그린캠퍼스 조성을 위한 온실가스 인벤토리 구축과 온실가스 감축 잠재량 평가 : 가천대학교 글로벌 캠퍼스를 중심으로

Greenhouse Gas Inventory and Its Potential Reduction Evaluation for Green Campus Development: Focusing on Global Campus of Gachon University

유재호 · 이남종* · 한재희*,†

Jae-ho Yoo · Namjong Lee* · Jae-Hee Han*,†

세종대학교 기후변화 협동과정 · *가천대학교 에너지IT학과

Cooperate Course for Climate Change, Sejong University

*Department of Energy IT, Gachon University

(Received March 14, 2018; Revised March 28, 2018; Accepted May 2, 2018)

Abstract : In this work, we report the establishment of a greenhouse gas (GHG) inventory for the Global Campus of Gachon University. In 2016, the GHG emissions of Global Campus at Gachon University is found to amount to 11298.42 tCO_{2-eq}, to which the purchased power consumption in Scope 2 makes the highest contribution that is equivalent to 72% of the total emissions. In addition, analyses of optimization and economic feasibility on introduction of two different systems for the potential GHG reduction, such as solar cell systems and light-emitting diode (LED) replacement, have demonstrated both the potential quantity of GHG reduction and the net present value (NPV), which correspond to 2,362.49 tCO_{2-eq} and ca. 8,400 M won for the former, and 1,477.03 tCO_{2-eq} and ca. 570 M won for the latter (in case of 100% replacement), respectively, resulting in the total GHG reduction of 3,839.52 tCO_{2-eq}. This quantity is equivalent to the GHG decrease of 40.29% compared to the baseline emission as of the year of 2030.

Key Words : Greenhouse Gas Inventory, Solar Power System, Green Campus, LED Replacement, GHG Reduction

요약 : 본 연구에서는 가천대학교 글로벌 캠퍼스를 대상으로 온실가스 인벤토리를 구축하였다. 2016년 기준 가천대학교 글로벌 캠퍼스의 온실가스 배출량은 11298.42 tCO_{2-eq}으로 확인되었으며, 여기에는 전체 배출량의 72%를 차지하는 Scope 2 구입전력 사용 부문이 가장 높은 기여도를 나타내는 것으로 파악되었다. 또한, 태양광 발전 시스템과 LED 교체 사업에 대한 최적화와 경제성 분석 등을 통하여 온실가스 감축 잠재량과 순현재가치를 추정하였다. 두 가지 방안에 대한 온실가스 감축 잠재량과 순현재가치는, 태양광 발전 시스템의 경우 2,362.49 tCO_{2-eq}과 약 84억 원, LED 교체 사업(기존 대비 100% 교체 시)의 경우 1,477.03 tCO_{2-eq}과 약 5억 7천만 원으로 예측되었다. 이를 통해 온실가스 감축량만을 고려할 때, 총 3,839.52 tCO_{2-eq}에 달하는 것으로 조사되었다. 이 수치는 2030년 배출기준치 대비 40.29% 온실가스 감축량에 해당하는 것으로 파악된다.

주제어 : 온실가스 인벤토리, 태양광 발전 시스템, 그린캠퍼스, LED 교체, 온실가스 감축

1. 서론

1.1. 연구의 목적

전 세계적으로 기후변화와 온실가스에 대한 관심도가 높아지고 있다. 특히, 국립 해양 대기청(NOAA)과 미국 항공 우주국(NASA)의 발표에 따르면 2016년 육지와 바다의 평균 온도가 화씨 58.69°F(섭씨 14.83°C)를 기록하였고 2014년부터 2016년까지 매해 지구 온도가 사상 최고치를 경신하였다고 발표했다.¹⁾ 이러한 지구 온난화의 주된 원인으로 온실가스가 지목됨에 따라 UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)와 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)를 주축으로 온실가스 감축을 위한 노력을 기하고 있다. 특히, UNFCCC의 경우 최고 의사결정기구인 COP를 통하여 교토의정서와 파리기후변화협정을 비준하여 선진국과 개도국의 온실가스 감축 활동을 이끌어 내고 있다.²⁾

우리나라의 온실가스 배출량은 2014년 기준 약 690.6백만 tCO_{2-eq}³⁾의 온실가스를 배출하였으며 특히, 2013년 기준 한국은 세계에서 온실가스 배출량 7위를 기록하였다.⁴⁾ 이러한 추세에 따라 국내에서는 2030년까지 BAU (Business As Usual, 배출전망치) 대비 37%의 온실가스 감축을 목표로 설정하였으며, 그에 따라 온실가스 · 에너지 목표관리제, 온실가스 · 에너지 배출권거래제를 비롯하여 Zero-Energy-Building 등 온실가스 감축을 위한 다양한 방안을 제시하고 있다.

2030년도 국가 온실가스 감축 기본 로드맵에서는 건물부문에서 35.8백만 tCO_{2-eq}의 온실가스를 감량하는 것을 목표로 삼았으며 이는 전체 목표량의 18.1%를 차지하는 수준⁵⁾이다. 또한, 2013년 기준 대형건물에 대한 에너지 사용량의 13.9%가 대학의 에너지 사용량(32.9만 toe)으로 조사⁶⁾됨에 따라 대학 수준에서의 온실가스 감축 방안 마련에 대한 필요성이 제고된다.

* Corresponding author E-mail: jhhan388@gachon.ac.kr Tel: 031-750-8689 Fax: 031-750-8689

2011년부터 환경부와 한국 환경공단에서는 지속 가능한 그린캠퍼스 조성 및 친환경 대학 문화 확산을 위한 그린캠퍼스 사업을 진행하고 있으며 현재까지 총 40개의 대학이 그린캠퍼스로 선정되었다. 이러한 현황에 따라 가천대학교의 온실가스 인벤토리를 구축하여 온실가스의 배출원과 배출량을 파악하고, 태양광 발전 시스템과 LED 교체 사업을 설계 및 도입했을 시 예상되는 온실가스 감축 잠재량을 분석하였다.

1.2. 선행연구 조사

환경부의 ‘대학 온실가스 인벤토리 구축 가이드라인 Ver 2.0’⁷⁾에서 정의하고 있는 산정식을 활용하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 온실가스 배출량 산정식은 Table 1과 같다.

2012년 발표된 ‘대학의 온실가스 인벤토리 구축 및 감축 잠재량 평가-강원대학교를 중심으로’⁸⁾와 2014년 발표된 ‘저탄소 그린캠퍼스 조성을 위한 인벤토리 구축 및 감축 잠재량 평가-대구대학교를 중심으로’⁹⁾ 논문을 참조하였을 때 대구대학교의 경우 Scope 1에서는 고정연소 부문이 약 96% 이상 차지하였으며, Scope 2에서는 구매 전력이 약 92% 이상을 차지하였다는 연구결과가 있었으며, 강원대학교의 경우에도 Scope 1에서는 약 98% 이상을 고정연소부문이 차지하였으며, Scope 2에는 전력구매만을 고려하였음에도 불구하고 전체 배출량의 54%를 차지할 정도로 전력구매에서의 온실가스 배출량이 크다는 연구결과를 확인하였다.

위와 같은 대구대학교와 강원대학교의 연구결과를 참조하였을 때 대학 내의 온실가스 배출량의 가장 큰 부문은 전력구매에 따른 배출량이며, 다음으로 고정연소부문이라는 점을 확인 할 수 있었다. 가천대학교 글로벌 캠퍼스의 경우 저자에게 전력소비량과 도시가스(LNG)소비량의 자료를 공

개하였으며, 이동연소 및 기타 부문의 자료가 비공개라는 한계점이 있었기에 본 논문에서의 온실가스 인벤토리 구축은 Scope 1 - 고정연소부문과 Scope 2 - 전력구매를 토대로 진행되었음을 미리 밝힌다.

2. 연구방법

2.1. 가천대학교 글로벌 캠퍼스 조직경계 설정

본 연구를 진행하기 위해서 우선 가천대학교 글로벌 캠퍼스의 조직경계를 설정할 필요가 있다. 가천대학교 글로벌 캠퍼스에서 발생하는 온실가스 배출원을 파악하기 위해서 환경부에서 고시한 대학 온실가스 인벤토리 구축 가이드라인을 활용한 가천대학교 글로벌 캠퍼스의 조직경계를 설정하였다.

Fig. 1. An image of satellite view on Gachon University.

Table 1. GHG emission calculating formula

Liquid fuel greenhouse gas calculation equation	$E_{i,j} = Q_i \times EC_i \times EF_{i,j} \times f_i \times 10^{-9}$	formula (1)
Estimation formula of greenhouse gas consumption from using external electric power	$CO_{2eq} \text{ Emissions} = \sum_i (Q \times EF_j)$	formula (2)

Table 2. Boundaries for GHG assessment in Gachon University used for the analysis of this work

Contents	Gross floor area (m ²)	Number of fluorescent lamp (EA)	Contents	Gross floor area (m ²)	Number of fluorescent lamp (EA)
College of Information Technology	26,681.53 m ²	4,877	Main Library	10,500 m ²	1,919
Graduate School	5,561,163 m ²	1,016	ROTC	2,310,35 m ²	422
College of Arts I (Creation Center)	5,561,163 m ²	1,016	Graduate School of Education	14,013.9 m ²	2,561
College of Arts I (Creation Center II)	5,561,163 m ²	1,016	Industry-Academy Coop. Building	8,550.04 m ²	1,562
College of Arts II	8,647.4 m ²	1,580	Students Union	5,600 m ²	1,023
Gachon Hall	38,854.94 m ²	7,102	Global Center	12,150.6 m ²	2,220
College of Bionano Technology	12,315.75 m ²	2,251	College of Korean Medicine	14,299.98 m ²	2,613
Bionano Research Institute	6,960.41 m ²	1,272	Dormitory I	6,824 m ²	1,247
College of Engineering I	13,514.61 m ²	2,470	Dormitory II	15,988.21 m ²	2,922
College of Engineering II	11,136.1 m ²	2,035	Vision Tower & College of Law	69,431.98 m ²	12,691
Justice Center	2,760 m ²	504			

Fig. 1은 Google Earth를 이용해 확인한 가천대학교 글로벌 캠퍼스의 위성사진이다. 위성사진에서 확인되는 건물들, 즉, IT대학(College of Information Technology), 가천관(Gachon Hall), 비전타워(Vision Tower)를 포함한 21개의 건물을 가천대학교 글로벌 캠퍼스의 통제 접근법에 따른 지배적인 영향력이 미치는 조직경계로 설정하였다. 21개의 건물들의 명칭과 연면적 등의 제원은 Table 2와 같다.

2.2. 가천대학교 글로벌 캠퍼스 활동 자료 수집

본 논문에서는 가천대학교 글로벌 캠퍼스 시설관리팀의 도움을 얻어 전기 사용량과 도시가스(LNG) 사용량에 대한 연도별 활동 자료를 수집하였다. 수집된 자료를 통하여 가천대학교의 연간 도시가스(LNG) 사용량과 전기 사용량에 대한 그래프를 각각 Fig. 2와 Fig. 3에 정리하였다. 가천대학교의 전기 사용량은 2012년 16,702,078 kWh에서 2013년 15,958,972 kWh로 감소하였다가 2014년 16,323,126 kWh, 2015년 16,622,500 kWh, 2016년 17,422,047 kWh으로 2013년을 기준으로 계속해서 증가하는 추세를 보이고 있다. 연간 도시가스 사용량의 경우 2015년 1월과 2월의 데이터 확보가 되지 않은 점을 감안하더라도 2015년 782,881 m³에서 2016년 1,436,472 m³로 약 83% 이상 증가하는 추세를 보이고 있음을 알 수 있다. 이에 따라 가천대학교 내부의 전

Fig. 2. Annual electricity consumption in Gachon University.

Fig. 3. Annual city gas consumption in Gachon University.

력 사용량과 도시가스 사용량 감축에 대한 필요성을 확인할 수 있다.

2.3. 가천대학교 온실가스 인벤토리 구축

본 논문에서는 배출량 산정등급을 시설규모별 배출량 산정 등급으로 선택하였으며 가천대학교 글로벌 캠퍼스의 연간 온실가스 배출량이 5만 tCO_{2-eq} 이하임을 고려하여 배출량 산정 등급을 Tier 1으로 설정하였다. 그에 따라 국제적으로 통용되는 IPCC 가이드라인에서 제시하는 배출계수와 산정식을 활용하여 각각의 온실가스 배출량을 산정하였다. 직접배출이란 조직 경계 내의 고정 설비에서 화석연료의 연소를 통하여 발생하는 온실가스 배출을 뜻하며 본 논문에서는 연간 도시가스 사용량에 따른 온실가스 배출량을 Scope 1에 포함시켰다. 간접배출이란 사업자가 소비하는 구입전력(전기) 및 스팀으로 인해 발생하는 온실가스 배출을 의미하며, 전력을 소모할 때에 온실가스 배출이 일어나지는 않지만, 생산단계에서 온실가스의 배출이 일어나기 때문에 간접배출로써 온실가스 배출로 인정을 한다. 본 논문에서는 가천대학교의 연간 전력 사용량을 근거로 Scope 2에 포함하여 온실가스 배출량을 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 가천대학교 글로벌 캠퍼스 온실가스 배출량

대학 온실가스 인벤토리 구축 가이드라인에 따른 Table 1의 Formula (1)와 Formula (2)를 활용하여 가천대학교 글로벌 캠퍼스의 온실가스 배출량을 산정하였다. Scope 1-도시가스(LNG)에 따른 2015년 온실가스 배출량은 1,730.591 tCO_{2-eq}이며, 2016년 온실가스 배출량은 3,175.38 tCO_{2-eq}로 확인된다. 이는 2015년 전체 온실가스 배출량의 18%, 2016년 전체 온실가스 배출량의 2016년 온실가스 배출량의 28%를 차지하는 수치이다.

Scope 2-외부 전력에 따른 2015년 온실가스 배출량은 7,750.247 tCO_{2-eq}로 2015년 전체 온실가스 배출량의 82%,

Fig. 4. Resources of GHG emissions of Gachon University.

2016년 온실가스 배출량은 8,123.036 tCO_{2-eq}로 2016년 전체 온실가스 배출량의 72%를 차지하는 수치이다.

Scope 1-도시가스(LNG)와 Scope 2-외부 전력에 따른 온실가스 배출량의 총합은 Fig. 4와 같다.

3.2. 태양광 발전 시스템 도입

온실가스 인벤토리를 구축하였을 때, 가천대학교의 가장 큰 온실가스 배출원은 Scope 2-외부 전력 사용에 따른 온실가스 배출이 가장 크다는 점을 고려하여 전력 사용에 따른 온실가스를 저감하기 위하여 가천대학교 글로벌 캠퍼스에 신재생에너지를 도입하기로 가정하였다. 또한, 신재생에너지를 적용할 공간적 여건을 고려하였을 때, 학교 옥상 부지를 활용하여 태양광발전시스템을 적용하는 것이 타당하다고 판단, 태양광발전시스템을 이용한 그린캠퍼스 설계와 그에 따른 온실가스 감축 잠재량 분석을 진행하였다.

가천대학교의 건축물대장들을 참고하여 각 건물별 건축면적을 토대로 옥상의 면적을 파악하였을 때, 38,889.68 m²임을 확인하였고, 옥상 태양광 설비설치 관련하여 가용가능 면적에 대한 기준을 제시하고 있는 ‘고양시 건축물 태양광 발전시설 설치 가이드라인’¹⁰⁾ 및 ‘서울시 건축물 태양광 발전시설 설치 가이드라인’¹¹⁾을 참조하였을 때, 옥상면적의 70%를 사용할 수 있다고 가정하였다. 선정된 태양광 설치업체는 총 3곳으로 각각 S₁, S₂, S₃을 선정하였고, 면적은 각각 17.76 m², 20.04 m², 29.60 m²이며, 가격은 4,700(천원), 4,890(천원), 9,800(천원)이며, 발전용량은 3 kW, 3 kW, 5 kW이다. 이와 같은 태양광 설치업체의 제원과 옥상 면적을 고려하여 최저의 비용이 소모되는 태양광 패널 설치에 대한 최적화를 Excel의 Solver를 이용하여 진행하였다.

Table 3의 목적함수와 제약조건을 활용한 최적화 결과 S₂

Table 3. Objective function and constraints of the solar cell system project for optimization analysis

Objective function	$Small\ Cost = Minimize \sum_i S_i \times cost_i$
Constraints	$27222 \leq \sum_i S_i \times Area_i \leq 27222$

Table 4. Evaluation of Green Campus business with the solar cell system project

Contents	Cost & Figure
Monthly reduced electricity usage	300,942.5 (kWh)
Electric charge saving to electricity self-production education (type B) High-Voltage A-II	November ~ February 127.20 (won/kWh) March ~ May, September ~ October 80.20 (won/kWh)
Reduced electric charges	June ~ August 155.90 (won/kWh) 581,649.72 (1,000won)
Renewable Energy discount service (KEPCO)	50% additional discount on reduced electricity charges according to power generation ¹⁴⁾ Reduced electric charges 290,824.86 (1,000won)
Annual Total Profit	872,474.58 (1,000 won)
Net Present Value (NPV) (20 year, 2.23%)	8,407,752 (1,000 won)

업체의 태양광 패널 1338개와 S₃ 업체의 태양광 패널 23개를 설치할 수 있으며, 태양광 패널을 이용한 총 발전용량은 4,083 kW, 설치를 위한 총 설치비용은 약 6,650,920,000원으로 확인되었다. 추가적으로 에너지 공단에서 시행 중인 태양광 에너지 건물 지원 사업¹²⁾에 따라 최대 약 12억 원을 지원받는다 가정하였을 때 실제 설치비용은 5,453,920,000원으로 확인되었다.

최적화를 통하여 얻은 결과를 토대로 태양광을 이용한 그린캠퍼스 사업의 경제성과 그에 따른 전력 사용량과 온실가스 감축량 분석을 진행하였고, 이에 대한 수익별 상세한 금액을 Table 4에 나타내었다. 경제성 평가를 위하여 고려한 그린캠퍼스 사업의 수익은 크게 두 가지가 있다. 첫째, 전력 자가 생산에 따른 전기 요금 저감, 둘째, 한전에서 시행하고 있는 신재생에너지 전기할인요금에 따른 전기 요금 저감이다. 위와 같은 그린캠퍼스 사업의 수익을 총합하였을 때 연간 약 8억 7천만 원의 수입이 생겼으며 태양광의 수명을 20년,¹³⁾ 할인율은 국고채 금리를 기준으로 하여 2.23%로 고려하였다. 위와 같은 조건으로 Net Present Value (NPV, 순현재가치)를 계산하였을 때 약 84억 원으로 사업을 진행

Fig. 5. Annual GHG emissions with solar cell systems using the GHG reduction scenario from 2017 to 2030.

할 경제성이 충분하다고 판단되었다.

태양광 사업을 통해 연간 5,067,003 kWh의 전력을 절약할 수 있었으며 절약한 전력 사용량에 따른 온실가스 감축량을 산정하였을 때, 연간 2,362.49 tCO_{2-eq}의 온실가스를 절감할 수 있다. Fig. 2에 정리되어 있는 가천대학교 연간 전력 사용량을 토대로 Excel의 예측시트를 활용하여 Forecast 함수 기반의 95%의 신뢰구간을 가진 평균값 데이터를 산출한 결과 2030년 연간 온실가스 발생량은 9,529.18 tCO_{2-eq}로 확인되었다. 2017년부터 가천대학교 글로벌 캠퍼스의 옥상에 태양광 발전 시스템을 구축하여 발전량의 100%를 자가 사용 할 때 2030년 연간 온실가스 발생량은 7,166.69 tCO_{2-eq}로 24.79%의 온실가스가 감축된다. Fig. 5는 Excel 예측 시트를 활용하여 2030년까지 예상되는 배출기준치(baseline emission)와 태양광 발전 시스템 적용에 따른 온실가스 감축잠재량을 표현한 그래프이다.

3.3. Light-emitting diode (LED) 교체 사업

일반적으로 LED의 효율은 기존 가천대학교에서 조명으로 사용되고 있는 형광등에 비해 약 50%의 소비전력만으로 동일한 밝기를 낼 수 있다. 이에 따라 기존 형광등을 LED로 교체할 경우 사용 전력 감소에 따른 온실가스 감축이 이루어질 수 있다.¹⁵⁾

가천대학교 글로벌 캠퍼스에서 사용되는 총 형광등 개수를 파악하기 위해서 IT대학을 기준으로 삼았다. IT대학 내의 모든 형광등 개수를 직접 측정하였을 때 총 4,877개의 형광등이 존재하고, IT대학의 형광등 개수와 연면적을 기준으로 면적당 형광등 개수의 비율을 구하여 전체 조직경계에 적용한 결과 가천대학교 글로벌 캠퍼스에서 사용된다고 추정되는 형광등의 개수는 총 54,319개였다(Table 2). 형광등의 소비전력이 약 32 W이며 1일 12시간씩 365일 간 사용한다고 가정하였을 때 연간 조명 분야의 총 전력 사용량은 7,509,058.56 kWh로 가천대학교 글로벌 캠퍼스의 전체 전력 사용량의 43.05%를 차지하는 수치이다. 이에 따라 형광등을 LED로 교체할 경우 상당한 전력 절감이 일어날 것으로 예상하였다. LED 교체 사업의 최적화를 위하여 L₁, L₂, L₃ 세 곳의 LED 업체를 선정하였고, 각 LED 가격은 19.9(천원), 21.6(천원), 17.9(천원)이며, 전력소모량은 18 (W),

Table 6. Evaluation of Green Campus business with the LED replacement project

Contents	Cost & Figure (100%)	Cost & Figure (30%)	Cost & Figure (50%)
Monthly reduced electricity usage	263,990.34 (kWh)	79,201.58 (kWh)	132,358.32 (kWh)
Electric charge saving to November ~ February	127.20 (won/kWh)	127.20 (won/kWh)	127.20 (won/kWh)
electricity self-production March ~ May, September ~ October (type B)	80.20 (won/kWh)	80.20 (won/kWh)	80.20 (won/kWh)
High-Voltage A-II June ~ August	155.90 (won/kWh)	155.90 (won/kWh)	155.90 (won/kWh)
Reduced electric charges	363,646.69 (1,000 won)	109,100.18 (1,000 won)	182,323.59 (1,000 won)
Annual total profit	363,646.69 (1,000 won)	109,100.18 (1,000 won)	182,323.59 (1,000 won)
Net Present Value (NPV) (9year, 2.23%)	571,085 (1,000 won)	260,305 (1,000 won)	437,760 (1,000 won)

19.7 (W), 18.5 (W)이다. LED 1개 교체 시의 공임비를 평균 20,000원으로 추정하여 경제성 분석을 진행하였다. 또한, 현실적으로 모든 형광등을 교체하기에는 무리가 있다고 판단하여, 전체 형광등의 30%, 50%, 100%를 교체한다고 가정하여 온실가스 감축량을 각각 산정하였다.

Table 5에 정리되어 있는 목적함수 및 제약조건을 활용하여 Excel의 Solver를 이용한 최적화 결과, L₃ 업체의 LED 54,319개를 이용하여 전체 LED 교체 사업을 진행 시 2,058,690,100원의 비용이 발생한다. LED 감축사업을 통해 얻을 수 있는 수익은 전기 요금 절감에 따른 수익이 있으며 연간 총 수익은 약 3억 6천만 원으로 확인되었으며 각 내 용은 Table 6에 정리하였다. LED의 평균수명을 40,000시간으로 조명 이용시간을 12 hr/day로 고려하였을 때 평균적으로 약 9년 동안 사용이 가능할 것으로 예상되어 LED 교체 사업의 수명은 9년, 할인율은 국고채 금리 기준인 2.23%로 NPV를 분석하였을 때 기존 설치 조명 대비 100% 교체의 경우, 약 5억7천만 원으로 LED 사업의 경제성이 충분하다는 결론을 내렸다.

위 Table 6에서 나온 바와 같이 LED 교체사업을 통하여 월간 절약 가능 전력 사용량(Monthly reduced electricity usage)을 기반으로 예측한 연간 절약 가능한 전력 사용량은 3,167,884.08 kWh이며, 그에 따라 1,477.03 tCO_{2-eq}의 온실가스를 감축할 수 있다. Excel 예측 시트를 활용하여 Forecast 함수 기반의 95%의 신뢰구간을 가진 평균값 데이터를 산출한 결과 2030년 전력 사용량에 따라 예상되는 배출기준치는 9,529.18 tCO_{2-eq}이다. LED 교체 사업을 진행할 경우 2030년 온실가스 배출량은 8,052.15 tCO_{2-eq}이며 배출기준치의 15.5%가 감축된다. Fig. 6과 Fig. 7은 Excel 예측 시트를 활용하여 2030년까지의 배출기준치와 LED 교체 사업을 각각 30%, 50%, 100% 구현하였을 때 예상되는 온실가스 감축잠재량을 나타내는 그래프이다.

Table 5. Objective function and constraints of the LED replacement project for optimization analysis

Objective function	$Small\ Cost = Minimize \sum_i L_i \times cost_i$
Constraints	$16295 \leq \sum_i L_i \leq 16295 \dots (30\%)$
	$27159 \leq \sum_i L_i \leq 27159 \dots (50\%)$
	$54319 \leq \sum_i L_i \leq 54319 \dots (100\%)$

Fig. 6. Annual GHG emissions with the LED replacement project using the GHG reduction scenario from 2017 to 2030.

Fig. 7. Annual amount of the GHG emissions reduction based on the LED replacement ratio to the existing lighting system.

Fig. 8. Summary of the annual amount of the GHG emissions reduction with the solar cell systems and LED projects using the GHG reduction scenario from 2017 to 2030.

3.4. 가천대학교의 온실가스 감축 잠재량

가천대학교의 그린캠퍼스 구축을 위하여 태양광 발전 시스템을 통한 데이터와 LED 교체 사업을 통해 나온 데이터를 모두 고려하여 연간 총 전력 사용 절감량과 온실가스 감축 잠재량을 분석한 결과, 연간 총 전력 사용 절감량은 8,234,897.08 kWh이고 그에 따른 연간 온실가스 감축량은 3,839.52 tCO_{2-eq}이다.

Excel의 예측 시트를 활용하여 Forecast 함수 기반의 95%의 신뢰 구간을 가진 평균값 데이터를 산출한 결과, 2030년까지의 배출기준치와 온실가스 감축 사업에 따른 온실가스 배출량은 Fig. 8과 같다. 전체 그린캠퍼스 구축 사업을 통해 배출기준치인 9,529.18 tCO_{2-eq} 대비 40.29%의 온실가스를 감축할 수 있는 것으로 확인되었다.

4. 결론

본 연구에서는 가천대학교 글로벌 캠퍼스의 온실가스 인벤토리를 작성하고 그린캠퍼스 구축을 위하여 태양광 발전 시스템과 LED 교체 사업을 통하여 온실가스 감축 잠재량을 분석하였다. 가천대학교 글로벌 캠퍼스의 2016년 온실가스 배출량은 11,298.42 tCO_{2-eq}이다. 전체 온실가스 배출량의 약 72%를 차지하는 전기 사용량은 2013년부터 꾸준히 증가하고 있으며, 그에 따라 전체 온실가스 배출량도 해가 거듭될수록 증가할 것으로 예상된다.

가천대학교 글로벌 캠퍼스에서 온실가스 배출량이 가장 높은 Scope 2 전력 사용에 따른 온실가스 감축을 위하여 태양광 발전 시스템과 LED 교체 사업을 통하여 온실가스 감축 잠재량을 분석하였다. 태양광 발전 시스템에 따른 온실가스 감축량은 연간 2,362.49 tCO_{2-eq}이며, LED 교체 사업에 따른 온실가스 감축량은 연간 1,477.03 tCO_{2-eq}로 총 3,839.54 tCO_{2-eq}의 온실가스 감축이 가능한 것으로 조사되었다. 이는 2030년 배출기준치 대비 40.29% 온실가스 감축량에 해당하는 것으로 파악된다.

또한, 국고채 금리 기준 2.23%로 할인율을 적용하였을 때에 각각 84억 원, 5억7천만 원의 NPV를 나타내었으며, 보수적인 결과를 측정하기 위하여 할인율을 5%로 적용하였을 때에도 19억 원, 2억9천만 원의 NPV를 나타내어 사업을 진행하기에 충분한 경제성을 지니고 있음을 확인하였다.

본 연구의 가장 큰 한계점은 학교의 공식적인 연구용역 사업이나 정부의 지침이 아닌 학부 재학생들의 자체연구로 진행된 프로젝트라는 점에 있어 대외비로 책정되어 있는 차량 이용 현황 등의 데이터를 확보하지 못하여 완전한 온실가스 인벤토리를 구축하지 못한 점이다.

하지만, 2012년과 2014년에 완료된 강원대학교와 대구대학교의 선행연구결과에 따르면, 본 논문에서 포함한 전력 소비량과 도시가스(LNG)소비량이 전체 에너지 사용량의 약 90%수준을 차지하는 것을 확인할 수 있었다. 그에 따라 불완전한 온실가스 인벤토리일지라도 가천대학교의 전반적

인 에너지 사용량과 온실가스 배출량, 그리고 그에 따른 온실가스 감축 잠재량을 파악할 수 있었다는 점에 큰 의의가 있는 연구라고 판단된다.

결론적으로 본 연구 결과를 통해 파악된 점은 가천대학교 글로벌 캠퍼스에는 온실가스 배출을 저감시킬 수 있는 가능성이 상당히 높다는 것이다. 본 연구가 단순히 온실가스 감축 잠재량 분석으로 그치지 않고 실제 온실가스 감축으로 이어지기 위해서는, (1) 가천대학교 글로벌 캠퍼스 내 온실가스 현황을 전문적으로 관리할 수 있는 인력확보와, (2) 보다 완전하고 정확한 온실가스 인벤토리 체계의 구축, 그리고 (3) 이를 실제 사업으로 지속적으로 진행하기 위한 해당국의 의지가 가장 중요하다고 사료된다.

본 연구 결과는 그린캠퍼스 구축을 위해 신재생에너지 및 LED 조명 도입을 검토하고 있는 전국의 기타 대학교의 의사결정에 많은 도움이 될 것이며, 나아가 국내 온실가스 배출량 감축에도 많은 기여를 할 것으로 예상된다.

Acknowledgement

이 연구는 산업통상자원부의 'ICT를 활용한 에너지 수요 관리 인력양성트랙사업(과제번호: 20164010100710)'으로 지원되었기에 이에 감사드립니다.

KSEE

References

1. Jessica Blunden, NOAA, <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/international-report-confirms-2016-was-third-consecutive-year>, October(2017).
2. UNFCCC, "Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015," January(2016).
3. Greenhouse Gas Inventory and Research Center, "2016 National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea," pp. 3~(2016).
4. Noh, D. U., "Recent Global Greenhouse Emission Trends and Implications," *World Energy Market Insight, World Energy Market Insight*, 16(5), 4~8(2016).
5. Kang, K. T., Ministry of Trade, Industry and Energy, http://www.motie.go.kr/motie/ne/presse/press2/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=158865&bbs_cd_n=81¤tPage=1&search_key_n=&search_val_v=&cate_n=&dept_v=&from_brf=brf&brf_code_v=3, December(2016).
6. Park, K. H., Park, J.-W. and Park, J. S., "A study on the Improvement of Energy Efficiency in Campus Buildings," Korea Energy Economics Institute, Basic Research Report 15-14, pp. summary i-summary ii(2015).
7. Ministry of Environment, "Guidelines for University Greenhouse Gas Inventories Ver2.0"(2015).
8. Park, S.-Y., Han, Y.-J., Oh, A.-R. and Lee, W.-K., "Development of Greenhouse Gas (GHG) Emissions Inventory

- and Evaluation of GHG Reduction Plans of Kangwon National University,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **34**(1), 32~41(2012).
9. Jeong, Y. J., Li, K. C., Kim, T. O. and Hwang, I. J., “Estimation of Greenhouse Gas (GHG) Inventory and Reduction Plans for Low Carbon Green Campus in Daegu University,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **36**(7), 506~513(2014).
10. Goyang City, “Guidelines for building PV installations,” June (2016).
11. Seoul Metropolitan Government, “Guidelines for building PV installations,” September(2016).
12. Korea Energy Agency Renewable Energy Center, http://www.knrec.or.kr/business/building_intro.aspx
13. Korea Energy Agency Renewable Energy Center, http://www.knrec.or.kr/energy/sunlight_summary.aspx
14. Korea Electric Power Corporation, http://home.kepco.co.kr/kepco/KE/ntcob/ntcobView.do?boardCd=BRD_000441&menuCd=FN0102030603&menuCd=FN0102030603&boardSeq=21029475, May(2017).
15. Oh, Y.-S., Yoon, K.-D., Um, H. S., Son, H. J. and Koh, J. K., “Development of Green Campus Practice Manual and Campus GHG Inventory Model,” pp. 1-333(2010).