

도시 산림의 탄소저장능을 활용한 탄소중립지표 개발

이정환¹⁾ · 이관규¹⁾ · 홍정기²⁾

¹⁾ 강원대학교 산림환경과학대학 · ²⁾ 환경부 정책총괄과

Development of Carbon Neutral Indicator Using Capacity of Carbon Storage on Urban Forest

Lee, Jung-Hwan¹⁾ · Lee, Gwan-Gyu¹⁾ and Hong, Jeong-Kee²⁾

¹⁾ College of Forest Environment & Science, Kangwon National University,

²⁾ Policy Cordination Division, Ministry of Environment.

ABSTRACT

Carbon Neutral is one of the magnifying pan-governmental tasks which aim for stabilizing pan-global ecosystem. The purpose of this study is to estimates carbon neutral degree in cities by using capacity of carbon storage, which is carbon sinks, on forest and to develop an indicator that could be utilized in establishing policy related to climate change respond. When the carbon emitted from city has been absorbed or stored, the value of the indicator aiming to achieve carbon neutral could be drawn. The result and implication are as follows.

First, while the annual amount of carbon emission in Gyeonggi S city was 18,787 thousand (tons), which was the highest, that of Gyeongbuk U city indicated the lowest with approximately 112 thousand (tons). Second, Gyeongbuk U city represented the largest capacity of annual carbon storage with about 16,748 thousand (tons), whereas the smallest figure was shown in Gyeonggi B city with 151 thousand (tons). Third, as result of the estimation of carbon neutral degree, the value of the indicator in Gyeonggi B city was 3% referring the lowest point, while that of other cities demonstrated over 100%. Forth, it has the possibility to suggest the fixed quantity when the plan for achieving carbon neutral of city is being processed. In the near future, after the completion of the construction projects of greenhouse gas inventory in all local governments, by utilizing the relative dates, the value of the indicator can

Corresponding author : Hong, Jeong-Kee, Policy Cordination Division, Ministry of Environment,
Tel : +82-2-2110-6670, E-mail : jkhong@korea.kr

Received : 14 May, 2010. **Accepted** : 1 June, 2010.

be calculated and a more general conclusion could be drawn. Moreover, as expanding case studies to all domestic cities, generalness is in need.

Key Words : *CO₂, Global Warming, Low Carbon, Green Growth, Climate Change.*

I. 서 론

우리나라는 2009년 12월 코펜하겐에서 개최된 제15차 유엔기후변화협약 당사국 총회에서 온실가스 배출량을 2020년 대비(BAU 기준) 30% 감축목표치를 발표하였다. 2010년 4월에는 저탄소 녹색성장기본법을 제정·시행함으로써 우리 정부 및 각 지자체, 기업은 기후변화에 대응하기 위한 대책을 마련해야 하는 실정이다.

탄소중립은 기후변화에 대응하기 위한 수단 중 하나로써 인간의 경제활동으로 배출되는 탄소의 양이 전혀 없는 상태가 되는 것으로 정의할 수 있다(이정환, 2009a; 2009b). 세계최초로 탄소중립도시를 선언한 영국의 뉴캐슬은 2000년부터 탄소중립캠페인을 실시하여 지역의 기업과 시민들에게 탄소중립의 필요성을 알리고 이에 동참시키기 위해 다양한 제도를 마련하였다(전영옥, 2010). 우리나라의 경우 정부의 저탄소 녹색성장 정책과 발맞추어 제주도 등 일부 지자체에서는 탄소중립도시를 표방하고 있다. 반영운 등(2008)은 기후변화에 대응을 위한 도시개발전략 대안으로 탄소중립도시를 제시하고 있으며 이를 달성하기 위한 도시계획기법을 제안하고 있다. 에너지관리공단에서는 기업의 자발적 감축실적 구매, 신재생에너지 설비투자, 나무심기·숲가꾸기 참여로 이루어진 탄소중립을 위한 상쇄표준방안을 제시하고 있다(에너지관리공단, 2008). 탄소중립은 개별도시의 특성이라기보다는 앞으로 모든 도시가 갖추어야 할 필수요소가 될 것이다. 탄소중립도시가 되기 위해서는 현재 수준의 탄소배출량을 파악하고 탄소저감목표 설정 및 목표 달성을 위한 구체적인 감축방안을 제시하고 실천할 필요가 있다.

유수홍 등(2009)은 도시 산림의 탄소저장능을 화폐가치로 환산하여 도시 산림의 효율적인 관리방안을 제시하고 있으며 Dimas와 Gasvriel(2008)은 탄소흡수원으로써의 도시 산림은 산림의 다른 기능에 비해 월등한 가치를 가진다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 탄소중립 달성을 위한 상쇄표준방안 중 도시 산림의 탄소저장능을 이용하여 해당 도시의 탄소중립수준을 평가할 수 있는 지표를 개발하는데 목적을 두었다. 도시의 탄소배출량과 도시 산림의 탄소저장량을 비교함으로써 현재 도시의 탄소중립수준을 판단할 수 있고 정량목표 수립 등의 관련 의사결정을 지원할 수 있을 것이다.

II. 연구방법

1. 탄소중립지표체계

탄소중립은 그 지역에서 배출하는 탄소를 모두 흡수하거나 저장했을 때라고 할 수 있다. 지역의 탄소배출량(C_E , Carbon Emission)과 탄소저장량(C_S , Carbon Storage)을 비교하여 기초자치단체의 탄소중립화 수준을 평가할 수 있도록 평가체계를 설정하였다(식 1). 탄소중립을 담보하기 위한 조건은 탄소저장량 대비 탄소배출량의 비가 1 이상일 때라고 할 수 있다.

$$\text{탄소중립 평가체계} = \frac{C_S}{C_E} \quad (1)$$

2. 탄소배출량 산정방법

현재까지 개발되어 있는 탄소배출량 산정방법으로는 IPCC(Intergovernment Panel on Climate Change) 1996, 2006 가이드라인, WRI/WBCSD 가이드라인, UK-ETS 가이드라인, ISO 14064 가이드라인 등이 있다(환경부 등, 2009). 이 방법들

은 IPCC의 가이드라인을 기초로 하고 있으며 사용목적에 맞게 세부기준을 변경한 방법이다. 국내에서는 IPCC의 온실가스 배출량 산정 가이드라인을 기본으로 하여 국가고유배출계수를 적용한 방법을 마련하고 지속적으로 개선해 나가고 있다(한국환경공단, 2009). 본 연구에서는 IPCC 1996 가이드라인을 이용하여 탄소배출량을 산정하였다. 분석에 이용된 활동자료(Activity Data)는 지자체별 최근 5년간 유형별 화석연료 사용량 통계자료를 이용하였으며, 연료별 배출계수는 IPCC 1996 가이드라인의 계수를 이용하였다(식 2, 3).

$$E_{CO_2} = C_E \times \frac{44}{12} \tag{2}$$

$$C_E = F \times C_f \times H \times (1 - S) \times C_a \tag{3}$$

여기서, E_{CO_2} 는 CO₂ 배출량(ton/yr), C_E 는 탄소배출량(ton/yr), F 는 화석연료별 사용량(ton/yr), C_f 는 화석연료별 탄소배출계수(ton/TOE), H 는 화석연료별 발열량(kcal/), S 는 제품물입율, C_a 는 화석연료별 평균연소효율을 나타낸다. 44/12는 CO₂와 탄소의 분자량의 비이다.

3. 탄소저장량 산정방법

환경부(2001)의 산림유형 및 영급별 CO₂ 저장계수(표 1)와 영급별 산림면적을 이용하여 산림의 탄소저장량을 산정하였다(식 4). 환경부(2001)

표 1. 산림유형별 · 영급별 CO₂ 저장계수(ton/ha/yr).

영급	산림유형		
	침엽수림	혼효림	활엽수림
I	119.2± 6.7	77.1±11.2	73.1± 7.0
II	156.2± 8.4	138.0±11.2	149.1±13.3
III	189.1±13.0	214.8± 7.3	254.4±23.4
IV	225.6±12.8	268.2± 9.3	327.6±25.1
V	263.1±16.4	336.7± 7.4	406.5±35.8
VI	297.8±18.6	401.8± 6.4	495.8±42.0

자료 : 환경부(2001)의 계수를 보완.

의 CO₂ 저장계수는 1영급과 5, 6영급의 계수가 누락되어 있어 회귀식을 이용하여 계수를 보완하였다. 영급별 산림면적은 임상도를 활용하였다. 환경부(2001)가 제시한 산림유형별 · 영급별 CO₂ 저장계수는 생체량 방정식과 CO₂ 교환을 실측에 의한 단목차원의 연간 CO₂ 저장량 지표를 중부 지역 사례대상지에 적용하여 산출한 결과이며, 1영급과 5, 6영급에 대해서는 해당 계수 값이 없어 회귀식을 이용하여 계수를 보완하였다.

$$C_E = S_f \times A \tag{4}$$

여기서, C_E 는 탄소저장량(ton/yr), S_f 는 산림유형별 · 영급별 CO₂ 저장계수(ton/ha/yr), A 는 산림유형별 · 영급별 면적(ha)이다.

4. 사례연구 대상지

대표적인 도시 및 지역 유형으로 17개 시 · 군을 판단표출하고 도시 및 지역 산림의 CO₂ 저장량을 산정하는 산식을 적용하였다.

5. 분석 및 고찰

첫째, 17개 도시 전체 지역이 배출하는 CO₂량과 도시 전체 지역의 산림이 저장할 수 있는 CO₂량을 분석하였다. 각 도시의 산림이 CO₂를 얼마나 저장할 수 있는지를 분석하고 CO₂를 전량 저장하기 위한 산림량과 부족분 등을 확충할 산림량으로 산정하여 결과를 고찰하였다.

둘째, 설정한 탄소중립평가체계를 이용하여 17개 도시의 탄소중립화 수준을 평가하였다.

셋째, 도출된 연구결과로 도시 및 지역 공간규모의 탄소중립 달성을 위한 산림관리 전략에 일조할 수 있는지를 고찰하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 탄소배출량 산정결과

IPCC 1996 가이드라인을 활용하여 17개 도시의 탄소배출량을 산정하고 CO₂ 배출량으로 환산

표 2. 분석대상 도시 개요.

도시 ¹⁾		행정구역면적 ²⁾ (ha)	총 산림면적 ³⁾ (ha, %)	인구수 ²⁾ (인)	도시 ¹⁾		행정구역면적 ²⁾ (ha)	총 산림면적 ³⁾ (ha)	인구수 ²⁾ (인)
강원	G	104,060	75,176 (72)	217,464	전북	J1	20,621	5,035 (24)	635,007
	C	111,635	62,075 (56)	264,849		J2	69,264	25,231 (36)	121,545
경기	B	5,344	761 (14)	869,944	전남	G	43,096	17,057 (40)	1,433,640
	A	14,805	3,609 (24)	705,346		M	44,789	9,511 (21)	72,417
	S	60,533	11,077 (18)	10,208,302	충북	C	98,380	52,896 (54)	206,613
경북	U	98,904	80,677 (82)	52,529		J	88,247	53,061 (60)	135,580
	P	112,807	63,649 (56)	509,475	충남	C	63,625	26,477 (42)	540,832
경남	M	79,894	41,910 (52)	110,170		H	44,393	14,589 (33)	87,631
	P	76,564	30,914 (40)	3,543,030					

주 1. 여기에서는 실제 도시명을 피하고 영어 이니셜을 사용하였음.
 2. 통계청, 2008.
 3. 산림청, 2009.

하였다. 가장 많은 탄소를 배출하는 도시는 경기 S도시로 연간 약 18,788천ton의 CO₂을 배출하는 것으로 분석되었다(표 3). 탄소배출량이 가장 적은 지역은 경북 U도시로 연간 약 37천ton을 배출하는 것으로 분석되었다. 탄소배출량은 대체적으로 인구수에 비례하는 것으로 나타났다.

2. 탄소저장량 산정결과

17개 도시 중 탄소저장량이 최대인 지역은 경북 U도시로 연간 약 16,748천ton을 저장할 수 있는 것으로 분석되었다(표 3). 탄소저장량이 가장 적은 지역은 경기 B도시로 연간 약 151천ton으로 분석되었다. 대체로 산림면적이 넓고 높은 영급

이 분포하는 지자체일수록 탄소저장량이 높게 나타났다. 지자체 행정구역을 경계로 분석하였기 때문에 도심 외곽에 분포한 산림의 탄소저장량이 분석결과에 포함된 결과로 판단된다. 추후 탄소 배출이 주로 이루어지는 도심지역만을 대상으로 도심지역 산림의 탄소저장량을 비교·분석할 필요가 있을 것으로 판단된다.

그림 1은 17개 지자체별 산림의 CO₂ 저장량을 공간에 표현한 것이다. 도시 외곽으로 갈수록 CO₂ 저장량이 높은 것을 알 수 있었다. 지자체에서 탄소중립 계획수립 시 어느 공간에 어떤 유형의 식생을 확충하는 등의 의사결정을 효과적으로 지원할 수 있을 것으로 판단된다.

표 3. 17개 도시 CO₂ 배출량 및 저장량 산정 결과.

도시		CO ₂ 배출량 (천ton/년)	CO ₂ 저장량 (천ton/년)	도시		CO ₂ 배출량 (천ton/년)	CO ₂ 저장량 (천ton/년)	도시		CO ₂ 배출량 (천ton/년)	CO ₂ 저장량 (천ton/년)
경북	P	1,103	10,867	전남	M	109	1,676	강원	G	1,508	16,453
	U	112	16,748		G	2,553	3,300		C	2,549	12,574
경남	M	237	7,415	충북	C	614	9,671	경기	B	5,829	151
	P	9,974	5,897		J	406	10,480		A	7,060	570
전북	J1	1,189	867	충남	C	1,196	4,608		S	18,787	2,504
	J2	37	4,831		H	184	2,456				

3. 탄소중립화 수준 평가

17개 도시 중 탄소중립지표값이 가장 낮은 도시는 경기 B도시로 탄소중립지표값이 3%로 분석되었다(표 4). 경기 B도시의 도시 산림면적비는 14%에 불과하며 도시 대부분 대규모 택지, 상업지, 공업지대가 분포하고 있다. 반면, 탄소중립지표값이 100%를 초과하는 지역이 다수 나타났으며 이는 탄소중립을 달성하고 있다는 의미이므

로 100%로 나타내었다.

4. 고찰

탄소중립지표는 현재 도시 및 지역의 탄소중립화 수준이 어느 정도인지, 타 지자체와의 탄소중립화 수준 비교, 도시 산림확충 목표량 제시가 가능하였다. 경기 A도시의 경우 현재 탄소중립지표값은 8%이다. 탄소중립 목표를 100%라고

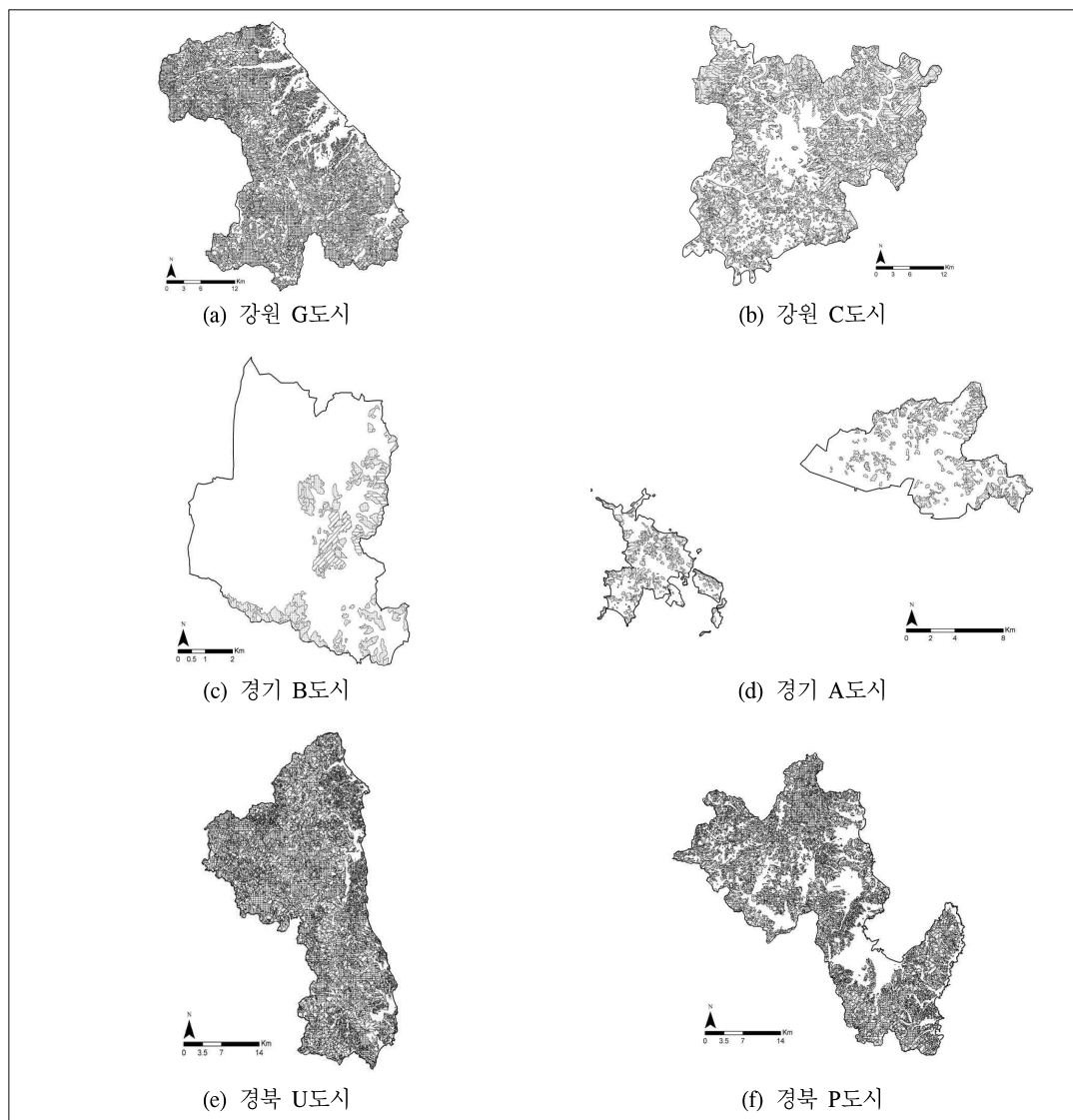


그림 1. 지자체별 산림의 CO₂ 저장량 분포도.

범례 : [] 1만ton 이하, [] 1만-2만ton, [] 2만-3만ton, [] 3만-4만ton, [] 4만ton 이상

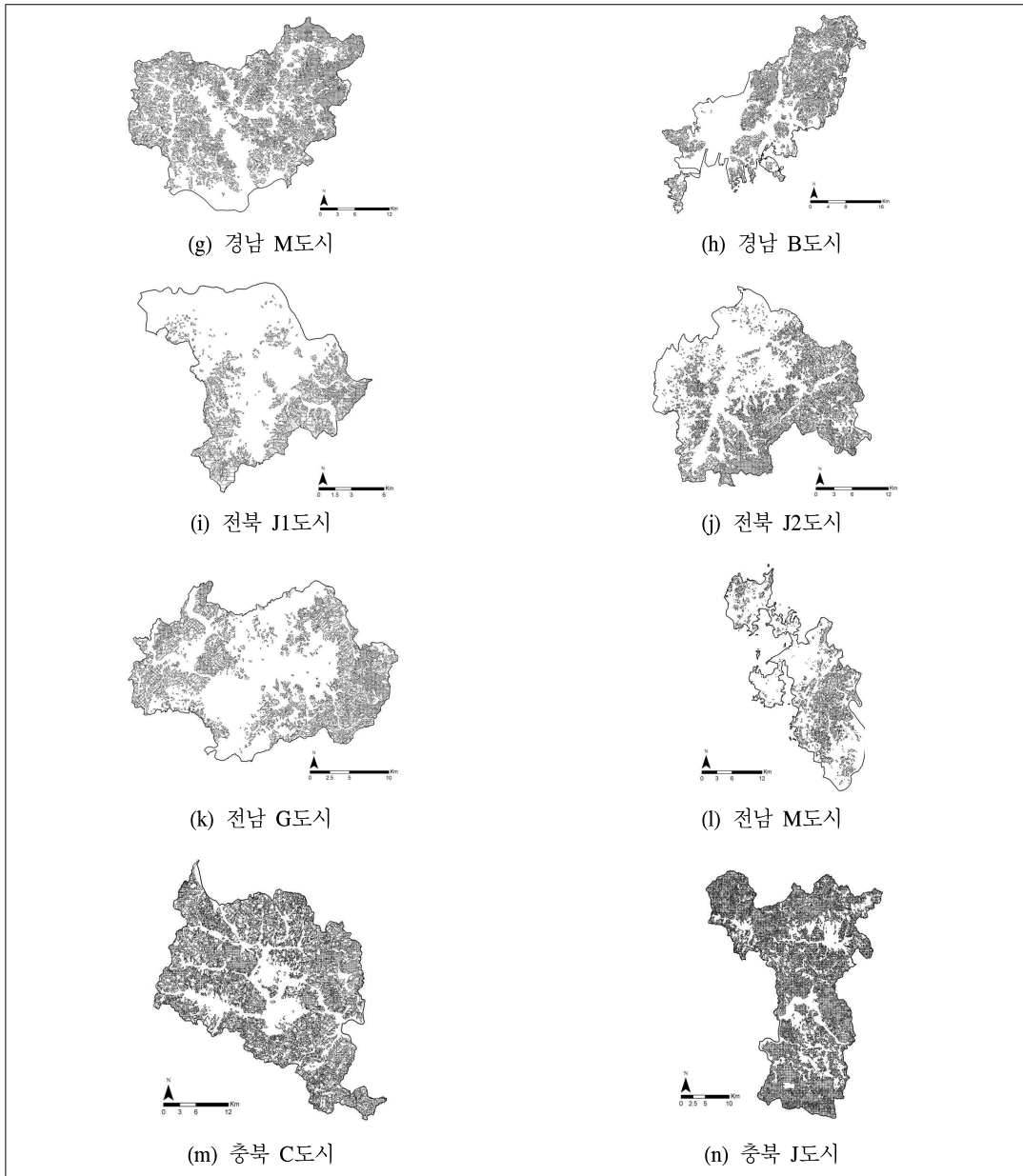


그림 1. 계속

범례 : □ 1만ton 이하, ▨ 1만-2만ton, ▩ 2만-3만ton, ▤ 3만-4만ton, ▧ 4만ton 이상

가정하였을 때, 경기 A도시에서는 약 7,060천ton의 CO₂를 저장할 수 있는 산림면적 31,136ha를 확충해야 한다는 결론을 얻을 수 있다(표 5). 이 수치는 경기 A도시의 행정구역 면적인 14,805ha보다 큰 수치이므로 현실적으로 어렵다는 점을

시사한다. 산림유형 및 영급별로 CO₂ 저장량을 균등 분담한다고 가정할 때, 탄소중립 달성을 위한 필요 산림면적을 2영급 기준의 식생으로 환산할 경우 침엽수림 941ha, 활엽수림 1,125ha, 혼효림 1,978ha 이상 확보하여야 한다. 이를 1인당 필

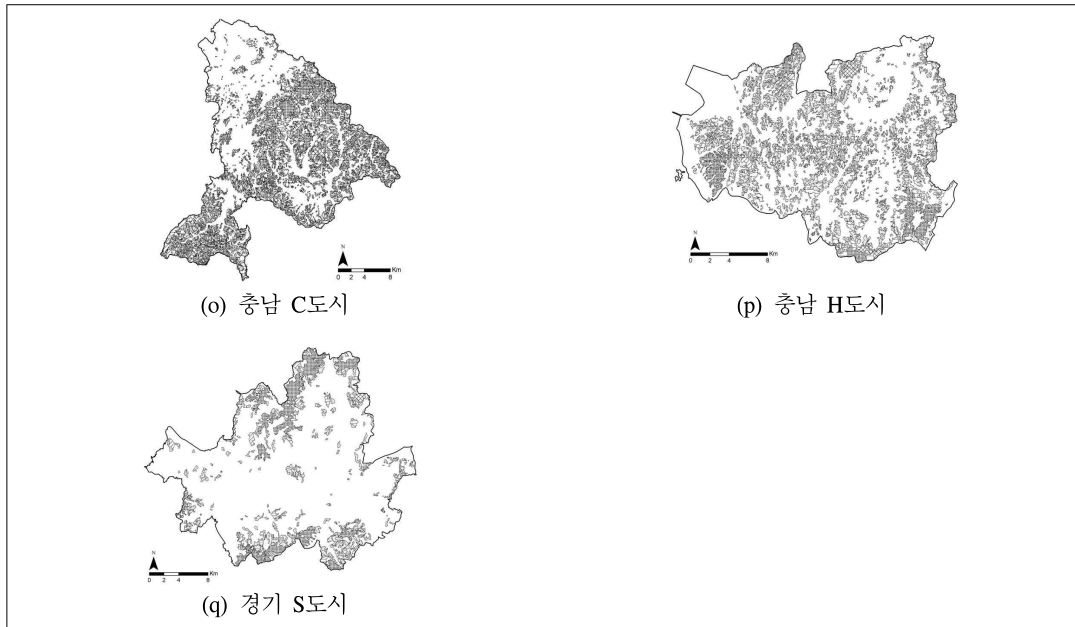


그림 1. 계속

범례 : [dots] 1만ton 이하, [white] 1만-2만ton, [diagonal lines] 2만-3만ton, [cross-hatch] 3만-4만ton, [grid] 4만ton 이상

요산림 면적으로 환산할 경우 침엽수림 0.02ha, 활엽수림 0.03ha, 혼효림 0.05ha이다.

IV. 결 론

본 연구는 도시 및 지역 공간규모의 탄소중립 평가를 위해 도시의 탄소배출량과 도시 산림의 탄소저장량을 비교·분석하는데 중점을 두고 진행되었다. 17개 도시를 대상으로 사례적용하였으며, 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 17개 도시 중 탄소배출량이 가장 많은

도시는 경기 S도시로 연간 약 18,787천ton이고, 배출량이 가장 작은 도시는 경북 U도시로 연간 약 112천ton을 배출하고 있었다.

둘째, 탄소저장량이 가장 많은 지역은 경북 U도시로 연간 약 16,748천ton이었으며, 가장 적게 저장할 수 있는 지역은 경기 B도시로 연간 약 151천ton의 탄소를 저장할 수 있는 것으로 나타났다.

셋째, 탄소중립지표값이 100% 이상인 도시가 다수 나타났다. 이는 도심 외곽에 분포한 산림이 분석대상에 포함되었기 때문이다. 향후 도심지역

표 4. 17개 도시 탄소중립평가 결과.

도시		탄소중립지표값(%)	도시		탄소중립지표값(%)	도시		탄소중립지표값(%)
경북	P	100	전남	M	100	강원	G	100
	U	100		G	100		C	100
경남	M	100	충북	C	100	경기	B	3
	P	59		J	100		A	8
전북	J1	73	충남	C	100	S	13	
	J2	13		H	100			

표 5. 경기 A도시의 탄소중립 달성을 위한 필요한 산림면적.

산림 유형	영급	산림총량 (ha)	현재산림 (ha)	필요산림 (ha)	1인당 필요산림 (ha/인)
침엽수림	소계	11,419	1,431	9,988	0.25
	I	3,025		3,025	0.08
	II	2,308	1,367	941	0.02
	III	1,907	64	1,843	0.05
	IV	1,598		1,598	0.04
	V	1,370		1,370	0.03
	VI	1,211		1,211	0.03
활엽수림	소계	12,280	1,716	10,564	0.27
	I	4,676	4	4,672	0.12
	II	2,613	1488	1,125	0.03
	III	1,679	211	1,468	0.04
	IV	1,344	13	1,331	0.03
	V	1,071		1,071	0.03
	VI	897		897	0.02
혼효림	소계	11,483	458	11,025	0.28
	I	4,932	4	4,928	0.13
	II	2,418	440	1,978	0.05
	III	1,417	14	1,403	0.04
	IV	1,101		1,101	0.03
	V	887		887	0.02
	VI	727		727	0.02
계		34,741	3,605	31,136	0.81

주. 경기 A도시의 탄소배출량을 산림유형별 영급별 균등 분담한다고 가정한 결과임.

만을 대상으로 탄소저장량을 분석하고 본 연구결과와 비교할 필요가 있다.

넷째, 탄소중립화 수준 평가를 통해 도시의 탄소중립 달성을 위한 계량목표치 제정이 가능하였다. 탄소중립 달성을 위한 목표를 100%로 설정하였을 때 탄소배출량을 몇 ton 감축할 것인지, 몇 ha의 산림을 확충해 탄소저장량을 확보할 것인지에 대한 계량목표설정이 가능할 것이다. 예를 들면, 경기 A도시의 탄소중립지표값은 8%이며 탄소중립 달성을 위한 탄소저감량은 약 6,490 ton으로 목표설정이 가능하다. 이를 달성하기 위한 필요 산림면적은 31,136ha이며 지자체의 녹지총량 산정시 기초자료로도 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

다섯째, 탄소중립과 연계한 도시 산림생태계 보전방안 마련 시 기초자료로 활용가능할 것으로 판단된다. 예를 들면 경기 A도시의 경우 도시 산림생태계 보전을 위한 정량목표를 1인당 0.81ha로 수립하고 산림전용, 훼손, 개발 최소화 등 세부 정책을 수립할 수 있을 것이다.

본 연구는 다음의 한계와 추가적인 연구를 필요로 한다. 이러한 점의 보완은 본 연구에서 제시한 탄소중립 평가지표를 개발하여 도시관리에 실제 사용되도록 하는데 기여할 것이다.

첫째, 본 연구에서 산정한 탄소배출량은 화석연료 사용량만을 이용해 산정한 것으로서 전력사용량이나 이동오염원, 토지이용변화 등으로 인한 탄소배출량은 제외되었다. 따라서 본 연구에서

제시한 탄소배출량 결과값은 실제 탄소배출량과 다소 차이가 있으며 향후 지자체별 온실가스 인벤토리가 구축이 된다면 보다 정확한 탄소배출량을 산정할 수 있을 것이다.

둘째, 본 연구에서 이용한 CO₂ 저장량 계수는 중부지방만을 대상으로 진행된 연구결과이므로 전국에 적용하기에는 다소 무리가 있을 것으로 판단된다. 그러므로 남부지방을 대상으로 한 흡수량 계수 산정 등의 지속적 기초연구가 필요하다.

셋째, 대기 중 CO₂는 식물의 광합성에 의해 그 일부가 토양으로 이입된다. 이때 미생물에 의해 분해되는 양을 제외한 나머지가 유기탄소의 형태로 토양에 축적된다. 추후에는 토양의 CO₂ 저장량을 반영한 CO₂ 저장량을 산정할 필요가 있다.

넷째, 도시화 지역만을 대상으로 한 분석이 필요하다. 도시의 탄소배출은 대부분 도시화 지역에서 이루어지므로 도시화 지역만을 경계로 한 비교분석이 필요할 것이다.

마지막으로 17개 도시만을 대상으로 하였기 때문에 전국 도시를 모두 대표할 수 없다. 추후 사례적용 도시를 전국으로 확대·적용함으로써 범용성을 확보할 필요가 있다.

사 사

1. 본 연구는 한국환경영향평가학회 2009년 춘계 학술논문발표회의 발표논문임을 밝힙니다.
2. 본 연구는 강원대학교 산림과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.
3. 본 연구는 2007년 환경부 지원에 의해 수행된 과제의 일부를 발전시킨 결과입니다.

인 용 문 헌

- 반영운 · 이재준 · 김정곤 · 오용선 · 설영선 · 최정석. 2008. 기후변화에 대응한 국토 및 도시개발전략. 도시정보 318 : 3-17.
- 산림청. 2009. 임업통계연보.
- 에너지관리공단. 2008. 탄소중립프로그램.
- 유수홍 · 허준 · 조형식 · 손홍규. 2009. 산림의 탄소 저장량 가치 분석. 2009 한국지형공간정보학회 학술대회. pp.384-387.
- 이관규 · 홍정기 · 이정환. 2009a. 도시 및 지역 공간규모의 탄소중립 평가지표. 한국환경영향평가학회 2009년 춘계학술논문발표회 초록집. pp.89-90.
- 이관규 · 홍정기 · 이정환. 2009b. 탄소중립평가지표를 활용한 전국 기초자치단체 평가. 2009 한국환경복원기술학회 추계학술대회 논문집. pp.83-87.
- 전영욱. 2010. 탄소중립도시의 첫걸음. 대한지방행정공제회. 지방행정 59(676) : 74-76.
- 통계청. 2008. 통계연보.
- 한국환경공단. 2009. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 적용을 위한 지자체 온실가스 배출량 산정지침.
- 환경부. 2001. 지속가능한 개발을 위한 생태계 지표 개발. 환경부 보고서.
- 환경부 · 한국환경공단 · 지역환경기술개발센터. 2009. 인벤토리 구축 및 검증.
- IPCC. 1996. 온실가스추계방법론.
- Dimas, S. and S. Gavriel. 2008. The Economics of Ecosystem and Biodiversity.