第四號
2001

ISSN-1226-8321

山地環境

특 집

- 국토생태통합 네트워크의 구축과 관리방향
- 지속가능한 산림경영을 위한 활용방안

社團法人 韓國山地環境調査研究會
KOREAN SOCIETY OF FOREST ENVIRONMENT RESEARCH

山地環境 ○○一 第四號 韓國山地環境調査研究會

第五回 定期總會 開催

일시 : 2001년 2월 23일
장소 : 한국산지환경조사연구회 회의실



▲ 2001년도 사업계획(안)과 예산(안)을 의결하였다.

土 友 會



▲ 산림토양연구 동호인 모임인 토우회가 사무실을 열고 2001년 3월 17일 현판식을 하였다.

산림입지조사장비



반사입체경(MS-27)



고도계(Thommen)



고도계(Vector)



레이저거리측정기(Yardage)



하그로프수고측정기(Vertex III)



썬토콤파스/크리노메타



생장추(스웨덴)



토양경도계

디지털연륜측정분석기(Digital Tree Ring System)



- 모　　델 : DTRS-2000
- 크　　기 : W1,562×D800×H1,115mm
- 측정단위 : 1/100mm
- 배　　율 : 10배, 40배
- 최대측정거리 : 600mm
- 시료의 형태 : 단판(최대 1,200mm까지 장착)
  코어(Core)
- 연륜측정프로그램 및 연륜분석프로그램 제공
- 측정 및 분석프로그램 Upgrade Version 제공
- 실용신안등록 제0215150호

신일사이언스

Instruments & Equipments for
Agriculture, Forestry, Environment

서울특별시 광진구 구의2동 51-11
Tel : (02)452-0520, 2201-4921
Fax : (02)2201-4922
e-mail : jwchois@kornet.net

營林計劃 作成을 위한 山林調査 光景

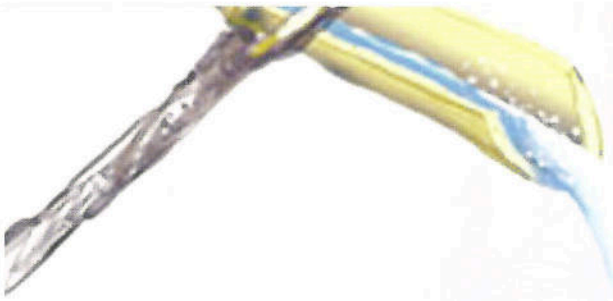


▲ 中部 林業試驗場 光陵試驗林

山林 立地調査 光景



▲ 경기도 양평군 서종면 수입리



설립 목적

21세기 정보화시대를 맞이하여 산림의 입지환경 및 생태환경에 관한 조사·연구를 실시하여 산림자원의 과학적관리에 필요한 정보를 제공 하므로서 임업발전에 기여

운영의 기본방향

- 산림의 입지환경에 관한 조사 및 연구
- 산림환경의 평가분석
- 임업에 필요한 각종기술정보 보급 및 교육
- 회원의 권익보호와 연구회의 기능강화
- 산지정화 및 산림생태계 보호와 자연환경 보전

중점 사업

- 산림입지조사방법에 관한 조사연구 및 기술지도
- 산림환경의 연구분석 및 임업전반에 관한 자문
- 산림토양 및 수질오염 실태조사 및 연구
- 산림수자원 보전 및 기능증진
- 생활환경(도시공간주변산림)과 일반임지환경림의 실태조사 및 조성
- 산림입지환경의 정보수집, 회지발간, 연구발표 및 교육
- 전국 유명산의 산림토양도 작성
- 녹지공간 조경 자문 및 산림환경평가 조사

社團法人 韓國山地環境調査研究會
경기도 남양주시 진접읍 장현리 604-3
TEL(031)572-1678
FAX(031)572-7387

제4호 2001

차 례

머리말 김태옥

논 단

임업경영과 환경보전과의 관계해명 김사일 / 5
제3종 수원함양보안림 실태 및 대책 정용호 / 9
생태학을 응용하는 개념과 경관임업 구창덕 / 16
산림은 깨끗한 에너지의 보고 박순조 / 22

특 집

국토생태통합 네트워크의 구축과 관리방향 김선희 / 24
지속가능한 산림경영을 위한 활용 방안 정진현 / 39
-산림입지환경과 토양정보의 수치화 적용-

입지환경

산불발생임지의 토양특성변화 김춘식 / 47
폐탄광지 현황과 복구공법 최 경 / 56
지구환경 오염을 말한다(III) 이충화 / 81
-대기오염물질-

국내외 기술정보

일본의 환경친화적 계류사방 전근우 / 87
식물을 이용한 오염물질 정화 유정환 / 94
산림유역의 물 순환과 유역시험 결과 김경하 / 102
국내의 흰개미 분포 및 피해 강창호 / 116

제 언

임업계를 대변할 비정부기구(N.G.O)육성 박순조 / 121

부 록

정관, 회원 명단 및 임원 주소록, 주요일지 / 124

題 字 : 石溪 韓昌禹
韓國美協元老作家
表紙寫眞 : 光陵試驗林

머 리 말

새천년 들어 우리 임업계에 두어가지 괄목할만한 사업이 있어서 지면을 통해 알려 드리려고 합니다.

그 하나는, FGIS 구축사업의 기초가 되는 산림입지조사 사업을 완료한 것입니다. 이 사업은 10여년전부터 임업연구원에서 국유림에만 매년 20만ha씩 실시해 오던 것을, 본 사업의 중요성과 시급성을 인식하면서 1995년 부터는 산림청 주관하에 매년100만여ha씩 확대 실시하게 되므로서 전국650만여ha의 임야에 대한 "산림입지도" 를 완성하기에 이른 것입니다. 실로 임업사적인 거국적 산림사업이 었습니다. 그간 본사업에 참여한 중앙과 지방공직자 그리고 기술용역으로 수행한 여러분의 헌신적인 노고를 치하하며 또, 본 사업계획을 승인하고 예산을 배정해주신 그 당시 관계관님 여러분께 깊은 감사를 드리면서 우리 임업인과 더불어 자축해 마지 않는 바입니다.

더하여, 본 사업수행에 있어 우리 연구회 기술이사들은 조사방법과 정도(精度) 제고를 위하여 꾸준히 기술개발 연구를 해 왔으며, 또 한편 사업담당자에 대한 교육과 현장기술지도를 매년 실시 하므로서 본 사업이 원활하게 완수 될 수 있도록 이끄는 등, 그 땀의 결과가 완성된 입지도 한장 한장에 배어나고 있음을 밝혀두고자 합니다.

산림입지도는 국토관리와 국가정책에 매우 긴요하게 활용되는 산림기본자료입니다. 이로서 기 구축된 임상도와 산지이용기본도의 전산화와 더불어 우리나라 산림지리정보시스템 구축을 위한 기초자료가 모두 갖춰지는 셈입니다. 지속가능한 임업, 수익성있는 임업 창출에 폭 넓게 활용되기를 기대합니다.

그 다음은, 국유림산림조사 사업의 민간용역 전환입니다. 산림청에서는 2000년부터 이 사업을 민간용역으로 수행하고 있으며 우리 연구회에서도 적극 참여하고 있습니다.

산림조사, 영림계획작성등은 고유의 임업기술사업으로서 오랜 경험과 고도로 숙달된 현장조사기술의 축적 없이는 뜻과 같이 되지 않는 사업입니다. 우리 연구회의 기술진들은 여기에 상당한 기술축적이 돼있어 용역업무 수행에 차질이 없으리라고 감히 자부하는 바입니다. 앞으로 용역참여 뿐만 아니라 산림조사와 관련한 모든 공정과 조사방법에 대한 기술개발연구에도 힘쓰겠습니다.

투고해주신 회원 여러분께 감사하며, 특히 국토연구원의 김선희박사님과 강원대학교의 전근우교수님께서 바쁘신 중에도 옥고를 보내주셔서 대단히 감사합니다.

2001년 4월 일

회장 김 태 옥

논 단

임업경영과 환경보전과의 관계해명

김 사 일
본회 자문위원

1. 머리말

전세계 산림면적은 육지면적의 32%를 차지하고 육상생태계 중에서 가장 넓은 면적을 차지하고 있어 자연환경의 주체가 산림이라고 하는데 대하여 의의가 없을 것으로 안다. 그리고 산림자원은 재생산이 가능한 자원이기 때문에 산림의 보속 경영이 가능한 범위내서 임산물을 생산 공급하는 것이 임업경영의 목표임에도 일반국민과 환경단체는 물론 심지어 환경관련 기관에서까지 임업경영을 위한 산림작업(육림, 간벌, 수확)은 마치 환경을 파괴는 행위인양 그 실행을 반대하여 왔다.

그러나 산림이 매년 산업용지, 택지, 골프장 등 임업목적외의 타용도로 전환되어 많은 면적이 사라져 갔음에도 환경보전 차원에서 일반국민이나 환경단체가 앞장서서 방패가 된적이 거의 없다싶이 하고, 환경부에서는 환경 영향 평가라는 잣대로 오히려 산림의 소멸을 방조하고 있다. 지구 환경보전 차원에서 가장 우려하고 있는 것은, 지구상의 산림의 절대면적이 감소하고 있다는 것이며, 미래의 임업정책이나 환경정책은 그 정책의 초점을 여기에 맞추어야 한다고 생각한다.

2. 임업의 활성화는 환경 보전의 지름길이다.

임업발전과 환경 보전은 불가분의 관계라는 것을 우리 모두 잘 알고 있는 바로 산림환경보전이 잘 되어 산림생태계가 활성화되면 지속적인 산림경영이 가능해지고 산림의 생산성을 제고시켜 임업발전을 기할 수 있을 것이며, 쾌적한 환경의 제공으로 인간생활을 더욱 윤택하게 해줄 것이다.

그러나 산림생태계가 파괴되어 산림의 생산성이 저하되면 임업발전을 기대하기가 어렵고 나아가 자연환경의 파괴로 인류생존권의 대 파국을 초래하게 될지도 모른다는 자성론이 금세기말에 와서 더욱 고조되고 있다. 이와 같은 우려는 지구온난화, 남극의 오존층 파괴, 홍수와 한발 등의 기상이변이 세계도처에서 빈발하고 있어, 현실로 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 자연환경 보전은 지구적 차원에서 접근하여야 하며, 어느 한나라가 자연환경보전을 아무리 잘한다고 하여도 앞에서 말씀드린 자구 차원의 기상이변은 막을 수 없기 때문에 세계 모든 나라가 일체가 되어 지구환경 즉, 산림생태계 보전에 최선을 다할 때 임업발전도 기대할 수 있을 것입니다.

3. 산림에 관한 모든 업무는 산림청으로 일원화 하여야 한다.

임업발전과 환경보전 업무를 원활히 수행하려면 국립공원, 야생동물, 자연환경, 조경수, 그린벨트, 천연기념물 등 임업에 관련되는 모든 업무는 산림청으로 이관하여 산림에 대한 종합행정이 가능하도록 창구의 일원화가 시급하다.

산림경영과 환경문제를 별개로 취급하여서는 임업발전이 되었든 환경보전이 되었든, 소기의 목적달성이 어렵다고 생각하며, 오히려 산림에 대한 업무 주관 부서의 다원화로 산림행정의 혼란과 행정력의 누수현상만 초래하게 될 것이다.

우리 속담에 "뱃사공이 많으면 배가 산으로 올라간다"는 말은 매사에 주인이 많으면 일이 잘 될 것 같지만, 실은 일이 잘되지 않는다는 뜻으로, 산림에 관계하는 부서가 많으면 업무를 분담하게 되어 일이 잘 추진될 것 같지만, 그와는 반대로 종합적인 산림정책 수립과 수행이 어렵고, 부처간 업무 한계에 대한 의견충돌과 비협조로 불필요한 시간낭비도 비일비재한 것으로 알고 있다. 뿐만 아니라, 산림경영의 대상도 산림생태계요, 자연환경 보전의 대상도 산림생태계일진데, 관리 부서를 따로 정하여 이원화한다는 것은 예산과 인력과 시간의 낭비일 뿐 아무런 의미가 없다.

과거 환경청, 환경부, 국립공원관리공단 등 기관이 발족되기 이전에는 산림에 관계되는 거의 모든 업무를 산림청에서 전담하여 왔지만, 세계 어느 나라와 비교하여도 산림생태계 유지관리(자연환경보전)를 잘하여 왔다고 자부하고 있으며, 요컨데 산림에 관한 모든 업무는 산림청으로 일원화하여 임업인에게 맡기는 것이 임업발전과 자연환경 보전의 지름길임을 깨달아야 한다.

4. 산주가 원하는 임업정책이라야 한다.

산주가 임업경영의 주체임에도 불구하고 임업공무원, 임업관련 단체종사자, 임업교육을 전담하고 있는 교육자가 임업경영의 주체인 것 같은 잘못된 생각으로 인하여 임업의 본질과 목표가 오도된 경우가 없지 않았다. 임업경영의 최고 목표는 산주가 산림으로부터 유형, 무형의 고품질, 보다 많은 임산물의 지속적인 생산이 가능하도록 산림을 경영해 가는데 있다고 한다면 임업공무원, 임업분야 종사자, 교육자 등 임업인들은 이와 같은 목표가 달성될 수 있도록 정책적, 기술적으로 산주를 도와주는 역할을 하는데 있고, 산주의 입장을 도외시한 어떠한 정책도 용납되어서는 아니되며, 임산물 생산공급이 지속가능한 산림경영이라면, 자연환경 보전은 문제될것이 없다고 1992년 브라질의 UN 환경개발회의에서 산림원칙으로 선언된 바 있다.

5. 우리 나라 자연환경 정책은 시대에 역행하고 있다.

즉, 애생동물은 산림청에서 오래도록 보호

관리하여 왔고, 나름대로 노하우가 축적되어 차질 없이 업무를 수행하고 있음에도 힘의 논리에 의한 법개정으로 야생동물에 대한 업무를 환경부가 빼앗다시피 가져갔다. 그리고, 임목과 야생동물은 같은 산림생태계의 구성요소로 따로 취급할 수가 없고, 산림청이 되었든, 환경부가 되었든, 한 곳에서 다루어야 하는 것이 당연하다.

그러나, 산주의 수익을 보장하는 임업 경영에 대한 업무를 환경부가 맡아서 한다는 것은 업무의 성질상 불가능하고, 종전과 같이 야생동물에 대한 업무는 산림청으로 환원시키는 것이 순리가 아닌가 한다.

6. 국산재 시대를 앞당기는 것이 우리 나라 임업발전과 지구 환경 보전의 지름길이다.

해방 이후, 오늘에 이르기까지 임업인의 피나는 노력으로 사막화 직전의 산림을 오늘날과 같은 푸른산으로 가꾸어 놓았지만, 쓸만한 나무가 없다고 질책하는 사람이 많고, 또한 국산재 공급 비율이 연간 목재소요량 약 1,000만 m^3의 10%에도 미치지 못하고 있는 것이 현실이지만, 환경부는 이와 같은 우리 나라 임업사정을 잘 이해하지 못하고 있는 것 같다.

왜냐하면, 동해안 산불 피해적지의 생태계 복구에 있어서, 환경부는 자연상태 그대로 회복시켜야 한다고 주장하고, 산림청에서는 생장속도가 빠르고, 고품질의 목재를 생산공급 할 수 있는 수종으로 생태계를 복구시켜야 한다고 의견 충돌이 있어서나 결국, 산림청 주장대로 합의가 이루어진 것으로 알고 있습니다.

환경부에 묻고 싶은 것은 현재와 같이 앞으로도 외재도입이 계속 가능할 것으로 생각하며, 또 해외산림을 벌채하여 도입되고 있는 외재도입은 지구환경 보전 차원에서 즉각, 중지해야 한다고 생각하지 않습니까? 그렇게 되면, 연간 목재소요량의 부족분은 어떻게 충당해야 한다고 생각하십니까?

언제가 될지 모르지만, 외재도입은 점점 어려워질 것이며, 설사 도입이 가능하다 하더라도 지구환경 보전 차원에서 우리 스스로 중지해야 한다고 생각합니다.

따라서, 국산재 시대를 앞당기는 것이 우리 나라 임업발전과 지구환경 보전의 지름길임을 알아야하고, 그러기 위해서는 산에 대한 모든 일은 임업인에게 맡겨야 한다.

7. 맺 는 말

자연환경(산림생태계) 보전을 위하여 환경관련 단체나 기관이 산림내서 실재로 실행할 수 있는 작업은 없고, 있다고 한다면 국립공원 관리와 야생동물의 밀렵 단속 등이 고작이며, 건전한 산림생태계 보전을 위해서는 국립공원 관리와 야생동물의 밀렵 단속보다 육림 작업의 실행, 야생동물 보호, 증식을 위한 서식환경 조성과 먹이공급원 조성, 재해와 병 · 해충 방제 등 작업이 더 중요하다 그리고 이와 같은 작업들은 임업경영 차원에서 종합적으로 검토, 실행해야 가능하고, 서로 다른 부서에서 따로 따

로 계획을 수립하여 실행한다는 것은 예산과 인력과 시간의 낭비일 뿐, 근본적으로 실행이 불가능하다.

따라서 산림생태계 보전을 위하여 산림내부에서 실행해야 할 모든 작업은 임업경영을 전담하고 있는 산림청에 맡기고 환경부는 산림외부에서 일어나고 있는 각종 환경파괴 행위의 근절에만 진력해야 한다고 생각한다.



논 단

제3종 수원함양보안림 실태 및 대책

정 용 호
임업연구원 농학박사

1. 수원함양보안림 확충

가. 추진경과

수도권의 맑고 풍부한 수자원 공급기반 조성의 일환으로 팔당호 상류 남·북한강 및 경안천 본류와 1차 지류 양안 5km 이내의 국·공유림에 대한 보안림 지정사업이 추진되고 있다. 이는 「팔당호등 한강수계상수원 수질관리특별대책('98.11.20)」에 근거하는 것으로 '3종 수원함양보안림'으로 분류하고 있으며, 현재 지정·고시를 위한 막바지 단계에 들어가 있는 듯 하다.

그 동안 국유림에 대해서는 별문제가 없었으나 해당 지자체인 경기 강원 충북도의 경우는 주민들의 개발욕구 등 불가피한 상황을 내세우는 바람에 만족스런 진전이 없다가 이제 다소 가속이 붙은 상태이나 아직 낙관할 단계는 아닌 것으로 보인다.

제3종 수원함양보안림 지정을 위한 사업은 「팔당호등 한강수계상수원 수질관리특별대책」이 확정된 직후인 '98년 12월 15일 산림청이 해당 지자체에 보낸 「보안림지정계획수립시달」로 착수되었다. 이어 '99년 2월부터 6월까지 5개월간 공동대책반 및 조사단으로 총 47개반 452명의 인력이 가동되어 대상지 조사를 완료한바 있다. 이 실태조사 결과에 대해서는 산림청에서 소집한 중앙협의회('99. 11. 3)를 비롯하여, 국무총리 수질개선기획단, 환경부, 산림청 및 해당 지자체인 경기 강원 충북도의 도·시·군이 망라된 관계부처간 협의가 여러 차례 있었는데 특히 2000년 4월17일 회의에서는 국무총리 수질개선기획단, 환경부 및 산림청의 담당관이 회동하여 지정대상면적을 추가하기로 한바 있다.

그 이유는 지정대상이 국·공유림을 합한 총 조사면적 약40만ha 가운데 13%인 5만2천ha밖에 되지 않아 추가지정의 필요성이 제기된 때문이었다. 당초 1차 조사결과를 보면 국유림은 3.1만ha, 공유림은 2.1만ha였는데 지정대상에서 제외된 지역은 개발이 이미 확정되었거나 타법제한지역과 대부림이나 분수림 등이었다.

이에 따라 추가지정을 위한 2차 조사가 실시되었으며, 2000년 6월 산림청에서 내놓은 국유림에 대한 추가조사 결과를 보면 8만ha를 추가로 지정하는 것으로 되어 있다. 그 내용은, 대부림 가운데 고압선 철탑, 도로와 같이 실제로 극히 일부분만이 대부된 곳을 찾아내고 보전임지를 추가키로 한 것으로, 이로써 현재 총 조사면적 가운데 약 33%인 13.2만ha가 확정적인 셈이 된다.

한편, 당시 관련 자치단체는 추가지정을 위한 2차 조사에 대해 난색을 표명하는 바람에 진전이 없었으나 현재 2차 조사를 진행중에 있다. 자치단체의 반대이유를 보면, 각종 공공 개발사업에 사용할 부지 확보와 보안림지정에 따른 지역경제활동의 위축 및 주민들의 반대에다 의회 통과사항임을 들기도 하였다. 특히 경기도 북부지역 시장군수협의회는 집단민원을 제기하는 등 추가지정에 혼란이 야기되기도 하였다.

또한 평창군을 비롯한 상당수의 지자체는 산지를 개간하여 소득사업을 확대하려는 계획을 들어 반대하기도 하였고, 특히 보안림 지정대상 면적이 강원도가 가장 많음에도 불구하고 「물이용부담금」의 80%가 경기도에 쓰여지고 있다는 불만도 나왔다. 경기도의 경우 지정대상면적이 25%인데 반해 상류로 갈수록 그 비율이 높아져 강원도는 58%나 되며 특히 평창군의 경우 80%에 이른다.

제3종 수원함양보안림 지정 · 고시문제는 이상과 같은 여러 번의 우여곡절을 거쳐 지금에 이르고 있으며, 현재 해당 지자체에서 공유림을 추가로 내놓기로 약속을 하고 그 후속작업을 진행중인 상태이나 얼마나 내어놓을지 기대가 주목된다.

나. 확충방안

보안림을 어떻게 확충하고 그 기능을 고도로

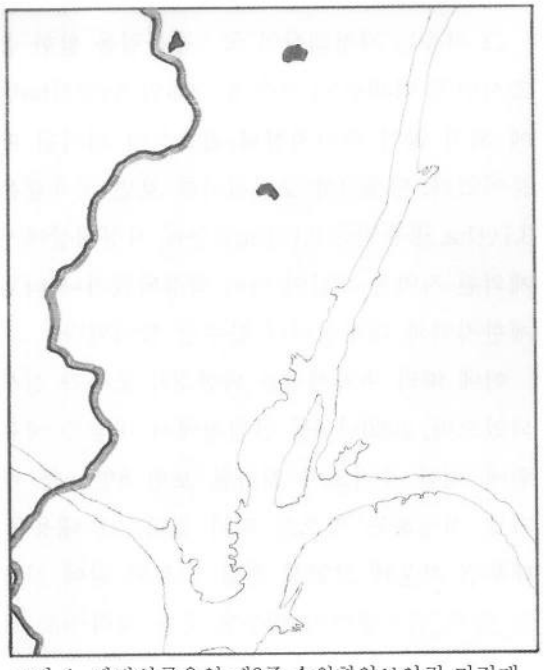


그림 1. 팔당상류유역 제3종 수원함양보안림 지정대상지역 위치. 가는 선은 수계, 굵은 선 안쪽이 양안 5km 지정대상 유역(NJ52-9-13-3. 양수 1/25,000)



그림 2. 팔당상류유역 제3종 수원함양보안림 지정대상지역 위치(NJ52-9-20-1. 광주 1/25,000)

발휘하게 하기 위해서는 어떻게 관리해 나아가야 할 것인가. 지금과 같이 점점이 산재한 국·공유림만을 지정해서는 보안림의 지정의미가 없다(그림 1과 2).

보안림은 넓으면 넓을수록 좋은 것이라고 할 수도 있겠으나, 수계에 직접 영향하는 유역이 우선적이어야 하며 더욱이 단지화를 통하여 광역적으로 지정·관리를 해야만 지정효과를 기대할 수 있다. 그런데 정작 지정대상으로 포함되어야만 할 수계에 연접한 유역사면을 보면 중·하류로 내려올수록 대부분이 사유림인 특성이 있다. 우리 나라의 경우, 이러한 특성은 한강은 물론 어느 하천을 불문하고 공통된 것이기 때문에 사유림에 대한 보안림 확충이 이루어지지 않으면 보안림은 유명무실한 것이 될 수밖에 없으므로 사유림 매입 혹은 손실보전 대책이 강구되어야만 한다. 문제는 재원확보이다.

한강유역 보안림 확충을 위한 재원으로서 '한강수계관리'를 위한 재원인 「물이용부담금」을 할애할 필요가 있다고 본다. 「물이용부담금」은 환경부에서 「한강수계 및 주민지원에 관한 법률('98. 12)」을 근거로 「물이용부담금」을 징수하고 있다. '99년 8월부터 서울을 비롯한 경기도 22개 시도의 가정과 업소에서는 「물이용부담금」으로 상수도 톤당 요금에 80원씩 추가하여 지불하고 있으며 2001년 1월부터는 110원으로 인상·징수키로 되어있다.

「물이용부담금」 법률안이 처음 제출된 '97년 당시와 비교해 보면, 법률의 이름도 달라졌지만 재원의 용도에 들어가 있던 수원함양보안림 확충에 관한 내용도 배제되었다. 하지만 제3종 수원함양보안림 확충문제는 환경부에서 큰 의욕을 갖고 추진한 것이므로 보안림 확충은 물론 기능발휘 고도화를 위한 보안림 정비사업에도 재정지원을 아끼지 말아야 할 것이다.

현재의 톤당 80원 수준의 「물이용부담금」만으로도 2005년까지 2조원이 넘는 재원이 확보되는 것으로 되어있다. 물이용부담금의 2000년도 사용계획을 보면, 환경기초시설 설치·운영에 933억원, 수변구역 주민지원사업에 700억원, 토지매수 129억원, 기타 283억원으로 되어있는데 그 계획을 보완하여 보안림 확충 및 관리에 매년 일정비율의 재원을 안배할 필요가 있다고 본다.

물이용부담금은 「한강수계관리위원회」에서 매 2년마다 협의조정할 수 있도록 되어있는데, 동 위원회는 부과액 인상만 논의할 게 아니라 재원의 균형적·효율적 활용에 대해서도 다각적인 논의가 이루어지는 것이 바람직한 것으로 생각된다.

「물이용부담금」의 보안림 부문에 예산배정방식으로 「산림계정(가칭)」 설치를 제안하고자 한다. 「산림계정」을 설치하자고 하는 것은 매년 일정비율의 재원을 할애함으로써 계획적인 사업추진이 가능하게 하기 위해서이다. 문자 그대로 「수계」를 관리하여 물을 살리자는 취지로 설립된 재원인 만큼 어느 특정 부처의 한정된 사업에 쓰는 것보다 보다 균형 있는 사업집행이 설립취지에도 부합되는 것으로 생각한다. 물을 살리는데 부처간의 경계가 있어서는 안된다고 생각한다.

2. 지정 · 해제

보안림 지정 · 해제권은 '90년 산림청장으로부터 시 · 도지사로 이양되었으며, 경북을 제외한 지자체는 조례에 의해 시장 · 군수로 위임된 상태였다. 이는 지방시대의 도래에 맞춰 규제를 완화하고 권한을 지방으로 이양하는 과정에서 일어난 것이지만, 보안림 경시 내지는 그린벨트와 마찬가지로 민원이 끊이지 않는 귀찮은 존재였기 때문이었다는 비판적 시각도 있다. 그러나 보안림뿐만 아니라 다른 행정도 마찬가지로서 권한이양이 능사는 아니라고 본다. 아무리 지방시대라고 하더라도 중앙정부가 강력히 장악한 것은 분명히 있다.

필자는 보안림 가운데 적어도 수원함양보안림의 지정 · 해제권자는 현행 시도지사에서 산림청장으로 환원하여 보다 강력하게 추진해야 한다고 국무총리실 수질개선기획단 회의를 포함하여 누차 주장하여 왔다. 그것은 하나의 하천이 발원하여 하류에 이르기까지 수많은 행정구역을 경유하게 되므로 지자체간 충돌이 상시 일어나기 쉽기 때문이며, 또 선출직인 지자체장들은 추가지정은 고사하고 지정해제를 요구하는 주민의 요구를 묵살하기 어려울 것이기 때문이다.

지정 · 해제에 대한 산림법이 2000년 1월28일자로 추가로 신설되었는데(제56조 2항), 그 내용을 보면 『상수원의 수질관리를 위해 수원함양보안림 지정이 필요할 때에는 산림청장이 관할 시도지사와 협의하여 지정』 할 수 있도록 된 것이다. 따라서 현재 지정 · 고시를 추진하고 있는 한강유역의 제3종 수원함양보안림(시행규칙 제44조)은 산림청장이 시 · 도지사와 협의하여 수행하게 되어 있다.

이제 법률은 개정되었다고는 하나 지역이기주의 내지는 지자체장들의 주민 눈치보기 등이 사라지지 않는 한 수자원을 늘리고 수질을 개선하는 길은 요원하다고 본다. 이는 공유림 추가지정 과정에서도 여실히 드러났기 때문이다.

3. 관 리

산림법에서는 보안림에 대한 시업제한을 하고 있는데, 이에 대해 오해가 많은 것 같다. 시업을 제한하는 것은 지정목적을 달성하기 위한 적절한 시업을 적극적으로 하고자 하는 것이지 지정만 하고 방치하자는 것은 아니다. 보안림을 지정만 하고 방치해서는 지정의미가 반감된다.

반드시 보안림이 아니더라도, 이제 산림이 울창해졌으니 손질을 안 해도 된다고 생각하는 사람이 의외로 많은 듯 하다. 하지만 산림, 특히 사람이 만든 산림은 사람의 손을 통해서만 비로소 건강하게 되며 그 기능의 볼륨이 커지게 된다. 외관상 산림이 푸르다고 해서 산림이 지닌 기능이 자연적으로 커지는 것은 결코 아니며, 손질 미흡으로 오히려 그 기능이 저하되고 있는 산림이 많다. 이러한 현상을 확인할 수 있는 현장은 얼마든지 있다.

우리 나라 산림의 홍수조절이나 갈수완화기능, 수질정화기능은 자연 선진국에 비하면 아직 어린아이 정도에 불과하다. 이에 따라 토사

유출량도 많은 실정이다. 그것은 헐벗은 황폐지에 겨우 옷을 입힌 정도에 불과한 상태로서 산림다운 구조를 갖춰 그야말로 내버려두어도 그 기능을 충분히 발휘할 수 있는 산림은 그다지 많지 않기 때문이다. 더욱이 산림으로서 수자원함양기능의 정도를 말해주는 토양의 깊이도 매우 얕으며 강수침투구조도 열악한 상태이다. 산림의 기능을 외관상 느낌이나 상식적으로 판단해서는 안 된다.

보안림으로 지정한 산림을 지정목적에 부응하는 기능 높은 보안림으로 관리하기 위해서는 관리방법이 구체화 · 체계화되어야 한다. 현재, 우리 나라는 「보안림관리요령」과 「산림자원관리지침」이 있기는 하나 과학적으로 체계화되어 있지 않으며 구체적이지도 않다.

전국토의 2/3가 산림이기 때문에 우리 나라 수자원의 2/3가 산림에서 발원한다는 사실은 그 누구도 부인할 수 없는 것이며, 따라서 산림으로부터의 보다 맑고 풍부한 물 공급을 위해서는 산림의 건강상태가 전제가 된다. 산림 특히, 보안림 확충은 물론, 건강하게 하는 데에도 많은 비용이 소요된다. 이 보안림 관리비용 역시 「물이용부담금」에서의 지원을 강구할 필요가 있다고 본다. 우리 나라는 만성적으로 취약한 산림부문의 예산형편상 보안림에 관리예산을 전혀 투입하고 있지 못하고 있는 실정에 있기 때문이다.

산림이 물의 원천이라는 사실을 부인하지 않는 사람들 중에도 산림이 이렇듯 울창해졌으며 더욱이 산림이 오염과 무슨 관계가 있는가하는 이야기를 하는 경우가 많이 있다. 분명히 산림은 점오염원은 아니지만 우리 나라는 산림이 가장 큰 비점오염원으로서 비점오염의 70%이상이 산림으로부터 나온다. 이는 산림이 아직 건강한 상태가 아니기 때문으로 빗물을 충분히 흡수 · 저류할 만한 토양층을 갖고 있지 못하기 때문이다.

비점오염원으로서의 토사는 부영양화의 원인이 되며 호소 · 하천의 바닥을 높여 인공댐의 담수량이 줄어들게 하고 범람을 초래하게 되는 등 수자원 보전과 관련하여 많은 영향을 하게 된다.

산림으로부터의 비점오염 배출량을 줄이기 위해서는 산림이 건강하도록 잘 가꾸고 치산시설을 설치하는 것이 최선의 방안이다. 그리하면 홍수조절, 갈수완화, 수질정화 기능이 커지고 토사유출량도 줄게 된다. 이는 바로, 수원함양보안림은 수계에 직접 영향하는 유역사면을 최우선적으로 지정하여야 하며, 지정만 하고 적절한 관리를 해주지 않은 채 방치해서는 안 되는 이유이기도 하다.

4. 제 안

재고되어야 할 '5km'

보안림 지정 범위를 본류와 지류 양안 5 km로 한 것은 큰 무리였음을 지적하지 않을 수 없다. 그것은 전 국토가 거의 보안림 지정 대상으로 편입되어 버리는 것과 같은 형상이 되기 때문이다. 수계로의 직접영향 등 여러 면에서 실효가 의심시 되는 5km를 어떠한 효과를 기대하고 추진하는 것인지는 모르겠으나 비현실적이거나 비효율적인 것은 바로 잡아야 하

는 것이며 더욱이 잘못을 알면서도 그 잘못을 반복해서는 안 된다고 본다.

따라서, 현재 추진중에 있는 금강, 영산강의 수계관리대책에서도 한강과 유사한 법률안이 검토되고 있으나 이는 재고되어야 마땅하다. 그것은 본류 및 양안 5km 이내의 국·공유림 면적이 한강의 경우 40%가량임에도 실효성에 대한 의문이 제기되는데 금강, 영산강의 경우는 10%도 안되기 때문이다. 그러므로 금강, 영산강을 포함하여 현재 혹은 앞으로 추진하는 보안림 정책에 한강처럼 '5km'로 하는 것은 반드시 피해야 한다고 본다. 강행하는 경우는 전시행정이라는 비난을 피하기 어려울 것이다.

현행 산림법에서는 제1종 수원함양보안림의 거리상 지정기준을 1km 이내로 하고 있으나(시행령 제 44조), 근래 추가지정은 거의 없는 상태일 뿐만 아니라 사유림은 해제요구가 많아 보안림 면적이 매년 줄고있는 추세에 있다. 이는 손실보전 등 아무런 대책이 없기 때문으로 1km도 지켜 나아가기 어려운 게 사실이다. 몇 km가 중요한 게 아니고 꼭 필요한 유역을 보안림으로 지정하고 그 기능을 충실히 발휘하도록 하는 것이 더 중요한 것이라고 본다.

국·공유림만의 보안림

더욱이 문제가 되는 것은, 사유림을 제외한 국·공유림만의 수원함양보안림 지정으로 보안림 지정효과를 기대할 수 없다는 점이다. 우리 나라의 수변유역은 중·하류로 내려올수록 대부분이 사유림인데, 국·공유림의 지정대상지는 그림 1과 2와 같이 수계에 영향을 직접 미치는 유역도 아닌 능선을 몇 개나 넘어간 곳에 여기저기 소면적으로 산재한 곳이 대부분이기 때문이다.

경기도의 경우, 국·공유림이 25% 밖에 되지 않으며 특히 수질보전의 상징적인 곳이 된 팔당인근의 남양주시 관내 상류유역에서는 3%도 되지 않는다. 더욱이 이 가운데 타법 제한림 등을 제외하면 실제로 지정할 수 있는 곳은 거의 없다고 보아도 무방하다.

이와 같이 중·하류 수계에 접한 산림은 대부분 사유림이므로 수원함양보안림은 궁극적으로 사유림에 대한 대책이 없어서는 유명무실한 것으로 될 것임에 틀림 없다.

사유림 확충 등 사업에 「물이용부담금」 할애

○ 보안림 지정은 사유림을 포함하되 지정거리 5km에 구애받지 말고 수계에 직접 영향하는 유역을 중심으로 적극 확충해야만 한다.

그러나 문제는 재원이다. 재원이 없이는 아무 것도 이룰 수 없으며 「물이용부담금」을 보안림 확충에도 할애해야 마땅하다. 환경부에서 그토록 애착을 가지고 강행한 만큼, 이제 보안림 주관부서인 산림청에서 알아서 하라는 것은 안 된다. 「물이용부담금」의 균형 있는 사용은 「물이용부담금」의 설립취지에도 부합되는 것이라고 생각한다.

산림부문 예산은 전 국가예산의 0.5% 정도 밖에 되지 않아 보안림 확충사업과 같이 큰 재원이 소요되는 사업을 전개하기 어려운 게 현실이다. 한강뿐만 아니라 낙동강 등 수계관리

에 '확충방안'에서 제시한바 있는 「산림계정(가칭)」을 설치하여 사유림에 대한 지정 및 손실보전의 길을 열어야 한다.

○ 강원 · 충북도는 보안림 지정대상 공유림 가운데 대부분을 차지하나 「물이용부담금」에서 교부하는 주민지원대책사업 재원의 대부분이 경기도에 배분되고 있는데 대한 불만이 제기되고 있다. 이에 대한 강원 · 충북도의 불만 및 요구사항을 적극 수용할 필요가 있다고 본다.

물 관리사업의 특성상 상 · 하류간의 협력이 절대적 전제가 되며 사업성패의 중요한 관건이 된다는 점을 감안하여야 하며 상류측의 불만을 묵살하는 것은 그다지 바람직한 일이 아니라고 생각한다.

○ 현재 환경부에서는 수계 1km 수변구역내 사유지를 협의매수하여 소유의 국유화를 추진하고 있다. 매수토지에는 산림이 포함될 수도 있게 되는데, 이러한 경우 지목이 산림으로 된 곳은 보안림으로 편입시켜야 한다고 본다.

'수계' 관할 부서장이 제외된 「수계관리위원회」

「한강수계관리위원회」에 수계의 대부분을 차지하는 산림을 관장하는 산림청장이 배제되어 있는 것도 문제이다. 물 관리는 물이 발원하는 최상류부터 다스리지 않으면 안 된다. 예로부터 치산치수라는 말이 있듯이 물 관리를 하기 위해서는 치산을 해야 하는 것이다.

만시지탄이긴 하지만, 건설교통부는 금년부터의 물 관리정책에 유역개념을 도입했다.

보안림 정비 강화

보안림이란 지정만 하고 손을 절대 대서는 안 된다는 상식적 논리를 펴는 경우가 많이 있으나 보안림은 무조건적 보존을 하거나 방치하는 산림이 아니다. 목적 · 취지에 부응하는 적극적인 정비를 해야만 그 기능이 커지기 때문이다.

보안림으로 지정한 취지에 맞게 제 기능을 고도로 발휘하게 하기 위해서는 과학적인 집중관리가 필요하다. 이를 위해서는 「보안림관리규정」을 구체화 · 체계화하는 일도 시급한 과제이다.

논 단

생태학을 응용하는 개념과 경관임업

구 창 덕
충북대학교 산림과학부 교수



산정부-능선부에는 소나무가, 산복-계곡에는 굴참나무 등의 활엽수가 우점인 모자이크 형태의 산림경관 · 능선부 소나무림에는 송이가, 계곡부 참나무림에는 능이가 생산되고 있다. 충북 영동군 학산면 SK임업 기업림

I. 생태학의 세부학문

1) 생태학이란 단어

경이롭게도 사람의 마음은 아주 미세하고 작은 것과 우주처럼 큰 것을 한꺼번에 다룰 수 있다. 그래서 이것을 아는 사람들은 아주 작은 것도 큰 것과 같이 가치가 있다고 생각한다. 오늘날 유전자를 다루는 생물공학과 첨단 우주과학이 같이 중요시되는 것은 좋은 예이다.

생태는 자연계의 질서라고도 하는데, 생태학은 이 질서를 이해하기 위하여 작은 것과 큰 것을 함께 생각하는 인류의 능력을 나타내는 학문이기도 하다. 생태학은 비생물적 환경과 생물적 환경 모두의 전체적인 관계를 연구하고, 더불어서 직접 간접으로 접촉하게 되는 동물과 식물간에 친하거나 적대적인 관계도 연구한다. 다시 말해서 생태학은 다윈이 생존을 위한 노력 (투쟁, 몸부림)이라고 말한 그 모든 복잡한 상호관계를 연구하는 학문이다. 이것은 여러 생명체를 둘러싼 환경이 합하여 또 하나의 큰

생명체를 이룬다는 것을 인식한 것이다.

도드손(Dodson, 1998)에 의하면 생태란 말은 핵켈(Haeckel)이 다윈(Darwin)의 1859년 종의 기원에서 사용된 자연의 경제성 개념에서 얻었다고 하였다. 즉 핵켈은 1866년 그의 저서인 일반 형태학(생물과 철학에 관학 책)에서 Ecology(생태학)는 그리스어로 집을 뜻하는 oikos와 학문을 뜻하는 logos를 합한 것이라고 처음 언급하였다. 이 정의를 보면, 핵켈은 다윈이 '종의 기원'에서 이야기한 자연의 경제성 개념을 강조한 것이다.

다윈은 이 자연의 경제성을 정의하기를, 모든 생명체는 상호작용과 체계가 있고, 생물간에 그리고 생물과 환경 사이에 있는 상호작용으로 잘 조절되는 시스템이라고 하였다. 다윈은 또한 한 생명의 출현은 진화라는 자연과정의 결과로, 각 개체생물이 생존을 위하여 투쟁한 것이 진화의 기초가 된다고 하였다. 핵켈은 자신이 Oecologia라고 부른 생태학을 정의하는데 다윈의 진화개념을 사용하였다.

2) 생태학, 세부학문들의 그룹

생태학은 여러 학문이 그룹을 이룬 것이기도 하다. 생태학에 대하여 1866년까지는 핵컬의 정의가 전부였다. 그러나 다른 생물학자들이 핵켈의 생태학 기본개념을 그들 자신들의 관심에 적용함에 따라 생태학은 급속히 성장하고 다양화되기 시작하였다. 각 학자들은 생명에 대해서 각기 다른 철학을 가지고 일한다. 생태학자들은 그래도 생태학에는 기본적인 원리가 있다는 것에는 동의하지만, 그 원리가 무엇이냐에 대하여서는 의견이 서로 일치하지는 않을 것이다.

생태학은 여러 개의 아주 다른 개념에 기초한 세부학문들로 구성되어 있고, 각 세부학문은 그 자체의 개념과 관점을 갖고 있다. 이들 세부 학문들은 같은 것 즉 생태를 다른 시각으로 보는 것이다. 그 시각이 다르기 때문에 그들은 같은 환경에서도 다른 질문을 하게되고, 다른 방법을 사용하여, 결과는 생물들의 관계나 분포나 빈도에서 다른 결론을 낳는 것이다.

생태학을 다른 관점에서 보는 것은 현대 생태학의 다양성과 복잡성을 푸는 방법이기도 하다. 여러 세부 학문별로 특징적인 질문과 개념은 생태를 이해하기 위한 길(이것은 현대 생태학들이 실제로 일하는 방식과 비슷하다)이 된다. 하지만 현대 생태학은 어떤 한 사람이 알 수 있는 것보다 많고 복잡한 정보를 포함하고 있기 때문에, 문제는 이 많은 정보를 어떻게 이해하는가이다. 그래서 어떤 생태학자이든 전문가로 인식되는 오늘날, 그들은 전문화된 질문과 자료, 그리고 연구결과를 발표할 그들 자신만의 전문잡지까지도 갖추고 있다.

일단 각 개인이 생태를 자신만의 관점으로 보게 되면, 다음 단계는, 그 각각이 전체를 구성하는데 어떻게 관계가 되는지를 생각할 필요가 있다. 여러 관점에서 볼 수 있다는 것을 알게 되면, 각 관점에서 온 여러 다른 아이디어를 새로운 창조적인 방법으로 함께 종합하는 것을 시작할 수 있게 된다. 우리는, 구별이 뚜렷한 여러 세부 생태학문들이 어떻게 서로 중첩하고 연결되어 새로운 의미있는 질문을 형성

하는가를 이해할 필요가 있다.

그러면 생태학의 세부학문으로는 어떤 것들이 있는가? 이 질문에 대해서 답은 생태학자마다 구구각각 일 것이다. 그래도 생태를 이해하는데 필요한 세부학문 분야를 관점에 따라 나누어서 열거하여 볼 필요는 있다.

3) 생태학의 세부전문 분야 구분

도드손(Dodson, 1998)은 생태학의 세부 전문분야를 적어도 4개의 방법으로 나눌 수 있다고 하였다 (표 1). 즉

① 세상을 보는 관점 또는 개념에 따라,
② 대상으로하는 생물의 종류에 따라,
③ 서식지에 따라,
④ 어디에 응용하는가에 따라.

이 방법 중에서 ①이 생태학적 지식을 구성하기가 가장 좋은 방법이다. 나머지 ②, ③, ④ 방법은 무한정으로 많히 세분될 수 있어 복잡하므로 의사소통 또한 불분명하게 된다.

한편 각 생태학들은 이 분류에 따라 스스로를 소개할 때 여러 분야를 조합하기도 한다. 예로 육상생태학자(terrestrial ecologist), 구체적으로는 산림경관생태학자(forested landscape ecologist), 또는 산림복원생태학자(forest restoration ecologist)라고도 소개할 수 있다. 그리고, 표 2에서는 표 1에서 언급한 개념과 관점에 따른 생태학 6개 분류를 간단히 정의하였다.

표 1. 생태학문을 세분하는 방법들의 예

1) 개념 또는 관점에 따른 구분	2) 생물의 종류에 따른 구분
경 관 생 태 계 생 리 개 체 군 행 동 군 집 기 타	식 물 동 물 미생물 동물 플랑크톤 인 간 사 슴 수 목 기타 생물
3) 서식지에 따른 구분	**4) 응용 분야에 따른 구분**
육 상 산림, 열대 또는 온대 우림 호소와 강(담수) 극지방 해 양 해저열분화구 도 시 기타 생물 서식지역	이 론 보 전 복 원 농 업 공공정책 학문적 경 영 기타 응용분야

표 2. 생태학을 개념 또는 관점으로 분류한 6개 세부학문에 대한 정의

생태학 (Ecology) 환경과 생물과의 상호관계와 생물간이나 생물그룹간의 상호관계, 그리고 생물의 분포와 빈도를 연구하는 학문이다.
경관 생태학 (Landscape ecology) 경관은 모양과 크기가 다른 여러 가지 양상의 부분부분적인 소지역(patches)으로 구성되어 있고, 다양한 종류의 생물과 환경을 포함한다. 경관생태학은 이러한 경관의 구조와 기능 그리고 그 속에서 일어나고 있는 변화를 연구한다. 즉 보다 넓은 생태계에서 공간의 이질성과 이형성의 생성원인과 생태과정, 그 결과 그리고 부분부분간의 상호관계를 연구하는 학문이다.
생태계 생태학 (Ecosystem ecology) 생태계 생태학은 에너지 및 물질의 이동과 흐름에 대하여 생물들간의 상호작용을 연구한다. 연구대상이 되는 생태계의 크기와 모양은 에너지 흐름이나 화학적 순환에 대하여 알고자하는 문제에 따라 달라진다. 생태계에서 계(system)는 에너지 또는 물질이 생물과 환경 사이에서 어떻게 움직이는가를 도식화한 것이다.
생리 생태학 (Physiological ecology) 생리생태학은 각 생물개체가 항상성을 유지하고 생존하기 위하여 환경조건과 어떻게 상호작용하는 지를 연구하는 학문이다.
행동 생태학 (Behavioral ecology) 행동생태학은 한 식물이나 동물의 행동이 그것의 환경에 어떻게 적응하는가를 이해할려고 한다. 행동은 진화의 결과 나타난 것이라고 생각한다.
개체군 생태학 (Population ecology) 개체군은 같은 장소를 점유한 같은 종의 개체들의 집합체이다. 개체군 생태학은 시간이 지남에 따라 개체군의 크기와 서식지가 어떻게, 왜 변화하는지를 알고자 한다.
군집 생태학(Community ecology) 군집생태학은 여러 다른 생물종들로 이루어진 집단인 군집에서 볼 수 있는 분포 유형과 개체군간의 상호작용을 조사한다. 생물적 상호작용(포식과 경쟁과 같은)과 환경인자(온도, 수분, 양분의 가용성)는 모두 종의 분포에 영향을 끼친다.

II. 경관생태학을 응용하는 경관임업

경관생태학에서는 경관의 구조와 기능 그리고 그 속에서 일어나고 있는 변화를 연구한다. 경관임업(Landscape Forestry)은 이 세 가지 측면을 임업에 응용한다.

1) 경관 임업의 대두

산림은 다양한 기능을 가진 경관이다. 경관은 모양과 크기가 다른 여러 가지 부분부분적

인 소지역(patches)으로 구성되어 있고, 다양한 종류의 생물과 환경을 포함한다. 인류는 산림을 이런 다양한 면을 이용하여왔다. 목재는 물론이고, 연료, 야생동물, 열매, 버섯, 산나물을 얻으며 산림이 가지고 있는 미적인 경치를 이용하여 주택을 짓고 휴양객을 상대로 상업적인 활동까지 한다. 그리고 크게는 홍수, 산사태와 같은 재해로부터 사람과 재산을 보호하기 위하여서도 산림을 이용하였다.

일반 사람들은 산림에서 이러한 기능들을 알게 모르게 아주 강하게 요구하고 있다, 비록 그 가치는 제대로 평가해주지 않으면서도. 그래서 임업인은 산림을 경관적으로 관리할 필요성을 느끼고 있었다. 즉 경관임업을 하여 온 것이다. 임업인은 우선 정신적으로 산림의 경관을 생각하고 미래를 위하여 산림을 관리하여 왔다.

경관임업은 경영이기도 하다. 경관임업은 산림으로 구성된 경관을 시간과 공간적으로 여러 종류의 임분으로 배치하여 많은 이익을 만들도록 구성하는 기술이다. 즉, 경관임업은 산림으로 구성된 경관이 태양 에너지를 받아서 바람직한 재화와 서비스와 효과를 생산하도록 구성하는 기술이기도 하다. 산림으로 구성된 경관의 구성상태가 바뀜에 따라 이익의 가용성도 바뀐다. 우리가 때때로 감탄하는 경치의 질은 시간과 공간적으로 분산된 임분의 정렬과 다양성과도 관련이 있다.

시간과 공간적으로, 형태나, 나이나, 면적의 크기별로 다양하게 퍼져있는 임분에서 생물적 다양성은 유지된다. 예를 들면, 어떤 동물들은 새끼를 기르기 위하여 한 임령이나 임형의 임분을 필요로하고, 피난처나 번식을 위하여서는 또 다른 임령이나 임형의 임분을 요구한다. 어떤 동물에게는 생존하기 위하여 옮겨갈 임분까지의 이동로가 또한 중요하다. 각 임분의 면적은 새끼를 치고, 위험을 피하고 이동할 기회에 영향을 미치기도 한다.

2) 경관임업에서 얻는 것

경관임업에서 얻는 이익은 전통적인 임업에서 익히 알려진 것들로서 실제로 종합적인 것이다. 그 첫째 이익은 미학적인 가치로서, 이것은 산림을 구성하는 전체 나무, 수종, 초본, 교목, 관목 넝쿨식물, 동물, 곤충 등 전체 생물과, 여기에 더하여 산의 높낮이와 계곡이 이룬 지형과 물이 만들어 낸 것이다. 사람들은 이 미적인 것을, 숲을 보면서, 숲을 지나가면서, 숲속을 걸으면서, 숲속에 살면서 정신적으로 느낀다.

두번 째 이익은 산림경관이 만든 생물의 서식지이다. 서식지는 멸종위기에 있는 특정생물이나 사냥용 동물 뿐만 아니라 모든 생물에게 중요하다. 즉 소나무는 산림에서 능선 부위를 점유하고 이곳에 송이가 서식하게 된다. 반면에 참나무림은 계곡 부위에서 왕성하고 수분을 많이 요구하는 능이가 자리잡을 수 있도록 한다. 그리고 산림경관은 인위적인 것이 없는 곳을 찾는 사람들을 위한 곳도 될 수 있다. 세번째 이익은 연료이다. 산림이 우거지면서 간벌한 나무는 많아진 반면에 프로판 가스와 오일값이 계속 상승하므로 산림은 난방 연료 공급

원으로 가치가 증가하고 있다. 네 번 째 이익은 목재이다. 제재목은 가공, 유통, 무역 등에서 직업 창출효과가 크다. 다섯 번째 이익은 부산물이다. 산림으로부터는 목재 뿐만 아니라 버섯, 산나물, 야생 꽃, 열매 등의 부산물로도 현금 수익을 얻는데 기여를 한다. 여섯 번 째 이익은 생물다양성이다. 생물다양성은 한 지역 내 분포하는 종의 수를 의미한다. 이 종의 수는 산림내 서식지나, 지형, 토양 등 물리적 환경이 다양할수록 증가하게 된다.

경관임업은 산림이 적어도 이러한 6가지 이상의 이익을 창출할 수 있다는 것을 고려하는 것으로, 미래의 산림 이용자들이 어떤 것을 요구할 지 모르는 상황에서는 현재 임업인이 선택할 수 있는 가장 설득력 있는 산림경영 방안이라고 생각한다. 경관 임업을 경영하는 데에는 우리 인간이 자연과 조화를 이루면서 살아야 한다는 정신이 깊이 내재되어 있다. 이것을 정신적 모델이라고 한다면 여기에는 미학적인 것과 사회적인 것 그리고 생물학적인 가치들이 포함된다. 이 정신적 모델은 경관 임업의 6가지 이익 중에서 관념적인 것 (미학, 서석지 생물 다양성)과 현실적인 것(연료, 목재, 산림 부산물)의 조화로 생겨난 것이다.

결 론

경관임업의 골자는, 우리 임업인 이미 경험한 내용 즉, 산림의 다양한 기능은 다양한 공간 유형에서 온다는 것을 이해하고서 산림을 여러 스케일로 관리하는 것이다. 산림은 부분부분이 다양한 기능을 가지고 있고, 또 산림 전체로서는 부분부분이 가지고 있는 기능과는 또 다른 기능도 갖는다는 것을 염두에 둘 필요가 있다. 우리가 알고 있는 다양한 산림의 기능이 지속가능하게 유지되려면, 사람을 포함한 생물의 서식지를 고려하는 생태계 관리가 필요하다. 이 생태계 관리는 경관임업의 근본 이론으로, 생태학의 세부학문인 생리생태학, 행동생태학, 개체군생태학, 군집생태학, 생태계생태학을 응용한다.

참고문헌

- Dodson, S.I. 등 8인. 1998. Ecology. Oxford. 434p.
- 노태호 등 4인 공역. 2000. 인간과 자연, 생태학 (odson 등 8인의 Ecology). 468p.
- Boyce, S.G. 1995. Landscape Forestry. John Wiley & Sons, Inc. 239p.

논 단

산림은 깨끗한 에너지의 보고

박 순 조
전 임업연수원장

80년대 말에 노르웨이를 방문하고 크게 감명을 받았던 한 가지는 수도 헤아릴 수 없는 많은 소 계곡 수력 발전소를 만들어 어떠한 에너지 위기가 닥쳐오더라도 아무 걱정없이 에너지 위기를 극복할 수 있게 전 국토를 전기 에너지로 감싸고 있는 것이었다. 물론 이 나라는 자연 조건이 스웨덴과 노르웨이를 길게 가로지르고 있는 높은 산맥에 대서양 쪽에서 많은 눈을 가져와 경사가 급한 노르웨이 쪽에 눈을 쌓아주고 그 눈이 녹아 소계곡 수력 발전을 하기에 적합한 수자원을 공급하여 주고 있기 때문에 가능하다고 보았다.

우리나라는 강수량이 6,7,8월 3개월에 대부분 집중되고 겨울철 눈도 12월 하순에서 1월 말까지 40일간에 오기 때문에 노르웨이 같이 소 계곡 발전소를 건설하기에는 어려움이 있을 것이다. 21세기 국가 경쟁력은 얼마나 깨끗한 에너지를 생산할 수 있느냐에 달려 있다고 한다. 각종 환경 NGO들의 활동이 활발히 전개됨으로써 화력발전소, 원자력발전소, 대규모 수력발전소 등의 건설은 불가능하게 되었다. 우리나라에서도 작년에 영월 동강댐 건설이 환경 NGO들의 반대로 백지화된 것을 우리는 보았다. 앞으로 의암댐, 소양댐, 팔당댐, 안동댐 건설 같은 대규모 댐 건설은 할 수 없을 것이다. 노르웨이 소 계곡 발전소의 변형으로 우리나라에서 생각하여 볼 수 있는 것은 우리나라 백두대간은 경사가 급한곳이 많다. 병목 현상으로 좁은 계곡에 댐을 막아 호수를 만들면 비나 눈이 오지 않을 때에도 계곡 발전이 일년 중 6개월은 가능하리라고 본다. 2000개의 계곡 발전소가 만들어 졌다면 2000개의 호수가 산간 중복에 조성되어 호수의 나라로 경치도 아름다워질 것이며 산불이 났을 때 신속히 헬리콥터에 물을 공급하는 기지가 되어 산불을 진화하는 데도 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

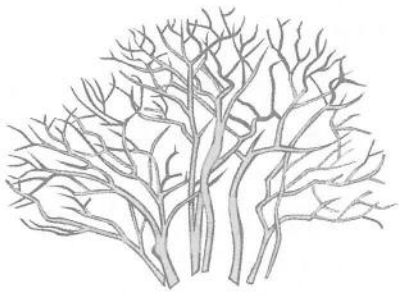
또 하나 당장 실행하여 볼 수 있는 것은 풍력발전소이다. 우리 국유림에는 바람이 강하게 불어 나무도 잘 자라지 않는 풍충 지대가 있다. 이런 곳에 풍력 발전소를 설치하면 많은 전기를 얻을 것을 확신한다. 필자는 강릉영림서에서 오랫동안 근무하였는데 대관령 일대에는 바람의 속도도 강하고 연중 바람이 부는 일수도 많으므로 적지 중에 적지라고 생각한다. 89년 말 덴마크 농촌에서는 볼 수 없었는데 근래 덴마크를 관광하고 돌아온 사람의 비디오 테이프에서는 농촌에 많은 풍력 발전기가 돌아가고 있음을 볼 수 있었다. 우리나라에서도 제주도 경북 해안 바다 바람이

강하게 불어오는 곳에 풍력 발전소가 설치되고 있다. 혹자는 소 계곡 발전, 풍력 발전이 어떻게 국유림이 사업이 될 수 있느냐 한다. 그러나 필자는 이렇게 대답하고 싶다. 국유림에서 국유 임야 특별 회계 예산을 투입하여 전기를 생산, 한전에 전기를 판매하면 국유 임야 사업이지 꼭 목재만 생산하여 판매 하는 것이 국유 임야 사업이냐고, 소 계곡 수력발전소 풍력발전소에서 깨끗한 에너지를 생산하여 공급하는 양이 우리나라 전체 에너지 수급 면에서 아주 적은 양이 되어도 좋다.

그러나 이런 면에 관심을 갖고 일을 하고 있음을 보여줌으로써 국민의 사랑과 관심을 받는 기관이 될 것이다. 국유림 사업은 나무를 심고 가꾸어 국가가 필요로 하는 목재를 공급하므로 국민경제에 기여하는 일일 것이다.

그러나 외재를 보면 우리나라에서 공급이 가능한 간벌재 같은 소경목도 많이 들어오고 있다. 이것은 우리나라 목재가 이미 국제 가격시장에서 경쟁력을 잃어버렸다는 이야기와 같다. 또 농과대학 임학과에는 여학생이 절반이 넘는 대학도 있다. 이런 상황에서 새로운 국유림 사업으로 풍력발번소 소 계곡 발전소를 건설, 전기를 생산하여 한전에 판매하는 것이 휴양림 사업보다 입산금지 정책에 위반되지도 않으면서 좋은 사업으로 판단된다.

대관령 일대에서 수백 개의 풍력 발전기가 돌아가고 있는 풍경은 네델란드의 풍차보다 아름다울 것이며 상상만 하여도 가슴이 설레인다.



특 집

국토생태통합네트워크의 구축과 관리방향

김 선 희
국토연구원 연구위원

1. 환경관리측면에서의 국토구조의 제반 문제점

지난 30여년간 국토관리의 중심은 전 국토면적의 14.1%를 차지하고 있는 도시지역[1] 특히 이중에서 전 국토면적의 5.1%를 차지하는 도시용지[2]에 치중되어 왔다고 해도 과언이 아니다. 따라서 이들 지역의 문제가 마치 전국토의 문제로 확대되어 인식되고, 모든 정책, 기술투자가 이곳에 집중되어 이루어져 왔다. 상대적으로 전 국도면적의 21.5%와 65.7%를 차지하는 농지 및 산림 등의 관리는 소극적으로 다루어졌다. 이 결과 국토생태계의 안정성, 순환성 확보, 환경보전 및 방재, 농업생산력의 확보 분야 등에서 다양한 문제가 제기되고 있다.

국토는 크게 자연적 요소와 인위적 요소로 구성되어 있다. 국토를 구성하는 자연적 요소는 대기, 물, 토양 등이며, 이들 요소는 국토를 구성하는 기본이다. 이들은 상호 유기적으로 연계되어 자연의 메카니즘을 형성하고 있으며 인간활동은 이러한 자연적 요소를 기반으로 이루어지고 있다. 그런데 물이나 대기 등 자연적 요소에 인간활동이 개입하게 되면 자연의 메카니즘에 영향을 미치고 동시에 자연으로부터 영향을 받게된다. 즉 물은 하늘에서 하천, 해역을 거치는 동안 수자원으로서 개발공급되어 다양한 형태로 이용되고, 다시 자연으로 되돌아가게 된다. 이 과정에서 수질오염 등이 발생하게 되고 이는 다시 토양 및 생태계에 영향을 주게 되는 것이다. 대기도 마찬가지로 도시구조 및 활동 등으로 인해 대기오염을 초래하고 이는 다시 생태계에 영향을 미치게 된다.

사람들의 경제 · 사회활동은 시장경제원리뿐만 아니라 자연의 메카니즘에 의해 이루어진다고 할 수 있다. 그러나 앞에서도 잠시 언급한 바 있지만, 국토를 구성하는 자연적 요소와 인위적 요소 관점에서 극단적으로 표현하면, 자연의 메카니즘과 국토를 구성하는 인위적 요소인 각종 사회경제활동과는 대단히 괴리되어 있다고 평가할 수 있다. 결국 인간활동이 자연의 메카니즘을 이해하지 못한채 과도하게 이루어짐으로써 여러 가지 부작용을 유발하고 있는

1) 도시지역은 도시계획법에 의한 도시계획구역, 산업입지 및 개발에 관한 법률에 의한 국가산업단지와 지방산업단지, 전원개발에 관한 특례법에 의한 전원개발사업구역 및 예정구역 등으로서, 1997년말 현재 667개소 14,050.0Km²임

2) 도시용지는 주거용지, 상업용지, 공업용지, 공공용지(학용용지, 도로, 철도, 수도, 구거, 공원, 체육용지)로서 1997년 현재 7,173Km²임

것이다. 이는 총체적인 자연의 메카니즘에 대한 인식부족으로 경제사회활동 및 제반 제도 등이 자연의 메카니즘을 충분히 고려하지 못한 결과라고 할 수있다.[3]

자연요소의 개변은 생태계에 부작용을 초래하기 마련이다. 토지이용의 변화, 대기 및 수질오염, 포획, 채집, 벌채 등 각종 인간활동들은 생태계에 직·간접적인 영향을 미친다. 따라서 생태계를 건전하게 유지·관리·보전하기 위해서는 다양한 인간활동를 자연의 메카니즘속에서 통합적으로 보는 시도가 요구된다.

국토공간은 다양한 자연적 요소와 인간적 요소가 상호 유기적으로 상호 밀접한 관계를 갖는 중층구조를 형성하고 있다. 그러나 실제 이같은 자연메카니즘과 사람들의 인과관계를 명확히 알수 없을 뿐만 아니라 설령 명확히 규명되어 있다고 해도 이에 대한 인식 및 배려가 부족하다. 따라서 인간의 경제활동, 문화적 사회적 활동 및 행정 등이 자연의 메카니즘을 충분히 배려하는 체계가 마련되어 있지 못하다.

오래전부터 자연의 메카니즘과 인간활동의 괴리를 개선하기 위해 다양한 대책이 강구되어 왔지만 여전히 미개척 분야로 남아있다. 생태계의 유지를 위해 귀중한 생물의 생식공간의 보전, 포획 규제 등이 추진되어 오고 있으며, 수질보전, 대기오염 저감대책도 결과적으로 생물의 서식환경의 보전에 직 간접적으로 기여해 오고 있는 것이다. 그러나 이러한 대책은 오로지 직접적인 악영향을 완화하는 대책에 국한한 아주 부분적인 접근이지, 자연의 메카니즘을 총체적으로 인식하고 배려하는 통합적인 대책에는 못미치고 있다.

2. 국토 생태통합네트워크 구축과 관리의 필요성

1) 자연·생태계 등 자연요소에 대한 인식

지난 20세기에는 인구와 도시, 경제가 국토구조형성을 주도해온 주요 요소였다면, 다가오는 21세기는 문화와 생활양식창조의 기초적인 요소인 기후, 풍토, 생태네트워크, 해역과 수계 등의 자연환경과 생태적 특성 등이 국토구조를 새롭게 주도할 것이라는 주장이 설득력을 얻고 있다.[4] 즉 원래 국토가 구비하고 있는 자연메카니즘을 활용하여 국토엔트로피를 가급적 줄이는 형태로 인간활동과 국토를 조성해줄 것을 강하게 요구하고 있다. 이를 위해 인간정주, 산업배치 및 교통, 자원개발 등 제반 인간활동 및 정책방향을 환경부하가 적은 자원·에너지 절약적이며, 환경친화적인 방향으로 전환할 필요가 있다.

3) 박이문. 1997. 문명의 미래와 생태학적 세계관·서울:당대에서 저자는 나뭇잎을 인간, 나무를 생태계, 숲을 자연에 비유하면서 환경문제를 풀어가기 위해서는 환경, 생태계 그리고 자연이 인간이라는 한 종의 관점에서 근시안적으로만 이해될 것이 아니라 인간이 환경의 맥락에서 환경이 생태계의 맥락에서 그리고 생태계가 자연의 맥락에서 총체적으로 거시적으로 파악할 것을 강조

4) 일본 환경청, 평성 10년판 환경백서, 1998:139-140. 이밖에 20세기의 우리 인류의 대표적인 패러다임이 '성장제일주의'라 한다면, 21세기에는 '생태학적 생명주의'로 변화되어야 한다고 주장하는 녹색사회운동이 다양한 형태로 전개되고 있음

이에 제 4차 국토계획(1999~2020)에서는 경제축과 생태축의 조화를 도모하는 국토생태통합네트워크를 제안하고 있다. 이제까지 국토를 구성하는 인위적인 요소인 경제축에 생태계라고 하는 자연적 요소를 조화시켜 국토의 잠재력과 환경용량을 충분히 고려하여 명실상부하게 인간과 자연, 경제와 생태가 조화되는 건강하고 쾌적한 국토환경을 조성하고자 하는 것이다.

2) 경제축과 생태축의 조화

경제축이 수요공급위주형 개발(Demand and Supply Based Approach)의 골격이라면 생태축은 생태·자원관리형 개발(Ecology and Resources Based Approach)의 골격이다. 21세기 대내·외적인 국토여건변화와 경제·사회활동의 확장과 더불어 개발수요공급과 생태자원관리의 조화의 중요성이 어느 시대보다 강조될 것이다. 향후 토지이용 전망에 의하면 2020년까지 전국토에 대한 도시적 용지의 비율은 '97년 5.1%에서 2020년 8.9%에 이를 것이며, 3,850km^{2}의 도시적 용지가 개발될 것이다.[5] 도시적 용지의 개발은 상대적으로 농경지, 산지, 간척지 등의 전용과 개발을 의미하는 것으로서, 이들 지역의 도시적 용지로의 전용과 개발과정에서 환경과 개발간의 갈등과 대립이 첨예화될 가능성이 커지고 있다. 따라서 국토관리의 큰 틀에서 경제와 환경·생태계의 조화를 도모하고 계획단계에서 환경에 대한 충분한 고려와 배려를 도모할 수 있는 국토관리의 철학과 토지이용의 질서와 원칙, 환경친화적인 사전예방장치의 마련은 무엇보다 시급한 과제가 아닐 수 없다.

3) 국토계획의 기조를 수요공급·개발 중심에서 자연·생태관리중심으로

이러한 인식하에 제 4차 국토계획에서는 국토 생태통합네트워크 구축을 통해 이러한 문제를 사전에 고려하고, 국토계획의 중심을 경제개발·수요공급에서 자원·생태관리로 전환하여 국토의 엔트로피를 줄여가고자 하는 근간을 마련하고 있다.

국토 생태통합네트워크는 주요 산맥과 10대강, 3대연안역을 통합적으로 연계하여 야생동식물의 이동성과 다양성, 물순환의 건전성, 녹지의 연속성을 확보하기 위한 한반도 생태골격이자 자연생태계 보전수단이다. 생태적으로 보전가치가 큰 백두대간, DMZ, 습지 및 갯벌, 하천 및 계곡, 대형 호소, 국립공원 등을 국토생태통합네트워크와 연계하여 산·하천·연안의 생태계복원·보전을 도모하고, 각종 개발사업의 무분별한 개발을 규제하고 환경친화적인 개발를 유도함으로써 환경오염의 사전예방과 관리를 도모하는 것이다.

3. 국토 생태통합네트워크의 설정

1) 권역의 종류와 설정기준

지역의 특성과 발전의 잠재력을 고도화하기 위해 경제권(광역권)을 구축하고 권역별 개발

5) 국토연구원, 제 4차 국토종합계획(안), 1999.7:pp. 41

전략을 수립하듯 국토환경 및 생태계보전을 위한 체계적인 권역설정과 전략을 모색해 볼 필요가 있다. 여기서 권역이란 지역공간에서 인식하는 공간적인 단위 및 그 상호적인 작용을 통합하고 있는 것으로 정의할 수 있다. 이제까지 제시되고 있는 권역을 예로 들면, 도시를 중심으로 일체적으로 정비할 필요성이 있는 지역은 지역생활권, 도시 및 주변지역의 체계적인 개발과 지역경제 활성화를 위한 광역권, 이밖에 유역권, 정주생활권, 통근통학권 등이 있다.

같은 맥락으로 국토를 구성하는 자연적 요소를 건전하게 보전한다고 하는 관점에서 환경영향권을 생각해 볼 수 있다. 예를 들면, 대기환경의 관점에서는 대기오염의 발생원과 영향을 받는 범위, 온난화를 일으키는 물질의 배출과 지구온난화의 영향을 받는 범위 등 각종 대기영향권이 상정되어 있다. 또한 수환경관점에서는 하나의 하천유역, 만, 내해 등 폐쇄성 수역으로 흘러드는 하천유역을 하나의 권역으로 생각할 수 있다. 또한 각종 생물종의 보호 관점에서 일정 범위를 갖는 생물서식공간 등도 각각 권역으로 설정할 수 있다.

2) 생태통합네트워크의 기본단위 '유역권'

국토를 구성하는 자연, 환경요소를 고려한 권역의 설정에 있어서 경제권과 달리 많은 어려움과 한계가 있다. 이는 자연적 요소간에 상호 유기적으로 관련되어 있어 각각의 자연메카니즘을 파악하기 어렵고, 여기에 인간활동이 이루어지면서 대단히 복잡한 양상을 띄고 있기 때문이다. 국토를 구성하는 제요소 모두를 동시에 포함시키는 공간적 범위를 제시하는 것은 곤란하지만 복수의 요소를 어느 정도 통합할 수 있는 공간범위를 상정해 볼 수는 있다. 본고에서는 자연메카니즘을 전체로서 통합하는 권역으로 '유역권'을 설정해 보고져 한다. 유역이란 하늘에서 내린 비가 하나의 수역에 모아지는 영역으로서, 여기에는 지형, 물, 생물 등과 관련된 자연메카니즘과 인간활동간의 조정을 이루기에 적당한 '유역권'을 구성하고 있다. 따라서 최근 유역권이 물이용지역과 범람원에 이르기까지 물순환에 관련된 일정의 지역적인 통합체로 주목받으면서 환경관리와 다양한 형태의 시민참여가 가능한 이상적인 단위(Ideal unit)로 인식되고 있고 있다.[6]

유역권은 산림, 물(하천, 호소, 해양), 토양 및 각종 생태계를 포함하는 통합된 생태권으로서 각기 고유한 기능과 특성을 가지면서 유기적으로 연계되어 있다. 이미 조선 후기 실학자인 여암 신경준과 고산자 김정호는 산척수맥(山脊水脈)을 지면의 근골혈맥(筋骨血脈)이라고 표현하며, 우리 한반도 전체를 하나의 살아

6) 유역권을 통합하는 환경관리는 최근 유럽, 미국 등에서 다양한 형태로 시도되고 있는데 특히 일본은 1998년 3월 수립한 '21세기 그랜드디자인'에서 유역권을 중심으로 국토관리시책을 제안하고 있어 주목받고 있음
國土廳, 國土綜合開發法第7條1項に基づく全國綜合開發計劃 21世紀の國土のグランドデザイン, 地域の自立の促進と美しい國土の創造, 平成 10年 3月, pp. 38-40
Malcolm Newson, Land, Water and Development: River Basin Systems and Their Sustainable Management, Routledge, London:1992, pp. 242-243

있는 유기체로 보면서 영험한 백두산에서 시작된 기운이 백두대간을 통해 한라산에 이르기까지 우리의 국토 전역에 미친다는 생각을 한 바 있다.[7]

산림은 다양한 생태계가 모여사는 생물서식공간으로서 뿐만 아니라 물, 토양 등 환경자원을 보전하고 함양하는 역할을 담당하고 있다. 물은 해면 등에서 증발하는 수증기를 다시 비로서 뿌리고 산림토양 등에 일시저장시켜, 그 후 지하수 및 표류수로서 유역을 유하시켜 바다에 도달하는 물순환을 형성하는 환경자원이다. 물은 표류수(하천, 호소, 해양), 표면수(논밭, 저수지 등), 지하수를 포함하는 순환계를 형성하고 있으나, 생활용수, 공업·농업용수로서 인위적으로도 이용되고 있다. 이 순환과정에서 산림 및 농경지 등에서 공급되는 영양염류와 토사 등을 운반하면서 수생 생태계가 영위할 수 있는 서식지를 제공하고 있다. 토양은 다양한 생태계의 장으로서뿐만 아니라 산림 농경지 등에서 배출되는 영양염류, 토사 등을 운반함과 동시에 수생생물 등 생태계가 서식하는 장을 제공하고 있다. 토양은 다양한 생태계의 서식처인 동시에 산림, 물순환을 건전하게 유지시켜 주는 기반이다. 또한 물의 순환과 함께 산맥에서 해역에 이르기 까지 토사의 이동에 의해 해안이 형성되고, 생물은 산림, 물, 토양으로 구성되어 있는 생물서식공간(biotope)을 통해 생식, 이동, 번식 등 다양한 물질순환을 이루는 하나의 통합권을 형성하고 있다.

유역권을 중심으로 한 생태통합권은 바로 이러한 상호 밀접한 관계를 갖는 산림, 물, 토양 생물 등의 자연메카니즘을 존중하는 형태로서 인간의 경제사회활동과 조화하고자 하는 통합관리수단이다.

유사이래 우리나라는 논과 밭을 중심으로 하는 농업이 발달되어 왔고, 사람들의 생활 및 물류에 있어서도 하천 및 연안역에서 주운도 발달되어 왔다. 하천을 중심으로 한 유역권이 광역적인 생활경제권을 형성해오고 있다. 우리의 농업, 임업은 산림, 물, 수자원을 이용, 보전해가면서 이루어지고 있는 지역자원을 활용한 산업이다. 이런 의미에서 기본적으로는 유역을 구성하는 자연적 요소와 인간의 경제사회활동의 조화가 도모되고 있다. 그러나 각종 경제사회활동들이 가속화되면서 이들 유역의 환경용량을 초과하는 환경부하가 가중되고 있다. 또한 간척·매립사업 및 하구언 건설사업 등 유역이 갖고 있는 자연특성에 대한 이해와 배려가 부족한 무리한 개발사업의 추진으로 환경오염의 심화와 자연생태계 훼손을 가속화시키고 있다. 이와 함께 최근 엘리뇨, 라니냐 등 기상이변으로 인한 홍수와 가뭄이 불규칙적으로 발생하여 자연재해로 인한 악영향이 확대되고 있고, 산림의 감소 및 부적절한 관리 등으로 인한 토사유출과 담수호의 오염과 기능상실 등의 사례도 발생하고 있다.

특히 전후 고도경제성장이후는 유역을 중심으로 한 지역자원관리시스템이 급격히 변화되었다. 농산촌지역에서의 인구유출, 1차산업 중심에서 2, 3차산업중심형으로의 산업구조의

7) 이 명우, 생태적 적지분석론과 전통적 풍수지리론, 국토연구원, 국토, '99. 8:70

변화, 자연소재의 생산물로부터 각종의 공업생산물로의 대체, 식료품 및 자재 등의 해외수입 증가 등 유역자원에 의존하지 않은 산업형태가 급진전되고 있다. 또한 댐의 축조, 용수로의 개수, 상·하수도의 발달 등에 의해 대규모 사회자본을 지지하는 물이용에의 전환은 사람들을 수환경으로부터 멀어지게 하였다. 또한 유역의 잡목림에서 채집한 땔감을 연료원으로 한 생활도 수력 및 화력, 원전 등의 새로운 에너지원으로 전환되고 있다. 특히 유역과 교류하도록 교통축과 정보네트워크이 형성되고, 경제사회활동이 급진전되면서 지역자원 의존사회를 크게 변화시켜 오고 있다.

이처럼 지역의 환경자원을 활용하면서 보전을 도모해오던 시스템이 붕괴되면서 경제사회활동과 지역자원과 분리되기도 하고, 일부 유역에서는 환경용량을 초월하는 인구, 산업의 집중을 야기하면서 자연정화능력을 초월하는 수질의 오염부하로 유역환경이 급격히 악화되고 있다.

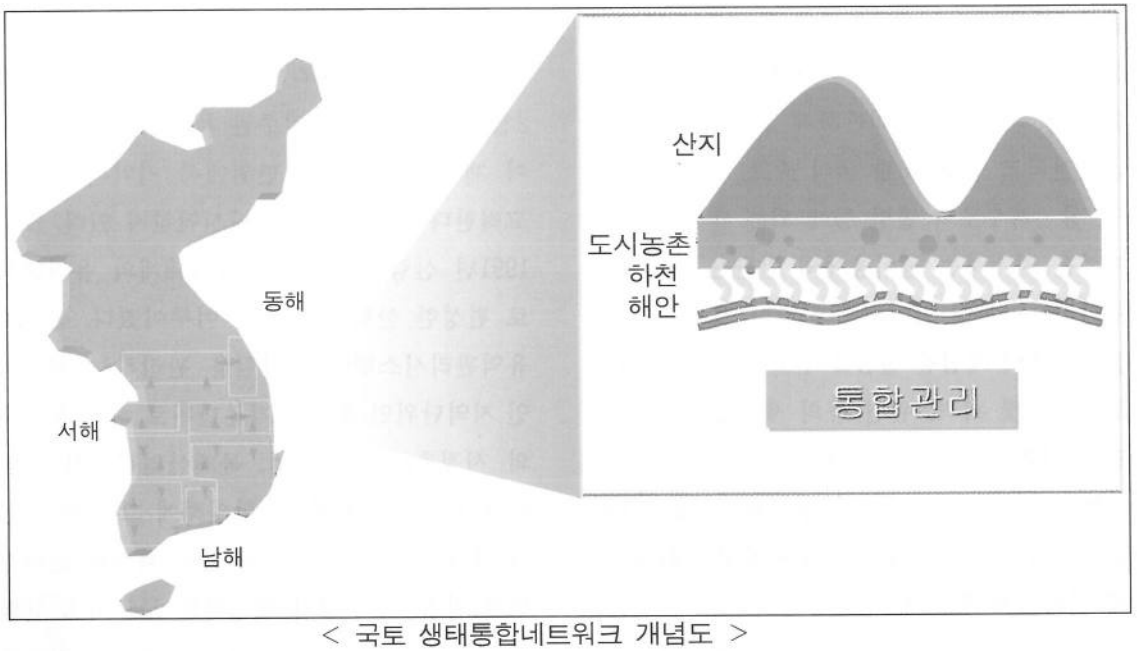
유역보전에 관한 행정은 토지문제에 관해서는 토지정책, 물 문제에 대하여는 수질보전, 하천관리로서는 이수, 치수 등 수정책이 각각 별개의 행정기관에 의해 추진되고 있다. 유역전체의 시야에서 보면, 산지에 대하여는 임업생산, 농지에 대하여는 농업생산, 하천에 대하여는 물의 효과적인 배수라고 하는 각각의 분야에서의 효율화를 도모하는 정책이 추진되어 왔다. 이러한 상황하에서 물환경은 유역의 경제활동을 받아들이는 수용체 입장이고 정책으로서도 유역관점에서 보는 것은 꽤 무리라고 말할 수 있다.

그러나 1977년 각의결정에 의해 이루어진 3전총에서 제안한 정주권의 하나로서 유역권이 제창되어 유역의 단위에서 지역의 방향을 고려한다는 필요성이 일기시작한바 있다. 또한 1991년 산림계획을 개정해 158개의 유역단위로 편성한 산림법 개정이 이루어졌다. 산림의 유역관리시스템이란 산림을 관리하는 합리적인 지역단위인 유역을 기본단위로 하여 유역내의 시정촌, 산림, 임업, 목재산업관계자 등의 다양한 관계자의 협의·합의하에 그 유역 특성에 따라 민유림, 국유림을 통한 적정한 산림정비와 임업·임산업의 활성화를 도모하고 산림이 제기능을 유지·향상시키는 것을 목적으로 하고 있다. 특히 새로운 그랜드디자인에서는 유역권에 착안한 국토의 보전과 관리를 위한 종합적인 시책을 전개할 필요성이 제기된바 있다.

유역보전에 있어서 중요한 문제는 산림, 논 등의 농지, 도시 등이다. 산림의 황폐, 논의 감소, 도시의 택지화 등에 상황을 감안하면서 유역권관리 축면에서 통합관리정책을 전개할 필요성이 있다. 향후 유역환경보전을 어떠한 형태로 이끌 것인가가 커다란 과제가 되고 있다.

3)국토 생태통합네트워크의 구축

제 4차 국토종합계획에서는 유역권을 중심으로 생태통합네트워크 구축을 환경보전계획의 핵심으로 삼고 있다. 국토생태통합네트워크는 한반도 육지부의 10개 유역권과 제주도를 포함하여 총 11개권역으로 구성되어 있다. 각



< 국토 생태통합네트워크 개념도 >

각의 생태통합권은 산과 하천, 연안으로 구성되며, 이들은 하나의 유역권으로서 생태적으로 환경적으로 일체성과 순환성, 건전성을 확보하면서 통합적으로 관리되게 된다. 이들은 한강, 낙동강, 금강, 영산강 등 10대강과 백두대간상의 주요 명산 -설악산, 소백산, 오대산, 지리산 등-과 3대연안역이 연계된 한반도 생태골격을 형성하고 있다고 할 수 있다. 또한 이 네트워크상에 생태적으로 보전가치가 큰 백두대간 DMZ, 습지 및 갯벌, 하천 및 계곡, 대형호소 국립공원 등이 유기적으로 연계되어 있는 한반도 생태계의 보고라고 할 수 있다.

4. 주요 외국 사례

1) 네덜란드

네덜란드는 1990년 국토생태네트워크(NEN: National Ecological Network) 계획을 중요 국토정책으로 채택한바 있다. 국토생태네트워크 계획은 동식물 서식지의 단절(habitat fragmentation)을 막고, 생태계의 평형을 회복하고자 하는 것으로서 경관생태학적 조사에 의거해서 추진하고 있다. 이 계획을 추진하기 위해 중앙정부, 지방자치단체, NGO 등이 함께 협력하여 대대적인 생태적 인프라를 정비하고 있다.

네덜란드는 유럽국가들중에서 고밀도 토지이용과 교통망정비가 이루어지고 있는 국가로서 1970년대이후 포유류, 파충류, 양생류 등 많은 생물종이 지역개체군의 분단으로 소멸된바 있다. 1980년대 후반에 접어들면서 멸종위기종을 보호해야겠다는 여론이 형성되면서 적극적인 생태네트워크 구축의 필요성이 제기되기 시작했다. 이에 정부에서는 1990년 국토생태네트

워크를 정식으로 국토계획에 채택하기에 이른다.

네덜란드 의회는 1990년 3가지 중요한 환경계획인 국가환경정책계획, 제 3차 국가물관리계획, 자연정책계획을 승인한바 있다. 이 가운데 자연정책계획(NPP: Nature Policy Plan)이 국토생태네트워크계획의 상위계획이다. 자연정책계획의 주요 골자는 국토생태네트워크의 형성, 자연창출(nature development)에 의한 생태적으로 높은 가치를 갖는 토지의 창출 자연보호정책에 대한 국민여론의 환기, 자연경관의 보전 강화 등이다.

국토생태네트워크의 목표년도는 2020년이다.(기준년도 1990년) 간선도로와 국토생태네트워크가 교차하는 구간에 대하여는 2000년까지 40%, 2010년까지 90%를 동물이동통로로 설치할 계획이다. 또한 국토생태네트워크 구축을 위해 66만5천ha의 토지이용을 목표로 하고 있는데, 이는 국토 전체면적의 약 20%를 점하고 있다.(1990년 현재는 약 15%)

국토생태네트워크는 핵심지역(core area) 자연창출구역(nature development area), 생태적 회랑(ecological corridor), 완충대(buffer zone)로 구성되어 있는데, 이들은 생태적 주요구조(EMS:ecological main structure)로 불리어지고 있다. 국토생태네트워크 계획도는 1/25만 도면에 표시돼 국토차원에서 EMS의 네트워크를 개관할 수 있도록 되어 있다. 우선 지형 · 토양 · 수환경 등 토지적 자연요소에 의해 국토를 9개지역으로 구분한 '자연지역구분도'와 '중요한 자연구역도'를 중첩시켜 각 자연지역구분마다 대표적인 생태계(삼림, 습지, 종의 다양성이 높은 초지, 사구 등)를 선정하여 핵심지역 후보지를 지정하고 핵심지역의 최저면적은 500ha로 보호상 중요한 동식물의 개체군을 유지하기 위해 필요한 최소기준이다. 핵심지역의 면적은 최소한으로 하기 때문에 인접하여 자연창출구역을 배치하여 생물서식지(habitat) 전체 면적을 넓히든가, 핵심지역간에 자연창출구역을 삽입하든가 하여 상호 연락하는 배치방침이 정해져 있다. 핵심지역 상호간 거리가 떨어져 있는 경우에는 그 사이에 생태적 회랑을 배치하고 있다.

EMS에 필요한 토지는 국공유지로 국한하지 않고, 지역특성을 고려하여 지정한다. 또한 네트워크로 지정된 지역에는 토지의 생태적 평가의 유지 · 향상이 의무지워져 있으나 토지이용목적이 반드시 자연보호전용이 되는 것은 아니다. 농업 · 임업 등 생산기능, 수로 및 운하 등 교통기능, 레크레이션 기능 혹은 국방상 기능을 존속시켜가면서 생태적 기능을 부가하는 것이 NEN의 특징이다.

핵심지역의 선정요건은 국가적으로 혹은 국제적으로 중요한 생물종의 서식지 등으로 하고 있다. 산림, 습지, 계곡, 사구, 대형 호소, 연안해역 등이 핵심지역으로 지정된다. 핵심지역에는 공업 유통시설구역, 항만구역, 도시 · 주택개발구역은 포함되지 않는다. 핵심지역의 지정목적은 현존하는 생태적 가치의 보호와 증강에 두고 있다. 따라서 자연보호에 영향을 미치는 개발은 배제된다.

자연창출구역은 인위적인 조성에 의해 토지

(수면 포함)의 생태적 가치를 높일수 있는 잠재적 가능성이 있는 토지로서 NEN의 구성요소가 된다. 잔존하고 있는 생태적으로 가치가 높은 토지만을 보호구역으로 하면 유기적인 생태네트워크가 형성되지 않기 때문에 적극적으로 핵심지역의 생태적 가치를 높이는 자연창출이 NEN계획의 핵심으로 채택되고 있다. 자연창출의 잠재적 가능성은 주로 토지적 자연요소에 관한 각종 정보(예: 토양도, 지형도, 수환경도, 동식물분포도, 역사적 지세도)로부터 판단할 수 있고, 특히 수질이 좋은 지하수의 용출이 있는 구역은 습지의 조성에 적합하고, 우수의 지하침투가 현저한 구역도 자연창출구역으로 지정된다. 자연창출구역에는 주로 빈영양습지, 습원, 습성림을 조성하기에 적합한 토지가 선정되어 순차적으로 습지 및 산림조성이 이루어진다. 사업착수전에 잠재적 가치가 현저히 저하되는 것을 방지하기 위해 토양의 성질, 지표수의 수질, 지하수의 수문학적 거동 등의 현상을 유지토록하고 이들에 영향을 미칠 우려가 있는 주택, 도로, 공업시설 및 농지의 과도한 경작은 규제된다.

생태적 회랑은 핵심지역의 내부, 혹은 핵심지역간의 동물먹이의 채취, 번식행동, 계절적 이동을 위해 통행하는 線上, 帶狀의 자연경관이다. 회랑을 형성하기 위해서는 주개체군을 구성하는 하부개체군간에 존재하는 이동상의 장해를 제거해야 한다. 생태적 회랑를 결정하기 위해서는 대상종의 현재 및 과거의 분포가 조사되어, 인위적인 서식지 분단이전에 교류가 있었다고 판단되는 하부개체군의 분포지역을 연계하도록 회랑이 계획된다. 현재까지 수달 오소리, 토끼 및 몇종의 어류에 대해 주 개체군의 규모, 변동 및 이동의 계절과 루트에 관해 자료가 수집되어 생태적회랑 배치계획이 이루어 지고 있다. 생태적 회랑은 수로, 제방, 도로이면에 생태적 기능을 부가하여 조성하고 있다. 이를 위해 토석의 채취, 도로 및 파이프라인, 고압전선 등의 사업과정에서 발생하는 帶狀의 토지를 회랑조성에 공급하도록 NPP에서 결정한바 있다. 실제 고속도로 A1노선 kootwiji 부근에 초본식생을 서식지로 하는 갑충류 회랑이 조성된바 있고, 지속적인 모니터링이 이루어지고 있다.

생태적 회랑가운데 도로, 철도, 수로 등 장대구조물이 동물의 이동을 저해하는 곳을 해소하기 위해 조성된 시설 및 관리구역을 동물이동로(fauna passage)라고 한다. 이 설계에는 각각의 종이 요구하는 생태적인 상세구조가 조사되고 대상종에 적합한 구조가 채택된다. 예를 들면 오소리용 터널의 경우 도로의 양측에 유도용 시설물이 설계되고, 터널 직경은 40~50 cm로 설정되었다. 한편 국토생태네트워크 기능을 충분히 발휘하기 위해 핵심지역 및 자연창출구역 주위에 완충대를 둘 필요가 있다.

NEN을 실현하기 위해서는 충분한 예산이 뒷받침되어야 하고 효율적인 실시주체가 필요하다. 계획실현을 위해 의회에서는 적극적으로 예산에 반영하여 매년 155만길더(930억원)를 사용하도록 1990년에 승인한바 있다. NPP와 NEN에 대한 국민과 정치가들의 지지가 대단하였기 때문에 종래의 현상유지형 자연보호에

대해 NPP는 '적극적인 자연을 창출하는 계획으로, 문제해결을 목표로 한 구체성 있는 내용을 갖고 있는 계획'으로 인정되었을 뿐만 아니라 NEN이 알기쉬운 계획도의 형태로 표시된 것도 큰 지지를 얻은 이유중의 하나로 평가되고 있다.

NEN의 주요 관장부서는 농업 · 자연관리 · 어업성으로 계획추진 전체의 조정외에 핵심지역에 대한 자연보호법의 계통적 적용, 핵심지역과 자연창출구역의 토지취득, 농업과 자연보호의 공존을 도모하는 토지를 2배로 확대하고 NGO에 대한 지속적인 재정지원, NEN구역으로의 국립공원 확장 등을 추진하고 있다.

네덜란드는 15개주가 있는데, 주마다 NEN을 상위계획으로 하는 상세한 생태네트워크계획이 추진되고 있다. NEN을 실현하기 위해서 각종 공공사업이 실시되고 있다. 생태네트워크 형성에 필요한 시설을 생태인프라스트록처라고 부르는데 도로, 철도, 운하 등의 건설 및 개량과 관련하여 조정되는 것이 많다. 사업자 입장에서 네트워크를 위한 생태인프라스트록처 정비는 서식지분단화의 대상회복(mitigation) 혹은 손실보상(compensation)으로 인식되고 있는데 효율적인 NEN 형성에 기여할 가능성이 큰 것으로 평가되고 있다.

한편 생태인프라정비에는 유관기관의 협조가 필요한데 대규모 네트워크 사업인 Ecological Connection Venen-Vechtplassen의 예에서는 암스텔담과 유트레히트를 연결하는 고속도로 · 철도 · 운하의 개량에 따라 분단되는 2대 습지(핵심지역)간에 여러개의 생태적 회랑이 계획되었다. 이를 위해 유트레히트 정부, 교통공공사업 수자원관리성, 농업 자연관리 어업성 암스텔-훼이트운하국, 네덜란드 국철, 환경보호단체 'Natuurmumenten'등으로 구성된 프로젝트팀이 1992년에 발족하여 사업주체간의 조정이 이루어지고 있다. 이러한 사업추진 연대는 EMS 정비에 크게 기여하고 있다.

2) 일본

일본은 지난 1998년 3월 국토종합개발법 제7조 1항에 의거 21세기 국토의 그랜드디자인(제 5차 전국종합개발계획)을 수립 · 각의결정한 바 있다. 국민들의 자연선호, 생물다양성의 확보 요청 등에 부응하면서 국토의 자연환경을 보전 · 회복시키기 위해 국토규모의 생태계네트워크 형성계획을 수립 한바 있다. 야생동식물과의 공존을 위해 균형있고 안정적인 생태계를 확보하기 위해 지구규모, 전국규모, 지역규모 등 다양한 수준에서 생태계의 통합과 야생생물 서식공간의 연속성과 일체성을 확보하기 위해 국토규모의 생태계네트워크 구축을 자연환경보전의 핵심전략으로 설정하고 있다. 이를 구체적으로 추진하기 위해 세끼료(脊梁)산맥과 상호 연계되어 있는 유역, 연안역 등에 대해 다양한 야생생물이 서식 할 수 있도록 각 지역마다 지역특성에 따라 생물서식공간을 조성 · 유지하도록 하고 있다.

이를 위해 현존하는 자연환경의 보전 · 개선이 필요한 구역에 대하여는 야생생물의 생식생육에 적합한 자연환경으로 유도, 전환할 계획이다. 또한 인공구조물의 설치시에는 생물서

식공간의 분단방지를 위해 생태통로(eco-bridge, eco-road) 등 적절한 배려를 도모하도록 하고 있다. 그리고 생태네트워크 계획도(eco · net · map)를 작성하여 야생생물 등에 대한 데이터베이스 및 정보를 정비할 계획이다. 이와 함께 생태계의 균형유지, 국민이해의 증진차원에서 야생동식물의 개체수 관리, 피해방지시설의 정비 및 인재 육성 등이 연계되어 이루어지고 있다.

또한 국토개발사업 추진과정에서 자연환경을 보전하기 위해 환경영향평가를 실시하여 보전해야 할 곳의 개발을 가급적 피하고, 환경영향을 최소화하는 대책을 우선적으로 수립하도록 하고 있다. 이를 위해 기초가 되는 환경정보의 체계적인 수집 · 정비와 정보활용체계를 정비하고 둘째, 시설입지를 계획하는 정책초기단계에서 지역주민, 전문가 등이 함께 참가하여 환경보전에 관한 조사와 검토 등을 행한다. 그리고 개발이 불가피한 경우, 대상회복(mitigation)을 통해 지역의 자연환경이 총량적으로 훼손되지 않도록 계획적으로 정비하도록 하고 있다.

5. 국토 생태통합네트워크의 구축과 관리방안

따라서 이들 국토생태통합네트워크를 통해 자연생태계의 보전과 복원을 도모하고 궁극적으로 국토의 야생동식물의 이동성과 다양성, 물순환의 건전성 및 녹지의 연속성이 확보될 수 있는 '자연속의 녹색국토'를 구현할 필요가 있다. 이를 위해서는 국토생태통합네트워크의 주요 구성요소인 산, 하천, 연안의 생태계보전과 복원이 적극적으로 이루어져야 한다. 제4차국토종합계획에서는 첫째, 백두대간을 중심으로 한 녹지생태축의 보전과 단절구간의 복원 둘째, 유역권별 산림, 농경지, 도시의 통합관리를 통한 하천의 수질, 수량, 생태계의 보전, 셋째, 하구언 및 갯벌의 보전과 계획적 정비를 통한 연안생태계의 보전을 주요 전략으로 선정한바 있다. 이와 함께 전국 생태계복원사업을 통해 산, 하천, 연안의 생태적 가치를 보호 · 증진하고 다양한 동식물의 서식환경을 조성하고자 하고 있다.

1) 산림생태계의 보전과 복원

우선 주요 명산의 녹지생태축의 복원 및 개선사업을 추진할 계획이다. 백두산, 설악산, 지리산, 한라산 등 주요 명산을 보전하기 위해 녹지생태축상에서 이루어지는 개발사업을 엄격히 제한하고 개발추진시 철저한 환경영향평가 후 환경친화적으로 추진하도록 해야 한다. 또한 현재 등산로, 계곡, 식물군락지 등을 대상으로 실시하고 있는 자연휴식년제를 확대 실시하는 방안도 모색할 필요가 있다.

이와 함께 녹지생태축상에서 이루어졌던 대규모개발사업의 환경영향 재평가와 복원사업을 추진하는 것이 필요하다. 현재 간선도로와 백두대간이 교차하는 47개구간에 생태이동통로를 조성하고, 파괴된 숲과 녹지를 대상회복(mitigation)을 통해 동일한 환경기능으로 대체복원을 의무화하며, 생물서식지(biotope)을

복원하도록 해야 한다.

둘째, 산지의 합리적인 보전과 계획적인 활용을 추진할 계획이다. 토지적성평가(Land Suitability Analysis)[8] 등을 통해 산지이용 구분체계를 마련하여 보전 및 이용대상 산지를 명확히 구분하고, 산지개발지침을 제도화하여 환경친화적 산지이용을 도모할 필요가 있다. 환경친화적인 산지이용은 우리 산의 경관과 생태와 조화되는 친환경적 연구단지, 전원주거단지, 문화단지 등을 조성하여 도시적 용지수요를 충족하는 방향으로 하되 그 규모는 최소화할 필요가 있다.

셋째, 산림의 공익적 기능[9]을 확대하기 위하여 제 2의 조림사업을 추진할 계획이다. 산림계획제도 등을 도입하여 체계적인 산림정비를 추진하는 것이 시급하다. 조림과 간벌사업 등을 통해 산림의 이산화탄소 흡수능력을 배양하여 기후변화협약에 적극적으로 대비할 필요가 있으며, 유역별 산림관리계획을 수립·추진하여 녹색댐 기능과 하천·연안역의 수질정화 기능을 제고하도록 한다. 이와함께 산림의 보전과 생물종 다양성 확보를 위해 다양한 수종의 식재와 산림병충해방지대책 등도 이루어져야 한다.

2) 하천생태계의 보전과 수변공간(water front)의 관리

하천의 수질·수량·생태계의 보전과 물순환의 건전화를 촉진하기 위해서는 유역권별 통합환경관리가 이루어져야 한다. 본 4차 국토종합계획에서는 한강, 낙동강, 금강, 영산강 등 10대 유역권별로 통합환경관리계획을 수립하도록 하고 있다.

유역권별 통합환경관리계획에서는 수질보전대책은 물론 치수대책, 토사관리, 도시유출수의 관리, 하천환경의 개선과 수변공간의 관리 등을 종합적으로 포괄할 수 있어야 한다. 우선 산림 및 농경지의 적정관리 등 유역권 종합정비를 통해 수질보전, 치산·치수대책, 토사관리를 도모하도록 한다. 구체적인 시책으로는 우선 우량농지의 보전과 농촌공간(eco-village) 조성, 농어촌하폐수처리사업 촉진, 수질오염이 적은 환경농업의 확대 및 직접지불제 등 지원방안을 활성화하는 방안을 검토할 필요가 있다. 그리고 하천 상류지역 및 하천부지에 나무심기 사업을 추진[10]하고, 토양침식이 큰 경사가 심한 경작지를 산지로 환원하는 방안 등을 모색할 수 있다.[11]또한 수변역 관리제를 도입하여

8) 토지적성평가는 1969년 MaHarg 등에 의해 제안된 이후 자연환경과 조화된 개발을 유도하는 환경관리수단으로 발전. 토지자원이 갖는 지형, 지질, 토양, 식생, 오염정도, 역사·문화경관, 인구밀도, 토지이용율, 지역간 관련성 등을 종합분석하여 토지이용의 적합성을 평가

9) 산림의 기능은 크게 경제적 기능과 외부 경제적 기능으로 분류할 수 있는데 외부경제적 기능을 공익기능이라고 한다. 산림의 공익기능은 생물자원 제공기능(유전자원보전, 생태계유지), 국토보전기능(토지보전, 수환경보전), 대기조성 조절기능(산소공급, 지구온난화방지, 대기정화), 어메니티기능(주거공간보전, 보건휴양) 등이 있음

10) 일본은 1991년 산림법을 개정해 158개 유역단위별 산림정비를 도모하고 있음

11) 전 상호, 상수원 수질개선을 위한 비점오염원 관리, 환경정의시민연대, 맑은 물 공급을 위한 수질관리정책 그 과제와 방향을 진단한다, 1999.7.13: 17

하천으로부터 일정한 거리안에서는 원칙적으로 개발을 금지하고, 건축물 고도제한 등을 엄격히 적용하며, 기존 시설물에 대하여는 환경기준 감시체제를 강화하는 방안을 모색할 수 있다.[12]

둘째는 도시지역 및 하천하류의 우수침투능력을 보강하여 물순환의 건전성을 회복할 수 있도록 하여야 한다. 이를 위한 구체적인 시책으로는 유수지 · 우수저류조 등을 정비 확충하고, 하수처리장은 대규모 건설을 지양하여 소규모 현지처리방식으로 전환토록 한다. 이때 하수처리수는 하천 등의 유지용수로 재활용할 수 있도록 사전에 고려하도록 한다.

셋째는 환경친화적 하천조성과 다양한 수변공간의 보전과 창출계획을 마련하여야 한다. 이를 위해 우선 자연하천복원사업 추진을 통해 하천의 생태적 기능을 강화하고 복원할 필요가 있다. 직강화 하천, 콘크리트 제방 등을 치수 및 안전성 확보를 전제로 자연하천으로 복구하고, 하천특성에 맞는 물과 녹의 네트워크를 형성하도록 한다. 농촌배수 등 비점오염원에 의한 오염부하가 큰 하천은 습지생태공원 등을 조성하여 수질오염 정화와 하천경관을 동시에 개선하는 방안을 강구할 필요가 있다.

넷째는 소하천, 도시하천 등의 정비를 통해 다양한 수변공간(water front)을 조성하여 하천의 친수기능을 강화하는 방안을 강구할 필요가 있다. 시범적으로 청계천 등 복개된 도시하천을 자연하천으로 복원하는 사업을 검토해 볼 수 있다.

다섯째는 유역공동관리를 위한 상 · 하류지역의 협력방안을 모색하도록 한다. 매년 3월 22일은 UN이 정한 "세계 물의 날"이었다. 지난 1999년 제 7회 '세계 물의 날'의 주제는 '우리 모두는 강 하류에 산다(Everyone lives downstream)'였다. 그 자체가 하나의 문화권이며 한 공동체인 하천유역차원에서 수자원관리의 중요성을 강조하면서 상 · 하류 지역간 물분쟁을 근본적으로 해결하도록 촉구한 바 있다. 이의 일환으로 댐 수몰지역, 상수원보호구역 등 수원지역에 대한 대대적인 생활정비 및 지원대책 등이 필요하며, 물 부담금제도, 수리권 거래제도 등 경제적 인센티브제를 확대하는 방안도 모색될 수 있다. 또한 유역권별 광역협의체, 상호교류회 등을 활성화하여 하천환경 모니터링, 하천살리기 사업, 물문화 축제 등 하천환경 공동관리사업을 추진할 필요가 있다.

3) 연안환경 및 갯벌의 보전

연안역은 산지와 하천, 바다가 유기적으로 연계되어 있는 생태계의 보고이다. 그러나 이제까지 이에 대한 인식이 미흡하여 하구언 건설, 무분별한 간척 · 매립사업의 확대와 선점식 난개발이 확대되는 양상을 보이고 있다. 시화호 오염이나 새만금 간척사업에서 보듯 연안역의 자연특성을 고려하지 못한 간척 · 매립과 담

12) 팔당상수원 수질보전특별대책에서는 '99년 8월까지 수변으로부터 500m~1Km 범위내에서 수변구역을 설정하여, 음식점, 숙박시설 등 오염물질을 다량배출하는 오염원의 입지를 원칙적으로 제한하고 배출기준을 강화할 계획

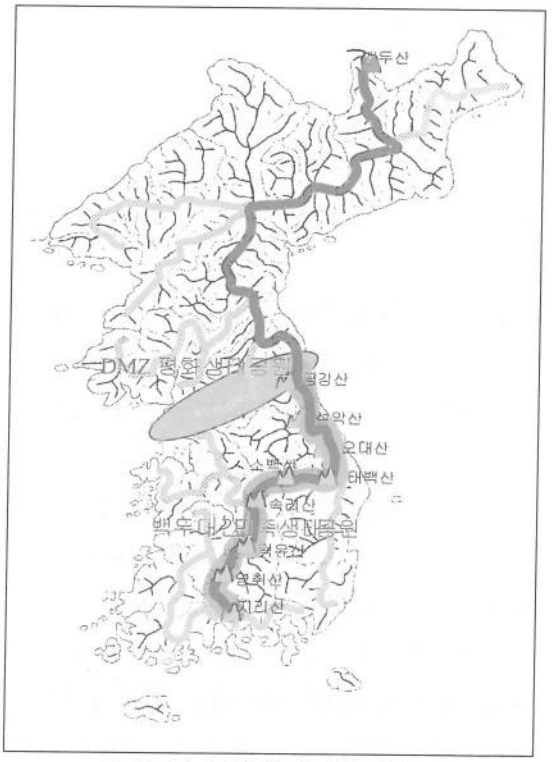
수호 조성사업, 주변지역의 개발사업은 필연적으로 수질오염을 심화시키고, 연안생태계를 교란시키는 악영향을 초래하고 있다.

이러한 문제를 근원적으로 시정하고 연안의 체계적 관리를 도모하기 위하여는 연안통합관리계획(ICZM: Integrated Coastal Zone Management)의 수립 · 추진이 필요하다. 연안의 자연특성과 지역개발수요, 환경용량 등을 고려하여 계획적 관리를 도모토록 하고, 하천구역과 같이 수변역 관리제를 도입하여 해안선 일정구간 이내에는 지역별 특성에 따라 원칙적으로 개발을 제한하고 건축물의 고도제한 등 환경친화적 입지 및 시설기준을 강화할 필요가 있다.

또한 서남해안 주요 갯벌 및 다양한 동 · 식물 서식 해안 등 생태적으로 보전가치가 큰 지역은 보전지역으로 지정하고 생태공원을 조성하는 등 체계적인 관리방안을 모색해 볼 수 있다. 이와 함께 갯벌 생태계를 훼손하는 대규모 간척 · 매립, 김양식업 등은 가급적 지양하고 갯벌에서의 지역주민의 지속적인 어업활동을 보장하는 친환경적 이용체계를 구축할 필요가 있다.

4) 전국토의 공원화, 생태복원사업 추진

산, 하천, 연안의 자연 · 생태특성 등을 고려한 생태복원사업 추진이 필요하다. 전국 생태복원사업에는 한반도 토종 동 · 식물 및 반딧불이, 저어새, 어름치 등 멸종위기의 생물종 서식지 보전 및 복원, 강 · 호소 생태복원, 갯벌 생태복원, 산림 및 숲생태복원사업 등이 포함될 수 있다.



<남북한 공동생태복원사업>

이와 함께 단절된 한반도의 생태계를 회복시키기 위해서 남북한 공동생태복원사업 추진을 모색해 볼 수 있다. 구체적인 사업으로 백두대간 민족생태공원사업, DMZ 평화생태공원사업 등이 구상되고 있다.

생물다양성 협약, 람사협약의 발효 등과 함께 21세기 국제적인 잇슈가 될 생물다양성을 확보 · 유지 · 승계하기 위하여 친자연공간을 적극적으로 조성할 필요가 있다. 습지생태공원 생태박물관 등을 조성하여 생물서식공간화(biotope), 자연공원화하고 수로, 제방, 도로이면에 생태적 기능을 부가한 생태적 회랑(ecological corridor)등을 조성하는 방안을 모색할

필요가 있다.

참 고 문 헌

- 국토연구원, 제4차 국토종합계획(안), 1999. 7
- 김 선희, 국토환경용량의 평가, 국토연구원 단기정책과제, 1999.3
- 대한민국정부, 제 4차 국토종합계획(2000~2020), 2000.1
- 이명우, 생태학적 적지분석론과 전통적 풍수지리론, 국토연구원, 국토, '99.8:64-71
- 성경희, 한상훈, 아시아의 생태계획 및 그 현상과 장래, 환경보전, 1997.4.15:30-36
- 末石富太郎, 環境計劃研究會, 環境計劃論, 環境資源의 開發·保全에 基礎, 森北出版株式會社
- 環境廳, 平成 10年版 環境白書, 21世紀に向けた循環型社會の構築のために, 1998
- McHarg, I.L., Design with Nature, Nature History Press, 1969
- Newson Malcolm, Land, Water and Developement; River Basin System And Their Sustainable Management, London & New York: 1992
- Novotny, V. Integrated Approach To Water Quality Management, Integrated Approaches To Water Pollution Problems, Elsevier Applied Science: 51-72
- Stans, J., S Groot, Integrated Approach for Water Management in the Netherlands: The Policy Analysis For The National Water Management Plan 1990, Integrated Approaches To Water Pollution Problems, Elsevier Applied Science: 73-82
- The World Bank, Indonesia: Sustainable Development of Forests, Land, and Water, A World Bank Country Study, 1990

특 집

지속가능한 산림경영을 위한 활용 방안

-산림입지환경과 토양정보의 수치화 적용-

정 진 현
임업연구원 농학박사

산지의 합리적 보전과 이용

국토면적의 65%가 산지로 구성되어 있으며 그 중 63%가 경사도 30°이상으로 비교적 산세가 험한 우리나라는 예로부터 농경민족으로서 완경사지 및 평탄지를 중심으로 사람이 모여 사는 풍속은 비좁은 국토 공간의 과밀화 현상을 초래하여 왔으며, 80년대 이후 경제발전에 따른 삶의 질의 향상은 자연휴양 및 문화활동의 요구도를 가속화시키면서 그 관심의 초점을 자연스레 산지로 향하게 하였다.

제4차 국토종합계획(2000~2020년)에서는 국토의 개발과 보전에 관한 장기적·종합적 정책방향을 국가의 최상위 목표로 두고 이를 위한 전략으로 보전지역과 개발지역을 지정하고 개발지역은 '계획 후 개발'이 이루어지도록 하는 친 환경적 국토관리 기준을 마련하여 산·하천·연안의 자연생태계 보전과 복원, 유역권 별 수자원의 통합적 관리체계를 구축하여 보다 맑은 물을 안정적으로 공급하는 방안 등을 구상하고 있다. 또한, 제4차 산림기본계획에서는 산지의 합리적 보전과 이용을 위하여 산림의 여러 기능을 조화시켜 지속가능한 산림경영으로 유도한다는 산지관리 방향을 설정하고, 이를 위해 전국의 산림을 대상으로 기능별 산림자원 관리 체계를 확립하기 위한 산림기능 평가 등 산지의 합리적 보전과 이용을 구현할 수 있는 산림경영체계를 계획하고 있다. 이러한 산림경영체계를 갖춤으로써 목재생산과 공급, 목재관련산업의 육성 및 산림의 경제적 기능향상, 자연생태계의 보전, 휴양 및 국토보전 기능 등 공익적 수요에 대비할 수 있으며 궁극적 목표인 지속가능한 산림경영을 기대할 수 있게 될 것이다.

「지속가능한 산림경영」을 위해서는 산림이 가진 다양한 기능의 잠재력을 종합적으로 평가하여 제 기능을 효율적으로 발휘시킬 수 있는 관리체계가 요구되나, 산림은 그 면적이 방대하고, 복잡한 지형, 지질, 식생 분포 등 산림의 입지환경과 관련된 많은 양의 자료를 전 국토를 대상으로 과학적으로 분석·평가하는 일은 불가능하다고 생각되어 왔으나, 최근 괄목하게 발전·개발되고 있는 GIS 관련 프로그램은 막대한 양의 자료분석 및 관리를 보다 쉽게 할 수 있도록 지원함으로써, 지속가능한 산림관리 체계를 위한 산림의 종합적 이용과 보전을 위한 전략수립을 가능케 해 주고 있다.

산림입지조사

산림입지조사는 국가의 경쟁력 강화 및 행정 생산성 제고를 위한 사회간접자본이 되는 GIS를 국가정책과 공공분야에 활용하기 위하여, 1995년부터 추진하는 NGIS 망 구축과 연계, 산림자원의 과학적이고 효율적인 관리기반 조성을 위한 산림지리정보시스템(FGIS)구축사업의 일환으로 산림의 입지환경조건 및 토양성질, 분포된 수종의 생장상태 등을 파악하여 종합적인 산림정보시스템을 구축함으로써 국토의 합리적 이용 및 산림의 과학적 관리에 필요한 기초자료를 제공할 목적으로 1995년부터 2001년까지 7년간에 걸쳐 전국 산지를 대상으로 실시되는 조사사업이다.

이 조사가 완료되면 기 구축된 임상도, 산림이용기본도의 전산화에 이어 산림지리정보 시스템 구축을 위한 기초 조사는 완료되는 셈이다. 산림입지조사는 산림시업에 기본이 되는 입지환경, 토양단면 및 임목생장량 조사 등 25개 인자를 조사하는 업무로써 다른 조사업무에 비해 전문성을 요하는 것으로 국유림은 지방산림관리청이, 사유림은 시·군 산림과가 조사주체로 참여하고 있으며 임업연구원은 조사된 자료의 활용도 평가 및 현지조사방법 입지도 작성 등에 관한 기술지도를 담당하고 있는 바, 그 조사순서 및 내용(그림 1)을 간략하게 소개하고자 한다

산림입지조사는 임목생장에 영향을 미칠 수 있는 환경인자 상호간의 인과관계를 분석하여 환경이 산림에 미치는 작용, 산림이 환경에 미치는 반작용 등을 밝히므로써 조림에 관한 기초자료를 제공하고 육림시업에 필요한 진단과 처방 역할을 하는 토지이용구분의 기초자료가 된다. 산림입지조사는 각 국가의 지리적, 식물학적, 역사적 특성에 따라 다르게 발전하였고

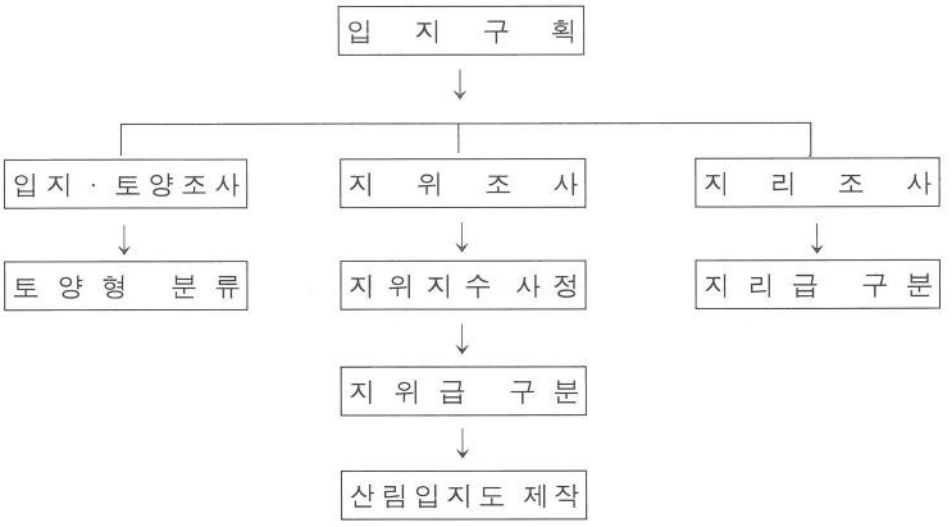


그림. 1 산림입지조사 순서

같은 국가 내에서도 지역에 따라 다르게 발전하기도 한다.

스위스나 스웨덴에서는 식물학적인 면이 강조되었고, 다른 유럽국가에서는 지리적 요인이나 지형적 요인을 강조하고 있다. 독일의 경우에는 토양학적인 측면이 강조되고 있으나 식생학적인 측면에도 비중을 두고 있다. 우리나라의 경우는 토양학적인 측면에서의 연구가 주로 진행되고 있다.

산림입지조사는 모암, 기후, 지형인자 등을 감안하여 항공사진상에서 입지구획을 실시한 후, 표준지 내에서 그 지역의 입지환경, 토양조건, 지위지수 및 지리조사를 실시하여 토양형 및 지위급을 구분하고 산림입지도를 작성하는 순서로 조사한다.

가. 입지구획

조사대상지의 지형도 및 지질도 등을 참고하여 항공사진상에서 지형, 경사, 방위, 침식, 임지이용상태 등 지형요소분석법에 의거 항공사진을 판독하여 잠정적인 입지구획을 최소3 ha까지 구획한다.

나. 입지환경 및 임목생장량 조사

입지구획 내에서 표준지를 선정, 지형, 지질, 경사, 방위 등의 입지환경조건 및 표준지 내에 분포되어 있는 수종별 임목생장량을 조사하여 지위지수 분류곡선에 의거 지위지수를 査定한다.

다. 토양요인 조사

0.16ha의 표준지 내에서 경사면 방향으로 지표를 교란시키지 않은 자연상태에서 가로 1m, 세로 1m, 깊이는 암반이 나올 때까지 판 후, A층, B층으로 구분하여 낙엽층의 유무, 토색, 토성, 토양구조, 건습도, 견밀도 등을 조사한다.

수치 산림입지도

전국 산림입지조사 결과 제작된 산림입지도를 국립지리원에서 제작한 1:25,000 지형도상에 Polygon 별로 표준지 번호, 토양형 및 지위급을 구분 표시하고, Polygon 별로 입지환경요인, 임목생장 상태, 지리급, 토양요인 등의 속성자료를 DB화하는 산림입지도의 수치화 사업을 2000년 5월부터 추진 중에 있다.

수치 산림입지도는 비무장지대 접경지역과 일부 島嶼지역을 제외하면 약 800도엽 정도가 될 것으로 추정되는데, 2000년도에는 국유림 지역을 우선으로 Arc/Info 커버리지 및 DXF 표준자료 교환형태로 91도엽을 전산화하였으며 금후 조사가 완료되는 데로 나머지 약 700도엽도 금후 2~3년간에 걸쳐 구축 완료할 계획이다.

수치 산림입지도에 표현될 각 속성항목들의 종류와 구분기준을 보면, 먼저 산림입지 환경요인은 1개의 Polygon에 대한 주변 환경조건을 표현해주는 인자들로써 모암, 경사, 지형, 건습도, 토성 등 토지이용에 관한 기본적인 산림 정보를 제공하는 데 있어 중요한 역할을 하게 될 것이다(그림 2).

표 1. 입지환경인자

인 자	구 분
모암	화성암, 변성암, 퇴적암
표고(m)	100m미만, 100~200m, 200~300m, 300~400m, 400~500m, 500~600m, 700m이상
경사(°)	15° 미만, 15~20, 20~25, 25~30, 30° 이상
지형	평탄지, 완구릉지, 산록, 산복, 산정
기후대	온대북부, 온대중부, 온대남부, 난대
방위	동, 서, 남, 북, 북동, 북서, 남동, 남서
경사형태	요, 철, 평형사면
풍화정도	상, 중, 하
퇴적양식	잔적토, 포행토, 붕적토
능선대 계곡비	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9/10
토양배수	불량, 보통, 양호, 매우양호
풍노출도	노출, 보통, 보호
침식상태	없다, 있다, 많다
암석노출도(%)	10%이하, 10~30%, 30~50%, 50~75%1
14개 인자	

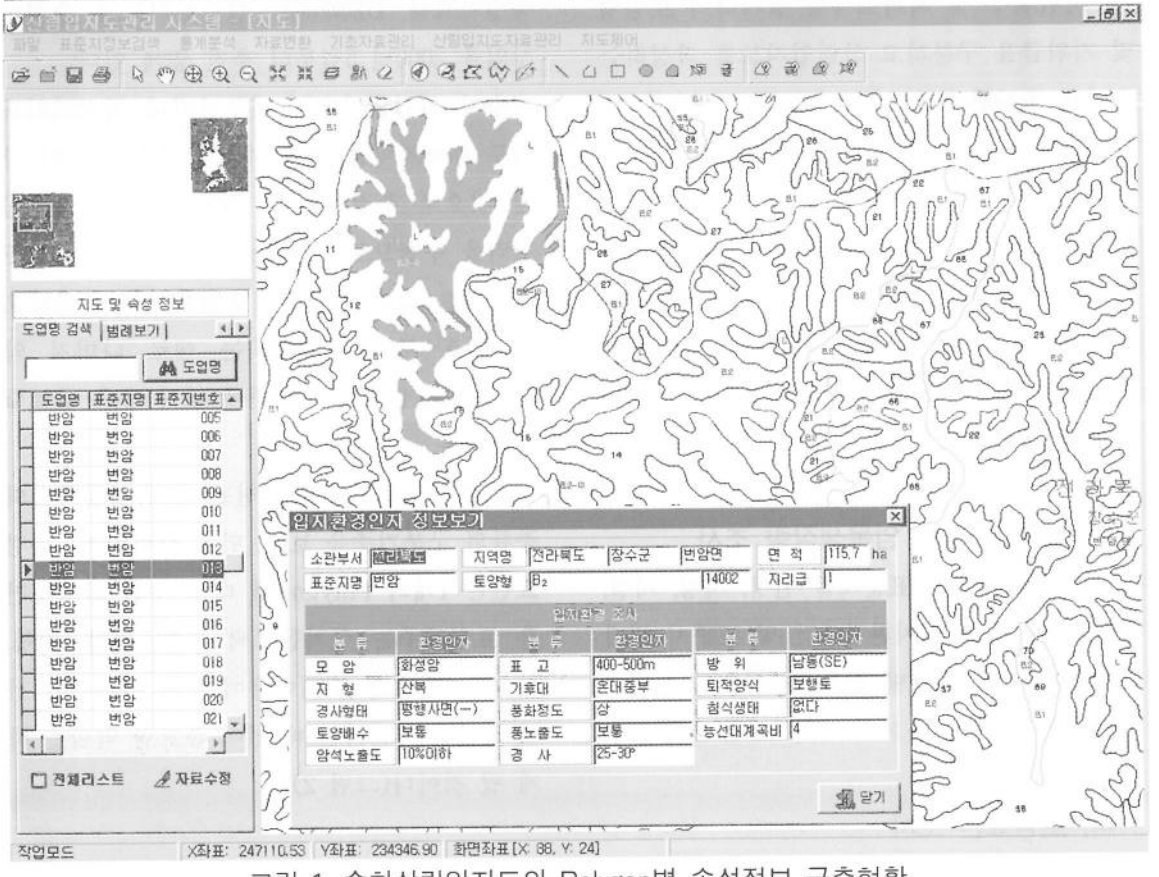


그림 1. 수치산림입지도의 Polygon별 속성정보 구축현황

표 2. 토양환경인자

인 자	구 분
층위의 경계(cm)	명확, 판연, 점변, 불명
토심(cm)	1cm단위로 구분
유효토심(cm)	1cm 단위로 구분
토색	토색첩 구분기준에 의거 구분
유기물	약간 있다, 있다, 많다, 아주 많다
토성	사양토, 양토, 식양토, 미사질양토, 미사질 식양토, 양질사토
토양구조	입상, 단립, 세립, 견과상, 괴상, 무구조
자갈함량(%)	5%이하, 5~15%, 15~30%, 30~50%
건습도	건조, 약건, 적윤, 약습
견밀도	0.5이하, 0.5~1.0, 1.5~2.5, 2.5이상
균사 및 균근	없다, 적다, 있다, 많다
식물근(초본)	10%이상, 5~10%, 5%미만
〃(목본)크기	2~5mm, 5~10mm, 10mm이상
〃(목본)양	10%이상, 5~10%, 5%미만
토양형	26개 토양형으로 구분
15개 인자	

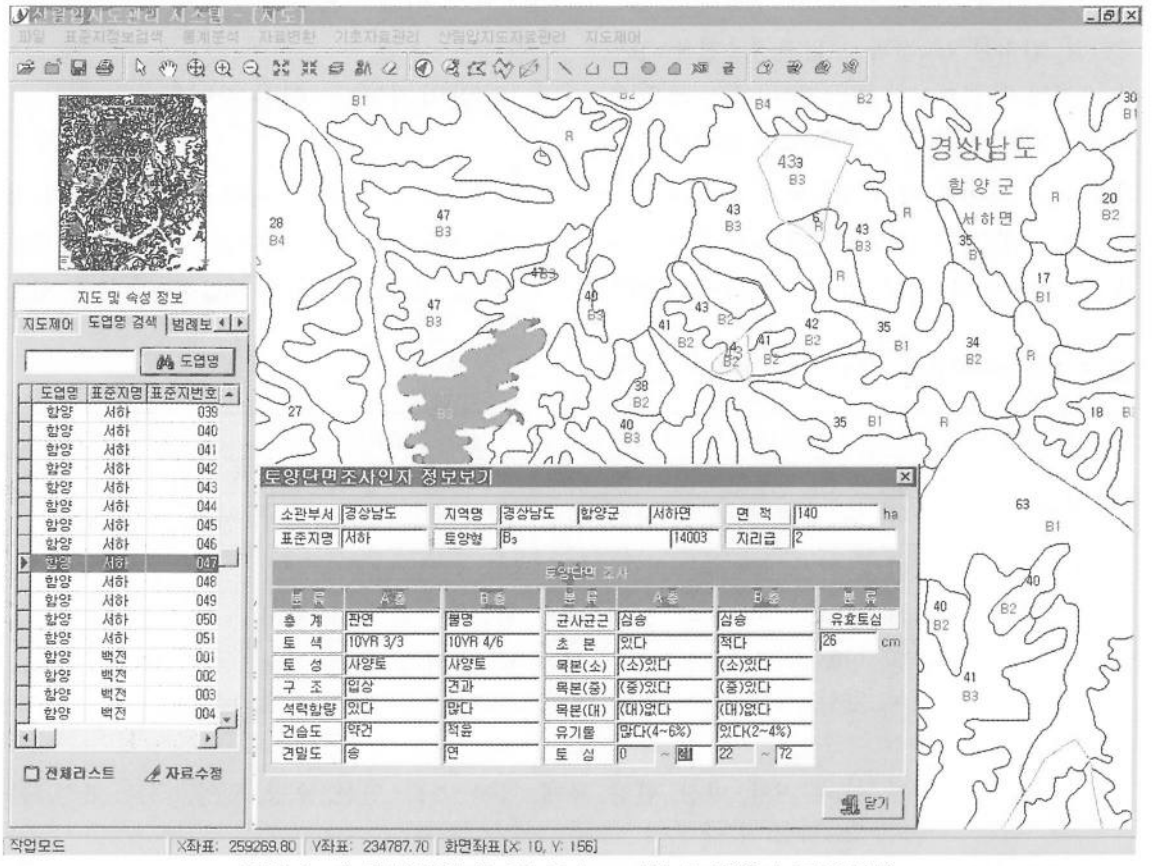


그림 2. 수치산림입지도의 Polygon별 속성정보 구축현황

입지환경요인의 속성자료는 총 14개 인자로 그에 관련된 속성인자는 표1에서 보는 바와 같이 60여개를 상회하며, 토양환경요인은 총 15개 인자로 Polygon별로 토양의 종류, 토양의 발달과정, 성숙정도, 토양의 성질, 토양상태 등 토양조건에 대한 환경정보를 표현해 주는 인자들로 그 속성인자는 표2에서 보는 바와 같이, 입지환경요인에 비하여 보다 세분화되어 있으며 이를 층위별로 구분하여 DB화하도록 설계되어 있다.

한편, 임지의 잠재생산력을 표현해 주는 임목 생장량은 입지환경요인과 토양환경 조건에 따라 달라지게 되므로 임목이 생육하고 있는 지역의 입지환경조건과 토양환경조건을 임목의 생장량과 관련시켜 분석하는 일은 매우 중요한 일이다. 임목의 생장량은 지위지수를 査定하여 그 차이에 따라 평가하게 되므로 이를 평가하기 위한 기초자료인 수종별 수령과 수고값은 필수적이라 할 수 있을 것이다. 지위지수 사정을 위한 금번 조사대상 수종은 우리나라의 내륙지방에 널리 분포하고 있는 낙엽송, 잣나무, 강원지방소나무, 중부지방소나무, 해송, 상수리와 제주도 및 남부 일부지역에 분포되어 있는 삼나무, 편백의 8개 수종이다. 더욱이, 임목이 생육하고 있지 않거나 금후 벌채 대상지에 대한 임지에 대해서도 그 지위를 평가할 수 있는 입지환경인자에 의한 지위지수도 파악할 수 있는 조사치까지 포함하고 있어 산림입지도는 적지적수 등 산림시업 및 경영을 위한 기초자료로 서의 역할을 충분히 담당해 나가리라 예측된다. 참고로 2000년도에 구축된 수치 산림입지도 91도엽 명은 표4와 같다.

산림입지도의 활용방안

국토면적의 2/3를 차지하고 있는 산지의 정보를 수집 · 분석하여 체계화하는 일은 국도를 관리하기 위한 첫 단계 작업이라 할 수 있을

표 3. 2000년 구축된 수치 산림입지도 도엽명

도 별	도 엽 명
경기(26)	대광, 철원, 지포, 와수, 구화, 백학, 연천, 영북, 장파, 마지, 동두천, 신읍, 기산, 갈현, 문산, 광적, 송우, 남양, 발안, 단월, 가남, 궁평, 조암, 서정, 동항, 안성
강원(8)	고미성, 거진, 향로봉, 간성, 교암, 서화, 한계, 인제
충북(10)	진천, 증평, 괴산, 도원, 은행, 보은, 관기, 안남, 지전, 모서
경북(24)	순흥, 영주, 감천, 웅천, 예안, 안동, 남선, 영해, 도천, 개령, 청하, 칠포, 김천, 월곡, 양항, 양산, 기계, 포항, 환호, 대보, 영천, 안강, 용덕, 구룡포
전북(1)	장수
경남(17)	송계, 안의, 거창, 마상, 함양, 봉계, 합천, 가회, 영산, 오방, 밀양, 내포, 단성, 진주, 구만, 학림, 갈곶
부산광역시(5)	좌천, 동래, 기장, 다대, 부산

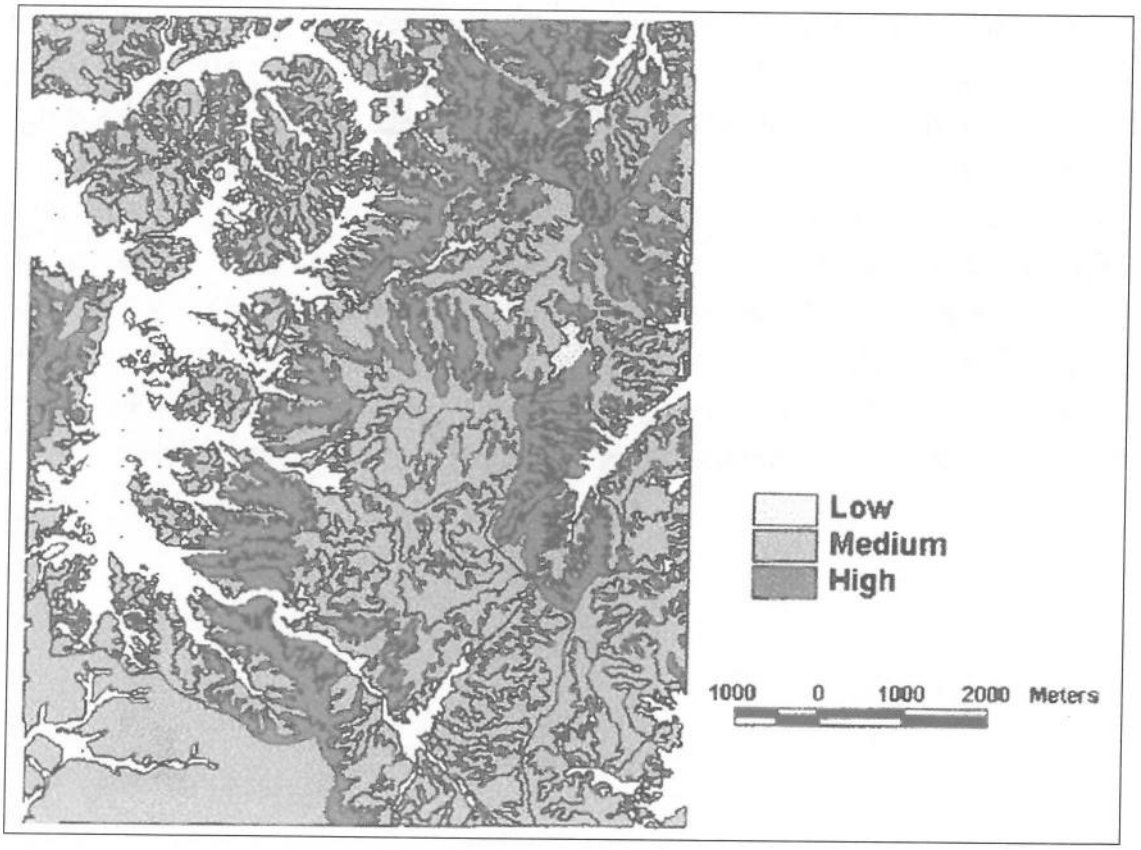


그림 3. 산림입지도에 의한 산지재해방지기능 구분

것이다. 산림입지도는 이러한 관점에서 볼 때 매우 큰 의미를 가지고 있다. 1개의 Polygon에는 산지의 입지환경조건, 산림토양환경요인, 분포되어 있는 주요 수종의 임목생장량 등 50여 개 이상의 속성정보를 포함하고 있어 과학적인 산림경영을 위한 기본 자료로서 뿐만 아니라 국토를 합리적으로 이용·관리하기 위한 의사결정의 기초 자료로 활용될 수 있기 때문이다.

특히, 1992년도의 리우환경 선언은 산림이 갖는 생산적 기능에 못지 않게 숲과 인간이 상생할 수 있는 공익적 기능에 보다 많은 관심을 갖도록 하는 계기가 되었다. 산림의 공익적 기능인 水資源함양기능, 산사태 등의 산지재해방지 기능, 산림휴양기능 등으로써 산림이 갖는 공익적 기능 뿐 만 아니라 본래의 산림이 갖는 생산적 기능을 보다 효과적으로 발휘할 수 있도록 하기 위해서는 무엇보다도 산림의 입지환경 및 토양조건 등 산지의 기본정보들이 체계적으로 관리·이용됨으로써 가능하게 될 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 수치화 된 산림입지도를 基圖로 작성된 산림의 재해방지기능(그림 3)구분도는 산림이 갖는 제반 기능을 구분 할 수 있는 하나의 예로써 이외에도 내가 소유하고 있는 산에 어느 나무를 심는 것이 좋

을 것인지, 林道는 어떤 지질 및 지형 조건을 고려하여 개설하면 좋을 것인지 등의 적지분석 등 여러 방면의 의사결정을 위한 기본 도면으로 활용될 것이다.

산림입지조사를 통하여 작성된 수치 산림입지도는 기 구축된 수치임상도, 수치 산림이용기본도와 함께 FGIS와 연계 구축되어 상호간 도면검색 및 결합이 가능하며, 자료공유 및 정보체계구축이 가능할 뿐 만 아니라, 다양한 축척과 크기의 도면 출력 또한 용이하도록 설계되어 있어 금후 과학적인 산지관리를 위한 각종 계획 수립시 효과적인 지원을 가능하게 할 것이다. 또한 수치산림입지도는 국가간, 부처간, 연구기관, 대학 등 국토정보를 원하는 모든 이에게 국가 GIS망에 연결된 개인용 컴퓨터를 통하여 제공됨으로써 산림의 지속가능한 보전과 개발이 조화되는 산지이용질서를 확립하는 기초자료로 활용될 것이며, 나아가 국토자원의 효율적인 이용 · 관리체계를 수립하는 데에도 그 일익을 담당할 것으로 기대된다.



입지환경

산불발생임지의 토양특성변화

김 춘 식
임업연구원 농학박사

1. 머리말

산불은 단기간내 산림생태계의 전반에 걸쳐 큰 변화를 초래하는 것으로 알려져 있다. 특히 토양의 이화학적 성질변화는 토양특성(soil property), 산불강도(fire intensity), 재(ash)의 집적 정도에 따라 다르게 나타나며, 산불발생 후 경과시간이나 기상요인 등의 영향을 받기도 한다. 산불발생은 유기물층(organic matter horizon)내 낙엽·낙지 등의 소실에 따른 질소, 인, 칼륨, 황 등 여러 가지 양분이 기체상태로 휘산(volatilization)되기도하며(표 1) 표토층에 잔류하는 양분도 강우 발생시 침식(soil erosion)이나 용탈(leaching)에 의해 임지로부터 손실이 되는 것으로 알려져 있다. 그러나 산불발생시 유기물층의 소실로부터 발생되는 재의 증가는 토양pH 변화와 함께 임지 양분수지와 양분유효도(nutrient availability)에 변화를 초래하며 궁극적으로는 산화지에 재생되는 식물생장에 영향을 미치기 때문에 산불발생지의 토양성질 변화의 이해는 산림경영적인 관점에서 대단히 중요하다. 특히 산불발생 후 갱신되는 산림의 경우 산림생산력이 상당히 저하되는 경향이 있기 때문에 산불발생임지는 효과적인 산림토양관리가 실시되지 않는 한 건전한 산림으로의 조성이 어려운 것으로 알려져 있으며, 산불피해지 복구방법, 수종선택 및 비배관리 등과 같은 산불피해지의 복원을 위한 여러 가지 노력들은 입지환경 및 토양특성을 충분히 고려한 후 실시되어야 할 것으로 판단된다. 산불발생 후 여러 가지 토양성질 변화는 국내에서도 많은 연구가 실시되었고 다양한 결과가 제시되고 있으나 본 내용은 강원도 고성지역의 비교적 동일한 입지인 소나무림을 대상으로 산불발생 후 4년 동안 조사된 결과를 바탕으로 설명되었다.

표 1. 온도와 토양내 여러 가지 반응과의 관계

800℃이상	황 휘산
774℃ 이상	인 휘산
300~500℃이상	질소 50%이상 휘산
350~450℃	유기물 탄화
350℃	아미노산 손실
200~315℃	유기물 파괴 및 증류
50~160℃	세균곰팡이 사멸
50~120℃	종자 사멸
60~100℃	수분 손실
40~70℃	식물체 사멸

2. 유기물층(organic horizon)의 변화

산림토양이 타 지역의 토양과 가장 다른 특징중의 하나는 유기물층이 존재한 다는 점이다. 유기물층의 주요구성물은 지상부로부터 유입되는 낙엽 · 낙지로서 산불발생시 산림토양에서 가장 크게 피해를 받는 부분이다. 유기물은 토양생태계내 여러 가지 토양미생물과 소동물의 에너지원 및 양분원으로 작용하여 이들의 먹이 및 서식처로서 중요한 기능을 가지고 있다. 또한 유기물층은 광물질 토층을 보호함으로서 토양답압(compaction)발생을 완화하거나 토양내 과도한 수분증발을 억제, 급격한 토양온도의 변화로부터 보호, 토양내 유기물 및 양분공급을 통한 토양 이화학성 개선, 표토층의 보호와 함께 토양구조 안정화, 강우 발생시 빗물의 직접적인 충격완화, 경사면의 침식방지 등 중요한 기능을 가지고 있으나 산불이 발생하면 유기물층이 재(ash)로 변하게 되고 이러한 재는 토양침식으로 인하여 산림으로부터 손실됨으로서 건전한 산림유지에 나쁜 영향을 미치게 된다. 이러한 중요성에도 불구하고 산불발생지의 유기물층이 어떠한 변화를 보이는 지에 대한 것은 거의 알려져 있지 않으나 2000년 강원도 동해안지역의 산불발생임지중 소나무 임분을 대상으로 조사된 결과에 따르면 유기물층의 깊이는 비산화지가 평균 4.5cm정도였으나 산불발생 후 유기물층이 소실되고 재로 남아 평균 깊이는 1.3cm로 약 70%이상 깊이가 감소되었고 유기물층내 탄화되거나 일부 탄화된 유기물의 경우 총량이 약 67% 감소되는 것으로 나타났다(표 2). 질소나 인 같은 양분도 원래의 양에 비해 49~58%정도 감소되었으며, 이는 산불발생시 고열에 의해 대기중으로 휘산되었거나, 강우시 용탈에 의한 광물질 토층으로 이동 등이 원인으로 현재 잔존된 양분도 강우발생시 계속적인 침식과 용탈에 의해 완전히 손실될 가능성이 있다.

3. 토양의 물리 · 화학성 변화

가. 토양물리적성질 변화

일반적인 산림토양의 경우 자연상태에서는 토양의 물리적성질 변화가 크지 않지만 산불발생임지의 경우 유기물층의 소실과 함께 광물질 토층이 노출됨으로서 침식이 증가하거나, 흡습성이 높은 재의 광물질 토층내 유입, 임목의 고사와 함께 증산량의 감소, 표토층의 노출에 따른 증발량의 증가 등 토양수분상태에 변화를

표 2. 동해안 산불발생임지의 비산화지와 산화지의 유기물층의 깊이, 유기물 및 양분량의 변화 (2000년 조사결과)

구분	깊이 (cm)	유기물량	질소	인	칼륨	칼슘	마그네슘
		(kg/ha)					
비산화지	4.5	18,505	147.1	7.9	58.5	100.9	40.5
산화지	1.3	6,140	61.9	4.0	28.5	43.1	18.3

초래할 수 있다. 또한 표토층의 침식에 따른 층위깊이 변화, 재 등의 혼합에 따른 토색의 변화, 토양온도의 변화 등이 다양하게 발생할 수 있으며 이는 궁극적으로 토양의 화학적성질 및 생물학적성질에 영향을 미칠 수 있다.

1) 토 성

토성은 토양의 투수성, 보수력, 통기성, 양이온치환능력 등과 밀접한 관계가 있으며 모래, 미사, 점토의 비율에 따라 식양토, 양토, 사양토, 양질사토 및 미사질양토 등으로 구분하게 된다. 산불발생임지의 경우 유기물층의 소실로 인해 광물질토층이 노출되어 토양입경분포의 변화가 예상되며 지표유거수의 증가는 점토나 미사 같은 세립질 토양입자를 씻겨 내려서 산정과 산복부위에서는 모래와 같은 거칠은 입자가 증가하게 될것으로 예측된다. 특히 보수력과 보비력에 밀접한 관계를 가지는 점토 같은 세립질 입자의 유실에 따라 토성은 식물생장에 더욱 나쁜 방향으로 변화할 가능성이 있다.

2) 토양 삼상 및 토양내 수분함량

토양의 삼상은 고상(토양입자와 유기물), 액상(토양용액), 기상(토양공기)의 비율을 말하



사진 1. 강원도 고성지역(2000년 8월 촬영) 소나무 용기묘내 Paper mulching이 실시된 지역과(볼펜 우측) 실시되지 않은 지역(볼펜 좌측)의 표토층 특성 (Mulching이 실시되지 않은 지역은 유기물이나 세립질의 토양입자의 유실이 심하게 발생되어 잔돌이 노출되고 있으며 이러한 현상은 장기적으로는 토양의 표토층내 입경분포에 변화를 초래할 것으로 예상됨)

표 3. 고성산불발생임지의 공극률 및 토양수분함량

깊이 (cm)	구 분	공극률 (%)	토양수분함량 (%)	비 고
0~5	비산화지	64	16.6	조사기간동안(2000년 7월 19일~21일) 강우는 발생하지 않음
	산화지	57	7.2	
5~15	비산화시	60	17.5	
	산화지	57	9.9	

며 토양의 통기성, 투수성, 보수력 등에 관계하고 서식하고 있는 미생물의 생활조건에 영향을 미친다. 주로 고상과 액상비에 관계되는 공극률의 경우 산화지는 비산화지에 비해 감소가 뚜렷하다. 또한 토양수분함량도 산불발생임지에서 낮게 나타나 산불발생임지의 경우 토양의 삼상(고상, 액상, 기상)중 고상 및 기상의 비율이 산불발생 후 증가되는 것을 시사한다(표 3). 특히 산불발생임지는 비산화지에 비해 토양수분함량이 절반이하로서 이는 산불발생임지의 경우 유기물층의 소실과 함께 광물질 표토층이 노출되고 지표면에 유입되는 광량의 증가로 토양표면의 토양수분 증발이 심하게 발생하고 있음을 보여주고 있다. 따라서 산불피해임지의 토양수분 함량의 감소는 재생되는 임목생장에 장애요인이 될 수 있다.

3) 토양가비중

토양의 가비중이란 일정한 용적내에 자연상태의 토양을 최소의 교란과 함께 토양시료를 채취해서 토양의 건중량을 측정하고 그 중량을 전체용적으로 나눈 것으로 토양답압의 정도나 토양 3상 등을 결정할 수 있다. 산불발생지의 토양가비중은 비산화지에 비해 높아지는 경향

표 4. 고성산불발생임지 토양가비중 변화(산불발생 4년 후)

깊이 (cm)	구 분	토양가비중 (g/cm^3)
0~5	비산화지	0.96
	산화지	1.15
5~15	비산화지	1.07
	산화지	1.15

을 보이는데(표 4) 이는 유기물층의 소실과함께 유기물 유입의 감소와 표토층의 침식에 의한 점토와 같은 세립질 입자의 유실, 산불로 인한 토양 소동물의 감소로 토양내 여러 형태의 이동공간 축소, 표토층의 세근 소실에 따른 뿌리점유공간 감소 등에 의해 토양의 가비중이 증가한 것으로 생각된다. 산불발생지의 토양가비중 증가는 통기성, 투수성, 보수력기능이 저하될 수 있어 임목의 세근발달이나 생장에 저해 요인으로 작용할 수 있을 것으로 사료된다.

4) 투수성

산불발생임지의 투수성은 감소하게 되는 데 이는 산불에 의해 임상에 쌓여 있는 낙엽 등이 재로 변화되고 세립상태의 재가 빗물과 함께

지면속으로 용탈되어 공극에 집적됨으로서 불투수층이 형성되기 때문 일 수 있다.

5) 층위 깊이

표토층의 깊이는 산림생산력과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있으며 유기물유입의 감소나 침식의 증가는 토양층위에 변화를 가져올 것으로 판단된다. 토양층위 깊이는 단기간에 변화되지는 않지만 산불피해임지에서는 층위깊이에 변화가 예상된다.

나. 토양의 화학적성질 변화

산불발생 후 토양의 화학적성질 변화는 산불의 강도나 재의 집적정도에 따라 다르게 나타나며 산화발생 후 경과시간이나 기상요인 등도 영향을 미친다. 산불발생지에 유입되는 양분의 형태와 양의 변화는 표토층에서 가장 심하게 변화하며 심토층은 토양의 성질이나, 강수량, 산화 후 임지에서 발생되는 산림교란(forest disturbance)의 정도에 따라 다르게 나타난다. 산불발생지의 일부양분은 기체상태로 임지로부터 손실을 초래하기도 하지만, 재의 양의 증가와 함께 임지의 양분수지와 양분유효도에 영향을 미치게 되며 궁극적으로는 산화지에 새로 발생된 식물의 생장에 영향을 미치게 된다. 산불발생임지는 양분축적과 낙엽 · 낙지 등의 유입량감소와 함께 증가되는 토양온도는 토양미생물의 활동과 유기물의 분해를 활발하게 하며 전체 산림생태계내의 양분순환체계의 급격한 변화를 초래한다. 산불임지의 경우 거의 모든 유기물층이 소실이 되고 광물질 표층이 노출이 된 곳이 많이 나타나고 있으며 장마기간동안의 집중호우의 발생은 지표면에 집적된 재를 씻겨 내려 산정과 산복부분의 토양화학적 성질은 산화전보다 더욱 나빠지고 척박하게 되며 산록부분은 산정이나 산복부분에서 씻겨 내려온 양분에 의해 양분 축적량이 증가하게되고 또한 식물이 이용할 수 있는 양분량의 증가가 예측된다.

1) 토양pH

토양pH는 토양용액내에 들어 있는 수소이온농도의 측정치를 말하며 일반적으로 pH(potential of hydrogen ion)값으로 나타내고 있다. 토양pH의 변화는 질소, 인, 칼륨 등과 같은 식물생장에 관계되는 양분의 유효도와 구리, 망간, 몰리브덴 같은 미량요소의 유효도에도 관계한다. 일반적으로 산불발생임지의 경우 토양pH는 높아지는 것으로 알려져 있으며 그 원인은 재의 발생과 함께 치환성 양이온의 증가에 기인한다. 산불발생 직후 고성 산불발생임지의 표토층 토양pH는 비산화지에 비해 pH 0.6정도 높아진 것으로 나타나고 있으나(표 5) 1년 후에는 비산화지의 수준에 근접하고 있다 이는 침식에 의한 재의 감소, 식생의 양이온 흡수에 따른 수소이온 농도의 증가, 양이온의 침식이나 용탈 후 토양에 잔류하는 수소이온 농도의 증가 등과 관련이 있을 것으로 판단된다. 비록 단기간이나 산불발생임지에 토양pH의 증가는 토양내 여러 가지 미생물의 활동을 활발하게하고, 질소, 황, 인, 칼륨 등의 임목생장에 관계되는 여러가지 양분의 유효도를 증가시켜 새로

표 5. 고성 산불발생임지의 토양 pH 변화

깊 이 (cm)	구 분	토 양 pH(1:5)
0~5	비산화지(1996)	5.2
	산화지(1996)	5.8
	산화지(1997)	5.2
	산화지(2000)	5.3
5~15	비산화지(1996)	5.2
	산화지(1996)	5.2
	산화지(1997)	5.1
	산화지(2000)	5.1

유입된 식생 및 재생된 임목의 생장과 활착에 상당한 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

2) 유기물함량

유기물은 여러 가지 토양 소동물의 먹이일 뿐만 아니라 토양의 이화학적 성질과 생물학적 성질에 영향을 미치기 때문에 유기물함량은 임목생장에 관여하는 가장 중요한 토양구성요소 중의 하나이다. 여러 가지 토양 양료의 저장고로서의 기능을 가지고 있으며, 유기물 양의 증가는 임목생장과 밀접한 관계를 가지는 질소, 인, 양이온치환용량 등의 증가와 양의 상관관계를 가지는 것으로 알려져 있다. 산불발생임지에 유기물은 감소하거나 증가하는 것으로 알려져 있으며 가장 뚜렷한 감소는 산불발생과 함께 지상부의 낙엽, 낙지 등에의해 유입되는 유기물유입의 감소와 침식이 주요한 원인이다. 고성산불발생임지의 경우 산불발생 직후는 재 등의 유입증가에 따라 유기물 함량이 증가하고 있으나 시간의 경과와 함께 지속적으로 유기물 함량이 감소하고 있다(표 6).

표 6. 고성산불발생임지의 유기물함량 변화

깊 이 (cm)	구 분	유기물함량 (%)
0~5	비산화지(1996)	5.2
	산화지(1996)	7.4
	산화지(1997)	5.7
	산화지)2000)	3.4
5~15	비산화지(1996)	3.4
	산화지(1996)	3.2
	산화지(1997)	3.5
	산화지(2000)	2.2

3) 질 소

질소는 온대림 산림지역에서 임목생장을 제한하는 가장 중요한 양분으로서 알려져 있으며 산화발생 동안에 발생되는 질소의 손실은 임목의 장기적인 생산성에 감소를 가져올 수 있다. 임지에 질소는 산불발생과 함께 N_2나 이산화질소의 형태로서 대기중으로 휘산되어 임지에 상당량의 질소 손실을 가져오는 것으로 알려져 있다. 그러나 산불발생임지에서 전 질소의 손실과는 대조적으로 식물이 직접 이용할 수 있는 무기태질소(inorganic nitrogen)는 산화발생 후 6개월부터 1년사이에 증가하는 것으로 나타나고 있으며 증가되는 무기태 질소는 재생되는 임목의 생장에 상당한 도움을 줄 수 있다. 산불발생지역의 질소는 산불발생 직후 유입되는 여러 가지 재나 유기물 등에 의해 증가되는 경향을 보이고 있으나 시간의 경과와 함께 지속적으로 감소하고 있다. 이는 지상부 유기물층의 소실에 따른 유기물유입 감소와 입지환경 변화와 함께 유기질소(organic nitrogen)의 질소무기화(nitrogen mineralization)가 활발하고 생성된 무기태질소(inorganic nitrogen)는

표 7. 산불발생임지의 질소함량 변화

깊 이 (cm)	구 분	전질소 (%)
0~5	비산화지(1996)	0.20
	산화지(1996)	0.29
	산화지(1997)	0.23
	산화지(2000)	0.13
5~15	비산화지(1996)	0.14
	산화지(1996)	0.15
	산화지(19970	0.16
	산화지(2000)	0.09

식물에 흡수(plant uptake)되거나 용탈(leaching)손실 되었기 때문 일 수 있다.

4) 유효인산

인은 식물체의 에너지운반에 관여하는 필수원소로서 인도 질소와 같이 유기물내 주로 존재하며 식물은 유기물이 분해하는 과정 동안 발생된 인을 주로 이용한다. 산화발생임지는 재의 발생과 함께 인의 양이 증가하는 것으로 보고되고 있으며 강원도 고성지역의 경우도 산불발생 직후 상당한 인의 증가가 관찰되고 있다. 그러나 산불발생 1년 후부터는 그 양이 감소되고 있으며(표 8) 이는 인의경우 토양내 비가동성(immobile nutrient) 양분으로 용탈손실이 되는 양이 매우 적기 때문에 식생의 흡수나 표토에 잔류된 양분이 토양 침식으로 씻겨져 나갔을 가능성이 있다.

표 8. 고성 산불발생임지의 유효인산의 변화

깊 이 (cm)	구 분	유효인산함량 (Avail. P_2O_5, ppm)
0~5	비산화지(1996)	16
	산화지(1996)	72
	산화지(1997)	14
	산화지(2000)	4
5~15	비산화지(1996)	22
	산화지(1996)	14
	산화지(1997)	5
	산화지(2000)	2

5) 양이온치환용량과 치환성 양이온

양이온치환용량은 토양의 보비력을 나타내는 매우 중요한 척도로써 토양의 양이온치환용량이 클수록 비옥한 토양이라고 볼 수 있으며,

표 9. 강원도 고성지역의 양이온치환용량과 치환성 양이온함량 변화

깊이 (cm)	구 분	CEC	치 환 성			
			K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
		(me/100g)	(me/100g)			
0~5	비산화지(1996)	10.0	0.30	0.16	1.72	1.23
	산화지(1996)	11.7	0.52	0.14	4.60	2.33
	산화지(1997)	13.2	0.24	0.23	1.44	0.75
	산화지(2000)	10.4	0.19	0.16	0.96	0.40
5~15	비산화지(1996)	10.7	0.30	0.14	1.06	1.12
	산화지(1996)	9.6	0.35	0.15	1.70	1.25
	산화지(1997)	12.5	0.16	0.22	0.60	0.40
	산화지(2000)	10.2	0.17	0.15	0.57	0.49

CEC가 커지면 수목생육에 필수양분인 NH_4^+, K^+, Ca^{2+} Mg^{2+}등의 보유능력이 높아지며 토양입자에 흡착되었다가 식물에 공급하게 된다. 비산화지나 산불발생임지의 양이온치환용량은 큰차이는 나타나지 않으나 양이온치환용량에 밀접한 관계를 가지는 유기물이나 점토함량의 감소는 장기적으로 산화지내 양이온치환용량의 감소를 초래하게 될 것으로 예측된다. 칼슘이나, 마그네슘 같는 치환성양이온은 산불발생 직후 급속히 증가하였으나 시간의 경과와 함께 타 양분에서 관찰 된바와 같이 감소하고 있다 (표 9).

4. 맺음말

강원도 고성지역의 산불발생임지의 토양성질이 어떠한 변화를 보이는 지를 조사한결과 산불발생임지는 비산화지에 비해 토양수분함량이 절반이하로서 이는 광물질토층의 노출과 함께 토양수분의 증발이 심하게 발생하고 있음을 보여주고 있다. 또한 산불발생임지는 산불발생직후(1996), 유기물층의 ash화와 토양 pH의 상승에 따라 양분유효도가 증가하는 것으로 나타나고 있으나 시간의 경과와 함께 표토층(0~5cm)과 심토층(5~15cm) 모두 토양양분함량이 지속적으로 감소하고 있으며 산불발생 4년 후에는 대부분지역이 비 산화지나, 산불당년(1996), 산불발생 1년 후(1997)에 비해 토양양분이 낮은 값을 보이고 있다. 표토층의 토양 pH의 경우 산불발생 1년 후 pH 5.2로서 산불발생 4년 후 pH 5.3과 비교 할때 큰 차이가 없으나 유기물과 전질소의 경우 산불발생 4년후 3.4%와 0.13%로 산불발생 당년의 7.4%, 0.29%에 비해 상당량이 감소하고 있으며 유효인산의 경우도 4년 동안 지속적으로 감소되는 경향을 보이고 있다. 특히 인산은 토양내 비가동성 양분으로서 용탈 손실되는 양이 매우 적은 것으로 알려져 있기 때문에 시간의 경과와 함께 인산의 감소는 재생되는 식생에 의한 흡수나 침식에 의한 손실이 주요한 원인으로 판단된다. 용탈이 쉽게 발생하는 칼륨의 경우 산불발생 1년 후 심토층(5~15cm)에서 상당량의 증가가 관찰되었으나 산불발생 4년 후에는 두 층위 모두 비 산화지에 비해 낮아 산불발생임지에서 이 양분의 용탈이 매우 심하게 발생하고 있음을 시사한다. 칼슘, 마그네슘 같은 양분의 경우도 비산화지나, 산화당년, 산불발생 1년 후에 비해 상당량이 감소하고 있어서 이들 양분이 광물질 표토층의 노출에 따라 강우시 침식이 발생하여 손실되었거나 토층하부로의 용탈이 심하게 발생하였을 가능성을 시사한다. 그러나 산불발생임지의 경우 맹아활동이 활발하기 때문에 상당량의 양분들이 재생되는 식생에 흡수되었을 가능성이 있으며 만일 이러한 양분들이 식생에 의해 흡수되는 양이 많으면 산불발생임지에서의 토양양분 손실을 최소화할 수 있기때문에 재생되는 식생이 어느 정도 양분을 흡수하였는 지에 대한 정량화도 요구된다.

5. 참고자료

1. 김춘식, 정진현, 원형규, 이봉수. 1999. 강원

도 고성지역 소나무임분의 산화발생후 토양 성질의 변화. 임업연구원 연구성과 설명자료 126-135.

2. 문형태, 정연숙. 1997. 산화 당년에 재생되는 식생군집의 종구성과 식물의 영양염류 흡수량. 한구생태학회지 20 : 27-33.
3. 이원규, 김춘식, 차순형, 김영걸, 변재경, 구교상, 박재욱. 1997. 산불이 산림토양의 이화학적 성질에 미치는 영향. 한국생태학회지. 20 : 157-162.
4. 임업연구원. 1996. 고성 산불지역 생태조사 결과 보고서. 169p.
5. DeBano, L.F. 1991. The effect of fire on soil properties. Proceedings- management and productivity of western-montane forest soils. U.S.D.A. Forest Service General Technical Report INT-280. pp. 151-156.
6. Hungerford, R.D., M.G. Harrington, W.H. Frandsen, K.C. Ryan and G.J. Niehoff. 1991. Influence of fire on factors that affect site productivity. Proceedings-management and productivity of western-montane forest soils. U.S.D.A. Forest Service General Technical Report INT-280. pp. 32-50.



입지환경

폐탄광지 현황과 복구공법

최 경
임업연구원 농학박사

I. 서 론

우리나라 석탄산업은 1896년 평양에서 소규모 탄광을 개발하기 시작한 이래 본격적으로 채굴이 시작된 것은 1950년 대한석탄공사가 창립한 이후부터이며 '73년과 '78년의 두 차례에 걸친 석유파동의 위기를 극복하는데 결정적인 역할을 하였다.

그러나 80년대 말부터 세계환경보전운동의 확산과 소득증대에 따른 고급에너지 선호경향으로 경제성이 떨어지면서 1989년부터 대량으로 폐광되기 시작하였다.

폐탄광지면적은 1980년 기준으로 1,437.1 ha이며 이중 1999년까지 20년간 1,059.8ha가 복구되고 나머지 377.3ha 중 2000년도에 89.6 h가 복구되게 되면 2001년 이후 287.7ha가 복구되게된다(산업자원부). 그러나 복구 완료된 지역중에 재훼손지, 녹화불량지가 있을 뿐만 아니라 허가외 미복구지가 있기 때문에 실제 복구해야할 면적은 훨씬 많아서 석탄산업합리화사업단(2000) 및 오구균(2000)에 의하면 향후 복구해야할 대상지는 훼손이 심한 우선 복구대상지 232.8ha(79개소), 녹화상태가 불량한 복구대상지 146.9ha(101개소), 허가외 훼손된 미복구지 82.8ha(72개소) 등 모두 462.5ha에 이른다고 한다. 방치된 폐탄광지로부터 오는 가장 중요한 피해는 침식 또는 산사태로 오는 토사재해와 국토이용상(생산적인 이용) 비경제적일뿐 아니라 자연경관미를 해치고 갱구와 폐석으로부터 흘러내리는 오염된 물은 주변토양과 계류수질에 피해를 주고 있다. 이러한 피해를 최소화하기 위하여 본 연구에서는 폐탄광복구지의 복구공작물의 종류와 파손상태, 녹화식생, 녹화방법, 수질오염상태, 복구비 등 폐탄광지 복구실태('96년 이전)를 조사하고 그 자료를 토대로 복구구조물 시험과 녹화수종선발시험을 실시하여 얻어진 자료에 의하여 폐탄광지의 생산적인 이용, 수자원보호 및 환경개선을 위한 폐탄광지의 입지유형별 복구모델(적정복구공법, 녹화수종, 복구단비)을 표준화 하고자 한다.

본 연구결과는 농림부에서 시행한 농림특정연구(특수지역의 생태적 산림조성 및 관리기술개발 연구중 폐탄광지의 녹화공법개발)의 일부임을 밝혀둔다.

II. 재료 및 방법

1. 폐탄광지의 복구현황조사(1996~1997)

우리나라의 석탄광은 대부분 갱내채굴광으로 노천채굴에 비하여 실제 훼손면적은 작으나 갱내에서 채굴되어 나오는 폐석이 적치된 폐석탄 경석장이 많기 때문에 폐석적치사면이 주요 복구대상이 된다. 89년이후 '96년까지 전국적으로 925.9ha가 복구완료되어 그 지역을 대상으로 폐탄광지의 수, 지형, 방위, 표고, 경사도 등을 감안하여 될 수록 여러입지조건이 고루게 분포되게끔 72개소를 선정하여 다음내용을 조사하였다.

복구공작물의 현황은 석탄산업합리화사업단에서 작성한 탄광별 복구공사 세부내역서와 현지조사를 통하여 복구공종과 수량을 조사하였으며 공작물 파손원인과 파손율(면적파손율)은 현지조사를 통하여 구명하였다.

녹화기반재인 廢炭質土, 복토와 객토의 이화학성을 파악하기 위하여 표토부분에서 시료를 채취하여 토성, pH, 유기물(%), 전질소(%), 유효인산(ppm), 양이온치환용량(me/100g), 치환성 K, Na, Ca, Mg(me/100g) 함량을 분석하였다.

피복식생의 종명과 생장상태(목본류는 시공년차별 수고와 피도, 초본류는 시공년차별 피도)는 목본류는 400m²(20m×20m), 초본류는 25m²(5m×5m)의 방형구를 설치하여 파식초목종과 침입초목종으로 구분 조사하였다.

사면침식상태는 面狀침식, 淚溝침식, 溝谷침식으로 구분하여 시공년차별로 면적침식율(침식을 받은 지역의 면적×100/전 조사면적)을 조사하였다. 수질오염상태는 갱구로부터 유출되는 오염된 폐수를 채취하여 pH, 질소함량(me/ℓ), 황산이온과 Fe, Cu, Mn, Al, Zn, Cd, Pb (me/ℓ) 등 중금속함량을 분석하였다.

pH는 pH Meter(HANNA)로, 암모늄이온(NH_4^+)은 WATER-ION Chroma to graphy로, SO_4 및 NO_3는 SYKAM ION Chromato graphy로 분석하였다.

중금속원소는 유도결합 플라즈마 원자방사분광기(ICP, Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometer, Jobin Yvon 38 + Image Analyzer)로 분석하였다.

복구단비는 석탄산업합리화사업단에서 작성한 탄광별 복구공사 내역서에 기재된 복구비를 ha당 복구비로 환산, 분석하였다.

2. 폐탄광지 복구공법 시험

폐탄광지의 복구현황조사 결과 사면안정을 위한 기반조성(사면안정 구조물의 종류와 배치간격)방법, 사면녹화를 위한 식재상조성(복·객토량, 시비량)방법과 적정식재수종이 폐탄광지 식생회복에 문제점으로 나타났기 때문에 폐탄광지 식재수종별로 적정 복·객토량을 구명할 수 있는 적정녹화수종선발시험과 폐석적치사면에서의 사면안정을 위한 구조물 시험을 실시하였다.

가. 녹화수종선발시험(1998)

시험지는 강원도 정선군 고한읍 싸리재의 북쪽사면으로 해발 1,000~1,1500m에 위치한 정

동탄광 폐석적치사면으로 주위의 모암은 사암을 주로하는 퇴적암지대로 바람이 심하여 식재목이 고사하기 쉽다.

적치사면의 경사는 16~20°로 완만하며 작업로에 설치한 산비탈돌쌓기와 돌수로공(종수로공)을 제외하면 사면안정을 위한 구조물을 전혀 설치하지 않았다.

식재상 조성을 위한 처리로 전면복토 30cm와 50cm, 객토(폭70cm) 30cm, 50cm, 70cm 등 5처리하였다. 객토구와 객토구의 간격은 객토 30cm구는 2m, 객토 50cm구는 3m, 객토 70cm구는 4m간격으로 실시하였다. 복·객토로 사용된 토양은 대부분이 주변 퇴적암지대에서 채취한 생땅(미풍화토)으로 일반산림토양(퇴적암토양)에 비해 양료함량이 부족한 상태였다.

식재수종으로는 소나무, 잣나무, 자작나무, 오리나무, 아까시나무 등 5개 수종을 공시수종으로 하였으며 시험규모는 1ha($400m^2 \times 5^{복·객토} \times 5^{수종}$)이었다.

처리별 작업공정을 조사하였고 수종별, 복·객토처리별 동해피해율, 잔존율과 국소입지환경을 조사하였다.

나. 복구공법(구조물)시험(1999)

시험지는 강원도 태백시 소도동의 2개소(유다래골, 지지리골)로 입지조건에 따른 복구유형(가시권, 비가시권)과 적치사면 경사도〔급경사지(30° 내외), 완경사지(20° 내외)〕에 따라 시험구를 구분하였다.

구조물로는 산비탈돌쌓기, 선떼붙이기와 파종구로 3구분하였으며 횡공작물간격은 가시권은 4m, 비가시권은 5m로 하였고 구조물의 높이는 급경사구는 완경사구에 비하여 높게 설치(산비탈돌쌓기: 급경사구 → 0.68m. 완경사구 → 0.51m ; 선떼붙이기 : 급경사구 → 0.6m. 완경사구 → 0.4m)하여 경사를 완화시켰다. 파종구의 크기는 폭 50cm, 깊이 30cm로 하였으며 시험지 규모는 0.72ha($200m^2 \times 2^{복구유형} \times 3^{구조물} \times 2^{경사} \times 3^{반복}$)이었다.

식재단간 사면은 미관을 고려하여 전면복토 30cm 깊이로 하였다. 처리별 작업공정을 조사하였으며 구조물의 파손상태와 사면침식상태를 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 폐탄광지의 복구현황

가. 복구공작물 현황

1) 복구공작물의 종류와 수량

1990년부터 1995년까지 기 복구완료된 전국 284개소 폐탄광지 복구설계 내역서를 분석한 결과 복구에 이용되고 있는 공법, 공종은 기초공사로 비탈다듬기(절토, 뭉기기), 흙막이(선떼붙이기, 산비탈돌쌓기, 축대벽), 누구막이, 골막이, 수로내기(개거와 암거), 집수정과 계간 및 야계공사로 기슭막이, 바닥막이와 사방댐 등이 설치되고 있으며 지역별 비교적 많이 시공되고 있는 공작물의 종류와 수량은 폐석 적치사면 복구에 치중하여 산비탈돌쌓기, 돌수로공과 누구막이를 가장 많이 시공하고 있으며 선떼붙이

기는 지역에 따라서 선호하고 있음을 보여준다. 야계공사로는 기슭막이를 가장 많이 시공하고 있으며 그외 바닥막이, 골막이 등 시공비가 많이 소요되는 공작물은 노후된 기존 시설물을 활용하는 곳이 대부분인 것으로 현지 확인결과 나타났다.

2) 공작물의 파손원인과 파손상태

폐탄광지 복구공작물의 직접적인 파손원인은 사면침식과 붕괴에 의하여 발생되며 주요한 원인으로 ① 적치토사깊이가 깊은 지역에서 터파기 부실로 인한 기초지반(기슭막이, 골막이, 바닥막이, 축대벽 등)의 붕괴 ② 공작물규모 과소 및 수량 과부족으로 인한 구조물 (수로공, 산비탈돌쌓기, 누구막이, 골막이 등) 파괴 ③ 노후된 공작물(기슭막이, 축대벽 등)을 그대로 활용하여 과다한 토압에 의한 파손 등으로 나타났으며 시공율이 가장 높은 공작물은 산비탈 돌쌓기, 돌 누구막이, 떼 및 돌 수로내기, 선떼붙이기, 돌 및 콘크리트 축대벽과 기슭막이 등이며 면적파손율이 높은 공작물은 대부분 노후된 돌 측대벽, 콘크리트 수로내기, 돌 및 콘크리트 기슭막이와 부실시공에 의한 돌망태 기슭막이로 나타나고 있다.

나. 녹화식생과 생장

폐탄광지의 녹화기반은 주로 폐석(mine wastes)과 광미(tailing)의 적치사면으로 이루어지는데 선광(選鑛)과정중 이용된 용수와 함께 배출되는 광미는 선광과정중 물리화학적 분리과정을 거치기 때문에 유독한 화학물질이 포함되어 식물생육에 나쁜 영향을 미치나 그 양이 작기 때문에 식생조성에 별로 문제시 되지 않는다.

그러나 폐석은 건조와 고열에 의하여 식생조성에 불리한 여건을 조성하므로 효과적인 사면녹화를 위하여 양질의 토양으로 복토 또는 객토를 실시하여 식재상을 조성하고 있다.

1) 폐석 및 폐탄질토의 이화학성

국내에서 발생되는 탄광폐석의 암종별 비율은 사암이 57.51%로 가장 높고 혈암이 25.15%, 석탄이 많은 혈암(coaly shale)이 1.70%, 기타가 15.64%로 알려져 있으며 폐석의 크기(입경)는 1mm이하가 17%, 1~10mm가 20%, 10~50mm가 50%이고 50mm이상이 13%로 10~50mm의 크기가 가장 많은 것으로 조사되고 있다(한국자원연구소, 1995). 폐석은 대부분이 입경 2mm이상의 자갈로 이루어져 있기 때문에 물과 염류(鹽類)의 흡착력이 거의 없어서 건조되기 쉽고 가뭄을 타기 쉽다. 뿐만 아니라 검은 폐석은 열 흡수력이 강하여 지표온도가 60℃까지 올라가게 되므로(정남훈, 1991) 일사량이 많은 지역에서는 여름철에 식생이 고사되기 쉽다. 이들 폐석중 시료분석이 가능한 직경 2mm이하의 폐석(폐탄질토)을 채취하여 이화학성을 분석한 결과 식물생육에 도움이 되는 폐탄질토의 토성은 모두가 점토함량이 15%이하인 양토(L), 양질사토(LS)와 사질양토(SL)로 대부분이 모래와 미사로 이루어져 있으며 산도, 유기물함량, 유효인산, 양이온치환용량, 치환성 Ca과 Mg함량은 지역에 따라 큰 변이

표 1. 토양의 평균이화학성

구 분	pH	유기물 %	전질소 %	유효인산 ppm	양이온 치환용량 me/100g	K me/100g	Na me/100g	Ca me/100g	Mg me/100g	시료수 (점)
폐탄질토	5.47	8.30	0.098	12.6	6.92	0.09	0.15	2.84	1.04	38
복 · 객토	5.47	3.13	0.093	15.6	5.29	0.13	0.13	2.65	1.67	26
퇴적암 산림토양	5.60	2.20	-	23.1	11.0	0.19	0.25	3.65	1.78	23

를 보이고 있다. 퇴적암지대의 일반산림토양에 비하여 유기물 함량은 높은 편이나 기타는 모두 적은 것으로 나타나고있다(표 1).

구창덕(1990)은 폐탄광지를 산림으로 복구할 때 고려해야할 인자는 폐석의 크기와 분포비율(밀도), 국부적인 표면토양의 이 · 화학적 성질이 크게 다르므로 조림하기 전의 토양의 온도변화, 수분 및 양분상태라고 하였으며, 정남훈(1991)은 폐석단경석장은 토양산도가 식생장해 요인이 되기보다는 표면온도가 높고, 수분함량이 낮으며, 경석의 입경이 크고 질소, 인과 같은 양료의 부족이 더 큰 원인이기 때문에 객토의 필요성을 강조하였다.

Willis(1978, 1981)도 폐광폐석의 색깔과 크기는 지표면온도와 수분상태에 영향을 주므로 복 · 객토와 비탈다듬기의 필요성을 보고한 바 있다.

2) 복 · 객토의 실시현황과 그 이화학성

폐광지의 폐석적치사면을 비탈다듬기한 후 사면상에 파식을 위하여 전면적으로 흙덮기하는 것을 복토라 하고, 사면에 부분적으로 일정한 크기(점모양 또는 줄모양)로 구덩이를 파고 성질이 다른 흙으로 채우는 것을 객토라고 할 때 조사지의 복 · 객토의 실시현황은 표 2와 같았다.

폐탄광지 복구에 복토는 많은 비용이 소요되므로 특수한 경우(폐탄광지 복구 시범지 등) 외에는 실시하지 않고 있으며 그 두께도 대부분이 20cm이하인 것으로 조사되었다. 대부분

표 2. 복 · 객토 실시 현황

구 분	복 토	객 토					대조구
		수평구객토 (줄모양객토)	부분객토(점모양객토)				
			10cm	15cm	20cm	30cm	
시공율(%)	25	24	15	28	4	3	1

※ 대조구는 무 복 · 객토처리구임

지역에서 줄모양 구덩이(條播溝) 또는 점모양 구덩이(點播溝)를 파고 객토를 실시하고 있으나 객토량이 구덩이당 1~2삽 정도로 충분치 못하여 식재목 고사의 원인이 되기도 한다.

폐탄광지녹화에 이용되는 복토와 객토는 특정지역을 절취하여 대량으로 채취하기 때문에 토성은 여러 종류로 나타나며 식물생육에 유리한 양질의 토양을 구하기는 어려우리라 추정된다. 현지 26개지역에서 채취하여 분석한 복·객토의 평균 토양양료함량(표 1)과 우리나라 퇴적암지대 일반산림토양의 분석자료(이수욱, 1981)와 비교할 때 폐탄질토와 복·객토용 토양은 유기물함량을 제외한 유효인산, 양이온치환용량, 치환성 염기인 K, Na, Ca 및 Mg 함량이 낮게 나타나고 있어 복·객토용 토양의 질적향상 또는 시비에 의한 충분한 양료의 보충이 요구된다.

3) 녹화식생과 생장

가) 식재수종과 생장량

폐탄광지 식재 및 파종수종으로 교목류로는 황폐지 녹화수종인 아까시나무, 리기다소나무와 오리나무류, 잣나무가, 관목류로는 싸리(파종)와 족제비싸리(파종 또는 식재)가 가장 선호되고 있었으며 그밖에 잣나무, 낙엽송, 자작나무, 해송, 소나무, 측백나무, 현사시나무 등의 순으로 식재되고 있었다. 자작나무는 최근들어 많이 식재되고 있으며 생장량도 비교적 양호한 것으로 조사되었다.

식재방법은 아까시나무, 리기다소나무, 오리나무류 등 교목류의 단식지와 활엽수종(아까시나무, 오리나무류, 현사시나무, 자작나무)과 침엽수종(잣나무, 리기다소나무, 해송, 소나무)의 혼식지가 있는데 혼식지에서는 아까시나무 또는 오리나무에 의하여 침엽수종(특히 리기다소나무, 소나무)이 피압, 고사되는 지역이 많았다. 이러한 결과는 오구균(2000)도 밝히고 있다. 따라서 침엽수와 활엽수를 부득이 혼식하여야 할 경우에는 구분혼식을 권장한다. 식재수종의 활착상태는 보식의 여부와 정확한 식재본수 파악이 어려워 수치화 할 수 없으나 입지조건이 북향인 지역은 동해(凍害)에 의하여, 남향 또는 서향인 지역은 건조 및 지표면 고열(정남훈, 1991)에 의하여 활착율이 매우 저조하였으며 묘목의 크기별로는 대묘에 비하여 유묘에서 활착율이 낮게 나타났다.

주요 식재 목본류인 아까시나무, 리기다소나무, 오리나무류와 가장 많이 파종되고 있는 수종은 싸리류로서 아까시나무의 생장이 가장 크게 나타나며 다음으로 오리나무류, 리기다소나무 순으로 생장이 빠르게 나타나고 있다. 시공년차에 따른 생장량은 그 지역의 입지조건〔폐탄질토, 복·객토의 성질, 방위, 온도, 폐석의 크기와 분포량(밀도), 피압상태〕과 관리상태(재파식 여부)에 따라 크게 차이가 있어 생장 차이가 넓게 나타나고 있다. 식생의 생장차이는 폐석의 크기와 분포밀도에 따라 크기 때문에 비탈다듬기가 잘 이루어지지 않은 지역에서는 폐석적치시 사면상부에서 폐석을 사면하부로 흘려 내렸기 때문에 입경이 큰 폐석이 사면하부에 집중분포되어 사면상부에 비하여 하부의 식생생장이 저조한 현상이 나타나고 있다.

싸리는 2m이상 자라게 되면 고사되고 다시 맹아되거나 새로운 종자가 발아되어 자라고 있으며 타수종에 의해 피압상태 하에서는 생장이 불량하여 시공년차에 따른 생장차이가 크게 나타나고 있다.

각 수종에 대한 피도 역시 수고생장에서와 같이 입지조건과 관리상태에 따라 차이가 커서 시공년차에 따른 차이는 보이지 않았다. 리기다소나무는 피압에 약하며 활엽수류와 혼식할 경우 대부분 고사하거나 피압되고 있었다.

폐탄광지 식재수종으로서 오구균(2000)은 소나무, 굴참나무, 굴피나무, 병꽃나무, 말발도리, 붉나무를 추천하고 있으며, 김재수, 이준우 등(2000)은 폐탄광지는 부식질과 질소가 매우 낮으므로 질소고정능력이 있는 콩과식물인 아까시나무를 이용하는것이 효과적이라 하였으며, 소나무림 보다는 아까시나무림하에서 생물상이 다양하다고 하였다.

Zhenqi Hu(2000)도 폐석지의 생산력을 높이기 위하여 화학비료의 시비와 콩과식물을 식재하는 것이 효과적이라고 보고한 바 있다.

나) 파종초본류와 상·하층목, 초본류의 피도

사면피복용 파종초본류는 재래종으로 새류(일반잡초)와 도입초종으로 왕포아풀(Kentucky bluegrass), 오리새(Orchard grass), 켄터키 훼스큐(Kentucky fescue), 키다리개미털(Tall fescue), 능수귀염풀(Weeping lovegrass)이 있었다. 파종초본류의 선호도는 강원도와 충북지역에서는 새류(잡초류 ; 36개소 중 18개소) 50%, 도입초종(왕포아풀, 오리새, 켄터키 훼스큐 등 36개소 중 4개소) 11%로 나타났으며 기타 지역은 전면 고사하였거나 방치상태로 지표식생의 피도가 극히 불량한 상태로 조사되었다. 충남, 전남 및 경북 지방은 새류(잡초류는 50개소 중 28개소) 56%, 오리새(50개소 중 9개소) 18%, 왕포아풀(50개소 중 7개소) 14%, 키다리개미털(50개소 중 4개소) 8%, 능수귀염풀(50개소 중 3개소) 6%로 도입초종을 많이 선호하고 있었고 지피식생의 피복상태도 비교적 안정되고 양호한 것으로 나타났다.

강원, 충북 지역의 폐탄광 복구지 하층 초본피도는 평균 17%, 상층 목본피도는 34%로 저조한 편이며 특히 지역에 따라 피도차이가 심하여 불량한 지역은 식생이 거의 없는 지역이 많았다. 하층 초본류 피도가 비교적 높은 지역은 시공년차가 오래된 지역이거나 켄터키훼스큐, 오리새 등과 같은 외래초종 파종지로 나타나고 있다.

충남, 전남 및 경북 지역은 강원, 충북 지역에 비하여 평균 하층초본피도 38%, 상층목본피도 53%로 비교적 높게 나타나고 있다. 전체적으로 하층초본피도 29%, 상층목본피도는 45%이었다.

하층 초본피도가 높은 지역은 대부분이 외래초종을 파종한 지역이며 일부 잡초씨로 완전 녹화시킨 곳도 있다. 강원, 충북 지역에 비하여 외래초종을 많이 선호하고 있음을 알 수 있다. 시공년차에 따른 하층초본피도의 차이는 어느 지역에서도 나타나지 않았다.

조현제 등(1995)도 폐광지역의 복원 후 경과년수에 따른 식피율의 변화는 뚜렷하지 않았으

며 목본류의 기저면적은 경과년수가 증가됨에 따라 현저히 증가하였으나 초본식물은 뚜렷한 차이가 없다고 하였다.

다) 침입종

폐탄광지의 폐석적치사면은 1차 천이지역으로 분류할 수 있는데 이 지역으로 이입되고있는 침입종(移入種)은 강원, 충북지역에 다래 등 37종, 충남, 전남, 경북지역에 가중나무 등 28종 이었으며 전 지역에서 48종으로 조사되었다.

가장 잘 이입되고있는 수종으로는 강원, 충북지역에서는 소나무, 졸참나무, 국수나무, 물푸레나무, 싸리, 칡, 갈참나무, 철쭉꽃, 나무딸기이었으며 충남, 전남, 경북지역에서는 나무딸기, 칡, 산초나무, 사위질빵, 졸참나무이었다. 전 지역에 가장 잘 침입되고있는 수종은 나무딸기, 칡, 졸참나무, 산초나무 순으로 나타났다.

인위적인 파식종 이외의 종을 제외한 하층 침입 초본류는 강원, 충북지역에서 자귀풀 등 43종, 충남, 전남, 경북지역에서 깨풀 등 75종 이었으며 전 지역에서 86종인 것으로 조사되었다.

잘 침입되고있는 초종으로 강원, 충북지역에서는 쑥, 씀바귀, 달맞이꽃, 망초, 억새, 강아지풀, 가막살이, 산거울, 방가지똥 등의 순이었으며 충남, 전남, 경북지역에서는 쑥, 망초, 달맞이꽃, 억새, 여뀌, 산거울, 기름새, 솔새, 까치수영, 오이풀 등의 순이었다.

일반적으로 잘 침입되는 초종으로 쑥, 달맞이꽃, 망초, 억새, 씀바귀, 산거울, 여뀌, 솔새, 까치수영, 강아지풀이었으며 피도면에서는 큰 비중을 차지하지 못하는 것으로 조사되었다.

김경훈(2000) 등은 태백지역의 폐탄광지 이입수종으로 박달나무, 물박달나무, 소나무, 조록싸리, 호랑버들, 개쉬땅나무, 산딸기 등의 출현빈도가 비교적 높았으며 초본류로는 참억새, 새, 큰기름새, 사철쑥, 이고들빼기 등 벼과 와 국화과의 다년생 초본류의 출현빈도가 높았다고 하였다. 한편 구창덕(1990)은 새류, 달맞이꽃, 쑥, 붉나무, 싸리류, 다릅나무와 호랑버들이라고 하였다.

다. 사면침식

폐탄광지의 적치사면에서의 침식상태는 면상침식, 누구침식과 구곡침식으로 구분되는데 지피식생이 고정되지 않은 지역에서 면상침식은 대부분 세립의 폐탄질토 또는 식재를 위하여 투여된 복 · 객토한 지표면을 유실시키며 누구침식은 면상침식이 진전되어 보다 큰 폐탄질토 또는 복 · 객토가 淚路를 따라 유실된다. 구곡침식은 수로가 파괴되거나 용출수가 있는 지역에서 배수로를 설치하지 않아서 주로 발생되며 지역에 따라서는 부실시공된 흙막이(산비탈 돌쌓기, 축대벽, 기슭막이 등)가 파괴되어 사면이 붕괴되기도 한다. 경사도와 사면침식과의 관계를 볼 때 모든 토양(모래, 미사, 점토, 보통흙 등)은 수분으로 포화될 경우 안식각이 30°이하로 떨어지므로 사면기울기 30°이상인 지역에서 전면 복토된 사면은 강우시 침식이 발생하게되므로 복토후 즉시 식생으로 피복시키거나 사면기울기를 30°이하로 완화시켜야한다. 조사지역별 침식상태별 면적침식율은 시공

년차에 따른 차이는 없으나 입지조건에 따라 많은 차이를 보이며 충남, 전남, 경북 지역에 비하여 강원, 충북 지역에서 비교적 많이 발생되고 있는데 이는 하층초본피도가 충남, 전남, 경북 지역에 비하여 낮기 때문인 것으로 생각된다.

전체적으로 72개소 중 36개소에서 사면침식이 발생하여 평균 면상침식 13%, 누구침식 4%, 구곡침식 3%의 면적침식율을 보였다.

1997년에 1995년 이전복구지를 대상으로 폐탄광복구지 실태를 합동조사(한창수, 2000)한 결과 450개소 947.9ha 중 79개소 232.8ha에서 심은나무가 고사되고 폐석사면과 일부 구조물이 유실되어 재복구가 필요하다고 보고한바있다.

라. 수질오염

석탄은 탄화수소화합물로 황철광(FeS_2)을 포함하고 있는데 황철광이 공기중에 노출되면 자가산화반응(pH 4.5이상)과 철세균(pH 4.5~3.5) 및 호산성철세균(pH 3.5 이하)에 의해서 산화되어 광산폐수는 강한 산성을 띠게되며 불용성의 수산화철 화합물과 鐵明礬石〔Jarosite ; $K_2Fe_6(SO_4)_4(OH)_{12}$〕의 황색 또는 갈색 침전물(Yellow boy)를 함유하게 되는데(조경숙 등, 1996), 이 Yellow boy가 계류수 또는 토양에 심각한 오염을 유발한다.

폐광지 갱구로부터 유출되는 폐탄광지 수질(대부분 갱구부근의 수질) 20점을 분석한 결과 암모니아성 질소(NH_4^+), 질산성 질소(NO_3^-), 구리(Cu), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 납(Pb)의 원소농도는 특징적인 일부지역을 제외하면 먹는물수준(환경연) 내에 포함되었다.

하천수에서 황산염(SO_4^{2-})의 농도는 pH와 대체적으로 반비례 관계가 있어서 많은 황산염을 가지는 폐탄광 침출수는 강한 산성을 띠게 되나 유출량이 많은 경우 희석되어 실제적으로 탄광폐수의 pH는 지역에 따라 다르게 나타나고 있다. 탄광폐수에서 가장 문제되고 있는 원소는 일반적으로 철(Fe), 망간(Mn), 알루미늄(Al), 황산이온(SO_4)으로서 음용수에 비하여 높게 나타나고 있으나 이들 원소의 농도는 지역간에 많은 차이를 보인다.

이인형(2000)은 석탄광산에서는 주로 Fe, Al, Mn 등 3가지 원소가 문제를 발생시키는데 이들에 의한 침전물은 출수지점부터 수 Km에 걸쳐 하천주변을 피복하여 경관을 해치고있다고 하였으며, 석탄산업합리화사업단(1998)도 강릉 태우탄광 폐수의 수질조사에서 Fe, Al, SO_4^{2-}이온이 다량 검출되었음을 보고한바 있다. 조경숙 등(1996)은 폐수의 유입으로 산성화된 하천수에서는 11~42 ppm의 높은 농도의 Al이 검출되었고 Mn, Mg 및 Ca의 농도가 청정지역에 비하여 높았다고 하였으며, 이들 중금속에 의한 토양 및 수질오염 피해는 탄광폐수가 직접 유입되는 지천(支川)에서 매우 심각하나 지천에서 본천에 유입되었을 때 유입지점으로부터 수km이내에서 하천의 중화작용에 의하여 대부분 오염물질이 불용성물질로 침전되므로 폐광폐수에 의한 하천의 오염은 국지적인 것이라 하였다. 철, 알루미늄, 망간, 마그네슘의 황색 침전물(Yellow boy)은 폐탄광지로



사진 1. 폐탄광복구지의 일반적인 모형(정선군 북면 구절리 대평탄광: 90~92년복구)
주 공작물은 산비탈돌쌓기와 돌수로공이며 부분객토(10cm)지역으로 아까시나무, 오리나무와 기리갈소나무 식재지로 리기다 소나무는 대부분 고사되었다.



사진 2. 사진1과 동일지역의 적치사면 하단부 근경.
상단부에 비하여 하단부는 거친 자갈로 구성되어있어 식생이 고열과 건조피해에 의하여 고사되었다.



사진 3. 수질 및 토양오염지 전경(평창읍 가마터골 국안탄광: 91~92년 복구)
갱구로부터 유출된 철(Fe)산화물에 의하여 생선된 적색-황색 침전물(Yellow boy)



사진 4. 폐탄광지복구성공지(단양 가곡면 보발리 홍일광업: '89년복구)
경사완만한 川형 사면에 족제비싸리 식재지로 피도 90%에 달한다.



사진 5. 폐탄광지복구시범단지(태백 황지동: '96년시공)
경사 22°의 비교적 완경사지이나 축대벽, 산비탈돌쌓기, 선떼붙이기, 떼수로, 돌수로 등 조밀하게 설치하여 복구비 과다지역으로 지적되고 있다.



사진 6. 폐탄광복구지의 침식발생지(태백시 소도동: '92년시공)
수로 및 사면안정공사 부실로 인한 침식발생으로 재복구가 요구된다.

부터 2~8km, 알루미늄은 백색 침전물(백화현상), 망간은 검은색의 침전물을 생성시키는 이들은 이보다 훨씬 먼거리까지 유출되는 것으로 조사되었다.

마. 복구비

당 복구단비를 산출하기 위하여 '90년부터 '96년까지 복구된 탄광지 285개소의 설계자료에 의하여 ha당 복구비를 비교한 결과 ha당 복구비는 지역에 따라 큰 차이를 보이나 대체적으로 평균 1,300만원~8,100만원이며 전지역 평균은 3,600만원으로 나타나고 있다. ha당 복구단비가 1억원 이상 지역을 보면 경북 문경 평성탄광(1억 2천만원), 충북 단양의 봉양탄광(1억 2천만원), 강원 태백의 보성광업(1억 6천만원), 우성탄광(1억 1천만원), 동해탄광(1억 1천만원), 협성탄광(2억 8천만원), 태영탄광(1억원), 강원 영월의 목동탄광(1억 5천만원), 강릉의 강릉탄광(1억원), 명주의 강릉탄광(1억원) 등 10개 지역이며 이들 10개 지역을 제외하고 평균복구비를 계산한다면 ha당 평균 3천 4백만원에 지나지 않는다. 시공년차에 따른 복구비 차이(물가지수에 의한 차이)는 지역적인 차이가 더 크기때문에 나타나고 있지 않다. ha당 단비가 1억원 이상인 지역을 보면 지역적인 특성에 따라 가시지역으로 경관을 요하는 지역, 전시장 또는 복구시범지역으로 복토량, 돌쌓기 공작물(돌기슭막이, 축대벽, 산비탈돌쌓기)의 수량, 선떼붙이기 공법의 수량 등이 많은 것으로 분석되었으며 낮은 단비를 보인 지역은 비가시지역으로 공작물의 종류가 단순하고 그 수량도 적은 것으로 나타났다.

2. 폐탄광지 복구공법

가. 녹화수종 선발시험

1) 복 · 객토 처리별 공정

정동탄광 시험복구사업지의 복구면적은 109,977m²로 실재작업내용별로 소요장비와 작업시간, 소요인력을 조사하였으며 이들 자료에 의하여 ha당 복 · 객토처리별 작업단비표를 작성하였다.

표 3에 의하면 객토처리구에 비하여 복토처리구에서 비용이 많이 나타나며 복토 50cm구는 객토구에 비하여 1.75~1.85배의 비용이 소요됨을 보여준다. 또한 복 · 객토로 인한 비용은 전체 소요금액에 비해 객토구는 38~40%, 복토구는 56~66%로 복 · 객토량이 공사단비에 크게 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 비탈면다듬기 공사비는 전체복구비에 비해 객토구는 44~47%, 복토구에 비해 25~33%로 객토구에서 높은 비중을 차지하고 있다.

2) 녹화수종별 잔존율 및 생장상황

98년 5월에 식재하여 '98년 10월에 잔존율을 조사하였고 '99년 4월에 동해피해를 조사한 결과 동해피해율이 높게 나타나 당년에 다시 보식을 실시하고 2000년에 수종별 동해피해율과 잔존율을 조사한 결과 표 4와 같으며 처리별 수종별 잔존율과 간장생장량은 표 5, 6과 같다.

표 4에 의하면 '98년 식재당년의 활착율(잔존율0은 아까시나무>소나무>잣나무>자작

표 3. 복 · 객토 처리별 ha당 단비

단위: 천원

작업구분	객 토 처 리			복 토 처 리	
	30cm	50cm	70cm	30cm	50cm
· 건축물처리	3,170	3,170	3,170	3,170	3,170
┌철거	1,430	1,430	1,430	1,430	1,430
└폐기물처리	1,740	1,740	1,740	1,740	1,740
· 비탈다듬기	15,850	15,850	15,850	15,850	15,850
┌절토	7,080	7,080	7,080	7,080	7,080
└성토	8,770	8,770	8,770	8,770	8,770
· 식재상조성	12,760	14,000	15,000	26,700	41,560
┌적사운반	7,800	8,690	9,140	22,960	37,150
├식재상조성	4,340	4,760	5,380	3,720	3,720
└면고르기	620	550	480	690	690
· 식재작업	2,250	2,110	1,960	2,360	2,360
┌식재	2,060	1,960	1,850	2,140	2,140
└묘목운반, 관수	190	150	110	220	220
계	34,030	35,130	35,980	48,080	62,940

※ 1998년 물가기준

표 4. 수종별 동해피해율과 잔존율

단위 : %

조사년도	구분 \ 수종	소나무	잣나무	자작나무	오리나무	아까시나무
98년 5월	식재본수	577	639	490	403	527
98년 10월	잔존율(%)	91.9	62.3	60.5	12.9	93.1
99년 4월	동해피해율(%)	39.8	23.6	15.1	–	12.0
	잔존율(%)	55.3	47.6	58.2	19.9	82.0
	보식본수	600	400	300	300	–
	보식직후 전체잔존본수	919	704	585	380	432
99년 9월	고사율(%)	13.3	13.6	8.2	32.9	2.5
	잔존율(%)	86.7	86.4	91.8	67.1	97.5
2000년 4월	동해피해율(%)	21.8	13.6	2.8	27.8	27.7
2000년 10월	잔존율(%)	63.1	73.0	92.5	46.9	70.1

나무>오리나무 순으로 아까시나무와 소나무의 활착율이 가장 높게 나타났으며 오리나무가 대부분 고사하였다. 오리나무 활착이 불량한 이유는 묘목을 굴채하여 가식하는 과정에서 관리 상태가 적절치 못한 것으로 밝혀졌다.

'99년 4월에 조사한 동해피해율은 소나무>잣나무>자작나무>아까시나무 순으로 소나무와 잣나무가 높게 나타났는으며 2000년 4월에 조사한 결과는 오리나무, 아까시나무, 소나무, 잣나무, 자작나무 순으로 오리나무와 아까시나무에서 높게 나타나고 있어 년차에 따라 차이를 보이고 있다.

2000년도 10월 최종 잔존율은 자작나무>잣나무>아까시나무>소나무>오리나무 순인 것으로 미루어 이 지역 조림적정 수종으로는 자작나무, 잣나무, 아까시나무가 가장 좋으며 오리나무가 가장 불량한 것으로 나타났다.

본 연구에서 실시한 폐탄광지 복구 시범단지 식재수종 잔존율 사례조사 결과로 강원지역 영동탄광 등 9개 탄광에서 조사한 수종별 잔존율을 보면 잣나무 56%(21~73%), 낙엽송 58%(50~72%), 자작나무 70%(44~89%), 아까시나무 74%(35~91%), 해송이 85%로 아까시나무와 자작나무가 비교적 높게 나타나고 있다. 또한 식재수종의 잔존율은 건조피해를 받기쉬운 남쪽사면과 객토량을 적게 투여한 지역 그리고 양(羊)방목지 등에서 낮게 나타났으며 북쪽사면에서는 겨울에 동해(凍害)와 풍해에 의하여 고사되는 경우가 많은 것으로 조사되었다. 동해피해와 관련된 연구로 Wills(1979, 1981)는 pot묘는 직파묘에 비하여 동해피해가 적었음을 보고한 바 있다.

표 5에 의하면 복·객토 처리별 잔존율은 복토구에 비하여 객토구에서 높게 나타나고 있는데 이는 국소지형적인 원인(경사도 및 풍속차이)으로 추정되기도 하나 계속 조사하여야 할 것으로 생각된다.

폐탄광지 복구시 복·객토에 관한 연구로 중국(Zhenqi Hu, 2000)에서는 침강지(Subsidence land)녹화에는 복토없이 식재구덩이 당 5 kg의 객토를 넣고 식재한 결과 활착율은 버들 60%, 포플러 98%, 아까시나무 97%, 멀구슬나

표 5. 복·객토 처리별 수종별 잔존율(%)

처리 \ 수종	소나무	잣나무	자작나무	오리나무	아까시나무	평 균
객토 30cm	85.6	70.8	98.1	39.0	64.7	71.6
객토 50cm	91.7	60.6	97.3	49.0	79.2	75.4
객토 70cm	87.4	89.1	93.1	75.0	85.9	86.1
복토 30cm	27.3	74.5	86.9	31.6	64.7	57.0
복토 50cm	23.4	70.6	86.9	40.0	55.8	55.3
평 균	63.1	73.0	92.5	46.9	70.1	

※ 2000년 10월 현재

무 98%, 테다소나무 100%, 오동나무 100%, 향나무 96%로 버드나무를 제외한 모든 수종이 96%이상이었으며, 식재구덩이당 5kg의 객토구와 전면복토 10cm, 20cm, 30cm 구에서 포플러류, 아까시나무와 버드나무류를 식재한 후 간장과 근원경 생장량을 조사한 결과 처리간에 생장차이가 없었다고 하였다. 또한 폐석적치사면(Coal waste piles)녹화에 가장 적절한 수종은 아까시나무, 서양측백나무와 테다소나무이고 초종으로는 탐라황기와 김의털이며 식재방법으로는 아까시나무, 수양버들, Pagoda tree, 물푸레나무와 라일락과 같은 활엽수종은 식재구덩이당 약 20kg의 토양을 객토한 후 식재하거나 향나무, 서양측백나무, Chinese pine과 같은 침엽수종은 분(盆)을 떠서 식재하고 있다.

표 6의 간장생장량은 식재 3년차 성적치로서 복 · 객토 처리별, 수종별 생장차이는 뚜렷하게 나타나지 않고 있다. 식재지반이 좋지 못한데다 해발고가 높은 고지로 바람이 세게 불기 때문에 초단부의 동해(凍害) 및 고사현상으로 신초가 발생되는 위치에 따라 개체목간 간장차이가 크게 나타나고 있다. 따라서 식재수종이 완전히 활착되어 정상적인 생장을 시작하기까지는 복 · 객토처리별 간장생장 차이는 큰 의미가 없는 것으로 생각된다.

나. 복구공법(구조물)시험

1) 복구구조물 설치공정조사

지반정리작업, 복토작업, 집수정, 돌축대벽, 구곡막이, 낮은 바닥막이(대공) 등 기본구조물 공정은 녹화수종선발시험 사업구의 작업량에서 조사된 공정을 ha당으로 환산하여 작성하였으며 본 연구에서 설치한 사면처리구조물(산비탈 돌쌓기, 선떼붙이기, 파종구, 돌, 떼수로공)은 복구유형별 시험처리시 실제 공정을 ha당으로 환산하여 공정표를 작성하였다.

공정표에서 사면처리구조물인 산비탈 돌쌓기, 선떼붙이기는 폐탄광적치사면상에서 시험설계내용과 같이 가시권에서는 사면거리 4m간격으로, 비가시권에서는 5m간격으로 설치할 때 ha당으로 환산하면 가시권에서는 2500m, 비가시권에서는 2000m가 설치되며 돌 떼수로공은 200m(급경사지 → 돌수로공 100m, 떼수로 100m; 완경사지 → 떼수로 200m)가 설치

표 6. 복 · 객토처리별 간장생장량(cm)

처리 / 수종	객토 30cm	객토 50cm	객토 70cm	복토 30cm	복토 50cm
소나무	26.4	28.5	28.5	32.5	31.6
잣나무	40.3	38.5	40.7	41.9	42.3
아까시나무	72.6	76.0	110.6	102.2	84.6
자작나무	80.6	78.4	87.4	100.1	79.9
오리나무	84.6	92.4	112.3	96.1	72.3

※ 2000년 10월 현재

되게 된다. 또한 녹화(식재, 파종)작업으로 식재는 횡공작물의 단상에만 1m 간격으로 식재하고 파종은 가시권의 단간사면에만 파종(ha당 375kg 종자뿜어붙이기)한다면 이때에 복구유형별 ha당 단비는 표 7과 같다.

표 7에 의하여 복구유형별 ha당 복구비를 보면 선떼붙이기만을 시공하였을시 3천구백만원(비가시권 완경사지)에서 7천4백만원(가시권, 급경사지)에 달하며 산비탈돌쌓기만으로 시공하였을시는 사면붕괴에 안정성은 있으나 8천2백만원(비가시권 완경사지)에서 1억 7천2백만원(가시권 급경사지)에 달하여 복구비가 과다함을 보여준다.

2) 처리별 구조물 효과조사

본 시험은 '99년 가을에 시험구 배치가 끝나서 시공 1년차에 지나지 않으므로 구조물에 따른 침식 및 붕괴방지효과의 차이가 뚜렷하게 나타나지 않고 있으나 주변의 대조구(석탄산업합리화사업단에서 임협을 통하여 시공한 폐탄광복구 시범사업지)에 비하여 지표면 침식 방지효과가 시각적(사진 7 참조)으로 나타나고

표 7. 복구유형별 ha당 단비

단위 : 천원

복구유형		비 가 시 권		가 시 권	
작 업 내 용	공 종	완 경 사	급 경 사	완 경 사	급 경 사
지반정리 및 복 · 객토 가시권→복토 비가시권→객토	건축물처리 (철거, 폐기물처리)	3,170	3,170	3,170	3,170
	비탈다듬기 (절토, 성토)	15,850	15,850	15,850	15,850
	식재상조성 (적사운반, 식재상조성, 면고르기) 복토(30cm), 객토(폭 50cm, 깊이 40cm)	4813	6,030	26,700	26,700
사면처리 구조물	산비탈돌쌓기	46,696	86,284	58,370	107,865
	선떼붙이기	3,938	7,876	4,923	9,845
	돌수로공	–	3,727	–	3,727
	떼수로공	1,923	961	1,923	961
기본구조물	집수정, 돌축대벽, 구곡막이, 대공	8,930	8,930	8,930	8,930
녹화	식재, 파종	794	794	5,032	5,032
계	산비탈돌쌓기	82,176	12,746	119,975	172,235
	선떼붙이기	39,418	47,338	66,528	74,215

※ 돌축대벽 : 높이 1.0m. 돌수로 : 윤주 1.26, 폭 0.8m. 낮은바닥막이(대공) 길이 : 5m, 높이 1.0m. 떼수로 : 윤주 0.94m, 폭 0.6m. 구곡막이(돌) : 상장 2.4m, 하장 1.5m, 높이 0.96m.



사진 7. 구조물시험지 시공사진(가시권)
수로를 경계로 사진왼쪽의 대조구(비교적 황색으로 나타나 보이는 지역)에 비하여 오른쪽 구조물 시험구에서 지표면 침식방지효과가 나타나 보인다. 시험구의 왼쪽 하단부는 산비탈돌쌓기 시험구이며, 왼쪽 상단부는 파종구, 오른쪽 하단부는 선떼붙이기 시험구가 보인다.

있어 앞으로 시간이 경과될수록 이들 구조물의 효과가 기대된다.

3. 폐탄광지 복구공법 표준화

1995년이후 폐탄광지복구는 폐석의 복사열 차단, 산성폐수의 유출억제와 폐석간의 공극으로 인한 보습력유지를 위하여 복구대상지가 산록부 가시권인 경우 미관을 고려하며 하류에 위치한 마을 등의 안전을 고려하여 견고한 구조물을 선택하고 대상지가 산정부 오지에 위치할때는 현장에서 채취가 가능한 시공재료를 사용 경사면고정을 위한 최소한의 구조물과 녹화공종을 선택한다는 취지하에 복구를 수행하여 왔다(송문서, 2000). 따라서 사면전면을 복토하고 떼단쌓기, 식재, 파종 등의 녹화기반조성에 중점을 두어(한창수, 2000) 과도한 복구비지출이라는 지적도 받게 되었다. 1995년부터 2000년간 ha당 평균복구비는 1억4천7백만원(송문서, 2000)으로 높게 나타나고 있으며, 오구균(2000)도 1995년 이후 폐탄광지 기반안정공사는 양호하였으나 돌기슭막이(공사비 46,000원/m; 높이 1m), 산비탈돌쌓기 등 구조물공사가 과도하게 시공됨을 지적한 바 있다.

우보명(2000)은 폐석장의 녹화공법으로 적절한 토양과 충분한 깊이로 전면복토 또는 객토공사를 한후 재래초류와 외래초류를 적절한 혼

파로 분사파종공법이나 종비토뿜어붙이기 공사가 필요하며 초류종자외에도 싸리류와 족제비싸리와 같은 녹화수종의 종자가 좋다고 하였다. 그러나 가장 중요한 문제는 경제성이 있어야 한다. 꼭 필요한 장소의 녹화를 위해서는 많은 비용을 들여서라도 복구를 하여야 되겠으나 그렇지 못한 지역에는 그 지역에 맞는 적절한 공법으로 경제성있게 복원되어야 하겠다.

가. 폐탄광지의 복구유형구분

1) 위치 및 복구목적에 의한 구분

폐탄광지의 위치와 복구목적에 따라 가시권과 비사기권으로 구분한다. 가시권은 마을주변 또는 마을에서 가까운 거리에 위치하여 자연적인 경관미가 요구되거나 토지의 효과적인 활용을 위해서 비교적 평탄지가 넓어 공원, 운동장 또는 버섯재배 등과 같은 공공시설이나 특수작물재배지로 활용할 수 있는 지역을 포함시킨다.

비가시권은 마을권 또는 도로변에서 비교적 멀리 위치하고 있으며 산림으로 환원해야 할 지역이 포함된다. 비가시권이면서 타용도로 이용할 지역은 가시권의 복구유형에 포함시킨다.

2) 경사도에 의한 구분

복구공사는 사면경사도에 따라 구조물의 종류와 규모가 다르게 배치되어야 하므로 경사도에 따라 구분지어야 한다.

폐탄광지 복구에서 가장 중요한 것은 사면안정이므로 30°이상의 폐석적치사면의 기울기는 성토사면 표준경사기준인 30°정도로 비탈면 다듬기를 실시하여야 하겠다.

과거('95년 이전)에는 중장비의 사용이 비교적 어려웠기 때문에 인력에 의하여 대부분이 원래의 적치사면경사도를 유지시키는 범위 내에서 공사를 실시하여왔다. 때문(폐탄광지 복구현황조사 결과에 의하면 평균 경사도가 32° 최저 16°에서 최고 경사도는 39°까지 분포)에 30°이상의 급경사지가 재황폐의 원인이 되기도 하였으나 현재는 중장비 사용이 보편화되어서 장비진입이 어려운 지역을 제외하고는 적치사면의 기울기를 용이하게 조절할 수 있다. 따라서 비용이 많이 들어가는 구조물을 다량 설치하는 것보다 최소한의 비용을 들여 비탈면 기울기를 완화시켜서 구조물에 소요되는 비용을 절감하는 것이 사면안정성과 식생녹화 측면에서 바람직하다 하겠다.

폐석적치사면의 경사도는 20°(25° 이하)와 30°(26° 이상)로 구분하였다.

나. 복구공법 표준화

폐탄광지의 일반적 모형은 부위별로 구분해 보면 절개사면과 갱구전면의 평탄지, 폐석적치사면, 진입로와 진입로에 접한 계류 등으로 구분되는 것이 일반적이다.

이들 부위 중에서 갱구주변의 절개사면(보전구역), 진입로와 계류 등은 일반 산지사방공법과 야계사방(계류부위)공법으로 충분히 복구할 수 있으며 가장 문제가 되는곳은 폐석적치사면과 갱구전면의 평탄지이다.

1) 일반적인 복구기준

가) 건축물철거 및 작업로 설치

각종 구조물(건축물)과 노후된 석축, 전주 등을 철거하고 폐기물은 운반 폐기처분한다. 한편 사면길이가 60m 이상인 지역은 폭 2~3m의 작업로를 수평으로 설치한다.

나) 갱구주변의 절개사면복구 및 상류로부터 흘러내리는 유수의 차단 절개사면은 일반적인 산지사방설계에 의하여 복구하며 보전구역상부로부터 유입되는 지표수는 돌리수로 내기에 의하여 우회 배출시킨다.

다) 폐석적치 비탈면 구조물 설치

○ 폐석적치 비탈길이 20m간격으로 폭 1m의 소단을 설치하고 산비탈 돌쌓기를 한다.

○ 산비탈 돌쌓기와 산비탈 돌쌓기 사이에는 폭 0.7m의 소단을 설치하고 4~5m 간격으로 선떼붙이기를 한다. 산비탈돌쌓기와 선떼입히기 뒷면은 객토로 채운다.

○ 사면의 폭 또는 길이가 긴지역은 종수로와 횡수로를 각각 50m 간격으로 설치한다.

○ 노후된 기존 시설물(건물, 침전소 등)과 축대벽 등 흙막이 구조물을 부득이한 경우를 제외하고 다시 축설한다.

라) 진입로 및 계류의 안정공사

○ 진입로와 폐탄광지가 포함하고있거나 접한 지역의 계류는 입지조건에 따라 산지사방 또는 야계사방 설계기준에 의하여 공작물을 배치 시공한다.

○ 축대벽, 기슭막이, 누구막이, 골막이, 바닥막이, 산비탈돌쌓기 등 모든 흙막이 공작물은 터파기를 충분히 하여 공작물이 파손되지 않도록 한다.

○ 수로내기는 배수되는 물이 수로밖으로 스며나가거나 넘쳐 흐리지 않도록 조밀하고 크게 설치하여야 하며 수로방향을 급격히 꺾이지 않도록 설치해야한다.

마) 식재수종

폐탄광지 식재수종으로 자작나무, 잣나무, 아까시나무, 오리나무, 소나무, 리기다소나무, 해송(남부) 등을 단상(산비탈돌쌓기 또는 선떼붙이기 등의 식재상)에 식재하며 폐석의 직경이 크고 경사가 급하여 입지조건이 식재에 불리한 지역은 아까시나무와 자작나무를 단상(식재상)에 1m간격으로 식재한다. 식재시 침엽수는 활엽수에 의한 피압을 방지하기 위하여 활엽수와의 혼식을 피하고 구분혼식으로 한다.

바) 파 종

목본류는 싸리, 족제비싸리, 아까시나무를, 재래종으로 초본류로는 새, 속새, 개솔새, 억새, 포아풀과 도입초종으로 켄터기훼스큐, 오리새, 능수귀염풀, 키다리 개미털을 가시권(전면복토)에서는 단간사면에 파종(종자뿜어붙이기)한다.

2) 복구유형별 복구공법 표준화

가) 폐석적치사면 복구공법

○ 가시권과 비가시권의 차별화

가시권은 비가시권에 비해 경관미를 위하여 구조물 배치로 횡공작물의 배치간격을 다소 좁게 하여 가시권은 4m, 비가시권은 5m로 설치하며, 가시권은 단간사면을 전면복토(복토깊이 30cm)한다.

○ 급경사구와 완경사구의 차별화

급경사구는 사면의 안정성과 경사완화를 위하여 완경사구에 비해 구조물(종수로공)을 견

고하게 하고 구조물(횡공작물 ; 산비탈 돌쌓기, 선떼붙이기)의 높이를 높게 설치한다.

- 급경사구 ┬ 횡공작물 높이 ┬ 산비탈돌쌓기 → 0.68m
  │ └ 선떼붙이기 → 0.60m
  └ 수로공 ┬ 종수로공 → 돌수로공(100m/ha)
  └ 횡수로공 → 떼수로공(100m/ha)
- 완경사구 ┬ 횡광작물 높이 ┬ 산비탈돌쌓기 → 0.51m
  │ └ 선떼붙이기 → 0.40m
  └ 수로공 ┬ 종수로공 → 떼수로공(100m/ha)
  └ 횡수로공 → 떼수로공(100m/ha)

○ 지반정리와 복 객토처리공정

지반정리로서 구조물 철거와 폐기물처리는 녹화수종선발시험지(105.577m²)에서 철거한 구조물과 폐기된 전체물량을 처리하는데 소요된 공정을 ha당으로 환산하여 단비표를 작성하였으며, 복 · 객토 작업역시 녹화수종선발시험에서 작성한 비탈다듬기(절토, 성토)와 식재상조성(적사운반, 식재상조성, 면고르기) 작업공정을 기준으로 작성하였다.

나) 진입로 및 계류의 안정공사공정

진입로와 계류의 구조물로 집수정, 돌축대벽, 구곡막이, 대공 등의 ha당 기준은 녹화수종선발시험구에서 조사된 공정표에 의하여 작성된 복구유형별 ha당 표준복구공정표는 표 8, 9와 같으며 ha당 표준복구단비는 표 10과 같다.

표 10에 의하면 ha당 복구비는 5천만원(비가시권 완경사지)에서 9천4백만원(가시권 급경사지)으로 2000년도 산지사방복구비(3천 6백만원)보다 높게(1.4~2.6배) 나타나며 1995년부터 2000년까지의 평균 ha당 복구비(1억 4천7백만원)보다 훨씬 적게 나타나서 비교적 적절한 복구비라 평가된다.

사면처리구조물에서 산비탈돌쌓기와 선떼붙

표 8. 가시권의 ha당 표준복구공정

작업내용	공 종	단 위	완경사(20°경사)	급경사(30°경사)
지반정리 및 복토	구조물 철거, 폐기물처리, 절토, 성토, 면고르기, 복토 30cm	ha	1	
사면처리 구조물	산비탈돌쌓기 A	m	–	500
	산비탈돌쌓기 B	m	500	–
	선떼붙이기 A	m	–	2,000
	선떼붙이기 B	m	2,000	–
	돌수로공	m	–	100
	떼수로공	m	200	100
기타구조물	집수정	개소	0.5	0.5
	돌축대벽	m	71	71
	구곡막이	개소	0.5	0.5
	대공	개소	1.0	1.0
녹 화	종자파종	kg	375	375
	식재	본	2,500	2,500

표 9. 비가시권의 ha당 표준복구공정

작업내용	공 종	단 위	완경사(20°경사)	급경사(30°경사)
지반정리 및 객토	구조물 철거, 폐기물처리, 절토, 성토, 면고르기,객토 (폭 70cm, 깊이 40cm)	ha	1	
사면처리 구조물	산비탈돌쌓기 A	m	–	500
	산비탈돌쌓기 B	m	500	–
	선떼붙이기 A	m	–	1,500
	선떼붙이기 B	m	1,500	–
	돌수로공	m	–	100
	떼수로공	m	200	100
기타구조물	집수정	개소	0.5	0.5
	돌축대벽	m	71	71
	구곡막이	개소	0.5	0.5
	대 공	개소	1.0	1.0
녹 화	식 재	본	2,500	2,500

표 10. 복구유형별 ha당 표준단비

단위 : 천원

복구유형		비가시권		가 시 권	
작업내용	공 종	완 경 사	급 경 사	완 경 사	급 경 사
지반정리 및 복 · 객토	건축물처리 (철거, 폐기물처리)	3,170	3,170	3,170	3,170
	비탈다듬기 (절토, 성토)	15,850	15,850	15,850	15,850
	식재상조성 (적사운반, 식재상조성, 면고르기) 복토(30cm), 객토(폭 50cm, 깊이 40cm)	4,813	6,030	26,700	26,700
사면처리 구조물	산비탈돌쌓기 선떼붙이기 돌수로공 떼수로공	16,651	32,166	17,535	34,135
기본구조물	집수정, 돌축대벽, 구곡막이, 대공	8,930	8,930	8,930	8,930
녹 화	식재파종	794	794	5,032	5,032
계		50,108	66,940	77,217	93,817

※ 2000년 물가기준

이기 구조물이 폐석적치사면 1ha 전면적에 배치할 수 있는 수량이 ha당 표준공정표에 포함되어 있는 데다 사면처리구조물에서 돌 · 떼수로공과 기본구조물에서 집수정, 돌축대벽, 구곡막이, 대공 등의 구조물의 단비가 부수적으로 추가되어 있기 때문에 설사 수로공과 땅속흙막이 등의 공사가 추가적으로 요구된다 하더라도 총복구단비가 부족하리라 생각되지는 않는다.

IV. 결 론

폐탄광지 복구목적은 폐탄광지로부터의 침식 및 산사태방지와 산성폐수의 유출방지 그리고 주변 경관미 조성과 유휴토지의 효과적인 활용이라 하겠다. 이러한 복구목적은 생활환경 개선을 위해서 반드시 풀어나가야할 과제라고 생각된다. 그러나 폐탄광지는 급경사지이거나 산 속에 위치하여 위치적으로 접근이 어려울 뿐 아니라 폐경석더미는 두꺼운 층으로 쌓여있어 복구(사면안정)에 많은 비용과 기술이 요구된다. 또한 폐경석간의 공극으로 인한 보수력 부족과 복사열로인한 고열, 더 나아가서 산성폐수와 식재기반재인 폐석의 낮은 양료함량은 식생조성에 많은 어려움을 주고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 폐탄광지의 적정사면안정공법, 적정 복 · 객토량, 적정녹화수종 선발과 사면식생조성방법, 수질 및 토양오염방지공법 기술개발과 같은 폐탄광지 식재기반조성기술과 녹화기술개발이 선행되어야 하며 아울러 이에 따르는 복구비용이 경제성이 있어야 한다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 중심으로 폐석적치사면의 침식 및 붕괴방지를 위한 적정사면안정공법으로 비교적 친환경적인 산비탈돌쌓기와 선떼붙이기, 돌 · 떼수로공을, 산도교정 및 보수력 증진과 고열방지, 양료보충을 위해서 복 · 객토량은 40~60cm(산비탈돌쌓기 등 횡구조물의 뒷채움 깊이), 적정식재수종으로 친환경적인 자작나무, 소나무, 잣나무와 근류균으로 지력을 높여주는 아까시나무와 오리나무, 사면파종방법으로 초기에 침식방지에 효과적인 외래초종과 역시 지력증진에 효과적인 콩과식물의 싸리류와 족제비싸리의 혼용파종(종자뿜어붙이기)방법을 입지조건에 따른 복구유형별로 구분하여 ha당 복구공정을 표준화하여 ha당 표준복구단비를 산출하였고 구조물배치 모형도를 재시하였다.

ha당 표준복구단비는 복구유형에 따라 5천만원에서 9천4백만원에 분포하여 적절하다고 생각되며 본 연구결과는 폐탄광지 복구예산산출에 기본자료로 활용될뿐 아니라 폐탄광지 복구감독기관(석탄산업합리화사업단, 산림청 등)의 감리자료로 활용되는데 충분한 가치가 있다고 판단된다.

주 : 본고에서 게재하지 않은 표 또는 그림은 임업연구원. 폐탄광지의 녹화공법개발. 농림수산기술개발특정연구. 특수지역의 생태적 산림조성 및 관리기술개발. 2, 3, 4년차와 최종년도 년차보고서를 참조하시기 바라며 끝으로 본 연구수행을 위해서 적극적으로 협조하여주신 산림청, 석탄산업합리화사업단과 임협중앙회 엔지니어링 본부 그리고 정선임협 관계관에게 깊

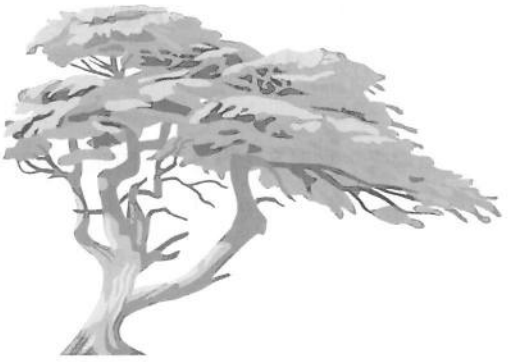
은 감사의 말씀을 드립니다.

- 引用文獻 -

1. 강원도. 1996. 폐광지역 환경보전계획조사서. 강원개발연구원.
2. 구창덕. 1990. 석탄채굴에 의한 산림훼손지를 조림복구할 때 고려할 인자에 관한 연구. 한국임학회 학술연구발표 pp.20.
3. 김경훈, 김학영, 김보현. 2000. 폐탄광지 녹화를 위한 환경친화적 공법개발에 관한 연구. 폐탄광지의 환경복원녹화기술개발 국제심포지엄. 133-161.
4. 김재수, 이준우. 2000. 폐탄광지의 훼손산지 및 폐석장이 산림환경보전에 미치는 주요영향 및 폐탄광지복구체제에 대하여. 폐탄광지의 환경복원녹화기술개발 국제심포지엄. 217～275.
5. 석탄산업합리화사업단. 1997. 사업단 10년사. 오롬시스템(주) 271～296.
6. 석탄산업합리화사업단. 1998. 태우탄광 폐수정화시설 실시설계보고서. 1～24.
7. 송문서. 2000. 폐탄광복구설계요령. 폐탄광지의 환경복원녹화기술개발 국제심포지엄. 228～243.
8. 오구균. 2000. 1995년 전 · 후 폐탄광지복구시공비교평가. 폐탄광지의 환경복원녹화기술개발 국제심포지엄. 99～132.
9. 우보명. 2000. 폐탄광지의 산림훼손지복구 및 폐석유실방지 대책에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 3(2): 24～34(2000).
10. 李壽煜. 1981. 韓國의 山林土壤에 關한 硏究(II). 韓林誌 54 : 25～35.
11. 이인현. 2000. 태백지역 폐탄광지와 환경보전과의 관계 및 산성광산폐수(AMD)오염실상과 대책에 대하여. 폐탄광지의 환경복원녹화기술개발 국제심포지엄. 244～246.
12. 임업연구원 1997. 폐탄광지의 녹화공법개발. 농림수산기술개발특정연구. 특수지역의 생태적산림조성 및 관리기술개발 97년도(2년차) 년차보고서: 42～77.
13. 임업연구원. 1998. 폐탄광지의 녹화공법개발. 농림수산기술개발 특정연구. 특수지역의 생태적 산림조성 및 관리기술개발. '98년도(3년차)년차보고서: 77～101.
14. 임업연구원. 1999. 폐탄광지의 녹화공법개발. 농림수산기술개발 특정연구. 특수지역의 생태적 산림조성 및 관리기술개발. '99년도(4년차)년차보고서: 67～78.
15. 임업연구원. 2000. 폐탄광지의 녹화공법개발. 농림수산기술개발 특정연구. 특수지역의 생태적 산림조성 및 관리기술개발. 2000년도(최종년도)보고서. 279～346.
16. 鄭楠勳. 1991. 廢石炭 硬石場의 綠化工法에 關한 硏究. 서울大學校 大學院 碩士學位論文 1～34.
17. 조경숙 · 류희욱 · 장용근. 1996. 폐탄광 배수에 의해 오염된 하천의 화학적 특성과 미생물 활성. 한국생태학회지 19(5) : 365～373.
18. 趙顯濟 · 李昌錫 · 程龍鎬 · 吳正洙. 1995. 石炭荒廢地의 植生復元을 위한 生態學的 硏

究. 山林科學論文集 51 : 14~24.

19. 최경. 1998. 폐탄광지의 복구현황. 임업정보 제92호. 임업연구원.
20. 한국과학기술연구원. 1998. 제1회 식물을 이용한 환경복원기술 워크숍. -Phytoremediation-. 19~76.
21. 한국자원연구소. 1995. 폐광에 따른 광산지역 환경개선연구. 석탄합리화사업단.
22. 한창수. 2000. 한국의 폐탄광지 복원녹화정책. 폐탄광지의 환경복원녹화기술개발 국제심포지엄. 93~98.
23. Willis G. Vogel. 1978. Vegetation research on surface-mined land in Eastern Kentucky. Institute for Mining and Minerals Research. pp.5~15.
24. Willis G. Vogel. 1981. A guide for revegetating coal minesoils in the Eastern United States. Dep. of Agr. Forest Service. 190p.
25. Zhenqi Hu. 2000. Policy and executing measures/technology for restoration and revegetation of the abandoned coal-mine lands in china. intetnational symposium for the development of environmental restoration and revegetation technology in the abandoned coal-mine lands. 57~91.



입지환경

지구환경오염을 말한다(III)

- 대기오염물질 -

이 충 화
임업연구원 농학박사

본 호에서는 전호의 「지구 온난화」에 이어서 「대기오염물질」에 대해서 살펴보고자 한다.

1. 대기오염물질

세계 선진제국 및 개발도상국에서는 경제성장에 따른 도시화, 공업화 및 관광개발 등에 의해 자연환경의 파괴가 급속히 진행되고 있으며, 또한 이에 수반되는 대기오염이나 수질오염을 비롯한 환경오염이 급진전되어 금세기 인류의 생존권 마저 위협하고 있다. 본 호에서는 대기오염물질의 환경문제에 대해 살펴보고자 한다.

가스상 대기오염물질이 식물에 미치는 영향은 기공을 통하여 식물체내에 침투되어 생리적으로 여러 가지 영향을 미친다. 수 년 전까지만 해도 SO_2에 의한 식물의 피해가 컸으나, 최근에는 탈황기술의 발달로 SO_2의 영향은 감소되었으나 그 대신에 광화학산화물(O_3, PAN)의 피해가 문제되고 있는 실정이다.

2. 아황산가스(SO_2)

아황산가스(SO_2) 등의 황산산화물은 석탄이나 석유와 같은 유황성분을 함유하고 있는 화석연료의 연소에 의해서 주로 공장의 굴뚝으로부터 방출된다. 식물이 고농도의 SO_2에 접촉되면 엽맥 사이에 갈색이나 백색반점이 생기며 침엽에서는 선단부가 갈변 등의 가시피해와 수목의 조기낙엽 현상이 나타난다. 감수성이 큰 식물(알팔파, 대맥, 코스모스 등)에서는 0.5 ppm의 SO_2농도에 수 시간 접촉하면 가시피해가 발생한다. 또한 가시피해를 나타내지 않는 저농도에서는 광합성작용을 저해시킨다. 광합성저해의 원인으로서는 광합성 전자 전달계나 CO_2 고정경로의 저해가 알려져 있다. 그러나, 최근에는 고연돌화(高煙突化), 연료원유의 저유황화, 탈황장치의 설치 등에 의해 대기중의 SO_2농도는 서서히 낮아지기 시작하였으며, 우리 나라에서도 80년대 후반부터 청정연료 사용의무화 등으로 공단지역이나 도시지역을 제외하면 연평균 3~5ppb(우리 나라 환경기준치 : 30ppb)로 낮은 편이다.

한편, 유황성분을 다량 함유하고 있는 석탄을 연료로 사용하고 있는 세계 각지(특히 중국)에서는 지금까지도 주요한 대기오염물질로서 대기중의 SO_2가 빗물에 녹아 산성화된 강수가 직접 토양으로 유입되어 토양산성화에 직접적인 영향을 미치기 때문에 그 대책이 필요한 실정이다.

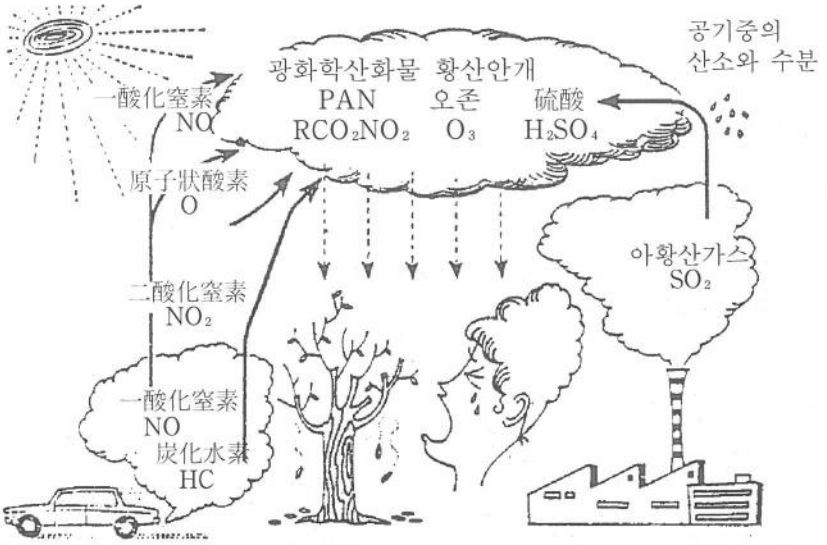


그림 1. 광화학산화물의 생성 모식도

3. 광화학산화물(광화학옥시던트)

질소산화물이나 탄화수소가 대기중에서 산소와 광화학반응(빛을 반응에너지로 하는 화학반응)을 일으켜 2차적으로 생성된 산화력이 강한 산화성물질군의 총칭을 광화학산화물이라고 한다(그림 1).

광화학산화물 중에서 주요한 산화성물질은 오존(O_3)과 PAN(Peroxyacethyl nitrate, $CH_3COOONO_2$)이 있으며, 모두 식물이나 인간에게 유해하다. 광화학산화물은 대기오염물질 중에서도 특히 식물에 대하여 독성이 크고, 민감한 식물에서는 0.1ppm 전후의 오존, 0.03ppm 전후의 PAN에 수 시간 노출되면 기시장해가 나타난다. 정상적인 대기 중에는 0.03~0.05ppm의 오존이 존재하고 있다.

1) 오존(O_3)

성층권의 오존은 지구의 우주복과 같은 역할을 하여 유해한 자외선으로부터 동식물을 보호해 주지만, 대류권의 오존은 주로 자동차나 공장에서 뿜어내는 배출가스에 포함된 질소산화물이나 탄화수소(HC) 등이 태양광선에 함유되어 있는 강한 자외선(특히 파장이 240nm이하)

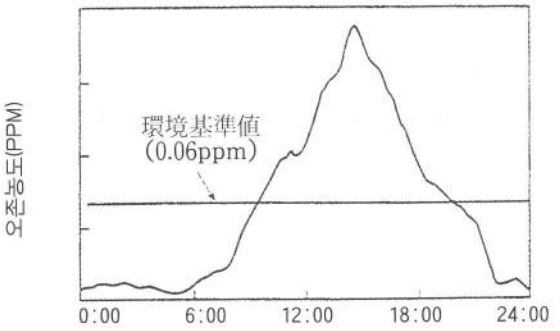
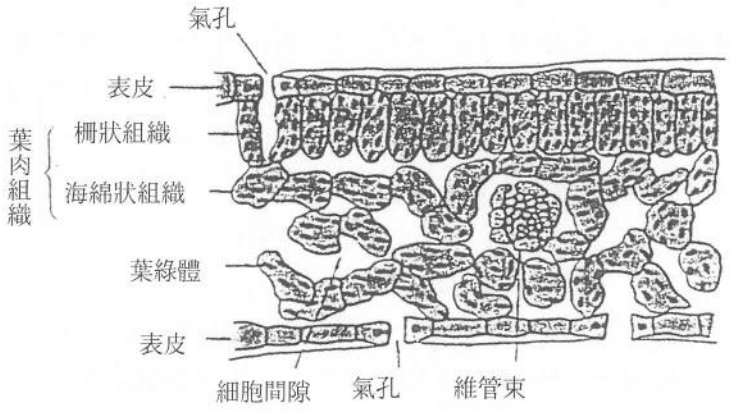


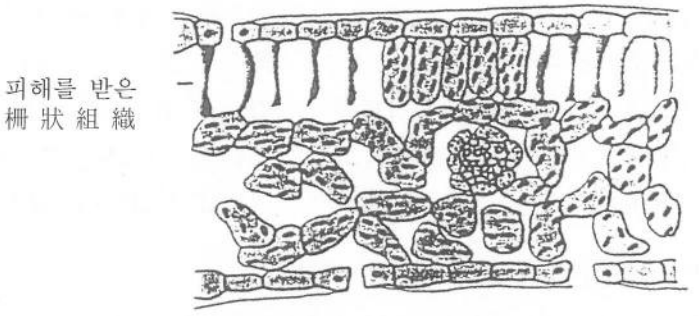
그림 2. 대기중의 시간별 오존농도 변화
(동경, 1995년 8월 5일)

과 광화학 반응을 일으켜 생성되는 가스상의 대기오염물질이며, 또한 광화학옥시던트의 주 성분으로 그 농도는 여름철에 높고 겨울철에는 낮다(그림2).

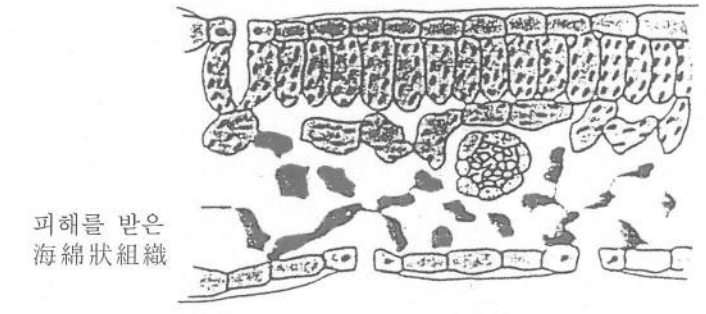
일반적으로 식물은 동물에 비하여 오존에 대해 대단히 민감하며 식물에 대한 해작용은 SO_2보다 강하다. 감수성이 강한 식물(나팔꽃, 완두콩, 담배 등)에서는 0.1ppm정도의 저농도



정상적인 잎의 횡단면



오존의 피해를 받은 잎의 횡단면



PAN의 피해를 받은 잎의 횡단면

그림 3. 광화학산화물의 피해를 받은 잎의 횡단면 모식도

의 O_3에 1시간 접촉하면 엽면에 흰 작은 반점상의 가시피해가 나타나며 장해가 큰 경우에는 조직전체가 괴사한다. 최근 대도시 근교에서 바람이 없는 여름철 맑은 날에 고농도의 오존이 발생하나 비교적 고농도의 오존이 관측된 날의 오후나 다음날에는 감수성이 강한 식물(나팔꽃)의 잎에 가시장해(백색 반점)가 나타난다. O_3대한 잎 조직의 감수성은 식물에 따라 차이가 있으나 O3은 먼저 책상조직에서 나타난다(그림 3).

밭작물인 땅콩, 토란 등의 잎에서도 오존에 의한 가시피해가 나타나기도 하며, 또한 수 십 ppb의 오존이 만성적으로 농작물이나 수목에 폭로되면 생장이나 광합성 등의 생리기능이 저하되어 결국 수확량이 감소한다.

또한, O_3이 식물의 대사과정에서 엽내에 다량의 활성산소를 생성시켜 생체막의 주성분인 당지질이나 인지질의 분해를 유발시켜 식물의 생리작용에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 현재 오존은 여러 나라에서 비교적 광범위하게 가장 식물에 악영향을 미치고 있다고 보고되고 있으며, 인간에게 미치는 영향은 폐기능이 저하되고 눈이 따갑거나 기침증세가 생기며 천식환자들은 증세가 심해진다.

최근 각국에서는 오존 경보제를 실시하여 환경오염에 대한 국민들의 경각심을 불러일으키고 있으며 우리 나라의 서울 및 선진국 주요도시별 오존 경보제의 내용을 비교해 보면 표 1과 같다.

2) PAN(Peroxyacethyl nitrate, $CH_3COOONO_2$)

PAN도 광화학산화물의 일종으로 대기중의 농도는 오존농도의 1/10정도이나 식물에 대한 독성은 오존보다 더욱 강하다. PAN도 O_3과 같이 활성산소의 증대, 당지질이나 인지질의 분해를 유발하나 식물에 대한 감수성은 O_3의 경우와는 다르다. 베츄니아와 같이 감수성이

표 1. 우리 나라 및 선진국의 오존 경보제 비교

구 분	미 국		일 본		한 국
	캘리포니아	시카고	동경	오사카	서울-인천
경보단계 (ppm)	주의보: 0.15 1단계: 0.20 2단계: 0.35 3단계: 0.50	주 의 보: 0.12 황색경보: 0.20 적색경보: 0.30 중대경보: 0.50	예보: 주의보에 가까운 농도 주의보: 0.12 경보: 0.24 중대긴급경보: 0.40	동경과 동일	주의보: 0.12 경 보: 0.30 중대경보: 0.50
발령지역	10개	6개	10개	7개	6개
시행시기	70년대초	70년대초	70년대초	70년대초	95년
발령횟수	주의보: 613회 1단계 경보: 84회(93년)	없음(90년이후)	12회(94년)	11회(93년)	11회(96년)

큰 식물은 0.03ppm에서 수 시간, 0.01ppm에서는 수일간에 잎에 가시장해가 나타난다. O_3은 대부분 성숙한 잎에 장해를 나타내나 PAN은 성숙한 잎보다 어린잎에서 장해를 일으킨다. FAN대한 잎 조직의 감수성은 먼저 해면상 조직에서 나타난다(그림 3). 한편, PAN은 가스크로마토그라프로 정량할 수 있으나, 장기간 연속적으로 측정이 곤란하며 감수성이 강한 식물을 이용한 지표식물에 의한 대기오염평가가 시도되고 있다.

4. 질소산화물(NOx)

대기중의 질소산화물의 발생원의 대부분은 자동차이다. 자동차 배기가스 중에 함유되어 있는 NO는 공기 중으로 방출되면 빠른 속도로 NO_2로 산화된다. 이 NO_2는 인간이나 동식물에 대한 독성이 강하기 때문에 대도시에 있어서는 심각한 가스상의 대기오염물질의 하나이다. 일반적으로 NOx 중 NO_2는 SO_2나 O_3, PAN에 비하여 식물에 대한 독성이 적으며 NO는 더욱 독성이 적다. 그러나 수ppm의 NO_2가 식물에 폭로되면 광합성 등의 중요한 생리기능이 저해되어 최종적으로 식물의 생장이 저하된다. 식물체의 기공을 통하여 흡수된 NO_2는 엽내에서 물에 녹아 NO_2^-과 NO_3^-으로 분해되나 양자는 NH_3로 바뀌 아미노산이나 단백질의 합성에 이용된다(그림 4).

비교적 고농도의 NO_2에 폭로시키면 엽내에 유해한 NO_2^-가 축적되어 엽세포 내에 존재하는 엽록체 막에 영향을 미쳐 광합성 활성을 저하시킨다. 그러나 일반의 야외조건하(0.04~0.06ppm)에서는 이러한 수ppm 단위의 NO_2농도는 관찰되지 않기 때문에 실제의 야외조건하에서는 적어도 NO2단독에 의한 식물피해는 없다고 여겨진다. 그러나 SO_2 등과 같이 NO_2는 산성우의 원인물질이기 때문에 충분히 주의할 필요가 있다. 또한 비교적 저농도의 NO_2라도 SOx나 광화학옥시던트와의 복합대기오염의 구성오염물질이기 때문에 인간이나 동식물에 대한 영향을 금후는 무시할 수 없다. 한편 NO는 물에 거의 녹지 않고 엽내에 흡수되지 않기 때문에 독성도 적다.

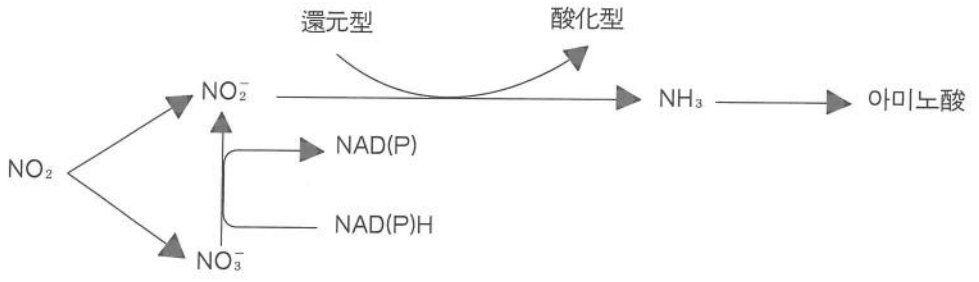


그림 4. 식물에 흡수된 NO_2의 대사과정

5. 기타 대기오염물질

HF(불화수소)는 알루미늄 제련공장, 비료공장, 도자기공장 등의 주변에서 점차적으로 식물에 피해를 미치고 있다. 장해증상은 엽맥을 따라 Chlorosis(백색화), 선단부 또는 엽연부로 부터의 Necrosis(갈변화)가 나타난다. 일반적으로 단자엽식물은 감수성이 크고 특히 클라디오스는 HF의 지표식물로 이용된다.

그밖에 암모니아, 염소, 에틸렌, 염화수소 등이 공장이나 운송중의 사고로 국지적으로 피해를 주고 있다. 최근에는 플라스틱류의 연소가스가 주변 식물에 현저한 장해를 유발하고 도료나 접착제로부터의 가스가 실내 식물에 영향을 미친다고 보고하고 있다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 주요 대기오염물질이 수목에 피해를 미치는 농도는 표 2와 같이 정리할 수 있다.

표 2. 주요 대기오염물질의 환경기준치 및 수목피해 농도

대기오염물질	대기중농도	수목피해농도	우리나라환경기준치
아황산가스(SO_2)	0~20ppb	70~150ppb	0.03ppm/년
이산화질소(NO_2)	0~3ppb	50~100ppb	0.05ppm/년
오존(O3)	30~50ppb	100~150ppb	0.06ppm/1시간
PAN	-	30~50ppb	-

국내외 기술정보

日本의 環境親和的 溪流砂防

全 權 雨
江原大學校 敎授

1. 緖 論

지금까지의 砂防事業은 각종 土砂災害로부터 인간의 생활 및 생산공간을 지키기 위한 防災空間 確保가 중심이 되어 왔기 때문에 流域의 環境을 고려한 사업이 추진되지 못하였다. 즉 砂防事業은 본래 삼림이 갖고 있는 水源涵養機能, 國土保全機能 및 休養機能 등의 公益的 機能을 발휘시키는 사업이므로 당연히 자연과의 조화를 꾀하고, 자연과 위화감 없는 공법이 도입되어야 하나, 오히려 砂防工事에 의해 砂防施設 주변의 景觀損傷, 공사중의 濁水流出 및 소음, 자연과의 접촉기회 상실, 自然度 높은 溪流나 山腹 生態系에의 악영향을 미치고 있다. 따라서 앞으로의 砂防事業은 防災空間의 확보와 더불어 周邊環境에 잘 조화되고 生物資源이 풍부한 環境空間이 확보되도록 배려해야 할 것이며, 이러한 의미에서 우리 나라 砂防事業에 참고가 될 수 있도록 외국의 親環境的 砂防事業에 대한 자료를 분석하는 것(全權雨와 江崎, 1996; 全權雨 등, 1998; 禹保命, 1998; 박재현, 2000)은 그 의의가 크다고 할 수 있다.

이 논문은 지금까지 발표한 環境과 調和한 砂防事業(全權雨와 江崎, 1996; 全權雨 등 1998)중 溪流砂防에 관한 부분을 요약 정리한 것으로 農林部 尖端農業技術開發事業에 의해 진행된 「環境生態的 基準에 根據한 多目的 國有山林資源 管理體系의 開發」의 「第3細部課題인 都市流域林의 水資源管理 및 毁損地 防止를 위한 管理 對策」의 연구결과의 일부이다.

2. 環境親和的 砂防事業의 基本方針

砂防事業은 公共事業이므로 體系化가 이루어져야 하나 각 流域마다 구체적인 地域性, 鄕土性이 보장되고, 多樣性이 유지되어야 할 것이다. 즉 砂防事業地는 地域特性이 있는 造形美, 魚類, 水生動·植物 및 樹木 등이 존재하는 야외 박물관이 되어야 하므로 획일적인 것보다 친근감이 있되 다양하고 센스 있는 디자인이 개발되어야 한다. 따라서 環境親和的 砂防事業의 基本方針은 단순한 개별 공사방법과 처리방법을 위한 지침이 아니라 砂防事業에서 실시되고 있는 각종 공사가 周邊環境에 미치는 영향이나 의미를 충분히 파악할 수 있는 기본이념이 명시되어야 한다.

3. 日本에 있어서 山地溪流의 整備方針

山地溪流의 整備方針으로 ① 自然特性을 살린 아름다운 水邊空間의 창출 ② 親水性의 향상 ③ 레크리에이션 기능의 향상 ④ 주민의 휴식공간 제공 ⑤ 장애자 등을 고려한 시설정비 ⑥ 砂防施設 등의 학습장소 제공 ⑦ 自然環境의 적극적 보호 ⑧ 森林空間과 生態系 保全 ⑨ 溪流文化 창출 ⑩ 景觀保全 ⑪ 防災를 배려한 정비(安全空間) 등이 보고되고 있으나 (靑木 등, 1990a; 1990b; 御坊田와 山下, 1992; 細見와 淸水, 1992; 水山, 1992; 橋岡, 1993a 1993b; 丸井와 水山, 1994), 이상을 요약하면 ① 시설물의 景觀保全 ② 生態系의 配慮 ③ 親水性 向上 ④ 構造物의 周邊環境과의 調和 등으로 대별할 수 있다.

3.1. 施設物의 景觀保全

대규모의 교량, 貯水댐, 砂防댐 및 流路工과 같은 土木施設에는 이전부터 다양한 景觀保全이 시도되고 있으나 중·소규모의 砂防事業地에 있어서의 景觀保全은 1990년대부터 그 중요성이 대두되어 사업장소나 개인에 따라 다양한 공법이 개발, 시공되고 있다. 특히 우리 나라의 溪流砂防地에는 경관을 고려한 사업이 거의 실시되고 있지 못하므로 이에 대한 적극적인 대책이 마련되어야 할 것이다.

3.2. 生態系의 配慮

山地溪流에 생육하고 있는 魚類, 昆蟲, 水生植物과 鳥類를 비롯한 주변부의 각종 동·식물은 砂防댐이나 流路工의 영향을 직·간접적으로 받으므로 각종 砂防施設에 魚道를 설치하거나 슬리트 댐과 같은 生態系를 배려한 공법이 도입되고 있다. 그러나 우리 나라는 일본과 같이 화산국가가 아니어서 대규모의 河床變動은 발생하지 않으므로 큰 규모의 砂防댐보다는 低댐群을 有機的으로 배치하여 각종 水生生物의 生態系를 배려해야 할 것이다.

3.3. 親水性 向上

砂防事業의 대상 溪流는 射流가 많아 하류의 常流區間과는 流水의 성질이 크게 다르기 때문에 일반적으로 護岸의 물매가 급하게 조성되고 있으나 최근에는 親水行爲가 증가할 수 있는 계단 설치, 하천 주변부의 공원화 등이 전국적으로 시도되고 있다. 우리 나라의 경우도 砂防施設의 대형화로 防災空間은 확보되고 있으나 山地溪流에서의 親水行爲가 단절되고 있으므로 이에 대한 대책이 마련되어야 할 것이다.

3.4. 構造物의 周邊環境과의 調和

砂防댐 등의 구조물은 지역주민의 생활공간을 보호하지만 그 색깔과 형식 등은 위화감을 조성한다. 따라서 구조물의 표면처리, 콘크리트에 염료 혼입, 자연석 쌓기, 댐 어깨부의 盛土에 의한 식재, 護岸·비탈면의 安定工에 특수블록 도입 등이 시도되고 있다. 우리 나라의 경우는 획일적인 공법이 적용되고 있으므로 周邊環境과의 조화를 위해서는 親環境的인 砂防材料를 이용한 다양한 공법이 개발되어야 할

것이다.

4. 日本의 環境親和的 砂防事業 事例

砂防事業地의 구체적인 환경문제는 ① 砂防施設에 의한 自然景觀의 파괴 ② 施工對象地의 自然植生 및 生態系 파괴 ③ 山地溪流의 魚類 水生 動·植物의 생활 및 생활공간 파괴 ④ 防災空間 확보는 물론 풍요로운 休養空間에 대한 주역주민의 요망 등이며(小橋, 1994), 이를 해결하기 위해 다음과 같은 사업이 일본 전역에서 실시되고 있다.

4.1. 砂防댐

대형 콘크리트 砂防댐은 자연경관을 손상 차단시킬 뿐 아니라 魚類, 水生 動·植物의 棲息處 및 生育空間을 파괴하며, 또한 山地溪流의 횡단을 방해하여 사람의 접근을 어렵게 하므로 요철이 있는 自然石 쌓기, 색채 있는 자연석을 이용한 표면 처리(阿部 등, 1990), 댐 反水面에 그림과 조각 실시, 계단과 산책로 등과 같은 親水行爲를 위한 시설을 설치하거나 일본잎갈나무 간벌재를 이용한 砂防댐을 시공하고 있다. 그러나 대규모의 河床變動이 발생하는 하천에는 댐의 구조 자체를 변형시키는 방법으로 有害한 大徑石은 저지하고 無害한 細粒石礫은 통과시켜 댐의 용량을 확보하는 오픈 방식의 透過型 댐(슬리트 방식, 물빼기 구멍의 확대, 스크린 댐 등)이 시공되고 있으며, 뗌어깨 부분은 盛土 후 수목 등을 식재하기도 한다. 특히 透過型 댐은 魚類 및 水生動物의 보호 反水面의 경관차단 방지, 통행로 확보 및 지역경관에 알맞은 댐 형태의 변형 가능 등의 이점이 있어 火山型 河川砂防地를 중심으로 시공되고 있다(丹羽, 1990). 즉 사방시설물의 높이 基數, 형식 및 재료 등이 親環境的이 되도록 노력하고 있으며, 景觀保全이 필요한 장소에는 주변 삼림에 어울리는 木製 構造物이 도입되고 있다. 이는 間伐材가 유효하게 이용될 수 있으므로 間伐材 수익사업에도 효과적이며, 이미 사다리꼴의 木製댐이 시공되고 있어(北海道林務部治山課, 1991; 1994) 우리 나라와 같이 중·소규모의 土砂移動이 빈번히 발생하고 있는 山地溪流에서는 유효하게 이용될 수 있을 것이다.

4.2. 流路工 및 護岸工

流路工은 河床面을 洪水流量에 대응하여 산정하고 있으나 渴水·平水와 洪水의 流量 差가 크기 때문에 流水가 河幅 전체를 流下하는 경우는 몇 년에 한번 발생하는 정도이다. 따라서 側岸의 일부구간을 중심으로 親水工法, 親自然工法에 대한 연구가 진행되어 自然石으로 低水路를 만들거나 자연스럽게 蛇行시키기도 하며 시설계획시에는 河幅, 바닦막이의 落差·基數 斷面, 法線, 護岸 물매 및 재료 등에 대한 사업이 추진되고 있다. 또한 기본계획을 결정한 후에는 학식 경험자, 공사 담당자, 지역 대표자 등으로 구성된 「景觀檢討會」가 流路工 시공에 따른 문제점, 마을의 장기 전망 및 이에 대응한 流路工 구조에 대한 요망사항 등을 파악하여 시설설계에 적극 도입하는 등 계획 당초부

터 流路工과 주변부의 경관을 검토하고 있다(御坊田와 山下, 1992).

여기서 경관공법의 검토항목은 ① 지역 분단 이미지 배제 ② 여울과 숲이 풍부한 水邊 創造 ③ 콘크리트나 인공 구조물의 표면노출 배제 ④ 流路工의 주변이나 내부에 산책로 확보 등이며, 구체적 공법으로는 ① 3할 물매의 護岸 鋪設 ② 低水路 설치 ③ 鐵平石쌓기 블록 護岸 ④ 落差工의 修景 ⑤ 階段護岸 등이 도입되고 있다. 특히 生態系와 경관을 보전하고 親水性을 배려한 流路工을 시공하기 위해 ① 물총새 등의 생식지 보전하기 위한 急厓地 보전 ② 魚類 등의 生態系 保全을 위한 舊流路의 流水 확보 ③ 現流路와 자연과의 조화를 위한 콘크리트 표면에 自然石 붙이기의 被覆處理 ④ 親水性을 배려하기 위한 右岸의 2부 물매 조성 ⑤ 表面 覆土와 景石 배치 ⑥ 左岸 상류의 7할 물매 조성과 自然石 모양의 블록 붙이기 ⑦ 下流의 景觀地域에는 階段 護岸 敷設 ⑧ 流路工 주변에는 野鳥, 野草, 地形, 化石林, 鑛石 등에 대한 설명판 설치 등 지역특성과 환경에 적합한 공법을 선택하여 부가가치가 높은 시설을 배치하고 있다.(井良澤 등, 1995; 中尾, 1993; 笹原와 鹿田, 1995)

한편 自然河岸 및 주변은 水生生物의 중요한 生息空間이므로 生態系의 입장에서는 자연상태로 보전되어야 할 공간이나 洪水時에는 河床變動이 심하므로 물리적 안정을 위해 非環境的인 護岸工이 연속적으로 시공되어 왔다. 따라서 洪水時에 洗掘이 심한 水衝部는 河岸浸蝕防止工이 도입되고 있으나 기타 구간은 生態系를 배려한 親環境的인 구조의 護岸工을 시공하거나 自然植生의 護岸保護機能을 증대시키는 방안이 강구되고 있다. 즉 완만한 護岸 물매 조성, 큰 입경의 河床材料를 이용한 계단 만들기, 대상지역의 生態系 유지와 증진을 위한 在來種 도입, 水生植物 植栽와 같이 살아 있는 식물도입 및 河床의 암석이나 土砂와 같은 自然素材를 병용하는 방법이 도입되어 埋枝工法에 의한 植生護岸工, 埋枝 및 埋石을 이용한 植生魚巢護岸工法 및 水生植物네트植栽工法 등의 親自然的인 공법이 시공되고 있다.

(鈴木, 1992, 1993; 吉野와 横川, 1995)

4.3. 魚道

魚類는 流量, 水質, 避難場所, 먹이, 産卵場 및 回遊路 確保와 천적으로부터의 보호 등의 生育條件이 필요하나 각종 砂防事業은 ① 砂防댐에 의한 水生生物의 遡上沮害 ② 댐 상하류의 분단 ③ 流路工에 의한 水生生物의 생식 저해 ④ 山腹工의 외래종 도입에 의한 植生變化 등을 가져와 魚類의 생육조건에 악영향을 미치고 있다.(橋岡, 1993a; 1993b) 특히 河川改修는 河道의 直線化에 의해 진흙, 砂質帶, 河岸 植物帶, 물웅덩이 등의 감소와 平瀨의 증대를 가져올 뿐 아니라 河床材料를 감소시켜 河床面이 단순화되므로 改修前의 蛇行部를 직선화한 구간을 중심으로 魚類의 생육에 악영향을 미치고 있다.(島谷 등, 1993)

한편 砂防事業의 施工對象地는 일반적으로 源流部이므로 常水가 적고 魚類가 살지 않아 魚道를 만들 필요가 없는 구간도 있으나 常水

가 많고 물고기가 생식하고 있는 장소에는 반드시 魚道를 설치하여 水生動物의 生息空間 및 移動路를 제공해야 한다. 특히 최근의 砂防施設의 대형화에 의해 魚道의 중요성이 더욱 강조되고 있으므로 지역조건에 알맞은 다양한 방식의 魚道가 개발되어야 한다. 일본에서는 魚道의 종류(계단식, 扇形, 全斷面, 슬로프식, 터널식 등), 위치(遡上 經路, 集魚 場所, 주변지형등의 입지조건), 型式(河川流量, 水位範圍 魚道流量, 대상 魚類의 遡上能力의 한계치, 立地條件 및 경제적 조건, 설치대상 구조물의 특수성 등), 構造(폭원, 물매, 隔壁, 노치, 潛孔 隔壁의 간격, 색채 등), 材料(목재, 석재 등), 冠履(관리 소재)및 魚道設計에 대한 연구(鈴木 1992; 中村, 1995; 柳崎 등, 1995)가 진행되고 있다.

여기서 魚道는 기존 砂防댐에 魚道를 배치할 경우와 신설 砂防댐에 배치할 경우를 구분하여 시공해야 하며, 기존의 砂防댐에 魚道를 설치할 때에도 댐이 滿砂인 상태와 未滿砂인 상태로 구분해서 실시해야 한다.(柳崎 등, 1995) 즉 砂防댐은 본래 有害土砂를 억제할 목적으로 설치하기 때문에 기존의 砂防댐에 魚道를 신설할 때에는 설치 당시 혹은 장래의 堆砂狀況이나 그 때까지의 堆砂速度를 고려할 필요가 있으며 더욱이 댐 위치의 河川微地形的 특징도 있으므로 상류의 固定流路와 물빼기 구멍 등의 상세한 검토가 필요하다. 신설 砂防댐의 魚道는 계단형 魚道를 통상의 不透過型 砂防댐에 부착하여 댐의 未滿砂의 상태로부터 滿砂에 이르기까지 기능을 발휘할 수 있도록 魚道 측면에 출입구를 신설하고 있다.(水山 등, 1994)

4.4. 水質保全工

水質保全을 위해 下流域의 하수도 정비 등에 의한 淨化對策과 排水規制 등의 發生源 對策을 실시하고 있으나 發生源 대책만으로 개선이 불가능한 경우에는 하천이나 호수의 水質淨化對策을 적극적으로 실시해야 한다. 즉 각종 淨化方法에 의해 하천이나 호수가 본래 갖고 있는 淨化能力을 회복시키도록 노력해야 하며, 水質淨化對策이 성과를 얻기 위해서는 관계기관이 긴밀한 연대하에서 대책을 수립함과 동시에 지역주민이나 자치단체가 水源地域과 下流地域을 배려하는 입장에서 水質保全을 위한 세심한 노력을 기울여야 한다. 일본의 경우 각 計劃對象河川마다 「地域協議會」를 설치하여 하천부분에서는 河川淨化事業, 流水保全水路事業, 댐 貯水池 水質保全事業 등을 실시하고 있으며, 지역주민과 자치단체는 水路 등의 水質淨化事業 農業聚落排水事業, 畜産排水對策, 生活排水對策, 美化淸掃活動 및 排水規制 등을 실시하고 있다.(リバ-フロント整備センタ-, 1994)

한편 山地溪流의 경우에도 鋼製 댐과 鋼製 틀에 木炭 및 活性炭 등의 정화 필터를 장착하여 汚濁水, 유기물 등을 정화하는 水質保全施設이 시공되고 있으며, 또한 鋼製 틀의 안채우기 재료로 사용되는 河川石이 원래 河川石 사이에 부착하고 있는 미생물에 의해 유기물을 분해시키는 작용이 있는 것을 이용하는 방법이 도입되고 있다. 즉 自然石의 유기물 분해작용을 증진시키기 위해 木炭이나 活性炭 필터를

복수로 설치한 후 河川水를 그 속에 통과시켜 유해물질을 흡착시키게 하는 공법이 일부지역에서 시공되고 있다.(傑井, 1992)

5. 結 論

일본의 親環境的 砂防事業에 대한 자료를 분석한 결과, 砂防事業이 단순한 防災事業이 아니라 환경을 보전, 창출하는 사업으로 인식되어 水邊에 生物資源이 풍부하고 인간과 친밀한 공간을 만들기 위한 다양한 노력이 시도되고 있었다. 그러나 우리 나라의 경우는 사회 전반적으로 親環境的 砂防事業에 대한 인식이 부족하여 親環境的인 山地溪流 空間造成에 역행하는 사업이 진행되고 있으며, 또한 지금까지 山地防災分野에서 많이 사용해 왔던 自然素材에 의한 親環境的 砂防事業이 경시되고 있는 실정이다.

따라서 우리 나라에서도 환경을 고려한 사방재료 · 형식 · 구조 및 관리 등에 대한 재검토와 이에 대한 학계 · 관계 · 업계 등의 공동 노력이 필요하며, 동시에 親環境的 砂防事業을 위해 다음과 같은 내용이 충분히 고려되어야 할 것이다. 즉 ① 환경이나 경관 변화를 장기적 시점에서 생각할 것 ② 직접적으로 砂防對象이 되는 개개의 溪流施設만을 생각하지 말고 그 주변 환경이나 배경경관 전체 속에서의 조화를 생각할 것 ③ 전국적으로 획일적인 공사를 진행하는 것이 아니라 그 지역특성을 잘 살린 사업이 되도록 할 것 ④ 그 지역의 潛在植生을 찾아내 그것을 顯在化시키도록 할 것 ⑤ 시공후의 추이변화를 모니터링하여 적절한 環境評價를 실시할 것 ⑥ 環境評價 결과를 기초로 하여 적절한 유지관리를 시행할 것 ⑦ 地域計劃, 地域振興事業 등 타산업과의 관련도 충분히 고려할 것 등이다.(丸井와 水山, 1994)

引用文獻

1. 박재현. 2000. 우리 나라 河川整備의 實態와 先進國의 自然河川 保全 · 復元을 위한 노력. 山林土木環境研究會會報 35: 46-60.
2. 禹保命. 1998. 自然親和型 砂防事業 -概念의 理解-. 山林土木環境研究會會報 30: 27-36.
3. 全槿雨 · 江崎次夫. 1996. 環境과 조화한 砂防事業(Ⅰ) -日本의 環境保全砂防-. 森林科學研報 12: 13-25.
4. 全槿雨 · 金炅南 · 西門原 · 廉圭眞 · 江崎次夫. 1998. 環境과 조화한 砂防事業(II) -日本에 있어서 水邊地域의 管理와 指針-. 森林科學研究 14: 112-127.
5. 阿部 宗平 · 水山 高久 · 矢島 重美. 1990. 環境を考慮した砂防設備のコンクリート表面處理の評價. 土木技術資料 32(7): 67-72.
6. 御坊田裕己 · 山下正吉. 1992. 北海道における新しい砂防. 地形 13(4): 301-308.
7. 橋岡伸守. 1993a. 環境に優しい治山事業 その (1). 治山 37(11): 8-16.
8. 橋岡伸守. 1993b. 環境に優しい治山事業 その (2). 治山 37(12): 9-14.
9. 北海道林務部治山課. 1991. 木で 山をまも

る -木製土木施設開發事例-. 社團法人北海道治山協會 95pp.

10. 北海道林務部治山課. 1994. 北海道におけ省力森林土木工法等開發パイロット事業の概要について. 治山 39(1): 15-20.
11. 細見寛・清水裕. 1992. 21世紀に向けての河川整備 -第8次治水事業五箇年計劃(策定)をめぐって-. 土木技術資料 34(5): 16-19.
12. 井良澤道也・佐藤義晴・菊地昭紀・長谷川達也. 1995. 自然環境を考慮した常水路の檢討事例 -自然營力を活用した生態系にやさしい川づくり-. 新砂防 48(2): 31-34.
13. 小橋澄治. 1994. 砂防事業に關わる環境問題. 環境と調和した砂防事業に關する研究: 58-67.
14. 丸井英明・水山高久. 1994. 環境と調和した砂防事業の基本方針. 環境と調和した砂防事業に關する研究: 68-78.
15. 中村俊六. 1995. 魚道のはなし. 山海堂. 225pp.
16. 中尾忠彦. 1993. 新しい 河岸處理. 土木技術資料 35(8): 20-21.
17. 丹羽薫. 1990. 河川環境講座(その7) -ダムの景觀整備-. 土木技術資料 32(7): 73-79.
18. 水山高久. 1992. 環境を考えた砂防への動きと課題. 地形 13(4): 297-300.
19. 水山高久・中村淳治・阿部彦七. 1994. 階段型魚道を組みこんだ砂防ダムに關する研究. 新砂防 47(4): 39-43.
20. リバ-フロント整備 センタ-. 1994. 川 -日本の水環境・文化の明日を想う-. 山海堂. 128pp.
21. 笹原則之・鹿田良男. 1995. 多自然型護岸工法の提案 -2種の護岸工法による水際の綠化について-. 日本綠化工學會誌 20(4): 274-278.
22. 島谷幸宏・小栗幸雄・萱場祐一. 1993. 中小河川改修が生物生息空間及び魚類相に與えた影響 -鬼怒川支川の田川を例にとって-. 土木技術資料 35(11): 33-38.
23. 清水裕・島谷幸宏・小栗幸雄・神庭治司. 1990a. 河川環境講座(その 5) -河川生態系と河川整備-. 土木技術資料 32(7): 73-79.
24. 清水裕 ・島谷幸宏・小栗幸雄. 1990b. 河川環境講座(その 6) -河川整備と河川環境の保全-. 土木技術資料 32(8): 73-78.
25. 鈴木輿道. 1992. 多自然型河川工法と魚類生息環境の保全. 水利科學 36 (1): 26-68.
26. 鈴木輿道. 1993. 生物にとっての河岸. 土木技術資料 35(8): 47-53.
27. 柳崎剛・日浦啓全・細田豊・万膳英彦・立石耕一・鷲津隆廣. 1995. 砂防施設への魚道設計に關する2・3の提言. 平成7年度砂防學會研究發表會概要集: 123-126.
28. 桀井亨. 1992. 大阪營林局における水環境整備事業の概要. 治山 37(5): 4-10.

국내외 기술정보

식물을 이용한 오염물질 정화

柳 鼎 煥
林業硏究院 山林環境部

1. 머리말

현재 생물을 이용한 환경정화기술로서는 배수처리나 유기물분해 미생물의 개발 등의 많은 연구가 진행되고 있으나, 저 농도 또는 광역적인 오염지역을 정화시키는데 종래의 물리 · 화학적 처리로는 대응이 곤란하기 때문에 생물정화기술(Bioremediation)의 활용이 크게 대두되고 있다.

Bioremediation기술이란 환경오염 가속화 및 광역화 현상을 방지하고 원래의 상태로 환원시키기 위해 미생물, 식물 등 생물의 기능을 직접 도입하여 오염된 환경을 정화 개선하는 기술을 말하며, 최근들어 다른 처리방법에 비해 광역적 적용성과 경제적 효율성이 높고, 회복과정에서의 2차 오염 우려가 없기 때문에 주목을 받고 있다.

본고에서는 Bioremediation기술 중에서도 식물을 이용하여 환경을 개선할 수 있는 식물정화기술(Phytoremediation)의 현황과 금후과제에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 토양오염물질 정화

가.석유오염

석유오염의 복원에는 토양미생물에 의한 정화가 행해져 왔으며, 최근에는 초본이나 목본을 토양오염지역에 재배하므로써 식물과 근권미생물과의 상호작용에 의한 토양과 지하수 오염의 복원이 연구되고 있다. 지금까지 식물뿌리는 근권미생물에 영양분(질소 등)의 공급이 주된 작용인 것으로 알려져 있다. 그러나 포플러, 뽕나무, 사과나무 등은 석유(방향족화합물을 다량포함)에 오염된 토양을 정화시키는데 효과적인 것으로 알려져 있다. 오염된 토양에서 미생물 단독보다는 식물이 공존할때 정화효율이 급격히 높아진다고 한다. 토양중의 오염물질은 점토광물 등에 흡착되어 있으며 오염물질중 생물계가 도달할 수 있는 범위 는 한정되어 있으며, 그 범위를 넓히기 위하여 식물근 자체의 작용과 근권에 있어서 미생물과 식물의 상호작용에 대한 연구가 필요하다.

나. 중금속오염

유채과의 갓 또는 레몬향을 방출하는 제라늄 등은 Cd^{2+}, Pb^{2+}, Ni^{2+} 등의 중금속에 내성이 있고 또한 뿌리로부터 지상부로 흡수하는 능력이 높은 축적종으로 알려져 왔다. T.goesingense는 건중량의 약 1%에 해당하는 니켈을 축적할 수 있다. 이러한 고 축적종은 납이나 방사성원소(^{137}Cs 등)에 오염된 토양 복원에 이용

되는 예도 보고되고 있다. 식물이 왜 중금속에 내성을 가지며 또한 많은 량을 흡수하는 것인가, 그 흡수, 해독, 축적의 메카니즘은 거의 알려져 있지 않으나, 흡수된 중금속이온이 세포내 사과산, 구연산 등과 킬레이트 화합물을 형성하여 액포 내에 저장된다고 한다.

니켈의 다량 축적종인 T.goesingense과 비축적종인 T. arvense를 비교하면, 뿌리에 의한 니켈 흡수에는 양쪽 모두 잘 흡수하지만 후자는 니켈 내성이 없으므로 성장이 억제되어 고사한다. T.goesingense의 세포 내에 흡수된 니켈이온은 세포질에 히스티딘과 복합체를 이루며, 결국 구연산 복합체로 변환된 것이 액포로 이동하여 해독이 된다고 한다.

최근 임업연구원에서는 자작나무류와 포플러류를 이용하여 중금속이나 축산폐수로 오염된 토양을 정화 할 수 있는 품종을 선발중에 있다.

다. 휘발성유기물질 오염

토양에서 물이나 유기화합물을 배출하는 저비용 펌프역활을 하기 때문에 실용적인 식물정화방법중 하나로 대두되고 있다. 폐기물 매립지에 식재된 식물은 빗물을 대기중으로 증산시키므로써 빗물이 폐기물층에 스며들지 않도록 한다. 이상의 방법은 단순하지만 수년 또는 수백년 동안 지하수로의 폐기물 확산을 방지하기에는 가장 값싸고, 장기간 사용 가능한 실용적인 방법으로서 주목을 받고 있다.

MTBE(methyl tertiary butyl ether)는 옥탄가를 높이는 가솔린 첨가물으로서 광법위하게 사용되고 있다. 특히 미국에서는 수용성 MTBE의 지하수 오염이 심각한 문제로 대두되고 있으며, 그에 따라 유카리 등의 식물의 증산에 의해 MTBE를 대기로 방출시키는 연구가 진행되고 있다.

라. 수은이나 세렌 오염

유기수은은 이따이따이병 등의 비극을 발생시킨 물질이기 때문에 유기수은을 금속수은으로 환원시키는 유전자도입식물(백합과)이 보고되고 있다. 대장균에서 유래한 mer A 유전자를 변형하여 식물에서 발현시키면 이 식물의 체내에 흡수된 유기수은이 금속수은으로 환원되며, 이때 무기수은은 비점이 낮으므로 대기중으로 기화된다. 이 같이 유전자 도입기술을 이용하면 식물의 중금속 제거 능력이 약 10배나 높아지는 것으로 알려져 있다.

세렌은 독성이 높은 원소로 북미에서는 세렌의 축적이 커다란 문제가 되고 있다고 전해진다. Indian mastard는 세렌을 무기화하고 대기중으로 기화하는 능력이 있으며, 이때 근권에서의 미생물이 크게 작용하는 것으로 보고되고 있다.

3. 대기오염물질 정화

선진국형 대기오염물질인 질소화합물(NOx = NO+NO_2)의 대부분은 운송시스템(차량의 배기가스)에서 발생한다. 공기중 질소가 연소과정에서 산화되어 NO가 발생한다. NO_2는 적외선에 의해 분해되어 NO와 O가 생성된다.

NO는 오존으로 산화되어 NO_2로 되고, O는 O2와 반응하여 오존이 된다. 이와 같이 오존은 완전한 반응사이클을 가지고 있으나, 휘발성유기탄소화합물(VOC)은 불완전한 사이클을 가지고 있다. 대기중에는 질소산화물과 VOC가 공존하게되며 오존과 PAN 등의 광화학옥시탄트가 축적된다. 이산화질소와 일산화질소는 그 자체로써 사람과 동물에 독성이 있는 것으로 알려져 있으며 오존은 식물의 광합성시스템을 파괴하는 강력한 산화성 물질이다.

식물의 잎 기공을 통해 흡수된 질소화합물은 엽세포내로 환원되여 암모니아가 되고, 그후 유기화되어 아미노산과 단백질 등으로 전환된다. 이산화질소는 물에 용해되어 초산이온과 아질산이온으로 되어 식물의 엽세포내로 흡수된후 뿌리로부터 흡수된 비료 중의 초산이온과 같이 대사(환원동화)되고, 그후 환원/아미노유기화되어 아미노산 등의 구성물질이 된다. 식물은 이산화질소를 질소비료로 이용하는 능력을 가지고 있다. 日本 廣島大學에서 廣島市의 공원에서 채집한 초본과 목본 등 총 217종에 대하여 이산화질소 동화능력을 조사한 결과 포플러, 플라타너스, 유카리 등이 이산화질소 동화능력이 높은 수종으로 조사되었다(표 1). 또한 국화과 식물에는 이산화질소 동화능력이 높은 식물이 많이 포함되어 있으며, 또한 동종내에서도 개체에 따라서 이산화질소 동화능력이 최대 26배나 차이가 있다. 질소산화물의 대사능력 차이에는 여러가지 원인이 있는데, C3 식물과 C4 식물간의 탄소고정연계효소의 활성차이에 의해 질소산화물대사와 초산대사가 식물종간의 다르게 나타난다. 이상의 결과에 근거하면 식물의 배기가스(이산화질소)처리능력에는 무한한 가능성이 있을 것으로 판단된다.

4. 장래의 Phytoremediation과제와 전망

가. 유전자조작과 Phytoremediation

유전자조작은 식물정화의 기술적 혁신을 도모하는 기술이고, 향후 식물을 이용한 환경복원에는 유전자조작 식물이 제외될 수 없을 것이다. 그러나 유전자조작식품과 마찬가지로 국내외적으로 커다란 논쟁이 되고 있다. 환경복원을 위한 유전자도입 식물 역시 환경 중에 노출될 것이므로 우려되는 바이다. 그러나 기존 생태계와의 상호작용에 대한 철저한 기초연구와 함께, 유전자조작에 의한 식물의 오염물질 처리능력의 향상을 고려할 수 있다. 예를 들면 탈할로겐, 중금속내성과 축적/무독화(sequestering)에 관한 유전자와 그 산물의 작용 메카니즘을 해명하면, 환경정화에 유용한 유전자가 개발될 가능성이 높다. 또한 전술한 배기가스(이산화질소)처리능력과 관련된 유전자를 철저히 구명하면 그 유전자도입에 의한 가로수 등의 배기가스 처리능력의 대폭 향상을 기대할 수 있다. 그외에 미생물 또는 동물과 연관된 유전자의 도입 · 개발은 식물의 처리능력 향상에 커다란 가능성을 제시할 수도 있다.

식물이 환경과 접하는 곳은 뿌리와 잎에 있고 식물은 정도의 차이는 이지만, 외생균근균 혹은 내생 균근균과 공생관계에 있다. 따라서

식물의 화학물질 처리능력을 높이기 위해서는 식물에 공생하는 미생물의 능력을 증대시키는 방법과 높은 능력을 갖은 미생물과의 새로운 공생관계를 유도하는 전략도 생각할 수 있다. 예를들면 근권에서 방향족 화합물과 유기염소화합물의 분해에 관여하는 미생물을 분리·동정하여 이 미생물의 유전자 조작에 의해 강력한 근권 미생물을 개발하는 것도 가능하다.

그러나 처리능력이 높은 관련 종을 야생에서 선발하는 것도 실용적인 방법일 것이다.

나. 질소산화물을 선호하는 식물

질소화합물을 유일한 질소원으로서 생육하는, 즉 질소산화물을 선호하는 식물의 육성은 특히 고속도로변과 대도시의 빌딩 벽면의 녹화에 이용될 수 있을 것이다. 식물체내에 도입된 이산화질소 중의 질소는 초산 중의 질소와 같이 환원, 아미노유기화되지만 이산화질소가 자원으로써 식물에 이용되는 것은 몇 가지 해명할 기초적인 문제를 수반하는 것으로 알려져 있으며, 현재 그 해결에 전력을 다하고 있다. 예를들면 뿌리로부터 흡수된 초산태 질소의 40~60%는 초산으로 저장된다. 기타 이산화질소의 질소는 초산으로 남으며, 20~30%는 미동정의 질소화합물로 되고 또한 아산화질소은 식물체내에서 거의 아질산이온형태로 존재한다는 실험결과가 있다. 이산화질소의 미동정 질소화합물은 식물에 독성을 가지는 것으로 생각되고 또한 다량의 아질산이온도 독성이 있어 질소산화물을 선호하는 식물의 육성 에는 기초적인 문제를 하나씩 해결하는 것으로부터 시작되어야 한다. 미동정 질소화합물의 생리작용과 생성기구가 해명되면 그 억제도 가능하다. 또한 아질산이온의 양을 안다면 유전자조작과 최근 개발된 이온빔 照射 등에 의한 자연변이체의 육성에 의해, 아질산이온을 효율적으로 처리하는 식물의 육성도 가능해질 것이다.

다. 질소산화물을 질소가스로 변환하는 식물

미생물에서 초산은 $NO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$의 순으로 이화적으로 환원되고 탈질된다. 이 대사계를 식물에서 발현시키면 질소산화물을 질소와 초산으로 가스 변환하는 식물의 생육이 가능케 된다. 이렇듯 질소산화물 문제는 인간활동에서 생성되는 질소산화물을 식물의 힘으로 질소가스와 초산을 환원 시키므로써 어는 정도 해결될 것으로 보여진다.

$NO_2 \rightarrow NO$의 반응과 $NO \rightarrow N_2O$의 반응을 촉매하는 효소를 각각 異化的 NiR(nitrite reductase) 및 NOR(nitric reductase)라고 한다. 또한 $N_2O \rightarrow N$의 반응을 촉매하는 질소는 N_2OR(nitrous oxide reductase)이라고 한다. 탈질계를 그대로 식물에서 발현된다면 이 효소의 유전자를 정리하여 도입할 필요가 있지만 다른 한편 이들 효소에 전자를 공급하는 전자공여체의 공급 시스템을 확보하는 것도 필요한 조건이다. 또한 이러한 과정에서 효소를 세포내 어느 부분에 발현되는가 중요한 검토과제이다.

이외에는 가령 그런 식물이 만들어졌다고 해도 어떻게 유지하는가에 대해서도 검토해야할

과제이다. 이같이 「질소산화물을 질소와 산소에 가스교환하는 식물」쉽게 말 할수는 있지만 많은 문제에 봉착하지만, 하나씩 하나씩 해결해가면 모두 해결 가능하리라 본다.

식물에 있어서 아산화질소와 일산화질소의 방출생성은 약 10년전부터 연구가 이루어지고 있다. 콩류의 질산환원효소(NR)가 질산을 아질산으로 환원하는 동시에 아질산화질소와 일산화질소로 환원된다. 이 반응계에서의 박테리아의 오염의 가능성은 완전히 배제할 수 없었으나, 최근에 무균배양한 유전자도입식물을 이용하여 식물에 질산이온, 아질산이온, 이산화질소을 주면 이산화질소가 생성되는 것이 증명되었다. 그 반응은 광선에 의존적이어서 환원작용에는 광 에너지가 필수적이다. 이산화질소가스는 오존층을 파괴하는 물질이고, 그 자체는 식물정화의 측면에서는 직접적인 반응을 할 수 없지만 이산화질소 환원효소(N_2OR)의 유전자를 식물에 도입시킬 수 있을 때는 식물은 이산화질소가스를 질소가스로 변환하는 기능을 갖을 것이며, 적어도 이론적으로는 가능하다.

식물에 있어서 질산과 아질산이온으로부터 NR 등의 작용으로 NO가 생성된다고 가정하면 NO로부터 N_2O는 어떻게 만들어질까? 식물도 미생물과 곰팡이와 같이 NO환원효소을 갖을까? NR에 의한 아질산이온으로부터 NO의 생성에는 광이 필요하지 않지만 전술한 바와 같이 광선이 필요하므로 광선의 필요에는 NO로부터 N_2O생성 단계일지도 모른다. 이러한 점은 식물의 질소산화물대사를 고려한 중요한 금후의 연구가 되어야 할 것이다.

라. 환경호로몬을 분해하는 식물

PCB, DDT, 다이옥신 등의 유기염소방향족화합물 혹은 페놀 등의 방향족화합물은 사람의 인체에 유입되면 여성호르몬으로 에스토라디올의 recepter에 결합하여 사람의 내분비계를 혼란시켜, 여성화 등을 야기하는 환경호로몬(내문비교란물질)으로 알려져 있다. 대기, 토양과 상하수도 등 광범위한 환경 중에 방출되고 있는 환경호로몬을 식물효소가 제거, 분해에 커다란 역할을 담당할 것으로 보여진다.

자연계에서 이러한 화학물질의 분해는 극히 늦다. 예를들면 약 70종 정도의 다이옥신 중에 2, 3, 7, 8 테드라다이옥신(TCDD)이 최고 맹독성이지만 목재부후균과 그 중간은 2, 3, 7, 8 TCDD를 분해한다는 보고가 있다. 이러한 균류에서는 리그닌퍼옥시다제(LIP)와 망간퍼옥시다제(MNP) 등 리그닌분해에 관려하는 효소가 다이옥신 등 유기염소화합물의 분해(탈염소반응)에도 관련된다. 또한 호기성 프로테오박테리아(Sphigomonas sp.)의 데록시나아제에 의한 다이옥신의 호기적 분해와 메탄균을 포함된 복합미생물군의 호기적 분해에 의한 다이옥신의 환원적 탈염소 반응도 보고되고 있다.

식물의 다이옥신 분해능의 조사는 그다지 없지만 식물 잎은 다이옥신 오염을 차단하는 강력한 필터의 역할을 한다. 예를 들면 송진을 분비하는 소나무 잎에서는 다량의 다이옥신이 흡착되는 것으로 보고되었다. 상기의 균과 미생물이 가지고 있는 효소유전자를 식물에 도입하는 것보다 다이옥신과 PCB, DDT, DES 등

의 환경호르몬을 분해하는 식물의 분자육종이 가능하다. 또한 담자균과 박테리아의 다이옥신 분해에 관여하는 유용한 유전자를 근균에서 촉진 시킬 수 있는 성전환 식물은 화학물질에 의해 오염된 토양을 복원하는데 크게 기대되는 요소이다.

마. 동 · 식물유래의 탈할로겐효소

PCB분해의 한가지 애로점은 탈염소과정에 있다. 또한 다이옥신도 염소의 수와 위치에 따라 그 독성이 커다란 차이가 있고 이러한 유기염소화합물을 탈염소화하는 탈할로겐효소는 유력한 환경오염 복원유전자이다. 고등식물의 탈할로겐화질소는 색소단백질 P-450 이외에는 그다지 알려져 있지 않다. 이 P-450은 동 · 식물과 미생물 등 식물에 널리 함유된 혐기성 조건하에서 환원적으로 작용한다.

최근 South Carolina대학에서는 벼과의 염기성식물의 배양세포 배양액에서 탈할로겐효소 활성과 방향환 분해활성이 포함된 것이 발견되었고, 이 활성을 가지고 있는 효소단백질을 정제하므로써 양 활성이 동일한 효소단백질에 기인한다는 사실이 밝혀졌다. 생물에서 이러한 활성은 뿌리에서 가장 높다고 하였다. 이러한 효소유전자는 장래에 있어서 PCB와 다이옥신 등의 유기염소 화합물, 환경호르몬의 분해제거하는데 유용한 유전자로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

표 1. 각종 식물에 의한 이산화질소 흡수량 · 목본류

(단위 : mgN/g DW)

종 명	$NO_3^-N^+$	종 명	$NO_3^-N^+$
유우칼리투스(뷔어널리스)	6.57	사철나무	1.56
이태리포플러	5.14	메타세퀘이아	1.56
목련	4.92	물참나무	1.48
아까시나무	4.73	섬쥐똥나무	1.46
유우칼리투스(그로불스)	4.08	졸참나무	1,45
포플러류	3.80	능수버들	1.42
회화나무	3.26	당단풍	1.38
개잎갈나무	3.23	느티나무	1.35
벚나무	2.85	사스레피나무	1.30
꽃아까시나무	2.82	소귀나무	1.16
양골남초	2.76	상수리나무	1.12
플라타너스	2.75	자스민	1.10
치자나무	2.27	금송	1.08
수국	2.27	일본말발도리	1.02
협죽도	2.09	화살나무	1.01
낙우송	1.86	가시나무	0.97
황칠나무	1.62	꽝꽝나무	0.93
눈향나무	1.61	은행나무	0.88

종 명	$NO_3^-N^+$	종 명	$NO_3^-N^+$
죽백	0.88	둥근잎다정큼나무	0.41
소나무	0.84	송이꽃자금우	0.41
계수나무	0.82	곰솔	0.42
먼마무	0.75	가이스까향나무	0.37
홍자단	0.70	독일가문비	0.37
왜철쭉	0.69	빠빠이야	0.37
녹나무	0.67	측백나무	0.28
삼나무	0.66	주목	0.27
조록나무	0.65	개비자나무	0.27
돈나무	0.64	멀꿀	0.26
담팡나무	0.59	은엽코르딜리네	0.26
하이태스커즈	0.59	서양장미	0.23
다정큼나무	0.58	구꽃나무	0.22
왕벚나무	0.57	대만동백	0.21
아왜나무	0.55	수호초	0.19
쥐똥나무	0.53	식나무	0.15
담팔수	0.50	아젤리아	0.14
목서	0.48	향나무	0.12
편백	0.47	야자	0.10
돌참나무	0.47	차나무	0.09
후피향나무	0.41	동백나무	0.04

· 원예류

종 명	$NO_3^-N^+$	종 명	$NO_3^-N^+$
담배	5.72	시졸라멘	1.67
잇꽃	3.41	테일	1.48
국화	3.15	보라지오피키날리스	1.45
매기장대	3.03	옥수수	1.45
로베지	3.02	마아거리트	0.96
인버첸스	2.80	메릿사오피키날리스	0.92
페츄니아	2.72	마리티마	0.81
스톡크	2.70	매일초	0.80
코스모스	2.63	스킨다브스	0.77
가모마일	2.26	줄모초	0.76
페퍼민트	2.17	라벤다	0.76
보리	2.08	파셀리	0.71
벼	1.85	다알리야	0.66
에펜쯔스	1.76	삼색제비꽃	0.64

종 명	$NO_3^-N^+$	종 명	$NO_3^-N^+$
란브란쯔스	0.63	수선	0.24
꽃양배추	0.58	만녕청	0.22
트레니휠리어리	0.40	엽란	0.14
천일홍	0.36	데이판바키아	0.13
나팔꽃	0.35	크리스마스가구	0.13
둥근배압차즈기	0.37	게미니플로라	0.12
봉선화	0.35	춘란	0.44
은방울꽃	0.28		

· 초본류

종 명	$NO_3^-N^+$	종 명	$NO_3^-N^+$
미국좀도깨비바늘	2.98	며누리배꼽	1.34
왕고들빼기	2.96	질경이	1.30
겹달맞이꽃	2.77	닭의장풀	1.17
좀개비취	2.73	띠	0.94
쑥	2.53	토끼풀	0.87
참질경이	2.24	수크령	0.86
명아주	2.24	들원추리	0.75
냉이	2.10	개금나무	0.73
방가지똥	2.10	매듭풀	0.68
한련초	1.95	새또아풀	0.67
별꽃	1.80	돌피	0.65
큰방가지똥	1.71	민들레	0.63
망초류	1.64	엽주	0.63
개쑥갓	1.60	까실쑥부쟁이	0.63
파대가리	1.57	바랭이	0.46
개비름	1.55	억새	0.46
수영	1.53	미역취	0.26
애기수영	1.46	쇠비름	0.25
떡쑥	1.36		

참고자료

1. 국립환경연구원. 1999. 21세기 토양환경관리를 위한 발전 방향. '99 세계환경의 날 기념 국제세미나자료집. 219pp

2. 윤양. 2000. 임목을 이용한 토양오염물질 정화. 임업정보 109 : 11-14.

국내외 기술정보

산림유역의 물순환과 유역시험 결과

김 경 하
임업연구원 농학박사

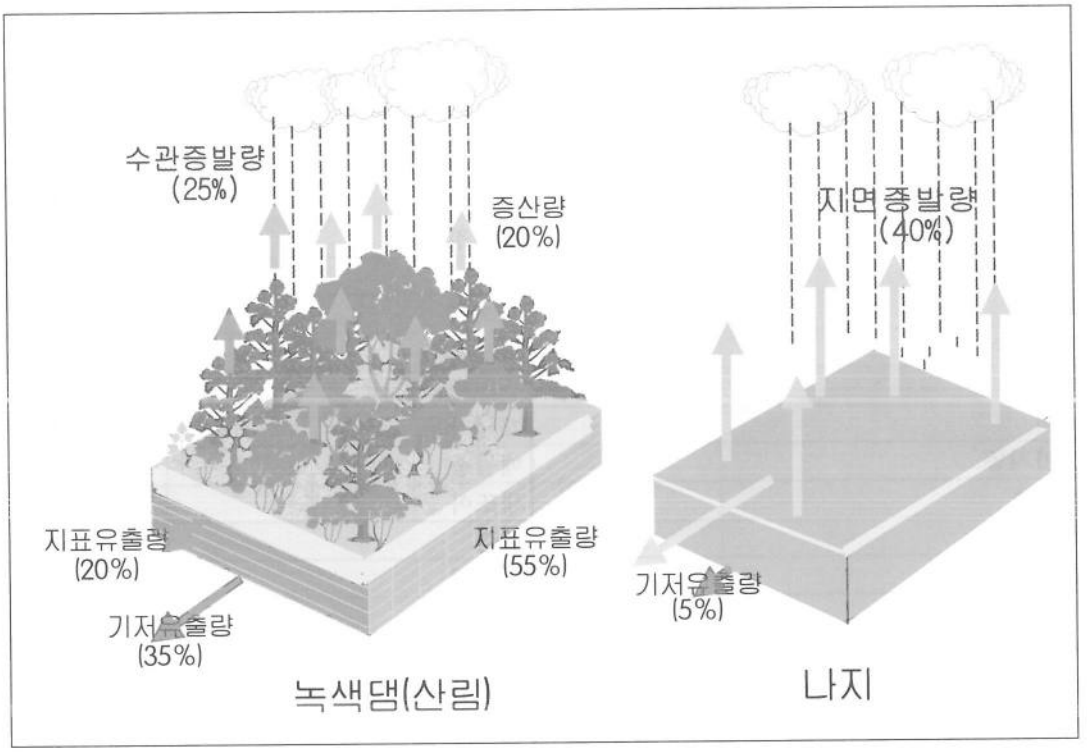


그림 1. 산림지와 나지의 물순환

1. 산림유역의 물순환 과정

가. 수관차단손실

수관차단손실(canopy interception loss)은 비가 나무의 잎이나 가지 또는 낙엽낙지에 일시적으로 저류되었다가 토양속으로 흡수되지 못하고 대기 중으로 증발되는 과정을 말한다. 식생에 의해 차단된 물은 대부분 표면에서 증발하며 아주 드물게 차단된 물의 일부가 식물조직에 흡수되기도 한다. 차단 과정을 구성하는 요인은 수관저류(樹冠貯留, canopy storage), 수관통과우(樹冠通過雨, throughfall of rainfall), 수간류(樹幹流, stemflow) 및 임상차단(林床遮斷, litterfall interception)이다.

수관저류능(樹冠貯留能, canopy storage capacity)은 수관 표면이 포화하는데 필요한 최소의 강우량이다. 수관저류능은 차단과정에서 가장 중요한 요인이며 엽면적지수(葉面積指數, leaf area index), 강우강도(降雨强度, rainfall intensity), 엽표면의 성질과 밀접한 관계가 있으며, 또한 수종에 따라 다르다. 소나무의 수관저류능은 0.8mm정도이며, 너도밤나무의 경우 겨울에는 1.2mm, 여름에는 1.5 mm라는 보고가 있다. 참나무 16년생은 0.6 mm, 소나무 26년생은 1.5mm, 그리고 잣나무와 전나무 인공림은 3.2mm, 활엽수 장령림은 2.5mm가 조사되었다. 수관통과우는 수관을 통과하여 떨어지는 강우량으로 나무의 잎과 가지를 거치지 않고 바로 지면에 떨어지는 직접통과우량(直接通過雨量, free throughfall)과 수관부에 저류되었다가 떨어지는 적하우량(滴下雨量, drip)으로 구분한다. 수간류는 차단된 강우가 수간을 따라 내려오는 것을 말한다. 임상차단량은 소나무림에서 약 5%, 활엽수림에서 약 3%이다.

사진 1은 임업연구원 광릉 유역시험지 내에 설치된 수관차단손실량 측정시설이다. 수관통과우량은 수관 바로 밑에 집수통을 설치하여 측정하고, 수간유하량(樹幹流下量)은 수간의 가슴높이에 집수기를 설치하여 측정한다. 수관차단수량은 임외에서 측정한 총강우량에서 수관통과우량과 수간유하량을 합친 임내우량을 뺀 값이다. 차단과정에 영향을 미치는 요인은 크게 식생요인(植生要因)과 기상요인(氣象要因)



사진 1. 수관차단손실량 측정시설(경기도 광릉시험림)

으로 구분한다.

식생요인은 ① 식생의 총 표면적(수관밀도, 엽면적지수, 낙엽낙지량 등)과 엽면적의 계절 변화 ② 엽 표면의 성질 ③ 가지와 수간의 배열 등이다. 기상요인은 ① 강우빈도와 간격 ② 강우강도와 지속기간 ③ 풍속 등이다.

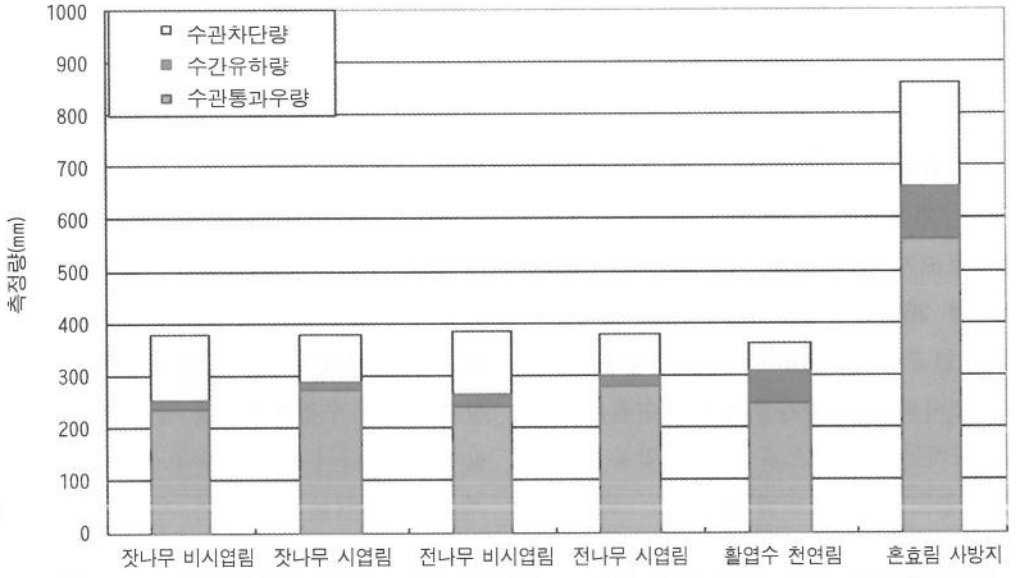


그림 2. 수종 및 시업별 임내우 배분

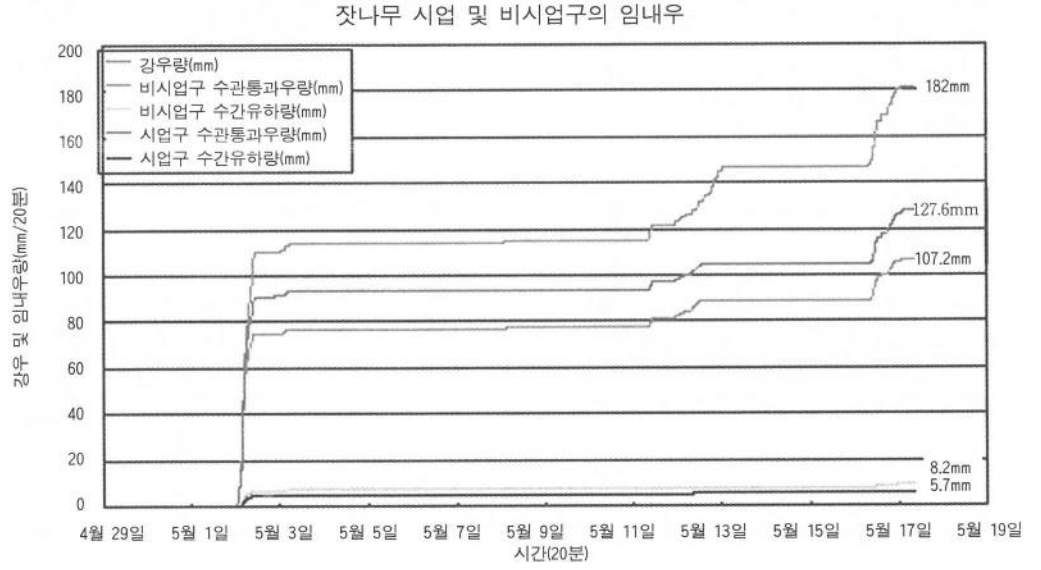


그림 3. 침엽수인공림의 임내우 배분 과정(광릉시험림)

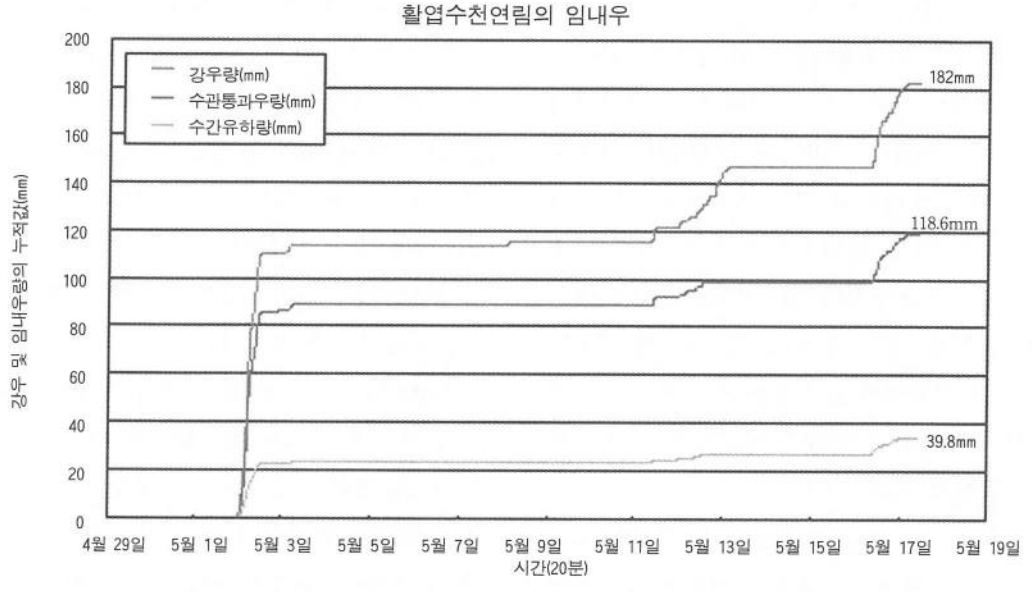


그림 4. 활엽수천연림의 임내우 배분 과정(광릉시험림)

그림 2는 광릉과 양주시험지에서 측정한 수종 및 시업별 임내우 배분 상황이다. 침엽수인 잣나무와 전나무의 경우 간벌 및 가지치기 시업을 한 임분이 하지 않은 임분에 비해 수관차단손실량이 현저히 줄었다. 침엽수림의 경우 시업을 통해 수관차단손실량을 36%까지 감소시킬 수 있으므로 그 만큼 가용수자원량을 증대시키는 시업효과를 기대할 수 있다.

그림 3과 4는 광릉 침엽수림과 활엽수림의 수관통과우 및 수간유하수의 배분과정을 20분 단위로 측정한 결과이다. 활엽수림(18.1%)의 경우 침엽수림(5.1%)에 비해 직경이 크고 수피가 매끄럽기 때문에 총 임내우 중 수간유하수가 차지하는 비율이 더 높았다. 이는 수종이나 임분구조에 따라서 산림 내의 강수배분 구조가 달라지므로 수문환경이 달라질 수 있다는 것을 시사한다.

나. 증산

증산은 살아있는 식물체의 기공을 통하여 물이 증발하는 것이다. 증산 작용은 차단 손실이 발생하는 동안에는 크게 감소한다. 뿌리에서 흡수된 물은 목질부를 구성하는 세포와 도관을 통하여 기공까지 이동한다. 증산은 생물학적 반응이 아니라 물리적 반응이다. 잎의 표피세포는 키틴층으로 덮여 있으며 잎의 앞면이 뒷면보다 더 두껍다. 증산은 주로 기공을 통해 발생하며 표피를 통해서도 전체 증산량의 2-3%가 발생한다. 책상조직과 유연조직 세포 주변의 물은 태양열이 공급되면 기공을 통해 증발하며 바람에 의해 대기 중으로 확산된다. 기공을 통한 증발은 중력과 반대 방향의 흡인력을 만들어 토양수분이 세근의 세포벽을 통해 흡수되도록 한다.

증산현상은 수목이 이용할 수 있는 토양수분의

양에 의해 제한을 받는다. 학자에 따라서는 토양수분이 위조점(萎凋點, wilting point)에 도달할 때까지 증산은 가용수분의 양과 관계없이 발생한다고 주장하는 반면에 증산율은 가용수분에 대략 비례한다고 믿는 학자들도 있다. 강우 종료 후 과잉 중력수가 지하로 침투한 후 토양수가 포장용수량(圃場容水量, field capacity)보다 많을 경우 수목에 해로운 영향을 미치게 되나 위조점과 포장용수량 사이의 토양에 있어서의 증산은 함수량과 비교적 관계가 없다는 것이 현재 지배적이다.

증산량을 측정하는 방법은 ① 일정한 용기에 나무를 식재한 후 무게의 변화를 측정하거나 ② 실험구에서 토양수분의 변화를 측정하는 방법, ③ 수액 측정기를 이용하는 방법 등이 있다. 산림 유역의 증산량은 독립적으로 측정하기 어렵고 식 1과 같이 물수지의 구성 요소를 측정하여 추정할 수 있다.

$$Et = Pg - Q - It - \Delta S \cdots\cdots(1)$$

식에서 Et는 증산량(mm), Pg는 강수량(mm), Q는 유출량(mm), It는 차단손실량(mm), ΔS는 토양내 수분 저류량의 변화량(mm)이다.

실제 증발산량을 추정할 수 있는 식은 여러 가지가 있지만 가장 일반적으로 사용하는 것은 Penman-Monteith식이 있다. Penman-Monteith式은 미기상학적으로 열수지에 기초를 두고 있는데, 열수지의 주요인자로서 순복사량, 잠열, 현열, 그리고 지표면에 저장된 열로 표시할 수 있다. 이들 각 인자는 항상 균형을 유지하고 있기 때문에 전체적으로 더한 값은 0이다. 또한 지표면에서 대기로 이동하는 熱에너지와 수증기는 Newton의 법칙을 이용하여 와도확산방정식(와도擴散方程式, eddy diffusion equation)으로 나타낼 수 있으며 이 방정식을 지표면에서 높이 h까지 적분하여 풀면 Penman의 기본식이 된다.

Penman의 기본식은 자유수면에서 물의 증발을 표현한 식으로 바람함수를 단지 수면으로부터 2m 높이의 풍속을 적용하였으나, Monteith(1981)는 일정한 높이의 임목에서 증발산량을 추정할 수 있도록 이론적인 바람함수를 공기동력학적 저항과 수관저항의 개념을 도입하여 Penman-Monteith式을 만들었다.

$$Ep = \frac{\Delta R_N + \rho cp(VDEP)/r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_s/r_a)} \cdots\cdots(2)$$

식에서 Ep는 잠재증발산량, Δ는 포화증기압 곡선상의 기울기, R_N는 순복사에너지, ρ는 공기의 밀도, cp는 일정한 압력하에서의 공기의 비열, VDEP는 포화미흡량 r_a와 r_s는 각각 공기동력학적 저항과 수관저항, γ는 습도계상수이다.

다. 강우의 침투과정

1) 침투의 개념

임지면에 도달한 빗물이나 융설수의 대부분은 토양 공극을 통해 토층 중에 스며든다. 물이 지표면에서 토층중으로 스며드는 것을 침투

표 1. 지피상태별 침투능의 비교 (只木良也 吉良龍夫, 1983)

(단위: mm/hr)

침투능	지피상태					
	침엽수임지	활엽수임지	벌채적지	초지	붕괴지	보도
평균	246	272	160	191	99	11
범위	104-387	87-395	15-289	22-193	24-281	2-29

(浸透, infiltration), 침투된 물의 토층 내 이동을 협의로 투수(透水, percolation)라 한다.

임지사면에 있어서 어느 시간 내의 침투수량은 그 시간내의 강우량과 지표유출수량의 차로서 구해지는데, 단위면적당 단위시간내의 침투수량을 침투강도(浸透强度, infiltration rate)라 하며 단위는 통상 mm/hr(mm/min)를 사용한다. 지중에 있어서 임의의 한 단면을 단위시간당 통과하는 수량을 투수강도라 하며, 일정한 범위의 토양에서 그 최대치를 투수능(透水能, percolation capacity)이라 한다. 따라서 지표상태가 일정한 경우 그곳에서 일어날 수 있는 침투강도는 투수강도의 지배를 받는다. 어느 토양에 있어서 침투강도의 최대치를 그 토양의 침투능(浸透能, infiltration capacity)이라 하며, 단순히 침투능이라 부르는 것은 최종 침투능을 의미한다. 임지에서 강우강도가 침투능보다 크게 되면 이론적으로 지표유출수가 발생한다. 임지의 지피상태별(地被狀態別)로 침투능을 측정한 한가지 예를 표 1에 나타내었다.

침투능은 토양이 건조해 있는 강우초기에 크고, 강우계속시간이 길어짐에 따라 점점 낮아진다. 그 원인은 토양중의 모관수분량이 점차 증가해 오면 점성토의 팽윤에 의해서 공극구조가 변화하는 것과 공기가 토양중에 봉입(封入)되어 물의 흐름을 방해하는 것을 들 수 있다. 산림지의 지피상태에 따른 침투능에는 뚜렷한 차이가 있으며, 산림지에서 기타 토지보다 침투능이 크다. 그러나 침투능의 값은 급수되는 강우강도, 지질 및 지형조건, 토양표면의 구조적 성질, 토양의 투수성, 계절 등에 따라 차이가 나타나므로 어느 토지의 일반적인 침투능을 측정하는 것은 매우 어렵다.

어느 경사지의 일정구역에 비교적 규모가 큰 일정 강우강도의 강우가 장시간 계속되면 침투강도는 초기에 매우 크지만 단시간에 감소하여 곧 완만한 저감상태(低減狀態)로 되고 이어서 거의 일정한 값에 접근한다.

양호한 산림상태의 임지에 도달한 강수는 낙엽층에 완충된 후 토양표층에 도달하여 A_1층으로 침투한다. 토양공극(土壤孔隙)은 공극경이 작을수록 흡습성이 강해서 토양중의 물은 공극경이 작은 것부터 큰 공극으로 순차 충족되어 가며, 반면 공극간의 물의 이동속도는 공극경이 작은 부분일수록 늦다. 토양중의 물은 공극의 크기에 따라 여러 가지 특징있는 움직임을 나타낸다.

2. 물순환 과정에서 산림의 역할

물순환 과정에 있어서 산림 생태계의 역할을 산림 수문학의 입장에서 정리하면 다음과 같다.

산림은 증산 작용에 의해 지표면의 열환경을 완화하기 때문에, 산림의 대규모적인 소실은 지표의 열환경을 국소적으로 변화시킬 뿐만 아니라 대량의 증산량의 감소를 통해서 광범위한 지역의 물순환을 변화시킬 염려가 있다. 산림은 물질 생산을 수행하고 동시에 물질순환(物質循環, matter cycle)에 깊게 관여하고 있다. 이 물질 순환의 과정에서 산림 토양이 형성된다. 이 산림 토양과 산림의 유무는 지표 주변의 강우 유출 경로를 결정하고 홍수나 갈수에 크게 영향을 미치며, 또한 하천의 토사 함유량과 수질 형성에 큰 영향을 준다. 강우 유출 경로는 지표의 침식 형태를 결정하고 침식량에 현저한 차이를 초래한다. 나지는 표면 침식을, 산림지는 붕괴형 침식을 발생시킨다.

또한 산림 식생은 다음과 같은 다양한 역할을 한다.

① 산림식생은 토양침식(soil erosion)을 저지한다. 산림 벌채와 토지 이용이 달라지면 홍수시에 산림의 주요 역할이 반감된다. 침식된 도로와 수로에서 생긴 침식토양은 하상을 높이고 홍수 피해를 증가시킨다. 토사와 유목(流木)은 범람원과 저수지에 쌓여 피해를 준다. 나무의 뿌리는 경사지에서도 토양을 결집하므로 중력 침식을 막는데 도움이 된다.

② 산림은 수원함양효과가 있다. 산림에서의 증발산량은 다른 식생보다 크기 때문에 산림 토양은 봄, 가을에 좀 더 건조하다. 이 때 비가 내리면 토양내에 저류되는 물의 양이 많아진다. 이 경우 산림 지대에서의 직접유출량이 적어지기 때문에 하류에서의 홍수유량(洪水流量, flood discharge)은 감소된다. 이와는 다르게 산림을 벌채하면 유량이 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나 토목적 관점에서 산림에 의한 부가적인 저류는 없다고 할 수 있다. 가장 큰 홍수는 산림 식생의 유무에 관계없이 토양 수분이 가득 차 있을 때 오기 때문이다.

③ 산림식생이 있으면 침투능이 증가한다. 산불이 반복되어 발생하거나, 경작 토지를 잘못 관리하여 산림 식생이 제거되면 침투능이 감소되어 홍수유량이 증가한다. 침투능은 임목 제거 후 토양의 공극이 줄어들기 때문에 감소한다. 산림 식생의 유무가 어느 정도까지 영향을 미치며 홍수유량을 감소시키는지는 지역에 따라 다르다.

산림지역에서도 강우가 연속적으로 많이 내리면 직접유출량이 크게 증가하지만 산림식생은 자연적인 수질을 보전하고 침식과 침전물을 감소시켜 현지와 하류의 홍수피해가 어느 정도 경감된다. 토지이용에 따른 직접유출량, 홍수유량의 변화는 토심(土深), 토성(土性)등의 토양 특성에 의한 것보다는 작다. 산림 작업 체계에 의하여 홍수유출이 크게 증가하지는 않으나 임도 계획이 잘못되거나 수로망이 잘못되면 홍수피해가 심할 수 있다. 환경 보전론자나 임업인은 산림이 홍수를 억제하는 효과가 크다고 믿고 있으나, 극단적으로 큰 홍수에는 토지 이용이나 산림 식생 조건의 영향은 그렇게 크지 않다.

3. 산림유역시험

산림유역시험(山林流域試驗, forest watersh-

ed experiment)은 집수유역단위로 강수량과 유출량을 계측하여 산림이 수문순환에 미치는 영향을 밝히는 시험이다. 그림 5는 현재 임업연구원 산림수자원연구실에서 운용하고 있는 전국 13개소의 산림유역시험지 분포도이다.

최근에는 증발산량을 추정하기 위하여 태양에너지, 풍속 등의 기상 요소를 계측하기도 한다. 산림유역시험에서는 강수량의 연간 변동과 유출량의 시간적 변동량을 계측하기 위하여 자기우량계 및 자기수위계를 이용한다. 유출량의 관측은 일반적으로 수위를 이용하는 방법과 유속을 이용하는 방법이 있다. 수위법(水位法)은 장기적으로 시계열적인 유량의 파악을 위해 적당하며, 유속법(流速法)은 어느 일정 시각의 유량을 파악하는데 이용되며 주로 회전식 유속계를 사용하여 하천단면의 평균유속을 구하여 유출수량을 산정하고 있다. 수위법은 하천을 횡단하여 시설물을 설치하는 경우와 자연의 하천단면을 그대로 이용하는 경우가 있다. 산림유역에서는 주로 위어(weir) 시설을 이용하여 수위를 관측한다. 계류내에 물의 흐름을 횡단해서 벽을 만들고 그 위로 물이 월류(越流)하도록 한 시설을 위어라 하며, 월류 부분의 폭이 수로폭보다 좁은 것을 특히 노치(notch)라 한다. 사진 2는 임업연구원 광릉 유역시험지의 V-노치 위어시설이다.

산림에서 물 이동량의 계산, 즉 물수지(물收支, water balance, water budget)를 구하는 것은 산림유역의 대표적인 시험의 하나이다. 산림 유역에 내리는 강수(P)를 계측하고 유역

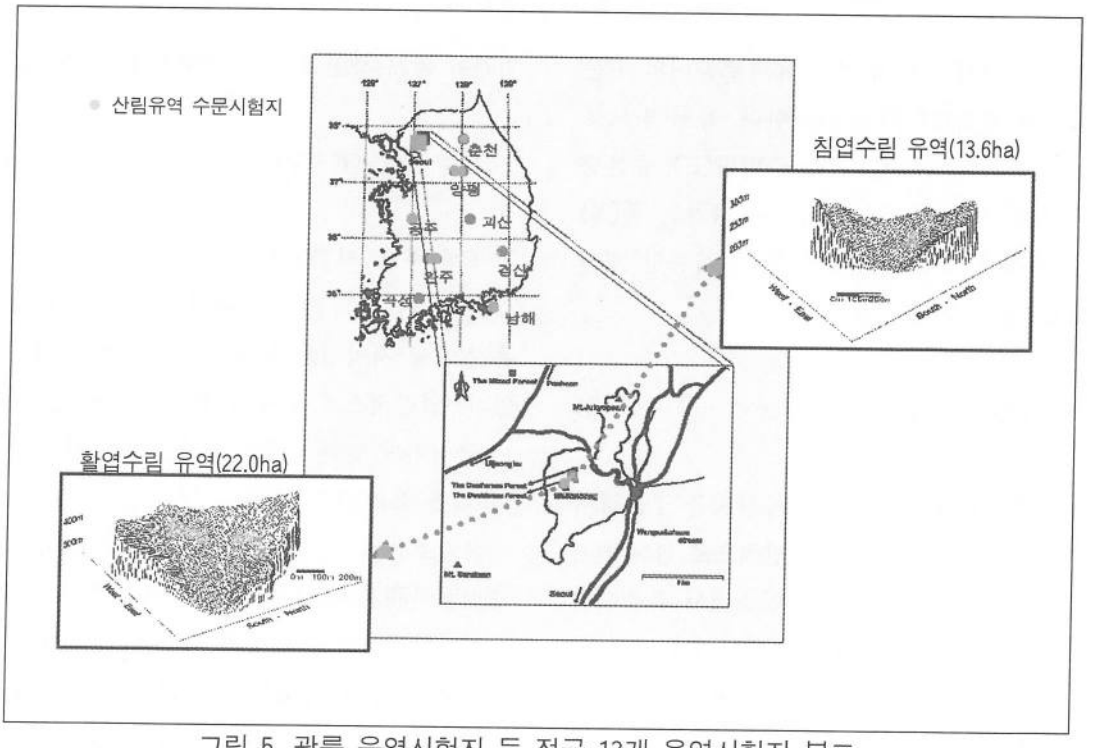


그림 5. 광릉 유역시험지 등 전국 13개 유역시험지 분포



사진 2. 산림유역 유출량 측정시설(경기도 광릉시험림)

으로부터 나가는 물의 양과 유역토양내의 수분 저류량의 변화량(S)를 고려한다. 유역 밖으로 나가는 물은 유출수량(RO), 증발량(E), 증산량(T), 심층 지하수로 유역 밖으로 나가는 물(X)로 구분한다. 임의 기간중의 물의 이동량 계산은 식 3에 의한다.

$$P=RO+E+T+X+\Delta S \cdots\cdots(3)$$

산림유역에서는 증발량과 증산량을 구분하여 측정하는 것은 어려우므로 일반적으로 합산한다. 심층 지하수의 유출이 없는 장소에서 유출수량을 계측하고 토양수분량의 변동이 없는 임의의 기간을 정하면 식 2-2와 같이 간략화 된다. 기간을 1년 단위로 하면 연간 물수지를, 그리고 기간을 짧게 하면 단기간 물수지를 알 수 있다.

$$P= RO+(E+T) \cdots\cdots(4)$$

세계 주요 시험지의 연간 물수지는 표 2와 같으며, 이 결과는 산림유역시험에 의하여 얻은 것으로 지역별로 특이한 물수지를 나타내고 있다. 일반적으로 강수에 따라 유출수량이 매년 극심하게 달라지지만 증발산량은 지역 특유의 값을 유지하고 있다.

산림소유역 유출수량 관측시험(山林小流域流出水量觀測試驗)은 시험에 이용하는 유역의 수와 산림의 처리 방법에 따라 단독법(單獨法, single area method), 병행법(竝行法, parallel area method), 대조유역법(對照流域法, contr-

표 2. 세계 주요 시험 유역의 연간 물수지

유 역 명	시험 기관	통계기간	P = RO + (E+T)
부연	일본임시	1940-1950	2520 =1930 + 590
애지	동경대학	1932-1961	1850 = 960 + 890
Coweeta	미국농무성	1936-1943	1860 = 970 + 890
Emmental	스위스임시	1915-1927	1610 = 910 + 700
용구산	일본임시	1937-1943	1150 = 310 + 840
Wagon Wheel Gap	미국기상청	1919-1926	530 = 190 + 340
광릉	한국임업연구원	1979-1988	1334 = 826 + 508

ol area method)으로 구분한다. 단독법은 1개의 유역에서 장기간 관측하면서 임상이 변해가는 정도에 따라 유출량이 어떻게 변화해 나가는가를 파악한다. 단독법은 시험 기간이 장기간 소요되는 단점이 있다. 병행법은 여러개의 임상이 다른 유역의 관측치를 비교하는 방법이다. 병행법은 단기간에 임상별(林相別) 유출수량의 차이를 얻을 수 있으나 강수량의 연간 변이 등 임상 외적인 요인들이 유출수량에 미치는 영향을 분리하는 것이 어려운 때가 많다. 대조유역법은 유역면적의 크기 등 지형적인 조건이 비슷한 경우에 5년 정도의 전기 관측기간에 자료를 수집하고 대조되는 유역의 상호 관련성을 파악한다. 이후 벌채 등 처리를 한 후의 유출변동량을 비교한다. 대조유역법은 강수의 변동에 의한 영향이 배제되고 처리에 의한 영향만이 유출수량에 영향을 미치게 된다.

가. 임상별 유출변화

그림 6은 경기도 광릉시험림에 소재한 활엽

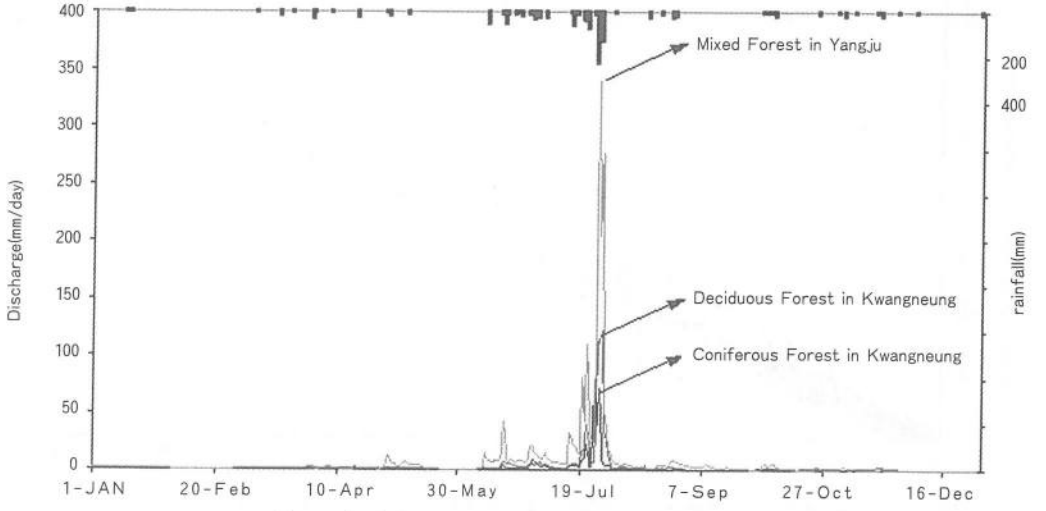


그림 6. 임상별 강우-수문곡선(광릉 및 양주시험지)

수천연림과 침엽수인공림 및 양주의 사방시공지 혼효림에 대한 1996년 1년간의 강우-수문곡선이다. 강우에 대한 연간 총유출률은 산림상태가 불량한 양주 혼효림에서 가장 높았고, 그 다음으로 활엽수림과 침엽수림 순으로 나타났다. 양주 혼효림의 유출률이 높은 것은 수목에 의한 차단손실 및 증산량이 적고 토양의 저류용량이 작아서 강우시 대부분이 바로 유출되기 때문이다. 반면에 침엽수림은 수관차단손실량이 상대적으로 많고 증산도 연중 계속해서 발생하므로 유출률이 가장 낮게 나타났다. 따라서 산림유역의 수자원을 보전, 증진하기 위해서는 침엽수인공림의 경우 강도의 간벌과 가지치기를 통하여 적정한 임목밀도를 유지하는 것이 필요하다.

나. 광릉 침엽수림의 간벌, 가지치기 후 유출변화

光陵 針葉樹林 流域은 1976년 조림된 이후 施業이 실시되지 않아 높은 林木密度 때문에 다른 유역에 비해 流出率이 현저히 낮다. 그림 4는 闊葉樹林과 針葉樹林의 日流出量을 비교한 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 평균적으로 光陵針葉樹林의 流出量은 光陵闊葉樹林의 약 83.7%에 불과하며 대부분의 日流出量이 闊葉樹林보다 적다.

施業에 따른 水源涵養機能 증대효과를 조사하기 위하여 光陵 針葉樹林 流域에 간벌 및 가지치기를 '96년 2월부터 7월까지 잣나무4.0ha, 전나무1.5ha 에 대하여 실시 하고 나뭇가지등 시업산물을 地表水 流速減殺 및 流出土砂를 차단하기 위하여 等高線 방향으로 정리 하였다.

그림 8은 간벌, 가지치기 등 시업 전후 침엽수림의 갈수기 유출량 변화이다. 시업 후의 갈수기 유출량이 시업 전보다 증가하였다. 이 효과는 간벌, 가지치기 후 차단손실 및 증산량의

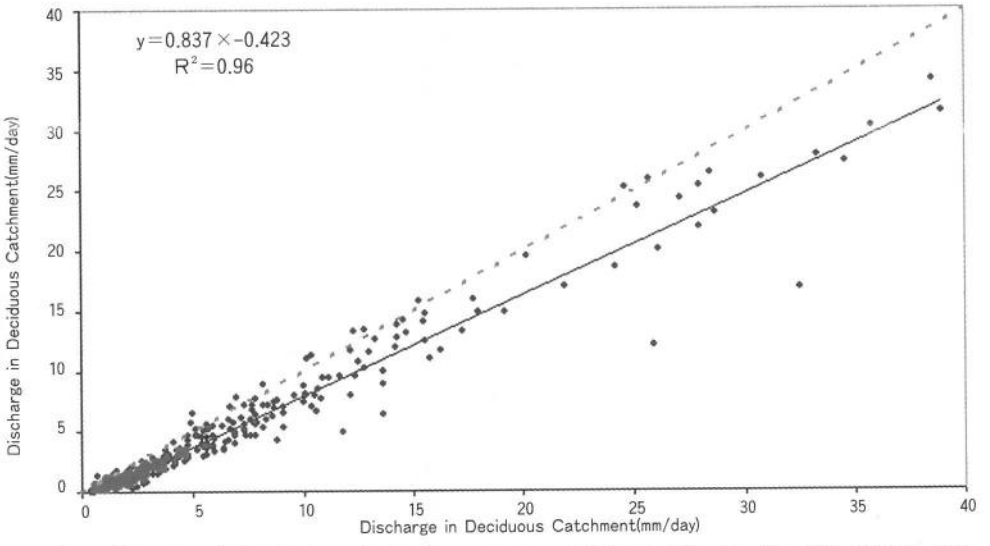


Fig. Relationship of Daily Discharge in Coniferous Deciduous Catchment for 4yrs, May, 1985 to Sept., 1988.

그림 7. 광릉 활엽수림과 침엽수림의 일유출량 관계

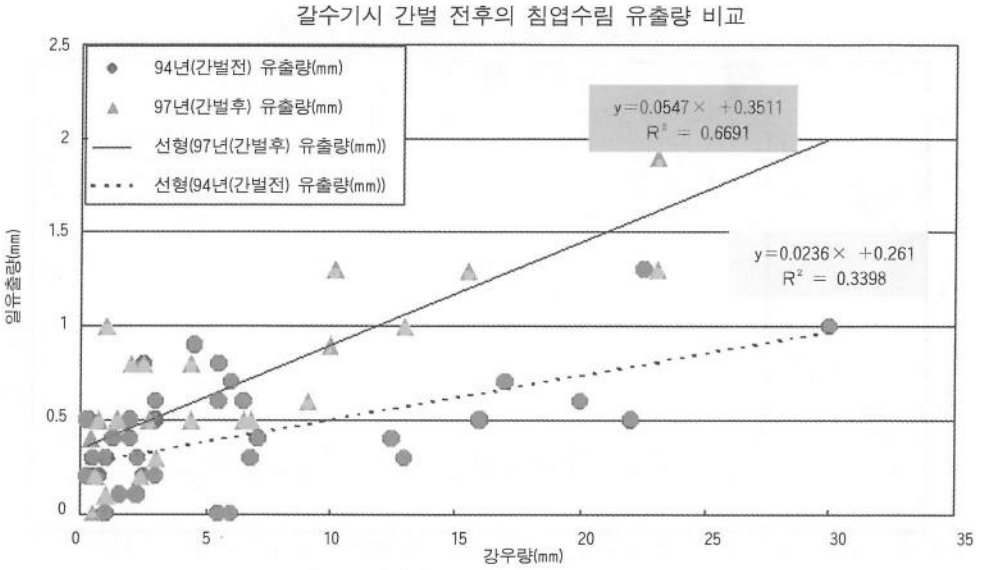


그림 8. 침엽수림의 시업 전후 유출량 변화

감소에 의해 나타난 것이다.

다. 楊州 混淆林의 개벌 후 유출변화

楊州 混淆林 2號流域(1.01ha)은 개벌 후 流出量 및 流出水의 수질 변화를 조사하기 위하여 7월 4일 벌채 후 수간, 나뭇가지등 施業産物을 유역 밖으로 搬出하였다.

그림 9는 無處理區인 楊州 混淆林 1號區와 皆伐處理한 2號區의 일유출량 차이를 나타낸 것이다. 개벌하기 전의 유출량 차이는 매우 적었으나 7월 4일 이후 차이가 급격히 증가하였다. 특히 7월 25일부터 27일까지 약 400mm의

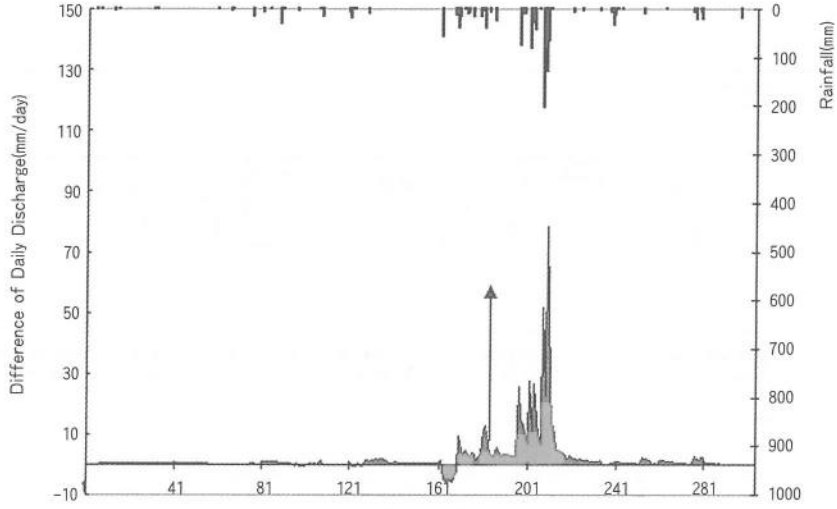


그림 9. 양주 혼효림 1호구와 2호구 유역의 일유출량 차이

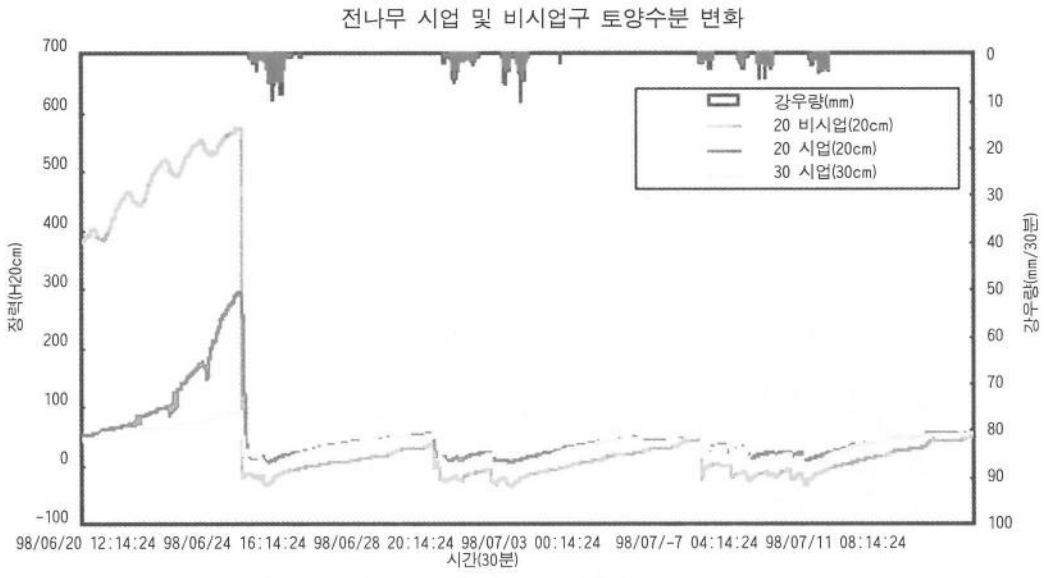


그림 10. 전나무림의 시업 및 비시업림의 토양수분장력 변화

集中 豪雨時 流出量의 차이가 최대 78.3mm로 나타났다.

라. 전나무림의 토양수분 변화

그림 10은 전나무 시업 및 비시업림 표토의

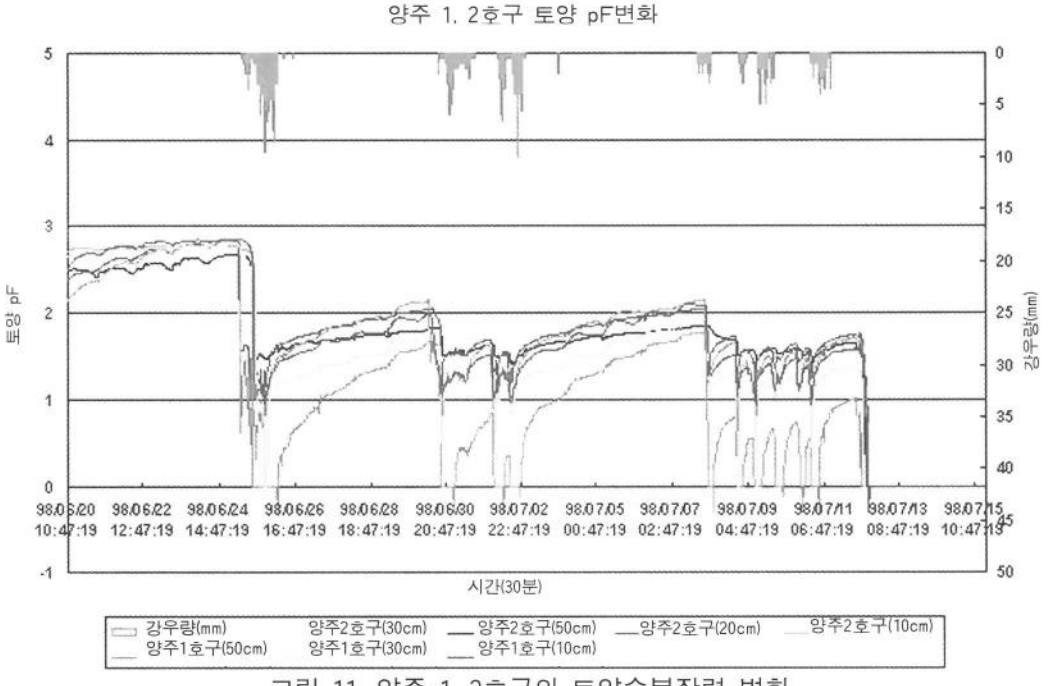


그림 11. 양주 1, 2호구의 토양수분장력 변화

토양수분장력 변화이다. 5월 20일부터 6월 24일까지 강우가 없었기 때문에 비시업림과 시업림간의 토양수분장력이 큰 차이를 보였다. 이는 비시업림의 임목밀도가 상대적으로 높아 수목에 의한 증산량이 시업림보다 많기 때문에 나타난 결과이다.

마. 양주 개벌지(2호구)와 산림지(1호구)의 토양수분 변화

그림 11은 양주 1, 2호구의 토양깊이별 수분장력 변화이다. 산림지인 양주 1호구의 50cm 깊이에서 토양수분장력의 변화가 가장 크림난 반면 개벌지인 2호구에서는 변화 폭이 작았다. 이는 개벌지의 토양조건이 나빠 강우시 대부분 지표를 통해 빠져 나가기 때문에 나타난 결과이다.



국내외 기술정보

국내의 흰개미 분포 및 피해

姜 昌 浩
임업연구원

1. 머 리 말

숲속에서 쓰러진 나무나 벌목후의 그루터기에서, 땅과 접촉하고 있는 지주목 등에서 흰개미와 접할 기회가 많이 있을 것이다. 흰개미는 개미와 유사하지만 불완전 변태를 하며 바퀴벌레에 가깝다.

흰개미는 사회적 생활을 하는 곤충으로 집단생활을 하며, 같은 종끼리 복수 개체가 공동으로 어린 유충을 양육하고, 생식계급과 비생식계급이 있으며 어미세대와 세끼세대의 성충이 공존하는 것으로 알려져 있다.

흰개미는 전세계에 2,400~2,500여종이 알려져 있으며 열대와 아열대에 많고, 7과로 분류되고 있다. 우리나라에는 현재 1과 2속 2종이 분포하는 것으로 추정되며, 일본흰개미(Reticulitermes speratus Klobe)의 존재는 전국 각지에서 확인되고 있으나, 집흰개미(Coptotermes formosanus Shiraki)는 남부지역에서 그 食痕이 발견되고 있어 국내에서 그 귀추가 주목되고 있다.

2. 연구내용

가. 흰개미의 생태

(1) 일본흰개미

땅속에서 수분이나 먹이를 얻는 등 주생활의 근원이 땅속인 지하이다. 일반적으로 땅속에 소(巢)를 갖고 있고, 의도(蟻道)의 선단에서 주변의 목재를 가해한다. 분포는 북위 45°부근(북해도, 프랑스중부, 미국 오대호 및 유럽 남부지역에 분포한다. 비교적 추운 지역에서도 잘 견디며, 야외에서는 1월 평균 등온선이 -4℃와 그 부방한계선이 일치하는 것으로 나타나 있다. 국내에서는 물론 휴전선 이남 전역에 분포한다.

집흰개미에 비해 추위에 강하지만 건조에는 약하며, 5℃에서부터 활동하기 시작하고, 12℃에서 활발하게 활동하지만 겨울이 되면 땅속으로 이동한다. 항상 습한 목재에만 생육하고 있고 건축물에서는 토대, 기둥, 마루틀재, 마루판 등의 하부재를 수평으로 가해하는 경우가 많다. 건축물 상부의 건조된 목재는 가해하는 경우가 드물지만, 낙수물통 주변, 급수관의 주변, 이슬이 자주 생기는 창고 등에 피해를 끼친다.

흰개미는 빛이나 바람을 싫어하기 때문에 사람의 눈에 띄지 않는 곳에서 활동하며, 밝은 곳에 나타나는 일은 거의 없다. 땅속이나 기초 콘크리트 위나 주추돌 등의 표면에 의도(蟻道), 즉 자신들의 길을 만들어 그 속에서 다닌다. 일본흰개미는 그다지 긴 의도를 만들지 못

하며, 한번 목재에 침입하면 그것을 다 먹고 나서 다른 곳으로 이동한다. 물을 이동하는 능력이 없기 때문에 땅에서부터 높은 곳에 있는 목재는 가해하지 못한다.

(2) 집흰개미

일본흰개미와 같이 지하에서 서식하며, 큰 집단을 형성하기 때문에 단위면적당 피해가 크고, 흰개미류 중에서도 가해가 매우 심한 부류에 속한다. 국내에서는 분포하지 않는다는 보고가 있었으나, 최근 남부지역에서 피해흔적이 발견된 바 있다. 집흰개미는 1월 평균등온선이 4℃인 지역의 선과 거의 분포선이 일치하는 북위 32°선이나, 남부지역에서 그 피해가 발견된 곳은 북위 35°선이기 때문에 지구온난화와 관련된 생태계의 변화에서 비롯되어졌을 가능성에 대해 보다 체계적인 연구가 필요할 것으로 생각한다.

표 1. 집흰개미와 일본흰개미의 차이점

구 분		집흰개미	일본흰개미
생태	병정개미	몸길이는 4.5-6.5mm, 머리의 형은 계란형이며, 머리의 색은 담황색이고, 입의 집개를 건드리면 흰색의 산성 점액이 나온다.	몸길이는 3.5-6.0mm, 머리의 형은 타원형이며, 머리의 색은 담갈색이고, 입의 집개를 건드려도 흰색의 점액이 나오지 않는다.
	유시충의 군비(群飛)	6-7월경의 저녁무렵에서 밤에 걸쳐 군비하며, 대부분이 등이 켜진 곳에 모인다.	4월하순에서 5월하순에 비가 그친 주간에 대부분이 군비한다.
	유시충(有翅蟲)	몸길이는 6.5-8.5mm, 몸색갈은 황갈	몸길이는 4.5-7.5mm, 몸색갈은 흑색.
	집단	대집단으로 고정되어 있으며,여왕은 이동하지 않는다.	소집단은 분산이동하고, 왕은 이동한다.
	소(巢)	대부분의 경우 지중에 커다란 소를 만듬.	특별히 장소를 정해서 소를 만들지 않고,가해장소와 겸하고 있다.
	의도(道)	단면은 원형으로,내면이 청결하다.	단면은 타원형이고 내면은 불결하다.
	개미의 수(개소내에서)	10-50만 마리	1-5만 마리
	분포	남부지방	중부이남
	좋아하는 토지	점토분이 적은 사질토	점토분이 많은 식질토
가해	장소	가해속도가 신속하고,심함. 주택의 2층까지 올라감.	가해속도가 늦고,가벼움. 지상에서 1m정도
	가해재	습윤한 목재만에 한정되지 않음.	습윤재를 좋아함
	식흔	먹는 습성이 청결하고, 변재와 심재를 함께 가해함. 가해가 심함.	먹는 습성이 지저분하고, 오로지 변재를 식해하지만, 가해는 국부적임.

집흰개미는 특별히 가공한 덩어리모양(대부분이 공모양)의 소를 건축물, 수간, 지중에 만들고, 이것을 근원지로 하여 의도(蟻道)를 주변에 연장시켜(긴것은 약 100m정도의 것도 있음) 건축물이나 목재를 가해한다. 피해는 목재뿐 만 아니고, 지하의 케이블 선이나 주택의 벽, 단열재료까지도 가해한다. 한 개체의 수는 일본흰개미보다 훨씬 많으며, 100만 마리 이상일 수도 있다. 그러므로 가해도도 크고, 피해도 극심하다. 또한 물을 운반할 수 있는 능력이 있으므로, 건조한 목재를 습하게 하여 가해할 수도 있다. 피해는 건물하부에 국한되지 않고, 축조재나 창고 등에도 영향을 미치는 등 전체적으로 커다란 피해를 미친다. 집흰개미와 일본흰개미의 구분은 병정개미의 머리모양으로 구분할 수 있으며, 이들의 차이점은 〈표 1〉과 같다.

나. 흰개미 서식밀도

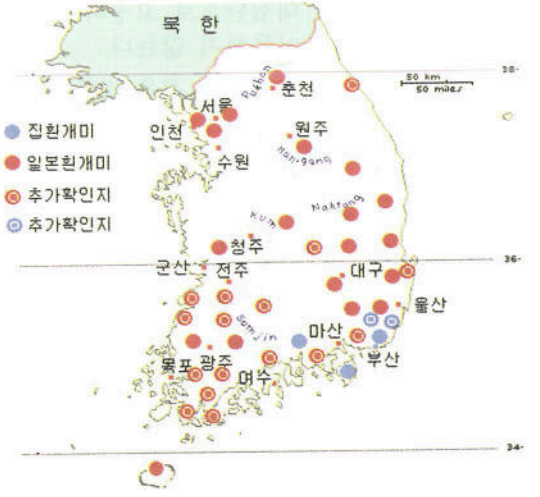
야산에서는 소나무 벌근부 및 벌도된 소나무재의 수피와 인피부 및 목질부에서의 흰개미 서식여부를 확인한 후 그 주변에 소나무 말목(3×3×35cm)을 토양 중에 박아두고 6개월 후의 흰개미 가해정도를 조사하였다〈사진 1〉. 설치장소는 중부지역으로 임업연구원내 수목원 내부의 소나무림 2개소와 서울시 도봉구 쌍문

표 2. 흰개미 유인목의 섭식정도와 흰개미의 서식밀도

지역	유인목설치 지역수	유인목수 (개)	섭식개체수(가해분포율 %)				서식밀도 (%)
			1/3이상 섭식	천공후 서식	식흔있음	건전함	
중부	4	800	152(19)	177(22)	168(21)	303(38)	62.1
남부	4	400	127(32)	105(26)	73(18)	95(24)	76.3
제주	3	60	0(0)	0(0)	0(0)	60(100)	0



〈사진 1〉 흰개미 유인목 설치 모습



〈그림 1〉 흰개미 조사 분포 확인도



〈사진 2〉 흰개미 피해

동에 쌍문근린공원내 2개소에 각각 200개씩 설치하였다. 남부지역은 경남 양산군 상북면 통도사입구의 소나무림 2개소에 각 100개씩, 부산시 금정구 청룡동 범어사입구의 소나무림 2개소에 각 100개를 설치하였고, 제주도 북제주군과 남제주군에 3개소로 분리하여 60개를 설치하였다.

흰개미를 유인하기 위한 소나무 말목(유인목)에 대한 흰개미의 섭식정도와 흰개미의 서식밀도를 〈표 2〉에 나타내었다. 설치 6개월 경과시점에서 흰개미의 서식밀도는 남부지역이 가장 높은 76%를 나타내었으며, 중부지역은 62%를 나타내었다. 한편 제주지역에서는 흰개미의 서식밀도가 0%이었다. 그러나 제주지역에도 제주시 이호리 이호해수욕장에서 주변의 소나무 벌근부에 서 흰개미의 서식은 확인되었다 〈그림 1, 사진 2〉.

3. 맺음말

앞에서 설명한 바와 같이 흰개미의 피해는 다른 해충과는 달리 매우 크기 때문에 목조물을 설치 이전에 그 방제에 철저를 기할 필요가 있다. 지금까지 국내에서는 일본흰개미가 서식하여도 산림중의 목재에서만 피해가 있는 것으로 알려졌으나, 최근 남부지방에서 주택과 사찰에 발생한 흰개미의 구제방법에 대한 문의가 저자의 연구실에 2~3차례 있은 것으로 추정하여 우리나라가 흰개미에 대해 절대 안전지역이 아님을 알고, 발생에 앞서 사전 방제를 서두를 때이다.

이미 흰개미의 피해발생지역에서는 가능하면 巢를 찾아내어 완전 박멸해야 하나, 소를 건축물이나 구조물에서 찾아내기는 매우 어렵다. 또한 피해부재를 찾아낸다 하여도 목재의 내부이기 때문에 그 부분만의 약제처리 등은 더우기 어렵다. 따라서 흰개미의 발생이 예상되는 지역에서는 목구조물을 설치할 때 목재가 직접 땅과 접촉하지 않도록 설치하여 주어야 하며, 부득이한 경우는 주변의 토양을 방의제 등으로 방의처리하거나, 숯이나 소금 등을 넣고 주변을 다져 주어 토양중의 수분을 제거하여 흰개미를 목재와 차단시켜 주어야 한다. 최근 일부에서 어린이 놀이시설등의 유구나 목재

조경시설물이 발수제 만으로 처리 시공되고 있다. 발수제의 성분중에는 흰개미를 방제해 줄 만한 화학성분이 함유되어 있지 않으며, 다만 외부와 수분만을 차단하여 주고 있는 상태이므로 흰개미에 대해서는 무방비 · 무대책이다. 흰개미에 의한 피해는 지하부에서 부터 발생하므로 만에 하나 피해를 받게 되면 구조물이 하중을 견디지 못하고 쓰러지는 경우도 상정할 수 있다. 사고를 미연에 방지하기 위한 차원에서 피해가 예상되는 지역, 예를 들면 땅과 접하는 부위 및 지면에서 1m이하의 목재는 반드시 방부 · 방충처리를 해주어야 한다. 이외에도 상시 비를 맞고 있는 부위의 목재나 낙수물이 튀는 부위, 항상 수분의 함량이 높다고 생각되는 부위에서는 방부 · 방충처리된 목재를 적극 사용하여 안전사고에 대비해야 한다.



제 언

임업계를 대변할 비정부기구(N.G.O) 육성

박 순 조
전 임업연수원장

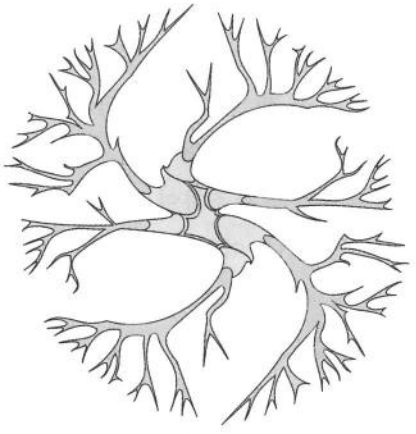
비정부기구(N.G.O.)를 제2정부 혹은 제3의 정부라고 하고 있다. 20세기에 들어오면서 각종 환경 N.G.O.를 필두로 수도 헤아릴 수 없을 정도의 N.G.O.들이 조직되어 정부의 역할을 대행하거나 나갈 방향을 제시하고 또는 감시하고 있다. 이것은 우리가 상상할 수 없을 정도로 모든 분야가 발전되면서 산업화 도시화가 급격하게 진행되어 정부의 역할이 이에 따라가지 못하고 있기 때문이라고 믿어진다.

2000년 중에 우리나라에서 가장 큰 N.G.O. 활동 중의 하나는 영월 동강 댐을 건설하지 못하도록 막아낸 것으로 생각된다. 이것을 보고 필자는 한국의 N.G.O.의 힘은 제2의 정부가 아니라 정부 위에 N.G.O.가 있다고 믿게 되었다. 동강 댐은 2010년에 가면 수도권에 물 부족 현상이 예견되어 그 대안으로 건설이 불가피하다는 결론이 나 있었고 양수장 건설 위치까지 계획된 단계에서 댐 건설이 백지화된 것이다. 댐 건설의 백지화로 가장 득을 많이 본 기관은 환경부일 것이다. 댐 건설 단계에서부터 댐 준공 후 하천 생태계 파괴 문제에 이르기까지 어려운 문제 발생의 소지가 일시에 해소되었기 대문이다. 댐 건설의 백지화로 댐 건설을 기회로 많은 돈을 벌어 보려고 계획하였던 많은 사람들이 손해를 보았을 것이나 문제를 삼고 일어나지 못하는 것은 N.G.O. 활동에 의하여 댐 건설이 좌절되었기 때문일 것이다. 댐 건설을 계획하고 추진하였던 기관은 그 위상이 많이 추락되었다고 하겠다.

우리나라는 국토의 65%가 산림이므로 국토 환경 요소의 65%는 산림이 담당하고 있다고 하겠다. 그러므로 환경 N.G.O.에 관한 역할의 65%는 산림계통에서 담당하고 기능을 증대시켜야 할 것임에도 불구하고 N.G.O.가 없다고 하겠다. 육성할 N.G.O.가 없어서 이 문제를 지금까지 방치하여 왔다고 변명할 수는 없을 것이다. 일찍이 산림환경 분야의 N.G.O.가 필요하다는 인식 하에 한국 산지 환경 조사연구회를 만들고 어려운 여건하에서도 지금까지 연구회를 운영하여 오고 있는 단체가 있었으나 이런 단체들이 목소리를 크게 낼 수 있는 단체로 육성하지 않았기 때문이라고 믿어진다. 필자도 행정기관에 있을 때 임업 관련 단체 설립 신청이 있으며 유사 단체 난립 방지, 창립 이후 운영상의 문제점만을 강조하여 여러 단체 설립을 적극 억제하였으나 이런 것이 얼마나 잘못된 생각이었는지 근래에 깨달을 수 있었다. 단체가 많으면 많을수록 좋다고 본다. 국토의 65%인 산림을 잘 보존하고 임업의 위상을 높이는 일에서부터 시작하여 산림청의 존폐 문제가 발

생하였다고 하였을 때 민간차원에서 맨 앞서 이런 일을 주관할 임업계 N.G.O. 육성이 시급한 실정에 있다고 하겠다.

임업계 N.G.O.의 활동의 시작은 늦었으나 지금부터 임업계를 대변할 여러 단체들을 육성하고 활동 영역을 넓혀 준다면 가장 강력한 환경 N.G.O.가 될 것임을 확신한다. 우선 한국산지 환경연구소 같은 단체들을 산림 환경과 관련된 업무에 적극 참여시켜 대외적인 역량을 키워줄 필요가 있다고 믿어진다. 광릉 숲 보존협회가 창립된지 1년도 되지 않았으나 시험림 주변 아파트 건설 억제, 우회도로 건설 참여, 경기도의 협력 협조 등 많은 일을 하고 있다. 이런 일들은 국가 기관이 할 수 없는 일을 N.G.O.이기 때문에 가능하다고 본다. 2001년에는 모든 임업계 N.G.O.들이 총단결하여 환경분야 N.G.O. 목소리의 65%를 우리가 주관하자.



"토우회 사무실을 열면서"

산림청 산림자원조사 연구소 토양조사과 직원들이 주축이 되어 76년에 토우회를 결성 흙과 더불어 우정을 나누고 좀더 활성화 할수 있는 계기를 마련코저 흙의 동우회로 첫발을 내딪게 되었습니다.

그러나 현직에 재직시는 업무에만 몰두하게 되어 동우회의 활동을 뒤로 미루고 명맥만 이어 왔었으나 점차 세월이 흐르면서 86년 부터는 퇴직회원이 늘어나면서 좀더 구체적이고 활발하게 활동할수 있는 계기를 마련코자 기금을 조성하였고 토우회의 소원이던 사무실을 2001년 3월 17일 사무실을 열게 되었습니다. 이제 이 사무실을 거점으로 동우회 본래의 목적인 회원간의 친목도모는 물론 산림토양의 연구발전과 토론의 광장으로 부각시켜 선후배간의 고리역활을 단단히 하는 것은 물론 산림토양의 중요성과 NGO로서 토양분야의 조사연구와 풍부한 경험을 토대로 환경 친화적인 조림, 육림 및 적지적수를 위한 자문과 지도로 임업발전에 조금이나마 기여코자 전 토우회 회원들은 노력할 것을 다짐합니다.

아울러 산림토양에 전문적인 지식을 갖춘 참신한 선후배들의 참여와 산림입지환경에 관한 관심이 점점 고조되어 가고 있는 이때를 기점으로 할 일이 태산같은 산림환경분야의 전성기를 기대해 보면서 순수한 자연과 쾌적한 환경을 가꾸는데 우리 토우회가 앞장서겠습니다.

많은 성원과 활용 있으시기를 부탁합니다. 감사합니다.

2001년 4월

토우회 회장 **장 영 기**

경기도 남양주시 진접읍 장현리 604-3(1층)
TEL : (031) 572-0063

부 록

정 관

1996. 8. 9 허 가
1998. 4.28 개 정
1999.11.13 개 정
2001. 3.26 개 정

제1장 총 칙

제1조(명칭) 본 회는 사단법인 한국산지환경조사연구회 (이하"본회")라 한다.

제2조(목적) 본 회는 산림환경에 관련된 종합적인 조사연구를 실시하여 산림환경 보전과 과학적인 산림자원 관리에 필요한 객관적인 정보를 제공함으로서 임업발전에 기여함을 목적으로 한다.

제3조(사업) 본 회는 제2조의 목적을 달성하기 위하여 다음 각호의 사업을 한다.

1. 산림입지환경조사 · 연구 및 기술지도
2. 산림실태조사 · 연구 및 기술지도
3. 산지이용구분 조사 · 연구 및 기술지도
4. 영림계획의 작성 · 연구 및 기술지도
5. 산림환경(도시림 포함)의 영향평가
6. 산림토양과 수자원 보전 오염조사 · 연구
7. 산림환경의 정보수집, 회지발간, 연구발표 및 교육
8. 본회 설립목적과 관련된 위탁 및 용역

제4조(사무소) 본 회의 주사무소는 경기도 남양주시 진접읍에 두고 필요에 따라 서울특별시 및 시, 도에 지회를 둘 수 있다.

제2장 회 원

제5조(회원자격) 본 회의 회원자격은 다음과 같이 한다.

1. 임업연구기관 또는 산림행정기관 및 교육기관에서 종사한 경력이 있는 또는 이와

동등한 자격이 인정되는자

2. 산림 항공사진 판독기능을 보유한자
3. 산림기술사, 산림경영기사, 산림경영산업기사, 임산가공기술사, 임산가공기사, 임산가공산업기사, 산림공학기사, 산림공학산업기사, 임업종묘기사, 임업종묘산업기사, 산림기능장, 산림산업기사, 산림기능사, 임산가공산업기사, 목재가공기능사, 목질재료기능사, 임업종묘기능사, 펄프제지기능사, 산림토목기술자

제6조(입회) 본 회의 회원으로 입회를 원하는 자는 소정의 입회원서를 제출하여 이사회의 승인을 얻어야 한다.

제7조(탈퇴) 본 회의 회원으로서 탈퇴하고자 할 때는 회장에게 탈퇴서를 제출해야 한다.

제8조(제명) 본 회의 회원이 다음 각 호에 해당되는 자는 이사회에서 제명할 수 있다.

1. 제9조의 의무를 이행하지 아니한 자.
2. 본회의 명예를 훼손하거나 해를 끼친자.
3. 회원간의 화합을 저해 한자.

제9조(회원의 권리 의무) 본 회의 회원은 선거권 및 피선거권을 가지며 정관을 준수하고 회비를 납부할 의무를 갖는다.

제3장 임원 및 조직

제10조(임원 및 임기) 본 회의 회무를 처리하기 위하여 다음과 같이 임원을 두고 그 임기는 선출된 날로 부터 각각 2년으로 한다. 다만 보선된 임원의 임기는 전임자의 잔여기간으로 한다.

1. 회　　장 : 1인
2. 부 회 장 : 2인
3. 이　　사 : 20인이내
4. 상임이사 : 2인(기술이사 1, 업무이사 1)
5. 감　　사 : 1인

제11조(임원선출) ① 회장, 부회장, 이사, 감사는 회원중 총회에서 선출한다.

② 상임이사는 이사회에서 선출한다.

제12조(임원의 직무) 임원은 다음의 직무를 행한다.

1. 회장은 본 회를 대표하여 업무를 총괄하고 총회와 이사회의 의장이 된다.
2. 부회장은 회장을 보좌하고 회장이 유고시에는 부회장 중에서 연장자순으로 그 직무를 대행한다.
3. 상임이사는 회장의 명을 받아 이 조사연구회의 업무를 집행한다.
4. 이사는 이사회에 참석하여 본회의 업무추진에 관한 사항 및 의안을 심의 · 의결한다.
5. 감사는 본 회의 재산 및 업무집행 상황을 감사하여 총회에 보고하고 이사회에 참석하여 의견을 진술할 수 있다.

제13조(임원의 보수) 본 회의 임원은 명예직으로 하되 상임이사는 유급으로 하고 본회를 위한 임원이 업무수행시 실비를 지급할 수 있다.

제14조(기구) 본 회의 업무를 수행하기 위하여 조사연구부와 업무부를 둔다.

1. 조사연구부는 기술이사가 담당하며 제2조의 목적을 수행하기 위하여 조사연구를 수행한다.
2. 업무부는 업무이사가 담당하며 조사연구를 원활히 수행하기 위하여 제반사무에 관한 업무를 수행한다.
3. 각부의 업무를 원활이 수행하기 위하여 약간명의 직원을 둘 수 있으며 회장이 임면한다.

제14조의1(자문위원 위촉) ①본 회의 기술연구개발에 대한 자문을 받기 위하여 자문위원을 7명이내로 위촉할 수 있다.

②자문위원은 이사회의 의결을 거쳐 회장이 위촉한다.

제4장 회 의

제15조(회의 종류) 본 회의 회의는 총회 및 이사회로 한다.

제16조(총회) ①총회는 정기총회와 임시총회로 한다.

②정기총회는 매년 2월중에 개최하고 회장이 소집한다.

③임시총회는 회장이 필요하다고 인정 할때, 재적이사 3분의 1이상의 요청이 있을때, 재적회원 3분의 1이상의 요청이 있을때 또는 감사가 긴급을 요하는 중요한 사유를 발견 할때 회장이 소집한다.

④총회는 다음 각 호의 사항을 심의 의결한다.

1. 예산 및 결산에 관한 사항
2. 정관개정 및 해산 의결에 관한 사항
3. 임원선출에 관한 사항
4. 사업계획 및 사업보고에 관한 사항
5. 기타 중요사항

⑤총회는 재적회원 3분의 1이상의 출석으로 개최하고 출석회원 과반수의 찬성으로 의결한다. 다만 정관개정 및 법인 해산은 제외한다.

제17조(이사회) ①본회 운영의 중요 사항을 심의하기 위하여 회장, 부회장, 이사, 상임이사로서 이사회를 구성한다.

②이사회는 회장이 필요하다고 인정 할 때와 재적이사 과반수 이상의 요구가 있을 때 회장이 소집한다.

③이사회는 다음 각호의 사항을 심의 의결한다.

1. 총회에서 위임한 받은 사항
2. 총회에 부의할 안건의 예비 심의에 관한사항
3. 본회의 해산 심의에 관한 사항
4. 재산관리 및 운영에 관한 사항
5. 회원의 가입 및 제명
6. 기타 의결을 요하는 사항

④이사회는 재적이사 과반수 이상의 출석으로 개최하고 출석이사 과반수로 의결하며 필요에 따라 서면 결의할 수 있다.

제5장 자산 및 회계

제18조(재정)본 회의 재산과 경비는 다음 수입으로 충당한다.

1. 회원의 회비
2. 사업수익금
3. 찬조금 및 기부금
4. 기타

제19조(잉여금)매 회계년도 말에 잉여금이 있을 때에는 그 전부 또는 일부를 이사회의 의결을 거쳐 이 조사연구회의 기본 자산으로 적립한다.

제20조(회계년도) 본 회의 회계년도는 정부의 회계년도에 준한다.

제21조(예산편성) 회장은 사업년도 초에 사업계획서와 예산을 편성하여 이사회의 의결을 거쳐 총회의 승인을 받아야 한다.

제22조(예산결산) 본 회의 사업실적과 세입 세출결산은 매 회계년도 종료후 1개월 이내에 이사회 및 총회에 보고하고 승인을 받아야 한다.

제23조(회계감사) 본 회의 감사는 회계 및 운영에 관한 사항을 년 1회 감사로부터 감사를 받아야 한다.

제24조(비치장부) 본 회의 상임이사 책임하에 다음 부책을 비치하여야 한다.

1. 재산대장
2. 회의록
3. 금전출납부
4. 예산결산서
5. 지출 증빙서
6. 사업계획서
7. 기타 필요한 서류

제6장 보 칙

제25조(정관의 개정)

①정관의 개정은 재적회원 과반수 이상의 출석과 출석회원 3분의 2이상의 찬성으로 의결한다.

②전항의 정관개정은 주무부처의 승인을 받아야 한다.

제26조(해산) 본회를 해산 하고자 할때는 총회에서 재적인원 3분의 2이상의 출석과 출석회원 3분의 2이상의 찬성으로 의결한다.

제27조(재산 및 채무처리) 본회의 해산후의 재산 및 본회의 청산은 임원이 청산인이 되어 청산보고서를 작성하여 총회의 승인을 받아야 한다.

부 칙(1996. 8. 9)

①(시행일) 본 정관은 산림청장의 허가 날로 부터 효력을 발생한다.

②(경과조치) 허가당시 창립총회에서 선출된 임원은 본 정관에 의하여 선출된 것으로 본다.

③본 정관에 없는 사항은 법령 및 관례에 따른다.

부 칙(1998. 4. 28)

①(시행일) 이 정관은 산림청장의 승인 날로부터 시행한다.

부 칙(1999.11.13)

①(시행일) 이 정관은 산림청장의 승인 날로부터 시행한다.

부 칙(2000. 3.26)

①(시행일) 이 정관은 산림청장의 승인 날로부터 시행한다.

회원 명단 및 임원 주소록

임 원

- 자문위원 : 이여하, 김사일, 김태훈, 이진규, 김태옥
- 회 장 : 유택규
- 부 회 장 : 김규헌
- 상임이사 : 안병영, 김정환, 연정수
- 이 사 : 이원규, 손요환, 이창석, 권상원, 이명종, 박재인, 김재수, 최 경, 마호섭, 송장호 정진현, 오종환, 홍인표, 박관수, 박승종, 박재순, 임융호, 곽준일, 박동근
- 감 사 : 장영기

회 원

강창호, 구교상, 구윤서, 김경하, 김상협, 김용래, 김용증, 김재호, 김준섭, 김철수, 김춘식, 박남창, 박동근, 박성신, 박성신, 박종현, 반기민, 배상원, 변재경, 서호석, 손창우, 심경용, 심우범, 안경모, 안병덕, 안병석, 어윤갑, 원현기, 원형규, 유정환, 윤은용, 이병춘, 이병한, 이충화, 이태수, 임호범, 조용철, 조현제, 홍의기, (40명)

임원주소록

직 위	성 명	소 속	주 소	전화번호
자문위원	李 麗 夏	전 임정연구회 회장	서울 강남구 논현동 222-15	(02)548-5153
〃	金 思 日	전 임업연구원 부장	서울 동대문구 이문1동 76-1 이경빌리지 202호	(02)963-2058
〃	金 泰 勳	전 임업연구원 부장	서울 영등포구 당산동5가 11-1 경남아파트 10-406호	(02)677-3926
〃	李 鎭 珪	전 임업연구원 부장	서울 중랑구 신내동 783 성원아파트 101-705호	(02)439-1765
〃	金 泰 玉	전 본회 회장	경기 남양주시 화도읍 창현리 745 두산아파트 205-1303	(031)511-8863
〃	朴 順 祚	전 임업연수원장	경기 구리시 교문동 한가람아파트 103-1503	(031)552-4687

직 위	성 명	소 속	주 소	전화번호
회 장	柳 澤 圭	원광대학교 교수	서울 동작구 신대방1동 565 우성아파트 1-1802호	(02)832-5209
부 회 장	金 圭 憲	전임업연구원 산림자원부장	서울 구로구 구로1동 주공아파트 107-1005호	(02)869-2133
상임이사	安 秉 榮	한국산지환경조사연구회	경기 의정부시 호원동 우성3차아파트 303동 1408호	(031)874-5109
〃	金 正 煥	〃	성남시 분당구 정자동 90 느티마을 406동 1802호	(031)712-9547
〃	延 正 秀	〃	서울 도봉구 창4동 동아아파트 3-1001호	(02)995-0194
이 사	李 元 圭	전 임업연구원 중부시험장장	서울 동대문구 용두동 신동아아파트 3-310호	(02)953-2488
〃	孫 堯 丸	고려대학교 교수	서울 도봉구 창1동 주공아파트 310-705	(02)997-0125
〃	李 昌 錫	서울여자대학교 교수	서울 도봉구 창동 동아청솔아파트 112동 704호	(02)970-5666
〃	李 明 鐘	강원대학교 교수	강원 춘천시 퇴계동 한주아파트 103-306	(033)50-8314
〃	朴 在 仁	충북대학교 교수	충북 청주시 흥덕구 개신동 삼익아파트 101-1204호	(043)261-2532
〃	金 載 水	충북대학교 교수	충북 청주시 상당구 율량동 럭키아파트 6-301호	(043)261-2532
〃	崔 敬	임업연구원 임지보전과장	서울 성북구 정능1동 경남아파트 103-603호	(02)961-2556
〃	麻 鎬 燮	경상대학교 교수	경남 진주시 하대동 삼호맨션 다동 305호	(055)753-4549
〃	宋 長 鎬	전 임업연구원 산림조사과장	서울 도봉구 창1동 663-28	(02)902-8254
〃	鄭 鎭 炫	임업연구원 농학박사	서울 노원구 상계9동 주공아파트 1213-1102	(02)937-4826
〃	吳 宗 煥	임업연구원 임산공학부장	서울 강북구 미아5동 450-9	(02)982-7044
〃	洪 寅 杓	임업연구원 재료공학과장	서울 동대문구 청량리2동 407	(02)961-2561
〃	박 관 수	충남대학교 교수	대전광역시 유성구	(042)823-5450
〃	朴 承 鐘	전 부여국유림관리소장	서울 동작구 신대방동 616-57	(02)833-1553
〃	朴 宰 淳	한국산지환경조사연구회	서울 강동구 고덕동 시영아파트 32동 404호	(02)426-8186
〃	林 隆 鎬	한국산지환경조사연구회	서울 동대문구 제기1동 1212 한산아파트 111-1903호	(02)966-0663
〃	郭 準 鎰	전 북부관리청	강원도 원주시 단구동 139-63 5통 1반	(033)763-0570
〃	朴 東 根	전 북부관리청	강원도 원주시 단구동 80-5 2통 2반	(033)762-0081
〃	권 상 원	한국산지환경조사연구회	경기도 안양시 동안구 평촌동 897-7 초원럭키아파트 503동 1401호	(031)421-3986
감 사	張 永 基	한국산지환경조사연구회	경기 의정부시 의정부동 신도아파트 201-802호	(031)876-2999

주 요 일 지

설립약사

- 95. 10. 29 창립총회
- 96. 8. 9 설립허가(산림청장)
- 96. 8. 31 법인등기(등록번호 115221-0001820)
- 96. 9. 9 사업자등록(등록번호 132-82-03732)
- 97. 2. 21 제1차 정기총회 개최
- 98. 3. 7 제2차 정기총회 개최
- 98. 4. 28 제1차 정관개정 승인
- 99. 3. 6 제3차 정기총회
- 99. 11. 13 제2차 정관개정 승인
- 2000. 2. 25 제4차 정기총회
- 2001. 2. 23 제5차 정기총회 개최
- 2001. 3. 17 산림사업을 목적으로 설립된 법인등록(산림청 제2001-5)
- 2001. 3. 26 제3차 정관개정 승인

1996년 ~2000년 사업실적

- 시군 산림입지조사 담당자 교육 : 101회
- 산림입지도작성 순회 기술지도 : 15회
- 항공사진판독 : 3,282,959ha
- 산림입지조사용역 : 1,619,285ha
- 영림계획편성(산림조사) : 15,000ha
- 산지환경회지 발간 : 3회

2001년 사업계획

- 시군 산림입지조사 담당자 교육 : 2회
- 산림입지도작성 순회 기술지도 : 3회
- 항공사진판독 : 300,000ha
- 현지조사 : 200,000ha
- 영림계획편성(산림조사) : 50,000ha
- 산지환경회지 발간 :제4호

투 고 안 내

원고의 종류

○ 산림입지환경조사연구에 관한 기술 정보
○ 산림조사 및 영림계획 운용에 관한 기술정보
○ 산림생태, 임업경영, 자원관리 등 임업기술정보에 관한 사항
○ 산림 및 임업에 관한 각종 정보

작성요령

○ 국한문 혼용 200자 원고지 50매 내외
○ 원고의 채택
- 편집위원회에서 결정
- 등재된 원고는 소정의 고료 지불
- 수시 접수

편 집 위 원

위원장 : 김 태 옥
위 원 : 류택규, 손요환. 이명종
이창석. 박관수. 김재수
정진현. 배상원. 조현제
안병영

山地環境 第四號

發行人겸 編輯人 金泰玉 2001年 4月 印刷

2001年 4月 發行

發 行 處 社團法人 韓國山地環境調査硏究會

京畿道 南楊州市 榛接邑 長峴里 604-3

TEL(031)572-1678, FAX 572-7387

印 刷 삼정인쇄공사 ☎ (02)2261-4431

정밀한 항공사진 판독에 의한
토양특성과 지위급 파악으로 산림생산력 증대



토양단면



항공사진판독

(사)한국산지환경조사연구회

주소 : 경기도 남양주시 진접읍 장현리 604-3
전화 : (031) 572-1678 Fax : 572-7387