

大氣汚染地域 適應 樹種 選抜에 關한 研究

A Study on the Selection of Adaptable Tree in Air Pollution Area

朴 晄 澈

韓國科學技術研究院 環境研究센터
 (원고접수 : 1991. 3. 11)

Wan Cheol Park

Environmental Research Center/KIST, Seoul 136-791, Korea
 (Received 11, March 1991)

Abstract

The study was performed to select a adaptable tree species under stressed field conditions where there are a industrial plants operating with a number of smoke stacks emitting pollutants, such as hydrogen fluoride and sulfur dioxide. As a result of the study, a tree species selected are due to construct a forest belt in a zones near industrial plants to reduce the concentrations of air pollutants.

The concentrations of atmospheric hydrogen fluoride and sulfur dioxide were very higher at experimental sites near industrial plants (air-pollution sites) than at control site. The leaves of 7 tree species grown at air pollution sites contained more sulfur and, specially, fluorine than at those control site. Among the tested tree species, *Ligustrum japonicum* Thunb. and *Euonymus japonica* Thunb. grown at air pollution sites did not at all break out a foliar injury but appeared to be healthy, as well as those grown at control site. *Acer pseudo-sieboldianum* Kom., *Pinus virginiana* Mill., *Larix leptolepis* Gordon., *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc., *Pinus strobus* L., *Picea abies* Karst and *Ligustrum obtusifolium* Sieb. et Zucc., however, showed a severe fluoride-type foliar injury such as necrosis on tip or margin of leaves, etc. Fluorine found in leaves was proved to be correlated to sulfur found in leaves whereas index of foliar injury hadn't a good correlation to pollutants found in leaves.

It appears that *Euonymus japonica* Thunb., *Ligustrum japonica* Thunb., *Platanus acerifolia* Willd., *Chamaecyparis pisifera* Endl., *Populus tomentiglandulosa* T. Lee and *Sophora japonica* L. grown at both experimental sites had a high value of percent survival whereas *Pinus virginiana* Mill., *Pinus koraiensis* Sib. et Zucc., *Koelreuteria paniculata* Laxm. and *Alnus hirsuta* Rupr. had an extremely low value of that.

In comparison with control site, the percent tree height increments in *Chamaecyparis pisifera* Endl., *Ligustrum japonicum* Thunb., *Quercus acutissima* Carruth., *Populus tomentiglandulosa* T. Lee, *Pinus thunbergii* Parl and *Euonymus japonica* Thunb. and the percent upmost root diameters in *Populus tomentiglandulosa* T. Lee, *Chamaecyparis pisifera* Endl., *Euonymus japonica* Thunb., *Ligustrum japonicum* Thunb., *Betula platyphylla* var. *japonica* Hara and *Pinus thunbergii* Parl. cultivated at air polluted sites showed very high value above 90%, respectively. A significant negative correlation ($r = -0.662$) was recognized between the index of foliage

injury and the percent collective character, which was the mean of tree characters such as percent survival, percent tree height increment and percent upmost root diameter increment which compared to those at air polluted site with those at control site.

Based on the percent collective character *Ligustrum japonicum* Thunb., *Euonymus japonica* Thunb., *Chamaecyparis pisifera* Endl., *Populus tomentiglandosa* T. Lee, *Betula platyphylla* var. *japonica* Hara and *Platanus occidentalis* L. have large value about 90%, respectively. Therefore, the results indicate that this tree species are adaptable species in air polluted regions. For better understanding of the adaptable tree species, further studies concerning the effects of various air pollutants on the tree growth are required.

1. 緒 論

大規模 工業團地에 入住한 產業體의 生活活動으로 인해 많은 양의 大氣汚染物이 排出되어 工業團地 周邊의 農作物栽培環境 및 住民의 生活環境을 크게 惡化시켜 農作物의 生産性低下는 물론이고(박완철 등, 1987; 신응배 등, 1989) 住民의 健康에도 큰 危害要因이 될 수도 있다. 따라서 工業團地 周邊의 大氣汚染度를 줄일 수 있는 方法開發의 일환으로 大氣汚染物의 發生源과 그 周邊地域을 遮斷시켜 物理的인 大氣汚染物의 遮斷效果와 生物學的인 大氣汚染物의 吸收效果를 가져올 수 있는 樹林帶 造成에 필요한 基本的인 研究로서 國內에 植栽되고 있는 일부 樹種을 우리나라 工業團地중 規模가 가장 크고 大氣汚染物 發生量이 가장 많은 蔚山工業團地 地域의(申應培 등, 1989) 樹林帶 造成 가능 地域에 植栽하여 이 地域에 가장 適應性이 높은 樹種을 選拔하되 蔚山地域뿐만 아니라 他工業團地 地域에서도 大氣汚染 適應性 및 抵抗性 樹種을 이용한 樹林帶 造成으로 工業團地 地域의 大氣汚染度를 低下시켜 農作物의 栽培環境 및 住民의 生活環境 改善을 誘導하는데 필요한 基礎的인 研究의 일환으로 本 實驗을 遂行하였다.

2. 材料 및 方法

2.1 實驗對象地域

大氣汚染地域(大氣汚染影響地域) 實驗圃場은 蔚山工業團地에 入住한 各種 產業體로부터 排出되는 大氣汚染物의 集中的인 影響을 받고, 工團周邊地域과 遮斷用 樹林帶 造成이 容易한 것으로 判斷되는 蔚山市 南區 麗川洞 所在 -dot질산에 設置하였으며, 大氣汚染의 影響을 받지 않고 大氣汚染地域과 諸般環境條件이 비슷한 梁山郡 西生面 나사리의 野山에 對照 實驗圃場을 設置하였다. 大氣汚染地域에는 약

150 m 간격으로 3개의 實驗圃場을 設置하고, 對照 地域에는 1개의 實驗圃場을 設置하였다.

實驗圃場의 土壤條件은 표 1과 같이 無機養料의 含量이나 重金屬의 含量은 大氣汚染地域과 對照地域間에 큰 差가 없었으며, 弗素含量은 大氣汚染地域에서 다소 높은 傾向을 보였으나 Hansen et al. (1958)과 Wellburn(1988)에 의하면 植物의 뿌리를 통한 弗素의 吸收는 거의 認定되지 않는다고 하였고, 本 實驗地域에서 測定된 260~490 ppm의 弗素含量은 自然狀態의 土壤中の 含量인 20~500 ppm 範圍내에 있으므로(Wellburn, 1988) 土壤中の 弗素에 의한 나무의 生育障害나 葉中 弗素含量의 差는 없을 것으로 判斷된다.

2.2 栽培方法

實驗對象 樹種과 移植時의 苗齡은 표 2와 같고, 移植은 1988년 4월 5일 各 實驗圃場에 樹種別 10本(總 40本: 大氣汚染 實驗圃場 30本, 對照實驗圃場 10本)을 大氣汚染의 影響을 充分히 받도록 하기 위하여 사망 1m의 樹間距離로 實施하였다.

2.3 調査方法

植栽後 生存率은 5월부터 10월까지 5회에 걸쳐 月 1회씩 每月 15日경 調査하였으며, 稍長은 5, 6, 7, 8, 10월까지 4회에 걸쳐 月 1회씩 生存率의 調査時期과 同一時期에 모든 植栽 樹種을 對象으로 調査하였다. 그리고 可視의 葉被害指數는 5, 6, 7, 8월에 月 1회씩 他 形質과 同一 時期에 調査하였으며, 調査方法은 着生한 各葉의 被害程度를 10%, 20%, ……., 100%로 區分하여 다음 方法에 의하여 算定하였다.

葉被害指數 = $(1 \times 10\% \text{ 被害葉數} + 2 \times 20\% \text{ 被害葉數} + \dots + 10 \times 100\% \text{ 被害葉數}) / \text{全體葉數}$

大氣中の 汚染指標인 SO_x 나 F는 植栽後부터 各種 特性들의 調査가 完了된 10月 中旬까지 7회에 걸쳐 月中 濃度를 測定하였으며, 植物體내 汚染指標인 葉內 黃 및 弗素含量은 10月の 調査完了期에 1回 測定하였으며, 各種 汚染指標의 分析方法은 표 3과 같다.

Table 1. Chemical properties of experimental soil.

Site	pH	OM (%)	T-N (%)	T-P (ppm)	K ₂ O ₅ (%)	S (ppm)	Mg (ppm)	Cd (ppm)	As (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	F (ppm)
P	4.17	11.2	0.290	199	0.12	262	770	1.05	0.48	4.39	1.70	490
C	4.66	10.3	0.164	113	0.16	213	803	1.30	0.57	4.08	2.48	260

P : Pollution site

C : Control site

Table 2. Experimental tree species.

No.	Seedling age (years)	Korean name	Botanical name
1	2	모 감 주 나 무	<i>Koelreuteria paniculata</i> Laxm.
2	2	팽 나 무	<i>Celtis sinensis</i> Pers.
3	2	당 단 풍	<i>Acer pseudo-sieboldianum</i> Kom
4	2	양 비 즙 나 무	<i>Platanus occidentalis</i> L.
5	1	자 작 나 무	<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i> Hara
6	2	회 화 나 무	<i>Sophora japonica</i> L.
7	2	자 귀 나 무	<i>Albizia julibrissim</i> Durazz
8	2	중 국 굴 피 나 무	<i>Pterocarya stenoptera</i> DC.
9	3	족 제 비 싸 리	<i>Amorpha fruticosa</i> L.
10	2	소 나 무	<i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc.
11	2	곰 솔	<i>Pinus thunbergii</i> Parl.
12	2	리 기 다 소 나 무	<i>Pinus rigida</i> Mill.
13	2	버 지 니 아 소 나 무	<i>Pinus virginiana</i> Mill.
14	2	일 본 잎 갈 나 무	<i>Larix leptolepis</i> (Sieb. et Zucc.) Gordon
15	2	жат 나 무	<i>Pinus koraiensis</i> Sieb. et Zucc.
16	3	스 트 로 브 жат 나 무	<i>Pinus strobus</i> L.
17	3	독 일 가 문 비	<i>Picea abies</i> (L.) Karst
18	3	화 백	<i>Chamaecyparis pisifera</i> (Sieb. et Zucc.) Endl.
19	2	상 수 리 나 무	<i>Quercus acutissima</i> Carruth
20	2	취 똥 나 무	<i>Ligustrum obtusifolium</i> Sieb. et Zucc.
21	1	산 오 리 나 무	<i>Alnus hirta</i> (Spach) Rupr.
22	3	사 철 나 무	<i>Enonymus japonica</i> Thunb.
23	1	아 카 시 나 무	<i>Robinia pseudo-acacia</i> L.
24	3	벗 나 무	<i>Prunus sargentii</i> Rehder
25	1	현 사 시	<i>Populus alba</i> × <i>Populus glandulosa</i>
26	3	광 나 무	<i>Ligustrum japonicum</i> Thunb.

3. 結果 및 考察

3.1 汚染指標

大氣中 汚染度

植栽時期인 4月에서 調査完了期인 10月까지 7個月 동안 汚染地域內 3個 實驗圃場, 對照地點內 1個

實驗圃場에서 測定한 大氣中の 月別 SO_x 및 F의 濃度는 표 4에서와 같이 大氣汚染地域에서 測定한 大氣中 SO_x 濃度가 9月과 10月 測定値는 對照地點보다 낮았으나 4月에서 8月까지는 對照地點에서 測定한 濃度보다 높았고, 4月에서 10月까지의 平均 測定値는 對照地點보다 2倍以上 높은 값을 보여 9,10月을 除外한 全 調査期間동안 大氣汚染地域內 實驗圃場에서 栽培된 樹種들의 生育에 大氣中 SO₂의 影響

Table 3. Analytical method of pollutants in tree leaves and air.

Item	Method	Description
S (leaf)	Sulfur-determinator	Sample $\xrightarrow{V_2O_5}$ Determinator
F (leaf)	Electrode	Sample + Na ₂ CO ₃ Soln. \rightarrow Dry & Ignite \rightarrow NaOH Fusion Dissolve in H ₂ O steam Distillation $\xrightarrow[\text{pH } 5.0\sim 5.5]{\text{TISAB}}$ Ion Meter
So _x (air)	Colorimetry (30 days)	SO _x absorbed in K ₂ CO ₃ paper: Color developed with barium chloranil acid \rightarrow Spectrophotometer at wavelength, 530 nm
F (air)	Lime Treated Filter Paper Technique (30 days)	F absorbed in CaO paper \rightarrow Ignition for 5 hrs at 550°C Dissolve in H ₂ O $\xrightarrow[\text{HClO}_4]{\text{Distillation}}$ until 200 ml \rightarrow Distillate + Alizarin complexon, La(NO ₃) ₂ \rightarrow Spectrophotometer at wavelength 620 nm.

Table 4. Variation in ambient concentrations of pollutants of the sites investigated during growth stage.

Pollutants	Site	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Mean
(mg/100 cm ² /day)	SO ₂ P-1	1.14	0.47	0.71	0.78	0.41	0.18	0.29	0.57(2.11)
	P-2	1.08	0.82	0.97	1.15	0.66	0.11	0.23	0.72(2.67)
	P-3	1.29	0.71	0.40	0.75	0.47	0.23	0.24	0.58(2.15)
	Mean	1.17	0.66	0.69	0.89	0.51	0.17	0.25	0.62(2.30)
	Control	0.14	0.16	0.39	0.29	0.23	0.29	0.38	0.27(1.00)
(μg/50 cm ² /day)	F P-1	14.43	8.06	2.22	7.80	6.64	7.11	2.59	6.98(2.87)
	P-2	36.45	15.40	7.12	12.92	10.31	10.07	6.73	14.14(5.82)
	P-3	44.65	9.81	8.48	16.52	12.46	9.88	4.59	15.20(6.26)
	Mean	31.84	11.09	5.94	12.41	9.80	9.02	4.64	12.11(4.98)
	Control	4.31	1.05	2.43	0.32	4.22	3.27	1.41	2.43(1.00)

P-1, P-2, P-3: Plot 1, 2 and 3 of pollution site.

Numerals in parentheses are relative values to control (1.00).

이 미칠 수 있다는 것을 보여주었다. 그리고 대기오염지역에서測定한 대기中 F의濃度は4月에서10月까지全調査期間동안對照地點에서의測定値보다 높았으며, 平均測定値의 경우對照地點보다5倍程度 높은 값을 보여 대기오염地域內實驗圃場에서供試된樹種들은 대기中의 HF의影響을 받을 수 있다는 것을 보여 주었다. 또한 대기오염地域에供試된樹種들은 대기中 SO₂ 및 HF의複合影響을 받고, 특히 이地域은弗素排出源들과隣接하였기 때문에 대기中 HF의影響을 크게 받을 가능성이 있는 것으로判斷되었다.

可視的 葉被害指數

5월부터8월까지 대기오염地域內의實驗圃場에서調査한 平均 葉被害指數는 표 5에서와 같이 사철나무와 광나무만 葉被害가發生하지 않고 다른供試樹種들은 모두 葉被害가發生하였다. 5月에서8月까

지의 平均 葉被害指數는 모감주나무 등 15個 樹種에서 5(50%) 以上の 葉被害가發生하여 그被害程度가 큰 傾向을 보여 주었으며, 이들중 당단풍, 회화나무, 버지니아소나무, 쥐똥나무 등은 7(70%) 이상의 매우 높은 被害指數를 보였다. 이結果는本調査地域과同一한 대기汚染物인 SO₂와 HF가排出되는地域에 광나무 등 10個 樹種을供試한結果 광나무와 화백의 葉被害度가他樹種에 비해 적었다는研究報告(李昌根 등, 1980)와는 비슷한 傾向을 보였으나 HF 및 SO₂에 의한被害는落葉闊葉樹가 적고, 常綠闊葉樹가 크다는研究結果(松岡義浩, 1970)와는 다른 傾向을 보여 앞으로檢討해 보아야 할 것으로判斷된다.

葉中汚染物

可視的인 葉被害가比較的 많이發生한一部 樹種(버즘나무, 스트로브잣나무)과 적게發生하거나發

Table 5. Variation in index of foliage injury in various tree species at pollution sites.

Species	Index of foliage injury				
	May	June	July	Aug.	Mean
1	6.7	6.0	6.0	6.7	6.4
2	3.0	3.3	4.0	3.7	3.5
3	7.7	7.0	8.0	7.7	7.6
4	7.0	5.7	5.7	5.3	5.9
5	2.3	2.7	2.0	2.7	2.4
6	6.7	6.7	7.7	8.7	7.5
7	2.0	2.3	4.3	5.7	3.6
8	5.7	5.0	5.7	7.3	5.9
9	3.3	4.7	7.3	8.3	5.9
10	3.0	5.0	6.3	7.7	5.5
11	2.0	2.3	3.3	4.0	2.9
12	3.3	3.7	7.0	8.0	5.5
13	6.5	6.4	7.3	9.0	7.3
14	7.7	8.0	8.3	9.0	8.3
15	6.3	7.3	7.0	8.0	7.2
16	5.7	6.0	8.3	9.3	7.3
17	6.0	7.0	8.0	8.3	7.3
18	1.7	1.3	1.0	1.0	1.3
19	4.3	4.3	4.7	5.0	4.6
20	8.0	8.0	7.0	7.7	7.7
21	4.0	4.0	2.0	3.0	3.3
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	6.0	4.5	4.0	3.5	4.5
24	5.3	6.0	6.3	6.3	6.0
25	2.7	2.0	1.7	2.0	2.1
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

生하지 않은 일부 樹種(자작나무, 화백, 사철나무, 현사시, 광나무)의 葉內 汚染物을 分析한 結果는 표 6에서와 같이 葉內 黃 및 弗素 모두 對照地域보다 大氣汚染地域에서 栽培되는 樹種에서 그 含量이 높은 結果를 보여 大氣汚染地域의 SO₂ 및 HF 濃도가 對照地域보다 높다는 것을 反映해 주고 있으며, 특히 大氣汚染地域에서 栽培된 樹種의 弗素含量은 對照地域에서 栽培된 樹種보다 10~20배 程度 높은 傾向을 보였다. 可視的 葉被害가 많이 발생한 버즘나무와 葉被害가 比較的 적게 發生한 현사시는 葉內 黃 및 弗素含量이 對照地域과 大氣汚染地域 모두 他 樹種보다 많은 結果를 보여 葉表面이 거칠은 잎을 가진 樹種이 그렇지 않은 잎을 가진 樹種보다 大氣汚染物을 많이 吸收할 수 있다는 研究報告(Treshow, 1984)와 같이 이들 樹種은 다른 樹種보다 葉表面이 거칠기 때문에 大氣汚染物을 많이 吸收할 수 있는 즉 淨化能力이 큰 樹種인 것으로 判斷되나 그 原因은 앞으로 檢討해 보아야 할 것이다. 그리고 버즘나무와 현사시를 除外한 他 供試 樹種中에도 자작나무, 사철나무, 광나무 등은 對照地域에 비해 大氣汚染地域에서 栽培된 나무의 葉內 黃 含量이 3배 以上 높았고, 葉內 弗素含量도 15배 以上 높은 結果를 보여 이들 樹種도 比較的 大氣汚染 淨化能力이 큰 樹種인 것으로 思料된다. 그리고 針葉樹인 스트로브잣나무와 화백보다는 양버즘나무, 자작나무, 현사시 등의 闊葉樹가 葉內 汚染物蓄積量이 많은 結果를 보여 大氣汚染의 影響을 받고 있는 同一地域에 栽培할 경우 針葉樹보다 闊葉樹의 葉內 汚染物의 蓄積量이 2배 以上 높았다는 研究結果(李昌根 등, 1980)와 一致하는 傾向을 보였다.

Table 6. Sulfur and Fluorine contents in leaves and index of foliage injury at pollution sites in 7-tree species.

Species	Sulfur in leaves (%)			Fluorine in leaves (ppm)			Foliage injury
	Control	Pollution	P-C (P/C)	Control	Pollution	P-C (P/C)	
4	0.259	0.889	0.630(3.43)	38	665	627(17.50)	5.9
5	0.146	0.440	0.294(3.01)	14	327	313(23.36)	2.4
16	0.154	0.226	0.072(1.47)	17	188	171(11.06)	7.3
18	0.167	0.193	0.026(1.16)	18	171	153(9.50)	1.3
22	0.112	0.407	0.295(3.63)	20	319	299(15.95)	0.0
25	0.241	0.729	0.488(3.03)	34	775	741(22.79)	2.1
26	0.149	0.317	0.168(2.13)	16	207	191(12.94)	0.0

P-C : Pollutant contents of pollution site-those of control site.

(P-C) : Numerals in parentheses are relative values to control (1.00).

Numerals identifying the species are the same as in Table 2.

汚染指標間の 關係

葉分析을 實施한 7個樹種의 汚染指標(葉內 黃 및 弗素含量, 可視的葉被害指數)間的 關係는 圖 7과 같다. 對照地域에서 栽培된 樹種의 葉內 黃 및 弗素含量과 大氣汚染地域에서 栽培된 樹種의 葉內 黃 및 弗素含量間에는 正의 有意 相關이 認定되고, 大氣汚染地域에서 栽培된 樹種의 葉內 黃含量과 弗素含量間에도 높은 正의 有意相關이 認定되어 大氣汚染物이 아주 少量으로 存在할 수 있는 對照地域(非汚染地域)에서 汚染物의 吸收能이 큰 樹種은 大氣汚染地

域에서도 그 吸收能이 크다는 것을 보여 주었으며, 또한 大氣中の SO₂와 HF는 植物의 잎을 통해 吸收할 때 어느 한 種類의 汚染物만 選擇的으로 吸收하지 않는다는 것을 보여 주었다.

그리고 葉內汚染物含量과 葉被害指數間에는 相關性이 매우 낮은 結果를 보여 同一種類의 植物이나 品種을 大氣汚染排出地域內 여러 地點에 分散 栽培할 경우 葉內 汚染物의 含量이 높을수록 可視的인 葉被害度가 높아진다는 研究結果들(山添文雄, 1970; 山川味彦 등, 1975; 박완철 등, 1987)과는 다른 傾向을 보였는데 本 實驗의 경우 同一 大氣汚染

Table 7. Correlation coefficient among pollution indicators in 7-tree species.

Pollution indicators	Sulfur in leaves			Fluorine in leaves			Foliage injury
	Sites	Pollution	P-C	Control	Pollution	P-C	
Sulfur in leaves	Control	0.815*	0.724	0.906**	0.836*	0.830*	0.428
	Pollution		0.990**	0.906**	0.913**	0.943**	0.236
	P-C			0.855*	0.919**	0.918**	0.175
Fluorine in leaves	Control				0.914**	0.907**	0.312
	Pollution					0.999**	0.177
	P-C						0.171

* : Significance at the 5% level

** : Significance at the 1% level

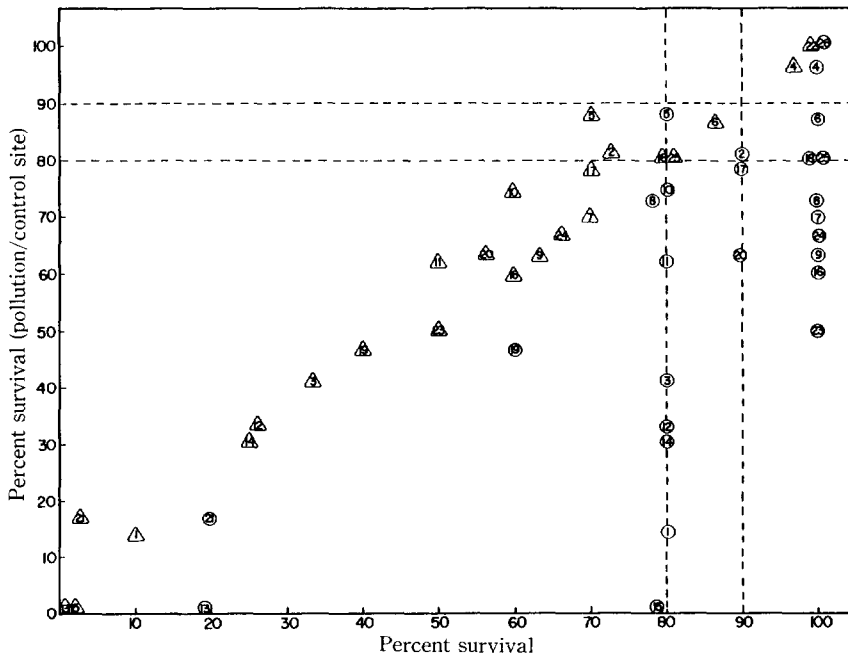


Fig. 1. Variation in percent survival in various tree species at pollution (Δ) and control (\circ) sites. Numeral identifying the species are the same as in Table 2.

排出地域에 樹種을 달리하여 栽培하였기 때문에 樹種別로 吸收된 汚染物을 無毒化 또는 害毒化 機構라는 生理·生化學的 代謝機能의 有無나 代謝速度의 差(Klein et al., 1978; Tanaka and Sugahara, 1980; Threshow, 1984) 때문에 葉內汚染物의 蓄積量이 많을 경우에도 可視的 葉被害程度는 적었던 것으로 判斷되고, 同一樹種中 여러 品種을 利用한 實驗結果 大氣汚染物 吸收量이 많은 樹種이 반드시 可視的 被害가 많이 發生하지 않았다는 研究報告(Fujiyama et al., 1981)와도 一致한다. 그러므로 樹種別 大氣污染에 對한 被害程度를 評價할 때 單純히 葉內에 蓄積된 汚染物의 含量 差異만으로 評價하는 것은 적절치 못한 것으로 判斷되고, 樹林帶 造成時에는 葉內汚染物 蓄積量이 많지만 葉被害程度가 적은 樹種을 選定하는 것이 효율적일 것으로 생각되지만 本 實驗에서 葉分析을 實施한 樹種이 7種에 불과하므로 繼續的인 實驗을 통해 좀더 명확히 究明할 必要가 있는 것으로 判斷된다.

3.2 活着率 및 生育特性

活着率

10월에 調査된 活着率은 그림 1에서와 같이 大氣

汚染地域에 植栽한 樹種들의 活着率이 對照地域에 植栽한 樹種들의 活着率보다 떨어지는 傾向을 보였으며, 특히 버지니아소나무와 잣나무의 경우 大氣汚染地域에서 活着이 전혀 되지 않았는데 버지니아소나무는 對照地域에서의 活着率도 20% 程度이므로 大氣汚染地域에서 活着이 전혀 되지 않은 것은 大氣汚染物의 影響보다 蔚山地域에서의 適應性이 問題가 되기 때문이고, 잣나무는 大氣汚染地域에서의 適應性이 매우 낮은 것으로 思料된다.

그리고 對照地域과 對比한 大氣汚染地域에 植栽된 樹種들의 活着率은 모감주나무와 산오리나무는 15% 內外, 일본잎갈나무와 리기다소나무는 30% 程度, 당단풍나무는 40% 程度, 아카시아나무, 스트로브잣나무, 쥐똥나무, 족제비싸리와 벚나무 등은 50~60% 程度의 낮은 값을 보였는데, 對照地域에서의 活着率이 20%인 산오리나무를 除外한 다른 樹種들은 大氣汚染物의 影響을 많이 받았기 때문에 活着率이 떨어진 것으로 생각된다. 그러나 자귀나무, 중국굴피나무, 소나무와 독일가문비나무 등은 70~78%, 화백, 현사시, 팽나무, 회화나무와 자작나무 등은 80~87% 程度의 多少 높은 값을 보였으며, 양버즘나무는 97%, 사철나무와 광나무는 100%의 매우 높은 活着率을 보여 이들 3樹種과 對照地域

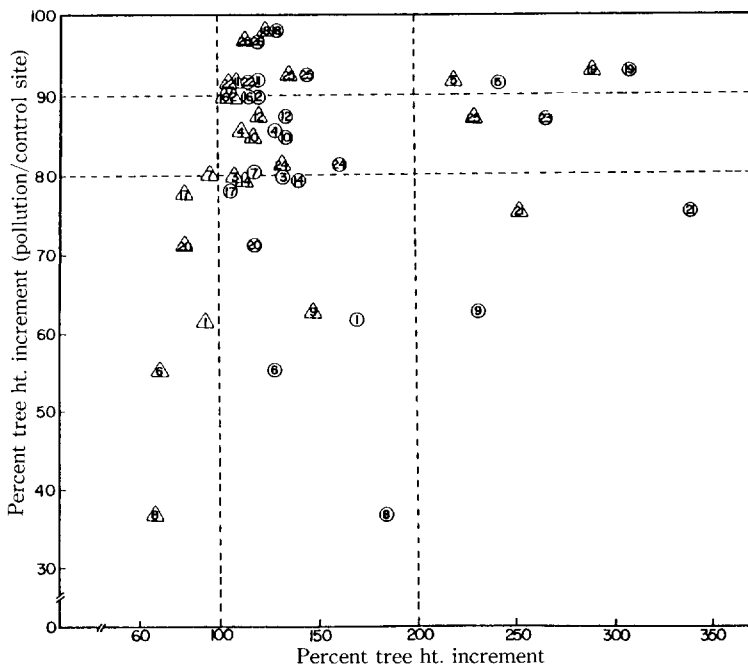


Fig. 2. Variation in percent tree height increment from 5 April 1988 to 15 October 1988 in various tree species at pollution (Δ) and control (\circ) sites. Symbols are the same as in Table 2.

對比 大氣汚染地域에서 80% 以上の 活着率을 보인 樹種中 화백, 현사시, 회화나무 등은 對照地域에서도 100%의 活着率을 보여 活着率만을 考慮한다면 蔚山地域에 適應이 可能한 樹種인 것으로 생각된다.

稍長

5月과 對比한 10月の 稍長 增加率을 보면 그림 2에서와 같이 對照地點에 供試한 대부분의 樹種에서 100~150%의 增加率을 보였고, 특히 산오리나무, 상수리나무, 아카시나무, 자작나무, 족제비싸리 등의 樹種은 200% 以上の 높은 增加率을 보였다. 그리고 大氣汚染地域에서의 稍長 增加率도 이들 對照地域에서 높은 增加率을 보인 樹種中 족제비싸리를 除外한 다른 4樹種의 경우 높은 稍長 伸張度를 보였으며, 다른 供試 樹種들 대부분 100% 以上の 增加率을 보였으나 중국굴피나무, 모감주나무, 자귀나무, 독일가문비나무, 쥐똥나무, 회화나무 등의 樹種은 增加率이 100%에도 미치지 못하여 移植 當時보다 稍長이 작은 傾向을 보였다.

對照地域과 對比한 大氣汚染地域에서의 稍長의 增加率을 보면 화백, 광나무, 상수리나무, 현사시, 자작나무, 곰솔, 사철나무, 팽나무, 스트로브잣나무 등은 90% 以上の 높은 값을 보였으며, 리기다소

나무, 아카시, 양버즘나무, 소나무, 벗나무, 일본잎갈나무, 자귀나무, 당단풍나무 등은 80% 以上の 값을 보여 大氣汚染地域에서의 稍長伸張이 對照地域과 큰 差가 없다는 것을 보여 주었으나 중국굴피나무, 회화나무, 모감주나무, 족제비싸리 등은 增加率이 60% 程度이거나 그 以下の 增加率을 보여 大氣汚染物이 이들 樹種의 稍長伸張에 큰 影響을 미친 것으로 判斷된다.

根元徑

5月 調査值를 基準으로 한 10月の 根元徑增加率과 對照地域과 對比한 大氣汚染地域에서의 增加率은 그림 3에서와 같다. 對照地域에서의 根元徑增加率은 植栽한 모든 樹種이 100% 以上, 특히 자작나무와 산오리나무는 200% 以上の 높은 增加率을 보였으며, 족제비싸리, 현사시, 소나무, 쥐똥나무, 중국굴피나무, 리기다소나무, 모감주나무, 아카시나무 등은 150% 以上の 增加率을 보였다. 그리고 大氣汚染地域에서의 增加도 회화나무를 除外한 植栽한 모든 樹種이 100% 以上이었으며, 특히 자작나무는 200% 以上, 산오리나무, 현사시, 족제비싸리 등은 150% 以上の 높은 增加率을 보였다.

對照地域과 對比한 大氣汚染地域에서의 根元徑

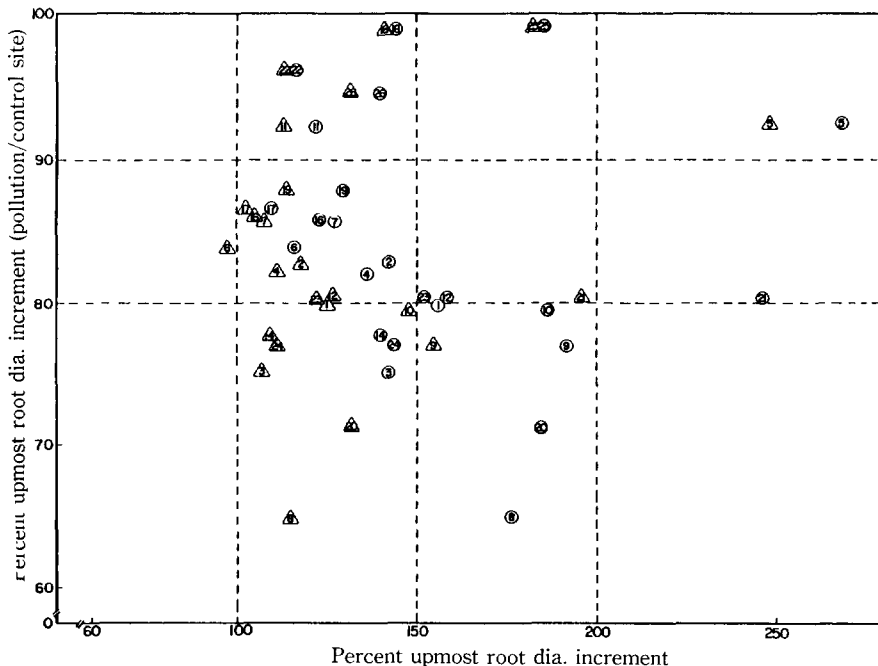


Fig. 3. Variation in percent upmost root diameter increment from 5 April 1988 to 15 October 1988 in various tree species at pollution (Δ) and control (\circ) sites. Symbols are the same as in Table 2.

增加率을 보면 현사시, 화백 등은 거의 100%에 가까운 값을 보였고, 사철나무, 광나무, 자작나무, 곰솔 등의 증가율도 90% 이상의 값을 보여 이들 樹種은 大氣汚染地域에서도 橫의生長은 對照地域과 큰 差異가 없다는 것을 보여 주었다. 그러나 중국굴피나무와 쥐똥나무의 증가율은 70%에 가깝거나 그 이하의 값을 보여 이들 樹種은 大氣汚染의 影響으로 主幹의 橫의生長이 많은 影響을 받았던 것으로 思料된다.

3.3 調査指標間的 關係

可視的葉被害指數와 活着率 및 生育特性間的 關係

大氣汚染物이 植物에 미치는 影響의 重要한 指標로 알려진 可視的葉被害指數(藤原喬, 1975; Fujinuma et al., 1981; 박완철 등, 1987; 신응배 등, 1989)와 對照地域과 對比한 大氣汚染地域에서의 生存率, 稍長의 增加率 및 根元徑增加率간의 關係는 표 8에서와 같이 可視的葉被害率은 活着率, 稍長 및 根元徑增加率間에 負의 有意相關을 보여 可視的인 葉被害가 많이 發生하는 樹種일수록 大氣中 HF 및 SO₂의 影響을 많이 받기 때문에 活着率이 떨어지고, 稍長의 伸張과 主幹의 橫의生長이 不良하다는 것을 보여 주었다. 그리고 逆으로 解析하면 活着率이나 稍長 및 根元徑의 增加率은 可視的 葉被害指數와의 相關값이 매우 크므로 大氣汚染 影響의 指標로 보다 有用하게 利用할 수 있을 것으로 思料된다.

生存率 및 稍長, 根元徑間的 相互關係

對照地域과 對比한 大氣汚染地域에서의 活着率, 稍長 및 根元徑增加率間的 相互關係는 표 8에서와

같이 根元徑 增加率은 稍長增加率과 높은 正의 有意相關을 보여주어 主幹의 伸張과 橫의生長간에 密接한 關係가 있다는 것을 보여 주었다. 그리고 根元徑 增加率과 活着率間에도 正의 有意 相關을 보여주어 活着率이 높은 樹種이 橫의生長도 良好하다는 것을 보여 주었으나 稍長增加率과 活着率間에는 相關의 有意性이 認定되지 않았으므로 主幹의 伸張이 生存率과 큰 關係가 없다는 것을 보여 주었는데 이 結果는 大氣汚染地域에서 調査된 結果이기 때문인 것으로 思料된다.

適應樹種 選定

本 實驗에서 調査된 對照地域과 對比한 活着率, 稍長 및 根元徑增加率 등 3因子를 各各 同一한 값으로 考慮한 綜合形質指數 (綜合形質指數=(生存率+稍長增加率+根元徑增加率)·1/3)는 그림 4에서와 같고, 綜合形質指數와 可視的葉被害指數와의 關係는 표 8에서와 같다. 綜合形質指數와 可視的葉被害指數間에는 높은 負의 相關이 認定되어 綜合形質指數도 大氣汚染物에 의한 影響評價時에 매우 有用한 指標가 될 수 있다는 것을 보여 주었으므로 供試樹種들의 大氣汚染地域 適應性을 活着率, 稍長 및 根元徑增加率을 各各 分離하여 評價하는 것보다는 이들을 모두 考慮하는 것이 훨씬 有利하다는 判斷下에 綜合形質指數를 樹種들 間에 比較하여 보면 그 指數가 90% 以上되는 광나무, 사철나무, 화백, 현사시, 자작나무 등과 90%에 가까운 양버즘나무가 大氣汚染物中 HF와 SO₂의 複合 汚染地域에 適應성이 높은 樹種이고, 버지니아소나무와 잣나무, 모감주나무, 산오리나무, 중국굴피나무 등 그 指數가 50~60% 以下인 樹種은 適應성이 매우 낮은 것으로 判斷할 수 있으며, 指數가 70% 程度 以下인 당단풍나무, 일본잎갈나무, 쥐똥나무, 리기다소나무, 족제비싸리, 아키시나무 등도 比較的 適應성이 낮은 樹種인 것으로 思料된다.

그리고 比較的 適應성이 높은 것으로 判斷된 현사시와 양버즘나무와 같은 樹種은 표 6에서와 같이 大氣汚染物의 吸收能力이 크기 때문에 본 地域과 같은 HF 및 SO₂ 複合汚染地域에서 大氣汚染 淨化用 樹種으로서의 可能性을 보여 주었으며, 광나무 및 사철나무와 같은 常綠闊葉樹種은 大氣汚染地域에서 可視的葉被害도 發生하지 않고 活着率이나 生育形質의 增加率도 對照地域과 큰 差異가 없으므로 本 調査地域과 同一한 汚染物이 排出되는 地域의 綠化에 適合한 樹種인 것으로 判斷된다. 그러나 광나무와 사철나무는 灌木이기 때문에 大氣汚染物의 遮斷效

Table 8. Correlation coefficient among index of foliage injury and various growth characters (n=26).

Factors	% collective characters	% survival	% tree ht. increment	% upmost root dia. increment
Index of foliage index	-0.662**	-0.500**	-0.523**	-0.573**
% survival	—	—	0.273 ^{ns}	0.450*
% tree ht. increment	—	—	—	0.726**

*, ** : Significance at the 5%, 1% levels, respectively

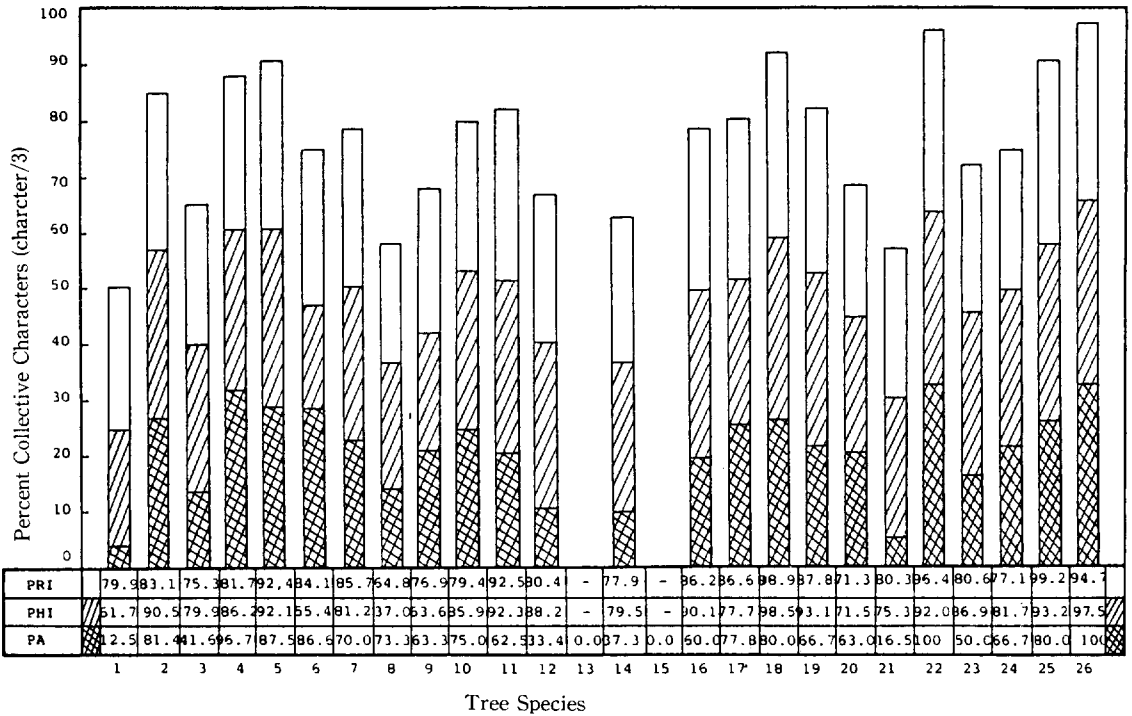


Fig. 4. Variation in percent collective characters and growth characters such as percent survival (PA, ▨), percent tree height increment (PHI, ▤) and percent upmost root diameter increment (PRI, □) compared pollution sites with control sites in various tree species. Numerals identifying the species are the same as in Table 2.

果面에서는 多少의 問題가 派生될 수 있으므로 화백, 현사시, 양버즘나무 등 喬木性樹種과 混栽時에는 상당한 效果를 기대할 수 있을 것으로 思料된다. 특히 HF 및 SO₂와 같이 水分에 대한 溶解度가 높은 大氣汚染物質은 植物에 吸收가 잘되므로 (Treshow, 1984) 本 實驗地域과 같이 HF 및 SO₂가 排出되는 地域에는 樹林帶 造成을 통한 大氣汚染物質의 淨化 效果는 상당히 클 것으로 기대가 되므로 適應性 樹種의 選定에 關한 研究는 더 많은 樹種을 供試하여 持續的이고 基本的인 研究를 遂行하여야 할 必要性이 있는 것으로 생각된다.

4. 結 論

各種 大氣汚染物이 많이 排出되고 있는 工業團地 周邊 地域에 國內에 많이 植栽되고 있는 일부 樹種 들을 供試하여 適應性이 높은 樹種을 選拔, 工業團地 地域의 大氣汚染度를 줄이기 위한 樹林帶 造成시 이용할 目的으로 實驗을 實施한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 나무의 生育期동안 測定한 大氣中 SO₂ 및 HF 의 濃度와 一部樹種의 葉內 黃 및 弗素含量은 對照 地域보다 大氣汚染地域에서 높은 傾向을 보였고, 특히 葉內 弗素含量은 顯著하게 높았다.

2. 大氣汚染地域에서 調査된 樹種別 可視的葉被害度를 보면 광나무와 사철나무는 可視的인 葉被害가 전혀 發生하지 않은 반면 당단풍, 버치니아소나무, 잣나무, 일본잎갈나무, 스트로브잣나무, 독일가문비나무, 쥐똥나무 등은 매우 높은 可視的葉被害度를 보였다.

3. 大氣汚染地域에서 測定한 葉內 黃 및 弗素含量間 正의 有意相關을 보였으나 可視的葉被害指數와 葉內 黃 및 弗素含量間에는 相關의 有意性이 認定되지 않았다.

4. 可視的葉被害指數는 對照地域과 對比한 大氣汚染地域에서의 活着率, 稍長 및 根元徑增加率, 이들 3形質을 綜合的으로 고려한 값인 綜合形質指數와 높은 負의 有意相關이 認定되었다.

5. 活着率, 稍長 및 根元徑增加率 등을 考慮한 綜合形質指數를 利用하여 適應樹種을 選拔할 때 그 指

數가 90% 以上되는 광나무, 사철나무, 화백, 현사시, 자작나무 등과指數가 90%에 가까운 양버즘나무와 같은 樹種이 大氣中 SO₂ 및 HF가 複合적으로 排出되는 地域의 植栽用으로 適合한 것으로 判斷된다.

參 考 文 獻

- 朴浣澈, 申應倍, 金光鎬(1987) 黃化物 및 弗化物이 水稻 生育과 收量에 미치는 影響, 第1報 汚染地域에서의 生育障害 및 收量減少. 韓國環境農學會誌 6(2), 53 — 65.
- 신응배, 박완철 등(1989) 울산공업단지지역의 대기오염에 따른 농작물 영향조사 및 기여도 산출에 관한 연구. KAIST 보고서(BS-2I1264-3512-6).
- 李鎭根 등(1980) 大氣汚染이 樹木에 미치는 影響에 관한 研究. 林業試驗場 研究報告書, 854 — 867.
- 青木正則, 小川正(1977) 水稻의 耐SO₂性과 케이酸質肥料との關係. 電力中央研究所報告 476010, 1 — 16.
- 松岡義浩(1970) 大氣汚染と農作物. 農業および園藝 45(3), 463 — 467.
- 山添文雄(1970) ぶつ化水素의 植物에 及ぼす 影響について. 公害と對策 6(7), 27 — 32.
- 山川味彦 等(1975) 溶性りん肥工場周邊におけるぶつ化 物濃度について. 大氣汚染研究 10, 449.
- 藤原喬(1975) 低濃度地域二酸化イオウによる植物の障害 發現とその珍斷に關する研究. 電力中央研究所報告 74001, 1 — 12.
- Fujinuma, Y., T. Totsuka and I. Aiga (1981) Inter-clonal variation in response to air pollutants of hybrid poplar trees. Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud. (Japan) 28, 149 — 159.
- Hansen, E.D., H.H. Wiebe and W. Thorne (1958) Air pollution with relation to agronomic crops: VII Fluoride uptake from soils. Agronomy J. 50, 565 — 568.
- Klein, H., H.J. Jager, W. Domes and C.H. Wong (1978) Mechanisms contributing to differential sensitivities of plant to SO₂. Oecologia (Berl.) 33, 203 — 208.
- Tanaka, K. and K. Sugahara (1980) Role of superoxide dismutase in defence against SO₂ toxicity and an increase in superoxide dismutase activity with SO₂ fumigation. Plant & Cell Physiol. 21, 601 — 611.
- Treshow, M. (1984) Air pollution and plant life, John Wiley & Sons, 188, 441 pp.
- Wellburn, A. (1988) Air pollution and acid rain, Longman Scientific & Technical 188 pp.