

# Tier 3 방식에 의거한 지목별 온실가스 배출 실태평가

## Evaluating Carbon Dioxide Emission from Cadastral Category based on Tier 3 Approach

김 대 호\*

엄 정 섭\*\*

Dae Ho Kim

Jung-Sup Um

**요 약** 이산화탄소의 배출량을 산정하는 방식은 주로 제련소, 화력발전소 등 제조공정에서 소비되는 에너지 통계에 의거하여 배출량을 추정하는 방식으로 이루어지고 있다. 본 연구는 지목이 토지이용패턴에 따라 다르게 배출되는 이산화탄소를 감시하기 위한 지표로 활용될 수 있는지를 평가하고자 수행되었다. 그리하여 사례 연구지역에서 이산화탄소 배출량을 측정하여 토지이용의 관점에서 지목별 변화 추세에 대한 평가가 이루어졌다. 정부통계에만 의존하는 간접추계 방식과 달리 지목 기반의 평가는 광역적인 이산화탄소 농도의 분포실태를 단시간에 제시하였다. 특히 대지 등 비자연적인 지목에서 높은 수치를 보여주었다. 반면, 임야 등 흡수원으로 특성을 지닌 지목은 전체적으로 배출원에 비해 낮은 수치를 보여주었다. 본 연구의 가장 큰 성과는 지목별 이산화탄소 배출량 변화 실태를 정량적으로 제시하고 있기 때문에 각종 개발사업의 계획단계부터 배출원과 흡수원을 지정하고 관리함에 있어 지목에 의거 도로 건설 등 저탄소 도시에 부정적인 영향을 미치는 개발사업을 규제하는 과정에서 온실가스 배출을 최소화하기 위한 지표로서 설득력을 지닌 근거자료로 지목의 가능성을 보여주었다. 본 연구의 가장 큰 성과는 “지목 기반의 이산화탄소 배출 감시”라는 새로운 개념을 제시하였다는 데 있을 것이다.

**키워드** : 이산화탄소, 지목, 토지이용

**Abstract** It is usual for the carbon dioxide emission to be calculated by official energy consumption statistics produced from a number of specialized industrial process such as refinery, power plant etc. The aim of this research was to evaluate potential of cadastral system in monitoring carbon dioxide emitted from land use. An empirical study for a cadastral category was conducted to demonstrate how a on-site measurement can be used to assist in estimating the carbon dioxide emission in terms of land use specific settings. The cadastral category based analysis made it possible to identify area-wide patterns of carbon dioxide emission, which cannot be acquired by traditional Government statistics. It was possible to identify successively increasing trends in the human-related parcels such as housing land while decreasing trends of carbon dioxide in sink parcels(eg. forest). The results indicate that the cadastral parcel could be used not only as a tool to monitor carbon dioxide emission, but also as an evidence to restrict initiation of development activities causing negative influence to carbon dioxide emission such as road construction. As a result, the research findings have established the new concept of “carbon dioxide emission monitoring based on cadastral category”, proposed as an initial aim of this paper.

**Keywords** : Carbon Dioxide, Cadastral Category, Land Use

† 본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구 과제입니다(20094010200010).

\* 경북대학교 공간정보학과 박사과정, tuningdh@nate.com

\*\* 경북대학교 지리학과 교수, jsaeom@knu.ac.kr(교신저자)

## 1. 연구배경 및 목적

온실가스 중 가장 많은 부분을 차지하는 이산화탄소는 인간의 생산활동과 관련된 토지이용에 의한 배출원과 녹지에 의한 흡수원에 의하여서 결정된다고 보고되고 있다[15]. 다양한 토지이용이 온실가스 배출에 대한 기여도를 평가하는 것은 지역별 토지이용 계획, 토지종류별 총량규제, 환경영향평가, 개별 토지의 수용능력 평가의 기초가 되는 등 많은 기여를 하게 된다. 토지이용과 관련 온실가스, 특히 이산화탄소의 배출량을 산정하는 방식은 크게 직접측정에 의존하는 방법(IPCC Tier 3)과 연료사용을 토대로 간접적으로 추정하는 방식(IPCC Tier 1-2)이 제시되고 있다[3]. 연료사용을 토대로 토지용도, 사업주체 및 활용목적에 따라 매우 다양한 형태로 추정되는 온실가스 배출량은 대부분 IPCC 가이드라인의 default 배출계수를 적용한 Tier 1 방법론으로 통계 조사에 의존한 평가가 이루어지고 있다 [4, 7, 6].

지역별로 정확한 온실가스 배출량의 산정은 온실가스 배출원별 저감방안 수립과 경제주체 단위의 배출량 관리를 위해 가장 기초적인 작업이며, 특히 건전한 배출권 거래제도를 운영하기 위한 필수조건이다. 배출량에 대한 산정과 보고가 정확하지 않을 경우 온실가스 저감을 위한 정책 우선순위에 혼란을 초래하게 된다. 하지만 IPCC Tier 3에 의거한 현장 중심의 온실가스 배출량 조사도 일부 지점을 샘플링하는 방법으로 많은 인력과 경비를 필요로 하면서도 조사 지점 만의 단편적인 정보를 제공하여 온실가스 배출 저감을 위한 정책수립과정에서 필수적인 정보인 토지 피복의 광역적인 변화 추이에 따라 변화하는 온실가스 배출량에 대한 시각적인 정보를 입수하는 데 상당한 한계가 있다. 현행 온실가스 배출량 조사는 많은 인력과 시간, 경비가 요구되면서도 다양한 공간객체, 시기별로 변화된 온실가스의 변화 추세에 대한 광역 공간정보를 제공하지 못한다. 지역단위의 기후변화대응방안을 제시하기 위해서는 CO<sub>2</sub> 배출의 규모나 특성을 지역의 토지이용특성, 더 정확히 표현하면 토지의 용도에 따른 CO<sub>2</sub> 배출특성을 미시적 차원에서 파악해야 할 필요가 있다. 이러한 관점에서 토지용도별 CO<sub>2</sub> 배출 원단위는 지역별 온실가스의 총량규제를 시행하거나 배출권 거래를 위한 필수적으로 요청되는 정보이다.

지목이라 함은 토지의 주된 용도에 따라 토지의

종류를 구분하여 지적공부에 등록한 것을 말한다. 토지의 효율적 관리를 위하여 필지마다 토지의 용도에 따라 토지의 종류를 구분하기 위하여 인위적으로 표시한 것이다. 지목은 토지의 주된 사용용도에 따라 분류되기 때문에 주 사용용도가 동일하다면 모두 같은 지목으로 결정하고 있다. 토지이용형태는 토지의 경계인 일필지내에서 어떠한 목적 또는 용도로 사용되어 지고 있는가를 의미한다. 다시 말해 토지이용은 결국 토지의 사용목적인 지목을 의미하며, 지목은 일필지마다 사용하는 기준이 다르기 때문에 일필일목의 원칙을 적용하여 하나의 필지에 오직 하나의 지목만을 설정하고 있다. 그래서 결국 지목은 법적으로 결정되어진 필지 내에서의 토지이용을 나타내므로, 이산화탄소의 배출측정을 위한 경우 해당 필지내의 토지사용에 대한 고유한 토지특성을 가장 효율적으로 대변할 수 있는 방법이다. 이산화탄소의 배출원과 흡수원은 토지의 이용형태에 의하여 구분되며 이를 결정짓는 기준이 되는 것이 지목이다.

최근 현지측정을 통한 이산화탄소 배출에 관한 연구[19]가 보고되고 있으나 현재까지 28개 지목을 중심으로 각각의 지목별 정량적인 분석은 이루어지지 않고 있다. 현재 건물의 경우 그 특성별로 공공건물, 상업건물 등의 이산화탄소의 배출 및 저감 방안 등이 제시되어 있으나 토지의 경우 필지별 특성에 대한 기초 연구가 부족하여 이산화탄소 저감을 위해 어떠한 지목을 중점적으로 관리하여야 하며, 지목변경 행위를 제한 또는 규제하여야 하는지에 대한 연구가 절실히 요청되고 있다. 현재 우리나라의 경우 지목을 용도특성별로 분류하여 28개로 구분하고 있으나 각각의 지목별로 어떠한 지목에서 얼마나 많은 이산화탄소가 발생하는지 혹은 적게 발생하는지에 대한 기준이나 정량적인 통계가 없어 보다 더 많은 세부적인 연구는 현재 미진한 실정이다. 본 연구는 토지의 사용용도를 나타내는 지목에 의거 이산화탄소의 배출량을 조사하는 것을 목적으로 출발하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구지역

사례연구는 대구광역시 동구에 소재한 봉무동 일대 200필지를 대상으로 (그림 1) 수행되었다. 연구지역의 지리적 위치는 경위도 상으로 동경 128°38′ -128°39′ 의 동서구간과 북위 35°55′ -35°56′ 의 남

북구간이다. 지목을 기반으로 온실가스 조사가 타당성을 검증하기 위해 많은 지역을 비교하는 것이 공통적인 문제점 발견과 산출되는 결과의 타당성을 검증하는 데 도움이 된다. 하지만 본 연구에서는 각 지역별 온실가스 배출 환경이 다른 점을 고려하지 않고 많은 지역을 수평적으로 비교함으로써 발생할 수 있는 오류를 방지하고자 특정 지역을 집중적으로 비교 평가하는 방식을 취하였다. 연구지역은 도심지에서 멀지 않은 거리에 위치하여 연구자의 접근이 용이하며 흡수원과 배출원이 다양한 지목으로 존재하고 있다. 평일에 인근 도로의 차량통행이 적으며, 화확시설 및 대규모 공장이 존재하지 않아 주변의 영향이 적은 지역으로 판단되어 조사결과의 객관성을 담보할 수 지역으로 판단되었다. 아울러 200필지가 존재하고 있으며 임야를 포함한 여러 지목이 분포하여 지역지목별 온실가스 배출조사에서 가치적인 연구 성과가 산출될 수 있을 만큼 독립되어 있으면서 어느 정도의 규모를 가진 지역이다. Google Earth는 도심지를 포함한 인근지역은 고해상도 영상(61cm 공간해상도의 Quickbird 영상)을 제공하고 있으며 외곽으로 갈수록 저해상도 영상을 제공하는데 연구지역은 고해상도 영상이 제공되고 있어 지적도의 지목과 현실지목이 일치하지 않을 경우 현실지목을 고해상도 영상에 의거 쉽게 관독할 수 있는 지역이다.

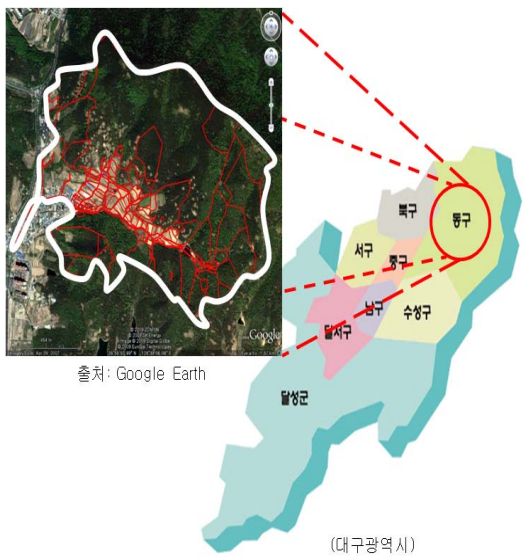


그림 1. 연구대상지역

## 2.2 공간 데이터 취득

연구전반에 걸쳐 사용된 데이터 및 소프트웨어는 Google Earth Web, 연속지적도, AutoCADMap 2000i, ArcGIS 9.0, Microsoft Office Excel 2007이 사용되었다(표 1). Google Earth에서 2007년 4월 29일에 촬영된 61cm급 Quickbird 영상을 추출하였고, 2007년도 연속지적도를 편집하여 200개의 필지를 추출하였다. 본 연구에서 사용된 Google Earth는 5.0버전으로 Web상에 편집지적도를 중첩하기 위하여 필지의 도로 도곽을 기준으로 좌표변환을 실시하여 보정하였다. 지목별로 중첩하여 지목별 불부합을 평가하였고, ArcGIS와 Microsoft Excel Office 2007을 활용하여 비교 분석하였다. 지목은 토지에 관한 가치를 산정하는 기준이 되기 때문에 지가의 상승을 목적으로 토지의 이용 용도가 변경되는 사례가 자주 관찰되고 있다. 지목불부합을 추적하기 위해 지적도상의 필지별 지목을 1차적으로 분석하고, Google Earth에 지적도를 Mashup(그림 2)하여 2차적인 분석을 하였으며, 현장에서 실제 사용되고 있는 지목을 3차로 분석하여 최종 지목을 확정했다.

표 1. 데이터 및 소프트웨어

| 구분      | 항 목                             | 용 도   |
|---------|---------------------------------|---|
| 데이 터    | Google Earth Web상의 Quickbird 영상 | 지적도의 지목과 현실지목이 불일치할 경우 확인                       |
|         | 연속지적도                           | 지목 추출   |
| 소프 트웨 어 | ArcGIS 9.0                      | Shape파일변환, Raster변환, Layer추출, 좌표변환, KML추출, 속성입력 |
|         | AutoCADMap 2000i                | 지적도 추출 및 Map join                               |
|         | Microsoft Office Excel 2007     | 그래프, 비교 분석 및 통계                                 |

연구지역에 28개 지목 중 11개 지목이 분포하는 것으로 확인되었다. 지목에 따른 필지 수는 전 → 임야 → 구거 ... 순이고 전은 81 필지로 가장 많으며 유지, 묘지, 잡종지는 1필지로 가장 적은 지목이다(표 2).



그림 2. Google Earth에 Mashup된 지적도



그림 3. TSI社 Model 7535

표 2. 연구지역에 분포하는 지목 현황

| 지목     | 필지 | 지목별 점유율(%) |        |
|--------|----|------------|--------|
| 1 전    | 81 | 40.5       |        |
| 2 임야   | 60 | 30.0       |        |
| 3 구거   | 21 | 10.5       |        |
| 4 대    | 15 | 7.5        |        |
| 5 도로   | 13 | 6.5        |        |
| 6 과수원  | 3  | 1.5        |        |
| 7 목장용지 | 2  | 1.0        |        |
| 8 하천   | 2  | 1.0        |        |
| 9 유지   | 1  | 0.5        |        |
| 10 묘지  | 1  | 0.5        |        |
| 11 잡종지 | 1  | 0.5        |        |
| Total  | 11 | 200        | 100(%) |

### 2.3 온실가스 측정

측정 장비는 미국 TSI社의 이산화탄소 계측기 Model 7535 장비를 사용하였다(그림 3). 본 계측기는 NDIR(nondispersive infrared sensor, 비분산적외선법)센서를 사용하고 있으며 미국 NIST인증 교정된 계측기로 측정 신뢰도가 매우 높다고 할 수 있으며 교정 성적서에 의하여 측정 정도가 보장된다 [10, 1].

계측기 측정 범위는 0-5000ppm이며 분해능은 1ppm으로 측정정도는 지시치의 ±3% 또는 ±50ppm이다. 계측기 본체는 40,300개의 데이터 샘플링이 가능하고 반응속도는 1초에서 1시간까지 지정가능하며 측정 데이터에 대하여 최대, 최소, 평균치의 통계가 제시된다. 데이터 수집과정에서 time scale에 대해서는 다양한 방식이 적용되고 있는 데 WDCGG([8],

지구대기 감시관측소, 세계온실가스자료센터)에서는 30초마다 측정하여 매시간 자료를 산출하고 있으며 환경부[24]의 『대기오염측정망 설치·운영지침』도 30초마다 1시간 측정하는 방식을 취하고 있다. 유재일 등 [18]은 10초간 측정된 데이터 기준으로 30분간 평균하였고 Pandey and Kim [5]는 3초 간격으로 10분간 평균 실시간 측정하였으며, 진의찬·김정식[21]은 1초마다 측정하여 평균화시간을 1분으로 하여 30분간의 데이터를 취득하여 활용하였고 최재천[22]은 국제공동연구에서 비교분석시에는 자료저장 간격의 축소를 권장하고 있다. NDIR은 동일한 장비라 할지라도 기기상의 오차, 실험상의 오차 등으로 인하여 배출량에 의한 분석 수치의 차이가 발생하는데 기기상의 오차를 배제하고 실험상 오차를 최소화하기 위하여 10초간 측정 데이터를 1분간 평균 데이터로 환산하도록 설정하였으며 필지별로 30분간 측정하였다.

데이터 측정 지점은 실내공기질 측정방법에 관한 연구 [12, 20]에서 언급한 바와 같이 대상시설의 오염도를 대표할 수 있다고 판단되는 곳을 선정하는 것을 원칙하고 있다. 지목에 따른 대기 이산화탄소 배출량을 측정하여야 하므로 지표면 상부 50cm정도에서 측정한 방법을 적용하였으며 [9], 지목이 가지는 토지이용특성을 고려하여 대표성을 가지는 위치를 선정하였다. 임야의 경우는 흡수원의 특성이 측정치에 반영될 수 있도록 가능하면 외부변수의 영향이 적은 지역을 선정하였다. 대표성을 가진 지점을 선정하기 어려운 경우에는 최대한 필지의 중심에서 측정(그림 4)하였다.

실내공기질 측정방법에서는 주간시간대인 오전 8



그림 4. CO<sub>2</sub> 측정지점

시~오후 7시에 실시하는 것을 원칙으로 규정하고 있으며, 김윤덕 [13]은 오전 9시부터 오후 6시까지 측정하였다. 측정기간은 2009년 10월 4일부터 10월 17일까지 14일로 하였으며 14일은 우천으로 인하여 측정하지 아니하였고, 오전 9시부터 오후 6시까지 측정하였다.

풍속·풍량 측정장비는 TSI社의 Model 9535 장비를 사용하였으며, 측정 높이는 이산화탄소 계측 방법과 동일하다. 연구 목적에 따라 측정높이는 다양하며, 10분간 평균 데이터를 수집하여 활용하나 기계적인 오차를 제외하고 연구 데이터의 정확도를 높이기 위하여 10초간 측정 데이터를 1분간 평균 데이터로 환산하도록 설정하였으며 필지별로 30분간 측정하였다. 대기기상청[14]에서 측정된 데이터의 평균풍속은 1.73m/s이며, 본 연구의 측정데이터는 평균 풍속이 0.33m/s으로 1.4m/s 낮게 측정되었다. 이는 기상청 장비의 측정 높이와 지상 풍속의 측정 높이가 10m 이상이며, 기상청 데이터는 연구기간동안의 장기간 평균 데이터이나 본 측정 데이터는 이산화탄소의 실측에 주안점을 두어 단기간 측정된 데이터이므로 두 데이터가 일치되기는 어려우나 본 연구와 동일한 장소와 동일한 방법에 의해서 측정할 경우 향후 비교 데이터로서 의미가 있을 것으로 판단된다.

전체 200필지 중 평균 풍속·풍량보다 높게 측정된 필지는 83개 필지이며 41.5%이다. 평균풍속(0.33m/s)보다 풍속이 높은 지목 중 이산화탄소 배출량이 높은 지목은 대, 과수원, 잡종지이며, 평균풍속보다 높은 지목 중 이산화탄소 배출량이 낮은 지목은 전, 임야, 하천, 유지이다. 바람의 영향을 받지 않았으나 이산화탄소의 배출량이 높은 지목은 전, 담, 대, 도로,

구거가 높게 분석되었다. 실내공기질 측정기준을 풍속 0.3m/s로 규정하고 있는 데 [12, 20] 연구지역 평균풍속이 0.33m/s이므로 조사결과가 풍속으로 인해 큰 영향을 받지 않는 것으로 사료된다.

## 2.4 Choropleth 지도 제작

독자들에게 단위 지구의 통계치를 쉽게 읽을 수 있게 하는 지도는 코로플레스(choropleth) 지도가 효과적인 방법으로 잘 알려져 있다. 특정 지역의 오염 실태를 표현하는데도 코로플레스 지도가 주로 사용되고 있어 이 방식을 이용하여 지도화하였다. 필지별로 조사된 온실가스 분포를 면단위로 변환하여 지도화하기 위하여 먼저 등급(계급수)을 나누어야 하는데, 등급의 수에 따라 온실가스 분포특성이 인간의 시각에 전혀 다른 의미로 인식되기 때문에 활용 목적에 따라 매우 다양하게 설정할 수 있다. 등급의 수가 너무 많으면 자료의 전반적인 분포 형태를 파악하기 어렵고, 등급의 수가 너무 적으면 자료의 분포 상태에 대한 정보를 잃게 되어, 분포 특성을 정확하게 나타낼 수가 없다. 일반 독자의 형태식별 능력은 겨우 8-10 가지로 평가되고, 색채식별 능력은 11 가지로 알려져 있다. 일반인의 형태 식별능력의 한계치라고 하는 10등급으로 나누었을 때 연구지역의 온실가스 분포가 두드러지게 차별화될 수 있어 10등급 방식에 의거 지도화하였다.

등급의 간격을 구분하기 위한 방법은 등간격(equal interval), 표준편차, 평균치, 등차·등비수열 등 다양한 방식이 ArcGIS에서 지원되고 있다. Natural Breaks 방식은 자료들을 순서대로 정렬한 후 그룹 내에서는 통계적으로 최소한의 변화를 가지도록 그룹 간에 breaks를 설정한다. 이 방식이 그룹 내에서 동질성을 최대화하고 그룹 간에는 이질성을 최대화하여 방법으로서 연구지역의 온실가스 분포를 가장 차별화하여 보여주는 것으로 사료되어 이 방식을 택하여 지도를 제작하였다. 일반적으로 많은 색을 사용한 계급보다도 선택한 색을 채도에 따라 계급을 구분하는 것이 독자가 구별하기가 쉽다는 지도학의 원칙 [2]에 의거 단색을 활용하여 지도를 제작하였다.

## 3. 지목별 이산화탄소 비교 평가

IPCC 우수실행 지침 가이드라인에 따르면 토지이

용과 토지이용변화 및 산림 부문의 보고대상 토지이용 유형에 대한 범주는 산림, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 및 기타의 6가지이다. 본 연구지역에 존재하는 지목을 IPCC가이드라인에서 제시하는 토지유형으로 분류하여 온실가스 분포실태를 분석하였다. 묘지가 초지로 분류되는 데에서는 논란의 여지가 있으나 적절한 항목을 가이드라인에서 확인할 수 없어 가장 유사한 항목으로 분류하였다(표 3). 기상청 기후변화감시센터에서 생산된 지구대기감시 보고서[11]는 한반도 지역의 배경농도 자료로서 기후변화 연구에 직·간접적으로 활용될 뿐만 아니라 우리나라 기후변화 협약의 기초자료로 이용된다. 따라서, 데이터 검증은 위하여 기후변화감시센터에서 측정된 데이터를 기준으로 분석하였다.

표 3. 지목별 이산화탄소 분포

(단위 : ppm)

| IPCC 분류 | 지목    | 필지 수 | 최대             | 최소             | 평균 (국가기상 관측결과 395.10와 차이) | 표준 편차         |
|---------|-------|------|----------------|----------------|---------------------------|---------------|
| 정주지     | 대     | 15   | 408.10         | 383.20         | 398.10 (3.00)             | 9.18          |
|         | 도로    | 13   | 402.20         | 382.00         | 393.50 (-1.6)             | 6.25          |
| 토양      | 목장용지  | 2    | 456.70         | 455.90         | 456.30 (61.20)            | 0.40          |
|         | 잡종지   | 1    | 400.10         | 400.10         | 400.10 (5.00)             | 0             |
| 초지      | 묘지    | 1    | 398.90         | 398.90         | 398.90 (3.80)             | 0             |
| 산림      | 임야    | 60   | 385.60         | 381.00         | 383.40 (-11.7)            | 1.00          |
| 농경지     | 전     | 81   | 383.90         | 380.00         | 382.38 (-12.72)           | 1.11          |
|         | 과수원   | 3    | 396.70         | 390.00         | 391.68 (-3.42)            | 3.14          |
| 습지      | 구거    | 21   | 401.00         | 381.90         | 391.45 (-3.65)            | 8.27          |
|         | 유지    | 1    | 383.00         | 383.00         | 383.00 (-12.1)            | 0             |
|         | 하천    | 2    | 382.90         | 382.80         | 382.85 (-12.25)           | 0.16          |
| Total   | Total | 200  | 전체 최대 : 456.70 | 전체 최소 : 380.00 | 전체평균: 386.70              | 전체 표준 편차 9.96 |

2008년 10월 안면도 평균 이산화탄소 배출량 392.80ppm을 기준으로 1999~2008년의 연평균 증가율(2.30ppm/yr)을 적용하여 분석하였다. 395.10ppm을 기준으로 2.3ppm 이상 차이를 나타낸 지목은 목장용지, 잡봉지, 묘지, 대이며, 기준이하의 배출량을 나타낸 지목은 도로, 과수원, 구거, 임야, 유지, 하천, 전이다.

지목별 이산화탄소 배출량을 살펴보면 목장용지 지목에 해당하는 필지가 가장 높게 분석되었고, 전 지목에 해당하는 필지가 가장 낮게 분석되었다. 지목별 평균이 가장 높은 지목은 목장용지 > 잡종지 > 묘지 > 대 > 도로 순이며 가장 낮은 지목은 임야 > 유지 > 하천 > 전 순이다. Choropleth 지도에서도 목장용지(408.11~456.70ppm)가 가장 높았으며, 다음으로는 대지(402.21~408.10ppm)로 분석되었다. 이산화탄소 배출량이 가장 낮은 지목 순으로는 전(380.00~380.79ppm), 임야(380.80~381.70ppm)로 분석되었다(그림 5, 표 4).

표 4. CO<sub>2</sub>(ppm) 측정결과와 Natural Breaks 분류

|    | CO <sub>2</sub> (ppm) | 총 필지 | 개별 필지수               |
|----|-----------------------|------|----------------------|
| 1  | 408.11~456.70         | 2    | 목2                   |
| 2  | 402.21~408.10         | 7    | 대7                   |
| 3  | 394.80~402.20         | 26   | 대4, 도7, 구13, 묘1, 잡1  |
| 4  | 385.61~394.79         | 11   | 과2, 구8, 유1           |
| 5  | 384.21~385.60         | 11   | 임10 도1, 임3           |
| 6  | 383.51~384.20         | 14   | 전6, 임6, 도1, 대1       |
| 7  | 382.61~383.50         | 42   | 전21, 임15, 도3, 천2, 대1 |
| 8  | 381.71~382.60         | 41   | 전20, 임17, 도4         |
| 9  | 380.80~381.70         | 26   | 임12, 전14             |
| 10 | 380.00~380.79         | 20   | 전20                  |
| 計  |                       | 200  |                      |

사례 연구지역에 필지별로 샘플의 수가 두드러진 차이가 있어 샘플이 전체필지를 대표하는 데 한계가 있다. 목장용지의 경우 단 두 개의 필지인데 두드러지게 높은 수치를 보여주고 있다. 전체 필지에서 최대값이 456.70, 최소값이 380.00이어서 필지별로 측정값의 큰 차이가 확인되고 있다. 특히 대지와 도로는 필지수가 비교적 많아(대지: 15, 도로:13), 샘플들이 대지와 도로의 일반적인 온실가스 배출특성을 보여주는 것으로 판단된다. 최대/최소값의 차이가 두드

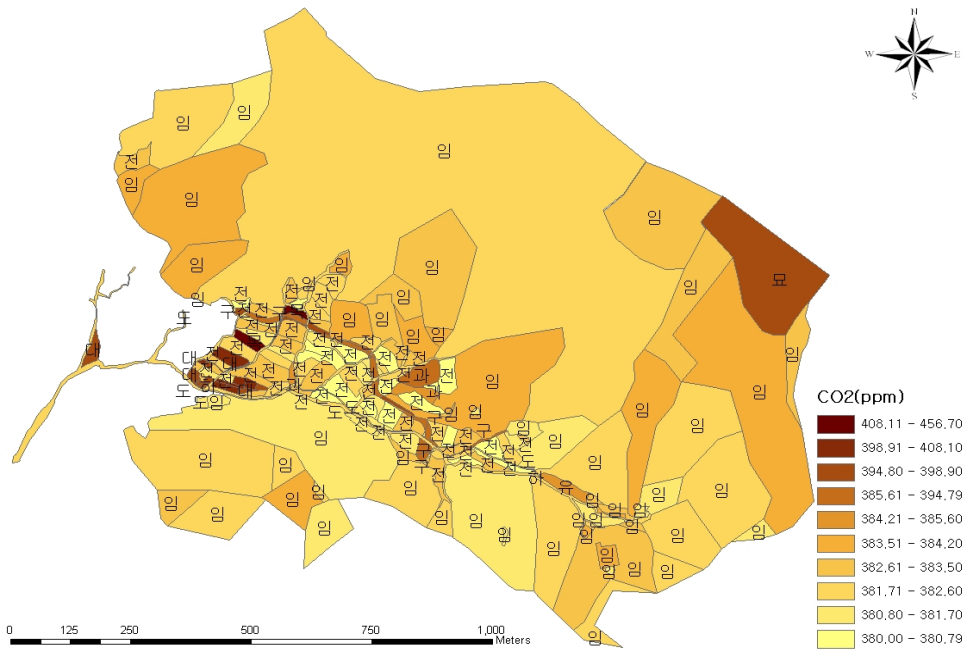


그림 5. 필지별 이산화탄소 배출량에 대한 Choropleth 지도

색조가 진할수록 온실가스 농도가 높은 등급을 나타내고, 옅은색으로 갈수록 농도가 낮은 등급을 의미(지도 내에서 문자는 지목 코드를 의미)

러지고 표준편차가 커서(대지 : 9.18, 도로 : 6.25) 주변여건에 따라 온실가스 농도가 두드러지게 달라지는 것이 확인된다. 흡수원 중 임야와 전은 필지수가 대상 지목을 충분히 대표할 수 있을 정도로 많아(임야 : 60, 전 : 81), 샘플들이 임야와 전의 일반적인 온실가스 배출특성을 보여주는 것으로 판단된다. 임야와 전은 최대/최소값의 차이가 불과 3ppm 정도에 불과하고 표준편차가 아주 적어(임야 : 1.0, 전 : 1.11) 주변 환경이 온실가스 농도에 거의 영향을 미치지 않고 있는 것으로 판단된다. 하지만 표준 편차가 이와 같이 크게 차이가 나지 않는 것은 연구지역의 임야나 전이라는 지목이 온실가스 흡수원으로 역할을 하기에 적절한 차별화된 지역에 입지하고 있어 온실가스 농도에서 등질성을 보이기 때문으로 판단된다.

‘대’ 지목(15필지)의 평균 배출량은 398.10ppm이며 이는 전체필지 평균(386.70ppm)보다 11.40ppm 높게 분석되었다. 200필지의 평균(386.70ppm)보다 높은 필지는 13필지였으며 이들 13개 필지의 배출량 평균은 전체 필지의 배출량(386.70ppm)보다 21.4ppm 높았다. 일반적으로 ‘대’ 지목은 토지이용과정에서 화석연료의 사용이 두드러지는 곳이다. 측정 당시 일

부필지에서 건물, 보일러, 취사시설, 자동차 등 배출원이 확인되었으며 건축자재, 하수도 등이 관찰되었다. 측정지점에서 약 20m 떨어진 도로에서 등산객의 이동이 확인되었다. 이와 같은 주변의 인위적인 토지이용이 상대적으로 다른 지목에 비해 높은 대지목의 온실가스 배출량에 영향을 미친 것으로 판단된다. ‘도로’ 지목(13개 필지)의 평균 배출량은 대지목(398.10ppm)보다 낮은 393.50ppm이며 200필지의 평균(386.70ppm)보다 6.8ppm 높게 분석되었다. 교통량에 따라 배출량이 두드러진 차이가 나타나는데 13개 필지 중 배출량이 가장 높은 필지는 전체 평균보다 15.5ppm 높으며, 가장 낮은 필지는 전체평균보다 -4.70ppm으로 낮은 배출량을 보여주었다. 사례연구지역의 도로는 차량통행이 많은 대로에서 200m이상 떨어져 있어 대부분의 필지가 포장되지 않은 농로로 활용되고 있으며 자동차의 이동이 많지 않았다. 차량의 통행이 많을 경우 본 연구지역의 도로보다 배출량을 훨씬 높을 것으로 사료된다.

‘목장용지’ 2필지의 이산화탄소 배출량을 살펴보면 평균 배출량은 456.30ppm이며 연구지역 전체 200필지의 평균(386.70ppm)보다 배출량이 낮은 필

지는 없었다. 2개의 목장용지 중 배출량이 높은 필지는 200필지의 평균보다 70ppm 높았으며, 가장 낮은 필지의 배출량도 69.2ppm으로 높았고 평균 배출량은 전체적인 평균보다 69.6ppm 높게 분석되었다. 가장 높은 수치로 측정된 목장용지는 많은 소가 좁은 공간에 모여 배설물을 배출하고 호흡하기 때문에 배출량이 높은 것으로 사료된다.

‘잡종지’ 1필지는 이산화탄소 배출량이 400.10ppm이며 전체 평균(386.70ppm)보다 13.40ppm으로 높게 분석되었다. 본 사례연구지역의 잡종지는 공터로 음식물 쓰레기 오물 등으로 인하여 수치가 높은 것으로 판단된다.

‘묘지’ 1필지의 이산화탄소 배출량은 398.90ppm이며 200필지의 평균 배출(386.70ppm)치 보다 12.20ppm 높게 분석되었다. 대부분의 묘지는 임야에 위치하고 있으며 묘지를 조성하기 위해 임목을 벌채하고 주변의 자연을 훼손하게 된다. 연구지역에 위치한 묘지도 벌목으로 인하여 주변이 일부 훼손된 것이 관찰되었다. 현지조사당시 제초작업 등으로 인한 기계사용 여부를 직접 확인할 수는 없었으나 제초작업 과정에서 활용되는 제초기에서 이산화탄소가 배출되었을 것으로 추정된다. 풍속·풍량이 평균적으로 큰 영향을 미치지 않는 않았으나 일부 지역이 평균보다 다소 높았던 점을 미루어 보아 주변에 존재하는 목장용지에서 배출된 이산화탄소가 인근묘지의 배출량에 영향을 미친 것으로 사료된다.

‘임야’ 지목(60필지)의 평균 배출량은 383.40ppm이며 200필지 전체 평균보다 -3.30ppm 낮게 분석되었다. 200필지의 평균(386.70ppm) 보다 배출량이 높은 필지는 없었으며 가장 낮은 측정치를 가진 필지는 200필지의 평균보다 -5.70ppm이 낮은 수치를 보여주었다. 자연계에서 이산화탄소는 식물이 광합성작용을 할 때 사용되고 여름철과 가을철에 활동이 많으므로 낮은 배출량을 나타내게 된다. 임야는 흡수원으로 전체 지목 중 자연성이 가장 높은 자연적인 상태를 대변할 수 있는 지목이기 때문에 그 수치가 타 지목에 비하여 가장 낮을 것으로 예측되었다. 하지만 등산객의 이동 등 주변의 다양한 변수들이 온실가스 배출에 기여하여 전체 평균에 불과 -3.30ppm 낮은 배출량을 기록한 것으로 판단된다. ‘전’ 지목(81필지)의 평균 배출량은 382.38ppm이며 200필지의 평균(386.70ppm)보다 -4.32ppm 낮게 분석되었다. 연구지역에서 가장 낮은 배출량을 기록하였는

데 81개의 필지로부터 산출된 결과이므로 전 지목의 측정결과는 통계적으로 상당히 의미가 있는 결과이다. 주변에 등산객 등 외부의 영향을 줄 수 있는 요인이 크게 없어 배출량이 낮은 것으로 사료된다. 일반적으로 식생의 탄소저장고로는 산림의 역할이 가장 중요하다고 할 수 있는데, 전 지목이 임야보다 낮은 온실가스 농도를 보여주는 것은 연구지역에서는 임야가 자연성이 떨어져 흡수원으로서 기능을 제대로 하지 못하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

‘과수원’ 지목(3개 필지)의 평균 배출량은 391.68ppm이며 200필지의 평균(386.70ppm)보다 4.98ppm 높게 분석되었다. 전체 평균보다 가장 높은 필지의 배출량은 10.00ppm 높았으며, 가장 낮은 필지의 배출량 또한 3.3ppm 높았다. 과수원은 대부분 상품화를 위한 재배가 이루어지므로 퇴비 및 농약 살포 과정에서 배출량이 높아질 수 있는 변수가 있었던 것으로 사료된다. ‘구거’ 지목(21개 필지)의 평균 배출량은 391.45ppm이며 200필지의 평균(386.70ppm)보다 4.75ppm 높게 분석되었다. 본 연구지역의 구거는 흐르지 않고 물이 고인 경우가 많았으며 일부 썩거나 오염된 지역도 확인되었다. 따라서 전체 평균보다 높은 필지가 19개로 확인되었으며 전체 평균보다 가장 높은 필지의 배출량은 14.30ppm 높았다. 물이 흐르는 상태에서 물이 순환이 이루어지던 일부 구거(2개)는 전체 평균보다 -4.80ppm이 낮은 배출량을 보여주었다.

‘유지’ 지목(1필지)의 배출량은 380.00ppm이며 200필지의 평균(386.70ppm)보다 -6.70ppm 낮게 분석되었다. 연구지역의 유지가 물이 고여서 저장된 상태로 오물이 조금 있었으나 펌프를 이용해 물을 순환하고 있어서 배출량이 낮은 것으로 사료된다. ‘하천’ 지목(2필지)의 배출량은 382.85ppm이며 전체 평균(386.70ppm)보다 -3.85ppm으로 낮게 분석되었으며 모든 필지가 200필지의 평균(386.70ppm)보다 낮았다. 하천은 자연의 유수(流水)가 있거나 있을 것으로 예상되는 지목으로 본 측정지점은 물이 정체되지 않는 자연적인 상태로 수질오염원이 확인되지 않아 배출량이 낮은 것으로 사료된다.

#### 4. 결과 고찰 및 논의점

온실가스 조사에 있어 지목 지표는 현 시점에서 미흡한 점이 많으며, 이를 제도로 도입하기 위해서



는 지표를 보다 계량화하고 과학적인 기반 위에서 표준화하여야 한다. 본 연구에서 지목이 온실가스 규제과정에서 활용될 수 있는 가시적인 결과물을 산출할 수 있다는 것을 검증하였다. 이번 장에서는 본 연구에서 제시된 방법을 중앙 부처나 지방자치단체의 관련 실무자들이나 관심을 가진 사용자들이 환경영향평가 과정에서 활용하기 위한 방안을 제시하고자 한다. 아울러 본 실험연구가 연구기간, 연구지역의 수, 비용, 데이터, 장비 등의 관점에서 한계를 가지고 수행하였기 때문에 직면한 문제점을 지적하고 개선이 필요한 부분에 대해 의견을 정리하였다.

#### 4.1. 연구 결과의 검증 및 실무에서의 활용 방안

1) 온실가스 분포 실태 조사는 단위사업 또는 지역적 입장보다는 대상 지역 전체를 대상으로 문제를 파악하고 대책을 수립해야 하기 때문에 지목기반의 온실가스 평가 결과는 온실가스 현황에 대한 객관적인 자료와 문제의 우선순위를 파악할 수 있는 과학적인 도구로 역할을 할 것이다. 지목별 온실가스 평가 결과에 의거 최근 10년 동안에 온실가스 배출이 30% 이상인 지역을 대상으로 향후 흡수원 훼손을 대상지역면적의 10% 이내로 제한한다는 방식으로 흡수원 보전조치를 시행할 수 있을 것이다. 아울러 유역의 특성에 따라 적절한 개발밀도로 유지하기 위한 지표로 사용할 수 있을 것이다. 예를 들면, 상수원 유역과 같이 민감한 유역은 대지, 도로 등 온실가스 배출원 비율을 10%이하로 제한하는 방안 등이다. 또한 흡수원을 직접 훼손하는 개발사업으로 도로 등이 아예 건설되지 않도록 하는 등의 지표로 활용이 가능하다. 또 도시지역이라 하더라도 지역별 도로비율이 최대한 20%를 넘지 않도록 하고 20%를 상회할 경우 도로 주변에 녹지조성 등 흡수원의 설치를 권장하거나 의무화하도록 하는 방안 등을 고려할 수 있다.

2) 배출원이나 흡수원의 밀도는 불변의 값이 아니라 계속 변화하는 바, 대상지역의 환경영향에 대한 지표로서 지목의 역할을 알아내기 위해서는 가장 최근의 데이터로부터 지목별 탄소배출실태를 추정하는 것이 바람직하다. 한 예로 신규 도시개발 사업의 필요성을 판단할 때 최근 몇 년 간의 지목의 변화양상은 중요한 근거자료가 될 수 있을 것이다. 시가지 개발, 신도시건설, 시역 확장이 급격히 일어날 경우 단시간 내에 지목분포가 변화하게 되므로 안정적인

도시와 서로 비교하면 지목의 변화양상이 전혀 다르게 나타날 것이다[23]. 단일 시점에서 대상 지역별 지목의 상대적인 비교보다는 적절한 기간을 설정하여 지목의 변화 추세를 근거로 활용하는 것이 타당할 것이다.

3) 기후변화에 대한 환경영향을 평가하는 과정에서 여러 후보 지역을 비교하여야 할 경우 과거에는 실무자의 경험과 감각적인 판단에 의존하여 업무를 수행하여 온 것이 사실이었다. 지형도를 이용하여 기후영향평가의 항목 및 평가의 범위(공간적, 시간적 대안의 범위)를 상당히 주관적으로 판단하고 대상지역을 선정하는 것이 일반적인 관행이다[16]. 기존의 개발사업 대상지역 선정과정은 기초 조사결과와 지도의 검색은 지도나 통계를 육안으로 일일이 확인하고 각종 속성자료를 도면에 옮기는 등 모든 작업을 수작업에 의존하였다. 따라서 검색하는데 시간이 많이 소요되고 정확도도 많이 떨어질 수 밖에 없었다. 다양한 지역 범위에서 지목별의 온실가스 평가 데이터는 개발사업의 입지를 결정하는 과정에서 가시적이고 객관적이며 정량화된 근거로 사용될 수 있다. 본 연구에서 제안된 방식에 의거하여 GIS 데이터베이스가 구축되면 각종 개발 사업이 온실가스 배출에 미치는 영향을 단시간내에 평가하여 규제총량을 초과할 경우 사업의 동의 여부, 사업규모 축소, 대체 흡수원 조성 등 검토의견을 제시할 수 있을 것이다. 도시지역의 경우 이미 배출원 비율이 대상지역의 수용능력을 초과할 경우 신규배출원의 추가보다는 기존 지목을 유지하면서 효율적으로 활용하는 방안을 강구하라고 의견을 제시하고 배출원 비율이 낮은 지역으로 입지를 변경할 수 있을 것이다.

#### 4.2. 연구의 한계

1) 본 연구는 학술연구라는 자체적인 한계 때문에 단기간에 수행된 단 1개의 사례지역에 걸친 국한된 결과이며 연구지역을 대구광역시 동구 봉무동 일대로 200필지로 국한하였기 때문에 조사지역의 한계가 명확하여 비교적 이상적인 조건하에서 수행된 결과이다. 지목 평가에서 28개 지목 중 11개 지목을 평가하였으며, 지목에 따른 필지수의 차가 크고 필지별 면적이 달라 샘플의 등질성에서 한계를 가지고 있다. 동일한 “대” 지목이라 하더라도 구체적으로는 단독주택, 연립주택, 다세대주택, 빌라, 아파트, 주상복합, 상업·업무용, 나대지 등으로 다양하게 이용되

고 있어 지목용도별 배출특성을 다양하게 분석할 필요성이 제기된다.

2) 본 연구에서는 이산화탄소 배출량 측정시 풍속·풍량 만을 고려하여 측정하였으며, 면적 및 인구 밀도, 흡연 등 외부의 요인들을 고려하지 못하였으며 지목별로 장시간 측정하지 못하였고 여러 지점을 선정하여 측정하지 못하였다. 흡수원의 조사에서 인간의 간접 정도, 식물군락의 종조성 및 보전상태, 식생의 생육상태, 현존량 및 생산량 등 정량화하기 어려운 인자들은 배제하였다. 녹지를 수종 및 군락단위로 구분하거나 수관밀도, 식물의 연령 등 세부적인 대상을 고려하기보다 지목별 온실가스 조사 제도를 도입하는 데 있어 시급하게 필요한 정보를 대상으로 동일한 기준으로 일관된 작업과정을 적용하여 단순화할 수 있는 공간객체를 분류의 기준으로 설정하였다. 본 연구에서는 지목별 온실가스 조사과정에서 검토되어야 할 핵심개념들을 연구자가 자의적으로 선정하고 평가하였기 때문에 타당성에 한계가 있었다.

3) 규제대상 단위 지역의 경계를 설정하는 것은 중요한 문제이다. 과거의 데이터 및 시간별 계절별 데이터를 확보하지 못하여 동일 지역의 연간 증가추세 등을 확인 할 수 없었으며, 타 지역과의 비교분석이 이루어지지 않았다. 아직까지 이러한 권역간의 지목별 온실가스 배출농도의 상호 메카니즘에 대한 연구가 확인되지 않는 바, 지목의 총량 관리에 있어서도 소유역을 통합하여 대구역 관리로 전환할 수 있는 방법, 지금까지의 행정구역 중심의 관리에서 구역단위 관리로의 전환 방법, 구역관리 체계의 선정방법 [17] 등에 관한 구체적인 방안에 대해 심도있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4) 지목의 밀도를 온실가스 영향평가의 기초자료로 활용하는 과정에서 국토 전체에 대해 동일한 기준으로 적용하는 것은 문제가 있다. 도시의 규모, 자연환경 등 다양한 지역이나 장소마다 그 특성이 매우 다르므로 한두 가지의 연구나 모형으로 지목에 의거한 토지이용 규제 기준을 확정할 수 없고 향후에 보다 많은 지역의 서로 다른 지목의 분포 특성들에 대해 연구가 진행되어야 한다. 특히 본 연구에서 가장 높은 이산화탄소 배출농도를 보인 목장용지의 경우 지목별 온실가스 분포조사의 관점에서 대표사례가 될 수 있는 지역들을 분석하여 분석 방법론의 타당성을 검증하는 절차가 필요하다. 도시의 규모,

자연환경 등 다양한 지역이나 장소마다 지목별의 특성이 매우 다르므로 특정 사례지역에 대한 분석으로 온실가스 평가 기준을 확정할 수 없고 향후에 보다 많은 지역의 서로 다른 온실가스 분포 특성들에 대해 연구가 진행되어야 한다. 부도심에 위치한 지역과 시가지를 통과하는 지역 등 대상 지역별로 지목 밀도에 대해서 환경영향에 대해 상대적인 비교평가가 이루어져야 한다.

## 5. 결론

본 연구는 기존의 연구가 지목에 의거하여 온실가스를 조사하려는 아이디어 자체도 제시하지 못한 점을 고려하여 지목별 온실가스 평가의 필요성을 제안하는 연구이다. 본 연구를 통해 도로, 대지, 수공간 등 다양한 토지 모자이크에서 나타나는 광역 온실가스 분포의 실태를 확인할 수 있었다. 본 연구는 기후변화 영역에서 다루지 않았던 지목별 온실가스 조사 방안을 제시하여 토지이용에 의거한 환경관리에서 새로운 방향성을 제시하였다는 데 가장 큰 의의가 있다. 본 연구는 기존의 온실가스 조사방법론에 의거 지목에 주안점을 두고 온실가스 평가가 가능하도록 보편적인 평가 틀과 모형을 제시하였다. 결국 이 연구는 지목에 의거한 온실가스 평가가 거의 이루어지지 않은 상황에서 기존의 평가기준에 의거하여 지목기반의 평가를 시도했다는 점에서 의의가 있다.

인간의 활동이 많거나 자연적인 상태에서 인위적인 상태로 변경되어진 경우 배출량이 높았으며 임목 및 과수 등의 자연적인 상태를 유지하는 경우라 할 지라도 행인의 왕래가 잦거나 경작을 할 경우 그 수치가 높아졌음을 확인할 수 있었다. 지목별 이산화탄소 배출량을 살펴보면 목장용지 지목에 해당하는 필지가 가장 높게 분석되었고, 전 지목에 해당하는 필지가 가장 낮게 분석되었다. 지목별 평균이 가장 높은 지목은 목장용지 > 잡종지 > 묘지 > 대 > 도로 순이며 가장 낮은 지목은 임야 > 유지 > 하천 > 전 순이다. 특히 목장용지, 대, 도로 등 비자연적인 지목에서 높은 수치를 보여주었다. 반면, 임야 등 흡수원으로 특성을 지닌 지목은 전체적으로 배출원에 비해 낮은 수치를 보여주어 각종 개발사업의 계획단계부터 배출원과 흡수원을 지정하고 관리함에 있어 온실가스 배출을 최소화하기 위한 지표로서 지목의 가능성을 보여주었다.

이와 같은 지목에 의거한 평가가 기존의 현지조사나 에너지 사용관련 다양한 부문별 평가에서 축적된 선행연구와 접목됨으로서 그간 온실가스 조사의 객관성, 과학성에 대해 누차에 걸쳐 제기된 문제에 대해 향후의 연구에 중요한 시사점을 제공할 것이다. 온실가스 평가는 변수에 따라 너무 많은 차이를 보이기 때문에 지목에 기반을 둔 평가방식은 결과의 객관성을 담보할 수 있다는 점에서 효과적인 모델로 자리 잡을 수 있을 것으로 기대된다. 산업부문별 온실가스 배출 통계를 주장하는 이론이나 도로, 산림 등 개별 토지이용에 의거한 연구자들은 본 연구에서 제시된 결과에 대해 다양한 토지이용에서 온실가스 분포 현상을 단순한 지목에 의거 몇 가지의 예로 모두 표현하고 명확한 등급을 매기기란 불가능하다고 반박할 수 있을 것이다. 하지만 그간 산업부문별 조사에서 지나치게 다양한 변수를 고려하는 과정에서 온실가스 조사 자료의 주관성 때문에 많은 시행착오를 겪었다. 전 국토에서 상당한 면적의 온실가스 흡수원이 이미 훼손되었음을 감안한다면 현상을 단순화하고 등급화하는 과정에서 다소 무리가 따르더라도 지목기반의 명확하고 구체적인 기준을 정하여 남아있는 흡수원이라도 확실하게 보전하려는 발상의 전환이 필요할 때라고 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] A. Afshari and C. Reinhold, 2008, Deposition of fine and ultrafine particles on indoor surface materials, *Journal of Indoor Built Environment*, 17(3): 247-251.
- [2] B. D. Dent, 1993, *Cartography: Thematic Map Design*(3), Addison Wesley.
- [3] IPCC, 2006, *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 2006.
- [4] H. R. Linden, 1998, Are the IPCC Carbon Emission and Carbon Dioxide Stabilization Scenarios Realistic? *Energy and Environment*, 9(6): 647-658.
- [5] S. K. Pandey and K. H. Kim, 2007, The Relative Performance of NDIR based Sensors in the Near Real time Analysis of CO<sub>2</sub> in Air, *Journal of Sensors*,(7): 1683-1696.
- [6] B. Tutmez, Trend Analysis for the Projection of Energy Related Carbon Dioxide Emissions, *Energy Exploration and Exploitation* 24(1-2): 200, 139-149.
- [7] M. Utamura, 2005, Analytical model of carbon dioxide emission with energy payback effect. *Energy and Environment*, 30(11-12): 2073-2088.
- [8] WDCGG(World Data Centre for Greenhouse Gases), 1999, WMO WDCGG data catalogue GAW data, 208pp.
- [9] 강동환, 김성수, 권병혁, 김일규, 2008, 고흥만 인공습지의 토양유기탄소와 이산화탄소 변동 관측, *수산해양교육연구*, 제20권 제2호, pp. 58-67.
- [10] 고종현, 2009, 대전지하철역사 실내공기질 관리에 관한 연구, *한밭대학교 석사논문*.
- [11] 기상청, 2008, *지구대기감시 보고서*.
- [12] 김용성, 이진원, 류권걸, 민윤희, 김덕희, 홍성호, 2008, 생활영역별 실내환경 공기질 조사연구, *충청북도보건환경연구원보*, 제17권, pp. 45-84.
- [13] 김윤덕, 2006, 다중이용시설의 실내공기질 환경 실태에 관한 측정 연구, *대한건축학회논문집*, 제22권 제11호, pp. 289-296.
- [14] 대구기상청, 2009, <http://www.kma.go.kr>, 2009. 10.
- [15] 오동훈, 2008, 지구온난화 방지 대책으로의 도시 확산규제 정책효과 분석, *한양대학교 석사논문*.
- [16] 우제윤, 구지희, 김태훈, 홍창희, 2003, 친환경 건설을 위한 GIS 기반의 환경영향평가시스템 개발, *한국공간정보시스템학회 논문지*, 제5권 제2호, pp. 33-53.
- [17] 우제윤, 이철용, 김계현, 2008, 한강과 경기만 지역 GIS 기반 통합수질모의 시스템 개발, *한국공간정보시스템학회 논문지*, 제10권 제4호, pp. 77-88.
- [18] 유재일, 권효정, 이동호, 김준, 2008, 여름철 광릉 활엽수림의 기온, 수증기 및 이산화탄소 농도의 연직 분포 특성, *한국기상학회 봄 학술대회논문집*.
- [19] 이동근, 박찬, 2009, 토지이용변화에 따른 식생 및 토양의 이산화탄소 저감잠재량분석, *한국환경복원녹화기술학회*, 제12권 제2호, pp. 95-105.
- [20] 장성기, 2004, 실내공기질 공정시험방법, *화학물질정보*, pp. 20-33.
- [21] 전의찬, 김정식, 1997, 이산화탄소 농도에 대한 기타 온실기체 및 기상요소의 영향분석, *한국대기환경학회 학술대회논문집: 한국대기환경학회*.

- [22] 최재천, 2003, 한반도 온실가스 배경농도의 특성 및 배경농도 변화에 미치는 요인 해석, 강원대학교 박사논문.
- [23] 홍성언, 이동헌, 박수홍, 2004, 고해상도 위성영상과 수치지형도를 이용한 지목 불부합의 정도 측정, 한국GIS학회지, 제12권 제1호, pp. 43-56.
- [24] 환경부, 2008, 대기오염측정망 설치운영지침.

---

논문접수 : 2011.02.28  
수정일 : 1차 2011.04.06 / 2차 2011.06.07  
심사완료 : 2011.06.09



김 대 호

2008년 상주대학교 토목공학과 학사  
2010년 경북대학교 지역정보학과 이학석사  
2010년~현재 경북대학교 공간정보학과 박사 과정

관심분야는 GIS, 지적, 측량



엄 정 섭

1985년 전남대학교 문학사  
1992년 아시아 과학기술원(Asian Institute of Technology: AIT), 이학석사  
1998년 영국 애버딘 대학교, 이학박사  
1987년~1999년 환경부

1999년~현재 경북대학교 교수

관심분야는 GIS, 원격탐사, 환경영향평가