

## 麗川工團周邊 大氣汚染이 때죽나무의 생장 特性에 미치는 영향

### Effects of Air Pollution on Physiological Characteristics of *Styrax japonica* in Yeochon Industrial Complex

우 수 영 · 김 동 근 · 이 동 섭

상주대학교 산림자원학과

(1999년 1월 25일 접수, 2000년 3월 9일 채택)

Su-Young Woo, Dong-Geun Kim and Dong-Sup Lee  
Department of Forest Resources, Sangju National University

(Received 25 January 1999; accepted 9 March 2000)

#### Abstract

To identify the effects of air pollution on several physiological characteristics of *Styrax japonica* in Yeochon industrial complex, soil properties, photosynthetic capacity and chlorophyll contents were investigated. All of these measurements were taken on *Styrax japonica* stand at 1, 3 and 7 km from an industrial complex which is an air pollution source. In addition, a *Styrax japonica* stand in Sang-ju city was selected as a control. Each physiological measurement was in leaves of east-, west-, south- and north-facing branches. The results obtained were as follows:

- 1) Al contents of soil in Yeochon industrial complex were higher than those of Sang-ju city, a non-polluted area. Higher Al contents contributed to decrease in soil pH.
- 2) Chlorophyll contents of leaves at 1 km from the industrial complex, closest from the air pollution source, were lower than those of 3 and 7 km.
- 3) Photosynthetic capacity of *Styrax japonica* at 1 km from the air pollution source was lower than those at 3 and 7 km.

**Key words :** Air pollution, *Styrax japonica*, photosynthesis, chlorophyll contents

#### 1. 緒 論

산업혁명이후에 인류역사는 생활수준의 향상과 더불어서 대기오염의 피해로 인하여 나쁜 영향을 받게 되었다. 화석연료를 사용하는 20세기의 100년

동안에 대기오염의 피해는 지구의 지난 역사동안의 모든 피해보다 더 심한 부작용을 우리의 생활과 산림에 끼쳤다(Treshow and Anderson, 1991). 대기오염은 크게 1차 오염물질(primary pollutants)과 2차 오염물질(secondary pollutants)의 2가지로 분류된다. 1차 오염물질은 공장, 자동차, 산업단지 등에서 직접

배출되는 SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, Cl, F, CH<sub>4</sub> 등이며, 2차 오염물질은 1차 오염물질의 광 화학반응으로 인해서 부수적으로 생성되는 오염물질로써 O<sub>3</sub>과 PAN (peroxy-acetyl-nitrate)이 대표적인 예들이다. 이들 오염물질은 농작물이나 수목에게 직, 간접으로 피해를 준다. 잎에 가시적인 chlorosis나 necrosis 등의 피해와 더불어 광합성효율의 감소, 엽록소의 파괴, 기공의 개폐 기작의 둔화, 이로 인해서 생기는 증산의 불균형, 탄소의 불균형적인 분배, 이로 인한 수목 지하부의 감퇴 등 눈에 보이지 않는 생리적인 요소까지 다양하게 피해를 주고 있다(이, 1993; Odum, 1984).

요즘은 전세계적으로 나타나는 산림쇠퇴 (forest decline) 현상을 설명하는 요인으로 대기오염을 제시하고 있다. 미국 동북부 고산지대의 *Picea rubens* 산림쇠퇴와 유럽중부의 *Picea abies* 산림의 쇠퇴현상은 오존이나 인근공단에서 생성되는 대기오염이 직, 간접적으로 작용한다고 보고되고 있다(Reich, 1987). 한국에서는 현재 도시림이나 도시인근 지역의 수목에서 수목의 피해가 보고되고 있어서 앞으로 산업화가 더욱더 진행이 되면 산림쇠퇴현상이 넓은 면적에서 일어날 수도 있다. 이러한 쇠퇴는 종 다양성을 감소시키고 식생의 구조와 기능을 단순화시켜 결국 생태계를 교란하게 만든다(Odum, 1984).

이와 같이 대기오염은 인류역사에 꼭 있어야 하는 산림을 파괴하는 나쁜 요인이기 때문에 발생자체를 줄이는 법적인 강구도 있어야 하지만 대기오염에 대해서 내성을 가지는 강한 수종을 선발하여 대기오염 피해 지역에 식재하는 것은 더욱 의미가 있는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 대기오염지역에서도 잘 견디는 수종의 생리, 생태적인 특성을 파악하는 것이 우선 필요하다.

매죽나무 (*Styrax japonica* S. et Z.)는 낙엽 활엽교목이며 수고가 10m 정도까지 자라는 수종이다(심 등, 1993). 양수이므로 빛이 많은 곳에 분포하고, 습도가 적당한 지역에서 잘 자라며 생장이 비교적 빠르고 5~6월에 흰 초롱과 같은 꽃이 나무 전체에 달려 Japanese snowbell 이라고 불린다. 내한성, 내공해성, 耐潮害性, 내병성을 띄며 나쁜 환경에 적응을 잘하는 수종이다. 매죽나무는 도시림의 낮은 임야에 나타나는 수종으로 대기오염에 비교적 적응을 잘하고 있는 수종이다.

여천공업단지는 남해화학과 같은 화학공장이 몰려있는 대규모 공업단지로서 많은 대기오염물질이 배출되어서 인근의 산림지역에 분포하고 있는 수목 집단에 부정적인 영향을 미치고 있다(문 등, 1998). 그러나 매죽나무는 공장주변으로 군락을 형성하고 있어서 공해물질에 대해서 적응하고 있던지, 아니면 어느 정도 내성을 가지고 있는 수종이라고 추정된다. 그렇기 때문에 공업단지주변의 매죽나무의 생리적인 특성을 조사하면 이들 수목이 대기오염에 대해서 반응하는 경향을 알 수 있다.

여천공업단지의 대기오염물질이 무엇인지 확실하게 밝혀지지 않은 상태이지만 화학공장이 많은 것으로 미루어 SO<sub>2</sub> 및 이와 반응하여 생성될 수 있는 O<sub>3</sub>일 것이라고 추측되고 있고 강우와 같이 내리는 산성우로 인해서 이루어지는 토양의 산성화 일 것으로 짐작하고 있다(문 등, 1998). 특히 이 지역은 90여개의 석유화학, 비료업체등 대규모의 화학공장에서 배출되는 에틸렌, 프로필렌 등의 저탄소 알케인의 농도가 미국이나 서울의 인구밀집지역보다 훨씬 높은 것으로 보고되고 있다(김 등, 1997)

본 연구는 여천공단주변에서 성장하고 있는 매죽나무의 생리적인 특성과 대기오염원으로부터 거리가 멀어질수록 매죽나무가 어떠한 생리적인 반응을 나타내는가를 구명하기 위한 목적으로 실시하였다. 이와 같은 목적을 달성하기 위해서 오염원으로부터 거리가 1, 3, 7 km, 그리고 대조구로 대기오염이 없는 상주지역에 분포하는 매죽나무의 광합성능력, 엽록소함량 그리고 매죽나무가 분포하는 토양의 특성을 조사하여 서로 비교하였다.

## 2. 材料 및 方法

### 2.1 조사지의 개황

여천 임해공업단지는 광양제철소를 앞으로 두고 해안을 따라서 90여개의 크고 작은 공장시설이 대규모로 형성되어 있는 공단이고, 1974년부터 가동한 남해화학공장이 위치하고 있어서 대기 오염이 심한 지역가운데 하나이다. 이 지역의 년 평균 강수량은 1220 mm이고 해풍의 영향을 많이 받는 지역이다(기상청, 1997). 남해화학공장으로부터 각각 1, 3, 7 km의 거리에 있는 매죽나무 군락을 선정하였다(그림 1).

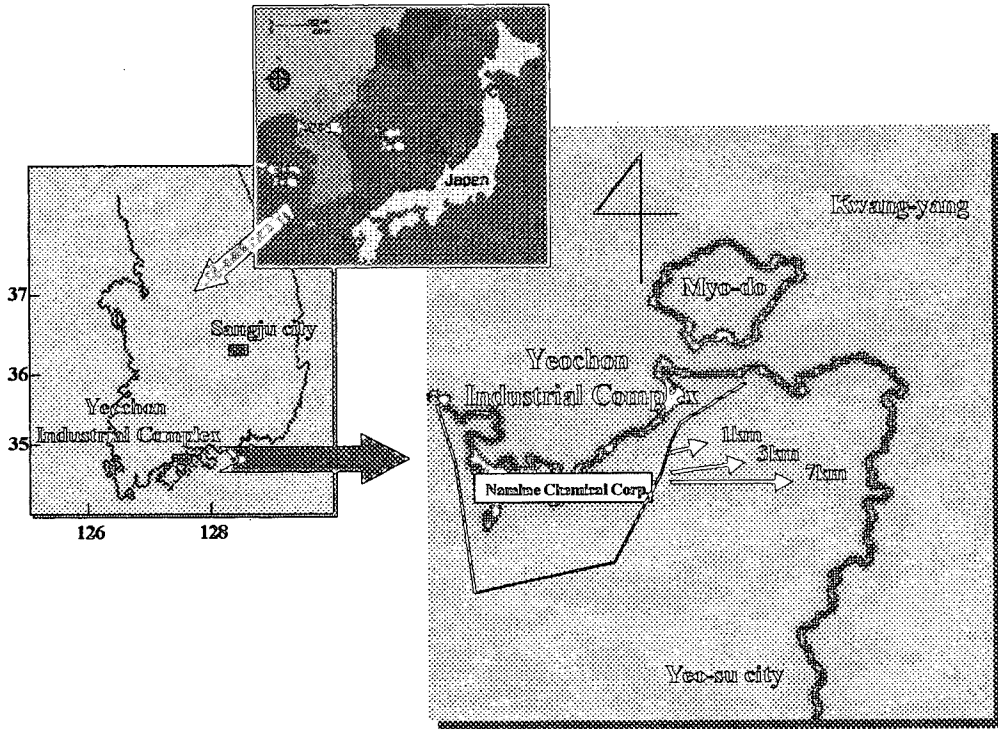


Fig. 1. Location of study area.

Table 1. Meteorological conditions of the Yeochon industrial complex in August.

| Date      | Temperature (°C) | Relative midity(%) | Wind speed (m/s) | Wind direction |
|-----------|------------------|--------------------|------------------|----------------|
| August 7  | 26.4             | 72                 | 2.4              | NE             |
| August 8  | 27.2             | 80                 | 1.6              | SW             |
| August 9  | 28.2             | 80                 | 2.0              | SSE            |
| August 10 | 28.1             | 77                 | 4.2              | NNE            |
| August 11 | 28.1             | 74                 | 4.8              | NNE            |
| August 12 | 28.6             | 75                 | 3.5              | NNE            |
| August 13 | 28.2             | 78                 | 4.9              | NNE            |
| August 14 | 30.0             | 67                 | 6.9              | N              |
| Average   | 28.1             | 75                 | 3.8              |                |

여천공단과 같은 임해공단 지역 수목이 오염원으로부터 피해를 받는 것은 오염물질의 농도도 중요하지만 방향과 밀접한 관계가 있다. 이 지역의 풍향은 수시로 바뀌기 때문에 풍향을 이야기하기 힘들지만 바람의 방향은 표 1과 같다. 여천 지역에서 대기오염원이 가장 많이 발생한다고 하는 8월중 몇 일 동안의 평균 기온은 약 28°C이고 상대 습도는

75%, 바람의 평균 속도는 3.8 m/sec였다(김 등, 1997).

2.2 여천공단 지역의 중요 대기오염변화

여천공단 지역의 대기오염물질 가운데 오존의 년 중 농도는 서울이나 부산에 비해서 높은 것으로 나타났다(그림 2). 오존농도의 년 중 평균치는 최근 7년 동안 0.02 ppm을 넘는 값을 보여주었다. 서울이나 부산의 년 중 오존 농도의 평균치가 0.015 ppm 정도의 범위에서 변화되는 것을 볼 때 높은 농도라고 할 수 있다(환경부, 1998). 여천지역의 아황산 가스의 년 중 평균농도는 0.02 ppm 정도이다(그림 3). 1994년 이전에는 서울이나 부산의 아황산 가스의 농도가 높았지만 최근에는 여천 지역의 아황산가스 농도가 증가하는 추세에 있다(환경부, 1998).

2.3 때죽나무 군락

공단주변으로부터 각각 1, 3, 7km의 거리에 있는 때죽나무 군락을 선정하였다. 이들과의 비교를 위해

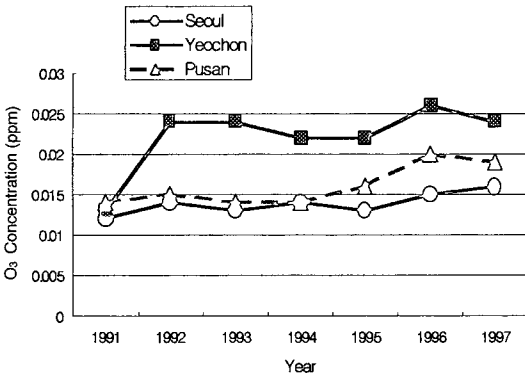


Fig. 2. Comparison of ozone concentration in Yeochon, Seoul and Pusan.

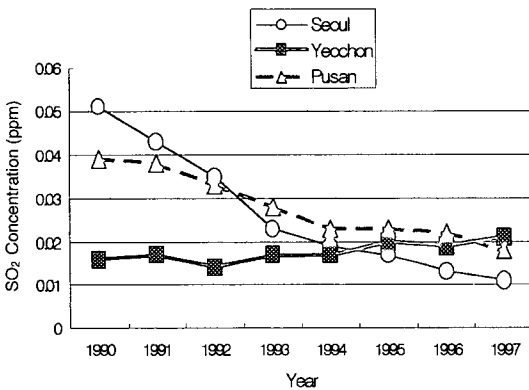


Fig. 3. Comparison of SO<sub>2</sub> concentration in Yeochon, Seoul and Pusan.

서 비교적 공해가 심하지 않은 상주지역의 매죽나무와 토양을 조사 비교하였다. 여천공단지역의 매죽나무는 비교적 비슷한 연령의 수고와 DBH를 가진 것을 선정하여 연령에서 오는 생장의 차이를 최소화하려 하였다(표 2). 오염이 심하지 않은 상주지역에 분포하는 매죽나무도 비교를 위해서 선발하였는데 여천공단지역의 개체들과 가장 비슷한 크기의 군락지를 대상으로 개체를 선발하였지만 비교적 연령과 크기가 작았다. 그래서 수령에서 오는 차이를 최소화하기 위해서 외국에서 이용되는 것처럼 일괄적으로 LPI(leaf plastachron index) 8이나 10을 적용했다. 이 때 4 방향의 가지에서 매죽나무 잎을 위의 방법으로 선정하여 광합성능력과 기공특성을 조사

하였다. 각 각의 조사구에서 모두 10개체를 조사하였다.

## 2.4 調査項目

### 2.4.1 공단주변의 토양

선정된 지역의 임분에서 임상의 유기물 층을 걷어내고 A층에서 토양을 채취하여 비닐 백에 넣어 운반하였다. 군락지역마다(1, 3, 7 km 그리고 상주지역) 각각 3 반복하여 토양을 채취하였다. 조사지역마다 실험실로 운반된 토양은 음지에서 풍건하고 2 mm체를 이용해서 정리한 다음, 토양 pH(H<sub>2</sub>O), 유기물함량(organic matter), 총질소(total N), 유효인산(P), 알루미늄(Al), 양이온 치환능력(CEC: cation exchange capacity)를 측정하였다.

토양 pH는 토양과 증류수를 1:5의 부피비로 혼합하여 측정하였으며 유기물함량은 550°C의 전기로(furnace)에서 토양을 태워서 추정하였다(Wilde et al., 1979). 나머지 토양성분은 Bardsley와 Lancaster(1960)의 방법에 준해서 실행하였다(농촌진흥청, 1988).

### 2.4.2 광합성 능력

매죽나무의 광합성능력(net photosynthesis; 순광합성량(An))은 Li-6400 portable photosynthesis system(Li-cor Inc., USA)를 이용해서 광포화점에 가까운 1000 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>의 광도에서 측정하였다. 수령에서 오는 차이를 최소화하기 위해서 가지의 상태가 비슷한 곳에서 LPI 8~10사이의 잎을 대상으로 한 조사 지점에서 5반복하여 측정하였다. 순광합성량은 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$A_n = \frac{u_e(c_e - c_c)}{100s} - c_c E$$

(An, net photosynthesis (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>); u<sub>e</sub>, mole flow rate of air entering the leaf chamber (μmol s<sup>-1</sup>); c<sub>e</sub>, mole fraction of CO<sub>2</sub> in the leaf chamber (μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> air); c<sub>c</sub>, mole fraction of CO<sub>2</sub> entering the leaf chamber (μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> air); s, leaf area (cm<sup>2</sup>); E, transpiration (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>))

### 2.4.3 엽록소 지수

엽록소 지수는 SPAD-502로 측정하였다. 잎의 엽

록소측정은 한 조사지점에서 30개의 잎에 대한 측정치를 평균하여 계산하였다. 최근에 이 기계에 의한 방법으로 엽록소측정을 많이 하고 있다(김과 홍, 1998; 김과 엄, 1995). 기존에는 잎을 채취하여 유기용매를 사용해 엽록소함량을 측정하였으나 이 기계를 이용하면 잎을 채취하지 않고 현장에서 엽록소지수를 측정할 수 있다. 또한 이것은 엽록소함량과 직선회귀관계에 있기 때문에 이 수치를 가지고 엽록소함량의 경향을 추정하고 있다(Wiebel *et al.*, 1994; Tadaki and Kinoshita, 1988).

특히 최근에는 엽록소함량을 Arnon(1949)의 식을 이용하여 분광광도계로 엽록소함량을 추정하는 것과 SPAD-502를 이용해서 얻은 값의 경향과 비슷하게 나타나기 때문에 현장에서 잎을 채취하지 않고 간단하게 이와 같은 기계를 이용해서 엽록소함량의 경향을 신속, 정확하게 확인할 수 있다.

2.5 통계 분석

모든 결과는 통계 프로그램 SPSS PC+를 이용하여 분산분석을 행한 다음 유의성이 인정되는지를 확인하고 유의수준 5%에서 Duncan의 다중 검정을 하여 비교했다.

3. 結果 및 考察

3.1 때죽나무의 생장

공해에 대한 피해와 생리적인 특성을 조사, 비교하기 위해서 위에서 언급한 때죽나무 군락지의 조사구마다 10개체씩 수령과 생장이 비슷한 개체를 선정하였다(표 2). 여천공단에서 대기오염 물질의 발생이 많을 것으로 추정되는 남해화학을 중심으로 1 km, 3 km, 7 km의 거리마다 군락지를 선정하였고 비교적 오염이 되지 않은 상주지역을 대조구로 선정하였다. 상주지역은 화학 공장이 거의 없는 평지이므로 대기오염물질이 거의 없는 곳이다.

특히 여천공단에서 가까운 지역에서의 때죽나무가 오염원으로부터 먼 지역에서 분포하는 때죽나무보다 연령이 비슷함에도 불구하고 일반적으로 직경과 수고가 큰 것으로 보아 때죽나무는 공단주변의 공해물질에 어느 정도 견디며 생존해 왔음을 짐작할 수 있고 때죽나무는 대기오염이 심한 지역에서도 생장을 좋게 유지한다는 것을 알 수 있다. 다른 많은 조사에서도 때죽나무가 공단주변에 군락으로 나타나는 것을 알 수 있고, 이는 이 수종이 공해에 잘 적응하여 생존한다는 것을 보여주고 있다(심 등, 1993).

때죽나무는 특히 양수이므로 공해로 황폐화된 공단지역이나 쓰레기 매립지같이 양수의 조림이 요구되는 곳의 조림수종으로 좋은 수종이 될 수 있다. 대기오염이 만성적으로 문제가 되는 도시림같은 낮은 임야에 조경의 목적으로 식재할 수 있는 좋은 수종이다. 또 때죽나무는 비교적 생장이 빠르고 내공해성, 耐潮害性, 내병성을 띄며 나쁜 환경에 적응을 잘하는 수종이므로 여천공단 같이 바다를 접하고 있는 공단지역에 조림수종으로 적당하다고 할 수 있다.

3.2 조사지역의 토양특성

조사지역 및 대조구인 상주지역 토양의 몇 가지 특성은 표 3에서 보여주는 바와 같다. 오염원인 남해화학으로부터 1 km, 3 km, 7 km 떨어진 때죽나무 군락지 토양의 전 질소량은 비 오염지역인 상주지역보다 유의성 있게 높았다. 그리고 유기물함량, 양이온 치환 능력 모두 공단 지역으로부터 가장 가까운(1 km 거리에 있는 군락지) 곳에서 비오염 지역인 상주 지역보다 유의적으로 높게 나타났다. 또한 일반적으로 1 km 떨어진 때죽나무 군락지 토양의 이러한 특성들이 3 km, 7 km 떨어진 군락지의 토양보다 좋은 경향을 보여주었다(표 3). 이는 유기물 함량과 깊은 관계가 있는데 오염원으로부터 1 km 떨

Table 2. Growth of *Styrax japonica* used in this study.

| Characters \ Distance from the industrial complex | 1 km          | 3 km         | 7 km         | Sang-ju     |
|---------------------------------------------------|---------------|--------------|--------------|-------------|
| Height (m)                                        | 7.10 ± 0.74*  | 6.54 ± 0.65  | 6.45 ± 1.46  | 5.65 ± 0.76 |
| Diameter (cm)                                     | 27.20 ± 3.43* | 20.33 ± 1.97 | 17.27 ± 4.58 | 5.41 ± 0.95 |
| Average age (years)                               | 20            | 18           | 18           | 11          |

\* Mean ± standard deviation (n = 10)

**Table 3. Soil characteristics of survey area.**

| Characters            | Distance from the industrial complex |        |        |         |
|-----------------------|--------------------------------------|--------|--------|---------|
|                       | 1 km                                 | 3 km   | 7 km   | Sang-ju |
| pH (H <sub>2</sub> O) | 5.6a                                 | 5.8ab  | 5.6a   | 6.1b    |
| Organic matter (%)    | 18.6b                                | 15.6ab | 12.4a  | 10.2a   |
| Total N (%)           | 0.207b                               | 0.230b | 0.121b | 0.042a  |
| P (ppm)               | 43b                                  | 35ab   | 24a    | 27a     |
| Al (%)                | 4.1c                                 | 3.8c   | 2.7b   | 1.3a    |
| CEC (me/100 g)        | 20.4b                                | 15.8b  | 10.4a  | 5.32a   |

\* Values with different letters were significantly different at 5% level.

어진 매죽나무 군락지의 유기물 함량이 다른 지역보다 높은 것이 이 사실을 뒷받침해준다.

오염원인 남해화학으로부터 1 km와 7 km 떨어진 매죽나무 군락지 토양의 pH값은 비오염지역인 상주지역보다 5% 유의 수준에서 약간 낮은 것을 알 수 있다. 여천지역의 토양 pH값은 5.6~5.8인데 비해서 상주지역의 토양 pH값은 6.1이다. 토양의 pH값이 5.6 정도이면 다른 산림토양과 비교할 때 산성화되었다고 할 수는 없지만 상주지역토양에 비해서는 pH값이 낮다고 할 수 있다(문 등, 1997, 1998). 이렇게 상주지역보다 토양 pH값이 낮은 이유는 공단주변에서 배출되는 오염물질이 강우와 함께 토양으로 흘러들어 토양을 산성화시키는 경향이 있다고 짐작할 수 있다. 특히 토양가운데 알루미늄의 함량을 보면 공단주변의 함량이 상주지역보다 통계적으로 유의하게 높음을 알 수 있는데 이는 알루미늄이 가용성(Al<sup>3+</sup>)으로 변하여 토양의 pH값을 낮추었을 수가 있다(Bubenick, 1984). 일반적으로 산성우가 내리면 토양에 가용성 알루미늄의 함량이 높아져서 토양 pH값이 내려가서 토양을 산성화시킨다(문 등, 1998). 그런데 여천공단지역은 많은 공장에서 배출되는 대기 오염물질 때문에 산성우가 내릴 수 있는 확률이 높다고 할 수 있다(Wilde *et al.*, 1979).

실제로 오염원과 토양 속의 알루미늄 및 중금속 함량은 오염원으로부터의 거리와 밀접한 관계가 있다. Smith(1990)는 공업단지에서 0.4, 0.8, 1.2, 2.0 km 떨어진 지역의 토양을 조사해본 결과 오염원으로부터 거리가 가까울수록 토양내의 오염물질인 알루미늄 등 중금속이 많이 축적되어있었다는 결과를 보고하고 있다.

**Table 4. Chlorophyll contents of *Styrax japonica*.**

(Unit: SPAD value)

| Distance from the industrial complex | Exposure |         |        |        | Average |
|--------------------------------------|----------|---------|--------|--------|---------|
|                                      | East     | West    | South  | North  |         |
| 1 km                                 | 27.48a   | 26.90a  | 29.06a | 26.29a | 27.43a  |
| 3 km                                 | 38.79b   | 35.53bc | 37.81b | 44.48b | 39.15b  |
| 7 km                                 | 39.74b   | 36.63c  | 40.94b | 40.51b | 39.46b  |
| Sang-ju                              | 37.13b   | 31.61b  | 32.26a | 30.21a | 32.80a  |
| Average                              | 35.78    | 32.67   | 34.27  | 35.37  |         |

Values with different letters were significantly different at 5% level.

### 3.3 오염원으로부터의 거리와 생리적인 특성 관계

#### 3.3.1 엽록소 지수

대기 오염물질이 수목의 엽록소를 파괴하기 때문에 엽록소 지수는 대기오염으로부터 피해가 어느 정도인지를 추정할 수 있는 간접적인 척도가 된다(김과 엄, 1995). 또한 엽록소함량은 수목이 광합성을 하는데 필수적인 요인이며 엽록소함량과 광합성은 서로 비례하는 일반적인 관계에 있다(Kudson *et al.*, 1977).

잎이 배열되어 있는 방향은 엽록소의 함량에 큰 영향을 주지 못하는 것 같다. 오염원으로부터 3 km 떨어진 곳의 북쪽 방향의 엽록소함량이 다른 방향의 엽록소 지수보다 약간 높게 나타난 것 이외는, 동서남북 모든 방향에서 오염원에서 같은 거리에 있는 경우는 엽록소 지수가 거의 비슷함을 알 수 있다(표 4).

그러나 오염원인 여천공단 즉 오염원에서 가까운 지역일수록 매죽나무의 엽록소 지수는 가지의 방향이 동, 서, 남, 북 공통적으로 작음을 알 수 있다(표 4). 1 km 거리의 매죽나무 군락지의 엽록소 지수는 3 km나 7 km 떨어진 곳의 엽록소 지수보다 유의성 있게 낮은 것으로 나타났다.

가로수로서 자동차 배기 가스의 피해를 직접 받는 은행나무의 경우에 산성우에 의해서 엽록소가 파괴된다고 알려져 있다. 오염원으로부터 가장 가까운 지역의 매죽나무의 엽록소함량이 아마도 오염물질 때문에 파괴되어 그 량이 줄어들었을 것으로 짐작된다(김, 1994; 김, 1991). 또한 이렇게 엽록소가 오염물질에 피해를 받는다는 사실을 이용해서, 엽록

소의 함량을 조사하여 대기오염에 대해서 수목이 피해를 얼마나 받았는지를 간단하게 현장에서 진단하는 방법을 고안하려는 시도가 있다 (김과 엄, 1995).

3. 3. 2 광합성능력

예비조사를 통해서 광포화점이 700~1000 μEm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>의 빛에서 이루어진다고 확인을 하고 1000 μEm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>의 광도에서 광합성능력을 측정하였다.

때죽나무의 광합성능력은 오염원에서 가까울수록 낮아지는 경향이였다 (표 5). 가지의 잎이 동, 서, 남, 북, 어느 방향으로 배열되었던지 상관없이 공통적으로 상주지역에 비해서 광합성능력이 낮아지는 현상을 보여주고 있다. 일반적으로 오염물질은 광합성효율을 저해하고 더불어서 성장에도 영향을 미친다 (Barnes et al., 1995; Atkinson et al., 1988; Reich and Amundson, 1985). 특히 오염원으로부터 1 km 떨어진 지점의 광합성능력이 가장 낮게 나타난 것은 오염물질이 광합성과 깊은 관계가 있음을 시사해 주는 것이다. 위에서 언급했듯이 엽록소 지수가 오염원에서 제일 가까운 곳에서 가장 낮은 것은 오염물질이 엽록소를 파괴하여 광합성능력을 저해했다고 추론할 수 있게 해준다 (Edward et al., 1994; Hassan et al., 1994).

수목의 광합성능력은 오염물질에 노출되면 감소하는 경향을 보인다. Black cherry, 단풍나무, 백합나무의 경우도 오존에 노출되었을 때 광합성능력이 감소하는 것으로 보고되고 있다 (US Forest Service, 1994; Samuelson, 1994). 특히 black cherry와 백합나무 (yellow poplar)는 오존에 대해서 잎맥주변에 갈색 반점 줄 (interveinal stipple)를 생기게 하는 지표

종 (bioindicator)으로 알려져 있어서 미국을 비롯한 외국에서 도심이나 거리의 가로수 지표종으로 많이 활용하고 있다 (US Forest Service, 1994).

이상에서 살펴본 것과 같이 여천공단과 같이 대기오염이 심한 지역에서 때죽나무의 광합성능력, 엽록소지수는 상주지역과 같은 공단이 전혀 없어서 오염물질이 없는 지역에 비해서 약간 낮아진 경향을 보였다. 그리고 공단 지역에서 가까울수록 이들 두 가지 특성이 방해를 받은 것을 볼 때 공해 물질로 인해서 엽록소 함량과 광합성 능력이 저해되었다고 할 수도 있다. 그러나 때죽나무는 다른 수종에 비해서 임분을 이룰 정도로 여천공단 인근 지역에서 좋은 성장을 하면서 분포하고 있다. 그렇기 때문에 때죽나무가 공단지역에서 잘 분포하며, 좋은 성장을 유지하는 이유를 구명하기 위해서는 장기적이고 구체적인 생리, 생태적인 연구가 필요하다.

4. 結 論

본 연구는 여천공단주변에서 대기오염원으로부터 거리가 멀어질수록 때죽나무가 어떠한 생리적인 반응이 있는가를 구명하기 위한 목적으로 때죽나무가 분포하는 토양의 특성, 광합성능력, 그리고 엽록소지수를 조사 비교해서 대기오염이 심한 지역에서 이 수종이 어떠한 특성을 가지는지를 구명하는 것이 목적이었다. 이 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 토양 특성 가운데 여천지역토양의 pH값에 영향을 준다고 생각되는 알루미늄의 양이, 비 오염지역인 상주지역보다 높았다.
- 2) 엽록소 지수는 오염원에서 가까울수록 낮았다.
- 3) 때죽나무의 광합성능력도 오염원에서 가까울수록 낮아지는 경향이 있다.

Table 5. Photosynthetic capacity of *Styrax japonica*. (Unit: μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)

| Distance from the industrial complex | Exposure |        |        |        |         |
|--------------------------------------|----------|--------|--------|--------|---------|
|                                      | East     | West   | South  | North  | Average |
| 1 km                                 | 0.494a   | 0.298a | 0.428a | 0.593a | 0.453a  |
| 3 km                                 | 1.313b   | 0.641a | 2.371b | 1.436b | 1.440b  |
| 7 km                                 | 2.600b   | 4.870b | 3.927b | 1.850b | 3.311b  |
| Sang-ju                              | 7.480c   | 7.011c | 7.106c | 8.660c | 7.564c  |
| Average                              | 2.970    | 3.205  | 3.208  | 3.134  |         |

Values with different letters were significantly different at 5% level.

감사의 글

광합성 측정장치대여와 많은 조언을 해주신 서울대학교 NICEM의 김판기 박사님, 임업연구원 육종부 내공해연구실원 모두께 감사드립니다.

참 고 문 헌

기상청 (1997) 통계연보. 기상청. 서울, pp. 481.

- 김갑태 (1991) 인공산성우가 몇 침엽수종의 종자발아와 묘목 생장에 미치는 영향 (1) 한국임학회지, 80(2), 237-245.
- 김갑태 (1994) 인공산성우 처리에 따른 침엽의 접촉각 변화. 한국임학회지, 83(1), 32-37.
- 김갑태, 엄태원 (1995) 인공산성우의 처리가 몇 침엽수종의 엽피해와 엽조직에 미치는 영향. 상지대학교 석사논문집. p. 29.
- 김용표, 이종훈, 진현철, 문길주 (1997) 여천공단 대기중의 입자상 및 기체상 이온성분과 유기화합물의 농도. 한국대기보전학회, 13(4), 269-284.
- 김종진, 홍성각 (1998) 자작나무 콘테이너 묘의 경화단계 생장에 미치는 UV-B와 수분 스트레스의 효과. 한국임학회지, 87(4), 601-610.
- 농촌진흥청 (1988) 토양화학분석법 - 토양, 식물체, 토양미생물 - 농촌진흥청 농업기술연구소, pp. 450.
- 문형태, 표재훈, 김준호 (1998) 여천공단 주변지역 토양의 화학적 성질. 한국생태학회지, 21(1), 1-6.
- 문형태, 박병규, 김준호 (1997) 산성토양개량제 처리에 따른 식물의 생장반응과 토양성질의 변화. 한국생태학회지, 20, 43-49.
- 심경구, 이경재, 최태상, 최만봉, 심상렬, 김용식, 최상범, 진희성, 조영환, 김영빈, 남정철, 심우경 (1993) 조경수목학. 문운당, pp. 386.
- 이경준 (1993) 수목생리학. 서울대학교출판부. 서울, pp. 82-87.
- 환경부 (1998) 환경통계연감. 환경부. 서울, pp. 581.
- Arnon, D.I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in *Betavulgaris*. Plant Physiol., 24, 1-15.
- Atkinson, C.J., S.V. Robe, and W.E. Winner (1988) The relationship between changes in photosynthesis and growth for radish plants fumigated with SO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>. New Phytologist, 110, 173-184.
- Bardsley, C.E. and J.D. Lancaster (1960) Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. Proceedings of Soil Science Society of America, 24, 265-268.
- Barnes, J.D., T. Pfirrmann, K. Steiner, C. Lutz, U. Busch, H. Kuchenhoff, and H.D. Payer (1995) Effects of elevated CO<sub>2</sub>, elevated O<sub>3</sub> and potassium deficiency on Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seasonal changes in photosynthesis and non-structural carbohydrate content. Plant Cell and Environment, 18, 1345-1357.
- Bubnick, D.V. (1984) Acid Rain Information Book. Niyes Data Corp., N.J., pp. 397.
- Edwards, G.S., S.D. Wullschlegler, and J.M. Kelly (1994) Growth and physiology of northern red oak: preliminary comparisons of mature tree and seedling responses to ozone. Environmental Pollution, 83, 215-221.
- Hassan, I.A., M.R. Ashmore, and J.N.B. Bell (1994) Effects of O<sub>3</sub> on the stomatal behaviour of Egyptian varieties of radish (*Raphanus sativus* L.cv. *Baladey*) and turnip (*Brassica rapa* L.cv. *Sultani*). New Phytologist, 128, 243-249.
- Kudson, L.L., T.W. Tibbitts, and G.E. Edwards (1977) Measurement of ozone injury by determination of leaf chlorophyll concentration. Plant Physiol., 60, 606-608
- Odum, E.P. (1984) Basic Ecology. Sanunders Co. New York, pp. 613.
- Reich, P.B. and R.G. Amundson (1985) Ambient levels of ozone reduce net photosynthesis in tree and crop species. Science, 230, 566-570.
- Reich, P.B. (1987) Quantifying plant response to ozone : A unifying theory. Tree Physiology, 3, 63-91.
- Samuelson, L.J. (1994) Ozone-exposure responses of black cherry and red maple seedlings. Environmental and Experimental Botany, 34, 355-362.
- Smith, W.H. (1990) Air pollution and Forest. 2nd ed. Springer-Verlag, New York, pp. 609.
- Tadaki, Y. and M. Kinoshita (1988) Chlorophyll contents of tree leaves measured with chlorophyll meter SPAD 501. J. Jpn. For. Soc., 70, 488-490.
- Treshow, M. and F.K. Anderson (1991) Plant Stress from Air Pollution. Wiley, New York, pp. 283.
- US Forest Service (1994) How to identify ozone injury on eastern forest bioindicator plants. US Department of Agriculture and Forest Service. Protection report R8-PR 25. New York, pp. 9.
- Wiebel, J., E.K. Chacko, W.J.S. Downton, and P. Ludders (1994) Influence of irradiance on photosynthesis, morphology and growth of mangosteen (*Garciana mangostana* L.) seedlings. Tree Physiol., 14, 263-274
- Wilde, S.A., R.B. Corey, J.G. Iyer, and G.K. Voigt (1979) Soil and plant analysis for tree culture. Oxford and IBH Publishing. New Delhi, pp. 224.