
2010년도
식물 · 수목의 온실가스
감축능력 실태조사

2010. 12

식물·수목의 온실가스 감축능력 실태조사

1. 서론

기후변화 원인물질인 이산화탄소의 흡수원으로서 녹지의 보전, 관리 및 확대는 기후변화대응을 위한 중요한 대책 중의 하나이며, 도시의 녹지는 이산화탄소의 흡수, 도시경관개선, 생활여건향상, 미기후조절, 대기환경개선 등의 여러 가지 역할을 수행하고 있다. 나무나 초목을 이용하여 대기 중의 이산화탄소를 제거하는 것은 효율적이고 경제적인 방법일 뿐 아니라, 화석연료 사용으로 인해 발생하는 이산화탄소를 상쇄시키고 바이오매스를 에너지 자원으로 이용하는 데 사용될 수 있다.

인천시의 경우, 기후변화대응 대책을 수립·시행하고 있으나 녹지에 의한 정확한 이산화탄소흡수량 산정 및 탄소흡수원 확대를 위한 연구가 부족한 실정이다. 또한 도심녹지를 탄소저감 대책 방안으로 접근할 필요성과 함께 탄소 흡수 증진 방안을 위한 인천 녹지 실태파악 연구를 진행할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 도시녹지와 수목이 이산화탄소를 흡수하는 효과를 산정하고 대기정화 효과를 분석하며, 도시녹지 수목에 의한 탄소저장량의 지속적인 증진 방안을 제시하고자 한다.

2. 조사 방법

본 연구는 행정구역상 인천광역시 내에 인위적으로 조성된 다양한 형태의 도시 녹지를 대상으로 하며 대지 내 조경녹지인 공동주택, 개인주택, 상가 등 민간녹지에 대한 자료가 없어 제외하였으며, 이산화탄소의 흡수량을 산정하고 탄소흡수원 확대를 위한 방안을 제시하고자 하는 것으로 다음의 연구내용을 포함한다.

첫째, 탄소흡수원으로서 도시녹지의 역할, 기존에 연구된 타시도 및 외국의 도시 녹지 및 산림에 의한 이산화탄소흡수량 비교 등 선행 연구 자료를 검토한다.

둘째, 도시녹지의 수목 및 가로수, 산림에 의한 바이오매스와 탄소저장량을 산정한다. 이를 위해 도시녹지와 가로수는 조사 대상을 선정하고 식재된 대표수종을 선정하여 수종별로 표본조사를 통하여 흉고직경과 수고, 수관고, 수관폭을 실측하여 기존의 연구된 상대생장식을 이용하여 바이오매스를 계산하고 탄소저장량을 산정한다. 산림은 임목축적량(산림청 자료)을 이용하여 바이오매스와 탄소저장량을 산정한다.

셋째, 도시녹지와 가로수에 의한 연간 이산화탄소흡수량과 식재된 수목의 생태환경적응도를 평가한다. 엽록소형광측정기를 이용하여 수목과 식물의 엽에서 광합성작용에 의해 흡수되는 이산화탄소를 측정하고, 실측된 수고, 흉고직경을 이용한 기존의 총엽면적 계산식을 이용하여 이산화탄소흡수량을 계산하고 수목의 식물생리학적 파라미터들을 측정하여 건강도를 평가한다.

넷째, 도시녹지에 의한 대기정화효과 및 경제적 가치를 계산한다. 수목에 의한 SO_2 , NO_2 의 연간 흡수량을 계산하고 이를 단위 톤 당 처리비용을 이용하여 경제적 가치를 환산한다.

다섯째, 기후변화 대응을 위한 도시녹지 관리 방안 및 확충을 위한 정책 방향을 제안한다.

3. 조사 대상

3.1 인천시 도시녹지 현황 및 조사대상 녹지

인천시 도시공원의 종류별 현황(조성완료면적)을 파악하여 그 중 면적비율로 전체의 92.7%를 차지하는 도시자연공원(60.5%), 근린공원(28.7%), 어린이공원(3.5%)을 대상으로 종류별 세부 조사대상 공원을 선정하였다. 묘지공원은 면적이 전체의 6.4%를 차지하나 주로 초본 류가 많아서 제외하였으며, 체육공원 및 소공원은 면적 비율이 낮아 제외하였다

표. 인천시 도시공원 현황(※ 조성 완료된 공원, 2009.12월 기준.).

	총계 (m ²)	도시자연 공원	근린 공원	어린이 공원	묘지 공원	체육 공원	소공원
면적	25904637	15664138	7440816	906910	1668729	221521	2523
개소	412	1	79	323	1	6	2
면적비율	100%	60.5%	28.7%	3.5%	6.4%	0.9%	0.0%

다양한 형태의 녹지대 식물·수목에 의한 이산화탄소흡수량을 산정하기 위해 도시공원(도시자연공원, 근린공원, 어린이공원)과 학교생태숲, 옥상녹화 등 10개소의 조사 지점을 선정하였다.

공원별 수목종이 다양하고 수가 많아 모든 수목을 대상으로 하기는 시간적, 물리적 한계로 불가하여, 조사대상 수목종을 선정하기 위하여 네 가지(상록교목, 상록관목, 낙엽교목, 낙엽관목)로 분류하여 종류별 구성 비율 80% 이상을 차지하는 상위 순위의 수목종을 선정하였으며, 계절별 동일 수목을 측정하기 위하여 조사 시 GPS를 이용하여 경위도 좌표를 기록하였다.

표. 조사대상 녹지

명칭	유형별 분류	명칭	유형별 분류
인천대공원	도시자연공원	소래습지공원	습지공원
해돋이공원	근린공원	시청별관옥상	옥상녹화(관)
부평공원	근린공원	두산인프라코어	옥상녹화(민간)
건지공원	어린이공원	문성여상	벽면녹화
남촌초등학교	학교생태숲	봉화로 도시숲	중앙가로녹지

3.2 가로수 현황 및 조사대상 선정

인천시 도로에 식재되어 있는 가로수의 총 수량은 153,124본(2008.12.31기준)으로 식재거리는 829.95km이며 수종은 122종, 노선수는 470개 이다(인천광역시. 2009).

수종별 구성비는 은행나무(29.98%), 느티나무(15.23%), 벚나무(14.29%), 버즘나무(11.44%), 메타세쿼이아(6.37%), 이팝나무(5.82%), 중국단풍(3.97%), 목백합(2.88%), 해송(2.81%), 회화나무(1.35%), 느릅나무(1.11%), 감나무(0.82%) 등의 12종이 96.07%를 차지하였다.

각 수종별로 구·군에 고르게 분포하도록 인천시 도로지도(<http://www.incheon.go.kr/icweb/html>)를

이용하여 구·군별 가로수 현황지도를 작성하였으며, 12종 66개 노선을 선정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 연간 이산화탄소흡수량 산정결과

4.1.1 도시녹지

인천시 도시녹지 수목에 의한 총 연간 이산화탄소흡수량은 10,567.7 ton CO₂/year 로 산정되었으며, 유형별로는 근린공원이 5,357 ton CO₂/year로 가장 높았으며, 옥상녹화에 의해서도 약 8.5 ton CO₂/year 흡수효과가 있는 것으로 추정되었다.

표. 인천시 도시녹지 수목에 의한 총 연간 이산화탄소흡수량

공원 유형	전체면적 (m ²)	시설면적 (m ²)	식재면적 (m ²)	단위면적당 CO ₂ 흡수량	도시녹지별 CO ₂ 흡수량(kg)
도지자연공원	15664000	6265600	9398400	0.35	3,289,440
근린공원	7441000	2976400	4464600	1.20	5,357,520
어린이공원	907000	544200	362800	2.84	1,030,352
소공원	2000	400	1600	2.00	3,200
학교생태숲	241659	24166	217493	4.04	878,672
옥상녹화	9917	992	8925	0.96	8,568
합계					10,567,752

4.1.2 가로수

가로수에 의한 연간 이산화탄소 흡수량은 약 6,647.6ton으로 추정되며, 수종별 연간 이산화탄소흡수량은 버즘나무가 105.2kg CO₂/tree·year로 가장 많았고, 다음으로 목백합 90.1kg CO₂/tree·year 순으로 생장률이 빠른 나무들이 높게 나타났다.

표. 가로수 수종별 연간 이산화탄소 흡수량

수종	수목별 연간 CO ₂ 흡수량 평균 (kg CO ₂ /tree · year)	식재 수량	수량x 평균 (kg CO ₂ /year)
은행나무	30.8	45914	1412819.1
느티나무	21.8	23319	507220.3
벚나무	45.0	21888	985469.5
버즘나무	105.2	17519	1843396.5
메타세쿼이아	50.6	9749	493382.8
중국단풍	53.3	6083	324131.2
목백합	90.1	4416	397957.2
해송	33.6	4297	144429.1

4.1.3 산림

국립산림과학원에서 제시된 산림 단위면적당 연간 이산화탄소 흡수량 0.682kg/m²/year을 이용하여 인천시 산림에 의한 연간 흡수량을 산정한 결과, 2009년도 산림에 의한 연간 이산화탄소흡수량은 276,776ton으로 산정되었으며, 연도별로 산림면적이 조금씩 감소하고 있어 산림에 의한 탄소흡수량도 조금씩 줄어들고 있는 것으로 나타났다.

표. 연도별 산림 면적(산림청 통계자료)

연도	산림면적 (ha)	산림면적 (m ²)	연간이산화탄소 흡수량 (ton CO ₂ /year)
2006년	40,627	406,270,000	277,076
2007년	40,612	406,120,000	276,974
2008년	40,607	406,070,000	276,940
2009년	40,583	405,830,000	276,776

4.2 수목 biomass에 의한 탄소 저장량

탄소저장량은 수목이 성장하면서 여러 해에 걸쳐 수목의 생체(biomass)로 축적한 양을 의미하는 것으로, 한 해 동안 흡수한 연간 이산화탄소 흡수량(수목과 식물의 옆)과는 구별된다.

도시공원, 근린공원, 도시숲 및 가로수 등 도시녹지의 수목은 개체별로 식재 관리 되기 때문에 수종별 개체수를 조사하고 수종별 흉고직경과 수고를 종속변수로 하는 상대생장식을 활용하여 biomass에 의한 탄소저장량을 추정한다.

이관규(2003)의 상대생장식(아래)을 이용하여 수목의 바이오매스를 계산하고 탄소 전환계수 0.5를 이용하여 탄소저장량을 산정하였다.

$$w = a(DBH)^b$$

※ w : 수목의 바이오매스

DBH : 수종별 평균 흉고직경(cm)

활엽수 a : 0.1403, b : 2.4595,

침엽수 a : 0.1915, b : 2.1436

4.2.1 도시녹지

도시녹지 유형별 단위면적당 탄소저장량을 이용하여 산정한 인천시 도시녹지(면적 : 24,265,576m²)수목에 의한 탄소저장량은 총 22,249.6ton C으로 산정되었다. 참고로 경기도 도시공원(학교생태숲, 옥상녹화 미포함) 면적(44,743,031m²) 수목의 탄소저장량은 67,637ton C으로 산정되었다.

표. 인천시 도시녹지 수목에 의한 총 탄소저장량

공원 유형	전체면적	시설면적	식재면적	단위면적당 탄소저장량	도시녹지별 탄소저장량
도지자연공원	15664000	6265600	9398400	1.16210	10921881
근린공원	7441000	2976400	4464600	1.73544	7748024
어린이공원	907000	544200	362800	6.84075	2481824
소공원	2000	400	1600	3.42038	5473
학교생태숲	241659	24166	217493	4.99130	1085573
옥상녹화	9917	992	8925	0.77386	6907
합계					22,249,682

4.2.2 가로수

인천시 전체 가로수 중 96.1%를 차지하는 상위 12종에 의한 탄소 저장량은 총

30,967,763kg(30,967ton)이었으며, 나머지 4%정도를 포함하면, 전체 탄소저장량은 약 31,322,700kg(31,322ton)으로 추정되며, 식재수량과 수목별 평균 탄소저장량을 이용한 수종별 탄소저장량은 은행나무 12,496ton, 버즘나무 5,686ton, 느티나무 4,541ton, 목백합 2,674ton, 벚나무 2,311ton, 메타세퀘이어 1,337ton, 중국단풍 1,176ton, 이팝나무 244ton, 회화나무 230ton,, 해송 140ton, 감나무 107ton, 느릅나무 24ton 순으로 나타났다.

단위수목별 평균 탄소저장량은 목백합 605.6kg, 버즘나무 324.6kg, 은행나무 272.2kg, 느티나무 194.7kg, 중국단풍 193.3kg, 메타세퀘이어 137.1kg, 회화나무 111.5kg, 벚나무 105.6kg, 감나무 85.9kg, 해송 32.6kg, 이팝나무 27.4kg, 느릅나무 14.4kg 순이었으며, 생장율이 가장 크다고 알려진 목백합의 탄소저장량이 가장 컸다.

4.2.3 산림

지구탄소 순환에 대한 산림의 기여도와 관련된 지표로써 국내 산림생태계가 가지고 있는 바이오 매스량을 임목축적량 자료를 가지고 아래와 같이 추정하였다.

$$(1) \text{산림biomass} = \text{임목축적량} \times D \times \text{BEF} \times (1+R)$$

$$(2) \text{산림수목의 탄소저장량} = \text{산림biomass} \times 0.5(\text{탄소전환계수})$$

표. 산림 구분별 계수

계수	침엽수	활엽수	혼효림
D : 줄기밀도(톤/m ³)	0.48	0.65	0.56
BEF : 바이오매스 확장계수	1.29	1.22	1.25
R : 지상부에 대한 지하부 비율	0.28	0.41	0.34

년도	바이오매스			바이오매스 합계	탄소저장량 (ton)
	침엽수	활엽수	혼효림		
2006년	487296	1073328	1032049	2592673	1296336
2007년	516317	1125143	1073834	2715293	1357647
2008년	547290	1177726	1119350	2844366	1422183
2009년	582044	1234525	1166183	2982752	1491376

인천시 전체 산림 수목에 의한 탄소저장량은 1,491,376ton(2009년 임목축적량자료 이용 기준)으로 산정되었으며, 구·군별 비교 시, 산림면적과 임목축적량이 많은 강화군> 옹진군> 서구> 중구> 남동구> 계양구> 부평구> 연수구> 남구> 동구 순으로 나타났다.

4.3 수목 생태환경 적응도 평가

도시녹지별로는 인천대공원 수목의 생태환경적응도가 가장 양호하며, 다음으로 해돋이 공원이었으며, 수목의 스트레스가 가장 높은 곳은 옥상녹화를 위해 식재된 두산인프라코어 옥상의 수목이었는데, 이는 옥상이라는 열악한 환경에 의한 것으로 판단되며, 다음은 소래습지공원이었는데 이 곳은 해안 염습지라는 지역적, 토양적 특성에 의한 것으로 판단된다.

표. 도시녹지별 전체 수목의 평균 최적양자수율Y(II)

해돋이 공원	인천 대공원	건지 공원	소래 습지	부평 공원	봉화로 도시숲	남촌 초교	두산 옥상	민원동 옥상
0.260	0.280	0.205	0.196	0.233	0.222	0.220	0.190	0.203

※ 수치가 낮을수록 스트레스가 높음

가로수의 경우, 수종별로는 벚나무와 느티나무가 가장 많은 스트레스를 받고 있는 것으로 나타났으며 노선별로는 서구(서곶로, 경명로)의 은행나무와 벚나무가 가장 스트레스 정도가 높았는데, 이는 교통량, 대기오염, 토양영양성분, 수분함량 등 다양한 원인에 의한 영향으로 이에 대한 추가 조사가 필요한 것으로 판단된다.

4.4 수목의 대기정화효과 및 경제적 가치 환산

인천시 도시녹지 수목에 의한 총 연간 대기오염물질(CO₂, SO₂, NO₂)의 흡수량의 비율은 도시녹지 수목 3.6%, 가로수 2.3%, 산림 94.1%로 산림의 흡수량이 가장 큰 것으로 나타났다.

표. 도시녹지 수목과 가로수 및 산림에 의한 연간 흡수량(kg/year)

연간흡수량 (kg/year)	CO ₂	SO ₂	NO ₂
도시녹지 수목	10,567,752	4,772	4,654
가로수	6,647,583	3,002	2,928
산림	276,776,060	124,970	121,902
합계	293,991,395	132,744	129,484

도시녹지 수목과 가로수의 대기정화 효과의 경제적 가치 환산은 연간 CO₂흡수량은 탄소배출권거래시장의 시장가격 약 31,000원/ton (www.meets.or.kr, 2010년 9월 10일 마감), SO₂ 와 NO₂의 연간 흡수량은 오염물질 당 EU(유럽연합)의 환경비용 추정치(※ 오염물질별 대기오염의 사회적 한계비용을 계산한 것으로 사회적 비용에는 인체피해(조기 사망률, 질병 유발 등), 농작물 생산성 감소, 건물 및 구조물에 대한 산성비 영향 등의 피해 비용이 총체적으로 고려 된 것임)를 적용하여 경제가치로 환산하였다. EU의 환경비용은 SO₂ 104,040원/kg, NO₂ 9,165원/kg을 적용하였다(안산환경기술개발센터, 2007).

도시녹지 수목과 가로수, 산림에 의한 CO₂, SO₂, NO₂의 연간 흡수량을 경제적 가치로 환산한 결과 총 약 241억원의 가치가 있는 것으로 나타났다.

표. 도시녹지 수목과 가로수의 대기정화의 경제적 가치(원/year)

경제적 가치	CO ₂ 흡수	SO ₂ 흡수	NO ₂ 흡수
도시녹지 수목	327,600,312	496,434,263	42,657,686
가로수	206,075,073	312,279,089	26,833,570
산림	8,580,057,860	13,001,925,030	1,117,231,588
합계	9,113,733,245	13,810,638,381	1,186,722,844
총금액	24,111,094,470		

5. 정책건의

5.1 도시 탄소흡수원 확대 및 효과 증진방안

5.5.1 탄소흡수공원 조성

도시 내 탄소저감을 위해 탄소흡수공원을 조성하고 단위면적당 이산화탄소흡수

효과를 높이기 위해서 도시공원 전체면적 중 시설면적(근린공원의 경우 최대 40%)이 많은 비율을 차지하고 있는 경우, 가능한 시설면적을 줄이고 수목을 많이 식재하여, 수목 식재밀도를 높여야 한다.

이번 조사결과, 인천시 도시녹지 유형별 단위면적당 이산화탄소 흡수량은 0.7 ~ 40.4ton/ha/year로 유형별 편차가 크게 나타나, 도시녹지 유형별로 더 많은 수목 식재가 가능하므로, 녹지 유형과 녹지 조성 개념에 맞는 수목을 선정하여 식재밀도를 높이면 탄소흡수량이 높아지고 또한 시설유지관리비도 감소하는 효과가 있어 이에 대한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

5.5.2 학교 숲, 옥상녹화, 벽면녹화 등 자투리 땅 공원조성

학교생태숲, 옥상녹화, 벽면녹화 등 다양한 형태의 도시녹지를 조성하여 탄소흡수원 확대를 위한 노력이 필요하다.

5.5.3 자연형하천(수변녹지대) 조성

도심의 오염된 하천 및 복개된 하천을 가급적 자연형 하천으로 조성하여 적절한 수량을 확보하여 탄소를 용해하는 기능을 확보하며, 하천 둔치에 다양한 수변 수목을 식재하여 녹지가 형성될 수 있도록 고려하고, 수생식물을 이용한 습지를 조성하여 대기 중 이산화탄소를 흡수할 수 있도록 복원하는 방안도 검토하여야 한다.

5.5.4 가로수 및 도로변 녹지대 관리

다양한 수령 및 수종을 지닌 다층 구조 (관목+아교목+교목)의 군집을 조성하여 바이오매스를 증가시키고, 가로수와 가로수 사이 공간을 잔디 또는 관목으로 식재하여 빗물 흡수, 증발산이 이루어질 수 있도록 녹화할 필요가 있으며, 가로수 보호덮개가 적기에 교체되지 않아 수목의 성장에 방해를 주는 경우도 있어 주기적 관리가 필요하다.