정책연구보고서 2009-03

기후변화협약과 대전시 산림부문의 기초연구

정 환 도

대전발전연구원
DAEJEON DEVELOPMENT INSTITUTE

연구진

연구책임	• 정환도 / 도시기반연구실 연구위원

- 목 차 -

제1장 연구의 개요 ····· 3

제1절 연구의 필요성 및 목적 ····· 3

제2절 연구의 방법 및 수행체계 ····· 4

제2장 기후변화와 산림의 이산화탄소 흡수량 ····· 9

제1절 기후변화와 산림의 관계 ····· 9

1. 기후변화에서 산림의 의의 ····· 9

2. 산림 생태계에 미치는 영향 ····· 11

3. 기후변화협약과 산림의 역할 ····· 17

제2절 산림의 이산화탄소 흡수량 추정 ····· 22

1. IPCC의 산림부문 이산화탄소 흡수량 추정방법론 ····· 22

2. 우리나라 산림과 흡수량 ····· 25

제3절 녹지사업 사례 및 선행연구 분석 ····· 30

1. 녹지조성사업 사례 분석 ····· 30

2. 산림부문 선행연구 분석 ····· 40

제3장 산림부문 이산화탄소 흡수량 산정 및 효과분석 ····· 49

제1절 산림부문 이산화탄소 흡수량 연구방법 ····· 49

1. 연구대상지의 선정 ····· 49

2. 대전시 산림 자료의 수집 ····· 52

3. 산림의 이산화탄소 흡수량 계산방법 ····· 55

제2절 산림부문 이산화탄소 흡수량 산정 및 효과분석 ····· 57

1. 이산화탄소 흡수량 산정 ····· 57

2. 이산화탄소 흡수량 효과 분석 ····· 61

제4장 결론 및 정책제언 ····· 67
제1절 결론 ····· 67
제2절 정책제언 ····· 69

참고문헌 ····· 75

부 록 ····· 77

- 표 목 차 -

<표 2-1> 기후변화가 산림 분야 전반에 미치는 영향 ····· 12
<표 2-2> 마라케시 합의문에서의 산림의 정의 ····· 19
<표 2-3> 교토의정서의 산림경영에 의한 국가별 흡수원 인정 한도 ····· 21
<표 2-4> IPCC에서 정의하는 육상생태계의 저장고 ····· 22
<표 2-5> 법률에 따른 산림의 구분과 면적 ····· 27
<표 2-6> 토지이용 변경 및 임업부문 온실가스 흡수량 ····· 29
<표 2-7> 시원한 사회 만들기의 경제적 가치 ····· 33
<표 2-8> 연도별 1억 그루 나무심기 계획 ····· 36
<표 2-9> 광주 1,000만 그루 나무심기 추진계획 ····· 39
<표 2-10> 신갈나무와 굴참나무, 졸참나무의 지상부 탄소 함량과
탄소 고정량 ····· 44
<표 3-1> 연구대상지별 조사대상 수목 본수 ····· 53
<표 3-2> 산림의 이산화탄소 흡수량 및 산소 발생량 ····· 58
<표 3-3> 수목원과 도시 숲의 탄소 흡수량 및 산소 발생량 산정 ····· 59
<표 3-4> 월평공원의 탄소 흡수량 및 산소 발생량 산정 ····· 60
<표 3-5> 연구대상지의 탄소 흡수량 및 산소 발생량 산정 ····· 61
<표 3-6> 연소에 의한 이산화탄소 배출량과 연구대상지의 흡수량 비교 ····· 63
<표 3-7> 수송부문 및 전기 사용에 의한 이산화탄소 배출량과
연구대상지의 흡수량 비교 ····· 64

- 그 림 목 차 -

〔그림 1-1〕 연구의 수행체계 ····· 6
〔그림 2-1〕 산림생태계와 대기 간의 탄소 순환 ····· 10
〔그림 2-2〕 기후대의 변화 예측 ····· 13
〔그림 2-3〕 언론에 보도된 기후변화의 영향 ····· 15
〔그림 2-4〕 기후변화와 산림간의 관계 모식도 ····· 16
〔그림 2-5〕 기후변화협약 당사국 총회 주요 진행 경과 ····· 18
〔그림 2-6〕 연도별 산림 축적 현황 ····· 25
〔그림 2-7〕 산림의 공익 기능 평가액 ····· 26
〔그림 2-8〕 1인당 생활권 도시림 면적 ····· 28
〔그림 2-9〕 아크로스 후쿠오카의 스텝정원 전경 ····· 31
〔그림 2-10〕 서울숲의 조성도 ····· 34
〔그림 2-11〕 경기도의 도시 녹화 사업 전후 전경 ····· 35
〔그림 2-12〕 푸른 대구 가꾸기 사업의 추진 체계 ····· 38
〔그림 3-1〕 한밭수목원 구성도 ····· 50
〔그림 3-2〕 정부청사 도시 숲 조성 기본계획 조감도 ····· 51
〔그림 3-3〕 대전시 월평공원 항공사진 ····· 52

제 1 장

연구의 개요

제1절 연구의 필요성 및 목적
제2절 연구의 방법 및 수행체계

제 1 장 연구의 개요

제1절 연구의 필요성 및 목적

지구온난화로 전 세계 평균 기온은 지난 100년 동안 0.74℃ 상승하였으며, 극지방 얼음이 10년 동안 2.7%감소하였다. 이로 인해 지구 해수면은 평균 1961~2003년 동안 매년 1.8 mm씩 상승하는 등 이상 현상이 세계 곳곳에서 나타나고 있다.

우리나라의 경우, 한반도의 기후변화 진행 속도는 세계 평균을 상회하고 있다. 특히 2100년경에는 한반도 기후가 아열대로 변하여 현재 우리나라를 덮고 있는 낙엽 활엽수는 북쪽으로 후퇴하고, 고산지대의 식생은 사라질 위협에 처할 것으로 예상된다. 뿐만 아니현재의 벼 품종은 고온에 적응하기 어려워 수확량이 최고 30~40% 감소할 것으로 전망된다.

이러한 가운데 온실가스 저감에 대한 논의는 매우 활발하게 이루어지고 있다. 구체적으로 온실가스 저감방식은 배출원(source, 대부분 에너지소비)을 줄이는 방법과 흡수원(sink, 탄소동화작용)을 증가시키는 방법이 있다. 그 가운데 현재까지 온실가스 저감방식의 대부분은 에너지 및 산업공정에서 발생하는 배출량[1]에 대한 저감방식에 그 초점이 맞춰져 있다.

그러나 교토의정서 이후 산림이 포함된 흡수원 조성 활동이 온실가스 감축의무 이행수단으로 인정되면서 지구온난화를 완화시키는 산림의 역할에 대한 관심이 증가하고 있는 상황이다[2].

식물의 탄소동화작용은 대기 중 탄소를 매우 효율적으로 고정시키는 시스템이기

---

1) 우리나라는 에너지 및 산업공정 부문에서 배출되는 온실가스의 양이 전체 온실가스 배출량의 약 95%를 차지하고 있으며(2005년 기준), 나머지 5% 가량만이 농업 및 토지 이용과 폐기물, 그리고 기타 부문에서 발생되고 있다.

2) 특히 교토의정서 이후 발리로드맵에서는 식물의 탄소동화작용에 의한 저감방식에 대하여 구체적으로 논의한바 있다.

때문에 도시 내 녹지 확충사업은 현실적으로 매우 용이한 이산화탄소 흡수 수단이다. 뿐만 아니라 도시 숲은 경관 가치가 크고, 시민들에게 휴식공간을 제공할 수 있으며, 자연생태계를 보전하는 데에 기여할 수 있다는 장점이 있다는 점에서 매우 유용한 정책 수단의 하나이다. 따라서 여러 지방자치단체에서 녹지 조성이 활발히 이루어지고 있다.

한편, 대전시에서도 정부청사 도시 숲과 한밭 수목원, 유성 시민의 숲(유림공원)은 이미 조성이 완료된 상황이며, 3천만그루 나무심기 사업은 향후 지속적으로 중점 추진사업이다.

그러나 대전시의 경우, 구체적으로 나무를 어디에 어떻게 식재해야 그 효과를 극대화할 수 있는지에 대한 충분한 논의는 이루어지지 않은 채 사업이 추진되고 있는 실정이다. 또한 나무심기 사업이 지구온난화에 얼마만큼 기여하는가 등에 대한 온실가스 기여율 등의 연구진행은 많이 미비한 상황이다.

따라서 대전시에서는 녹지 공간 확충 및 나무심기 노력이 실제로 이산화탄소 흡수에 얼마나 효과가 있는지에 대하여 실증적이고 현실적인 연구가 필요한 상황이다.

본 연구에서는 대전시 산림 중에서 인공림을 식재한 한밭수목원과 도시 숲, 자연림상태인 월평공원에 대하여, 탄소고정량 및 산소발생량 등에 대한 시험론적 연구를 시도하였다. 더불어 이들 연구에서 제시된 탄소고정량은 대전시가 계획 및 진행중인 3천만그루 나무심기 사업의 효과성 검증에도 기여할 것이다.

제2절 연구의 방법 및 수행체계

본 연구는 대전시에서 추진하고 있는 여러 도시 녹지사업의 탄소 및 이산화탄소 흡수량과 산소 발생량 산정에 대한 기초연구이다.

일반적으로 자연림과 인공림은 생육조건이나 식재조건이 달라서 국립산림과학원에서 제시하는 이산화탄소 흡수량 산정 방법을 그대로 적용하는 것에는 어려움이 있다.

기존의 연구에서는 기후변화협약의 진행 현황 및 대응방안에 대한 일반적인 논의를 다루거나, 우리나라 기후변화 실태에 대한 탐색적인 연구가 상당수 이루어져 왔다. 온실가스 저감에 대해서는 산업, 에너지 및 농업분야의 공정 개선 등과 같은 저감방안에 관한 연구가 주를 이루고 있다. 실질적으로 대전시와 같은 도시 내 녹지 공간이 이산화탄소를 비롯한 온실가스 저감에 어떠한 효과가 있는지에 관한 연구는 찾아보기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 대전시 내의 녹지 사업으로 조성된 인공림과 자연산림공간을 연구 대상지로 선정하였다.

본 연구의 방법 및 수행 체계는 다음과 같다.

먼저 기후변화와 산림의 관계를 살펴봄에 있어서 기후변화와 산림의 상호작용을 살펴보기 위하여 기후변화에서 산림의 의의와, 지구온난화가 산림에 미치는 영향을 파악하였다. 그리고 기후변화협약에서 흡수원 활동으로 인정되는 산림의 역할과 흡수량 산정 방법에 대하여 고찰하였다. 아울러, 세계 각지의 도시 녹지 사업 사례를 분석하는 한편, 우리나라의 산림부문에 대한 선행 연구를 검토하였다.

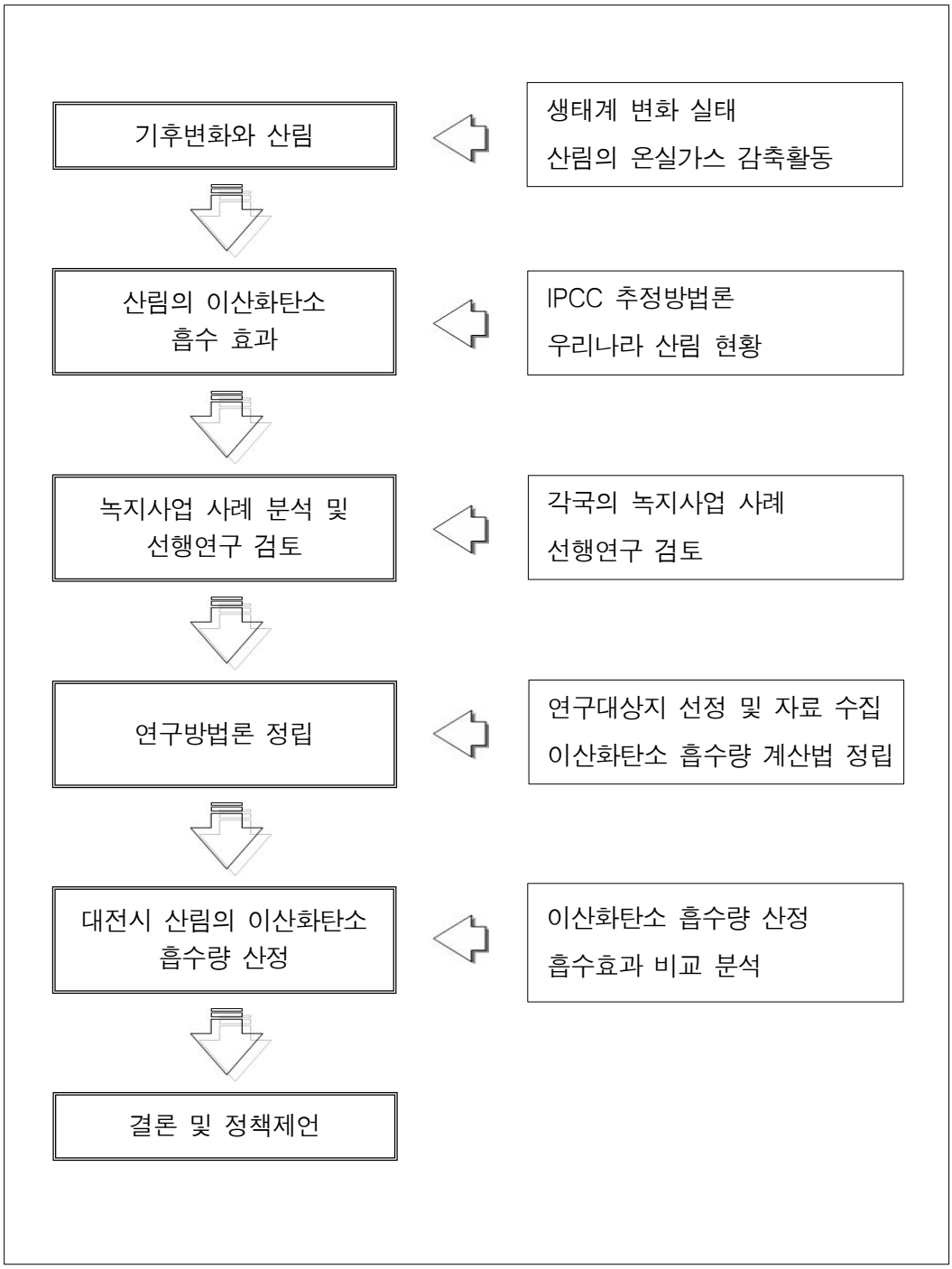
다음으로, 본 연구의 대상지 선정과 자료 수집, 계산 등의 연구방법론을 정리하였고, 이에 의거하여 탄소 및 이산화탄소 흡수량과 산소 발생량을 산정하였다. 그리고 대전시의 주요 이산화탄소 발생원인 에너지 소비에 비하여 산림부문의 이산화탄소 흡수 효과를 분석하였다.

마지막으로, 본 연구의 한계점과 시사점을 도출함으로써 나무심기 사업의 효율성을 최대화할 수 있는 방안을 모색하고자 하였다. 우선, 도시 녹지 사업의 효과를

보다 정밀하게 산정하기 위하여 지속적인 모니터링과 통계자료 구축의 필요성을 피력하였다. 또한 도시 내 이산화탄소 흡수원 확충을 위한 방안을 모색하여 향후 대전시가 우선적으로 추진해야 하는 정책 방안을 제시하는 등 정책제언도 하였다.

본 연구는 대전시 녹지 공간의 온실가스 저감효과를 산정하기 위한 기초연구이다. 2013년 이후 지방자치단체에 온실가스 감축 할당량이 부여될 상황에 대비하여 대전시는 현재 추진하고 있는 도시 녹지 조성 사업의 실효성을 확보하고, 이산화탄소 저감 효과를 파악할 필요가 있다. 따라서 지역 실정에 적합한 후속 정책을 수립하는 데에 있어 본 연구 결과가 기초 자료로 활용 수 있을 것이다.

[그림 1-1] 연구의 수행체계



제 2 장

기후변화와 산림의 이산화탄소 흡수량

제1절 기후변화와 산림의 관계

제2절 산림의 이산화탄소 흡수량 추정

제3절 녹지사업 사례 및 선행연구 분석

제 2 장 기후변화와 산림의 이산화탄소 흡수량

제1절 기후변화와 산림의 관계

1. 기후변화에서 산림의 의의

기후와 산림생태계 사이에 어떠한 관계가 있는지, 혹은 어느 기상 현상이 산림생태계에 어떠한 영향을 미치는지를 이해하기 위해서는 먼저 산림생태계에 대한 이해가 필요하다. 어느 한 현상의 변화는 생태계의 다른 구성요소들에게 영향을 미치고, 이것은 곧 생태계 구성요소들의 기능 변화를 야기하게 되며, 이 기능의 변화는 다시 구성요소들에 영향을 주는 되먹임(feedback) 과정이 있는 하나의 복잡한 시스템이기 때문이다.

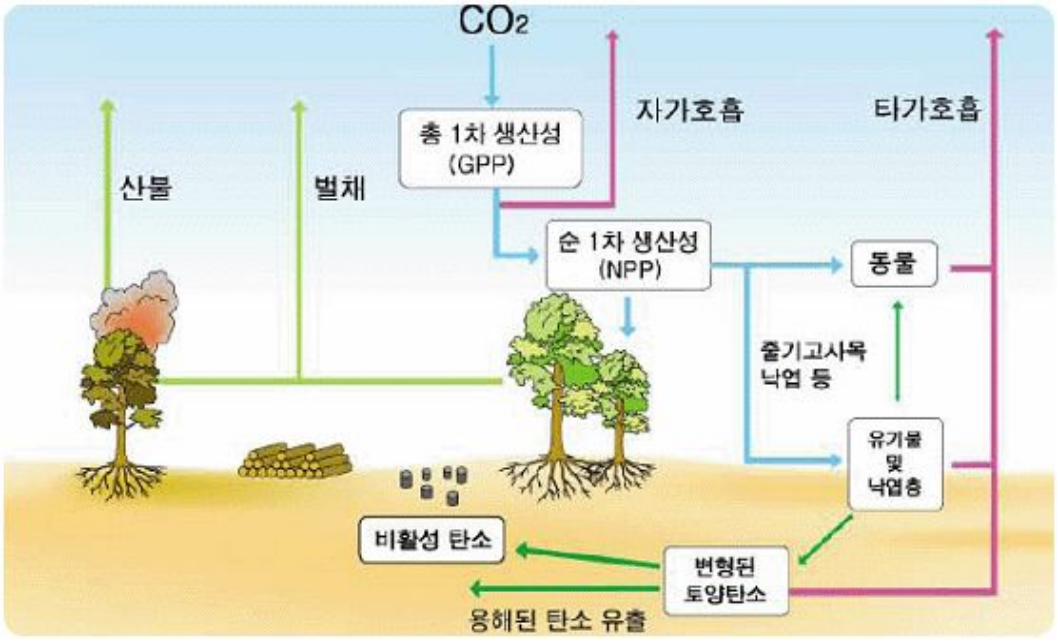
육상생태계는 바이오매스, 낙엽층과 부식층의 유기물, 그리고 토양에 탄소를 저장하고, 1차 생산자인 식물에 의한 광합성, 호흡, 분해, 연소 등의 과정을 거치면서 대기권과 탄소를 교환함으로써 지구의 탄소순환에 커다란 역할을 담당하고 있다(임종환과 신준환, 2005).

즉, 식물은 광합성을 통하여 지구온난화의 주요 원인인 이산화탄소를 식물체 내에 흡수하고 산소를 방출하며 생장한다. 이러한 탄소동화작용으로 인하여 바이오매스와 토양 등에 탄소가 저장되는데, 이 과정에서 산림은 온실가스 흡수원[3]로서의 역할을 수행하게 된다. 단, 여기서 저장된 탄소 중 50% 정도는 식물의 호흡으로 배출되고, 나머지는 유기물 분해 및 산불 등으로 다시 대기 중으로 방출되어 탄소순환이 이루어진다.(그림 2-1 참조)

---

3) 온실가스 흡수원(sink)은 특별한 추가적인 노력을 크게 들이지 않고도 온실가스를 경제적으로 저감할 수 있는 수단으로 간주되고 있다. 흡수원은 크게 두 가지로 나뉘는데, 하나는 교토의정서 제3조 3항에서 규정하는 신규조림, 재조림, 산림전용 등에서 발생하는 온실가스 흡수를 의미하고, 다른 하나는 교토의정서 제3조 4항에서 규정하고 있는 산림관리 등 인간의 부가적인 활동으로 발생하는 온실가스 흡수를 가리킨다. (정병헌(2006), 기후변화협약과 산림, 국립산림과학원)

[그림 2-1] 산림생태계와 대기 간의 탄소 순환[4)]



자료 : 기후변화와 산림 (http://carbon.kfri.go.kr)

산림은 육지 면적의 약 1/3 정도이고, 지구 전체 광합성의 약 2/3 가량을 담당하고 있다. 지구 전체 산림생태계에 저장되어 있는 탄소량은 5,500억 톤 정도로써, 육상생태계 탄소의 80%와, 토양 내에 있는 탄소의 40%에 해당한다. 나무에 저장된 탄소량은 해양과 대륙에 비하면 많은 양이 아니라고 할 수 있으나, 대기와의 교환양이 매우 크다. 실제로 매년 광합성에 의하여 대기와 산림 사이에 교환되고 있는 탄소의 양은 약 1,200억 톤(저장량의 22%)으로 추정된다.[5) 6)]

한편, 산림을 파괴하여 벌채한 목재를 태우거나 방치하여 부패하면 식물체에 저장되어 있던 탄소가 이산화탄소로 변환되어 대기 중에 발산되기 때문에 이 경우 산림이 온실가스 배출원으로 작용하게 된다.

---

4) 생물생산의 개념에서 총 1차 생산성(GPP, gross primary productivity)은 광합성으로 흡수한 이산화탄소량을, 순 1차 생산성(NPP, net primary productivity)은 GPP에서 생장 과정에서 식물체의 호흡을 제외한 양을 의미한다. 즉, 순 1차 생산성 = 총 1차 생산성 - 식물체 호흡이다.

5) 산림청(2007), 기후변화와 산림

6) 기후변화와 산림 (http://carbon.kfri.go.kr)

이처럼 산림은 탄소의 흡수, 저장 및 배출 과정, 물 순환 과정, 미기후 변화 등에 관여함으로써 기후변화에 영향을 미친다. 상술하였듯이 산림이 훼손되거나 온난화로 온도가 높아지면 나무와 토양에 있는 탄소가 대기 중으로 배출되기 때문에, 나무와 토양에 더 많은 탄소를 저장하기 위해서는 산림의 훼손 및 용도 변경을 억제하고, 훼손된 산림생태계는 복원하거나 복구하여야 한다. 또한 산불이나 산사태와 같은 산림재해를 예방하며, 숲 가꾸기 등 산림경영을 통하여 탄소의 흡수·저장 능력을 향상시켜야 한다.

즉, 산림을 통해 지구온난화를 완화시키기 위해서는 산림면적을 확대하고 숲을 건강하게 가꿔서 흡수원으로써의 역할을 더욱 잘 할 수 있게 하는 반면, 산림파괴와 산불 등 인위적 재해로 인한 배출원으로써의 역할을 억제해야 한다.

2. 산림 생태계에 미치는 영향

우리나라는 국가 주도의 산림녹화와 연료 공급원의 변화로 인하여 1960년대에는 10 ~ 30 m^3/ha이었던 임목축적량이 2005년 80 m^3/ha로 증가하였다. 그러나 솔잎혹파리 등 해충의 확산과 잦은 산불 및 산사태의 발생으로 과거 산림의 50% 이상을 차지하던 소나무의 점유 비율이 25% 정도로 감소되었으며, 반면에 졸참나무, 신갈나무 등 낙엽활엽수 비율이 증가하는 산림 조성의 변화를 가져왔다.

한편, 기후변화가 산림생태계에 미치는 영향은 나라마다 다르고, 같은 나라에서도 지역에 따라 차이가 있으며, 모니터링 기간 및 수준에 의해서도 다르게 나타난다. 비록 정도의 차이가 있지만, 기후변화 현상은 명백히 나타나고 있으며, 우리나라에서도 역시 기온, 강수 등의 다양한 기후요소별로 변화가 관측되고 있다.

특히 지구온난화는 산림생태계에 위협적인 요인으로 부각되고 있는데, 기온 상승으로 산림 식생대의 분포가 이동하고, 생물의 다양성 변화가 예상된다. 뿐만 아니라, 병해충이 더 넓은 범위까지 빠르게 확산되며, 산불과 산사태 및 홍수 등의 발생 형태와 빈도가 증가될 것이다. 아울러 숲의 생산성과 토양유기물의 분해 속도 변화에도 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.

<표 2-1> 기후변화가 산림 분야 전반에 미치는 영향

영역	- 생장기간의 연장 및 이산화탄소 농도 증가에 기인한 생산성 향상 (최고 25%까지 가능)
	- 생산성 증가는 지역에 따라 강수량의 감소, 양분의 불균형, 대류권의 오존 농도 증가 등의 이유로 제한적이 될 가능성이 있음
	- 이산화탄소 농도 증가에 따라 증발산이 증가하고, 이 결과 수분 손실이 증대되어 임관의 통도성 감소
	- 평균 풍속 강풍에 의한 피해 증가
	- 병해충의 발생 증가
	- 일부 종에서 생물계절학적 변화로 서리 피해 증가
	- 수목 한계선의 상승으로 임목지 증가
	- 질소 배출량 증가로 인한 임목지 하층식생의 변화
	- 개화 및 결실 변화로 일부 종의 천연 갱신 가능성 변화
	- 도시에서의 다양한 용도 및 휴양 목적 이용을 위한 산림 자원의 수요 증가 - 재생 자원으로서의 가치 상승으로 산림에 대한 사회 · 경제적인 요구 증가
	- 임목의 상업적 이용에 따른 수종 분포도 변화
	- 일부 지역 특정 종의 경우 극심한 건조로 인한 고사 증가
	- 산불 발생 위험도 증가
	- 목재의 질 저하 가능성

자료 : 한화진 외(2005), 기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 I, 한국환경정책·평가연구원

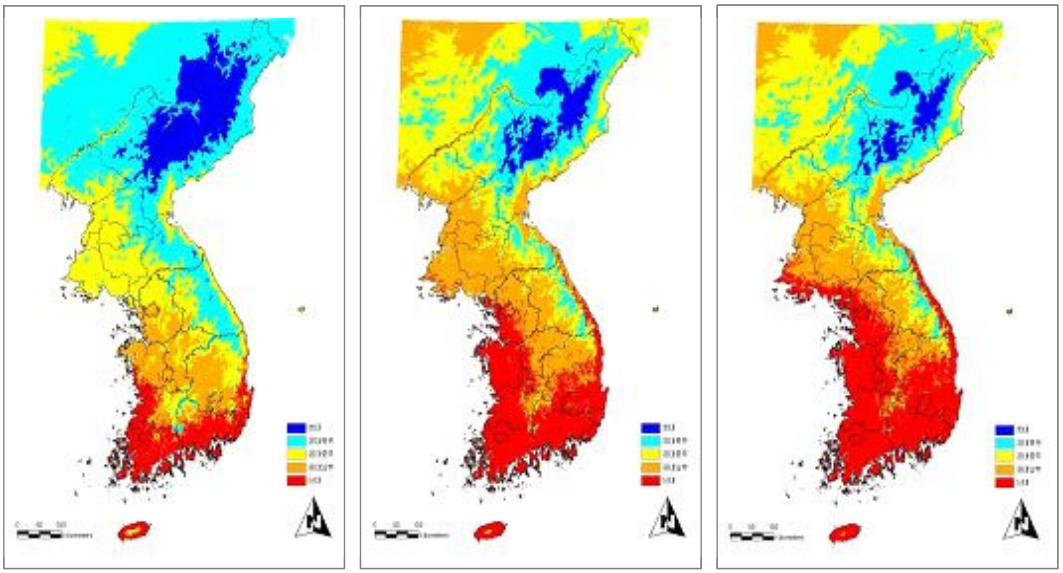
1) 산림 식생대의 이동

산림식생대가 남에서 북으로, 그리고 저지대에서 고지대로 이동하게 되면서 기존에 서식하던 식물 종들의 분포 면적이 줄어들고 있으며, 이에 따라 소멸될 위험성이 높아지고 있다. 평균 기온이 1℃ 상승하면, 중위도 지역의 경우 현재 기후대는 북극 쪽으로 약 150 km, 고도는 위쪽으로 150 m 정도 이동한다. 만약 100년간 지구 평균기온이 2℃ 상승할 경우 기후대는 북극 쪽으로 150 ~ 550 km, 고도 150 ~ 550 m로 이동하지만, 나무의 이동속도는 4 ~ 200 km/℃이기 때문에 산림이 기후대의 이동속도를 쫓아가지 못하게 된다.

따라서 IPCC가 우려하는 최악의 시나리오와 같이 기온이 현재보다 6℃ 증가할 경우, 100년 후 우리나라는 기존에 서식하고 있는 다양한 산림 생물들이 고사되거나, 고립되는 등 멸종 위기에 다다를 수 있을 것이다. 아울러, 현재의 난대, 온대 남부·중부·북부의 식생대는 북상하게 되고, 현재의 난대림 지대는 아열대 기후대로 바뀔 것이라고 예측하고 있다(그림 2-2 참조).

[그림 2-2] 기후대의 변화 예측

(a) 현재 (b) 2℃ 상승 (c) 4℃ 상승



2) 산림 구성 및 생산성 변화

기후변화로 인하여 지구의 평균 기온이 상승하면 강수량의 증가는 물론이거니와 대기 중 이산화탄소 농도 역시 증가하게 되는데, 미시적 관점에서 보면 이러한 현상들이 산림의 생산성을 일정 부분 향상시키는 결과를 가져온다. 그러나 기온 상승이 지속되면 수목이 받는 스트레스를 증가시켜 결국 생산성 저하를 야기하게 된다. 뿐만 아니라, 산림 재해나 병충해 발생의 확산을 유도할 우려가 있으며, 토양과 산림 유기물의 분해 속도가 촉진되기 때문에 산림에서의 탄소 배출량이 증가할 것이다.

또한 기후가 변화하면, 현재의 식물군집 구조가 변하게 되어 산림을 구성하는 수종 구성이 침엽수에서 활엽수로 바뀔 것으로 예측된다. 실제로 온대 중부지역을 중심으로 시뮬레이션 모델을 이용하여 산림생산성 변화를 예측하였을 때, 기온이 상승함에 따라 온대 북부지역에서 잘 자라는 잣나무, 신갈나무, 굴참나무와 소나무가 감소하는 것으로 나타났다. 반면에 온대 남부지역의 주요 수종인 졸참나무, 서어나무, 개서어나무 등이 증가하는 것으로 분석되었다.

3) 생물 계절 및 다양성 변화

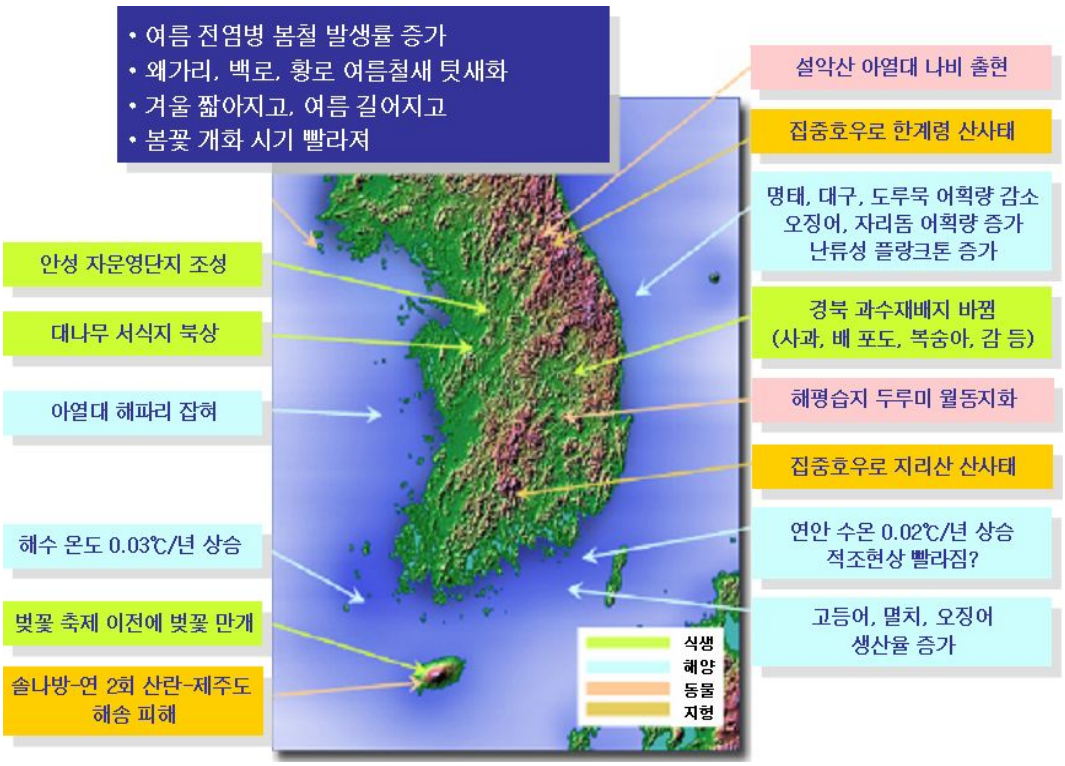
기후변화는 생물 계절과 생물 다양성에도 영향을 미치게 된다. 즉, 기온이 상승하면 나무에서 잎이 나오는 시기가 빨라지고 꽃이 피는 시기 또한 앞당겨질 수 있다. 실제로 우리나라 홍릉수목원의 꽃나무 47종 중 38종이 지난 40년간 평균 7일 정도 개화 시기가 빨라졌으며, 향후 2011 ~ 2040년 사이의 벚꽃 개화 시기는 지금보다 2 ~ 20일의 범위에서, 평균 9일 정도 단축될 것으로 보고된 바 있다(윤진일, 2006).

더불어 꽃의 수정과 관련된 나비류 등 곤충류와 양서류의 출현 시기가 빨라지는 반면, 조류의 부화일수는 줄어들 수 있다. 따라서 서식지가 달라지거나 먹이 자원이 변하며, 이는 야생동물의 행동 특성에도 많은 영향을 주기 때문에 생태계 전반에 미치는 영향으로 확대될 수 있다.

4) 산림생태계의 교란

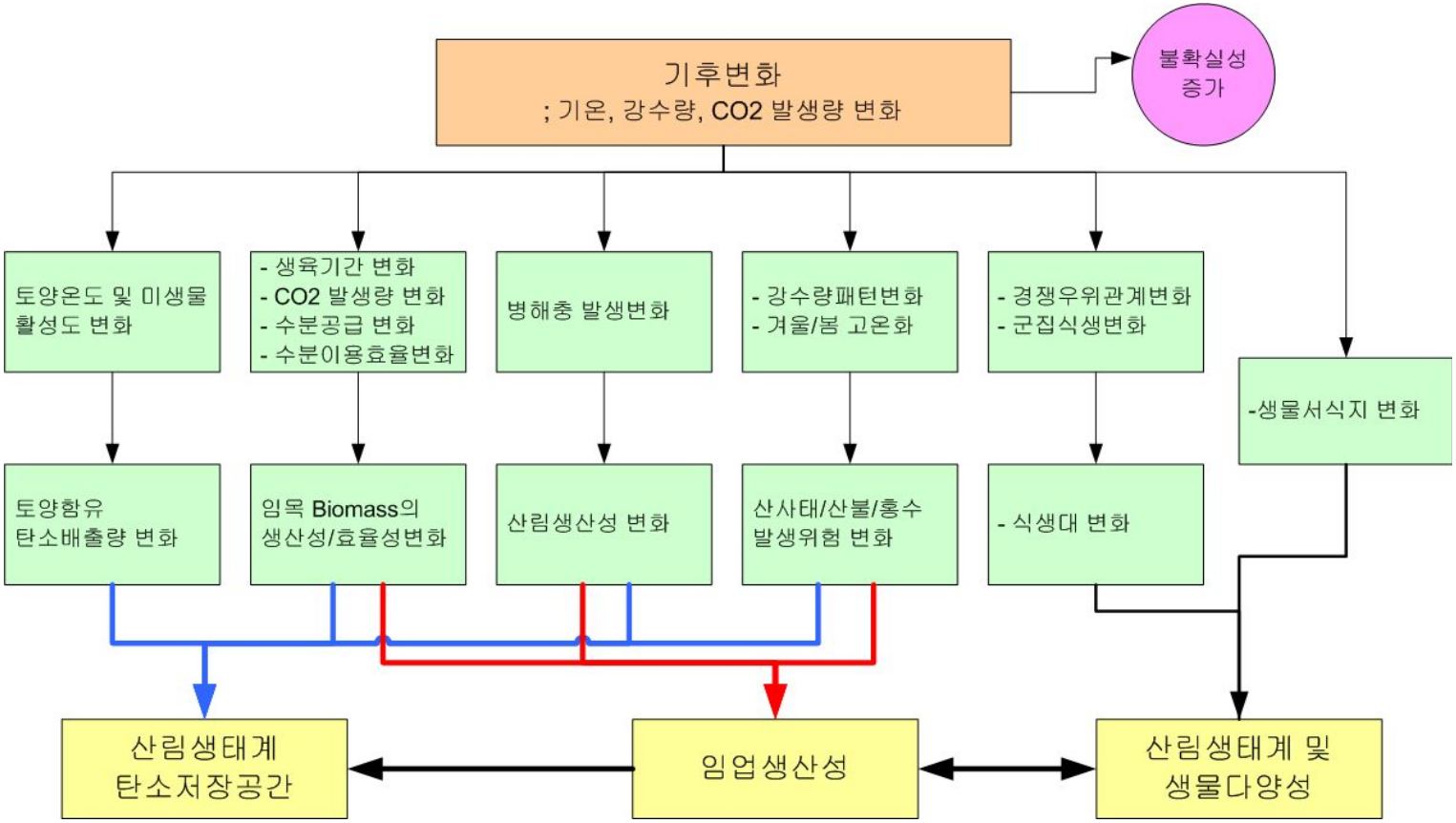
지구온난화가 지속될 경우 가뭄으로 인한 대형 산불, 집중호우로 인한 산사태, 열대성 수목병해충의 발생 등 산림생태계의 교란이 우려된다. 실제로 기온이나 강수량이 증가함과 동시에 변동 폭이 커지면서 겨울철 이상고온, 아열대 게릴라성 폭우, 대형 산불, 봄철 가뭄 등 피해가 늘어나고 있다. 이와 함께 아열대성 병해충이 유입되고 생육환경이 좋아지면서 발생빈도도 증가할 수 있다. 수종의 자연적 적응 범위를 벗어난 빠른 기온상승은 우리나라 산림의 주요 수종인 소나무, 참나무류, 잣나무나 낙엽송 등의 고온 스트레스를 높이고 병충해의 침입으로 산림쇠퇴의 확산이 우려된다.

[그림 2-3] 언론에 보도된 기후변화의 영향



자료 : 기상청(2008), 기후변화 현황 및 대책 수립

[그림 2-4] 기후변화와 산림간의 관계 모식도



3. 기후변화협약과 산림의 역할

1) 기후변화협약과 산림

지구온난화에 따른 기후변화에 적극 대처하기 위하여 국제사회는 1988년 IPCC를 설치하였고, 1992년 6월 유엔환경개발회의에서 기후변화협약[7]을 채택하였다. 우리나라는 1993년 12월에 세계에서 47번째로 가입하였고, 2008년 7월을 기준으로 192개국이 가입하여 협약에 동참하고 있다.

한편, 1997년 12월(교토, 일본) 제3차 당사국 총회(제 3.3, 3.4조)에서는 산림관련 토지이용 변화를 수반하는 신규조림, 재조림, 산림전용, 산림경영 등 흡수원 관련 활동이 온실가스 감축의무 이행수단으로 인정되었다. 그 후, 2001년 11월(마라케시, 모로코)에 열린 제 7차 당사국 총회에서 산림 등 흡수원 활동과 관련된 용어를 정의하고, 산림에서의 온실가스 흡수/배출 통계조사 및 보고 규칙을 마련하였다. 그 외에 신규조림, 재조림, 산림전용 활동의 적정 방식, 규칙 및 지침, 산림경영 활동의 인정 범위, 계정 방법 및 국가별 상한선, 그리고 탄소배출권 확보를 위한 개도국과의 JI[8] 프로젝트 인정활동 범위 및 인정 상한선이 결정되었다.

2003년 12월(밀라노, 이탈리아) 제 9차 당사국 총회에서는 신규조림 및 재조림 부문 CDM[9] 사업을 위한 형식 및 절차 등에 관한 합의를 도출하였으며, 교토의정서에 따른 온실가스 통계 보고 및 검증에 있어 기본적으로 IPCC의 우수실행지침을 따르기로 합의하였다. 또한 2004년 12월(부에노스아이레스, 아르헨티나) 제 10차 당사국총회에서 온실가스 통계 작성 및 보고 지침인 IPCC 우수실행지침의 구체적인 적용 방법 및 개도국과의 소규모 신규조림 및 재조림 CDM 기준과 절차 등 방법론에 대한 합의가 이루어졌다[10].

---

7) UNFCCC : 유엔기후변화협약 (United Nations Framework Convention on Climate Change)
8) JI : 공동이행제도 (Joint Implementation)
9) CDM : 청정개발체제 (Clean Development Mechanism)
10) 현재 교토의정서에서 인정하는 CDM 조림 사업을 하려면 우리나라는 선진국의 지원을 받는 투자유치국이 되어야 하지만, 70~80년대에 추진되었던 치산녹화사업에 성공하여 현재 선진국이 투자할 만한 신규조림지를 찾아보기 힘들다. 또한 CDM 사업이 선진국이 개도국에 투자하여 탄소배출권을 인정받는 제도이므로 현재 개도국으로 분류된 우리나라가 다른 개도국이나 선진국에서 공동이행제도 및 CDM사업을 수행할 수 없는 입장에 있다.

[그림 2-5] 기후변화협약 당사국 총회 주요 진행 경과[11)]

11) 기후변화 홍보포털(http://www.gihoo.or.kr)의 내용을 바탕으로 재구성하였다.

2) 온실가스 감축활동 인정 산림의 조건[12)]

교토의정서에서 합의된 산림이란 성숙 시의 잠재적 최소 수고가 2 ~ 5 m에 도달하는 수목들로 이루어졌고, 수관울폐도(혹은 해당하는 임목축적도)가 10 ~ 30% 이상이며, 최소 면적이 0.05 ~ 1.0 ha 인 토지를 말한다. 산림은 다양한 층위와 하층식생이 지표의 대부분을 차지하는 폐쇄된 산림 형태 또는 개방 산림을 포함한다. 수확과 같은 인위적인 간섭 또는 자연적 원인의 결과 일시적으로 임목축적을 잃어 산림 기준에 미치지 못하는 어린 천연 임분과 모든 조림지도 앞으로 산림으로 환원될 것으로 기대되는 경우 산림에 포함된다.

<표 2-2> 마라케시 합의문에서의 산림의 정의

구분	마라케시 합의문	국가산림자원조사
나무의 최소 높이	2~5 m	5 m 이상
산림의 울창한 정도	10~30%	10% 이상
산림의 최소 면적	0.05~1.0 ha	0.5 ha 이상
기타	-	최소폭이 30 m 이상

자료 : 산림청(2007), 기후변화와 산림

○ 신규조림 (Afforestation)

신규조림은 50년 이상을 산림 이외의 용도로 이용해 온 토지에 나무심기, 씨뿌리기 또는 인위적 산림조성 등을 통해 직접적이고 인위적으로 새로이 산림을 조성하는 것이다. 1차 공약기간에는 1990년 1월 1일 이후 신규조림 활동을 한 곳만 대상지에 포함된다.

12) 교토의정서 부속서에서의 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 활동과 관련된 용어의 정의는 한국환경정책· 평가연구원의 보고서를 참고하여 재구성하였다. (한화진(2005), 기후변화 영향 평가 및 적응시스템 구축 I, 한국환경정책· 평가연구원)

○ 재조림 (Reforestation)

재조림은 본래 산림이었다가 논이나 밭, 각종 개발 등 산림 이외의 용도로 전환되어 이용해 온 토지에 나무심기, 씨뿌리기, 인위적 산림 조성 등의 활동을 통하여 직접적이고 인위적으로 다시 산림을 조성하는 것이다. 제 1차 공약기간의 재조림 활동은 1989년 12월 31일 당시 산림이 아니었던 토지에 새로운 산림을 조성하는 것으로 제한된다.

○ 산림전용 (Deforestation)

산림전용은 직접적이고 인위적으로 산림을 산림 이외의 용도로 전환하는 것이다.

○ 산림경영 (Forest management)

산림경영은 산림의 생태적(생물 다양성을 포함하여), 경제적, 사회적 기능을 충족시킬 목적으로 임지를 지속가능한 방식으로 관리 및 이용하기 위한 시스템이다. 제 1차 공약기간에는 1990년 1월 1일 이후 이러한 활동을 하는 한 곳만 대상지에 속한다.

신규조림과 재조림의 경우 나무가 있었던 곳에 새로이 나무를 심는 활동이기 때문에 여기서 흡수 및 저장한 이산화탄소의 양은 100% 인정한다. 산림전용의 경우도 탄소 손실량을 100% 배출로 간주한다. 산림경영의 경우는 기존에 산림이 있던 곳에 인위적인 활동을 가하는 것이기 때문에 전체 이산화탄소 흡수량의 15%를 인정한다.

현재 교토의정서에 따라 제 1차 공약기간(2008 ~ 2012년)에는 신규조림, 재조림 및 산림전용과 산림경영 활동을 통하여 흡수 또는 배출되는 양만을 인정하고 있다. 탄소 축적 변화량이 양의 값일 경우는 순흡수로 간주하여 해당 국가의 배출할당량에 더하고, 음의 값일 경우는 순배출로서 배출 할당량에서 제외하게 된다.

<표 2-3> 교토의정서의 산림경영에 의한 국가별 흡수원 인정 한도

(단위 : 백만 tC/년)

국가	인정한도	국가	인정한도	국가	인정한도
호주	0.00	오스트리아	0.63	벨라루스	-
벨기에	0.03	불가리아	0.37	캐나다	12.0
크로아티아	-	체코공화국	0.32	덴마크	0.05
에스토니아	0.10	핀란드	0.16	프랑스	0.88
독일	0.24	그리스	0.09	헝가리	0.29
아이슬란드	0.00	아일랜드	0.05	이탈리아	0.18
일본	13.0	라트비아	0.34	리히텐슈타인	0.01
리투아니아	0.28	룩셈부르크	0.01	모나코	0.00
네덜란드	0.01	뉴질랜드	0.20	노르웨이	0.40
폴란드	0.82	포르투갈	0.22	루마니아	1.10
러시아	33.0	슬로바키아	0.50	슬로베니아	0.36
스페인	0.67	스웨덴	0.58	스위스	0.50
우크라이나	1.11	영국	0.37	합계	69.87

자료 : UNFCCC(2001). The marrakesh accords and the marrakesh declaration

제2절 산림의 이산화탄소 흡수량 추정

1. IPCC의 산림부문 이산화탄소 흡수량 추정방법론

산림 내 탄소저장고는 지상부 바이오매스, 지하부 바이오매스, 고사목, 낙엽층, 토양 유기물로 구분하며, 마라케시 합의문에는 이들 5개 탄소저장고의 탄소 축적량 변화를 보고하도록 규정하고 있다.

<표 2-4> IPCC에서 정의하는 육상생태계의 저장고

저장고a)		세부내용
생 바이오매스	지상부 바이오매스	수간, 근주, 가지, 수피, 종자, 잎을 위시한 토양 위의 모든 살아있는 바이오매스b)
	지하부 바이오매스	살아있는 뿌리의 모든 생 바이오매스c)
사체 유기물	고사목	서있거나 쓰러졌거나 땅 속에 있는 낙엽이 포함되지 않은 모든 사체 목질 바이오매스d)
	낙엽층	다양한 분해 상태에 있는, 유기 또는 무기 토양 위의 죽어서 넘어진 국가별로 선택된 최소 직경 이하의 모든 사체 바이오매스e)
토양	토양 유기물	국가에서 선택하고 조사기간 동안 일관적으로 적용되는 규정된 깊이의 무기 및 유기 토양 내 유기탄소 (이탄 포함)f)

a) IPCC 가이드라인의 기본 가정은 산림에서 제거된 목재나 기타 바이오매스 내의 탄소는 제거 당년에 산화된다는 것이다.
b) 건중량(tonnes dry weight)으로 표시된다. 산림 하층 식생이 지상부 바이오매스 저장고에서 상대적으로 작은 요소일 때, 조사기간 동안 일관된 방식으로 그 수준이 이용된다고 가정하면 하층 식생을 배제할 수 있다.
c) 직경 2mm 이하의 세근은 경험상 토양유기물 또는 부엽토와 구별하기 어려우므로 종종 제외된다.
d) 목질 사체에는 지면에 쓰러진 나무, 죽은 뿌리, 직경 10 cm 이상 또는 국가에서 이용한 기타 직경 이상의 그루터기가 포함된다.
e) 여기에는 낙엽, 부식층이 포함된다. 살아있는 세근은 경험적으로 낙엽에서 구분하기 어려울 경우 낙엽에 포함된다.
f) 살아있는 세근은 경험적으로 낙엽에서 구분하기 어려울 경우 토양 유기물에 포함된다.
주 : 국가별 상황에 따라 여기에서 이용된 저장고의 정의를 약간 수정해야 할 필요가 있을 수도 있다. 수정된 정의를 이용한 경우, 수정된 정의가 시간에 따라 일관성 있게 이용되었음을 입증하고, 저장고들이 빠지거나 중복 계산되지 않았음을 보여야 한다.
자료 : IPCC(2003), Good practice guidance for land use, land-use change and forestry

○ 지상부와 지하부 바이오매스

바이오매스 증가는 바이오매스 생장에 기인하며, 바이오매스 손실은 벌목, 연료재 수집, 자연손실 등에 의해 일어난다. 기본적인 추정방법은 보고 년도의 바이오매스 탄소증가량에서 바이오매스 탄소 손실량을 빼는 것이며, 주어진 시점간의 바이오매스 총탄소량의 차이를 시점간의 연수로 나누는 축적량 변화방법을 이용하기도 한다.

○ 고사목과 낙엽층의 축적량 변화

IPCC 가이드라인의 기본가정은 고사목과 낙엽층에 해당하는 저장고의 탄소 축적량 변화는 현저하지 않으며, 따라서 0으로 추정할 수 있다는 것이다. 즉, 유입량과 손실량이 같아 균형을 이루기 때문에 식물 유기체의 탄소 축적량 변화는 0으로 본다.

○ 토양 탄소 축적량의 변화

우리나라의 경우, 토탄(peat)과 같은 유기 토양은 거의 없기 때문에 무기 토양 내 탄소 축적량 변화가 산림에서의 탄소 축적량 변화라고 볼 수 있다. 1 m 깊이의 무기토양에서 토양유기탄소의 절반가량이 상층부 30 cm 안에 있다. 개념적으로 일정 상태에서 다른 상태로 전환 중인 일정 면적의 임지에서의 연간 토양 유기탄소 축적량변화로 계산할 수 있지만 산림이 존속하는 한 탄소 축적량은 변화지 않는다고 가정할 수 있다.

○ 신규조림 및 재조림, 산림경영지

신규조림 및 재조림, 산림경영지는 산림으로 전환된다. 산림으로 전환된 토지는 20년간 전환상태가 계속되며 장기적으로는 100년 정도의 추적이 필요하지만, 20년 후에는 이들 지역은 산림으로 유지된다.

한편, IPCC 우수실행지침에서는 3가지 수준의 추정방법론을 제시하고 있는데, 국가 고유자료의 이용도를 높이면서 주기적으로 반복 측정가능하고, 고해상도 자료를 활용하여 높은 신뢰성을 확보하기를 권고하고 있다.

1) Tier 1

IPCC 가이드라인에서 제공하는 기본 배출계수를 이용하는 접근 방법이다. IPCC 가이드라인에서만 언급된 일부 토지이용과 저장고에 대해서는 기본값을 배출량과 흡수량이 0이라고 가정한다. 일반적으로 Tier 1에서는 국가적 또는 세계적으로 이용 가능한 산림전용 추정치, 농업 생산 통계, 세계 토지 피복 지도와 같은 공간 해상도가 낮은 활동 자료를 이용한다.

2) Tier 2

Tier 1과 같은 접근 방법을 이용할 수 있지만, 가장 중요한 토지이용 및 활동에 대하여 국가가 정의한 배출계수와 활동 자료를 적용한다. Tier 2에서도 국가 고유자료에 근거한 축적량 변화 방법론을 적용할 수 있다. 해당 국가에서 정의한 배출계수 및 활동 자료가 그 국가의 기후 지역이나 토지이용 체계에 보다 적합하다. Tier 2에서는 특정 지역이나 특화된 토지이용 범주에 대한 국가 고유의 계수에 맞추기 위해 고해상도 활동 자료가 이용된다.

3) Tier 3

Tier 3에서는 국가 단위보다 더욱 세밀한 격자까지 구분한 국가별 조건을 다루기에 적합한 맞춤 모델 및 조사 측정 체계를 갖춘 경우에 적용할 수 있는 높은 수준의 방법을 이용한다. 단, 모델은 품질 검사와 감사, 그리고 입증 단계를 거쳐야 한다. 이러한 접근 방법은 신뢰성이 높은 추정치를 제공하며, 바이오매스와 토양 동태 사이에 보다 근접한 연관성을 제공한다. 이러한 체계는 GIS를 기초로 한 토양군(soil module)과 연계된 몇 가지 유형의 모니터링을 기반으로 한다. 토지이용 변화

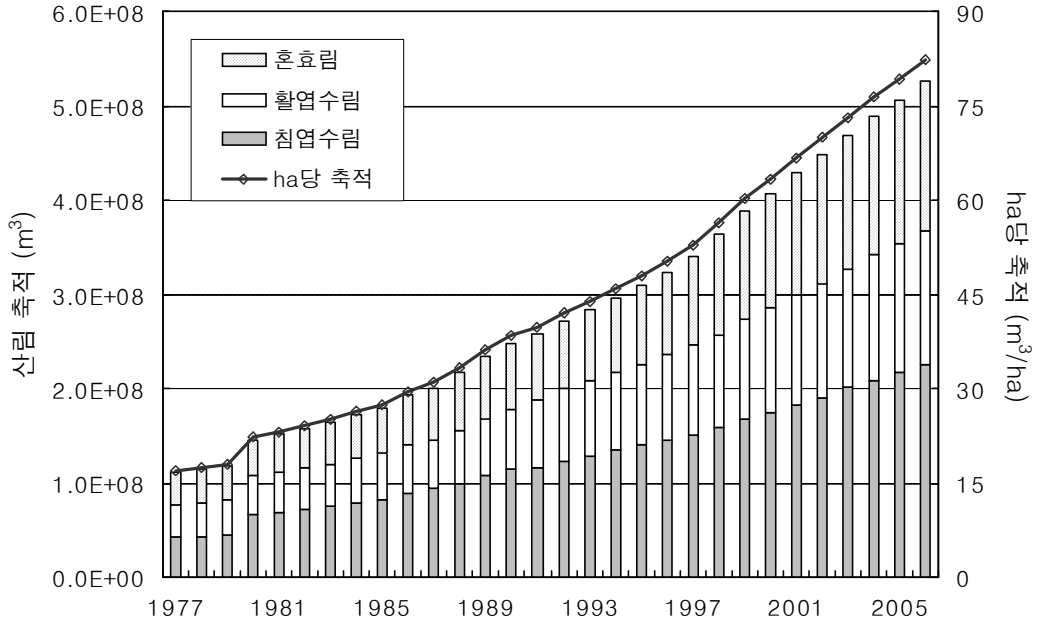
가 일어난 구획의 토지는 시간에 따라 추적할 수 있는데, 대부분의 경우 이들 체계는 기후에 의존하며, 연내 변동과 함께 배출원 추정치를 제공한다.

2. 우리나라 산림과 흡수량

1) 산림 현황

우리나라의 산림 면적은 2006년 기준 6,389천 ha로, 전체 국토 면적인 9,968천 ha 중에서 64.1%를 차지하고 있다. 산림 면적은 임업 통계가 제공되는 1977년 이래로 꾸준히 감소하였으나, 그에 반하여 산림 축적은 지속적으로 증가하였다. 그림 2-6에서도 확인할 수 있듯이, 1977년의 ha당 축적이 16.8 m^3 이었던 것에 비하여 2006년의 경우 82.3 m^3/ha로, 약 4.9배나 증가하였다.

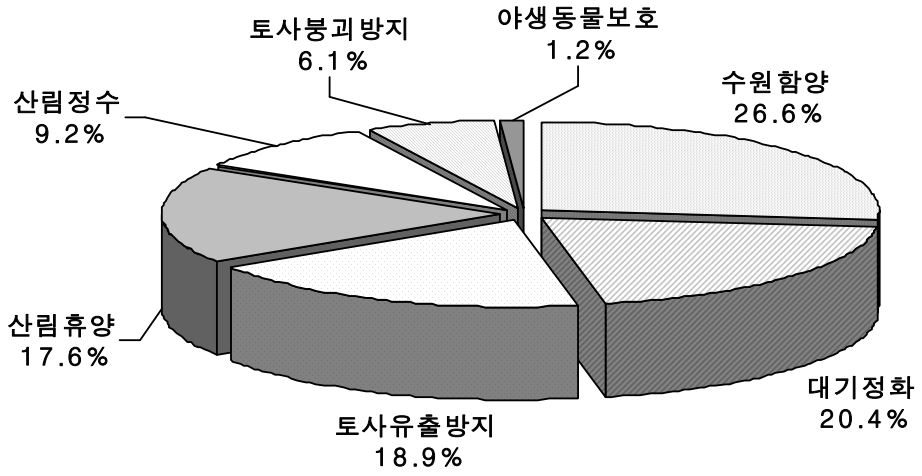
[그림 2-6] 연도별 산림 축적 현황



자료: 산림청(2007), 2007 간추린 임업통계

또한 산림청의 보고에 의하면, 2005년을 기준으로 산림의 공익 기능 평가액은 약 66조 원에 달하며, 이것은 국내 총생산(810조 5,159억 원)의 8%에 상당한다. 평가액은 세부 구성은 아래의 그림 2-7과 같다.

[그림 2-7] 산림의 공익 기능 평가액 (2005)



자료: 산림청(2007), 2007 간추린 임업통계

2) 전국의 도시 숲 현황

우리나라는 국가주도하에 매우 빠르게 산업화된 나라로써, 환경보다는 개발이라는 패러다임을 앞세워 오늘날의 경제 성장을 일구어낸 바 있다. 그러나 이러한 개발중심적 정책은 필연적으로 물적·인적 자원의 밀집과 환경 파괴 등의 부작용을 수반할 수밖에 없다. 아울러 양적 측면에서 일정 수준이 만족된 이후에는 질적 향상에 관심이 옮겨가는 것 또한 당연한 일이다. 이에 따라 중앙 정부와 지방자치단체는 물론, 비영리 환경단체 및 시민들까지도 환경친화적인 삶의 질 향상에 노력하고 있으며, 그 일환으로써 도시 녹지 사업에 노력을 경주하고 있다.

산림청(2007)에서는 도시지역의 산림 및 녹지, 즉 도시림의 면적을 통일된 기준으로 파악하여 관련 계획 수립 등 정책 및 연구 자료 등으로 활용하고자 전국 도시림 현황 통계를 조사하였다. 이에 따르면 생활권 도시림[13]의 면적은 30,697 ha로, 전체 국토면적 중 약 0.3%에, 총 도시림 면적의 2.3%에 해당하는 것으로 파악되었다.

<표 2-5> 법률에 따른 산림의 구분과 면적

(단위 : ha)

법률구분		산림구분		생활권도시림	
「산림 자원의 조성 및 관리에 관한법률」의 산림과 수목	1,273,536 (96.0%)	산림지역	1,294,474 (97.6%)	생활권	30,697 (2.3%)
「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」의 공원녹지	53,252 (4.0%)	비산림지역	32,314 (2.4%)	비생활권	1,296,091 (97.7%)

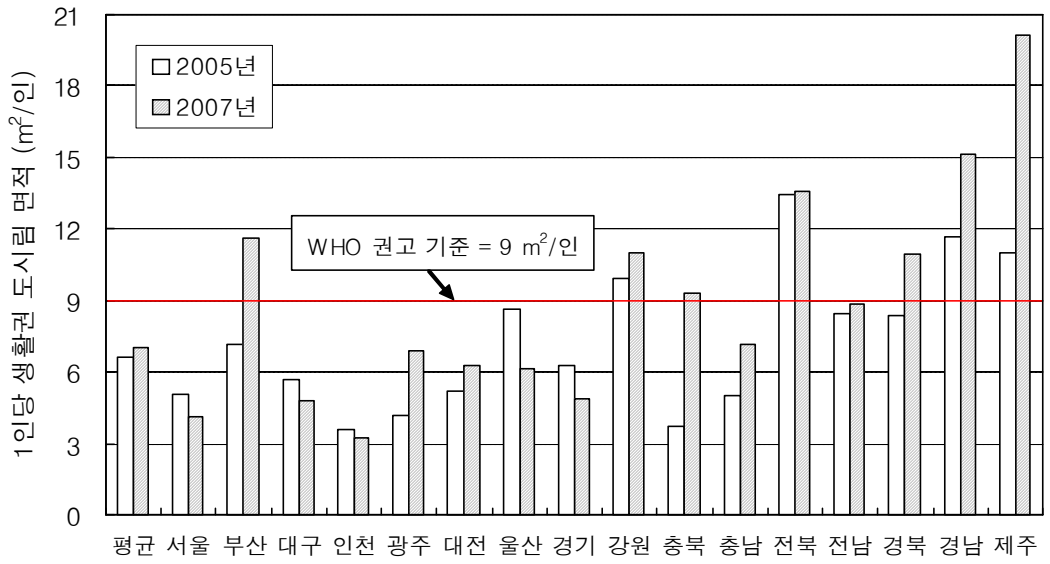
자료 : 산림청(2007), 전국 도시림 현황 통계

산림청에서는 또한 1인당 도시림 면적을 제시하여 도시민이 쾌적하게 이용하거나 도시민에게 쾌적한 생활환경을 제공하는 정도를 판단할 수 있는 지표로 활용할 수 있도록 하였다. 우리나라는 전체 인구 49,269천명 중 약 89%에 해당하는 43,864천명이 도시지역에 거주하고 있으며, 도시민 1인당 총 도시림 면적은 302.48 m^2/인으로 파악되었다.

우리나라 도시민 1인당 생활권 도시림 면적은 7.0 m^2/인으로 파악되었다. 이는 세계보건기구(WHO) 권장 최소기준인 9 m^2/인의 77% 수준이며, 우리나라는 2017년까지 1인당 생활권 도시림 면적 10 m^2/인을 목표로 도시림을 확대하고 있다.[14] 이는 1인당 총 도시림 면적의 2%를 조금 넘는 수준으로 도시지역 내 녹색량은 풍부하나 실제로 도시민의 휴식, 산책 등의 적극적 이용과 도시 미기후 조절과 같은 직접적 환경기능 개선을 하는 생활권 도시림은 극히 미미한 수준으로 분석되었다[15].

13) 생활권 도시림은 일반적으로 도시민들이 이용함에 있어 별도의 시간 및 비용에 대한 부담이 낮고, 실생활에서 쉽게 접근 및 활용할 수 있는 도시림으로 설정하였다.
14) 참고로 프랑스 파리는 13 m^2/인, 미국 뉴욕이 23 m^2/인, 그리고 영국 런던은 27 m^2/인에 달한다.
15) 산림청(2007), 전국 도시림 현황 통계

[그림 2-8] 1인당 생활권 도시림 면적



자료 : 산림청(2007), 전국 도시림 현황 통계

3) 온실가스 흡수 현황

우리나라는 2000년까지 산림 생장이 꾸준히 증가한 반면, 벌채는 일정하게 낮은 수준을 유지하였기 때문에 바이오매스 저장량 변화 측면에서 순 흡수량이 상당 수준 증가하였다. 장윤석(2004)은 산림청의 산림 재적 자료를 기초로 국내 산림의 탄소 흡수량을 국제 기준에 맞춰 분석한 결과, 1 ha당 연간 흡수량이 미국의 3배, 유럽과 중국의 5배나 높다는 연구 결과도 보고한 바 있다. 이처럼 산림의 탄소 흡수력이 뛰어난 것은 우리나라의 산림이 연령은 높지만 이미 생장이 정체된 수목보다는 안정적인 활동이 왕성한 30 ~ 40년생 나무들의 비율이 높기 때문으로 볼 수 있다.

2005년을 기준으로 우리나라 전체 산림에서 흡수한 이산화탄소의 총량은 42백만 tCO_2이며, 배출량은 5백만 tCO_2으로 순 흡수한 량은 약 38백만 tCO_2이다. 이산화탄소 1톤당 가격을 $10 라고 가정하여 경제적 가치로 환산하면, 약 3억 8천만 달러에

해당한다. 생장량도 일정한 수준을 유지하여 순 흡수량이 3,500만 tCO_2를 전후로 하여 큰 변화가 없었다. 도시화로 인한 산림 및 초지 전용에 따른 토양에서의 이산화탄소 배출도 증가하였으나, 절대적인 양으로는 바이오매스 저장량 변화 부문 순 흡수량의 약 1/10 수준에 지나지 않았다.

따라서 토지이용 및 임업부문의 이산화탄소 순 흡수량이 1990 ~ 2005년 사이에 연평균 2.2% 증가하였다. 다만, 2005 ~ 2020년 동안 산림 및 목질 바이오매스 저장량 변화 부분에서 총 흡수량의 증가보다 벌채 등으로 인한 총 배출량(연평균 약 3.9%) 증가율이 높아 연평균 0.4% 정도의 이산화탄소 순 흡수량이 줄어들 것으로 전망되고 있다.

<표 2-6> 토지이용 변경 및 임업부문 온실가스 흡수량

(단위: 백만 tCO_2)

구분	1990	1995	2000	2002	2004	2005
산림 및 목질 바이오매스 저장량	26.2	25.2	41.4	37.7	35.8	37.3
산림 및 초지 전용	−0.2	−0.3	−0.3	−0.3	−0.4	−0.4
토양의 이산화탄소 흡수	−2.3	−3.7	−3.9	−4.0	−4.0	−4.1
합계	23.7	21.2	37.2	33.4	31.5	32.9

자료 : 에너지경제연구원, 국가 온실가스 배출통계 추이

제3절 녹지사업 사례 및 선행연구 분석

1. 녹지조성사업 사례 분석

한편, 1장 1절에서 상술하였듯이, 도시 녹지 조성 사업은 다양한 장점을 가지고 있을 뿐만 아니라, 현실적으로 온실가스 흡수원을 확보할 수 있는 가장 용이한 수단이다. 따라서 국내· 외를 불문하고 많은 지역에서 녹지 조성 사업을 추진하고 있는데, 본 절에서는 일본과 영국, 독일, 미국, 그리고 우리나라 지방자치단체의 녹지 사업 사례를 정리하였다.

도시 내 녹지 조성 사업의 장점
- 에너지·산업 부문의 배출량을 삭감하는 사업에 비하여 사회·경제적인 제약이 적다. - 정해진 기간 안에 흡수량 목표 달성이 가능하다. - 장차 있을 수 있는 사회 및 경제 변동에도 영향을 크게 받지 않는다. - 시민들의 자발적인 참여를 이끌어낼 수 있다. - 일정 수준의 이산화탄소 흡수량을 지속적으로 확보할 수 있다. - 생물 다양성 보전, 수원 함양, 토양 보전, 대기 정화, 경관 향상, 휴양 공간 등 다양한 공익적 기능을 동시에 기대할 수 있다. - 식물의 탄소동화작용은 기존의 어떠한 첨단 기술보다 효율적으로 대기 중 탄소를 고정시킬 수 있는 시스템이다.

1) 일본의 건물 녹화

일본 정부는 교토의정서 채택으로 온실가스 감축의무를 지게 되자, 추가적인 흡수원을 확보하기 위하여 산림 정비 및 도시 녹화 등을 추진토록 하고 있다. 그 중에서 건물 녹화는 지붕, 옥상, 발코니, 벽면 등 인공적으로 만들어진 입면을 식물 소재로 피복하여 푸르게 하는 것으로, 공간적인 제약을 받는 도시의 생태적 문제를 해결함과 더불어 에너지 절약까지 꾀할 수 있어 각광을 받고 있는 도시 내 녹지 조성 대안이다.

(1) 동경도 綠의 동경계획

동경에서는 평균기온 상승과 도시 열섬 등을 계기로 도시 녹지 공간을 확충할 필요성을 인지하고 이에 대한 방안으로 2000년 말 "동경도 綠의 동경계획"을 추진하기로 하였다. 동 계획에서 녹지율을 1998년의 29%에서 2015년에는 32%까지 확충할 것을 목표로 하고 있다.

그러나 동경은 고밀화된 도시로써 신규 녹지 공간 확보에 어려움이 있기 때문에 기존 건물의 옥상에 2015년까지 1,200 ha의 옥상녹화를 추진하고 있다. 1,000 ha의 면적을 녹화할 경우 0.8℃의 온도를 낮출 수 있고, 냉방비는 약 1억 1,000만 엔/일의 절감을, 그리고 방음이나 대기 정화, 경관 미화 등으로 삶의 질 향상 효과를 기대하고 있다.

(2) 후쿠오카의 스텝정원

후쿠오카 국제회관인 아크로스 후쿠오카는 시내 중심부에 위치하는 지상 14층, 높이 60 m의 건물로, 건물의 남쪽에 76종 37,000 개의 수목을 식재하여 계단식 옥상 정원을 조성하였다. 모니터링 결과, 건물녹화로 90%의 외부 열기가 차단되고, 냉기류가 발생하고 있음을 확인한 바 있으며, 녹화지 조성이 도시 열섬현상 완화에 기여할 수 있음을 보여주고 있다.

[그림 2-9] 아크로스 후쿠오카의 스텝정원 전경

2) 영국 런던의 도시 숲

영국은 그린벨트 제도가 가장 먼저 정착된 국가로서, 이러한 배경 속에서 런던은 도시 자체가 숲이라고 할 만큼 도시 녹지 조성이 잘 되어있는 생태도시이다. 런던에는 템즈강변의 하이드 파크, 세인트 제임스 파크 등 왕립공원을 비롯하여 총 54개의 크고 작은 공원이 도처에 자리하고 있다.

그럼에도 생물 다양성 증진과 환경개선을 주요 목표로 하여 도시 숲을 늘리고 지속적으로 네트워크 강화에 주력하고 있다. 또한 시민들의 적극적인 활용과 참여를 장려하기 위하여 공원 주변에 소규모 공연장을 마련하거나, 영화 촬영 유치 등의 마케팅으로 공원을 홍보하고 있다. 시민들은 비용을 지불하고 공원에서 행사를 진행하거나, 자신의 이름이 새겨진 벤치를 기부하는 등 함께 만들고 누리는 공원이라는 공감대가 형성되어 있다.

3) 독일의 환경 수도 프라이부르크

독일 남부에 위치한 프라이부르크는 500년 이상의 중세 대학을 바탕으로 한 유서 깊은 대학 도시이자, 흑림(黑林[16])이라는 유럽 최대 산림의 관문 도시이다. 1970년대 초 프라이부르크 인근에 원자력발전소 건설계획이 수립되었는데, 시민들로부터 시작된 원전 반대운동이 시의회에까지 확산되면서 환경 전반에 대한 문제의식이 고양되었다. 이에 따라 프라이부르크는 철도, 도로 등의 교통체계를 환경중심으로 정비하는 한편, '에너지 자립 도시'를 목표로 하여 에너지 절감 및 신·재생에너지 이용을 활성화하는 등 친환경적으로 크게 개선하였다.

흑림은 독일 남부에서 동부 쪽으로 약 60 km, 북부 쪽으로 약 20 km에 걸쳐 펼쳐진 인공림이다. 1800년대 초부터 100여 년 동안 독일 슈바르트발츠 지역에 대대적으로 추진한 국토 녹화 사업의 결과로써, 생장이 빠르고 경제성이 뛰어난 가문비나무를 심고 가꾸어 오늘날의 울창한 숲을 이루게 되었다.

---

16) 흑림은 우리나라 말로 검은 숲이라는 뜻으로, 숲이 워낙 울창하여 멀리서 보면 푸르다 못해 검게 보인다는 데에서 유래했다는 설과, 햇빛이 들어오지 않을 정도로 숲이 울창하다는 데에서 유래한 이름이라는 두 가지 설이 있다.

뿐만 아니라 프라이부르크에서는 흑림을 보존하기 위하여 10여전 전부터 농약 사용을 금지하고 있으며, 도로 주변의 잡초를 베는 횟수도 줄였다. 또한 인공림을 천연림으로 복귀시키는 작업이 이루어지고 있는데, 주변 수목과의 거리 등을 고려하여 가문비나무를 조금씩 골라 베어내고, 벤 자리에는 너도밤나무를 심어 천연림으로 가꾸려는 노력을 기울이고 있다.

4) 미국 로스앤젤레스의 온도 저감

로스앤젤레스는 1880년 이후 녹화 및 개간 사업으로 온도가 낮아졌으나, 1940년대 도시화 이후 토지의 포장 면적이 증가하면서 매년 0.6℃ 가량 기온이 상승하고 있다. 이에 대한 해결방안으로써 15년의 장기 계획으로 '시원한 사회 만들기(Cool communities)'를 수립하였다. 세부적으로 2,500 km^2의 도로와 지붕의 포장 재료를 교체하고, 1,000만 그루의 나무심기 사업을 추진하였다. 나무심기의 효과로 스모그가 12% 가량 감소되면 약 3억 6천 달러를 절약할 수 있으며, 나무그늘 제공과 포장재료 변화로 인해 매년 1억 달러 가량의 에너지 절감 효과를 기대하고 있다.

<표 2-7> 시원한 사회 만들기(Cool communities)의 경제적 가치

요인	직접적 에너지 절감 효과		간접적 에너지 절약 효과		스모그 감소 (12%로 가정)	합계	
	최고 전력 절약 (MW)	에어컨 비용 절약 ($M/년)	최고 전력 절약 (MW)	에어컨 비용 절약 ($M/년)	의학 비용 절약 ($M/년)	전력 절약 합계 (MW)	비용 절약 합계 ($M/년)
밝은 색의 지붕	400	46	200	21	104	600	171
나무	600	58	300	35	180	900	273
도로 포장재료	0	0	100	15	76	100	91
합계	1,000	104	600	71	360	1,600	535

자료 : http://eetd.lbl.gov/HeatIsland/PUBS/PAINTING/

5) 우리나라 지방자치단체

(1) 서울시의 서울숲 조성

서울시는 1990년대 이후 환경보전에 대한 강력한 요구가 시민들의 공감대를 얻고 정책으로 수용되면서 환경의 질이 점차 회복되고 있다.[17] 이러한 배경 속에서 뚝섬 일대 약 35만평에 이르는 공간에 서울숲을 조성하게 되었다. 뚝섬은 80년대 초부터 체육공원으로 활용되었는데, 주거업무 지역으로 개발할 경우 약 4조원의 이익이 예상되었던 바, 다양한 개발계획이 수립된 곳이었다. 그러나 많은 시민들의 바램대로 2003년 대규모 생태 숲 조성이 결정되었고, 조성 과정에서부터 시민들이 참여하였을 뿐만 아니라 운영까지 함께하고 있는 국내 최초의 공원이다.

조용현과 김운수(2005)는 서울숲과 주변지역 인고구조물의 열화상 촬영결과, 서울숲의 온도가 평균 0.5 ~ 1.4 ℃ 낮은 것으로 나타나 서울숲이 도심 열섬의 냉각소로 작동할 가능성을 보고하였다. 특히 서울숲의 녹지가 아직 안정적으로 자리 잡지 못한 상황에서도 냉각 기능이 있는 것으로 볼 때, 향후 서울숲이 성숙기에 도달해 녹지가 더욱 풍성해지면 도심의 허파로서 훌륭하게 작동하여 서울이 쾌적한 생활공간으로 거듭나는 데에 중요한 역할을 할 수 있을 것이라고 평가하였다.

[그림 2-10] 서울숲의 조성도

17) 서울특별시(2008), 서울의 환경 : 환경백서, 2007

(2) 경기도의 숲으로 둘러싸인'Green 경기'조성

경기도는 급격한 도시화로 도심내의 녹지 공간이 현저하게 감소하였고, 각종 개발 사업으로 인하여 자연환경이 악화됨에 따라 도민들의 삶의 질 저하가 우려되었다. 따라서 산발적인 개발로 인한 난개발이라는 사회문제를 치유하는 한편, 삶의 질 향상이라는 목적 아래 도시 녹지의 중요성에 대한 인식이 제고되었다.

경기도는 'Green 경기'를 모토로 하여 ① 道 광역 4대 녹지축 설정, ② 푸른 경기 1억 그루 나무심기, ③ 경기농림진흥재단 '푸른 경기 Green 프로그램 21', ④ 학교 숲 조성, ⑤ 가로수 조성사업, ⑥ 도시 숲 조성사업, ⑦ 나라 꽃 무궁화 심기 사업의 7가지 방향으로 다양한 녹지 공간 확충에 노력하고 있다.

[그림 2-11] 경기도의 도시 녹화 사업 전후 전경

주 : '푸른 경기 Green 프로그램 21'의 사업 유형 중에서 상단부터 순서대로, 도심 내 가로변 녹화, 고가도로 구조물의 녹화, 생태통로 조성 사업의 전후 모습이다.

□ 道 광역 4대 녹지축 설정

경관 생태학적 근거에 입각하여 기존의 가치가 높은 녹지는 보전하고, 훼손된 곳은 복원·연결함으로써 도민들이 녹지를 직접 체감할 수 있는 道 광역 4대 녹지축을 설정하였다. 4대 녹지축은, 서울시와 경기도 경계를 따라 완충녹지(Core Green), 道 중심부 전체를 환상형으로 연결하는 중심녹지(Main Green), 비무장지대와 서해안 수변으로 이어지는 경계 녹지축(Boundary Green), 그리고 광역 녹지축과 연계하는 시군 녹지 골격을 형성하는 부 녹지축(Sub Green)으로 설정하였다.

□ 푸른 경기 1억 그루 나무심기

도민이 쾌적한 환경에서 생활할 수 있도록 공원·녹지 확충, 소공원 조성, 가로수 조성, 도로변 화단 조성, 녹도 조성, 인공구조물 녹화 등 우리 생활 주변을 나무와 숲으로 둘러싸인 푸른 경기도를 조성하기 위하여 2003년부터 2012년까지 10년 동안 1억 그루 나무심기 운동을 전개하고 있다.

<표 2-8> 연도별 1억 그루 나무심기 계획

구분	계	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2008 이후
식재 본수	110	7	11	11	11	11	11	48
사업비	8,367	427	712	771	828	998	959	3,672

자료 : 경기도(2008), 환경백서 2007

□ 경기농림진흥재단

'푸른경기 Green 프로그램 21'의 민간추진 주체로 2005년 3월 14일에 설립된 경기농림진흥재단에서는 도시녹화 추진, 녹화기반 조성, 녹색교육 홍보프로그램 운영, GGM(Gyeonggi Green Movement) 운동 추진 등 총 4개 부문 18개 사업을 추진하였다. 경기농림진흥재단의 설립 및 운영은 녹지 보전과 확충을 위한 범 도민의 자발적 참여를 유도하여 사회 통합에 기여하였다는 점에서 의미가 크다.

□ 학교 숲 조성

녹지 환경이 부족한 학교를 대상으로 학교 구성원이 함께 참여하는 파트너십 중심으로 숲과 쉼터를 조성하여 교육환경 개선과 지역주민의 휴식공간을 마련하였다. 2003~2006년까지 268개 학교에 각 1억 원을 연차별로 투자해 학교 숲 조성을 완료하였다. 이로 인하여 241천 평 가량의 새로운 녹지 공간을 확충하였는데, 이 규모는 새로운 토지를 매입하여 공원을 조성하는 경우와 비교하면 7,230억 원의 사업비 대체효과를 가지는 것으로 추정된다.

□ 가로수 조성사업

가로수는 도심 내 부족한 녹지 공간을 제공하고 도시경관을 개선할 뿐만 아니라, 도시 내·외각의 산림과 녹지를 연결하는 녹색 네트워크의 중심축으로 생태계 통로기능 등 도시 생태계의 핵심 역할을 할 수 있다.

2007년 기준, 경기도에 식재·관리되고 있는 가로수는 총 57종 667천 본으로 식재거리는 5,266 km에 이른다. 주요 식재수종은 벚나무와 은행나무로, 전체 식재량의 절반 이상을 차지하는데, 특색 있는 가로수의 식재는 대기오염 및 소음을 완화하여 도민의 생활환경을 개선함은 물론, 벚꽃 축제 등 각종 지역 축제로 이어져 도민의 화합과 지역경제 활성화에 기여할 것으로 기대된다.

□ 도시 숲 조성사업

급속한 도시 개발로 주민들이 이용할 수 있는 녹색 공간 부족이 심화되는 도시환경을 개선하고자 2004년부터 도심 내 방치된 공유지에 숲을 조성하는 사업을 추진하여 시흥시 중앙완충녹지 등 총 27개소에 27.88 ha의 녹지 공간을 확보하였다.

경기도에서는 향후에도 도시 생태계 복원과 도민의 생활환경 개선을 위하여 지속적으로 도시 숲 조성사업을 확대 실시할 계획이며, 특색 있는 테마 숲을 조성하여 녹색 환경에 대한 수요 충족은 물론, 지역 발전과 도민의 삶의 질 향상에 기여할 예정이다.

(3) 대구시의 '푸른 대구 가꾸기'사업

대구시는 흔히 우리나라에서 가장 더운 도시로 이름이 높은데, 분지라는 지형적 특성상 폭서와 폭한이 발생하기 쉬운 조건에 놓여있다. 게다가 1981년에 직할시로 승격되면서 시가화지역과 공단지역이 증가하는 한편, 인구가 크게 증가하여 250만 명이 거주하는 인구과밀현상을 초래하였다. 이에 따라 1996년부터 '푸른 대구 가꾸기' 사업을 추진함으로써 평균 기온을 낮추고자 노력하고 있다.

[그림 2-12] 푸른 대구 가꾸기 사업의 추진 체계

1차 (1단계)	1차 (2단계)	2차
('96 ~ '00)	('01 ~ '06)	('07 ~ '11)
▷ 400만 그루 나무심기 ▷ 사업 기반 구축 – 위원회 구성 – 관련 조례 제정 ▷ '국제환경도시' 이미지를 부각시킴	▷ 600만 그루 나무심기 ▷ 도심공원 조성 및 정비 – 국채보상운동기념공원 – 경상감영공원 등 ▷ 수목원 조성 ▷ 시민참여 정책 추진	▷ 400만 그루 나무 심기 ▷ 행정구역 내 녹지 확충 ▷ 양적 정책에서 질적 기능으로의 전환 ▷ 옥상녹화 추진 ▷ 비오톱 지도 작성

1차 사업 결과 1,000만 그루 나무를 식재하였고, 도심 내에 공원을 조성하였으며, 매립완료부지에 대구수목원을 조성하였다. 도시 숲 조성 효과와 관련하여 김수봉과 정응호(2005)는 열섬등온선을 바탕으로 열섬저감의 거점지역을 조사한 결과, 국채보상공원, 경상감영공원, 2.28 기념공원 등 녹지가 면적으로 집약되어 있는 지역이 열섬저감의 거점으로 나타났다고 보고하였다.

그리고 이러한 성공을 발판삼아 2차 사업을 의욕적으로 추진하고 있는데, 공공기관의 담장 허물기, 공유지 도시 숲 조성, 그리고 향기 나는 나무심기의 총 3가지 시책을 기본으로 하고 있다. 녹지율을 행정구역 대비 0.2%로 확충하는 한편, 양적 식재에서 질적 식재로 전략을 변환하여 5년간 400만 그루의 나무를 심을 계획이다.

(4) 광주시의 푸른광주가꾸기 운동과 1,000만 그루 나무심기

광주시에서는 가로수·근린 등 공공식수와 시민, 직장, 단체가 자율적으로 참여하는 시민식수에 중점을 두어 도시 녹화 사업을 추진하고 있다. 특히, 1,000만 그루 나무심기를 민·관·단체가 동참하는 범시민 운동으로 추진하고 있는데, 2005년부터 2014년까지 10년 동안 공공식수로 400만 그루, 시민식수 600만 그루로 총 1,000만 그루의 나무를 식재할 것을 목표로 하고 있다. 삭막한 도시 공간에 150만 그루의 나무를 심어 푸른광주가꾸기 운동을 진행 중이고, 시 양묘장에서 생산한 1,000 그루를 시민과 기관단체에 공급하였으며, 1인 1그루 심기 운동을 전개하고 있다.

▷ 공공식수 - 400만 그루
가로공간 : 도로변 가로수, 가로 화단, 담장 허물기 사업부지 식재 등
근린공간 : 도시공원 (근린, 어린이 등), 시설 완충 녹지, 유원지 등
생산공간 : 기관·단체 등 공공장소, 학교부지, 택지개발사업지구, 기업체 공단 등
▷ 시민식수 - 600만 그루
공공주택 : 아파트 단지 등 공용부지 및 주변 담장 허물기 부지
단독·연립주택 : 소규모 주택 공간 및 골목길 담장 녹화 등
생활권 주변 녹화 : 마을주변 공터, 텃밭, 자투리 공터 등

<표 2-9> 광주 1,000만 그루 나무심기 추진계획

(단위 : m2, 만 그루, 억 원)

공 간 별		합 계			1단계(2005~2009)			2단계(2010 ~2014년)		
		대 상	수 량	사업비	대상	수량	사업비	대상	수량	사업비
합 계		13,300	1,000	900	9,310	700	600	3,990	300	300
공공식수	소계	3,300	400	650	2,310	280	455	990	120	195
	가로공간	200	100	350	140	70	245	60	30	105
	근린공간	150	100	200	105	70	140	45	30	60
	생산공간	2,950	200	100	2,065	140	70	885	60	30
시민식수	소계	10,000	600	250	7,000	420	145	3,000	180	105
	아파트단지 등	4,000	400	150	2,800	280	85	1,200	120	65
	단독주택	6,000	200	100	4,200	140	60	1,800	60	40

자료 : 광주시(2008), 2008 시정백서

2. 산림부문 선행연구 분석

기후변화에 대한 연구는 매우 광범위하게 이루어져 왔다. 그 주제만 해도 기후변화의 원인과 본질은 물론, 실태와 향후 전망, 기후변화협약의 진행, 대응방안 및 정책, 부문별 고찰 등 다양하다. 본 연구의 주제가 흡수원으로써의 도시 숲 효과를 산정하는 데에 있으므로, 본 절에서는 첫 번째로 기후변화가 생태계에 미치는 영향에 대한 연구를 정리하였다. 그리고 두 번째로 기후변화 대응과 정책에 대한 연구를, 세 번째로는 흡수원으로써의 산림에 대하여 정리하여 보았다.

1) 기후변화가 생태계에 미치는 영향

임종환과 신준환(2005)은 기후변화에 따른 산림생태계의 영향을 크게 두 가지로 요약하였다. 첫째는 산림생태계의 내부적 구조와 기능의 변화[18]이고, 두 번째로 식생대의 공간적 이동 및 생물 다양성 변화, 그리고 산불, 홍수 가뭄 등과 같은 자연적 교란의 변화를 꼽았다. 산림생태계에 저장되어 있는 탄소량은 5,500억 톤 정도이고, 매년 대기와 교환되는 광합성량은 1,200억 톤으로, 저장량의 22% 정도가 교환되고 있는 바, 해양과 같은 다른 생태계에 비해 산림생태계가 지구 탄소순환에 매우 민감하게 작용한다고 하였다.

우리나라 산림부문에서 나타나는 변화에 대하여 국립산림과학원에서 조사한 결과, 동일한 날짜에 1996년과 2000년도에는 잎이 나오지 않았거나 막 잎이 트기 시작한 반면, 엘니뇨 현상을 보인 1998년과 2002년도는 잎이 완전히 나왔고 새로 나온 가지도 제법 자라나왔다고 하였다. 그리고 평균기온이 2℃만 상승하더라도 동백나무의 잠재 분포 면적이 2배 이상 확장되는 반면, 4℃ 상승하면 오히려 현재의 잠재 분포 면적보다 감소할 것으로 예상된다고 하였다. 또한, 기상연구소와 건국대학교에서 왕대의 분포에 관하여 공동연구를 수행한 결과, 19세기 조선시대 지리지에 나타난 것에 비하여 2001년에는 분포 범위가 약 100 km 정도 북쪽까지 확장되었다고 하였다.

---

18) 여기에는 식생 종 조성, 탄소순환과 관련된 생산성의 변화도 포함된다.

윤진일(2006)은 도시효과가 보정된 격자형 기후자료를 이용하여 벚꽃 개화일을 계산하고 공간변이를 파악하는 연구를 수행하였다. 그 결과 남한 전역 공간 평균으로는 현재평년(1971~2000)이 과거평년(1941~1970)에 비하여 5.2일 단축되었고, 기후시나리오에 근거한 가까운 미래(2011~2040)에는 평균 9일 단축될 것으로 예상된다고 하였다. 뿐만 아니라 2041~2070년 기간에는 21일, 100년 후(2071~2100)에는 현재보다 29일 단축되며, 이때에는 기존의 벚꽃 축제 지대인 경남 해안지방은 벚나무의 휴면해제가 불가능하여 개화 불능 혹은 불균일한 개화가 될 가능성이 높다고 예측하였다.

이동근과 김재욱(2007)은 기후변화에 가장 민감하게 반응하는 고산·아고산[19] 식생 분포를 예측하여 취약성을 평가하였다. 그 결과 전체적으로 약 19% 정도 고산·아고산 식생 분포 확률이 낮아질 것으로 예측되었고, 특히 개마고원을 중심으로 한 북한 지역에서 많이 나타났다. 온도의 경우에 남한보다 북한 지역에서의 기온 상승이 더 높게 나타났는데, 이는 향후 기후변화의 영향이 남한보다는 북한에서 더 크게 미칠 가능성을 보여준다고 보고하였다.

한편, 권태성(2008)은 지구온난화가 진행되면 곤충에 의한 생태계의 영향이 증가할 것이라고 예측하였다. 지구 생물 다양성의 다수를 차지하는 곤충은 변온동물이기 때문에 온도의 상승이 곤충의 급격한 변화를 일으킬 것으로 예상된다고 하였다. 즉, 지구온난화가 곤충의 생육기간을 길게 하고, 대기 중의 이산화탄소 증가는 식물체 내에서 질소의 비율을 감소시키므로 곤충 개체가 성장하기 위해서는 보다 많은 식물을 섭취하게 될 것임으로 곤충에 의한 피해가 증가할 가능성이 높다는 것이다.

---

19) 고산대 : 눈잣나무대라고도 한다. 저온, 강풍, 저압으로 생육기간은 여름철 3개월 정도에 한한다. 고산대는 적도 부근에서는 해발고도 3,000~4,000 m를 넘어야 하나, 한국에서는 2,400 m 전후이며, 극지 부근에서는 해안까지 내려가기도 한다.
아고산대 : 온대의 산악을 기준으로 하여 만들어진 식물의 수직분포대이다. 저산대와 고산대 사이에 있으며 아한대기후대에 해당한다. 상록침엽수림대로 침엽수가 많고 단풍류 등의 활엽수가 혼효하고 있다. 백두산은 1,100~1,700 m의 아고산대가 있다.
연구의 공간적 범위는 남북한 고산·아고산 지역의 식생을 대상으로 하였다. 남북한 지역의 고산·아고산 분포는 여러 선행연구와 현존 식생도의 고산·아고산 식생이 분포하는 지역의 평균고도를 참고하여 표고 1,000 m 이상인 지역으로 선정하였다.

2) 기후변화 대응과 정책

최영국(2008)은 우리나라가 이제 곧 온실가스 감축 이행국이 될 가능성이 높으므로 모든 분야에서 체질을 개선할 만큼의 구체적인 실천수단을 강구할 시점에 와 있다고 하면서, 기후변화에 대응하는 국토정책의 방향을 제시한 바 있다. 즉, 기후변화에 대한 국토정책은 크게 기후변화의 완화(mitigation)와 계획된 적응(adaptation)의 두 축으로 추진할 수 있다고 하였다.

기후변화 완화를 위한 국토정책은 국토 이용이나 개발, 보전행위에서 온실가스 배출을 억제하고 흡수 능력을 제고하는 것이다. 따라서 지금까지 효율성을 강조하는 국토 이용과 개발 행위에 변화가 필요하다고 언급하였다. 또한 기후변화에 적응하기 위한 정책을 추진하려면 기후변화의 영향을 예측하는 것이 무엇보다 중요하므로 시나리오별로 계획적인 적응체계를 마련해야 한다고 하였다.

김준순(2004)은 기후변화협약에서 산림이 흡수원 활동으로 인정되기까지의 과정을 정리하는 한편, 이에 따라 중요성이 부각되고 있는 임업부문의 구체적인 대응방안을 총 11가지로 제시하였다.

① 국내 산림의 지속가능한 산림 경영
② 해외 조림 사업
③ 북한의 황폐지 복구 사업
④ 중국과 몽골 지역에 대한 사막화 방지 사업
⑤ 목재 이용 및 산림 바이오 에너지 활용
⑥ 도시림으로서의 신규조림 면적 확대
⑦ 수종갱신과 천연림 보육
⑧ 통계체계의 구축
⑨ 산주에 대한 경제적 인센티브 부여
⑩ 한계 농지를 산림으로 전용 및 산림의 용도 전환 억제
⑪ 산림재해 방지

환경부(2008)는 선진국의 기후변화 관리 정책을 분석함으로써 우리나라의 향후 정책 추진에 도움이 될 만한 사항을 정리하였다. 먼저 일본은 2010년 감축목표를 7.2~6.2%로 제시하고, 그 중에서 온실가스 흡수원을 통한 감축목표는 기준년도 대비 3.8%인 약 4,767만 톤이며, 2006년부터 산림 흡수원을 통하여 온실가스를 3.5% 감축하고자 노력하고 있다. 국제사회에서 우리나라 비슷한 위상과 입장을 가진 멕시코도 2012년까지 연 500만 ha의 조림 등을 통하여 최대 5,000만 톤의 이산화탄소를 흡수하겠다고 발표한 바 있다. 중국은 2004년 약 50억 700만 톤의 이산화탄소를 배출한 세계 2위의 배출국으로, 산림 면적을 국토의 20%로 확대하여 5,000만 톤의 이산화탄소를 흡수할 계획이다.

우리나라도 4차 종합대책을 발표하면서 산림부문의 온실가스 감축을 위하여 2012년까지 1,109천 ha의 숲 가꾸기, 2,163 ha 유휴토지 조림, 1,125 ha 도시 숲 및 200 ha 학교 숲 조성 등의 사업들이 예정되어 있다. 그리고 이를 통하여 총 17백만 톤의 이산화탄소를 감축할 계획이다.

3) 흡수원으로써의 산림

이경학(2004)은 우리나라 임업부문의 탄소 배출권 잠재력을 평가한 결과, 토지용도 변화 부문에서 39천 탄소톤의 순배출을 기록하였으며, 시업지를 경영림으로 가정하였을 경우 최종적인 탄소 배출권 잠재력은 1,237천 톤, 영림계획 작성지를 경영림으로 가정하였을 경우에는 923천 톤으로 나타났다고 보고하였다.

또한 권순덕 등(2005)은 산지 전용에 따른 가장 큰 문제점은 임목의 지상부 제거로 인하여 지상부 탄소량이 급격히 감소하고, 타용도 전환으로 인하여 토양이 파괴됨으로써 토양 내 부식이 증가하여 미생물에 의한 유기물 분해 및 호흡으로 상당량의 이산화탄소 가 방출된다는 점임을 지적하였다.

이러한 중요성에 입각하여 2000년부터 2004년까지의 자료를 이용하여 우리나라의 산지 전용에 따른 탄소 배출량을 측정하였다. 그 결과 연구 기간 동안 산지 전용 면적은 연평균 약 7.2천 ha가 타용도로 전용되었으며, 임목 축적은 연평균 약

212천 m^3이 벌채되었다. 이로 인한 임목 바이오매스 총 탄소 배출량은 연평균 105천 tC 배출한 것으로 나타났으며, 이 중에서 침엽수림이 54천 tC를, 활엽수림이 51천 tC를 배출한 것으로 나타났다. 산지 전용에 따른 ha당 탄소 배출량은 연평균 약 14.4 tC/ha로 나타났으며, 임상별로 침엽수림이 약 13.3 tC/ha, 그리고 활엽수림이 약 18.5 tC/ha로 나타나, 활엽수림이 단위면적당 탄소를 더 많이 배출한다고 보고하였다.

한편, 박관수 등(2003)은 주요 참나무류인 신갈나무와 굴참나무, 그리고 졸참나무의 부위별 탄소 함량과 지상부 총 탄소 고정량을 조사하였다. 부위별 탄소 함량은 최소 47.7%에서 최고 55.5%로 수종별 및 부위별로 큰 차이를 보이지 않았다. 그리고 지상부 총 탄소 고정량은 최저 21.88 톤/ha에서 최고 104.5 톤/ha로 수종과 조사지역에 따라 다양하게 나타나서, 평균 연령보다는 조사 지역에 따라 큰 차이를 보였다고 하였다. 또한 연간 고정할 수 있는 탄소량은 최저 2.90 톤/ha에서 최고 5.84 톤/ha로 나타났고, 수종에 따른 일정한 경향을 보이지 않았으며, 조사지역에 의한 변이가 더 큰 것으로 보고하였다.

<표 2-10> 신갈나무와 굴참나무, 졸참나무의 지상부 탄소 함량과 탄소 고정량
(단위 : %, 톤/ha)

연구 지역	신갈나무		굴참나무		졸참나무	
	탄소함량	탄소고정량	탄소함량	탄소고정량	탄소함량	탄소고정량
전남 광양	31.10	2.90	-	-	-	-
강원 평창	74.79	5.17	-	-	-	-
충북 영동	54.83	5.71	-	-	-	-
충남 공주	-	-	45.96	3.96	-	-
경북 포항	-	-	104.5	5.84	-	-
강원 양양	-	-	35.99	3.23	-	-
전남 광양	-	-	-	-	29.24	3.19
전북 무주	-	-	-	-	21.88	3.37
경북 포항	-	-	-	-	45.86	3.97

자료 : 박관수 등(2003), 주요 참나무류 천연림 생태계의 탄소 고정에 관한 연구

김신도 등(2008)은 산림이 가지는 온실가스 저감효과 뿐만 아니라, 대기오염물질에 대한 산림의 정화능력에 관한 연구를 수행하였다. 그 결과 기후에 상관없이 산림에서의 미세먼지가 38.5% 낮은 측정값을 기록하여 산림의 공기정화효과를 입증하였다. 도시 숲을 대상으로 1년간 이산화질소의 농도를 측정한 결과, 전체적으로 산림에서의 측정값이 낮게 나타났으며, 미세먼지보다는 편차가 컸으나 수치상 62.4%의 저감효과를 나타내었다고 보고하였다.

제 3 장

산림부문 이산화탄소 흡수량 산정 및 효과분석

제1절 산림부문 이산화탄소 흡수량 연구방법

제2절 산림부문 이산화탄소 흡수량 산정 및 효과분석

제 3 장 산림부문 이산화탄소 흡수량 산정 및 효과분석

제1절 산림부문 이산화탄소 흡수량 연구방법

1. 연구대상지의 선정

본 연구에서는 산림부문 이산화탄소 흡수량을 산출하기 위해, 인공적으로 식재한 지역과 자연상태의 자연림으로 구분하여 대상지를 선정하였다. 구체적으로는 한밭수목원과 정부청사 도시 숲은 비록 인공림이지만 도시 내 녹지 공간 중에서는 수목식재 비중이 가장 높은 곳이다. 따라서 이들 지점에서 식재된 나무가 어느 정도의 이산화탄소를 흡수하고 있는지를 정량하기 위하여 인공림 식재지역으로서의 연구대상지로 선정하고자 하였다. 이와 동시에 자연림 상태인 월평공원에 대하여 이산화탄소 흡수량을 산정함으로써 도시 내에 위치한 인공림과 자연림의 사례 연구를 실시하고자 하였다.

대전시 전체 산림 면적은 30,536 ha(행적구역면적대비 56.6%)로서 대부분의 산림이 개발제한구역 및 공원구역으로서 산림환경이 아직까지 비교적 잘 보존되어 있다. 그러나 대전시 임야의 임목축적은 1 ha당 61 m^3으로 전국 평균인 73 m^3보다는 약간 낮은 편이다. 이에 따라 현재 대전시는 약 6천억 원을 투자하여 2020년까지 매년 200만 그루씩, 총 3,000만 그루 나무심기 사업을 진행하고 있으며, 시청과 정부청사 일대에 도시 숲(149,000 m^2)을 조성하고, 한밭수목원(394천 m^2) 사업은 물론, 유성 시민의 숲(57,400 m^2), 중촌 시민공원(102,480 m^2)에 수목을 식재하는 등 도시 녹지 공간 확충 등을 통해 온실가스 흡수원을 확보하여 기후변화에 대응할 수 있는 좋은 여건을 가지고 있다고 할 수 있다. 따라서 본 연구는 대전시에서 조성하고 있는 한밭수목원(이하'수목원'이라 함)과 정부청사 도시 숲(이하 '도시 숲'이라 함), 그리고 월평공원을 대상으로 이산화탄소 흡수량을 산정하고자 한다.

1) 한밭수목원

대전시 도심 속의 한밭수목원은 전국 최대의 도심 속 인공수목원으로서, 각종 식물종의 유전자 보존과, 자연체험학습의 장, 그리고 시민들의 휴식공간으로서의 역할을 담당하고 있다. 수목원의 면적은 1단계 160천 m^2(2004년 11월 완공), 2단계 64천 m^2(2004.11월 완공), 3단계 170천 m^2(2008년 12월 완공)으로 총 면적은 394천 m^2(39.4 ha)이며, 이 중에서 식재 면적은 288천 m^2 (28.8 ha)이다.

[그림 3-1] 한밭수목원 구성도

2) 정부청사 도시 숲

정부청사 도시 숲은 대전시 서구 둔산동에 위치한 정부대전청사 부지의 동서쪽 잔디광장 2곳과 전면 광장에 자리하고 있다. 개발 가치가 높은 이곳에 2008년 12월까지 30억 원을 투자하여 우선 1단계로 서쪽 잔디광장(45,000 m^2)에 녹지를 조성하기 시작하였고, 2단계로 동쪽 잔디광장(46,000 m^2)에 도시 숲을 조성하였다. 식재 수목은 연령이 15~20년 이상인 소나무와 느티나무, 메타세쿼이아 등으로, 1만 3,000

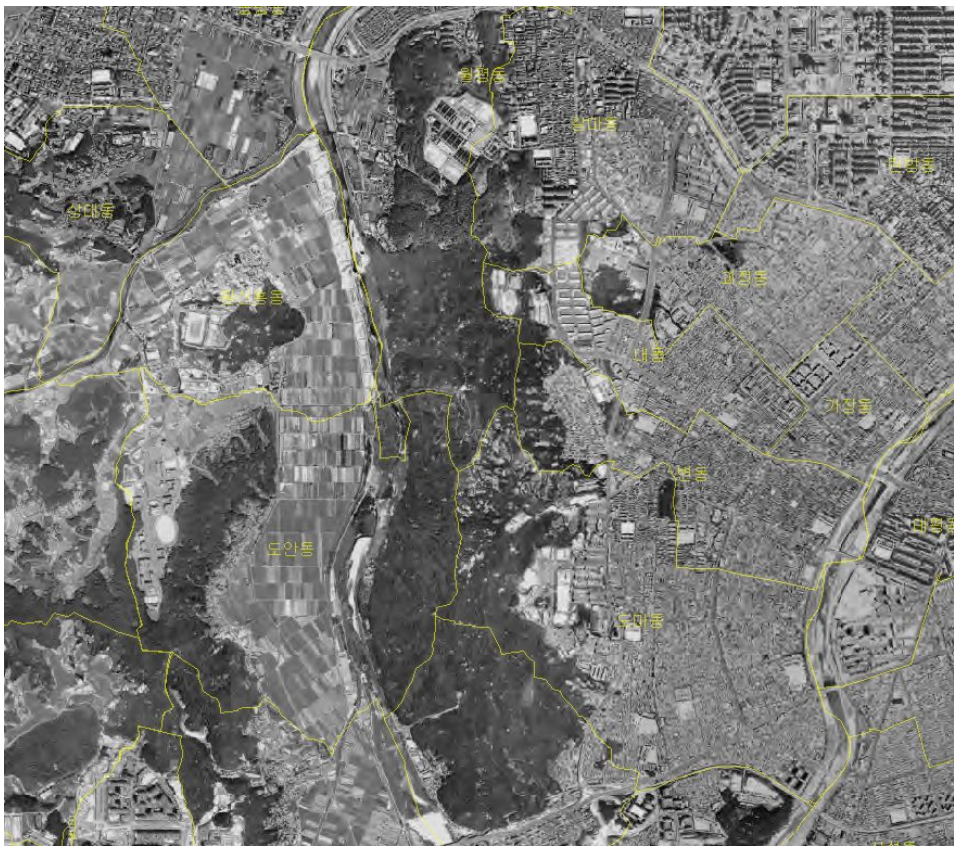
여 그루의 각종 나무를 심는 한편, 벤치 및 원두막 등의 편의시설을 설치하였다. 차후 25억 원을 추가로 투자하여 전면 광장(55,000 m^2)에도 수목의 연령이 15~20년 이상인 메타세쿼이아와 느티나무, 소나무 등 각종 나무 1만여 그루를 심고 각종 편의시설을 확충할 계획이다. 이와 같은 사업이 완공되면 정부청사 도시 숲의 전체 면적은 146,000 m^2 (14.6 ha)에 달하게 될 것이다.

[그림 3-2] 정부청사 도시 숲 조성 기본계획 조감도

3) 월평공원

대전시 서구 월평동에 위치하고 있는 월평공원은 우수한 자연림으로써, 대전시 도시 녹지 체계상 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 첫째, 대전 자연생태계의 보고로서 대전 도심의 생태섬으로도 불리고 있고, 둘째, 갑천변에 인접해 있어서 시민들의 여가 공간으로서의 가치도 큰 공원이다. 월평공원의 전체 면적은 399.5 ha이며, 이중 등산로 등 시설지역과 묘지 등을 제외한 순 식재 면적은 273.3 ha이다.

[그림 3-3] 대전시 월평공원 항공사진



자료 : 국립산림과학원 항공사진 검색시스템 (http://aerophoto.kfri.go.kr/)

2. 대전시 산림 자료의 수집

1) 인공림 - 한밭수목원과 도시 숲

본 연구에서는 이산화탄소 흡수량을 산정하기 위하여 연구대상지 내에 식재된 수목 중 교토의정서상 '산림'으로 규정되어 있는 수고 2 ~ 5 m 이상의 교목만을 추려내어 고려하였다. 이에 본 연구에서 참작한 수목의 본수는 수목원의 경우 1단계 8,066 그루, 3단계 5,723 그루이고, 도시 숲은 3,662 그루이다.(표 3-1 참조)

<표 3-1> 연구대상지별 조사대상 수목 본수

(단위 : 그루)

구분	수목원 1단계	수목원 3단계	도시 숲	총계
활엽수 교목	6,055	3,367	2,476	11,898
침엽수 교목	2,011	2,356	1,186	5,553
합계	8,066	5,723	3,662	17,451

먼저, 연구대상지에 있는 조사대상 수목에 대한 임목조사를 실시하였다. 조사는 도시 숲의 경우는 조성 계획 시 수립되었던 식재 계획표를 기준으로 하였다. 그리고 수목원의 경우는 자연 산림지역이 아니고, 면적 또한 넓기 않기 때문에 직접 현장 조사가 가능하였다. 따라서 수목원에 확보된 식재 현황표를 기준으로 하되, 직접 현장에 가서 식재되어 있는 수종별로 확인하였으며, 현황표와 일치하지 않는 경우 현장에서 다시 측정하였다.

수목원의 항목별 실사 내용은 다음과 같다.

□ 수종

모든 입목의 수종을 파악하여 기입하였다. 인공림의 특성상 계획된 식재라서 수종 파악에 어려움이 없었다.

□ 수고

수목원이라는 장소의 특수성 때문에 수종별로 수고가 다양하지 않았다. 수종별로 50cm를 단위로 수고를 목측하여 기입한 결과 소나무를 제외한 모든 수종이 1m내외의 차이를 보이고 있었다.

□ 흉고직경

지상으로부터 1.2 m 위의 지점에서 수간 축과 직교되게 직경테이프로 측정하여 cm단위로 기록하였다. 측정 시 지상에서 1.2 m 이하에서 분지된 수간이 많았는데 이때는 분지된 수간마다 흉고직경을 측정. 즉, 2본으로 간주하였다.

□ 임령

수목의 연령은 본 연구에서 측정하는 것이 현실적으로 불가능하였다. 수목원 및 도시 숲에 식재되는 수목의 선별 기준은 연령이 아니라, 조성될 당시의 규격을 기준으로 한다. 따라서 식재 현황표만으로는 개별 수목의 연령을 확인할 수 없었고, 수목의 연령이 얼마인지를 한 그루씩 측정하는 것이 불가능하였기 때문이다. 다만, 수목원의 관리자의 경험적 판단을 근거로 하여 참나무류를 포함함 활엽수는 평균 연령을 15년으로 설정하였고, 소나무 등의 침엽수는 평균 연령을 25년으로 설정하였다.

□ 낙엽층과 토양

본 연구에서는 수목의 지상부 바이오매스의 이산화탄소 흡수량만을 대상으로 하였다. 낙엽층과 토양에서도 이산화탄소를 흡수하려면 유기물이 풍부하게 함유되어 있어야 하는데, 수목이 자리를 잡아 안정된 산림지역일수록 토양 유기물 함량이 많은 경향이 있다. 따라서 조성된 지 오래지 않은 수목원과 현재 조성 중에 있는 도시 숲의 특성상 토양과 낙엽층에 충분한 유기물이 함유되어 있다고 판단하기 어렵다. 따라서 이들 층에서 이산화탄소 흡수량을 기대하기 힘들기 때문에 본 연구에서는 배제하였으며, 낙엽층의 두께, 낙엽량 및 낙지량, 토양시료 채취도 생략하였다.

2) 자연림 – 월평공원

월평공원의 조사는 대전시 서구에서 2007 ~ 2008년 숲 가꾸기 사업 실시를 위하여 월평공원을 대상으로 작성한 설계서를 활용하였다. 조사는 월평공원 전체를 7개의 임반으로 나눈 다음 표준지 조사방법으로 하였다. 표준지는 20 m × 20 m 크기의 블록으로 구획하였으며, 공원 면적의 1% 이상이 선정되었다. 본 연구대상지에는 리기다소나무가 전 면적에 걸쳐 넓게 분포하며, 아까시나무 및 소나무, 참나무류가 비슷하게 분포하였다. 월평공원 내 수목의 연령은 15 ~ 45년이나 2007 ~ 2008년 숲 가꾸기 사업을 통해 15년 이상의 수목에 대한 간벌이 본수대비 38.69%, 재적대비 22.80% 이루어졌기 때문에 수령은 25년으로 통일하였다.

3. 산림부문의 이산화탄소 흡수량 계산방법

나무는 광합성 과정을 통해 공기 중의 온실가스인 이산화탄소를 흡수하면서 생장한다. 따라서 나무가 자란 무게[20]를 재면 해당 수목이 얼마만큼의 이산화탄소를 흡수했는지 알 수 있다. 그러나 지금까지 산림의 자원 원량을 조사하는 단위는 무게가 아니라 목재의 가치로서 평가하는 줄기의 부피이다. 따라서 줄기의 부피를 가지, 뿌리까지 포함하는 나무전체의 무게로 환산하는 확장계수가 필요하다.

수목의 이산화탄소 흡수량 산정 방법

용적밀도 = 바이오매스 / 재적
지상 바이오매스 확장계수 = 지상 바이오매스 × 줄기 바이오매스
전체 바이오매스 확장계수 = 전체 바이오매스 / 지상 바이오매스
바이오매스 확장계수 = 지상부 바이오매스 확장계수 × 전체 바이오매스 확장계수
탄소전환인자(0.5) = 탄소 / 바이오매스
이산화탄소 순 흡수량 = 탄소 순 흡수량 × 44/12

본 연구대상지인 수목원과 도시 숲은 자연상태의 산림이 아니라 인위적으로 조성한 녹지 공간으로 자연산림에 비해 수종이 아주 다양하기 때문에 몇 개의 수종으로 군락 지워지지 않는다. 또한 전국 각지에서 이식된 것이기 때문에 크기만으로는 수목의 정확한 연령을 파악하기 어렵다.

이러한 이유로 국립산림과학원에서 제시하고 있는 산림에서의 수종별 연평균 ha당 이산화탄소 흡수량 환산계수를 적용할 수 없었다. 국립수목원에서 제시하고 있는 수치는 우선적으로 자연산림지역을 대상으로 한 것이며, 단일 수종의 임분의 크

20) 바이오매스: 완전히 건조시킨 후의 무게로 무게의 반이 탄소의 무게임

기가 최소한 1 ha는 되어야 하며, 정확한 연령을 알고 있어야 하기 때문이다. 예를 들어, 자연 산림지에서 신갈나무 군락이라면 1 ha에 최소한 2,382 그루가 식재된 상태를 기준으로 이산화탄소 흡수량이 제시되고 있는데 본 연구대상지인 수목원과 도시 숲은 이러한 기준을 충족하지 못하였다.

따라서 본 연구에서는 조사한 수고 및 흉고직경을 기준으로 흉고형수[21]를 이용한 재적을 각 수목별로 산정하였다. 탄소 저장량은 재적을 바이오매스(건중량)로 바꾸기 위하여, 목재기본밀도, 바이오매스 확장계수, 탄소전환계수 등을 곱하여 산출하였다. 즉, 본 연구에서는 재적×목재기본밀도[22]×바이오매스 확장계수[23]×탄소전환계수(0.5)로 계산하였다. 이렇게 하면 단일 수목 1본에 대한 탄소 저장량이 계산되며, 이를 본수로 곱하여 조림한 전체 산림의 탄소 저장량을 계산하였다.

이산화탄소 흡수량은 탄소 흡수량에 '이산화탄소 분자량/탄소 원자량(=44/12)'을 곱하여 산출하였다. 그리고 산소 배출량은 탄소 흡수량에 '산소 분자량/탄소원자량(32/12)'을 곱하여 산출하였다.

단, 본 연구에서는 수목을 침엽수와 활엽수로만 구분하였는데 이는 각 수종별로 목재기본밀도 및 바이오매스 확장계수가 아직 구축되지 못하였기 때문이다. IPCC에서는 수종별, 임령별로 구분하여 계수를 적용할 것을 권장하고 있다. 우리나라의 경우 2010년까지 국립산림과학원에서 주요 10여개 수종에 대한 계수를 개발할 계획이다.

---

21) 흉고형수는 별도 재적표가 없을 때나 임내에서 간편하게 재적을 측정할 수 있는 일종의 계수로서 수종별, 흉고직경별로 각기 다르나, 보통 0.4~0.6사이의 값이므로, 간편하게 이용할 때 0.5를 일괄 적용한다.

22) 침엽수는 0.475, 활엽수는 0.649

23) 침엽수는 1.65, 활엽수는 1.71

제2절 산림부문 이산화탄소 흡수량 산정 및 효과분석

1. 이산화탄소 흡수량 산정

1) 한밭수목원과 도시 숲

수목원 1단계의 총 이산화탄소 흡수량은 455 tCO_2, 3단계는 319 tCO_2로 산정되었으며, 도시 숲의 경우는 421 tCO_2를 흡수한 것으로 나타났다. 이 수치는 수목원과 도시 숲에 식재된 수목의 연령을 고려하지 않은 흡수량이다. 따라서 연간 수목원과 도시 숲의 이산화탄소 흡수량을 계산하기 위해서는 연령별로 나누어야 한다. 그러나 수목별 및 성장조건별로 연간 생장량에 차이가 있기 때문에 대략적인 연간 이산화탄소 흡수량만을 추정할 수 있다.

제 3장 1절에서 설정한 바와 같이, 수목원의 활엽수 연령을 평균 15년, 침엽수 연령을 평균 25년으로 가정하고, 개별 수목이 어린 나무에서부터 지금까지 성장하면서 흡수해온 이산화탄소의 총량을 구하여 임상별 설정 연령을 나누어 연간 흡수량을 산정하였다. 그 결과, 수목원 1단계 지역은 활엽수가 연간 17.4 tCO_2, 침엽수는 7.78 tCO_2로 합계 25.1 tCO_2를 흡수한 것으로 나타났다. 수목원 3단계 지역은 활엽수가 16.1 tCO_2, 침엽수가 3.13 tCO_2로 합계 19.2 tCO_2를 흡수하였다. 따라서 수목원 1단계와 3단계의 연간 이산화탄소 흡수량 합계는 44.3 tCO_2로 나타났다. 도시 숲은 활엽수가 14.8 tCO_2, 침엽수는 7.94 tCO_2로 나타나, 연간 22.8 tCO_2의 이산화탄소 흡수량을 기록하였다.[24]

이를 면적 단위로 환산했을 때 수목원의 경우 식재 면적이 28.8 ha이므로 1 ha당 1.54 tCO_2이었다. 도시 숲의 경우는 조사 시점에 식재가 이루어지던 동쪽과 서쪽 광장의 면적이 9.10 ha이므로 1 ha당 2.50 tCO_2의 이산화탄소 흡수량을 가지는 것으로 나타났다. 국립산림과학원 보고서에서 제시하는 우리나라 산림의 1 ha 당 이산화탄소 흡수량이 평균값이 6.82 tCO_2임을 감안하면(표 3-2 참조), 본 연구대상

24) 이산화탄소 흡수량은 전체 임목축적이 아니라 1년간 자란 임목축적을 대상으로 하며, 벌채량과 조림량 등을 가감해서 산정하게 된다. 수목원이라는 장소의 특수성 때문에 벌채량은 무시하였고, 고사한 나무는 조사할 때 제외하였다.

지의 흡수량은 수목원이 평균값의 22.6%, 도시 숲 역시 36.7% 정도 수준이다. 이는 수목원이 인공적으로 식재된 지역으로 자연산림지역에 비해 수목울폐도가 낮고, 이용객의 휴식과 관람, 도시경관 개선 등을 고려하여 한정된 면적에 교목과 관목, 지피 등 다양한 수목을 식재할 수밖에 없기 때문으로 판단되며, 이는 도시 숲의 경우도 마찬가지라 할 수 있다.

<표 3-2> 산림의 이산화탄소 흡수량 및 산소 발생량

구분	2003	2005
산림 면적 (천 ha) (무입목지 제외)	6,262	6,233
연간 이산화탄소 총 흡수량 (천tCO_2/년)	37,697	42,482
연간 ha 당 이산화탄소 총 흡수량 (tCO_2/ha/년)	6.02	6.82
연간 산소 총 발생량 (천톤/년)	30,403	30,896
연간 ha 당 산소 총 발생량 (톤/ha/년)	4.86	4.96

주 : 국립산림과학원에서 2005년과 2007년에 각각 발간한 연구 보고서에서 발췌하여 재구성하였다.
자료 : 김종호 등(2005), 산림의 공익기능 계량화 연구 보고서, 국립산림과학원
김종호 등(2007), 산림의 공익기능 계량화 연구, 국립산림과학원

산림은 이산화탄소 흡수는 물론, 산소 발생 효과도 가진다. 수목원 1단계의 총 산소 발생량은 331 톤, 3단계 지역은 232 톤이었으며, 도시 숲의 경우 306 톤으로 나타났다. 이산화탄소 흡수량 산정 방법과 마찬가지로, 수목원과 도시 숲의 활엽수 연령을 평균 15년, 침엽수 연령을 평균 25년의 가정을 적용하여 연간 발생량을 산정하였다. 그 결과, 수목원 1단계 지역은 연간 18.3 톤, 3단계 지역에서 연간 14.0 톤이 발생되어 수목원에 조성된 산림에서 연간 32.3 톤의 산소를 발생시키는 것으로 나타났다. 그리고 도시 숲 지역은 연간 16.5 톤의 산소 발생 효과가 있는 것으로 나타났다(표 3-3 참조). 또한, 단위 면적당 산소 발생량을 계산하면, 수목원의 경우 1.12 톤/ha이었고, 도시 숲의 경우는 1.82 톤/ha의 산소 발생량을 가지는 것으로 나타났다. 연평균 1 ha 당 산소 총 발생량이 4.96 톤/ha이므로, 이산화탄소 흡수량과 마찬가지로 수목원과 도시 숲은 각각 전국 평균의 22.5%와 36.7% 수준이다.

<표 3-3> 수목원과 도시 숲의 탄소 흡수량 및 산소 발생량 산정

(단위 : 그루, ha, 톤/년)

구분	수종	본수	식재 면적	전체		
				탄소 저장량	이산화탄소 저장량	산소 발생량
수목원 1단계	활엽수	6,055	28.8	4.74	17.4	12.6
	침엽수	2,041		2.12	7.78	5.66
수목원 3단계	활엽수	3,367		4.38	16.1	11.7
	침엽수	2,356		0.85	3.13	2.28
수목원 합계	활엽수 합계	9,422		9.11	33.4	24.3
	침엽수 합계	4,397		2.97	10.9	7.94
도시 숲	활엽수	2,476	9.10	4.05	14.8	10.8
	침엽수	1,186		2.17	7.94	5.76

2) 월평공원

월평공원의 경우, 합계 49,948 tCO_2의 이산화탄소를 흡수한 것으로 나타났다. 그리고 상술하였듯이, 연간 이산화탄소 흡수량을 계산하기 위하여 월평공원이 자연림이라는 사실을 감안하여 평균 연령을 25년으로 설정하였다. 그 결과, 연간 1,998 tCO_2 의 이산화탄소 흡수량을 가지는 것으로 나타났다(표 3-4 참조). 또한 이를 기초로 하여 단위 면적당 이산화탄소 흡수량으로 환산하였는데, 월평공원의 전체 면적 중 식재면적은 273 ha며, 면적 1 ha 당 7.31 tCO_2의 이산화탄소를 흡수한 것을 알 수 있다. 수목원과 도시 숲과는 달리, 월평공원은 우리나라 산림의 1 ha 당 평균 이산화탄소 흡수량인 평균 6.82 tCO_2보다 높은 수치를 기록하였다. 이는 월평공원이 도심지 한가운데 위치하고 있음에도 불구하고 지속적으로 숲 가꾸기 사업을 실시함으로써 자연 산림과 유사한 상태를 보전하고 있기 때문으로 판단된다.

<표 3-4> 월평공원의 탄소 흡수량 및 산소 발생량 산정

(단위 : 그루, ha, 톤/년)

임반	수종	본수	식재 면적	탄소 저장량		이산화탄소 흡수량		산소 발생량	
				침엽수	활엽수	침엽수	활엽수	침엽수	활엽수
월평동1	소나무	11,264	88.0	2,901	1,459	10,637	5,349	7,736	3,890
	리기다	39,160							
	아까시	10,912							
	참나무류	21,208							
	밤나무	1,848							
	벚나무	1,408							
	활엽기타	1,760.							
도마동1	소나무	2,464	22.0	493	509	1,807	1,865	1,314	1,356
	리기다	5,060							
	아까시	2,552							
	참나무류	5,852							
	밤나무	1,122							
	벚나무	440							
도마동2	소나무	1,408	16.0	537	113	1,969	416	1,432	302
	리기다	7,360							
	아까시	1,104							
	참나무류	3,024							
	활엽기타	416							
	해송	1,120							
	은사시	496							
도안동	소나무	15,002	62.5	1,988	1,172	7,289	4,297	5,301	3,125
	리기다	6,376							
	아까시	2,125							
	참나무류	13,815							
	벚나무	1,625							
	활엽기타	5,252							
	해송	14,503							
월평동2	소나무	176	6.80	402	69.3	1,473	253.9	1,071	184.7
	리기다	1,800							
	아까시	1,184							
	밤나무	686							
	활엽기타	944							
	낙엽송	1,454							
정림동1	소나무	7,992	37.0	1,538	434	5,639	1,591	4,101	1,157
	리기다	11,137							
	아까시	407							
	참나무류	7,289							
	밤나무	629							
	활엽기타	3,774							
	해송	7,252							
정림동2	소나무	7,339	41.0	1,911	96.7	7,007	354.5	5,096	258
	리기다	20,705							
	참나무류	1,148							
	벚나무	574							
	활엽기타	2,337							
	해송	4,305							
합계		259,808	273	9,770	3,853	35,822	14,126	26,052	10,274
				13,622		49,948		36,326	

한편, 총 산소 발생량은 활엽수가 26,052 톤, 침엽수는 10,274 톤으로 월평공원에서 발생한 산소는 합계 총 36,326 톤이었다. 이산화탄소 흡수량 산정 시와 마찬가지로, 수목의 평균 연령을 25년으로 보고 연간 산소 발생량을 산정한 결과, 월평공원의 연간 산소 발생량은 1,453 톤/년에 달하였다. 또한 식재 면적 1 ha 당 산소 발생량은 5.35 톤/ha로 전국 연평균 산소 발생량인 4.96 톤/ha를 상회하였다.

<표 3-5> 연구대상지의 탄소 흡수량 및 산소 발생량 비교

구분	한밭수목원	도시 숲	월평공원
연간 탄소 총 저장량 (tC/년)	12.1	6.22	545
연간 ha 당 탄소 총 저장량 (tC/ha/년)	0.42	0.68	1.99
연간 이산화탄소 총 흡수량 (tCO_2/년)	44.3	22.8	1,998
연간 ha 당 이산화탄소 총 흡수량 (tCO_2/ha/년)	1.54	2.50	7.31
연간 산소 총 발생량 (톤/년)	32.3	16.5	1,453
연간 ha 당 산소 총 발생량 (톤/ha/년)	1.12	1.82	5.32

2. 이산화탄소 흡수량 효과 분석

1) 화석 연료 연소에 의한 이산화탄소 배출량 상쇄 효과

우리나라의 주요 온실가스 배출원은 에너지 및 산업부문이고, 대전시의 주요 온실가스 배출은 가정·상업 부문에서 이루어진다. 따라서 본 연구에서 산정한 이산화탄소 흡수량이 얼마만큼의 에너지 사용량에 상응하는지를 경유와 무연탄, 그리고

LNG의 연소분과 비교하였다. 또한, 본 연구 결과 산정된 이산화탄소 흡수량이 수송부문의 이산화탄소 배출량을 어느 정도 상쇄할 수 있는지를 계산하였다. 아울러, 가정에 공급되는 전력 소비에 의해 배출되는 이산화탄소의 양과 비교하기 위하여 에너지경제연구원의 원단위[25]를 이용하였다.

(1) 경유의 연소

경유의 경우, IPCC 추계방법론에 의거하여 계산하면 1 L의 경유를 연소할 때 2.59 kgCO_2가 배출되므로, 경유 1 L당 0.002593 tCO_2의 이산화탄소를 배출하게 된다. 한밭수목원의 경우, 연간 44.3 tCO_2의 이산화탄소를 흡수하는데, 이것은 약 17,090 L의 경유가 연소되면서 배출되는 이산화탄소를 흡수할 수 있는 양이다. 이것을 경제적 가치로 환산하기 위하여 경유 1 L당 가격을 1,300원[26]으로 가정할 때, 연간 약 2,222만 원 상당의 경유가 연소될 때 발생하는 이산화탄소의 양과 같다.

(2) 무연탄의 연소

무연탄의 경우, IPCC 추계방법론에 의거하여 계산하면 1 kg의 무연탄을 연소시키면 0.001855 tCO_2의 이산화탄소가 발생된다. 본 연구에서 산정한 도시 숲의 이산화탄소 흡수량은 연간 22.8 tCO_2으로서, 이것을 무연탄의 이산화탄소 발생 잠재량과 비교하면 약 12,283 kg의 무연탄이 연소되면서 발생하는 이산화탄소를 흡수할 수 있는 분량이다.

(3) LNG의 연소

도시가스로 사용하는 LNG의 경우, IPCC 추계방법론에 의거하여 계산하면 1 Nm^3를 연소하면 0.002231 tCO_2의 이산화탄소가 발생된다. 월평공원의 경우, 연간

25) 에너지경제연구원의 보고서에 따르면, 2003년 기준으로 전력 1MWh당 0.424 tCO2의 이산화탄소를 배출한다고 하였다.
26) 한국석유공사 주유소종합정보시스템에서 제공하는 2009년 1월 1일의 국내 유가를 기준으로 하였다. (http://www.opinet.co.kr/)

1,998 tCO_2를 흡수하는데, 이는 895,739 Nm^3의 LNG가 연소되면서 발생하는 이산화탄소를 흡수할 수 있는 양이다. 2006년 기준 대전시의 1가구당 가정용 도시가스 소비량이 780 Nm^3임을 감안하면[27] 이것은 약 1148 가구에서 1년 동안 소비하는 도시가스 사용량과 같다.

<표 3-6> 연소에 의한 이산화탄소 배출량과 연구대상지의 흡수량 비교

(단위 : tCO_2)

구분	단위	이산화탄소 배출량	연간 이산화탄소 흡수량 상당		
			한밭수목원 합계	도시 숲	월평공원
경유	1 L	0.002593	17,090 L	8,787 L	770,445 L
무연탄	1 kg	0.001855	23,888 kg	12,385 kg	1,076,895 kg
LNG	1 Nm^3	0.002231	19,870 Nm^3	9,301 Nm^3	895,739 m^3

(4) 수송(승용일반) 부문과 전기 사용

한편, 에너지 총조사 보고서(2005)의 승용차 연간 에너지 소비량을 살펴보면[28], 승용 일반 휘발유자동차(경유 자동차 : 산타페 등)는 연평균 1,871 L/대, LPG 자동차의 경우 2,661 L/대를 소비한다. 이를 기준으로 하였을 때, 한밭수목원은 연간 휘발유 자동차 약 11대의 운행으로 배출되는 이산화탄소를 상쇄할 수 있다. 정부청사 도시 숲은 연간 경유 자동차 약 5.7 대에서 배출되는 이산화탄소의 양에 상응하며, LPG 자동차 208대가 운행하며 배출하는 이산화탄소를 흡수할 수 있는 것으로 나타났다(표 참조). 또한, 이산화탄소 흡수량이 가장 많았던 월평공원의 경우, 4,712 MWh의 전기 생산으로 배출되는 이산화탄소의 양에 해당하였으며, 이러한 전력량은 2006년을 기준으로 대전시에서 약 453 가구에 1년 동안 공급할 수 있는 양이

27) 2007 지역에너지통계연보에 따르면, 대전시의 2006년 가정용 도시가스 소비량은 308,743,000 m^3이고, 대전시의 가정용 도시가스 수요가수는 395,747 가구이므로, 이를 나누어 780 m^3/가구의 원단위를 도출하였다.

28) 에너지 총조사 보고서의 '자가용 차량의 운행 특성' 항목을 보면, 휘발유, 경유, 그리고 LPG 차량의 승용일반형이 배기량에 따라 1,500cc 미만, 1,500~1,999cc, 2,000cc 이상으로 나뉘는데, 본 연구에서는 이들 배기량에 따른 에너지 소비량의 평균을 구하여 사용하였다.

다.[29)]

<표 3-7> 수송부문 및 전기 사용에 의한 이산화탄소 배출량과 연구대상지의 흡수량 비교

(단위 : 대, 가구)

구분	원단위	한밭수목원	정부청사 도시 숲	월평공원
휘발유	3.974 tCO_2/대	11.2 대	5.73 대	503 대
경유	4.851 tCO_2/대	9.14 대	4.70 대	412 대
LPG	9.599 tCO_2/대	4.62 대	2.37 대	208 대
전기	0.424 tCO_2/MWh	10.0 가구	5.16 가구	453 가구

29) 2007 지역에너지통계연보에 따르면, 2006년 가정·상업부문에서 소비된 전력량은 4,394 GWh이었고, 전력수용가는 422천 가구이므로, 이를 나누어 10.4 MWh/가구의 원단위를 도출하였다.

제 4 장

결론 및 정책제언

제1절 결론

제2절 정책제언

제 4 장 결론 및 정책제언

제1절 결론

본 연구의 목적은 대전시 한밭수목원과 정부청사 도시 숲, 그리고 월평공원을 대상으로 이산화탄소 흡수량을 산정하는 것이다. 본 연구 결과, 한밭수목원의 경우, 1단계 지역은 연간 25.1 tCO_2, 3단계 지역은 연간 19.2 tCO_2로 수목원에서만 연간 44.3 tCO_2의 이산화탄소 흡수량을 가지는 것으로 나타났다. 또한 7도시 숲은 연간 22.8 tCO_2의 이산화탄소 흡수량을 가지는 것으로 나타났다. 이를 면적 단위로 환산했을 때 수목원은 식재 면적 1 ha 당 1.54 tCO_2, 도시 숲은 2.50 tCO_2의 이산화탄소 흡수량을 가지는 것으로 나타났다. 월평공원의 경우, 연간 1,998 tCO_2의 이산화탄소 흡수량을 가지는 것으로 나타났으며, 이를 면적 단위로 환산했을 때 식재 면적 1 ha 당 7.31 tCO_2의 이산화탄소 흡수량을 가지는 것으로 나타났다.

도시 내 수목원, 도시 숲 및 도시 산림 공간 등의 이산화탄소 흡수원으로서의 활용은 에너지·산업부문의 배출량 삭감 사업에 비하여 비교적 사회·경제적인 제약이 적고, 정해진 기간 안에 흡수량 목표달성이 가능하다. 뿐만 아니라, 장차 있을 수 있는 사회·경제변동에도 영향을 크게 받지 않고, 도시민들의 자발적인 참여도 이끌어낼 수 있으며, 일정수준의 이산화탄소 흡수량을 지속적으로 확보할 수 있기 때문에 효율적인 수단이라고 판단된다. 또한 도시 내 수목원, 도시 숲, 도시 산림 공간의 흡수원으로서의 활용은 기후변화 대응은 물론, 생물 다양성 보전, 수자원 함양, 토양 보전, 대기 정화, 경관 향상 및 형성, 휴양 등의 공익적 기능을 동시에 제공하기 때문에 다양한 효과를 기대할 수 있다.

다만, 본 연구결과, 이산화탄소 흡수만을 목적으로 도시 내 녹지 공간을 조성하는 것은 비용이 높고 비용대비 효과를 기대하기 힘들기 때문에 녹지 공간이 가진 다양한 공익적 기능을 동시에 고르게 극대화할 수 있는 방향으로 녹지 사업의 계획을 수립 및 집행할 필요가 있다.

앞으로 도시 내 녹지 공간의 이산화탄소 흡수량 및 배출량 통계시스템을 구축하여 매년 계산하고, 이 자료가 지리 정보와 함께 지속적으로 데이터베이스화되고 축적되어야 할 것이다. 이 통계자료는 도시 온실가스 통계 시스템과 연동되어 산림분야의 경우, 도시 내 어느 지점에 어떤 수종의 나무를 얼마나 심어야 할 것인지를 제시해 줄 수 있도록 해야 할 것이다. 또한 기후변화에 따른 수목의 적응 실태 및 예측에 대해 체계적인 모니터링이 이루어져야 할 것이며, 도시 내 산림의 탄소 배출권 잠재력 등에 대한 연구가 추진되어야 할 필요가 있다.

본 연구에서는 연구대상지 내의 단일 수목을 지상레이다나 항공사진 등 정확한 측정 장비로 조사한 것이 아니고, 각 수종별로 이산화탄소 흡수량을 계산한 것이 아니라, 침엽수와 활엽수로만 구분하여 산정하였기 때문에 오차가 있을 수 있다. 또한 앞으로의 생장도 자연 산림지역과는 상이할 것임을 감안해야 할 것이다. 연구결과의 일반화에 있어서도 각 지방자치단체별로 수목원이나 도시 숲의 조성 목적, 식재 장소 및 방법 등에 따라 이산화탄소 흡수량의 차이가 있을 수 있다.

제2절 정책제언

1. 도시 내 이산화탄소 흡수원 증가 방안

수목의 이산화탄소 흡수 능력은 수종과 성장단계, 관리방법에 따라 다르게 나타나지만, 숲 가꾸기, 도시림 확대, 산림재해 방지, 산림전용 억제 및 재조림 의무화 등을 통해서 그 능력을 극대화 할 수 있다.

첫째, 어린나무 가꾸기, 가지치기, 시비, 병충해방제 등 도시 내 녹지공간을 가꾸는 노력은 필연적이라 할 수 있다. 특히, 도시 내 수목원과 도시 숲 등 현재 조성되고 있는 녹지 공간 내 수목은 수령이 자연적인 산림에 비해 어린 경우가 많기 때문에 볼 때, 수목관리를 통해 고사목을 줄이고 양적·질적 생장을 촉진하여 건강한 수목으로 가꿈으로써 지속적인 이산화탄소 흡수량을 확보할 수 있도록 해야 할 것이다.

숲 가꾸기 사업에 따른 탄소 배출권 확보는 교토의정서 상 온실가스 감축을 위한 산림경영 활동으로 인정되기 때문에 숲 가꾸기 사업은 산림의 공익 기능 향상 및 탄소 배출 감축의무 부담을 감소시키는 사업으로서 그 당위성이 확대될 것으로 보인다. 숲 가꾸기는 이산화탄소 흡수량을 늘임과 동시에 도시 내에서 일자리 창출, 휴양 공간 제공, 생물 다양성 증진, 수원 함양, 산사태 방지 등 긍정적인 기능을 하기 때문에 권장되어야 할 것이다. 수목을 많이 심는 것도 중요하지만, 기존의 수목을 얼마나 잘 유지·관리하는가 하는 것도 못지않게 중요하다.

둘째, 신규 조림면적을 확대하는 것이 가장 기본적으로 이산화탄소 흡수량을 늘이는 방안이다. 다만, 도시 내 공간이 부족하기 때문에 도시 근교의 생산성이 낮은 한계 농지 및 도시 내 나대지를 대상으로 신규조림 추진하여 탄소 흡수원을 확충할 필요가 있다. 도시 숲 조성 확대도 유용한 실천방안이 될 것이다. 생활권 도시림 면적을 WHO의 최저 권고기준인 9 m^3/인을 넘도록 해야 할 것이며, 이를 위하여 실태 조사, 관련 제도 정비, 연구, 시민참여 확대 등 지속적으로 도시 숲 조성을 위해 노력해야 한다.

셋째, 도시 내 자연 산림지역에 대한 병해충 집중방제와 산불관리 체계 강화를 통한 산림재해 방지가 요구된다. 산림 병해충 예찰기능 강화 및 적기방제로 피해 면적이 확산되는 것을 억제하고, 병해충의 조기 발견 및 적기방제로 산림 생태계의 건강성 유지할 필요가 있으며, 사방산업을 확대하여 산사태 예방 및 수해 피해를 최소화하고, 산불예방 활동 및 초동 진화로 산림소실 면적을 최소화해야 한다.

넷째, 기존의 산림 및 녹지 공간을 타용도로 전용하는 것은 이산화탄소 흡수원의 감소를 의미하는 것이기 때문에 용도 전용을 억제해야 한다. 동시에 벌채지에서 조림을 하는 활동이 우선적으로 요구된다. 다만, 불가피한 경우 자연친화적 개발 유도하고, 전용허가 협의제도 및 대체조림비제도 도입하며, 산지 전용 허가기준 정립 및 사전심의제도 도입하고, 벌채지의 조림 의무화 및 유휴지에 대한 신규조림 촉진을 유도할 필요가 있다.

2. 도시내 이산화탄소 흡수원 증가를 위한 정책적 지원 방안

도시가 이산화탄소 흡수원의 역할을 할 수 있는 건강하고 푸른 녹지 공간을 충분히 확보하기 위해서는 관련 법률과 제도 정비, 중앙정부와 지방자치단체간의 협력체계 구축, 다양한 도시여건에 따른 맞춤형 정책 수립 및 그에 따른 재원 마련 등 선행되어야 할 난제들이 많다.

먼저, 지방자치단체는 지역에서 배출되고 있는 이산화탄소를 비롯한 온실가스 배출량을 정확하게 파악한 후 국가 간 교류 및 협약의 결과로 중앙정부에서 제시하는 감축목표 및 예산지원액을 감안하여 단기 및 중장기 감축목표를 분명히 정해야 할 것이다. 왜냐하면, 온실가스 배출량과 감축량이 지표화되지 않으면 감축필요성을 잘 느끼지 못할 수 있기 때문이다. 그렇기 때문에 정확하게 어디에서 어떻게 얼마나 온실가스가 배출되는지 파악하는 것이 중요하다. 그렇게 관리해야 집중해서 줄이기 위한 계획을 세울 수 있으며 세워진 계획에 따라 실천하고 그 과정을 정리하여 눈에 보이는 결과를 얻을 수 있기 때문이다.

둘째, 시민들이 기후변화를 이해하고 실생활에서 온실가스 저감을 위해 실천할 수 있도록 유도해야 한다. 시민들은 온실가스를 배출하는 주체이면서 줄일 수 있는 주체이므로 능동적으로도 기후변화에 대해 인식하고 생활 속에서 실천하기 위해서 노력할 수 있도록 해야 한다. 시민들이 자발적으로 이산화탄소를 저장할 수 있는 나무를 많이 심고, 일상생활에서 목재를 많이 이용해 줄 것을 홍보할 필요가 있다. 기후변화의 원인물질인 온실가스의 감축을 위해 일반 가정이나 식당 같은 상업시설의 운영자가 해당지역 환경관리공단에 온실가스 배출량 저감 실적을 등록하면 공단은 실적에 따라 포인트를 발급해 이에 상응하는 인센티브를 부여하는 탄소포인트 제도 시행을 통해 자영업을 포함한 민간부문의 실천을 촉구하는 방안을 검토해 볼 수 있다.

셋째, 환경부와 온실가스 배출량을 줄이기 위한 협약을 맺는 것을 고려해 볼 수 있다. 이를 통해 지방자치단체 특성에 맞는 온실가스 감축 프로그램 운영, 기후변화 조례 제정, 온실가스 감축에 필요한 재정·기술을 지원받을 수 있을 것이다.

넷째, 도시의 내·외곽에 자리 잡고 있는 산림을 주요 거점으로 하여 도시 내의 각종 도시산림공원, 수목원, 학교 숲, 가로수들이 생태적으로 그물처럼 연결되는 녹색네트워크를 구축할 필요가 있다.

다섯째, 도시근교에 영농조건이 나빠 생산성이 없는 한계농지나 방치된 토지, 마을 숲이지만 관리되지 않고 훼손된 토지를 산림으로 복구하기 위해 유휴토지 조림계획을 추진함으로서 이산화탄소 흡수원 확보를 통해 기후변화협약에 대응하는데 기여할 수 있을 것이다. 유휴지에 토지 소유자가 희망하는 수종의 묘목을 무상으로 지원하는 방안도 고려해 볼 수 있다.

여섯째, 숲 가꾸기 사업을 통하여 발생하는 산림부산물을 수집하고 건축 공사장의 폐목재 및 일상생활에서 나오는 폐가구 등을 적극 이용하기 위해 관계부처와 협의를 통해 법령개정 등을 추진할 필요가 있다.

3. 이산화탄소 흡수량 증대를 위한 대전시의 우선 정책방안

1) 지속적인 통계자료 축적

대전시는 기존의 녹지공간에 대한 수목조사를 통해 도시 내 산림에 의한 정확한 온실가스 흡수량을 산정하고 시계열 자료로 지속적으로 축적해야 한다. 왜냐하면, 정확한 온실가스 흡수량에 대한 자료가 없이는 실질적인 기후변화 대응 정책을 수립하는 것이 거의 불가능하기 때문이다. 나아가 산업·수송·폐기물 부문 등에서 발생하는 온실가스 배출량과 녹지 공간에 의한 흡수량에 대한 데이터베이스가 통합되어야 하며, 이 과정을 통해 축적된 정확한 수치를 가지고 기후변화협약에 대응하는 정책수립을 위한 의사결정이 이뤄지도록 해야 할 것이다.

2) 녹지공간의 확보

대전시는 우선적으로 도시 내 녹지공간을 최대한 확보하여 실질적인 녹지량을 증대시켜야 한다. 녹지공간의 확보는 수목에 의한 온실가스 흡수량 증대를 위한 가장 선행조건이기 때문이다. ① 시유지, 미시설 용지 등을 공원녹지로 조성, ② 보행자중심의 녹화거리 조성, ③ 하천변 녹화, ④ 옥상녹화지원 등 도시공원화를 지속적으로 추진하여 녹지공간의 면적의 확대가 이루어져야 할 것이다.

3) 효율적인 식재기법 적용

대전시는 도시 공간 내에 식재하고자 하는 수목의 개체수나 녹지공간의 면적을 확대하는 것도 중요하지만, 수목의 온실가스 흡수 능력을 확대하기 위한 식재기법에도 주목할 필요가 있다. 이를 위해서 ① 시각적인 효과를 위해 이미 성장한 나무를 식재하는 것보다 어린나무를 우선적으로 식재하여 생태적인 안정을 도모할 것, ② 관목, 꽃보다는 교목위주로 식재할 것, ③ 일렬보다는 다(多)열로 식재할 것 – 예컨대 인도가 넓은 경우 현재 2열식재도 병행하고 있지만, 3열식재 방법도 고려 등, ④ 온실가스 흡수량을 고려하여 침엽수보다는 활엽수를 우선으로 식재할 것, ⑤ 자연 산림과 같이 식재밀도를 높일 것이라는 가이드라인을 지켜야 할 것이다.

4) 자연산림의 보존

대전시는 월평공원과 같이 도시 내 대규모 자연산림에 대한 지속적인 숲 가꾸기를 통해 이산화탄소 흡수원을 보존할 필요가 있으며, 산림공간의 타용도로의 전용을 최대한 억제하고 도시민들의 출입이 잦은 곳에 산불 등 산림재해방지에도 노력해야 할 것이다. 기존의 자연산림지역은 최대한 보전하되 공원화를 이유로 등산로 및 과도한 시설을 설치하거나 수목을 벌채하는 것은 지양해야 할 것이다.

참고문헌

권순덕, 서정호, 손영모, 박영규(2005), 산지전용에 따른 우리나라의 임목 바이오매스 탄소 배출량, 임산에너지, 24(2), 10-15

권태성(2008), 기후변화와 곤충, 2008 열린세미나 자료집(상), 국립산림과학원, 10-16

기상청 역(2008), 기후변화 2007 - 종합보고서, IPCC

기후변화대응 종합기본계획(2008. 9. 19), 국무총리실 기후변화대책기획단

김수봉, 정응호(2005), 친환경적 도시건설을 위한 바람길 도입 기초 연구, 대구경북연구원

김신도, 이경빈, 이민주, 이경재, 김태식(2008), 서울시내 도시숲(산림)이 대기오염에 미치는 영향, 한국대기환경학회 2008 추계학술대회 논문집, 281-283

김종호, 이경학, 박찬우, 서정원, 손영모, 김경하, 윤호중, 박찬열, 이승우, 오정수(2005), 산림의 공익기능 계량화 연구 보고서, 국립산림과학원

김종호, 김재준, 전준헌, 손영모, 김경하, 윤호중, 박찬열, 이승우(2007), 산림의 공익기능 계량화 연구, 국립산림과학원

김준순(2004), 기후변화협약에 따른 국내 임업의 대응방안, 한국산림연구, 12(2), 58-67

박관수, 임재구, 김준성, 고소현(2003), 주요 참나무류 천연림 생태계의 탄소 고정에 관한 연구, 2003 한국임학회 학술연구 발표논문집, 174-176

산업자원부(2006), 에너지 총조사 보고서, 2005

온실가스 저감을 위한 대전시 대응방향 세미나(2008. 5. 13), 대전발전연구원

윤진일(2006), 기후변화에 따른 벚꽃 개화일의 시공간 변이, 한국농림기상학회지 8(2): 68-76.

에너지경제연구원(2008), 2007 지역에너지통계연보

이경학(2004), 국내외 산림부문에서의 탄소배출권, 한국임학회 2004 학술연구 발표논문집, 29-47

이동근, 김재욱(2007), 한반도 지역의 기후변화에 의한 고산·아고산 식생 취약성 평가, 한국환경복원녹화기술학회지, 10(6), 110-119

임종환, 신준환(2005), 지구온난화에 따른 산림식생대 이동과 식물계절 변화, 자연보존, 130, 8-17

서울특별시(2008), 서울의 환경 : 환경백서, 2007.

정병헌, 박경석, 배재수, 김영수, 최수임, 강승진, 박순철, 유동헌, 임재규, 하경애(2006), 기후변화협약과 산림-국제적 논의 동향 및 대응 방향, 국립산림과학원

정환도(2004), 온실가스 저감을 위한 대전광역시의 대응방향, 대전발전연구원
정환도(2006), 지역온실가스 저감을 위한 시민 실천방안 연구, 대전발전연구원
정환도(2007), 기후변화협약과 대전시 자동차 부문의 기초연구, 대전발전연구원
정환도(2008), 기후변화협약과 대전시 전력 부문의 기초연구, 대전발전연구원
정환도(2008), 녹색도시대전 프로젝트 구체화방안, 대전발전연구원
조용현, 김운수(2005), 청계천·서울숲 조성에 따른 미기후 및 생태변화 조사 연구, 서울시 정개발연구원
조재형, 조현제, 오정학, 최명섭(2007), 한국의 도시숲, 국립산림과학원
환경부(2008), 선진국 기후변화관리정책
Sung-Deuk Choi, Yoon-Seok Chang(2004), Factors affecting the distribution of the rate of uptake by forests in South Korea, Environ. Sci. Tech., 38, 484-488.

http://carbon.kfri.go.kr/index.aspx
http://parks.seoul.go.kr/seoulforest/

부록 1. 탄소 상쇄(Carbon Offset)를 위한 나무심기

- 소나무 묘목 기준 -

□ 1 tCO_2 배출 상쇄를 위한 산림조성 면적 및 식재 본수

배출 유형	산림조성 면적1)	식재 본수2)
연간 1 tCO_2 일상적 배출 (가정, 승용차 등)	1,200 m^2	360 그루
한번 1 tCO_2 일회성 배출 (결혼식, 여행 등)	30 m^2	9 그루

1) 1,200 m^2 ☞ 농구코트(28 m x 15 m = 410 m^2) 약 3면의 크기
2) 1 ha(10,000 m^2)당 어린나무 3,000 그루 식재 기준

□ 에너지 절약에 의한 나무심기 효과

분 야			절약 유형		나무심기 효과	
		비고	변경 전	변경 후	면적(㎡)	그루수
승용차	크기	휘발유, 15,000km/년	대형	소형	2,900	870
			중형	소형	1,040	312
	연료	중형, 15,000km/년	휘발유	경유	850	255
가정	에어컨	온도 조절(2℃)	26℃	28℃	117	35
		냉장고	3등급	1등급	38	11
	냉장고	에너지 등급	3등급	1등급	83	25
	컴퓨터	모니터	일반	절전형	121	36
		조명	일반	절전형	75	23
		TV	일반	절전형	43	13
	세탁기	에너지 등급	3등급	1등급	7	2
	조명	종류 변경	백열등	형광등	30	9
		에너지 등급 (형광등)	3등급	1등급	7	2
		에너지 등급 (백열등)	3등급	1등급	9	3
	TV	-	일반	절전형	11	3
사무실	팩시밀리	-	일반	절전형	166	50
	복사기	-	일반	절전형	216	65

출처 : 환경관리공단 / 기후변화홍보포털에서 재인용
http://www.gihoo.or.kr/portal/nat/content.do?idx=5128&pageNum=1&number=17&site=&column=&field=&gihoo=n

부록 2. 산림 1 ha당 이산화탄소 흡수량 통계

연평균 ha당 탄소흡수량 (단위 : 탄소 톤, tC/ha)													
임령 / 수종	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
강원지방소나무	1.32	1.40	1.47	1.51	1.51	1.55	1.55	1.51	1.51	1.51	1.47	1.47	1.44
중부지방소나무	1.59	2.10	2.33	2.37	2.33	2.21	2.06	1.94	1.82	1.71	1.59	1.47	1.40
잣나무	2.36	2.56	2.64	2.68	2.68	2.64	2.60	2.56	2.52	2.48	2.41	2.37	2.33
낙엽송	3.09	3.09	3.05	2.92	2.84	2.72	2.64	2.52	2.44	2.36	2.27	2.19	2.11
리기다소나무	2.25	2.37	2.45	2.53	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57	2.53	2.49
편백	2.06	2.03	2.00	1.96	1.93	1.93	1.90	1.90	1.86	1.86	1.86	1.86	1.83
상수리나무	3.13	3.24	3.30	3.30	3.24	3.13	3.02	2.91	2.75	2.64	2.53	2.42	2.31
신갈나무	4.23	3.95	3.73	3.51	3.34	3.12	2.95	2.84	2.67	2.56	2.45	2.34	2.23

연평균 ha당 이산화탄소흡수량 (단위 : 이산화탄소 톤, tCO_2/ha)													
임령 / 수종	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
강원지방소나무	4.84	5.12	5.41	5.55	5.55	5.69	5.69	5.55	5.55	5.55	5.41	5.41	5.26
중부지방소나무	5.83	7.68	8.54	8.68	8.54	8.11	7.54	7.11	6.69	6.26	5.83	5.41	5.12
잣나무	8.64	9.39	9.67	9.82	9.82	9.67	9.53	9.39	9.25	9.11	8.82	8.68	8.54
낙엽송	11.32	11.32	11.17	10.72	10.43	9.98	9.68	9.23	8.94	8.64	8.34	8.04	7.74
리기다소나무	8.25	8.68	8.97	9.26	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.26	9.12
편백	7.56	7.44	7.32	7.20	7.08	7.08	6.95	6.95	6.83	6.83	6.83	6.83	6.71
상수리나무	11.48	11.88	12.09	12.09	11.88	11.48	11.08	10.68	10.07	9.67	9.27	8.86	8.46
신갈나무	15.52	14.50	13.68	12.87	12.25	11.44	10.83	10.42	9.80	9.40	8.99	8.58	8.17

연평균 ha당 산소발생량 (단위 : 산탄소 톤, tO_2/ha)													
임령 / 수종	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
강원지방소나무	3.52	3.73	3.93	4.04	4.04	4.14	4.14	4.04	4.04	4.04	3.93	3.93	3.83
중부지방소나무	4.24	5.59	6.21	6.31	6.21	5.90	5.48	5.17	4.86	4.55	4.24	3.93	3.73
잣나무	6.29	6.83	7.04	7.14	7.14	7.04	6.93	6.83	6.73	6.62	6.42	6.31	6.21
낙엽송	8.23	8.23	8.12	7.80	7.58	7.26	7.04	6.72	6.50	6.28	6.07	5.85	5.63
리기다소나무	6.00	6.31	6.52	6.74	6.84	6.84	6.84	6.84	6.84	6.84	6.84	6.74	6.63
편백	5.50	5.41	5.32	5.23	5.15	5.15	5.06	5.06	4.97	4.97	4.97	4.97	4.88
상수리나무	8.35	8.64	8.79	8.79	8.64	8.35	8.06	7.76	7.32	7.03	6.74	6.45	6.15
신갈나무	11.29	10.55	9.95	9.36	8.91	8.32	7.87	7.58	7.13	6.83	6.54	6.24	5.94

ha당 본수 (단위 : 그루/ha)													
임령 / 수종	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
강원지방소나무	1,063	818	657	545	463	399	350	310	277	249	226	206	188
중부지방소나무	1,648	1,497	1,283	1,082	917	786	684	606	544	496	457	426	401
잣나무	1,294	929	719	589	503	444	403	373	352	336	325	316	310
낙엽송	1,048	7,16	545	447	388	351	327	312	303	298	295	294	294
리기다소나무	2,144	1,555	1,182	930	753	622	524	447	387	338	298	264	235
편백	1,780	1,542	1,372	1,243	1,141	1,058	989	930	880	836	797	762	731
상수리나무	1,068	976	861	757	666	587	519	460	410	367	330	298	271
신갈나무	2,382	1,793	1,345	1,061	868	731	629	551	490	441	401	368	339

정책과제 연구보고서 2009-03

기후변화협약과 대전시 산림부문의 기초연구

발행인 육 동 일
발행일 2009년 8월
발행처 대전발전연구원
302-280 대전광역시 서구 월평본 1길39(월평동160-20)
전화: 042-530-3515 팩스: 042-530-3575
홈페이지 : http://www.djdi.re.kr

인쇄: ○○○○○ TEL 042-○-○ FAX 042-○-○

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 대전광역시의 정책적 입장과는 다를 수 있습니다.
출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단 전재나 복제는 금합니다.