

강원지역 대형 조경수 서울 이식에 따른 탄소 배출 연구

최유* · 안동만** · 이재원***

*서울대학교 대학원 · **서울대학교 조경 · 지역시스템공학부 · ***서울대학교 대학원 협동과정 조경학

Carbon Emission Study of Transplanting Large Trees from Gangwon Province to Seoul

Choi, Yoo* · Ahn, Tong-Mahn** · Lee, Jae-Won***

*Graduate School, Seoul National University

**Dept. of Landscape Architecture and Rural Systems Engineering, Seoul National University

***Dept. of Landscape Architecture, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University

ABSTRACT

Korean housing developers are in a very competitive market and their way of attracting buyers is landscaping better than competing firms do. Thus, transplanting larger pine trees(*Pinus densiflora* S. et. Z.) is in vogue. A typical case is a pine tree about 30-year old, 35 diameters at breast height, transplanted 223 km afar from the Gangwon Province to Seoul. We estimated and compared carbon emissions during the whole transplanting works, and carbon intake by the tree if it survives 50 more years on site.

Findings are; first, a large tree will take up and sequester approximately 90 kgC if it survives 50 more years. Second, transplanting works emit approximately 113.69 kgC, which is about 1.26 times of its possible future intake of carbon.

Landscaping is a legal requirement for the purposes not only of aesthetics but also of environmental quality. Transplanting larger trees that came from a dam or a road building site may be inevitable and acceptable. However, transplanting larger trees long distance was evaluated to be harmful to the environment. It is strongly recommended to prohibit transplanting large trees. Landscape professionals need to guide clients to have desirable consumer attitude.

Key Words: Tree Transplanting, Pine Tree, Carbon Dioxide Reduction, Landscape Construction

국문초록

국내 건설시장은 경쟁사보다 더 나은 조경 환경을 제공하여 소비자를 유치하려 하고, 그래서 대형 소나무(*Pinus densiflora* S. et. Z.) 이식이 인기를 얻고 있다. 주로 행해지는 이식 사례로 수령 30년, 흉고직경 35cm인 강원지역 소나무를 223km 떨어진 서울로 이식하는 경우를 들 수 있다. 본 연구는 해당 사례 이식 과정 탄소배출량과 수목을 생산지에 그대로 둘 경우 일생 탄소저장량(50년 가정)을 추산하고 비교하였다.

Corresponding author: Yoo Choi, Graduate School, Seoul National University, Seoul, 151-192, Korea, Tel.: +82-2-880-4884, E-mail: onl2you@snu.ac.kr

연구 결과, 첫째, 30년생 강원지역 소나무 1그루를 이식하지 않을 경우, 50년을 더 살면서 저장할 탄소량은 약 90kgC/그루였다. 둘째, 이식 과정 장비 및 인력 탄소배출량은 약 113.69kgC/그루로, 여생 동안 탄소저장량보다 약 1.26배 많게 나타났다.

댐이나 도로 건설현장 같은 곳 대형목을 인근으로 이식하는 경우는 불가피하다 할 수 있다. 그렇지 않은 대형목 이식은 환경을 저해할 수 있다. 불가피한 경우를 제외하고, 대형목 이식을 금하는 정책과 규제가 필요하다. 조경 전문가들은 긴 안목으로 작은 조경수를 심어 키우는 '시간의 조경'을 주도하고, 소비자 인식을 바른 방향으로 이끌어야 하겠다.

주제어: 수목 이식, 소나무, 이산화탄소 저감, 조경 시공

I. 서론

도시 내 녹지 확충과 수목 식재는 이산화탄소 흡수 기능 및 도시미관 개선, 여가공간 제공, 미기후 조절, 물순환 기능 등 많은 환경적 기능을 수행하면서 그 요구가 증대되고 있는 실정이다(박은진, 2009). 이러한 조경수는 농원에서 생산한 수목을 이식하거나 산림에 존재하는 수목을 그대로 이식함을 통해 조경공사 현장에 식재한다(김태진과 김학범, 2001). 조경수 이식은 뿌리돌림, 굴취, 운반, 하차 및 식재 과정과 지주목 설치 및 이식 후 활착을 위한 영양공급이나 병충해 방제 등 유지 관리와 같은 복잡한 과정과 많은 장비와 인력을 필요로 한다(임재홍 등, 2002). 또한 이식이 실패하면, 고사목과 재이식을 위한 이식 과정 반복으로 인한 손실이 추가로 발생하기도 한다. 이런 작업 과정은 장비 연료 사용에 의해 많은 양의 탄소를 발생하며, 고사 수목으로 인해 잠재 탄소흡수를 저감하기도 한다.

조경수 시장에서 큰 소나무 수요가 급증함에 따라 불법 굴취, 도난이 발생하고 소나무를 목적으로 하는 이상한 공사나 사업도 없다고 할 수 없다. 이에 본 연구는 대표적인 조경수로 활용하고 있는 소나무를 대상으로 이식 과정에서 배출하는 탄소량과 생산지에 그대로 두었을 때 수목이 흡수할 탄소량을 비교하여 지속가능성 측면에서 대형 수목 이식 문제점을 검토하고자 한다.

II. 연구사

1. 수목 이산화탄소 흡수 관련 연구

Jo와 McPherson(1995)은 미국 시카고시 주거지 내 녹지를 대상으로 토양, 수목, 잔디 탄소저장량을 측정, 단위면적 당 탄소저장량이 약 26kgC/m²임을 확인하였다. 이러한 탄소 저장 및 흡수를 최대화하기 위하여 녹지계획 및 관리 전략으로 수목 식재, 녹지 면적 확대, 잔디관리 최소화, 고사목의 빠른 교체 등을 제안하였다. 조현길과 안태원(2001)은 춘천시 도시공원, 공공건물 식재대 등에서 임의로 추출한 소나무와 잣나무 수종별 3개체를 대상으로 운반형 적외선 가스분석기를 사용하여 연중

이산화탄소 교환율과 월별 엽면적 변화를 측정하고, 연간 이산화탄소 흡수량과 산소 생산량, 그리고 이산화황과 이산화질소 흡수량을 산정하였다. 대상수목 중 소나무의 연간 이산화탄소 순흡수량은 28~31kgCO₂/yr로 나타났다. 손영모 등(2006)은 강원도 홍천군 운두령 모델림(102,613ha) 내 잣나무, 소나무, 낙엽송, 자작나무, 신갈나무 생장 고정 조사구를 대상으로 수종별 생장변화를 측정하고, 탄소저장 및 흡수량을 산정하였다. 모델림 내 식생이 저장하고 있는 총 탄소량은 5,973,000tC, 산림이 생장으로 흡수한 순탄소량은 155,481tC이었으며, 각 고정조사구 단위면적 당 탄소저장량은 신갈나무(142.3tC/ha), 소나무(130.9tC/ha) 순으로 높게 나타났다. 박은진과 강규이(2010)는 경기도 90개 가로에 식재된 가로수 중 대표성을 갖는 9개 수종을 대상으로 상대생장방정식을 이용하여 탄소저장량을 산정하고, 연간 이산화탄소 흡수량을 추정하였다. 대상수목 769,505그루의 탄소저장량은 160,155tC, 연간 이산화탄소 흡수량은 30,693 tCO₂/yr이며, 소나무 4,602그루의 탄소저장량은 188tC, 연간 이산화탄소 흡수량은 35tCO₂/yr로 나타났다.

이상 기존 연구를 살펴본 결과, 수목의 이산화탄소 흡수 및 저장에 관한 연구가 다양하게 진행 중임을 알 수 있었다.

2. 조경수 이식 및 관리 관련 연구

대형 수목은 각종 개발사업 시행 시 무분별하게 훼손되어 왔으며, 최근 그 이식 과정에 대한 연구들을 진행하고 있다. 임재홍 등(2002)에 의하면 대형 수목 이식 과정은 굴취, 운반, 제작, 수목상차, 수목운반, 수목하차 및 식재, 지주목 설치 및 유지 관리의 단계별 작업으로 이루어진다. 이처럼 수목 이식 과정에서 장비 및 인력 활용으로 인한 탄소 배출은 불가피하지만, 관련 연구는 미흡한 실정이다. Strohbach 등(2012)은 독일 Leipzig시 urban green project 대상지 2.16ha를 대상으로 생애주기 접근 방법(Life Cycle Assessment)으로 수목, 잔디 식재와 식재 후 관리 과정 이산화탄소 배출량을 산출하고, 4가지 식재 및 관리 가상시나리오를 바탕으로 50년간 이산화탄소 배출량을 산정하였다. 이를 생장방정식으로 대상지 수목의 50년 동안 이산화탄소 흡수량과 비교하였으며, 작업 과정 이산화탄소 배출량은

2.57~4.71MgCO₂/ha, 수목의 이산화탄소 흡수량은 38~226 MgCO₂/ha이었다(주: 1Mg은 1,000kg, 즉 1ton.). 간벌기인 20년 전후를 제외하고 이산화탄소 흡수량이 배출량보다 커지는 5년 이후부터 50년까지 흡수량이 배출량보다 점점 더 크게 나타났다.

수목 이식 후 관리 시 탄소배출량에 관한 연구로 조현길(1999)은 춘천시, 강릉시와 서울시 강남구, 중랑구를 대상으로 식생관리 실태를 조사하고, 수목관리 작업을 잔디깎기, 수목전정, 관수, 시비, 살충제 사용 등으로 나누어, 토지이용 유형별로 각 작업마다 탄소배출량을 측정하였다. 토지이용 유형은 다세대주거지, 행락지, 공공용지, 단독주거지, 교통용지 등으로 나누었으며, 식생관리 강도를 최소화할 식재계획 및 관리전략을 제안하였다. Nowak 등(2002)은 수목 관리 및 처리가 미치는 영향에 관한 2가지 가상시나리오를 바탕으로 수목관리 효과를 분석하였다. 수목관리로 수명(Life span)이 늘어날 경우 탄소흡수량이 증가하여 수목관리로 배출하는 탄소량을 상쇄시킬 수 있다고 하였다.

수목 이식 후 하자과 관련하여 임원현과 김용수(2001)는 대구 경북 지역 50개 아파트 단지에 식재한 조경수를 대상으로 하자 실태를 조사 및 분석하였으며, 조경수 하자는 전체 수목의 10.1%가 발생한다고 하였다. 성상별로는 상록침엽교목이 가장 높고, 수종별로는 밤나무, 자작나무, 리기다소나무, 잣나무 등 순으로 높다고 하였으며, 소나무의 하자율은 18.86%라 하였다. 조현달(2003)은 경남 사천시 진사공단 조성에 의해 별목 예정인 자생 소나무와 곱솔을 가식장에 이식하고 관리 후 재이식 과정을 연구하여 수목 이식 하자 실태와 이에 따른 경제성을 분석하였다. 가식장 이식 후 관리 과정에서 고사한 수목은 소나무가 24.3%, 곱솔이 9%로 나타났고, 재이식 과정에서는 하자가 총 0.2%로 나타났다고 하였다.

이와 같이 수목 이식과 관리에 관한 연구는 일부 진행되었으나, 이를 종합하여 이식과 관리 과정을 함께 분석한 연구는 부족함을 알 수 있었고, 특히 이를 수목이 흡수하는 탄소량과 비교한 연구도 부족하다. 또한 대형 조경수 이식 고사에 관한 연구는 하자실태조사 연구가 주를 이루고 있었는데, 고사에 의한 탄소 배출에 관한 연구는 전무하였다.

III. 연구 목적과 범위

연구 목적은 강원도 지역 소나무를 이식하는 과정에서 배출하는 탄소량이 그 소나무가 여생 동안 흡수할 탄소량보다 많을 수 있는가를 분석하는 것이다.

가설 검증을 위해 현장 이식 과정을 토대로 가상시나리오를 작성하였다. 시나리오는 관련업체 도움을 받아, 주로 사용하는 소나무 산지, 수령, 무게, 사용 장비 종류, 평균 작업시간 등을 토대로 작성하였다(표 1 참조).

표 1. 대형 소나무 이식 가상시나리오 작성 참고자료*

질문	답변	추가 내용
조경수로 주로 사용하는 소나무 산지	강원도 소나무	수도권 현장 대부분 강원도 지역 소나무 사용
조경수로 주로 사용하는 소나무 수령	20~30년생 소나무	장송의 경우 50년생도 사용
20~30년 생 소나무 무게	평균 3~4톤	
소나무 운반 트럭 용량	10.5톤 트럭	과거 5톤 트럭 사용, 최근 뿌리보호와 높은 수고 수목 수요로 10.5톤 사용
굴취 과정 평균 작업 시간, 인부 수	2~2시간 30분, 5인	장비 사용시간은 30분 내외 나머지는 인력 작업
식재 과정 평균 작업 시간, 인부 수	1~2시간, 5인	장비 사용시간은 절반, 준비시간(장비, 이식 위치 선정 등)이 오래 소요

*2011년 12월 20일 식물환경연구소 (주)수프로 관계자 전화 인터뷰 진행

가상시나리오는 “강원도 강릉시 왕산면 일대 수령 30년인 대형 소나무(흉고직경 35cm) 1그룹을 굴삭기와 크레인으로 굴취하고, 223km 떨어진 서울에 위치한 아파트 건설 현장에 10.5톤 덤프트럭으로 운반 후, 5m² 면적의 부지에 역시 굴삭기와 크레인을 사용하여 식재한다. 식재 후 고사율은 18.86%로 한다”로 설정하였다.

이식 소나무는 강릉시 왕산면 일대 산에서 생육 중인 것, 수령은 조경 수목으로 많이 사용하는 30년생(흉고직경 35cm)으로 향후 50년 더 생존한다고 가정하였다. 기타 조경수 이식 과정은 2013년 건설공사 표준품셈(토목부문, 4장 조경공사)을 참고하였다. 표준품셈에 따르면 조경수 이식 과정은 식재면 고르기, 뿌리돌림, 굴취, 운반, 식재, 수목 식재 후 관리 작업으로 구분하며, 관리 작업은 전정, 관수, 시비, 약제 살포, 지주목 설치 등이 있다. 식재 후 관리 작업 관련 탄소배출량 계산을 위해 수목 이식 부지 면적을 조현길(1999)의 연구를 바탕으로 5m²로 가정하였다. 또한 보다 정확한 수치 산정을 위해 수목 이식 하자(고사)로 배출하는 탄소량과 전체 이식 작업 중 근로자가 호흡으로 배출하는 탄소량(이하 인력 작업 탄소배출량)을 추가로 계산에 포함하였다.

IV. 자료와 연구방법

1. 소나무 탄소흡수량 지수

강원도 소나무 탄소흡수량 산정 관련 지수는 국립산림과학원 자료를 사용하였다(표 2 참조). 가상시나리오를 따라 단위 수령(10년)마다 이산화탄소 흡수량을 곱하여 강원 지방 소나무(현 30년생)가 남은 일생 50년 동안 흡수할 총 이산화탄소량(kgCO₂)을 추정하였으며, 여기에 이산화탄소 내 탄소분자량 비율(12/44)을 곱하여 총 탄소흡수량을 산정하였다.

표 2. 강원지방 소나무 한 그루(株) 당 연간 이산화탄소 흡수량*

수령(년)	10	20	30	40	50	60
연간 이산화탄소 흡수량 (kgCO ₂ /그루/년)	0.6	1.8	4.6	6.8	7.2	7.2

*국립산림과학원 브리핑 자료(주요 산림수종의 표준 탄소흡수량) 재편집

2. 이식 과정 탄소배출량 산출식 및 장비 관련 지수

수목 이식 과정에서 배출하는 탄소량 산출을 위한 계산식과 지수는 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 가이드라인(2006)과 대한민국 건설공사 표준품셈(2013년 기준), 건설기계 경비산출표(2013년 기준)를 참고하였다. IPCC(2006)에 의하면 탄소배출량(tc)은 석유환산톤(TOE: Tonnage of Oil Equivalent)에 연료별 탄소배출계수(tc/TOE)와 연소율을 곱하면 구할 수 있다(식 1). 여기서 석유환산톤(TOE)은 연료 소비량(l)에 연료별 발열량(kcal)을 곱하고 단위를 맞추기 위해 10^7 으로 나누는 과정으로 구한다(식 2). 또한 이산화탄소 배출량 계산 시에는 연료별 발열량(kcal) 자료 중 순발열량(kcal) 단위를 사용한다는 권고를 따랐다.

$$\text{총 탄소배출량}(tc) = \text{석유환산량}(TOE) \times \text{탄소배출계수}(tc/TOE) \times \text{연소율} \quad (\text{식 } 1)$$

$$\text{석유환산량}(TOE) = \frac{\text{사용연료량}(l) \times 1 l \text{ 당 순발열량}(kcal)}{10^7} \quad (\text{식 } 2)$$

표준품셈과 건설기계 경비산출표를 통해 가상시나리오의 소나무 이식 과정 중 사용한 장비 연료가 모두 경유임을 알 수 있었으며, IPCC 가이드라인(2006)을 통해 산출에 필요한 값인 경유의 탄소배출계수(0.837tc/TOE)와 연소율(0.99), 1 l 당 순발열량(8,450kcal) 등을 알 수 있었다.

표준품셈과 경비산출표에서 얻은 수령 30년(흉고직경 35cm)의 소나무 이식에 필요한 장비와 인부 관련 자료는 표 3, 표 4와 같다.

표 3과 표 4의 값을 이용하여 작업 시 사용하는 연료량을 산출할 수 있다. 표 3에서 잡재료란 전력비, 윤활유, 기어유 등의

표 3. 30년생 소나무 이식 장비와 소요 재료^a

장비 종류	분류번호	규격	연료 종류 및 연비 (ℓ/시간)	잡재료 (연비의 %)
굴삭기(무한궤도) ^b	0201-0060	0.6m ²	경유, 10.2	22
크레인(타이어) ^b	2104-0025	25톤	경유, 6.1	39
덤프트럭	0602-0105	10.5톤	경유, 11.0	38

^a: 2013년도 건설기계 경비산출표 정리 및 재편집

^b: 장비 규격은 표준품셈 굴취 및 식재 작업의 기준에 따름

표 4. 30년생 소나무 이식 작업 소요 인력, 장비^a

작업 종류	조경공 (인)	보통인부 (인)	굴삭기 (시간)	크레인 (시간)
식재면 고르기 ^b	0.01	0.08	-	-
뿌리돌림 ^{cd}	2.04	0.25	-	-
굴취 ^{cd}	1.57	0.52	1.74	0.35
식재 ^{cd}	1.04	0.37	1.48	0.53
유지 관리	전정 ^c	0.18	0.048	-
	관수 ^c	-	0.08	-
	시비 ^c	0.003	0.028	-
	약제 ^c	0.02 ^e	0.06	-

^a: 2013년 건설공사 표준품셈 4장 조경공사 내용 정리

^b: 10m²당 인

^c: 그루 당 인, 그루 당 시간

^d: 근원직경이 기준인 경우 42cm로 변환

^e: 약제 살포의 경우 특별인부 적용

비용이나 삼날, 타이어 등을 소모하는 비율을 나타내며(박원규, 2008), 탄소배출에 일조하기 때문에 산출에 포함하였다. 더불어, 운반 과정 이동거리와 소요시간은 인터넷 포털사이트의 지도 웹에서 산정하였다(이동거리 223.0km, 소요시간 총 3시간 29분, 화물트럭 기준).

3. 이식 후 유지 관리, 근로자 호흡 및 고사 수목 관련 지수

수목 식재 후 유지 관리 과정과 관련하여 조현길(1999)의 연구에서 다세대주거지 수목관리 과정 탄소배출량 값을 사용하였다(표 5 참조). 또한 탄소배출량 값을 단위 면적(1m²) 당 배출하는 탄소량으로 측정하였기 때문에, 가상시나리오에서 가정한 단위면적 5m²을 곱하여 각 과정의 탄소배출량을 산출하였다.

이식 과정 중 근로자 호흡을 통한 탄소배출량은 표 4 조경공과 보통인부 값을 사용하였고, 작업시간은 표 1 인터뷰 내용을 참고하여 굴취 2시간, 식재 1시간으로 가정하였다. 장비를 사용하는 굴취, 식재 작업은 기계 작업자에 한해 표 4 해당 장비 작업시간을 적용하였고, 운반 작업은 3시간 30분으로 가정하였다.

표 5. 다세대주거지 유지 관리 작업별 탄소배출량^a

작업 종류	단위 면적 당 탄소배출량
수목 전정	0.035±0.010kgC/m ²
관수	0.01gC/m ²
시비	0.6±0.3gC/m ²
약제 살포	0.2±0.1gC/m ²

^a자료: 조현길, 1999: 101-108, 필자 재작성

$$\begin{aligned} \text{유지 관리 탄소배출량(kgC)} = & \\ (0.035\text{kgC/m}^2 + 0.00001\text{kgC/m}^2 + 0.00006\text{kgC/m}^2 + 0.00002\text{kgC/m}^2) & \\ \times 5\text{m}^2 = 0.17635\text{kgC} & \quad (\text{식 } 10) \end{aligned}$$

이식 후 관리 과정에서 약 0.18kgC의 탄소를 배출하는 것으로 나타났다(식 10).

5) 인력 작업 탄소배출량

표 3과 예코시안 홈페이지 자료(사람이 하루에 배출하는 이산화탄소량)를 근거로 수목 이식 과정에서 근로자 호흡에 의한 인력 작업 탄소배출량을 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{총 근로시간(시간)} = & \{(\text{식재면 고르기} + \text{뿌리돌림} + \text{굴취 작업 소요인력}) \times \text{굴취 및 굴취 전 작업 소요시간}\} + \{(\text{식재} + \text{전정} + \text{관수} + \text{시비약제 살포 작업 소요인력}) \times \text{식재 및 이식 후 유지 관리 작업 소요시간} + 1\text{인} \times (\text{굴취 작업 굴삭기 사용시간}) + 1\text{인} \times (\text{굴취 작업 크레인 사용시간}) + 1\text{인} \times (\text{운반 작업 덤프트럭 사용시간}) + 1\text{인} \times (\text{식재 작업 굴삭기 사용시간}) + 1\text{인} \times (\text{식재 작업 크레인 사용시간})\} & \quad (\text{식 } 11) \end{aligned}$$

본 연구에서는 이식 과정 총 근로시간 산정을 위해 굴취 및 굴취 전 작업 소요시간을 2시간으로, 식재 및 이식 후 유지 관리 작업 소요시간을 1시간으로 가정하였다. 이는 가상시나리오 작성을 위한 인터뷰 내용을 토대로 설정한 것이며(표 1 참조), 이식 과정 총 근로시간 산정은 위 식 11을 바탕으로 아래와 같이 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{총 근로시간(시간)} = & [(0.005\text{인} + 0.04\text{인}) + (2.04\text{인} + 0.25\text{인}) + (1.5\text{인} + 0.25\text{인})] \times 2\text{시간} + [(1.04\text{인} + 0.37\text{인}) + (0.18\text{인} + 0.04\text{인}) + (0.08\text{인}) + (0.003\text{인} + 0.028\text{인}) + (0.02\text{인} + 0.06\text{인})] \times 1\text{시간} \\ & + 1\text{인} \times 1.74\text{시간} + 1\text{인} \times 0.35\text{시간} + 1\text{인} \times 3.5\text{시간} + 1\text{인} \times 1.48\text{시간} + 1\text{인} \times 0.53\text{시간} = 17.739\text{시간} \end{aligned}$$

각 작업별 인부 수와 작업시간을 곱하여 얻은 총 근로시간은 17.739시간이었다.

$$\begin{aligned} \text{인력 작업 탄소배출량(kgC)} = & \\ 17.739\text{시간} \times 1.131\text{kgCO}_2 \div 24\text{시간} \times 12/44 = 0.22799\text{kgC} & \quad (\text{식 } 12) \end{aligned}$$

소나무 이식 과정에 참여한 근로자가 호흡으로 배출한 총 탄소량은 약 0.23kgC이었다(식 12).

식 5, 7, 9, 10, 12 값을 모두 합하여 하자 발생 경우를 제외한 이식 과정 총 탄소배출량은 81.37kgC임을 알 수 있었다.

6) 하자 발생으로 인한 탄소배출량

이식 과정에서 발생한 수목 고사에 의한 탄소배출량은 임원 현과 김용수(2001)의 연구에서 얻은 하자율 18.86%을 기준으로 계산하였다. 이를 하자보식 과정에서 배출하게 될 탄소량과 소나무가 고사하여 흡수하지 못하는 탄소량으로 나누어 계산하였다. 여기서 후자를 고사 소나무 탄소흡수 손실량이라 하였다.

$$\begin{aligned} \text{하자보식 과정 탄소배출량(kgC)} = & \\ 81.37072176\text{kgC} \times 0.1886(\text{고사율}) = 15.34652\text{kgC} & \quad (\text{식 } 13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{고사 소나무 탄소흡수 손실량(kgC)} = & \\ 90\text{kgC} \times 0.1886(\text{고사율}) = 16.974\text{kgC} & \quad (\text{식 } 14) \end{aligned}$$

하자보식 과정에서 배출하는 탄소량은 약 15.35kgC(식 13), 고사 소나무 탄소흡수 손실량은 약 16.97kgC이었다(식 14).

이상 가상시나리오를 바탕으로 소나무 이식 작업에 의한 탄소배출량 계산 결과, 소나무 한 그루 이식 과정 탄소배출량은 약 81.37kgC/그루로 나타났으며, 이식 후 하자가 발생까지 고려한 탄소배출량을 분석한 결과, 약 113.69kgC/그루로 나타났다. 반면 이식해야 할 소나무를 그대로 현지에 보존하여 50년 더 생존할 경우 90kgC/그루 탄소를 흡수하는 것으로 나타나, 대형 소나무 이식에 따른 탄소배출량이 흡수량보다 1.26배 더 많은 것으로 나타났다.

이에 소나무를 이식하는 과정에서 배출하는 탄소량이 이식하지 않고 여생 동안 흡수할 탄소량보다 많다는 분석 결과를 얻었다(표 6 참조).

VI. 연구 결과와 고찰

탄소배출량을 줄이는 것은 지속성 구현의 주요 목표이다. 본 연구는 대형 소나무 이식 과정에서 배출하는 탄소량과 이식하지 않을 경우 그 수목이 지역에 남아 평생 동안 흡수할 탄소량을 산출하여 비교하였다.

중요 연구 결과는 표 6과 같다.

표 6. 연구 결과 종합

a: 소나무 현지 존치 탄소흡수량(kgC/그루)

30~40년	40~50년	50~60년	60~70년	70~80년	계
12.55	18.55	19.64	19.64	19.64	90

b: 소나무 이식 탄소배출량(kgC/그루)

굴취	운반	식재	유지 관리	인력 작업	하자 발생	계
17.24	47.69	16.04	0.18	0.23	32.32	113.69

첫째, 강원지역 30년생 소나무 1그루를 이식하지 않고 현지에 존치할 경우, 남은 일생(50년 가정) 추정 탄소흡수량은 약 90kgC/그루이다.

둘째, 조경수 이식공사 관련 표준품셈을 기준으로 산출한 강원지역 30년생 소나무 서울 이식 과정 탄소배출량은 약 113.69kgC/그루이다.

즉, 이식 과정 탄소배출량이 그 소나무 여생 동안 탄소흡수량 보다 1.26배 많다고 추정된다. 환경재단 기후변화센터에 따르면 이와 같은 탄소배출량은 매일 약 19그루의 어린 소나무가 흡수하는 탄소량과 같다.

대형 조경수는 이식 후에도 탄소를 흡수할 것이고, 빈 자리에는 새 어린 나무가 자라면서 탄소를 더 흡수할 것이다. 그러나 우리가 대형 조경수를 이식하려는 곳에 어린나무를 심어 키운다면 대형 조경수가 여생 동안 흡수할 양 이상의 탄소 배출을 줄일 수 있는 것이다.

2000년대 이후, 국내 건설사 간 경쟁이 두드러지면서, 고가 대형 수목 사용이 급증하였다. 대형 소나무 이식 분석 결과가 시사하는 바는, 환경을 개선하려는 취지의 조경이 치장술에 그치고 오히려 환경을 저해할 수 있다는 것이다. 수목지구나 개발 공사현장 대형목을 인근으로 이식하는 불가피한 경우를 제외하고, 대형목 이식을 금하는 정책과 규제가 필요하다. 더불어 조경 전문가는 긴 안목을 가지고 작은 조경수를 심어 키우는 '시간의 조경'을 주도하고, 소비자 인식을 바른 방향으로 이끌어야 하겠다.

인용문헌

1. 김태진, 김학범(2001) 컨테이너에 의한 조경수 생산방식이 이식 후 활착에 미치는 영향. 한국조경학회지 29(1): 152-160.
2. 대한건설협회(2013) 2013년 건설공사 표준품셈(토목부분, "제 4장 조경공사"), 서울: 대한건설협회, pp. 118-130.
3. 박원규(2008) 조경적산학("제 9장 조경시설물 기반공사 적산, 9-4. 기계화시공의 적산"), 파주: 도서출판 조경, pp. 169-172.
4. 박은진(2009) 도시 수목의 이산화탄소 흡수량 산정 및 흡수효과 증진 방안. 경기개발연구원 보고서.
5. 박은진, 강규이(2010) 경기도 도시가로수의 탄소저장량과 연간 이산화탄소 흡수량 산정. 한국환경생태학회지 24(5): 591-600.
6. 손영모, 이경학, 김래현, 서정호(2006) 생장모니터링을 통한 임분변화에 측 및 탄소흡수, 저장량 평가. 임산에너지 25(2): 42-48.
7. 임원현, 김용수(2001) 아파트단지 조경수목의 식재하자에 관한 연구. 한국조경학회지 29(2): 61-67.
8. 임재홍, 이재근, 김학범(2002) 대형수목의 이식공법: 천안시 팽나무와 안동시 은행나무 사례. 한국조경학회지 30(4): 92-104.
9. 조현길(1999) 도시식생의 관리에 의한 에너지소비 및 탄소방출. 한국환경생태학회지 13(2): 101-108.
10. 조현길, 안태원(2001) 도시 침엽수에 의한 연간 CO₂ 흡수 및 대기정화: 소나무와 잣나무를 대상으로. 한국환경생태학회지 14(3): 175-182.
11. 조현달(2003) 개발예정지 자생수목 활용방안에 관한 연구. 경남과학기술대학교 대학원 석사학위논문.
12. IPCC(2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change.
13. Jo, H. K. and E. G. McPherson(1995) Carbon storage and flux in urban residential greenspace. Journal of Environmental Management 45: 109-133.
14. Nowak, D. J., J. C. Stevens, S. M. Sisinni and C. J. Luley(2002) Effects of urban tree management and species selection on atmosphere carbon dioxide. Journal of Arboriculture 28(3): 113-122.
15. Strohbach, M. W., E. Arnold and D. Haase(2012) The carbon footprint of urban green space: A life cycle approach. Landscape and Urban Planning 104(2): 220-229.
16. <http://www.cmpi.co.kr/main/index.asp>
17. <http://www.co2zero.kr/>
18. <http://www.ecosian.com/>

원 고 접 수 일: 2013년 6월 10일
 심 사 일: 2013년 7월 23일(1차)
 계 재 확 정 일: 2013년 8월 1일
 3인익명 심사필