

기본연구  
2010-22

# 충남 기초지자체의 온실가스 배출량 추정 연구

이인희

기본연구  
2010-22

충남 기초지자체의 온실가스 배출량 추정 연구

2010.12

충남발전연구원

ISBN : 978-89-6124-156-4 03350

기본연구 2010-22

# 충남 기초지자체의 온실가스 배출량 추정 연구

이 인 희



## 발 간 사

지구는 약 45억 년 전에 생성된 이후 수많은 기후 및 환경변화를 겪어왔으며, 이러한 기후변화는 과거 문명의 흥망성쇠에 큰 영향을 미쳤다. 최근의 전지구적 기후변화는 온실가스 증가에 의한 지구온난화이다. 지구온난화는 농업, 산림, 생태계, 수자원, 산업, 거주지, 사회경제 등 인간의 생활 전반에 큰 영향을 미친다. 지구 평균기온이 2°C 상승할 경우, 약 15~40%의 동식물종이 멸종할 것으로 예측되며, 3~4°C 상승할 경우 약 2억 명의 인구가 이주해야 할 것으로 예측된다.

기후변화는 재배적지의 변화, 병해충의 발생, 온대성어종의 어획량 증가와 한대성 어종의 어획량 감소 등 농·어업 생태계 등에 가장 큰 영향을 미친다. 우리나라는 2009년 코펜하겐 당사국 총회에서 2020년 배출전망(BAU) 대비 -30% (2005년 대비 -4%) 온실가스를 감축하는 국가중기온실가스감축 목표를 제시하였다.

본 연구는 온실가스 배출의 기본단위인 기초지자체의 온실가스 배출량 추정 방법론을 제공하고 온실가스 순배출량을 추정함으로써 충남의 기초지자체의 온실가스 배출량의 실태와 특성을 밝힌다. 연구내용은 i) 산업, 수송, 가정·상업, 공공 부문 등 고정연소 에너지 소비량을 이용한 온실가스 배출량 산정, ii) 농업분야 온실가스의 자연적 발생량 산정, iii) 축산분야에서의 온실가스 배출량 산정, iv) 폐기물 부문에서의 온실가스 배출량 산정, v) 임업분야에서의 온실가스 흡수량 산정, vi) 위에서 산출된 온실가스 배출량과 자연발생적 온실가스 flux를 종합한 시·군 단위 지역의 온실가스 순 배출량 산정이다 이러한 방법은 연구지역을 하나의 생태계로 인식한다는 점에서 기존의 온실가스 배출량 방법론과 차별화된다. 또한 본 연구는 기존의 온실가스 배출량 추정 방법으로는 불가능한 읍·면·동 단위지역의 온실가스 배출량을 추정하기 위해 인공위성영상 분석을 통해 도출된 토지피복/이용 자료에 각각의 배출계수를 적용한 온실가스 배출량 추정을 시도하였다.

본 연구는 충남도의 기후변화대응 정책을 수행하는 데에 있어 필수 기본 자료인 온실가스 배출량을 추정하는 방법론의 제공에 그 의의가 있다고 할 수 있다. 또한 시군 단위의 기후변화대응계획의 기본 자료인 온실가스 인벤토리 작성의 메뉴얼로서 활용되기를 기대한다.

2010. 12.31.

충남발전연구원장 박진도





# 연구요약

## 1. 연구 배경 및 목적

지구는 약45억 년 전에 생성된 이후 수많은 기후 및 환경변화를 겪어왔다. 이러한 기후변화는 과거 문명의 흥망성쇠 및 우리사회 경제에 큰 영향을 미쳤으며 최근 인간에 의한 지구온난화로 인한 기후변화 영향이 가시화 되고 있다. 지난 100년간(1906-2005년) 전 세계 평균기온은  $0.74^{\circ}\text{C}$  상승하였다. 지구 평균 해수면은 매년  $1.8\text{mm}$ 씩 상승하고 있으며, 1978년 이후 극지방의 얼음은 10년마다 7.4%씩 줄어들었다. 이러한 기후변화의 추세가 유지된다면 지구평균 온도는 향후 2100년까지  $1.8\sim 4.0^{\circ}\text{C}$ , 지구해수면은  $18\sim 59\text{cm}$  상승할 것으로 IPCC는 예측하였다.

기후변화는 농업, 산림, 생태계, 수자원, 산업, 거주지, 사회경제 등 인간의 생활 전반에 큰 영향을 미친다. 지구 평균기온이  $2^{\circ}\text{C}$  상승할 경우, 약 15~40%의 동식물종이 멸종할 것으로 예측되며,  $3\sim 4^{\circ}\text{C}$  상승할 경우 약 2억 명의 인구가 이주해야 할 것으로 예측된다. 또한 기후변화는 위도에 따른 농작물의 수확잠재력을 차별화시키는 데, 지구기온이  $1\sim 3^{\circ}\text{C}$  상승할 경우 고위도에서는 농작물의 수확잠재력이 증가하지만, 저위도(건조지역)에서는 감소하여 기근의 위험이 증가할 전망이다.

2009년 12월 열린 코펜하겐 당사국 총회에서 우리나라는 2020년 배출전망(BAU) 대비 -30% (2005년 대비 -4%) 감축이라는 ‘국가중기(2020년) 온실가스 감축목표’를 제출하였다. 이 수치는 EU에서 요구하는 개도국 최대 감축수준(BAU 대비 30% 감축)에 해당한다. 현재 우리나라에서 발표하고 있는 국가 온실가스 배출량은 지역 내에 투입된 에너지량 또는 에너지 소비량을 산출하고 이를 IPCC의 에너지별 이산화탄소 배출 환산식에 적용하여 추정하는 방식을 취하고 있다. 이러한 방법론은 국가, 대도시 및 광역지자체의 경우 데이터의 획득이 쉽고, 계산이 간단하다는 장점이 있다. 그러나 이 방법론은 토지이용 별 자연적 배출량과 흡수량을 간과하고 있다는 약점이 있으며 지방 중소도시 및 읍·면·동 등 하위 레벨의 행정구역 단위에서는 그 적용이 매우 힘들거나 불가능하다는 약점을 지니고 있다.

따라서 이를 보완할 수 있도록 국가, 광역지자체, 시·군, 읍·면·동 단위에 모두 적용할 수 있으면서 자연적 배출량과 흡수량을 포함하는 CO<sub>2</sub> 배출량을 추정할 수 있는 방법론의 개발이 필요하다. 이에 적합한 방법론 중 하나가 토지피복·이용 정보를 이용한 CO<sub>2</sub> 배출량·흡수량의 추정방법으로 원격탐사(remote sensing)와 지리정보체계(GIS) 기법의 도움을 받는다.

우리나라는 『국가중기온실가스감축계획』의 목표치를 달성하기 위해 그 기초 자료인 광역지자체의 온실가스 배출량 산정을 수행하고 있지만, 시·군 등 기초지자체의 경우 극소수만이 온실가스 배출량 산정을 수행하였을 뿐이다. 지방자치단체는 에너지 소비의 주체이자 온실가스의 주요 배출원이며 규제자이면서 동시에 개발주체로서의 기능을 수행한다. 지자체는 관내 시민, 기업체, 공공 기관 등 에너지 최종소비자들에게 정보제공, 동기부여 등을 통해 소비양식 변화를 유도하는 등 온실가스 저감의 실질적인 이행주체로서 지대한 역할을 수행한다.

본 연구의 목적은 충남 기초지자체의 온실가스 배출량 추정의 기본 방법론을 제공하고 온실가스 흡수량을 적용한 온실가스 순 배출량을 추정함으로써 충남의 시·군의 온실가스 배출량의 실태와 특성을 밝히고자 하는 것이다.

## 2. 주요 연구내용

주요 연구내용은 i) 산업, 수송(도로/비도로), 가정·상업, 공공 및 기타 부문의 고정연소(에너지)의 에너지 소비량을 이용한 온실가스 배출량과 산업공정에서 발생하는 부산물의 온실가스 배출량 산정, ii) 농업분야(논, 밭 등 경작지)에서의 온실가스의 자연적 발생량 산정, iii) 축산분야에서의 장내 발효와 분뇨 분해 등에서 발생하는 온실가스 배출량 산정, iv) 폐기물 부문에서의 온실가스 배출량 산정, v) 임업분야에서의 온실가스 흡수량 산정, v) 위에서 산출된 에너지 소비량을 이용한 온실가스 배출량과 기타 자연발생적 온실가스 flux를 종합한 시·군 단위 지역의 온실가스 순 배출량 산정이다 이러한 방법은 연구지역을 하나의 생태계로 인식한다는 점에서 기존의 온실가스 배출량 방법론과 차별화된다.

또 다른 연구내용으로는 에너지 소비량 데이터 구득이 불가능한 읍·면·동 단위 기초지자체의 온실가스 배출량 산정을 시도하는 것이다. 보령시 대천3동을 사

레지역으로 하여 그 가능성과 한계점을 파악하고자 한다. 구체적 내용은 인공위성 영상분석과 GIS를 이용하여 토지피복·이용 현황을 획득한 후, 각 토지피복·이용별 온실가스 배출계수를 적용하여 읍·면·동 단위 지역의 온실가스 배출을 추정한다. 이 방법은 기존 연구가 소수에 불과하고, 그 결과치의 정확도를 담보할 수 없지만, 기존의 방법으로는 알아낼 수 없는 읍·면·동 단위의 배출량 추정을 시도한다는 데에 의의가 있다.

본 연구는 환경부의 기후변화 대응 안내서에서 권고하고 있는 배출량 산정 방법론을 적용하였다. 온실가스 배출량 산정 범위는 크게 에너지, 산업공정, 농·축산·임업, 폐기물 부문으로 구분되며, 에너지부문은 전력 생산을 위한 발전을 제외한 연료연소부문에 대한 배출량을 산정하였다. 주요 온실가스 6종 가운데 이산화탄소( $\text{CO}_2$ ), 메탄( $\text{CH}_4$ ), 아산화질소( $\text{N}_2\text{O}$ )를 산정대상으로 정하였다.

에너지 소비량을 이용한 온실가스 배출은 환경부와 국립환경과학원의 온실가스배출량 산정 guideline을 기본으로 하되 여의치 못한 경우 국내 연구진과 IPCC 가이드라인을 참조하였다. 적용 온실가스 배출계수는 가급적 국내 연구에 의해 산정된 우리나라고유 배출계수를 이용하였으며, 국내 값이 없을 경우 IPCC 가이드라인의 온실가스 배출계수를 적용하였다.

고정연소(에너지), 산업공정 등 에너지 관련 활동량 데이터는 국립환경과학원의 GHG CAPSS, 국내석유정보시스템, 충남 지자체의 각종 통계연보, 국토해양부, 통계청 등 다양한 출처로부터 데이터를 수집하였다. 자연배출과 관련된 데이터는 충남 지자체의 각종 통계자료와 Rapideye 위성영상으로부터 추출한 토지피복·이용 현황 자료를 이용하였다.

### 3. 요약 및 결론

기초지자체별 온실가스 배출량은 서산시가 11,023,170 t/ $\text{CO}_2$ 로 충남 총 배출량의 30.5%로 가장 많은 배출량을 보였으며, 다음으로는 천안 5,801,701 t/ $\text{CO}_2$ , 아산 5,640,114 t/ $\text{CO}_2$ , 당진 4,095,523 t/ $\text{CO}_2$  등의 순으로 나타났다. 기초지자체별 1인당 배출량 추이 역시 서산이 1인당 71.16 t/ $\text{CO}_2$ , 당진군 29.53 t/ $\text{CO}_2$ , 아산 25.13 t/ $\text{CO}_2$ , 서천 20.63 t/ $\text{CO}_2$  등의 순으로 나타난다.

천안, 아산, 서산, 당진의 4개 지역은 충남 인구의 50% 이상을 차지하고 있으며 에너지부문 온실가스 배출량 역시 상대적으로 매우 높게 나타난다. 보령, 공주, 논산, 계룡 등의 타 지역은 가정 및 상업 부문 및 수송(도로)를 중심으로 배출이 이루어지고 있다.

충남지역은 천안, 아산, 서산, 당진 등의 제조업이 발달된 지역을 중심으로 연료연소 및 산업공정부문에서 온실가스 배출이 많이 이루어지고 있으며 공주, 금산 등의 산림지역이 넓게 분포한 지역에서 흡수가 많이 이루어지는 것으로 나타난다. 에너지 다소비로 인해 온실가스 배출량이 많은 지역이 가정 및 상업 등 배출 역시 많은 발전 지역이다. 따라서 충남도의 온실가스 감축은 충남 서북부지역의 온실가스 감축에 크게 좌우될 것임으로 이들 지역의 감축대책계획 수립이 매우 중요하다.

또한 본 연구는 광역 지자체와 시군 단위 지역에서의 온실가스 배출량 추정 방법으로는 불가능한 읍·면·동 단위지역의 온실가스 배출량 추정의 새로운 방법의 시도로서, 인공위성 영상 분석을 통해 도출된 토지피복, 토지이용 자료에 각각의 배출계수를 이용한 온실가스 배출량 추정을 시도하였다. 이 방법은 가능성과 함께 한계점을 들어내었다. 특히 농촌지역의 경우, 농경지가 대부분이고 주거, 상업 지역이 작은 면적을 차지함으로써 이 방법의 이용 가능성이 높다고 판단된다. 그러나 농촌의 주거, 상업지역의 온실가스 배출량에 대한 연구가 미진한 상태에서 기존 연구의 데이터를 이용하는 데에는 신뢰성의 확보에 한계가 있다. 향후 농촌 지역의 주거, 상업지역 및 지방 중소도시의 표본조사를 통한 온실가스 배출실태 연구가 지속된다면 보다 신뢰성이 높은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

현재 시·군 단위 기초지자체의 온실가스 인벤토리의 구축에 필수적인 활동량 자료 중 기초지자체 단위의 활동량을 구할 수 없는 자료는 무연탄 소비량, 도로-수송관련 활동량, 폐수처리량 등이다. 기초지자체의 온실가스 인벤토리의 정확한 구축과 지속적인 갱신을 위해서는 시군 지자체 자체적으로 이러한 데이터를 구축하기 위한 노력이 있어야 할 것이다. 그 외에도 지자체의 통계연보에 수록되어 있지 않아 다른 소스를 통해 구한 활동량자료는 기초지자체에서 이들 소스를 연결하여 활동량자료를 지속적으로 갱신할 필요가 있다

# 차 례

제 I 장	연구의 개요.....	1
1.	연구배경 및 필요성 .....	1
1)	연구의 배경 .....	1
①	기후변화 .....	1
②	온실가스 감축을 위한 국제적 노력 .....	7
③	우리나라의 기후변화대응정책 .....	8
2)	연구의 필요성 .....	11
2.	연구목적 및 방법론.....	13
1)	연구목적.....	13
①	연구목적 .....	13
②	연구내용 .....	14
2)	방법론과 데이터 .....	15
제 II 장	온실가스 배출량 및 배출계수의 선행연구.....	18
1.	에너지 사용을 이용한 온실가스 배출량 추정.....	19
1)	에너지 소비량을 이용한 온실가스 배출량 추정.....	19
2)	발전부문 온실가스 배출량 및 배출계수 추정 .....	20
3)	폐기물 부문 온실가스 배출량과 배출계수추정 .....	22
4)	가정·상업부문에서 배출되는 온실가스량과 배출계수 산정 .....	24
5)	수송부문의 온실가스 배출량과 배출계수 추정 .....	25
2.	자연 방출 온실가스 flux.....	27
①	토지피복·이용에 따른 온실가스 flux 추정.....	27
②	농경지로부터의 온실가스 배출 .....	30
③	기타 토양, 갯벌 등으로부터의 온실가스 배출 .....	34
④	녹지에 의한 온실가스 flux.....	35
⑤	축산부문의 온실가스 배출 .....	37

제 III 장 온실가스 배출량 추정.....	39
1. 에너지 소비를 이용한 온실가스 추정.....	39
1) 기초지자체 온실가스 배출량 산정방법.....	39
① 에너지 부문의 기초지자체 배출량 산정방법.....	41
② 환경폐기물 부문의 기초지자체 배출량 산정방법.....	42
③ 자연발생 기초지방자치단체 배출량 산정방법.....	42
2) 기초 지자체별 온실가스 배출량 현황 및 특성.....	44
3) 부문별 현황과 특성.....	47
① 에너지부문.....	47
② 산업공정부문.....	52
③ 환경폐기물 부문.....	53
2. 자연발생 온실가스 flux 추정.....	57
① 농·축산부문.....	57
② 임업부문.....	60
제 IV 장 읍·면·동 단위 지역의 온실가스 배출량 추정.....	62
1. 위성영상분석을 통한 토지피복이용도의 도출.....	62
1) 위성영상의 개요와 프로세싱.....	63
① 위성영상의 개요.....	63
② 위성영상 분석 프로세싱.....	64
2) 위성영상분석의 결과: 대천3동의 토지피복·이용도.....	67
2. 대천3동의 온실가스 배출량 추정.....	69
1) 온실가스 배출.....	69
① 농경지에서의 자연적 온실가스 배출.....	69
② 가정·상업지역에서의 온실가스 배출.....	69
③ 기타 나대지, 초지, 인간의 호흡에 의한 온실가스 배출.....	71
④ 임목, 과수원 등에서의 온실가스 flux.....	71

⑤  대천3동의 온실가스 순 배출량 .....	72
3.  한계점과 향후 과제.....	73
제 V 장  결론 .....	74
요약.....	74
정책제언.....	75
부록	
참고문헌	



## 표 차 례

<표 1> 기후변화 현상과 그 영향.....	4
<표 2> 우리나라 기후변화 및 해수면 고도 예측.....	6
<표 3> UNFCCC 당사국총회 주요결과.....	8
<표 4> 유종별 온실가스 배출계수 및 단위환산계수.....	16
<표 5> 석탄 종류별 온실가스 배출계수 및 단위환산계수.....	17
<표 6> 발전 부문 배출계수.....	22
<표 7> 폐기물 부문 배출계수.....	23
<표 8> 가정·상업부문 배출계수.....	25
<표 9> 경지에서의 온실가스 배출계수.....	33
<표 10> 기타 배출계수.....	35
<표 11> 녹지 흡수계수.....	36
<표 12> 축산 부문 온실가스 배출계수.....	38
<표 13> 기초자치단체의 온실가스배출량 추정을 위한 활동량 자료의 구득.....	40
<표 14> 충남 기초자치단체의 온실가스 산정.....	45
<표 15> 기초지자체별 에너지부문 배출량.....	49
<표 16> 유종별 온실가스 배출계수 및 단위환산계수.....	50
<표 17> 전력소비에 따른 온실가스 배출계수.....	50
<표 18> 석탄 종류별 온실가스 배출계수 및 단위환산계수.....	51
<표 19> 도시가스(LNG) 온실가스 배출계수.....	51
<표 20> 차종별 온실가스 배출계수.....	51
<표 21> 기초지자체별 산업공정부문 배출량.....	52
<표 22> 기초지자체별 환경폐기물 부문 배출량.....	53
<표 23> 매립부문 온실가스 배출계수.....	55
<표 24> 소각부문 온실가스 배출계수.....	55
<표 25> 하수부문(CH <sub>4</sub> ) 배출계수( $EF=Bo \cdot WS \cdot SS \cdot MFC$ ) 및 변수.....	56

<표 26> 하수부문( $N_2O$ ) 배출계수 및 변수.....	56
<표 27> 폐수부문( $CH_4$ ) 배출계수( $EF = Bo \times WS,SS \times MCF$ ) 및 변수.....	56
<표 28> 생물학적 처리 배출계수 .....	57
<표 29> 기초지자체별 농축산부문 배출량.....	58
<표 30> 벼농사에서의 $CH_4$ 배출계수(kg/ha) .....	59
<표 31> 가축분뇨 및 장내 발효에 의한 $CH_4$ 배출계수 (kg/두/년) .....	59
<표 32> 비료사용으로 인한 아산화질소 배출 비율(단위%).....	60
<표 33> 기초지자체별 임업부문 흡수량 .....	60
<표 34> 대천3동의 토지피복·이용 현황.....	68
<표 35> 대천3동의 가정·상업 부문 온실가스 배출량 추정 .....	70
<표 36> 기타 부문에서의 온실가스 배출.....	71
<표 37> 대천3동의 온실가스 흡수량.....	72
<표 38> 대천3동의 온실가스 순 배출량 추정.....	73

## 그 립 차 례

<그림 1> IPCC 시나리오에 의한 전 세계 온실가스 배출, 기온상승 예측 .....	2
<그림 2> 우리나라 온실가스 총 배출량 .....	4
<그림 3> 우리나라 이산화탄소 총 배출량 .....	5
<그림 4> 기후변화가 우리나라에 미치는 영향의 사례 .....	5
<그림 5> 연구 수행 흐름도 .....	14
<그림 6> 기초지자체별 온실가스 총 배출량 .....	46
<그림 7> 기초지자체별 1인당 온실가스 배출량 .....	47
<그림 8> 기초지자체별 에너지부문 배출기여도 .....	48
<그림 9> 기초지자체별 에너지부문 배출기여도 .....	50
<그림 10> 충남시군의 산업공정부문 배출량 .....	52
<그림 11> 기초지자체별 환경부문 배출기여도 .....	54
<그림 12> 기초지자체별 농축산업 부문 배출기여도 .....	57
<그림 13> main data processing flow .....	64
<그림 14> pre-processing 상세 내역 .....	65
<그림 15> pre-processing 결과 .....	65
<그림 16> Classification processing 상세 내역 .....	66
<그림 17> classification 부분결과 .....	66
<그림 18> RAPIDEYE 인공위성영상 분석을 통해 도출된 토지피복·이용 현황 ....	67

# 제 I 장 연구의 개요

## 1. 연구배경 및 필요성

### 1) 연구의 배경

#### ① 기후변화

지구는 약 45억 년 전에 생성된 이후 수많은 기후 및 환경변화<sup>1)</sup>를 겪어왔으며, 지구의 기후는 복잡한 기후 시스템 자체의 변화 및 구성원 사이의 상호작용에 의하여 변화해 왔다. 기후변화는 과거 문명의 흥망성쇠 및 우리사회 경제에 큰 영향을 미쳤으며 최근 인간에 의한 지구온난화로 인한 기후변화<sup>2)</sup> 영향이 가시화되고 있다.

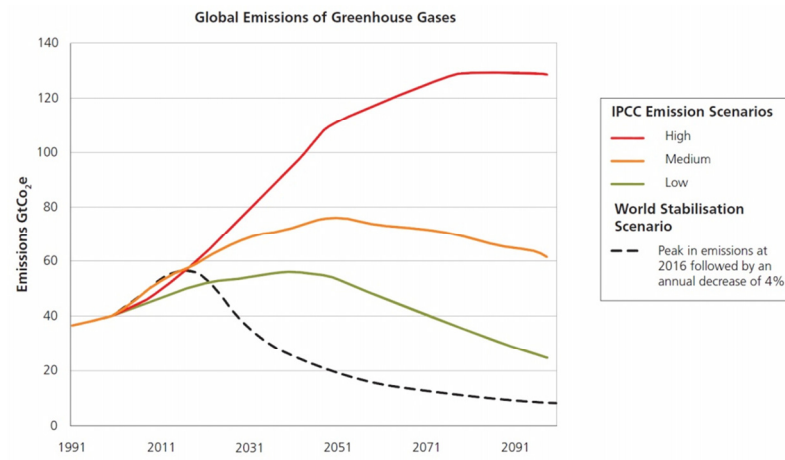
UN 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)의 제4차 보고서는 온실가스(GHG)의 증가를 지구온난화의 주 원인으로 추정하였다. 온실가스는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), 과불화탄소(RFCs), 수소불화탄소(HFCs), 육불화황(SF<sub>6</sub>) 등 6가지이다. 이 중 이산화탄소는 지구온난화에 가장 큰 영향을 미치는 온실가스이다. 이산화탄소의 배출량은 지구 전체 온실가스 배출량의 80%이상을 차지하며 2004년의 경우, 1970년대 대비 70% 증가하였다.

산업혁명 이후 화석연료 사용의 급격한 증가와 이로 인한 온실가스 배출은 지구 평균 온도와 평균 해수면의 지속적 상승을 초래하였다. 지난 100년간(1906~2005년) 전 세계 평균기온은 0.74°C 상승하였다. 지구 평균 해수면은 매년

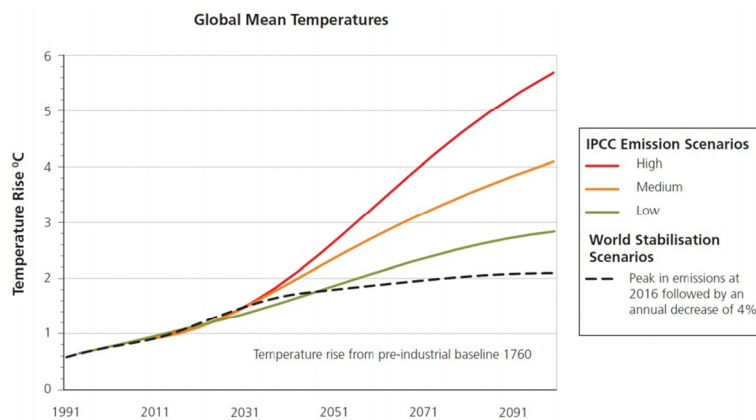
---

<sup>1</sup> 고생대, 중생대 등 경계면은 급격한 기후변화와 환경변화의 경계이며, 지구는 기원전 1만 년 전의 빙하기를 지나 기원전 5000년에 기후 최적기(온난다습)를 거쳤다. 이러한 기후변화는 cycle 형태를 띠며 기원전 3000년~2000년에 건조화 시기를 거쳤고, 최근에는 17세기경 소빙하기를 겪으면서 유럽 등 북위도 지역은 냉해로 인한 기근의 시기를 겪었다.

<sup>2</sup> 최근 기후변화의 원인에 대해서는 인위적(anthropogenic)인 온실가스 배출량의 증가에 의해 지구온난화가 발생하고 있다는 의견이 주류이지만, 지구의 자연적인 평균기온 상승하강의 cycle 중의 한 현상으로 지구온난화가 일어나고 이로 인해 자연적인(natural) 온실가스 배출량이 증가하였다는 비주류의 의견도 있다.



a) 시나리오별 온실가스의 증가



b) 시나리오별 지구기온의 상승

<그림 1> IPCC 시나리오에 의한 전 세계 온실가스 배출, 기온상승 예측

1.8mm씩 상승하고 있으며, 1978년 이후 극지방의 얼음이 10년마다 7.4%씩 줄어들어 북극항로(Northern Sea Route)<sup>3)</sup>의 개발을 가능케 하였다. 이러한

<sup>3</sup> 2009년 7월 독일의 화물선 2척이 울산에서 북극해를 통해 독일에 도착함으로써 북극항로 상업 운항이 성공하였다. 현재 북극 주변으로는 캐나다 북부를 이용하는 북서통로(Northwest Passage)와 러시아의 연안을 이용하는 북극항로(Northern Sea Route) 등 2개의 항로가 가능한 것으로 조사되었다. 북극항로를 이용할 경우 수에즈운하 통과에 비해 8,300km의 거리를 줄일 수 있으며 운항시간과 비용을 40% 줄일 수 있으며 부산항이 북극항로를 이용하기 위한 최적의 위치로 알려져 있다.

기후변화의 추세가 유지된다면 지구평균온도는 향후 2100년까지 1.8~4.0 °C, 지구해수면은 18~59cm 상승할 것으로 IPCC<sup>4)</sup>는 예측하였다.

그림 1은 IPCC가 시나리오별로 예측한 전 지구의 온실가스의 증가와 그에 따른 지구 평균기온의 상승을 보여준다. 이 중 세계 각국이 추구하는 시나리오는 연간 4%의 온실가스 감축을 통하여 2016년을 최고점으로 온실가스 배출량이 감소하는 시나리오(그래프의 점선)로서 이를 통해 지구의 평균기온을 2°C 상승에서 멈추게 하는 것이다.

지구 평균기온 상승 등 기후변화는 농업, 산림, 생태계, 수자원, 산업, 거주지, 사회경제 등 인간의 생활 전반에 큰 영향을 미친다(표 1, 부록 1). 지구 평균기온이 2°C 상승할 경우, 약 15~40%의 동식물종이 멸종할 것으로 예측되며, 3~4°C 상승할 경우 약 2억 명의 인구가 이주해야 할 것으로 예측된다. 또한 기후변화는 위도에 따른 농작물의 수확잠재력을 차별화시키는 데, 지구기온이 1~3°C 상승할 경우 고위도에서는 농작물의 수확잠재력이 증가하지만, 저위도(건조지역)에서는 감소하여 기근의 위험이 증가할 전망이다. 3°C이상 상승할 경우, 중·고위도 지역의 수확량이 감소하여 3천만~1억2천만 명이 기근에 직면할 것으로 예측된다.

우리나라의 온실가스 배출량은 연간 약 6억 tCO<sub>2</sub> 이상이며 그 중 CO<sub>2</sub>가 5억 톤(이상중 and 임정균 2007)이다. 2006년 온실가스 배출량은 599.5백만tCO<sub>2</sub>으로 전년 대비 0.9% 증가하였으며, 선진국의 온실가스 의무감축 기준연도인 1990년 배출량(3.0억 tCO<sub>2</sub>)에 비해서는 2배 이상 증가한 것으로 나타난다(지식경제부, [www.mke.go.kr](http://www.mke.go.kr), 국가 온실가스 배출통계). 1990년 이후 온실가스 배출량은 1990년 이후 연평균 4.5%의 비율로 증가 추세를 보이고 있으며, 1인당 온실가스 배출

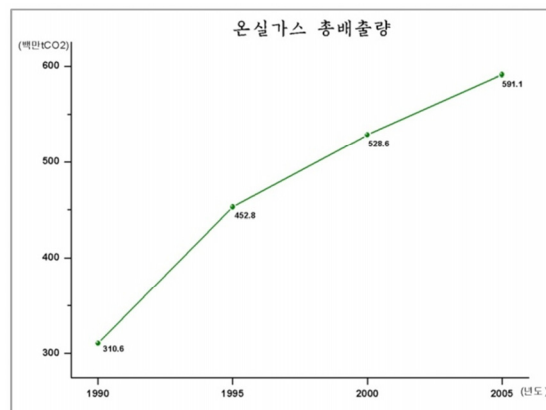
---

<sup>4</sup> IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change, 기후변화에 관한 정부간 협의체): IPCC는 1988년 WMO(세계기상기구)와 UNEP(UN환경계획)에 의해 설립되었으며 기후변화에 관하여 세계적으로 알려진 기술적, 과학적 사실들을 정확하게 제공하는 견인차 역할을 수행한다. 기후변화에 관해 가장 믿을 만한 자료원으로 넓게 인식되고 있는 평가 보고서를 발간하는 임무를 수행한다. 현재 IPCC는 우리나라를 포함한 세계의 우수한 전문 과학자들과 평가자, 권위자들로 구성되어 있다. IPCC의 첫 번째 보고서는 1990년에 나왔으며 UN기후변화협약(UNFCCC)의 설립에 크게 기여하였다. 1995년에 나온 두 번째 보고서에서는 과학적으로 기후변화를 기정사실화했으며 교토의정서 채택의 기반을 마련하였다. 2001년 초에는 3차보고서가 나왔으며 이 보고서는 기후변화가 지역에 따라 다른 모습으로 나타나며 가난한 열대국가일수록 이러한 기후변화의 영향에 취약함을 보여주고 있다. 2007년 제4차 보고서에서는 배출량 시나리오에 따른 미래 기후변화 전망을 제시하였다. 현재 제5차 보고서를 위한 작업이 수행 중이다.

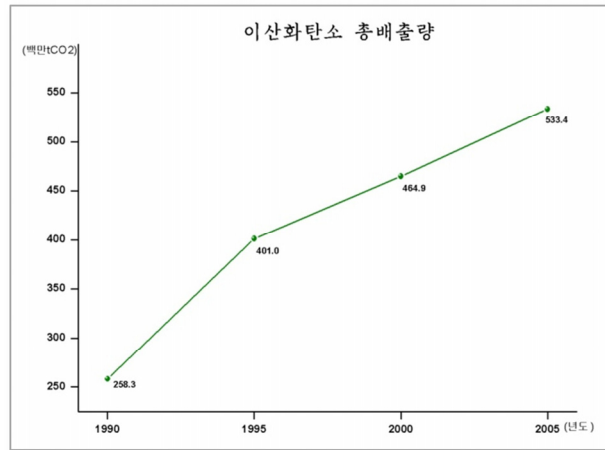
량도 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있다. 부문별 온실가스 배출량은 에너지 부문이 84.3%, 산업공정부문이 10.6%, 농업부문이 2.5%, 폐기물부문이 2.6%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.

<표 1> 기후변화 현상과 그 영향

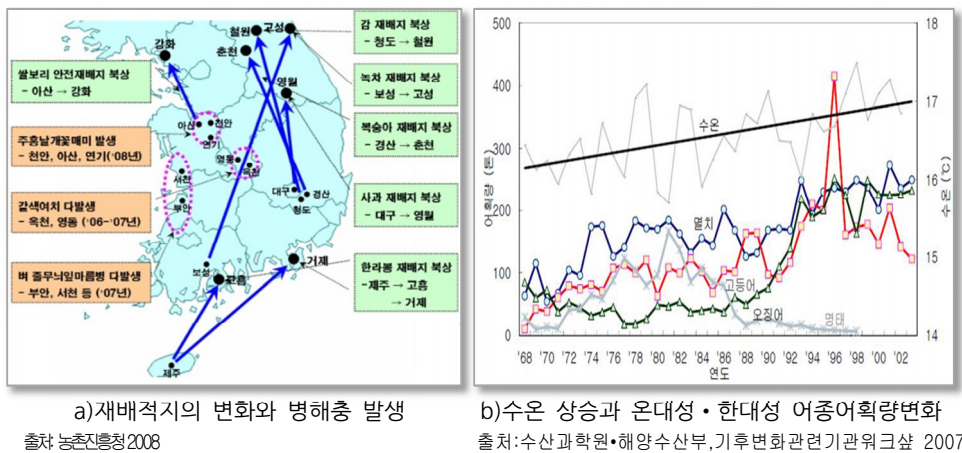
기후변화 현상	가능성	농업, 산림, 생태계	자원	산업, 거주지, 사회경제
저온일 감소 고온일 증가	거의 확실	고위도 생산성 증대, 저위도 생산성 감소, 병충 해 증가	고산빙하 감소 증발산 증가	난방 감소/냉방 증가, 대기 질 악화, 겨울 수송양호, 겨울관광 영향
육지 열파 증가	매우 높음	온난지역 생산량 감소, 산불증가	수자원 수요증가 수질악화	온난지역 주거환경 악화 노약자 및 빈곤층 영향
호우 증가	높음	곡물피해, 토양유실, 경작지 감소	지표/지하수질 악화 수자원 부족 감소	홍수피해 증가, 재해보험 필요성 증대
가뭄지역 증가	높음	토질 악화, 생산량 감소, 가축 감소, 산불 증가	수자원 스트레스 증 가	수자원 스트레스, 수력발전 감소 인구이동 가능성
태풍강도 증가	높음	곡물피해, 산림파괴, 산호피해	전력수급 차질로 인 한 수자원 공급 위험	홍수/강풍 피해, 보험기피 증가 인구이동
해수면 상승	높음	염수로 인한 피해	담수자원의 감소	연안방제 및 개발비용 인구/사회간접자본 이동, 보험기피



<그림 2> 우리나라 온실가스 총 배출량



<그림 3> 우리나라 이산화탄소 총 배출량



<그림 4> 기후변화가 우리나라에 미치는 영향의 사례

우리나라는 해수면과 수온의 상승으로 연안지역의 해양생태계가 변화하고 있다. 제주도에서 계속된 해수면은 지난 40년간 22cm가 상승하였는데, 이는 지구 평균치보다 높은 수치이다. 동해의 수온은 지난 100년간 1.2 - 1.6°C 상승하였다. 또한 연 평균 강수량의 변동성이 높아졌으며(최소 712mm, 최고 1,929mm), 겨울철의 강설이 강우로 바뀌는 비율이 높아졌으며, 연 평균 강수량의 변동성이 높아졌다(최소 712mm, 최고 1,929mm).



<표 2> 우리나라 기후변화 및 해수면 고도 예측

	2020	2050	2080
온도증가(°C)	+1.2	+2.5	+4.4
CO <sub>2</sub> (ppm)	448.7	587.9	682.7
강수변화(%)	+1.1	+3.1	+6.2

a) 우리나라의 기후변화 예측

제주도	1.4 - 0.6(연간 상승률, cm)
서해안	0.1-0.2
동해안	0.1-0.2
남해안	0.1-0.3

b) 우리나라 해수면 고도예측

(자료: KEI, 2010)

기후변화의 영향으로 우리나라는 열대야와 폭염이 빈발하며, 한류성 어종이 급감하고, 예전에 없던 열대성 질병이 발생하고<sup>5)</sup>, 최근 태풍 등 기상재해가 증가하고 있다. 기후변화의 영향은 생태계뿐만이 아니라 비관세 무역장벽 등 경제에도 영향을 미친다<sup>6)</sup>.

- 
- 5 기후변화에 따른 폭염의 빈도 및 강도의 증가는 대도시 거주 빈민층 및 노년층의 건강에 영향을 크게 준다. 폭염에 의한 취약계층의 사망이 늘고 있으며 이를 막기 위해 폭염에 취약한 지역, 연령, 소득수준, 질병의 분석이 필요하지만, 우리나라에서는 아직 폭염으로 인한 정확한 피해 집계는 이루어지지 않고 있다. 질병관리본부는(2010) 최근 10년간(1994-2005) 2천여 명이 폭염으로 사망한 것으로 추정하였다. 서울지역의 경우 폭서가 7일 이상 지속될 때 사망률이 9% 증가한 것으로 조사되었다(장재연, 2009). 또한 전염성 질병이 증가하여 말라리아, 쯔쯔가무시 발병률이 증가하고 (공우석 외, 2007), 국내에 없던 웨스트나일바이러스, 뎅기열, 라임병 등과 같은 질병 들이 발생할 가능성이 높아졌다. 쯔쯔가무시 병은 최근 발병 환자수가 크게 늘었고 발병 지역이 확대되고 있으며, 말라리아 역시 1990년대 중반부터 급증하고 있다. 또한 한타바이러스 등 유해 바이러스 매개 해충의 서식이 쉬워지면서 관련된 질병이 1990년대부터 빠르게 증가하고 있다.
- 6 세계의 각국은 '온실가스 규제를 통한 비관세 무역장벽'을 세우고 있어 기후변화가 우리의 경제에도 영향을 미칠 가능성이 매우 높다. 유럽은 『기후, 에너지 통합법(2008.12)』을 통해 차량의 CO<sub>2</sub> 배출기준을 2012년에는 130 g/km, 2020년에는 95 g/km으로 설정하였다. 우리나라의 대유럽 수출 차 평균 CO<sub>2</sub> 배출량이 현재 161 g/km임을 감안할 때 우리나라 자동차 산업의 비용 증가가 예상된다. 미국 역시 자동차의 온실가스와 연비기준 확정(2010.4)하였는데, 2016년까지 연비는 14.5 km/L, 자동차의 CO<sub>2</sub> 배출량은 250 g/mile로 규제하여 5년간 9억6천 톤 CO<sub>2</sub>의 감축효과를 기대하고 있다. 현재 미국 수출 현대 차의 평균 연비는 14.1 km/L이다.

IPCC는 전 지구의 기후변화를 예측하면서 우리나라의 경우 2080년에 1970~2000 대비 기온은 4°C 상승, 강수량은 17% 증가하고 강수량의 시공간적 변동성은 더 커질 것으로 예상하였다.

## ② 온실가스 감축을 위한 국제적 노력

이러한 지구온난화 문제의 근본적인 대책을 찾기 위해 온실가스에 대한 관측, 분석, 예측 등의 연구가 국내·외적으로 활발히 수행되고 있다 (IPCC 1996; IPCC 2001; IPCC 2006; IPCC 2007). 지구의 CO<sub>2</sub> 농도는 18세기 후반 약 280 ppmv 에서 1999년 367 ppmv로 31% 증가하였다. 이는 주로 화석연료의 연소와 산림의 파괴에 따른 탄소 유기물의 산화에 의한 것으로 지난 20년간 배출량의 대부분은 화석연료의 연소이며 나머지(10-30%)는 주로 토지이용의 변화 특히 산림의 황폐화에 의한 것이다<sup>7)</sup>.

1980년대 중반 이후 온실가스의 지속적인 농도 증가가 중대한 기후변화를 일으킬 가능성이 크다는 경고가 학계로부터 제기되었다. 1988년 세계기상기관(WMO)과 UN환경계획(UNEP)이 세계의 과학자들로 구성된 UN 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)를 설립하여 향후 기후변화협상을 촉진하는 과학적인 근거를 제시하였다. 1997년 일본의 교토에서 열린 유엔기후변화협약(UNFCCC)<sup>8)</sup> 당사국회의에서 『교토의정서』가 채택되었다. 교토의정서에서 선진국들(협약부속서 I 국가; OECD

---

<sup>7</sup> Green house gas는 이산화탄소 이외에 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), CFCs가 포함된다. 메탄(CH<sub>4</sub>)의 대기 중 농도는 1750년 이후 약 150% 증가하였다. 메탄은 습지와 같은 자연 발생원과 경작, 천연가스나 매립지와 같은 인위적인 발생원을 모두 가지고 있는 온실가스로 현재 메탄 배출의 반 이상이 인위적이다. 아산화질소(N<sub>2</sub>O)의 대기 중 농도는 산업화에 의해 지속적으로 증가하였으며 1970년에 비하여 현재 16% (46ppb) 높아졌다. CFCs는 불소, 염소, 브롬 또는 요오드를 함유하고 있는 탄소화합물로서 대부분은 인간 활동이 유일한 발생원이다. 염소와 브롬을 포함하고 있는 할로카본은 성층권의 오존층 파괴를 유발하며 몬트리올 협약에 의해 규제되고 있다.

<sup>8</sup> 기후변화협약(UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change)은 1992년 6월 브라질의 리우 환경회의에서 지구 온난화에 따른 이상기후 현상을 예방하기 위한 목적으로 채택하였으며, 참가국 178개 국 중 우리나라를 포함한 154개국이 서명하였으며, 이후 1994년 3월21일에 공식적으로 발효되었다. 도서 국가 연합 및 EU 등은 구속력 있는 감축의무를 규정할 것을 주장하였으나 미국 등 여타 선진국들이 반대하여 단순한 노력사항으로 규정하는 한계를 보였다.

국가 대부분, 우리나라는 제외)은 1차 의무이행 기간인 2008년~2012년 동안 자국의 인위적 온실 가스 배출량을 1990년 수준보다 최소 5%를 감축하기로 합의하였고, 2001년 11월 모로코의 마라케시에서 개최한 7차당사국총회(COP7)에서 구체적인 『마라케시 합의』를 채택함으로써 장기간의 교섭을 통한 『교토의정서』<sup>9)</sup>의 골격이 비로소 완성되었다. 제13차 당사국총회에서는 post-2012 체제 논의를 위한 『발리 로드맵』이 채택되었다<sup>10)</sup>.

<표 3> UNFCC 당사국총회 주요결과

1차 당사국 총회 (독일 베를린 1995.3)	12차 당사국 총회 (케냐 나이로비 '06.12)
· 베를린 위임(Berlin Mandate) 사항 결정 · 2020년 이후 온실가스 감축을 위한 협상그룹을 설치하고 논의 결과를 제3차 당사국 총회에 보고할 것	· 2012년 이후 기후변화체제 협의체 구성 · 개도국 지원 및 청정개발체제 활성화
3차 당사국 총회 (일본 교토 1997.3)	13차 당사국총회(인도네시아 발리 '07.12)
· 교토의정서(Kyoto Protocol) 채택 · 부속서 1국(38개국)들의 온실가스 배출의무 감축량 규정, 배출권거래제도, 청정개발 체제, 공동 이행제도 등 도입	· 발리 로드맵 채택 · 선진국과 개도국 모두 참여하는 Post-2012 체제를 2009년 15차 당사국총회(코펜하겐)까지 마련하도록 합의
7차당사국 총회 (모로코 마라케시 '01.11)	15차 당사국총회(덴마크 코펜하겐 '09.12)
· 마라케시 합의문(Marrakesh Accord) 채택 · 교토의정서 이행제제(의무준수 체제, 운영규칙, 개도국 재정지원 및 기술이전)에 관한 내용 확정	· Post-2012 체제에 대한 합의 실패

### ③ 우리나라의 기후변화대응정책

우리나라는 1993년 12월 기후변화협약에 가입하였고 2002년 10월 『교토의정

<sup>9</sup> 1995년 3월 독일 베를린에서 개최된 제1차 당사국총회(COP1)에서 협약상의 감축의무만으로는 지구온난화 방지가 불충분함을 인정하고, 1997년 12월에 일본 교토에서 개최된 제3차 당사국총회(COP3)에서 2000년 이후 선진국의 감축목표를 주요 내용으로 하는 교토의정서를 채택한 바 있다. 교토의정서 채택의 의의는 선진국들에게 강제성 있는 감축목표를 설정하였다는 점과 온실 가스를 상품으로서 사고 팔 수 있게 하였다는 점이다. 이에 따라 향후 에너지 절약 및 이용 효율 향상, 신·재생에너지 개발 등 온실가스 배출량을 줄일 수 있는 새로운 기술 분야에 대한 투자 및 무역 확대, 현재의 금융시장 규모 못지않은 온실가스 거래시장이 새롭게 탄생할 전망이다.

<sup>10</sup> 「발리 로드맵」은 교토 의정서 상의 부속서 I 국가의 경우 2020년까지 1990년 대비 25-40%를 감축하는 것을 목표로 정하였다. 또한 미국을 포함한 기타 선진국과 개도국간 post-2012 목표 설정을 위한 협상체제를 발족시키고 2008년 당사국총회에 중간결과를 보고하도록 하였다.

서』를 비준하였다. 우리나라는, 『교토의정서』 상 개도국(non-Annex I) 지위를 인정받아 2012년까지의 1차 공약 기간 중 온실가스 감축의무는 없지만, 기후변화협약 등 국제적 노력에 동참하기 위해 2008년 『제4차 기후변화종합대책 (2008-2012)』을 수립하고 2008년 8월 『기후변화대책기본법(안)』을 입법 예고하였다.

이후 『기후변화대책기본법(안)』이 『저탄소녹색성장기본법』<sup>11)</sup>으로 대체되어 2010년 1월 공포되었고, 2010년 4월 『저탄소녹색성장기본법 시행령』<sup>12)</sup>이 제정되었다. 동 법안과 시행령에서는 기존 『기후변화대책기본법(안)』에 존재하던 지자체의 기후변화대응 종합계획 수립<sup>13)</sup> 규정을 삭제하고 ‘기후변화적응계획’<sup>14)</sup>을 세우도록 규정하였다.

국제사회는 OECD 국가이면서 세계 10위의 온실가스 다 배출국인 우리나라에 대해 감축의무국(Annex I)으로 편입하거나 다른 개도국과 차별화되는 감축행동을 할 것을 요구하여 왔다. 2009년 12월 열린 코펜하겐 당사국 총회는 의무감축국가(Annex1)에 대해서 구체적 수치를 제출하고, 개도국에 대해서는 실천 계획을 제출하도록 합의하였다. 동 회의에서는 우리나라는 국내적으로 강제적이지만, 국외적으

<sup>11</sup> 기본법 중 기후변화 대응정책과 관련된 항목은 녹색성장국가전략 수립(제9조), 환경 친화적 세계 운영(제30조), 기후변화 대응 및 에너지의 목표관리(제42조), 온실가스 배출량 보고(제44조), 총량제한 배출권 거래제 등 도입(제46조), 자동차 온실가스 기준 도입 등 교통부문 온실가스 관리(제47조) 등이다.

<sup>12</sup> 녹색법 시행령 체계는 제1장 총칙: 목적, 온실가스 종류, 제2장 저탄소 녹색성장 국가전략: 녹색성장 5개년 계획, 중앙추진계획, 지방추진계획 수립 시행 절차, 점검/평가 절차, 제3장 녹색성장위원회 등: 위원회 구성, 녹색기술 재원 배분방향 심의, 회의, 분과위원회 및 기획단 구성, 지방 녹색성장위 구성 운영, 제4장 저탄소녹색성장의 추진: 녹색산업투자회사 설립과 재정지원 및 운영, 녹색기술산업의 표준화, 녹색인증 및 녹색전문기업 확인 등, 제5장 저탄소 사회의 구현: 온실가스 감축목표, 중앙행정기관 등의 목표관리, 관리업체 기준, 관리업체 목표관리, 검증기관 지정절차, 국가 온실가스 종합정보 관리체계 구축, 적응대책 수립, 제6장 녹색생활 및 지속가능발전 실현: 녹색국토의 관리, 교통부문의 온실가스 감축 목표, 녹색건축물의 기준 및 확대, 제7장 보칙: 과태료 징수 부과, 부칙: 시행일, 5개년계획 등의 경과조치 조기행동인정에 대한 경과조치 등으로 구성되어 있다.

<sup>13</sup> 지자체의 기후변화대응 종합계획 수립은 『기후변화대응 종합기본계획 및 세부 이행계획(2008.9 국무총리실 기후변화대책기획단)』에 의거 정부의 정책과제로 확정되었고 국비 교부(2009.1) 및 수립방향 통보(2009.2)를 통해 16개 광역지자체 『기후변화대응종합계획』 수립이 온실가스 감축정책을 중심으로 진행되고 있으나 법적 계획이 아닌 한계를 가지고 있다.

<sup>14</sup> 『국가 기후변화 적응 종합계획(2009-2030)』은 국가적응정책의 비전과 방향을 제시하고, 국가 장기 비전인 ‘저탄소 녹색성장’의 주요 행동계획을 담고 있다. 이 계획은 13개 부처가 함께 한 범 부처 참여형 종합계획으로 추진전략은 i) 기후변화 위험평가 체계구축, ii) 기후변화 감시 및 예측 능력 고도화, 기후변화 영향의 장기 모니터링, 부문별 영향 및 취약성 평가, iii) 부문별 기후변화 적응 프로그램-생태계(자연, 산림, 농업, 해양), 물 관리, 건강, 재난, 적응산업 에너지, 사회기반시설, iv) 국내외 협력 및 제도적 기반 확보 등이다. 자세한 사업은 <부록 2> 참조.

로는 강제력이 없는 온실가스 감축정책을 제시하면서 2020년 배출전망(BAU) 대비 -30% (2005년 대비 -4%) 감축이라는 ‘국가중기(2020년) 온실가스 감축목표’를 제출하였다. 이 수치는 EU에서 요구하는 개도국 최대 감축수준(BAU 대비 30% 감축)에 해당한다.

기후변화 대응 돌파구로서, 우리나라는 미래의 신·성장동력을 창출하기 위한 새로운 비전인 ‘저탄소 녹색성장<sup>15)</sup>’을 새로운 60년의 국가비전 및 패러다임으로 제시하고 녹색성장 국가전략을 효율적 체계적으로 이행하기 위해 『녹색성장 국가전략 5개년 계획』을 수립하였다. 동 계획은 10대 정책과제로 ①효율적 온실가스 감축, ②탈 석유 에너지 자립 강화, ③기후변화 적응 역량 강화, ④녹색기술 개발 및 성장동력화, ⑤기존 산업의 녹색화 및 녹색산업 육성, ⑥산업구조의 고도화, ⑦녹색경제 기반 조성, ⑧녹색국토 교통의 조성, ⑨생활의 녹색혁명, ⑩세계적인 녹색성장 모범국가 구현을 설정하였다.

부문별 추진계획으로, 가정 상업 부문(총 배출량의 9.5%)은 녹색건축물을 확대하기 위해 녹색건축물 등급제 등 정책을 수립·시행하고, 연면적 500m<sup>2</sup> 이상의 건축물에 대한 중장기 및 기간별 목표물 설정 관리정책을 추진한다. 산업분야(산업 연소 26.4%, 전환 29.9%, 산업공정 10.6%)는 ‘온실가스·에너지 목표관리제’<sup>16)</sup>를 실행하여 온실가스 및 에너지 다 배출·소비업체에 감축목표를 설정하고 이행여부를 관리함으로써 국가 온실가스 총 배출량의 60%이상을 체계적으로 관리할 계획이다.

<sup>15</sup> "녹색성장"은 UNEP, "Green Jobs" 보고서에서 언급되기 시작하였다. 녹색성장은 파괴된 생태계를 복원하는 등 생태(ecology)를 앞세우고, 신·재생에너지 등을 포함한 녹색기술 개발과 환경오염을 획기적으로 저감시키는 환경개발기술 등을 통해서 환경 오염을 줄이고 개선시키는 것을 동시에 추구하는 경제 성장이다(김은식, 2009; 김정인, 2009). 우리나라 정부는 『녹색성장기본법(안)』에서 녹색성장을 ‘에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 기후변화와 환경훼손을 줄이고 청정에너지와 녹색기술의 연구개발을 통하여 새로운 성장동력을 확보하며 새로운 일자리를 창출<sup>15)</sup>해 나가는 등 경제와 환경이 조화를 이루는 성장’이라고 정의하고 있다.

<sup>16</sup> 2010년 9월 정부는 총 470개 업체를 목표관리제의 적용을 받게 되는 관리업체로 지정하였다. 선정 기준은 전체사업장의 경우 온실가스 기준 125,000ton, 에너지 소비기준 500terajoules 이고, 개별사업장의 경우 온실가스 기준 25,000ton, 에너지소비 기준 100terajoules이다. 부문별로는 산업·발전 374개, 건물·교통 46개, 농업·축산 27개, 폐기물 23개 업체이다. 관리업체로 지정된 업체는 내년 3월까지 최근 4년간(2007 - 2010)의 온실가스·에너지 명세서를 부문별 관장기관에 제출하여야 하며, 2011년 9월에 감축목표를 설정하고 2012년부터 목표 이행에 들어가게 된다.

지구온난화는 기상재해 및 생태계 파괴 등 환경위기뿐 아니라 경제에 대한 위협요인으로 작용하여, 기후 변화에 따른 경제 손실은 매년 세계 GDP의 5-20%에 달할 전망이다(Stern 2006). 기후변화는 생태계, 수자원, 식량, 해안 등 다양한 분야에 부정적인 피해를 입힐 것으로 전망됨으로 대기 및 수질 오염에 중점을 두었던 기존의 환경정책은 기후변화라는 새로운 위기에 대응하는 정책의 수립으로 중심이 옮겨갈 필요가 있다.

## 2) 연구의 필요성

우리나라는 에너지 다소비형 경제구조를 가지고 있으며 에너지 해외 의존도가 매우 높은 나라로서, 국내총생산(GDP) 대비 에너지 투입비율은 일본의 세 배에 달한다. 세계 에너지 시장의 불안정, 현재 발생하고 있는 기후변화에 대응하기 위해서는, 미래의 경제적 발전과 환경과의 조화를 이루어 낼 이산화탄소 저감정책이 필요하다.

이를 위해서는 이산화탄소 저감정책의 기본 데이터인 탄소배출 inventory가 구축되어야 한다. IPCC에서는 국가별, 지자체별 탄소배출 inventory 작성을 위한 가이드라인을 제시하고 온실가스의무감축국가에 대해서는 주기적인 탄소배출 인벤토리의 제출을 요구하고 있다. 온실가스 저감대책은 온실가스 인벤토리 작성, 온실가스 배출량 예측, 온실가스 저감 잠재량 분석, 감축 목표 설정, 목표 달성을 위한 실천 계획 수립 등 체계적인 과정을 통한 수립이 필요하지만, 우리나라의 경우 정책의지에 의해 목표만 선언적으로 제시한 경우가 많다. 국가 탄소배출 인벤토리의 구축은 초기단계이며, 그 기초인 광역지자체의 탄소배출 인벤토리 구축이 진행되고 있다.

국가 또는 지자체의 온실가스 저감대책이 효과를 거두기 위해서는 지역의 온실가스배출 특성에 대한 파악이 전제 되어야 하며, 이를 위해서는 기본적인 자료인 지역별 이산화탄소 배출량이 추정되어야 한다. 과거 환경지리정보분야에서 대기 정보와 관련된 다양한 GIS 자료가 구축이 되어왔으나 대부분은 온실가스보다는  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{O}_3$  등 대기오염 물질에 대한 연구가 대부분이었다. 2000년대에 들어

IPCC의 방법론과 배출계수를 이용한 온실가스 배출량 추정에 대한 연구가 활발해졌으며, 최근 국가고유 온실가스 배출계수를 산정하기 위한 연구가 시작되었다.

현재 우리나라에서 발표하고 있는 국가 온실가스 배출량은 지역 내에 투입된 에너지량 또는 에너지 소비량을 산출하고 이를 IPCC의 에너지별 이산화탄소 배출 환산식에 적용하여 추정하는 방식을 취하고 있다. 이러한 방법론은 국가, 대도시 및 광역지자체의 경우 데이터의 획득이 쉽고, 계산이 간단하다는 장점이 있다. 그러나 이 방법론은 토지이용 별 자연적 배출량과 흡수량을 간과하고 있다는 약점이 있으며 지방 중소도시 및 읍·면·동 등 하위 레벨의 행정구역 단위에서는 그 적용이 매우 힘들거나 불가능하다는 약점을 지니고 있다.

따라서 이를 보완할 수 있도록 국가, 광역지자체, 시·군, 읍·면·동 단위에 모두 적용할 수 있으면서 자연적 배출량과 흡수량을 포함하는 CO<sub>2</sub> 배출량을 추정할 수 있는 방법론의 개발이 필요하다. 이에 적합한 방법론 중 하나가 토지피복·이용 정보를 이용한 CO<sub>2</sub> 배출량·흡수량의 추정방법으로 원격탐사(remote sensing)와 지리정보체계(GIS) 기법의 도움을 받는다.

## 2. 연구목적 및 방법론

### 1) 연구목적

#### ① 연구목적

우리나라는 『국가중기온실가스감축계획』의 목표치를 달성하기 위해 그 기초자료인 광역지자체의 온실가스 배출량 산정을 수행하고 있지만, 시·군 등 기초지자체의 경우 극소수만이 온실가스 배출량 산정을 수행하였을 뿐이다. 지방자치단체는 에너지 소비의 주체이자 온실가스의 주요 배출원이며 규제자이면서 동시에 개발주체로서의 기능을 수행한다. 지자체는 관내 시민, 기업체, 공공 기관 등 에너지 최종소비자들에게 정보제공, 동기부여 등을 통해 소비양식 변화를 유도하는 등 온실가스 저감의 실질적인 이행주체로서 지대한 역할을 수행한다.

본 연구의 목적은 충남 기초지자체의 온실가스 배출량 추정의 기본 방법론을 제공하고 온실가스 흡수량을 적용한 온실가스 순 배출량을 추정함으로써 충남의 시·군의 온실가스 배출량의 실태와 특성을 밝히고자 하는 것이다. 온실가스의 흡수량의 확인은 CDM사업<sup>17)</sup>의 기본이 되는 매우 중요한 사항이다.

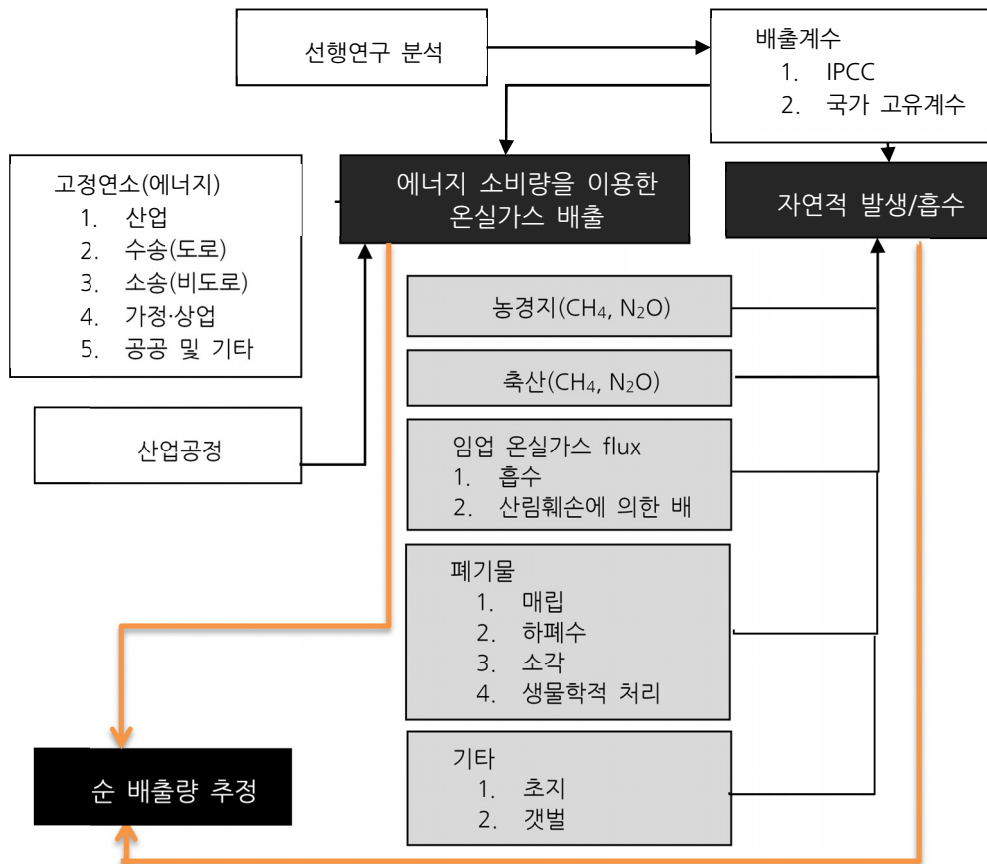
---

<sup>17)</sup> 청정개발체제(CDM)은 교토의정서상 온실가스 의무감축국(선진국)이 개도국과 같은 비 감축의 무국에서 온실가스 감축사업을 벌이거나 개도국이 시행한 감축사업에서 발생한 감축실적을 구매, 자국의 감축목표 달성에 이용할 수 있도록 한 제도이다. UN에 등록하는 감축사업으로 Unilateral CDM 사업(감축의무국가의 기술 및 자본 투자 없이 개도국이 일방적으로 추진하는 온실가스 감축사업)과 Bilateral CDM 사업(의무감축국가가 개도국에 기술 및 자본을 투자하여 온실가스를 감축하는 사업)으로 구분된다. 사업대상 온실가스 감축활동은 이산화탄소감축(에너지 효율화 기술, 재생에너지 기술, 이산화탄소 회수 및 저장 기술 개발), 메탄의 감축(유기성 폐기물의 적정처리, 화석연료 채굴 및 운송 시 유출 감소), 아산화질소 감축(질소 원료 사용 제조과정 개선 및 N<sub>2</sub>O 처리, 질소비료 사용을 자제하는 농업활동), HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub> 감축(생산공정 최적화를 통한 사용최소화, 유통 및 사용단계에서의 누출 최소화, 발생된 F 가스 분해 처리, 재활용, F 가스 대체물질 개발) 등이다. 농림업은 이산화탄소 흡수기능이 있으나 현재까지 온실가스 흡수 사업으로 공인된 것은 신규조림 및 재조림 사업뿐이다.



## ② 연구내용

주요 연구내용은 i) 산업, 수송(도로/비도로), 가정·상업, 공공 및 기타 부문의 고정연소(에너지)의 에너지 소비량을 이용한 온실가스 배출량과 산업공정에서 발생하는 부산물의 온실가스 배출량 산정, ii) 농업분야(논, 밭 등 경작지)에서의 온실가



<그림 5> 연구 수행 흐름도

스의 자연적 발생량<sup>18)</sup> 산정, iii) 축산분야에서의 장내 발효와 분뇨 분해 등에서 발생하는 온실가스 ) 배출량 산정, iv) 폐기물 부문에서의 온실가스 배출량 산정, v) 임업분야에서의 온실가스 흡수량 산정, v) 위에서 산출된 에너지 소비량을 이용한 온실가스 배출량과 기타 자연발생적 온실가스 flux를 종합한 시·군 단위 지역의 온실가스 순 배출량 산정이다 이러한 방법은 연구지역을 하나의 생태계로 인식한다는 점에서 기존의 온실가스 배출량 방법론과 차별화된다.

또 다른 연구내용으로는 에너지 소비량 데이터 구득이 불가능한 읍·면·동 단위 기초지자체의 온실가스 배출량 산정을 시도하는 것이다. 보령시 대전3동을 사례지역으로 하여 그 가능성과 한계점을 파악하고자 한다. 구체적 내용은 인공위성 영상분석과 GIS를 이용하여 토지피복·이용 현황을 획득한 후, 각 토지피복·이용별 온실가스 배출계수를 적용하여 읍·면·동 단위 지역의 온실가스 배출을 추정한다. 이 방법은 기존 연구가 소수에 불과하고, 그 결과치의 정확도를 담보할 수 없지만, 기존의 방법으로는 알아낼 수 없는 읍·면·동 단위의 배출량 추정을 시도한다는 데에 의의가 있다.

## 2) 방법론과 데이터

기초 지자체의 온실가스배출량 산정 방법은 온실가스 배출 지침과 획득 가능한 활동도 자료의 수준을 고려하여 가장 합리적이고 불확도가 적은 배출량 산정 방법론을 결정하여야 한다. 또한 지자체의 온실가스 배출량 산정은 배출현황의 파악뿐만 아니라 지자체의 온실가스 감축 잠재량 산정 및 감축정책에 대한 평가를 향후 추진하여야 하기 때문에 배출량 산정에 초점이 맞춰져 있는 방법론 보다는 지방자치단체의 기후변화 대응 정책을 평가할 수 있는 산정 방법이 요구된다. 이에 따라 본 연구는 환경부의 기후변화 대응 안내서에서 권고하고 있는 배출량 산정 방법론을 적용하였다.

<sup>18)</sup> 농경지에서 발생하는 온실가스는 메탄( $\text{CH}_4$ )과 아산화질소( $\text{N}_2\text{O}$ )이다. 아산화질소의 경우, 농경지에 투입되는 질소비료에 의해 발생한다. 비료 투입이 인위적인 영농활동이긴 하지만 에너지 소비에 의한 온실가스 배출방법으로는 파악되지 않는다는 점에서 자연적 발생(natural emission)에 포함시켰다. 폐기물 부문도 같은 이유로 자연적 발생에 포함시켰다.

온실가스 배출량 산정 범위는 크게 에너지, 산업공정, 농·축산·임업, 폐기물 부문으로 구분되며, 에너지부문은 전력 생산을 위한 발전을 제외한 연료연소부문에 대한 배출량을 산정하였다. 주요 온실가스 6종 가운데 자연계에 존재하지 않는 인공합성물질인 과불화탄소(RFCs), 수소불화탄소(HFCs), 육불화황(SF6)을 제외하고 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O)를 산정대상으로 정하였다.

에너지 소비량을 이용한 온실가스 배출은 환경부와 국립환경과학원의 온실가스배출량 산정 guideline을 기본으로 하되 여의치 못한 경우 국내 연구진과 IPCC 가이드라인을 참조하였다. 적용 온실가스 배출계수는 가급적 국내 연구에 의해 산정된 우리국가고유 배출계수를 이용하였으며, 국내 값이 없을 경우 IPCC 가이드라인의 온실가스 배출계수를 적용하였다.

고정연소(에너지), 산업공정 등 에너지 관련 활동량 데이터는 국립환경과학원의 GHG CAPSS, 국내석유정보시스템, 충남 지자체의 각종 통계연보, 국토해양부, 통계청 등 다양한 출처로부터 데이터를 수집하였다. 자연배출과 관련된 데이터는 충남 지자체의 각종 통계자료와 Rapideye 위성영상으로부터 추출한 토지피복·이용 현황 자료를 이용하였다. 부문별 활동량 자료 출처와 온실가스 배출계수를 정리한 예가<표 4>과<표 5>이다.

<표 4> 유종별 온실가스 배출계수 및 단위환산계수

구분	KL → GJ	배출계수			활동도 자료 출처
	단위환산계수	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
단위	GJ/KL	Kg/TJ	Kg/TJ	Kg/TJ	국내석유정보시스템 ( <a href="http://www.pedsis.co.kr/index.html">http://www.pedsis.co.kr/index.html</a> ), 충청남도 및 시군별·산업별·유종별 소비량
휘발유	31	69300	3	0.6	
실내등유	34.3	71900	3	0.6	
보일러등유	35	71900	3	0.6	
경유	35.4	74100	3	0.6	
경질중유	36.6	77400	3	0.6	
중유	38.1	77400	3	0.6	
B-C유	39.1	77400	3	0.6	
항공유	34.3	71500	3	0.6	
프로판	23.53621	63100	1	0.1	
부탄	26.43403	64200	3	0.6	
부생연료(등유형)	35	71900	3	0.6	
부생연료(중유형)	38.5	77400	3	0.6	
나프타	31.2	73300	3	0.6	

<표 5> 석탄 종류별 온실가스 배출계수 및 단위환산계수

구분	톤 → GJ	배출계수			활동도 자료 출처
	단위환산계수	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
국내무연탄	19.3	98300	1	1.5	충남통계연보의 연도별 유 연탄/무연탄/기타 석탄소비 량 시군별 연탄보일러 사용 세대 수로 나누어 산정
수입무연탄	26.8	98300	1	1.5	
무연탄(혼합)	23.05	98300	1	1.5	
유연탄	24.9	80700	3	0.6	
아역청탄	20.9	96100	1	1.5	
코크스	29.3	107000	1	1.5	

## 제Ⅱ 장 온실가스 배출량 및 배출계수의 선행연구

세계 각국은 지구온난화 대책의 일환으로 탄소감축 대책을 수립하고 있다<sup>19)</sup>. 또한 기업들 역시 환경시장의 중요성을 인식하고 있으며, 세계 환경산업 시장<sup>20)</sup>의 규모는 2008년 현재 약 1조 3,000억 달러로 의약 산업 및 항공 산업의 시장규모를 초월하며, 2020년에는 약 2조 7,000억 달러 규모로 성장할 것으로 예상된다.

온실가스 배출자료목록(Emission Inventory)은 기후변화협약 협상 및 저감대책 수립에 중요한 기초자료이다. 이를 구축하기 위해서는 정밀한 배출량 추정이 필요하지만, 우리나라에서는 현재 에너지 분야를 제외하고는 온실가스의 배출원과 배출량에 대한 조사가 상대적으로 부족한 상태이다.

온실가스 배출량 추정과 관련된 연구들은 크게 6개로 구분된다. 첫째는 에너지 투입량/소비량에 의한 추정(최충규 1993; 정현식 1997; 박준영·허은녕 2002; 최한주·이기훈 2002; 김홍록 외 2007)이며, 둘째는 산업연관분석을 이용한 산업별 온실가스 배출량 추정(박호진 2006; 김충실·이현근 2009; 박창귀 2009)이다. 셋째는 발전 과정에서의 온실가스 배출량의 추정 및 고유배출계수의 산정(정재학 외 2006; 전의찬 외 2004; 전의찬 외 2006; 전의찬·사재환 외 2006; 정재학 외 2006; 명수정 외 2007; 문흥규·이상중 2007; 이상중·임정균 2007; 이시형 외 2007; 임정권·이상중 2007; 전의찬·명수정 외 2007; 김진수·이시형 외 2009) 넷째, 폐기물 소각 과정에서의 온실가스 배출량 추정(장영기·김대용 외 2007) (환경관리공단 2002; 환경관리공단 2003; 간순영·한영지 외 2006; 정나라·이사라 외 2009)이며, 다섯째, 가정·상업부문의 온실가스 배출량 추정(이강희·이경휘 1996;

<sup>19)</sup> 일본은 2007년부터 2050년까지 저탄소 사회로 가기 위한 온난화 종합대책에서 2020년까지 온실가스 배출을 2005년 대비 14% 감축 계획을 수립하면서 온실가스 배출량 거래제를 도입하고, 태양광 발전량을 2020년까지 10배 확대기로 하였다. 또한 프랑스는 2020년 이후 건설하는 모든 건물에 신·재생 가능 에너지 발전장치를 의무화하고, 2020년부터는 발전소의 화석연료 사용을 없앨 계획이다. 영국은 2050년까지 1990년 대비 온실가스 배출을 80% 줄이고 2020년까지는 26~32% 감축할 계획이다. 영국의 경우 지속적인 온실가스 감축정책의 결과, GDP는 늘어나고 자원의 소비량은 줄어드는 이상적인 관계를 보이고 있다.

<sup>20)</sup> 미래의 경영전략은 온실가스를 저감하는 탄소 경영체제가 되어야 할 것이며, 이것이 일류 기업의 핵심적인 경영전략이다. Google, Netscape, Amazon.com 등을 만들어 냈던 벤처 캐피털 회사인 Kleiner Perkins도 지구온난화의 주범인 이산화탄소를 줄이는 기술을 가진 회사에 1억 달러를 투자한 것이 그 예이다.

서성원·황요우 외 1999; 서성원·황용우 1999; 이강희 2000; 이강희 2001; 이강희·채창우 2002; 최진호·강주명 2008; 정재형·이석희 외 2009), 마지막으로 농경지, 녹지, 토양 등에서 방출되는 자연적 온실가스 배출/흡수와 관련된 연구들 (Koerner and Klopatek 2002; 김명화 2005; 윤성호·신용광 외 1996; 이경보 1997; 이경보 외 1997; 이경보·이덕배 외 1997; 이경보·이덕배 외 1999; 고지연·이재생 외. 2002; 전성우·박용하 외 2002; 문윤섭·구윤서 외 2004; 문윤섭·구윤서 2006; 양승룡·임성수 2008) 이다.

## 1. 에너지를 이용한 온실가스 배출량 추정

### 1) 에너지 소비량을 이용한 온실가스 배출량 추정

우리나라의 온실가스 배출량 추정 연구의 상당수는 지역 또는 산업 내 에너지 투입량/소비량<sup>21)</sup>을 이용하여 그 온실가스 배출량을 추정하는 방식을 취하여 왔다. 그 중에서도 연소 및 오염물질 배출 시설의 탄소배출량 추정에 관한 연구가 주를 이룬다. 이외에 비도로 오염원(신문기·김호정 외 2003), 하이브리드 산업연관표(박창귀 2009), 기초지자체 온실가스 배출량 추정(강공언·김화옥 외 2009), 국가간 온실가스 배출량과 경제성장간의 관계 분석(김윤경 2004) 등의 연구도 수행되고 있다. 또한 산업연관표를 바탕으로 에너지 소비에 따른 농업부문 온실가스(CO<sub>2</sub>) 배출량을 분석한 연구(김충실·이현근 2009)<sup>22)</sup>도 있다.

<sup>21</sup> 에너지 소비량은 에너지경제연구원에서 발간된 에너지총조사보고서 통계를 주로 이용한다(최종규 1993; 정현식 1997; 박준영·허은녕 2002; 최한주·이기훈 200; 한국경제학회·에너지경제연구원 2004).

<sup>22</sup> 김충실과 이현근(2009)은 산업연관표를 바탕으로 에너지 소비에 따른 농업부문 온실가스(CO<sub>2</sub>) 배출량을 분석하여 농업부문 저탄소 녹색성장과 기후변화대응 전략 마련을 위한 기초정보를 제시하고자 하였다.

우리나라에서 적용하고 있는 IPCC Guideline의 Tier 1 배출계수 값은 연소기술을 고려하지 않고 에너지 소비에 대한 배출계수를 적용하는 기본 방법론으로 연소기술과 실제 사용하는 에너지원의 특성을 반영하지 못하므로, 실제 배출량과 상당히 다른 결과를 초래할 가능성이 높다. 따라서 에너지사용 부문의 연료 특성과 연소기술별로 세분화된 배출계수를 개발하여 이를 적용하는 Tier 2, 3 방법을 사용하기 위해서는 우리나라 고유의 배출계수를 개발하여야 할 필요가 있다. 최근 여러 연구들이 우리나라 국가고유 배출계수를 산정하기 위해 수행되고 있다.

관련 연구로 대기 배출원 사업장 정보를 토대로 SOCO2(Source Data CO<sub>2</sub> Analyst)를 개발하여 이를 이용하는 Bottom-up 접근방법과, 직접적 방법인 배출원의 배출구에서 이산화탄소의 농도를 직접 측정한 후 배출계수, 배출량을 산정하는 방법을 이용하여 IPCC 값과 비교 분석한 연구(차준석·김상균 2005; 김홍록·진병복 외 2007) 등이 있다.

## 2) 발전부문 온실가스 배출량 및 배출계수 추정

국가고유의 배출계수를 산정하기 위한 노력이 가장 활발한 분야가 발전부문이다. 우리나라의 경우, 에너지부문이 온실가스 총 배출량의 82.7%를 차지하여(산업자원부 자원정책실 2006) 에너지 부문이 온실가스의 주 배출원이다. 그 중 발전산업은 우리나라 CO<sub>2</sub> 배출량의 20% 이상을 차지하여, 화석연료의 소모량과 이에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량을 monitoring하는 것이 매우 중요하다. 발전부문의 CO<sub>2</sub>배출량은 2015년에는 약 1억 6,248만 톤이 배출될 전망이다(이상중·임정균 2007). 에너지부문의 온실가스 배출원에 대한 연구는 선진국을 중심으로(Garcia and Zorraquino 2002; Hartikainen, Lehtonen et al. 2004; Kartha, Lazarus et al. 2004; Wijayatunga, Fernando et al. 2004; Hondo 2005) 이루어졌다.

우리나라에서는 최근 발전 부문의 국가고유 배출계수 산정을 위한 연구<sup>23)</sup>가 이루어지고 있다(Shin, Park et al. 2005; 전의찬·사재환 외 2006; 정재학·전의찬

<sup>23</sup> 정재학·전의찬(2006) 등은 유연탄을 사용한 발전소를 대상으로, IPCC Worksheet 방법, 측정장치를 이용하여 배출계수를 개발하는 방법, TMS(Tele-monitoring System)의 산소 및 유량 측정

외 2006; 권영성·이준기 외 2007) 이들 연구는 실제 측정기를 설치하여 취득한 자료를 이용하여 배출계수를 산정하는 연구들<sup>24)</sup>(전의찬·사재환 외 2004; 권영성·이준기 외 2007; 명수정·정재학 외 2007; 이시형·윤석경 외 2007)<sup>25)26)27)</sup>과 입출력 특성계수와 IPCC (Inter-governmental Panel on Climate Change)의 온실가스 추계 방법론을 이용하는 연구들<sup>28)</sup>(이상중·임정균 2007; 임정권·이상중 2007; 전의찬·명수정 외 2007)<sup>29)</sup>, 이 두 가지 방법 모두를 수행한 연구들<sup>30)</sup>(전의찬·사재환 외 2006; 김진수·이시형 외 2009)<sup>31)</sup>로 구분된다.

이외 전과정평가(LCA : Life Cycle Assessment) 기법을 이용하여 원자력발전시스템과 화력발전시스템의 CO<sub>2</sub> 배출량을 평가하여 원자력발전 시스템이 상대적으로 친환경적이라고 밝힌 박광호 등(박광호·황용우 외 2004)의 연구가 있다.

---

값을 이용하여 배출계수를 추정하는 방법 등 3가지 방법으로 이산화탄소 배출계수를 개발하였다.

- <sup>24</sup> 권영성·이준기 등(2007)은 유연탄 및 LNG를 연료로 사용하는 2개 발전소에 연속측정이 가능한 CO<sub>2</sub> 측정기를 설치하여 온실가스(CO<sub>2</sub>) 배출계수를 개발하였다
- <sup>25</sup> 명수정·정재학 등(2007)은 중유를 사용하는 화력발전소의 굴뚝에 TMS가 설치된 높이의 측정구에서 시료를 채취하여 배출계수를 개발하였다.
- <sup>26</sup> 이시형·윤석경 등(2007)은 LNG를 에너지원으로 사용하는 복합화력 발전소 굴뚝으로부터 배출되는 Non-CO<sub>2</sub>의 시료를 측정하여 Non-CO<sub>2</sub> 온실가스의 공정별 배출계수를 개발하였다.
- <sup>27</sup> 전의찬·사재환 등(2004)은 12개 화력발전소를 대상으로 측정하여 시간당 CO<sub>2</sub> 배출계수를 개발하였다.
- <sup>28</sup> 이상중과 임정균(2007)은 발전소의 성능시험 결과 얻어지는 입출력 특성계수와 IPCC의 온실가스 추계 방법론을 이용하여 순시 발전출력에 따른 CO<sub>2</sub> 대기배출량을 계산하는 방법을 제시하였다. 전의찬·명수정 등 (2007)은 무연탄을 사용하는 화력발전소를 대상으로 소비연료의 원소분석 및 열량분석에 의한 이산화탄소 배출계수와 배기가스 분석에 의한 이산화탄소 배출계수를 개발하고 유연탄 화력발전소에 대한 선행 연구 결과(전의찬·사재환 외 (2006); IPCC 기본 배출계수, US EPA(2002))의 배출계수와 비교 분석하였다.
- <sup>29</sup> 임정권과 이상중(2007)은 발전소의 성능시험 결과 얻어진 data와 IPCC 온실가스 추계 방법론을 이용하여, CO<sub>2</sub> 대기배출량을 계산하는 방법을 제시하였다.
- <sup>30</sup> 김진수·이시형 등(2009)은 B-C유를 사용하는 화력발전소를 대상으로 연소가스 분석방법과 연료분석방법을 이용하여 온실가스(CO<sub>2</sub>) 배출 계수를 산정하였다.
- <sup>31</sup> 전의찬·사재환 등(2006)은 유연탄화력발전소의 CO<sub>2</sub> 배출계수를 개발하고자 5개 발전소를 대상으로 IPCC에서 제안한 연료분석에 의한 방법과 굴뚝에서의 시료채취를 통한 방법을 적용하여 CO<sub>2</sub> 배출계수를 산정하였다.



이상의 연구들에서 개발된 발전소 부문의 국가고유 배출계수를 정리한 것이 아래의 표이다.

<표 6> 발전 부문 배출계수

구분	사용연료	배출계수	출처
원자력발전		2.00 g-C/kWh	박광호·황용우 외(2004)
		96.65 g-C/kWh	
화력발전	무연탄	0.0937 kg-C/TJ	전의찬·사재환 외(2004)
	유연탄	0.0833 kg-C/TJ	
		0.771 Mg-CO <sub>2</sub> /Mwh	
		0.826 Mg-CO <sub>2</sub> /Mwh	IPCC(1996)
	B-C유	0.1041 kg-C/TJ	전의찬·사재환 외(2004)
	중유	64,421.41 kg-CO <sub>2</sub> /TJ	명수정·정재학 외(2007)
	LNG	1,053 kg-NH <sub>4</sub> /TJ	이시형·윤석경 외(2007)
		0.696 kg-NO <sub>2</sub> /TJ	
		0.11 kg-C/kWh	임정권·이상중(2007)
		0.10 kg-C/kWh	산업자원부

### 3) 폐기물 부문 온실가스 배출량과 배출계수추정

폐기물소각처리 과정에서 배출되는 온실가스물의 주 배출물질인 이산화탄소에 대한 연구는 배출량을 추정하는 연구(한국대기환경학회 2000; 한국대기환경학회 2000; 환경관리공단 2002; 환경관리공단 2003; 정나라·이사라 외 2009)<sup>32) 33)</sup>와

<sup>32)</sup> 한국대기환경학회(2000), 한국대기환경학회(2000), 환경관리공단(2002), 환경부·환경관리공단 (2003) 등은 폐기물매립, 소각, 하폐수 처리 등 폐기물 부문에 대한 온실가스 배출량 조사에 관한 연구를 진행하였다.

<sup>33)</sup> 정나라와 이사라 (2009)는 경북 지역 소각 부문의 온실가스 배출량을 소각 처리량과 발생량 기준으로 나누어 산정·비교하여 경북의 경우, 소각처리량이 소각발생량보다 많다는 것을 밝히고 경북의 소각장에서 처리하는 폐기물에는 다른 지역에서 반입되는 양이 다량 포함되었다고 지적하였다.

배출계수를 추정하는 연구(간순영·한영지 외 2006)<sup>34)</sup>, 이 두 가지 모두를 수행한 연구(장영기·김대용 외 2007)<sup>35)</sup>로 구분된다.

위의 연구들 중 간순영의 폐기물 처리 배출계수를 <표 6>에 정리하였다.

<표 7> 폐기물 부문 배출계수

구분			측정배출계수	계산 배출계수
슬러지	상연소		0.131 t-CO <sub>2</sub> /ton	0.344 t-CO <sub>2</sub> /ton
	고정교반식		0.513 t-CO <sub>2</sub> /ton	0.320 t-CO <sub>2</sub> /ton
생활폐기물	스토커	1차	0.490 t-CO <sub>2</sub> /ton	0.897 t-CO <sub>2</sub> /ton
		2차	0.795 t-CO <sub>2</sub> /ton	0.842 t-CO <sub>2</sub> /ton
		3차	0.661 t-CO <sub>2</sub> /ton	0.850 t-CO <sub>2</sub> /ton
사업장 폐기물	상연소 (폐목재)	1차	0.976 t-CO <sub>2</sub> /ton	1.391 t-CO <sub>2</sub> /ton
		2차	1.056 t-CO <sub>2</sub> /ton	1.348 t-CO <sub>2</sub> /ton
	상연소(폐비닐)		1.642 t-CO <sub>2</sub> /ton	1.080 t-CO <sub>2</sub> /ton
	건류식	1차	1.557 t-CO <sub>2</sub> /ton	0.520 t-CO <sub>2</sub> /ton
		2차	1.902 t-CO <sub>2</sub> /ton	1.377 t-CO <sub>2</sub> /ton
	로타리킬른	1차	1.855 t-CO <sub>2</sub> /ton	2.262 t-CO <sub>2</sub> /ton
		2차	1.290 t-CO <sub>2</sub> /ton	1.881 t-CO <sub>2</sub> /ton

폐기물 매립부문은 메탄가스회수율의 산정(백원석·진병복 외 2009)<sup>36)</sup>, 매립지 메탄 발생량 추정(고병수·정진도 외 2006)<sup>37)</sup>과 배출계수를 개발하는 연구(유병욱·

<sup>34)</sup> 간순영·한영지 등(2006)은 소각시설의 CO<sub>2</sub>를 측정하여 배출계수를 산정하였다(평균 1.063 t-CO<sub>2</sub>/ton).

<sup>35)</sup> 장영기·김대용 등(2007)은 IPCC default method 에 의하여 1997년과 2005년의 폐기물 소각 처리량을 이용하여 이산화탄소의 배출계수와 배출량의 변화를 분석하였다.

<sup>36)</sup> 백원석·진병복 등(2009)은 국내 설치 · 운영 중인 매립가스 자원회수시설의 메탄가스 회수율을 전수 조사하여 매립부문 온실가스 발생량에 대한 메탄가스 회수율을 산정함으로써 매립부문 온실 가스 배출량 산정 시 적용 가능한 국가 고유 입력 변수를 개발하였다.

<sup>37)</sup> 고병수·정진도 등(2006)은 중소형매립지에서 발생하는 온실가스(이산화탄소와 메탄) 배출량에 대하여 실제 측정 및 분석을 실시하고 메탄의 향후 발생량 및 과거 발생량에 대한 예측을 실시하였다.

진병복 외 2009)<sup>38)</sup>들이 수행되고 있다. 매립부문 온실 가스 배출량 산정 시 적용 가능한 국가 고유 입력 변수를 개발하는 연구가 더욱 필요하다.

하폐수 처리시설 부문의 연구는 처리시설에서 발생하는 온실가스 배출량의 추정(전의찬·서경애 외 2003; 황금록·김현선 외 2007)<sup>39) 40)</sup>에 집중되어 있으며 최근 배출량 산정방법에 대한 연구가 진행되고 있다.

#### 4) 가정·상업부문에서 배출되는 온실가스량과 배출계수 산정

가정상업부문의 연구들은 온실가스 배출량을 산정하고 배출계수를 산정(서성원·황용우 1999; 장영기·최상진 외 2003; 최진호·강주명 2008)<sup>41) 42)</sup>한 연구와, 배출량과 배출계수 모두를 산정한 연구(이강희 2001; 정재형·이석희 외 2009)<sup>43) 44)</sup>가 있지만 후자의 연구가 주를 이룬다. 위의 연구들 중에서 산정된 배출계수를 정리한 것이 <표 7>이다.

---

<sup>38)</sup> 유병옥·진병복 등(2009)은 광역시급, 시급, 군급의 4개 매립지를 선정하여 현장측정에 의한 배출량을 산정하고 입력변수들을 개발하였다.

<sup>39)</sup> 황금록·김현선 등(2007)은 하·폐수 처리시설에서 발생하는 메탄 및 아산화질소 배출량을 산정하고 우리나라 하·폐수 처리시설의 실정에 맞는 온실가스 배출량 산정방법을 제안하였다.

<sup>40)</sup> 전의찬·서경애 등(2003)은 closed enclosure chamber 방법인 floating flux chamber 방식으로 하 폐수처리시설에서 발생하는 온실가스 중 메탄을 측정하고 IPCC에서 제안하고 있는 지침에 따라 배출량을 산정하였다.

<sup>41)</sup> 장영기·최상진 등(2003)은 LNG 연소에 의한 온실가스 시설별(산업 • 난방용 보일러, 가정용 보일러, 요리 시설, 발전시설)로 현장 실측하여 배출계수를 산정하고 LNG의 CO<sub>2</sub> 배출계수가 석탄, 석유보다 크게 작음을 밝혔다

<sup>42)</sup> 서성원과 황용우(1999)는 서울시 및 인근신도시를 중심으로 주거용 건물의 난방 및 취사에너지 소비에 대한 실태조사를 수행하여 에너지소비량 및 이로 인한 탄소 배출량을 통계적으로 평가하였다

<sup>43)</sup> 정재형·이석희 등(2009)는 서울시 북동부 권역을 1kmx1km 단위의 격자로 분할하여, 월별 및 지역별 온실가스 배출량을 산정하고 배출계수를 산정하였다.

<sup>44)</sup> 이강희(2001)는 공동주택의 표본조사를 통해 단위면적당 이산화탄소 배출 원단위 (kg c/m<sup>2</sup>·년)를 산정하고 지역단위-중부와 남부- 난방방식과 사용에너지원에 따른 이산화탄소 배출 원단위를 제시하였다.

<표 8> 가정·상업부문 배출계수

구분		연료	배출계수	출처
단독주택		연탄	943.5kg-C/m <sup>2</sup> · yr	서성원·황용우(1999)
			12.06kg-C/m <sup>2</sup> · yr	송두삼·이승복(1997)
아파트	개별 유류		796.0 kg-C/m <sup>2</sup> · yr	서성원·황용우(1999)
	중앙집 중난방	병커C,경유, 등유	22.1 kg- C/m <sup>2</sup> · 년	이강희(2001)
		도시가스	18.8 kg-C/m <sup>2</sup> · yr	이강희(2001)
	지역난방 방식		20.5 kg-C/m <sup>2</sup> · yr	이강희(2001)
	전기		8 t-CO2/m <sup>2</sup> ·세대·yr	정재형·이석희 외(2009)
연립		개별 유류	679.7 kg-C/m <sup>2</sup> · yr	서성원·황용우(1999)
		도시가스, LPG	0.1ton-C/m <sup>2</sup> · yr	서성원·황용우(1999)
가정용보일러		LNG	2.365 kg-CO <sup>2</sup> /10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup>	장영기·최상진 외(2003)

이외에 가정·상업부문의 온실가스 배출량 저감과 관련한 연구(최진호·강주명 2008)<sup>45)</sup>, 라이프사이클을 고려한 환경부하에 관한 연구(송두삼·이승복 1997)<sup>46)</sup>가 있다.

## 5) 수송부문의 온실가스 배출량과 배출계수 추정

수송부문의 연구는 자동차에 관련한 연구가 주를 이루고 있다. 차종별 배출계수의 산정(이주광·김성환 외 2009)<sup>47)</sup>과 기존의 배출계수를 이용하여 수송부문 온

<sup>45)</sup> 최진호와 강주명(2008)은 가정용 가스보일러의 배기가스에 대한 경제성 및 환경영향 평가가 필요하다는 관점에서 가정용 가스보일러의 이산화탄소 배출량 예측모델을 개발하고 신규로 설치되는 보일러의 효율을 1% 향상시킬 경우 2030년까지 약 2,500만톤의 이산화탄소 배출량이 저감될 것으로 기대하였다.

<sup>46)</sup> 송두삼과 이승복(1997)은 건축활동에 따른 환경부하 산정 방법으로 LCCO 방법론을 점검하기 위해 단독주택의 시공단계 및 건물의 운영에 요구되는 에너지량을 산출하고 에너지 사용에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하였다.

<sup>47)</sup> 이주광·김성환 등(2009)은 각 국가별 도로에서의 온실가스 배출량 산정 방안을 소개하고 우리나라 도로 특성에 적합한 표준화된 온실가스 배출량 산정 기법을 조사하였다.

실가스 배출량을 추정한 연구(유영숙·석광설 외 2009)<sup>48)</sup>로 구분된다. 이외 철도(이화운·김유근 외 2000; 이재영·정우성 외 2009)<sup>49) 50)</sup>, 선박의 온실가스 배출량(송지한·Pokhrel 외 2009; 최상진·박성규 외 2009)<sup>51) 52)</sup>과 배출계수 산정에 관한 연구, 어선박 자체의 온실가스 배출뿐만 아니라 그 배출이 정박하는 항구에 미치는 영향에 관한 연구(이화운·김유근 외 1999)<sup>53)</sup>가 있다.

선박의 경우 많은 온실가스가 배출될 것으로 예상되에도 불구하고 국가배출량 산정 시 제외하거나 연료사용량(면세유)에 의한 Top-Down Approach 에 의한 방법으로 산정하는 문제점이 있다. 또한 육상에서 사용하지 않는 저질연료가 선박에서 사용되며 항구도시의 경우 해륙풍의 순환과 같은 국지풍계의 영향으로 연안지역 선박으로부터 발생한 대기오염 물질 등이 내륙지역까지 운송되고 있어 효율적인 배출규제를 위해서는 선박오염원의 고려가 필수적이라는 점에서 이에 대한 연구가 필요하다(이화운·이동규 외 1997).

---

<sup>48)</sup> 유영숙·석광설 등(2009)은 국립환경과학원에서 개발한 차종별 배출계수를 이용하여 Tier 3 방법론에 의한 자동차 종류 및 도로종류별 온실가스 배출량을 산정하였다.

<sup>49)</sup> 이재영·정우성 등(2009)은 철도통계연보(2008)에서 발표된 철도차량의 디젤 및 전력소비량과 시설물의 전력소비량에 대한 데이터를 이용하여 철도분야의 온실가스 배출량을 정량적으로 산정하기 위한 방법론을 개발하였다.

<sup>50)</sup> 이화운·김유근 등(2000)은 기관차종별 대기오염물질 배출계수(1997) 이용하여 부산광역시 철도차량에 의한 배출량을 산정하였다.

<sup>51)</sup> 송지한·R. Pokhr 등(2009)은 인천지역에서의 대기오염에 주요 인자로 작용하는 선박으로부터의 대기배출을 산정하고 대기보전정책수립지원시스템(CAPSS)를 이용하여 정박에 의한 연료소비량, 접안 시 연료소비량, Cruise 모드에서 평가된 배출계수를 적용하여 배출량 산정

<sup>52)</sup> 최상진·박성규 등(2009)은 어선의 엔진특성(제원)을 고려한 활동도 자료를 이용하여 합리적인 어선 부문의 온실가스 배출량을 산정하였다.

<sup>53)</sup> 이화운·김유근 등(1999)은 선박 배출원과 내륙지역 배출원에 대한 대기오염물질 배출량을 산정하고 산정된 배출분포를 따라 연안도시지역의 오염원 현황 및 배출 특성에 대해 고찰하였다.

## 2. 자연 방출 온실가스 flux

산업분야에서의 배출원 별 배출은 배출원 파악과 측정의 용이함으로 빈번한 조사에 의해 자료가 상당부분 확보된 상태이지만 자연배출원(natural source) 배출량조사는 충분치 못하다. 주요 온실기체 중 이산화탄소( $\text{CO}_2$ ), 메탄( $\text{CH}_4$ ), 아산화질소( $\text{N}_2\text{O}$ ) 등은 토양 내의 미생물 활동과 같은 생물학적 발생원(biogenic source)을 통해 인위적인 배출규모에 상당하는 배출이 이루어지고 있다(IPCC 1995; Cao, Marshall et al. 1996).

자연 환경(주로 토양과 습지)에서 이들 주요 온실기체의 배출과 관련된 측정연구는 정보 부족과 측정의 어려움 등으로 인하여 국제적으로도 인위적 배출조사에 비해 상대적으로 매우 적은 실정이다(Papen and Butterbach-Bahl 1999; Breuer, Papen et al. 2000).

이산화탄소, 메탄, 아산화질소 등은 인위적 배출원 이외에도 토양, 습지, 생체 연소(biomass burning) 등 자연 상태의 발생원들이 산재해 있어 전 지구 규모의 수지(budget)를 고려할 경우 자연 배출량도 인위적 배출량과 거의 같거나 상회하는 수준으로 파악된다(Warnecke 2000).

### ① 토지피복·이용에 따른 온실가스 flux 추정

토지피복지도<sup>54)</sup>를 대기부문에 활용할 경우, 미래의 도시계획에 의한 도시 내 녹지공원 조성사업 등에 의해 야기되는 지표면 토지이용의 변화에 따른 도시의 열 환경 변화와 식생 분포에 따른 자연오염원과 온실가스 발생량 등을 추정할 수 있

---

<sup>54</sup> 지표면의 물리적인 형태를 생태학적 기준에 따라 조사·분류하여 동질의 특성을 지닌 지역을 지도의 형태로 표현한 지도. 지표면의 현 상황을 가장 잘 반영하고 있어 환경부문을 비롯한 각 분야에서 현황을 파악하고, 현실을 반영한 여러 모델링의 기초자료로 활용되어 정책수립의 효율성·과학성을 높이는데 많은 기여를 gs다. 토지피복지도의 분류체계는 활용 목적에 따라 매우 다양하게 설정되는데, 대기오염 모델링에서는 자연오염원에 의한 배출량 산정을 위하여 지표면의 상태(산림지역, 농업지역, 나지, 시가화 건조지역)가 중요한 인자가 된다. 지적 공부 상의 이용상태가 아닌 자연상태의 지표면이 갖는 물리적 상태가 중요한 인자로 하천 둔치의 경우 하천 제방 경계 안쪽을 확일적으로 하천으로 분류하는 것이 아니라 초지, 나지, 경작지 등 현재의 토지피복 상태를 나타내는 것이 중요하다. 자연환경부문에서는 생물 종의 보전과 서식처 확대를 위한 식생현황, 습지의 형태와 각종 개발과 자연재해로 인한 훼손현황 등을 파악할 수 있는 시가화 건조지역, 골짜강, 채광지역, 기타 나지 등이 매우 중요한 분류항목들이다..

다. 식생분포에 따른 실시간 자연배출량과 CO<sub>2</sub> flux 산정 등은 추후 예견되는 대기 질 예보시스템 구축뿐만 아니라 지구온난화 물질 감시 시스템 구축에 필수적이다. 토지피복자료는 토지표면의 물리적 현황(지표면의 상태)을 나타내는 자료로 자연환경, 수질, 대기분야의 GIS시스템 구축 및 모델링 프로그램의 구동 시 필수적인 정보를 제공하며, 자연환경분야에서 사용하는 토지피복분류 자료는 생물 서식 공간의 추정 및 산소 생산량, 이산화탄소 흡수량 등 환경통계의 작성에 활용될 수 있다. 대기오염모델링에서 토지피복자료는 대상지역을 차지하고 있는 물체들의 높이와 밀도, 표면상태가 중요한 분류 기준이 되며, 가장 최근에 소개된 대기모델인 ISC3(Industrial Source Complex)에서는 도시지역, 활엽수림, 침엽수림, 초지, 경작지, 습지, 나지, 물의 8개로 구분하여 사용하였다.

지표면 토지피복지도 내의 식생분포에 기인한 자연오염원의 배출량 산정에 관한 연구는 국내의 경우 극히 제한적으로, 국립환경과학원이 대기보전정책지원시스템을 통하여 자연오염원에 의한 월평균 배출량 산정을 위하여 토지피복지도를 활용하였다(한국환경정책평가연구원 2002; 국립환경연구원 2003).

외국의 경우는 이와 관련한 연구들이 다수 있는데, 미국 환경청(EPA; Environmental Protection Agency)는 지리정보시스템과 위성영상, 삼림과 농업 등의 데이터베이스인 BELD(Biogenic Emissions Landuse Database)를 구축하고, BEIS (Biogenic Emissions Industry System)라고 명명된 자연오염원 배출량 산출 프로그램을 이용하여 자연오염원의 배출량을 실시간 추정하고 있다(Yareood, Wilson et al. 2003). 미국의 콜로라도 주립대학은 토지피복지도 내 자연식생 분포도를 이용한 육지의 CO<sub>2</sub> 배출량을 추정하였다(Denning, Nicholls et al. 2003).

유럽연합(EU)의 핀란드, 스페인, 이탈리아 등은 SPARTACUS(System for Planning and Research in Towns and Cities for Urban Sustainability) 사업에서 100m×100m 분해능의 토지피복지도와 GIS의 공간정보 인자를 활용하여 대기오염 및 소음의 모델링 연구를 수행하고 있다. 또한 멕시코 Los Alamos 국립연구소의 에너지 및 환경 분석 그룹은 멕시코 시 내부와 주변의 대기질의 변화를 예측하기 위해 위성영상, 지도, 항공사진 등의 수치토지피복지도를 이용한 지역 대기모형을 개발하였다(전성우 2002).

우리나라의 경우, 대기오염을 관리하기 위해서는 대기오염 농도와 함께 대기오염 배출량의 공간분포가 정확히 산정되어야 한다는 문제의식에서 출발한 최진무(최진무 1998)의 연구가 있다. 그는 토지이용 분류도를 고해상도(28.5m×28.5m)로 작성하고, 토지이용이 배출량의 공간분포 산정과 대기오염농도의 추정에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 이 연구는 대기오염원에 따라 토지이용을 재분류하고 각 오염원이 공간적으로 중복되지 않도록 특히, 도로를 효율적으로 고려할 수 있는 고해상도의 토지이용 분류도를 작성한 후, 연료사용자료와 배출계수를 이용하여 각 오염원 별 대기오염물질 총 배출량을 산정하였다.

문윤섭과 구윤서(문윤섭·구윤서 2006)는 수도권을 중심으로 상세규모 해상도의 토지피복지도의 수치자료를 작성하고, 동시에 자연 식생 분포에 따른 실시간 CO<sub>2</sub> 플럭스(flux)를 경험적으로 계산할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. 또한 수도권 지역에서 2002년~2004년의 3년 중 열대야를 동반한 최고 기온 발생일인 2004년 8월 10에 대한 CO<sub>2</sub> 플럭스의 시간별 공간적 분포를 작성하였다<sup>55)</sup>. 그는 아리랑 2호 우주선 발사를 통해 최신의 고해상도 토지피복지도가 계절적 분포에 따라 작성된다면 CO<sub>2</sub> 플럭스 수지의 계절적 분포 뿐만 아니라 실시간 변화도 가능할 것으로 예상하였다. 또한 실시간 기상 및 대기질의 감시와 예보의 적중률 향상에 기여할 수 있으며, 온실기체 배출량 산정을 위해 매우 유용한 자료로 활용될 수 있으며 향후 이들 연구 결과는 행정수도 도시계획과 같은 대규모 토지이용 변화와 환경영향 평가 사업, 기상 및 광화학 수치모델의 초기 입력자료 등에 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 기대하였다.

환경부에서는 대기보전정책지원시스템을 통하여 자연오염원에 의한 월평균 배출량 산정을 위하여 토지피복지도를 활용(국립환경연구원 2003)하였으며, 서울대학교 대기과학과에서는 경인지역의 자연배출량을 고려한 Co<sub>2</sub> 의 3km x 3km 크기의 공간 분해능의 모델링을 위하여 토지피복지도를 활용하였다(전성우 2002).

---

<sup>55)</sup> 수도권지역에서 일중 최고 및 최저 기온 발생일 때의 식생에 기인한 CO<sub>2</sub> 플럭스는 낮 동안 광합성에 의해 정오에 약 18.5톤/km<sup>2</sup>가 소모되었으며, 밤 동안 탄소 동화과정의 호흡에 의해서는 자정에 최대 약 2.5톤/km<sup>2</sup>가 생성되었다.



문윤섭 등(2004)은 대기 질 모델링을 위한 상세규모 해상도의 토지피복지도를 작성하여 실시간 자연오염원 산정과 함께 자연발생적인 대기 질(오존, VOC; Volatile Organic Compound)의 변화를 평가할 수 있는 지도를 구축하였다.

최근 도시지역 토지피복 변화에 따른 도시 열 환경 변화를 보다 세밀하게 파악하기 위해 국지규모의 수치모델링을 이용하여 접근하려는 연구들이 활발히 진행되고 있다. 주요 주제는 도시지역에서 숲이 기온변동에 미치는 영향, 토지피복이 도시기온변동에 치는 영향, 토지이용의 변화가 도시 지역 열 환경에 미치는 영향 등이다(Vukovich and King 1980; Kimura and Takahashi 1991; 김유근·이화운 외 2000; 홍정혜·김유근 2000; Elisson 2000; 김유근·문윤섭 외 2002; 김현구·최재우 외. 2003; 이화운·오은주 외 2003; 이순환·김현숙 외 2004; Shashua-Bar and Hoffman 2000).

## ② 농경지로부터의 온실가스 배출

농업부문은 온실가스의 배출기능과 흡수 기능을 동시에 가지는데, 영농 활동에 의해 온실가스를 배출하지만 또한 이산화탄소를 흡수하여 바이오매스(biomass)나 토양 중에 저장한다. 이런 의미에서 바이오매스 및 토양에 의한 탄소 저장은 농업분야의 기후변화 대응 수단으로 중요시된다.

농경지의 바이오매스 생산량은 산림지에 비해 매우 적으며 매년 혹은 수년 내에 대부분 수확하기 때문에 농경지 내 순 바이오매스에 의한 탄소량은 거의 일정하다. 바이오매스에 의한 탄소 축적량을 산정하기 위한 2006년 가이드라인에서 IPCC는 곡류나 채소와 같은 일년생 작물은 생육기간 동안 많은 양의 탄소를 바이오매스로 축적하지만 일년 이내에 수확하기 때문에 바이오매스에 의한 탄소의 순 축적은 없는 것으로 규정하였다<sup>56)</sup>. 따라서 농경지 부문의 공식적인 온실가스 배출통계에는 메탄과 아산화질소의 배출량만을 추계한다(양승룡·임성수 2008).

농업 분야에서 대기로 방출하고 있는 주요한 온난화 가스 중 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 식량공급 부문의 생산활동에 따른 에너지 소비에 의해서 배출되며, 메탄가스(CH<sub>4</sub>)는

---

<sup>56)</sup> 과수원, 포도원 및 임간 농업체계를 포함한 영년생 목본과 식생인 커피, 야자수, 코코넛, 고무나무 등에 한해서만 바이오매스에 탄소를 저장할 수 있는 것으로 규정하고 영년생 나무의 지하부 바이오매스는 변화가 없는 것으로 규정하였다.

벼농사에 따른 담수의 논<sup>57)</sup>에서 산소가 없는 상태에서 미생물의 분해에 의해 배출된다. 아산화 질소( $\text{N}_2\text{O}$ )<sup>58)</sup>는 주로 농경지에 사용된 질소질 화학비료<sup>59)</sup> 중 농작물이 흡수하지 못한 질소가 대기로 탈질화 하는 형태의 하나로 나타난다. 아산화 질소는 지구온난화잠재력이 이산화탄소의 310배에 달해 최근 논에서 배출되는 아산화질소에 대한 연구가 활성화되고 있다.

논에서 메탄을 실측한 것은 1981년 Cicerone이 미국 캘리포니아의 논에서 (Cicerone and Shetter 1981)가 실시한 것이 최초이며, 이를 통해 논이 메탄의 큰 배출원임이 처음으로 확인되었다. 수도체는 메탄( $\text{CH}_4$ ) 방출에 중요한 역할을 한다. 엽신, 엽초, 줄기, 뿌리에 잘 발달된 통기조직을 통해 대기와 혐기 토양 사이에 효율적인 gas 교환이 이루어지는데 논 토양으로부터 생성된 메탄은 90%까지 수도체를 통하여 대기로 방출된다(Nouchi 1994).

이후 연구의 주요주제는 논 토양과 대기 사이의 온실가스 방출 연구에서 메탄의 측정 방법(Denmead 1995), 논 토양 형태별 경운에 따른 메탄 배출양상(Sass and Fisher 1995), 메탄 등 대기의 미세가스 증가에 따른 지구온난화의 정도 분석(Rennenberg, Wassman et al. 1995) 바이오 에너지 개발 등 토양을 이용한 온실가스 저감방안과 토양의 온실가스 저감효과에 대한 분석(Sauerbeck 2001), 농업용 면세유 비중 감소와 유류가격 인상 등을 통한 온실가스 저감효과 분석(Manaloor 2006), 작부체계에 따른 온실가스 배출량을 분석하여 온실가스 배출량을 줄일 수 있는 작부체계를 분석(Nobuhisa Koga, Haruo Tsuruta et al. 2003) 등이다.

국내의 연구는 최근 국가고유배출계수의 산정(신용광·이양수 외 1995; 농촌진흥청 2010)<sup>60) 61)</sup>에 초점을 맞추고 있다. 기존의 연구는 주로 메탄의 발생량 추정

<sup>57)</sup> 논은 최근 세계적으로 그 재배면적이 늘어나고 있어서 지구 온난화의 주요 잠재적 배출원으로 간주되고 있다(Freney, J. R., O. T. Denmead, et al. 1981). IPCC는 벼논에서 배출되는 메탄의 지구 규모의 양은 20-150 Tg/년으로 평균 60 Tg/년인데 이 양은 모든 배출원 중 약 5-30%에 해당한다고 보고하였다.

<sup>58)</sup> 질소비료를 시용한 토양으로부터 아산화질소 배출 지구규모의 양은 연간 10-17 Tg이며 (Houghton, J. T., B. A. Callander, et al., Eds. 1992) 대기 중 아산화질소 증가는 오존층을 10% 감소시키고 자외선은 20%까지 증가시키는 것으로 알려져 있다.

<sup>59)</sup> 농경지 토양에서 대기로 배출되는 아산화질소의 양 가운데 81%가 질소비료에 의해 배출된다 (Iserman, K. 1994).

<sup>60)</sup> 신용광·이양수 등(1995)은 simplified closed static chamber method를 고안하여 국내에서 실측에 기초한 메탄 배출량과 외국학자들이 한국의 논 토양에 대해 추정한 메탄 배출량을 비교하였다.

(윤성아·유덕기 1998; 윤성아·유덕기 2000; 신용광·이양수 외 1995; 이경보·이덕배 외 1997; 김건엽, 박상일 외 2002; 김영성·김진영 2004)<sup>62)</sup> <sup>63)</sup>에 대한 연구가 많이 이루어지고 있지만 이와 더불어 농경지로부터의 메탄의 배출에 영향을 주는 인자(고지연·강항원 외 1996; 이경보·이덕배 외 1997; 고지연·강항원 외 1998; 이경보·이덕배 외 1999; 이경보·이덕배 외 2000)<sup>64)</sup> <sup>65)</sup> <sup>66)</sup>에 관한 연구와, 메탄 배출을 저감하기 위한 영농법에 관한 연구(이경보·이덕배 외 1995)<sup>67)</sup>, 온실가스 배출/흡수량 및 그 효과에 관한 연구(김창길·김태영 외 2006; 김창길·김배성 외 2007; 고지연·이재생 외 2008)<sup>68)</sup> <sup>69)</sup>가 있다.

이러한 연구의 궁극적인 목적은 논 벼 재배에 따른 온실가스 배출량을 분석하고 벼 품종군별, 영농 방법별 메탄 배출계수를 산정하여, 농경지에서의 온실가스 배출을 최소화하는 생산시스템을 구축하고자 하는 것이다.

농경지로부터의 자연발생적 온실가스 배출에 관한 또 하나의 연구분야는 아산화질소( $N_2O$ )에 관한 연구이다. 아산화질소의 온실효과 기여율은 이산화탄소의 약 320배에 달한다. 대기 내 아산화질소의 증가는 주로 농작물 재배를 위해 사용된 유기질소 비료에 기인된 것으로 여겨진다(Guilbault and Matthias 1998). 아산화질

- 
- <sup>61</sup> 농촌진흥청(2010)은 우리나라의 영농 방법별 온실가스 배출량 원단위를 2007년 농업부문 배출량 기준으로 평가하였다. 밭은 질소비료의 사용량이 많아서 논과 큰 차이가 없으며, 논 1 ha에서 배출되는 온실가스 양은 6.6톤 $CO_2$ /yr임을 밝혔다.
- <sup>62</sup> 윤성아와 유덕기(1998, 2000)는 LCA 기법을 적용하여 농·축산분야의 온실효과 가스의 정량적 평가 및 요인분석을 시도하였다.
- <sup>63</sup> 물 관리 방법을 달리한 상시 담수와 간단관개에서 메탄과 아산화질소의 배출 양상과 서로 다른 종류의 유기물 원 및 질소비료 사용에 따른 메탄과 아산화질소 배출을 비교하고 저감할 수 있는 방법을 찾기 위해 시험을 실시하였다(김건엽·박상일 외 2002).
- <sup>64</sup> 이경보·이덕배 등(2000)은 논으로부터 배출된  $CH_4$  양을 저감시키기 위한 기초자료로 질소 비중에 따른  $CH_4$  배출양상 및 용존  $CH_4$ 을 조사하였다.
- <sup>65</sup> 이경보·이덕배 등(1999)은 유기물 사용 및 벼 기상 생태형별  $CH_4$  실측치를 근거로 논 토양에서 배출되는  $CH_4$  배출량을 추정
- <sup>66</sup> 고지연·강항원 등(1996, 1998)은 논 토양에서 질소 비종 및 재배양식에 따른 메탄배출양상을 조사하였다.
- <sup>67</sup> 이경보·이덕배 등(1995)은 메탄가스 저감연구에 있어서 간단관개에 의해 메탄 배출량을 30~60% 까지 줄일 수 있음을 밝힌 바 있다.
- <sup>68</sup> 고지연·이재생 등(2008)은  $CO_2$  흡수에 효율적인 작부체계를 구명하고자 벼-보리 이모작재배에 의한 대기 중 온실가스 흡수 효과를 분석하였다. 연구결과 벼 - 보리 이모작은 벼 단작에 비해 대기 중  $CO_2$  흡수가 10.6  $Mg\ ha^{-1}$  더 흡수한다는 것이 밝혀졌다.
- <sup>69</sup> 김창길·김태영 등(2006)과 김창길·김배성 등(2007)은 온실가스를 감축할 경우 농업부문에 미치는 파급영향을 분석하기 위하여 농업부문의 메탄, 아산화질소, 이산화탄소의 배출량 및 흡수량을 추정하였다.

소의 전 지구적인 배출량의 약 57% 이상이 토양에서 주로 질산화(nitrification)와 탈질화 (denitrification)과정을 통해 배출된다. 질소산화물의 전 지구적 배출수치는

<표 9> 경지에서의 온실가스 배출계수

구분	비품종	재배방식	배출량	출처
논			6,600 kg CO <sub>2</sub> /ha·yr	농촌진흥청(2010)
			15.3 ngN/m <sup>2</sup> ·s (N <sub>2</sub> O)	김득수(2001)
		건답직파	10.27 mg/m <sup>2</sup> ·hr	이경보·이덕배 외(1997)
		건답직파(벼 짚무시용시)	7.27 mg/m <sup>2</sup> ·hr	
		담수직파	21.94 mg/m <sup>2</sup> ·hr	
		벼짚무시용시	14.25 mg/m <sup>2</sup> ·hr	
		이앙재배	24.5 mg/m <sup>2</sup> ·hr	
		벼짚무시용시	16.29 mg/m <sup>2</sup> ·hr	
	조생종	상시담수	3.91 kgCH <sub>4</sub> /ha·일	윤성이·유덕기(1998)
		간단관개	2.34 kgCH <sub>4</sub> /ha·일	
	중생종	상시담수	43.8 kgCH <sub>4</sub> /ha·일	
		간단관개	2.64 kgCH <sub>4</sub> /ha·일	
	만생종	상시담수	4.66 kgCH <sub>4</sub> /ha·일	
		간단관개	2.80 kgCH <sub>4</sub> /ha·일	
밭			6516 kg CO <sub>2</sub> /ha·yr	농촌진흥청(2010)
			66.9 ngN/m <sup>2</sup> ·s (N <sub>2</sub> O)*	김득수(2001)

\* 파 밭의 예, \*\*조생종, 중생종, 만생종의 재배기간 평균기온: 각각 20, 22, 23°C

인간 활동에 의한 배출 뿐 아니라 토양 등 자연적 배출이 전체의 약 40%를 차지(Logan 1983; Yienger and Levy 1995)하며 자연배출은 주로 토양으로부터이다.

농경지에서의 아산화질소의 배출에 관한 연구는 주로 아산화질소의 배출량(김득수 2001; 김득수·오진만 2003)과 배출계수의 산정(김득수 2001)<sup>70)</sup>에 초점이 맞추어져 있다. 그 외의 연구로는 아산화질소의 배출에 영향을 주는 토양환경 인자에 관한 연구(김득수 2001; 김득수·오진만 2003; 신용광·안종웅 외 2003)<sup>71)</sup>가 있다.

### ③ 기타 토양, 갯벌 등으로부터의 온실가스 배출

기타 토지피복으로부터 배출되는 온실가스에 관한 연구는 Koerner와 Klopatek (Koerner and Klopatek 2002)의 미국 사례 연구가 있다. 그는 미국 Arizona 주의 Phoenix 시를 사례로 초지, 골프장 등 토양에서의 이산화탄소 배출량과 배출계수를 산정하고, 인위적인 온실가스와 자연발생적인 온실가스의 배출량을 비교하였다.

우리나라 학자의 연구는 (김득수·조남호 외 2006; 김득수 2007)의 연구<sup>72)</sup>가 대표적으로, 하구언 갯벌에서의 이산화탄소, 메탄, 아산화질소 등 온실가스 배출계수를 산정하고 그 특성을 분석하였다.

---

<sup>70)</sup> 김득수(2001)는 체임버를 이용한 N<sub>2</sub>O의 토양 배출량의 변화를 분석하였다.

<sup>71)</sup> 김득수와 오진만(2003)은 비료사용이 활발한 농경지 (논과 밭)에서 flux chamber를 사용하여 N<sub>2</sub>O 배출량을 측정 분석하여 N<sub>2</sub>O 배출량에 영향을 주는 토양환경인자(물리·화학인자)들과의 상호 관계를 조사하였다.

<sup>72)</sup> 김득수·조남호 등(2006)과 김득수(2007)는 온실기체의 거동에 중요한 역할을 하고 있으나 국내 배출량 산정에서 무시되고 있는 습지와 갯벌에서의 온실기체 배출량을 현장측정, 산출하여 정량적으로 평가하였다. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O의 지표 flux를 체임버법(enclosure chamber technique)을 사용하여 집중적 주기적으로 현장 측정하였다.

<표 10> 기타 배출계수

구분	배출계수	출처
유흥지 및 나대지	6.534 tCO <sub>2</sub> /ha·yr	Koerner and Klopatek(2002)
자연 초지	69.145 tCO <sub>2</sub> /ha·yr	
인간의 호흡	1,386 g/person·day	
갯벌의 flux	CO <sub>2</sub> : 5.83±138.73 mg/m <sup>2</sup> ·h	김득수(2007)
	CH <sub>4</sub> : 0.13±0.86 mg/m <sup>2</sup> ·h	
	N <sub>2</sub> O : -0.02±0.66 mg/m <sup>2</sup> ·h	

#### ④ 녹지에 의한 온실가스 flux

녹지 또는 수목은 광합성을 통한 성장 과정에서 대기 중 이산화탄소를 흡수하여 그 농도를 낮추며, 먼지를 잎 면에 부착시키고, 황산화합물, 질산화합물 등의 가스상 오염물질을 잎 면에 흡착·흡수하여 오염물질의 대기농도를 낮춘다. 따라서 오염물질 배출량에 대한 녹지의 총량적·공간적 부족량을 계량화하는 연구는 지역 내 이산화탄소 배출량 추정을 위한 온실가스 인벤토리의 구축 정책뿐만 아니라, 도시 녹지의 효율적 조성 및 관리 정책에 중요하다.

이와 관련된 연구로는 용인시를 대상으로 도시수목의 연간 이산화탄소, 이산화황(SO<sub>2</sub>), 아산화질소(NO<sub>2</sub>)의 흡수 및 산소(O<sub>2</sub>)의 생산을 계량화 하여 도시 내 수목 식재가 환경보전효과에 기여하는 가치를 규명한 조현길과 안태원(조현길·안태원 2001)의 연구가 있다. 또한 서울 중구를 대상으로 도시 녹지의 단위면적 당 이산화탄소, 이산화황, 아산화질소의 흡수와 관련된 환경보전효과 역할을 규명한 조현길, 조용현, 안태원 등의 연구(조현길·조용현 외 2003)가 있다. 소수의 연구로 녹지의 환경보전효과 역할이 도시의 대기 오염배출량에 대하여 어느 정도의 정화력을 가지는지, 환경보전효과 능력의 측면에서 보았을 때 녹지의 불균형은 어느 정도인지 계량적 측정을 수행한 연구(김명화 2005)가 있다.

<표 11> 녹지 흡수계수

구분	흡수계수	출처
리기다 소나무	197 tCO <sub>2</sub> /ha·yr	김소라·이우균 외(2009)
	197 tCO <sub>2</sub> /ha·yr	이경재·김갑덕 외(1985)
잣나무	156 tCO <sub>2</sub> /ha·yr	김소라·이우균 외(2009)
	216 tCO <sub>2</sub> /ha·yr	이도형·황재우(2000)
낙엽송	124 tCO <sub>2</sub> /ha·yr	김소라·이우균 외(2009)
	227 tCO <sub>2</sub> /ha·yr	Kim(2008)
참나무류	53 tCO <sub>2</sub> /ha·yr	김소라·이우균 외(2009)
	132 tCO <sub>2</sub> /ha·yr	박인협·이돈구 외(1996)
도시녹지(수목)	2.2 tCO <sub>2</sub> /ha·yr	조현길·조용현 외(2003)
	2 tCO <sub>2</sub> /ha·yr	조현길·안태원(2001)
	2.3 tCO <sub>2</sub> /ha·yr	Jo(2002)

김명화(2005)는 GIS를 이용하여, 도시 녹지의 대기정화능력을 현재의 오염 실태와 비교하여 정확히 판단하기 위해, 도시의 대기환경 저해물질 배출량과 도시 녹지에 의한 흡수량을 추정<sup>73)</sup>하고, 단위면적당 배출량과 흡수량을 비교하여 총량적인 비교 및 상대적 녹지의 불균형을 측정함으로써 녹지정책방향의 기본 자료를 제시하였다<sup>74)</sup>. 도시녹지에 의한 흡수량과 관련된 연구는 도시 수목과 관련하여 도시 식생의 관리에 의한 에너지소비 및 탄소방출에 관한 조현길(1999)의 연구가 있다. 또한 위성영상을 이용하여 수종별 ha당 연간 이산화탄소 흡수량을 추정한 김

<sup>73)</sup> 서울시 도시생태 현황도와 임상도를 사용하고, 이산화탄소 교환을 실측을 통해 유도한 수종별 흡수량 방정식(조현길·조동하 1998)을 이용하여 토지피복별 이산화탄소, 이산화황, 아산화질소 흡수량 원단위를 산출하였다

<sup>74)</sup> 도시의 대기오염물질의 배출량 추정을 위해 통계자료를 수집하고 GIS 데이터를 작성하여 대상 오염물질에 관한 배출도면을 작성하였다. 연구결과, 서울시 녹지에 의한 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 흡수량은 각각 297톤, 774톤, 420,829톤으로 나타났는데, 이는 서울시 SO<sub>2</sub> 배출량의 2.52%, NO<sub>2</sub> 배출량의 0.68%, CO<sub>2</sub> 배출량의 48.92%를 상쇄하였다. 서울시 녹지에 의한 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 흡수에 대한 경제적 가치는 SO<sub>2</sub> 14억, NO<sub>2</sub> 237억, CO<sub>2</sub> 657억으로 총 709억의 경제적 가치를 가지는 것으로 분석하였다.

소라 등(2009)의 연구<sup>75)</sup>가 있으며 과수원에서의 탄소고정에 관한 Seo(2008)<sup>76)</sup>의 연구, 산림의 흡수량 및 흡수계수의 산정에 관한 연구(이경학·손영모 외 2001; 문형태 2002)<sup>77)</sup> <sup>78)</sup>가 있다. 이상의 연구에서 산정된 흡수계수를 <표 11>에 정리하였다.

## ⑤ 축산부문의 온실가스 배출

온실가스 배출원 중 축산부문에서 발생하는 온실가스 배출량을 추정하기 위한 연구로는 농가 가축사육실태 설문조사(축산연구소 2002)의 설문자료 중 분뇨처리 실태 설문 결과를 반영하여 배출량을 산정한 장영기 등(2004)<sup>79)</sup>의 연구, IPCC의 한대지역(cool climate) 및 개발도상국의 조건을 적용한 배출계수를 이용하여 우리나라의 가축의 장내발효 및 분뇨분해과정에서 연간 배출되는 메탄량과 배출계수를 산정한 윤성이와 유덕기(1998, 2000)의 연구가 있다. 우리나라 국가고유의 배출계수를 산정한 연구로는 농촌진흥청 (2010)의 연구가 있다.

<sup>75)</sup> Kompsat-2 위성영상을 이용하여 산림 내 수종을 임상단위로 분류,, 수종별 본 수를 추정하고 기존의 지상 바이오매스 추정식을 이용하여 수종별 바이오매스를 추정하였다. 이 자료에 IPCC의 가이드라인의 배출계수를 적용하여 임상단위의 이산화탄소 흡수량을 추정하였다.

<sup>76)</sup> Seo, H. H.(2008)는 우리나라, 사과나무 재배에 의한 탄소 고정량을 3년 동안 조사한 결과 사과과수원은 매년 평균 0.3 ton C /ha/yr의 탄소를 흡수함을 제시하였다.

<sup>77)</sup> 문형태(2002)는 국내 삼림의 주종을 이루고 있는 참나무림과 소나무림의 토양 호흡량을 토양미생물에 의한 것과 뿌리 호흡에 의한 것으로 구분하여 그 기여도를 조사하고 삼림이 대기 중의 탄소를 제거 혹은 증가시키는지의 여부를 정량적으로 파악하였다.

<sup>78)</sup> 이경학·손영모 등(2001)은 토지이용 및 임업부문에서의 온실가스 배출통계에 있어 국제기준이 되는 수정된 IPCC 가이드라인을 토대로 우리에게 적합한 산출 방법을 개발하고, 이에 의해 1998년도 기준온실가스 흡수/배출 현황을 제시하였다.

<sup>79)</sup> 축산부문을 분뇨처리와 장내발효로 나누어 2001년 온실가스(CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) 배출량을 산정한 결과 분뇨처리에서 메탄은 약 140Gg, 아산화질소는 약 3.6Gg이 배출되는 것으로 추정하였다.



<표 12> 축산 부문 온실가스 배출계수

구분		배출량	출처
젖소		3,398 kg CO <sub>2</sub> /head·yr	농촌진흥청(2010)
	장내발효	56 kgCH <sub>4</sub> /두·년	IPCC <sup>1</sup>
	분뇨분해	7 kgCH <sub>4</sub> /두·년	IPCC
한·육우		1,435 kg CO <sub>2</sub> /head·yr	농촌진흥청(2010)
	장내발효	44 kgCH <sub>4</sub> /두·년	IPCC
	분뇨분해	1 kgCH <sub>4</sub> /두·년	IPCC
돼지		128 kg CO <sub>2</sub> /head·yr	농촌진흥청(2010)
	장내발효	1.5 kgCH <sub>4</sub> /두·년	IPCC
	분뇨분해	1 kgCH <sub>4</sub> /두·년	IPCC
닭		2.55 kg CO <sub>2</sub> /head·yr	농촌진흥청(2010)
	분뇨분해	0.012 kgCH <sub>4</sub> /두·년	IPCC

1: 개도국, cool climate 지역 IPCC 배출계수

## 제Ⅲ 장 온실가스배출량추정

충남은 총 16개 시·군의 기초지방자치단체가 있으며, 각 기초지방자치단체별로 기후변화 대응 정책을 수립하고 시행하여야 한다. 기초지방자치단체별 온실가스 배출량을 추정하고 그 특성을 밝히는 것은 기초지방자치단체의 기후변화 대응 정책의 효율적인 시행에 효과적인 자료로 활용 될 수 있을 것이다.

또한 기초지방자치단체의 온실가스 배출량 산정은 향후 충남도의 시·군별 특성에 맞는 온실가스 감축계획 수립 시 온실가스의 부문별, 지역적 감축 목표를 효과적으로 배분할 수 있는 기초가 될 것이다. 본 장에서는 시·군 등 기초지자체에서 자체적인 온실가스 인벤토리의 작성 또는 유지·관리에 이용할 수 있도록 기초지자체의 온실가스 배출량 추정을 위한 방법론을 제시하고 이를 충남의 16개 시·군에 적용하여 충남의 시·군별 온실가스 배출량의 특성을 분석한다.

### 1. 에너지 소비를 이용한 온실가스 추정

#### 1) 기초지자체 온실가스 배출량 산정방법

충남의 16개 기초지자체의 온실가스 배출량 산정을 위해서는 기초지자체별 활동량 자료가 필요하지만, 현재 우리나라의 경우 그 자료를 모두 확보할 수 없기 때문에 기초지자체별로 온실가스를 직접 산정하는데 어려움이 있다. 본 소절에서는 시·군 등 기초지자체에서 자체적인 온실가스 인벤토리의 작성 또는 유지·관리에 이용할 수 있도록 기초지방자치단체의 각 부문별 온실가스 배출량 산정을 위한 방법론을 다음과 같이 제시한다.

온실가스 배출량은 기본적으로 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{온실가스 배출량} = \text{활동량} \times \text{에너지원단위} \times \text{탄소집약도}$$

또는

$$\text{온실가스 배출량} = \text{활동량} \times \text{배출계수}$$

<표 13> 기초자치단체의 온실가스배출량 추정을 위한 활동량 자료의 구득

대분류	중분류	세분류	배출량 산정/할당방법
에너지	산업		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 석유부문: 기초자치단체별 활동량 자료를 수급하여 직접 산정</li> <li>- 무연탄: 광역자치단체의 무연탄 소비량을 연탄소비가구수 비율로 할당</li> </ul>
	가정 및 상업		
	공공		
	수송	비도로	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 가스: 지역별 가스공급업체</li> <li>- 전기: 기초지자체 통계연보 활용</li> </ul>
		도로	- 충남광역지자체 수송배출량을 자동차대수로 나누어 할당
	산업공정	광물	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 광물자원협회 내부자료 이용</li> <li>- 유리병의 경우는 통계청의 국내 유리병 생산량/충남 유리 생산 점유율 자료 이용</li> </ul>
		화학 산업	- 국립환경과학원의 산정방법을 활용
		전자 산업	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 한국디스플레이연합(삼성전자, LG전자, 삼성SDI, 삼성모바일디스플레이) 내부자료와 디스플레이 시장규모로 추정하여 산정</li> <li>- 국내 SF6 수입량은 관세청 자료를 이용</li> <li>- 가스 절연부하개폐기는 한국전력통계연보의 통계치 이용</li> <li>- HCFC-22 생산량은 한국정밀화학진흥회와 관세청 무역통계 자료를 지자체 인구수로 나누어 산정</li> </ul>
환경 폐기물	매립		- 기초자치단체의 생활, 사업장, 건축 폐기물의 매립량 자료를 이용하여 직접 산정
	하폐수		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 하수도: 하수도통계를 활용하여 직접 산정</li> <li>- 폐수: 광역지자체의 BOD를 제조업체수로 할당</li> </ul>
	소각		- 각 기초지자체의 생활, 사업장, 건축, 지정 폐기물의 소각량 자료를 이용하여 직접 산정
자연 발생	농업		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인공위성 영상분석을 통해 도출된 토지피복이용 현황에서 경작지 자료 이용 산정</li> <li>- 비료시용부문은 지자체 통계연보 활용</li> </ul>
	축산업		- 기초지방자치단체별 가축사육두수 활용하여 산정
자연발생(임업)			- 인공위성 영상분석을 통해 도출된 토지피복이용 현황에서 임상별 면적 자료 이용하여 산정

아래에서는 각 부문별로 배출량 산정방법에 대해 살펴본다.

#### ① 에너지 부문의 기초지자체 배출량 산정방법

산업부문과 가정·상업부문의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정식은 아래와 같다.

$$CO_2 = \sum EI(e) \times EF(e)$$

CO<sub>2</sub> : 이산화탄소 배출량

EI : 부문 에너지별 소비량

EF : 에너지별 이산화탄소 배출계수

에너지부문의 온실가스 배출량 산정을 위한 활동량 자료는 석유정보시스템 (PEDSIS)자료의 기초자치단체별 석유소비량을 이용하고, 전기소비부문의 경우 충남통계연보 및 각 기초지자체 통계연보의 전기소비량 자료를 통하여 각 세부부문 별로 산정한다.

가스소비에 의한 온실가스 배출량의 경우 기초지자체의 가스 소비량 활동도 자료가 구축되어 있지 않아 각 기초지자체의 가스 공급업체<sup>80)</sup>를 통하여 활동도 자료를 구축한다. 석탄소비에 의한 온실가스 배출량 산정의 경우 기초지자체의 석탄 소비량이 제시되어 있지 않기 때문에 연탄보일러 이용가구수(충남도 내부자료)를 이용하여 비례 할당한다<sup>81)</sup>.

광물 부문의 활동량 자료는 주로 광물자원협회 내부자료를 이용하였다. 다만 유리병생산량의 경우 통계청의 국내 유리병 생산량/충남 유리생산 점유율 자료를 이용하였다. 금속 부문의 활동도 자료는 충남 당진 현대제철 조강생산량 및 각 업체 홈페이지 및 공시정보를 활용하여 작성하였다.

화학산업 부문 활동도 자료는 국립환경과학원내 산정방법을 활용하였다<sup>82)</sup>. 전 자산업 부문은 한국디스플레이연합(삼성전자, LG전자, 삼성SDI, 삼성 모바일 디스플

<sup>80</sup> 2009년 기준 부여군, 서천군, 금산군에서는 도시가스 보급이 되어 있지 않음

<sup>81</sup> 석탄소비의 경우 각 지역별 인구비례에 대비하여 할당하기도 하나, 충남의 경우 서북부지역은 도시가스 보급이 활성화 되어 있어 인구수 대비 석탄소비가 적을 것으로 판단되어 연탄보일러 이용가구수로 할당하였다.

<sup>82</sup> 나프타 사용량(석유정보시스템)×배출계수×25%(온실가스 발생량)

레이) 내부자료와, 디스플레이 시장규모로 추정하여 산정하였다. 국내 SF6 수입량 (국내는 전량 수입에 의존)은 관세청 자료를 이용하였고, 가스절연부하개폐기는 한국전력통계연보의 통계치를 이용하였다. 기타산업 부문 활동도 자료 중 HCFC-22 생산량은 한국정밀화학진흥회와 관세청 무역통계 <http://www.customs.go.kr> 자료를 지자체 인구수로 나누어 산정하였다.

## ② 환경폐기물 부문의 기초지자체 배출량 산정방법

환경폐기물 부문의 이산화탄소 배출량 산정식은 아래와 같다.

$$CO_2 = \sum W(i) \times EF(i) \times GWP(i)$$

W : 매립, 소각, 하폐수 등의 면적 또는, 발생량

EF : 각 부문의 배출계수

GWP : 지구 온난화지수(CO<sub>2</sub>: 1, CH<sub>4</sub>: 21, N<sub>2</sub>O: 310)

환경폐기물 부문의 활동량 자료는 매립 및 소각 부문의 경우 기초지자체 단위 까지 제공되는 환경부의 전국폐기물 발생 및 처리현황과 지정폐기물 현황자료를 활용하여 배출량을 산정한다.

하폐수 부문의 하수 및 분뇨 부문은 환경부의 하수도통계연보 자료를 이용하여 각 지역별 하수처리량을 이용하여 산정하며, 폐수부문은 기초지자체 단위의 데이터가 존재하지 않지만, 산업부문이므로 지역별 산업의 비율을 적용하여 광역지자체의 BOD를 기초지자체로 할당한다.

## ③ 자연발생(농·축산업 및 임업 부문)의 기초지방자치단체 배출량 산정방법

농경지에서 자연적으로 배출하는 온실가스 배출량의 산정식은 아래와 같다.

$$CO_2 = \sum A(i) \times EF(i) \times GWP(i)$$

CO<sub>2</sub> : 이산화탄소 배출량

A : 영농형태별 논 면적

EF : 배출계수

GWP : 지구 온난화지수(CO<sub>2</sub>: 1, CH<sub>4</sub>: 21, N<sub>2</sub>O: 310)

모든 온실가스는 최종적으로 이산화 탄소량으로 전환된다. 농경지에서 발생하는 온실가스는 영농형태별로 다른 배출계수를 가진다. 영농형태는 1차적으로 이앙재배, 건답직파, 답수직파로 구분되고, 이앙재배와 건답직파는 2차적으로 상시 답수, 간단관개 등으로 구분되며, 3차적으로는 조생종, 중생종, 만생종 등 품종별로 구분된다.

비료 시비로 인하여 농경지에서 배출하는 아산화질소 배출량 산정식은 아래와 같다.

$$CO_2 = NI \times EF \times GWP$$

CO<sub>2</sub> : 이산화탄소 배출량

NI : 비료 시비량

EF : 시비량 단위 배출계수

GWP : 310

활동량 자료는 위성영상 분석을 통해 도출된 토지피복·이용 현황 자료 중 경작지 면적을 이용한다<sup>83)</sup>. 비료시용의 경우 기초지자체의 통계연보의 비료사용량을 활용하여 온실가스 배출량을 산정한다

축산부문에서 장내소화, 분뇨 분해에서 배출하는 온실가스 배출량의 산정식은 아래와 같다.

<sup>83)</sup> 농업부문의 벼논 면적은 기초지자체 관련 통계연보 및 충남농업기술원의 자료 등이 서로 상이하였다.

$$CO_2 = \sum F(i) \times EF(incn) \times GWP(i)$$

CO<sub>2</sub> : 이산화탄소 배출량

F : 축종별 가축의 두수

EF : 축종별 장내소화, 분뇨분해 배출계수

GWP : 지구 온난화지수(CO<sub>2</sub>: 1, CH<sub>4</sub>: 21, N<sub>2</sub>O: 310)

축산업 부문의 경우 가축 사육 두수가 각 기초지자체별로 제공되므로 이를 이용하여 장내발효 및 가축분뇨 처리에 의한 온실가스 배출량을 산정한다. 배출계수는 축산과학원의 자료를 사용한다.

임업부문의 온실가스 배출량과 흡수량의 산정식은 아래와 같다.

$$CO_2 = \sum F(i) \times EF(i)$$

CO<sub>2</sub> : 이산화탄소 배출량

F : 수종별 임목면적 & 훼손량

EF : 수종별 이산화탄소 흡수계수 & 배출계수

GWP : 지구 온난화지수(CO<sub>2</sub>: 1, CH<sub>4</sub>: 21, N<sub>2</sub>O: 310)

임업 부문의 활동량 자료는 임목축적량 및 산림훼손 등의 자료가 각 지자체의 통계연보에 구축되어 있어 이를 활용하여 흡수/배출량을 산정한다.

## 2) 기초 지자체별 온실가스 배출량 현황 및 특성

온실가스 배출량의 산정은 기후변화 대응 전략을 수립하는데 기본이 되며 지자체의 온실가스 배출원을 파악하고 부문별로 온실가스 배출량을 산정하는 것은 지자체 기후변화 대응을 위한 출발점이라 할 수 있다. 온실가스 배출량 산정을 위해서는 배출량 산정의 대상과 사용목적에 결정하고 난 뒤 적절한 산정지침을 적용하여야 한다.

각 지자체에서는 온실가스 배출 지침과 획득 가능한 활동도 자료의 수준을 고려하여 가장 합리적이고 불확도가 적은 온실가스 배출량 산정 방법론을 결정하여

<표 14> 충남 기초자치단체의 온실가스 산정

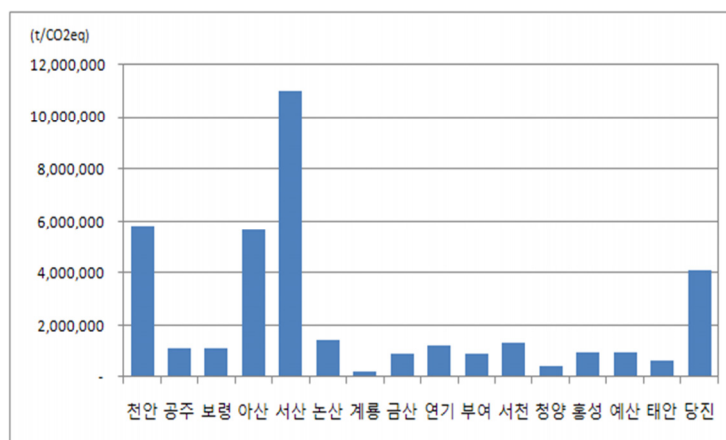
구분	에너지	산업공정	폐기물	농축산	총배출량	임업	순배출량
충남	24,764,519	10,038,180	828,194	1,785,497	37,416,391	1,532,972	35,883,419
	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)
천안	5,323,908	201,043	156,436	120,315	5,801,701	153,854	5,647,847
	(21.5)	(2.0)	(18.9)	(6.7)	(15.5)	(10.0)	(15.7)
공주	921,201	13,016	28,367	123,135	1,085,720	253,498	832,222
	(3.7)	(0.1)	(3.4)	(6.9)	(2.9)	(16.5)	(2.3)
보령	921,185	11,066	36,113	108,867	1,077,230	117,247	959,983
	(3.7)	(0.1)	(4.4)	(6.1)	(2.9)	(7.6)	(2.7)
아산	3,946,281	1,434,467	134,371	124,994	5,640,114	73,102	5,567,012
	(15.9)	(14.3)	(16.2)	(7.0)	(15.1)	(4.8)	(15.5)
서산	2,921,731	7,837,761	62,667	201,011	11,023,170	94,947	10,928,223
	(11.8)	(78.1)	(7.6)	(11.3)	(29.5)	(6.2)	(30.5)
논산	1,175,496	13,312	62,012	125,950	1,376,770	71,864	1,304,906
	(4.7)	(0.1)	(7.5)	(7.1)	(3.7)	(4.7)	(3.6)
계룡	202,308	3,883	9,301	2,975	218,467	19,710	198,757
	(0.8)	(0.0)	(1.1)	(0.2)	(0.6)	(1.3)	(0.6)
금산	816,709	13,324	14,934	27,542	872,509	142,626	729,882
	(3.3)	(0.1)	(1.8)	(1.5)	(2.3)	(9.3)	(2.0)
연기	1,052,221	8,741	82,487	57,488	1,200,937	92,385	1,108,552
	(4.2)	(0.1)	(10.0)	(3.2)	(3.2)	(6.0)	(3.1)
부여	726,302	8,010	22,645	115,349	872,306	96,408	775,899
	(2.9)	(0.1)	(2.7)	(6.5)	(2.3)	(6.3)	(2.2)
서천	1,171,693	6,288	20,389	94,352	1,292,722	30,721	1,262,002
	(4.7)	(0.1)	(2.5)	(5.3)	(3.5)	(2.0)	(3.5)
청양	309,099	3,455	13,762	68,303	394,619	100,318	294,301
	(1.2)	(0.0)	(1.7)	(3.8)	(1.1)	(6.5)	(0.8)
홍성	734,474	9,117	34,875	148,618	927,085	65,115	861,970
	(3.0)	(0.1)	(4.2)	(8.3)	(2.5)	(4.2)	(2.4)
예산	738,313	9,116	24,557	148,778	920,764	79,580	841,183
	(3.0)	(0.1)	(3.0)	(8.3)	(2.5)	(5.2)	(2.3)
태안	485,736	6,481	23,811	100,726	616,754	69,041	547,713
	(2.0)	(0.1)	(2.9)	(5.6)	(1.6)	(4.5)	(1.5)
당진	3,317,861	459,100	101,468	217,093	4,095,523	72,554	4,022,968
	(13.4)	(4.6)	(12.3)	(12.2)	(10.9)	(4.7)	(11.2)



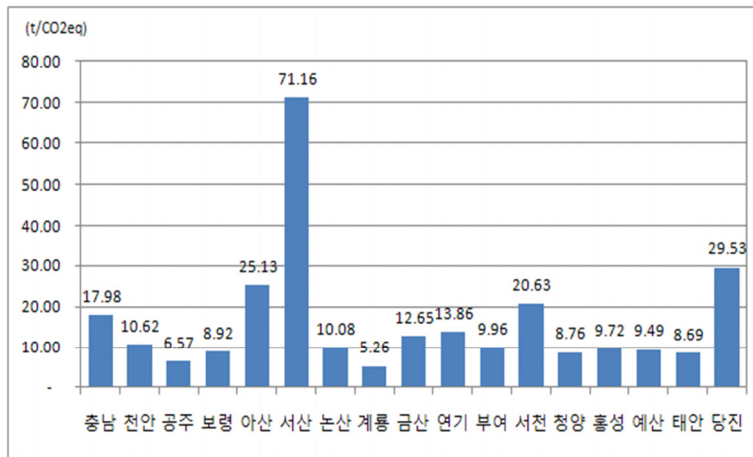
야 한다. 또한 지자체의 온실가스 배출량 산정은 배출현황의 파악뿐만 아니라 지자체의 온실가스 감축 잠재량 산정 및 감축정책에 대한 평가를 향후 추진하여야 하기 때문에 배출량 산정에 초점이 맞춰져 있는 배출량 산정 방법론 보다는 지방자치단체의 기후변화 대응 정책을 평가할 수 있는 배출량 산정 방법이 요구된다. 이에 따라 본 연구는 환경부의 기후변화 대응 안내서에서 권고 하고 있는 배출량 산정 방법론을 적용하였다.

충남의 16개 시·군의 2007년 부문별 온실가스 배출량 추정량을 정리한 것이 <표 14>이다. 이 표에서 충남의 온실가스 배출량은 16개 기초지자체의 단순 합으로 충남도 수준에서 추정한 배출량 수치가 다르다. 이는 기초지자체 단위 지역에서 구할 수 없는 데이터가 상당수 있기 때문이다.

기초지자체별 온실가스 배출량은 서산시가 11,023,170 t/CO<sub>2</sub>로 충남 총 배출량의 30.5%로 가장 많은 배출량을 보였으며, 다음으로는 천안 5,801,701 t/CO<sub>2</sub>, 아산 5,640,114 t/CO<sub>2</sub>, 당진 4,095,523 t/CO<sub>2</sub> 등의 순으로 나타났다.



<그림 6> 기초지자체별 온실가스 총 배출량



<그림 7> 기초지자체별 1인당 온실가스 배출량

기초지자체별 1인당 배출량 추이를 보면 서산이 1인당 71.16 t/CO<sub>2</sub>로 가장 많이 배출되는 것으로 나타났으며 당진군 29.53t/CO<sub>2</sub>, 아산 25.13t/CO<sub>2</sub>, 서천 20.63t/CO<sub>2</sub> 등의 순으로 나타난다.

지역별 온실가스 배출량 중 서산이 총 배출량이 가장 높은 것은 서산의 대산 석유화학단지로 인한 산업공정부문의 온실가스 배출량이 높은 것에 기인한 것으로 보인다. 종합적으로 보면 온실가스 배출은 천안, 아산, 서산, 당진의 제조업 등 산업부문이 발달한 충남 서북부 지역을 중심으로 높게 배출되고 있다.

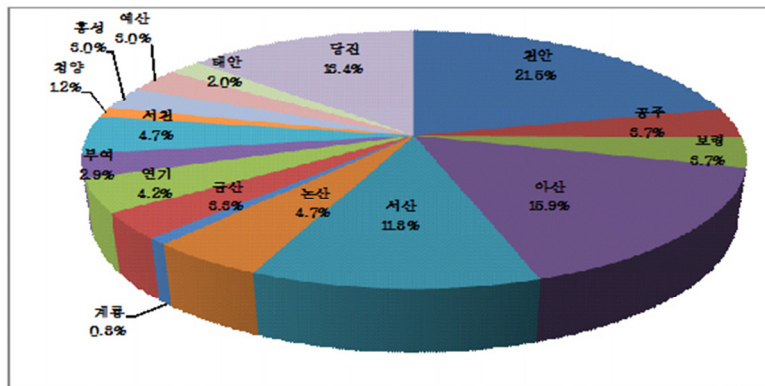
### 3) 부문별 현황과 특성

#### ① 에너지부문

기초지자체별 에너지 부문의 온실가스 배출량은 천안이 5,323,908 t/CO<sub>2</sub>으로 가장 높게 나타났으며 아산 3,946,281 t/CO<sub>2</sub>, 당진 3,317,861t/CO<sub>2</sub> 등의 순으로 나타난다. 에너지부문의 배출기여도는 천안시가 21.5%, 아산 15.89%, 당진 13.4%, 서산 11.8%로 에너지부문의 총 배출량의 62.6%로 매우 높은 비중을 차

지하고 있다. 이들 4개 지역이 충남 인구의 50% 이상을 차지하고 있으며 에너지 부문 온실가스 배출은 인간활동과 관련하여 가장 밀접하게 배출됨에 따라 높게 나타나는 것으로 판단된다.

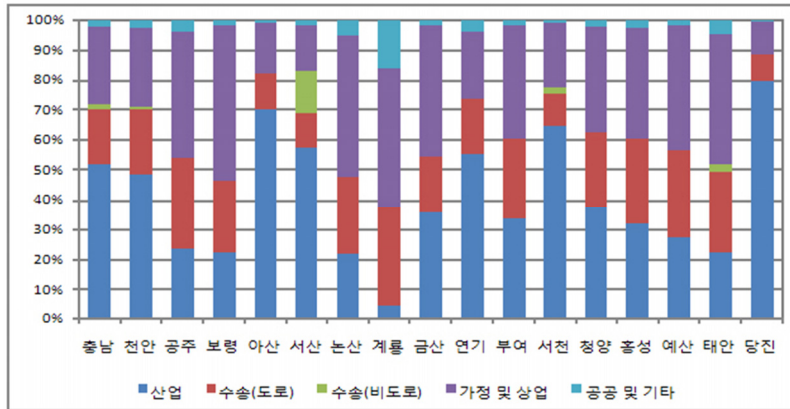
에너지부문의 지역별·부문별 배출기여도를 보면 천안, 아산, 서산, 당진 지역은 산업을 중심으로 한 배출 기여를 보이는 반면, 보령, 공주, 논산, 계룡 등의 타 지역은 가정 및 상업 부문 및 수송(도로)를 중심으로 배출이 이루어지고 있다. 서산시의 경우 수송(비도로)부문이 서산시 전체 배출량의 14.0%를 차지하고 있는데 이는 항공 및 해상부문의 석유사용으로 인한 배출이 높은 것으로 보인다.



<그림 8> 기초지자체별 에너지부문 배출기여도

<표 15> 기초지자체별 에너지부문 배출량

구분	산업	수공(도로)	수송(비도로)	가정및사업	공공/가터	에너지 총계
충남	12,914,753	4,426,551	492,376	6,458,385	472,454	24,764,519
	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)
천안	2,580,766	1,144,646	42,033	1,441,771	114,692	5,323,908
	(20.0)	(25.9)	(8.5)	(22.3)	(24.3)	(21.5)
공주	218,134	277,391	-	391,627	34,049	921,201
	(1.7)	(6.3)	0.0	(6.1)	(7.2)	(3.7)
보령	207,510	222,813	649	475,650	14,563	921,185
	(1.6)	(5.0)	(0.1)	(7.4)	(3.1)	(3.7)
아산	2,773,620	474,740	-	662,600	35,321	3,946,281
	(21.5)	(10.7)	0.0	(10.3)	(7.5)	(15.9)
서산	1,676,437	336,057	408,585	459,240	41,413	2,921,731
	(13.0)	(7.6)	(83.0)	(7.1)	(8.8)	(11.8)
논산	260,224	300,731	-	555,914	58,627	1,175,496
	(2.0)	(6.8)	0.0	(8.6)	(12.4)	(4.7)
계룡	9,315	66,954	-	94,009	32,031	202,308
	(0.1)	(1.5)	0.0	(1.5)	(6.8)	(0.8)
금산	294,488	150,383	-	360,076	11,762	816,709
	(2.3)	(3.4)	0.0	(5.6)	(2.5)	(3.3)
연기	584,221	190,863	-	239,465	37,673	1,052,221
	(4.5)	(4.3)	0.0	(3.7)	(8.0)	(4.2)
부여	243,868	196,443	-	274,708	11,283	726,302
	(1.9)	(4.4)	0.0	(4.3)	(2.4)	(2.9)
서천	758,419	129,891	25,876	249,183	8,325	1,171,693
	(5.9)	(2.9)	(5.3)	(3.9)	(1.8)	(4.7)
청양	116,912	76,486	-	110,184	5,517	309,099
	(0.9)	(1.7)	0.0	(1.7)	(1.2)	(1.2)
홍성	235,123	208,412	-	274,762	16,176	734,474
	(1.8)	(4.7)	0.0	(4.3)	(3.4)	(3.0)
예산	202,407	215,477	-	308,455	11,973	738,313
	(1.6)	(4.9)	0.0	(4.8)	(2.5)	(3.0)
태안	108,917	131,346	11,287	211,835	22,352	485,736
	(0.8)	(3.0)	(2.3)	(3.3)	(4.7)	(2.0)
당진	2,644,391	303,919	3,947	348,906	16,697	3,317,861
	(20.5)	(6.9)	(0.8)	(5.4)	(3.5)	(13.4)



<그림 9> 기초지자체별 에너지부문 배출기여도

에너지 부문 온실가스 배출량 산정을 위해 이용한 활동량 자료의 출처와 관련 배출계수는 아래의 표와 같다

<표 16> 유종별 온실가스 배출계수 및 단위환산계수

구분	KL → GJ	배출계수			활동도 자료 출처
	단위환산계수	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
단위	GJ/KL	Kg/TJ	Kg/TJ	Kg/TJ	국내석유정보시스템 ( <a href="http://www.pedsis.co.kr/index.html">http://www.pedsis.co.kr/index.html</a> ), 충청남도 및 시군별·산업별·유종별 소비량
휘발유	31	69300	3	0.6	
실내등유	34.3	71900	3	0.6	
보일러등유	35	71900	3	0.6	
경유	35.4	74100	3	0.6	
경질중유	36.6	77400	3	0.6	
중유	38.1	77400	3	0.6	
B-C유	39.1	77400	3	0.6	
항공유	34.3	71500	3	0.6	
프로판	23.53621	63100	1	0.1	
부탄	26.43403	64200	3	0.6	
부생연료(등유형)	35	71900	3	0.6	
부생연료(중유형)	38.5	77400	3	0.6	
나프타	31.2	73300	3	0.6	

<표 17> 전력소비에 따른 온실가스 배출계수

구분	단위	배출계수	활동도 자료 출처
	(kgCO <sub>2</sub> eq./kWh)	0.424	한국전력통계부문(충남 부문 사용), 충남 지자체 통계연보, 한 국전력공사 대전충남 본부 내부자료

<표 18> 석탄 종류별 온실가스 배출계수 및 단위환산계수

구분	톤 → GJ	배출계수			활동도 자료 출처
	단위환산계수	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
국내무연탄	19.3	98300	1	1.5	중남통계연보의 연도별 유연탄/무연탄/기타 석탄소비량 시군별 연탄보일러 사용 세대수로 나누어 산정
수입무연탄	26.8	98300	1	1.5	
무연탄(혼합)	23.05	98300	1	1.5	
유연탄	24.9	80700	3	0.6	
아역청탄	20.9	96100	1	1.5	
코크스	29.3	107000	1	1.5	

<표 19> 도시가스(LNG) 온실가스 배출계수

구분	m <sup>3</sup> → GJ	배출계수			활동도 자료 출처
	단위환산계수	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
단위	GJ/m <sup>3</sup>	Kg/TJ	Kg/TJ	Kg/TJ	각 지자체별 도시가스 공급업체(충남, 서해, 중부도시가스 내부자료)
LNG	0.04	64200	3	0.6	

<표 20> 차종별 온실가스 배출계수

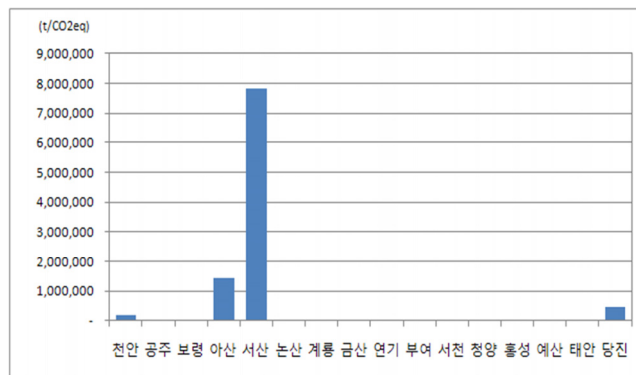
차종			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	활동도 자료 출처
승용차	경형	휘발유	137.8	0.03	0.03	연도별 차종별 차량 등록대수 (국토해양부) 자동차 일평균 주행거리 (교통안전공단) 시군별은 자동차 일평균 주행거리가 없어 충남 총 배출량을 차량 등록대수로 나누어 산정
	소형	휘발유	180.9	0.02	0.05	
	중형	휘발유	212.9	0.02	0.06	
	대형	휘발유	235.7	0.02	0.04	
	경유		243.3	0	0.01	
	LPG		231	0.04	0.04	
	기타					
승합차	택시 + 렌터카	LPG	231	0.04	0.04	
	소형	휘발유	251.7	0.03	0.06	
		경유	243.3	0	0.01	
		LPG	190.2	0.03	0.03	
		기타	1357.5			
	중형	경유	315.1	0.02	0.01	
	대형	경유	1382.4	0.04	0.1	
버스	특수승합차	경유	1357.5	0.04	0.09	
	시내	경유	1382.4	0.04	0.1	
	시외	경유	1382.4	0.04	0.1	
	전세	경유	1382.4	0.04	0.1	
화물	고속	경유	1382.4	0.04	0.1	
	소형	휘발유	247.3	0.03	0.06	
		경유	245.5	0.01	0.01	
		LPG	187.9	0.03	0.03	
		기타				
	중형	경유	334.9	0.03	0.01	
	대형	경유	1388.2	0.04	0.08	

## ② 산업공정부문

산업공정부문의 배출은 서산시가 전체 배출량의 78.1%인 7,837,761 t/CO<sub>2</sub>로 가장 많이 배출하고 있다. 산업공정부문은 석유화학산업이 집중된 서산시를 중심으로 배출이 이루어지고 있으며 철강산업의 당진군, 전자산업의 아산시 및 천안시에 서도 많은 배출이 이루어지고 있다.

<표 21> 기초지자체별 산업공정부문 배출량

구분	산업공정	비중
충 남	10,038,180	(100.0)
천 안	201,043	(2.0)
공 주	13,016	(0.1)
보 령	11,066	(0.1)
아 산	1,434,467	(14.3)
서 산	7,837,761	(78.1)
논 산	13,312	(0.1)
계 룡	3,883	(0.0)
금 산	13,324	(0.1)
연 기	8,741	(0.1)
부 여	8,010	(0.1)
서 천	6,288	(0.1)
청 양	3,455	(0.0)
홍 성	9,117	(0.1)
예 산	9,116	(0.1)
태 안	6,481	(0.1)
당 진	459,100	(4.6)



<그림 10> 충남시군의 산업공정부문 배출량

### ③ 환경폐기물 부문

폐기물 소각, 매립, 하폐수 처리 등 환경폐기물 부문의 온실가스 배출량은 천안시가 전체 배출량의 18.9%인 156,436 t/CO<sub>2</sub>로 가장 많은 배출을 나타냈으며, 아산 134,371 t/CO<sub>2</sub>, 당진 101,468 t/CO<sub>2</sub>, 등의 순으로 나타난다.

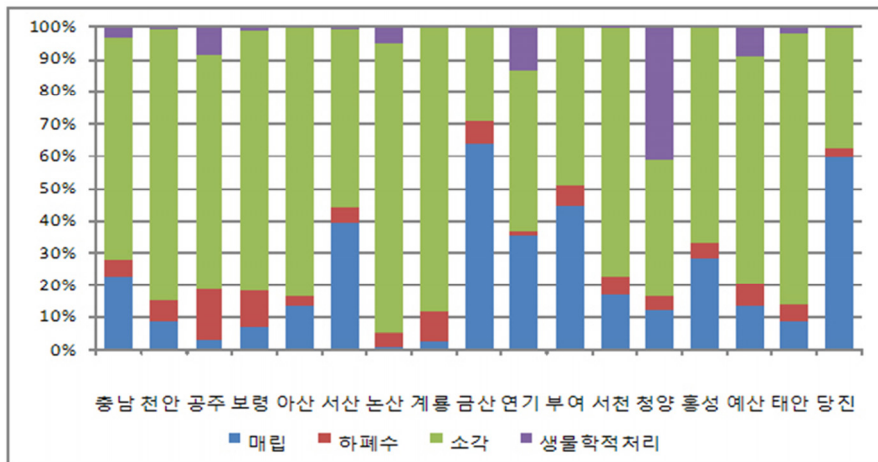
<표 22> 기초지자체별 환경폐기물 부문 배출량

구분	매립	하폐수	소각	생물학적처리	합계
충남	190,569	43,229	566,697	27,699	828,194
	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)
천안	13,611	10,728	130,590	1,508	156,436
	(7.1)	(24.8)	(23.0)	(5.4)	(18.9)
공주	840	4,431	20,573	2,523	28,367
	(0.4)	(10.3)	(3.6)	(9.1)	(3.4)
보령	2,591	4,075	28,946	501	36,113
	(1.4)	(9.4)	(5.1)	(1.8)	(4.4)
아산	18,111	4,398	111,861	-	134,371
	(9.5)	(10.2)	(19.7)	0.0	(16.2)
서산	24,709	3,039	34,356	563	62,667
	(13.0)	(7.0)	(6.1)	(2.0)	(7.6)
논산	666	2,482	55,856	3,008	62,012
	(0.3)	(5.7)	(9.9)	(10.9)	(7.5)
계룡	250	840	8,210	-	9,301
	(0.1)	(1.9)	(1.4)	0.0	(1.1)
금산	9,482	1,097	4,355	-	14,934
	(5.0)	(2.5)	(0.8)	0.0	(1.8)
연기	28,925	1,578	41,019	10,964	82,487
	(15.2)	(3.7)	(7.2)	(39.6)	(10.0)
부여	10,142	1,489	11,014	-	22,645
	(5.3)	(3.4)	(1.9)	0.0	(2.7)
서천	3,525	1,158	15,665	40	20,389
	(1.8)	(2.7)	(2.8)	(0.1)	(2.5)
청양	1,656	636	5,822	5,647	13,762
	(0.9)	(1.5)	(1.0)	(20.4)	(1.7)
홍성	9,962	1,674	23,100	139	34,875



	(5.2)	(3.9)	(4.1)	(0.5)	(4.2)
예산	3,241	1,734	17,311	2,271	24,557
	(1.7)	(4.0)	(3.1)	(8.2)	(3.0)
태안	2,123	1,217	19,982	489	23,811
	(1.1)	(2.8)	(3.5)	(1.8)	(2.9)
당진	60,733	2,653	38,035	46	101,468
	(31.9)	(6.1)	(6.7)	(0.2)	(12.3)

환경폐기물 부문의 세부부문별 배출기여도는 전반적으로 소각 부문이 전체적으로 가장 많은 비중을 차지하고 있으나 금산, 당진군의 경우 매립에 대한 배출량이 소각부문 대비 높은 것으로 나타난다. 생물학적 처리의 경우 청양군에서 높은 배출기여도를 보이고 있으며 하·폐수의 경우 대부분 타 부문에 비해 적은 배출기여도를 보인다.



<그림 11> 기초지자체별 환경부문 배출기여도

환경부문의 온실가스 배출량 추정을 위해 사용한 활동도 자료의 출처와 배출계수는 아래의 표와 같다.

<표 23> 매립부문 온실가스 배출계수

성상	DOCwet(%)	DOCf(%)	k(yr <sup>-1</sup> )	활동도 자료 출처
rubber	58.42	11.5	0.025	전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부)/폐 기물 성상별 매립량
others	22.97	43.1	0.18	
wood	35.96	32.4	0.03	
fibers	45.61	38.2	0.051	
sludge	15.77	12.2	0.185	
food	26.64	51.9	0.185	
paper	40.55	55.7	0.06	

<표 24> 소각부문 온실가스 배출계수

구분	폐기물성상 (비생물계)		건조함 량	건조 탄소함 량	화석 탄소함 량	소각 효율 (%)	탄소에 대한 이산화 탄소변 환계수	활동도 자료 출처
생활 폐기 물	고무피혁류		0.925	0.629	0.2	97	3.6666 66667	전국 폐기물 발생 및 처 리현황(환경 부)/폐기물 성상별 소각 량
	플라스틱류		0.773	0.693	1.0			
사업 장폐 기물	일반	폐섬유천류	0.941	0.456	0.2	97		
		폐합성수지류	0.916	0.697	1.0			
		폐합성고무류	0.925	0.711	1.0			
		폐피혁	0.925	0.546	0.5			
		기타 가연분	0.659	0.309	0.5			
	지정	폐산	1.000	0.500	0.9	97		
		폐알칼리	1.000	0.500	0.9			
		폐유	1.000	0.500	0.9			
		폐유기용제	1.000	0.500	0.9			
		폐합성고분자	0.916	0.500	0.9			
		화합물	0.224	0.500	0.9			
		오니류	0.224	0.500	0.9			
		기타	0.659	0.500	0.9			
	감염 성	폐합성수지류	0.916	0.697	1.0	97		
건설 폐기 물	폐합성수지		0.916	0.697	1.0	97		
	폐섬유		0.659	0.309	0.2			
	폐벽지		0.659	0.309	0.5			
	혼합건설폐기물		0.659	0.309	0.5			

a)소각으로부터 발생되는CO<sub>2</sub> 산정을 위한 변수값 및 배출계수

구성성분	배출계수(g/ton)
생활폐기물	39.8
사업장폐기물(오니제외)	109.57
사업장폐기물(오니)	408.41
건설폐기물 a	109.57
지정폐기물(오니제외)	109.57
지정폐기물(오니)	408.41
a:건설폐기물의 값은 오니를 제외한 사업장폐기물의 배출계수 값 적용	

b)소각으로부터 발생되는 N<sub>2</sub>O 산정을 위한 배출계수

<표 25> 하수부문(CH<sub>4</sub>) 배출계수(EF=Bo\*WS\*SS\*MFC) 및 변수

DS <sub>dom</sub>	Bo	Ws	SS	MCF <sup>b</sup>	메탄회수율 (하수처리)	메탄회수율 (하수슬러지)	활동도 자료 출처
	kgCH <sub>4</sub> /kgBOD						하수도통계 (환경부)
0.8875	0.25	0.01	0.1	0.8048	0	0.768	

<표 26> 하수부문(N<sub>2</sub>O) 배출계수 및 변수

Fraction	EF <sub>6</sub>
kgN/kg 단백질	kgN <sub>2</sub> O-N/kgsewage-N
0.16	0.01

<표 27> 폐수부문(CH<sub>4</sub>) 배출계수(EF = Bo × WS,SS × MCF) 및 변수

업종	DS <sub>dom</sub>	Bo <sup>1</sup>	WS <sup>2</sup>	SS <sup>3</sup>	메탄전환계수 <sup>4</sup>	활동도 자료 출처
		kgCH <sub>4</sub> /kgBOD				공장폐수의 발생과 처리 (환경부) 업종별 BOD 부하량, 시 군별.업종별 제조업체수
화학	0.8875	0.25	0.1	1	0.00006104	
전기·전자	0.8875	0.25	0.1	1	0.01176	
피혁신발	0.8875	0.25	0.1	1	0.001681	
음식료품	0.8875	0.25	0.1	1	0.02304	
섬유	0.8875	0.25	0.1	1	0.0008027	
담배 제지	0.8875	0.25	0.1	1	0.0006067	
기타	0.8875	0.25	0.1	1	0.02961	

1) Maximum producing capacity, 2) 폐수처리공정의 혐기상태로 처리되는 비율

3) 폐수슬러지처리공정의 혐기상태로 처리되는 비율, 4) MCF, methane conversion factor

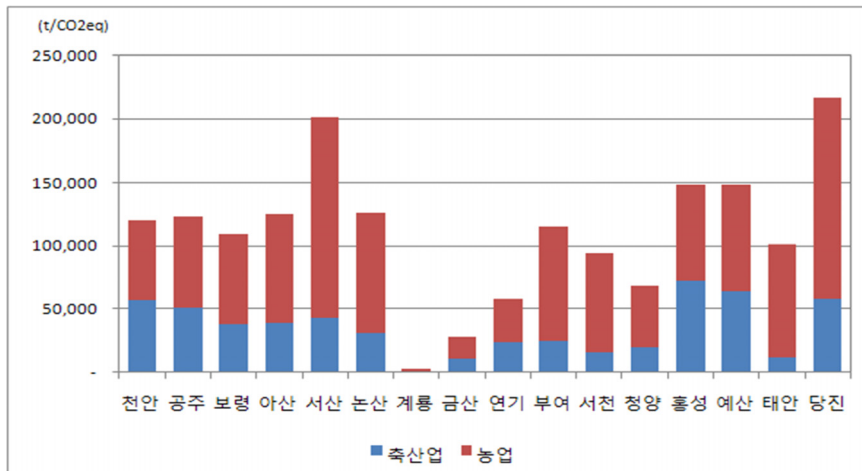
<표 28> 생물학적 처리 배출계수

온실가스		사료화, 퇴비화, 소멸화 시설		혐기성, 호기성 소화		활동도 자료 출처
		건량기준	습량기준	건량기준	습량기준	
CH <sub>4</sub> (g-CH <sub>4</sub> /kg)	EF_CH <sub>4</sub>	10	4	2	1	전국 폐기물 발생 및 처리현황 (출처 : 환경부)
N <sub>2</sub> O(g-N <sub>2</sub> O/kg)	EF_N <sub>2</sub> O	건량기준	습량기준	건량기준	습량기준	
		0.6	0.3	무시할수있다고가정	무시할수있다고 가정	

## 2. 자연발생 온실가스 flux 추정

### ① 농·축산부문

기초지자체별 농경지로부터 배출되는 온실가스 배출량은 당진군이 전체 배출량의 12.2%인 217,093 tCO<sub>2</sub>e로 가장 높은 배출을 보이며, 서산이 11.3%인 201,011 tCO<sub>2</sub>e의 온실가스를 배출한다.



<그림 12> 기초지자체별 농·축산업 부문 배출기여도

축산부문으로부터의 배출량은 홍성군이 72,535 tCO<sub>2</sub>e로 전체 배출량 중 13.0%를 차지하여 가장 많은 온실가스 배출을 하고 있으며, 예산군 11.4%, 천안 10.1% 등의 순으로 나타난다.

<표 29> 기초지자체별 농축산부문 배출량

구분	축산업	농업	합계
충남	555,953	1,229,544	1,785,497
	(100.0)	(100.0)	(100.0)
천안	56,001	64,314	120,315
	(10.1)	(5.2)	(6.7)
공주	50,722	72,413	123,135
	(9.1)	(5.9)	(6.9)
보령	37,980	70,886	108,867
	(6.8)	(5.8)	(6.1)
아산	38,846	86,149	124,994
	(7.0)	(7.0)	(7.0)
서산	42,245	158,767	201,011
	(7.6)	(12.9)	(11.3)
논산	30,373	95,577	125,950
	(5.5)	(7.8)	(7.1)
계룡	809	2,166	2,975
	(0.1)	(0.2)	(0.2)
금산	10,778	16,765	27,542
	(1.9)	(1.4)	(1.5)
연기	23,405	34,083	57,488
	(4.2)	(2.8)	(3.2)
부여	24,821	90,529	115,349
	(4.5)	(7.4)	(6.5)
서천	15,311	79,041	94,352
	(2.8)	(6.4)	(5.3)
청양	19,958	48,345	68,303
	(3.6)	(3.9)	(3.8)
홍성	72,535	76,084	148,618
	(13.0)	(6.2)	(8.3)
예산	63,215	85,563	148,778
	(11.4)	(7.0)	(8.3)
태안	11,918	88,808	100,726
	(2.1)	(7.2)	(5.6)
당진	57,038	160,055	217,093
	(10.3)	(13.0)	(12.2)

농경지로부터의 자연발생 온실가스(메탄, 아산화질소) 배출량 산정을 위해 이용한 활동도 자료와 배출계수는 아래의 표와 같다.

<표 30> 벼농사에서 CH<sub>4</sub> 배출계수(kg/ha)

재배양식	이앙재배						건답직파		담수직파	활동도 자료 출처
물관리	간단관개			상시담수			간단 관개	상시 담수	상시 담수	
품종	조생종	중생종	중만생종	조생종	중생종	중만생종	조생종	조생종	중생종	인공위성영 상분석 논 면적
배출계수	267.51	303.36	351.86	266.4	302.4	350	158	179	268.27	

<표 31> 가축분뇨 및 장내 발효에 의한 CH<sub>4</sub> 배출계수 (kg/두/년)

구분	배출계수						활동량 자료 출처
	IPCC 1996		축산과학원		지자체 SOP		
품종	장내발효	가축분뇨	장내발효	가축분뇨	장내발효	가축분뇨	축종별 가축두수 충청남도 통계연보
젖소 (소계)	100	14	87.59	19.95	87.59	19.95	
육성우	-	-	61.81	-		-	
암소	-	-	106.69	-		-	
한우 (소계)	48	6	45.46	0.62	45.46	0.62	
송아지	-	-	39.19	-		-	
비육우(한우)	-	-	50.71	-		-	
비육우(육우)	-	-	45.5	-		-	
양 (소계)	8	0.19	-	-	-	-	
면양	-	-	8	-	8		
산양	-	-	5	-	5		
염소	5	0.12	-	-	5	0.12	
말	18	1.39	18	-	18	1.39	
돼지	1.5	3	1.5	0.183	1.5	0.183	
닭(소계)	-	0.078	-	-	0	0.019	
닭(산란계 등)	-	-	-	0.022	-	-	
닭(육계)	-	-	-	0.016	-	-	

<표 32> 비료사용으로 인한 아산화질소 배출 비율(단위%)

비료종류	유안	요소	복합비료	활동도 자료 출처
중양값	0.0125	0.0125	0.0125	충청남도 통계연보

## ② 임업부문

기초지자체별 임업부문의 온실가스 흡수 기여도는 공주가 253,498 t/CO<sub>2</sub>으로 전체 온실가스 흡수량의 16.5%의 기여도를 보였으며, 천안이 10.0%인 153,854 t/CO<sub>2</sub>이며, 금산이 142,626 t/CO<sub>2</sub>로 전체의 9.3% 순으로 나타난다.

임업 부문의 흡수량은 계룡산 등의 산림지역이 넓게 분포한 공주와 금산 지역을 중심으로 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

<표 33> 기초지자체별 임업부문 흡수량

구분	임업흡수기여도	비중
충 남	1,532,972	(100.0)
천 안	153,854	(10.0)
공 주	253,498	(16.5)
보 령	117,247	(7.6)
아 산	73,102	(4.8)
서 산	94,947	(6.2)
논 산	71,864	(4.7)
계 룡	19,710	(1.3)
금 산	142,626	(9.3)
연 기	92,385	(6.0)
부 여	96,408	(6.3)
서 천	30,721	(2.0)
청 양	100,318	(6.5)
홍 성	65,115	(4.2)
예 산	79,580	(5.2)
태 안	69,041	(4.5)
당 진	72,554	(4.7)

충남지역은 천안, 아산, 서산, 당진 등의 제조업이 발달된 지역을 중심으로 연료연소 및 산업공정부문에서 온실가스 배출이 많이 이루어지고 있으며 공주, 금산 등의 산림지역이 넓게 분포한 지역에서 흡수가 많이 이루어지는 것으로 나타난다.

또 다른 특징은 수송 및 가정·상업 부문의 배출이 점차 증가하고 있다는 것이다. 충남의 경우, 가정 및 상업 등 배출이 높은 지역이 산업 역시 발전한 지역이므로 충남 서북부지역을 중심으로 온실가스의 감축을 위한 감축대책이 매우 필요하다.



## 제Ⅳ 장 읍·면·동 단위 지역의 온실가스 배출량 추정

### 1. 위성영상분석을 통한 토지피복이용도의 도출

앞 장에서 보았듯이 온실가스 배출량 추정을 위해 필요한 활동량 자료 중 일부는 광역지자체 단위로는 존재하지만, 시·군 단위로는 존재하지 않는 것을 알 수 있었다. 광역 지자체와 시·군 단위 지역에서의 온실가스 배출량 추정 방법으로 읍·면·동 단위지역에서 온실가스 배출량 추정하는 것은 불가능하다. 이에 본 장에서는 보령시 대천3동을 사례로 인공위성 영상 분석을 통해 도출된 토지피복·이용 현황 자료를 이용하여 각 토지피복, 토지이용의 배출계수를 이용한 온실가스 배출량 추정의 가능성을 시도하고, 한계점을 밝혀 향후 연구과제를 도출하고자 한다.

토지이용·피복지도를 대기부문에 활용하면 미래의 도시계획에 의한 지표면 토지이용의 변화에 따른 도시의 열 환경 변화와, 식생분포에 따른 자연오염원과 CO<sub>2</sub> 등의 발생량 등을 추정할 수 있다. 식생분포도에 따른 실시간 자연배출량과 CO<sub>2</sub> flux 산정 등은 추후 예견되는 대기 질 예보시스템 구축과 지구온난화 물질 감시 시스템 구축에 필수적이다.

이에 관련한 국내의 연구는 제한적이어서, 지표면 토지피복지도 내의 식생분포에 기인한 자연오염원의 배출량 산정에 관한 연구는 국립환경과학원이 대기보전정책지원시스템을 통하여 자연오염원에 의한 월평균 배출량 산정을 위하여 토지피복지도를 활용하였다(한국환경정책평가연구원 2002; 국립환경연구원 2003). 이외의 연구로 토지이용이 배출량의 공간분포 산정과 대기오염농도의 추정에 미치는 영향을 파악하고자 한 최진무(최진무 1998)의 연구, 수도권을 중심으로 상세규모 해상도의 토지피복지도의 수치자료를 작성하고, 동시에 자연 식생 분포에 따른 실시간 CO<sub>2</sub> 플럭스(flux)를 경험적으로 계산할 수 있는 소프트웨어를 개발하고, 수도권 지역에서 열대야를 동반한 최고 기온 발생일인 2004년 8월 10에 대한 CO<sub>2</sub> 플럭스의 시간별 공간적 분포를 작성한 문윤섭과 구윤서(문윤섭·구윤서 2006) (문윤섭·구윤서 외 2004)의 연구가 있으며, 서울대학교 대기과학과에서는 경인지역의 자연배출량을 고려한 Co<sub>2</sub>의 3km x 3km 크기의 공간 분해능의 모델링을 위하여 토지피복지도를 활용하였다(전성우 2002).

국외의 경우, 미국 환경청(EPA; Environmental Protection Agency)는 지리정보시스템과 위성영상, 삼림과 농업 등의 데이터베이스인 BELD(Biogenic Emissions Landuse Database)를 구축하고, BEIS (Biogenic Emissions Industry System)란 자연오염원 배출량 산출 프로그램을 이용하여 자연오염원의 배출량을 실시간으로 추정하고 있다. 유럽연합의 핀란드, 스페인, 이탈리아 등은 SPARTACUS(System for Planning and Research in Towns and Cities for Urban Sustainability) 사업을 통해 100m×100 m 분해능의 토지피복지도와 GIS의 공간정보 인자를 활용하여 대기오염 및 소음의 모델링 연구를 수행하였다. 멕시코 Los Alamos 국립연구소의 에너지 및 환경 분석 그룹은 멕시코 시 내부와 주변의 대기질의 변화를 예측하기 위해 위성영상, 지도, 항공사진 등의 수치토지피복지도를 이용한 지역 대기모형을 개발하였고, 미국의 콜로라도 주립대학은 토지피복지도 내 자연식생 분포도를 이용한 육지의 CO<sub>2</sub> 배출량을 추정하였다.

## 1) 위성영상의 개요와 프로세싱

### ① 위성영상의 개요

본 연구에서 이용한 위성영상자료는 Rapideye 위성영상이며, 분석 프로그램은 위성영상 분석 프로그램인 Erdas imagine 8.3, GIS 프로그램인 ArcGIS 9.2, 프로그래밍 언어인 envi, Idl을 이용하였다.

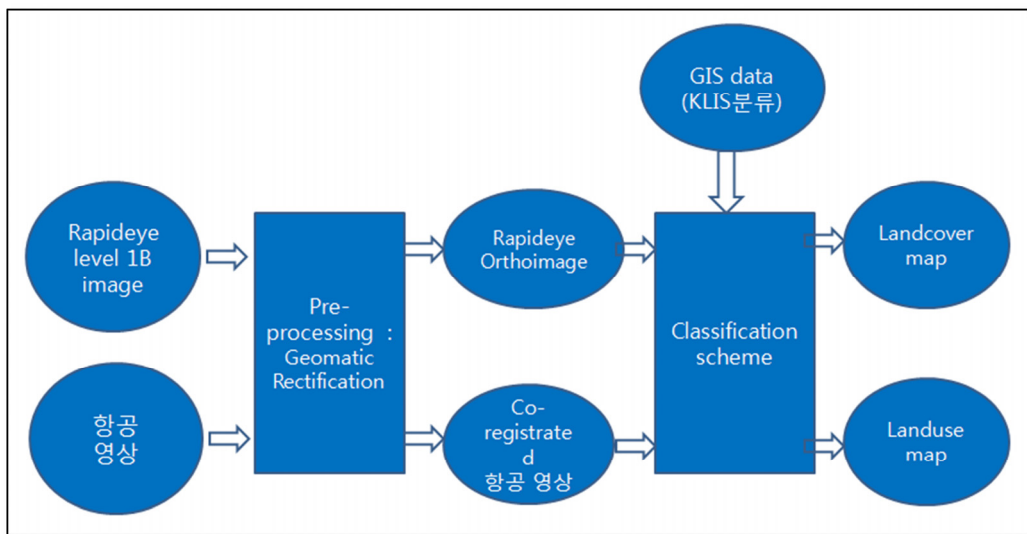
Rapideye 위성영상은 2008년 발사되었으며, 독일 Rapideye AG에 의해 운영되고있는 위성영상이다. 위성영상의 스펙은 5 Bands, stereo 영상 획득이 가능한 다중 분광밴드를 가지고 있다. 영상의 공간 해상도는 5m (정사보정 시)이며, 매일 4 mil. km<sup>2</sup> 에 걸쳐 영상 획득이 가능하다.

Rapideye 영상이 본 연구에 적합한 이유는 5개의 위성을 동시 운영함으로써 빠른 촬영주기(1day <)를 가지고 있으며 따라서 제한된 시간 이내에 신규 영상 획득이 가능하다는 점이다. 또한 적절한 공간 해상도(5m)와 5개 다중 밴드에 의해 토지피복·이용 분류(land cover classification)에 최적이라는 점이다. 기존의 여러 연구를 통해 영상의 기하학적 정확도가 이미 증명되어 있으며, KLIS 등 기존 GIS

데이터와의 data fusion이 가능하다는 점, 비교적 저렴한 가격으로 영상을 취득할 수 있다는 점 또한 본 연구에 적합한 이유이다.

## ② 위성영상 분석 프로세싱

토지피복·이용 현황을 추출하기 위한 위성영상 분석 프로세싱은 크게 영상분석의 전단계인 pre-processing, 그리고 분석의 본 단계인 classification processing으로 나뉜다(그림 13). 본 연구의 위성영상 분석은 위성영상과 항공영상을 결합하여 이를 KLIS와 연동하여 토지피복과 토지이용도를 추출하는 과정을 거친다.

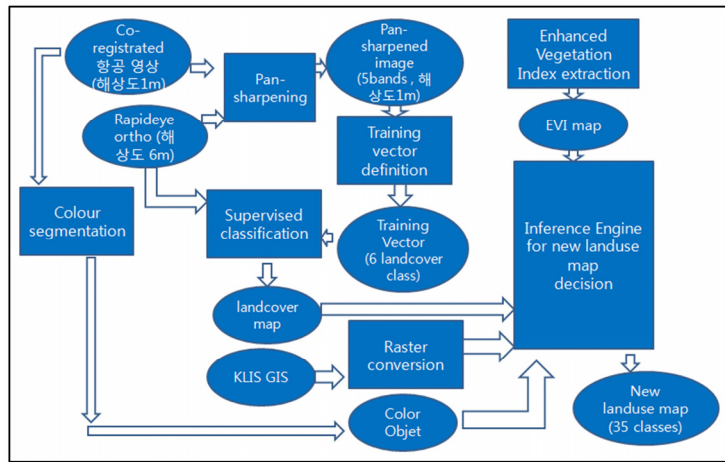


<그림 13> main data processing flow

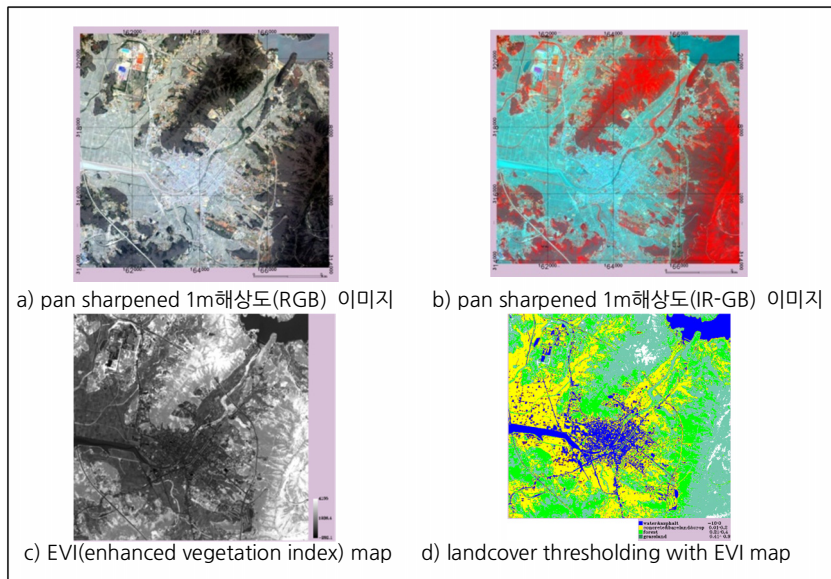
<그림 14>는 위성영상의 pre-processing의 분석 프레임이다. <그림 15>는 보령시 대천3동을 주변지역을 분석한 결과물이다. 위성영상 분석의 프로세스에 대한 자세한 논의는 매우 테크니컬한 부분으로 본 연구의 목적에 부합하지 않기 때문에 간략한 분석흐름도와 결과물을 제시하는 것으로 가름하였다.



<그림 16>은 토지피복과 토지이용을 분류하는 분석 흐름도이며, 위성영상과 항공영상을 pan-shapening하고 위성영상을 training vector를 이용하여 감독분류하고 그 결과가 식생의 분포 정도를 나타내는 EVI(Enhanced Vegetation Index) 지도 및 KLIS 자료와 Inference Engine에서 통합하여 35개 분류를 갖는 토지피복 이용도가 추출된다. <그림 17>은 그 부분 결과물이며, 다음 2) 소절에 그 결과를 제시하였다.



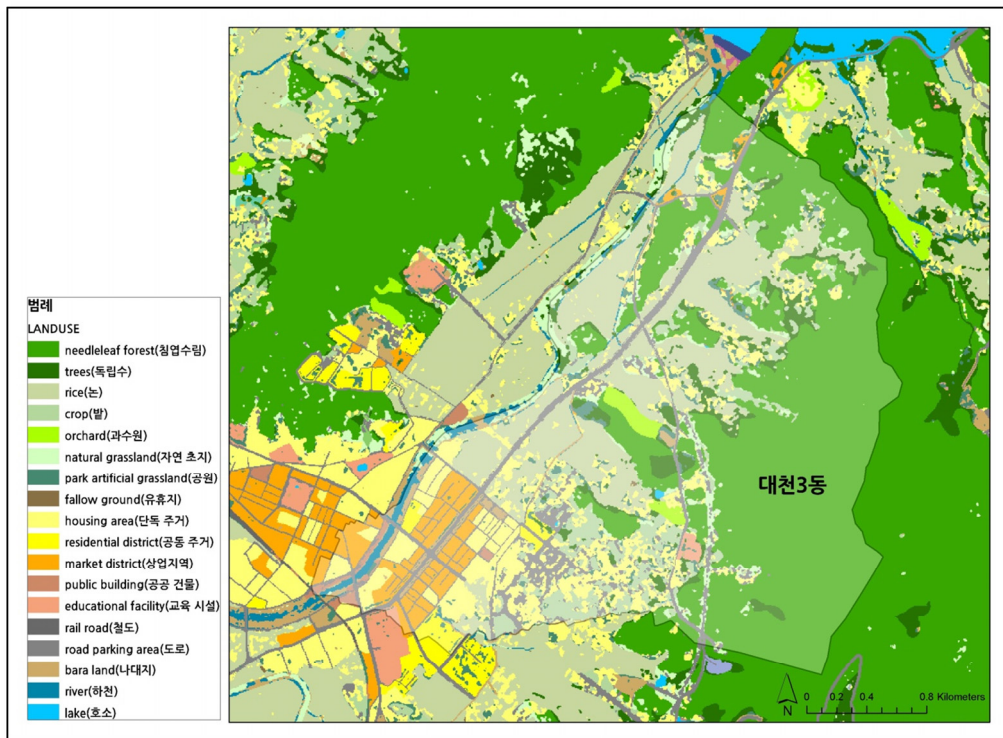
<그림 16> Classification processing 상세 내역



<그림 17> classification 부분결과

## 2) 위성영상분석의 결과: 대천3동의 토지피복·이용도

이상의 위성영상 분석 프로세스의 결과, RAPIDEYE 인공위성영상 분석을 통해 보령시 전 지역에서 35개 class의 토지피복·이용 현황을 도출하였다. 이 중 사례 지역인 대천3동에서는 주거지역, 침엽수림 등 18개 class의 토지피복·이용 현황이 도출되었다. 침엽수림이 39%, 논이 17.5%, 단독주거 11.7%, 독립수 4.6%, 상업지역 3.9% 등의 순으로 면적을 차지하고 있다.



<그림 18> RAPIDEYE 인공위성영상 분석을 통해 도출된 토지피복·이용 현황

<표 34> 대천3동의 토지피복·이용 현황

CODE_대천3동	NAME	Area(m²) (%)	
2	침엽수림	3,221,401	39.1
4	독립수	376,764	4.6
5	논	1,441,662	17.5
6	밭	471,214	5.7
7	과수원	69,336	0.8
8	자연 초지	242,270	2.9
10	공원	170,546	2.1
13	유흥지	1,440	0
14	단독주거	961,388	11.7
15	공동주거	78,871	1.0
16	상업지역	322,303	3.9
17	공공건물	32,784	0.4
18	교육시설	26,105	0.3
22	철도	500	0.0
23	도로	614,559	7.5
28	나대지	104,868	1.3
30	하천	93,816	1.1
31	호소	3,636	0.0
계		8,233,462	100.0

## 2. 대천3동의 온실가스 배출량 추정

### 1) 온실가스 배출

#### ① 농경지에서의 자연적 온실가스 배출

농경지는 영농활동 또는 자연발생적으로 온실가스를 배출하지만 또한 이산화탄소를 흡수하여 biomass나 토양 중에 저장하기도 한다. 농경지의 바이오매스 생산량은 산림지에 비해 매우 적으며, 매년 혹은 수년 내에 대부분을 수확하기 때문에 농경지 내 순 바이오매스에 의한 탄소량은 거의 일정하다.

우리나라의 농경지는 1년 이내에 수확하는 논과 밭이 대부분으로, IPCC의 biomass에 의한 탄소 축적량을 산정하기 위한 2006년 가이드라인에서는 곡류나 채소와 같은 일년생 작물은 생육기간 동안 많은 양의 탄소를 biomass로 축적하지만 일년 이내에 수확하기 때문에 바이오매스에 의한 탄소의 순 축적은 없는 것으로 규정하고 있다.

우리나라의 영농방법별 온실가스 배출량 원단위를 2007년 농업부문 배출량 기준으로 평가하면 논 1 ha에서 배출되는 온실가스 양은 6.6톤CO<sub>2</sub>/yr이며, 밭은 질소비료의 시용량이 많아서 온실가스 배출량에 있어 논과 큰 차이가 없다(농촌진흥청 2010). 사례지역인 대천3동의 논과 밭의 면적은 191.3ha로 온실가스 배출량은 1,262.5 톤CO<sub>2</sub>/yr이다.

#### ② 가정·상업지역에서의 온실가스 배출

사례지역에는 단독주거지 96.1ha, 공동주거지 7.9 ha가 분포하고 있다. 농촌의 단독주택의 온실가스 배출량에 관한 연구가 전무한 상태이기 때문에, 전국적인 주거지 배출량 계수를 이용할 수 밖에 없는데, 이강희(2001)는 중부지역의 지역난방 방식의 이산화탄소 배출원단위는 20.5 kg-c/m<sup>2</sup>·년, 도시가스를 에너지원으로 하는 중앙집중난방방식은 18.8 kg-c/m<sup>2</sup>·년, 병커 C유, 경유, 등유를 에너지원으로 하는 중앙집중난방방식은 22.1 kg-c/m<sup>2</sup>·년이라는 연구결과를 발표하였다. 또한 서성원과



황용우(1999)는 연탄을 주요난방 에너지원으로 사용하고 있는 단독주택은 943.5 kg-C/m<sup>2</sup>·yr, 개별 유류 보일러 형태의 아파트와 연립주택이 각각 796.0 kg-C/m<sup>2</sup>·yr, 679.7 kg-C/m<sup>2</sup>·yr, 도시가스 또는 LPG의 경우 0.1ton-C/m<sup>2</sup>·yr라고 밝혔다.

기존 연구가 농촌주택의 연구결과가 아니기 때문에 최대와 최소의 배출계수를 적용하여 그 평균을 산출하는 것이 합리적이라고 판단하여 최대 배출계수인 무연탄 943.5 kg-C/m<sup>2</sup>·yr와 등유를 에너지로 하는 중앙집중난방방식의 22.1 kg-c/m<sup>2</sup>·yr를 적용하기로 판단하였다. 적용결과 사례지역의 주거지에서는 최대 359.9 tCO<sub>2</sub>, 최소 8.4 tCO<sub>2</sub>의 온실가스를 배출하는 것으로 나타났다. 평균치는 184.2 tCO<sub>2</sub>이다.

사례지역의 상업지역은 32.2ha이다. 중소도시의 상업지역의 온실가스 배출량에 대한 연구가 전무하기 때문에, 본 연구는 상업지역이 도시가스를 이용한다고 가정하여 100 kg-C/m<sup>2</sup>·yr의 배출계수를 적용하기로 한다. 적용결과 11.8 tCO<sub>2</sub>의 온실가스를 배출하는 것으로 나타났다.

<표 35> 대천3동의 가정·상업 부문 온실가스 배출량 추정

(단위 : tCO<sub>2</sub>/yr)

부문	온실가스 배출량
주거지역	최대 359.9
	최소 8.4
	평균 184.1
상업지역	11.8
계	최대 195.9

종합하면 사례지역의 가정·상업 부문에서의 온실가스 배출 총량은 최대 195.9 tCO<sub>2</sub>으로 추정되었다. 이에는 물론 가정·상업부문의 여름철 에어컨 사용으로 인한 온실가스 배출이 빠져 있는 한계를 지닌다.

### ③ 기타 나대지, 초지, 인간의 호흡에 의한 온실가스 배출

나대지 및 유휴지, 초지, 인간의 호흡에 의한 자연방출 배출계수는 우리나라에 서의 연구가 없기 때문에 부득이 미국의 Koerner(2002)의 연구 결과치를 인용하 였다. 인간의 호흡에 의한 온실가스 배출은 기존의 온실가스 배출량 추정 연구에 서 관심을 기울이지 않았지만, Koerner의 연구에 의하면 인간호흡에 의한 온실가 스 배출량은 1인이 하루 1,386 gCO<sub>2</sub> 인 것으로 나타났다. 이를 인구수에 곱한 결과 미국 Phoenix에서 인간호흡에 의한 온실가스 배출량은 그 도시의 5개 발전 소에서 뿜어내는 온실가스 양과 같았다.

사례지역인 대천3동에서 유휴지 및 나대지와 초지에서는 연간 각각 69.5 tCO<sub>2</sub>, 1,675 tCO<sub>2</sub>의 온실가스가 배출된다. 또한 대천3동의 인간의 호흡에 의해서 연간 7,430.3 tCO<sub>2</sub>의 온실가스가 배출된다.

<표 36> 기타 부문에서의 온실가스 배출

구분	배출계수	배출량
유휴지 및 나대지	6.534 tCO <sub>2</sub> /ha·yr	69.5 tCO <sub>2</sub> /yr
자연초지	69.145 tCO <sub>2</sub> /ha·yr	1675.2 tCO <sub>2</sub> /yr
인간의 호흡	1,386 g CO <sub>2</sub> /person·day	5,685.7 tCO <sub>2</sub> /yr
합계		7,430.3 tCO <sub>2</sub> /yr

### ④ 임목, 과수원 등에서의 온실가스 flux

우리나라 수종별 ha당 이산화탄소 흡수량은 리기다 소나무가 연간 ha당 197 tCO<sub>2</sub>의 온실가스를 흡수하며, 잣나무 156 tCO<sub>2</sub>/ha, 낙엽송 124 tCO<sub>2</sub>/ha, 참나무 류 53 tCO<sub>2</sub>/ha의 온실가스 흡수량을 나타낸다(김소라·이우균 외 2009). 사례지역 인 대천3동에는 침엽수림이 322.1 ha 분포하고 있으며, 과수원이 6.9ha 분포하고 있다. 침엽수림의 면적에 리기다 소나무의 온실가스 흡수량 배출계수를 적용하면 대천3동의 수목은 63,461.6 tCO<sub>2</sub>를 흡수하는 것으로 나타난다. 우리나라 과수원 의 영목에 의한 탄소흡수량에 관한 연구는 Seo의 연구(2008)가 유일한데, 그는 사과나무 재배에 의한 탄소 고정량을 3년 동안 조사하여 사과 과수원은 매년 평

균 0.3 ton C/ha·yr의 탄소를 흡수한다는 연구결과를 발표하였다. 사례지역의 과수원의 수종은 알 수 없지만 그 면적에 Seo의 온실가스 흡수계수를 적용하면 7.6 tCO<sub>2</sub>의 온실가스를 흡수하는 것으로 나타난다.

토지피복·이용 현황의 독립수는 도시 내 수림으로, 사례지역에 37.7ha 분포하고 있다. 용인시 도시수목의 연구에서 도시수목이 연간 흡수하는 CO<sub>2</sub>는 2.0 t/ha·yr이라는 연구결과가 있다(조현길·안태원 2001). 이 흡수계수를 적용하면 사례지역의 도시수목은 75.4 tCO<sub>2</sub>를 흡수한다. 이를 종합하면 사례지역인 대천3동에서는 연간 숲에서 63,461.6 tCO<sub>2</sub>, 과수원에서 7.6 tCO<sub>2</sub>, 도시수목에서 75.4 tCO<sub>2</sub>을 흡수하여 연간 총 63,545 tCO<sub>2</sub>의 온실가스를 흡수한다.

<표 37> 대천3동의 온실가스 흡수량

(단위: tCO<sub>2</sub>/년)

부문	온실가스 흡수량
산림	63,461
과수원	7.6
도시수목	75.4
계	63,544

#### ⑤ 대천3동의 온실가스 순 배출량

사례지역인 대천3동의 온실가스 배출량은 8,888.7 tCO<sub>2</sub>이고 흡수량은 63,544 tCO<sub>2</sub>으로 순 배출량은 -54,655.3 tCO<sub>2</sub>으로 추정되었다. 이는 지방중소도시인 보령시의 외곽에 위치한 대천3동은 널리 퍼져 있는 산림으로 온실가스를 흡수하는 지역인 것으로 나타난다.

<표 38> 대천3동의 온실가스 순 배출량 추정

(단위 : tCO<sub>2</sub>/yr)

부문	온실가스 배출
농경지	1,262.5
가정·상업지역	195.9
산림 등	-63,544
기타 토지	1,744.6
인간의 호흡	5,685.7
순배출량	-54,655.3

\* 가정·상업지역은 평균치

### 3. 한계점과 향후 과제

광역지자체와 시군 단위지역의 온실가스 배출량 추정방법으로는 불가능한 읍·면·동 단위 지역의 온실가스 배출량 추정 방법으로서의 인공위성 영상 분석을 통한 토지피복·이용도의 이용은 가능성과 함께 한계점을 들어내었다.

농촌지역의 경우, 농경지가 대부분이고 주거, 상업지역이 작은 면적을 차지함으로써 이용 가능성이 높다고 판단된다. 그러나 농촌의 주거, 상업지역의 온실가스 배출량에 대한 연구가 미진한 상태에서 기존 연구의 데이터를 이용하는 데에는 신뢰성의 확보에 한계가 있다.

향후 농촌지역의 주거, 상업지역 및 지방 중소도시의 표본조사를 통한 온실가스 배출실태 연구가 지속된다면 보다 신뢰성이 높은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

## 제 V 장 결론

### 요약

의무감축국가(Annex1)에 대해서 구체적 수치를 제출하고, 개도국에 대해서는 실천 계획을 제출하도록 합의한 코펜하겐 당사국 총회(2009.12)에서 우리나라는 국내적으로 강제적이지만, 국외적으로는 강제력이 없는 온실가스 감축정책을 제시하였다. 그 내용은 2020년 배출전망(BAU) 대비 -30% (2005년 대비 -4%) 감축목표의 제시이다. 이 수치는 EU에서 요구하는 개도국 최대 감축수준(BAU 대비 30% 감축)에 해당한다

국가중기감축목표의 달성을 위해 우리나라는 광역지자체의 온실가스 배출량을 산정하고 저감대책을 종합하여 국가 온실가스 저감대책을 마련하려는 계획이다. 본 연구의 목적은 충청남도의 온실가스 배출의 기본단위인 기초지자체의 온실가스 배출량 추정의 기본방법론을 제공하고 온실가스 흡수량을 적용한 온실가스 순 배출량을 추정함으로써 충남의 기초지자체의 온실가스 배출량의 실태와 특성을 밝히고자 하는 것이다.

주요 연구내용은 i) 산업, 수송(도로/비도로), 가정·상업, 공공 및 기타 부문的高정연소(에너지)의 에너지 소비량을 이용한 온실가스 배출량과 산업공정에서 발생하는 부산물의 온실가스 배출량 산정, ii) 농업분야(논, 밭 등 경작지)에서의 온실가스의 자연적 발생량 산정, iii) 축산분야에서의 장내 발효와 분뇨 분해 등에서 발생하는 온실가스 배출량 산정, iv) 폐기물 부문에서의 온실가스 배출량 산정, v) 임업분야에서의 온실가스 흡수량 산정, v) 위에서 산출된 에너지 소비량을 이용한 온실가스 배출량과 기타 자연발생적 온실가스 flux를 종합한 시·군 단위 지역의 온실가스 순 배출량 산정이다 이러한 방법은 연구지역을 하나의 생태계로 인식한다는 점에서 기존의 온실가스 배출량 방법론과 차별화된다.

기초지자체별 온실가스 배출량은 서산시가 11,023,170 t/CO<sub>2</sub>로 충남 총 배출량의 30.5%로 가장 많은 배출량을 보였으며, 다음으로는 천안5,801,701 t/CO<sub>2</sub>, 아

산 5,640,114 t/CO<sub>2</sub>, 당진 4,095,523 t/CO<sub>2</sub> 등의 순으로 나타났다. 기초지자체별 1인당 배출량 추이 역시 서산이 1인당 71.16 t/CO<sub>2</sub>, 당진군 29.53 t/CO<sub>2</sub>, 아산 25.13 t/CO<sub>2</sub>, 서천 20.63 t/CO<sub>2</sub> 등의 순으로 나타난다

천안, 아산, 서산, 당진의 4개 지역은 충남 인구의 50% 이상을 차지하고 있으며 에너지부문 온실가스 배출량 역시 상대적으로 매우 높게 나타난다. 보령, 공주, 논산, 계룡 등의 타 지역은 가정 및 상업 부문 및 수송(도로)를 중심으로 배출이 이루어지고 있다.

충남지역은 천안, 아산, 서산, 당진 등의 제조업이 발달된 지역을 중심으로 연료연소 및 산업공정부문에서 온실가스 배출이 많이 이루어지고 있으며 공주, 금산 등의 산림지역이 넓게 분포한 지역에서 흡수가 많이 이루어지는 것으로 나타난다. 에너지 다소비로 인해 온실가스 배출량이 많은 지역이 가정 및 상업 등 배출 역시 많은 발전 지역이다. 따라서 충남도의 온실가스 감축은 충남 서북부지역의 온실가스 감축에 크게 좌우될 것임으로 이들 지역의 감축대책계획 수립이 매우 중요하다.

또한 본 연구는 광역 지자체와 시군 단위 지역에서의 온실가스 배출량 추정 방법으로는 불가능한 읍·면·동 단위지역의 온실가스 배출량 추정의 새로운 방법의 시도로서, 인공위성 영상 분석을 통해 도출된 토지피복, 토지이용 자료에 각각의 배출계수를 이용한 온실가스 배출량 추정을 시도하였다. 이 방법은 가능성과 함께 한계점을 들어내었다. 특히 농촌지역의 경우, 농경지가 대부분이고 주거, 상업 지역이 작은 면적을 차지함으로써 이 방법의 이용 가능성이 높다고 판단된다. 그러나 농촌의 주거, 상업지역의 온실가스 배출량에 대한 연구가 미진한 상태에서 기존 연구의 데이터를 이용하는 데에는 신뢰성의 확보에 한계가 있다. 향후 농촌 지역의 주거, 상업지역 및 지방 중소도시의 표본조사를 통한 온실가스 배출실태 연구가 지속된다면 보다 신뢰성이 높은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다

## 정책제언

현재 시·군 단위 기초지자체의 온실가스 인벤토리의 구축에 필수적인 활동량 자료 중 기초지자체 단위의 활동량을 구할 수 없는 자료는 무연탄 소비량, 도로-

수송관련 활동량, 폐수처리량 등이다. 기초지자체의 온실가스 인벤토리의 정확한 구축과 지속적인 갱신을 위해서는 시군 지자체 자체적으로 이러한 데이터를 구축하기 위한 노력이 있어야 할 것이다.

그 외에도 지자체의 통계연보에 수록되어 있지 않아 다른 소스를 통해 구한 활동량자료는 기초지자체에서 이들 소스를 연결하여 활동량자료를 지속적으로 갱신할 필요가 있다. 그 소스는 국내석유정보시스템, 도시가스 소비량, 전력소비, 연도별 차종별 차량등록대수(국토해양부), 자동차 일 평균 주행거리(교통안전공단), 산업공정 부문, 광물자원, 금속생산량 자료, 화학산업 활동도 자료, 전자산업 자료, 매립부문 - 전국폐기물 발생 및 처리현황, 하폐수-하수도통계- 환경부 등이다.

# 부 록

## <부록 1> 기후변화의 부문별 영향

농업·축산	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유럽지역에서는 개화기, 파종일, 곤충 출현시기가 빨라짐</li> <li>- 몽골은 생물자원 및 식생지수 감소, 티베트는 동물 생산량 증가</li> <li>- 영국은 극한기상으로 농작물 피해 발생(2004년)</li> </ul>
대기 질	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 오존 생성 화학에 영향을 주어 오존 수치가 높은 날이 빈번해질 것임</li> <li>- 지표 온도 상승은 스모그 형성 촉진 및 산성물질의 수송과 침적에 변화를 초래</li> </ul>
보건	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유럽 및 인도에서 열파에 의한 사망자 수 증가</li> <li>- 중국, 미국 등지에서 가뭄, 폭풍(태풍) 및 홍수에 의한 사망, 부상, 전염성 질병 증가</li> <li>- 재난 후 심리적 외상에 의한 영향 발생</li> </ul>
생태계	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 알프스에서 식물의 서식지의 높이 상승으로 산 정상에서 서식하던 식물 사라짐</li> <li>- 북태평양 및 북대서양 지역 여름철 플랑크톤 밀집도가 각각 30%, 14% 감소</li> <li>- 유럽 및 북미에서 개화기, 낙엽시기, 곤충 출현 시기 앞당겨짐</li> <li>- 일본에서 지난 50년 동안 벚나무 개화시기가 5일 앞당겨졌음</li> </ul>
수자원	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 강수의 경우 1901~2005년까지 북위 30도 근처에서는 증가</li> <li>- 강수량이 1970년 이후 남위 10도와 북위30도 사이에서는 감소, 전반적으로 강도는 증가</li> <li>- 빙하와 눈이 녹아 강에 증가된 유출과 보철 정점 유출이 빨라지고 있음</li> <li>- 1970년 이후 일부 건조한 지역에서의 가뭄의 증가</li> </ul>
재해	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해수면은 수온상승에 따른 해수의 열팽창, 빙하의 융해 및 그린란드와 남극 빙상의 융해 등으로 인해 지난 100년간 10~20cm 상승</li> <li>- 수억 명의 사람들이 해수면 상승으로 인한 범람의 위기</li> <li>- 인구가 조밀한 지역과 저지대 지역은 적응력이 낮고 열대 폭풍 또는 해안지역이 잠기는 문제에 직면</li> </ul>

## <부록 2> 국가기후변화적응대책의 주요내용

기후변화 감시 및 예측	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후변화 적응대책의 기초자료 제공 및 불확실성 저감을 위한 감시·예측 능력 고도화</li> <li>- 위성·항공기 등 3차원 입체 기후변화 감시체계 구축</li> <li>- '12년까지 국가표준 기후변화 시나리오 4개, 15년까지 10개 생산</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후변화 현상 감시체계 강화</li> <li>- 국가표준 기후변화 시나리오 생산</li> <li>- 한국형 통합 지구시스템 구축</li> <li>- IT 및 유비쿼터스 기술을 활용한 맞춤형 기상·기후 정보 및 서비스 제공</li> </ul>
건강	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국민의 생명 보호를 위해 취약계층별 폭염, 전염병, 대기오염 등 적응대책 추진</li> <li>- 무더위 휴식 시간제 운영 및 「무더위쉼터」 제공</li> <li>- 말라리아 맞춤형 진단키트 개발 및 소외열대 질환 진단법 구축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 폭염 영향평가 및 감시체계 구축 등 피해저감 대책 마련</li> <li>- 기후변화로 인해 증가되는 매개체 전파질환, 수인성, 식품매개전염병의 관리 체계 강화</li> <li>- 취약계층의 대기오염 및 화학물질 피해 저감대책 추진</li> <li>- 기후·환경변화로 인한 알레르기질환 악화방지 및 관리</li> </ul>



재난·재해	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 재난/재해에 강한 국토환경 조성 및 신속한 대응으로 인명피해 최소화</li> <li>- 홍수, 가뭄 등 주요 재해별 예·경보시스템 구축 및 풍수해보험 매년 10% 확대</li> <li>- 소하천정비 '15년까지 70%, '20년까지 완료 ('10년 현재 41.2%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 주요재해 유형별 취약성지도 작성 및 방재기준 강화               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 방재역량 강화를 위한 재해보험 활성화</li> </ul> </li> <li>- 안전한 국토기반 조성을 위한 재해예방사업 추진               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후변화 대응 우수유출 저감시설 설치</li> </ul> </li> </ul>
산림	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 산림건강성 증진으로 사전예방적 적응체계구축 및 산림재해·병해충 피해 저감</li> <li>- 「산림유전자원보호구역」 지정확대 및 효과적 보전·관리</li> <li>- 기후변화 적응 산림관리를 위한 지자체 및 산주 연계 산림관리 시범사업 추진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후변화 적응 산림생물다양성 보전 기반 구축</li> <li>- 기후변화에 따른 산림수자원 변화 예측 및 수원함양 가치 증진</li> <li>- 기후변화 적응 임업생산성 유지·증진 기반 확보</li> <li>- 기후변화에 따른 산림재해 사전 예방 및 피해 저감</li> </ul>
농업	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후친화형 적응재배기술 및 품종개발·보급 및 피해 최소화를 위한 조기경보시스템 구축</li> <li>- 주요작물의 생산예측모형 15종개발, 아열대/열대형 신소득 작물 30종 개발·보급</li> <li>- GIS기반 남한지역의 「외래병충해기상도」 작성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후변화 적응 재배기술 및 신품종 육성 개발·보급               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 아열대형 신소득 작물 개발·보급</li> </ul> </li> <li>- 기후변화 대응 가축관리기술 개발 및 조사료 수급체계 개선               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 병충해 및 기상재해 방지 조기경보시스템 구축</li> </ul> </li> <li>- 기후변화 및 이상기상에 따른 생산 영향평가 및 예측</li> </ul>
해양/수산업	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후변화에 대응 안정적 수산식량자원 확보 및 해수면 상승 대응 국토관리 방안 구축</li> <li>- 연안 주요해역의 바다목장 조성 및 해역별 적합 인공어초 개발·보급</li> <li>- '15년까지 연안적응시스템 50개 2,000km<sup>2</sup> 구축 완료, 5개 어종별 생태계 접합모델 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연근해 어항 및 주요 수산자원 변화 관리방안 마련               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 미래수산자원 확보방안 마련</li> </ul> </li> <li>- 기후변화에 따른 어장피해 저감대책 추진</li> <li>- 해수면 상승 및 연안 외력변화 대응 관리체계 구축</li> </ul>
적응산업/에너지	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후변화 적응역량 강화와 기회를 활용한 신사업·유망사업 발굴로 시장 선점 및 산업/에너지 분야 경쟁력 배양</li> <li>- 산업 분야별 적응대책 가이드라인 마련(1차산업 '11년, 2차산업 '12년, 3차산업 '15년 완료)</li> <li>- 기후변화 적응 신사업 및 유망사업 매출액 100억불 달성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 산업/에너지 분야 기후변화 영향 및 취약성 평가               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 산업분야 적응대책 수립 유도</li> </ul> </li> <li>- 기후변화 적응 신사업·유망사업 발굴 및 지원</li> <li>- 기후변화로 인한 에너지 공급 안정성 확보</li> </ul>
물 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후변화에 따른 물 수급 변동 대비 안정적인 물 공급 체계 마련 및 오염원 관리를 통한 하천 생태계 보전</li> <li>- 4대강의 용수 능력 확보 및 홍수 조절 능력 확대               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 조류 예보제 시행호소 30개로 확대</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후변화에 따른 물 관리 영향 평가 및 취약성 분석</li> <li>- 홍수에 강한 국토기반 조성 및 안정적 수자원 확보               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수질 및 수생태 적응관리 대책</li> </ul> </li> </ul>

생태계	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 한반도 생태계의 취약성 분석을 통한 장기 생태계 관리방안 마련 및 고유 생태계 보호·복원을 통한 생물다양성 확보</li> <li>- 기후변화 생물지표 지정 및 변동 모니터링 확대</li> <li>- 지역생태계 관리 협의체 구성 및 운영</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후변화 취약 생태계 및 지표종 관리</li> <li>- 생물종/유전자원 다양성 보존 및 생태계 연계성 확보</li> <li>- 외래종 및 돌발생물 확산 방지대책 추진</li> <li>- 생태계 관리를 위한 거버넌스 구축 및 홍보 강화</li> </ul>
사회기반 시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후변화를 고려한 국토개발로 사전 예방적 국토관리 실현 및 기후변화 적응형 기반시설 구축으로 지속가능한 사회발전 유도</li> <li>- 국토/도시 기반시설 기후변화 취약성 평가를 조기에 달성</li> <li>- 지역별 취약우선순위가 높은 국토/도시에 대한 적응대책 지원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후변화에 따른 국토 취약지역 분석 및 적응방안 마련</li> <li>- 기후변화 적응 친화적인 국토이용계획 수립 및 국토 관리체제 구축 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 도시의 기후변화 적응능력 제고</li> </ul> </li> <li>- 기후변화 적응 방재도시 조성을 위한 기반구축사업 추진</li> </ul>

## 참고문헌

- 간순영·한영지 외 (2006). 폐기물 소각 부문 온실가스 배출량 산정. 한국대기환경학회 2006 추계학술대회 논문집: 592591.
- 강공연·김화옥 외 (2009). 익산시 행정구역별 에너지부문의 온실가스 배출량 산정에 관한 연구. 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집: 522-525.
- 고병수·정진도 외 (2006). Y매립지에서 발생하는 온실가스( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ) 발생량에 관한 연구. 한국폐기물학회 추계학술연구발표회 논문집: 482-486.
- 고지연·강항원 외 (1998). "논 토양에서 질소비종 및 벼 재배양식이 메탄가스 발생에 미치는 영향." 한국환경농학회지 **17**(3): 227-233.
- 고지연·강항원 외 (1996). "벼 건답직파재배에서 물 관리와 벼짚 및 퇴비가 메탄배출에 미치는 영향." 한토비지 **29**(3): 212-217.
- 고지연·이재생 외 (2002). "Effects of Cultural Practices on Methane Emission in Tillage and No-tillage Practice from Rice Paddy Fields." 한토비지 **35**(4): 216-222.
- 고지연·이재생 외 (2008). 벼-보리 이모작재배에 의한 대기 중 온실가스 흡수효과. 한국토양 비료학회 춘계학술발표회 논문초록집: 101.
- 공우석·신이현 외 (2007). "쪼쪼가무시증의 시·공간적 분포와 환경생태요인 " 대한 지리학회지 **42**(6): 863-878.
- 국립환경연구원 (2003). 대기보전정책지원시스템, 삼성SDS.
- 권영성·이준기 외 (2007). 연속측정을 통한 고정연소시설의 온실가스( $\text{CO}_2$ ) 배출계수 개발. 대한환경공학회춘계학술대회: 29.
- 김건엽·박상일 외 (2002). "논에서 물과 양분관리에 따른 메탄( $\text{CH}_4$ ) , 아산화질소 ( $\text{N}_2\text{O}$ ) 배출 특성." 한국환경농학회지 **21**(2): 136-143.
- 김득수 (2001). "챔버를 이용한 농작지로부터의 기체배출량 측정과 배출특성연구: 일산화질소 ( $\text{NO}$ ) 와 아질산가스 ( $\text{N}_2\text{O}$ )의 배출량산정." 한국대기환경학회지 **17**(2): 203-212.
- 김득수 (2007). "온실기체 ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ )의 하구언갯벌 배출량과 배출특성연구." 한국대기환경학회지 **23**(2): 225-241.

- 김득수·오진만 (2003). "밭 토양으로부터 아질산 ( $N_2O$ ) 기체의 배출량 측정과 배출 특성." 한국대기환경학회지 **19**(5): 529-540.
- 김득수·조남호 외 (2006). 온실가스 배출량측정 및 지표생태변화에 따른 특성연구. 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집: 653-655.
- 김명화 (2005). GIS를 이용한 도시녹지의 대기정화효과 추정에 관한 연구 : 서울시를 대상으로 서울대학교 대학원 석사논문.
- 김소라·이우균 외 (2009). "KOMPSAT-2 영상을 이용한 산림의 이산화탄소 흡수량 추정." 韓國林學會誌 **98**(3): 324-330.
- 김영성·김진영 (2004). "2001년 6월 서울에서의 비 메탄계 탄화수소와 미세입자의 농도 변화." 한국대기환경학회지 **20**(1): 87-97.
- 김유근·문윤섭 외 (2002). "부산지역 토지이용(land-use) 변화에 의한 열 환경 수치 모의." 한국대기환경학회지 **18**(6): 453-463.
- 김유근·이화운 외 (2000). "인공열과 land-use가 부산시의 열적 환경에 미치는 영향에 관한 연구." 한국대기환경학회지 **16**(14): 363-372.
- 김윤경 (2004). 한국의 산업구조와 환경오염물질 발생의 변화- 동북아시아 역내 국가들과의 비교. 한국여성경제학회 정기학술대회: 1-27.
- 김은식 (2009). 녹색성장의 도전과 그 접근: 3-e(미래 생태 ecology를 살려내고 환경 environment 개선을 동시에 추구하는 경제economy)의 접합과 그 조화를 위한 노력. 한국농약과학회 춘계학술발표대회 논문집: 14-16.
- 김정인 (2009). "저탄소 녹색성장 개념과 전라남도의 정책방향." 전남비전 **21**: 57: 2-14.
- 김진수·이시형 외 (2009). "우리나라 B-C유 사용 발전시설의 온실가스 배출계수 개발." 환경영향평가 **18**(2): 69-78.
- 김창길·김배성 외 (2007). 교토의정서 이행에 따른 농업부문 대응 전략, 한국농촌경제 연구원.
- 김창길·김태영 외 (2006). 기후변화협약에 따른 농업부문 파급영향 분석, 한국농촌경제 연구원.
- 김충실·이현근 (2009). "농업부문 에너지 소비의  $CO_2$  배출량 분석." 농촌경제 **32**(1): 41-61.
- 김현구·최재우 외 (2003). "풍력발전 단지 조성을 위한 바람환경 분석." 한국대기환경학회지 **19**(6): 745-756.
- 김홍록·진병복 외 (2007). "연소시설의 온실가스( $CO_2$ ) 배출량 산정 및 배출계수개발." 환경영향평가 **16**(4): 277-283.

농촌진흥청 (2010). 우리나라 농경지 온실가스 배출량 평가.

명수정·정재학 외 (2007). 발전소의 온실가스 배출계수 개발 관한 연구- B-C유를 중심으로. 환경영향학술대회: 1721.

문운섭·구윤서 (2006). "수도권지역에서 수치 토지피복지도 작성을 통한 대기환경부 문 활용사례 연구 - MM5내 기온 및 바람장의 민감도 분석과 식생분포에 기인한 VOC 배출량 및 CO<sub>2</sub> 플럭스의 실시간 산정을 중심으로." 한국대기환경학회지 **22**(5): 661-678.

문운섭·구윤서 외 (2004). 토지피복지도를 활용한 실시간 자연오염원 산정 및 기여농도 분석. 한국대기환경학회 추계학술대회: 417-418.

문형태 (2002). 삼림생태계의 탄소수지에 관한 연구. 지역대학 우수과학자 지원연구, 한국과학재단

문홍규·이상중 (2007). 성능시험 결과를 이용한 D 발전소의 CO<sub>2</sub> 대기배출량 계산. 한국조명 · 전기설비학회 추계 학술대회 논문집: 341-344.

박광호·황용우 외 (2004). "전과정평가(LCA : Life Cycle Assessment) 기법을 이용한 원자력발전시스템과 화력발전시스템의 CO<sub>2</sub> 배출량 평가." 대한환경공학회지 **26**(1): 28-34.

박인협·이돈구 외 (1996). "참나무류의 생장 및 물질생산에 관한 연구." 한국임학회지 **85**(1): 76-86.

박준영·허은녕 (2002). "구조분해분석을 이용한 CO<sub>2</sub> 배출량 변화요인분석에 관한 연구." 한국자원공학회지 **39**(4).

박창규 (2009). "하이브리드 산업연관표를 이용한 우리나라 CO<sub>2</sub> 배출 구조 분석." 환경정책연구 **8**(1): 49-69.

박호진 (2006). 산업연관분석을 이용한 CO<sub>2</sub>배출량 추정 및 변화요인 분석. 한국산업기술대학교 지식기반기술 · 에너지대학원 석사학위논문.

백원석·진병복 외 (2009). 매립지 온실가스 배출량 산정을 위한 메탄가스 회수율에 관한 연구. 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집: 259-260.

산업자원부 자원정책실 (2006). 자원에너지 주요통계.

서성원·황용우 외 (1999). "건축물의 전과정에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량평가를 위한 전산체계 구축 및 적용." 대한토목학회 논문집 **19**(II-6): 749-755.

서성원·황용우 (1999). "주거용 건물의 에너지소비에 의한 이산화탄소 배출특성-서울 및 인근 신도시를 중심으로." 대한환경공학회지 **21**(2): 213--223.

송두삼·이승복 (1997). "建築物의 라이프사이클을 고려한 環境負荷算定에 관한 研究 --住毛建設에 따른 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량 산정." 대한건축학회논문집 **13**(6): 175-184.

- 송지한·R. Pokhrel 외 (2009). 해안지역에서의 선박대기오염 배출량 산정 및 분석에 관한 연구. 한국대기환경학회지: 122-123.
- 신문기·김호정 외 (2003). "건설장비와 농기계에서 배출되는 연도별 대기오염 배출량 변화추세." 한국대기환경학회지 **19**(6): 805-810.
- 신용광·안종웅 외 (2003). "Emission of Greenhouse Gases from Upland Rice and Soybean." 한국토양비료학회지 **36**(4): 256-262.
- 신용광·이양수 외 (1995). "논 토양의 메탄 배출측정을 위한 간이폐쇄 정태 Chamber법." 한토비지 **28**(2): 183-190.
- 양승룡·임성수 (2008). "농업부문의 온실가스감축사업 활용 방안." 시선집중 GS&J **56**: 1-9.
- 에너지경제연구원 (2004). 기후변화협약 대응을 위한 중장기 정책 및 전략에 관한 연구.
- 유병옥·진병복 외 (2009). 직접측정에 의한 매립지 메탄배출량 산정 및 배출계수 개발. 한국대기환경학회 2009 춘계학술대회 논문집: 601-603.
- 유영숙·석광설, et al. (2009). Tier3 방법론에 의한 도로 이동원 온실가스 배출량 산정 연구. 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집: 295-296.
- 윤성이·유덕기 (1998). "LCA 수법을 이용한 농·축산분야의 온실효과 가스의 정량적 평가." 한국유기농업학회지 **7**(1): 17-34.
- 윤성이·유덕기 (2000). "농 축산분야에 있어서 온난화 영향평가 및 요인분석." 한국 유기농업학회지 **8**(2): 1-16.
- 윤성호·신용광 외 (1996). 농업부문 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 발생량 추정. 농업과학 기술원 시험연구 사업보고서: 667 - 672.
- 이강희 (2000). "공동주택 건설단계의 건축공사에 따른 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 산정에 관한 연구." 대한건축학회논문집 계획계 **16**(4): 125-132.
- 이강희 (2001). "공동주택 환경친화성 지표작성 연구 - 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 중심으로." 대한건축학회논문집 계획계 **17**(8): 129-136.
- 이강희·이경휘 (1996). "건축활동에 따른 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량 추정." 대한건축학회논문집 **12**(7): 197-205.
- 이강희·채창우 (2002). "산업연관분석법을 이용한 공공건축물의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 산출연구." 대한건축학회논문집 계획계 **18**(5): 99-107.
- 이경보 (1997). 논 토양에서 벼 재배 환경이 Methane 배출에 미치는 영향, 전남대학교 박사학위논문.

- 이경보·이덕배 외 (1995). 호남지역 논 토양의 온실가스 저감기술연구, 호남농업시험장 시험연구보고서.
- 이경보·이덕배 외 (1997). "벼 재배양식이 메탄가스 배출에 미치는 영향." 한토비지 **30**(1): 35-40.
- 이경보·이덕배 외 (2000). "논 토양에서 질소비종이 CH<sub>4</sub> 배출에 미치는 영향." 한토비지 **33**(3): 212-219.
- 이경보·이덕배 외 (1997). "벼 품종별 Methane 배출과 뿌리의 탄수화물 분비 특성." 한토비지 **30**(3): 257-264.
- 이경보·이덕배 외 (1999). "논 토양에서 벼 기상생태형별 CH<sub>4</sub> 배출양상 및 배출량 추정." 한국환경농학회지 **18**(1): 1-5.  
정리 完
- 이경재·김갑덕 외 (1985). "광주지방의 리기다 소나무 및 리기테다소나무 조림지의 물질생산량에 관한 연구." 한국임학회지 **69**: 28-35.
- 이경학·손영모 외 (2001). "임업 및 토지이용부문의 온실가스 흡수 및 배출 현황." 임산에너지 **50**(1): 53-61.
- 이도형·황재우 (2000). "회귀식에 의한 잣나무 물질 생산성 추정." Journal of Resource Development **19**(1): 77-82.
- 이상중·임정균 (2007). "화력발전소 입출력 특성계수를 이용한 순시 발전출력 대비 CO<sub>2</sub> 대기배출량 계산." 조명 · 전기설비학회논문지 **21**(5): 120-125.
- 이순환·김현숙 외 (2004). "복잡 지형의 대기질 예측을 위한 지상자료동화의 효용성에 관한 수치연구." 한국대기환경학회지 **20**(4): 523-537.
- 이시형·윤석경 외 (2007). 복합화력 발전소의 Non-CO<sub>2</sub> 온실가스 배출계수 산정 연구. 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집: 384-385.
- 이재영·정우성 외 (2009). 철도부문 온실가스 배출량 산정 방법론 연구. 한국철도학회 2009년 춘계학술대회 논문집: 828-830.
- 이주광·김성환 외 (2009). "저탄소 도로 구현을 위한 도로 온실가스 배출량 산정 방안." 지반환경 **10**(3): 6-14.
- 이화운·김유근 외 (2000). 부산광역시에서 철도차량 배출원에 의한 오염물질 배출량 산정. 한국환경과학회 가을 학술발표회지: 34-35.
- 이화운·김유근 외 (1999). "연안의 선박오염 배출을 포함한 부산지역의 대기오염물질 배출량 산정." 한국대기환경학회지 **15**(5): 587-598.
- 이화운·오은주 외 (2003). "도시지역의 국지순환과 침적현상에 관한 수치모의." 한국 대기환경학회지 **19**(6): 773-787.

- 이화운·이동규 외 (1997). 연안 도시 지역의 대기유동 시뮬레이션 한국기상학회 1997년도 정기총회, 초청강연 및 가을학술발표회: 228-231.
- 임정권·이상중 (2007). 화력발전소의 발전출력과 CO<sub>2</sub> 대기배출량 계산. 한국조명·전기설비학회 2007추계학술대회 논문집: 417-420.
- 장영기·최상진 외 (2003). LNG 연소시설의 온실가스 배출계수 및 배출량 산정. 한국 대기환경학회 추계학술대회 논문집: 219-220.
- 장영기·김대용 외 (2007). 폐기물 소각 부문의 CO<sub>2</sub> 배출계수와 배출량 변화 분석 (2004년). 환경공동학술대회: 274.
- 장영기·김호정 외 (2004). 축산부문에서 배출되는 온실가스 배출량 추정 (2001년). 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집: 70-71.
- 장재연 (2009). "기후변화와 건강." 환경과생명 **59**: 127-138.
- 전성우 (2002). 국토생태네트워크의 추진전략에 관한 연구, 한국환경정책평가연구원.
- 전성우·박용하 외 (2002). 기후변화에 따른 생태계 영향평가 및 대응방안 연구 III - 산림부분을 중심으로, 한국환경정책평가연구원.
- 전의찬·명수정 외 (2007). "무연탄 화력발전소의 이산화탄소 배출계수 개발." 한국대기환경학회지 **23**(4): 440-448.
- 전의찬·사재환 외 (2004). 고정배출원에서의 이산화탄소 배출계수 개발. 한국대기환경학회 2004 추계학술대회 논문집: 93-94.
- 전의찬·사재환 외 (2006). "에너지사용시설의 온실가스 배출 특성 연구-유연탄 화력발전소의 이산화탄소를 중심으로." 한국대기환경학회지 **22**(1): 107-116.
- 전의찬·사재환 외 (2006). "에너지사용시설의 온실가스 배출 특성 연구 - 유연탄 화력발전소의 이산화탄소를 중심으로." 한국대기환경학회지 **22**(1): 107-116.
- 전의찬·서경애 외 (2003). 하 · 폐수처리시설에서의 온실가스 배출량 평가. 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집: 425-426.
- 정나라·이사라 외 (2009). 소각 부문의 직 · 간접 온실가스 - 경북지역을 중심으로. 한국대기환경학회 2009 추계학술대회 논문집: 673-674.
- 정재학·전의찬 외 (2006). 화력발전소의 이산화탄소 배출계수 비교 연구. 한국대기환경학회 2006 추계학술대회 논문집: 87-88.
- 정재형·이석희 외 (2009). Bottom-up 접근법을 이용한 서울시 북동부 권역 전력사용량에 따른 온실가스 배출량 산정. 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집: 648-649.



- 정현식 (1997). 이산화탄소의 산업별 배출구조와 배출요인. 한국국제경제학회 동계학술발표대회.
- 조현길 (1999). "도시식생의 관리에 의한 에너지소비 및 탄소방출." 한국환경생태학회지 **13**(2): 101-108.
- 조현길·안태원 (2001). "도시생태계 수목의 대기정화 역할-용인시를 사례로." 한국조경학회지 **29**(3): 38-45.
- 조현길·안태원 (2001). "도시생태계 수목의 대기정화 역할 : 용인시를 사례로." 한국조경학회지 **29**(3): 38-45.
- 조현길·조동하 (1998). "도시 주요조경수종의 연간 CO<sub>2</sub> 흡수." 한국조경학회지 **26**(2): 38-53.
- 조현길·조용현 외 (2003). "도시녹지의 환경보전효과: 서울시 중구를 중심으로." 한국조경학회지 **31**(3): 83-80.
- 차준석·김상균 외 (2005). 대기오염물질 배출사업장에서의 이산화탄소 배출량 산정. 한국대기환경학회 학술대회논문집: 162-164.
- 최상진·박성규 외 (2009). 어선 부문의 온실가스 배출량 산정 방법에 관한 연구. 한국대기환경학회 2009 추계학술대회 논문집: 229-230.
- 최진무 (1998). "GIS를 이용한 대기오염 배출량 분포도의 정확도 향상에 관한 연구." 한국GIS학회지 **6**(1): 65-79.
- 최진호·강주명 (2008). 가정용 가스보일러의 이산화탄소 배출량 예측모델 개발. 한국에너지공학회 학술발표회 추계학술발표회: 273-278.
- 최충규 (1993). "산업부문별 CO<sub>2</sub> 배출량에 대한 비교정태분석." 월간산업동향 **11**(6).
- 최한주·이기훈 (2002). 산업연관분석을 이용한 우리나라 산업의 CO<sub>2</sub> 배출변화 요인 분석. 경제학 공동 학술대회 발표 논문.
- 축산연구소 (2002). 기후변화협약에 따른 축산부문 국가보고서.
- 한국대기환경학회 (2000). 환경기초시설에서 발생하는 온실가스 배출량 조사, 환경부.
- 한국대기환경학회 (2000). 환경부문의 온실가스 저감잠재력 평가, 환경부.
- 한국환경정책평가연구원 (2002). 인공위성영상자료를 이용한 토지피복지도 구축, 환경부.
- 홍정혜·김유근 (2000). "지표면 변화와 인공열이 바람장에 미치는 영향에 관한 수치시뮬레이션." 한국대기환경학회지 **16**(5): 511-520.

- 환경관리공단 (2002). 환경부문의 온실가스 배출량 조사 및 통계구축, 환경부.
- 환경관리공단 (2003). 환경부문의 온실가스 배출량 조사 및 통계구축(III), 환경부.
- 황금록·김현선 외 (2007). 우리나라 하·폐수 처리시설의 메탄(CH<sub>4</sub>)과 아산화질소(N<sub>2</sub>O) 배출량 산정 연구. 환경공동학술대회: 1125-1129.
- Breuer, L., H. Papen, et al. (2000). "N<sub>2</sub>O emission from tropical soils of Australia." J. Geophy.Res. **105**(D21): 26353-26367.
- Cao, M., S. Marshall, et al. (1996). "Global carbon exchange and methane emissions from natural wetlands : Application of a process-based model." J. Geophy. Res. **101**(D9): 14399-14414.
- Cicerone, R. J. and J. D. Shetter (1981). "Sources of atmospheric methane: Measurements in rice paddies and a discussion." J. Geophy. Res. **86**: 7203-7209.
- Denmead, O. T. (1995). Measuring fluxes of greenhouse gases between rice fields and th atmospher. Climate Change and Rice: 60-68.
- Denning, A. S., M. Nicholls, et al. (2003). "Simulated and observed variations in atmospheric CO<sub>2</sub> over a Wisconsin forest." Global Change Biology **9**: 1241-1250.
- Elisson, I. (2000). "The use of climate knowledge in urban planning." Landscape and Urban Planning **48**: 31-44.
- Freney, J. R., O. T. Denmead, et al. (1981). "Ammonia and nitrous oxide losses following application of ammonium sulphate to flooded rice." Australian Journal of Agricultural Research **32**: 37-45.
- Garcia, I. and J. V. M. Zorraquino (2002). "Energy and environmental optimization in thermoelectrical generating processes-application of a carbon dioxide capture system." Energy **27**: 607-623.
- Guilbault, M. R. and A. D. Matthias (1998). "Emission of N<sub>2</sub>O from sonoran desert and effluent-irrigated grass ecosystem." Journal of Aric Environments **38**: 87-98.
- Hartikainen, T., J. Lehtonen, et al. (2004). "Reduction of greenhouse-gas emissions by utilization of superconductivity in electric-power generation." Applied energy **78**: 151-158.
- Hondo, H. (2005). "Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case." Energy **30**: 2042-2056.

- Houghton, J. T., B. A. Callander, et al., Eds. (1992). Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge, Cambridge University Press.
- IPCC (1995). Climate Change 1994, Radiative Forcing of Climate Change. New York, Cambridge University Press. pp. 85-87
- IPCC (1996). Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories.
- IPCC (2001). Climate Change 2001: Impacts, adaptaion & Vulnerability Third Assessment Report.
- IPCC (2006). "2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories."
- IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva,Switzerland, IPCC.
- Iserman, K. (1994). "Agriculture's share in the emissions of trace gases affecting the climate and some cause oriented proposals for reducing this share." Environ. Pollut. **83**: 95-111.
- Jo, H. K. (2002). "Impacts of urban green space on offseting carbon emission for middle Korea." Journal of Environmental Management **64**: 115-126.
- Kartha, S., M. Lazarus, et al. (2004). "Baseline recommendations for greenhouse gas mitigation projects in the electric power sector." Energy Policy **32**: 545-566.
- Kim, D. H. (2008). Biomass. carbon and nitrogen storage in an age-sequence of *Larix kaempferi* stands in central Korea, Thesis for Master, Korea University.
- Kimura, F. and S. Takahashi (1991). "The effect of land-use and anthropogenic heating on the surface temperature in the Tokyo metropolitan area: A numerical experiment." Atmos. Environ. **25B**: 155-164.
- Koerner, B. and J. Klopatek (2002). "Anthropogenic and natural CO<sub>2</sub> emission sources in an arid urban environment." Environmental Pollution **116**: s45-s51.
- Logan, J. A. (1983). "Nitrogen oxides in the troposphere: Global and regional budget." J. Geophys. Res. **88**: 10785-10807.
- Manaloor, V. (2006). CO<sub>2</sub> Emissions from Central Canadian Agriculture: Meeting Kyoto targets and its implications.-. International Association of Agricultural Economists Conference: 12- 18.

- Nobuhisa Koga, Haruo Tsuruta, et al. (2003). "Fuel consumption-derived CO<sub>2</sub> emissions under conventional and reduced tillage cropping systems in northern Japan." Agriculture, Ecosystems and Environment **99**: 213-219.
- Nouchi, J. (1994). Mechanisms of methane transport through rice plants. CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O: 86-104.
- Papen, H. and K. Butterbach-Bahl (1999). "A 3-year continuous record of nitrogen trace gas fluxes from untreated and limited soil of N-saturated spruce and beech forest ecosystem in Germany: 1. N<sub>2</sub>O emissions." J. Geophys. Res. **104**(D15): 18487-18503.
- Rennenberg, H. R., H. Wassman, et al. (1995). Soil characteristics affecting methane production and emission in flooded rice. Climate Change and Rice: 80-90.
- Sass, R. L. and F. M. Fisher (1995). Methane emissions from Texas rice fields: a five-year study. Climate change and Rice: 46-68.
- Sauerbeck, D. R. (2001). "CO<sub>2</sub> emissions and C sequestration by agriculture - perspectives and limitations." Nutrient Cycling in Agroecosystems **60**: 253-266.
- Seo, H. H. (2008). "Study on carbon sink agricultural sector regarding to UNFCCC." Annual Research Report. RDA: 121-135.
- Shashua-Bar, L. and M. E. Hoffman (2000). "Vegetation as a climatic component in the design of an urban street an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees." Ener. Build. **31**: 221-235.
- Shin, H. C., J. W. Park, et al. (2005). "Environmental and economic assessment of landfill gas electricity generation in Korea using LEAP model." Energy Policy **33**: 1261-1270.
- Stern, N. (2006). Stern Review on The Economics of Climate Change (pre-publication edition). Executive Summary. London, HM Treasury.
- US EPA (2002). Greenhouse gas (GHG) verification guideline series-Natural gas-fired microturbine electrical generators 2-31.
- Vukovich, F. M. and W. J. King (1980). "A theoretical study of the St. Louis heat island: the wind and temperature distribution." J. Appl. Meteor. **15**: 417-440.
- Warneck, P. (2000). Chemistry of the Natural Atmosphere. New York, Academic Press.

- Wijayatunga, P. D. C., W. J. L. S. Fernando, et al. (2004). "Impact of distributed and independent power generation on greenhouse gas emission: Sri Lanka." Energy Conversion and Management **45**: 3193-3206.
- Yareood, G., G. Wilson, et al. (2003). User's guide to the global biosphere emissions and interactions system (GLOBEIS3) version 3.1. Novato, CA, Environ International Corporation.
- Yienger, J. J. and H. Levy (1995). "Empirical model of global soil biogenic NOX emission" J. Geophy. Res. **100**: 11447-11464.

■ 집 필 자 ■

연구책임 . 충남발전연구원 환경생태연구부 이인희 책임연구원

기본연구 2010-22 . 충남 기초지자체의 온실가스 배출량 추정 연구

글쓴이 . 이인희 / 발행자 . 박진도 / 발행처 . 충남발전연구원

인쇄 . 2010년 12월 31일 / 발행 . 2010년 12월 31일

주소 . 충남 공주시 금홍동 101 (314-140)

전화 . 041-840-1272(직통) 041-840-1114(대표) / 팩스 . 041-840-11289

ISBN . 978-89-6124-156-4 03350

<http://www.cdi.re.kr>

©2010. 충남발전연구원

- 이 책에 실린 내용은 출처를 명기하면 자유로이 인용할 수 있습니다.  
무단전재하거나 복사, 유통시키면 법에 저촉됩니다.
- 이 연구는 본 연구원의 공식 견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.