

# IPCC 방법을 이용한 시화·반월 산업단지의 온실가스 배출량 산정 연구

## A study on the calculation of greenhouse gas emission in industry complex of Shiwha-banwol using the method of IPCC

안 재 호\*

An, Jae-Ho

### Abstract

Recently environmental regulations like the Kyoto Protocol, adopted in 1997, required the reduction of the greenhouse gas of 5.2% up to 1990's emissions and 13th General Assembly in 2007, held in Bali of India, have agreed to duty reduction even in developing countries in 2013. Korean government needs research on climate change and greenhouse gas management, such as carbon emissions calculation system and the introduction of greenhouse gas reduction program. Using Top-Down approach with method of IPCC, greenhouse gas emissions from energy, transportation, agriculture, land use and forest, and waste was calculated. Total amount from Shiheung-City in 2007 was about 3,299,581 tons of greenhouse gas CO<sub>2</sub>. By sectors, the total greenhouse gas emissions in the energy sector mostly accounted for 78 percent, 12 percent from transportation, 6 percent of waste, the landuse/forest sector, 4 % of the greenhouse gas emissions. Approximately 5,401,618 tons of the greenhouse gas CO<sub>2</sub> was total amount from Ansan-City in 2007. The share of energy sector greenhouse gas emissions was the highest portion of 79 % and 14 percent of transportation, 4% from the waste sector, 3 % from landuse/forest sector.

키워드 : 온실가스, CO<sub>2</sub> 배출, IPCC 방법

Keywords : Green house gas, CO<sub>2</sub> Emission, Method of IPCC

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

최근 선진국을 중심으로 환경규제를 통한 국제무역장벽이 강화되고 있으며, 1992년 채택된 기후변화협약은 지금까지 13차에 걸친 당사국총회를 통하여 구체화되어 왔다. 1997년에 채택된 교토의정서에서는 선진국의 온실가스 감축목표를 1990년 대비 5.2% 감축하도록 규정하였고, 2007년 인도 발리에서 개최된 13차 총회에서는 2013년부터 적용되는 개발도상국에도 감축의무를 부여하도록 합의하였다. 이에 따라 우리나라도 더 이상 온실가스 감축 의무에서 자유로울 수 없게 되었으며, 구체적인 기후변화에 대한 온실가스감축, 연구개발, 탄소배출거래제도 등의 대응책 마련에 부심하고 있다. 2007년 말 정부는 기후변화대책위원회를 개최하여 기후변화 제4차 종합대책을 확정하였고, 대외적으로는 국제사회의 온실가스 저감 노력에 적극적으로 동참하여 기후변화에 대한 대응의지를 표명하는 한편, 국내적으로도 기후변화에 대한 적극적인 대응을 통해 부담을 최소화하고자 하였다. 2009년의 덴마크

코펜하겐 기후변화 정상회담 참석을 앞두고 이에 적극적인 대응을 위하여 IPCC 기후 변화에 관한 정부 간 패널 등 국제기구에서 제시하는 2020년 배출 전망치(BAU)에 대비 15~30%까지 줄이는 방안을 논의하였고 국무회의를 통해서 개도국에 대한 권고치 중에선 가장 높은 30% 감축에 대해서 최종 의결이 이루어졌다. 이러한 저감 목표에 도달하고 관리방안에 도출하기 위해서는 단위지역을 대상으로 온실가스의 배출현황을 정확하게 파악하고 나아가 이를 바탕으로 구체적인 방안을 검토하는 것이 필요할 것이다. 기초지자체에서는 과천시가 환경부와 기후변화대응 시범도시 협약을 체결하여 2015년까지 2005년 대비 5% 온실가스 저감 목표를 수립하고 있고<sup>1)</sup> 경기도에는 현재 안산시와 대전시가 온실가스 배출 저감을 위한 프로그램을 통하여 각 지자체별로 기후변화 대응방안을 추진하고 있다<sup>2),3)</sup>. 또한 서울시의 단위지자체인 영등포구

- 1) 과천시, 기후변화 대응 시범도시 조성을 위한 환경부-과천시 협약 체결 세부추진 계획, 2007.
- 2) 배우근, 안산시의 온실가스 배출원 및 배출량 조사 연구, 안산환경기술개발센터, 2007.
- 3) 대전발전연구원, 온실가스 저감을 위한 대전광역시의 대응방향, 2004.

\* 환경대학교 환경공학과 교수 (jhan@hknu.ac.kr)

에서는 단위행정 단위의 온실가스 저감 방안에 대한 연구를 수행하였다<sup>4)</sup>. 본 연구는 기초지자체의 온실가스 배출량을 산정하기 위한 방법론을 검토하여 시흥시와 안산시 시의 배출량 산정에 적용을 하였다. 지자체 온실가스 산정 시에 온실가스 배출원을 에너지 부분, 폐기물, 농업, 토지이용/산림 등 4개 부문으로 나누어 IPCC가 제시한 가이드라인에 따라 산정하였다. 온실가스 배출량 산정을 위한 기초 자료는 확보가 가능한 최근의 자료를 참고하였고, 2007년 자료를 중심으로 하였다.

**1.2 온실가스 배출량 산정 방법**

현재 대부분의 온실가스 배출량 산정방법은 IPCC에서 제공하고 있는 지침에 기초하고 있으며, IPCC에서 제공하고 있는 표준화된 산출 지침은 1994년 처음으로 발간되었으며 최근에 2006년 IPCC는 새로이 개정된 지침을 발간하였다. 우리나라의 국가단위 온실가스 배출통계는 IPCC 가이드라인을 따르고 있으며, IPCC가 제시하고 있는 방법론 가운데 기본 방법론 Tier 1 을 적용하고 있다<sup>5),6),7)</sup>. 경기도의 선행연구는 지자체 단위에서 처음으로 온실가스 배출량 통계를 제시하였고 최근 수행된 경기도에 관한 연구에서는 시군별 배출량을 작성하여 처음으로 시군별 배출특성을 분석하고 기초 지자체의 에너지 절감 및 효율화 정책과 온실가스 배출량 변화가 직접 관련지어 활용할 수 있도록 제시하고 있다<sup>8)</sup>. IPCC의 온실가스 산정방법은 평균치에 의한 Top-Down 방식으로 온실가스 배출량을 산정하게 되므로, 각 국가나 지역, 개별 배출원에 대한 고려를 유기적으로 할 수 없는 단점이 제시되어 왔으며, 기후변화협약에서 우위에 서기 위한 방법의 일환으로 보다 정확한 온실가스 배출량 통계방법 및 통계자료를 구축하는 것이 필요할 것이다. 이에 따라 미국 등의 일부 선진국에서는 이미 온실가스 배출량을 체계적으로 조사·연구 중에 있으며, 온실가스 배출계수 개발에 박차를 가하고 있다<sup>9),10),11),12)</sup>. 특히 배출계수 개발은 배출량 산정의 가장 기본이 되는 자료로써, 각 공정별, 업종별, 주위여건 등에 따라 배출계수가 다변화 될 수 있으므로

적절한 배출계수의 확립이 무엇보다도 시급하다고 하겠다<sup>13)</sup>. 특히 환경부에서는 온실가스의 배출을 대기오염물질의 배출과 통합 관리하고자 하는 노력을 기울이고 있으며 CAPSS-GHG 배출량관리 시스템을 운영 중에 있다. 본 연구에서의 배출량 산정은 다음 IPCC의 1996년 개정판을 기준으로 하였다.

**2. IPCC에 의한 Top-Down 산정방식**

에너지 부분의 연료연소 부문 등에 대하여는 Top-Down 방식으로 온실가스 배출량을 산정하였고, 개별 배출시설 자료를 직접 활용함으로써 사업장 단위의 배출량 등을 고려하였다. 배출시설 이외의 연료연소에 의한 배출은 지역에너지통계연보 등을 활용하고 에너지 사용량이 중복되지 않도록 유의하였다. 농업/축산부문의 배출량은 가축분뇨 및 장내발효에 의한 CH<sub>4</sub> 배출, 비농사 담수에 의한 CH<sub>4</sub> 배출, 비료사용에 의한 N<sub>2</sub>O 배출을 중심으로 산정하였다. 토지이용과 산림 부문은 인간의 토지이용 형태 변화, 바이오매스 축적량의 변화 등에 따른 온실가스의 변동량을 다루기 위한 것으로 산림 바이오매스의 증가에 따른 이산화탄소의 흡수량과 별개로 인한 이산화탄소의 배출량을 산정하여 이산화탄소 수지를 평가하였다. 바이오매스는 임업통계연보의 자료를 사용하였고 그 외 자료는 기존 연구의 자료를 사용하였고 별개로 인한 이산화탄소 배출량은 임업통계연보의 자료를 사용하여 용재 및 임산연료 생산량을 기초로 산출하였다.

**2.1 에너지 부문**

IPCC의 Tier 1 방법론에서는 다음 6단계의 과정을 거쳐 아래와 같이 연료연소에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량이 산정된다.

$$CO_2 \text{ 배출량} = \text{탄소배출량} * \text{전환계수}(44/12) \quad (1)$$

$$\text{탄소배출량} = \text{연료소비량} \times \text{탄소배출계수} \times \text{연소율} - \text{물입탄소량} \quad (2)$$

표 1. 2007년 안산, 시흥지역 에너지부문 연료사용량

	안산시	시흥시
휘발유(KL)	114,719	125,032
등유(KL)	23,857	19,335
경유(KL)	200,619	263,429
중유(KL)	3,202	698
병커C유(KL)	122,289	129,881
LPG(KL)	151,823	113,932
도시가스(m <sup>3</sup> )	418351	242288
무연탄(ton)	269,534	148,832
유연탄(ton)	486,854	0
기타	33,807	27,387

13) 환경부, 온실가스 및 대기오염물질 배출계수 통합관리 시스템 개발, 2008.

4) 영등포구, 온실가스 배출원 및 배출량 조사연구, 2006.  
 5) IPCC Revised 1996 guidelines for national greenhouse gas inventory, Vol 1, Reporting instruction, 1997.  
 6) IPCC Revised 1996 guidelines for national greenhouse gas inventory, Vol 2, Greenhouse gas inventory workbook, 1997.  
 7) IPCC Revised 1996 guidelines for national greenhouse gas inventory, Vol 3, Reference manual, 1997.  
 8) 김동영, 경기도 온실가스 배출량 산정 시스템 개발경기개발연구원, 2008.  
 9) Parker, Larry Greenhouse Gas Emissions: Perspectives on the Top 20 Emitters and Developed Versus Developing Nations, CRS Report for Congress, 2008.  
 10) 에너지경제연구원, 기후변화협약 이행을 위한 국가보고서: 캐나다, 1995.  
 11) 에너지경제연구원, 기후변화협약 이행을 위한 국가보고서: 영국, 1995.  
 12) 환경부, 「기후변화협약 이행을 위한 국가보고서(호주 등 7개국), 1996.

**2.2 수송 부문**

IPCC에서는 제시하는 도로수송 부문의 배출량 추정을 위해서는 운송수단의 종류, 연료소비, 운행특성, 배출제어, 유지관리 등 많은 인자들을 고려하여 산정을 하여야 한다. 본 연구에서는 연료별 소비량에 IPCC에서 제시하는 온실가스배출계수를 적용한 Tier 1. 방법을 이용하였다.

$$\text{배출량} = \text{연료소비량}(l) * \text{tonC/TOE} * \text{연소율} * 44/12 \quad (3)$$

tonC/TOE : 탄소배출계수

연소율 : 석유제품(0.99), 가스(0.995)

표 2. 2007년 안산, 시흥지역 도로현황(경기통계연보)

		안산시	시흥시
합계	계	828944	614369
	포장	822704	514423
	미포장	-	-
	미개통	6240	99946
고속도로	고속도로	16950	32330
일반국도	계	50412	33545
	포장	49412	33545
	미포장	-	-
	미개통	1000	-
지방도(국가 지원+일반)	계	39500	19020
	포장	34260	5820
	미포장	-	-
	미개통	5240	13200
시군도	계	722082	529474
	포장	722082	442728
	미포장	-	-
	미개통	-	86746

**2.3 전력 부문**

$$\text{배출량}(\text{ton-CO}_2/\text{년}) = \Sigma(\text{전력소비량}(\text{MWh}/\text{년}) * \text{온실가스배출원단위}(\text{CO}_2/\text{MWh})) \quad (4)$$

이산화탄소 : 0.436kg-CO<sub>2</sub>/MWh

메탄 : 0.436kg-CO<sub>2</sub>/MWh

아산화질소 : 0.436kg-CO<sub>2</sub>/MWh

**2.4 가축 부문**

장내발효로부터 발생하는 CH<sub>4</sub>은 가축의 정상적인 소화 과정을 통해 배출되며, 주로 반추동물(축우, 산양, 면양 등)을 통해 배출되며, 메탄 배출량은 가축의 종류에 따라 분류를 하고 각 집단별 두수자료와 배출계수를 곱하여 산정 하였다<sup>14)</sup>.

$$\text{장내발효 CH}_4 \text{ 배출량}(\text{kg}/\text{yr}) = \text{가축두수}(\text{두}) * \text{배출계수}(\text{kg}/\text{두}/\text{yr}) \quad (5)$$

$$\text{가축분뇨 CH}_4 \text{ 배출량}(\text{kg}/\text{yr}) = \text{가축두수}(\text{두}) * \text{배출계수}(\text{kg}/\text{두}/\text{yr}) \quad (6)$$

표 3. 2007년 안산, 시흥지역 가축두수(시군별 통계연보)

	젖소	한우	면양	산양	마	돼지	닭	기타
시흥시	1,125	2,882	0	367	63	7,044	37,995	16,334
안산시	726	1,286	0	419	73	2,774	8,115	25,660

**2.5 벼농사 부문**

경기개발연구원의 '경기도 시군 지자체의 온실가스 배출 특성 연구'에서는 농업과학기술원의 자료를 이용하여 재배양식, 물관리, 품종에 따른 배출계수를 제시하고 2004년을 기준으로 한 경기도 농업 부문의 CH<sub>4</sub> 발생량을 산정하였다. 본 연구에서는 같은 산정방법을 이용하여 벼 경작에 의한 배출량을 추정하였다.

$$\text{종합 배출계수} = \text{벼 재배생육기간일수} * \text{배출계수} \quad (7)$$

$$\text{메탄배출량} = \text{종합배출계수} * \text{논벼 재배면적} \quad (8)$$

표 4. 2007년도 안산, 시흥지역 논벼 재배양식별 면적 및 배출계수

재배양식	물관리	품종	면적(ha)	배출계수
이양재배	간단관개	조생종	8,689	0.241
		중생종	7,650	0.241
		중만생종	76,592	0.241
	상시답수	조생종	859	0.24
		중생종	757	0.24
		중만생종	7,575	0.24
건답직파	간단관개	조생종	2,370	0.144
	상시답수	조생종	234	0.163
답수직파	상시답수	중생종	6,040	0.193
계			110,766	-

토양으로부터의 직접배출에는 합성비료, 비료로 이용되는 축분, 생물적 질소고정, 작물 잔재물과 오수슬러지, 온실 경작, 고유기성 토양에서의 경작 등이 해당된다. 본 연구에서는 합성비료 사용에 의한 온실가스 배출만을 대상으로 하였으며, 질소질 비료사용량에 아래의 성분비를 이용하여 질소배출량을 구하고 IPCC에서 제시하고 있는 배출계수인 0.0125 kg-N<sub>2</sub>O/kg-N을 적용하고 44/28을 곱하여 산정하였다<sup>15)</sup>.

**2.6 토지이용 및 임업 부문**

원목, 연료, 목제품의 생산과 기타 산림을 이용하는 인간의 활동에 의해 산림 및 기타 목질 바이오매스의 변화가 생기며 이로 인해 CO<sub>2</sub>의 배출량은 바이오매스의 증가에 의한 탄소의 순흡수량과 상업적 이용이나 연료로 사

14) 고재경, 경기도 시군지자체의 온실가스 배출특성 연구, 경기개발연구원, 2007.

15) 에너지경제연구원, 기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축연구(제1차년도)-임업부문 온실가스 통계작성에서의 IPCC 우수실행지침 적용성 분석, 2004.

용되어 발생한 탄소 배출량의 차로 탄소의 흡수/배출량을 산정한다<sup>16)</sup>.

$$\begin{aligned} \text{바이오매스의 증가에 의한 탄소 순흡수량} = \\ \text{산림/바이오매스의 면적} \times \text{연간성장률} \times \\ \text{연간바이오매스증가} \times \text{탄소전환계수} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{바이오매스의 벌채에 의한 탄소 배출량} = (\text{상업적 벌채에} \\ \text{의한 바이오매스 감소} + \text{연료 채소비} + \text{기타이용}) \times \\ \text{탄소전환계수}(44/12) \end{aligned} \quad (10)$$

표 5. 2007년도 안산, 시흥지역 임야면적(경기통계연보)

행정구역	침엽수	활엽수	혼효림
시흥시	840	1,414	2,134
안산시	2,384	1,602	2,397

산림 및 초지 전용에서는 용도전환을 위해 벌채된 바이오매스의 연소와 벌채 후 방치된 바이오매스의 부패에 의해 탄소가 발생되며, 1996년을 기준으로 평균전용면적을 구하고 IPCC에서 제시하는 건조바이오매스 전환계수를 이용하여 전용에 의한 바이오매스 밀도변화를 산출하였다. 경기개발연구원에서 경기도 지역의 지자체 온실가스 배출량산정에 적용한 방법을 이용 건조바이오매스 전환계수는 경기도 침엽수와 활엽수의 산림 면적비를 이용하여 평균된 값을 사용하였다<sup>8)</sup>.

$$\begin{aligned} \text{바이오매스의 부패에 의한 탄소 배출량} \\ = \text{평균전용면적} \times \text{전용에 의한 바이오매스 밀도변화} \times \\ \text{부패율} \times \text{탄소전환계수} \end{aligned} \quad (11)$$

부패율 : 0.5      탄소전환계수 0.5

토지이용의 변화에 의한 토양탄소의 변화량은 다음 식에의 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{토양의 탄소 변화량} = [(\text{토양탄소} \times \text{면적})_{20} - (\text{토양탄소} \\ \times \text{면적})_{P}] / 20 \end{aligned} \quad (12)$$

20 : 20년 전 토양탄소량    P : 현재의 토양탄소량

### 2.7 폐기물 부문

매립된 폐기물은 물리, 화학, 생물학적인 반응을 통해 분해되면서 이 과정에서 다량의 CH<sub>4</sub>가 발생되며, IPCC에서 제안하는 고형폐기물의 매립에 의해 발생하는 CH<sub>4</sub> 배출량 산정식은 다음과 같다. 메탄보정계수(MCF, Methane correction factor)는 매립지의 관리 상태를 반영하는 것이며, 그 값이 0인 경우 호기성 분해조건, 1인 경우에는 혐기성분해조건을 의미함. 매립지별 상태를 알 수 없는 경우에는 기본값인 0.6을 적용한다<sup>15)</sup>.

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 \text{ 배출량 (Gg/yr)} = (\text{MSWT} \times \text{MSWF} \times \text{MCF} \times \text{DOC} \\ \times \text{DOCF} \times \text{F} \times 16/12.R) \times (1.OX) \end{aligned} \quad (13)$$

MSWT : 폐기물 연간 총 발생량(Gg/yr)  
 MSWF : 매립 폐기물의 비율  
 MCF : CH<sub>4</sub> 보정계수  
 DOC : 분해가 가능한 유기탄소 비율  
 DOCF : DOC 중 미생물에 의한 동화 비율(0.55)  
 F : 매립가스 중 메탄의 부피 비율(0.5)  
 R : 매립가스의 포집 · 회수된 CH<sub>4</sub>가스 양(Gg/yr)  
 OX : 산화계수

표 6. 2007년도 안산, 시흥지역 폐기물 발생현황

	안산시(톤/일)	시흥시(톤/일)
음식물채소류	0.0	2.4
종이류	8.3	10.0
나무류	1.1	2.6
고무피혁류	0.0	2.9
섬유류	0.0	0.0
슬러지	66.1	13.7
동식물성유기물	21.2	0.0
기타	69.1	70.1

폐기물 소각에 의해 발생하는 온실가스는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 등으로 알려져 있으나, 고온에서 일정한 소각시간을 유지해야 되는 현재 소각 조건에 비추어 볼 때 CH<sub>4</sub>의 발생은 미미하여 고려하지 않고 있음. 또 바이오매스에 의한 배출량은 자연계에서 순환 · 재이용되는 것으로 간주하여 순배출량에서 제외하였다<sup>15)</sup>.

$$\text{CO}_2 \text{ 배출량(톤/년)} = \sum \text{EF}_i \times \text{IW}_i \times \eta_i \quad (14)$$

$$\text{N}_2\text{O} \text{ 배출량(톤/년)} = \sum \text{EF}_i \times \text{IW}_i \times \eta_i \quad (15)$$

EF<sub>i</sub> : 폐기물 종류 i의 CO<sub>2</sub> 및 N<sub>2</sub>O 배출계수

IW<sub>i</sub> : 폐기물 종류 i의 연간 소각량

η<sub>i</sub> : 소각효율

### 2.8 하 · 폐수 처리 부문

하 · 폐수의 생물학적 처리는 수처리 과정과 슬러지의 처리 과정으로 구분되며, 하 · 폐수 처리 시스템의 CH<sub>4</sub> 배출량 산정방법은 다음의 공식을 적용하였다.

생활하수 CH<sub>4</sub> 배출량 = 하수처리량 \* BOD농도 \*  
 CH<sub>4</sub> 배출계수 \* BOD제거율 \* 메탄회수율

$$\text{CH}_4 \text{ 배출계수} \times \text{BOD제거율} \times \text{메탄회수율} \quad (16)$$

하수처리설비에서 발생하는 N<sub>2</sub>O 배출량은 1인당 단백질 섭취량과 단백질 중 질소비율, N<sub>2</sub>O 배출계수를 이용하여 산정하였다.

$$\text{N}_2\text{O(s)} = \text{Protein} \times \text{FraC}_{\text{NPR}} \times \text{NR}_{\text{PEOPLE}} \times \text{EF} \quad (17)$$

16) 국립산림과학원, 기후변화협약 대응 산림부문 온실가스 통계 체계 구축, 2006.

N<sub>2</sub>O(s) : 생활하수의 N<sub>2</sub>O 배출량 (kg N<sub>2</sub>O-N/yr)  
 Protein : 연간 단백질 섭취량 (kg/인/yr)  
 NR<sub>PEOPLE</sub> : 인구(인)  
 Fra<sub>CNPR</sub> : 단백질 중 질소비율 (0.16 kg-N/kg-protein)  
 EF : 배출계수(0.01 kg N<sub>2</sub>O-N/kg sewage-N)

표 7. 2007년도 안산, 시흥지역 폐수처리량

구 분	폐수발생량	폐수방류량	유기물질부하량(kg/일)	
			발 생	방 류
안산시	226,545	208,241	146,280.8	2710.7
시흥시	73,884	64,198	38,267.7	725.6

산업폐수에서 발생하는 CH<sub>4</sub>의 발생량은 매립에서와 마찬가지로 자연 대기 중에서 순환 재이용되는 것으로 간주해 산정에서 제외하였으며, 산업폐수의 슬러지처리 과정에서만 CH<sub>4</sub>이 발생하는 것으로 간주 하였다.

$$\text{산업폐수 CH}_4 \text{ 배출량} = \Sigma[\text{각 폐수처리량} \times \text{BOD농도} \times \text{CH}_4 \text{ 배출계수} \times \text{BOD제거율} \times (1 - \text{메탄회수율})] \quad (18)$$

산업폐수 처리설비에서 발생하는 업종별 폐수발생량에 폐수의 원단위 N<sub>2</sub>O 배출계수를 이용하여 산정한다.

$$\text{N}_2\text{O 배출량 (톤/yr)} = \text{폐수배출량(m}^3\text{/일)} \times 365\text{일} \times \text{원단위 배출계수 (g N/m}^3\text{)} \times \text{EF (kg N}_2\text{O-N/kg 폐수-N)} \times 44/28 \times 0.001(\text{톤/kg}) \quad (19)$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 시흥·안산 지역 지구온실가스의 배출량 산정

##### 1) 에너지 부문

IPCC 산정방법에 따른 에너지 부문에서 배출된 안산시와 시흥시의 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O의 배출량은 다음과 같이 표 1과 2에 나타내었다. 안산시의 경우 4,220,629 ton CO<sub>2</sub>/yr 이고 시흥시의 경우 2,611,850 ton CO<sub>2</sub>/yr 로 산정되었다.

표 8. 2007년 안산지역 에너지부문 온실가스 배출량

	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
계	83.22	35.75	4,220,629
휘발유	10.66	2.13	243,800
등유	2.50	0.50	59,328
경유	21.29	4.26	520,338
중유	0.37	0.07	9,342
병커C유	14.36	2.87	366,595
LPG	8.77	0.88	550,349
도시가스	16.72	1.67	933,532
무연탄	5.19	7.27	499,807
유연탄	12.13	16.98	1,124,170
기타	3.54	0.71	93,414

표 9. 2007년 시흥지역 에너지부문 온실가스 배출량

	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
계	69.49	16.37	2,611,850
휘발유	11.62	2.32	265,717
등유	2.03	0.41	48,083
경유	27.95	5.59	683,246
중유	0.08	0.02	2,036
병커C유	15.25	3.05	389,354
LPG	6.58	0.66	412,997
도시가스	9.69	0.97	540,655
무연탄	2.87	4.01	275,985
유연탄	0.00	0.00	0.00
기타	2.87	0.57	75,674

##### 2) 수송 부문

2007년도 안산시와 시흥시의 수송 부문의 온실가스 배출량은 차종별 연료의 사용량을 고려하여 IPCC에 제시된 배출계수를 적용하여 평균주행거리 및 도로의 특성을 반영하여 산정하였다.

표 10. 2007년 시흥지역 수송부문 온실가스 배출량

종류	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>
안산시	620,722	28.22	20.47
시흥시	460,046	20.91	15.17

##### 3) 농업 부문

2007년도 안산시와 시흥시의 농업 부문의 온실가스 배출량은 축산의 메탄의 경우 가축두수와 분뇨처리와 장내 발효에 따른 배출계수를 이용하였고, N<sub>2</sub>O의 경우는 분뇨처리 시에 발생하는 배출계수를 적용하였다. 벼농사는 재배면적과 품종에 따른 배출계수를 적용하여 산정하였고, N<sub>2</sub>O 배출량은 질소질 비료사용량에 질소 성분비를 이용하여 질소배출량을 구하고 IPCC에서 제시하고 있는 배출계수인 0.0125kg-N<sub>2</sub>O/kg-N을 적용하였다.

표 11. 2007년 시흥,안산 지역 수송부문 온실가스 배출량

	시흥시	안산시
축산부문 CH <sub>4</sub> 배출량	344,077	184,433
축산부문 N <sub>2</sub> O 배출량	893,607	872,849
벼농사에서 CH <sub>4</sub> 배출량	3,147,999	1,855,508
경작지 토양에서 N <sub>2</sub> O 배출량	2.05	9.9

##### 4) 토지이용 및 산림 부문

시흥시와 안산시 별로 경기통계연보와 각 시청통계연보를 이용하여 산림 및 목질계 바이오매스 변화에 따른 탄소 순흡수량을 산정 하였다.

표 12. 2007년 시흥, 안산 지역 토지이용 및 산림 부문 온실가스 배출량

	시흥시	안산시
산림 및 기타 목질 바이오매스의 증가에 의한 탄소 순흡수량	-12,280	-19,210
산림 및 기타 목질 바이오매스의 벌채에 의한 탄소 배출량	1,320	1,220
바이오매스의 부패에 의한 탄소 배출량	123,277	228,113
합계	112,317	210,123

표 13. 2007년 시흥, 안산 지역 바이오매스 변화에 따른 온실가스 배출량

산림유형	시흥시		안산시	
	침엽	활엽	침엽	활엽
전체 바이오매스 순증가(ton)	1,680	5,010	5,630	4,850
탄소 전환계수	0.50	0.50	0.50	0.50
탄소 순흡수량 (ton-C)	840	2,510	2,820	2,430
이산화탄소 흡수량 (ton CO <sub>2</sub> )	3,080	9,200	10,300	8,910

이 부분은 바이오매스의 증가에 따른 CO<sub>2</sub> 소비량에 해당한다고 볼 수 있다. 그러나 연구 대상지역의 토지이용도 변화와 벌채로 인하여 도시화에 따른 녹지면적의 감소로 오히려 잠재적으로 이 부분의 CO<sub>2</sub>의 증가에 기여를 하는 것으로 산정이 되었다.

5) 폐기물 부문

2007년도 안산시와 시흥시의 폐기물 부문의 온실가스 배출량은 매립, 생활하수 그리고 산업폐수 부분에서 배출이 되며 매립의 경우 전국폐기물 발생 및 처리 현황자료를 이용하여 생활·사업장배출시설에 건설매립량을 더하여 산정하였다. 또한 산업업소에서 배출되는 폐수 방류량과 유기물 부하량을 고려하여 산업폐수 부분에서 발생하는 온실가스들의 배출량을 산정하였다.

표 14. 2007년 시흥, 안산 지역 폐기물 부문 CH<sub>4</sub> 배출량

지역	매립 (ton/yr)	생활하수 (kg/yr)	산업폐수 (ton/yr)
시흥시	3,546	101,603	810
안산시	4,315	79,265	2,917

표 15. 2007년 시흥, 안산 지역 폐기물 부문 N<sub>2</sub>O 배출량

지역	생활하수 (kg/yr)	소각 (ton/yr)
시흥시	16,466	6,190
안산시	32,446	54,297

표 16. 2007년 시흥, 안산 지역 폐기물 부문 CO<sub>2</sub> 배출량

지역	소각(ton/yr)
시흥시	115,368
안산시	350,144

6) 시흥, 안산 지역의 전 부문의 온실가스 배출량

시흥시와 안산시의 에너지 및 연료 사용량 등을 기반으로 이 지역의 온실가스 총배출량과 각 부문별 발생량을 종합적으로 그림 1과 2에 나타내었다. Top-Down 방식을 이용하여 에너지, 수송, 농업, 토지이용 및 산림 그리고 폐기물 부문의 배출량을 산정하였다.

2007년도의 안산시의 온실가스 총배출량은 약 5,401,618 톤의 CO<sub>2</sub>와 농업 부문에서 주로 배출된 2,039,941 ton의 CH<sub>4</sub>과 872,858 ton의 N<sub>2</sub>O로 산정되었다.

배우근이 안산지역을 대상으로 한 연구에서 2004년도에 5,842,000의 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하였는데 이는 본 연구의 산정량인 5,401,618 톤의 CO<sub>2</sub>와 유사한 결과를 보여 주었다<sup>2)</sup>. 또한 시흥시의 경우에는 온실가스 총배출량은 약 3,299,581 톤의 CO<sub>2</sub>를 배출하였으며, 안산시와 마찬가지로 농업 부문에서 주로 배출된 3,492,076 ton의 CH<sub>4</sub>과 893,609 ton의 N<sub>2</sub>O로 산정되었다. 고재경이 2004년도의 CO<sub>2</sub> 배출량산정에서 3,678,439 톤을 보고한바 있다<sup>14)</sup>. 기존의 온실가스 산정 연구와 비교해 볼 때 타당성이 있는 연구결과로 볼 수 있겠다.

표 17. 2007년 시흥, 안산 지역의 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출량

		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
안산시	에너지	4,220,629	83	35
	수송	620,722	20	28
	농업	0	2,039,941	872,858
	1토지이용 및 산림	210,123	0	0
	폐기물	350,144	7,240	54,329
	합계	5,401,618	2,047,284	927,250
시흥시	에너지	2,611,850	69	16
	수송	460,046	15	20
	농업	0	3,492,076	893,609
	1토지이용 및 산림	112,317	0	0
	폐기물	115,368	4,366	6,206
	합계	3,299,581	3,496,526	899,851

2007년도의 시흥시의 CO<sub>2</sub>의 경우 부문별로는 에너지 부문이 전체 온실가스 배출의 대부분인 78%를 차지하고, 수송부문이 12%, 폐기물 부문 6%, 농업 부문 0.0%, 토지이용 및 산림 부문에서 4%의 온실가스를 배출하고 있다.

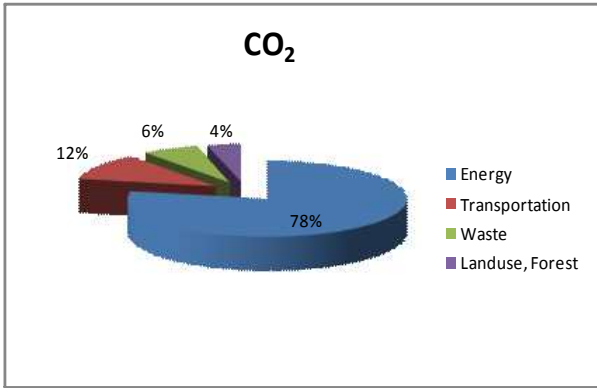


그림 1. 2007년 시흥 지역 전 부문 CO<sub>2</sub> 배출량

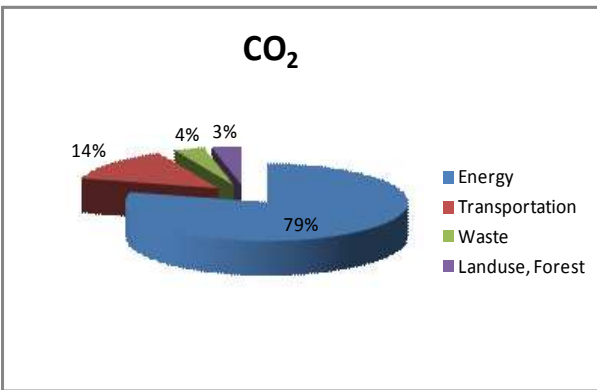


그림 2. 2007년 안산 지역 전 부문 CO<sub>2</sub> 배출량

2007년도의 안산시의 CO<sub>2</sub>의 경우 부문별로는 에너지 부문의 비중이 가장 높아 79%의 온실가스를 배출하고 있고 수송부문에서 14%, 폐기물 부문 4%, 토지이용 및 산림부분에서 3% 그리고 농업 부문에는 거의 무시할 정도 배출하였다.

### 3.2 바이오디젤 사용에 따른 CO<sub>2</sub>배출저감량

온실가스의 저감대책이 효과를 거두기 위해서는 지역별로 상이한 온실가스 배출특성을 고려한 정책이 필요하고 그에 따른 저감방안을 수립할 필요성이 있다하겠다. 본 연구에서는 산업단지의 특성을 지닌 시흥시와 안산시를 대상으로 온실가스의 지역 배출량 통계를 구축하고, 이를 바탕으로 온실가스의 배출저감을 위한 효율적인 관리방안을 찾고자 하였다. 그 중 수송부문에 있어서 온실가스의 저감 방안의 하나는 기존의 수송연료 중 일부를 바이오 디젤로 대체하는 방안을 검토하였다. 일반 디젤과 바이오디젤의 CO<sub>2</sub>가 주요 배출원으로 온실가스 배출측면에서 큰 차이를 보이지 않지만, 바이오디젤 사용 시 온실가스 배출 저감량을 인정받을 수 있어 온실가스 관리 및 저감 방안으로는 대단히 유용한 수단으로 대두될 것으로 사료된다. 최근 바이오 디젤의 세계 생산량은 2000년부터 2005년 사이에 약 4배 이상 증가하였고, 브라질을 중심으로 많이 사용되고 있는 바이오에탄올의 경우 약 2배 정도 증가 되었다. 브라질의 경우 바이오 에탄올이 전체 수송 연료의 20%를 차지하였다고 보고하고 있다<sup>17)</sup>. 바이오

연료 선도국의 경우 향후 2030년쯤에는 약 20%의 연료 대체가 이루어질 것으로 예상이 되며, 본 연구에서는 그 중 약 10% 정도까지 바이오 디젤의 수송 부문에 적용 시에 온실가스 저감량을 산정하여 보았다.

표 18. 바이오디젤 사용에 따른 CO<sub>2</sub> 배출저감량

	온실가스 저감량 (안산시) (ton-CO <sub>2</sub> )	온실가스 저감량 (시흥시) (ton-CO <sub>2</sub> )	총온실가스 저감량
CO <sub>2</sub> 배출량	620,722	460,046	
바이오디젤 2%	12,414	9,200	-21,614
바이오디젤 4%	24,828	18,401	-43,229
바이오디젤 6%	37,243	27,602	-64,845
바이오디젤 8%	49,657	36,803	-86,460
바이오디젤 10%	62,072	46,004	-108,076

우리나라도 바이오 디젤은 BD5의 보급단계에 와 있으며, 온실가스의 저감이 시급한 현안이 될 경우 보급이 대단히 확대될 것으로 사료된다. 국내에서는 2007년부터 전체 경유소비의 약 0.5%를 공급할 생산능력을 갖추도록 노력하였다. 최근에는 BD5에서 부터 BD20까지 다변화하는 노력을 기울이고 있다.

본 연구의 결과는 경유의 소비 중에서 수송 부문에 해당되는 승용차, 승합차, 화물차, 특장차 등에서 사용되는 경유를 바이오디젤로 2%, 4%, 6%, 8%, 10% 대체 시에 CO<sub>2</sub> 저감량을 산정하여 아래의 표에 나타내었다. 결과로 2%의 사용량 증가 시에 약 매년 안산시의 12,414톤 CO<sub>2</sub> 그리고 시흥시의 9,200톤 CO<sub>2</sub>를 저감할 수 있는 것으로 계산되었다. 10%의 수송 부문의 바이오디젤 대체 시에 안산시의 경우 전체 CO<sub>2</sub> 배출량 대비 약 1.47% 시흥시의 경우 약 1.39%의 감축을 가져올 수 있다. 이는 2020년까지 2005년 대비 약 4%를 저감해야 하는 구가의 목표를 고려할 때 지자체의 의무 저감량에 상당한 기여를 할 수 있을 것으로 사료된다. 이를 위하여 BD5 또는 BD20에 대한 보조금등의 제도도 활성화를 위해 필요한 유인책이 될 것으로 사료된다.

### 4. 결 론

우리나라도 구체적인 기후변화에 대응한 친환경 녹색 정책인 온실가스감축, 연구개발, 탄소배출거래제도 등의 도입과 온실가스 저감 목표에 도달하고 관리방안에 도출하기 위해서는 단위지역을 대상으로 온실가스의 배출현황을 정확하게 파악하는 것이 필수적이 되었고 본 연구에서는 산업단지로 구성된 시흥시와 안산시의 단위지역의 온실가스 배출량에 대하여 연구하였다.

최신의 자료인 2007년 자료를 적용하여 IPCC 방법에 의해 산정을 하였다. 그 결과 안산시의 온실가스 총배출량은

17) 에너지경제연구원, 기후변화협약 의무부담 관련 대응전략 분석, 2004.

약 5,401,618 톤의 CO<sub>2</sub>와 농업 부문에서 주로 배출된 2,039,941 ton의 CH<sub>4</sub>과 872,858 ton의 N<sub>2</sub>O로 산정되었다. 시흥시의 경우에는 온실가스 총배출량은 약 3,838,549.67 톤의 CO<sub>2</sub>를 배출하였으며, 안산시와 마찬가지로 농업 부문에서 주로 배출된 3,492,076 ton의 CH<sub>4</sub>과 893,609 ton의 N<sub>2</sub>O로 산정되었다. 이는 두 지역 모두 산업단지를 배후로 하고 있어 비슷한 배출 양상을 갖고 있다고 사료된다.

2007년도의 시흥시의 CO<sub>2</sub>의 경우 부문별로는 에너지 부문이 전체 온실가스 배출의 대부분인 78%를 차지하고, 수송부분이 12%, 폐기물 부문 6%, 토지이용 및 산림 부문에서 4%의 온실가스를 배출하고 있다. 안산시도 비슷한 특성을 보여 CO<sub>2</sub>의 경우 부문별로는 에너지 부문의 비중이 가장 높아 79%의 온실가스를 배출하고 있고 수송부분에서 14%, 폐기물 부문 4%, 토지이용 및 산림부분에서 3% 정도 배출하였다.

본 연구 대상지역의 온실가스 감축 목표를 도달하기 위하여 다양한 측면에서의 관리방안이 검토되어야 할 것으로 사료된다. 최근 많이 거론되는 하나의 방안으로 친환경 에너지인 BD5 또는 BD20 등의 바이오디젤의 수송 부문에 대체에 따른 온실가스 배출저감량을 분석하였다. 구체적으로 시흥·안산시에서 운행 중인 승용차, 승합차, 화물차, 특장차의 경유 사용량을 기준으로 바이오디젤의 사용량을 적용하여 이에 따른 수송부분에서의 온실가스 배출량을 저감량을 산정하였다. 산정 결과 두 지역을 합하여 매 2%의 수송연료의 대체시에 2007년 총 CO<sub>2</sub> 배출량의 0.248%에 해당되며, 10%까지 바이오 디젤로 대체 시에 거의 1.24%에 도달하는 것으로 산정되었다. 2005년의 배출량을 기준으로 약 4% 저감해야 하는 지자체의 의무 저감량에 상당한 기여를 할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 과천시, 기후변화 대응 시범도시 조성을 위한 환경부-과천시 협약 체결 세부추진 계획, 2007.
2. 배우근, 안산시의 온실가스 배출원 및 배출량 조사 연구, 안산환경기술개발센터, 2007.
3. 대전발전연구원, 온실가스 저감을 위한 대전광역시시의 대응방향, 2004.
4. 영등포구, 온실가스 배출원 및 배출량 조사연구, 2006.
5. IPCC, Revised 1996 guidelines for national greenhouse gas inventory, Vol 1, Reporting instruction, 1997.
6. IPCC, Revised 1996 guidelines for national greenhouse gas inventory, Vol 2, Greenhouse gas inventory workbook, 1997.
7. IPCC, Revised 1996 guidelines for national greenhouse gas inventory, Vol 3, Reference manual, 1997.
8. 김동영, 경기도 온실가스 배출량 산정 시스템 개발, 경기개발연구원, 2008
9. Parker, Larry, Greenhouse Gas Emissions: Perspectives on the Top 20 Emitters and Developed Versus Developing Nations, CRS Report for Congress, 2008.
10. 에너지경제연구원, 기후변화협약 이행을 위한 국가보고서: 캐나다, 1995.
11. 에너지경제연구원, 기후변화협약 이행을 위한 국가보고서: 영

- 국, 1995.
12. 환경부, 「기후변화협약 이행을 위한 국가보고서(호주 등 7개국), 1996.
13. 환경부, 온실가스 및 대기오염물질 배출계수 통합관리 시스템 개발, 2008.
14. 고재경, 경기도 시군자치체의 온실가스 배출특성 연구, 경기개발연구원, 2007.
15. 에너지경제연구원, 기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축연구 (제1차년도) -업부분 온실가스 통계작성에서의 IPCC 우수실행지침 적용성 분석, 2004.
16. 국립산림과학원, 기후변화협약 대응 산림부문 온실가스 통계 체계 구축, 2006.
17. 에너지경제연구원, 기후변화협약 의무부담 관련 대응전략 분석, 2004.

투고(접수)일자: 2011년 3월 15일

심사일자: 2011년 3월 16일

게재확정일자: 2011년 4월 26일