

발 간 등 록 번 호
11-1400377-001196-01



연구자료 제844호

생활권 수목의 위험성 평가 가이드라인

Guideline for Urban Tree Risk Assessment



책임운영기관
국립산림과학원

INDEX

생활권 수목의
위험성 평가 가이드라인



I. 생활권 수목 위험성 평가의 개요

1. 생활권 수목 위험성 평가의 필요성
2. 국내·외 현황
3. 국외 위험목 평가방법 비교

II. 수목 위험성 평가 절차별 점검사항

1. 위험성 평가의 정의
2. 위험성 평가 수준
3. 위험 대상물 평가
4. 대상목 입지 평가
5. 대상목 검사 및 평가
6. 자료분석 및 위험등급 구분

III. 수목 생물학 및 역학(Tree biology and mechanics)

1. 목재의 구조(Wood structure)
2. 목재의 부후(Wood decay)
3. 역학(Mechanics)

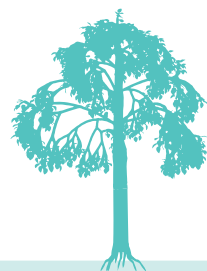
IV. 참고문헌

생활권 수목의 위험성 평가 가이드라인

Guideline for Urban Tree Risk Assessment

I. 생활권 수목 위험성 평가의 개요





CONTENTS

I. 생활권 수목 위험성 평가의 개요

1. 생활권 수목 위험성 평가의 필요성	2
2. 국내·외 현황	8
3. 국외 위험목 평가방법 비교	10

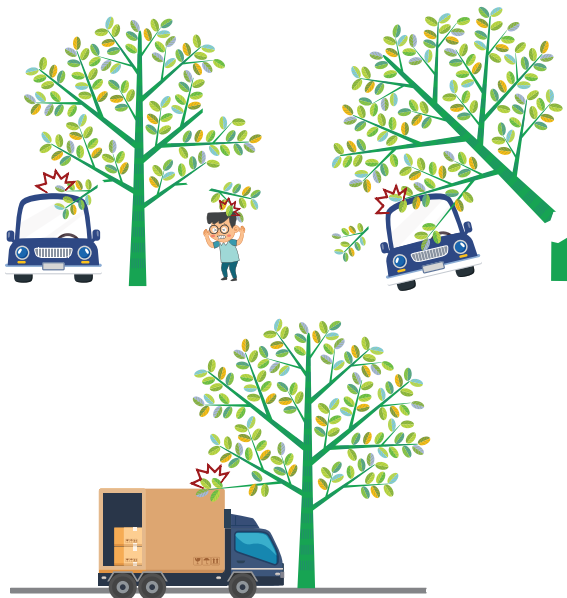


I

생활권 수목 위험성 평가의 개요

1. 생활권 수목 위험성 평가의 필요성

수목은 인간에게 대기환경 개선(산소 제공, 공기정화), 온도저감(그늘), 소음 차단(방음), 야생동물(곤충)서식처 제공, 조경미관, 홍수조절, 재해방지, 정신휴양 등 다양한 혜택을 제공하지만 가로수, 공원수, 학교 수목, 아파트 수목 등 산림이 아닌 지역에 식재되어 있는 생활권 수목은 여러 원인에 의해 도복, 가지 부러짐 등으로 인하여 인간의 생명과 활동, 재산상에 피해를 입힐 수 있는 위험성(Risk)을 지니고 있다(그림 1).



〈그림 1〉 수목의 도복과 가지 부러짐 등이 초래할 수 있는 위험성(인간의 생명과 활동, 재산 피해)

국내에서 빈번하게 발생되고 있는 위험목에 대한 신고 사례가 최근 증가하고 있는 추세이지만 현재 우리나라에는 위험목의 평가 기준이 없이 위험목 제거반이 운영되고 있는 실정이다. 위험목의 효율적인 관리를 위해서는 합리적인 위험목의 평가기준 설정 및 이에 따른 적절한 관리가 필요하다(그림 2).

〈그림 2〉 위험목 정비신청 접수와 위험목 피해 사례



대표적인 생활권 수목인 가로수는 ‘산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률’에 의해 도시림에 속하고 우리나라에서 도시림을 구성하는 분류군 중 가장 넓은 면적을 차지하고 있어 도시림의 중요한 분류군이다. 가로수는 도로 경관의 질을 향상시키고 교통 안전기능, 환경보전, 대기오염 정화기능 뿐만 아니라 도시 내 생태계의 서식처 제공 등 다양한 순기능을 하고 있다. 이와 같이 가로수, 공원수, 학교 수목, 아파트 수목은 우리의 실생활에 순기능을 제공할 뿐만 아니라 도시 녹색네트워크의 축으로서 중요성이



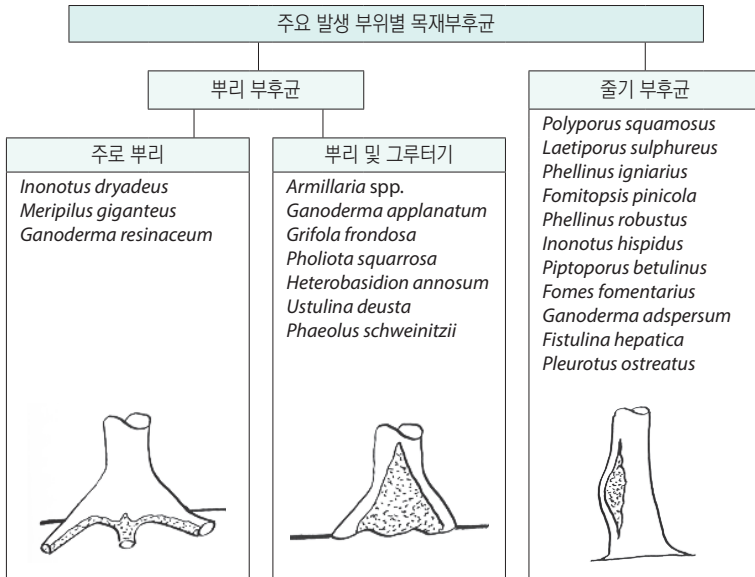
크다고 할 수 있다. 하지만 강풍에 의해 가로수가 전도될 경우 거주자 또는 보행자에게 직접 인명 피해를 줄 뿐만 아니라 차량 및 건물 등에도 경제적 피해를 입힐 수 있다. 강풍에 의한 가로수 도복은 주로 목재부후에 의해 피해를 입은 나무가 외부로부터의 강한 압력을 견뎌내지 못하는 결과로 초래되므로 강풍에 의한 도복 피해를 사전에 예방하기 위해서는 가로수 부후 피해의 주기적인 조사에 의한 위험도 평가 및 지속적인 관리가 필요하다 (그림 3).

〈그림 3〉 심재부후에 의한 공동형성으로 도복된 가로수 피해 (Dunster, J. A. 2013.)



목재부후(Wood rot, Wood decay)는 나무(산림수목, 조경수, 관상수, 가로수 등), 목재, 목조건축물 또는 목가공품 등이 여러 원인에 의해 목재조직이 열화(劣化; Deterioration)되는 현상으로 목재부후균(Wood decay fungi)이 대표적인 원인으로 알려져 있다. 살아있는 나무에서는 주로 심재(Heartwood)가 피해를 받으나, 죽은 나무나 조직, 벌채목에서는 목재부후균이 변재(Sapwood)에 침입하여 세포벽 성분인 리그닌, 셀룰로오스(섬유소), 헤미셀룰로오스 등을 양분으로 이용하여 생존하면서 목재의 질을 저하시킴에 따라 매년 전세계적으로 엄청난 경제적 피해를 입히고 있다.

살아있는 수목에 발생하는 목재부후는 수목이 공격받는 부위에 따라서 뿌리썩음(Root rot), 뿌리 및 그루터기 썩음(Root and stump rot), 줄기썩음(Trunk rot) 등으로 나누어지며, 부위별로 가해하는 주요 목재부후균의 종류도 다르다(그림 4).



〈그림 4〉 수목 부위별 목재부후균의 종류 (Schwarze et al. 2000.)



생활권 수목의

위험성 평가 가이드라인

Guideline for Urban Tree Risk Assessment

목재부후는 부후기작에 따라 크게 갈색부후(Brown rot), 백색부후(White rot), 연부후(Soft rot)로 나누어지며, 갈색부후는 부후균에 의해 목재를 구성하는 세포벽 성분인 셀룰로오스(Cellulose), 헤미셀룰로오스(Hemicellulose) 등이 분해되지만 리그닌(Lignin)은 잘 분해되지 않고 남아있다. 따라서 부후가 많이 진전되면 암황색의 네모난 형태의 금이 생기고 잘 부서진다. 갈색부후는 주로 침엽수에서 나타나지만 활엽수에서도 나타난다. 반면 백색부후는 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스 뿐만 아니라 리그닌도 분해된다.

목재부후 중 갈색부후와 백색부후를 유발하는 균류는 대부분 담자균문(Basidiomycota)에 속하나, 연부후는 자낭균문(Ascomycota)에 속하는 균류에 의하여 발생한다. 갈색부후균으로는 *Coniophora puteana*(실버섯류), *Postia placenta*(구멍버섯류), *Gloeophyllum abietinum*(전나무조개버섯), *G. sepiarium*(조개버섯), *Lentinus lepideus*(жат버섯), *Serpula lacrymans*(진황늑슨버짐버섯), *Tyromyces palustris*(개떡버섯류) 등이 대표적이며, 백색부후균은 *Bjerkandera adusta*(줄버섯), *Fomes fomentarius*(말굽버섯), *Grifola frondosa*(잎새버섯), *Lenzites betulina*(조개껍질버섯), *Pycnoporus coccineus*(간버섯), *Schizophyllum commune*(치마버섯), *Stereum frustulatum*(거북꽃구름버섯), *Trametes versicolor*(송편구름버섯) 등이 있고, 이 외에도 *Coriolus hirsutus*(흰구름버섯), *Favolus arcularius*(별집버섯), *Ganoderma lucidum*(영지버섯), *Lentinus edodes*(표고버섯), *Pleurotus ostreatus*(느타리버섯) 등이 있다. 연부후균으로는 *Daldinia*(콩버섯속), *Xylaria*(콩꼬투리버섯속), *Hypoxylon*(방석꼬투리버섯속) 등이 대표적이고, *Alternaria*, *Bisporomyces*, *Diplodia*, *Paecilomyces* 등도 목재조직이

높은 습도에 지속적으로 노출되어 있는 경우에 연부후를 일으킬 수 있다. 반면, 목재변색균(Wood stain fungi)은 목재변색을 유발하여 목재의 질을 저하시키지만 목재부후균과는 달리 목재의 강도에는 영향을 미치지 않는다. 목재표면에 주로 서식하는 균으로는 *Penicillium*(녹색 또는 누런색), *Aspergillus*(검은색 또는 녹색), *Fusarium*(붉은색), *Rhizopus*(회색) 등이 있으며, 멜라닌(melanin) 색소를 함유한 균사가 침엽수 목재의 방사유조직(Ray parenchyma)에 침입하여 성장하면서 목재를 푸른색으로 변색시키는 청변균(Blue stain fungi)으로는 *Ceratocystis*, *Graphium*, *Ophiostoma*, *Hypoxylon*, *Xylaria*, *Dipolodia*, *Cladosporium* 등이 있다.

목재부후에 의한 피해 증상은 목재산업에서 뿐만 아니라 목조건축물, 목재가공품, 목조주택, 가로수나 노거수 등의 수목에서 빈번하게 발생되고 있으며 흰개미에 의한 피해와 더불어 엄청난 경제적 손실을 야기하고 있다. 특히 생활권 수목에 부후가 진전되면 도복 등으로 인간의 생명이나 활동에 위험을 야기하고 재산 등에 피해를 줄 수 있다. 따라서 생활권 수목은 위험목(Hazard Tree, Risk Tree) 평가에 의한 체계적이고 합리적인 관리가 필요하며 수목의 부후 정도가 위험목 평가시 가장 중요한 항목이다. 이를 위해서는 위험목을 평가하는 지침이 되는 매뉴얼의 개발이 시급하므로 매년 연차적으로 생활권 수목의 부후 발생을 조사하고 부후균을 동정하며 부후 진단기술 개발 및 특성 분석(부후 종류, 진전 정도), 방제기술 개발 등이 필요하다(그림 5).



생활권 수목의 위험성 평가 가이드라인

Guideline for Urban Tree Risk Assessment



〈그림 5〉 생활권 수목의 위험성 발생, 평가 및 관리 관련 자료 (IV. 참고문헌 참조)

2. 국내·외 현황

현재 미국, 유럽, 일본, 홍콩 등지에서는 위험목 관리(Risk Tree Management)의 일환으로 위험목 평가매뉴얼 및 양식이 개발되어 있고, 수목 위험목 평가가 이루어진 후에 위험 등급에 따라 처리수준이 결정되고 효율적인 관리가 이루어지고 있다. 따라서 위험성 평가를 위해서 전문적인 평가자가 시각적 평가, 기초 평가, 진전 평가 등을 실시하여 의뢰자에게 결과를 통보하고 위험성을

경감시킬 수 있는 다양한 조치방안들이 제시되면 의뢰자와 평가자간의 상호 협의에 따라 후속조치가 이루어지게 된다(그림 6).

반면 우리나라에서는 ‘재난 및 안전관리 기본법 및 시행령’(국민안전처)에 의거 여러 지방자치단체에서 위험물 제거반이 운영되고는 있지만 위험물의 신고를 접수받은 제거반이 현장에 출동하여 위험물에 대한 평가의 과정없이 바로 최후의 수단인 위험물 제거의 단계로 돌입하므로 위험물의 효율적인 관리가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

[illegible][illegible]

〈그림 6〉 국제수목관리협회(International Society of Arboriculture)에서 개발하여
사용중인 수목의 위험성 평가양식과 다양한 평가 방법의 비교논문



3. 국외 위험목 평가방법 비교

국제수목관리협회(ISA)에서 1993년에 제시한 수목의 위험성 평가방법은 위험목 대상물 평가를 대상물의 사용빈도에 따라 4단계(가끔 사용, 간헐적 사용, 자주 사용, 항상 사용)로 구분하였고, 도복/부러짐의 가능성을 4단계(낮음, 중간, 높음, 아주 높음)로, 도복/부러짐의 결과는 부위의 크기에 따라 4단계(6인치 이하, 6~18인치, 18~30인치, 30인치 이상)로 구분하여 각각의 정도를 정량적으로 표기하여 최종 위험도 구분을 최저 3, 최고 12로 평가하였다.

미국 농무성 임업연구원은 2004년에 위험목 대상물 평가는 대상물에 미칠 피해의 개연성을 3단계(가끔 사용, 간헐적 사용, 자주 사용)로, 도복/부러짐의 개연성은 4단계(낮음, 중간, 높음, 아주 높음)로, 결과는 부위의 크기로 3단계(4인치 이하, 4~20인치, 20인치 이상)로 구분하여 최저 3, 최고 10 (옵션 2)의 수치로 정량적 평가를 제시하였고, ISA가 2011년에 다시 위험목 대상물 평가를 대상물에 미칠 피해 가능성으로 4단계(매우 낮음, 낮음, 중간, 높음), 도복/부러짐의 가능성을 4단계(발생불가, 발생가능, 발생후후, 발생임박)로, 도복/부러짐의 결과를 4단계(무시할 정도, 사소한 정도, 중대한 정도, 심각한 정도)로 구분하여 이들 결과를 바탕으로 평가표 1과 2(matrix)를 이용하여 최종 위험도를 4단계(경, 중, 심, 극심)로 구분하는 정성적인 평가 방법을 제시하였다. 일본국가기술포럼연구소에서 제시한 위험도 외관진단법은 줄기, 가지, 근주, 근계의 결함을 각각 A(건전), B(약간 이상), C(결함이 인정되나 위험성이 없음), D(위험성이 있으나, 곧 도복될 가능성이 없음), E(위험성이 매우 높고, 곧 도복가능성이 있음)의 5단계로 구분하고 최종위험도 평가는 A(모든 항목이 A), B(모든 항목이 B이상), C(모든 항목이 C이상), D(모든 항목이 D이상), E(모든 항목이 E이상)로 결정하였으나 미국의

위험목 평가방법과 차이점은 대상물의 평가가 반영되지 않았다는 것이다 (표 1).

〈표 1〉 국외 위험목 평가방법의 평가내용 비교

평가방법 평가내용	ISA Tree Hazard Evaluation Form(1993)	USDA Forest Service Community Tree Risk Form(2004)	ISA Tree Risk Assessment BMP Form(2011)	日國機研 資料集 609號 (위험도 외관진단)
위험목 대상물 평가	대상물 구분	대상물에 미칠 피해 개연성	대상물에 미칠 피해 가능성	줄기, 가지, 근주, 계의 결함을 각 5단계 (A, B, C, D, E)로 구분
	1) 가끔 사용 2) 간헐적 사용 3) 자주 사용 4) 항상 사용	1) 가끔 사용 2) 간헐적 사용 3) 자주 사용	1) 매우 낮음 2) 낮음 3) 중간 4) 높음	
도복/부러짐 가능성	도복/부러짐 잠재성	도복/부러짐 개연성	도복/부러짐 가능성	A: 건전 B: 약간이상 C: 결함인정되나, 위험성 없음 D: 위험성 있으나, 곧 도복될 가능성 없음 E: 위험성 매우 높고, 곧 도복 가능성 있음
	1) 낮음 2) 중간 3) 높음 4) 아주 높음	1) 낮음 2) 중간 3) 높음 4) 아주 높음	1) 발생 불가 2) 발생 가능 3) 발생 농후 4) 발생 임박	
도복/부러짐의 결과	부위의 크기	결점 부위의 크기	도복/부러짐의 결과	
	1) 6 인치 이하 2) 6~18 인치 3) 18~30 인치 4) 30 인치 이상	1) 4 인치 이하 2) 4~20 인치 3) 20 인치 이상	1) 무시할 정도 2) 사소한 정도 3) 중대한 정도 4) 심각한 정도	
최종 위험도 결정	위험도 구분	위험도 구분	위험도 구분	위험도 평가
	3~ 12	3 ~ 10(2)	1) 경 2) 중 3) 심 4) 극심	A: 모든 항목이 A B: 모든 항목이 B이상 C: 모든 항목이 C이상 D: 모든 항목이 D이상 E: 모든 항목이 E이상
	정량적 평가	정량적 평가	정성적 평가	대상물 평가 고려안함

MEMO

This image shows a full page of blank graph paper. The grid consists of small, equal-sized squares formed by thin, light gray lines. There are no margins, text, or other markings on the page.





생활권 수목의 Guideline for Urban Tree Risk
Assessment

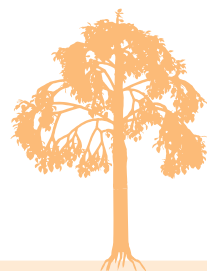
위험성 평가 가이드라인

생활권 수목의 위험성 평가 가이드라인

Guideline for Urban Tree Risk Assessment

II. 수목 위험성 평가 절차별 점검사항





CONTENTS

II. 수목 위험성 평가 절차별 점검사항

1. 위험성 평가의 정의	14
2. 위험성 평가 수준	18
3. 위험 대상물 평가	23
4. 대상목 입지 평가	27
5. 대상목 검사 및 평가	35
6. 자료분석 및 위험등급 구분	39

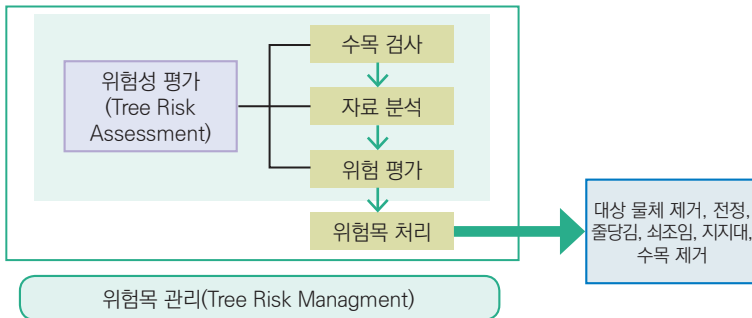


II

수목 위험성 평가 절차별 점검사항

1. 위험성 평가의 정의

1) 수목 위험성 평가(Tree Risk Assessment)는 위험목 관리의 일부분이며, 위험목 관리(Tree Risk Management)는 수목의 위험성을 확인, 평가, 경감, 관찰하는데 필요한 정책, 절차, 실행 등을 적용하는 것으로 수목 소유자(관리자), 위험성 평가자, 위험목 처리자 등이 관여한다(그림 7).



*위험성 평가는 관리의 첫 번째이며 중요한 과정

〈그림 7〉 위험목 관리의 업무흐름도

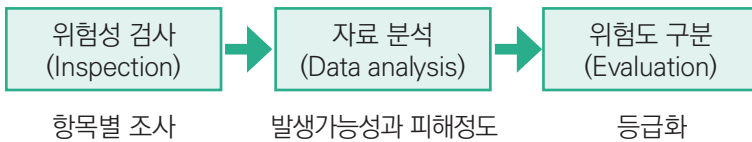
미국의 국가 수목 안전 협의체(National Tree Safety Group, 2011)는 위험목 관리 원칙을 아래와 같이 제시하고 있다.

- (1) 수목은 인간사회에 다양한 혜택을 제공한다.
- (2) 수목은 살아있는 생명체이고, 자연적으로 가지가 부러지고 떨어진다.

- (3) 수목이 인간의 안전에 미치는 위험성은 극히 낮다.
- (4) 수목 소유자/관리자는 수목을 관리할 법적 의무가 있다.
- (5) 수목의 안전관리시 균형되고 적절한 방법을 사용해야 한다.

위험성 평가는 수목 검사, 자료분석, 평가하는 일련의 과정으로서 목적은 허용가능한 위험수준을 초과하는 위험목을 찾아내어 도복 이전에 피해를 예방하는 것이다.

- (1) 위험성 평가 과정은 위험성 검사, 자료분석, 위험도 구분의 순서로 이루어진다(그림 8).



〈그림 8〉 위험목의 평가과정

위험성의 평가방법은 정량적, 정성적 방법의 두 가지가 있으며, 위험성 평가를 실시하기 이전에 수행 내용(목적, 평가방법, 작업순서, 필요한 정책/법률, 평가의 한계 등 명시)을 작성한다.

- (1) 정량적(Quantitative) 평가는 위험발생 가능성(Probability)과 피해정도(Consequences)를 수치로 평가하여 위험도를 수치로 표기(위험도 = 발생가능성 x 피해정도)한다. 장점은 수목 위험성을 다른



수목 뿐만 아니라 다른 형태의 위험성과 비교가 가능하고 통계분석이 가능한 반면에, 단점은 수치(예상치)는 실제자료와 일치하지 않을 수 있고, 수목은 자연적 구조체이므로 가능성을 정량화하는 것이 제한적이고 통계적 불확실성이 높아서 실제적으로는 거의 사용하지 않고 있는 평가방법이다.

- (2) 정성적(Qualitative) 평가는 위험발생 가능성(Likelihood)과 피해정도(Consequences)를 등급화하는 방법으로 여러 국가의 정부기관이나 업체에서 보편적으로 사용하는 방법이다. 단점으로는 본질적으로 주관성과 모호성이 있고, 적용시 신뢰성과 일관성을 제고하기 위하여 용어, 발생가능성, 피해정도, 위험도 등에 대하여 정의된 등급의 중요성을 의뢰자에게 명확하게 설명하는 것이 필요하다.

위험성 평가에는 상당한 수준의 불확실성이 존재하는데, 그 이유는 유용한 자료나 정보가 제한적인 점과 자연적인 진행과정(Natural process)을 인간의 능력으로 예측하기에는 어려움이 있다는 점이다.

수목에 의해 유발되는 위험의 종류는 첫 번째 ‘상충(Conflict)’인데, 수목에서 발생되어 우리에게 피해를 입히는 것으로 호흡기에 문제를 유발하는 꽃가루, 냄새가 고약한 과실(은행), 뿌리, 가시가 많은 가지나 잎 등으로 크게 보면 위험의 범주에 포함시킬 수 있다. 두 번째는 수목의 구조적인 도복 또는 가지의 부러짐인데 이것이 실제 위험목이 되는 가장 큰 요인이다. 수목에 가해지는 힘(스트레스)이 수목의 구조 또는 뿌리와 토양 사이의 연결된 힘을 능가할 때에 발생하게 된다. 건전한 수목은 가해지는 부하가 굉장히 클 경우에 도복되며, 대부분의 경우에는 구조적인 결함(부후, 약한 구조)과 강풍 등의 기상상태가

복합적으로 작용하여 발생한다.

위험성 평가작업 범위는 위험성 평가 실시 전에 결정하는 것이 중요하다. 위험성 평가의 목적, 한계, 예산, 허가, 보고서 등의 필요사항이 포함되어야 하고, 평가작업 범위는 평가 수준(방법)과도 관련이 있다.

- (1) 평가 대상 수목과 지역의 확인 : 위치, 대상범위
- (2) 평가 수준, 구체적 평가 항목 및 방법
- (3) 보고 방법 : 문서(기록) 또는 구두
- (4) 일정표 : 평가 소요기간, 결과보고 자료 제출일
- (5) 위험 등급, 피해 경감을 위한 옵션/권고사항, 경감 처리 후 잔존위험성 평가, 검사 주기 추천 등

위험성 평가 절차는 아래의 순서로 진행된다.

- (1) 위험 대상 수목의 확인
- (2) 위험성 유발/경감 요인에 대한 입지 평가
- (3) 도복가능성 판단을 위하여 도복 유발 구조적/입지적 상태, 부하 가능성, 약점에 대한 수목적응 등에 대한 평가
- (4) 수목 전체(일부)가 인명, 재산, 인간활동에 피해를 입힐 가능성의 평가
- (5) 도복시 피해정도 평가를 위하여 대상물의 가치와 예상 피해정도 평가
- (6) 평가 의뢰인의 허용수준과 평가결과에 의한 위험도의 비교평가
- (7) 평가결과 보고 : 권장 피해경감 옵션과 잔존 위험성 포함

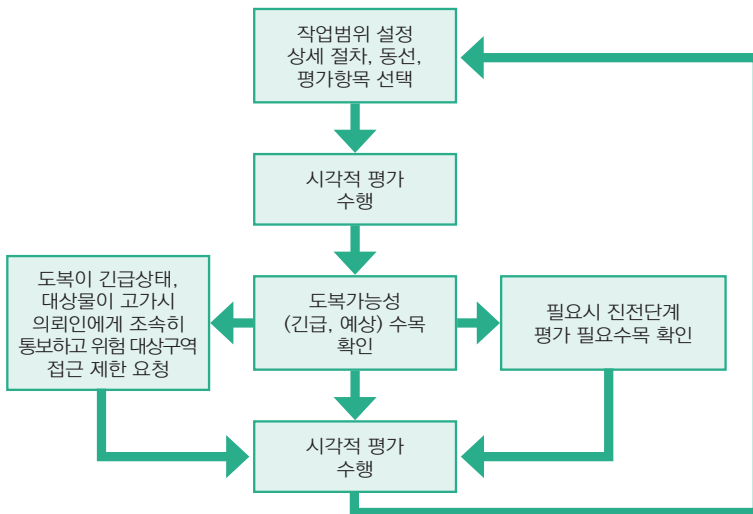


2. 위험성 평가 수준(Assessment level)

수준 I. 시각적 평가(Visual assessment)

평가대상 수목을 시각적으로 평가하는 가장 간단한 평가로 필요시에는 진전단계 수준의 평가를 권장하고 도복이 긴급한 상태이며 대상물이 고가일 때는 의뢰인에게 조속히 통보하여 위험대상구역 접근 및 제한을 요청한다(그림 9). 평가순서는 아래와 같다.

- (1) 평가 대상 수목의 위치와 평가 항목 선택
- (2) 평가를 위한 효율적 동선의 결정과 동선 기록
- (3) 평가 대상목에의 접근 방법 : 도보, 자동차, 드론 등
- (4) 평가 항목에 부합하는 수목의 위치 기록
- (5) 진전 단계 수준의 평가 필요 대상목 확인
- (6) 평가 결과보고서 제출(옵션과 권장사항 포함)



〈그림 9〉 시각적 평가의 업무흐름도

수준 II. 기초 평가(Basic assessment)

위험대상 구역과 대상물을 결정하고 고무망치, 탐침, 삽 등을 이용하여 수목을 간단히 조사하고 필요 시 진전단계의 평가를 권장하며 도복이 긴급한 상태이고 대상물이 고가일 때는 의뢰인에게 조속히 통보하여 위험대상구역 접근 및 제한을 요청한다(그림 10). 평가순서는 아래와 같다.

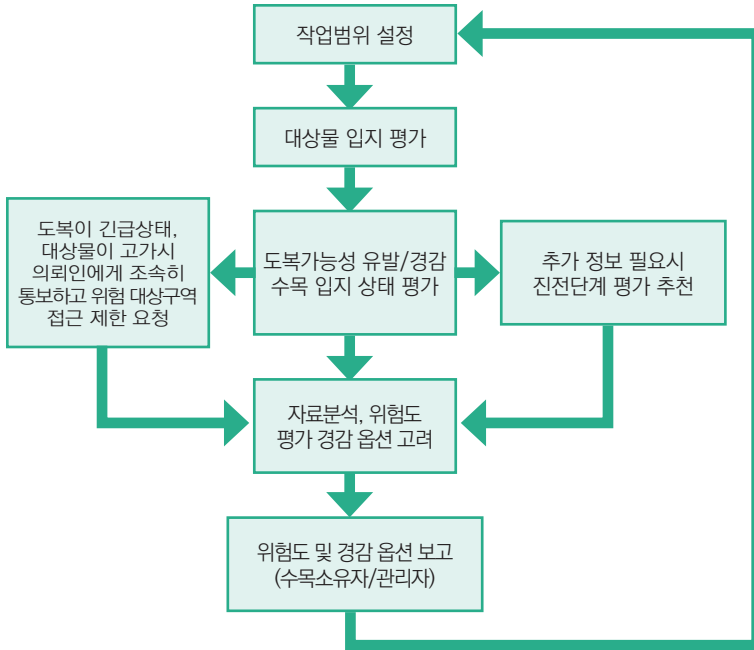
- (1) 평가 대상 수목(들)의 위치 확인
- (2) 위험목(가지)에 피해를 입을 대상물과 구역 결정
- (3) 입지의 내력, 상태, 도복된 수종들의 검토
- (4) 수목(부위)에 가해질 부하량 평가
- (5) 수목 조사 : 육안, 고무망치, 탐침, 삽 등 이용(그림 11)
 - ※ 필요 시, 진전 단계별 평가 권장
- (6) 조사 결과 기록 : 입지조건, 결점, 내부결점과 관련된 외부 표징
- (7) 도복 발생가능성과 피해정도를 결정하는 자료분석
- (8) 경감 옵션 개발 및 각 옵션별 잔존 위험성 평가
- (9) 평가 결과보고서 작성 및 제출(재검사 일정, 조연 등 포함)



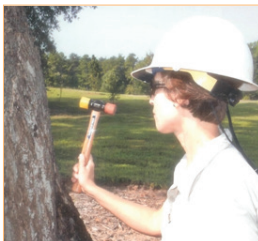
생활권 수목의

위험성 평가 가이드라인

Guideline for urban tree risk assessment



〈그림 10〉 기초 평가의 업무흐름도



고무망치(mallet)



탐침(probing)



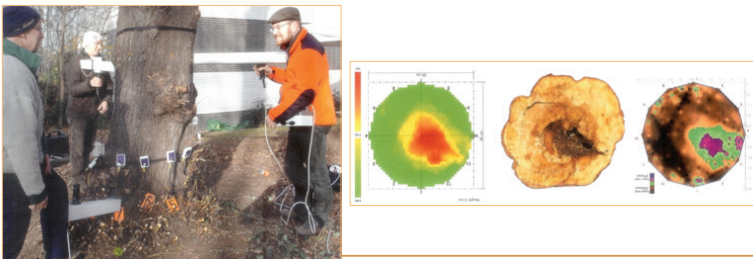
근원부와 지표면 뿌리

〈그림 11〉 고무망치와 탐침을 이용한 수간 내부의 이상증상 조사와 삽을 이용한 근원부와 지표면 뿌리 등에 대한 조사 (Dunster, J. A. 2013.)

수준 III. 진전 평가(Advanced assessment)

수관 및 가지의 구조적 결함을 육안 또는 기기를 활용하여 부후검사로 확인하고 위험대상물과 입지를 상세히 분석하고 평가한다. 또한 폭풍이나 바람에 의한 부하분석과 기온기 변화를 측정하고 평가한다.

- (1) 수관검사, 가지의 구조적 결함 평가 : 육안, 부후검사
- (2) 위험 대상물 상세 분석
- (3) 대상목 입지 상세 평가
- (4) 부후 검사 : 생장추, 비트 드릴(소구경), 음향파장, 음향단층 X선 촬영
(그림 12), 전기저항 X선촬영, 방사선(레이다, X선, 감마선), 저항기록
드릴(그림 13)
- (5) 건강성 평가 : 나이테 분석(온대 수종), 신초길이 측정, 전분(starch) 분석
- (6) 폭풍/바람에 의한 부하 분석
 - 수목 노출과 보호 상세 평가, 공학적 표준에 근거한 컴퓨터 평가
 - 일정 기간동안 바람에 대한 반응 모니터링
- (7) 수간 기온기 변화 측정 및 평가(그림 14)



〈그림 12〉 음파단층 X선 촬영장치에 의한 사진 (Dunster, J. A. 2013.)



〈그림 13〉 저항기록드릴(resistance-recording drills)과
고해상도 저항드릴 프로파일 (Dunster, J. A. 2013.)



〈그림 14〉 수간 기율기 측정 (Dunster, J. A. 2013)

3. 위험 대상물 평가(Target assessment)

위험 대상물(Targets)은 인간과 건물, 도로, 전선, 자동차, 조형물 등의 소유물이고 위험 대상 구역(Target zone)은 수목 전체(일부)가 도복시 대상물에 피해를 입힐 수 있는 지역으로 위험목을 중심으로 수고의 1.5배 반경을 지닌 원(circle)의 내부가 된다(그림 15).



〈그림 15〉 위험 대상 구역의 범위 (Dunster, J. A. 2013)

위험 대상물은 크게 세 가지로 구분하며 1) 이동성(Mobile): 보행자, 자동차, 이륜차, 자전거 등, 2) 이동가능성(Movable): 조형물, 게시판, 야외 탁자, 주차 차량, 놀이터 시설 등, 3) 고정성(Static): 건물, 공익시설, 구조물(고정된 공원 벤치 등) 등이 포함된다(그림 16).



이동성



이동가능성



고정성

〈그림 16〉 위험 대상물의 구분 (Dunster, J. A. 2013.)



생활권 수목의

위험성 평가 가이드라인

Guideline for urban tree risk assessment

가. 점유율(Occupancy rates)

점유율은 대상물이 위험 대상 구역 내에 지체하는 빈도나 시간으로 대상물의 피해발생 가능성을 평가하는 1차적 요소이며, 상시, 빈번, 가끔, 한적의 4등급으로 나누어지며 내용은 아래와 같다.

- ① 상시(constant) : 고정 대상물
- ② 빈번(frequent) : 교통체증이 극심한 시내 도로, 보도(상점가) 등
- ③ 가끔(occasional) : 시외 도로, 사용빈도가 낮은 공원지역, 묘지 등
- ④ 한적(rare) : 거의 사용하지 않는 장소

이동 대상물(보행인, 자동차)의 점유율 평가는 간단하지 않고 복잡적이며, 위험 대상 구역내 지체시간(대상물 이동 속도)과 위험구역의 크기에 연관되어 있다. 따라서 교통정보와 시간대별/계절별 패턴 등을 고려하여 평가되어야 한다.

나. 대상물의 피해발생 가능성(Likelihood)

도복된 수목 전체(일부)가 대상물에 피해를 입힐 가능성으로 위험 대상 구역 내에서 대상물의 점유율과 피해로부터 대상물을 보호할 수 있는 요인들에 대하여 평가한다(표 2).

〈표 2〉 피해발생 가능성(Likelihood)의 구분과 내용

구분	내용	예
높음 (high)	도복 수목전체(일부)가 거의 피해를 입힘 (고정대상물이 완전히 노출)	점유율이 높은 도로나 보도
중간 (medium)	자주 사용하는 지역의 한쪽이 완전히 노출, 점유율이 높은 지역이 부분적으로 보호	시내 도로나 주택 (부분적으로 노출)
낮음 (low)	가끔 사용하는 대상물이 완전히 노출, 빈번히 사용하는 대상물이 부분적으로 노출	사용이 적은 도로, 빈번히 사용하나 다른 수목에 의해 보호
아주낮음 (very low)	드물게 사용하는 대상물이 완전히 노출 가끔 사용하는 대상물이 부분적으로 보호	

다. 대상물의 피해 정도(Consequences)

대상물과 피해정도는 자료분석 및 위험 등급 구분에서 상세히 설명하겠지만 (1) 도복에 의한 피해의 결과로 대상물의 가치와 예상되는 피해와의 함수로 나타내며, (2) 피해량은 수목(일부)의 크기, 도복 특성, 거리, 보호 요인 등에 따라 차이가 나타날 수 있고, (3) 피해 정도(Consequences)는 극심(severe), 중대(significant), 사소(minor), 무시(negligible)의 4단계로 구분하며, (4) 피해량 산정시 고려사항은 다음과 같다

(가) 수목 가지가 대상물에 떨어진 높이 - 충격력은 높이에 비례

(나) 수목 전체/가지가 대상물에서 떨어진 거리 - 충격력은 거리에 비례(그림 17)

(다) 하부가지(lower branch)의 유무 - 하부가지 있을 시에 피해 경감

(라) 인접수목(adjacent trees) - 큰 나무 도복시 도미노 효과(토양, 수종)

(마) 구조물 - 피해 경감

(바) 자동차 - 작은 가지에는 피해 경감, 큰 가지나 수관 도복시 피해 악화



생활권 수목의

위험성 평가 가이드라인

Guideline for urban tree risk assessment



1) 위험목은 도복시 가속력이 생김



2) 일반적으로 도복되는 나무에서
위험 대상물이 멀리 위치할수록 대
상물에 가해지는 힘은 더욱
강해져서 피해정도가 심해짐



3) 피해정도는 위험목으로부터
대상물까지의 거리에 비례

〈그림 17〉 위험목과 대상물 사이의 거리와 도복 시 피해 정도

4. 대상목 입지 평가(Site assessment)

입지요인들이 수목의 도복 발생 가능성과 피해 정도에 큰 영향을 미친다. 특히 입지의 변화/교란은 수목 전체(또는 일부)의 도복 가능성을 증가 또는 감소시키며 수목의 성장과 발달은 다양한 환경조건에 대하여 민감하게 반응하므로 위험목 평가 시에 정상적인 기상패턴과 입지의 내력을 고려하여 과거의 입지 변화가 수목의 도복 가능성에 어떻게 영향을 미치는가를 평가하는 것이 필요하다. 과거에 일어났던 수목 전체(또는 가지)의 내력은 해당 입지에서 발생할 수 있는 잠재적인 문제점에 대한 정보를 제공하기도 한다. 입지 내에서 일어나는 모든 변화는 수목의 건강성과 도복의 가능성에 영향을 미치므로, 입지에 대하여 이해하는 것은 광범위한 범위의 입지부터 수목의 특이적인 세부 사항의 관찰에 도움을 준다.

가. 입지 평가시 고려사항(Aspects of the site to consider)

- 1) 이전에 발생한 수목 도복의 패턴
- 2) 지형(경사와 경관 방향)
- 3) 수목 주변과 더 넓은 경관지역을 통과하는 바람의 패턴(변화)
- 4) 토양의 특성
- 5) 배수의 패턴
- 6) 토양교란(홍수, 지표면 변화, 변화된 수문 등)
- 7) 뿌리 성장 억제조건
- 8) 수종, 영급, 상태
- 9) 수목 생장기간동안 토지 이용의 내력과 변화
- 10) 기타 수목의 건강성에 영향을 미칠 수 있는 요인들



나. 도복의 내력(History of failures)

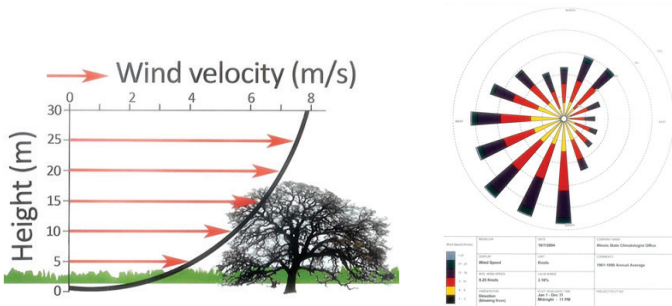
과거에 수목이 도복한 경우, 향후 도복 가능성 평가를 위한 정보를 제공한다. 주변의 수목들은 유사한 기상 패턴과 입지 변화를 경험하였기 때문에 과거 도복된 수목, 그루터기, 부러지거나 매달린 가지, 부러진 수목의 토막, 가지가 부러진 흔적, 기울어진 수목, 뿌리 손상, 토양에서 일부 뾰힌 뿌리의 징후를 관찰할 수 있다. 또한, 전정 작업의 흔적, 과거에 위험을 감소시키기 위해서 사용했던 수목지지 설치물들을 발견할 수 있다. 수목의 도복이 발생되었을 경우, 원인(뿌리병해, 침수, 얇은 토양, 건축에 의한 지상과 지하부 피해 등) 조사가 필요하다.

다. 기상(Weather)

수목의 도복은 대부분 불리한 기상조건(대부분 바람, 진눈깨비, 눈보라, 강한 바람을 동반한 폭우 등)에서 발생하는데, 위험성 평가는 일반적인 환경과 전형적인 기상조건을 고려하여 실시한다.

(1) 바람(Wind)

바람은 수목이 도복되는 주요한 원인 중 하나로, 지역적 바람의 패턴과 특정 입지조건과의 잠재적 상호작용에 대하여 인식하는 것은 수목의 도복 가능성을 평가하는데 매우 중요하다(그림 18). 수목은 일반적으로 발생하는 풍속에는 적응하므로 정상적인 풍속 하에서 수목이 도복되는 경우는 수목에 구조적인 결함이 있거나 다른 조건들과 복합적으로 관련된다고 할 수 있다. 풍속이 강풍 수준(80km/h)을 초과할 경우에는 구조적인 결함이 없는 건강한 수목이라 할지라도 도복될 수 있다(그림 19).



〈그림 18〉 수고와 풍속과의 관계 및 바람의 패턴 (Dunster, J. A. 2013.)



〈그림 19〉 풍속이 강풍 수준(80km/h)을 초과하여 도복된 건강한 수목 (Dunster, J. A. 2013.)



(2) 강수(Precipitation)

비, 눈 우박, 진눈깨비 등을 포함하는 강수도 중요한 인자이다. 강우(rain)는 수목에 붙어있는 잎과 나뭇가지의 무게를 25% 증가시키고, 강설(ice)은 무게를 800%까지 증가시킬 수 있다(그림 20의 왼쪽). 수목에 축적된 강수의 무게는 흔히 작은 나뭇가지가 부러지는 원인이며, 강우의 축적이 바람과 동반되면 도복 가능성이 매우 증가된다. 진눈깨비의 대부분은 수목에 남아있지 않지만, 동반되는 다른 원인이 복합적으로 작용할 수 있다.

강수는 수목 뿌리에도 영향을 미친다. 특히, 수목이 천근성 뿌리를 가질 경우, 토양이 깊지 않을 경우, 지하수면이 높을 경우, 토양이 침수되어 포화상태일 때 풍도(windthrow)되기가 쉽다(그림 20의 오른쪽).

강수가 많을 것으로 예측되는 지역이나 토양 상태에 문제가 있는 지역에서는 위험목 평가 시 잠재적인 강수와 관련된 수목의 도복에 대하여 고려해야 한다.



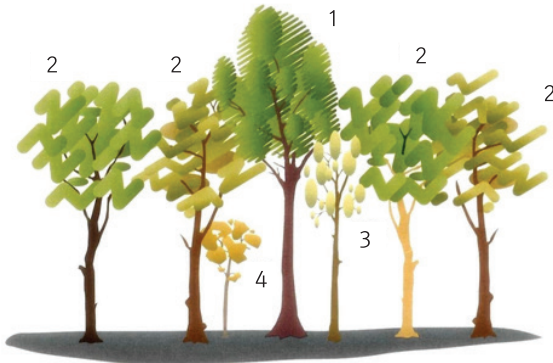
〈그림 20〉 누적된 강설에 의해 가지에 가해지는 힘을 견딜 수 없어 부러진 수목(왼쪽)과 토양 포화상태에 의해 풍도(windthrow)된 수목(오른쪽) (Dunster, J. A. 2013.)

라. 수목의 노출(Tree exposure)

수목이 개별적 또는 집단적으로 노출된 정도는 수목이 불리한 날씨 조건에 견딜 수 있는 능력에 직접적으로 영향을 미친다(그림 21).

- 보호(최소한의 바람에 노출) : 수목 그룹이나 숲의 중심, 빌딩 주변에 위치
- 부분적 노출(일부 바람에 노출) : 그룹의 가장자리에 홀로 있는 수목
- 완전 노출(바람에 최대한 노출) : 큰 빌딩에 인접하지 않는 수목

수목이 우거진 지역에서 성장하는 수목들은 광 유효도(light availability), 바람에 노출, 뿌리 시스템의 겹침 등 다양한 주변 환경의 영향을 받는다. 임지 내에서 성장하는 수목들은 노출된 공간이나 가장자리에서 자란 수목과는 다르게 안정적인 특징을 가지며 주변 수목의 도움으로 받는 부하가 감소된다.



1. 우점목(D, Dominant) : 다양한 바람에 노출. 하층 식생보다 뻗은 수관과 강한 뿌리 시스템 가짐.
2. 공동 우점목(CD, Codominant) : 바람으로부터 보호받고, 바람 이동은 주변 수목에 의해 제한. 뿌리 시스템은 우점종이나 오픈된 상태로 자란 수목보다 적게 발달. 한 그루 이상을 제거하는 것은 다른 나무들을 불안정하게 함.
3. 아우점목(SD, Subdominant) : 수관이 덜 발달되고 뿌리 시스템 약함.
4. 피압목(S, Suppressed) : 생물적, 기계적으로 약하며, 갑자기 노출되면 쉽게 쓰러짐.

〈그림 21〉 숲이 우거진 지역에서 성장하는 수목들이 서로에게 미치는 영향



마. 지형(Topography)

입지 지형은 수목의 안정성에 영향을 주는 토양수분과 풍하중(wind load)의 특성에 영향을 미친다. 불안정한 토양과 경사면의 수목은 사면붕괴 시 도복될 수 있다. 급경사는 완경사에 비해 덜 안정적이며, 최상 토양층의 움직임이 더 민감하다. 서서히 진행되는 경사 지역은 수목의 기부에서 드물게 특징적인 “J” 형이 발견된다. 경사면 상층토양은 배수가 잘 되나, 바닥토양은 습하고 침수 가능성이 높다.

일반 토양탐침을 사용하여 토양의 깊이와 침투성을 결정할 수 있고, 사면방향은 토양 수문과 경사 프로파일에 영향을 준다. 일반적으로 북사면은 태양광을 덜 받기 때문에 온도가 더 낮고 습하다. 북향과 동향 경사지는 일반적으로 토양층이 더 얇고 암석층이 더 많은 토양이고, 남향과 서향 경사지는 온도가 더 높고 건조한 두꺼운 토양 프로파일을 가진다. 토양과 바위의 풍화과정은 남향과 서향에서 두드러지고, 식생은 북향 또는 남향 경사지와는 상당히 다르다.

바. 토양이 뿌리발달에 미치는 영향

토양은 수목의 생장과 정착에 주요한 입지조건 중의 하나로, 수목의 지속적인 생장과 정착에 영향을 미치는 토양요인들은 부피(volume), 깊이(depth), 습도(humidity), 답압(compaction), 토질(quality, 구조, 비옥도, pH)이다. 토양 부피의 양은 수종, 크기, 토양 특성, 기후(수분 요구, 극한 고온/저온)에 따라서 다양하다. 적절한 토양 깊이는 효과적인 뿌리 구조의 생성에 중요한 요소로서 일반적으로 천근성 뿌리를 지닌 수목은 심근성 뿌리 수목보다 쉽게 도복될 수 있다. 토양 수분 수준의 변화 중 투수율은 직접적으로 뿌리 발달에 영향을 준다. 토양답압은 자동차나 보행자에 의해 발생되며, 토양공극이 감소되어 수분유지나 가스 교환이 어려워 뿌리의 질식에 의해 부패될 수 있다. 토양구조는 토양수분에

영향을 미치고 토양입자가 크면 배수가 양호하지만, 미세토양(점토함량이 높은 토양)은 배수가 불량하다.

사. 입지교란(Site disturbance)

입지 내 수목의 적응 조건을 변경하는 어떠한 종류의 활동도 수목의 안정성에 영향을 미칠 가능성이 있다. 특히, 개발 중인 지역에서는 더 많은 환경요인들이 변경되므로 고려할 요인들이 많다. 특히, 바람의 패턴과 풍속, 햇빛 노출의 수준, 토양수분, 답압, 지표면 변화 등에 의해 뿌리가 피해를 입는다. 기존 수목 주변에 새로운 조경사업, 중장비 운행, 지표면 상승/하강, 지하매립 작업(전선, 통신, 가스, 상하수도 시설 등)도 도복 가능성을 증가시킨다(그림 22).

뿌리의 손상은 수목의 건강성과 안전성에 영향을 미치며, 지표면의 변화(상승)도 기존의 뿌리에 피해를 입힐 가능성이 있다. 건축 등에 의한 토양습도의 변화는 종종 수목이 극복하기 힘든 상태를 조장한다.



중장비의 이동, 토양 지표면의 상승과 하강, 지하매립 공사(전선, 통신케이블, 상하수도관) 등은 뿌리 손상의 유발 및 도복발생 가능성 증가

〈그림 22〉 지하매립 공사에 의한 토양 변화 (Dunster, J. A. 2013.)



생활권 수목의

위험성 평가 가이드라인

Guideline for urban tree risk assessment

〈표 3〉 대상목 입지평가 양식

입지요인(Site factors)	
도복의 이력 : <input type="checkbox"/> 없음 <input type="checkbox"/> 있음 _____	지형 : <input type="checkbox"/> 편평 <input type="checkbox"/> 기울어짐 _____ % 방향 _____
입지변경 : <input type="checkbox"/> 없음 <input type="checkbox"/> 지표면 변화 <input type="checkbox"/> 주변수목제거 <input type="checkbox"/> 배수로 변화 <input type="checkbox"/> 뿌리절단	
기후 특성 : _____	
〈도복/부러짐 발생 수목(피해 당시 기후)〉	
풍향 : _____	기상 : <input type="checkbox"/> 강풍 _____ m/s <input type="checkbox"/> 얼음 _____ % <input type="checkbox"/> 눈 _____ mm <input type="checkbox"/> 폭우 _____ mm
수목 건강성(Tree health)과 수종 프로파일(Species profile)	
활력 : <input type="checkbox"/> 낮음 <input type="checkbox"/> 중간 <input type="checkbox"/> 높음	수종의 도복패턴 : <input type="checkbox"/> 가지 <input type="checkbox"/> 수간 <input type="checkbox"/> 뿌리
잎의 상태 : <input type="checkbox"/> 없음 <input type="checkbox"/> 정상 <input type="checkbox"/> 누령 <input type="checkbox"/> 괴저	
병해충, 비기생성요인 : _____	
부하 요인(Load factors)	
바람노출 : <input type="checkbox"/> 보호 <input type="checkbox"/> 부분노출 <input type="checkbox"/> 완전노출	수관크기 : <input type="checkbox"/> 소형 <input type="checkbox"/> 중형 <input type="checkbox"/> 대형
수관밀도 : <input type="checkbox"/> 소 <input type="checkbox"/> 중 <input type="checkbox"/> 고	내부가지 : <input type="checkbox"/> 빈약 <input type="checkbox"/> 정상 <input type="checkbox"/> 과도
응력중심거리 : <input type="checkbox"/> 짧음 <input type="checkbox"/> 중간 <input type="checkbox"/> 김	빛자루증상/덩굴/겨우살이/이끼 : <input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오



생활권 수목의

위험성 평가 가이드라인

Guideline for urban tree risk assessment

나. 가지의 부착과 결함

〈표 5〉 가지의 부착과 결함 특징에 대한 평가판정

고사지, 부러진 가지, 달린 가지 (Dead, broken, Hanging branch)	특징 및 검사	평가판정
부정 가지 (Adventitious branch)	도장지, 옷자란 가지(강풍에 의한 가지 파손, 전정, 순 자름 등) - 부후가 있는 경우 - 부후가 없는 경우	발생 농후 발생 가능
쌍간 가지 (Codominant branch)	직경이 비슷한 2개의 줄기나 가지가 동일한 위치에서 발생 - V자형 분지 - U자형 분지	발생 가능~농후 발생 불가~가능
다수 가지 (Multiple branch)	동일 위치에서 여러 개의 가지가 발생 하중, 무게 분포, 연결 형태 등 감안	발생 가능~농후
과도신장 가지 (Overextended branch)	정상적 수관범위를 넘어 성장한 가지 강풍, 눈폭풍 시에 큰 하중을 받음	발생 가능
부후가지 (Decayed branch)	부후 피해는 발견과 평가가 어려움 부후 피해 탐색기술 개발 필요 수종, 부후 위치 및 정도, 예상 하중 등 감안	발생 가능
열개가지 (Cracked branch)	목재 섬유류의 분리(과도한 압축, 인장, 비틀림), 전단면 열개, 서리 및 동결/해동 열개 - 흠(Seam) 및 돌출부(Rib)가 있는 경우	발생 가능~농후

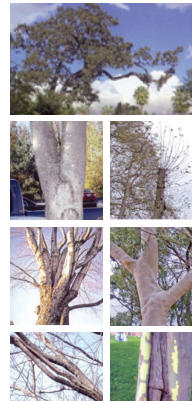
〈가지(Branch)〉

수피고사□소실 □ 열개 □ _____
 이전에 부러진 이력 □ 유사 가지 존재 여부? _____
 번재 피해□부후 □ 꺾임□혹□응이 □ 버섯 □
 번개 피해 □ 심재 부후 □ 공동□새집 구멍 □
 피해지의 둘레비율 _____ % 과도신장 가지 □
 평절 □ 약한 부착 □ , _____ 개
 반응생장 _____ 미미 □ 유효 □
 주요 관심사항 _____

결합부위 하중(부하) : 낮음 □ 중간 □ 높음 □

〈도복/부러짐 가능성〉

발생임박 □ 발생농후 □ 발생가능 □ 발생불가 □



〈그림 24〉 대상목 평가양식(가지)

다. 수간의 결함과 조건

〈표 6〉 수간 부위의 특징과 평가판정

피해(구멍, 수피 결손, 상처)와 궤양(Injury and Cankers)	특징 및 검사	평가판정
용기(부후, 균열, 상처) (Bulges)	생장한 부위의 형태가 다른 부위와 확연한 차이 발생 부후, 열개, 상처 등에 반응하여 생장한 새로운 조직 쌍간줄기의 양쪽 면, 매몰 수피	
용기 (Ridges)	반응생장과 중력에 의해 굽은 수간과 가지에 발생 - 열개와 삼출물(oozing) 분리 - 열개와 삼출물 없음	용기 후면에 발생 가능 도복 영향 없음
부후수간 (Decayed trunk)	부후 피해는 발견과 평가가 어려움 부후 피해 탐색기술 개발 필요 수중, 부후 위치 및 정도, 예상 하중 등 감안	
과도신장 가지 (Overextended branch)	정상적 수관범위를 넘어 생장한 가지 강풍, 눈폭풍 시에 큰 하중을 받음	발생 가능
열개수간 (Cracked trunk)	전단면 열개, 열개와 부후, 서리 및 동결/해빙 열개 - 흠(Seam) 및 돌출부(Rib)가 있는 경우	발생 가능~농후

〈수간(Trunk)〉

수피고사□소실 □ 비정상적 수피 질감□색상 □
쌍간 줄기 □ 매몰 수피 □ 열개 □ 기울어짐 _____°
변재 피해□부후 □ 심재 부후 □ 궤양□확□용이 □
변재 피해 □ 버섯 □ 수액 누출 □ 교정여부 □
공동□새집□구멍 □, 깊이 _____cm
수간 초살(Trunk taper) : 낮음 □ 중간 □ 높음 □
반응생장 _____, 미미 □ 유효 □
주요 관심사항 _____

결함부위 하중(부하) : 낮음 □ 중간 □ 높음 □

〈도복/부러짐 가능성〉

발생임박 □ 발생농후 □ 발생가능 □ 발생불가 □



〈그림 25〉 대상목 평가양식(수간)



생활권 수목의

위험성 평가 가이드라인

Guideline for urban tree risk assessment

라. 뿌리의 결함과 조건

〈표 7〉 뿌리 부위의 특징에 대한 평가판정

고사, 부후, 뿌리결손(Dead, Decayed, Missing roots)	특징 및 검사	평가판정
수간으로부터 뿌리의 생장이 시작되는 부위의 비정상적 생장(Abnormal root flare)과 근부 비대(root Swelling)	수간으로부터 뿌리의 생장이 시작되는 부위의 비대 판근(buttrass root)의 융합	뿌리부후
근원 매몰 (Buried root collar)	판근이 없고 수간에 토양이 덮여있음	변재 및 심재부후
줄기 감는 뿌리 (Stem girdling)	바위 등의 장애물이 수간 하부와 판근 압박 시, 반응 생장 제한	건강과 안정성에 문제
평면 수간 하부 (Flat area at the trunk flare)	뿌리 부재, 감는 뿌리, 암석 등 뿌리 생장 방해물	도복원인
누출물 (Oozing)	수간 하부와 판근에서의 누출물	뿌리병해
부정근 (Adventitious roots)	수간이 묻혀서 뿌리 기능장애 시 발달	뿌리문제
부후된 뿌리 (Decayed roots)	부후되어 질려나간 뿌리의 비율	도복가능성 증가

〈뿌리(Roots)와 근원(Root collar)〉

근원 묻힘 ☐ 없음 ☐ , 깊이 _____ cm 줄기 돌려감기 ☐
 뿌리 고사 ☐ 소실 ☐ 부후 ☐ 버섯 ☐
 누출 ☐ 공동 ☐ 피해부위 둘레비율 _____ %
 열개 ☐ 절단 ☐ 피해 뿌리 ☐ 수간에서의 거리 _____ m
 뿌리판까짐 ☐ 토양 취약 ☐
 반응생장 _____ 미미 ☐ 유효 ☐
 주요 관심사항 _____

결함부위 하중(부하) : 낮음 ☐ 중간 ☐ 높음 ☐

〈도복/부러짐 가능성〉

발생임박 ☐ 발생농후 ☐ 발생가능 ☐ 발생불가 ☐



〈그림 26〉 대상목 평가양식(뿌리)

6. 자료 분석 및 위험등급 구분

(Data analysis & Risk categorization)

가. 위험등급 구분과정

위험도 평가시 고려할 사항으로는 대상물, 대상물에 충격을 주는 도복/부러짐의 가능성, 도복의 결과(피해 정도) 등이다.

(1) 도복/부러짐의 가능성(Likelihood of failure)

대상목이 도복되거나 부러질 가능성은 발생불가, 발생가능, 발생농후, 발생임박의 4단계로 구분한다(그림 27).

(가) 발생불가(Improbable) : 정상적 기상조건에서 도복이 일어나기 쉽지 않거나 특정 기간 내 심각한 기상조건에서도 일어나지 않을 수 있음.

(나) 발생가능(Possible) : 도복은 발생할 수도 있지만, 정상적 기상조건에서 발생하기 어려움.

(다) 발생농후(Probable) : 도복의 발생은 특정 기간 내 정상적인 기상조건에서도 발생 가능함.

(라) 발생임박(Imminent) : 도복이 시작되었거나 바람이나 하중이 증가하지 않더라도 가까운 장래에 발생이 가능하므로 피해로부터 사람들을 보호할 수 있는 즉각적인 조치가 필요함.



생활권 수목의

위험성 평가 가이드라인

Guideline for urban tree risk assessment



〈그림 27〉 도복/부러짐의 가능성 구분 (Dunster, J. A. 2013.)

(2) 대상물에 미칠 피해 가능성(Likelihood of impacting target)

대상물에 미칠 피해가능성의 결정에는 점유율(Occupancy rates)이 중요한 고려대상 항목이다. 점유율은 상시, 빈번, 가끔, 한적 등 4단계로 구분하며 피해 가능성은 매우 낮음, 낮음, 중간, 높음의 4단계로 구분한다(그림 28).

- (가) 매우 낮음(Very low) : 도복된 수목 또는 가지가 영향을 미칠 대상물체가 거의 없는 한적한 교외 지역으로 통행량도 거의 없음.
- (나) 낮음(Low) : 제한적으로 사용하는 도로이고 넘어질 방향이 도로를 향하지 않으므로 자동차나 보행자에게 피해를 줄 가능성이 낮음.
- (다) 중간(Medium) : 도복된 수목 또는 가지가 일부 대상물체에 피해를 줄 수 있고 피해점유율이 빈번한 한 면이 노출된 가로수 지역
- (라) 높음(High) : 도복된 수목 또는 가지가 대부분 대상물체에 피해를 줄 수 있고 고정 대상물체가 완전히 노출되어 있으며, 점유율이 높은 가로수에 인접한 도로나 인도에 위치함.



〈그림 28〉 대상물에 미칠 피해가능성 (Dunster, J. A. 2013.)

〈표 8〉 도복 가능성과 특정 대상물체의 피해가능성 평가표

도복/부러짐 가능성	대상물체의 피해 가능성			
	매우 낮음	낮음	중간	높음
임박	낮음	보통	높음	매우 높음
농후	낮음	낮음	보통	높음
가능	낮음	낮음	낮음	보통
불가	낮음	낮음	낮음	낮음



(3) 도복 결과의 구분(Consequences of failure)

도복의 결과와 피해정도는 대상물의 가치(의뢰인의 관점)와 피해정도에 기초하여 무시, 사소, 중대, 심각의 4단계로 구분한다(그림 29).

(가) 무시할 정도(Negligible) : 재산상 피해정도는 대체하거나 고칠 수 있는 작은 가치이고 인명 피해가 없는 경우

(나) 사소한 정도(Minor) : 재산상 피해 정도는 '경~중'이고, 교통 및 통신장비의 경미한 붕괴가 있으며 경미한 상해가 있는 경우

(다) 중대한 정도(Significant) : 재산상 피해 정도는 '중~심'이고 상당한 정도의 인명 피해가 있는 경우

(라) 심각한 정도(Severe) : 높은 가치의 재산상 피해가 발생되고 중요한 활동이 중단되는 상태로 심각한 인명 피해나 사망이 있는 경우



〈그림 29〉 도복의 결과 (Dunster, J. A. 2013.)

〈표 9〉 도복 가능성과 피해 및 도복 결과에 의한 위험도 구분 평가표

도복과 피해 가능성	도복의 결과			
	무시할 정도	사소한 정도	중대한 정도	심각한 정도
매우 높음	경	중	심	극심
높음	경	중	심	심
보통	경	경	중	중
낮음	경	경	경	경

(4) 위험등급 수준(Risk rating)

위험등급 수준은 도복 가능성, 피해 정도와 도복의 결과를 적용시킨 표 9의 결과에 따라 경, 중, 심, 극심의 4단계로 구분하여 위험도 등급을 확정한다(그림 30).

- (가) 경(Low) : 일부 수목의 조치 또는 유지가 적절하고 수목의 유지와 모니터링을 권고한다.
- (나) 중(Moderate) : 수목의 조치 또는 유지, 모니터링을 권고하고 조치와 처리의 시기에 대한 결정은 수목의 소유자 또는 위험목 관리자가 결정한다.
- (다) 심(High) : 조치를 권고하고 조치 결정과 처리 시기는 수목의 소유자 또는 위험목 관리자가 결정한다.
- (라) 극심(Extreme) : 가능한 빠른 조치를 권고하고 인명 피해의 예방을 위하여 대상물 주변 접근을 즉시 제한한다.



〈그림 30〉 위험등급 구분 (Dunster, J. A. 2013.)

This image shows a full page of blank graph paper. The grid consists of small, uniform squares formed by thin, light gray lines. There are no margins, text, or other markings on the page.





생활권 수목의 Guideline for Urban Tree Risk
Assessment

위험성 평가 가이드라인

위험성 기초평가 서식

입지요인(Site factors)

도복의 이력 : ☐ 없음 ☐ 있음 _____ 지형 : ☐ 편평 ☐ 기울어짐 _____ % 방향 _____

입지변경 : ☐ 없음 ☐ 지표면 변화 ☐ 주변수목제거 ☐ 배수로 변화 ☐ 뿌리절단

기후 특성 : _____

〈도복/부러짐 발생 수목(피해 당시 기후)〉

풍향 : _____ 기상 : ☐ 강풍 _____ m/s ☐ 얼음 _____ % ☐ 눈 _____ mm ☐ 폭우 _____ mm

수목 건강성(Tree health)과 수종 프로파일(Species profile)

활력 : ☐ 낮음 ☐ 중간 ☐ 높음 수종의 도복패턴 : ☐ 가지 ☐ 수간 ☐ 뿌리

잎의 상태 : ☐ 없음 ☐ 정상 ☐ 누령 ☐ 괴저

병해충, 비기생성요인 : _____

부하 요인(Load factors)

바람노출 : ☐ 보호 ☐ 부분노출 ☐ 완전노출 수관크기 : ☐ 소형 ☐ 중형 ☐ 대형

수관밀도 : ☐ 소 ☐ 중 ☐ 고 내부가지 : ☐ 빈약 ☐ 정상 ☐ 과도

응력중심거리 : ☐ 짧음 ☐ 중간 ☐ 김 빗자루증상/덩굴/겨우살이/이끼 : ☐ 예 ☐ 아니오

부하 요인(Load factors)

〈수관(Crown)〉

죽음□잔 가지 □ _____ % 최대 직경 _____ cm
 부러진□매달린 가지 □ _____ 개 최대 직경 _____ cm
 불균형 □ 살아있는 수관 비율 (LCR) _____ %
 전정 이력 _____ 수관 전정 □ 사자꼬리 모양 전정 □
 단간 □ 축소 전정 □ 수관높이기 □ 숙아내기 □
 주요 관심사항 _____

〈도복/부러짐 가능성〉

발생임박 □ 발생농후 □ 발생가능 □ 발생불가 □

〈수간(Trunk)〉

수피고사□소실 □ 비정상적 수피 질감□색상 □
 쌓간 줄기 □ 매물 수피 □ 열개 □ 기울어짐 _____ °
 변재 피해□부후 □ 심재 부후 □ 궤양□혹□응이 □
 번개 피해 □ 버섯 □ 수액 누출 □ 교정여부 □
 공동□새집□구멍 □ , 깊이 _____ cm
 수간 초살(Trunk taper) : 낮음 □ 중간 □ 높음 □
 반응생장 _____ 미미 □ 유효 □
 주요 관심사항 _____

결합부위 하중(부하) : 낮음 □ 중간 □ 높음 □

〈도복/부러짐 가능성〉

발생임박 □ 발생농후 □ 발생가능 □ 발생불가 □

〈가지(Branch)〉

수피고사□소실 □ 열개 □
 이전에 부러진 이력 □ 유사 가지 존재 여부? _____
 변재 피해□부후 □ 궤양□혹□응이 □ 버섯 □
 번개 피해 □ 심재 부후 □ 공동□새집 구멍 □
 피해지의 둘레비율 _____ % 과도신장 가지 □
 평절 □ 약한 부착 □ , _____ 개
 반응생장 _____ 미미 □ 유효 □
 주요 관심사항 _____

결합부위 하중(부하) : 낮음 □ 중간 □ 높음 □

〈도복/부러짐 가능성〉

발생임박 □ 발생농후 □ 발생가능 □ 발생불가 □

〈뿌리(Roots)와 근원(Root collar)〉

근원 문힘□없음 □ , 깊이 _____ cm 줄기 돌려감기 □
 뿌리 고사□소실 □ 부후 □ 버섯 □
 누출 □ 공동 □ 피해부위 둘레비율 _____ %
 열개 □ 절단□피해 뿌리 □ 수간에서의 거리 _____ m
 뿌리판까짐 □ 토양 취약 □
 반응생장 _____ 미미 □ 유효 □
 주요 관심사항 _____

결합부위 하중(부하) : 낮음 □ 중간 □ 높음 □

〈도복/부러짐 가능성〉

발생임박 □ 발생농후 □ 발생가능 □ 발생불가 □

위험성 평가 대상목 사진자료

대상 수종 :	위치(GPS좌표) : (N ° . , E ° .)	
대상목 전경	수관 부위	가지 부위
수간 부위	지제부 및 뿌리	주변 환경(특이점)

부위별 위험성 평가 서식

연번	수목 부위	주요 상태	부위별 크기	거리	대상물 체수	대상물 보호	가능성												도복의 결과				각 부위의 위험 등급 (평가표 2)	
							도복/부러짐				피해				도복과 피해 (평가표 1)									
							불가	가능	농후	임박	매우 낮음	낮음	중간	높음	낮음	보통	높음	매우 높음	무시	사소	중대	심각		
1																								
																							최종 평가결과	
2																								
																							최종 평가결과	
3																								
																							최종 평가결과	

위험 등급 평가표

[평가표 1] 도복과 피해 가능성 평가

도복/부러짐 가능성	대상물체의 피해 가능성			
	매우 낮음	낮음	중간	높음
임박	낮음	보통	높음	매우 높음
농후	낮음	낮음	보통	높음
가능	낮음	낮음	낮음	보통
불가	낮음	낮음	낮음	낮음

[평가표 2] 위험 등급 평가

도복과 피해 가능성	도복의 결과			
	무시	사소	중대	심각
매우높음	경	중	심	극심
높음	경	중	심	심
보통	경	경	중	중
낮음	경	경	경	경

〈위험도 등급별 조치사항〉

(가) 경(Low) : 일부 수목의 조치가 적절하고 수목의 유지와 모니터링을 권고함.

(나) 중(Moderate) : 수목의 조치 또는 유지, 모니터링을 권고하고 제거 및 벌채 등의 조치와 처리의 시기에 대한 결정은 수목의 소유자 또는 위험목 관리자가 결정함.

(다) 심(High) : 제거 및 벌채 등의 조치를 권고하고 조치 결정과 처리 시기는 수목의 소유자 또는 위험목 관리자가 결정함.

(라) 극심(Extreme) : 가능한 빠른 제거, 벌채 등의 조치를 권고하고 인명 피해의 예방을 위하여 대상물 주변 접근을 즉시 제한함.

생활권 수목의 위험성 평가 가이드라인

Guideline for Urban Tree Risk Assessment

Ⅲ. 수목 생물학 및 역학(Tree biology and mechanics)





CONTENTS

Ⅲ. 수목 생물학 및 역학(Tree biology and mechanics)

1. 목재의 구조(Wood structure)	52
2. 목재의 부후(Wood decay)	56
3. 역학(Mechanics)	62



III

수목생물학 및 역학(Tree biology and mechanics)

1. 목재의 구조(Wood structure)

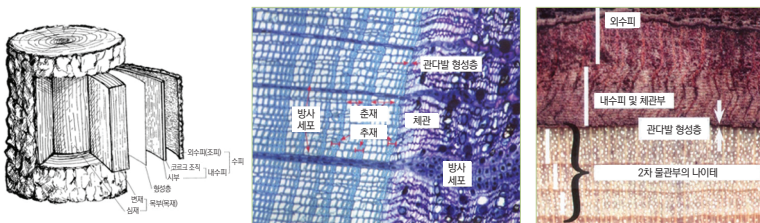
(1) 구조

목재(목부 : 변재와 심재)의 발달은 수목이 외부의 힘, 부후, 스트레스 등에 반응하는 방법에 직접 영향을 미친다.

(가) 물관(수분통도조직) : 가도관(침엽수)과 도관(활엽수) 모두 물관이며, 섬유질, 유조직 세포와 결합한다. 목부는 2차 물관. 가지, 수간, 뿌리에서 강도(strength)의 원천이 된다. 섬유소는 장력 상태에서 유연성과 강도의 특성을 나타내고, 리그닌은 섬유소 주변과 사이의 교질로서 압축 시 뱃뱃함과 하중에 견디는 힘을 제공한다.

(나) 방사세포(ray) : 물관과 체관을 가로지르는 방사상 유조직 세포로 에너지를 저장하고 나이트와 결합하여 물리적 기능을 강화시킨다.

(다) 체관(광합성산물 이동) : 구조의 구성 조직이 아니다.



〈그림 31〉 목재의 구조 (Dunster, J. A. 2013.)

(2) 생장 전략

(가) 수목은 종자(seed)→유묘(seedling)→묘목(sapling)→어린나무(young tree)→성목(tree) 단계로 성장한다. 수목은 성장 초기에는 성장 속도가 빠르고 활력이 있으나, 후기로 갈수록 점차 느려지고 쇠약해진다. 건전목은 활력이 있어서 환경 스트레스, 상처, 부후 등에 반응할 수 있는 에너지를 축적하고 있으나, 쇠약목은 환경 스트레스에 반응할 능력이 감소되어 있다.

- ① 장수 수종(long-lived species) : 병해충, 상처, 부후 등을 극복할 수 있는 생물적 적응전략이다.
- ② 단명 수종(short-lived species) : 스트레스 방어보다는 성장에 에너지를 소비한다.

(나) 수목의 건강성과 구조적 안정성

건강성과 구조적 안정성이 동일한 것은 아니다. 수목이 건강하게 보일지라도 구조적 상태는 불안정한 상태일 수 있다. 건전목은 구조적 결함으로 상실된 강도를 보강하기 위하여 더 많은 목재를 생산한다. 부후, 열개, 상처 등으로 쇠약해진 부위에 강도를 보강하는 적응(반응) 생장이라고 할 수 있다.

(3) 반응생장(Response growth)

(가) 반응재(Reaction wood)

- ① 압축반응재(Compression) : 침엽수에서 하중(중력)의 증가에 반응하는 작고 가는 섬유소 관으로 추재라고도 하며 리그닌 함량이 높다(그림 32의 왼쪽).
- ② 인장반응재(Tension) : 활엽수에서 두꺼운 섬유소 관으로 리그닌 함량이 낮다.

(나) 만곡(변형)재(Flexure wood)



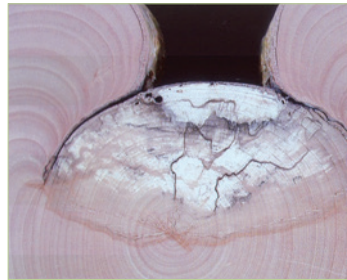
움직이는 하중에 반응하므로 바람에 반응하여 가지와 줄기에 형성된다.

(다) 상처재(Wound wood)

형성층 피해에 대한 반응으로 형성되는 목재로써 리그닌화 되고 분화되어 정상 세포보다 부후에 더 저항성을 나타내는 유합조직(callus)이다(그림 32의 오른쪽).

(라) 반응생장의 해석

반응생장 확인 시, 원인파악과 효과평가가 필요하다. 강한 반응 생장은 수목의 건강과 물리적 안정성을 유지할 수 있는 에너지가 많이 축적되고, 약한 반응 생장은 쇠약하고 부후나 하중증가에 견딜 수 없는 상태가 된다. 수목의 건강과 활력은 부후나 강풍 등에 의한 물리적 스트레스 증가에 대한 수목의 보강능력을 예측할 수 있는 중요한 인자이다.



압축에 의해 구부러진 전나무

상처에 의해 부후 피해를 입은 목재에
형성된 상처재

〈그림 32〉 반응생장의 예 (Dunster, J. A. 2013.)

(4) 수목 건강과 활력

위험성 평가의 기본적인 내용은 수목 건강과 활력을 평가하는 것이다(그림 33).

(가) 수목 건강과 활력 지표 : 전반적인 수목 성장과 잎의 밀도



등성등성한 수관, 스트레스나 쇠약
잔가지가 위에서부터 아래로 마름,
뿌리 쇠약(원인 : 부후, 병해, 절단 등)

비정상적으로 작고, 황화, 괴저된 잎
(원인 : 병해충 및 장애)

〈그림 33〉 수목의 건강과 활력 평가(수목의 성장과 수관 밀도의 확인 필요) (Dunster, J. A.

2013.)



2. 목재의 부후(Wood decay)

수목의 하중을 견디는 부위에서 부후는 구조의 강도를 감소시키고, 도복 가능성을 증가시킨다. 따라서 수목의 특성과 부후균과의 상호관계에 대한 지식이 중요하다.

(1) 목재부후의 종류

(가) 백색부후(White rot)

- 처음에 리그닌을 분해시키고, 섬유소와 헤미셀룰로스는 다양한 정도로 분해를 한다. 부후가 진전되면 흰색 또는 노란색의 스폰지처럼 강도가 낮은 목재가 되며 주로 활엽수에서 발생한다(그림 34의 왼쪽).
- ① 선택적 탈리그닌화(Selective delignification) : 리그닌을 선택적으로 분해하고 목재강도의 감소는 느리다.
- ② 동시분해(Simultaneous white rot) : 경도와 인장강도가 상실되며 목재는 심하게 약해진다.

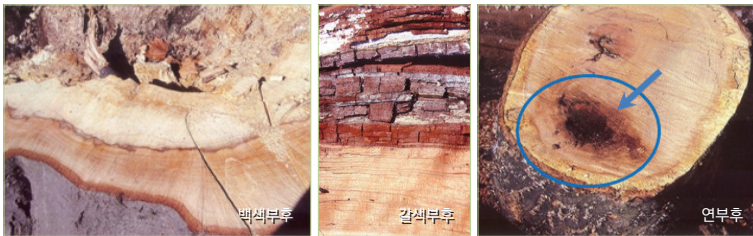
(나) 갈색부후(Brown rot)

- 섬유소와 헤미셀룰로스를 분해하고 리그닌은 남겨둔다. 백색부후보다 강도손실이 크므로 더 심각하다(그림 34의 중앙). 부후 중 쉽게 부스러지며 갈색이 되고, 부후가 진전되면서 수축되고 갈라져서 입방체 블록이 된다.

(다) 연부후(Soft rot)

- 섬유소를 먼저 분해시키지만, 헤미셀룰로스와 리그닌도 변형시키고 세포벽 내에 내강(cavity)을 형성한다(그림 34의 오른쪽).
- 백색부후보다 갈색부후에 가깝고, 세균과 다른 균류가 함께 관여하기도 한다.

- 갈색부후나 백색부후보다 생장 속도가 느리다.
- 주변 건전목재보다 강도가 약한 포켓(pocket)을 형성한다.
- 축축한 환경에서 활엽수에 주로 발생한다.
- *Ustulina(Kretzschmaria) deusta*는 살아있는 나무에서 가장 중요한 연부후균이다.



〈그림 34〉 목재부후의 종류 (Dunster, J. A. 2013.)

(2) 부후의 진전과정

수목 내 부후의 생장(확산) 속도를 평가할 수 있는 것이 중요하며, 부후 진전율에 대한 간단한 규칙은 없다.

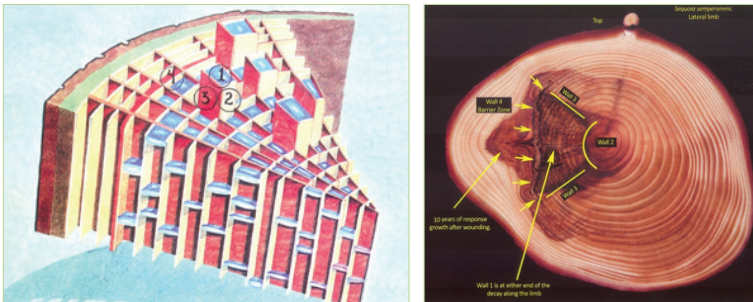
(가) 부후단계 - 세포벽 분해의 단계

- ① 초기단계 : 부후균 세포침입 및 정착단계로 세포벽이 얇아지고 강도가 약해진다, 외부증상은 없으나 실험실에서는 진단이 가능하다.
- ② 중간단계 : 가시적으로 목재변색이 일어나며 목재강도가 현저히 감소된다.
- ③ 진전단계 : 목재강도와 세포구조가 상실되며 외부에서도 확인이 가능하다.



(3) 목재의 구획화(CODIT : Compartmentalization of Decay in Trees)

(가) 목재 구획화의 목적은 부후균이 건전목재로 진전하는 것을 막고, 천천히 진행시키는 것으로 상처 주변의 목부 세포가 부후균의 성장을 억제하는 생리적, 화학적 변화를 수행한다. 그러나 일부 공격적인 기생성 균류에 대해서는 구획화가 성공적이지 못하다(그림 35).



〈그림 35〉 목재의 구획화(왼쪽)와 형성된 방어벽(오른쪽) (Dunster, J. A. 2013.)

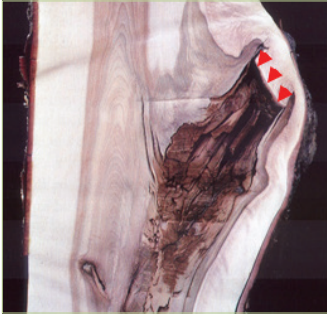
방어벽 1 : 도관과 가도관을 막아서 부후가 상하로 진전하는 것을 방어하는 벽으로 방어력이 가장 약하다.

방어벽 2 : 바깥에서 중앙으로 진전하는 것을 방어하는 벽으로 둘째로 약하다.

방어벽 3 : 방사 유조직 세포에서 부후균 성장을 억제하는 페놀화합물(피자식물)과 테르펜(나자식물)을 생성하여 나이트를 따라 방사상의 진전을 방어하는 벽이다.

방어벽 4 : 부후가 바깥방향으로 진행하지 못하도록 방어지대(barrier zone)를 형성하며 피해부위 바깥에 새로운 목부가 형성되고 가장 강하다(그림 36).

〈그림 36〉 전정으로 생긴 상처 후에 완전히 구획화된 수목 (Dunster, J. A. 2013.)



방어구획(화살표) 외부에 형성된 새로운 세포는 형성층이 건조하지 않게 보호하는 왁스 물질인 수베린(suberin)을 함유.

(나) 부후에 대한 수종별 구획화 능력 차이

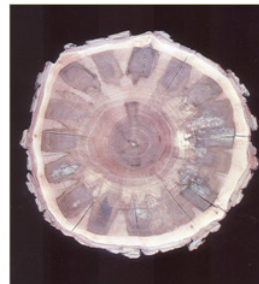
- 수목 도복/부러짐에 대한 이력 정보가 필요하다.
- 생장이 빠르고 수명이 짧은 활엽수는 구획화 능력이 낮고 부후가 빠르게 진행되지만, 수명이 긴 활엽수(참나무)는 구획화 능력이 양호하다.
- 수지가 많은 침엽수(소나무와 낙엽송 등)는 구획화가 잘 되고 부후가 천천히 진행된다(그림 37).

〈그림 37〉 수종별 부후균에 대한 방어능력(구획화)의 차이 (Dunster, J. A. 2013.)

(4) 수목 내 부후 위치



구획화(강)



구획화(약)

(가) 뿌리썩음(Root rot)



생활권 수목의

위험성 평가 가이드라인

Guideline for Urban Tree Risk Assessment

- 부리부후균이 상처나 부리접목을 통해서 감염하며 부리꼴균사다발을 형성하고 포자가 물이나 공기를 통하여 전파된다(예 : Armillaria 균).
- 계속 수간하부의 심재로 진전하여 그루터기썩음을 일으키며 기초 검사에서 탐지하기는 힘들다.

(나) 심재썩음(Heartwood rot ; Heart rot)

- 수간과 가지의 심재에서 부후를 일으키며 부후율은 수종, 조건, 부후균의 부후력에 따라서 다양하다.

(다) 변재썩음(Sapwood rot ; Sap rot)

- 부후에 의한 변재썩음은 심재썩음보다 수간의 강도에 중요하며 특히 크기가 작고 많은 수의 자실체를 형성한다.

〈그림 38〉 수목 내 부후 위치별 증상 (Dunster, J. A. 2013.)

(5) 부후의 표시(Indicator)



후는 수목 내부에서 진전되므로 부후의 존재와 정도를 평가하는 방

부후가 도복/부러짐에 미치는 영향에 대하여 인식하는 것이 중요하다.
목재부후가 발생되었다고 예측되는 징후들은 다음과 같다.

- 공동, 새집(박쥐) 구멍, 벌집
- 수목에 부착된 균류 자실체(버섯)가 일시적으로 발생(그림 39)
- 왕개미
- 흰개미(내부 개미집이나 터널에서 나옴)
- 상처에서 수액의 흐름(부후 가능성)
- 반응재에 의한 과대 성장(부후 가능성)

〈그림 39〉 부후균에 의한 부후 시 나타나는 다양한 버섯(자실체) (Dunster, J. A. 2013.)

물리적인 스트레스가 강도(Strength, 스트레스를 견디는 능력)를 증가하면



도복/부러짐이 발생하므로 수목에 가해지는 하중과 역학에 대한 이해가 필요하다(그림 40).



3. 역학(Mechanics)

(1) 용어와 개념

(가) 압축(Compression) : 재료가 압축되는 스트레스

(나) 인장(Tension) : 재료가 잡아당겨지는 스트레스(압축의 반대)

(다) 전단(Shear) : 재료의 크기가 같은 구성원이 다른 방향으로 어긋나게 작용하여 잘리려고 하는 스트레스

(라) 비틀림(Torsion) : 재료가 비틀리는 힘에 의해 잘리려고 하는 스트레스

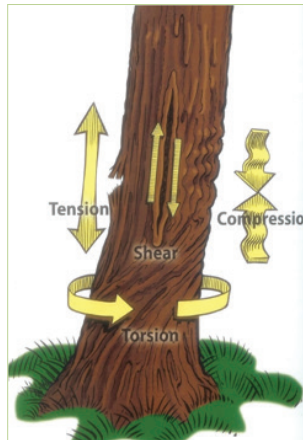
(마) 휨(Bending) : 재료가 외부의 압력을 받아 구부러지려고 하는 스트레스

※ 이들 스트레스는 단독적 또는 복합적으로 작용한다.

〈그림 40〉 수목에 가해지는 물리적 스트레스의 종류 (Dunster, J. A. 2013.)

(2) 수목에 가해지는 역학의 원칙

- 스트레스는 가해지는 하중이 증가할수록, 횡단면적(Cross-sectional area)이 감소할수록 커진다.



- 횡단면적은 목재가 부후될수록 작아진다.

- 횡단면의 강도는 반경의 1/30이상만 건전하면 부러짐을 견딜 수 있다.

$$\text{스트레스(Stress)} = \text{힘(Force)} / \text{면적(Area)}$$

- 수고 / 직경 비율(H/D)이 크면, 부러질 확률이 더 높다.

(3) 수목과 바람

- 바람 에너지는 수목내로 소멸되거나 뿌리와 토양으로 옮겨진다.
- 바람 속도가 낮을 때에는 잎과 잔가지가 움직이면서 에너지가 소멸된다.
- 바람 속도가 커질 때에는 더 큰 가지가 움직이고 에너지는 더 많이 소멸된다.
- 수간이 구부러질 정도면 아주 큰 에너지가 수간과 뿌리를 통하여 토양으로 옮겨진다.

(4) 수목에 가해지는 하중의 평가

- (가) 수목 자체 하중과 외부 하중(바람, 눈, 얼음, 비 등)
- (나) 하중이 가해지는 면적
- (다) 수관 크기와 형태, 잎 밀도, 횡단면적
- (라) 스트레스 상승 요인 - 궤양, 열개, 구부러짐 등
- (마) 응력 중심거리(lever arm) : 수고, 가지 길이
- (바) 수관 불균형, 비대칭

MEMO

This image shows a full page of blank graph paper. The grid consists of small, equal-sized squares formed by thin, light gray lines. There are 20 columns and 20 rows of squares, creating a total of 400 square units. The background is white, and the grid covers the entire area of the page without any margins or additional markings.

MEMO

This image shows a full page of blank graph paper. The grid consists of small, equal-sized squares formed by thin gray lines. There are 20 columns and 20 rows of squares, creating a total area of 400 small squares. The grid covers the entire page, leaving no margins or additional markings.

MEMO

This image shows a full page of blank graph paper. The grid consists of small, equal-sized squares formed by thin gray lines. There are 20 columns and 20 rows of squares, creating a total area of 400 small squares. The background is white, and the grid lines are evenly spaced across the entire page.





생활권 수목의 Guideline for Urban Tree Risk
Assessment

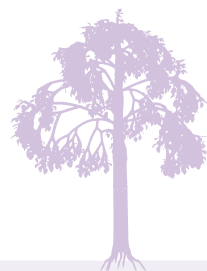
위험성 평가 가이드라인

생활권 수목의 위험성 평가 가이드라인

Guideline for Urban Tree Risk Assessment

IV. 참고문헌 / 연구자료 목록





CONTENTS

IV. 참고문헌

66

연구자료 목록



IV

참고문헌

1. Albers, J. et al. 1996. How to recognize hazardous defects in trees. Massachusetts DNR and USDA Forest Service Northeastern Area State & Private Forestry. Leaflet NA-FR-01-96.
2. Dunster, J.A. 2013. Tree Risk Assessment Manual. ISA 198 pp.
3. Guglielmo, F, Bergemann, S.E, gonthier, P, Nicolotti, G, and Garbelotto, M. 2007. A multiplex PCR-based method for the detection and early identification of wood rotting fungi in standing trees. J. Appl. Microbiol. 103:1490-1507.
4. Hickman, G.W, Perry, E.J, Davis, R.M. 2011. Wood decay fungi in landscape trees. Pest Notes. Publication 74109. 4 pp.
5. Koeser, A.K. et al. 2013. Tree risk assessment methods: A comparison of three common evaluation forms. UF IAFS Extension. 8 pp.
6. Luley C. 2012. Indicators of decay in urban trees. Arborist News. 3 pp.
7. McLean, K. et al. 2014. Advanced tree risk assessment: Resistance recording drills. University of Florida IAFS Extension. 5 pp.
8. Ostry, M.E, and Walters, J.W. 1983. How to identify and minimize white trunk rot of aspen. USDA North Central Forest Experiment Station. Leaflet HT-63.
9. Pokorny, J.D. 1992. Urban tree risk management: A comparative guide to program design and implementation. USDA For. Ser. Northeastern Area. NA-TP-03-03. 204 pp.
10. Schmidt, O, Gaiser, O, and Dujesiefken, D. 2012. Molecular identification of decay fungi in the wood of urban trees. Eur. J. Forest Res. 131:885-891.

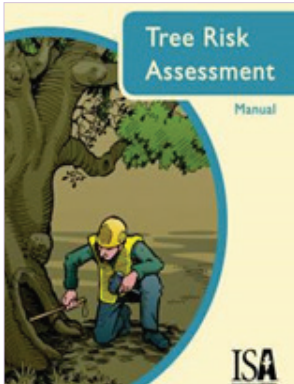
11. Shigo, A.L. Tree hazards. 13 Questions that could save a life. Maybe yours!. Leaflet Shigo and Tree, Associates.
12. Schwarze, F.W.M.R, Engels, J, Mattheck, C. 2000. Fungal strategies of wood decay in trees. 185 pp. Springer
13. Tattar, T.A. 1984. Living hazard trees. University of Massachusetts. Cooperative Extension Service L264.
14. Weber, K, and Mattheck, C. 2003. Manual of wood decays in trees. 127 pp. The Arboricultural Association, UK.
15. 이규화, 이경준. 2012. 수목관리학(역서). 592 pp.(주)바이오사이언스출판. Arboriculture: Integrated management of landscape trees, shrubs, vines. 4th ed. Harris, R.W., Clark, J.R., and Matheny, N.P. Pearson Education Co. 2004.
16. 이규화. 2013. 도해 전정론(역서). 480 pp. 월드사이언스. An illustrated guide to pruning. 3rd ed. Gilman, E.F. Cengage Learning.
17. 日國機研資料集. 街路樹 倒伏對策手引. 669号.
18. 이종규. 2013. 수목의 위험도 외과진단. 강원대학교 수목진단센터 리프렛 TDC 2013-3.
19. 이종규. 2019 생활권 수목의 목재부후. 강원대학교 수목진단센터 리프렛 TDC 2019-4.
20. 이종규. 2019. 생활권 수목의 위험가능성 평가를 위한 매뉴얼 개발. 66 p. 국립산림과학원 위탁연구과제 결과보고서.



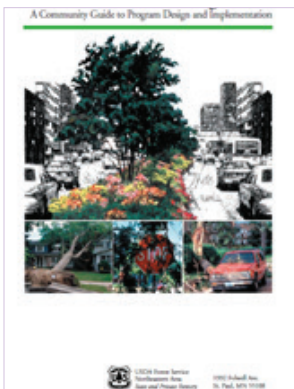
생활권 수목의

위험성 평가 가이드라인

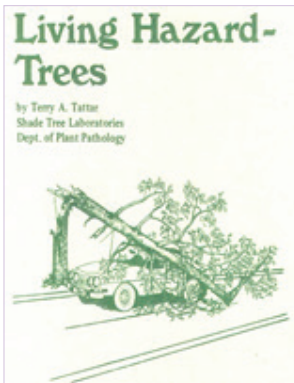
Guideline for Urban Tree Risk Assessment



국제수목관리협회(ISA)에서 2013년에 발간한 위험목 평가 매뉴얼로 위험목 평가의 정의, 위험목 평가수준, 위험 대상물 평가, 위험목 입지 평가, 수목구조, 생장 및 부후, 위험목 부위별 검사 및 평가, 자료분석 및 위험도 등급 구분, 위험목 평가 양식 등의 내용을 포함



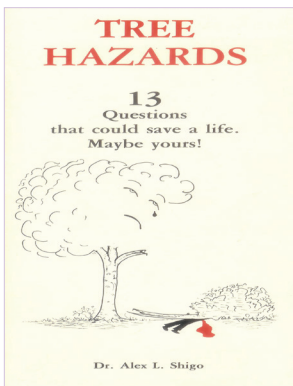
미국 USDA Forest Service Northeastern Area *State and Private Forestry*에서 1992년에 발간한 자료로 생활권 위험목 관리에 대한 내용이 193쪽에 걸쳐서 상세히 설명되어 있음. 1장. 위험목 관리, 2장. 위험목 관리(계획과 설계), 3장. 수목 위험한 결점의 탐지 및 평가, 4장. 위험목 결점의 예방, 5장. 위험목 결점의 교정



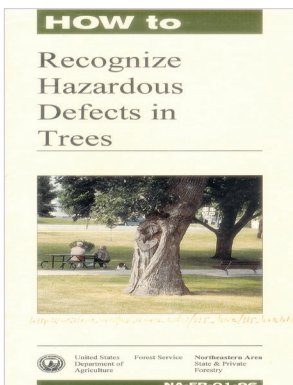
미국 Massachusetts Cooperative Extension에서 발간한 리프렛으로 위험목의 배경, 종류(카테고리), 살아있는 위험목과 탐지, 결론 등의 내용을 포함



미국 USDA Alaska에서 발간한 자료



Dr. Shigo가 발간한 위험목 리프렛으로 수목의 다양한 부위에서 발생하는 원인에 의한 위험에 대하여 그림과 함께 설명

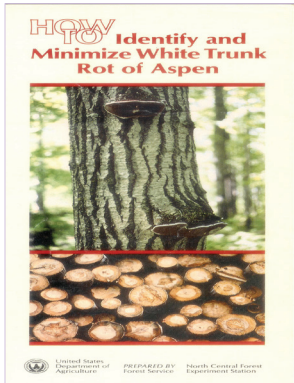


미국 USDA Forest Service Northeastern Area *State and Private Forestry*에서 1996년에 발간한 리프렛으로 위험 수목을 탐지하는 방법에 대하여 수목에서 발생하는 위험성을 유발하는 다양한 결점들을 사진과 함께 설명



생활권 수목의 위험성 평가 가이드라인

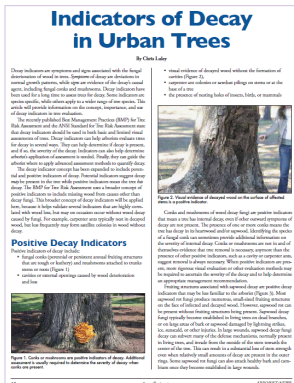
Guideline for Urban Tree Risk Assessment



미국 USDA North Central Forest Experiment Station에서 1983년에 발간한 리프렛으로 백양나무 줄기썩음병을 탐지하는 방법과 피해를 경감하는 관리방법에 대한 내용을 사진과 함께 설명



미국 University of California에서 2011년 발간한 자료로서 조경수목에서 목재부후를 유발하는 부후균에 의한 피해, 동정과 특징, 관리방법 등에 대하여 사진과 함께 설명



미국 Arborist News에 게재된 자료로 생활권 수목에서 부후가 발생되면 어떤 특징이 나타나는 지에 대하여 사진과 함께 설명

국립산림과학원 연구자료 목록

1. 외국수종육성에 관한 시험. 1959.
2. 한국산 야생용 식물 - 초본편. 1959.
3. 세계인공림에 관한 회의보고서. 1968.
4. 야생동물실태조사 제 3보. 1968.
5. 한국수목해충총목록. 1969.
6. 한국조류분포목록. 1969.
7. 광릉시험림의 솔잎혹파리구제에 관한 보고. 1969.
8. 야생식물식물도감. 1969.
9. 야생동물실태조사 제4보. 1969.
10. 해외파견기술훈련보고서 - 토양조사와 토지이용구분. 1970.
11. 한국의 펄프종이 공업. 1970.
12. 주요 임산물 통계자료. 1970.
13. 포푸라 주요 병해충의 생태와 방제. 1970.
14. 포푸라이용의 현황과 전망. 1970.
15. 조림수익율표. 1972.
16. 송이생산기술 연찬회자료. 1981.
17. 해외목재자원 및 이용 - I. 파푸아뉴기니아. 1981.
18. 한국의 송이에 관한 조사보고서. 1981.
19. 목재보존 기술자료. 1981.
20. 해외목재자원 및 이용 - II. 중남미. 1982.
21. 해외목재자원 및 이용 - III. 아프리카. 1983.
22. 송이연구 및 생산기술자료. 1984.
23. 해외목재자원 및 이용 - IV. 동남아시아. 1984.
24. Compilation of Abstracts on Gall Midges of Woody Plants(수목혹파리에 관한 초록집). 1984.
25. 주요수종의 수익성. 1985.
26. Report on Biological Control of the Pine Gall in Korea. 1985.
27. 미국과 일본의 산림자원정책. 1985.
28. 오지리의 산림조사평가와 표준오차계산표. 1985.
29. 일본의 임산버섯 연구 및 생산기술. 1986.
30. 산지이용구분조사보고서. 1986.
31. 해외목재자원 및 이용 - V. 북미. 1986.
32. 임산버섯생산기술 연찬회자료. 1987.
33. 간벌소경재의 가공이용기술. 1987.
34. 산림자원조사보고서 - 강원도 기본계획구. 1987.
35. 산림자원조사보고서 - 동부영림서 기본계획구. 1987.
36. 산림자원조사보고서 - 중부영림서 기본계획구. 1988.
37. 간벌작업지 프라스틱수라집재에 관한 사례연구. 1988.
38. 해외목재자원 및 이용 - VI. 소련·극동시베리아. 1989.
39. 임업투자수익율표. 1989.
40. 산림자원조사보고서 - 경상북도(대구직할시포함) 기본 계획구. 1989.
41. 산림자원조사보고서 - 남부영림서 기본계획구. 1989.
42. 미림목지의 주요수종 수확예측. 1989.
43. 산림토양단면도집. 1989.
44. 해외임산공업현황 - I. 대만□일본. 1989.
45. 목재도장기술. 1989.
46. 대나무재배기술. 1990.
47. 산림자원조사보고서-경남(부산직할시 포함) 기본계획구. 1990.
48. 일본의 소나무재선충병연구. 1990.
49. 소련□중국의 임업정책연구. 1990.
50. 열대재의 재질과 가공성. 1990.
51. 평가르기. 1991.
52. 산림과 물. 1991.
53. 일본의 제재기술동향. 1991.
54. 일본의 목재보존의 기술동향. 1991.
55. 세계주요국의 임정연구. 1991.
56. 산림자원조사보고서 - 전라북도(광주직할시 포함) 기본 계획구. 1991.
57. 산림자원조사보고서 - 전라남도 기본계획구. 1991.
58. 환경과 야생동물. 1991.
59. 한국의 임산업. 1991.
60. 목재건조기술. 1991.
61. 목재접착□조색□도장기술. 1991.
62. 도시□산림□환경. 1991.
63. 석재자원조사보고서(Ⅰ). 1992.
64. 세계의 임산업. 1992.
65. 아까시나무 자원과 이용. 1992.
66. 세계주요국의 산림□임업법률연구. 1992.
67. 수목 및 목재의 성분이용. 1992.
68. 겨울철새의 도래실태. 1992.
69. 산림자원조사보고서(충북). 1992.
70. 산림자원조사보고서(충남). 1992.

71. 임업연구를 위한 기초통계학. 1992.
72. 북한의 임업. 1992.
73. 한국산 버섯 색인집. 1992.
74. 목질탄화 및 탄화물의 토양개량재 이용. 1992.
75. 목재열기 건조 스케줄. 1993.
76. 산림자원조사보고서(경기도, 서울, 인천, 원주영림서 포함 기본계획구). 1993.
77. 산림자원조사보고서(제주도 기본계획구). 1993.
78. 합판산업 구조개선방안. 1993.
79. 산림휴양□생태관광계획. 1993.
- 80-1. 열대목재의 합리적 이용 및 목재산업 국제화 증진 방안. 1993.
- 80-2. Study on Rational Utilization of Tropical Timber and Globalization of Korean Wood Industry. 1993.
81. 석재자원조사보고서(Ⅱ). 1994.
82. 해외조림투자환경. 1994.
83. 활엽수자원보고서(경상남도 기본계획구). 1994.
84. 활엽수자원보고서(전라남도 기본계획구). 1994.
85. 활엽수자원보고서(제주도 기본계획구). 1994.
86. 목재□재질재료의 성능향상 및 가공□이용기술. 1994.
87. 표고재배기술 연구자료. 1994.
88. 천마재배기술 연구자료. 1994.
89. 톱밥 종합이용. 1994.
90. 일본 목재보존공업기술 동향. 1994.
91. 임목종자와 양묘. 1994.
92. 한국의 목재자원과 수급 및 임산업현황. 1994.
93. 산림측량실무. 1994.
94. 목조주택 시공기법. 1994.
95. 한국산 주요목재의 성질과 용도. 1994.
96. 통나무집 축조기술. 1994.
97. 목질재료의 신접착기술. 1994.
98. '95임업연구성과설명회 자료(목재산업분야). 1995.
99. '95임업연구성과설명회 자료(임산버섯분야). 1995.
100. '95임업연구성과설명회 자료(특수임산물리용분야). 1995.
101. 산림생태계 생물다양성 조사분석 및 표본관리 방법. 1995.
102. 속성활엽수의 해외조림투자환경(베트남, 미얀마, 칠레, 서호주를 중심으로). 1995.
103. 솔잎혹파리 논문집 I. 생태, 피해, 방제전략. 1995.
104. 솔잎혹파리 논문집 II. 생물적, 화학적, 임업적 방제. 1995.
105. 솔잎혹파리 논문집 III. 일본, 유럽, 미국. 1995.
106. 한국수목해충목록집. 1995.
107. 임업분업론과 중국의 임업발전방향. 1995.
108. 중국의 임업산업정책과 구역비교연구. 1995.
109. 우리나라 목재수급실태. 1995.
110. 활엽수자원조사보고서(충청남도 기본계획구). 1995.
111. 활엽수자원조사보고서(전라북도 기본계획구). 1995.
112. 활엽수자원조사보고서(경상북도 기본계획구). 1995.
113. 임업연구 기본계획. 1995.
114. 뉴질랜드의 임업 및 임산업 투자환경 - 북섬지역을 중심으로. 1995.
115. 구조용 목질재료의 이용과 환경영향. 1995.
116. 한국수목병명목록집. 1995.
117. 열대활엽수의 해외조림투자환경(말레이시아, 솔로몬, 파푸아뉴기니아를 중심으로). 1996.
118. '96연구성과설명회 자료집(임산공업분야)-산림환경 변화에 대응한 임산공업의 새로운 모색. 1996.
119. 한□일 산림생산공학 학술회의. 1996.
120. 임업경제동향 - 연차보고서. 1996.
121. 계방산 및 울릉도산림생태계의 생물다양성. 1996.
122. 활엽수자원조사보고서(전국 총괄). 1996.
123. 활엽수자원조사보고서(경기도 기본계획구). 1996.
124. 활엽수자원조사보고서(강원도 기본계획구). 1996.
125. 활엽수자원조사보고서(충청북도 기본계획구). 1996.
126. 한국산림과 온실가스 -흡수□저장 및 저장방안-, 1996.
127. 산림생장 및 수확예측 모델론. 1996.
128. 환경보전형 곤충병원미생물을 이용한 잔디해충 방제. 1996.
129. 임업연구원소장 곤충표본목록 I 나비목. 1996.
130. 임업경제동향-연차보고서(1997). 1997.
131. 나무의 신비. 1997.
132. 우리나라의 산촌지역 구분조사. 1997.
133. 한국의 목재수급실태. 1997.
134. 산림자원조사보고서. 1997.
135. 중국의 임업□임산업 현황과 투자환경. 1997.
136. 일제시대의 국유림관리 -보호□재분□경영을 중심으로-. 1997.
137. 목조건축의 외장용 목재. 1997.

138. 조선시대 산림사로집. 1997.
139. 임도망계획방법. 1998.
140. 임업경제동향-연차보고서. 1998.
141. 표고 재배기술. 1998.
142. 폐목재발생 및 재활용실태. 1998.
143. 산림의 온실가스 저감방안. 1998.
144. 목질탄화물(숯과 목초액)의 농업 및 환경적 이용. 1998.
145. 설악산 산림생태계의 생물다양성과 생태관광개발 잠재력 평가. 1998.
146. 우리나라 야생동물의 보호관리실태. 1999.
147. 표고 재배기술향상. 1999.
148. 임업경제동향-연차보고서. 1999.
149. 자연휴양림 이용특성 및 효율적 관리방향(1). 1999.
150. 송이 증수 및 품질향상 기술. 1999.
151. 주요 수종의 육종계획. 1999.
152. 임업의 새로운 조류. 1999.
153. 송이 증수 및 인공재배 연구. 1999.
154. 임업경제성분석 프로그램 사용설명서. 1999.
155. 임업경제성분석 지침서. 1999.
156. 목재인증제의 동향. 1999.
157. 도시림 실태조사 및 관리방안. 1999.
158. 새로운 표고재배기술. 2000.
159. 폐목재의 수집체계 개선 및 재활용 촉진방안. 2000.
160. 식약용식물 재배법. 2000.
161. 임업연구원 소장 곤충표본목록 II 곤충류(나비목 제외). 2000.
162. 임업경제동향 2000년/봄. 2000.
163. 한국기록종 버섯 재정리 목록. 2000.
164. 백합나무 조림기술. 2000.
165. 밤나무 재배기술. 2000.
166. 임업경제동향 2000년/여름. 2000.
167. 임업경제동향-연차보고서. 2000.
168. 송이산 가꾸기 및 송이증수. 2000.
169. 한국과 일본의 산지관리 제도. 2000.
170. 혼농림업의 현황과 발전방향. 2000.
171. 원목규격과 해설. 2000.
172. 폐탄광지의 환경복원녹화 기술개발 국제심포지엄. 2000.
173. 임업경제동향 2000년/가을. 2000.
174. 임업경제동향 2000년/겨울. 2001.
175. 임업경제동향 2001년/봄. 2001.
176. 일본의 산촌진흥사책. 2001.
177. 비무장지대 조사방안 토론회. 2001.
178. 임업경제동향 2001년/여름. 2001.
179. 숯과 목초액 이용. 2001.
180. 온·한대림의 보전과 지속가능한 경영을 위한 기준 및 지표. 2001.
181. 임업경제동향 2001년/가을. 2001.
182. 한국의 근·근현대 산림소유권 변천사. 2001.
183. Green GNP와 산림자원계정. 2001.
184. Traditional Knowledge for Soil Erosion Control in the Republic of Korea. 2001.
185. 산림유역의 비점오염원 관리 - 산림작업이 수질에 미치는 영향 및 저감대책 -. 2001.
186. 주요국의 산림림업정책. 2001.
187. 주요국의 산림림업법률. 2001.
188. 임업경제동향 2001년/겨울. 2002.
189. 임업경제동향 2002년/봄. 2002.
190. 임업경제동향 2002년/여름. 2002.
191. 도시림의 합리적 이용관리방안. 2002.
192. 외국의 산불예방과 진화. 2002.
193. 우리나라 귀화식물의 분포. 2002.
194. 중국임업 및 임산업투자환경. 2002.
195. 임업경제동향 2002년/가을. 2002.
196. 산림수문 장기모니터링 자료집(산림유역의 물순환 조사). 2002.
197. 북미산 활엽수재의 재질과 용도. 2002.
198. 백두대간의 생태계 현황 및 관리범위 설정. 2003.
199. 세계의 산림자원과 목재무역. 2002.
200. 2002 수요열린 세미나 자료집. 2003.
201. 임업경제동향 2002년/겨울. 2003.
202. 임업경제동향 2003년/봄. 2003.
203. 생물반응기와 생물체 대량배양. 2003.
204. 대기오염과 산림생태계 변화모니터링. 2003.
205. 임업경제동향 2003년/여름. 2003.
206. 환개미의 생태와 방제. 2003.
207. 홍릉수목원의 버섯. 2003.
208. 주요국의 산림계획제도. 2003.
209. 임업경제동향 2003년/가을. 2003.

210. 북한 산림□임업동향. 2003.
211. 기후변화협약에 따른 국가보고서 작성 기초 연구. 2003.
212. 제초제 내성 관여 유전자와 효소, 제초제의 생화학 및 대사, 형질전환 식물의 잔류물질. 2003.
213. GM 수종의 환경적 고찰. 2003.
214. 포플러의 생물학. 2003.
215. 조선시대 국용임산물(전국지리지의 임산물 항목을 중심으로). 2004.
216. 2003 수요열린 세미나 자료집. 2004.
217. 임업경제동향 2003/겨울. 2004.
218. 산림수자원 모니터링. 2004.
219. 채종원의 효율적 관리방안. 2004.
220. 임도밀도 목표량 산정연구. 2004.
221. 임업경제동향 2004년/봄. 2004.
222. 동북아 지역의 사막화 원인과 대책. 2004.
223. 휴양림 목조시설 유지관리 매뉴얼. 2004.
224. 알기 쉬운 소나무재선충. 2004.
225. 임업경제동향 2004년/여름. 2004.
226. 생태계접근법의 개념과 이행지침. 2004.
227. 임산물품질인증지침. 2004.
228. 두릅나무 및 음나무 재배기술. 2004.
229. 임업경제동향 2004년/가을. 2004.
230. 표고와 송이의 최근 재배동향. 2004.
231. 기후변화 협약 관련 IPCC 우수실행지침. 2004.
232. 북한 산림□임업동향 및 주요수종. 2004.
233. 2004 토요세미나 자료집. 2005.
234. 임업경제동향 2004년/겨울. 2005.
235. FSC 산림인증 심사용 Check list. 2005.
236. 임업경제동향 2005년/봄. 2005.
237. 목재 유통구조 분석. 2005.
238. 광릉시험림 천연소나무림 실태조사. 2005.
239. 일본의 임지개발허가제도. 2005.
240. 임업경제동향 2005년/여름. 2005.
241. 2005 열린세미나 자료집(상). 2005.
242. 임산물품질인증지침(개정판). 2005.
243. 산지이용구분도 구축방법의 문제점 및 개선방안. 2005.
244. 실내공기환경과 목질제품. 2005.
245. 임업경제동향 2005년/가을. 2005.
246. 항공사진 입체표본철. 2005.
247. 이차대사산물 생산공장으로서는 식물세포배양. 2005.
248. WTO/DDA 목재류 분야 협상의 최근 동향. 2005.
249. 수목유래 isoflavonoids 화합물의 구조동정을 위한 핵자기공명 및 질량 분석 자료. 2005.
250. 독일가문비나무의 생물학. 2005.
251. 잣나무의 엽록체 유전체. 2005.
252. 북한 산림□임업동향 및 주요수종 II. 2005.
253. 목침목의 활열 방지 및 폐침목의 재이용. 2005.
254. WTO/DDA 농업협상의 논의쟁점과 단기소득 임산물의 대응방향. 2005.
255. 세계의 산불위험예보시스템. 2005.
256. 2005 열린세미나 자료집(하). 2006.
257. 임업경제동향 2005년/겨울. 2006.
258. 표고재배 및 병해충 관리. 2006.
259. 임업경제동향 2006년/봄. 2006.
260. 일본 국유림 레크레이션 숲 관련 제도. 2006.
261. 2006 열린세미나 자료집(상). 2006.
262. 임업경제동향 2006년/여름. 2006.
263. 일본 국유림 레크레이션 숲 관련 제도 II. 2006.
264. 수목의 오존내성 매카니즘과 피해반응. 2006.
265. 소나무재선충병의 국제 연구동향. 2006.
266. 수목의 생리활성 탐색. 2006.
267. 기내배양을 이용한 산림자원의 증식. 2006.
268. 수목유래 Isoflavonoids 화합물의 구조동정을 위한 핵자기 공명 및 질량분석자료(II). 2006.
269. 산지계류의 생태적 복원방법. 2006.
270. 액화목재의 제조기술 및 이용. 2006.
271. 임업경제동향 2006년/가을. 2006.
272. 제주시시험림 생태관광당성조사. 2006.
273. 기후변화협약과 산림. 2006.
274. 소나무재선충병 바로알기. 2006.
275. 북한 산림□임업 동향 및 주요 수종(III). 2006.
276. 통계로 본 산림자원의 변화와 임산물 수급추이. 2006.
277. EU□일본의 임업보조금. 2006.
278. 2006 열린세미나 자료집(하). 2007.
279. 소나무의 유전변이와 유전자원보존. 2007.
280. 임업경제동향 2006년/겨울. 2007.
281. 독일 및 이탈리아의 농산촌관광 정책과 현황. 2007.
282. 산림 항공사진 검색 시스템 사용자 매뉴얼. 2007.

283. 임업경제동향 2007년/봄. 2007.
284. 2007 열린세미나 자료집(상). 2007.
285. 핀란드 및 독일의 산림부문 온실가스 통계체제. 2007.
286. 임업경제동향 2007/여름. 2007.
287. 대나무□대나무숲□죽초액. 2007.
288. 산림유전자원 표본목록. 2007.
289. 제주지역의 임목유전자원. 2007.
290. 일본의 산촌진흥대책 추진매뉴얼. 2007.
291. 개량종자 생산을 위한 재종원 조성 및 관리. 2007.
292. FSC 산림경영인증 및 CoC 목제품원료인증 교육 자료집. 2007.
293. 임산물품질시험 인증지침. 2007.
294. 임산염료 자원을 이용한 천연염색(I). 2007.
295. 꽃송이버섯. 2007.
296. 수목유래 Isoflavonoids 화합물의 구조동정을 위한 핵자기 공명 및 질량분석자료(Ⅲ). 2007.
297. 목질탄화물의 흡착이용. 2007.
298. 임업경제동향 2007/가을. 2007.
299. 산림항공사진 영상판독시스템과 수치임상도 제작 사용자 매뉴얼. 2007.
300. 한국의 도시숲. 2007.
301. 리기다소나무림 관리방안. 2007.
302. FSC CoC 목제품원료인증 교육자료집. 2007.
303. 산불관리 원칙과 전략적 활동 지침. 2007.
304. 백두대간의 지리적 범위 구명 방안. 2007.
305. Post-2012 산림탄소 배출권 계정의 동향. 2007.
306. 북한의 산림□임업 동향 및 주요 수종(Ⅳ). 2007.
307. 2007 열린세미나 자료집(하). 2007.
308. 지역개발과 산지법의 신경향. 2008.
309. 일본의 산림기능구분과 산림관리. 2008.
310. 임업경제동향 2007/겨울. 2008.
311. 을수동 산림생태지도. 2008.
312. 지속가능한 관광 및 생태관광 인증. 2008.
313. 임업경제동향 2008/봄. 2008.
314. 2008 열린세미나 자료집(상). 2008.
315. 코린도 칼리만탄 조림지 임목자산 평가조사보고. 2008.
316. 임업경제동향 2008/여름. 2008.
317. 제5차 국가산림자원조사 -현지조사 매뉴얼-. 2008.
318. 수치임상도(1:25,000) 표준 제작체계. 2008.
319. 산림작업용 장비. 2008.
320. 백합나무(Liriodendron tulipifera L.) - 생장특성과 관리기술 -. 2008.
321. 제주시험림 야생동물 생태도감. 2008.
322. 모두베기에 의한 소나무재선충병의 방제. 2008.
323. 남산숲의 식생과 토양 특성. 2008.
324. 임산염료 자원을 이용한 천연염색(Ⅱ). 2008.
325. 지역공동연구 활성화를 위한 시험림 조성 및 특산 수종 발굴. 2008.
326. 수치임상도 제작 운영 · 관리 프로그램 사용자 매뉴얼. 2008.
327. 영상탐재 현장조사 시스템 사용자 매뉴얼. 2008.
328. 북한의 산림□임업 동향 및 주요 수종(V). 2008.
329. 해와 바이오매스 이용 현황 - 일본 -. 2008.
330. 산림의 유전자원 보존. 2008.
331. 임업경제동향 2008/가을. 2008.
332. 외래 유전자 도입 포플러 데이터베이스. 2008.
333. 산림생태계 관리를 위한 새로운 접근! 산지소생물권. 2008.
334. 희귀 산림유전자원 보존 연구. 2008.
335. 유실수의 유용성분 분석. 2008
336. 국내외 숲해설 관련 인증제도. 2008.
337. 호두과피 탈피기 개발 및 이용. 2008
338. 품질인증 방부처리목재 수종별 방부처리도와 자상 처리 기준 추가 타당성 조사. 2008.
339. 산지계류의 생태적 복원기법 Ⅱ - 생태적 복원계획과 분석. 2008.
340. 산불피해지 생태변화 조사방법 매뉴얼. 2008.
341. 유럽 산촌지역의 현황 및 제도분석. 2009.
342. 2008 열린세미나 자료집(하). 2009.
343. 임업경제동향 2008/겨울. 2009.
344. 산림유전자원 종자목록 - 난대산림연구소 보유편 (2009) 2009.
345. 임업경제동향 2009/봄. 2009.
346. 항공영상 활용 현장조사 시스템(소프트웨어) 스탠드 얼론 버전(Stand Alone Version) 사용자 매뉴얼. 2009.
347. 산림입지도(1:5,000) 제작 표준매뉴얼. 2009.
348. 제4차 전국산림자원조사 민원류 총괄편. 2009.
349. 2009 열린세미나 자료집(상). 2009.
350. 홍릉수목원의 보물찾기-버섯 99선. 2009.
351. 일본의 산촌지역 도농교류 우수사례. 2009.

352. 임업경제동향 2009/여름. 2009.
353. 일본의 보안립제도. 2009.
354. 제4차 전국산림자원조사 국유림 총괄편. 2009.
355. 미국의 국가산림자원조사 지도제작 프로그램. 2009.
356. 문운골 산림생태지도. 2009.
357. 미국의 도시녹지 탄소계정. 2009.
358. 식물호르몬 분석 실무. 2009.
359. 2009 한국의 산림경관 및 생태계 관리권역. 2009.
360. 일본의 포름알데히드방출 목질제품 관리제도. 2009.
361. 산림종자유전자원 DB 구축 현황. 2009.
362. 조경수 재배기술 관리. 2009.
363. 임업경제동향 2009/가을. 2009.
364. 산림 벌채 부산물의 압축화 기술. 2009.
365. 주요 조림수종의 양묘기술. 2009.
366. 제주지역의 야생버섯. 2009.
367. 북한의 산림□임업 동향 및 주요 수종(Ⅳ). 2009.
368. 주요국의 국유림 정책 및 경영실태. 2009.
369. 산림 GIS 데이터베이스 구축 및 활용. 2009.
370. 숲과 물이 만나는 수변림. 2009.
371. 잔불 재확산 방지 관리 기술. 2009.
372. 2008-2009 산림재해백서. 2009.
373. 중국 대나무 도감. 2009.
374. Feasibility study on the development of community based forest management for improving watershed condition and poor household welfare in west Java, Indonesia. 2009.
375. 일본의 바이오매스타운 조성정책과 추진사례. 2010.
376. 2009 열린세미나 자료집(하). 2010.
377. 1991~2009년 산불발생위치지도. 2010.
378. 임업경제동향 2009/겨울. 2010.
379. 일본의 환경영향평가제도. 2010.
380. Cytokinin의 분자생리학. 2010.
381. 임업경제동향 2010/봄. 2010.
382. 백합나무 시설양묘 시업기술. 2010.
383. 소나무재선충병 매개충 현상 종동정 매뉴얼. 2010.
384. Forest Eco-Atlas of Korea. 2010.
385. 정사항공사진을 활용한 제5차 수치임상도(1:25,000) 제작 매뉴얼. 2010.
386. 2010 열린세미나 자료집(상). 2010.
387. 유성번식을 통한 무병 천마의 기내생산방법. 2010.
388. 임업경제동향 2010/여름. 2010.
389. 지상부 바이오매스 공간분포 추정과 관한 주요국 연구 동향 분석. 2010.
390. 세계 산림 수종별 바이오매스 추정. 2010.
391. 옥외시설 및 건축외장재의 유지관리 매뉴얼. 2010.
392. Ligneous Flora of Jeju Island. 2010.
393. 지속가능한 난대림 산림경영 연구의 이론과 실제. 2010.
394. 일본의 산림 탄소상쇄 사업 지침. 2010.
395. 백합나무 특성 및 관리. 2010.
396. 임산염료 자원을 이용한 천연염색(Ⅲ). 2010.
397. 인도네시아의 산림□임업. 2010.
398. 해외 바이오매스 이용 현황 -유럽 및 미주-. 2010.
399. 임산물품질인증 지침. 2010.
400. 산림치유 프로그램 운영 사례집. 2010.
401. 임업경제동향 2010/가을. 2010.
402. 솔껍질깍지벌레 피해분포도. 2010.
403. 북한 산림□임업동향 및 주요 수종(VII). 2010.
404. 산림 바이오매스 에너지. 2010.
405. 산림탄소상쇄 사업설계가이드라인-시범사업용. 2011.
406. 산림유전자원 현지외보존 현황. 2011.
407. 2010 산림재해백서. 2011.
408. 임업경제동향 2010/겨울. 2011.
409. 산림청지정 희귀멸종위기 식물 제166호 산개나리. 2011.
410. 일본의 바이오매스타운 조성·운영 지원 법률 및 제도. 2011.
411. 임업경제동향 2011/봄. 2011.
412. 홍릉 숲에 사는 개미. 2011.
413. 편백 시설양묘 시업기술. 2011.
414. 산불감시카메라 가시권 분석을 통한 '산불탐지 가시권 지도'. 2011.
415. 제6차 국가산림자원조사 및 산림의 건강활력도 조사 현지조사지침서. 2011.
416. 산림입지도양도(1:5,000) 제작 표준매뉴얼 -ver. 2.0-. 2011.
417. A1B 기후변화 시나리오에 따른 개미의 분포와 풍부도의 변화 예측. 2011.
418. 임업경제동향 2011/여름. 2011.
419. 곤충페로몬 및 식물체정유를 이용한 산림해충 방제제 개발. 2011.

420. 두륜산 산림생태지도. 2011.
421. 2011년 국립산림과학원 난대산림연구소 제주시험림 산림경영인증 재심사 보고서. 2011.
422. 2011 제주시험림의 지속가능한 산림경영 현지어행 성과. 2011.
423. 방부목재 가이드북(개정판). 2011.
424. 국가별 목재펠릿 정책 및 유럽의 시장 동향. 2011.
425. 일본의 바이오매스타운 녹색관광 추진사례. 2011.
426. 중국 대나무 도감 - 2. 2011.
427. 산림치유지도사를 위한 소아천식질환 가이드북. 2011.
428. 산림탄소순환마을 보급형 목조주택 모델. 2011.
429. 중국의 산림자원조사 체계. 2011.
430. 인도네시아의 CDM 국가 가이드. 2011.
431. 조선에 있는 산림과 전설. 2011.
432. 목질판상제품의 산업현황 및 국제표준화 동향. 2011.
433. 특용자원 표준재배지침서 - 2. 2011.
434. 산림미생물 유전자원의 관리. 2011.
435. 임업경제동향 2011/가을. 2011.
436. 산림유전자원 현지내 보존림 현황. 2011.
437. 기후변화 대응을 위한 산림분야 감축활동 및 연구 동향 - 미국의 사례를 중심으로. 2011.
438. 미국의 도시녹지 수목 재적 및 바이오매스 평가. 2011.
439. 숲으로 떠나는 마음 여행. 2011.
440. 우리나라의 산림자원 현황 -제5차 국가산림자원 조사 (2006-2010) 주요 결과. 2011.
441. 호두나무 재배기술. 2011.
442. 일본의 보안림 정비지침 및 카나가와현 산림정비 사례. 2011.
443. 소나무재선충병 예찰□진단 지침서. 2011.
444. 북한 산림□임업동향 및 주요 수종(VIII). 2011.
445. 사진으로 보는 한국의 소나무재선충병 발생사. 2011.
446. 아시아의 기후변화와 산물. 2011.
447. 포르투갈, 헝가리 산림 현황 및 연구. 2012.
448. 광릉 숲의 출참나무와 서어나무 고사목에 서식하는 딱정벌레. 2012.
449. 임업경제동향 2011/겨울. 2012.
450. 2011 산림재해백서. 2012.
451. 인도네시아 주요 열대수종. 2012.
452. 산림병해충 기술교본. 2012.
453. 홍릉 숲에 사는 나비. 2012.
454. 단기소득임산물 경영지원시스템 모형 개발. 2012.
455. 거제수나무 시설양묘 시업기술. 2012.
456. 임업경제동향 2012/봄. 2012.
457. 낙엽송의 개화결실 특성과 종자결실 증진. 2012.
458. 국제 산림정책 동향. 2012.
459. 한국개미분포도감(2007~2009). 2012.
460. 임업경제동향 2012/여름. 2012.
461. 한국나비분포도감(1996-2011). 2012.
462. 일본의 버섯 현황과 관련 제도 및 정책. 2012.
463. 산림작업안전매뉴얼. 2012.
464. 제주도의 착생식물. 2012.
465. 인도네시아의 REDD+: 인도네시아 국가전략 및 일본의 시범사업 사례. 2012.
466. 환경정화용 산림유전자원-호랑이버들. 2012.
467. 목재 플라스틱 복합재. 2012.
468. 목조 패시브하우스 설계기술. 2012.
469. 한그린 목조주택 설계 도면집. 2012.
470. 바이오매스의 열화학적 변환 공정을 이용한 바이오 오일의 생산과 이용. 2012.
471. 해외 산림탄소상쇄 프로그램의 운영표준. 2012.
472. 한국나비분포변화 1938-2011. 2012.
473. 표고의 생태학적 특성. 2012.
474. 사찰건축물 보존을 위한 임업적 산림재해 관리 방안. 2012.
475. 주요 잔디해충의 생태와 관리. 2012.
476. 외국도입수종재의 성질 및 용도. 2012.
477. 목재를 이용한 주거환경이 지구환경 및 인간의 신체 발달과 정서에 미치는 영향. 2012.
478. 임목종자의 저장과 종자수명. 2012.
479. 대기오염과 수목피해. 2012.
480. 통합의학적 산림치유 프로그램 매뉴얼. 2012.
481. 산림경관자원 조사□경관계획. 2012.
482. 산림유역의 수질보전을위한 최적관리기법. 2012.
483. 우리나라의 해안방재림 실태. 2012.
484. 복분자딸기. 2012.
485. 북한의 산림□임업동향 및 주요 수종(IX). 2012.
486. 목재에너지림 조성 및 관리 사례 -영국□독일편-. 2012.
487. 나라꽃 무궁화 재배 및 관리. 2012.
488. 유실수 특용수 전정기술. 2012.

489. 소나무재선충병 방제 실무 매뉴얼. 2012.
490. 분재 재배 및 병해충 관리. 2012.
491. 임업경제동향 2012/가을. 2012.
492. 국제 산림정책 동향. 2012.
493. 산양삼 표준재배지침. 2013.
494. 원목규격 및 재적표. 2013.
495. 임업경제동향 2012/겨울. 2013.
496. 2012 산림재해백서. 2013.
497. 난대 자원화 유망수종 육성기반 조성 연구. 2013.
498. 고사리 산지 식재기술(II). 2013.
499. 일본의 목재이용촉진법 및 지역재 인증 규정. 2013.
500. 주요국의 불법목재규제법 및 산림인증 규정. 2013.
501. 국제 산림정책 동향. 2013년 1호. 2013.
502. 임업경제동향 2013/봄. 2013.
503. 포플러 유전자 발현정보 데이터베이스 사용자 매뉴얼. 2013.
504. 산림생명공학 Q&A 자료집. 2013.
505. 소아 환경성 질환 산림치유 프로그램 진행지침서. 2013.
506. 임업경제동향 2013/여름. 2013.
507. 헛개나무 간기능 개선 및 숙취해소 효과. 2013.
508. 사회공헌형 산림탄소상쇄 사업설계 가이드라인. 2013.
509. 남부산림권역 공술 자원 및 임분관리. 2013.
510. 수목대사체 분석 및 응용. 2013.
511. 청량리 홍릉터의 역사와 의미. 2013.
512. 자연이 살아 숨쉬는 사방(사방-자연과의 공존). 2013.
513. 조선시대의 산사태 및 낙석피해 기록. 2013.
514. 특용수종 음나무 및 두릅나무 재배기술. 2013
515. A List of Monocotyledonous Plants from Jeju Island. 2013.
516. 우리나라의 해안방재림 실태(II). 2013.
517. 한국잔디에 발생하는 병해와 잡초. 2013.
518. 방부처리목재의 경시적 아와 내후성 변화. 2013.
519. 목재 에너지림을 위한 단벌기 경영기법 : 독일 바덴 뷔르템베르크주(州)의 사례. 2013.
520. 전과정평가를 통한 국산 원목의 수종별 온실가스 배출량 산정. 2013.
521. 목질계 바이오에탄올의 생산기술과 공정. 2013.
522. 우리나라 근대임업(양묘, 조림)에 대한 시험연구 자료. 2013.
523. 산림토양진단 방법과 활용. 2013.
524. 산림수자원조사 표준 매뉴얼. 2013.
525. 산림토양 산성화 영향 모니터링 조사 · 분석 매뉴얼. 2013.
526. 목재생산을 위한 작업도(로) 시설 방법. 2013.
527. 마가목. 2013.
528. 기후변화 시나리오 RCP 4.5와 8.5에 따른 산림 거미의 분포와 풍부도의 변화예측. 2013.
529. 대경간 목구조 건축 해외사례 모음집. 2013.
530. 시민과 함께하는 인공새집 모니터링. 2013.
531. 임업경제동향 2013/가을. 2013.
532. 산림작업용 장비 및 임목수확시스템. 2013.
533. 한국 산림전통지식 현황과 발전방향. 2013.
534. 새천년개발목표(MDGs)와 지속가능한 산림경영(SFM)을 위한 주요국의 산림 공적개발원조(ODA) 현황과 전략. 2014.
535. 세계 산림탄소 정책과 시장 동향. 2014.
536. 북한 산림口임업동향 및 주요 수종(X). 2014.
537. 국제산불심포지엄을 통해본 산불연구 및 정책동향. 2014.
538. 2013 산림재해백서. 2014.
539. 임업경제동향 2013/겨울. 2014.
540. 일본 지자체의 산촌진흥 및 산촌재생을 위한 추진 시책과 사례. 2014.
541. 산업재산권 등록자료집(목재이용기술 100선). 2014.
542. 산림과학 실험분석 적합화를 위한 선형 및 비선형 모형. 2014.
543. 임도망 계획 의사결정 지원 시스템 사용자 매뉴얼. 2014.
544. 임업경제동향 2014/봄. 2014.
545. 마이크로레이 데이터 분석기법과 그 응용. 2014.
546. 숲속의 독버섯. 2014.
547. 임업경제성분석 프로그램 매뉴얼. 2014.
548. 산불위험지 조사 지침서. 2014.
549. 표준재배 지침서(특용수 편). 2014.
550. 임업경제동향 2014/여름. 2014.
551. 농작물재해보험을 위한 복분자딸기 표준수확량 연구. 2014.
552. 피나무 시설양묘 시업기술. 2014.
553. 유전자변형나무의 안정성평가에 관한 논의. 2014.
554. 기후변화 시나리오 RCP 4.5와 8.5에 따른 딱정벌레

555. 수목 유래 리그난 화합물의 구조동정을 위한 핵자기 공명 및 질량분석 자료(IV). 2014.
556. 가선집재 작업매뉴얼. 2014.
557. 천마의 생장과 기능성물질 생산. 2014.
558. 경골목조건축 표준일위대가. 2014.
559. 토종다래 재배기술. 2014.
560. 전국단위 산림기능구분도 제작 및 경제림 육성단지 구획조정. 2014.
561. 최근 일본의 표고 원목재배 신기술. 2014.
562. 북미지역 산림치유 프로그램. 2014.
563. A List Dicotyledoneae herbaceous plants in Jeju Island. 2014.
564. 광학현미경을 이용한 목재의 마이크로피브릴 경사각과 수축률 측정. 2014.
565. 선홍꽃자왈의 역사문화자원. 2014.
566. Standard and Specification of Wood Products. 2014.
567. 한국의 재선충속(Bursaphelenchus) 선충. 2014.
568. 기후변화에 따른 제주지역 산림식생 모니터링. 2014.
569. 개화모니터링 매뉴얼. 2014.
570. 새, 홍릉숲에 머물다. 2014.
571. 토양 및 식물체 분석법 -토양 물리성-. 2014.
572. 토양 및 식물체 분석법 -토양 화학성-. 2014.
573. 자연휴양림 유지관리 매뉴얼. 2014.
574. 남부지역 주요 수종별 자원특성 및 임분관리. 2014.
575. 균근성 버섯의 기초 배양 특성. 2014.
576. 한국의 수지상균근균. 2014.
577. 주요 국가의 산림수자원 관리 정책. 2014.
578. 한국잔디유전자원. 2014.
579. 목재에너지림 조성 및 관리 사례 -북미 편-. 2014.
580. 산림의 기능별 숲가꾸기 기술. 2014.
581. 나노셀룰로오스. 2014.
582. 단기소득임산물 경영 의사결정 지원시스템 운영 체계. 2014.
583. 임업경제동향 2014/가을. 2014.
584. 국민안전과 국토보전을 위한 산사태 바로알기. 2014.
585. 산지토사재해 표준행동지침(SOP). 2014.
586. 산채 증식기술. 2014.
587. 현지의보존 산림생명자원. 2014.
588. 나라꽃 무궁화 품종도감. 2014.
589. 세계 산림탄소 정책□시장 동향. 2015.
590. 임업경제동향(겨울). 2015.
591. 2014 산림재해백서. 2015.
592. 물을 키우는 숲. 2015
593. 북한 산림□임업동향 및 임업기술(I). 2015.
594. 빅데이터 분석을 통한 소각산불 대응방안. 2015.
595. 산지은행제도 사업별 이용의향조사 및 운영방안 연구. 2015
596. 임상도의 임분고 정보 구축을 위한 고해상도 입체 위성영상 분석 매뉴얼. 2015
597. 한국의 국가산림자원조사 체계 변천(1975~2010년). 2015
598. 일본 산림의 기능과 평가. 2015
599. 한국의 산림 분야 국별협력전략(CPSF)수립. 2015
600. 코스타리카의 산림환경서비스지불제. 2015
601. 2015년 임업경제동향 봄호. 2015
602. 기관운영전략 및 계획. 2015
603. 녹지유형별 노린재의 분포와 다양성. 2015
604. 홍릉숲 방문자 모니터링을 통한 이용현황 파악과 경제적 가치평가. 2015
605. 간벌과 목표 산림형. 2015
606. 임업경제동향(여름호). 2015
607. 대추나무 농작물 재해보험을 위한 표준수확량. 2015.
608. 기후변화 시나리오 RCP 4.5와 8.5에 따른 파리 품부도의 변화 예측. 2015
609. 주요 용재수종 채종원의 유전간벌. 2015.
610. 수목의 유전공학. 2015
611. 옷나무의 유용물질 분리 및 구조동정. 2015.
612. 염화칼슘에 의한 주요 수종의 생장 및 생리반응 특성. 2015.
613. 저에너지 목조주택의 시공 및 설계 가이드라인. 2015.
614. 폐광지 및 폐채석장 복원 사례집. 2015.
615. 잔디 표준재배관리기술. 2015.
616. 관상산림자원(조경수, 잔디)표준 생산 및 관리 기술. 2015.
617. 제6차 세계산불총회 발표 논문 분석 자료집. 2015.
618. 차량용 목조교량 사례 및 설계예제집. 2015.
619. 차량용 목조교량 요소기술 개발 및 구조성능 평가. 2015.
620. 다층 목조건축 사례 및 기술동향. 2015.
621. 신개념 목질계 바이오연료, 반탄화 목재연료. 2015.
622. 바이오매스 반탄화 산업화 전망. 2015.

623. 마을숲 미래가치를 찾아서. 2015.
624. 주요 실내 사용 목재의 연소 특성. 2015.
625. 목재용 아미노계 수지 접착제. 2015.
626. 알기 쉬운 흰개미 방제 가이드북. 2015.
627. 가리왕산과 중왕산의 버섯. 2015.
628. 최근 표고재배기술. 2015.
629. 밤 수확과 저장. 2015.
630. 헝가리의 아까시나무 육성. 2015.
631. 글로벌 임목육종 현황과 미래 전략. 2015.
632. 소나무재선충병 방제기술 교본. 2015.
633. 일본의 산지토사재해 방지대책. 2015
634. 유럽의 소나무재선충병 대응 전략. 2015
635. 튀니지 코르크참나무 숲 복원을 위한 양묘 및 조림. 2015.
636. 소나무□□업종의 천연갱신 매커니즘 및 기술동향. 2015.
637. 목재생산을 위한 임도망 선정 기법. 2015.
638. 2014년도 국립나무병원 연차보고서. 2015.
639. 임업경제동향 2015년 가을호. 2015.
640. 임목수확시스템 및 안전작업. 2015.
641. 기후변화 적응을 위한 산림관리 의사결정지원시스템 연구. 2015.
642. 전국 생활권 수목관리 실태조사. 2015.
643. 우리나라 아고산 침엽수림(I)-계방산. 2015.
644. 산림입지도양조사 필드 가이드. 2015.
645. 세계 산림탄소 정책과 시장 동향. 2016.
646. 북한의 산림□□임업 동향 및 임업기술(II). 2016.
647. 기후변화 시나리오 RCP 4.5와 8.5에 따른 절지동물 풍부도와 다양성의 변화 예측. 2016.
648. 산림유전자원의 보존, 지속가능한 이용 및 개발을 위한 지구행동계획. 2016.
649. 임업경제동향 2015년 겨울호. 2016.
650. 골든시드 표고 재배 기술. 2016.
651. 2015 산림재해백서. 2016.
652. 신기후체제 대응 산림과학 연구 마스터플랜(2016~2020). 2016.
653. 도서산림 특이성 분석에 따른 유형화와 생태정보 구축 방안 연구(2차년도). 2016.
654. 산림도양 산성화 모니터링 고정조사지. 2016.
655. 비자나무 : 그린 오션의 희망, 6차 산업의 비전. 2016.
656. 중남미 국가별 산림분야 개발수요와 한국의 협력 전략. 2016.
657. 일본의 산촌활성화 및 녹색□□생태관광 정책과 사례. 2016.
658. 미국의 숲속야영장 제도 및 운영실태. 2016.
659. 전국민 산림복지서비스 이용 현황과 전망. 2016.
660. 자유학기제 연계 산림교육 프로그램 매뉴얼 및 운영사례. 2016.
661. 부후성 버섯의 배양 특성. 2016.
662. 동해안 산불피해지의 곤충. 2016.
663. 임업경제동향 2016년 봄호. 2016.
664. 수목 호르몬 분석 및 응용. 2016.
665. 꽃나무 추출물의 약리활성. 2016.
666. 유엔기후변화협약 산림부문 협상을 위한 가이드북. 2016.
667. 중국 내몽골 건조지/반건조지 주요 식물 목록. 2016.
668. 2015 국립산림과학원 난대□아열대산림연구소 제주시시험 FSC 산림경영 인증 심사보고서. 2016.
669. 초록을 꿈꾸는 한라산 구상나무. 2016.
670. 일본의 목재제품 품질표시제도 법률 현황. 2016.
671. 일본의 목재제품 규격과 품질기준. 2016.
672. 산림용 시설양묘 용기 개발 연구. 2016.
673. A Field Guide to The Birds of CATIE. 2016.
674. 시민참여형 도시숲 조성 및 관리사례1. 2016.
675. 미국 바이오에탄올 산업동향 및 전략. 2016.
676. 임업경제동향 2016년 여름호. 2016.
677. 현실림 임분수확표. 2016.
678. 산불진화 기계화시스템 운영 매뉴얼. 2016.
679. 시도 및 시군구별 산불다발지역 지도. 2016.
680. EuroFire 역량 표준□산불 훈련 자료집. 2016.
681. 소나무재선충병 방제기술 매뉴얼. 2016.
682. 2015년도 국립나무병원 연차보고서. 2016.
683. 2015년도 생활권 수목진료 민간컨설팅 처방전 분석 결과 보고서. 2016.
684. 미국 서부의 시설양묘 기술. 2016.
685. 산림용 시설양묘 매뉴얼(용기묘 식재). 2016.
686. 국산재를 이용한 기둥-보 목조주택의 전과정 환경 영향 및 비용평가. 2016.
687. GM 포플러의 위해성평가 지표 개발. 2016.
688. 국가산악기상관측망 구축 현황(2012~2015). 2016.
689. 우리나라 아고산 침엽수림(II)-지리산. 2016.
690. 산림전통지식 현장 조사 매뉴얼. 2016.
691. 목재용 페놀 수지 접착제. 2016.

692. 구조용집성판(CLT)의 국외시장 동향 -대한무역 투자공사(KOTRA)맞춤형시장조사 보고서. 2016.
693. 산림유전자원의 현지와보존 현황. 2016.
694. 광릉시험림의 산림자원 조사. 2016.
695. 포플러 단벌기 목재에너지림. 2016.
696. 임도의 계획과 시공. 2016.
697. 불량림 수종갱신 판정 핸드북. 2016.
698. 제1차 산림의 건강활력도 진단□평가 보고서. 2016.
699. 임업경제동향 2016년 가을호. 2016.
700. 임목육종 60년. 2016.
701. 2030년 산림 및 임업 핵심이슈(미래 전망 기반 제6차 산림기본계획 수립을 위한 정책제언). 2017.
702. 북한의 산림□임업 동향 및 임업기술(Ⅲ). 2017.
703. 아프리카 중점협력국의 산림분야 개발수요와 한국의 협력 전략. 2017.
704. 2016 호남정맥, 금남호남정맥 자원실태와 변화. 2017.
705. 2016 백두대간 설악산권역 자원실태와 변화. 2017.
706. 멸종위기 고산지역 침엽수종 실태조사 가이드라인. 2017.
707. 산림수종 유전체 해독 동향. 2017.
708. 임업경제동향 2017년 봄호. 2017.
709. 국외 산림복지시설 조성□운영 사례. 2017.
710. 열대림의 임목 바이오매스 상대생장식(인도네시아). 2017.
711. 교토의정서에서의 토지이용 및 산림(LULUCF)부문 온실가스 인벤토리 작성을 위한 IPCC 2013 지침. 2017.
712. 2016 산림재해백서. 2017.
713. REDD+ Capacity Building Program for Forest Managers: Trainers' Manual. 2017.
714. 중국 임업발전 "제13차 5개년" 계획. 2017.
715. The Lungs of the City, Urban Forests. 2017.
716. 산림수종 분포도 제작을 위한 항공사진 입체판독 매뉴얼. 2017.
717. 나노셀룰로오스 이용 첨단신소재 연구. 2017
718. 국내수종을 이용한 나노셀룰로오스 제조 및 특성. 2017.
719. 골든시드(Golden Seed)표고버섯 프로젝트(I). 2017.
720. 광릉 숲 딱정벌레 1998, 활엽수림과 침엽수림에 사는 딱정벌레는 다른 가? 2017.
721. 임업경제동향 2017 여름. 2017.
722. 도서산림 특이성 분석에 따른 유형화와 생태정보 구축 방안 연구Ⅲ. 2017.
723. 산업재산권 등록자료집Ⅲ. 2017.
724. 산림용 시설양묘 매뉴얼(용기묘 수확, 저장, 운반). 2017.
725. 산림분야 4차 산업혁명 요소기술 활용 전략 개발 연구. 2017.
726. 호두나무 신품종 및 재배기술. 2017.
727. 파리협정에 따른 주요국가의 온실가스 감축목표 (INDC) 및 장기전략. 2017.
728. 타분야 사례분석을 통한 목재 제지분야 국제표준화 방안 도출. 2017.
729. 세계 목재펠릿 산업과 교육 연구. 2017.
730. 낙엽송 수확 벌채지 내 낙엽송 조림목의 초기 생장 특성. 2017.
731. 산사태 예방 장기계획 수립을 위한 사방분야 홍보□교육 강화방안. 2017.
732. 중목구조의 구조설계 매뉴얼. 2017.
733. 임업경제동향 2017 가을. 2017.
734. 한국에서의 솔껍질깎지벌레 발생과 피해확산. 2017.
735. 2016년도 국립나무병원 연차보고서. 2017.
736. 2016년도 생활권 수목진료 민간건설당 처방전 분석 결과보고서. 2017.
737. 생활권 수목진료 현장기술. 2017.
738. 표고버섯 육종 안내서. 2017.
739. 유럽연합의 바이오에탄올 정책 및 시장 동향. 2017.
740. 임업□산림분야 기후변화 영향 실태조사 및 평가 지침. 2017.
741. 표고버섯의 유전체 연구 : 산마루 2호와 수향고. 2017.
742. 특수임산자원 기능□용도별 조성 및 육성 시험지 생장특성 - 남부산림자원연구소 진주연구시험림- 2017.
743. 가리왕산의 나비. 2017.
744. 2017년 우박과 가뭄에 의한 산림피해 종합보고서. 2017.
745. 헛개나무. 2017.
746. 숲가꾸기 품질 향상을 위한 활엽수 입목형질평가 기준 개발. 2017.
747. 산림유지자원과 화장품 관련 기능성 구명. 2017.
748. 특수임산자원을 이용한 화장품 기술 개발. 2017.

749. 헝가리 농업 및 산림 연구기관 연구 현황. 2017.
750. 열대 조림수종의 클론묘 생산. 2017.
751. 소나무와 구주소나무 식별을 위한 DNA 마커 개발. 2017.
752. 내건성 및 내염성 임목 개발 동향. 2017.
753. 주요 산림약용자원의 특성 및 분석공정. 2017.
754. 분자육종 기술 및 연구 동향. 2017.
755. 주요 낙엽송의 특성 및 연구동향. 2017.
756. 목조주택 환경정보 제공을 위한 간이 전과정평가 도구 개발. 2017.
757. 중목구조 구조부재의 내화시험. 2017.
758. 무궁화 국내육성 품종 현황 및 특성. 2017.
759. 임업경제동향 2017 겨울. 2017.
760. 스웨덴의 시설양묘 기술. 2018.
761. 북한의 산림□임업 동향 및 임업기술(IV). 2018.
762. 버섯이야기. 2018.
763. 도서산림 특이성 분석에 따른 유형화와 생태정보 구축 방안 연구(I). 2018.
764. 임업경제동향 2018 봄. 2018.
765. 2017 산림재해백서. 2018.
766. 2017 백두대간 태백산권역 자원실태와 변화. 2018.
767. 2017 한남금북, 금북정맥 자원실태와 변화. 2018.
768. 산악기상관측망 구축□운영 표준 매뉴얼. 2018.
769. 임목재적□바이오매스 및 임분수확표. 2018.
770. 임업경제동향 2018 여름. 2018.
771. 2017년도 생활권 수목진료 민간컨설팅 처방전 분석 결과보고서. 2018.
772. 지도와 통계로 보는 북한(I) -행정구역, 자연환경 및 사회경제 분야- 2018.
773. 산불 진화장비 편람. 2018.
774. 임업경제동향 2018 가을. 2018.
775. 아름다운 우리정맥 호남정맥, 금남호남정맥. 2018.
776. 펄프□제지분야 시장동향 및 국제화 선도를 위한 원천기술. 2018.
777. 산불취약지도집. 2018.
778. 송진 채취 피해 소나무의 보전과 사회적 공유. 2018.
779. 임업□산림부문 기후변화 영향 실태 시범보고서. 2018.
780. 주요국 Forest Atlas 구축 동향 및 시사점. 2018.
781. 일본 산림의 역할평가와 적정배치. 2018.
782. 수원함양 및 수질보호를 위한 산림유역 계안지역의 기능과 관리. 2018.
783. 2017년 국립나무병원 연차보고서. 2018.
784. 식물과 미생물의 상호작용. 2018.
785. 야외사용 목재용 스테인의 국내외 표준 현황. 2018.
786. 주요 약초□약용류 기내배양 연구 동향. 2018.
787. 국립산림과학원 딱정벌레(딱정벌레과)소장표본. 2018.
788. 조경소재 이용을 위한 상록활엽수 환경내성 평가. 2018.
789. 꽃자왈의 역사문화자원, 한경-안덕꽃자왈편. 2018.
790. 특수임산자원 기능□용도별 조성 및 육성 시험지 생장특성(II). 2018.
791. 인공접종을 통한 소나무재선충병 내병성 개체 선발. 2018.
792. 소나무 임분의 수야베기에 따른 지하부 탄소저장량 동태. 2018.
793. 땅밀림 발생지 현장조사 매뉴얼. 2018.
794. 일본의 산림자원을 활용한 산촌 활성화 및 지방창생 정책과 사례. 2019.
795. 2018 산림재해백서. 2019.
796. 산불 용어집. 2019.
797. 임업경제동향 2018 겨울. 2019.
798. 2018 세계목조건축 대회 백서. 2019.
799. 북한의 산림□임업 동향 및 임업기술(V). 2019.
800. 북한의 산림□임업 동향 및 임업기술(VI). 2019.
801. 전국 멸종위기 고산 침엽수림 현황과 보전 방안. 2019.
802. 국립산림과학원 딱정벌레(딱정벌레과 제외)소장 표본. 2019.
803. North Korean Forests with Maps and Statistics I. 2019.
804. 국립산림과학원 다층 목조건축 설계 및 시공백서. 2019.
805. 2018 낙남정맥 자원실태와 변화. 2019.
806. 2018 백두대간 속리산권역 자원실태와 변화. 2019.
807. 임업경제동향 2019 봄. 2019.
808. 2018년도 생활권 수목진료 민간컨설팅 처방전 종합분석 결과보고서. 2019.
809. 최초 발화지 추적부터 보고서 작성까지 산불원인 조사□감식 매뉴얼. 2019.
810. 임업경제동향 2019 여름. 2019.
811. 지속가능발전목표(SDGs)이행을 위한 자발적 국가

평가(VNR)분석. 2019.

812. 수목의 수액류 측정□분석을 위한 열손실탐 침범 이용 매뉴얼. 2019.

813. 2018년도 국립나무병원 연차보고서. 2019.

814. 2016~2017년 산악기상관측망 구축 현황. 2019.

815. 도시의 그린인프라, 한국의 도시숲 -부산광역시 황령산-. 2019.

816. 2018 국민 산림여가활동 실태조사 보고서. 2019.

817. 일본의 산림바이오매스를 활용한 산촌 활성화 정책 및 사례. 2019.

818. 2018 전국 산림토양 산성화 현황. 2019.

819. 나노셀룰로오스 이용 의공학용 첨단 신소재 -지혈제, 유착방지제-. 2019.

820. 목재의 가치를 높이는 목재이용분야 산업재산권 등록자료집 III. 2019.

821. 국립산림과학원 제2차 중장기 기술개발계획(2018~2027). 2019.

822. 특수임산자원 기능□용도별 조성 및 육성 시험지 생장특성(III). 2019.

823. 백두대간과 정맥 자원실태변화 조사방법 가이드 라인. 2019.

824. 산림약용작물 병해충 핸드북. 2019.

825. 아름다운 숲을 간직한 섬, 서해 5도. 2019.

826. 산체□산약초 재배기술. 2019.

827. 우리나라 옛 문헌에 나타난 무궁화의 약성과 이용 사례. 2019.

828. 낙엽송 및 해송 임분의 간벌에 따른 지하부 탄소 저장량 동태분석. 2019.

829. 임분 특성에 따른 관리방안 마련을 위한 활엽수림의 산림유형 특성. 2019.

830. 흑오미자. 2019.

831. 유전자 가위를 이용한 임목 유전자 교정 동향. 2019.

832. 산림용 시설양묘기술(생육상도). 2019.

833. 산림자원 순환경제 활성화를 위한 산림작업기술 국제심포지엄. 2019.

834. 한국의 약용자원식물 목록. 2019.

835. 도시의 그린인프라, 한국의 도시숲 -인천광역시 원적산- 2019.

836. 미세먼지 저감숲 사업지 조사항목 및 모니터링 지침. 2019.

837. 산악기상관측망 구축□운영 표준 핸드북. 2019.

838. 임업경제동향 2019 가을. 2019.

839. 한국의 글로메로균류. 2019.

840. 리기다소나무 벌채지 내 활엽수 조림목의 초기 생장 특성. 2019.

841. 산림 물지도 제작 기법 및 활용방안. 2019.

842. 임업경제동향 2019 겨울. 2020.

843. 국가 온실가스 인벤토리를 위한 토지이용구분 지침. 2020.

844. 생활권 수목의 위험성 평가 가이드라인. 2020.

미션

Mission

“국가 혁신동력 창출을 위한
산림과학기술 개발·보급”

비전

Vision

“지속가능한 산림가치를 혁신하는
국민의 연구기관”



국립산림과학원

National Institute of Forest Science

미션은 산림과학 분야의 ‘롤 모델’ 기관으로서 국립산림과학원의
연구 수행력을 높이고 산림과학기술의 개발과 보급이라는
고유 역할 및 정체성을 강화하며 산림과학의 성과 창출로
국가 발전이 선순환하는 동력을 새롭게 혁신하고자 하는
기관의 의지를 표명한 것입니다.

비전은 산림자원의 보전 및 육성, 임산업 활성화,
산림재해 예방 및 관리 등 보존과 더불어 경제적·사회적 가치가
부각되고 있고, 국민의 기대치가 높아지고 있는 상황인식을 바탕으로
지속가능한 산림 가치를 혁신하는 국민의 연구기관으로서
추진 방향을 제시하고 있습니다.

국립산림과학원 연구자료 제844호

생활권 수목의 위험성 평가 가이드라인

발행일

2020년 3월

발행인 전범권

집필인

이선근, 박지현, 이상현,

이종규(강원대학교 교수)

발행처 국립산림과학원

서울특별시 동대문구 회기로 57

Tel. 02-961-2654 Fax. 02-961-2679

<http://www.nifos.go.kr>

디자인/인쇄

(사)한국장애인유권자연맹인쇄사업부

ISBN: 979-11-6019-387-9(93520) 〈비매품〉



생활권 수목의 Guideline for Urban Tree Risk
Assessment

위험성 평가 가이드라인