

은행나무와 곰솔의 줄기 및 뿌리의 성장과 해부형태에 미치는 인공산성비의 효과

김명란 · 조애령 · 조덕이¹ · 소용영*

전북대학교 자연과학대학 생물과학부, ¹우석대학교 생물학과

적 요 - 은행나무 줄기와 뿌리의 해부학적 관찰에서 횡단면의 가도관의 접선직경, 세포면적, 세포벽 두께 및 방사열에서 세포층수는 산성비의 pH가 낮아짐에 따라 감소되었다. 은행나무의 절선면에서 관찰한 줄기와 뿌리의 방추형 시원세포의 길이와 방사조직 시원세포의 길이는 산성비 처리에 의해 짧아지는 경향을 나타내었다. 곰솔의 줄기와 뿌리의 횡단면에서 가도관의 접선직경, 세포면적, 세포벽 두께 및 방사열에서 세포층수 역시 산성비 처리에 의해 pH가 낮아짐에 따라 감소되었다. 곰솔의 피층, 수와 목부의 면적은 산성비 처리에 의해 감소되었다. 따라서 산성비는 은행나무와 곰솔의 길이생장은 물론 형성층의 활동력을 감소시켜 2기목부의 분화를 둔화시키는 것으로 보인다.

서 론

여러 가지 환경요인의 변화는 식물체내의 생리적 변화와 함께 2기 목부의 분화에 영향을 미치는 것으로 알려져 왔다 (Fahn 1964; Bissing 1982; Creber and Chaloner 1984; Iqbal and Ghouse 1987; Iqbal *et al.* 1987; 임과 소 1991, 1993). 환경요인중 대기오염물질에 의한 수피와 도관요소, 나이트, 및 사부요소 등의 식물 형태 및 해부학적 변이에 대한 연구 (Wahlmann *et al.* 1986; Iqbal *et al.* 1987; Ahmad and Kalimullah 1988; Mahmooduzzafar 1991)가 이루어진 바 있으며 최근 산성비에 의한 식물의 성장 및 생리학적인 변화에 연구보고가 있다 (김 1991; 김과 소 1994). 그러나 산성비의 영향에 대한 목본식물의 해부학적 연구는 나이트 분석에 관한 연구 (Jagels 1986) 외에는 찾아보기 어려울 뿐만 아니라, 환경변화에 대한 유관속 조직의 분화에 관한 연구는 아직 초보단계에 있다. 또한 2기 목부요소의 구조적 변이에 대한 연구는 주로 계절적인 또는 연륜에 따른 변화에 관한 연구가 주류를 이루고 있으며 (Dinwoodie 1961; Panshin and de Zeeuw 1980) 2기 목부의 구조적 변화를 기원조직인 형성층의 구조적 변화와 관련지어 수행된 연구는 거의 없다.

그러므로 본 연구는 가로수나 공원식수로 널리 이용되고 있으며 병충해 및 스모그와 같은 오염에 저항성이 강한 식물로 알려져 있는 은행나무와 비교적 감수성이 있는 곰솔의 유식물에서 줄기의 부위별 및 뿌리에서의 유관속 형성층과 2기목부의 구조적 변화에 미치는 인공산성비의 영향을 밝히고자 시도되었다.

재료 및 방법

1. 재료

은행나무 (*Ginkgo biloba* L.)와 곰솔 (*Pinus thunbergii* Franco P.)의 종자를 흐르는 물에서 24시간 침적시킨 후 모래에 묻어 종피의 개갑을 유도하였다. 유근의 길이가 1 mm 정도 되는 종자만을 선별하여 수세한 모래를 채운 플라스틱 화분 (40×24.5×16 cm)에 이식하였다. 각 처리구당 화분을 2개씩 하여, 각 화분당 은행나무는 20개씩의 종자를, 그리고 곰솔의 경우 100~120개의 종자를 파종하였다. 그리고 온실에서 3개월간 재배하였다. 종자의 발아는 이식 후 10일부터 시작되었으며 성장상태가 균일한 식물을 골라서 각 처리구 별로 실험에 사용하였다.

인공산성비를 처리하고 12주가 지난 후 발생단계 및 부위별로 성장정도가 비슷한 유식물을 선정하여 은행나무는 제1절간과 제2절간에서 각각 5 mm 이상되는 부

* Corresponding author: Woong-Young Soh, Tel. 063-270-3362, Fax. 063-270-3362, E-mail. sohwy@moak.choobuk.ac.kr

Table 1. Dimension of tracheid in transectioned stem of *Ginkgo biloba* seedling treated with simulated acid rain of different pH levels for 12 weeks

pH	Internodes	No. of cells in radial file	Area / cell (μm^2)	Maximal diameter (μm)	Minimal diameter (μm)	Wall thickness (μm)
Second						
2.4		7~13	147.9 \pm 39.1*	18.8 \pm 2.0	11.9 \pm 2.0	0.236 \pm 0.042
3.2		13~16	175.1 \pm 52.7	18.4 \pm 3.1	12.9 \pm 2.1	0.268 \pm 0.046
4.0		13~20	250.1 \pm 71.2	21.8 \pm 3.1	15.2 \pm 2.5	0.359 \pm 0.046
5.6		17~28	237.0 \pm 62.5	21.0 \pm 2.9	19.2 \pm 1.7	0.256 \pm 0.034
First						
2.4		7~14	176.9 \pm 48.6	18.8 \pm 2.9	12.7 \pm 2.2	0.255 \pm 0.051
3.2		13~21	239.0 \pm 70.9	21.4 \pm 3.6	12.9 \pm 2.4	0.284 \pm 0.047
4.0		15~22	228.0 \pm 58.0	20.2 \pm 2.4	15.0 \pm 2.8	0.266 \pm 0.055
5.6		19~34	250.3 \pm 66.9	21.5 \pm 2.8	15.5 \pm 2.5	0.273 \pm 0.044

* Mean and standard deviation of mean (n = 50)

위의 줄기를, 그리고 뿌리의 지하부 5 mm 아래의 부분을 채취하였다. 곰솔의 경우 줄기는 정단에서 5 mm 아래 부분과 기부에서 5 mm 윗부분을, 그리고 뿌리는 자엽절로부터 10 cm 아래의 부분을 채취하였다.

2. 인공산성비

인공산성비의 성분은 1 N 황산(H_2SO_4)과 질산(HNO_3)을 3:1 (v/v)의 비율로 혼합하여 지하수로 조제하였다. 인공산성비의 pH는 지하수 (pH 6.3)로 희석하여 2.4, 3.2, 4.0 그리고 5.6으로 조정하였으며 pH 5.6을 대조구로 하였다. 인공산성비의 처리는 발아된지 1주일 후부터 플라스틱 분무기로 화분당 250 ml을 매주 3회, 5분간씩 분무해 주었다.

3. 해부학적 관찰

위에서와 같이 부위별로 채취된 재료를 고정 전에 주축의 상부에 먹물로 표식하여 FAA에 고정한 후 t-butyl alcohol series의 탈수과정을 거쳐 paraplast에 매몰하였다. 매몰된 재료를 rotary microtome으로 10 μm 두께의 횡단면과 접선단면으로 절편을 만들어 safranin, hematoxylin 및 light green으로 삼원 염색한 후, 카나다 발삼으로 봉입하여 영구조직 표본을 만들었다 (Sass 1971). 이 조직표본을 검경하여 줄기 및 뿌리에서 방추형 시원세포의 길이와 방사조직 시원세포의 높이와 길이 및 가도관의 방사열등을 측정 관찰하였다. 또한 2기 목부에서 가도관세포의 접선직경, 면적 및 세포벽 두께를 영상 분석기를 이용하여 측정하였으며, 각 구성조직의 상대적인 면적을 측정하였다.

결 과

은행나무 유식물 줄기의 제1절간과 제2절간 및 뿌리

Table 2. Dimension of tracheid in transectioned root of *Ginkgo biloba* seedling treated with simulated acid rain of different pH levels for 12 weeks

pH	Tracheid				
	No. of cells in radial file	Area / cell (μm^2)	Maximal diameter (μm)	Minimal diameter (μm)	Wall thickness (μm)
2.4	13~17	235.7 \pm 78.0*	21.2 \pm 3.3	15.1 \pm 2.8	0.240 \pm 0.040
3.2	12~31	373.8 \pm 12.7	25.8 \pm 4.2	18.8 \pm 3.4	0.278 \pm 0.036
4.0	20~34	298.1 \pm 12.2	23.4 \pm 4.6	16.4 \pm 3.3	0.327 \pm 0.045
5.6	24~37	333.7 \pm 96.3	24.5 \pm 4.0	18.0 \pm 2.9	0.287 \pm 0.040

*Mean and standard deviation of mean (n = 50)

의 횡단면에서 2기 유관속 분화가 완성되어 있으며 폭이 넓은 가도관과 좁은 가도관으로 구성되어 있었다. 제1절간의 횡단면에서 2기목부 가도관의 방사열은 pH 5.6의 처리구에서 19~34층, pH 4.0에서 15~22층, pH 3.2에서 13~21층, 그리고 pH 2.4에서 7~14층이었다. 또한 제2절간에서 pH 5.6의 처리구에서 17~28층, pH 4.0에서 13~20층, pH 3.2에서 13~16층 및 pH 2.4에서 7~13층의 세포들로서 pH가 낮아짐에 따라 점진적인 감소를 보였다 (Table 1). 가도관의 횡단면적과 접선직경은 산성비의 pH가 낮아짐에 따라 감소하는 경향이였다. 가도관의 벽비후는 pH 2.4의 처리구에서 (0.236 \pm 0.04 μm) 다른 처리구에 비해 두께가 가장 얇았으며 줄기에서는 pH 3.2에서 가장 두꺼웠다.

뿌리에서 가도관의 방사열은 pH 5.6 처리구에서 24~37층, pH 4.0 처리구에서 20~34층, pH 3.2 처리구에서 12~31층 및 pH 2.4 처리구에서 13~17층으로 산성비에 의해 역시 점진적으로 감소하였다. 뿌리에서는 가도관의 접선직경과 횡단면적이 대조구에 비하여 산성비 처리에 의해 좁게 나타났으나 pH 3.2의 처리구에서 가도관의 횡단면적이 373.8 \pm 12.7 μm^2 로 다른 처리구에 비해 넓게 나타났다 (Table 2). 부위별 가도관의 접선직

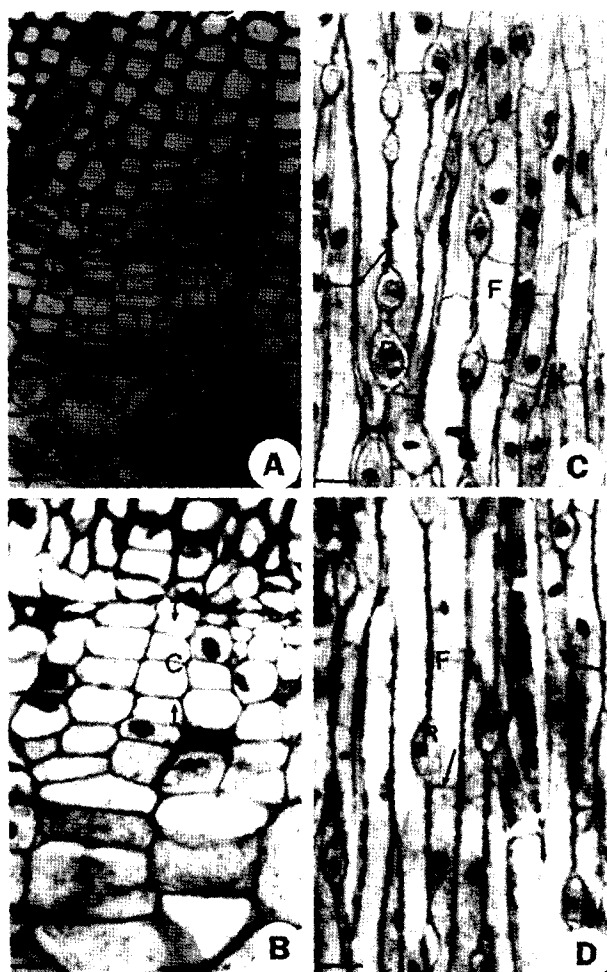


Fig. 1. Transverse and tangential sections of cambium in stem of *G. biloba* treated with simulated acid rain of pH 2.4 and 5.6, respectively. Bar represents 50 μ m. The cambial zone of control (pH 5.6, Fig. 1B) is wider than that of stem of *G. biloba* treated with simulated acid rain of pH 2.4 (Fig. 1A). Length of fusiform initials of control (Fig. 1D) is longer than that of stem of *G. biloba* treated with simulated acid rain of pH 2.4 (Fig. 1C). C; cambial zone, F; fusiform initial, R; ray initial.

경과 세포면적 및 방사열에서의 세포층수는 줄기가 뿌리에 비해 산성비의 처리에 의한 영향이 심하게 나타났다. 가도관의 세포벽 두께는 pH가 낮아짐에 따라 감소되었으나 pH 4.0 처리구에서 가장 두꺼웠다.

은행나무 줄기에서 유관속 형성층은 pH 5.6과 pH 4.0의 처리구에서 5~6층, pH 3.2와 pH 2.4에서 3~4층의 세포들이 방사방향으로 배열되어 있었다(Figs. 1A, B). 접선면에서 방추형 시원세포는 위형분열을 하여 종축열을 이루고 격벽은 뾰족한 침상으로 활발한 관입생장을 하고 있었다(Figs. 1C, D). 뿌리의 횡단면 관찰에서 유관

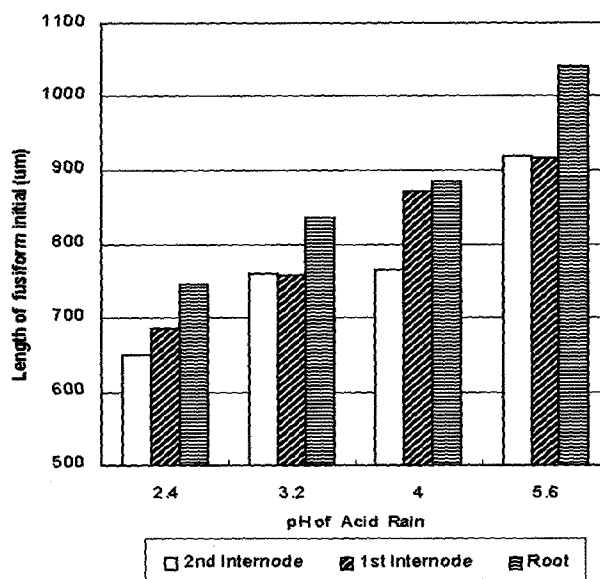


Fig. 2. Length variation of fusiform initials in *G. biloba* seedling treated with simulated acid rain of different pH levels for 12 weeks.

Table 3. Size variation of cambial initials in tangentially sectioned stem of *Ginkgo biloba* seedling treated with simulated acid rain of different pH levels 12 weeks

pH	Internodes	Fusiform initial Length (μ m)	Ray initial		Cambial initial cell layer
			Length (μ m)	Height	
Second					
2.4		650.0 \pm 42.7	170.4 \pm 7.7	1~2	
3.2		761.2 \pm 38.5	199.6 \pm 15.9	1~3	
4.0		765.2 \pm 39.6	186.0 \pm 12.2	1~3	
5.6		918.4 \pm 49.9	203.2 \pm 13.8	1~3	
First					
2.4		685.6 \pm 41.6*	144.4 \pm 9.8	1~3	3~4
3.2		757.2 \pm 50.0	179.6 \pm 13.8	1~3	3~4
4.0		870.0 \pm 44.9	198.4 \pm 14.1	1~3	5~6
5.6		914.0 \pm 55.7	203.2 \pm 12.7	1~3	5~6

*Mean and standard deviation of mean (n = 30)

Table 4. Size variation of cambial initials in tangential sectioned root of *Ginkgo biloba* seedling treated with simulated acid rain of different pH levels for 12 weeks

pH	Fusiform initial Length (μ m)	Ray initial		No. of cambial initial in radial file
		Length (μ m)	Height (cell)	
2.4	745.2 \pm 60.3*	142.8 \pm 7.5	1~3	3~5
3.2	835.2 \pm 42.3	208.4 \pm 13.4	1~3	3~5
4.0	884.4 \pm 53.1	239.6 \pm 13.8	1~3	5~6
5.6	1014.8 \pm 70.8	236.0 \pm 8.5	1~4	5~6

*Mean and standard deviation of mean (n = 30)

Table 5. Dimension of tracheid in transectioned stem of *Pinus thunbergii* seedlings treated with simulated acid rain of different pH levels for 12 weeks

pH	Stem part	No. of cells in radial file	Area / cell (μm ²)	Maximal diameter (μm)	Minimal diameter (μm)	Wall thickness (μm)
Distal ^a						
2.4		2~9	10.41±2.64*	4.49±0.56	3.00±0.44	0.176±0.029
3.2		3~12	10.01±2.41	4.39±0.70	2.87±0.37	0.162±0.039
4.0		3~11	11.41±3.29	4.66±0.64	3.24±0.56	0.169±0.034
5.6		3~12	13.44±5.31	5.03±0.99	3.44±0.72	0.185±0.035
Basal						
2.4		3~10	12.51±3.35	4.90±0.75	3.33±0.55	0.176±0.034
3.2		3~13	13.14±3.79	5.12±0.79	3.41±0.54	0.168±0.030
4.0		3~13	11.73±3.28	4.90±0.71	3.24±0.53	0.180±0.040
5.6		3~14	13.60±3.71	5.15±0.90	3.55±0.54	0.182±0.033

* Mean and standard deviation of mean (n = 30)
^a Lower stem of first internode

Table 6. Dimension of tracheid in transectioned root of *Pinus thunbergii* seedlings treated with simulated acid rain of different pH levels for 12 weeks

pH	No. of cells in radial file	Area / cell (μm ²)	Maximal diameter (μm)	Minimal diameter (μm)	Wall thickness (μm)
2.4	3~10	16.55±4.36*	5.60±0.69	3.83±0.74	0.186±0.063
3.2	3~13	16.54±6.61	5.69±1.00	3.77±1.02	0.214±0.070
4.0	3~12	17.58±6.16	5.96±1.07	3.82±0.77	0.229±0.034
5.6	3~17	18.15±3.34	6.05±0.65	4.26±0.52	0.233±0.068

* Mean and standard deviation of mean (n = 30)

속 형성층의 세포층수는 pH 5.6과 pH 4.0에서는 5~6층, pH 3.2와 pH 2.4에서는 3~5층의 세포들이 방사배열을 하고 있었다(Table 4). 접선면에서 관찰한 줄기와 뿌리의 유관속 형성층에서 방추형 시원세포의 길이는 산성비의 pH가 낮아질수록 짧아졌으며, 줄기에서보다 뿌리에서 더 길었다(Fig. 2). 산성비의 산도에 따른 방추형 시원세포의 길이는 pH가 낮을수록 짧았으며 방사조직 시원세포의 길이는 pH 2.4의 처리구에서 줄기나 뿌리에서 모두 가장 짧았으며(대조구 203.2±13.8 μm) 산성비의 pH가 낮아짐에 따라 짧아졌다(Table 3, 4). 방사조직 시원세포의 높이는 1~3층이고 폭은 단열로 산성비 처리에 따른 변화가 없었다.

곰솔줄기의 횡단면에서 가도관의 방사열은 pH 2.4처리구에서 2~9층으로 가장 적었으며, 평균 3~12층으로 대조구에 비해 산성비 처리에 따라서 감소되는 경향을 보였다(Table 5). 곰솔줄기의 정단부위에서 가도관의 횡단면적과 접선직경은 산성비의 pH가 낮아짐에 따라 전체적으로 작아지는 경향을 보였다. 기부쪽의 줄기에서는 가도관의 횡단면적과 접선직경이 정단부위에 비해 넓었으며, pH 4.0의 처리구에서 가도관의 횡단면적은 11.73 μm²로 가장 작았다. 가도관의 세포벽 두께는 산성비 처리구에서 대조구에 (0.183 μm 정도) 비해 얇게 나타났으

Table 7. Anatomical characteristics of cambial zone and phellem in the transectioned stem and root of *Pinus thunbergii* seedlings

pH	Organ	No. of cell in radial file	
		Cambial initial	Phellem
2.4	Stem	2~4	3~6
	Root	2~4	5~6
3.2	Stem	3~4	3~4
	Root	3~4	6~7
4.0	Stem	3~4	3~4
	Root	3~5	6~7
5.6	Stem	3~5	3~4
	Root	3~5	6~7

나 pH간에 큰 차이는 없었다(Table 5).

곰솔의 뿌리에서 가도관의 횡단면적과 접선직경 및 세포벽 두께 등은 대조구에 비해 산성비의 pH가 낮아지면 감소하는 경향이었으나 pH 2.4와 pH 3.2처리간에는 큰 차이가 없었다(Table 6). 곰솔의 부위별 가도관의 접선직경과 횡단면적, 방사열에서의 세포층수 및 벽두께는 뿌리보다 줄기에서 크게 감소되었다. 줄기에서 코르크층은 pH 2.4의 처리구에서 3~6층으로 다른 처리구의 3~4층에 비해 세포층수가 더 많았다(Table 7).

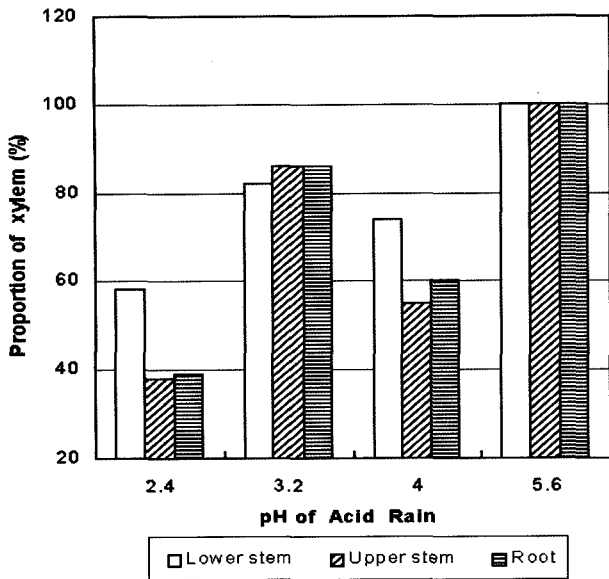


Fig. 3. Xylem area in the transectioned in stem and root of *P. thunbergii*. Lower stem, Basal part of main stem; Upper stem, Lower stem of the first internode.

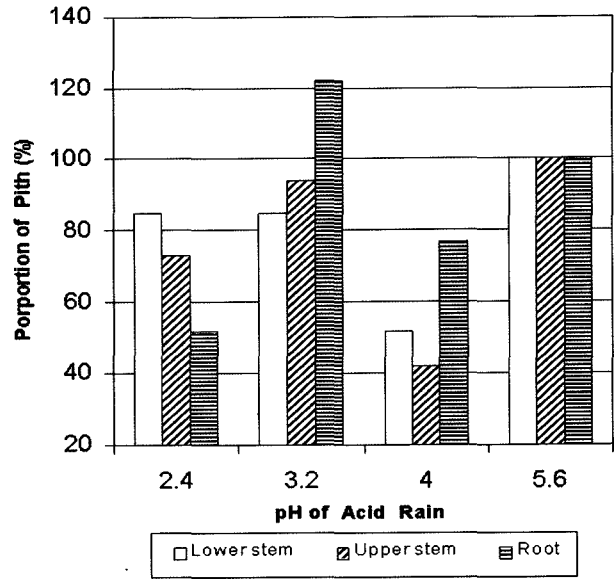


Fig. 5. Pith area in the transectioned in stem and root of *P. thunbergii*. Lower stem, Basal part of main stem; Upper stem, Lower stem of the first internode.

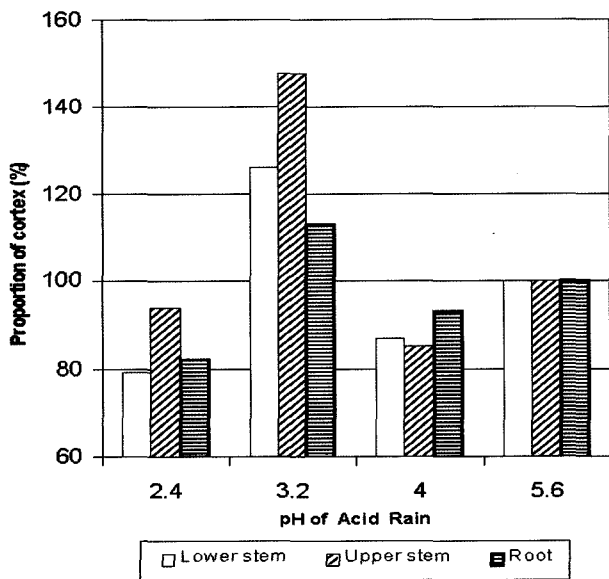


Fig. 4. Cortex area in the transectioned in stem and root of *P. thunbergii*. Lower stem, Basal part of main stem; Upper stem, Lower stem of the first internode.

곰솔의 횡단면에서 2기목부, 피층 및 수의 상대적인 면적의 비율에 있어서 2기목부의 면적은 산성비의 처리구에서 대조구에 비해 감소하였으며, 특히 pH 2.4에서 현저한 감소를 보였고, 부위별로는 기부쪽 줄기 > 뿌리 >

정단부 줄기의 순으로 나타났다(Fig. 3). 피층의 면적은 대조구에 비해 pH 3.2에서 현저하게 커졌고, 줄기의 정단부위 > 뿌리 > 기부쪽 줄기의 순으로 나타났다(Fig. 4). 수의 면적은 산성비 처리구에서 대조구에서 보다 감소하였으나, 뿌리에서는 pH 3.2 처리구에서 대조구에 비해 크게 증가하였다(Fig. 5).

고 찰

은행나무와 곰솔의 가도관의 횡단면적, 접선직경 및 벽의 두께 그리고 방사열에서의 세포층수는 산성비의 처리에 의해 감소되었다. 이 결과는 산성비에 의해 신장생장의 억제(김과 소 1994)는 물론, 비대생장에 있어서도 형성층의 활동력이 약화되어 2기목부의 분화가 저조했기 때문인 것으로 생각된다.

오염된 대기환경에서 자란 *Lantana camara*에서는 목부면적 및 도관요소의 길이가 증가되었다(Iqbal et al. 1987). 그러나 *Cassia occidentalis*와 *Chenopodium album*에서는 도관 길이, 폭 및 도관의 수 등이 모두 감소하였다(Ahmad et al. 1987; Iqbal et al. 1987). 이러한 연구들과 본 연구의 결과들은 대기오염 및 산성비와 같은 스트레스를 받은 환경에서 자란 식물의 성장반응은 종들의 내성에 따라서 다르게 나타남을 시사하며, 따라서 환경오염의 영향에 대한 수준별 성장 반응이 밝혀져야

할 것으로 보인다.

산성비의 산성도가 높아질수록 가도관이 작아지는 것은 방추형 시원세포의 길이가 짧아지는 것과 같은 경향이였다. 따라서 가도관의 길이 감소는 방추형 시원세포의 길이 변화로부터 유래한 것이지 가도관의 분화과정에 나타난 변화가 아닌 것으로 판단된다. 산성비의 처리구 중 pH 3.2에서 가도관의 접선직경, 횡단면적 및 방사열에서의 세포층수등이 증가경향을 보였다. 이것은 pH 3.2에서 생장이 촉진되었던 이전의 결과(김과 소 1994)와 비교해 보면 정단분열조직의 활발한 신장생장과 더불어 형성층의 활동력이 활발하기 때문인 것으로 생각된다. 부위별로는 가도관의 접선직경, 횡단면적 및 방사열에서의 세포층수가 제2절간 < 제1절간 < 뿌리의 순으로 컸다. 이와 같은 결과는 정단부에서부터 거리가 멀어짐에 따라 오옥신의 농도가 낮아짐으로써, 도관 및 가도관의 분화율은 감소하여 도관직경이 커지면서 도관의 수는 점진적으로 감소한 결과로 보인다(Aloni 1980, 1987; Colbert and Evert 1982; Zimmermann and Poter 1982; Aloni and Zimmermann 1983). *Populus robusta*, *Picea abies* 그리고 *Picea sitchensis*에서 오옥신은 세포의 크기를 증대시키는 것으로 알려졌다(Digby and Wareing 1966; Denne and Wilson 1977). 또한 가도관의 직경, 횡단면적 및 방사열에서의 세포층수등이 줄기보다 뿌리에서 증가된 것으로 볼 때, 산성비에 의해 뿌리보다 지상부의 생장이 더 억제된 결과(김과 소 1994)로 해석된다.

은행나무와 곰솔의 유관속 형성층의 방사열의 세포층수는 산도가 높아질수록 감소되었다. 그리고 은행나무의 유관속 형성층에서 방추형 및 방사조직 시원세포들의 길이 역시 산성도가 높아질수록 짧아졌다. 이런 결과는, 수분 스트레스를 받은 잣나무에서 형성층 시원세포의 길이가 짧아지는 것과(임과 소 1993) 같이, 강한 산성비 역시 형성층 시원세포들의 길이생장에 스트레스를 주어 저해요인으로 작용한 것으로 보인다.

산도가 낮아질수록 도관요소의 크기가 커지고 방추형 시원세포의 길이가 길어지는데, 이는 형성층 세포의 길이가 길게 나타나는 것은 짧은 시원세포의 소실로 인접한 시원세포의 관입생장이 활발하게 일어남으로써 2기 목부의 분화가 증가된 것으로 사료된다(Bannan and Bailey 1956; Philipson *et al.* 1971). 한편 산도가 높아질수록 형성층 시원세포의 길이가 짧아진 결과는 산성비의 스트레스에 의해서 형성층의 세포분열 능력이 감소되고 신장생장이 이루어지지 못해 형성층 세포의 길이가 짧아진 것으로 사료된다.

형성층 시원세포는 수층분열에 의한 시원세포의 증가

및 병층분열에 의한 2기목부의 증가로써 비대생장이 이루어진다(Wilson 1966; Ghose and Iqbal 1977; Iqbal and Ghose 1987). 그러나 형성층 시원세포의 수층분열의 빈도가 높으면 세포의 길이는 감소되고 빈도가 낮으면 길어진다(Bannan 1951; Evert 1961)는 견해가 있는 반면 수층분열이 방추형 시원세포의 길이에 별로 영향을 미치지 않으며 길이의 변화는 유전적 결과(Bannan 1964)라는 견해도 있다. 그러므로 형성층의 활동은 복합적인 요인에 의해 조절되는 것으로 생각된다.

산성비의 영향에 의해 곰솔의 목부, 피층 및 수의 면적이 감소된 결과는 대기오염의 영향으로 피층과 목부의 면적이 증가된 경우(Ahamad *et al.* 1987; Iqbal *et al.* 1987)와는 다르다. 산성비의 처리구 중 pH 3.2에서 모든 부위의 구성조직의 면적이 증가된 것은 산성비에 포함된 황이나 질소가 적절한 영양원으로 작용한 결과, 원활한 대사작용으로 신장생장은 물론 비대생장이 이루어진 것으로 생각된다. 그러나 길이생장이 가장 억제된 결과(김과 소 1994)를 보인 pH 2.4의 높은 산도에서는 pH 영향에 따른 광합성량이나 생장호르몬대사의 생리적 기능의 저하를 일으킴으로써 식물의 전체적인 생장이 억제된 것으로 사료된다.

따라서 본 실험의 결과 인공산성비의 처리에 따른 은행나무의 가도관의 접선직경, 횡단면적, 벽비후 및 방사열수는 pH가 낮아짐에 따라 감소하였고, 유관속 형성층에서 방추형 시원세포의 길이와 방사조직 시원세포의 길이는 pH가 낮아짐에 따라 짧아졌다. 그러나 곰솔의 경우 가도관의 접선직경, 횡단면적은 산성비 처리에 의해 감소하였으나, 가도관의 벽비후는 pH간에 큰 차이가 없었다.

참 고 문 헌

- 김갑태. 1991. 인공산성우가 몇 침엽수종의 종자발아와 유묘 생장에 미치는 영향. 한국임학회지 80:237-245.
- 김명란, 소웅영. 1994. 인공산성비의 처리에 대한 은행나무와 곰솔의 성장반응. 한국식물학회지 37:93-99.
- 임동욱, 소웅영. 1991. 수종의 목본식물에 있어서 정상 및 왜소 개체의 2기목부의 비교해부. 한국식물학회지 34:9-18.
- 임동욱, 소웅영. 1993. 전지에서 자란 잣나무의 2기목부 및 형성층 구조의 변화. 한국식물학회지 36:35-42.
- Ahmad Z, Mahmooduzzafar, I Kabeer, Kaleemullah and M Iqbal. 1987. Stem anatomy of *Cleome viscosa* L. vs air pollution. J. Sci. Res. 9:123-125.
- Ahmad Z and Kalimullah. 1988. Impact of air pollution on the anatomy of bark of some economically important trees. J. Tree Sci. 7:58-60.
- Almer BW, W Dickson, C Ekstrom, E Hornstrom and U

- Miller. 1974. Effects of acidification on Swedish lakes. *Ambio*. 3:30-36.
- Aloni R. 1980. Role of auxin and sucrose in the differentiation of sieve and tracheary elements in plant tissue cultures. *Planta*. 150:255-263.
- Aloni R and MH Zimmermann. 1983. The control of vessel size and density along the plant axis.-a new hypothesis. *Differentiation*. 24:203-208.
- Aloni R. 1987. Differentiation of vascular tissues. *Ann. Res. Plant Physiol*. 38:179-204.
- Bannan MW. 1951. The annual cycle of size changes in the fusiform cambial initials of *Chamaecyparis* and *Thuja*. *Can. J. Bot.* 29:421-437.
- Bannan MW and IL Bailey. 1956. Cell size and survival in conifer cambium. *Can. J. Bot.* 34:769-776.
- Bannan MW. 1964. Tracheid size and anticlinal divisions in the cambium of *Pseudotsuga*. *Can. J. Bot.* 42:603-631.
- Bissing DR. 1982. Variation in qualitative anatomical features of the xylem of selected dicotyledonous woods in relation to water availability. *Bull. Torrey Bot. Club*. 109:371-384.
- Colbert JT and RF Evert. 1982. Leaf vasculature in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Planta*. 156:136-151.
- Creber GT and Chaloner WG. 1984. Influence of environmental factors on the wood structure of living and fossil trees. *Bot. Rev.* 50:357-448.
- Denne MP and JE Wilson. 1977. Some quantitative effect of indoleacetic acid on the wood production and tracheid dimension of *Picea*. *Planta*. 134:223-228.
- Digby J and PF Wareing. 1966. The effect of applied growth hormone on cambial division and the differentiation of the cambial derivatives. *Ann. Bot. n.s.* 30:540-548.
- Dinwoodie JM. 1961. Tracheid and fiber length in timber: A review of literature. *Forestry*. 34:125-144.
- Evert RF. 1961. Some aspects of cambial development in *Pyrus communis*. *Am. J. Bot.* 48:479-488.
- Fahn A. 1964. Some anatomical adaptations of desert plants. *Phytomorphology*. 14:93-102.
- Ghouse AKM and M Iqbal. 1977. Variation trends in the cambial structure of *Prosopis spicigera* L. in relation to the girth of the tree axis. *Bull. Torrey Bot. Club*. 104:197-201.
- Iqbal M and AKM Ghouse. 1987. Anatomy of vascular cambium of *Acacia nilotica* (L.) Del. var. *telia* Troup (Mimosaceae) in relation to age and season. *Bot. J. Linnean Soc.* 94:385-397.
- Iqbal M, KI Mahmooduzzafar and AKM Ghouse. 1987. Impact of air pollution on the anatomy of *Cassia occidentalis* L. and *Cassia tora* L. *Indian J. Applied and Pure Biol.* 2:23-26.
- Iqbal M, KI Mahmooduzzafar, Kaleemullah and Z Ahmad. 1987. The effect of air pollution on the stem anatomy of *Lantana camara* L. *J. Sci Res.* 9:121-122.
- Jagels R. 1986. Acid fog, ozone and low elevation spruce decline. *IAWA Bulletin n.s.* 7:299-307.
- Mahdooduzzafar. 1991. Air pollution influence on morphology and growth of *Cassia sophera* L. *Sida rthombifolia* L. Ph. D. thesis Aligarth Muslim Univ. India pp. 147.
- Panshin AJ and C de Zeeuw. 1980. Textbook of Wood Technology. McGraw-Hill Book Co. pp. 55-666.
- Philipson WR, JM Ward and BG Buterfield. 1971. The vascular cambium-its development and activity. Chapman and Hall LTD. pp. 1-75.
- Sass JE. 1971. Botanical microtechnique. 3rd. ed., The Iowa state Univ. Press Ames, Iowa. pp. 55-77.
- Wahlmann B, E Braun and S Lewark. 1986. Radial increment in different tree heights in beech stands affected by air pollution. *IAWA Bulletin n.s.* 7:285-288.
- Wilson BF. 1966. Mitotic activity in the cambial zone of *Pinus strobus* L. *Am. J. Bot.* 53:364-372.
- Zimmermann MH and D Poter. 1982. Vessel length distribution in branches, stems, roots of *Acer rubrum* L. *IAWA Bull.* 3:103-109.

Effect of Simulated Acid Rain on Growth and Anatomical Changes of Stem and Root of *Ginkgo biloba* and *Pinus thunbergii*

Myoung-Ran Kim, Ae-Ryoung Cho, Duck-Yee Cho¹ and Woong-Young Soh

Faculty of Biological Science, Chonbuk National University, Chonju 561-756,

¹Department of Biology, Woosuk University, Chonbuk, 565-701, Korea

Abstract - Effects of the simulated acid rain on the growth response and the structural features were studied with the 3 month old seedlings of *G. biloba* and *P. thunbergii* treated with acid rain of pH 5.6, 4.0, 3.2, and 2.4. The diameter and area of tracheid cells in the transectioned stem of *G. biloba* decreased with acidity of simulated acid rain. The wall thickness of tracheid cells was the thinnest at pH 2.4, but there was no different at other levels of pH. Increasing of the acidity, the height of tracheid cells were reduced steadily. The diameter and area of tracheid cells of the transectioned root reduced with decreasing pH of acid rain, but those at pH 3.2 were larger than those at control. The wall thickness and height of tracheid cells of root were gradually decreased with acidity of acid rain. The size varia-

tion of the fusiform cambial initials in the stem of *G. biloba* sections tangentially showed a shortening tendency with treatment of acid rain. The length of ray initials was the shortest at pH 2.4 and reduced with decreasing pH of acid rain. The diameter, area, wall thickness, and height of the tracheid cells in *P. thunbergii* stem and root decreased with decreasing pH of acid rain. The areas of the pith, cortex, and xylem in *P. thun-*

bergii treated with acid rain decreased, but the cortex and pith areas increased significantly after exposure to acid rain of pH 3.2 compared with control.

Key words : Acid rain, Tracheid, Cambial initials, *Ginkgo biloba*, *Pinus thunbergii*

(2000년 6월 30일 접수, 2000년 8월 14일 채택)