

충청북도 민간 산업체에 대한 온실가스 인벤토리 구축 및 감축기술 분석

임수민* · 안주영** · 정초시** · 박정훈**

*동국대학교 화공생물공학과, **충북연구원

Construction of Greenhouse Gas Inventory of Private Industry of Chungcheongbuk-do and Analysis of Greenhouse Gas Mitigation Technology

Lim, Soo Min*, Ahn, Joo Young**, Jung, Cho Shi** and Park, Jung Hoon**

*Dept. of Chemical and Biochemical Engineering, Dongguk University, Seoul, Korea

Chungbuk Research Institute, Chungbuk, Korea

ABSTRACT

Greenhouse gas (GHG) emissions of private industry of Chungcheongbuk-do were estimated. GHG emissions were classified by industry and GHG emissions ratio of each industry of Chungcheongbuk-do was found. Characteristics of GHG emissions of Chungcheongbuk-do and GHG mitigation technology were analyzed. To calculate GHG emissions, equations proposed through GHG emissions calculation guidelines published by Korean Energy Agency in 2009 were used. As a result, GHG emissions ratio of cement, semiconductor, paper and petrochemical industry was about 73%, 16%, 5%, and 2% respectively. GHG mitigation technologies of cement, semiconductor and waste were investigated. For cement, amine technology, for semiconductor, scrubber system and for waste, land fill gas utilization were analyzed.

Key words: Greenhouse Gas, Emission, Mitigation Technology

1. 서 론

지구온난화로 인해 전 세계적으로 평균기온 상승, 해수면 온도 상승과 같은 다양한 환경문제가 유발되면서(Kim and Na, 2008) 1992년 기후변화 첫 대응책으로 기후변화협약(UNFCCC)이 논의되었다. 이후 1997년 교토의정서가 채택되면서 온실가스 감축에 대한 구체적 방안이 논의되었다. 2020년 만료 되는 교토의정서를 대체하기 위해 지난 2015년 12월 프랑스 파리에서 파리협정이 이루어지면서 모든 국가가 온실가스 감축 의무를 지게 되었다. 환경부에서 배포한 2030년 온실가스 감축 목표치(INDC)에 따르면, 우리나라의 경우 2030년까지 국가 배출전망치(BAU) 대비 37%의 온실가스를 감축할 예정이다.

2010년 이후 저탄소 녹색성장 기본법이 시행된 후로, 정부는 해당 법에 근거하여 온실가스 감축 목표를 달성할 수 있도록 다양한 노력을 기울이고 있다. 이러한 노력의 일환으로 정

부는 온실가스를 다량으로 배출하는 사업장을 관리업체로 지정하고, 감축규제가 적용되는 온실가스 목표관리제, 온실가스 다배출 사업장을 대상으로 연 단위 배출권을 할당하여 사업장 간 거래를 허용하는 온실가스 배출권 거래제, 보다 효율적인 온실가스 감축정책을 위한 지자체 온실가스 감축기반 구축 등 다양한 제도를 시행하고 있으며, 1990년 이후 꾸준히 국가단위 온실가스 배출량을 산출하여 통계를 구축하고 있다(Kim et al., 2008). 그러나 온실가스 감축에 대한 보다 구체적인 성과를 얻기 위해서는 국가단위뿐만 아니라, 지자체 단위로 온실가스 배출현황을 파악하고, 이것에 근거하여 지자체에 알맞은 저감목표를 수립할 필요가 있다(Kim et al., 2008). 특히 각 지역별로 발달한 산업이 다르므로 지자체의 민간 사업체에 대한 온실가스 배출현황 파악은 필수적이며, 지역 단위로 온실가스 배출 저감 대책을 마련할 필요가 있다. 실질적으로 온실가스를 다량으로 배출하고 감축기술의 적용이 가능한

† Corresponding author: pjhoon@dongguk.edu

Received February 1, 2017 / Revised March 10, 2017 / Accepted March 15, 2017

업종과 산업체만을 대상으로 온실가스 인벤토리를 구축할 시, 각 지자체마다 연구가 필요한 감축기술과 감축이 우선적으로 진행되어야 하는 분야에 대한 파악이 가능하며, 지자체 온실가스 감축기반 구축 제도의 이행이 보다 용이할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 충북의 약 12만개 사업체 목록을 받아 충북의 온실가스 다량 배출 기업을 선정하였고, 이를 대상으로 온실가스 배출량을 산정한 뒤, 업종별 정량적인 온실가스 배출량을 확인하였다. 또한 이를 바탕으로 충북의 온실가스 배출 특성을 분석하고, 감축 잠재량이 많은 세 분야를 선정하여 각 분야에 적용할 수 있는 감축 잠재량이 높은 기술을 분석하였다.

2. 온실가스 배출량 산정

2.1 온실가스 배출기업 선정

온실가스 배출량을 산정하기에 앞서, 충북의 약 12만개 사업체 중 온실가스 다량 배출 기업 선정과정이 필요하다. 본 연구에서는 1) 온실가스종합정보센터(GIR)의 ‘명세서 배출량 통계’에 온실가스 배출량을 공개한 충북 기업, 2) 한국환경산업기술원(KEITI)에서 관리하는 ‘환경정보공개시스템’에 에너지 사용량을 공개한 충북 기업을 온실가스 다량 배출 기업으로 선정하였다.

온실가스 배출량을 산정하기 위해서는 각 사업장의 설비 수, 전력 사용량, 연료별 사용량 등에 대한 정보가 필수적이지만, 기업에서는 이러한 정보를 공개하지 않아 GIR, KEITI에서 공개하는 자료를 이용하였다.

‘명세서 배출량 통계’에 온실가스 배출량을 공개한 기업은 ‘온실가스 목표관리제’에 해당되는 기업으로, 해당 기업은 온실가스 감축과 에너지 절약에 대한 의무가 있다. ‘목표관리제’에 해당되는 기업은 온실가스 다량 배출 사업장이기 때문에 충북의 온실가스 배출량에 큰 영향을 주므로 배출량 조사에 의의가 있다고 판단된다.

KEITI의 ‘환경정보공개시스템’에 에너지 사용량을 공개하지 않은 기업은 에너지 사용량이 적어 온실가스 배출량이 미미한 기업으로, 본 연구의 온실가스 배출량 단위인 tCO_{2eq}로 환산하면 온실가스 배출량이 0에 가까운 값을 보인다. 온실가스 배출량이 미미한 기업을 생략하는 것이 충북의 전체 온실가스 배출량 수치에 큰 영향을 미치는 것은 아니라고 판단되며, 이러한 소규모 기업의 경우, 감축기술 적용에 대한 비용 부담으로 인해 온실가스 감축이 어렵다고 분석하였다. 따라서 GIR과 KEITI에 온실가스 배출량 및 에너지 사용량을 공개하지 않은 기업은 본 연구의 온실가스 배출량 산정에 포함되지 않았다.

2.2 온실가스 배출원

온실가스 배출량 산정 이전에 사업장의 온실가스 배출원 파악이 선행되어야 한다. 온실가스 배출원은 Table 1과 같이 분류할 수 있다(IPCC, 2006).

본 연구에서는 온실가스 배출원 중 고정연소 배출원과 공정 배출원만을 고려하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 이동연소 배출원, 탈루 배출원, 폐기물, 간접 배출원에 대한 자료는 각 기업에서 공개하지 않으며, 대부분의 사업장은 이러한 배출원의 온실가스 배출량이 kgCO_{2eq}로 표현되어 tCO_{2eq}로 환산하면 0에 가까운 수치를 나타내므로 배출량 산정에서 제외되었다.

2.3 온실가스 배출량 계산

온실가스 배출식은 에너지관리공단에서 2009년에 발표한 업종별 온실가스 배출량 산정 가이드라인의 식을 이용하였다. 배출량 산정 방법론은 ‘simple method’가 사용되었다(IPCC, 2006).

2.3.1 고정연소에 의한 배출

고정연소의 배출량 계산식은 다음과 같다(IPCC, 2006).

$$Emissions_{GHG}(tCO_2/yr) = \sum[A \times B \times f_1 \times f_2] = \sum[C \times f_2] \quad (1)$$

여기서, $Emissions_{GHG}$ 는 연간 온실가스 배출량, A 는 연료별 소비량, B 는 발열량, f_1 은 환산계수, f_2 는 온실가스 배출계수이다. C 는 A , B , f_1 을 곱한 값으로 연료를 소비함으로써 사용한 에너지양이다. 연료별 소비량은 각 사업장마다 상이하고, 발열량은 IPCC 2006 가이드라인에서 제시하는 연료별 저

Table 1. Classification of greenhouse gas emission sources

Emission source	Type of greenhouse gas
Stationary combustion	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Mobile combustion	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Direct emissions	Depends on the industry
Process emissions	
Fugitive emissions	CO ₂ , HFCs, SF ₆
Waste	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Indirect emissions	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O

위발열량을 사용한다. 환산계수는 에너지단위 MJ를 TJ 단위로 변환하기위하여 사용되는 계수이다. 온실가스 배출계수는 IPCC 2006 가이드라인에서 제공하는 연료별 배출계수가 사용되었다. 사업장에서 사용하는 연료는 LNG, 화석연료 등 여러 종류가 있을 수 있으나, 각 기업이 연료별 사용량을 공개하지 않기 때문에, 본 연구에서는 환경정보공개시스템에 명시된 충북 기업의 에너지 사용량(TJ/yr)을 사용하여 계산하였다.

2.3.2 제조공정에 의한 배출

일부 업종은 제조과정에서 온실가스가 배출된다. 충북의 경우, 제조과정에서 온실가스가 배출되는 업종은 반도체분야와 시멘트분야였으며, 이 분야를 제외한 다른 업종은 해당 업체에 직접 문의한 결과, 제조과정 시 온실가스가 배출되지 않았다. 시멘트와 반도체 분야의 공정배출식은 다음과 같다(IPCC, 2006).

$$Emissions_{CO_2}(tCO_2/yr) = ClinkerProduction(t/yr) \times 0.52(tCO_2/tClinker) \quad (2)$$

$$Emissions_F(kg/yr) = EF_{FC}(kg/m^2) \times Production\ performance(m^2/yr) \quad (3)$$

식 (2)는 시멘트, 식 (3)은 반도체의 공정배출식이다. 여기서 클링커 생산량 및 생산실적은 각 사업장마다 다르기 때문에 본 연구에서는 기업에 직접 문의하였다. 에너지관리공단에서 2009년에 발표한 시멘트 업종 온실가스 배출량 산정 가이드라인에 따르면, 식 (2)의 0.52는 시멘트의 평균 라임(CaO) 함유율을 65%로 고정하고, 여기에 시멘트 킬른더스트(CKD)를 고려하여 2%를 추가적으로 보정한 값이다(Korea Energy Agency, 2009). EF_{FC} 는 불소계열 가스의 배출계수로 전자제품 생산 공정에서의 F 가스 배출계수는 제품생산 시 사용하는 불소가스에 따라 다른 배출계수를 사용하여야 하지만, 기업에서 불소가스 사용량을 공개하지 않아, 본 연구에서는 반도체 제조 시 가장 많이 사용하는 CF_4 의 배출계수인 $0.9\ kg/m^2$ 를 사용하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 충청북도 민간 사업체 온실가스 배출량 산정결과

충청북도 소재 민간 사업체를 중심으로 한 업종별 온실가스 배출량 및 업종별 온실가스 배출비율은 Table 2 및 Fig. 1

과 같다. 시멘트가 약 73%로, 충청북도의 온실가스 배출에서 가장 큰 배출 비율을 보였다. 뒤이어, 반도체(16%), 제지(5%), 석유화학(2%), 전기전자, 철강, 음식료품, 폐기물, 섬유, 기계가 차지하였다.

3.2 부문별 충청북도 온실가스 배출 특성

Table 2. Greenhouse gas emissions of private industries of Chungcheongbuk-do

Field	GHG emissions (tCO ₂ eq/yr)	Percentage (%)
Semiconductor	3,610,433	16.150
Machine	18,457	0.083
Petrochemistry	516,475	2.310
Cement	16,443,650	73.553
Paper	1,253,536	5.607
Electric electronic	270,553	1.210
Steel	94,805	0.424
Waste	37,394	0.167
Textile	33,256	0.149
Food and beverage	77,695	0.348
Total	22,356,254	100.000

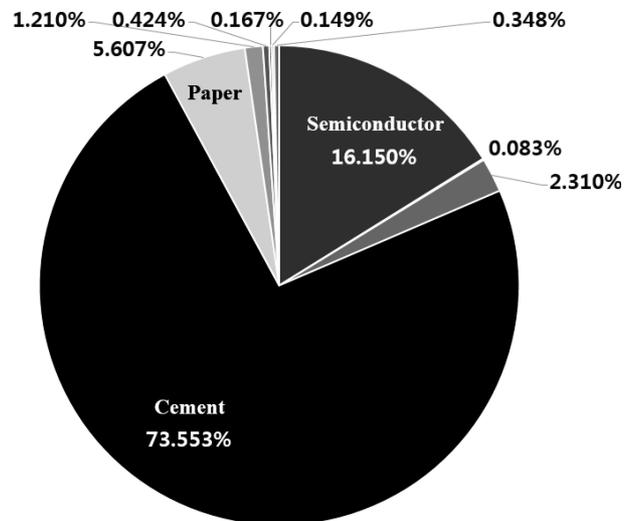


Fig. 1. Circle graph of greenhouse gas emissions of Chungcheongbuk-do.

3.2.1 석탄 화력발전

석탄 화력발전은 국가 온실가스 배출량 증가에 큰 비중을 차지하는 분야로, 특히 석탄 화력발전의 비중이 커진 해인 2013년에는 에너지 분야의 총 배출량이 전년대비 약 9.0백만톤CO_{2eq}로 증가하였다(Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, 2015). GIR에서 발표한 2015년 국가 온실가스 인벤토리 보고서에서는 이러한 온실가스 배출량 증가의 원인을 석탄 화력발전의 비중이 증가하였기 때문으로 분석하였다. 이처럼 화력발전은 국가 온실가스 배출량에 큰 비중을 차지하고 있으나, 본 연구의 충청북도 온실가스 배출량에서 발전 분야가 차지하는 비율은 없다. 국가 온실가스 배출특성과 충청북도 온실가스 배출특성이 다른 이유는 충북소재 발전소 중 온실가스를 배출하는 화력발전소는 없기 때문이다. 충북 소재 약 12만개 사업체 중 발전과 관련된 기업은 총 33개로, 이 중 수력발전이 5개, 태양광 발전이 9개, 나머지는 전력공급 관련 분야이다.

3.2.2 폐기물

GIR에서는 2013년 폐기물 분야의 온실가스 배출량은 약 15.0백만톤CO_{2eq}으로 국가 온실가스 총 배출량의 2.2%를 차지하는 것으로 분석하였다. 그러나 본 연구에서 폐기물의 온실가스 배출량 비중은 0.167%로 아주 적은 것을 확인할 수 있는데, 이는 충북 소재의 민간 사업체에 대해서만 배출량을 산정하였기 때문이다. GIR의 2015년 명세서 배출량 통계에 등록된 폐기물 관련 기업의 총 배출량은 약 11.8백만톤CO_{2eq}으로, 이 중 공공기관의 배출 비중은 약 74%이다. 즉, 폐기물 분야에서 발생하는 온실가스는 대부분 공공기관에 의한 것으로 분석될 수 있는데, 본 연구는 충북의 사기업에 대해서만 배출량을 산정하였기 때문에 폐기물이 차지하는 비중이 미미한 것으로 분석하였다.

3.3 온실가스 감축기술

시멘트와 반도체 분야가 각각 73.553%, 16.150%로 충북의 온실가스 다량 배출 산업분야이므로 해당 분야들에 적용 가능한 온실가스 감축기술을 분석하였으며, 또한 배출량 비중이 적지만, 온실가스 감축 잠재량이 큰 폐기물 분야의 감축기술에 대해서도 분석하였다.

3.3.1 시멘트

시멘트 분야는 전 세계 온실가스 배출량의 5%를 차지하는 탄소배출량이 높은 산업체 중 하나이다(Bjerge and Brevik,

2014). 이와 관련하여 선진국에서는 시멘트 산업의 온실가스 감축기술 개발을 위해 다양한 정부지원이 이루어지고 있으나, 국내에서는 구체적인 시멘트 분야의 온실가스 감축기술 개발이 이루어지지 않고 있다. 특히 노르웨이의 경우, 2017년 국가 예산안에 이산화탄소 포집 및 저장(Carbon Capture and Storage; CCS) 관련 사업에 약 1억 6300만 달러 규모의 자금을 지원할 계획이라고 발표하였다.

노르웨이의 CCS 관련 사업 중 하나인 전체 규모 CCS 실증 프로젝트는 노르웨이의 Brevik에 위치한 Norcem 사의 시멘트 공장을 대상으로 진행된다. 해당 프로젝트를 위한 이산화탄소 포집 기술로는 Aker Solutions 사에서 개발한 아민 흡수제가 사용될 예정이다. Aker Solutions 사는 자사의 아민 기술이 시멘트 산업 공장에 적용될 경우, 연간 약 400,000 tonCO₂의 이산화탄소가 포집될 것으로 예측하고 있다.

환경부에서 2014년에 보고한 ‘국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵’에 따르면, 시멘트 산업의 2020년까지 목표 감축량은 3.5백만톤CO_{2eq}으로, BAU 대비 40.8%이다(Ministry concerned, 2014). 우리나라가 이와 같은 목표 감축량을 달성하기 위해서는 노르웨이와 같이 시멘트 산업을 위한 CCS 실증 프로젝트에 정부의 지원이 이루어질 필요가 있다.

3.3.2 반도체

반도체 사업장에서 발생하는 온실가스는 크게 불소 계열 가스와 이산화탄소로 나눌 수 있으며, 반도체 사업장에서 발생하는 이산화탄소는 대부분 LNG를 사용함으로써 발생하는 고정연소에 의한 배출이다. 따라서 반도체 부문은 CO₂에서의 감축 잠재량은 미미하며, F 가스 처리기술의 개발이 이루어질 필요가 있다. 대표적인 F 가스 감축 기술로는 반도체 제조 공정 중 CVD, Etching 공정에서 발생하는 과불화탄소인 PFC 가스를 처리하는 스크리버(scrubber)가 있다. 스크리버는 PFC 가스 제거 방식에 따라 기술이 나뉘는데, 고온조건(900~1,200 °C)에서 PFC 가스를 제거하는 연소식 스크리버, 플라즈마를 발생시켜 전자와 기체 분자를 충돌시켜 PFC 가스를 분해하는 플라즈마식 스크리버 등이 있다. 그러나 기존의 스크리버는 고온 조건을 형성하거나 플라즈마를 발생시키기 위해 많은 에너지가 소비되며, 특히 스크리버의 F 가스 처리 후 2차 오염물질인 NO_x, 초미세먼지 등이 다량으로 발생한다는 단점이 있다. 따라서 스크리버에 사용되는 에너지를 저감하면서도 2차 오염물질에 대한 대응이 가능한 친환경적 기술 개발이 필요하다.

3.3.3 폐기물

폐기물 분야의 온실가스 감축 기술로는 폐열 활용, 폐기물

에너지화 기술 등 다양한 기술이 있으며 그 중 매립지에서 발생하는 매립지가스(Landfill Gas; LFG)를 이용하여 발전하는 매립지가스 발전 기술이 있다.

매립지가스의 메탄농도는 약 50~60%로, 메탄의 GWP(Global Warming Point)는 21이다. GWP가 1인 이산화탄소에 비해 메탄가스는 21배의 온실효과를 유발하므로, LFG에서 발생하는 메탄을 에너지로 재활용하게 되면 온실가스 감축효과를 기대할 수 있다. 또한 LFG를 자원화 하는 매립지가스 발전 기술은 온실가스 감축효과뿐만 아니라, 경제적 부가가치를 창출할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 폐기물 분야의 온실가스 감축기술 분석을 지난 2015년 10월, 충주시와 ㈜케이에프가 맺은 ‘매립지가스 활용을 통한 온실가스 감축 사업’을 중심으로 진행하였다. 해당 협약은 충주시의 종료된 매립지를 대상으로 매립지가스를 포집하여 불순물을 처리하고, 고부가가치화 하는 사업이다. ㈜케이에프의 매립지가스 발전 기술을 이용할 시 기대되는 온실가스 감축 효과는 Table 3과 같다.

4. 결 론

본 연구에서는 충북의 온실가스 다량 배출기업을 선정하고 해당 기업의 온실가스 배출량을 계산하여 온실가스 배출특성을 파악하였다. 연구 결과, 충청북도의 온실가스 배출량은 시멘트 분야가 전체 산업 중 73.553%로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 그에 이어 반도체 분야가 16.150%로, 온실가스 다량 배출 분야이다. 이러한 결과를 이용하여 충북의 온실가스 배출특성을 분석하였다. 충북의 경우, 온실가스를 다량으로 배출하는 화력발전소가 없고, 시멘트 및 반도체 산업이 발달하

여 해당 분야가 높은 온실가스 배출량을 나타내었다. 또한 주로 공공기관에 의해 온실가스가 배출되는 폐기물의 특성상, 사기업에 대해서만 배출량을 산정한 본 연구에서는 폐기물의 온실가스 배출 비중이 0.167%로 적었다.

시멘트, 반도체, 폐기물 분야의 감축기술에 대하여 분석하였으며, 시멘트 분야의 경우 국내 시멘트 산업에 감축기술을 적용하거나, 개발된 사례가 없어 노르웨이의 CCS 실증 프로젝트를 통해 감축잠재량 및 기술을 분석하였다. 반도체 분야는 F 가스 처리기술인 스크리버를 중심으로 감축기술을 분석하였고, 폐기물은 지난 2015년 10월 충주시와 ㈜케이에프가 체결한 ‘매립지가스 활용을 통한 온실가스 감축 사업’을 통해, ㈜케이에프의 온실가스 감축기술인 LFG 발전 기술과 이를 이용한 온실가스 감축 효과를 분석하였다.

충북의 온실가스 배출특성은 국가 온실가스 배출특성과 다른 특성을 나타내었으며, 충북의 온실가스 저감목표의 수립·달성을 위해서 시멘트, 반도체 및 폐기물 분야를 위주로 감축기술 연구가 이루어질 필요가 있다. 특히 관련 연구가 부족한 시멘트 산업을 중심으로, 노르웨이와 같이 시멘트 산업의 온실가스 감축기술에 대한 정부의 지원이 필요할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 “충북연구원 「충북소재 온실가스 배출 사업체의 DB 구축 및 온실가스 감축 신기술 발굴」(충북연구원 기획과 제 2016-01)”의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Kim SD, Na SH. 2008. Method of calculation about greenhouse gas emissions. Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea 35:1313-1322.

Kim DY, Kim YK, Jo JS. 2008. Development of greenhouse gas emission inventory system for Gyeonggi-Do. Gyeonggi Research Institute, Korea.

Kim KH. 2016. Science and technology policy. In: Kim KH (ed) Adoption of Paris agreement and direction of footwork of Korea, 26th edn. Science and Technology Policy Institute, Korea, pp 22-27.

GIR. 2015. 2015 National GHG inventory report of Korea. GIR, Korea.

Ministry Concerned. 2014. Road map for achievement of

Table 3. Expected effect of GHG mitigation using LFG generator technology of KF, Inc.

LFG generation scale	Utilization method	Mitigation of CH ₄
1 m ² -LFG/min	100 kW gas engine generator	Less than 500 ton-CH ₄ /year
	300 kW gas engine generator	
3~10 m ² -LFG/min	Sale to city gas, Inc.	500~1,600 ton-CH ₄ /year
	Generation of syngas	
More than 10 m ² /min	Generation of syngas	1,600 ton-CH ₄ /year

- purpose of GHG mitigation. Ministry concerned, Korea.
- Kim J, Kim GG, Jung JH, Jang YC, Kang H. 2012. Greenhouse gas emission and its characteristics from waste sector in Daejeon metropolitan city(in Korean with English abstract). *Journal of Korea Society of Waste Management*. 29:520-526.
- Jang NJ. 2009. A study on greenhouse gas inventories for regional governments (A case study of Jeonbuk province) (in Korean with English abstract). *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 31:565-572.
- Korean Energy Agency. 2009. Semiconductor industry GHG emissions calculation Good Practice guideline. Korean Energy Agency, Korea.
- Korean Energy Agency. 2009. Petrochemical industry GHG emissions calculation Good Practice guideline. Korean Energy Agency, Korea.
- Korean Energy Agency. 2009. Cement industry GHG emissions calculation Good Practice guideline. Korean Energy Agency, Korea.
- Korean Energy Agency. 2009. Paper industry GHG emissions calculation Good Practice guideline. Korean Energy Agency, Korea.
- Korean Energy Agency. 2009. Steel industry GHG emissions calculation Good Practice guideline. Korean Energy Agency, Korea.
- Bjerge LM, Brevik P. 2014. CO₂ capture in the cement industry, Norcem CO₂ capture project (Norway). *Energy Procedia* 63:6455-6463.