

기획특집 2

# 자연환경의 보전과 생태계 복원기술

현시대는 급격한 산업화와 인구증가로 인한 환경오염이 심각하게 나타나고 이에 극복을 위한 대책 마련이 시급한 실정에 있다. 이에 정부의 67 PROJECT 중의 하나로 자연 환경의 보전과 생태계 복원기술의 진흥 상황을 알아본다.

강인구 / 국립환경연구원 환경보전연구부장

## I. 서론

오늘날 인구의 급증과 도시화 및 공업화로 인한 자연환경의 파괴 및 훼손을 실로 막대함에도 불구하고 우리는 이를 정확히 계량화시키지 못하고 있는 것이 사실이다. 자연환경의 보전은 인간의 건강과 문화적인 생활을 영위하는데 있어서 기본이 되는 것이고 자연환경의 혜택은 누구나 누릴 수 있어야 하며 후손에게 물려줄 가장 값진 유산이기도 하다. 따라서 우리가 국토를 보호하고, 생육하는 생물을 보호한다는 것은 국민의 책무이며 누구나 지켜야 할 일이다. 우리 모두는 자연의 원대한 자비로움만을 믿고 있을 때가 아니고 스스로 인간이 받을 피해를 최소화할 수 있는 노력과 사전에 필요한 예방책을 강구하여 지혜롭게 대처해 나가야 한다.

자연 생태계의 보전 문제는 대기 및 수질 환경의 보전 분야에 비하여 그 우선 순위가 뒤로 밀린채 다루어져 온 것이 또한 사실이다. 이는 국민이 직접 체감하는 대기질의 악화 및 인간 생존에 필수적인 식수의 오염 문제에 비하여 자연 생태계의 오염으로 내가 직접 해를 입지는 않는다는 의식에서 비롯된 것으로 보인다. 그러나 자연 생태계의 오염은 현재는 눈에 보이지 않을지 몰라도 그 결과가 계속 누적되어 왔고, 현재도 누적되고 있어 결국은 치유될 수 없는, 혹은 회복시킬 수 있다 하여도 많은 예산과 시간을 필요로 한다는 점을 간과하고 있는 것이다.

주지하는 바와 같이 선진국의 아황산가스 배출량은 최근 들어 감소되는 경향을 보이고 있으며, 우리나

자연생태계는 단순한 기계적 시스템이 아니어서 다양한 생물과 주변 환경이 복잡한 기능을 가지고 상호 연계되어 있기 때문에 생태적으로 건전하고 지속가능하도록 보전하기 위해서는 종합적이고 체계적인 접근이 요구되며, 단기간에 걸친 기술개발은 이루어질 수 없다.

라에서도 그 동안 청정연료의 사용, 오염원의 규제 등으로 그 배출량 뿐만 아니라 오염정도도 점차 낮아져 가는 추세이다. 그러나 파괴될 위험에 처해 있거나, 일단 파괴된 자연생태계는 오염원이 없어진 이후에도 자연적으로 치유되기 위해서는 너무나 많은 시간이 소요되며, 적절한 시간과 비용을 투자하여도 그 회복의 결과를 직접 확인하기가 그리 쉬운 일이 아니라고 생각된다.

또한 자연생태계는 단순한 기계적 시스템이 아니어서 다양한 생물과 주변 환경이 복잡한 기능을 가지고 상호 연계되어 있기 때문에 생태적으로 건전하고 지속가능하도록 보전하기 위해서는 종합적이고 체계적인 접근이 요구되며, 단기간에 걸친 기술개발은 이루어질 수 없다. 현재까지 우리나라에서 이루어진 연구들은 대부분 대기오염 실태파악, 피해현황 조사 등에 치중되어 왔으며 훼손된 생태계를 복원시킬 수 있는 기법의 개발 등은 우선 순위가 앞서지 못했다. 더구나 외국의 자연환경과 생물의 종류는 우리나라와는 자연적인 환경 등, 여러가지 관계 요인들이 다르기 때문에 이들이 개발한 기술을 그대로 우리나라에 도입하여 적용하는데는 문제가 있다고 본다. 따라서 비록 늦

은 감은 있지만 우리나라가 선진국에 진입하려는 마당에서 추진하고 있는 선도기술개발사업 중에 훼손된 생태계를 복원하기 위한 연구가 포함되었다는 것에 뜻이 있고, 매우 환영할 만한 일이며, 그 연구 결과가 자연생태계 복원기법을 개발하는데 일조를 한다는 측면에서 매우 기대되는 바 크다 하겠다.

## II. 생태계 복원기술개발 사업의 배경 및 필요성

### 1. 배경

생태계 복원기술개발 과제는 환경공학기술개발 사업의 하나로서 1992년부터 시작되었다. 환경공학기술개발사업은 선도기술개발사업(G-7 프로젝트)의 일환으로 추진하고 있는 연구과제 중 하나이다. 이 사업은 2001년까지 우리의 낙후된 환경기술을 선진국 수준으로 진입시키기 위한 국책사업이기도 하다.

그러나 생태계 복원기술개발 과제는 환경공학기술사업에 포함되어 있는 대부분의 과제들과는 약간 성격을 달리한다. 즉 대부분의 과제들이 기술 개발에 의하여 눈에 보이는 제품의 생산 및 기술 개발을



추구하고 있는데 비하여 생태계 복원기술개발 과제는 직접 상품을 개발하고자 하는 과제는 아니다. 그보다는 건전하고 쾌적한 환경과 생태계, 그리고 무한한 가능성을 지닌 생물자원을 후손에게 물려주기 위한 방편으로 환경오염과 인간간섭에 의하여 훼손된 생태계를 복원하는 기술을 개발하기 위한 것이다. 그러나 결국은 이와같은 기술의 개발은 앞으로 자연생태계가 더 악화되었을 경우에 이를 복구하기 위하여 소요되는 비용을 훨씬 줄여 줄 수 있다는 의미에서 국민경제에 이바지하는 측면에서는 다른 연구 과제들과 맥락을 같이 한다고 할 수 있다.

## 2. 복원기술개발의 국내외 연구 동향

현재 우리나라의 연구 상황은 도시 및 공업단지 지역의 녹지에 대한 환경오염에 의한 훼손상태 및 녹지조성 방법이 체계적으로 파악

되지 못한 실정이며, 환경오염에 대한 생물의 내성 및 감수성 연구도 특수 연구기관에서 단편적이며 간헐적으로 이루지고 있는 실정이다. 이와 같은 결과를 초래하게 된 것은 환경오염과 생태계의 관련성 및 훼손생태계 복원에 관한 연구는 장기간이 소요되는데 비하여 지금까지의 연구들이 단기간에 이루어져 왔으며, 환경영향 검증을 위한 필요한 고가의 연구시설(open-top chamber 등)에 대한 투자 부재로 지속적인 연구에 의한 질적 향상과 기술 개발 및 관련 정보의 축적이 제대로 이루어 지지 않았다는데서 그 원인을 찾을 수 있다. 최근 관계되는 국내 연구로서는 산성우 및 대기오염에 의한 생태계 피해여부를 규명하고자 하는 연구(정 등, 1992) 및 오염환경을 정확할 수 있는 환경정화생물을 개발하기 위한 연구(고 등, 1993)가 수행된 바 있다.

이러한 분야에서 국외에서는 산성비에 의한 산림쇠퇴에 대한 연구가 많이 이루어져 왔다. 그 예로는

산성비에 의한 산림쇠퇴후의 원인으로서는 토양산성화 연구, 산성토양에서 내성식물의 존재 및 토양미생물에 대한 영향 등에 대한 연구가 있으며, 미국에서는 1980년부터 산성비에 의한 전반적인 피해를 다루기 위한 연구를 10년에 걸쳐 수행한 바 있다. 생물다양성의 중요성과 보전을 강조한 연구는 IUCN, UNEP, FAO, UNESCO등에서 수행

스웨덴왕립과학원(1992)에서는 생물다양성이 생태계에 미치는 영향에 관하여, 그리고 Brussard(1991)는 생물자원 보전에 있어서의 생태학의 역할에 대하여 연구를 수행한 바 있다. 또한 훼손지역을 식생을 이용하여 복원하고자 하는 시도도 있어 왔다.

## 3. 복원기술 개발의 필요성

우리나라에서 현재 자연생태계를 파괴하는 요인으로 대두되고 있는 것으로는 대기오염과 산성우, 무분별한 개발, 인간의 과이용 등이 있다. 이러한 요인들에 의한 파괴속도는 너무 빨라 자연생태계가 지나고 있는 자정작용(self purification)의 한계를 이미 오래 전에 넘어 버린 상태로서, 파괴된 생태계의 복원을 위해서는 오염원의 차단, 개발 및 이용의 중지 등의 극단적인 처방을 요구하는 단계로까지 확산되고 있다. 그러나 인간은 어느 정도 삶의 수준에 도달하고 나면 그 이전의 단계, 즉 지금보다 못한 단계로 내려가는 것을 거부하는 속성이 있으므로 어느 정도는 현상태의 삶의 질을 유지하며 그 영향을 최소화할 수 있는 방안의 모색이 필요한 실정이다.

국내에는 식물생태학, 동물 생태학, 식물 및 동물 분류학, 육수학, 어류학, 토양학, 기상학, 환경과학 등 각 분야에 걸쳐 국내 또는 국외에서 교육 받았던 상당히 높은 수준의 학자군이 형성되어 있다. 그러나 지금까지 생태계를 대상으로 한 연구의 대부분은 그 구조와 기능을 파악하는 원리적인 분야에 치중되어 있으며, 현재까지 축적되어 있는 자연생태계, 도시 공업단지 주변 생태계, 호소 및 하천 생태계의 자료도 대부분이 현황 파악에 관한 자료들이다. 따라서 이러한 전문 인력을 생태계 복원에 집중시키고, 또한 연구의 방향을 생활환경개선을 위한 복원 기술개발로 집약할 필요가 있다. 물론 여기에서 의미하는 바가 기초 과학분야의 중요성을 낮추자는 것은 아니며, 다만 생태계 복원의 시급성을 감안하여, 기초과학에서 쌓은 지식을 응용할 수 있는 연구집단의 필요성을 강조한 것이다.

한편 경제, 정책적인 측면으로 보았을 때 생물다양성 협약(Convention on Biological Diversity), 멸종 위기에 처한 야생동식물의 국제거래에 관한 협약(Convention on the International Trade of Endangered Species, CITES)에 대한 생물자원 보전전략 수립과 같은 국제환경 관련 협약에 대한 대응력 강화를 위해서도 우리나라의 생태계 복원을 위한 종합적인 연구가 필요하다.

앞으로 국가간 산업경쟁력은 단순한 기술 우위, 생산량만으로는 결정되기 어렵게 될 것이다. 여기에는 이러한 기술, 생산품이 어떠한 절차를 거쳐서 나왔느냐가 또 하나의 판단기준이 될 것이다. 또한 각국의 자연환경 오염문제는 이제 국내문

자연환경의 건전도에 따라, 혹은 국제적인 자연환경 관련 국제협약의 이행을 위한 국가의 준비 정도에 따라 무역에 까지 영향을 미친다는 사실을 기억하면서, 여기에 직접적으로 맞물리는 것이 바로 자연생태계의 보전 문제이다.



제로만 국한되지는 않는다. 즉 자연환경의 건전도에 따라, 혹은 국제적인 자연환경 관련 국제협약의 이행을 위한 국가의 준비 정도에 따라 무역에 까지 영향을 미친다는 사실을 기억하면서, 여기에 직접적으로 맞물리는 것이 바로 자연생태계의 보전 문제이다. 이러한 시점에서 우리 주변의 자연생태계 중 훼손되었거나, 훼손될 위기에 놓인 생태계를 원상으로 회복하고자 하는 연구는 매우 시의 적절하고 꼭 필요한 연구내용이라고 생각된다.

### Ⅲ. 생태계 복원기술개발사업의 개요

#### 1. 구 성

생태계 복원기술개발과제는 국립환경연구원, 임업연구원, 서울대학교 및 서울시립대학교 등 관계기관이 참여해 왔으며, 각 기관에서 수행하는 주요 연구 내용은 임업연구원에서 훼손된 생태계의 Biodiversity 평가 및 복원기법 개발연구, 서울대학교에서 대기오염 및 산

성비에 대한 내성종 및 Bioindicator의 선발, 육종 개발연구, 서울시립대학교에서 도시 및 공업단지 주변의 Green 복원기술개발 연구를 수행하고 있으며, 국립환경연구원에서 주로 생태계 영향평가기법 개발 연구에 주력하였다.

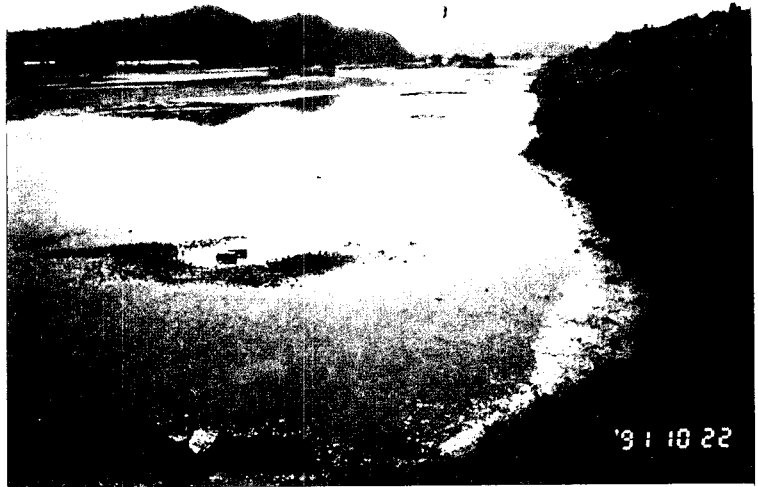
본 과제의 최종 목표는 오염환경에 대한 내성종 선발 및 실용화, 산성토양의 개량 복원 기법 개발, 오염지표종의 개발, 훼손지역 식생복원기술 개발, 생물다양성 복원기법 및 모니터링 시스템 개발로서 현재 1단계 2차년도의 연구를 마무리 지은 단계이다.

## 2. 연구추진 상황

생태계 복원기술개발 과제의 각 세부분야에서는 주로, 훼손된 생태계의 생물상 평가, 생물다양성 감소원인 분석, 대기오염과 산성비에 대한 내성종 개발, Bioindicator 선발, 도시 및 공업단지 주변의 Green 복원기술개발 등에 관한 연구를 수행해 왔다. 그 연구결과 및 앞으로의 연구 추진 방향에 대하여 알아보겠다.

### 가. 훼손된 생태계의 생물상 평가 및 생물다양성 감소원인 분석

본 연구 분야의 최종목표는 훼손 생태계의 생물상 평가 및 Biodiversity 감소원인 분석, 해안간척지 생물상 비교 분석과 한국특산생물의 보전전략, Biodiversity 감소와 Island biogeography 및 Fragmentation의 상호관계 규명, 그리고 Biodiversity 복원기법 및 Monitoring system 개발에 두고 있다. 이를 위하여 1단



계에서는 훼손된 생태계의 생물상 평가 및 생물다양성 감소원인 분석, 그리고 2단계에서는 생태계 변화 및 야생동물 동태 예측 모델을 개발하고, 생물다양성 지수 정의 및 실용화를 검토하여 생물다양성 감소원인과 관련이론의 상호관계를 규명하고 생물상 비교분석을 통하여 희귀생태계 및 특산종 보전 전략의 개발을 추진할 계획으로 있다.

지금까지의 연구결과를 살펴보면 식물, 곤충 및 야생조류로 나누어 훼손된 생태계인 남산지역과 자연지역인 광릉지역의 종구성의 차이, 종구성과 산림환경 구조와의 관련성을 알아보았으며, 생물다양성 분포모델을 컴퓨터 프로그램으로 개발하였고, 이러한 생물다양성 분포모델에 의한 중분포 기작의 해명을 시도하고 있다. 앞으로는 각 생물상별 종다양성 조사와 병행하여 생태계 다양성 평가기준을 정립할 예정이다.

### 나. 대기오염과 산성비에 대한 내성종 및 Bioindicator의 선발·육종 개발

본 연구 분야의 최종목표는 내성종에 의한 오염환경 복원의 실용화와 Ecosphere 복원기술별 통합이다. 이를 위하여 1단계에서는 대기오염과 산성비에 대한 내성 및 예민종과 개체의 선발과 오염토양 개량기법 개발, 2단계에서는 선발된 내성 및 예민종의 육종·종식 및 현지적용기법 개발을 목표로 하고 있다.

본 연구는 첫째, 대기오염에 대한 내성 및 예민종과 개체의 선발 연구분야에서는 현지조사 및 실내 실험에 의하여 SO<sub>2</sub>에 강한 식물로 5종 22개체를 선발하였으며, 오존가스접촉실험을 통하여 3종의 예민종을 선발하였다. 둘째, 산성비 지역 토양에 대한 내성종 및 내성 개체의 선발 연구분야에서는 7종 2,700개체를 대상으로 행한 AI 독성실험에서 89개체의 내성개체를 선발하였다. 셋째, 대기오염 및 산성비 지역의 토양개량 기법 개발 연구분야는 공단주변의 토양특성을 밝혀 오

염도양을 개량하고자 하는 연구로서 석회 및 dolomite의 토양개량 효과를 확인하였다. 앞으로는 각 분야별로 내성 및 예민개체를 확정 선발하고 토양개량제의 검정에 의한 토양개량제의 토양개량 효과를 평가할 예정이다.

#### 다. 도시 및 공업단지 주변의 Green 복원기술개발

오염지역별 Green 복원의 실용화를 최종목표로 하여 1단계에서는 훼손지역의 잠재식생 파악, 식물군집 구조분석과 환경요인 분석, 그리고 훼손지역의 식물군집 복원기법 개발을, 2단계에서는 잠재식생 중 오염환경에 대한 내성임목 및 초본의 육종, 도시 및 공업단지에서의 Mound Green의 조성을 목표로 하고 있다.

지금까지의 연구결과로는 수도권지역 삼림의 녹지현황 및 잠재식생을 조사하여 환경의 악화에 따른 군집 구조의 변화를 파악하였으며, 시간 변화에 따른 도시내 식물군집의 변화를 파악하여 생태적 전이가 중단되었음을 규명하였다. 또한 수도권지역의 환경요인 중에서 토양 산도가 서울에서의 거리가 멀어질수록 높아져 감을 발견하였으며, 공단지역의 오염원에서의 거리별, 그리고 시간에 따른 식물군집 피해현황을 밝혔다. 앞으로는 수도권지역 및 공단지역의 식물군집구조 분석을 계속하면서 아울러서 수도권지역 환경립 조성지의 문제점을 분석하고 환경립 조성 모델기법을 개발할 예정이다.

적 측면을 살펴보면, 첫째, 환경오염 요인에 특이하고 예민하게 반응하는 bioindicator의 선발, 육종, 증식

Green 복원의 실용화를 최종목표로 하여 1단계에서는 훼손지역의 잠재식생 파악, 식물군집 구조분석과 환경요인 분석, 그리고 훼손지역의 환경요인 분석, 그리고 훼손지역의 식물군집 복원기법 개발을, 2단계에서는 잠재식생 중 오염환경에 대한 내성임목 및 초본의 육종, 도시 및 공업단지에서의 Mound Green의 조성을 목표로 하고 있다.

으로 환경오염의 용이하고 신속한 조기진단과 오염피해의 확대를 방지할 수 있을 것이며, 둘째, 환경오염에 대한 내성종의 선발, 육종, 증식 기술의 확립과 활용으로 오염환경의 복원에 기여할 수 있고, 셋째,

### 3. 국내외 기술수준의 비교

아래에 제시하는 표는 생태계 복원기술 연구분야에 직접 참여하고 있는 전문 연구자들의 자료에 의하

여 작성된 것으로서 국내의 생태계 복원기술의 수준을 100점 만점으로 환산하여 몇 나라의 수준을 비교한 것이다. 이 표에서 나타난 바와 같이 우리나라의 생태계 복원기술의 수준은 현황조사 분야를 제외하고는 대부분 50이하인 것으로 나타났으며, 특히 기술 개발이란 측면에서는 대부분 10이하인 것으로 평가되어 매우 낙후된 상태임을 알 수 있다.

표 1. 생태계 복원기술의 국내외 기술수준 비교표

주요 기술	미국	유럽	일본	한국
생물다양성 판정기법	70	70	50	40
생태계별 생물상 조사	60	80	80	60
특산생물의 보전기술	60	60	60	50
훼손생태계의 Biodiversity 복원 기술	60	70	50	10
Biodiversity Monitoring System 개발	50	70	50	0
생물다양성 보전을 위한 전산시스템 개발	40	50	30	0
대기오염 및 산성비에 대한 내성종 및 예민종 개발	60	70	50	10
내성 Mycorrhizac 개발	60	60	40	10
산성비 토양개량	30	70	60	10
내성종 및 예민종의 open-top chamber 검정	50	80	90	0
내성종 및 예민종 실용화	40	50	60	10
훼손지역의 잠재식생 파악 및 식물구조 분석	진행, 완료단계			진행
훼손지역 식물군집 복원기술 개발	진행, 완료단계			진행
오염지역별 삼림토양의 이화학적 생물학적 분석	진행, 완료단계			진행

## IV. 향후 전망

생태계 복원기술은 여러가지 개발에 따른 생태계 파괴 및 기능적인 측면에서의 불균형을 초래하는 결과에 대하여 경제적이고 생태적으로 건전한 방법을 이용하여 생태계의 안정성을 유지하고자 하는 것으로서 국민보건 증진과 한국적 문화 창달을 위한 풍요로운 자연환경을 유지시키는데 궁극적 목적이 있다. 생태계 복원기술 개발 연구가 성공적으로 수행되면 기술적, 경제적 측면에서 다음과 같은 효과를 기대할 수 있을 것이다. 먼저 기술 훼손된 지역의 잠재자연식생 및 식물군집구조가 파악되어 Green 복원기법 개발의 기초적이고도 중요한 기술 축적이 이루어진다. 넷째, 오염지역도양의 이화학적, 생물학적 분석을 기초로 개량 및 회복기술이 개발될 것이며, Ecosphere 복원 기술 개발의 기초적인 기법도 도출될 것이다. 다섯째, 생태계 파괴 및 복원 예측기술의 정립으로, 환경관련 컴퓨터 소프트웨어 개발 기술에 기여할 수 있다.

한편 경제 산업적 측면에서 살펴 보면, 첫째, Green 복원기법 개발이 이루어짐으로서 국내의 훼손된 지역의 복원시 기준적 역할을 하여 비용의 절감효과, 둘째, 토양회복기술의 축적은 식생회복에 기여하고 쾌적한 환경을 조성하여 건강한 국민생활에 이바지 함으로서 경제 산업적인 측면에서도 중요한 요소로 작용할 수 있을 것이다. 셋째, 환경오염으로 쇠퇴되고 있는 삼림의 복원으로 CO<sub>2</sub> 흡수량을 증가시킴으로서 국가별 CO<sub>2</sub> 발생량 규제와 환경부담금 등 지구환경 보호를 위한



국제적 규제 및 생물다양성 보전협약, 멸종위기에 처한 야생동식물의 국제거래에 관한 협약 등의 가입에 따른 국내 생물자원의 보호와 기술이전 장벽에 대처하여 경제발전에 수반되는 환경오염 피해의 보상과 국제 환경협약에 대한 대응력 강화의 수단이 된다.

이와같이 많은 효용을 가져다 줄 수 있는 생태계 복원기술 개발연구를 수행하는데 있어서 가장 큰 장애요소로 작용할 수 있는 것중의 하나는 시간의 문제이다. 조급한 결과의 요구는 생태계를 대상으로 한 연구에서 나온 결과의 활용도를 낮추는데 큰 악영향을 준 요인으로서, 앞으로 본 연구를 수행하는데 있어서도 조급한 성과의 기대는 지금까지의 시행착오를 반복하는 결과만을 가져올 우려도 있다. 일반적으로 나무가 커서 종자를 맺고 다음 세대를 계대시키기까지 걸리는 시간이 적어도 20-30년 이상이라는 것을 생각하면, 이러한 나무가 추가되는 생태계를 복구하는데 걸리는 시간은 자연히 길어질 수밖에 없다는 점을 항상 염두에 두어야 한다. 물론 그 시간을 단축시킬 수 있

는 방법을 개발하기 위한 끊임없는 연구가 계속되기를 전제하면서, 자연생태계의 파괴에 따른 복원의 예측기술이 정립되고, 생물학적 모니터링 기법 개발로 자연생태계의 파괴를 사전에 막을 수 있는 예방책이 강구되어야 할 것이다.

## V. 참고문헌

1. 강인구 1986, 자연생태계 보전을 위한 계획, 자연보존 제55호 9p.
2. 강인구 1993, 대기오염과 국제간의 대응전략 제15회, 자연보호 세미나 111p.
3. 고강석 등 1993, 환경개선을 위한 정화생물 개발에 관한 연구(II) -대기질 개선을 위한 정화수 개발-. 국립환경연구원 80pp.
4. 정상웅 등 1992, 대기오염 및 산성비에 의한 피해조사 및 평가에 관한 연구(II)-산림생태계에 대한 영향을 중심으로-. 국립환경연구원, pp.135-209.
5. Brussard, P.E. 1991. The role of ecology in biological conservation. Ecological Application 1(I) : 6-12