



## 시나리오 기법을 활용한 정주지 온실가스 배출량 저감 연구

### Reduction of Greenhouse Gas Emissions in Settlement Using Scenario Techniques

양영권\* · 정지인\*\* · 이은엽\*\*\*

Young Kwon Yang\* · Ji In Jung \*\* · Eun Yeob Lee\*\*\*

\* Main author, Senior researcher, Land & Housing Institute, South Korea (abyss@lh.or.kr)

\*\* Coauthor, Researcher, Land & Housing Institute, South Korea (jji@lh.or.kr)

\*\*\* Corresponding author, Head of a department, Land & Housing Institute, South Korea (ecoyeob@lh.or.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose** : For carbon neutrality in 2050, it is essential to reduce greenhouse gas emissions through settlement development. However, there are not many domestic application case studies on carbon emissions from development. Therefore, in this paper, IPCC G.L 2006 was applied and greenhouse gas emissions were calculated by applying them to actual cases. **Method** : The amount of carbon accumulated in the process of being developed as a settlement was calculated. In addition, scenarios that can statistically reduce greenhouse gas emissions were set. The results were analyzed by comparing the two. **Result** : All carbon emissions decreased according to the scenario change. The reduction in carbon emissions is a total of 1,110.7 t d.m. It was confirmed that the biomass emission in the forest area was reduced the most. It is expected that the results of this study can be used as basic data to advance the statistical calculation method in Korea.

#### KEYWORD

정주지  
온실가스  
탄소중립  
탄소흡수원

Settlement  
Greenhouse Gas  
Carbon Neutral  
Carbon Sink

#### ACCEPTANCE INFO

Received Jul. 26, 2023

Final revision received Aug. 9, 2023

Accepted Aug. 16, 2023

© 2023. KIEAE all rights reserved.

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 1993년 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change; UNFCCC)에 가입하였고, 교토 의정서(2002)와 파리협정서(2016) 기준을 통해 온실가스 저감을 위한 국제사회의 노력에 동참하고 있다. 2020년에는 탄소중립 사회로의 전환을 도모하기 위해 2050 탄소중립을 선언하고 '2050 장기 저탄소발전전략'을 발표하였다[1].

이와 같이 우리나라를 포함한 각국은 범세계적으로 기후변화 위기를 극복하고자 온실가스 감축목표(Nationally Determined Contribution; NDC)를 설정하고 이를 이행하기 위한 노력을 기울이고 있다. NDC는 5년 주기로 제출하며, 국가 온실가스 인벤토리 보고서(Nationally Inventory Report; NIR)를 발간하고 있다. 이는 기후변화에 관한 정부간 협의체인 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 지침에 따라 산정하고 있으며, 'IPCC 가이드 라인'에 따르면 '에너지', '산업공정', '농업', '토지이용·토지이용 변화 및 임업', '폐기물' 5개 부문으로 분류하여 인벤토리 산정을 제시하고 있다. 이에 해당되는 온실가스는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메테인(CH<sub>4</sub>), 이산화질소(N<sub>2</sub>O), 수소불화탄소(HFC<sub>s</sub>), 과불화탄소(PFC<sub>s</sub>), 육불화황(SF<sub>6</sub>) 6종이다[1].

5개 부문 중 '토지이용·토지이용 변화 및 임업 (Land Use, Land Use Change and Forestry; LULUCF)'에 해당되는 분야는 '산림지', '농경지', '초지', '습지', '정주지', '기타토지'이며 6가지 토지이용 분류에 따라 산정된다.

현재 우리나라의 NIR 보고서는 각 산정기관 별 상이한 활동자료를 활용하기 때문에 토지이용간의 정합성이 맞지 않아 명확한 정보 구축이 불가능한 상황이며[1], '정주지'에 대한 정의 및 공간범위의 미산정과 정보축적의 부재로 볼 수 있다[2-4].

이와 같은 문제 해결을 위한 선행연구는 다음과 같다. Jung(2020)[5]은 LULUCF분야의 온실가스 통계 작성을 위한 제도 개선방안 연구를 통해 토지이용변화 매트릭스의 중요성에 대한 연구를 실시하였으며, Jung(2011)[6]은 도시계획분야의 온실가스 인벤토리 구축을 위해 도시계획의 운영 및 통제권한을 고려하여 온실가스 인벤토리 구축 부문을 선정하였다. Choi(2020)[2]와 Hong(2021)[3]은 정주지 부문의 온실가스 인벤토리 산정을 위해 활동자료 구축 방법 및 공간 범위에 따른 이산화탄소 흡수량 비교 연구를 실시하였다. Lim(2015)[7]은 온실가스 감축을 위한 도시 계획 부문 간 통합의사결정체계 구축에 대한 연구를 통해 현 제도의 문제점을 파악하였다. 그 외에도 정주지의 온실가스 감축을 위한 다양한 연구가 수행된 것으로 확인하였지만 아직까지 정주지의 실제 개발 사례를 적용하여 온실가스 배출량을 산정하는 연구는 없는 것으로 조사되었으며, 정주지 개발에 의한 온실가스 배출을 저감시키기 위한 시나리오를 적용한 연구도 없다.



Fig. 1. Analysis target site range (satellite image)

따라서 본 논문에서는 타 토지이용에서 정주지로 개발 및 전용되는 과정의 실제 사례를 적용하여, IPCC G.L 2006 기반으로 배출되는 탄소축적량을 산정해 보았다. 또한 통계적으로 온실가스 배출량 수치를 저감시킬 수 있는 시나리오를 설정하여 이에 따른 결과를 분석하였다. 본 연구결과는 정주지의 공원 및 녹지, 가로수를 탄소흡수원으로 산정하지 않는 우리나라의 통계 산정 방법을 고도화할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 정주지로의 토지 이용 변화에 따른 온실가스 배출량 산정을 위해 실제로 타토지에서 정주지로 전용되는 분석 대상지를 선정하였다. 분석대상지는 행정중심복합도시의 생활권 중 일부를 선정하였으며, 총 면적은 1,687,687.82㎡이다. 정주지로 전용 전 대상지 범위는 Fig. 1.과 같다.

대상지의 토지이용 분류 별 면적과 전용 후 토지이용 분류 별 면적을 산출한 후 IPCC G.L 2006 정보를 활용하여 탄소배출량을 산정하였다.

또한 정주지 개발 시, 개발되는 전체 해당면적이 탄소배출량으로 산정되는 기존방법과 달리 공원 및 녹지, 가로수를 탄소흡수원으로 산정하는 시나리오를 가정하였을 때 탄소배출량의 변화를 분석하였다.

이와 같이 정주지 개발에 따른 탄소배출량에 대해 통계적으로 저감시킬 수 있는 산정 방법의 접근 방식 변경을 통한 수치 변화를 확인하였다.

## 2. 정주지 온실가스 개념과 이론

### 2.1. 신기후체제

국제사회는 기후변화 위기에 공감하여 지구 평균온도 상승폭을 2℃ 이하로 유지하고, 1.5℃로 억제하기 위해 당사국의 감축목표를 설정하는 합의를 통해 2015년 파리협정을 채택하였다. 교토의정서와 파리협정의 차이점은 개도국을 포함한 국제사회 모두가 온실가스 감축을 위한 모든 부분을 제시하고 있는 것이며, 신기후체제에서는 모든 당사국이 온실가스 감축 목표(NDC)를 설정하고 5년 주기로 제출하여야 한다[4]. 상세 비교는 Table 1.과 같다.

파리협정에서 요구하는 이행목록은 크게 5가지로 분류할 수 있

Table 1. Comparison of Kyoto Protocol and the Paris Agreement [5]

Division	Kyoto protocol (Pre-2020)	New climate system (Post-2020)
Scope	Greenhouse gas reduction	Comprehensive climate change (reduction, adaptation, finance, skills, capacity cultivation, transparency)
Country	38 development countries + EU28	177 signatures, 17 ratifying countries
Goal/Settings method	Consistent / Top-down	Voluntary contribution / Bottom-up
Fulfillment period	First : 2008~2012 Second : 2013~2020	2020~Five-year report
Mechanism	Implementation compliance system	Transparency scheme (MRV Compliance)

다. 첫째, 지구 대기 상승온도 1.5℃ 이하 유지, 둘째, NDC보고, 셋째, 투명성 보고 의무, 넷째, 이행점검 의무, 다섯째, 탄소 국경세 도입이며, 파리협정에서의 기준은 'IPCC2006' 가이드라인이다.

### 2.2. 정주지 탄소흡수원

정주지는 일반적으로 콘크리트 피복이 주를 이루고 있기 때문에 타 토지에 비해 상대적으로 다양하고 복잡한 토지 이용을 가지는 특징이 있으며, 도시숲 또는 공원을 제외하고 군집을 형성하고 있는 경우가 드물다. 따라서 아직까지 도시 전체에 대한 구체적인 자료가 부족하여 통계 산정이 이루어지지 않고 있다. 이에 한국 토지주택공사에서는 2024년 정주지 부문 통계 산정을 위해 이와 관련한 활동자료 및 계수개발 연구를 수행하고 있다.

정주지의 대표적인 탄소흡수원은 타 토지와 마찬가지로 수목이 그 역할을 수행할 수 있으며, 일반적으로 녹지와 공원, 도시숲, 가로수 등의 수목이 있다. 하지만 우리나라는 아직 정주지의 수목에 대하여 탄소흡수원으로 산정 및 관리하지 못하고 있기 때문에 온실가스 인벤토리 산정이 되지 않고 있다. 따라서 정주지의 온실가스 인벤토리 산정이 되기 위해서는 우선적으로 정주지 내 녹지, 가로수, 공원 등 탄소 흡수원에 대한 정보 축적이 필요하고, 이를 산정하기 위한 산정식 및 고유계수 개발이 필수적이다.

Kim(2010)[8]은 국내 도심지 산림(1.9~2.9tCO<sub>2</sub>/ha/yr)의 CO<sub>2</sub> 흡수량은 국내 자연산림(5.12~15.52tCO<sub>2</sub>/ha/yr), 미국 도시 전체 흡수량 평균(2.9tCO<sub>2</sub>/ha/yr)과 비교하여 낮은 수치이며, 수목의 탄소흡수 및 저장능력의 차이는 수목의 종류, 성장상태, 식재방법에 기인한 것으로 추정하였다.

Jo(1998)[9]는 춘천시 도심 내에 식재된 수종(은행나무, 양버즘나무, 느티나무, 단풍나무) 중 은행나무가 단위 엽면적당 연간 순탄소 흡수량이 높았다. CO<sub>2</sub> 흡수에는 수종, 일조량, 전정 등에 따른 영향을 밝혀냈다. 일조를 많이 받을 수 있는 곳에 식재할 필요성이 있으며, 가공선 지하매립으로 전정 지양을 제안하였다.

Park(2009)[10]은 도시공원 4곳을 비교하였는데, 식재 밀도가 높을수록, 바이오매스가 큰 활엽수 위주의 식재일 경우에 단위면적당 탄소저장량이 높았다. 가로수는 수고 및 흉고직경, 수관면적이 넓은 수종인 툼립나무, 메타세쿼이아, 양버즘나무 탄소저장량과 CO<sub>2</sub> 흡수율이 높았다. 반면, 바이오매스 증가율은 툼립나무, 느티나무, 메

타세쿼이아 순으로 높았다. 도시의 공원·녹지는 미기후 조절능력이 있으며, 이에 따라 간접적인 에너지 절감효과가 있다[8].

이와 같이 쾌적한 정주지 환경 및 탄소흡수능을 높이기 위해서는 녹지와 근린공원이 필수적이다. 특히, 탄소흡수능을 높이기 위해서는 원활한 생장을 위한 수목의 종류, 위치를 선정하여 가능한 넓은 면적을 식재하며 지속적인 관리를 통해 원활한 생장이 이루어지도록 해주어야 한다.

### 2.3. LULUCF

토지이용·토지이용 변화 및 임업 (Land Use, Land Use Change and Forestry; LULUCF) 분야는 ‘산림지’, ‘농경지’, ‘초지’, ‘습지’, ‘정주지’, ‘기타토지’ 6가지 토지이용 분류에 따라 산정된다. 부속서 1(Annex1)국가는 국가보고서(National Communication; NC), 국가인벤토리보고서(NIR), 격년보고서(Biennial Report: BR) 세 가지 보고서를 모두 작성하여 보고해야 하지만 비부속서(non-Annex) 국가는 국가보고서 및 격년갱신보고서만 작성하여 제출하면 된다[5].

LULUCF 분야의 관장기관은 농림축산식품부와 국토교통부이며, 산정기관은 국립산림과학원(산림지 및 습지), 국립농업과학원(농경지), 국립축산과학원(초지)이고, LH 토지주택연구원(정주지 및 기타)이다[5, 11].

정주지 및 기타토지는 산정기관인 LH 토지주택연구원에서 연구를 진행하고 있으며, Kang(2021)[4]은 전 국토를 대상으로 Tier 1, approach 1 수준으로 통계를 산정하여 토지이용 변화에 따른 배출량을 도출하였다.

LULUCF 분야의 탄소 흡·배출량은 탄소흡수원의 성장과 안정화 기간을 고려하여 일정 기간의 탄소 축적변화량으로 산정되며, 흡수와 배출이 동시에 존재하는 특성을 가진다. Kang(2021)[4]에 따르면 온실가스 통계 산정은 분야별 활동자료에 탄소 흡·배출 관련 계수를 곱하여 산정한다. 구체적인 통계산정의 첫 번째 단계는 LULUCF 분야 토지이용 변화에 대한 시계열적 자료 확보(최소 20년 된 통계자료로 전 국토를 6개 부분으로 구분한 공간자료), 두 번째는 활동자료 구축, 세 번째는 국가 특성을 반영한 계수 및 매개변수를 확보한다.

## 3. 대상지 선정 및 분석

### 3.1. 대상지 선정

정주지 개발에 따른 토지이용 변화 시, 배출되는 온실가스 산정을 위해 타 토지이용 분야에서 정주지로 전용되는 대상지를 선정하였다. 분석대상지는 국내에서 개발이 진행되고 있거나 예정되어 있는 지역으로 선정하였다. 분석대상지의 위치는 세종시 한별동 일대의 약 1.7km<sup>2</sup> 범위이며, 대상지의 연속지적도상 지목은 13개, 토지이용계획도상 용도는 19개로 분류된다.

### 3.2. 대상지 분석

정주지 전용에 따른 탄소 축적 및 배출량 분석을 위해서는 전용 전·후의 토지이용 분석이 우선적으로 실시되어야 하며, 이를 위해 전용 전 현황은 연속지적도를 활용하였다. 전용 후 현황은 토지이용계획

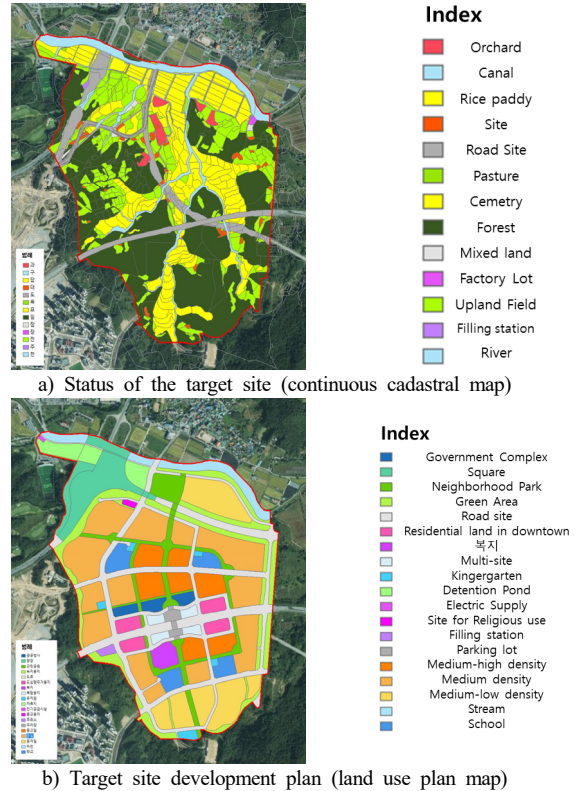


Fig. 2. Current status and development plan of the target site

Table 2. Land category present condition of analysis target site - Serial cadastral maps

Land category	Area (m <sup>2</sup> )	Land category	Area (m <sup>2</sup> )
Park	-	Tractional Pond	-
Orchard	20,281.81	Forest Land	653,095.27
Mineral spring	-	Miscellaneous Land	5,009.18
Canal	65,478.29	Factory Lot	1,712.72
Rice paddy	404,387.83	Upland field	306,916.27
Site	20,701.37	Embankment	-
Road Site	144,290.51	Site for religious use	-
Pasture	493.56	Site for filling station	1,132.94
Cemetery	257.63	Parking lot	-
Historic site	-	Site for Warehouse	-
Water supply site	-	River	63,930.44
Fishery	-	Railroad Site	-
Salt pond	-	Sports Field	-
Amusement park	-	Site for a School	-
The gross area		1,687,687.82	

도를 활용하였다. 연속지적도와 토지이용계획도는 Fig. 2와 같다.

#### 1) 정주지 전용 전·후 토지 분석

대상지의 전용 전 분석을 위해 연속지적도 및 위성사진을 활용하여 좌표계를 통일하였으며, 지목 및 계획용도를 활용하여 용도별로 공간 정보를 분류하였다. 대상지의 총 면적은 1,687,687.82m<sup>2</sup> 지목은 총 13개의 지목이다. 임야가 약 65만 평방미터로 가장 넓은 면적을 차지하였으며, 담, 전 순으로 나타났다. 면적 상세 현황은 Table 2와 같다.

정주지 전용 후 분석을 위해 대상지의 토지이용계획도를 분석하였으며, 토지 용도는 총 19개로 분류된다. 중밀도 주거지역이 약 38

Table 3. A development program for target site - Land use plan

Use	Area (m <sup>2</sup> )	Use	Area (m <sup>2</sup> )	
Government Complex	24,187.50	Detention Pond	46,515.58	
Square	115,234.38	Electric Supply	838.18	
Neighborhood Park	122,538.19	Site for Religious use	2,665.33	
Green Area	175,261.66	Filling station	4,864.15	
Road Site	297,207.44	Parking lot	11,860.40	
Residential Area	42,369.40	Housing Site (density)	Medium-high	125,055.25
Welfare	18,963.86		Medium	382,362.28
Multi-site	20,498.86		Medium-low	170,107.20
Commercial Area	-		Low	-
Hydrogen Station	-	Stream	57,091.46	
Kindergarten	12,411.52	School	57,655.18	
The gross area		1,687,687.82		

Table 4. Detailed area for land use classification

Before land use change		After land use change	
Classification	Area(m <sup>2</sup> )	Classification	Area(m <sup>2</sup> )
Settlement	238,582.64	Settlement	1,630,596.36
Forest land	653,095.27		
Cropland	731,585.91		
Grassland	493.56	Wet lands	57,091.46
Wet lands	63,930.44		

모든 용도 분류를 정주지로 설정하였으며, 분석 편의성 확보를 위해 전용 전·후의 속성자료를 병합하는 과정을 진행하였다.

병합이 완료된 대상지는 Fig. 3.과 같이 분류되었으며, 토지이용 분류 별 세부 면적은 Table 4.와 같다.

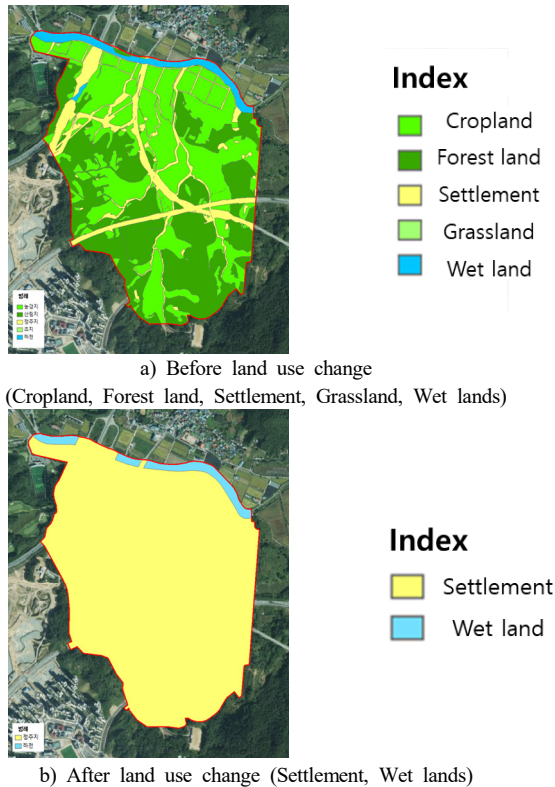


Fig. 3. Before and after land use change of analysis target site

만평방미터로 가장 넓은 면적을 차지하고 있으며, 도로, 중교밀 주거지역 순으로 나타났다. 상세 개발 계획은 Table 3.과 같다.

### 4. 정주지 전용에 따른 탄소배출량 산정

#### 4.1. 토지이용 변화 분석

IPCC (2006)[12]에서의 Tier 1 수준으로 토지이용 변화에 따른 탄소배출량 산정을 위해서는 전용 전·후의 탄소 축적 변화량을 산출해야 한다. 이를 위해서는 우선적으로 연속지적도 상의 지목과 토지 이용계획도상의 용도 기준을 동일한 분류항목으로 표준화 하는 것이 필요하며, 본 연구에서는 LULUCF분야의 토지이용 구분 및 면적 기준에 따라 정주지, 산림지, 농경지, 초지로 분류한 뒤 탄소축적량 산정을 실시하였다. 토지이용계획도의 용도 분류 중 하천을 제외한

#### 4.2. 탄소축적량 산정

탄소축적량의 산정을 위해 연속지적도의 산림지, 농경지, 초지의 면적을 산출하였으며, 바이오매스, 고사유기물, 토양의 축적량으로 분류하여 산출하였다. 산출기준은 2006 IPCC 가이드라인에서 제시한 타 토지에서 전용된 정주지의 탄소축적변화량 산정식을 적용하였다[12].

##### 1) 바이오매스

바이오매스 탄소축적 변화량은 토지이용 전용 전 획득한 탄소의 손실분과 전용 후 생장에 따른 획득분의 합으로 산정한다. 본 연구에서는 정주지 전용 후 바이오매스의 축적은 없는 것으로 가정하여 '0'으로 적용하였다. 전용 전 산림계수는 온대 내륙의 천연림 기준 바이오매스 지상부 기본 값인 120t·d·m/ha를 적용하고 이에 탄소에서 건조중량으로 전환된 탄소 분율(CF) 0.5를 곱하였다. 농경지는 4.7톤 C ha<sup>-1</sup>값을 적용하였으며, 초지는 온대 다습 기후대의 지상부 바이오매스의 최댓값인 2.7t·d·m/ha를 적용하였다(Eq. 1).

$$\Delta C_{CONVERSION} = \sum (B_{AFTERi} - B_{BEFOREi}) \times \Delta A_{OT\_OTHERSi} \times CF \quad (Eq. 1)$$

- $\Delta C_{CONVERSION}$  : 바이오매스의 탄소축적량 초기 변화 [t C/yr]
- $B_{AFTERi}$  : 전용 직후 탄소축적량 [t d.m/ha]
- $B_{BEFORE}$  : 전용 전 바이오매스의 탄소축적량 [t d.m/ha]
- $\Delta A_{OT\_OTHERSi}$  : 전용 된 해의 토지이용유형 면적 [ha/yr]
- $CF$  : 건물질의 탄소전환계수 t C / (t d.m.)
- $i$  : 전용 된 토지 이용 유형

##### 2) 고사유기물

고사유기물 역시 정주지로 전용된 후 탄소축적량은 '0'이 되며, 이후 축적이 일어나지 않는다고 가정하여 산정하였다. 고사유기물은 낙엽층과 고사목으로 분류할 수 있으며, 본 연구에서는 낙엽층만 고려하였다. 또한 산림환경에서의 혼효량은 침엽수와 활엽수가 1:1 비율로 분포한다고 가정하여, 산림지 고사유기물 기본 값은 17.5를 사용하였다. 산림이 아닌 모든 카테고리의 고사목 및 낙엽층 저장고

내의 탄소 축적량은 '0'으로 가정하였다.

정주지의 낙엽층 탄소전환계수의 경우, 'IPCC2006'에서 생태계 고유자료가 이용 가능하지 않을 때 제시하고 있는 낙엽층 탄소 분율 값 0.40을 적용하였다[4](Eq. 2).

$$\Delta C_{DOM} = (C_n - C_0) \times A_{on} / T_{on} \quad (\text{Eq. 2})$$

$\Delta C_{DOM}$  : 고사유기물의 연간 탄소축적량 변화, [t C/yr]

$C_n$  : 전용 전 고사유기물의 탄소축적량 [t C/ha]

$C_0$  : 전용 후 고사유기물의 탄소축적량 [t C/ha]

$A_{on}$  : 전용 된 면적 [ha]

$T_{on}$  : 토지 전용 소요 기간 [yr]

\* 탄소 축적량의 증가에 대해서는 20년으로 하고, 손실량에 대해서는 1년으로 한다.

### 3) 토양

토양탄소의 전용 전 유기탄소 축적량(SOC<sub>0</sub>)은 탄소 축적량 기준 값(SOC<sub>REF</sub>)과 고정된 계수(F<sub>Lu</sub>, F<sub>MG</sub>, F<sub>I</sub>)로 결정된다. 전용된 토지 및 정주지에는 유기물 토양은 존재하지 않는 것으로 가정하고 산정하였으며, 초지, 농경지, 산림지 토양의 F<sub>Lu</sub>, F<sub>MG</sub>, F<sub>I</sub>의 값은 기본 값 1을 적용하였다.

선행연구를 참고하여 우리나라의 토양형별 면적은 LAC토양 70.60%, 사질토양 4.09%, 제주지역의 화산회토가 25.31% 수치를 적용하였다[13]. 토양 유기탄소 축적량의 기본값은 LAC토양 63, 사질토양 34, 화산회토 80이다. 초지 관리 방법에 대한 상대적인 축적량 관계 인자는 '2021년 정주지부문 국가 온실가스 통계산정 연구'와 'IPCC 2006' 자료를 활용하였다[4, 12](Eq. 3).

$$\Delta C_{Mineral} = (SOC_0 - SOC_{(O-T)}) / D$$

$$SOC = \sum (SOC_{REF} \times F_{Lu} \times F_{MG} \times F_I \times A) \quad (\text{Eq. 3})$$

$\Delta C_{Mineral}$  : 무기 토양의 연간 유기탄소 축적량의 변화 [t C/yr]

$SOC_0$  : 마지막 해의 토양 유기 탄소(C) 축적량 [t C]

$SOC_{(O-T)}$  : 첫번째 해의 토양 유기 탄소(C) 축적량 [t C]

$T$  : 각 인벤토리 기간을 초과하는 기간 [yr]

$D$  : 저장변화계수의 시간 의존도 [yr]

$SOC_{REF}$  : 탄소(C) 축적량 인용값 [t/ha]

$F_{Lu}$  : 토지 이용시스템이나 특정 토지 이용 하부시스템의 저장변화계수, 단위없음

$F_{MG}$  : 관리 체계 (경운)에 대한 저장변화 계수, 단위없음

$F_I$  : 유기물 사용에 대한 저장 변화 계수, 단위없음

$A$  : 추정된 층의 토지 면적 [ha]

\*  $D$ 는 일반적으로 20년이며, 계수( $F_{Lu}$ ,  $F_{MG}$ ,  $F_I$ )들에 의해 성립된 가정에 기초한다.

\*  $T$ 가  $\geq 20$ 년이면, 이 식에서  $T$ 는  $D$ 로 대체된다.

\* 포장된 정주지의 비율을 위해 이전의 토지이용에 대한  $F_{Lu}$ ,  $F_{MG}$ ,  $F_I$ 의 값에 0.8배를 적용한다.

## 5. 탄소배출량 산출 및 개선방안

### 5.1 정주지 전용에 따른 탄소배출량

타 토지에서 정주지로 전용 되는 과정에서의 탄소축적 변화량 산정을 위해 연속지적도의 산림지, 농경지, 초지를 공간 분석하고, 토지이용계획도의 정주지 영역을 공간 분석하여 각 분류별로 서로 중복되는 영역으로, 해당 영역에 대한 면적을 산출하였다. 농경지에서 정주지로 전용되는 각 용도별 전용 면적은 Fig. 4와 같으며, 이를 바탕으로 각 분야별 탄소배출량을 Table 5와 같이 산출하였다.

산림지에서 정주지로 전용되면서 배출되는 탄소의 양은 바이오매스, 고사유기물, 토양에서 각각 3,905.40 t d.m, 376.22 t d.m, 820.13 t d.m이며 총 5,101.75 t d.m이다. 농경지에서 정주지로 전용되면서 배출되는 탄소의 양은 바이오매스 342.21 t d.m, 토양 917.41 t d.m이며, 총 1,259.62 t d.m이다. 초지에서 정주지로 전용되면서 배출된 탄소의 양은 바이오매스 0.14 t d.m, 토양 0.63 t d.m이며, 총 0.77 t d.m이다.

### 5.2. 정주지 탄소배출량 저감 방안

5.1. 결과 같이 타 토지이용에서 정주지로 전용되는 과정에서 다량의 탄소가 배출됨을 확인하였다. 이는 전용 전의 탄소축적량이 정

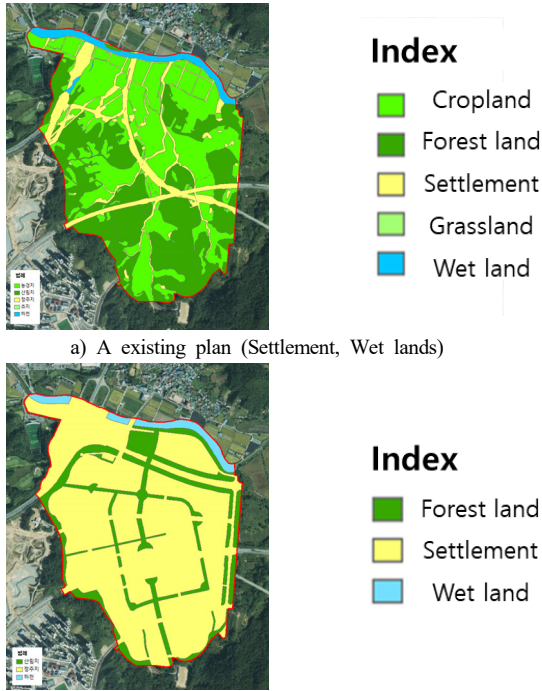


a) Forest land → Settlement (Area : 650,923.48m<sup>2</sup>)  
 b) Crop land → Settlement (Area : 728,158.48m<sup>2</sup>)  
 c) Grass land → Settlement (Area : 493.56m<sup>2</sup>)

Fig. 4. Area dedicated to settlement

Table 5. Carbon emissions of land use change to settlement (before applying the scenario) (Unit: t d.m/ha)

Classification		Carbon accumulation of before land use change	Carbon emissions of land use change to settlement
Biomass	Forest land → Settlement	3,918.00	-3,905.40
	Crop land → Settlement	343.85	-342.21
	Grass land → Settlement	0.14	-0.14
Dead organic matter	Forest land → Settlement	377.43	-376.22
	Crop land → Settlement	822.78	-820.13
Soil	Forest land → Settlement	822.78	-820.13
	Crop land → Settlement	921.82	-917.41
	Grass land → Settlement	0.63	-0.63



a) A existing plan (Settlement, Wet lands)

b) New plan (Settlement, Wet lands, Neighborhood park, Green area)

Fig. 5. A existing plan and new plan of settlement development scenario

Table 6. Area comparison before and after scenario change

A existing plan		New plan	
Classification	Area(m <sup>2</sup> )	Classification	Area(m <sup>2</sup> )
Settlement	1,630,596.36	Settlement	1,332,796.53
		Forest land	297,799.83
Wet lands	57,091.46	Wet lands	57,091.46

주지로 전용되면서 전체 면적에서 탄소를 배출한 것으로 산정되었기 때문이며, 이를 저감하기 위해서는 정주지의 보존 녹지에 대해서는 탄소가 배출되지 않을 것으로 산정하는 방식 적용을 통해 통계적으로 배출을 저감할 수 있다.

하지만 국내의 경우, 3ha 미만의 정주지 녹지 및 근린공원에 대하여 흡수원으로 산정하고 있지 않기 때문에 개발 과정에서 전 면적이 탄소배출로 산정될 수밖에 없다. 정주지 개발과정에서 보존 및 재활용 할 수 있는 녹지는 탄소를 배출하지 않기 때문에 이에 대한 고려가 필요하다.

본 절에서는 해당 정주지의 토지이용계획도 상 '근린공원'과 '녹지'로 예정되어 있는 면적을 개발되는 과정에서 보존하고 활용하는 것으로 시나리오를 가정하여 탄소배출량을 산정하여, 정주지 개발시 통계적으로 탄소 배출을 저감하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다. 대상 정주지의 개발 기준 및 변경(안)의 상세내용은 Fig. 5.와 같으며, 이에 따른 상세 면적 변화는 Table 6.과 같다.

산림지에서 정주지로 전용되면서 배출되는 탄소의 양은 바이오매스 3,253.80 t d.m, 고사유기물 및 토양 313.45 t d.m, 683.30 t d.m이며, 총 4,250.55t d.m이다. 농경지에서 정주지로 전용되면서 배출되는 탄소의 양은 바이오매스 271.71 t d.m, 토양 728.41 t d.m이며, 총 1,000.12 t d.m이다. 초지에서 정주지로 전용되면서 배출된 탄소의 양은 면적이 변경이 없기 때문에 전·후의 양이 동일하다

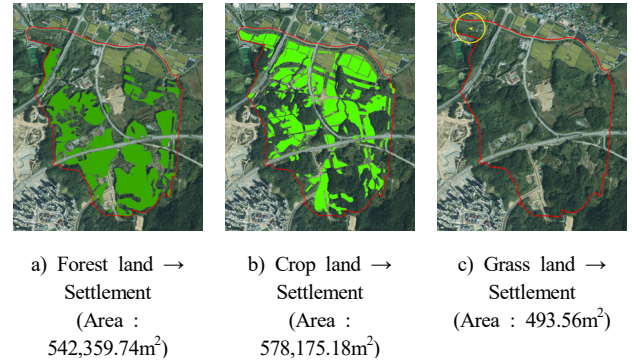


Fig. 6. Area of land use change to settlement

Table 7. Carbon emissions of land use change to settlement (after applying the scenario) (Unit: t d.m/ha)

Classification		Carbon accumulation of before land use change	Carbon emissions of land use change to settlement
Biomass	Forest land → Settlement	3,918.00	-3,253.80
	Crop land → Settlement	343.85	-271.71
	Grass land → Settlement	0.14	-0.14
Dead organic Matter	Forest land → Settlement	377.43	-313.45
Soil	Forest land → Settlement	822.78	-683.30
	Crop land → Settlement	921.82	-728.41
	Grass land → Settlement	0.63	-0.63

Table 8. Carbon emission reduction of scenario (Unit: t d.m)

Classification		Carbon emission reduction
Biomass	Forest land → Settlement	651.6
	Crop land → Settlement	70.5
	Grass land → Settlement	0
Dead organic matter	Forest land → Settlement	62.77
Soil	Forest land → Settlement	136.83
	Crop land → Settlement	189
	Grass land → Settlement	0
Total		1,110.7

(Fig. 6., Table 7.).

이와 같은 과정을 통해 시나리오 변경에 따른 탄소배출량을 산정하였다. 시나리오 변경에 따른 탄소 배출량이 전반적으로 모두 감소하였고, 면적 변화가 없는 하천의 경우 추가적인 탄소배출 없이 동일하였다. 탄소배출의 저감량은 총 1,110.7 t d.m이며, 산림지의 바이오매스 배출량이 651.6 t d.m 으로 가장 많이 저감되는 것으로 확인하였다. 그 뒤로 농경지의 토양(189 t d.m), 산림지의 토양(136.83 t d.m), 농경지의 바이오매스(70.5 t d.m), 산림지의 고사유기물(62.77 t d.m) 순으로 나타났다. 상세 결과는 Table 8.과 같다.

## 6. 결론

본 논문은 타 토지에서 정주지로 개발되는 과정에서 배출되는 탄

소축적량을 IPCC G.L 2006의 방법에 따라 산정을 실시하고 하고, 통계적으로 온실가스 배출량을 저감시킬 수 있도록 적용가능 한 시나리오를 설정하여 이에 따른 결과를 분석하였다.

현재 IPCC G.L에서는 Tier1, Approach 1 수준일 경우 정주지의 공원 및 녹지를 흡수원으로 산정하지 않고 있지만 산정 방법이 고도화될 경우 이를 흡수원으로 산정하는 방식의 적용이 필요하다. 따라서 본 논문의 시나리오는 정주지의 경관녹지, 근린공원, 수변공원, 완충녹지를 탄소흡수원으로 산정하여, 정주지로 개발되는 과정에서 보존되는 면적에서는 탄소 배출이 되지 않는 것으로 가정하였다.

대상지는 전용 전 토지이용 분류 별 면적과 전용 후 토지이용분류 별 면적을 각각 산출하여 온실가스 흡수원을 산정하였으며, 탄소축적량 산출은 바이오매스, 고사유기물, 토양 3개 부문으로 분류하여 산출하였다. 산출기준은 2006 IPCC G.L.에서 제시한 타 토지에서 전용된 정주지(도시)의 탄소축적변화량 산정식 및 계수를 적용하였다.

연구결과, 시나리오 변경에 따른 탄소배출량이 전반적으로 모두 감소하였다. 탄소배출의 저감량은 총 1,110.7 t d.m이며, 산림지의 바이오매스 배출량이 가장 많이 저감되는 것으로 확인하였다. 그 뒤로 농경지의 토양, 산림지의 토양, 농경지의 바이오매스, 산림지의 고사유기물 순으로 나타났다.

이와 같은 결과는 전용 전의 토지이용과 전용 후의 토지 이용에 따라서 상이하게 나타나기 때문에 본 연구의 결과보다는 탄소배출량 산정 과정과 이를 저감시키기 위한 절차가 의의 있다고 사료된다. 본 논문의 사례를 활용하여 정주지 개발 시 탄소배출량 저감을 위한 정량적 산정이 가능하기 때문에 탄소중립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이라 기대하며, 또한 정주지 온실가스 흡수원 통계 산정 방법을 개선하는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## Acknowledgement

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2020-KA158194).

## References

[1] 환경부 온실가스종합정보센터, 2021 국가온실가스 인벤토리보고서, 2022. // (Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, 2021 Greenhouse Gas Inventory & Research, 2022.)

[2] 최솔이 외 5인, 국내 정주지 온실가스 인벤토리 산정을 위한 활동자료 구축 방법 개발 및 시범 적용 연구: 인천 서구를 중심으로, 기후변화학회지, 제11권 제3호, 2020.06, pp.187-196. // (S.E. Choi et al., Pilot study and development of activity data for greenhouse gas inventory of settlement categories in Korea: A case of Incheon Seo-gu, Journal of Climate Change Research, 11(3), 2020.06, pp.187-196.)

[3] 홍세기 외 6인, 정주지 부문 온실가스 인벤토리 산정을 위한 공간 범위별 이산화탄소 흡수량 비교 분석, 기후변화학회지, 제12권 제6호, 2021.12, pp.767-776. // (S.G. Hong et al., Comparative analysis on the sequestration of CO<sub>2</sub> depending on spatial ranges for estimating greenhouse gas inventory in settlement, Journal of Climate Change Research, 12(6), 2021.12, pp.767-776.)

[4] 강명수 외 7인, 2021년 정주지 부문 국가 온실가스 통계산정 연구, 국토교통부, 2021. // (M.S. Kang et al., 2021 National GHG statistical calculation study in the settlement, Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2021.)

[5] 정유진, 임중수, 김준순, LULUCF분야 온실가스 통계 작성을 위한

제도 개선방안 연구, 기후변화학회지, 제11권 제6-2호, 2020.12, pp.729-738. // (Y.J. Jung, J.S. Yim, J.S. Kim, Improving institutional arrangements to enhance GHG inventory of the LULUCF sector, Journal of Climate Change Research, 11(6-2), 2020.12, pp.729-738.)

[6] 정혜진, 도시계획분야의 온실가스 인벤토리 구축 방향, 환경논총, 제50권, 2011.12, pp.97-113. // (H.J. Jung, Directions for establishing a greenhouse gas inventory in the urban planning sector, Journal of Environmental Studies, 50, 2011.12, pp.97-113.)

[7] 임성은 외 3인, 온실가스 감축을 위한 도시계획 부문간 통합의사결정체계의 문제점과 개선방안, 지역정책연구, 제26권 제1호, 2015.06, pp.1-18. // (S.E. Lim et al., A study on the integrated decision making system for GreenHouse Gas Reduction(GHGR) in urban planning, Regional Policy Review, 26(1), 2015.06, pp.1-18.)

[8] 김원주 외 3인, 공원녹지분야의 탄소흡수원 확보 및 탄소저감방안, 서울연구원, 2010. // (W. Kim et al., A study on ensuring carbon reservoir and reducing carbon emissions plan, Seoul Development Institute, 2010.)

[9] 조현길, 조동하, 도시 주요조경수종의 연간 CO<sub>2</sub> 흡수, 한국조경학회지, 제26권 제2호, 1998.07, pp.37-53. // (H.K. Jo, D.H. Cho, Annual CO<sub>2</sub> uptake by urban popular landscape tree species, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 26(2), 1998.07, pp.37-53.)

[10] 박은진, 강규이, 도시 수목의 이산화탄소 흡수량 산정 및 흡수효과 증진 방안, 경기연구원, 2009. // (E.J. Park, K.Y. Kang, Quantification of CO<sub>2</sub> uptake by urban trees and greenspace management for C sequestration, Gyeonggi Research Institute, 2009.)

[11] 홍동곤 외 40인, 2019 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 온실가스종합정보센터, 2019. // (D.K. Hong et al., 2019 national greenhouse gas inventory report of Korea, Green Gas Inventory and Research Center, 2019.)

[12] S. Eggleston et al., 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006.

[13] 농촌진흥청, 한국의 토양분류 및 해설, 2011. // (Rural Development Administration, Soil survey-classification and interpretation of Korea, 2011.)