

여천공단 주변 산림지역 식물군집구조와 13년간의 변화(1983~1996년)^{1*}

한봉호² · 최송현³ · 박인협⁴

Change for 13 Years(1983~1996) and Plant Community Structure of Forest Area around Youcheon Industrial Complex^{1*}

Bong-Ho Han², Song-Hyun Choi³, In-Hyeop Park⁴

요 약

여천공단 주변 산림지역의 식물군집구조를 밝히고 13년간 변화를 파악하기 위하여 300m² 조사구를 27개소 설정하였다. DCA ordination 분석 결과 곰솔군집, 곰솔-참나무류군집, 곰솔-사스레피나무군집, 소나무-곰솔군집, 소나무군집으로 나누어졌다. 5개 군집의 천이경향을 살펴보면 곰솔-참나무류군집, 소나무-곰솔군집은 졸참나무, 상수리나무를 중심으로한 참나무류군집으로 변화될 것이며, 곰솔군집, 곰솔-사스레피나무군집, 소나무군집은 현상태를 유지할 것으로 판단되었다. 5개 군집의 토양산도는 pH 4.38~4.61로 산성토양이었으며, 유기물 함량, 치환성양이온(Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺) 함량은 전국토양의 평균치보다 낮은 상태로 불량하였다. 13년간의 식물군집구조와 토양특성변화를 살펴보면 중수, Shannon의 종다양도, 최대종다양도에 있어 1983년보다 1996년이 높아졌으며, 토양특성도 동일한 경향이었다.

주요어 : 곰솔군집, DCA, 천이, 토양산도.

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the plant community structure and identify the change for 13years(1983~1996) of forest around Youcheon industrial complex, Korea. 27 plots(300m²/1plot) were established in forest around Youcheon industrial complex. By DCA ordination technique, the 27 plots were classified into five communities, which were *Pinus thunbergii* community, *Pinus thunbergii-Quercus* spp. community, *P. thunbergii-Eurya japonica* community, *P. densiflora-P. thunbergii* community and *P. densiflora* community. It seemed that *P. thunbergii-Quercus* spp. community and *P. densiflora-P. thunbergii* community succeeded to *Quercus* spp. community and it seemed that *P. thunbergii* community, *P. thunbergii-*

* 본 연구는 국립환경연구원의 연구비로 수행되었음.

1 접수 7월 31일 Recieved on July 31, 1998

2 서울시립대학교 대학원 Graduate School, Univ. of Seoul, Seoul, 130-743, Korea

3 서울시립대학교 환경생태연구실 Lab. of Environment and Ecology, Univ. of Seoul, Seoul, 130-743, Korea

4 순천대학교 농과대학 College of Agriculture, Sunchoñ National Univ., Sunchoñ, 540-742, Korea

E. japonica community and *P. densiflora* community would not be replaced by another woody species. Soil pH was pH 4.38~4.61, there were bad soil for organic matters content and exchangeable cations(Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+}) content. Shannon's diversity, H' max and number of species were improved for 13 years. So did soil characteristics.

KEY WORDS : *Pinus thunbergii* COMMUNITY, DCA, SUCCESSION, SOIL pH

서론

여천공업단지는 1968년 호남정유 주식회사가 처음으로 가동되기 시작하였으며, 1974년 4월 1일 산업기지 개발구역으로 지정 고시된 이후 현재는 68개 공장이 입주하여 66개 공장이 가동되고 있는 560만 평의 대단위 공업단지이다(Kim, 1985).

여천공업단지 주변 생태계 훼손 현상은 SO_2 , HF 가스에 의하여 곰솔 잎의 변색, 조기낙엽, 엽내염 물질함량의 축적으로 인하여 결국 곰솔이 고사하고 있는 상태로 보고되고 있다(김준선, 1992). 그러나 최근 공단에서 배출되는 대기오염물질이 각종 규제에 인하여 감소되고 있다.

대기오염에 의한 피해는 인간, 동물, 식물, 건축구조물에 이르기까지 광범위하게 나타나는데 이들 중 식물은 이동이 불가능하므로 대기오염의 피해를 가장 심하게 받는 것으로 보고되고 있다. 식물은 대기오염물질의 일차적인 수용체로서 오염물질을 흡수하여 체내에 흡수하게 되는데, 이로 인하여 식물생리 및 대사과정에서 이상이 발생하고, 결국 고사현상이 발생하면서 산림생태계의 구조와 기능을 변화시키게 된다(Smith, 1980). 우리나라에서 대기오염에 의한 피해는 대도시지역과 공단 주변에서 주로 발생하고 있다.

우리나라 대표적인 대규모 공업단지는 울산공단, 여천공단, 온산공단, 군산공단, 대산공단 등이다. 이러한 공단들은 대부분 바닷가에 조성되었으며, 산림식생은 곰솔과 소나무를 우점종으로 하는 식생이다. 또한 이러한 공단 주변 산림식생은 공단에서 배출된 각종 대기오염물질에 의하여 생태적 구조가 파괴되고 있으며, 특히 1962년 조성되어 1982년부터 연구되어 온 울산공단 주변의 산림은 목본성 수종이 대부분 고사하는 등 황폐화 되었지만, 시간이 흐르면서 훼손면적이 점차 넓어지다가 최근 대기오염물질의 감소와 식물의 적응성에 의하여 점차 회복되고 있다고 보고되고 있다(이경재 등, 1993; 1994). 반면 1980년대 이후에 조성된 대산공단의 주변 산림은 공단에서 배출된 오염물질에 의하여 주변산림지역 식물생태

계의 피해가 발생하고 있다고 보고되고 있다(이경재 등, 1995)

최근 환경과 자연생태계의 보존의 중요성이 부각되면서 이렇게 파괴되어진 공단주변의 산림생태계의 복원이 중요하게 대두되고 있다. 산림생태계의 복원을 위해서는 현재 생태적 구조를 파악하는 것이 중요하며, 또한 과거로부터 현재에 이르는 변화양상을 파악하는 것이 중요할 것이다.

김선희(1992)는 울산공단지역 주변 산림지역을 대상으로 피해현상과 식물군집구조를 밝히고 환경립을 조성하는 기법을 제안하였다. 결국 이러한 연구는 훼손된 생태계를 복원하는 기법에 관한 연구라 할 수 있다.

본 연구는 여천공단 주변 산림지역의 식물군집구조를 파악하고 본 연구의 결과와 1983년 국립환경연구원에서 실시한 연구 결과를 바탕으로 13년간의 식생 변화동태를 파악하고자 실시하였다. 또한 본 연구는 향후 훼손된 여천공단 주변 산림지역의 산림생태계를 복구하기 위한 시도가 이루어진다면 식생분야에 있어 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

조사지설정 및 연구방법

1. 조사지설정

조사대상지는 여천시 공단주변 산림지역으로 1개 조사구에 10m×10m방형구 3개(300m²), 총 27개 지역에 조사구를 설정하였으며(Figure 1), 조사시기는 1996년 11월이었다.

2. 식물군집구조분석

식생조사는 조사구내에서 출현하는 목본수종 중 흉고직경 2cm이상을 교목층·아교목층, 그 이하를 관목층으로 구분하여 교목층과 아교목층은 수종명과 흉고직경을, 관목은 수관투영면적을 측정하였다(박인협, 1985). 식생조사에서 얻은 자료를 Curtis &

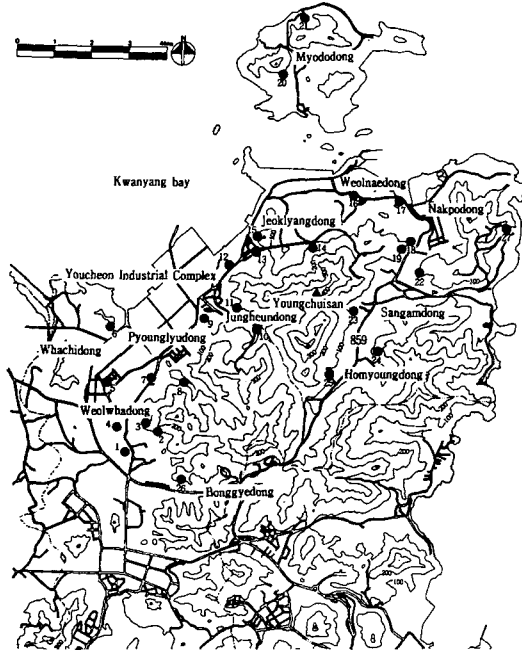


Figure 1. Location of 27 sites in forest area around Youcheon industrial complex

McIntosh(1951) 방법으로 상대우점치(I.V.: importance value) 및 평균상대우점치(M.I.V.: mean importance value)를 구하였고, Pielou(1975)의 방법에 따라 Shannon의 종다양성지수, 균재도(J' : evenness), 우점도(D: Dominance), 최대종다양도(H' max)를, Whittaker(1956)의 수식을 이용하여 유사도지수를 구하였으며, 각 군집별 천이방향을 예측하기 위하여 흉고직경급별 분포를 분석하였다. 또한 식생조사를 바탕으로 DCA에 의한 ordination(Hill, 1979a) 및 TWINSpan에 의한 classification 분석(Hill, 1979b)을 실시하였다. 이상의 분석은 서울시립대학교 환경생태연구실에서 개발한 PDAP(plants data analysis package)를 이용하였다.

여천공단 주변 산림지역의 식물군집구조변화를 파악하기 위하여 1983년, 1996년 조사지가 일치하는 7개 조사지에 대하여 종수, Shannon의 종다양도, 균재도, 우점도, 최대종다양도를 비교하였다.

3. 환경요인분석

환경요인 분석으로는 일반적 개황과 토양특성을

분석하였다. 일반적 개황으로는 조사구별 해발고, 방위, 경사도, 층위별 평균수고, 울폐도, 개체수, 교목층과 아교목층의 흉고단면적과 관목층의 수관투영면적 등을 구하였다. 토양특성은 각 조사지에서 Ao층을 걷어내고 표층으로부터 10~15cm깊이에서 토양을 채취하여 실내에서 음건한후 토양pH, 유기물함량, CEC, 치환성양이온(K^+ , Ca^{++} , Mg^{++}), 전질소량, 유효인, 유효황을 측정하였다. 또한 1983년과 1996년 조사가 일치하는 7개조사지의 토양특성변화를 파악하였다.

결과 및 고찰

1. 조사지 개황

여천시는 전라남도 남해안 끝으로 북쪽의 광양제철소와 동쪽의 남해도로 둘러싸여 있으며 남쪽과 동쪽에 한려해상국립공원과 접하고 있다. 지리적으로는 위도 $34^{\circ}44'$, 경도 $127^{\circ}44'$ 주위에 위치하고 있다.

기상현황을 살펴보면 연평균 기온은 $13.9^{\circ}C$, 한랭지수는 $-5.8^{\circ}C \cdot month$ 로서 우리나라 산림대 구분에 의하면 난대림지역으로 상록활엽수가 분포할 수 있는 지역이었다(임경빈, 1985). 관측기간 동안 최고 기온은 $36.4^{\circ}C$ 이며, 최저 기온은 $-12.6^{\circ}C$ 이었다. 연평균 강수량은 $1,413.3mm$ 로 우리나라 평균 강수량인 $1,300mm$ 보다 높아 비교적 우리나라에서 많은 비가 내리는 지역이었다. 그러나 강수량의 집중률이 있어서는 여름철(6, 7, 8월)의 강우집중률이 50.6%로서 우리나라의 전형적인 강우형이었다. 풍향은 북서계열이 우세하였으며, 계절별로 여름철에는 주로 남동풍, 겨울철에는 북서풍계열이 우세하게 나타나 계절풍의 영향을 많이 받고 있다. 연평균 풍속은 4.3%이었으며 비교적 여름철보다 봄, 가을, 겨울철의 풍속이 강하였다. 또한 연평균 습도는 68%이었다(기상청 1991).

각 조사지별 일반적 개황을 살펴보면(Table 1) 27개 조사지는 해발 30~110m에 위치하였으며, 방위는 북, 북서, 남동, 동, 북동, 남, 남서향으로 다양하였고, 경사는 $9 \sim 30^{\circ}$ 이었다.

식생현황을 살펴보면 교목층 수고는 7~15m, 울폐도는 20.0~73.3%, 교목층의 흉고직경은 12.3~28.3cm이었다. 교목층과 아교목층의 각 조사지면적 $300m^2$ 당 개체수는 258~648개체, 흉고단면적 $2.125.10 \sim 19,859.06m^2$ 이었다. 각 군집별 뚜렷한 경향은 없었다.

Table 1. Discription of the physical features and the structure of each layer for classified type by DCA ordination in forest area around Youcheon industrial complex

Site	I													
	2	5	6	11	14	15	17	18	20	21	22	23	26	
Altitude(m)	100	30	65	70	105	110	80	70	125	35	90	100	100	
Aspect	S50W	W	S30W	S10W	N38W	N80W	N20E	S30E	S40E	N30E	S	E	S10W	
Slope(°)	13.7	9	25	20	15	27	20	14	12	23	30	30	10	
Mean height (m)	C	14.3	12.7	10.3	14.0	12.0	11.7	9.3	7.0	7.3	13.0	7.0	10.3	14.0
	U	6.3	5.7	7.0	5.0	6.0	7.6	3.3	4.0	4.3	7.7	4.3	6.3	7.0
	S	1.2	1.8	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.1	1.7	2.0	1.0	1.5	1.6
Coverage(%)	C	40.0	40.0	26.7	63.3	63.3	53.3	43.3	68.3	30.0	40.0	36.7	43.3	50.0
	U	56.7	46.7	26.7	46.7	43.3	50.0	23.3	26.7	85.0	63.3	80.0	43.3	36.7
	S	66.7	76.7	81.7	66.7	18.3	66.7	30.0	8.7	25.0	85.0	31.7	66.7	86.7
No. of indi. (/300m ²)	C	16	25	24	30	45	25	34	48	33	20	60	23	30
	U	91	54	41	80	41	58	28	35	119	99	79	17	84
	S	216	368	424	524	172	444	308	344	284	312	212	276	408
	Total	323	447	489	634	258	527	370	427	436	431	351	448	390
Mean DBH (cm)	C	23.3	16	14.7	22.0	18.3	22.0	12.3	14.0	14.7	28.3	13.3	22.7	22.7
	U	5.3	4.3	10.0	5.7	6.0	7.7	5.0	3.3	3.7	7.7	4.7	8.7	7.3
Basal area (cm ² /300m ²)	C	4,909.44	4,788.74	4,941.76	9,950.74	5,850.18	6,891.36	3,991.03	5,056.32	2,830.01	5,701.39	5,472.02	8,194.93	10,255.20
	U	1,976.76	856.85	732.03	1,308.72	982.77	1,578.38	787.60	758.58	1,537.44	1,651.35	14,387.04	1,305.17	1,521.59
	Total	6,886.20	5,645.59	5,673.79	11,259.46	6,832.95	8,469.74	4,778.63	5,823.90	4,367.45	7,352.74	19,859.06	2,125.10	11,776.79
Crown projection area (m ² /300m ²)	S	22,745.10	1,172.10	1,772.90	1,113.90	418.30	956.80	4,480.20	2,946.20	935.00	1,408.56	6,939.00	2,327.90	981.10

* C: Canopy layer, U: Understory layer, S: Shrub layer.

2. 식물군집구조

(1) Classification 및 ordination

Figure 2, 3은 각각 여천공단 주변 산림지역의 27개 조사지에 대하여 TWINSpan을 이용한 classification 분석과 DCA ordination 분석을 실시한 것이다. TWINSpan 분석 결과를 살펴보면 1 division에서는 곰솔과 소나무, 때죽나무, 밤나무, 참싸

리에 의하여 구분되었으며, 곰솔의 상대우점치가 높은 조사지(21개 조사지)는 오른쪽에, 소나무 외 2종의 상대우점치가 높은 조사지(6개 조사지)는 오른쪽에 위치하였다. 2division 이상에서의 분류는 군집의 특성이 뚜렷하지 않았다.

DCA 분석을 살펴보면 제 1축과 제 2축의 Eigenvalue가 각각 0.607, 0.217로서 제 4축까지의 전

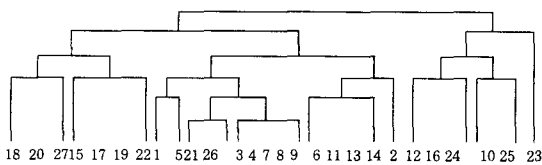


Figure 2. Dendrogram of TWINSpan stand classification of twenty seven plots in forest area around Youcheon industrial complex area

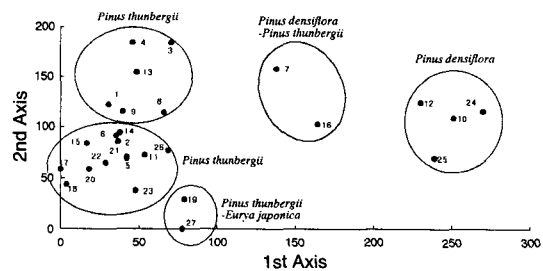


Figure 3. DCA ordination of 27 plots in forest area around Youcheon industrial complex

Table 1. (Continued)

Site	II					III				IV		V			
	1	3	4	8	9	13	19	27	7	16	10	12	24	25	
Altitude(m)	50	85	30	115	38	85	100	100	60	50	42	70	135	80	
Aspect	N	N10W	E	N20E	N15W	N80W	S40E	S45N	N60E	N40W	N50E	S70E	W	S50E	
Slope(°)	23	16	25	12	20	25	28	20	9	22	19	17	20	20	
Mean height (m)	C	14.7	14.0	10.7	13.0	10.7	13.0	9.3	8.5	9.0	13.7	11.3	10.3	11.0	10.7
	U	8.0	6.3	6.3	7.0	6.3	6.3	7.0	3.0	6.0	7.3	4.7	5.7	4.0	6.3
	S	1.1	1.3	1.3	1.5	1.2	1.2	1.2	1.0	1.2	1.6	1.5	-	1.4	1.8
Coverage (%)	C	56.7	53.3	63.3	33.3	63.3	53.3	20.0	60.0	73.3	50.0	60.0	70.0	56.7	63.3
	U	63.3	50.0	36.7	30.0	56.7	30.0	91.7	40.0	66.7	50.0	46.7	53.3	30.0	60.0
	S	70.0	65.0	63.3	95.0	33.3	46.7	8.3	2.0	33.3	36.7	60.0	30.0	36.7	53.3
No. of indi. (/300m ²)	C	31	34	30	29	81	30	43	9	35	35	39	72	20	17
	U	71	58	38	48	100	58	113	24	41	74	81	38	59	92
	S	224	252	256	324	372	520	216	40	364	236	528	452	420	296
	Total	326	344	324	401	553	608	372	73	440	345	648	562	499	405
Mean DBH (cm)	C	17.7	23.7	15	16.7	11.7	18.7	15.0	15.0	17.3	14.7	21.0	16.7	26.7	25.0
	U	5.3	10.3	5.7	6.0	6.0	6.3	6.0	4.0	5.0	8.7	5.3	5.7	4.0	6.7
Basal area (cm ² /300m ²)	C	7,298.27	10,481.20	5,894.01	8,141.81	4,901.21	7,970.17	4,985.79	1,327.18	6,380.73	4,665.85	11,154.71	7,525.07	10,046.90	6,514.56
	U	1,106.28	1,244.92	1,653.81	689.92	1,606.78	998.59	3,145.52	2,030.53	1,194.01	1,612.77	1,685.70	803.74	1,702.32	1,989.43
	Total	8,404.55	11,726.12	7,547.82	8,831.73	6,507.99	8,968.76	8,131.31	3,357.71	7,574.74	6,278.62	12,840.41	8,328.81	11,749.22	8,503.99
Crown projection area (m ² /300m ²)	S	1,173.90	1,221.00	1,515.20	1,763.30	831.40	1,130.40	166.00	256.80	1,555.20	553.40	1,225.50	1,231.20	1,062.10	811.70

* Area of plot No. 28: 100m²

** C: Canopy layer, U: Understory layer, S: Shrub layer

체 Eigenvalue의 83%로서 Total varince에 대한 집중률이 높아 제 1, 2축을 이용한 DCA분석의 타당성이 높았다. DCA분석결과와 평균상대우점치를 이용하여 군집을 분류하면 곰솔군집, 곰솔-참나무류군집, 곰솔-사스레피나무군집은 왼쪽에 위치하였으며, 소나무-곰솔군집, 소나무군집은 오른쪽에 위치하였다.

본 연구에 있어서는 DCA분석결과에 의한 군집분류가 명확하여 27개 조사구를 곰솔군집(I), 곰솔-참나무류군집(II), 곰솔-사스레피나무군집(III), 소나무-곰솔군집(IV), 소나무군집(V)으로 분류하였다.

(2) 상대우점치

Table 2는 여천공단 산림지역 5개 군집의 층위별 상대우점치를 나타낸 것이다. 군집 I은 곰솔 군집으로 교목층과 아교목층에서 곰솔의 상대우점치가 각각 95.1%, 43.7%로서 세력이 매우 커 일정기간 계속 곰솔이 우점종인 군집으로 유지될 것으로 보이나, 아교목층에서는 떡갈나무 (I.V.: 24.0%), 관목층에서

는 졸참나무(I.V.: 39.1%)의 상대우점치가 높아 장기적으로는 떡갈나무, 졸참나무로의 생태적 천이가 예측되었다. 또한 본 군집에서는 관목층에서 초본식물 중 대기오염이 심한 환경에서 적응성이 강한 식물로 알려진 미국자리공의 상대우점치가 10.7%로 높은 상대우점치를 나타내었다.

군집 II는 곰솔-참나무류군집으로 교목층에서는 곰솔 (I.V.: 70.9%)이 우점종이었으나, 상수리나무의 상대우점치가 12.9%로 높았으며, 아교목층에서는 상수리나무(I.V.: 24.6%), 사방오리(I.V.: 22.7%), 곰솔(I.V.: 16.1%), 졸참나무(I.V.: 14.6%)가 비슷한 세력으로 경쟁하고있어 본 군집은 곰솔이 우점종인 군집에서 상수리나무, 졸참나무를 중심으로한 참나무류군집으로 생태적 천이가 이루어질 것으로 보인다. 군집 II는 군집 I보다 천이가 빠른 단계이었다.

군집 III은 곰솔-사스레피나무군집으로 교목층에서는 곰솔의 상대우점치가 76.5%로서 우점종이나 아교목층과 관목층에서는 사스레피나무가 높은 상대우

점치(I.V.: 67.2%, 24.4%)를 나타내었다. 본 군집에 포함된 조사구 19, 27은 낙포동에 조성된 남해화학공업단지 주변에 위치하여 교목층의 우점종인 곰솔이 대기오염 피해를 받아 교목층 수관이 개방되면서 아교목층에 도달되는 광량이 많아져 사스레피나무의 생장이 왕성해진 것으로 판단할 수 있었다. 사스레피나무는 아교목성상의 수종이므로 본 군집은 현상태를 유지할 것으로 보이며, 교목성 수종인 졸참나무, 떡갈나무가 전 층위에서 소수 출현하고 있어 장기적인 천이방향은 이들 수종으로만 참나무류로 예측할 수 있겠다. 또한 관목층에서는 청미래덩굴(I.V.: 22.9%), 개웃나무(I.V.: 16.4%) 등 대기오염에 적응성이 강하며, 이차천이 초기에 주로 출현하는 종들의 세력이 높았다. 따라서 본 군집은 대기오염에 의하여 피해를 받은 후 시간이 흐르면서 점차 회복되어 가고 있는 단계인 것으로 판단되었다.

군집 IV는 소나무-곰솔군집으로 교목층에서는 소나무(I.V.: 35.8%), 곰솔(I.V.: 25.1%), 리기다소나무(I.V.: 15.2%)가 비슷한 세력으로 경쟁하고 있으며, 아교목층에서는 졸참나무(I.V.: 16.8%), 곰솔(I.V.: 14.0%), 사스레피나무(I.V.: 13.0%), 리기다소나무(I.V.: 10.7%)가 경쟁하고 있고, 관목층에서는 졸참나무(I.V.: 35.8%)가 우점종이었다. 따라서 본 군집은 교목층에서는 소나무와 곰솔이 우점하고 있으나 아교목층과 관목층에서 졸참나무가 우점하고 있어 점차 졸참나무가 우점종인 군집으로 생태적 천이가 이루어질 것이다.

군집 V는 소나무군집으로 교목층과 아교목층에서 소나무의 상대우점치가 88.4%, 27.1%로서 우점종이었으며, 아교목층에서는 사스레피나무(I.V.: 11.8%), 굴참나무(I.V.: 10.5%), 매죽나무(I.V.: 10.9%), 관목층에서는 진달래(I.V.: 27.6%), 사스레피나무(I.V.: 19.2%), 졸참나무(I.V.: 13.2%), 청미래덩굴(I.V.: 13.0%) 등이 주요 출현종이었다. 본 군집은 교목층에서 소나무의 세력이 매우 우세하며, 아교목층에서도 우점종이므로 일정기간 계속 소나무가 우점종인 군집으로 유지될 것이다.

상대우점치 분석결과 군집별 천이경향을 살펴보면 곰솔군집, 곰솔-사스레피나무군집, 소나무군집은 일정기간 계속 현상태로 유지될 것으로 보이며, 곰솔-참나무류군집, 소나무-곰솔군집은 졸참나무, 상수리나무를 중심으로한 참나무류군집으로 생태적 천이가 진행될 것으로 보인다.

(3) 흉고직경급별분포

Table 3은 각 군집의 생태적 천이경향을 파악하기

위하여 천이계열에 영향을 미칠 수 있는 주요 교목성상의 수종을 대상으로 흉고직경급별 분포를 나타낸 것이다.

군집 I은 곰솔이 흉고직경 2cm이상 42cm범위에서 많은 개체가 출현하였으며, 참나무류는 흉고직경 17cm이하에서 출현하였으나 개체수는 적었다. 따라서 본 군집은 계속 곰솔군집으로 유지될 것이다. 군집 II는 곰솔이 흉고직경 2cm이상 37cm미만 범위에서 다수 출현하고 있으며, 상수리나무가 흉고직경 17cm미만, 졸참나무는 12cm미만 범위에서 다수 출현하여 본 군집은 곰솔이 우점하는 군집에서 상수리나무, 졸참나무가 우점종인 군집으로 변화될 것이다. 군집 III은 곰솔이 흉고직경 2cm이상 27cm미만에서 다수 출현하였으나, 흉고직경 12cm미만에서는 사스레피나무가 곰솔보다 많이 출현하였고, 흉고직경 17cm미만에서는 졸참나무가 소수 출현하였다. 본 군집은 사스레피나무의 생육성상을 고려할 때 현 상태를 유지할 것이나, 장기적으로 졸참나무로의 천이를 예측할 수 있었다. 군집 IV는 소나무, 곰솔, 리기다소나무가 흉고직경 2~32cm범위에서 고르게 출현하고 있으나 흉고직경 12cm미만에서 상수리나무, 졸참나무가 다수 출현하고 있어 본 군집은 상수리나무, 졸참나무가 우점종인 군집으로 변화될 것이다. 군집 V는 소나무가 관목층에서 흉고직경 37cm미만까지 고르게 다수 출현하고 있으며, 상수리나무, 굴참나무, 졸참나무가 흉고직경 17cm미만에서 출현하고 있으나 소나무의 출현개체수보다 적으므로 본 군집은 계속 소나무가 우점종인 군집으로 유지될 것으로 보인다. 본 연구의 흉고직경급별분포 분석은 상대우점치 분석과 동일한 천이경향을 예측할 수 있었다.

(4) 종다양도 및 유사도지수

Table 4는 단위면적 300㎡에 대하여 5개 군집의 종다양도 지수를 나타낸 것이다. Shannon의 종다양도를 살펴보면 소나무-곰솔군집이 0.9743으로 가장 높았으며, 곰솔-참나무류군집, 곰솔군집, 소나무군집, 곰솔-사스레피나무군집 순이었다. 상대우점치 분석결과와 비교하면 참나무류의 상대우점치가 높은 군집이 다소 높았으며, 생태적 천이를 예측할 수 없는 군집일수록 낮게 나타났다. 박인협(1994)의 연구결과와 비교하면 전체적으로 1994년은 500㎡면적에서 0.3063~1.0209이었으며, 1996년은 300㎡면적에 0.7099~1.0870으로 점차 종다양도가 증가하는 경향이었다. 이는 결국 여천공단에서 배출되는 대기오염물질이 감소되면서 식생이 회복되고 있고, 또한 공단조성후 시간이 경과함에 따라

Table 2. Importance value of major woody species by stratum in each community for classified type by DCA ordination

Community name	I				II				III				IV				V			
	C	U	S	M	C	U	S	M	C	U	S	M	C	U	S	M	C	U	S	M
<i>Pinus rigida</i>	0.3	0.8	-	0.4	6.4	3.0	0.2	4.2	-	-	-	-	15.2	10.7	0.4	11.2	0.9	-	-	0.5
<i>Pinus thunbergii</i>	95.1	43.7	-	62.1	70.9	16.1	-	40.8	76.5	14.9	-	43.2	25.1	14.0	-	17.2	6.4	2.3	-	4.0
<i>Pinus densiflora</i>	1.17	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	35.8	6.7	-	20.1	88.4	27.1	0.2	53.3
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	-	0.2	-	0.1	-	0.6	-	0.2	-	-	-	-	5.5	8.0	0.9	5.6	-	0.7	0.1	0.3
<i>Juniperus rigida</i>	-	0.2	-	0.1	-	1.2	-	0.4	1.6	2.3	-	1.6	-	-	-	-	-	1.5	0.3	0.6
<i>Alnus firma</i>	-	0.3	-	0.1	9.3	22.7	0.6	12.3	-	-	-	-	4.1	6.2	-	4.1	-	-	-	-
<i>Castanea crenata</i>	0.2	1.8	0.1	0.7	-	0.6	-	0.2	-	-	-	-	-	0.9	-	0.3	0.7	3.9	-	1.7
<i>Quercus acutissima</i>	2.2	3.6	2.0	2.6	12.9	24.6	6.1	15.7	-	0.7	1.9	0.6	4.4	7.8	3.6	5.4	0.5	3.5	1.2	1.6
<i>Quercus variabilis</i>	0.2	0.5	0.1	0.3	-	-	-	-	1.4	-	-	0.7	-	0.6	-	0.2	0.6	10.5	2.8	4.3
<i>Quercus dentata</i>	-	24.0	3.0	8.5	-	2.0	5.4	1.6	8.3	4.4	5.0	6.5	-	0.6	-	0.2	-	-	1.0	0.2
<i>Quercus aliena</i>	0.3	1.4	4.1	1.3	-	0.8	1.9	0.6	1.5	1.5	-	1.3	-	-	-	-	-	-	2.1	0.4
<i>Quercus serrata</i>	-	8.8	39.1	9.5	-	14.6	35.8	10.8	10.7	3.6	3.0	7.0	0.9	16.8	41.3	12.9	0.8	7.8	13.2	5.2
<i>Lindera glauca</i>	-	0.1	-	0.1	-	0.9	1.9	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5	2.7	0.9
<i>Stephanandra incisa</i>	-	-	3.0	0.1	-	-	2.4	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	0.2
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	-	0.1	0.7	0.2	-	-	1.0	0.2	-	-	-	-	-	-	0.7	0.1	-	-	0.2	0.0
<i>Lespedeza bicolor</i>	-	-	0.4	0.1	-	-	0.2	0.0	-	-	-	-	-	-	0.3	0.1	-	0.4	3.3	0.7
<i>Robinia pseudo-acacia</i>	-	0.1	-	0.0	-	0.2	-	0.1	-	-	-	-	9.0	3.6	0.7	5.8	0.9	0.4	2.3	0.9
<i>Rhus trichocarpa</i>	-	1.2	0.3	0.5	-	0.2	3.5	0.4	-	0.4	16.4	2.9	-	1.2	7.6	1.6	-	1.1	0.2	0.4
<i>Rhus verniciflua</i>	-	2.0	0.8	0.8	-	0.4	2.0	0.5	-	5.0	7.7	3.0	-	3.2	2.3	1.4	-	1.3	0.1	0.4
<i>Eurya japonica</i>	-	2.3	3.0	1.3	-	2.2	0.2	0.4	-	67.2	24.4	26.5	-	13.0	1.7	4.6	-	11.8	19.2	6.9
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	-	0.7	5.0	1.1	-	0.4	2.6	0.6	-	-	-	-	-	13.1	2.2	-	-	3.4	27.6	5.7
<i>Rhododendron yedoense</i>	-	0.1	1.1	0.2	-	-	0.6	0.1	-	-	1.0	0.2	-	-	0.9	0.2	-	-	-	-
var. <i>poukhanense</i>																				
<i>Diospyros kaki</i>	-	0.4	-	0.2	-	1.0	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6	-	0.9
<i>Symplocos chinensis</i>	-	0.1	0.4	0.1	-	0.5	0.1	0.2	-	-	1.7	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Symplocos paniculata</i>	-	4.7	6.0	2.6	-	1.4	8.5	1.9	-	-	2.9	0.5	-	4.2	3.8	2.0	-	1.3	1.9	0.8
<i>Styrax japonica</i>	0.2	0.6	0.7	0.4	-	0.7	-	0.2	-	-	-	-	-	1.6	-	0.5	-	10.9	-	3.6
<i>Ligustrum japonicum</i>	-	-	0.7	0.1	-	0.4	0.3	0.2	-	-	-	-	-	0.5	-	0.2	-	0.2	-	0.1
<i>Smilax china</i>	-	-	8.4	1.4	-	-	11.5	1.9	-	-	22.9	3.8	-	-	20.7	3.5	-	-	13.0	2.2
<i>Phytolacca americana</i>	-	-	10.7	1.8	-	-	0.6	0.1	-	-	3.8	0.6	-	-	0.4	0.1	-	-	0.5	0.1
<i>Miscanthus sinensis</i>	-	-	2.6	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* C: Canopy importance value, U: Understory importance value, S: Shrub importance value, M: Mean importance value

대기오염에 강한 수종들이 적응하였기 때문에 판단되었다.

Table 5는 5개 군집간 유사도지수를 나타낸 것이다. 유사도지수는 각 군집간 종구성의 유사성정도를 나타내는 지수로서 상대우점치 결과를 이용한 것이다. 2개 군집간 유사도지수가 20%이하이면 이질적인 군집이고, 80%이상이면 동질한 군집이라 할 수 있다(Whittaker, 1956). 5개 군집중 곰솔군집, 곰솔-참나무류군집간 유사도지수가 55.22~64.23%

로서 비교적 동질한 군집이었으며, 곰솔이 우점종인 군집(군집 I, II, III)들과 소나무가 우점종인 군집(군집 IV, V)들 간에는 이질적이었다.

(5) 수종간 Classification 및 Ordination분석

Figure 4와 5는 27개 조사지 중 5개 조사지 이상에서 출현한 24종을 대상으로 TWINSpan분석과 DCA분석을 실시한 것이다. TWINSpan분석을 살펴보면 24개 수종은 크게 소나무를 중심으로한 그룹

Table 3. DBH class distribution of major woody species in each community classified by DCA ordination

Community	Species name	S	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
I	<i>Pinus thunbergii</i>	0	4	368	209	123	53	36	15	6	2
	<i>Pinus densiflora</i>	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0
	<i>Quercus acutissima</i>	144	1	27	11	7	0	0	0	0	0
	<i>Quercus variabilis</i>	8	2	1	0	2	0	0	0	0	0
	<i>Quercus dentata</i>	184	3	15	4	1	0	0	0	0	0
	<i>Quercus aliena</i>	268	0	16	1	1	0	0	0	0	0
	<i>Quercus serrata</i>	904	19	83	6	1	0	0	0	0	0
II	<i>Pinus rigida</i>	4	0	3	5	5	6	1	0	0	0
	<i>Pinus thunbergii</i>	0	1	88	43	35	28	21	8	2	0
	<i>Alnus firma</i>	8	1	25	24	12	5	2	1	0	0
	<i>Quercus acutissima</i>	128	1	57	39	17	0	1	0	0	0
	<i>Quercus serrata</i>	684	11	60	3	0	0	0	0	0	0
III	<i>Pinus thunbergii</i>	0	0	25	19	16	3	1	0	0	0
	<i>Quercus serrata</i>	12	2	4	4	3	0	0	0	0	0
	<i>Eurya japonica</i>	64	0	36	41	0	0	1	0	0	0
IV	<i>Pinus rigida</i>	4	0	7	10	2	2	0	0	0	0
	<i>Pinus thunbergii</i>	0	0	3	8	9	3	2	0	0	0
	<i>Pinus densiflora</i>	0	0	3	15	6	3	2	1	0	0
	<i>Alnus firma</i>	0	0	5	3	2	0	0	0	0	0
	<i>Quercus acutissima</i>	8	2	8	5	0	0	0	0	0	0
	<i>Quercus serrata</i>	204	6	18	3	0	0	0	0	0	0
V	<i>Pinus thunbergii</i>	0	0	9	7	1	1	2	0	0	0
	<i>Pinus densiflora</i>	4	1	44	45	32	25	21	7	4	0
	<i>Quercus acutissima</i>	16	0	7	2	1	0	0	0	0	0
	<i>Quercus variabilis</i>	40	0	21	7	1	0	0	0	0	0
	<i>Quercus serrata</i>	212	3	21	3	0	0	0	0	0	0

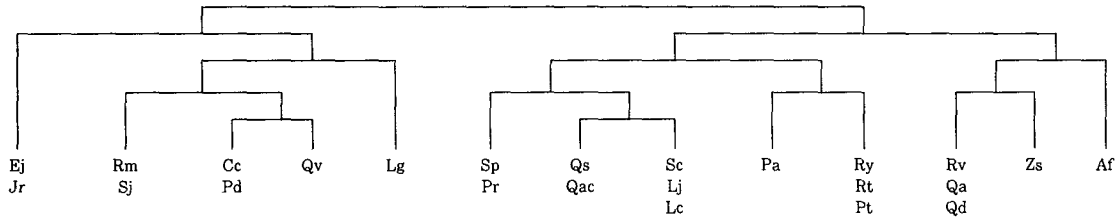
* S: Shrub, D1<2, 2≤D2<7, 7≤D3<12, 12≤D4<17, 17≤D5<22, 22≤D6<27, 27≤D7<32, 32≤D8<37, 37≤D9<42

Table 4. Species diversity indices of each community classified by DCA ordination(300m²)

Community	H' (Shannon)	J'	D'	H' max
I	0.7099~1.0479 (0.8677)	0.5456~0.8322 (0.7322)	0.1688~0.4544 (0.2591)	1.0414~1.2304 (1.1751)
II	0.8424~0.9630 (0.8996)	0.6711~0.7956 (0.7230)	0.2044~0.3289 (0.2770)	1.1761~1.3802 (1.2461)
III	0.6858~0.8852 (0.7855)	0.7526~0.7983 (0.7751)	0.2017~0.2482 (0.2250)	1.1461~1.3617 (1.2539)
IV	0.8616~1.0870 (0.9743)	0.7518~0.7983 (0.8170)	0.2017~0.2482 (0.2250)	1.1461~1.3617 (1.2539)
V	0.7272~1.0394 (0.8571)	0.5993~0.7614 (0.6705)	0.2386~0.4007 (0.3296)	1.1761~1.4914 (1.2876)

Table 5. Similarity indices(%) between each community classified by DCA ordination

Community	I	II	III	IV
II	63.46	-	-	-
III	64.23	55.22	-	-
IV	39.27	49.46	37.02	-
V	20.05	18.60	21.95	44.47



Pr : *Pinus rigida*, Pt : *Pinus thunbergii*, Pd : *Pinus densiflora*, Jr : *Juniperus rigida*, Af : *Alnus firma*, Cc : *Castanea crenata*, Qac : *Quercus acutissima*, Qv : *Quercus variabilis*, Qd : *Quercus dentata*, Qa : *Quercus aliena*, Qs : *Quercus serrata*, Lg : *Lindera glauca*, Lc : *Lespedeza cyrtobotrya*, Zs : *Zanthoxylum schinifolium*, Rt : *Rhus trichocarpa*, Rv : *Rhus verniciflua*, Ej : *Eurya japonica*, Rm : *Rhododendron mucronulatum*, Ry : *Rhododendron yedoense* var. *poukhanense*, Sp : *Symplocos paniculata*, Sj : *Styrax japonica*, Lj : *Ligustrum japonicum*, Sc : *Smilax china*, Pa : *Phytolacca americana*

Figure 4. Dendrogram of TWINSpan stand classification of 24 species in forest area around Youcheon industrial complex

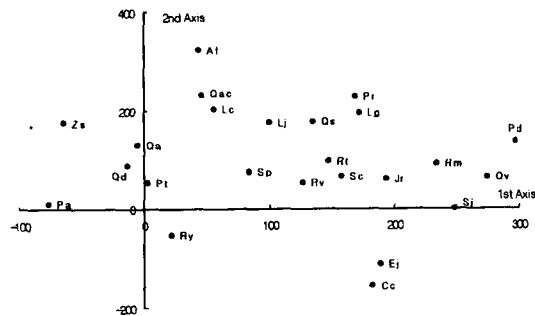


Figure 5. Dendrogram of DCA ordination of 24 species in forest area around Youcheon industrial complex (Legends of woody plant species referred to Figure 4)

과 곰솔을 중심으로한 그룹으로 나누어졌다. 소나무와 인접한 교목성상의 수종으로는 굴참나무, 밤나무이며, 아교목, 관목성상의 수종으로는 백동백, 진달래, 때죽나무, 사스레피나무, 노간주나무이었다. 곰솔과 인접한 교목성상의 수종으로는 리기다소나무, 졸참나무, 상수리나무, 갈참나무, 떡갈나무, 사방오

리이었으며, 아교목, 관목성상의 수종으로는 검노린재, 청미래덩굴, 광나무, 참싸리, 산철쭉, 개웃나무, 웃나무, 산초나무이었다.

DCA분석결과도 TWINSpan분석결과와 유사하게 크게 소나무와 곰솔을 중심으로한 2개 그룹으로 나누어졌으며, 인접한 수종도 유사하였다. DCA 및 TWINSpan분석에 있어서 서로 인접한 수종간에는 현재 서로 유사한 서식환경에 분포한다는 의미므로 생태적 지위가 동일한 교목성상의 수종간에는 장차 경쟁이 일어날 것이다. 결국 본 분석은 생태적 천이 경향을 예측할 수 있다는 것이다. 본 연구의 천이 경향을 살펴보면 곰솔군집은 졸참나무, 갈참나무, 떡갈나무를 중심으로한 참나무류군집으로, 소나무군집은 굴참나무군집으로 생태적 천이가 이루어질 것으로 예측되었다. 이러한 결과는 상대우점치 분석, 휴교직경급별분포 분석 결과와 유사한 결과이었다.

3. 토양특성

Table 6은 5개 군집의 토양특성을 나타낸 것이다. 토양 pH를 살펴보면 27개 조사구는 pH 4.38~

Table 6. Soil characteristics of each community in forest area around Youcheon industrial complex

Community	Soil pH(H ₂ O) 1:5	Organic matters (%)	Exchangeable cations(m.e./100g)			CEC
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	
I	4.61	3.71	0.79	0.37	0.24	9.10
	(4.24~5.11)	(1.21~7.11)	(0.25~3.25)	(0.13~2.21)	(0.11~0.42)	(8.00~13.27)
II	4.50	3.42	0.66	0.25	3.42	9.03
	(4.33~4.74)	(2.20~6.03)	(0.43~1.01)	(0.19~0.32)	(2.20~6.03)	(7.60~10.10)
III	4.38	5.51	0.71	0.32	5.51	10.17
	(4.34~4.41)	(4.56~6.46)	(0.68~0.74)	(0.19~0.45)	(4.56~6.46)	(9.30~11.03)
IV	4.39	2.64	0.45	0.21	2.64	8.57
	(4.26~4.52)	(2.57~2.71)	(0.35~0.55)	(0.10~0.31)	(2.57~2.71)	(8.24~8.89)
V	4.57	5.18	0.49	0.24	5.18	10.49
	(4.32~4.83)	(3.17~8.16)	(0.22~0.93)	(0.19~0.30)	(3.17~8.16)	(8.81~14.28)

Table 7. Changes in diversity indices and number of species for 13 years(1983~1996) in forest area around Youcheon industrial complex (Area: 500m²(1983), 300m²(1996))

Plot number	No. of species		H' (Shannon)		H' max	
	1983	1996	1983	1996	1983	1996
1(11)	16	15	0.7400	0.9357	1.1800	1.1761
6(12)	10	15	0.3750	0.9597	1.0000	1.2304
11(10)	15	20	0.8450	0.8976	1.1400	1.3010
15(9)	11	13	0.8500	0.9270	1.0000	1.1139
16(7)	8	23	0.7750	1.0870	0.9100	1.3617
19(4)	17	15	0.8000	0.8852	1.1700	1.1761
24(2)	18	16	0.8250	0.7272	1.2520	1.2041

* (): Plot no. of 1983 year

5.01범위이며, 군집별 평균치를 살펴보면 pH 4.38~4.61로서 산성토양이었다. 이는 1989년 여천지역 침엽수림의 토양 pH 4.54(이수욱, 1989)보다 약간 낮은 수치이었으며, 대기오염에 의하여 피해현상이 보고되고 있는 울산공단주변 산림지역의 pH 3.86~4.36(이경재 등, 1994)보다는 높은 상태이었다. 한편 유기물함량, 치환성양이온함량은 우리나라 전국토양 상태보다 낮아 토양환경이 불량한 상태인 것으로 판단되었다.

4. 식물군집구조 및 토양특성변화

Table 7은 여천공단 주변 산림지역 27개 조사지 중 1983년 국립환경연구원에서 수행한 조사지와 동일한 7개 조사지의 종다양도와 출현종수의 13년간변화를 나타낸 것이다. 조사지의 면적은 1983년 조사

지는 500m², 1996년 조사지는 300m²이었다. 조사구 6, 11, 15, 16은 종수, Shannon의 종다양도, 최대종다양도에 있어서 1983년 보다 1996년에 증가한 것으로 나타났다. 이는 단위면적을 고려하면 더욱 증가한 것으로 예측할 수 있었다. 결국 이러한 경향은 여천공단주변에서 배출되는 대기오염물질이 각종 규제에 의하여 감소하면서 서서히 식생이 회복되어 가고 있는 것으로 판단할 수 있었다.

13년간의 토양특성 변화를 살펴보면(Table 8) 토양 pH에 있어서는 1983년 pH 3.16~4.40에서 1996년 pH 4.32~5.11로 점차 높아졌으며, 유기물함량도 조사지 1, 6, 11, 16, 20의 5개 조사지에서 높아진 것으로 나타났다. 또한 전질소함량에 있어서도 조사지 17을 제외한 6개 조사지에서 높아졌으며, 치환성양이온 중 Mg⁺⁺, K⁺함량에 있어서도 높아졌다. 반면 유효황, 유효인함량은 뚜렷한 경향을

Table 8. Changes in soil characteristics for 13 years(1983~1996) in forest area around Youcheon industrial complex

Plot number	Year	Soil pH (H ₂ O) 1:5	Organic matters (%)	Total N(%)	Available P ₂ O ₅ (ppm)	Exchangeable cations(m.e./100g)			S (ppm)
						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	
1(11)	'83	4.40	1.82	0.10	7	1.12	0.53	0.49	25
	'96	4.33	3.63	0.17	15	0.84	0.23	0.14	64
6(12)	'83	3.96	0.78	0.05	3	0.58	0.10	0.07	25
	'96	5.11	1.21	0.05	0.3	3.25	2.21	0.42	47
11(10)	'83	3.83	1.86	0.11	3	0.58	0.10	0.07	100
	'96	4.60	3.10	0.11	12	0.49	0.17	0.17	59
15(9)	'83	3.96	3.35	0.20	2	0.96	0.22	0.13	43
	'96	4.58	3.51	0.23	10	1.04	0.34	0.22	40
16(7)	'83	3.96	4.91	0.28	12	0.95	0.14	0.12	82
	'96	4.52	2.71	0.14	11	0.55	0.21	0.31	61
19(4)	'83	4.35	1.56	0.09	6	0.51	0.11	0.59	63
	'96	4.41	4.56	0.20	90	0.68	0.22	0.19	34
24(2)	'83	3.76	4.80	0.28	15	0.50	0.12	0.09	50
	'96	4.32	3.64	0.57	44	0.25	0.18	0.27	83

* (): Plot no. of 1983 year

밝힐 수 없었다. 결국 현재 여천공단 주변 산림지역의 토양특성은 불량하기는 하나 1983년보다 1996년에 양호해지고 있는 것으로 판단할 수 있었으며, 결국 이것은 식생의 회복에 영향을 미친 것으로 판단할 수 있었다.

인용문헌

- 기상청(1991) 한국 기후표 제 II 권 -월 평년값-(1961-1990). 418쪽.
- 김선희(1992) 울산공단지역의 식물군집구조분석과 환경립 조성기법에 관한 연구. 서울시립대학교 대학원 석사학위논문, 74쪽.
- 김준선(1992) 대기오염물질이 여천공단 주변 해송의 양묘 동태와 군락구조에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위논문, 101쪽.
- 박인협(1985) 백운산지역 천연림 생태계의 조립 구조 및 물질생산에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문, 48쪽.
- 박재주, 김재봉, 배정오, 김동한, 오재기, 이경재(1983) 공단지역의 환경오염물질의 축적과 수목성장의 상관관계에 대한 조사 연구(국립환경연구원, '국립환경연구원 소보' 5: 237-260), 서울.

- 이수옥, 민일식(1989) 대기오염 및 산성우가 삼림생태계의 토양산도 및 양묘문제에 미치는 영향. 한국임학회지 78(1): 11-25.
- 이경재 등(1993) 산성우 및 대기오염물질이 삼림에 미치는 피해의 조기판단에 관한 연구. 한국과학재단, 205쪽.
- 이경재 등(1994) 도시 및 공업단지 주변의 Green 복원 기술개발. 환경처·과학기술처, 264쪽.
- 이경재, 한봉호, 조우(1995) 대산·군산공단지역의 대기오염이 삼림군집에 미치는 영향. 응용생태연구 9(1): 1-14.
- 임경빈(1985) 조림학원론. 향문사, 서울, 481쪽.
- Curtis, J.T. and P.P. McIntosh(1951) An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. Ecology 32: 476-496.
- Hill, M.O.(1979a) DECORANA-a FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Ecology and Systematics, Cornell Univ., Ithaca, New York, 52pp.
- Hill, M.O.(1979b) TWINSpan - a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Ecology and

- Systematics, Cornell Univ., Ithaca, New York, 99pp.
- Kim, J.S.(1985) Effects of air pollution on *Pinus thunbergii* forests around Youcheon industrial complex. M. S. thesis, Seoul National Univ. 54pp.
- Pielou, E.(1975) Ecological Diversity. John Wiley & Sons, New York, pp. 5-18.
- Smith, W.H.(1980) Air pollution -a 20th century allogenic influence on forest ecosystems. In: Proceeding of Symposium on Effects of air pollution on Mediterran and Temperate forest ecosystems, USDA Forest Service, No. PSW-43, pp. 119-87.
- Whittaker, R.H.(1956) Vegetation of the Great Smoky Mountains. Ecol. Monographs 26: 1-80.