

주거지구간 수목피도에 따른 직간접적 CO₂ 흡수의 차이^{1*}

조현길² · 안태원³

Difference of Direct and Indirect CO₂ Uptake Associated with Tree Cover between Residential Neighborhoods^{1*}

Hyun-Kil Jo², Tae-Won Ahn³

요 약

본 연구는 수목피도가 상이한 춘천시 내 두 주거지구를 선정하여, 수목식재가 주요 온실가스인 대기 CO₂의 직접적, 간접적 흡수에 영향을 미치는 효과를 비교 분석하였다. 수목의 탄소저장량은 수목피도가 약 10%인 제 1지구에서 단독주택의 호당 평균 72kg, 수목피도가 약 20%인 제 2지구에서 244kg이었다. 수목피도가 제 1지구보다 10% 차이로 더 높은 제 2지구에서 그 탄소저장량은 3배 더 많았다. 수목의 연간 직간접적 탄소흡수량은 제 1지구에서 호당 평균 59kg/yr이었고, 제 2지구에서는 그보다 약 2배 더 많은 110kg/yr이었다. 연간 총흡수량 중, 간접적 흡수량은 연구지구에 따라 70~80%를 차지하여 직접적 흡수량보다 훨씬 많았다. 연구결과는 주거지 내 적극적인 수목식재가 대기탄소농도를 저감하는 중요한 역할을 증진할 수 있음을 시사하였다.

주요어 : 기후변화, 탄소저장, 에너지절약, 춘천시

ABSTRACT

This study compared the effects of tree plantings on direct and indirect uptake of atmospheric CO₂, a major greenhouse gas between two residential neighborhoods of Chuncheon different in tree cover. Carbon storage (accumulation over years through photosynthesis) per detached residence by trees averaged 72kg in study district 1 having tree cover of about 10%, and 244kg in district 2 with tree cover of about 20%. The carbon storage in district 2, which had higher tree cover by 10% difference than district 1, was 3 times greater than that in district 1. Annual direct (by photosynthesis) and indirect (by building energy savings) carbon uptake per residence by trees averaged 59kg/yr in district 1 and 110kg/yr in district 2, approximately 2 times greater than in district 1. Indirect uptake accounted for 70~80% of the total annual uptake in the study districts. Study results implied that more tree plantings in residential lands could

* 이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 국제협력연구과제 연구비에 의하여 연구된 결과의 일부임.

1 접수 9월 30일 Received on Sept.30, 1999

2 강원대학교 건축·조경학부 Division of Architecture and Landscape Architecture, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea(jhk@cc.kangwon.ac.kr)

3 강원대학교 대학원 Graduate School, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

enhance an important role reducing atmospheric carbon levels.

KEY WORDS : CLIMATE CHANGE, CARBON STORAGE, ENERGY SAVING, CHUNCHEON

서론

대기 CO₂는 기후변화를 야기시키는 주요한 온실 가스로서, 그 농도는 산업화 이래 해마다 약 0.4%씩 증가하여 왔다(Post *et al.*, 1990). 이산화탄소 농도의 지속적인 증가는 향후 50~100년 이내에 지구의 평균온도를 2~5°C 상승시켜, 수순환 변동, 식물종다양성 감소, 해안지역 침수, 작물생산성 변화, 고온 스트레스의 심화 등 적지 않은 악영향을 미칠 것으로 예측된다(Melillo *et al.*, 1990; Kemp, 1995; Karl *et al.*, 1997). 국내외에서는 이미 온도 및 강우량의 변화를 경험하고 있고, 따라서 화석연료소비 감축과 대체에너지 개발, 녹지보존 및 확충 등의 전략을 모색하는 상황이다.

이산화탄소 농도저감의 노력은 도시수목에 의한 그 저감효과에 대한 관심을 고조시키고 있다. 도시수목은 광합성을 통한 성장의 과정에서 대기탄소를 흡수 저장한다. 또한, 여름철 차양 및 증발산을 통해 건물의 냉방에너지를, 겨울철 방풍을 통해 난방에너지를 절약하여 탄소배출을 감소시킨다. 본 연구에서는 전자를 직접적 흡수로, 후자를 간접적 흡수로 호칭하였다. Nowak(1994)은 Chicago 도시수목의 직접적 탄소흡수를, McPherson(1998)은 Sacramento 도시수목의 직간접적 탄소흡수를 계량화하여, 기후변화를 지연할 그것의 잠재력을 구명한 바 있다. 국내의 경우, 조현길 등(1998)이 춘천시 내 수목의 간접적 탄소흡수를, 그리고 조현길(1999)은 강원도 일부 도시 내 수목의 직접적 탄소흡수를 계량화하고, 대기 CO₂ 농도를 저감하는 도시수목의 가치를 제시하였다.

그러나, 도시수목의 직접적 및 간접적 탄소흡수를 함께 연구하여 탄소농도저감 역할을 포괄적으로 구명한 국내의 연구는 아직 미비하다. 도시녹지의 CO₂ 흡수 가치에 관한 다양한 연구는 도시 내 수목식재와 관리의 중요성을 대중에게 홍보하고, 아울러 CO₂ 흡수를 최대화할 녹지계획 및 관리 기준의 마련에 공헌할 것으로 기대한다. 본 연구의 목적은 수목피도가 상이한 춘천시 내 두 주거지구를 선정하여 수목식재가 대기탄소의 직접적, 간접적 흡수에 영향을 미치는 효과를 비교 분석하는 것이었다.

연구내용 및 방법

1. 연구대상지 선정

춘천시 주거지의 흑백항공사진(축척 1/15,000) 상에 0.5cm 간격의 격자를 그린 투명 셀로판지를 투척시켜, 체계표본추출(systematic sampling)을 통해 총 985개의 표본추출지점을 선정하였다. 8배의 확대경이 부착된 입체시경(Sokkisha MS-27)을 이용하여 해당지점의 토지피복유형을 판독하고, 행정동별 주거지의 수목피도를 분석하였다. 수목피도가 현저히 낮은 동과 높은 동들 중에서, 표본추출할 주택수가 충분하고 주택들의 외관상 건축연도가 유사한 도심의 효자동 일대와 근교의 사농, 우두 및 신동 일대의 2개 주거지구를 연구대상지로 선정하였다. 즉, 효자동 일대는 수목피도가 상대적으로 낮은 주거지구(이하 제 1지구로 약칭)이며, 사농, 우두 및 신동 일대는 수목피도가 높은 주거지구(이하 제 2지구로 약칭)이었다.

2. 수목조사

축척 1/5,000의 지형도상에 4cm 간격의 격자를 그린 투명 셀로판지를 올려 놓고, 체계적 임의표본추출(systematic random sampling)에 의해 연구지구별로 30개씩, 총 60개의 표본추출지점을 선정하였다. 현지답사를 통해 표본추출지점에 가장 가까이 위치하는 주택을 대상으로, 대지 내에 식재된 교목 및 관목의 수종, 직경, 수고, 피도, 수관체적 등을 조사하였다. 본 연구에서 관목이란 흉고직경 2cm 이하의 목본식물을 지칭한다. 조사자료는 주택별 수목의 탄소저장 및 흡수량을 산출하는 데 활용되었다.

3. 수목의 탄소저장 및 흡수량 산정

(1) 탄소저장량

수종별 생체량방정식을 적용하여 생체량을 구하고 이를 탄소량으로 전환하여 수목의 탄소저장량을 산정하였다. 여기에서, 탄소저장량이란 직접적 흡수에 의해 다년간 축적한 탄소량을 의미하는 것으로서, 한

해 동안 흡수한 연간 탄소흡수량과는 구별된다. 연구 지구에서 수목들을 직접 벌목하여 지하부 및 지상부 생체량을 산출하는 것은 불가능하므로, 다수의 타연구에서 제시된 생체량방정식을 대용하였다. 본 연구에서 이용한 수종별 생체량방정식의 출처는 Table 1과 같으며, 이들 방정식은 춘천시를 비롯한 국내 및 미국의 온대지방에서 성장하는 수종들로부터 유도된 것이었다. 수목의 생체량은 동일 수종이라도 수목생장을 좌우하는 성장지역의 각종 환경조건에 따라 상이할 수 있다. 따라서, 생체량방정식의 이용은 그 방정식이 유도된 수목직경급 범위 내의 개체에 한정되었고, 개체별로 단 하나의 생체량방정식만을 적용하기보다는 가급적 다수(최대 5개)의 방정식을 이용한 평균 생체량을 구하여, 가능한 한 산정치의 신뢰성을 증진하는 데 주력하였다. 생체량방정식을 구할 수 없는 특정수종의 경우는 동일 속(genus) 또는 그룹(활엽수 또는 침엽수)의 방정식들을 대용하여 평균

생체량을 산정하였다. 수목의 목질부 및 엽의 평균 탄소함량은 건중량의 약 50%이므로(Ovington, 1956; Pingrey, 1976; Ajtay *et al.*, 1979; Chow and Rolfe, 1989; 송철영 등, 1997), 수목 개체별 총생체량은 0.5를 곱하여 탄소저장량으로 전환되었다.

(2) 연간 탄소흡수량

연간 직접적 탄소흡수는 낙엽활엽교목종의 경우, 운반형 적외선가스분석기에 의한 CO₂ 교환율의 측정으로부터 유도한 흡수량회귀식(조현길과 조동하, 1998)을 이용하여 계량화되었다. 기타 수종의 경우는 수종별 연간 직경성장률과 상기한 생체량방정식을 적용하여 산정되었다. 즉, 수목의 연간 직경성장률로부터 조사 전년도와 후고직경 또는 근원직경(관목)을 파악하고, 이 직경변수를 생체량방정식에 대입하여 전년도의 생체량을 산정하였다. 조사년도의 생체량에

Table 1. Sources of major biomass equations used to calculate biomass of trees and shrubs

Species	Diameter range(cm)*	Reference	Species	Diameter range(cm)*	Reference
<i>Acer</i> spp.	2~29(DBH)	Park(1985)	<i>Platanus occidentalis</i>	26~61(DBH)	Jo <i>et al.</i> (1995)
	<41(DBH)	Ker(1980)		<i>Prunus</i> spp.	3~15(DBH)
	3~66(DBH)	Tritton and Hornbeck(1982), Wenger(1984)	3~23(DBH)		Tritton and Hornbeck(1982)
	<5(DAG)	Roussopoulos and Loomis(1979)	<3(DAG)	Harrington <i>et al.</i> (1989)	
**	Whittaker and Marks(1975)	<4(DAG)	Roussopoulos and Loomis(1979)		
<i>Cornus</i> spp.	2~29(DBH)	Park(1985)	**	Whittaker and Marks(1975)	
	3~12(DBH)	Phillips(1981)	<i>Rhododendron</i> spp.	<2(DAG)	Telfer(1969)
	<4(DAG)	Roussopoulos and Loomis(1979), Harrington <i>et al.</i> (1989)	<4(DAG)	Jo(1999)	
<i>Juniperus</i> spp.	<13(DBH)	Hahn(1984), Smith(1985) and Phillips(1981)	<i>Rosa</i> spp.	<2(DAG)	Smith and Brand(1983)
	<3(DAG)	Smith and Brand(1983)	<i>Viburnum</i> spp.	<4(DAG)	Telfer(1969), Smith and Brand(1983)
<i>Liriodendron tulipifera</i>	3~50(DBH)	Tritton and Hornbeck(1982)	General hardwoods	<12(DBH)	Tritton and Hornbeck(1982)
<i>Pinus</i> spp.	2~37(DBH)	Ker(1980)	2~29(DBH)	Park(1985)	
	3~32(DBH)	Stanek and State(1978)	3~25(DBH)	Tritton and Hornbeck(1982)	
	3~66(DBH)	Wenger(1984)	>10(DBH)	Tritton and Hornbeck(1982)	
	4~11(DBH)	Yim <i>et al.</i> (1982)	25~99(DBH)	Jo(1993)	
	4~26(DBH)	Jo(1999)	<5(DAG)	Jo(1999)	
	9~21(DBH)	Lee and Park(1987)	**	Whittaker and Marks(1975)	
	10~45(DBH)	Park and Lee(1990)	General softwoods	<13(DBH)	Hahn(1984), Smith(1985) and Phillips(1981)
<4(DAG)	Jo(1999)	3~55(DBH)	Monteith(1979)		
		4~26(DBH)	Jo(1999)		

Note: * DAG indicates diameter at 15cm above ground.

** It includes various diameter sizes from seedlings to trees.

서 전년도의 생체량을 제감하여 연간 증가된 생체량을 구하고 이를 탄소량으로 전환하였다. 침엽교목의 연간 직경생장률은 춘천시를 포함한 국내 중부지방에서 성장하는 수목들을 대상으로 연구된 결과(정성호, 1985; 박완근, 1987; 손영모 등, 1997; 조현길, 1999)의 평균치를 적용하였다. 관목의 경우는 국내의 관련 연구가 부재하여 미국의 도심지 수목들을 대상으로 연구된 결과(Jo, 1993)에 의존하였다. 즉, 소나무(*Pinus densiflora*) 0.61cm, 잣나무(*Pinus koraiensis*) 0.72cm, 관목성 침엽수(*Juniperus* spp., *Taxus* spp. 등) 0.26cm 및 관목성 활엽수(*Cornus* spp., *Syringa* spp. 등) 0.42cm의 연간 흉고직경생장률을, 그리고 소관목은 0.08cm의 연간 근원직경생장률을 각각 이용하였다. 낙엽은 대부분 수거와 분해를 통하여 해마다 대기에 탄소를 환원하게 되므로, 상록침엽수종은 3년간의 엽수명을 가정하여(Dirr, 1990; Rowntree and Nowak, 1991) 25%의 엽량을, 낙엽수종은 낙엽 전량을 연간 탄소흡수량에서 제감하였다.

연간 간접적 탄소흡수는 본 연구과정의 일부로서 동일 연구지구를 대상으로 수행된 결과인 수목의 주택 냉난방에너지 절약량(조현길과 안태원, 1999)을, 탄소배출저감량으로 전환하여 계량화되었다. 냉방에너지 절약량은 1kWh당 탄소 0.225kg의 비율로, 난방에너지 절약량은 구주택(1980년 이전에 지어진 주택) 0.015kg/MJ 및 신주택(1981년 이후의 주택) 0.018kg/MJ의 비율로(조현길 등, 1998) 각각 간접적 흡수량을 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 대지 내 토지피복 및 식재현황

표본추출된 주택들은 모두 단독주택으로서, 건축년도는 양 연구지구 함께 1970년대에서 1990년대까지 다양하였으나 평균적으로 제 1지구 1983년, 제 2지구 1988년이었다. 대지면적은 호당 평균 제 1지구 198.9±8.9(표준오차)m², 제 2지구 377.4±20.7m²로서, 근교의 제 2지구에서 도심의 제 1지구보다 약 1.9배 넓었다. 대지의 총면적 중 식생 및 나지로 피복된 투수성 면적은 제 1지구에서 호당 평균 12.8±2.2%를, 제 2지구에서 44.1±4.0%를 각각 점유하였다. 이와 같이, 제 1지구의 주택들은 건물 및 포장의 불투수성 면적이 우점하였다.

Table 2는 연구지구별 수목의 밀도, 기저면적 및

피도를 보여 준다. 평균 수목피도는 제 1지구 12.3±1.5%, 제 2지구 22.0±2.6%로서, 제 2지구가 제 1지구보다 10% 차이로 더욱 높았다. 제 1지구의 수목피도는 춘천시 주거지 전체의 수목피도인 13%와 유사하였다. 교목밀도는 제 1지구 2.0±0.2주/100m²(호당 4.4주), 제 2지구 2.7±0.3주/100m²(호당 9.2주)이었다. 교목의 직경급 분포를 분석한 결과, 흉고직경 20cm 이하가 제 1지구에서 100%를, 제 2지구에서 95%를 각각 점유하였다. 이처럼, 연구지구에서는 유목 내지는 성장과정의 수목들이 우점하였는데, 성목의 분포가 더 많은 제 2지구의 단위면적당 평균 기저면적은 제 1지구보다 약 2배 더 컸다.

Table 2. Number, basal area(cm²) and cover(m²) per 100m² of woody plants*(mean standard error)

District	Number	Basal area	Cover
1	2.0±0.2	117.9±19.1	12.3±1.5
2	2.7±0.3	275.3±53.8	22.0±2.6

Note: * Number and basal area exclude shrubs

양 연구지구에서 상대우점치가 상위 10위권 내인 수종들 중, 공통적으로 식재된 것은 대추나무(*Zizyphus jujuba* var. *inermis*), 주목(*Taxus cuspidata*), 회양목(*Buxus microphylla* var. *koreana*), 목련(*Magnolia kobus*), 수수꽃다리(*Syringa dilatata*), 단풍나무(*Acer palmatum*), 앵도(*Prunus tomentosa*) 등 7개 수종이었다. 양 연구지구간 수종구성의 유사도지수는 0.72로서, 총 출현종 중 72%가 동일종으로 구성되어 있었다.

2. 탄소저장량 및 연간 직접적 탄소흡수량

연구지구별 수목의 호당 평균 탄소저장량은 Table 3과 같이 제 1지구 72.0±28.4(95% 신뢰구간)kg, 제 2지구 243.6±107.6kg이었다. 즉, 제 1지구보다 수목피도가 약 2배 더 높은 제 2지구에서 그 탄소저장량은 3배 더 많았다. 수목의 연간 직접적 탄소흡수량은 제 1지구 호당 평균 10.3±4.3kg/yr, 제 2지구 31.8±12.7kg/yr로서(Table 3 참조), 탄소저장량의 경우처럼 제 1지구보다 제 2지구에서 약 3배 더 많았다. 관목은 연구지구에 따라 총저장량의 6~11%를, 연간 총흡수량의 3~5%를 각각 차지하였다.

Table 3. Storage(kg) and annual direct uptake(kg/yr) of carbon per residence by woody plants

District	Storage			Annual direct uptake		
	Trees	Shrubs	Total*	Trees	Shrubs	Total*
1	63.9	8.1	72.0± 28.4	9.8	0.5	10.3± 4.3
2	229.3	14.3	243.6±107.6	30.8	1.1	31.8±12.7

Note: * Mean±95% confidence interval

Nowak(1994)은 미국 Oakland 및 Chicago 주거지에서(교목피도 각각 21.2% 및 22.8%), 수목의 탄소저장량이 각각 1.04kg/m² 및 1.72kg/m²이라고 보고하였다. 본 연구대상지의 경우는 제 1지구 0.33kg/m², 제 2지구 0.78kg/m²로서 미국의 주거지들에 비해 훨씬 적는데, 이는 수목밀도 및 수령의 차이에 기인하는 것으로 판단된다. 조현길(1999)에 의하면, 춘천시 전체 단독주거지 내 수목의 연간 직접적 탄소흡수량은 0.07kg/m²/yr이었다. 본 연구대상지내 직접적 흡수량은 제 1지구에서 춘천시 전체 단독주거지의 경우보다 약간 적은 0.05kg/m²/yr이었고, 제 2지구에서 그보다 많은 0.10kg/m²/yr이었다.

본 연구에서, 일부 수종의 직접적 탄소흡수 및 저장은 수종별 충분한 표본수의 확보와 함께 벌목을 통한 생체량 연구가 용이치 않아, 삼림수목의 생체량 방정식 및 직경생장률을 대용하여 계량화되었다. 도시수목의 생체량 축적은 미기후, 경쟁 등 성장환경 조건의 차이로 삼림수목과는 다를 수 있다. 향후, 도시수목의 수종별 생체량 및 탄소흡수량에 관한 추가 연구를 통해 비교 검토되어야 할 것이다.

3. 연간 간접적 탄소흡수량

수목의 차양, 증발산 및 방풍에 의한 연간 간접적 탄소흡수량은 Table 4에서 보듯이, 제 1지구 호당 평균 48.9±6.7(95% 신뢰구간)kg/yr, 제 2지구 78.2±12.5kg/yr로서 제 1지구보다 제 2지구에서 1.6배 더 많았다. 그 총흡수량 중, 증발산 및 방풍효과가 연구지구에 따라 각각 50~55%씩 기여하였고, 차양은 수목의 부적절한 식재방위에 기인하여 오

히려 5%에 해당하는 탄소량을 더 배출하는 역효과를 야기하였다. 역효과와 이유는 주택의 남향, 동남향 및 서남향에 식재된 차양수목이 겨울철 태양광선을 차단하여 여름철 냉방에너지의 절약 이상으로 난방에너지 요구를 가중시켰기(조현길과 안태원, 1999) 때문이다.

조현길 등(1998)은 춘천시 전체 주거지 내 수목의 연간 간접적 탄소흡수량은 단독주택의 호당 55kg/yr이었음을 보고한 바 있다. 그 결과에 비하면, 제 1지구의 호당 간접적 흡수량은 약간 더 적고 제 2지구의 경우는 훨씬 더 많았다. Jo and McPherson(2000)에 의하면, Chicago 단독주거지 내 수목의 연간 간접적 탄소흡수량은 건물유형 및 수목피도에 따라 냉난방에너지 소비에 기인한 탄소배출량의 최대 4%에 달하였다. 본 연구대상지 수목의 간접적 흡수량은 그 소비에 의한 호당 탄소배출량(제 1지구 2,910kg/yr, 제 2지구 2,380kg/yr)의 제 1지구 1.7%, 제 2지구 3.3%이었다.

4. 연간 직간접적 탄소흡수량

직접적 흡수량과 간접적 흡수량을 합한 수목의 연간 총탄소흡수량은 Figure 1과 같이 제 1지구 호당 평균 59.2kg/yr, 제 2지구 110.0kg/yr이었다. 제 1지구보다 수목피도가 10% 차이로 더 높은 제 2지구에서 그 총탄소흡수량은 약 2배 더 많았다. 이러한 결과는 주거지 내 수목식재의 증가가 대기탄소농도를 저감하는 중요한 역할을 더욱 증진할 수 있음을 시사한다. 직접적 흡수량 대비 간접적 흡수량의 비율은 제 1지구 1:4.5, 제 2지구 1:2.5로서, 간접적 흡수

Table 4. Annual indirect carbon uptake(kg/yr) per residence by trees(mean±95% confidence interval)

District	Shading	Evapotranspiration	Windspeed reduction	Total*
1	-2.5±1.6	26.9±3.9	24.5±3.8	48.9±6.7(1.7)
2	-2.9±1.6	38.3±6.3	42.8±6.8	78.2±12.5(3.3)

Note: * The figures in parenthesis indicate percentages offsetting annual carbon emissions from heating and cooling energy use.

량이 직접적 흡수량보다 훨씬 많았다(Figure 1 참조). 이를 확대해석하면, 건물주변에 식재된 도시수목 한 그루는 삼림수목 한 그루보다 냉난방에너지 절약을 통해 대기탄소농도의 저감에 더 크게 공헌함을 알 수 있다. 그러나, 도심에서는 식재공간확보와 수목식재의 미흡, 식재된 수목의 관리소홀 등으로 탄소흡수 잠재력이 제한되고 있는 상황이다.

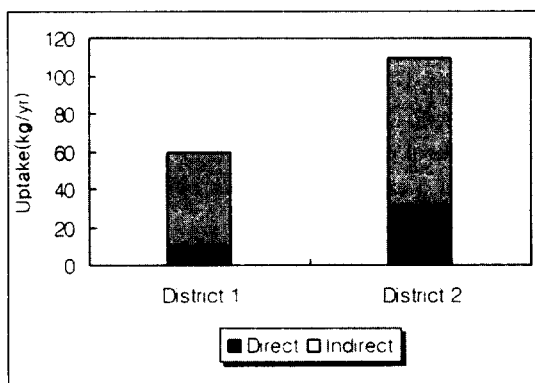


Figure 1. Total annual carbon uptake per residence by woody plants

식재가능한 공간 내 장래 적극적인 수목식재는 현 수목피도를 제 1지구 호당 약 40%, 제 2지구 65% 더 증가시킬 수 있었다. 이 식재잠재력은 주택주변 가공선 및 기타 하부구조시설의 방해 없이, 투수성 면적 내 식재가능한 수관폭 2m, 수고 3m 이상의 수목만을 대상으로 실측한 결과이다. 크기가 더 작은 관목도 포함했다면, 식재잠재력은 그보다 더 높았을 것이다. 주거지 내 적극적인 수목식재의 필요성을 대중에게 홍보하여 CO₂ 흡수를 비롯한 도시수목의 환경생태적 효과를 증진해야 할 것이다.

인용문헌

박완근(1987) 잣나무와 소나무의 직경생장과 Key-year에 관한 연구. 강원대학교 대학원 석사학위논문, 31쪽.
 박인협(1985) 백운산지역 천연림생태계의 삼림구조 및 물질생산에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문, 48쪽.
 박인협, 이석면(1990) 한국산 4개 지역형 소나무 천연림의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 79(2): 196-204.

손영모, 이경학, 정영교(1997). 비선형 생장함수를 이용한 임분생장 추정. 한국임학회지 86(2):135-145.
 송철영, 장관순, 박관수, 이승우(1997) 신갈나무와 굴참나무 천연림의 탄소고정량 분석. 한국임학회지 86(1):35-45.
 이경재, 박인협(1987) 경기도 광주지방 22년생 잣나무 및 신갈나무림의 물질생산량과 무기영양물분포. 임산에너지 7(1):11-21.
 임경빈, 이경재, 권태호, 박인협(1982) 리기다소나무 인공조림지의 물질생산량에 관한 연구. 임산에너지 2(2):1-12.
 정성호(1985) 중부지방 주요침엽수의 직경성장 추정에 관한 연구. 한국임학회지 68:52-59.
 조현길(1999) 강원도 일부도시의 경관내 탄소흡수 및 배출과 도시녹지의 역할. 한국조경학회지 27(1): 39-53.
 조현길, 안태원(1999) 춘천시 주거지구 내 수목피도의 차이가 냉난방에너지 이용 및 비용에 미치는 효과. 한국조경학회지 27(2):19-28.
 조현길, 윤영환, 이기의(1995) 도시녹지에 의한 대기 CO₂의 흡수. 한국조경학회지 23(3):80-93.
 조현길, 조동하(1998). 도시 주요조경수종의 연간 CO₂ 흡수. 한국조경학회지 26(2):38-53.
 조현길, 한갑수, 서옥하(1998) 도시식생의 주택에너지 절약 및 탄소배출저감 가능. 한국조경학회지 26(3): 104-117.
 Ajtay, L. L., P. Ketner, and P. Duvigneaud(1979) Terrestrial production and phytomass. In: B. Bolin, E. T. Degens, S. Kempe, and P. Ketner(eds.), The Global Carbon Cycle, SCOPE Report No. 13, John Wiley & Sons, New York, pp. 129-181.
 Chow, P. and G. L. Rolfe(1989) Carbon and hydrogen contents of short rotation biomass of five hardwood species. Wood and Fiber Science 21(1): 30-36.
 Dirr, M. A.(1990) Manual of Woody Landscape Plants. Stipes Publishing Company, Champaign, IL, 1007pp.
 Hahn, J. T.(1984) Tree Volume and Biomass Equations for the Lake States. Research Paper NC-250, USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul, MN, 10pp.
 Harrington, R. A., B. J. Brown, P. B. Reich, and J. H. Fownes(1989) Ecophysiology of exotic and native shrubs in Southern Wisconsin II(annual growth and carbon gain). Oecologia 80:368-373.
 Jo, H.K.(1993) Landscape Carbon Budgets and

- Planning Guidelines for Greenspaces in Urban Residential Lands. Ph.D. Dissertation, University of Arizona, Tucson, 236pp.
- Jo, H. K. and E. G. McPherson(2000) Indirect carbon reduction by residential vegetation and planting strategies in Chicago, U.S.A. *Journal of Environmental Management* (accepted).
- Karl, T. R., N. Nicholls, and J. Gregory(1997) The coming climate. *Scientific American* 5:78-83.
- Kemp, D.(1995) *Global Environmental Issues: a Climatological Approach*. Routledge, New York, 240pp.
- Ker, M. F.(1980) Tree Biomass Equations for Seven Species in Southwestern New Brunswick. Information Report M-X-114, Canadian Forestry Service, Maritimes Forest Research Centre, Fredericton, NB, 18pp.
- McPherson, E. G.(1998) Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture* 24(4):215-223.
- Melillo, J. M., T. V. Callaghan, F. I. Woodward, E. Salati, and S. K. Sinha(1990) Effects on ecosystems. In: J. T. Houghton, G. J. Jenkins, and J. J. Ephraums(eds.), *Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 285-310.
- Monteith, D. B.(1979) Whole Tree Weight Tables for New York. AERI Research Report No. 40, State University of New York, College of Environmental Science and Forestry, Applied Forestry Research Institute, Syracuse, NY, 64pp.
- Nowak, D. J.(1994) Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In: E. G. McPherson, D. J. Nowak, and R. A. Rowntree(eds.), *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*, General Technical Report NE-186, USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Radnor, PA, pp. 83-94.
- Ovington, J. D.(1956) The composition of tree leaves. *Forestry(British Journal)* 29:22-29.
- Phillips, D. R.(1981) Predicted Total-Tree Biomass of Understory Hardwoods. Research Paper SE-223, USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, NC, 22pp.
- Pingrey, D. W.(1976) Forest products energy overview. In: *Energy and the Wood Products Industry*, Forest Products Research Society, Madison, WI. pp. 1-14.
- Post, W. M., T. H. Peng, W. R. Emanuel, A. W. King, V. H. Dale, and D. L. DeAngelis(1990) The global carbon cycle. *American Scientist* 78: 310-326.
- Roussopoulos, P. J. and R. M. Loomis(1979) Weights and Dimensional Properties of Shrubs and Small Trees of the Great Lakes Conifer Forest. Research Paper NC-178, USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul, MN, 6pp.
- Rowntree, R. A. and D. J. Nowak(1991) Quantifying the role of urban forests in removing atmospheric carbon dioxide. *Journal of Arboriculture* 17(10): 269-275.
- Smith, W. B.(1985) Factors and Equations to Estimate Forest Biomass in the North Central Region. Research Paper NC-268, USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul, MN, 6pp.
- Smith, W. B. and G. J. Brand(1983) Allometric Biomass Equations for 98 Species of Herbs, Shrubs, and Small Trees. Research Note NC-299, USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul, MN, 8pp.
- Stanek, W. and D. State(1978) Equations Predicting Primary Productivity(Biomass) of Trees, Shrubs and Lesser Vegetation Based on Current Literature. BC-X-183, Canadian Forestry Service, Pacific Forest Research Centre, Victoria, BC, 58pp.
- Telfer, E. S.(1969) Weight-diameter relationships for 22 woody plant species. *Canadian Journal of Botany* 47 :1851-1855.
- Tritton, L. M. and J. M. Hornbeck(1982) Biomass Equations for Major Tree Species of the Northeast. General Technical Report NE-69, USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Radnor, PA, 46pp.
- Wenger, K. F.(1984) *Forestry Handbook*. John Wiley & Sons, New York, 1335pp.
- Whittaker, R. H. and P. L. Marks(1975) Methods of assessing terrestrial productivity. In: H. Lieth and R. H. Whittaker(eds.), *Primary Productivity of the Biosphere*, Springer-Verlag, New York, pp. 55-118.