 및 에너지밸런스 예시

LEAP모형의 전체 구조는 아래와 같다(그림 3-8).



<그림 3-8> LEAP모형의 구조

출처 : A review of energy system models(Subhes C. Bhattacharyya et al., 2010)

## 제2절 기준에너지시스템(RES, Reference Energy System) 구축

### 1. 서울세관 그린리모델링 사업

서울세관의 그린리모델링 사업은 2013년 1월 31일 국토교통부의 ‘공공건축물 그린리모델링 시범사업’ 으로부터 시작되었으며, 시범사업 공모를 통해 2013년 3월 19일 국토교통부 고시 제2013-151호 2013년 ‘녹색건축물 조성 시범사업(공공건축물 그린리모델링)’ 으로 지정되었다. 이러한 공공건축물의 시범사업을 통해 에너지성능 개선 기술 및 경제적 타당성을 검증하여, 향후 680만동에 이르는 기존건축물에 대한 그린리모델링 확산을 계획하고 있다.

그린리모델링 사업<sup>39)</sup>은 공공건축물의 녹색화 유도를 위해 기획설계를 지원하는 설계지원사업과 건축공사·기계설비공사·신재생에너지 설치 등의 공사비를 보조하는 시공지원사업으로 구분되는데(박은미, 2014), 서울세관의 그린리모델링 사업은 설계지원사업으로 수행되었다.

#### 가. 서울세관 별관동 현황

서울세관 별관동은 1981년 11월 30일에 준공된 건물로, 「서울특별시 강남구 언주로 721번지(논현2동 71)」에 위치하고 있다. 현재 주로 경인지방 통계청과 선거관리위원회가 사무실 용도로 건물을 사용하고 있지만, 그린리모델링 사업 후 서울세관 본관의 업무시설 일부를 별관동으로 이전할 계획을 가지고 있다. 건물 면적은 약 13,251 m<sup>2</sup>으로, 지하 1층부터 6층까지 총 7개 층으로 구성되어 있다(표 3-4).

39) 시공지원사업은 4개, 설계지원사업은 6개로 선정되었음.

<표 3-4> 서울세관 별관동 건물 개요

구분	내용	층별	변경전	변경후	면적(m <sup>2</sup> )
시 설 명	서울본부세관 별관동	지하 1층	창고, 기전실	기존 유지	3,640.35
대지위치	서울특별시 강남구 언주로 721	소 계			3,640.36
지역지구	제3종 일반주거구역, 반상업지역, 중심지 미관지구	지상1층	세관창고	기존유지	4,073.56
대지면적	16,543.60 m <sup>2</sup>	지상 2층	도서관	관세 박물관	1,082.14
건축면적	5,450.55 m <sup>2</sup>	지상 3층	사무실	사무실	1,082.14
연 면 적	26,261.50 m <sup>2</sup>	지상 4층	사무실	사무실	1,082.14
규 모	지하 1층 / 지상 6층	지상 5층	사무실	도서관	1,082.14
구 조	철근 콘크리트조	지상 6층	식당, 사무실	기존유지	1,082.14
준공년도	1981. 11. 30	소 계			9,610.84
경과년도	33년	합 계			13,251.2

자료: 그린리모델링 시범사업 : 서울세관 별관동을 중심으로(박은미, 2014)

#### 나. 서울세관 그린리모델링 사업 프로세스

서울세관 별관동의 그린리모델링 사업 프로세스는 기존건물에 대한 분석부터 사후 모니터링까지의 내용을 포함하고 있으며, 사업목표를 크게 4가지로 구분할 수 있다.

첫째, 에너지성능개선을 통해 기존건축물 대비 1차 에너지 소비량의 20%를 절감하겠다는 에너지 절감 목표이다. 둘째는 녹색건축물 조성지원법의 에너지절약계획서 단열기준을 준수하여, 신축수준의 단열성능을 구현하는 것이다. 셋째로는 저비용 고효율<sup>40)</sup>의 기술 검토와 기존장비 재사용 최대화 목표이며, 마지막으로 노후화된 외관을 개선하는 것<sup>41)</sup>이다(그림 3-9).

40) 발주 당시 추정공사비 125억 정도 수준에서 69억 4천만 원 수준으로 변경됨.

41) 외장재 돌출로 인한 차양효과와 외장재 절곡을 통한 디자인을 통해 에너지 성능 개선이 통합된 디자인을 구현할 예정임.

<b>현황분석</b>	기존건축물의 체계적인 정보관리/분석 기존건축물 정보 분석, 도면 및 데이터 전산화 개/보수 공사이력 조사 및 관리 구조안전진단 기계 이력 및 성능진단 외피 및 실내 성능진단 경제성, 에너지 성능분석, 시스템 검토 등
<b>목표설정</b>	경제성 / 합리성을 고려한 적정목표 설정 소비총량에 기반한 건축물 성능개선 목표 도출 정책방향과 연계성 검토 에너지효율등급 / 냉난방 성능 설정 경제성 / 건축물 환경성 검토 수요자 요구사항 적용
<b>성능개선 프로세스</b>	합리성 / 기술현실성을 고려한 성능개선 제안 건물외피성능 기준 검토 건물설비 성능 적합성 검토 합리적인 구조 보강 제안 비용대비 효율적 쾌적성 제안 기존설비 내구연한 및 효율 제안
<b>디자인 프로세스</b>	성능최적화 / 조화미 고려한 통합디자인 제안 주변환경과의 조화 고려한 방향검토 데이터 기반한 외피조건 성능 극대화 적용기술의 통합적 디자인 구현 사용성을 고려한 디자인 제안 시공성을 고려한 구현방법 제안
<b>사후모니터링</b>	사후관리 / 노하우 축적을 위한 모니터링 에너지 성능 개선의 모니터링 이용 환경 개선에 관한 모니터링 향후 LCC기반 개선방향 제안 그린리모델링 관련 노하우 축적

〈그림 3-9〉 서울세관 별관동의 그린리모델링 프로세스

자료: 그린리모델링 시범사업 : 서울세관 별관동을 중심으로(박은미, 2014)

## 2. LEAP모형 입력자료 및 주요 전제

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

공간적 범위는 그린리모델링을 실시하는 서울세관본부 별관동을 대상으로 하였다. 기준에너지시스템(Reference Energy System, RES)을 구축하기 위해서는 서울세관 별관동의 연면적, 근무인원수, 조명기기수와 에너지원 및 용도별 에너지 사용량<sup>42)</sup> 자료가 필요한데, 이는 서울세관 시설과에 문의하여 참조하였다.

그린리모델링으로 인한 건물 및 부지 확장 계획은 없기 때문에, 연면적은 분석기간 동안 동일한 것으로 가정하였다. 직원수는 작년을 기준으로 278명이 근무했으며, 그린리모델링 후 본관의 청소관리위원회, 통계청, 선거관리위원회 등이 별관으로 이전하기 때문에 공사가 끝날 때까지는 정확한 인원 파악이 힘든 상태이다<sup>43)</sup>. 조명기기는 형광등(32 W\*2등용)이 1034개, 백열등(60 W), FPX(13 W, 36 W), 유도등(5 W) 등이 158개 설치되어 있었다. 조명기기는 그린리모델링 공사 후 모두 LED등으로 교체될 예정이다.

에너지원으로는 도시가스(LNG)와 전력을 사용하고 있었고<sup>44)</sup>, 용도는 난방·온수, 냉방, 취사, 조명, 기기 및 기타 부문으로 구분할 수 있다. 에너지 사용량의 경우 에너지원별(도시가스, 전력)로는 구분이 되어있지만, 용도별로는 따로 구분되어 있지 않았기 때문에<sup>45)</sup> 이는 2011 에너지 총조사보고

42) 본 논문에서 서울세관의 세부 에너지사용량 데이터는 정보유출로 인하여 수치를 따로 제시하지 않고, 모형 반영에만 쓰였음을 밝힘.

43) 그린리모델링 후, 별관동의 근무인원수는 200여명 정도로 감소할 것으로 예상됨.

44) 본관 건물의 경우, 옥상에 태양광발전(5kW)이 설치되어 있었음. 이는 전량 회의실 조명의 에너지원으로만 쓰임.

45) 도시가스의 경우 난방·온수와 취사가 구분된 고지서를 받고 있었기 때문에 용도별 구분이 가능했지만, 전력의 경우 냉방, 조명, 기기 및 기타 부문이 따로 구분되어 있지 않았음.

서(에너지경제연구원, 2012)의 공공빌딩 용도별 에너지소비량 자료를 참고하여 구분하였다. 2035년까지의 에너지 수요 전망은 실제 서울세관의 에너지사용량 추세(최근 5년간)를 통해 전망하였다.<sup>46)</sup>

더불어 본 연구의 경우 도시가스 사용량은 LEAP모형의 TED에 설정되어 있는 IPCC 배출계수를 사용하였고, 전력 배출계수의 경우 전력거래소의 2011년 사용단 온실가스 배출계수를 사용하여 배출량을 산정하였다(표 3-5).

<표 3-5> 전력부문 온실가스 배출계수

연도	구분	전력부문 온실가스 배출계수				비고
		이산화탄소 (tCO <sub>2</sub> /MWh)	메탄 (kgCH <sub>4</sub> /MWh)	질소 (kgN <sub>2</sub> O/MWh)	전력 (tCO <sub>2</sub> e/MWh)	
2011	발전단	0.4415	0.0050	0.0038	0.4428	
	사용단	0.4585	0.0052	0.0040	0.4598	손실율 <sup>47)</sup> 고려

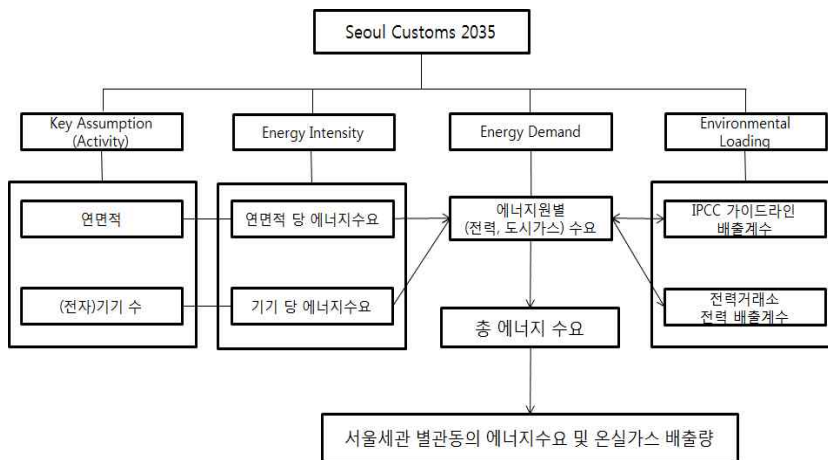
자료 : 전력통계정보시스템(<https://epsis.kpx.or.kr/>)

46) 세부적으로 난방·온수, 냉방, 취사 부문은 실제 사용량 추세를 통한 증감율, 조명은 기준년도의 비중, 기기 및 기타는 나머지 비중을 통해 계산되도록 하였음.

47) 전력 손실이란 송전선의 저항 때문에 열이 발생하여 손실되는 에너지로, 1초 동안에 송전선에서 손실되는 에너지를 정의함. 따라서 전력 손실율이란 전달되는 총 에너지에서 손실되는 에너지의 비율을 말함.

### 3. 모형 구성

본 연구에서는 서울세관 그린리모델링에 따른 에너지 수요 전망을 위해 LEAP모형을 활용하여 Seoul Customs 2035을 구축하였다. Seoul Customs 2035은 공공기관인 서울세관의 건물을 대상으로 설계하였고, 핵심가정 모듈(Activity), 에너지 집약(강도) 모듈(Energy Intensity), 에너지 수요 모듈(Energy Demand), 환경 모듈(Environmental Loading)을 활용하여 분석 모형을 구축하였다(그림 3-10).



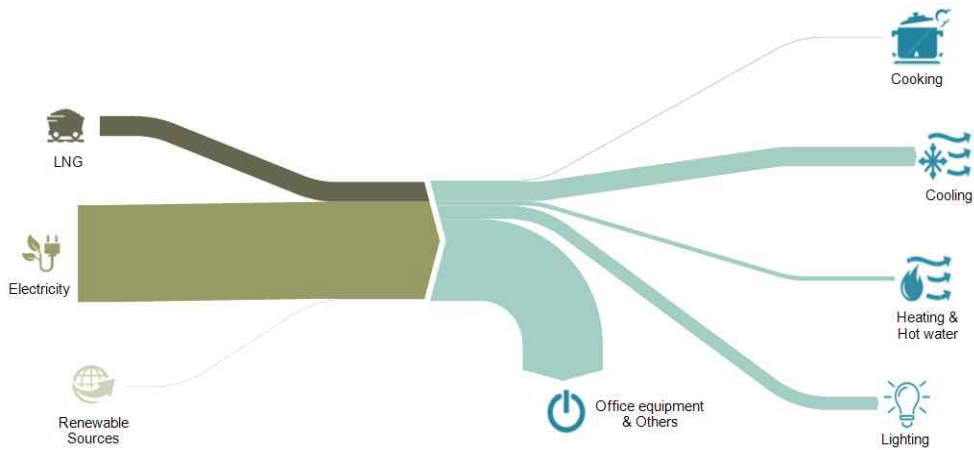
<그림 3-10> Seoul Customs 2035의 모듈 구조

서울세관 별관동 건물의 용도별 구분은 도시가스(LNG)를 에너지원으로 사용하는 난방·온수<sup>48)</sup>, 취사와 전력을 사용하는 냉방, 조명, 기기 및 기타로 구분할 수 있다. 에너지원으로는 전력의 사용량이 절대적이었고, 용도별로는 공공기관의 특성상 냉·난방 에너지 사용량보다 상대적으로 조명과 기기 및 기타 부문의 에너지 사용량 비중이 높았다.<sup>49)</sup>

48) 난방·온수 부문은 그린리모델링 공사 후 건물에너지시스템이 EHP(Electric Heat Pump)로 바뀌면서 도시가스(LNG)가 아닌 전력을 에너지원으로 사용하게 될 예정임.



서울세관 별관동의 에너지원별·용도별 구성은 아래와 같다(그림 3-11).



<그림 3-11> 서울세관 별관동의 Energy Balance<sup>50)</sup>

49) 공공기관의 냉·난방 부문은 실내온도제한으로 인하여, 타 건물부문보다 에너지 사용량이 낮음.

50) 서울세관 별관동의 에너지 사용량 데이터를 직접 기재할 수 없어서, e!Sankey program 을 사용함. e!Sankey는 모델 상에 각 요소별로 에너지 수요 등의 수치를 직접 입력하고, 프로세스의 굵기를 통해 이를 구현할 수 있어, 시각적이고 효과적으로 energy balance를 표현할 수 있음.

### 제3절 시나리오 구성

본 연구에서는 서울세관의 그린리모델링 시범사업을 분석하기 위해 실제 사업 프로세스들을 시나리오화 하였다. 시나리오는 그린리모델링이 실시되지 않고 현재 추세가 미래에도 그대로 유지되도록 하는 Baseline 시나리오, 실제 사업을 반영한 그린리모델링 시나리오(EHP 도입, 단열 강화, LED 조명 교체)와 그린리모델링 사업에 반영 가능한 시나리오를 포함한 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오(행태개선, 태양광에너지 보급), 통합 시나리오 총 4가지로 구성하였다.

#### 1. Baseline 시나리오(Baseline, BAU Scenario)

Baseline 시나리오는 그린리모델링이 실시되지 않는 상황을 가정하였다. 따라서 현재의 에너지사용량 추세가 미래에도 그대로 유지되도록 시나리오를 구성하였다.

#### 2. 그린리모델링 시나리오(Green remodeling, GRE Scenario)

그린리모델링 시나리오는 실제 그린리모델링 사업 내용을 반영한 시나리오로, 설비 부분의 EHP 도입, 건축 부분의 단열 개선, 전기 부분의 LED 조명 교체라는 3가지 사업 내용을 포함하고 있다.

##### 가. EHP 도입

설비(기계) 부분에서는 기존의 GHP(Gas engine Heat Pump)시스템을

EHP(Electric Heat Pump)시스템으로 전환하는 시나리오를 구성하였다. 세부적으로 EHP 도입은 기존 난방·온수 분야의 주 에너지원이었던 도시가스(LNG)를 전력으로 대체하고, 모형 시뮬레이션 시작시점(공사 후)인 2015년에 전력수요가 증가<sup>51)</sup>하는 내용을 반영하였다.

#### 나. 단열 강화

건축 부분에서 적용가능한 사업 프로세스를 반영한 시나리오로, 외피 리모델링과 이중창 설치로 인한 단열 개선을 통한 냉·난방에너지 소비 감소, 차양효과를 통한 조명 사용시간 감소의 내용<sup>52)</sup>을 포함하고 있다. 그린리모델링을 통한 단열 강화와 차양 효과로 인한 조명에너지 소비 감소는 EHP 도입 시나리오처럼 2015년 한해만 적용하고, 이후로는 각 부문별 과거 추세대로 감소하도록 하였다.

#### 다. LED 조명 교체

전기 부분의 그린리모델링 시행 사업으로, 기존 형광등 및 백열등을 LED 조명으로 교체하면서 발생하는 에너지소비 감소<sup>53)</sup>를 적용하였다. LED 조명 교체도 EHP 도입, 단열 강화처럼 2015년만 교체된 내용을 적용하고, 이후에는 과거 추세를 반영하여 전망되도록 하였다.

51) (박강현 외, 2011)을 참고하여 GHP를 EHP로 전환했을 때 전력 에너지 수요가 12.27% 증가하는 것을 반영함. 2015년 이후로는 난방·온수의 과거 에너지사용량 추세대로 에너지 수요가 감소하도록 하였음.

52) 단열개선(외피리모델링과 이중창 설치)으로 인한 전력부문의 냉·난방에너지 소비 감소는 (이재환, 2013)을 참고하여 7.4%의 절감효과 적용, 차양효과로 인한 조명에너지 사용시간 감축은 하루 한 시간 감소(1/9=11.11%, 한 시간/서울세관 일일근무시간)를 적용함.

53) (박윤미 외, 2010)을 참고하여 공공기관 LED 조명 교체 시 효과를 서울세관 별관동에 대입하여 계산하였음(조명 개수(1192개)\*하루근무시간(9시간)\*근무일수(260일)\*조명 당 전력 절감효과(45.6 W)를 통해, 약 25%의 전력절감효과가 발생함.).

### 3. 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오(Behavior improvement & Renewable energy, BAR Scenario)

서울세관 내 에너지 절감대책(행태개선)과 서울세관 별관동 그린리모델링 사업 프로세스에는 공간적 제약으로 인해 실시되지 않았지만, 향후 그린리모델링 사업 범위에 포함될 예정인 재생에너지 보급(태양광 에너지)을 종합<sup>54</sup>하여 시나리오화 하였다.

#### 가. 행태개선

서울세관은 2011년부터 전력부문에서 전년도 에너지 사용량 대비 10% 절감을 의무화하고 있다. 따라서 이를 행태개선 시나리오로 반영<sup>55</sup>하였다.

#### 나. 재생에너지 보급

본관동 옥상에 실제로 설치되어 있는 5 kW급 태양광 발전의 경우, 그린리모델링을 실시하는 별관동 건물에는 공간적 제약으로 인해 설치하지 않았다. 따라서 향후 그린리모델링 사업 범위에 포함될 예정인 재생에너지 보급을 시나리오화 하여 별관동에도 적용<sup>56</sup>하였다.

54) 재생에너지 보급 시나리오의 효과가 미비하여(5 kW 수준으로 발전량이 크지 않음), 행태개선 시나리오와 통합 적용함.

55) 서울세관 내 에너지 절감 대책(전년도 에너지사용량 대비 10% 절감)을 참고, 실제 전력 사용량 추세(-7%)를 반영하여 행태개선 효과가 점점 줄어들게 전망하였음. 최소값(2035년)은 환경부 보도자료(온실가스관리TF팀, 2014)를 참고하여, 온실가스 감축 우수기관의 온실가스 감축률을 비례 적용(2035년 : 2.66%로 고정)함. 온실가스 행태개선 효과는 전력을 사용하는 냉방, 조명, 기기 및 기타 부분에만 적용됨.

56) 본관동과 별관동의 경우 건물 연면적이 거의 같기 때문에, 본관동에 설치되어 있는 5 kW급 태양광 발전을 별관동에도 적용함(본관동과 마찬가지로 발전량은 전량 조명에너지로 사용되도록 하였음.).

#### 4. 통합 시나리오(Total, TOT Scenario)

Total 시나리오는 위 그린리모델링 시나리오와 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오의 통합 시나리오로, 모든 효과를 통합 적용<sup>57)</sup>하였다.

---

57) 통합시나리오는 결과 예측이 가능하기 때문에 연구결과의 에너지 수요 및 온실가스 감축량, 절감비용 분석에는 내용을 언급하지 않고, 종합분석 부분에 서술하였음.

〈표 3-6〉 시나리오 구성

시나리오	내용	적용시기	모형 적용 내용				
			난방·온수	냉방	취사	조명	가기및가타
기준 시나리오 (Baseline Scenario)	현재의 에너지사용량 추세가 미래에도 그대로 유지	없음	<ul style="list-style-type: none"> <li>과거 에너지사용량 추세를 미래에도 그대로 적용함.</li> </ul>				
그린리모델링 시나리오 (Green remodeling Scenario)	EHP 도입	기존의 GHP(Gas engine Heat Pump) 시스템이 EHP(Electric Heat Pump) 시스템으로 대체	2015년 적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>(EHP)LNG →전력</li> <li>(EHP)2015년 12.27% 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(EHP)LNG →전력</li> <li>(EHP)2015년 12.27% 증가</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>(단열)조명 시간 감소율 11.11%</li> </ul>
	단열 강화	외피 개선, 이중창 설치로 인한 냉·난방 개선과 차양효과로 인한 조명시간 감소	2015년 이후로는 과거 추세 반영	<ul style="list-style-type: none"> <li>(단열)에너지 절감효과 7.4%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(단열)에너지 절감효과 7.4%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>적용사항 없음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(LED) 전력 절감효과 25%</li> </ul>
	LED 조명 교체	기존 형광등 및 백열등을 LED 조명으로 교체					
행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오 (Behavior improvement & Renewable energy Scenario)	행태개선  재생에너지 보급	에너지절약대책(행태개선)과 재생에너지 보급(태양광에너지)으로 인한 전력부문 에너지소비 감소	행태개선 : 분석 기간 동안 적용  재생에너지보급 : 2015년 적용, 이후는 과거추세 반영	<ul style="list-style-type: none"> <li>적용사항 없음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(행태)에너지 절감률 :연도별로 적용<sup>58)</sup></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>(행태)에너지 절감률 :연도별로 적용</li> <li>(재생) 3.53 TOE 감소</li> </ul>
통합 시나리오 (Total Scenario)	<ul style="list-style-type: none"> <li>그린리모델링 시나리오와 행태개선 시나리오의 효과를 통합 적용함.</li> </ul>						

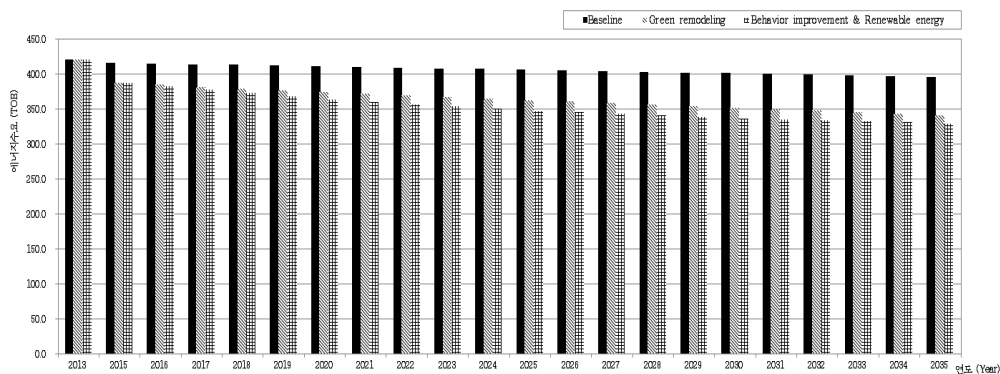
58) 2015년 10%를 기준으로 2035년까지 행태개선을 추세(서울세관 실제 전력사용량 감소 추세, -7%)를 반영하여 적용하였음.

## 제4장 연구결과

### 제1절 서울세관 별관동 온실가스 감축 시나리오 분석

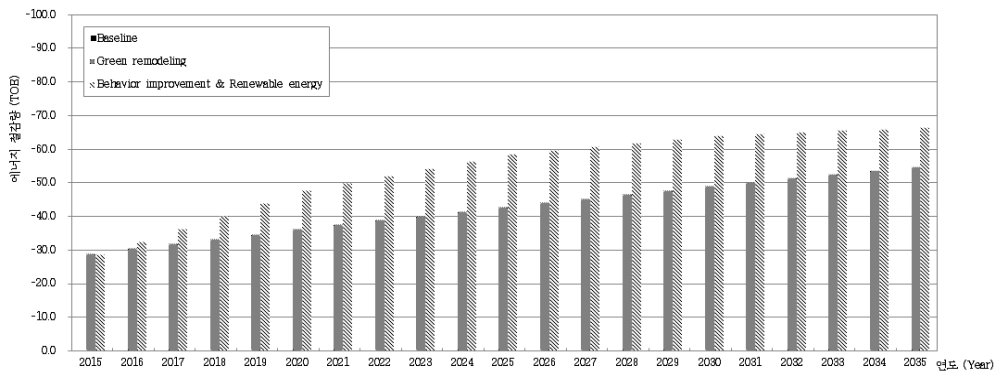
#### 1. 에너지 절감량 분석

시나리오별 에너지 수요를 비교해 보면, Baseline 시나리오(이하 Baseline)는 분석기간(2013~2035년)동안 연평균 1.21% 감소할 것으로 분석되었다. Green remodeling(이하 그린리모델링) 시나리오와 Behavior improvement & Renewable energy(이하 행태개선 및 재생에너지 보급) 시나리오는 같은 기간 동안 각각 연평균 4.10%, 4.76%씩 감소할 것으로 전망되었다. 최종년도의 Baseline(396.54 TOE) 대비 그린리모델링 시나리오의 에너지 수요는 13.8%, 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오는 16.7%가 감소할 것으로 분석되었다(그림 4-1).



<그림 4-1> 시나리오별 에너지 수요 전망

분석기간 내 Baseline 대비 그린리모델링과 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오의 누적 에너지 절감량은 각각 886.98 TOE, 1,131.75 TOE인 것으로 분석되었다. 세부적으로, 시뮬레이션 시작년도인 2015년에는 그린리모델링이 행태개선 및 재생에너지 보급보다 누적 에너지 절감량이 조금 더 많았지만(0.46 TOE), 이는 2016년 이후 역전되어 분석기간 동안 행태개선 및 재생에너지 보급의 절감량이 더 많은 것(244.77 TOE)으로 분석되었다. 이는 그린리모델링 시행년도 전·후로 효과가 크게 나타나는 건축 정책의 특징에 따라 일시적으로 나타나는 현상으로 해석할 수 있다. 따라서 단기에는 그린리모델링이, 중·장기에는 행태개선 및 재생에너지 보급이 더 효과적인 에너지 절감 시나리오라고 분석할 수 있다(그림 4-2).

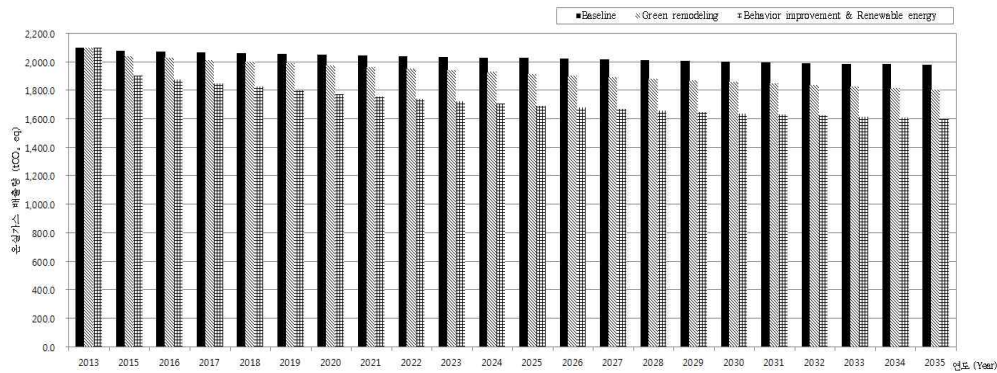


<그림 4-2> Baseline 시나리오 대비 에너지 수요 절감량 전망



## 2. 온실가스 감축량 분석

서울세관 별관동 Baseline 시나리오의 온실가스 배출량은 2013년 약 2099.7 tCO<sub>2</sub>eq에서 2035년 약 1977.4 tCO<sub>2</sub>eq로 약 5.8%정도 감소할 것으로 전망되며, 같은 기간 동안 그린리모델링 시나리오는 14.0%(연평균 2.97%), 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오는 23.6%(연평균 5.25%)가 감소할 것으로 분석되었다(그림 4-3).

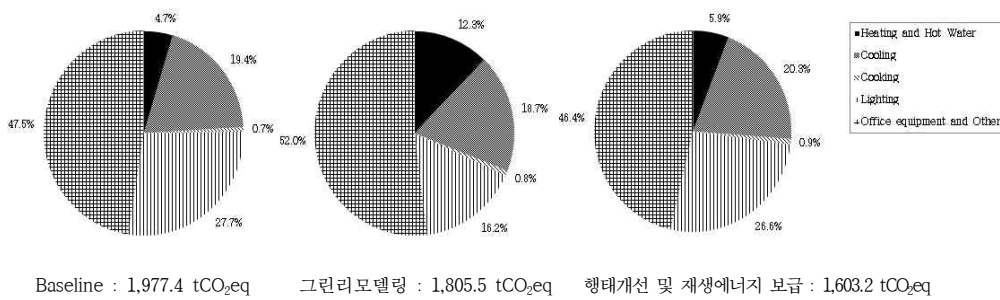


<그림 4-3> 시나리오별 온실가스 배출량 전망

시나리오별 최종년도(2035년)의 용도별 온실가스 배출량 비중을 보면, Baseline(1,977.4 tCO<sub>2</sub>eq)은 기기 및 기타가 48%, 조명이 28%, 냉방이 20%, 난방·온수 5%, 취사 1%를 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 그린리모델링(1,805.5 tCO<sub>2</sub>eq)은 기기 및 기타 52%, 냉방 19%, 조명 16%, 난방·온수 12%, 취사 1% 순이었고, 행태개선 및 재생에너지 보급(1,603.2 tCO<sub>2</sub>eq)은 기기 및 기타 46%, 냉방 20%, 조명 27%, 난방·온수 6%, 취사 1% 순이었다(그림 4-4).

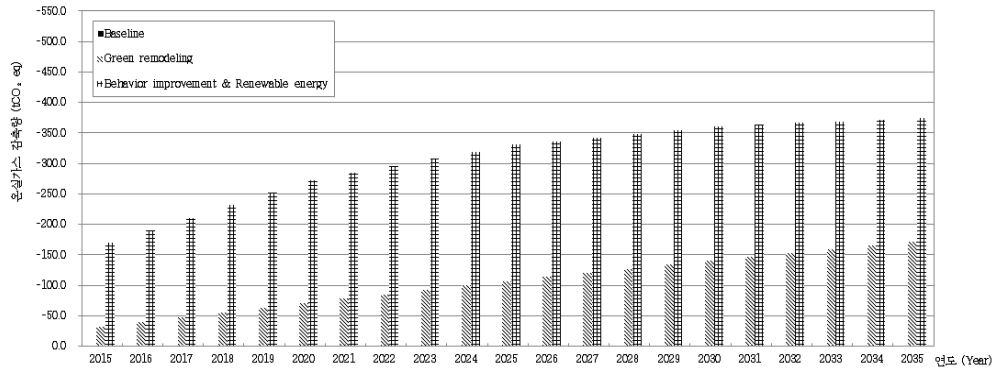
최종년도의 시나리오별·용도별 분석을 통해, Baseline 대비 그린리모델링

시나리오는 조명과 냉방 부분에서, 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오는 기기 및 기타와 조명 부분에서의 개선을 통한 온실가스 감축을 주 수단으로 하였다는 결론을 도출할 수 있다.



〈그림 4-4〉 시나리오별 · 용도별 온실가스 배출량 비중(2035년)

분석기간 내 Baseline 대비 그린리모델링과 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오의 누적 온실가스 감축량은 각각 2,2206.1 tCO<sub>2</sub>eq, 6,454.9 tCO<sub>2</sub>eq로, 약 3배정도 차이가 나는 것으로 분석되었다. 두 시나리오 모두 온실가스를 지속적으로 감축했지만 EHP 도입을 적용한 그린리모델링의 경우, 온실가스 감축률이 낮아 행태개선 및 재생에너지 보급에 비해 온실가스 감축량이 현저히 낮았다. 이러한 결과는 난방·온수의 에너지원인 도시가스(LNG)가 온실가스 배출계수가 높은 전력으로 전환된 요인이 기인하는 것으로 분석되었다(그림 4-5).



<그림 4-5> Baseline 시나리오 대비 온실가스 감축량 전망

### 3. 시나리오별 전력절감비용 분석

본 연구에서는 서울세관 별관동 온실가스 감축 시나리오를 적용해 도출된 Baseline 대비 시나리오별 에너지 절감량<sup>59)</sup>을 통해 전력절감비용<sup>60)</sup>을 산정하였다.

앞서 LEAP모형을 이용한 분석을 통해 두 시나리오 간 누적 에너지 절감량을 비교해 보면, 2015년 한해만 그린리모델링 시나리오의 누적 에너지 절감량이 많고, 이후에는 감축률이 높은 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오의 에너지 절감 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 따라서 누적 에너지 절감량을 통해 전력절감비용을 산정<sup>61)</sup>해 보면, 그린리모델링은 약 6억 7천만 원, 행태개선 및 재생에너지 보급은 약 8억 1천만 원으로 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오의 절감비용이 그린리모델링 시나리오보다 약 17.3% 정도 높은 것으로 분석되었다(표 4-1).

59) 그린리모델링 시나리오(EHP 도입)의 전력절감효과는 도시가스를 에너지원으로 사용하는 취사 부문, 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오(EHP를 도입하지 않음)는 난방·온수, 취사 부문을 제외하고 전력절감비용을 산정함.

60) 그린리모델링 EHP도입의 경우 초기투자비는 고려하지 않고, 유지관리비만을 고려함. 유지관리비 항목에는 보전비(수선·청소·점검정비비), 운영인건비 등이 있지만, 운영인건비는 서울세관 시설과 직원이 직접 관리하기 때문에 비용 산정에서 제외하였음. 보전관리비는 초기투자비의 1.5%를 반영함(박률, 2003). 재생에너지 보급에서 태양광발전(5 kW)의 경우, 운전유지비로 고정비의 1%를 적용함(김진형, 2010). 전력가격 할인율은 제6차 전력수급계획에 따라, 과거(2001~2013년) 전기요금 인상률 수준을 적용함.

61) 온실가스 감축비용의 경우, 배출권거래 가격의 불확실성으로 인해 산정하지 않았음.

<표 4-1> 시나리오별 전력절감비용 분석

단위 : 백만 원

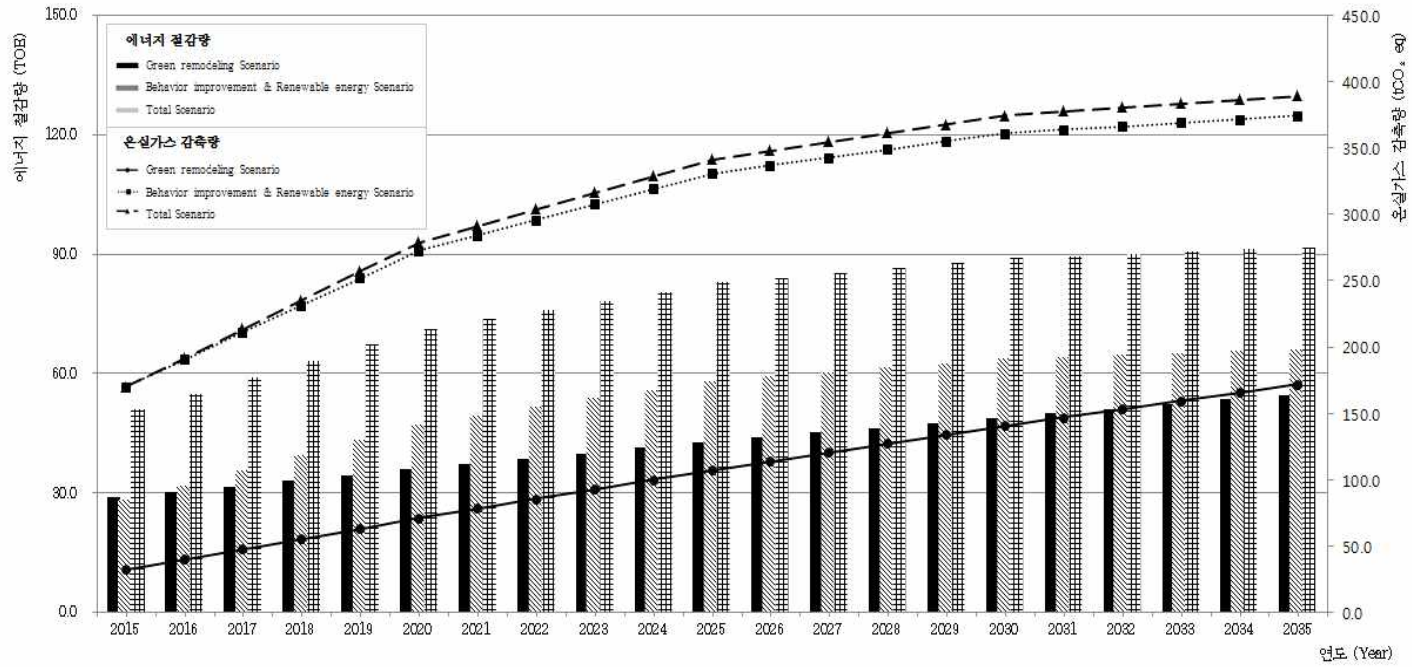
시나리오별 전력절감비용	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	합계
그린리모델링 시나리오	21.8	22.9	24.0	25.1	26.2	27.3	28.3	29.3	30.3	31.3	32.4	33.3	34.2	35.2	36.1	37.1	38.0	38.8	39.7	40.6	41.5	673.4
행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오	20.5	23.2	26.0	28.7	31.5	34.2	35.7	37.3	38.8	40.4	41.9	42.7	43.5	44.3	45.1	45.9	46.2	46.6	46.9	47.2	47.6	814.2

#### 4. 종합 분석

Total 시나리오(이하 통합)를 포함한 서울세관 그린리모델링 시행에 따른 온실가스 감축 시나리오를 분석해보면, 분석기간 동안 Baseline 대비 누적 에너지 절감량(최종년도의 Baseline 대비 에너지 절감률)은 그린리모델링이 886.98 TOE(13.8%), 행태개선 및 재생에너지 보급이 1,131.75 TOE(16.7%), 통합이 1,646.75 TOE(23.2%)인 것으로 분석되었다. 시나리오별 Baseline 대비 누적 온실가스 감축량(최종년도의 Baseline 대비 온실가스 감축률)은 시나리오별로 각각 그린리모델링이 2,2206.1 tCO<sub>2</sub>eq(8.7%), 행태개선 및 재생에너지 보급이 6,454.9 tCO<sub>2</sub>eq(18.9%), 통합이 6,652.3 tCO<sub>2</sub>eq(19.7%)인 것으로 전망되었다.

통합 시나리오의 경우, 그린리모델링 실제 사업을 반영한 그린리모델링과 서울세관 사업엔 포함되지 않았지만 그린리모델링 사업 범주 안에 속하는 재생에너지(태양광) 도입, 서울세관의 에너지 절감대책인 행태개선의 내용을 반영한 행태개선 및 재생에너지 보급을 시행·적용했을 때의 총 효과가 도출되기 때문에 에너지 절감량과 온실가스 감축량이 가장 큰 것으로 전망되었다. 하지만 행태개선 및 재생에너지 보급과 비교했을 때 온실가스 감축량이 크게 차이하지 않는 이유는 그린리모델링과 마찬가지로 EHP 도입을 적용함에 따라 전력사용이 늘어난 요인 때문인 것으로 분석되었다.

세부적으로 에너지 절감률(E)과 온실가스 감축률(G)도 통합시나리오(E:6.28%, G:5.43%), 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오(E:4.76%, G:5.25%), 그린리모델링 시나리오(E:4.10%, G:2.97%) 순으로 나타나기 때문에, 감축률과 비례하여 에너지 및 온실가스 감축효과가 전망되었다(그림 4-6).



<그림 4-6> Baseline 시나리오 대비 에너지 절감량 및 온실가스 감축량 전망<sup>62)</sup>

62) Total 시나리오를 포함하여, 에너지 절감량 및 온실가스 감축량을 분석함.

## 제5장 결론

### 제1절 요약 및 결론

본 연구에서는 국토교통부의 ‘그린리모델링 시범사업’ 중 하나인 서울세관 별관동 사례를 대상으로, 그린리모델링을 통한 에너지 절감에 대하여 고찰하고, 실제 사업을 바탕으로 한 온실가스 감축 시나리오를 구성하여 실증효과를 분석하였다. 더불어 이를 통한 전력절감비용을 도출하여 그린리모델링 시범사업의 실효성을 검토하고자 하였다.

현재 정부에서는 국가 차원의 기후변화대응과 이에 따른 온실가스 감축 목표 달성을 위해 각종 법규와 제도들을 정비하고 있으며, 세부적으로 건물 부문에서는 2013년 ‘녹색건축물 조성지원법’을 제정하면서 녹색건축물의 조성 및 촉진을 독려하고 있다. 올해 7월에는 ‘제1차 녹색건축물 기본계획’이 수립되며 건물 세부 부문별 온실가스 감축 계획과 목표가 정립되었는데, 특히 기존건축물의 에너지효율개선(그린리모델링)<sup>63)</sup>을 통한 온실가스 감축이 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 이에 국토교통부에서는 올해 초 그린리모델링 사업자를 선정하고, 현재 학교, 공공기관 등 10곳에 시범사업을 추진하고 있으며 정부 기관과 학계 등에서 관련된 연구들을 진행하고 있는 중이다.

본 논문은 서울세관 그린리모델링 시범사업을 다양한 경로로 시나리오화하여 2035년까지 분석하였다. 그린리모델링이 실시되지 않는 상황을 가정하여 현재의 에너지사용량 추세가 미래에도 그대로 유지되도록 Baseline 시나리오를 설정하였으며, 그린리모델링 실증사업 프로세스인 EHP 도입, 단열

---

63) 내년(2015년)을 시작으로 2020년까지 주거용 기존 건축물의 63%, 비주거용 기존 건축물의 68% 시행을 계획하고 있음.



강화, LED 조명 보급을 그린리모델링 시나리오로 구성하였다. 이 외에 서울세관 내 에너지 절감대책(행태개선)과 그린리모델링 사업 범위에 포함될 예정인 재생에너지(태양광) 보급을 합하여 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오로, 모든 효과를 종합하여 통합 시나리오로 구성하여 시나리오들을 비교·분석하였다.

2035년 Baseline 시나리오의 에너지 수요는 기준년도인 2013년 대비 약 5.9%정도 감소할 전망이다. 단열강화, LED조명 보급 등 에너지효율 개선의 내용을 포함하고 있는 그린리모델링 시나리오는 2013년 대비 18.9%정도 감소할 것으로 분석되었다. 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오는 2013년 대비 21.6%정도 감소하며 그린리모델링 시나리오보다 에너지 절감효과가 크지만, 그린리모델링 공사 후 첫해인 2015년도엔 그린리모델링 시나리오보다 에너지 절감량이 더 낮을 것(약 0.46TOE)으로 분석되었다. 통합시나리오는 2035년 기준년도 대비 약 27.7%가 감소하며 에너지배출 증가가 가장 낮은 것으로 전망되었다.

Baseline 시나리오의 온실가스 배출량은 2013년 2.1천 tCO<sub>2</sub>eq에서 2035년 1.98천 tCO<sub>2</sub>eq로 약 5.8%정도 감소할 전망이다. Baseline 대비 그린리모델링 시나리오의 누적 온실가스 감축량은 분석기간 동안 약 2.2천 tCO<sub>2</sub>eq정도이며, 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오는 6.5천 tCO<sub>2</sub>eq, 통합 시나리오는 6.7천 tCO<sub>2</sub>eq인 것으로 분석되었다.

이렇게 그린리모델링 시나리오와 타 시나리오들 간 온실가스 감축량이 크게 차이나는 이유는 EHP 도입에 따라 난방·온수의 에너지원인 도시가스(LNG)가 전력으로 전환되는 요인이 기인한다.

더불어 본 연구에서는 에너지 절감 효과를 통해 전력절감비용 효과를 산정<sup>64)</sup>하였다. 그린리모델링 시나리오는 약 6억 7천만 원, 행태개선 및 재생

64) 절감비용 산정은 실제 사업을 바탕으로 하는 그린리모델링 시나리오와 그린리모델링 사업 범주에 속하거나 서울세관에서 현재 실행중인 사업을 바탕으로 하는 행태개선 및 재생에너지

에너지 보급 시나리오는 약 8억 1천만 원으로, 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오의 전력절감비용 효과가 그린리모델링 시나리오보다 약 17.3% 정도 높은 것으로 분석되었다.

결론적으로 시행년도 전·후로만 효과가 크게 나타나는 건축의 특성 상 초기에는 그린리모델링 시나리오가, 중·장기에는 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오가 더 효과적인 에너지 절감 시나리오라고 분석할 수 있다. 더불어 최종년도의 시나리오별·용도별 온실가스 배출량 비중을 통해 그린리모델링 시나리오는 조명과 냉방 부분에서, 행태개선 및 재생에너지 보급 시나리오는 기기 및 기타와 조명 부분에서 주로 온실가스를 감축한 것으로 분석되었다.

본 연구를 통해 2015년부터 민간부문에 도입·시행될 예정인 그린리모델링의 서울세관 별관동 실증사업을 검토하고, 그 성능들을 시나리오화하여 검증할 수 있었다. 분석된 결과를 수치 그대로 해석하자면, 그린리모델링과 같은 물리적인 요소를 가하는 것 이상으로 행태개선 및 재생에너지 보급의 효과가 크다는 결론을 도출할 수 있다. 하지만, 그린리모델링은 노후화된 건물의 에너지 효율을 개선하는 것 이상의 쾌적성과 편리성을 함께 수반한다. 따라서 건물부문의 효과적인 온실가스 감축을 위한 녹색건축물 조성 여건을 만들기 위해서는 에너지성능개선 세부 프로세스(단열강화, LED조명 교체, 재생에너지 보급 등)들을 건물 특성별로 최적화 및 다각화하여 시행하고, 이와 함께 행태개선 등을 수행한다면 온실가스 감축 효과가 극대화될 것으로 사료된다.

---

지 보급 시나리오만 실시하였다.

## 제2절 연구의 의의 및 한계

본 연구는 에너지 장기 계획모형인 LEAP모형을 이용하여 서울세관 그린 리모델링 시범사례를 다양한 경로로 시나리오화하고, 이를 분석하였다. 모형 구축을 위한 기준에너지시스템은 서울세관의 실제 에너지사용량 데이터를 바탕으로 하였다. 서울세관의 에너지원은 도시가스(LNG)와 전력으로 구분되어 있지만 용도별로는 따로 구분되어 있지 않아, 이는 2011 에너지총조사 보고서(에너지경제연구원, 2012)의 ‘공공빌딩 용도별 에너지소비량’ 자료를 참고하여 구분하였다. 그린리모델링 시나리오를 구성하기 위한 사업 프로세스들은 실제 사업(EHP도입, 단열강화, LED조명 교체)을 바탕으로 하였으며, 행태개선 및 재생에너지보급 또한 실제로 서울세관 내에서 수행하는 에너지 절감대책과 재생에너지 보급 상태를 반영하였다. 분석 전망기간은 2035년까지 시물레이션하여, 중·장기 에너지 절감 및 온실가스 감축, 이에 따른 비용절감 효과를 산정하였다.

따라서 본 논문은 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 연구대상으로 하여, 제도 시행 전 실증효과를 산정해보고 시사점을 도출했다는 점에서도 연구의 차별성과 의의를 찾을 수 있다.

하지만 그린리모델링은 현재 몇 곳의 시범사업 사례만 있을 뿐, 건물의 용도 및 특성에 따른 효과분석 연구가 미비하여 시나리오 구성 및 절감비용 효과 산정에 대한 구체성은 한계점으로 지적할 수 있다. 이와 함께, 그린리모델링이 15년이 경과한 기존건축물을 대상으로 하는 것이기 때문에 발생하는 에너지효율개선 이외의 것들(EHP 도입<sup>65)</sup> 등)에 대해서도 더욱 효

---

65) EHP 도입은 온실가스 감축 측면에서 봤을 때, 에너지효율 개선의 목적보다는 에너지원

과적인 개선이 필요할 것으로 사료된다. 따라서 향후 이러한 점들을 참고하여 많은 연구가 진행된다면, 그린리모델링 정책에 대한 면밀한 평가와 효과적인 정책 수립이 가능하리라 생각한다.

---

관리를 편리하게 하기 위한 수단임. 따라서 그린리모델링 사업과 함께 실시된다면, 이에 대한 재검토가 필요함.

## 참 고 문 헌

- 강만옥 외, 2009, 온실가스 저감잠재성 분석 및 감축정책 연구 - 수송 및 건물부문, 한국환경정책·평가연구원
- 김기태 외, 2013, 공공청사 그린리모델링을 통한 에너지 사용량 절감사례에 대한 고찰, 한국건설기술연구원 공공건축본부, 한국태양에너지학회 VOL. 33, NO.2
- 김중환, 2004, 업무용빌딩의 그린리모델링 제도 활성화 방안에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교 공학대학원
- 김진형, 2010, 공동주택 태양광발전 시스템 적용의 경제성 분석: 환경편익을 포함하여, 석사학위논문, 계명대학교 대학원 환경과학과
- 박강현 외, 2011, 대학교 건축물의 에너지소비 특성 및 변화 추이 분석 : 서울소재 A대학교의 에너지 소비 실태를 중심으로, 숭실대학교 건축학부, 설비공학논문집 제 23권 제9호(2011)/pp. 633-638
- 박기범, 2013, 녹색건축물을 통한 국가 온실가스 감축목표 달성, 국토교통부 녹색건축과, 대한설비공학회 설비저널 제42권 2013년 6월호
- 박년배, 2011, 발전 부문 재생가능 에너지 전환을 위한 장기시나리오 분석, 박사학위논문, 서울대학교 환경대학원

박률 외, 2003, 교육용 건축물의 히트펌프 냉난방시스템에 대한 경제성 분석 : 24학급 규모의 고등학교를 중심으로, 동의대학교 건축설비공학과, 설비공학논문집 제 15권 제10호(2003)/pp. 879-887

박윤미 외, 2010, 백열 전구의 LED 조명 교체에 대한 타당성 분석 - 공공기관을 중심으로 -, 계명대학교 대학원 환경과학과, 한국기후변화학회지 Vol.1, No.3, 2010, pp. 205~210

박정근, 2014, 태양광시스템 보급에 따른 가정부문 온실가스 감축잠재량 분석, 석사학위논문, 한양사이버대학교 경영대학원

백정훈, 2010, 독일의 기존주택 부문 온실가스감축 전략, 한양대학교 친환경건축연구센터, 대한건설학회시공지 제 25권 제7호(통권261호)

산업통상자원부, 2014, 제2차 에너지기본계획, 산업통상자원부

손원득 외, 2013, 그린리모델링을 위한 기존업무용 건축물의 에너지사용량 현황조사에 관한 연구, 주식회사 센솔루션, 한국태양에너지학회 VOL. 33, NO.2

에너지경제연구원, 2012, 2011 에너지총조사 보고서, 지식경제부

에너지경제연구원, 2014, 2013 에너지통계연보, 지식경제부

오성훈 외, 2012, 녹색건축물 기본계획 수립을 위한 사례연구, 건축도시공간연구소, [AURI-정책-2012-8]

온실가스종합정보센터, 2014, 2013 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 온실가스종합정보센터(GIR)

우정호 외, 2012, LEAP 모델을 이용한 대학의 온실가스 배출량 및 감축잠재량 분석, 신라대학교 환경공학과, 환경영향평가 제21권, 제3호, pp.409~415

유광흠 외, 2009, 친환경 근린개발을 위한 도시설계 기법연구, 건축도시공간연구소, [AURI-기본-2009-11]

유광흠, 2010, 녹색건축 조성 활성화 방안, 한국법제연구원

유정현 외, 2012, 건물부문의 에너지 효율화를 위한 국가 건물에너지 통합 관리 시스템의 활용방안 연구, 한국토지주택공사 토지주택연구원, LHI Journal (2012) 3(3):263-270

유정화, 2012, LEAP모형을 이용한 대학의 온실가스 감축 잠재량 분석 : 세종대학교를 대상으로, 석사학위논문, 세종대학교 대학원 기후변화협동과정

윤요선, 2014, 그린리모델링을 위한 건축디자인 지표 개발에 관한 연구, 석사학위논문, 공주대학교 대학원 건축학과

이기홍 외, 2009, 건축물 부문의 기후변화 대응방안 연구, 대한주택공사 주택도시연구원

이민석 외, 2011, 녹색건축물 활성화를 위한 제도 기반 구축 방안 연구, 건

축도시공간연구소, [AURI-정책-2011-2]

이성근, 2010, 가정부문 용도별 에너지소비량 및 소급추정에 관한 연구, 에너지경제연구원, 기본연구보고서 10-5

이재환, 2013, 오피스 빌딩의 단열 및 창호개선에 따른 에너지 절약 효과 분석, 석사학위논문, 한밭대학교 산업대학원

임영호, 2010, 기후변화대응 주거건물의 온실가스 저감기법 연구, 석사학위논문, 인하대학교 도시계획학과

임인혁, 2014, 그린리모델링 건축물 운영을 통한 실측값과 에너지 시뮬레이션 예측값에 대한 상관관계 연구, 석사학위논문, 명지대학교 대학원 건축학과

임재규 외, 2006, 기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축연구(제2차년도), 에너지경제연구원

전력거래소, 2014, 2013 전력시장통계

정재훈, 2014, 그린리모델링과 업무시설 설비설계 사례, 삼신설계(주) 기술연구소, 설비공학회 설비저널 제43권 2014년 6월호

정창현, 2009, 서울 주거부문 에너지 소비량 저감 전략에 따른 효과 분석, 연세대학교 건축공학과, 대한건설학회시공지 제 25권 제11호(통권253호)

조미현, 2013, LEAP모형을 이용한 가정부문 온실가스 저감대책 분석 : 시흥



- 시를 중심으로, 석사학위논문, 세종대학교 대학원 기후변화협동학과
- 조상규 외, 2013, 녹색건축 정책수립을 위한 건축물 온실가스 배출량 통계 구축 및 분석, 건축도시공간연구소, [AURI-기본-2013-9]
- 최문선, 2012, IEA기준 상업 및 가구부문의 에너지효율지표 작성을 위한 기초통계 추정연구, 에너지경제연구원, 수시연구보고서 12-9
- 최석인 외, 2009, 세계 녹색건설시장 동향과 시사점 - 에너지 및 빌딩 시장을 중심으로, 건설이슈포커스 2009-05
- 최선우 외, 2012, 사무소 건물의 외피 리모델링에 따른 에너지 절감효과 및 경제성 분석, 공주대학교 대학원 에너지시스템공학과, 한국생태환경건축학회 Vol. 12, No.6
- 최종석, 2012, 태양광시스템 보급에 따른 가정부문 온실가스 감축잠재량 분석, 석사학위논문, 중앙대학교 대학원
- 한국건설기술연구원, 2009, 기후변화 대응 건축물의 온실가스 감축방안 연구, 국토해양부
- 한영한, 2012, 강원도의 그린리모델링을 위한 ESCO 사업 활성화 방안, 강원발전연구원, 연구보고 12-27
- Aumnad Phdungsilp, 2010, Integrated energy and carbon modeling with a decision support system: Policy scenarios for low-carbon city development

- in Bangkok, Department of Energy Management, Faculty of Engineering, Dhurakij Pundit University, Energy Policy 38 (2010) 4808-4817
- Charles Heaps et al., 2009, Europe's Share of the Climate Challenge Domestic Actions and International Obligations to Protect the Planet, SEI(Stockholm Environment Institute)
- G. Papagiannis et al., 2007, Economic and environmental impacts from the implementation of an intelligent demand side management system at the European level, Power Systems Laboratory, Department of Electrical and Computer Engineering, Energy Policy 36 (2008) 163-180
- Korea Mech. Const. Contractors Association, 2014, 그린리모델링 사업 본격화, 설비건설 2014 1월 저널
- Martin Adelaar and Mark Pasini et al., 2008, Green Building Energy Scenarios for 2030, Marbek Resource Consultants, Ltd
- Rashmi Kadian et al., 2007, Energy-related emissions and mitigation opportunities from the household sector in Delhi, Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology Delhi, Energy Policy 35 (2007) 6195-6211
- Rich Brown et al., 2008, U.S. Building-Sector Energy Efficiency Potential, ENVIRONMENTAL ENERGY TECHNOLOGIES DIVISION, University of California
- Subhes C. Bhattacharyya and Govinda R. Timilsina, A review of energy system models, Dundee University and The World Bank, International Journal of Energy Sector Management, Vol. 4 No. 4, 2010, pp. 494-518

Young-Sun Jeong et al., Assessment of CO<sub>2</sub> Emissions and Reduction Potential in Residential Buildings in South Korea, Green Building Research Division, Building Research Department, The Second International Conference on Building Energy and Environment 2012

국가법령정보센터(<http://www.law.go.kr/>)

국토교통부 홈페이지(<http://www.molit.go.kr/>)

그린리모델링창조센터(<http://www.greenremodeling.or.kr/>)

전력통계정보시스템(<https://epsis.kpx.or.kr/>)

에너지관리공단 석유환산톤 및 이산화탄소배출량 자동계산기  
(<http://co2.kemko.or.kr/TOE.aspx>)

한국시설안전공단(<https://www.kistec.or.kr/>)

## **Abstract**

# Analysis of GHG reduction scenarios on Green remodeling using the LEAP Model -Seoul Main Customs demonstration project-

Young-joong Yoon

Cooperate Course for Climate Change

The Graduate School

Sejong University

The tendency of energy demand increase as of the recent unusual weather, unstable operation of nuclear power plant and disruption of thermal power plant have made shortage of reserve power and deepening trend of energy demand and supply imbalance. To solve annually repeated imbalance of energy demand and supply and to achieve the national target of greenhouse gas emission, the countermeasure by each department is urgently requested.

Meanwhile, advanced countries, such as Germany, U.K., and etc., have set a goal to improve energy efficiency for building sector, and promoted various inducing plans of financial support, such as subsidies and interest free loan for building renovation. Recently Government also

announced building sector greenhouse gas emission plan through road-map of 2020, by green building, such as Green Home project, ESCO, Carbon Zero House, and etc.. In addition, to materialize this target, Government has proposed national strategy, implementation plan and political saving effects, by basic plan and regulation of Green building support, but sofar it is insufficient.

Today the buildings over 15 years old are about 74.1% of total buildings, and have consumed 21% of total energy (about 40% of advanced county). So to achieve greenhouse gas emission goal of building sector. the improvement of energy efficiency and remodeling of old buildings considered as a counter plan to enforce the policy. However the current green remodeling projects are only 10 cases including annex building of Seoul Customs Office, so the empirical case study is insufficient and there should be further studies.

Thus It is intended to set a greenhouse gas emission scenario based on green remodeling pilot project (Annex building of Seoul Customs Office) using LEAF 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

(replacing air conditioning system, improve insulation, implementing LED lighting), Behavior improvement and Renewable energy supply, and Total scenario.

According to the analysis result, the energy demand in 2035 of Baseline scenario was 5.9% decreased from base year 2013, that of Green remodeling scenario was 18.9%, that of Behavior improvement and Renewable energy supply scenario was 21.6% and that of Total scenario was 27.7%. The greenhouse emission of base year 2013 was 2.1k tCO<sub>2</sub>eq, and it was expected 1.98k tCO<sub>2</sub>eq, approx. 5.8% reduced, in 2035 by Baseline scenario. the cumulative greenhouse gas emission saving of the analyzing period were 2.2k tCO<sub>2</sub>eq by Baseline scenario, 6.5k tCO<sub>2</sub>eq by Behavior improvement and Renewable energy supply scenario, and 6.7k tCO<sub>2</sub>eq by Total scenario. According to the density analysis of greenhouse gas emission by scenario and by application of the last year of the projection, the saving of Green remodeling scenario comes from lighting and air-conditioning sector while that of Behavior improvement and Renewable energy supply scenario comes from lighting, equipment and others sector.

In addition the effect of electricity saving cost through energy saving has been estimated, and it was approx. 670 million Won by Green remodeling scenario and appro. 810 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. 17.3% higher than that of Green remodeling scenario.

As a result, the deducted conclusion is that the more effective way of energy and greenhouse gas emission saving would be Green remodeling scenario for the initial period, because of the characteristic of construction, the effect can be distinctively visible before and after the start year, but would be Behavior improvement and Renewable energy supply scenario for mid and long term. Green remodeling scenario gives not only the improvement of energy efficiency of old building but also providing convenience and comfort as well. Therefore it is understood that the effect of greenhouse gas emission could be maximized in case the detailed process of energy performance improvement has been implemented by diversified and optimized way according to the characteristics of the building as well as carry out concerned behavior improvement.

**Keywords : LEAP model, Green remodeling, GHG reduction, Future energy demand**