

한국 국립공원 산림생태계의 수목 탄소저장량 평가*

이상진¹⁾ · 박홍철²⁾ · 박관수³⁾ · 김현숙⁴⁾ · 이창민⁵⁾ · 김진원⁶⁾ · 심규원⁷⁾ · 최승운⁸⁾

¹⁾ 충남대학교 농업과학연구소 교수 · ²⁾ 국립공원연구원 박사 · ³⁾ 충남대학교 산림자원학과 교수 ·
⁴⁾ 충남대학교 농업과학연구소 교수 · ⁵⁾ 충남대학교 산림자원학과 학생 · ⁶⁾ 국립공원연구원 박사 ·
⁷⁾ 국립공원연구원 박사 · ⁸⁾ 국립공원연구원 원장

Estimation of Carbon Storage for Trees in Forest Ecosystem in the National Parks of Korea*

Lee, Sang-Jin¹⁾ · Park, Hong-Chul²⁾ · Park, Gwan-Soo³⁾ · Kim, Hyoun-Sook⁴⁾ ·
Lee, Chang-Min⁵⁾ · Kim, Jin-Won⁶⁾ · Sim, Gyu-Won⁷⁾ and Choi, Seung-Woon⁸⁾

¹⁾ Institute of Agriculture Science, Chungnam National University, Professor,
²⁾ Korea National Parks Research Institute, Ph.D.,
³⁾ Department of Forest Resources, Chungnam National University, Professor,
⁴⁾ Institute of Agriculture Science, Chungnam National University, Professor,
⁵⁾ Department of Forest Resources, Chungnam National University, Student,
⁶⁾ Korea National Parks Research Institute, Ph.D.,
⁷⁾ Korea National Parks Research Institute, Ph.D.,
⁸⁾ Korea National Parks Research Institute, Director. corresponding author.

ABSTRACT

The purpose of this study is to quantitatively evaluate the amount of carbon storage for trees in forest ecosystem to support the foundation for carbon neutrality implementation in Korea National Park. It targeted 22 national parks designated and managed as national parks in Korea, and conducted research on forest trees in the terrestrial ecosystem among various natural and ecological carbon sink. The survey and analysis method followed the IPCC guidelines and the National Greenhouse Gas Inventory in Korea.

* 이 논문은 국립공원공단 국립공원연구원의 「국립공원 생태계부문 탄소저장량 평가」 사업의 지원을 받아 작성되었음.

First author : Lee, Sang-Jin, Institute of Agriculture Science, Chungnam National University, Professor,
Tel : +82-42-821-7836, E-mail : sangjin78@gmail.com

Corresponding author : Choi, Seung-Woon, Korea National Parks Research Institute, Director. corresponding author,
Tel : +82-33-769-1600, E-mail : swchoi@knps.or.kr

Received : 11 March, 2022. **Revised** : 18 May, 2022. **Accepted** : 17 May, 2022.

The amount of tree carbon storage in the forest ecosystem of Korea National Park was confirmed to be about 218,505 thousand CO₂-ton and the amount of carbon storage per unit area was 570.8 CO₂-ton per hectare. Compared to 299.7 CO₂-ton per hectare, the average carbon storage per unit area of the entire Korean forest, it was found that about twice as much carbon was stored when assuming the same area. In other words, it means that the tree carbon storage function of the national park is about twice as high as that of the average tree carbon storage function of entire Korean forest. It has great implications in Korea National Park not only provides biodiversity promotion and exploration services as a national protected area, but also performs excellent functions as a carbon sink.

Key Words : 탄소중립, 탄소흡수원, 보호지역, NbS, 기후변화

I. 서론

최근 2050년 탄소중립(carbon neutral)이 전 세계적 의제로서 활발히 논의되고 있다. 2016년 발효(發效)된 파리협정 및 2019년 UN기후정상회의 이후, 전 세계는 기후위기 해결을 위한 글로벌 의제로서 2050년 탄소중립을 선언하고 있다. 2019년 코로나19 전염병 확산을 계기로 전 세계적 팬데믹(pandemic) 상황이 벌어지면서 기후변화에 대한 위기의식이 높아지게 되었고(KFRI, 2021), 이는 유럽연합, 중국, 일본 등 주요국의 탄소중립 선언을 가속화하는 계기가 되었다. 한국 역시 제26차 유엔기후변화협약 당사국총회('21.10.)에서 국가온실가스감축목표(Nationally Determined Contribution, NDC)를 2030년까지 2018년 온실가스 배출량 대비 40.0% 감축한다는 목표를 선언한 바 있다.

이러한 상황에서 탄소중립 실현을 위한 방안 중 하나로 자연생태계에 존재하는 탄소흡수원을 유지·확대하여 대기 중 온실가스를 상쇄·감축하는 방법이 최근 주목받고 있다. 이러한 접근법을 자연기반해법(Nature based Solution, NbS)이라고 하며 자연생태계를 지속가능하게 보전·관리하여 기후변화 등의 환경문제를 해결한다는 개념이다(Dudley et al., 2010; IUCN, 2020; KFRI, 2021). 특히, 산림생태계 기반의 자연기반해법은 국토의 63%가 산림인 한국에서 탄소중립을 위한 중요 전략으로 판단된다.

산림생태계 주요 구성생물인 식물체는 광합성 작용을 통해 대기 중 이산화탄소를 체내 저장할 수 있으며, 지상부에 약 80%, 지하부에 약 20%를 저장한다(Peichl and Araim, 2007). 이러한 식물체의 탄소저장기능은 지구탄소순환에 기여하는 가장 중요한 구성요소로 알려져 있으며(Davidson et al., 2002), 자연계에 존재하는 탄소흡수원으로서 그 가치를 인정받고 있다. 실제로 한국의 산림이 흡수·저장하는 대기 중 온실가스는 약 45백만 톤('18년 기준)으로 국가 전체 온실가스 배출량인 7억2천8백만 톤의 약 6.3%를 상쇄하는 것으로 추정된다(GIR, 2020).

특히 보호지역 내 산림생태계는 오랜 기간 동안 보전·관리되어 온 생물서식지로서, 자연기반해법(NbS) 접근방식에 따라 과거와 현재, 그리고 미래 온실가스 감축 및 기후변화 완화·적응에 기여하는 부분이 많다는 공감대가 세계자연보전연맹(IUCN)을 중심으로 국제사회에서 확산되고 있다(KFRI, 2021). 한국의 대표적인 보호지역으로는 국립공원이 있다. 국립공원 산림생태계는 국토 산림면적의 약 6%에 불과하지만, 탄소저장·흡수 효과는 그 이상일 것으로 기대된다. 이탈리아 국립공원 산림의 탄소저장·흡수량이 일반산림보다 많다는 연구결과(Marchetti, et al., 2012)가 이를 뒷받침해주는 대표적 사례이다. 그러나 이를 구체적으로 확인하거나 비교할 수 있는 근거자료가 부족한 실정이다.

국가차원에서 매년 작성·공개하고 있는 온실가스인벤토리 자료가 있지만, 국립공원 지역을 공간적·물리적으로 분리하여 탄소저장 및 흡수량을 확인·비교하기 어려운 실정이다. 일부 북한산국립공원(Lee, 2011), 설악산국립공원(Lee, 2012), 지리산국립공원(Lee, 2012), 무등산국립공원(Lee et al., 2015)을 대상으로 식생권 탄소저장량을 조사·분석한 사례가 있지만, 조사구수가 적고 침엽수군락과 활엽수군락으로 단순 유형화하여 조사하는 등 다양한 서식지 유형을 고려한 국립공원 산림생태계의 탄소저장기능을 파악하기에는 한계가 있다.

이에 본 연구에서는 국립공원 산림생태계 주요 식생유형별 수목 탄소저장량을 평가하고자 하였으며, 이를 통해 향후 국립공원 자연자원을 활용한 자연기반해법 접근 및 탄소중립 이행기반 마련에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

II. 대상지 및 방법

1. 대상지 현황

한국에서 자연공원법에 따라 국립공원으로 지정·관리되고 있는 22개 국립공원(Figure 1)을 대상으로 하였으며, 다양한 자연생태계 탄소흡수원 중 산림생태계 수목을 대상으로 연구를 수행

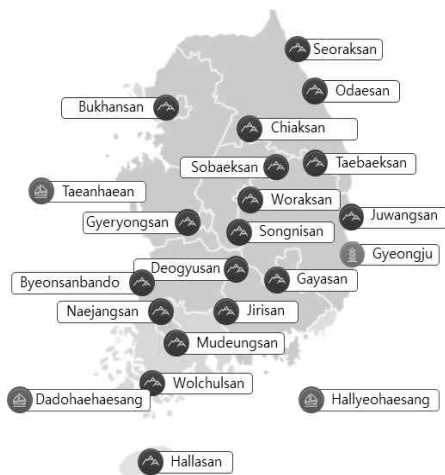


Figure 1. Map of Korea National Parks

하였다. 국립공원 산림의 임상별 특성을 구분하여 분석·비교하기 위해, 산림식생을 침엽수군락, 활엽수군락, 침활혼효군락, 아고산대 상록침엽수군락, 인공조림지로 유형화하여 연구를 수행하였다.

인공조림지는 국립공원 내 대표적 조림수종인 일본잎갈나무(*Larix kaempferi*)에 한하여 분류하였으며, 아고산대 상록침엽수군락은 선행연구(Park et al., 2019)에 따라 구상나무(*Abies koreana*), 분비나무(*Abies nephrolepis*), 주목(*Taxus cuspidata*), 가문비나무(*Picea jezoensis*), 눈잣나무(*Pinus pumila*), 눈향나무(*Juniperus chinensis* var. *sargentii*), 눈측백(*Thuja koraiensis*), 잣나무(*Pinus koraiensis*), 전나무(*Abies holophylla*) 우점군락에 한정하였다. 단, 아고산대에 분포하는 사스래나무(*Betula ermanii*) 우점군락은 활엽수군락으로 분류하였다. 이밖에 수종이 불분명한 조경식재지와 기타식재림, 과수원은 침활혼효군락으로 분류하였다.

각 유형별 면적산출은 국립공원공단에서 자체 제작한 정밀식생도를 우선 적용하되, 정밀식생도 제작이 완료되지 않은 공원의 경우 산림청에서 제작한 임상도를 활용하였다. 국립공원 정밀식생도를 적용한 공원은 총 9개 공원으로, 지리산국립공원, 내장산국립공원, 가야산국립공원, 덕유산국립공원, 오대산국립공원, 치악산국립공원, 월악산국립공원, 소백산국립공원, 월출산국립공원이 해당된다. 산림청 임상도를 적용한 공원은 13개 공원으로, 한려해상국립공원, 경주국립공원, 계룡산국립공원, 설악산국립공원, 한라산국립공원, 속리산국립공원, 주왕산국립공원, 태안해안국립공원, 다도해해상국립공원, 북한산국립공원, 변산반도국립공원, 무등산국립공원, 태백산국립공원이 해당된다.

단, 정밀식생도(혹은 임상도)에서 암벽식생, 벌채지, 경작지, 초지, 산지습지, 죽림, 칩군락, 관목림, 미립목지로 분류된 폴리곤은 산림면적에서 제외하였다. 각 공원별·유형별 면적 및 조

사구 수 현황은 Appendix 1과 같다.

2. 조사 및 분석방법

IPCC 가이드라인(IPCC, 2006)에 따라 조사 및 분석을 수행하였으며, 이외의 사항은 한국의 국가온실가스인벤토리 작성기준(GIR, 2020)을 따랐다. 식생조사는 표본조사법 중 가장 일반적으로 사용되는 방형구법(Brower and Zar, 1977)을 따랐으며, 단위면적 당 탄소저장량 산출 후 해당 유형의 면적을 곱하여 전체면적에 대한 탄소저장량을 산출하는 방식을 사용하였다. 또한 수목별 탄소저장량 개별 산출을 위해 흉고직경 값을 활용한 바이오매스 상대생장식(KFRI, 2014; Univ. of Seoul, 2009)을 활용하였다.

조사구는 공원별·유형별 면적비율, 식생대표성, 접근성 등을 감안하여 주변에 임분이 균질하고 인위적인 교란이 없는 식생을 대상으로 총 214개소의 조사구를 선정하였으며, 각 공원별 조사구 현황은 Appendix 1의 괄호와 같다. 조사구의 크기와 형태는 가로길이가 세로길이가 각각 30m인 정사각형태의 방형구이며, 대상지 여건상 30m×30m 정사각형태의 방형구 설치가 불가할 경우, 방형구 크기는 900㎡로 동일하게 설치하되 직사각형태의 방형구 설치를 허용하였다.

매목조사는 방형구 내 수목 중 흉고직경이 6cm 이상인 수목을 대상으로 고사목을 포함하여 전수조사 실시하였으며, 각 수목별 수종, 수고, 흉고직경을 측정하며, 수고는 1m 단위로 목측하고 흉고직경은 0.1cm 단위까지 직경자로 실측하였다. 식물 종 확인 및 동정은 Lee (1996), Lee (2003), Kim and Kim (2001)의 도감을 이용하였다. 학명과 국명은 국립수목원과 한국식물분류학회가 제시한 국가표준식물목록(Korea National Arboretum and The Korean Society of Plant Taxonomists, 2007)에 준하였다. 조사기간은 2021년 4월부터 9월까지 종 동정이 용이한 시기에 수행하였다.

바이오매스 분석은 매목조사를 통해 수집한

수목별 수종과 흉고직경 값을 대입하여 산출 가능한 바이오매스 상대생장식 사용하였다. 우리나라 국가 표준으로 개발된 바이오매스 상대생장식(KFRI, 2014)은 22수종에 적용 가능한 산식 22개(Appendix 2)가 있으며, 해당 수종은 우리나라 국가표준 산식을 우선 적용하여 바이오매스 산출하였다. 흉고직경 측정 시 흉고높이 이하에서 가지가 분지되는 경우 각각의 분지된 가지의 흉고직경을 동일한 방법으로 측정·기입하였다.

우리나라 표준 바이오매스 상대생장식을 적용할 수 없는 수종은 해외에서 개발된 바이오매스 상대생장식을 활용하였으며, 종(Species) 수준에서 적용이 불가피 경우 동일한 속(Genus) 또는 과(Family) 수준에서 적용하였다. Univ. of Seoul(2009)의 방식을 따라 미국농무부(United States Department of Agriculture, USDA)에서 만든 「Comprehensive Data Base of Diameter-based Biomass Regressions for North American Tree Species」를 기준으로 수종별 그룹화 작업을 수행한 후 각 그룹에 적합한 바이오매스 상대생장식(Appendix 3) 적용하였다. 각 그룹별 바이오매스 상대생장식은 직경-재적 회귀식을 기반으로 만든 미국농무부(United States Department of Agriculture, USDA) 바이오매스 상대생장식(Jenkins et al., 2004)과 캘리포니아온실가스등록소(the California Climate Action Registry, CCAR) 바이오매스 상대생장식(CCAR, 2008)을 활용하였다. 각 바이오매스 상대생장식에 따라 바이오매스 확장계수, 지상부 뿌리비율, 비중, 밀도, 단위 환산 등을 선택적으로 고려해야하며, 각 그룹별 보정계수(Nowak, 1994; Cairns et al., 1997; IPCC, 2006; Jung and Park, 2008)는 Univ. of Seoul (2009)(Appendix 4)의 기준을 따랐다.

고사목의 경우 살아있는 수목과 동일하게 흉고직경 6cm 이상인 고사목을 대상으로 수종, 흉고직경, 수고를 조사하여 분석에 활용하였으며, KFRI(2015) 기준에 따라 현장에서 고사 부후도

를 3단계(A: 고사 후 잎이 없는 상태, B: 고사 후 잎과 잔가지가 탈락한 상태, C: 고사 후 잎과 가지가 탈락하여 줄기만 남은 상태)로 판단하여 바이오매스 산출 시 보정계수(A: 0.9, B: 0.8, C: 0.7)를 적용하였다.

바이오매스 상대생장식을 통해 산출된 바이오매스 값에 탄소함량비를 곱하여 탄소저장량 산출할 수 있으며, 본 연구에서는 IPCC(2006)에서 제시한 국제 표준 값인 0.5 적용하였다. 각 공원마다 식생유형별 단위면적당 탄소저장량을 개별 도출한 후 해당되는 면적을 곱하여 총 탄소저장량 산출하였다. 즉, 식생유형별 단위면적당 탄소저장량은 공원별로 각기 다르며, 이는 동일한 식생유형일지라도 공원별 특성에 따라 다를 수 있으므로 이를 반영한 결과이다. 산출된 탄소저장량은 추후 탄소흡수량과의 비교 편의를 위해 이산화탄소당량(CO₂eq)으로 환산하여 제시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 식생유형별 탄소저장량

한국 국립공원 산림생태계(382,830ha)의 수목 탄소저장량은 약 218,505천 CO₂-ton, 단위면적당 탄소저장량은 570.8 CO₂-ton/ha으로 분석되었다.

우리나라 국립공원 산림생태계에서 가장 많은 면적을 차지하고 있는 활엽수군락(230,408 ha)의 탄소저장량이 약 129,847천 CO₂-ton(생육목 126,185천 CO₂-ton+고사목 3,662천 CO₂-ton)으로 가장 높은 비율(59%)을 차지하고 있다. 침엽수군락(81,315 ha)의 탄소저장량은 약 47,450천 CO₂-ton(생육목 46,339천 CO₂-ton+고사목 1,111천 CO₂-ton)으로 전체의 21%를 차지하고 있으며, 침활혼효군락(54,090 ha)의 탄소저장량은 약 31,643천 CO₂-ton(30,584천 CO₂-ton+1,059천 CO₂-ton)으로 전체의 15%를 차지하고 있다. 이 밖에 인공조림지(11,530 ha)의 탄소저장량은 약 7,871천 CO₂-ton(생육목 7,810천 CO₂-ton+고사

목 61천 CO₂-ton)으로 나타났으며, 아고산대 침엽수군락(5,488 ha)은 약 1,694천 CO₂-ton(생육목 1,334천 CO₂-ton+고사목 360 천 CO₂-ton)으로 나타났다(Table 1).

단위면적당 탄소저장량은 침활혼효군락 585 CO₂-ton/ha(생육목 565.4 CO₂-ton/ha+고사목 19.6 CO₂-ton/ha), 침엽수군락 583.6 CO₂-ton/ha(생육목 569.9 CO₂-ton/h+고사목 13.7 CO₂-ton/ha), 활엽수군락 563.6 CO₂-ton/ha(생육목 547.7 CO₂-ton/ha+고사목 15.9 CO₂-ton/ha) 순으로 나타났지만, 큰 차이를 보이지 않았다. 침엽수와 활엽수, 침활혼효림이 이렇게 큰 차이를 보이지 않은 이유로는, 각각의 고유한 종구성 및 식생구조특성이 다름에도 불구하고, 탄소저장량을 결정하는 주요 요인인 경급과 단위면적당 임목밀도, 탄소배출계수에 더 큰 영향을 받았기 때문으로 판단된다. 실제로 ha 당 총 흉고단면적(basal area)은 혼효림 465,826cm², 침엽수 488,514cm², 활엽수 352,224cm²로 나타났으며, 활엽수의 경우 침엽수에 비해 총 흉고단면적은 작지만, 목재기본밀도와 바이오매스확장계수, 뿌리함량비 적용에서 침엽수보다 값이 높기 때문에 그 격차를 좁힐 수 있었던 것으로 판단된다. 각 식생유형별 ha 당 임목밀도는 혼효림 1,238본, 침엽수 1,151본, 활엽수 1,192본로 대동소이한 것으로 나타났다. 이를 토대로 볼 때 국립공원 자연식생군락의 경우 침엽수군락에서 활엽수군락으로의 자연천이가 진행된다고 하더라도 탄소저장기능 측면에서의 큰 손실이나 증가는 없을 것으로 예상된다.

반면 인공조림지는 682.7 CO₂-ton/ha(생육목 677.4 CO₂-ton/ha+고사목 5.3 CO₂-ton/ha)로 나타나 앞서 언급한 식생유형보다 ha 당 탄소저장량이 높게 나타났다. 이는 본 연구에서 인공조림지를 일본잎갈나무림을 기준으로 구분하였는데, 자연수종에 비해 성장속도가 빠른 일본잎갈나무의 특성 상 인공조림지 유형의 조사구 내 대경목 비율이 더 높기 때문으로 판단된다. 실제로 인공조림지의 나무 1그루 당 평균 흉고단

Table 1. Estimation results of carbon storage each forest type in the National Parks of KoreaUnit: 1,000 CO₂-ton (CO₂-ton/ha)

Division	Broad-leaved forest	Coniferous forest	Mixed forest	Artificial afforestation	Subalpine forest	Total
Total	129,847 (563.6)	47,450 (583.6)	31,643 (585)	7,871 (682.7)	1,694 (308.5)	218,505 (570.8)
A living trees	126,185 (547.7)	46,339 (569.9)	30,584 (565.4)	7,810 (677.4)	1,334 (243.0)	212,252 (554.4)
A dead trees	3,662 (15.9)	1,111 (13.7)	1,059 (19.6)	61 (5.3)	360 (65.5)	6,253 (16.3)

※ Each sum may not match with rounding less than 1000 units.

Table 2. Detailed results of carbon storage of each forest type in the National Parks of KoreaUnit: 1,000 CO₂-ton

Division	Broad-leaved forest	Coniferous forest	Mixed forest	Artificial afforestation	Subalpine forest	Total
Total	129,847	47,450	31,643	7,871	1,694	218,505
Jirisan	21,871	2,689	2,444	1,239	197	28,440
Hallyeohaesang	1,359	4,134	646	2	-	6,141
Gyeongju	3,692	2,303	663	76	-	6,734
Gyeryongsan	1,752	830	460	37	-	3,079
Seoraksan	13,769	3,187	6,850	166	908	24,880
Hallasan	7,944	767	1,436	4	232	10,383
Songnisan	6,127	6,144	1,730	368	-	14,369
Naejangsan	2,791	457	400	29	-	3,677
Gayasan	1,975	1,623	1,508	247	-	5,353
Deogyusan	11,794	2,086	1,125	506	21	15,532
Odaesan	9,510	2,104	1,473	566	330	13,983
Juwangsan	3,917	1,384	811	154	-	6,266
Taeanhaean	31	1,624	221	-	-	1,876
Dadohaehaesang	2,746	4,596	1,352	-	-	8,694
Bukhansan	1,860	604	849	4	-	3,317
Chiaksan	6,499	2,103	1,369	1,804	-	11,775
Woraksan	13,146	3,511	2,807	1,078	-	20,542
Sobaeksan	11,909	2,960	2,446	1,096	5	18,416
Byeonsanbando	1,836	2,480	1,341	5	-	5,662
Wolchulsan	1,529	494	787	-	-	2,810
Mudeungsan	1,775	1,151	566	3	-	3,495
Taebaeksan	2,018	218	358	487	1	3,082

※ Each sum may not match with rounding less than 1000 units.

면적(basal area)은 523cm²로 활엽수보다 1.46배 넓었다. 특히 국립공원 내 인공조림지는 보호지역 관리특성상 일반산림지에 비해 숲가꾸기 사업의 강도나 빈도가 낮을 수밖에 없으며, 많은 수령과 높은 밀도로 인해 직경생장보다 수고생장이 발달했을 가능성이 높다. 향후 국립공원 내 인공조림지에 대한 숲가꾸기사업에 대한 타당성과 간벌강도에 대한 공론화 과정이 필요하며, 이를 통해 생물다양성을 고려한 탄소저장기능을 강화방안을 모색해야 할 것이다. 국립공원은 보호지역으로 오랜시간 보전·관리되어 온 곳으로서, 탄소흡수원 확대를 목적으로 신규조림을 위한 훼손지나 폐농경지, 나대지 등의 물리적 공간이 부족하다. 따라서 국립공원 산림생태계가 저장하고 있는 탄소를 배출하지 않도록 보전하고 관리하는 것이 더욱 중요할 것이라 판단된다.

아고산대 상록침엽수군락의 단위면적당 탄소저장량은 308.5 CO₂-ton/ha(생육목 243.0 CO₂-ton/ha+고사목 65.5 CO₂-ton/ha)로 다른 유형보다 다소 낮게 나타났으며, 이는 기후변화 등 열악한 생물환경(강한바람, 얇은 토심 등)으로 인해 최근 발생하고 있는 구사나무개체군 및 분비나무개체군, 그리고 가문비나무개체군의 쇠퇴 및 고사 현상에 따른 것(Kim et al., 2020; Park et al., 2020a; Park et al., 2020b)으로 판단된다. 실제로 아고산대 상록침엽수군락 유형의 ha 당 고사목 수와 탄소저장량은 각각 148본/ha, 65.5 CO₂-ton/ha으로 나타나, 인공조림지 35본/ha(5.3 CO₂-ton/ha), 침엽수군락 64본/ha(13.7 CO₂-ton/ha), 침활혼효군락 92본/ha(19.6 CO₂-ton/ha), 활엽수군락 97본/ha(15.9 CO₂-ton/ha)에 비해 높게 나타났다.

2. 국립공원별 탄소저장량

22개 국립공원 중 총 탄소저장량 기준으로 2천만 CO₂-ton 이상을 나타낸 국립공원은 지리산국립공원(28,440천 CO₂-ton)과 설악산국립공원

(24,880천 CO₂-ton), 월악산국립공원(20,542천 CO₂-ton)으로 전체 공원 중 탄소저장량이 많은 1~3순위를 차지하였다. 반면 총량 기준 5백만 CO₂-ton 미만의 낮은 탄소저장량을 나타낸 국립공원은 내장산국립공원(3,677천 CO₂-ton), 무등산국립공원(3,495천 CO₂-ton), 북한산국립공원(3,317천 CO₂-ton), 태백산국립공원(3,082천 CO₂-ton), 계룡산국립공원(3,079천 CO₂-ton), 월출산국립공원(2,810천 CO₂-ton), 태안해안국립공원(1,876천 CO₂-ton) 순으로 나타났다(Table 2).

단위면적당 탄소저장량이 많은 1~3순위를 차지한 국립공원은 태안해안국립공원(746 CO₂-ton/ha), 한라산국립공원(724 CO₂-ton/ha), 월악산국립공원(697 CO₂-ton/ha)으로 나타나 앞서 기술한 총량 기준 공원별 정렬 순서와는 차이를 보였다.

유형별 총 탄소저장량이 많은 공원을 1~3위 순서로 보면, 활엽수군락은 지리산국립공원(21,871천 CO₂-ton), 설악산국립공원(13,769천 CO₂-ton), 월악산국립공원(13,146천 CO₂-ton) 순서로 나타났으며, 침엽수군락은 속리산국립공원(6,144천 CO₂-ton), 다도해해상국립공원(4,596천 CO₂-ton), 한려해상국립공원(4,134천 CO₂-ton) 순서로 나타났다. 침활혼효군락은 설악산국립공원(6,850천 CO₂-ton), 월악산국립공원(2,807천 CO₂-ton), 소백산국립공원(2,446천 CO₂-ton) 순으로 나타났다. 인공조림지의 경우 치악산국립공원(1,804천 CO₂-ton), 지리산국립공원(1,239천 CO₂-ton), 소백산국립공원(1,096천 CO₂-ton) 순으로 나타났으며, 아고산대 상록침엽수군락은 설악산국립공원(908천 CO₂-ton), 오대산국립공원(330천 CO₂-ton), 한라산국립공원(232천 CO₂-ton) 순으로 나타났다.

유형별 단위면적당 탄소저장량이 많은 1~3위를 보면, 활엽수군락은 월악산국립공원(763.1 CO₂-ton/ha), 월출산국립공원(715.5 CO₂-ton/ha), 한라산국립공원(713.7 CO₂-ton/ha) 순서, 침엽수군락은 태안해안국립공원(823.1 CO₂-ton/ha), 덕

유산국립공원(815.2 CO₂-ton/ha), 한라산국립공원(812.5 CO₂-ton/ha) 순서, 침활혼효군락은 한라산국립공원(1,008.4 CO₂-ton/ha), 가야산국립공원(886.5 CO₂-ton/ha), 설악산국립공원(738.8 CO₂-ton/ha) 순으로 나타났다. 인공조림지의 경우 치악산국립공원(1,110.8 CO₂-ton/ha), 지리산국립공원(990.4 CO₂-ton/ha), 변산반도국립공원(714.3 CO₂-ton/ha) 순으로 나타났으며, 아고산대 상록침엽수군락은 설악산국립공원(444.9 CO₂-ton/ha), 소백산국립공원(384.6 CO₂-ton/ha), 오대산국립공원(362.2 CO₂-ton/ha) 순으로 나타났다.

단위면적당 탄소저장량이 많은 조사구일수록 임목밀도와 흉고직경이 커지는 경향성은 보였으나, 통계적 유의수준은 아니었다. 반면, 조사구별 해발고도, 경사도, 평균수고, 고사목 수 등 기본적인 조사구 내 특성과는 특정할 만한 경향성을 찾을 수 없었다.

선행연구가 있었던 설악산국립공원, 무등산국립공원, 지리산국립공원, 북한산국립공원의 ha 당 탄소저장량과의 비교 결과는 다음과 같다. 설악산국립공원 선행연구에 따르면 활엽수군락의 ha 당 탄소저장량은 539 CO₂-ton/ha로, 본 연구에서 평가한 활엽수군락의 탄소저장량인 527 CO₂-ton/ha와 유사한 것으로 나타났다. 다른 식생유형에 대한 탄소저장량은 비교할 선행연구가 없었다. 무등산국립공원 선행연구로는 침엽수군락과 활엽수군락의 평균 ha 당 탄소저장량은 410 CO₂-ton/ha로, 본 연구에서 도출된 496 CO₂-ton/ha에 비해 83% 수준으로 낮게 평가된 것으로 확인된다. 지리산국립공원 선행연구로는 활엽수군락의 ha 당 탄소저장량은 411 CO₂-ton/ha로, 본 연구에서 도출된 활엽수군락의 탄소저장량인 595 CO₂-ton/ha에 비해 69% 수준으로 낮게 평가된 것으로 확인된다. 다른 식생유형에 대한 탄소저장량은 비교할 선행연구가 없었다. 북한산국립공원을 대상으로한 선행연구에서 활엽수군락의 ha 당 탄소저장량은 341 CO₂-ton/ha

로, 본 연구에서 도출된 활엽수군락의 탄소저장량인 457 CO₂-ton/ha에 비해 75% 수준으로 낮게 평가된 것으로 확인된다.

이처럼 과거 일부 공원에서 조사되었던 ha 당 탄소저장량 대비 본 연구에서 도출된 ha 당 탄소저장량이 유사하거나 더 많은 것으로 비교된다. 이러한 차이는 공원별 표준조사구의 개수와 적용한 바이오매스산정식의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다. 선행연구 대비 본 연구에서 조사한 표준조사구가 약 2~3배 많기 때문에 본 연구의 결과가 데이터 수집 및 통계적 신뢰도가 상대적으로 높다고 할 수 있다. 또한 선행연구에서는 바이오매스산정식을 수종별로 적용하지 않고 침엽수와 활엽수로 단순구분하여 대표식을 사용하였으며, 본 연구에서는 수종별 각기 다른 바이오매스산정식을 적용하여 수종별 수형과 성장특성을 추가 고려했기 때문에 보다 정확한 바이오매스를 산정했다고 볼 수 있다.

IV. 결론 및 제언

한국 국립공원 산림생태계에 저장된 식생권 탄소저장량은 약 219백만 CO₂-ton, 단위면적당 탄소저장량은 570.8 CO₂-ton/ha으로 확인되었다. 이는 한국 산림 전체의 단위면적당 평균 탄소저장량인 299.7 CO₂-ton (2020년 국가온실가스인벤토리보고서 재가공)과 비교해보면, 동일 면적 가정 시 약 2배 많은 양의 탄소를 저장하고 있는 것으로 나타났다. 즉, 국립공원 산림생태계의 탄소저장기능이 우리나라 산림생태계의 평균적인 탄소저장기능보다 약 2배 더 높다는 것을 의미한다. 한국의 국립공원이 국가보호지역으로서 생물다양성 증진 및 탐방서비스 제공 뿐만 아니라, 탄소흡수원으로서 뛰어난 기능을 수행하고 있다는 점에서 시사하는 바가 크다. 다만, 이러한 단순비교는 신중하게 접근할 필요가 있다. 국가 통계에서 사용한 방법론과 본 연구에서 사용한 방법론이 큰 틀에서는 IPCC 가

이드라인을 따르고 있지만, 상세한 방법론에서 차이가 있기 때문이다. 향후 본 연구의 방법론으로 국립공원 외 지역에 대한 탄소저장량 평가, 국가 통계 작성 시 사용한 방법론과의 정합성을 고려해 보정계수개발 등의 추가 연구가 필요하다.

다만, 본 연구의 한계 및 개선점도 일부 존재한다. 각 수목별 바이오매스 산출 시 흉고직경 값과 수고 값을 모두 대입하여 계산하는 바이오매스 상대생장식의 사용이 신뢰도가 높을 수도 있지만, 본 연구에서는 수고 값의 부정확성으로 흉고직경 값만을 대입하여 바이오매스를 추정했다는 한계가 있다. 매목조사 시 흉고직경은 직경자를 활용해 0.1cm 단위까지 상세히 측정하고 있는 반면, 수고는 정확한 측정이 어렵다. 나무의 정단부를 직접 측정해야하지만 조사자가 접근할 수 있는 높이에 한계가 있기 때문이다.

이를 극복할 수 있는 방안으로서 라이다 측정 장비 등 측량장비의 활용을 검토할 필요가 있다. 측량장비 활용 시 흉고직경 값뿐만 아니라 수고 값을 정확하게 수집할 수 있으며, 반복조사 시에도 사람에 의한 측정오차까지 해소할 수 있을 것으로 기대된다. 이로 인해 흉고직경과 수고를 모두 고려한 바이오매스 상대생장식을 사용할 수 있으며, 보다 정확한 수목별 바이오매스 산출이 가능하다. 나아가 측량장비로 수목의 재적을 직접 산출할 수 있다면, 상대생장식을 통해 바이오매스를 추정하던 방식보다 더욱 높은 신뢰도의 바이오매스 직접 산출이 가능하다. 이를 통해 국립공원 산림생태계 식생권에 대한 탄소흡수·저장량 평가체계 역시 높은 신뢰성을 가질 수 있을 것이다.

또한 국립공원 산림생태계 식생권에 의한 탄소흡수량 산정을 위해서는 시계열 변화에 따른 탄소저장량 증·감분을 알아야하며, 이를 위한 첫 번째 단계로서 본 연구의 결과가 베이스라인이 될 수 있을 것으로 기대된다. 다만, 매년 반

복조사를 통해 1년 동안 증가한 탄소저장량 즉, 연간 탄소흡수량을 산출하는 것이 최선이지만, 국토 전역에 걸친 22개 공원을 모두 조사해야하는 만큼 많은 시간과 인력, 비용이 투입되어야 할 것으로 판단된다. 유사한 이유로 IPCC 가이드라인(IPCC, 2006)에서는 5년 혹은 10년 단위로 재조사할 것을 권장하고 있으며, 우리나라 산림분야 국가온실가스인벤토리 작성의 근거가 되고 있는 국가산림자원조사 역시 5년 단위로 반복 조사가 이뤄지고 있다. 즉, 본 연구를 활용한 탄소흡수량 평가 역시 5년 단위 반복조사를 통해 탄소흡수량을 산정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

나아가 본 연구결과를 활용하여 각 조사구별 종 구성, 식생구조, 종다양성, 입지환경에 따른 탄소저장량의 유의적 차이를 확인하고, 각 변수와의 상관관계를 확인하는 등 식생학적 특성과 탄소저장량과의 상관관계 분석이 필요하다. 이와 같은 후속 연구를 통해 향후 국립공원과 같은 보호지역 내 탄소흡수원 유지·증진을 위한 정책 수립 시 과학적 접근이 가능할 것이다.

References

- Univ. of Seoul (2009) Studies on Estimation of Urban Green Areas and Development of Carbon Emission/Removal Factors. Korea Forest Research Institute. Seoul, Korea. (in Korean)
- Brower, J.E. and J.H. Zar (1977) Field and Laboratory Methods for General Ecology. Wm. C. Brown Company Publishers, Iowa, USA. pp. 596 (in English)
- Cairns, M.A., S. Brown, E.H. Helmer and G.A. Baumgardner (1997) Root biomass allocation in the world's upland forests. *Ecologia* 111:1-11 (in English)
- CCAR(California Climate Action Registry) (2008)

- Urban forest project reporting protocol (in English)
- Davidson, E.A., Savage, K., Bolstad, P., Clark, D.A. Cutis, P.S., Elworth, D.S., Hanson, P.J., Law, B.E., Luo, Y., Pregitzer, K.S., Randolph, J.C., Zak, D.(2002) Belowground carbon allocation in forests estimated from litterfall and IRGA-based soil respiration measurements. *Agricultural and Forest Mtl* 133951
- Dudley, N., S. Stolton, A. Belokurov, L. Krueger, N. Lopoukhine, K. MacKinnon, T. Sandwith and N. Sekhran (2010) *Natural Solutions: Protected areas helping people cope with climate change*, IUCN-WCPA, TNC, UNDP, WCS, The World Bank and WWF, Gland, Switzerland, Washington DC and New York, USA
- GIR(Green house Gas Inventory and Research Center) (2020) *National Greenhouse Inventory Report of Korea*. Sejong, Korea. 438pp (in Korean)
- IPCC (2006) *IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventory*, Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co Operation and Development, International Energy Agency, Japan.
- IUCN (2020) *IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: a user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS*. First edition. Gland, Switzerland. 30pp (in English)
- Jenkins, J.C., D.C. Chojnacky, L.S. Heath and R.A. Birdsey (2004) *Comprehensive database of diameter-based biomass regressions for North American tree species*, USDA. (in English)
- Jung, S.H. and B.S. Park (2008) *Wood properties of the useful tree species grown in Korea*, Korea Forest Research Institute. (in Korean)
- KFRI (2014) *Carbon Emission Factors and Biomass Allometric Equations by Species in Korea*. Seoul, Korea. 93pp (in Korean)
- KFRI (2015) *Method and Utilization of Forest Carbon Survey for REDD+ Project*. NIFOS. Seoul, Korea. 28pp (in Korean)
- KFRI (2021) *Utilization of NbS in the forest sector with climate change*. Seoul, Korea. 109pp (in Korean)
- Kim, J.S. and T.Y. Kim (2001) *Woody Plants of Korea Peninsula*. Dolbegae, Paju, Korea. pp. 716 (in Korean)
- Kim, J.W., H.C. Park, E.H. Park, N.Y. Lee, C.H. Oh (2020) *Spatial Distribution of Evergreen Coniferous Dead Trees in Seoraksan National Park - In the Case of Northwestern Ridge* -. *J. Korean Env. Res. Tech.* 23(5) : 59-71
- Korea National Arboretum and The Korean Society of Plant Taxonomists (2007) *The list of national standard plant*. [http://www.nature.go.kr/kpni\(2007.12.\)](http://www.nature.go.kr/kpni(2007.12.))
- Lee, W.T. (1996) *Coloured Standard Illustrations of Korean Plants*. Academy Publishing Co., Seoul, Korea. pp. 624 (in Korean)
- Lee, T.B. (2003) *Coloured Flora of Korea*, Vol. I, I. Hyangmunsa, Seoul, Korea. pp. 587 (in Korean)
- Lee, N.Y. (2012) *Estimation of carbon storage in three cool-temperate broad-leaved deciduous forests at Jirisan National Park, Korea*. *Korean Journal of Environmental Biology* 30(2) : 121-127 (in Korean)
- Lee, N.Y. (2012) *Estimation of carbon storage in three cool-temperate broad-leaved deciduous forests at Bukhansan National Park, Korea*. *Journal of National Park Research*, 2(2), 53-57 (in Korean)

- Lee, N.Y. (2012) Estimation of Carbon Storage in Three Cool-Temperate Broad-Leaved Deciduous Forests at Seoraksan National Park, Korea. *Journal of National Park Research*, 3(2), 9-13 (in Korean)
- Lee, N.Y., K.T. Na, J.M. Noh, S.Y. Shim (2015) Estimation of Carbon Storage in A Forest Ecosystem at Mudeungsan Mt. National Park, Korea. *Journal of National Park Research*, 6(1), 1-6 (in Korean)
- Marchetti, M., M. Ottaviano, A. Barbati, P. Corona, R. Tognetti, L. Zavattoni, G. Capotorti (2012) Carbon sequestration by forests in the National Parks of Italy. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 146(4): 1001-1011 (in English)
- Nowak, D.J. (1994) Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest
- Park, H.C., H.Y. Lee, N.Y. Lee, H. Lee, J.Y. Song (2019) Survey on the Distribution of Evergreen Conifers in the Major National Park - A Case Study on Seoraksan, Odaesan, Taebaeksan, Sobaeksan, Deogyusan, Jirisan National Park -. *Journal of National Park Research*, 10(2) : 1-8
- Park, H.C., H.R. Kim, J.Y. Kim, H.H. Kim, D.G. Heo, H. Lee (2020a) A Study on Actual Condition of Damaged Korean Fir(*Abies koreana*) Caused by Rodents and Identifying Suspected Species in Seseokpyeongjeon Area of Jirisan National Park. *Korean J. Environ. Ecol.* 34(3) : 198-206
- Park, H.C., G.S. Moon, H. Lee, N.Y. Lee (2020b) A Study on the Spatial Information and Location Environment of Dead Coniferous Tree in Subalpine Zone in Jirisan National Park. *Korean J Environ Ecol* 34(1) : 42-54
- Peichl, M and M. A. Arain (2007) Allometry and partitioning of above-and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests *Forest Ecology and Management* 253 : 68-80

Appendix 1. Area and number of survey site of each forest type in the National Parks of Korea

Unit: ha (number of survey site)

Division	Broad-leaved forest	Coniferous forest	Mixed forest	Artificial afforestation	Subalpine forest	Total
Total	230,408 (120)	81,315 (50)	54,090 (26)	11,530 (6)	5,488 (12)	382,830 (214)
Jirisan	36,740 (4)	3,853 (2)	3,611 (1)	1,251 (1)	1,786 (1)	47,241 (9)
Hallyeohaesang	3,155 (3)	6,012 (2)	1,906 (1)	3 (0)	0 (0)	11,076 (6)
Gyeongju	7,226 (6)	4,138 (2)	1,336 (1)	111 (0)	0 (0)	12,811 (9)
Gyeryongsan	3,381 (8)	1,717 (2)	785 (2)	54 (0)	0 (0)	5,937 (12)
Seoraksan	26,118 (6)	5,355 (2)	9,272 (1)	243 (0)	2,041 (1)	43,029 (10)
Hallasan	11,130 (4)	944 (2)	1,424 (1)	7 (0)	656 (3)	14,161 (10)
Songnisan	11,377 (6)	10,583 (3)	3,178 (1)	540 (0)	0 (0)	25,678 (10)
Naejangsan	5,414 (9)	1,043 (2)	931 (1)	43 (0)	0 (0)	7,431 (12)
Gayasan	3,187 (6)	2,647 (2)	1,701 (1)	361 (0)	0 (0)	7,896 (9)
Deogyusan	18,444 (6)	2,559 (2)	1,666 (1)	741 (0)	76 (1)	23,486 (10)
Odaesan	24,220 (10)	4,297 (4)	3,595 (4)	830 (0)	911 (4)	33,853 (22)
Juwangsan	6,127 (6)	2,248 (3)	1,594 (1)	226 (0)	0 (0)	10,195 (10)
Taeanhaean	106 (2)	1,973 (3)	331 (1)	0 (0)	0 (0)	2,410 (6)
Dadohaejaesang	7,344 (2)	9,815 (2)	3,405 (1)	0 (0)	0 (0)	20,564 (5)
Bukhansan	4,066 (6)	1,152 (3)	2,569 (1)	6 (0)	0 (0)	7,793 (10)
Chiaksan	10,704 (6)	2,953 (2)	1,927 (1)	1,624 (1)	0 (0)	17,208 (10)
Woraksan	17,227 (6)	5,516 (2)	4,918 (1)	1,718 (1)	0 (0)	29,379 (10)
Sobaeksan	19,224 (4)	5,386 (2)	3,910 (1)	2,951 (1)	13 (1)	31,484 (9)
Byeonsanbando	4,274 (4)	4,793 (1)	3,245 (1)	7 (0)	0 (0)	12,319 (6)
Wolchulsan	2,137 (6)	1,742 (3)	1,368 (1)	0 (0)	0 (0)	5,247 (10)
Mudeungsan	4,018 (6)	2,058 (2)	818 (1)	5 (0)	0 (0)	6,899 (9)
Taebaeksan	4,790 (4)	531 (2)	601 (1)	810 (2)	5 (1)	6,737 (10)

※ Each sum may not match with rounding below the decimal point.

Appendix 2. Biomass equation of major species in Korea

Species	Part or biomass	Biomass equation ($y = aDBH^b$)		Species	Part or biomass	Biomass equation ($y = aDBH^b$)	
		a	b			a	b
강원지방소나무 <i>Pinus densiflora</i> (in Gangwon province)	Stem	0.209	2.087	졸참나무 <i>Quercus setata</i>	Stem	0.177	2.195
	Branch	0.069	1.995		Branch	0.003	3.265
	Leaf	0.100	1.635		Leaf	0.002	2.713
	Root	0.231	1.753		Root	0.400	1.676
중부지방소나무 <i>Pinus densiflora</i> (in central province)	Stem	0.235	2.071	아까시나무 <i>Robinia pseudoacacia</i>	Stem	0.173	2.178
	Branch	0.004	2.748		Branch	0.041	2.358
	Leaf	0.054	1.561		Leaf	0.027	2.040
	Root	0.031	2.279		Root	0.006	3.131
리기다소나무 <i>Pinus rigida</i>	Stem	0.220	2.116	자작나무 <i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	Stem	0.076	2.503
	Branch	0.004	2.814		Branch	0.023	2.387
	Leaf	0.035	1.743		Leaf	0.039	1.688
	Root	0.063	2.285		Root	0.009	2.916
곰솔 <i>Pinus thunbergii</i>	Stem	0.081	2.455	서어나무 <i>Carpinus laxiflora</i>	Stem	0.255	2.001
	Branch	0.028	2.327		Branch	0.005	3.167
	Leaf	0.094	1.658		Leaf	0.000007	4.413
	Root	0.008	2.914		Root	0.008	2.847
잣나무 <i>Pinus koraiensis</i>	Stem	0.064	2.377	tulip나무 <i>Liriodendron tulipifera</i>	Stem	0.121	2.288
	Branch	0.621	1.395		Branch	0.020	2.228
	Leaf	0.025	2.237		Leaf	0.090	1.263
	Root	0.056	2.175		Root	0.0001	3.913
일본잎갈나무 <i>Larix kaempferi</i>	Stem	0.016	2.888	밤나무 <i>Castanea crenata</i>	Stem	0.0003	4.217
	Branch	0.005	2.774		Branch	0.010	3.006
	Leaf	0.215	1.864		Leaf	0.261	1.199
	Root	0.009	2.806		Root	0.130	2.159
삼나무 <i>Cryptomeria japonica</i>	Stem	0.042	2.533	현사시나무 <i>Populus tomentiglandulosa</i>	Stem	0.078	2.409
	Branch	0.005	2.503		Branch	0.00004	4.237
	Leaf	0.330	1.257		Leaf	0.0008	2.647
	Root	0.080	1.949		Root	0.006	2.707
편백 <i>Chamaecyparis obtusa</i>	Stem	0.165	2.157	구실잣밤나무 <i>Castanopsis sieboldii</i>	Stem	0.223	2.092
	Branch	0.022	2.277		Branch	0.004	3.050
	Leaf	0.136	1.470		Leaf	0.009	2.317
	Root	0.464	1.404		Root	0.017	2.883
상수리나무 <i>Quercus acutissima</i>	Stem	0.051	2.724	붉가시나무 <i>Quercus acuta</i>	Stem	0.533	1.877
	Branch	0.012	2.854		Branch	0.007	3.130
	Leaf	0.006	2.478		Leaf	0.006	2.492
	Root	0.460	1.669		Root	0.127	1.968
굴참나무 <i>Quercus variabilis</i>	Stem	0.186	2.184	동백나무 <i>Camellia japonica</i>	Stem	0.034	2.475
	Branch	0.035	2.293		Branch	0.002	3.738
	Leaf	0.061	1.454		Leaf	0.036	1.995
	Root	0.077	2.199		Root	0.004	3.331
신갈나무 <i>Quercus mongolica</i>	Stem	0.595	1.766	종가시나무 <i>Quercus glauca</i>	Stem	0.021	2.763
	Branch	0.007	2.970		Branch	0.072	2.368
	Leaf	0.005	2.362		Leaf	0.071	1.776
	Root	0.691	1.526		Root	0.128	2.014

Appendix 3. Biomass equation of species group in foreign country

Group	Species	Biomass equation ($y = aDBH^b$)
A	<i>Acer tataricum</i>	0.000363 $DBH^{2.292}$
	<i>Acer pictum</i>	
	<i>Acer palmatum</i>	
	<i>Acer pseudosieboldianum</i>	
	<i>Acer triflorum</i>	
	<i>Acer buergerianum</i>	
	<i>Acer saccharinum</i>	
B	<i>Celtis sinensis</i>	0.0283168466(0.021472($DBH/2.54$) ^{2.674757})
	<i>Ulmus davidiana</i>	
	<i>Zelkova serrata</i>	
C	<i>Crataegus pinnatifida</i>	3.54912111643181(($DBH/2.54$) ^{2.1657})
	<i>Chaenomeles sinensis</i>	
	<i>Crataegus maximowiczii</i>	
	<i>Malus pumila</i>	
	<i>Pyrus pyrifolia</i>	
	<i>Sorbus alnifolia</i>	
	<i>Sorbus commixta</i>	
	<i>Prunus armeniaca</i>	
	<i>Prunus sargentii</i>	
	<i>Prunus mume</i>	
	<i>Prunus padus</i>	
	<i>Prunus persica</i>	
	<i>Prunus salicina</i>	
<i>Prunus yedoensis</i>		
D	<i>Cornus controversa</i>	3.08355((($DBH/2.54$) ²) ^{1.1492})
	<i>Cornus kousa</i>	
	<i>Cornus officinalis</i>	
	<i>Cornus walteri</i>	
E	<i>Chionanthus retusus</i>	0.0005885($DBH^{2.206}$)
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	
G	<i>Liriodendron tulipifera</i>	0.0283168466(0.022744($DBH/2.54$) ^{2.622015})
	<i>Magnolia kobus</i>	
H	<i>Castanea crenata</i>	0.0002431($DBH^{2.415}$)
	<i>Quercus acutissima</i>	
	<i>Quercus variabilis</i>	
	<i>Quercus aliena</i>	
	<i>Quercus dentata</i>	
	<i>Quercus serrata</i>	
I	<i>Alnus japonica</i>	0.0002431($DBH^{2.415}$)
	<i>Betula platyphylla</i>	
	<i>Betula schmidtii</i>	
	<i>Carpinus turczaninowii</i>	
J	<i>Cercidiphyllum japonicum</i>	0.280285($DBH^{2.310647}$)
	<i>Koelreuteria paniculata</i>	
	<i>Aesculus turbinata</i>	
	<i>Ailanthus altissima</i>	
	<i>Diospyros kaki</i>	
	<i>Elaeagnus umbellata</i>	

Appendix 3. continue

Group	Species	Biomass equation ($y = aDBH^b$)
J	<i>Eucommia ulmoides</i>	$0.280285(DBH^{2.310647})$
	<i>Firmiana simplex</i>	
	<i>Ginkgo biloba</i>	
	<i>Juglans mandshurica</i>	
	<i>Juglans regia</i>	
	<i>Kalopanax septemlobus</i>	
	<i>Lagerstroemia indica</i>	
	<i>Machilus thunbergii</i>	
	<i>Morus alba</i>	
	<i>Platanus occidentalis</i>	
	<i>Punica granatum</i>	
	<i>Stewartia pseudocamellia</i>	
	<i>Ternstroemia gymnanthera</i>	
	<i>Styrax japonicus</i>	
	<i>Styrax obassia</i>	
<i>Tilia amurensis</i>		
<i>Zizyphus jujuba</i>		
K	<i>Salix koreensis</i>	$3.140870529((DBH/2.54)^{2.0716})$
	<i>Salix pseudolasiogyne</i>	
L	<i>Abies holophylla</i>	$0.15982113425229(DBH^{2.1283})$
	<i>Abies koreana</i>	
	<i>Taxus cuspidata</i>	
M	<i>Picea abies</i>	$0.309777803934777(DBH^{2.102})$
	<i>Picea jezoensis</i>	
N	<i>Pinus densiflora</i>	$0.0283168466(0.019874(DBH/2.54)^{2.666079})$
	<i>Pinus thunbergii</i>	
	<i>Cedrus deodara</i>	
O	<i>Pinus koraiensis</i>	$0.0283168466(0.019874(DBH/2.54)^{2.666079})$
	<i>Pinus parviflora</i>	
	<i>Pinus strobus</i>	
	<i>Pinus bungeana</i>	
P	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	$0.05654(DBH^{2.580671})$
	<i>Chamaecyparis pisifera</i>	
	<i>Juniperus chinensis</i>	
	<i>Thuja orientalis</i>	
Q	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	

Appendix 4. Correction factor of species group in foreign country

Group	Specific gravity	Density (kg/m ³)	Root ratio	Unit coefficient (lb → kg)
A		562	1.26	
B		564	1.26	
C				0.4545
D			1.26	0.4545
E			1.26	0.4545
F		605	1.26	
G		403	1.26	
H		646	1.26	
I		646	1.26	
J	0.56		1.26	
K				0.4545
L			1.26	
M			1.26	
N		414	1.26	
O		414	1.26	
P	0.48		1.26	
Q	0.48		1.26	