

인공산성우가 상수리나무와 은행나무 유묘의 기공저항성,
엽의 Wettability 및 해부학적 변화에 미치는 영향¹
이계한² · 정갑채³ · 이정석²

**Effects of Simulated Acid Rain on Stomatal Resistance,
Wettability and Anatomical Changes in *Quercus acutissima*
and *Ginkgo biloba* Seedlings¹**

Kye Han Lee², Gap Chae Chung³ and Jyung Seuk Lee²

要 約

本 研究는 상수리나무(*Quercus acutissima*)와 은행나무(*Ginkgo biloba*) 幼苗를 대상으로, 12주간 pH 4.0 또는 pH 2.5의 人工酸性雨(Simulated acid rain; SAR)에 露出시켜 氣孔抵抗성과 葉의 Wettability 및 解剖學的 變化를 把握하고자 實行하였다. 대조구로는 pH 6.5의 증류수를 撒布하였다.

상수리나무와 은행나무의 氣孔抵抗성은 두 樹種 모두 SAR처리에 의하여 높아졌으며, 色素(Water blue solution)의 부착정도 測定에 의한 상수리나무 葉의 Wettability는 SAR처리에 의하여 增加하였고, Contact angle測定에 의한 은행나무 葉의 Wettability 역시 SAR처리에 의하여 增加하였다.

SAR을 處理한 상수리나무 葉組織에서 表皮세포, 책상조직 및 海면상조직의 部分的인 被害가 관찰되었고, 毛茸(Trichome)의 현저한 減少와 Wax層의 침식이 SEM을 통해 觀察되었다.

은행나무의 葉組織은 pH 4.0처리에서는 被害를 觀察할 수 없었으나, pH 2.5처리에서는 表皮세포 및 通도조직의 붕괴가 觀察되었고, SEM에 의한 葉 表面組織의 觀察에서는 현저한 變化를 찾아볼 수 없었다.

ABSTRACT

Experiments were performed to find out the effects of simulated acid rain(SAR) of pH 4.0 or pH 2.5 for 12 weeks on stomatal resistance, wettability and anatomical changes in *Quercus acutissima* and *Ginkgo biloba* seedlings. As a control, distilled water with a pH 6.5 was also sprayed.

Stomatal resistance of *Q. acutissima* and of *G. biloba* remarkably increased after exposure to SAR. SAR increased the wettability of *Q. acutissima* leaves measured with water blue solution and of *G. biloba* leaves measured by leaf contact angle method.

Anatomical changes in the leaves of *Q. acutissima* affected by SAR were the partial damage of epidermis and parenchymatous cells. Scanning electron microscopical observation showed that the number of trichomes in the leaves of *Q. acutissima* treated with SAR markedly decreased and the erosion of epicuticular wax was significant.

¹ 接受 1993년 5월 31일 Received on May 31, 1993.

² 전남대학교 임학과 Dept. of Forestry, Chonnam National University, KwangJu 500-757, Korea.

³ 전남대학교 원예학과 Dept. of Horticulture, Chonnam National University

* 본 연구는 1990년도 한국과학재단 연구비 지급에 의하여 이루어진 것임

No distinct damage was found in the *G. biloba* leaves at pH 4.0, while epidermis and vascular tissue were collapsed at pH 2.5. No significant alteration of surface structures in this tree species was observed.

Key words : Simulated acid rain, Stomatal resistance, Wettability

I. 緒 論

大氣汚染이 環境에 미치는 影響은 매우 深刻하다. 酸性雨와 大氣汚染은 유럽과 北美的 廣範圍한 森林, 作物, 湖水 그리고 建物들을 荒廢化 시키고 있으며, 그 피해는 全世界로 擴散되어 汎地球的인 問題에 이르게 되었다. 이러한 大氣汚染에 對한 關心이 고조되기 시작한 70年代 初以後로 이 問題와 關聯된 노력의 成果는 變遷치 못했다.

우리나라에서도 1960年代 中반以後 産業化, 人口增加, 都市로의 人口集中, 그리고 工業團地의 大規模化 등의 人間 活動에 의한 大氣汚染의 深刻성이 날로 더해가고 있으며, 그 中에서도, 森林生態系의 破壞가 深化되고 있다.

酸性雨が 森林生態界에 미치는 影響의 把握은 다양한 生態界 構成因子로 인해 計量化하기에 어려움이 많아 研究者들은 人工酸性雨를 撒布하여 그 影響을 調査한 後 그것을 토대로 다른 狀態를 推論하거나, 撒布試驗 結果를 提示하고 있다.

그러한 人工酸性雨 撒布實驗으로, Percy (1986)¹³⁾는 美國에서 商業적으로 중요한 11樹種의 幼苗에 대한 酸性雨 實驗에서, pH 4.6이하에서 針葉樹 幼苗의 生長減少와 形態의 變化가 일어났고, 일반적으로 針葉樹 幼苗는 針葉樹에 비해 耐성이 컸다고 報告했으며, Biggs와 Davis (1980)²⁾는 자작나무 幼苗에서, Shertz 등¹⁶⁾은 사과나무 幼苗에서 처리gas의 濃度에 따른 氣孔抵抗性의 增加를 報告했다.

大氣汚染物質 및 酸性雨에 노출된 잎은 形態의, 組織學的으로 非正常的인 形態를 보인다. 예를들면, 表皮細胞의 崩壞, 찌그러짐과 未成熟, 組織의 비대와 이상증식, 도관조직의 파괴, 氣孔 그리고 epicuticular wax層의 침식 등 多樣한 障害를 일으킨다^{3,6,17)}고 하였고, Turunen과 Huttunen(1990)¹⁸⁾은 wax層의 침식률이 大氣汚染의 程度와 關係된다고 하였고, 人工酸性雨에 의한 wax層의 침식을 觀察하였으며, 이러한 大

氣汚染에 대한 指標로서, epicuticular wax층 침식의 적용은 Scanning Electron Microscope (SEM)에 의한 物理的 形態變化의 直接的 觀察, 또는 葉 表面에서 물방울의 contact angle測定에 의한 葉의 wettability를 결정하는 것과 같은 間接的인 方法에 주로 의존해 왔다^{14,18)}.

本 研究은 人工酸性雨에 의한 상수리나무와 은행나무 幼苗의 氣孔抵抗性의 變化를 파악하고, 대기오염의 지표로서 葉의 接觸角(Contact angle)과 Wettability의 가능성을 진단하며 현미경 관찰을 통한 葉組織 및 形態變化에 미치는 影響 등을 알아보기 위해 實行하였다.

II. 材料 및 方法

1. 供試苗木과 土壤

本 研究에 사용된 樹種은 상수리나무(*Quercus acutissima*) 1년생과 은행나무(*Ginkgo biloba*) 1년생으로, 各各 全南大學校 農科大學內의 한 個體에서 채종한 種子로 양묘한 幼苗이다.

식재토양은 묘포토양과 부엽토를 1:1로 혼합하였으며, 상수리나무묘는 pot(W42, L62, H23 Cm)에 각 30本씩 양묘하였고, 은행 1년생 묘는 plastic pots(W18, L58, H18Cm)에 각 12本씩 총 96本을 91年 2月 11日에 移植하였다. 以上과 같은 供試 苗木들은 green house 내(28±7°C, 70±15% RH)에서 管理되었다.

2. Simulated acid rain(SAR)의 組成 및 處理

1) SAR의 組成⁵⁾

SAR은 증류수 1l에 NaCl₂, CaCl₂, MgSO₄, K₂SO₄를 각각 356mg, 1,911mg, 849mg, 468mg씩을 녹인 용액을 원액으로 하고, pH는 1N H₂SO₄와 1N HNO₃ 혼합용액(1:1, v/v)으로 pH 2.5 혹은 4.0으로 調節하였고, 대조구로는 증류수(pH 6.5)를 사용하였다.

2) SAR의 撒布

SAR의 撒布裝置는 0.375KW 모터를 사용하여

試驗材料로부터 1m 높이에서 mist가 되도록 하였고, 처리구 사이에는 비닐 칸막이를 설치하였으며 처리는 2日 1回, P.M 2-3시에 10mm/hr로 1991年 6月 26日 부터 同年 9月 27日 까지 12週間 撒布處理하였다.

3. 氣孔抵抗性(stomatal resistance) 測定^{1,2,19)}

SAR처리가 없고 맑은날 각 처리구의 상수리나무(*Quercus acutissima*)와 은행나무(*Ginkgo biloba*)를 10개체씩 選定하여 위로부터 3-4번째葉의 중앙부위를 Automatic Porometer(DELTA-T, Mk3)를 이용하여 07:00부터 17:00까지 1日 6回 測定하였다.

4. Wettability 測定

各 처리구에서 3개씩의 상수리나무(*Quercus acutissima*)를 선정, 그 중앙부위 잎을 3개씩 채취, 증류수로 3회 세척하여 異物質을 제거한 다음, 1% water blue solution에 수 초간 浸漬시킨 후 1시간 동안 常溫에서 乾燥시켰다. 葉의 윗면에 건조되어, 부착된 상태의 blue색소를 증류수로 씻어 최종부피가 50ml가 되도록 한 후 흡광도 595nm에서 測定하였고, 엽면적을 측정하여 그 값을 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 으로 환산하였다^{11,14)}.

은행나무(*Ginkgo biloba*)는 각 처리구 당 9개씩의 葉을 채취하여 異物質이 葉 上面의 중앙측정부위에 접촉되지 않게 유의하면서 1×2cm의 크기로 자른 후 slide glass 위에 葉을 양면 접착 tape으로 고정시킨 다음, ERMA Contact anglemeter(Goniometer type, Model G-1, 113-110-0)를 이용하여 그 중앙면에 micro-syringe로 0.15 μl 의 증류수를 몇방울 떨어뜨려 굴러내리지 않은 것의 접촉각을 測定하였다⁴⁾.

5. 顯微鏡的 觀察

1) 光學顯微鏡(Light microscopy) 觀察

生葉을 FAA(formalin : acetic acid : alcohol)고정액에 24시간 浸漬시킨 후 Graded ethylalcohol로 탈수시키고 60°C에서 TBA(Tertiary butyl alcohol)와 Tissue embedding medium(Paraplast, Monoject Co.) 2:1(v/v)용액에서 2시간, 1:1(v/v)용액에서 2시간, Tissue embedding medium에서 2시간의 순으로 浸漬시켜

Paraplast를 봉입한 후, Rotary-microtome을 이용하여 12 μm 의 두께로 자르고 그 리본을 slide glass 위에 올려 물기를 제거시킨 다음, Xylene으로 Paraplast를 제거하여 常溫에서 상수리나무는 1% Safranin, 은행나무는 0.25% Fastgreen으로 染色하여 M17 光學顯微鏡(Light microscopy, Vickers Co.)으로 검경 촬영하였다⁶⁾.

2) 走査電子顯微鏡(Scanning electron microscopy) 觀察

生葉을 FAA고정액에 24시간 浸漬시킨 다음, 증류수로 3회 세척하여 30%, 50%, 70%의 Ethylalcohol에 2시간씩 浸漬시키고, 다시 90%, 95%, 100%의 Ethylalcohol에 3-4시간 浸漬시켜 탈수시킨 후 Freeze dryer로 동결 건조시켰다. 그 후 Vacuum pumping하여 10분간 ion sputter로 Gold coating한 다음 走査電子顯微鏡(JEOL, JSM, 35C)으로 氣孔部位와 表皮細胞 및 epicuticular wax 등을 검경, 촬영하였다.

III. 結果 및 考察

1. 氣孔抵抗性(Stomatal Resistance)의 變化

SAR 處理 期間別 상수리나무의 氣孔抵抗性(Stomatal Resistance=SR) 變化는 Fig. 1과 같다. 處理 1週日 後의 變化는 처리구별 큰 差異를 보이지 않았으나 대체로 처리구가 대조구보다 높았으며 pH 4.0처리구가 pH 2.5처리구 보다 높게 나타났다. 2週日 後에는 처리구별 氣孔抵抗性 變異의 폭이 뚜렷이 나타났으며 pH 4.0처리구에서 현저한 增加를 보였고, 3週日 後에는 그 變異의 폭이 더욱 증가하였다. 1日 6회 측정치의 평균에 있어서도 처리 시간이 길어짐에 따라 기공 저항성이 커져 상수리나무는 SAR에 의하여 氣孔 開閉 기작에 큰 影響을 받는 것으로 나타났다(Fig. 2).

은행나무의 경우도 SAR처리가 진행됨에 따라 기공저항성이 증가하였고 1일 측정치의 평균에서도 유사한 傾向을 보여 이 수종 역시 SAR처리에 의하여 기공의 개폐기작에 영향을 받은 것으로 나타났다(Fig. 3).

以上과 같은 結果는 SO₂와 O₃에 노출시킨 사과나무의 SR이 處理濃도가 커짐에 따라 增加했다는 Shertz 등¹⁶⁾의 報告와, SO₂의 농도가 높아짐에 따라 자작나무의 SR이 增加했다는 Biggs와

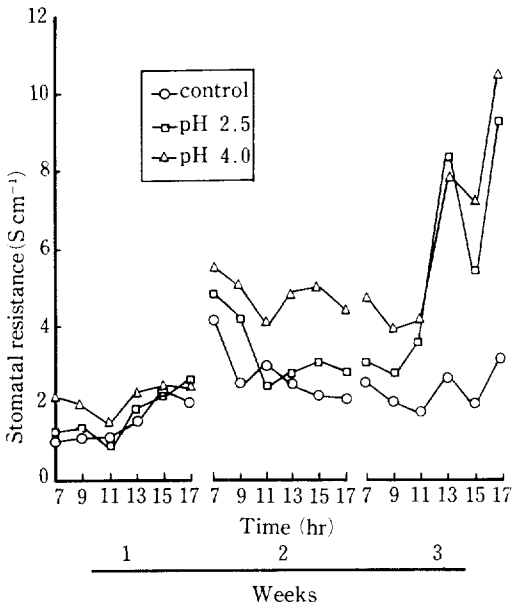


Fig. 1. Effect of simulated acid rain on stomatal resistance of *Quercus acutissima* seedlings.

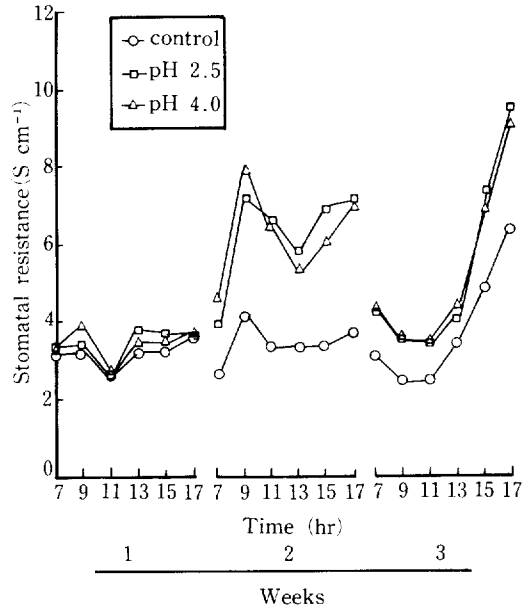


Fig. 3. Effect of simulated acid rain on stomatal resistance of *Ginkgo biloba* seedlings.

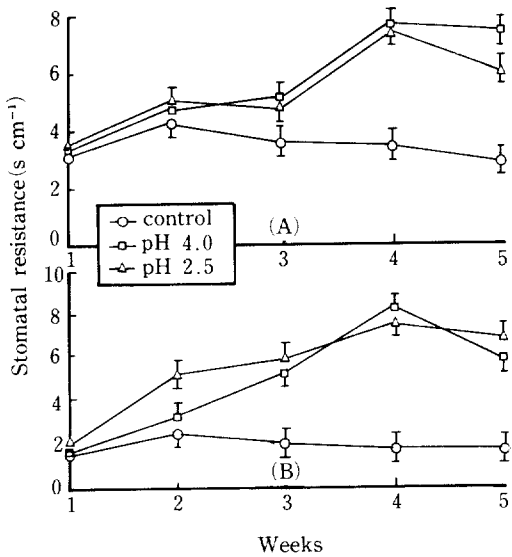


Fig. 2. Effect of simulated acid rain on stomatal resistance (average of 6 measurements in 1 day) of *Ginkgo biloba* (A) and *Quercus acutissima* (B) seedlings.

Davis²⁾의 報告와 類似하였다. 그리고 Noland와 Kozlowski¹²⁾는 *Ulmus americana* 幼苗에 대한 농도별 (1.0, 2.0ppm) SO₂ 處理 實驗에서 1.0

ppm 처리의 경우에는 SR이 대조구에 비하여 낮았으나, 2.0ppm 처리에서는 높게 나타났고, 土壤水分含量을 26%에서 15%로 떨어뜨린 1週日 동안의 土壤 乾燥 期間內에서 處理한 은행나무의 SR測定 結果, 대조구에 비하여 氣孔 閉鎖 機作에 큰 影響을 받았다고 報告하였다. 이와같은 Gas處理에 의한 氣孔抵抗性의 變化에 관한 報告들은 대체로 低濃度의 處理에 의해서는 SR이 낮아지는 境遇도 있었으나 高濃度의 處理에서는 대부분 SR이 높아진 것으로 나타났다. 強酸의 SAR처리에 의한 本 實驗에서는 상수리나무와 은행나무 모두 SR의 增加가 나타났으며 그러프 原因은 人工酸性雨에 의해 葉 표면 wax층의 溶해와 침식이 발생하여 기공의 폐쇄 및 기공 개폐 조절기작에의 影響에 의한 것으로 생각되나 그 具體的이고 生理的인 被害 樣相을 밝히기 위해서 더 많은 研究가 必要할 것이다. 그리고 측정시의 환경조건에 의해 기공저항성 변화의 폭이 매우 크기때문에 기공저항성 측정실험에서는 광도, 온도 및 수분 등의 환경조건에 대한 세심한 고려가 필요할 것이다.

2. 葉의 Wettability

은행나무 葉表面의 물방울 接觸角(Contact

angle)을 測定한 結果(Fig. 4), SAR처리에 의해 接觸角의 減少에 따른 葉의 Wettability가 增加한 것으로 나타났다. 상수리나무의 경우도 微細한 差異이나 Wettability가 增加하였다(Fig. 5). 은행나무의 接觸角 測定시 물방울을 葉위에 떨어뜨릴 때 완전한 구형의 물방울을 形成하여 자주 굴러 떨어지는 경우가 發生하여 測定에 어려움이 있었다. 本 實驗의 結果는 Percy와 Baker¹⁴⁾의 數種 作物 葉에 對한 SAR처리 結果와 一致하였으며, 이러한 Wettability의 增加는 SAR에 의한 epicuticular wax層의 侵蝕에 의해 일어난 것으로 생각된다. 葉 표면 Wax층의 소실은 葉의 生化學的 經路 變化, 樹木의 活力 減少, 그리고 病蟲害에 의한 2次的 被害를 유발시키기도 한다¹⁰⁾. 그러나 大氣汚染의 指標로써 植物葉

의 Contact angle과 Wettability를 사용하기 위해서는 樹種에 따른 變異와 葉의 位置별 部位별 差異가 크기 때문에 測定標本을 樹高와 方向 그리고 葉齡을 考慮하여 異物質의 接觸없이 채취된 葉表面의 一定部位를 測定對象으로 삼아야 할 것으로 고려된다.

3. 葉의 形態 解剖學的 變化

1) 상수리나무 葉의 變化

상수리나무 葉의 SAR처리구별 組織被害와 形態的 被害의 觀察 結果, pH 4.0의 SAR로 처리한 葉은 대조구의 葉과는 달리 表皮細胞(Epidermis)와 척상조직(Palisade tissue) 및 해면상조직(Spongy tissue)에서 부분적인 破壞가 관찰되었으나 그 파괴의 정도는 현저하지 않았다. pH 2.5처리구의 葉組織 역시 pH 4.0처리구와 類似하였다(Fig. 6).

Evans와 Curry⁷⁾는 以上과 같은 조직상의 피해 이외에도 細胞의 肥大와 함께 척상조직의 被害가 해면상조직보다 더 큰 것으로 보고하였으나, 本 實驗에서는 그와 같은 양태는 관찰되지 않았다.

SAR에 의한 상수리나무 葉표면의 미시적 변화를 주사형 전자현미경(SEM)을 사용하여 관찰한 결과, 대조구 葉의 경우 葉表面에 毛茸(Trichome)이 많이 분포하였으며 Wax層이 잘 발달되어 있었다(Fig. 7-A). pH 4.0의 SAR로 처리한 상수리나무의 葉표면에서는 毛茸(Trichome)의 숫자가 현저히 감소하였다(Fig. 7-D). 毛茸의 현저한 減少는 pH 2.5의 SAR처리에 의한 葉표면에서도 마찬가지였다(Fig. 7-G). SAR을 처리한 葉의 표면구조에 나타난 또 하나의 特徵은 表層構造의 Wax層의 용해(melting)였다(Fig. 7-E, H). pH 2.5처리에 따른 葉表面 Wax層의 侵蝕(erosion)은 pH 4.0 처리조직 보다도 극심하였다. Rinallo와 Raddi¹⁵⁾는 활엽수幼苗에 對한 SAR(pH 3.5)처리실험에서 毛茸의 變形과 氣孔의 閉塞 및 Wax層의 용해와 侵蝕을 觀察하였으며, 本 實驗에서도 氣孔의 閉塞이 觀察되었다(Fig. 7-C, F, I). Wilson²⁰⁾은 變形된 *Acer pseudoplatanus*의 Wax層과 葉組織 破壞의 結果로 증산율과 氣孔抵抗性的의 增加가 초래된다고 보고한 바 있다. 전술한 바와 같이 상수리나무 葉의 Wettability의 증가는 葉조직의 파괴와 Wax층의 침식때문인 것으로 생각된다.

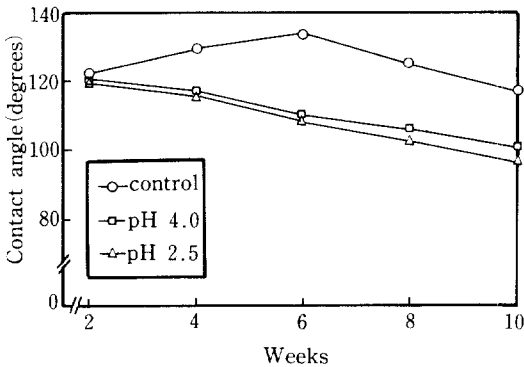


Fig. 4. Effect of simulated acid rain on contact angles of water on the adaxial surfaces of *Ginkgo biloba* leaves.

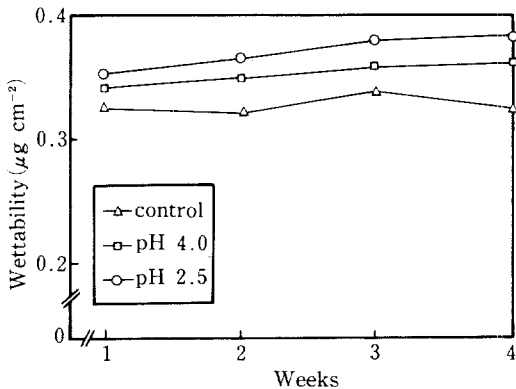


Fig. 5. Effect of simulated acid rain on wettability of water on the adaxial surfaces of *Quercus acutissima* leaves.

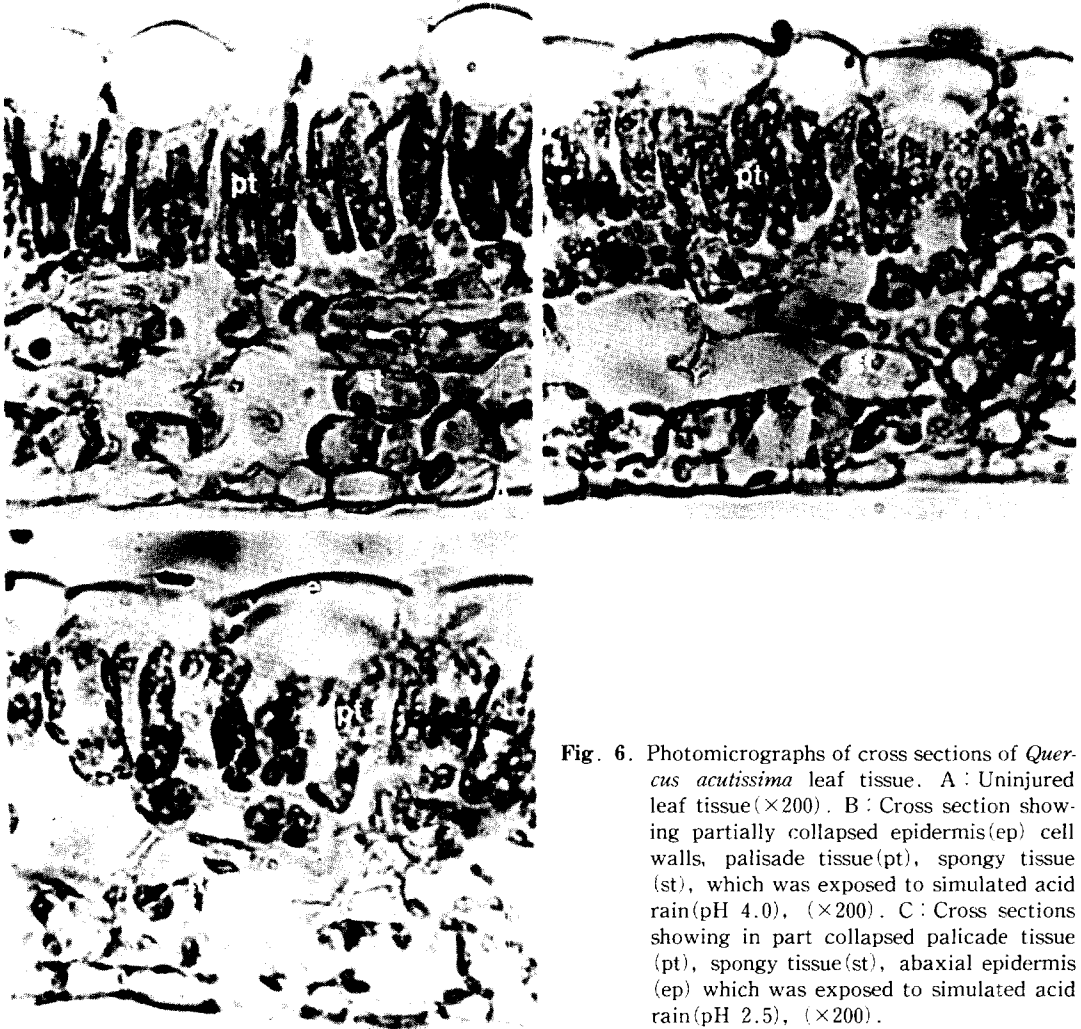


Fig. 6. Photomicrographs of cross sections of *Quercus acutissima* leaf tissue. A: Uninjured leaf tissue ($\times 200$). B: Cross section showing partially collapsed epidermis(ep) cell walls, palisade tissue(pt), spongy tissue(st), which was exposed to simulated acid rain(pH 4.0), ($\times 200$). C: Cross sections showing in part collapsed palisade tissue(pt), spongy tissue(st), abaxial epidermis(ep) which was exposed to simulated acid rain(pH 2.5), ($\times 200$).

2) 은행나무 잎의 변화

은행나무 잎의 SAR처리구별 조직의 형태의被害에 대한比較結果, pH 4.0의 SAR처리구에서는葉조직의 현저한 피해는 관찰되지 않았다(Fig. 8-B). 그러나 pH 2.5처리구에서는 유관속 조직과 표피세포가 현저히 파괴된 것으로 나타났다(Fig. 8-C). pH 2.5의 SAR로 처리된葉組織의被害는 金⁹⁾의 은행나무에 대한人工酸性雨(pH 2.5)處理實驗에서 나타난 표피세포의部分的인崩壞와 엽육세포의甚한破壞의結果와類似하였으나, 本實驗에서는 유관속 조직의被害까지發生한 것으로觀察되었다. 内部組織의 현격한組織變化에도 불구하고葉表面의 SEM에

의한 관찰결과는 큰變化를 보이지 않았다(Fig. 9: A-F). Kim과 Lee⁹⁾는 교통량이 많은 거리에 가로수로 식재되어 있는 은행나무가葉내 황함량이 他樹種의 그것에 5배에 달함에도 불구하고氣孔과 Wax層의構造에서輕微한變化만이發生하였다고報告하였다. 本實驗에서도 은행나무葉表面에 큰被害가發生하지 않은 점으로 보아 은행나무가大氣汚染에對한耐性이 강한樹種으로 생각된다.

IV. 結 論

상수리나무와 은행나무의 기공저항성과

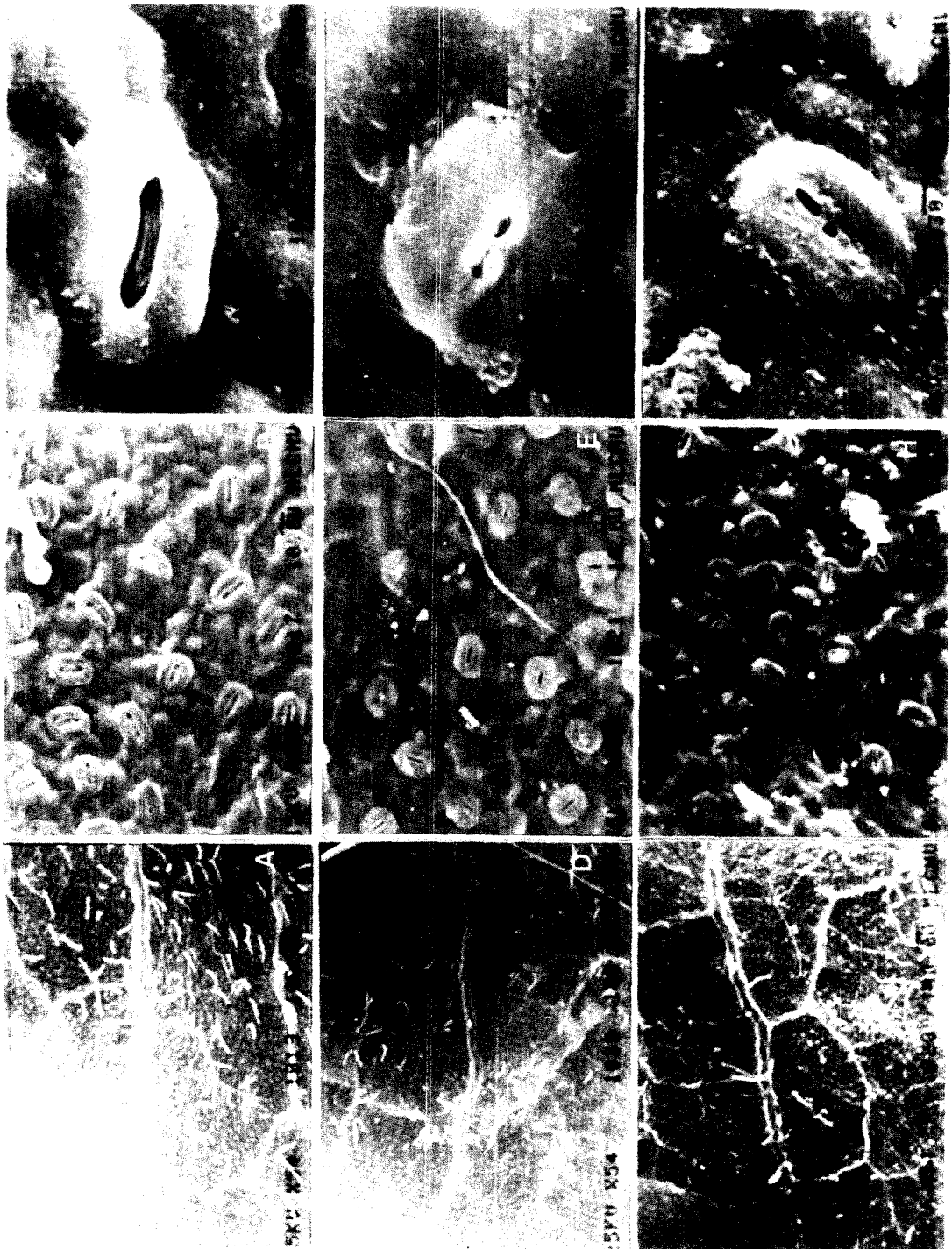


Fig. 7. SEM microphotographs of *Quercus acutissima*. A-C : General features of trichomes(A) and stomata (B, C) of unexposed abaxial leaf surfaces, D-F : Excluded trichomes(D) and eroded epicuticular wax (E, F) which were exposed to simulated acid rain (pH 4.0), G-H : Excluded trichomes(G) and eroded epicuticular wax (H, I) which were exposed to simulated acid rain (pH 2.5)

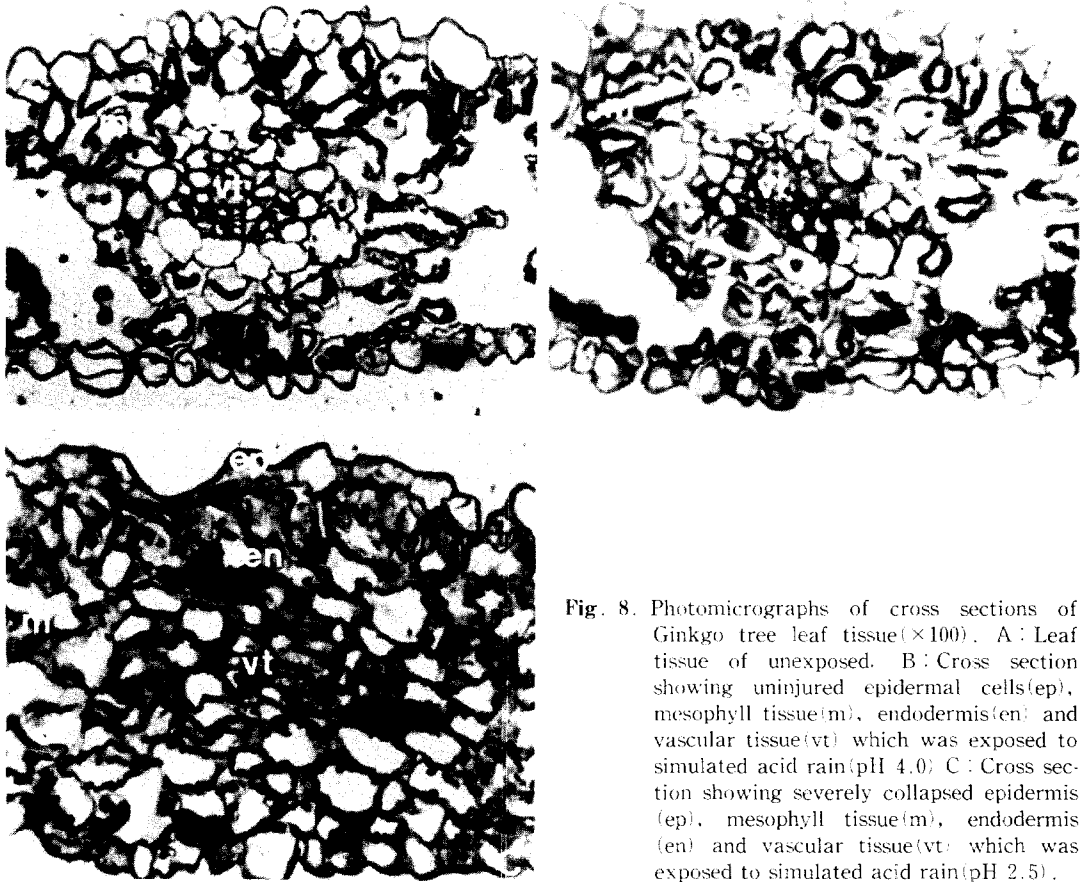


Fig. 8. Photomicrographs of cross sections of Ginkgo tree leaf tissue ($\times 100$). A: Leaf tissue of unexposed. B: Cross section showing uninjured epidermal cells(ep), mesophyll tissue(m), endodermis(en) and vascular tissue(vt) which was exposed to simulated acid rain(pH 4.0) C: Cross section showing severely collapsed epidermis (ep), mesophyll tissue(m), endodermis (en) and vascular tissue(vt) which was exposed to simulated acid rain(pH 2.5).

Wettability는 SAR처리가 진행됨에 따라 증가하여, SAR가 기공의 개폐기작에 영향을 미친 것으로 나타났으며, 그러한 原因은 强酸에 의한 葉細胞의 破壞와 葉表面 wax層의 溶해 및 침식에 의하여 기공의 폐쇄가 발생되었기 때문으로 생각되며, 이러한 엽조직과 엽표면의 변화로 상수리나무의 경우, 표피세포 및 해면상조직의 부분적인 피해와 毛茸(Trichome)의 현저한 감소 그리고 Wax층의 침식이 관찰되었고, 은행나무는 pH 2.5의 SAR처리에 의해서 엽조직의 피해가 관찰되었으나 표면조직의 현저한 변화는 찾아볼 수 없었다.

參 考 文 獻

1. Alvino A., G. Zerbi, A. Pitacco, E. Tarantino, 1985. Problems in the stomatal resistance measurement on *Capsicum annuum* L. plants. *Acta Hort.* 171 : 151-158.
2. Biggs, A.R., D.D. Davis, 1980. Stomatal response of three Birch species exposed to varying acute doses of SO_2 . *J. Amer. Soc. Hort.* 105(4) : 514-516.
3. Bytnerowicz, A., D.M. Olszyk, 1989. Effect of photochemical smog on growth, injury, and gas exchange of pine seedlings. *Can. J. Bot.* 67 : 2175-2181.
4. Cape J.N. 1983. Contact angles of water droplets on needles of Scots pine(*Pinus sylvestris*) growing in polluted atmospheres. *New Phytol.* 93 : 293-299.
5. Chia L.S., C.I. Mayfield, J.E. Thompson, 1984. Simulated acid rain induced lipid peroxidation and membrane damage in foliage.



Fig. 9. SEM microphotographs of stomata in *Ginkgo biloba*. A B : stomata in *Ginkgo biloba* which was not exposed to simulated acid rain. C D : No distinct degradation of stomata which was exposed to simulated acid rain pH 4.0). E-F : occluded stomata (E) and eroded wax structures (F) which was exposed to simulated acid rain (pH 2.5).

Plant Cell Environ. 7 : 333-328.
 6. Evans L.S., N.F. Gmur, D.C. Filomena. 1977. Leaf surface and histological perturbations of leaf of *Phaseolus vulgaris* and *Helianthus annuus* after exposure to simulat-

ed acid rain. Amer. J. Bot. 64(7) : 903-913.
 7. Evans L.S., T.M. Curry. 1979. Differential responses of plant foliage to simulated acid rain. Amer. J. Bot. 66(8) : 953-962.

8. 金甲泰. 1986. 酸性雨 및 식엽수 처리에 따른 잣나무와 은행나무잎의 組織 變化. 韓國 林學會誌. 73 : 55-62.
9. Kim Y.S., J.K. Lee. 1990. Chemical and structural characteristics of conifer needles exposed to ambient air pollution. Eur. J. For. Path. 20 : 193-200.
10. Kozlowski T.T., H.A. Constantinidou. 1986. Responses of woody plants to environmental pollution. J. For. Abstr. 47(1) : 5-51.
11. 李聖熙. 1990. 酸性雨 피해 作物의 生理 및 形態에 關한 研究. 全南大學校 大學院 碩士學位論文.
12. Noland T.L., T.T. Kozlowski. 1979. Effect of SO₂ on stomatal aperture and sulfur uptake of woody angiosperm seedlings. Can. J. For. Res. 9 : 57-62.
13. Percy K.E. 1986. The effects of simulated acid rain on germinative capacity, growth and morphology of forest tree seedlings. New Phytol. 104 : 473-484.
14. Percy K.E., E.A. Baker. 1988. Effects of simulated acid rain on leaf wettability, rain retention and uptake of some inorganic ions. New Phytol. 108 : 75-82.
15. Rinallo C., P. Raddi. 1989. Effects of simulated acid rain and ABS on leaf surfaces of some broadleaf seedlings. Eur. J. For. Path. 19 : 151-160.
16. Shertz R.D., W.J. Kender., R.C. Musselman 1980. Foliar response and growth of apple trees following exposure to ozone and sulfur dioxide. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105(4) : 594-598.
17. Smith H.J., D.D. Davis. 1978. Histological changes induced in Scotch pine needles by sulfur dioxide. Phytopathology 68 : 1711-1716.
18. Turunen M., S. Huttunen. 1990. A review of the response of epicuticular wax of conifer needles to air pollution. J. Environ. Qual. 19 : 35-45.
19. Venezian S.M.E., R. Colucci, N. Losavio, M. Mastrotili, F. Benincasa, G. Maracchi, A. Raschi. 1985. Field studies on stomatal conductance as index of plants response to environmental conditions. Acta Hort. 171 : 95-103.
20. Wilson J. 1984. Microscopic features of wind damage to leaves of *Acer pseudo-platanus* L. Ann. Bot 53 : 73-82.