

나무가 숨쉬는 토양

- 나무와 토양환경(1) -

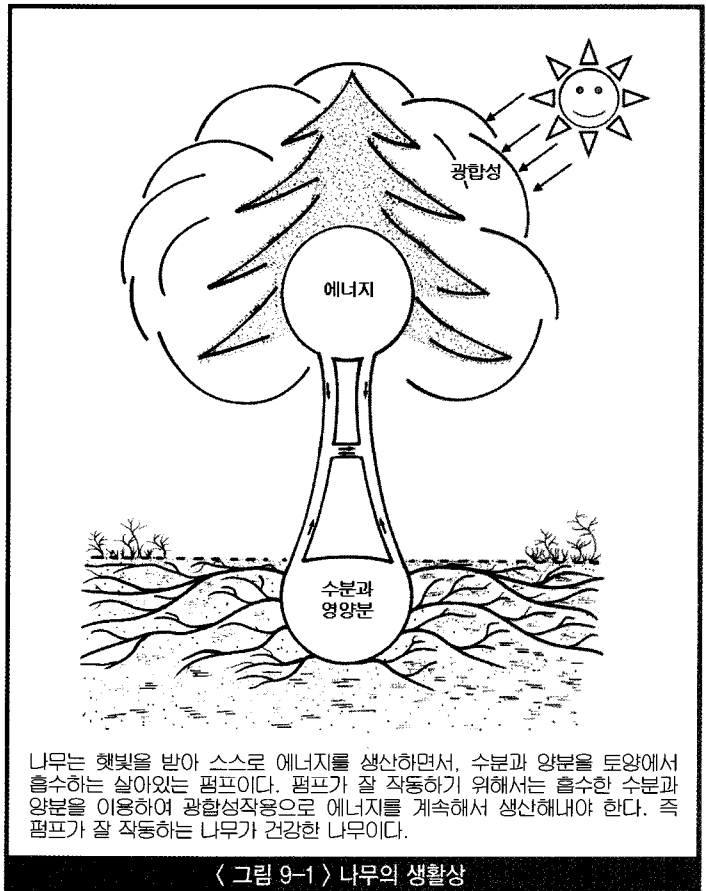


박현준 | 대표이사
(주)푸름바이오
hunjun1@hanmail.net

사람은 허파를 통하여 공기 중 산소를 마시면서 살고 있고, 물고기는 물에서 아가미를 통하여 물에 녹아 있는 산소를 얻어가며 살고 있다. 기관의 차이는 있지만 둘 다 공통적으로 산소를 필요로 하고 있다. 즉 호흡작용을 하면서 자기가 섭취한 영양분을 에너지로 바꾸면서 살아가고 있는 것이다.

그러면 나무는 과연 호흡을 어떻게 하고 있을까. 대부분의 사람은 잎의 기공을 통하여만 호흡을 하고 있다고 생각하나 토양속 뿌리에서도 활발한 호흡작용을 하고 있다. 즉 뿌리는 물과 양분만을 흡수한다고 생각하기 쉬우나, 그 외 토양속 산소를 받아들이는 중요한 기관이다. 뿌리를 물속에 넣어서 식물을 재배하는 수경재배를 하는 곳에서는 이러한 이유로 산소를 뿜어내는 장치를 반드시 설치한다. 수족관이나 어항에 산소발생장치를 설치하는 것처럼 말이다.

그러면 뿌리는 토양속 공기에 있는 산소만을 섭취하는 것일까. 뿌리는 공기 중 산소외에 물에 녹아 있는 용존산소도 섭취하여 이용한다. 따라서 나무에 물을 주는 것은 단순히 물만 주는 행위뿐만 아니라 물에 녹아 있는 신선한 산소와 공기를 동시에 공급하는 것이다. 이렇듯 나무의 성장과 건강상태는



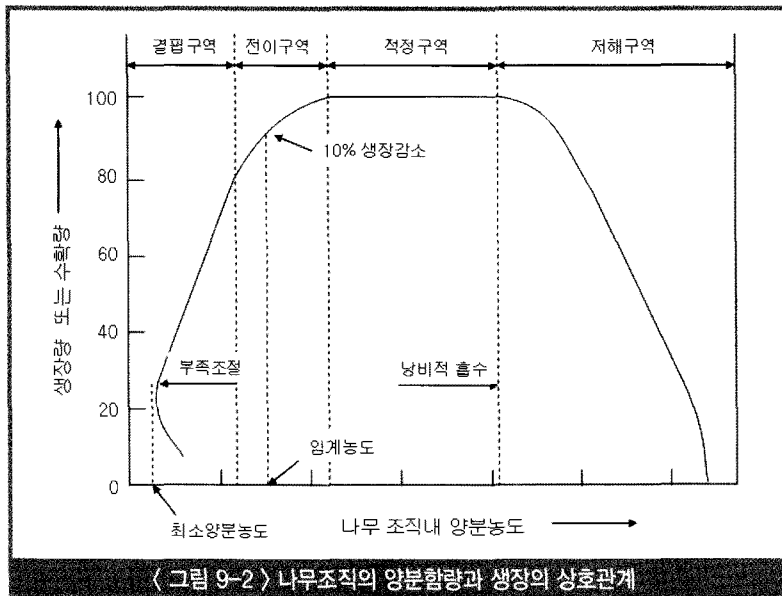
물, 양분, 산소를 섭취하는 나무 뿌리의 활력에 따라 크게 좌우되며, 그러한 이유로 뿌리가 살고 있는 토양 환경의 중요성이 더욱 부각되고 있다.

이번 연재부터는 나무의 생리적인 측면에서 우리 눈에는 보이지 않지만 가장 중요한 나무의 뿌리가 있는 토양환경과의 관계에 대하여 6차례에 걸쳐 설명할 것이며, 이번 연재에서는 먼저 나무의 성장에 영향을 주는 환경요인과 생리적 피해에 대하여 살펴볼 것이다.

나무의 성장은 환경조건의 변화에 따라서 다른 반응을 보이는데, 나무가 성장하기에 가장 적절한 환경 조건(optimum condition)을 벗어날 때 식물이 보이는 반응에 대하여 연구하는 학문이 스트레스 생리학(stress physiology)이며, 환경생리학(envrionmental physiology)의 한 분야로 취급한다. 스트레스로 인하여 수목의 성장량이 영향을 받기 때문에 스트레스 생리에 관한 관심이 높다.

외부환경이나 어떤 요인의 변화에 따라서 나무가 나타내는 반응을 좌표에 표시하면 투여량반응곡선(dose-response curve)이 되는데, <그림 9-2>과 같이 양분의 농도가 증가할 때 나무의 성장에 따라 결핍 구역, 적정구역, 저해구역으로 나눌 수 있으며, 스트레스는 저해구역에 해당하는 농도 및 외부환경을 의미한다.

나무의 성장에 영향을 주는 환경요인에는 여러 가지가 있는데, 모든 요인이 적절한 수준에 있더라도 그 중에서 어떤 한 가지 요인이 절대적으로 부족할 때, 부족한 요인에 의해 성장이 결정되는 현상을 최소법칙(最少法則, law of minimum)이라고 하며, 이때 부족한 요인을 제한요소(制限要素, limiting factor)라고 한다.



1. 생리적 피해란

조경수(造景樹)는 열악한 도시환경에서 자라기 때문에 산림에서 자라는 수목보다 여러 가지 재해에 노출되기 쉽다. 도시의 토양환경, 국지적 기상 상태, 대기오염, 자동차와 인간에 의한 교란, 뿌리를 많이 절단하는 조경수 이식 등은 정상적인 수목 성장에 불리하며, 이로 인하여 전반적인 건강상태가 나빠지고, 병해충에 대한 저항성이 낮아진다.

건강한 수목은 갖가지 요인에 의하여 건강이 나빠지면서 피해(被害, damage)를 받을 수 있는데, 피해를

일으키는 요인은 <표 9-1>과 같이 분류한다. 즉 기상과 토양에 의한 환경적 요인과 인간, 동물, 식물에 의한 생물적 요인을 열거할 수 있다. 이러한 요인들은 수목의 건강을 해쳐서 비정상적인 상태로 만든다. 수목이 건강하지 못하고 정상적인 생장을 할 수 없을 때 병(病, disease)이라는 명칭을 쓴다. <표 9-1>에 열거한 요인 중에서 병균과 기생식물에 의한 병을 전염성 병(傳染性病, infectious diseases)이라고 부르며, 그 이외에 해충을 제외한 나머지 요인에 의한 병은 비전염성 병(非傳染性病, non-infectious diseases) 또는 생리적 피해(生理的被害, physiological damages)라고도 한다.

< 표 9-1 > 수목에 피해를 주는 요인의 분류

원 인	내 용
기상적 요인	고온(염소, 피소), 저온(냉해, 동해, 만상, 조상, 서릿발, 상열, 동계건조), 바람(풍해), 조풍과 해일(염해), 폭설(설해), 우박, 한발, 홍수, 침수, 낙뢰, 화산 폭발, 일조량 부족
토양적 요인	건조, 과습, 양분 결핍, 극단적인 산도, 중금속
인위적 요인	답압, 도로 포장, 기계와 장비, 심식, 휘감는 뿌리와 제한된 뿌리, 복토, 석축, 절도, 대기오염, 약제(약해), 잘못된 가지치기, 해빙염과 소진염(염해), 토양오염, 유해가스, 불, 질목불화합성
생물적 요인	병균, 해충, 기생식물, 만경식물, 착생식물, 야생동물

* 이 중에서 비전염성 병 또는 생리적 피해는 생물적 요인에 의한 피해 중에서 병균, 해충, 기생식물을 제외한 모든 요인에 의한 병을 의미한다.

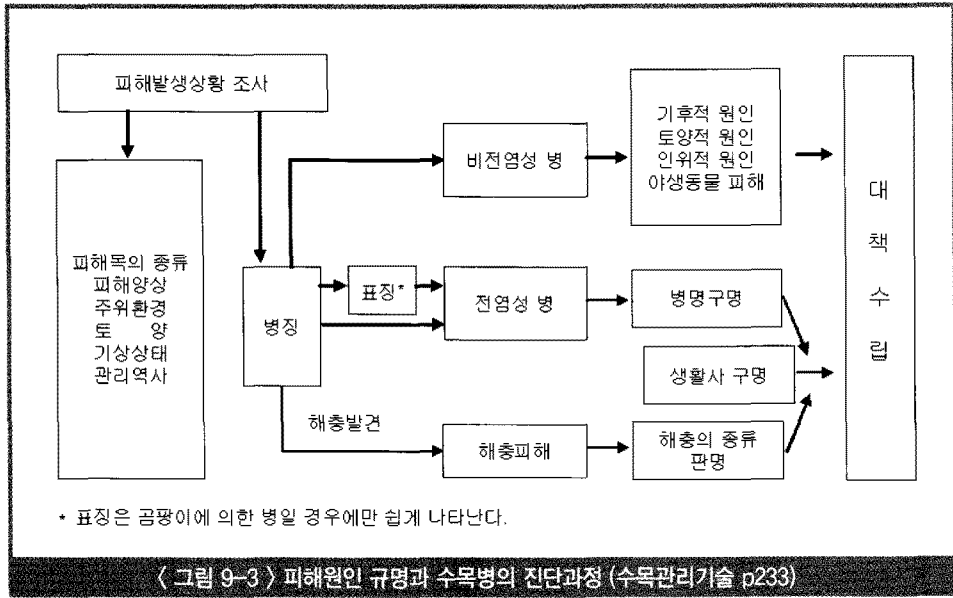
수목을 건강하게 관리하려면 올바르게 수종을 선택(right tree)하고, 적합한 장소에 식재(right place)하여, 적절하게 보호관리(right care)해야 한다. 조경수의 “건강관리원칙”은 의학에서와 같이 전체적인 개념으로 다루고 있는데, 조경수의 일생을 통해서 생육환경에 맞게 모든 보호관리체계를 장기적으로 종합화해야 한다. 즉 수목이 건강하게 자라고 있을 때 앞으로 다가올 수 있는 문제점을 미리 파악하여, 사건이 커지기 전에 대비하거나 요인을 제거함으로써 좀 더 효율적으로 조경수를 관리하자는 뜻이다. 이를 위하여 정기적인 관리와 점검이 필요한데, 예를 들면 나무가 어릴 때 미리 가지치기를 하여 튼튼한 골격을 가지게 하며, 병균과 해충의 생활사에 맞추어 예찰을 실시하고, 적기에 맞추어 꼭 필요한 약제살포를 하는 관리방식을 의미한다.



2. 생리적 피해 진단

어떤 수목에 피해를 일으킨 원인을 찾아내는 것은 쉬운 일이 아니다. 수목에 피해를 주는 요인 중에서 한 가지 혹은 두 가지 이상의 요인이 1회 또는 반복적으로 영향을 끼쳐서 가시적인 피해를 나타내게 되는데, 각 요인마다 독특한 병징을 보이는 것이 아니라 공통적인 병징(예: 잎의 시들음이나 황화현상)을 보이기 때문이다. 이와 같은 현상은 인간의 경우 몸에 이상이 있을 때 신열이 나기도 하는데, 신열이 있는 것만으로 몸의 이상 원인을 찾을 수 없는 것과 같다.

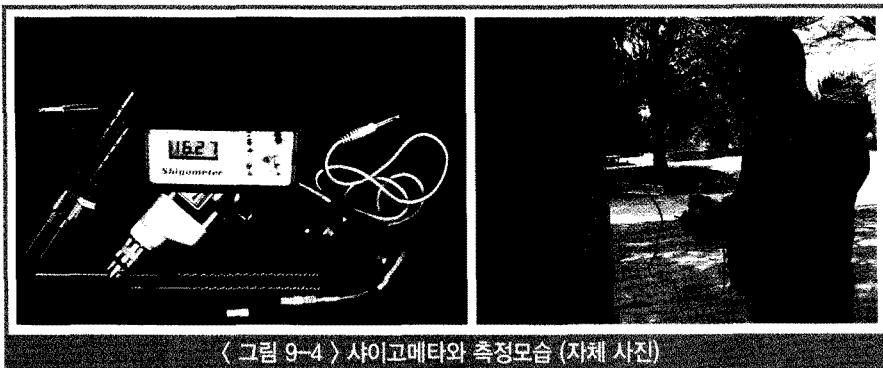
그러나 <그림 9-3>와 같이 수목이 피해를 입고 있는 상태와 주위환경을 참고로 하면 진단에 큰 도움이 된다. 실제로 이러한 자료 없이는 수목병의 원인을 정확하게 진단할 수 없다.



1) 나무청진기(사이고메타)

수목이 피해를 입은 원인을 정확히 진단하는 것은 매우 중요하다. 정확한 원인을 규명하지 못한 상태에서 살균제, 살충제 혹은 영양주사 등의 처방을 내린다면 결국 그 나무를 치료할 수 없다. 특히 피해를 입은 나무의 건강 상태가 빠른 속도로 나빠지고 있을 때에는 정확한 진단에 의해서 처방함으로써 나무를 회복시킬 수 있으나, 때를 놓치면 늦는 경우가 자주 있다.

수목에 병징이 일단 나타나면, 건강 상태가 나빠진 것을 짐작할 수 있으나, 생리적으로 어느 정도의 스트레스를 받고 있으며, 수목의 건강 혹은 활력(活力, tree vigor)이 어느 정도 약화되어 있는지, 혹은 회복의 가능성이 있는지를 판단하는 예후(豫後, prognosis)가 필요하다.



형성층 주변의 조직(2차 목부와 2차 사부)은 인간의 핏줄과 같아서 수분과 양분을 이동시키는 통도조직이다. 이 통도조직은 건강할 때(활력이 높을 때) 수분 함량이 많으며, 전기를 통하면 전기저항도가 낮다. 반면 스트레스를 받거나 죽어 있으면 수분 함량이 떨어져 전기저항도가 높아진다. 이러한 원리를 이용하여 수목의 건강도를 측정하는 기계를 사이고메타(Shigometer)라고 한다(그림 9-4).

마치 병원에 가면 의사선생님이 우리 몸에 청진기를 대면서 몸의 이상여부를 진찰하는 것과 마찬가지로 수목에 나무청진기인 사이고메타를 이용하면 수목의 활력도 즉 이상여부를 진찰할 수 있는 것이다.

건강한 나무는 수치가 낮고(2~15 정도), 서서히 죽어가는 나무는 수치가 높아지며(20~35 정도), 죽은 나무는 매우 높다(50~65). 물론 이 숫자는 계절과 수종에 따라서 약간의 차이가 있다. 서서히 죽어가고 있는 나무는 초기에 병징이 나타나지 않고 육안으로 식별이 되지 않지만, 샤이고메타로는 구별이 가능하다. 특히 수목을 이식한 후에 건강이 회복되기 전까지 수년 간 나무의 회복 정도를 가늠할 수 있는 유일한 기계이다.

샤이고메타를 이용하면 수간에서 형성층이 살아 있는 부분과 죽어 있는 부분을 정확하게 찾아낼 수 있다. 병징이 심하게 나타난 나무와 쇠약한 노거수의 활력을 측정할 수 있으며, 봄에 수액(xylem sap)이 이동하는 시기를 찾아내서, 수간주사를 놓을만한 상태인지를 판단할 수 있다.

2) 정확한 진단

생리적 피해는 주로 불규칙한 기상 상태나 생육환경의 악화로 일어나기 때문에 정확한 진단(診斷, diagnosis)을 위해서는 단순한 병징(病徵)이외에 <표 9-2>에 열거한 사항에 대해서 관찰 혹은 질문을 통해서 정보를 더 입수해야한다. 즉 이상 부위, 피해 상황, 주변의 정황과 발병 상태, 변화 추이, 기상 이변, 토양의 상태, 관리 역사 등에 대해서 구체적인 지식을 얻어야 한다.

그리고 피해 부위와 관련 조직을 수거하여 실험실에서 세밀하게 관찰하여 참고자료로 삼는다. 또한 수목의 구조와 기본 생리에 대한 지식을 바탕으로 해서 원인과 결과에 대한 해석, 지상부와 지하부의 상호관계를 분석한다. 이러한 분석 자료는 중요한 단서(clue)가 되며, 얻어진 모든 정보에 가장 합당한 결론, 즉 피해의 원인을 최종적으로 결론짓게 된다.

생리적 피해를 찾아내기 위해서는 피해 증상과 피해 발생 상황을 고려하여 우선적으로 전염성 병이나 해충에 의한 피해의 가능성을 판단하여야 한다. 즉 <그림 9-3>과 같이 병징(病徵, symptom)과 표징(標徵, sign)을 바탕으로 전염성 병을 찾아내고, 해충을 직접 발견하거나 그 흔적으로 해충에 의한 피해 가능성을 판단한다. 이 때 전염성 병이나 곤충에 의한 피해(충해)가 아니라고 판단되면 비로소 생리적 피해(비전염성 병)의 가능성이 높아진다.

<표 9-2> 수목 피해 원인을 규명할 때 필요한 조사항목

구 분	피해 발생 상황 조사항목
1. 병징	가. 비정상적인 상황 기술 - 부위, 고사조직 유무, 전반적 상황 기술 나. 잎과 눈의 모양, 색깔, 크기 - 시들음, 고사, 반점, 황화현상, 비틀림, 낙엽, 구멍 등을 기술 다. 수관 내 발병 부위 - 수관 전체 혹은 일부, 위쪽 혹은 아래쪽, 균일하게 혹은 불규칙하게 분포 라. 발병 시기 - 피해 확산 속도, 발병 초기의 기상조건 기술 마. 이웃 나무의 발병 상황 - 같은 수종의 다른 나무에 발병 여부, 발병 개체 수, 다른 수종의 피해 여부, 피해목이 모여 있는가, 특별한 위치(방위, 경사, 바람 방향)에만 나타나는가(주변의 다른 수종들도 같은 증세를 보인다면 비전염성일 가능성이 큼). 바. 곤충(응에 포함)이 잎을 가해한 흔적이 있는가, 곤충이 앞에 서식 중인가, 잎을 가해한 정도 사. 곰팡이에 의한 표징이 있는가
2. 피해목	가. 수종명, 수령, 크기(수고, 흉고직경), 접목 여부 나. 과거 3년간 가지의 생장량, 현재 잎의 크기 다. 가지 - 변색 및 고사 여부, 금이 가 있는가(방위 포함), 부풀어 오른 곳 유무, 동절기에 겨울눈이 건강한 상태로 붙어 있는가, 곤충의 배설물 부착 여부 라. 수간 - 수직으로 금이 가 있는가(방위 포함), 공동 여부(크기, 상태), 수피에서 수액이 흘러나오는가, 부풀어 오른 곳 유무, 혹 유무, 버섯 발생 여부, 작은 구멍 여부(천공충이 들어간 곳)와 구멍 주변의 배설물, 기계적 상처 여부(위치와 크기), 지체부 근처 수피의 건강 상태 마. 뿌리 - 굵은 뿌리의 색깔과 부패 여부, 세근의 상태(마르거나 검은색으로 고사 여부), 뿌리에서 맹아 발생 여부(왕성하게 발생했으면 뿌리가 건강하다는 증거임). 지체부 밑의 뿌리 수피 안쪽 목질부의 색깔, 지체부가 밑으로 가면서 삼각형으로 넓어지는 초살도(梢殺度)가 있는가(평형으로 되어 있으며 복도의 가능성 있음)

구분	피해 발생 상황 조사항목
3. 관리 역사	가. 식재년도 나. 지난 1주간 특별한 작업 실시 여부 - 약제 살포, 수간 주사 등 다. 지난 1년간 특별한 작업 실시 여부 - 가지치기, 시비, 토양 굴착 여부 라. 지난 3년간 특별한 작업 실시 여부 - 주변에서 건축공사, 하수도 공사 여부 마. 지난 5년간 특별한 작업 실시 여부 - 수관 밑에 복토(10cm이상)나 절토 여부
4. 환경	가. 식재 위치(도로변, 공원, 주차장, 비탈길 등) 나. 식재 간격 다. 대기오염의 상태 라. 주변에 하수도, 천연가스 배관 여부 마. 통풍의 정도 - 주변이 장애물로 막혀 있는가
5. 토양	가. 토성, 답압의 정도, 투수성, 견밀도, 산불로 인한 소수성 정도 나. 표토의 포장, 멀칭 여부 다. 배수 상태 - 큰비가 온 후 5일 이내 배수되는가, 현재 물이 고여 있는가 라. 현재 흙이 말라 있는가 혹은 젖어 있는가 마. 정상적 색깔인가, 냄새 여부(계란 썩는 냄새가 나면 습한 토양이거나 가스가 누출 중임) 바. 복토나 절토 여부
6. 기상	가. 지난 겨울 추위의 정도(예년보다 월등히 최저기온이 더 낮았는지 여부)와 강우량 나. 최근 한발과 강우 상태(과건과 과습의 가능성) 다. 최근 비정상적 기상 상태 - 늦서리와 첫서리가 온 시기, 태풍, 우박, 폭설, 낙뢰

수목 피해 진단 과정을 요약하면 다음과 같다.

- | | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| (1) 수종명(species name) 규명 | (6) 수목 관리 역사(management history)수집 |
| (2) 병징(symptom) 파악 | (7) 실험실 분석 자료 검토 |
| (3) 수목 전체(whole tree)관찰 | (8) 정보의 종합화와 가능한 모든 원인 나열 |
| (4) 수목 생육 장소(site) 점검 | (9) 최종 진단과 문헌을 통한 원인 확인 |
| (5) 피해 양상(damage pattern)파악 | |

〈 표 9-3 〉 수목의 주요 병징에 따른 피해 원인

부위	주요 병징	부위 혹은 세부 병징	피해 원인
잎	시들음	잎 전체	뿌리 손실: 뿌리썩음병, 물리적 상처, 토양의 통기성 불량(과습, 복토, 답압), 곤충(바구미, 굼벵이)
			뿌리에서 줄기로 수분 이동 방해: 수병(줄기마름병, 시들음병, 재선충), 천공충, 수간에 상처, 동물 피해
			수분 부족: 관수 부족, 불투수성 토양(소수성 토양, 답압), 토양의 낮은 보수력(얕은 토심, 모래 토양)
	수분 요구도가 높은 환경: 고온, 건조한 공기, 심한 바람, 지구온난화, 동계 이상 고온(상록수의 경우)		
과사	잎 가장자리	토양독성: 높은 염분 함량, 높은 붕소 함량, 제초제(diuron, atrazine, dalapon, borates)	
		심한 철분 결핍	
		전염병(세균)	
큰 반점	수분 부족, 과도한 햇볕(엽소), 탄저병		

〈 표 9-3〉 계속

부위	주요 병징	부위 혹은 세부 병징	피해 원인
잎	괴사	주근깨 같은 작은 반점	세균성 병, 깍지벌레, 제초제(paraquat, bentazon, oxadiazon, diquat, cyclohexeenone 등)
		엽맥 사이 조직	대기오염, 제초제, 심한 망간 결핍
		잎 전체	수분 부족, 탄저병, 제초제(weed oil, diquat, paraquat, oxyfluorfen), 서리 피해, 동해, 동계건조, 동계 이상 고온
		헤어진 잎	식염성 해충(딱정벌레, 나방 유충), 전염병(구멍병)
	구멍난 잎	(불)규칙적 구멍	곤충(딱정벌레, 나방 유충), 전염병(구멍병)
		혹 같은 조직 형성	곤충(진딧물, 흑응애, 흑벌, 나무이, 흑파리)
	황화	잎 전체	질소 결핍, 뿌리 손상(괴습, 복토, 물리적 손상, phytophthora 뿌리썩음병, 뿌리선충), 토양 염분에 의한 가벼운 피해, 수간과 뿌리에 환상의 상처(파고드는 철사, 수간의 괴사, 물리적 손상), 가스 유출
		엽맥 사이 조직	미량 원소 부족(철, 망간), 기생성 뿌리병(phytophthora, 선충), 제초제(triazines, atazine, simazine)
		얼룩 반점, 모자이크	아연 결핍, 바이러스 병(느릅나무, 포플러 모자이크), 제초제(uracils, bromacil, terbacil)
		엽맥 백화 현상	바이러스(느릅나무 모자이크병), 제초제(urea 유도체, diuron, monuron, neburon)
		점각, 주근깨 같은 반점	흡즙성 해충(응애, 진딧물, 매미충, 노린재, 병패벌레, 총채벌레), 대기오염
		은색화	흡즙성 해충(응애, 총채벌레), 대기오염
		백색화	제초제(amtrole, norflurazon, clomazone) 철 결핍, 뿌리기생병(phytophthora 뿌리썩음병)
	기형 잎	떡같은 조각	전염병(Exobasidium 떡병)
		뒤틀린 잎	곤충(진딧물, 잎말이나방), 전염병(오갈병), 제초제(glyphosate, sulfonyleureas, imidazolinones)
		말린 잎	곤충(잎흡파리)
	새로운 조직 형성	혹 같은 조직	곤충(진딧물, 흑응애, 흑벌, 나무이, 흑파리)
		앞에 굴 형성	곤충(잎벌, 굴나방)
		갑작스런 낙엽	심한 수분 부족, 전염성 병(Entomaosporium), 제초제(bromacil)
	개엽 지연	발아 지연	겨울 가뭄, 부족한 저온 노출(춘화처리 부족), 곤충(진딧물), 전염병(탄저병)
새 가지	시들고 괴사	수분 부족, 곤충(천공성, 가지환상박괴곤충, 진딧물), 세균성 가지마름병, 서리 피해	
	비틀림	곤충(흑파리, 진딧물), 전염병, 바이러스, 제초제(2-4D, dicamba, glyphosate, dalapon), 대화 현상	
	빛자루 모양	가는 가지로 갈라짐	전염병(흰가루병, 빛자루병), 곤충(응애), 겨우살이, 세포돌연변이, 제초제(glyphosate)

부위	주요 병징	부위 혹은 세부 병징	피해 원인	
가지 · 수관	가지 끝부터 점진적 고사		전염병(가지마름병), 토양의 통기성 불량(복토, 심식, 과습, 배수불량, 침수)	
	옴폭 들어가거나 변색된 수피		전염병(부란병), 피소	
	불규칙한 부패		천공충의 반복적 가해(유리나방)	
	가지와 수관에 유상 조직 형성		물리적 손상, 가지마름병(Nectria, Ceratocystis), 수피의 피소, 천공성 곤충의 반복적 침입, 동해	
	혹 형성		전염성 병(혹병, 줄기녹병), 곤충(사과나무 혹), 겨우살이 외부 상처, 많은 눈이 모여 있음(나무 옹두리)	
	수피가 벗겨짐		곤충(천공충, 나무좀), 전염병(줄기녹병, 잣나무 가지마름병), 피소, 스프링클러 피해, 낮은 수목 활력, 낙뢰	
	나무진이 흘러나옴		세균성 병, 전염병(녹병), 곤충(천공충, 나무좀), 수분 부족	
	수피에 구멍 형성		곤충(천공충, 나무좀), 딱따구리 피해	
	부풀어 오름	접목 부위		접목불화합성(대승, 대부 현상)
		환상 조임		휘감는 철사, 밀동을 휘감는 뿌리
		밀동 부분		영지버섯류, 말굽버섯류
	균열		제초제(2,4-D계통), 동해(상열), 속성 생장 균열, 하중을 견디지 못함, 낙뢰	
버섯 발생		목재부후균(병나무버섯, 영지버섯, 진흙버섯류)		
뿌리	오그라들		수분 부족, 토양의 높은 염분 함량, 제초제(dinitroanilines, amides, thiocarbamates)	
	변색		전염성 병(phytophthora 뿌리썩음병, Pythium), 토양의 통기 불량(침수, 배수 불량, 높은 지하수위, 과다 관수), 뿌리 위복토, 답압	
	뒤틀림		제초제(trifluralin, oryzalin), 선충, 균근(병이 아님), 곤충(뿌리진딧물)	
	혹 형성	작은 혹이 많은	공과식물의 뿌리혹박테리아, 뿌리혹 선충, 곤충(사과면충)	
	뿌리 조직의 붕괴	가는 뿌리의 부후		과습, 배수불량, 침수, 복토
		굵은 뿌리		병나무 뿌리썩음병, Rhizina 뿌리썩음병
수관 전체	수관 전체의 시들음		수분 부족(여름철 극심한 수분 부족, 동계 건조, 겨울철 이상 고온에 의한 상록수 시들음)	
			전염성 병(소나무 재선충병), 잣나무시들음병	