

# 직접수확법에 의한 상록성 조경수종의 탄소저감 계량분석

조현길\* · 김진영\*\* · 박혜미\*\*

\*강원대학교 조경학과 · \*\*강원대학교 대학원 조경학과

## I. 서론

현 세대가 당면한 가장 큰 이슈 중 하나는 기후변화 관련 CO<sub>2</sub> 배출이다. 기후변화에 대응하기 위한 탄소흡수원으로서 도시수목에 대한 관심이 점차 증가하고 있는 상황이다. 그러나, 도시수목의 탄소저장 및 흡수에 관한 국내 기반 자료가 매우 미흡한 상황이며, 소수에 불과한 기존 관련 연구도 직접수확법이 아닌 간접적인 접근방법을 통해 수행한 것으로서, 이에 대한 잠재적 오류의 검증과 보완을 필요로 한다.

최근 조현길과 안태원(2012)이 단풍나무, 느티나무, 왕벚나무, 은행나무 등 낙엽성 조경수종을 대상으로 직접수확법을 적용하여 탄소저감 효과를 연구한 바 있으나, 상록수종을 대상으로 수행한 관련 연구는 부재하는 실정이다. 따라서, 본 연구의 목적은 도시의 주요 상록수인 소나무(*Pinus densiflora*), 잣나무(*Pinus koraiensis*), 전나무(*Abies holophylla*) 및 주목(*Taxus cuspidata*)을 대상으로, 직접수확법에 의해 개체당 탄소저장 및 연간 흡수량을 산정하여 도시녹지의 탄소저감을 계량화하는데 필요한 기반정보를 구축하는 것이다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 수목굴취 및 생체량 측정

국내 도시수목의 중부지방에 조경수로 흔히 식재되는 주요 향토 상록수인 소나무, 잣나무, 전나무 및 주목을 연구대상 수종으로 선정하였다. 유목에서 성목에 이르는 일정간격의 직경크기를 고려하여, 개방 성장한 정상 수목을 최소 10개체씩, 총 41개체를 구입하였다.

구입한 수목표본은 8월 하순~10월 초순에 현장에서 직접 굴취하여, 줄기, 가지, 잎, 뿌리 등으로 구분한 부위별 생체량을 실측하였다. 현장굴취 및 생체량 측정은 국립산림과학원(2007)의 바이오매스 조사·분석 표준방법을 참조하여 수행하였다.

측정한 부위별 생체량 표본은 실험실로 운반하여, 85°C 하 건조기에서 향량이 될 때까지 건조시킨 후 건조량을 측정하였다.

부위별 생체량 대비 건조량의 비를 도출하고, 이를 해당 개체의 생체량에 적용하여 단목의 부위별 및 전체 생체량을 산출하였다. 한편, 수종별 3개소씩 생장공간의 토양을 채취하여 농업과학기술원(2000)의 토양분석방법에 따라 생장기반의 물리화학적 특성을 분석하였다.

### 2. 탄소저장량 및 흡수량 산정

생체량 산정결과에 근거하여 수종별 생장에 따른 단목의 탄소저장량을 용이하게 추정하는 회귀모델을 유도하였다. 수목의 목질부 및 잎의 평균 탄소함량은 생체량의 약 50%이므로 생체량에 0.5를 곱하여 개체별 탄소저장량을 산출하였다. 그리고, 직경생장 분석결과를 토대로 연간 증가된 생체량을 구하고, 탄소흡수량을 산출하였다.

계량분석 결과에 근거하여 흉고직경, 수고 등을 독립변수로 반복적인 선형 및 비선형 접근을 시도하여, 수종별 생장에 따른 단목의 탄소저장량과 탄소흡수량을 추정하는 회귀식과 변수를 최종 도출하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 수목의 생장조건 및 생체량

연구대상 굴취수목은 양양(소나무), 화천(잣나무), 포천(전나무), 홍천(주목) 등에 분포하였다. 수종별 흉고직경은 소나무 5.3~24.6cm, 잣나무 5.3~30.9cm, 전나무 5.0~19.2cm이었으며, 주목의 근원직경은 2.1~15.2cm 등의 범위이었다. 그들의 수령은 최소 6~최대 51년생으로서, 직경 생장률은 잣나무가 가장 컸고, 다음으로 소나무, 전나무, 등의 순이었다. 주목을 제외한 연구대상 수종의 직경생장률은 국내 산림지 침엽수종(정성호, 1985; 박완근, 1987; 조현길, 1999)의 경우보다 약 1.2~1.5배 큰 것으로 나타났다.

연구대상 수목의 생장 토성은 수종에 따라 양질사토(소나무), 사양토(잣나무, 전나무, 주목) 등이었다. 조경설계기준(한국조경학회, 2007)에서 제시하는 토양의 항목별 평가등급에 준하면,

이 논문은 2012년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업이며(No. 2011-0009379), 한국환경생태학회지에 투고한 논문(조현길 등, 2013)의 내용적 범위를 확대시킨 것임.

소나무는 유효인산과  $Mg^{2+}$ 이 증급에, 잣나무는 전질소 및 양이온치환능이 증급에, 전나무는 유효인산, 전질소 및 양이온치환능이 상·증급에 각각 해당하였으며, 이들을 제외한 대부분의 항목은 하급에 해당하였다. 주목의 성장 도양은 대부분 항목에서 상·증급으로서 생장에 비교적 양호한 수준이었다.

단목의 전체 생체량은 직경생장에 따라 증가하는 경향이었고, 부위별 생체량 점유비는 개체에 따라 다소 차이는 있으나 소나무, 잣나무 및 전나무는 줄기가 가장 많았고, 다음으로 가지, 뿌리, 잎 등의 순이었다. 주목의 경우는 뿌리가 가장 많았고, 다음으로 줄기, 가지, 잎 등의 순으로 나타났다. 줄기 대비 지상부의 생체량 확장계수는 수종에 따라 평균 1.91~2.86이었다. 연구대상 도시수목의 생체량 확장계수는 산림수목(국립산림과학원, 2010)보다 더욱 높은 것으로 분석되었으며, 이는 산림수목과 달리 도시수목은 대개 단식되어 성장하는 환경조건에 따른 경합차이, 관리에 따른 생장기반 개선 등에 기인한 것으로 판단된다. 지하부/지상부 비율은 평균 0.19~0.49 등이었으며, 소나무와 잣나무의 경우 산림수목의 소나무 및 잣나무와 유사한 수준이었다(국립산림과학원, 2010).

## 2. 수종별 탄소저장 및 흡수량

수종별 단목의 탄소저장량과 흡수량은 모두 직경생장과 더불어 증가하였고, 직경급 간 저장량의 차이가 직경이 커질수록 증가하는 경향이었다(표 1 참조). 흉고직경 10cm 이하의 동일 직경에선 전나무의 탄소저장량이 소나무 및 잣나무보다 더 많았으나, 20cm의 직경에서는 소나무 및 잣나무의 탄소저장량이 전나무보다 약 1.2배 더 많았다. 잣나무의 탄소저장량은 흉고직경 15cm 이하에서는 소나무 및 전나무보다 적었으나, 20cm 이상의 직경에서는 이들 수종 보다 더 많은 경향이었다. 주목의 경우, 가장 낮은 저장량을 나타냈다. 본 연구에서 도출한 수종별 탄소저장량은 산림지(이경재와 박인협, 1987; 박인협과 이석면, 1990; 조현길, 1999, 조현길과 안태원, 2000)의 탄소저장량과 적지 않은 차이를 나타냈으며, 도시수목의 탄소저장량은 흉고직경 20cm 기준 산림수목의 탄소저장량보다 소나무 약 1.4배, 잣나무 1.1배 각각 많은 것으로 분석되었다.

단목의 탄소흡수량은 직경 10cm 이하의 동일 직경에선 소나무의 연간 탄소흡수량이 가장 많은 경향이었고, 15cm 이상의 직경에서는 잣나무의 연간 탄소흡수량이 가장 많았고, 이어서 소나무, 전나무 등의 순으로 나타났다(표 1 참조). 본 연구의 직접측정법에 의한 소나무와 잣나무의 연간 탄소흡수량은 산림수목(정성호, 1985; 박완근, 1987; 이경재와 박인협, 1987; 박인협과 이석면, 1990; 조현길, 1999)에 비해 소나무 약 1.5배, 잣나무 2.5배 더 많았다. 이와 같이, 도시수목의 탄소흡수량은 탄소저장량과 유사하게 산림수목보다 더 많은 것으로 분석되었다.

표 1. 수종별 단목의 탄소저감 효과 (단위: kg)

	수종	직경(cm)					
		5	10	15	20	25	30
탄소 저장량	소나무	2.3	12.3	33.2	67.0	115.6	-
	잣나무	1.2	9.2	29.6	68.1	130.0	220.3
	전나무	3.1	13.2	30.7	55.9	-	-
	주목	1.2	6.3	16.9	-	-	-
탄소 흡수량	소나무	0.8	2.3	4.3	6.7	9.4	-
	잣나무	0.4	1.9	4.7	8.9	14.6	21.8
	전나무	0.6	1.8	3.5	5.5	-	-
	주목	0.2	0.6	1.3	-	-	-

## IV. 결론

본 연구는 도시의 주요 상록수종을 대상으로, 직접측정법을 통해 개체당 탄소저장 및 흡수를 계량화하였다. 수종별 동일 직경의 탄소저장 및 흡수량은 유목의 경우 소나무가 가장 많은 경향이었고, 20cm 이상의 직경에서는 잣나무, 소나무, 전나무 등의 순으로 나타났다. 휘발유 10L의 소비는 약 5.7kg의 탄소를 대기에 배출한다(<http://co2.kemco.or.kr>). 흉고직경 20cm인 소나무나 잣나무 한그루는 118~119L의 휘발유 소비로부터 배출되는 탄소량을 저장하고, 해마다 12~16L의 휘발유 소비에 해당하는 탄소량을 상쇄하는 탄소흡수원 역할을 담당하였다.

전나무와 주목의 경우, 탄소저장량을 포함한 흡수량에 관한 선행연구가 부재하여 비교 고찰이 불가능한 상황으로서, 추후 이들 수종 대상의 확대연구를 통해 비교 검증될 필요가 있다. 본 연구의 결과는 도시녹지의 탄소저감을 계량화하는데 필요한 유용한 기반자료로 활용될길 기대한다.

## 참고문헌

1. 국립산림과학원(2007) 산림 바이오매스 및 토양탄소 조사·분석 표준.
2. 국립산림과학원(2010) 산림 온실가스 인벤토리를 위한 주요 수종별 탄소배출계수. 국립산림과학원 연구보고 10-25.
3. 농업과학기술원(2000) 토양 및 식물체 분석법.
4. 박완근(1987) 잣나무와 소나무의 직경생장과 Key-year에 관한 연구. 강원대학교 대학원 석사학위논문.
5. 박인협, 이석면(1990) 국산 4개 지역형 소나무 천연림의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 79(2): 196-204.
6. 이경재, 박인협(1987) 경기도 광주지방 22년생 잣나무 및 신갈나무림의 물질생산과 무기영양분포. 임산에너지 7(1): 11-21.
7. 정성호(1985) 중부지방 주요 침엽수의 직경성장 추정에 관한 연구. 한국임학회지 68: 52-59.
8. 조현길(1999) 강원도 일부도시의 경관내 탄소흡수 및 배출과 도시녹지의 역할. 한국조경학회지 27(1): 39-53.
9. 조현길, 김진영, 박혜미(2013) 도시 상록 조경수의 탄소저장 및 흡수-소나무와 잣나무를 대상으로. 한국환경생태학회지 27(5) (인쇄중).
10. 조현길, 안태원(2000) 자연생태계 수목의 생장에 따른 탄소저장 및 흡수량 지표. 한국환경생태학회지 14(3): 175-182.
11. 조현길, 안태원(2012) 도시 낙엽성 조경수종의 탄소저장 및 흡수. 한국조경학회지 40(5): 160-168.
12. 한국조경학회(2007) 조경설계기준. 서울: 기문당.
13. <http://www.co2.kemco.or.kr>