

연구논문

## LEAP 모델을 이용한 대학의 온실가스 배출량 및 감축잠재량 분석

우정호 · 최경식

신라대학교 환경공학과

(2012년 4월 12일 접수, 2012년 5월 2일 승인)

### Estimation of GHG emission and potential reduction on the campus by LEAP Model

Woo, Jeong-Ho · Choi, Kyoung-Sik

Dept. of Environmental Engineering, Silla University

(Manuscript received 12 April 2012; accepted 2 May 2012)

### Abstract

Post-kyoto regime has been discussing with the GHG reduction commitment. GHG energy target management system also has been applied for the domestic measures in the country. Universities are major emission sources for GHG. It is very important for campus to built the GHG inventory system and estimate the potential GHG emission reduction. In general, GHG inventory on the campus was taken by the IPCC guidance with the classification of scope 1, 2, and 3. Electricity was the highest portion of GHG emission on the campus as 5,053.90 tonsCO<sub>2</sub>eq/yr in 2009. Manufacturing sector was the second high emission and meant GHG in laboratory. Potential GHG reduction was planned by several assumptions such as installation of occupancy sensor, exchanging LED lamp and photovoltaic power generation. These reduction scenarios was simulated by LEAP model. In 2020, outlook of GHG emission was estimated by 17,435.98 tons of CO<sub>2</sub> without any plans of reduction. If the reduction scenarios was applied in 2020, GHG emission would be 16,507.60 tons of CO<sub>2</sub> as 5.3% potential reduction.

Keywords : GHG Emission, Inventory, IPCC guidance, Campus, LEAP Model

## I. 서론

기후변화 정부간 패널 (Intergovernmental panel on climate change, IPCC) 4차 보고서에 의하면 기후변화에 따른 치명적인 결과를 피하기 위해서는 평균온도 상승을 2℃이내, 즉 대기 중 CO<sub>2</sub> 농도를 450 ppm 이하로 안정화시켜야 되며 이를 위해서는 온실가스를 중기목표로서 2020년까지 선진국들은 1990년 대비 25-40%, 개도국들은 business as usual (BAU) 대비 15-30% 감축이 필요한 것으로 보고하였다(IPCC, 2007). 우리나라는 국제협상 대응방안으로 2008년 저탄소 녹색성장 국가비전을 발표하고 2009년 15차 기후변화당사국총회(COP-15)에서 국가 총 온실가스 배출량을 2020년까지 BAU대비 30% 감축한다고 선언하였다. 감축정책으로는 저탄소 녹색성장 기본법 시행령 제 26조 제2항에 의거 온실가스·에너지목표관리 운영 등에 관한 지침을 제정·고시 하여 에너지 다소비 사업장과 대형건물을 규제하였다(환경부, 2011).

2007년 에너지 사용량 통계 자료에 의하면 862개 신고업체 중 건물부분에서 가장 많은 에너지를 사용하는 곳은 아파트(25.1%)이며, 그 다음으로 백화점 (13.8%), 상용건물(13.4%), 학교(11.7%), 병원(10.4%), 호텔(10.3%) 순으로 조사되었다(경기개발연구원, 2010). 전체 862개 조사기관 중 8.81%인 76개 대학이 전체 에너지의 11.7%를 쓰고 있다는 것은 대학 캠퍼스 내 건물들이 다소비 에너지 주체라는 것을 입증한 것이다. 또한 대학들이 지역사회 인식 전반까지 미치는 영향을 고려한다면 캠퍼스 내 온실가스 저감활동은 어느 때보다도 중요시 되고 있다. 따라서 온실가스 인벤토리 구축을 통한 대학의 온실가스 감축 잠재량 분석은 대학 캠퍼스 내 모든 활동에서 발생하는 온실가스 배출원을 규명함과 동시에 배출원별 온실가스 감축 잠재량 분석 기초자료로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 IPCC의 2006지침서를 기초로 대학 캠퍼스의 온실가스 인벤토리를 구축하였으며 도입 가능한 감축시나리오를 LEAP(Long-range Energy

Alternatives Planning System)을 이용하여 온실가스 배출저감 잠재량을 분석하였다. LEAP 모델은 미국 스톡홀름 연구소에서 개발된 에너지-경제 모델로서 환경적 영향을 고려한 최초의 에너지모델이며 1980년 케냐 연료림 사업의 장기에너지계획 수립을 위하여 개발된 이래, OECD 국가, 미국, 개발도상국 등 다양한 조건의 국가에서 에너지 연구에 사용되고 있는 모델이다(SEI, 2011). LEAP 모델은 부문별 에너지 생산/수입, 전환, 수요 등의 모듈로 구성되어 있어 에너지정책이나 기술변화의 파급효과를 분석 할 수 있다. 그리고 부문별로 상이한 방법론을 추가적으로 결합할 수 있도록 설계되어 있고 시계열 분석에 따라 모의 할 수 있어 입력 변수의 시간 변화를 반영할 수 있는 장점이 있다. 또한 모델 내에는 IPCC 지침의 온실가스 배출계수와 산정모듈이 구축되어 있어 감축시나리오별 온실가스 저감량을 모의하는데 적합하게 구성되어있다 (황병근 2010). 본 연구의 목적은 부산에 위치한 A대학을 대상으로 온실가스 인벤토리 구축을 통한 온실가스 배출전망과 LEAP모형을 이용한 감축시나리오별 감축잠재량 산정이다. A 대학에 구축된 자료를 기초로 배출량을 산정하였으나 배출 전망 및 감축잠재량 산정은 가상 시나리오를 작성하여 산정하였다.

본 연구결과가 에너지 목표관리제도에 귀속되는 대학들의 잠재감축량 계획에 기초가 되기를 희망한다.

## II. 대학의 온실가스 인벤토리 구축

### 1. 온실가스 인벤토리 구축

온실가스 인벤토리는 온실가스 배출원 및 배출량에 대한 목록으로서 온실가스의 정량적 배출량을 정리한 통계자료이다. 온실가스 배출량과 흡수량을 정확하고 체계적으로 산정할 수 있고 온실가스 잠재 감축량을 파악할 수 있는 기초자료다(김광호·장옥균, 2008).

본 연구는 부산에 소재한 A대학에 관하여 온실가스 인벤토리를 구축하였으며, 국제적 온실가스 배

출량 산정기준인 IPCC 지침서(Intergovernment Panel on Climate Change, 1996, 2000, 2006), WRI·WBCSD(World Resource Institute·World Business Council for Sustainable Development, 2004) Greenhouse gas Protocol 그리고 ACUPCC(the American College & University Presidents' Climate Commitment) Guideline를 기준으로 온실가스 인벤토리를 작성하였다.

## 2. 조직경계 및 시간적 범위 설정

A대학은 2011년 6월을 기준으로 캠퍼스 면적은 870,966m<sup>2</sup> 이었으며 교내건물은 14개동으로 건축 면적은 32,147m<sup>2</sup>, 연면적은 129,925m<sup>2</sup>이었으며 공간 및 보유시설 현황은 표 1과 같았다.

본 연구의 조직경계설정은 WRI·WBCSD GHG Protocol(WRI·WBCSD, 2004)에서 제시한 통계 접근법을 적용하여 조직경계를 설정하였으며 대학 캠퍼스내 전 건물을 대상으로 역년(Calendar year) 기준으로 IPCC 2006 지침의 분류방법에 따라 배출원별 온실가스를 목록화 하였다.

배출원별 온실가스 목록은 교토의정서에서 규정한 6개 온실가스인 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>으로 설정하였고, 각 온실가스별 농도(CO<sub>2</sub>eq) 환산은 IPCC 제2차보고서의 지구온난화 지수(Global Warming Potential: GWP)를 적용하여 산정하였다(IPCC, 1995). 본 연구에서 구축된 인벤토리의 시간적 범위는 2007년부터 2009년까지로 하였으며 A대학의 배출원별 온실가스 배출정보(산정 방법론 및 배출량)를 포함하고 있다.

표 1. 연구대상 대학의 토지이용 현황

구 분	면 적(m <sup>2</sup> )
건축시설	193,519.0
도로 및 주차장	112,789.0
광장시설	20,500.0
체육시설	44,770.0
녹지부지	496,072.0
기타	3,316.0
합계	870,966.0

## 3. 온실가스 배출원 분류 및 산정방법

온실가스 배출원은 크게 배출영역 1, 2, 3으로 3가지 배출원으로 구분한다. 배출영역 1은 대학이 소유하고 운영하는 배출원에 의해 발생하는 직접적인 온실가스 배출을 의미한다(ACUPCC, 2011). 배출영역 1은 온수용 보일러, 난방용 보일러, 냉·난방기 등에 사용되는 화석연료로 인한 고정연소 배출과 학교에서 소유 또는 임대하여 사용 중인 승용차, 통학버스 등의 이동연소 배출, 냉매물질 사용시설에서의 탈루배출 및 실험·실습실에서의 각종 가스 사용에 의한 공정연소 배출 등이 배출영역 1에 포함된다. 배출영역 2는 간접배출을 의미하는 것으로 대학 외부에서 구입한 전력, 스팀이 대학이 소유하거나 통제하는 장비나 기기 등에서 소비되어 발생하는 배출량을 의미하며 배출영역 3은 기타간접배출로서 대학에서 발생하는 폐기물 및 처리현황, 그리고 대학 내 구성원들의 통근 및 통학 차량 이용과 공무출장과 관련된 항공기 탑승시 발생하는 온실가스 발생량을 의미한다.

배출 산정은 IPCC 지침과 같이 활동도 자료(에너지사용량, 폐기물 발생량 등), 온실가스 배출계수, 에너지열량환산기준(에너지기본법 시행규칙 제5조) 등을 산출하고 최종적으로 지구온난화지수를 적용하여 산정하였다(IPCC 1995).

## 4. 온실가스 인벤토리 구축결과

A 대학의 2007년부터 2009년까지 부문별 전체 배출량 산정 결과를 표 2에 정리하였다. 활동도자료를 기초로 산출된 연간 온실가스 배출량 중 가장 많은 비율을 차지하는 영역은 배출영역 2인 구매전력 사용으로 나타났다. 전체배출영역(배출영역1, 2, 3)을 고려한다면 약 41%의 비율을 차지한다. 연도별 온실가스 배출량을 살펴보면 2007년에 비해 2008년은 감소하였다가 2009년에는 상승한 것으로 산정되었다. 그 이유를 살펴보면 2개의 신축건물이 2009년에 완공되어 건물 내 상주인원 증가에 따른 에너지 소비 증가로 온실가스 배출량이 상승한 것으로 파악되었다.

표 2. A대학의 온실가스 배출량 산정결과.

배출원별 영역구분		온실가스 배출량 (tonCO <sub>2</sub> eq/yr)			배출영역(%) (1+2+3)
		2007년	2008년	2009년	
배출영역 1	고정연소	179.52	125.25	120.87	1.22
	이동연소	646.90	645.48	638.71	5.52
	탈루배출	1,715.18	1,958.18	2,214.86	16.82
	공정배출	2,526.00	2,335.00	2,099.00	19.88
배출영역 2	구매전력	4,708.29	4,606.15	5,053.90	41.04
배출영역 3	폐기물	615.35	534.95	566.93	4.91
	상수도	31.16	31.26	29.29	0.26
	통근	1,133.46	971.68	1,050.47	9.01
	항공	145.16	180.06	144.90	1.34
연간 배출량		11,701.02	11,388.01	11,918.93	100.0
전체 배출량		35,007.96			100.0

표 3. A대학의 미래 CO<sub>2</sub> 배출량 전망.

온실가스 배출량 (tonCO <sub>2</sub> eq/yr)	배출원별 영역구분								
	배출영역 1				배출영역 2	배출영역 3			
	고정 연소	이동 연소	탈루 배출	공정 배출	구매 전력	폐기물	상수도	통근	항공
2007	179.52	646.90	1715.18	2,526.00	4,708.29	615.35	31.16	1,133.46	145.16
2008	125.25	645.48	1985.18	2,335.00	4,606.15	534.95	31.26	971.68	180.06
2009	120.87	638.71	2214.86	2,099.00	5,053.90	566.93	29.29	1,050.47	144.90
2010	132.99	635.51	2,462.42	1,893.00	6,160.01	523.99	28.70	968.88	156.45
2011	103.79	631.41	2,712.26	1,679.50	6,332.81	499.78	27.76	927.38	156.32
2012	89.52	627.32	2,962.10	1,466.00	6,813.10	475.57	26.83	885.59	156.19
2013	75.28	623.22	3,211.94	1,252.50	7,293.39	451.36	25.89	844.39	156.06
2014	61.04	619.13	3,461.78	1,039.00	7,773.68	427.15	24.96	802.90	155.93
2015	46.80	616.80	3,711.62	825.50	8,253.97	402.94	24.02	761.40	155.80
2016	32.57	614.48	3,961.46	612.00	8,734.26	378.73	23.09	719.91	155.67
2017	18.33	612.16	4,211.30	398.50	9,214.55	354.52	22.15	678.41	155.54
2018	18.52	609.83	4,461.14	185.00	9,694.84	330.31	21.22	636.92	155.41
2019	18.71	607.51	4,710.98	185.00	10,175.13	306.10	20.28	595.42	155.28
2020	18.90	605.52	4,960.82	185.00	10,655.42	281.89	19.35	553.93	155.15

## II. 온실가스 배출량 전망

2007년~2009년까지 산정된 온실가스 인벤토리 자료를 기초로 2020년까지의 온실가스 배출 전망을 각 부문별로 LEAP 모형을 이용하여 예측하였다. LEAP 모형은 시계열 분석에 따라 모의할 수 있어 입력 변수의 시간 변화를 반영할 수 있는 장점이 있어 예측하기에는 우수한 모형으로 평가된다(황병근 2010). LEAP 모형의 Forecast 함수를 이

용하여 최소 자승 선형 회귀를 통한 미래 에너지 소비량 및 온실가스 배출량으로 모의하였으며 결과값을 표 3에 정리하였다. A대학의 전체 온실가스 배출 전망결과 2007년 11,701.02 ton 이었던 배출량은 2020년에 17,435.98 ton으로 2007년 대비 49% 증가하였다. 배출원별 연간 배출전망의 특징은 2007년에서 2009년까지 감소추이를 보이면서 2020년까지 감소하는 배출원은 배출영역 3으로 나타났다으며 배출영역 1도 탈루 배출을 제외한 다른 부



그림 1. 감축량 산정을 위한 재분류 항목

문에서 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 지속적으로 증가되는 배출원은 배출영역 1의 탈루배출과 간접 배출영역의 구매전력으로, 탈루배출은 2007년에 1,715.18 ton 이었던 배출량이 2020년에는 4,960.82 ton으로 2007년 대비 189.23% 증가하였다. 구매전력의 경우는 2007년에 4,708.29 ton 이었던 배출량이 2020년에 10,655.42 ton으로 2007년 대비 126.31% 증가하였다.

### 1. 배출영역 2 전력부문의 감축시나리오 적용

2007년~2009년까지 구축된 온실가스 인벤토리 자료를 기초로 2020년까지의 온실가스 배출 전망을 감축시나리오를 적용하여 산정하였다. 감축시나리오 적용은 그림 1과 같이 배출영역 2의 전력부문에만 적용하였으며 감축잠재량 분석은 LEAP 모델을 이용하여 산정하였고 시나리오는 아래와 같다.

#### 1) 조명 부문

조명부문의 전력사용량 산정방법은 교내전체 건물별 조명기구수량을 조사하였고 연간 소비시간을 산출하여 실내 조명기구의 소비전력을 산정하였다. 감축대상 시설을 화장실, 계단 및 복도, 주차장 등으로 구분 하여 연간 조명부문별 전력사용량을 산출하였으며 식 1과 같이 단위면적당 전력사용계수를 산정하여 용도별 연면적 자료를 적용하여 2011년부터 2020년까지의 전력사용량을 산정하였는데 연면적의 자료는 2007년부터 2010년까지의 연면적 증감률을 적용하여 미래 연면적을 전망하였다.

$$\text{단위 면적당 전력사용계수}(kwh/m^2) = \frac{\text{연간 조명부문별 전력사용량}(kWh)}{\text{용도별 실내면적}(m^2)} \quad (1)$$

조명부문의 전력 절감을 위한 시나리오는 조명기구를 LED 조명으로 교체 하는 것과 재실감지 센서를 설치 하는 것으로 가정하고 에너지 및 온실가스 저감량을 산정하였다. A대학에서는 복도 및 계단, 화장실에 재실감지센서 설치를 2010년을 기준으로 90% 설치 완료하였기에 적용하였으며, 재실감지센서를 설치 할 경우 미 부착에 비해 전력사용량이 69% 감축되며(텔트론, 2011), 교내 실내조명과 실내주차장 조명기구를 고효율 LED조명기구로 교체 하였을 경우 기존의 조명기구에 비해 전력사용량이 약 34.3% 절약되는 것으로 보고되었다(금호전기, 2011). 연차별 LED 조명 교체 비율을 2009년은 0%, 2010년 10%, 2011년 20%, 2012년 40%, 2013년 80%, 2014년 100% 되는 것으로 가정하였고, 주차장 및 실내조명에 대해서는 2011년에는 0%, 2012년에 100% 전량 교체하는 것으로 가정하였다. 재실감지센서의 설치 비율은 2010년까지 90%, 2011년에 100% 설치하는 것으로 가정하였다.

#### 2) 신재생 에너지

신재생에너지 사용은 화석연료 대체사용 이므로 온실가스 배출량 산정시 음의 값 즉 차감 적용하였다. A대학의 경우 2008년부터 태양광 발전 1기를 운영 중에 있으며 2008년 및 2009년 태양광발전시설 1기의 전력생산 연간 평균값이 65,027kwh로 나타났다. 2013년과 2014년에 각각 1기씩 추가 증설하는 것으로 가정하여 배출량 산정에서 차감하는 시나리오를 작성하였다.

## III. 감축시나리오에 따른 감축잠재량 결과

### 1. 조명부문

감축시나리오에 따른 조명부문의 에너지 사용량 및 온실가스 감축잠재량 분석 결과는 그림 2에 나타났다. 점선막대는 감축시나리오에 따른 온실가스 감축량을 의미하고 범례와 같이 화장실, 실내 및 복도, 그리고 주차장 등 각 부문별 배출전망을 표시하였다.

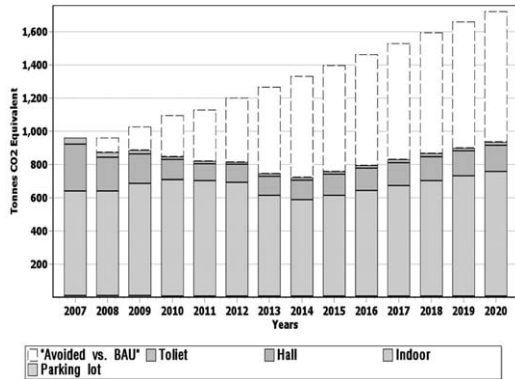


그림 2. 조명부문 감축잠재량 분석 결과

연간 전력사용량은 감축시나리오 미적용 시 2007년 2,056,995 kWh (CO<sub>2</sub> 배출량 950.07ton)에서 2020년에는 3,694,769 kWh (CO<sub>2</sub> 배출량 1,722.69ton)로 산정되어 2007년에 비해 79.62% 증가하였으나, 각 부문별 조명 감축시나리오를 적용 할 경우 2020년의 전력사용량은 2,005,166 kWh (CO<sub>2</sub> 배출량 934.91ton)로 감축계획이 없을 경우에 비해 45.7% 감축되는 것으로 모의 되었다. 각 부문별 감축시나리오를 적용 하였을 경우 2020년의 CO<sub>2</sub> 배출 감축량은 787.78 ton 으로 산정되었다.

## 2. 신재생에너지

신재생에너지 시설인 태양광발전 설비의 연간 전력생산은 에너지 자립으로 간주하기에 전체 배출량에서 감소하는 량으로 산정하였다. 태양광발전 설비의 온실가스감축량은 2010년 1기 운영 결과로서 45.3 ton 이었던 저감배출량이 2013년, 2014년에 각각 1기 씩 증설한다는 시나리오적용으로 총 3기가 운영되면서 2014년부터는 140.6 ton 으로 저감배출량이 증가하였다. 2010년 1기를 운영 하였을 때 보다 CO<sub>2</sub> 배출량이 94.57 ton 저감되었다.

## 3. 전체 감축량

A 대학 캠퍼스의 연간 온실가스 배출량은 2007년 11,701.01 ton의 CO<sub>2</sub> 배출량에서 2020년에는 17,435.98 ton으로 2007년 대비 49.01% 증가하는 것으로 산정되었다. 그러나 감축 시나리오를 적용

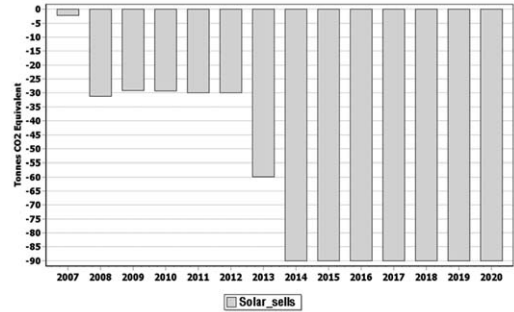


그림 3. 신재생에너지(태양광발전)부문 감축잠재량 분석결과

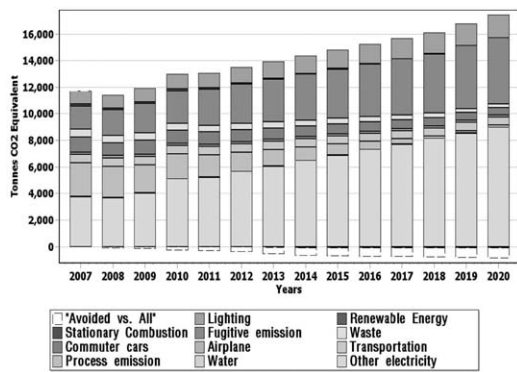


그림 4. 전체 온실가스 감축량 모의결과

할 경우 2020년의 온실가스 배출량은 16,507.60 ton 으로 감축대책이 없는 경우에 비해 5.3% 감축 가능한 것으로 나타났다. 부문별 배출전망을 그림 4에 나타냈으며 음의 값으로 표시된 점선 막대는 감축시나리오에 따른 감축량을 의미한다.

## V. 결론

대학의 온실가스 인벤토리를 배출영역 1, 2, 3으로 구분지어 배출 전망을 하였고 조명 및 신재생에너지부분의 감축 시나리오를 적용하여 감축잠재량을 산정하였다. 감축잠재량 분석 결과가 5.3%로 낮게 모의되었는데 적용된 감축시나리오가 조명 및 신재생에너지에 국한되었기 때문으로 해석되며 또한 연구대상인 A대학이 대규모 캠퍼스가 아니기 때문에 판단된다. 인벤토리구축에 따른 배출량 및 전망 결과에 따르면 배출원 목록 중 가장 큰 비율을

차지하는 기타전력부문의 감축대책을 수립해야만 많은 감축잠재량을 확보 할 수 있는 것으로 조사되었다. 그리고 이 부문에 관한 배출원 세분화 작업 및 자료 D/B가 구축되어야만 정확한 산출과 감축잠재량 분석이 이루어질 수 있다. 추가적으로 전 건물의 보급기기(사무기기, 교육용 기자재)에 대한 에너지절약 실천프로그램 도입이 이루어진다면 대학의 배출량 감축에 크게 기여할 것으로 판단된다. 본 연구는 대학의 온실가스 인벤토리 구축과 함께 온실가스 배출 전망을 제시하고 대학에서 현재 시행중이거나 도입예정인 에너지 절약 정책을 시나리오로 적용하여 발생하는 온실가스 감축잠재량을 모의·분석하고자 하였다.

### 참고문헌

- 김광호 · 장옥균, 2009, 삼일회계법인, 녹색성장을 위한 기업의 의무: 온실가스의 측정과 보고.
- 금호전기, 2011, LED조명/등기구 소비전력자료, [http://www.khe.co.kr/20\\_product/led\\_16\\_1.asp](http://www.khe.co.kr/20_product/led_16_1.asp)
- 경기개발연구원, 2010, 그린캠퍼스 실천 매뉴얼 및 온실가스 인벤토리 모델 개발.
- 에너지관리공단, 2008, 에너지기본법 시행규칙 제5조 에너지열량환산 기준.
- 황병근, 2010, 상향식모델을 활용한 우리나라 도로 부문 온실가스 배출량 분석 및 전망, 계명대학원 석사학위논문.
- 텔트론, 2011, <http://www.teltron.com>
- ACUPCC, 2011, <http://rs.acupcc.org/instructions/ghg/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 1995: The Science of Climate Change (Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996).
- IPCC, 2006, IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC, 2007, General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment ver 2., Cambridge Univ. Press, Cambridge, 11-14.
- Stockholm Environment Institute(SEI), 2011, Long-range Energy Alternatives Planning System User Guide for Version 2011 First Draft, SEI.
- WRI?WBCSD, 2004, The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised Edition), WRI?WBCSD.

최종원고채택 12. 05. 09