

대학의 온실가스 인벤토리 구축 및 감축잠재량 평가 - 강원대학교를 중심으로

Development of Greenhouse Gas (GHG) Emissions Inventory and Evaluation of GHG Reduction Plans of Kangwon National University

박상영 · 한영지[†] · 오아람* · 이우근*
Sang-Young Park · Young-Ji Han[†] · A-Ram Oh* · Woo-Keun Lee*

강원대학교 환경과학과 · *강원대학교 환경공학과
Department of Environmental Science, Kangwon National University
**Department of Environmental Engineering, Kangwon National University*

(2011년 11월 3일 접수, 2012년 1월 20일 채택)

Abstract : Greenhouse gases (GHGs) emissions from Kangwon National University was estimated to be 21,054 ton CO₂-eq in 2009, which was approximately 7% higher than that in 2005. Emissions from electricity usage in Scope 2 contributed to the upward annual trend of GHG emissions, comprising about 54.3% of the total GHG emissions. On the other hand, GHG emissions from Scope 1 and Scope 3 contributed approximately 25.3% and 20.4%, respectively. Various GHG reduction plans were also introduced and evaluated in this study. Among three reduction plans including LED substitution, improvement of transportation efficiency, and green campus action plan, the green campus action plan derived the most significant GHG reduction of 5.3% of total emissions. Estimated total reduced GHG emission was 1,570 ton CO₂-eq yr⁻¹ with all three reduction plans.

Key Words : University, Greenhouse Gas, Inventory, Reduction, Green Campus

요약 : 본 연구에서는 강원대학교를 대상으로 대학단위 온실가스 인벤토리를 구축하였다. 2009년 강원대학교의 온실가스 배출량은 21,054 ton CO₂-eq으로 나타났으며, 2005년 대비 7% 증가하였다. 간접 온실가스 배출(Scope 2)의 구매전력은 총 온실가스 배출량의 54.3%를 차지함으로써 가장 높은 기여도를 나타냈으며, 직접 온실가스 배출(Scope 1)과 기타 간접 온실가스 배출(Scope 3)은 각각 25.3%와 20.4%를 차지하였다. 또한 본 연구에서는 초기비용이 크게 요구되지 않는 감축방안 - 고효율 LED 조명으로의 교체, 하이브리드 차량 도입, 셔틀버스 운행의 활성화, 녹색 캠퍼스 실천 프로그램의 적용 - 을 선정하여, 각 방안에 따른 감축량을 추정하였다. 녹색 캠퍼스 실천프로그램을 통한 대학 구성원의 노력만으로 전체 온실가스 배출량의 5.3%를 감축할 수 있을 것으로 나타났고, 모든 감축방안을 실행하였을 때는 약 1,570 ton CO₂-eq yr⁻¹을 감축함으로써 전체 배출량의 7.5%를 감축할 수 있다.

주제어 : 대학단위, 온실가스, 인벤토리, 감축, 녹색캠퍼스

1. 서론

인류의 산업혁명으로 인해 대기 중 이산화탄소와 같은 온실가스의 농도는 지속적으로 상승하고 있다. 이에 따라 지난 100년 동안 약 0.74℃의 온도가 상승하였으며 지구 해수면은 평균 17 (11~22) cm 상승하였다. 더욱이 21세기 말 지구 평균 기온은 1990년 대비 2.4~6.4도 상승하고, 해수면은 최대 26~59 cm 상승할 것으로 전망하였다.¹⁾ 우리나라의 기온상승은 지구평균의 2배에 달하고 있으며, 제주도의 해수면 상승은 지난 40년간 22 cm로 지구평균의 3배에 달하고 있는 것으로 나타났다.

우리나라의 온실가스 배출량은 2006년 기준 599.5백만 ton CO₂로 1990년 대비 101.1%가 증가하여, 증가율 부분에서 OECD 국가 중 1위에 올랐다. 특히 우리나라는 온실가스 배출량이 2008년 기준으로 세계 9위로, 향후 온실가스 감축의 무대상 국가로 참여할 가능성이 높다. 이러한 이유로 우리나라는 2010년 4월 저탄소 녹색성장 기본법 시행을 선포하여 보다 강력한 법적, 제도적 기반을 마련하였다. 또한, 정부는

2020년 BAU (Business As Usual) 대비 30% 감축이라는 국가 중기 감축 목표를 설정하였다. 이를 달성하기 위해 온실가스 관리 체계를 마련하고 부문별 온실가스 감축목표를 설정하기 위해 온실가스 에너지 목표관리제를 규정하였다.

에너지 관리공단의 “2007 에너지 사용 통계”에 의하면, 대학의 에너지 소비량은 2000년 130,058 TOE (Ton of oil Equivalent)에서 2007년 240,437 TOE로 84.9%가 증가하였다. 우리나라 전체 총에너지 소비량 증가 비율인 22.5%와 비교하였을 때도 대학의 에너지 소비량은 약 3.7배나 높은 증가율을 보였다. 또한, 2000 TOE 이상 소비하는 862개 에너지 다소비 기관(건물 부분) 중에서 76곳이 대학인 것으로 조사되었다. 이는 2000년에 비해 대학이 31개가 늘어난 것으로(2000년 다소비 기관 중 대학은 45개), 대학의 에너지 소비가 대규모화 되어 있으며 이들 대학 자체가 거대한 온실가스 배출원이라는 사실을 뒷받침한다. 뿐만 아니라 대학은 대학 구성원 및 지역 주민의 생활 및 인식 전반에 큰 영향을 미치는 주체로, 정부가 추진하고 있는 저탄소 녹색성장 정책의 원활한 추진을 위해서 그 역할이 매우 중요하다.

[†] Corresponding author E-mail: youngji@kangwon.ac.kr Tel: 033-250-8579 Fax: 033-251-3991

따라서 대학의 온실가스 감축은 시급히 이루어져야 할 사항이며, 이를 위해 각 대학의 온실가스 인벤토리를 구축을 통해 대학별 온실가스 배출량을 확인하고 감축을 위한 정책 수립이 필요하다. 대학에서는 국가정책에 따라 온실가스를 감축하기 위해 여러 대책을 내세우고 있다. 특히 한국그린 캠퍼스 협의회를 중심으로 시작된 그린 캠퍼스 운동은 대학 캠퍼스 내 친환경 시설 조성, 지속가능한 발전 관련 교육 과정 개발 및 적용 등을 통하여 캠퍼스 구성원들 간 환경문제를 실천하도록 하고 있으며, 현재 57개 대학이 회원으로 참여하고 있다.²⁾ 공주대학교의 경우 2008년까지 총 409개의 센서를 각 강의실마다 설치하여 센서부착을 통해 매년 전력의 30%를 절감하고 있으며, 화장실 카운트 재실 센서와 기숙사에 키텍 시스템을 도입시켜 전력사용량에 대한 관리를 체계적으로 하고 있다.³⁾ 국민대학교의 경우 차 없는 캠퍼스를 만들기 위해 지상 주차장을 없애고 녹지화 하는 작업을 진행하고 있으며, 주차장 일부를 배추밭으로 조성하여 학생들과 함께 기르는 작업을 실시하고 있다. 또한 녹색캠퍼스 함께하기라는 강의를 통해 대학 구성원들의 교육을 강화하고 녹색벼룩시장 행사를 정기적으로 개최하여 재활용하는 캠퍼스를 만들기 위해 노력하고 있다.⁴⁾ 부산대학교와 상지대학교의 경우 지열과 태양광, 태양열과 같은 신재생에너지 시스템을 도입하여 온실가스를 감축하기 위해 노력하고 있다.³⁾ 연세대학교의 경우 캠퍼스 내 모든 가로등을 자동화하고 외부 온도에 따른 창 측 조명제어시스템 등 다양한 에너지 절약 시스템을 구축하여 온실가스를 감축하기 위해 많은 노력을 하고 있다.⁴⁾ 우선적으로 대학 구성원들의 인식변화가 중요하지만, 대학의 온실가스를 감축시키기 위해서는 전력이나 냉난방 및 조명 부문 등 가장 큰 에너지 부문을 관리하는 대학본부측의 정책과 노력이 상당히 요구된다.

강원대학교는 청정 환경 및 산림자원을 풍부히 보유하고 있는 강원도의 거점대학으로, 정부의 저탄소 녹색성장 정책을 주도하는 대학으로 발돋움하기 위해 그린 캠퍼스 사업을 추진하였다. 본 연구는 강원대학교의 온실가스 인벤토리를 구축하고 타 대학과의 배출량 특성을 비교함으로써, 향후 강원대학교에 적용될 온실가스·에너지 목표관리제에 대응할 수 있는 기반을 마련하기 위해 수행되었다. 이를 위해 강원대학교의 실질적인 저감 대책을 수립하고 수립된 대책에 대한 감축량을 추정하여 우선순위를 판단하였다. 특히 본 연구에서는 대학 구성원의 자발적인 감축 노력을 평가하기 위해, '표준모형연구실'을 설정하여 각 친환경적 행동(action)에 따른 온실가스 배출 감축량을 구체화하였다.

2. 연구 방법

2.1. 시·공간적 범위

대학의 온실가스 인벤토리 작성을 위해서는 우선 조직 범위의 설정이 필요하다. 본 연구에서 공간적 범위는 강원대학교 춘천캠퍼스로 설정하였다. 대학은 민간 차원의 온실가스

인벤토리 범위에 포함되므로 WRI/WBCSD GHG (Greenhouse Gas) Protocol⁵⁾에서 제시하는 통제접근법 원칙에 의거하여 조직경계를 설정하였고, 강원대학교가 통제력을 가지는 시설을 모두 포함하여 농장, 동해수련원, 학술림 등이 포함되었다(단, 법인가관인 강원대학 병원 제외). 해당되는 공간적 범위의 면적은 총 32,806,314 m²이다.⁶⁾ 본 연구에서의 인벤토리 구축 기간은 2005~2009년으로 설정하였다.

2.2. 배출원별 분류 및 활동도 자료

본 연구에서는 WRI/WBCSD GHG Protocol⁵⁾을 근거로 직접 온실가스 배출(Scope 1)과 전력에 의한 간접 온실가스 배출(Scope 2) 그리고 기타 간접 온실가스 배출(Scope 3)을 토대로 배출량을 산정하였다. Scope 1은 직접 배출원으로 대학이 소유 및 통제하고 있는 보일러, 난로, 자동차 등의 연소로 인한 배출 등을 말하며, 강원대학교의 경우 Scope 1에 강원대학교 춘천캠퍼스 내 냉난방, 온수 등과 같은 고정연소 시설, 학교가 소유하고 있는 차량 등을 포함시켰다. Scope 2는 간접 배출원으로 대학 및 기관에서 운영하거나 소유하고 있지 않은 외부 시설로부터 생산 및 공급 받는 구매 에너지 연소에 의한 배출을 통칭하며, 구매 전력과 열(스팀) 사용에 따른 배출을 말한다. Scope 2에서는 강원대학교 춘천 캠퍼스와 강원대학교 농장, 학술림, 동해 수련원에서의 구매전력을 포함시켰다. 온실가스·에너지 목표관리제의 보고 대상에는 포함되지 않지만, 국가적으로 온실가스를 줄이기 위해 관리해야 할 대상을 Scope 3라고 하며, 기타 간접 배출원으로 분류한다. Scope 3은 대학 및 기관별로 범위 설정에 따라 다양해질 수 있으며, 대학의 지원이나 정책에 따라 배출되는 배출량을 포함한다. 강원대학교의 Scope 3은 개인 통근차량, 폐기물, 공무에 의한 출장 따른 항공 이용, 구매 상수도 및 가축, 총 5개 부분에서의 배출을 포함하였으며, 목록화에 따라 강원대학교 선정 항목에 따라 해당 부서에서 활동자료를 수집하였다.

2.3. 배출량 산정 및 배출계수

본 연구에서는 온실가스별 지구 온난화지수(Global Warming Potential: GWP)에 대해 IPCC 2차 평가보고서의 값을 이용하였으며, 산정한 온실가스는 CO₂, CH₄, N₂O이다.⁷⁾ 온실가스 배출량은 2006 IPCC 가이드라인⁸⁾에 따라 대부분의 부문에 대해서 활동자료와 배출계수의 곱으로 구하였으며, 각 부문에 대한 배출 계수는 기존 문헌과 연구 결과를 토대하여 적용하였다(Table 1). 개인 통근차량의 경우는 차량주행거리(Vehicle Kilometers Travelled: VKT)를 근거로 하여 Tier 3으로 산정하였으며, 폐기물의 경우는 폐기물 매립, 소각, 하폐수에 의한 온실가스 배출량의 합으로 배출량을 산정하였다. 먼저 폐기물 매립에 의한 온실가스는 CO₂, CH₄, N₂O를 발생시키지만 본 산정에서는 2006 IPCC G/L 따라 생물기원(biogenic origin) CO₂ 및 N₂O 배출은 산정하지 않고 CH₄만 산정하였다. CH₄ 배출량을 산정하기 위한 방법론은 2006 IPCC G/L의 Tier 1의 1차 분해반응(First Order Decay, FOD)

Table 1. Activity data and emission factors used in this study

Scope	Sector	Activity data	References for GHG calculation and emission factor	
Scope 1	Stationary source	• Fuel consumption data	Tier 1, IPCC 2006 G/L ⁽⁸⁾	
	Vehicles owned by university	• Fuel consumption data	Tier 1, IPCC 2006 G/L ⁽⁸⁾	
		• Car type data • Number of car data		
Scope 2	Electricity	• Electricity consumption data	Tier 1, IPCC 2006 G/L ⁽⁸⁾ , Korea Power Exchange (KPX) ⁽¹⁸⁾	
Scope 3	Waste	• Waste composition data	Tier 1, 2 IPCC 2006 G/L ⁽⁸⁾ , GPG 2000 (IPCC 2000) ⁽⁹⁾	
		• Landfill amount data,		
		• Burning amount data		
		• Sewage production amount data		
		• BOD concentration of inflow data		
Personnel vehicles	• Fuel consumption data • Vehicle Kilometers travelled (VKT) data • Car type data • Number of car data	Tier 3, IPCC 2006 G/L ⁽⁸⁾		
		Business travel (airplane)	• Migration distance data	Defra's G/L ⁽¹⁰⁾ , CARBON PLANET ⁽¹¹⁾
		Water supply	• Water supply consumption data	Environmental Management Corporation G/L ⁽⁹⁾
Livestock	• Number of livestock data	Tier 1, IPCC 2006 G/L ⁽⁸⁾		

방법을 따라 산정하였다. 폐기물의 소각은 CO₂, CH₄, N₂O를 발생시키며 소각 처리 시 폐기물에 포함되어 있는 바이오매스에서 배출되는 CO₂를 제외한 모든 부분의 배출량을 산정하였다. 방법론은 2006 IPCC G/L을 적용하였고, CO₂는 Tier 2를 적용하였으며, CH₄, N₂O는 Tier 1을 적용하였다. IPCC G/L에 의하면 가정 폐수 즉, 하수 부문에서는 CH₄와 N₂O가 배출되며 CH₄는 발생된 하수를 처리하는 과정에서 배출되며, N₂O는 인간에 의해 발생하는 분뇨를 처리하는 과정에서 배출된다. 현재 국내에서는 IPCC G/L을 적용하여 폐수 발생 및 처리 부분의 온실가스 배출량을 산정하기에 제한점이 있으므로 현재 자료를 가공하여 적용이 필요하거나 이전에 발간된 G/L의 방법론을 적용할 수밖에 없다. 따라서, 하수처리에서는 하수처리(CH₄) 및 분뇨발생(N₂O), 하수 미차집/미처리(CH₄미차집/미처리)에서 배출량을 산정하였다. 하수처리(CH₄)의 산정방법은 GPG 2000 Box2⁽⁹⁾ 적용을 기본으로 하나 활동자료 확보의 어려움 등으로 이에 대한 적용이 어렵기 때문에 환경부 보고서로부터 도출된 국가 배출계수를 적용하여 GPG Box4 수준의 배출량을 산정하였다. 나머지 하수 미차집/미처리(CH₄미차집/미처리)의 산정방법은 GPG의 Box2를 따라 산정하였고, 가축에 의한 온실가스 배출량 산정 방법은 2006 IPCC G/L에 제시되어 있는 Tier 1 방법으로 산정하였으며, 강원대농장에서 소유하고 있는 가축의 장내발효 및 분뇨처리 과정에서 발생하는 메탄(CH₄)과 아산화질소(N₂O)를 산정하였다. 공무에 의한 출장은 Defra's G/L⁽¹⁰⁾에 제시된 운항거리 따른 온실가스 배출계수를 이용하여 산정하였으며, 배출계수는 CARBON PLANET⁽¹¹⁾에서 제시된 1인당 온실가스 배출계수를 사용하였다. 강원대학교는 넓은 학술풍을 소유하고 있으나, 기준에 보유하고 있는 산림의 온실가스 흡수량은 현재 인정되지 않으므로 본 연구에서 제외하였다.

3. 결과

3.1. 강원대학교 온실가스 배출량 산정

강원대학교에서 배출되는 온실가스는 2005년 19,436 ton CO₂ eq에서 2009년 21,054 ton CO₂ eq로 2005년 대비 약 7% 증가하였다(Fig. 1). 강원대학교 온실가스 총 배출량은 5년 평균 20,345 ton CO₂ eq이며, 2005년부터 2009년까지 지속적으로 증가하는 추세를 보였다. 온실가스 배출량의 증가는 전력 사용량의 증가에 기인하였다. 2007년부터 다수의 건물 신축 및 증축에 의한 구매전력사용의 증가로 인해 꾸준히 온실가스의 배출량이 증가하였으며, 전력의 사용은 강원대학교 온실가스 배출량의 가장 큰 부분으로 나타났다. 항목별 온실가스의 배출량을 살펴보면 2009년 기준으로, 전력에 의한 배출량이 11,945 ton CO₂ eq, 고정연소에 의한 배출량이 5,102 ton CO₂ eq, 개인 통근 차량에 의한 배출량이 1,846 ton CO₂ eq, 공무에 의한 출장(항공기 이용)에 의한 배출량이 1,772 ton CO₂ eq으로 에너지 사용에 따른 온실가스 배출량이 높은 값을 보였으며, 구매상수도에 의한 배출량은 133 ton CO₂ eq으로 낮은 값을 보였다. 가축과 학교 소유 차량, 폐기물에 의한 배출량은 각기 144 ton CO₂ eq, 83 ton CO₂ eq, 30 ton CO₂ eq의 순서로 나타났다.

Scope 별 배출량의 연도별 변화를 구체적으로 살펴보면 구매전력이 포함된 Scope 2가 총 배출량의 54.3%를 차지하며, Scope 1은 25.3%, Scope 3은 20.4%를 차지하였다. Scope 3은 Scope 1 및 2에 비해 많은 항목에 대한 산정이 이루어졌지만, 그 배출량은 상대적으로 작은 값을 나타내었다(Fig. 2). Scope 3에서는 공무에 의한 출장(항공기 이용)과 개인 통근 차량에 의한 온실가스 배출량이 폐기물, 수도사용 및 가축 부문(장내 발효 및 분뇨 관리)에 의한 배출량에 비해 현재

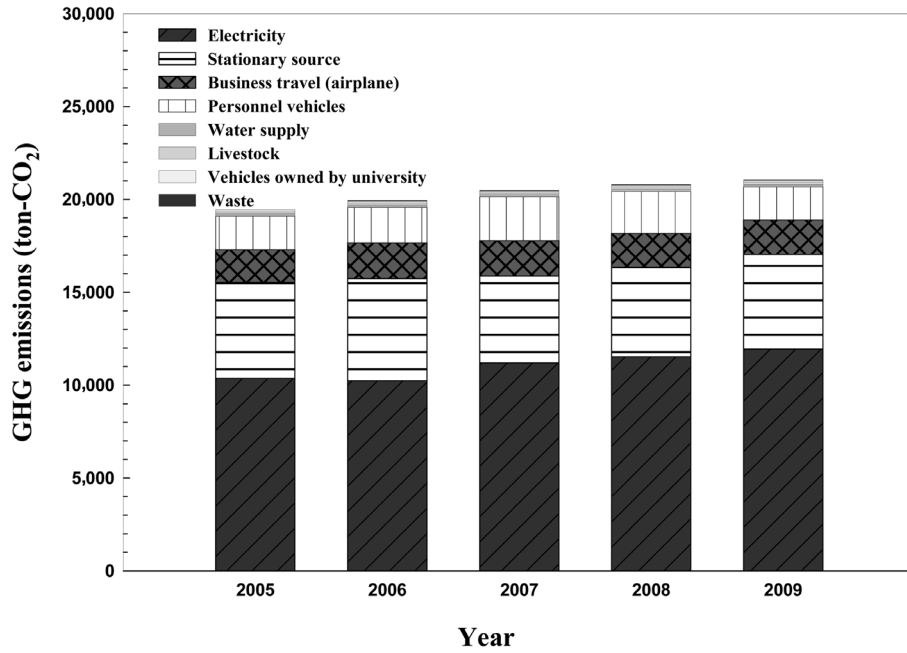


Fig. 1. Yearly variation of total GHG emissions in Kangwon National University from 2005 to 2009.

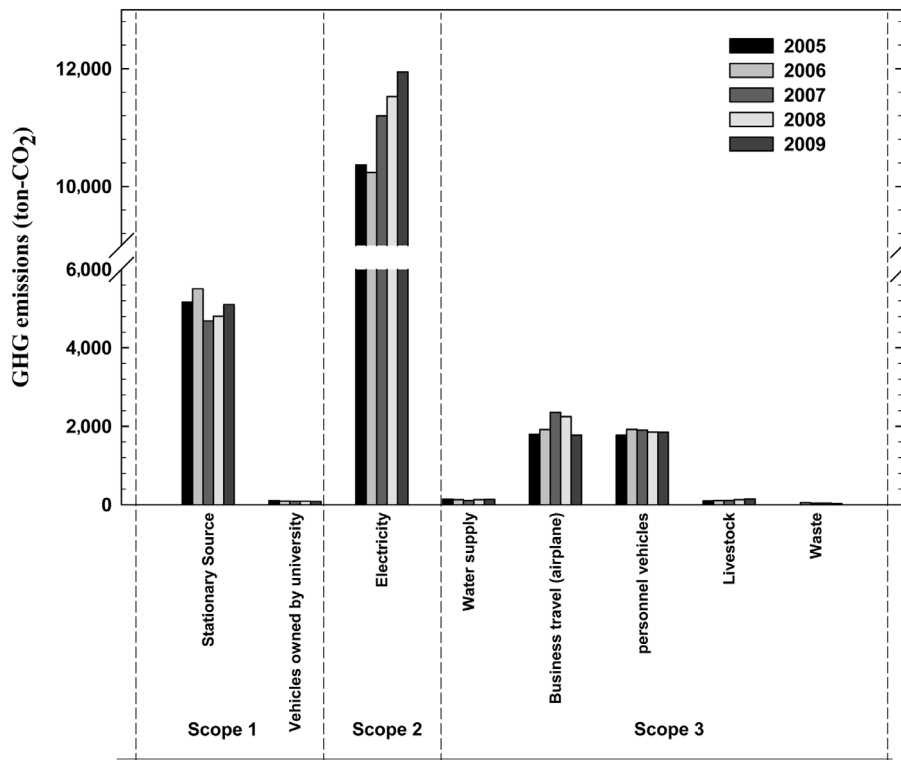


Fig. 2. Comparison of yearly GHG emissions classified by Scopes.

하게 높았다. 폐기물 부문의 경우는 소각부문에서 2005년, 매립부문에서 2005년과 2009년, 그리고 하수부문에서는 2009년의 활동도 자료 부재로 배출량을 산정하지 못하였으나, 전체 온실가스 배출량에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

Scope 1에서 발생하는 온실가스배출량은 2005년에 5,266 ton CO₂ eq, 2006년 5,596 ton CO₂ eq으로 증가하다가 2007

년에 4,775 ton CO₂ eq으로 감소 후 다시 증가하는 추세를 보였다. Scope 1 부문의 98%가 고정연소에서 발생하는 것으로 나타났으며, 이 중 강원대학교 캠퍼스에 설치된 제 1, 2 power plant(도시가스 사용)에서 배출되는 양이 가장 크다. 교내 공공 차량의 경우, 강원대학교 내 소유하고 있는 차량의 대수가 적어(소유차량 8대) 그 배출량은 매우 미미한 것으로 나타났다, 연도별로 지속적인 감소 추세를 보였다. 고정연소

부문 배출량의 계절적 변이를 살펴보면 여름보다는 겨울에 다량의 온실가스가 배출되는 것으로 나타났으며, 특히 1~3월에 집중적으로 높은 배출량이 나타났다. 따라서 여름철의 냉방보다는 겨울철의 난방에 대한 천연가스 사용량이 더 많은 것을 알 수 있다.

Scope 2는 구매전력에 대한 온실가스 배출량만이 포함되었으며, 2005년에 10,363 ton CO₂ eq의 배출을 시작으로 점차 증가하는 추세를 보였고 2009년에 11,945 ton CO₂ eq로 2005년 대비 약 13% 증가하였다. Scope 2는 전체 배출량의 54.3%를 차지할 정도로 전체 배출량에 미치는 영향이 가장 커서, 상대적으로 감축 잠재량도 클 것으로 판단된다. 월별 구매전력 자료를 살펴보면 12~2월의 전력 사용량이 가장 큰 것으로 나타났는데, 이는 개인 히터의 사용으로 인한 것으로 판단된다. 강원대학교 대부분의 건물의 중앙 및 개별난방은 도시가스를 이용하기 때문이다.

Scope 3은 총 5개의 부문에 대한 산정이 이루어졌으며, Scope 1과 2에 비해 전체 총 배출량에 미치는 영향은 작은 것을 알 수 있다. Scope 3에서 높은 배출량을 보이는 항목은 대학 지원에 의한 교수 및 직원의 해외출장으로, Scope 3 전체 배출량의 48.6%를 차지하였다. 해외 출장에 의한 온실가스 배출은 2007년까지 증가하였으나 2008년과 2009년에는 오히려 감소한 것으로 나타났다. 학교 통근 차량에 의한 배출은 Scope 3 전체 배출량의 44.5%를 기여하였으며, 해마다 일정한 수준의 배출량을 보이며 특별한 증가 추세는 보이지 않았다(Fig. 2). 이 항목에서는 교수 및 직원의 출퇴근으로 인해 배출되는 양이 20%이며, 나머지 80%는 학생들의 통학 차량에 의해 배출되었다. 통근차량과 해외출장은 모두 수송부문으로 Scope 3의 93.4%를 차지하였다.

3.2. 강원대학교 온실가스 배출량 분석 및 타 대학과의 비교

국내의 온실가스 배출량을 보면 2006년 599.5백만 ton CO₂ eq로 90년 이후 연평균 4.6%씩 증가하였고, 2001년 대비 0.9%가 증가하였지만, 2005년 이후부터 국내 온실가스 배출량 증가율(%)은 꾸준히 감소세를 이어오고 있다. 반면 강원대학교의 2009년 배출량은 2005년 대비 7%의 증가율을 보이고 있어 국가 온실가스 배출량의 증가율을 상회한다. 이는 강원대학교 내 건물의 신축 및 증축과 교내 시설이 다양하게 이용됨에 따른 에너지 사용이 증가하기 때문으로 판단된다.

IPCC 가이드라인에 따라 부문(sector)별로 강원대학교 온실가스 배출량 기여도를 살펴보면, 고정연소부문이 24.8% 구매전력이 54.3%, 구매 상수도 0.6%, 수송부문이 19.5%로 99% 이상이 에너지 사용에 따른 배출로 볼 수 있다(Fig. 3). 그 중 구매전력의 2009년 배출량은 2005년 대비 13%가 증가하여, 총 배출량에 미치는 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. Scope 1의 고정연소 시설은 연도별 배출량의 증감 차이가 있으나, 2007년 감소 후 지속적으로 증가하고 있으며, 신·증축 건물의 증가와 더불어 앞으로도 증가할 것으로 판단되어, 이에

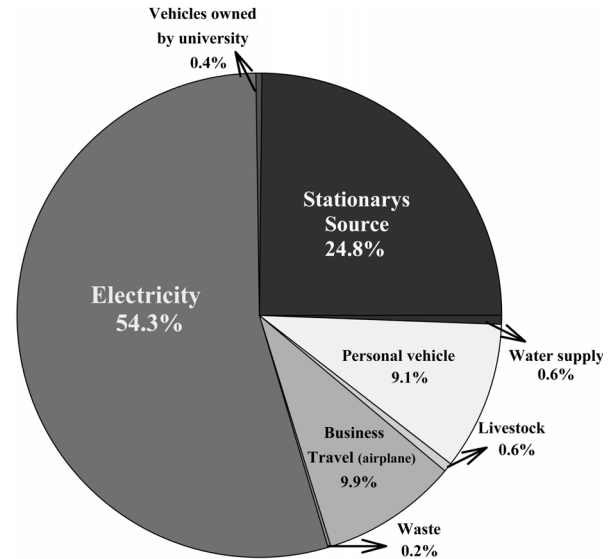


Fig. 3. Contribution of each sector to the total GHG emissions in Kangwon National University in 2009.

따른 에너지 관리 대책이 필요하다. 또한, 수송부문의 출퇴근 차량에 배출되는 배출량은 학교 내의 교수, 교직원, 학생 수가 비교적 일정하여, 배출량의 증감이 큰 차이가 없으나, 추후 강원대학교 발전과 더불어 학생 수가 증가와 교수 및 교직원의 수가 증가한다면 상대적으로 출퇴근 차량에서 배출되는 배출량은 증가될 것으로 판단된다.

국외 대학의 배출량 사례를 살펴보면 Louisville 대학은 2006년부터 2008년까지 3년간 3개의 캠퍼스를 대상으로 온실가스 인벤토리를 구축하였다. 2006년부터 2008년 동안 평균 배출량은 197,506 ton CO₂/yr가 배출되었으며,¹²⁾ 강원대학교와 비슷하게 Scope 2에서의 구매 전력에 의한 배출량이 58%로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 그 다음으로 Scope 1에서 고정연소에 의한 배출이 21%로 나타났다. Scope 3은 개인통근차량에서 9%, 공무에 의한 출장(항공기 이용)이 5.5%로 적은 배출량을 보였다. Miami 대학의 경우 2004년부터 2007년까지 배출량을 산정하였으며,¹³⁾ 강원대학교 및 Louisville 대학과 마찬가지로 Scope 2에서의 구매 전력에 의한 배출량이 45%로 가장 많은 배출량을 보였다. 그 다음으로 모든 이동연소 부문에서 43%로 나타났다. 강원대학교와 Louisville 대학은 Scope 1 고정연소가 두 번째로 많은 배출 비율을 차지하였으나, Miami 대학에서 고정연소 부문은 5%로 다른 경향을 보였다. Berkeley 대학은 2006년부터 2008년까지 온실가스 인벤토리를 구축하였으며, 배출량을 살펴보면 구매 열에서 41%로 가장 많은 비율을 보였고, 그 다음으로 구매 전력이 30%, 이동연소 21.5% 순으로 나타나,¹⁴⁾ 대부분의 대학에서 Scope 2 부문이 제일 많은 배출 비율을 보였고, 다음으로 고정연소(Scope 1)가 차지하였다.

국내 서울대학교는 온실가스·에너지 목표관리제 시행 이전부터 온실가스 인벤토리를 구축하고 2010년 11월 당시 인증기관이었던 에너지관리공단 온실가스 검증원으로부터 온실가스인벤토리 검증성명서를 획득한 바 있다. 서울대학교의

배출량을 살펴보면, 2005~2009년 동안 서울대학교의 평균 배출량은 99,070 ton CO₂/yr¹⁵⁾로 강원대학교의 약 5배 정도이며, 그 중 Scope 2에서 구매전력 사용으로 인한 배출량이 62.5%로 가장 많았다.¹⁵⁾ 다음으로 Scope 1에서 고정연소에 의한 배출량이 20.4%로 두 번째를 차지하였다. Scope 3은 전체 Scope 중 가장 적은 배출량을 보였으며, 공무에 의한 출장(항공기 이용)이 15.7%를 차지하였다.¹⁵⁾ 서울대학교 역시 에너지 사용(Scope 1, 2)에 의한 온실가스 배출량이 가장 높은 비율을 차지하였다. 그러나 구매전력에 의한 배출량과 공무출장에 의한 배출량 기여도가 78.2%를 차지하여 강원대학교의 64.2%에 비해 약 14% 높게 나타난 반면, 고정연소에 의한 배출량은 강원대학교에 비해 약 4.4% 낮게 나타났다.

3.3. 대학단위 온실가스 인벤토리 구축의 한계

온실가스 배출원별 특성 및 기여도 파악을 위해서는 온실가스 배출목록 작성이 필요하며, 정확한 온실가스 배출량을 산정하기 위해서는 배출원 현황, 연료사용량 등 배출량 산정에 있어 필요한 활동도 정보 수집이 매우 중요하다. 체계적인 관리를 통한 항목별 활동도 정보는 온실가스 인벤토리 구축에서 있어 정확성과 신뢰성 있는 근거 자료가 될 수 있다. 지자체의 경우 활동도 정보가 있어 체계적으로 관리를 하고 있는 반면, 대학의 경우 항목별 활동도 정보가 제대로 관리되고 있지 않은 실정이라 활동도 정보 수집에 있어 큰 어려움이 있다.

강원대학교 Scope 1의 경우 고정연소 부문에서 현재 도시가스만 관리 되고 있으며, 그 이외 에너지원별 연료는 파악 및 관리가 되고 있지 않기 때문에 각 에너지원별 사용되는 연료에 대한 총괄관리가 필요하다. 이동연소 부문의 경우 대학 소속 차량은 비교적 잘 관리 되어 있다. 탈루 및 공정배출 부문은 탈루 배출 시설은 분류되어 있으나 냉매종류 및 용량이 파악되지 않아 탈루배출을 산정하기 위해선 냉매 종류와 용량 파악이 시급하다.

Scope 2의 경우 고정연소원의 도시가스 사용량과 같이 전력 사용량에 대한 전산화가 잘 이루어져 현재와 같은 지속적 관리가 필요하다. Scope 3의 경우 산정에 있어 많은 문제점이 있었다. 그 중 폐기물의 경우, 각 폐기물에 조성분류가 되어있지 않을 뿐더러 폐기물 총괄 관리부서 역시 존재하지 않았으며, 생활폐기물과 건설 폐기물만 대학 본부 측에서 관리하고 있을 뿐 지정 및 감염 폐기물은 각 학과에서 관리하고 있는 실정이다. 또한 폐기물 처리 시 위탁업체 또한 매년 바뀌는 실정이라 활동도 수집에 한계가 있었다. 추후, 폐기물의 총괄 관리 프로그램, 또는 관리부서의 신설이 필요할 것으로 판단된다.

교내 통학 차량의 경우는 연별로 등록된 차량에 대한 자료가 존재하지 않고, 현 시점에 등록된 차량만이 존재하고 있으며, 각 차량에 대한 주소지가 파악되지 않는 문제점이 있었다. 공무에 의한 출장과 상수도 부문은 비교적 관리가 잘 되어 있어 지속적으로 관리 및 유지가 필요하다. 가축 부문은 가축의 종류와 수만 파악하고 있는 실정이며, 배출되는

CH₄의 배출량은 가축의 연령, 사료, 무게 등에 따라 달라질 수 있기 때문에 정확한 가축 정보 관리가 필요하다. 이처럼 대학 단위 온실가스 인벤토리의 신뢰도를 높이기 위해서는 대학 측의 체계적이고도 총괄적인 항목별 활동도 정보 관리가 수행되어야 한다.

3.4. 온실가스 감축 잠재량 평가

현재 우리나라에서는 「저탄소 녹색성장 기본법」 제42조 및 같은 법 시행령 제26조 제2항에 따라 「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」 대규모 업체, 사업장에 대하여 온실가스·에너지 목표 관리제를 시행하고 있으며, 2011년 12월 31일까지 사업장 기준 온실가스 배출량이 125 kilotonnes CO₂ eq 이상, 업체 기준 25 kilotonnes CO₂ eq 이상이면 관리대상 업체로 선정된다.¹⁶⁾ 또한 「공공부문 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」에 따르면 공공부문 기관들은 2007~2009년 3개년 연평균 배출량 대비, 2015년까지 20% 이상 감축하는 것을 목표로 이행계획서를 제출해야 한다.¹⁷⁾ 현재 강원대학교의 2009년 기준 온실가스 배출량은 약 21 kilotonnes CO₂ eq로 목표관리제 대상 학교는 아니지만 내년부터 더 강화되는 기준에 의해 대상이 될 것으로 예측된다. 따라서 강원대학교의 온실가스를 감축시키기 위해서 전력이나 냉난방 및 조명 부문 등 가장 큰 에너지 부문을 관리하는 대학본부 측의 정책과 노력이 상당히 요구된다.

강원대학교의 온실가스 배출량의 특징을 살펴보면, 전체 배출량의 99% 이상이 에너지 부문에서 배출된다. 에너지 부문 중 Scope 2에 속하는 구매전력이 전체 배출량의 54.3%로 가장 높은 기여도를 나타냈으며, Scope 1에 속하는 고정연소부문이 24.8% 그리고 Scope 3에 해당하는 수송 부문이 19.5%를 차지하였다. 본 연구에서는 가장 배출량 기여도가 높은 에너지 부문의 온실가스 배출량을 감축시키기 위해 몇 가지 감축방안을 고려하였는데, 특히 높은 비용이 요구되지 않으며 즉각적으로 쉽게 적용될 수 있는 방안만을 적용하였다. 본 연구에서 고려한 방안은 고효율 조명등의 대체, 출퇴근에 이용되는 수송수단의 변화, 그리고 에너지 절약을 위한 그린캠퍼스 실천 프로그램의 적용을 포함하며, 각 방안에 대해 감축 잠재량을 평가하였다. 그러나 높은 비용이 요구되는 신재생 에너지의 도입으로 인한 온실가스 감축은 고려되지 않았다.

3.4.1. 고효율 LED 조명 교체에 따른 온실가스 감축잠재량

현재 강원대학교의 조명은 강의실, 연구실, 사무실 조명용으로 사용되는 일반 직관형 형광등이 74.7%로 대다수를 차지하고 있으며, 교내 복도, 화장실, 전실 등 조명용으로 다온라이트 조명인 삼파장 램프(전구식; bulb type, 핀식; pin type)가 20%, 할로젠 램프가 0.8%를 사용하고 있으며, 유도등은 3.3%, 실외등은 1.1%를 사용하고 있다(Table 2). 본 연구에서는 강원대학교에 설치 되어있는 각각의 조명 종류에 대해 각 30%를 고효율 LED 조명으로 교체함으로써 감축되

Table 2. Activity data for various light bulbs and lamps installed in Kangwon National University²⁰⁾

Section	Type	Current power consumption (W)	Power consumption of LED (W)	Number
Indoor lighting	Fluorescent light	20	13	5,852
		32	18	785
		32	18	17,328
		40	28	253
		40	28	7,269
		40	28	35
	Light bulb type of fluorescent light	20	5	6,107
		45	10	325
	Pin type of fluorescent light	13	5	209
		13	5	1,088
		36	8	237
		36	15	466
	Halogen lamp	50	5	272
		100	14	84
Leading light	14	1.7	931	
	25	3	364	
	47	5.4	86	
Outdoor lighting	Discharge lamp-NA (sodium)	190	150	411
	Streetlight-MH (metal hydride)	275	200	70
Total				42,172

는 온실가스 배출량을 파악하였다. 적용 구간은 강원대학교 건물 내 실내등과 실외에 설치되어 있는 곳으로 한정하였으며, 조명의 종류, 소비전력 및 수량 자료는 Table 2와 같다. 점등시간 설정은 실내등의 경우 주말과 휴일은 조명을 점등하지 않는다는 가정 하에 총 300일 동안 하루 10시간씩 3,000시간으로 설정하고, 또한 1년 동안 가동일 중 모든 조명이 점등되어 있는 것이 아니기 때문에 전체 조명의 80% 정도 점등되어 있다고 가정하였다. 실외등의 경우 휴일, 주말을 모두 포함하여 365일 동안, 저녁 8시부터 새벽 5시까지 하루 9시간씩 총 3,285시간으로 설정하였다. 유도등의 경우 365일 24시간 내내 점등되어 있기 때문에 8,760시간으로 설정하였다. 조명의 종류에 따라 LED 조명의 규격이 다르기 때문에 먼저 기존 조명의 소비전력과 수량자료를 이용하여 각각의 기존 조명에서 사용되는 전력사용량을 산출하고 각각의 기존 조명을 30% LED 조명으로 교체 하였을 시 그에 따른 전력사용량을 예측하였다. 실내등의 연간 전력사용량(kWh)은 조명별 소비 전력(w) × 조명 개수 × 실내 점등시간으로 산출하였고, 실외등의 연간 전력사용량(kWh)은 조명별 사용 전력 × 조명 개수 × 실외 점등시간으로 산출하였다.

2009년 자료 조사에 의하면 실내조명 중 LED 부착 비율은 5%에 해당되며, 실외 조명 중 LED 부착 비율은 0%로 조사되었다. 이를 적용하여 전력사용량을 산출해 보면, 전체 실내등 중 가장 많은 비율을 차지하는 직관형광등에서 4,717

MWh으로 가장 많은 전력사용량을 보였다. 그 외 실내등에서 전구식 삼파장 조명은 328 MWh, 유도등 229 MWh, 편식 삼파장 135 MWh, 할로겐 조명 53 MWh 순으로 전력사용량을 보였다. 2009년 전체 실내등에서 소비되는 전력은 5,852 MWh로, 이를 온실가스로 환산하면 2,728 ton CO₂ eq/yr이 발생한다. 그러나 기존 실내등의 30%를 LED 조명으로 교체할 때 약 5,323 MWh가 소비되며, 이로 인한 온실가스 절감량은 247 ton CO₂ eq/yr에 해당된다. 이는 2009년 총 온실가스 대비 약 1.2%에 해당되는 양으로 분석되었다. 실외등의 경우 방전등 NA와 가로등 MH 각각 263 MWh, 126 MWh의 전력사용량을 보였다. 실외 조명의 경우 2009년 390 MWh의 사용량을 보였으며, 기존 실외등에서 LED 조명을 30% 비율로 교체하였을 시 전력사용량은 352 MWh이며 온실가스 배출량은 18 ton CO₂ eq/yr로, 2009년 총 온실가스 배출량 대비 약 0.1%를 감축할 수 있을 것으로 나타났다. 이와 같이 실내·외 조명의 30%를 고효율 LED 조명으로 교체하였을 시 총 1.3%를 감축할 수 있을 것으로 판단된다.

3.4.2. 이동연소 부문 감축 시스템도입에 따른 온실가스 잠재량

이동연소 부문에서 발생하는 온실가스 배출량을 절감시키기 위해서는 전기 차 도입과 하이브리드 카, LNG 혼소 트럭을 도입 기술을 적용해 보고 셔틀버스를 주로 이용하였을 때 온실가스 감축량을 예상해보았다. 강원대학교 춘천캠퍼스의 공공차량은 경유를 사용하는 버스(45인승) 3대, 승합차 1대, 트럭 1대와 휘발유를 사용하는 관용 승용차 3대로, 총합 8대가 조사되었다. 경유를 사용하는 버스(45인승) 3대와 승합차 1대를 전기버스로 교체하고, 트럭 1대는 LNG 혼소 트럭으로 교체, 관용 승용차 3대는 하이브리드 카로 교체했을 때 온실가스 감축량을 예측하였다.

이동연소부문에서 에너지 소비에 영향을 미치는 요인으로 사전에 조사된 이동거리의 증가율과 기존 유류 사용량을 이용해 에너지원단위(L/km)를 산출하였고, 에너지원단위는 2005~2009년 사이의 세부부문별로 연평균 변화를 분석하여 산정하였다. 이렇게 산정된 대학소유 차량에서 총 온실가스 배출량은 2009년에 99 ton CO₂ eq/yr이 발생하였으며, 버스(45인승) 3대를 전기차로 교체하였을 시 26.6 ton CO₂ eq/yr으로 가장 높은 감축량을 보였다. 트럭 1대를 LNG 혼소 트럭으로 교체 했을 시 13.6 ton CO₂ eq/yr, 관용 승용차 3대를 하이브리드 카로 교체하였을 시는 7 ton CO₂ eq/yr의 감축량을 보였다. 전기 차와 하이브리드 카, LNG 혼소 트럭 교체를 시행한다면 최대 약 49 ton CO₂ eq/yr의 온실가스를 절감할 것으로 전망된다.

강원대학교 개인 통근 차량의 경우 전체 배출량의 약 9%를 차지하는 것으로 나타났다. 통학 차량 항목에서 온실가스 감축을 위해서는 카풀제, 학교 셔틀 버스 이용, 대중교통 이용, 자전거 이용 등을 들 수 있다. 강원대학교 주변 지역과 거리를 살펴보면, 평균적으로 5.9 km로 비교적 출퇴근 거리가 짧은 것을 알 수 있다. 학교 지원 셔틀 버스가 운행 된다

면, 주거지와 학교 거리가 다소 짧기 때문에 셔틀 버스 운행이 편리하며, 통학 차량에서의 배출량은 감소될 것으로 판단된다. 셔틀버스의 차량 대수 증가와 차량이 만석이 되고 하루에 한번 출-퇴근 운행된다는 가정 하에, 학교 구성원의 셔틀버스 이용에 따른 감축량을 산정하였다. 이때 새로 도입된 셔틀버스에서 배출되는 온실가스도 고려해야하기 때문에 셔틀버스 한 대당 배출되는 온실가스 배출량 3.5 ton CO₂ eq/yr를 감축량에서 빼주었다. 셔틀버스 이용에 따른 감축량은 셔틀버스 2대 운행 시 33 ton CO₂ eq/yr, 4대 운행 시 59 ton CO₂ eq/yr, 7대 운행 시 113 ton CO₂ eq/yr, 10대 운행 시 148 ton CO₂ eq/yr으로, 셔틀버스 10대 도입시 총 0.7%를 감축 할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 셔틀버스 운행과 더불어 자전거 및 도보를 이용한다면, 통근 차량에 의한 배출량 감소는 더욱 큰 폭으로 감축될 것으로 판단된다.

3.4.3. 대학 구성원 실천프로그램에 따른 온실가스 감축 잠재량

대학의 실제 주체자인 연구원 및 교직원 개개인의 노력을 요구하는 녹색 캠퍼스 실천 프로그램(Green campus action plan) 방안 도입을 분석하고, 대학 구성원이 실천 프로그램을 실천하였을 때 그에 따른 온실가스 감축 잠재량을 파악해 보았다. 본 연구에서는 대학의 연구실에서 소모되는 전력사용량을 예측하기 위해 가상의 표준모형연구실(standard office)을 만들어 한 개의 연구실에서 사용되는 전력사용량을 산출하였다. 표준모형연구실은 교수연구실, 연구원연구실, 실험실을 포함하는 가상의 공간이다. 표준모형연구실의 구성원은 전임 교수 1명과 대학원 학생 수의 평균치로 설정하였으며, 연구실 개수는 전임교수 수와 동일하다는 가정 하에 실시하였다. 1일 운영시간과 연간 사용 일수는 각 단과대학별로 다른 특징을 보이므로, 사전조사를 통해 이공계열 학과 대표로 환경과학과 내 연구실 현황과 인문계열 학과 대표로 경영학과 연구실 대상으로 에너지 소비행태 조사를 실시

하여 도출하였다. 1실 당 면적은 강원대학교 환경과학과와 경영학과의 세부연면적 자료를 이용하여 연구실과 교수연구실에 대한 면적을 산정하였다. 강원대학교 표준모형연구실 기본조건은 1일 운영시간 10시간, 연간사용일수는 304일, 연구실 구성원 수는 평균 공과계열 5명(전임교수 1명 및 평균 대학원 학생 수), 인문계열 2명(전임교수 1명 및 평균 대학원 수)로 나타났으며, 강원대학교의 연구실 수는 공과계열 896개, 인문계열 296개로 확인되었다. 또한 1실 바닥 면적은 평균적으로 공과계열 연구실 141.3 m², 인문계열 연구실 및 교수연구실은 24.8 m²로 조사되었다.

이러한 표준모형연구실에서 사용되는 전력량을 산정하기 위해 이공계열 학과 대표인 환경과학과 내 연구실 현황과 인문계열 학과 대표인 경영학과 연구실 현황을 조사하여 전력사용기기 정보를 파악하고(Table 3), 전력사용기기의 정보를 토대로 실측치와 계산치를 이용하였다. 또한 실측하기 어려운 항목은 해외 대학 등의 사례를 참고하여 작성하였다. 표준모형연구실은 크게 컴퓨터와 노트북 탁상조명, 스피커를 포함한 데스크주변과 프린터, 복합기, 전열히터, 냉장고를 포함한 공용기기, 조명, 냉난방 부문으로 구성하였다. 연구실에서 사용되는 실험용 전력사용기기는 연구에 필요한 장비를 사용하기 때문에 연구실마다 차이를 보여 제외하였으며, 또한 각 전력사용기기 대수는 연구실의 구성원 수와 특성에 따라 차이를 보여 연구실 전력사용기기 보유수의 평균값을 사용하였다(Table 3). 데스크탑 컴퓨터는 이공계 1개 연구실 당 7.57개, 인문계열은 1.38개였으며, 전체 조명등의 개수도 이공계는 18개, 인문계는 6개였다. 위에서 조사된 에너지 소비 형태와 전력사용기기 대수 및 소비전력, 운영시간을 바탕으로 연간전력사용량을 산출하였다. 이렇게 산정한 표준모형연구실에서 사용되는 전력사용량은 이공계열이 16,207 kWh, 인문계열이 9,713 kWh의 사용량을 보였으며, 이공계열전체 연구실의 전력사용량은 8,727,958 kWh, 인문계열 273,308 kWh의 전력사용량을 보여 이공계열에서 전력사용량

Table 3. Average number of equipments and electricity consumptions for standard office in Kangwon National University

Sector	Equipment	Office for Science and Engineering		Office for Liberal Arts	
		No. of Equipments	Annual electricity consumption (Wh)	No. of Equipments	Annual electricity consumption (Wh)
Around desk	Desktop PC	7.57	3,194,087	1.38	476,523
	Laptop	0	0	0	0
	Desk lamp	1	35,795	0.5	17,898
	Mobile phone charger	1	1,119	1	1,110
	Speaker	1.25	787	0.38	239
Public equipment	Printers + PC	1.63	1,499,157	0	0
	Printers	0.25	22,263	0.25	22,263
	Humidifier	1	87,182	1	87,182
	Individual heater	0.38	14,218	0.38	14,218
	Refrigerator	2.75	1,222,808	0.63	280,134
	Air conditioning and Heating	1	8,154,617	1	8,154,617
	Lighting	18	1,975,173	6	658,319
Total		16,207,206		9,712,503	

Table 4. Reduced amount of energy and GHG emissions by green campus action plans for university offices and laboratories

Sector	Action plan	Contribution of each plan to total GHG reduction (%)	Reduced energy (MJ /yr)	Reference
Around desk	Standby mode set-up at desktop PC	19.8%	587	Actual survey
	Standby mode set-up at laptop	78.1%	2,414	Actual survey
	Turn off all equipment around desk during lunch and dinner time	20.2%	637	Calculation
	Turn it off when speaker is not used	100%	1	Actual survey
	Control standby power when going home	100%	3,147	Actual survey
Public equipment	Minimize foods in refrigerator	3.5%	53	Kyoto Uni. ²¹⁾
	Operate refrigerator cooling intensity to 'medium' instead of 'strong' in winter	6%	90	Actual survey
	Minimize refrigerator door opening time	0.5%	8	Kyoto Uni. ²¹⁾
	Change printers into new one which standby power is minimized	64.5%	29	HP homepage ²²⁾
	Remove desktop PC for printing	100%	1,499	Actual survey
Lab. lighting	Turn off window lighting during daytime	35.4%	932	Calculation
Lab. air conditioning and Heating	Temperature management (2℃)	14%	2,283	Korea Energy Management Corporation ²³⁾
	Periodical air conditioner filter cleaning	9.6%	1,567	Kyoto Uni. ²¹⁾
	Knee blanket use without individual heater	100%	16,309	Calculation

이 많은 것으로 나타났다. 강원대학교 연구실에서 사용되는 총 전력사용량은 9,001,266 kWh로 나타났다.

표준모형연구실을 통해 강원대학교 연구실에서의 전력사용량을 파악한 후 대학 구성원들이 실천할 수 있는 실천프로그램을 만들어 대학구성원의 30%가 실천하였을 시 온실가스 감축량을 예측해 보았다. 실천 프로그램은 구성원이 쉽게 실천할 수 있는 방안을 반영하였으며, 구체적 실천안으로는 1) 데스크탑 PC의 '대기모드' 설정 2) 사용하지 않는 시간 동안의 조명 소등, 3) 사용하지 않는 기기의 플러그 뽑기 4) 냉-난방 온도 조절 5) 개인 전열기구의 사용대신 무릎담요 사용, 6) 사용하지 않는 시간에 기기 끄기, 7) 냉장고의 적절 사용법 실천, 8) 에어컨의 필터 주기적 교체가 포함되었다 (Table 4). 각 실천 안에 의한 전력 감축량은 직접 측정하거나 기존의 자료를 참고하였다. PC 및 노트북의 대기모드 전환에 의한 전력 감축량, 스피커를 껐을 때의 전력 감축량, 겨울철 냉장고 온도를 '강'에서 '중'으로 전환했을 때의 전력 감축량 등은 실제 측정하였으며, 다른 실천 안에 의한 전력 감축량은 기존의 자료를 참고하여 산정하였다(Table 4).

본 연구에서는 표준모형연구실 구성원의 30%가 실천프로

그램을 실천한다고 가정하였고 그에 따른 전력 감축량과 온실가스 감축량을 계산하였다. 그 결과 전력 절감량은 1,405,169 kWh로 나타났으며 이를 온실가스로 환산하면 약 655 ton CO₂ eq/yr를 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 만일 구성원의 50%가 참여한다면 약 1,108 ton CO₂ eq/yr의 온실가스를 감축할 수 있고, 이는 전체 배출량의 약 5.3%의 온실가스 배출량을 감축하는 효과이다(Table 4). 이 결과는 실질적인 대학 사용 주체인 대학원생과 교직원들의 노력에 의한 온실가스 감축량이 매우 중요하다는 것을 나타낸다.

4. 결론

본 연구에서는 강원대학교에서 배출되는 온실가스 배출량을 산정하여 그 배출 특성을 살펴보고, 감축 잠재량을 예측하였다. 강원대학교에서 배출되는 온실가스는 2005년 19,436 ton CO₂ eq에서 2009년 21,054 ton CO₂ eq로, 2005년 대비 약 7%가 증가하였다. 이는 전체 배출량의 54.3%를 차지하는 Scope 2의 구매전력에서의 배출량이 매년 꾸준한 증가

Table 5. Reduced GHG emissions for various reduction plans

Reduction strategy	Reduction method	Reduced emissions (ton CO ₂ /yr)	Reduction contribution to total GHG emissions (%)
LED substitution	LED substitution for 30% of indoor lightings	247	1.2
	LED substitution for 30% of outdoor lightings	18	0.1
Transportation	Introduction of electric bus and hybrid car	49	0.2
	Introduction of 10 more shuttle buses	148	0.7
Green campus action plan	Participation of members: 50%	1,108	5.3
	Total reduction	1,570	7.5

추세를 보이기 때문이며, 전체 배출량의 증가에 가장 큰 영향을 미친 것으로 파악되었다. 강원대학교 온실가스 배출량 기여도를 살펴보면 고정연소부문이 24.8% 구매전력이 54.3%, 구매 상수도 0.6%, 수송부문이 19.5%로 99% 이상이 에너지 사용에 따른 배출로 볼 수 있어 강원대학교는 에너지 사용에 따른 온실가스 배출이 많은 것으로 나타났으며, 폐기물과 가축에서의 배출은 온실가스 배출량이 미미한 것으로 나타났다.

강원대학교에서 온실가스 배출 비율이 높은 Scope 2의 구매전력과 Scope 1의 고정연소, Scope 1,3의 이동연소부문에서의 온실가스 배출 감축잠재량평가를 위해 고효율 LED 조명등의 교체, 하이브리드 차량 도입, 셔틀버스 운행, 녹색 캠퍼스 실천프로그램을 통한 대학 구성원의 노력부분으로 온실가스 감축잠재량 평가를 평가하였다(Table 5). 본 연구에서는 도입 여부의 불확실성으로 인해 신재생 에너지의 도입으로 인한 온실가스 감축은 고려되지 않았다. 본 연구에서 제안한 감축 대책들이 모두 실행되면 전체 배출량의 7.5%를 감축할 수 있으며, 감축량은 1,570 ton CO₂ eq/yr로 나타났다. 강원대학교 실내·외 조명의 30%를 고효율 LED 조명등으로 교체하였을 때 전체 온실가스 배출량의 1.3%를 감축할 수 있는 것으로 나타났으며, 향후 30% 이상의 조명을 LED로 교체할 경우에는 더 많은 감축량을 기대할 수 있다. 또한, 전기, 하이브리드 카 도입과 셔틀버스 운행으로 감축량은 1% 내외에 불과하지만, 셔틀버스 운행을 통해 도보 및 자전거 이용이 확대 된다면 그 감축량은 증가할 것으로 판단된다. 대학 구성원의 50%가 실천프로그램을 실천하였을 때 감축량은 2009년 대비 5.3%로, 이는 추가 비용이 들어가지 않고 실질적인 대학 사용 주체인 대학원생과 교직원의 노력만으로도 효과적으로 온실가스 배출을 감축시킬 수 있다는 것을 나타낸다. 이와 같은 노력이 감축잠재량 평가에 그치지 않고, 실질적인 감축으로 이어지기 위해서는 대학본부와 대학(원)생의 참여가 절실하다. 따라서 대학본부와 대학(원)생 간의 정보공유와 커리큘럼 개설, 저감을 위한 합동노력 등이 필요하며, 본 연구결과는 이를 위한 연결고리 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

이 연구는 강원지역 환경기술개발센터의 2010년도 환경기술 개발사업(강원대학교 온실가스 인벤토리 구축)으로 수행되었고, 환경부의 환경산업전문인력양성사업으로 지원되어, 이에 감사드립니다.

KSEE

참고문헌

1. IPCC, "Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability," IPCC(2007).
2. 한국그린캠퍼스협의회, <http://www.kagci.org/>
3. 한국그린캠퍼스협의회, 그린 캠퍼스 사례집, <http://www.kagci.org/> (2009).
4. 한국그린캠퍼스협의회, 한국 그린캠퍼스 추진 협의회 창립 총회 및 사례 발표 <http://www.kagci.org/>(2009).
5. WRI, "The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard," WRI Protocol Guideline(2001).
6. 강원대학교, "2009년 17호 강원대학교 통계연보,"(2009).
7. IPCC Second Assessment Report, "Climate Change 1995: The Science of Climate Change," (Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996), IPCC(1995).
8. IPCC, "IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories," IPCC(2006).
9. IPCC, "IPCC Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories; GPG 2000," IPCC (2000).
10. Defra's Guideline, "Guidelines to Defra's GHG Conversion Factors: Methodology Paper for Transport Emission Factors," www.defra.gov.uk(2008).
11. Davide Ross, "GHG Emissions Resulting from Aircraft Travel," CARBON PLANET(2009).
12. University of Louisville, "University of Louisville Baseline Inventory of Greenhouse Gas Emissions Fiscal Years 2006-2008," <http://rs.acupcc.org/>(2009).
13. University of Miami, "Greenhouse Gas Inventory 2002-2007," <http://rs.acupcc.org/>(2008).
14. University of California, Berkeley, "UC Berkeley 2007 and 2008 Verified Greenhouse Gas Emissions Inventory Summary," <http://rs.acupcc.org/>(2008).
15. 이승목, "대학단위 온실가스 인벤토리 구축 가이드라인 개발연구 1단계," 환경부(2009).
16. 환경부, 온실가스에너지 목표관리제 운영 등에 관한 지침 (2011).
17. 환경부, 공공부문 온실가스에너지 목표관리제 운영 등에 관한 지침(2011).
18. 한국전력거래소, <http://www.kpx.or.kr/>
19. 환경관리공단, "지자체 온실가스 배출량 산정지침"(2009).
20. 벽산건설, "강원대학교 에너지진단보고서," 강원대학교(2010).
21. 京都大學, "京都大學環境配慮行動マニュアル-研究室脱温暖化編-, 京都大(2007).
22. Hewlett-Packard, <http://www.hp.co.kr/>
23. 에너지관리공단, <http://www.kemco.or.kr/>