



# 나무가 숨쉬는 토양



박헌준  
(주)푸름바이오 대표이사  
hunjun1@hanmail.net



## 4. 헤미셀룰로오스의 분해

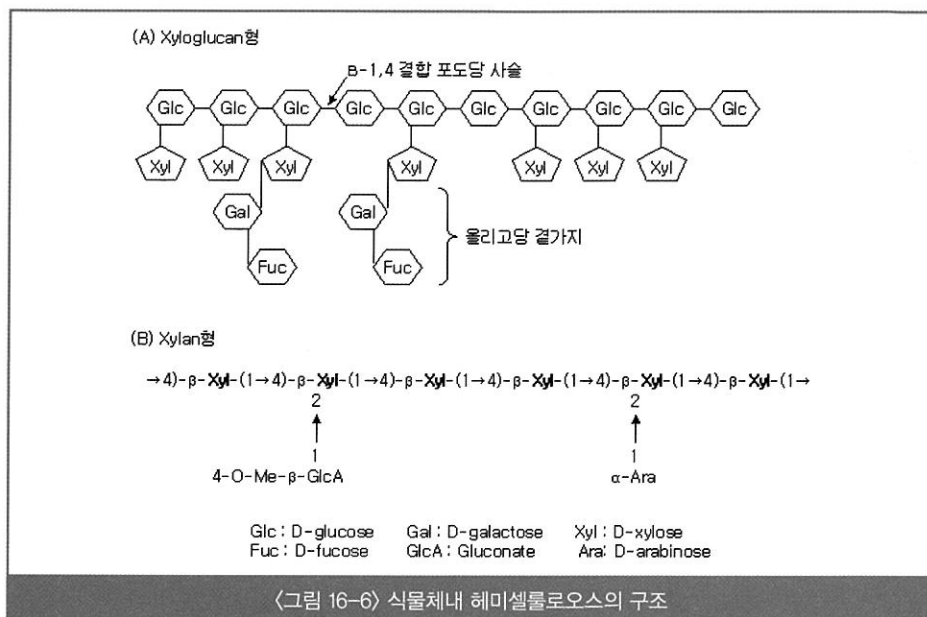
헤미셀룰로오스는 식물세포벽 안의 미세섬유(microfibril) 사이에 있는 기질(matrix)을 구성하는 복합적인 성분 가운데 펙틴질을 제외한 다당류(polysaccharide)로서 1차 세포벽에서 25~50% 함량의 셀룰로오스 다음으로 많은 성분이다.

식물체 잔재 조직에서 주요 부분을 차지하므로 헤미셀룰로오스의 분해, 변화는 식물성 유기물의 전체양의 변화와 분해속도에 큰 영향을 끼치는 요인이 된다.

고등식물의 헤미셀룰로오스는 대부분 1, 2차 세포벽에서 셀룰로오스에 밀접해 있어 구조적으로 연결된 상태이나 화학적 조성과 구조는 전혀 무관하다. 화학적 구성은 식물의 계통에 따라 차이가 있어 일반적으로 단자엽 식물과 활엽수에서는 xylan(xylose의 중합체)과 glucan(glucose의 중합체)이 많고 쌍자엽식물에서는 xyloglucan(xylose와 glucose의 복합중합체)이 주 구성분이다.

또 나자(裸子)식물의 2차세포벽에는 glucomannan(glucose과 mannose의 복합중합체)이 많으나 피자(被子)식물에는 적게 함유되어있는 차이를 보인다. 그 외에도 다른 구성분(arabinose, galactose, uron산 등)으로 이루어진 것도 있다.

헤미셀룰로오스가 토양이나 자연환경에서 분해되는 속도는 초기에는 빠르게 진행되나 차츰 느려지게 된다. 그 원인은 화학적 구조의 불균질성 때문에 부분별로 미생물의 공격을 받기 쉬운 곳부터 분해되는 것으로 추정된다. 토양 중 헤미셀룰로오스를 분해 이용하는 미생물의 종류는 셀룰로오스 분해균보다 더 넓은 범위에 걸쳐 활성을 보이며 또 셀룰로오스 분해균보다 기질특이성이 뚜렷하지 않은 것이 보통이나 미생물의 집단에 따라서 특정 식



물 헤미셀룰로오스를 더 잘 분해하는 것으로 알려진 것도 있다.

헤미셀룰로오스는 고분자물질이므로 미생물의 세포막을 통과하지 못하여 그대로는 영양원으로 이용될 수 없다. 따라서 미생물을 먼저 작은 분자의 단순한 화합물로 변환시켜야 될 것이다.

헤미셀룰로오스 분해성 미생물 집단은 가수분해효소를 생산하여 먼저 사슬구조를 절단한다. 헤미셀룰로오스 분해에 관여하는 효소로는 xylanase가 있는데, 작용 위치가 다른 다음 두 가지 가수분해효소에 의하여 단순당까지 완전히 분해된다. 그중 한 가지는 endo-1,4-β-D-xylanase로서 주 사슬의 임의의 중간 부분을 분해, 절단하는 가수분해효소로서 생성되는 것은 xylobiose와 나머지 oligo당 사슬이다. 많은 종속영양균들이 이 효소를 생산하여 헤미셀룰로오스를 영양원으로 이용하게 된다. 한편, exo-형 xylanase는 사슬 끝 부분의 β-1,4 결합을 절단하여 D-xylose를 생산하여 단당류의 대사로 이어지게 된다.

헤미셀룰로오스에는 구성 당의 종류가 여러 가지인 헤테로 형태 있으므로 이들에 대하여는 기질특이성이 있는 효소가 작용하여 기질의 당을 분리한다. 예를 들면 mannosylglycosidase는 mannose를 사슬에서 분리, 생산하는 것과 같다. 그러나 균종에 따라 헤미셀룰로오스의 특정 형태만을 공격 이용하지는 않으며 한 균이 여러 형의 헤미셀룰로오스를 이용하는 것이 보통이다.

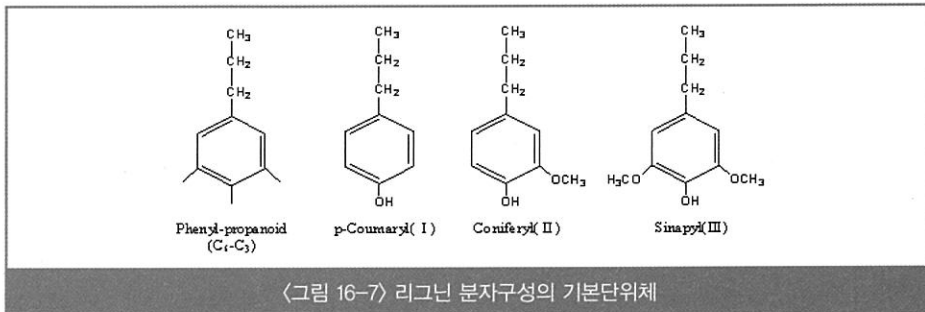
## 5. 리그닌의 분해

리그닌은 초본(草本)과 목본(木本)식물체의 줄기와 뿌리의 세포벽(주로 2차 세포벽)을 구성하는 성분으로서 목

질소(木質素)로 부르기도 한다.

그 함량은 식물의 종류나 부위, 나이 등에 따라 차이가 있으나 초본에는 10~25%, 목본에는 15~35%로서 셀룰로오스(약40%) 다음으로 많은 성분이나 유리상태로 존재하는 것은 아니며 셀룰로오스 미세구조(micel) 안에 들어있고 셀룰로오스와 연결되어 복합체를 이루어 조직을 기계적으로 강하고 질기게 하는 역할을 맡는다. 이 많은 양의 리그닌이 식물의 잔재로서 지표 또는 토양에 공급되면 그대로 축적되지는 않으며 조만간 분해되어 없어지거나 소량이 변형된 상태로 남게 되는 것이다.

리그닌은 phenyl-propanoid( $C_6-C_3$ )를 구성의 기본 단위로 하는 중합체이나 침엽수, 활엽수, 초본류 계통에 따라 페닐구조에 하나 또는 두 개의 메톡실(methoxyl,  $-OCH_3$ )기를 갖는 것의 비율에 차이가 있어 결국 이화학적 특성 및 분해특성에도 차이가 생기는 것으로 보인다.



계통별로 보면 침엽수류는 주로 [II], 활엽수는 [II, III], 벼과와 같은 초본류는 벼과와 같은 초본류는 [I]이 주이고 [II]와 [III]이 소량 섞인 중축합체(polycondensate)이므로 메톡실기함량이 초본류 < 침엽수 < 활엽수의 순위로 높다

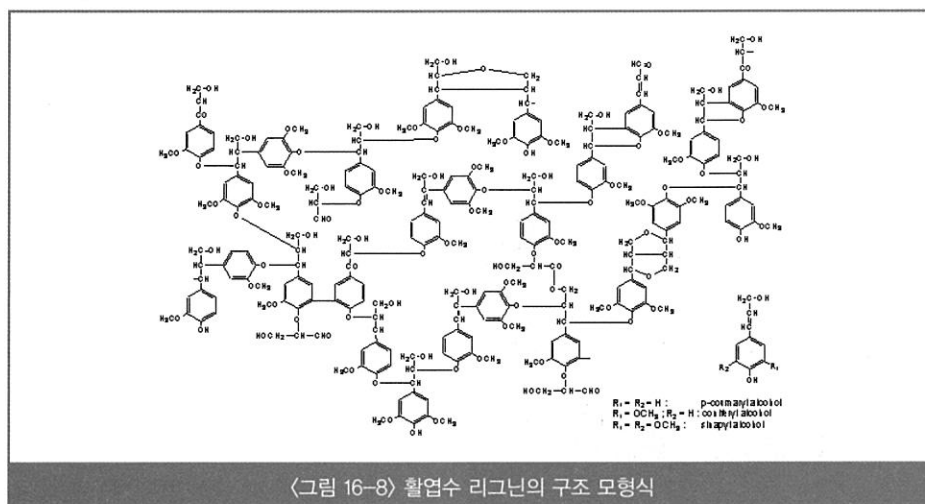
리그닌은 초본식물 줄기나 목재에 다량으로 함유되어 있는 성분가운데 그 분해가 느린 것에 속하며 당류(다당류)가 이용된 다음에 2차적으로 분해 대사되나 리그닌 분해성 미생물의 활동에 역시 당류를 탄소영양원으로 필요로 한다. 자연계에서 셀룰로오스를 분해하지 않고 리그닌만을 분해하는 균은 아직 발견되지도 육성되지도 않고 있다. 대부분의 리그닌 분해균은 호기성이므로 통기성이 좋은 조건이 유리하다

리그닌의 분해능력이 큰 것은 백색부후균(白朽菌, white-rot fungi)이고 갈색부후균, 방선균, 기타 세균류도 긴 기간에는 리그닌의 분해에 어느 정도 기여하는 것으로 본다.

리그닌의 구조에는 (그림 16-8)의 모형식에서 보는 바와 같이 그 기본은 phenylpropane이나 이웃 단위와의 결합은 매우 다양하다. 중요한 결합으로는 Allyl-glycerol-β-allyl ether 결합, phenyl cumarane 결합, biphenyl 결합, pinorecinol 결합 등이 있으며 여러 가지 관능기( $-OCH_3$ ,  $-OH$ ,  $-CH_2OH$ ,  $-CHO$ ,  $>C=O$  등)가 함유되어 있으므로 분해관련 효소의 종류와 특이성이 단순하지 않음을 짐작할 수 있다. 🌱

〈표 16-6〉 Lignin 분해성 균류

균명	
백후균(白朽菌, 담자균, White-rot Basidiomycetes)	
Abortiporus biennis	Phanerochaete chrysosporium
Agaricus bisporus	Phanerochaete soridida
Armillaria mellea	Phanerochaete flavidio-alba
Bjerkandera sp.	Phlebia ochraceofulva
Bjerkandera adusta	Phlebia radiata
Ceriporiopsis subvermispora	Phlebia tremellosa
Coprinus cinereus	Pleurotus eryngii
Cyathus stercoreus	Pleurotus ostreatus
Dichomitus squalens	Pycnoporus cinnabarinus
Ganoderma lucidum	Rigidoporus lignosus
Heterobasidion annosum	Sporotrichum pulverulentum
Junghuhnia separabilima	Trametes hirsuta
Lentilla edodes	Trametes trogii
Marasmius quercophilus	Trametes versicolor
Nematoloma frowardii	Trametes villosa(syn. Trametes pinsitus, C. pinsitus)
Panus tigrinus	
방선균	
Streptomyces cyaneus	Streptomyces viridosporus
세균류	
Pseudomonas	
갈후균(褐朽菌, brown-rot fungi)	
Coriolus versicolor	Polyporus anceps
Poria placenta	Fomitopsis pinicola
Streptomyces viridosporus	Tyromyces palustris
Streptomyces setonii	coniophora puteana
Gloeophyllum trabeum	



〈그림 16-8〉 활엽수 리그닌의 구조 모형식