creative commons
COMMONS DEED

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

dCollection

석사학위논문

장기에너지모형을 이용한
그린캠퍼스의 온실가스 감축 잠재량 연구

Reduction Potential of Greenhouse Gas Emissions
of Green Campus Using LEAP

2018년 8월

세종대학교 대학원
기후변화협동과정
이 영 기

장기에너지모형을 이용한
그린캠퍼스의 온실가스 감축 잠재량 연구

Reduction Potential of Greenhouse Gas Emissions
of Green Campus Using LEAP

지도교수 전 의 찬

이 논문을 정책학 석사학위논문으로 제출함

2018년 8월

세종대학교 대학원
기후변화협동과정
이 영 기

이영기의 석사학위논문을 인준함

2018년 8월

심사위원장 김 하 나 (인)

심 사 위 원 차 재 형 (인)

심 사 위 원 전 의 찬 (인)

국문초록

정부는 온실가스 배출량 감축을 위해 배출권 거래제 및 온실가스·에너지목표관리제를 시행하고 있다. 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵에 따르면 2020년까지 건물부문에서 26.9%의 온실가스를 감축하도록 되어 있다.

2015년 현재 우리나라 건물부문 에너지 사용량은 2,492,000 tCO_2eq이며 이 가운데 13,6%인 338,000 tCO_2eq가 대학에서 사용한 에너지 양이다. 이처럼 대학은 온실가스 다배출기관의 하나이며, 온실가스 관리를 위한 인벤토리 구축과 온실가스를 감축하기 위한 노력이 필요하다.

전 세계적으로 해외 여러 대학에서 온실가스를 감축하기 위한 그린캠퍼스 운동을 전개하고 있으며, 우리나라 대학에서도 그린캠퍼스 운동을 통하여 온실가스 감축 활동들을 추진하고 있다.

본 연구에서는 그린캠퍼스 대학의 온실가스 감축량을 분석하고자 장기에너지 대안 모형인 LEAP(Long-range Energy Alternatives Planing system)을 사용하여 에너지 사용 및 온실가스 감축 잠재량을 분석하였다. 연구 대상은 그린캠퍼스 S대학으로 설정하였다.

그 결과, S대학 온실가스 배출량이 2017년 기준으로 총 32,870 tCO_2eq 이었고, 연료별 배출량은 전력의 경우 98%, LNG의 경우 2%를 차지하는 것으로 분석되었다. LNG 사용량의 경우 냉·난방 사용량이 90%를 차지하는 것으로 나타났다.

S대학의 온실가스 감축잠재량을 산정하기 위해 4개의 시나리오를 설정하였다. 첫 번째 시나리오는 현재의 에너지 사용 추세가 미래에도 그대로 유지 될 것으로 예측한 기준시나리오이고, 두 번째 시나리오는 에너지 고효율 설비로 전력을 절감하기 위한 LED 조명 교체, 조도제어시스템 구축, 단열

강화를 위한 이중창 설치를 적용한 시나리오이다. 세 번째 시나리오는 신・재생에너지 태양광 설치를 반영한 시나리오이고, 네 번째 시나리오는 두 시나리오를 모두 적용한 통합시나리오로 구성하였다.

시나리오 분석결과, 신・재생에너지 태양광 설치는 5.4% 감소한 34,844 tCO_2eq 이며, 에너지 고효율 설비 구축 배출량은 기준 시나리오 보다 15% 감소한 31,725 tCO_2eq으로 나타났다. 통합시나리오는 29,780 tCO_2eq로 2017년 대비 20% 감축될 것으로 확인 할 수 있었다. 시나리오별 감축 효과는 에너지 고효율 설비를 구축할 경우 온실가스 배출량 효과가 가장 높은 것으로 결과가 나왔다.

경제 분석의 결과에 따르면, 창호개선 이중창 교체 감축잠재량은 169 tCO_2eq, 태양광 설비 설치의 경우 60 tCO_2eq, LED램프 교체와 조도제어시스템 구축의 경우 8 tCO_2eq 순으로 결과가 나타났다.

본 연구를 통해 그린캠퍼스 S대학의 경우 고효율 설비 감축 기술을 설치하며 건축물 에너지 부하 중 가장 큰 비중을 차지하는 전력부문에 감소 효과를 볼 수 있다는 것을 확인하였다. 미래의 전력부문에 고도화된 감축 수단을 추가로 발굴하여 적용한다면 에너지 사용 감소와 온실가스 감축이 최대화 될 것으로 기대된다.

주요어 : 그린캠퍼스, 온실가스 · 목표관리제, 온실가스 감축 잠재량, 인벤토리, LEAP모형

목 차

제1장 서 론

제1절 연구의 배경 및 목적 ·····1
제2절 연구의 범위 및 방법 ·····3

제2장 이론적 배경

제1절 대학 건물부문의 에너지 수요 분석 ·····6
1. 국내 대학의 에너지 사용량 및 온실가스 배출량 ·····6

제2절 선행 연구 고찰 ·····10
1. 그린캠퍼스의 의미 ·····10
2. 국내·외 그린캠퍼스 온실가스 감축 활동 ·····12
3. LEAP모형을 활용한 대학 건물부문 선행연구 분석 ·····15

제3절 LEAP모형 구축 ·····19
1. LEAP모형의 개요 ·····19
2. LEAP 모형의 분석 원리 ·····22

제3장 모형 구축 및 분석방법

제1절 LEAP 모형 입력 ·····23
1. 입력자료 ·····23
2. 감축수단 선정 ·····28
3. 경제성 평가 ·····30

제2절 시나리오 구성 ·····37
1. 기준 시나리오 ·····37

2. 에너지 고효율 설비 도입 시나리오 ·····37
3. 신 · 재생에너지 태양광 설치 시나리오 ·····38
4. 통합 시나리오 ·····39

제4장 온실가스 감축 시나리오 분석

제1절 에너지 절감량 분석 ·····41
1. 감축 수단별 에너지 절감량 분석 ·····41

제2절 온실가스 감축량 분석 ·····44
1. 기준 시나리오 분석 ·····44
2. 에너지 고효율 설비 구축 시나리오 감축량 분석 ·····45
3. 신·재생에너지 태양광 설치 시나리오 ·····46
4. 시나리오별 감축량 분석 ·····48

제5장 결 론

제1절 요약 및 결론 ·····50
제2절 연구의 의의 및 한계 ·····52

참고문헌 ·····53

부 록 ·····56

Abstract ·····67

표 목 차

<표 1> 건물부문 업종별 에너지사용현황 ·····7
<표 2> 동국대학교 감축이행계획에 따른 예상 감축량 ·····12
<표 3> 선행연구 요약 ·····17
<표 4> 에너지·기후변화 분석모형 비교 ·····21
<표 5> 연도별 에너지 소비 현황 ·····26
<표 6> 연도별 온실가스 배출 현황 ·····27
<표 7> 온실가스 감축량 평가 범위 및 산정기준 ·····29
<표 8> 감축 수단 경제성 분석 결과 ·····36
<표 9> 시나리오 구성 ·····40
<표 10> 에너지 절감량 ·····41
<표 11> 조도제어시스템 추가 적용시 효과분석 ·····42
<표 12> 단창을 이중창 교체 시 절감효과 ·····42
<표 13> 태양광 설비 도입 절감 효과 ·····44
<표 14> 태양광 발전설비 도입 시 저감 효과 ·····46

그 림 목 차

<그림 1> 연구 흐름도 ····· 5
<그림 2> 대학 온실가스 배출량 추이 ····· 9
<그림 3> 그린캠퍼스 주요 부문 ····· 11
<그림 4> LEAP 모형의 프로세스 ····· 20
<그림 5> LEAP 모형 입력 화면 ····· 23
<그림 6> S대학 건물현황 ····· 25
<그림 7> 온실가스 감축 수단 선정 절차 ····· 28
<그림 8> 감축 수단의 경제성 분석 흐름도 ····· 31
<그림 9> 한계감축비용곡선을 이용한 의사결정 방법 ····· 32
<그림 10> 감축수단 우선순위 도출 방법 ····· 35
<그림 11> S대학 적용 건물 옥상 면적 현황 ····· 43
<그림 12> 기준시나리오 온실가스 예상 배출량 ····· 44
<그림 13> 에너지 고효율 설비 도입 시나리오 온실가스 배출량 전망 ····· 45
<그림 14> 신·재생에너지 보급 시나리오 온실가스 배출량 전망 ····· 47
<그림 15> 시나리오별 온실가스 배출량 전망 ····· 49

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적

녹색연합의 “에너지 사용량 통계” 자료에 의하면 최근 7년간 국내 대학의 에너지 소비량 증가 폭이 22.5%로 다른 업종에 비교해 약 7배 높은 수치를 나타냈다(녹색연합, 2009). 이러한 수치는 대학의 온실가스 감축 역할의 중요성을 보여주고 있으므로 대학의 자발적인 에너지 및 온실가스 감축 활동들이 사회에 미치는 효과는 크다고 말할 수 있다.

미국에서는 이미 2007년에 152개 대학 총장들이 기후변화위원회를 조직하여 대학에서 기후변화 대응과 에너지 소비 감축 목표를 설정하고 이산화탄소 배출량을 줄이기 위한 그린캠퍼스 운동을 추진하고 있다(녹색연합, 2008).

이러한 해외에서의 그린캠퍼스 운동은 국내 대학에도 영향을 주어 온실가스 배출량 감축을 위한 그린캠퍼스 운동이 시작되었다.

정부 차원에서 지원한 그린캠퍼스 활동은 2011년에 창설된 ‘환경부 그린캠퍼스 총장협의회’ 이다. 환경부로부터 그린캠퍼스 평가지표를 통하여 선정된 45개 대학 총장들로 조직되어 있다. 그린캠퍼스 운동의 시작은 2008년에 설립된 ‘한국 그린캠퍼스 협의회’ 이다. 이 협의회는 51개 대학이 자발적으로 가입하여 그린 캠퍼스 장기 발전을 위한 연구, 실천프로그램 개발 등을 통하여 그린캠퍼스 운동을 추진하고 있다. 권역 중심의 협의체인 ‘경기도 그린캠퍼스 협의회’ 는 2010년에 창립되어 62개 대학이 가입하고 있으며 기후변화에 대응하고, 지속할 수 있는 미래를 만들어가는 그린캠퍼스 운동을 추진하고 있다.

국내에서 대학에 지원해 주고 있는 그린캠퍼스 지원 사업들은 환경부에서 추진하고 있는 '환경부 그린캠퍼스 조성지원사업', '서울시 그린캠퍼스 조성사업', '경기도 그린캠퍼스 사업',등이 추진되고 있다.

환경부 그린캠퍼스 조성지원사업은 그린캠퍼스 지표 평가를 통해 선정된 대학에 그린캠퍼스 사업비를 지원해 주고 있으며, 서울시에서는 2013년부터 '에너지 절약실천 지원 사업'으로 선정대학별 사업비를 지원하고 있다. 또한 경기도에서는 2016년에 '경기도 그린 캠퍼스 인프라 개선사업'을 추진하여 대학 에너지관리시스템인(BEMS) 설치, 에너지 효율 개선 설비 등에 예산을 지원하였다.

이러한 그린캠퍼스 지원 사업은 예산이 소규모이고, 지원 기간이 제한되어 있어 지원이 종료되면 대부분 대학이 자체적으로 예산을 투자하여 사업을 지속해서 운영하지 못하는 것으로 확인되었다. 그리고 대학들 대부분이 온실가스 인벤토리 구축이 되어 있지 않아 온실가스 배출량 산정을 할 수가 없고, 이로 인해 대학에서는 온실가스 감축 계획을 수립하기가 어려운 상황이다.

본 연구에서는 그린캠퍼스 대학 중 2014년 ~ 2016년 3년 동안 환경부 그린캠퍼스 평가에서 우수평가를 받은 경기도 소재 그린캠퍼스 대학을 대상으로 선정하였다.

연구 결과를 통해 대학의 온실가스 인벤토리 구축결과를 바탕으로 미래 배출량(BAU)[1]을 예측하고 효과적으로 온실가스를 감축하기 위한 감축 목표를 달성하기 위해 활용할 수 있는 감축 수단을 제시하고자 한다.

1) BAU (Business As Usual, 미래전망치) : 인위적으로 온실가스 감축노력을 하지 않을 경우 미래의 온실가스 배출 총량을 추정한 값이다.

제2절 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 그린캠퍼스 대학의 에너지 사용량을 분석하여 온실가스 인벤토리 자료를 작성하고, LEAP 모형을 활용하여 2019년부터 2030년까지 온실가스 저감 잠재량을 분석하고자 한다.

본 연구의 기준연도는 2013년부터 2018년을 기준으로 하고, 2019년부터 2030년까지 시뮬레이션을 하였다. 분석을 위해 필요한 모형의 활동도와 에너지 수요 자료는 대학의 실제 전체면적과 에너지원 도시가스, 전력 자료를 사용하였다.

LEAP 모형은 넓게 국가 수준으로 좁게는 특정 지역으로 에너지 수급을 분석하고, 수요 부문 또는 발전 부문 등 특정 부분 대상으로 분석할 수 있다(박영수, 2014). 국가 수준에 에너지 수급을 분석할 때는 사회적, 경제적 변수들을 입력하여 핵심 가정 모듈, 에너지 수요 모듈, 전환 모듈, 재고 모듈, 환경 모듈을 이용한다(박년배, 2011).

연구 방법은 그린캠퍼스 대학의 건물 부문 에너지 사용량 전망을 위해 LEAP 모형을 사용하여 S대학 2030모형을 구축하고 대학의 건물을 대상으로 핵심 가정 모듈, 에너지 수요 모듈, 환경 모듈 등을 활용하여 분석 모형을 구성하였다. 핵심가정 모듈에서는 대학 구성원 수 및 건물 연면적을 입력하였다. 에너지 수요 모듈에서는 연구범위, 자료 수집 등을 기준으로 전력 및 LNG 및 총에너지 수요 자료를 입력하였다. 환경 모듈에서는 IPCC 가이드라인 배출계수를 적용하였다.

시나리오는 4가지로 구분하여 설계하였다, 첫 번째 시나리오는 과거 추이가 미래에도 유지되는 것을 가정하여 그대로 반영한 기준 시나리오, 두 번째 시나리오는 에너지 고효율 설비 도입을 가정한 시나리오, 세 번째 시나리오는 신 · 재생에너지 중 태양광 설치를 반영한 시나리오, 네 번째 시나리

오는 모든 시나리오를 포함하여 분석한 통합 시나리오로 구성하였다.

온실가스 배출량 계산을 위한 에너지원의 배출계수는 LNG의 경우, LEAP 모형 내 TED 기능에 설정된 IPCC 배출계수를 활용하였다.

연구 목적을 달성하기 위해 본 연구는 <그림 1>과 같은 연구체계에 따라 진행하였다.

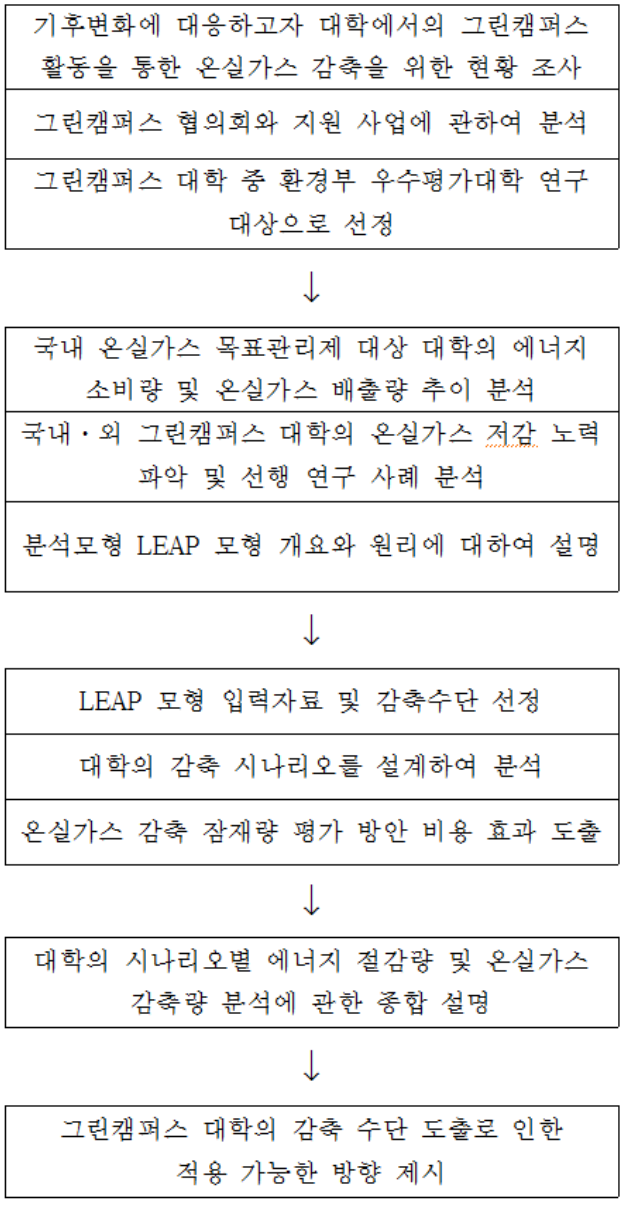
제1장은 기후변화에 대응하기 위하여 그린캠퍼스 대학에서 활동들과 온실가스 감축을 위한 현황 파악, 그린캠퍼스 협의체와 지원사업 조사, 그린캠퍼스 대학 중 환경부 우수평가 대학을 연구 대상으로 선정하였다.

제2장에서는 국내 온실가스 목표 관리제 대상 대학 건물의 에너지 소비량과 온실가스 배출량 현황에 관하여 분석하고, 국내 · 외 그린캠퍼스 대학 온실가스 감축 노력 파악, 선행 연구 사례를 분석, 분석모형인 LEAP 모형 개요와 분석원리에 관하여 설명한다.

제3장에서는 LEAP 입력 자료 및 감축 수단 선정, 대학의 감축 시나리오를 설계하고 분석, 온실가스 감축 잠재량 평가 방안 및 비용효과를 도출한다.

제4장에서는 그린캠퍼스 대학의 시나리오별 에너지 절감량 분석 및 온실가스 감축량 분석 종합 결과를 설명한다.

제5장은 결론으로 전반적인 연구 내용 요약과 함께 연구 결과를 토대로 그린캠퍼스 대학의 온실가스 감축 수단 도출로 연구의 시사점, 한계, 향후 추진 방향을 제시한다.


기후변화에 대응하고자 대학에서의 그린캠퍼스 활동을 통한 온실가스 감축을 위한 현황 조사
그린캠퍼스 협의회와 지원 사업에 관하여 분석
그린캠퍼스 대학 중 환경부 우수평가대학 연구 대상으로 선정
↓
국내 온실가스 목표관리제 대상 대학의 에너지 소비량 및 온실가스 배출량 추이 분석
국내·외 그린캠퍼스 대학의 온실가스 저감 노력 파악 및 선행 연구 사례 분석
분석모형 LEAP 모형 개요와 원리에 대하여 설명
↓
LEAP 모형 입력자료 및 감축수단 선정
대학의 감축 시나리오를 설계하여 분석
온실가스 감축 잠재량 평가 방안 비용 효과 도출
↓
대학의 시나리오별 에너지 절감량 및 온실가스 감축량 분석에 관한 종합 설명
↓
그린캠퍼스 대학의 감축 수단 도출로 인한 적용 가능한 방향 제시

<그림 1> 연구 흐름도

제2장 이론적 배경

제1절 대학교 건물부문의 에너지 수요 분석

1. 국내 대학교의 에너지 사용량 및 온실가스 배출량

국내 대학 수는 2016년 기준으로 약 400개이고 학생은 3백만 명으로 대학에서 소비되는 에너지 및 온실가스 배출량은 계속 증가하고 있으므로 기후변화에 대응하기 위해 대학에서 온실가스 배출 저감을 위한 노력이 그 어느 때 보다 필요한 시기이다. 2017년 기준 온실가스 에너지목표관리제 대상 기관은 358개 업체, 공공부문 대상기관은 824개로 에너지 사용 감축을 추진하고 있으며, 대상기관에 24개 대학이 포함되어 에너지 사용 감축을 통한 온실가스 저감을 위한 노력을 하고 있다. 전체 대학 수에 비례하여 적은 수의 대학이 온실가스 에너지목표관리제 대상으로 지정된 것처럼 보일 수도 있지만, 국내 기관별 에너지 소비량 결과를 비교하면 상위순위에 대학들이 포함되어 있다.

에너지관리공단 에너지 사용량 통계에 따르면 학교 건물은 매년 에너지 사용량이 증가하고 있다. 연간 2000 tCO_2eq 이상을 사용하는 에너지 다소비 기관 중, 학교건물은 총 에너지 사용량이 2000년도 130,000 tCO_2eq, 2013년에는 사용량이 330,000 tCO_2eq로 약 258%가 증가한 것으로 조사되었다(에너지관리공단, 2015).

<그림 2>에서 보는 바와 같이, 2016년 에너지 다소비 기관 사용량 통계로 연간 에너지 사용량이 많은 건물부문 업종별 에너지사용현황은 아파트 479,000 tCO_2eq (17.6%), 상용 405,000 tCO_2eq (14.9%), 학교 352,000 tCO_2eq (12.9%), 병원 306,000 tCO_2eq (11.2%) 순으로 에너지 사용량이 많았다.

이처럼 대학은 에너지 다소비 기관이지만, 국가 에너지통계에서는 국내 대학의 에너지 사용량만을 별도로 관리하고 있지 않았다. 본 연구에서는 에너지관리공단 에너지 사용량 통계를 사용하여 배출권거래제에 포함된 대학들이 적어 목표관리제 대상 대학을 대상으로 온실가스 배출현황을 분석하였다.

<표 1> 건물부문 업종별 에너지사용현황

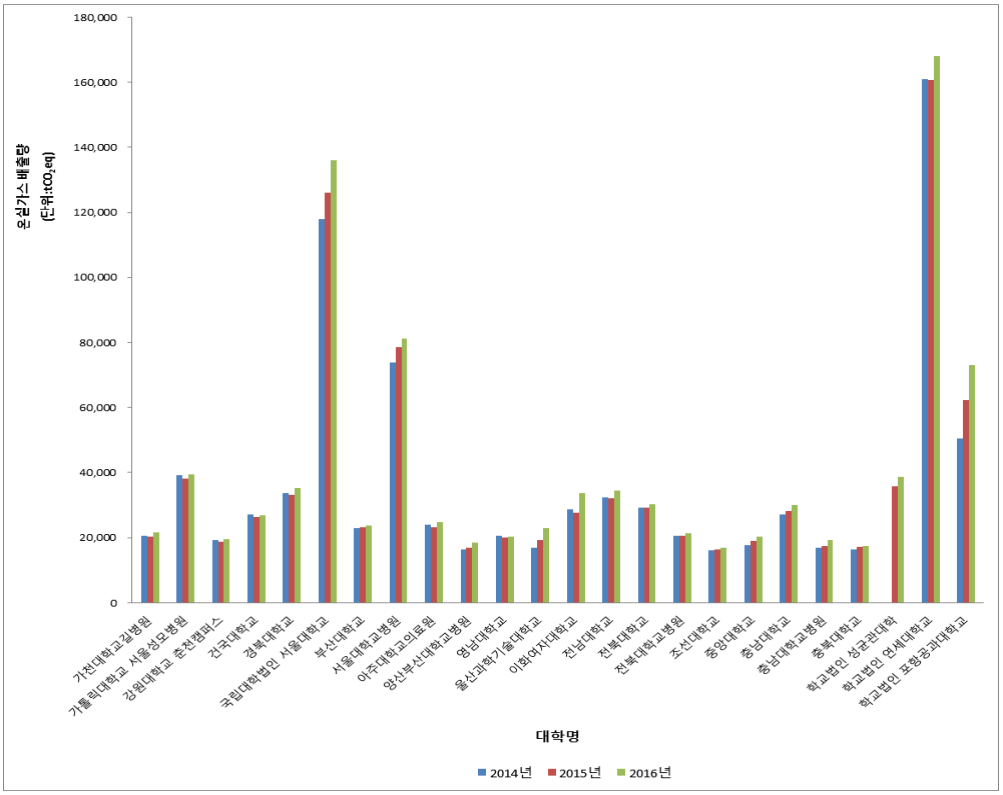
(단위 : thousand TOE)

구분	2000년	2010년	2014년	2015년	2016년	비중 (%)	전년대비 증가율(%)
상용	139	295	365	388	405	14.9	4.3
공공	50	107	116	126	154	5.7	22.3
아파트	597	462	386	429	479	17.6	11.6
호텔	166	236	226	224	233	8.6	3.7
병원	125	254	283	287	306	11.2	6.5
학교	130	296	331	338	352	12.9	4.1
전화국	20	46	54	69	71	2.6	1.9
연구소	47	116	148	169	206	7.6	22.2
백화점	118	293	262	271	299	11.0	10.6
건물 기타	60	76	152	191	215	7.9	12.4
계	1,452	2,181	2,324	2,492	2,718	100.0	9.1

출처 : “2016년도 에너지사용량 통계”, 2016, 에너지관리공단

<그림 2>는 2014년부터 2016년까지 국내 대학 중 온실가스 에너지목표 관리제 대상 24개 대학에 온실가스 배출량 변화추이를 나타낸 것이다. 2010년도부터 저탄소 녹색성장 기본법에 의해 실시되고 있는 온실가스 에너지 목표관리제에 기준에 따라서 대규모 온실가스 배출 사업장은 온실가스 감축, 에너지 절약 및 에너지 이용효율에 대한 목표를 설정하고 그 이행을 관리하도록 요구하고 있다.

대학의 2014년 온실가스 배출량은 849,161 tCO_2eq, 2015년 910,578 tCO_2eq, 2016년에는 온실가스 배출량은 973,841 tCO_2eq로 매년 약 6%의 온실가스 배출량이 증가하고 있다. 2014년부터 2016년까지 온실가스 배출량이 증가하고 있는 대학 공통점은 캠퍼스 규모에 따른 건물 전체면적이 큰 편이고, 각종 연구 시설이 매년 증가하고 있다.



<그림 2> 대학 온실가스 배출량 추이

출처 : 온실가스종합정보센터, 2016

제2절 선행 연구 고찰

1. 그린캠퍼스의 의미

그린캠퍼스는 온실가스 감축을 위한 다양한 노력을 통하여 캠퍼스 자체를 탄소 제로 캠퍼스로 만들어가는 것을 의미한다. 그린캠퍼스는 고등교육기관인 대학에서 환경보호, 에너지 절약에 대한 교육적 효과를 기대할 수 있을 뿐 아니라 기후변화에 대응하기 위해 에너지 사용 현황을 파악하고, 에너지 사용에 따른 온실가스 배출량을 줄이는 활동을 전개할 수 있는 데 의의가 있다(녹색연합, 2009).

해외에서는 기후변화라는 전 지구적 환경문제가 본격적으로 나타나기 이전부터 지속 가능한 발전을 위한 대학의 역할과 중요성이 강조되었다(유정화, 2011). 1993년 '유럽대학교 총장 회의'에서는 대학교의 지속 가능한 발전을 위해 '코페르니쿠스 헌장'(COPERNICUS Chapter, Cooperation Programme in Europe for Research on Nature and Industry through Coordinates University Studies Charter)을 발표하였으며, 유럽의 대학에서는 이를 참고하여 에코 캠퍼스 달성을 위한 다양한 노력이 진행되었다(유정화, 2011). 이처럼 해외에서는 그린 캠퍼스와 유사한 개념으로 '지속할 수 있는 캠퍼스(Sustainable Campus)', '기후 중립캠퍼스(Climate Neutral Campus)'라는 용어를 사용하며 기후변화에 대응하기 위한 활동을 활발히 전개하고 있다(경기개발연구원, 2010).

<그림 3>에서 보는 바와 같이, 대학캠퍼스의 '지속가능한 발전'은 대학캠퍼스에서의 주요한 활동들이 환경적으로는 건전하고 사회적으로는 정당하며, 경제적으로는 실용적이고 인도적인가, 그리고 이러한 것들이 앞으로도 지속가능 할 것인지를 의미하고, 경제효율성 측면과 환경오염 방지를 위

한 환경적 측면 및 사회적인 측면 속에서의 대학교의 역할을 나타낸다(교육과학기술부, 2009). 이러한 지속가능발전의 개념은 이 3가지 분야를 통합적으로 고려하는 개념으로서 환경과 경제적 측면에서 에너지 절약, 환경적 측면에서의 지역사회의 기여, 평생교육 프로그램 설치 및 실시 등이 요구된다(교육과학기술부, 2009).

<그림 3> 그린캠퍼스 주요 부문

출처 : 서울 그린캠퍼스 EASY 가이드 북(서울그린캠퍼스협의회, 2018)

2. 국내・외 그린캠퍼스 온실가스 감축 활동

온실가스 감축 저감을 위한 국내 대학 그린 캠퍼스 사례는 한국환경공단에서 발간된「그린 캠퍼스 조성 가이드라인」자료를 다음과 같이 정리하였다.

가. 동국대학교(경주캠퍼스)

적용 가능한 감축 수단 분석으로 조명, 냉난방, PC, 변압기 교체 및 관리를 통한 전력 절감, 절수장치, 수압조정, 누수 관리를 통한 수도 사용량, 하폐수 발생량 저감, 도시가스 설비 효율 개선, 설비 제어 개선을 통한 사용량 절감, 도시가스 설비 효율 개선, 설비 제어 개선을 통한 사용량 절감 등의 감축 수단을 분석하였다(<표 2> 참조).

<표 2> 동국대학교 감축이행계획에 따른 예상 감축량

구분	인구수 (명)	연면적 (㎡)	미래배출량 (tCO_2eq)	예상감축량 (tCO_2eq)	감축율 (%)
2012	9,775	155,310	6,920	667.34	9.64
2013	9,752	163,438	7,131	816.88	11.46
2014	9,752	163,438	7,131	1,082.25	15.18
2015	9,676	163,438	7,112	1,044.78	14.69
2016	9,676	163,438	7,112	1,114.86	15.68
2017	9,676	163,438	7,112	1,154.95	16.24
2018	9,676	163,438	7,112	1,180.53	16.60
2019	9,676	163,438	7,112	1,201.13	16.89
2020	9,676	163,438	7,112	1,228.47	17.27

나. 강남대학교

통합 네트워크를 구축하여 대학 그린 캠퍼스 조성 및 운영 지원 사업을 위한 단독 네트워크망을 구축하였다. 통합 BEMS 시스템은 인력에 의해 건물별로 현장에서 개별제어 운영을 종합상황실에서 건물에 설치된 모든 설비를 제어하도록 운영하고 있다. 지능형 전력 운영 시스템은 기존 유도형 계전기, 계량기, 기계식 스위치가 적용된 배전반을 전자화, 디지털화하여 안전성과 편리성을 확보하고 전력손실을 최소화하며, 부하별 원가계산, 효율적인 부하 관리를 하고 있다.

또한, 재실감지시스템 구축, 지열 냉난방 시스템 설치, 공기 열원 히트펌프 설치, 중수 저치 시스템 및 절수기 설치 국내 대학 중 재생에너지 구축 비율이 가장 높고 온실가스 저감 비중이 높은 대학이다.

다. 서울대학교

서울대학교 온실가스 에너지 감축 방향은 태양광 발전 시설 15개 건물 설치하고 용량은 850kw급, 연간 80만 KWh 생산으로 자립률 0.5% 효과를 가져온다. 보조전력용 12~334Kw급까지 다양한 규모로 설치하고 태양광 발전량에 대해 모니터링을 한다. 태양열 이용 시설 설치현황은 7개 건물, 용량 557㎡로 급탕용으로 설치하고 지열 이용 시설 설치현황은 4개 건물 250RT로 냉난방용으로 설치되어 있다(그린캠퍼스 추진성과 보고회 자료, 2017).

라. 미국 하버드대학교

하버드대학교는 이미 에너지와 자원보존을 위해 자원보전인센티브 프로그램(Resource Conservation Incentive Program, RCIP)을 1993년부터 1998년

까지 실행했다(환경부 대학단위 온실가스 감축 모델 개발, 2011).

HGCI(녹색캠퍼스 이니셔티브)는 RCIP를 바탕으로 GCLF(녹색캠퍼스대출기금)를 개발했고, 이에 지원한 부서는 무이자로 대출이 이뤄지고 이러한 프로젝트를 추진함으로서 자원소비 절감, 폐기물 배출 절감에 의해 관련된 비용 절감으로 대출금을 갚는다. HGCI는 대학교에서 3백만 달러의 지원금을 토대로 이 프로그램을 운영하고 있다(김동휘, 2017).

GCLF는 2002년부터 2004년까지 36개 프로젝트를 지원해서 6,726ton의 이산화탄소와 17만 3천 배럴의 물과 90ton의 매립 폐기물을 절감할 수 있었다(김동휘, 2017). 그리고 연간 88만 9천 달러를 절감하였고 투자비 회수율 비율은 27.9%에 달한다. 예를 들어서 하버드 비즈니스 스쿨은 9개 프로젝트를 추진하였는데, 40MW 태양광체육관 설치, 75kW 열병합발전 설치, 날씨와 토양 상태에 따라서 조절되는 관수 시스템 설치, 에너지 효율적인 컴퓨터 구매와 컴퓨터 전력 관리 프로그램 추진, 물 절약과 재생 시스템 도입의 성과를 이뤄냈다(김동휘, 2017).

마. 독일 트리어대

트리어대는 독일에서 최초로 환경 및 에너지 분야를 집중적으로 교육하는 대학으로 캠퍼스에서 사용하는 전기와 열을 재 · 생 가능에너지로 사용하고 있다. 대학 본관 건물에는 태양광 시설과 창문에는 태양전지가 달려있어 전기를 생산한다. 인근 농가에서 발생되는 축산폐기물을 사용하여 바이오가스를 생산하여 열병합발전으로 사용되어 전기와 열을 생산한다.

또한 냉난방은 지열 시스템으로 보완하고, 모든 건물은 빗물을 재활용하도록 운영하고 있어 화석연료 사용으로부터 완전하게 독립한 탄소 중립 대학이다(김동휘, 2017).

3. LEAP모형을 활용한 대학 건물부문 선행연구 분석

유정화(2011)는 에너지 및 온실가스 감축 활동 없이 2020년의 에너지 수요를 예측한 기준 시나리오(REF)와 LED 사용(LED), 고효율 기기 사용(EPS) 시나리오, 두 시나리오를 모두 고려한 통합시나리오(TOT)로 분석하였다. 세종대학교 온실가스 배출량은 10,414 tCO_2eq로 기준 시나리오 10년 동안 세종대학교의 온실가스 배출량은 약 88.3%가 증가하고, 2020년에는 19,610 tCO_2eq로 나타났다. 에너지 사용량을 감축한 통합 시나리오에서는 2020년 온실가스 배출량이 14,961 tCO_2eq로 2010년 대비 43.7% 증가 수준으로 나타났으며, 세종대학교의 온실가스 배출량은 전력 에너지 사용 저감 활동으로 BAU대비 약 23.7% 온실가스 배출량을 줄일 수 있다는 결과를 도출하였다(유정화, 2011).

우정호(2013)는 대학별 온실가스 인벤토리 구축 및 감축 시나리오 배출원의 구체적 목록화가 먼저 시행되어야 한다. 기타전력부문의 감축량 산정을 위해서는 교내 건물별 사무기기 및 개인용 전력기구의 목록화가 요구되고 이에 따른 에너지절약 실천계획(Action Plan)을 대학 본부 차원에서 보급하여 시행한다면 건물 내 전력소모 기구에 대한 감축량 산정이 더욱 정확하게 산정될 것이며 온실가스 감축에도 상당한 기여를 할 것으로 예측하였다(우정호, 2013).

김동휘(2016)는 호서대학교를 대상으로 2030년까지 온실가스 배출량을 전망하고 이를 감축하기 위해 감축 시나리오를 구축 · 적용하고 시나리오 1의 경우 기존에 설치되어 있는 EHP를 GHP로 교체하고 시나리오 2의 경우 사용 연료를 경유에서 CNG로 대체하며, 시나리오 3의 경우 기존에 설치된 조명인 형광등을 LED로 교체하는 것으로 선정하였다(김동휘, 2016).

통합 시나리오의 경우 모든 감축 시나리오를 적용하였을 경우 2030년까지의 온실가스 배출량을 분석하였고, 분석 결과는 2030년 기준 BAU 시나리오는 21,938 tCO_2eq의 온실가스가 배출되었고 시나리오 1의 경우 20,401 tCO_2eq의 온실가스가 배출되어 약7%의 감축률을 보였다(김동휘, 2016). 시나리오2의 경우 21,824 tCO_2eq의 온실가스가 배출되어 약 0.4%의 감축률, 시나리오 3의 경우 19,591 tCO_2eq의 온실가스가 배출되어 약 10.7%의 감축률을 보였고, 통합 시나리오의 경우 17,940 tCO_2eq의 온실가스가 배출되었고 약 19.2%의 감축률로 분석되었다(김동휘, 2016).

안해민(2016)는 발전부문 중 화력발전 분야를 기준으로 하여 제7차 전력수급계획에 나와 있는 발전량 추이에 따라 2020년까지의 발전량 추이 및 온실가스 배출량을 산정하였다(안해민, 2016).

화력발전 발전량의 3%를 신재생에너지발전으로 대체하였을 경우의 발전량 추이와 온실가스 배출량을 산정하였고, 화력발전의 11%를 신재생에너지발전으로 대체하였을 경우의 발전량 추이와 온실가스 배출량을 산정하였다(안해민, 2016). 발전량 추이 및 온실가스 배출량 산정을 위해 에너지 수급, 비용, 환경적 영향 등을 산정하는 모델인 LEAP 모델을 이용하여 발전량 추이와 온실가스 배출량 시나리오를 분석하여 온실가스 감축 시나리오에 대해 분석하였고, 신재생에너지가 화력발전 발전량의 3%, 11%를 대체 하였을 경우에는 대체하는 비율이 높을수록 온실가스 배출량을 감소하는 것을 볼 수 있었다(안해민, 2016).

<표 3> 선행연구 요약

관련 연구	연구 내용	비고
김재윤 (2012)	· 연도별 온실가스 배출량 · 건물별 온실가스 배출량 · 에너지원별 온실가스 배출량 · 온실가스 감축 수단 도출 · 감축 잠재량 분석 결과	1,382 tCO_2 온실가스 감축 효과
김동휘 (2016)	· LEAP 모델을 이용한 H대학교의 온실가스 감축 잠재량 분석 · BAU 시나리오 · 고정연소 부문 감축 시나리오 · 이동연소 부문 감축 시나리오 · 전력 부문 감축 시나리오 · 통합시나리오	2030년 BAU 대비 총 20.6% 감축 효과
박효정 외 (2012)	· 대학교의 온실가스 감축잠재량 분석 : 한양대학교 안산캠퍼스를 중심으로 · 고정연소 부문 감축 시나리오 · 이동연소 부문 감축 시나리오 · 조명 부문 감축 시나리오	2020년 BAU 대비 총 24% 감축 효과

〈표 3 계속〉

관련 연구	연구 내용	비고
우정호 외 (2012)	· LED 램프 보급 시나리오 · 태양광 발전교환 시나리오 · 점유센서의 설치 시나리오	2020년 BAU 대비 총 5.3% 감축 효과
유정화 (2011)	· 기준시나리오 · 고효율 기기 사용 확대 시나리오 · LED 고효율 조명기기 사용 시나리오 · 통합시나리오	2020년 BAU 대비 총 23.7% 감축 효과
안해민 (2015)	· 발전부문의 온실가스 감축시나리오 비교 분석 · 제7차 전력수급계획에 의거한 분석 · 화력발전량의 3% 신재생에너지 대체 · 화력발전량의 11% 신재생에너지 대체 · 시나리오별 비교 온실가스 감축 비교 · 누적 온실가스 감축량	2020년 BAU 대비 총 1.7% 감축 효과
최종석 (2012)	· 기준시나리오 · 태양광 시스템 보급 대안 시나리오	2020년 BAU 대비 총 3.9% 감축 효과

제3절 LEAP모형 구축

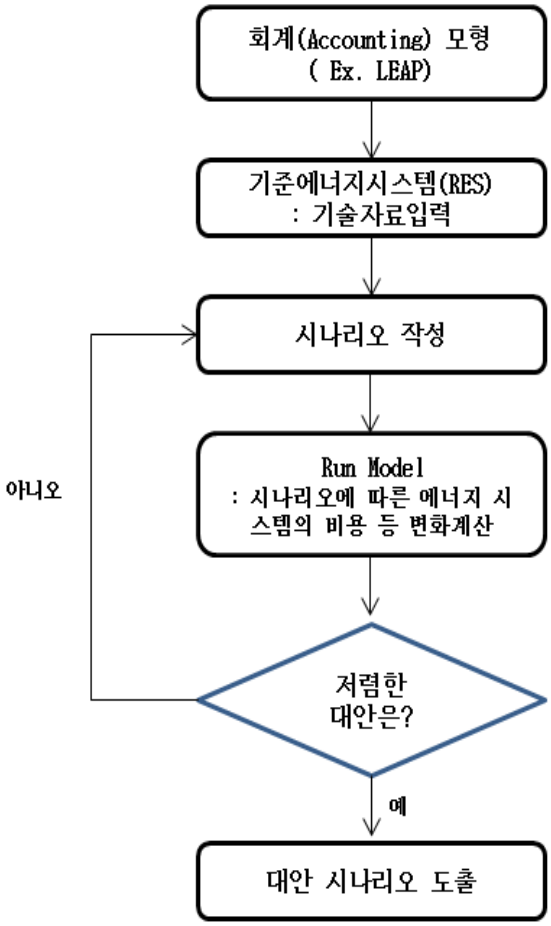
1. LEAP모형의 개요

LEAP 모형의 분석 범위는 공간적 범위로 기초, 광역지자체, 국가, 다국가, 세계에 사용되고, 시간 범위로는 중기 및 장기 분석, 1년 단위 범위로 분석할 수 있다.

LEAP 모형은 다수의 시나리오에 대해 다양한 관점에서 분석이 가능할 뿐만 아니라 환경적 영향을 고려한 최초의 에너지모델이며 1980년 케냐 연료림 사업의 장기 에너지 계획 수립을 위하여 개발된 이래, OECD 국가, 미국, 개발도상국 등 다양한 조건의 국가에서 에너지 연구에 사용되었고, 현재 Stockholm Environment Institute 보스턴센터에서 지속해서 관리 및 개발되고 있다(김동휘, 2016).

<그림 4>에서 보는 바와 같이, LEAP 모형의 상향식 모형에 해당하며, 시나리오에 따른 에너지 시스템을 계산하는 회계모형(Accounting Model)이다(박년배, 2011). 따라서 LEAP은 시나리오에 기반을 둔 결과를 도출하여 에너지 수요와 공급에 대한 세부분석과 에너지 기술에 대한 자료를 이용한 분석이 가능하다(박년배, 2011).

전 세계 약 190여 개국의 기관, 단체, 학교 그리고 회사 등에서 널리 이용되고 있으며, 세계 85개국에서 UNFCCC에 보고하는 자국의 기후변화 완화 평가용으로 사용되고 있다(Heaps, 2010). LEAP 모델은 경제 모듈, 에너지 모듈, 환경 모듈로 구성된 경제-에너지-환경 통합 모델링 시스템이다(Heaps, 2002).



<그림 4> LEAP 모형의 프로세스

<표 4>에서 보는 바와 같이, 에너지 분석 모형은 상향식(Bottom-up) 모형과 하향식(Top-down) 모형으로 구분된다. 상향식 모형은 에너지 기술들의 보급 또는 대체 과정을 통해 에너지와 경제에 미치는 영향 등을 분석하는데 활용되고 하향식 모형은 경제 활동수준의 변화를 중심으로 한 모형으로 경제적 성과를 결정하는 변수들을 중심으로 구축이 된다(김동휘, 2016).

<표 4> 에너지·기후변화 분석모형 비교

구분	상향식 모형	하향식 모형	전력 계획 모형
지리적 범위	국가, 광역 가능	국가	국가
적용 범위	환경, 에너지 시스템	환경, 에너지 시스템	환경, 전력시스템
기술범위	광범위, 보통 사전 정의	가변적 보통 제한적	광범위하지 않음
가격 정책 분석 역량	불가	높음	가능
비가격 정책 분석 역량	매우 우수	매우 우수	우수
신기술 추가	가능	어려움	가능
분석 기간	중기 ~ 장기	단기, 중기, 장기	중기 ~ 장기
계산 프로그램	불필요	계량경제 소프트웨어 필요	상용, 허가받은 소프트웨어 필요

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

2. LEAP 모형의 분석 원리

LEAP 모형의 분석은 국가 수준의 에너지 분석할 때는 사회 및 경제적 변수들을 입력하는 핵심 가정 모듈, 수요 모듈, 전환 모듈, 통계 오차 모듈, 재고 모듈, 비에너지 부문 배출량 분석 모듈, 자원 모듈을 사용한다(김동휘, 2016).

자료는 계층적인 구조로 입력되며, 시간적 범위는 중 · 장기적으로 대체적으로 20년에서 50년의 예측 기간을 분석 범위로 분석 기간을 자유롭게 설정할 수 있다(안해민, 2015).

LEAP 모형의 경제 및 회계 모델 시나리오 작성을 통해 모델링이 이루어지며, 감축 정책의 분석은 기준 시나리오의 작성을 통해 시작되는데 기준 시나리오는 크게 3가지로 구분할 수 있다(이의우, 2012).

먼저 핵심 가정 모듈에서는 인구수, 가구 수, 경제성장률, 산업구조, 건물 전체면적 등의 에너지 수요를 전망하고 주요 활동에 관한 외부 자료를 입력한다. 에너지 수요 모듈에서는 연구범위, 자료수집 등을 고려하여 부문별, 용도별로 세분된 최종 에너지 수요를 전망하고, 용도별로 계산한다.

추세안(Business As Usual, BAU)은 향후 에너지 소비 추세를 분석하기 위한 방법으로서 경제모델에 주로 사용되고 있으며 기존 통계자료를 바탕으로 연평균 증가율을 이용하게 된다(이의우, 2012).

최선안(Best Case)은 향후 에너지 소비가 긍정적으로 이루어질 경우 최적화 모델에서 주로 이용되고 있으며, 에너지 소비의 전망을 나타나게 된다(이의우, 2012).

정책안(Policy Case)은 온실가스 감축 정책이 적용될 경우 에너지 소비 형태가 어떻게 이루어질 것인지를 분석하는 방법으로서, 주로 회계 모델에서 쓰인다(이의우, 2012).

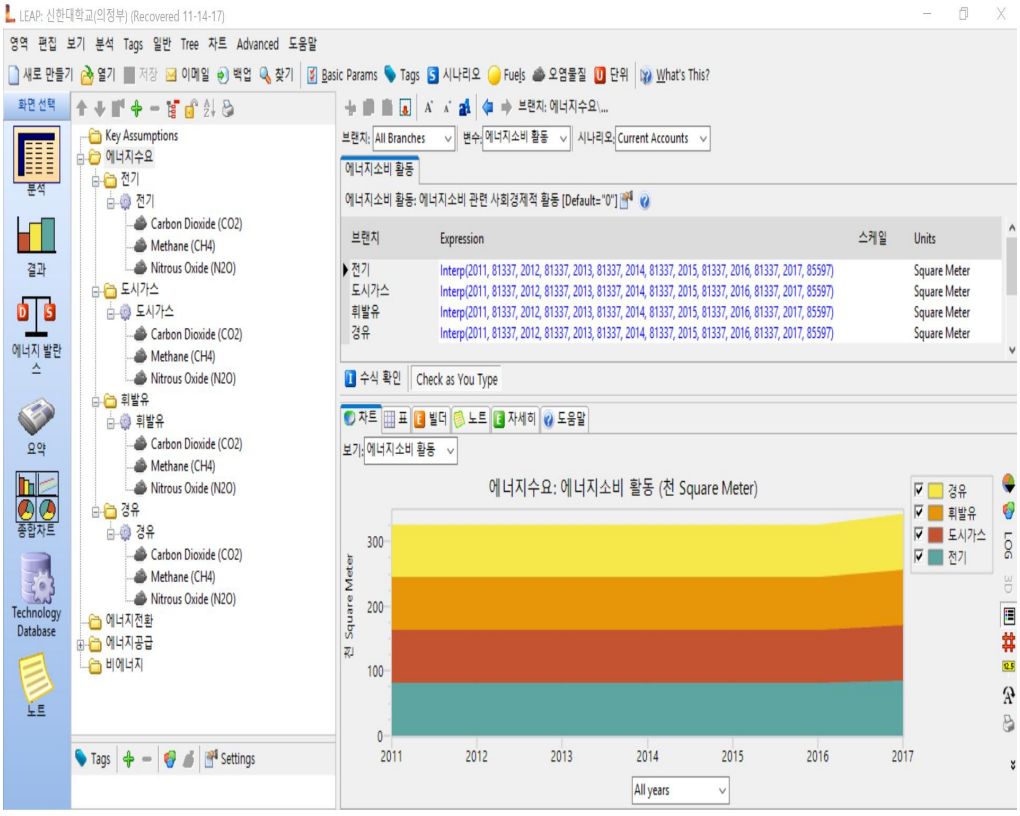
제3장 모형 구축 및 분석방법

제1절 LEAP 모형 입력

1. 입력자료

본 연구에서는 S대학 에너지 사용과 온실가스 배출현황을 분석하기 위하여 장기에너지 대안 모형인 LEAP(Long-range Energy Alternatives Planing system)을 사용하였다.

LEAP 모형 시스템 메인 화면은 <그림 5>와 같다.



<그림 5> LEAP모형 입력 화면

기준 에너지 시스템(Reference Energy System, RES)을 적용하기 위해서는 대학의 에너지 사용량 자료와 전체 건물 연면적 현황이 필요하여 주관부서인 시설지원팀 협조를 통해 자료를 수집하였다.

S대학 전체 건물 연면적 현황은 2019년부터 국가 온실가스 감축 로드맵의 종료 시점인 2030년까지로 설정하였고, 2010년 지열 시스템이 도입되어 시험 운전을 한 후 2013년부터 에너지 사용량이 크게 변화되어 최초 시작 연도를 2013년도로 설정하였다. 조직경계는 온실가스 배출량을 산정할 수 있는 범위를 의미하는데, 본 연구에서는 S대학 의정부 캠퍼스 기준으로 조직경계를 설정하였다. <그림 6>는 S대학 의정부캠퍼스 건물 현황으로 위치는 경기도 의정부시 호암로 95, 대학 전체면적은 99,231㎡이며 총 건물 수는 총 14개 동이다.

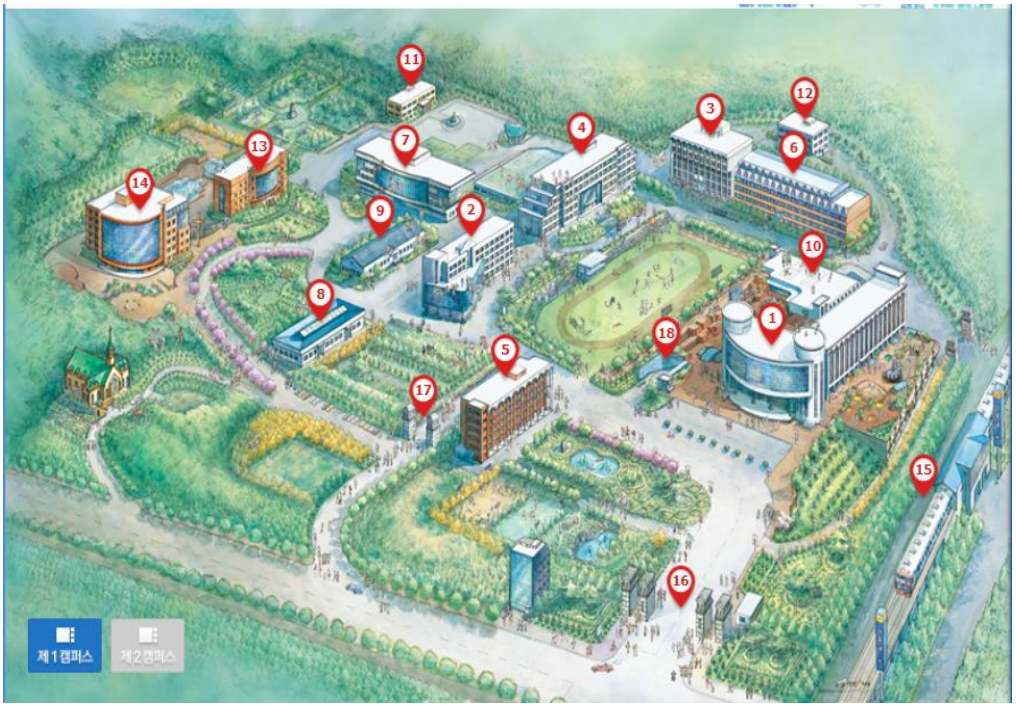
목표연도는 연차적으로 온실가스 감축을 위해 단기, 중기, 장기적인 목표를 설계하고 목표연도는 목표관리제를 고려하여 2030년으로 설정하였다. 입력자료 중 대학 인원수는 증가율을 고려하여 에너지 사용량 증가율을 설정하였다.

시나리오 분석은 기준연도에 에너지 수요와 전환 부문 에너지 자료를 입력하고, 분석 기간의 기준 시나리오를 적용한 후, 비교 분석을 하고자 하는 정책, 비용과 환경에 미치는 영향 등을 비교하여 각 대체 시나리오를 작성하였다.

에너지 소비 현황을 반영하기 위한 온실가스 배출원 항목은 발열량, 배출계수, 지구온난화계수(GWP)로 구분하여 전력, 도시가스(LNG)를 사용하고 있었다. 에너지 사용량의 경우 에너지원별 전력, 도시가스로 자료가 구분되어 있으나, 용도별로는 구분되어 있지 않았다. 2030년까지의 에너지 수요 전망은 S대학교의 에너지 사용량 추세를 통해 전망하였다

배출계수 입력은 배출원별 온실가스 CO_2 N_2O, CH_4 등의 배출계수를 입력

하였다. 온실가스 배출량 산정을 위한 배출계수는「온실가스·에너지 목표 관리 운영 등에 관한 지침」을 기준으로 산정하였다.



<그림 6> S대학 건물현황

S대학 의정부캠퍼스에서 주요 사용되는 에너지원은 간접배출 전력과 직접배출 기체연료인 LNG이다. 교내 건물에서 사용되고 있는 에너지원인 LNG와 전력을 대상으로 에너지 소비 현황을 산정하였다. 2010년 신·재생에너지 지열 시스템을 구축하여 현재 에너지원으로 지열, 전력, LNG, 휘발유, 경유를 사용하고 있으며 지열의 경우 2010년 시험 운전을 거친 후 2013년부터 본격적으로 대부분의 난방설비 열원으로 공급하고 있다(<표 5> 참조).

<표 5> 연도별 에너지 소비 현황

(단위: MJ)

에너지원	2013년	2014년	2015년	2016년
LNG	7,883,447 (10.1%)	12,026,886 (15.5%)	15,142,803 (18.6%)	19,723,419 (21.2%)
휘발유	743,867 (0.95%)	871,202 (1.12%)	790,387 (0.97%)	667,550 (0.72%)
경유	982,613 (1.3%)	1,105,553 (1.43%)	1,161,688 (1.42%)	2,524,844 (2.72%)
전력	68,544,000 (87.7%)	63,446,400 (82.0%)	64,252,800 (78.9%)	70,051,200 (73.4%)
합 계	78,153,927 (100%)	77,450,041 (100%)	81,347,678 (100%)	92,967,013 (100%)

LNG의 경우 지열 시스템이 설치되지 않은 일부 난방설비의 열원으로 공급하고 있으며, 전력의 경우 모든 건축물의 조명, 전열 및 개별 냉난방용으로 공급하고 있다. 휘발유, 경유는 비상 발전기를 제외하고 S대학 소유 법인 차량에 공급하고 있다.

S대학 의정부캠퍼스는 <표 6>과 같이 온실가스 배출 현황을 나타내고 있다. 직접 온실가스 배출원 LNG, 이동 연소 배출원인 휘발유, 경유를 사용하고 있으며, 간접 온실가스 배출원인 전력으로 구성되어 있다.

온실가스 배출량 산정을 위한 GWP는 IPCC 4차 보고서를 기준으로 설정하고, 온실가스 배출량 산정을 위한 배출계수는「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」을 기준으로 설정, 배출량 예측을 위한 인자는 건축물의 총 전체면적(㎡)을 적용하여 분석하였다. 매년 LNG의 경우 지열 시스템이 설치되지 않은 건물 일부에서 난방설비의 열원으로 공급하고 있으며, 전력은 모든 건축물의 조명, 전열 및 개별 냉·난방용으로 공급하고 있으며 총 온실가스 배출량 중 약 96.0% 이상으로 가장 큰 비중을 차지하고 있다.

<표 6> 연도별 온실가스 배출 현황

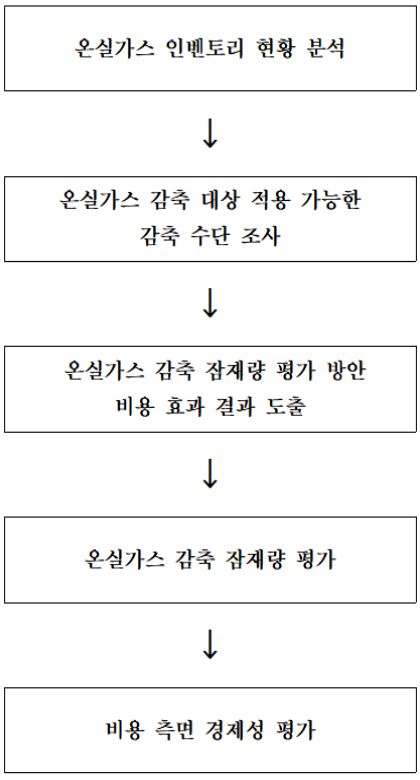
(단위: tCO_2eq)

에너지원	2013년	2014년	2015년	2016년
LNG	400 (1.2%)	610 (2.0%)	768 (2.5%)	1,001 (3.0%)
전력	31,959 (98.4%)	29,582 (97.5%)	29,958 (97.0%)	32,661 (96.4%)
휘발유	50 (0.2%)	59 (0.2%)	53 (0.2%)	45 (0.1%)
경유	69 (0.2%)	78 (0.3%)	82 (0.3%)	178 (0.5%)
전체	32,478 (100%)	30,329 (100%)	30,861 (100%)	33,885 (100%)

2. 감축수단 선정

대학 온실가스 감축 잠재량을 도출하기 위하여 온실가스 인벤토리를 자료를 사용하여 온실가스 배출량 감축 수단을 설정하였다.

우선 감축 대상을 설정한 후 적용 가능한 감축 수단을 조사한 후 결과를 도출하였다. 감축 수단에 대해 온실가스 감축 효과 및 비용효과 분석을 하고, 경제성 평가를 통해 감축 잠재량에 대한 경제성 및 타당성을 검토하였다. 온실가스 감축 수단 선정 절차는 다음과 같다(<그림 7> 참조).



<그림 7> 온실가스 감축 수단 선정 절차

향후 목표 관리제에 대비하여, 국가 온실가스 감축 목표 중 건물 부분의 2030년 BAU 대비 20%의 감축 목표를 준용하여 감축 시나리오를 설정하였다. 연도별 감축 목표를 설정하지 않아 2019년부터 BAU대비 2%, 2030년까지 BAU대비 20%를 감축하기 위한 감축률을 연도별로 설정하였다. 감축 시나리오 기간은 단기 4년으로 2019년부터 2022년, 중기 5년으로 2023년부터 2027년, 장기는 3년으로 2030년까지 감축 로드맵을 수립하여 반영하였다.

대학의 감축 수단 및 비용분석을 통해 수단별, 비용분석 지표들에 감축 효과를 분석하여 비용대비 감소 효과가 큰 수단 및 방안에 대한 우선순위를 도출하여 선정하였다(<표 7> 참조).

<표 7> 온실가스 감축량 평가 범위 및 산정기준

구분	범위 및 기준	
평가 범위	평가대상	· 2018년 이후 적용되는 감축 수단
	평가내용	· 온실가스 감축효과 평가 · 온실가스 감축 비용효과 평가 (MAC) · 에너지 절감 비용효과 평가 (ROI)
온실가스 감축량 및 에너지 절감량 산정 기준	온실가스 배출계수 및 기타	· GWP는 IPCC 4차 보고서 기준 설정 · 배출량 예측을 위한 인자는 건축물의 연면적 (㎡) 사용 · GWP는 CO_2(1), CH_4(21), N_2O(310)

구분	범위 및 기준	
온실가스 감축량 및 에너지 절감량 산정 기준	에너지 적용	· 전력단가 : 101.3[원/kW] 2016년 평균 단가 : 한전i-smart기준 · 냉/난방 소비전력 비중 : 70% 일반건물의 기준에 준함 · 발전 가능용량 : 100kWh/h 공학관 면적 1,243m^2 중 77% 적용 ·발전 전력량 : 발전용량 100[kWh/h] ×일사시간 3.5[hr/일] × 365[일/년]

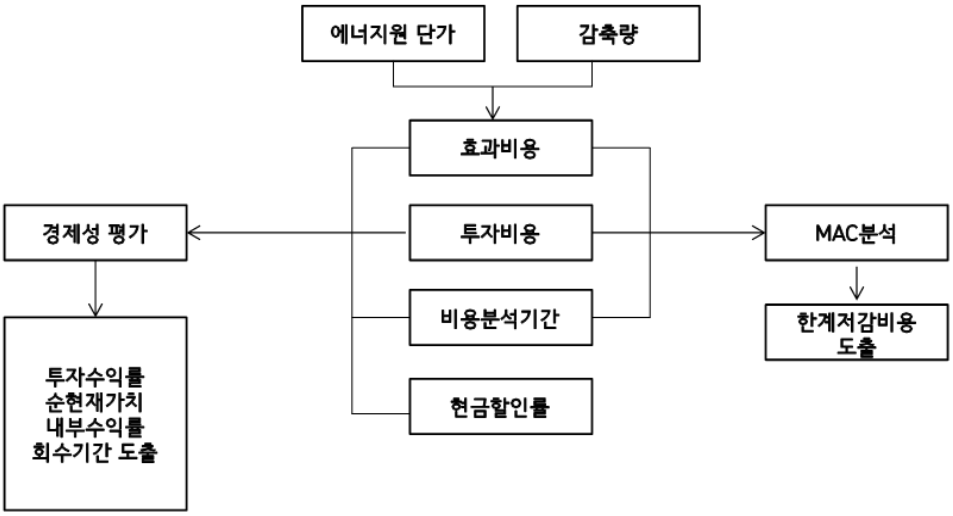
3. 경제성 평가

감축 수단을 결정하는 데 있어서 감축량을 제외하고 우선순위를 선정하기 위해서 경제성 분석을 수행하였다.

경제성 분석은 비용적 측면에서 투자가치가 여부를 판단하고 한계 저감비용을 통해 가장 비용적으로 적합한 감축 수단을 우선 결정하였다.

감축 수단을 설정하기 위한 경제성 분석 흐름도는 <그림 8>에 나타내었다. 감축 수단이 에너지 시설에 적용됨에 따라 에너지원별 단가와 감축량이 우선 적으로 반영되었고 감축 수단에 드는 비용, 감축 수단을 적용하였을 때 예상될 수 있는 효과비용 등이 고려하였다. 경제성 평가를 하여 온실가스 감축에 드는 비용을 원 단위로 평가하여 감축 수단 선택하였다.

감축 수단의 경제성 분석에 관한 내용은 2011년에 발간된 “환경부 대학교 온실가스 감축 계획 수립 가이드라인”을 활용하여 연구에 반영하였다.



<그림 8> 감축 수단의 경제성 분석 흐름도

자료 : 대학 온실가스 감축계획 수립 가이드라인(환경부, 2011)

한계저감비용은 온실가스 1톤을 줄이는데 소요되는 비용이다. 각 시나리오별 도입비용 및 관리비용 등 총 소요비용을 사업에 따른 온실가스 감축량으로 나누어 1톤의 온실가스 저감량 대비 소요비용을 계산하는 데 사용하였으며 한계저감비용 산정식은 다음 식 (1)과 같다.

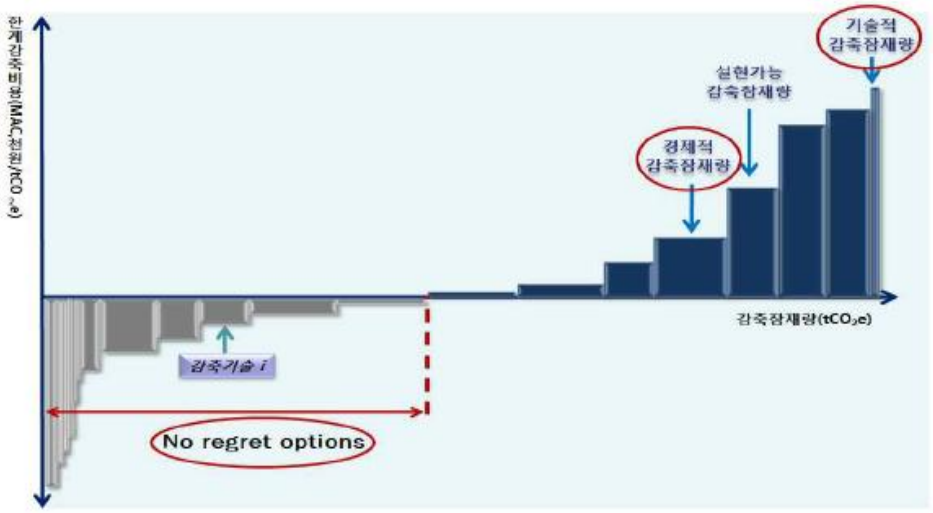
$$\text{한계저감비용 (MAC, 원/tCO}_2\text{eq)} = \frac{\text{탄소저감에 소요된 비용(원)}}{\text{탄소저감량 (tCO}_2\text{eq)}} \quad (1)$$

사업 기간의 총 소요비용은 온실가스 감축을 위해 감축 수단의 고정비용과 운영비를 의미한다. 고정비용은 사업 초기집행 시에 투자되는 금액으로 사업 기간에 상관없이 일정한 값을 지닌다.

한계저감비용(MAC)을 통하여 적은 비용 대비 효율적인 온실가스 감축 효과를 내는 요인들을 분석하였다. 이에 경제성 분석을 통하여 감축량, 감축수단 도입에 따른 우선순위 선정 도출로 온실가스 감축 전망할 수 있다.

감축 잠재량에 따른 정책의 재분류로 경제적 감축 잠재량, 기술적 감축 잠재량, 추가비용 없이 가능한 온실가스 감축 수단 등으로 구분하여 정책을 재분류 할 수 있다(<그림 9> 참조).

기술적 감축 잠재량이란 현재 개발된 기술을 모두 실시할 수 있다고 했을 때의 감축량을 의미하고 경제적 감축 잠재량이란 대학교의 예산, 정부 지원자금 등 경제적인 능력 범위 내에서 실현 가능한 정책으로부터 나오는 감축 잠재량으로 이 둘을 고려한 실현 가능한 감축 잠재량을 결정할 수가 있다. 정책의 재분류는 온실가스 배출량 저감에 있어서 경제적 비용이 부과되지 않은 정책부터 비용이 많이 소요되는 정책 순으로 재분류하기도 한다(대학교 온실가스 감축계획 수립 가이드라인, 2011).



<그림 9> 한계감축비용곡선을 이용한 의사결정 방법

자료 : 대학 온실가스 감축계획 수립 가이드라인(환경부, 2011)

감축 수단의 비용효과 분석(Cost-effectiveness Analysis)은 투자 결정의 신뢰성과 감축 정책 비용을 통하여 감축 정책 성과와 효과를 비교하였다. 분석을 통해 투자 타당성을 산출하여 기간에 따른 경제적 파급효과를 산정한다. 비용효과 분석의 최종 효과는 감축 정책의 투자비용, 효과비용, 현금할인율을 통해서 4개의 핵심지표를 산정한다.

투자수익률(ROI, Return On Investment)은 투자비용과 효과비용만으로 산출하며 감축정책에 대한 투자 여부를 결정하는데 사용할 수 있다. 투자수익률 계산방법은 다음 식(2)과 같다.

$$ROI = \frac{(EC - IC)}{IC} \times 100(\%) \quad (2)$$

$$EC = E \times n, \quad IC = I_f + I_C \times n$$

ROI : 투자수익률

I_f : 초기투자비용

I_C : 지속투자비용

B : 효과비용

n : 비용분석기간

순현재가치(NPV, Net Present Value)는 투자비용, 효과비용, 현금할인율을 고려하여 산정하는데, 예상 투자비용의 할인가치를 예상 수익의 할인가치에서 공제했을 때 나온 값을 합한 금액으로 저감 수단의 예정 순이익을 현재의 화폐가치로 보여준다. 시간에 따른 화폐의 가치를 반영한 미래 순이익의 규모를 확인하는 데 사용하였다. 순현재가치 산정식은 다음 식 (3)과 같다.

$$NPV = -I_f + (E - I_C) \times \left(\frac{1}{(1+r)} + \frac{1}{(1+r)^2} + \frac{1}{(1+r)^n} \right) \quad (3)$$

NPV : 순현재가치

I_f : 초기투자비용

I_C : 지속투자비용

B : 효과비용

r : 현금할인율

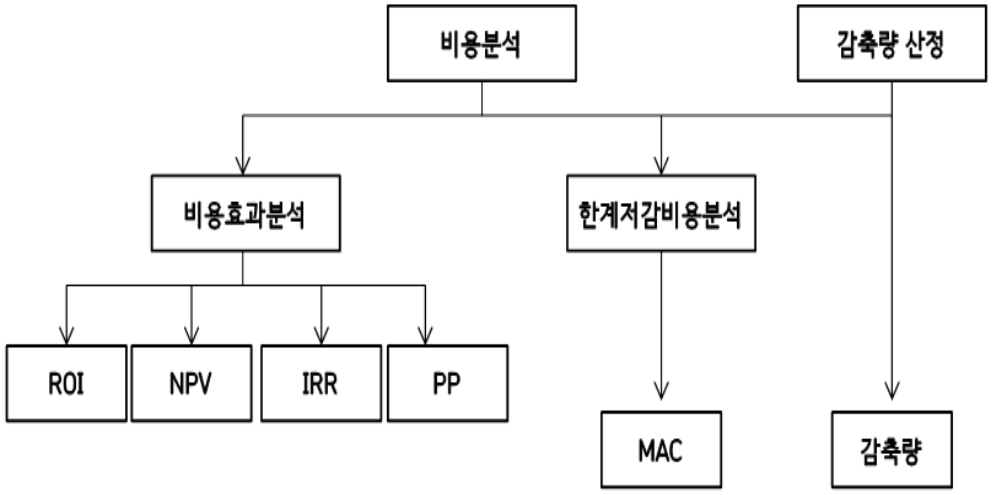
n : 비용분석기간

내부수익률(IRR, Internal Return Rate)은 감축 수단에 자본 투자를 통해 얻어지는 장기적인 수익이 자본 투자금액 기준으로 몇 %의 이자율에 해당하는지를 의미한다. 이를 탄소 저감과 연결해 보았을 때, 탄소 저감 정책의 초기투자비용에 따른 전기세 절감, 유류사용 절약 등의 경제적 수익들이 현재가치의 투자비용과 동일해지는 수익률을 내부이자율로 볼 수 있다.

경제학에서의 수익률의 의미는 투자의 미회수 잔액에서 발생하는 이자율을 뜻한다. 다른 지표와는 다르게 이자율을 미리 알 필요가 없기 때문에 미래에 대한 인식 및 미래의 이자율이 아주 불확실할 때에는 수익률에 의한 투자 대안의 비교방법으로 적합하다.

회수 기간(PP, Payback Period) 현금할인율은 고려하지 않고 투자비용과 효과비용만을 고려하여 산출하고 투자의 초기비용을 순 현금으로써 회수할 수 있는 기간을 뜻한다. 따라서 회수 기간 법은 경제적 타당성을 결정짓기는 어렵지만, 초기 투자비가 얼마나 빨리 회수될 것인가 하는 척도로써 이용될 수 있다.

감축수단 평가와 비용분석을 통해 해당 감축수단별, 비용분석 지표들 및 감축효과를 고려하여 비용대비 저감 효과가 큰 기술 및 방안에 대한 우선순위를 <그림 10>에 나타내었다.



<그림 10> 감축수단 우선순위 도출 방법

자료 : 대학 온실가스 감축계획 수립 가이드라인(환경부, 2011)

최종 온실가스 감축 수단 선정을 위한 의사결정은 온실가스 배출량 저감에 있어서 경제적 비용이 적은 정책부터 많이 소요되는 정책 순으로 분류하여 감축 수단을 선정할 수 있었다. 한계저감비용(MAC) 및 투자수익률을 평가한 결과 고효율 창호를 통한 냉·난방 이중창 교체는 매년 0.5% 감축, 태양광 발전설비 도입으로 매년 0.2% 감축, 고효율 LED 램프와 조도 제어 설치는 매년 0.02% 순으로 결과가 나타났다(<표 8> 참조).

<표 8> 감축 수단 경제성 분석 결과

저감수단 / 단 위	MAC (천원/tCO_2eq)	한계투자 비용 (천원/tCO_2eq)	NPV (천원)	IRR (%)	PP (년)	감축율 (%)
고효율 LED 램프와 조도제어	17	1,689	-2,653	0	5	0.02
고효율 창호를 통한 냉·난방 단열강화	120	2,366	-406,134	0	10	0.5
태양광 발전설비 도입	216	3,358	-256,806	0	15	0.2

제2절 시나리오 구성

1. 기준 시나리오

기준 시나리오는 2019년부터 2030년까지의 에너지 사용량 및 온실가스 배출량을 산정하였다. 지난 5년간 에너지 사용량 변화율과 2030년까지의 에너지 사용량 변화 추세를 예측해 보는 시나리오이다. 현재의 에너지사용량이 미래에도 유지된다는 가정을 반영한 시나리오이다.

2. 에너지 고효율 설비 도입 시나리오

기준 시나리오에서는 에너지 감축 정책이 없을 경우 기준으로 에너지 사용량 변화를 분석하였다. 대학교에서 에너지 사용량 감축을 위한 노력으로 비용을 투자한다면 감축을 극대화 할 수 있다. 따라서 에너지 사용 저감을 위해서 에너지 저감 가능성을 파악하여 저감량을 분석하였다. 에너지 저감을 위하여 건물 부분의 단열 강화, LED램프 교체라는 2가지 감축 수단을 적용한다는 가정하에 시나리오를 설계하였다.

S대학은 냉 · 난방을 위해 대부분 에너지를 사용하고 있으며, 단열강화를 향상해 에너지를 절약할 수 있는 시나리오이다. 이중창 설치는 단열 개선으로 냉・난방에너지 소비 감소의 내용을 포함하고 있다. 건물 대부분 창호가 단창으로 적용된 건물들이 많으며 단창은 이중창 이중 유리에 비교하여 열손실이 높아 냉난방에 드는 에너지 사용량이 높은 원인으로 분석되었다.

열관류율[2](W/㎡.K)에 비교표에 따르면 단창은 5.3이고 이중창은 2.7로 열통과율이 낮아 열 손실을 감소시키는 것으로 확인되었다. 건물 중 에너지

2) 단위 면적을 통하여 단위 시간에 이동하는 열량 Q는 두 유체의 온도차 (t1-t2)에 비례하고, Q=K(t1-t2)㎉/㎡h℃로 표시된다. 이 식 중의 비례 정수 K(㎉/㎡h℃)를 열관류율 또는 열통과율이라고도 한다.

사용량이 높은 순서대로 이중창으로 교체하여 냉난방에 드는 에너지를 절감할 수 있다. 전기 에너지 비율은 미국 22%, 한국 21%, 중국 12% 등 세계 평균이 20%의 큰 비중을 차지하고 있어 조명에서 소비되는 전력을 줄임으로써 온실가스를 감축할 수 있다(환경부 대학교 온실가스 감축계획 수립 가이드라인, 2012).

추가 감축 수단으로는 기존 형광등에서 LED 램프로 교체하는 것이다. 교체를 통한 효과는 이산화탄소 배출량을 30~35% 저감 가능하며, 형광등과 달리 중금속 문제를 해결하고, 높은 광 효율과 긴 수명 등에 효과를 얻을 수 있다. LED 조명과 조도 제어 센서를 감축 수단으로 동시에 적용하여 건축물 에너지 절약 및 효율화를 가져오는 시나리오이다.

S대학의 온실가스 감축을 위해 2030년까지 장기계획을 수립하였으며, 해당 건물들의 전체면적은 85,597㎡이다. 전력량을 감축하기 위하여 LED로 교체해 연간 감축할 수 있는 에너지 사용 저감량을 산정해 보았다.

3. 신 · 재생에너지 태양광 설치 시나리오

에너지 저감을 위한 시나리오 2는 태양광 발전 설치로 감축 수단에 의해 전력을 생산하여 대학 건물에 사용할 경우 화석연료의 양을 줄일 수 있다는 가정을 두고 설계하였다.

태양광은 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 태양전지 발전시스템 기술로 태양의 복사에너지를 흡수하여 열에너지로 변환하여 이용할 수 있다(환경부 대학 온실가스 감축계획 수립 가이드라인, 2012).

S대학 의정부캠퍼스에 태양광 발전시설을 설치할 경우 계통 연계형 시스템을 활용한 자가소비 형태로 설치하여 전기 생산량만큼 전력 소비를 통한 온실가스 배출량을 줄일 수 있을 것으로 전망되었다.

태양광 발전은 석탄 화력 대비 76.8%, 석유 화력발전 대비 69%의 이산화

탄소 배출량 저감이 가능하며, 햇빛이 있는 곳이면 설치할 수 있어 건물들 옥상에 설치함으로써 효율적인 공간사용이 가능하다는 장점이 있다(환경부 대학교 온실가스 감축계획 수립 가이드라인, 2012).

S대학의 건물 중 설치 가능한 건물로는 공학관으로 발전 가능 용량이 100kWh/h이고, 면적 1,243m^2 중 77%를 적용하여 설계하였다. 장기적인 증축이나 신축 계획에 따라 건물 옥상에 태양광 설비를 적용함으로써 전력을 생산하여 교내 전력으로 사용하여 전력사용량을 절감할 수 있을 것으로 분석되었다.

4. 통합 시나리오

통합 시나리오는 에너지 고효율 설비 구축 시나리오에서 건물 창호 복층창 교체와 LED 및 조도 제어 센서 설치 시나리오와 신 · 재생에너지 태양광 설치 등을 동시에 적용해 예측해 본 시나리오이다. 두 방법을 적용한다면 에너지 사용 감축이 어느 정도 가능한지 분석하였다(<표 9> 참조).

〈표 9〉 시나리오 구성

시나리오	주요 내용
기준 시나리오	과거 에너지사용량 추세를 미래에도 그대로 적용함
에너지 고효율 설비 시나리오	건물 부분의 단열 강화로 이중창 설치로 냉·난방 개선으로 매년 0.6% 온실가스 감축
	기존 지하주차장 조명을 LED 조명과 조도제어시스템 교체로 매년 0.9% 온실가스 감축
신·재생에너지 태양광 설치 시나리오	2019년부터 2030년까지 분석기간 동안 재·생에너지 보급(태양광 시스템)으로 인한 전력부문 매년 0.5% 온실가스 감축
통합 시나리오	에너지 고효율 설비 시나리오와 신재생에너지 보급 시나리오의 효과를 통합 감축

제4장 온실가스 감축 시나리오 분석

제1절 에너지 절감량 분석

1. 감축 수단별 에너지 절감량 분석

본 연구에서는 S대학의 LEAP 모형화의 결과로 에너지 사용량 변화를 파악하였다. 2019년에서 2030년까지의 에너지 사용량은 기준 시나리오에서 가장 많이 증가하는 것으로 확인할 수 있었다. 그 다음으로 일반 조명등을 고효율 LED램프 교체 및 조도제어시스템으로 적용하였을 때 에너지 절감량은 전력 16,762kWh/년, 절감률은 0.02%, 이중창 설치를 통한 냉난방 에너지 절감량은 전력 362,660kWh/년, 절감률 0.9%, 태양광 발전설비 설치에 따른 에너지 절감량은 전력 127,750kWh/년, 절감률 0.2%씩 감소할 것으로 전망되었다(<표 10> 참조).

<표 10> 에너지 절감량

에너지 감축 수단	전기(kWh/년)	절감율(%/년)	절감액(천원/년)
LED램프 및 조도제어	16,762	0.02	2,298
이중창 설치	362,660	0.9	36,737
태양광 발전 설비	127,750	0.2	12,941

S대학은 상시 조명을 일반 조명등으로 사용하고 있어 LED 램프와 조도 제어 센서를 적용하여 추가적인 전력 절감이 가능할 것으로 나타났다.

또한 형광램프를 LED 램프로 교체하고 조도제어시스템을 추가로 적용 시 기존 전력 소비에 20% 절감효과가 더 큰 것으로 분석되었다(<표 11> 참조).

<표 11> 조도제어시스템 추가 적용시 효과분석

개선안	전력(kWh/년)	에너지(GJ/년)	절감액(천원/년)	투자회수기간(년)
LED	12,096	116	1,225	4.9
LED+조도제어	16,762	160	2,298	5.7

S대학의 대부분 에너지 사용량은 건물의 냉·난방에 사용되고 있다. 현재 차례로 창호에 대해 교체를 하고 있으나, 아직도 단창이 적용된 건물이 많으며 단창은 이중창에 비교하여 열 손실이 높아 냉·난방에 드는 에너지 사용량이 높은 원인으로 분석되었다. 건물 중 에너지 소비량이 많은 순서대로 이중창으로 교체함으로 전력 절감량은 연간 362,660kWh가 절감될 것으로 나타났다(<표 12> 참조).

<표 12> 단창을 이중창 교체 시 절감효과

건물명	전력(kWh/년)	에너지(GJ/년)
벧엘	40,947	393
본관	61,728	592
에벤에셀	138,636	1,331
국제관	21,330	205
호림	26,496	254
도서관	15,339	147
산학관	10,289	99
공학관	23,501	226
강의동	11,296	108
도봉관	13,099	126
전체	362,660	3,481

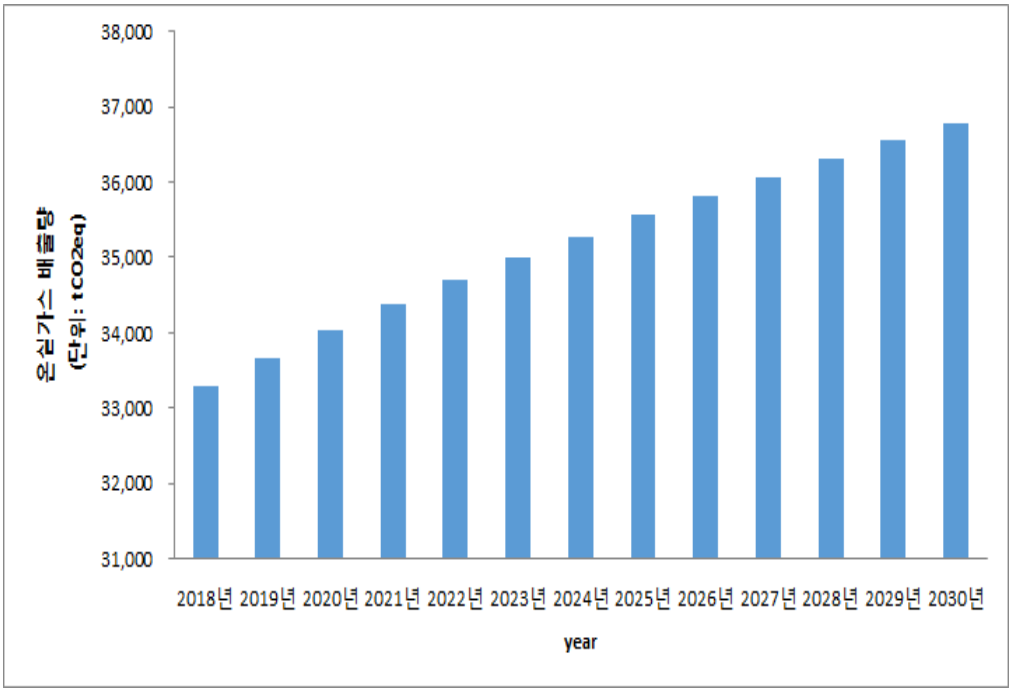
태양광 설비 도입으로 인한 에너지 절감량은 S대학 건물 중 설치가 가능한 공학관에 설치를 가정하여 분석하였다. 그 결과 에너지 절감량이 연간 127,750kWh로 전력사용량을 감축할 수 있고 에너지양은 1,226GJ 절감될 것으로 결과가 나타났다(<표 13> 참조).

<그림 11> S대학 적용 건물 옥상 면적 현황

제2절 온실가스 감축량 분석

1. 기준 시나리오 분석

기준 시나리오에서는 온실가스 인벤토리 자료를 기초로 2019년부터 2030년까지의 배출량을 전망하였다. 온실가스 감축 모델 구축 결과 S대학은 2017년 온실가스 총배출량은 32,870 tCO_2eq를 배출하였으며, 적용 기간내 배출 현황에 의하면 2030년 배출량은 36,775 tCO_2eq으로 10% 증가하는 것으로 나타났다 (<그림 12> 참조).



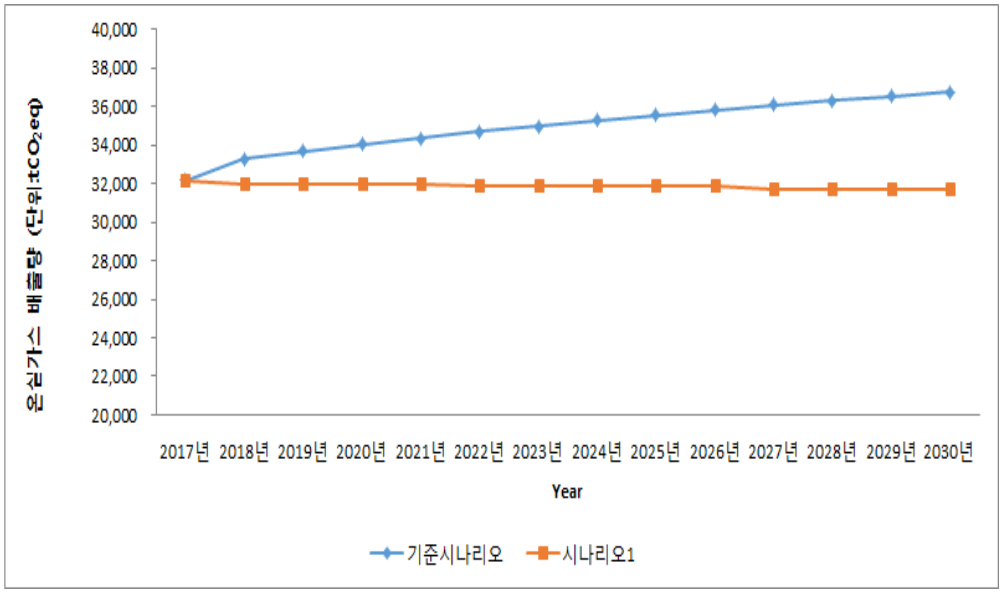
<그림 12> 기준시나리오 온실가스 예상 배출량

2. 에너지 고효율 설비 구축 시나리오 감축량 분석

첫 번째 시나리오는 S대학 재정 상황을 고려해 투자비용 대비 효율적인 감축 수단 중 하나로 조명을 LED 램프 및 조도제어시스템 도입과 단열강화를 위한 이중창으로 설치했을 경우에 온실가스 감축량 전망이다.

분석결과, 감축량 전망은 2030년 31,725 tCO_2eq로 기준시나리오 배출량 36,775 tCO_2eq보다 온실가스 감축 효과가 약 15%를 감축하는 것으로 나타났다(<그림 13> 참조).

각 감축 수단별로 감축량을 보면 LED 램프 및 조도제어시스템 도입으로 연간 온실가스 배출량이 7.8 tCO_2eq이 감소되고 대학 건물 중 에너지 사용량이 높은 순서대로 이중창으로 교체하면 약 169.1 tCO_2eq의 온실가스 배출량이 감소할 것으로 나타났다.



<그림 13> 에너지 고효율 설비 도입 시나리오 온실가스 배출량 전망

3. 신・재생에너지 태양광 설치 시나리오

두 번째 시나리오에서는 신・재생에너지 태양광 설치로 인한 온실가스 감축량을 전망하였다. 태양광 설치는 온실가스 감축 효과뿐 아니라 기후변화・에너지 교육 현장으로 활용하는 등 대학 구성원들의 인식 재고와 홍보 활동에 활용될 수 있다는 장점이 있다.

비교적 큰 투자와 지속적 관리운영이 필요하므로 장기적인 관리 계획이 필요하나 태양광 발전 설치는 감축 수단으로 활용하여 대학에서 전력을 생산하여 화석연료의 양을 줄일 수 있다.

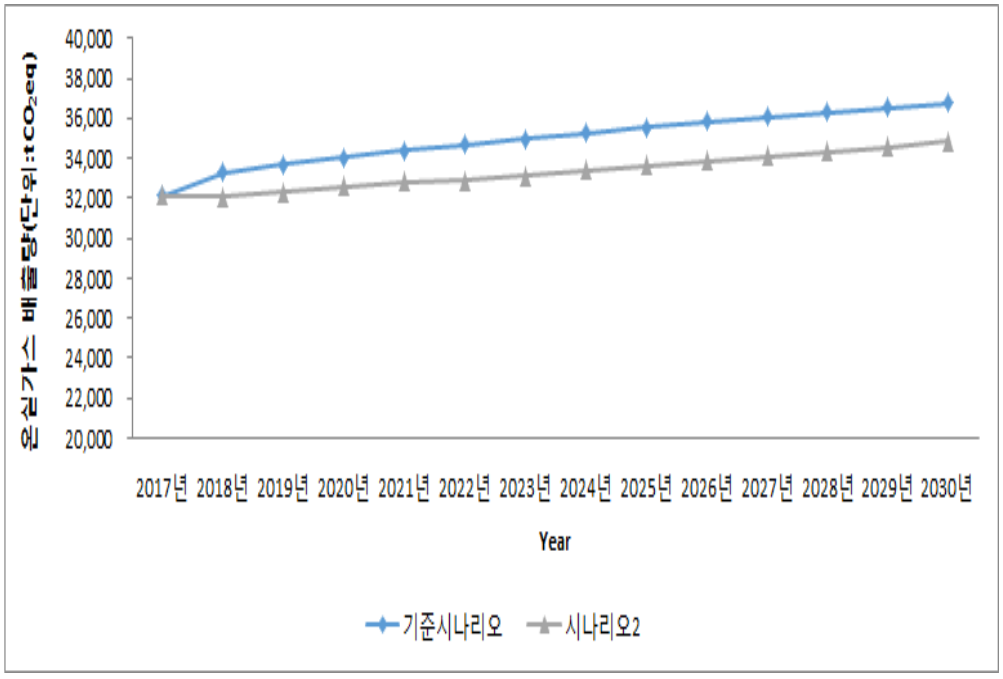
S대학 건물 중 설치가 가능한 공학관에 태양광 발전설비를 설치 한다는 가정을 두었으며 적용 면적은 1,243㎡ 중 77% 설계하였다.

시나리오 2에 분석결과로는 2030년까지 온실가스 배출량은 34,844 tCO_2eq로서 기준시나리오 36,775 tCO_2eq 보다 배출량이 약 5.4%가 감소하는 것으로 분석되었다(<그림 14> 참조).

태양광 발전전력량은 발전용량은 장기적인 증축이나 리모델링의 계획에 따라 건물 상부 옥상의 사용 방법의 개선으로 건물 옥상에 태양광 설비를 적용함으로 전력을 생산하여 교내의 전등 및 전열 전력으로 사용될 수 있다. 감축 효과로는 화석 연료 기반의 전력사용량이 매년 1,226 tCO_2eq이 절감할 수 있을 것으로 분석된다(<표 14> 참조).

<표 14> 태양광 발전설비 도입 시 저감 효과

절감량		경제성 분석		
전력에너지(GJ/년)	온실가스(tCO2eq)	절감액(천원/년)	투자비(천원)	투자회수 기간(년)
1,226	59.5	12,941	200,000	15.5



<그림 14> 신·재생에너지 보급 시나리오 온실가스 배출량 전망

4. 시나리오별 감축량 분석

S대학 온실가스 감축잠재량을 산정하기 위해 4개의 시나리오를 설정하였다. 기준 시나리오는 현재의 에너지사용량 추세가 미래에도 그대로 유지된다는 가정으로 에너지 수요량을 예측한 시나리오, 에너지 고효율 설비 시나리오는 전력을 절감하기 위한 LED 조명 교체, 조도제어시스템 구축, 단열강화를 위한 이중창 설치를 적용한 시나리오, 신·재생에너지 태양광 설치를 반영한 시나리오, 두 시나리오를 모두 적용한 통합시나리오로 구성하였다.

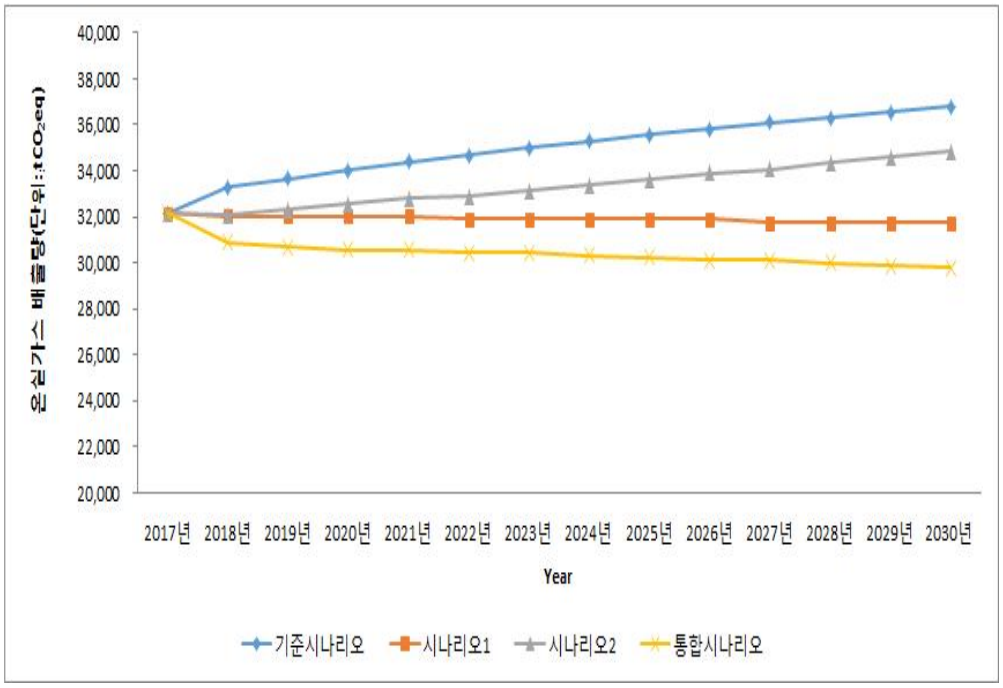
S대학 온실가스 인벤토리 분석은 과거 온실가스 배출량을 분석하여 감축계획 수립에서 어떤 부분에 중점을 결정해야 하는지 파악하였다. 교육환경, 시설, 에너지 사용 현황 등에 따라 배출별로 파악되기 때문에 일률적인 감축 프로그램 적용은 불가능한 것으로 분석되었다.

4개의 시나리오를 검토한 결과 신·재생에너지 태양광 설치 시나리오는 온실가스 감축량이 부족하고, 통합 시나리오는 투입되는 재정에 대한 부담이 크기 때문에 에너지 고효율 설비 구축 시나리오를 기준으로 하여 감축계획을 수립하기로 하였다. 시나리오별 감축 효과는 통합시나리오 20%, 에너지 고효율 설비 구축 시나리오 15%, 신·재생에너지 보급 시나리오 5.4%순으로 나타나기 때문에 통합시나리오를 제외하고 에너지 고효율 설비를 구축할 경우 온실가스 감축 효과가 가장 큰 것으로 전망되었다(<그림 15> 참조).

또한, 본 연구에서는 감축아이템 우선순위 산정을 하기 위해 감축아이템의 경제성 분석 결과를 통해 실제 도입을 위한 우선순위를 도출하였다.

그 결과 LED조명 및 조도 제어 시스템 1천3백, 단열강화를 위한 창호 개선은 1억4천, 태양광 발전설비 도입은 2억으로 경제성 분석 결과가 나타났다.

감축 수단 온실가스 감축량 결과는 1순위가 창호 개선 이중창으로 감축 잠재량 169 tCO_2eq, 2순위가 태양광 설비 설치 60 tCO_2eq, 3순위가 LED램프 교체와 조도제어시스템 구축 8 tCO_2eq 순으로 도출되었다.



<그림 15> 시나리오별 온실가스 배출량 전망

제5장 결 론

제1절 요약 및 결론

본 연구에서는 대학에서 추진할 수 있는 감축 수단을 통한 온실가스 감축 시나리오를 구성하여 감축 잠재량을 분석하였다.

현재 정부에서는 기후변화대응과 이에 따른 온실가스 감축 목표 달성을 위해 각종 법규와 제도들을 강화하고 있다. 대학에서도 이미 2008년부터 그린캠퍼스 운동을 통한 온실가스 감축을 위한 노력을 하고 있다. 대학은 대규모 건물들이 많아 에너지 소비량과 온실가스 배출량 감축은 불가피한 상황이다.

S대학의 2030년까지 온실가스 배출량을 전망하고 감축하기 위한 시나리오를 적용하였다.

LNG의 용도별 사용량을 분석한 결과 대부분이 냉·난방에 의한 사용으로 나타났다. 냉·난방 사용량을 감축하기 위해서는 건물의 단열을 강화하는 것이 우선이다. 따라서 LNG의 감축량 산정에는 우선 적용이 가능한 단열강화 이중창으로 교체한다는 가정을 세워 감축량을 산정해 보았다. 전력의 경우에도 마찬가지로 전자제품을 고효율 기기로 교체하는 시나리오로 기존의 형광등 조명을 LED로 교체, 조도제어시스템 설치 등으로 감축 계획을 수립하여 감축량을 분석해 보았다.

시나리오는 총 4개로, 현재의 에너지사용량 추세가 미래에도 유지된다는 가정으로 한 기준시나리오와 에너지 고효율 설비 도입을 통한 시나리오, 신·재생에너지 태양광 설치를 통한 시나리오, 두 가지를 모두 시행한 통합 시나리오로 구성하였다.

저감 수단 분석을 위한 초기 투자비를 분석한 결과 LED 조명 보급, 주차

장 Dimming시스템 구축, 단열강화 4억 신·재생에너지 태양광 설치를 통한 발전설비 도입은 2억으로 소요되고 감축잠재량은 창호개선 이중창 교체 감축잠재량은 169 tCO_2eq, 태양광 설비 설치의 경우 60 tCO_2eq, LED램프 교체와 조도제어시스템 구축의 경우 8 tCO_2eq 순으로 결과가 나타났다.

시나리오 분석결과, 신·재생에너지 태양광 설치는 5.4% 감소한 34,844 tCO_2eq 이며, 에너지 고효율 설비 구축 배출량은 기준 시나리오 보다 15% 감소한 31,725 tCO_2eq으로 나타났다. 통합시나리오는 29,780 tCO_2eq로 2017년 대비 20% 감축될 것으로 확인 할 수 있었다. 시나리오별 감축 효과는 에너지 고효율 설비를 구축할 경우 온실가스 배출량 효과가 가장 높은 것으로 결과가 나왔다.

본 연구의 최종 분석결과 신·재생에너지 지열시스템 감축기술을 도입하여 건축물 에너지 부하가 가장 큰 비중을 차지하고 있는 냉·난방에 대한 부하를 상당 부문 감축하고 있기 때문에 고도화된 감축 수단을 발굴하여 건물에 구축한다면 온실가스 감축 효과가 더 확대 될 것으로 사료된다.

제2절 연구의 의의 및 한계

본 연구에서는 LEAP 모형을 이용하여 S대학의 적용 가능한 감축수단들을 시나리오하고, 이를 분석하였다.

모형 기준 에너지시스템은 에너지 사용량 데이터를 기준으로 하였다. 주요 에너지원은 LNG와 전력으로 구분되어 있으나 사용 용도별로는 구분되어 있지 않다.

분석 전망 기간은 2030년까지 설정하여, 중·장기 온실가스 감축 및 비용절감 효과를 산정하였다. 본 연구는 현실적인 데이터 사용과 구체적인 시나리오 구성을 통한 분석결과를 도출했다는 부분에서 연구의 불확실성을 낮췄다는 것이다.

연구의 한계로는 S대학 에서는 에너지관리가 건물별로 이루어지고 있지 않다는 점이었다. 2017년부터 BEMS 시스템이 구축되어 2011년부터 2016년까지는 건물별로 에너지사용량을 산정할 수 있는 데이터가 없어 연구에 반영되지 못한 부분이 있다. LNG 및 전력사용량이 건물별로 계측이 가능하였다면 더 정확한 모델링이 가능했을 것이다.

본 연구의 시사점은 다음과 같다.

첫째, S대학의 내부적인 에너지 및 환경 정책 수립 또는 정부 목표 관리제나 배출권거래제와 같은 기후변화 관련한 규제에 대한 대응을 위한 온실가스 인벤토리 기초자료를 확보하였다.

둘째, 에너지 소비 현황 파악 및 온실가스 감축 추진 방향 수립, 온실가스 관리 역량 강화 등 온실가스 저감 기술 포트폴리오 수립을 위한 온실가스를 선정할 때 참고자료로 활용할 수 있을 것이다.

셋째, S대학의 향후 기후변화 대응 정책 마련을 위한 지침이 될 수 있을 것이며 그린 캠퍼스 정책 수립에 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

김호석, 2007, 『LEPA 모델링시스템을 이용한 상향모형 구축 및 에너지부문 기후정책평가』, 『한국에너지기후변화학회지 2(1)』 pp.49-58.

김동휘, 2016, “LEAP 모델을 이용한 H대학교의 온실가스 감축 잠재량 분석,” 석사학위논문, 호서대학교.

교육과학기술부 2009, “저탄소 녹색성장을 위한 대학 그린캠퍼스 추진 계획”.

대학정보공시 대학교알리미, 2014, 2015, 2016, 『신한대학교 재학생, 교직원 현황』.

박년배, 2011, 『발전 부문 재생가능 에너지 전환을 위한 장기 시나리오 분석』, 박사학위논문, 서울대학교.

신한대학교, 2017, 『대학교 에너지 진단 보고서』, 신한대학교:의정부캠퍼스.

신의순・구자건・남영숙・전영승・곽현・박지영, 2013, “그린캠퍼스 장기적 발전 방안 연구,” 『녹색성장위원회 정책연구과제 최종보고서』.

서울그린캠퍼스협의회, 2018, 『서울 그린캠퍼스 EASY 가이드북』.

이의우, 2012, 『LEAP 모형을 이용한 조력발전 및 IGCC 설비 도입에 따른 충남지역 발전시설의 온실가스배출저감 잠재량 분석』, 박사학위논문, 호서대학교.

유정화, 2011, 『LEAP 모형을 이용한 대학의 온실가스 감축 잠재량 분석』, 석사학위논문, 세종대학교.

유정화・박년배・조미현・전의찬, 2012, “상향식 모형을 이용한 대학의 온실가스 감축 잠재량 평가,” 『한국기후변화학회지』 pp.183-194.

우정호, 2013, 『대학단위 온실가스 배출량 산정 및 LEAP모형을 이용한 온실가스 감축잠재량 분석에 관한 연구』, 석사학위논문, 신라대학교.

우정호・최경식 2012, 『LEPA 모델을 이용한 대학의 온실가스 배출량 및 감축잠재량 분석』, 『한국 환경영향평가학회지』 pp.409-411.

윤남식, 2013, “대학건물의 친환경 건축에 따른 에너지효율 최적화 방안 연구,” 석사학위논문, 경희대학교.

윤영중, 2015, “LEAP모형을 이용한 그린리모델링의 온실가스 감축 시나리오 분석,” 석사학위논문, 세종대학교.

온실가스종합정보센터(GIR), 2014, 2015, 2016 온실가스 · 에너지 목표관리제 대상 대학 온실가스 배출 현황.

안해민, 2016, 『LEAP 모델을 이용한 국내 발전부문 온실가스 감축 시나리오 연구 』, 석사학위논문, 호서대학교.

정태정, 2013, “한국의 지속가능한 캠퍼스 발전방향 연구,” 석사학위논문, 아주대학교.

한국그린캠퍼스협의회, 2009, 『그린캠퍼스 사례집』, 연세대학교.

환국환경공단, 2011, 『대학 온실가스 감축계획 수립 가이드라인』, 환경부.

한국환경공단, 2016, 『지속가능한 대학 만들기 위한 그린캠퍼스 조성 가이드라인』, 환경부.

한국환경공단, 2017, 『2017년 그린캠퍼스 추진성과 보고회 발표 자료』, 인천:한국환경공단.

환경부, 2011, 『온실가스 · 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침』.

한국에너지공단, 2010, 2014, 2015, 2016년도, 에너지 사용량 통계.

한국에너지공단, 2016, 에너지통계 핸드북.

Heaps, C., 2002, Intergrated Energy-Environment Modeling and LEAP, SEI.

Heaps, C., 2010, Long range Energy Alternatives Planning System: Key Features, Coming Developments and Recent Applications, International Conference on Post-Kyoto Climate Change Mitigation Modeling, Grand Hilton Hotel, Seoul.

IPCC, 2006, IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories

Jessic a Finlay, Jennifer Massey., 2012, Eco-campus : applying the ecocity model to develop green university and college campuses

대학교알리미 대학정보공시 사이트. http://www.acdemyinfo.go.kr/

신한대학교 그린캠퍼스 사이트. http://www.shinhan.ac.kr/

에너지관리공단포털사이트. http://www.kemco.or.kr/

한국환경공단 통합기후변화홍보포털사이트. http://www.gihoo.or.kr/

한국그린캠퍼스협의회사이트. http://www.kagci.org/

환경부 환경통계포털 사이트. http://stat.me.go.kr/

〈부　록〉

〈부록 표 1〉 온실가스·에너지 목표관리제 대상 대학 온실가스 배출현황
〈부록 표 2〉 그린캠퍼스 대학별 에너지 효율 설비 도입 현황
〈부록 표 3〉 에너지원별 발열량 및 배출계수
〈부록 표 4〉 S대학 연도별 건축 연면적 현황
〈부록 표 5〉 이중창 유리 교체시 개선효과

<부록 표 1> 온실가스·에너지 목표관리제 대상 대학 온실가스 배출현황

(단위 : tCO_2eq)

대학교명	2014년	2015년	2016년
가천대학교길병원	20,594	20,236	21,730
가톨릭대학교서울성모병원	39,299	38,224	39,486
강원대학교춘천캠퍼스	19,245	18,662	19,586
건국대학교	27,066	26,456	26,838
경북대학교	33,642	33,172	35,253
국립대학교법인서울대학교	117,906	126,144	135,989
부산대학교	23,040	23,212	23,795
서울대학교병원	73,858	78,663	81,274
아주대학교의료원	24,033	23,234	24,721
양산부산대학교병원	16,462	16,808	18,546
영남대학교	20,581	20,175	20,322
울산과학기술대학교	16,817	19,303	22,903
이화여자대학교	28,787	27,617	33,697
전남대학교	32,326	32,151	34,603
전북대학교	29,263	29,175	30,247

<부록 표 1 계속>

대학교명	2014년	2015년	2016년
조선대학교	16,139	16,366	16,957
중앙대학교	17,806	19,123	20,366
충남대학교	27,151	28,240	30,015
충남대학교병원	16,807	17,368	19,156
충북대학교	16,407	17,049	17,378
학교법인 성균관대학교	-	35,787	38,789
학교법인 연세대학교	160,966	160,721	167,933
학교법인 포항공과대학교	50,512	62,205	72,975

<부록 표 2> 그린캠퍼스 대학별 에너지 효율 설비 도입 현황

구분	주요 내용
BEMS, 제어시스템	· 강남대학교 : 통합 BEMS시스템, 지능형 전력 시스템 · 계명문화대 : 전기냉난방기 자동제어 프로그램 · 고려대학교 : 통합자동제어시스템 · 나사렛대학교 : 건물에너지관리시스템(BEMS) · 신한대학교 : 건물에너지관리시스템(BEMS) · 대구공업대 : 건물에너지관리시스템(BEMS) · 동국대학교 : 에너지통합관리시스템 · 신라대학교 : 건물에너지관리시스템(BEMS) · 충남대학교 : 냉난방 자동제어시스템 · 중원대학교 : 절전제어시스템, 자동제어시스템
LED등 교체	· 경남대학교 : 신축건물 LED 조명 · 고려대학교 : LED 교체 · 동국대학교 : 고효율 LED전등 설치 · 배재대학교 : LED 가로등 교체 · 부산대학교 : 등기구 LED 교체 · 상명대학교 : 자연과학대 LED 교체 · 상지대학교 : LED조명 교체 · 순천향대 : SRC기숙사 LED 설치 · 인천대학교 : LED 조명기구 교체 · 전북대학교 : LED 등기구 교체

<부록 표 2 계속>

구분	주요 내용
재실감지, 자동조명	· 강남대학교 : 강의실 재실감지 시스템 · 경기대학교 : 실내조명 및 냉난방기 재실감지센서 · 계명문화대 : 교내 화장실 99개소 자동조명센서 · 고려대학교 : 화장실 및 주차장 조명제어장치 · 동국대학교 : 강의실, 실습실 재실감지 시스템 · 순천향대 : 조명제어 시스템 · 신한대학교 : 재실감지센서 · 안양대학교 : 자동조명 소등 및 통합 경비시스템
공기열원 히트펌프	· 강남대학교 : 공기열원 히트펌프 설치 · 중원대학교 : 공기열원 히트펌프
친환경건물	· 배재대학교 : 그린리모델링 사업 시행 · 영진전문대 : 그린에너지 복합시설물 · 제주대학교 : 수의과대학교 신축 (고효율 내부단열재, 고효율 단열창 설치, LED, 고효율기기 설치 등)
지열	· 강남대학교 : 지열 냉난방 시스템 · 계원예술대 : 우경예술관 지열냉난방 시스템 · 고려대학교 : 신축건물 지열공사 시행 · 상지대학교 : 지열 냉난방 시스템 · 서울여대 : 지열 냉난방 시스템 · 연세대학교 : 백양로 등 5건물 지열 냉난방 시스템 · 인천대학교 : 게스트하우스 지열 냉난방 시스템 · 신한대학교 : 건물 8개동 지열 냉난방 시스템 · 중원대학교 : 전 건물 지열 냉난방 시스템

〈부록 표 2 계속〉

구분	주요 내용
태양광	· 경남대학교 : 제2한마생활관 태양광 발전 · 계명문화대 : 태양광 발전시설 · 고려대학교 : 신축건물 태양광 설치 · 국제대학교 : 태양광 가로등 설치 · 나사렛대학교 : 태양광 조명 설치 · 명지대학교 : 태양광발전시설, 태양광 가로등 · 배재대학교 : 태양광발전설비 · 부산대학교 : 국제관, 조형관에 태양광 · 상명대학교 : 태양광 가로등 · 상지대학교 : 태양광 발전설비 리모델링 · 서울여대 : 태양광 발전시설 · 신라대학교 : 태양광 발전시설, 태양광 게시판 · 연세대학교 : 교육과학관 7건물 태양광발전설비 · 영진전문대 : 태양광 발전시스템 · 인천대학교 : 공과대학교 옥상 태양광 · 전북대학교 : 태양광 발전시설 · 전주비전대 : 태양광 발전설비 · 제주대학교 : 수의과대학교 및 친환경농업 연구소 태양광 · 중원대학교 : 기숙사, 주차장 태양광 발전시스템 · 한국방송통신대학교 : 태양광 발전설비 · 한국해양대학교 : 도서관 태양광발전시스템

<부록 표 2 계속>

구분	주요 내용
태양열	· 나사렛대학교 : 태양열 가로등 · 서울여대 : 태양열 온수 시스템 · 영진전문대 : 태양열 온수 시스템, 태양열 발전시스템 · 인천대학교 : 학생 복지회관 및 옥상 태양열 설비 · 중원대학교 : 태양열 급탕설비 · 충남대학교 : 태양열 온수 시스템 · 한국해양대학교 : 태양열 이용 온수공급시스템
풍력	· 영진전문대 : 풍력 발전시스템 · 인천대학교 : 생활관 인근 AWM 풍력발전기 · 한국해양대학교 : 풍력 하이브리드
해수온도차	· 한국해양대학교 : 해수온도차 이용 냉난방 시스템 개발
기타	· 고려대학교 : 고려대역 지하유출수 활용 냉난방시스템

<부록 표 3> 에너지원별 발열량 및 배출계수

구분	발열량			배출계수			
	순발열량	총발열량	단위	CO_2	CH_4	N_2O	단위
도시가스(LNG)	39.4	43.6	MJ/㎥	0.0561	0.0000010	0.0000001	kgGHG/MJ
휘발유(이동)	30.3	32.6	MJ/L	0.0693	0.0000250	0.0000080	kgGHG/MJ
경유(이동)	35.3	37.7	MJ/L	0.0741	0.0000039	0.0000039	kgGHG/MJ
전력	9.6	9.6	MJ/kWh	0.4653	0.0000054	0.0000027	kgGHG/kWh

출처 : 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침

<부록 표 4> S대학 연도별 건축 연면적 현황

(단위 : ㎡)

구분	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
평생교육분원303	419	419	419	419	419	419	419
강의동	7,326	7,326	7,326	7,326	7,326	7,326	7,326
평생교육원분원301	419	419	419	419	419	419	419
평생교육원분원501	419	419	419	419	419	419	419
평생교육원분원601	419	419	419	419	419	419	419

벧엘관	2,299	2,299	2,299	2,299	2,299	2,299	2,299
교양관	572	572	572	572	572	572	572
평생교육원 분원301	419	419	419	419	419	419	419
평생교육원 분원501	419	419	419	419	419	419	419
평생교육원 분원601	419	419	419	419	419	419	419
벧엘관	2,299	2,299	2,299	2,299	2,299	2,299	2,299
교양관	572	572	572	572	572	572	572
경비실	4	4	4	4	4	4	4
에벤에셀관	20,089	20,089	20,089	20,089	20,089	20,089	20,089

<부록 표 4 계속>

구분	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
인수관	890	890	890	890	890	890	890
사택동	160	160	160	160	160	160	160
야전 학습장	94	94	94	94	94	94	94
샤워장	69	69	69	69	69	69	69
국제관	7,192	7,192	7,192	7,192	7,192	7,192	7,192
써클동	2,466	2,466	2,466	2,466	2,466	2,466	2,466
공학관	8,565	8,565	8,565	8,565	8,565	8,565	8,565
도봉관	13,597	13,597	13,597	13,597	13,597	13,597	13,597
본관	5,302	5,302	5,302	5,302	5,302	5,302	5,302
사회 복지관	786	786	786	786	786	786	786
어학관	1,074	1,074	1,074	1,074	1,074	1,074	1,074
도서관	6,308	6,308	6,308	6,308	6,308	6,308	6,308
베다니관	850	850	850	850	850	850	850
호림관	621	621	621	621	621	621	621
교육관	419	419	419	419	419	419	419
기숙사	-	-	-	-	-	-	4,260
전체	81,337	81,337	81,337	81,337	81,337	81,337	85,597

<부록 표 5> 이중창 유리 교체시 개선효과

절감량				절감액 [천원/년]	투자비 [천원]	투자 회수기간 [년]
개선안	전력 [kWh/년]	에너지 [GJ/년]	온실가스 [tCO_2eq]			
벧엘관	40,947	393	19	4,148	20,000	3.9
본관	61,728	592	29	6,253	28,000	4.5
에벤에셀관	138,636	1,331	65	14,044	74,000	5.3
국제관	21,330	205	10	2,161	20,000	7.4
호림관	26,496	254	12	2,684	40,000	14.9
도서관	15,339	147	7	1,554	32,000	20.6
산학관	10,289	99	5	1,042	26,000	24.9
공학관	23,501	226	11	2,381	60,000	25.2
강의동	11,296	108	5	1,144	40,000	35.0
도봉관	13,099	126	6	1,327	60,000	45.2
전체	362,660	3,481	169.1	36,737	400,000	10.9

Abstract

Reduction Potential of Greenhouse Gas Emissions of Green Campus Using LEAP

YoungKee Lee
Cooperative Course for Climate Change
The Graduate School
Sejong University

The government of South Korea implements both emissions trading system and GHG energy TMS (target management system) to reduce GHG emissions. Following to a roadmap for achieving the national goal of GHG reduction, the GHG reduction in the building sector should be 26.9% by 2020 (Ministry of Environment Environmental Statistics Portal, 2015).

In 2015, the energy consumption in the building sector in South Korea indicates 2,492,000 tCO2eq, the energy consumption from universities is 338,000 tCO2eq, it means that the academic institutions account for 13.6% of the whole consumption in the building section. In other words, the universities are one of the institution which generates significant GHG emission.

Thus, it would be necessary not only to establish an inventory for GHG management but also to make an effort to reduce GHG emissions. Green

campus campaigns are implemented to reduce GHG emissions at various universities all over the world. Some of universities in South Korea also proceed GHG reduction programs through the Green Campus Campaign.

In this study, we analysed the energy consumption and GHG reduction potential by using LEAP (Long-range Energy Alternatives Plan) - a long-term energy alternative model, to figure out the GHG reduction of Green Campus Universities. Green Campus S University is set up as a subject of the study.

As a result, the total GHG emissions of S University were 32,870 tCO2eq in 2017 as the standard. Electricity accounts for 98% of a total fuel emission LNG does 2% of it. Air conditioning system occupies 90% of LNG consumption.

Four scenarios are set up to estimate the GHG reduction potential of S University. The first scenario - a standard one - that is assumed that a current trend in energy use would remain intact in the future. The second scenario is to reduce energy consumption through a high degree of efficiency of energy equipment. This scenario is carried out by replacing the LED lighting, building a lighting control system, and constructing double-paned windows for insulation. The third scenario is which is reflected on the installation of new and renewable solar PV, and the last scenario is integrated with both the second scenario and the third one.

In conclusion, the third scenario with the installation of new and renewable solar reduces by 5.4%, the energy consumption in this case shows 34,844 tCO2eq. The second scenario indicates 31,725 tCO_2eq, it means that this case reduces by 15% compared with the standard scenario. and the integrated scenario shows 29,780 tCO2eq, it assumes that the emission would be reduced

by 20% compared with 2017. I could confirm.

In conclusion, the scenario with the installation of the high degree of efficiency of energy equipment is expected the most profound effect.

From a financial point of view, the best result is the method with double-paned windows for insulation. In the case of remodelling windows, the result indicates 169 tCO_2eq of reduction potential per year. The method with a solar power system shows 60 tCO_2eq per year, and the method by establishing both LED and lighting control system designates 8 tCO_2eq per year.

Consequently, this study confirms that a green campus S university could reduce the power sector, which occupies the largest portion of the building energy load, by installing the high degree of efficiency of energy equipment based on a reduction technology. If further advanced mitigation measures would be added to the electric power sector in the future, it is expected that reducing energy consumption and GHG emission reduction could be maximised.

Keywords : Green-campus, Greenhouse gas, MBO(Management by Objective), Greenhouse gas reduction potential, inventory, the LEAP framework

감사의 글

기후변화에 처음으로 관심을 가지고 대학원에 입학하기까지 많은 고민과 결정이 필요했는데 2년이라는 시간을 보내고 석사과정 학위논문을 제출하게 되니 감회가 새롭습니다.

학업과 직장 업무를 겸해서 하다 보니 체력적으로, 정신적으로 힘들었던 순간들도 많았는데 이러한 과정을 잘 극복하고 보니 크게 성장한 것 같습니다. 무엇보다 부족한 제가 여러 상황을 이겨내고 학업을 마칠 수 있었던 것은 주위에서 많은 분이 도와주셨기 때문입니다.

특히 대학원에서 학업의 기회를 주시고 가르침을 주신 전의찬 교수님께 진심으로 감사드립니다. 교수님의 가르침으로 인해 많은 도전을 받았고 포기하고 싶은 순간에도 잘 극복해서 석사과정을 무사히 마칠 수 있게 되었습니다. 앞으로도 기후변화 분야에 있어 조금이나마 도움이 될 수 있도록 지식적으로나 활동적으로 더욱 발전하는 모습을 보여드리도록 하겠습니다.

논문 작성에 많은 분들이 도움을 주셨는데 그 중 LEAP 모형으로 논문을 쓸 수 있도록 지도해 주신 김하나 교수님께 감사드립니다. 또한 기후변화통계학으로 더 많이 고민하고 생각할 수 있게 조언해 주신 차재형 박사님께 진심으로 감사드립니다.

처음 입학부터 지금까지 항상 자기 일처럼 도와주고 걱정해 주신 강민철 본부장님, 학사일정 안내와 학업에 큰 도움을 주신 조성흠 박사님, 그리고 함께 강의실에서 더위와 추위에 싸우면서 수업을 함께 한 기후변화 협동과정 학우분들께 감사의 인사를 전합니다.

일과 학업을 병행할 수 있도록 배려해 주신 분들께도 감사함을 전하고 싶어 글을 남깁니다. 먼저, 학업과 일을 함께 할 수 있도록 여건을 허락해 주시고, 늘 한결같이 응원해 주신 신한대학교 장형성 처장님, 학업의 필요성과 배움의 즐거움을 이야기 해 주신 신한대학교 전국현 팀장님, 생활 속에서 언제나 많은 조언을 해 준 신한대학교 중앙도서관 김문규 팀장님, 안화민 주임님, LEAP모형 사용에 큰 도움을 주신 한국표준협회 홍승형 위원님, 백우종 위원님께 감사를 드립니다.

마지막으로 재정적인 고민과 시간적인 투자에 대한 결정으로 대학원 입학을 망설일 때 이해와 큰 응원으로 힘이 되어 준 사랑하는 아내 혜인과, 공부한다는 핑계로 제대로 놀아주지 못한 딸 경은이에게 고마움을 전합니다. 끝으로 부족한 저를 위해 기도해 주시고 도와 주신 모든 분들께 큰 감사의 마음을 전합니다.