

大氣污染地域의 森林植生構造와 葉內汚染物質 含量에 관한 研究¹

金鍾甲² · 金在生²

Studies on the Composition of Forest Vegetation and the Contents of Polluted Materials in the Needles in an Air Polluted Area¹

Jong Kab Kim² and Jai Saing Kim²

要 約

大氣污染이 森林植生에 미치는 影響을 調査하기 위하여 溫山公園周邊 海松林의 地域에 調査區를 設定하여 環境要因과 樹木葉內 水溶性硫黃의 含量, 森林植生の 構造變化 등을 調査하여 본 結果는 다음과 같다.

1) 土壤의 pH와 全窒素含量, 有機物含量 등은 汚染源에서 가까울수록 대체적으로 낮았으며 土壤中の S含量은 높은 편이었는데, 특히 土壤中の S含量과 pH와는 1%水準에서 相關이 認定되었다.

2) 海松葉內的 水溶性硫黃의 含量은 0.1295-0.2515%로서 대체적으로 높았으며, 특히 汚染源에 가까운 2, 3調査地가 가장 높았다.

3) 出現된 樹種의 種數는 3調査地에서 7種, 7調査地에서 20種이 出現되어 汚染源에 가까울수록 점차 감소현상을 보였으며 거리가 먼 地域일수록 總個體數와 種多樣度, 均在度가 증가되었다.

4) 海松葉內的 S含量과 出現種數, 種多樣度間에는 相關關係가 各各 5%, 1%水準에서 有意성이 認定되었다.

5) 樹種別 優占值를 比較하여 본 結果, 大氣污染이 심한 地域일수록 優占值가 매우 낮았으나 참나무류는 全調査地에서 비교적 높은 편이었다.

6) 本 調査地를 中心으로 본 大氣污染에 대한 耐性度는 海松과 졸참나무, 청미래덩굴 등이 大氣污染에 강한 것으로 나타났으며 진달래와 산철쭉, 굴피나무, 해변싸리 등은 敏感한 것으로 나타났다.

ABSTRACT

This study was performed to investigate effects of air pollution on the *Pinus thunbergii* forests in Onsan industrial districts, and environmental factors, contents of soluble sulfur in needles, and composition of forest vegetation were examined.

The results obtained in this study were summarized as follows :

1. The pH of soils, organic matter and total N were low near the source of air pollutants, and sulfur contents in the soils was high in general.

Especially there was significant correlation between the sulfur contents in the soil and pH at 1% level.

2. The contents of soluble sulfur in needles ranged from 0.13% to 0.25% and were generally high, and

¹ 接受 1989年 8月 9日 Received on August 9, 1989.

² 慶尙大學校 農科大學 College of Agriculture, Kyeongsang National University, Chinju, 660-701, Korea

plot 2 and 3 were the highest of all.

3. In the number of species, 7 species appeared in plot 3 and 20 species in plot 7, and they were low near the source of air pollutants.

Total number of individuals, species diversity and evenness increased with in creasing distance from the source of air pollutants.

4. There were significant correlations between the contents of soluble sulfur in needles and the number of species and species diversity at 5%, 1% level, respectively.

5. Importance value of each species was low near the source of air pollutants but *Quercus* species showed high values in all plots.

6. On these studied plots, *Pinus thunbergii*, *Quercus serrata* and *Smilax china* were tolerant, and *Rhododendron mucronulatum*, *Rhododendron yedoense* var. *poukhanense*, *Platycarya strobilacea* and *Lespedeza maritima* were sensitive to air pollution.

Key words : *Pinus thunbergii* ; air pollution ; sulfur contents ; composition of forest vegetation.

I. 緒 論

최근 우리나라는 石油化學工業의 發達로 因하여 大氣汚染이 農作物과 森林에 미치는 影響은 심각한 社會問題로 나타나고 있다.

특히 1980年代 전후로 建設된바 있는 溫山公園에서는 주민500명이 ITAI病에 罹病된 報도가 있는가 하면 人體뿐만 아니라 農産物에까지 被害를 입힌 事例가 있었는데 이의 주요원인은 Cu, Zn, Cd, Pb, Cr 등의 중금속과 SO₂, HF, NO_x, D₃, PAN 등의 大氣汚染物質로 인한 복합오염이 의한 것임이 밝혀진바 있다.⁶⁾

大氣汚染이 植物에 미치는 影響에 관해서는 1850年 독일에서 SO₂gas에 의한 植物被害를 研究 報告한 것이 처음이었으며^{8,12)} 그이후 Gas의 接觸 實驗에 의한 被害研究^{2,3,4,15,19,27,33,35,37)}와 野外調査 등을 통한 대기오염과 식물과의 關係를 調査한 研究^{5,9,10,11,13,18,23,26,29,30,31,33,34)} 등이 많이 있으며 또한 McClenahan²⁸⁾과 Woodwell³⁶⁾, Archibold¹⁾ 등은 環境汚染이 森林의 群集構造에 變化를 가져온다고 보고한바 있으며 우리나라의 蔚山公園 주변지역의 植物群集調査^{20,21)}를 통하여, 그리고 麗川公園 주변 지역의 森林生態學的 變化에 대한 調査報告^{16,17,22,30)}를 통하여 公營단지 주변 森林이 大氣汚染으로부터 많은 被害를 받고 있음이 나타나고 있다.

○와 같이 최근에 각 公장에서 배출되는 汚染物質로 因하여 大氣汚染의 심각성이 우려되는바 본 研究에서는 溫山公園 주변에서 밝혀진바 없는 森林

中 優占種을 이루고 있는 海松林을 中心으로 汚染源에서의 거리별로 海松葉內의 水溶性硫黃의 含量과 同地域의 環境要因에 따른 森林植生の 構造變化를 조사하여 大氣汚染物質이 森林에 미치는 影響을 調査한 것을 여기에 報告하는 바이다.

材料 및 調査方法

1. 調査地

Fig.1과 Table 1에서 보는바와 같이 調査地는 대부분 石油化學製品을 生産하고 있는 石油化學工場의 密集地域에서 2Km이내에 1, 2, 3調査地를 設定하고 4Km이내에 4, 5, 6調査地를 設定하였으며 또한 10Km이상 떨어진 곳에 7, 8調査地를 設定하는 등 總8개의 調査地를 設定하였는데 本 調査地는 森林의 구성상태가 비교적 良好하고 최근에 山

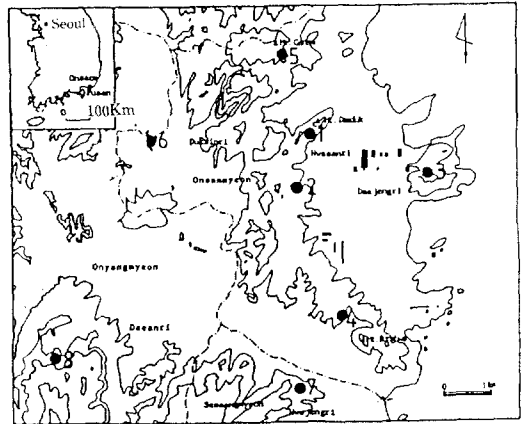


Fig. 1. Location of the studied areas and Onsan industrial districts. *Legend ● : Studied area, ■ : Factory.

Table 1. Factories in Onsan industrial districts

Factory	Day operated	Products
Hyosung Metal Co., LTD	78. 7.16	Container, Prefabricated house.
Koryeo Zinc Co., LTD	78. 11.24	Zinc, Sulfuric acid, Cd, Electric copper, etc.
Hyosung Aluminium Co., LTD	78. 12. 1	Aluminium products, etc.
Korea Mining Co., LTD	79. 11. 5	Electric coppr, Gold, Silver, etc.
Hanlim Chemical Co.	80. 6. 7.	Chloric acid soda, etc.
Pungsan Metal Co. LTD	80. 7. 1.	Copper products, Compound metal products, etc.
Donghae Pulp Co., LTD	80. 8. 1.	Pulp, Bleachers, etc.
Lucky LTD	80. 8.12.	Dyestuffs, Surface active agents, etc.
Ssangyong Oil Refinery Co., LTD	80. 10. 1.	LPG., Naphthaline, Diesel oils, Oil refining
Jeil Mulsan Co., LTD	81. 7.16.	Hydrochloric acid, Sulfuric acid, OTSA, PTSA, etc.
Korea Oil Development Co., LTD	82. 10.11.	Oils, etc.
Kyeonggii Chemical Co.	82. 11.19.	Sulfuric acid, Hydrochloric acid, Compound fertilizer, Coal, etc.
Dongkwang Chemical Co.	84. 6.4.	Liquefied carbon, etc.

火等の 人爲的인 被害가 없는 海松林으로 하였다.

한편 調査地에 대한 氣象條件은 蔚山測候所에서 測定한 氣象資料²⁴⁾(1931年-1984年간의 平均值)를 이용하였다(Table 2).

年平均氣溫은 13.3°C 이고 月平均氣溫이 가장 높은 8月과 가장 낮은 1月은 각각 25.6°C, 0.9°C 로서 海洋의 영향을 받아 내륙지방에 비해 溫度較差가 심한 편이 아니었다.

또한 年平均降雨量은 1277.7mm로서 우리나라 年平均值인 1000-1200mm보다는 조금 많은 量을 나타내고 있었으며 夏季節의 集中降雨特性을 나타내는 지역이었다. 그리고 溫量指數(Warmth Index) 및 寒冷指數(Coldness Index)를 계산한바

각각 107.4°C, -7.9°C 이었다.

2. 葉內 水溶性硫黃의 含量

調査地別 수령20年이상의 海松(*Pinus thunbergii*) 5주씩의 調査木에서 2年葉 500g씩을 채취하였으며 葉의 채취는 調査木의 中·下層 樹冠部位別로 채취하였고 채취한 葉은 수도물과 증류수로 깨끗이 씻은 다음 80°C로 48시간 건조시킨후 100 mesh 이하의 粉末을 만들어 試料로 사용하였으며 重量法으로 葉內 水溶性硫黃을 測定하였다.

3. 森林植生の 構造變化

汚染源에서 거리별로 8개의 調査地를 設定하고

Table 2. Synoptic meteorological data at Ulsan(1931-1984)

Month element	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mean
Average temp. (°C)	0.9	2.7	6.7	12.2	17.1	20.5	24.6	25.6	20.9	15.4	9.4	3.5	13.3
Aver. max. temp. (°C)	14.0	16.2	20.5	25.6	29.7	31.7	34.6	34.9	31.4	26.7	22.2	17.2	25.4
Aver. min-temp. (°C)	-9.8	-8.4	-4.8	0.8	6.3	11.7	16.9	18.0	11.1	3.9	-3.0	-7.7	2.9
Total precipitation (mm)	29.0	48.8	71.7	121.8	106.1	151.2	208.4	89.8	189.2	66.5	62.3	32.9	1277.7
Relative humidity (%)	58	60	65	71	73	80	84	81	80	73	68	60	73
Warmth index (°C)	107.4												
Coldness index (°C)	-7.9												

이調查地에서 各各 5個의 小調查區로 한 總40個의 調查區(8調查地×5調查區)를 設置하였다.

標本流出方法은 上·中層의 경우에는 10×10m, 下層植生은 5×5m의 方形區로 한 重複法(Nested quadrat method)을 적용하였으며 本 調査에서는 樹木만을 대상으로 하였고 上層은 樹高 6m이상의 樹木群을 下層은 2m이하의 樹木群을, 中層은 上層과 下層사이의 樹木群을 대상으로 하였다. 그리고 森林群集의 構造分析을 위하여 小調查區別로 樹冠投影圖를 작성하여 수종별로 被도와 密度, 頻度 등을 계산하였으며 한조사구의 수종별 優劣의 比較를 나타내는 測度는 Crutis의 相對優占值를 적용하여 다음 式에 의하여 계산하였다.⁵⁾ 즉,

$$\text{相對優占度(Importance Value : I V)} = \frac{\text{相對密度(RD)} + \text{相對被度(RC)} + \text{相對頻度(RF)}}{3}$$

但, 相對密度(被度, 頻度)=

$$\frac{\text{問題種의 密度(被度, 頻度)}}{\text{全體種의 密度(被度, 頻度)}} \times 100$$

또한 相對優占值는 調査區別과 樹冠層別, 樹種別로 계산하였으며 수종별 상대우점치는 수고를 고려하여 다음 式에 의하여 평균치로 하였다.^{22,30)}

$$I.V = \frac{\text{上層} \times 3 + \text{中層} \times 2 + \text{下層}}{6}$$

그리고 한調查區의 種構成狀態의 多樣度를 나타내는 測度는 Shannon(1963)의 種多樣度(Species diversity)를 적용하였다.³²⁾

$$\text{즉, 種多樣度}(H') = -\sum (n_i/N) (\log n_i/N)$$

N : 한조사구내의 總個體數

n_i : 한조사구내의 어떤 수종의 個體數

조사지별 種多樣度의 最大可能值, 즉 最大種多樣度(Maximum H') = logS에 의하여 계산하였으

며(S는 調査區別 樹種數임) 相對的인 種多樣度를 의미하는 均在度(Evenness) $J' = H'/H'_{max}$ 에 의하여 계산하였다.

III. 結果 및 考察

1. 調査地의 環境

各 調査地에 대한 일반적인 環境은 Table3에서 보는바와 같이 傾斜度는 20-45°이었으며 海拔高는 6調査地를 제외하고는 100m이하로 낮은 곳이었고 土深은 中이었으며 土壤水分은 適이었고 상층木の 平均 胸高直徑은 10-14cm, 平均수고는 6.5-10.0 m였으며 수령은 20-40年사이의 海松林이었다.

各 調査地에 대한 土壤(낙엽층을 제거한후 10-15cm地下에서 채취)의 理化學的인 分析值(Table4)를 보면 土性은 주로 砂質壤土이었으며, pH는 3.9-5.2의 범위로서 麗川工團²²⁾의 3.76-4.96보다는 높은 편이었으나 調査地1, 2, 3은 4.5이하로서 强酸性을 나타내고 있었다.

또한 유기질의 함량과 全窒素含量에서도 7, 8調査地를 제외하고는 매우 낮은 값을 나타내고 있었으며 Ca⁺⁺, K⁺함량도 8調査地外에는 대체적으로 낮은 水準을 보였고 1調査地에서 가장 낮았었다.

그리고 토양中 S含量은 5, 8調査地에서는 247.8 ppm의 가장 높은 값을 나타내고 있었는데 이는 污染源(京畿化學)에서 0.5Km이내 地域으로 가장 가까운 곳이기 때문인 것으로 推測되었다.

한편 토양중의 S함량과 pH와의 상관관계는 Fig.2에서 보는바와 같이 1% 水準에서 有意性이 認定되어 토양중의 pH는 토양중의 S함량과 有意的인 관계가 있음을 알수 있었다.

Table 3. Environmental gradients of investigated plots

Plot	Aspect	Slope (°)	Altitude (m)	Soil depth	Soil moisture	Mean D.B.H. (cm)	Mean height (cm)	Distance from sources (km)
1	E	20	25	medium	moderate	10.4	6.5	1
2	SE	25	30	do.	do.	12.3	8.6	1.5
3	NW	30	40	do.	do.	13.7	7.5	0.5
4	SW	20	35	do.	do.	11.7	7.2	4
5	SW	45	60	do.	moist	9.5	7.6	5
6	NE	40	110	do.	moderate	9.8	7.8	4
7	NE	45	35	do.	do.	14.6	10.1	10
8	SE	30	50	do.	do.	9.8	9.0	12

Table 4. Soil characters of experimental plots

Plot	Soil texture	pH (H ₂ O) 1:5	Organic Matter (%)	Total N (%)	Available P ₂ O ₅ (ppm)	C.E.C. (me/100g)	Exchangeable Bases (me/100g)				Al (ppm)	S (ppm)
							Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁻	Na ⁺		
1	Silt loam	4.5	0.86	0.05	3.8	7.31	0.21	0.13	0.10	0.24	436	170.1
2	do.	4.1	0.40	0.03	3.1	7.46	0.54	0.43	0.18	0.25	430	168.0
3	do.	3.9	1.56	0.09	2.7	9.28	0.32	0.14	0.18	0.39	497	247.8
4	do.	4.8	1.83	0.11	1.4	8.12	0.24	0.21	0.18	0.23	521	125.3
5	do.	5.2	1.67	0.09	5.7	8.62	0.57	0.32	0.13	0.40	459	38.5
6	do.	4.8	0.67	0.04	3.1	7.89	0.51	0.38	0.17	0.25	491	184.0
7	Loam	5.1	2.59	1.14	5.0	8.34	0.36	0.21	0.10	0.40	550	120.2
8	Silt loam	4.9	1.87	0.10	2.7	8.58	2.10	0.72	0.36	0.26	635	48.4

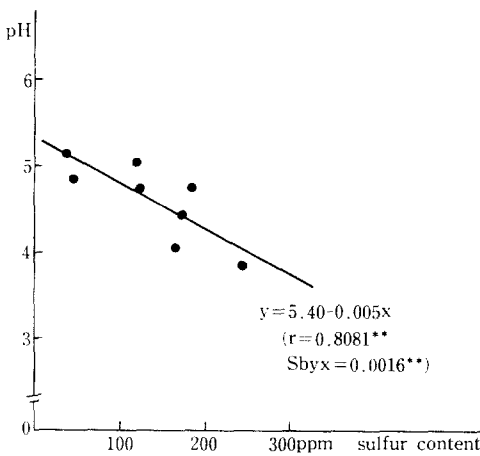


Fig. 2. Regression of the sulfur content of soil to the pH of soil of plots studied.

2. 葉內 水溶性硫黃의 含量

調査地別 海松 5株씩의 調査木에서 採取한 2年 葉의 硫黃含量은 Table5에서 보는바와 같이 調査地3이 0.2515%로서 가장 높았으며 5調査地가 0.1295%로서 가장 낮았다.

일반적으로 보아 정상적인 식물은 보통 0.05-0.1%의 硫黃含量을 含有하고 있는데²³⁾ 本 調査地에서는 모두 이범위를 넘었으며 특히 汚染源에서 가까운 1, 2, 3調査地에서는 0.2%内外의 높은 수준을

Table 5. The concentration of the soluble sulfur in the 2-year-old needles of *Pinus thunbergii*. (Unit : %)

Plot	Water-soluble sulfur	Plot	Water soluble sulfur
1	0.1697	5	0.1295
2	0.2325	6	0.1566
3	0.2515	7	0.1472
4	0.1438	8	0.1547

보여 Carlson³⁾과 Linzon²⁶⁾이 보고한바 있는 植物體內 硫黃의 蓄積은 SO₂發生源에서 가까워 질수록 증가한다는 研究結果와 일치하였다.

또한 만성적인 大氣汚染地域에서 植物體의 水溶性硫黃의 定量은 大氣中에서 직접 흡수된 SO₂量을 파악하는데 이용되며³⁶⁾ 硫黃酸化物의 경우 大氣汚染度와 植物體內 硫黃含量간에는 正의 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다.^{3,23,26)}

1981年 金等¹³⁾의 研究報告에 의하면 蔚山工團 및 溫山工團內 海松2年 葉中 水溶性硫黃 含量이 각각 0.0901-0.2345%, 0.1022-0.1932% 이었는데 比해 本 調査에서는 0.1697-0.2515%로서 1981年度의 被害당시 보다 더 많은 大氣汚染의 被害를 받았다는 것을 알수 있었으며 1985年 金等²³⁾이 보고한 麗川工團內의 海送葉中 水溶性 硫黃含量과는 비슷한 경향이였다.

3. 森林植生の 構造變化

각 조사지의 樹冠別 密度, 被度, 頻度は Table 6에서 보는 바와 같으며 出現種은 조사지1, 2, 3이 각각 9, 10, 7種으로 3조사지가 가장 적게 나타났으며 7, 8조사지는 20, 18種으로서 大氣汚染이 심한 지역과 경미한 지역과의 차이가 많음을 알수 있었다.

한편 金等¹⁴⁾과 金等²⁰⁾의 調査報告에서는 蔚山工團地域에서 大氣汚染이 심한 곳의 出現種은 3種, 7Km떨어진 지역에서는 20種이 출현하였다고 보고하였고 朴等³⁰⁾이 調査한 麗川工團 주변의 調査報告에서는 汚染이 심한 지역은 8種, 경미한 지역에서는 22種이 출현하여 10種이상이 消滅되었다고 보고한바, 이들 지역에서와 마찬가지로 溫山工團 주변의 森林生態系도 많은 植生構造의 攪亂이 있

Table 6. Density, coverage, frequency of forest vegetation by the species, crown story and plots studied

Crown Story	Species	Plot 1		2		3		4		5		6		7		8										
		D	C	F	D	C	F	D	C	F	D	C	F	D	C	F	D	C	F							
Upper	<i>Pinus densiflora</i>	4	2.8	80	5	4.5	60	10	3.7	60	3	1.2	20	3	1.3	60	10	2.7	40	7	2.4	60				
	<i>Pinus thunbergii</i>	63	26.7	100	57	37.7	100	39	30.5	100	102	40.3	100	72	30.3	100	85	42.2	100	107	40.0	100				
	<i>Alnus firma</i>										7	4.1	60													
	<i>Robinia pseudoacasia</i>																									
	<i>Quercus dentata</i>																									
	Sub total	67	29.5	180	62	42.2	160	39	30.5	100	98	45.4	180	112	45.6	180	79	34.4	180	95	44.9	140	114	42.4	160	
Middle	<i>Pinus densiflora</i>	8	2.1	60	2	0.6	40	8	3.7	40	16	7.2	40	5	1.0	60	2	0.8	40	8	2.7	60	6	1.2	40	
	<i>Pinus thunbergii</i>	21	4.2	100	12	5.1	80	40	12.4	100	40	9.5	100	33	6.3	80	17	3.5	80	42	10.8	100	46	9.4	100	
	<i>Quercus serrata</i>	6	1.8	60	17	4.2	80				2	0.7	20	10	3.5	80	16	4.9	80	11	4.4	80	3	1.4	40	
	<i>Rhus trichocarpa</i>	4	0.7	20	2	0.6	20				3	0.7	40	2	0.1	20	1	0.3	20	1	0.3	20	1	0.2	20	
	<i>Symplocos paniculata</i>	2	0.8	20																						
	<i>Alnus firma</i>																									
	<i>Corylus sieboldiana</i>				1	0.7	20																			
	<i>Robinia pseudoacasia</i>																									
	<i>Rhododendron mucronulatum</i>																									
	<i>Smilax china</i>																									
<i>Quercus dentata</i>																										
<i>Quercus mongolica</i>																										
<i>Styrax japonica</i>																										
<i>Lespedeza bicolor</i>																										
<i>Albizia julibrissin</i>																										
<i>Quercus acutissima</i>																										
	Sub total	41	9.6	260	34	11.2	240	48	16.1	140	67	20.5	240	80	20.7	460	68	21.1	560	71	20.4	360	80	20.3	500	

Table 6. Continued

Crown Story	Species	Plot																										
		1		2		3		4		5		6		7		8												
		D	C	F	D	C	F	D	C	F	D	C	F	D	C	F	D	C	F									
Lower	<i>Pinus desiflora</i>	3	0.3	20	3	0.1	20	2	0.1	20	2	0.1	20	1	0.1	20	9	1.0	40	4	0.2	40						
	<i>Pinus thunbergii</i>	17	1.1	100	22	1.2	80	21	2.1	100	32	1.9	100	15	0.8	60	10	0.5	60	23	1.0	60	17	0.8	100			
	<i>Rhus trichocarpa</i>	6	0.9	80	12	1.9	60				15	0.6	60	8	0.4	40	8	0.3	80	6	0.5	80						
	<i>Symphlocos paniculata</i>	5	0.6	80	2	0.1	20	1	0.1	20							59	3.2	100	45	3.1	100	44	3.3	100			
	<i>Quercus serrata</i>	48	3.6	100	68	4.5	100	44	3.1	80	35	2.7	100	36	2.7	100	2	0.1	40	21	1.0	100	10	0.5	60	43	2.0	100
	<i>Lespedeza bicolor</i>	25	1.6	80	9	0.6	80	3	0.1	20	13	0.7	60	2	0.1	40	42	2.6	80	34	2.2	80	29	1.9	80	44	4.6	100
	<i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>poukhanense</i>	2	0.2	40	3	0.2	40	5	0.7	40	42	4.2	100	42	2.6	80	34	2.2	80	29	1.9	80	44	4.6	100			
	<i>Smilax china</i>	29	1.2	100	13	0.6	80	12	1.6	80	38	2.1	100	22	1.2	100	32	1.5	100	25	1.3	100	48	2.8	100			
	<i>Quercus dentata</i>	6	0.6	60										10	0.9	60	12	1.2	60	13	1.1	60	3	0.3	20			
	<i>Quercus acutissima</i>				2	0.2	40				1	0.1	20				3	0.4	20	4	0.2	40	12	0.7	80			
	<i>Corylus sieboldiana</i>				3	0.1	40				2	0.1	20	6	0.2	40	3	0.1	40	4	0.1	40	4	0.1	40			
	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>													4	0.1	40	4	0.1	40	6	0.4	60						
	<i>Abnus firma</i>													4	0.2	20	6	0.4	60									
	<i>Stryax japonica</i>													4	0.2	20	6	0.4	60									
	<i>Robinia pseudacasia</i>										13	1.2	100										9	0.4	40			
	<i>Quercus mongolica</i>										2	0.2	20	9	0.8	20	31	2.0	100									
	<i>Lespedeza maritima</i>										14	1.1	80	7	0.2	40				9	0.3	60						
	<i>Albizia julibrissin</i>										1	0.1	20				3	0.1	20									
	<i>Rhododendron mucronulatum</i>										7	0.3	20	50	3.3	100	28	1.7	80	70	5.2	100	49	2.9	100			
	<i>Rhododendrom Schtippenbuchii</i>																						7	0.5	40			
	<i>Platycarya strobilacea</i>																			5	0.3	40	3	0.2	20			
	<i>Abnus japonica</i>																			3	0.2	20	2	0.1	20			
	<i>Euonymus alatus</i> for.																			6	0.3	20						
	<i>ciliato-dentatus</i>																			1	0.1	20						
	<i>Ligustrum obtusifolium</i>													3	0.1	40				3	0.3	40	1	0.1	20			
	<i>Rosa maximowicziana</i>													3	0.3	40				1	0.1	20						
	<i>Viburnum erosum</i>																			1	0.1	20						
	<i>Lindera obtusiloba</i>																						1	0.1	20			
	Sub total	141	10.1	660	137	9.5	560	86	7.7	340	202	14.8	760	233	14.6	880	253	15.0	900	271	17.2	1000	299	20.0	1040			

* Legend : D : Density
C : Coverage
F : Frequency

음을 암시하고 있었다.

또한 7,8조사지는 李²⁵⁾의 우리나라 南海岸 東部 區의 海松林에서의 출현종수와 비슷한 경향을 나타내어 大氣汚染의 被害는 거의 없음을 알수 있었다.

그리고 密度와 被度는 1,2,3조사지가 가장 적게 나타났으며 汚染源에서 멀어질수록 증가되었는데 이러한 경향은 蔚山工團地域¹⁴⁾과 麗川工團地域^{16,22)}에서도 비슷한 경향이였다.

또한 조사지의 층위별 密度변화는 汚染源에서 가까울수록 密度가 감소되었으며 3조사지가 가장 낮았는데 (Fig.3) 이는 3조사지가 汚染源에서 가장 가까울뿐만 아니라 海岸과도 직접 인접되어 있어 海風의 影響 等の 복합적인 요인으로 추측되었으며 大氣汚染이 비교적 경미한 지역인 6조사지에서 상·중층의 密度減少는 오래전에 인위적인 被害가 있는 때문인 것으로 생각되었다.

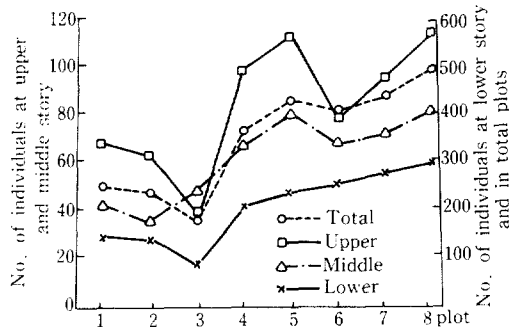


Fig. 3. Changes of stand density by crown stories.

그리고 出現頻度가 높은 몇수종에 대한 個體數의 변화를 절대치로 조사지별과 수관층별로 나타난 것을 보면 Fig.4에서 보는바와 같이 상층에서 大氣汚染源에 가장 가까운 1,2,3조사지에서는 海松과 소나무가 감소되다가 4조사지이후부터는 증가되었으며 6조사지에서는 海松의 密度감소로 떡갈나무가 출현된 것을 볼수 있었다.

중층에서도 海松과 소나무는 비슷한 경향이였으며 1,2조사지에서 참나무류가 출현되어 소나무보다 大氣汚染에 대한 耐性이 강함을 알수 있었다.

그리고 3조사지에서 海松이 많이 출현된 것은 大氣汚染으로 인해 樹高生長의 불량으로 생각되어지며 상층에서 출현치 않은 소나무가 출현된 것도 역시 大氣汚染으로 상층에서는 枯死된 것으로 생각되었다.

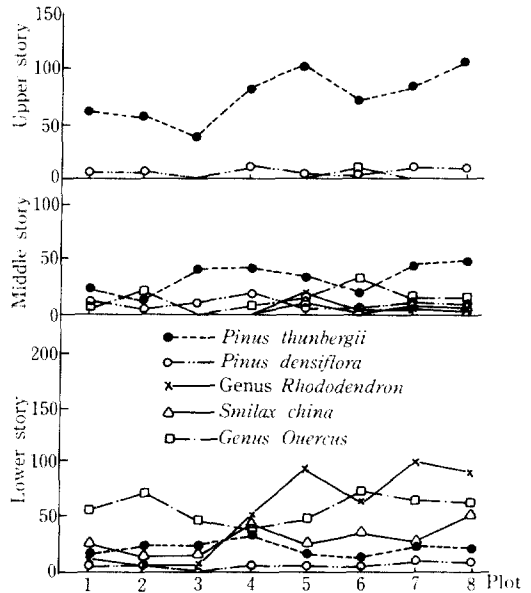


Fig. 4. Changes of number of individuals in some species by plots studied.

麗川工團地域調查^{22,30)}에서는 汚染이 심한 3곳의 조사지에서는 소나무는 중·하층 모두 전혀 출현되지 않았으며 참나무류는 출현이 되었다고 報告한 바 있어 이는 本 調査의 結果를 뒷받침하고 있으며 또한 金等¹⁴⁾은 蔚山工團地域에서 2Km떨어진 곳에서는 참나무류는 출현했지만 소나무류는 5-6 Km까지 출현치 않았다고 報告한바 있어 本 調査地域보다 大氣汚染에 의한 被害가 심함을 알수 있었다.

그리고 하층에서는 각 조사지마다 海松과 소나무의 個體數가 적게 나타난 반면 참나무류가 급격히 증가되는 경향을 나타내었으며 소나무는 조사지 1,2에서 감소되다가 3조사지에서는 출현치 않았고 4조사지부터 다시 증가되었는데 이와 같은 현상은 大氣汚染被害로 인하여 상층목의 結實不良으로 稚樹發生이 억제된 것이라고 생각되었다.

또한 철쭉류는 4조사지부터 급격히 증가하여 大氣汚染에 민감함을 알수 있었으며 청미래덩굴은 전조사지에서 비교적 고르게 출현하여 大氣汚染에 비교적 강함을 알수 있었는데 이와 같은 경향은 麗川工團地域周邊調查^{16,17,22,23,30)}에서 報告된 바와 같았다.

그리고 相對密度와 相對被度, 相對頻度로서 계산한 相對優占值(I V)는 Table7과 같다.

Table 7. Importance values of forest vegetation by species, crown story, and plots studied

Species	Plot																																
	1		2		3		4		5		6		7		8																		
	U	M	L	T	U	M	L	T	U	M	L	T	U	M	L	T																	
<i>Pinus thunbergii</i>	80.0	44.5	12.7	57.0	81.2	38.1	114.3	55.7	100.7	77.2	227.0	80.2	75.4	313.9	56.6	77.8	318.6	4.7	46.1	85.0	46.6	6.8	85.9	283.6	41.2	6.9	56.7						
<i>Pinus densiflora</i>	20.0	21.5	2.7	17.6	18.8	9.3	2.3	12.9	22.8	7.6	17.2	25.2	1.4	17.2	7.6	8.1	1.3	6.7	13.7	4.6	1.1	8.6	15.0	13.7	4.4	12.8	16.4	7.2	2.4	11.0			
<i>Quercus serrata</i>	18.8	28.3	31.1	0	40.3	38.3	319.8		38.3	7.6	4.9	16.2	4.3	15.6	15.1	7.7	20.3	18.5	9.9	19.7	14.9	9.1	6.2	13.6	4.3								
<i>Rhus trichocarpa</i>	8.3	8.4	4.2		6.5	13.2	4.4		5.3	5.8	2.7	2.3	3.4	1.3	2.8	4.2	1.6																
<i>Symplocos paniculata</i>	6.9	7.2	3.5		2.0	0.3			2.8	0.5																							
<i>Alnus firma</i>																																	
<i>Corylus sieboldiana</i>					5.8	3.5	2.5																										
<i>Smilax china</i>	15.9	2.6			10.0	1.7			19.4	3.2																							
<i>Lespedeza bicolor</i>	15.2	2.5			9.1	1.5			3.6	0.6																							
<i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>pouhanense</i>	3.2	0.5			3.8	0.6			8.9	1.5																							
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>					3.5	0.6																											
<i>Styrax japonica</i>																																	
<i>Robinia pseudoacacia</i>									7.1	13.6	9.2	9.6																					
<i>Quercus mongolica</i>																																	
<i>Quercus acutissima</i>																																	
<i>Lespedeza maritima</i>																																	
<i>Rhododendron mucromulatum</i>																																	
<i>Albizia julibrissin</i>																																	
<i>Quercus dentata</i>																																	
<i>Rinodendron schlippenbachii</i>	6.4	1.1																															
<i>Ligustrum obtusifolium</i>																																	
<i>Platyacarya strobilacea</i>																																	
<i>Alnus japonica</i>																																	
<i>Euconymus alatus</i> for. <i>ciliato-dentatus</i>																																	
<i>Rosa maximowicziana</i>																																	
<i>Viburnum erosum</i>																																	
<i>Lindera obtusiloba</i>																																	
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

* Legend : U : Upper story
 L : Lower story
 M : Middle story
 T : Total story

조사지1,2,3에서는 소나무류를 제외하고는 I V 가 5%이상 되는 것은 졸참나무뿐이었으며 이는 大氣汚染의 被害로 소나무류의 稚樹發生이 적어지고 中·下층의 참나무류의 稚樹가 상대적으로 많아진데 起因되었다고 생각되었으며 大氣汚染이 비교적 약한 지역에는 졸참나무외에 싸리나무, 청미래덩굴, 진달래, 아카시아나무 등이 비교적 높은 값을 나타내고 있었다.

또한 상층을 형성하고 있는 소나무와 海松의 I V는 Fig.5에서 나타나듯이 소나무는 汚染源에서 거리가 멀어질수록 증가하는 경향을 보였으며 海松은 상·중층의 I V의 증가로 3조사지가 가장 높았으며 참나무류의 I V의 증가로 6조사지가 낮았다.

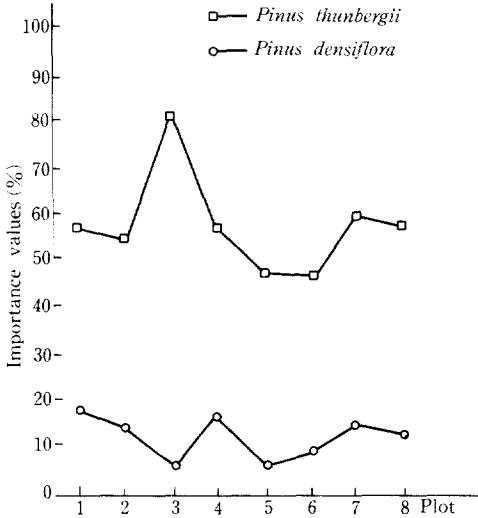


Fig. 5. Changes of importance values between *Pinus densiflora* and *Pinus thunbergii* of plots studied.

Fig.6은 소나무류를 제외하고 각조사지에서 비교적 出現頻度가 높은 樹種別 I V를 나타낸 것으로 1, 2, 3, 4조사지에서는 졸참나무를 제외하면 모두 5%이하의 낮은 값을 나타내었고 졸참나무는 全調査地에서 대부분이 높았으며 2조사지가 19.8%로서 가장 높았는데 그 理由는 하층에서 稚樹의 密度가 높았기 때문이라고 생각되었다.

그리고 청미래덩굴은 汚染源에서 멀어질수록 증가되었으며 싸리나무와 산철쭉은 전조사지에서 고르게 출현되었으나 4조사지이후 증가되었고 진달래는 1, 2, 3조사지에서는 출현치않다가 4조사지에

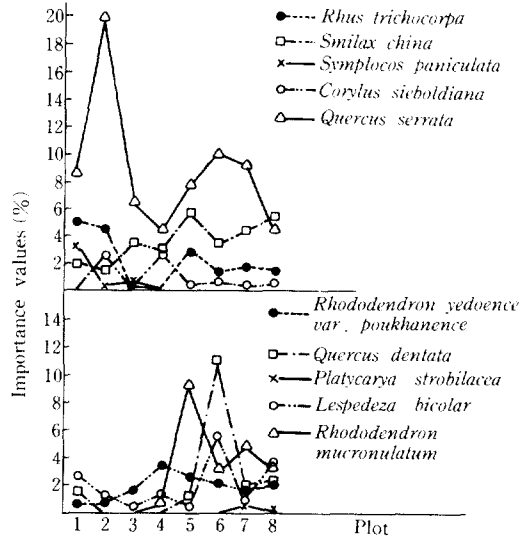


Fig. 6. Changes of Importance values in some species by plots studied.

서 출현하여 5조사지이후 상당히 증가되었음을 알 수 있었고 6조사지에서는 떡갈나무가 11%로 많은 비중을 차지하고 있었는데 그 理由는 상·중층의 密度가 높았기 때문이라고 생각되었다.

Table8은 調査地別로 樹種數와 個體數, 種多樣度, 最大種多樣度, 均在度, 優占度を 나타낸 것으로서 種數는 조사지1에서 3조사지까지 감소되다가 다시 증가되는 경향을 보였으며 3조사지에서 가장 낮은 반면, 7, 8조사지에서는 안정된 상태를 나타내었고 種多樣度도 비슷한 경향을 나타내었으며 3조사지에서 가장 낮았는데 이는 海松의 密度가 높고 海風과 大氣汚染의 被害로 他樹種이 침입되지 못했기 때문인것으로 생각되었다. 均在度도 이와 비슷한 경향을 나타내고 있었으며 優占度는 均在度와 逆의 관계로서 조사지2, 3이 대체적으로 높은 편이었다.

葉中の 水溶性硫黃 含量과 生態分析值와의 相關關係는 Fig.7에서 보는바와 같이 硫黃의 含量과 種數 및 種多樣度間에는 各各 5%와 1%의 水準에서 相關이 認定되었으며 回歸係數에 있어서 標準誤差의 t값도 各各 5%와 1%水準에서 有意性이 認定되었다. 이와 같은 結果는 朴等³⁰⁾이 麗川工團地域에서 調査한 研究報告와도 일치하고 있었으며 이는 優占種의 葉中 硫黃含量의 分析에 의해 森林植生의 構造變化를 어느 정도는 推定할수 있는 것이라 하겠다.

Table 8. Values of various diversity indices by plots studied.

Plot	Number of species	Species diversity (H')	Maximum H' (H' max)	Evenness (J')	Dominance (1-J')
1	9	0.7399	0.9542	0.7754	0.1868
2	10	0.6650	1.0000	0.6650	0.3350
3	7	0.5180	0.8451	0.6129	0.3871
4	13	0.8129	1.1139	0.7298	0.2702
5	17	0.9300	1.2304	0.7559	0.2441
6	15	0.9748	1.1761	0.8288	0.1712
7	20	0.9387	1.3010	0.7215	0.2985
8	18	0.9356	1.2553	0.7453	0.2547

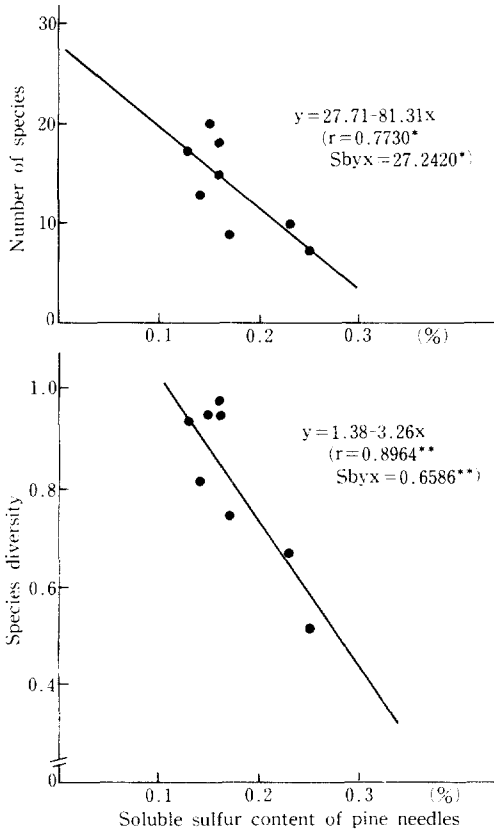


Fig. 7. Regression of the soluble sulfur content to the species diversity and number of species in plots.

V. 結 論

大氣汚染이 森林植生에 미치는 影響을 調査하기 위하여 溫山工團周邊의 海松林分에 8곳의 調査地를 設定하여 環境要因 및 葉內 水溶性硫黃의 含量, 森林植生의 構造變化 등을 調査하여 本 以上의 結果에서 大氣汚染地域에 있어서 土壤의 pH증가로 인한 土壤의 酸性化가 우려되고 있으며 이는

植物의 生育에 막대한 被害를 가져올 것으로 예상되었으며 또한 大氣汚染物質의 植物에 對한 만성적인 被害로 森林의 植生變化가 일어나고 있음을 알수 있었다.

한편 本 調査地를 中心으로 본 大氣汚染에 대한 耐性度는 海松과 참나무류, 청미래덩굴 등이 大氣汚染에 강한 것으로 나타났으며 진달래와 산철쭉, 굴피나무, 해변싸리 등은 敏感한 것으로 조사되었다.

이는 앞으로 계속적인 被害가 증가할 것으로 생각되어지며, 또한 이들 민감한 수종들은 차츰 소멸되어 갈것으로 추정되었다.

최근에 더욱 심각해지고 있는 大氣汚染으로 인한 森林의 被害는 특별한 대책이 없는한 계속 늘어날 것으로 전망되며 이에 대한 깊은 研究가 여러방면으로 계속되어져야 할것이다.

引 用 文 獻

1. Archibold, O.W. 1978. Vegetation recovery following pollution control at Trail. British Columbia, Can. J. Bot. 56 : 1625-1637.
2. Berry, C.R. 1973. The differential sensitivity of eastern white pine to three types of air pollution. Canadian J. For. Res. 3(4) : 543-547.
3. Carlson, C.E. 1980. Kraft mill gases damage Douglasfir in Western Montana. Eur. J. For. Path. 10 : 145-151.
4. Costonis, A.C. 1971. Effects of ambient sulfur dioxide and ozone on eastern white pine in rural environment. Phytopathology 61 : 717-720.
5. Crutis, J.T. and R.P. McIntosh. 1951. An

- upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32: 476-496.
6. 原田正純. 1987. 溫山工團 地域の 環境汚染, 公害研究(4月): 51-59.
 7. 太田貞明. 1978. ソフト X線による 樹木の 年輪構造解釋 一汚染大氣下で 生育した 樹木の 年輪構造. 木材學會誌 24(7): 429-434.
 8. 玄信圭・玄在善・羅裕俊. 1985. 森林保護學. 271pp.
 9. Inoue, T. 1975. Tree injury caused by air pollution in Japan. IUFRO, Item of No. 5.
 10. _____. 1981. 日本における 大氣汚染が 樹木に及ぼす影響に 關する 研究. 第XV II次 IUFRO論: 225-228.
 11. 千葉修. 1970. 大氣汚染による 樹木の被害. 植物防疫 24(12): 519-522.
 12. KAIST. 1987. 環境汚染生物指標法の 開發研究(I)-大氣汚染에 對한 生物指標方法-: 29-41.
 13. 金在鳳・金東漢・鄭淵普・姜德姬. 1981. 四個工團周邊의 슬릿中 硫黃 및 弗素含量에 關한 研究. 國立環境研究所報告書3: 255-270.
 14. _____外 9人. 1982. 工團地域의 綠地造成 및 回復에 關한 研究. 國立環境研究所報. 4: 275-297.
 15. 金在生・金佑龍. 1982. 造景樹木에 依한 公害防止에 關한 研究. 韓國林學會誌 55: 37-46.
 16. 金俊選. 1985. 大氣汚染이 麗川工業團地周邊의 곰솔林에 미치는 影響. 서울大學校 碩士學位論文.
 17. ____・金泰旭. 1986. 大氣汚染에 依한 麗川地域의 森林群集變化에 關한 研究. 韓國大氣保全學會誌 2(3): 1-10.
 18. 金文洪. 1974. 樹木에 對한 大氣汚染의 影響에 關한 研究. 韓國造景學會誌. 2(1): 15-20.
 19. 金泰旭. 1976. 大氣汚染이 造景樹木의 生育에 미치는 影響. 韓國林學會誌. 29: 20-53.
 20. _____・朴仁協・李景宰. 1982. 環境汚染에 依한 蔚山地域의 森林生態學的 變化에 關한 研究. 韓國林學會誌. 58: 60-69.
 21. _____・_____・_____・金俊選. 1983. 環境汚染이 植物群集에 미치는 影響에 關한 研究. 環境農學會誌 2(1): 25-44.
 22. _____. 1984. 麗川工團周邊 樹木被害調査研究. pp.80.
 23. _____・李景宰・金俊選. 1985. 麗川工業團地의 大氣汚染이 곰솔에 미치는 影響. 韓國大氣保全學會誌. 1: 25-32.
 24. Korea Meteorological Service 1985. Climatic Summary of Korea: 284-286.
 25. 李康寧. 1988. 우리나라 南海岸地域에 있어서 해송林의 生態學的 研究. 韓國林學會誌. 77(1): 83-91.
 26. Linzon, S.N. 1978. Effects of airborne sulfur on plants. Sulfur in the environment. John Willey & Sons: 109-162.
 27. 前野道雄. 1973. 大氣汚染 植物被害寫真集. 日本公家衛生協會: 6-15.
 28. McClenahan, J.R 1978. Community changes in a deciduous forest exposed to air pollution. *Can. J. Res.* 8: 432-438.
 29. 吳宗煥・蔡智錫・李昌根. 1983. 大氣中 亞黃酸가스 濃度가 樹木生長에 미치는 影響. 林試研報 30: 243-258.
 30. 朴在桂 外 7人. 1983. 工團地域의 環境汚染物質의 蓄積과 樹木成長의 相關關係에 對한 調査研究. 國立環境研究所報5: 237-260.
 31. Paul, R.M. 1969. Air Pollution And the Forest of California. *Air Environment* 4: 1-3.
 32. Shannon, C.E. and W.Weaver. 1963. The mathematical theory of Communication. Univ. Illinois Press Urbana. 117pp.
 33. 申南澈. 1984. 溫山工團地域의 排出가스가 農作物收量 및 植物體內 硫黃含量에 미치는 影響. 韓國環境農學會誌 4(1): 52-56.
 34. 高橋大澤・赤土菅原. 1968. 大阪地方における各種 樹木の 葉中硫黃含量と 大氣中の 亞硫酸가스濃度との 關係. 造園雜誌 32(3): 14-18.
 35. Tanaka, K. 1981. Field studies on the effects of air pollution on trees in Japan. Proc. XV II IUFRO World Congress(Div. 2): 369-375.
 36. Woodwell, G.M. 1970. Effect of pollution on the structure and physiology of ecosystem. *Science* 168: 429-444.
 37. 任慶彬外 3人. 1979. 環境汚染이 都市樹木의 生育에 미치는 影響(II) 서울農大 演習林報告 15: 103-124.