

Soft X-ray分析에 의한 大氣汚染地域에서 자란 해송(*Pinus thunbergii*)의 年輪의 特徵¹

金鍾甲² · 金在生²

Characteristics of Annual Rings of *Pinus thunbergii* Grown in the Air-polluted Area by Soft X-ray Analysis¹

Jong Kab Kim² and Jai Saing Kim²

要 約

Soft X-ray에 의한 年輪密度解析法으로 大氣汚染地域에서 자란 해송(*Pinus thunbergii*) 成木の 年輪에 대한 特徵을 알아본 결과, 年輪幅과 最大密度, 最大密度와 最小密度의 差(이하DD)는 공장이 가동된 이후 汚染源의 주변지역에서는 감소하는 경향을 나타내었으며 특히 汚染源에서 가장 가까운 地域에서 가장 뚜렷히 감소하고 있었고 秋材率과 最小密度는 汚染으로 인한 감소와 증가의 뚜렷한 특징을 나타내지 않았다.

또한 年輪幅 및 最大密度, DD는 공장이동직후 5년동안보다도 5년이후부터 더욱 감소되고 있었으며 減少率 역시 공장이동 5년이후 부터 증가되었고 年輪幅의 減少率이 가장 컸다. 이와같이 본조사를 통하여 본 해송의 年輪幅 및 最大密度, DD는 오염으로 인한 生長阻害의 指標로서 이용할 수 있다고 추측되었다.

ABSTRACT

Annual ring characteristics of *pinus thunbergii* grown in several air-polluted areas were investigated by soft X-ray densitometry. Ring width, maximum density and relative difference between maximum and minimum density(abbreviated to DD) were generally decreased after the beginning of operation of the factories at the vicinity of the pollution sources. Especially at the nearest areas of the industrial complex, those were distinctly decreased, and the changes, either increases or decreases, in percentage of latewood and minimum density could not be explained by the air pollution dosages. Ring width, maximum density and DD were being more apparently decreased after 5 years than those for 5 years after the beginning of operation, and also the rate of decrease was increased from after 5 years after the beginning of operation, and the rate of decrease of ring width was the highest of all. It was inferred that ring width, maximum density and DD of *Pinus thunbergii* could be used as indicators to detect the growth damage by air pollution.

Key words : Annual ring characteristics, ring width, maximum density, DD, air pollution.

¹ 接受 1991年 8月 20日 Received on August 20, 1991.

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

緒 言

최근 環境汚染 문제는 전세계적으로 여러가지 측면에서 심각해 지고 있으며 인간의 인위적인 간섭에 의하여 또는 産業化에 따른 대량생산에 의하여 環境汚染은 점차 심각해져 가고 있지만 이에 따른 대응책은 그에 못미치고 있는 것 같다.

이중 工團周邊 및 대도시에서 일어나는 環境汚染은 날로 심각해져가고 있으며 인간의 생활환경에 필수불가결한 식물에 미치는 영향은 대단하다고 할 수 있다.

汚染物質이 식물에 피해를 일으키는 것은 가시적으로 나타나는 외관적인 조직의 피해 뿐만 아니라 생리적인 피해와 함께 눈에 보이지 않는 내부의 조직적인 피해를 일으킬 수 있다. 그러나 외관상 나타나는 식물의 피해는 오염의 영향을 조기에 진단하는데 이용될 수 있는 방법(朴等, 1983.)이지만 임목의 목재부의 조직에 나타나는 피해는 진단하기 어려우며, 특히 汚染源의 주변 森林에서 생육하고 있는 壯齡木에 있어서 材積生長量에 미치는 영향등은 직접 평가하기는 매우 곤란하다. 또한 이러한 被害徵候는 汚染物質의 慢性的인 피해에 의해 서서히 일어날 수 있으며 수목성장 및 목재이용 측면에 매우 영향을 줄 수 있다.

그러므로 오늘날 삼림에 있어서 大氣汚染과 관련된 여러가지 문제들을 이해하고 해결하기 위해서 수목성장의 정도를 해석하는 樹木成長解析方法은 좀더 진전된 연구방법으로서 오염문제와 수목과의 관계연구에 공헌하게 될 것이며 최근에 세계적으로 널리 이용되고 있고 成熟木을 이용한 年輪解析은 장기간 계속되는 대기오염측정치를 토대로 하여 수목의 생육에 미치는 汚染影響評價를 가능하도록 연구되고 있다(Ashby and Fritts, 1972과 Ohta, 1978과 Yasuda, 1981 및 Yokobori, 1986). 이는 여러가지 汚染物質에 따른 각종 수종들의 성장저해의 현상들을 연구하고 오염의 영향으로 生長年輪의 불규칙한 성장을 연구분석할 수 있는 연구방법이 될 것이다(Schweingruber, 1983, 1987과 Johnson et al. 1983).

또한 年輪幅 패턴은 오랜기간 동안 성장에 미친 環境汚染影響을 분석하는데 많은 도움을 주며 年輪分析은 목재생산에 있어서 축적감소 원인을

알 수 있고 汚染의 被害개시 년도를 측정할 수 있게 된다(Baas and Bauch, 1986). 樹木의 年輪幅 패턴을 기초로 古氣候등을 解析하는 年輪年代學(Dendrochronology)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며(Fritts, 1976과 Katoh et al. 1988 a, b 및 Park, 1990) Soft X-ray와 덴시토메타에 의한 年輪解析方法이 확립되어 年輪幅에 의한 生長의 量的 파악뿐만 아니라 목재의 密度에 기초한 質的인 평가가 이루어지고 있다(Ohta, 1979과 竹本泰朗 등 1988 및 野堀嘉裕·深澤和三, 1988).

Katoh(1988b)등은 삼나무의 年輪幅에 있어서 화력발전소 操業開始後의 生育阻害는 반경 약 9 km까지 영향이 미치지만 標準化年輪指數의 變動 패턴과 화력발전소에서 거리간에는 밀접한 相關이 있었다고 보고하였고 Schweingruber(1986)는 年輪分析으로 汚染地에서 침엽수의 生長감소가 非汚染地보다 뚜렷하였으며 소나무류가 전나무와 가문비나무보다 심하였다고 보고한 바 있다.

한편 Ohta(1978)는 大氣汚染濃度 曲線에 관한 化學的 data와 관련시켜 大氣汚染地域에서 성장한 삼나무, 소나무, 느티나무의 生長年輪을 분석하여 大氣汚染이 되기전에 형성된 年輪과 汚染後에 형성된 年輪을 經年變化로서 파악할 수 있으므로 大氣汚染이 수목의 목부형성에 영향을 미치게 되는 時期, 期間, 樹勢의 衰退와 回復經過를 알기 위하여는 年輪解析方法이 유효하다고 했다. Yokobori등(1981, 1983, 1986)은 年輪幅과 年輪密度는 大氣汚染의 影響을 나타낼 수 있는 새로운 指標라고 研究報告하였으며 Suzuki(1975)는 汚染地域에서 자란 삼나무의 年輪속에 함유되어 있는 重金屬 (Cd, Zn, Pb)含有率과 年輪幅과의 관계에서는 Cd의 含有率이 증가하면 年輪幅의 生長이 減少되어진다고 하였다.

그러므로 본 研究는 이러한 研究傾向에 따라서 1980년초부터 工團이 조성되어 최근 急伸張하고 있는 溫山工業團地 주변 삼림의 해송(*Pinus thunbergii*)成熟木에 대하여 Soft X-ray에 의한 年輪密度解析法으로 大氣汚染지역에서 자라고 있는 해송의 生長年輪에 대한 特徵을 分析하여 汚染被害의 時期, 汚染源에서의 거리별 特徵등을 分析하였으며 이들 特徵들이 大氣汚染의 被害에 대한 指標로 이용될 수 있는지를 究明하고자 시도되었다.

材料 및 方法

1. 調査地 概況

溫山工團은 蔚山郡 溫山面 海岸을 중심으로 造成되어 있으며 1980년초부터 公場이 加동되기 시작하여 현재는 60여개의 石油化學工場들이 入主하여 加동되고 있는 大團地 石油化學工業團地이다. 특히 이지역은 SO₂가스와 NO_x가스와 각종 重金屬등의 複合的인 大氣汚染이 심한 지역으로 主의 農作物 및 森林에 많은 影響을 주고 있다. 溫山工團 지역은 蔚山郡 溫山面 海岸을 중심으로 造成되어 있으며 主의 森林은 대부분 海송과 소나무의 混林으로 되어 있으나 90%이상 海송으로 構成되어져 있다.

Sample채취지역은 公단을 중심으로 거리별로 하였으며 工團汚染源에서 가장 가깝고 汚染이 심할 것이라고 豫상되는 化學비료公場 隣近地域 및 工團隣近地域 4곳(B, C, D, F), 그리고 汚染의 影響이 비교적 적을 것이라고 推定되는 工團에서 떨어진 곳에 2지역(A, E)을 선정하였으며(Fig.1) 본 調査에 사용된 生長深 採取木은 수령 20-40년 生의 海송으로 外觀象 病蟲害나 人爲的인 被害가 없고 樹幹이 곧은 成熟木을 選定하였다.

2. 生長深 採取 및 處理

生長深은 직경5mm의 成長錐로서 胸高部位에

서 채취하였으며 채취한 生長深은 물로 가득채워진 병속에 넣어 實驗室로 운반하였으며 Fig.2와 같이 core 저장장치를 만들어서 그속에 넣어 接觸시켰고, 1주일동안 乾燥시켜 2mm두께로 절단하여 Soft X-ray촬영을 위한 박편을 制作하였다. 박편은 1차로 건조기에서 60℃로 12시간 동안 건조시켰으며 2차로 105℃에서 24시간 동안 乾燥시킨 후 德시케타속에 보관하여 Soft X-ray촬영을 하였다. 또한 密度測定用基準物(Wedge)은 미리 만들어 놓은 것을 사용하였으며 박편과 같이 건조시켜 德시케타속에 보관하였으며 公시목은 각 지역에서 4-5本の 海송으로 하였다.

3. Soft X-ray撮影

寫眞撮影은 Sampling과 Wedge를 나란히 놓고 Softex IE型으로 撮影하였으며 條件은 電流 5 mA, 電壓 20KV, 撮影時間은 2分으로 하였다.

4. 年輪分析

촬영된 필름으로 211型 德시토크메타와 NEC PC-9801VX 컴퓨터, NEC PC-PR201 프린터를 사용하여 分析하였으며 소프트웨어는 新年輪解析 프로그램(野堀, 1989)을 사용하였다.

한편 이 모든 分析은 日本 北海道大學 農學部에서 실시하였다.

또한 처리된 데이터를 가지고 大氣汚染에 의해 影響을 받을 것이라고 豫상되는 年輪幅, 秋材率,

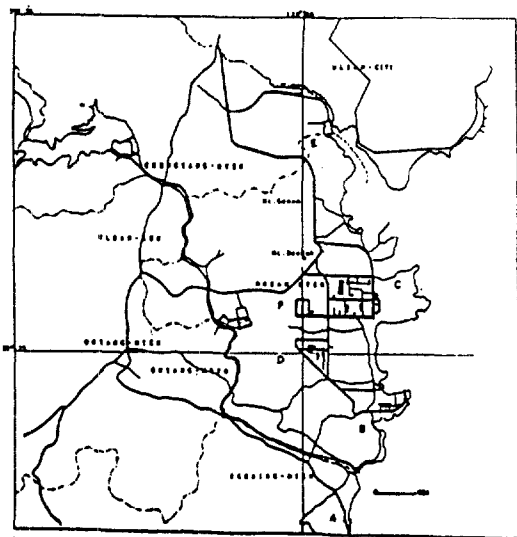


Fig. 1. Map showing sampling site of increment cores.

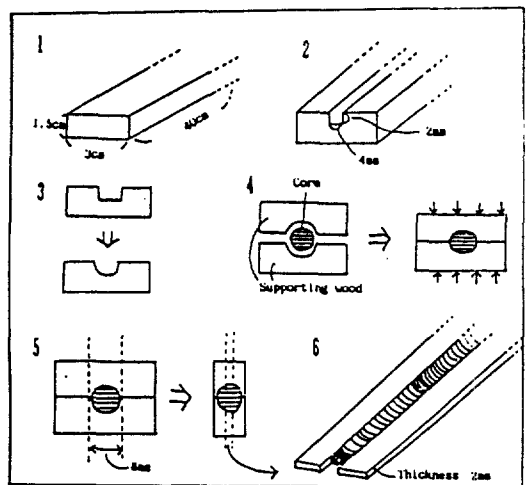


Fig. 2. Method redrawn based on method of Fukazawa(1990) to manufacture sampling.

最大最小密度, 最大 最小密度的 差등을 컴퓨터로 分析하였다(Yokobori and Ohta, 1983).

結果 및 考察

1. 年輪幅 및 秋材率

Soft X-ray密度分析에 의해서 분석된 年輪의 분석은 年輪幅, 平均年輪密度, 春材幅, 秋材幅, 秋材率, 春材密度, 秋材密度, 最大密度, 最小密度 등의 9개의 값이 분석되었다.(野堀嘉裕, 1989) 이들 값을 가지고 溫山工團의 공장들이稼動되기 시작한 1980년을 기준으로 공장가동 이전 5년간의 값과 공장가동 이후 10년의 값, 즉 1976년에서 1980년, 1981년에서 1990년까지의 평균값을 구하여 조사지별로 比較分析하였다(Fig.3, Fig.4).

年輪幅에서는 공장에서 비교적 먼지역인 A지역에서는 공장가동 이전과 이후의 年輪幅의 변화가 거의 일어나지 않고 있으며 平均年輪幅의 변화가 거의 나타나지 않았다.

A지역의 1980-1981년의 年輪幅이 2mm이하로서 매우 낮았으나 이는 전체적인 경향으로 보아 汚染의 영향으로 판단하기가 어려웠으며 E지역은 거의 대부분 年輪幅이 4mm이상으로 공장가

동 이후 오히려 약간 증가하는 현상으로 보아 오염으로 인한 영향은 거의 없는 것으로 추정할 수 있었다. 이에 반해 공단 인근지역은 공장이 가동된 이후에 年輪幅이 대체적으로 낮아지는 경향이 있으며 B지역에서는 공장가동 이후 2-3년 이후부터 낮아지다가 최근에는 다시 높아지는 경향인데 이는 공장가동 초기에 많은 영향을 받은 結果로 推定되어졌으며 1985년 이후 다시 年輪幅이 급격히 낮아진 것을 알 수 있었다.

C와 F지역에서는 1982년 이후부터 계속 낮아지고 있는데 이는 汚染源에서 가장 가깝고 석유화학공장 및 화학비료공장 바로 인근지역으로 이들 汚染源에서 나오는 배기가스의 영향이 큰 것으로 사료되었다.

한편 E지역에서는 공장가동 이후 年輪幅의 파동이 심한 년도가 있으나 공장가동 전과 비교하여 平均年輪폭은 거의 일정하였다.

이들의 경향에서 보면 해송은 공장이 가동되어 大氣汚染을 放出한 이후 3-4년 이후부터 樹木에 被害의 영향이 나타난다는 것을 알 수 있으며 대부분 急性的 被害보다는 慢性的인 被害形態로 나타난다고 할 수 있다.

Evertsen등(1986)의 조사에서는 독일가문비나무의 年輪幅 및 平均年輪密度, 秋材率등은 화학

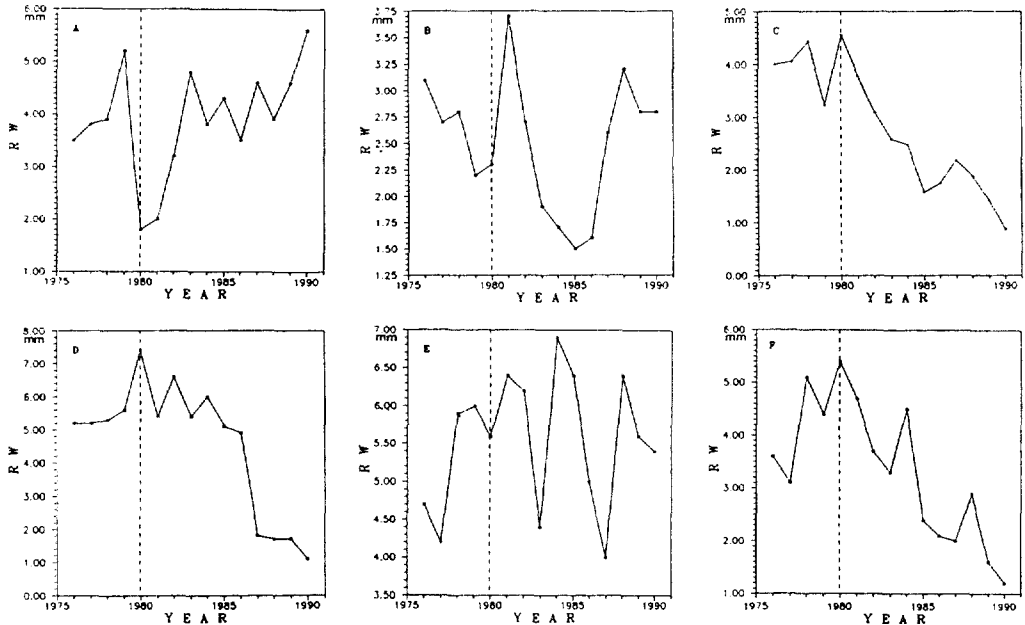


Fig. 3. Variations of the ring width for 15 years(1976-1990) at investigated sites(A-F).
* RW : Annual Ring Width

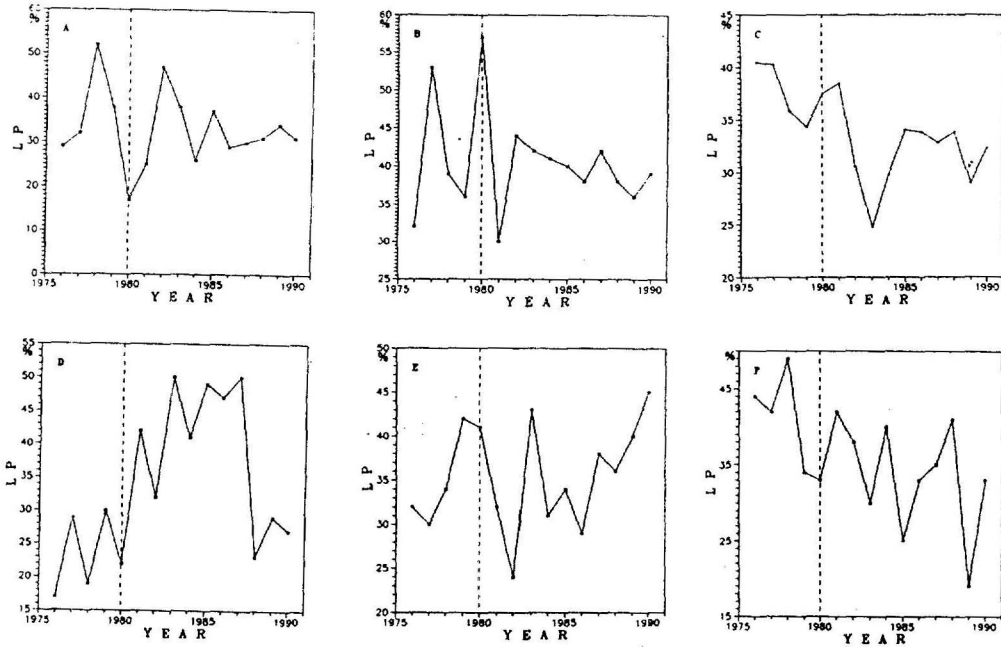


Fig. 4. Variations of the LP for 15 years (1976-1990) at investigated sites (A-F).
 * LP : Latewood percentage within each annual ring.

공장에서 방출되는 오염물질에 의해 많은 영향을 받는다고 하였으며 Liese 등(1975), Yokobori (1986)와 Ohta(1978, 1983)도 전나무, 소나무와 삼나무등은 공장가동 이후 年輪幅의 감소가 현저히 나타난다고 하여 본조사와 일치하고 있었다. 그러나 소나무는 공장가동당년부터 被害徵候가 나타났다고 한데 반해 본조사지의 해송은 被害徵候가 慢性的으로 나타났으며 박 등(1983)의 공단 주변 해송림에 대한 汚染物質 蓄積과 植生調査를 통하여 해송은 大氣汚染에 耐性이 있다고 한 연구결과를 볼 때 본 조사에서 나타난 오염원 주변에서 해송의 年輪폭의 慢性的인 감소는 大氣汚染에 耐性이 어느 정도 있음을 추측할 수가 있었다.

한편 秋材率은 목재의 재질을 평가하는 중요한 요인(Ohta, 1978)의 하나로서 추재율의 감소는 목재의 材質을 떨어뜨릴 수 있다. 따라서 汚染地域에서 자란 해송에 대한 秋材率의 변화를 살펴본 결과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 汚染源周邊에서는 공장가동이후 D지역을 제외하면 일반적으로 낮아지는 경향이 있어 Ohta(1978)와 Yokobori(1983, 1986)의 汚染地에서 자란 삼나무 및 소나무의 秋材率이 減少되었다고 하는 研究結果와 유사하다고 볼 수 있으나 汚染의 영향을

받을 것으로 豫想되는 D 地域에서는 공장가동 이후 오히려 증가하는 경향을 나타내어 본 조사지의 해송으로서의 汚染의 影響으로 秋材率의 增減傾向을 추측할 수 없었으며 또한 Liese 등(1975)은 顯微鏡의 觀察에 의해 公害被害를 받은 나무의 組織學的 特性중의 하나는 樹種에 따라 秋材率이 증가하고 침엽수의 경우 假導管長이 감소한다고 보고한 바 있는데 이러한 이유를 Ohta (1978)는 顯微鏡의 관찰로서는 세포벽 폭의 차이에 의해서 春秋材가 결정되어지므로 조사한 방법의 차이로 보았으며 또한 大氣汚染濃度가 겨울에 증가할 때 春材가 특히 영향을 많이 받아 秋材率이 증가한 이유일 것이라고 추측하였는데 이러한 차이에 대한 정확한 이유는 아직까지 판단하기에는 어려우며 단지 樹種차이 또는 조사지의 環境의 차이로 단순히 추측할 수 있을뿐 이에 대한 연구는 앞으로 계속적인 연구가 있어야 할 것으로 思料되었다.

2. 密度分析

汚染地域에서 자란 임목의 年輪構造는 年輪幅의 감소 뿐만 아니라 密度에서도 변화가 나타나고 있으며(Lewark, 1986과 Schweingruber, 1983),

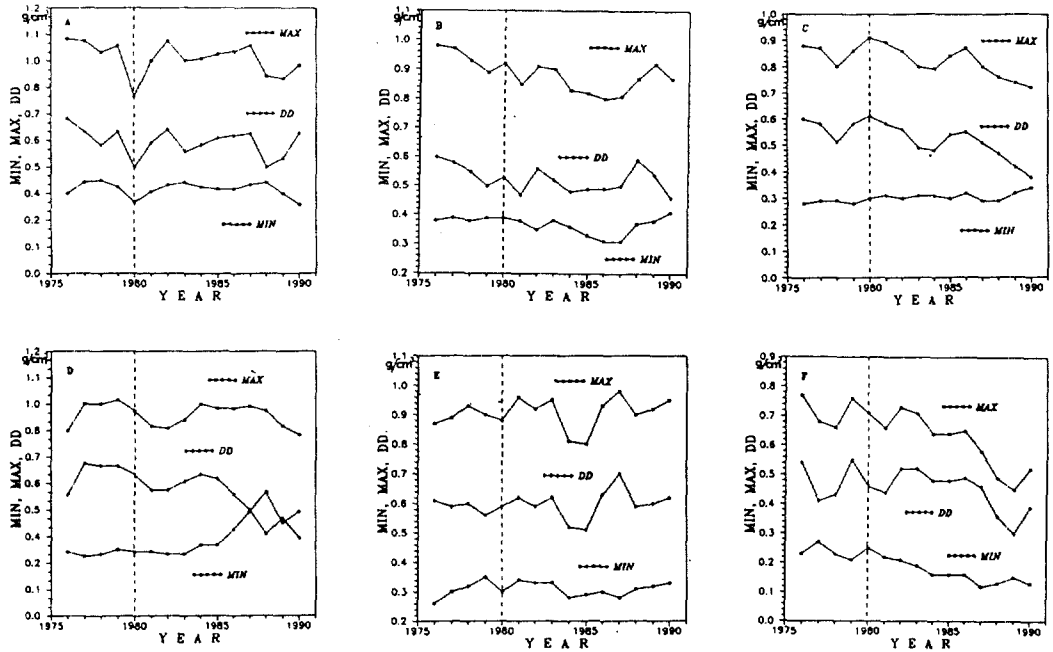


Fig. 5. Variations of the MAX., MIN. and DD. for 15 years(1976-1990) at the investigated sites(A-F).

*MAX : Maximum density.

MIN : Minimum density.

DD : Difference between maximum density and minimum density within each annual ring.

大氣汚染은 樹木의 新진대사활동을 억제할 뿐만 아니라 목재의 物理的인 반응에도 영향을 주어 수목의 성장을 감소시킬 수 있으며 목재의 재질을 떨어뜨릴 수 있다(Smith, 1981). 秋材率 뿐만 아니라 목재의 밀도 또한 목재의 재질에 많은 영향을 미치는 척도로서 해송의 密度分析을 하여 본 결과 最大密度는 汚染源周邊 지역에서 공장가동 이후 감소하고 있었으며 最大密度와 最小密度의 差(이하 DD)도 거의 대부분 공장가동 이후 감소하는 경향을 나타내었으나 最小密度는 공장가동 전과 비교하여 가동 이후 C조사지와 D조사지는 증가한 경향이었으며 F조사지에서는 감소하였고 그의 조사지에서는 변화를 보이지 않았다(Fig. 5). Evertsen 등(1986)과 Yokobori(1986)는 汚染地域에서 자란 독일가문비와 소나무는 最大密度와 DD는 감소하고 最小密度는 증가한다고 하였는데 본 조사는 最小密度의 경우에는 그 결과가 일치하지 않았다. 이는 大氣汚染의 정도와 樹種의 차이에서 오는 변화일 것이라고 판단되었다.

또한 Ohta(1978)와 Yokobori(1986)는 最大密度와 DD는 일반적으로 大氣汚染地에서 감소하며

大氣汚染의 영향을 나타내는 指標로서 좋은 資料가 될 수 있다고 하였는데 본조사에서도 年輪幅, 最大密度 및 DD는 環境影響評價의 資料로서 좋은 指標가 될 수 있다고 思考된다.

특히 汚染源에서 가까운 C, F지역에서는 最大密度가 공장가동 이후 0.1-0.2g/cm³ 정도의 차이를 나타내었고, DD도 공장가동 이전과 차이를 보였다.

한편 B지역에서는 1984년부터 1987년 사이에 最大密度와 最小密度 그리고 DD가 가장 감소하였으며 C지역에서는 1986년 이후 最大密度와 DD가 현저히 감소하는 경향을 나타낸 반면 最小密度는 지속적인 증가현상을 나타내었다. F지역에서도 1986년 이후 最大密度와 DD가 감소하는 경향을 나타내고 있는 반면 最小密度는 공장가동 이후 지속적인 감소현상을 보이고 있었다. 그러나 D지역에서는 공장가동 초기에 最大密度와 DD가 감소하다가 오히려 증가하였는데 이는 공장에 의한 汚染의 영향으로 추측하기가 어려웠으며 1987년 이후 감소하는 경향은 지속적인 大氣汚染으로 인한 慢性的인 被害가 아닌가 思考되었다.

한편 공장가동 이전(1976-1980)과 공장가동 이후

Table 1. Average values for 5 years of various factors within each annual ring of before and after the beginning of operation of the factories.

Factors	Years	A	B	C	D	E	F
RW (cm)	1980	3.64	2.62	4.05	5.74	5.30	4.32
	1885	3.62	2.30	2.70	5.70	6.06	3.72
	1990	4.46	2.60	1.62	2.24	5.28	1.96
LP (%)	1980	33.60	43.30	37.70	23.40	36.00	40.40
	1985	34.60	39.40	31.50	42.80	32.80	35.00
	1990	31.00	38.60	32.30	35.20	37.60	32.20
MIN (g/cm ³)	1980	0.38	0.39	0.29	0.23	0.31	0.24
	1985	0.39	0.36	0.31	0.30	0.31	0.19
	1990	0.37	0.36	0.32	0.46	0.31	0.14
MAX (g/cm ³)	1980	0.99	0.94	0.86	0.93	0.89	0.72
	1985	0.99	0.86	0.84	0.90	0.89	0.64
	1990	0.95	0.85	0.78	0.90	0.94	0.54
DD (g/cm ³)	1980	0.61	0.55	0.58	0.65	0.59	0.48
	1985	0.60	0.50	0.53	0.60	0.57	0.49
	1990	0.58	0.52	0.47	0.44	0.62	0.40

* Each value was averaged for each 5 year from 1976 to 1990.

(1981-1985, 1986-1990)로 나누어 각 5년간의 요인별 평균값을 비교하여 본 결과, 표1에서 보는 바와 같이 汚染源의 주변 지역에서는 B지역을 제외하고 대체로 1986-1990년사이의 年輪幅이 공장가동 직후 5년의 값보다 낮았으며 약 2-3mm 정도까지 차이를 보였다. 秋材率은 공장가동 이전과 비교하여 C와 F지역에서 5%-8%의 낮은 값을 보였고 最小密度는 공장가동 이전과 비교하여 C와 D지역에서 0.1-0.2g/cm³ 이상 증가한 반면 다른 지역에서는 감소하는 경향을 나타내었으며 F지역에서는 0.1g/cm³ 이상 감소하였다.

最大密度와 DD에 있어서도 汚染源의 주변지역에서는 공장가동 이후 감소하는 경향이었으며 1986년 이후의 값이 더 감소하였다.

소나무, 삼나무, 독일가문비는 공장가동 직후부터 상당한 生長阻害를 가져오며 年輪構造의 變化를 가져온다고 하는 연구보고(Yokobori, 1986과 Ohta, 1978 및 Evertsen 등, 1986)와 비교해 볼 때 본 연구에서의 해송은 공장가동 5년 이후부터 年輪構造의 變化가 심하게 되며 生長阻害를 가져온다는 것을 알 수 있으며 전나무의 경우 年輪幅의 감소는 外部에 汚染의 病徵이 나타나기 시작한 훨씬 이전부터 生長이 萎縮되었다고 하였는데 (Bauch, 1983) 해송 또한 C지역에서는 외부적 生長阻害 徵候가 나타나고 있어 앞으로 해송림에 대한 계속적인 觀察과 調査가 있어야 할 것으로 思料되었다.

Table 2. Decrease rate of ring width, maximum density and difference of maximum and minimum density in the sites (B, C, D, F) vicinity of air pollution sources.

Items	years	B	C	D	E
RW	1985	12%	33%	1%	14%
	1990	1	60	61	55
MAX	1985	9	3	3	6
	1990	10	9	3	25
DD	1985	9	9	8	+2
	1990	6	19	32	17

* Each value is decrease rate calculated by average values for each 5 year (1981-1985, 1986-1990).

1986년 이후 낮은 값을 나타내는 이유는 大氣汚染에 비교적 耐性이 강한 해송이 공장가동 이후 계속적인 大氣汚染의 被害로 인하여 慢性的인 被害症狀을 나타낸 것이라고 思料되며 이는 해송림에 계속적으로 生長阻害를 일으켜 치명적인 害를 줄 것이라고 思料되었다.

Table 2는 공단주변 지역에서 年輪幅과 最大密度, 最大密度와 最小密度와의 差에 대한 減少率을 공장가동전 5년동안의 평균값을 기준으로 공장가동 직후 5년과 그 이후 5년 동안의 평균값으로 하여 減少率을 알아보았다. Table 2에서 보는 바와 같이 공장가동 이후 5년까지는 年輪幅이 1%-33%, 最大密度가 3%-9%, DD가 8%-9%의 減少率을 나타낸 반면 공장가동 이후 6년부터 10년까지의 減少率은 年輪幅에서는 1%-61%, 最大

密度는 3%-25%, DD는 6%-32%의 減少率을 나타내었다. Yokobori(1986)는 DD의 減少率을 공장가동이전 5년간의 평균치와 공장가동이후 10년간의 평균치로서 비교하였는데 공단인근에서는 25%이상의 減少率을 나타내었으며 지역에 따라 10-15%의 減少率을 나타내었다고 보고한 바 있어 본조사보다는 많은 減少率을 보였지만 이는 소나무와 해송의 樹種차이와 汚染物質의 排出濃度 차이에서 起因된 것이라고 판단되었다.

일반적으로 B지역을 제외한 전지역에서 공장가동이후 6년-10년사이의 減少率이 현저히 증가되었음을 알 수 있었으며 年輪幅에 있어서는 50%의 減少率을 나타내었고 最大密度와 DD또한 많은 차이를 보였다. 특히 C와 F지역에서는 타지역보다 많은 減少率을 보였는데 이는 인근의 화학비료공장에서 排出되는 SO₂가스의 영향일 것이라고 思料되었으며 Evertsen(1986)이 보고한 비료공장주변의 독일가문비 林分이 年輪幅 및 最大密度의 감소로 인한 生長阻害를 나타내었다는 연구결과와 SO₂가스 放出地域에서 자란 독일 가문비와 견나무, 소나무등의 年輪幅이 타지역에서 자란 것보다 훨씬 더 축소되어 있다는 연구결과(Eckstein, 1974 및 Liese, 1975)와 유사하였다.

結 論

大氣汚染에 의한 植物의 障害現狀은 여러 가지 형태로 나타나고 있으며 農作物이나 草本의 경우에는 可視的인 被害形態로 나타나고 있으나 樹木의 경우에는 内部組織에도 영향이 미치고 있다는 報告(Ohta, 1978과 Yokobori, 1983, 1986 및 Evertsen, 1986)가 많이 있다. 특히 大氣汚染에 의한 生長減少는 材積生長을 감소시키며 또한 年輪幅, 密度, 秋材率의 變化는 林木의 材質에 影響을 미치는 중요한 要因이 될 것이다.

本 調査를 통하여 볼 때 우리나라 주요 工團周邊에 植栽되어 있는 해송림은 大氣汚染의 被害를 많이 받을 것으로 추측되며 또한 해송은 慢性的인 피해에 의해 内部組織의 被害가 나타나고 있으며 이러한 徵候는 工場稼動以後 4-5년이후부터 더욱 뚜렷히 나타나고 있음을 추측할 수 있었고 우리나라 주요 造林樹種의 하나인 해송이 汚染의 指標로서 利用될 수 있는 究明方法으로서 年輪密度解析法에 의한 年輪의 分析은 좋은 方法이 될

것으로 思料되며 이에 대한 研究는 앞으로 계속 되어야 할 것으로 思料된다.

인 용 문 헌

1. Ashby, W.C. and H.C. Fritts. 1972. Tree growth, air pollution, and climate near LaPorte. Ind. Bull. Amer. Meteor. Soc. 53 : 246-251.
2. Bass, P. and J. Bauch. 1986. The effects of environmental pollution on wood structure and quality. IAWA Bull. n.s. 7(4). 415pp.
3. Bauch, J. 1983. Effects of Air Pollution in Forest Ecosystems : 377-386. D. Reidel Publ., Dordrecht, Holland.
4. Eckstein, D., E. Frisse and W. Liese. 1974. Holzanatomische untersuchungen an umweltgeschadigten strassenbaumen der Hamburger Innenstadt. Eur. J. For. Path. 4 : 232-244.
5. Evertsen, J.A., M.P. MacSiurtain, and J.J. Gardiner. 1986. The effect of industrial emission on wood quality in Norway Spruce (*Picea abies*). IAWA Bull. n.s. 7(4) : 399-404.
6. Fritts, H.C. 1976. Tree Rings and Climate. London Academic Press. 545pp.
7. 深澤和三. 1990. 樹木の年輪が待つ情報(解析技術と林業への應用). 北海道大學農學部. 141 pp.
8. Johnson, A. et al. 1983. Acid deposition and forest decline. Environmental Sci. and Tech. 17 : 294-305.
9. Katoh, T., M. Kasuya, S. Kagamimori, S. Kawano, and H. Kozuka. 1988a. An assessment of effects of air pollution on the ring width of Japanese Cedars (*Cryptomeria japonica* D. Don) (I) - Relationship between the operation of thermoelectric power stations and fluctuations of the standardized ring index-. J. Japan Soc. Air Pollut. 23(6) : 311-319.
10. Katoh, T., M. Kasuya, S. Kagamimori, S. Kawano, and H. Kozuka. 1988b. An assessment of effects of air pollution on the ring width of Japanese Cedars (*Cryptomeria japonica* D. Don) (II) - Relationship between the standardized ring index and the pollution levels of SO₂ and NO₂ in the ambient air at the surrounding area of thermoelectric power stations-. J.

- Japan Soc. Air Pollut. 23(6) : 320-328.
11. Liese, W., M. Schneider and D. Eckstein. 1975. Histometrische untersuchungen am holz einer rauchgeschadigten fichte. European J. Forest Path. 5 : 152-161.
 12. Lewark, S. 1986. Die methode zur rontgendensitometrie von holz und ihre anwendung an holz immissionen angesetzter baume. Forstarchiv 57 : 105-107.
 13. Ohta, S. 1978. The observation of tree ring structure by soft X-ray densitometry (I)-The effects of air pollution on annual ring structure -. J. Jap. Wood Sci. 24(7) : 429-434.
 14. Dhta, S. 1979. The observation of tree ring structure by soft X-ray densitometry (II)-The effects of wind direction on growth and some properties of *pinus pinaster*. J. Japan Wood Sci. 25(9) : 561-566.
 15. 太田貞明. 1979. 軟XテンシトX-ターによる線木材密度の測定. 木材工業 25(3) : 131-133.
 16. 朴在柱・金在鳳・裴貞伍. 金東漢・吳在基・姜德姬・朴仁協・李景宰. 1983. 工團地域の環境汚染物質의 蓄積과 樹木成長의 相關關係에 대한 調査 研究. 國立環境研究所報 5 : 237-260.
 17. Park, W.K. 1990. Development of anatomical tree-ring chronologies from southern arizona conifers using image analysis. The University of Arizona, Tucso, Arizona. Ph. D. Dissertation. 234pp.
 18. Schweingruber, F.H., R. Kotic, and A. Winkler-Seifert. 1983. Eine jahringanalytische studie zum nadelbaumsterben in der Schweiz. Ber. der Eidg. Anstat fur das forstliche Versuchswesen 253. 29pp.
 19. Schweingruber, F.H., 1986. Abrupt growth changes in conifers. IAWA Bull.n.s. 7(4) : 277-283.
 20. Schweingruber, F.H., 1988. Tree rings : Basics and Applications of Dendrochronology. 276pp.
 21. Smith, W.H. 1981. Air Pollution and Forests. Springer Verlag, New York. 379pp.
 22. Suzuki, T. 1975. The ring width and the contents of Cd, Zn and Pb in wood of the annual ring of Sugi tree growing in an area contaminated by Cd from a zinc refinery at Annaka. J. Jap. For. Soc. 57 : 45-52.
 23. 竹本泰朗・深澤和二・高部圭司・大谷諄. 1988. トウヒ衰退木の年輪解析. 第2回「樹木年輪」研究回. 東都大原子爐實驗所専門研究會報告書 : 19-24.
 24. Yasuda, H. 1981 Effects of Air Pollution on annual Tree Ring Structure of *Cryptomeria japonica*, In : Proceedings of 17th IUFRO World Congress, Kyoto. 624pp.
 25. 野堀嘉裕・深澤和二. 1988. 軟X線寫眞によるカラマツ高齡造林木の容積密度解析. 日本木材學會北海道支部講演集 20 : 16-18.
 26. 野堀嘉裕. 1989. 軟X線デンシトリ法による年輪解析シラムステムプログ操作マニュアル. 土子製紙株式會社林木育種研究所. 35pp.
 27. 横堀誠. 1986. 大氣汚染が樹木に及ぼす影響の評價に關する研究. 茨城縣林業試驗場 研究報告 16. 61pp.
 28. Yokobori, M. 1981. The decline in growth of *Cryptomeria japonica* in Ibaraki Prefecture and its factors. Bull. of the Ibaraki Prefectural For. Exp. St. 13 : 1-32.
 29. Yokobori, and S.Ohta. 1981. Effects of Air Pollution on Tree Ring Structure of "*Pinus densiflora*" Grown in the industrial District. XVII IUFRO World Congress(Kyoto, Japan) Proc. Div. 2 : 383-386.
 30. Yokobori, M. and S.Ohta. 1983. Combined air pollution and pine ring structure observed xylochronologically. Eur. J. For. Path. 13 : 30-45.