

沙上工團 周邊의 大氣汚染이 海松林에 미치는 影響<sup>1</sup>  
金點秀<sup>2</sup> · 李康寧<sup>2</sup>

**Effects of Air Pollution on the *Pinus thunbergii* Forest  
in the Vicinity of Sasang Industrial Complex in Korea<sup>1</sup>**  
Jeom Soo Kim<sup>2</sup>, Kang Young Lee<sup>2</sup>

要 約

大氣汚染物質이 沙上工團 周邊의 海松林에 미치는 影響을 알아보기 위하여 工團周邊의 海松林에서 可視的인 被害, 葉內 葉綠素, 無機成分 및 汚染物質 等を 分析한 結果는 다음과 같다.

1. 海松葉의 變色은 工團 周邊의 調査地에서 심각하게 나타났으며, 葉齡이 增加될수록 심각하게 나타났다. 被害度指數는 工團에서 가까울수록 높게 나타났다.
2. 葉內 水溶性硫黃 含量은 全 葉齡 모두 工團에서 가까운 調査地에서 높았으며, 全 調査地에서 對照區 보다 높게 나타났다.
3. 葉綠素 a의 含量은 工團에서 가까운 調査地에서 현저히 減少되었으며, 葉齡이 增加될수록 높게 나타나 葉綠素 a는 大氣汚染에 의해 影響을 많이 받고 있음을 알 수 있었다. 葉綠素 b의 含量은 많은 調査地에서 對照區와 差異가 없었다. 한편 全體 葉綠素와 葉綠素 a와 b의 含量比는 葉綠素 a의 減少로 인하여 工團에서 隣接한 調査地에서 減少하는 傾向이 있었다.
4. 葉內 磷酸의 含量은 葉齡이 增加될수록 工團으로 부터 더 먼 地域까지 減少現狀이 나타났으며, 칼슘의 含量은 全 葉齡에서 工團周邊 調査地에서 減少되었다.
5. 被害度指數와 葉綠素 a, 全體 葉綠素, 葉綠素 a와 b의 含量比, 칼슘의 含量間에는 弱의 相關이 있었고, 被害度指數와 水溶性硫黃의 含量 間에는 定의 相關이 있었다.
6. 海松의 被害度指數, 水溶性硫黃 含量, 葉綠素 含量, 無機成分 含量 등에 의해 被害地域을 區分하기 위해 Cluster分析을 實施한 結果, 工團周邊 地域(1-8 調査地), 中間 地域(9, 10, 11, 12, 15, 17 調査地), 對照區를 포함한 比較의 먼 地域(13, 14, 16, 18, 19 調査地와 對照區)으로 크게 3개의 작은 集團으로 區分할 수 있었다.
7. 可視的 被害를 받은 海松葉의 橫斷面을 觀察한 結果, 葉組織은 葉肉細胞와 樹脂溝 周邊의 厚膜細胞와 內皮層이 部分的으로 破壞되었다.

ABSTRACT

The objective of this study was to examine the effects of air pollution on *Pinus thunbergii* forests surrounding Sasang industrial complex in Korea. The injury index, contents of chlorophyll and mineral elements, and concentrations of water soluble sulfur in needles were investigated at sample plots surrounding industrial complex and compared with those of control far from industrial complex.

<sup>1</sup> 接受 1994年 6月 11日 Received on June 11, 1994.

<sup>2</sup> 慶尙大學校 農科大學 林學科 Dept. of Forestry, College of Agriculture, Kyeongsang National University, chinju 660-701, Korea.

The results obtained are as follows :

1. Discoloration of *Pinus thunbergii* needles was severe in the vicinity of industrial complex, and the older needle age classes was the more severe its injury appeared. Injury index was increased in the vicinity of industrial complex.
2. Water-soluble sulfur concentration was high in the vicinity of industrial complex at all of needle age classes, and those of all plots were higher than that of control.
3. Chlorophyll a contents were lower at surrounding industrial complex than that at control. It was supposed that chlorophyll a was destroyed by air pollutants. Total chlorophyll contents and content ratio of chlorophyll a to b were influenced by decrease of chlorophyll a contents.
4. Phosphorus contents in needles were decreased even in remoted regions with the increase of needle age classes. Colcium contents in needles were decreased near industrial complex at all needle ages classes.
5. There were negative correlation, between injury index and chlorophyll contents, injury index and calcium contents, and there were positive correlation between injury index and calcium contents.
6. Cluster analysis was carried out to divide the injured regions on sample plots. As a result of the analysis, there were devided 3 regions, severe regions(1-8 plots), medium regions(9, 10, 11, 12, 15, 17 plot), slight (13, 14, 16, 18, 19 plot and control).
7. The cross section of visible injured needle showed the destruction of mesophyll cell, sclerenchyma cell in the outside of resin duct and endodermis, partially.

Key words : *Pinus thunbergii*, injury index, water-soluble sulfur, chlorophyll, mineral elements.

### I. 緒 論

오늘날 産業의 發達과 人口의 增加로 因하여 化石燃料의 使用이 증가되어 大氣汚染을 惹起시키는 物質들은 初期에는 亞黃酸가스와 不化水素, 鹽素 等の 被害物質에 不過하였으나 最近에는 그 種類가 점차적으로 많아지고 또한 여러 가지 複合的인 形態로 나타나 大氣汚染은 더욱 深刻해지고 있다. 이와같은 大氣汚染物質은 建築物을 腐蝕시키거나 動植物에 生理的인 障害를 誘發시킬 뿐만 아니라 人間에게도 大氣汚染物質을 排出함으로써 都市周邊의 林木에 被害를 주거나 植生을 破壞시키는 등 自然生態系의 變化를 招來하고 있어 實로 深刻한 實情이다<sup>1,8)</sup>.

日本公衆衛生協會<sup>2)</sup>에서는 針葉樹의 大氣汚染에 의한 被害는 初期에는 앞 先端部나 앞 中間에 띠모양의 黃色斑點이 나타나며 심할 경우는 壞死된다고 하였고, 千葉<sup>3)</sup>에 의하면 大氣汚染이 심한 곳에서는 植物의 被害가 增加될수록 病蟲害의 發生이 빠르게 나타난다고 하였다. 또한 Mann<sup>20)</sup>에 의하면 White pine의 葉綠素含量, 잎길이, 光合成成分은 慢性的인 大氣汚染에 대해 生理的으로 多樣한 形態로 敏感性을 나타낸다고 하였으며,

Kreise<sup>19)</sup>와 Tingey 等<sup>24)</sup>은 樹木의 可視的 被害現象을 調査하여 大氣汚染物質에 대한 早期 診斷方法으로 利用하였으며, 井上<sup>6)</sup>에 의하면 소나무의 葉內 硫黃 蓄積量이 大氣汚染의 指標가 된다고 報告하였으며, 金 等<sup>14)</sup>에 의하면 麗川工團 周邊의 海松은 葉中의 水溶性硫黃 含量이 增加할수록 被害度도 增加하였으며, 그 被害度는 全 調査地에서 對照地 보다 높았고, 특히 汚染源의 隣接에서 높았으며, 葉中 硫黃含量은 被害度와 相關을 나타낸다고 하였으며, 植物의 葉內 成分含量 變化에 대하여, Kozlowski and Constantinidou<sup>18)</sup>에 의하면 大氣汚染物質이 光合成, 呼吸作用, 炭素, 蛋白質, 아미노산, 脂質代謝過程을 妨害하고 被害를 주며, 여러 樹木에서 SO<sub>2</sub>에 의하여 葉綠素가 減少되고, 또한 葉綠素를 測定하여 大氣汚染의 程度를 파악하는 生物指標로 利用하였으며, 金<sup>12)</sup>에 의하면 麗川工團 周邊의 海松林에서 海松葉의 磷酸은 葉齡이 增加할수록 減少現狀이 뚜렷하다고 하는 등 많은 研究가 수행되고 있다.

本 研究는 沙上工團 周邊의 海松林에서 海松의 可視的 被害와 葉內 構成成分 및 汚染物質의 含量을 調査 分析하여 大氣汚染物質에 의한 海松林의 衰退徵候를 究明하고, 또한 그 回復方案을 마련하기 위한 基礎的 資料를 提供하고자 한다.

## II. 材料 및 方法

### 1. 調査地 概況

沙上工業團地는 經度 128° 59', 緯度 35° 09'를 中心으로 白陽山(641.5m)과 高遠見山(503.9m), 九德山(565m)으로 둘러싸여 있으며, 1968년부터 1975년까지 9,739m<sup>2</sup>의 面積에 달하는 釜山 最大의 工業地域으로 造成되었으며, 주로 機械, 化學, 纖維工業 等の 工場들로서 總 2600餘個의 工場이 稼動되고 있다(Fig. 1).

1982년부터 1990년까지의 沙上工團 周邊地域의 大氣中의 SO<sub>2</sub> gas 濃度는 最高 0.066ppm(1988年)에서 最低 0.041ppm(1990年)으로 나타나고 있었는데, 이는 環境基準值인 0.05ppm을 超過한 年度가 많았고, 또한 超過하지 않은 年度도 거의 環境基準值에 가까와 工團 周邊地域은 慢性的인 大氣汚染의 影響을 미치리라고 豫想된다. 釜山地域의 氣象概況(1961年~1990年)은 年平均 最高氣溫은 23.7℃, 年平均 最低氣溫은 4.9℃, 年平均 氣溫은 14.1℃, 年平均 相對濕度는 97(%), 年平均 降水量은 1227mm로서 海水의 影響을 받아 氣溫이 溫和하고, 降水量이 많으며,

月別로는 6月~9月이 가장 높게 나타나는 典型的인 海洋都市이다. 平均 風速은 4.0m/sec이며, 겨울의 風向은 北西風, 그 外의 季節에는 南東風이 불고 있다<sup>1)</sup>.

土壤의 化學的 性質은 全 調査地의 土壤 pH가 4.39~5.02로서 對照區의 5.13보다 낮아 工團 周邊의 山林土壤 全體가 酸性化되고 있다. 置換性 陽이온은 거의 모든 調査地에서 對照區 보다 낮게 나타나 全 調査地 모두 大氣汚染에 의한 土壤의 化學的 性質의 變化를 알 수 있었으나 工團으로 부터 거리에 따른 變化는 아직 나타나지 않았다.

### 2. 材料

調査地는 海松의 樹齡, 密度 등 立地條件이 비슷한 地域, 즉 工團에서 隣接된 地域의 6個 調査地, 中間地域의 7個 調査地, 比較的 먼 地域의 6個 調査地 등 3個 地域으로 區分한 19個 調査地와 大氣汚染의 被害가 거의 없는 것으로 推定되는 金井山을 對照區로 하여 總 20個 調査地를 選定하였다(Fig. 1).

海松의 被害度 區分을 위한 試料는 各 調査地에서 樹齡이 20~30年生에서 10株씩 標準木을 選定하여 地上 3~4m에 있는 枝에서 採取하였으며, 또한 試料의 採取時期는 1993年 7月末~8月初 사이였다.

### 3. 研究方法

#### 1) 海松의 被害度 分析

可視의 被害度는 國立環境研究所<sup>2)</sup>의 樹木의 活力度 檢定表에 準하여 調査木에서 葉齡別로 잎의 變色度는 1年生 잎은 極甚(4) 甚(3) 輕(2) 無(0)으로, 2, 3年生 잎은 極甚(3) 甚(2) 輕(1) 無(0)으로 하였으며, 落葉率은 81% 以上(4) 61~80%(3) 41~60%(2) 21~40%(1) 20% 以下(0)으로 點數化 하였고, 또한 最近 3年 동안 가지의 길이를 測定하여 가지의 生長比를 調査하였다. 變色度는 잎의 變色程度에 따라 4段階로 區分하였으며, 落葉率은 5段階로 區分하였고, 가지의 生長比는 2年枝의 길이와 1年枝 길이의 比를 G1, 3年枝의 길이와 2年枝의 길이의 比를 G2로 하였으며, 被害度 指數는 各 平均値를 利用하여 算定하였다.

葉內 水溶性硫黃含量 分析은 重量法에 의하여 實施하였으며, 葉內 葉綠素含量 分析은 80%

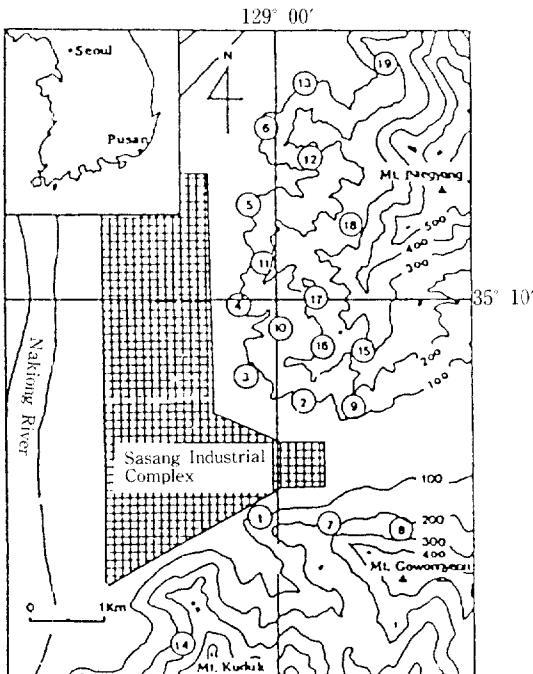


Fig. 1. Location map of sample plots.

Acetone으로 葉綠素를 抽出하여 이 抽出液을 UV-Spectropotometer에서 吸光度를 測定하여 Arnon式에 의하여 구하였다<sup>7)</sup>.

葉內 無機成分의 含量 分析은 粉碎試料 500mg을 植物體 分解液으로 分解하여 Whatman NO. 2 濾過紙로 濾過하였다. 磷酸의 測定은 Vanadate method으로 前處理한 後 UV-Spectrophotometer의 波長 470nm에서 吸光度를 測定하였다. 또한 K<sub>2</sub>O, CaO, MgO의 測定은 分解 濾過된 試料液 1ml에 蒸溜水 29ml을 添加하여 충분히 混合한 後 原子吸收 分光光度計로 吸光度를 測定하였다<sup>22,25)</sup>.

被害地域間의 關係 分析은 被害度指數, 葉內 水溶性硫黃, 葉綠素含量(葉綠素 a, 葉綠素 b, 全體葉綠素, 葉綠素 a와 b의 含量比), 葉內 無機成分(인산, 가리, 칼슘, 마그네슘) 등 10個의 變量으로 이루어진 資料 中 가장 影響力이 큰 因子를 찾기 위하여 主成分 分析을 實施하였으며, 또한 各 調査地를 몇 개의 작은 Group으로 나누어 大氣汚染에 의한 被害地域을 區分하기 위하여 Cluster 分析을 實施하였다.

海松葉組織의 顯微鏡的 觀察은 可視的인 被害

가 심한 地域에서 잎을 採取하여 에칠알콜로 葉表面에 묻은 粉塵을 除去한 後 preparat를 만들어 光學顯微鏡(×100)으로 檢鏡하였다.

### III. 結果 및 考察

#### 1. 海松의 被害度 分析

##### 1) 可視的 被害度 區分

沙上工團 周邊의 海松林 19個 調査地와 對照區인 金井山 1個 調査地 總 20個 調査地에서 잎의 變色도와 落葉率, 가지의 生長比에 의해 被害度指數를 算定한 結果는 Table 1과 같이 잎의 變色은 주로 工團에서 가까운 調査地에서 比較的 값이 높게 나타났으며 被害가 적은 것은 中間部位에서 白化現狀이 나타나고 심할 경우는 針葉의 先端部分이 褐變되거나 壞死現狀이 나타나고 있었다. 2年生 잎의 落葉率은 0.9~2.2의 範圍이며, 3年生 잎의 落葉率은 0.8~2.4의 範圍로 나타났다. 2年生 잎과 3年生 잎 사이에는 많은 差異가 나타나지 않았으나 3年生 잎은 着葉狀態가 不良한 地域이 많이 나타났다. 調査地域의 被害度指數는 5.36~9.25의 範圍였고, 工團에서 멀리

**Table 1.** Injury index evaluated from sample trees of the *Pinus thunbergii* in sample plots

Sample plots	Discoloration			Needle fall rate		Growth ratio		Injury index
	Needle age			Needle age		G1	G2	
	1-year	2-year	3-year	2-year	3-year			
1	0.40	0.80	1.60	1.90	1.90	1.36	1.27	9.23
2	0.60	1.20	2.00	1.10	1.70	1.00	0.94	8.54
3	0.00	1.10	2.10	1.80	2.00	1.43	1.09	9.52
4	0.70	0.80	1.10	1.60	1.20	1.50	1.64	8.54
5	0.00	0.70	1.10	2.20	1.70	0.97	1.19	7.86
6	0.40	1.10	2.00	1.70	1.30	1.19	1.30	8.99
7	0.40	1.00	1.50	1.40	1.40	1.42	1.79	8.91
8	0.00	0.60	1.50	1.80	1.40	1.26	1.29	8.85
9	0.20	0.90	1.10	1.30	1.30	1.37	1.13	7.30
10	0.00	0.00	1.00	1.60	2.10	1.25	1.26	7.21
11	0.00	0.10	0.80	1.70	1.60	1.70	1.31	7.21
12	0.00	0.30	0.90	1.80	1.40	1.53	1.32	7.25
13	0.00	0.60	0.90	1.10	0.80	0.93	1.04	5.37
14	0.00	0.20	1.00	0.90	1.00	1.16	1.10	5.36
15	0.00	0.20	0.60	1.90	1.30	1.43	1.32	6.75
16	0.00	0.10	0.80	1.70	1.20	1.23	1.25	6.28
17	0.00	0.20	1.00	1.80	1.50	1.02	1.51	7.03
18	0.00	0.30	0.60	1.10	1.20	1.33	1.26	5.79
19	0.00	0.30	0.80	1.30	1.20	0.95	1.28	5.83
Control	0.00	0.00	0.10	1.40	1.10	1.03	1.20	4.83

G1 : Rate of 2-year branch length to 1-year branch length.  
 G2 : Rate of 3-year branch length to 2-year branch length.

떨어진 13, 14, 18, 19 調査地를 除外하고는 被害度指數가 6.0 以上이며, 특히 1, 3 調査地에서는 被害度指數가 各各 9.23, 9.25로서 가장 높게 나타났다. 또한 工團 周邊의 全 調査地의 被害度指數는 對照區의 4.83보다 높게 나타났다.

金 等<sup>9)</sup>은 麗川工團 周邊의 海松과 소나무의 活力度를 調査한 結果 汚染源에 가까울수록 잎의 變色度와 落葉率은 增加되었고, 針葉의 길이 減少되었다고 하였으며, 金 等<sup>15)</sup>은 海松의 落葉 現狀은 1年生 가지보다 2年生 가지가 더 심하였고, 變色度 역시 葉齡이 增加될수록 높았다고 하였는데, 金 等<sup>16)</sup>은 溫山工團에서도 麗川工團과 비슷한 結果를 報告한 바 있어 本 調査地 역시 이와 비슷한 傾向을 나타내고 있으므로 亞硫酸가 스에 의한 被害를 받고 있다고 判斷된다.

### 2) 葉內 水溶性硫黃 含量 分析

大氣汚染物質에 대한 被害를 파악하기 위하여 海松葉內 水溶性硫黃 含量을 分析한 結果는 Table 2와 같이 1, 2, 3年生 잎에서 모두 對照區보다 높게 나타났으며, 또한 工團에 가까운 地域에서 葉內 水溶性硫黃이 含量이 比較의 높게 나타나고 있어 工團周邊의 海松林은 大氣汚染의 影響을 받고 있다고 할 수 있으며, 對照區에서는

葉齡이 增加될수록 水溶性硫黃의 含量이 減少하였으나 工團周邊의 調査地에서는 1年生 잎에 比하여 2, 3年生 잎에서 높게 나타났다.

1981년에 金 等<sup>10)</sup>, 1985년에 金 等<sup>15)</sup>, 1992년에 金<sup>12)</sup>이 麗川工團의 海松林에서 海松 2年生 잎속의 水溶性硫黃 含量을 調査한 結果와 比較하면 1981년의 調査結果와는 비슷한 수준이었고, 또한 金<sup>11)</sup>의 溫山工團 周邊의 海松林의 調査結果와 비슷하게 나타나 아직 이들 工團周邊의 山林보다는 汚染이 적게 되었다고 할 수 있으나 工團周邊이 對照區보다 水溶性硫黃 含量이 높게 나타난 것으로 보아 앞으로 沙上工團 周邊의 海松林 역시 SO<sub>2</sub>의 影響을 繼續的으로 받을 것으로 豫想된다.

### 3) 葉內 葉綠素含量 分析

大氣汚染物質에 의한 海松의 被害程度를 診斷하기 위해 葉綠素含量을 測定한 結果는 Table 3과 같이 海松 1年生 잎속의 葉綠素 a의 含量을 보면, 對照區와 工團으로부터 멀리 떨어진 17, 18, 19 調査地間에서는 有意差가 없었으나 그 외의 調査地는 有意差를 나타내어 葉綠素 a는 工團 周邊에서 크게 減少되고 있었으며, 葉綠素 b 含量의 경우는 一定한 傾向을 나타내지 않았고, 또

Table 2. Mean concentration(%) of water soluble sulfur in needles of the *Pinus thunbergii*

Sample plots	1-year needle		2-year needle		3-year needle	
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
1	0.1072	0.004	0.1746	0.008	0.2505	0.009
2	0.1732	0.007	0.1325	0.009	0.1416	0.007
3	0.1248	0.009	0.1279	0.008	0.1157	0.004
4	0.1279	0.005	0.1632	0.007	0.1332	0.007
5	0.1084	0.005	0.1460	0.007	0.1585	0.005
6	0.1244	0.006	0.1160	0.007	0.0887	0.005
7	0.1175	0.002	0.1088	0.007	0.1374	0.007
8	0.1045	0.006	0.0859	0.007	0.0709	0.008
9	0.1186	0.003	0.1073	0.007	0.1031	0.007
10	0.1307	0.004	0.0864	0.009	0.1116	0.011
11	0.1080	0.006	0.0864	0.005	0.1279	0.011
12	0.1088	0.005	0.1179	0.005	0.1229	0.009
13	0.1045	0.005	0.1031	0.007	0.0640	0.006
14	0.1038	0.002	0.0988	0.007	0.1245	0.007
15	0.1351	0.003	0.0932	0.008	0.0951	0.006
16	0.1082	0.006	0.0979	0.005	0.0730	0.007
17	0.1078	0.005	0.0687	0.007	0.0860	0.007
18	0.0931	0.004	0.0749	0.006	0.0774	0.007
19	0.0983	0.004	0.0729	0.007	0.0781	0.004
Control	0.0704A	0.004	0.0544A	0.004	0.0465A	0.005
F value	51.69**		50.38**		116.65**	

Same letter(A) indicates non-significantly different at 5% significant by LSD.

**Table 3.** Chlorophyll contents(mg/g) in needles of the *Pinus thunbergii*

Sample plots	Chlorophyll contents									Chlorophyll a to b		
	a			b			Total			1-year	2 year	3 year
	1-year	2 year	3-year	1-year	2 year	3 year	1 year	2 year	3 year			
1	0.2426	0.4071	0.5009	0.1716	0.2391A	0.2616	0.4082	0.6372	0.7521	1.4206	1.7026	1.9143
2	0.1779	0.3703	0.4901	0.1854	0.2372A	0.2670	0.3575	0.5989	0.7468	0.9604	1.5624	1.8362
3	0.2459	0.3601	0.3615	0.1768	0.2469A	0.3201	0.4166	0.5982	0.6711	1.4217	1.4610	1.1289
4	0.2765	0.4087	0.5183	0.1801	0.2289	0.2840	0.4502	0.6289	0.7914	1.5445	1.7979	1.8335
5	0.2331	0.4584	0.5815	0.1948A	0.2509A	0.3158	0.4215	0.6995	0.8851	1.1977	1.8295	1.8426
6	0.2405	0.4563	0.4987	0.1809	0.2625A	0.2626	0.4152	0.7089	0.7511	1.3302	1.7400	1.8984
7	0.2264	0.3568	0.4830	0.1394	0.2114	0.2508	0.3607	0.5603	0.7239	1.6258	1.6883	1.9290
8	0.3542	0.3842	0.5159	0.2063A	0.2383	0.2949	0.5528	0.6137	0.7996	1.7169	1.6117	1.7575
9	0.2680	0.4044	0.5509	0.1889A	0.2363A	0.3031	0.4503	0.6318	0.8423	1.4215	1.7139	1.8173
10	0.2306	0.4110	0.4965	0.1775	0.2626A	0.3162	0.4020	0.6640	0.8012	1.3927	1.5641	1.5729
11	0.2742	0.4793	0.6191	0.1710	0.2563A	0.3500A	0.4389	0.7256A	0.9557	1.6114	1.8729	1.7754
12	0.2643	0.4891	0.4967	0.1493	0.2656A	0.2707	0.4079	0.7444A	0.7570	1.7800	1.8561	1.8449
13	0.3653	0.4643	0.4989	0.1678	0.2460A	0.3018	0.5261	0.7007	0.7894	2.1790	1.8878	1.6623
14	0.2358	0.4971A	0.5737	0.1735	0.2669A	0.3091	0.4033	0.7537A	0.8708	1.3578	1.8625	1.8543
15	0.2910	0.4458	0.5466	0.1981A	0.2400A	0.3276A	0.4821	0.6765	0.8620	1.4590	1.8763	1.6708
16	0.3644	0.4511	0.6083	0.1609	0.2110	0.3181	0.5185	0.6534	0.9140	2.2677	2.1382	1.9123
17	0.3942A	0.4151	0.4736	0.2173A	0.2172	0.2684	0.6032A	0.6237	0.7317	1.8131	1.9119	1.7661
18	0.4126A	0.5010A	0.6659A	0.1864	0.2503A	0.3305A	0.5912A	0.7413A	0.9899A	2.2142	2.0015	2.0354
19	0.3811A	0.5778A	0.6525	0.1869	0.2514A	0.2918	0.5604	0.7669A	0.9321	2.0413	2.0921	2.2403
Control	0.4155A	0.5127A	0.7029A	0.2039A	0.2422A	0.3359A	0.6112A	0.7449A	1.0259A	2.0373	2.1177	2.0949
F value	35.64**	22.16**	28.34**	11.35**	4.62**	8.02**	41.26**	17.08**	22.45**			

A indicates non significantly different at 5% significant level compared with control plot by LSD.

한 Total chlorophyll은 對照區와 工團에서 먼 17, 18 調査地 間에서는 有意差가 없었으며, 葉綠素 a와 비슷한 傾向을 나타내었으며, 葉綠素 a와 b의 含量比도 工團 周邊이 낮게 나타내고 있었다. 그리고 海松 2年生 立속의 葉綠素 a의 含量을 보면, 對照區와 工團에서 比較的 먼 14, 18, 19 調査地 間에서는 有意差가 없었으며, 葉綠素 b의 含量은 對照區와 거의 모든 調査地間에는 有意差가 없었으며, Total chlorophyll 含量과 葉綠素 a와 b의 含量比에 있어서도 葉綠素 a와 類似한 傾向을 나타내고 있어 2年生 立에서도 1年生 立과 비슷한 結果를 나타내었다. 海松의 3年生 立속의 葉綠素 含量을 보면 葉綠素 a의 含量은 對照區와 18 調査地 間에서만 有意差가 없었으며, 葉綠素 b의 含量은 일정한 傾向을 나타나지 않고 있어 大氣汚染物質이 葉綠素 b의 含量變化에 크게 影響을 미치지 않는 것으로 思料된다. Total chlorophyll의 含量과 葉綠素 a와 b의 含量比 또한 葉素 a의 含量과 비슷한 結果를 나타낸 것으로 보아 3年生 立속의 葉綠素의 含量역시 工團 周邊에서 낮게 나타났다.

따라서 大氣汚染에 露出된 海松의 立속에서의

葉綠素의 含量變化는 葉綠素 b보다 葉綠素 a가 敏感한 反應을 보였다.

#### 4. 葉內 無機成分의 含量 分析

大氣汚染物質에 대한 海松 葉內 磷酸의 含量變化를 알아보기 위해 葉內 磷酸의 含量을 分析한 結果는 Table 4와 같이 1年生 立에서는 對照區와 많은 調査地에서 有意差가 없었고, 2年生 立에서는 對照區와 9, 11, 14, 15, 16, 19 調査地들 間에는 有意差가 없었으며, 3年生 立에서는 對照區와 18, 19 調査地 間에서만 有意差가 없어 葉齡이 增加될수록 大氣汚染에 의한 磷酸의 含量의 減少現象은 工團에서 比較的 먼 地域까지 나타났다. 金<sup>12)</sup>이 麗川工團 周邊의 海松林에서는 葉內 磷酸의 含量은 葉齡이 增加될수록 減少現狀이 뚜렷하다. 그러나 2年生 立과 3年生 立에서는 그 差異를 區分할 수 없었다.

가리는 氣孔閉開에 關與하는 必須元素로서 植物體內에서 매우 流動的이며 Ca, Mg 등과 같이 植物體의 일부면으로 부터 쉽게 溶脫되는 性質이 있어 海松葉內 가리의 含量變化를 알아보기 위하여 葉內 가리의 含量을 分析한 結果는 Table 5와 같이 1年生 立에서는 對照區와 11, 12, 16,

**Table 4.** Mean contents (%) of phosphorus in needles of the *Pinus thunbergii*

Sample plots	1-year needle		2-year needle		3-year needle	
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
1	0.2649A	0.006	0.1959	0.005	0.1903	0.006
2	0.2232	0.005	0.1841	0.003	0.1938	0.004
3	0.2440	0.004	0.1982	0.008	0.1911	0.008
4	0.2422	0.005	0.1905	0.005	0.1995	0.004
5	0.2740A	0.003	0.1990	0.011	0.1824	0.002
6	0.2377	0.016	0.1669	0.004	0.1771	0.002
7	0.2639A	0.023	0.1990	0.004	0.1894	0.005
8	0.2649A	0.002	0.1696	0.002	0.1955	0.006
9	0.2513A	0.002	0.2043	0.008	0.1920	0.003
10	0.2395	0.003	0.1869	0.004	0.1911	0.004
11	0.2549A	0.004	0.2122	0.003	0.2017	0.004
12	0.2486	0.002	0.2025	0.005	0.1850	0.002
13	0.2340	0.013	0.1787	0.012	0.1903	0.006
14	0.2740A	0.016	0.2259	0.007	0.1999	0.005
15	0.2513A	0.007	0.2113	0.002	0.1885	0.004
16	0.2377	0.002	0.2043	0.015	0.1868	0.003
17	0.2313	0.005	0.1832	0.002	0.1754	0.002
18	0.2622A	0.004	0.1724	0.006	0.2073A	0.024
19	0.2785A	0.007	0.2086A	0.007	0.2174A	0.006
Control	0.2631A	0.010	0.2096A	0.006	0.2141A	0.019
F value	9.22**		15.95**		15.11**	

A indicates non-significantly different at 5% significant level compared with control plot by LSD.

**Table 5.** Mean concentration (%) of potassium in needles of the *Pinus thunbergii*

Sample plots	1-year needle		2-year needle		3-year needle	
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
1	0.1367	0.12	0.6320	0.05	0.7434	0.01
2	0.4646	0.04	0.9552A	0.06	0.5802	0.01
3	0.1849	0.01	0.7344	0.02	0.7572A	0.02
4	0.3748	0.06	0.9057	0.27	0.8549A	0.02
5	0.3825	0.04	0.8795	0.17	0.7542A	0.01
6	0.1024	0.09	0.6193	0.03	0.5428	0.11
7	0.3434	0.33	0.9299A	0.05	0.6592	0.01
8	0.1248	0.29	0.5919	0.04	0.8798A	0.01
9	0.4303	0.05	0.8163	0.04	0.7227	0.01
10	0.5325	0.04	0.9341A	0.03	0.8064A	0.01
11	0.6160A	0.11	1.0351A	0.03	1.0794A	0.02
12	0.5818A	0.39	0.9315A	0.01	0.8290A	0.02
13	0.1467	0.03	0.5568	0.03	0.6634	0.03
14	0.1515	0.05	0.3977	0.02	0.7114A	0.09
15	0.4510	0.14	1.0473A	0.05	0.8716A	0.01
16	0.6870A	0.04	0.9591A	0.17	0.7210	0.01
17	0.5439	0.04	0.7622	0.03	0.8246A	0.01
18	0.6018A	0.06	0.9211A	0.01	0.6500	0.01
19	0.3735	0.11	0.4179	0.04	0.7839A	0.01
Control	0.6216A	0.04	0.9322A	0.09	0.7839	0.07
F value	19.04**		1503.08**		36.18**	

A indicates non-significantly different at 5% significant level compared with control plot by LSD.

18 調査地와는 有意差가 없었고, 2, 3年生 앞에서는 對照區와 比較하면 많은 調査地에서 有意差가 없었다. 따라서 2, 3年生 앞은 1年生 앞보다 가리의 含量은 減少하지만 1年生 앞에서만 工團에서 가까운 地域에서 가리의 減少率이 심하고, 2, 3年生 앞에서는 그 差異를 區分지우기 어려웠다. 金<sup>12)</sup>은 葉內 가리의 含量은 3年生 앞에서 1) 2) 3) 4) 5) 6) 7) 8) 9) 10) 11) 12) 13) 14) 15) 16) 17) 18) 19) 20) 21) 22) 23) 24) 25) 26) 27) 28) 29) 30) 31) 32) 33) 34) 35) 36) 37) 38) 39) 40) 41) 42) 43) 44) 45) 46) 47) 48) 49) 50) 51) 52) 53) 54) 55) 56) 57) 58) 59) 60) 61) 62) 63) 64) 65) 66) 67) 68) 69) 70) 71) 72) 73) 74) 75) 76) 77) 78) 79) 80) 81) 82) 83) 84) 85) 86) 87) 88) 89) 90) 91) 92) 93) 94) 95) 96) 97) 98) 99) 100) 101) 102) 103) 104) 105) 106) 107) 108) 109) 110) 111) 112) 113) 114) 115) 116) 117) 118) 119) 120) 121) 122) 123) 124) 125) 126) 127) 128) 129) 130) 131) 132) 133) 134) 135) 136) 137) 138) 139) 140) 141) 142) 143) 144) 145) 146) 147) 148) 149) 150) 151) 152) 153) 154) 155) 156) 157) 158) 159) 160) 161) 162) 163) 164) 165) 166) 167) 168) 169) 170) 171) 172) 173) 174) 175) 176) 177) 178) 179) 180) 181) 182) 183) 184) 185) 186) 187) 188) 189) 190) 191) 192) 193) 194) 195) 196) 197) 198) 199) 200) 201) 202) 203) 204) 205) 206) 207) 208) 209) 210) 211) 212) 213) 214) 215) 216) 217) 218) 219) 220) 221) 222) 223) 224) 225) 226) 227) 228) 229) 230) 231) 232) 233) 234) 235) 236) 237) 238) 239) 240) 241) 242) 243) 244) 245) 246) 247) 248) 249) 250) 251) 252) 253) 254) 255) 256) 257) 258) 259) 260) 261) 262) 263) 264) 265) 266) 267) 268) 269) 270) 271) 272) 273) 274) 275) 276) 277) 278) 279) 280) 281) 282) 283) 284) 285) 286) 287) 288) 289) 290) 291) 292) 293) 294) 295) 296) 297) 298) 299) 300) 301) 302) 303) 304) 305) 306) 307) 308) 309) 310) 311) 312) 313) 314) 315) 316) 317) 318) 319) 320) 321) 322) 323) 324) 325) 326) 327) 328) 329) 330) 331) 332) 333) 334) 335) 336) 337) 338) 339) 340) 341) 342) 343) 344) 345) 346) 347) 348) 349) 350) 351) 352) 353) 354) 355) 356) 357) 358) 359) 360) 361) 362) 363) 364) 365) 366) 367) 368) 369) 370) 371) 372) 373) 374) 375) 376) 377) 378) 379) 380) 381) 382) 383) 384) 385) 386) 387) 388) 389) 390) 391) 392) 393) 394) 395) 396) 397) 398) 399) 400) 401) 402) 403) 404) 405) 406) 407) 408) 409) 410) 411) 412) 413) 414) 415) 416) 417) 418) 419) 420) 421) 422) 423) 424) 425) 426) 427) 428) 429) 430) 431) 432) 433) 434) 435) 436) 437) 438) 439) 440) 441) 442) 443) 444) 445) 446) 447) 448) 449) 450) 451) 452) 453) 454) 455) 456) 457) 458) 459) 460) 461) 462) 463) 464) 465) 466) 467) 468) 469) 470) 471) 472) 473) 474) 475) 476) 477) 478) 479) 480) 481) 482) 483) 484) 485) 486) 487) 488) 489) 490) 491) 492) 493) 494) 495) 496) 497) 498) 499) 500) 501) 502) 503) 504) 505) 506) 507) 508) 509) 510) 511) 512) 513) 514) 515) 516) 517) 518) 519) 520) 521) 522) 523) 524) 525) 526) 527) 528) 529) 530) 531) 532) 533) 534) 535) 536) 537) 538) 539) 540) 541) 542) 543) 544) 545) 546) 547) 548) 549) 550) 551) 552) 553) 554) 555) 556) 557) 558) 559) 560) 561) 562) 563) 564) 565) 566) 567) 568) 569) 570) 571) 572) 573) 574) 575) 576) 577) 578) 579) 580) 581) 582) 583) 584) 585) 586) 587) 588) 589) 590) 591) 592) 593) 594) 595) 596) 597) 598) 599) 600) 601) 602) 603) 604) 605) 606) 607) 608) 609) 610) 611) 612) 613) 614) 615) 616) 617) 618) 619) 620) 621) 622) 623) 624) 625) 626) 627) 628) 629) 630) 631) 632) 633) 634) 635) 636) 637) 638) 639) 640) 641) 642) 643) 644) 645) 646) 647) 648) 649) 650) 651) 652) 653) 654) 655) 656) 657) 658) 659) 660) 661) 662) 663) 664) 665) 666) 667) 668) 669) 670) 671) 672) 673) 674) 675) 676) 677) 678) 679) 680) 681) 682) 683) 684) 685) 686) 687) 688) 689) 690) 691) 692) 693) 694) 695) 696) 697) 698) 699) 700) 701) 702) 703) 704) 705) 706) 707) 708) 709) 710) 711) 712) 713) 714) 715) 716) 717) 718) 719) 720) 721) 722) 723) 724) 725) 726) 727) 728) 729) 730) 731) 732) 733) 734) 735) 736) 737) 738) 739) 740) 741) 742) 743) 744) 745) 746) 747) 748) 749) 750) 751) 752) 753) 754) 755) 756) 757) 758) 759) 760) 761) 762) 763) 764) 765) 766) 767) 768) 769) 770) 771) 772) 773) 774) 775) 776) 777) 778) 779) 780) 781) 782) 783) 784) 785) 786) 787) 788) 789) 790) 791) 792) 793) 794) 795) 796) 797) 798) 799) 800) 801) 802) 803) 804) 805) 806) 807) 808) 809) 810) 811) 812) 813) 814) 815) 816) 817) 818) 819) 820) 821) 822) 823) 824) 825) 826) 827) 828) 829) 830) 831) 832) 833) 834) 835) 836) 837) 838) 839) 840) 841) 842) 843) 844) 845) 846) 847) 848) 849) 850) 851) 852) 853) 854) 855) 856) 857) 858) 859) 860) 861) 862) 863) 864) 865) 866) 867) 868) 869) 870) 871) 872) 873) 874) 875) 876) 877) 878) 879) 880) 881) 882) 883) 884) 885) 886) 887) 888) 889) 890) 891) 892) 893) 894) 895) 896) 897) 898) 899) 900) 901) 902) 903) 904) 905) 906) 907) 908) 909) 910) 911) 912) 913) 914) 915) 916) 917) 918) 919) 920) 921) 922) 923) 924) 925) 926) 927) 928) 929) 930) 931) 932) 933) 934) 935) 936) 937) 938) 939) 940) 941) 942) 943) 944) 945) 946) 947) 948) 949) 950) 951) 952) 953) 954) 955) 956) 957) 958) 959) 960) 961) 962) 963) 964) 965) 966) 967) 968) 969) 970) 971) 972) 973) 974) 975) 976) 977) 978) 979) 980) 981) 982) 983) 984) 985) 986) 987) 988) 989) 990) 991) 992) 993) 994) 995) 996) 997) 998) 999) 1000)

나타나 이는 계속되는 大氣汚染의 影響으로 土壤이 酸性化되어 칼슘의 흡수율이 낮아져 葉內 칼슘 含量에 變化가 일어나고 있는 것으로 1) 2) 3) 4) 5) 6) 7) 8) 9) 10) 11) 12) 13) 14) 15) 16) 17) 18) 19) 20) 21) 22) 23) 24) 25) 26) 27) 28) 29) 30) 31) 32) 33) 34) 35) 36) 37) 38) 39) 40) 41) 42) 43) 44) 45) 46) 47) 48) 49) 50) 51) 52) 53) 54) 55) 56) 57) 58) 59) 60) 61) 62) 63) 64) 65) 66) 67) 68) 69) 70) 71) 72) 73) 74) 75) 76) 77) 78) 79) 80) 81) 82) 83) 84) 85) 86) 87) 88) 89) 90) 91) 92) 93) 94) 95) 96) 97) 98) 99) 100) 101) 102) 103) 104) 105) 106) 107) 108) 109) 110) 111) 112) 113) 114) 115) 116) 117) 118) 119) 120) 121) 122) 123) 124) 125) 126) 127) 128) 129) 130) 131) 132) 133) 134) 135) 136) 137) 138) 139) 140) 141) 142) 143) 144) 145) 146) 147) 148) 149) 150) 151) 152) 153) 154) 155) 156) 157) 158) 159) 160) 161) 162) 163) 164) 165) 166) 167) 168) 169) 170) 171) 172) 173) 174) 175) 176) 177) 178) 179) 180) 181) 182) 183) 184) 185) 186) 187) 188) 189) 190) 191) 192) 193) 194) 195) 196) 197) 198) 199) 200) 201) 202) 203) 204) 205) 206) 207) 208) 209) 210) 211) 212) 213) 214) 215) 216) 217) 218) 219) 220) 221) 222) 223) 224) 225) 226) 227) 228) 229) 230) 231) 232) 233) 234) 235) 236) 237) 238) 239) 240) 241) 242) 243) 244) 245) 246) 247) 248) 249) 250) 251) 252) 253) 254) 255) 256) 257) 258) 259) 260) 261) 262) 263) 264) 265) 266) 267) 268) 269) 270) 271) 272) 273) 274) 275) 276) 277) 278) 279) 280) 281) 282) 283) 284) 285) 286) 287) 288) 289) 290) 291) 292) 293) 294) 295) 296) 297) 298) 299) 300) 301) 302) 303) 304) 305) 306) 307) 308) 309) 310) 311) 312) 313) 314) 315) 316) 317) 318) 319) 320) 321) 322) 323) 324) 325) 326) 327) 328) 329) 330) 331) 332) 333) 334) 335) 336) 337) 338) 339) 340) 341) 342) 343) 344) 345) 346) 347) 348) 349) 350) 351) 352) 353) 354) 355) 356) 357) 358) 359) 360) 361) 362) 363) 364) 365) 366) 367) 368) 369) 370) 371) 372) 373) 374) 375) 376) 377) 378) 379) 380) 381) 382) 383) 384) 385) 386) 387) 388) 389) 390) 391) 392) 393) 394) 395) 396) 397) 398) 399) 400) 401) 402) 403) 404) 405) 406) 407) 408) 409) 410) 411) 412) 413) 414) 415) 416) 417) 418) 419) 420) 421) 422) 423) 424) 425) 426) 427) 428) 429) 430) 431) 432) 433) 434) 435) 436) 437) 438) 439) 440) 441) 442) 443) 444) 445) 446) 447) 448) 449) 450) 451) 452) 453) 454) 455) 456) 457) 458) 459) 460) 461) 462) 463) 464) 465) 466) 467) 468) 469) 470) 471) 472) 473) 474) 475) 476) 477) 478) 479) 480) 481) 482) 483) 484) 485) 486) 487) 488) 489) 490) 491) 492) 493) 494) 495) 496) 497) 498) 499) 500) 501) 502) 503) 504) 505) 506) 507) 508) 509) 510) 511) 512) 513) 514) 515) 516) 517) 518) 519) 520) 521) 522) 523) 524) 525) 526) 527) 528) 529) 530) 531) 532) 533) 534) 535) 536) 537) 538) 539) 540) 541) 542) 543) 544) 545) 546) 547) 548) 549) 550) 551) 552) 553) 554) 555) 556) 557) 558) 559) 560) 561) 562) 563) 564) 565) 566) 567) 568) 569) 570) 571) 572) 573) 574) 575) 576) 577) 578) 579) 580) 581) 582) 583) 584) 585) 586) 587) 588) 589) 590) 591) 592) 593) 594) 595) 596) 597) 598) 599) 600) 601) 602) 603) 604) 605) 606) 607) 608) 609) 610) 611) 612) 613) 614) 615) 616) 617) 618) 619) 620) 621) 622) 623) 624) 625) 626) 627) 628) 629) 630) 631) 632) 633) 634) 635) 636) 637) 638) 639) 640) 641) 642) 643) 644) 645) 646) 647) 648) 649) 650) 651) 652) 653) 654) 655) 656) 657) 658) 659) 660) 661) 662) 663) 664) 665) 666) 667) 668) 669) 670) 671) 672) 673) 674) 675) 676) 677) 678) 679) 680) 681) 682) 683) 684) 685) 686) 687) 688) 689) 690) 691) 692) 693) 694) 695) 696) 697) 698) 699) 700) 701) 702) 703) 704) 705) 706) 707) 708) 709) 710) 711) 712) 713) 714) 715) 716) 717) 718) 719) 720) 721) 722) 723) 724) 725) 726) 727) 728) 729) 730) 731) 732) 733) 734) 735) 736) 737) 738) 739) 740) 741) 742) 743) 744) 745) 746) 747) 748) 749) 750) 751) 752) 753) 754) 755) 756) 757) 758) 759) 760) 761) 762) 763) 764) 765) 766) 767) 768) 769) 770) 771) 772) 773) 774) 775) 776) 777) 778) 779) 780) 781) 782) 783) 784) 785) 786) 787) 788) 789) 790) 791) 792) 793) 794) 795) 796) 797) 798) 799) 800) 801) 802) 803) 804) 805) 806) 807) 808) 809) 810) 811) 812) 813) 814) 815) 816) 817) 818) 819) 820) 821) 822) 823) 824) 825) 826) 827) 828) 829) 830) 831) 832) 833) 834) 835) 836) 837) 838) 839) 840) 841) 842) 843) 844) 845) 846) 847) 848) 849) 850) 851) 852) 853) 854) 855) 856) 857) 858) 859) 860) 861) 862) 863) 864) 865) 866) 867) 868) 869) 870) 871) 872) 873) 874) 875) 876) 877) 878) 879) 880) 881) 882) 883) 884) 885) 886) 887) 888) 889) 890) 891) 892) 893) 894) 895) 896) 897) 898) 899) 900) 901) 902) 903) 904) 905) 906) 907) 908) 909) 910) 911) 912) 913) 914) 915) 916) 917) 918) 919) 920) 921) 922) 923) 924) 925) 926) 927) 928) 929) 930) 931) 932) 933) 934) 935) 936) 937) 938) 939) 940) 941) 942) 943) 944) 945) 946) 947) 948) 949) 950) 951) 952) 953) 954) 955) 956) 957) 958) 959) 960) 961) 962) 963) 964) 965) 966) 967) 968) 969) 970) 971) 972) 973) 974) 975) 976) 977) 978) 979) 980) 981) 982) 983) 984) 985) 986) 987) 988) 989) 990) 991) 992) 993) 994) 995) 996) 997) 998) 999) 1000)

또한 海松 葉內 칼슘의 含量變化를 알아보기 위해 葉內 칼슘의 含量을 分析한 結果는 Table 6과 같이 沙上工團 周邊의 海松의 葉內 칼슘의 含量은 1年生 앞에서는 대부분의 調査地에서 對照區 보다 적게 含有하고 있었으며, 또한 1調査地를 除外하고는 工團에 隣接된 곳에서는 有意差가 있었다. 2年生 앞에서는 全 調査地가 對照區 보다 적었으며, 工團 隣近의 많은 調査地가 對照區와 有意差가 있었다. 3年生 앞에서는 對照區와 工團에서 比較的 먼 10, 11, 15, 16, 17



**Table 7.** Mean contents(%) of magnesium in needles of the *Pinus thunbergii*

Sample plots	1-year needle		2-year needle		3-year needle	
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
1	0.2314	0.072	0.2197	0.035	0.3071	0.019
2	0.2438A	0.061	0.3492	0.056	0.3081	0.001
3	0.2051	0.037	0.3606	0.060	0.3345	0.003
4	0.2386A	0.046	0.2546	0.010	0.4015A	0.015
5	0.2391A	0.042	0.3545	0.041	0.3815A	0.016
6	0.2094	0.041	0.2591	0.036	0.3557	0.015
7	0.3311A	0.021	0.3139	0.053	0.3056	0.002
8	0.2262	0.034	0.2317	0.029	0.3182	0.003
9	0.2381A	0.044	0.3843A	0.045	0.3373	0.003
10	0.2426A	0.021	0.2424	0.055	0.3634	0.004
11	0.2386A	0.014	0.3625	0.024	0.4046A	0.002
12	0.2183	0.032	0.3453	0.032	0.3987A	0.002
13	0.2183	0.036	0.2376	0.014	0.3370	0.015
14	0.2405A	0.052	0.2164	0.018	0.3200	0.015
15	0.2450A	0.032	0.4015A	0.067	0.3259	0.003
16	0.2491A	0.080	0.3748	0.050	0.3160	0.002
17	0.2453A	0.022	0.2252	0.018	0.3231	0.003
18	0.2264	0.034	0.2274	0.039	0.3947A	0.002
19	0.2211	0.032	0.2512	0.018	0.3763A	0.004
Control	0.2491A	0.043	0.3954A	0.060	0.3828A	0.003
F value	28.82**		152.56**		189.81**	

A indicates non-significantly different at 5% significant level compared with control plot by LSD.

**Table 8.** Pearson correlation coefficients between elements in needles of *Pinus thunbergii*

	Injury Index	Sulfur	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll	Cha/Chb	Phosphorus	Potassium	Calcium	Magnesium
Injury index	1.0000 <sup>1)</sup>									
Sulfur	0.6966	1.0000								
Chlorophyll a	-0.8081	-0.7103	1.0000							
Chlorophyll b	-0.4634	-0.4378	0.4683	1.0000						
Total chlorophyll	-0.8141	-0.7217	0.9777	0.6374	1.0000					
Cha/Chb	-0.6963	-0.6298	0.8884	0.0396	0.7863	1.0000				
Phosphorus	-0.4186	-0.1643	0.4870	0.3185	0.4805	0.3242	1.0000			
Potassium	-0.1784	-0.1463	0.2173	0.2101	0.2583	0.1880	0.0400	1.0000		
Calcium	-0.7214	-0.7129	0.7034	0.3978	0.7162	0.6315	0.2867	0.6210	1.0000	
Magnesium	-0.1056	-0.1009	0.1316	0.1650	0.1597	0.0709	0.2856	0.7130	0.2633	1.0000

<sup>1)</sup> Pearson correlation coefficients

<sup>2)</sup> Prob > F

性硫黃의 增加는 잎의 可視의 被害는 물론 葉綠素 含量 및 칼슘의 含量變化에 影響을 주고 있다고 사료된다. 그리고 葉內 칼슘과 칼륨, 마그네슘과 칼륨 간에도 正의 상관이 있었다. 그러나 이들간의 精確한 關係 分析을 爲해서는 生理實驗을 통하여 더 많은 研究가 있어야 할 것으로 思料된다.

5) 被害地地域間의 關係 分析

沙上工團 周邊의 海松林을 大氣汚染으로 인한 被害地域을 區分하기 爲하여 Cluster分析을 實施하였다. 먼저 地域區分에 寄與한 因子를 찾기 爲해 主成分分析을 한 結果는 Table 8과 같이 第1主成分은 葉綠素 a와 全體 葉綠素 含量이 큰 값을 나타내어 調査地 區分에 크게 寄與하고 있었으며, 第2主成分은 가리와 마그네슘과 같은 鹽基類의 含量이, 第3主成分은 葉綠素 b의 含量과 磷酸의 含量이 큰 값을 나타내어 第3主成分까지 全體 變動의 80% 以上을 나타내고 있었고, Cluster分析은 Ward의 最小分散方法을 利用하여 실시한 結果는 Fig. 7과 같이 本 調査地域을 工團에서 가까운 地域(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 調査地)과 中間地域(9, 10, 11, 12, 15, 17 調査地), 그리고 對照區를 포함한 比較的 먼 地域(13, 14, 16, 18, 19 調査地) 등의 3地域으로 區分되었으며, 全般적으로 工團에 隣接된 곳에서는 被害가 심하게 나타났는데 이는 工團과의 距離와 密接한 關係가 있었다.

6) 葉組織의 顯微鏡의 觀察

大氣汚染物質에 의해 可視의 被害를 받은 海松葉 組織의 被害程度를 把握하기 爲해 잎의 橫斷

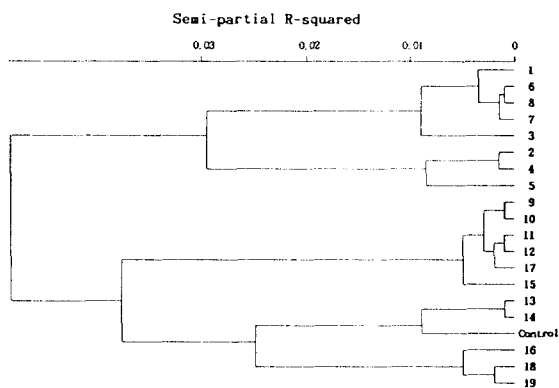


Fig. 2. Cluster analysis for 10 variables of the *Pinus thunbergii* by Ward's minimum variance method.

面을 光學顯微鏡으로 觀察한 結果, 葉肉細胞와 樹脂溝 周邊의 厚膜細胞, 內皮, 移入組織 등에서 심한 被害徵候가 나타나고 있었다(Photo 1).

Kozłowski and Constantinidou<sup>18)</sup>는 大氣汚染物質이 植物細胞의 代謝過程을 妨害하여 植物에 被害를 주며 慢性的 障害는 白化現象과 잎의 早期 老化를 가져오고, 汚染物質의 빠른 吸收는 葉肉細胞의 破壞와 壞死現象을 나타내며 특히 針葉樹 잎에서는 다른 組織도 被害를 받지만 葉肉細胞는 제일 敏感한 反應을 보인다고 報告하였으며, 金<sup>19)</sup>은 麗川工團의 調査에서도 被害를 받은 소나무 잎에서 全體적으로 海綿組織과 內皮層의 破壞가 大氣汚染에 의해 影響을 받은 것으로 判斷하였는데 本 調査에서 海松葉 組織에 나타난 葉肉細胞와 內皮層의 破壞現象도 大氣汚染에 의한 被害라고 判斷된다.

Table 9. Eigenvectors for 10 variables of the *Pinus thunbergii* by Principal component analysis.

Variable	PRIN 1	PRIN 2	PRIN 3	PRIN 4
Injury index	-0.3756	0.1459	-0.0066	0.0160
Sulfur	-0.3462	0.1244	0.1735	0.2967
Chlorophyll a	0.4069	-0.1569	-0.0120	0.1183
Chlorophyll b	0.2414	0.0594	0.5781	-0.5884
Total chlorophyll	0.4109	-0.1139	0.1054	-0.0408
Chlorophyll a to b	0.3449	-0.1913	-0.2659	0.3635
Phosphorus	0.2144	0.0097	0.5969	0.5882
Potassium	0.1734	0.6546	-0.2297	-0.0778
Calcium	0.3674	0.1644	-0.2630	-0.1283
Magnesium	0.1283	0.6557	0.1113	0.2218
Eigenvalue	5.4132	1.6627	1.0569	0.8907
Proportion	0.5413	0.1663	0.1057	0.0891
Cumulative	0.5413	0.7076	0.8133	0.9024



Photo. 1. Cross section of needles of the *Pinus thunbergii*. ( $\times 100$ )

IH : health needle, II : injured needle

E : part of endodermis, M : part of mesophyll, R : resin canal

### 引用 文 獻

1. 裴泰雄·韓熙世. 1984. SO<sub>2</sub> gas가 釜山近郊의 街路樹에 미치는 影響. 東亞大學校 附設 環境問題研究所報 7(2) : 125-138.
2. Cap, J.N., I.S. Paterson, A.R. Wellburn, J. Wolfenden, H. Mehlhorn, P.H. Freer, Smith, and S. Fink. 1988. Early diagnosis of forest decline. Institute of Terrestrial Ecology, Cumbria : 4-68.
3. 千葉 修. 1973. 大氣汚染と植物の病害蟲. 植物防疫 27(6) : 217-219.
4. 環境處. 1991. 環境統計年監. 環境處 서울 : 154-167.
5. 國立環境研究所. 1981. 植物計에 의한 臨海工業團地의 大氣汚染 評價. 國立環境研究所報 3 : 271-304.
6. 井上尚雄. 1973. 亞黃酸가스による樹木の被害. 植物防疫 27(6) : 224-228.
7. 作物分析法委員會. 1986. 栽培植物分析測定法. 養賢堂 東京 : 31-95.
8. 姜寅求 外 12人. 1991. 大氣汚染과 酸性비에 의한 被害調査 및 評價에 관한 研究(I-3) — 大氣汚染度 및 酸性비 現況을 中心으로 —. 國立環境研究院報 13 : 167-191.
9. 金在鳳 外 4人. 1982. 四個工團周邊地域의 숲中 硫黃 및 불소 含量에 관한 研究. 國立環境研究所報 3 : 255-270.
10. \_\_\_\_\_ 外 6人. 1982. 非汚染地域의 自然植物에 대한 基礎硫黃含量調査研究. 國立環境研究所報 3 : 255-270.
11. 金鍾甲. 1992. 溫山工團周邊의 大氣汚染이 森林植生에 미치는 影響. 慶尙大學校博士學位論文 : p.108.
12. 金俊選. 1992. 大氣汚染物質이 麗川工團周邊 海松의 養料動態와 群落構造에 미치는 影響. 서울大學校 大學院 博士學位論文 : p.101.
13. 金泰旭. 1984. 麗川工業團地周邊의 樹木被害 調査 研究. 서울大學校 農科大學 : p.80.
14. \_\_\_\_\_·李景宰·林仁協·金俊選. 1983. 環境汚染이 植物群集에 미치는 影響에 관한 研究. 韓國環境農學會誌 2(1) : 35-44.
15. \_\_\_\_\_·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.
16. 金暎傑·吳宗煥·蔡智錫. 1989. 大氣汚染이 溫山工團地域 海松의 活力에 미치는 影響에 관한 研究. 林研研報 38 : 124-132.
17. 氣象廳. 1991. 韓國氣候表 2卷 — 月別平均값 (1961-1990) —. 氣象廳 서울 : p.418.
18. Kozlowski, T.T. and H.A. Constantinidou. 1986. Responses of woody plants to environmental pollution. Forestry abstracts 47 : 5-51.
19. Kreisel, W.E. 1983. Effects of air pollution. J. of the Institute of Indust. and Environ. Studies, Kyung Hee Univ. 1 : 179-192.
20. Mann, L.K., S.B. Mclaughlin and D.S. Shriner. 1980. Seasonal physiological responses of white pine under chronic air pollution stress. Environ. and Exper. Botany 20 : 99-105.
21. 日本公衆衛生協會. 1973. 大氣汚染植物被害

- 寫真集. 日本公衆衛生協會 東京 : p.211.
22. 植物營養實驗法編輯委員會. 1990. 植物營養實驗法. 博友社 東京 : 134-147.
23. 申南澈. 1985. 溫山 工團地域의 排出가스(亞黃酸)가 農作物 數量 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.
24. Tingey, D.T., et. al.. 1971. Vegetation injury from the interaction of nitrogen dioxide and sulfur dioxide. *Phytopathology* 61 : 506-511.
25. Westerman, R.L. 1990. Soil testing and plant analysis. SSSA. Wisconsin : 563-588.