토지피복도와 임상도를 이용한 제천시의 이산화탄소 분포 추정

전정배 · 나상일 · 윤성수 · 박종화

충북대학교 농업생명환경대학 지역건설공학과

Spatial Distribution of CO₂ Absorption Derived from Land-Cover and Stock Maps for Jecheon, Chungbuk Province

Jeon, Jeong-Bae · Na, Sang-Il · Yoon, Seong-Soo · Park, Jong-Hwa

Dept. of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University

ABSTRACT : The greenhouse gas emission according to the energy consumption is the cause of global warming. With various climates, it occurs the direct problems to ecosystem. The various studies are being to reduce the carbon dioxide, which accounts for more than 80% of the total greenhouse gas emissions. In this study, estimate the carbon usage using potential biomass extracted from forest type map according to land-use by satellite image, and estimate the amount of carbon dioxide, according to the energy consumption of urban area. The CO₂ adsorption is extracted by the amount of forest based on the direct absorption of tree, the other used investigated value. The CO₂ emission in Jecheon was 3,985,900 TCO₂ by energy consumption. At the land cover classification, the forest is analyzed as 624,085ha and the farmland is 148,700ha. The carbon dioxide absorption was estimated at 1,834,850 Tons from analyzed forest. In case of farmland, it was also estimated at 706,658 Tons.

Key words : Land Cover Map, Stock Map, CO₂ Adsorption

1. 서 론

에너지소비에 따른 온실가스 배출은 지구 온난화 현상의 원인으로 각종 기상이변과 함께 생태계에 직접적인 문제를 발생시키고 있다. 따라서 전체 온실가스 배출량의 80% 이상을 차지하는 이산화탄소를 줄이기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다(유수홍 등, 2011). 이산화탄소의 감축 수단 중 가장 대표적인 방법은 이산화탄소 흡수원의 활용이다(김태민 등, 2007). 국제사회는 대기 중 이산화탄소의 흡수원으로 산림의 무한한 탄소저장능력에 관심을 두었으며(Alban and Peralá, 1992), 대기 중 이산화탄소 농도 저감을 위한 가장 효과적인 수단 중의 하나로 제시하였다(Laclau, 2003). 전통적인 산림의 탄소흡착량 추정은 직접적인 산림조사를 통하여 얻어진 개체목의 수고, 흉고직경 및 수관폭 등의 자료를 이용하여 추정하는 방법이다. 그러나 광범위한 지역에 대한 전통적인 방

법의 적용은 많은 시간과 노동이 요구되므로 이를 극복하기 위하여 위성영상을 이용한 연구가 많이 진행되어 왔다. 위성영상은 장소 및 시간에 구애받지 않고 원하는 지역의 자료를 획득할 수 있으며, 신속하고 저렴한 비용으로 토지이용 변화, 식생 및 임상구분, 산림자원량의 파악이 가능하다(나상일과 박종화, 2009). Krishna 등(2002)은 위성영상으로부터 토지이용에 따른 탄소 저장 가능량을 바이오매스와 토양으로 나누어 산정하고 시계열 분석을 통해 토지이용별 탄소저장량을 분석하였으며, 박진기(2010)는 Landsat 영상을 이용하여 충청북도의 이산화탄소 흡착량을 추정하고 에너지사용에 따른 이산화탄소 배출량을 산정하여 분포도를 작성하였다. 유수홍 등(2011)은 통계자료를 이용하여 바이오매스의 잠재량을 추정하고, Landsat 위성영상과 국가산림조사 표본점 자료를 kNN 알고리즘에 적용하여 충북 단양군의 지상부 산림에 대한 이산화탄소 저장량을 추정하였다. 그러나 위성영상을 이용한 이산화탄소 흡착량에 관한 선행연구는 대부분 산림을 기준으로 진행되고 있으며, 농경지나 초지에 대한 사용량은 배제되고 있다. 따라서 기후변화에 효과적

Corresponding author : Yoon, Seong-Soo

Tel : 043-261-2575

E-mail : yss@cbnu.ac.kr

으로 대응하기 위하여 토지피복 별 이산화탄소의 배출량 및 흡착량의 공간분포에 관한 연구가 시급한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 제천시를 대상으로 위성영상을 이용하여 작성한 토지이용도를 기준으로 임상도에서 추출한 산림의 바이오매스 잠재량을 이용한 이산화탄소 흡착량을 추정하고, 시가화 지역을 중심으로 에너지 소비에 따른 이산화탄소 발생량과 비교하여 이산화탄소 공간 분포도를 작성하고자 한다.

II. 대상지역 및 사용데이터

1. 연구대상지역

연구대상지역은 충북 제천시로 선정하였다(Figure.1). 제천시는 철도와 도로교통의 요충지로서 충청북도 북부 내륙지방과 영월군, 정선군, 평창군 등 강원도 태백산 지역의 상업과 공업 중심지로 도시화가 급속도로 이루어진 지역이다. 또한 석회석 산지로써 시멘트 공업이 발달했으며, 월악산 국립공원과 충주호 등 관광자원이 풍부하여 다양한 토지피복이 혼재되어 있다. 면적 882.47km², 인구 137,147명이며(통계연보, 2011), 월악산, 소백산, 치악산 등 높은 산들로 둘러싸인 분지형태의 지형적 특징이 있다. 또한 제천시는 1990년에서 2010년까지 산림의 변화면적은 1.88%로 도시화가 천천히 진행되고 있으며, 특히 국유림의 경우는 20년 동안 350%가 증가하여 산림을 지속적으로 보전하는 지역이다(Table 1).

Figure 1 Location of study area.

Table 1 Forest changes of Jecheon

(unit : ha)

Year	National Forest	Public Forest	Private Forest
2010	88,701	82,257	324,848
2005	81,483	82,293	333,997
2000	74,272	82,371	343,514
1995	70,693	82,406	502,446
1989	69,007	81,754	354,555

(National Statistical Office, 2010)

2. 사용데이터

2.1 위성영상

본 연구에서는 제천시의 토지이용도를 작성하기 위하여 2011년 6월 8일(PATH/RAW : 115/34)에 촬영된 Landsat 7 ETM+ 위성영상을 수집하였다. 또한, 기하보정을 위하여 수치지형도(1/5,000, 국토지리정보원)를 참조하였으며, Landsat 7 ETM+의 기계적 결함에 의한 손실은 크리깅 기법(Kriging Interpolation Method)을 이용하여 내삽하였다. Landsat 7 ETM+는 SLC(Scan Line Corrector)의 기계적 결함 문제로 인하여 현재 SLC-off모드 상태로 데이터를 제공

Figure 2 Original landsat image.

Figure 3 Landsat image by kriging interpolation.

하고 있기 때문에 손실된 데이터의 전처리 과정은 필수적으로 수행하여야 한다(Fig. 2). 크리깅 기법은 내삽하고자 하는 점 주위의 값에 가중치를 부여하고 공간적 패턴을 특정화하여 필요한 값을 정량적으로 평가하는 내삽기법으로(Cressie, 1992), 조홍래와 정종철(2006), 이형석(2010), 김용환 등(2011) 및 Anderson(2011), Piazza et al(2011) 등 많은 국내외 연구자들이 여러 내삽 기법 중 가장 적합한 방법으로 판단하였다. 이상의 방법으로 전처리된 영상은 Figure. 3과 같다.

2.2 수치임상도

임상도란 임분의 구성요소 중에서 중요한 수종을 조사하여, 해당 임분의 수종 분포상황을 나타내기 위하여 작성한 산림주제도이다(산림청, 2011). 임상도의 수치화는 1995년 NGIS 구축사업을 통해 수행되어 2005년을 기준으로 4차까지 진행되었다. 특히, 4차 수치임상도는 수종을 임상, 경급, 영급, 수관밀도로 세분화하였으며(김경민 등, 2009), 그 중 임상도는 총 24개의 분류체제로 제공되고 있다(Table 2).

경급은 임목을 흉고직경의 크기에 따라 나눈 단위로 Table 3과 같이 4개의 경급으로 분류하고 있으며, 영급은 수목의 연령단위를 표시한 단위로 10년을 기준으로 총 6 영급으로 분류된다. 또한, 수관밀도는 임분 내에서 임목들의 수관이 덮고 있는 정도로 대, 중, 소로 분류하고 있다.

Table 3 According to diameter class classification

Class	Diameter at Breast Height
Young	Diameter < 6cm
Small pole	8cm ≤ Diameter ≤ 16cm
Middle pole	18cm ≤ Diameter ≤ 26cm
Large pole	30cm ≤ Diameter

(Korea Forest Service, 2005)

Table 2 The properties of forest type map

Symbol	Forest Physiognomy	Symbol	Forest Physiognomy
PL	Larch Forest	Q	Ork Tree Forest
M	Coniferous & Broad-Leaf Forest	C	Coniferous Forest
D	Pine Tree Forest	E	Luin Land
O	No-Tree Land	PO	Poplar Forest
H	Broad-Leaf Tree Forest	PC	Needle-Leaf Tree Afforestation
L	Arable Land	CA	Chestnut Tree Forest
PR	Pitch Pine Forest	PQ	Ork Tree Afforestation
PK	Korean Pine Forest	F	Lumbering Land
R	Paper Making Tress Forest	W	Swamp
LP	Ranch	CR	Mountain Tree Forest
PH	Broad-Leaf Tree Afforestation	CO	Japaness Cypress Forest
PD	Pine Tree Afforestation	B	Bamboo Tree Forest

(Korea Forest Service, 2005)

2.3 에너지 소비량 통계자료

본 연구에서는 제천시의 이산화탄소 발생량을 추정하기 위하여 2009년도 에너지 소비량 통계자료를 이용하였으며, 에너지 소비량 통계자료의 수집은 석유소비량, 전력사용량, 가스공급량을 대상으로 실시하였다. 수집된 통계자료를 세부적으로 살펴보면, 유종별 석유량은 휘발유 51,740,065ℓ (23.3%), 경유 143,361,328ℓ (64.5%), 등유 26,994,727ℓ (12.2%)를 소비하였으며(Table 4), 2009년의 총 전력사용량 1,151,695MWh 중 용도별 전력사용량은 제조업, 서비스업, 가정용의 순서로 조사되었다(Table 5). 또한, 가스공급량은 종류별로 도시가스 14,536ton(28.0%), 프로판 24,069ton(46.3%), 부탄 13,377ton(25.7%)으로 총 51,982ton이 공급 되었다(Table 6).

Table 4 Annual consumption by fuel types in Jecheon

(unit : ℓ)

	Gasoline	Dissel	Kerosene
Consumption	51,740,065	143,361,328	26,994,727

(Statistical Annual Report, 2009)

Table 5 Electricity consumption by usage in Jecheon

(unit : MWh)

	Manufacturing	Service	Residential	Public	Agriculture Forestry & Fishing	Mining
Used	480,946	416,630	149,293	75,405	22,955	9,466

(Statistical Annual Report, 2009)

Table 6 Gas supply by type in Jecheon

	LNG (m3)	Propane Gas (t)	Butane Gas (t)
Supply	14,536	24,069	13,377

(Statistical Annual Report, 2009)

III. 이산화탄소의 흡착량 및 발생량 산정

1. 토지이용도 작성

토지이용도는 농업정책을 수립할 때나 농업용 토지의 이용 상황, 도시나 촌락의 기능, 도로 및 철도의 노반 또는 토지의 보존, 개량을 위한 시설 등을 색채로 인쇄한 지도이다. 일반적으로 위성영상을 이용하여 토지이용도를 제작할 경우, 위성영상에서 취득된 데이터를 기본으로 카테고리나 한정된 몇 개의 클래스로 화소들을 분류한다. 분류체계는 연구의 목적, 분석방법 및 해상도에 의하여 결정된다. 따라서 분류를 수행하기에 앞서 분류체계를 우선적으로 결정하여야 한다. 본 연구에서는 위성영상의 공간해상도(30m)를 고려하여 우리나라 환경부의 1단위 분류체계를 참고하였으며, 대상지역이 내륙지역인 점을 고려하여 습지를 제외한 6개 항목으로 분류하였다(Table 7). 분류기법은 Richards and Jia(1999)가 제시한 Hybrid 분류방법을 사용하였다. Hybrid 분류는 무감독분류와 감독분류가 혼용된 방법으로 ISODATA 기법을 이용하여 군집수 100개, 반복횟수 50회, 수렴도 95 %를 기준으로 1차 분류하고, 오분류된 지역은 최대우도법(Maximum likelihood)을 이용하여 분류하는 방법이다.

Table 7 Description of land use classes

Class	Description
Urban	Residence, Industry, Trade, Traffic, Town, Public
Farm	Paddy, Upland, Pipe House, Stable
Forest	Broadleaf, Conifer
Grass	Plain, Golf Course, Park Cemetery, Hill
Barren	Mine, Beach, Riverside, Undeveloped Area
Waters	River, Lake, Seawater

2. 이산화탄소 흡착량 산정

2.1 산림의 이산화탄소 흡착량

대표적인 탄소흡수원인 산림의 이산화탄소 흡착량은 산림의 임분별 바이오매스에 의해 결정된다(김소라 등, 2009). 바이오매스는 직접적인 산림조사를 통하여 추정할 수 있으나 기존의 방법은 많은 시간과 노력이 요구되므로 본 연구에서는 임상도를 이용하여 추정된 임상별 흉고직경과 본수로부터 이산화탄소 흡착량 산정 관계식을 통해 최종적으로 임상별 이산화탄소 흡착량을 추정하는 방법을 사용하였다(나상일 등, 2010). 산림의 임상별 이산화탄소 흡착량 산출식에는 바이오매스와 탄소전환계수가 이용되며, 바이오매스 추정식은 건중량과 흉고직경

을 사용하여 얻을 수 있다(손영모 등, 2007). 흉고직경을 이용한 건중량 산출식은 식(1)로 표현되며, 건중량계수(a, b, c)는 국립산림과학원에서 제공하고 있다(Table 8).

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

where, W : Dry Weight (kg/tree)

a, b, c : Coefficient of Dry Weight

DBH : Diameter at Breast Height

Table 8 Coefficient of dry weight

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 Service, 2005)

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

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

where,

BEF : Biomass Expansion Factor

(Conifer : 1.6512, Broad : 1.7202, Mixed : 1.6857)

위의 식으로 산출한 수종별 총 바이오매스량을 이산화탄소 흡착량으로 전환하기 위해서 IPCC에서 권고한 탄소전환계수와 질량비를 이용하며 적용식은 식(3)과 같다.

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

where, CS : Amount of CO_2 (kg CO_2 /tree)

0.5 : Carbon Conversion Factor

44/12 : Mass Ratio

2.2 기타 녹지의 이산화탄소 사용량

산림을 제외한 농경지와 나지, 초지의 이산화탄소 사용량은 각 토지이용율에 따른 원단위 산정법을 근거로 추정하였다. 토지이용률에 따른 이산화탄소의 사용량은

바이오매스와 토양으로 나누어 개별적으로 산출하며 식 (4)와 Table 9를 이용하여 계산된다(Krishna 등, 2002).

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

where, TCF : Total Carbon Flux

A_B : Area of Biomass

Bf_i : Carbon Storage Coefficient of Biomass

Sf_i : Carbon Storage Coefficient of Soil

Table 9 Carbon storage factors for different land use

Class	Biomass (tC/ha/yr)	Soil (tC/ha/yr)
Farm	7.5	40
Grass	15	30
Barren	2	8

3. 이산화탄소 발생량 산정

3.1 석유환산톤(TOE) 산출

석유환산톤(Tonne of Oil Equivalent)은 국제에너지기구(IEA)에서 정한 단위로 원유 1톤의 순발열량으로 10^7 Kcal로 정의하고 있다. 또한 IPCC는 이산화탄소 배출량 계산시 순발열량을 기준으로 적용하도록 권고하고 있다. 따라서 본 연구에서는 TOE 환산시 순발열량을 적용한 석유환산계수를 사용하였으며 (Table 10), 계산식은 식 (5)와 같다.

$$TOE = EC \times TF \quad (5)$$

Where, TOE : Ton of Oil Equivalent (MJ)

EC : Energy Consumption (Each unit)

TF : TOE Factor

3.2 이산화탄소 발생량

이산화탄소의 발생량은 탄소의 무게로 환산한 석유환산톤(ToE)과 IPCC에서 제공하는 탄소배출계수를 이용하여 (Table 11), 식(6)과 같이 계산된다.

$$TCO_2 = TOE \times CEF \times 44/12 \quad (6)$$

Where, TCO_2 : Amount of CO_2 Emission (t- CO_2)

CEF : Carbon Emission Factor

Table 11 Carbon emission factor

Energy Category			Carbon Emission Factor	
			kg C/GJ	Ton C/TOE
Liquid Fossil	Primary Fuel	Crude Oil	20.00	0.829
		Liquefied Natural Gas	17.20	0.630
	Secondary Fuel	Gasoline	18.90	0.783
		Kerosene	19.60	0.812
		Diesel	20.20	0.837
		LPG	17.20	0.713
Gaseous Fossil		LNG	15.30	0.637

Table 10 Lower heating value of energy source

Product	Unit	Net Calorific Value		Ton Oil Equivalent
		Kcal	MJ	
Crude Oil	kg	10,100	42.3	1.010
Gasoline	l	7,400	31.0	0.740
Indoor Kerosene	l	8,200	34.3	0.820
Boiler Kerosene	l	8,350	35.0	0.835
Diesel	l	8,450	35.4	0.845
Propane	kg	11,050	46.3	1.105
Butane	kg	10,900	45.7	1.090
Natural Gas	kg	11,750	49.2	1.175
Natural Gas Liquids	l	9,550	40.0	0.955
LPG	l	13,800	57.8	1.380
Electric Power	kWh	2,150	9.0	0.215

IV. 결과 및 고찰

1. 토지이용현황

위성영상을 hybrid 분류 방법에 의하여 토지이용도를 분류한 결과 Fig. 4와 같이 나타났다. 제천시의 토지이용 현황을 항목별로 살펴보면, 산림이 624,085 ha(70.57%)로 가장 높은 비율을 보였으며, 농경지 148,770 ha(16.82%), 수역 34,876 ha(3.94%), 시가지 30,034 ha(3.40%)의 순으로 나타났다. 가장 낮은 비율을 나타낸 항목은 초지로서 8,391 ha(0.9%)를 나타내었다(Table 12).

Table 12 Result of land use classification

Class	Area (ha)	Ratio (%)
Urban	30,034.80	3.40
Farm	148,770.00	16.82
Forest	624,085.20	70.57
Grass	8,391.60	0.95
Barren	38,192.40	4.32
Water	34,876.80	3.94
Total	884,350.80	100.00

Table 13 Error matrix of stock map and land cover

		Reference Data							
		Water	Urban	Farm	Forest	Grass	Barren	Total	U.A(%)
Classified Data	Water	11	0	0	0	0	0	11	100.00
	Urban	1	4	1	0	0	0	6	66.67
	Farm	2	5	48	0	0	0	61	78.69
	Forest	3	3	7	155	1	4	173	89.60
	Grass	0	0	0	1	1	0	2	50.00
	Barren	0	0	0	0	0	2	2	100.00
	Total	17	12	56	160	3	7	256	
P.A(%)		64.71	33.33	85.71	96.88	33.33	28.57		

Table 14 Forest CO₂ adsorption

Adsorption (ton/ha)	Area (ha)	Total Adsorption (ton)
0.4~7	2,221.9	11,778.6
7~13	1,968.1	17,753.5
13~20	2,191.6	43,302.3
20~26	10,538.6	227,247.9
26~43	21,633.2	737,237.5
43~57	4,384.4	220,319.4
57~84	2,808.5	222,147.6
84~116	1,679.9	188,986.0
116~214	687.5	113,304.5
214~355	189.5	52,772.7
Total	48,303.1	1,834,850.0

토지피복분류의 정확도를 산출하기 위하여 토지피복도와 위성영상의 원본을 비교하였다. 토지피복도와 위성영상의 랜덤 포인트 256개를 추출하여 쌍대비교를 하였다. 정확도 검사결과는 Table 13과 같으며, 전체의 정확도(Overall Accuracy)는 86.72%로 나타났다. 클래스별 평균 사용자 정확도(user's accuracy)는 수계 100%, 시가지 66.67%, 농경지 78.69%, 산림 89.60%, 초지 50%, 나지 100%로 분석되었다.

2. 이산화탄소 흡착량

위성영상을 이용하여 작성된 토지이용도에서 산림과 농경지, 초지, 나지를 추출하여 각 항목에 따른 이산화탄소 흡착량을 산정한 결과는 Table 14 및 Table 15와 같다. 산림으로부터 사용된 이산화탄소의 총량은 1,834,850 t/year로 추정되었으며, 단위 면적당 평균 흡착량은 38 t/year/ha로 나타났다. 특히, 26~43 t/year/ha로 전체 흡착량의 40.2%를 차지하고 있다. 반면 농경지의 이산화탄소 사용량은 706,000 t/year로 산림에서 사용된 이산화탄소의 38.5%에 해당하였으나, 초지와 나지에서는 산림과 비교하여 약 2%에 해당하는 이산화탄소 사용량이 추정되었다. 따라서 이산화탄소의 흡착은 산림뿐만 아니라 농경지에서도 높은 비율로 사용되는 것으로 판단된다. 산림과 농경지, 초지와 나지에서 사용된 이산화탄소의 공간분포도는 Fig. 5와 같이 나타난다.

Table 15 Adsorption of CO₂ in other green spaces

Class	Adsorption (ton/ha)	Area (ha)	Total Adsorption (ton)
Farm	4.75	14,877.0	706,658
Glass	4.50	839.2	37,762
Barren	1.00	3819.2	38,192
Total		19,535.4	782,612

Figure 4 Land use distribution map.

Figure 5 CO₂ adsorption map.

3. 이산화탄소 발생량

제천시의 이산화탄소 발생량은 조사된 석유소비량, 전력사용량, 가스공급량을 기준으로 추정하였다. 식 (1)과 석유환산계수를 이용하여 석유환산톤을 산정하고 IPCC에서 제공하는 탄소소비량과 질량비를 이용하여 이산화탄소 발생량을 산정하였다. 산정 결과 석유소비에 따른 이산화탄소 발생량이 85.8%에 달하는 3,418,557 t/year의 이산화탄소를 배출하였다. 전기 사용에 따른 이산화탄소 발생량은 총 427,265 t/year의 이산화탄소를 배출하였고, 가스에 의한 이산화탄소는 140,073 t/year를 발생하였다 (Table 16).

Table 16 CO₂ production in Jecheon

(unit : ton/year)

Energy	Oil	Electricity	Gas
Production	3,418,557 (85.8%)	427,265 (10.7%)	140,073 (3.5%)

V. 결 론

본 연구에서는 제천시의 에너지소비에 의한 이산화탄소 배출량과 위성영상을 활용하여 수목생장에 의한 직접적인 흡착을 기준으로 산림의 이산화탄소 흡착량을 추정하고 또한 농경지와 초지, 나지의 원단위를 기준으로 이산화탄소 흡착량을 추정하였으며 공간분포도를 작성하여 평가하였다. 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 제천시의 에너지 소비에 의한 이산화탄소 배출량은 2009년에 총 3,985,900 TCO₂이었다. 에너지원별 TCO₂ 배출량은 석유가 85.8%에 해당하는 3,418,517 TCO₂를 배출하였고, 전기가 427,265TCO₂로 10.7%를 배출하였다. 마지막으로 가스에서 가장 적은 140,073 TCO₂를 배출하여 전체 3.5%에 해당하는 이산화탄소를 배출하였다.

2. Landsat 7 ETM+ 위성영상을 이용하여 분석한 제천시의 토지이용분포는 산림 624,085ha(70.6%)로 전 지역에 걸쳐 고르게 분포하였다. 농경지는 148,770ha(16.8%), 나지는 38,192ha(4.3%), 수계지역이 34,876ha(3.9%), 시가지 30,034(3.4%), 나지 8,391ha(0.9%) 순으로 분류되었다.

3. 제천시는 산림에서 연간 1,834,850ton의 이산화탄소를 사용하였다. 단위 면적당 흡착량으로 보면 26~43ton에 해당하는 면적이 40.2%를 차지하고 있어 산림에서 이산화탄소를 사용하는 임상과 영급에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4. 산림을 제외한 기타 녹지에서는 농경지가 706,658ton의 이산화탄소를 사용하였다. 이는 산림에서 사용되는 이산화탄소의 양과 비교하면 38.5%의 비율로 높은 이산화탄소의 사용량을 보여 산림 뿐 아니라 농경지에서도 이산화탄소 저감 효과가 있는 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 위성영상을 이용하여 높은 정확도의 토지피복을 분류하고, 분류된 토지피복도와 임상도를 이용하여 산림에서 사용되는 이산화탄소 흡착량의 공간적 특성을 파악하는데 효과적임을 알 수 있었다. 향후 연구에서는 구체적인 통계자료의 확충과 우리나라 국가고유탄소배출계수, 산림의 세분화된 전환계수 등의 산출이 필요할 것이다. 이렇게 얻어진 이산화탄소의 공간적인 분포특성은 도심지역의 녹지 조성, 토지이용, 수종 개선 등의 기초자료로 활용이 기대된다. 그러나 이산화탄소의 발생량을 원단위에 한계를 두고 있기 때문에 이산화탄소의 발생에 대한 분류를 세분화하여야 할 필요가 있다. 또한 산림의 면적이 줄어들 경우 이산화탄소의 흡착량은 현저하게 감소하고 있기 때문에 이산화탄소의 흡착 효율을 개선하기 위해서는 이산화탄소 흡착을 증가시킬 수 있는 품종으로 수종의 개량이 필요하다. 즉, 산림의 건중량계수가 높은 품종으로 개량을 하면 이산화탄소의 흡착 효율이 증가할 것으로 판단된다.

참고문헌

- Alban, D. H. and D. A. Perala, 1992, Carbon storage in lake states aspen ecosystem, Soil Science Society of America Journal, Vol. 26 No. 3, 935-943.
- Anderson, S., 2011, An evaluation of spatial interpolation methods on air temperature in phoenix, <http://www.cobblestoneconcepts.com>, Accessed 25 May. 2005.
- Cressie, N., 1992, Statistic for spatial data, Terra Nova, Vol 4, Issue 5, 613-617.
- Krishna, P. V., Y. Kant and K. V. S. Badarinath, 2002, Land use changes and modeling carbon fluxes from satellite data, Advances in Space Reserch, Vol 30, Issue 11, 2511-2516.
- Lacalu, P., 2003, Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantations and native cypress forest in northwest Patagonia, Forest Ecology and Management, Vol. 180, 317-333.
- Piazza, A. D., F. L. Conti, L. V. Noto, F. Viola and G. La Loggia, 2011, Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series.
- Richards, J. A., and Jia, X., 1999, Remote sensing digital image analysis, 3rd Ed., Springer-Verlag, Berlin.
- 김경민, 김철민, 전은진, 2009, 1:25000 수치임상도 제작체계 표준화 연구, 한국지리정보학회지, 제12권 3호, 143-151.
- 김소라, 이우균, 관한빈, 최성호, 2009, KOMPSAT-2 영상을 이용한 산림의 이산화탄소 흡수량 추정, 한국임학회지, 제98권 제3호, 324-330.
- 김용환, 홍석영, 장민원, 2011, 마늘 재배지분석을 위한 기온자료 공간보간기법 비교, 한국농공학회, 제53권 제5호, 1-7.
- 김태민, 송성철, 이우균, 손요환, 배상원, 김춘식, 2007, GIS 및 RS를 이용한 소나무림 식생탄소저장 능력의 공간분포 특성규명, 한국GIS학회 추계학술대회, 221-225.
- 나상일, 박종화, 2009, Daum 이미지와 QuickBird 위성영상에 의한 NIR 밴드 추출과 정규화식생지수에 의 적용, 한국농공학회, 제51권 제4호, 37-42.
- 나상일, 박종화, 박진기, 2010, RS/GIS를 이용한 토지이용변화에 의한 녹지의 이산화탄소(CO₂) 흡착량 분포추정, 한국농공학회, 제52권 제3호, 39-45.
- 박진기, 2010, 흡착량과 배출량을 고려한 충청북도 이산화탄소의 공간분포, 충북대학교 석사학위논문.
- 손영모, 이경학, 김래현, 2007, 우리나라 산림 바이오매스 추정, 한국임학회지, 제96권 제3호, 477-482.
- 산림청, 2005, 2011.
- 유수홍, 허준, 정재훈, 한수희, 김경민, 2011, Landsat TM 위성영상과 비열영상을 적용한 지상부 탄소 저장량 추정, 한국지형공간정보학회지, 제19권 제2호, 39-48.
- 이형석, 2010, 공간보간법의 매개변수 설정에 따른 평균제곱근 비교 및 평가, 한국지리정보학회지, 제13권 제3호, 29-41.
- 조홍래, 정종철, 2006, 강우자료에 대한 공간보간 기법의 적용, 한국GIS학회, 제14권 제1호, 29-41.
- 제천시 통계연보, 2011.

접 수 일: (2012년 10월 15일)

수 정 일: (1차: 2012년 10월 23일, 2차: 2013년 5월 7일
3차: 5월 27일, 4차: 6월14일, 5차: 6월 21일)

게재확정일: (2013년 6월 21일)

■ 3인 익명 심사필