

第五號

2002

ISSN-1226-8321

山地環境

특 집

- 일본에 있어서 수변지역 관리보전
- 백록담 분화구의 수리 수문학적 특성
- 수변구역 산림의 수원함양 수질정화기능



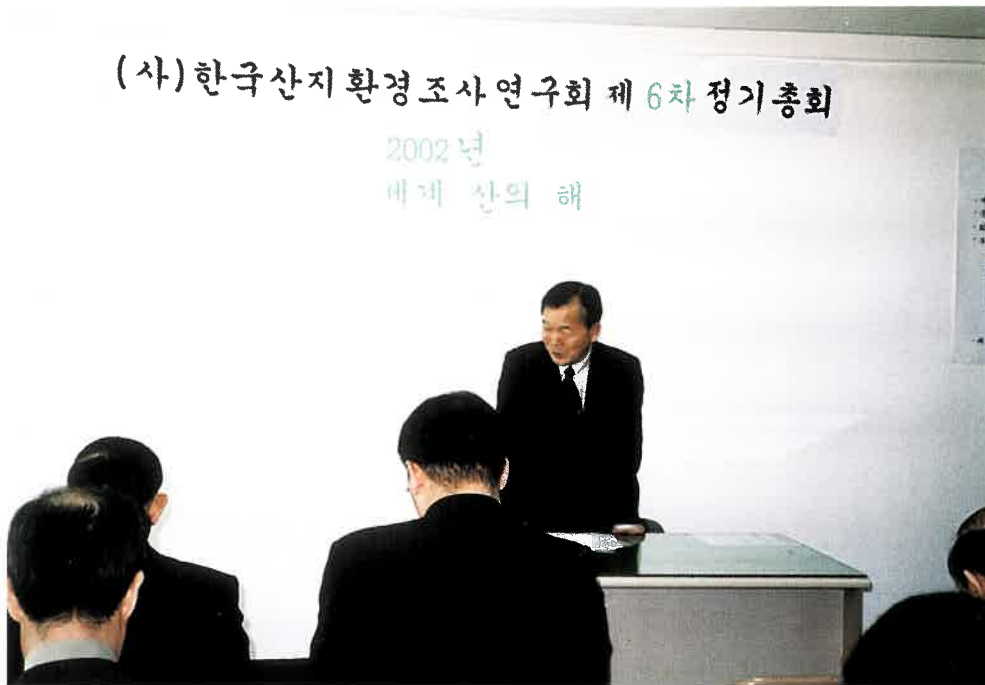
社團
法人

韓國山地環境調查研究會
KOREAN SOCIETY OF FOREST
ENVIRONMENT RESEARCH

第六回 定期總會 開催

일시 : 2002년 2월 28일

장소 : 한국산지환경조사연구실 회의실



▲ 2002년도 사업계획(안)과 예산(안)을 의결하였다.

산림임지조사장비



반사입체경(MS-27)



고도계(Thommen)



고도계(Vector)



레이저거리측정기(Yardage)



하그로프수고측정기(Vertex III)



썬토콤파스/크리노메타



생장추(스웨덴)



토양경도계

디지털연륜측정분석기(Digital Tree Ring System)



- 모델 : DTRS-2000
- 크기 : W1,562×D800×H1,115mm
- 측정단위 : 1/100mm
- 배율 : 10배, 40배
- 최대 측정거리 : 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

영림계획 작성을 위한 산림조사



▲ 입목의 수령측정

산림입지조사



▲ 토양단면 조사

임업연구원 가족동산 기념식수

퇴직공무원과 현직공무원이 마음의 장을 열수 있는
가족동산을 만들어 임업을 더욱 발전 계승코자 함.



▲ 중부임업시험장 시험림 9임반



▲ 나무심기(기념식수)

농림 제 40816 호

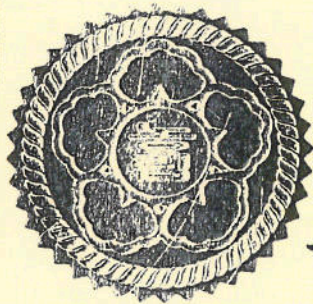


표 창 장

(사)한국산지 환경 조사연구회

귀하는 평소 맡은 바 직무에 정려
하여 왔으며 특히 2001년도 산림사업을
성실히 수행하여 산림행정과 임업발전에
기여한 공이 크므로 이에 표창함

2001년 12월 31일



농림부장관 김 동 태





설립 목적

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

운영의 기본방향

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

중점 사업

- 산림입지환경조사·연구 및 기술지도
- 산림실태조사·연구 및 기술지도
- 산지이용구분 조사·연구 및 기술지도
- 영림계획의 작성·연구 및 기술지도
- 산림환경(도시림 포함)의 영향평가
- 산림토양과 수자원 보전 오염조사·연구
- 산림환경의 정보수집,회지발간,연구발표 및 교육
- 본회 설립목적과 관련된 위탁 및 용역
- 녹지공간 조경 자문 및 산림환경평가 조사



KSFER

社團
法人

韓國山地環境調查研究會

경기도 남양주시 진접읍 장현리 604-3

TEL (031)572-1678

FAX (031)572-7387



차 례

머리말

류택규

논 단

21세기 국유림 관리 기본방향	김용하 / 5
지속가능한 생태를 향한 조림	구창덕 / 20
소나무재선충의 피해와 방제방안	신상철 / 26

특 집

일본에 있어서 수변지역 관리와 보전(I)	전근우 / 34
백록담 분화구의 수리·수문학적 특성	정용호 / 43
수변구역 산림의 수원함양 및 수질정화기능 증진을 위한 몇 가지 방안	박재현 / 51

입지환경

황사현상과 발원지의 황사방지 방법	이천용 / 92
중국의 방호림대와 모래막이울타리의 사막화 방지기능	최 경 / 99
밤 재배지의 토양특성 변화 및 재배적지	구교상 / 113

기 술

산불의 대형화와 위험지역 구분	이시영 / 120
국립공원 자연자원조사	송인순 / 131
자연 친화적 산지계류 복원기법(I)	김경하 / 138
묘포 토양의 특성 및 관리방안	변재경·정진현 / 153

제 언

광능숲 보존에 관하여	김도경 / 174
-------------	-----------

부 록

정관, 회원 명단 및 임원 주소록, 주요일지	/ 178
--------------------------	-------

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

한국산지환경조사연구회가 발족된지 어언 6년이 지났고 그간 실행한 업적과 주변에서의 기대도 적지않았다.

그러나 우리들의 할일은 너무도 많다. 산림이 과거에는 목재생산의 장으로서 구실이 모두였으나 세월이 지나면서 산림은 다양한 계층의 요구를 당도하게 되었다. 이 모두의 목소리에 귀 기울이지 않으면 아니 되게 되었다. 그 가장 큰 문제가 산업발전에 따른 환경파괴에 대해서 산림은 환경파괴를 더 이상 확산시키지 말고 막아야 하며 새로운 환경을 창출해 달라는 시대적인 요청이다. 이에 부응하여 산림당국에서는 숲에는 미래가 있다는 확신을 가지고 인간과 숲이 산생하는 방안을 모색하는 정책을 펼치고 있음은 주지의 사실이다. 산지환경조사연구회에서는 산지의 고도 이용을 위한 25,000분의 1 지형도상에 산림입지도 작성의 새로운 기술을 도입 제작 완료에 중추적인 역할을 했으며 국유림지역 영림계획 재작성의 방대한 산림지역 산림조사 및 시대변화에 맞는 국유림 경영계획 목표설정에도 노력하고 있다.

이러한 여러 가지 일을 하면서 느끼는 바는 앞으로 우리사회에는 도시지역 산림의 새로운 운영관리 계획을 수립 실천해야 하기 때문에 5000분의 1이나 9000분의 1 G.I.S지도를 작성해 주므로써 산림계획을 위해서는 물론 타용도 토지이용에 있어서도 정확한 계획수립이 가능하고 국가발전 국토이용계획에 크게 기여할 것이 틀림없기에 이에 대한 업무에 착수할 시점에 도달하였다고 보여진다.

우리산림사업은 시대요구에 앞서가는 정책과 행정을 펼쳐서 국민욕구를 충족시키는 일을 해 나가므로써 우리의 입지가 강화되고 운신의 폭도 넓어진다는 점을 강조하고 싶다. 이번 제5호 “산지환경” 연구지는 현안 문제인 황사 수자원 및 수질 소나무재선충 밤나무 재배지 토양관리 전문가의 귀중한 의견을 실었으며 특히 귀중한 설악산국립공원 자원조사 내용을 담아 보았다.

이러한 내용들이 산림정책이나 사업운용에 많이 기여했으면 하는 것이 우리들의 바람이다. 앞으로도 우리들은 산림사업의 많은 과제를 해결하는데 더욱 노력할 것을 이 기회에 다짐하면서 독자들의 아낌없는 질책을 바라마지 않는다.

2002년 4월 일

회 장 유 택 규

21세기 국유림 관리 기본방향

김 용 하

산림청 국유림경영과장

1. 들어가는 말

산림청이 관리하고 있는 국유림은 1,297천 ha로 전국 산림면적의 20%를 차지하고 있으며, 5개 지방산림관리청 및 25개 국유림관리소에서 관리를 담당하고 있다. 국유림은 경제적으로 뿐만 아니라 생태적·환경적으로 매우 중요한 기능을 수행하고 있다.

즉 비상시기에 목재의 긴급공급, 문화재 보수·복원용 특대재의 공급, 국가 및 지역사회에 적절한 토지의 공급, 일반 국민이 쉽게 즐길 수 있는 산림휴양 시설 및 산림교육·문화공간의 제공, 백두대간 및 5대강 상류수원 지역의 보전, 국가적으로 중요한 야생동식물 서식지의 보호 등 공·사유림에서 대응하기 힘든 다양한 편익과 서비스를 생산 공급하고 있다.

국유림은 또한 공·사유림과는 다른 특성을 지니고 있다. 국유림은 국민의 산림으로서 산림청이 국민으로부터 위임받아 관리를 하고 있다.

따라서 국가 및 국민의 국유림에 대한 기대와 욕구를 효과적으로 충족시키는 것이 매우 중요하며, 현 세대는 물론 우리 후손들이 지속적으로 혜택을 누릴 수 있도록 체계적으로 관

리되어야만 한다.

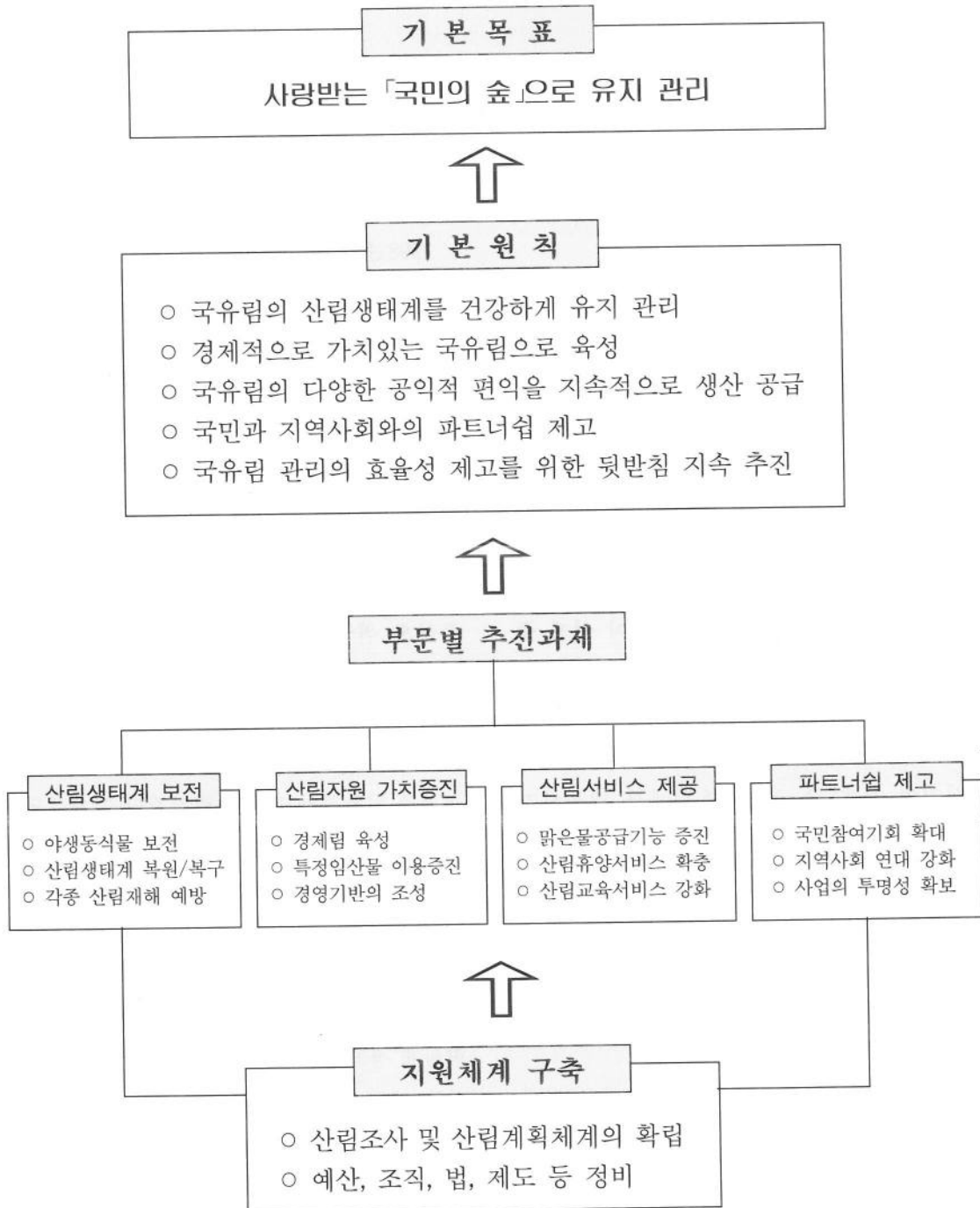
1998년 한국임정연구회 주관으로 실시한 국유림에 대한 국민의식 조사결과 첫째, 맑은 물과 깨끗한 공기 제공 둘째, 휴양공간으로의 활용 셋째, 생물다양성의 보전 넷째, 지역주민의 소득원으로 이용 다섯째, 목재의 안정적 공급 순으로 국유림의 역할을 기대하고 있는 것으로 나타나 국유림의 다목적 관리에 대한 기대가 큰 것을 알 수 있다.

그러나 그 동안 국유림정책은 상대적으로 소홀하게 취급하여 왔으며, 구체적이고 명확한 비전을 설정하지 않고 매년 시책적으로 추진해 왔다고 할 수 있다.

이에 따라 산림청에서는 21세기 산림비전의 실천을 뒷받침하고, 국유림정책의 정체성을 확보하기 위하여 국유림 관리 기본방침을 수립하고 이에 따라 각종 국유림 관리 시책을 추진하고 있다.

본 원고에서는 2001년 3월 수립된 국유림 관리 기본방침의 내용을 중심으로 개조식으로 간략하게 정리한 것으로서 일부는 현재 추진하고 있는 시책과 다소 거리감이 있는 점도 있으나 앞으로 중장기적으로 해결해 나가야 할 과제라고 생각해 주기 바란다.

2. 국유림정책의 기본개요



3. 부문별 주요추진과제 및 방향

3.1 國有林 山林計劃制度의 改善

- ☐ 상향식 산림계획이 이루어지도록 계획체계 정비
 - 산림청에서 국유림관리기본계획 수립 기본 지침 작성 시달
 - 기본지침에 의거 관리소별로 산림관리계획 수립
 - 산림생태계의 종합적 관리차원에서 산림관리계획을 작성
 - 관리소별 계획을 기초로 지방청별로 지역국유림관리계획 수립
 - 산림청 단위의 국유림관리기본계획 수립
 - 지방청의 지역국유림관리계획을 기초로 작성
 - 산림기본계획의 하위계획으로 독립된 국유림계획으로 발전
 - ※ 산림기본법 시행령 및 국유림관리법 제정시 반영 추진
 - 계획수립 주기는 산림기본계획 수립주기와 동일하게 유지
 - 10년 단위로 계획의 수립 및 5년 단위로 계획의 조정 추진
 - 국유림 산림계획 수립 시 국민의견수렴의 제도화
 - 전문가와 지역주민, 지자체 등의 의견수렴 절차를 반드시 수행
- ☐ 종합적인 산림관리계획이 수립될 수 있도록

개선

- 산림조사는 임·소반에 대한 종합적인 조사 방식으로 전환
 - 임상과 입지 위주에서 임상, 입지, 야생동식물, 수계, 휴양, 경관, 특정임산물, 문화·역사자원, 등산로 지역주민 이용 등 종합적으로 조사
 - 각 분야의 전문가가 참여하는 용역형태로 실시
 - ※ 2001 연구용역, 2002 시범조사 결과를 기초로 발전
- 산림조사시 수집된 각종 정보의 DB화 및 수치지도화
- 산림관리계획은 목재생산 위주에서 종합 산림관리계획으로 전환
 - 경제림, 산림유역, 야생동식물, 휴양자원 관리 등 종합적으로 작성
- ☐ 산림관리계획 수립 전담 조직의 설치 운영
 - 관리청에 산림조사 및 산림관리계획 수립 전담팀 설치 운영
 - 산림조사, 의견수렴, 계획수립, 평가 등의 업무를 총괄
 - 중장기적으로 산림계획관 조직으로 발전 추진
 - ※ 독일, 일본 등에서는 산림계획만을 전담하는 전문계획관 제도를 운영
- ☐ 주요 산림기능에 따라 관리하도록 산림기능 평가 실시
 - 산림조사와 연계, 산림기능의 구분 및 수치

지도화

- 임업연구원 연구과제로 수행중임
- 주요기능 구분 : 휴양, 수원함양, 경관, 생태계보전, 임목생산 등
- 산림기능별 산림관리지침을 개발하고 기능에 맞도록 관리

3.2 國有林 山林生態系の 保全 管理 強化

□ 국유림 산림생태계에 대한 현황 파악

- 산림조사시 산림생태계에 대한 종합적인 정보 파악
 - 산림생물종다양성, 중요한 야생동물 서식지, 습지 및 야생초지의 분포 현황, 우리나라를 대표하는 산림생태계 또는 식생 군락지 등
- 조사된 정보는 FGIS 체계로 구축 활용

□ 국유림 「산림건강지수」를 평가하여 정기적으로 발표

- 임업연구원 장기연구과제로 추진
 - 몬트리올프로세스의 지속가능한 산림경영 기준과 지표 활용
 - ※생물종다양성, 생산성, 토양 및 수자원, 건강도 및 활력도 등
- 「산림건강지수」 평가를 위한 고정조사구 설치
 - 산림경영계획구마다 대표성을 지니는 지역에 설치
 - 적정 규모 및 조사구 수 등은 임업연구원

등과 협의 결정

- 정기적으로 「산림건강지수」를 평가하여 발표
 - 평가 및 발표주기는 인력, 예산 등을 감안 정책적으로 결정
 - 전체 국유림, 산림경영계획구 등 목적에 맞게 지수를 발표

□ 생태적으로 중요한 국유림의 보호 강화

- 산림유전자원보호림 지역을 적극 확대 및 관리 강화
 - 희귀동식물 서식지, 대표적인 생태계, 주요 유전자원분포 지역 등 확대 지정
 - 지정목적에 맞도록 관리계획을 수립하고 관리 예산을 반영
- 백두대간 구역내의 국유림 보전·관리 강화
 - 마루금을 중심으로 일정범위를 설정 특별 관리
 - 보전임지 전용은 원칙적으로 금지하고 산림형질변경제한지역의 확대 등

□ 야생동식물 서식환경 개선사업의 적극적 추진

- 중점 관리대상 야생동식물의 서식 현황 파악
 - 멸종위기 및 보호야생동식물, 희귀식물, 특산식물 서식지 등
- 야생동식물 서식환경 개선사업을 정규 사업화
 - 산림작업을 통한 서식환경개선요령 개발 활용
 - 산림내 야생초지 공간 확보, 먹이식물 식

- 재, 겨울철 먹이사 설치 등
- 국유림내에서의 야생동식물 불법채취, 포획행위 단속 강화
- 야생동식물 관리에 대한 의식 개선
- 초본류를 포함한 야생동식물을 종합적으로 관리하는 시각으로 전환

□ 효율적인 산불방지체계 구축과 생태적 복구 추진

- 지역주민의 참여와 감시시스템의 확대를 통한 예방체제 구축
- 논밭두렁의 계획적인 소각 등 산불발생요인을 사전 차단
- 관리소별 주요 산불취약지역에 산불무인감시시스템을 확대 설치
- 연대보호명령제도의 엄정한 운영으로 실효성 확보
- 산불피해지의 생태적 복구 추진
- 무조건적인 인공조림 복구방식은 지양
- 동해안 산불피해 국유림에 영구조사구를 설정 모니터링

□ 생태적으로 안정된 병해충 방제의 추진

- 솔잎혹파리에 중점을 두고 방제 추진
- 솔잎혹파리 발생면적(333천ha)은 국유림 병해충면적의 92% 차지
- 가능한 임업적 방제방법을 활용하여 회복될 수 있도록 유도
- 산림병해충 예찰·방제사업의 국·사유림 간 공조체제 강화
- 지자체에 배치된 예찰원을 활용하여 돌발

해충 발생 감시

- 병해충 방제는 국·사유림을 포함한 지역 완결주의로 실시
- 특히, 소나무재선충병에 대한 예찰 및 방제활동 강화
- 항공방제시 산림영향성 평가 및 경제성 분석 의무화 추진

□ 산림생태계 복원/복구 프로그램의 적극적 추진

- 훼손, 단절, 단편화된 산림생태계의 연결
- 식생복원, 이동통로 설치, 생태계 위협외래종 제거 등
- 특히, 백두대간 지역의 국유림에 대한 복원 우선적으로 추진
- 복원/복구용 묘목의 증식확대 및 현지 순화
- 국유림 양묘장을 적극 활용 증식 확대
- 고산지대에 山間苗圃를 조성하여 현지 순화 추진

3.3 經濟的으로 價値있는 國有林 育成

□ 2020년까지 60만ha의 국유림을 경제림으로 육성

- 생산임지를 중심으로 경제림 육성단지를 설정, 집중 관리
- 「21세기 산림비전」 경제림육성계획과 연계 추진
- 인공조림 및 천연림보육계획을 수립한 후 연차적으로 추진
- 임업연구원의 조림지·천연림보육지 실태

조사를 기초로 수립

- 인공조림면적은 축소하되, 천연림 보육 면적은 확대
- 천연림보육지 360천ha, 인공조림지 240천ha 확보목표 잠정 설정
- 상향식계획으로 인한 물량 변동시 목표수치 합리적으로 조정
- 인공조림방법의 대폭 개선
 - 대면적 인공조림 방식은 지양하고 소면적 군상 조림 추진
 - 침엽수 또는 활엽수 단순림 형태를 복층 혼효림으로 유도
 - 병해충 및 산불확산을 저지할 수 있는 수림대 조성

□ 문화재 보수/복원용 소나무(림)의 지정 관리

- 국유림을 대상으로 문화재용으로 공급 가능한 소나무 조사
 - 집단생육지는 물론 단목상태의 소나무도 조사
- 선정된 소나무(림)는 나무별로 관리번호를 부여 특별 관리
 - GPS를 이용한 단목별 좌표를 표시하고 대장화하여 관리
 - 국유림관리법 제정시 문화재 보수/복원용 산림 지정제도 도입 검토
- 문화재용 소나무는 超長伐期 체제로 유지 관리
 - 말구직경 45cm 이상인 특대재 생산 공급에 중점

□ 국유양묘장 관리운영의 개선

- 관리청별 핵심 양묘장을 선정, 역량을 집중
 - 장기적으로 종자 및 묘목검사기능까지 수행할 수 있도록 육성
 - 고산지대 山間苗圃 조성 운영
 - 백두대간 복원용 묘목의 산지적응 등을 위해 추진
 - 露地養苗 위주에서 노지·施設養苗가 균형을 이룬 체제로 개편
 - 노지양묘 60%, 시설양묘 40% 비율로 생산구조 개편
 - 노지양묘는 기계화 작업이 가능하도록 토지 재편
 - 국유양묘장의 활용도 제고
 - 생태계 복원/복구용 묘목 및 특산식물 증식기지로 활용
 - 「전국민 내나무 갖기」용 묘목(국민이 선호하는 것) 증식 공급
 - 장기 조림계획에 따른 계획적인 양묘와 우량 종자의 확보
 - 채종원산 종자의 공급을 확대하고 우량 활엽수 종자의 확보
 - 종자의 산지증명과 묘목 품질관리를 엄격히 실행
- #### □ 영급구조를 매년 목재를 균등하게 생산하는 구조로 개선
- V영급 이상의 임지비율이 30%이상 될 때부터 착수
 - 2010년대초부터 착수 ('99년 V영급이상 비율 26%)

- 국유림내 경제림 설정지(60만ha)를 대상으로 추진
 - 경제림 설정지에 대한 영급조사후 적정 영급배치계획 수립
 - 2050년까지 I ~ X영급이 균형 분포되도록 장기적으로 추진
 - 수종별 장별기 위주의 벌기령을 산출하여 적용
- 특정임산물자원의 관리 강화
- 국유림내 경제적 가치가 있는 특정임산물자원 조사 및 DB화
 - 산림조사와 연계 추진(품목, 분포지, 생산가능량, 이용자 등)
 - ※ 미국 산림청의 경우 크리스마스 트리, 양봉, 산지묘목, 종자, 견과류, 열매류, 버찌류, 수액, 뿌리, 구근, 버섯, 곰팡이, 이끼류, 허브식물, 양치식물, 야생화, 겨우살이, 임산연료, 곤충 등을 특용임산자원으로 활용
 - 지역주민과의 수익분배 제도 개선
 - 연대보호명령제도의 성실한 이행방안 강구 및 수익분배율 개선
 - 임산물 생산환경의 개선과 서식지 관리
 - 송이 등 생산량과 환경개선이 연관이 큰 품목에 적용
 - 산나물 등이 무분별하게 채취되지 않도록 관리
 - 지역사회와 연계되는 특수용도 수종의 계획적인 조성 관리
 - 원주의 옷나무, 완도의 황칠나무, 함양의 고로쇠나무 등
- 식·약용으로 가치가 높은 수종 (은행, 주목, 음나무, 비자 등)
- 생태적 임목벌채방식의 적용과 임목매각제도 개선
- 생태적인 임목벌채방식으로 개선
 - 수종별 표준벌기령보다 20~30년 긴 長伐期로 운영
 - 대면적 벌채가 수반되는 年期賣却制度의 폐지
 - 생태적으로 안정된 작업방식을 개발 엄격히 적용
 - 인력 및 경영비 절감을 위한 임목매각방법의 개선
 - 국유임산물 평가방법의 개선 및 전산화를 통하여 업무 간소화
- 환경친화적 임도시설
- 2030년까지 경제림지역을 중심으로 ha당 10m 목표로 시설
 - 임도밀도 : ('00) 3.0m/ha ('07) 4.6m/ha ('30) 10m/ha
 - ※ 4차계획은 2030년까지 ha당 11.6m 시설 목표 (전체 국유림 대상)
 - 산림훼손이 최소화 되도록 환경친화적인 임도시설 추진
 - 임도 타당성평가 제도를 확실하게 이행
 - 산림휴양, 산악자전거 등 다목적으로 활용될 것을 감안 시설
 - ※ 미국의 국유림 임도는 휴양목적으로 적

국 활용 (목재생산 15천대/일, 휴양 1, 706천대/일)

- 기 시설된 임도에 대한 지속적인 관리
 - GIS를 기반으로 임도 DB 구축 및 임도전 산망 구축
 - 지속적으로 보수 및 경관개선 작업 등 추진

□ 임업기계화 작업 확대로 사유림 기계화를 선도

- 임업기계화는 임목생산분야에 집중하여 추진
 - 고성능 임목생산기계 위주로 보급
 - 2005년까지 관리청별로 고성능 임업기계 1세트 지원
- 임지여건에 적합한 기계화 작업모델 개발 보급
 - 2001년도 국유림 실연기술개발 용역연구과제로 채택 추진
 - 기계화시험단지 등에서의 실연작업을 거쳐 보급
- 관리청별 기계화작업 단지 시범운영후 관리소로 확대 운영
 - (2000) 5개 단지 → (2010) 15개 단지
- 임업기계의 원활한 운영을 위하여 임업기계 조작수 양성
 - 기존 임업기능인중 희망하는 자를 훈련
 - 2005년까지 5개의 고성능기계화 영림단 설치 운영

□ 임업기능인의 지속적 양성과 관리 강화

- 2010년까지 2,800명의 국유림 사업 전담 임업기능인 양성
 - 기능인양성 : ('00까지) 1,505명 → (2010) 2,800명
 - 국유림 분포면적이 많은 산촌지역의 노동력을 적극 활용
- 임업기능인의 후생복지 증진대책 마련
 - 임업기능인의 산림사업 도급제도의 법적 뒷받침 강화
 - 국유림 도급사업 물량의 안정적 확보 및 시기별 적정 배분
 - 국유림 벌채에 참여하는 목상 소속의 임업노동자 복지 증진

3.4 國有林의 對國民 서비스機能 強化

□ 맑은 물 공급 및 녹색댐 기능의 유지 증진

- 산림조사와 연계하여 국유림내 水환경 조사
 - 발원지, 수계, 수량, 훼손여부, 생물서식 현황 등
 - 수계정보는 DB화 및 수치지도화 하여 관리
- 수계 및 유역산림의 보호 강화
 - 수계별 영향권역 산림(유역산림)을 보안림으로 지정 관리
 - 수계보호 및 수질오염 방지를 위한 생태적 관리요령 개발
- 훼손된 수계 및 유역산림의 복구/복원
 - 훼손된 수계를 본래의 모습으로 복구/복원
 - 수계 및 유역산림의 야생동식물 서식환경 개선

- 녹색댐 기능 증진을 위한 각종 사업의 추진
 - 침엽수 단순림(특히 리기다림)을 혼효림으로 유도
 - 간벌, 천연림보육, 사방댐 설치 등을 통한 물 보유능력 제고
- 국민의 수요에 부응하는 다양한 산림휴양공간 제공
 - 국유림내 산림휴양공간의 대폭 확충
 - 조성목표 : (2000) 31개소 → (2010) 50개소
 - 전체 산림휴양수요의 30%를 국유림에서 수용 추진
 - 도시지역 국유림을 산림휴양공간으로 적극 개발
 - 도시주변 개발 가능한 국유림 실태 조사
 - 도시민의 이용현황, 지자체의 의견 등을 감안 추진
 - 천편일률적인 시설에서 탈피하여 차별화된 휴양시설 조성
 - 이용편의도에 따라 原始형, 中間형, 近代형 형태로 구분
 - 주제에 따라 특성화된 휴양공간으로 차별화
 - 교육, 산악레포츠, 시와 음악, 산림체험, 보건, 야영 등
 - 산림휴양시설의 유지 관리의 강화
 - 시설별로 목표 유지수준을 정하고 이를 달성하도록 관리
 - 시설별로 적정 관리요령을 표준화하여 관리비용 절감 도모
- 중장기적으로 자연휴양림 시설 및 관리방식의 전환 검토
 - 관리청에서 휴양·교육·탐방업무 등을 통합 관리 추진
 - 장기적으로는 자연휴양림관리공단 설립방안도 대안으로 검토
- 국유림내 전통 산림문화유산의 발굴·보존
 - 전통 산림문화 유산의 조사 및 DB화
 - 황장금표, 황장봉표, 노거수, 전통숲, 신단수, 화전유적지 등
 - 지역별 문화유산과 연계된 특색있는 산림문화행사의 정례화
 - 예 : 영월 뗏목축제, 강릉 소나무 축제, 원주 치악제 등
- 산림환경교육 서비스 강화
 - 주요 자연휴양림을 산림환경교육센터로 전환
 - 숲속교실, 야외강당, 운동장, 식당, 교육시설 등 보완 정비
 - 특히, 백두대간지역의 주요 휴양림을 교육센터로 육성
 - 계절별, 월별, 주별 정기적인 산림교육 프로그램 개발 운영
 - 자연휴양림 주변의 자연자원과 문화·역사 자원을 활용
 - 탐방객의 계층과 경험수준 등을 고려한 다양한 프로그램 개발
 - 특히, 여름·겨울방학 기간 동안 청소년 산림캠프 운영 추진

- 산림교육프로그램을 운영할 전문인력의 확보
 - 관리청(관리소) 공무원을 증원 배치하여 주도적인 역할 수행
 - 숲해설가, 자원봉사자 등을 적극적으로 모집 활용
- 산림환경교육 및 해설 능력향상을 위한 교육 강화
 - 임업연구원 임업연수부에 정기교육과정을 개설 운영

□ 국유림내 등산로 정비 및 서비스 강화

- 국유림내 등산로 실태조사 및 기초시설의 설치
 - 시발점, 종착점, 연장거리, 훼손실태, 구배, 주변식생 형태 등
 - 역사적으로 의미있는 등산로에 대해서는 보전 관리
 - 식물이름표, 해설판, 안전목책, 간이 휴식 시설, 이정표 등
- 국유림내에 등산학교 설치 운영
 - 한국산악회 등 민간단체와 연계 추진
- 훼손된 등산로에 대한 복구 추진
 - 기존 등산로중 훼손된 부분은 생태적으로 복구
- 등산로 관리 및 정비요령의 개발 보급
 - 2001년도 녹색자금 연구용역과제로 정비요령 개발

3.5 國民 및 地域社會와의 파트너쉽 提高

□ 「산림체험의 숲」 조성 관리

- 관리소별 1개소 이상의 산림체험의 숲 조성 장소 마련
 - 1차적으로 자연휴양림 인근지역에 조성
 - 수요가 많은 경우 일반 국유림지역으로 확대
- 「산림체험의 숲」에 대한 자긍심 고취 및 지속적인 관리
 - 나무심기, 숲가꾸기, 산림탐방, 하계수련 등 정기적으로 참여 유도
 - 시민의 숲 실명제를 통하여 참여자의 자긍심/책임감 유발

□ 정기적인 국유림 산림생태탐방 프로그램 개발 운영

- 청소년 백두대간 산림생태탐방 프로그램 정기적으로 운영
- 2002년도부터 일반 국유림지역에 대한 생태탐방 프로그램 운영
 - 조림성공지, 산림유전자보호림, 문화·역사·경관자원 등과 연계
- 정기 산림생태탐방 프로그램 운영팀을 지정
 - 분야별 안내자, 리플렛 등 교육자료 준비
 - 산림조합, 산림관련단체와의 연대를 통한 고객 모집 추진

□ 다양한 「산림체험의 숲」을 조성 관리

- 국유림내에서 다양한 체험을 할 수 있는 숲을 조성
 - 잣·산나물·솔잎 채취숲, 밤나무·도토리줍기숲, 맨발걷기숲, 곤충관찰숲, 식물채집

- 숲, 산머루·더덕·쑥 채취숲 등
 - 일정 날자와 기간을 정하여 담당직원의 지도하에 체험 실시
 - 산림조합, 지역사회, 산림관련단체 등과 연계 추진
- 자연휴양림과 연계한 체험공간 및 프로그램 개발 운영
 - 목공예 제작, 천연염색, 종이만들기, 박제 등
- 산촌주민의 소득향상과 지역사회의 발전에 기여할 수 있도록 역할 증진
 - 산림사업을 통한 국유림 산원주민의 고용기회 확대
 - 국유림 기능인영립단 육성과 연계 추진
 - 국유림 산원주민의 국유임산물의 원활한 이용 방안 강구
 - 산림법상의 연대보호명령제도를 합리적으로 개선
 - 산림계(산림조합) 위주에서 산촌마을회도 가능하도록 개선
 - 국유림에 대한 식·약용식물 재배지 임대제도 활성화
 - 생태관광/녹색관광 추진시 국유림 자원과 연계되도록 협조
- 산림휴양촌 시범조성 사업의 추진
 - 2001년도 개발모델 용역연구 추진 및 조성 후보지 물색
 - 접근이 용이하고 배후도시가 발달되어 있는 지역
 - 직접개발, 토지대부, 제3섹타 개발방식에 대한 검토
 - 2002년도 기본계획 수립, 2003년도부터 조성 추진
- 국유림 관리와 관련된 자원봉사자 운영 프로그램 활성화
 - 숲해설가 위주의 자원봉사제도를 다양한 분야로 확대
 - 산림휴양시설 관리, 각종 탐방프로그램의 운영, 기념식수 및 체험의 숲 관리, 각종 산림생태계 보전 프로그램에의 참여 등
 - 자원봉사자 계층의 다양화 추진
 - 청소년에서 은퇴한 노령계층까지 다양화
 - 국유림관리법에 자원봉사자의 모집 운영에 관한 규정 반영
 - 자원봉사자에 대한 기본적인 후생복지혜택의 부여
 - 교통비, 숙식, 의료혜택, 교육·훈련 제공 등
- 국유림 사업의 투명성 강화
 - 정책수립, 이행, 평가시 이해관계자가 참여할 수 있도록 추진
 - 지역사회 대표, NGO, 학계 전문가, 기타 주민 등 참여 제도화
 - 청문, 공청회, 설명회 등의 개최로 충분한 의견개진 기회 제공
 - 인터넷, 기타 미디어 수단을 통한 사업계획의 공지
 - 각종 국유림사업의 지지를 확보하기 위한

사전 검토 강화

- 산림영향성 평가, 사업타당성 평가 등을 사전에 정확히 실시
- 사전검토과정부터 지역주민과 이해관계자의 참여 유도
- 각종 국유림 사업에 대한 만족도 조사를 주기적으로 실시
 - 자연휴양림, 산림생태계 보전 관리, 민원처리 등
- 국유림관리소 단위까지 홈페이지 개설 운영
 - 관내 국유림에 대한 각종 정보의 제공
 - 산림청 및 관리청 홈페이지와 연결시켜 원활한 정보교환 도모

3.6 國有林의 擴大 및 效率的 管理

□ 2020년까지 전체 山林의 30%를 國有林으로 확보

- 지역별 국유림 분포 등을 감안한 확대 권역을 설정하고 집중 매수
 - 확대목표 : (2000) 22% → (2007) 24% → (2020) 30%
 - 국유림률이 낮고 소면적 분산된 지역을 확대거점으로 설정
 - 전국적으로 국유림이 적정 규모로 분포될 수 있도록 배치
- 보안림, 산림유전자원보호림 등 공익적 가치가 큰 私有林 적극 買收
 - 매수대상 산림의 선정기준과 매수절차 등에 대한 근거 마련
 - 각종 공익임지로 지정할 가치가 있는 산림

의 매수 추진

- 사유림 매수 위주의 국유림확대 방법을 다양화
 - 민유림과의 교환 활성화를 위한 제도적 장치 마련
 - 무주 부동산, 은닉재산의 환수 및 전문인력의 확보(계약직)
- 경영에 불필요한 소면적 분산 재산의 처분 제도 개선
 - 산림청 소관 농지 등의 매각을 원활히 할 수 있는 규정 마련
 - 타법에 의한 특례매각, 공공목적 수행을 위하여 처분이 불가피한 재산
 - 산림으로의 회복이 불가능한 장기대부지, 유휴상태의 소규모 분산재산, 무단점유지로서 매각요건에 충족되는 재산 등

□ 사권(私權)이 설정된 국유재산의 효율적 관리 강화

- 사유임목매수의 확대를 통한 조림대부지(분수림)의 조기 정리
 - 조림대부지(분수림) 감축 : ('98) 111천 ha → (2007) 66천ha → (2020) 1천ha
 - 임목매수비를 예산에 확대 반영하고, 조림을 위한 대부는 중지
- 부실대부지·무단점유지 정리 및 대부 용도의 정비
 - 관리가 부실한 목축용 대부지는 환수
 - 불법적인 무단점유지는 사안별로 원상회복 또는 양성화 추진
 - 현실성이 없고 산림환경오염 유발요인이

큰 용도로의 대부분은 폐지

- 국특세입 증대를 도모하기 위하여 국유림 신탁제도를 활성화
 - 도시 주변의 활용 가능한 국유지를 개발임대 또는 분양신탁제도를 이용하여 재산가치의 제고 및 국특세입의 확보

□ 국유재산의 체계적 관리를 위한 실태조사 및 전산화 추진

- 보존여부의 결정 및 토지의 효율적 정리를 위한 실태조사
 - 국유림의 필지별 법적 제한사항, 용도, 보존의 필요성 등을 조사
 - 실태조사 결과를 반영하여 재산의 관리·처분계획을 수립하여 추진
- 국유재산관리 전산프로그램의 성능개선 및 개발
 - 기존의 국유재산관리프로그램을 웹 환경으로 개선
 - 재경부와 이원화되어 있는 재산관리프로그램을 하나로 통합

3.7. 支援體系의 整備

□ 세입예산구조를 다변화하여 건전한 국특회계운영을 도모

- 다양한 국특회계 수입원의 적극 발굴
- 일반회계 전입금의 확대 등을 통하여 세입구조를 개선
 - 단기적으로는 공무원 인건비, 기본사업비와 아울러 국유림의 공익적 기여도가 높은

사업은 일반회계 전입금으로 추진

- 장기적으로는 재산관리부문은 현행대로 특별회계로 운영하되, 경영부문은 일반회계로 편입하는 구조로 조정 추진
- 국특회계의 연도별 예산규모는 관리소별 산림관리계획상의 사업을 추진하기 위한 투자 소요액을 우선적으로 고려

□ 현장 국유림관리조직의 정비

- 북부·동부·남부 지방산림관리청장의 직급 상향 추진 검토
- 국유림관리소를 규모에 따라 차등화 검토
 - 규모별 기관 차등화 : 4급 관리소 6개소, 5급 관리소 19개소
- 지방산림관리청별로 산림계획관 설치 추진
 - 산림조사, 산림계획수립, 평가, 산림건강지수 등의 업무 수행
- 자연휴양림관리소를 지방청별로 1개소 신설
 - 자연휴양림 운영, 산림환경교육, 산림탐방안내 업무 등 수행
- 지방산림관리청별로 임업연구관(사) 1명을 배치
 - 국유림에서의 실연기술개발연구 계획수립 및 관리업무 수행
- 국유림경영팀 제도의 운영 개선

□ 직원의 직무능력 향상을 위한 교육 훈련 강화

- 신규임용 직원에 대해 3개월간의 직무훈련 실시 후 배치
 - 산림조사, 측량, 계획수립, 재산관리, 사범

실무 등 종합 교육

- 새로운 수요가 있는 분야에 대한 교육훈련 강화
 - 산림환경교육, 생태관광, 수계관리, 경영기법, 고객만족 등
- 경영팀장급 등 간부급에 대한 보수교육의 지속적 추진
 - 정기적인 교육훈련과정, 워크샵, 세미나 등 적극 활용
- 선진국의 국유림관리에 대한 정책 및 실무 연수의 강화
 - 독일, 일본, 미국, 뉴질랜드 등 국유림정책이 발전된 국가 대상

□ 업무의 표준화·간소화 및 지식공유기반 조성

- 각종 보고서식의 표준화 및 자동 보고프로그램 개발
 - 보고회수의 감축 및 보고서 작성시간의 절약 도모
- 각종 산림사업에 대한 공유시스템의 구축
 - 업무별 보고서식 및 방법, 현장경험, 추진 실적 등을 공유
 - 경영팀 → 관리소 → 관리청 → 본청에서 정보 공유

□ 투명하고 객관적인 평가제도의 개발 운영

- 투명하고 객관적, 과학적인 평가시스템 개발
 - 각 사업별 성과측정 지표(정량적, 정성적)의 개발

- 비용, 수익, 성과요인을 고려한 평가

- 사업별 중요도, 시간 및 업무량 등에 대한 분석 포함

- 매년 사업별 목표설정과 성과분석 실시 및 인센티브 부여

- 우수공무원에 대한 근무평정우대 및 상여금 지급 등

- 경영수익 증대, 비용절감의 경우 일정 비율 보상

- 기관 이미지 향상 등에 현저한 공이 있는 직원 표창 등

□ 근무환경의 개선 및 사기양양

- 국유림을 관리하는 기관답게 시설의 차별화
 - 목조 등 자연친화적인 소재 사용 및 청사 모델개발
 - 청사주위에 자생식물관찰원 등을 조성하여 자연학습장소로 활용
- 독신 또는 가족형 관사의 확보
 - 각종 운동시설, 휴양시설 등을 함께 설치하여 복지후생 증진
- 현장근무에 필요한 장비 및 경비 등의 지원 강화
 - 산림경찰, 순찰용 고성능 지프차 및 사무용 차량의 확보
 - 특수지근무수당 등의 신설

□ 가칭 「국유림관리법」의 제정 추진

- 산림청의 법률정비계획과 연계하여 추진
 - 2002년도까지 하위법령까지 입법 완료 목표 추진

- 재산관리 위주로 되어 있는 현행 국유림 규정을 보완
 - 국유림 관리의 목적과 원칙을 명확하게 정립, 국유림정책의 기본방향 및 시책, 국민 참여에 의한 국유림 활용도 제고, 경영팀 제의 법적 근거 확보 및 자율성 확대 등

□ 산림종합정보망과 연계한 국유림조직의 네트워크화 추진

- 근거리통신망(LAN)을 관리소 및 휴양림사무소까지 확대 구축하여 초고속 통신망을 이용한 기관 간 정보교환 및 관리체계 구축
- 관리소별 홈페이지 구축 등을 통해 국유림 관련 정보를 제공
- 산림조사, 재산관리 등 각종 속성정보를 데이터베이스화하고, 임소반도 등 공간정보를 통합하여 구축

□ 교육훈련 등을 통한 정보화 전문인력의 양성

- 정보화에 대응할 수 있는 교육과정의 신설 및 운영
- PC 경진대회 등을 통해 전산능력 향상을 위한 동기 유발
- 각종 프로그램의 내부 개발자를 신지식인으로 육성
- 일선 통신직 공무원을 정보화 담당으로 전환 유도



지속가능한 생태를 향한 조림

구 창 덕

충북대 산림과학부 교수

머리말

생태공원, 생태마을, 생태적 도시하여 이제는 생태라는 글자를 도로변에서도 흔히 볼 수 있다. 그런데 도대체 생태(生態), 생태계란 무엇을 뜻하는가? 글자 그대로 보면 생태는 생물들이 어떤 특정 환경에서 살아가는 모습이다. 보다 전문적인 서적을 참고하여 정리하여 보면, 생태란 다양한 생물 종들이 주위의 물리적 환경과 생물적 환경에 적응하여 살아가는 모습이다. 이 살아가는 모습을 공간적으로 구성해 보면 생태계가 된다. 생태계의 위기라는 말이 있는데, 이것은 생태계의 구조가 손실되어서 제 기능을 다하지 못할 위험에 직면함을 뜻한다. 임학에서 조림(造林)은 이미 생태를 이해하고 응용하여 왔으므로 현재 생태계의 문제는 조림으로 해결할 방도가 많을 것이라고 생각한다. 따라서 이 글에서는 생태계의 구조와 기능이 무엇인가를 이야기하고 지속가능한 생태를 향한 조림을 제시하고자 한다.

조림의 내면에 있는 생태개념

왜? 조림(造林)은 생태를 응용하는 것일까? 임경빈 교수 등은 조림학본론(1991)에서 조림

은 수풀(森林)을 조성하고 그것을 보육하며 임지의 생산능력을 높여서 인간생활을 풍요롭게 하는 것이라고 하였다. 이 정의에서 조림이 생태적 사고방식과 지식을 응용하는 이유를 풀어 보면, 수풀을 조성하고 보육하기 위해서는 물리적 환경인자인 햇빛과 물과 토양과 온도 등을 고려하지 않을 수가 없기 때문이다. 또한 다른 생물과의 관계, 즉 경쟁이 되는 수종이나 초본, 병충해, 그리고 뿌리에 공생하는 균류도 수풀의 보육에서 고려할 필요가 있기 때문이다. 생태는 물리적 환경과 생물적 환경을 함께 고려한다.

다음으로, 조림이 생태를 응용하는 이유는, 꼭 현재의 경제성만으로 의사를 결정하는 것이 가장 좋은 것은 아니기 때문이다. 조림의 목적에서 임지의 생산력을 높인다는 것은 당연히 목재생산을 위한 것이 주가 될 것이다. 그러나 경제적 소득을 얻기까지는 30-40년을 기다려도 기약이 없는 단점을 보완하기 위하여 매년 수입을 가져다주는 임산부산물, 즉 버섯, 산나물, 약용식물 생산을 위하여 다양한 생물종의 유지도 고려할 필요가 있기 때문이다. 송이와 능이는 비록 임산부산물이지만 한 임분에서 얻는 경제적 사회적 가치는 소나무나 참나무보다 분명 크다. 더욱이 편향된 경제성만 따지고 버렸



그림 1. 산업폐기물 위에 선 송이
(양양송이축제, 1998)

던 산업 폐기물 속에서는 송이가 나기를 기대할 수는 없다 (그림 1).

여기에 더하여 조림은 다른 생태계의 문제도 고려할 필요가 있기 때문에 생태학적 지식을 응용한다. 산림의 공익적 기능인 수원함양, 야생동물 서식지 제공, 휴양, 국토보전 등은 인간 생활을 풍요롭게 한다. 이런 기능을 유지하기 위하여서는 보다 광범위한 면적에서 여러 형태의 생태계가 상호작용하는 경관생태에 대하여 보다 장기적인 관리를 고려할 필요가 있다.

예를 들면, 산림이 증발산하는 수분동태는 하류의 지하수계에 계속적으로 영향을 미친다. 서부호주(Western Australia)의 농업 지역에서 보고된 심각한 예를 보면(호주 국가환경보

고서, 1996), 과거에 상류의 수풀을 벌채한 결과 그 지역의 증발산이 줄어들었다. 이것은 수십 km 떨어진 하류 지역에서 지하수위를 높게 하고, 높아진 지하수위표면에서 증발이 되고 남은 염류 때문에 농사를 더 이상 짓지 못하게 되고 심지어는 강 하상에도 염류가 집적되어 고유 식물마저도 살지 못하는 토지가 늘어나고 있다고 한다. 결국 이런 문제를 이해하고 또 해결하는 데에는 생태계의 구조와 기능에 대한 지식이 기초가 되고, 증산작용이 크고 뿌리를 깊이 발달시키는 수종을 선택하여 조림하는 기술이 실질적인 해결책으로 될 것이다.

생태계의 구조와 기능

생물이 살아가고 있는 생태계를 찬찬히 뜯어서 보게되면, 이것도 우리 몸처럼 구조와 기능이 있음을 보게된다. 우리 몸은 우선 세포로 구성되어 있으면서 뼈대구조, 신경계, 소화계, 혈관계, 호흡계 등의 구조를 가지고서 운동을 하거나, 소화된 양분과 산소를 순환하는 혈액에 실어서 몸의 각 부분에 공급한다. 그리고 각 구조는 독립적으로 있는 것이 아니라 서로 연관되어 생명체를 통일적으로 유지하는 것을 목적으로 하여 기능을 한다.

생태계의 구조와 기능을 보면(표 1)과 같다. 우선 구조는 우리 몸이 수많은 세포로 되어있듯이 생태계는 수많은 생물 종들로 구성되어 있고 이들이 한 장소에서 수평적으로, 수직적으로, 지상과 지하에 분포한다. 각 종의 개체는 크기와 나이가 다르면서도 서로 관계를 맺어

표 1. 생태계의 구조와 기능에 해당하는 용어

구 조	기 능
먹이사슬 구조: 생산자-소비자-분해자	광합성 1차생산, 2차생산
종분포	
종구성	전파: 종자, 화분
생물종 다양성	
서식지 다양성	물순환
밀도, 피도, 빈도	양분순환 (질소, 인, 황 등) 공중질소고정
수직구조	에너지순환
수평구조	
생육형	먹이사슬 종간상호작용: 경쟁, 중립, 공생, 기생
집단	
군집	교란 천이

동일적으로 어울려 있다. 한 예로, 먹이사슬 구조를 보면 생산자, 소비자, 분해자로 구성되어서 물질과 에너지가 순환한다.

그리고 생태계에 있는 기능이라 함은 생물이 물리적 환경이나 생물적 환경과 관련하여 일으키는 역동적 과정이다. 먼저 식물의 잎이 탄소동화작용을 하여 유기물을 생산하면 이를 이용하여 줄기와 뿌리가 생장하고, 이 식물은 먹이사슬 구조를 통하여 동물들과 미생물들이 살아갈 수 있는 에너지를 공급한다. 뿌리는 토양에서 수분과 양분을 흡수하여 잎에 공급한다. 먹이사슬 구조로 인하여 한 종의 밀도가 적정하게 유지되고, 생산자와 소비자의 체내로 고정되어 들어간 탄소 에너지와, 질소나 인과 같은 무기양분들은 분해자에 의하여 다시 순환할 수 있다. 구조는 그 환경에서 기능을 잘할 수 있도록 적응하면서 발달된 것이라고 할 수 있다.

조림은 이 구조를 모방하여 수풀을 조성하므로 산림생태계가 기능을 할 수 있게 한다.

조림의 개념과 한계

우리 인간은 자연을 모방하면서 문명을 발달시켜왔고 요즘은 최첨단 생명공학기술을 이용하여 창조적으로 자연을 모방하고 있다. 그래도 원시림의 벌채는 그 후 산림의 발달에 큰 영향을 끼치고, 식생의 생장을 조절하는 처리나 시업은 임분 환경의 요소를 상당히 바꾸었다. 그러나 조림학은 오래 전부터 자연을 이해하고자 하는 생태학을 의식적으로 적용한 것으로 생태학이란 말이 생기기 전부터 자연을 모방한 것이다(Smith 등, 1977).

조림학은 자연산림의 생장과 발달 과정을 모방한 것으로, 이 과정은 개선되고 일정한 방향

으로 진행되거나 제한될 수도 있다. 그러나 자연의 모방이 아닌 과도한 파괴는 결국 언젠가는 혹독한 손실과 고비용을 요구하는 불행한 결과로 나타날 것이다.

생태적 지식에 의존한다는 것은 전적으로 필요성에 의존한다는 것으로, 단지 철학적 원리에만 의존한다는 것이 아니다. 자연을 이해해야 한다는 것은 조림학이 맹목적으로 자연과정의 실체나 추상적인 이론을 따라 함을 의미하는 것은 아니다. 대부분의 산림은 사람보다 오래 살아서 수세기에 걸쳐서 산림을 새롭게 하는 자연교란 즉 산불, 폭풍, 충해의 대발생 같은 대이변을 당할 수는 있다. 그리고 산림은 작은 교란으로도 느리고 끊임없이 새롭게 되지만 이것이 자연상태에서 눈에 보일 정도로 급격히 일어나는 현상은 아니다.

조림학은 산림생태계의 구성과 관리에 관한 것이다. 생태계의 건강한 영속성은 궁극적으로는 물질들의 생태적 순환이 완성됨으로써 이루어진다. 어떤 것은 수의 공간에서 수 초내에 끝나지만 수분이나 가스가 대기로 순환되는 것은 한 대륙이나 1년의 세월로는 끝나지 않는다. 어떤 자연 순환은 끝나지 않고 있더라도 계류로 흘러나간 양분 중에서 수백만년이 흐른 후에 대양의 바닥에서 토해 나올 수 있다.

산림생태계내에서 이 물질의 순환은 가능한 한 완결되는 것이 바람직하다. 그러나 이것은 이 사이클이 완결되어야 하고 단일 면적에 국한되어야 한다는 것을 의미하지는 않는다. 그것은 실질적으로 가능하지가 않은 것이다. 혼효되고, 모든 나이를 갖추고 몇개의 아주 오래

된 나무들이 있어서 안정된 식생에 달하고, 물질의 손실과 축적에 변화가 없는 극상임분은 실체가 아니고 단지 추상적 개념인 것이다. 이러한 산림을 그려보는 것은 아이디어를 간명하게 전달하는 데에는 좋지만, 이 개념은 물리학과 공학에서 완전한 흑체(black body: 모든 파장의 방사를 완전히 흡수하는 가상물체)를 가정하는 것 처럼 산림생태학과 조림학에서 가정하는 이상적 임분에 지나지 않는다.

지속가능한 생태를 향한 조림

조림학은 순수한 자연상태에서 이루어지는 것이 아니다. 순수한 자연상태는 이미 문명사회가 식량채집 단계를 넘어섰을 때 이미 끝이 났다. 문명이 얼마나 인공적인 만큼 임업도 또한 인공적인 방법으로 세계의 생태계를 건강하고 역동적인 균형상태로 유지해야만 한다. 그러나, 인공과정이 자연과 멀어지면 멀어질수록 위험성은 더 크게된다. 왜냐하면 그 결과를 예측하기가 더욱 어려워지기 때문이다.

생명의 그물망은 매우 복잡하게 얽혀있어서 이렇게 말하기가 쉽다. '사람들은 아무래도 잘못할 수 있기 때문에 산림에 대하여 아무 것도 하지 말아야 한다'고. 이 말은 순수과학이 응용과학에 대하여 끊임없이 비난하는 내용이다. 이 비난에 대하여 완전히 논박할 수는 없지만 사회는 응용과학 기술자들이 완전히 알지는 못하더라도 어떤 것을 실행에 옮기도록 요구하고 있다. 이런 경우 그 기술자들이 할 수 있는 최선은 현재까지 알려진 이용 가능한 모든 지식

을 근거로 하여 적합한 경영을 하는 것이다. 그 결과는 모니터링되고 분석되어 경영방침에 반영되며, 이 방침은 차후에도 적합하게 끊임 없이 개선된다.

조림은 생태학적인 원칙에 따라 실행되는 것이지 생태학에 거역하면서 실행되지는 않는다. 실제로 토지자원을 심하게 이용하면 이들의 생산능력을 고갈시킬 수밖에 없어 지속가능하지 않게 된다. 건전하고 장기적인 경영하에 산림으로부터 생기는 재화와 이익은 살아 있는 과정이므로, 근본적으로 생산성이 있는 입지요소가 지속되는 정도로 재생산이 가능하게 된다. 그리고 이 요소들이 영구적으로 개선되면 그 입지로부터 얻는 재화와 이익은 증가될 수 있다.

현재의 우리나라의 조림은 사실상 복원의 의미가 큰 곳이 많다. 이전에는 산림이 아니었던 곳을 조림하는 것이 아니라 우리가 그 당시 필요에 의하여 없었던 산림을 다시 필요에 따라 산림으로 복원하는 것이다. 손실되었던 산림생

태계의 구조와 기능을 조림으로 회복시키는 것이다.

이때 경제적이고 사회적인 요인들이 어떤 지역에서든 조림에 영향을 준다. 어찌되었든 조림의 목표는 산림에 투자한 것보다 산림에서 얻는 혜택의 가치가 크도록 운영하는 것이다. 가장 이익이 되는 산림의 형태는 꼭 생장이 가장 큰 것이거나 가장 비용이 적게 드는 것일 필요는 없다. 우리는 산림을 키우고 임분을 유지하는데 드는 비용과 피해를 주는 요인 때문에 잃는 예상되는 손실도 또한 고려해야 한다. 다만 그 환경이 생태적으로 지속가능할 것인가는 끊임없이 물으면서 조림기술을 개선하여야 할 것이다.

결론

조림학적인 선택은 자연의 법칙과 상충하지 않고 자연집단을 모방하는 방향으로 갈 것이다. 이것은 꼭 일반적으로 오래된 극상산림 군집으

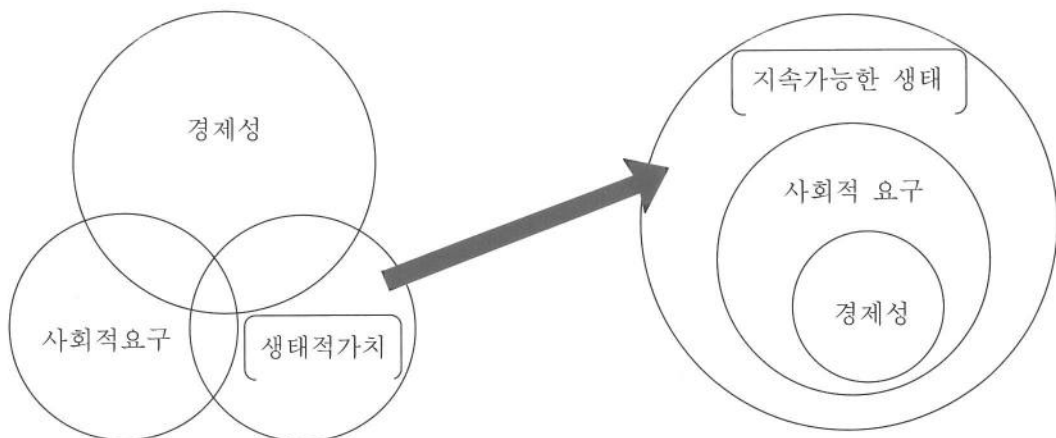


그림 2. 환경관리에 대한 의사결정인자의 중요도에서 생태적가치가 점점 커지는 패러다임의 변화(호주 국가환경보고서, 1996).

로 갈 필요는 없을지도 모른다. 생태계에는 교란이 있고 여기에 적응된 생물로 이루어진 생태계 구조가 발달하기 때문이다. 국토관리의 의사결정은 경제성으로만 할 것이 아니라, 오히려 생태적으로 지속가능한 사고로써 하여야 할 것이다.

과거에는 환경문제를 경제성의 논리에 따라 결정하였다. 하지만 1990년대에 들어와서는 환경문제에 대한 의사결정을 국가가 생태적으로 지속가능할 수 있는냐에 따라 하는 경향이다. 즉 경제성은 사회의 요구내에서 이루어져야 하고, 많은 경우의 사회문제는 경제성과는 관련이 적다는 것도 알려지고 있다. 인류사회도 자연생태에 영향을 받는다. 결국 사회적 경제적 계획은 생태적으로 지속가능한가에 대한 깊은

물음 속에서 이루어져야 한다.

참고문헌

- 임경빈 외. 1991. 조림학본론. 향문사. 347p.
- Smith, D.M 등. 1997. The Practice of Silviculture. Applied Forest Ecology. 9th edition. John Wiley & Sons, Inc. 537p.
- Australian Department of the Environment, Sport and Territories. 1996. Australia: State of the Environment 1996. CSIRO Publishing, Collingwood 3066. Australia.
- 노태호 등. 2000. 인간과 자연. 생태학. 아카데미 서적. 468p.



소나무재선충의 피해와 방제방안

신 상 철

임업연구원 임업연구관

1. 머리말

소나무와 해송에 치명적인 피해를 주는 소나무재선충병이 부산시, 경상남도 일부지방에서 발생하여 앞으로 산림보호에 어려운 문제로 대두되고 있다. “소나무 AIDS”, 또는 “소나무 구제역”이라고도 불리우는 이 병은 재선충이 소나무에 침입하여 수지구와 가도관을 막아 수액과 물의 이동을 막아 나무를 고사시키며 감염된 나무는 반드시 1년 이내에 죽는다.

식물방역법상 금지해충으로 지정하여 침입방지를 위해 노력을 하여 왔으나 일본에서 침입한 것으로 추정되는 소나무재선충병의 피해가 1988년에 부산에서 처음 발견되었고 그 동안 이 병을 박멸하기 위해 관계기관들의 많은 노력에도 불구하고 13년이 지난 현재 전남 구례, 경남 함안, 진주, 통영, 거제, 김해, 밀양, 진해, 급기야 경북 구미와 전남 목포에서 피해가 나타나는 등 급속한 확산 추세에 있다.

이러한 확산추세라면 수년 내에 남부지방 전역으로 퍼질 것으로 우려되고 있다.

소나무재선충병은 자연상태에서 감염이 가능한 수종이 소나무, 해송, 잣나무, 낙엽송 등 24종에 이르고 있어 현재의 발생지역에서 박멸이 되지 않고 전국으로 확산된다면 엄청난 피해가 예상되고 있다. 해송뿐만 아니라 잣나무, 낙엽송 등도 포함되어 있어, 현재의 발생지역에서 박멸이 되지 않고 전국으로 확산된다면 우리나라 산림면적의 약 40%를 차지하고 있는 침엽수림의 주종을 이루고 있는 소나무, 해송, 잣나무림의 황폐화로 인한 엄청난 산림자원의 손실과, 비정상적인 과정을 통한 침엽수림의 붕괴로 인한 환경파괴 등과 같은 경제적, 사회적 피해가 필연적인 것으로서 소나무재선충병은 지금까지 알려진 모든 방제법을 동원하여 현재의 발생지에서 박멸을 목표로 근절시켜야 할 것이다.

2. 소나무재선충병 발생연혁

가. 국내 발생연혁

1988년 10월 부산시 동래구 금정산 일대에서

〈표1〉 연도별 소나무재선충 발생면적

년 도	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
발생면적(ha)	100	80	80	763	272	365	1,677	2,385

소나무재선충병 피해가 최초로 발생한 이후 1997년에는 전남 구례군 화엄사 주변, 경남 함안군 칠원, 칠서면에서, 1998년에는 경남 진주시, 1999년에는 경남 통영시 한산도와 인접한 추봉도, 2000년도는 경남 사천, 울산광역시 울주군 온산면 발생 2001년에는 경남 김해, 거제시 하청면, 연초면 발생하였고 2001년 7월에는 경북 구미시, 2001. 11월에는 경남의 밀양, 진해, 전남의 목포에서 피해가 발견되어 엄청난 속도로 확산되고 있는 추세이다.

지역별로 확산 양상을 보면 부산에서는 사상구, 금정구, 북구, 기장군으로 피해가 확산되는 등 발생지역이 점차 확대되어, 경남 김해, 양산 울산시로 북상하고 있고 경남 함안과 진주, 사천, 거제지역은 인근 산림으로 확산 중이며 특히 통영에서는 한산도로 확산이 우려되고 있다.

다행히도 부산에서는 최초발생지인 금정산 일대와 1993년부터 피해를 받았던 해운대구 명장공원 지역은 집중방제로 감염목 발생이 매년 감소하여 현재는 거의 발생하지 않고 있고 1997년에 발생한 전남 구례군 화엄사 주변은 조기방제로 1998년 이후 부터는 감염목이 발생하지 않고 있다.

나. 국외 발생연혁

일본에서는 1905년 경부터 피해가 나타났으나 그 당시에는 천공성해충의 피해로 오인되었다. 그후 약 70여년이 지난 1972년에 소나무재선충의 피해로 밝혀졌으며 1941년도 부터 해마다 20만~243만 m^3 의 피해량을 나타내면서 소나무와 해송이 거의 전멸 상태에 이르고 있다.

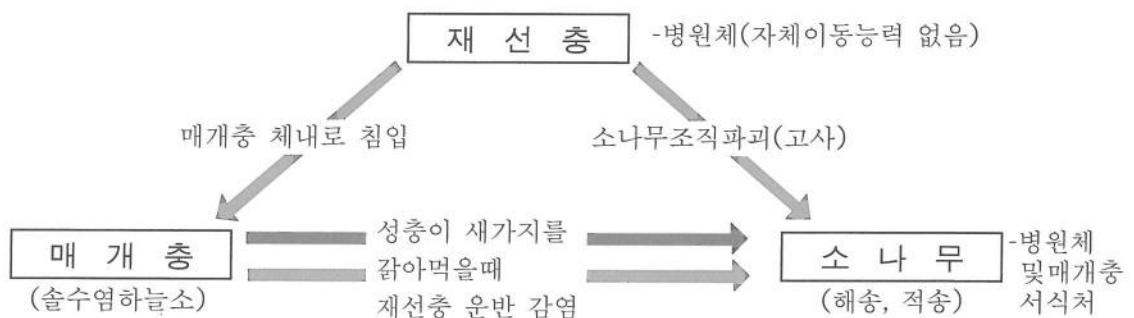
중국에서는 1982년 난징시(南京市)에서 처음 발생되어 현재 약 700만ha의 마미송(馬尾松)과 해송림에 극심한 피해를 주고 있으며, 대만에서는 1985년 발생한 이래로 유구송(琉球松)등이 전멸위기에 있다.

미국과 캐나다에도 소나무재선충병이 분포하고 있으나 미대륙의 소나무는 대부분 저항성이다.

3. 소나무재선충의 피해

가. 소나무재선충병의 감염경로

소나무재선충은 자체 이동 능력이 없어 매개충에 의해 전파되고 소나무재선충은 나무를 죽여 매개충에게 산란처를 제공하는 공생관계를 유지하고 있다.



〈그림 1〉 재선충, 매개충과 소나무피해 관계도

5~7월에 소나무재선충을 몸에 지닌 매개충이 고사목으로 부터 우화하여, 건전한 소나무나 해송의 신초를 갉아먹을 때(後食, Maturation Feeding) 생기는 상처를 통하여 감염된다. 기주식물에 침입한 소나무재선충은 급격히 번식하여 감염 20일 후부터 잎에서 증산량이 감소, 정지되고 묽은 잎이 아래로 처지며 시들기 시작한다. 소나무는 당년도에 약 80%정도 고사되며, 나머지는 이듬해 5월까지 고사한다. 이듬해 고사하는 원인은 지방 또는 그 해의 기후에 따라 병징의 진행속도가 느리거나, 매개충의 우화가 늦은 개체에서 감염된 소나무에서 재선충의 증식속도가 느려 해를 넘겨 죽는 경우이다. 일단 감염되면 소나무를 100% 고사시키므로 일명 소나무 AIDS라 부르기도 한다. 그러나 소나무재선충은 그 자체만으로는 타임목으로 이동이 안되기 때문에 방제의 목표는 매개충인 솔수염하늘소에 목표를 두고 실시하고 있다.

4. 매개충의 종류 및 솔수염하늘소의 생활사

가. 매개충의 종류

솔수염하늘소는 한국을 비롯한 중국대륙, 일본, 라오스, 대만에 분포하고 있다. 우리나라의 분포상황은 남해안, 제주도, 동해안 전역과 서해안에서는 전남 영광지방까지 분포하는 것으로 추정되고 있다. 내륙지방에서는 솔수염하늘소가 채집되지는 않았지만 북미 및 유럽 그리고 일본에서 주요 매개충으로 알려진 북방수염

하늘소(*M. saltuarius*)가 채집되고 있다. 북한에서도 산림과학(1988년 발행)지에 수목을 갉아먹는 해충목록에 솔수염하늘소가 기록되어 있다. 그러므로 만일 소나무재선충병이 전국적으로 확산된다면 분포지역이 확대 될 가능성도 있다. 그러나 다행이도 아직까지는 소나무재선충병 피해임지 외에 서식하는 매개충에는 소나무재선충을 가지고 있지 않다.

나. 생활사

솔수염하늘소는 1942년 *Monochamus alternatus*로 기재되었고, *M. tesseraula* White라는 다른 이름도 있다.

성충의 체색은 적갈색이며 몸전체에 검은점과 황색의 점이 산재되어 있고 크기는 수컷이 15~20mm 암컷이 20~30mm 이며 수컷의 안테나의 길이가 암컷보다 길다.

년 1회 발생하며 추운지방에서는 2년 1회 발생하는 경우도 있다. 번데기집(蛹室)에서 우화한 성충은 6~8일을 경과 뒤 직경 6~8mm 내외의 탈출공을 입으로 만들고 밖으로 탈출한다. 탈출은 일몰에서 밤중에 걸쳐 가장 많고, 오전 0~7시 사이에는 거의 탈출하지 않으며 낮에 다시 왕성해진다.

성충의 탈출공은 일반적으로 직경 5~15cm 범위의 지조나 원목에 가장 많이 분포하며, 직경 2.5cm의 가지에서도 발견된다.

우리나라에서 솔수염하늘소 우화 탈출시기는 그림 1과같이 5월중순~8월 상순이며 6월중에 약 80%가 탈출하고 있어 이 시기가 항공방제 적기이다.

다. 소나무재선충의 전파

소나무재선충은 솔수염하늘소 성충의 체표면(體表面)과 체내에 기생하며 특히 두흉부(頭胸部) 쪽에 많이 있다. 소나무재선충은 성충의 제1기문(氣門, spiracle)을 통해 대부분 침입하며 기관내에만 분포하고 다른 기관에서는 발견되지 않는다. 성충 한 마리당 소나무재선충 평균 보유수는 대략 3,000마리이며, 소나무재선충 보유율은 약 45%이다. 암수, 성충의 크기에 따른 소나무재선충 보유수 차이는 없으나, 서식처인 용실내 함수율이 낮으면 보유율이 낮다.

5. 소나무재선충의 방제

가 임업적 방제

1) 감염목의 제거 소각 및 파쇄

소나무재선충병 발생지역과 확산이 우려되는 외곽지역에 고사한 나무를 벌채하여 매개충의 유충이 들어 있는 원목과 직경 2.5cm 이상의 가지를 소각하거나 파쇄 또는 톱밥을 만드는 방법이다. 이 방법이 매개충을 박멸할 수 있는 가장 방제효과가 확실한 방법으로 매개충

의 구제와 산란처 제거가 목적이다. 솔수염하늘소가 우화하기 전인 4월까지 완료되어야 한다.

소각은 용실이 형성된 후에는 용실까지 태워야 솔수염하늘소 월동유충을 치사시킬 수 있다. 용실의 깊이는 목재표면에서 1cm전후임을 감안 원목 표면에서 1cm정도 태우면 충분한 효과를 얻을 수 있으므로 소각 도중에 소화하여도 좋다. 소각은 피해목을 반출하여 소나무림 외에서 하는 것이 중요하다. 소나무림 내에서 소각하면 산화 발생 우려가 있으며 장소에 따라서는 리지나뿌리썩음병 발생을 유발하여 건전한 소나무도 고사시킬 위험이 있다. 이와 같이 임내에서 소각이 불가능 할 때는 최근에 개발한 이동식 소각로를 이용하는 방법도 있다.

파쇄할 때에는 원목을 운반하여 칩화하는 방법으로 파쇄 기준은 칩의 두께를 6mm이하로 생산한다. 이 기준은 월동 유충이 서식하는 용실의 폭이 6~9mm이므로 유충이 절단되든지 또는 충체의 일부가 외부로 노출하여 생존할 수 없도록 두께를 6mm이하로 하고 노숙 월동 유충의 두폭은 4.1~5.9mm이하로 하며, 피해

임업적방제법의 장·단점

구 분	목적 및 내용	장 점	단 점
피해목 제거	재선충 및 매개충 서식처 제거		
-소각		작업용이, 방제비용절감, 단시간에 대량처리 가능	우천시 만 가능 산불우려
-톱밥 및 칩화		부산물로 이용가능	비용과다 작업속도 느림
임내매립	매개충 우화탈출 차단	소규모 피해지 단목피해 방제가능	대면적 피해지 매립곤란, 임내 장비투입 곤란

목의 반출은 인력이나 헬기를 이용할 수 있다. 벌근에는 훈증, 약제살포, 근주박피를 실시한다.

2) 매몰 및 침수법

피해목을 벌채하여 지중에 매몰하기도 하고, 바다에 침지하기도 한다. 매몰시에는 지하 15 cm까지 복토하여야 효과가 있으므로 해안 사토가 많은 곳에서는 실용적이다. 벌채한 피해목을 바다에 침지하는 경우에는 적어도 침지기 간에 100일 정도가 필요하므로 실용적인 방법은 못된다. 그 외에도 고주파, 감마선을 조사하여 목재내의 솔수염하늘소나 재선충을 방제하는 방법이 실험적으로 실시되고 있으나 극히 한정된 장소에만 이용되고 실용화는 되지 않고 있다.

나. 화학적 방제

1) 매개충의 밀도를 낮추기 위한 항공방제
감염목의 소각과 파쇄 및 훈증으로도 구제하지 못한 솔수염하늘소 성충을 대상으로 소나무 재선충병의 확산저지와 매개충의 밀도를 낮추기 위해 실시하고 있다. 방제시기는 매개충의 우화최성기인 6월중~7월중순까지 메프유제 1.0 l / 100배액으로 희석하여 100 l / ha를 3회 항공살포 하는 방법이다. 항공방제는 짧은 기간 내에 대면적 방제가 가능하다. 살포대상지는 피해임지 와 주변의 확산 우려가 있는 지역이며 매개충이 1, 2년생가지를 후식하는 수관상부에 살포한다.

일본에서는 성충발생기초기와 최성기에 2회 살포하는 것을 표준으로 하고 있고 약제는

MEP, NAC로 ha당 살포량은 유효성분량으로 각각 1~2kg, 2~3kg, 1회에 저농도 살포는 30~90 l / ha, 고농도 미량살포는 7~8 l / ha 이다. 살포방법에도 일반방법 외에 좁은 장소에서 살포할 수 있는 총포노즐살포법도 있다.

2) 지상방제

항공살포를 할 수 없는 지역에 사용한다.

살포시기는 매개충 우화시기 및 후식피해시기인 6월에서 7월 사이에 3회 이상 살포하는 것이 적당하다. 사용약제 및 약량은 메프 50% 유제를 ha당 20 l 를 200배액으로 희석하여 살포한다. 초미립자분무기(Fog machine)를 이용하여 메프 50%유제 100배액을 살포하면 3일 후에 100% 치사율을 보인다. 살포방법은 피해지내 잔존 건전목의 수관에 약제를 살포하여 매개충의 후식피해 방지로 감염을 예방하고, 단목 발생시에는 반경 20m 구역내 건전목에 약제 집중 살포한다. 이 방법은 정원수와 분제 등에 실용적인 방제방법 이다

3) 벌채원목 약제살포

소나무재선충병 감염목 수피 밑에서 가해하고 있는 매개충의 유충을 대상으로 살포하여 구제하는 방법이다.

감염목을 벌채하여 가지를 잘라내고 수간을 일정 길이로 조제 원목에 빠짐없이 고루 약제를 살포하고 잘라낸 가지도 같은 방법으로 살포한다. 솔수염하늘소 유충이 수피 밑에 있거나 또는 목재 내로 구멍을 뚫고 들어가는 10월 말경까지 효과가 높고, 11월 이후가 되면 용실을 만들고 구멍을 막으므로 원목 표면에 약제를 살포하여도 침투가 잘 되지 않아 용실 내의

월동유충까지 약제가 도달하지 않을 때가 많다.

4) 감염목의 훈증

소나무재선충병 발생지역과 확산이 우려되는 외곽의 지역에 고사한 나무를 벌채하여 임내에 집재하여 두께 0.2mm이상의 비닐로 싸운 후 훈증제인 Kilper제를 1 l/m^3 , 인화늄정제를 $5\sim 10\text{ 정/m}^3$ 로 약 7일간 훈증하는 방법이나 인화늄정제의 경우 추운겨울철에는 약효가 떨어지는 경향이 있어 킬퍼제를 사용하는 것이 효과적이며 소각이 곤란한 지역에서 주로 사용된다. 벌근도 훈증하며 역시 매개충의 구제와 산란처 제거가 목적이다. 일본에서는 훈증제로 NCS제, Kilper제를 사용한다. 이들 약제는 처리시기의 제약이 없고 100%의 방제효과를 얻을 수 있다. 또한 이들 훈증제는 솔수염하늘소 유충 뿐 만 아니라 재선충에도 높은 살충효과가 있다. 벌근은 약제살포, 또는 근주 박피를 실시하고, 솔수염하늘소가 있을 우려가 있는 벌채 원목이나 가지에 약제살포, 훈증, 박피 및 소각한다.

5) 나무주사

살선충제를 수체내에 미리 침투 이행시켜 놓아서 재선충의 감염, 발병을 예방하는 방법이다. 특정한 나무를 보호하고자 할 때 사용한다. 약제로는 그린가드가 있다.

6. 소나무재선충 방제방안

소나무재선충은 자체 이동 능력이 없고 매개충에 의해 전파와 확산이 됨으로 매개충을 방제하는 것이 소나무재선충병의 방제법이다

소나무재선충병의 박멸은 피해발생지가 소규모일 때 성공한 예가 많다. 또한 ① 소나무재선충은 자력 이동능력이 없고 ② 감염된 소나무는 1년안에 100%고사하며 ③ 재선충으로 죽은 나무에서 번식한 매개충만이 재선충을 보유하므로 소나무재선충을 옮기는 매개충인 솔수염하늘소만 완벽하게 구제하면 이론적으로 박멸이 가능하다.

다행히도 피해가 일부지역에 국한하여 분포하고 있고 외부에서의 유입원이 없는 우리나라와 같은 발생조건에서는 박멸 가능성은 상당히 높다고 본다. 우리나라에서의 박멸 성공사례는 1997년도 봄에 피해목을 발견 하여 즉시 벌채 소각한 이후 현재까지 발생되지 않고 있는 전남 구례를 방제성공 사례로 들 수 있다.

가. 박멸을 위한 복합방제

이론상으로는 100%방제효과를 보이는 소나무재선충 감염목을 제거하여 소각, 파쇄, 훈증하는 피해목제거 방법도 작업여건이 어려운 산지에서의 작업으로 피해목 발견실패, 제거시 누락 등으로 완벽한 처리가 미흡한 것이 현실이다.

최초발생지인 부산 금정산 일대와 '93년부터 소나무재선충 피해가 발생했던 명장공원은 피해목제거, 항공약제살포 등 복합방제로 피해목 발생이 매년 감소하여 현재는 거의 발생하지 않고 있으나 금정구 회동저수지 주변은 식수원이라는 여건상 항공방제를 실시하지 못해 피해목 발생이 계속 증가되고 있어 피해목제거 만으로는 방제에 미흡함을 보여주고 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위해 복합방제가 필요하며 짧은 기간내에 대면적 방제가 가능한 항공방제의 도입은 필수적이다.

따라서 박멸을 목적으로 한 방제는 한가지 방제법으로는 절대 불가능하고 종합방제로 접근해야 하며 산림에 대한 약제살포가 산림생태계에 다소 부정적인 영향을 주나 매개충의 밀도를 감소시키기 위한 항공약제살포는 불가피하며 매개충의 밀도를 감소시킨 바탕 위에서 다른 구제방법을 완벽하게 처리하여야 우리의 방제목표를 달성 할 수 있다.

나. 확산저지를 위한 방제전략 수립

지금까지의 집단발생지 위주의 방제에서 외곽 선단지의 단목, 점상발생지를 먼저 완벽하게 구제한 후 집단발생지로 압축해 들어가는 확산방지를 목적으로 한 방제전략으로 전환 할 필요가 있다.

외곽의 확산 근원지를 먼저 완벽하게 제거함으로써 확산저지와 함께 방제구역면적을 좁혀 들어오면 방제목표 도달시기가 보다 빨라 질 것이고, 산림에 대한 약제살포량도 줄일 수 있어 농약살포의 부작용을 최소화 할 수 있다고 본다.

이러한 목적을 달성하기 위해서는

① 피해목의 조기발견

피해목의 발생양상을 보면 일정한 방향성이 없이 나타나고 있어 피해지 및 주변의 산림에 대해 예찰을 강화하여야한다. 감염목의 고사시기에 차이가 있고 한번 조사시 누락이 되면 새로운 발생원이 되므로 연중 발생조사를 하여

피해목을 철저히 색출해야 한다

② 피해목의 완벽한 처리

피해목제거는 작업상 여러가지 어려움이 있으나 방제효과가 확실한 방법이다. 따라서 필요한 시기에 방제예산을 집중투입하여 적기에 작업이 이루어져야 할 것이다. 또한 소각, 파쇄, 훈증작업이 적기에 이루어 지지 않으면 새로운 발생원이 될 수 있으므로 철저한 감독과, 인위적인 확산을 막기 위해 피해목의 이용과 다른 지역으로 반출을 엄중히 감시해야 한다.

③ 확산방지를 위한 항공방제

약제살포는 생태계 파괴 등 부작용을 초래하므로 사용을 자제하는 것이 바람직하나 소나무재선충병의 확산저지, 매개충 밀도저하를 위해 최소한의 항공약제살포는 필요하다고 본다. 아울러 현재 사용하고 있는 농약보다 저독성약제 개발, 매개충의 우화패턴을 고려한 약제살포 횟수의 조절, 주거지가 없는 외곽지역 방제지 선정 등, 부작용을 줄일 수 있는 계획수립이 필요하다.

특히 소나무재선충은 외국에서 유입된 침입종으로 국내에 정착되고 있는 상황으로 먼저 충력을 기울여서 피해 확산을 저지한 후, 피해지역을 압축, 제어하면서 최종적으로 소탕 박멸하는 “확산저지→압축제어→소탕박멸”을 기본전략으로 하여 박멸에 임하여야 겠다.

다. 설계·시공·감리 개념 도입

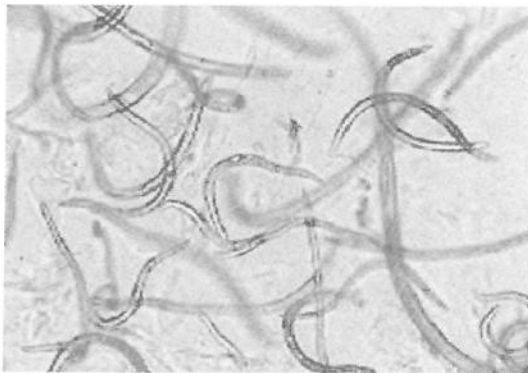
소나무재선충 방제작업을 철저히 하기 위해서는 설계·시공·감리의 개념을 도입하여 정확한 설계(방제계획)에 의한 철저한 시공(방제



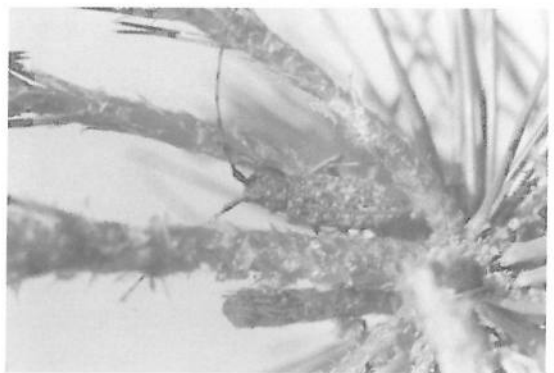
소나무재선충 피해림(경북 구미)



소나무재선충 피해림 (경남 함안)



소나무재선충 (크기 1mm)



매개충인 솔수염하늘소의 성충

실행), 공정한 감리(방제효과 평가)로 방제효율을 높여야 할 것이다. 설계·시공·감리 기관을 지정하여 연대책임을 가하는게 적합할 것으로 판단되며 정확한 분포조사 충분한 예산 확보, 치밀한 설계 및 철저한 방제작업, 공정한 방제효과 평가등이 소나무재선충의 방제작업에 전제되어야 할것이다.

7. 결 론

소나무재선충의 방제는 재선충의 방제보다 매개충의 방제에 초점이 맞추어지고 있다. 따라서 솔수염하늘소 방제의 궁극적인 목표는 소

나무의 에이즈라 할 수 있는 소나무재선충의 확산을 저지할 뿐만 아니라 박멸로 가야 할 것이다. 만약 재선충병이 박멸되지 않고 전국적으로 확산된다면, 우리나라 산림면적의 30%를 차지하고 있는 소나무, 해송, 잣나무림의 황폐화로 엄청난 경제적 사회적 피해가 따르기 때문에 소나무재선충의 매개충인 솔수염하늘소 퇴치에 모든 방제법을 동원하여 근절시켜야 한다. 또한 아름다운 금수강산이 훼손되지 않도록 보다 적극적인 정부의 지원과 대책이 시급히 강구되어야 하겠다.

일본에 있어서 수변지역의 관리와 보전(Ⅰ)

-구조와 기능, 관리, 보전과 이용을 중심으로-

전 근 우

강원대학교 교수

일본사방학회에서 발간한 「수변지역 포인트 북-앞으로의 관리와 보전-」은 북해도대학 출신의 젊은 연구자들이 중심이 되어 계류나 하천 및 그 주변부의 수변환경을 보호하고, 생태적인 가치를 보존, 회복하기 위해서 어떻게 할 것인가를 제언한 출판물이다. 주요내용으로는 「수변지역의 구조와 기능에 관한 기본적인 사항」, 「수변림의 갱신동태」, 「수변지역·수변림 관리의 기본적인 사항」, 「생태계를 배려한 수변지역의 취급방법」, 「송어의 생활사에 유의한 수변지역의 취급방법」, 「수변지역의 보전과 이용」, 「방재적 시점에서 본 수변림의 평가」, 「수변림의 복원기술」, 「사회적 과제」 등으로 구성되어 있으며, 이번에는 「수변지역의 구조와 기능에 관한 기본적인 사항」, 「수변지역·수변림 관리의 기본적인 사항」, 「수변지역의 보전과 이용」에 대해 정리하였다. 한편, 이 연구는 산림청에서 지원하는 2002년도 임업용역연구 「환경친화적인 사방공법 정립에 관한 연구」에 의해 진행된 연구결과와 일부이다.

1. 수변지역의 구조와 기능에 관한 기본적인 사항

- 1) 수변지역은 하천의 침식과 퇴적작용을 빈번하게 받는 지역이다.

수변지역의 지형형성에는 최종빙하기 이후의 기후변동과 해수면 변동이 크게 관여하고 있다. 후빙하기에는 상류의 사력 생산량이 감소하고 유량이 증가하였으며, 하천은 상류부의 하상이 세굴되고, 하류부는 해수면의 상승에 의해 충적저지와 퇴적성의 평야가 형성되었다.

즉, 상류지역은 하방침식이 빈번히 발생하고, 곡벽 혹은 단구면에 의해 제약된 비교적 좁은 범위에서 토사이동과 퇴적이 일어났으며, 수변림이 유로를 따라 대상으로 형성되었다. 이 수변림은 불안정한 하상재료와 유수의 끊임없는 영향을 받아 파괴와 재생이 되풀이되고 있으며, 이를 「계반림(溪畔林)」이라 한다. 하천의 중류지역 산지와 평야가 만나는 곳의 하천은 하도가 변형하면서 운반해 온 사력을 퇴적시킨다. 그 결과, 곡구(谷口)로부터 평야에 걸쳐 사력이 원추상으로 퇴적, 전상지가 형성되어 있으며, 이 유역에 성립된 수변림을 「하반림(河畔林)」이라 한다. 하류부의 평야부(충적저지)에는 사행하천과 자연제방, 후배습지가 발달한다. 자연제방은 모래와 미사가 퇴적하여 형성되며, 후배습지에는 이탄지가 형성된다. 후배습지에 생육하는 수변림은 「습지림(濕地林)」이라 하며, 내수성 등의 생리적인 특징을 갖는 식물군락으로 구성된다.

2) 수변림은 수온의 상승을 억제시킨다.

수변림이 계류의 수면을 덮으면 햇빛이 차단되어, 하천의 표면은 어둡게 되고, 수관 사이로 햇빛이 조금 도달하는 정도가 되며, 이러한 수변림의 수관의 일사차단에 의해 수온이 조절된다.

북해도의 낙엽활엽수림대에서 실시한 조사에 의하면, 수관에 의해 하천수면이 울폐되어 있는 곳에서는 일최대일사량이 1/4, 일총량은 1/7까지 저하되었다. 특히 낙엽활엽수림대에 있어서 낙엽기와 개엽기의 수온변동은 분명히 다르며, 낙엽기에는 수온변동 폭이 매우 크게 나타났다. 이러한 계절변화는 하천의 생물상에 큰 영향을 미치며, 산지 계반림이 벌채에 의해 유로가 개방된 경우, 유로 길이가 1km를 넘으면, 하기 최고수온은 25℃를 넘는 경우가 많아진다. 북해도에 생식하는 연어과 어류의 생장에 현저하게 영향을 주는 수온은 25~26℃이며, 높은 수온에 약하다. 따라서 개방구간이 길수록 연어과 어류에 심각한 영향을 가져온다.

3) 낙엽은 수생생물을 지탱하는 에너지원이다.

하반림은 낙엽기와 바람에 의해 다량의 유기물을 하천에 공급하며, 공급되는 양은 활엽수림이 연간 300~500g/m³에 달한다. 낙엽은 수중에 낙하한 후, 수일 내에 약 10~20%의 용존성분이 용출한다. 용출량은 C : N(탄소와 질소의 비)이 작은 물오리나무와 같은 수종이 크고, 반대로 물참나무와 같이 딱딱한 막이 있

는 수종은 적다.

성분이 용출한 후, 균류와 미생물의 번식에 의해 10~30%의 성분이 소실하는 것을「조건화(條件化)」라고 한다. 조건화된 잎은 수생동물류에 의해 섭식된다. 북해도에서 볼 수 있는 전형적인 섭식동물은 날도래과(날도래목), 강도래과(강도래목), 각다귀과(파리목) 등의 유충, 그리고 옆새우 등을 들 수 있다.

잎은 수종마다 상이한 분해속도를 갖고 있으며, 북해도 남부에서의 조사한 예에 의하면 가장 분해가 빠른 것이 물오리나무, 자작나무, 중간이 고로쇠나무, 버드나무류, 늦은 것이 물참나무, 칠엽수의 잎이다. 이 순서는 유수의 정도, 섭식동물의 종류에 따라 변할 수 있다. 수생동물에게는 연간 이용가능 먹이가 존재하는 것이 중요하며, 다양한 수종으로 구성된 하반림의 존재는 꼭 필요하다.

4) 유목은 어류의 생식장소를 만들며, 물질을 저류한다.

하천 주변으로부터 풍도나 하안침식에 의해 공급되는 수목은 하도내에 체류하여 여울·소 등 변화무쌍한 하천지형을 만든다. 이러한 풍도목에 의해 만들어진 소 등은 어류의 생식장소로서 중요하며, 북해도 북부의 하천의 경우 40%의 소가 풍도목에 의해 만들어져 있었다. 따라서 풍도목의 본수가 많을수록 어류의 생식 밀도가 높아진다고 알려져 있다. 특히 연어과 어류의 치어에 대해서는 출수시의 퇴피장소나 포식자로부터의 피난장소, 더욱이 유하곤충을 섭취하는 안정된 섭취장소 등을 제공한다. 또

한 도류목(到流木)은 계류에서 생산되는 토사, 낙엽이나 그 분해물질을 저류하는 면에서도 중요한 역할을 한다.

5) 수변림의 기능은 하쪽에 따라 변한다.

하천의 폭이 넓어질수록 수변림이 미치는 영향이 작아지며, 이에 따라 하천생물의 조성이나 구조도 변화한다. 이러한 관계를 하천연속체설(River Continuum Concept)이라 한다.

수변림으로 덮여 있는 상류지역에서는 낙엽이 대부분의 수생동식물의 먹이를 공급하며, 도류목이 하천의 미지형을 만든다. 이곳에는 잎을 갉아먹는 엽쇄식자(葉碎食者)가 많이 출현한다.

하천이 넓어져 햇빛이 들어오는 비율이 증가하며 낙엽을 대신하여 수생식물이나 조류(藻類)의 광합성 생산이 증가하며, 조류를 먹는 수집식자(收集食者)의 비율이 증가한다. 더욱이 큰 하천의 하류지역은 수심이나 탁도가 증가함에 따라 광합성 생산량이 저하하며, 이질토양의 유기물을 섭취하는 소형의 깔다구과(과리목)와 같은 수집식자가 많이 출현한다. 한편, 상류에서 하류로 연결되는 에너지의 연속성을 유지하기 위해서 연속되는 수림대의 보전이 중요하다.

6) 하천과 수변지역은 지중수에 의해서도 연결되어 있다.

하천과 수변지역은 지표수뿐 만 아니라 지하수로도 연결되어 있으며, 이를 간극수역(間隙水域)이라 한다. 유수를 생식장소로 하는 곤충류의 일부는 폭 넓은 생식지역을 갖고 있어 유

수가 흐르는 하천 바닥뿐 만 아니라 범람원을 구성하는 습한 하상재료 구간에도 생육한다. 간극수역에서는 오리나무류 등과 같이 질소를 고정할 수 있는 수종을 통해 질소 등의 영양염이 교환된다. 구미의 연구결과에 의하면 지하수에 포함되어 있는 초산염은 하반림대를 약 30m 정도 유하하면 거의 제거된다고 보고되어 있으며, 수질을 유지하기 위한 월터로서 기대되고 있다.

간극수역이 질소 공급원으로 기능하는가, 싱크로 기능하는가는 산지계류와 같이 질소분이 제한되어 있는 계통인가, 발에 인접하여 유입하는 질소분이 높은 계통인가에 따라 달라지며, 소위 완충지대로 기능한다고 예측된다. 기대되는 기능도 구성사력의 투수계수, 수리수두물매 등에 따라 변화한다.

2. 수변지역 · 수변림 관리의 기본적 사항

1) 지구규모의 환경문제 해결은 지역에서의 생태계 활성화에서 시작된다.

환경문제를 해결하는 기본적 자세로서 지구 규모로 발상하고, 주변부터 행동하는 것이 중요하다. 일본에서는 고도경제성장기에 지역적인 공해가 발생했을 뿐 아니라 지구환경 전체에 크게 부담을 가하는 사회경제시스템이 발달하였다. 수변지역 · 수변림의 재생 목표로서 그림 1과 같이 고도경제성장기 이전에 생육하고 있던 야생동물의 생식환경을 정비하는 것이 제

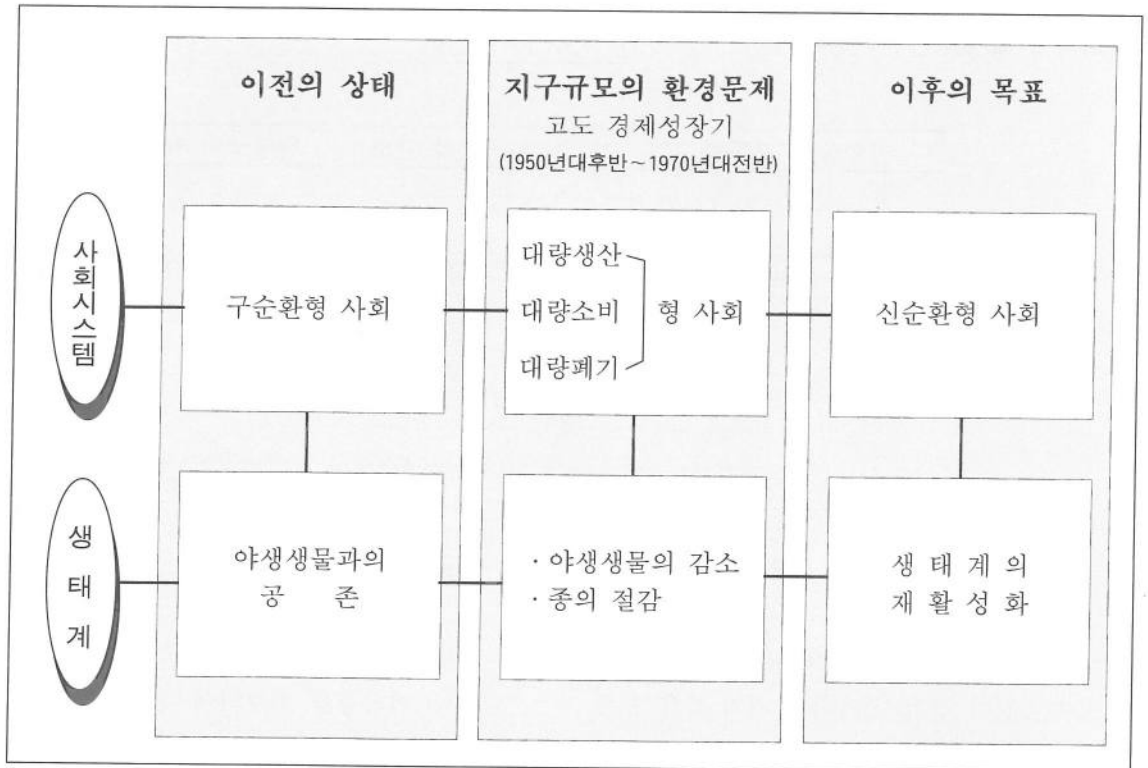


그림 1. 수변지역·수변림의 재생 목적

기되고 있다.

야생동물의 생태계 활성화를 도모하는 노력은 결과적으로 지역환경 및 그 집합으로서의 지구환경을 이전의 상태에 가깝게 하는 것이다. 제한된 공공공간에 대해서는 해당지역뿐 만 아니라 다양한 요망이 있지만, 공공공간에 세금을 투입하여 실시하는 사업은 보다 공공성이 높은 목적을 추구해야 한다.

2) 수변지역의 보전과 재생이

유역보전의 열쇠이다.

유역이 발전하면 토지이용이 고도화하므로 수변지역·수변림이 감소하고, 홍수나 토사재해위험구역내의 자산은 급증하게 된다. 특히

1960년대 이후, 유역의 치수상의 문제, 환경상의 문제, 사회적인 문제가 심각하게 되었다. 이 문제를 개선하기 위해서는 남은 수변지역을 보전하고, 혹은 소실된 수변지역을 재생하는 것이 열쇠가 되며, 이에는 그림 2와 같이 수변지역의 안정성·다양성·연속성·지역성을 높이는 것이 중요하다.

3) 수변지역의 변화가 치수·환경·

사회적인 문제에 연결되어 있다.

유역에 있어서 토지이용이 고도화되면 하천 유출이 급격해지며, 일단 범람하면 인명과 자산이 집중된 위험구역의 손실이 증대한다. 즉 수역(水域)과 육역(陸域)을 연결하는 환경상

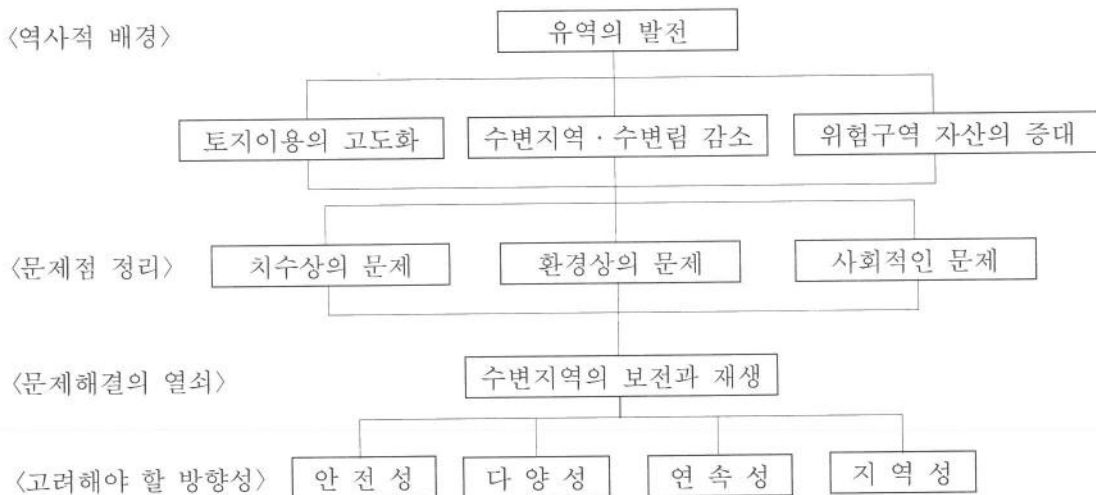


그림 2. 수변지역의 보전과 재생의 의미

귀중한 수변공간이 소멸되어 왔으며, 이로 인해 수변공간에 생식, 생육하는 지역 특유의 동식물 감소, 지역다운 경관의 소멸이 야기되고 있다. 또한 유역주민의 수변에 대한 애착이나 재해에 대한 위기감도 줄어들고 있다.

4) 수변지역을 유효하게 이용하면 안정성을 향상시킬 수 있다.

공간적으로 여유가 없으면 안정성의 확보는 어려우나 수변지역을 완충공간으로 이용하여 홍수나 토사유출이라고 하는 외력을 약화시킬 수 있으며, 또한 수변이나 수면 이용자의 안정성 확보에도 수변공간의 여유가 중요하다.

5) 수변지역은 다양성 · 연속성 · 지역성의 의미에서 환경상 중요하다.

지형적인 다양성이 유수의 형태에 다양성을 만들어 내고, 또한 다양한 동식물의 다양한 생

육 · 생식공간에 연결된다. 이러한 의미에서 물질순환의 연속성을 확보하여 동식물의 분포, 이동의 연속성을 보전 · 재생하는 것이 중요하다. 수변지역은 산 · 강 · 바다, 그리고 수역과 육역의 연속성을 갖는 가교이므로 유역에 적합한 경관, 재래동식물의 생육생식, 그리고 문화적 가치라고 하는 지역성 확보를 위해서도 수변지역의 의미는 크다.

6) 수변지역의 보전은 폭 넓은 접근과 연속적인 노력이 필요하다.

지금까지의 치수대책의 틀만으로 해결할 수 있는 것은 아니다. 수변지역을 공간으로 해석하여 토지이용의 유도나 제한, 지형의 보전이나 부분적인 개량, 유량이나 수질의 조절 등을 실시해야 한다. 또한 치수상 · 환경상 · 사회적으로 바람직한 수변지역 확보와 보전법을 시행착오를 겪으면서 완성하여 그것을 유지관리해

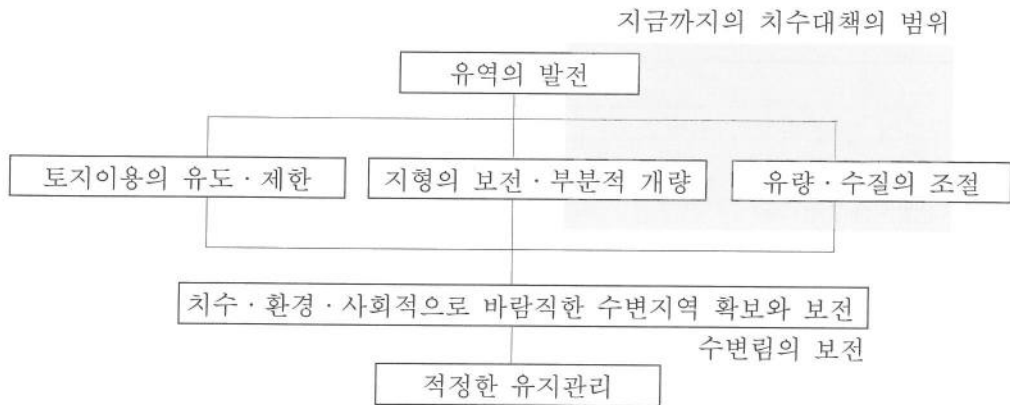


그림 3. 수변지역의 보전 수단

갈 필요가 있다.

7) 수변지역의 보전·재생을 목표로 하여 노력을 계속하자.

수변지역의 보전·재생에는 완벽한 수단은 없으므로 여러 가지 방법을 조합해야만 한다. 따라서 수단을 이 네 가지 방향성(안정성·다양성·연속성·지역성)으로 정리하여 구조와 기능을 분리하여 보면 표-1과 같이 알기 쉽게 된다.

3. 수변지역의 보전과 이용

1) 수변지역의 보전과 이용에는 명확한 개념정립이 필요하다.

왜 수변공간을 보전해야 하는가? 왜 그곳을 이용해야 하는가? 어떤 목적에서 어떤 방법으로 누가, 언제 이용할 것인가? 등을 잘 검토하여 명확한 개념을 정립해야 한다.

수변은 연속되는 하천공간의 일부이라는 것

을 잊어서는 안된다. 결국, 하천 전체 중에서 어느 구간을 어떻게 이용하고, 어느 곳을 보전하면 균형 잡힌 수계를 장래에도 유지할 수 있을까? 하는 보다 광역적인 개념정립이 필요하다. 이와 같은 개념을 정립하기 위한 단계별 최저 점검표는, ① 보전과 이용의 기본방침: 자연특성, 유역특성, 이용실태, 목표 등의 분석, ② 지역화와 보전·이용계획의 구체화: 매 지역마다의 계획, 이용 산정, 필요한 정비, ③ 관리와 정비: 지역합의 형성과 참가, 이용 관리·운영, 이용 정비.

2) 수변이용에는 적절한 원칙이 필요하다.

무질서한 수변이용은 다양한 문제를 야기한다. 하천은 지역성, 특수성이 크며, 하천환경의 관리도 획일적인 원칙으로는 이행할 수 없다. 수변이용의 원칙은 지역마다의 지방적 하천환경에 알맞은 설정이 필요하다.

수변이용을 적정하게 관리하기 위해서는 하

표-1. 수변지역의 보전·재생을 위한 점검표

	구 조	기 능
안정성	- 공간적 용량 확보와 위험도 분산 (치수시설의 유기적 조합) - 하안·하상재료의 개량(호안·호상을 포함) - 하도내 수목의 정리(벌채 계획) - 이용상 안전하게 배려한 형·재료 (환경사의 하안·횡단구조물의 소낙차 다단화)	- 우수의 분산·유출억제·증산·지하침투의 조절 - 홍수를 신속하게 처리하는 것과 위험도의 분산에 대한 조절(직진화와 사행, 범람용인 구역 설정) - 유속 조절 - 유출토석 조절 - 이용상 안전성을 고려한 유황
다양성	- 하폭의 변화·물매의 변화 - 다양한 유로형태(여울·소) - 도목·커버·리터·체류 수목의 존치·정비 - 하상·하안의 구성재료(저생동물이나 어류의 산란을 고려) - 범람되적원·시주·단구형성의 용이 - 복류수나 용수의 보전 - 다양한 동식물의 생식·생육에 알맞은 복원 - 다양한 수변식생의 복원	- 유량변화의 허용·조절 - 다양한 동식물의 생육·생식공간의 보전 - 먹이·영양염류의 공급 - 다양한 유황의 보전·유도 - 유황의 변화에 따른 하안·하상재료의 다양화(다공질 환경의 보전) - 먹이연쇄나 물질순환 사이클의 보전
연속성	- 종단·횡단적 차단 회피(하안의 환경사화·횡단구조물의 다단화·삼면 호안의 개조) - 수면·수변지역·주변지역의 완만한 이행대 보전·정비(구조물의 토사피복) - 동물의 이동로 확보 - 그 이행대에 적합한 식생도입 - 종단적인 하상·하안재료의 변화	- 산복사면에서 하천으로 유동 - 횡단적인 유황 조절 - 수질·수온의 급격한 변화 회피 - 수변에 있어서 영양원소의 교환 - 주변 토지이용과의 조화
지역성	- 풍토에 친숙한 형·질의 보전·재생 - 지역의 동식물에 적합한 하상·하안재료·수질(습지·나지·사력퇴 보전) - 지역의 동식물에 적합한 형 - 문화적 영위에 적합한 형·질 - 완충지대로서의 수변림·가축의 진입을 막는 울타리	- 주변 토지이용과의 조화 - 시냇물 소리 - 풍토에 어울리는 유황 - 지역 동식물에 적합한 유황 - 하반림 관리대(RMA)

표-2. 물과의 관련성과 활동내용에 의한 수변지역의 이용형태(예)

활동분야	물에 대한 의존성		
	유수 · 수상	수변	물에 의존하지 않는 하천공간
교육	자연관찰	자연관찰, 캠프	
스포츠	카누, 낚시	사이클링, 조깅	야구, 축구, 테니스
레저	레프팅, 보트	캠핑, 피크닉	불꽃놀이, 휴식, 이벤트
생산 · 생활	어업, 항운	관광사업	방목, 경작, 운반
지역사회 식수	수질개선운동	청소, 하예, 식수	방재, 피난, 통행
풍속, 신앙	풍어기원, 유등	제사	

천법과 같은 상위법에 근거를 찾는 것은 불가능하다. 하천이 존재하는 해당 지자체에 의한 보전조례나 하천애호협회, 수변 이용자 등의 모임에 의한 자주 원칙, 관리자나 지자체의 지도·요청, 주변 주민의 권리보호, 더욱이 이용자의 매너에 속하는 사항 등, 다양한 수준의 원칙을 조합하는 것이 필요하다. 원칙의 유지에는 하천관리자의 지도만으로는 실효성이 없으며, 이용자를 포함한 지역 전체가 참가하는 체제하에 원칙제정에서 관리까지 자주적으로 실행하는 것이 바람직하다. 또한 원칙제정과 함께 적절한 이용으로 인도하기 위한 방법이 필요하며, 특정 행위를 금지하기 위해서는 그 행위의 원인을 어디에서 해소할 것인가를 생각할 필요가 있다. 예를 들면 차량의 출입을 전면 금지하여도 이용객이 많아지면 결국 수변 어딘가가 훼손되므로 적절한 이용을 유도하는 시설을 계획적으로 배치하고, 질서를 형성함과 동시에 이용자에게 대한 서비스 제공도 필요하다.

3) 수변 이용자의 위험회피는 자기책임이 원칙이다.

하천의 이용, 특히 유수에 접하는 이용에는 수난사고의 위험성이 항상 존재하며, 하천공간의 자유사용에 따른 위험은 본래 이용자 스스로의 책임인 것을 회피하지 않으면 안된다. 친수시설의 설치하는 본래 위험한 유수 부근에 보다 많은 사람을 접근하게 하며, 또한 그때까지 위험하다고 생각되고 있던 수변에 대한 인식을 변화시켜 편안하게 조우하는 가능성을 증대시키기도 한다. 이와 같이 친수시설의 설치나 수변공간의 정비에 따라 편안함이 증대할 경우 위험회피의 책임은 이용자 및 관리자 쌍방에 있어서 종전보다 커지므로 이 경우 관리자 측에 주어지는 책임범위에 대해서는 가능한 한 안전대책을 검토할 필요가 있다.

친수시설을 계획할 경우 최소한의 검토사항으로는 이용에 제공되는 시설의 입지조건, 지역 요구, 지역활동과의 연대, 표식·표시판에 의한 자기책임의 설명, 주의환기 방법, 안전성

향상을 위한 시설대책(구조적 배려, 표시), 추적조사나 순시에 의한 안정성 유지, 위험성 교육과 계발이 필요하다. 또한 위험성 회피에 연결되는 수변(특히 친수성이 높은 공간)의 구조적 배치사항으로는 직선적인 호안 라인을 가능한 한 피하고, 하상재료에 신경을 쓰며, 수중 돌출물이나 건설 폐자재를 제거하고, 하원(河原)이나 중주(中州), 소 등의 안전한 장소를 만드는 것이 바람직하다. 또한 웬스는 가능한 한 작게 하며, 콘크리트 호안은 전략할 위험성이 높고, 바둑막이는 특히 위험한 구조물이라는 것을 인식해야 한다.

참고문헌

- Nakamura, F.. 1995. Structure and function of riparian zone and implication for Japanese river management. *Transaction Jpn. Geomorphological Union* 16 (3): 237-256.
- Nakamura, F., Yajima, T. and Kikuchi, S.. 1997. Structure and composition of riparian forests with special reference to geomorphic site conditions in the Tokachi River, northern Japan. *Plant Ecology* 133: 209-219.
- 岡村俊邦・吉井厚志・福間博史. 1996. 生態學的混播法による自然林再生法 開發. 土木學會論文集 546/ -32: 87-99.
- 岡村俊邦. 1998. 住民参加による自然林再生法. (財)石狩川振興財團. 62pp.
- Sugimoto, S., Nakamura, F. and Ito, A.. 1997. Heat budget and statistical analysis of the relationship between stream temperature and riparian forest in the Toikanbetsu River basin, northern Japan. *Journal of Forest Research* 2: 103-107.

특 집

백록담 분화구의 수리·수문학적 특성

정 용 호

임업연구원 농학박사

1. 담수감소 원인

○누수

제주도는 파쇄대, 단층 등 지질구조적 특성 때문에 계류에 상시유출수가 거의 없듯이 백록담 담수문제에 있어서도 누수는 그 원인의 큰 부분을 차지하는 것으로 판단되나 근자의 담수량 감소에 관한 한 직접적인 원인은 아닌 것으로 판단된다.

○용량감소

백록담 일대의 훼손이 심해짐에 따라 담수량 감소가 현저해진 것으로 보아 백록담 분화구 사면 토양의 강수침투능 저하에 의한 토사유출량의 급격한 증가가 가장 큰 영향을 한 것으로 추정된다.

○지하수위 저하

지하수 개발이 주로 이루어지고 있는 것은 중산간 이하 지역이기 때문에 지하수 개발이 백록담 주변 지하수위를 낮추었을 가능성은 낮다. 또한 식생에 의한 강수침투 악화 및 차단, 증산 손실량의 증가에 따른 지하수위 저하는 일반적인 산림에서 나타날 수 있는 현상이나 임상 등 입지환경으로 보아 제주도에서는 큰

영향이 없을 것으로 판단된다.

2. 용량감소

2-1. 원인 및 실태

백록담 담수 감소원인은 백록담을 하나의 용기로 볼 경우 현재의 '물 그릇' 깊이가 이전에 비해 줄었기 때문으로 판단된다. 이는 백록담 사면의 훼손에 의한 토사유출 증가가 주 원인이다. 따라서 이전 같으면 담수상태를 보였을 물을 백록담 바닥에 퇴적된 토사가 머금고 있는 것으로 추정된다.

백록담 훼손의 가장 큰 원인은 모암이나 지형 등의 요인보다는 등산객들의 답압으로 인해 식생이 소멸됨에 따라 토양의 물리성이 악화된 때문이다.

식생파괴에 따라 가장 먼저 일어나는 현상은 빗물의 침투에 중요한 역할을 하는 부식퇴적 토양층의 유실이다. 토양속으로 어느 정도의 빗물을 저장할 수 있는가 하는 것은 지표 상태 즉, 표층토양의 공극구성 상태에 따라 달라지기 때문이다. 즉, 표토 부식층의 성상에 따라 빗물의 침투능이 달라지는 것으로 저류기능을 담당하는 토심보다도 더욱 중요한 인자로서 수자원 보전문제에 있어 부식퇴적 토양층의 존재

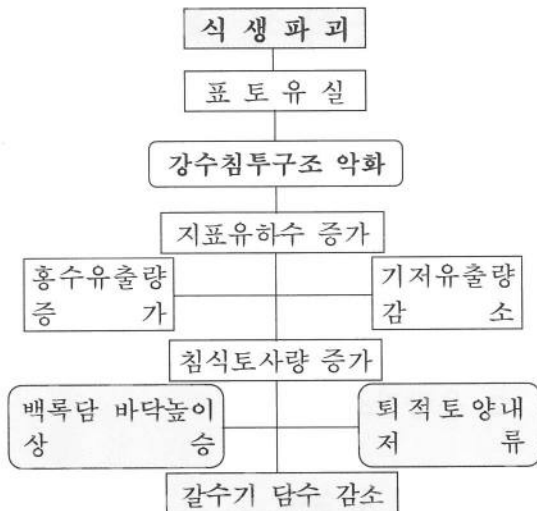


그림1. 용량 감소 과정

※ 단, 파쇄대 등을 통한 누수량은 불변

는 커다란 의미를 가진다.

사면에서 토사유출량이 늘어나는 것은 표토의 강수침투구조 파괴로 빗물이 땅속으로 충분히 스며들지 못하게 됨에 따라 증가된 지표유하수는 엄청난 에너지를 가지고 사면 위를 흐르며 토양침식을 일으키기 때문이다.

2-2. 강수침투구조

표토층이 유실되어 모재층이 드러난 상태에서 직사광선과 강한 바람에 노출되어 건조가 진행됨에 따라 토양의 조공극이 미세 토립자에 의해 메워지는 등 공극의 미세립화가 진행되기 때문에 강수침투구조의 급격한 저하가 초래됨.

□ 백록담 일원 토양의 강수침투구조 실태조사
(2001년 10월)

○ 장소 : 해발 1,600m 이상 한라산 정상부

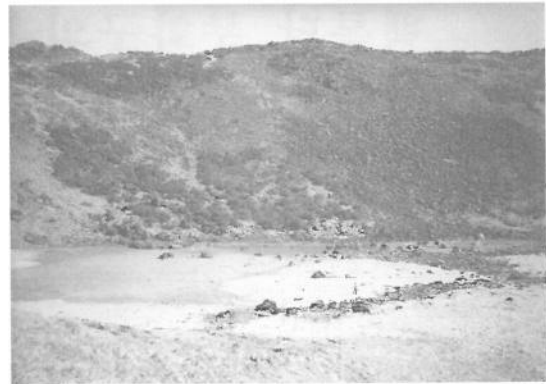


그림2. 강수침투구조가 파괴된 백록담 사면

○ 조사대상지 구분

- 산림지역 : 구상나무 자생지 임내 및 임내 등산로(1,700~1,750m)
- 관목·초원 : 관목·초원지대(조릿대, 눈향나무, 철쭉 자생지) 및 주변 등산로(1,600~1,800m)
- 백록담 : 분화구 내 남·북사면

○ 조사방법

- 토양단면 조사 : 층위별 토심, 건습도, 토색, 건밀도 등
- 토양시료 채취 : 100cc 토양시료 캔 3반복 이상 채취
- 물리성 분석 : pF 측정기, 투수계수 측정기 등 사용 실험실 분석

○ 분석방법

- 훼손지역 유형별 토양의 물리성을 대조구와 비교·검토
 - 훼손 유형 분류 : 4유형(산림지역 및 관목·초원지역의 등산로, 백록담내 남향사면 및 북향사면)
 - 대조구 : 2유형(보전된 산림지역, 관목·초원지역)

2-2-1. 가비중 (단위 : g/m^l)

산 립 지 역	임내 표토	0.4
	임내 B층	1.1
	등산로 표토	1.1
	등산로 B층	1.1
관목·초원(표토)	조릿대 밀생지	0.5
	등산로	1.2
백록담(표토)	복사면	0.8
	남사면	1.2

○ 훼손지역 표토 : 산림지역(구상나무 임내)의 약 2~3배

○ 훼손 유형별 비교

- 산림지역 : 훼손지(등산로)가 구상나무 임내에 비해 약 3배 높음
- 관목·초원지역 : 훼손지(등산로)가 조릿대 밀생지역에 비해 약 2.3배 높음
- 백록담 : 남사면이 복사면에 비해 1.5배 높음.

2-2-2. 견밀도 (단위 : mm)

산 립 지 역	임내 표토	7
	임내 B층	20
	등산로 표토	19
	등산로 B층	22
관목·초원(표토)	조릿대 밀생지	11
	등산로	24
백록담(표토)	복사면	18
	남사면	23

○ 훼손지역 표토 : 산림지역(구상나무 임내)

의 약 2.7~3.4배

○ 훼손 유형별 비교

- 산림지역 : 훼손지(등산로)가 구상나무 임내에 비해 약 2.7배 높음
- 관목·초원지역 : 훼손지(등산로)가 조릿대 밀생지역에 비해 약 2.2배 높음
- 백록담 : 남사면이 복사면에 비해 1.3배 높음.

2-2-3. 투수계수 (단위 : cm/sec)

산 립 지 역	임내 표토	0.0346
	임내 B층	0.0061
	등산로 표토	0.0115
	등산로 B층	0.0050
관목·초원(표토)	조릿대 밀생지	0.0208
	등산로	0.0173
백록담(표토)	복사면	0.0065
	남사면	0.0050

○ 훼손지역 표토 : 산림지역(구상나무 임내)의 약 15~33%

○ 훼손 유형별 비교

- 산림지역 : 훼손지(등산로) 투수계수 구상나무 임내에 비해 33%
- 관목·초원지역 : 훼손지(등산로) 투수계수 조릿대 밀생지역에 비해 83%
- 백록담 : 남사면 투수계수 복사면에 비해 77%

□'93보고서 : 물 수지 분석에 사용한 투수계수 0.001~0.002cm/sec(현무암지대 평균값에서 파쇄대 고려)로 백록담 사면의 1/

3~1/5

2-2-4. 조공극률(pF2.7) (단위 : %)

산 립 지 역	임내 표토	33.2
	임내 B층	24.2
	등산로 표토	30.3
	등산로 B층	25.5
관목·초원(표토)	조릿대 밀생지	34.9
	등산로	32.6
백록담(표토)	복사면	32.1
	남사면	30.4

○ 훼손지역 표토 : 산림지역에 비해 다소 낮은 경향이나 뚜렷한 차이가 없는 것은 건전 지역에 잔적되어 있는 화산회토의 특징 때문인 것으로 판단됨.

○ 백록담 분화구 내 : 남사면이 복사면에 비해 다소 낮은 상태를 보이고 있음.

□'93보고서에서 인용한 토양 침투능은 과대치임.

○ 산림토양의 침투능 예

- 미국의 West Virginia주의 활엽수림지 : 1,270mm/hr

- 미국의 New Hampshire주의 침활혼효림지 : 356~1,270mm/hr

⇒ 산림지에서의 침투능

- 활엽수림지 : 272(87~395)mm/hr

- 침엽수림지 : 246(104~387)mm/hr

2-3. 토사유출 및 퇴적

□'93보고서

○ 연평균 토사퇴적깊이 : 0.5cm/yr(방사능 동위원소 pb-210)

○ 연평균 토사퇴적량 : 39톤(38,954kg)

○ 연간 유토발생 추정량 : 약 39톤(114,570, 000cm²×0.68g/mℓ×0.50cm/year)

⇒백록담 분화구 사면(면적 약 20ha, 백록담 담수면적 제외)의 연평균 토사침식량 : 39톤/yr(용적밀도 : 0.68g/mℓ)÷57m³/yr → 0.285mm/ha/yr

▶ 백록담 주위 분화구지역의 토사침식량 : 황폐지의 토양침식량에 대한 임업연구원 연구조사 결과인 11.8mm/ha/yr(≒1/40)은 물론, 일본의 조사결과에 비해서도 지나치게 낮은 수치가 제시되었음.

⇒정확한 조사 필요

표5. 지피상태별 연간 침식토사량 개선(일본)

(단위 : /ha/yr)

	황폐지	나 지	농경지	초지·임지
연 간 침식토사량	100~1000	10~100	1~10	0.1~1

물을 퇴적토사가 흡수해서 백록담 바닥에서 물의 자취를 감추게 했을 개연성은 충분히 가능함.

○ 저수지 토사매물에 의한 바닥 상승으로 인한 담수량 감소와 유사현상일 가능성 있음.

○ 계류나 하천에 토사가 과도하게 퇴적되면 물이 토사 속으로 복류, 갈수기 유량 감소 현저 혹은 소멸

3. 물 수지

3-1. 유출계수

□'93보고서

○ 단기 강우에 대한 담수량의 변화와 유역내의 강수량을 분석하여 유역의 유출계수를 산정해야하나 기존 실측자료의 부재로 국내 댐에서 실측된 유입량과 강수량을 조사 분석하여 평균 유출계수를 산정(0.597)한 것은 문제가 있는 것으로 판단된다.

- ▶ 지질, 식생, 유역환경 조건 등이 고려되지 않은 채 평균 유출계수를 원용하는 것은 무리임.
- ▶ 유출계수는 단기 강우에 대한 홍수유출량 자료에 근거하여 산출되어야 하나 당 보고서에서는 연간 총강수량에 대한 연간 총유출량의 비로서 유출계수를 산정하였기 때문에 실제 백록담 담수량에 영향하는 단기간의 유효강수량 추정이 불가능함.
- ▶ 유출계수는 백록담 유입량을 결정하는 유일한 인자이기 때문에 정확한 산출이 필수적임.

⇒우량계, 수위계 등을 설치하여 백록담의 시간별 강수량 및 담수위, 지하수위 변화를 관

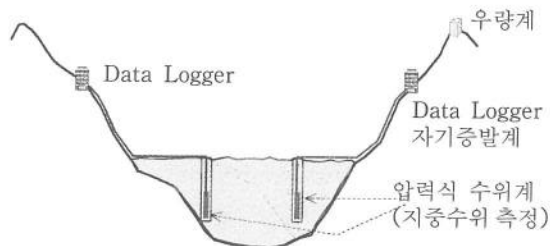


그림3. 물 수지 분석을 위한 측정장치 설치

측하여 실제 유출계수 및 담수량 변화를 분석하여야 함.

3-2. 물 수지 분석

□'93보고서

○ 백록담 담수량의 손실 : 누수 98%, 증발 2%

- ▶ 지표유출경로가 없는 백록담에 대한 물수지 분석은 기본적으로 백록담 유입량과 증발손실량, 누수량과의 관계임. 따라서, 백록담 유입량에 대한 추정값의 정확도에 전적으로 의존할 수밖에 없음.
- ▶ 증발에 의한 손실량은 변이폭이 적은 상대적으로 일정한 양임. 따라서 증발손실량이 약 2%로 매우 적게 산출된 것은 그만큼 백록담 유입량이 많게 추정되었기 때문임.
- ▶ 따라서, 백록담 분화구지역의 유출계수 0.597 값의 정확도를 신뢰하기 어려움. 즉, 누수현상이 심하리라 여겨지는 백록담 분화구지역에 대하여 유출계수 0.597 값을 적용하는 것은 백록담 유입량의 과대치를 초래할 수도 있음.

⇒담수량 손실에 대해 결론적으로 증발손실 2%, 누수손실 98%라는 것은 너무 비약임.

⇒백록담 유입량에 대한 정확한 산출이 필수적이므로 정확한 관측이 실시되어야 함.

4. 사면안정

4-1. 기 제시된 방안의 문제점

□ 누수방지공

GEODUR Soil Concrete 공법(Denmark) :
최대한 자연상태 유지, 경제적, 시공용이('93
보고서)

- ▶ 백록담 내벽 누수부에 국한한다 하더라도
엄청난 양의 토사를 전부 들어내야 시공
가능
- ▶ 영산에 Mortar Grouting을 하는 것은 국
민적 정서로 보아 수용곤란 가능성 많음.
- ▶ 백록담을 통해 공급되는 지하수량 변동에
따른 지하수위 저하로 한라산 정상부근
식생 고사 우려

□ 사면보호공

식물성섬유망 + 종자취부공, 격자틀 등 제
시된 공법 제시('93 보고서)

- ▶ 태양 및 바람에 노출된 훼손지 환경과 고
산지대의 기후특성을 고려치 않고 일반적
인 복구방법을 열거한 것으로서 상주 등
혹독한 환경의 백록담에는 맞지 않는 것
으로 판단됨.
- ▶ 특히 격자틀의 경우 백록담 지역에서는
상주에 의한 채움 흙의 유실로 틀이 붕괴
되어버릴 가능성이 큼.
- ▶ 상주에 의해 지표가 상하방향으로 심하게
불안정한 표토의 고정 및 강수침투능 회
복을 위한 지표안정 대책이 무엇보다 우
선적으로 고려되어야 함.

4-2. 사면안정공법 제안

일단 파괴된 자연을 복원회복 시키는 데에는

엄청난 시간, 노력, 비용이 소요되는데 반해 성
과는 그리 좋지 못하다는 사실이 백록담을 비
롯한 한라산에서도 확인되었다. 심하게 훼손된
고산지역의 강수침투능 회복을 위한 사면안정
공법을 다음과 같이 제시하고자 한다.

단, 어떠한 공법이던 시공·관리가 설계 및 시
방서 내용을 충실히 이행하는 것이 중요하며
본래 모습을 회복하는데는 수 백년이 걸릴지도
모른다.

4-2-1. 현상

가비중, 견밀도, 투수계수, 조공극률을 비교
한바 훼손지역 토양의 물리성 악화가 심한 상
태이며 백록담 분화구 내에서는 남향사면이 북
향사면에 비해 물리성이 나쁜 상태이다.

4-2-2. 영향

- 토양의 강수 침투구조 및 저류구조가 크게
악화된 상태로써 호우시 지표유하수의 다량
발생에 의한 토양침식이 더욱 심화되고 있
는 상태이다.
- 훼손지역 표층토양의 견밀도는 25mm 이하
로서 자연적 식생침입이 가능한 범위이나
표토가 전혀 고정되지 않아 유동성이 큰 상
태로 자연적 식생착생은 거의 불가능에 가
까운 상태이다.
- 백록담 일원은 동절기의 큰 일교차로 융설,
결빙이 반복되는 환경이므로 상주에 의한
침식·붕괴에 각별한 대비를 하지 않으면
파괴된 사면복구는 거의 불가능한 것으로
판단된다. 백록담 분화구 내의 경우 상주에



그림 4. 상주에 의해 토사붕락이 진행되고 있는 광경



그림 5. 토양을 채운 식생대를 말목으로 고정 한 사면안정공

의한 토양불안정현상은 남향사면에서 더욱 심하게 일어나고 있다.

- 사면안정을 위한 식생대(토양마대) + 켜기 공법은 사면고정에 상당한 효과가 있는 것으로 보여지나 토양이 안정되지 않을 경우 수년 내에 토양이 유실되어 빈 주머니가 될 우려가 있으므로 조기에 식생도입을 도모할 필요가 있음.

4-2-3. 제안

- 제안 1 : 토양의 상하유동 억제

상주발생 원인인 토양수분 저감을 위한 천연 소재인 돌을 이용한 암거 및 명거 설치

- 방법 : 큰돌(하단)-잔돌(상단)을 사용 암거설치, 토양수 집상태
- 효과 : 토양수 차집·배수 상주 피해 저감으로 토양안정 도모

- 제안 2 : 자중 있는 소재로서 돌을 활용하고 침식방지제에 의한 표토립자 결속 강화

- 방법 : 고밀도의 등고선 방향 산돌쌓기, 침식방지제(Alginate Acid ; 천연소재, Tera Control 등)과 종자혼합 직파, 산거울, 조릿대 식재 후 침식방지제 처리 등
- 효과 ; 표토안정 및 강수 침투능 회복 도모

5. 맺는 말

현재 한라산의 많은 부분이 본래 모습으로 회복하기 어려울 정도로 훼손된 것은 당연히 우리들의 책임이며 백록담 담수화 문제도 같은 원인일 것으로 생각한다. 훼손상태가 워낙 심하다보니 복원, 담수화 등 문제에 대해 많은 처방이 나오고 있는 것은 백록담을 아끼고 사랑하는 사람들이 그 만큼 많기 때문일 것이라는 생각도 든다.

금번에 발표자료를 준비하느라 '93년도 용역 보고서를 훑어보았는데 많은 부분이 잘못 조사되고 분석되었음에 놀라지 않을 수 없었다. 따라서 만일 이 보고서를 지침으로 한라산에 대한 복원이 행해진다면 크게 잘못된 일이라고 생각한다. 본문에서 수리·수문부문의 잘못된

내용 혹은 의심이 가는 내용에 대해 언급을 하였으나 전문분야가 아니라서 검토를 하지 못한 부분도 많으므로 '93보고서 전체내용을 분석하여 정밀하고 정확한 재조사가 이루어져야 할 것이다.

만일, 재조사 계획이 있다면 장비나 기술수준 등의 이유로 당시 수행하지 못했거나 미진했던 부분이 있을 수 있음에도 유념할 필요가 있다고 본다. 백록담의 본래 모습도 아직 파악이 안된 상태에서 복원을, 또는 답수를 논한다는 것도 문제가 있다고 본다. 이번 기회에 백록담의 본래 모습은 어떤 상태였는지를 포함하여 본격적이고도 보다 정밀한 물리탐사도 이루어져야 할 필요가 있다고 본다.

한라산은 우리들의 것만 일수 없는 것으로서 자손만대 잘 보호하고 지켜 나아가야 할 보물이다. 따라서 한라산의 복구문제가 즉흥적이거나 단견에 의해 이런저런 방안들이 치밀하지 못하고 무계획적으로 행해진다면 자손들에게 더욱 씻을 수 없는 죄를 짓는 것이라고 생각한다.

그 이유는 잘 못 건드릴 경우 돌이킬 수 없는 일이 생길 수도 있기 때문으로 무엇보다 '종합진찰'을 서둘러야 할 필요가 있다. 만일 코끼리한 부분을 만지면서 코끼리 전체를 그리고 있다면 큰 일이기 때문이다. 한라산에 대해서 아직 파악이 제대로 안된 상태라면 삽질을 하는 것은 절대 삼가 해야 할 것이다.

정확한 진단이 이루어져야 잘 된 처방전이나올 수 있는 것처럼 진단이 무엇보다 중요하다는 이야기이다. 종합진단 결과를 펴놓고 각 분야의 처방을 받아 종합적인 치료계획을 세워야 할 것으로 생각한다.

재삼 강조하건대 정밀진단은 서두르되 복원에 대한 접근은 신중함을 필요로 한다고 본다. 그것은 한라산을 아끼고 사랑하는 사람들이 많으며, 특히 한라산에는 제주의 문화, 역사, 전설이 고이 간직되어 있을 뿐만 아니라 예로부터 한라산 전체가 주민들의 생활 그 자체이었기에, 더욱 각별한 애정을 가지고 있는 제주도민들의 정서가 깊이 서려있기 때문이다.

특 집

수변구역 산림의 수원함양 및 수질정화기능 증진을 위한 몇 가지 방안

박 재 현

국립진주산업대학교 산림자원학과 교수

I. 서 론

몇 해 전부터 급증하고 있는 상류 산지유역 및 하천유역에 대한 인위적인 개발과 이에 따른 산림의 파괴는 과거로부터 안전하고 깨끗한 물로서 인식되어 오던 山源水와 상류 하천수에 대한 수질오염문제를 야기함으로써 하류지역의 인간생활 및 자연생태계에 미치는 악영향을 클 것으로 예상되고 있다. 그러나 주요 상수원 지역인 산림유역 관리는 산림지가 청정수역이라는 기본적인 인식 하에 인간의 간섭 및 개발행위를 최소화하는 산림지의 현상유지 및 시설규제 등과 같은 소극적인 방법이 주도되어 왔다. 또한 수변구역 관리도 이러한 맥락에서 이루어져 왔다고 할 수 있다. 그러나 상류지역 산림 및 수변구역 산림의 수원함양기능 및 수질정화기능을 증진시키기 위해서는 이러한 기능의 증진 및 보전을 위한 일련의 체계적인 사업(산림관리, 간벌 및 가지치기 등)이 필요하며, 이를 위해서는 산림토양의 물리적 특성과 아울러 수변구역 산림의 수질정화기능 증진을 위한 효과적인 수종선택, 수변구역 산림의 효율적인 사업 및 관리에 대한 종합적인 데이터베이스의 구축이 절실하다.

1. 산림(수변구역 산림)의 수질정화기능의 개념

산림의 수질정화기능은 크게 보아 산림의 수원함양기능 가운데 하나라 할 수 있다. 즉, 산림은 비가 내릴 때 홍수량을 감소시키고, 평상시 맑은 물을 다량 흘려보내 주는 기능에 더하여 산림에서 유출한 물은 하천수질환경기준 상수원수 1급수의 기준에 적합한 맑은 물로 정화시켜 흘려 보내주는 수질정화작용을 한다. 따라서 산림의 수질정화기능을 증대시켜 주는 일은 물부족 시대를 맞아 매우 시급하고도 당면한 과제라 할 수 있다.

산림의 수질정화기능은 강수가 수목의 잎과 가지, 줄기, 그리고 토양층을 통과할 때 식물뿌리의 흡수, 점토나 부식에 의한 양이온의 치환흡착, 화학적 不溶化 등의 작용으로 인해 강수에 포함된 각종 물질들의 농도가 낮아지는 기능이라고 할 수 있다. 이러한 작용은 대부분이 산림토양에서 이루어져, 산림은 질소나 인과 같은 물질의 농도를 낮추어주고 환경오염으로 발생하는 산성비의 pH를 중성에 가깝게 하는 기능을 한다. 이와 같은 현상은 산림토양이 점토성분이나 부식성분을 화학적으로 토양 속에 축적시키고 토양 속의 유기물은 토양미생물이나 토양동물에 의해 분해되기 때문이다. 한 예

로, 산림토양 내에 존재하는 토양미생물은 활발히 활동하여 유기질소와 암모니아성질소를 분해하고, 질산균에 의한 질산성질소의 산화작용으로 대기오염물질인 질소산화물을 분해한다. 예를 들어 강수에 녹아 있는 암모니아이온은 토양의 양이온치환흡착으로 인해 토양층을 통과함에 따라 그 농도가 감소하며, 식물 뿌리에 의한 흡수, 화학적인 불용화 작용으로 그 양이 감소된다. 또한, 인은 토양수에 용존되어 있는 칼슘성분과 결합하여 불용성 물질로 되기도 한다. 따라서 산림의 수질정화기능을 효율적으로 발휘시키기 위해서는 침투수가 되도록 토양과 많이 접촉하도록 해야 한다. 이를 위해서는 토양의 공극률을 높여 강수의 침투성을 좋게 하여야 한다. 또한, 산림의 수질정화기능은 광물질토양 뿐만 아니라 산림생태계 전체를 통하여 발휘되는 것이므로 안정된 천연림이 이상적이며, 인공림의 경우는 잘 관리되어 있고 임령이 높은 산림이 바람직하다고 볼 수 있다.

2. 산림(수변구역 산림)의 수질정화 기능에 관한 다양한 연구

산림유역에서 수분이나 양분은 수목을 매개로 하여 순환하는데, 산지에서 내리는 빗물에 섞여 내린 각종 오염물질은 임목의 수관층을 통과하여 내리는 수관통과수와 나무의 줄기를 타고 흘러내리는 수간류 등을 포함하는 임내수와 함께 토양을 통과하여 계류로 흘러 들어가는 과정을 거치게 된다. 이러한 과정에 대하여 坂本(1993), 大類 等(1994), 朴在鉉과 禹保命(1997)은 강우, 수관통과수 및 수간류, 토양수,

계류수에서 용존물질농도를 비교했을 때, 산림 외 지역에서 내리는 강우가 산림지를 통과하여 계류로 흘러 들어오는 과정에서 계류수에 포함되는 물질농도의 변화를 추적함으로써 산림의 수질정화기능을 평가할 수 있다고 하였다. 그 결과, 吳 等(1996), 朴在鉉과 禹保命(1998)은 임내수에 녹아 있는 물질량은 강수보다 많으며, 특히 대기오염물질인 SO_4^{2-} 는 2배나 많다고 하였다. Anderson(1991)과 大類 等(1995)도 수간류는 나무의 줄기에 가까운 토양일수록 토양의 화학적 성질과 식생 분포에 다양한 영향을 미친다고 하였다. 또한, Parker(1983)는 수관 통과수와 수간류의 화학적 조성에 영향을 미치는 인자는 강수량, 고도, 오염원과의 거리, 수령, 토양의 비옥도라고 하였다. 더욱이 동일 환경 조건하에서 대기오염물질의 영향을 감소시킬 수 있는 능력은 수목의 생장시기에 따라 계절변이를 보여 주는데, 이 차이는 나무의 종류에 따라 다르며, 나무 줄기의 울퉁불퉁한 요철에 따라서도 다르다고 하였다.

모두베기 등 산림시업에 따른 계류의 수질변동에 대하여 Likens 등(1967)은 모두베기한 지역의 산림유역에서는 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NO_3^- -N 등이 급격히 증가해 계류수질을 변화시킨다고 하였다. 즉, 뉴햄프셔의 시험유역에서 실험한 결과 벌채 전 후에 일정 농도 이상일 경우 사람이나 동물에 피해를 주며, 지하수 오염원이 되는 NO_3^- -N의 함량은 벌채작업 전에는 $0.5mg/l$ 에서 벌채 후 $80mg/l$ 까지 증가하여 미국 연방정부의 먹는 물 허용수질기준 한계의 8배에 달하였다고 하여 모두베기 시업의 역효

과를 언급하였다. 즉, 산림을 벌채하고 도로 등을 건설하면 일반적으로 수질의 변화가 일어나고, 그 외에 토사가 유출되기 쉬워지며 계류수 중의 현탁입자가 증가한다. 또한, 식생이 없어지면 식물에 의한 양분의 흡수가 정지하고 그로 인해 양분의 유출이 증가하므로 계류수에 녹아 있는 각종 물질의 농도가 높아져 물이 자체적으로 정화할 수 있는 한계농도를 넘어가게 되어 수질이 악화될 수 있어 모두베기의 역효과가 발현되는 것이다. 뿐만 아니라 모두베기 시업을 실시하고 제초제를 처리한 유역에서는 처리하지 않은 유역보다 계류수의 여름온도는 평균 2℃나 높아지고, 가을과 겨울에는 3.9℃나 낮아져 계류생태계에 심각한 영향을 미치게 된다. Remy(1985)도 모두베기 시업한 지역의 경우 처리하지 않은 시험구보다 NO_3^- -N이 많이 유출되어 계류수질을 악화시키므로 모두베기는 가능하면 피해야 한다고 강조하였다. 또한, 相澤(1993)은 수간류의 pH가 높은 활엽수를 침엽수 인공림으로 바꾸었을 경우 수간류의 낮은 pH로 인해 토양이 산성화되므로 활엽수로의 시업은 대기오염물질에 의한 산림토양의 산성화를 억제시킨다고 하였다. 아울러 Baeuml-er와 Zech(1998)는 간벌 등 산림시업 후 토양수에서 용존물질의 양이나 오염도를 파악할 수 있는 간접적인 지표인 전기전도도(Electrical Conductivity)는 일시적으로 증가하나 1년이 경과한 후에는 토양의 강한 완충능으로 인해 간벌 전으로 안정화된다고 하였다.

대기를 오염시키는 기체화합물 중 주로 질소산화물(NO_x , 35%)과 황산화물(SO_x , 65%)이

빗물에 섞여 내리면서 발생하는 pH 5.6 미만의 산성비로 인해 수목의 잎이 노랗게 되고, 수관의 상부로부터 하부로 내려가면서 미성숙 잎이 조기에 떨어지고 연륜생장이 감소하는데, 이렇게 수목에 영향을 미치는 산성비는 토양용액 속에 산성비에서 유래한 수소이온을 증가시킴으로써 토양에 결핍된 염기성양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+)과 치환되고, 치환된 염기성양이온들은 대기로부터 유래한 황산이온이나 질산이온과 결합하여 지하수를 통하여 흘러가 토양속에서 알루미늄이온 등 산성금속이온을 활성화시켜 토양을 오염시킨다. 우리 나라는 국토의 53%가 산성비를 중화시킬 잠재능력이 적은 화강암과 화강편마암으로 덮여 있고 상류수원을 이루는 각종 산림지역의 토심이 얇아 산성비에 의한 토양, 산림 및 수계생태계에 미치는 피해가 다른 나라보다 커질 수 있고, 실질적으로 대기오염물질의 유입이 많은 도심지역에 가까이 갈수록 토양산성화가 발생하고 있다. 따라서 최근에는 산성비에 의해 토양산성화를 억제시키는 수종을 개발하기 위한 노력이 다각적으로 이루어지고 있다. 예를 들어 수간류가 장기간 토양에 유입되면 침엽수는 토양의 산성화를 촉진시키고, 음나무, 툼나무, 오리나무 등 활엽수는 토양산성화에 억제작용을 한다는 점에 착안하여 수간류 중에 포함된 고농도의 용존염기가 뿌리 부근의 토양에 접촉함으로써 교환성염기의 조성과 양을 변화시키는 기능을 발휘하는 수종을 산성비 피해위험지역에 식재함으로써 토양산성화의 완화를 기대하고 있다.

3. 산림(수변구역 산림)의 수질정화기능 증대를 위한 임업선진국의 노력

수변구역 산림의 수질정화기능 증대를 위한 노력을 최대한으로 경주하는 국가는 미국이라고 할 수 있는데, 미국에서 총체적인 산림의 수질정화기능 증대를 위한 다양한 대책은 환경청이 주관하여 수립하지만 기술적인 문제는 산림청 산하 임업시험장의 연구결과를 이용하여 해결하고 있다. 산림지역의 수질보전대책이 수립된 배경은 산림사업과 산림 내에서 일어나는 각종 활동으로 수질에 미치는 영향이 매우 심각하여 모든 주정부는 산림작업에 따른 수질에 악영향이 미치지 않도록 각종 대책을 마련한 데서 시작되고 있다. 산림사업은 궁극적으로 하류수질에 영향을 주는 오염원의 파악이 곤란한 비점오염원을 효과적으로 제어하는 일이다. 이와 같은 역할을 규정한 법률은 수질과 관계된 법규로 1972년 연방수질오염방지법(Federal Water Pollution Control Act), 1977년에 맑은물보전법(Clean Water Act)의 208조, 1987년 수질관계법(Water Quality Act) 319조라 할 수 있다.

국가적인 차원에서 산림사업은 수질에 대한 전체 비점오염원의 약 3~9%를 차지하며, 임목의 벌채와 임도(forest road) 시공에 의한 지역적인 수질오염은 상류수원지의 경우 매우 심각할 수 있다. 따라서 임도로부터의 땅깁기 비탈면이나 노면, 그리고 흙쌓기비탈면 등으로부터 발생되는 지표침식율은 심하게 침식되는 농지의 침식율과 거의 같거나 초과한다. 이러한 영향은 식수를 공급하거나 어족자원이 풍부

한 보전이 잘 된 유역 또는 수변구역에서의 산림사업시 매우 중요하게 고려되고 있다. 이와 관련하여 24개 주정부들은 1990년 수질영향평가 305(b)조에 모두배기와 같은 산림사업을 비점오염을 일으키는 행위로 규정하고 있으며, 환경영향평가의 결과에 의하면 42개 주에서 이러한 산림사업이 하천을 오염시키는 비점오염원의 9%를 차지한다고 보고하고 있다. 국유림의 경우도 임목의 벌채 등과 관련된 행위로 인하여 수질이 오염되기 때문에 많은 주정부에서는 이에 대한 방지대책을 마련하고 있다. 한 예로 환경청의 1993년~1998년 수질보전대책 보고서(EPA-840-B-92-002)는 산원수의 수질을 보전하기 위해 산림사업시 임목수확 전의 계획, 계안지역 관리, 임도 시공 및 재시공, 임도관리, 임목 벌채, 정지작업 및 조림, 산불진압, 훼손지 복구, 유역관리, 화학물질관리, 습지관리, 광산관리, 휴양관리, 초지관리 등 각 단계별 대책을 수립해 놓고 있다. 즉, 미국에서는 산림의 수질정화기능을 증진시키기 위한 산림사업을 각 단계별 지침에 따라 효율적으로 수행하고 있다.

또한, 1993년에 영국 산림청은 산원수 관리를 위한 지침서인 『산림과 물 지침(Forests and Water Guidelines)』을 발간하였다. 이 지침서에 의하면 영국의 모든 산림관리자들은 1991년 개정된 수자원관리법(Water Resources Act)에 의거 산림사업을 제한 받고 있다. 관리 지침 가운데 산림사업과 관계된 내용은 정지작업, 완충지대 설정 및 관리, 계안식생관리, 임도시공 및 유지관리, 임목벌채, 해충방제, 임지

비배, 화학물질 연료 저장 및 취급, 화학물질 및 연료 누유에 대비한 비상계획, 산불진화와 야생동물을 위한 저수지 마련 등으로 구분할 수 있다. 여기에서 상류수원지는 계류와 인접한 거리에 따라 인접지역(The adjacent land), 계안지역(The riparian zone), 수변지역(The aquatic zone)으로 구분하는데, 이 가운데 인접지역은 계류로부터 멀리 떨어진 지역으로 유역내 면적이 가장 넓으며 대부분의 물이 모이는 지역이다. 계안지역은 수변지역과 인접한 지역으로 수변지역에 의해 직접 영향을 받으며, 수변지역은 물이 흐르는 부분과 바로 인접한 지역이다.

완충지대(Buffer areas)는 계안과 계류의 인접지역에서 내려오는 유출수로부터 보호하기 위해 설정된 지역이다. 완충지대는 보통 계안지역을 포함하거나 이보다 더 넓다. 이 지역은 상류에서 내려오는 각종 퇴적물을 걸러서 계류로 유입되는 양료의 농도를 낮추는 기능을 하는데, 이때 완충기능은 면적이 넓고 경사가 완만하며 주변 식생이 왕성할 때 높아진다. 완충지역의 폭은 퇴적물의 이동 위험도에 의해 정해지는데, 이동 위험도는 경작 형태, 토양의 내침식성 그리고 경사도와 유역면적에 의해 영향을 받는다. 완충지대의 평균적인 폭은 1m 폭의 상류수원지 계류는 최소한 계류 양쪽 5m까지로 하고, 1 내지 2m 폭의 계류는 계류 양쪽 약 10m까지로 하며, 2m폭 이상의 계류는 계류 양쪽 약 20m까지로 정하고 있다. 또한, 미국에서는 정상적인 완충기능을 수행하기 위하여 30m 폭의 완충대가 제안되었고(United States

Army Corps of Engineers, 1991), 조류에 따라서 12m~210m 폭의 완충대가 필요하다는 결과도 보고되고 있다(Stauffer and Best, 1980).

한편, 20세기 들어 일본은 인구의 증가와 경제사회의 진전, 도시의 발전·팽창뿐만 아니라 전 국토에 걸쳐 개발이 진척되어 토지이용은 세분화 고도화되고, 일본 고유의 생태계와 경관은 산지와 계류·하천변 등 한정된 부분에 남게 되었다. 또한, 생활에 여유가 생긴 도시인들은 그들 주변뿐만 아니라 다른 곳의 자연환경 보전 즉, 산지와 계류변의 자연생태계와 자연경관의 보전에 관심을 두게 되어 계류와 산복비탈면에서 시행되고 있는 환경복원적 치산·사방사업에 대한 관심이 증대되었다. 일본에서 근대의 치산·사방사업은 메이지유신으로 인한 황폐한 국토환경을 배경으로 산지와 계류에 관한 토사재해의 방지를 목적으로 각종 과학기술의 진보와 함께 발전되었으며, 수변의 자연생태계를 보전하고 안전한 국토의 형성에 기여해 왔다. 그러나 치산·사방사업은 산지와 계류변의 자연생태계, 경관보전 문제와 상치되는 문제를 안고 있다. 따라서 국민의 생명과 재산을 지키는 방재사업이라 하더라도 자연환경의 보전과 조화된 사업의 실시는 시대적 요청이 되었다. 그리고 개개 사업현장에서의 환경보전이 곧 지구환경의 보전과 직결된다는 것을 생각한다면 치산·사방기술자가 사업의 실행에 있어서 환경보전을 고려하는 것은 필수 조건이라 할 수 있다.

따라서 환경보전과 조화되지 않는 치산·사

방사업의 실행은 불가능하다고 해도 과언은 아니게 되었고, 실제 建設省, 林野廳, 道都府縣에서는 환경을 배려한 각종사업이 전개되기 시작하고 있고, 하천사업도 환경복원을 위한 치산·사방사업과 같이 근대 치수사업으로서 홍수 범람 방지와 수자원의 개발에 큰 공헌을 하고 있다. 그러나 최근 들어 대규모의 인공댐과 견고한 호안의 건설이 결국 하천생태계와 친수성의 파괴, 수변구역의 식생 파괴 등으로 이어지고 있다는 사실이 판명되어 각종 건설 사업은 환경을 고려하지 않고는 어렵게 되었다.

자연생태계와 자연경관보전에 대한 국민적 관심의 증대는 많은 사람들이 살고 있는 평지에서 숲이나 수변 등 자연이 급속하게 사라지고 있다는데 하나의 원인이 있다. 더구나 자연이 원형대로 남아 있다고 생각되는 산지와 산림도 최근 현저하게 변화하고 있다. 이러한 시점에서 산지와 계류변에서의 생태계보전과 환경복원을 위한 치산·사방사업과의 관계에 대해서 생각해 볼 필요가 있다(森本, 1998).

19세기 후반 河川法, 森林法, 砂防法이 공포되어 근대적인 치산·사방사업이 시작될 때 일본의 산림은 현재 중국, 북한, 필리핀, 네팔 등의 산지나 계류변과 같이 민둥산이나 황폐산지가 전국에 산재하였고, 토사재해와 수해가 빈발했다. 당시 산지에서 침식된 토사는 계속적으로 유출되어 전상지에 과도하게 퇴적되고, 평지의 하천에도 토사가 증가하였다. 또한, 태풍으로 인한 침식토사의 증가로 하천이 범람하는 사태가 많이 발생하였다. 따라서 산복에는 나무를 심고, 계류나 하천에는 댐을 시공하여

토사가 유출되는 것을 방지하고자 하였다. 이것이 국토보전사업의 추진법으로서 공포된 당시의 森林法·砂防法의 사상이었다(太田과 高橋, 1999).

최근에는 수목의 성장이 왕성하고 표층붕괴도 감소하고 있다. 그 결과 산림의 수원함양기능에도 유리한 영향이 나타나고 있다. 그러나 갈수기에는 유량이 감소하는 사태도 발생하고 있으며(太田, 1998), 계류와 하천으로 유입되는 유출토사량도 감소하고 있다. 따라서 건설된 인공댐에 토사가 퇴적되지 않는 곳이 증가하고 있다. 이는 계류 및 하천 수변구역의 산림 복원 및 보전의 결과이기도 하다.

II. 水邊林(수변구역 산림)의 生態的機能 및 實態

1. 수변림(수변구역 산림)의 실태 및 개념

육수 생태계는 전 지구 면적의 1% 이하를 차지하며, 호소, 연못과 같은 정수생태계, 계류, 강과 같은 유수생태계 및 소택지, 늪과 같은 습지생태계로 구분되는데, 이와 같은 육수생태계와 육상생태계의 접경부에는 수변부라는 독특한 생태계가 나타난다(Odum, 1983). 따라서 수변부는 야생동물의 서식지 및 피난처 제공, 먹이 공급, 부착생물의 착생기질 제공, 동물의 이동통로 제공에 의하여 생물다양성을 제고하고, 대기의 이산화탄소를 저장하며, 토양침식과 홍수를 저감하고, 지하수 재충전에 기여하며, 식료, 가축사료, 퇴비, 생활용품 재료 등을 공급하고, 아름다운 경관을 형성하며, 좋은 교육

및 생태계 연구의 장을 제공하는 등 그 기여도가 대단히 크다고 할 수 있다(조강현, 1997).

따라서 수변구역의 보전을 고려한 각종 치산·사방사업과 생태계보전 문제를 검토할 때에는 하천 및 계류를 중심으로 하는 것이 타당한데, 이는 하천 및 계류가 이 문제의 핵심적인 결과를 도출해내기 때문이다. 토사재해방지의 관점에서 보면 하천 및 계류는 많은 토사를 하류지역으로 운반하는 기능을 수행하고 있어서 필연적으로 토사이동을 조절하기 위한 대책은 계류에서 강구하지 않으면 안 된다. 즉, 하천 및 계류에서의 이상적인 토사조절이 산복과 하류지역에 있어서의 토사재해대책에 크게 영향을 주기 때문이다. 따라서 하천 및 계류는 유역에서 토사조절 및 방재대책의 중심이라 할 수 있다. 또한, 생태계보전 측면에서 보면 계류 및 하천은 지극히 다양하면서도 다면적이고, 독특한 기능을 가지고 있다. 결국 치산·사방사업이 유역 전체와 하천, 강 등을 아우러 해양생태계보전까지 고려할 때 하천 및 계류는 우선적으로 고려해야 할 장소인 것이다.

한 예로 일본의 경우 하천을 최상류유역으로부터 살펴보면 물은 산지에 유입되어 협곡을 형성하면서 흐르고 평지를 흘러 바다에 도달한다. 즉, 계류 및 계류가 하천에 연결하는 곳은 물이 흐르는 장소만이 아니라 토사가 이동하는 곳이며, 수목과 토사의 상호작용으로 다양한 수변환경이 형성된다. 특히 일본은 국토의 대부분이 산지인 동시에 강수량이 많아서 세계적으로 토사생산이 활발한 지역에 속한다(Ohmori, 1983).

호우와 눈사태 등에 의한 표면침식, 표층붕괴가 발생되거나 땅밀림, 심층붕괴로 인한 토사유출은 하류에 토사공급원이 되고 있다. 협곡부에서 유로는 하천 및 계류 안쪽 기슭의 비탈면에 한정되지만 평지에서 유로는 좌우로 진로가 변동되기도 한다. 비탈면에 의해 하천 폭이 넓어지는 곳에서는 토사의 퇴적이 발생한다. 이 경우 유로 변동에 따라 토사가 퇴적되는 장소도 변동한다. 이와 같은 결과로 형성된 것이 선상지이다. 선상지의 하류에서는 경사가 완만하고, 토사가 적게 퇴적되는 자연제방지대인 삼각주로 이동한다(貝塚, 1985). 협곡부는 토사가 유송되는 부분이지만 실제로는 유송 매커니즘이 복잡하다. 협곡은 강의 안쪽 기슭의 골짜기가 좁아지는 부분인데 실제 골짜기의 폭은 일정하지 않고, 확폭부에서는 토사가 퇴적되는 경향이 있다(馬場, 1982).

하천이나 계류변의 수역으로부터 육지지역에 걸친 이행대에서는 주변의 산림과는 다른 수변환경에 적응하는 식생이 발달하고 있다. 하천과 산림같이 두 개의 성질이 다른 환경이 서로 이웃한 곳에서는 환경차이에 따라 수변의 독특한 식생경관이 형성된다. 이와 같은 식생의 분포범위는 산림과 하천이 서로 작용하는 공간범위이며, 그 곳에 존재하는 산림은 하천의 상류에서 하류까지를 총괄해 수변구역 산림이라 정의할 수 있다. 그러나 실제로, 이들 산림은 계류·하천의 입지환경에 따라서 여러 가지 유형으로 분류된다. 그 첫째가 하변림으로 이는 주로 하류지역의 하천폭이 넓은 하천을 따라서 분포하고 있는 버드나무림 등이 성립하

는 지역을 말한다. 습지림은 오리나무·들메나무림과 같이 충적지 등의 정체수가 있고 배수가 나쁜 장소에 분포하며, 수변구역 산림은 하천상류지역의 붕적토가 퇴적된 계류 주변 즉, 위치적으로 계곡림은 계류의 최상유역에 분포한다. 즉, 하천은 유역의 위치에 따라 선상지보다 상류인 계류와 그보다 하류인 하천으로 구분할 수 있다. 상류지역의 계류를 따라서 존재하는 숲을 수변구역 산림, 하류지역의 하천을 따라 존재하는 숲을 하변림, 하류지역의 후배 습지에 형성된 숲을 습지림이라 정의할 수 있다. 또 선상지보다 상류 산간 계곡의 밑바닥이 넓은 장소에서 성립하는 산림을 수변구역 산림이라고 통칭한다. 아울러 유로에서 어디까지를 수변구역 산림으로 하는가는 세 가지로 구분할 수 있는데, 유로, 사력퇴적지, 범람원 등이 직접 계류·하천에 형성된 지형상에 분포하는 산림, 일사차단, 낙엽·낙지, 유목의 공급 등의 기능을 통해서 계류·하천에 직접 물리적, 화학적, 생물적 영향을 주는 범위에 분포하는 산림, 수변구역 산림에서 우점하는 수종에 따라서 구성되는 산림이 그것들이다(石塚, 1977; 中村, 1995).

토지이용이 활발한 일본은 최상류유역에서부터 하구에 이르기까지 천연적인 자연환경 속을 흘러가는 대규모의 하천은 존재하지 않는다. 따라서 생태적으로 자연의 모습을 유지하고 있는 하천 및 그 주변환경은 유일하게 최상류지역에서밖에 찾아볼 수 없다. 이와 같이 천연적인 자연환경이 남아있는 집수구역은 그 자체 환경으로서도 중요하고, 학술적으로도 매우 중

요하다. 더욱이 그 곳에서는 하천과 일체된 토지이용이 활발한 일본은 최상류유역에서부터 하구에 이르기까지 천연적인 자연환경 속을 흘러가는 대규모의 하천은 존재하지 않는다. 따라서 생태적으로 자연의 모습을 유지하고 있는 하천 및 그 주변환경은 유일하게 최상류지역에서밖에 찾아볼 수 없다. 이와 같이 천연적인 자연환경이 남아있는 집수구역은 그 자체 환경으로서도 중요하고, 학술적으로도 매우 중요하다. 더욱이 그 곳에서는 하천과 일체된 수변구역 산림의 원래 모습을 볼 수 있다.

일본 환경청은 자연환경보전기초조사 가운데 인위적인 영향을 받지 않은, 또는 인공물이 전혀 존재하지 않는 면적이 1,000ha이상 되는 집수역을 천연유역이라 정의하고 그 현황을 조사해 왔다. 그에 따르면 1979년에 실시된 제2차 기초조사에서 등록된 천연유역은 일본 전역에서 109유역, 230,759ha에 지나지 않고 대부분이 홋카이도(40유역, 92,951ha), 도쿄(34유역, 71,527ha) 지역에 편재해 있다. 또한, 제2차 기초조사(1979년 실시) 이후 제4차 조사(1990년 실시)까지 10년간 천연유역의 요건을 충족하지 못하게 된 유역은 14개소에 이르고 있다. 현재는 그 후에 새로 등록한 것을 포함해 99유역에서 총면적 205,634ha인데 해마다 그 면적이 감소하고 있다. 이와 같은 결과는 산림의 벌채와 그에 따른 임도개설이 주된 원인이거나, 인공댐의 건설도 그 원인 가운데 하나로 지적되고 있다. 또한, 천연유역 안에 보전지역(자연공원·자연환경보전지역)으로 지정되어 있는 곳은 79유역에 불과하다. 더구나 이

들 천연유역을 보전대상으로 해야 한다는 법제도가 존재하지 않는데, 유일하게 임야청이 국유림보호림제도로 지정한 산림생태계보호지역 21개소, 233,357ha의 천연적인 집수구역 전체를 보전 대상으로 지정하고 있다(林野廳, 1997).

수변구역 산림은 하천의 흐름에 따라 형성되는 수변이라는 좁고 특이한 환경에서 연속적으로 존재한다. 그러나 중하류지역에 있어서 하천주변의 토지이용이나 상류지역에서의 산림개발에 의한 2차림화, 인공림화된 결과 최상류지역에서 하구지역까지 천연적이고 자연도 높은 수변구역 산림이 연속해서 존재하는 대규모의 하천은 존재하지 않지만 일부 지역에는 수변구역 산림이 남아 있는 실정이다. 그러나 이러한 자연도 높은 수변구역 산림의 대부분은 구체적인 보호대책도 취해지지 않는 실정이다.

홍수나 토사재해를 방지하기 위해 실시하고 있는 일련의 치산·사방·치수사업은 이렇게 단편적으로 존재하는 자연도 높은 林分이나 이차적인 수변구역 산림조차도 파괴하고 있다. 환경청의 제4차 자연환경보전기초조사에 의하면 조사한 153개 하천 안에 양안이 자연지인 비율은 45.3%이고, 樹林地가 차지하는 비율은 41%이었다. 이와 같이 도시지역은 물론 홋카이도, 동북지방의 일부를 제외하고 평야를 흐르는 하천 중에서 연속적인 수변구역 산림을 갖는 곳은 대부분이 고립되거나 단편화되었다. 일본의 수변구역 산림은 이제 그 연속성을 잃어 上下流와 小流域을 연결하고, 동식물의 분산, 이동을 위한 생태적 회랑으로서의 기능을

달성하지 못하고 있는 실정이다. 수변의 자연지 비율이 100%인 하천은 전국에서 6개 하천에 불과하고, 그 가운데에서도 전체 지역이 자연성 높은 하천은 別寒 牛川(홋카이도), 岩股川(春田縣), 長棟川(富山縣), 仲良川(沖縣)의 4개 하천뿐이다(國有林野經營計劃研究會, 1994).

예전에는 최상류유역의 급준한 계류를 제외하고 하천은 통상 유로, 범람원, 그리고 계안비탈면 혹은 자연제방, 단구에 연속적으로 이어지고, 육지와 수역의 생태적인 연결고리가 형성되어 있었다. 그러나 오늘날에는 하천주변에서 농경지, 택지개간 등 토지이용이 진척되어 수변구역 산림 등 하천의 배후지를 잃게 되었고, 각종 치산·사방사업 및 개발이 실시되어 육지와 수역이 일체였던 수변환경을 잃고 있다. 콘크리트호안은 그 가운데 가장 두드러진 것으로 하천과 수변의 상호작용을 단절하고 있다. 그 결과 육지로부터 토사, 물, 유목이나 낙엽·낙지의 공급이 막히고, 하천의 증수, 범람 등에 의한 육지의 교란이 감소하여 육지와 하천이 물리적·생물적으로 일체가 되었던 수변의 환경이 파괴되고 있다.

전국의 주요한 153개 1급하천(6,249km)을 대상으로 조사한 결과 1990년에는 인공화된 수변이 26.6%(2,441.5km)에 달하고 있다. 수변을 구성하는 산림군락은 많은 적든 하천으로부터의 물리적, 생리생태적 영향을 크게 받고 있다. 그 때문에 홍수 조절이나 이수를 목적으로 하는 대규모 댐 건설로 하천 유량의 감소나 안정화 등이 발생되고 수변에 자생하는 산림군락에

서도 종조성이나 구조에 변화가 나타난다(鎌田等, 1997; Maekawa and Nakagoshi, 1997).

따라서 현재까지 수변구역 산림과 그 주변 산림은 실제 엄밀하게 구분되지 않고, 또 그럴 필요도 없었다. 그러나 수변지역의 환경복원을 위한 산림관리를 실시하는데 있어서는 구체적으로 수변구역 산림의 범위와 그 기능, 그리고 그 지역의 다양성이 검토되어야 할 필요가 있다.

2. 수변림의 機能과 多様性

현재까지는 식물사회학적 연구에 의해서 수변구역 산림의 종조성과 수종의 분포특성이 밝혀져 왔지만(石川, 1980; Ohno, 1982), 수변구역 산림의 수종구성은 기후조건에 의해서 달라진다. 홋카이도에서 버드나무류를 우점종으로 하는 수변구역 산림은 상류에서 하류지역까지 넓게 분포하고 있고, 선상지에는 당느릅나무를 우점종으로 하는 산림이, 습지에서는 들메나무가 우점하는 산림이 분포하고 있다(大嶋等, 1990; 鈴木等, 1997; Sakio, 1997).

하나의 하천이라도 수변구역 산림은 상류와 하류에 따라 다르다. 홋카이도에 있는 상류지역과 하류지역에서는 버드나무의 종도 틀리고, 같은 지역에서도 하천의 특성에 따라 몇몇 종의 버드나무가 공존하고 있다. 관동지방의 황폐계천에서는 최상류지역의 아고산대 하부에서 자라는 낙엽송이나 화백나무가 수변구역 산림이다(新山, 1987, 1989).

지금까지는 수목의 분포나 갱신이 하천지형과 퇴적물에 의해서 달라진다는 결과가 보고되었으나, 지형변화를 일으키는 계류·하천의 교

란이 수변구역 산림의 갱신에 미치는 영향에 관한 연구는 아직 시작 단계에 불과하다(崎尾等, 1995).

수변지역에 있어서 생물다양성은 다른 곳에 비해 높다고 할 수 있다. 예를 들면, 식물종의 경우 북미태평양연안의 수변구역 산림에서는 인접한 비탈면림보다 종류가 2~3배나 많고(Gregory and Ashkenas, 1990), 스웨덴에서 한 하천의 수변지역에서는 스웨덴에 분포하는 전체 고등식물의 13%가 출현한다(Nilsson, 1992).

일본의 냉온대지역 중소하천변에 발달하는 수변구역 산림은 인접한 산복비탈면에 발달하는 산림군집과는 종분포에 큰 차이를 보인다. 안정된 산복비탈면의 임관층에서는 너도밤나무가 우세하고, 林床에서는 조릿대류가 우점하지만 전체적인 종조성은 극히 단순하다(Yamamoto, 1989). 이에 반하여 수변구역 산림에는 임관층과 임상에 우세한 종이 없고, 종다양성의 지표가 되는 종다양도지수는 동시에 높은 대표값을 나타낸다. 이와 같은 수변구역 산림에 있어서 종다양성은 단순히 수변의 특성인 입지를 선택적으로 이용하는 식물종군이나 하천의 범람 등 빈번한 교란 하에 적응하는 종군이 보이지 않고, 상부비탈면에서 우점하는 종군이나 원래 넓은 분포지역을 가지면서도 산복비탈면 등에서 탁월한 종에게 밀려난 희소종이 피난처로서 수변지역을 이용하고 있다(鈴木等, 1997).

이와 같이 수변지역에서는 다양하고 복잡한 식물군집이 성립하고, 또 그것들을 먹이로 하

는 동물종이 존재하여 수변지역의 생물다양성이 형성되고 있다(Gregory and Ashkenas, 1990). 예를 들면, 岩手縣 澤町の 森林總合研究所 카누마계곡시험지에서는 지금까지 岩手縣 전역에서 확인된 하늘소의 3분의 1에 해당하는 83종이 채취되어 수변구역 산림에서 종이 풍부하다는 것을 입증하고 있다(森林總合研究所生態秩序森林生態系팀, 1993).

계류·하천지역의 생태계에 있어서 수변구역 산림은 하천에 의한 교란과 밀접한 상호작용 하에 유지되고 있다. 계류·하천지역에서는 증수, 범람, 토석류에 의한 사력의 침식, 운반, 퇴적 등의 교란 외에 계류에 접한 비탈면으로부터의 교란이나 바람에 의한 임관틈새의 형성이 부가되어 복잡한 교란체계를 나타낸다. 또한, 빈도, 규모, 강도가 다른 교란(伊藤과 中村, 1994)에 의해서 형성된 수변지역의 미지형 구조는 복잡한 모자이크 형태가 된다. 즉, 그 곳에서는 토양, 수분, 빛환경이 다른 유로, 사력 퇴적지, 계안비탈면 등의 입지에 적응한 식물군이 종, 나이, 규모가 다른 모자이크를 형성한다. 그 결과 수변지역에서는 많은 식물종이 갱신, 생육하여 다양성이 존재하게 된다.

수변지역의 교란은 일반적으로 계류나 하천을 통과하는 사람의 이동 정도에 그치지만, 태풍이나 장마시 집중호우로 인한 홍수 때에는 계류나 하천변 사력퇴적지에서 사력이 침식, 운반, 퇴적되어 작은 둔치가 생기고, 실생종자나 치수 등의 유실이나 매설이 발생한다. 한편, 이로 인해 생긴 사력퇴적지는 새로운 식생의 정착지가 되거나 주변에서 종자가 공급되어 발

아하고, 침입종 사이에서 경쟁이 일어난다. 대규모 태풍에 의한 토석류나 산복붕괴는 임관목의 파괴를 동반하고, 일시에 수변지역의 지형을 변화시켜 지표의 교란뿐만 아니라 임관틈새형성에 의한 광환경의 급격한 변화도 발생시킨다. 이와 같이 일단 정착한 이들 식물군집도 장기간 교란에 의한 파괴와 복원을 반복한다. 결국 수변지역에서 종의 다양성은 계속되는 교란에 의한 식물군락의 파괴와 복원에 의해 유지되고 있다고 할 수 있다.

수변구역 산림을 구성하고 있는 수목은 종자생산 및 산포, 발아, 실생의 정착, 치수의 성장 등 생활사의 여러 가지 단계에 있어서 계류·하천지역의 다양한 교란현상과 특유의 수분환경에 대응하는 성장을 하고 있다.

한 예로, 홋카이도에서는 수종에 따라서 개화나 종자살포 시기가 다르다. 그 때문에 해빙에 의한 증수시부터 하천수위의 저하에 따라서 하안에는 다른 종의 버드나무가 정착해 공존한다. 수변지역이나 붕괴지와 같이 지표가 빈번하게 교란하는 입지에 분포하는 종은 정착초기에는 줄기가 한 개이지만, 맹아줄기를 성장시키기 위해서 휴면아를 만들고, 붕괴에 의해 뿌리가 자라지 못할 때에는 맹아를 성장시켜 손상을 복원하고 있다(Sakai et al., 1995).

수변구역 산림은 樹冠에 의한 일사차단, 대형·소형동물에의 유기물 공급, 유하물의 포착, 지하수의 수질형성 등을 통해서 하천생물상의 서식환경에 큰 영향을 미치고 있다. 이와 같은 생태적 기능에 대해서 근래 미국서해안의 침엽수림대를 중심으로 많은 연구성과가 발표되고

있는데(Gregory et al., 1991; Franklin, 1992), 일본의 수변구역 산림에서는 이에 대한 연구가 부족한 실정이다.

하천생태계에 있어서 수온의 변화는 미생물, 조류, 무척추동물, 어류 등 그 곳을 서식환경으로 하는 모든 생물에게 영향을 주고, 분포를 제한하는 요인이 된다. 특히 연어과 어류의 서식과 번식을 위해서는 낮은 수온의 유지가 필요하고, 수변구역 산림은 하천과 계류에 있어서 수온의 상승을 억제하는 중요한 역할을 하고 있다(Brown and Krygier, 1971). 상류지역의 수변구역 산림에 있어서는 수관이 계류에 내려찍는 직사광을 차단하고 있다. 기온이 상승하는 여름철에는 수관에 의한 일사차단효과가 크고, 특히 유량이 적은 최상류지역에서는 어류의 분포를 억제하고 있다. 하천폭이 넓은 하류지역에 있어서는 수변구역 산림 아래는 직사광이 차단되어 어류의 중요한 서식환경이 된다(中村과 百海, 1989).

겨울이 되면 낙엽활엽수를 주체로 한 수변구역 산림에서는 많은 양의 낙엽이 생산된다. 이들 가운데 일부는 직접 유로 내에 공급되기도 하지만, 일단 林床에 떨어져 바람에 의해 유로 내로 이동하는 것도 있다. 유로 내에 공급된 유기물은 물의 흐름을 타고 흘러 돌 틈이나 流木에 걸리거나, 웅덩이에 퇴적해서 하루살이 등의 유충인 수생곤충의 먹이가 되어 분해되는데, 잎의 분해는 수중에 따라서 다르다(柳井과 寺澤, 1995).

일본에서는 교각에 걸린 유목이 범람을 일으키거나 토사와 함께 댐을 만들고 그것이 독을

무너뜨려 土石流를 일으키기 때문에, 유로 내의 유목은 방재의 관점에서 제거되어 왔다. 그러나 하천이나 계류에 있어서 流木은 어류의 은신처가 되거나, 그로 인해 형성된 웅덩이는 어류의 중요한 서식장소가 된다. 유목은 계류·하천 내에서 수류나 사력과 상호 작용하여 복잡한 微地形을 형성한다. 즉, 유로를 차단하여 새로운 유로를 만들거나, 토사를 퇴적시켜 댐을 만들기도 한다. 이것들의 복잡한 미지형은 어류 등의 동물이 보이지 않게 하거나, 수변 식물군락의 갱신·유지에도 영향을 미치고 있다(Nakamura and Swanson, 1994).

계류나 하천변에 분포하고 있는 수목은 토양의 수분상태에 적응한 근계를 발달시키고 있다. 특히 습지에 분포하는 들메나무는 충분한 뿌리줄기를 발달시킬 수 있다. 이들 뿌리줄기에 의해서 여러 가지 물질이 식물의 영양소로서 흡수된다. 예를 들면, 범람원의 농지이용으로 인해 오염된 물이 수변구역 산림대를 흐르면서 오염물이 제거되는 등 필터로서의 역할을 하고 있다(Pinay and Decamps, 1988). 또한, 산림의 토양입자 자체가 이온을 흡착해서 수질정화에 기여하기도 한다(生原, 1992). 뿐만 아니라 하안에 성장하는 수변구역 산림 중 버드나무류는 하천의 자정능력을 30~40% 향상시키며, 수변구역 산림의 잔가지는 유속을 완화시켜 물속의 여러 가지 영양염류가 운반되는 것을 방해하여 물질의 침전 및 여과효과가 있고(Engelhart, 1968), 수변구역 산림의 폭이 넓을수록 여과효과가 크다(Frede et al., 1994).

수변에 성립하는 산림군집의 생태적 회랑으

로서의 기능에 대해서는 아직까지도 그 중요성이 지적되고 있다. 하천을 따라서 형성되는 연속적인 수변구역 산림의 존재는 동일수계 내 각 유역을 생태적으로 묶어 주고, 이를 통하여 동식물의 이동·분산을 가능하게 하며, 종개체군의 유지·확대에 기여한다. 이동, 분산능력이 낮은 식물종은 지역적, 장·단기적인 환경변동 측면에서 종개체군의 축소, 확대를 반복하고 있다. 그런 중에 특정 소유역에서 어떤 개체군이 사라지는 경우도 있는데, 이와 같은 경우에는 다른 유역에 남아 있는 개체군이 생물학적 유산이 되어 수변지역을 회랑으로 이용하면서 유역 전체에 재분포를 가능하게 한다. 한편, 수변구역 산림을 구성하는 수종 중에는 수변지역에 의존적인 종군이 보이지 않고, 산복비탈면의 대규모 교란지 등에서 우점하는 선구종이나 인접하는 식물대의 구성종, 그리고 개체수가 극단적으로 적은 종 등이 있다. 이는 수변지역이 식물종에 의해서 이동의 회랑 또는 피난장소가 되고 있다는 것을 의미하는 것이다. 즉, 수변구역 산림은 우점종에 의해 넓은 생육환경을 빼앗긴 종군의 피난장소이고, 변화된 환경에서 살아남은 식물종의 이동 회랑이라고 할 수 있다(Franklin, 1992).

III. 수변구역 산림의 環境復元에 미치는 각종 開發의 영향

1. 治山·砂防工事

하천 최상류유역에서는 천혜의 자연환경이 남아 있고, 그 곳을 흐르는 계류·소하천 주변

에는 자연도가 높은 수변구역 산림이 연속적으로 존재하고 있다. 그러나 이와 같은 장소에서 사방댐이나 각종 구조물 등을 건설하는 것은 그 유역에 남겨진 자연경관을 파괴시킬 수 있다.

사방댐이나 각종 구조물 건설이 수변구역 산림에 미치는 영향은 사방공사를 위한 공사용 도로나 자재반입시설의 부설, 그리고 댐 본체의 건설로 인하여 하천주변에 성립하는 수변구역 산림이 광범위하게 벌채된다. 즉, 수변지역의 산림식생은 수령이 많고 재적이 큰 수목으로 구성되고 종다양성도 높다. 그러한 식생이 한순간에 없어지면 그 숲을 복원하기 위해서는 많은 시간을 필요로 한다. 이는 동시에 수변의 경관파괴도 의미한다. 또한, 공사용 도로가 개설되면 사람이나 자동차의 통행으로 인한 쓰레기의 투기, 수목·초본식생의 도벌이나 남획, 그리고 주변식생에 적지 않은 영향을 미치게 된다.

한편, 인공댐 등 각종 구조물 등 본체 시설이 완성됨에 따라 하천에 의한 교란체계가 변화하고, 그 결과 댐시설지의 상류부분이나 하류지역 수변식생의 수몰, 물 유입, 토사퇴적으로 인한 다양한 영향이 나타나게 된다. 대규모 인공댐의 넓고 개방적인 퇴사지에서는 원래 협곡부에는 성립하지 않는 산오리나무 등으로 구성된 임분이 성립하고, 또 아직 토사가 채워지지 않은 댐에서는 수발공이 막혔을 때 댐내에 수심이 얕은 저습지가 형성됨으로써 초본군락이 형성되어 산지의 수변식물을 교란시키게 된다.

시설공사 완료 후에도 댐이나 공사용 도로로 인해 조기에 식생회복이 어렵기 때문에 침식이

나 비탈면붕괴를 방지하기 위해서는 Weeping lovegrass, Kentucky 31 fescue 등 외래 녹화초본류를 도입하는 녹화공사가 실시되고 이로 인해 주변의 자연식생이 영향을 받게 된다. 그러나 이러한 조치에 의해서 댐 양쪽 끝부분이나 작업 도로 지역에서는 식생이 회복되지 않고, 장기적으로 無立木地가 존재하게 되는 경우도 있다. 이와 같이 한번 파괴되어 버린 수변구역 산림을 원래의 모습으로 복원시키기에는 많은 노력과 장시간이 필요하게 된다.

2. 流路・護岸工事

하천이 산간지역에서 평야지역으로 흐르는 선상지 부근에서는 유로의 고정이나 범람방지, 세굴로 인한 도지·가옥 등의 유실방지를 목적으로 하는 유로·호안공사 등의 하천개수가 실시되고 있다. 이와 같은 장소에서는 하천 주변의 토지이용도 진전되어 경지·택지 등이 하천에까지 이르러 하천 주변의 자연환경도 손상되고, 수변구역 산림에 대해서도 거의가 2차림화되는 현상이 두드러지게 나타난다. 이러한 선상지 주변에서 실시되고 있는 현재의 유로·호안공사 등의 하천개수사업은 수백 m에서 수 km 범위에서 육상생태계와 하천생태계의 연계성을 단절하고, 수변의 생태적 기능을 파손하는 결과를 초래한다.

유로공사는 기본적으로 하천의 방수로화를 의미하고, 유로를 좁게 만들며, 고정해서 육지 지역과의 사이에 큰 낙차를 만들어 내는 것이다. 따라서 건설시에는 하천 주변의 식생이 파괴되고 수변구역 산림도 벌채되는 경우가 많다.

그 결과 수변을 서식지로 하는 야생식물의 지역개체군이 절멸하는 위험성이 생기고, 수변구역 산림은 생태적 회랑의 기능을 잃게 된다.

유로·호안공사에서는 시설 완공 후 주변의 녹화나 자연적으로 식생회복이 진행되지만 유로가 좁혀지고, 고정됨으로 인해 범람원이 좁아지거나 없어지게 되어 다양한 식물종의 서식장소가 없어지게 되고, 본래의 식생회복이 어렵게 된다. 또한, 사방시설을 보호하기 위해서는 제방 위 또는 유로 내의 식생 회복, 특히 수림대의 성립을 방지하지 않으면 안된다. 그 때문에 수변지역에 고목성의 수림대는 존재할 수 없다. 제방 위 혹은 후배지에 수변구역 산림이 남아 있을 경우에도 하천에 의한 홍수나 범람의 영향을 받지 못하게 되고, 수분환경도 변화하기 때문에 그 조성·구조를 유지하는 것은 어렵게 된다. 뿐만 아니라 미이용지의 유효한 이용을 도모하기 위한 시설 내외에 공원이나 스포츠시설의 정비가 진척되면, 그나마 남아있던 수변의 자연식생은 파괴되어 그 복원장소를 상실하게 된다(森本, 1998).

IV. 수변구역 산림생태계 復元의 새로운 패러다임

1. 수변구역 산림생태계 復元의 새로운 패러다임

과거 치산·사방사업이나 각종 구조물 건설 계획이 갖는 문제점 즉, 하상변동의 감소, 생태적 연속성의 상실, 계류나 하천의 수온상승, 임도건설의 영향, 치산·사방사업 및 각종 구조

물 등의 효과에 관한 비과학적 평가, 지역특성에 맞지 않는 유역퇴사계획 등에 대해 보다 광범위한 연구가 필요하다. 그리고 향후 계류나 하천 등 수변구역 산림의 관리에 있어 고려해야 할 생물군집의 보전, 야생동·식물 서식지의 보전, 유로의 소통성 확보, 방재효과의 과학적 평가 등에 대하여 검토할 필요가 있다.

치산·사방공사나 각종 구조물 공사가 계류 및 하천생태계에 미치는 영향은 다양한데, 이 가운데 중요한 점은 치산·사방공사나 각종 구조물 공사가 토사이동이나 유로변동에 영향을 미친다는 것이다(大野, 1999). 즉, 침식토사의 이동으로 계류의 형상이 변경됨으로써 발생하는 환경구조의 동적변화는 기존의 계류형상에 적응한 생물에 영향을 미친다. 다시 말해서 하상의 얇은 둔덕, 웅덩이로 흘러 들어오는 곳 등은 수생곤충의 서식에 영향을 미치는데, 이들 서식지는 침식토사의 이동이나 유로변동에 쉽게 영향을 받는다. 따라서 침식토사의 이동이나 유로변동의 억제가 수생곤충의 군집변화를 발생시킨다. 또한, 수생곤충의 서식지로서 중요한 河床空隙水域에서는 땅속이라도 물이 흐르기 쉬워서 공극에 풍부한 퇴적구조를 보전하는 것이 필요하다. 이와 같은 조건은 토사이동이나 유로변동을 통해서 형성된다. 즉, 수생곤충의 서식지가 형성, 유지되기 위해서는 토사의 침식이나 퇴적이 필요하다. 그런데 치산·사방공사나 유로공사로 인한 시설물은 유로의 직선화, 호안이나 하천바닥의 토사제거 등에 의해 토사의 침식이나 퇴적을 억지하고, 蛇行의 형성을 방해하여 계류 수생곤충의 서식에

악영향을 미치는 요인으로 작용한다.

수변구역 산림도 마찬가지로 토사이동이 그 특성에 영향을 미치는 중요한 요인 가운데 하나가 되고 있다. 즉, 토사의 침식, 운반, 퇴적 등에 의하여 미지형이 파괴되거나 복원되는 수종, 수령의 복잡한 모자이크형 구조가 형성된다. 어류에 대해서는 계류의 얇은 곳이나 웅덩이 구조는 물론 그보다 작은 서식지로서 유속이나 수심의 차이에 따른 물의 다양한 흐름, 수면이나 수중에 서식하는 식물체 등이 이들 어류의 서식환경으로서 큰 의미를 가지고 있다. 그리고 웅덩이 바닥의 얇은 둔덕에 위치하는 돌이나 자갈무덤이 치어의 서식지로 이용된다. 즉, 이와 같은 장소는 토사의 이동에 의해서 형성, 유지되는데 치산·사방공사나 유로공사가 이러한 토사의 이동을 억지하여 계류 및 하천에 서식하는 어류에 영향을 미치고, 궁극적으로는 계류 및 하천생태계에 마이너스적 영향을 미치고 있다.

한편, 토사이동이나 유로변동은 그 시점에, 그 곳에서 서식하는 동물에 있어서는 치명적인 교란요인으로 작용하지만, 동시에 그 생물에 있어서 필요 불가결한 서식지를 형성, 유지하는데 도움을 주고 있다. 그러나 치산·사방공작물이나 각종 구조물은 이와 같은 동적인 구조를 억지하고, 오히려 토사나 유로를 고정화하는 것을 목적으로 하고 있다. 그 때문에 이러한 야생동·식물 서식지의 근본적인 변화를 가져오는 원인이 된다(竹門, 1991). 더구나 치산·사방공작물이나 각종 개발로 인한 구조물이 설치되는 장소나 그 인근 지역은 식생이 제

거되기에 수변구역 산림의 보전에 문제가 발생되고 있다. 특히 선상지에서는 유로를 따라 설치되는 流路工에 의해서 수변구역 산림이 연속적으로 제거되고 있다.

대대적인 공사가 시행되기 전 즉, 주변환경이 인위적으로 변화되어도 계류나 하천은 비교적 자연에 가까운 상태로 남아 있어서 동물의 서식지나 이동장소로서 기능하고 있었다고 할 수 있다. 이와 같이 연속적인 생태적 회랑은 그 지역의 생물다양성을 보전하는데 중요한 역할을 담당하였다(Forman and Godron, 1986). 그러나 유로공이 시공되면 수변구역 산림이 갖는 회랑으로서의 기능은 저하되고, 流出過程에 따른 서식지의 연속성이 상실된다(崎尾와 鈴木, 1997).

뿐만 아니라 유로에서 횡단방향의 연속성도 문제가 된다. 유로근방에서는 하상공극수역이라는 지하수와 하천수의 중간적인 수역이 있다(White, 1993). 선상지, 범람원, 협곡의 확폭부 등에서는 이와 같은 하상공극수역이 특유의 동물상을 갖는 것과 동시에 하천수와 지하수 사이의 물질순환에 중요한 역할을 담당하고 있다(Stanford et al., 1994). 또한, 지표에 있어서도 육지와 수역의 경계는 명료하지 않지만, 수변에서는 특유한 식생이 분포하고 있고 계곡부는 비탈면과 유로가 연결해 있으며, 양자의 사이에서는 崖錐의 형성이나 洗掘에 의한 토사의 제거 등을 통한 상호관계가 존재한다. 즉, 비탈면은 그 바닥이 토사, 유기물, 무기영양염의 공급원이 되고, 流水는 이들을 하류로 운반하고 비탈면 기부를 세굴함으로써 그 상부비탈면의

발달과정에 영향을 미치고 있다.

현재까지 환경보전사업은 보전대상 동식물에 한정되고, 그들 서식지의 조건이 되는 환경요소를 잔존시키는 것에 주안점을 두는 경향이 있다. 그 결과, 어떤 환경요소를 인위적으로 존립시키는 것으로 환경보전이 달성된다고 생각하는 오류가 발생되었다. 즉, 생태계를 구성하는 각 생물종은 단독으로 서식하고 있는 것이 아니며, 먹고 먹히는 먹이연쇄, 서식지나 먹이 자원에 대한 경쟁, 협력관계 등 다양한 종간관계를 가지면서 서식하고 있다. 따라서 이와 같은 생물종군의 전체 즉, 생물군집 그 자체가 보전 대상이 되어야 할 필요가 있다. 가령 희소종이나 멸종위기종의 보호를 목적으로 하는 경우에도 대상종에 있어서 필요한 환경요소를 보전하는 것만으로는 불충분하다. 결국 그 종에 관계하는 다양한 종간관계를 유지하는 것, 나아가서는 생물군집을 보전하는 일이 필요하게 되었다. 게다가 생태계의 관점에서 평가한다면 물질순환을 담당하고 있는 중요한 생물은 오히려 희귀하지 않은 보통 종들이 많다. 그들 생물종군을 통합하여 보전하는 가치는 희소종의 보호와 같이 높게 평가되어야 하는 것이다. 아울러 생물종군을 보전대상으로 하기 위해서는 다수의 생물에 대해서 환경조건을 고려할 필요가 있다. 그 대책으로 대표적인 생물, 각 종의 생활사에 필요한 환경요소, 그들의 배치방식을 정리하는 것이 필요하다. 종개체군이 일정한 유역에서 계속 서식하기 위해서는 생활사의 각 단계에서 필요로 하는 서식지가 시간적, 공간적으로 이용 가능하도록 조건을 마련

하지 않으면 안 되기 때문이다(竹門, 1991).

2. 수변구역 산림生態系 復元을 위한 流域管理

수변구역 산림생태계 복원에 필요한 기본적 인식은 국소지역에서의 대응이 아닌 유역 전체를 대상으로 하는 목표를 설정해야 한다. 즉, 계류나 하천에서 생물군집의 조성은 源流에서 하구까지 각각의 유출과정마다 특징 있는 종 조성을 유지하고 있다. 따라서 수변생태계 복원을 위해서는 상류지역에서 하류지역에 이르기까지 생물상의 推移나 환경구조의 변화를 인식하여 치산·사방공사나 각종 구조물 공사 등의 영향을 고려하지 않으면 안 된다. 아울러 각 계류에 대한 개별적인 대책을 강구하기보다는 유역 전체에서 치산·사방사업 등 각종 개발과 계류 및 하천생태계 복원과의 조화를 검토해야 한다. 즉, 수변구역 산림생태계 복원을 위해서는 하류역, 하구역, 해안역, 연해역 및 인접한 유역과의 관계를 검토하고, 토사공급량 및 이동량을 적절한 수준으로 유지하는 것이 필요하며, 각 유출과정에 따른 서식지보전에 대해서도 이와 같은 전체 계획 아래에서 실현해 가야 한다(玉井 等, 1993).

V. 우리 나라의 수변구역과 수변구역 내 산림 조성

우리 나라의 수변구역은 팔당호와 남·북한강, 경안천의 양쪽 즉, 여의도 면적의 약 30배에 달하는 500m에서 1km이내의 총면적 255

km²에 수변구역을 지정하고, 이 지역에는 호텔 등 숙박시설과 공장, 축사, 음식점, 목욕탕 등 오염물질을 다량 배출하는 시설물의 신축을 금지하도록 하고 있다. 아울러 이들 수변구역을 지정함과 동시에 특별 관리함으로써 녹지대를 조성하고 오염물질 정화기능을 수행하는 완충지대를 조성하려고 한다. 즉, 수변구역은 엄격한 규제를 받고 있는 상수원보호구역과 개발제한구역 등을 제외하고, 경기도의 남양주-용인시, 광주-가평-양평-여주군과 강원도의 춘천-원주시, 충북 충주시 등 3개 도 9개 시·군에 걸쳐 있으며, 상수원보호를 위한 특별대책지역의 경우 강 양쪽 1km이내, 나머지 지역은 500m 이내로 지정했다(환경부, 2000).

이러한 수변구역의 설정은 궁극적으로 수변구역에 식재하는 목본 및 초본, 수생식물을 이용한 오염물의 강 유입을 최대한 억제한다는 의미를 내포하고 있을 뿐만 아니라 이들 식물에 의한 환경정화, 수질정화를 최대한 활용한다는 측면이 있다. 즉, 수변구역의 설정은 식물정화의 목표인 토양, 물, 공기를 개선하고자 하는 것이며, 최근 산업화 도시화 등으로 인한 각종 오염물질로부터 수계를 보전하자는 의도가 내포되어 있다고 볼 수 있다. 특히 식물정화의 목표인 토양정화는 수질정화와 매우 밀접한 관계를 갖는데, 이는 대기오염물질이나 물오염 물질 등도 관개수와 함께 토양에 인도되어져 그 토양을 오염시키기 때문이다. 이 가운데 중금속은 흡착력이 뛰어나 토양에 흡착되면 좀처럼 없어지지 않으며, 토양을 기반으로 하는 식물에 심각한 피해를

가져온다. 따라서 식물에 의한 토양정화는 물과 토양으로부터 유기물과 금속을 제거하는 것을 포함한다고 할 수 있다. 즉, 식물정화는 에너지를 집중적으로 투자하는 소각이나 화학적 처리 등의 재래 방법보다 비용이 적게 드는데, 미국의 New Jersey 주에 있는 한 회사는 식물정화(Phytoremediation)를 상업적으로 전환하였는데, 중금속으로 오염된 토양을 m^2 yard($0.765m^2$)당 약 250불의 비용으로 청소할 수 있다고 하였고, 미국환경청은 19,000톤의 오염된 토양을 청소하는데 7백만불의 비용이 소비되었으며, 폭약으로 오염된 토양을 소각하여 정화하는 비용은 400~1,200불이 소비되고, 심하게 오염된 토양을 청소하는 비용은 톤당 4,000불이 든다고 하였다. 그러나 이러한 중금속과 방사능으로 오염된 토양에 식물을 이용하여 정화하면 시간이 오래 걸리고 독성을 가진 중금속을 흡수한 식물을 야생동물이 먹을 때 또 다른 위험을 야기할 수 있지만 80불만으로 처리 가능하여 경제적으로나 생태적으로 유리할 수 있다(Environmental Health Perspectives, 1995).

따라서 현대 산업의 산물인 석유에 의한 오염 (PAH(Polyaromatic hydrocarbon), TPH (Total hydrocarbon), TCE(trichloroethylene)), 중금속에 의한 토양오염이나 지하수오염의 정화를 목적으로 한다고 할 수 있다. 아울러 대기오염원인 질소산화물, 오존, 다이옥신 등 대기환경을 정화하는 데에도 일조를 가할 수 있는 면도 찾을 수 있다.

1. 석유 및 중금속오염을 정화하는 식물

PAH, TPH, TCE 오염의 복원에는 토양미생물에 의한 정화가 근간인데, 최근에는 초본이나 목본을 토양오염지역에 재배함으로써 식물과 근권미생물과의 상호작용에 의한 토양과 지하수 오염의 복원이 연구되고 있다. 현재까지 식물 뿌리는 근권미생물에 질소 등 영양분의 공급이 주된 작용인 것으로 알려져 왔다. 그러나 포플러, 뽕나무, 사과나무 등은 방향족 화합물을 다량 함유한 석유에 오염된 토양을 정화하는데 효과적인 것으로 알려지고 있다. 즉, 오염된 토양에서 미생물 단독으로 정화하는 것보다는 식물이 공존할 때 정화효율이 급격히 높아진다고 할 수 있다. 즉, Indian mastard는 세렌을 무기화하고 대기 중으로 기화하는 능력이 있으며, 이때 근권에서의 미생물이 크게 작용한다. 따라서 토양 중의 오염물질은 점토광물 등에 흡착되어 있으며, 오염물질 중 생물계가 도달할 수 있는 범위는 한정되어 있고, 그 범위를 넓히기 위하여는 식물의 뿌리 자체의 작용과 근권에 있어서 미생물과 식물의 상호작용을 이해하는 것이 필수적이라 할 수 있다(김정규, 1998; 珠坪과 原山, 1999; 高川 等, 1999).

아울러 유채과의 갯의 일종인 *Brassica juncea*, *Thlaspi caerulescens*, *T. goesingense* 또는 레몬향을 방출하는 제라늄 등은 카드뮴, 납, 니켈 등의 중금속에 내성이 있고 뿌리로부터 지상부로 흡수하는 능력이 높은 축적종인데, *T. goesingense*는 건중량의 약 1%에 해당하는 니켈을 축적할 수 있고, 최근 외래식물로

문제가 되었던 돼지풀은 카드뮴을 축적하는 종으로 알려져 있다. 또한, 유전자도입식물인 백합과는 유기수은을 금속수은으로 환원시키고, 대장균에서 유래한 mer A 유전자를 변형하여 식물에서 발현시키면 이 식물의 체내에 흡수된 유기수은이 금속수은으로 환원되며, 이때 무기수은은 비점이 낮으므로 대기 중으로 기화된다. 이 같이 유전자 도입기술을 이용하면 식물의 중금속 제거 능력이 약 10배나 높아질 수 있다. 이러한 축적종이 납이나 ^{137}Cs 등 방사성원소에 오염된 토양복원에 이용되는 예도 있다. 중금속이 흡수된 지상부를 수확 처리할 필요가 있지만 극심한 토양오염의 경우나 오염물질이 방사성동위원소인 경우에는 특히 토양에서의 흡수는 커다란 의미를 내포한다고 할 수 있다. 즉, 식물이 중금속에 내성을 가질 수 있으며, 또한 많은 양을 흡수할 수 있는가, 그리고 그러한 흡수, 해독, 축적 등 매커니즘은 밝혀지지 않았지만 흡수된 중금속이온이 세포내 사과산, 구연산 등과 킬레이트 화합물을 형성하여 액포 내에 저장된다고 한다(森川 等, 1999). 니켈의 다량 축적종인 *T. goesingense*과 비축적종인 *T. arvense*를 비교하면 뿌리에 의한 니켈 흡수에는 양쪽 모두 잘 흡수하지만 *T. arvense*는 니켈 내성이 없으므로 성장이 억제되어 고사한다. 그러나 *T. goesingense*는 흡수된 니켈이온이 세포질에 히스티딘과 복합체를 이루어 결국 구연산 복합체로 변환된 것이 액포로 이동하여 해독시킨다. 이렇게 다양한 중금속이온을 축적 또는 정화할 수 있는 식물과 그렇지 못한 식물의 구분 등의 연구는 매우 중요한 연

구과제인 것이다.

한편, 아연광산 인근지역 야생식물 중의 중금속을 조사하고 식물의 종류와 중금속 종류에 따라서 흡수력과 내성에 차이가 있는데, 토양 중에 과다하면 식물의 황화현상을 일으키는 카드뮴은 고사리와 식물, 구리는 속새과 식물, 카드뮴 등의 오염과 동반하는 아연은 마디풀과 식물이 대체로 높은 체내함량을 나타내고 있었으며(최정 등, 1991; 정기채 등, 1993), 전국의 폐광지역에서 생육하는 토양 중의 중금속 함량을 조사하여 쑥, 도꼬마리, 망초, 달맞이꽃 등이 중금속을 많이 축적하는 초본이었다(임수길 등, 1996). 은수원사시나무, 해바라기, 왕골도 카드뮴을 제거하는데 효과적인데 이중 흡수량은 은수원사시나무가 가장 좋고(김규식, 1980), 쥐뚫나무도 높은 중금속 흡수능력을 보이는 종이다(이길철 등, 1992). 그러나 축적종 체내의 중금속함량은 계절적 변이가 나타나기 때문에 정화효율을 높이기 위해서는 수확시기를 적절하게 선정해야 할 것이다.

따라서 수변구역에 토양정화를 위해서 식물을 활용하고자 할 때에는 대부분의 중금속 축적종의 영양생리가 잘 파악되어 있지 않기 때문에 중금속 흡수·축적을 극대화하고 생체생산량의 증가를 도모할 수 있도록 대상이 되는 축적종의 영양생리를 정확히 이해하기 위한 연구가 필요하며, 식물체 내에 고농도로 중금속을 축적하는 것 이외에 생체생산량이 많은 식물을 선정하여야 할 것으로 생각된다.

수변구역에 포함되는 토양이 오염되었거나 오염될 우려가 있는 지역은 오염물질이 분해·

용탈에 의해서 확산되는 문제에 대한 해결을 위하여 중금속에 대한 내성을 가지고 있는 식물체로 재녹화(re-vegetation)하여야 할 것이며, 그 수변구역에 식물학적 안정화(Phytostabilization) 즉, 금속의 토양 중에서의 이동성과 생물학적유효도를 제한하는 데 효과적으로 식물을 활용해야 할 것이다. 뿐만 아니라 토양에서 금속을 안정화시키는 것 이외에도 토양을 안정화시켜 침식을 최소화하고 침전물의 이동을 최소화하여야 할 필요가 있다. 이는 식물의 뿌리가 뿌리를 둘러싸고 있는 영역을 유기·무기화합물을 분비시킴으로써 변화시키기 때문이다.

아울러 수변구역에 폐수가 유입되는 등 오염의 우려가 있는 지역에는 토양용액과 폐수 속에 함유되어 있는 금속을 여과하는데 식물의 뿌리와 그 주변 환경을 이용하는 정화방법(Rhizofiltration)도 고려할 만 하다고 생각된다. 즉, 육상식물은 수생식물보다 뿌리시스템이 섬유상으로 그물망처럼 발달되어 있고, 뿌리의 길이 생장이 우수하며, 뿌리의 표면적이 크기 때문에 수생식물보다는 *B. juncea* 등 육상식물을 이용함으로써 수변구역에 인접한 폐수유출 위험을 저감하도록 할 필요가 있을 것으로 생각된다.

그러나 식물에 의한 정화는 저렴한 투자비용과 운전경비가 거의 없다는 장점을 가지는 경제적 기술임에 틀림이 없기 때문에 요즈음의 우리 나라의 경제사정은 물론 전문 기술인력의 부족이라는 문제점을 극복할 수 있는 대안기술이라 생각되나, 대부분의 고농도 금속축적 식물들은 매우 제한된 종으로 국한된 지역에 서

식되고 있어 종의 채집과 효율적인 재배 그리고 대규모의 생산 등 해결해야 할 것들이 많다. 따라서 폐수 등 중금속 오염물질로부터 영향을 받을 수 있는 수변구역에는 이러한 정화식물을 이용할 수 있도록 계획 식재하고, 또 수확된 축적식물의 처리방안에 대한 해결을 모색할 필요가 있을 것으로 생각된다.

또한, 포플러류를 이용하여 쓰레기매립지를 피복·녹화하고 쓰레기매립지의 가장 큰 문제 중의 하나인 침출수를 줄이기 위하여 김포쓰레기 매립지에서 침출수를 채취하여 화분에 식재한 현사시, 양황철나무, 이태리포플러에 관수한 결과, 포플러류 식재 당년생의 증산에 의한 개체목당 일일 침출수 처리능력은 평균 361 이었고, 현사시가 409mℓ로 가장 우수하였으며, 현사시가 1,000본/ha당 평균 73,600ℓ/ha/yr.의 침출수를 감소시킬 수 있는 것으로 추정되었고, 포플러류가 식재된 화분의 토양과 근계를 통과한 침출수는 생물화학적 산소요구량 뿐만 아니라 오염물질인 NH_4 , Total-P 등도 크게 줄일 수 있는 것으로 나타나(구영본, 1998) 이들 식생을 이용한 수변구역의 오염물질 토양정화는 매우 효과적이라 생각된다.

휘발성유기물을 pumping up 하는 식물은 토양에서 물이나 유기화합물을 배출하는 저비용 펌프역할을 하기 때문에 실용적인 정화방법 중 하나이다. 즉, 폐기물 매립지에 식재된 식물은 빗물을 대기 중으로 증산시킴으로써 빗물이 폐기물 층에 스며들지 않도록 하고 있는데(高川 等, 1999), 이 방법은 단순한 것 같지만 수년 또는 수백 년 동안 지하수로의 폐기물 확산

을 방지하기에는 가장 값싸고 장기간 사용 가능한 실용적인 방법으로서 이용된다고 할 수 있다. 따라서 수변구역에 인접한 폐기물 매립지 등이 있는 경우에는 적절히 적용할 수 있는 방법이라 생각된다.

아울러 산업화 도시화 등으로 인한 대기오염 물질인 질소산화물의 정화에는 식물의 잎에 있는 기공을 통해 정화할 수 있는데, 식물의 잎에 있는 기공을 통해 흡수된 질소화합물은 잎 세포 내로 환원되어 암모니아가 되고, 이 후 유기화되어 아미노산과 단백질 등으로 전환된다. 또한 이산화질소는 물에 용해되어 질산이온과 아질산이온으로 되어 식물의 잎 세포 내로 흡수된 후 뿌리로부터 흡수된 비료 중의 질산이온과 같이 환원 동화되고, 그 후 환원 또는 아미노유기화되어 아민산 등의 구성물질이 된다. 즉, 식물은 사람에게 좋지 않은 이산화질소를 질소비료로 이용하는 능력을 가지고 있다. 따라서 수변구역에는 이러한 식물을 식재하는 것이 바람직 할 것이다. 한 예로 일본 廣島大學에서 廣島市 공원에서 채집한 초본과 목본 등 총 217종에 대하여 이산화질소 동화능력을 조사한 결과 포플러, 플라타너스, 유카리 등이 이산화질소 동화능력이 높은 수종으로 조사되었다(森川 等, 1999). 또한, 국화과식물에는 이산화질소 동화능력이 높은 식물이 많이 포함되어 있으며, 동종 내에서도 개체에 따라서 이산화질소 동화능력이 최대 26배나 차이가 있었다.

한편, 질소산화물을 유일한 질소원으로서 생육하는 식물의 육성은 특히 도시에 인접한 수변구역의 녹화에 절대적이라 생각된다. 즉, 식

물체 내에 도입된 이산화질소 중의 질소는 질산 중의 질소와 같이 환원, 아미노유기화되지만 이산화질소가 자원으로써 식물에 이용되는 것은 몇 가지 해명할 기초적인 문제를 수반하는 것으로 현재 그 해결에 최선의 노력을 경주하고 있다. 한 예로 식물의 질산환원효소활성은 고마리가 가장 높고, 다음으로 미나리, 갈대, 줄, 쯤개구리밥 순이었고, 질소의 정화능은 갈대가 가장 높고 다음으로 고마리, 미나리, 줄, 쯤개구리밥 순이었다. 인의 정화능은 중간 차이가 적었으나 갈대가 질소의 정화능과 함께 가장 높아 수변구역에 적용가능성이 인정되고 있다(임병선 등, 1996).

아울러 조류증식 억제를 목적으로 은행나무잎, 잣나무잎, 소나무잎 등을 이용하여 조류증식억제 실험을 실험한 결과, 이들은 조류증식억제 효과가 대단히 컸으며, 수생식물인 애기마름도 조류증식억제효과가 큰 것으로 나타났다. 즉, 소나무잎 85%, 은행나무잎 80%, 잣나무잎 75%, 애기마름 78%, 줄 59%, 창포 30% 등의 효과를 나타내었다(임병진 등, 2000a, 2000b). 이처럼 식생의 잎을 이용하여 조류증식효과를 거둘 수 있다는 점에서 수변식생을 잎이 조류증식효과를 거둘 수 있는 수종 또는 수생식물을 이용한 수변구역의 식재도 고려할 만 하다. 이는 수변식생의 잎이 떨어져 하천이나 호소에 유입됨으로써 조류증식억제를 가할 수 있기 때문이다.

2. 대형수생식물의 이용

수생식물은 수처리 능력을 향상시키기 위한

환경을 제공한다. 식물의 뿌리는 미생물의 부착매질로 이용되며, 식물 근계의 통기조직을 통한 산소의 전달은 미생물의 분해 활동을 촉진하여 질산화나 탈질화작용을 유도하며, 식물은 미생물이 분해하는 유기물질을 영양염류로 흡수하고 식물은 합성된 유기물이나 대사산물을 미생물에게 제공한다. 이러한 기작에 의한 수질정화 효과는 유기물 부유고형물, 영양염류, 병원성균과 중금속까지도 제거효율을 갖는다(Gersberg *et al.*, 1987; Tchobanoglous, 1987).

수변부에 분포하는 대형수생식물은 습지식물과 수중생활을 하는 유관속식물, 대형 조류 및 선대류 등의 기초생산자를 포함하지만 일반적으로 물 속 혹은 물 위에서 생장하거나 적어도 경엽부의 일부가 항상 물 속에 잠겨 있는 유관속 초본식물로 제한하기도 한다. 대형수생식물은 생활형과 생육지에 따라 저토에 뿌리를 박는 유근성 대형식물은 부들속, 갈대속 등의 정수식물과 개연속, 수련속, 마름속 등의 부엽식물, 나자스속, 물부추속, 나사말속 등의 침수식물이 포함되고, 수중이나 수면에 떠서 생활하는 무근성 대형식물인 개구리밥과, 생이가래속 등 부유식물 등이 속하는데(조강현, 1997), 갈대와 같은 대형수생식물은 소형수생식물이나 미생물에 비하여 수중의 많은 질소와 인을 제거할 수 있고, 미나리는 식용으로도 가능하며 수확하기가 용이하여 농촌과 소도시의 비점오염원에 대한 정화에 활용될 수 있다(조강현, 1992). 또한, 갈대는 질소와 인의 제거능이 높아 주로 강 하류와 유기폐수의 유입이 많은 곳

에 분포하며, 수중 영양염류의 제거에 크게 기여할 것으로 생각된다. 아열대 지방의 경우 부레옥잠과 일부 부유식물의 질소와 인의 제거능이 각각 0.41~0.96과 0.10~0.63mg/l/day의 범위이다(Tripathi *et al.*, 1991). 따라서 이들 대형수생식물들은 수변구역에 식재한 목본 등 정수식물과 연계하여 이용이 필요할 것으로 생각된다. 즉, 수중생태계에서 대형수생식물의 가장 중요한 기능은 1차생산자로서 다른 영양단계에 에너지를 공급하고 물질순환에 기본 원동력을 제공하며, 흡수한 영양소를 고정하는 저장고의 역할을 수행하는 등 팔당호의 경우 저토나 수체로부터의 N흡수량은 27.47톤/년이었는데, 이 가운데 정수식물이 18.28톤/년(67%), 부엽식물이 1.06톤/년(4%), 침수식물이 8.13톤/년(29%)으로 수질오염원인 질소 성분을 수체로부터 빨아들여 체내에 축적함으로써 수체로부터 질소성분의 발현을 억제하고 있는 등 수질정화효과가 탁월한 것으로 나타났다. 그러나 대형수생식물이 흡수한 영양소는 고사 후 낙엽으로 되어 물 속에 잠기고 즉시 유기물 분해와 영양소 용탈을 통하여 물 속으로 유리하게 되므로(Carpenter, 1980), 이들 대형수생식물이 기능을 다 한 후에는 즉시 제거하는 방법을 강구하는 것도 필요하다.

이를 위해서는 수변부에 조성할 대형수생식물의 수집 및 조성이 중요한 데, 특히 수질정화에 크게 작용하며, 오염물이 집중되는 지역에서도 생존력이 뛰어난 대형수생식물의 적용이 필요하다.

3. 수변구역에 수질정화 목적으로 적용 가능한 목본 식생

수변구역에 적용 가능한 목본 식생은 한강 등 5대강 유역의 수원함양, 수질정화를 고려한 식생으로서 가능하다고 판단되는데, 이러한 수종들로서 산림청(1999)에서 권고하는 수종은, 한강유역은 낙엽송, 잣나무, 상수리나무, 갈참나무, 자작나무, 거제수나무, 고로쇠나무, 들메나무, 서어나무 등을, 낙동강유역은 갈참나무, 상수리나무, 굴참나무, 물푸레나무, 서어나무, 개서어나무, 느티나무 등을, 금강유역은 낙엽송, 상수리나무, 굴참나무, 신갈나무, 갈참나무, 고로쇠나무, 들메나무 등을, 영산강유역은 삼나무, 상수리나무, 굴참나무, 졸참나무, 참느릅나무, 물푸레나무, 굴피나무, 고로쇠나무 등을, 섬진강유역은 삼나무, 상수리나무, 굴참나무, 졸참나무, 참느릅나무, 물푸레나무, 굴피나무, 고로쇠나무 등 뿌리의 양이 많고 땅속깊이 뻗는 수원함양 효과가 높은 수종을 식재하고 내음성이 강한 수종을 나무 아래에 심는 등 수원함양 및 수질정화기능이 큰 수종을 조림할 필요가 있다.

VI. 수변구역에 적용 가능한 방법인 5대강 유역 수원함양림 관리

산림청(1999)에서는 5대강 유역을 중심으로

수원함양 기능제고를 위하여 관리대상 산림을 지정하고, 이를 체계적으로 관리해 나감으로서 수량부족과 수질오염에 근원적으로 대처함과 동시에 깨끗한 물의 지속적인 공급기반을 확충하고자 5대강 유역 수원함양림 종합관리방침을 마련하였다. 관리권역 대상산림은 5대강 유역 산림 중 수원함양 및 수질개선에 직접 영향을 주는 본류를 기준으로 좌우 5km 유역내 산림을 대상으로 국토면적의 68%를 차지하는 총 6,791천ha의 5대강 유역면적에 포함되어 있는 유역 산림면적 4,415천ha에 대하여 이 중 26%인 1,159천ha의 면적을 관리권역대상으로 설정하였다. 이 지역에 대하여는 전국적인 산림실태조사를 실시하고 종합관리계획을 수립하여 계획적으로 관리하도록 하는데, 우선 1차적으로 취수장을 중심으로 깨끗한 물 공급과 직접 관련되는 상류지역 산림 330천ha를 대상으로 하고, 2차적으로는 잔여면적 829천ha에 대하여 계획을 수립하였다. 5대강 유역내 수원 관련 법정관리지정 산림은 원칙적으로 모두 포함하여 관리하는데, 61천ha의 상수원 보호구역 내 산림에 대하여는 취수장 상류유역인 57천ha를 1차적으로 관리하고, 본류유역내 상수원 보호구역 산림 4천ha에 대하여는 2차적으로 관리하며, 수원함양보안림 158천ha의 산림에 대하여는 취수장 상류유역 11천ha에 대하여

표 1. 5대강 유역내 수원관련 법정관리지정 산림

(단위 : 천ha)

구 분	상수원 보호구역	수원함양보안림	상수원보호를 위한 특별대책지역
총 계	61	158	283
1차관리	57	11	-
2차관리	4	147	-

1차관리하고 본류유역내 수원함양보안림 147천ha에 대하여는 2차적으로 관리한다. 상수원보호를 위한 특별대책지역 283천ha는 1차적으로 지역내 산림실태조사를 실시하여 산림면적을 확정하고 2차적으로는 본류유역내 특별대책지역 산림을 관리한다(표 1).

1. 취수장 상류유역내 1차산림 관리계획 현황

전국 767개 취수장 중 취수중단 등으로 산림 관리구역 지정실익이 없다고 판단되는 구역은 제외하는데, 산림소유별·임상별 현황과 시업지·시업제한지 등 산지이용실태를 조사하고 조림, 육림, 간벌, 사방, 임도, 병해충방제사업 등 연차별 사업계획 추진량을 결정하였다. 관리대상산림은 330천ha 중 12%인 국유림이 41천ha이고, 4%인 공유림 13천ha, 84%로서 대부분을 차지하고 있는 사유림이 276천ha이다(표 2).

관리대상 산림 330천ha 중 인공림은 23%인 77천ha를 차지하고, 천연림은 77%인 253천ha로서 이 중 우량림은 60%인 198천ha이나 보육작업이 필요한 임지는 15%인 50천ha이다. 불량림으로 수종갱신을 위한 조림을 해야 할 지역은 4%인 12천ha에 달한다. 제지 등으로 보호해야할 임지도 13%인 43천ha나 차지한다. 한편, 임목지 321천ha 중 침엽수는 46%인

153천ha, 활엽수는 29%인 96천ha, 혼효림은 22%인 72천ha에 달하고 무림목지는 관리대상 산림의 약 3%인 9천ha이다. 산지이용상황을 보면 시업지는 관리대상산림의 65% 214천ha로서 이 중 임업진흥촉진지역은 21%인 70천ha, 기타시업지는 44%인 144천ha이다. 법정관리대상 산림은 총 관리대상 산림의 35% 116천ha로서 이 중 상수원보호구역이 17% 57천ha, 수원함양보안림은 3% 11천ha, 기타 법정제한지가 15% 48천ha에 달한다.

시업대상지는 모두베기를 하지 않고 나무 밑에 조림하거나 육림을 해야할 임지가 관리대상 산림 중 41%인 134천ha이나 이는 취수장으로부터 유하거리 4km이내의 임지로서 상수원보호구역, 수원함양보안림 등지에는 시업을 제한하여야 하고, 경사도 36도 이상의 급경사지, 절벽지 등으로 모두베기를 할 수 없는 임지이다.

또한, 2ha미만의 소구역을 모두베기한 후 조림과 육림을 할 임지는 관리대상 산림의 24%인 78천ha로서 이는 대부분이 취수장으로부터 유하거리 4km이상 지역의 시업임지이고, 시업제한지 중 군사시설보호구역, 채종림, 시험림, 휴양림, 공원, 도시계획구역 등으로 시업이 가능한 지역이다. 그러나 10ha미만의 모두베기를 허용하고 식재하거나 육림할 대상임지는 118천ha에 달한다.

표 2. 강별 관리대상 산림면적

(단위 : ha)

계	한 강	낙동강	금 강	영산강	섬진강	그 외 지역
329,698 (100%)	77,181 (23)	121,005 (37)	42,120 (13)	10,483 (3)	55,745 (17)	23,164 (7)

2. 추진대책

5대강 유역 관리대상 산림을 체계적으로 육성, 관리함으로써 물 부족에 근원적으로 대처하고 깨끗한 물의 지속적인 공급기반을 확충하며 산림의 녹색댐 기능 제고를 위하여 수계별 산림관리 종합계획을 수립하였다. 아울러 지정 목적에 부합토록 과학적인 산림사업을 추진한다. 유역내 산림사업비는 국고와 지방비를 합한 정부지원을 원칙으로 하며, 국고 70%, 지방비 30%로 투자한다. 또한 대상지역내 산림은 山主가 희망하는 경우 국가에서 우선적으로 매수한다. 또한, 임상이 불량한 임지는 환경파괴가 안 되는 범위 내에서 소구역으로 정리하여 조림을 실행한다. 모두베기를 하지 않을 임지라도 나무 밑 식재(수하식재), 천연갱신 등으로 복층림을 조성하도록 하며, 인공조림지에 대해서는 풀베기, 어린나무가꾸기 등 적기에 사업을 실행하고 천연림 중 보육작업이 필요한 임지는 천연림보육작업을 철저히 시행하여 우량림으로 유도한다. 숲아주기는 수령과 임상에 따라 적기에 실시하고 작업방법은 태양광선이 임지표면에 투과되는 정도로 하여 초본류, 관목류의 생육을 추진하는 등 수관율폐도가 70% 정도 되도록 한다. 지정구역 내 황폐산지는 소면적이라도 타 지역에 우선하여 산지사방을 실시하고, 수원함양능력의 제고를 위하여 황폐계천에 대한 야계사방과 사방댐은 오염물질을 완전히 수거한 후 시설한다. 한편, 적극적인 산림관리를 위하여 임도시설을 확충하되, 임도시설로 인한 토사유출이 발생하지 않도록 땅깍기비탈면과 흩쌓기비탈면을 완벽히 복구하도록 한

다(산림청, 1999).

계류 및 하천의 수질오염을 방지하기 위하여 지정대상 병충해발생지역에는 약제살포를 지양하고 산림생태계 균형유지를 위하여 생물적 방제를 확대 유도하며, 피해가 적은 지역에 대해서는 위생간벌 등 임업적 방제를 실행한다. 특수경관지역과 급속한 피해확산 우려지역은 수간주사 등 조기복구방제를 실시하도록 한다.

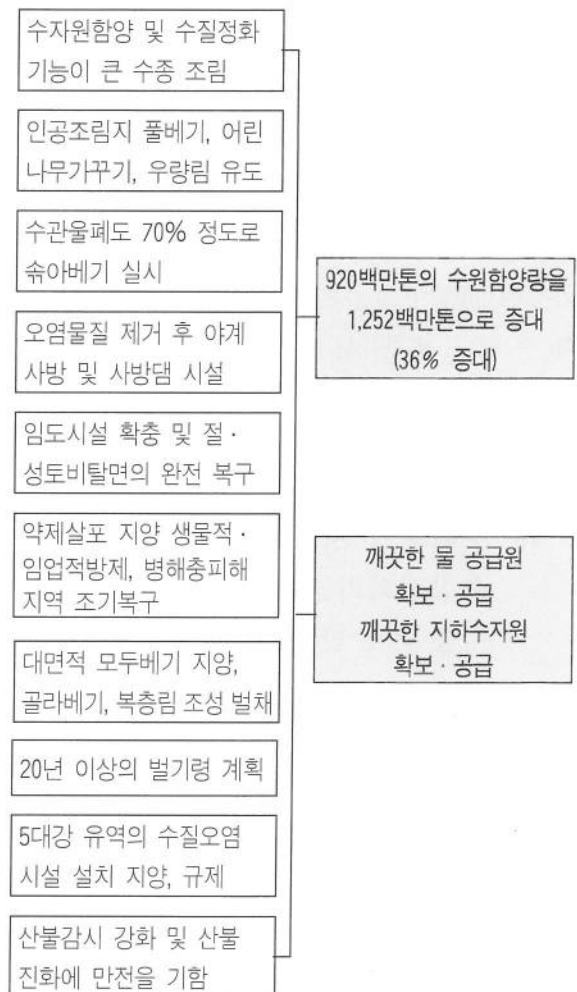


그림 1. 5대강 유역 관리대상 산림의 체계적 육성 관리로 수자원증진, 수질보호 효과 발휘

벌채는 산림상태에 급격한 변화가 발생하지 않도록 대면적 모두베기를 지양하고, 소면적 모두베기, 골라베기 또는 복층림 조성을 위한 벌채를 실시한다. 아울러 벌채목의 운반시에는 지표가 손상되지 않도록 유의하고 벌기령은 최소한 20년 이상의 장벌기를 택하도록 한다. 한편 폐수 등 수질오염 배출시설은 허가하지 않도록 하고 건물, 공작물의 설치 등 토지형질 변경의 허가는 일어나지 않도록 철저히 관리하도록 한다. 관리대상 산림으로 지정된 구역 외의 5대강 유역 산림에는 수질오염 관련시설 설치를 규제하도록 하는 것도 필요하다.

이와 같이 5대강 유역의 관리대상 산림을 잘 관리하게 된다면 현재 920백만 톤의 수원함양기능을 36%가 증가된 1,252백만 톤으로 증대할 수 있다. 또한 취수장으로 유입되는 비점오염인 지상 오염물의 유입을 방지하고 깨끗한 지하수자원을 확보 공급할 수 있게 된다.

VII. 수변구역 산림의 수원함양 및 수질정화기능을 높이기 위해 적용 가능한 방법

1. 수원함양기능이 높은 산림으로 조성

산림의 수원함양기능 즉, 갈수완화기능과 수질정화기능 모두 공극이 풍부한 산림토양의 존재가 공통의 전제조건이다. 이들 세 가지 기능에 관여하는 공통적인 산림의 요건은, 산림토양층을 유지·발달시키고 땅속깊이 뿌리를 내리도록孔隙를 넓혀야 한다. 이를 위해서는 무엇보다도 산림의樹體가 커야 하며, 임분 전체의

엽량을 적게 하기 위해서는 고령림을 위주로 수관을 다소 적게 하는 편이 좋다. 이를 위하여는 나무의 수관에 의하여 빗물을 차단하는 수관차단량, 나무에 의해 증산되는 증산량이 적은 수종이 바람직하다. 특히 인공림에는 인위적으로 엽량을 줄이는 모두베기, 솎아베기, 가지치기 등의 시업이 다소 강하게 실시되어야 한다.

수원함양기능은 궁극적으로 토양보전에 직결되는 문제로서 산지재해방지기능이 발휘되도록 하는 것이 기본이 되며, 이를 바탕으로 산림의 목재생산 기능도 성립하게 된다. 따라서 토양이 침식이나 붕괴가 없이 잘 보전된 경지림이라는 것은 목재생산기능과 수원함양기능이 동시에 발휘되도록 조성된 산림을 말하는 것이다. 따라서 자연환경하에서 직접적으로 수원함양기능을 발휘하는 것은 토양이며, 토양층 밑에는 기암층이 있다. 수원함양에 관련된 토양의 기능은 크게 세 가지 기능으로 구분된다. 첫째로는 표층토양의 침투능(투수성)이고, 둘째로는 토양층의 저류기능이며, 셋째로는 토양의 저류층에서 물이 기암층으로 스며드는 기능이 바로 그것이다. 토양 속에는 크고 작은 미세한 공간 즉, 공극이 풍부하여 수원함양기능을 발휘하게 되는 것이다.

수원함양에 절대적으로 필요한 공극이 많은 토양구조는 매우 부드러운 토립자로 형성되어 있고 또 한편으로는 빗방울이나 토양표면을 흐르는 미세한 流水에 의해서도 공극구조가 파괴되기 쉬운 존재로 구성되어 있다. 수원함양기능이 높은 산림에서 이 공극구조가 보호되고

있는 것은 산림을 포함한 식생의 역할 때문이다. 구체적으로 식생이 존재함으로써 토양침식을 일으키지 않는 기구는 두 가지를 생각할 수 있는데, 첫째 침식의 원인인 地表流下水의 발생을 억제하는 것과 유하수가 발생하였을 때 토양이 이동하는 것을 저항하는 힘이다.

산림토양의 공극구조는 부식질을 먹이로 하는 생물들의 활동에 의해 형성되므로 부식이 없어지면 자연적으로 공극형성에 필요한 생물 활동도 쇠퇴하게 된다. 따라서 토양의 공극구조가 풍부해지고 지속적으로 유지되도록 하기 위해서는 양분이 풍부한 부식질의 공급이 끊임 없이 이루어져야 한다. 부식의 큰 공급원은 산림의 낙엽·낙지이며 초본도 중요한 역할을 한다.

초본류는 수명이 짧기 때문에 토양 속으로 遺體 즉 고사한 잎, 줄기, 뿌리를 단기간에 반복하는 특징이 있다. 따라서 초본류가 많이 생육하고 있는 곳은 단기간에 부식질 함유량이 많은 토양층을 형성하게 된다. 이와 같이 토양층 퇴적과 풍부한 공극을 가진 토양이라는 것은 산림을 구성하는 임목과 초본의 존재에 의해 형성되어 보호·유지되는 것이며, 장구한 세월에 걸친 산림의 생육조건에 따라 그 성질과 양을 달리하는 산물인 것이다. 토양의 수원함양기능을 산림의 수원함양기능으로 부르는 것은 산림이 국토를 덮는 최대면적의 식생군이기 때문이며, 임목적 구조에서 높은 수원함양기능을 기대할 수 있기 때문이다. 만일 초본과의 공존을 무시한 산림시업을 하는 경우는 토양공극의 양과 성질이 단기간에 나빠지게 되므

로 수원함양기능이 저하되게 되므로 주의하여야 한다.

빗방울의 직경이 아주 미미한 가랑비라도 강수가 키가 큰 나무의 수관에 맺혔다가 지면에 낙하하는 빗방울의 속도는 초속 8m 정도로서 1,000m 상공에서 낙하하는 속도와 같아지게 되므로, 토양의 공극구조를 파괴하는 힘을 갖게 된다. 그러나 빗방울이 키가 작은 초본 등 식생의 잎에 맺혔다가 다시 지면에 낙하할 경우는 토양의 공극구조를 파괴할 정도의 힘을 갖고 있지 않기 때문에, 키가 작은 식생들은 낙엽층과 마찬가지로 공극구조의 보호재료의 역할을 하게 된다.

이상과 같이 토양의 공극구조의 형성과 보호·유지를 위하여는 초본을 위주로 한 키가 작은 식생이 대단히 중요한 역할을 하기 때문에 하층식생이 생육할 수 있는 밝은 산림환경이 필요한 것이다. 따라서 산림의 수원함양기능 증진을 위하여는 가지치기, 속아베기 등의 집약적인 시업이 필요하며, 이러한 시업을 할 수 있는 수변구역 산림이 중요한 것이다.

2. 형질이 불량한 수변구역 산림은

우선적으로 인공조림 실시

일반적으로 산림토양의 물 저장량은 나무가 없는 미림목지보다는 활엽수림지에서는 10배, 침엽수림지에서는 6배, 사방지에서는 4배가 된다. 또한, 빗물이 산림토양 내로 침투하지 못하고 토양표층으로 유출되는 양도 나무가 없는 미림목지에서는 빗물 전체가 유출된다고 하였을 때 활엽수림지에서는 이 양의 18%가, 침엽

수림지에서는 34%가, 사방지에서는 78%가 토양 표면으로 유출된다. 즉, 나무가 없는 미림목지에서는 산림이 조성된 산림지에서보다 막대한 양의 빗물이 산림토양 내로 흡수되지 못하고 토양의 표층으로 바로 유출되므로 산림의 물 저장량이 감소된다. 더욱이 지표로 유출된 빗물은 물만 유출되는 것이 아니라 토양을 침식시킴으로써 토양에 포함되어 있는 각종 유기물과 토사를 쓸고 내려가 계류나 하천에 유입되어 계류나 하천에서 부영양화를 일으키는 등 수질을 악화시키는 작용을 한다. 따라서 산림토양의 물 저장량을 증대시키기 위하여는 나무가 없는 미림목지는 침엽수, 활엽수 등의 나무가 들어찬 산림으로 바꾸어 주어야 한다(朴在鉉, 1998).

산불에 의한 피해지, 태풍 등 자연재해에 의한 피해지, 인위적인 벌목 등에 의하여 황폐지가 되어 버린 지역에서는 강우에 의하여 산림토양이 쉽게 침식될 뿐만 아니라 침식된 토사가 계류나 하천으로 유입되어 물을 오염시키게 된다. 즉, 활엽수림지에서는 1년에 1ha당 토사유출량은 0.7톤이고, 침엽수림지에서는 1.0톤, 사방지에서는 2.2톤이 된다. 그러나 나무가 없는 황폐지에서 ha당 토사유출량은 1년에 118.3톤으로 나무가 있는 지역에서보다 무려 91배나 된다. 이와 같이 나무가 없는 황폐지, 산불 피해지 등에서 유출된 토사가 계류나 하천에 유입되면 그만큼 계류나 하천을 오염시켜 수질을 악화시킨다.

또한, 모두베기로 인한 벌채수확지에서는 지표로 유출되는 물의 양은 벌채하지 않은 지역

에서보다 벌채 후 2년간 1.3배나 많이 되어 토양이 저장하는 물의 양을 적게 하므로 산림의 수원함양기능을 증진할 수 있는 물의 양을 적게 한다. 따라서 형질이 불량한 산림이나 산림피해지 그리고 나무가 없는 수변구역 등에 대하여는 우선적으로 인공조림을 실시하여 강우에 의한 침식을 방지함으로써 수질을 보전하도록 하며, 수원함양 능력을 증진하도록 하여야 한다.

3. 수원함양 및 수질정화기능이 큰 수종 위주로 조림

산림의 연간 물 저장량은 활엽수림지에서는 ha당 6,313톤이나 침엽수림지에서는 ha당 3,642톤으로 활엽수림지가 침엽수림지에서도 연간 물 저장량이 약 2배 많으며, 침엽수는 활엽수보다 잎의 양도 많고 잎이 달려있는 기간도 길기 때문에 비가 왔을 때 잎에 빗물이 걸리는 양도 활엽수보다 10%가 많아 그 만큼 산림내 토양에 흡수될 수 있는 빗물의 양이 감소한다.

또한, 산림지에 떨어진 강우는 산림토양 속으로 신속히 흡수되는데 이렇게 강우가 산림토양 내에 떨어져 흡수되는 토양의 침투량도 활엽수림지가 침엽수림지보다 1.3배, 벌채지 보다 1.7배, 초지 보다 2.1배나 많다.

산림토양 속으로 흡수된 물은 각종 유기물에 의하여 토양의 입단화가 잘 이루어진 A층에 머물다가 포화가 되면 토양내 커다란 공극이나 토양층의 경계면을 따라 서서히 토양층 밑으로 흡수해 들어간다. 이러한 산림토양이 최대한

저장할 수 있는 ha당 물의 양도 활엽수림지가 침엽수림지보다 1.2배 많으며, 사방지보다는 2.3배가 많은데 이는 활엽수림지가 사방지나 침엽수림지보다 토심이 깊고 토양내 공극이 발달하기 때문이다.

상류 수원을 정화하기 위하여 상수원의 상류 지역에는 활엽수를 조림함으로써 수질을 보전할 수 있다. 예를 들면, 중금속인 카드뮴 농도가 10ppm 정도로 오염된 땅에 은행나무 1그루를 심으면 5년 내에 카드뮴이 모두 정화되고, 버드나무, 은행나무 등 활엽수의 뿌리는 오염 물질을 흡수하여 질소의 농도를 약 10분의 1 (10~15ppm→1~2ppm)로 감소시킨다. 또한, 수질을 판단하는 지표인 수소이온농도(pH)에 있어서도 우리 나라 평균 강우산도는 pH5.3으로 2급수 수준이나 이 빗물이 산림을 통과하면 각종 오염물질이 여과되어 수소이온농도는 pH7.1이 되는 등 하천수질환경기준으로 판단할 때 상수원수 1급수가 된다(朴在鉉, 1996).

4. 복층림 조성

樹冠層이 하나로 형성되어 있는 장령림(약 40년생 이상) 이상의 산림에 대하여 임목의 일부를 벌채하고 인공갱신을 실시함으로써 수관층이 2개이상 형성되어 있는 산림인 복층림은 단일한 층을 형성한 단층림보다 토양의 ha당 물 저장량은 114%가 많다. 이와 같이 복층림으로 시업하게 되면 단층림에 비하여 단위면적당 임목축적량이 증가하게 되어 낙엽 및 뿌리의 양이 많아지기 때문에 토양의 물 저장량이 증가하게 된다. 따라서 수원함양기능을 증진시

키기 위한 시업은 단층림보다는 복층림으로 유도될 수 있도록 시업하도록 하여야 한다. 즉, 수변구역 산림의 상층을 형성하는 수종은 빛을 좋아하는 수종인 소나무류 등 양지에서 잘 자라는 수종을 식재하고, 그 밑의 층에는 전나무, 편백 등 상층 林冠에서 빛을 遮斷하여 빛이 잘 들어오지 않는 곳에서도 잘 자라는 陰樹를 식재하는 등 복층림으로 유도해야 한다. 복층림에서의 벌채에 있어서는 골라베기가 가장 이상적이며, 대면적의 모두베기보다는 소면적에 있어서 모두베기를 하여 수질오염원인 표층토양이 유실되거나 파괴되지 않도록 신중한 벌채가 필요하다.

5. 솎아베기(간벌, 間伐) 실시

일반적으로 삼나무, 낙엽송은 10~20년경에 울폐가 시작되는데 이때부터 나뭇잎의 양은 최대가 되고 아랫가지는 고사해 올라가며, 하층 식생도 고사하여 피복도가 거의 없는 상태가 된다. 이는 솎아주기를 거의 하지 않은 상태에서 자주 나타나게 되는데, 상층울폐도가 80% 이상이 되면 하층에 빛이 잘 들어오지 못하게 되어 하층식생이 고사하게 된다. 따라서 상층 수목에 의한 임관이 폐쇄되어서는 안 되며, 울폐도가 70~80%를 유지하는 솎아베기가 이루어져야 한다. 나무의 나이에 따른 솎아베기율은 임령이 10~20년생일 경우에는 25%로 하고, 21~30년생은 20%, 31~35년생은 15%, 36~40년생은 10%, 41~60년생은 5%로 솎아베기 하는 것이 산림의 수원함양기능을 증대시키는데 효과적이다. 그러므로 상수원보호지역

의 뻗뻗한 산림을 30% 솜아주면 나뭇잎에서 발생하는 불필요한 증산량과 樹冠에 의한 遮斷량을 감소하게 하므로 10~20%의 물이 더 생산되며, 솜아주기를 함으로써 임내에 빛의 투과가 증가하게 하여 관목류, 초본류 등 하층식생이 발달하게 된다. 또한, 관목류, 초본류 등 하층식생의 발달은 낙엽 및 낙지를 증가시키게 하고 산림토양 내에 공극을 증대시키기 때문에 산림토양이 저장할 수 있는 물을 증대시키게 된다. 그리고 상수원보호구역 내 산림면적의 10% 이상을 한꺼번에 베게 되면 나무가 토양 침식을 억제하는 작용이 감소되고 침식된 토사가 계류나 하천에 유입되므로 계류수나 하천수가 오염된다. 따라서 상수원보호구역에서는 산림의 30% 정도를 솜아주고 수변구역 산림이나 상수원보호구역 산림면적의 10% 이상을 한꺼번에 베어내어서는 안 될 것이다.

6. 가지치기 실시

가지치기는 수원함양기능상 빛의 양을 조절하여 적당한 지피식생을 유지하는데 필요한 기술이다. 또한 가지치기는 솜아주기, 모두베기 같은 효과를 가지고 있어 솜아주기, 모두베기의 대체기능의 역할을 한다. 수목의 상층의 잎은 직사광선 즉, 조도가 100인 조건으로 최대의 탄소동화작용을 하는 陽葉으로 되어 있지만 하층의 잎은 조도가 낮은 상태에서 효율적으로 동화작용을 하는 陰葉으로 되어 있다. 그러나 밀도가 높은 산림에 있어서 하층엽의 상대적인 조도가 5~15%가 되면 하층 잎의 대부분은 동화량과 흡수량이 거의 균형상태가 된다. 이러

한 조도는 나무 줄기의 성장에는 아무런 관여를 하지 않고 단지 가지와 잎의 생명을 유지하므로 수분의 낭비라고도 할 수 있으며, 증산작용만 많아지게 된다. 따라서 보상점에 가까운 하층가지의 가지치기는 나무 줄기의 성장을 억제하는 일이 없어 형질이 좋은 목재를 생산할 수 있다는 장점과 아울러 수분의 낭비를 억제하는 작용을 하고 있음을 알 수 있다. 즉, 가지치기는 임목생장과 무관한 上層樹冠 아래의 나뭇잎을 제거해 주므로 나뭇잎에서의 증산량을 감소시킴으로써 산림토양이 저장할 수 있는 물의 양을 증가시키는 작용을 한다.

편백림과 낙엽송림을 대상으로 가지치기 전과 후의 증산량의 감소량을 비교한 결과 편백림에서는 가지치기 전에는 증산량이 282.6mm 이던 것이 가지치기 후에는 209.1mm로 73.5mm가 감소하여 약 26%의 감소율을 나타내었다. 또한, 낙엽송림에서는 가지치기 전에 증산량은 279.5mm 이던 것이 가지치기 후에는 223.6mm로 55.9mm가 감소하여 약 20%의 감소율을 나타내었다(표 3). 또한, 가지치기는 태양광선을 차단하는 나뭇잎의 밀도를 조절하여 임지 내에 빛을 투과시킴으로서 관목류 및 초본류 등 하층식생의 발달을 촉진시키므로 산림토양의 물 저장능력을 증진시키고, 산림토양의 표층부의 침식을 억제하는 작용을 직접 또는 간접적으로 도와줌으로써 계류 및 하천의 수질을 보전하는 작용을 한다. 따라서 수원함양기능을 증진시키기 위한 가지치기는 임령이 10~35년까지는 5년 간격으로 실시하도록 하는 것이 바람직하다.

표 3. 가지치기에 의한 증산량의 감소효과

(단위 : mm)

구 분	가지치기 전	가지치기 후	감소량	감소율(%)
편백림의 증산량	282.6	209.1	73.5	26.0
낙엽송림의 증산량	279.5	223.6	55.9	20.0

따라서 가지치기와 솎아주기 등 관리를 잘한 산림은 그렇지 못한 산림에서보다 강수량의 5%인 약 57억톤의 물을 더 머금을 수 있어 유효저수량 4억톤의 임하댐 약 14개를 새로 만드는 효과를 지니게 된다(정용호, 1998).

7. 대면적 모두베기(개벌, 皆伐)를

지양하고 일부베기(택벌, 擇伐)를 유도

대규모 산림을 모두베기 하였을 경우에는 산림의 각종 공익적 기능을 약화시키는 요인으로 작용할 수 있고 산림토양을 교란시킴으로써 양묘손실과 토양침식을 야기시키며, 산림 내에서 식하는 각종 산림구성종을 변화시키는 등 산림생태계에 적지 않은 영향을 미치게 된다. 또한, 모두베기를 위한 과도한 벌채작업은 산림토양의 지표면을 딱딱하게 하여 강우가 토양내에 흡수될 수 있는 능력을 감소시킴으로써 산림의 수원함양기능을 저해하는 요소로 작용한다. 특히, 모두베기를 할 때에는 성숙임목만 베어내는 것이 아니고 벌채작업에 따라 관목류와 초본류 등 하층식생까지도 파괴시키므로 토양이 저류할 수 있는 물의 양이 감소하고, 토양침식도 가중된다. 즉, 나무의 잎과 가지는 빗물이 직접 토양에 닿아서 침식을 일으키는 에너지를 감소시키는 작용을 하게 되는데 모두베기는 이러한 침식억지원을 모두 제거하기 때문에 토양의 침식을 증가시키게 된다(朴在鉉,

1995).

이와 같은 모두베기 작업으로 인하여 딱딱하고 교란되어진 토양에서는 강우시 토양 내에 빗물이 잘 흡수되지 못하고 지표면으로 흐르게 되는데 지표면으로 흐르는 빗물은 물만 흐르는 것이 아니고 지표에 있는 토사입자와 유기물 등과 함께 유출된다. 이때 빗물과 함께 유출된 유기물 등 영양물질과 침식토사는 계류 및 하천에 유입되어 부영양화를 촉진시키게 되어 수질을 악화시킨다. 뿐만 아니라 모두베기는 수온을 상승시켜, 물맛, 색깔, 향기 등을 변화시키고, 물 속에 박테리아나 세균 등이 증식할 수 있는 좋은 환경을 마련해 줌으로써 물에 서식하는 어류의 생장에 치명적인 악영향을 미치게 하며, 결국에는 사람이 이용할 수 없는 물로 변하게 한다. 즉, 수온은 수질을 판단하는 중요한 지표로 작용하는데 수온이 올라갔을 때에는 계류나 하천에 유입된 각종 오염물질들이 쉽게 녹게 되고 과도하게 산소가 녹음으로써 부영양화가 쉽게 일어나며 물 속의 환경은 악화된다(朴在鉉, 1995). 따라서 산림의 수원함양기능을 증진시키기 위한 벌채는 일반적인 벌기령 이후 골라베기를 실시해야 하는데 ha당 약 400~600본을 남기고 벌채하도록 하며, 벌채 후 나무 밑에 어린 나무를 식재함으로써 수원함양기능이 우수한 2단림을 조성하도록 한다.

8. 벌채목의 운반시 지표 손상이 없도록 유의

벌채목의 운반시에는 토양의 침식이 발생되지 않도록 특별히 주의해야 한다. 즉, 벌채목을 운반할 때 벌채목의 끝부분이 토양에 닿아 끌리면 토양은 심한 교란을 일으키게 되고 커다란 침식구가 형성된다. 이러한 교란된 침식구에서는 강우시에 토양의 침식이 활발하게 일어나고, 침식된 토사는 계류나 하천에 유입되어 물을 오염시키게 된다. 최근 미국이나 일본 등 임업선진국에서는 산림의 수원함양기능을 증진하고 수질정화기능을 향상시키는 방향으로 산림사업을 추진하고 있으며, 특히 모두베기는 지양하고 골라베기 또는 복층림을 조성하도록 벌채를 실시하고 있다. 따라서 벌채목의 운반시 발생하는 토양침식이 수질에 심각한 악영향을 미치게 되므로 벌채목을 운반할 때에도 가선집재 등을 이용하는 등 토양침식을 방지하는데 최선을 다해야 한다.

9. 벌기령은 장벌기 채택

나무의 나이가 많아질수록 가지와 나뭇잎은 증가하게 되는데 이로 인하여 낙엽 및 낙지의 양도 증가한다. 또한, 뿌리량의 증가로 토양유기물이 많아지고 토양화작용이 촉진되므로 토양이 저류할 수 있는 물의 양은 증가하게 된다. 즉, ha당 토양이 저류할 수 있는 유효한 물의 양은 나무의 나이가 30년생인 경우에는 나무의 나이가 20년생인 산림보다 약 1.17배, 40년생인 경우에는 나무의 나이가 20년생인 산림보다 약 1.26배, 나무의 나이가 50년생인 경우에는 20년

생인 산림보다 약 1.33배로 많다. 더욱이 나무의 나이가 40년생은 나무의 나이가 30년생인 산림보다 ha당 토양이 저류할 수 있는 물의 양이 1.08배, 나무의 나이가 50년생은 나무의 나이가 30년생보다 1.13배로 많아지게 된다. 따라서 나무의 나이가 20~30년생이 대부분인 우리 나라의 산림을 보다 울창한 장령림으로 가꾸어야 한다. 나무의 벌기령도 약 40년생 이상인 장령림을 벌채하는 장벌기 벌채 방식으로 유도해야 할 것이다.

10. 임도시설로 인한 토사유출이 발생하지 않도록 절 · 성토면 완전 복구

임도는 산림 내에 인위적으로 개설되는 도로로써 시공시에 자연적으로 땅깁기비탈면(절토, 切土)과 흙쌓기비탈면(성토, 盛土)이 조성된다. 그러나 이러한 땅깁기비탈면과 흙쌓기비탈면은 자연적인 산지를 인공적으로 깎거나 쌓아서 만들었기 때문에 토양이 안정되어 있지 않다. 따라서 여름철 강우시에 땅깁기비탈면이나 흙쌓기비탈면에서는 토양의 침식이 발생할 가능성이 높으며, 식생을 이용한 복구·녹화를 완벽하게 하지 않았을 경우에는 침식이 심하게 발생한다. 특히, 인공적인 땅깁기비탈면과 흙쌓기비탈면은 자연적인 산지경사보다도 급한 경사를 이루고 있으므로 적은 비에도 쉽게 침식되고 많은 비에는 붕괴위험까지도 발생할 수 있다. 임도시공시 복구·녹화가 완벽하게 이루어지지 않은 땅깁기비탈면이나 흙쌓기비탈면에서 침식된 토사는 토양표면으로 흐르는 유출수와 함께 쉽게 계류나 하천으로 유입되어 물

을 오염시키는 악영향을 미치게 된다. 즉, 임도의 땅깍기비탈면에서 침식된 토사는 임도의 노면을 거쳐 흙쌓기비탈면을 따라 침식량이 증가하고 침식속도가 빨라진다. 이렇게 침식된 토사는 산지사면에 포획되기도 하지만 대부분 계류나 하천에 유입된다.

또한, 임도건설작업은 중장비를 동원하여 공사하기 때문에 토양을 다져지게 하여 토양공극을 감소시키고 배수를 불량하게 함으로써 토양표면유출수의 증가와 토양표면침식을 가속화시키며, 토양수의 이동을 차단하여 식물의 성장에 악영향을 미치게 된다. 더욱이 침식된 토사가 계류나 하천에 유입됨으로써 물의 탁도를 증가시키고 수질을 악화시킨다. 그러나 임도의 땅깍기비탈면이나 흙쌓기비탈면에 식생을 이용하여 복구·녹화하였을 경우에는 식생이 강수에 의한 비탈면 침식을 방지해 주고 계류나 하천에 토사유입을 억제해 줌으로써 결국에는 수질오염을 방지해 주게 된다. 또한, 임도의 인위적인 땅깍기비탈면이나 흙쌓기비탈면을 피복·녹화하여 줌으로써 이들 식생이 토양을 안정화시켜 강수를 저장하는 등 수원함양기능 및 수질정화기능을 효율적으로 발휘하게 된다. 따라서 임도를 개설할 때에는 인위적으로 토양이 노출된 땅깍기비탈면이나 흙쌓기비탈면을 식생으로 조속히 피복·녹화하여 토사의 침식을 방지하도록 하여야 한다.

11. 황폐지는 조속히 복구

산림은 물의 유출량을 조정할 뿐만 아니라 토양침식 및 토사의 유출량을 경감하고, 수질

의 보전작용도 매우 크다. 즉, 산림은 스펀지와 같이 물을 머금었다가 필요한 경우에 내보내주는 작용을 하는 등 안정된 수질을 보전하게 되는데 이는 하류의 농업, 어업 및 공업 등 물이용에 대해서 안정된 질의 물을 공급한다. 특히, 산림지대의 토양은 낙엽, 낙지 등이 퇴적하고 부식이 잘 형성되어 빗물의 체류기간이 길어지고, 토양 속의 이온교환이 촉진되는 경우가 황폐지에서보다는 많다. 즉, 산림토양, 그 중에서도 부식토는 수질정화에 없어서는 안 되는 필수적인 물질이다. 따라서 수질정화를 위하여는, 황폐지를 녹화하고 녹화된 산림을 잘 경영하여 부식질층, 부식토층을 깊게 유지할 필요가 있다.

민둥산은 강우시, 특히 호우시에는 토양침식에 대하여 무방비상태에 방치된 것과 다름없으므로 강우시 산지비탈면의 자연경사도를 따라 토사가 유출됨은 물론 강우량의 대부분이 토양속으로 흡수되어 지하수를 이루지 못하고 강우와 함께 지표수로서 유출되므로 커다란 홍수를 일으킨다. 뿐만 아니라 이렇게 유출된 토사를 포함하는 유출수는 계류나 하천에 유입되어 물을 탁하게 하고 오염시키는 주된 요인이 된다. 林相이 좋은 산림이 있는 곳에서 비가 내리면 빗물은 일단 나뭇가지와 잎에 머물렀다가 서서히 나무의 줄기를 타고 내려와 지표에 닿게 된다. 더욱이 林地에 낙엽과 부식질이 쌓여 있으면 빗물은 땅속으로 쉽게 흡수되므로 지하수로 저장되기도 하지만 지하에 저장되어 고여있는 물은 서서히 정화되어 산림 밖으로 빠져나가게 된다.

VIII. 결 론

(1) 간벌 및 가지치기 등 산림사업에 따라서 산림의 수질정화기능을 증대시킬 수 있는데, 산림사업을 통해 수관통과율, 수간류, 토양수의 pH완충능이 증대하며, 전기전도도는 상대적으로 감소한다. 즉, 산림토양내 대기오염물질의 유입을 감소시키고 산림의 완충효과를 증진시키기 위해서는 간벌 및 가지치기 등 산림사업이 유의하며, 수변구역 산림을 침엽수 인공림으로 조성할 경우 일정한 시기가 지나면 산림의 수질정화기능을 증진시키기 위해서 간벌 및 가지치기 등 적절한 산림사업이 필요하다.

(2) 수변구역 산림관리는 산림지가 청정수역이라는 인식 하에 산림의 현상유지 및 시설규제 등 소극적 방법이 주도되고 있다. 그러나 산림의 수질정화기능의 증진 및 보전을 위해서는 일련의 체계적인 산림사업이 필요하며, 수목의 완충효과를 극대화시킬 수 있는 최적 산림사업지침 마련을 위한 중 장기적인 연구가 필요하다. 또한, 각종 수질보전을 위한 치산시설에 대한 수질정화기능의 효과 분석도 필요하다. 아울러 임상별, 수종별 수질정화기능 등에 관한 종합적인 데이터베이스의 구축이 절실하다.

(3) 수변구역 산림뿐만 아니라 종합적인 방재의 시각에서 유역의 토지이용·관리계획을 수립하고, 난개발의 금지, 파괴적인 산업 활동의 제한 등 하천 이외의 산림과 같은 주변환경을 보전·정비하는 것으로 토사재해의 위험성을 경감해야 한다. 아울러 수변구역 산림과 같

은 수변식생을 보전·복원하기 위해서는 천연 유역 및 자연도가 높은 유역에 대해서는 치산·사방사업을 시행하지 않고, 자연의 추이에 맡겨 하천과 수변구역 산림이 일체화 된 자연 하천환경을 보전하거나 수변구역 산림을 복원함으로써, 풍부한 자연환경을 차세대에게 물려주도록 해야 한다. 이와 같은 유역의 존재는 환경자원으로서 뿐만 아니라 학술적으로도 중요하므로 그 생태적 특성을 해명함으로써 장래 하천환경복원 모델로의 이용이 가능하도록 해야 할 것이다.

(4) 하천 주변의 환경이 변화됨에 따라 하천을 따라 조성되어 있던 수변구역 산림은 고립되고 분단되어 2차림화가 현저하게 된다. 현재 남아있는 비교적 자연도가 높은 수변구역 산림을 보전하고, 이를 핵심 모델로 하여 질이 저하된 수변구역 산림을 복원함과 동시에 최상류 지역에서 하구에 이르는 수변구역 산림의 연속성을 회복하는 것이 중요하다. 이러한 수변의 생태적 회랑은 수계 전체의 소유역을 연결하여 동식물의 이동과 분산을 꾀하는 역할을 한다. 수변구역 산림의 복원에 대해서는 하천개수를 실시한 제방 내에 수목을 심는데, 수목지대는 군집조성이나 구조적으로 수변구역 산림의 본래 모습을 갖도록 하고 하천과 상호작용을 유지하며, 생태적인 기능을 달성하도록 조성해야 한다.

(5) 하천과 육지지역 생태계가 인공호안, 제방 등 하천공작물에 의해서 분단되고 있는 상황에서 육지와 하천이 일체가 되는 수변의 환경과 상호작용계를 회복시키기 위해서는 하천

공작물의 철거 혹은 공법의 개선이 필요하다. 새로운 하천개수에 있어서는 유로를 고정해서 좁게 만들지 말고, 범람원, 수변구역 산림을 포함한 수변의 자연환경을 유지하는 등 그 바깥쪽에 제방을 구축할 필요가 있다. 파괴적인 도로건설, 스키장, 골프장개발 등 수해나 토사재해를 유인하고 확대하는 상류유역에서의 개발행위를 제한하는 한편, 하천주변 토지의 이용이나 개발행위를 규제해야 한다. 이와 같은 토지이용계획을 기본으로 종합적인 방재기능을 높이고, 하천공작물에 의지하는 재해대책의 비중을 줄인다. 이런 시책을 통하지 않고는 하천과 수변의 자연환경을 보전할 방법이 없다. 또한, 치산·사방사업이나 각종 개발사업이 하천이나 산림 등 자연환경에 미치는 영향의 평가에 대해서는 기술적, 방법적으로 정립되어 있지 않아 조속하고도 적절한 종합평가방법과 그 실시체계의 확립이 요구된다. 따라서 치산·사방사업이나 각종 개발사업 실행 이후의 영향을 파악하고, 문제가 생긴 경우에는 적절한 조치를 취할 수 있도록 환경모니터링이 필수적이다.

(6) 지금까지 하천행정에 종사하는 사람들은 하천을 단순한 물이라는 물질의 흐름으로밖에 볼 수 없었기 때문에 수해와 토사재해방지 및 수자원의 대상으로만 취급해 왔다. 그 때문에 하천 및 주변환경이 일체가 된 생태계, 자연환경으로서의 수변지역에 대한 이해가 깊지 못했다. 따라서 아직 밝히지 못한 부분이 많은 수변생태계를 밝히기 위한 종합적인 연구가 필요하다. 수변구역 산림에 대해서도 그 보전과 복원을 도모하기 위해서는 군집조성과 임분구조,

그리고 그들의 동태를 조사하고, 하천에 의한 물리적 영향과 수변지역의 생태적 영향 등을 상세하게 해석하는 것이 필요하다.

(7) 현재에는 수변구역 산림의 생태적인 기능에 대해서도 충분히 이해되고 있지 않기 때문에 수변구역 산림이 자연형하천만들기의 대상이 되지 않고 있다. 따라서 새로운 각종 개발사업을 실행하기에 앞서 각종 개발로 손상된 수변구역 산림을 포함한 수변지역 등 자연환경을 복원하기 위한 자연에 가까운 하천공법의 도입과 개선에 노력할 필요가 있다.

(8) 수변지역에서 토지이용의 고도화나 치산·사방사업 등에 의해서 질적으로 저하된 수변구역 산림 그 자체가 없어지고 있는 상황에서 수변구역 산림을 복원시키는 일은 수변환경의 보전으로서도 대단히 중요한 문제이다. 따라서 수변지역에 수림대를 조성한다는 것은 본래 그 지역에 성립하고 있던 산림군집을 보전하는 일이다. 2차림화되고 질적으로 저하된 수변구역 산림에 대해서는 종조성이 자연도 높은 산림과 유사하다면, 그대로 방치하는 가운데 시간의 경과에 따라 본래의 임분구조를 되찾을 수 있다. 그러나 종조성이 전혀 달라진 경우에는 인접한 임분으로부터 종자의 분산을 기대하고 천연갱신을 도모하거나 식재에 의해 본래의 모습을 되찾을 수밖에 없다. 수변구역 산림이 완전히 없어진 경우 자연적으로 방치해서 본래의 모습을 되찾게 된다면 특별한 관리가 필요 없지만 그렇지 않은 경우에는 파종, 식재에 의해 복원하지 않으면 안 된다.

(9) 계류 및 하천생태계, 수변구역 산림의

복원은 생물군집의 건전한 서식이 가능하도록 계류 및 하천환경의 연속성을 확보해야 하며, 환경과 조화되는 환경보전형 수변구역이 되어야 한다.

(10) 수변구역 산림의 수질정화기능을 증진시키고 수변구역 산림지대에서 1차적인 수질정화효과를 극대화시키기 위한 방안으로 하천변과 수변구역 산림이 연계되는 지역에는 대형수생식물군락이나 중금속 등을 축적 정화시킬 수 있는 식물군락을 조성해 줌으로써 계류 및 하천의 수질오염을 방지할 필요가 있을 것으로 생각된다.

(11) 산림의 수원함양기능 및 수질정화기능을 증대하기 위해서는 이러한 기능이 높은 수종을 식재해야 하는 데, 한강 주변은 낙엽송, 잣나무, 상수리나무, 갈참나무, 자작나무, 거제수나무, 고로쇠나무, 들메나무, 서어나무 등을, 낙동강 주변은 갈참나무, 상수리나무, 굴참나무, 물푸레나무, 서어나무, 개서어나무, 느티나무 등을, 금강 주변은 낙엽송, 상수리나무, 굴참나무, 신갈나무, 갈참나무, 고로쇠나무, 들메나무 등을, 영산강 주변은 삼나무, 상수리나무, 굴참나무, 졸참나무, 참느릅나무, 물푸레나무, 굴피나무, 고로쇠나무 등을, 섬진강 주변은 삼나무, 상수리나무, 굴참나무, 졸참나무, 참느릅나무, 물푸레나무, 굴피나무, 고로쇠나무 등 뿌리의 양이 많고 땅속깊이 뻗는 수원함양 효과가 높은 수종을 식재하고 내음성이 강한 수종을 나무 아래에 심는 등 수원함양 및 수질정화기능이 큰 수종을 조림하도록 한다. 아울러 임상이 불량한 임지는 환경파괴가 안 되는 범위 내에

서 소구역으로 정리하여 조림을 실행하고, 모두베기를 하지 않을 임지라도 나무 밑 식재(수하식재), 천연갱신 등으로 복층림을 조성하도록 하며, 인공조림지에 대해서는 풀베기, 어린나무가꾸기 등 적기에 사업을 실행하고 천연림 중 보육작업이 필요한 임지는 천연림보육작업을 철저히 시행하여 우량림으로 유도해야 한다. 아울러 지정구역 내 황폐산지는 소면적이라도 타 지역에 우선하여 산지사방을 실시하고, 수원함양능력의 제고를 위하여 황폐계천에 대하여 계사방과 사방댐은 오염물질을 완전히 수거한 후 시설해야 한다.

인용문헌

- 구영본. 1998. 포플러를 이용한 쓰레기매립지의 녹화 피복 및 오염물질 정화. 제1회 식물을 이용한 환경복원기술워크숍. 49-58 pp.
- 김규식. 1980. 토양중 중금속의 생물학적 제거방법 시험. 농업기술연구소보. 37-50pp.
- 김정규. 1998. 중금속 오염토양의 식물정화. 제1회 식물을 이용한 환경복원기술워크숍. 29-48pp.
- 朴在鉉. 1995. 白雲山 成熟闊葉樹林 皆伐收穫地에서 伐出直後의 環境變化와 運材路 浸蝕에 關한 研究. 서울대학교 博士學位論文. 137pp.
- 朴在鉉. 1996. 山林流域에 있어서 溪流水質 評價基準 定立에 關한 考察(II). 자연보존 95:38-52.

- 朴在鉉 · 禹保命. 1997. 山林流域內 降水로부터 溪流水質에 미치는 影響因子 分析 - pH, 溶存酸素, 電氣傳導度 -. 韓國林學會誌 86 (4):489-501
- 朴在鉉 · 禹保命. 1998. 山林流域內 降水, 樹冠通過雨, 土壤水 및 溪流水 水質의 化學的 特性. 韓國林學會誌 87(1):62-73
- 朴在鉉, 1998. 친환경적 물자원 개발과 효율적인 이용 증진. 자연보존 104:22-28.
- 산림청. 1999. 5대강유역 수원함양산림 종합관리계획(2단계). 산림청. 3-30pp.
- 이길철 · 이홍재 · 이민호 · 김성수 · 김동호 · 김상돈. 1992. 오염토양의 정화방법에 관한 연구(I) - 식물에 의한 정화방법 연구. 국립환경연구원보 14:231-254.
- 임병선 · 이점숙 · 서계홍 · 김하승. 1996. 영산강 유역으로부터 유입되는 오염부하량에 따른 수생식물의 분포, 질산환원효소 활성 및 그 정화능. 한국생태학회지 19(5):487-496.
- 임병진 · 정원화 · 전선옥. 2000a. 경안천 현장실험조에서 식물체를 이용한 조류 증식억제. Korean J. Limnol. 33(3):304-310.
- 임병진 · 정원화 · 변명섭 · 전선옥. 2000b. 식물체를 이용한 조류 증식억제 효과. 한국육수학회지 33:136-144.
- 임수길 · 김정규 · 김동엽. 1996. 유용식물을 이용한 오염토양 정화기술 개발. 제1회 농업과학심포지움 21세기 농업과학연구의 발전방향. 교육부 농업과학심사평가위원회. 236-241pp.
- 정기채 · 김복진 · 한상국. 1993. 아연광산 인근지역 야생식물 중의 중금속 함량 조사. 한국환경농학회지 12(2):105-111.
- 정용호. 1998. 녹색댐의 수원함양기능 증진을 위한 산림사업과 토목적 방법2. 산림 385:92-103.
- 조강현. 1992. 팔당호에서 대형수생식물에 의한 물질생산과 질소와 인의 순환. 서울대학교 박사학위논문. pp.165-168.
- 조강현. 1997. 수계환경 보존을 위한 수변부 생태계의 생태공학적 이용-대형수생식물을 중심으로-. 환경문제의 생태학적 접근. 서울여자대학교 생태연구소 설립기념 심포지엄. 68-81pp.
- 최정 · 이정재 · 허남호. 1991. Cadmium 오염토양에서 Cadmium제거방법의 개발. 한국환경농학회지 10(2):128-132.
- 환경부 · 2000. 한강변 255km² 첫 '수변구역' 지정. 인터넷 세계일보 자료.
- 鎌田磨人 · 岡部建士 · 小寺郁子. 1997. 吉野川河道内における樹木および土地利用型の分布の變化とそれ及ぼす流域の諸環境. 環境システム研究 25:287-294.
- 貝塚爽平. 1985. 川の作る堆積地形-貝塚ほか編寫眞と圖で見る地形學. 東京大學出版會. 46-57pp.
- 中村太士 · 百海琢司. 1989. 河畔林の河川水溫への影響に關する考察. 日本林學會誌 71:387-394.
- 中村太士. 1995. 河畔域における森林と河川の相互作用. 日本生態學會誌 45:295-300.

- 竹門康弘. 1991. 動物の眼から見た河川のあけ方. 關西自然保護機構會報 13:5-18.
- 馬場仁志. 1982. 幅による土石流の流動變形に關する研究. 新砂防 35(1):1-8.
- 森本幸裕. 1998. 日本の水邊生態系 復元と綠化. 韓國環境復元綠化技術學會誌 1(1): 114-118.
- 森川弘道・高橋美佐・河村義史. 1999. 環境汚染を食べる植物によるファイトレメディエーション. 環境科學會誌 12(4):421-432.
- 坂本 康. 1993. 樹冠通過雨および樹幹流の水量と水質の空間分布と時間變動. 水文水資源學會誌 6(4):326-335.
- 鈴木和次郎・大住克博・正木 隆・高橋和規・大丸裕武・星崎和彦. 1997. カヌマ澤溪畔林試驗地における溪畔林および隣接ブナ林の群集構造. 科學研究費補助金研究成果報告書. 山本進一編大面積長期プロットによる森林動態研究. 名古屋大學. 89-114pp.
- 森林總合研究所生態秩序森林生態系チーム. 1993. カヌマ澤試驗地のカミキリと自然度現在の森林,そして將來の豫測-長期モニタリング研究:20-21.
- 新山 聲. 1987. 石狩川に沿ったヤナギ科植物の分布と生育地の土壌の土性. 日本生態學會誌 37:163-174.
- 新山 聲. 1989. 札内川 沿ったケシヨウナギの分布と生育地の土性. 日本生態學會誌 39:173-182.
- 崎尾 均・ケシヨウナギの中村太士・大島康行. 1995. 河畔林・溪畔林研究 現狀 課題. 日本生態學會誌 45:291-294.
- 崎尾 均・鈴木和次郎. 1997. 水辺の森林植生(溪畔林・河畔林)の現狀・構造・機能 および砂防工事による影響. 砂防學會誌 49(6): 40-48.
- 生原喜久雄. 1992. 森林の淨化機能. 森林土壌の無機元素の動態と土壤溶液中で移動特性に關する研究報告書:59-61.
- 相澤州平. 1993. 樹幹流の土壤陽イオン交換における役割. 日本東北支誌 45:193-194.
- 柳井清治・寺澤和彦. 1995. 北海道南部沿岸山地流域における森林が河川および海域に及ぼす影響 (II), 山地溪流における廣葉樹9種落葉の分解過程. 日本林學會誌 77(6): 563-572.
- 大類清和・生原喜久雄・相場芳憲. 1994. 森林小集水域における溪流水質に及ぼす諸要因の影響. 日本林學會誌 76(5):383-392.
- 大類清和・相場芳憲・生原喜久雄. 1995. 森林小集水域での水質變化の過程. 水文・水資源學會誌 8(4):367-381.
- 大嶋有子・山中典和・玉井重信・岩坪五郎. 1990. 芦生演習林の天然林における溪畔林優點高木種-トチノキ, サワグルミ-に關する分布特性の種間比較. 京都大學農學部演習林報告 62:15-27.
- 大野宏之. 1999. 砂防事業における現場發生土の有効利用(6). 砂防 治水 32(4):56-60.
- 太田猛彦. 1998. 森林と木. 河川 619:14-23.
- 太田猛彦・高橋剛一郎. 1999. 溪流生態砂防學. 東京大學出版會. 246pp.

- 林野廳. 1997. 平成6年度林業白書. 農林總計協會.
- 國有林野經營計劃研究會. 1994. 國有林野經營規定 解説. 日本林業調査會.
- 石川愼吾. 1980. 北海道地方の河辺に發達するヤナギ林について. 高知大學學術研究報告 29:73-78.
- 石塚和雄. 1977. 河原と河辺林, 石塚和雄編 植物生態學講座. 朝倉書店. 237-242pp.
- 伊藤 哲・中村太士. 1994. 地表變動に伴う森林群集の攪亂様式と更新機構. 森林立地 36(2):31-40.
- 吳 國南・生原喜久雄・相場芳憲・戸田浩人. 1996. スギおよびヒノキ林の林内雨成分に占める乾性沈着および樹冠溶脱 分離. 日本林學會誌 78(4):461-466.
- 珠坪一晃・原山重明. 1999. 微生物による流出油汚染の浄化. 環境科學會誌 12(4):442-448.
- 高川謙介・陶山明子・李 泰鎬. 1999. 微生物による有機鹽素化合物の分解. 環境科學會誌 12(4):449-461.
- 玉井信行・水野信彦・中村俊六編. 1993. 河川生態環境工學-魚類生態と河川計畫. 東京大學出版會. 16-45pp.
- Anderson, T. 1991. Influence of stemflow and throughfall from common oak(*Quercus robur*) on soil chemistry and vegetation patterns. *Canadian Journal of Forestry Research* 21:917-924.
- Baeumler, R. and W. Zech. 1998. Soil solution chemistry and impact of forest thinning in mountain forests in the Bavarian Alps. *Forest Ecology and Management* 108:231-238.
- Brown, G.W. and J.T. Krygier. 1971. Clear-Cut logging and sediment production in the Oregon Coast Range. *Water Resources Research* 7(5):1189-1198.
- Carpenter, S.R. 1980. Enrichment of Lake Wingra, Wisconsin, by submersed macrophyte decay. *Ecology* 61:1145-1155.
- Engelhart, W. 1968. Die natuerliche Selbstreinigung der Gewaesser. *Handbuch f. Landschaftspflege und Naturschutz*, Bd. 2. 406pp.
- Environmental Health Perspectives. 1995. Absorbing Possibilities: Phytoremediation. *Innovations* 103(12):1-7.
- Forman, R.T. and Godron, M. 1986. *Landscape Ecology*. Wiley and Sons. 100-150pp.
- Franklin, J.F. 1992. Scientific basis for new perspectives. Naiman, R.J.(ed). *Watershed Management*:25-72.
- Frede, H.G., Fabis, J. und Bach, M. 1994. N hrstoff und Sedimentrentention in Uferstreifen des Mittelgebirgsraumes. *Z.F. Kulturtechnik und Landentwicklung* 35:165-173.
- Gersberg, R.M., R.B. Renner, S.R. Lyon

- and B.V. Elkins. 1987. Survival of bacteria and viruses in municipal wastewater applied to artificial wetlands, p. 237-245. In: Aquatic plants for water treatment and resource recovery(K.R. Reddy and W.H. Smith, eds). Magnolia publishing lac. Orlando, Florida.
- Gregory, S.V. and Ashkenas, L. 1990. Riparian Management Guide, Willamette National Forest, USDA Forest Service, Pacific Northwest Region.
 - Gregory, S.V., Swanson, F.J., McKee, W. A. and Cummins, K.W. 1991. An ecosystem perspective of riparian zone. *BioScience* 41:540-551.
 - Likens, G.E., F.H. Bormann., N.M. Johnson and R.S. Pierce. 1967. The calcium, magnesium, potassium, and sodium budgets for a small forested ecosystem. *Ecology* 48:772-785.
 - Maekawa, M. and Nakagoshi, N. 1997. Riparian landscape changes over a period 46 years on the Azusa River in central Japan. *Landscape and Urban Planning* 37:37-43.
 - Nakamura, F. and Swanson, F.J. 1994. Distribution of coarse woody debris in a mountain stream, Western Cascade Range, Oregon. *Canadian Journal of Forest Research* 24:2395-2403.
 - Nilsson, C. 1992. Conservation management of riparian communities. Hansson, L. (ed.). *Ecological Principles of Nature Conservation*:352-372.
 - Odum, E.P. 1983. *Basic ecology*. CBS College Publ., New York. 613p.
 - Ohmori, H. 1983. Erosion rates and their relation to vegetation from the viewpoint of world-wide distribution. *Bull. Dept. Geogr. Univ. of Tokyo* 15: 77-91.
 - Ohno, K. 1982. A phytosociological study of the valley forests in the Chugoku Mountains, Southwestern Honshu, Japan. *Japanese Journal of Ecology* 32:303-324.
 - Parker, G.G. 1983. Throughfall and Stemflow in the forest nutrient cycle. *Adv. Ecol. Research* 13:57-133.
 - Pinay, G. and Decamps, H. 1988. The role of riparian woods in regulating nitrogen fluxes between the alluvial aquifer and surface water-a conceptual model. *Regulated River* 2:507-516.
 - Remy, J.C. 1985. Quelques 1 ments pour une amélioration de la question des fertilisants. In Winteringham, F. P.W. *Environment and Chemicals in Agriculture. Proceeding of Symposium*. Dublin.
 - Sakai, A., Ohsawa, T. and Ohsawa, M. 1995. Adaptive significance of sprouting

- of *Euptelea polyandra*, a deciduous tree growing on steep slope with shallow soil. *Journal of Plant Research* 108:377-386.
- Sakio, H. 1997. Effects of national disturbance on the regeneration of riparian forests in a Chichibu Mountains, central Japan. *Plant Ecology* 132:181-195.
 - Stauffer, D.F. and L.B. Best. 1980. Habitat selection by birds of riparian communities evaluating effects of habitat alterations. *Journal of Wildlife Management* 44:1-15.
 - Stanford, J.A., Ward, J.V. and Ellis, B.K. 1994. Ecology of the alluvial aquifers of the Flathead River, Montana. Bibert, J., Danielopol, D.L., and Stanford, J.A. (eds), *Groundwater Ecology*. Academic Press. 367-390pp.
 - Tchobanoglous, G. 1987. Aquatic plant system for wastewater treatment engineering consideration, p. 27-48. In: *Aquatic plants for water treatment and resource recovery*(Reddy, K.R. and W.H. Smith, eds). Magonlia Publishing Inc. Orlando, Florida.
 - Tripathi, B.D., J. Srivastava and K. Misra. 1991. Nitrogen and phosphorus removal capacity of four chosen aquatic macrophytes in tropical freshwater ponds. *Environment Conservation* 14:3-7
 - United States Army Corps of Engineers (USACE). 1991. *Hydraulic Design of Flood Control Channels*. USACE Headquarters. EM1110-2-1601. Washington. D. C.
 - White, D.S. 1993. Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. *Journal of the North American Benthological Society* 12:61-69.
 - Yamamoto, S. 1989. Gap dynamics in climax *Fagus crenata* forests. *Bot. Mag. Tokyo* 102:93-114.

황사현상과 발원지의 황사방지 방법

이 천 용

임업연구원 임지보전과장

1. 서 론

황사는 겨울에서 이른 봄까지 중국 서부지역과 몽골 남부지역의 사막이나 황토고원지대에서 발생한 모래나 흙이 편서풍을 타고 남하하여 우리나라와 일본을 거쳐 미국까지 장거리로 이동한 후 땅위에 침적된 물질로서 최근 발생 빈도가 많아지고 있다. 황사현상의 장단점을 논의하기 전에 황사현상이 나타나면 시각적으로나, 심리적으로나 그리고 인간건강에 나쁜 영향을 주고 있으므로 이에 대한 관심이 고조되고 있다. 황사현상은 이웃한 중국이나 몽골의 매우 건조한 지역에서 인간활동이나 기후의 영향으로 토지가 점차 황폐되고 있기 때문에 앞으로 계속 심해질 것으로 예상된다. 특히 중국의 산업화와 인구폭발로 인한 토지의 오남용은 이러한 현상을 더욱 부추기고 있으며 우리나라에도 점차 영향이 증대할 것으로 예상되므로 선진국에 진입한 우리나라의 입지형편상 이웃나라에 대한 지원과 관계강화를 위하여 우선적으로 염두에 두어야 할 과제이다.

2. 황사관측의 역사

삼국유사에 의하면 신라 21년(서기173년)

2월에 “雨土”라는 표현이 최초로 등장하고, 백제 近仇王 5年(서기 379년) 4월에는 “雨土竟日”, 신라 奈勿王 34년(서기 389년) 2월에 “雨土”, 백제 무왕 7년(서기 606년)3월에는 “王都雨土量暗”이라 하여, 황사 현상으로 인해 낮이 어두워졌다는 기록(和田雄治, 1917)이 있는데, 이들이 우리나라 황사 현상에 관한 오래된 기록이라고 한다.

가. 고려시대

고려시대에는 황사현상을 오행(五行)중에 흙으로 분류하였으며, 흙(土)은 오행의 중앙에서 만물을 생장시키는 것이니 농사와 매우 밀접한 관련이 있다고 해석하였다. 만약 이 흙의 기운이 불량하면 농사가 안되며, 금(金), 목(木), 수(水), 화(火)가 해치면 이변이 되고 지진, 흙비가 되어, 때로는 밤에 요기(妖氣)가 있고 벌레의 침입이 있으며, 때로는 소의 재앙이 있다고까지 생각하였다. 그 정조는 바람이 일정하게 불고 그 색은 황색이니 이것이 재앙이 된다고 해석하였다.

고려사 열전에는 권경준이 천변 기록을 설명한 것 중에 황사에 대한 정의가 나타난다. 즉 ‘비가 옷을 적시지 않고 흙이 있음 매(霾), 토우(土雨)라 부른다’ 하였다. 따라서 옷을 적시

는 비가 아니라 흙먼지가 떠 있고 가라앉는 상태를 묘사하였으며, 권경준은 이에 대한 해석을 ‘임금과 신하의 도(道)가 합하면 확연히 태평해질 것인데 매가 어찌 있겠느냐’고 하여 일종의 하늘의 재앙으로 간주하였다.

고려시대 당시 천문(天文), 지리(地理), 역수(曆數), 길흉을 점치는 것, 측후(測候), 물시계에 의해 시각을 알리는 등의 일을 담당하던 書雲觀의 관측규정에 의하면 토우(土雨)는 ‘某時某更에 사방이 어둡고 혼몽하고 티끌이 내리는 것 같은 것을 말하는 것이다’라고 설명되어 있다.

이와 같은 황사현상은 현종 9년(1018년) 2월 부터 총 40건이었다. 이것은 50건 중에 80%를 차지하여 황사 현상의 대부분이 먼지 현상으로 나타났음을 알 수 있다. 정종 7년 2월 계묘일에는 흙비가 내렸는데 황색이었다고 하여, 황사의 색깔을 묘사하였으며, 명종 16년(1186년) 2월 정해일에는 ‘눈비가 속리산에 내리어 녹아서 물이 되었는데 그 빛이 피빛과 같았다’고 하여 눈비에 포함된 토양의 색깔까지 기록하였다. 이는 조선시대의 血雨(중종 25년. 3월)라는 표현과도 상통하며 황사가 발원한 지역의 토양 색깔과 관련되어 붉은 빛이 돈다는 의미로 해석된다.

원종 원년(1260년) 정월 경진일에는 ‘흙비가 내렸고 해가 어두워져서 빛이 없었다’고 하여 황사 현상으로 햇빛이 약화되는 것을 묘사하였다. 눈, 비 등 강수 현상과 관련된 3건. 안개와 함께 관측된 1건 등이 있으며, 우물의 물빛이 누렇게 변색하였다는 기록 2건 등이 있는데,

이를 조선시대의 황사 기록과 비교하면 고려시대의 황사 기록은 횡수가 조선시대와 버금가지만 관측기록 내용은 조선시대보다 간단하게 묘사되었다.

書雲觀의 관측 규정에 의하면 안개는 연기와 같은데 ‘연기가 아닌 것을 안개라고 한다. 지척을 분별할 수 없으면 심무라고 한다. 某時 某更에 무기(霧氣) 혹은 심무가 있었다고 한다. 당일에 비가 오면 보고하지 않는다’라고 설명되어 있다. 그런데, 인종 4년(1126년) 3월 계사일의 자료를 보면 ‘큰 바람이 불고 흙비가 내렸다’와 같은 날 ‘누런 안개가 사방에 자욱하였다’고 하여 같은 날의 현상에 대해 두 문헌에서 흙비와 황무의 용어를 동시에 사용하였다. 이로 미루어 볼 때, 고려시대에 황사 현상과 황무 현상의 구분과 판정이 뚜렷하지 않았던 것 같다.

나. 조선시대

조선시대에는 황사현상을 과학적이고 정확하게 자세하게 묘사하였는데, 먼지 현상 42건, 황사와 비 또는 눈까지 섞여 내리는 사례 8건, 안개와 우박과 관련되어 나타난 현상 7건이 있다. 조선시대의 황사현상은 봄철(특히 음력 3월)에 집중되었으며, 매우 드물게는 가을과 겨울에도 나타났다.

황사 현상은 태종 6년(1412년) 2월 9일 시작되었는데 태종 6년 2월 9일 ‘동북면 단주에 토우가 내리기를 무릇 14일 동안이나 하였다’라고 기록되어 황사현상 기간이 매우 길었다. 또한 명종 5년 3월 22일의 기록을 보면, ‘서울에

흙비가 내렸다. 전라도 전주와 남원에는 비가 내린 뒤에 연기 같은 안개가 사방에 짙 끼었으며, 기와와 풀과 나무에는 모두 누르고 흰 빛깔이 있었는데, 쓸면 먼지가 되고 흔들면 날아 흩어졌다. 25일까지 쾌청하지 못하였다'고 하여, 최근 관측되는 황사 현상과 매우 흡사하다. 특히 전라도 지방의 경우, 비가 내린 후 시정이 악화되었는데, 황사가 지표면 근처의 물체에 침적하여 먼지 형태로 건조하게 쌓여 있었으며 22일부터 25일까지 나흘동안 황사 현상이 지속되었음을 알 수 있다.

황사와 비가 섞여 내리는 황사비 현상은 태종 5년 2월 “비의 색이 재와 같다” 고 하여 빗물에 황사가 포함되어 회색 빛을 띠고 있음을 표현하고 있다. 세종 1년 3월 13일에는 “흙비가 내리어 젖은 곳은 새까맣게 되니, 사람들이 먹비라 불렀다” 고 하여 검은빛이 도는 빗물을 표현하고 있다. 또한 숙종 7년 4월 7일의 기록을 보면, “강원도에서 3월 그믐부터 3일 동안 계속해서 토우가 내려 옷에 맞으면 황색을 보였는데, 보면 바로 혼탁한 황토물이었으며, 밤낮으로 안개가 끼어 어두웠다. 평안도에서는 3월 19일에 눈이 내렸고, 구성, 강서 등지에서는 토우가 내려 초목을 적시니 모두 황색이었다”라고 하여 황사비 현상을 자세히 묘사하였다. 이와 같이 빗물의 색깔이 시커멓다 하여 먹비, 또 붉은 빛을 띤다 하여 피비(血雨)라고 묘사한 기록도 있다.

그 중 황사 현상과 비슷한 황무의 경우, 그 정의를 ‘누른 먼지가 공중에 가득 찬 것 같으나 실은 먼지가 아닌 것’(조선 문종 원년, 조선

왕조실록)이라 하여, 안개와 황사 현상을 명확히 구분한 과학적인 관측법도 확인할 수 있었다.

당시 황사현상에 대해서는 재이(災異), 또는 변고(變故)로 여겨 재이를 만나면 두려워하는 것이 제왕(帝王)의 아름다운 덕으로 믿고, 왕이 근신하고 금주하며, 풍악을 금지하는 등, 미지의 자연현상에 대한 소박하고 겸허한 자세를 엿볼 수 있었다.

3. 황사의 특성

가. 발생빈도

우리나라는 황사 발원지인 내몽고의 고비사막으로부터 약 2,000km, 신강의 타클라마칸사막으로부터 약 5,000km이상 떨어져 있어, 황사가 바람에 실려 우리나라에 오기까지는 2~3일 또는 4~5일이 소요된다.

황사가 우리나라에 유입되기 쉬운 기상조건은 발원지가 건조하여 강한 상승기류나 소용돌이 등에 의해 공중으로 다량의 황사가 비산되고, 고도 5~7km에서의 편서풍 기류가 강하여 우리나라까지 황사가 이송되고, 우리나라가 저기압 후면 또는 고기압권에 들어 황사가 낙하할 수 있는 조건일 때이다.

과거 30년간 전국 60개 지역에서의 연평균 황사 발생일수는 3.3일이었으나 최근에는 그 빈도가 증가하고 있다. 1990년부터 2000년까지 서울지역에 나타난 연도별 황사의 발생일수를 보면 표1과 같이 0~14일이었으나 10일 이상 발생한 연도가 절반이나 되었다. 또한 2001년

표 1. 연도별 서울지역의 황사 발생일수

연도	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	2000
일수	3	11	8	14	0	13	1	1	13	6	10

에는 28일이나 황사가 불었고 올해에는 중국의 겨울온난화와 건조로 더욱 황사가 기승을 부리고 있다.

나. 물리적 특성

서울에서 발생한 황사(1999~2000년)의 농도는 시간평균 최고치가 $323 \sim 1,016 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 평상시의 2~10배였으며 입자크기는 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ 이고 $3 \mu\text{m}$ 내외의 입자가 가장 많았다. 그리고 필터에 포집된 색깔은 과다한 황사 때문에 황갈색이지만, 평상시에는 매연 등의 영향으로 검정색을 띤다.

다. 황사의 영향

(1) 장점

황사는 강수나 토양의 산성도를 중화시키고 해양생물에 필요한 영양분을 공급하는 역할을 하며, 대기의 복사과정에 중요한 역할을 함으로써 지구 온난화를 감소시키는 작용을 하는 것으로 알려져 있다.

(2) 단점

황사는 크기가 $10 \mu\text{m}$ 이하인 입자로서 햇빛을 산란, 흡수되므로 하늘을 뿌옇게 보이게 하여 시정을 악화시킨다. 황사는 미세입자(입자크기 $2.5 \mu\text{m}$ 이하)가 많기 때문에 호흡기에 침착되거나 눈에 들어가 장애를 일으킬 수 있다. 황사 기간 중에는 대기 중의 먼지농도가 평상 시의 수십배 높기 때문에 정밀기기에 붙어 오동작할

우려가 있다. 한편 가옥, 차량, 건물 등을 더럽히고, 식물의 잎의 기공을 막거나 잎에 쌓여 생장에 장애를 줄 수 있다.

4. 발원지 현황

가. 황사의 발생

중국 북부의 사막화 지역은 바다와 멀리 떨어져 있고, 물과 식물이 부족하고 바람이 강해 모래바람이 빈번히 일어나고 있다. 그러나 멀리 떨어진 우리나라에 주로 영향을 주는 시기는 대규모 황사가 발생하는 봄철이다.

여름에는 강우도 있고, 가을까지 땅에 식물이 뿌리를 내리고 있으며, 겨울에는 땅이 얼어 있어 모래먼지가 땅에 묶여 있지만, 봄에는 얼어있던 건조한 토양이 녹으면서 잘 부서져 부유하기 쉬운 $20 \mu\text{m}$ 이하의 크기의 모래먼지가 많이 발생한다. 특히, 건조한 경우에는 그 발생



그림 1. 중국 내몽고 등구현의 우란부허 사막

빈도나 발생량이 더욱 많아진다.

나. 사막화 확대

우리나라에 영향을 주는 황사는 주로 중국의 사막화 지역과 황화 종류의 황토지대에서 발원한다. 중국의 사막화된 토지의 면적은 1999년 현재 260만km²로 국토면적의 28%를 차지하고 있으며 이것은 1994년에 비해 52천km²나 증가한 것이다. 사막화 면적중 174만km²는 과다한 목축, 산림벌채 등 인간의 활동에 의한 것이고 나머지는 기후 등 자연현상에 그 원인이 있다고 한다. 사막화가 심한 지역은 양자강 북부지역인 내몽골, 감숙성, 산서성, 협서성 그리고 청해지역이며 신장, 하북성에서도 사막화가 진행되고 있다.

다. 사막화 지역의 토질 및 강우

중국 북부의 사막화 지역의 토양은 3~5 μ m의 미세먼지로써 풍화되기 쉬운 장석이 다량 잔류하고 있고, 탄산칼슘 등이 비교적 다량 함유된 알카리성 토양이다. 이들 지역의 연간 강수량은 400mm이하이며, 특히 고비사막은 연간 강수량이 30mm밖에 되지 않는 건조지역으로써 바람이 강하다.

5. 중국의 대응

중국은 사막지대의 에너지 구조를 개선하고, 인구증가를 억제하고, 인구의 토지에 대한 압박을 경감하고, 식생 파괴를 감소시키고, 사막화의 확대방지 및 사막화된 토지의 개량 등을

통해 사막화를 억제·감소시키고자 노력하고 있다.

지난 10년간 중국 정부의 지도하에 사막화 지역의 주민들은 사막화 방지를 위해 막대한 노력을 기울인 결과 1988년에는 1000만ha를 조림하여 중국의 동북, 북부, 서북 지방의 산림 피복도를 1970년에 비해 최소 4%에서 최대 12%까지 증가시켰다.

이러한 식재에 의한 지피피복 덕분에 130만ha의 새로운 농지를 개간할 수 있었고 사막화의 피해를 받던 농지 1,100만ha를 보호할 수 있었다. 곡물 생산량이 10~20% 증대되었으며 사막화 또는 퇴화 초지 900만ha가 보호되었고, 어떤 지역에서는 재조성된 초지가 20%까지 증가했다. 한편 벌채와 방목이 금지되었고 5백만 지역 주민의 땀감 수요를 충당하기 위해 연료림 833만ha가 조성되었으며 임산연료 대신 풍력과 태양 에너지가 사용되었다. 사막화방지는 이 지역의 빠른 경제개발과 환경의 질적 개선에 기여하여 57만km²의 침식감소 효과를 가져 왔다. 사막화 방지를 위한 국가계획이 시작된지 4년이 안되어 2,445천ha가 피복되었고 이중 401천ha가 인공 식재되었고 271천ha는 항공파종에 의해 조림되었으며, 1,470천ha는 자연재생을 위해 보호되었고 극심한 사막화 지역 104천ha는 농장으로 전환되었다.

사막화에 효율적으로 대처하기 위한 기후조절과 환경개선을 위하여 중국 정부는 대규모 방호림(보안림)조성을 주요 국가과제로 정하였다. 농업한계지역에서는 건조, 한냉·고온을 불문하고 방풍림은 필수적이며 사막화방지는 방

풍림을 조성한 후에야 비로소 가능하다.

방호림은 방풍림 뿐만 아니라 방재림, 수원 함양림, 경제림 등 광범위한 내용을 포함하고 있다. 방호림 계획의 목적은, ① 체계적인 건설 강화, ② 중요사업의 추진, ③ 치산·치수의 추진, ④ 생산활동과 국민생활의 결합, ⑤ 과학적 조림 강화, ⑥ 경제이익 중시 등이다.

이 사업은 '3개 북방'-양자강 중상류의 방호림, 해안 방호림 체계, 농림 혼합경영 체계, 사막화 방지 등을 포함한다. '3북' 계획은 중국 동북, 화북, 북서의 13개 주 51개 지역에 걸쳐 계획되어 있으며 총 계획 면적은 중국 면적의 42.4%에 상당하는 4,069천km²로서 3,500만 ha가 조림될 계획이다.

이 사업은 흑룡강성부터 내몽고자치구를 뚫고 신강자치구까지의 남북 400~1,700km, 동서 6,000~7,000km에 이르는 대규모 방풍림 조성 사업으로서 1978년에 시작했다. 본부는 영하

회족자치구의 銀川市이며 만리장성과 견줄만한 이름으로 綠의 長城이라 부른다. 대부분 만리장성에 따라 식재하고 있으며 또한 그 길로도 만리장성에 필적할 만하다. 동북부에서는 성장이 빨라 목재로서도 이용가능한 포플라를 주로 식재하고 있지만, 신강에서는 환경이 열악하므로 신강포플라와 더불어 梭梭, 沙拐棗 등의 관목을 많이 식재하고 있다. 식재외에도 현지의 자재공급 상황을 고려하여 버드나무 바자엮기, 자갈 놀러놓기, 진흙덮기, 초종은 땅속 줄기 묻어주기 등의 방법으로 농경지 주위에 격자형으로 식재하였다.

흑룡강에서는 다음과 같은 성과를 사례로서 들고 있다.

- ① 조림면적의 대폭 증가 : 1978~1988년의 110만ha 조림 (97만ha 생존)은 고서 1949~1977의 4배에 해당한다.
- ② 녹화촉진 : 녹화면적비율은 1977년의 4.3%



그림2. 우란부허에 식재한 포플러가 잘 성장하고 있다.



그림3. 사막화방지의 일환으로 정사울타리를 세우고 나무를 식재한 광경

에서 1988년 11.3%로 증가하였다.

③ 생태적 효과 : 방호림에 의해 풍속은 20~25% 감소, 증발량은 90% 감소, 지온은 0.9~1.4℃ 상승, 무상기간은 2~6일 증가하였다.

④ 농작물의 수확 증진 : 경작면적 9.5% 증가, 총수확량 94.2% 증가하였으며, 고랭지의 克山 농장에서는 평균 3배 이상 수입이 증가하였다.

⑤ 환경개선과 임산물 생산증가로 수입증가 : 과실생산, 목재가공 등이 발전하였으며, 농민의 평균수입이 1977년의 93元으로부터 1985년 365元, 1989년에는 400元 이상되었다.

또한 1996년부터 중국의 재정과 지방정부의 수행능력을 고려하여 제3기 황막화 방지 10개년 사업을 시작하였으며 그 내용은 인공조림사업 1,740천ha, 항공파종사업 673천ha, 封沙林 사업 2,830천ha와 인공 및 개량 초지 조성 사업 1,312천ha이다. 이러한 목표를 실현하기 위해서 상당한 재정적 지원과 아울러 선진 기술이 있어야 하므로 국제사회의 도움이 절대적으로 필요하다. 따라서 우리나라는 2001년부터

중국사막화방지를 위한 조림사업에 500만 달러를 지원하고 있으며 중국과 몽골의 사막화방지연구를 지원하기 위한 공동연구도 수행하고 있다.

인용문헌

1. 김지영, 전영신, 오성남. 2000. 기단의 유형과 이동경로에 따른 대기 중 에어러졸 광학깊이의 특성. 2000. 한국기상학회지36(4)
2. 전영신. 2000. 조선왕조실록에 나타난 황사현상. 한국기상학회지36(2)
3. 전영신, 오성남, 권원태. 2000. 고려사에 기록된 황사와 황무현상. 제4기학회지14(1)
4. 우보명. 2001. 중국의 사막화 확산에 대한 대응책. 한·중 사막화방지국제학술심포지엄
5. 이천용. 2001. 사막화방지에 대한 한국의 국제공동연구 동향. 한·중 사막화방지국제학술심포지엄

임지환경

중국의 방호림대(防護林帶)와 모래막이울타리의 사막화 방지기능

최 경

임업연구원 농학박사

1. 머리말

사구지역에서 지표면의 식생피도를 높이고 지표면 풍식을 통제하여 황사 기류 내에 포함되어있는 모래함량을 감소시키는 것은 사막화를 방지하고 사구를 고정시키는데 있어서 매우 중요한 일이다. 사구지역에서는 나무를 식재하고 초종을 파종하며 농경지와 방목지에 방호림대를 조성하는 생물학적 사구고정방법과 이동성사구 분포지역에서 모래막이울타리(정사울타리)를 조성하여 풍속을 감소시키고 풍식을 통제하는 물리학적 사구고정방법은 사막화 방지에 매우 효과적인 방법이다. 그러나 이러한 방호림과 모래막이울타리는 조성방법에 따라 그 기능이 다르기 때문에 입지조건에 따라 적절한 방호림대와 모래막이울타리를 조성한다는 것은 매우 중요한 일이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 1996년부터 현재까지 중국과 공동연구로 수행한 사례조사 결과를 정리하여 검토하고자 한다.

본고에 이용된 자료는 우란부허 사막의 동북부에 위치한 내몽고 자치구 덩커우(磧口)현의 덩커우시험지, 마우스사막 서부에 위치한 닝샤 회족자치구 옌치(鹽池)현의 옌치시험지와 아라산고원과 텅거리사막 그리고 바단지린사막의

가운데에 위치한 간수(甘肅)성 민친(民勤)현의 민친시험지에서 조사되었다.

2. 방호림대의 황사피해 방지기능

沙地の 방호림 임대는 황사유동을 방지하는 생물학적 사구고정 방법으로서 황사바람이 통과할 때 임목의 가지와 잎에 의해 물리적 마찰이 생기고 풍속이 감소되어 황사의 이동과 축적량을 감소시켜서 토지의 황막화 과정을 저지시키거나 또는 그 발생과 확산을 감소시킨다. 또한 황사를 동반한 강풍의 발생빈도와 발생규모를 감소·축소시켜서 자연생태환경을 개선시키고 주민들의 생활수준도 향상시킬 수 있다.

방호림대의 황사피해 방지기능은 1)식생의 종류와 피도(밀도, 임대의 폭, 착엽의 유무등), 2)사구의 높이, 3)풍속등에 따라서 다르게 나타난다.

가. 식생의 종류와 피도에 따른 사구 고정효과

비교적 습한 사지의 방호림임대의 구성수종은 신장백양, 은백양(合作楊), 용버들로서 임대의 너비는 8-11m이고 임목사이의 간격은 1.5×2m 또는 1.5×3m이며 4행으로 구성된 망

(網)상의 임대로서 밀도가 작아 바람이 투과할 수 있는 구조를 가진 임대에서 풍속감소율과 토사운반량을 조사한 결과는 표1과 같다. 표1에서 신장백양나무임대에서는 수고의 25배 거리까지, 버드나무(용버들)임대에서는 수고의 30배까지 풍속감소 효과를 나타내고 있음을 보여준다. 임대의 방풍효과는 수고의 20-25배 범위로서 일반적으로 유효방풍범위는 15배로 조

사되고 있다.

또한 표1로부터 방풍림 임대는 풍속을 감소시키고 바람에 의해 운반되는 토사량을 감소시키며 피해정도를 줄인다는 것을 알 수 있다. 신장백양 임대에서 지표면의 0.5m, 1m, 2m에서의 평균 토사운반 감소비율은 각각 87.8%, 73.1%, 73.3%이다. 용버들 임대의 평균 토사운반량 감소비율은 위와 동일한 조건하에서 각각

표 1. 수종별 조사위치별 풍속 및 토사운반량 감소효과

수종구성	조사높이(m)	조사위치 항목	대조위치의 풍속 (m/sec)	바람받이 쪽(풍상면) 1H위치	임대의 바람 방향쪽(풍하면)의 거리									
					1H	3H	5H	7H	10H	15H	20H	25H	30H	평균
신장백양	0.5	풍속감소율 (%)	9.8	20.1	26.0	25.2	19.8	19.3	18.5	15.6	13.6	10.1	3.2	16.8
		토사운반량 (g/cm ² /분)	0.43428	0.00661	0.00089	0.00093	0.00672	0.00672	0.00891	0.00932	0.00985	0.12136	0.31004	0.05308
	1	풍속감소율 (%)	11.0	18.3	25.1	24.8	22.1	20.1	17.6	15.9	12.4	6.9	2.1	15.9
		토사운반량 (g/cm ² /분)	0.11296	0.00986	0.00099	0.00123	0.0061	0.00661	0.00992	0.1121	0.01152	0.11293	0.11297	0.0338
	2	풍속감소율 (%)	11.9	17.6	28.1	25.8	20.1	19.61	20.1	11.2	9.6	12.0	-3.1	15.1
		토사운반량 (g/cm ² /분)	0.09851	0.00596	0.00051	0.00091	0.00312	0.00562	0.00564	0.01001	0.01052	0.09806	0.09852	0.02507
용버들	0.5	풍속감소율 (%)	8.1	18.0	32.1	27.0	28.3	14.6	21.2	17.0	15.1	7.3	2.4	18.3
		토사운반량 (g/cm ² /분)	0.43430	0.00580	0.00065	0.00081	0.00082	0.00611	0.00211	0.00601	0.00609	0.11290	0.38115	0.05741
	1	풍속감소율 (%)	9.0	18.1	30.7	27.8	28.0	16.2	19.0	17.0	15.2	6.3	2.1	15.9
		토사운반량 (g/cm ² /분)	0.11311	0.00250	0.00061	0.00098	0.00099	0.00931	0.00256	0.00660	0.00671	0.11281	0.11310	0.02818
	2	풍속감소율 (%)	9.7	17.9	29.2	26.2	27.5	15.6	18.2	16.5	14.7	5.9	1.6	17.3
		토사운반량 (g/cm ² /분)	0.08642	0.00128	0.00042	0.00039	0.00040	0.00723	0.00100	0.00401	0.00391	0.08640	0.08641	0.02113

※ 이 조사자료는 착엽기에 10번 조사하여 평균한 수치이며 신장백양나무 수고(H)는 10m, 용버들은 수고6.5m이다.

표 2. 비술나무 방호림대의 조사위치별 풍속과 토사운반량 감소효과

수 종	조사 높이 (m)	조사위치 항목	대조위치 의 풍속 (m/sec)	바람받이 쪽(풍상면) 1H위치	바람 방향쪽의 거리(H는 수고)									
					1H	3H	5H	7H	10H	15H	20H	25H	30H	평균
비 술 나 무	0.5	풍속감소율 (%)	5.8	40.9	40.9	36.1	30.3	27.4	21.2	18.3	16.0	13.6	10.5	23.8
		토사운반량 (g/cm ² /분)	0.44363	0.00023	0.00023	0.00031	0.00040	0.00063	0.00586	0.00752	0.00900	0.00912	0.09131	0.01382
	1	풍속감소율 (%)	6.9	41.0	41.0	35.8	31.3	28.1	22.0	19.0	15.8	14.1	11.0	24.2
		토사운반량 (g/cm ² /분)	0.11489	0.00028	0.00028	0.00042	0.00039	0.00075	0.00621	0.00830	0.00956	0.00951	0.09816	0.01484
	2	풍속감소율 (%)	7.8	37.1	34.6	34.6	31.2	25.3	20.3	15.1	14.2	12.1	6.3	21.5
		토사운반량 (g/cm ² /분)	0.08869	0.00010	0.00015	0.00015	0.00015	0.00056	0.00106	0.00611	0.00687	0.00700	0.08165	0.01152

86.8%, 75.1%, 75.2%로서 수종간 큰 차이는 나타나지 않으나 풍속감소율은 조사위치에 따라 수종간에 큰 차이를 보이고 있다.

건조한 지역에서는 주로 비술나무를 이용하여 방호림을 조성한다. 임대의 너비는 좁을수록 방풍기능이 강하고 넓을수록 방풍기능이 약하다. 일반적으로 비술나무(*Ulmus pumila* L.)를 4-6행, 2×3m간격으로 식재하는데 이때 임대 너비는 11-17m가 되고 수고가 6.5m에 달하는 방호림대에서 풍속 감소 및 토사운반량 감소 효과는 다음 표2와 같다.

건조한 지역의 방호림 임대는 지표면의 풍속을 감소시키고 토사에 의한 매몰을 감소하는 기능이 강하다. 표2에서 개엽초기 임대거리 30배 범위에서 지표면 50cm 높이의 평균 풍속 감소 비율은 23.8%이었고 토사운반량은 평균 96.9% 감소하였다. 그러나 지표면 100cm 높이

에서는 평균 풍속은 24.2% 감소하였고 토사운반량은 87.1% 감소하였으며 지표면 200cm 높이에서는 평균 풍속은 21.5%, 토사운반량은 87.0% 감소하였다.

사막과 사지에는 천연목장이 많고 방호림을 조성하면 토지의 황막화를 방지할 수 있을 뿐 아니라 목장의 퇴화를 방지하고 목초의 건전한 생장을 유지하며 생산성도 높일 수 있다. 방호림 조성 수종으로는 주로 건조에 잘 견디고 바람과 황사 피해에 잘 견디며 자연 회복력이 강한 花棒(*Hedysarum scoparium*), 골담초류(*Caragana korshinskii*), 골담초류(*C. intermedia*)등이 많이 이용된다. 임대의 폭은 4-6행의 묘목을 1.5×3m 또는 2×2m간격으로 식재하며 임대와 임대사이의 간격이 60-90m 일때 토사유동 방지효과가 가장 강하다.

표3은 임대의 수고가 3m로서 4행으로 구성

표 3. 골담초류방호림대의 조사위치에 따른 풍속과 토사운반량

수 종	조사 높이 (m)	조사위치 항목	대조위치 의 풍속 (m/sec)	바람 방향쪽의 거리(H는 수고)									평균
				1H	3H	5H	7H	10H	15H	20H	25H	30H	
골 담 초 류	0.5	풍속감소율 (%)	6.4	42.5	38.6	35.1	30.6	28.9	24.6	18.1	14.2	11.1	27.1
		토사운반량 (g/cm ² /분)	0.48345	0.00075	0.00098	0.00096	0.00096	0.00235	0.00275	0.01130	0.01212	0.09423	0.01405
	1	풍속감소율 (%)	7.0	43.2	40.1	37.3	31.2	27.8	25.0	17.9	13.6	9.8	27.3
		토사운반량 (g/cm ² /분)	0.18353	0.00081	0.00095	0.00096	0.00093	0.00256	0.00221	0.01341	0.01386	0.09143	0.01412
	2	풍속감소율 (%)	8.1	38.6	35.3	35.1	28.2	19.3	13.3	11.2	9.7	3.2	21.5
		토사운반량 (g/cm ² /분)	0.11145	0.00033	0.00043	0.00049	0.00061	0.00080	0.00112	0.00951	0.00131	0.09103	0.01174

※ 4월 5회 조사하여 평균함

된 골담초류(*Caragana korshinskii*) 방호림대의 조사결과로서 지표면 50cm 높이에서 평균 풍속감소율은 27.1%이고 평균 토사운반 비율은 97.1%가 감소하였다. 그러나 지표면 100cm 높이에서는 풍속이 평균 27.3%, 토사운반 비율은 92.3% 감소하였으며 지표면 200cm 높이에서는 풍속이 평균 21.5%, 토사운반 비율은 89.5% 감소하였다.

사구표면의 식생 피도는 이동성사구를 고정시키고 풍식을 방지하는 가장 중요한 역할을 한다. 표4에서 식생이 없는 지역(식생피도 0%)에서 풍속이 8m/sec일 때 식생(비술나무)피도

가 증가됨에 따라 풍속은 감소된다. 식생피도가 10%일 때 풍속은 6.9m/sec로서 식생이 없는 지역의 86.2%이었고, 피도가 60%일 때 풍속은 2.6m/sec로 감소하여 식생이 없는 지역 풍속의 32.5%로 감소되었다.

임대가 다단계 임대망으로 구성되고 여러 수준의 합리적 조합에 의해 형성된 방호림 시스템은 국부적으로 방풍기능도 강하지만 전체적인 방풍효과와 토사유동 방지기능은 더욱더 강하다. 3개 임대로 구성된 임대망의 경우, 첫 번째 임대를 통과하는 바람은 임대높이 25배 바람방향쪽 범위에서 풍속이 평균 24.5% 감소되

표 4. 식생피도별 풍속 감소 효과(측정높이 1m)

식재피도형(%)	0	1	3	10	20	50	55	60
풍속(m/sec)	8	7.9	7.5	6.9	5.6	4.0	3.0	2.6
풍속감소율(%)	100	98.8	93.6	86.2	70.0	50.0	37.5	32.5

※ 측정 높이는 1m이며 비술나무임

표 5. 임대망에 의한 풍속 감소율(%)

조사위치 임대순서	대조위치의 풍속(m/sec)	바람방향 쪽의 거리						
		1H	5H	10H	15H	20H	25H	평균
제1임대	9.4	38.5	32.0	26.7	17.0	16.6	16.1	24.5
제2임대		42.3	37.1	33.3	22.6	19.8	20.3	29.2
제3임대		45.6	40.3	35.1	28.1	21.6	21.6	32.5

※ 4월중순에 측정하였으며 3번 조사하여 얻어진 평균임

고 두 번째 임대를 통과한 후에는 평균 29.2% 감소되며 세 번째 임대를 통과하였을 때에는 평균 32.5% 감소된다.(표 5)

사지의 조림과정에서 수목의 생장은 수분조건의 영향을 받을 뿐 아니라 풍식과 모래에 의한 매몰도 매우 중요한 영향인자가 된다. 특히 어린나무의 경우 풍식과 모래매몰에 의한 영향은 심하다. 일반적으로 풍식에 의해 수목의 생장이 지연되고 적당한 매몰은 수목의 생장을 촉진시킨다. 성목으로 자란 수목의 뿌리는 비교적 건강하기 때문에 전체 임목의 바람에 대한 내성은 강해지고 풍식과 모래매몰에 의한 영향도 작아진다.

표6은 수종에 따라 다르나 대체적으로 25~35cm이상의 풍식은 수목의 생장을 지연시키며

25~45cm의 모래매몰은 수목생장을 촉진시키는 보여주고 있다.

사지에서 7년생 교목(수고 10m)방호림에서 방호림효과에 대한 조사결과는 표7과 같다. 사지에서 임대는 주풍방향과 수직되게 조성하여야 임대의 바람받이 쪽에서 바람이 불어올 때 임대에 의해 풍속이 약해진다. 임대의 바람방향쪽(임대 뒤쪽)에서는 풍속이 약해지는데 수고의 11배 정도되는 위치의 풍속은 대조 위치에 비해 24.3%감속되어 75.7%로 약해진다. 임대의 방호작용에 의해 풍속은 평균 28.8% 감소된다. 풍속이 약해지었기 때문에 기류중에 떠있던 모래입자들은 서서히 지표면에 떨어져 쌓이게 되고 임대에 의해 황사바람의 피해는 약해진다.

표 6. 풍식, 모래매몰이 어린 나무의 생장에 미치는 영향

피해구분 수종	풍식깊이(cm)					모래매몰높이(cm)				
	15-25	25-35	35-45	45-55	>55	15-25	25-35	35-45	45-55	>55
	생장량(cm)					생장량(cm)				
<i>Calligonum L.</i>	31.5	31.8	19.5	1.8	0.9	41.2	48.2	56.2	54.5	23.5
<i>Haloxylon ammodendron</i>	25.9	96.5	16.5	10.5	1.9	41.5	59.0	78.2	36.4	12.8
<i>Hedysarum scoparium</i>	30.5	25.5	29.5	4.5		47.5	64.1	69.4	31.3	
<i>Elaeagnus angustifolia L.</i>	21.8	26.8	20.7			31.6	43.5	57.8	59.5	67.4

표 7. 임대 양쪽의 풍속

항 목	대조위치 노출사지	바람받이쪽의 거리		바람방향쪽의 거리				평균
		임대주변	3H	임대주변	3H	7H	11H	
풍속(m/sec)	3.3	2.1	2.3	2.4	2.2	2.3	2.5	2.35
비율(%)	100	63.6	69.7	69.7	66.7	69.7	75.7	71.2
감속비율(%)		36.4	30.3	30.3	33.3	30.3	24.3	28.8

표 8. 계절별 임대의 방풍차단효과(%)

계 절	통풍계수	바람받이쪽의 거리		바람방향쪽의 거리				평균
		임대주변	3H	임대주변	3H	7H	11H	
착엽기 (있어있는생장계절)	0.42	89.0	76.5	75.0	75.5	75.5	75.0	75.0
낙엽기 (낙엽된 상태)	0.65	50.0	50.5	25.0	12.5	12.5	25.0	18.8

※통풍계수 : 임대의 전체수직면적에 대한 임대의 공극면적비로서 공극도(空隙度)라고도 한다.

착엽기와 낙엽기 임대의 통풍계수는 다르고 임대를 통과하는 바람에 대한 차단효과도 다르다. 표8에서 통풍계수 0.42(착엽기)일때와 0.65(낙엽기)일때의 방풍효과를 비교해보면 통풍계수 0.42일때가 전체적으로 크게 나타나고 있다. 일반적으로 울타리(또는 임대)의 통풍계수가 0.25-0.50(25-50%)인 울타리를 많이 조성하며 울타리 밀도는 균일하여야 한다. 사구에 조성한 방호림은 임대의 폭에 따라 풍속 감소 효과도 다르다. 농경지와 방목지의 경우, 임대

의 폭이 넓을수록 방풍효과가 좋은 것은 아니다. 표9는 느릅나무를 1m간격으로 식재한 임대폭별 풍속감소 효과를 조사한 결과로 임대의 폭이 5m, 7m일 때 방풍효과는 임대의 폭이 11m, 30m에 비해 비슷하거나 크게 나타난다. 따라서 최근에 사구지역에서 방풍림을 조성할 때 주로 규모가 작은 격자형 방풍림을 조성하는데 이는 경제적인 뿐 아니라 방풍효과도 비교적 좋다.

식생의 피도에 따라 풍속감소와 모재운반량

표 9. 임대폭에 따른 풍속 감소효과

임대폭(m)	풍속 감소비율(%)						
	바람방향쪽(임대뒤쪽)의 거리(수고의 배수)						
	1H	3H	5H	10H	15H	20H	평균
5	31.4	44.3	46.4	27.6	21.2	14.3	30.9
7	24.0	29.0	23.0	27.0	22.0	24.0	24.2
11	10.2	27.0	38.9	33.6	22.3	14.2	24.4
30	13.0		31.0	32.0	28.0	24.0	25.6

표 10. 식생피도별 방풍효과

항 목		비 고	식생피도(%)		
			20	30-40	80
풍 속	m/sec	10.4	8.4	7.2	6.5
	비율(%)	100	80.6	69.2	62.5
	m/sec	13.2	12.8	10.8	8.9
	비율(%)	100	97.0	81.8	67.4
모래운반량	g/cm ²	14.5	4.9	3.3	1.2
	비율(%)	100	33.8	22.6	0.08

등 방풍효과가 다르게 나타난다.

표10에서 풍속이 10.4m/sec인 강풍이 발생 할 때 식생의 피도가 20%이면 지표면의 풍속은 8.4m/sec로 약해지고 식생피도가 80%이면 풍속은 6.5m/sec으로 약해진다. 따라서 지표면의 모래 운반량도 줄어들어 식생의 피도가 각각 20%, 30-40%, 80%일 때 모래운반량은 각각 4.9g/cm², 3.3g/cm², 1.2g/cm²으로 감소하였다.

나. 사구높이에 따른 사구고정효과

사구지역에서 바람에 의한 영향을 받아 바람받이 사면에서부터 사구정상부위까지 모두 풍식현상이 발생한다. 표11로부터 알 수 있듯이,

사구의 높이가 낮을수록 풍식이 더 심하기 때문에 바람 방향 쪽의 사면에는 모래가 많이 축적된다. 이는 높이가 높은 사구가 이동하기 어려운 근본적인 원인이다.

다. 풍속에 따른 사구 고정효과

조사결과에 의하면 풍력이 강할수록 벨트상 임대에서 방풍기능은 더 강하게 나타난다. 임목이 개엽하기 전, 임대의 너비가 11m이고 임대의 수고가 7m인 비술나무 임대에서 조사한 결과(표12)에 의하면 임대수고의 25배범위에서 지표면 1m 위치의 3급바람에 대한 풍속의 감소비율은 평균 21%이었고 4급 바람에 대한 풍속감소비율은 평균 23.2%, 5급 바람은 28.1%,

표 11. 사구높이별 풍식과 모래축적

사구높이 (m)	바람받이 사면길이 (m)	경사도 (°)	사구 부위별 연간 침식량(cm)					
			바람받이 사면의 풍식량			사구정상	바람방향 쪽 사면	사구사이
			하부	중부	상부			
9.71	77.5	10.2	-16.9	-15.4	-9.7	-10.5	+7.3	-12
8.45	50.8	10.5	-20.0	-21.9	-20.3	-19.5	+13	-0.5
6.45	47.0	9.6	-35.2	-32.5	-39.2	-42.3	+24.5	+25.0

표 12. 풍속에 따른 풍속 감소효과(%)

측정위치 풍속등급	바람 방향쪽의 거리							비 고
	1H	5H	10H	15H	20H	25H	평균	
3급	37.9	25.2	14.8	14.7	15.1	18.3	21.0	낙엽기에 관측, 5번 측정하여 얻어진 평균치임
4급	30.9	22.4	25.7	21.4	18.6	20.5	23.2	
5급	40.6	33.8	29.2	23.4	20.3	21.5	28.1	
6급	45.9	38.5	30.1	27.5	22.1	23.0	31.2	

※ 3급(풍속 3.4~5.4m/sec) : 선들바람, 4급(풍속 5.5~7.9m/sec) : 건들바람
5급(풍속 8.0~10.7m/sec) : 혼들바람, 6급(풍속 10.8~13.8m/sec) : 뒀바람

표 13. 임대 구조별 풍속감소 및 모래 운반량

임대구조	구분	대조구	바람받이쪽			바람방향쪽		
			5H	3H	1H	1H	3H	5H
긴밀형	풍속(m/sec)	10.2 (100)	10.2 (100)	9.9 (97)	9.5 (93)	3.6 (35)	3.7 (36)	
	모래운반량 (g/cm ²)	8.8 (100)	8.2 (93)	7.2 (82)	5.4 (61)	1.3 (15)	0.1 (1)	
희소형	풍속(m/sec)	6.7 (100)	6.2 (93)		6.5 (97)	4.3 (64)	2.6 (39)	3.9 (58)
	모래운반량 (g/cm ²)	1.3 (100)	1.4 (108)		0.6 (46)		0.6 (46)	
통풍형	풍속(m/sec)	6.9 (100)			7.1 (103)	6.2 (90)	5.2 (75)	5.3 (77)
	모래운반량 (g/cm ²)	1.6 (100)			2.6 (163)	1.3 (81)	0.9 (56)	0.9 (56)

※ 통풍형 : 통풍계수(공극도)가 20~50%, 희소형 : 통풍계수가 50~60%, 긴밀형 : 통풍계수가 20%이하

6급 바람은 31.2%이었다.

방호림대의 임대구조(통풍정도)는 기류(氣流)의 구조와 방풍기능에 미치는 영향이 크다. 다음 표13은 내한성 수종인 Calligonum L., 비솔나무, 보리수나무류(Elaeagnus angustifolia L.) 등 3개 수종으로 구성된 방호림으로 임대높이는 10m정도이고 관목수종의 수고는 3.5m 정도의 구조가 다른 3종류의 방호림에서 모래고

정 효과를 조사한 결과이다. 임대구조별 임대에서 떨어진 거리에 따라 방풍기능과 운반되는 모래의 양이 다르다는 것을 알 수 있다.

다음 표14는 느릅나무류 임대에서 조사된 풍속별 풍속완화 효과로서 수고 20배 거리까지는 풍속감소가 나타나고 있으며 풍속별로는 풍속의 차이가 크지 않기 때문인지 풍속 완화 효과 차이가 뚜렷하지 않다.

표 14. 방호림의 풍속별 풍속완화 효과

풍속 (m/sec)	바람방향쪽 거리별 풍속완화 효과(%)									비 고
	1H	2H	3H	5H	10H	15H	20H	25H	30H	
9.3	19.6	25.4	24.8	18.2	7.1	13.9	1.8	-6.1	-5.3	느릅나무류 6열식재 (H=6.5m)
8.5	19.7	27.7	22.7	22.9	7.5	10.3	4.6	-3.4	-3.7	
7.7	19.8	30.0	20.6	27.7	7.9	6.7	7.4	-8.8	-2.1	

3. 모래막이울타리(정사울타리)의 황사피해 방지기능

모래이동은 일반적으로 2m 높이에서 풍속이 5m/sec 이상이면 지표 10~15m에서 모래이동이 시작되며(사막폭풍은 풍속 8~35m/sec) 초속 15m 이상이 되면 하늘이 어둡고 낮에 태양이 있어도 어둡게 보인다.

다음 표15는 모래입경별 모래이동 풍속을 조사한 결과로 황사의 대부분을 차지하고 있는 細沙粒(입경0.25mm)이하의 모래가 이동하기

표15. 모래입경과 모래이동 풍속

모래입경(mm)	모래이동풍속(m/sec)
0.1~0.25	4.0
0.25~0.5	5.6
0.5~1.0	6.7
>1.0	7.1

시작하는데에는 4.0m/sec의 풍속이 필요함을 보여준다.

모래막이 울타리는 일반적으로 모래가 이동하는 이동사구지역에 설치하게 된다. 사구(모래언덕)를 이루고 있는 지역의 모래 입경 분포 상태(표16)를 보면 입경 0.05~0.25mm의 모래가 약 76%로 대부분임을 알 수 있다. 사구 부위별로 비교해 보면 다소 다르게 나타나는데 이는 부위별 풍속의 차이에 따른 것으로 고려된다.

다음 표17은 모래폭풍의 높이(지표면 60cm까지)별 함사량을 나타낸 것으로 풍속이 평균 7.4m/sec 일 때 지표로부터 10cm 부위에는 약 76%, 10cm에서 20cm사이에서는 약 10%로 대부분이 지표면 20cm내에서 이동되고 있음을 보여준다. 표18은 풍속이 5.4m/sec(지표면 1.5m 부위에서 조사)일 때 이동 토사량

표16. 사구부위별 입경 분포

(단위 : %)

입경구분 사구부위	0.01mm 이하	0.01~0.05mm	0.05~0.25mm	0.25~1.0mm
바람받이쪽 사면	1.04	1.22	77.36	20.38
사 구 정 상	7.53	1.04	68.60	22.83
바람방향쪽 사면	9.66	0.98	77.48	11.88
사 구 좌 측	3.72	0.72	84.70	10.86
사 구 우 측	5.17	1.24	69.59	24.00
평 균	5.42	1.04	75.54	17.99

표 17. 모래폭풍의 함사량 수직 분포

(단위 : g/40min/20cm²)

풍 속 높이(cm)	7.4m/sec		7.8m/sec		평 균
	함사량	비 율(%)	함사량	비 율(%)	비율(%)
0~10	48.99	76.18	91.58	75.60	75.89
10~20	6.33	9.84	12.60	10.40	10.12
20~30	3.65	5.68	6.23	5.14	5.41
30~40	1.98	3.08	3.05	2.52	2.82
40~50	1.95	3.03	4.62	3.81	3.42
50~60	1.41	2.19	3.06	2.53	2.36
계	64.31	100	121.14	100	100

표 18. 지표면 0~10cm 높이 범위내 기류 중 모래입자 함유량

지표면으로부터 높이(cm)	사구 정상부위		사구의 중부	
	모래입자무게(g)	모래입자함유율(%)	모래입자무게(g)	모래입자함유율(%)
1-2	0.72	24.3	0.54	31.0
2-4	0.45	15.0	0.14	8.2
4-6	0.20	6.8	0.11	6.1
6-8	0.08	2.9	0.06	3.2
8-10	0.04	1.3	0.03	1.4

을 조사한 결과로 이동성 사구는 90% 이상이 입경 0.05~0.25mm의 細沙粒으로 구성되어 있으며 1~4cm 높이에서 약 40%가 이동되고 있음을 보여주고 있다.

이동성사구 분포지역에서 울타리를 이용하여 사구를 고정시키고 풍식과 지표면 기류의 모래입자 함유량을 감소시킨다. 짚을 이용한 격자형(망식) 울타리의 경우(표 19), 울타리의

규격이 다르면 울타리사이의 풍식정도도 달라진다. 울타리의 규격이 클수록 풍식은 더 심한 것을 알 수 있다. 일반적으로 바람에 의해 울타리내에 패임(wind blow)의 최대깊이는 울타리 거리의 1/10정도로 울타리 사이의 거리가 1m인 경우는 10cm, 2m인 경우는 20cm, 3m인 경우에는 25cm에 가깝다고 보고되고 있다.

표 20은 1m×1m 크기의 울타리로서 풍속이

표 19. 울타리 규격별 풍식깊이

울타리 규격(m)	평균풍식깊이(cm)	울타리 규격(m)	평균풍식깊이(cm)
1.0×1.0	0	2.0×2.0	13.5
1.0×2.0	8.0	2.0×3.0	14.4
1.0×3.0	7.9	3.0×3.0	25.3

표 20. 울타리의 풍속감소효과

대조위치의 풍속 (m/sec)	1×1m 울타리 중앙부위 풍속(m/s)
6.0	0.8
6.5	1.0
7.0	1.4
8.0	2.2

증가함에 따라 울타리 중앙부위의 풍속도 증가되나 울타리의 감속효과는 탁월하여 풍속 7m/sec 이내에서는 대조구풍속의 1/6로 감소됨을 보여준다.

황사기류의 피해가 심한 곳에는 모래울타리를 설치하여 피해를 방지할 수 있지만 수명이 오래동안 유지될 수 없기 때문에 짚을 이용한 울타리는 보통 3년간 유지된다. 때문에 생물학적 모래고정방법과 결합하여 실시하여야 한다. 이는 우선 사구에 울타리를 조성하고 울타리 사이에는 조림을 하는 방법으로 묘목의 풍식에 의한 피해를 방지하고 활착율을 제고할 수 있다.

식물의 줄기를 이용하여 사구지표면에 1~1.5m 높이가 노출되도록 하는 정사울타리를 조성한다면 모래의 이동을 차단할 수 있다. 황사기류가 울타리의 차단을 받으면 풍속이 감소

되고 울타리 부근에서 소용돌이가 형성되어 기류중 함유되었던 모래입자가 정사울타리의 바람받이쪽(풍상면)에 침하한다. 따라서 모래가 입식 울타리 앞에서 축적되기 때문에 이는 모래이동을 차단할 뿐 아니라 모래도 축적시킨다.

4. 방호림 임대가 미세 기후요인에 미치는 영향

임대에 의해 풍속이 감소되고 바람 방향쪽 기류의 소용돌이가 약해지면 대기의 상하교류가 감소되면서 토양의 복사에너지와 공기중 에너지의 수평 이동이 적어진다. 식물과 토양으로부터 증발된 수분은 체류시간이 길어지기에 봄철에 임대망이 있는 지역은 기온, 토양온도, 대기상대습도는 모두 노출지에 비해 높고 토양의 증발산량은 적어지는데 이는 임대망내의 식물생장에도 유리하다. 또한 지표면 식생 피복도의 증가에 따라 토사를 동반한 강풍에 대한 저항능력을 높일 수 있다. 다음 표 21과 같이 4월 하순에 용버들 임대높이가 6.5m, 임대높이의 15배 범위내에서 지표면 1m 위치에서의 공기온도는 노출지에 비해 평균 1.1℃, 대기상대습도는 10.2% 높게 나타났으며 토양의 수분

표 21. 방호림 임대가 미세기후 인자에 미치는 영향

항 목	관측위치	측정높이 (m)	대 조 위 치	바람 방향 쪽에서의 거리(H는 수고)				
				1H	3H	5H	10H	15H
기 온(℃)		1	14.0	15.2	15.3	14.8	15.1	14.9
대기상대습도(%)		1	20.3	31.9	32.3	30.8	29.0	28.6
토양수분증발량(g/24시간/m ²)		1	1,586.1	1376.1	1127.9	1248.1	1229.4	1231.6
								1242.6

※ 용버들임대로4줄(수고:6.5m증발량은 3일평균치)

표 22. 사구고정림내 미기후 조사결과

항 목	사구고정림외	사구고정림내
풍 속(m/sec)	6.23	2.44
기 온(℃)	12.5	12.76
지 온(℃)	22.9	20.4
습 도(%)	38	54
풍식에 의한 모래축적(cm)	27-33	0-2

표 23. 방호림의 기상완화 작용

구 분	대조구	방호림 바람방향쪽으로부터의 거리 (H:수고)					
		1H	3H	5H	10H	15H	평균
상대습도(%)	41.0	59.0	56.7	56.7	52.8	50.6	54.4
1m높이온도(℃)	25.5	23.4	24.8	24.1	24.2	24.9	24.4
풍속(m/sec)	6.5	4.7	4.5	4.7	5.2	5.4	5.0

※ 포플라 4열식재(수고 10m)

증발량은 345.5g/24시간/m² 감소하였다.

다음 표22는 다른 지역에서 조사한 임대의 기상완화 효과이다. 풍속완화는 물론이고 기온과 습도는 증가시키고 지온은 평균 2.5℃ 감소시킴을 보여주고 있다. 표23 역시 방호림에 의하여 바람방향쪽으로 가면 갈수록 풍속감소율이 떨어지는 것과 비례하여 상대습도나 기온의 감소율이 떨어지고 있음을 보여주고 있다.

5. 맺음말

사막화는 자연적인 요인과 인위적인 요인에 의하여 발생되고 진행된다. 인위적인 요인은 인간이 통제할 수 있으나 자연적인 요인은 통제가 불가능하므로 피해를 완화시키거나 최소화시키는 것으로 만족해야 한다.

건조한 기후나 바람은 사막화의 가장 핵심적인

기상요인이다. 이러한 건조와 바람을 다소나마 다스릴수 있는 가장 효과적인 방법은 산림조성이다.

모래울타리(정사울타리)를 세우고 방호림을 조성하는 것이 산림을 조성하기위한 초기 단계이므로 사막화 방지를 위해서는 가장 중요한 일이라 하겠다. 모래울타리와 방호림은 풍속을 감소시키고 바람에 의하여 모래가 이동되어 모래침식과 모래매몰(퇴사)에 의한 피해를 감소시켜준다. 또한 이러한 풍속의 감소와 식생에 의하여 미세기후(기온, 지온, 수분상태, 증발산량 등)에도 영향을 주어 주위생태환경을 개선해줌으로서 지력(地力)의 향상은 물론이고 생산성이 증가되고 더 나아가서는 인간의 생활환경개선에까지 연결지어주고 있다.

이러한 방호림과 모래울타리의 효과를 정리해보면

방호림대의 풍속완화효과는 임대구성수종과 임대에서의 거리, 측정높이, 임대의 구조(임대망, 통풍계수, 임대폭), 식생피도, 사구의 높이, 풍속에 따라 다르게 나타나고 있으나 일반적으로 방호림에 의하여 10~50%의 풍속이 감소되고 풍속감소 범위는 최고 수고의 30배까지 이르고 있으나 20~25배가 일반적이며 유효범위는 15배로 하고 있다. 식생피도가 증가(80%까지)됨에 따라 30~40%풍속이 감소되었으며 풍속감소효과측면에서 임대의 폭은 5~7m가 좋은 것으로 나타났다. 방호림의 풍속감소효과에 비하여 토사운반량 감소효과가 두드러져서 대조구에 비하여 평균 80~97%의 퇴사량이 감소되었다. 수목의 성장과 모래매물과의 관계는 풍식은 수목의 성장을 지연 시키나 25~40cm의 모래매물은 수목생장을 촉진시켜준다.

사구높이는 사구의 높이가 낮을수록 풍식이 심하여 바람방향쪽에 모래가 많이 축적되므로 모래의 이동을 완화시키기 위해서는 사구의 높이를 높여야한다. 풍속은 빠를수록 임대의 풍속감소효과가 뚜렷하며 임대의 구조는 통풍형(통풍계수가 20~50%)이 가장 효과적이었다. 이동성 사구지역에서 사구를 고정시키는 격자형 모래울타리(정사울타리)는 방호림과 유사한 역할을 하여 울타리 중앙부의 풍속은 대조구(노출지)의 1/6 정도까지 감소시키며 풍식의 최대깊이는 주풍의 직각방향의 울타리와 울타리 사이거리의 1/10정도로 울타리 규격(1m×1m)이 작은 것이 효과적인 것으로 나타났다.

방호림과 모래울타리조성은 모래고정(황사방지)효과뿐만 아니라 국소적인 미세기후에 영향

을 주어서 봄철에 기온은 1.1℃, 상대습도는 10.2%높게 나타났으며 수분증발량은 1일 당 345.5g을 감소시키는 결과를 얻었다.

이와같이 방호림은 기온과 지온을 상대적으로 기온이 높은 여름과 낮에는 낮게하고 기온이 낮은 겨울과 밤에는 높게하여 일변화, 연변화를 작게하는 기후완화기능을 가지고있다. 우리나라에서 많은 면적의 임해매립지가 조성되었거나 조성되고 있는 실정임에도 방호림(방풍림)을 조성하지 않은 상태에서 조경사업을 실시하여 값비싼 많은 조경수종이 고사되고 있는데 지금이라도 방호림을 조성하여 생태환경을 개선 고사목의 피해를 방지하여야 하겠다.

참 고 문 헌

1. 감숙성 民勤治沙 종합시험장편. 1974. 감숙 사막과 방지
2. 녕하 project team. 사지방호림 林帶의 황사방지기능에 관한 연구
3. 馬文元, 趙明范. 황사방지에 관한 연구
4. 馬文元. 중국의 사막화 방지 및 복구기술개요
5. 王玉魁. 우란부터 사막의 자연특성과 환경개선
6. 우보명외9인. 2000. 사막화방지 및 방사기술 개발에 관한 연구(I)(II) 한국환경복원 녹화기술학회. 45~99
7. 우보명외7인. 2001. 사막화방지 및 방사기술 개발에 관한 연구(III) 한국임학회지 90(1) : 90~104

8. 우보명의 7인. 2001. 사막화방지 및 방사기술개발에 관한 연구(IV) 한국임학회지 90 (3) : 277~294
9. 최경. 2000. 중국의 沙地固定 기술. 임업정보 110 : 3-8
10. 최경. 2001. 중국의 사막화 방지공법과 방호림대의 황사 피해 방지기능(I) 임업정보 122 : 3-8



임지환경

밤 재배지의 토양특성 변화 및 재배적지

구 교 상

임업연구원 임지보전과

1. 머리말

세계적으로 밤나무는 10여종이 분포하는 것으로 알려졌으며 대부분 온대지역에서 생육하고 있다. 이 가운데 식용 가능한 밤나무는 한국밤(*Castanea crenata*), 중국밤(*C. mollissima*), 미국밤(*C. dentata*) 및 유럽밤(*C. sativa*)이며 많은 국가에서 식용으로 조림을 장려하고 있다. 밤나무는 우리나라의 대표적인 낙엽교목의 활엽수종이면서 동시에 중요한 유실수종의 하나로 현재 전국적으로 재배되고 있는 수종이다. 우리나라에서 본격적으로 조림하기 시작한 것은 1960년대 말부터 1970년대 중반까지 짧은 기간동안 집중적으로 조림되었으며 1999년 현재 79,000ha에 약 2,500만주가 조림되었다. 밤 생산량은 95,768M/T/년이었고 연간 수출액은 85,017,000 \$로 다른 과실류 수출액에 비하여 약 2-3배 높아 농가 소득 증대에 크게 기여하고 있는 수종이다. 그러나 밤나무의 노령화와 지나친 제초제 및 화학비료의 사용은 토양의 성질을 매우 악화시킨 것으로 추정되며, 그 결과 밤 수확은 점점 감소하고 있는 실정이다. 또한 밤재배지의 토양 악화는 밤나무 수세의 둔화 또는 쇠퇴를 야기하여 또 다른 병해충을 불러와 이중 삼중으로 밤의 감소원인이 되고

있는 것으로 판단된다. 현재 우리나라 전국 밤 재배지의 토양상태를 조사하고 과거 조림 당시의 토양상태와 비교하여 변화된 토양의 특성을 조사하고 이를 기초로 밤나무 토양에 필요한 양분을 공급하여주는 등 토양관리 기법 도입이 필요하다.

2. 조사지 개황 및 조사방법

우리 나라의 대표적인 밤 생산 주 생산지는 전남 광양, 순천, 구례, 경남 진주, 산청, 함천, 하동, 충남 공주, 부여, 청양으로 알려졌다. 임업연구원은 이 지역을 중심으로 1970년대, 2000년대로 구분하여 밤 토양의 경시적 변화를 조사하였으며 그 결과의 일부인 전남지방의 밤 재배지를 중심으로 분석하였다.

임지환경은 임업연구원 산림임지조사 방법에 따라 모암, 해발고, 지형, 토양형 등 13개 인자를 조사하였으며, 재배지 안에서 임지환경과 국소적인 지형을 고려하여 평균적인 곳을 표준점으로 하여 가로, 세로, 깊이 등 각각 1 m의 토양단면을 만들었다. 단면의 특징을 임업연구원 토양단면조사예규에 따라 층위와 토심, 토양구조 등을 모두 조사하였다. 또한 현지에서 토양시료를 채취하여 토양의 이화학적성을

임업연구원 임지보전과 분석실에서 분석하였다.

3. 결 과

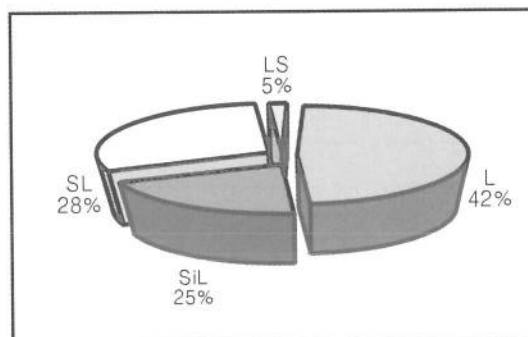
가. 밤재배지 입지특성

(1) 모 암

이 지역의 모암은 주로 변성암인 지리산 변성암복합체로 구성되었으며 국소적으로 화강암, 대보화강암이 나타난다. 모암이 변성암인 지역의 토양특성으로는 지역적인 차이는 있으나 미사와 점토성분이 많은 미사질양토와 양토(67%)이었다. 반면에 토양의 입자가 굵고 투수성이 매우 높아 보수력이 낮은 토성인 사양토, 사질양토도 33%나 되는 것으로 조사되었다(그림 1).

(2) 해발고

표고는 평균 500m 이하의 저해발고로 조사되었다. 주로 지리산을 중심으로 남향으로 뻗은 지역에 밤나무를 조림하였다. 다른 지역의 해발고가 300m 내외인 것과 비교하였을 때 지역적인 특성으로 표고가 높은 것으로 판단되나



〈그림 1〉 토성의 종류

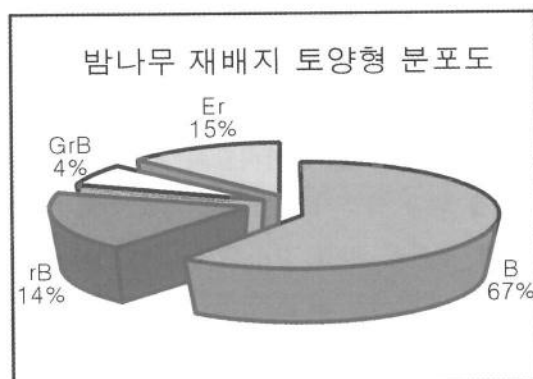
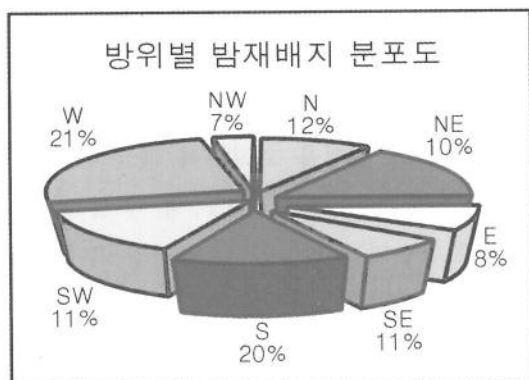
밤나무 생육과 밤생산에는 영향이 없는 것으로 판단되었다.

(3) 방 위

밤 재배지의 방위를 조사한 결과 밤 재배지는 수광량이 양호한 남향(20%)과 남서향(11%), 서향(21%)에 주로 분포되었고 이것은 밤나무의 생리적 특성인 수광량이 풍부한 방향에서 밤 생산이 많은 것과 일치하여 수분이 적은 것으로 판단되는 지역이 적지로 판단되었다. 그러나 광량이 부족한 북향(12%)에도 일부 조림되었다(그림 2).

(4) 토양형

이 지역의 토양유형은 다양하게 나타나고 있



〈그림 2〉 밤재배지의 방위분포(왼쪽) 및 토양종류(오른쪽)

으나 그 가운데 가장 많이 분포하는 토양유형은 갈색산림토양이다. 이 지역에서 나타난 갈색산림토양은 67%이었으며 적은 비율이나 회갈색산림토양도 나타났다. 특히 갈색산림토양에서도 토양수분이 비교적 적은 건조산림토양형과 약건산림토양형이 주로 나타났다. 이들 토양은 일반적으로 임지 생산력이 낮은 토양이었다. 밤재배지에서 가장 특징적인 것은 집약적인 밤나무 경영인데 밤 수집과 운반 등으로 토양의 인위적인 교란이(경운기, 사람들의 답압) 심한 상태였으며 토양삼상과 토양가비중 등 물리적인 성질이 불량하여 이들의 성질을 개선할 수 있는 기술개발이 시급한 상태였다. 토양 물리성의 악화는 토양 침식을 야기하는 원인이 되고 있고 현재 밤 재배지의 토양에서는 침식토양도(19%) 많이 나타나 토양의 물리성 악화가 토양침식으로 연결되는 것으로 판단되었고 이를 개선하기 위한 토양관리기법 도입이 필요한 것으로 판단되었다(그림 2).

(5) 경사도

밤나무 재배지의 경사도는 완구릉지(15° 미만)에서부터 급경사지(25°~35°)까지 여러 유형이 있었으나 평균적으로 경사 15°~20°로 조사되었다. 이 지역은 비교적 경사가 완만하여 산림작업과 기계작업 등을 감안할 때 밤나무 재배에 알맞는 것으로 판단되었다. 그러나 대부분의 밤 재배지가 모두 유사한 경향을 갖고 있는데 특히 급경사지에 재배되고 있는 밤재배지의 토양은 지표에 초본이 거의 없는 실정으로 일시적인 강우에도 토양 유실이 심하게 나타나 토양 물리성은 물론 토양양분까지도 침식과 함

께 유실되는 것으로 생각된다. 그러나 오늘날 테라스와 같은 형태의 재배지도 있어 과거와 비교할 침식을 예방할 수 있는 기법이 도입되고 있다. 그러나 근본적으로 밤 수확에 지장을 주지 않는 범위 내에서 지표식생으로 표토의 유실을 방지하여 안정화를 가져오는 경작방법 개발이 필요하다.

나. 토양의 화학성

(1) 토양산도 변화

토양산도는 70년(pH 5.6)과 80년(pH 5.4)에서는 거의 차이가 없었다. 그러나 2000년(pH 4.7)에 조사한 결과와 비교하면 대부분 밤재배지의 토양은 이미 산성화가 진행된 것으로 조사되었다. 토양의 산성화는 토양내에 있는 각종 미생물의 활동을 제한하는 것으로 알려져 있다. 특히 지면 위에 쌓인 낙엽을 분해하는 1차 분해자 곰팡이류와 방선균 등 토양미생물의 활동이 억제되는 것으로 밝혀졌다. 토양산도는 토양내 미생물의 활동은 물론 밀도도 낮아 지는 것으로 나타났다. 토양미생물 활동의 억제는 낙엽분해가 지체된 것으로 판단된다. 이미 알려진 토양미생물의 적정 활동범위가 산도 pH 5.3~pH 5.5의 약산성으로 빠른 낙엽 분해와 양료 순환을 위해서는 상당히 진행된 토양 산성화 교정은 필요한 것으로 판단된다.

(2) 토양유기물과 질소의 변화

70년도 전남지방 밤재배지 표토의 평균 토양 유기물은 2.6%이었으며 전질소는 0.1%였다. 2000년도 표토의 평균 유기물은 4.5%로 1.7배가 증가하였고, 전질소는 0.2%로 2배 가량 증가

하였다. 조림후 부터 시비는 지속적으로 시비되어 토양내 유기물과 질소의 함량은 큰 변동 없이 증가한 것으로 분석되었다. 그러나 이런 증가된 토양유기물과 질소는 전술한 바와 같이 토양침식으로 인한 토사 유실은 토양양료의 유실을 의미하기 때문에 현재 토양 양료 분석을 통한 정확한 토양의 상태변화에 주의하여야한다.

(3) 인 산

인산은 70년의 15ppm에서 2000년 96ppm으로 6배 이상 증가하였다. 인산도 유기물과 질소와 마찬가지로 주요 양분의 하나로 복합비료에 함유된 성분이 대부분이다. 지속적으로 질소와 칼륨과 함께 시비된 인산은 대부분 불용성으로서 토양내 잔류되는 것이 많아 토양내 인산의 함량은 증가되고 있다. 특히 밤 재배지의 적정 인산함량 범위가 70-200ppm으로 알려져 있어 이 지역은 인산이 부족하지는 않으나 과도한 인산이 계속 시비되어 불필요한 시비에 따른 경제성과 잉여 인산의 유실에 따른 환경변화에 주의를 해야할 것으로 판단된다.

(4) 칼륨 및 마그네슘

칼륨은 70년 0.2me/100g에서 2000년 0.4me/100g으로 2배 증가한 것으로 분석되어 그동안 시비를 한 효과가 있었던 것으로 생각되나 밤 재배지의 적정 칼륨의 함량은 평균 0.75me/100g으로 알려져 현재 칼륨의 함량은 약간 부족한 것으로 판단된다. 마그네슘은 엽록소의 구성요소로 알려져 있다. 특히 마그네슘의 부족은 수체를 연약하게 하여 병해충에 대한 저항성이 약하게 된다. 또한 마그네슘의 결핍은 조기 낙엽으로 이어지게 되며 결실량도 줄어들 뿐만 아니라 밤의 품질도 저하된다. 육안으로 마그네슘 결핍증상은 잎의 색을 기준으로 진단하는데 잎의 색이 황녹색 또는 심할 경우 적갈색을 띠게 되는 경우도 있다. 조사 지역의 토양내 마그네슘 함량은 70년 0.6me/100g에서 0.3me/100g으로 오히려 감소되어 이에 대한 밤 나무 피해도 우려된다. 마그네슘과 같이 결실에 관계되는 요소는 반드시 토양조사와 분석을 실시하여 시비량을 조정하는 것이 필요할 것이다.

〈표 1〉 1970년과 2000년 토양의 화학적 성질비교표

조사년도	층위	토양산도	유기물(%)	전질소(%)	유효인산(ppm)	
1970	B ₁	5.6	2.63	0.14	15.16	
	B ₂	5.4	2.25	0.16	9.97	
2000	A	4.7	4.47	0.19	96.46	
	B	4.8	2.79	0.12	15.32	

조사년도	층위	양이온치환용량 (me/100g)	K	Na	Ca	Mg
			me/100g			
1970	B ₁	7.58	0.16	0.13	1.67	0.59
	B ₂	7.25	0.15	0.15	1.38	1.20
2000	A	16.78	0.38	0.20	0.50	0.28
	B	15.86	0.32	0.20	0.54	0.20

다. 토양의 물리성

(1) 토양삼상

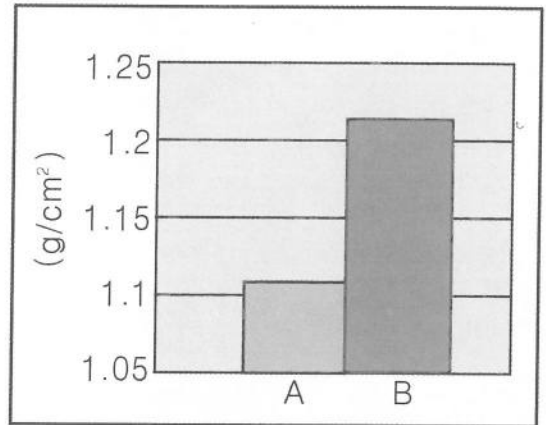
토양은 크게 토양입자를 이루는 고상과 토양 수분인 액상, 그리고 토양입자와 입자사이의 틈을 이루는 공극인 기상으로 구분된다. 토양 고상은 일반적으로 50%내외를 이루나 모재의 성질과 풍화과정에 따라 고상율이 다소 차이가 있게 된다. 토양의 수분과 가장 관계가 있는 액상과 기상에서 표토를 기준으로 액상은 24% 정도로 보수력이 낮았고, 고상은 41%로 일반 산림토양과 큰 차이를 보이지 않았으나, 기상은 34%로 일반산림토양에 비하여 높았다. 이는 지속적인 화학비료와 제초제 살포에 따른 지표식물의 감소로 토양내 수분을 보수 할 수 있는 기능이 낮아진 것으로 판단되고, 또한 토양내 유기물 감소가 원인으로 판단된다.

〈표 2〉 전남지역의 토양삼상

층위	액상	고상	기상
A	24.1	41.5	34.4
B	29.6	45.1	25.3

(2) 토양가비중

토양 가비중은 토양내 양분과 토양수분 저장 능력을 나타내는 지표로 이용되는데, 일반적으로 산림토양의 토양 가비중은 1.0g/cm^3 내외이나 밤 재배지는 이보다 약간 높은 1.1g/cm^3 - 1.2g/cm^3 으로 분석되었다. 이러한 이유로 지표 식물의 유체가 분해되어 토양으로 유입되어야 하나 식물유체 분해가 지연 또는 부숙된 유체가 강우 등으로 유실되어 토양내로 유입되지 않은 것으로 생각되며 또한 토양내 점토함량은 유기체의 유실에서와 같이 토양침식과 함께 유

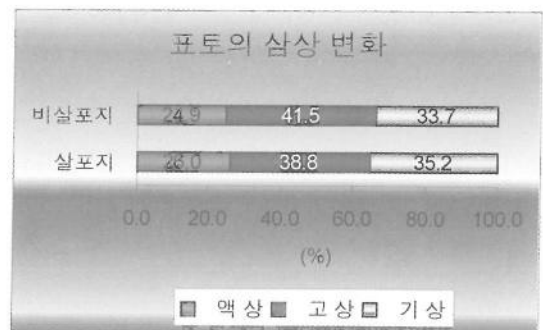


〈그림 3〉 전남지역 토양가 비중

실됨으로 표토내 점토함량이 부족한 것으로 판단되었다.

라. 제초제 살포에 따른 토양변화

최근 과도한 화학비료 살포와 제초제 남용 살포로 토양의 물리성이 불량하게 되어 그 결과 토양이 척박화 된다는 영농인의 민원이 있어 제초제 살포지와 비살포지를 구분하여 토양 특성을 조사하였다. 제초제 살포지와 비살포지의 토양단면 특성을 조사한 결과 토양 물리성 가운데 토양 결정체인 고상에서 적었으나 차이는 있었다. 또한 제초제 살포지는 비살포지의 공극에 비하여 4% 정도 컸으며 결과적으로 기



〈그림 4〉 제초제 살포지와 비살포지의 토양물리성 변화



제초제 비살포지의 임상과 토양단면



제초제 살포지의 임상과 토양단면

〈그림 5〉 제초제에 의한 토양단면 특성 비교

상율이 높아졌다. 토양 공극이 커지면 토양입자 사이에 들어 있는 수분이 공극이 커짐에 따라 하부에서 상부로 이동통로인 모세관이 넓어져 토양내 수분이동이 불리할 것으로 생각되었다. 이를 개선하기 위해서는 충분한 퇴비 등 유기질 비료의 사용이 필요한 것으로 판단된다.

4. 결 론

밤나무 재배지의 토양 변화를 경시적으로 분석한 결과 토양산도는 pH 4.7~pH 4.9로 70년

분석결과에 비하여 산성화가 상당히 진행되었다. 특히 토양산도는 낙엽 등 임상의 식물유체를 분해하는 미생물의 활동 범위를 제한하기 때문에 유기물 형성에 장애가 되어 양료순환이 지연된다. 그러므로 미생물의 활동을 원활히 하기 위해서는 토양산도는 밤나무 생육의 적정 산도 범위로 교정하는 것이 필요하다. 또한 토양내 유기물과 질소, 인산 및 칼륨은 지속적인 시비관리로 약간 늘었으나 칼륨과 마그네슘함량은 다소 기준치에 미달되어 이에 대한 시비가 필요한 것으로 판단된다. 이러한 재배지의

균형시비를 위해서는 반드시 토양을 조사하고 분석한 후 부족한 양료에 대하여 시비량을 산출하여 살포하여야 한다. 최근 다량의 화학비료 살포와 제초제의 남용으로 토양의 물리성이 악화되었는데 이는 화학비료대신 퇴비 등과 같은 유기질 비료로 대체하여야 한다. 또한 제초제는 잡초뿐만 아니라 밤나무의 뿌리와 토양내 미생물에도 영향을 줄 수도 있으므로 제초제 살포보다는 토양생태계의 원활한 순환을 위해 밤나무와 친화력있는 초류를 선발하여 활용함으로써 토양침식방지, 토양수분 증발 억제 및 유기물 공급원으로 이용하는 초경재배법을 더욱 발전시킬 필요가 있다. 결론적으로 과거로

부터 변화된 토양특성에 알맞는 비료 비율의 조정과 퇴비의 시비량 구명 등 밤 재배지 새로운 토양관리 기법 개선이 요구된다.

5. 참고 문헌

- ① 임업연구원, 2001. 밤나무 재배관리기술. 365p.
- ② 산림청. 2000. 임산물 생산통계.
- ③ 오왕근. 1997. 최신 토양학. 325p.
- ④ 황명수. 2000. 밤나무 육종현황과 금후계획. 밤나무재배기술. 임업연구원연구자료. 165호



산불의 대형화와 위험지역 구분

이 시 영

임업연구원 농학박사

1. 서 론

산불은 산림내에서 궁극적으로 추구하는 목재생산과 이용의 중간단계에서 교량적인 역할을 하는 분야로서 산불을 제대로 다스리지 못하면 이 두 가지의 혜택을 모두 얻을 수 없다. 특히, 국토의 65%를 산림으로 가지고 있는 우리나라로서는 국토의 기간인 산림의 중요성을 “자산지국”이라고 까지 언급한 바 있어 산불로부터 산림을 보호하는 것은 우리의 당연한 의무인 동시에 책임이다.

우리가 추구하는 산불방지의 목적은 산불로부터 산림과 자연생태계를 보호함은 물론 산림이 가지고 있는 고유한 공익적 기능을 유지함과 동시에 산불로부터 국민의 생명과 재산을 보호하는데 있다. 따라서 산림청에서는 매년 산불종합대책을 수립하여 봄철과 가을철에 국가 총체적인 대응을 실시하고 있다. 그러나 산불은 매년 건수와 면적에 있어 증가추세에 있다. 그것은 지구의 온난화와 이상기후 현상으로 인한 건조기간의 지속, 과거와 달리 임목 축적의 증가 그리고 사회적인 여건변화에 따른 산을 찾는 등산인구의 증가가 주요 원인으로 판단된다. '96년 강원고성 산불(3,762ha)과 2000년 동해안 산불(23,794ha) 또한 최근의 인

도네시아, 미국 캘리포니아, 호주산불은 그 좋은 예이며 산불의 대형화는 세계적인 추세로 판단된다.

우리나라 산불의 특징은 자연환경적인 요인으로 보면 전 국토의 65%가 산지이며, 이중 97%가 임목지고 불에 잘 타는 침엽수가 43%로 다른 임상보다 많이 분포하고 잡목이 우거져 있고 가연성낙엽이 많이 쌓여 있기 때문에 일단 불이 나면 수평적으로나 수직적으로 빠르게 확산된다. 또한, 지형적 조건으로 보면 작은 야산이 밀집되어 지형적인 굴곡이 심하기 때문에 바람의 속도와 방향의 변화가 심하고 갑작스런 돌풍이 발생하며, 산이 급 경사지를 이루고 있어서 산 능선을 향해서 진행되는 산불의 속도가 빠르다. 기후 조건에서도 가을에서 봄까지 일년의 반 이상이 대륙기후 영향을 받는 건조기이고 대륙과 해안이 접하고 있어서 해풍의 영향을 많이 받으며, 건조한 대륙풍이 태백산, 지리산과 같은 높은 산맥을 넘으면서 건조하고 따뜻한 췌 현상을 일으켜 산불발생 위험도를 고조시킨다. 또한 산불발생 특성이 위와 같은 요인 외에 지역적인 특성, 시간적인 특성, 계절적인 특성 등에 영향을 받으며 발생하는 인위적인 실화가 대부분인 것이 특징이다.

따라서 본 내용은 우리나라 산불의 대형화

요인을 사례조사를 통해 분석하고, 지역별 산불발생 건수 및 면적 그리고 자연적인 산불발생 위험요인을 고려한 산불위험지역을 구분함으로써 지역별 산불방지대책을 수립하는데 기여하고자 기술하였다.

2. 산불발생 현황

가. 산불발생 건수와 피해면적

최근 5년간 우리나라의 연평균 산불발생 건수는 524건이며 피해면적은 6,077ha였다. 표 1에서와 같이 연도별 산불발생 건수를 보면 96년 4월 23일에 강원도 고성군 마좌리에서 발생하여 3,762ha의 많은 산림면적을 소실시킨 대형산불 이후 점차 감소추세를 보이다가 2000년 이후 다시 증가추세를 보이고 있다. 이것은 최근 건조화 현상이 지속되고 있고, 산에

는 탈 수 있는 연소물질이 울창한데다 산을 찾는 휴양인구의 증가 때문으로 판단된다.

나. 계절별 산불피해

우리나라의 산불은 대륙성기후의 영향으로 건조한 날씨가 지속되는 봄과 겨울에 집중적으로 일어난다. 특히 2월에는 대보름의 쥐불놀이, 들불농기가 많고, 3월에는 논·밭두렁 소각부주의에 의한 발생이 많으며, 4월에는 청명, 한식과 연휴때 성묘객에 의한 실화 그리고 5월에 접어들면서 산채·약초채취자 및 등산객에 의한 산불이 집중적으로 발생하고 있다.

표2는 계절별 산불발생 현황을 나타낸 것이다.

다. 시간대별 산불피해

시간대별 산불피해는 표3과 같이 하루 중 주로 11시-18시 사이에서 82%가 발생한다. 이는

표 1. 연도별 산불 발생 건수 및 면적

연 도	'97	'98	'99	'00	'01	5년평균
건수(건)	524	265	315	729	785	524
면적(ha)	2,330	1,014	473	25,607	963	6,077

표 2. 계절별 발생현황

(단위:건)

연 도	계절별	계	봄철 (3~5월)	여름철 (6~8월)	가을철 (9~11월)	겨울철 (12~2월)
	발생건수	524	361	12	39	112
평 균	백분율	100	69	2	8	21
	'97	524	361	12	39	112
	'98	265	171	1	14	79
	'99	315	197	5	14	99
	'00	729	503	17	30	179
	'01	785	625	28	56	76

표 3. 시간별 발생상황

(단위:건)

시간별	연도별	계	오 전 (6~10시)	정 오 (11~13시)	오 후 (14~18시)	야 간 (19~05시)
	발생건수					
평 균	백분율(%)	100	5	31	51	13
	'97	524	31	193	256	44
	'98	265	11	72	144	38
	'99	315	14	110	150	41
	'00	729	24	153	456	96
	'01	785	58	287	333	107

연료가 건조되는 기상적 요인도 있지만 사람이 주로 활동하기 때문이다.

라. 대형산불피해 현황

최근 5년간에 우리나라의 연평균 산불발생 건수는 524건이고 연간 산림피해 면적은 6,077ha에 이르고 있다. 2000년 4월 7일에 발생한 초대형 동해안 산불은 9일동안 여의도 면적의 약80배인 23,794ha의 산림피해를 주었다. 동해안 지역은 원현상으로 건조하고 따뜻한 공기가 불고 바다와 접해 있기 때문에 강풍이 발생하기 쉬워 일단 산불이 발생하면 대형화되는 경향이 많다. 우리 나라는 산불피해 규모 30ha이상을 대형산불로 분류하는데 표4에서와

같이 30ha이상의 대형산불은 5년 평균 6건으로 1%에 불과하지만 피해면적은 5,278ha에 87%를 나타냈다.

또한, 지역별 30ha 이상의 대형산불 발생을 보면 표5와 같이 총 32건 중에서 강원도 20건(63%) > 경북 6건(19%) > 경남 2건(6%) > 충남 2건(6%) > 부산 1건(3%) > 경기 1건(3%) 순으로 많았다. 반면에 '75년부터 2001년까지 26년간 연중 최대면적의 산불지역을 보면 표6에서와 같이 강원 16건(59%) > 경남 3건(11%) > 경북 3건(11%) > 전남 2건(7%) 순이었으며 대구, 전북, 제주는 각각 1건씩 4%를 나타내고 있고, 두 경우 모두 강원, 경북, 경남지역이 대형화되는 것으로 나타났다.

표 4. 30ha이상 산불피해현황

(면적:ha)

구분	총 발 생		30 ha 이상		비율(%)	
	건 수	면 적	건 수	면 적	건 수	면 적
연도						
5년 평균	524	6,077	6	5,278	1	87
'97	524	2,330	1,014	10	1,006	2
43	'98	265	1,014	3	602	1
59	'99	315	473	1	64	0
14	'00	729	25,607	16	24,500	2
96	'01	785	963	2	217	0

표 5. 30ha이상 대형산불발생 현황('97~2001)

지역	계	강원	경북	경남	충남	부산	경기
횟수	32	20	6	2	2	1	1
비율	100	63	19	6	6	3	3

표 6. 연중 최대산불 발생지역

연 도	발 생 장 소	피해면적(ha)
'75	남제주. 표선. 성읍	35
'76	전남. 영암. 한대 산96	129
'77	강원. 철원. 철원. 대마	200
'78	강원. 평창. 봉평. 홍정 산 71-76	167
'79	경남. 산청. 차항. 범평. 산1	55
'80	강원. 양양. 성. 장승	370
'81	강원. 홍천. 두촌. 장남 산 23외 10	101
'82	경북. 군위. 고로. 괴산 67	105
'83	강원. 동해. 사문 산 17-1 외 1	120
'84	경북. 월성. 외동. 녹동 산 23-5외 1	95
'85	강원. 평창. 용평. 노동 145외	24
'86	강원. 고성. 수동. 고진	800
'87	강원. 명주. 왕산 156외	25
'88	강원. 인제. 인제. 상 산 6외10	59
'89	경남. 김해. 삼방. 주중 산 82외 62	231
'90	경남. 울주. 능소. 호계 산 62외	22
'91	전남. 해남. 마산. 용전 산 97-93	80
'92	전북. 임실. 성수. 동강 산 141외 21	48
'93	강원. 삼척. 원덕. 임원. 산 18	505
'94	강원. 명주. 옥계. 남양 3 산 17	57
'95	대구. 동구. 능선 산 116외	44
'96	강원. 고성. 죽왕. 마좌 산 1 (죽변산)	3,762
'97	강원. 고성. 토성. 성대 산 3외 185	277
'98	강원. 강릉. 사천. 덕실 산 36	301
'99	강원. 양구. 동면. 팔랑 산 1	64
2000	강원. 삼척. 근덕. 궁촌 산449-1	17,097
2001	경북 울진 원남 갈면 산97	187

3. 산불의 대형화 요인

가. 대형산불에 미치는 기상인자

우리나라에 발생하는 대형 산불의 대부분은 강원도 지역에서 발생하고 있기 때문에 강원도

지역을 연구대상지역으로 설정한 후 기상관측소 10개소(속초, 철원, 대관령, 춘천, 강릉, 동해, 원주, 영월, 인제, 홍천, 태백)의 10년간('91~2000) 기상자료와 기상관측소 동일지역의 산불자료('91~2000) 260건을 이용하여 산불대

표 7. 대형산불과 소형산불에 있어서 기상요소 분산분석

구분	평균 기온 (0.1℃)	최고 기온 (0.1℃)	최저 기온 (0.1℃)	최저초 상온도 (0.1℃)	이슬 온도 (0.1℃)	상대 습도 (0.1%)	최소 습도 (0.1%)	평균 풍속 (0.1m/s)	최대 풍속 (0.1m/s)	평균 운량 (%)	일조 시간 (h)	강우후 경과일 (일)
30ha 미만	81	159	4	-36	-40	475	22	20	60	24	89	9.8
30ha 이상	141	208	75	32	-33	331	16	45	94	19	95	10.2
F- Value	11.08**	5.38*	17.91**	15.26**	0.11	13.95**	5.78*	34.77**	21**	0.72	0.91	0.03

형화 요인을 통계분석한 결과 표7과 같았다. 표7에서와 같이 대형산불에 영향을 미치는 기상인자 중 1% 유의수준이 있는 기상인자는 평균기온, 최저기온, 최저초상온도, 상대습도, 평균풍속, 최대풍속이었고, 5% 유의수준은 최고기온, 최소습도였으며, 이슬점온도, 평균운량, 일조시간, 강우후 경과일수는 유의성이 없는 것으로 나타났다.

나. 산불피해지의 대형화 요인

산불피해지의 대형화요인 조사를 위하여 청원, 음성, 동해, 삼척, 강릉일대의 15개 산불피해지역을 대상으로 발화점의 위치(DMS좌표), 산불피해상황, 지형 및 임상조건과 산불발생 시기의 기상조건, 사면장, 주화두방향, 사면장,

연소상향방향, 경사, 수종연속성 등을 조사한 결과를 이용하여 대형산불과 소형산불의 기상, 지형, 임상 인자간 유의성 검정을 실시한 결과는 표8과 같았다. 표8에서와 같이 대형산불에 영향을 주는 인자로 사면장, 풍속, 경사, 수종, 수종연속성이 1%에서 유의성이 있는 것으로 나타났다. 이것은 사면장이 길고 바람이 강하며 경사가 급할수록, 수종이 침엽수이며 연속된 수종 역시 침엽수일 때 대형화로 확산되는 것으로 나타났다.

그림1은 동해 산불피해지역으로서 그림과 같이 발화점에서 3개의 주화두방향을 선정하여 표고단면도를 작성한 결과 반경 약 500m까지는 고도가 급격히 상승하였으며, 전체적으로는 약 3km까지 고도가 상승하는 경향을 나타

표 8. 산불피해지역의 대형·소형 산불의 유의성 검정

구분	사면장 (m)	상향각 (°)	화두각 (°)	풍향 (°)	풍속 (0.1m/s)	상향 화두 (°)	화두 풍향 (°)	상향 풍향 (°)	경사 (°)	고도 (m)	수종 수종	수종 연속성	기온 (0.1℃)	습도 (0.1%)
30ha 미만	224	90.9	75.9	115	33	25	72	85	21	126	2.1	2.4	181	29
30ha 이상	905	97.5	92.5	70	92	43	23	50	35	117	1.0	1.0	142	24
F- Value	17.23**	0.01	0.14	2.06	14.78**	1.15	2.76	1.04	13.32**	0.07	9.96**	30**	1.32	0.05

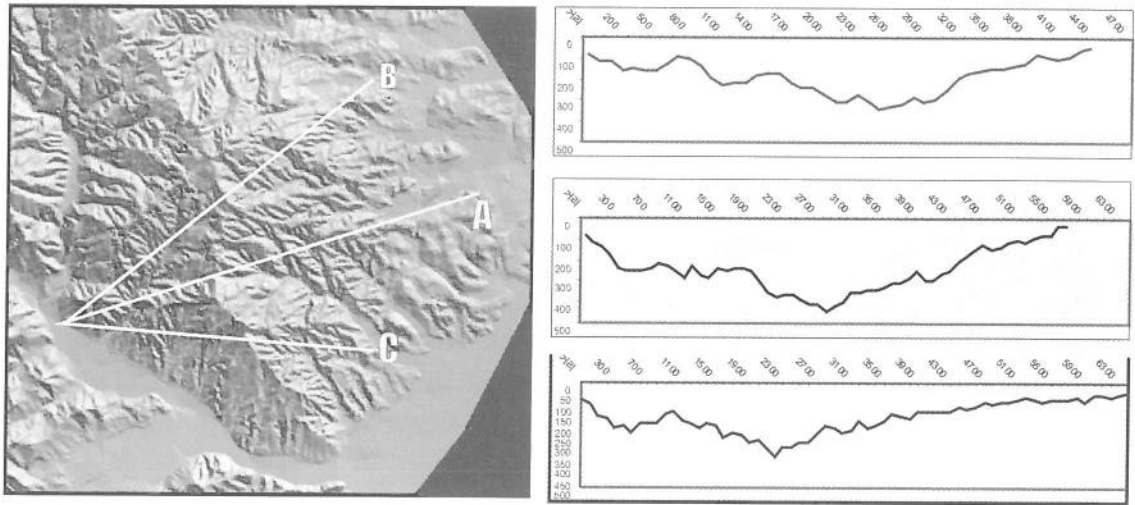


그림 1. 산불피해지역의 표고 단면도

났다. 따라서 이 지역의 연소속도는 고도분포도로 보아 초기에 매우 빠르게 진행하였으며 이러한 지형형태에 의한 산불연소 특성은 우리나라의 일반적인 연소형태이다.

수종의 연속성에 의한 산불확산 경향은 피해 지역의 수종이 침엽수이고 면적이 넓을수록 피해면적이 커지는 경향이 있으며, 연속된 수종이 활엽수이거나 혼효림일 경우 더 이상 확산되지 못하는 경향이 많았다. 그림2에서와 같이 좌측 사진은 발화 후 침엽수가 분포한 지역만

을 연소시키고 혼효림인 주변 산림까지 확산되지 못하고 연소된 산불이며, 우측 사진은 침엽수의 분포면적과 비율이 높은 지역으로 빠른 시간동안 넓게 확산·연소된 산불피해지역을 나타낸 것이다.

산불의 확산은 사면장의 길이에 의해서도 많은 영향을 받는다. 즉 그림3과 같이 초기 발화 지점으로부터 능선까지의 거리가 짧은 곳은 화세가 충분히 커지기 전에 능선에 도달하게 됨으로써 더 이상 산불이 확산되지 못하고 능선



그림 2. 수종연속성에 의한 산불확산 경향

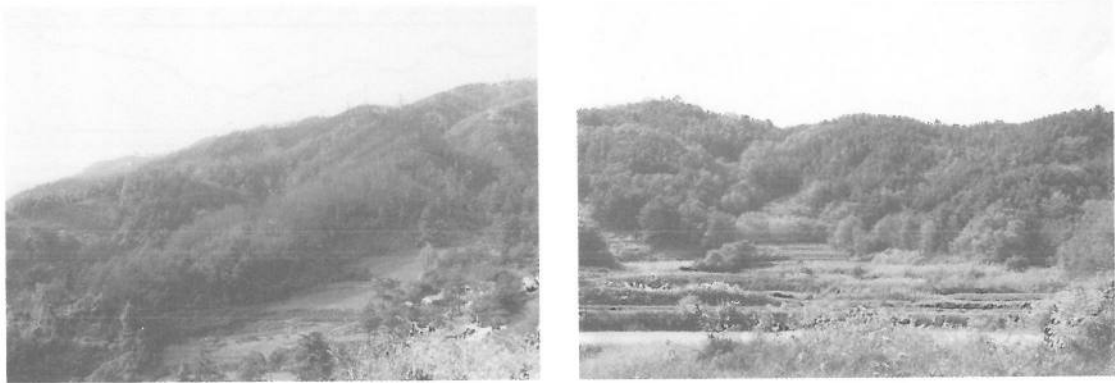


그림 3. 사면장에 의한 산불확산 경향

하단부 8~9부 능선부분에서 대부분 진화되었다. 하지만 사면장의 길이가 길어 초기 산불의 화세가 커질 수 있는 지형적 조건을 갖추고 있는 곳은 산불이 능선에 도달하였다 하더라도 비산화 같은 방법으로 다른 능선으로 확산되었으며 이로 인해 대형산불로 진행되는 경향을 보였다. 더불어 초기 발화지점에서 능선까지의 사면경사와 풍속도 대형산불에 영향을 주는 중요 요인으로 나타났다.

4. 산불위험지역 구분

가. 산불위험지역 기준 설정

산불위험지역 기준 설정인자는 시·군 단위를 기준으로 하여 첫째, '96~2000년 까지의 5년간 산불발생건수 둘째, 건당 평균 피해면적

셋째, 산림면적을 가지고 표9와 같이 위험지역을 3등급으로 구분하였다. 여기에서 위험지역의 등급분포 기준은 정규분포비율로 I 등급 25%, II 등급 50%, III 등급 25%를 적용하였다.

나. 시·군별 산불위험등급

시·군별 산불위험등급은 표9의 등급기준에 의하여 산불위험지역을 구분한 결과 표10과 같이 I등급지는 강릉 등 29개 시·군으로서 전체의 18%를 점유하였으며, II등급지는 밀양 등 87개 시·군으로서 53%, III등급지는 서울 등 48개 시·군으로 29%를 나타냈다. 특히 도별 등급지의 경우는 강원(11지역) > 경북(8지역) > 전남(4지역) > 경기(3지역) 순으로 나

표 9. 등급별 위험지역 구분 기준

구 분	I 등 급	II 등 급	III 등 급
5년간 산불발생건수	17건이상	5건이상 17건미만	5건미만
건당 평균 피해면적	3ha이상	1ha이상 3ha미만	1ha미만
산 립 면 적	56000ha이상	20000ha이상 56000ha미만	20000ha미만

표 10. 시·군별 산불위험 등급

구분	I 등급	II 등급	III 등급
서울	-	-	서울(1)
부산	-	부산(1)	-
대구	-	대구(1)	-
인천	-	인천(1)	-
광주	-	광주(1)	-
대전	-	대전(1)	-
울산	울산(1)	-	-
경기	가평, 양평, 포천(3)	광주, 남양주, 안성, 여주, 연천, 이천, 파주, 화성(8)	고양, 과천, 광명, 구리, 군포, 김포, 동두천, 부천, 성남, 수원, 시흥, 안산, 안양, 양주, 오산, 용인, 의왕, 의정부, 평택, 하남(20)
강원	강릉, 고성, 삼척, 양구영월, 원주, 인제, 철원, 평창, 홍천, 횡성(11)	동해, 양양, 정선, 춘천, 태백, 화천(6)	속초(1)
충북	괴산, 제천(2)	단양, 보은, 영동, 옥천, 음성, 진천, 청원, 충주(8)	청주(1)
충남	-	공주, 금산, 논산, 당진, 보령, 부여, 서산, 서천, 아산, 연기, 예산, 천안, 청양, 태안, 홍성(15)	-
전북	-	고창, 부안, 임실, 장수, 진안(5)	군산, 김제, 무주, 순창, 익산, 전주, 정읍(7)
전남	순천, 신안, 해남, 화순(4)	고흥, 곡성, 광양, 나주, 보성, 여수, 여천, 영암, 완도, 장성, 장흥(11)	강진, 구례, 담양, 목포, 무안, 영광, 진도, 함평(8)
경북	경주, 김천, 문경, 안동영덕, 영천, 울진, 포항(8)	경산, 고령, 구미, 군위, 봉화상주, 성주, 영양, 영주, 예천, 의성, 청도, 청송, 칠곡(14)	울릉(1)
경남	-	거제, 거창, 고성, 김해, 남해, 마산, 밀양, 산청, 양산, 의령, 진주, 진해, 창녕, 함양, 함천(15)	사천, 창원, 통영, 하동, 함안(5)
제주	-	-	남제주, 북제주, 서귀포, 제주(4)
계(100%)	29(18)	87(53)	48(29)

타났다. 그림 4, 5는 지역별 산불발생 건수, 건당 피해면적, 산림면적 등급과 위 3요인을 종합한 지역별 위험등급 분포도를 나타낸 것으로

울산, 가평, 양평, 포천, 강릉, 고성, 삼척, 양구, 영월, 원주, 인제, 철원, 평창, 홍천, 횡성, 괴산, 제천, 순천, 신안, 해남, 화순, 경주, 김천, 문경,

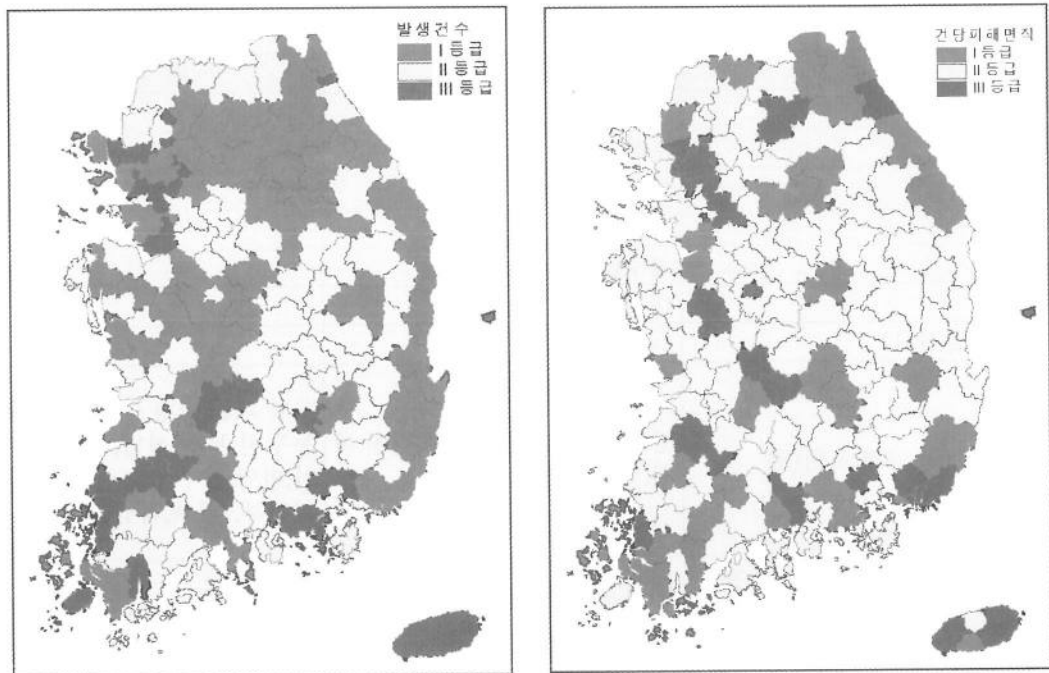


그림 4. 지역별 산불발생 건수 및 건당 피해면적 등급

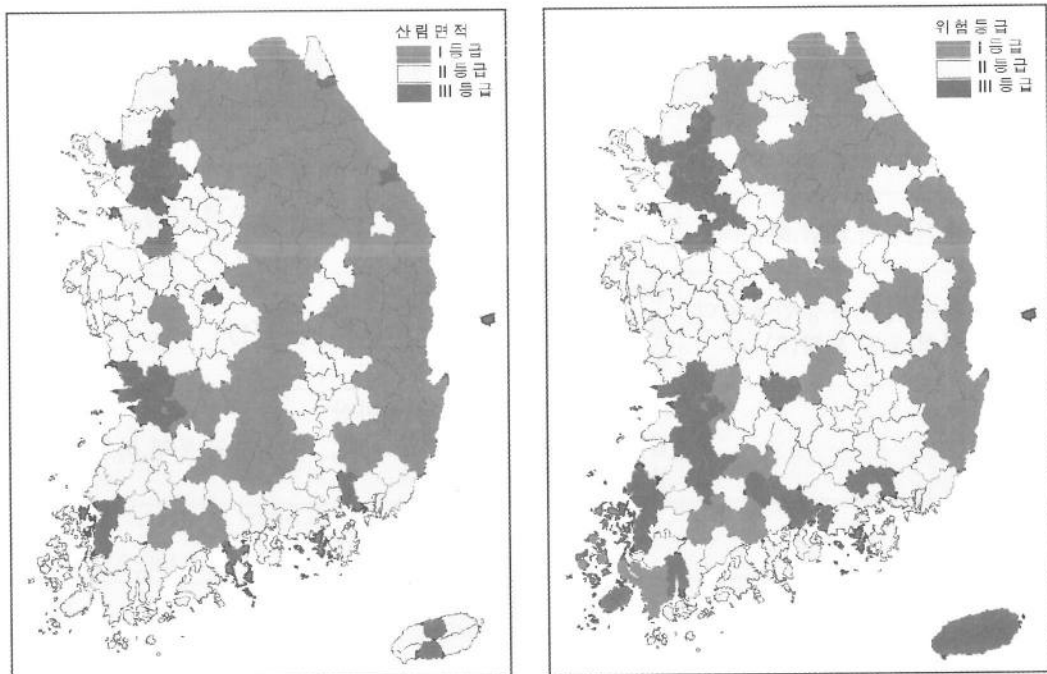


그림 5. 지역별 산림면적 및 위험등급 종합결과

안동, 영덕, 영천, 울진, 포항 등 29개 시군이 전체의 18%로 I 등급을 나타냈다.

5. 결 론

최근 산불의 위험성은 연소물질의 축적, 휴양인구의 증가, 이상고온 및 건조기후의 발달 등으로 점점 높아질 것으로 예측된다. 따라서 산불을 최소화 시키기 위한 산불예방 및 진화 기술 개발이 필요하다.

우리나라 산불발생은 인위적인 실화가 대부분이며 인위적인 실화는 시기별, 지역별, 시간대별과 그 주변의 임상, 지형, 기상조건에 크게 영향을 받는다. 앞서 기술하였듯이 우리나라의 산불발생은 시기별, 지역별 특성에 많은 차이를 나타낸다. 즉, 지역별로는 강원도(59%) > 경남(16%) > 경북(11%) > 충남(5%) 순으로 대형산불이 많으며, 시·군별 산불위험지역은 I 등급지는 강릉 등 29개 시·군으로서 전체의 18%, II등급지는 밀양 등 87개 시·군으로서 53%, III등급지는 서울 등 48개 시·군 29%를 나타내 도별 등급지의 경우는 강원(11지역) > 경북(8지역) > 전남(4지역) > 경기(3지역) 순으로 나타나고 있다. 따라서 산불 위험성이 높은 지역은 낮은 지역보다 산불 방지 대책을 더욱 철저히 수립하여야 한다. 특히, 강원도는 국가의 자산 1호인 산이 많은 지자체다. 이곳은 특히, 백두대간의 맥이 흐르는 우리의 젖줄이요, 생명의 근원지이므로 우리 모두 우리의 자산을 산불로부터 철저히 보호해야 한다.

따라서 몇 가지 산불방지를 위한 제언을 하고싶다. 즉, 산불예방의 가장 중요한 영역은 홍보 및 예방 교육프로그램에 의한 국민의 산불조심의식을 고취하는 일이다. 그 동안의 예방정책은 입산통제, 논·밭두렁태우기 금지 등 규제 위주의 정책에 집중되고, 국민의 의식함양을 위한 홍보 및 교육을 위한 예산 투자는 매우 부족한 실정이었다. 이제는 산불예방을 위한 선진시민의식을 함양하기 위해 다양한 홍보캠페인과 교육프로그램의 개발 실행이 절실히 요구되고 있다.

특히, 산불피해를 최소화시키기 위해서는 산불통합진화지휘체계를 확립하여야 한다. 즉, 통합진화지휘 및 협조체계의 확립은 지역의 산불진화자원을 효과적으로 배분 관리하기에 매우 중요한 사항이다. 동해안 산불진화시 산림, 군, 소방, 경찰 등으로부터 대규모의 진화자원이 동원되었으나 대규모 산불진화에 대한 경험 부족 등으로 통합지휘에 혼선이 있었던 것으로 나타났다. 그래서 우선 통합지휘를 할 수 있는 권한을 지방자치단체장으로 일원화하고, 유관기관의 자원 협조도 의무화하도록 하는 통합지휘권의 확립이 무엇보다 중요하다. 또한, 공중과 지상의 초동진화 능력의 향상이 필요하다. 즉, 동해안 산불 진화시 도출된 가장 큰 문제는 순간풍속이 초속 25m이상 불어오는 강한 바람 때문에 진화헬기의 운항이 불가능하였는데 있다. 그 밖에 전문진화인력의 부족 등으로 초동진화에 애로가 있었던 것으로 나타났다. 그래서 앞으로 공중과 지상에서의 초동진화능력의 향상을 위해 공중진화장비의 확충 및 현

대화, 지상진화대원의 전문화가 꾸준히 추진되어야 한다.

마지막으로 선진 과학적 산불관리시스템을 구축하여야 한다. 즉, 미국, 캐나다 등에서 현재 운영하고 있는 정보화와 현대적 기술에 바탕을 둔 과학적인 산불관리시스템의 구축이 요구되고 있고, 이들 시스템의 정보를 분석하고 효과적으로 운영하는 것이 더욱 중요하다. 따라서 우리 나라도 미국의 산불관리센터(NIFC)와 유사한 종합적 산불관리기능과 전문인력을 갖춘 조직의 설치도 병행하여 추진되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 구길본, 이시영, 2000, 공무해외연수귀국보고서(미국), 70pp.
2. 이시영, 2000, 한국산불의 특성, 삼림과학연구, 156-163.
3. 이시영, 1997, 캐나다의 산불위험도 평가체계, 산림 3, 86-92
4. 이시영, 1995, 산불발생 위험도 및 연소확대요인 분석에 관한 연구. 동국대학교 대학원 박사학위논문: 104pp.
5. 산림청, 2001, 동해안산불백서, 405pp.
6. 산림청, 2000, 2000산불통계자료, 174pp.
7. 산림청, 1997, 산불통계, 249pp.
8. Deeming, J.E. & R.E. Burgan & J.D. Cohen. 1977. The national fire-danger rating system-1978. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT39: 63pp.
9. Government of Canada. 1992. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Canadian Forestry Service.

기 술

국립공원 자연자원조사

- 2001년 설악산국립공원 자연자원조사를 중심으로 -

송 인 순

국립공원관리공단 자연생태연구소장

□ 국립공원 자연자원조사 현황

자연자원조사는 공원구역 내 동·식물의 분포, 서식현황 및 지형경관 등 생태계 변화에 대한 주기적인 조사를 실시하여 그 결과를 자연자원관리를 위한 기초자료로 활용하고, 보전 상태에 따른 자원별, 서식지별 관리방안을 제시함으로써 공원의 경관자원과 고유의 생태계 및 생물종 다양성을 유지하고 지속가능한 이용을 도모하는데 그 목적이 있다.

국립공원 자연자원조사는 자연공원법상 매 10년마다 실시하기로 되어 있으며 1991년부터

1999년까지 19개 국립공원에 대한 1기 조사가 완료되었고, 2기 조사는 2000년부터 설악산국립공원, 북한산국립공원을 시작으로 2009년까지 연차적으로 실시할 계획이다. 1기 자연자원조사는 동·식물의 종 중심으로 조사하였으나, 2기 자연자원조사부터는 조사범위를 생물종, 개체군, 군집, 생태계로 확대하여 조사분야를 세분화하고 조사도 자료의 데이터베이스 구축 및 지리정보시스템을 이용한 국립공원 자연자원도 작성 등을 통해 이를 체계적으로 공원관리에 활용할 수 있도록 추진하고 있다.

공원내 동·식물 및 문화·역사자원의 현황

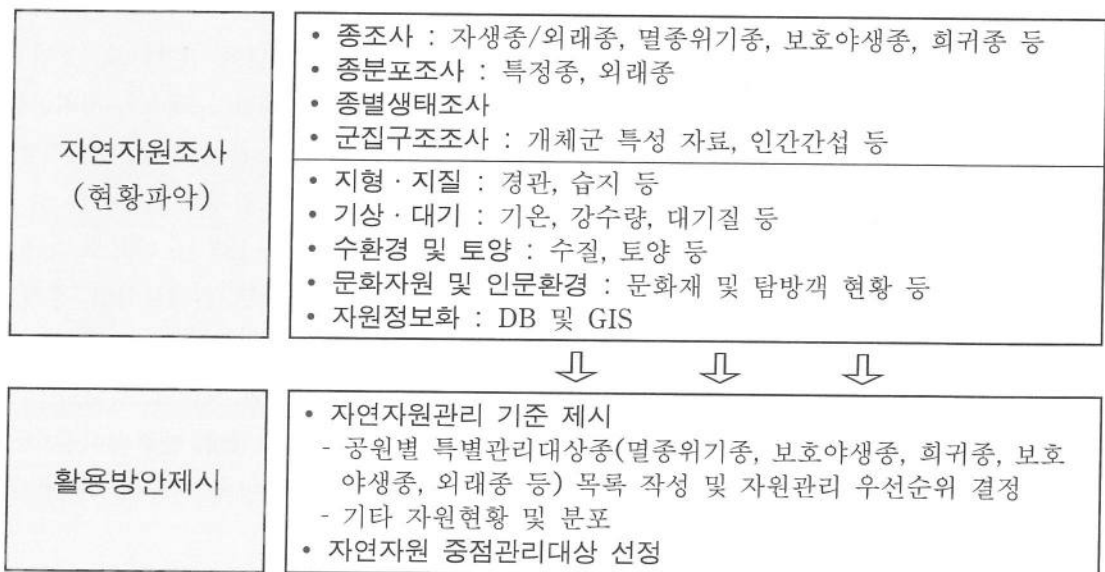


그림 1. 국립공원 자연자원조사 체계도

을 D/B로 구축되면 공원계획 또는 용도지구 설정, 시설물 설치 등에 효율적으로 활용할 수 있으며, 법정 동·식물의 보호관리가 용이하다. 또한 모니터링 결과로 얻어진 자료는 주기적으로 업데이트되어 국립공원 홍보자료 및 자연해설, 환경해설판 작성을 위한 기초자료로 활용할 수 있다.

효율적인 공원자원관리를 위해서는 인위적 자연적 요인에 의해 변화하고 있는 생태계 변화양상을 정량적으로 분석 진단하여 활용할 필요성이 있으며, 이를 위해서는 국립공원내 생태계를 객관적으로 진단할 수 있는 국립공원 생태계건강지수 등의 개발이 요구되고 있다.

□ 설악산국립공원 자연자원조사

설악산국립공원은 1965년 11월에 천연기념물 제171호로 '천연보호구역'으로 1970년 국내에서 다섯번째 국립공원으로 지정되었다. 또한 설악산 일대는 세계적으로 희귀한 생물의 분포 서식지로서 1982년 유네스코에 의해 한국 유일의 생물권보존지구로 지정되기도 하였다. 설악산국립공원은 최고봉을 중심으로 인제군 쪽을 내설악, 동해를 향한 바깥쪽을 외설악, 그리고 양양군의 오색일대를 남설악이라 구분하고 있다.

설악산국립공원 자연자원조사는 2000년에 실시하여 2001년에 완료하였으며, 문헌조사와 현지조사를 통한 인문자연환경, 식물상, 식생, 지형경관, 암석지질, 고등균류, 포유동물, 조류, 양서·파충류, 어류, 육상곤충, 저서성대형무척

추동물 등의 서식현황 조사, 생태자연도 제작 및 자연자원 보존을 위한 관리방안 제시 등을 주요 내용으로 하였다. 주로 등산로, 계곡 및 희귀동·식물 서식지 등 조사구역에 따라 계절별 현지조사를 시행하여 얻어진 자료를 바탕으로 확인하였다.

2000년 설악산국립공원 자연자원조사에서 나타난 생물종은 총 1,349종으로 식물 765종, 고등균류 180종, 포유류 41종, 조류 93종, 양서파충류 19종, 어류 43종, 육상곤충 128종, 저서무척추동물 80종이다(표 1).

이중 환경부 멸종위기 및 보호야생동·식물로 지정된 종은 솔나리, 털개불알꽃, 수달, 말뚝가리 등 21종, 천연기념물은 산양, 반달가슴곰, 황조롱이 등 10종으로 나타났다.

□ 식물상

설악산국립공원은 남한 지역에서 남북으로 뻗은 태백산맥의 최북단에 위치하고, 높이 또한 남한에서 한라산(해발 1,950m), 지리산(해발 1,915m)에 이어 세 번째로 높으며, 태백산맥 중에서는 최고봉인 관계로 저지대와 산 정상과의 기온 차가 12~13℃나 되므로 눈잣나무, 설악눈주목, 눈향나무, 털개불알꽃, 홍월귤, 월귤, 들쭉나무 등 남한에서는 설악산에서만 볼 수 있는 식물이 많이 자라며, 짙뽕나무, 난장이붓꽃, 흰장구채, 바람꽃, 만주송이풀, 등대시호, 기생꽃 등의 북방계 식물이 산 정상에 많이 자라고 있다.

본 조사에서 107과 400속 765종류의 식물이 조

표 1. 설악산국립공원 생물종 현황

분 야	출현 종수	환경부 법정지정종		천연 기념물	외래종	비 고
		멸종 위기종	보호종			
총 계	1,349	5	16	10	74	· 식생은 종수에서 제외
식물상	765	-	10	-	74	· 보호종 : 솔나리, 털개불알꽃, 천마, 산작약, 연잎평의다리, 한계령풀, 가시오갈피나무, 홍월굴, 노랑만병초, 기생꽃 · 외래종 : 귀화식물, 외국종, 설악산에 자생하지 않는 종 포함
식 생	22	-	-	-	-	· 식생의 경우 군락수입
고등균류	180	-	-	-	-	
포유류	41	4	3	2	-	· 멸종위기종 : 수달, 반달가슴곰, 산양, 사향노루 · 보호종 : 삵, 담비, 하늘다람쥐 · 천연기념물 : 산양(217호), 반달가슴곰(329호)
조 류	93	-	2	7	-	· 보호종 : 말뚝가리, 긴점박이올빼미 · 천연기념물 : 황조롱이(323호), 새매(323호), 참매(323호), 소쩍새(324호), 원앙(327호), 까막딱다구리(242호), 올빼미(324호)
양서 파충류	19	1	1	-	-	· 멸종위기종 : 구렁이 · 보호종 : 까치살모사
어 류	43	-	-	1	-	· 천연기념물 : 어름치(259호)
육상곤충	128	-	-	-	-	
저서무 척추동물	80	-	-	-	-	

사되었으며, 이중 6과 31속 80종류가 미기록종이다. 따라서 현재까지 설악산에서 기록된 식물은 112과 477속 1,292종류이다.

설악산에 자라는 특산식물은 모두 71종류로 조사되었고, 환경부에서 지정한 멸종위기종 및 보호대상 식물 중 설악산에 자라는 것은 솔나리, 털개불알꽃, 천마, 산작약, 연잎평의다리, 한계령풀, 가시오갈피나무, 홍월굴, 노랑만병초, 기생꽃 등이며, 산림청에서 선정한 희귀 및 멸종위기식물 중 설악산에 자라는 것은 72종

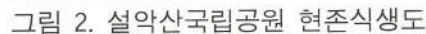
(후보종 3종 포함)이며, 39종의 귀화식물이 관찰되었다.

□ 식 생

설악산국립공원 내에는 신갈나무군락, 신갈나무-소나무군락, 신갈나무-잣나무군락, 신갈나무-피나무군락, 소나무군락, 소나무-신갈나무군락, 소나무-졸참나무군락, 소나무-밤나무군락, 소나무-떡갈나무군락, 잣나무군락, 잣나무-신갈

전반적으로 해발고도에 따른 대표적 침엽수종의 분포는 소나무-잣나무-분비나무 순으로 이어지고 있었으며 대청봉에서 중청봉으로 이어지는 능선부에는 눈잣나무 군락이 특이하게 분포하였다. 조사지역에서 가장 광범위한 분포면적을 보인 낙엽활엽수림은 신갈나무림이었다.

· 동정한 결과 총 13목 46과 97속 180종이 채
집·분류·동정되었다.



본 연구에서 종의 다양성, 기온, 강수량과의 상관관계를 살펴보면, 기온은 버섯이 발생할 수 있는 정도로만 상승하면 크게 영향을 미치지 않는 것으로 사료되고, 종의 다양성에 있어서는 기온보다는 강수량이 버섯의 성장과 발생에 크게 영향을 미치는 것으로 생각된다. 강수가 많은 6월말에서부터 7월말까지 1년 중에서 가장 다양한 종의 버섯들이 발생하는 것을 알 수 있었다.

□ 포유동물

설악산국립공원내에 서식하는 포유동물을 현장조사 및 포획 조사한 결과 6목 16과 41종의 서식이 확인되었으며 문헌 및 청문에 의하여 3종도 확인되어, 총 6목 16과 44종이 조사되었다. 그러나, 갯참서, 늑대, 날다람쥐의 서식은 의심스러우며, 여우, 호랑이, 사슴 등의 3종은 절멸한 것으로 나타났다.

꼬마뒤쥐, 큰참서, 무산쇠족제비, 북방토끼 등의 4종의 미기록종이 새로이 기록되었다.

□ 조 류

본 조사결과 설악산국립공원내에서 13목 35과 93종의 조류가 관찰되었으며, 기존 문헌에 기재된 종을 포함하면 설악산국립공원에서 서식하는 종은 총 109종으로 나타났다.

설악산국립공원에서 관찰된 조류를 이동성을 기준으로 분류한 결과 텃새는 37.96%로 가장 많은 부분을 차지하였고, 여름철새가 37.04%를

차지하였으며, 겨울철새, 나그네새, 미조가 각각 13.89%, 10.19%, 0.93%를 차지하였다.

□ 양서 · 파충류

설악산 일대에서 채집 · 확인된 양서류는 2목 5과 10종, 파충류는 2목 4과 9종(도입종 포함)으로 총 4목 9과 19종이 조사되었다.

이중 환경부 멸종위기종은 구렁이 1종, 보호야생동물은 까치살모사 1종이었다. 양서류 산개구리, 무당개구리와, 파충류 아무르장지뱀과 유헤목이가 우점종으로 나타났고, 조사지역 중 한계리-용대리-백담사 지역에서 12종으로 가장 많은 종이 확인되었으며, 1999년 국내 처음으로 미기록종으로 기록된 계곡산개구리가 백담사 계곡에서 확인되었다.

□ 어 류

본 조사결과 모두 43종 2,557개체가 조사되었으며 우점종은 갈겨니(28.9%), 아우점종은 금강모치(25.3%)와 피라미(13.5%)로 나타났다. 한국고유종은 10종 780개체이며 천연기념물 제 259호인 어름치와 설악산국립공원에서는 천연기념물이 아니지만 희귀한 열목어가 공원 지역 주변에서 서식을 확인하였다.

□ 육상곤충

본 조사결과 현지조사에서는 128종이 나타났으며, 문헌조사를 통하여 총 21목 185과 1,

683종의 곤충류가 확인되었다. 전체 한국산 곤충류 대비 약 16%의 종구성으로서, 이는 단순한 남한의 면적 대비의 측면에서 매우 높은 종구성비를 나타내었다. 조사결과 GIS 표기 관련 종은 26종으로 확인되었다.

□ 저서무척추동물

본 조사지역의 저서성대형무척추동물은 총 11목 37과 1아과 80종이었다. 이를 조사 대상 평가단위별로 비교해 보면, 한계천이 7목 28과 48종, 오색천지역이 7목 25과 53종, 백담계곡

6목 25과 51종, 외설악 쌍천지역이 6목 24과 46종이 서식하고 있는 것으로 확인되었다.

본 조사를 통해 확인된 설악산국립공원 지역의 종수는 모두 80종이었으며, 가장 많이 출현한 분류군은 날도래목으로 25종이 출현하여 31.3%를 차지하였다.

□ 생태자연도 작성

환경부에서 작성하고 있는 생태자연도는 전국의 자연환경을 1, 2, 3 등급으로 구분하여 지도화하는 목표를 가지고 있다. 이 지도는 국토

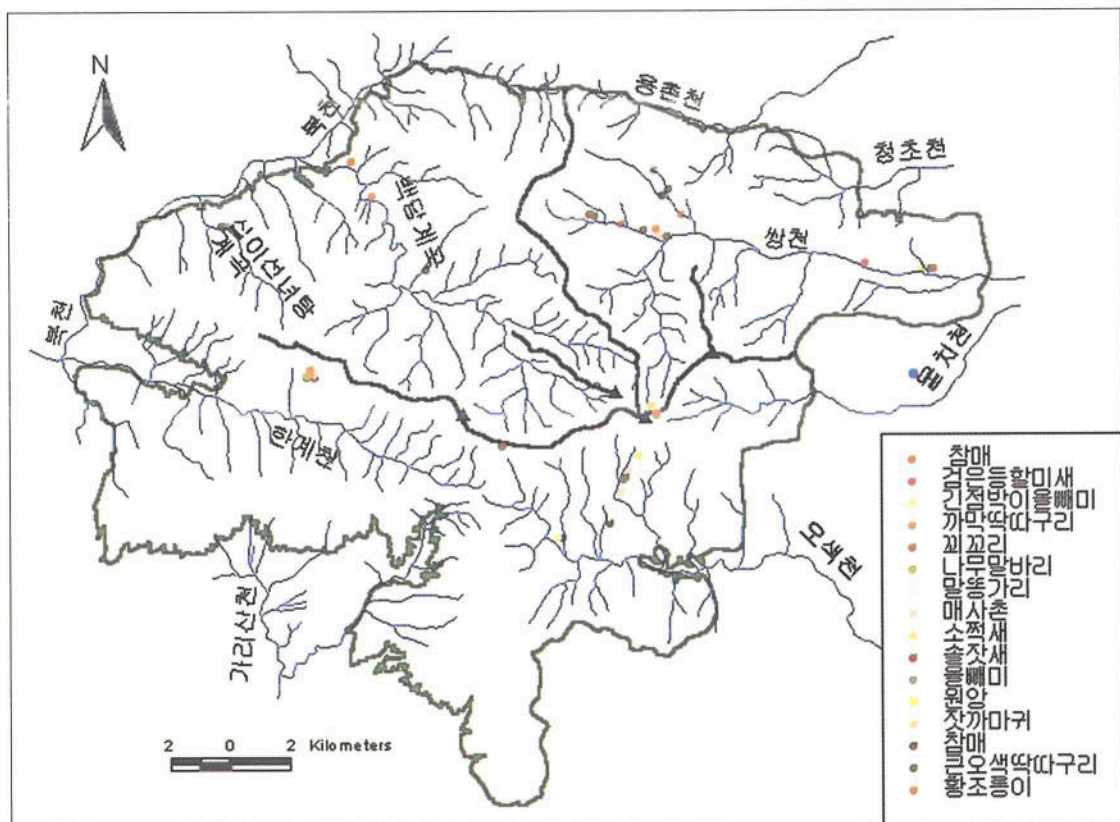


그림 3. 생태자연도 작성 예(설악산국립공원 조류 분포도)

이용변경협의를, 환경영향평가 등 각종 협의와 평가시 자연환경분야의 경우 기존에 이용된 녹지자연도가 수목연령, 자연성 등 식생의 일부 요소만 평가되어 있어 생태계 전반에 대한 평가에 한계가 있음을 고려하여 지형요소, 지질, 식생, 야생 동·식물 등 자연환경을 종합하여 평가할 수 있는 지도를 만들고자 하는 취지에서 작성된 것이다.

2000~2001년간 이루어진 설악산자연자원조사에서는 대부분의 지역이 1등급에 해당하는 국립공원 지역임을 감안하여 등급지화 하는 목표보다는 각각의 분야별 조사결과를 종합하여 GIS 프로그램을 이용하여 지도화하는 목표를 가지고 추진하였다. 생태자연도는 설악산국립공원의 자연자원에 대한 종합적인 보전 정책수립 및 생태적 관리에 활용할 계획이다.



자연 친화적 산지계류 복원기법(I)

- 복원을 위한 기본개념 -

김 경 하

임업연구원 농학박사

1. 머리말

야계는 상류 산림지대와 하류 계류를 연결하는 교량역할을 한다. 과거 야계는 상류 산림유역이 황폐하여 비만 오면 물이 넘치고 많은 침식이 발생하였다. 그러나 현재는 상류유역의 산림이 울창해 지고 그 동안 시공한 야계사방 구조물 덕분에 비교적 안정된 계류로서의 기능을 발휘하고 있다.

산림청에서는 매년 50 km이상의 야계사방 사업과 70개소이상의 사방댐을 시공하고 있지만 주요 공법이 과거 황폐한 야계의 침식방지를 위한 공학적 방법에 치중하고 있는 경향이 있다. 물론 아직까지도 일부 야계의 경우 침식이 활발하게 발생하여 침식을 방지하기 위해서는 찰쌓기 기슭막이나 콘크리트 바닥막이 등과 같은 공학적 구조물이 필요하다.

그러나 과거 사방 시공지로서 안정된 야계나 상류 산림이 울창하여 심각한 침식이 발생할 우려가 없는 야계는 공학적 구조물보다는 그 지역의 생태적 특성을 고려한 생물공학적 시공법을 적용하는 자연친화적 복원기법이 바람직할 것이다. 생물공학적 시공법은 자연친화적 야계복원 기법의 일부분에 불과하다. 즉 시공 소재를 인공물이 아닌 자연소재로 이용하는 것

이 자연친화적 복원기법의 전부는 아니다.

궁극적으로 모든 구조물은 내구연한이 있기 때문에 야계사방 구조물을 설치하는 것은 항구적인 복원(restoration)이 아니라 한시적인 복구(rehabilitation)에 불과하다. 진정한 의미의 복원은 인위적 또는 자연적으로 훼손된 야계를 그 이전 상태로 완전히 돌려놓는 것이지만 현실적으로 이러한 의미의 복원은 거의 불가능하며 안정된 생태계와 가능한 가장 가까운 상태로 복원시킬 뿐이다.

미국의 경우 전체 계류와 야계의 44%가 생태적으로 안정된 기능을 상실하였으며 이를 체계적으로 복원하기 위해 1998년부터 농림부와 환경부 그리고 내무부 등 8부처 산하 16개 기관에서 합동으로 계류복원 지침서인 『Stream Corridor Restoration - principles, processes, and practices -』을 2001년 8월에 발간하게 되었다. 물론 미국과 우리 나라는 국토의 입지조건이 다르기 때문에 적용방법 또한 달라야 하지만 기본적인 내용은 앞으로 자연친화적인 야계관리 기법을 개발하는데 많은 참고가 될 것이다.

가. 계류와 산지야계 주변지역의 복원이 왜 중요한가?

계류와 산지야계를 따라 발달한 주변지역

(corridor)은 경제적, 사회적, 문화적 그리고 생태적으로 매우 중요하다. 이 지역은 토지, 동 식물 그리고 물이 서로 연결된 복잡한 생태계를 구성하고 있으며 생태적 기능으로서 유출량 조절, 물 저류, 유해물질 제거 그리고 수중 및 육상 동식물의 서식처 제공 등을 들 수 있다. 야계 주변지역은 식생과 토양 특성이 인근 상류의 산림지역과 확연히 구분되어 종 다양성 및 서식 밀도와 물질생산력이 다른 지역보다 크다.

또한 이 지역은 주변 생태계와 균형을 이루고 있기 때문에 주변 생태계의 파괴는 곧바로 야계와 그 주변지역에 물리·화학 및 생물학적으로 영향을 미치게 된다. 산지야계는 정상적인 자연조건에서 주변 생태계와 동적인 균형을 이루지만 이 범위를 벗어나면 균형이 깨져 하류지역에 피해를 가져온다.

자연조건 뿐만 아니라 인위적인 개발행위는 계류나 산지 야계 주변의 동적 균형을 해치게 한다. 주된 인위적 개발행위는 수자원 취수, 관개용수, 산업용수, 폐기물 처리, 광산, 휴양, 목재벌채 그리고 산업용지나 대규모 택지 개발 사업을 들 수 있다. 이들 개발 행위의 결과는 계류와 야계 주변뿐만 아니라 주변 생태계에 심각한 변화를 가져온다. 중요한 변화로는 수질의 악화, 물 저류량과 운송능력의 감소, 서식지 및 휴양지로서의 가치 퇴락 등을 들 수 있다.

미국의 경우 1994년 국가 수질조사 통계에 따르면 전체 계류 연장 617,806마일 중에서 약 44%가 토사 퇴적이나 부영양화에 의해서 계류의 기능을 상실할 위기에 처해 있는 것으로 나

타났다. 산지야계의 경우 인위적인 개발행위보다는 자연조건의 급격한 변화에 의해서 주변 생태계와의 동적 균형이 깨지겠지만 이에 더불어 산림개발이나 골프장 및 목장 등 인위적 행위가 가중되면 계류환경의 악화는 더욱 빠르게 가속된다.

나. 산지야계의 복원은 무엇을 의미하는가?

자연친화적 복원은 생태계의 기능과 구조를 파괴하거나 생태계가 지속적인 상태로 회복하는 것을 방해하는 자연적 또는 인위적 교란이 어떤 것인가를 올바르게 인식하는데서 시작한다. 복원을 위해서는 산지야계와 주변지역의 생태계에 대한 이해와 더불어 그 지역의 물리, 화학 및 생물학적 진행과정을 이해해야 한다.

자연친화적 복원은 교란된 산지야계 시스템이 자기 스스로 지속성을 확보할 수 있을 정도로 생태적인 동적 균형을 회복할 수 있도록 계획한 대책과 방법을 광범위하게 포함한다. 복원을 할 때 첫 번째 단계로 가장 중요한 것은 생태계를 훼손시키거나 자기 회복을 방해하는 교란요인을 가능하다면 제거하는 것이다.

복원 작업은 만성적인 교란을 장기적 제거하는 수동적인 접근부터 산지야계의 훼손된 구조를 복구하기 위해 시설물을 설치하는 것과 같은 적극적인 접근방법까지 다양하다. 복원 작업은 기본적으로 다음 3가지 부류로 구분할 수 있다.

- (1) 지속적인 생태계 안정을 위해 특별한 조치가 필요 없는 경우

산지야계가 급속히 회복하여 적극적인 복원 작업이 불필요하거나 심지어 해로운 지역

- (2) 복원을 위한 부분적인 조치가 필요한 경우
산지야계가 회복 중에 있지만 속도가 느리고 불확실한 지역으로 기존에 일어나고 있는 자연 회복과정을 참고하여 복원
- (3) 복원을 위하여 적극적인 조치가 필요한 경우
생태계의 기능이 회복능력을 상실한 지역으로 적극적인 복원대책이 필요

2. 산지야계 주변부의 개관

가. 공간적 관계

특정한 지역을 복원하기 위해서는 그 지역이 주변지역과 공간적으로 어떻게 연결되어 있는지를 파악하는 것이 중요하다. 공간적 규모는 그림 1과 같이 5가지로 구분할 수 있으며 각 규모는 내부 요소에 의해 서로 연결되어 있다. 그림 1과 같이 경관(landscape)과 계류 주변(stream corridor)은 공간 규모가 다른 생태계를 구성하고 있으며 각 규모가 어떤 기능을 하는지는 각 생태계를 조사해야 알 수 있다. 일반적인 생태계의 기능은 내부와 외부환경사이에 물질, 에너지 그리고 유기체의 이동을 포함한다. 내부와 외부 이동모델은 주어진 생태계의 외부환경이 더 큰 규모의 생태계일 경우 더 복잡해진다. 예를들면 계류 생태계는 한 단계 더 큰 생태계인 계류 주변지역과 순환관계를 가지며 차례로 규모가 큰 생태계와 상호관계를 유지해 나갈 것이다.

따라서 보다 큰 규모의 생태계는 작은 규모의 생태계가 갖는 기능과 구조를 포함하고 있으며 포함하지 않을 경우 서로 수평적인 관계를 맺고 있다. 생태계의 구조와 공간적 규모사이의 관계를 따지는 일은 산지야계와 그 주변부를 복원하기 위한 설계와 계획의 첫 번째 단계이다.

나. 산지야계와 그 주변부의 구조

야계 주변부는 공간적으로 유역 또는 경관규모 내에 포함되지만 그 자체 내에도 여러 가지 요소를 갖고 있으며 수변림(riparian forest) 또는 관목층이 주요 바탕(matrix)이다. 이 지역의 구형 점유지(patch)는 습지, 산림 또는 초지, 주택지, 계류 내의 소택지 등이 있으며 선형 점유지(corridor)는 수변, 홍수터, 간헐천 및 소로 등이 있다. 그림 2는 경관규모에서 여러 가지 요소들의 분포를 나타낸 것이다.

산지야계에서의 공간구조는 그림 3과 같이 야계의 내·외부에서 여러 가지 요소로 구분할 수 있다. 야계 보다 작은 공간규모로 야계 자체를 몇 개의 구간범위(reach)로 나눌 수 있다. 구간은 여러 가지 기준으로 구분할 수 있는데 특히 유출량과 연관지어서 구분하는 경우가 자주 있다. 유속이 빠른 구간은 분명히 유속이 느리고 수심이 깊은 조용한 웅덩이와 구분할 수 있다. 일반적으로 이러한 구간은 화학 및 생물학적 요인이나 지류가 합류되는 지점 또는 인위적인 영향 등을 고려하여 구분할 수 있다.

야계와 구간규모에서 구형 점유지는 여울과 웅덩이, 유목더미, 수생 식물대 그리고 퇴적지

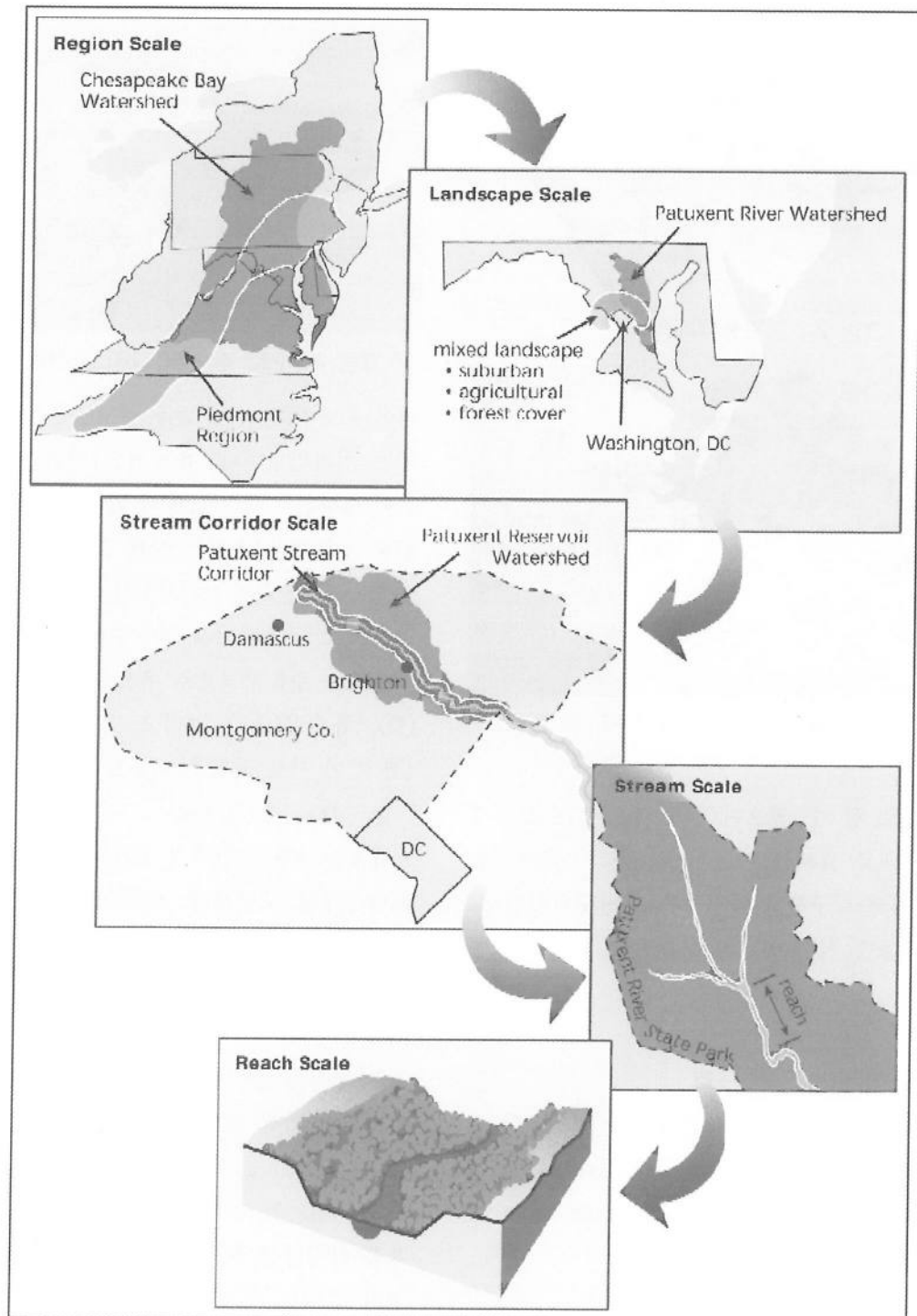


그림 1. 공간규모 단계별 생태계

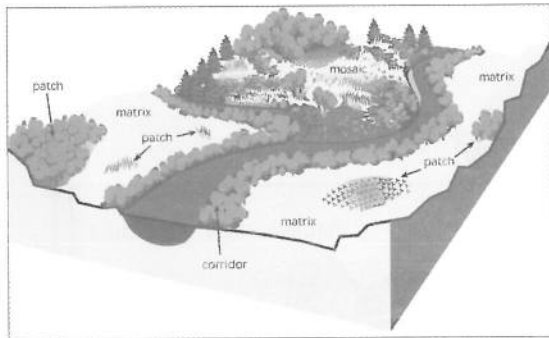


그림 2. 경관생태계의 공간 구조



그림 3. 야계 내의 여울, 퇴적지, 유로 등 여러 가지 공간요소

를 예로 들 수 있으며 선형 점유지는 건기에 야계 내로 흐르는 작은 유로, 물리·화학·생물학적으로 구분한 야계구간, 행정구획이나 소유권 등에 의한 인위적 구간 등을 예로 들 수 있다.

다. 야계의 단면 구조

일반적으로 야계의 단면 구조는 그림 4와 같이 유로(stream channel), 홍수터(flood plain) 그리고 전이지대(transitional upland fringe)로 구분한다.

(1) 유로

유로는 유수(流水)와 퇴적에 의해 완만한 선



그림 4. 유로, 홍수터 그리고 전이지대

형이나 심하게 굽은 포물선 모양을 띠지만 형태는 천차만별이다. 유로의 단면은 그림 5와 같이 경사진 수변(scarp)과 깊은 유로(thalweg)로 구분한다. 유로는 상류 유역에서 내려오는 유출량을 안전하게 통과시켜야 하는데 이와 관련하여 유로 균형과 유출량이 중요한 변수이다.

유로는 수문학적으로 유토량(Q_s), 토사입경(D), 유수량(Q_w) 그리고 유로경사(S)가 식 1과 같이 서로 균형을 이루도록 되어 있다.

$$Q_s \cdot D_{50} \propto Q_w \cdot S \quad \text{식 1}$$

유로는 4가지 인자가 모두 균형을 이룰 때 평형상태에 도달한다. 만일 변화가 발생하면 균형은 일시적으로 무너지며 다시 평형상태에 도달할 때까지 나머지 인자들이 증가하거나 감소한다. 예를 들어 유출량이 일정한 상태에서 유로 경사가 급해지면 유토량이나 유토입자의 크기가 증가할 것이다. 새로운 평형상태에 도달하려는 계류는 유토량을 더 많이 발생시키거나 유토입자의 크기를 증가시키는 경향이 있다. 계류 균형방정식은 유역에서 유토량이나 유출량의 변화로 인하여 발생하는 유로의 영향을 질적으로 예측하는데는 유용하지만 양적인 예

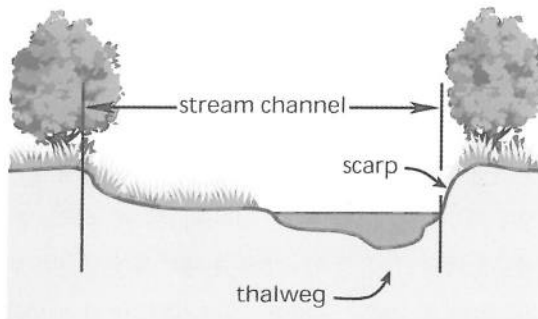


그림 5. 유로의 단면 구조

측은 보다 복잡한 예측식이 필요하다.

(2) 유출량

유출량은 계류에서 가장 중요한 인자로 일반적으로 홍수량(stormflow)과 기저량(baseflow)로 구분한다. 특정한 시기의 유출량은 위의 2가지 유출성분에 의해 발생하며 이들 성분에 의해서 유출이 발생하지 않으면 계류는 말라버린다. 지하수와 계류의 관계는 유역에 따라 달라지며 일반적으로 계상이 자갈로 된 충적층 계류에서 밀접한 관계를 나타낸다. 이들 관계는 그림 6과 같이 2가지 형태로 나타난다. 유입형 또는 감소형 계류는 계류수가 대수층으로 빠져나가는 형태이고 유출형 또는 증가형 계류는 계류수가 대수층에서 들어오는 형태의 계류를 말한다.

홍수량과 기저량이 흐르는 시기에 따라 일시계류, 간헐계류 그리고 상수계류로 구분한다. 일시계류는 비가 온 직후에만 물이 흘러서 물이 흐르는 시기가 연중 30일 미만이며 간헐계류는 연중 특정한 계절에 30일 이상 물이 흐르고 상수계류는 연중 계속해서 물이 흐른다.

(3) 홍수터

주기적인 홍수는 계류 내의 토사를 이동·퇴

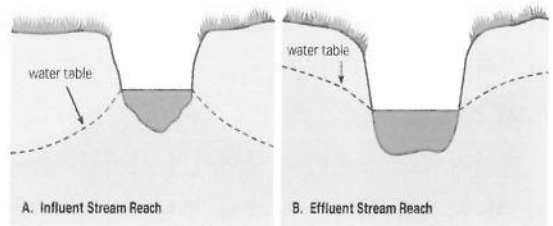


그림 6. 유입형(influent)과 유출형(effluent) 계류의 종단면도

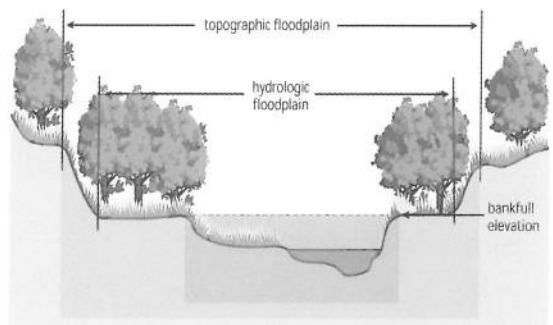


그림 7. 수문학적 그리고 지형학적 홍수터

적시켜 홍수터를 만든다. 홍수터는 그림 7과 같이 수문학적 홍수터와 지형학적 홍수터로 구분할 수 있다.

수문학적 홍수터는 만수위와 평수위 사이에 인접한 지역으로 약 2년에 3번 정도 물이 차지만 모든 야계가 수문학적 홍수터를 가지는 것은 아니다. 지형학적 홍수터는 수문학적 홍수터를 포함하여 일정한 주기(예를 들면 100년주기 홍수터)의 홍수량이 도달하는 높이에 인접한 지역을 말한다.

홍수터는 유역에서 발생하는 홍수와 토사를 일시적으로 저장하며 강수의 무게중심과 침투유출량 사이의 경과시간인 지체시간(lag time)을 연장해 주는 기능을 한다. 야계의 통수(通水) 또는 통사능(通砂能)이 감소하거나 유역상부에

서 그 이상의 토사가 내려올 경우 홍수는 더욱 빈번히 발생할 것이다.

(4) 전이지대

전이지대는 홍수터와 주변지역 사이를 말하며 이 지역의 외곽은 야계의 주변지역에서 벗어난다. 야계와 관련된 수문학적 또는 지형학적 변화과정은 장구한 세월에 걸쳐 전이지대를 형성하기 때문에 이 지대는 현재 야계의 형태를 유지하거나 변경하는 것에 거의 영향을 미치지 못한다. 결과적으로 이 지역은 야계 주변지역 중에서 토지이용 전환이 가장 용이하게 일어날 수 있다.

(5) 야계 주변지역의 식생

식생은 야계의 횡적·종적 특성 중에서 중요하고 변화가 많은 구성요소이다. 홍수터는 홍수를 잘 견딜 수 있는 수종으로 구성되는 경향이 있으며 경사진 산림지대인 상류지역은 교목이 야계 주변지역을 울창하게 덮고 있는 경우가 많다.

야계 주변지역에 여러 가지 형태의 식생 군집이 자라고 있지만 많은 상류 수원지는 식생에 의한 유기물과 토사를 하류에 공급하는 역할을 한다. 예를 들면 상류 산림에서 유입하는 통나무나 나무더미는 생태적으로 먹이 사슬과 야계 내의 서식생물이 자라는데 매우 중요한 요소이다.

경사가 완만하고 야계 폭이 넓은 지역은 상류 수원지보다 농지나 주거지로 전환될 가능성이 높는데 이러한 현상은 하류로 내려 갈수록 식생 군집이 커지고 다양해지는 자연적인 발전 경향을 방해한다. 특히 토지이용이 그 지역의

고유 식생을 없애버리고 야계 주변지역을 잠식하는 경우는 위의 좋은 예라고 할 수 있다.

그 지역의 고유한 식생 군집이 농작물이나 주거용 잔디와 같은 침입종에 의해 대체되는 경우가 자주 있다. 이런 경우에 홍수, 침식, 퇴적, 유기물의 유출입 그리고 종 다양성 및 수질 특성과 같은 야계의 자연스런 변화과정이 심각하게 바뀔 수 있다.

야계의 상류에서 하류까지 주변부 식생의 연속성은 생물 다양성이나 생태적 탄력성에 중요한 영향을 미친다. 그러나 대부분의 야계 주변부의 식생은 단절된 상태이며 이러한 야계 주변부 식생의 단절 상태를 그 지역 고유 식생으로 연속성을 회복시키는 작업이 필요하다. 식생의 연속성이 복구되면 야계의 다양한 기능이 회복되어 여러 가지 편익이 증가한다.

3. 야계 주변부의 변화과정, 특성 그리고 기능

가. 수문 및 수리학적 과정

수문 순환은 물이 강수, 지표수, 지하수, 토양수, 유출의 과정을 거쳐서 결국 증산과 증발에 의해 다시 대기로 환원되는 일련의 연속 과정이다.

강수는 물을 지상으로 돌려보내는데 대부분 수문 과정은 비의 경우를 다루고 있지만 융설수는 고산지대나 계절적으로 강설과 융설이 반복되는 지역에서는 중요한 수자원 원천이다.

강수의 형태는 일반적으로 습도와 기온에 좌우되며 지형의 기복과 바다나 큰 호수로부터의

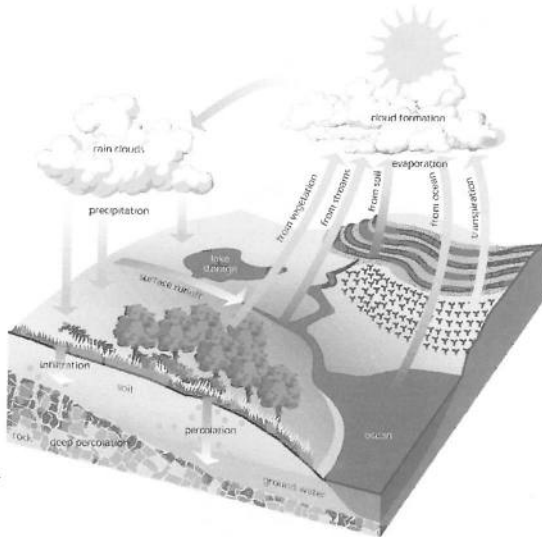


그림 8. 수문순환

상대적인 지리적 위치에 따라 발생 빈도나 형태가 달라진다. 비는 기복이 낮은 해안가의 저위도 지역에서 많은 반면 눈은 기온이 낮은 중위도의 고산지대에서 많이 발생한다.

강수가 지상에 도달하면 3가지 경로를 따르는데 즉 대기로 환원되거나 토양속에 저류되든지 아니면 호수나 습지 또는 바다로 유출된다. 이들 3가지 경로 모두가 물이 어떻게 이동하여 야계 주변부에 도달하는지를 결정하는데 중요한 역할을 한다.

(1) 야계 주변부에서 발생하는 수문 및 수리학적 과정

이 과정은 다음과 같이 크게 3가지 과정으로 구분한다. 즉 차단, 증산 그리고 증발산 과정, 침투, 토양수분 그리고 지하수 과정, 그리고 마지막으로 유출과정이 있다.

(가) 차단, 증산 그리고 증발산 과정

지상에 떨어지는 강수량의 2/3이상은 유출되

지 않고 바로 대기 중으로 환원된다. 수문 과정에서 이러한 단축경로는 차단과 증산의 2가지 과정에 의해서 발생한다.

① 차단

강수량의 일정 부분은 지상에 도달하기 전에 식생이나 자연 또는 인공구조물의 표면에서 차단되어 대기 중으로 돌아간다. 차단량은 표면의 차단저류 용량에 의해 결정된다. 산림에서 저류량은 수종과 잎, 가지 그리고 수간의 형태와 밀도에 영향을 받는다. 산림에서 저류량에 영향을 미치는 요인은 다음과 같다.

- 잎의 모양 : 침엽은 활엽보다 더 효율적으로 물을 저류한다. 활엽에서는 물방울이 모여서 굴러 떨어지지만 침엽은 물방울을 분리해서 저류한다.
- 잎의 질감 : 표면이 거친 잎은 매끄러운 잎보다 물을 많이 저류한다.
- 계절 : 낙엽기는 성장기보다 차단률이 작지만 낙엽층에 의한 차단량이 증가한다.
- 수직·수평 밀도 : 식생층이 많을수록 차단량이 증가한다.
- 임령 : 식생에 따라서 임령이 증가할수록 밀도가 증가하기도 하고 감소하기도 한다. 그 밖에 강수 강도, 기간 그리고 빈도가 차단량에 영향을 준다.

그림 9는 산림에서 강수의 경로를 나타낸 것이다. 강수 초기에 수관의 차단저류량이 채워지고 강수가 계속되면 저류되었던 물이 지면으로 떨어진다.

비가 내려 나무가 젖으면 나무의 차단 저류량이 감소하며 저류된 빗물은 증발에 의해 대

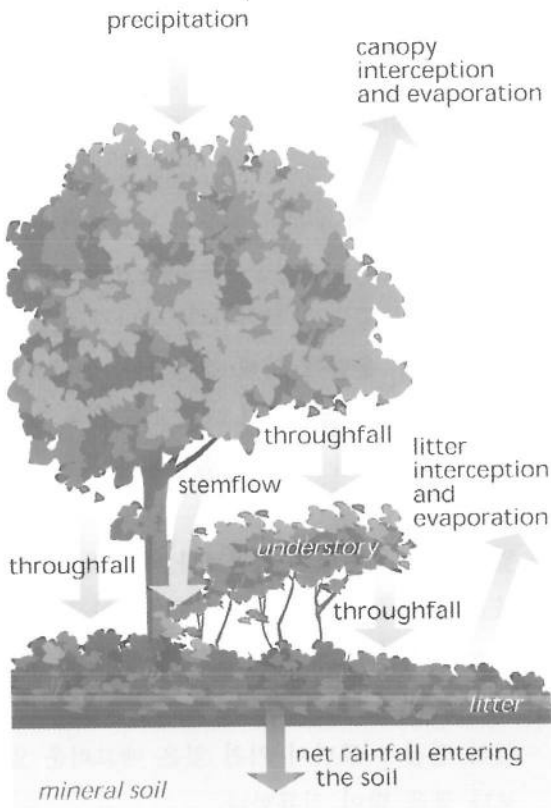


그림 9. 임내의 강수경로

기 중으로 날아간다. 얼마나 빨리 증발하는가는 증발에 영향을 미치는 기상조건에 의해 좌우된다. 차단은 식생이 드물거나 아주 없는 지역에서는 무시할 수 있을 정도로 미미하다.

② 증산과 증발산

증산은 식생의 잎에서 수증기가 대기 중으로 확산되는 현상을 말한다. 빗물이 차단되어 증발하는 차단손실과 달리 증산은 뿌리에서 흡수한 물이 대기 중으로 확산한다. 증발에 의한 손실량에서 증산에 의한 손실량을 분리하는 것이 현실적으로 불가능하기 때문에 일반적으로 두 가지를 합쳐서 증발산이라고 하며 토양수분, 지하수 그리고 유출과 함께 물수지를 구성하는

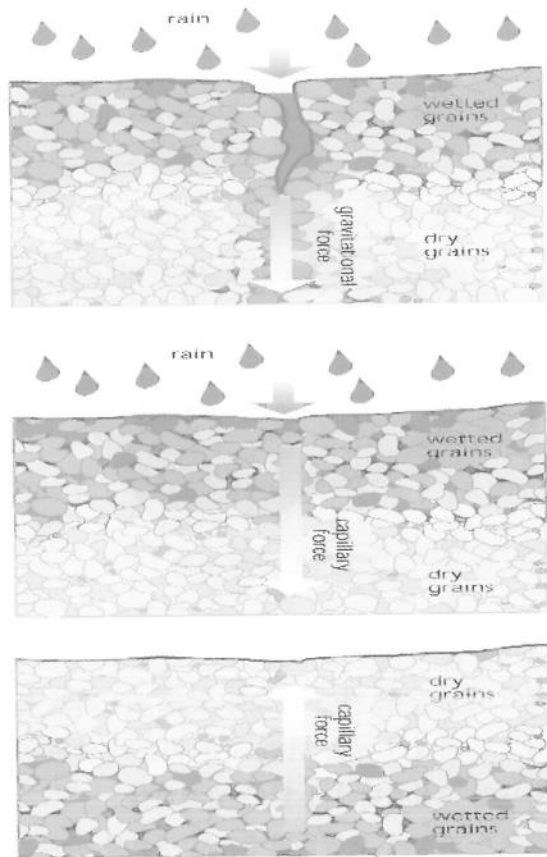


그림 10. 토양내 침투

주요 성분이다.

(나) 침투, 토양수 그리고 지하수

① 침투 : 차단되지 않은 빗물은 토양속으로 흡수된다. 토양표면을 잘 관찰하면 서로 다른 크기의 통로로 된 수많은 모래, 미사 그리고 점토입자를 볼 수 있다.

그림 10과 같이 대공극(macropore)은 썩은 뿌리나 땅벌레들의 이동통로에 의해 생긴 틈새나 토피와 토양입자사이에 생긴 간극에 의해서 발생한다.

물은 중력과 모세관력의 작용으로 공극 내로 스며든다. 중력은 벌레나 뿌리구멍과 같이 아

주 큰 통로로 이동하는 물에 작용하며 모세관력은 매우 작은 공극속을 이동하는 물에 작용한다.

이들 공극의 크기와 밀도는 토양속으로 유입하는 물의 속도를 결정한다. 공극률은 토양의 전체부피에서 토양입자사이의 공간이 차지하는 비율을 말한다. 토성이나 경도와 같은 토양특성이 공극률을 결정하는 중요한 인자이다. 사토나 성긴 입단이 유기물이나 적은 양의 점토와 잘 섞이면 공극률이 높아지며 다져진 토양이나 점토는 공극률이 낮다.

침투는 토양 공극 속으로 물이 흡수되는 현상을 말하며 침투율은 단위시간당 토양 속으로 흡수되는 양이고 토양의 최대 침투율은 침투능이라고 한다. 토양의 침투율을 결정하는 중요한 요인은 1) 토양 표면을 통해 물이 얼마나 쉽게 유입되는지 2) 토양 내의 저수용량 3) 토양 속에서의 이동속도 등이다.

자연식생과 낙엽낙지층을 이루고 있는 산림 토양은 침투율이 매우 높다. 이러한 특성은 빗방울이 미세한 입자로 토양 표면의 공극을 막지 못하도록 보호한다. 산림토양은 또한 벌레나 토양 소동물들의 서식처를 제공하고 미세한 토양입자가 서로 결합할 수 있도록 하는 유기물을 제공하여 공극률과 침투율을 증가시킨다.

② 토양수 : 비가 그친 후 빗물은 중력에 의해 토양 하부로 이동하지만 상부의 토양도 표면장력에 의해 미세한 입자사이에 수분을 보유하게 되는데 이 상태를 포장용수량이라고 한다. 공극률과 포장용수량의 차이는 채워지지 않은 공극량을 의미한다. 포장용수량은 중력배수가

젖은 토양 속에서 느린 속도로 계속 진행되기 때문에 정확한 값을 얻기가 힘들다. 토양수분은 증발산 측면에서 가장 중요하다. 육상식물은 토양 속에 저장된 수분에 의존해서 생존한다. 식물이 점점 더 작은 공극 속의 물을 흡수하기 때문에 토양 함수량은 포장용수량 이하로 감소한다. 만일 토양수분이 보충되지 않는다면 뿌리는 작은 공극에 붙어 있는 수분을 계속 흡수하여 결국 더 이상 뿌리가 흡수할 수 없는 상태가 된다. 이 상태의 토양수분은 토성에 따라 다르며 이를 영구위조점이라고 한다. 심층투수는 뿌리대를 통과하여 더 아래로 이동하는 것을 말한다.

③ 지하수 : 공극의 양과 크기는 토양 내에서 이동하는 물의 양을 결정한다. 물은 아래로 큰 공극을 따라 이동하며 공극은 점토입자가 팽윤하거나 물이 채워지기 때문에 크기가 점차 감소하여 물의 이동을 어렵게 한다. 물은 아래로 계속 이동하여 그림 11과 같이 물이 완전히 포화된 포화대(phreatic zone, zone of saturation)에 도달한다.

포화대의 꼭대기는 지하수위 또는 포화대 표면이라고 하며 지하수위 바로 위는 모관수대(capillary fringe)라고 하며 이 지역의 공극은 모관력에 의해 물이 채워져 있다. 점토나 미사와 같이 작은 공극으로 된 토양은 모관력이 강해 넓은 모관수대를 나타내지만 반면에 사암 또는 공극이 큰 토양은 모관력이 약해 좁은 모관수대를 갖는다. 모관수대와 토양 표면사이의 구간은 불포화대(vadose zone) 또는 통기대(zone of aeration)라고 한다. 이 구간은 공기

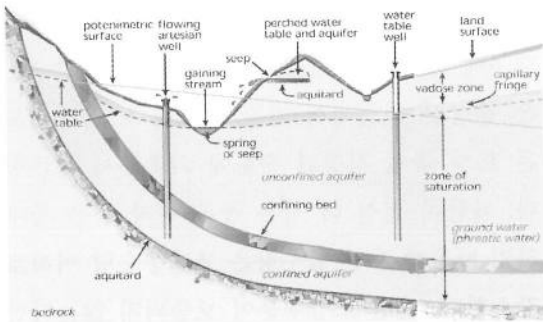


그림 11. 여러 가지 지하수

와 미생물의 호흡가스, 모관수 그리고 포화대로 이동하는 중력수를 포함하고 있다. 피막수(pellicular)는 지하수위 상부에 고상입자에 붙어 있는 물로 분자력에 의해서 유지된다.

만일 포화대가 우물을 통해 물을 공급할 수 있으면 이를 대수층(aquifer)이라고 한다. 좋은 대수층은 공극률이 높고 층의 범위가 넓고 깊어 많은 양의 지하수를 쉽게 채취할 수 있다. 대수층과 반대로 물을 통과시키지 않는 반대수층(反帶水層, aquitard)은 투수성이 낮은 퇴적암이나 암반으로 되어 있다. 만일 대수층의 상부에 반대수층이 없으면 비피압대수층(unconfined aquifer)이라고 하고 반대의 경우 피압대수층(confined aquifer)이라고 한다.

대수층과 반대수층은 복잡하고 다양하여 지하부에서 여러 가지 상황이 나타난다. 예를 들면 주수(宙水, perched ground water)는 소규모의 얇은 반대수층이 물의 이동을 방해할 때 생기며 이 층의 상부에 소규모 포화대가 형성된다. 대부분 주수는 비가 올 때나 습윤기에 일시적으로 생겼다가 건조기에 없어지지만 지역적인 지하수 공급원으로 중요하다.

자분우물(自噴井, artesian well)은 피압대수

층에 발달한다. 피압대수층에서 정수압은 대기압보다 크기 때문에 자분우물의 수위는 정수압과 대기압이 같아지는 높이까지 올라간다. 만일 이 수위가 지표 위에 있으면 물은 자연히 우물 밖으로 흘러나온다.

또한 물은 지표면이 피압대수층과 교차할 때 스스로 분출한다. 피압지하수면(piezometric surface)은 우물이 지표면에서 무제한적으로 넓을 때 피압대수층에서 물이 올라오는 높이이다. 자유수위 우물은 비피압대수층의 포화대에서 물을 끌어 올리며 이때 수위는 지하수위와 같다.

야계 주변부를 복원하는 담당자는 지하수와 지표수가 교환되는 곳에 관심을 가져야 한다. 지하수량과 수위는 지하수 보충량과 유출량에 따라 변동한다. 지하수위의 변동 때문에 계류는 지하수 보충지로서 또는 유출지로서 각각 기능을 발휘할 수 있다.

④ 유출

강수량 또는 용설수가 침투능을 초과할 때 초과한 물은 지표를 따라서 계류로 흘러내린다. 유출과정에 영향을 주는 요인들은 기상, 지질, 지형, 토양특성 그리고 식생이다. 유출의 기본적인 유형은 그림 12와 같이 지상류, 지표하유출 그리고 포화지상류이다. 이들 유출형태는 각기 동일한 지역에서 독립적으로 또는 서로 결합하여 발생한다.

⑦ 지상류 : 강수량이 침투량을 초과할 때 물은 지표의 작은 웅덩이에 모이게 된다. 이 웅덩이에 저장된 물은 요지저류(depression storage)라고 하며 결국엔 대기 중으로 증발하

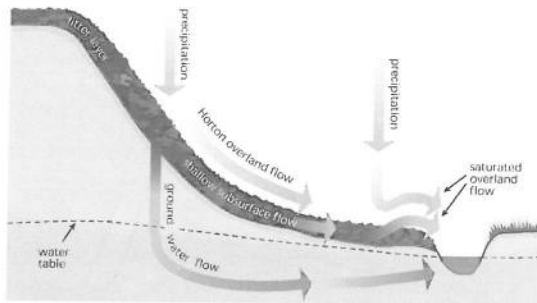


그림 12. 여러 가지 물 유출 경로

거나 지표하로 스며든다.

요지저류가 채워진 후 초과수는 지상류로서 면상 또는 누구를 따라 사면 하부로 이동한다. Horton(1933)은 문헌 상으로 이러한 현상을 처음 언급했으며 이때부터 이러한 과정을 통해 발생한 지상류를 Horton 지상류 또는 Hortonian류라고 하였다.

지표면으로 흐르는 물이 사면 하부로 이동하면서 유출량이 증가하고 유속이 빨라진다. 이러한 과정에서 지상류의 일부는 산복에 흡수되는데 이를 지표저류(surface detention)라고 한다. 대기 중으로 증발하거나 지표하로 흡수되는 요지저류와 달리 지표저류는 물이 사면하부로 이동하는 도중에 일시적으로 저류되는 것이기 때문에 결국 계류로 유출되며 지상류의 상당부분이 이러한 경로를 통해 발생한다.

지상류는 특히 도시나 인근지역의 포장지역 또는 불투수 지역에서 발생하며 중장비에 의해 지표가 다져진 지역에서도 많이 발생한다. 또한 일반적으로 건조 또는 반건조지역과 같이 식생이 드물고 토심이 얇은 지역에서 자주 발생한다.

㉠ 지표하유출 : 토양 속에서 물은 수두의

차이에 따라 움직인다. 수두의 차이는 서로 다른 고도에서 정수압의 차이 때문에 발생한다. 단순한 상황에서 비가 내리기 전의 지하수위는 계류에 포물선 형태로 분포하므로 물은 사면을 따라 계류로 이동하여 기저유출을 만든다. 물론 지하수위 상부의 토양은 포화상태이며 사면의 토성이 균일하다고 가정한다면 표토의 함수량은 계류로부터 거리에 따라 감소한다.

비가 오는 동안 계류 근처의 토양은 사면 상부의 토양과 다른 두 가지 중요한 특성 즉 함수량이 높고 지하수위까지 거리가 가깝다는 성질을 갖는다. 이들 특성은 비가 올 때 지하수위를 급속히 상승시켜서 경사를 급하게 만든다. 이 새로운 직접유출을 만드는 지하수는 지중수(subsurface flow)라고 하며 기저유출에 추가된다.

어떤 경우는 반대수층 때문에 침투수가 포화대에 도달하지 못한다. 이런 경우에는 지중수가 지하수와 섞이지 않고 바로 계류로 흐른다.

㉡ 포화지상류 : 비가 계속해서 내리면 지하수위 경사는 계속해서 계류 쪽으로 급해져서 결국 지하수위가 계류 높이 보다 더 높아진다. 더욱이 지하수가 토양 밖으로 스며 나와 지상류로 계류에 도달하는데 이를 빠른 환원수라고 한다.

물론 지하수위 하부의 토양은 포화되어 결국 내리는 비의 대부분은 지상류 형태로 사면 하부로 흐른다. 이 직접강수량과 빠른 지중수는 섞여서 포화지상류를 만든다. 비가 계속 내리면 포화지상류는 사면 위로 확대되며 빠른 환원수와 지중수는 지상류와 밀접하게 관련되기

때문에 일반적으로 이들 성분은 지표수의 일부 분으로 간주한다.

(2) 야계 주변을 따라 발생하는 수문·수리 과정

계류에 유입하는 물은 직접강수량과 지표를 통해 사면을 따라 이동하는 물이다. 물이 이동하는 양과 시간은 직접적으로 유출량과 시간에 영향을 미치며 결국 계류 주변부의 생태적 기능에 영향을 미치게 된다.

(가) 유출량 분석

유출량은 다양한 시간단위에서 양적으로 변화가 심하다. 넓은 범위에서 장기 기상자료는 풍수년과 갈수년의 일시적인 반복성을 보인다. 예를 들면 미국의 많은 하천은 1930년대에 『dust bowl』이라고 부르는 10년 동안 유출량이 감소했다. 이와 유사한 전국적인 유출량 감소는 1950년대에 발생했는데 불행히도 풍수년과 갈수년에 대한 자료는 수집기간이 짧아 장기적인 규칙성을 예측하기에는 역부족이다.

유출량의 계절변이는 쉽게 예측할 수 있다. 구조물을 설계할 때 설계량을 결정하기 위해 장기적인 자료가 필요하기 때문에 유출량 정보는 대개 확률로 나타낸다. 두 가지 형태가 계류 주변부의 복원을 위해 특히 유용하다.

- 유출 기간 : 특정한 유출량이 일정한 기간 이상 발생할 확률
- 유출 빈도 : 특정 유출량이 1년에 초과하거나 또는 초과하지 않을 확률

그림 13은 일련의 확률곡선으로 나타낸 유출 빈도이다. X축은 월별을 Y축은 월 평균 유출량이다. 곡선은 월 평균 유출량이 곡선에 표시

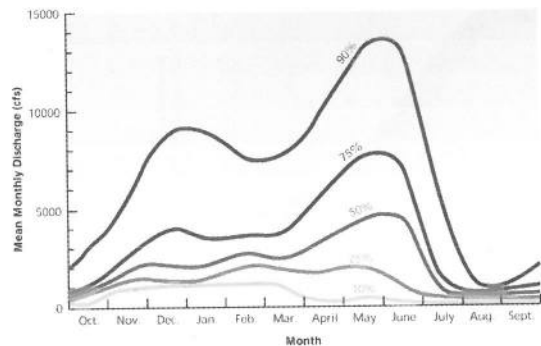


그림 13. 월별 유출확률 곡선의 예

된 값보다 적을 확률을 나타낸다.

예를 들면 1월 유출량이 9,000cfs(cubic feet per second)보다 적을 확률은 90%인 반면 2,000cfs보다 적을 확률은 50%이다.

(나) 유출의 생태적 영향

유출량의 변이는 대개 계류생태계의 구조와 변화를 결정하는 생물상과 무생물상의 동적 과정에 영향을 미친다. 풍수량은 퇴적물을 이동시킬 뿐만 아니라 홍수터와 계류를 연결하는데 중요한 역할을 한다.

이 관계는 홍수터가 어류의 알이 부화하여 자라는 서식지를 제공하고 나중에는 물새들의 먹이 공급처 역할을 하기 때문에 매우 중요하다. 저수량(底水量)은 특히 큰 하천에서 동물상을 여러 곳으로 퍼뜨려 생물이 개체수를 유지하는 조건을 만들어 준다.

일반적으로 강가에서 서식하는 생물들이 그들의 생활상을 유지하기 위해서는 시기적인 유용성이 유출구조에 의해서 결정되는 서로 다른 형태의 서식지 집합을 필요로 한다. 이들 생물은 환경적 동태에 적응하여 가뭄기간 동안에도 버틸 수 있고 홍수에 의해서 파괴된 서식지를

다시 스스로 복원할 수 있다.

나. 지형학적 과정들

지형학은 지형이 발달하는 과정과 지구의 지면 형태를 연구하는 학문이다. 앞서 언급한 수문 과정은 지형학적 과정을 유발하는 원동력이다. 다시 말해 지형학적 과정은 유역의 발달형태, 하천, 홍수터, 하안 그리고 그 밖의 유역과 계류 주변부의 특징을 결정하는 주요 기작이다. 유수(流水)와 관련된 3가지 주요 지형학적 과정은 다음과 같다.

- 침식 : 토양입자의 이탈
- 운송 : 유수에 의한 토양 침식 입자의 이동
- 퇴적 : 수체(水體) 바닥이나 물이 흐르고 난 후에 남겨진 토양 침식입자

지형학적 과정은 물의 이동과 밀접한 관계가 있기 때문에 지표수나 유출수의 수문학적 과정과 연계하여 언급해야 한다.

(1) 계류 주변부에서의 횡적 변화과정

유역에서 침식발생, 침식량 그리고 침식 진행과정의 분포는 수질 오염인자와 연관 있는 토사 발생량에 영향을 미친다. 토양침식은 장

기간에 걸쳐 천천히 발생하거나 또는 특정한 계절에 주기적으로 또는 간헐적으로 발생할 수 있다(그림 14).

토양침식은 인간의 행위나 자연 과정에 의해 발생한다. 침식은 토양조건이 기온, 함수량, 식생의 성장단계, 식생량, 인간의 개발 행위 그리고 작물생산에 따라 서서히 변화하므로 단순한 과정이 아니다.

(2) 계류 주변부에서의 종적 변화과정

계류, 홍수터, 단구 그리고 계류 주변부에서의 다른 특징들은 주로 침식, 운송, 퇴적작용에 의해 형성된다.

(가) 운송작용

계류나 홍수터의 퇴적물 입자는 크기에 따라 분류할 수 있다. 자갈은 가장 큰 입자이고 점토는 가장 작은 입자이다. 입자밀도는 입자의 크기와 구성성분에 따라 다르다. 크기와 상관없이 계류에서 모든 입자는 하류로 운송된다. 계류에서 가장 큰 입자의 크기는 계류 운송능력이라는 수리적 조건하에서 일어난다.

계류의 운송능력과 가장 밀접한 관계가 있는 것은 소류력(掃流力)으로 계상이나 수변을 따라 계류의 경계부에서 입자를 들어올리거나 끄는 힘이다. 또한 전단강도라고 알려진 소류력은 유수의 깊이와 경사도에 따라 다르다. 만약 입자의 밀도와 모양 그리고 표면조도가 일정하다면 입자가 클수록 입자를 이동시키는데 더 큰 소류력이 필요하다.

토사 입자를 움직이게 하는 힘은 더 빠른 유수에서 나오며 계류의 양쪽 경계부보다 중앙의 유속이 더 빠르기 때문에 유속경사가 발생한다.

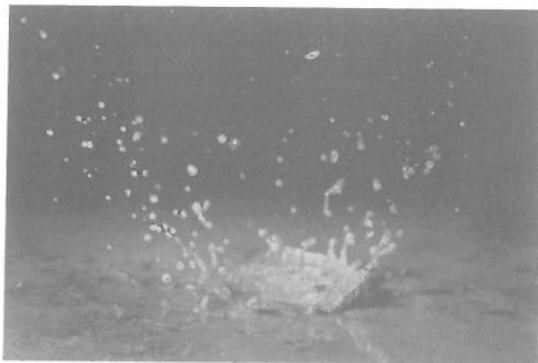


그림 14. 빗방울에 의한 침식

보다 빠른 유수의 운동량은 더 느린 경계부쪽의 유수로 옮겨가며 이런 경우 빠른 유수가 느린 유수를 나선형 모양으로 감는 경향이 생긴다.

(나) 계류와 홍수터의 안정성

통상적으로 계류 복원사업과 관련하여 제기되는 의문은 계류가 현재 안정된 상태냐? 그리고 변화가 생긴 후에 안정될 것인가? 이다. 해답은 몇 장의 필름을 본 후 영화에 대한 의견을 묻는 경우와 같다. 우리는 종종 시간에 비해 제한된 자료에 근거하여 계류를 평가하지만 장기적인 변화와 계류의 종·횡단면의 변화 그리고 계류의 안정성을 특징짓는 지형적 특징을 고려하는 것이 중요하다.

계류의 안정성을 확보하는 일은 평균 소류력이 안정한 계상과 계안을 유지할 수 있어야 한다. 그것은 계류의 각 부분에 있는 입자들의 분포가 균형을 이루는 것이다.

(다) 계류 주변부의 조정

계류와 홍수터는 유역에서 흘러 내려오는 물과 퇴적물에 의해 계속 변화한다. 황폐계류의 성공적인 복원은 자연현상과 토지이용 그리고 계류가 진화하는데 영향을 미치는 변화과정에 대한 유역의 과거역사를 이해하는 것이 필수적이다.

물과 토사에 의해 변화하는 계류의 반응은 에너지가 다양한 수준으로 소모되기 때문에 서로 다른 시·공간적 수준에서 발생한다. 유출량과 토사량의 일일 변화는 이동성 계상을 가진 계류에서 계상의 형태와 조도에 빠른 변화를 가져온다. 또한 계류는 극단적인 최고 및

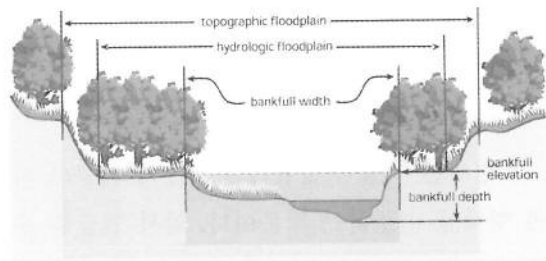


그림 15. 계류의 종단면

최저유출량에 의해 주기적으로 변화하는데 홍수는 식생을 제거하기도 하지만 계류 주변을 따라 식생의 유입 잠재성을 만들고 또한 증가시킨다. 즉 갈수량 기간에 계류에 식생의 침입이 일어난다.

이러한 조정의 유사한 단계는 계류 주변부와 상류 유역의 토지이용 변화에 의해 발생할 수도 있다. 기상변화나 산불과 같은 자연적 원인 또는 경작이나 방목 그리고 도시화와 같은 인위적인 원인의 장기적 변화는 우리가 계류 진화라고 하는 계류의 종단면 구조나 횡단 모양을 장기적으로 변화시킨다.

(라) 계류의 종단구조

그림 15는 계류의 종단구조를 조사할 때 포함해야 할 정보를 나타낸 것이다.

안정된 퇴적 계류에서는 양 계안의 가장 높은 지점이 만제수위(滿提水位)가 된다. 만제수위는 중요하며 계류 종단면은 양안의 홍수터와 관련하여 충분히 높게 잡아야 한다. 권장 기준은 좁은 계류의 경우 최소한 양안의 가장 높은 지점 이상을 포함하는 계류 폭을 가져야하고 폭이 넓은 계류의 경우는 최소한 홍수터를 충분히 포함하여야 한다.

묘포 토양의 특성 및 관리방안

변재경·정진현

임업연구원 임지보전과

1. 머리말

60년대부터 시작된 산림녹화사업은 1973년 치산녹화 10개년 계획이 수립되면서 120만 ha의 황폐산림을 녹화시키는데 필요한 묘목의 원활한 공급을 위하여 전국적으로 수많은 양묘장이 조성되었으며 낙엽송, 리기다, 잣나무 등 침엽수 위주의 묘목이 대량으로 생산되기 시작하였다.

건전한 묘목을 지속적으로 생산하기 위해서는 묘포장의 입지환경조건 및 토양의 물리·화학적 성질을 양호한 상태로 유지·관리해 주는 일이 매우 중요하다고 할 수 있으나 그 동안 30여년 이상 관행적인 방법에 의한 묘포장 관리, 시비 등으로 묘목을 생산해 왔을 뿐 묘포토양에 대한 체계적이고 과학적인 조사·분석 결과를 바탕으로 묘포지를 관리·경영하고 있는 사례를 찾아보기는 어려운 현실이다.

관행적인 방법에 의한 장기간의 묘포장 관리 결과 토양 물리성의 악화, 토양의 산성화, 염류장해 및 토양생산력 감퇴 등으로 규격묘 생산이 어려울 뿐만 아니라 병해충발생, 생육부진 및 고사 등 끊임없이 많은 문제가 야기되고 있다.

이러한 고정묘포 토양의 실태를 조사·분석

하여 고정묘포 토양이 가지고 있는 근본적인 문제점을 파악하고 그에 대한 대책을 마련하기 위하여 2001년 6월부터 11월까지 고정묘포 17개소를 대상으로 입지환경조건, 토양의 이화학적 성질, 부숙퇴비 사용에 따른 문제점 등을 조사·분석한 결과를 기술하고자 한다.

2. 묘포지 선정조건

가. 위치

조림 예정지 부근으로 교통이 편리하여 접근이 용이하면서, 노동력이 풍부하고, 포지를 관리하기 용이한 곳이 적당하다.

나. 지형 및 토양

약간 경사진 곳으로 침엽수의 경우 1~2°의 경사지가 적당하다. 기타 수종은 3~5°의 경사지도 가능하다. 또한 묘포지에서 가장 피해가 많은 것 가운데 하나는 서리에 의한 묘목의 피해라고 볼 수 있다. 이를 예방할 수 있는 방법은 여러 가지가 있겠으나 지형적으로 예방할 수 있다. 즉, 한기가 머무는 평지를 피하고, 산정이나 산복을 선택하는 것도 한 방법이며, 분지나 U형 지형은 반드시 피해야 할 것이다. 또한 동쪽 사면 보다는 남서쪽 사면이 유리하



그림 1. 건전한 묘포의 전경 (충북 진천)

다. 해발고도 수종특성에 차이가 있으므로 유의하여야 할 것이다. 사질토는 식질토양보다 유리하며, 건밀한 토양은 연하거나 송한 토양보다 서리피해가 적다. 또한 지면이 짙이나 잡초로 덮여 있는 묘포가 서리피해가 적다.

다. 토심

토심은 지표로부터 약 30~60cm 가 적당하며 너무 얕으면 건조의 피해와 서리에 의한 피해를 받기 쉽다. 반면에 포지의 토심이 너무 깊으면 물빠짐이 불량하여지고 공기 유통이 불량하여 건설한 묘목을 얻기가 어렵다.

라. 토성

부식질이 많은 사질양토, 양토가 적당하다.

마. 토양산도

침엽수의 경우 pH 5.2~5.8, 활엽수의 경우 pH 5.5~6.5가 알맞다.

바. 유기물 함량

토양내 유기물은 표토 12cm 정도를 기준으로



그림 2. 건전한 표포 토양의 단면 (제주도 제주시)

약 3~5%가 적당하다.

3. 고정 묘포 토양의 특성

가. 묘포 토양의 입지환경

입지조건이 양호한 곳에서 생산된 묘목과 나쁜 곳에서 생산된 묘목의 차이는 뿌리의 발달 정도, 잎 길이, 잎 양 및 엽록소 등에서 많은 차이를 나타내고 있다.

모암은 풍화 후 토양의 모체가 되며 토양 배수 조건과 관련이 깊은데 모암이 화강암인 지역은 대체적으로 배수가 양호하나 사암인 지역은 미세립자가 많아 배수가 불량한 토양이 비교적 많이 분포한다.

묘포로 적합한 입지조건은 평탄한 지형보다 배수와 관수가 용이한 경사 5° 미만으로서 토심이 30cm 이상인 토양이다. 그러나 이러한 조건을 충족하는 지형을 묘포로 사용하는 곳은 드물고 대부분 경작지로 사용했던 논이나 밭을 임대하여 묘포로 사용하는 곳이 많으며, 자기 소유의 고정포지인 경우에도 과거 오래 전에 논으로 사용했던 곳을 지속적으로 묘포로 사용

표 1) 묘포 토양의 입지환경

조 사 지		토지이용	모 압	양 묘 수 종	토양	토양배수
경기	광주 도척1	밭	화강암, 사암	잣나무, 낙엽송, 전나무 등	B	불량
	광주 도척2	논	화강암, 사암	잣나무, 낙엽송, 고로쇠 등	B	불량
	광주 장지	밭	화강암, 사암	잣나무, 낙엽송 고로쇠 등	B	보통
	광주 유정	논	화강암, 사암	잣나무, 목백합, 물푸레 등	B	불량
강원	원주 흥업	논	화강암	잣나무, 옻나무, 상수리 등	B	불량
	강릉 사천	포지	화강암	잣나무, 강송, 해송 등	B	양호
충북	청원 미원	논	화강암	잣나무, 자작, 고로쇠 등	B	불량
	진천 덕산1	하천부지	화강암	잣나무, 주목, 고로쇠	B	양호
	진천 덕산2	하천부지	화강암	잣나무, 전나무, 자작	B	양호
충남	서산 성연1	논	사암	잣나무, 자작, 느티 등	R	보통
	서산 성연2	논	사암	잣나무, 자작, 느티 등	R	보통
	태안 인평	포지	화강암	편백, 목백합 등	R	매우불량
	금산 남이1	인삼포지	화강암, 사암	잣나무, 자작, 상수리 등	B	보통
	금산 남이2	산기슭(밭)	화강암, 사암	잣나무, 상수리, 은행 등	B	보통
경북	예천 용문	논	화강암	잣나무, 느티, 자작 등	B	불량
	봉화 창평	밭	화강편마암	주목, 오리, 스트로브 잣	B	양호
	봉화 금봉	논	화강편마암	낙엽송, 산오리, 자작 등	B	불량
경남	함양 지곡	논	화강편마암	잣나무, 편백, 고로쇠 등	B	불량
	산청 단성	논	사암	해송, 잣나무, 편백 등	B	불량
전북	정읍 교암	포지	사암	잣나무, 자작, 편백 등	B	보통
	남원 조산	논	사암	잣나무, 자작, 고로쇠 등	B	보통
전남	순천 낙안	산기슭(밭)	화강편마암	편백, 상수리, 잣나무 등	B	양호
	담양 월산	밭	화강암	편백, 상수리 등	B	보통
제주	북제주 구좌	밭	현무암	상수리, 자작, 느티	B	보통

※ B(Brown soils); 갈색토양, R(Red soils); 적황색 토양

하는 곳이 많았다.

논을 묘포로 장기간 사용했던 포지는 몇 년마다 주기적으로 객토를 실시하여 일정한 깊이마다 다른 토색과 토성을 나타내며 단단한 불투수층을 갖고 있거나, 수 십년간 묘포로 사용하여 지속적인 관수와 토양염류화로 인해 미세한 토양입자(Colloid)가 분산되어 하층으로 이동 집적됨으로써 토양배수가 불량한 지역도 나

타나고 있었다.

묘포중에서 논으로 사용했던 경작지의 경우 배수가 불량하여 병해충 발생이 높을 뿐만 아니라 습해를 받는 곳도 있으며, 가뭄시 적절한 관수가 이루어지지 않을 경우 지표면이 거북이 등처럼 갈라져 잔뿌리가 노출됨으로써 오히려 가뭄피해를 받는 경우도 있었다.

그림 3에서와 같이 고정묘포의 토지이용 형

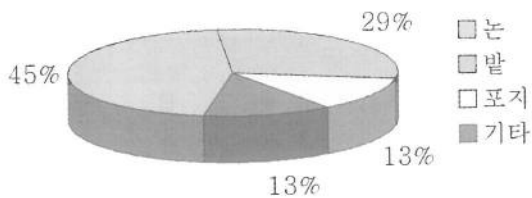


그림 3. 고정포지의 토지이용 형태별 분포

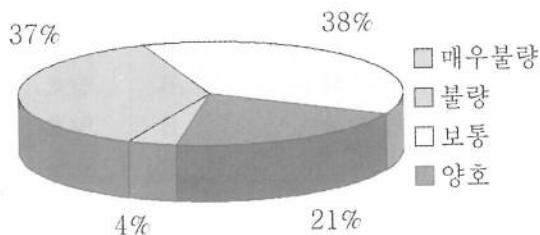


그림 4. 고정포지의 토양 배수상태 분포

태를 살펴보면 24개소 중에서 논이었던 곳을 묘포로 사용중인 곳은 11개소로 45%에 달해 가장 많았고, 밭 7개소, 그밖에 인삼포지 또는 과거 하천이었던 하상부지는 3개소였으며 원래부터 수 십년간 묘포로 사용했던 곳은 3개소 13%에 불과하였다.

묘목의 활력도와 뿌리발달은 배수, 통기성, 수분조건 등 토양물리성이 양호한 토양에서 생산된 묘목과 불량한 토양에서 생산된 묘목과는 많은 차이를 나타나게 되고 묘목생산지와 식재지와의 입지환경이 다른 곳에 식재할 경우 적응력이 떨어지게 된다.

따라서 양호한 활착과 원활한 성장을 위해서는 묘목생산지와 식재지의 입지환경이 비슷한 곳이 바람직할 것이므로 앞으로 고정포지로 사용하고 있는 논외의 경우 점차적으로 묘포의 입지조건을 갖춘 곳으로 이동이 필요할 것으로 판단된다.

또한 그림 4는 토양배수 상태를 나타내고 있는데 대부분의 묘포가 논 또는 밭으로 경작해 오던 토지를 이용해온 관계로 저습지에 위치함으로써 배수가 불량한 곳이 많았으며, 배수가 양호하고 묘포로서의 적절한 입지조건을 갖추고 있는 지역은 24개소중에서 5개소 21%에 불과하였다. 따라서 이상적인 묘포지의 입지환경은 조림지 부근의 약간 경사진 곳으로 물 빠짐이 양호한 곳이어야 한다는 묘포 선정조건과는 차이가 있으므로 토양배수가 불량한 곳은 맹암거를 설치하거나 토양개량제를 투입하여 토양배수 상태를 개선하는 등 토양관리를 철저히 시행해야 할 것으로 판단되며, 장기적으로는 약간 경사진 밭 또는 산지로 옮겨가는 방안을 강구하여야 할 것이다.

한편, 묘포지에서의 양묘수종을 보면(표1) 산림대별 기후조건이나 토양조건이 고려되지 않은 채 양묘가 행해지고 있었다. 잣나무는 중부 이북지역에서 잘 성장하는 수종으로 유묘시에는 음수의 성질을 가지고 있으며 토양배수조건이 양호한 지역에서 잘 자라는 수종으로 알려져 있는데 이러한 수종의 특성을 무시하고 중부이남 지방과 배수가 불량한 포지에서도 잣나무를 양묘하고 있는 실정으로 이러한 곳에서 양묘되고 있는 묘목의 생육상태는 매우 불량한 편이었다.

나. 묘포 토양의 물리성

묘포 토양은 비옥도보다 물리적성질이 더욱 중요한데 이는 토양화학적 비배관리에 의해서 어느 정도 교정이 가능하나 물리적성질은 개량

하기가 쉽지 않을 뿐만 아니라 토성이나 토양의 삼상조성비에 따라서 토양의 투수성, 통기성, 보수력 등에 많은 차이를 나타내며 토양화학성에도 영향을 미치기 때문이다.

토양의 물리성중 토성은 미국 농무성(U.S.D.A) Hydrometer법에 의해 측정하였으며, 100cc 캔을 사용하여 묘포지의 보수성, 투수성, 토양배수 조건 등 식물생육에 필요한 수분공급의 지배적인 역할을 하는 토양의 삼상조건과, 토양의 통기성이나 투수성에 대한 지표가 되며 양묘대상 수종의 뿌리발달에 영향을 미치는 가비중을 조사하였다.

(1) 토성

토성은 토양의 광물질 입자인 모래(Sand), 미사(Silt), 점토(Clay)의 함유비율에 따라 토양의 성질을 구분하며 입도분포는 토양의 제반 물리적 성질 즉 보수력, 통기성, 투수력, 염기치환 능력, 양분의 보유능력 등에 밀접한 영향을 미치는 인자이다.

토성의 종류는 12가지가 있으나 이상적인 묘포 토양의 토성은 모래함량 50~65%, 미사함량 20~35%, 점토함량 10~20%인 토양배수가 양호한 사질양토(SL: Sandy Loam)또는 양토(L: Loam)이다.

토성 분석결과 사질양토(SL), 양토(L), 사토(S), 양질사토(LS), 미사질양토(SiL) 및 미사토(Silt) 등 6개의 토성이 나타났으며, 그 중 사질양토(SL)가 48%로 가장 많았고 양토 20%, 미사질양토 17%, 미사토 7%, 양질사토 6%, 사토 2% 순 이었다.

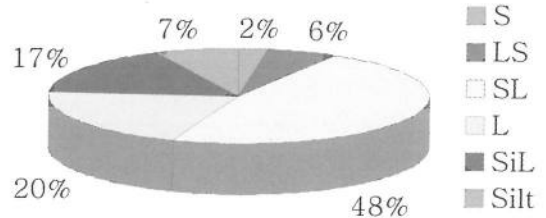


그림 5. 고정포지의 토성분포

모래함량이 높은 양질사토 또는 사토는 토양배수는 양호하나 유기물 또는 수분을 보유할 수 있는 능력이 매우 적어 한발의 피해를 받을 우려가 매우 높고, 보수력이 약하여 적절한 관수가 되지 않을 경우 건조피해를 받을 가능성이 높다. 또한, 시비를 하여도 양분을 보유할 수 있는 능력이 매우 낮아 비료의 유실이 많은 토양의 특성을 가지고 있다. 반면에, 점토나 미사함량이 높은 미사질양토, 미사토, 미사질식양토 등은 토양공기의 유통 즉 통기성과 토양배수가 불량하고 병충해가 잘 발생하며 강우량이 많은 장마철에는 습지화 됨으로써 뿌리의 생육 환경에 좋지 않은 영향을 미치게 된다.

한편 제주도지역의 토양은 미사함량이 60%이상인 미사질토양로 토심이 매우 깊을 뿐만 아니라 토양건밀도가 1 kg/cm² 미만인 부드러운 토양으로 토양배수가 양호하고 토양비옥도도 높은 편이었다(부록 1).

(2) 토양삼상

토양삼상의 측정은 자연상태의 토양을 100 cc Core에 채취하여 건조기에 건조시켜 측정하였다. 토양삼상은 고상(토양입자와 유기물), 액상(토양용액), 기상(토양공기)의 용적비

표 2) 묘포 토양의 삼상 및 가비중

조 사 지		액상(%)	고상(%)	기상(%)	가비중(gr/cm ³)
강원	홍업 (0-5cm)	21.3	46.7	33.0	1.24
	홍업 (20-25cm)	19.6	40.4	40.0	1.07
	사천 (0-5cm)	14.0	45.0	41.0	1.19
	사천 (20-25cm)	14.0	48.6	37.4	1.29
	사천 (모래흙)	9.0	51.6	39.4	1.37
	강원도 평균	15.5	46.4	38.1	1.23
충남	서산 (0-5cm)	13.5	41.0	45.5	1.09
	서산 (25-30cm)	16.5	57.4	26.1	1.52
	태안 (0-5cm)	19.3	44.7	36.0	1.19
	태안 (25-30cm)	19.2	55.4	25.4	1.47
	태안 (45-50cm)	23.6	51.6	24.8	1.37
	태안 잣나무 (0-5cm)	15.5	38.2	46.3	1.01
	태안 잣나무(35-40cm)	16.3	43.1	40.6	1.14
	충남 평균	17.7	47.3	35.0	1.26
전북	정읍 (0-5cm)	13.6	50.9	35.5	1.35
	정읍 (25-30cm)	15.8	48.6	35.6	1.29
	전북 평균	14.7	49.8	35.5	1.32
전남	낙안 (0-5cm)	21.3	33.9	44.8	0.90
	낙안 (25-30cm)	29.4	36.8	33.8	0.97
	전남 평균	25.4	35.3	39.3	0.94
경북	예천 (0-5cm)	23.4	49.9	26.7	1.32
	예천 (25-30cm)	31.0	54.6	14.4	1.45
	봉화 (0-5cm)	17.2	47.5	35.3	1.26
	봉화 (25-30cm)	17.1	43.3	39.6	1.15
	경북 평균	22.2	48.8	29.0	1.30
경남	함양 (0-5cm)	17.6	43.6	38.8	1.16
	함양 (25-30cm)	23.2	48.8	28.0	1.29
	단성 (0-5cm)	25.8	38.1	36.1	1.01
	단성 (25-30cm)	30.8	45.8	23.4	1.21
	경남 평균	24.4	43.9	31.7	1.17
제주	구좌 (0-5cm)	16.3	42.2	41.5	0.84
	구좌 (25-30cm)	20.4	41.6	38.0	0.88
	제주 평균	18.3	41.9	39.8	0.86

율을 말하며 이들이 적당한 비율로 조합되어야 식물생육에 좋은 영향을 미치는데 토양 삼상의 이상적인 비율은 고상 45%, 액상 25%, 기상 30% 정도이다.

토양삼상중 고상은 답압이 되었거나 통기성

이 나쁜 토양의 경우 높게 나타나는 경향이 있고, 배수가 안되는 토양은 액상 비율이 높게 나타나는 반면 기상의 비율이 낮게 나타나며, 통기성이 양호한 토양은 기상 비율이 높게 나타난다.

강원도 사천(강릉시 사천면 노동리) 묘포의 경우 원래 하천이 흐르던 하상부지였던 곳을 묘포로 사용하여 모래함량이 높은 토양으로 수분보유력이 낮은 토양인데, 고상의 비율이 45%~51.6%로 높게 나타났고 액상의 비율은 조사지역중 가장 낮게 나타나 9%~14% 밖에 안되었다.

경북 예천(용문면 성현리) 묘포는 저지대에 위치하고 토양배수가 좋지 않은 토양으로 액상이 가장 높게 나타나 심토의 경우 31%가 나타났으며 제주도 토양의 경우 화산회토양으로 통기성이 양호해 표토의 기상은 41.5%로 높게 나타났다.

묘포 토양의 삼상조건은 전반적으로 산림토양에 비해 고상비율은 비슷하게 나타났으나 액상 비율이 낮고 기상 비율이 높은 경향을 나타내었다.

(3) 토양 가비중

묘포 토양의 가비중 또한 산림토양 가비중보다 대체적으로 높게 나타나는 경향을 보여 토양물리성이 나쁜 토양이었는데 토양물리성이 악화된 주 원인으로는 다음과 같은 요인들을 들 수 있을 것이다.

- 1) 장기적인 고정묘포 경영에 의한 토성의 악화
- 2) 제초제 사용으로 인한 토양 표층의 견고화
- 3) 표토유실에 의한 심토층의 노출

이와 같은 물리성의 악화는 가뭄이나 많은 강우시 수분의 과부족 현상을 쉽게 발생시키는 주원인으로 작용할 우려가 높으며, 특히 토양

의 견밀화는 유묘 생장시 뿌리 발달에 지장을 초래할 뿐만 아니라 토양의 산성화, 토양 미생물의 번식을 제한하는 주 요인으로도 작용한다.

다. 묘포 토양의 화학성

묘포 토양의 화학성은 토양 층위별, 시비종류 및 방법 등의 차이에 따라 비닐 봉지에 약 600g의 토양시료를 채취하여 산도, 유기물, 전질소 등 10개 항목을 분석하였으며 분석결과는 부록2와 같다.

(1) 산도(pH)

토양산도는 토양반응의 정도를 나타내는 지수로서 토양 중에 있는 물질의 성질이나 행동에 중요한 영향을 미치며, 또한 토양 미생물의 활동이나 식물의 생육을 좌우하는 인자이다. pH는 어떤 용액 중의 수소이온 농도를 표시하는 지수이며 토양의 산성, 중성, 알칼리성을 알기 위해 산도측정기로 측정하는데 pH 7은 중성이고 pH 7보다 낮은 값은 산성, 높은 값은 알칼리성이다.

그림 6에서 보는바와 같이 각 도별 토양산도는 pH 4.3~5.8로 나타나 매우 광범위하게 분포하였는데 이는 묘포로 사용한 연한이나 화학비료 사용량, 퇴비사용량 등 비배관리 성향의 차이에 따른 결과로 생각된다.

식물이 생육할 수 있는 적정 토양산도의 범위를 pH 5.5~6.5로 볼 때 대부분의 묘포 토양이 pH 5.5 미만으로 산도를 교정해 주어야하는 범위에 들어있음을 나타내고 있는데 이와 같이

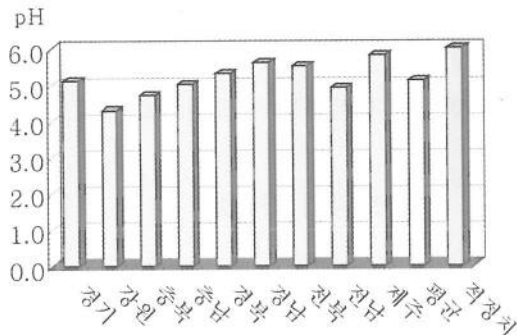


그림 6. 도별 토양산도(pH)분포

대부분의 묘포 토양이 산성화된 원인은 제초제 살포, 질소의 다량공급으로 식물이 흡수하고 남은 토양에 잔류되는 질산태 질소로 인하여 토양산성화를 가속화 시키고 있으며 황산암모늄(유안: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)을 과다시비하게 되면 토양의 산성화를 초래하는 원인이 되기도 한다.

9개도 고정묘포 전체의 평균산도는 pH 5.1이었으며 강원, 충북, 충남, 전남지역의 평균산도는 각각 pH 4.3, 4.7, 5.0 및 4.9로서 산성화된 묘포가 많아 토양산도의 교정이 필요한 것으로 분석되었다.

특히 강릉시 사천 묘포의 경우 부록 2에서 보는바와 같이 pH 3.7~4.4의 강산성 토양으로 나타났는데 이는 사천묘포가 50년이상 계속적으로 포지로 사용하여 조사지역중 가장 오래된 묘포로서 장기간의 화학비료 사용과 연작에 의해 토양이 산성화된 것으로 판단되며 향후 퇴비 및 석회시용 등에 의한 토양산도(pH) 교정이 절대적으로 필요할 것으로 판단되었다

토양산도의 교정시에는 특히 석회시용량에 유의해야 하는데 석회를 과다하게 시용하게 되면 철의 흡수가 어렵게 되어 잎에 황화 현상이

일어나 생장 둔화를 초래하게 되므로 유의하여야 한다.

(2) 유기물(Organic matter)

토양 내 유기물은 보수력, 토양구조의 변화 등 토양의 이화학적 성질 개선에 중요한 역할을 함과 동시에 미생물의 활동을 돕고 식물에 영양분을 공급하고 저장하는 저장고이므로 임목에 대한 양분의 보급면에서 중요한 기능을 하는 인자이다.

각 도별 유기물함량은 제주도를 제외하고 가장 높은 표토를 기준하여 볼 때 낮게는 1.6%에서 높게는 4.4%까지 많은 차이를 보이고 있으나 대부분 3%이하로 나타났으며 묘포에 관행적인 시비를 행한다고 볼 때 매우 낮은 수치인데, 이를 시비 등 인위적인 시업을 행하지 않는 산림토양의 유기물 함량(갈색산림토양; 2~5%)과 비교해 볼 때에도 매우 낮은 수준에 있음을 알 수 있다(그림 7).

이는 토양의 물리성에서도 언급한 바와 같이, 오랜 경작으로 점토의 세탈에 의한 토양입자의 견밀화 및 굵은 입자의 모래 등에 의해 형성된 큰 공극 등이 계속적인 시비에도 불구하고 수

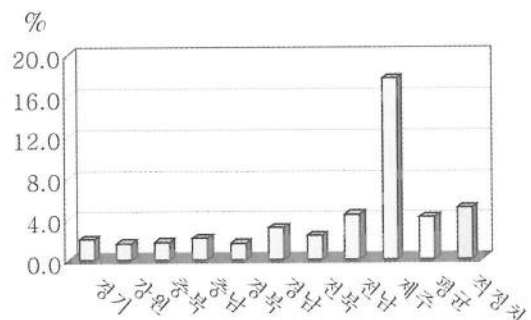


그림 7. 도별 토양유기물 함량

분 및 양분의 흡착력을 상실하였기 때문일 것이다.

(3) 전질소(T-N)

질소는 광합성에 필요한 엽록소, 생리작용을 촉진하는 물질을 공급하는 원소로서 식물에 가장 많이 필요로 한다.

각 도별 전질소함량은 낮은 곳은 0.09%부터 높은 곳은 0.63%로 매우 큰 폭의 차이를 나타내고 있었으며 제주도를 제외하고는 양묘를 위한 적정함량보다 낮은 값을 보이고 있으며 특히 경상북도 지역이 가장 낮은 것으로 분석되었다(그림 8).

또한 부록 2에서 보는바와 같이 지역별 전질소함량도 낮은곳은 0.01%에서부터 높은곳은 0.70%로 나타났는데 이는 개별적으로 질소질비료의 시비관행에 큰 차이를 보이고 있다는 것을 알 수 있다.

(4) 유효인산(avail P2O5)

인산은 광합성과 호흡작용에 관여하는 식물생장과 가장 밀접한 관계를 가지고 토양과 임목간의 순환계에 작용하는 중요한 인자로 유효

인산은 식물이 쉽게 이용할 수 있는 형태이다.

또한 인산은 토양 중에서의 이동은 적어 타성분에 비하여 토양의 흡착 또는 고정되는 양이 많으므로 시비할 때마다 인산을 시비할 필요가 없는 데에도 불구하고 매년 기비나 추비시에 관행적으로 인산이 함유된 복합비료를 시비하고 있었다.

각 도별 유효인산 함량은 경상남도가 962 mg/kg로 가장 높게 나타났으며 적정 유효인산함량인 200mg/kg보다 낮게 나타난 도는 경기, 충북, 전북 및 제주도로써 도별간에 큰 차이를 보이고 있다(그림 9).

또한 개별 묘포의 유효인산 함량은 지역간에 차이가 더 크게 나타났는데 낮게는 1mg/kg에서 높게는 2,399mg/kg까지로 전반적으로 200mg/kg 이상 높게 나타난 지역이 많아 다른 양분보다 과잉 축적되어 있는 것으로 나타났다(부록 2).

한편 제주도 토양의 인산함량은 6mg/kg로 타 도보다 매우 낮게 나타났는데 이는 제주도 토양이 현무암을 모암으로 생성된 화산회토양(Volcanic ash forest soils)으로서, 화산회토양에 많이 함유되어 있는 버미큘라이트(Verm-

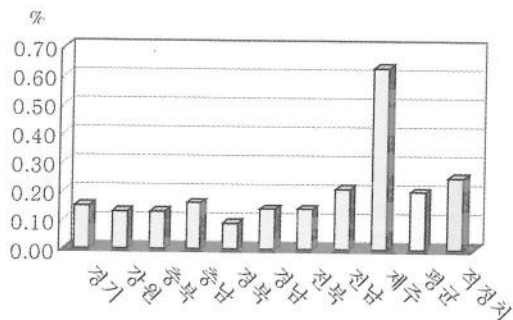


그림 8. 도별 전질소함량

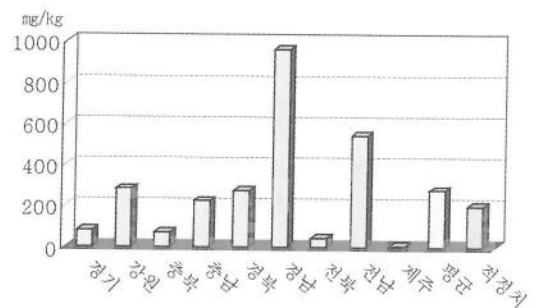


그림 9. 도별 유효인산 함량

iculite), 석회장석(Anorthite) 및 비정형광물인 알로판(Allophane) 등 점토광물중에 함유되어 있는 알루미늄(Al)과 철(Fe)이 AIP, FeP 등으로 인산을 고정시켜 낮게 나타나므로 인산의 시비량을 늘려야하는 토양으로 나타났다.

(5) 치환성양이온 및 염기포화도

그밖에 鹽基를 교환할수 있는 치환성양이온인 칼리, 나트륨, 칼슘, 마그네슘 등의 분포 범위도 지역간에 매우 큰 차를 보였다.

한편 염기포화도는 낮게 나타나도 문제점이 있지만 너무 높게 나타나도 염류장해를 일으킬 수 있는데 크게 문제되는 도는 없지만 그림 8에서와 같이 강원, 충북, 충남, 전남 및 제주도에서 적정함량보다 낮게 나타났다.

상기에서 살펴본 바와 같이 토양의 화학성이 지역간, 토심간에 매우 큰 차이를 보이고 있는 것은 토양분석을 통하여 시비량을 결정하고 부족한 원소만 시비하는 과학적인 시비방법을 실시하지 않고 복합비료를 적당량 시비하는 관행적인 시비관리, 부숙되지 않은 퇴비사용, 돈분과 우분을 섞은 자가퇴비 등을 사용하는데 기

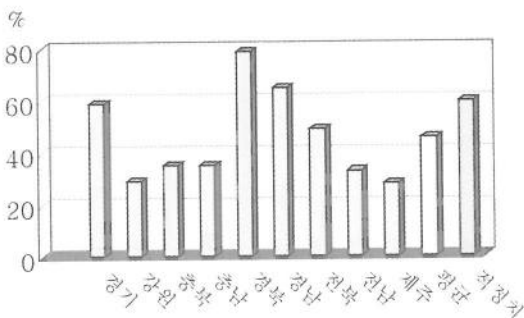


그림 10. 도별 염기포화도 분포

인되는 것으로 생각된다. 특히, 묘목의 생장이 늦어지거나 잎이 황색이나 다른 색으로 부분적으로 변색되는 경우에는 병해, 연작피해, 기상피해 등으로 생각할 수 있으나 잘못된 시비 즉 산도(pH)가 높은 퇴비의 사용이나 길항작용에 의한 미량원소 부족현상은 아닌가 생각해 보아야 할 것이다. 미량 원소의 결핍원인으로는 화학비료만으로 양묘를 하였을 경우, 동일수종을 장기간 동안 양묘하였을 경우, 토양 내에 필수양분이 결여되었을 경우 발생할 확률이 매우 높다.

4. 묘목생장 장애 요인

가. 입지환경 요인

(1) 묘포지 선정오류

논으로 사용했던 경작지를 묘포로 사용하여 토양배수가 불량하거나 건조시에는 거북이 등처럼 갈라지는 현상이 나타나는 미사질양토(Silt Loam)에 양묘함으로써 생육에 불리한 영향을 미치는 토양조건으로 정상적인 생육이 어려울 뿐만 아니라 병충해 발생이 많아진다. 또한 논이 아닌 곳에서도 토양배수가 불량하거나 보수력이 낮은 사질토양을 묘포로 사용하여 가뭄피해를 입는 곳도 있다.

(2) 양묘수종 선정오류

온대중부 이북 지역에서만 양호한 생장을 기대할 수 있는 자작나무 및 잣나무를 중부이남 지역에서도 파종, 식재하여 정상적인 득묘 양묘에 어려움이 있어 중부이남 지역에서는 금후



그림 11. 논을 포지로 사용
(경기도 광주읍 유정리)

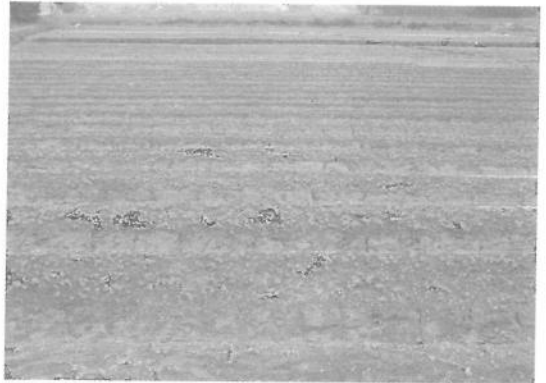


그림 12. 논을 포지로 사용
(경기도 광주시 도척면 유정리)



그림 13. 논위에 객토하여 불투수층 형성
(경기 광주 도척 장지리)



그림 14. 논을 포지로 사용하여 불투수층 형성
(충남 금산 남이 흑암리)

이들 수종의 양묘는 피하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

(3) 연작피해

일정기간 휴경이나 윤작을 하지 않고 같은 수종으로 계속 연작함으로써 토양의 지력이 낮아져 정상적인 생장이 되지 않거나 병충해 발생이 많아지는 경우가 있다. 또한 토양의 염류화로 점토, 미사 등 미세립자가 유실됨에 따라 토성은 사질화되어 수분 및 양분의 보유력은 현저히 저하되게 된다

나. 토양의 이화학성 요인

(1) 묘포 토양의 물리성

- (가) 장기적 묘목 생산에 따른 물리성 악화
- (나) 제초제 사용으로 인한 토성의 악화
- (다) 모암(퇴적암)과 토양 성분에 의한 토양표층의 견고화
- (라) 표토 유실로 토층이 얇아지고, 지하수위 상승
- (마) 화학비료 시용에 의한 미량 원소의 결핍
- (바) 토양의 산성화
- (사) 토양 미생물의 번식 제한



그림 15. 연작에 의한 묘목피해

(아) 동일수종 연작에 의한 기지현상 유발

(2) 묘포 토양의 화학성

(가) 토양산도 교정을 위하여 석회를 과다하게 시비, 철의 흡수가 되지 않고, 잎에 황화 현상이 일어나 생장의 둔화를 초래한다.

(나) 황산암모늄을 과다하게 시비하면 산성화 되고, 반대로 초산암모늄은 염기성화 되어 위황현상이 초래한다.

(다) 과다한 기비의 시용은 비대 성장을 초래하여 건묘가 될 수 없고 병충해 및 동해를 받기 쉬우며 산지에 이식하였을 때 환경적응력이 약해져 활착율이 저조해 진다.

다. 잘못된 시비관행

(1) 화학비료의 남용

기비, 추비 등 시비 시에는 사전에 토양분석을 통해 부족한 성분만 시비를 하여 화학비료 과잉에 의한 염류집적을 방지하고 원소간 길항 작용에 의한 피해를 방지해야하나 조사지역 모두 매년 일반 복합비료를 관행적으로 시비하고 있었다.



그림 16. 연작에 의한 묘목피해

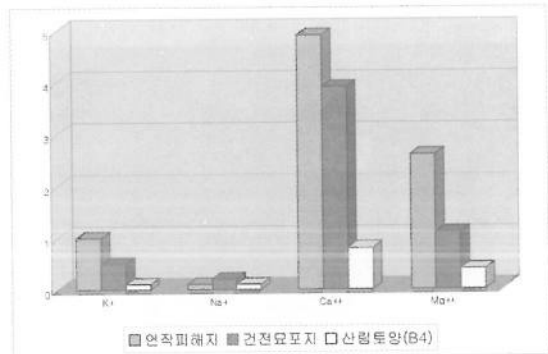


그림 17. 화학비료 연용으로 인한 염류장해

특히 과다한 기비시용은 비대 성장으로 건전 묘의 생산이 어렵고, 병충해 및 동해피해를 받기 쉬우며 산지 이식시 환경에 적응력이 약해져서 활착율이 저하되기도 한다.

(2) 기준 미달의 퇴비시용

묘포장에서 토양의 물리성을 개선시키고 부족한 유기물을 공급하기 위해서 시판되고 있는 톱밥퇴비, 수피퇴비를 사용하거나 농가 자체적으로 수피 또는 축사에서 나오는 퇴비를 부숙시켜 양묘 시업 전에 살포하는 경우가 있었다.

묘포에서 사용하고 있는 퇴비는 시판되는 퇴비나 농가 자체적으로 생산하는 퇴비 모두 많

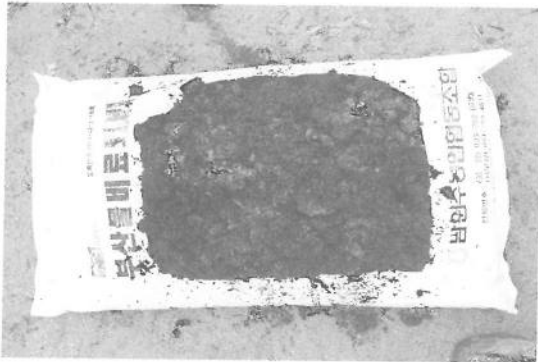


그림 18. 부숙이 덜된 퇴비사용으로 질소
기아현상 유발

은 문제점을 안고 있는데, 표 3에서 보는바와 같이 1번과 2번 시료는 시판되고 있는 부숙퇴비로 전질소, 칼슘, 마그네슘의 함량이 2배 이상 차이가 나고 수분함량도 20% 가까이 차이가 나는 것을 볼 수 있듯이 비료 공정규격에도 미달되는 불량제품이 많이 생산되고 있으므로 주의하여 사용하여야 할 것이다.

특히 돈사에서 나오는 분뇨를 원료로 생산되

는 제품은 사용에 유의해야 하는데, 돼지오줌은 강알카리성으로 독성이 매우 강하므로 완전히 부숙되지 않은 퇴비를 사용할 경우에는 수목에 치명적인 해를 입힐 우려가 있다.

표 3의 6번과 7번 시료는 돈분과 우분을 묘포장에 사용하기 위해 야적시켜 놓은 퇴비인데 pH 9가 넘는 강알카리성으로 묘포에 시용할 경우 직접적인 피해를 일으킬 수 있다. 또한 수피, 톱밥 등을 이용하여 농가 자체적으로 생산하는 퇴비의 경우에도 많은 문제점을 일으키고 있는데 질소의 함량이 일반퇴비에 비해 1/10수준으로 매우 낮고 C/N율이 높아 완전부숙이 되지 않음으로써 이러한 퇴비를 묘포 토양에 시용할 경우 토양 중에 있는 질소를 이용해 부숙이 진행되므로 결국 수목에 질소기아 현상을 일으키게 된다. 이와 같이 묘포 토양에서의 유기물 공급은 매우 중요한 일이므로 퇴비 선정시에 많은 주의를 요한다.

표 3) 묘포에서 사용중인 퇴비의 화학성

번 호	시 료 명	산도 (pH)	유기물 (%)	P ₂ O ₅ (%)	전질소 (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	수분 함량 (%)	OM/N (ratio)
1	원주, 홍업면 퇴비(N 농협 생산)	7.3	28.9	0.48	0.71	0.61	0.75	0.50	64.8	41.0
2	서산, 성연면 퇴비(P 영농조합)	7.0	31.7	0.04	1.62	0.74	1.60	0.91	46.3	19.6
3	원주, 홍업(자체생산 수피퇴비)	6.2	20.6	0.01	0.34	0.33	1.43	0.23	54.0	60.4
4	강릉, 사천(자체생산 수피퇴비)	7.5	23.6	0.83	0.19	0.14	1.12	0.04	65.3	124.2
5	순천, 낙안(자체생산 퇴비)	7.0	18.6	0.69	0.30	0.20	0.50	0.17	72.0	62.6
6	담양(자체생산 돈분퇴비)	9.7	26.3	1.65	0.66	0.54	3.30	0.77	56.7	39.7
7	담양(자체생산 우분)	9.0	12.5	0.80	0.46	0.23	0.66	0.47	72.7	27.0
8	나주 (강세웅)	7.4	20.8	1.25	0.88	0.65	3.85	2.39	35.9	23.7
9	광양 (김영호)	7.6	38.1	0.69	0.70	0.44	1.59	0.33	47.8	54.1
10	해남 (김응서)	7.9	27.0	0.49	0.57	0.40	2.30	0.38	58.0	47.5

4. 묘포 토양의 관리방안

가. 물리성 개량

토양의 물리적 성질은 임목생육에 필요한 수분과 양분을 공급하고 뿌리가 자라고 호흡할 수 있도록 조장하는 역할을 하는 데 특히 과종묘 및 이식묘의 정상적인 생육을 위해서는 토양의 물리성이 보다 중요하므로, 묘포 토양의 물리성을 개량하기 위한 방법을 강구하는 데에 특별한 관심을 기울여야 할 것이다.

(1) 객토에 의한 토성개량

점토질이 적고 모래가 많이 섞인 사토와 사양토는 토양입자가 크고 입자간의 공극이 크기 때문에 물이 잘 통하고 산소 함유량도 크지만 보수력이 약하다. 이런 토양에서 양묘된 묘목은 뿌리가 크고 길어서 이식이 불편하고 특히 한발기에 약하다.

식토는 토양입자가 작고 토양공극도 작으므로 모관인력이 강하여 수분, 양료를 잡아두는 성질은 강하나, 단립구조이므로 비가오면 수분이 포화상태가 되어 땅속 공기량의 부족현상을 초래하고 한발시 강한 증발현상으로 땅이 굳어지고 호흡작용이 부진하여 묘목생육을 불량하게 하며 심하면 고사하게 된다.

그러므로 식토와 사토의 중간형인 양토나 사양토로의 토성개량이 바람직하다. 이들 토양은 보수력이나 흡수력, 점착력이 강하고 산소의 통기성도 양호하여 식물생육에 필요한 요소를 적당히 공급하는 이상적인 토양이다.

(2) 토양 배수상태 개선

묘포 토양 대부분이 배수가 불량하여 신선한 토양으로 객토를 하거나 퇴비, 목탄 등 토양개량제를 사용하여 토양배수 상태를 양호하게 개선해야 한다.

특히 사암을 모재로 하는 토양은 토심이 얇고, 배수가 불량하며 토양의 통기성 및 투수성이 불량하므로 모래함량이 많은 粗粒質화강암 하층토양이나 모재토양으로 객토를 실시하여 토양배수 상태를 개선해야 한다.

(3) 공극율 조절

묘포의 전토심을 최소한 30cm 이상 되도록 복토하고 퇴비 또는 목탄 등을 사용하여 토양의 견밀도, 가비중, 고상율을 낮춰 공기의 유통과 뿌리가 자유롭게 자랄 수 있도록 공극율을 조절하여 준다.

토양의 견밀화에 의한 토양 물리성의 악화를 방지하기 위해서는 고상율을 낮추고, 공극율을 높여 주어야 한다. 이를 위해서는 퇴비를 섞은 조립질 토성을 갖는 토양으로 객토하여 심층토양의 고상율을 45%이하로 낮춰 준다.

나. 화학성 개량

산성토양은 소석회, 탄산칼슘 등을 사용하여 pH를 높여 주어야 하며 유기물함량이 부족한 토양은 유기질퇴비, 목탄 등을 사용하여 토양 물리성을 개량할 뿐만 아니라 유기물도 보충해 주도록 해야 하며 그밖에 질소, 인산, 칼리 등은 시비량의 증감을 통하여 표 4과 같이 개량 목표치로 교정해야 한다.

표 4) 각 원소별 토양화학성 개량목표

pH (H ₂ O)	탄소 (%)	질소 (%)	유효인산 (mg/kg)	양이온 치환용량 (me/100g)	치환성(me/100g)			Ca 포화도 (%)
					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
5.5~6.5	3~10	0.2~0.4	>200	10~15	>0.5	>3.0	>2.0	>20

※ 석회요구량 산정

$$\text{석회소요량} = C \times (A - B) \times D / 10$$

· C는 pH 1을 중성으로 변화시키는데 필요한 탄산석회량

· A는 개량하고자 하는 pH(KCl), B는 개량전의 pH(KCl), D는 개량할 토양의 토심

예) 부식이 있는 pH4.4의 토양을 pH 5.4(토심 12cm)로 개량하고자 할 경우의 탄산칼슘량 :

$$225\text{kg} \times (5.4 - 4.4) \times 12 / 10 = 270\text{kg}/10\text{a}$$

산도 5.0이하의 산성토양에서는 토양중의 Al, Fe 등이 유효인산과 결합하여 인산결핍을 일으키기 쉬우며, 산도 5.5~6.5 범위를 개량목표로 서서히 교정시킨다. 또한 토양산도가 pH 6.5 이상으로 중성에 가까운 치를 나타내면 과중상에서는 입고병이 발생하고, 묘목생장이 불량해지므로 석회시비를 줄이도록 한다.

다. 묘포 토양의 시비관리

(1) 양분결핍 증상

묘목의 생장이 늦어지거나 잎이 황색이나 다른 색으로 부분적으로 변색되는 경우에는 병해, 연작피해, 기상피해 등으로 생각 할 수 있으나 잘못된 시비 즉 산도(pH)가 높은 퇴비의 시용이나 길항작용에 의한 미량원소 부족현상은 아닌가 생각해 보아야 할 것이다. 미량 원소의 결핍원인으로는 화학비료만으로 양묘를 하였을 경우, 동일수종을 장기간 동안 양묘하였을 경우, 토양 내에 필수양분이 결여되었을 경우 발생할 확률이 매우 높다.

(가) 미량원소 결핍

1) 원인

- 화학비료 만으로 양묘
- 동일수종으로 장기간 양묘
- 모암에 필요 양분이 미함유시 발생하기 쉬움

2) 증상

- 묘목의 생장이 늦어 지고, 잎이 황색 또는 다른색으로 부분적 혹은 전체 변색(병해, 연해, 기상피해 등으로 생각 할 수 있으나 미량 원소의 부족은 아닌지 생각해 보아야 한다)

(2) 시비 관리

묘포 토양의 화학성이 지역간, 토심간에 매우 큰 차이를 보이고 있는 것은 토양분석을 통하여 시비량을 결정하고 부족한 원소만 시비하는 과학적인 시비방법을 실시하지 않고 복합비료를 적당량 시비하는 관행적인 시비관리, 부숙되지 않은 퇴비시용, 돈분과 우분을 섞은 자가퇴비 등을 사용하는데 기인되는 것으로 판단된다.

표 5) 식물의 색과 발육형태로 판정하는 양분결핍 증상

결핍양분	증상
질소	세포는 소형으로 되고 생육이 불량하며 하엽부터 담록색-황록색이 되어 점차 신초부위인 윗방향으로 올라가는 증상이 나타나고 뿌리의 생육도 불량해진다.
칼륨	하엽선단과 엽맥간에 황갈색의 반점이 생기며 엽경이 세장한다. 잎은 때로 아래로 처지기도 하며 심하면 식물전체가 황화현상을 일으킨다. 소나무, 낙엽송은 암록색-도황색이나 또는 적갈색을 띤다. 결핍이 심해짐에 따라 상엽으로 옮겨져 간다. 낙엽송과 소나무는 황록색이나 황색을 띤다.
칼슘	일반적으로 생장점의 활동이 약화되어 정아부분이 낚시바늘 모양으로 변하면서 마침내 고사하게 된다.
철, 망간	일반적으로 황화현상이 생긴다. 소나무, 삼나무, 편백에서는 신초부위가 황색 또는 황백색을 나타내고 점차 하엽으로 내려간다.
인산	잎이 암녹색 또는 적자색으로 되고 하엽은 노랗게 변한다. 교목성인 임목도 저목성으로 자라며 근계발달이 불량하고 특히 뿌리의 발육이 나빠진다. 묘목은 생육초기의 발육이 지연되고 위축되며 신초발육이 불량해진다. 낙엽송, 편백은 신초발육이 정지되고 줄기는 녹색 잎은 암자색으로 변한다. 소나무와 낙엽송은 정아를 제외하고는 하엽부터 암자색으로 변한다.

기비, 추비 등 시비 시에는 사전에 토양분석을 통해 부족한 성분만 시비를 하여 화학비료 과잉에 의한 염류집적을 방지하고 원소간 길항작용에 의한 피해를 방지해야하나 조사된 묘포장 모두 매년 일반 복합비료를 관행적으로 시비하고 있다.

특히 과다한 기비사용은 비대 생장으로 건전묘의 생산이 어렵고, 병충해 및 동해 피해를 받기 쉬우며 산지 이식시 환경에 적응력이 약해서 활착율이 저하되기도 한다. 또한 시판하는 톱밥, 樹皮퇴비를 사용하거나 자체적으로 부숙시킨 퇴비를 사용하는 경우가 있는데, 특히 가축분뇨(돼지)가 포함된 부숙되지 않은 퇴비를 사용하여 묘목의 생육에 심한 피해를 주고 있

는 경우도 있으므로 퇴비의 선정 및 사용에 유의해야 한다.

(가) 기비와 추비의 배분

기비와 추비의 배분비는 질소 6:4, 인산 10:0, 칼륨은 5:5로 하는 것이 바람직하다.

(나) 시비

속성수는 질소의 요구도가 크고, 소나무류는 칼륨의 요구도가 타 수종보다 크며 유실수는 비료 삼요소와 붕소의 시비가 중요하다. 한랭한 지대나 토성이 식질인 경우는 기비나 조기 추비에 중점을 두고 시비한다.

1) 질소

질소질 비료는 엽색과 생장을 관찰하면서 필요한 만큼만 시비한다.

2) 인산

소량의 인산질 비료를 주면 유묘의 초기생장이 크게 촉진되는 효과가 있다. 인산이 부족할 때는 ha당 유효인산을 70~120kg 정도 시비한다. 그러나 과다하게 사용하면, 철분 그 밖의 미량원소와 결합해서 불용성이 될 우려가 있다.

3) 칼륨

토양내 칼륨의 함량은 적은 편이고 또한 쉽게 유실되므로 유효칼륨의 양은 항상 부족한 상태에 있다. 부족 할 때에는 ha 당 35~140 kg 정도를 시비한다. 칼슘과 마그네슘은 석회나 기타의 형태로 시비한다.

라. 관수

수분은 묘목의 영양물인 동시에 광물질 양분의 용해와 운반, 분배 등의 역할을 하며 증산작용에 의한 수증기의 농도 및 체온조절 등의 역할을 하므로, 床표면에 직접 살수하면 표면 건조를 가중시켜 점토질인 포지는 견고해져 묘목생장에 지장을 주므로 파종상에는 짚을 잘게 썰어 묘간에 뿌려주고 한 낮에는 물을 쳐주어 건조피해를 최대한 줄여주도록 한다.

마. 김매기(제초)

김매기는 잡초를 제거하는 효과 외에도 굳은 흙을 부드럽게 하여 묘목의 생장에 도움을 주며 한발기에는 토양중의 수분증발을 막아 마치 짚을 깔아준 것과 같은 효과를 한다. 한편 땅속 깊이 뿌리박지 못한 어린묘목은 도리어 심한 건조현상을 일으켜 묘목이 고사할 우려도 있으므로 김매기를 할 때 유의해야 한다.

5. 묘포 토양 진단요령 및 토양시료 채취

가. 토양조사 요령

- (1) 전토심 : 표층토에서 하층토까지의 깊이를 cm 로 기록
- (2) 유효토심 : 일반적으로 임목이 성장하는데 영향을 주는 깊이로 식물근이 가장 많이 분포되어 있는 부분의 하단까지를 cm 로 기록
- (3) 토색 : 각 층위의 토피를 자연상태로 채취하여 음지에서 토색첩의 명도와 채도를 기록
- (4) 유기물 : 유기물함량은 화학분석으로 판정되나 현지에서는 토색으로 간이로 추정 할 수 있다.

구 분	토 색	
약간있다 (0-2%)	10YR	7/6 ,6/8, 5/8, 7/4, 7/8
	5YR	7/6 ,6/8, 5/6, 7/4, 6/6, 7/8, 4/1, 5/1, 4/2, 5/2
	2.5YR	6/4, 4/6, 5/6, 4/8, 5/8, 6/8
있다 (2-4%)	10YR	4/4, 4/6, 5/4, 6/4, 5/6, 6/6, 6/2, 5/3, 6/3
	5YR	4/6, 6/4, 4/3, 5/3, 4/4, 5/4, 4/4, 5/4, 4/8
	2.5YR	4/2, 5/2, 4/3, 5/3, 4/4, 5/4
많다	10YR	3/3, 3/4, 4/3, 4/2, 5/2
	5YR	3/2, 3/3, 3/4, 3/6
	2.5YR	3/2, 3/3, 3/4, 3/6
아주많다 (6% <)	10YR	2/2, 3/2, 2/3, 1.7/1, 2/1, 3/1
	5YR	1.7/1, 2/2, 2/3
	2.5YR	1.7/1, 2/1, 3/1, 2/2, 2/3, 2/4

- (5) 토성: 현지에서 점토, 미사, 모래함량을 손의 감촉으로 판정

구 분	성분(%)			부호
	clay	silt	sand	
양질사토 (Loamy Sand)	- 15	-30	70-90	LS
사질양토 (Sandy Loam)	- 20	-50	43-85	SL
사질식양토 (Sandy Clay Loam)	20-35	-28	45-80	SCL
식양토 (Clay Loam)	27-40	15-53	29-45	CL
양토 (Loam)	17-27	28-5	25-53	L
미사질양토 (Silty Loam)	12-17	50-80	20-50	SiL
미사질식양토 (Silty Clay Loam)	27-40	40-73	-20	SiCL

- (6) 건습도: 건습도는 계절, 강우, 식생, 방위 등에 의하여 상당한 변화가 있으므로 조사시 환경, 계절 등을 종합하여 층위별로 조사.

구 분	기 준
건조	손으로 쥐었을 때 수분에 대한 감촉이 거의 없다.
약건	딱 쥐었을 때 손바닥에 습기가 약간 묻은 정도
적윤	딱 쥐었을 때 손바닥 전체에 습기가 묻고 물의 감촉이 뚜렷
약습	딱 쥐었을 때 손가락 사이에 약간의 물기가 비친다.
습	딱 쥐었을 때 손가락 위에 물방울이 맺힌다.

- (7) 견밀도: 견밀도 측정기(Penetro-meter)에 의거 조사

구 분	기 준
심송(0.5>)	누르면 지두가 아주 잘 들어 간다
송(0.5-1.0)	누르면 지두가 잘 들어 간다
연(1.0-1.5)	누르면 지흔이 생긴다.
견(1.5-2.5)	누르면 지흔이 겨우 생긴다.
강견(2.5<)	눌러도 지흔이 생기지 않는다.

나. 토양의 화학적 성질 분석

(1) 토양시료 채취방법

토양은 불균일계이므로 조사지를 대표 할 수 있는 곳을 선정하여 시료를 채취하여야 하는데 이에는 균일한 거리를 작도하여 교차점(grid)에서 채취하는 방법과 무작위(random)로 조사점을 선정하여 채취하는 방법이 있으나 이 두 방법은 분석하고자 하는 목적과 토양의 비옥상태에 따라 다르기 때문에 현장에서 신중히 판단하도록 한다. 묘포지별로 표토층과 심토층으로 구분하여 토양시료를 1kg 정도 비닐봉투에 넣어 시료번호, 채취장소, 채취년월일 및 채취자를 기록한다.

(2) 토양분석 항목 및 분석방법

(가) 산도

토양시료와 증류수의 비율을 1:5로 잘 혼합한 후 산도측정기를 이용하여 토양산도를 측정한다. 또는 KCl(1N)을 토양과 1:5의 비율로 혼합한 후 측정한다(염류성이 강한 토양에서 활용).

(나) 토성

입경을 분석할 때 pipet법과 비중계(hydrometer)를 이용하여 분석하는 방법이 있다. 전자는 토양입자가 침강하는 시간을 이용하여 분석하는 방법으로 비교적 정확한 반면 시간이 많이 소요되며 비중계를 이용한 입경분석은 일정한 시간별로 토양현탁액에 비중계를 넣고 비중의 변화를 그래프에 의해서 분석한다. 이 방법은 비교적 빠르고 작은 기구로 측정 할 수 있으므로 가장 널리 사용된다.

(다) 유기물

Tyurin분석법을 개량하여 사용하고 있으며, Walkley-Black법을 사용하기도 하나 우리나라는 전자를 주로 사용하고 있다. 튜린법은 토양시료를 0.4N 중크롬산칼리황산에 혼합용액을 첨가한 0.2N 황산제1철암모늄 용액으로 적정하여 유기물량을 계산한다.

(라) 질소

주로 토양내 전질소를 분석하며 일반적으로 Macrokjedahl 법으로 분석한다.

(마) 유효인산

작물에 대한 토양의 인산공급에 가장 크게 영향을 미치는 양적인자로 토양 중 유효인산을 정량 하는 많은 방법 가운데 Lancaster법과 Olsen법이 있으나 주로 Lancaster법을 사용하고 있다. Lancaster법은 빙초산과 젖산을 이용하여 침출수를 만들고 발색을 시킨 후 염광분석기를 이용하여 비색정량하여 계산한다.

(바) 양이온치환용량

염기치환용량이라고 하며 일정량의 토양이 보유하고 있는 치환성 이온의 총량을 당량으로 표시한 것이다. 토양내 부식과 점토는 콜로이드(colloid)를 형성하고 있으며 토양용액 중에서는 음전하를 띤다. 식물이 쉽게 이용할 수 있는 양분 가운데 질산태 질소와 인산은 토양용액에서는 음이온을 형성하나 다른 양분은 양이온으로 존재하여 식물이 흡수할 수 있다. 이렇게 토양 콜로이드(colloid)작용으로 양이온을 흡착하는 능력을 CEC라 한다. 양이온으로 Ca, Mg, K, Na이며 분석법으로 Ca, Mg은 E.D.T.A. 법으로, K, Na는 염광분석 또는 원

자흡광분석으로 측정한다.

다. 엽분석

(1) 엽시료 채취방법

분석 목적에 따라 다르겠으나, 잎, 줄기, 뿌리 등 각 부위로 약간씩 채취한다. 식물체내 성분이 침출되기 쉬우므로 가볍게 씻고 상처가 나지 않도록 한다.

(2) 엽분석 항목

토양분석 항목과 동일하며 필요시 미량원소 분석도 가능하다.

6. 참고문헌

- 1) 비배임업. 정인구. 1975. pp. 434.
- 2) 산림토양단면도집. 1996. 임업연구원. pp. 73.
- 3) 산림환경토양학. 이천용. 1996. pp. 350.
- 4) 신고 비료학. 조성진. 1992. pp. 355.
- 5) 지질학개론. 정창희. 1986. pp. 642.
- 6) 토양화학분석법. 농업기술연구소. 1988. pp. 450.
- 7) 한국의 지질. 한국동력자원연구소. pp. 128.
- 8) Benjeshecken. Hermann Benjes. 1998. pp. 157.
- 9) Forstliche Standortsaufnahme. Arbeitskreis Standortkartierung. 1996. pp. 352.
- 10) Straeucher in Wald und Flur. ecomed. Bayerischer Forstverein(Hrsg.). 1998. pp.569.

부 록

■ 토양조건별 식재수종

□ 토양의 물리적 성질과 적수

토 성	생 육 가 능 수 종
사양토, 양토	소나무, 리기다소나무, 버드나무, 아까시나무 등 수종에 관계없이 양호하게 생육가능
사토	소나무, 리기다소나무, 아카시아, 버드나무
식양토	소나무류, 전나무
식토	일본잎갈나무, 상수리나무류, 서나무, 뽕나무, 소나무, 리기다소나무, 가문비나무
석력토	밤나무, 대나무
미사질양토	잣나무 등 대부분

□ 토심에 따른 수종 선택

임목생육에 있어서 토심은 60cm 이상일 때 충분하나 30cm 이하일 경우 불량함.

토심조건	생 육 가 능 수 종
비교적 얇은 토양	아까시나무, 사시나무류, 황철나무류, 자작나무류, 버드나무, 가문비나무류, 오리나무류
깊은 토양	상수리나무류, 밤나무, 느티나무, 소나무, 해송, 물푸레나무, 전나무
중간 토양	일본잎갈나무, 잎갈나무, 측백나무, 편백나무, 잣나무, 너도밤나무

□ 토양건밀도에 따른 수종 선택

토양건밀정도	생 육 가 능 수 종
경송 토양	소나무, 리기다소나무, 느릅나무, 해송, 버드나무, 황철나무, 밤나무, 아까시나무, 오리나무, 삼나무, 편백
건밀 토양	소나무, 상수리나무, 서나무, 리기다소나무, 전나무, 분비나무, 잎갈나무, 느티나무

□ 토양건습도에 따른 수종 선택

토양수분조건	생 육 가 능 수 종
건조토양	소나무, 리기다소나무, 일본잎갈나무, 노간주나무, 아까시나무, 향나무, 오리나무류, 자작나무, 싸리나무
약습토양	버드나무류, 황철나무류, 자작나무, 들매나무, 리기다소나무, 귀룽나무, 나도밤나무, 느티나무, 해송, 전나무, 상수리나무, 독일가문비나무, 솔송나무, 잣나무

■ 토양의 화학적 성질과 적수

□ 토양산도

토양산도	생 육 가 능 수 종
산성토양	소나무, 해송, 버드나무, 가문비나무, 전나무, 참나무류, 잎갈나무류, 물푸레나무
중성토양	일본잎갈나무, 느티나무, 녹나무, 전나무, 잣나무, 잎갈나무, 편백
알카리성 토양	포플라, 호두나무, 느릅나무, 회양목, 단풍나무, 물푸레나무

□ 염류토양에 강한 수종

섬취퐁나무, 순비기나무, 해송, 아까시나무

□ 일광요구도에 따른 수종 선택

일광요구도	생 육 가 능 수 종
음수	주목, 비자나무, 전나무, 회양목, 가문비나무, 분비나무, 너도밤나무
중간수	느릅나무, 후박나무, 잣나무, 피나무, 단풍나무류, 뽕나무류, 아까시나무, 호두나무, 팽나무
양수	오리나무류, 밤나무, 상수리나무류, 물푸레나무류, 향나무류, 측백나무류, 오동나무, 소나무, 사시나무류, 버드나무류, 느티나무, 율나무, 잎갈나무류, 자작나무류

광능숲 보존에 관하여

김 도 경

국립수목원 식물조사와 과장

1. 광능숲의 가치

광능숲은 산림청 소관 시험림과 중앙에 문화재 관리국 소관림을 포함하여 총 2,400 ha에 달하는 아름다운 숲이다. 우리나라 인구의 46%인 2,000만명이 살고있는 수도권에 위치하고 있어 그 가치가 한층 더 하다. 이러한 예는 세계적으로 흔치 않은 경우로써 우리가 이러한 귀중한 숲을 가지게 된 것은 우리나라 조선조 시대의 능림제도의 결과인 것이다.

조선조 제 7대 임금인 세조는 죽엽산을 중심으로 십 오리를 자신의 능림으로 지정하고 주변에 화소를 설치하고 산불을 막고 벌목을 금지 하는 등 이 지역을 보호 관리하기 시작하였는데 이때가 1468년이다. 이렇게 보호 되어온 산림이 1911년에는 능묘에 인접한 부속지 100ha를 제외한 나머지 숲을 국유화하였고, 그 후 1913년에는 이곳에 묘포장을 설치하고 전체 숲을 임업 시험림으로 지정하여 현대적인 시험림으로 보존 관리하여 왔다.

광능숲은 이와 같이 시험림으로서 1910년대부터 외국수종을 포함한 여러 가지 유용한 수종들을 시험 식재하고, 적응력 검정 등 조림기술을 정립하여 우리나라의 녹화사업에 크게 이바지하였으며, 그 시험지들이 지금은 완숙한 미

림으로 성장하여 위용을 자랑하고 있다.

그러나 무엇보다도 중요한 것은 극상을 이루고 있는 소리봉 일대의 천연림이다. 우리나라는 물론 세계 산림의 대부분이 인간의 간섭을 받은 2차림인데 반하여 500년 이상을 자연적인 재해나 인위적인 간섭이 없이 자연 그대로 변천하여, 현재 온대 중부지방의 식생천이의 정점인 서어나무 숲을 형성하고 있다는 것이다.

이렇게 보존된 수풀이기 때문에 수풀 내 도양은 완전한 층위를 갖추고 있을 뿐만 아니라, 식물과 곤충, 동물 등 다양한 생물들이 연관되어 살아가며 이루어지는 물질순환에 현장을 한 눈에 볼 수 있는 곳이기도 하다. 광능숲에 자생하고있는 식물종은 약 1,000여종에 이르는데 이것은 우리나라에 자생하고 있는 식물종을 4,500여 종으로 볼 때 우리나라 전체 식물종의 20% 이상이 이 숲에 자생하고 있는 것이 되는데 이것은 이곳에 식물다양도가 놀랄 만큼 높다는 것을 말하여 준다. 이렇게 식물종이 다양한 것은 숲이 오랫동안 보존되었기 때문에 숲의 주축을 이루고 있는 나무들에 의하여 다양한 입지 조건이 만들어 졌다는 것이다. 상층 임목의 종류와 울폐도에 따라서 임내 광도가 달라지고, 따라서 온도가 달라지며 이러한 것들이 복잡한 지형과 연관되므로써 다양한 토

성과 비옥도, 토양습도, 공중습도 등을 만들어 각각 입지 조건에 맞는 다양한 식물들이 들어와 살게 된 것이다. 식물의 다양도는 식물의 성장조건이 나쁠수록 낮아진다. 예를 들어 진달래가 군락을 이루고 있는 지역은 토양의 산도가 높아 다른 식물종은 살기가 어렵기 때문이며, 고산지대의 산 중복이상에 신갈나무 단순림이 형성되어 있는 것도 이러한 이유로 설명할 수 있다. 생물종의 다양도는 인류의 생존과 직결되어 있다. 환경이 악화될수록 악화된 환경에 적응하지 못하는 생물종부터 도태되기 시작하며 인간도 어느 단계에서는 도태되어질 수밖에 없다는 것은 당연한 사실이다.

광능숲은 미래 우리의 자연관리의 모델로써 그 가치가 높다고 할 수 있다. 이렇게 오랜 세월을 두고 형성된 광능숲의 독특한 환경은 다른 지역에서는 볼 수 없는 여러 가지 특산 생물종들이 많이 서식하게 하였다. 특산 식물종은 목본류로써 광능물푸레, 흰진달래 등 4종이 있으며, 초본류로는 현재 멸종 위기종으로 지정된 광릉 요강 꽃 등 10종이 있다. 서식동물은 곤충을 비롯하여 2,900여 종이 있는데, 세계적인 희귀종으로써 천연기념물로 지정된 크낙새와 곤충으로서는 유일한 천연기념물인 장수하늘소가 서식하고있다. 이와 같이 광능숲은 그 가치를 가름 할 수 없을 정도로 귀중한 우리의 재산이다.

2. 숲 보존의 문제점

숲에 큰 영향을 미칠 정도로 큰 피해는 자연

적인 원인은 거의 없으며 대부분이 인위적 피해라고 할 수 있다. 자연적인 피해로써 우려되는 것은 병충해 피해로써 현재까지 솔잎혹파리 피해와 솔나방 피해를 들 수 있는데 결과로써 일부 소나무 임상의 밀도가 낮아지기는 하였지만 임분 구조의 급작스런 큰 변화는 없었다.

가장 큰 문제는 인위적인 피해이다. 인위적인 피해는 직접적인 피해와 간접적인 피해로 구분할 수 있다. 1970년대 이전에는 간접적 피해는 없었고 대부분이 직접적인 피해였다. 도벌과 남벌이 대표적인 피해 요인 이었는데 이것은 그 시기에 우리나라 산림황폐화에 가장 큰 요인 이었지만 광능숲은 우리 선배 임업인들의 피나는 노력으로 그 시기를 무난히 견딜 수 있었던 것이다.

다음의 인위적인 피해로써는 방화 또는 실화에 의한 산불 피해이다. 산불 피해는 과거나 현재를 막론하고 가장 우려되는 피해로써 그동안 농경지 주변에서 몇 번의 산불이 있었으나 잘 갖추어진 예방 및 진화 체제로 조기에 진화하여 큰 피해는 받지 않았으나 앞으로도 가장 주의하여야 할 피해 요인이다.

그러나 지금 가장 심각한 문제는 광능숲을 둘러싸고 일어나는 도시화에 의한 인위적인 간접적 피해이다. 광능숲 주변지역으로써 포천군 마명리 지역과 남양주군 부평리 지역은 광능숲과 바로 인접하여 중,소 공장이 밀집하여 들어서고 있으며, 의정부시 민락동 지역과 남양주군 장현, 내각리 지역은 아파트 단지가 급속도로 형성되고 있다. 여기서 발생하는 유해가스 와 오염된 폐수는 광능숲의 동식물에 커다란

피해 요인이 되고 있으며, 포천군 직동리와 고모리에 형성된 주점 및 유흥 음식점 집단촌은 야간에 현란한 불빛으로 숲 생태계에 균형을 위협하고 있다.

이와 같이 광능숲 주변지역의 도시화는 광능숲을 관통하는 도로를 포함하여 주변도로에 교통량을 증가 시키므로써 배기가스에 의한 피해도 가속화되고 있다. 산불의 피해나 오폐수의 유입, 직접적 인위적 피해는 관계공무원이나 단체, 주민 등의 협조나 노력으로 예방이 가능할 것으로 생각되나 유해가스에 의한 직, 간접적인 피해는 막기가 어렵다. 유해가스는 식물의 잎 등 생 조직에 접촉 또는 침투하여 식물체를 파괴 고사시키며, 간접적으로는 토양을 오염시키거나 유해곤충의 천적 등을 죽여서 결국은 숲을 파괴하게 된다. 전나무는 광능숲을 상징하는 대표적인 수종이지만 대기오염에 아주 약한 수종으로써 최근 몇 년 사이에 2-3년 생 가지의 낙엽현상이 심하여 지고, 따라서 생장도 둔화되고 있다. 이러한 추세라면 광능숲의 파괴는 멀지 않을 것으로 예견된다.

3. 숲 보존방안

광능숲의 보존은 좀더 일찍부터 계획적으로 이루어 졌어야 했었다는 아쉬운 감이 있다. 주변지역에 대한 계획적이고 제한적인 개발이 선행되었어야 했다. 현재 주변지역의 개발제한은 토지 소유주들의 반대로 큰 어려움에 봉착할 것이다. 일찍부터 광능숲과 관련하여 광능숲 주변을 생태마을, 자연학습장 등 높은 경제적

수익을 올리면서도 숲을 보호 할수 있는 지역으로 개발할 필요가 있었다고 본다. 광능숲은 수도권에 위치하고 있다는 지리적 이점 때문에 그러한 사업들의 수익이 충분히 보장 될 것으로 판단되며, 그러한 사업들의 성공은 토지 소유자나 원주민들의 불만을 해소 할 수 있었을 것이다. 그러나 현실적인 문제로써 지금 그 사업을 추진하기에는 많은 어려움이 있다. 그러나 광능숲을 보존하기 위 하여는 다양한 방법을 모색하여 많은 어려움을 극복하고라도 추진되어야 할 사업으로 판단된다.

그 밖에 문제로써 산채, 버섯, 수실 등의 도채와 뱀,개구리 등 서식동물의 포획, 엄나무, 윗나무 등 특수약용식물과 광능 요강 꽃 등 희귀식물의 도채 등이 방지되어야한다. 숲에 살고 있는 모든 생명체는 그 숲을 살아 움직이게 하는 톱니의 이와 같은 것으로 하나라도 빠지면 그 숲의 생명이 위협받게 되는 것이다. 따라서 이 문제는 관계자들의 부단한 노력과 국민들의 협조로 풀어 나가야 할 것이다.

또 한가지 현재 거론되고 있는 문제로써 관통 도로의 우회문제이다. 지금 광능숲 중앙을 지나고 있는 이 도로의 교통량은 꾸준히 증가하여 중,소도시 안에 도로와 비슷한 수준이다. 따라서 광능숲의 대표적인 이미지를 형성하고 있는 길가에 전나무 거목들이 자동차의 배기가스피해와 자동차의 충돌에 의한 상해, 도로포장에 의한 피해 등으로 근래에 많은 나무가 고사되었다. 광능숲을 상징하는 전나무 거목을 살리기 위 하여는 하루 빨리 우회 도로가 개설되어 숲속을 관통하는 자동차가 없어야 할 것

이다.

4. 맺는 말

광능숲은 세계적으로도 그 유래가 흔치 않은 귀중한 우리나라의 재산이다. 굳이 하나의 예를 들어 본다면 광능숲에 만 서식하고 있는 것으로 알려진 장수하늘소는 지금 그 값을 추정하기 어렵다고 하며, 앞으로도 그 가치는 계속

하여 늘어 날것이다.

숲은 인류가 함께 살아야 할 생명들이 살고 있는 유일한 장소로써, 숲의 존재는 바로 인류의 생존과 직결되어 있기 때문에 세계는 올해 2002년을 산의 해로 정하였고 미래 산업인 생명공학의 발전이 생물자원의 확보에 달렸다고 볼 때 그 어느 지역보다도 다양한 생물이 살고 있는 광능숲의 보존은 그 어떤 대가를 치르더라도 꼭 이루어야 할 우리의 과업이다.



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 제공함으로써 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 날로부터 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 원활히 수행하기 위하여 약간명의 직원을 둘 수 있으며 회장이 임명한다.

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, 상임이사로써 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 이사회 의 결을 거쳐 이 조사연구회의 기본 자산으로 적립한다.

제20조(회계년도) 본 회의 회계년도는 정부의 회계년도에 준한다.

제21조(예산편성) 회장은 사업년도 초에 사업계획서와 예산을 편성하여 이사회 의 결을 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

임원

- 자문위원 : 이여하, 감사일, 김태훈, 이진규, 김태옥, 박순조
- 회 장 : 유택규
- 부 회 장 : 김규현
- 상임이사 : 안병영, 김정환, 연정수
- 이 사 : 이원규, 손요환, 이창석, 권상원, 이명종, 박재인, 김재수, 최 경, 마호섭, 송장호
정진현, 오종환, 홍인표, 이천용, 박승중, 박재순, 임용호, 곽준일, 박동근
- 감 사 : 장영기

회 원

강창호, 구교상, 구창덕, 김정하, 김도경, 김상협, 김용중, 김인호, 김준섭, 김철수, 김춘식, 권광식, 박남창, 박동근, 박정신, 박제현, 박종현, 배상원, 변재경, 서수안, 서호식, 손창우, 신상철, 신수철, 심경용, 심우범, 안경모, 안병덕, 어윤갑, 원현기, 원형규, 윤호중, 윤은용, 이병춘, 이병한, 이시영, 이종금, 이충화, 이태수, 임호범, 정영호, 조용철, 조재형, 조현제, 홍의기, 홍한표, (46명)

임원주소록

직 위	성 명	소 속	주 소	전화번호
자문위원	李麗夏	전 임업연구회 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 문래동3가 국화아파트 1동 1505호	(02)677-3926
"	李鎮珪	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	서울 도봉구 창4동 동아청솔아파트 106-402호	(02)996-1507

직 위	성 명	소 속	주 소	전화번호
회 장	柳澤圭	원광대학교 교수	서울 동대문구 청량리동 동부아파트 103-1404호	(02)959-0773
부 회 장	金圭憲	전임업연구원 산림자원부장	서울 구로구 구로1동 주공아파트 110-1303호	(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)719-2025
"	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)250-8314
"	朴在仁	충북대학교 교수	충북 청주시 흥덕구 개신동 삼익아파트 101-1204호	(043)261-2532
"	金載水	충북대학교 교수	충북 청주시 상당구 울량동 럭키아파트 6-301호	(043)261-2532
"	崔敬	임업연구원 임지보전과장	서울 성북구 정능1동 경남아파트 103-603호	(02)992-1332
"	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	전임업연구원 임산공학부장	서울 노원구 상계3동 불암대림아파트 201-801호	(02)930-8817
"	洪寅杓	임업연구원 재료공학과장	서울 동대문구 청량리2동 207	(02)961-2561
"	이천용	임업연구원 임지보전과장	"	(02)961-2758
"	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
"	권상원	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

주요일지

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
- 2002. 2. 28 제6차 정기총회 개최

1996년 ~ 2001년 사업실적

- 시군 산림입지조사 담당자 교육 : 103회
- 산림입지도작성 순회 기술지도 : 18회
- 항공사진판독 : 3,582,959ha
- 산림입지조사용역 : 1,819,285ha
- 영림계획편성(산림조사) : 73,000ha
- 산지환경회지 발간 : 4호

2002년 사업계획

- 시군 산림입지조사 담당자 교육 : 2회
- 산림입지도작성 순회 기술지도 : 3회
- 항공사진판독 : 360,000ha
- 산림입지보완 : 360,000ha
- 영림계획편성(산림조사) : 54,100ha
- 산지환경회지 발간 : 제5호

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(A4 10장) 내외
- 원고의 채택
 - 편집위원회에서 결정
 - 등재된 원고는 소정의 고료 지불
 - 수시 접수

편 집 위 원

위원장 : 유 택 규

위 원 : 손요환. 이명중. 이천용

이창석. 최 경. 정진현

안병영

山地環境

第五號

發行人 겸 編輯人 柳澤圭 2002年 4月 印刷

2002年 4月 發行

發 行 處 社團 韓國山地環境調查研究會
法人 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



토양 단면



항공 사진 판독



(사)한국산지환경조사연구회

주소 : 경기도 남양주시 진접읍 장현리 604-3

전화 : (031) 572-1678 Fax : 572-7387