

대기오염으로 교란된 여천공단 주변 소나무군락의 재생

이 창석

서울여자대학교 자연과학대학 생물학과

Regeneration of *Pinus densiflora* Community around the Yeocheon Industrial Complex Disturbed by Air Pollution

Lee, Chang Seok

Department of Biology, College of Natural Science, Seoul Women's University

ABSTRACT

Stands profiles, yearly changes in growth of annual rings, age and diameter structure, and spatial distribution pattern of individuals in the *Pinus densiflora* stands around the Yeocheon industrial complex were investigated.

Growth of annual ring in *Pinus densiflora*, which survived when vegetation of this area was damaged by air pollutants, was suppressed for about 10 years since 1974 when factories in this area began to operate, but since then such suppressed growth tended to be recovered. It was supposed that the suppressed growth was originated from air pollution and that improvement of growth since the suppressed period was due to the release from competition with them by death of neighbouring trees and the reduction of the amount of air pollutants. Physiognomy of *Pinus densiflora* stands showed mosaic pattern composed of different patches. Spatial distribution pattern of individuals and stand profiles were similar to those of *Pinus densiflora* stands regenerated after natural and artificial disturbances. In an age distribution diagram, age of *Pinus densiflora* population ranged from 1 to 33 years. Among these individuals, those from 10 years to 15 years old were more than 40%, and the period when these individuals were recruited corresponded to the suppressed period of growth of annual ring in *Pinus densiflora* survived when the vegetation was damaged by air pollution. On the other hand, from the result of analysis on frequency distribution diagram of diameter, it was postulated that even if this *Pinus densiflora* community can be maintained as it is for the time being, it might be changed to *Quercus* community with the lapse of time.

Key words : Regeneration, *Pinus densiflora*, Air pollution, Annual ring, Age structure, Diameter structure, *Quercus* spp.

서 론

식물군락을 구성하고 있는 식물 종의 생장, 고사 및 교대과정을 통하여 군락이 바뀌어 가는 과

정, 즉 군락의 동태에 관한 연구는 군락의 천이적 발달에 관한 연구와 교란과 교란 후의 회복과정에 관한 연구로 대별된다. 이러한 군락의 동태에 관한 연구에서 1970년대 이전까지는 전자에 관한 연구가 많이 이루어져 왔으나 1970년대 이후 활발하게 진행된 교란과 교란 후의 회복과정에 대한 연구는 군락의 천이적 발달에 관한 연구에서 극상상태라고 하는 성숙한 군락의 대부분이 발달단계가 다양한 군반(patch)이 모여 모자이크상을 이루고 있으며, 대부분의 식물군락이 평형에 이르지 않음을 밝히고 있다. 즉, 자연상태의 식물군락은 시·공간적으로 다양하며, 성립시기, 규모 및 종조성이 다양한 군반으로 이루어지는(Sousa 1984), 이러한 군반은 교란에 의해서 형성된 것으로서 어떤 시기에 교란된 후 서로 다른 회복과정에 있다고 볼 수 있다.

교란은 생태계, 군락 또는 개체군의 구조를 파괴하고, 자원이나 물리적 환경을 변화시키는 모든 사건을 말한다(White and Pickett 1985). 이러한 교란의 요인과 그것에서 비롯된 교란체제 및 교란 후의 회복과정은 식물군락의 구조를 결정하는데 중요한 역할을 하기 때문에 세계 도처에서 자연군락을 대상으로 그것에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다.

한편, 오늘날 급속한 인구팽창과 산업화의 진전으로 인구 밀집지역이나 산업화된 지역에서 인간활동의 부산물로 배출된 환경오염물질이 중요한 환경스트레스로 작용하여 오염원 주변 뿐만 아니라 오염원으로부터 멀리 떨어진 곳에까지 그 영향을 미쳐 식생의 구조를 변화시키고 있다(Woodwell 1970, Freedman 1986, Smith 1990, 이 1992).

따라서 날로 그 정도가 심각해지고 종류 또한 다양해지고 있는 이러한 환경오염의 문제는 앞으로 중요한 교란요인으로 부각될 것으로 생각된다.

본 연구에서는 공단 건설 후 배출된 대기오염물질의 영향으로 식물군락이 심하게 교란되었던 지소에서 오염물질 배출량의 점진적 감소와 교란 후 변화된 환경에 대한 식물의 반응으로 과거에 교란되었던 식물군락의 재생과정을 밝혔다.

조사지 개황

본 연구는 여천공단 주변인 전남 여천시 상암동 소재 소나무임분에서 수행하였다(Fig. 1). 본 조사지는 오염원으로부터 2km이상 떨어진 지소이고, 지형적으로는 산록부로서 본 조사지소보다 오염원에 가깝거나 능선에 가까운 곳에는 본 조사지소와 같이 교목층의 식생이 형성되어 있지 않고 때죽나무군락으로 이루어진 아교목림지와 억새군락이나 미국자리공군락으로 구성되는 초지가 형성되어 있었다. 따라서 본 조사지소는 이와 같이 아교목성의 식생이나 초지가 형성된 지소와 비교하여 오염물질의 영향을 적게 받는 것으로 판단되었다(이 1992).

한편, 본 연구를 수행한 여천공단지역은 1974년 이후 본격적인 공단조성과 산업시설의 가동이 시작된 우리나라의 대표적 공단 중의 하나로서 석유화학과 중화학 계열의 공장들이 집중되어 공장가동 초기에 심각한 오염문제를 불러일으켰던 지역이다(서 등 1981, 김 등 1988). 그러나 군락 오염물질 배출규제의 강화와 오염방지기술의 향상에 따른 시설의 개선으로 오염의 정도가 다소 낮아진 경향인데, 실제로 연료 사용량으로 계산된 오염물질 배출량도 매년 감소하고 있는 추세이었다(Table 1, 신 등 1983, 1984, 1985, 1986, 위 등 1987, 1988, 1989).

조사방법

식생의 계층구조는 교목층($> 8m$), 아교목층($2\sim 8m$), 관목층($1\sim 2m$) 및 초본층($< 1m$)의

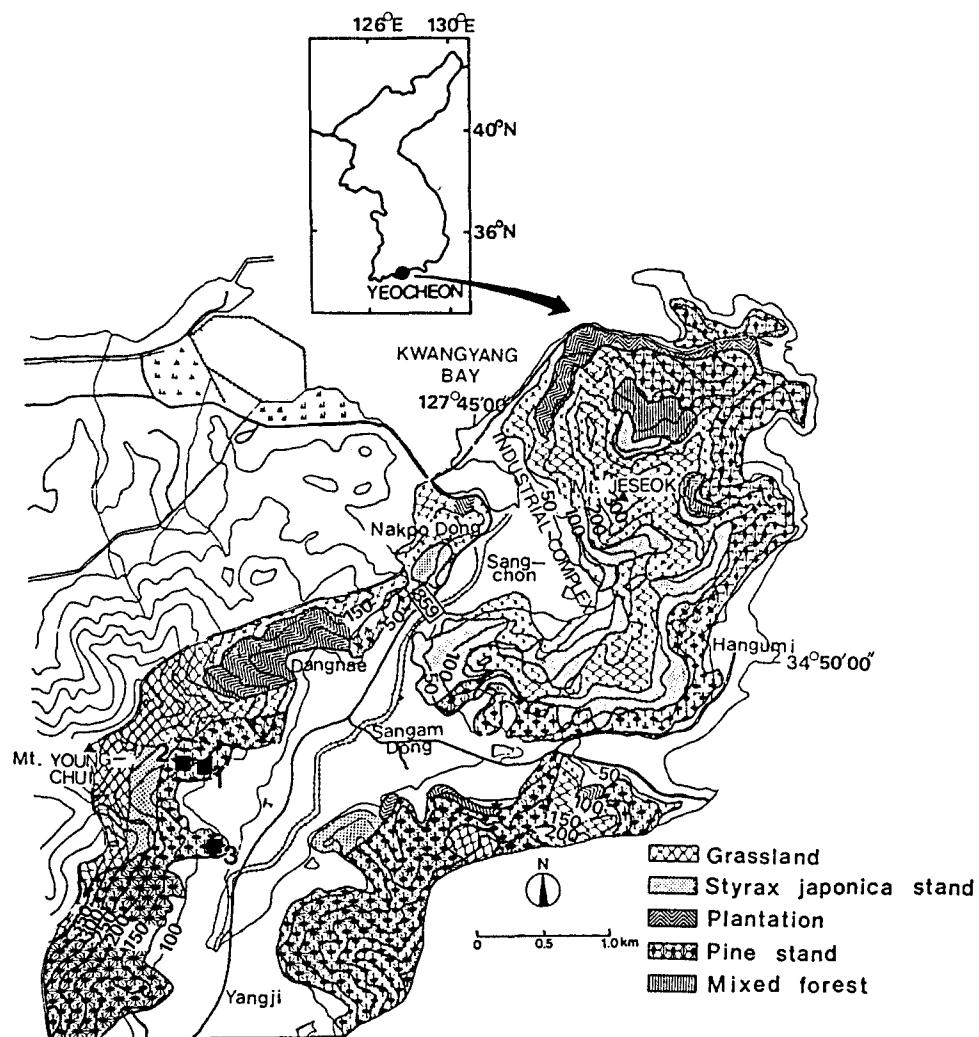


Fig. 1. A vegetation map showing the study sites(■).

Table 1. Yearly changes in the amount of pollutants discharged from the Yeocheon industrial complex.

Year	SO ₂ (ton)	HF(kg)
1982*	38,214	—
1983*	23,788	—
1984*	23,015	—
1985*	16,173	7,698
1986**	15,904	5,525
1987**	12,295	2,190
1988**	12,567	3,103

Data : * 신웅배 등, 한국과학기술원 1983, 1984, 1985, 1986

** 위인선 등, 전남대학교 환경연구소 1987, 1988, 1989

4층으로 구분하여 각 층의 식피율로 조사하였다.

연륜생장을 생장추를 이용하여 지상 30cm 높이에서 연륜시료를 채취한 후 실체현미경하에서 각 시료의 연륜 생장폭을 0.05mm단위까지 측정하여 분석하였다.

연령분포는 단위면적의 방형구내에 출현한 모든 소나무로부터 채취한 연륜시료의 연륜 수를 세어 각 개체의 연령을 구하고, 연륜시료를 채취한 지상 30cm 높이까지 자라는데 걸린 평균 연령(5년)을 더하여 그 연령을 보정한 후, 전체 개체에 대한 각 연령개체의 비도를 구하여 분석하였다. 한편, 유묘와 치수의 연령은 마디 수를 세어 구하였다.

개체분산도는 본 조사지소에서 소나무군락의 전형적 입지에 10m × 10m 방형구 2개, 25m × 15m의 방형구 1개를 설치하고 그 방형구를 1m 간격의 소방형구로 세분한 후 각 방형구내에 출현한 주요 수종의 위치를 모눈종이에 표시하여 작성하였다. 수관투영도는 교목층을 이루고 있는 개체를 대상으로 수관의 끝을 연결하여 작성하였으며, 임분단면도는 방형구내의 한 부분을 선정하여 10m × 2m의 belt transect를 설치하고 그 안에 출현한 주요 목본식물을 대상으로 임분의 단면을 묘사하여 작성하였다.

개체군의 크기구조는 방형구내에 출현한 목본식물 중 교목층에 도달할 수 있는 수종을 대상으로 그들의 지표직경을 측정한 후 직경급 별 비도분포도를 작성하여 분석하였다.

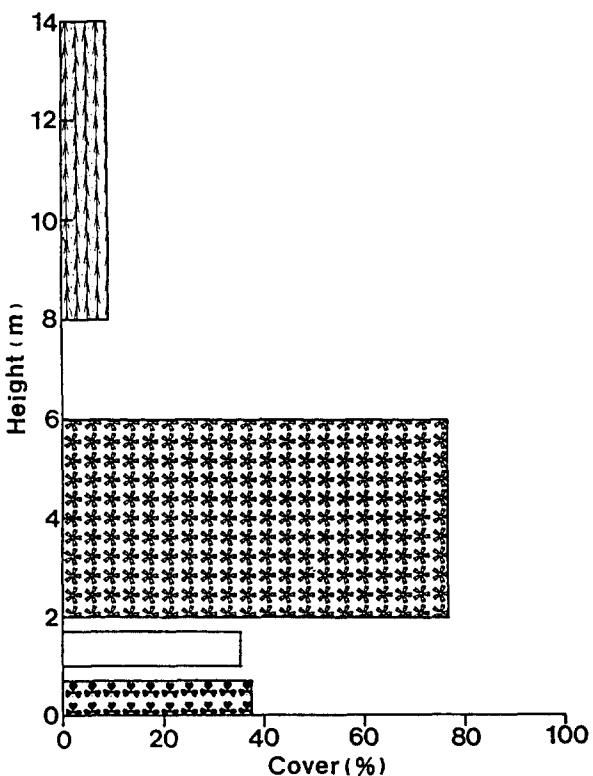


Fig. 2. Canopy profiles of *Pinus densiflora* community investigated. The height of the horizontal bars represents the average span of canopy height and the length of each bar represents the total cover by all species in the height range.

결과 및 논의

식생의 계층구조

식생의 계층구조에서 교목층($> 8m$), 아교목층($2\sim 8m$), 관목층($1\sim 2m$) 및 초본층($< 1m$)의 식피율은 각각 9.0%, 76.5%, 35.5% 및 37.5%로서 일반적인 삼림식생의 계층구조와 비교하여 교목층의 식피율이 낮고, 아교목층의 식피율이 높았다(Fig. 2). 이와 같이 교목층의 식피율이 낮고, 아교목층의 식피율이 높은 원인은 소나무군락에서 현재 교목층을 이루고 있는 소나무들은 여전지역에 공단이 건설되기 전에 정착한 식물들로서 그들과 함께 존재하던 많은 식물들이 공단 건설 후 공장으로부터 배출된 대기오염물질의 영향으로 고사되었고, 그 후 생존한 개체들만으로 교목층이 이루어지고 그 이하의 층의 식물은 대기오염물질에 의해 식생이 훼손된 후에 정착한 개체들로서 현재 그들이 아교목층 높이 정도의 성장단계에 이른데 기인하는 것으로 판단되었다.

연륜생장의 경년변화

연륜생장의 경년변화에 대한 연구는 주로 기후변화를 밝히는데 이용되어 왔지만(Fritts

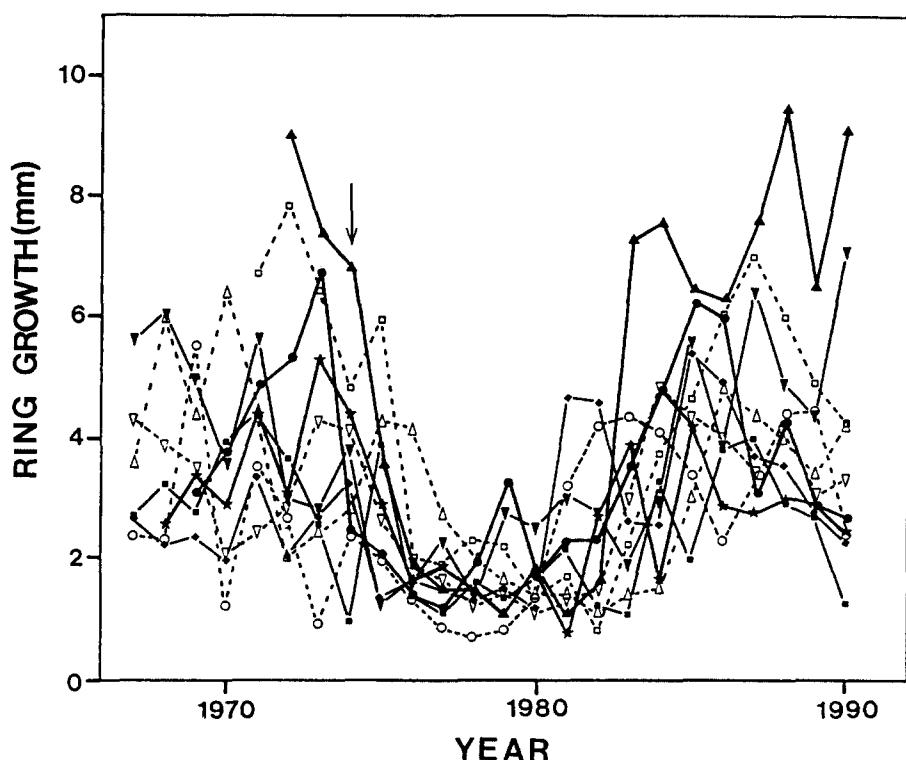


Fig. 3. Yearly changes in growth of annual rings in the mature *Pinus densiflora*. Arrow indicates the year in which the factories in the Yeochon industrial complex nearby the study site began to operate.

1976), 근래 삼림생태계에서 교란의 발생역사와 그 영향(Henry and Swan 1974, Oliver and Stephens 1977, Glitzenstein *et al.* 1986), 교란 후의 재생과정에 관한 연구에서 교란연령을 밝히는 방법(Nakashizuka 1984, 이 및 김 1990, Runkle 1992) 등으로 활용되고 있으며, 대기오염에 의한 생장감소 효과를 밝히는 데도 활용되고 있다(McClenahen and Dochinger 1985, Phipps and Whiton 1988).

본 연구에서는 공장가동 후 배출된 대기오염물질에 대한 식물의 반응으로 연륜생장을 측정하여 공단 건설 후의 환경변화를 평가하고 본 조사지소의 교란연령을 밝히고자 하였다. 따라서 본 조사지소에 오염물질의 영향이 발생하기 이전부터 생존하고 있던 성숙목을 대상으로 생장률을 이용하여 연륜을 채취한 후 그것의 생장을 분석하였다(Fig. 3). 1번부터 10번 까지 10개 개체의 연륜생장은 1974년~1976년부터 감소하기 시작하여 7~11년 동안 무진한 생장을 유지하다가 1981년~1985년 이후 그 생장이 회복되는 경향을 나타내었다. 연륜생장의 경년변화에서 생장부진은 공장으로부터 배출되는 대기오염물질의 영향으로 해석되며, 연륜생장이 불량한 기간은 대기오염의 영향으로 많은 개체들이 고사한 교란의 발생시기로 해석되었다. 무진한 생장기 이후 1981년부터 연륜의 생장은 증가하는 경향을 나타내었는데, 이러한 생장증가는 교란에 의한 주변 목의 고사로 인한 경쟁완화(Nakashizuka 1984, 이 및 김 1990, Runkle 1992)와 오염물질 배출량의 감소(Table 1, 신 등 1983, 1984, 1985, 1986, 위 등 1987, 1988, 1989)에 기인한 결과로 판단되었다.

연령분포도

본 연구를 수행한 지소에 출현한 소나무의 연령분포를 Fig. 4에 나타내었다. 연령분포도에서 소나무의 연령은 유묘인 당년생에서부터 33년생 사이에 분포하였는데, 공장이 가동되기 시작한 1974년 이후에 보충된 18년생 이하의 개체들이 전체의 90% 정도를 차지하였다(Fig. 4). 연령분포도는 당년생~6년생의 유묘와 치수집단, 9년생~19년생의 유식물집단 및 24년생~33년생의 성숙목집단의 3집단으로 이루어진 삼봉형을 나타내었는데, 각 집단의 비율은 각각 27.1%, 61.4% 및 11.5%이다(Fig. 4). 성숙목집단은 여전 공단에서 공장이 가동되기 6~15년 전에 정착한 개체들이고, 유식물집단은 대부분이 공장이 가동되기 시작한 후에 정착한 개체들로서 그들의 연령으로부터 판단한 정착시기는 성숙목의 연륜생장 불량기와 일치하여 이를 대부분이 대기오염물질에 의해 식생이 교란된 후 그 공간에 보충된 개체들임을 반영하였다.

한편, 유묘와 치수집단은 그 대부분이 5년생 이하의 개체들로서 성숙목 집단과 유식물집단을 이루는 일부 개체들로부터 산포된 종자에 기인한 개체들로 생각되었는데, 소나무는 고립되었을 경우 초기 생식 연령이 7년 정도이지만, 그들이 모여 집단을 형성할 경우 그 기간이 다소 지연되는 경향이어서 유식물집단으로부터 산포된 종자에 기인한 개체는 적을 것으로 판단되었다(이 및 김 1989).

또한, 자연상태의 소나무숲이나 인위적 벌목 후 자연재생된 소나무 숲에서 유묘의 발생은 일반적으로 임분연령 40년 이상인 숲에서 가능하지만(이 및 김 1989, 이 및 김 1990) 본 조사지소의 경우에는 소나무집단 구성 개체의 대부분을 차지하고 있는 개체들의 연령이 20년생 이하의 개체들로서 임분연령이 20년 이하임에도 불구하고 다수의 유묘와 치수들이 정착하였는데, 그 원인은 자연상태 또는 반자연상태의 숲과 비교하여 본 조사지소의 소나무 임분이 그 밀도가 낮은데 기인하는 것으로 판단되었다(김 및 이, 1986).

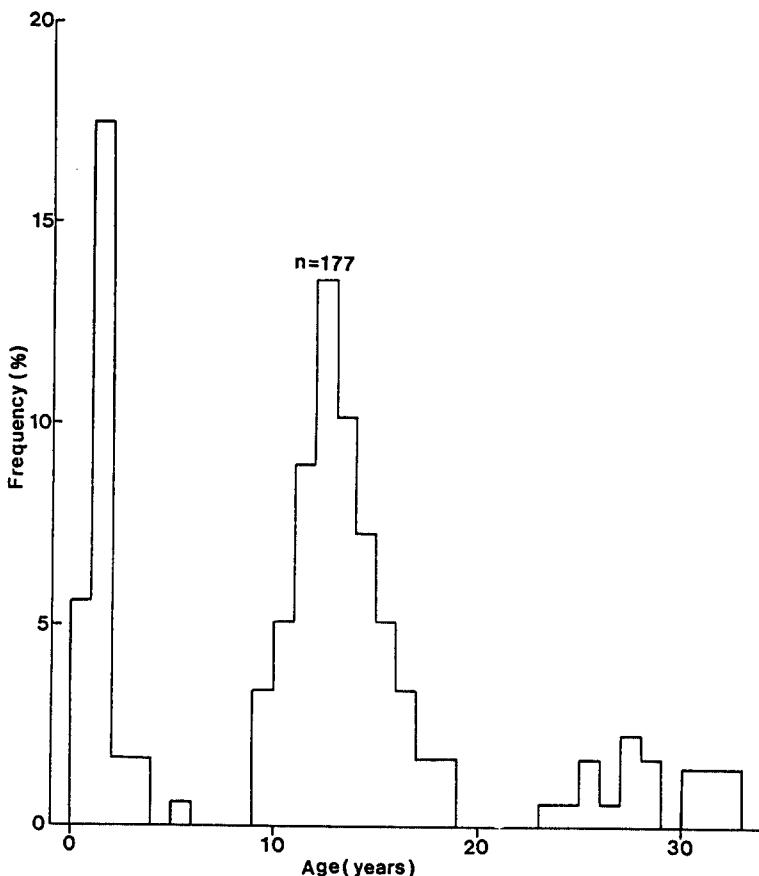


Fig. 4. Age distribution diagram of *Pinus densiflora* population in the study site. n numbers indicate the number of trees surveyed.

종자목 사이의 유식물 보충

교란의 규모와 교란 후의 재생을 밝히기 위하여 본 연구를 수행한 소나무군락 형성지의 대표적 3지소에서 개체분산도, 수관투영도 및 임분단면도를 작성하였다(Fig. 5, 6, 7).

조사지소 1의 개체분산도(Fig. 5)에서 모수는 5개체가 분포하였고, 모두 사이의 평균거리는 5.7m이었다. 유묘, 치수, 유식물 및 모수를 포함하여 소나무의 밀도는 68개체 / 100m²이었고, 이들은 규칙분포를 하였다(variancd : mean ratio, 0.72; Kershaw and Looney 1985) 참나무류는 그루터기에서 분기된 맹아의 형태로서 괴상분포를 하였는데, 임분단면도에서 볼 수 있듯이 그들은 현재 소나무군락의 임상에서 그 높이가 관목층 수준에 머물고 있다.

조사지소 2의 개체분산도(Fig. 6)에서 모수는 3 개체가 분포하였고 모두 사이의 평균거리는 4.5m이었다. 유묘, 치수, 유식물 및 모수를 포함하여 소나무의 밀도는 57개체 / 100m²이었고, 이들은 규칙분포를 하였다(variance : mean ratio, 0.79; Kershaw and Looney 1985). 참나무류는 조사지소 1의 것과 마찬가지로 괴상분포를 하며 그 높이가 관목층 수준에 머물고 있다.

조사지소 3의 개체분산도(Fig. 7)에서 모수는 3 개체가 분포하였고 모두 사이의 평균거리는 11.5m이었다. 유묘, 치수, 유식물 및 모수를 포함하여 소나무의 밀도는 48개체 / 100m²이었고,

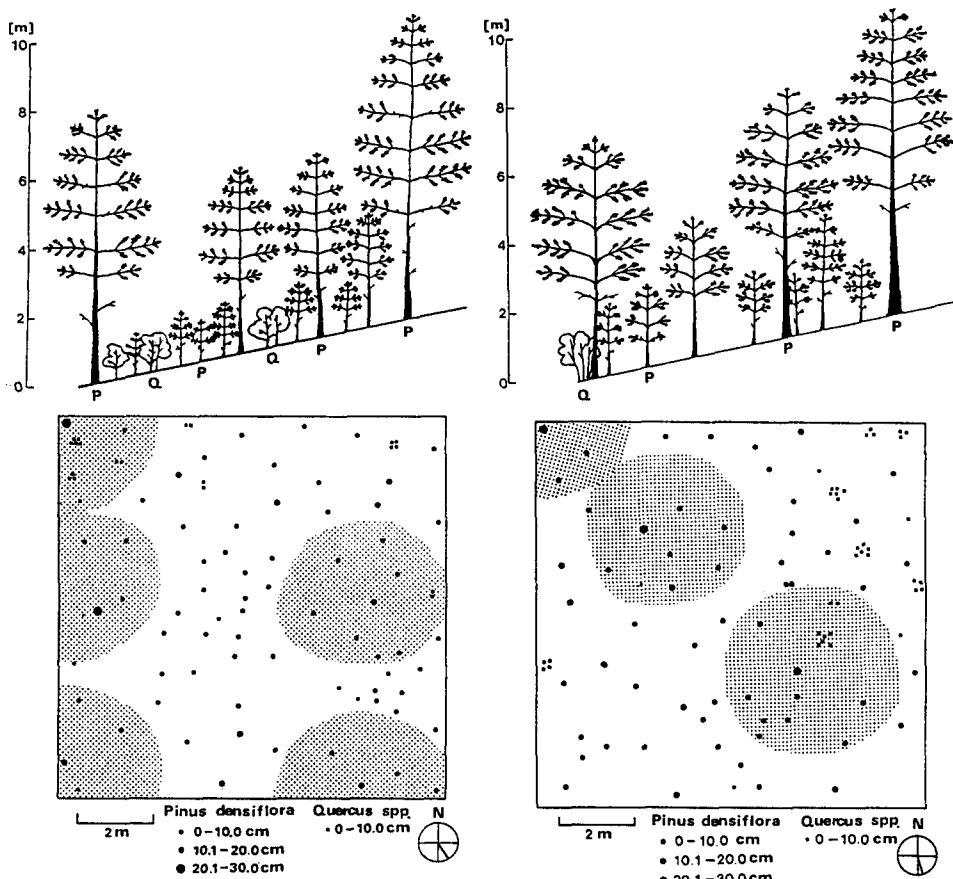


Fig. 5. Spatial distribution(lower) and stand profile(upper) of major tree species in the *Pinus densiflora* stand of site 1. Dotted parts indicate the canopy area of the seed trees. P:*Pinus densiflora*, Q:*Quercus* spp.

Fig. 6. Spatial distribution(lower) and stand profile(upper) of major tree species in the *Pinus densiflora* stand of site 2. Dotted parts indicate the canopy area of the seed trees. P:*Pinus densiflora*, Q:*Quercus* spp., N

이들은 규칙분포를 하였다(variance : mean ratio, 0.98; Kershaw and Looney 1985). 참나무류는 조사지소 1 및 2의 것과 비교하여 밀도가 훨씬 낮고 괴상분포를 하지 않지만, 그 높이는 유사하여 관목층 수준에 머물고 있다.

이상의 결과에서 볼 때 3 지소에서 모두 모수가 드물게 분포하고 모수 사이의 공간이 넓어 대규모 교란이 발생하였음을 반영하였는데, 이러한 대규모 교란이 양수인 소나무군락의 재생에 유리하게 작용하였을 것으로 판단된다(Denslow 1987). 모수 사이의 공간과 모수의 수관 밑에는 모수에 기원한 유묘, 치수 및 유식물이 정착하여 대기오염으로 교란된 소나무군락의 재생이 활발하게 진행되고 있음을 나타내었다. 그러나 본 조사지소의 소나무 밀도는 인위적으로 멸종하여 소나무 목재를 얻고 종자공급원으로 남겨놓은 종자목으로부터 낙하된 종자에 의해 자연적으로 그 숲을 재생시키는 모수재생법에 의한 결과와 비교하여 그 밀도가 낮았다(Skeen 1976, 김 및

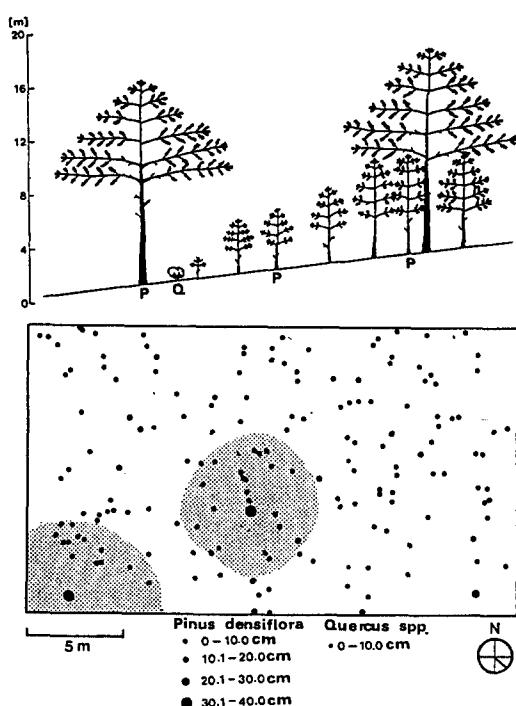


Fig. 7. Spatial distribution(lower) and stand profile(upper) of major tree species in the *Pinus densiflora* stand of site 3. Dotted parts indicate the canopy area of the seed trees. P: *Pinus densiflora*, Q: *Quercus* spp.

경을 측정하여 직경계급 별 빈도분포도를 작성하였다(Fig. 8). 이러한 크기분포도에서 분포도의 모양은 앞으로 그 군락의 지속적 유지 가능성 및 그 군락에서 진행될 천이적 변화에 대한 중요한 정보를 제공할 수 있는데(Barbour *et al.* 1987), 소나무는 전체적으로 역 J자형의 분포형을 보여 현재 어린 개체들이 계속 보충되고 있는 상태로서 본 소나무군락이 당분간 지속적으로 유지될 것으로 판단되었다. 그러나 직경 2cm이하의 계급에서 소나무의 빈도는 직경 2.1cm~4.0cm 급의 빈도보다 다소 감소된 반면에 참나무류가 높은 빈도를 나타내어 이러한 참나무류의 치수와 유식물이 성장함에 따라 본 연구를 수행한 지소의 소나무군락은 한국내 여러 지역의 소나무군락과 마찬가지로 이러한 참나무류군락으로 천이가 예상된다(이 1989).

한편, 3봉형으로 이루어진 연령분포도와 달리 직경분포도는 유묘와 치수집단, 유식물집단 및 성숙목집단이 서로 단절되지 않고 이어져 전체적으로 역 J자형을 나타내었는데, 그 원인은 교란 후 정착한 개체들 중 유식물집단을 이루는 개체들은 연령차이가 약 10년 정도의 동령집단으로서 그들사이의 경쟁으로 그들의 크기분포가 역 J자형을 이루고 그것이 유묘와 치수집단 및 성숙목집단과 연결되어 나타난 결과로 판단되었다(Ford 1974, Mohler *et al.* 1978).

이 1986). 이와 같이 밀도가 낮은 원인은 모두의 연령과 생육지 환경의 차이에서 찾을 수 있겠다. 즉, 모수재생법에서 벌목을 행할 때 모수의 연령은 일반적으로 50년 이상인 반면에 (Hawley and Smith 1954) 본 조사지소에서 유식물집단의 개체 중 가장 높은 빈도를 나타낸 12년생 개체의 정착시기를 교란발생의 중심기로 가정할 경우 교란이 발생할 당시 모수역할을 하였을 것으로 예측되는 소나무들의 연령은 10~19년생 개체들로서 종자의 생산량이 성숙목으로서의 모수에 비해 적었을 것으로 판단된다(이 및 김 1989). 한편, 모수재생법을 적용하는 지역이 일반적으로 비오염지역인 반면에 본 조사지역은 과거에 비하여 그 정도는 감소되었지만(Table 1 참고) 지속적으로 오염물질의 영향을 받고 있는데, 이러한 오염물질의 영향도 본 소나무군락에서 밀도를 낮게 유지하는데 기여하였을 것으로 판단된다(이 1992).

직경분포도

대기오염에 의해 교란된 후 재생된 소나무군락에서 앞으로 진행될 천이적 변화를 예측하기 위하여 소나무군락을 구성하는 수종 종교목총을 형성할 수 있는 수종으로 인정된 소나무와 참나무류를 선별한 후 그들의 지표직

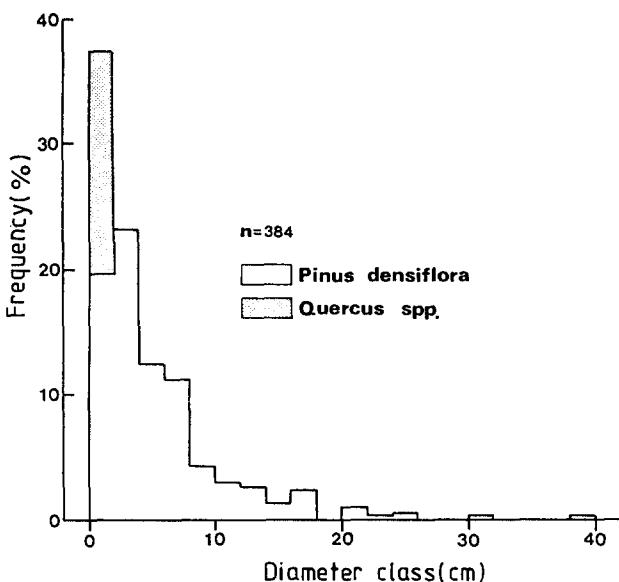


Fig. 8. Frequency distribution diagram of diameter at ground surface(Do) of major tree species in the study site, n numbers indicate the number of trees surveyed.

요 약

여천공단 주변의 소나무림을 대상으로 임분구조, 소나무의 연륜생장의 경년변화, 연령과 직경 구조 및 개체들의 공간분포양식을 조사하여 현재의 소나무림이 공단건설 후 배출된 대기오염물질에 의해 파괴된 식생이 재생된 것임을 밝혔다.

대기오염물질에 의해 식생이 훼손될 때 살아남은 소나무의 연륜생장은 공장이 가동되기 시작한 1974년 이후 감소하기 시작하여 약 10년간 부진한 생장을 보인 후 회복되는 경향이었다. 부진한 생장은 대기오염물질에 기인한 생장장해로 추정되며, 그 이후의 회복은 주변목의 고사로 인한 경쟁완화와 대기오염물질 배출량의 감소에 기인한 결과로 해석되었다. 임분의 외관은 여러 개의 군반인 모여서 이루어진 모사이크상을 나타내었으며, 개체들의 공간분포양식 및 임분단면도는 자연 교란 및 인위 교란 후 재생된 소나무숲의 것과 유사하였다. 연령분포도에서 소나무의 연령은 1~33년 사이에 분포하였고, 10~15년생 사이의 개체가 전체의 40% 이상을 차지하였는데, 이들이 보충된 시기는 식생이 훼손될 때 살아남은 소나무의 연륜생장 불량시기와 일치하였다.

인용문헌

- 김재봉 · 한상욱 · 배정오 · 고강식 · 김정규 · 황경섭 · 김준선 · 박인협 · 서정근. 1988. 오염지역 생태계의 경시적 변화에 관한 연구(I). –여천공단 주변의 식생을 중심으로– 국립환경연구원. 69p.

- 김준호 · 이창석. 1986. 소나무의 종자낙하, 발아 및 유식물의 보충 전략. 제 41회 한국생물과학 협회 논문요지록. p. 123.
- 서정현 · 정인명 · 김재봉 · 김동한 · 정연보 · 오재기 · 강덕희 · 강인구 · 김태욱 · 심재우 · 김준호 · 조경제 · 유병태. 1981. 공단주변의 생태계에 관한 조사연구. 국립환경연구소. 167p.
- 신웅배 · 이광호 · 박완철 · 송동웅 · 최용수 · 방기웅 · 류병로 · 서승원 · 황규성 · 고광을 · 성일화 · 김성주 · 이현우 · 이성숙 · 우완기 · 장숙희 · 이미경. 1983. 여천 공업단지 대기오염 영향. 한국과학기술원. 122p.
- 신웅배 · 안규홍 · 박완철 · 송동웅 · 최용수 · 방기웅 · 류병로 · 서승원 · 황규성 · 김경섭 · 고광을 · 성일화 · 김성주 · 이성숙 · 김정식 · 우완기 · 이미경 · 이광호. 1984. 여천 공업단지 대기오염 영향평가연구. 한국과학기술원. 89p.
- 신웅배 · 안규홍 · 박완철 · 송동웅 · 최용수 · 류병로 · 서승원 · 이상권 · 우완기 · 황규성 · 고광을 · 성일화 · 김성주 · 이성숙 · 1985. 여천공업단지 대기오염 영향평가 연구. 한국과학기술원. 85p.
- 신웅배 · 안규홍 · 박완철 · 최용수 · 류병로 · 서승원 · 이상권 · 김경섭 · 우완기 · 성일화 · 김성주 · 이성숙. 1986. 여천 공업단지 대기오염영향평가 연구. 한국과학기술원. 78p.
- 위인선 · 나철호 · 전순배 · 김기원 · 최충길 · 이종빈 · 이순기 · 김병기 · 정영근 · 최청일 · 이정석 · 양수인 · 백순기 · 김종홍 · 김백호 · 조기안 · 고화석 · 정선미 · 손미숙 · 오광택 · 하훈 · 나정연. 1987. 여천공업단지 대기오염 영향평가 연구보고서. 전남대학교 환경연구소. 80p.
- 위인선 · 나철호 · 전순배 · 김기원 · 최충길 · 이종빈 · 김병기 · 정영근 · 최원열 · 양수인 · 백순기 · 김재근 · 이순기 · 조기안 · 고화석 · 김광윤 · 손미숙 · 이순정 · 주현수 · 한동수 · 정선미 · 나정연 · 문순옥. 1988. 여천공업단지 대기오염 영향평가 연구보고서. 전남대학교 환경연구소. 71p.
- 위인선 · 나철호 · 전순배 · 김기원 · 최충길 · 이종빈 · 김병기 · 정영근 · 최원열 · 양수인 · 백순기 · 김재근 · 이순기 · 조기안 · 고화석 · 김광윤 · 손미숙 · 이순정 · 주현수 · 한동수 · 정선미 · 나정연 · 문순옥 · 최순영. 1989. 여천공업단지 대기오염 영향평가 연구보고서. 전남대학교 환경연구소. 88p.
- 이창석. 1989. 솔잎혹파리 피해 소나무림의 천이에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문. 106p.
- 이창석. 1992. 대기오염으로 파괴된 식생의 복원에 대한 연구. 한국과학재단 지원 국내 post-Doc. 연수 결과보고서. 70p.
- 이창석 · 김준호. 1990. 교란된 소나무림의 재생. 제 45회 생물과학협회 학술발표대회 요지록. p. 157.
- 이창석 · 김홍은. 1989. 소나무림의 천연하종생신을 위한 생태학적연구. 충북대학교 농업과학연구 7(2):100-109.
- Barbour, M.E., J.H. Burk and W. D. Pitts. 1987. Terrestrial plant ecology. 2nd ed. The Benjamin / Cummings Pub. Co. Inc. Menlo Park. 634p.
- Denslow, J.S. 1987. Tropical rainforest gaps and tree species diversity. Ann. Rev. Ecol. Syst. 18:431-451.
- Ford, E.D. 1975. Competition and stand structure in some even-aged plant monocultures. J. Ecol. 63:311-333.

- Freedman, B. 1986. Environmental Ecology : the impacts of pollution and other stresses on ecosystem structure and function. Bill Freedman, Nova Scotia. 424p.
- Fritts, H.C. 1976. Tree rings and climate. Academic press, London. 567p.
- Glitzenstein, J.S., P.A. Harcombe and D.R. Streng. 1986. Disturbance, succession, and maintenance of species diversity in an east Texas forest. *Ecol. Monogr.* 56:243-258.
- Hawley, R.C. and D.M. Smith. 1954. The practice of silviculture. John Wiley and Sons, New York. 525p.
- Henry, J.D. and M.A. Swan. 1974. Reconstructing forest history from live and dead plant material - An approach to the study of forest succession in southwest New Hampshire. *Ecology* 55:772-783.
- Kershaw, K.A. and J. H.H. Looney. 1985. Quantitative and dynamic plant ecology. Edward Arnold, London. 282p.
- McClenahan, J.R. and L.S. Dochinger. 1985. Tree ring response of white oak to climate and air pollution near the Ohio River Valley. *J. Environ. Qual.* 14:274-280.
- Mohler, C.L., P.L. Marks and D.G. Sprugel. 1978. Stand structure and allometry of trees during self-thinning of pure stands. *J. Ecol.* 66:599-614.
- Nakashizuka, T. 1984. Regeneration process of climax beech (*Fagus crenata* Blume) forests IV. Gap formation. *Jap. J. Ecol.* 34:75-85.
- Oliver, C.D. and E.P. Stephens. 1977. Reconstruction of a mixed-species forest in central New England. *Ecology* 58:562-572.
- Phipps, R.L. and J.C. Whiton. 1988. Decline in long-term growth trends of white oak. *Can. J. For. Res.* 18:24-32.
- Runkle, J.R. 1992. Guidelines and sample protocol for sampling forest gaps. General Technical Report. PNW-GTR-283. Portland, OR: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 44p.
- Skeen, J.N. 1976. Regeneration and survival of woody species in a naturally created forest opening. *Bull. Torrey Bot. Club.* 103:259-265.
- Smith, W.H. 1990. Air pollution and forests. 2nd ed. Springer-Verlag, New York. 618p.
- Sousa, W.P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 15:353-391.
- Spies, T.A. and J.F. Franklin. 1989. Gap characteristics and vegetation response in coniferous forests of the Pacific Northwest. *Ecology* 70:543-545.
- White, P.S. and S.T.A. Pickett. 1985. Natural disturbance and patch dynamics : an introduction. In *Disturbance and patch dynamics*. S. T. A. Pickett and P. S. White(eds.). pp. 3-13. Academic Press, New York.
- Woodwell, G. M. 1970. Effects of pollution on the structure and physiology of ecosystems. *Science* 168:429-433.