

저탄소 그린캠퍼스 조성을 위한 온실가스 인벤토리 구축 및 감축잠재량 분석 - 대구대학교를 중심으로

Estimation of Greenhouse Gas Emissions (GHG) Inventory and Reduction Plans for Low Carbon Green Campus in Daegu University

정영진 · 이개초 · 김태오* · 황인조[†]
YeongJin Jeong · KaiChao Li · TaeOh Kim* · InJo Hwang[†]

대구대학교 환경공학과 · *금오공과대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Daegu University

*Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(2014년 4월 8일 접수, 2014년 7월 15일 수정, 2014년 7월 31일 채택)

Abstract : The objective of this study is to establish the greenhouse gases (GHG) inventories and estimate the GHG reduction plans for Daegu University from 2009 to 2011. The annual average of GHG emissions in Daegu University was estimated to be 19,413 ton CO₂ eq during the study period. Emissions of electricity usage in Scope 2 most contributed about 55.4% of the total GHG emissions. Also, GHG emissions of Scope 2, Scope 1, and Scope 3 contributed 60.4%, 22.6%, and 17.0%, respectively. In order to estimate reduction potential of GHG, the Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) model was calculated using three scenarios such as sensor installation, LED replacement, and solar facility. The GHG will be reduced by 1,656 ton CO₂ eq for LED scenario, by 1,041 ton CO₂ eq for sensor scenario, and by 737 ton CO₂ eq for solar scenario compared to 2020 business as usual (BAU). Therefore, the total GHG emissions in 2020 apply three scenarios can be reduced by 15% compared with 2020 BAU.

Key Words : GHG Inventory, LEAP Model, Reduction Potential of GHG, Scenario, BAU

요약 : 본 연구는 대구대학교를 대상으로 온실가스 인벤토리를 구축하고, 감축잠재량을 분석할 것이다. 대구대학교의 온실가스 배출량은 연평균 19,413 ton CO₂ eq로 조사되었다. Scope 2의 구입전력부문이 온실가스 총 배출량의 55.4%를 차지하여 가장 많이 기여하는 것으로 계산되었다. 연구기간동안의 온실가스 총배출량에서 Scope 2가 60.4%, Scope 1이 22.6%, Scope 3이 17.0%를 기여하는 것으로 나타났다. 대구대학교의 온실가스 감축잠재량을 파악하기 위하여 재실센서, LED 조명, 태양열 시설 등과 같은 시나리오를 작성하고 LEAP 모델을 이용하였다. LED 조명 교체 시 2020년에 BAU 대비 1,656 ton CO₂ eq가 감축되는 것으로 나타났고, 재실센서 설치, 태양열 시설 도입은 각각 1,041 ton CO₂ eq, 737 ton CO₂ eq가 감축되는 것으로 조사되었다. 감축시나리오를 모두 적용한 결과 2020년 BAU 대비 온실가스 배출량을 약 15% 감축할 수 있을 것으로 계산되었다.

주제어 : 온실가스 인벤토리, LEAP 모델, 감축잠재량, 시나리오, BAU(온실가스 배출 전망치)

1. 서론

기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)는 2007년 ‘4차 기후변화 평가보고서’를 통해 “기후시스템의 온난화는 지구 평균 기온과 해수 온도 상승, 눈과 빙하의 용해, 평균 해수면 상승 등의 관측 자료를 통해 명백히 나타났다” 고 밝혔다.¹⁾ 또한 지구온난화 진행속도는 2001년 발표된 3차 보고서의 예측치를 넘어 예상보다 빠르게 진행되고 있다고 경고하였다. 석유 및 석탄과 같은 화석연료의 사용량 증가로 대기 중 이산화탄소와 같은 온실가스(greenhouse gas, GHG)의 농도는 지속적으로 상승하고 있으며, 이에 따라 지난 100년 동안 약 0.74°C의 온도가 상승하였다. 우리나라의 기후변화에 의한 영향을 살펴보면, 기온상승이 전 지구 평균기온 상승의 2배에 달하고 있고(지난 100년간 1.5°C), 제주도의 해수면 상승은 지구 평균의 3배(지난 40년간 22 cm)에 달하고 있는

것으로 나타났다. 또한, 기후 변화의 영향에 의한 우리나라의 기상재해는 1970년대에 비해 2000년대에 들어서서 4배 정도 증가한 것으로 나타났다.²⁾

우리나라는 2020년까지 온실가스 배출 전망치(business as usual, BAU) 대비 30%의 온실가스 감축을 목표로 설정하고, 이를 이행하기 위해 ‘온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침’을 제정하였다. 이를 통해 온실가스 배출 및 에너지 사용량 평균이 일정 수준을 넘는 에너지 다소비 기관을 관리 대상 업체로 선정하고, 온실가스 및 에너지 사용 감축을 촉구하고 있다. 따라서 정부는 온실가스·에너지 목표관리제를 적용하여 온실가스 배출량 및 화석에너지 사용량 목표 설정, 이행계획 및 관리체계 등을 통한 목표의 효율적 달성, 관리업체와 온실가스·에너지 사용 목표 상호협약, 그리고 인센티브와 페널티(개선명령, 과태료) 등을 통한 목표달성을 지원하고 있다.³⁾

2013년도 온실가스·에너지 목표관리제 관리 대상 업체

[†] Corresponding author E-mail: ihwang@daegu.ac.kr Tel: 053-850-6695 Fax: 053-850-6699

는 480개로 선정되었으며, 이 중 건물부문 총 40개 관리 업체에서 국내 9개 대학이 포함되어 온실가스 배출과 에너지 사용에 대한 관리를 받게 되었다. 대학의 경우 시설과 인력의 투자를 통해 수익을 재창출하기 어려운 비영리기관으로 기후변화에 수동적, 일회적, 개별적으로 대응하고 있으며, 임대 및 기부채납과 같은 다양한 소유관계가 존재하고, 배출시설이 건축물로 집중되어 있지만 단일 건물이 아닌 건물군으로 존재하여 통계 권한이 매우 약한 특성을 가지고 있다. 그러나 교육기관으로 지역사회의 경제, 문화의 중심 역할을 수행하고 있으며, 대학의 구성원들이 펼치는 다양한 실천 활동이 지역사회에 미치는 파급효과가 큰 특성으로 볼 때, 대학은 온실가스 감축을 위한 중요한 위치에 서 있다고 볼 수 있다. 현재 전 세계적으로 대학이 자발적으로 환경오염을 저감하고 온실가스를 줄이기 위한 노력을 하고 있으며, 국내 대학에서도 의무감축 대상 대학(목표관리제 관리업체)을 중심으로 온실가스 인벤토리 구축 및 온실가스 저감 계획을 수립하고 있다.⁴⁾

따라서 본 대학 내에서 발생하는 온실가스 배출량 감축 대책의 수립 및 추진을 위하여, 또한 ‘저탄소 녹색성장’이라는 정부의 정책기조를 주도하는 대학으로 발돋움하기 위한 가장 기초적인 단계 및 자료인 대학의 온실가스 인벤토리 구축에 대한 필요성이 요구되고 있다. 이와 같은 이유로 본 연구에서는 대구대학교를 대상으로 대학의 온실가스 배출량 저감 대책 수립에 기초가 되는 온실가스 인벤토리 구축 및 배출특성을 분석하였다. 또한 이 자료를 바탕으로 온실가스 감축잠재량을 평가하고, 온실가스 배출 저감방안을 제시하고자 하였다.

2. 연구방법 및 내용

2.1. 인벤토리 구축

대구대학교의 온실가스 인벤토리 구축하기 위해서는 조직경계 및 산정기간을 설정이 필요하다. WRI/WBCSD GHG Protocol⁵⁾에서는 조직경계 설정 방법론으로 지분할당접근법(equity share approach)과 통제접근법(control approach)을 제시하고 있다. 통제접근법의 경우 기관의 통제권 하에 있는 운영으로부터 나오는 온실가스 배출량을 산정하는 방식으로, 대학과 같이 경계 내외 모든 건물이 대학 자체의 소유가 아닌 경우에는 통제접근법을 취하는 것이 바람직하다는 연구결과⁶⁾에 따라 대구대학교가 통제력을 가지고 있는 시설을 포함하여 조직경계를 설정하였다. 조직경계는 대구대학교 및 영덕연수원으로 설정하였고, 산정기간은 2009년부터 2011년으로 설정하였다.

대구대학교의 온실가스 배출원 목록은 IPCC 2006 Guideline⁷⁾의 분류에 따라 대학 내에서 현재 수집 가능한 항목을 조사하였으며, Scope 별로 분류하였다. Scope 1은 온실가스가 직접적으로 배출·흡수되는 발생원으로 직접배출량을 의미하고, Scope 2는 간접적으로 온실가스를 발생시키는 배

Table 1. Collection of activity data

Scope	Category	Activity data
Scope 1 (Direct source)	Stationary combustion	• Fuel consumption data (Except for fuel used in the transportation)
	Mobile combustion	• Fuel consumption data • Car and fuel type data • Number of Car data
	Refrigerants	• Number of air conditioning and refrigerator data
	Agriculture & Livestock & Forestry	• Fertilizer consumption and type data • Number of livestock data • Area of forest and afforestation
	Waste treatment (in Daegu University)	• Incineration amount data
Scope 2 (Indirect source)	Electricity	• Electricity consumption data
	Water	• Water consumption data
	Waste	• Incineration amount data • Wastewater treatment data
Scope 3 (Others)	School bus	• Fuel efficiency and migration distance data • Car and fuel type data • Number of car data
	Business trip	• Business trip record of members
	Yeongdeok training institute	• Electricity consumption data • LNG consumption data • Water consumption data

출원으로 소비단계에서는 온실가스가 배출되지는 않으나 생산단계에서 온실가스를 배출하기 때문에 간접배출량을 의미한다. Scope 3은 학내 구성원들의 활동으로 인해 발생하는 온실가스로 Scope 1, 2 이외의 기타 배출원을 의미하며, 학교 소속이지만 학교 내에 존재하지 않고 외부에 존재하는 건물 또는 토지 등을 포함한다. 따라서 본 연구에서는 Scope 1에는 고정연소시설, 학교소유차량, 비료사용량, 가축 등으로 분류하였고, Scope 2에서는 구입 전력, 구입 상수도, 폐기물처리 등으로 분류하였다. Scope 3에는 통학 차량, 대학 지원 출장, 영덕연수원 등으로, 각 Scope별 배출원 목록을 카테고리별로 분류하여 Table 1에 나타내었다. 활동자료를 확보하기 위하여 자료 담당부서 및 책임자 확인 작업을 진행하였으며, 협조공문과 함께 담당자에게 활동자료를 요청하였다. 확보된 활동자료는 향후 배출량 산정의 지속적인 관리가 가능하도록 구체적이고 명확한 내용으로 작성하였다.

국제적으로 통용되는 기준인 IPCC 2006 Guideline과 국내 온실가스 배출량 산정기준인 환경부 목표관리제 지침에서 공통으로 관리하는 온실가스는 CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆로 총 6가지이다. 본 연구에서는 이 중 CO₂, CH₄, N₂O, HFCs 총 4가지를 산정하였으며, 이런 온실가스가 지구 온난화에 기여하는 정도는 지구온난화지수(global warming potential, GWP)를 통하여 대상 CO₂ 등가치(CO₂-eq, carbon dioxide equivalent)로 환산하여 전체 온실가스 배출량을 합산하여 산정하였다. 배출계수는 IPCC 2006 Guideline의 배출계수를 적용하였으며, 국가 배출계수가 있는 구입전력, 구입수도 등은 국가 배출계수를 적용하였다. 온실가스 인벤토

리 구축은 IPCC 2006 Guideline과 한국환경공단의 산정지침 ‘대학 온실가스 인벤토리 구축 가이드라인, 2011,⁸⁾ ‘지자체 온실가스 배출량 산정지침, 2011⁹⁾에 근거하여 산정하였다.

2.2. 온실가스 감축잠재량 분석 방법

대구대학교의 에너지 사용 현황 및 추세를 파악하고 온실가스 배출량 감축잠재량을 파악하기 위해 LEAP 모델을 이용하였다. LEAP 모델은 미국 스톡홀름 연구소에서 개발한, 감축 시나리오 적용에 의한 온실가스 감축잠재량 파악이 가능한 모델로 환경적 영향을 고려한 최초의 에너지 모델이다. 2010년 6월 기준으로 190개국 약 7,000여명이 사용하고 있으며, 분석이 다른 모형에 비해 쉽고, 무료로 사용할 수 있다는 장점이 있어, 현재 사용자가 가장 많은 에너지 시스템 분석 모형에 속한다.¹⁰⁾ 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 활용되며, 하향식 모형은 경제 활동수준의 변화를 중심으로 한 모형으로 경제적 성과를 결정하는 변수들을 중심으로 구축이 된다. LEAP 모델은 상향식 모형에 해당하며, 시나리오에 따른 에너지 시스템을 계산하는 회계모형(accounting model)이다. 또한 부문별로 상이한 방법론을 추가적으로 결합할 수 있고 입력 변수의 시간변화를 반영할 수 있는 장점을 가지고 있어 대학단위에서의 장기간 연구범위에 적용이 가능하다.¹¹⁾

본 연구에서 인구는 통계청의 학령인구자료의 증감율¹²⁾을 적용하여 추정하였고, 건물연면적은 추세분석방법을 통해 추정하여 LEAP 모델의 입력자료로 사용하였다. 2011년까지는 확보한 에너지 사용량 활동자료의 실제 사용량을 적용하였고, 2011년부터 2020년까지는 추세분석방법으로 추정하였다. 그러나 전력사용량에 대해서는 향후 감축잠재량 분석을 위하여 전력 사용량이 연면적에 기인하는 것으로 설정

하였고, 교육시설(강의실, 실험실, 교수연구실, 행정실, 도서관 대학본부 등)의 연면적 및 기타시설(체육관, 강당, 기숙사, 연구실 등 교육시설을 제외한 모든 건물)의 연면적으로 구분하여 연면적에 의한 전력사용량을 추정하였다. 다양한 감축수단 중 현재 대구대학교에서 적용 가능한 감축수단을 선정한 결과 ‘재실센서 설치’, ‘LED 조명 교체’, ‘태양열 시설 도입’이며 이를 대상으로 2009년부터 2011년까지 산정된 온실가스 인벤토리 자료를 기초로 향후 2020년까지 1년 단위로 온실가스 감축잠재량을 분석하였다.

3. 결과

3.1. 대구대학교 온실가스 배출량 산정

대구대학교의 온실가스 총 배출량은 Fig. 1, Table 2와 같으며, 2009년에 18,194 ton CO₂ eq가 배출되었고, 2010년에 20,223 ton CO₂ eq, 2011년에 19,441 ton CO₂ eq가 배출되

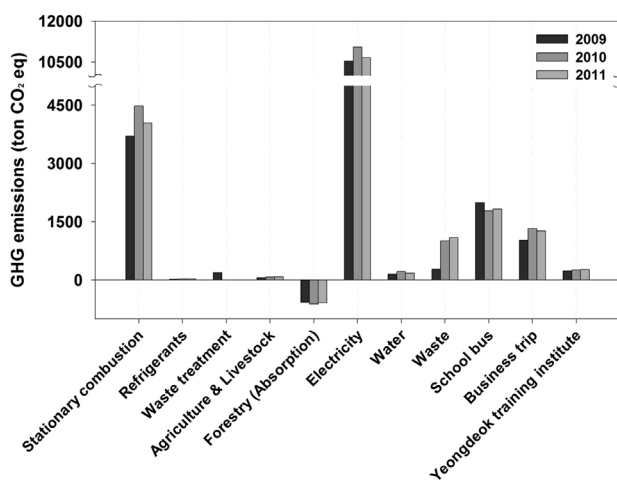


Fig. 1. Annual GHG emissions classified by sectors.

Table 2. GHG emissions in Daegu University

Contents		2009	2010	2011	Average
Scope 1	Stationary combustion	3,701 (20.3%)	4,476 (22.1%)	4,040 (20.8%)	4,072 (21.0%)
	Refrigerants	25 (0.1%)	30 (0.2%)	33 (0.2%)	29 (0.2%)
	Waste treatment	190 (1.1%)	-	-	190 (1.0%)
	Agriculture & Livestock	63 (0.4%)	72 (0.4%)	84 (0.4%)	73 (0.4%)
	Forestry (Absorption)	-575 (-3.2%)	-621 (-3.1%)	-584 (-3.0%)	-594 (-3.1%)
Sub total		3,979 (21.9%)	4,578 (22.7%)	4,157 (21.4%)	4,364 (22.6%)
Scope 2	Electricity	10,537 (57.9%)	11,051 (54.6%)	10,660 (54.8%)	10,749 (55.4%)
	Water	153 (0.9%)	219 (1.1%)	177 (1.0%)	183 (0.9%)
	Waste	277 (1.5%)	1,008 (5.0%)	1,090 (5.5%)	792 (4.1%)
	Sub total	10,967 (60.3%)	12,278 (60.7%)	11,927 (61.3%)	11,724 (60.4%)
Scope 3	School bus	1,992 (10.9%)	1,787 (8.8%)	1,825 (9.4%)	1,868 (9.6%)
	Business trip	1,019 (5.6%)	1,321 (6.5%)	1,261 (6.5%)	1,200 (6.1%)
	Yeongdeok training institute	236 (1.3%)	260 (1.3%)	272 (1.4%)	256 (1.3%)
	Sub total	3,247 (17.8%)	3,368 (16.6%)	3,358 (17.3%)	3,324 (17.0%)
Total		18,194 (100%)	20,223 (100%)	19,441 (100%)	19,413 (100%)

었다. 3년 평균 19,413 ton CO₂ eq로 2009년에 비해 2010년에 급격히 증가하였다가 2011년에 다시 줄어드는 추세를 나타내었다. 이는 2010년에 재활과학대학의 이전, 종합복지관, 창업보육센터 등의 신·증축 건물의 건설로 인해 증가한 것으로 판단되며, 2011년에는 재실센서 설치, 절전형 멀티탭 교체, 적정온도 준수 등 전년 동월 대비 에너지를 약 25% 절약하여 온실가스 배출량이 감소한 것으로 판단된다.

Scope 1에서 배출된 온실가스는 2009년에 3,979 ton CO₂ eq가 배출되었고, 2010년에 4,578 ton CO₂ eq, 2011년에 4,157 ton CO₂ eq로 2010년에 증가하였다가 2011년에 감소하는 경향을 나타내었다. 고정연소부문이 3년 평균 4,072 ton CO₂ eq로 Scope 1의 온실가스 배출량 중 약 96% 이상 기여하는 것으로 조사되었다.

단과대학 중 공과대학이 가장 많은 배출량을 보였으며, 여름과 겨울에 온실가스 배출량이 많은 것으로 조사되었다. 이는 공과대학이 건축면적과 연면적이 가장 크고, 많은 학생 및 교직원의 활동에 의한 것으로 사료된다. 또한 EHP (electric heat pump)가 아닌 GHP (gas engine heat pump)에 의한 냉·난방으로 여름 및 겨울의 온실가스 배출량이 높은 것으로 사료된다. 그러나 탈루배출, 폐기물(자가처리), 농업·축산에 의한 온실가스 배출량은 3년 평균 292 ton CO₂ eq로 조사되어 총 온실가스 배출량에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 그 중 폐기물(자가처리)의 경우 2009년에만 학교 내에서 처리(소각)가 이루어졌고, 2010년부터는 폐기물을 전량 위탁처리 하여 2009년만 산정하였다. 탈루배출 및 농업·축산부문은 2009년부터 2011년까지 지속적으로 증가하는 추세를 나타내었는데, 이는 에어컨 및 냉장고 대수의 증가와 비료사용량 및 가축의 증가로 판단된다. 임야에 의한 온실가스 흡수량은 2009년에는 575.3 ton CO₂ eq가 흡수되었고, 2010년에는 620.7 ton CO₂ eq, 2011년에는 584.4 ton CO₂ eq가 흡수되었다.

Scope 2에서는 3년 평균 11,724 ton CO₂ eq로 가장 높은 배출량을 나타내었으며, 그 중 구입 전력이 10,749 ton CO₂ eq로 Scope 2의 배출량 중 약 92% 이상 기여하는 것으로 조사되었다. 구입전력 역시 공과대학에서 높은 배출량을 보였고, 여름보다는 겨울에 높은 배출량을 보였다. 이는 겨울에 각종 온열기, 라디에이터 등 개별 난방기구의 사용으로 인한 것으로 사료된다. 그 외 구입수도와 폐기물은 3년 평균 각각 183 ton CO₂ eq, 792 ton CO₂ eq로 총 온실가스 배출량의 0.9%, 4.1%를 차지하여, 총 온실가스 배출량에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 조사되었다.

Scope 3은 통학차량에 의한 배출량이 1,868 ton CO₂ eq로 가장 높은 기여를 하는 것으로 조사되었다. 통학차량, 영덕연수원의 배출량은 2009년부터 2011년까지 증가하는 추세를 나타내었는데, 통학차량은 차량의 연비가 낮아져 연료사용량이 증가하였고, 영덕연수원은 전력사용량의 증가로 배출량이 증가한 것으로 사료된다. 대학지원출장은 서울, 대구, 경북의 출장횟수가 가장 많았고, 경북 및 해외 출장의 온

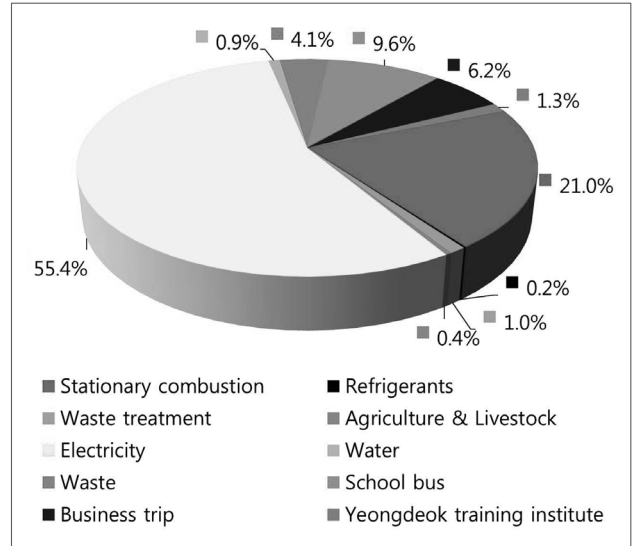


Fig. 2. Contribution of GHG emission in Daegu University.

실가스 배출량이 높은 것으로 조사되었다.

대구대학교 온실가스 배출량을 Scope별로 자세히 살펴보면 Scope 1이 22.6%를 차지하고, Scope 2가 60.4%, Scope 3이 17.0%를 차지하는 것으로 나타났다. 그 중 총 배출량의 21%가 고정연소, 55.4%가 구입 전력으로, 총 배출량의 76.4% 정도를 기여하는 것으로 조사되어 고정연소와 구입 전력에 대한 에너지 관리대책을 통하여 온실가스 배출량의 감축을 유도하는 것이 필요할 것으로 사료된다(Fig. 2).

3.2. 온실가스 배출량 감축잠재량 분석

온실가스 배출량 산정 결과를 바탕으로 온실가스 배출량 감축잠재량을 분석하기 위해서 시나리오에 기반을 둔 LEAP 모델링을 수행하였다. 시나리오를 구성하기 위해 온실가스 인벤토리 배출 특성을 파악하였으며, 구입전력부문과 고정연소부문에 의한 배출량이 76.4%로 온실가스 배출량의 대부분을 차지하는 것을 알 수 있었다. 따라서 구입전력 및 도시가스의 사용량을 줄이는 것이 가장 효과적인 것으로 판단되어 감축수단 중 현재 대구대학교에서 적용 가능한 감축수단을 재실센서 설치, LED 조명 교체, 태양열 시설 도입 등으로 선정하였으며, 이를 대상으로 온실가스 감축잠재량을 분석하였다.

재실센서는 실내 공간 내 사람의 재실여부를 감지하여 자동으로 조명을 점등·소등하는 시스템을 의미하며, 불필요한 전력의 소비를 줄이고 온실가스 발생량을 감축시킬 수 있다. 공주대학교에서는 2008년 총 사업비 8,000만원을 들여 재실센서를 강의실, 연구실, 대학 사무실 등 총 409곳에 설치하여 연간 약 1,800만원의 예산 절감효과를 거두고 있다. 409개소의 소비전력은 570 kW/h(개소당 1.4 kW 소비전력)로서 30%의 절감율에 따라 총 171 kW/h의 전력을 절약하고 있다.¹³⁾ 재실센서는 학교 구성원들이 주로 많이 이용하는 교육시설만 산정하였다. 2009년부터 2011년의 교육시설 면적 자료를 기준으로 엑셀 프로그램의 forecast 함수를 사

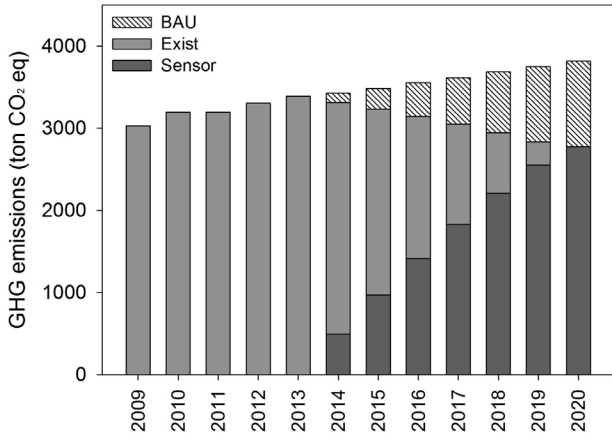


Fig. 3. Annual GHG emission and reduction potential of sensors the GHG reduction scenario from 2009 to 2020.

용하여 2020년까지의 교육시설 면적을 추정하였다. 2011년 이후 2020년까지의 전력 사용량은 전체 전력사용량 중 20%를 조명에 의한 전기사용량¹⁴⁾으로 가정하고, 추정한 교육시설 면적과 재실센서의 설치로 인한 30%의 에너지 절감률에 근거하여 전력 사용량을 추정한 후 온실가스 배출량을 산정하였다. 2014년부터 재실센서의 15% 교체를 시작으로 2020년에 100% 교체 한다고 가정하였을 때, 전력사용량에 의해 발생하는 온실가스의 양은 기존 시나리오에 따르면 2009년에 3,031 ton CO₂ eq에서 2020년에는 3,816 ton CO₂ eq로 증가한다. 그러나 교육시설에 재실센서를 2020년까지 100% 교체한다고 가정하였을 때 2020년에는 2,775 ton CO₂ eq로 기존 시나리오보다 1,041 ton CO₂ eq가 절감된다. 이는 기존 시나리오 대비 약 27%의 절감 기대효과를 나타내는 것이다. 또한 총 온실가스 배출량 대비 4.5%의 온실가스를 감축할 수 있을 것으로 예상되었다(Fig. 3).

LED 조명은 일반 전구의 1/8, 형광등의 1/2 정도의 소비전력만으로도 같은 밝기를 낼 수 있을 정도로 광변환 효율이 높아 LED 조명으로 교체할 경우 조명에 소비되는 전력이 줄어 온실가스를 감축할 수 있다.¹⁵⁾ 실내조명은 교육시설과 기타시설로 구분하여 각각의 소비전력과 조명의 개수, 사용시간을 이용하여 조명분야의 세부 전력소비량(kWh)을 산정하여야 하지만 대학에서의 전구의 소비전력, 면적당 평균 조명개수, 전구 교체 시 에너지 절약 비율에 대한 자료를 확보하지 못하여 '대학 온실가스 감축계획 수립 가이드라인, 2011'¹⁴⁾의 자료를 이용하여 2011년부터 2020년까지의 전력 사용량은 전체 전력 사용량 중 20%를 조명에 의한 전기사용량으로 간주하였다. 또한 추정한 교내 실내면적과 32 W 형광등을 LED로 교체할 경우 35%의 에너지 절감률¹⁶⁾에 근거하여 하루 10시간, 300일 조명시간을 가정하여 전력 사용량을 추정한 후 온실가스 배출량을 산정하였다. 교육시설의 LED 조명을 2013년에 5%를 시작으로 2020년까지 100%를 교체한다고 가정하였을 때, 전력 사용량에 의해 발생하는 온실가스의 양은 기존 시나리오에 따르면 2009년에 3,031 ton CO₂ eq에서 2020년에는 3,816 ton CO₂ eq로

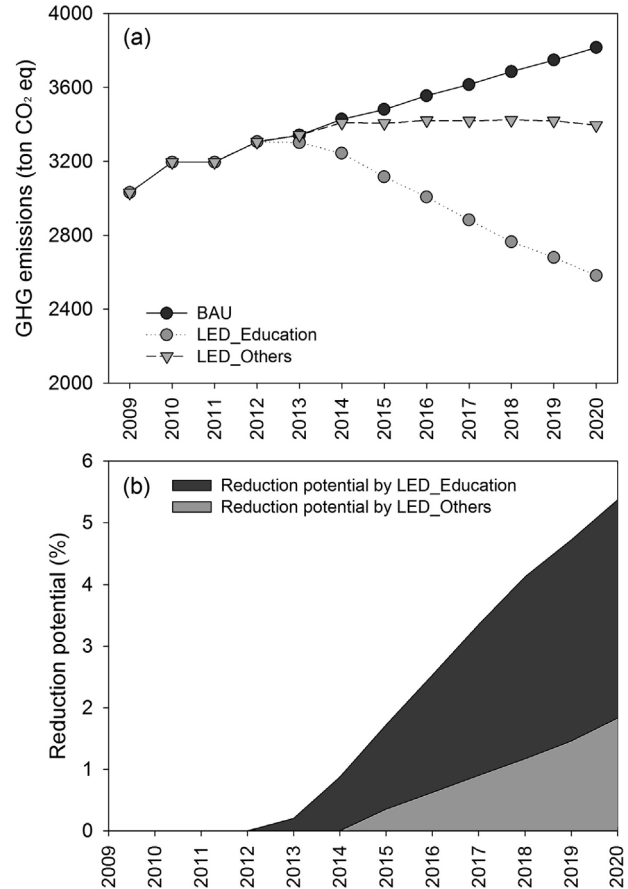


Fig. 4. Annual GHG emission (a) and reduction potential (b) of lighting using the GHG reduction scenario from 2009 to 2020.

증가한다. 그러나 교육시설을 LED 조명으로 2020년까지 100% 교체하면 2020년에는 2,581 ton CO₂ eq로 기존 시나리오보다 1,235 ton CO₂ eq가 절감되고(총 온실가스 배출량 대비 5.4%), 기타시설의 LED 조명을 2015년에 20%에서 2020년까지 100% 교체하면 2020년에는 3,395 ton CO₂ eq로 기존 시나리오보다 421 ton CO₂ eq가 절감(총 온실가스 배출량 대비 1.8%)되어 총 1,656 ton CO₂ eq가 절감되는 것으로 조사되었다. Fig. 4는 교육시설과 기타시설의 LED 조명을 교체시 BAU 대비 온실가스 배출량(a)과 총 온실가스 배출량 대비 온실가스 감축률(b)을 나타내었다. 이는 기존 시나리오 대비 약 43.4%의 절감 기대효과를 보이는 것으로 조사되었고, 총 온실가스 배출량 대비 총 7.2%의 온실가스를 감축할 수 있을 것으로 나타났다.

대학에 설치 가능한 태양열 이용 시설은 난방과 온수 공급에 활용할 수 있다. 태양열 이용시설은 다른 재생가능에너지에 비해 비교적 간단한 기술과 저렴한 가격이 장점이지만, 계절에 따라 열 생산 용량이 다르다는 단점이 있어, 일조시간이 긴 봄과 여름보다 겨울철에 온수와 난방을 위해서 더 많은 시간이 필요하다. 태양열 시설 1 m² 설치하는 연간 도시가스 54.34 m³ 연료소비를 대체 할 수 있다.¹⁸⁾ 2009년부터 2011년의 도시가스 사용량을 기준으로 엑셀 프로그

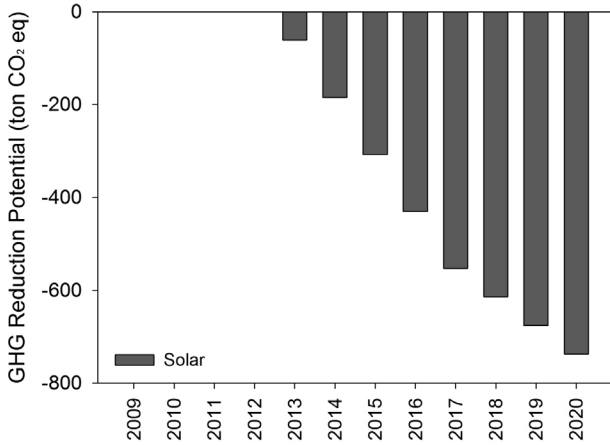


Fig. 5. Annual GHG reduction potential of solar facilities from 2009 to 2020.

램의 Forecast 함수를 사용하여 2020년까지의 도시가스 사용량을 추정하였다. 태양열 시설의 면적이 2013년에 500 m²을 시작으로 2020년까지 6,000 m²까지 증가하였을 때, 도시가스 사용량에 의해 발생하는 온실가스의 양은 기존 시나리오에 따르면 2009년에 3,606 ton CO₂ eq에서 2020년에는 4,792 ton CO₂ eq로 증가한다. 그러나 태양열 시설을 2020년까지 6,000 m²까지 확장하면 2020년에는 4,048 ton CO₂ eq로 기존 시나리오보다 743 ton CO₂ eq가 절감된다. 이는 기존 시나리오 대비 약 16%의 절감 기대효과를 보이는 것으로 조사되었다. 또한 총 온실가스 배출량 대비 3.2%의 온실가스를 감축할 수 있을 것으로 나타났다(Fig. 5).

대구대학교의 온실가스 감축잠재량 분석을 위해서 재실 센서 설치, LED 조명 교체, 태양열 시설 도입에 따른 감축잠재량을 분석하였다. 각 분야별 대안 시나리오를 대상으로 대학본부에서 수행 가능한 감축기술 분야의 온실가스 감축잠재량을 종합하면 Table 3과 Fig. 6과 같다. 그 결과, 감축계획이 없을 경우 온실가스 배출량은 2009년에 18,193

Table 3. GHG emission reductions by each scenario (unit : ton CO₂ eq)

Contents	2009	2013	2015	2020	Rate
Reference scenario	18,193	20,374	21,170	22,982	100%
Total mitigation scenario	18,193	20,272	20,176	19,623	85.1%
LED substitution (Education facilities*)	0	41	364	1,235	5.4%
LED substitution (Others facilities**)	0	0	75	421	1.8%
Expansion occupancy sensor	0	0	248	1,041	4.5%
Expansion solar heat power generation	0	61	307	737	3.2%
Total Reduction	0	102	993	3,433	14.9%

* Classroom, Laboratory, Professor laboratory, Library, Student hall etc
 ** Gymnasium, R&D Center, Auditorium etc, including all buildings except educational facilities

ton CO₂ eq에서 2020년에는 22,982 ton CO₂ eq로 산정되어 2009년에 비해 약 26% 증가하나, LED 교체 및 재실센서 설치 시나리오(11.7%)와, 태양열 시설 도입 시나리오(3.2%)를 적용하면 2020년에 19,623 ton CO₂ eq으로 기존시나리오 대비 약 15%의 온실가스를 감축할 수 있을 것으로 조사되었다.

3.3. 국내 대학과의 비교

대구대학교의 온실가스 인벤토리 구축 후 타 대학과 온실가스 배출량을 비교하였다. 대구대학교 외 서울대학교, 강원대학교, 군산대학교, 신라대학교, 한양대학교, 전남대학교(여수)의 온실가스 인벤토리 구축자료를 확보하여 각각의 배출특성과 온실가스 배출량을 비교하였다.^{17,18)} 서울대학교가 대구대를 포함한 타 대학보다 월등하게 높았으며, 대구대, 강원대, 한양대는 비슷한 배출량을 나타내었고, 군산대, 신라대, 전남대는 대구대학교보다 낮은 배출량을 나타냈다

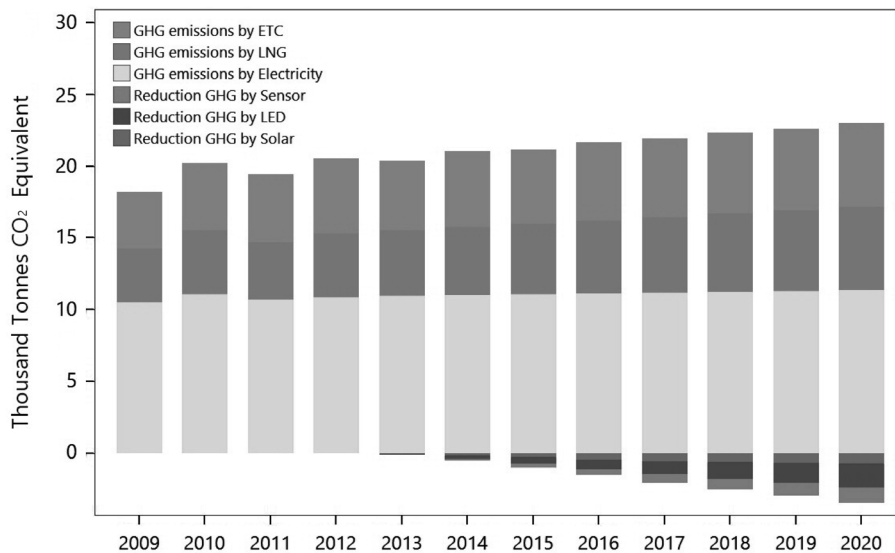


Fig. 6. GHG emission and reduction potential from various sources with the reduction scenarios.

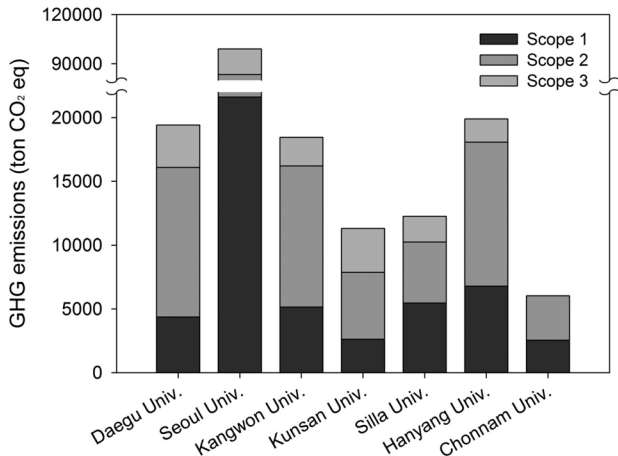


Fig. 7. Annual average GHG emissions of each university by scopes.

(Fig. 7). 대구대를 포함한 타 대학들도 Scope 1은 고정연소가 온실가스 배출량의 대부분을 차지하고, Scope 2는 구매전력이 대부분을 차지하였다. 그러나 신라대학교의 경우 고정연소보다 공정배출 및 탈루배출에 의한 온실가스 배출량이 더 많은 것으로 나타났다. 고정연소 역시 서울대가 월등하게 높고 다음으로 한양대, 강원대, 대구대, 군산대, 전남대, 신라대의 순이었다. 구매전력도 서울대가 높고 대구대, 강원대, 한양대는 비슷한 수준이고, 군산대, 신라대, 전남대는 대구대학교보다 온실가스 배출량이 낮은 것을 알 수 있었다(Table 4).

각 대학교의 일인당 온실가스 배출량을 알아보기 위해 각 대학의 2009년도 배출량을 기준으로 대학정보공시 및 통계연보를 통하여 2009년 학교구성원을 파악하였다. 학교구성원은 교직원, 직원, 학생들의 수를 합한 것으로 서울대학교가 32,981명으로 가장 많았고, 전남대학교(여수)가 4,314명으로 가장 적었다. 신라대학교의 구성원은 파악이 되지 않아 '대학단위 온실가스 감축 모델 개발에 관한연구, 2011¹⁷⁾'의 자료를 참고하였다. 일인당 배출량은 서울대학교가 가장 높고 전남대, 신라대, 군산대, 대구대, 강원대, 한양대 순으로 나타났다(Table 5).

Table 5. Each university's per capita GHG emissions (unit : ton CO₂ eq/capita)

Contents	Member (person)	Emissions (ton CO ₂ eq)	Per capita emission (ton CO ₂ eq/capita)
Daegu Univ.	23,637	19,441	0.82
Seoul Univ.	32,981	102,826	3.12
Kangwon Univ.	25,985	19,178	0.74
Kunsan Univ.	14,399	14,925	1.04
Silla Univ.	11,069	12,529	1.13
Hanyang Univ.	27,183	19,091	0.70
Chonnam Univ.	4,314	6,036	1.40

3.4. 온실가스 저감방안 및 추진계획

현재 대구대학교는 늘 푸른 테마공원을 조성하고, 온실가스 감축을 위한 이행 방안의 일환으로 대학 캠퍼스 내 에너지 공급원을 기존의 화석연료 기반 외부에너지에서 자체 생산된 신재생에너지로 전환하는 것이 필요하여 태양열 온수 공급 시설을 설치하였다. 또한 LED 조명, 대기전력 차단 장치, 통합형 히트펌프 등 구성원의 쾌적한 생활을 보장하면서 캠퍼스 에너지 사용량과 온실가스 발생량을 실질적으로 감소시킬 수 있는 시설 및 장치 설치를 확대하고자 한다. 그리고 환경부 지정 '2011 그린힐 모범기관' 및 행정안전부 지원 '2012년도 대학 공공자전거 구축사업'에 선정되어 전국 대학 최고 수준의 모범 자전거 이용 인프라를 구축하여, 교내에 활용도가 높을 것으로 예측되는 장소를 중심으로 자전거 스테이션(거치대) 설치하였고, 자전거 이용 활성화 차원에서 자전거 이용시간 또는 이용거리에 따른 환경 포인트제를 도입하는 등 다양한 자전거 이용 장려 정책도 시행 중이다. 또한 앞으로 생태공원 및 녹지조성을 확대하고, 옥상 green 씬터 조성, 태양열 온수 공급 시스템 구축, 에너지 절감 시설 설치 확대 등 다양한 온실가스 감축을 위한 노력을 할 예정이다. 현재 대구대학교에서 온실가스 배출원 현황, 구체적인 에너지사용량 등 활동자료가 제대로 관리되고 있지 않아 인벤토리 구축 시 여러 가지 한계점이 있었다. 고정연소, 구입전력, 수도부문에서는 과거의 자료 및 건물별 사용량에 대한 자료가 부족하였고, 탈루배출의 경우

Table 4. Annual average GHG emissions by each university

Contents	Daegu Univ.	Seoul Univ.	Kangwon Univ.	Kunsan Univ.	Silla Univ.	Hanyang Univ.	Chonnam Univ.
Scope 1	Stationary combustion	4,072	20,251	5,052	2,586	142	6,149
	Mobile combustion	10	769	90	32	644	267
	Process emission	-	133	-	-	2,320	-
	Refrigerants	29	455	-	-	2,350	372
Scope 2	Electricity	10,749	61,872	11,054	5,254	4,789	11,283
	Water	183	-	126	39	30	127
	Waste	792	-	-	1,940	572	-
Scope 3	Waste water	-	-	-	260	206	-
	Air travel	705	15,590	2016	-	157	1,690
	Livestock	25	-	116	-	-	-
	Personnel vehicles	1,868	-	-	1,196	1,052	-

냉매 충전량 및 용량에 관한 자료가 제대로 관리되지 않고 있었다. 폐기물은 조성 및 하·폐수의 발생량에 대한 자료가 부족하였고, 출장의 경우도 출발지, 도착지, 교통수단 등 상세한 자료가 기록되어 있지 않아 정확한 온실가스 배출량 산정이 어렵다. 따라서 정확한 온실가스 배출량 산정과 신뢰성을 향상시키기 위해서 온실가스 배출원의 활동자료를 체계적, 지속적으로 관리할 수 있는 관련 데이터베이스 시스템의 구축이 필요할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 온실가스 배출량 저감 및 대책 수립에 기초가 되는 온실가스 인벤토리 구축 및 배출특성의 검토를 통하여 온실가스 감축잠재량을 분석하였다. 온실가스 배출량은 2010년에 20,223 ton CO₂ eq로 가장 많은 온실가스 배출량을 나타내었고, 2009년에 가장 낮은 배출량인 18,194 ton CO₂ eq가 배출되었다. 대구대학교 전체 평균 배출량은 19,413 ton CO₂ eq으로, 구입전력이 55.4%, 고정연소가 21.0%, 통학차량이 9.6%, 대학지원출장이 6.2%, 폐기물 처리가 4.1% 등의 순으로 차지하는 것으로 조사되었다.

배출량 산정 결과를 바탕으로 온실가스 배출량 감축잠재량을 분석하기 위하여 LEAP 모델을 활용하여 시나리오에 기반을 둔 모델링을 수행하였다. 시나리오를 구성하기 위해 온실가스 인벤토리를 활용하여 배출 특성을 파악한 결과, 구입전력부문과 고정연소부문에 의한 배출량이 76%로 대부분의 온실가스 배출량에 기여하는 것을 알 수 있다. 따라서 구입전력 및 도시가스의 사용량을 줄이는 것이 가장 효율적인 것으로 판단하여 LED 조명 교체, 재실센서 설치, 태양열 시설 도입 등과 같은 시나리오를 구성하여 온실가스 감축잠재량을 분석하였다. 온실가스 배출량은 기존 시나리오에 의하면 2009년 18,193 ton CO₂ eq에서 2020년에는 22,982 ton CO₂ eq로 산정되어 2009년에 비해 약 26% 증가하나, 각 분야별 대안 시나리오를 적용하면 2020년에 19,623 ton CO₂ eq으로 약 3,433 ton CO₂ eq가 감축되며, 기존 시나리오 대비 약 15%의 온실가스를 감축할 수 있을 것으로 나타났다. LED 교체부문이 1,656 ton CO₂ eq으로 가장 많은 감축량을 보였고, 재실센서 설치부문이 1,041 ton CO₂ eq, 태양열 시설도입부문이 737 ton CO₂ eq 순으로 나타났다. 향후 추가 감축시나리오 및 배출원의 세부적인 자료를 유지, 관리하여 구체적인 데이터베이스를 구축하는 것이 요구되며, 온실가스 배출량 감축을 위한 대학 구성원들의 적극적인 참여와 학교 정책차원의 강력한 실천 프로그램의 도입이 이루어진다면 대학의 온실가스 배출량 감축에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

사사

이 논문은 2013년 경북녹색환경지원센터 환경기술연구개

발사업 지원 과제(과제 번호: 13-2-90-91-10)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

KSEE

Reference

1. IPCC, "Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability," IPCC(2007).
2. 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. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **34**(1), 32~41(2012).
3. Yoo, J. H., Park, N. B., Jo, M. H. and Jeon, E. C., "Analysis of Greenhouse Gas Reduction Potentials in a University using Bottom-up Model," *Climate Change Res.*, **3**(3), 183~193(2012).
4. Kim, J. S., Lee, K. B., Lee, I. H. and Kim, S. D., "Analysis of Energy Consumption Pattern and Greenhouse Gas Emission in the Academic Facility," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **34**(9), 604~612(2012).
5. WRI, The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard, WRI Protocol Guideline, (2001).
6. Shin, E. S., Jung, H. J. and Yi, S. M., "Development of the Guideline Applied for University on GHG Emission Inventory," *J. Kor. Soc. Atmos. Environ.*, **28**(3), 316~324(2012).
7. IPCC, IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, (2006).
8. Korea Environment Corporation, Guidelines for University Greenhouse Gas Inventories(2011).
9. Korea Environment Corporation, Guidelines for local Government Greenhouse Gas Inventories(2011).
10. Connolly, D., H. Lund, et al., "A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems," *Appl. Energy*, **87**(4), 1059~1082(2010).
11. Kim, H. S., "Bottom-up Modeling for Evaluating GHG Mitigation Options," *J. Energy Climate Change*, **2**(1), 49~58(2007).
12. Statistics Korea, Korea Statistical Information Service, <http://www.kosis.kr>(2013).
13. Korean Association for Green Campus Initiative, Green Campus Casebook, <http://www.kagci.org>(2009).
14. Korea Environment Corporation, Guidelines for Establishment of University Greenhouse Gas Reduction Plan(2011).
15. Gyeonggi Research Institute, Development of Green Campus Practice Manual and Campus GHG Inventory Model(2010).
16. National Institute of Environmental Research, Guidelines of Greenhouse Gas Reduction Plan Establishment for Local Government Climate Change Countermeasure Comprehensive Plan Establishment Support(2010).
17. Ministry of environment, Development of a Guideline for Greenhouse Gases Inventory of Universities, Seoul National University R&DB Foundation (2011).
18. Jeonnam Green Environment Center, Establishment of Greenhouse Gas Inventory for Low Carbon Green Campus in Chonnam National University (Yeosu), Chonnam National University(2011).