

도시식생의 관리에 의한 에너지소비 및 탄소방출^{1*}

조현길²

Energy Consumption and Carbon Release from Management of Urban Vegetation^{1*}

Hyun-Kil Jo²

요 약

이산화탄소는 기후변화를 야기시키는 주요 온실가스이다. 본 연구는 춘천시, 강릉시, 서울시 강남구 및 중랑구를 대상으로 토지이용유형별 식생관리에 기인한 에너지소비 및 탄소방출을 계량화하였다. 잔디깎기, 전정, 관수, 시비, 살충제시용 등의 식생관리실태를 면담설문 및 일부 실측을 통해 파악하였다. 동일 토지이용유형 내 식생관리강도는 대체로 도시간 및 구간 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 수목관리에 의한 연간 총탄소방출량은 토지이용유형에 따라 단위피도면적당 36.0~209.7g/m²로서 교통용지에서 가장 많았다. 잔디관리에 의한 연간 총탄소방출량은 단위잔디면적당 7.4~69.3g/m²로서 공원에서 가장 많았다. 이들 총탄소방출량 중 수목의 경우 전정이 토지이용유형에 따라 96.8~99.7%를, 잔디의 경우 잔디깎기가 91.9~100%를 각각 차지하였다. 도시식생의 연간 순탄소흡수를 최대화하기 위해서 가로수의 전정과 공원 내 잔디깎기에 의한 탄소방출을 최소화할 식재계획 및 관리가 요구된다.

주요어 : 기후변화, 이산화탄소, 토지이용유형, 도시생태계

ABSTRACT

Carbon dioxide is a greenhouse gas largely responsible for causing climate change. This study quantified energy consumption and carbon release from vegetation management, such as mowing, pruning, irrigation, and fertilization for Chuncheon and Kangleung, and also for Kangnam and Junglang district in Seoul. Total annual carbon release from tree and shrub maintenance ranged from 36.0 to 209.7g per m² of areal cover among land use types, and that from grass maintenance, from 7.4 to 69.3g per m² of grass area. Pruning accounted for 96.8~99.7% of the total from tree and shrub maintenance, and mowing, 91.9~100% of the total from grass maintenance. The principal carbon release in the study cities was from pruning of street trees and mowing in parks. Proper planting and management are important to minimize maintenance requirement and carbon release, especially in transportation and recreational lands.

* 본 연구는 1995년도 한국과학재단 연구비지원에 의한 결과의 일부임(과제번호: 95-0402-11-04-3).

¹ 접수 4월 28일 Received on Apr. 28, 1999

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

KEY WORDS : CLIMATE CHANGE, CARBON DIOXIDE, LAND USE TYPES, URBAN ECOSYSTEM

서 론

요즘은 국내외에서 거론되고 있는 심각한 환경문제 중의 하나는 온실효과 및 기후변화이다. 이산화탄소는 기후변화를 야기시키는 CH₄, CFCs, N₂O 등의 여러 가스들 중 단독으로 약 50%의 영향력을 발휘하는 주요 온실가스이다(Ciborowski, 1989; Rodhe, 1990). 대기 CO₂의 현재 농도는 산업화 이전의 경우보다 약 25% 증가하였으며 연증가율은 0.4%로 추정된다(Post *et al.*, 1990). 이산화탄소 농도의 지속적인 증가와 그로 인한 기후변화는 증발산 및 강우량을 포함하는 수순환의 변동, 농작물 및 삼림 생산성의 변화, 식물종의 이주 및 다양성 감소, 해수면의 증가 및 해안지역의 침수, 인구이동 및 지역경제의 변화 등 자연생태계와 사회경제적 시스템에 적지 않은 악영향을 미칠 것으로 예측된다(Kemp, 1990; Melillo *et al.*, 1990; Karl *et al.*, 1997).

도시식생은 광합성을 통한 성장의 과정에서 대기탄소를 흡수 축적하며, 또한 냉난방에너지 절약을 통해 탄소배출을 감소시켜 대기 CO₂ 농도의 저감에 공헌한다(조현길 등, 1998c; 조현길, 1999). 한편, 도시식생은 잔디깎기, 전정, 관수, 시비, 농약사용 등 관리행위의 필요에 기인하여 직접 또는 간접적으로 대기에 CO₂를 방출한다. 직접적인 방출의 예는 잔디깎는 기계의 가동에 요구되는 화석연료소비에 의한 CO₂ 방출이다. 간접적인 방출은 제조과정에서 화석연료소비를 수반하는 비료나 농약이 식생관리를 위해 사용될 때 발생한다. 관리행위로부터의 탄소방출은 도시식생에 의한 탄소흡수의 일부를 상쇄시키는 결과가 된다. 따라서, 그 방출량의 파악은 도시생태계 내 탄소유동을 이해하고, 대기 CO₂ 농도를 저감하기 위한 적절한 녹지계획 및 관리전략을 마련하는 데 중요하다.

그러나 식생관리에 의한 에너지소비 및 탄소방출에 관한 연구는 국내의 경우 전무한 상태이다. 국외에서도 식생관리에 필요한 에너지소비를 계량화한 연구는 다수 존재하나(Falk, 1976; Parker, 1981; Pitt, 1984), 탄소방출을 주제로 한 관련 연구는 극히 소수에 불과하다(Jo and McPherson, 1995). 본 연구의 목적은 국내 중부지역의 일부 도시들을 대상으로 토지이용별 식생관리실태를 파악하고 관리로 인한 에너지소비와 탄소방출을 계량화하는 것이었다.

연구 방법

1. 연구대상지 선정

본 연구는 한국의 중부권 도시들 중 인구밀도, 기후조건 및 토지이용(조현길 등, 1998a; 1998b)을 고려하여 춘천, 강릉 및 서울을 연구대상도시로 선정하였다. 본 연구대상의 춘천시 및 강릉시는 시군통합 이전의 행정구역 전체를 일컫는다. 방대한 면적을 지닌 서울시의 경우, 토지이용구성, 사회경제적 특성 및 주택건축시기를 기준으로 강남구와 중랑구를 연구대상지로 선정하였다. 즉, 서울시 전체의 토지이용구성비와 유사한 특성을 지닌 구들 중 소득수준이 중상위이고 신주택들을 대표하는 구로서 강남구를, 그리고 소득수준이 하위이고 구주택들을 대표하는 구로서 중랑구를 택하였다(조현길 등, 1998a).

2. 식생관리실태 조사

주거지 및 공공용지에서의 식생관리행위는 축척 1/10,000의 지형도상에서 체계적 임의표본추출(systematic random sampling)에 의해, 표본추출지점들을 선정하고 현지방문을 통해 설문조사되었다. 단독주택의 경우, 지도상에 2cm 간격의 격자를 그린 후 춘천시 66개, 강릉시 62개, 강남구 65개 및 중랑구 64개의 격자점들을 임의로 택하고, 이들 격자점에 가장 근접한 주택을 설문대상으로 선정하였다. 서울시의 강남 및 중랑구에서 표본추출된 주택들 중 각각 32%(21호) 및 63%(40호)만이 면담 설문을 허락하였다. 표본추출수의 보강차원에서 방문주택에 인접한 주택들을 임의로 2호씩, 강남구 및 중랑구 각각 120호를 추가로 선정하여 우편설문을 실시하였다. 강남구에서는 우편설문 총표본수의 약 4%인 5호만이, 중랑구에서는 3%인 3호만이 설문에 응답하였다. 이와 같이, 연구대상도시들에서 설문 시도된 총 497호의 단독주택들 중 약 40%인 197호만의 면담 또는 우편설문응답이 최종 통계처리되었다. 다세대주택과 공공기관의 경우, 지도상에 8cm 간격의 격자를 그려 각 격자점에 가장 인접한 주택단지와 공공기관을 표본추출하고, 관리담당자를 면담하여 관리실태를 설문조사하였다. 다세대주

택단지는 춘천시와 중랑구 각각 10개, 강릉시 13개, 강남구 17개 등 총 50개가 표본추출되었다. 공공기관은 초, 중, 고 및 대학교, 시청 또는 구청 등을 포함하여 춘천시 및 강릉시 각각 6개, 강남구 및 중랑구 각각 5개 등 총 22개가 선정되었다. 행락지(어린이 및 근린공원)와 교통용지(가로)에서의 식생 관리행위는 시청 또는 구청의 담당부서를 방문하여 설문조사되었다. 설문의 내용은 1) 잔디깎기와 수목전정의 연간횟수, 양, 도구 및 연료소비량, 2) 관수의 계절별 횟수, 시간길이 및 도구, 3) 시비의 연간 횟수, 종류, 양 및 도구, 그리고 4) 살충제, 살균제 및 제초제 시용의 연간횟수, 종류, 양 및 도구이었다.

관리행위 중 탄소방출에 큰 비중을 차지할 것으로 예측된 수목전정량 및 잔디깎기량의 설문조사치는 실측을 통해 단위피도면적당 수목전정량과 단위잔디면적당 잔디깎기량을 산출하여 보정되었다. 협조에 응한 춘천시의 단독주택 3호, 다세대주택 3개 단지, 공공용지 및 공원 각각 1개 등 총 8개 대상지에서 수목전정은 초봄에, 그리고 잔디깎기는 여름에 측정되었다. 수목의 전정 직후 전정된 가지들을 모아 현지에서 생중량을 측정하고, 대상지별로 전정된 수종수 및 양에 따라 0.5~1.5kg의 가지표본들을 5~15개씩 임의로 채취하였다. 그들을 65°C에서 향량이 될 때까지 건조시켜 건중량을 측정하고, 건중량대 생중량의 평균비를 구하여 전정량 전체의 건중량을 산정하였다. 전정된 총건중량을 전정 이전에 측정된 수목피도면적에 근거하여 단위피도면적당 전정량으로 전환하였다. 잔디깎기의 경우, 사전에 대상면적을 실측하고 잔디깎기 직후 깎여진 잔디를 모아 생중량을 측정하였다. 그것의 일부(30~100g)를 대상지별로 3~6개씩 임의로 표본채취하여 65°C에서 48시간 건조시켜 건중량을 측정하고, 깎여진 잔디 전체의 건중량과 단위잔디면적당 잔디깎기량을 산정하였다.

가로수의 전정량은 춘천시의 대표적 가로수종들을 대상으로 실측되었다. 춘천시청과 한국전력공사의 협조를 얻어 1996년 및 1997년의 2년에 걸쳐 3월에 간선도로상에 식재된 은행나무 41개체와 플라타너스 40개체, 총 81개체의 전정량을 측정하였다. 전정은 한국전력공사로부터 전정용역을 받은 한 사업체에 의해 수행되었다. 전정 직후 개체별로 전정된 가지들을 모아 현지에서 생중량을 측정하고, 전술한 방법에 의해 전정량 전체의 건중량을 산정하였다. 전정되기 전에 각 개체의 흉고직경, 수고, 수관폭 등을 측정하여 단위피도면적당 전정량을 산출하

고 아울러 타연구대상도시 가로수의 전정량을 추정하는 데 활용하였다.

설문조사된 관수횟수 및 시간길이를 토대로 관수에 기인된 물소비량을 산출하기 위하여 관수호스의 단위시간당 유출량을 측정하여 그 평균치를 구하였다. 측정대상은 춘천시에 위치한 단독주택, 다세대주택, 공공용지, 행락지 등 토지이용유형별로 각각 2개, 총 8개 장소의 정원 또는 공원이었다. 장소별 5반복으로 각각 10~20초간 채수된 관수유출량을 부피눈금이 표시된 실험용 비이커로 측정하였다.

3. 탄소방출량 산정

수목의 전정건중량은 0.5를 곱하여(Reichle *et al.*, 1973; Pingrey, 1976; Ajtay *et al.*, 1979; Chow and Rolfe, 1989; 송철영 등, 1997) 깎여진 잔디건중량은 0.43을 곱하여(Jo, 1993), 그리고 전정 및 잔디깎기에 소용된 휘발유량은 1/당 탄소 0.63kg의 배출계수(에너지관리공단, 1996)를 적용하여 각각 탄소량으로 전환되었다. 관수, 시비, 살충제시용 등에 의한 직접적, 간접적 에너지소비량은 Pitt(1984)의 연구에 근거하여 산출되었다. 즉, 관수는 1.2kJ/l, 질소비료 77.9kJ/g, 인산비료 7.3kJ/g, 칼리비료 6.9kJ/g, 살충제 107.3kJ/g 등의 에너지소비계수를 적용하였다. 산출된 에너지소비량은 다시 1MJ당 5.86g의 배출계수(Jo and McPherson, 1995)를 곱하여 탄소량으로 전환되었다.

현지방문을 통한 설문조사시 표본추출부지의 수목피도, 잔디면적 등을 함께 측정하여 관리에 의한 총 탄소방출량을 수목은 단위피도면적당 방출량, 잔디는 단위잔디면적당 방출량 등으로 전환하여 도시간 및 토지이용유형간 관리강도의 유의적 차이를 95% 신뢰구간에서 비교하였다. 면적의 규모상 실측에 많은 시간과 노력을 요하는 공원 및 대학교에서의 수목피도와 잔디면적은 축척 1/15,000의 흑백항공사진상에서 8배의 확대경이 부착된 입체시경(mirror stereoscope: Sokkisha MS-27)을 이용하여 분석되었다. 즉, 1mm 간격의 격자점을 표시한 투명 셀로판지를 항공사진위에 올려 놓고, 대상부지의 총격자점수 중 수관 또는 잔디면에 닿은 격자점수의 비율로 수목피도와 잔디면적을 산출하였다. 가로수의 총 수목피도면적은 시청 또는 구청의 가로수식재 자료를 통해 수종 및 흉고직경별 총개체수를 파악하고, 흉고 직경 차이를 반영하여 임의표본추출된 수종별 최소 20개체의 수관폭을 실측하여 산정되었다.

결 과

1. 잔디깎기

토지이용유형별 단위잔디면적당 잔디깎기는 연간 빈도, 깎기량 및 에너지소비에 있어서 연구대상 도시간에 대체로 95% 수준의 신뢰구간에서 유의한 차이가 없었다. 다만, 다세대주거지의 잔디깎기량은 춘천시에서 연간 단위잔디면적(m²)당 153.4 ± 68.6g(95% 신뢰구간)으로서 강릉시의 15.5 ± 8.3g, 강남구의 34.9 ± 15.6g 및 중랑구의 42.1 ± 38.6g보다 많았을 뿐이었다. Table 1에서 보듯이 연구대상도시 전체의 잔디깎기 연간 평균횟수는 단독주거지 약 1회, 다세대주거지 및 공공용지 2회, 행락지 9회 등의 순으로 많았다. 연간 잔디깎기량은 단독주거지가 다세대주거지 및 행락지보다 유의하게 적었으며, 그것의 탄소전환량은 단독주거지 6.4 ± 1.9g/m², 공공용지 18.3 ± 10.8g/m², 다세대주거지 22.6 ± 8.9g/m², 행락지 62.9 ± 45.6g/m² 등이었다. 잔디깎기 기계의

가동에 의한 연간 에너지소비량은 토지이용에 따라 1.1~10.1ml/m²(38.0~349.1kJ)로서, 평균적으로는 행락지에서 가장 많았으나 95% 수준의 신뢰구간에서 토지이용간 유의적인 차이는 없었다. 그 에너지소비에 기인한 연간 평균탄소방출량은 토지이용에 따라 0.4~6.0g/m²이었다.

2. 수목전정

Table 2는 연구대상도시들의 토지이용유형별 수목의 단위피도면적당 연간 전정량 및 탄소방출량을 나타내 준다. 연간 전정빈도는 대부분의 토지이용들에서 약 1회인 것으로 나타났다. 단위피도면적당 전정량은 95% 신뢰구간에서 다세대주거지, 공공용지 및 행락지간에 유의한 차이가 없었으나, 교통용지는 타토지이용들보다 훨씬 많았다. 연간 전정량의 탄소전환량은 다세대주거지 0.035 ± 0.010kg/m², 행락지 0.056 ± 0.025kg/m², 공공용지 0.072 ± 0.043kg/m², 단독주거지 0.096 ± 0.042kg/m², 교통용지 0.208 ± 0.075kg/m² 등

Table 1. Amount of annual mowing and carbon release per m² of grass area for each land use in study cities*

Land use		Frequency		Mown grass				Energy use			
		Mean	CI	Amount(g)		Carbon(g)		Amount(ml)		Carbon(g)	
				Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI
Residential	Detached	0.9	0.2	14.8	4.5	6.4	1.9	1.1	0.9	0.4	0.3
	Multifamily	2.0	0.4	52.5	20.8	22.6	8.9	4.0	3.1	2.4	1.9
Institutional		2.2	0.8	42.6	25.1	18.3	10.8	3.4	2.9	2.0	1.7
Recreational		8.9	6.4	146.3	106.1	62.9	45.6	10.1	9.5	6.0	5.6

* CI indicates 95% confidence interval(the same with subsequent tables).

Table 2. Amount of annual pruning and carbon release per m² of tree and shrub cover for each land use in study cities

Land use		Frequency		Pruned tree and shrub				Energy use			
		Mean	CI	Amount(kg)		Carbon(kg)		Amount(ml)		Carbon(g)	
				Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI
Residential	Detached	1.2	0.1	0.192	0.084	0.096	0.042	0.0	0.0	0.0	0.0
	Multifamily	1.3	0.2	0.071	0.019	0.035	0.010	0.0	0.0	0.0	0.0
Institutional		1.3	0.3	0.143	0.085	0.072	0.043	0.0	0.0	0.0	0.0
Recreational		1.5	0.6	0.112	0.050	0.056	0.025	1.1	1.0	0.3	0.2
Transportation		1.2	0.7	0.415	0.150	0.208	0.075	1.6	0.0	1.0	0.0

이었다. 전정기 가동에 소비된 연간 휘발유량 및 그 탄소방출량은 교통용지가 각각 1.6ml/m² 및 1.0g/m²로서 행락지에서의 탄소방출량 0.3g/m²보다 많았다. 주거지 및 공공용지의 수목들은 화석연료소비와 무관한 수동 톱 및 가위로 전정되었다. 수목전정과 관련된 관리행위는 95% 수준의 신뢰구간에서 연구대상도시들의 동일 토지이용간 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다.

3. 관수

수목 및 잔디에의 관수는 단독주거지에서만 연간 관수빈도 및 탄소방출량에 있어 일부 연구대상도시간 통계적으로 유의한 차이가 인정될 뿐, 관수시간 길이를 비롯한 타토지이용들에서의 관련 관리강도는 대상도시간 유사하였다. 단독주거지 수목관수의 경우, 연간 평균횟수는 춘천시 약 5회로서 타도시 및 구의 22~38회보다 적었고, 관수에 기인한 연간 탄소방출량은 춘천시에서 거의 없었으나 타도시 및 구에서 단위피도면적당 1.62~5.18g/m²

이었다. 단독주거지 잔디관수의 경우, 연간 평균횟수는 강남구 및 중랑구가 13~21회로서 춘천 및 강릉시의 0~4회보다 많았고, 관수로 인한 연간 탄소방출량도 강남구 및 중랑구가 단위잔디면적당 0.42~0.81g/m²로서 거의 무시할 만한 춘천 및 강릉시보다 많았다. Table 3에서 보듯이 연구대상도시들 모두의 단독주거지에서의 평균관수횟수는 해마다 수목 19회 및 잔디 6회이었고, 그것의 매회 평균관수시간은 수목 12분 및 잔디 6분이었다. 연간 관수횟수 및 매회당 관수시간에 춘천시 정원과 공원에서 실측된 시간당 평균관수유출량 2,300l를 곱하면 단독주거지에서의 관수에 소비된 연간 평균수량은 수목이 단위피도면적당 317.1l/m², 잔디가 단위잔디면적당 44.1l/m²이었다. 그 관수에 기인한 연간탄소방출량은 수목 2.23±1.07g/m², 잔디 0.31±0.19g/m²이었다. 다세대주거지 및 공공용지에서의 수목 또는 잔디관수를 통한 탄소방출량은 0.01g/m² 이하로 미미하였으며, 행락지 및 교통용지의 식생은 관수되지 않는 것으로 나타났다.

Table 3. Annual irrigation intensity and carbon release per unit area for each land use in study cities*

Land use		Frequency				Duration(hr)/event				Carbon(g)			
		Tree/shrub		Grass		Tree/shrub		Grass		Tree/shrub		Grass	
		Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI
Residential	Detached	19.3	4.4	6.0	2.4	0.2	0.1	0.1	0.0	2.23	1.07	0.31	0.19
	Multifamily	1.3	1.2	0.3	0.2	1.3	0.2	0.1	0.0	0.01	0.00	0.00	0.00
Institutional		0.0	0.0	1.4	1.3	0.0	0.0	1.0	0.9	0.00	0.00	0.01	0.00
Recreational		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
Transportation		0.0	0.0	-	-	0.0	0.0	-	-	0.00	0.00	-	-

* Unit area is m² of areal cover for trees and shrubs, and m² of grass area for grass (the same with subsequent tables and Figure 1).

Table 4. Amount of annual fertilization and carbon release per unit area for each land use in study cities

Land use		Frequency				Amount(g)				Carbon(g)			
		Tree/shrub		Grass		Tree/shrub		Grass		Tree/shrub		Grass	
		Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI
Residential	Detached	0.5	0.1	0.2	0.1	8.6	2.4	2.8	1.2	0.9	0.3	0.3	0.1
	Multifamily	0.3	0.1	0.2	0.1	5.7	2.9	0.0	0.0	0.6	0.3	0.0	0.0
Institutional		1.8	1.3	0.3	0.2	11.9	10.5	2.7	2.7	1.4	1.2	0.3	0.3
Recreational		1.9	1.1	1.0	1.0	10.8	9.8	3.3	3.3	1.2	1.1	0.4	0.4
Transportation		1.3	1.0	-	-	2.0	1.2	-	-	0.2	0.1	-	-

4. 시비

Table 4는 연구대상도시들의 토지이용유형별 수목의 단위피도면적당 및 잔디의 단위면적당 연간 시비량과 그로 인한 탄소방출량을 보여 준다. 수목에의 연간 시비빈도는 공공용지 및 행락지가 약 2회로서 평균 0.5회 이하인 주거지보다 많았다. 수목에의 연간 시비량은 단독주거지가 $8.6 \pm 2.4 \text{g/m}^2$ 로서 교통용지의 $2.0 \pm 1.2 \text{g/m}^2$ 보다 많았으나, 그 외 토지이용간에는 95% 수준의 신뢰구간에서 유의한 차이 없이 토지이용에 따라 $2 \sim 12 \text{g/m}^2$ 이었다. 수목시비량의 제조과정 중 화석연료소비에 의한 연간 간접적 탄소방출량은 교통용지에서 평균 0.2g/m^2 , 타토지이용들에서 평균 약 1g/m^2 이었다. 토지이용별 잔디에의 연간 시비빈도는 평균 0.2~1회였고(교통용지는 해당 없음), 단독주거지, 공공용지 및 행락지에서의 연간 잔디시비량과 탄소방출량은 각각 약 3g/m^2 및 0.3g/m^2 이었다. 다세대주거지에서의 잔디시비량은 거의 없는 것으로 분석되었다. 시비와 연관된 관리강도는 95% 수준의 신뢰구간에서 연구대상도시들의 동일 토지이용간 유의한 차이가 없었다.

5. 살충제사용

Table 5는 수목의 단위피도면적당 및 잔디의 단위면적당 연간 살충제 사용량과 그로 인한 탄소방출량을 요약한 것이다. 살충제 사용은 단독주거지 수목의 경우만 그 양에 있어 중랑구가 타도시 및 구에 비해 적을 뿐, 기타 토지이용 및 관련행위의 연구대상 도시간 통계적 유의한 차이는 없었다. 단독주거지 수목에의 연간 평균사용량은 중랑구에서 0.01g/m^2 , 타도시 및 구에서 $0.13 \sim 0.34 \text{g/m}^2$ 이었다. 수목의 경우, 연구대상 도시들의 평균 살충제 사용빈도는 단독주거지가 연간 1회로서 타 토지이용들의 2~4회보다 적

었으나, 연간 사용량과 그로 인한 간접적 탄소방출량은 토지이용간 유의한 차이없이 각각 평균 $0.1 \sim 0.7 \text{g/m}^2$ 및 $0.1 \sim 0.5 \text{g/m}^2$ 이었다. 잔디관리를 위한 살충제는 공공용지, 행락지 등의 경우 거의 사용되지 않았고, 주거지에서도 연간 평균 0.3~1회 사용되기는 하나 그에 의한 탄소방출량이 0.01g/m^2 에 불과하였다.

고찰

각종 관리행위에 의한 연간 총탄소방출량은 Figure 1에서 보듯이, 수목의 경우 단위피도면적당 다세대주거지 36.0g/m^2 , 행락지 57.8g/m^2 , 공공용지 73.4g/m^2 , 단독주거지 98.9g/m^2 , 교통용지 209.7g/m^2 등의 순으로 많았다. 잔디의 경우는 단위잔디면적당 단독주거지 7.4g/m^2 , 공공용지 20.6g/m^2 , 다세대주거지 25.0g/m^2 , 행락지 69.3g/m^2 등의 순으로 많았다. 이들 연간 총탄소방출량 중, 수목의 경우 전정이 토지이용에 따라 96.8~99.7%를, 잔디의 경우 잔디깎기가 91.9~100%를 각각 차지하였다. 이러한 결과는 연구대상도시에서 가로수의 전정과 공원 내 잔디깎기가 대기에 CO_2 를 방출하는 주요 관리행위라는 것을 나타낸다. 수목관리에 기인한 연간 총에너지소비량은 토지이용에 따라 단위피도면적당 최소 43.7 (다세대주거지)~최대 421.9kJ/m^2 (단독주거지)이었고, 잔디관리에 의한 경우는 단위잔디면적당 102.2 (단독주거지)~ 362.8kJ/m^2 (행락지)이었다.

Jo와 McPherson(1995)에 의하면, 미국 Chicago시 주거지의 연간 총탄소방출량은 수목관리로부터 단위피도면적당 약 80g/m^2 , 잔디관리로부터 단위잔디면적당 140g/m^2 이었다. 또한, 그들의 연구는 주거지의 연간 수목전정량이 162g/m^2 , 연간 잔디

Table 5. Annual pesticide use and carbon release per unit area for each land use in study cities

Land use	Frequency				Amount(g)				Carbon(g)				
	Tree/shrub		Grass		Tree/shrub		Grass		Tree/shrub		Grass		
	Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI	
Residential	Detached	1.0	0.2	0.3	0.1	0.1	0.01	0.01	0.1	0.0	0.01	0.00	
	Multifamily	3.1	0.8	1.1	0.6	0.3	0.1	0.03	0.03	0.2	0.1	0.01	0.01
Institutional		2.4	0.6	0.0	0.0	0.7	0.7	0.00	0.00	0.5	0.5	0.00	0.00
Recreational		4.1	3.6	0.0	0.0	0.4	0.3	0.00	0.00	0.3	0.2	0.00	0.00
Transportation		4.0	1.3	-	-	0.7	0.6	-	-	0.5	0.4	-	-

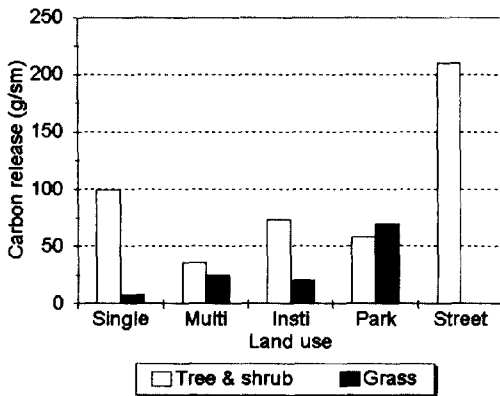


Figure 1. Total annual carbon release per unit area by vegetation management activities for each land use in study cities*

*Single: Detached residential
 Multi: Multifamily residential
 Insti: Institutional

깎기량이 265g/m²이었음을 밝혔다. 연구대상도시들 주거지에서 연간 수목전정량은 71(다세대)~192(단독)g/m², 연간 잔디깎기량은 Chicago시의 경우보다 훨씬 적은 15(단독)~53(다세대)g/m²이었다. Pitt(1984)는 온대지역 주거지에서 각종 잔디관리에 요구되는 직간접적 에너지소비량은 단위잔디면적당 연간 약 2,710kJ/m²이라고 보고하였다. 연구대상도시들 주거지의 잔디관리에 소용된 연간 총에너지는 그것의 4~5%인 100(단독)~140(다세대)kJ/m²이었다. 이처럼 주거지의 잔디관리에 의한 에너지소비 및 탄소방출량은 비교된 국외의 경우보다 연구대상도시에서 적었다.

수목관리에 의한 연간 총탄소방출량은 춘천 및 강릉시에서 수목에 의한 연간 총탄소흡수량(조현길, 1999)의 16~20%에 해당하였다. 잔디관리에 따른 총탄소방출량은 잔디에 의한 총탄소흡수량(총잔디면적에 뿌리의 흡수량 47.1g/m²(Jo and McPherson, 1995)을 곱하여 추정됨)보다 1.2배 더 많거나(춘천시) 흡수량의 100%(강릉시)에 달하였다. 미국 Chicago시 주거지에서는 잔디의 관리에 의한 연간 탄소방출량이 그 흡수량의 1.6배에 이르렀다(Jo and McPherson, 1995). 이러한 결과는 잔디식재에 상당한 면적을 할애하는 녹지계획은 에너지절약 및 탄소농도저감상 바람직하지 않음을 시사한다. 도시식생의 연간 순탄소흡수를 최대화하기 위해서 식생관리의 강

도를 최소화할 식재계획 및 관리전략이 요구된다. 즉, 가로수의 경우 과도한 전정은 가공선의 보호차원에서 비롯되므로 가공선의 지하매설, 대교목보다는 중소교목의 선정, 전정 관련 전문가 참여 등의 대책이 마련되어야 한다. 전정된 가지는 토양 내의 탄소축적을 도모하기 위해 소각보다는 토양 유기물 또는 피복재료로 활용할 필요가 있다. 공원에서는 꼭 필요한 용도 이외의 방대한 잔디공간을 축소하고, 대신 타지피식물, 관목 및 교목으로 구성되는 다층구조의 식생경관을 지향하는 것이 바람직하다. 이러한 전략은 대기오염완화, 물의 재순환, 생물다양성의 유지 등 녹지의 기타 환경생태적 기능도 부가적으로 증진시킬 수 있다.

설문조사 결과, 연구대상도시들에서 살균제나 제초제의 사용은 극히 미미하였고, 화훼류를 대상으로 한 화단관리행위는 해당없는 것으로 나타났다. 본 연구는 잔디깎기 기계, 전정도구 등 관리목적의 각종 도구의 구입과 연관된 간접적 탄소방출은 계량화하지 않았으나, 그 양을 포함하면 식생관리로부터의 탄소방출량은 더욱 많을 것으로 추측된다. 면담설문조사시, 결과의 신뢰성을 고려하여 가급적 기억보다는 기록확인을 통한 응답을 요구하였다. 그러나, 단독주택의 경우는 대부분 관리담당자 또는 전문가가 아닌 일반 거주인이 식생을 관리하므로, 기록에 근거한 답변을 구하는 데 한계가 있었다. 비료, 살충제 등의 제조와 관련된 에너지소비계수는 국내 정보의 파악이 난이하여 국외의 연구결과에 의존하였다. 식생관리에 의한 에너지소비 및 탄소방출은 식생유형 및 그 면적, 관리자의 관리행태 등의 차이에 따라 다양할 수 있다. 향후, 상기한 연구의 한계성을 극복하고 충분한 표본추출수를 확보하되, 실측을 위주로 한 진전된 연구를 추구하여 본 연구결과를 비교 보완해야 할 것이다.

인용문헌

송철영, 장관순, 박관수, 이승우(1997) 신갈나무와 굴참나무 천연림의 탄소고정량 분석. 한국임학회지 86(1): 35-45.
 에너지관리공단(1996) 지역에너지계획 수립 기본지침서. 672쪽.
 조현길(1999) 강원도 일부도시의 경관 내 탄소흡수 및 배출과 도시녹지의 역할. 한국조경학회지 27(1): 39-53.
 조현길, 이경재, 권전오(1998a) 서울시의 토지이용 및 녹지구조. 환경생태학회지 12(1): 30-41.

- 조현길, 이기의, 윤영환, 서옥하(1998b) 강원도 일부 도시들의 토지이용 및 녹지구조. 한국조경학회지 25(4): 171-183.
- 조현길, 한갑수, 서옥하(1998c) 도시식생의 주택에너지 절약 및 탄소배출저감 기능. 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.
- Ciborowski, P.(1989) Sources, sinks, trends, and opportunities. In: D.E. Abrahamson(ed.), *The Challenge of Global Warming*, Island Press, Washington, D.C., pp. 213-230.
- Falk, J.H.(1976) Energetics of a suburban lawn ecosystem. *Ecology* 57: 141-150.
- Jo, H.K.(1993) Landscape carbon budgets and planning guidelines for greenspaces in urban residential lands. Ph. D. dissertation, University of Arizona, Tucson, U. S. A., 236pp.
- Jo, H.K. and E.G. McPherson(1995) Carbon storage and flux in urban residential greenspace. *Journal of Environmental Management* 45: 109-133.
- Karl, T.R., N. Nicholls, and J. Gregory(1997) The coming climate. *Scientific American* May: 78-83.
- Kemp, D.D.(1990) *Global Environmental Issues: a Climatological Approach*. Routledge, New York, 240pp.
- 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.
- Parker, J.H.(1981) An energy and ecological analysis of alternate residential landscapes. *Journal of Environmental Systems* 11(3): 271-288.
- Pingrey, D.W.(1976) Forest products energy overview. In: *Energy and the Wood Products Industry*. Forest Products Research Society, Madison, WI, pp. 1-14.
- Pitt, G.D.(1984) Conservation of embodied energy through landscape design. In: E.G. McPherson(ed.), *Energy-Conserving Site Design*. ASLA, Washington, D.C., pp. 215-229.
- 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.
- Reichle, D.E., B.E. Dinger, N.T. Edwards, W.F. Harris, and P. Sollins(1973) Carbon flow and storage in a forest ecosystem. In: G.M. Woodwell and E.V. Pecan(eds.), *Carbon and the Biosphere*, Proceedings of the 24th Brookhaven Symposium in Biology. U.S. Atomic Energy Commission, Office of Information Services, Upton, NY, pp. 345-365.
- Rodhe, H.(1990) A comparison of the contributions of various gases to the greenhouse effect. *Science* 248: 1,217-1,219.