성장중의 식물세포벽에 관한 고찰

— THE WALLS OF GROWING PLANT CELLS —

홍성조 / 교사 · 생물

I.

植物細胞는 다소 단단한 細胞壁이라는 봉투에 싸여 있는데 이 세포벽은 두 가지 形態相의 反對特性을 가지고 있다. 이 壁은 植物을 튼튼하게 하고 形體를 維持시켜 주기 위해 단단해야 하지만 그 안에 있는 細胞가 成長할 수 있도록 柔軟性도 있어야 한다. 植物의 structual framework는 많은 細胞壁으로 構成되어 있다.

動物의 피부와 뼈에 해당하는 植物의 structual framework는 아파트의 많은 방들이 칸으로 막혀 분리되어 있는 것처럼 하나의 細胞壁에 의해 분리되어 있다. 이 분리된 壁들은 그물같은 자그마한 방들을 形成하고 있으며 植物 그 自體가 죽은 後에도 오랫동안 남아 있다.

어쨋든 딱딱한 덮개가 있음에도 불구하고 成長하고 있는 植物組織細胞들은 여러번 그들의 initial length를 늘려갈 수가 있다. 成長의 요구에 따라 細胞壁이 꽤 柔軟하게 움직이기 때문이다.

Ⅱ.

細胞壁은 어떻게 成長할 수가 있을까? 細胞壁의 成長은 細胞壁의 伸張率에 따라 制限된다. 細胞壁은 각 細胞가 단 하나의 隔壁에 의해 이웃으로부터 분리되는 가운데 계속해서 망상조직을 形成해 간다. 때때로 細胞壁은 plasmodesma 즉 원형질연락이라는 構造에 의해 관통되며 이것을 通하여 옆 細胞들의 細胞質이 운반된다. 細胞壁은 成長率 뿐만 아니라 方向까지도 統制를 한다. 다시 말해 細胞壁은 球面積으로는 커지지 않으나 같은 차원에서 伸張한다. 이러한 細胞壁은 細胞 그 自體를 한정짓는 plasma membrane밖에 있고, 전 투과성이나 細胞膜은 선택적 투과성이다. 또한 細胞膜은 탄력적이기 때문에 細胞壁에 의하여 억제되지만 않는다면 삼투압에 의하여 터지는 수도 있다.

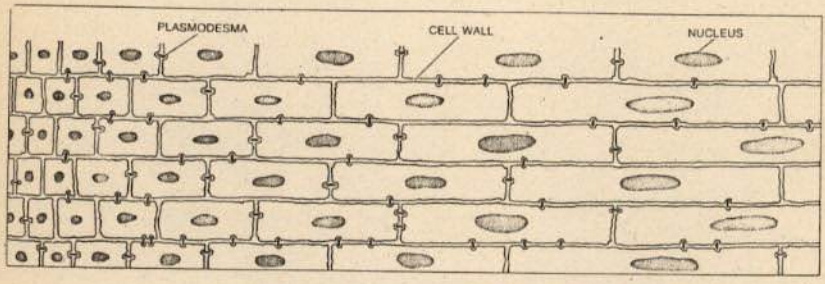

Figure 1. GROWTH OF PLANT CELLS.

Fig. 1에서 왼쪽의 細胞는 모든 세포 분열이 일어나는 分化된 組織 即 분열대로부터 최초에 生成됐다. 오른쪽으로 갈수록 細胞는 오래 됐고 길어졌으며 伸張돼 있다.

細胞壁의 化學的 成分은 伸張에 의해 변하지 않으며 kaufman에 의하면 신장된 참나무細胞의 壁은 成長을 시작하지 않은 細胞壁과 마찬가지로 단위 길이당 같은 두께와 같은 힘을 갖고 있다. 細胞의 成長은 細胞壁이 얇아지거나 허약해져 가는 것과는 무관하다. 成長하는 細胞壁은 自身의 두께를 維持하고 거기에 새로운 物質이 첨가된다. 더욱이 그 物質은 그 細胞壁의 化學的 組成이 변하지 않는 方法으로 첨가되어야 한다. 따라서 結論은 細胞의 成長率과 成長方向은 細胞壁의 構造와 合成方法에 따라 決定된다는 것이다.

細胞壁의 構造物質은 약 90%가 polysaccharide이고 남은 10%는 단백질이다. 1차 細胞壁은 대부분이 polysaccharides이고, 이것은 많은 단당류나 monosaccharide로

되어 있다.

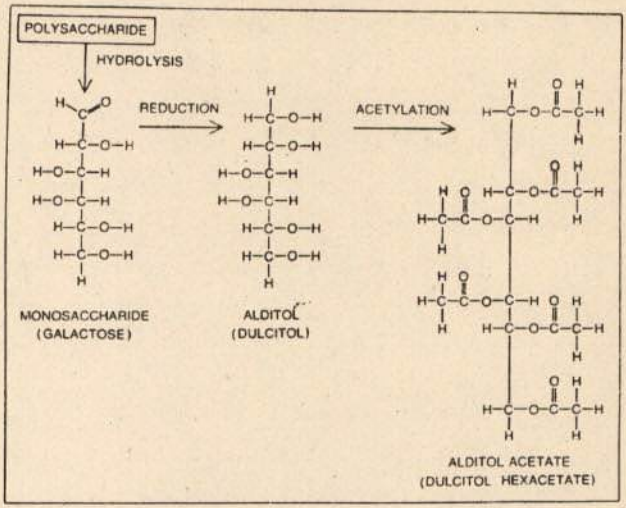

Figure 2. CHEMICAL ANALYSIS of the cell-wall polysaccharides

Fig. 2 에서 細胞壁 polysaccharides의 化學的 分析은 당분을 휘발성 유도체로 변형시키면서 시작한다. polysaccharide는 산성 hydrolysis에 의해 Monosaccharide 成分으로 分解된다. 이들중의 하나가 그림에 나타난 galactose이다. Monosaccharide는 hydroxyl group을 떼어 놓고 aldehyde group을 감소시킴으로써 alditol(a sugar-derived alcohol)로 바뀐다. Galactose로부터 나온 alditol을 dulcitol이라고 부른다. 최종적으로 acetyle groups(-$COCH_3$)는 모두 6 개의 alditol의 hydroxyl groups와 연결된다. 그 結果 alditol acetates는 휘발성이 되며 분리되어 질 수 있고 gas chromatography에 의해 確認된다.

Fig. 3 에서 細胞壁 polysaccharide xyloglucan의 構成은 gas chromatography에 의해 確認되었다. 細胞壁의 實際的 分子는 glycosidic bond로 연결되었다. 한편, xyloglucan으로부터 나온 Alditol Acetates는 chromatograph로 들어와 거기 에서 증발되고 adsorbent liquid를 포함하는 colum을 通해 쏟아진다. 각 Alditol acetates는 여러가지 다른 비율을 통하여 나타난다. 各 成分 비율은 peak아래 面積으로부터 決定되어지며 Insitol은 표준치로서 첨가되었다.

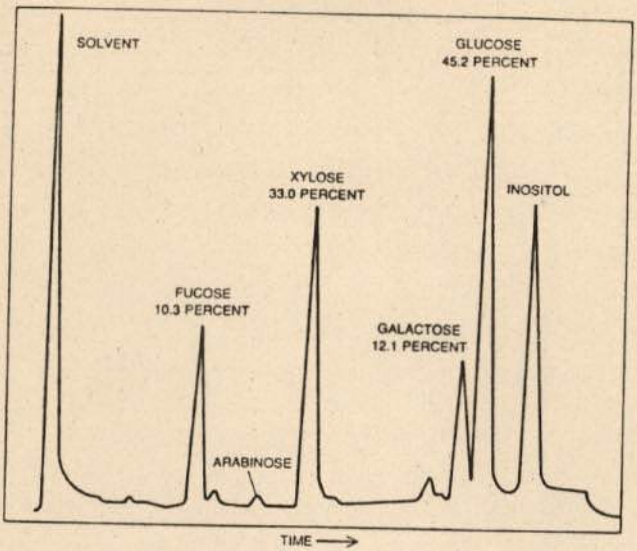

Figure 3. COMPOSITION of the cell-wall polysaccharide xyloglucan

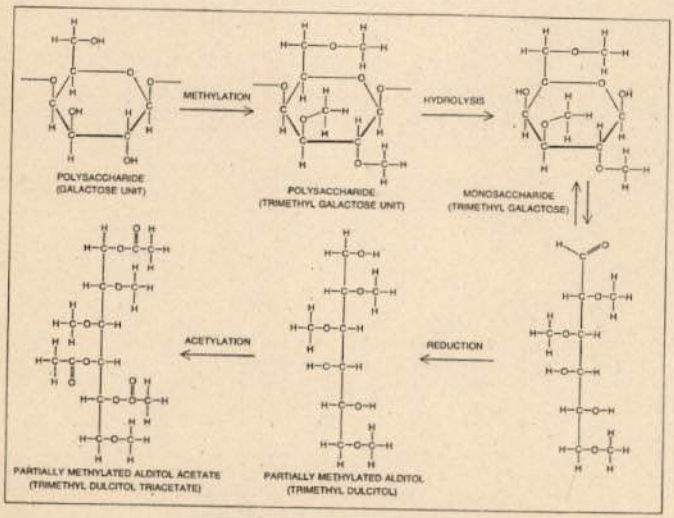

Figure 4. STRUCTURAL ANALYSIS of a polysaccharide

Fig. 4 에서 polysaccharide의 構造的 分析은 각 sugar units가 옆의 unit에 어떻게 붙어 있는가를 알려 준다. 이 情報는 Methyl groups를 polysaccharide에서 나온 hydroxyl groups에 연결하는 技術에 의해 얻는다. sugar가 다른 unit에 연결된 곳에서는 hydroxyl group은 없고 이런 위치에서는 이 分子는 메틸화되지 않는다. 그 polysaccharide는 그 때 가수분해되며 自由로운 monosaccharide는 壁 構成을 決定짓는데에 利用된것과 똑같은 方法으로 감소되고 acetyl化된다. 그 結果 分子들은 다른 sugars가 연결되어 있는 polysaccharide에서만 acetyl groups를 갖는다. 남아 있는 위치는 methyl groups가 차지한다.

細胞壁을 構成하는 대부분의 monosaccharide는 pentoses와 hexoses이다. 이것은 그러한 分子들이 탄수화물이라 불리우는 탄소와 물의 化合物로 알려졌기 때문이다.

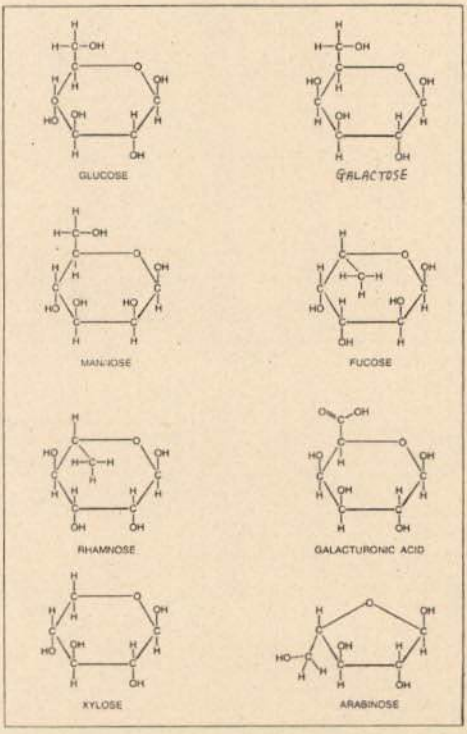

Figure 5. EIGHT MONOSACCHARIDES

Fig. 5 에는 sycamore tree의 1次 細胞壁에서 發見된 8個의 monosaccharide 가 모식적으로 그려져 있다. Glucose, galactose와 mannose는 stereoisomers이며 탄소原子에 부착되어 있는 chemical groups의 向方에 따라 달라진다. Fucose와 rhamnose는 6번째의 탄소原子에서 hydroxyl group이 결핍되어 있으며 galactronic acid는 그 자리에 carboxyl group(-COOH)를 갖고 있다. Xylose와 arabinose는 단지 5個의 탄소原子를 갖고 있는 반면 다른 당류들은 6個씩 갖고 있다. 이것이 細胞壁 polysaccharides에서의 arabinose의 特徵이다. Chromatogram으로 측정한 각 細胞壁의 量은 galactose가 14.5% galacturonic acid가 13.2% xylose가 10.2%이고 Rhamnose와 fucose는 상당히 작은 양만 보이며 mannose는 흔적만 있다. cellulose fibers 에 있는 glucose는 細胞壁 탄수화물의 24%이고 polysaccharides에는 4.2%의 glucose가 있다.

Glucose는 가장 풍부한 탄수화물이며 그 構造는 細胞壁에서 發見되는 典型的인 monosaccharide라 여겨진다. polysaccharides는 monosaccharide의 構造成分에 의해 이름이 붙여지나 단당류를 일컫는 접미어 -ose는 -an으로 대치된다. 그래서 starch와 cellulose를 構成하는 glucose의 긴 사슬은 glucans라 불리운다. starch는 alpha-glucan, cellulose는 beta-glucan이다.

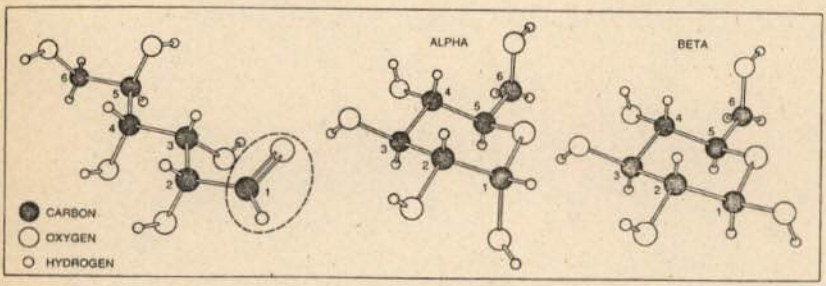

Figure 6. SUGAR MOLECULES

Fig. 6 에서와 같이 당분자들은 용액에서 세 가지 다른 構造를 갖는 것으로 알려졌다. open-chain form에서 1번 탄소原子는 aldehyde group을 갖고 있으며 그것은 전자나 다른 分子와 ion들을 감소시키거나 첨가시킬 수가 있다. Ring configuration에서 산소原子는 1번과 5번 탄소 원자와 연결되어 있으나 Ring form에서는

aldehyde group가 없다. 그러나, 1번 탄소에 부착된 hydroxyl group(-OH)와 hydrogen原子는 두 가지 方式中의 하나로 될 수 있다. 하나는 alpha(center)이고 다른 하나는 beta(right)方式이다. 용액에서 分子들은 계속하여 한 가지 形態로부터 다른 形態로 바뀐다. 보여진 分子는 glucose이다.

細胞壁의 構造物質中에서 cellulose는 가장 잘 알려져 있고 또, 잘 理解되고 있다. cellulose는 1번과 4번의 탄소原子사이에 있는 glycosidic bonds에 의해 연결된 glucose units 即 beta -1,4- glucan이다. 이 glucan chains는 직선이며 1次壁에서 이들은 約 40여 개의 사슬로 構成된 섬유를 만들고 이 섬유가 일차적으로 細胞壁의 힘의 근원이 된다. 비록 cellulose는 1 世紀이상 研究되어 오고 있으나 아직도 確實하지는 않다. syracuse에 있는 New York 주립 大學의 Anatole sarko와 Reto Muggli는 최근에 강한 증거를 제시했다.

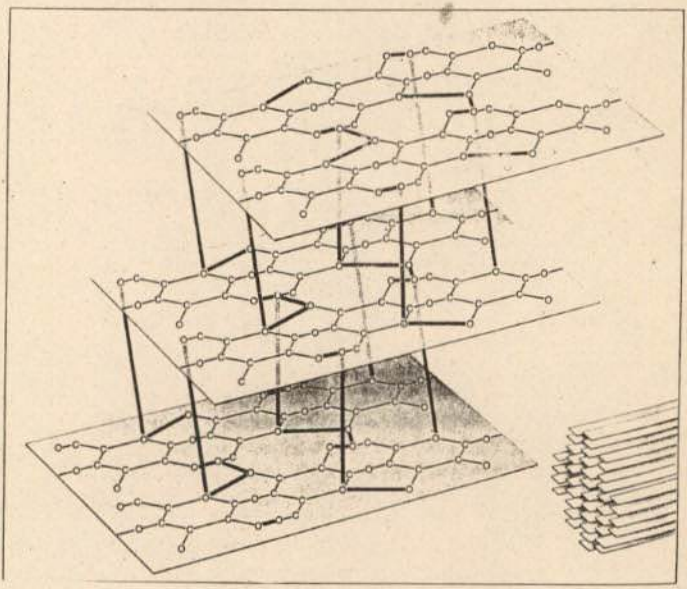

Figure 7. CELLULOSE

Fig. 7에서 보여진 것처럼 cellulose는 긴 사슬로 연결된 glucose units로 構成되어 있다. cellulose fiber에는 一般的 배열에서 glucan이라 불리우는 約 40여 개의 사슬이 있다.

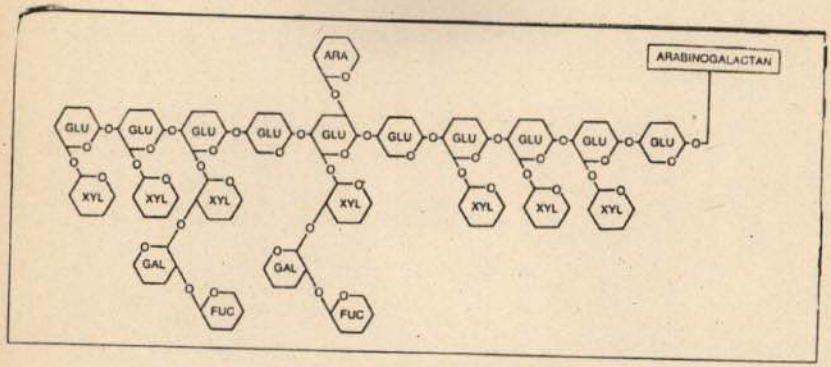

Figure 8. XYLOGLUCAN

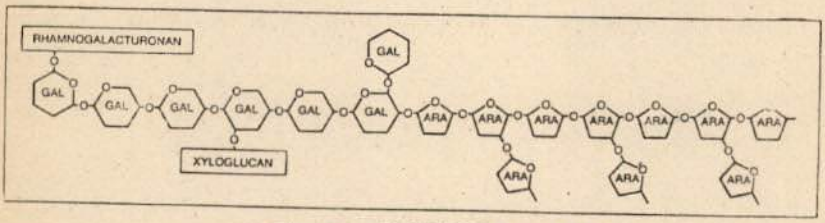

Figure 9. ARABINOGALACTAN

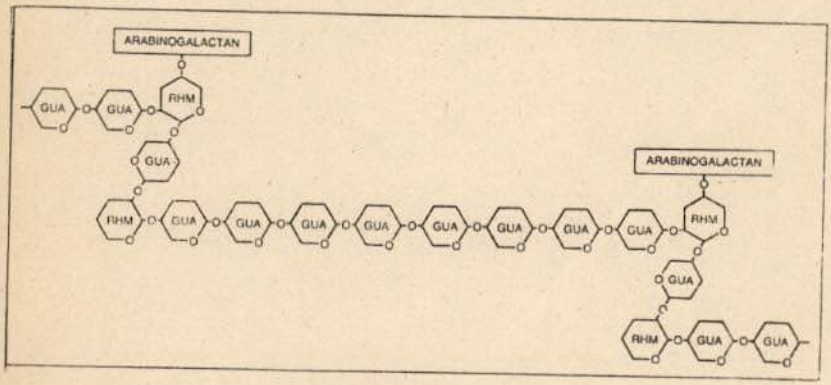

Figure 10. RHAMNOGALACTURONAN

Peter Albersheim과 그의 동료들은 콜로라도 大學에서 細胞壁에 對해 硏究한 結果 cellulose에 덧붙여진 세 가지 物質 即 Xyloglucan〔Fig.8〕 Arabinogalactan〔Fig. 9〕 그리고 Rhamnogalactan〔Fig. 10〕을 알아 내고 그들의 關係를 Model로 나타냈다.

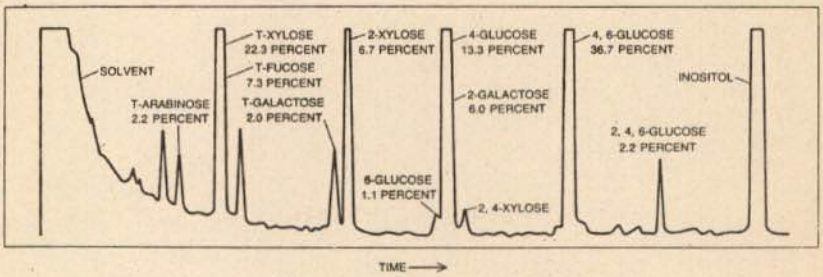

Figure11. BONDING OF MONOSACCHARIDES in xyloglucan

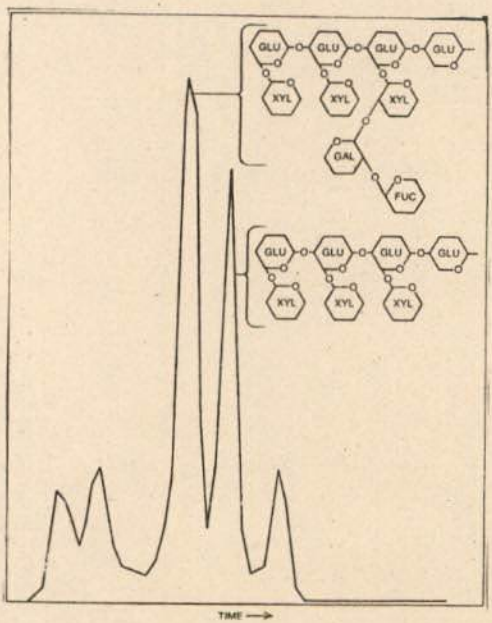

Figure12. FRAGMENTS OF XYLOGLUCAN

Fig. 11의 Xyloglucan에서 monosaccharide 의 結合은 部分的으로 methylated된 alditol acetates의 gas chromatography에 의해 分析된다. 分子들은 acetyl groups의 sugar type 위치에 의해 分類된다.

Fig. 12의 Fragments of xyloglucan에서 glucose, xylose, galactose, fucose는 GLU, XYL, GAL, FUC로 나타냈다.

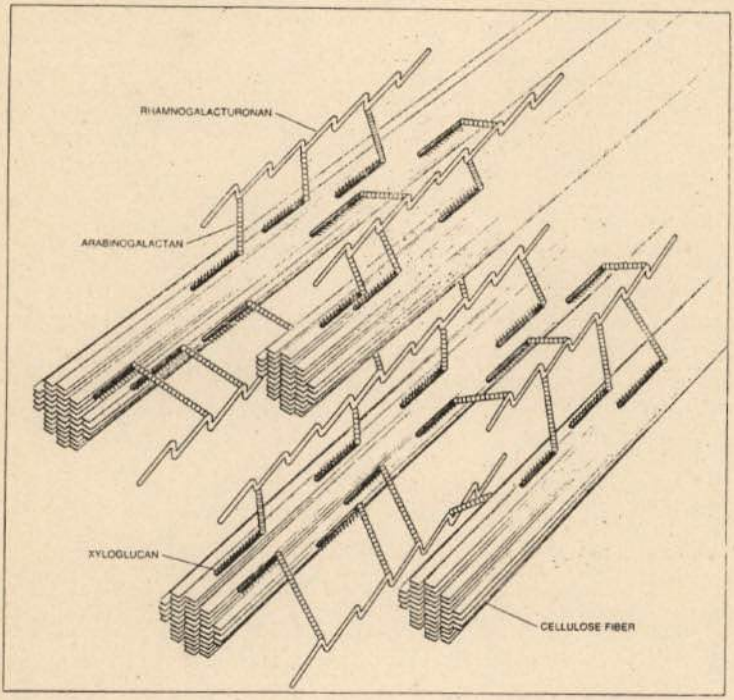

Figure13. MODEL OF THE CELL WALL

Fig. 13과 같은 Peter Albersheim과 그의 동료들에 의해 고안된 細胞壁 Model은 cellulose fibers가 세 가지 다른 polysaccharides에 의해 연결되었다고 가정하고 있다. 많은 xyloglucan 分子들은 섬유 표면에 붙어 있으며 하나의 arabinogalactan 사슬과 연결되어 있고 또 차례로 rhamnogalactan分子에도 연결되어 있다. 각 rhamnogalactan은 여러가지 arabinogalactan 分子와 연결되어 있다.

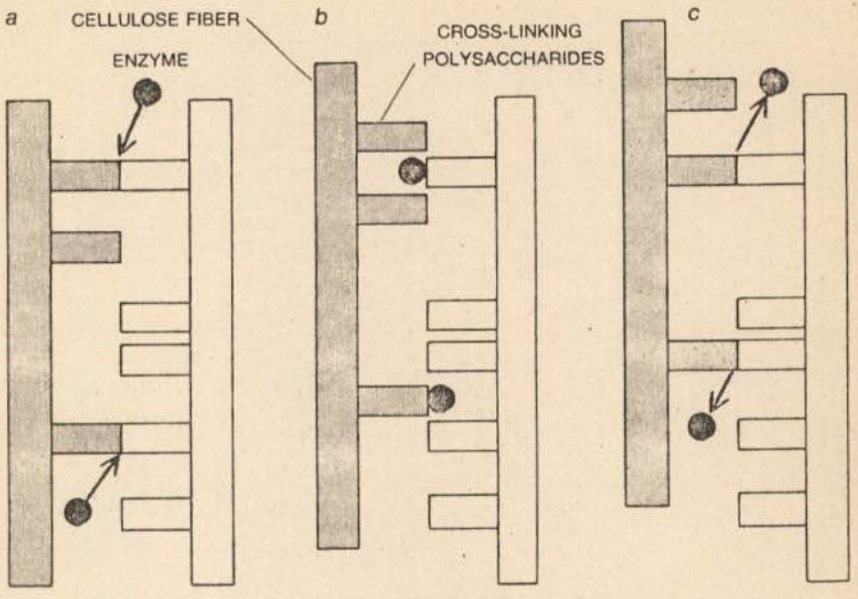

Figure14. EXTENSION OF THE CELL WALL

Ⅲ.

Fig. 14에 나타나 있듯이 細胞壁의 伸張은 cross-linking polysaccharide 사이의 結合에 관여하는 효소에 의해 規定되어짐이 틀림없다. 그 효소는 두 分子를 분리하고 (a) 그들 중의 하나에 부착되어 진다. 그 cellulose fibers는 적어도 그 효소가 그 polysaccharides를 새로운 짝에 연결시킬 수 있을 때 까지는 서로의 關係에서 바뀔 수도 있다. 한편 그러한 過程을 統制할 수 없는 효소는 細胞壁으로부터 격리된다. 그리고 cross-linking polysaccharides에 어느 효소가 관여하는지는 알려져 있지 않다. 即, 이러한 bond의 再結合 機作은 아직 알려져 있지 않다. 최근에 stanford 大學의 Poter M. Ray는 새로운 polysaccharide가 모든 部分의 細胞壁에서 合成되었다는 것을 確認했다. 그러나, 세 가지 polysaccharide중의 어느 것이 그 過程에 참여하고 있는 지도 아직은 알 수가 없다. 보다 더 硏究되어져야 할 問題이다.

REFERENCES

1. BARON, W·M·M., Organization in plants, E. Arnold, London, 1967.
2. CAPALDI, R·A., A dynamic Model of Cell Membranes, Scientific American, Offprint No. 1292 March, 1974.
3. CIELAND, R; Cell Wall extension, Ann. Rev. Plant physiol., 22 : 197~222, 1971.
4. CLOWES F·A·L, and B·E·Juniper, Plant Cells, Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1968.
5. LOEWENSTEIN, W·R., Intercellular Communication, Scientific American, offprint No. 1178, May, 1970.
6. NOVIKOFF, A·B·, and E·HOITZMAN, Cells and Organelles, Morden Biology Series, Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1970
7. O'BRIEN T·P· The Cytology of cell Wall formation in some eukaryotic cells. Bot. Rev. 38 : 87~118, 1972.
8. ROLAND, J-C. The relationship between the plasmalemma and plant Cell wall. Internalt. Rev. Cytol. 36 : 45~92, 1973.
9. WESSELLS, N.K., How Living Cells Change shape; Scientific American offprint No. 1233, October, 1971.
10. WILKINS, M·B., Physiology of plant Growth and Development, McGram-Hill, London, 1969.