

# 국가 온실가스 인벤토리 LULUCF 부문 통계 구축방안에 관한 연구

## A Study on Construction Plan of the Statistics for National Green House Gas Inventories(LULUCF Sector)

유선철\* · 안종욱\*\* · 옥진아\*\*\*

Seon Cheol Yu · Wook Ahn · Jin A Ok

**요약** 본 연구는 IPCC의 2003 우수실행지침에 따른 국제기준의 온실가스 인벤토리 LULUCF 부문의 통계 구축방안 제시를 목적으로 진행되었다. 우리나라의 온실가스 인벤토리 LULUCF 부문 통계는 현재 전용된 정보를 구축하지 못하고 있는 문제점이 있는 것으로 분석되었으며, 선행연구들도 각 카테고리 내에서의 정보구축에 한정하고 있었다. 이에 경기도를 사례로 위성영상, KLIS, UPIS 등의 각종 정보를 활용하여 LULUCF 부문의 변화정보를 분석하였다. 그 결과 LULUCF 항목별 분류체계 마련, 위성영상을 활용한 통계 정확도 향상, 구축방법에 대한 추가적 연구가 필요하다는 시사점을 도출하였다. 이러한 이론적 배경 및 선행연구, 사례분석을 통해 향후 국가 온실가스 인벤토리 LULUCF 부문의 체계적 통계구축을 위해 과거 20년간의 전용정보의 체계적 구축, 위성영상과 각종 토지정보체계를 활용한 토지이용 변화 매트릭스 구축방안을 제시하였다. 이러한 연구결과를 참조로 온실가스 통계 구축을 위한 다양한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

**키워드** : 온실가스 인벤토리, LULUCF, 통계구축

**Abstract** This Study aimed to construction the plan of the statistics for national greenhouse gas inventories of international standards. Currently, the statistics of the greenhouse gas inventories of South Korea, has a problem that is not able to build the changed information. In previous studies, it has been limited to the construction of the information within each category. In order to solve these problems, targeting Gyeonggi province, we analyzed the land use change by utilizing the various information such as satellite images, KLIS, UPIS. As a result, we suggested the following implementation, classification system of LULUCF category, improvement of accuracy by utilizing satellite images of high resolution, additional research for methodology. Based on these contents, we suggested the construction plan of the statistics for national greenhouse gas inventories(LULUCF sector). Frist, it is necessary to construct of land use change informations for the past 20 years, Then, it need to create the matrix of land use change by utilizing satellite images and various land information systems.

**Keywords** : Green House Gas Inventories, LULUCF, Construction Plan

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

2010년 기준 우리나라의 온실가스 총 배출량은 699 백만 톤CO<sub>2</sub>e<sub>q</sub>로 세계6위에 해당하는 온실가스 다배출 국가이다[2]. OECD 국가 순위로는 미국, 일본, 독일에 이어 4위이며, 1인당 배출량은 7위를 차지하였다. 그동안 우리나라는 온실가스 배출량의 감축을 위한 다양한 정책을 마련하여 시행해 왔다. 2011년 개발

도상국 대상 권고안(BAU<sup>1)</sup> 대비 15~30% 감축)에서 감축목표를 최고수준으로 설정하여 2020년까지 BAU 대비 30% 감축을 자발적으로 설정하였다. 이에 국가 온실가스 감축목표를 달성하기 위한 체계적인 감축 전략이 필요하다. 정부는 2010년 저탄소 녹색성장 기본법 시행령 및 국가 온실가스 총괄관리 규정[3]을 마련하여 국가 온실가스 인벤토리 5개 부문(에너지, 산업, 농축산, LULUCF<sup>2)</sup>, 폐기물)에 대한 통계를 체계적으로 구축하도록 하고 있다. 하지만 2015년 현재까지 우리나라는 IPCC<sup>3)</sup> 지침(GPG2003<sup>4)</sup>)에 따른 LULUCF

\* Seon Cheol Yu, Research Professor, Smart Urban Space Institute, Anyang University. katarsis717@gmail.com (Primary author)

\*\* Jong Wook Ahn, Professor, Urban Information Engineering, Anyang University. ajw0603@anyang.ac.kr (Corresponding Author)

\*\*\* Jin A Ok, Research Fellow, Dept. Urban Planning & Housing Policy, Gyeonggi Research Institute. oja6473@gri.re.kr

인벤토리 구축은 미흡한 상황이다. LULUCF 카테고리 중 정주지, 기타토지에 대한 통계구축이 이루어지지 못하고 있어 IPCC 지침에 의거한 국제기준을 반영하여 체계적인 LULUCF 인벤토리 구축이 필요하다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 IPCC GPG2003에 의거한 국제기준을 반영한 LULUCF 인벤토리의 체계적 구축방안을 제시하고자 한다.

## 1.2 연구방법

국가 온실가스 인벤토리 LULUCF 부문의 통계구축 방안 제시를 위해 크게 이론적 배경 및 선행연구 검토, LULUCF(토지이용 변화) 사례분석, 통계구축 방안으로 구분하여 연구를 진행하였다. 이론적 배경 및 선행연구 검토에서는 인터넷 및 문헌조사를 통해 국가 온실가스 인벤토리 구축체계 및 통계구축 현황을 검토하고, 관련된 선행연구 검토를 통해 본 연구의 차별성을 제시하였다. LULUCF(토지이용 변화) 사례분석에서는 위성영상 자료와 KLIS<sup>5)</sup>, UPIS<sup>6)</sup> 등의 자료를 활용하여 1차적으로 경기도를 대상으로 토지이용변화를 분석하고, 토지이용 변화가 많은 용인시와 화성시를 대상으로 과거 10년간의 토지이용변화를 분석하고 시사점을 도출하였다. 마지막으로 이론적 배경 및 선행연구, 사례분석 내용을 기반으로 향후 국가 온실가스 인벤토리 LULUCF 부문의 통계구축을 위한 기본방향과 공간정보 추출방법, 토지이용 변화 통계 구축방안을 제시하였다.

## 2. 이론적 배경 및 선행연구 검토

### 2.1 국가 온실가스 인벤토리 체계

#### 2.1.1 구축배경 및 체계

IPCC는 1988년 11월 유엔 산하 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 기후변화와 관련된 전 지구적 환경문제에 대처하기 위해 각각 3천여 명의 환경관련 전문가로 구성된 정부 간 기후변화협약의체이다.

- 1) BAU(Business As Usual): 온실가스배출 전망치.
- 2) LULUCF(Land Use, Land Use Change and Forestry): 토지 이용, 토지이용변화 및 산림.
- 3) IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change): 범정부간 기후변화 협의체.
- 4) GPG(Good Practice Guide-Line): 우수실행지침.
- 5) KLIS(Korea Land Information System): 한국토지정보 시스템.
- 6) UPIS(Urban Planning Information System): 도시계획정보 시스템.

IPCC는 국제적 온실가스 배출량의 추정기준을 정립한 가이드라인을 제시하였으며, 미국, 일본, 호주, 유럽 등의 국가에서 온실가스 배출량을 산정하는데 IPCC 가이드라인을 사용하고 있다. IPCC에서는 1996 가이드라인, 2003 우수실행지침, 2006 가이드라인 등을 개발하여 이에 준하는 온실가스 배출량을 산정하도록 하고 있다(Table 1 참조).

GPG2003에서는 에너지, 산업공정 및 제품사용, 농업·산림 및 기타토지이용, 폐기물로 구분하여 이에 따른 국가보고서(NIR: National Inventory Report)를 제출하도록 하고 있다. 우리나라는 기후변화협약 체결 당시 비부속서I 당사국으로 인정받아, 제1차 공약기간(2008~2012) 동안 온실가스 감축의무를 지지 않게 되었다. 하지만 OECD 가입 시 선진국 수준의 통계제출을 약속한 바 있으며, 교토의정서 의무 부담 대응을 위해서도 IPCC 지침에 따른 국가 온실가스 통계를 작성할 필요가 있다. 국가 온실가스 인벤토리는 2006 IPCC 가이드라인을 기반으로 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침에서 에너지, 산업공정, LULUCF, 농업, 폐기물 5가지 카테고리로 구분하여 국가 온실가스 종합정보센터(GIR)에서 관리하도록 하고 있다. 각 부문별 관장기관과 산정기관을 설정하여 체계적인 온실가스 인벤토리 구축이 이루어지도록 하고 있다.

#### 2.1.2 LULUCF 부문 인벤토리 구축현황

2006 IPCC 지침에서는 LULUCF 부문 카테고리를 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지로 구분하고 있다. 이러한 카테고리별 항목 구분과 함께 기존의 항목으로 유지되는 면적과 타 항목에서 변화되는 면적을 산출하도록 하고 있다(Table 2 참조).

이러한 LULUCF 카테고리별 통계 구축현황을 살펴보면 산림지, 농경지, 초지, 습지는 기존에 유지되는 있는 면적은 산정되고 있으나 타 토지 항목에서의 전용된 정보들은 산정되지 못하고 있으며(NE: Not Estimated), 정주지와 기타토지는 기존 유지되고 있는 정보자체도 산정되지 못하고 있다. IPCC에서는 과거 20년간의 각 카테고리별 토지이용변화를 추적하여 제시하도록 하고 있어 국가 온실가스 인벤토리 중 LULUCF 부문의 통계를 인정받기 위해서는 과거 20년간 전용된 정보를 체계적으로 구축할 필요가 있다. 농림축산식품부를 관장기관으로 각 카테고리별 산정기관을 지정하여 통계를 구축하도록 하고 있으나 2015년 현재까지 전용된 정보를 구축하지 못하고 있다. 산림지, 농경지, 초지, 습지 등의 하위카테고리별 통계품질 개선을 위한 계수개발 등은 활발히 진행되어 각 카테고리

Table 1. Comparison of Changes in IPCC Guideline

| Division                      | 1996 GL[5]   | GPG2000[6], GPG2003[7]   | 2006 GL[8]  |
|-------------------------------|--|--|---|
| Content                       | - LUCF<br>- Agriculture  | - LULUCF(GPG2003)<br>- Agriculture(GPG2000)  | - AFOLU   |
| Major Changes                 |  | - Including all land use and land use change<br>· Forest, Cropland, grassland, Wetland, Settlement, Other land<br>- Including all carbon pool<br>· Biomass, Litter layer, Dead tree, Soil<br>- Improvement of methodology, coefficient | - Integration of land-related activities<br>· Agriculture, Forest, Other land use |
| Application of the Convention | - Developing country(obligatory use)<br>- GHG statistics by UNFCCC | - Advanced country(obligatory use)<br>· GHG statistics by UNFCCC<br>- Developing country(Recommended use)  | - Developing and Advanced country (Voluntary use)                                 |

Table 2. LULUCF Category Division of IPCC

| LULUCF Category | Division                |
|-----------------|-------------------------|
| Forest          | Remaining forest        |
|                 | Converted to forest     |
| Cropland        | Remaining cropland      |
|                 | Converted to cropland   |
| Grassland       | Remaining grassland     |
|                 | Converted to grassland  |
| Wetland         | Remaining wetland       |
|                 | Converted to wetland    |
| Settlement      | Remaining settlement    |
|                 | Converted to settlement |
| Other land      | Remaining other land    |
|                 | Converted to other land |

리별로 유지되는 정보는 체계적으로 구축되고 있다. 하지만 각 카테고리별 전용된 정보의 구축이 이루어지지 못하고 있으며, 과거 전용정보의 매트릭스를 구축하지 못하고 있는 문제점이 발생하고 있다.

## 2.2 선행연구 검토

LULUCF 부문의 온실가스 배출량 산정과 관련된 국내연구는 활발하게 진행되지 못하고 있는 실정이다. 선행연구를 살펴보면 Im et al.[4]의 연구에서는 IPCC GPG2003의 국내 적용방안에 대해 임업부문에 한정하여 통계구축방안을 제시하였다. 하지만 타 카테고리와 전용정보 구축을 위한 구체적 방안이 제시하지 못하였다는 한계가 있었다. Statistics Korea[12]의 연구에서는 LULUCF와 폐기물 부문에 대해 통계

품질 개선을 위한 방안 제시가 이루어졌지만 실제 구축을 위한 사례분석이 이루어지지 못한 한계를 가지고 있었다. Bae et al.[1]의 연구에서는 농업부문에서의 온실가스 산정을 위한 방법론을 제시하고 있으나 타 카테고리에서의 전용된 정보를 구축할 수 있는 방안이 고려되지 못하였다는 한계를 가지고 있다.

따라서 본 연구는 LULUCF 부문 인벤토리 구축을 위한 이론적 배경 검토와 사례지역에 대한 토지이용 변화 매트릭스를 분석함으로써 향후 체계적인 통계구축 방안을 제시한다는 점에서 선행연구와의 차별성을 갖는다.

## 3. LULUCF(토지이용 변화) 사례분석

### 3.1 분석의 틀

LULUCF 부문의 토지이용 변화 분석을 위한 기본 자료로 위성영상 자료와 지목별 한국토지정보시스템(KLIS) 자료, 지자체에서 관리하고 있는 현황정보를 바탕으로 분석을 실시하였다. 분석은 크게 두 가지로 첫 번째는 토지이용에 대한 전반적인 변화분석은 80년대부터 취득이 가능한 LANDSAT TM 영상자료를 활용하여 시계열적인 토지이용 변화를 분석하였다. 두 번째는 토지이용 전환 분석으로 타 토지에서 변환된 면적에 대해 분석하였다. 사례지역 선정에 대해 자료의 구축여부를 반영하여 경기도를 대상으로 토지이용변화를 분석하였으며, 1987년, 1999년, 2009년에 해당하는 경기도 지역의 토지이용변화를 LANDSAT 위성영상과 토지피복분류도(대분류)를 기반으로 KLIS와 UPIS 등의 기타참고 자료를 활용하여 분석하였다. 토지이용변화 분석결과를 바탕으로 변화량이 큰 지역

Table 3. Case Study

| References              |  | Main contents  | Limitation  |
|-------------------------|--|--|---|
| Im et al. (2004)        | A Study on the Writing Method for Korea National Report of 3rd UNFCC           | Analysis of applicability for GHG statistics of forestry sector  | Limited to the forestry sector, Not possible to confirm the land use changes    |
| Statistics Korea (2012) | A Study on the Quality Improvements of National Greenhouse Gas Inventories     | Suggested the quality improvements of national GHG inventories in the LULUCF, waste sector                               | Lack of case studies for estimation of GHG                                      |
| Bae et al. (2013)       | Estimation of Uncertainty on Greenhouse Gas Emission in the Agriculture Sector | Study on the methodology for estimation in the agriculture sector  | Limited to the agriculture sector, Not possible to confirm the land use changes |
| This study              |  | Review the theoretical background and case studies, and suggest the construction plan of GHG statistics by case analysis |   |

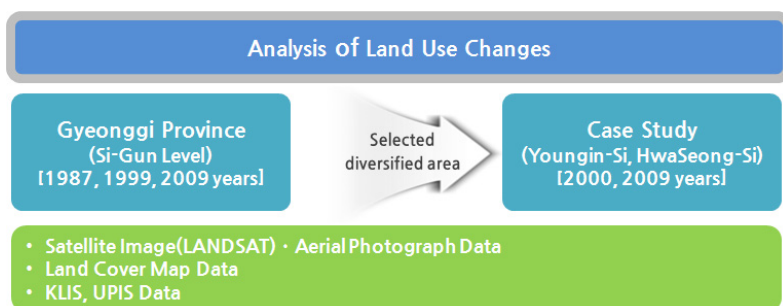


Figure 1. Analysis of Land Use Changes

으로 도출된 용인시와 화성시를 대상으로 과거 10년간(2000년~2009년)의 LULUCF 인벤토리 변화내용을 추가 분석하였다.

다양한 토지이용 카테고리들 나타내는 범례들은 탄소 축적량과 농업, 임업, 다른 토지이용활동과 연관된 온실가스 배출량과 흡수량을 산정하기 위해 필요하다. 개별적인 토지이용 카테고리의 국가 내 총면적을 산출하는 것으로 토지이용 사이의 전환의 속성에 대한 자세한 정보는 제공하지 않고 있으며 토지이용 카테고리들 사이의 전환에 대한 방법, 토지이용 카테고리들 사이 전환에 대한 공간 속성정보가 필요하다.

이에 본 연구에서는 토지이용전환 분석을 위한 기본 자료로 환경부 토지피복자료와 국토교통부 KLIS 지역지구 자료, 고해상도 위성영상과 항공사진 등을 활용하여 IPCC 토지이용항목 기준에 맞춰 재분류하였다. 토지이용전환분석을 위한 분류 항목은 중분류 토지피복 항목의 21개 항목을 IPCC 토지이용 항목에 맞게 재분류하고, KLIS 용도지역지구와 공원 및 시설 녹지, 개발사업 등은 지자체 내부 자료를 활용하여 조성여부로 현황 데이터를 수정·보완하였다. IPCC 토

지이용구분에서 농경지, 산림지는 기존 대분류 토지 피복분류 체계상의 산림, 농지로 대체하였으며, 초지는 자연초지와 인공초지를 구분하여 관목류, 초분류의 식생이 자생하는 지역, 자연적으로 발생한 초지, 하천주변 초지 중 제방외부의 자연초지 등은 초지로 구분하였다. 습지는 토지피복분류상의 내륙습지, 연안습지 및 내륙수 및 해양수를 습지로 분류하였고, 해변, 강기슭의 모래상, 암벽 및 바위 등의 자연적 나지와 공사장, 학교운동장 등의 식생피복이 없는 인공적 나지는 기타항목으로 분류하였다. 정주지 부분은 토지피복상의 분류체계로 분류하기 어려운 부분으로 항공사진과 KLIS 용도지역지구, 공원시설현황자료를 활용하여 토지피복분류상 산림, 초지 또는 타 토지이용으로 구분이 되어 있는 부분을 수정하여 정주지 항목으로 재분류하였다.

### 3.2 토지이용 변화 분석

경기도 지역에 대한 시군별 토지이용변화 분석결과 화성시, 용인시의 경우는 1994년 이후부터 준농림지 개발이 허용되면서 농경지 면적이 감소하고, 정주지

Table 4. Land Use Changes of Gyeonggi Province(1987 to 2009)

(unit : km<sup>2</sup>)

| Division       | Settlement | Forest | Grassland | Cropland | Wetland | Other Land |
|----------------|------------|--------|-----------|----------|---------|------------|
| Gapyeong-gun   | 15.88      | -32.58 | 30.38     | -16.31   | -0.35   | 2.98       |
| Goyang-si      | 58.05      | -11.87 | 14.27     | -63.93   | -0.30   | 3.78       |
| Gwacheon-si    | 3.82       | 0.05   | 0.98      | -5.07    | 0.01    | 0.20       |
| Gwangmyeong-si | 4.01       | -2.71  | 4.99      | -6.21    | -0.13   | 0.05       |
| Gwangju-si     | 39.73      | -42.60 | 16.42     | -14.98   | -0.04   | 1.47       |
| Guri-si        | 7.54       | -3.17  | 0.57      | -8.32    | 0.48    | 2.90       |
| Gunpo-si       | 7.51       | -3.04  | -0.32     | -4.16    | 0.12    | -0.11      |
| Gimpo-si       | 34.14      | -11.03 | 18.85     | -41.90   | -2.86   | 2.80       |
| Namyangju-si   | 52.53      | -53.18 | 12.53     | -21.47   | 0.61    | 8.99       |
| Dongducheon-si | 8.93       | -4.95  | 2.94      | -7.65    | -0.27   | 0.99       |
| Bucheon-si     | 6.81       | -1.10  | 6.36      | -12.04   | -0.10   | 0.06       |
| Seonnam-si     | 33.75      | -15.50 | 0.61      | -20.00   | 0.41    | 0.73       |
| Suwon-si       | 33.80      | -7.24  | 0.80      | -23.09   | 0.17    | -4.45      |
| Siheung-si     | 38.49      | -11.45 | 9.49      | -10.96   | -27.11  | 1.54       |
| Ansan-si       | 40.36      | -8.83  | 4.90      | -13.45   | -8.70   | -14.28     |
| Anseong-si     | 37.72      | -36.42 | 39.06     | -44.07   | 1.66    | 2.06       |
| Anyang-si      | 9.97       | -2.11  | 1.12      | -8.25    | -0.14   | -0.58      |
| Yangju-si      | 38.69      | -20.24 | 11.10     | -34.86   | 0.07    | 5.25       |
| Yangpyeong-gun | 22.39      | -53.20 | 33.93     | -4.39    | -0.73   | 2.00       |
| Yeoju-si       | 30.87      | -54.85 | 29.36     | -5.84    | -2.61   | 3.07       |
| Yeoncheon-gun  | 20.60      | -55.71 | 48.41     | -14.26   | 1.92    | -0.96      |
| Osan-si        | 9.15       | -3.23  | 1.62      | -8.01    | 0.22    | 0.25       |
| Yongin-si      | 72.90      | -80.02 | 39.08     | -37.27   | 1.14    | 4.17       |
| Uiwng-si       | 6.44       | -2.24  | 0.22      | -4.58    | 0.06    | 0.10       |
| Uijeongbu-si   | 15.28      | -6.75  | 1.10      | -10.29   | 0.05    | 0.62       |
| Icheon-si      | 37.89      | -21.59 | 8.44      | -28.61   | 0.07    | 3.81       |
| Paju-si        | 53.83      | -80.01 | 28.47     | -6.13    | -1.78   | 5.62       |
| Pyeongtaek-si  | 65.41      | -20.74 | 19.10     | -60.77   | -1.06   | -1.94      |
| Pocheon-si     | 50.89      | -48.22 | 39.97     | -47.74   | 1.70    | 3.40       |
| Hanam-si       | 15.28      | -8.78  | 6.64      | -12.58   | 0.94    | -1.50      |
| Hwaseong-si    | 84.04      | -36.59 | 36.34     | -85.08   | -11.10  | 12.38      |

면적이 급격히 증가한 것으로 나타났다. 용인시는 96년 분당신도시와 함께 용인 서북부 지역의 대규모 택지 개발사업으로 인해 정주지 면적이 증가한 반면, 농경지와 산림지 면적은 감소하였으며, 화성시는 최근 10년 사이 대규모 택지개발사업과 산업단지 조성 등으로 정주지 면적이 급격히 증가하고 농경지와 산림지 면적은 지속적으로 감소하고 있는 것으로 분석되었다. 경기도 지역의 지자체별 토지이용변화를 검토한 결

과 용인시, 화성시가 변화량이 큰 것으로 분석되었다. 용인시는 1987~2009년 사이 정주지, 초지의 면적이 각각 72.90km<sup>2</sup>, 39.08km<sup>2</sup> 증가하였고, 산림지와 농경지의 면적이 각각 80.02km<sup>2</sup>, 37.27km<sup>2</sup> 감소하는 것으로 분석되었다. 화성시는 1987~2009년 사이 정주지, 초지의 면적이 각각 84.04km<sup>2</sup>, 36.34km<sup>2</sup> 증가하였고, 산림지와 농경지의 면적이 각각 36.59km<sup>2</sup>, 85.08km<sup>2</sup> 감소하는 것으로 분석되었다(Table 4 참조). 이에

Table 5. Land Use Conversion Rate of Yongin-si(2000 to 2009)

(unit : km<sup>2</sup>)

| 2000 \ 2009 | Settlement     | Forest          | Cropland        | Grassland     | Wetland        | Other Land     | Total |
|-------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|----------------|----------------|-------|
| Settlement  | 45.8<br>(81.9) | 1.2<br>(2.1)    | 5.4<br>(9.6)    | 1.4<br>(2.6)  | 0.5<br>(0.9)   | 1.6<br>(2.9)   | 55.9  |
| Forest      | 7.5<br>(2.3)   | 307.8<br>(93.0) | 5.4<br>(1.6)    | 5.4<br>(1.6)  | 0.1<br>(0.0)   | 4.8<br>(1.4)   | 331.0 |
| Cropland    | 19.7<br>(13.2) | 4.8<br>(3.2)    | 115.2<br>(77.3) | 3.7<br>(2.5)  | 1.7<br>(1.1)   | 4.1<br>(2.7)   | 149.1 |
| Grassland   | 2.2<br>(21.7)  | 0.7<br>(6.7)    | 1.1<br>(10.5)   | 5.7<br>(57.2) | 0.0<br>(0.5)   | 0.3<br>(3.5)   | 10.0  |
| Wetland     | 0.4<br>(2.7)   | 0.2<br>(1.7)    | 0.7<br>(4.8)    | 0.5<br>(3.6)  | 11.8<br>(85.0) | 0.3<br>(2.3)   | 13.8  |
| Other Land  | 7.8<br>(24.5)  | 2.9<br>(8.9)    | 2.0<br>(6.3)    | 2.2<br>(7.0)  | 0.9<br>(2.7)   | 16.2<br>(50.6) | 32.1  |
| Total       | 83.4           | 317.5           | 129.7           | 19.0          | 15.0           | 27.4           |       |

LULUCF 카테고리 항목별 분석을 위한 사례지역으로 용인시와 화성시를 선정하여 추가분석을 실시하였다.

용인시의 IPCC 토지이용 항목별 2000년~2009년 사이 토지이용 전환율<sup>7)</sup> 변화를 살펴보면 - 2000년에서 2009년 정주지에서 정주지로 유지되는 면적은 총 45.8km<sup>2</sup>로 81.9%이며, 산림지, 농경지, 초지, 습지, 기타에서 변환되는 면적은 각각 7.5, 19.7, 2.2, 0.4, 7.8km<sup>2</sup>로 분석되었다(Table 5 참조).

정주지 총 면적은 2000년 당시 55.9km<sup>2</sup>에서 2009년 83.4km<sup>2</sup>로 49.2% 증가하였으며, 정주지로 전환된 면적 중 2000년 당시 농경지였던 19.7km<sup>2</sup>와 산림지 7.5km<sup>2</sup>가 정주지로 전환되었으며, 정주지로 전환된 이들 지역은 상당 부분이 수지지역으로 경부고속도로를 중심으로 농지가 정주지로 전환된 경우와 용인지역의 도로변 주변으로 농지주변의 일부지역이 정주지로 전환된 경우로 판단된다. 농경지의 경우 2000년에서 2009년 사이 농경지는 그대로 유지하는 경우는 77.3%이고, 9.6%는 도시개발로 인한 정주지로의 전환이 이루어진 것으로 나타났다. 초지로의 전환된 지역은 생산 녹지들이 휴경지로 방치되면서 자연적으로 초지로 변환된 것으로 판단되며, 기타지역으로 전환된 지역은 주로 용인시내 대규모 골프장의 초지를 기타항목으로 구분함에 따라 기타토지로의 전환된 지역들로 판단된다.

7) 토지이용 전환율이란 각각의 토지이용 항목들이 다른 토지이용 항목으로 변화되는 것을 말하며, 토지이용 전환율은 도시화 과정의 유형을 설명할 수 있는 주요 요인으로 활용할 수 있음.

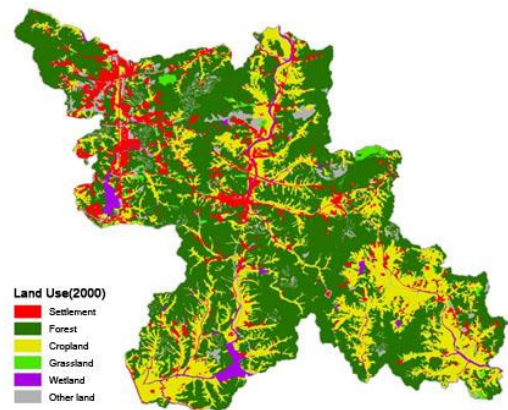


Figure 2. Land Use of Yongin-si(2000)

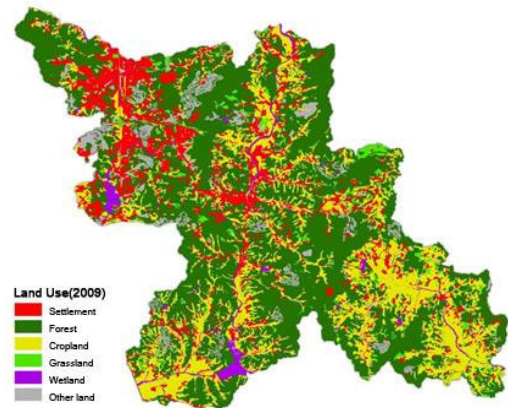


Figure 3. Land Use of Yongin-si(2009)



화성시의 IPCC 토지이용항목별 2000년 2009년 사이에 토지이용 전환율을 살펴보면 산림지는 2000년 대비 89.0%가 보존되었고, 약 11%가 토지이용이 전환되었고, 농경지의 경우는 12.6%가 토지이용이 전환되었고 그중 7.6%가 정주지로 전환되었다. 화성시는 최근 10년 사이 대규모 택지개발로 화성 향남, 발안, 봉담을 비롯하여, 동탄신도시 개발로 2000년 이후 급격히 도시화가 진행되었고, 현재도 동탄2 신도시가 개발중에 있어 수도권의 대표적인 도농통합 도시로 도시화의 과정에서의 도시환경의 변화가 농경지에서 정주지로 전환되고 있음을 알 수 있었다. 정주지 면적은 2000년 66.7km<sup>2</sup>에서 2009년 105.7km<sup>2</sup>로 39.0km<sup>2</sup>(58.5%) 증가하였으며, 이 중 2000년 당시 농경지였던 지역이 정주지로 전환된 면적은 26.8km<sup>2</sup>이고, 산림지가 정주지로 전환된 면적은 11.8km<sup>2</sup>에 해당되며, 전환된 지역들은 주로 동탄신도시 등의 대규모 택지개발지구와 산업단지 등이 조성됨에 따라 농경지 및 산림지에서 정주지로의 전환 현상을 보이는 지역이다. 농경지는 2000년에서 2009년 사이 농경지는 그대로 유지하는 경우는 87.4%이고, 7.6%는 도시개발로 인한 정주지로의 전환이 이루어졌고, 초지, 습지로의 전환을 보이고 있었다. 초지로의 전환은 생산농지들이 폐휴경지로 방치되면서 자연적으로 초지로 변환된 것으로 판단된다. 2000년에서 2009년까지 산림이 그대로 보존된 지역은 89.0%로 약 11%가 다른 용도로 전환되었고, 이중 1.5%가 정주지로 전환된 지역인 것으로 나타났다. 2000년 이후 산림지가 정주지로 전환되는 경우는 많지 않았으며, 화성시는 지형 및 토지이용 특성상

산림지보다 농경지가 많고, 토지이용전환도 산림지보다 농경지의 전환율이 높은 편으로 나타났다.

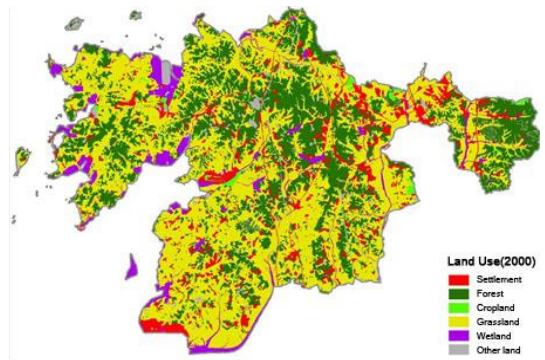


Figure 4. Land Use of Hwaseong-si(2000)

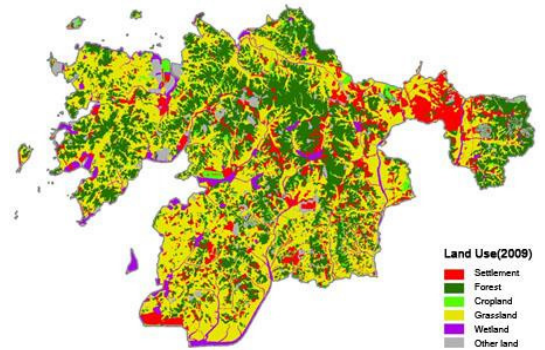


Figure 5. Land Use of Hwaseong-si(2009)

Table 6. Land Use Conversion Rate of Hwaseong-si(2000 to 2009)

(unit : km<sup>2</sup>)

| 2009 \ 2000 | Settlement     | Forest          | Cropland        | Grassland     | Wetland        | Other Land    | Total |
|-------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|----------------|---------------|-------|
| Settlement  | 57.9<br>(86.7) | 1.0<br>(1.5)    | 5.1<br>(7.6)    | 1.2<br>(1.8)  | 0.5<br>(0.7)   | 1.1<br>(1.6)  | 66.7  |
| Forest      | 11.8<br>(5.5)  | 192.7<br>(89.0) | 5.5<br>(2.5)    | 2.2<br>(1.0)  | 0.2<br>(0.1)   | 4.0<br>(1.9)  | 216.5 |
| Cropland    | 26.8<br>(7.8)  | 5.0<br>(1.5)    | 301.7<br>(87.4) | 1.6<br>(0.5)  | 4.4<br>(1.3)   | 5.8<br>(1.7)  | 345.3 |
| Grassland   | 1.3<br>(14.6)  | 0.6<br>(6.0)    | 1.0<br>(11.1)   | 5.1<br>(55.2) | 0.7<br>(7.2)   | 0.5<br>(5.8)  | 9.2   |
| Wetland     | 2.6<br>(6.2)   | 0.2<br>(0.4)    | 4.4<br>(10.6)   | 0.3<br>(0.6)  | 27.6<br>(66.3) | 6.6<br>(15.9) | 41.6  |
| Other Land  | 5.3<br>(27.0)  | 0.6<br>(3.2)    | 1.4<br>(7.3)    | 1.5<br>(7.8)  | 1.2<br>(6.0)   | 9.5<br>(48.7) | 19.5  |
| Total       | 105.7          | 200.1           | 319.1           | 11.9          | 34.4           | 27.5          |       |

### 3.3 시사점

국가 온실가스 인벤토리 중 LULUCF 부분의 자료 구축을 위해 위성영상과 KLIS, UPIS, 토지피복분류도 등의 기타자료를 확보하여 비교적 변화가 많이 일어난 지역인 용인시와 화성시를 대상으로 과거 10년간(2000년-2009년)의 토지이용변화를 분석하였다. LULUCF 부분의 토지이용변화에 대하여 용인시, 화성시를 사례지역으로 분석한 결과 다음의 시사점을 도출할 수 있었다. 첫째, LULUCF 부분의 항목별로 명확한 분류 체계를 마련하는 것이 선행되어야 할 것으로 판단된다. 사례분석에서는 IPCC에서 제시하고 있는 6가지 항목을 기반으로 토지피복분류도와의 항목을 연계하여 재분류하였으나 골프장, 묘지 등과 같은 분류 항목은 흡수원으로 보기에 문제가 있으며, 기존 초지분류에서 기타토지로 분류하여 분석을 실시하였다. 따라서 LULUCF 인벤토리 작성을 위한 세부 항목을 재정의하고 IPCC에서 정의하고 있는 분류와 일치시키는 것이 필요하다.

둘째, 위성영상을 기반으로 다양한 참고자료를 활용하여 정확도를 향상시킬 수 있는 연구가 필요하다. 위성영상을 기반으로 KLIS, UPIS, 토지피복분류도를 비롯한 현황자료를 참조하여 사례지역을 분석하였으나 LULUCF의 각 항목별 변환자료를 세부적으로 분석하기 위해서는 고해상도 영상과 기타 토지정보체계를 연계하여 자료를 구축할 수 있는 다양한 방법론에 대한 연구가 필요하다.

셋째, 국가단위의 LULUCF 인벤토리는 2000년부터의 자료구축이 가능하며, 앞으로 체계적인 자료구축 방안 마련이 필요하다. 본 연구에서는 사례지역인 용인시와 화성시를 대상으로 과거 20년간의 각 항목간 변화 매트릭스를 구축하였으나 향후에는 시계열별 관련 자료의 체계적 구축이 필요할 것이다.

## 4. 국가 온실가스 인벤토리 LULUCF 부문 통계 구축방안

### 4.1 기본방향

국가 온실가스 인벤토리 LULUCF 부분의 체계적인 통계구축을 위해서는 먼저 6가지 용도별 면적과 함께 타 용도로의 전환된 전용정보를 정확하게 파악하여 구축할 필요가 있다. 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타 등 총 6가지 범주로 구분된 용도별 면적 산출이 필요하다. 또한 LULUCF는 현재 용도로 유지된 면적과 타 용도에서 전용된 면적의 산출을 통해 온실가

스 통계가 구축되기 때문에 과거 타 용도에서 현재 시점의 토지용도로의 전용정보 구축이 필요하다. 하지만 현재 우리나라는 이러한 범주별 면적자료와 전용정보의 부재로 인하여 각 부문별 온실가스 통계 구축이 이루어지지 않고 있다. 이를 위해 국가공간정보 체계 구축자료를 기반으로 토지이용 변화 데이터를 확보할 필요가 있다. 현재 LULUCF와 관련된 통계현황을 살펴보면 각 부처별로 통계자료를 구축하고 있으나, 이러한 각 부문별 총합면적과 타 용도에서의 전용된 정보를 추적하지 못하는 한계를 가지고 있다. 이러한 문제점의 해결을 위해서는 국가공간정보 구축자료를 기반으로 LULUCF 각 용도별 면적을 추정하고, 전체 면적과의 정합성을 확보할 필요가 있다.

현재까지 우리나라는 토지이용의 변화를 탐지하고 면적을 추정할 수 있는 자료가 완전하게 구축되어 있지 못한 실정이다. 이에 IPCC에서 권고하고 있는 과거 및 미래의 토지이용 변화와 관련된 자료를 추출하기 위한 가장 현실적인 방법은 위성영상을 활용한 LULUCF 범주별 공간정보 자료를 구축하여야 한다. 과거 20년간의 토지이용변화를 추적하기 위해서는 과거 시계열별 관련 공간정보속성이 구축되어야 하지만, 지목별 현황 및 한국토지정보시스템의 경우 공간속성이나 시계열별로 자료가 구축되어 있지 않다. 이에 반해 토지이용분류의 경우는 기상위성 정도의 해상도 영상을 통해 데이터를 득할 수 있으며, 표현 가능한 정보가 주기성을 가지고 있어 토지이용과 과거 시계열 자료를 구축하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 부속서 I 당사국 주요국가에서도 LULUCF 부분의 통계작성을 위해 고해상도의 인공위성영상을 중심으로 다양한 공간정보와 연계한 방법을 사용하고 있음을 알 수 있다. 따라서 우리나라에서도 현재까지 구축된 다양한 공간정보를 연계한 인공위성을 활용한 원격탐사 방법을 활용하여 LULUCF 부분의 토지이용 변천과정에 대한 자료를 구축해야 한다.

### 4.2 공간정보 추출방법

위성영상을 활용한 LULUCF 토지이용분류 항목을 추출하고, 이를 바탕으로 LULUCF의 6가지 범주별로 공간정보 추출이 가능하다. 위성영상과 함께 토지이용 특성별로 각종 주제도와 통계자료를 참조하여 경계선을 추출하고, 이를 기반으로 LULUCF의 6가지 범주별로 공간속성 정보를 추출되어야 한다. 토지이용 분류를 위한 속성정보 참고자료는 국토교통부의 토지이용현황도, 지적도, 수치지형도, 용도지역지구도, 도



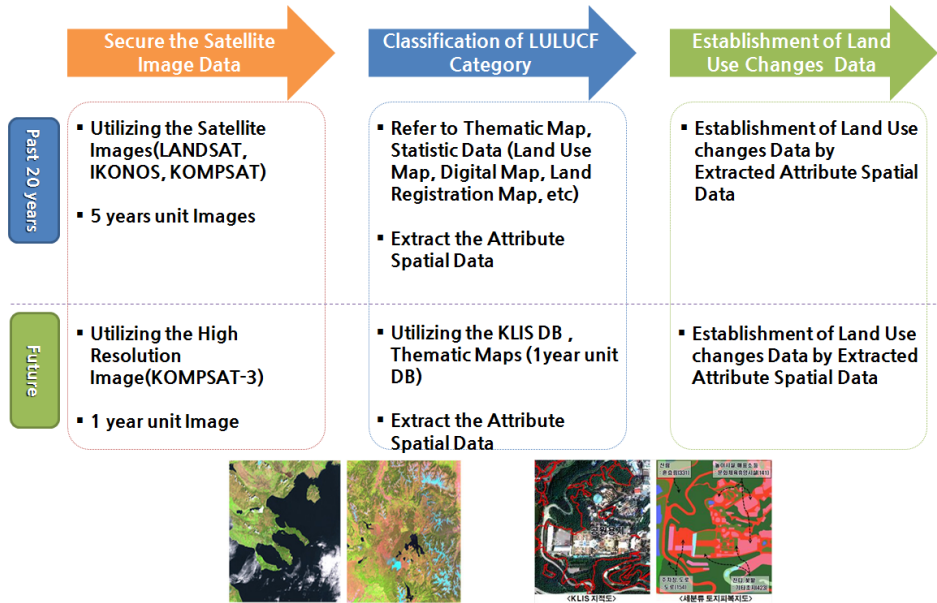


Figure 6. Establishment of Land Use Changes Data

시계획도 등과 환경부의 생태자연도와 산림청의 임상도 등이 있으며, 해당 시점에 활용 가능한 위성영상을 확보하고, 이를 기반으로 토지이용분류에 따른 경계를 추출할 수 있다[11,13].

이러한 토지이용분류는 IPCC에서 제시하고 있는 LULUCF의 카테고리인 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지로 구분할 수 있다. 산림지는 위성영상으로부터 식생이 짙게 피복된 지역을 추출(적외선 영상을 이용)하도록 하고, 농경지는 경작지나 과수원 등과 같이 인간의 영향에 의해 식생과 토양이 함께 노출된 지역을 추출, 초지는 식생이 얇게 피복된 지역을 추출하도록 하며, 습지는 물에 잠겨있는 식생이나 나지를 추출하도록 한다. 정주지는 위성영상으로부터 콘크리트로 포장되어 있으며, 면적이  $62,500m^2$ <sup>8)</sup> 이상인 지역을 추출하고, 적외선 영상을 활용하여 주거지 내 녹지를 추출하고, 나머지 면적은 기타토지로 분류하도록 한다.

이렇게 구분된 LULUCF 범주별 공간정보는 위성영상을 이용하여 추출하는 것으로 원칙으로 하되 각 주제도 및 관련 통계자료를 참조하도록 한다. 위성영상의 경우 판독 및 영상의 디지털화 과정에 있어 기하보정 및 정사보정 등을 필요로 하며, 기하보정 및 정사보

정을 위하여 토지이용현황도, 지적도, 수치지도, 자연생태현황도, 지형도, 임상도 등의 각종 주제도와 지목통계 등의 자료를 활용될 수 있다[10].

### 4.3 토지이용 변화 통계 구축방안

먼저 과거 변화 자료구축 과거 20년 토지이용의 변화를 탐지하고 면적을 추정할 수 있는 공간자료가 완전하게 구축되어 있지 못한 현 실정에서 과거 토지이용변화 자료구축을 위해 위성영상자료를 활용되어야 한다. 자료구득이 가능한 2012년을 기준으로 과거 20년 토지이용변화 자료 구축이 필요하므로, 우리나라 전역을 촬영한 위성영상 자료를 활용할 수 있다. 현재 과거 토지이용 변화 통계구축을 위해 활용될 수 있는 위성영상은 1993년~2004년 LANDSAT(5년 주기) 촬영영상과 2003년~현재 KOMPSAT(28일 주기), 2000년~현재 IKONOS 촬영영상이다. 하지만 정주지를 비롯한 LULUCF 항목별 변화내용의 추적을 위해서는 1m급의 고해상도의 위성영상이 활용되어야 한다. LANDSAT과 KOMPSAT, IKONOS 위성영상을 활용하여 과거의 변화를 탐지하고, 이를 각 주제도 및 관련 통계자료를 활용하여 보정함으로써 토지이용변화 자료를 구축되어야 한다[9]. 2000년부터 현재 시점까지 구득이 가능한 위성영상과 각종 공간정보를 활용하여 토지이용 변화 통계 자료를 구축하고, 구축이 가능한 시점의 토지이용 자료를 확보하여 통계를 구축하고,

8) 1:25,000 축척을 기준으로 할 경우 1/4인 250m\*250m=62,500m<sup>2</sup>이 적합한 면적의 기준이며, 환경부의 자연생태현황도의 면적 기준과 동일.

보간법을 활용하여 1년 단위의 토지이용변화 통계 자료를 구축되어야 한다.

향후 AFOLU<sup>9)</sup> 수준에서의 통계구축을 위해 미래 변화 자료는 보다 정밀한 위성영상자료를 활용할 수 있다. 2012년 이후의 토지이용변화 자료 구축을 위해 KOMPSAT-3(해상도 1m급) 위성영상을 활용하고, 토지이용변화 면적의 정확성 확보를 위해 KLIS(한국토지정보시스템)의 DB 및 각종 주제도와 통계자료를 활용할 수 있다. 한국항공우주연구원에서 관리하고 있는 KOMTSAT-3 위성영상을 활용하여 2012년 이후 매년 전국단위로 LULUCF 부문별 토지이용변화 자료를 구축하고, 이와 함께 한국토지정보시스템(KLIS) 자료와 국토교통부 및 환경부에서 제공하고 있는 각종 주제도를 활용한 보정작업을 통해 정확도를 향상시켜야 한다.

KLIS DB는 구축시점이 상이하며 시계열 DB가 구축되지 않으므로, 미래 토지이용변화 자료구축을 위해 시계열 구축시점을 설정하여 매년 KLIS 데이터를 확보하는 것을 통해 토지이용변화 자료 구축을 위한 보정자료로 활용하는 것이 필요하다. 향후 AFOLU 수준에서의 통계구축을 위해서 필요한 전용위치에 대한 추적이 가능하도록 정밀한 영상 및 관련 자료를 활용할 필요가 있다.

## 5. 결 론

우리나라는 지난 2011년 2020년까지 BAU 대비 온실가스 배출량을 30% 감축목표를 설정하여 이에 따른 각종 정책들을 시행해 오고 있다. 이러한 정책을 뒷받침하기 위해서는 온실가스 인벤토리 각 부문별 통계를 구축하고 이에 따른 적절한 대책이 마련되어야 한다. 에너지, 산업공정, 농업, 폐기물 부문의 경우 체계적인 통계구축이 이루어지고 있지만 2015년 현재 LULUCF 부문의 통계 구축은 미흡한 현실이다. 이에 본 연구는 LULUCF 부문의 통계구축 방안 제시를 목적으로 진행되었다.

이론적 배경 및 선행연구 검토 결과 IPCC 가이드라인에 따라 LULUCF 부문의 각 카테고리별 면적과 과거로부터의 전용정보를 체계적으로 구축될 필요가 있으나 현재 우리나라는 전용된 면적정보 구축이 이루어지지 못하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 문제

9) IPCC 2006년 가이드라인에서는 토지이용변화 부분을 AFOLU(Agriculture, Forestry and Other Land Use)로 구분하여 기존 2003년 우수실행지침에 따른 LULUCF 구분보다 정교한 통계구축 방법론을 제시하고 있음.

해결을 위해 경기도 지역을 사례지역으로 LULUCF 부문의 토지이용 변화를 위성영상, KLIS, UPIS, 토지피복분류도 등의 자료를 활용하여 분석하였다. 그리고 변화율이 큰 용인시, 화성시를 대상으로 각 카테고리별 변화 메트릭스를 구성하여 과거 10년간의 변화 정보를 구축하였다. 이를 통해 LULUCF 항목별 분류체계 마련, 위성영상을 활용한 통계 정확도 향상, 구축방법에 대한 추가적 연구가 필요하다는 시사점을 도출하였다. 이러한 이론적 배경 및 선행연구, 사례분석을 통해 향후 국가 온실가스 인벤토리 LULUCF 부문의 체계적 통계구축을 위한 방안을 제시하였다. IPCC의 LULUCF 통계를 인정받기 위해서는 과거 20년간의 전용정보를 체계적으로 구축할 필요가 있으며, 이를 위해 위성영상과 각종 토지정보체계를 활용하여 토지이용 변화 메트릭스의 구축방안을 제시하였다.

우리나라는 온실가스 의무감축국으로의 편입이 예상되며, 이에 따른 온실가스 감축 의무화에 따라 각 부문별 온실가스 배출 통계의 체계적 구축이 필요할 것이다. 이러한 온실가스 통계를 기반으로 각 부문별 각종 정책 및 실행계획이 마련되어 현실성 있는 온실가스 감축이 이루어지길 기대해 본다.

## References

- [1] Bae, Y. J; et. al., 2013, Estimation of Uncertainty on Greenhouse Gas Emission in the Agriculture Sector, Journal of Korean Society of Rural Planning, 19(4):125-135.
- [2] Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, 2014, National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea, Seoul.
- [3] Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, 2014, 2014 Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, Seoul.
- [4] Im, J. K; et. al., 2004, A Study on the Writing Method for Korea National Report of 3rd UNFCCC. Uiwang.
- [5] IPCC, 1996, 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories.
- [6] IPCC, 2000, 2000 IPCC Good Practice Guideline and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas.
- [7] IPCC, 2003, Good Practice Guideline for Land Use, Land-Use Change and Forestry, Institute for Global Environmental Strategies.

- [8] IPCC, 2006, 2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories.
- [9] Jeong, J. J. 2005, Developments of Urban Change Detection Methods According to Spatial Resolution of Satellite Images, *The Geographical Journal of Korea*, 39(1):161-170.
- [10] Park, J. J; Ku, C. Y; Kim, B. S, 2007, Improvement of the Level-2 Land Cover Map with Satellite Image, *Journal of Korea Spatial Information Society*, 15(1):67-80.
- [11] Shin, K. J; et. al., 2005, An Analysis for Urban Change Using Satellite Images and GIS, *Journal of Korean Geo-environmental Society*, 6(4):73-80.
- [12] Statistics Korea, 2012, A Study on the Quality Improvements of National Greenhouse Gas Inventories. DaeJeon.
- [13] Sung, H. H; Park, O. J, 2000, A Study on distribution and change of NDVI with Land-Cover change in City of Sunnam, *Journal of Korea Spatial Information Society*, 8(2):275-288.

---

Received : 2015.05.01

Revised : 2015.06.22

Accepted : 2015.06.23