

大氣汚染地域에서의 土壤 및 海松葉中 汚染物質間의 相關分析

金 鍾 甲*

The Relationship between Pollutants in Soil and Leaves in Air Polluted Areas

Jong-Kab Kim*

Abstract

In order to find out pollutants in leaves of *pinus thunbergii*, and relationship between pollutants in soil and leaves of *pinus thunbergii* surrounding Onsan Industrial Complex in Korea, this study was performed. Concentrations of water-soluble sulfur of *P. thunbergii* leaves were a range of 0.06%-0.25%, but at the vicinity of industrial complex, it was judged to be hindered in growing trees as a range of 0.13%-0.25%.

In *P. thunbergii* leaves the contents of Fe, Mn, Zn and Cu were showed as a range of 87.2 ppm-319.8 ppm, 100.0 ppm-581.3 ppm, 39.0 ppm-134.0 ppm and 1.2 ppm-4.8 ppm, respectively, and they were generally high at *P. thunbergii* leaves of the vicinity of refinery of industrial complex.

But concentrations of Cu and Pb only showed little contents.

In the correlation between soil and leaves pollutants, there were significant correlation between total S and water-soluble S ($r=0.643^*$), between Fe ($r=0.681^*$), Zn ($r=0.832^{**}$), and Cd ($r=0.775^{**}$) in soils and those in *P. thunbergii* leaves at 10% or 5% level, respectively, and as these results, it was inferrec that heavy metals in soils had relations with those in leaves.

*慶尙大學校 農科大學 林學科

Department of Forestry, College of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea

緒 論

石油化學工團 周邊은 産業폐기물의 放出이 심하여 이로 인한 汚染物質이 森林과 森林土壤에 累積되어 植物의 生長에 큰 被害를 주고 있을 뿐만 아니라 大氣中에서 다른물질과 반응하여 2차적인 環境 汚染物質로 변하여 酸性雨와 같은 형태로 순환됨에 따라 森林에 더 큰 被害를 주고 있다.

특히 酸性雨는 森林土壤을 酸性化시키며 土壤내의 유기물 및 미생물에 영향을 주어 영향순환과정을 攪亂시키고 生態系의 均衡을 破壞하여 山林에 직접적인 被害를 주게 된다¹⁾.

Tyler²⁾는 土壤中の 인산의 활동은 구리와 아연의 높은 濃度에 의해서 억제를 받으며 아연보다 구리가 더 독성이 심하였다고 報告한 바 있으며, Komai³⁾는 도시 근교의 土壤과 植物에 대한 重金屬含量的 變化를 調査하였고, Suzuki⁴⁾는 제련소 周邊의 삼나무림에 대한 重金屬汚染을 調査報告한 바 있다.

武長과 吉羽⁵⁾은 重金屬에 의한 土壤의 經年變化를 調査하였으며, 李와 宋^{6,7)}은 溫山工團周邊의 土壤 및 農作物에 대한 重金屬濃度를 調査報告한 바 있고 유⁸⁾는 울산시 및 인근 도로변의 아카시아나무의 葉과 줄기, 土壤에 대한 汚染物質의 含量을 調査하였다. 또한 金과 金⁹⁾은 고속도로변의 植栽木에 대한 葉과 土壤의 重金屬含量을 調査報告한 바 있다.

따라서 앞으로 工團周邊 및 都市周邊에는 계속적으로 大氣汚染이 증가될 것으로 思料되며 이에 따른 각종 汚染物質도 증가되어 森林에 미칠 영향을 클 것으로 생각되어 본 調査는 汚染源이 많은 溫山工團周邊海松林의 森林土壤 및 葉에 대한 汚染物質을 調査하여 그 相關성을 分析하였다.

材料 및 方法

1) 土壤分析

調査地域 및 土壤分析은 Korean J. Environ, Agric. Vol. 10(2)¹⁰⁾에 發表된 資料와 일치하며 토

壤分析을 한 19個 調査地中에서 11個地域의 海松林을 選定하여 葉分析을 실시하였다.

2) 葉分析

海松葉에 蓄積되어 있는 汚染物質分析을 爲하여 11個 海松葉地域의 上層木에서 海松葉을 採取하였으며 葉은 1個調査地에서 5-10本の 海松을 無作爲로 選擇하여 中間程度의 部位에서 2年生 葉 500g程度을 採取하였다. 採取된 葉은 實驗室로 옮겨 수도물과 蒸溜水로 附着된 異物質을 完全히 除去하여 80°C에서 48時間 乾燥하였다.

乾燥된 葉은 粉碎機로 粉碎하여 60mesh의 체로 쳐서 分析試料로 使用하였으며 水溶性 硫黃含量은 重量法¹¹⁾으로 測定하였고, 重金屬은 植物體化學分析法¹²⁾에 依하여 試料 1g을 濕式分解하여 濾過한後 DDTC-MIBK法으로 前處理하여 原子吸收分光機로 測定하였다.

結果 및 考察

1. 葉中 水溶性硫黃 및 重金屬 分析

葉中 水溶性硫黃과 重金屬 分析은 19곳의 土壤調

Table. 1. Water-soluble sulfur and heavy metal contents of P.thunbergii leaves in the investigated sites.

Site	S(%)	Fe(ppm)	Mn(ppm)	Zn(ppm)	Cd(ppm)
1	0.16	155.0	293.8	62.5	1.2
2	0.12	112.7	318.8	71.8	2.4
3	0.08	214.3	175.0	51.3	1.6
4	0.07	87.2	462.5	39.0	2.6
5	0.25	175.9	581.3	52.3	1.8
7	0.13	199.9	518.8	60.3	3.4
8	0.15	139.1	443.8	58.8	2.0
14	0.19	319.8	100.0	134.0	4.8
17	0.15	92.2	343.8	46.3	4.2
18	0.06	111.9	537.5	57.5	3.4
19	0.07	132.7	112.4	45.8	4.0
Mean	0.13	158.0	353.0	61.7	2.9
S.D.	0.06	67.8	170.9	25.6	1.2

査地中 (Table 2)에서 11個 調査地 (1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 14, 17, 18, 19調査地)의 上層 優占種인 海松葉을 中心으로 分析되었다 (Table 1).

1) 葉中 水溶性硫黃의 含量 分析

各 調査地에서 上層木인 海松葉에 對한 汚染物質 含量의 分析値는 Table 1과 같다.

全調査地에서 水溶性硫黃의 含量은 0.06%-0.25%였으며, 化學工場周邊인 5와 14調査地에서 가장 높아 이들 工場에서 排出되는 SO₂가스가 海松葉에 많은 影響을 미치고 있음을 알 수 있다.

一般的으로 汚染地域인 工場周邊에서는 0.13%-0.25%로 높았으며 汚染源에 멀어질수록 낮은 傾向을 나타내었다. 이는 linzon¹³⁾이 報告한 바 있는 植物體內 硫黃含量의 蓄積은 SO₂發生源에 가까워질수록 增加한다는 研究結果와 類似하였으며, 또한 보통 植物이 0.05%-0.1%의 硫黃含量을 含有하고

있는데 반해 溫山工場周邊의 海松葉은 모두 이 範圍를 넘어 慢性的인 大氣汚染의 被害를 받고 있음을 알 수 있다.

한편 調査地內 海松葉의 水溶性硫黃含量은 1988年度 海松葉의 水溶性硫黃含量인 0.12%-0.25%¹⁴⁾와 비슷한 傾向이었으며, 또한 1981年度에 調査된 0.1022%-0.1932%¹⁵⁾보다도 높은 傾向으로 大氣汚染의 影響이 繼續되고 있음을 알 수 있었고, 硫黃酸化物의 경우 大氣汚染濃도와 植物體內 硫黃含量間에는 正의 相關關係가 있다는 Linzon의 研究報告¹³⁾에서 볼 때 溫山工場의 각 工場에서 排出되는 大氣汚染 濃度도 여전히 增加되고 있다고 判斷된다. 또한 申¹⁶⁾은 葉中 硫黃含量과 벼의 收穫減收率間에는 1% 水準에서 相關이 나타났다고 報告한 바 있어 葉中 硫黃含量은 植物體의 結實에도 많은 影響이 있을 것으로 보여진다.

Table. 2. Heavy metals in the soil of experimental sites(unit ; ppm)

Site	Soluble						S
	Fe	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	
1	2.2	0.26	-	3.55	0.20	0.06	523
2	8.7	1.56	0.69	31.60	0.26	0.08	224
3	6.9	-	-	6.07	0.10	0.02	446
4	2.8	0.78	0.35	6.16	0.16	0.08	272
5	0.9	0.17	-	0.43	0.38	0.06	428
6	2.6	3.21	-	7.98	0.18	0.12	287
7	6.1	0.78	0.17	1.91	0.18	0.04	416
8	2.6	0.87	0.35	5.55	0.12	0.08	447
9	9.5	1.91	0.43	3.03	0.04	0.05	438
10	40.7	5.46	1.65	25.70	0.16	0.12	316
11	14.7	0.61	0.17	3.38	0.06	0.08	459
12	13.9	0.52	0.10	0.69	0.04	0.06	397
13	73.7	6.51	62.10	2.25	0.70	0.12	638
14	59.8	6.68	35.90	6.42	0.24	0.14	384
15	14.7	1.30	1.13	0.35	0.02	0.24	341
16	4.3	0.69	-	4.25	0.12	0.08	366
17	16.5	2.08	0.43	13.35	0.22	0.14	181
18	13.8	0.09	-	3.81	-	0.08	169
19	38.1	0.87	0.81	1.19	0.26	0.08	21
Mean	17.45	1.91	5.49	6.72	0.18	0.09	355
S.D.	20.66	2.09	15.95	87.39	0.16	0.05	141.4

2) 葉中 重金屬 分析

Table 1에서 보는 바와 같이 海松葉中の Fe含量은 87.2ppm-319.8ppm으로서 14調査地에서 가장 높았으며 4調査地에서 가장 낮았으나 調査地間의 差異가 많았으며, 14調査地에서는 土壤에서도 Fe含量이 높아 土壤內的 Fe含量이 葉中 含量에 影響을 미쳤다고 할 수 있다.

Mn含量은 100ppm-581.3ppm으로 이 또한 調査地間 差異가 많았으며 14調査地에서 가장 낮았고, 5와 18調査地에서 가장 높았으며 다른 重金屬에 비해 蓄積含量이 높은 傾向이었다.

Zn含量은 39.0ppm-134.0ppm이었으나 가장 높은 14調査地를 除外하면 全地域이 비슷한 傾向을 나타내어 Zn은 飛散거리가 높아 距離間 差異가 거의 없다고 報告한 嶋田 等¹⁷⁾의 研究結果와 一致하였다. 그러나 汚染源에서 가장 가까운 14調査地에서 土壤 및 海松葉中 Zn含量이 가장 높고 汚染源에서 가까운 地域이 比較的 높은 것을 알 수 있었다. 金과 金⁹⁾이 報告한 高速道路邊의 Zn含量(33-60 ppm)과도 14調査地를 除外하면 비슷한 傾向이었으나 本 調査地의 土壤에서의 含量은 매우 적은데 비하여 葉中 含量은 높은 편이다.

Cd含量은 1.2ppm-4.8ppm으로 14, 17調査地에서 가장 높은 값을 나타내었으며 汚染源에서 가장 먼 18, 19調査地에서도 比較的 높은 含量을 나타내었는데, 이는 溫山工團의 影響보다 調査地가 道路邊이어서 오히려 車輛의 影響이 더 클 것으로 推測된다.

한편 Suzuki⁴⁾는 亞鉛製鍊所周邊의 삼나무 葉中 Cd, Zn 및 Pb含有量은 Cd와 Pb는 汚染源에서 距離가 멀어질수록 그 含有量이 낮았으며, Zn含量은 32ppm-231ppm, Cd含量은 0.5ppm-7.7ppm으로 나타났다고 報告한 바 있어 Zn은 一部 地域을 除外하면 本 調査地와 비슷한 傾向이었고 Cd도 本 調査地의 1.2ppm-4.8ppm과 비슷한 傾向이어서 樹種間의 差異는 있지만 溫山工團의 重金屬汚染은 海松에 影響을 미치고 있다고 볼 수 있으며 이들 重金屬들은 各 工場, 특히 製鍊所의 煤煙중 粉塵에 包含되어 落下된 것으로 믿어진다.

또한 嶋田 等¹⁷⁾은 道路邊에서 가까울수록 植物에 蓄積된 Cd과 Pb, Zn의 含量이 높았다고 報告한

바 있어 溫山工團의 道路邊에서는 工團內 車輛의 影響도 있을 것으로 推測할 수 있다.

그리고 海松葉中の Cu와 Pb含量은 아주 微量으로서 거의 全調査地에서 흔적만 나타나 이들 重金屬의 汚染은 아직 없는 것으로 判斷되었으며, 植物組織內的 Pb 蓄積은 土壤속의 Pb 蓄積과 直接的으로 比例한다고 한 Nicklow等¹⁸⁾의 研究結果를 볼 때, 本 調査地의 土壤內 Pb含量도 아주 少量으로 植物에 蓄積될 危險은 現在로서는 적은 것으로 생각된다.

本 調査地의 土壤內 Cu含量은 14調査地에서는 높은 水準의 含量을 나타냈음에도 불구하고 葉中 Cu含量은 거의 나타나지않아 鈴木 等¹⁹⁾이 植物體의 Cu含量은 土壤內的 Cu含量과 比例한다고 한 研究結果와는 差異가 있었다.

2. 土壤 및 葉中 汚染物質間의 相關關係

Table 1과 2를 기초로 土壤中の 汚染物質과 葉中の 汚染物質間의 相關分析을 실시한 결과 Fig. 1, 2, 3, 4와 같다.

Fig. 1는 土壤中の 全硫黃含量과 葉中 水溶性硫黃含量間의 相關關係를 나타낸 것으로서 5% 水準에서 正의 相關이 認定되어 土壤中の 全硫黃含量과 葉中の 硫黃含量은 어느 程度 相關關係가 있음을 알 수 있었다.

Fig. 2와 3, 4는 土壤中の Fe과 Zn, Cd의 重金屬含量과 葉中の Fe과 Zn, Cd의 重金屬含量間의 相關關係를 나타낸 것으로서 土壤中の Fe含量과 葉中の Fe含量間에는 5%水準에서 正의 相關이 認定되었고, 土壤中の Zn含量과 葉中の Zn含量間에는 1%水準에서 相關關係가 있음을 알 수 있었으며, 또한 土壤中の Cd含量과 葉中 Cd含量間에도 역시 1%水準에서 相關이 認定되었으나, 土壤 및 葉中 Mn含量間에는 相關이 없었다.

이같은 結果는 Tatsumi 等²⁰⁾의 日本 Sakai市內의 土壤 및 葉中 重金屬含量間의 相關分析에서 Zn은 5%水準에서, Cu, Cd, Pb은 1%水準에서 有意성이 認定되었다고 하는 研究結果와 類似한 結果를 나타내었으며, 嶋田 等¹⁷⁾은 土壤과 植物體 葉中の 重金屬 分析 結果 Pb 및 Zn 含量間에는 有意性

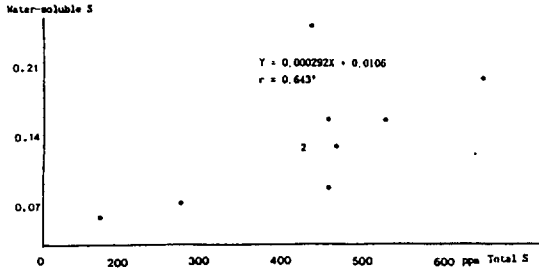


Fig. 1. The relationship between water-soluble S in leaves and total S in soils

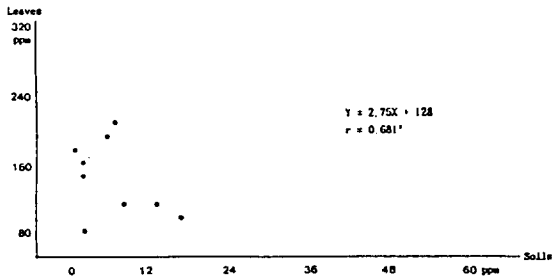


Fig. 2. The relationship between Fe concentration in soils and leaves.

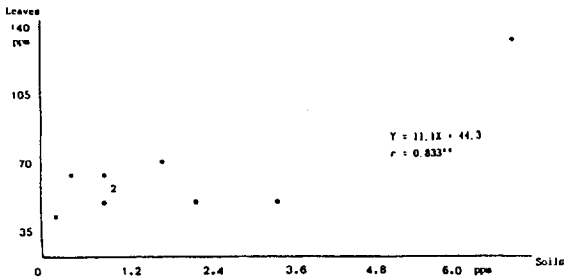


Fig. 3. The relationship between Zn concentration in soils and leaves.

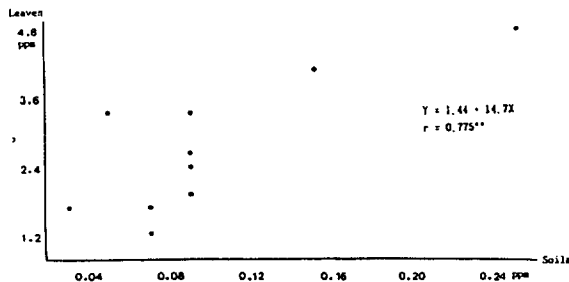


Fig. 4. The relationship between Cd concentration in soils and leaves.

이 認定되었지만, Cd含量間에는 有意性이 認定되지 않았다고 하여 本 調査와 若干의 差異가 있었다.

金과 金²¹³은 道路邊 土壤中の 重金屬含量의 은행 나무 葉中の 重金屬含量間의 相關分析을 한 結果, Fe에서만 5% 水準에서 有意性이 認定되었다고 報告한 바 있고, 金과 金⁹⁾은 高速道路邊 土壤과 街路樹의 葉中 重金屬含量間에는 Pb만이 有意性이 나타났다고 報告한 바 있어, 本 調査는 差異를 나타내었는데, 이는 道路邊의 主要 汚染源인 車輛에서 나오는 大氣汚染物質과 工團에서 나오는 大氣汚染物質과의 差異 및 大氣汚染物質吸收能이 서로 다른 樹種間의 差異에서 오는 結果일 것이라고 생각된다.

要 約

大氣汚染地域인 溫山工團周邊 海松葉의 葉에 대한 汚染物質分析 및 土壤과 葉의 汚染物質間의 相關分析을 實施한 結果, 海松葉에 對한 水溶性硫黃含量은 0.06-0.25%이었으나 工團周邊에서는 0.13-0.25%로 높게 나타나 海松葉의 生育에 支障을 줄것으로 判斷되었으며, 葉中 重金屬含量은 Fe은 87.2ppm-319.8ppm, Mn은 100.0ppm-581.3 ppm, Zn은 39.0ppm-134.0ppm, Cd은 1.2ppm-4.8ppm으로 나타나 一般的으로 溫山工團 製鍊所 周邊의 海松葉에서 높게 나타났고, 工團에서 排出되는 이들 重金屬들은 海松에 影響을 주고 있다고 볼 수 있었으나, Cu와 Pb은 全 調査地에서 微量만 나타나 아직은 植物被害에 큰 影響은 없었다.

土壤과 海松葉中 汚染物質間의 相關分析에서는 土壤中の 硫黃含量과 葉中 水溶性硫黃 含量間에는 5%水準에서, 土壤中の Fe, Zn, Cd과 葉中 Fe, Zn, Cd間에도 5% 및 1%의 水準에서 有意性이 認定되어 土壤속의 이들 重金屬과 葉中 重金屬間에는 密接한 關係가 있었다. 그러나 Mn에서는 相關이 없었다.

引用文獻

1. Ikeda, A. & K.Yoda(1982) : Soil pollution by heavy metals in Sakai city, J.

- Ecol. 32, 241-249.
2. Tyler, G. (1976) : Heavy metal pollution, phosphatase activity, and mineralization or organic phosphorus in forest soils, *Soil Biol. Biochem.* 8, 327-332.
 3. Komai, Y. (1971) : Zinc accumulation in soils and plants due to air pollution in Osaka Prefecture, *J. Japan Soc. Air Pollution* 6(1), 158.
 4. Suzuki, T. (1974) : The contents of a heavy metal in soil of Sugi forest, -The case of the area contaminated by Cd in Annaka city-J. *Japan Forestry Soc.* 56(11), 404-407.
 5. 武長宏, 吉羽雅昭(1984) : 群馬縣安中市의 亞鉛製鍊所 周邊地域의 重金屬による 土壤汚染とその 經年變化, *日本土壤肥料學雜誌* 55(3), 225-234.
 6. 李瑞來, 宋基峻(1985) : 溫山工團 주변토양의 重金屬 농도조사, *韓國環境農學會誌* 4(2), 88-94.
 7. _____, _____ (1986) : 溫山工團周邊農作物의 重金屬濃度調查, *韓國環境農學會誌* 5(1), 43-47.
 8. 유광식(1985) : 도로변의 아카시아와 土壤에 포함된 金屬成分 含量에 관한 調查研究, *蔚山大研究論文集* 16(2), 319-325.
 9. _____, _____ (1990) : 南海高速道路邊의 植栽 樹木에 대한 土壤 및 葉의 汚染物質含量에 대한 研究, *韓國林學會誌* 79(4), 352-358.
 10. _____, 金点秀(1991) : 大氣污染地域周邊 森林 土壤의 汚染濃度 分析. *韓國環境農學會誌* 10(2), 158-166.
 11. 作物分析法委員會編(1983) : 栽培植物分析測定法, 養賢堂, 545pp.
 12. 農村振興廳 農業技術研究所(1978) : 土壤化學分析法, 農村振興廳.
 13. Linzon, S.N. (1978) : Effects of airborne sulfur on plants. *Sulfur in the Environment*, John Willy & Sons, 109-162.
 14. 金鍾甲, 金在生(1989) : 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, *韓國林學會誌* 78(4), 360-371.
 15. 金在鳳, 金東漢, 鄭淵普, 吳在基, 金德姬(1981) : 四個工團周邊地域의 슬알中 硫黃 및 弗素含量에 관한 研究, *國立環境研究所報* 3, 255-270.
 16. 申南澈(1985) : 溫山 工團地域의 排出가스(亞黃酸)가 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.
 17. Shimada, N., M. Sumiyoshi, S. Toyoda, Y. Sato and M. Kojima (1973) : Contamination of Roadside Soil and Vegetation with Lead, Zinc and Cadmium, *Tech. Bull. Hort. Chiba Univ.* 21, 65-74.
 18. Nicklow, C.W., P.H. Comas-Haezebrouck and W.A. Feder (1983) : Influence of Varying Soil Lead Levels on Lean Uptake of Leaf and Root Vegetables, *J. Amer. Soci. Hort. Sci.* 108(2), 193-195.
 19. 鈴木正明 外(1987) : 土壤. 植物體中の金屬含量に及ぼす鐵道の影響, *日本土壤肥料學雜誌* 58(1), 78-81.
 20. Tatsumi, Y., K. Yoda and A. Ikeda (1983) : Effects of soil pollution by heavy metals on annual plants in Sakai City, *Japan J. Ecol.* 33, 293-303.
 21. 金点秀, 金在生(1990) : 都市街路樹의 環境汚染에 대한 研究, *慶尙大論文集* 29(1), 325-333.