RS/GIS를 이용한 토지이용변화에 의한 녹지의 이산화탄소 (CO₂) 흡착량 분포 추정

Estimation of Carbon Absorption Distribution by Land Use Changes using RS/GIS Method in Green Land

나상일^{*,†} · 박종화^{**} · 박진기^{***}

Na, Sang Il^{*,†} · Park, Jong Hwa^{**} · Park, Jin Ki^{***}

ABSTRACT

Quantification of carbon absorption and understanding the human induced land use changes (LUC) forms one of the major study with respect to global climatic changes. An attempt study has been made to quantify the carbon absorption by LUC through remote sensing technology. The Landsat imagery four time periods was classified with the hybrid classification method in order to quantify carbon absorption by LUC. Thereafter, for estimating the amount of carbon absorption, the stand biomass of forest was estimated with the total weight, which was the sum of individual tree weight. Individual tree volumes could be estimated with the crown width extracted from digital forest cover type map. In particular, the carbon conversion index and the ratio of the CO₂ molecular weight to the C atomic weight, reported in the IPCC guideline, was used to convert the stand biomass into the amount of carbon absorption. Total carbon absorption has been modeled by taking areal estimates of LUC of four time periods and carbon factors for land use type and standing biomass. Results of this study, through LUC suggests that over a period of construction, 7.10 % of forest and 9.43 % of barren were converted into urban. In the conversion process, there has been a loss of 6.66 t/ha/y (7.94 %) of carbon absorption from the study area.

Keywords: Carbon absorption; Land Use Change (LUC); Landsat imagery; Remote Sensing (RS); Geographic Information System (GIS)

I. 서 론

1990년에 발표된 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)의 1차 보고서에 의하면 인간 활동에서 비롯된 산업 혁명으로 인하여 다량의 온실가스가 배출되었고, 이에 지구의 기온은 10년마다 0.3 °C씩 상승하고 21세기 말에는 최고 65 cm까지 해수면이 상승할 것이라고 예측하였다. 또한, 현재와 같은 에너지 다소비체제가 지속될 경우 기후변화로 인한 경제적 손실만도 매년 세계 GDP의 5 ~ 20 %에 이르러 1930년 대공황에 맞먹는 경제적 파탄을 일으킬 수 있다고 전망하였다 (Nicholas, 2006). 이에 따라 우리나라도 2008년 8월 15일 건국 60주년 기념행사에서 '저탄소 녹색성장' 국가비전이 선포됨에 따라 2008년 9월 기후변화대응 종합계획, 신재생에너지 기본계획이 발표되었고, 2009년 1월 저탄소·친환경·자원절약 등

녹색성장에 고용창출정책을 융합한 녹색뉴딜사업이 발표되는 등 기후변화에 전략적으로 대응하고 있다.

그러나 기존 방식대로 도심지 개발이 진행된다면, 우리나라의 토지이용은 고밀도 도심지로 확장될 것이며, 도심지의 허파 기능을 갖는 도심지 주변의 나대지, 초지, 녹지 등이 개발용지로 전용되면서 사라지게 될 것이다. 또한, 환경보전 및 환경과의 공생을 통한 지속성의 추구는 이루어지지 않은 채, 산지를 절토 및 성토하여 신도시를 개발하고 계속해서 녹지와 토양의 훼손, 지하수의 차단과 지표수의 방출 등으로 인한 미기후 변화까지 야기하고 있다. 그 결과, 도심지의 지형, 복사열수지, 풍향, 풍속 등의 요소들은 자연생태계와 달리 변형되어 대기 순환 메커니즘에 더욱 큰 변화를 가져오게 될 것이다. 이와 같이 토지이용의 급격한 변화는 점점 기후변화와 대기오염에 영향을 미치고 있지만, 이를 극복하려는 시도는 대부분 정책적 선택이나 기계장치에 의존하고 있다. 이러한 문제 해결을 위해서는 토지이용변화에 의한 보다 현명한 기후변화 대응이 필요하며, 이는 정책적 선택이나 기계장치가 아닌 토지이용변화에 따른 기후부담 영향요소의 영향을 최소화 또는 조절하는 방향으로 접근하여야 할 것이다.

식생의 탄소흡착량은 근래까지도 현장에서 식생을 채취해 건조시키는 방법으로 추정해 왔다. 그러나 현실적으로 이러한 방

* 충북대학교 농업생명환경대학 지역건설공학과 박사과정

** 충북대학교 농업생명환경대학 지역건설공학과

*** 충북대학교 농업생명환경대학 지역건설공학과 석사과정

† Corresponding author. Tel.: +82-43-261-2572

Fax: +82-43-271-5922

E-mail address: sangil917@nate.com

2010년 4월 2일 투고

2010년 5월 6일 심사완료

2010년 5월 6일 게재확정

법의 적용은 불가능하며, 그 대안으로 표본을 추출하여 계수를 구하고, 값을 활용하는 것이 일반적이다. 최근의 추세는 원격 탐사 영상자료를 활용하는 것인데 장소 및 시간에 구애받지 않고, 원하는 시기의 자료를 획득할 수 있으며, 현장조사를 통해 취득된 산림생장요소의 측정이 가능하기 때문에 매우 경제적이고 효율적인 측정방법이라 할 수 있다 (Kim, 2007). 기존 연구로는 저해상도 영상을 사용하여 광범위한 지역을 식생과 토양으로 구분하여 바이오매스와 탄소흡착원을 추정하는 연구 (Federico et al., 2006; Ranson et al., 2007)와 고해상도 위성영상을 이용하여 단일 식생에 대한 바이오매스나 탄소저장량을 추정하는 연구 (Thenkabail et al., 2004; Kim et al., 2009), 현장조사와 탄소흡착량 계산모델을 바탕으로 도시림의 탄소흡착량과 원격탐사 자료의 상관관계를 분석하여 탄소흡착량의 변화를 추정하는 연구 (Myeong et al., 2006) 등이 있다. 그러나 토지이용 변화의 조사를 통해 특정 토지이용 유형 내에서 면적의 증감과 그 변화가 어떠한 방향으로 이루어졌는지에 대한 연구는 거의 없는 실정이며, 나아가 공간적인 정보가 제공되는 수준에서의 토지이용 변화에 대한 연구들은 아직 초보단계에 머물고 있다.

본 연구는 기후변화에 대한 대응과 토지이용변화에 따른 녹지의 이산화탄소 (이후, CO₂) 흡착량 분포 추정을 위해 오창과학산업단지의 시계열 위성영상과 RS 및 GIS를 이용하고, 과학단지 건설에 따른 토지이용 변화와 CO₂ 흡착량과의 상관분석을 통해 공간분포 변화 특성을 검토하였다.

II. 연구대상지역과 사용 데이터

1. 연구대상지역

연구대상지역은 충청북도 청원군 옥산면 오창읍 일원에 위치한 오창과학산업단지이다 (Fig. 1). 이 지역은 2002년에 준공된 9,450,000 m²의 대규모 단지로서 전자·전기 및 정밀기계, 신

물질·생명공학, 항공기·수송 등 첨단 IT산업과 관련된 업종이 입주를 완료하였다. 인구 및 가구는 총 10,885가구의 30,116명이 거주하고 있다 (Statistics Korea 2006). 지형적 특성은 대상지역의 북서측에 산악지대가 발달되어 있으며 남쪽으로 넓은 평야지대와 미호천이 위치하고 있다.

2. 사용 데이터

대상지역의 토지이용변화는 Table 1과 같이 Landsat 5 TM과 Landsat 7 ETM+ 위성영상을 오창과학산업단지 건설 공사 전, 초기, 말기, 완료 단계의 시계열 자료로 수집하여 이용하였

Fig. 1 Location of study area in Chungbuk

Table 1 Imagery collection data, satellite platform and sensor type

No.	Sensor	Date	Resolution
1	Landsat 5 TM	1994.08.20	30 m
2	Landsat 7 ETM+	1999.09.27	30 m
3	Landsat 7 ETM+	2001.09.16	30 m
4	Landsat 5 TM	2006.09.22	30 m

Fig. 2 Time series image data of Ochang scientific industrial complex

다 (Fig. 2). 또한, CO₂ 흡착량 산정은 국가 수자원관리 정보시스템의 임상도 및 영급도, 경급도, 수관밀도도 (해상도 30 m, TM좌표계)를 이용하였고, 참조자료로 현장조사 데이터와 수치지적도를 참조하였다.

III. 연구방법

1. 토지이용분류

토지이용분류는 우리나라 환경부의 1단위 분류체계를 참고하고 대상지역이 내륙지역인 점을 감안하여 Fig. 3과 같이 습지를 제외한 산림, 농경지, 나지, 도심지, 수역의 5개 항목으로 설정하였다. 분류기법은 Richards and Jia (1999)가 제시한 무감독분류와 감독분류가 혼용된 방법을 사용하였다. 무감독분류는 ISODATA기법을 이용하여 군집수 100개, 반복횟수 50회, 수렴도 95 %를 기준으로 1차 분류하고, 오분류된 지역은 감독분류를 실시하였다. 감독분류는 현장조사와 수치지형도를 참조자료로 영상전체에 고른 분포를 갖도록 10 ~ 30개의 표본집단 (Training data)을 선정하여 최대우도법 (Maximum likelihood)으로 실시하였다.

2. 산림의 CO₂ 흡착량 산정

산림은 대표적인 CO₂ 흡착원으로서 식물의 광합성 과정에서 CO₂가 탄소로 전환되어 바이오매스나 토양에 저장된다. 따라서 산림의 CO₂ 흡착량은 산림의 임분별 바이오매스에 의해 결정되며 (Kim et al., 2009), 바이오매스는 직접적인 산림조사를 통하여 얻어진 개체목의 수고, 흉고직경 (Diameter at Breast Height, DBH) 및 수관폭 등을 이용하여 추정할 수 있다. 하지만, 기존의 방법은 많은 시간과 노력이 요구되므로 본 연구에서는 RS 기법을 이용하였다. RS 기법에 의한 CO₂ 흡착량 산정은 위성영상을 이용한 토지이용도와 임상도 (임상, 경급, 영

급, 수관밀도)를 이용하여 추정된 임상별 DBH와 분수 (stem)로부터 CO₂ 흡착량 산정 관계식을 통해 최종적으로 임상별 CO₂ 흡착량을 추정하는 방법이다. 산림의 임상별 CO₂ 흡착량 산출식에는 바이오매스와 탄소전환계수가 이용되며, 바이오매스 추정식은 건중량과 DBH를 사용하여 얻을 수 있다 (Son et al., 2007). 흉고직경을 이용한 건중량 산출식은 식 (1)과 같다.

$$W = a + b \cdot DBH + c \cdot DBH^2 \quad (1)$$

여기서, W는 건중량 (kg/tree), DBH는 흉고직경, a, b, c는 각각 수종에 따른 건중량 계수 (Table 2)이며, 그 외 수종에 따른 경급별 DBH와 임상별 W 합계는 Table 3 및 Table 4와 같다.

식 (1)을 통해 얻어진 건중량에 식 (2)와 같이 바이오매스 확장계수를 적용하여 수종별 총 바이오매스를 구할 수 있다.

$$B = W \times BEF \quad (2)$$

여기서, B는 총 바이오매스, BEF는 바이오매스 확장계수 (침엽수 : 1.6512, 활엽수 : 1.7202, 혼효림 : 1.6857)이다.

Table 2 Coefficients for calculating dry weight (W) from DBH by tree species

Species	coefficient			FI
	a	b	c	
Pinus rigida	12.17400	-3.28612	0.36354	0.869
Pinus koraiensis	31.60970	-5.44588	0.42022	0.964
Larix leptolepis	1.42534	-1.98035	0.40005	0.935
Quercus acutissima	-3.66166	0.51529	0.35117	0.942

(Korea Forest Research Institute, 2004)

Table 3 Diameter class

Class	Diameter at Breast Height
Young	DBH < 6 cm (more than 1,800 stem/ha)
Small pole	8 cm ≤ DBH ≤ 16 cm (more than 1,800 stem/ha)
Middle pole	18 cm ≤ DBH ≤ 26 cm (more than 1,800 stem/ha)
Large pole	30 cm ≤ DBH (more than 1,800 stem/ha)

Table 4 Dry weight (W) from forest type and diameter

Class	Small pole	Middle pole	Large pole
Coniferous forest	25.94	3.46	0.41
Broadleaf forest	20.74	7.60	0.56
Mixed forest	23.34	5.53	0.49

Classification	Contents
Forest	broadleaf, needle-leaf, mixed
Farm	paddy, upland, vinyl house, stable
Barren	mine, beach, riverside, undeveloped area
Urban	residence, industry, trade, traffic, town, public
Water	river, watercourse, lake, seawater

- Unsupervised classification
 - ISODATA clustering
 - Maximum of clusters : 100
 - standard deviation : 95%
 - Maximum iteration : 50
- Supervised classification
 - Maximum likelihood
 - Training data : 10~30
 - fuzzy theory
 - 3×3 Majority filtering

Fig. 3 Description of land use classes and applied classification method

위의 식으로 산출한 수종별 총 바이오매스량을 CO₂ 저장량으로 전환하기 위해서는 IPCC에서 권고한 탄소전환계수와 전환비를 이용하며 적용식은 식 (3)과 같다.

$$CS = B \times 0.5 \times 44/12 \quad (3)$$

여기서, CS는 CO₂ 흡착량 (kgCO₂/tree), 0.5는 탄소전환계수 (IPCC), 44/12는 전환비이다.

3. 기타 녹지의 CO₂ 흡착량 산정

산림을 제외한 기타 녹지의 토지이용별 CO₂ 흡착량은 각 토지이용율에 따른 원단위 산정법을 근거로 흡착량을 산정하였다. 광역 지역에 대한 CO₂ 흡착량의 추정은 대상지역에 서식하는 식생 군락의 특성을 파악하고 여러 종류의 식생이 가지는 바이오매스를 종합적으로 계산하여야 한다. 따라서 각 토지이용 항목에 따른 흡착량은 바이오매스와 토양으로 나누어 식생과 토양의 CO₂ 흡착가능량을 개별적으로 산출하며, 식 (4)와 Table 5를 이용하여 계산할 수 있다 (Krishna et al., 2002).

$$TCF = A_B Bf_i + A_S Sf_i \quad (4)$$

여기서, TCF는 총 탄소플럭스, A_B는 바이오매스 면적, Bf_i는 바이오매스의 탄소 저장계수, A_S는 토양 면적, Sf_i는 토양의 탄소 저장계수이다.

Table 5 Carbon storage factors for different land use

Category	Biomass (tC/ha/yr)	Soil (tC/ha/yr)
Barren land	2	8
Glass land	15	30
Farm land	7.5	40

4. CO₂ 흡착량 공간분포 추정

추출한 CO₂ 흡착량 산정 결과는 위성영상을 기반으로 표현된다. 따라서 위성영상의 공간해상도에 따른 격자구조의 형태는 CO₂ 흡착량과 같은 데이터를 형상화하는데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 GIS의 내삽기법 중 하나인 Kriging 기법을 이용하여 CO₂ 흡착량의 공간분포를 추정하였다. 일반적으로 널리 쓰이는 내삽기법은 국소내삽기법 중 역거리가중 (Inverse Distance Weighting) 기법이나 이 방법은 오차가 커서 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 그러나 전역내삽을 통한 Kriging 기법은 공간상의 확률변수 자료들에 대해 신뢰성 있는 분포도를 생산할 수 있기 때문에 지형뿐만 아니라 대기 오염이나 농도 등 다양한 형태의 데이터를 형상화하는데 사용된다 (Journel, 1986). 이를 간단한 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i \quad (5)$$

여기서, z^* 는 대상지점에서의 예측치, λ_i 는 예측을 위해 사용된 각각의 자료값들에 대한 가중치, z_i 는 위치정보와 값을 알고 있는 자료점이다.

IV. 결과 및 고찰

1. 토지이용 변화

시계열 위성자료를 이용한 오창과학산업단지의 토지이용도는 Fig. 4와 같다. 또한 경년별 토지이용 변화는 Fig. 5와 같이 공사초기, 공사중기, 공사후기로 각 단계별 토지이용 특성이 뚜렷하게 나타났다. 공사초기 (1999년)의 경우 터파기 등의 기본 공사로 산림 면적이 감소하고 나지 면적이 증가하였다. 공사중기

Fig. 4 Land use classification of Ochang scientific industrial complex

(2001년)에는 도심지의 급속한 개발로 나지 면적은 감소하지 만 도로 포장 등 기본시설의 증가로 도심지 면적이 크게 증가 하며 산림 면적은 계속 감소하였다. 공사후기 (2006년)에는 공 사가 완료됨에 따라 호수공원 및 녹지 조성으로 농경지와 산림 등 녹지 면적이 서서히 증가하고 계속되는 개발로 나지의 도심 지화가 분명하게 나타났다.

Fig. 5 Change in land use of Ochang scientific industrial complex

2. RS기법에 의한 CO₂ 흡착량 산정

오창과학산업단지의 시계열 위성영상으로 분류한 토지이용도 와 임상도를 이용하여 녹지의 CO₂ 흡착량 분포를 산정하면 Fig. 6과 같다. 전체적인 CO₂ 흡착량 분포양상은 시간경과에 따라 큰 차이가 없었으나 공업단지가 위치한 지역은 공사 초 기에 CO₂ 흡착량이 급격히 낮아지는 경향이 나타났다. 이는 공사 전 대상지역의 산림 및 논이 공사 초기 나지로 바뀌면서 식생이 급격히 감소하여 나타난 결과로 해석된다. 도심지와 나 지 등 식생이 없고 불투수성 지역의 흡착량은 9.99 t/ha/y 이 하로 분포하였으나 식생이 많고 녹지가 있는 산림과 농경지 등의 흡착량은 47.40~192.15 t/ha/y의 높은 분포를 보였다. 이와 같이 CO₂ 흡착량 분포는 토지이용도와 비교적 잘 일치하 며 공사가 진행됨에 따라 공단이 위치한 지역의 토지 이용이 산림 및 논에서 나지로, 나지에서 도심지의 순서로 변화하는 특성을 나타내므로 토지이용도를 활용한다면 CO₂ 흡착량을 추

Fig. 6 Estimation of carbon absorption of Ochang scientific industrial complex

Table 6 Carbon absorption of Ochang scientific industrial complex

1994			1999			2001			2006		
Absorption (kg/ha)	area (ha)	Absorption (ton)	Absorption (kg/ha)	area (ha)	Absorption (ton)	Absorption (kg/ha)	area (ha)	Absorption (ton)	Absorption (kg/ha)	area (ha)	Absorption (ton)
0.00	2,234.43	0.00	0.00	2,851.47	0.00	0.00	2,801.79	0.00	0.00	3,624.12	0.00
9.99	2,331.63	23,292.98	9.99	2,770.11	27,673.40	9.99	1,788.93	17,871.41	9.99	1,208.25	12,070.42
28.71	67.86	1,948.26	28.71	66.33	1,904.33	28.71	64.44	1,850.07	28.71	68.85	1,976.68
47.40	4,141.98	196,329.85	47.40	3,753.90	177,934.90	47.40	5,007.24	237,343.20	47.40	4,491.90	212,916.10
58.23	1.53	89.09	58.23	1.98	115.30	58.23	1.44	83.85	58.23	1.44	83.85
103.53	22.41	2,320.11	103.53	24.48	2,534.41	103.53	23.67	2,450.56	103.53	25.29	2,618.27
159.66	3,177.99	507,397.88	159.66	2,741.58	437,720.70	159.66	2,639.43	421,411.40	159.66	2,733.84	436,484.90
176.40	1,101.15	194,242.86	176.40	1,059.57	186,908.10	176.40	1,026.18	181,018.20	176.40	1,078.38	190,226.20
186.24	1,239.39	230,823.99	186.24	1,110.42	206,804.60	186.24	1,039.32	193,563.00	186.24	1,136.88	211,732.50
192.15	405.36	77,889.92	192.15	343.89	66,078.46	192.15	331.29	63,657.37	192.15	354.78	68,170.98
Total	14,723.73	1,234,334.94	Total	14,723.73	1,107,674.20	Total	14,723.73	1,119,249.06	Total	14,723.73	1,136,279.90

Table 7 Carbon absorption variation of Ochang scientific industrial complex

	1994	1999	2001	2006
Absorption (t/ha/y)	83.83	75.21	76.02	77.17
Variation (%)	.	-10.26	-9.32	-7.94

정하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

Table 6은 Fig. 6의 CO₂ 흡착량 분포를 이용하여 오창과학 산업단지 주변의 경년별 CO₂ 흡착량을 산출한 것이다. 또한 경년별 단위면적 (ha) 당 CO₂ 흡착량의 변화를 정리하면 Table 7과 같다. 산출 결과 오창과학산업단지의 CO₂ 흡착량은 공사 전 83.83 t/ha/y에서 공사초기 75.23 t/ha/y로 가장 크게 감소하였으며 공사가 진행됨에 따라 서서히 흡착량이 증가하여 공사 후에는 77.17 t/ha/y로 나타났다. 따라서 오창과학산업단지의 개발로 인한 CO₂ 흡착량의 감소율은 약 6.66 t/ha/y (7.94 %)로 추정된다.

3. 토지이용 변화에 따른 CO₂ 흡착량 변화평가

토지이용 변화와 CO₂ 흡착량과의 상관관계는 Fig. 7과 같이 나타났다. CO₂ 흡착량은 식물에 의한 광합성뿐만 아니라 토양 내 미생물과 식물의 뿌리에 의한 호흡이 동시에 작용하여 나타난다. 따라서 토지이용 변화에 따른 CO₂ 흡착량의 회귀식은 선형 1차식이 아닌 비선형 2차식으로 표현된다. 그 결과 토지이용에 따른 CO₂ 흡착량의 결정계수가 수역을 제외한 모든 항목에서 0.7이상으로 토지이용 변화와 CO₂ 흡착량은 매우 높은 상관관계를 보였다 (Table 8). 특히, 산림과 도심지의 결정계수가 각각 0.99, 0.97로 나타나 CO₂ 흡착량은 산림과 도심지의 이용을 변화에 매우 민감한 것으로 판단된다. 또한, 산림은 정의 상관관계를 나타내는 반면에 도심지는 부의 상관관계를 나타내어 CO₂ 흡착량은 산림의 면적율이 증가할수록, 도심지의 면적율이 감소할수록 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 7 The relationship between land-use and carbon absorption

Table 8 The result of regression analysis

Class	Regression equation	Coefficient of determination (R ²)
Forest	$y = 0.07x^2 - 10.62x + 447.61$	0.99
Farm	$y = -0.15x^2 + 24.51x - 955.02$	0.81
Barren	$y = 0.88x^2 - 140.14x + 5600.3$	0.96
Urban	$y = -0.76x^2 + 120.31x - 4761.6$	0.97
Water	$y = -0.04x^2 + 5.94x - 231.32$	0.58

4. 토지이용 변화에 따른 CO₂ 흡착량 공간분포

Fig. 6의 CO₂ 흡착량 분포를 Kriging 기법을 통해 내삽하여 형상화하면 Fig. 8과 같다. 그 결과 대상지역의 북서측에 위치한 산악지역이 비교적 높은 흡착량을 보였으며 남쪽의 농경지도 CO₂ 흡착원으로 작용하는 것으로 나타났다. 그러나 오창과학산업단지는 공사가 시작됨과 동시에 CO₂ 흡착원으로서의 기능을 상실하였고, 공사가 진행됨에 따라 과학단지 내 형성된 녹지 및 공원으로 공사초기에 비하여 흡착량은 증가하였으나 그 정도가 미비하였다. 이것은 지구 내 녹지 비율이 작고, 녹지를 제외한 대부분의 용지가 콘크리트와 아스팔트 등의 불투수성 피복으로 덮여 실질적으로 CO₂ 흡착량 증가에 큰 영향을 미치지 못한 결과로 판단된다. 또한 공사가 완료됨에 따라 감소

Fig. 8 Carbon absorption distribution

되는 흡착원이 배출원으로 전환될 것을 고려해볼 때 오창과학 산업단지 CO₂ 수지의 불균형은 더욱 심화될 것으로 예상된다. 따라서 대상지역 북서쪽으로 바람길 형성 및 대기순환 네트워크 구성, 농경지의 보호 및 정비, 불투수성 피복율의 최소화, 식생생태공원의 조성 등 추가적인 CO₂ 저감 방안 모색이 필요할 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는 오창과학산업단지의 시계열 위성영상자료와 RS/GIS 기법을 이용하여 CO₂ 흡착량을 산정하고, 과학단지 건설에 따른 토지이용 변화와 CO₂ 흡착량과의 상관분석을 통해 공간분포 변화 특성을 검토하였다. 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 대상지역의 토지이용 변화는 공사초기 (1999년)의 경우 산림 면적은 78.06 km²에서 70.66 km²로 감소하고 나지 면적이 23.32 km²에서 33.10 km²로 증가하는 반면, 공사중기 (2001년)에는 나지 면적은 33.10 km²에서 20.59 km²로 감소하지만 도심지 면적이 3.19 km²에서 12.78 km²로 크게 증가하였다. 공사후기 (2006년)에는 나지의 도심지화가 나타나는 등 각 단계별 토지이용 특성이 분명하게 나타났다.

2. CO₂ 흡착량의 전체적인 분포양상은 경년에 따라 큰 차이가 없었으나 공업단지가 위치한 지역에서 공사 초기에 CO₂ 흡착량이 급격히 낮아지는 경향이 나타났다. 도심지와 나지의 흡착량은 9.99 t/ha/y 이하로 분포하였고, 산림과 농경지 등의 흡착량은 47.40 ~ 192.15 t/ha/y로 나타났다.

3. 오창과학산업단지 주변의 경년별 CO₂ 흡착량 산출 결과, 공사 전 83.83 t/ha/y, 공사초기 75.21 t/ha/y, 공사 후 77.17 t/ha/y로 산출되어 오창과학산업단지 개발로 CO₂ 흡착량의 감소율은 약 6.66 t/ha/y (7.94 %)로 추정되었다.

4. 토지이용 변화와 CO₂ 흡착량과의 상관분석 결과, 수역을 제외한 모든 항목에서 매우 높은 상관관계를 보였다. 결정계수는 산림 > 도심지 > 나지 > 농경지 > 수역의 순으로 나타나 CO₂ 흡착량은 산림과 도심지의 이용율 변화에 매우 민감한 것으로 평가되었다.

5. CO₂ 흡착량의 공간분포는 대상지역의 북서측에 위치한 산악지역이 높은 흡착량을 보였으며 남쪽의 농경지도 CO₂ 흡착원으로 기능하는 것으로 나타났다.

6. 오창과학산업단지는 공사가 시작됨과 동시에 CO₂ 흡착원으로서의 기능을 상실하였고, 공사후기에는 공사초기에 비하여 흡착량은 증가하였으나 그 정도가 미비하여 지구 내 녹지 및 공원은 실질적으로 CO₂ 흡착량 증가에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 파악되었다.

REFERENCES

1. Federico, G. A., Asuncion, R. Z., and Jose, C. G., 2006. Assessing forest carbon sinks in Spain using satellite images. *Geo-science and Remote Sensing Symposium*, 2006. IGARSS 2006. IEEE International: 1721-1723.
2. Journel, A. G., 1986. Constrained interpolation and qualitative information - the soft Kriging approach, *Math. Geol.* 18(3): 269-286.
3. Kim, S. R., 2007. Forest cover classification by optimal segmentation of IKONOS imagery. Thesis for Master, Korea University, Seoul.
4. Kim, S. R., Lee, W. K., Kwak, H. B., and Ghoi, S. H., 2009. Estimating carbon sequestration in forest using KOMPSAT-2 imagery, *Journal of Korean Forest Society* 98(3): 324-330 (in Korean).
5. Krishna, V. P., Yogesh, K., and Badarinath, V. S., 2002. Land use changes and modeling carbon fluxes from satellite data, *Adv. Space Res.* 30(11): 2511- 2516.
6. Myeong, S., Nowak, D. J., and Duggin, M. J., 2006. A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing. *Remote Sensing of Environment* 101(2): 277-282.
7. Nicholas Stern, 2006. Stern Review: The Economics of Climate Change.
8. Ranson, K. J., Nelson, R., Kimes, D., Sun, G., Kharuk, V. and Montesano, P., 2007. Using MODIS and GLAS data to develop timber volume estimates in denral Siberia. *Geo-science and Remote Sensing Symposium*, 2007. IGARSS 2007. IEEE International: 2306-2309.
9. Richards, J. A., and Jia, X., 1999. *Remote sensing digital image analysis, 3rd Ed.*, Springer-Verlag, Berlin.
10. Son, Y. M., Lee, K. H., and Kim, R. H., 2007. Estimation of forest biomass in Korea, *Journal of Korean Forest Society* 96(4): 477-482 (in Korean).
11. STATISTICS KOREA, 2006. Chungbuk statistical yearbook. <http://www.kos-tat.go.kr/>. Accessed 3 Mar. 2010.
12. Thenkabail, P. S., Stucky, N., Grisscom, B. W., Ashton, M. S., Djels, J., van der Meer, B. and Enclona, E., 2004. Biomass estimations and carbon stock calculations in the oil palm plantations of African derived savannas using IKONOS data. *International Journal of Remote Sensing* 25(23): 5477-5472.