

## 반월공단지역의 잣나무 및 리기다소나무의 성장과 광합성 특성<sup>1</sup>

이충화<sup>2</sup> · 최동수<sup>3</sup> · 이승우<sup>2</sup> · 김은영<sup>2</sup> · 진현오<sup>4</sup> · 정진현<sup>2</sup> · 이천용<sup>2</sup> · 오정수<sup>2</sup>

### Growth and Photosynthetic Rate of *Pinus koraiensis* and *Pinus rigida* in Banwol Industrial Region<sup>1</sup>

Choong Hwa Lee<sup>2</sup>, Dongsu Choi<sup>3</sup>, Seung-Woo Lee<sup>2</sup>, Eun-Young Kim<sup>2</sup>,  
Hyun-O Jin<sup>4</sup>, Jin-Heon Jeong<sup>2</sup>, Chun-Yong Lee<sup>2</sup>, and Jeong Soo Oh<sup>2</sup>

#### 요 약

본 연구의 목적은 현재 산림쇠퇴 징후가 나타나고 있는 반월공단지역에 식재되어 있는 잣나무와 리기다소나무의 성장저하 실태와 광합성 특성을 밝히는데 있다. 이를 위해 안산시 전망대공원에 피해구를, 경기도 광주시에 소재하고 있는 경희대학교 연습림에 대조구를 선정하여 인공식재된 약 10년생의 잣나무와 리기다소나무 2수종을 비교하였다.

잣나무 및 리기다소나무 2수종 모두 피해구에서 성장량이 감소하였으며, 침엽의 잔존율도 저하하였다. 또한 2수종 모두 피해구에서 대조구에 비하여 순광합성속도가 저하하였고, 광-광합성곡선의 초기기울기인 양자수율도 저하하였다. 클로로필 a+b, b의 함량도 피해구에서 감소하였으며, 이 결과는 침엽의 연령이 증가함에 따라서 집광반능력이 낮아져 침엽의 잔존율이 낮아지는 결과를 초래하였다고 생각된다. 이상의 결과로부터 최근 대기오염이 심한 반월공단지역에서 생육하고 있는 잣나무 및 리기다소나무의 성장감소 원인은 침엽의 클로로필 함량이 광화학계의 활성을 저하시켜 광합성 능력이 감소되어 최종적으로 성장감소를 초래한 것으로 판단된다.

#### ABSTRACT

This study was performed to investigate the growth and photosynthetic rate of ten-years old *Pinus koraiensis* and *Pinus rigida* in Banwol industrial region comparing with those of the control site in Gwangju, Gyeonggi Province. Surface soil of the damaged site in pH 4.2 was more acidic than control site in pH 4.8, assuming the accelerated soil deterioration by acid deposition.

The shoot growth, needle survival rate and net photosynthetic rate of *P. koraiensis* and *P. rigida*

1. 접수 2004년 5월 3일 Received on May 3, 2004.  
2. 국립산림과학원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.  
3.北海道대학 Hokkaido University, Sapporo 060-0809, Japan.  
4. 경희대학교 Kyung Hee University, Yongin 449-701, Korea.

at the damaged site were lower than at the control site. In addition, the quantum yield and chlorophyll a+b and b contents reduced in damaged treatment. These results suggest that an inhibition of photochemical reaction of *P. koraiensis* and *P. rigida* at the damaged site of Banwol industrial region could be attributed to combined influence of atmospheric pollution and soil acidification.

**keywords** : *Pinus koraiensis*, *Pinus rigida*, Shoot growth, Needle survival rate, Net photosynthetic rate, Chlorophyll content.

## 서 론

최근, 유럽각지 및 미국 북동부지역의 산림 쇠퇴가 급속히 확대되어 심각한 사회문제로 대두되고 있다<sup>(15)</sup>. 동아시아 지역에서는 일본의 삼나무(*Cryptomeria japonica*)림의 쇠퇴<sup>(1)</sup>, 일본 전나무(*Abies firma*)림의 쇠퇴<sup>(3,5)</sup>, 중국 사천성 남산의 마미송(*Pinus massoniana*)림의 고사 및 쇠퇴<sup>(16)</sup>가 보고되고 있다. 우리나라는 아직까지 산성강하물에 의한 대규모의 산림피해는 보고되지 않고 있으나, 울산 등의 공단 및 대도시지역에서는 pH 4.0 전후의 산성비가 계속 관측되고 있어<sup>(8,14)</sup>, 산림생태계에 영향을 미칠 가능성이 제기되고 있다<sup>(2)</sup>.

한편 우리나라의 대기오염 배출량은 1960년대부터 급속한 경제발전과 함께 빠른 속도로 증대되고 있으며, 울산 공단지역 및 서울 남산의 소나무림을 비롯하여 해안지대에 위치한 공업단지 주변의 소나무림은 현저히 쇠퇴현상을 나타내고 있다<sup>(7)</sup>. 특히 최근에는 공단지역을 중심으로 잣나무와 리기다소나무와 같이 비교적 내성이 있는 수종의 쇠퇴현상이 확인되기 시작하였다.

이러한 점에서 본 연구는 최근 산림쇠퇴 초기 징후가 확인되고 있는 반월공단지역의 잣나무와 리기다소나무의 성장저하 실태와 광합성 특성을 밝히기 위하여, 안산시 전망대공원에 피해구를, 경기도 광주시에 소재하고 있는 경희대학교 연습림에 대조구를 선정하여 인공식재된 약 10년생의 잣나무와 리기다소나무 2수종

을 비교·분석하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사대상지

조사대상지의 피해구는 안산시 반월공단에 위치하고 있는 전망대공원과 대조구는 경기도 광주시에 소재하고 있는 경희대학교 연습림을 대상으로 인공식재된 약 10년생의 잣나무와 리기다소나무 2수종을 비교하였다. 두 지역 모두 화강암을 모재를 하는 갈색산림토양이며, 피해구 반월공단은 1977년부터 조성되었으며 최근 강수 중 음이온 함유량이 높은 서해안지역에 위치하고 있다<sup>(7)</sup>. 조사지의 대기오염도는 2003년 연평균 이산화황(SO<sub>2</sub>)농도의 경우 반월공단(원시동)이 0.012ppm, 대조구(가장 인접한 대기오염 관측지 성남시 단대동)가 0.005ppm, 미세먼지(PM10)는 각각 99.5 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 과, 53.6 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ , 오존(O<sub>3</sub>)은 0.020ppm과 0.019ppm, 이산화질소(NO<sub>2</sub>)는 0.033ppm과 0.042ppm으로 이산화황과 미세먼지에서 지역간에 큰 차이를 보였다<sup>(11)</sup>.

### 2. 조사방법

2002년 8월 대조구와 피해구의 잣나무 및 리기다소나무 임분을 대상으로 각각 3개씩의 plot(20m×20m)을 선정하고 plot당 3개 개체목에 대해 절간 성장량, 침엽 잔존율, 광합성량 및 클로로필 함량을 측정하였다. 또한 토양분

석을 위하여 대조구와 피해구에서 각각 5개씩 약 0~10cm까지의 A층의 토양을 채취하여 공시토양으로 사용하였다. 절간 성장량과 침엽 잔존율은 당년생부터 5년생까지를 대상으로 하였으므로 하였으며, 침엽 잔존율(%)은 산출식은 (잔존침엽수/전침엽혼적수)×100으로 하였다.

광합성 측정은 개방형 동화상자법(Li-6400, Li-Cor, Nebraska, USA)을 이용하였으며 CO<sub>2</sub> 농도는 임의로 조절하지 않았다. 광합성 측정 후 측정에 사용한 침엽의 클로로필 함량을 분석하였다. 클로로필 함량은 DMSO에서 추출하여<sup>(12)</sup> 분광광도계(100-50, Hitachi)로 흡광도를 측정하여 생중량 단위로 환산하였다. 한편 토양 pH는 pH-meter법, 유기물은, Tyurin법, 전질소는 켈달법, 유효인산(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)은 비색법, 양이온치환용량(CEC)은 Brown법으로 분석하였다<sup>(4)</sup>.

## 결 과

### 1. 토양의 pH 및 화학성

대조구 및 피해구 2지역의 토양의 pH 및 화학적 성질을 분석한 결과(Table 1), 토양 pH는 대조구 4.8, 피해구 4.2로서 강산성을 나타내었다. 그 외 유기물함량, 유효인산 및 양이온치환용량은 대조구에 비하여 피해구에서 낮은 함량을 나타내었다. 한편 피해구의 유기물 함량은 3.1%로서 일반 산림토양의 표토층보다는 매우 낮은 값을 나타냈으며, 질소와 유효인산 등의 양분상 황도 일반 산림토양보다 낮게 나타났다<sup>(9)</sup>.

### 2. 잣나무 및 리기다소나무의 성장량

잣나무의 연간 절간생장은 당년생장을 포함하여 5년 동안 매년 피해구의 성장량이 대조구에 비하여 유의적으로 감소하였으나, 리기다소나무는 당년생장 이외는 명확한 차이가 인정되지 않았다(Figure 1). 이러한 결과는 잣나무가 리기다소나무에 비해 대기오염에 민감하게 반

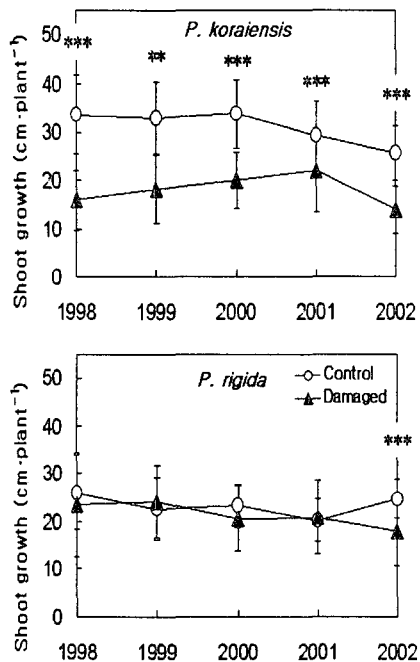


Figure 1. Annual shoot growth of *P. koraiensis* and *P. rigida*. Each value is the mean of 9 determinations. \*, \*\* and \*\*\* mean significant difference at 5%, 1% and 0.1% level, respectively.

Table 1. Some chemical properties of forest soil at two investigated sites.

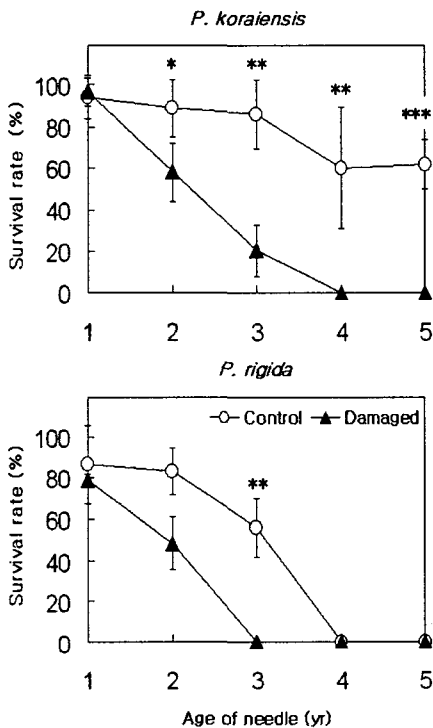
Site	Parent rock	pH (1 : 5)	OM (%)	TN (%)	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	CEC (cmol <sub>c</sub> /kg)
Control	Granite	4.8a	8.1a	0.20a	17.2a	17.4a
Damaged	Granite	4.2b	3.1b	0.16a	7.0b	9.1b

Each value is the mean of 5 determinations. The different letters of each site indicate significant difference at 5% level in Duncan's new multiple range test(p<0.05).

응하는 수종임을 반영한다.

### 3. 침엽의 잔존율

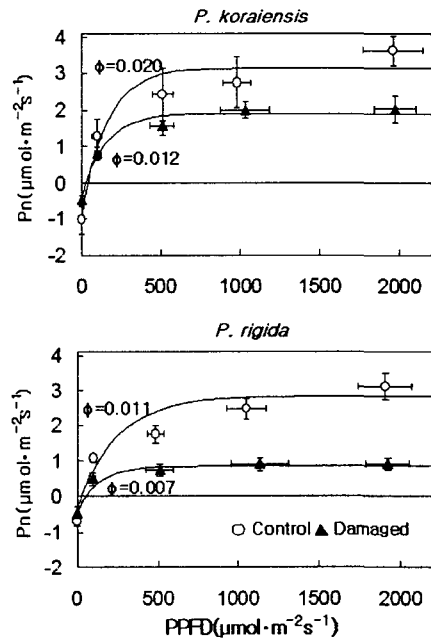
대상수종에 대한 침엽의 잔존율을 조사한 결과(Figure 2), 잣나무에서는 대조구는 침엽의 수명이 5년생이 되어도 60% 이상이었으나, 피해구에서는 3년생 이후에는 80% 이상의 침엽이 낙엽하여 잔존율이 낮았다( $p < 0.01$ ). 리기다소나무는 대조구에서는 침엽의 수명이 3년생까지였으나, 피해구에서는 2년생까지 잔존하는 결과를 보였다. 그러나 피해구와 대조구간에는 명확한 차이는 인정되지 않았다.



**Figure 2.** Needle Survival rate of *P. koraiensis* and *P. rigida*. Each value is the mean of 9 determinations. \*, \*\* and \*\*\* mean significant difference at 5%, 1% and 0.1% level, respectively.

### 4. 광합성 반응

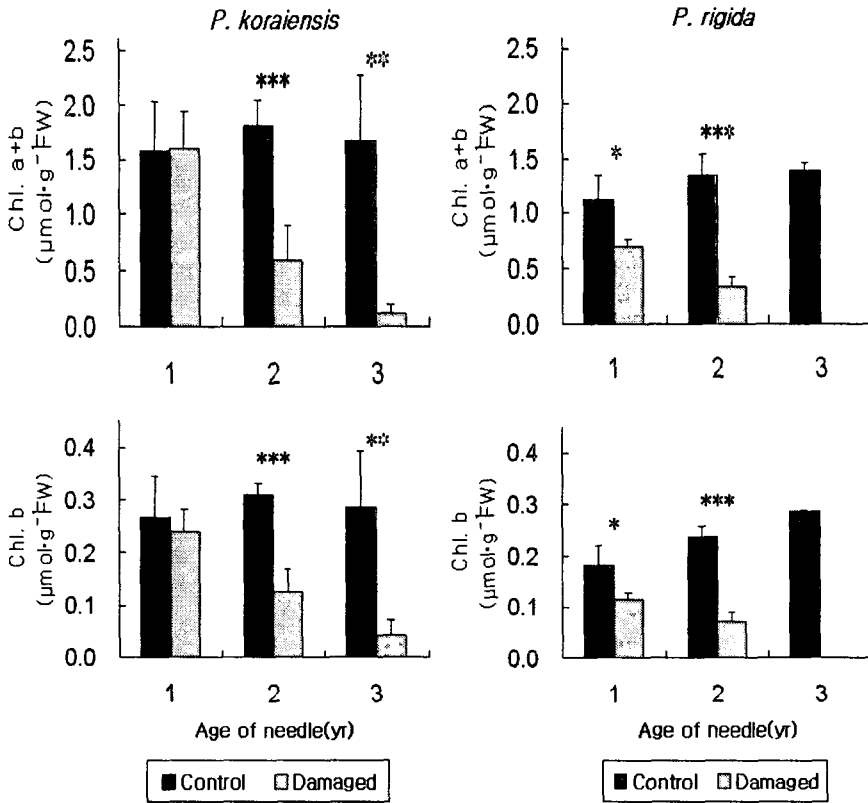
잣나무 및 리기다소나무 2년생 침엽의 광-광합성 곡선을 Figure 3에 나타내었다. 잣나무의 광포화점은 광합성유효방사속밀도(PPFD)가 대조구에서는 약  $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  이었으나, 피해구에서는  $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  부근이었다. 리기다소나무의 경우 대조구에서는  $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  이었으나, 피해구에서는  $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  부근까지 낮아졌다. 그리고 광-광합성 곡선의 초기기울기인 양자수율(QY)은 잣나무와 리기다소나무 2수종 모두 피해구에서 낮은 값을 나타내었다.



**Figure 3.** Net photosynthetic rate versus photosynthetic photon flux density(PPFD) of *P. koraiensis* and *P. rigida*. Each value is the mean of 9 determinations.

### 5. 클로로필 함량

빛을 포집하여 운반하는 클로로필의 함량은



**Figure 4.** Needle chlorophyll content of *P. koraiensis* and *P. rigida*. Values are expressed on the basis of needle fresh weight. Each value is the mean of 9 determinations. \*, \*\* and \*\*\* mean significant difference at 5%, 1% and 0.1% level, respectively.

식물의 광합성능력과 밀접한 관계가 있다. 침엽의 클로로필 함량을 분석한 결과(Figure 4), 잣나무에서는 클로로필 a+b 및 클로로필 b의 함량은 1년생 침엽을 제외한 모든 잎에서 피해구가 대조구에 비하여 유의적으로 적은 함량을 나타내었다. 또한 2년생 및 3년생에서의 클로로필 함량은 명확한 차이가 없었으나, 피해구의 클로로필 함량은 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 리기다소나무에서도 엽령별 클로로필 함량은 피해구의 1년생 침엽에서도 감소하는 경향을 나타내었다.

### 고 찰

토양의 pH를 분석한 결과(Table 1), 피해구

는 토양 pH 4.2로서 강산성을 나타내었다. 또한 피해지인 반월공단에서 자라는 잣나무 및 리기다소나무의 생장이 대조구에 비해 생장이 유의적으로 감소하였다(Figure 1). 진현오 등<sup>(10)</sup>은 잣나무 묘목을 갈색산림토양에서 인공산성우를 살포한 후 성장량을 조사한 결과, 토양 pH가 4.2 이하가 되면 총 건물생장이 대조구에 비해 38%가 감소한다고 보고하였다. 따라서 본 연구에 있어서도 산성강하물의 유입으로 인한 토양산성화로 인하여 임목의 성장량이 감소한 하나의 원인이라고 판단된다.

한편, 침엽의 잔존율을 분석한 결과(Figure 2), 피해구에서 대조구에 비하여 낮은 값을 나타내었는데, 이 결과는 침엽의 연령이 증가함에 따라 집광운반능력이 저하되어 침엽의 수

명이 짧아져 잔존율이 감소된 것으로 판단된다. 따라서 성장저하의 원인을 밝히기 위하여 두 수종의 광-광합성곡선을 조사한 결과, 잣나무 및 리기다소나무 모두 대조구에 비하여 피해구에서 광합성속도가 낮게 나타났다. 이들의 결과는 반월공단 지역에서 생육하고 있는 잣나무 및 리기다소나무의 성장감소는 광합성속도의 저하가 그 원인이라 판단된다. 또한 잣나무 및 리기다소나무의 광-광합성곡선의 초기기율기인 양자수율(QY)이 피해구에서 낮은 값을 나타내었다. Evans<sup>(13)</sup>는 양자수율이 광합성에 있어서 빛에너지를 화학에너지로 변환시키는 광화학계의 활성을 반영한다고 보고하고 있다. 따라서 본 연구에서도 피해구에서 잣나무와 리기다소나무의 건물생장량 감소가 침엽의 광화학계 활성 저하에 기인한 것으로 생각된다.

한편, 잎의 클로로필 함량이 두 수종 모두 피해구에서 대조구에 비하여 유의적으로 저하하였다(Figure 4). 李忠和 등<sup>(6)</sup>은 소나무 묘목의 침엽의 클로로필 함량과 양자수율와의 관계를 분석한 결과, 높은 상관관계가 인정되었다고 보고하였다. 따라서 잣나무 및 리기다소나무 침엽의 클로로필 저하가 광화학계의 활성을 저하시켜 순광합성 속도가 저하되었다고 생각된다.

이상의 결과로부터 최근 대기오염이 심한 반월공단지역에서 생육하고 있는 잣나무 및 리기다소나무의 성장감소 원인은 침엽의 클로로필 함량이 광화학계의 활성을 저하시켜 광합성 능력이 감소하여 최종적으로 성장감소를 초래한 것으로 판단된다.

## 결 론

피해구인 반월공단지역에서 자라는 잣나무 및 리기다소나무의 생장이 대조구에 비해 생장이 감소하였다. 두 수종 모두 피해구에서 순광합성속도 및 광-광합성곡선의 초기기율기인

양자수율도 저하하였다. 클로로필함량도 피해구에서 대조구에 비하여 감소하여 침엽의 연령이 증가함에 따라 집광운반능력을 저하시켜 침엽의 수명이 짧아져 잔존율도 감소하는 것으로 확인되었다. 또한 리기다소나무가 잣나무에 비하여 대기오염에 민감하게 반응하는 수종이라고 판단된다.

## 인 용 문 헌

1. 高橋啓二, 沖津 進, 植田洋匡. 1986. 關東地方におけるスギの衰退と酸性降下物による可能性. 森林立地 28 : 11-17.
2. 김태훈 외 13인. 1994. 환경오염이 산림생태계에 미치는 영향. 과학기술처. 161pp.
3. 鈴木 清. 1992. 神奈川縣大山のモミ林枯損経緯とその周辺地域の年輪幅の變化. 神奈川縣林業試験場報告 19 : 23-42.
4. 박무언 등. 2000. 토양 및 식물체 분석법. 농업과학기술원. pp. 202.
5. 須田隆一 외 9인. 1992. 寶滿山(福岡縣)自然モミ林の衰退に関する調査. 環境と測定技術 19 : 49-58.
6. 李忠和, 伊豆田 猛, 青木正敏, 戸塚 績, 加藤秀正. 1998. 硫酸添加により酸性化させた褐色森林土で育成したアカマツ苗の成長および光合成活性. 日本土壤肥料學雜誌 69(1) : 53-61.
7. 임업연구원. 2003. 2003년도 연구사업 보고서(산림환경분야, 5-1). p.183-224.(미발표자료)
8. 전영신, 조하만, 권원태. 1994. 한반도 중부지방에서 관측된 1992-1993년 산성비의 특성과 공기 이동 경로 분석. 대기보전학회지 10 : 175-182.
9. 정진현, 김춘식, 구교상, 이충화, 원형규, 변재경. 2003. 한국 산림토양의 모암별 이화학적 특성. 한국임학회지 92(3) : 254-262.
10. 진현오, 김은영, 이충화. 2000. 인공산성우

- 가 잣나무 묘목의 생장, 영양상태 및 토양산성화에 미치는 영향. 한국임학회지 89(3) : 422-430.
11. 환경부. 2003. 대기환경월보. 1-12월.
  12. Barnes, J. D., L. Balaguer, E. Manrique, S. Elvira and A. W. Davison. 1992. A reappraisal of the use of MDSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants. *Environ. Exp. Bot.* 32 : 85-100.
  13. Evans, J. R. 1987. The dependence of quantum yield on wavelength and growth irradiance. *Aust. J. Plant Physiol.* 14 : 69-79.
  14. Lee, C. H., S. W. Lee, Y. K. Kim and J. H. Cho. 2003. Atmospheric quality, soil acidification and tree decline in three Korean red pine forests. *Korean J. Ecol.* 26(2) : 87-89.
  15. Mohnen, V. A. 1988. The challenge of acid rain. *Scientific American* 259 : 14-22.
  16. Yu, S. W., Y. M. Bian, G. J. Ma and J. J. Luo. 1990. Studies on the causes of forest decline in Nanshan, Chongqing. *Environmental Monitoring and Assessment* 14 : 39-246.