

## 은행나무(*Ginkgo biloba* L.) 유식물의 자엽절에서 유관속형성층의 초기발생

蘇 雄 永 · 姜 京 德 · 崔 弼 善

(전북대학교 자연과학대학 생물학과)

### Early Ontogeny of Vascular Cambium in Cotyledonary Node of *Ginkgo biloba* L. Seedlings

Soh, Woong Young, Kyung Duck Kang and Pil Sun Choi

(Department of Biology, Chonbuk National University, Chonju)

#### ABSTRACT

The vascular cambium in *Ginkgo biloba* seedling began to differentiate in the cotyledonary node, and then the differentiation proceeded bidirectionally from the cotyledonary node toward the stem and root. In tangential view, procambium at the early developmental stage was a homogeneous structure consisted of almost similar cells in shape, and at the later stage the procambium became a heterogeneous one consisted of long cells and short cells. Such a differentiation pattern in the cotyledonary node was similar to that in the stem. However, it was different from that in the root. Fusiform initials and ray initials consisting the vascular cambium were originated from the long cells and the short cells, respectively. The long cells and the fusiform initials in the cotyledonary node were shorter and wider than those in the first internode.

#### 서 론

식물의 비대생장은 주로 줄기-뿌리의 주축계에서 일어나지만 엽병 및 잎의 주맥에서도 일어나는 경우가 있다. 입체적으로 볼 때 유관속형성층은 주축계로부터 잎의 일부에 까지 연속되어 있다. 이와 같은 유관속형성층의 초기발생은 줄기의 절간을 중심으로 또는 뿌리를 재료로 연구가 이루어져 왔다(Fahn *et al.*, 1972; Soh, 1972, 1974a, b, 1990, 1992; Kang and Soh, 1988; Soh *et al.*, 1988, 1989, 1990, 1991; Butterfield, 1976). 그러므로 식물체의 어느 부위에서 유관속형성층이 최초로 발생되었고 또한 어떤 순서를 따라 연속상태의 구조를 이루게 되는 가를 이해하기 위해서는 더 많은 연구가 필요하다.

줄기의 유관속형성층은 각각의 절에서 먼저 발생된 다 음에 절간으로 이어진다는 보고가 있다(Bruck and Paolillo,

1984). 또한 소나무류의 유식물에서는 자엽절에서 먼저 유관속형성층이 발생되어 배측-뿌리의 방향으로 이어진다는 주장이 있다(Saks and Aloni, 1985). 그런데 이러한 결론들은 유관속형성층 자체의 발생과정을 관찰한 것이 아니고 주로 2기목부요소의 방사배열을 양적으로 비교하여 얻은 것이기 때문에 간접적인 증거에 따른 것이었다. 목부요소의 방사배열은 1기목부에서도 관찰되는데 그 이유는 전형성층세포의 배열도 방사방향으로 이루어져 있기 때문이다(Esau, 1965). 그러므로 횡단면에서 세포의 배열상태만으로 2기 생장의 특징을 규정짓는 것은 오류를 범할 위험성을 내포하게 될 것이다.

따라서 유관속형성층의 초기발생을 판별하기 위해서는 시원세포의 분화과정을 추적해야 한다(Soh, 1990). 그러므로 전형성층세포로부터 유관속형성층 시원세포의 분화과정을 뚜렷이 밝혀서 직접적인 확인을 해야 할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 발아 중에 있는 유식물에서 유관속형성층의 기원을 밝히면서 초기의 발생과정을 확인하고자 시도되었다.

본 연구는 교육부의 1991년도 기초과학연구소 학술연구조성비(BSRI-91-427)의 지원으로 이루어졌음.

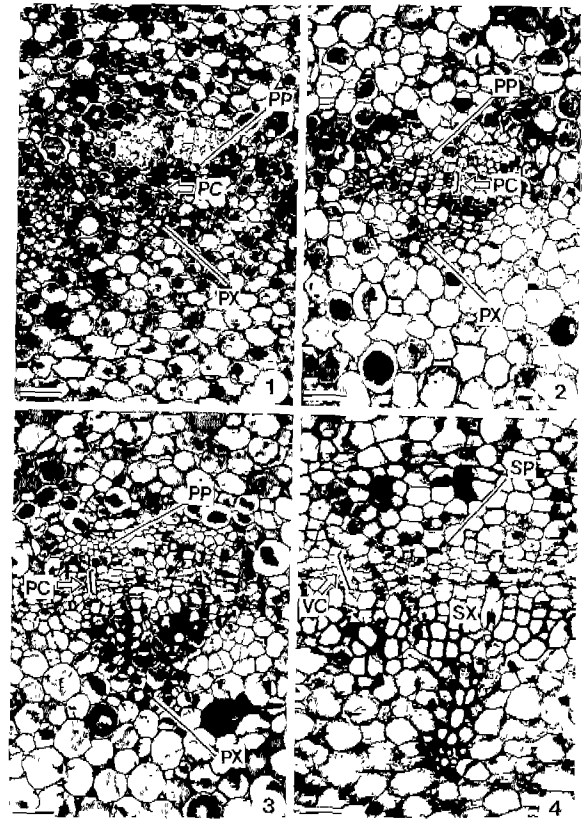
재료 및 방법

**재료식물.** 1990년도산 은행나무(*Ginkgo biloba* L.)의 종자를 모양과 무게(약 2 g)가 비슷한 것만 골라서 약 1주일간 모래에 층적시켜둔 다음 유근이 약 1 mm 정도 자란것만을 골라서 화분에 심었으며, 이로부터 비교적 균일하게 자란 유식물을 시기별로 채취하여 실험재료로 사용하였다. 유식물은 16시간 조명(5,000 lux, 25°C) 및 8시간 차광(17°C)으로 그리고 55-70 %의 습도로 조절된 배양실에서 매일 한번씩 물을 주면서 재배하였다. 재료식물은 파종 후 2일부터 생장시기별로 채취해서 사용하였다(Soh *et al.*, 1988).

**실험방법.** 실험재료는 파종 후 2일된 유식물부터 4일, 8일 및 16일을 중심으로하여 여러 생장시기별로 자엽절부위, 제 1 절간 중간부위 및 뿌리 기부를 약 4 mm 길이로 잘라서 사용했다. 재료는 탈기시키면서 FAA로 고정시킨 후 n-butyl alcohol series에 따라 탈수시켰고, paraffin 또는 paraplast에 매몰시켜 10 µm 두께로 횡단 및 접선 중단절편을 만들었다. 이와 같이 만들어진 절편을 safranin과 hematoxylin으로 염색하여 영구조직표본을 작성한 후(Berlyn and Miksche, 1976) 현미경관찰 및 사진촬영을 하였다.

결 과

은행나무 유식물의 생장과정은 편의상 4단계로 나뉘서 관찰하였다(Table 1). 그 과정은 파종 후 2일경에 제 1 절간이 육안으로 쉽게 구별되는 제 1 절간 출현기, 파종 후 4일경의 제 1 절간 신장기, 파종 후 8일경에 첫번째 잎이 전개되는 시기, 그리고 파종 후 16일 또는 14일경의 첫번째 잎이 성숙되는 시기 등으로 나눌 수 있었다. 부위별 유관속형성층의 발생先後性を 비교하기 위하여 자엽절, 제 1 절간 및 뿌리의 세 부위로 나누어 확인 관찰하였다. 자엽절의 횡단면에서 두개의 자엽으로 연결되는 유관속이 각각 두개씩 그리고 제 1 및 2 엽으로 이어지는 유관속 등이 자리잡고 있으므로 10개의 유관속이 환상으로 배열되어 있다. 이들 유관속 중에서 제 1 엽으로 이어지는 유관속을



Figs. 1-4. Transverse sections of the cotyledonary node of 2, 4, 8 and 14-day-old *Ginkgo biloba* seedling. Scale bars=50 µm. Fig. 1. Procambium (PC) between protophloem (PP) and protoxylem (PX) in a young vascular bundle. Figs. 2, 3. Procambial cells are radially seriated. Fig. 4. Vascular cambium consists of 4-6 cells seriated in each radial file. SP, secondary phloem; SX, xylem element.

발생 시기별로 관찰했다.

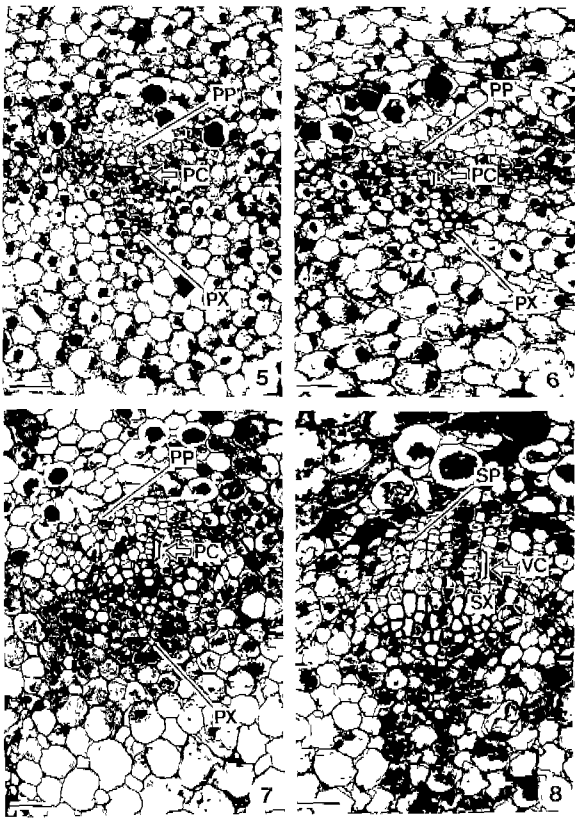
자엽절의 유관속형성층

**제 1 절간 출현기.** 횡단면에서 유관속조직은 바깥쪽으로 원생사부가 그리고 안쪽으로 원생목부가 자리잡고 그

Table 1. Measurement of various organs during the growth of *Ginkgo biloba* seedlings

Measurement Stage (days)	No. of leaves	1st internode (length in mm)	Cotyledonary node (length in mm)	Root (length in mm)
Internode emerging* (2)	Primordium	2.35 ± 0.4	1.9	11
Internode elongating (4)	Primordia	8.05 ± 1.16	2.3	23
Leaf unfolding (8)	2(unfolded)	15.15 ± 2.39	2.3	42
Leaf maturing (16)	5**	20.20 ± 2.55	2.3	81

\*The growth of internode occurred restrictly to the first one. \*\*Only the first leaf fully matured.



Figs. 5-8. Transverse sections of the first internode of 2, 4, 8 and 16-day-old *Ginkgo biloba* seedling. Scale bars=50  $\mu$ m. Fig. 5. Vascular bundle shows similar structure to that of Fig. 1. however, fewer protoxylem elements are differentiated than that of Fig. 1. PC, procambium; PP, protophloem; PX, protoxylem. Figs. 6-8. Vascular tissues and meristems are anatomically very similar to those of Figs. 2-4 in which shows somewhat advanced differentiation compared with Figs. 6-8. PC, procambium; VC, vascular cambium.

사이에 전형성층이 위치한다. 전형성층세포에서 병층분열이 시작되나, 방사배열은 아직 뚜렷하지 않았다(Fig. 1). 접선단면에서 전형성층은 짧고 상하말단벽이 횡으로 위치하는 세포로 구성되어 균일한 구조를 보이고 있으며(Fig. 9), 이들 세포의 길이는 약 88  $\mu$ m이다(Table 2).

**제1절간의 신장기.** 횡단면에서 유관속조직은 후생사부와 후생목부가 분화되고, 전형성층세포는 뚜렷하게 병층분열을 하여 3-4세포들이 방사배열을 한다(Fig. 2). 접선면에서 전형성층은 신장생장을 하는 약간 긴 세포와 횡단분열을 계속하여 길이가 짧고 상하에 횡단벽을 가진 세포들로 구성된다. 따라서 동일구조의 세포로만 구성된 균일한 구조로부터 두 종류의 세포로 구성된 비균일구조로 변화된다(Fig. 10). 짧은 세포들은 종축으로 배열하는데 그 높이는 4-15세포이고 폭은 1-3세포이다. 짧은 세포의 길이는 102  $\mu$ m이고 긴세포는 261  $\mu$ m이다(Table 2).

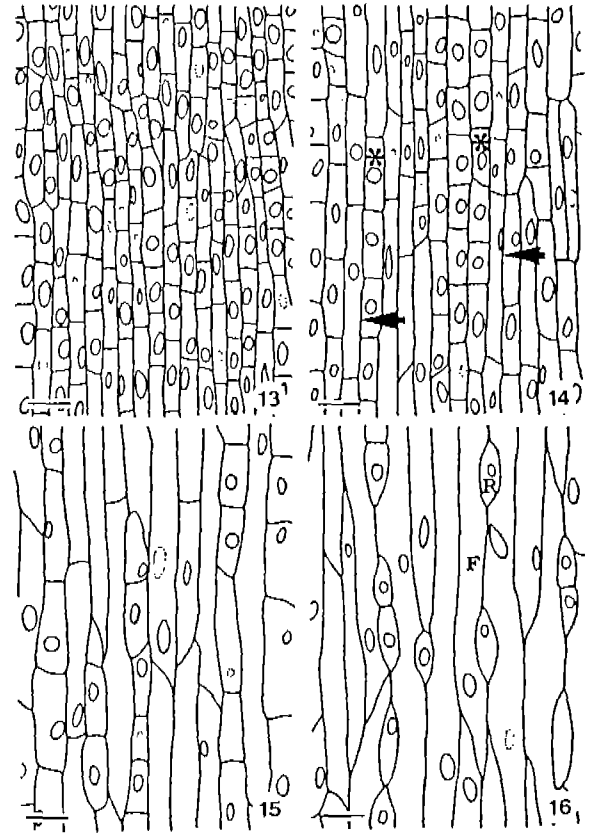
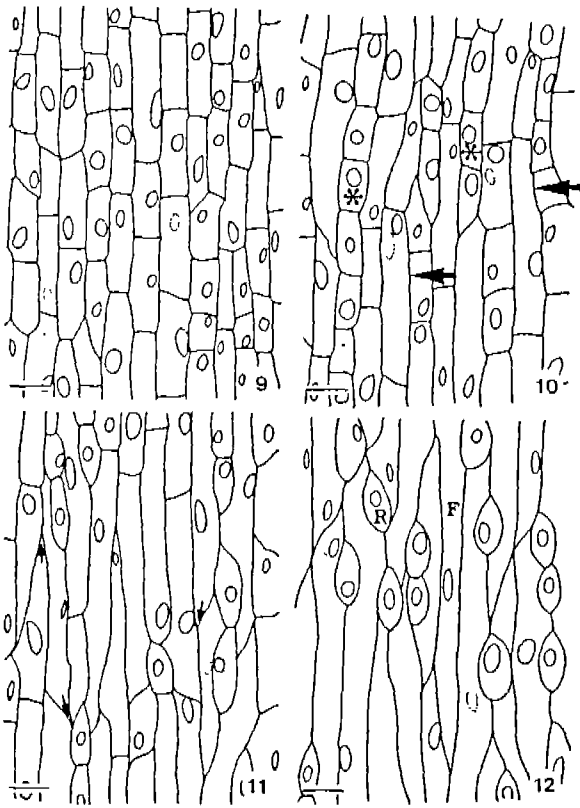
**잎의 전개시기.** 횡단면에서 유관속은 앞의 발생시기와 거의 비슷하나 후생목부 요소의 수가 좀더 많아진다. 전형성층은 점차로 더 활발히 병층분열을 하며, 4-5세포들이 방사배열을 한다(Fig. 3). 접선면에서 전형성층은 뚜렷하게 길이가 길고 짧은 두 종류의 세포로 구성된 비균일구조를 이룬다(Fig. 11). 짧은 세포는 말단벽의 한쪽은 횡단벽이고 다른쪽은 뾰족한 모양을 보이며, 길이는 119  $\mu$ m이다. 짧은 세포는 종축열을 이루는데 높이가 1-7세포, 폭이 1-2세포이다. 긴세포는 계속해서 관입생장을 하므로 말단벽은 아주 뾰족한 모양이고, 길이는 423  $\mu$ m이다(Table 2).

**잎의 성숙시기.** 횡단면에서 유관속조직은 방사배열을 이룬 사부 및 목부요소로 구성되어 있다. 유관속분열조직의 구성세포들은 활발하게 병층분열을하여 방사배열을 하고 있으며, 각 열은 4-6세포들로 되어있다(Fig. 4). 접선면에서 유관속분열조직은 양쪽 말단벽이 뾰족한 짧은 세포와 계속 관입생장을 하여 말단벽이 매우 뾰족하게 된 긴 세포들로 구성되어서, 그 특징이 더욱 뚜렷하게 된다(Fig. 12). 짧은 세포의 종축열은 1-3세포, 폭은 1세포의 단열로 되어있으며 성숙한 유관속형성층의 방사조직 시원세포의 특징을 보인다. 긴세포는 관입생장이 계속되어 길이가 567  $\mu$ m에 이르

Table 2. Length of vascular meristematic cells in the cotyledonary node and the first internode during the growth of *Ginkgo biloba* seedlings

Measurement	Cotyledonary node ( $\mu$ m)		1st internode ( $\mu$ m)	
	Long cell	Short cell	Long cell	Short cell
Internode emerging* (2)	88.65 $\pm$ 3.60		98.50 $\pm$ 2.00	
Internode elongating (4)	261.15 $\pm$ 11.25	102.30 $\pm$ 3.08	296.78 $\pm$ 14.48	104.38 $\pm$ 3.98
Leaf unfolding (8)	423.80 $\pm$ 14.18	119.80 $\pm$ 3.90	470.90 $\pm$ 20.00	120.25 $\pm$ 5.78
Leaf maturing (16)	567.18 $\pm$ 22.73	90.35 $\pm$ 2.85	623.28 $\pm$ 19.73	114.38 $\pm$ 4.80

\*The growth of internode occurred restrictly to the first one.



Figs. 9-12. Tangential sections of the cotyledonary node of 2, 4, 8 and 14-day-old *Ginkgo biloba* seedling. Scale bars=75  $\mu$ m. Fig. 9. Procambium shows a homogeneous structure consisted of uniform short cells with transverse end walls. Fig. 10. Procambium shows a heterogeneous structure consisted of long cells (arrows) and short cells (asterisks). Fig. 11. Heterogeneous structure of procambium is more prominent than in former stage. Arrows indicate the intrusive growth of long cells. Fig. 12. Fusiform (F) and ray initials (R) of the vascular cambium are differentiated. Two types of initials originate from the long and short cells consisting the procambium.

Figs. 13-16. Tangential sections of the first internode of 2, 4, 8 and 16-day-old *Ginkgo biloba* seedling. Scale bars=75  $\mu$ m. Differentiation of the vascular cambium at these four developmental stages shows the same pattern in the cotyledonary node of Figs. 9-12, even though the sampling date of Fig. 12 is different from that of Fig. 16. F, fusiform initials; R, ray initials.

며, 이는 유관속형성층의 방추형 시원세포의 특징을 갖춘 것으로 판단된다. 그러므로 은행나무 유식물의 자엽절에서는 과중 후 14일경에 적어도 하나의 완전히 성숙한 일과 어린잎을 함하여 4-5장 정도 잎이 자라고 있는 시기에 유관속형성층이 발생된다. 또한 이 발생과정은 점진적이어서 유관속형성층은 급격한 분화과정을 거치지 않으며 분화유형은 줄기의 절간에서의 경우와 같다.

**제1절간 및 뿌리의 유관속형성층**

**제1절간의 유관속형성층.** 제1절간의 출현기에 제1

절간의 횡단면에서 유관속의 바깥쪽에 원생사부 그리고 안쪽에 원생목부가 분화 중에 있으며 그 사이에 전형성층이 자리잡고 있다. 전형성층은 병층분열을 시작하나 아직 방사열은 분명치 않다(Fig. 5). 이와 같은 분화상태는 자엽절의 경우와 비슷하나, 목부요소의 분화가 자엽절(Fig. 1)에서 보다 다소 저조하다. 접선면 관찰에서 전형성층은 균일구조를 보이나 구성세포의 길이는 자엽절에서 보다 약간 길고 좁다(Table 2, 3).

횡단면 관찰에서 제1절간 신장기로부터 잎의 성숙기까지의 분화과정은 자엽절에서와 같으나, 분화상태는 각 발생 시기별로 자엽절에서 보다 약간 늦은 것으로 나타났다(비교, Figs. 2-4와 Figs. 6-8). 그리고 접선면 관찰에서 각 발생 시기별 유관속분열조직의 분화도 자엽절에서 보다 조금

Table 3. Width of vascular meristematic cells in the cotyledonary node and the first internode during the growth of *Ginkgo biloba* seedlings

Cell width (μm)	Cotyledonary node	1st internode
Stage (days)		
Internode emerging* (2)	26.90 ± 1.13	17.95 ± 0.73
Internode elongating (4)	31.00 ± 1.80	21.00 ± 1.03
Leaf unfolding (8)	36.43 ± 1.85	28.60 ± 1.05
Leaf maturing (16)	38.83 ± 2.33	29.85 ± 0.83

\*The growth of internode occurred restrictly to the first one.

늦게 일어나며, 유관속형성층은 약 2일정도 늦게 일어난다 (비교, Figs. 9-12와 Figs. 13-16). 또한 긴세포의 길이가 자엽절보다 길고 폭은 좁다(Table 2, 3).

**뿌리의 유관속 형성층.** 뿌리의 유관속형성층 발생은 이미 Soh *et al.*(1988)에 의해서 밝혀진 바 있으므로 뿌리의 유관속형성층은 그 내용의 요점만을 기재한다. 뿌리의 유관속 유형은 외원형으로 줄기의 경우와 상반되므로 유관속형성층의 발생유형도 같을 수는 없을 것이다. 횡단면에서 유관속의 후생사부와 후생목부 사이에 있는 전형성층세포가 병층분열을 시작하여 점차로 원생목부극으로 이어지고, 절곡에는 원생목부 바깥쪽의 내초세포와 연결된다. 접선단면에서 파종 2일경의 어린 뿌리의 전형성층은 균일구조를 하고 있지만 구성세포가 모두 신장생장을 했다가 일부의 세포는 횡단분열을 하므로 길고 짧은 두 종류의 세포로된 비균일 구조를 이룬다. 긴 세포로부터 방추형시원세포가 그리고 짧은 세포로부터 방사조직시원세포가 기원된다. 긴세포 또는 방추형시원세포의 길이는 자엽절이나 제 1 절간에서 보다 훨씬 길다(Soh *et al.*, 1988, Table 2). 이와 같은 유관속형성층의 초기발생이 완성되는 것은 파종 후 18일경에 잎이 6장쯤 나올 때이다.

### 고 찰

은행나무 유식물의 자엽절에서 유관속형성층의 분화유형은 줄기의 경우와 같다 (Soh, 1972, Figs. 9-16). 이 결과는 자엽절은 이미 배측에서 유관속전이 일어나기 때문에 내원형유관속을 가지고 있는 등 줄기의 유관속과 같은 것과 관계가 있을것이다(Hong and Soh, 1983). 줄기의 절이나 자엽절에 관한 연구는 엽적 및 엽극의 숫적 변화를 계통학적인 견지에서 많이 수행되었으나(Bailey, 1956; Dickin-

son, 1969; Howard, 1974; Sugiyama, 1976, 1980, 1981), 유관속조직 및 유관속형성층의 분화라는 면에서 수행된 예는 별로 없다. *Coleus*와 소나무류의 연구에서 줄기의 절 또는 자엽절의 유관속조직 및 유관속형성층 분화가 주위의 기관보다 먼저 일어나는데, 그 이유는 내재육신이 생장 중인 잎이나 자엽으로부터 이동되어 부분적으로 높은 농도를 유지하기 때문일 것이다(Bruck and Paolillo, 1984; Saks and Aloni, 1985). 은행나무 유식물은 자성배우체내에 자엽이 수 개월간 머물러 있으면서 자성배우체 조직으로부터 영양분 및 생장호르몬을 공급 받는 것으로 보인다(Soh *et al.*, 1988). 그러므로 자엽절에서의 유관속조직 및 유관속형성층의 분화가 빨리 이뤄지는것으로 생각된다.

본 실험에서 자엽절의 유관속형성층이 최초로 발생되는 시기에 성숙한 1-2장의 잎을 포함하여 5장의 잎이 자라고 있는 것으로 관찰되었다. 은행나무 유식물에서는 성숙한 잎을 포함하여 6장의 잎이 자라고 있는 시기에 뿌리의 초기 유관속형성층 발생이 일어난다(Soh *et al.*, 1988). 그러므로 자엽절에서 먼저 유관속형성층이 발생되고 나서 배측뿌리의 방향으로 그리고 줄기로 향한 양방향 발생이 진행되는 것으로 판단된다.

자엽절에서 유관속형성층 시원세포는 초기 전형성층의 균일한 세포로부터 점진적으로 관입생장을 거친 긴세포가 방추형시원세포로, 그리고 횡단분열을 계속하던 짧은세포가 방사조직 시원세포로 분화된다. 이러한 분화과정은 많은 다른 식물줄기에서와 유사하나(Soh, 1990), 같은 식물인 은행나무 뿌리에서의 유관속형성층 발생유형과는 다르다 (Soh *et al.*, 1988). 유관속형성층의 초기분화 특징을 판별하기 위한 기준은 유관속형성층 자체의 특징을 고려할 때 방사조직 시원세포의 분화를 주된 참고사항으로 삼아야 한다(Soh, 1972, 1990; Bruck and Paolillo, 1984). 그러므로 유관속형성층 시원세포의 분화과정의 추적은 발생 시기별 구조상의 차이점을 접선단면 관찰로 판별해야 한다.

자엽절에서 전형성층의 긴세포로부터 유관속형성층의 방추형시원세포가 분화되기까지 그 길이는 제 1 절간에서의 것보다 짧은데 세포의 폭은 더 넓게 나타났다(Table 2). 소나무의 자엽절에서 가도관의 폭은 배측에서 보다 좁으며 이런 결과는 내재육신의 농도가 더 높는데 기인한다는 보고가 있다(Saks and Aloni, 1985). 또한 줄기로부터 뿌리로 내려 갈수록 통수요소가 길고 넓은 것은 육신농도가 뿌리로 갈수록 낮아지므로 분화 중에 세포신장 및 확대가 충분히 일어나면서 분화가 완료되기 때문이라는 해석이 있다 (Aloni, 1988). 이와 같은 점을 고려해 볼 때, 은행나무 자엽절에서 제 1 절간 보다 유관속형성층 시원세포의 길이가 짧은것은 이 부위에 내재육신 농도가 높음에서 기인된 것으로 추정된다. 그러나 부위별 내재육신의 함량을 측정할 직접적인 근거를 제시할 수 있을 때 이에 대한 정확한

결론을 내릴수 있을 것이므로 앞으로 이에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다. 또 한가지 간과할 수 없는 사항으로서, Table 1에서와 같이, 자엽절에서 신장생장이 거의 일어나지 않으므로 신장생장이 활발히 일어나는 제 1 절간보다 세포신장에 미치는 물리적인 영향이 없다는 것이다. 그러므로 세포신장은 내재옥신 농도와 그밖에 관련성이 있는 모든 요인을 종합적으로 검토해야 할 것이다.

## 적 요

은행나무 유식물에서 유관속형성층은 성숙한 잎을 포함하여 5장의 잎이 자라고 있을 때 제일 먼저 자엽절에서 발생되고, 이어서 지하기관인 배측-뿌리로 그리고 지상부의 줄기로 즉, 양쪽 방향으로 분화되었다. 접선면 관찰에서 자엽절의 유관속형성층 발생유형은 줄기와 같고 뿌리와는 다르다. 자엽절에서 초기의 전형성층은 동일형의 세포로 구성된 균일구조를 이루고, 발생이 진행됨에 따라 신장생장을 하는 일부세포와 횡단분열을 하는 나머지 세포의 두 종류 세포로 된 비균일 구조로 전환된다. 신장을 하는 긴 세포로부터 유관속형성층의 방추형 시원세포가 그리고 횡단분열을 하는 짧은 세포로부터 방사조직 시원세포가 기원된다. 그러므로 방추형 시원세포는 심한 관입생장을 거쳐서 발생된다.

## 참 고 문 헌

- Aloni, R. 1988. Vascular differentiation within the plant. In, Vascular Differentiation and Plant Growth Regulators, L.W. Roberts, P.B. Gahan and R. Aloni (eds.). Springer-Verlag, Berlin, pp. 39-62.
- Bailey, I.W. 1956. Nodal anatomy in retrospect. *J. Arnold Arbor. Harv. Univ.* **37**: 269-287.
- Berlyn, B.G. and J.P. Miksche. 1976. Botanical Microtechnique. McGraw-Hill, New York. pp. 54-120.
- Butterfield, B.G. 1976. The ontogeny of the vascular cambium in *Hoheria angustifolia* Raoul. *New Phytol.* **77**: 409-420.
- Bruck, D.K. and D.J. Paolillo, 1984. Anatomy of nodes vs. internodes in *Coleus*: The nodal cambium. *Am. J. Bot.* **71**: 142-150.
- Dickinson, W. C. 1969. Comparative morphological studies in Dilleniaceae. . Anatomy of the node and vascularization of the leaf. *J. Arnlid Arbor. Harv. Univ.* **50**: 384-400.
- Esau, K. 1965. Vascular Differentiation in Plants. Holt, Rinehart & Winston, New York. 48 p.
- Fahn, A., R. Ben-Sasson and T. Sachs. 1972. The relation between the procambium and the cambium. In, Research Trends in Plant Anatomy, A.K.M. Ghouse(ed.), Tata McGraw-Hill, New York. pp. 161-170.
- Hong, S. S., and W. Y. Soh. 1983. Vascular differentiation in the mature embryo and the seedling of *Ginkgo biloba* L. *Korean J. Bot.* **26**: 207-216.
- Howard, R. A. 1974. The stem-node-leaf continuum of the Dicotyledoneae. *J. Arnold Arbor. Harv. Univ.* **55**: 125-173.
- Kang, K.D. and W.Y. Soh. 1988. Origin of the vascular cambium in the developing hypocotyl of *Glycine max* seedling. *Korean J. Bot.* **31**: 289-298.
- Saks, Y. and R. Aloni. 1985. Polar gradients of tracheid number and diameter during primary and secondary xylem development in young seedlings of *Pinus pinea* L. *Ann. Bot.* **56**: 771-778.
- Soh, W.Y. 1972. Early ontogeny of vascular cambium I. *Ginkgo biloba*. *Bot. Mag. Tokyo* **85**: 111-124.
- Soh, W.Y. 1974a. Early ontogeny of vascular cambium II. *Aucuba japonica* and *Weigela coraensis*. *Bot. Mag. Tokyo* **87**: 17-32.
- Soh, W.Y. 1974b. Early ontogeny of vascular cambium III. *Robinia pseudoacacia* and *Syringa oblata*. *Bot. Mag. Tokyo* **87**: 99-112.
- Soh, W.Y. 1990. Origin and development of cambial cells. In, The Vascular Cambium, M. Iqbal, ed., Research Studies Press, Tauton, England, pp. 37-62.
- Soh, W.Y. 1992. Origin and development of the interfascicular cambium from residual meristem in seed plants. *Korean J. Bot.* **35**: 273-282.
- Soh, W.Y., S.S. Hong and D.Y. Cho. 1988. The ontogeny of the vascular cambium in *Ginkgo biloba* root. *Bot. Mag. Tokyo.* **101**: 39-53.
- Soh, W.Y., K.D. Kang and W.Y. Yang. 1989. Ontogeny of the interfascicular cambium in the hypocotyl of *Ricinus communis* L. Proc. 2nd Paci. Reg. Wood Anat. Conf. pp. 349-358.
- Soh, W.Y., S.S. Hong and D.Y. Cho. 1990. The ontogeny of the vascular cambium in *Acer saccharinum* L. seedling the first internode. *Plant Morphology* **2**: 15-21.
- Soh, W.Y., S.S. Hong and D.Y. Cho. 1991. Early ontogeny of vascular cambium in the seedling roots of *Acer saccharinum* L. *Korean J. Bot.* **34**: 311-316.
- Sugiyama, M. 1976. Comparative studies of the vascular system of node-leaf continuum in woody Ranales I. Diversity in successive nodes of first-year plants of *Magnolia virginiana* L. *Bot. Mag. Tokyo* **89**: 33-43.
- Sugiyama, M. 1980. Comparative studies of vascular system of node-leaf continuum in the Ranalian complex (1) *Clematis willwamsii* and *Paemonia japonica*. *J. Jap. Bot.* **55**: 114-122.
- Sugiyama, M. 1981. Comparative studies of vascular system of node-leaf continuum in the Ranalian complex (2) *Sargentodoxa cuneata* Rehd. & Wils. *J. Jap. Bot.* **56**: 252-259.