

대산 · 군산공단지역의 대기오염이 삼림식물군집에 미치는 영향^{1*}

이경재² · 조 우³ · 한봉호³

The Effect on the Forest Plant Community by the Air Pollution around Daesan and Kunsan Industrial Complex Areas^{1*}

Kyong-Jae Lee², Woo Cho³, Bong-Ho Han³

요 약

대산공단과 군산공단의 대기오염에 의한 삼림피해현상을 연구하기 위하여 조사구를 각각 5개, 3개씩을 설치하였다(1개 조사구 당 면적 500m²). 대산공단 삼림의 교목층 및 아교목층의 우점종은 소나무와 곰솔이었고 관목층에서는 진달래와 참나무류가 우점종이었다. 종다양도는 0.4859~0.9202 이었으며, 조사구간의 차이가 심하게 나타났다. 토양 pH는 4.67~5.12로 약산성이었다. 대산공단지역에서는 아직 대기오염에 의한 삼림의 피해가 심각하지 않은 것으로 나타났다.

군산공단삼림의 교목층 및 아교목층의 우점종은 곰솔과 소나무이었다. 종다양도는 0.8115~1.0983이었고 오염원과 가까운 조사구가 가장 낮게 나타났다. 토양 pH는 4.32~4.76으로 강산성이었다. 군산공단의 오염원 인근삼림은 울산공단과 유사한 피해양상으로 심각한 피해를 받고 있었다.

주요어 : 대산공단, 군산공단, 대기오염, 소나무, 곰솔

ABSTRACT

To investigate the damage on the forest plant community by the air pollution around Daesan, Kunsan industrial complex, five sites(Daesan) and three sites(Kunsan) were set up and surveyed(Area : 500m²/site). In the analysis of community structure, the dominant species in the canopy and understory layer were *Pinus densiflora*, *P. thunbergiana*, ones in the shrub layer appeared *Rhododendron mucronulatum* and *Quercus* spp. in the Daesan industrial complex. Species diversity of the plant community in Daesan industrial complex showed very severe difference between plots. Soil acidity measured 4.67~5.12. It was not found that plant community in Daesan industrial complex appeared serious damage by the air pollutant.

In the analysis of community structure the dominant species in the canopy and understory layer were *P. densiflora*, *P. thunbergiana* in Kunsan industrial complex. Species diversity of the plant community in

* 이 연구는 1993년 G-7연구비지원에 의한 결과임. 과제번호 : 9-6-2

1 접수 8월 15일 Received on Aug. 15, 1995

2 서울시립대학교 문리과대학 조경학과 College of Liberal Arts and Science, Seoul City Univ., Seoul 130-743, Korea

3 서울시립대학교 대학원 Graduate School, Seoul City Univ., Seoul 130-743, Korea

Kunsan industrial complex was prove to low as nearer from the pollutant. Soil acidity measured 4.32~4.76 and it was very strong acidity. It was found that plant community as nearer from the pollutant appeared visible damage entirely by the air pollutant in Kunsan industrial complex.

KEY WORDS : *Pinus densiflora*, *Pinus thunbergiana*, **DAESAN INDUSTRIAL COMPLEX, KUNSAN INDUSTRIAL COMPLEX, AIR POLLUTION**

서 론

산업혁명 이후 산업발전이 지속적으로 이루어졌는데, 특히 20C 후반의 급속한 산업발전은 인류에게 경제적 풍요와 생활의 편리를 가져다주었다. 그러나 산업발전이면서 지구 온난화, 오존층파괴, 산성우에 의한 각종 피해 등 대기오염 문제가 심각한 상태에 이르게 되었다. 우리나라에서는 1960년대 경제부흥이라는 목표아래 대규모 중화학공업단지를 건설하였는데, 중화학공업은 자원 및 에너지의 다소 비형산업으로 공해다발 산업이다. 그러므로 공업단지 주변은 공단에서 배출하는 각종 대기오염물질로 인하여 생물들이 다른 지역보다도 심한 피해를 받는 것으로 알려지고 있다(김, 1992).

대기오염에 의한 피해는 인간, 동·식물, 건축구조물에 이르기까지 광범위하게 나타나는데, 이들 중 식물은 이동이 불가능하므로 대기오염의 피해를 가장 심하게 받는 것으로 발표되고 있다. 식물은 대기오염물질의 일차적인 수용체로서 오염물질을 흡수하여 체내에 축적하게 되는데, 이로 인하여 식물생리 및 대사과정에 이상이 발생하고, 결국 고사현상이 발생하면서 삼림생태계의 구조와 기능을 변화시키게 된다(Smith, 1980).

대기오염물질이 식물에 미치는 영향에 대한 기록은 1920년대부터 나타난다. 1924년 대기오염물질의 피해로 영국 런던의 Kew식물원 일부를 Kent지방으로 이동하였거나, 1925년 Canada의 한 제련소에서 발생한 오염물질에 의한 미국의 수목 및 농작물피해 등이 수목에 대한 대기오염물질의 피해를 보여주는 사례이다(임 등, 1979a; 1979b). 우리나라에서는 1930년 이후 충남 질소비료공장에서 배출된 매연물질에 의한 경작지피해가 최초의 기록으로 되어 있다(김, 1976).

대기오염물질에 의한 식물의 피해가 늘어나면서 이러한 식물피해현상에 대한 연구가 시작되었다. 우리나라의 연구 동향을 살펴보면, 대표적인 중화학공업단지인 울산중화학공업단지 주변지역에서 대기오염에 의한 식물피해가 공단에 근접한 지역에서부터 발생하고 있으며, 시간의 흐름에 따라 그 범위가 확대되어 심각해지고 있는 것으로 보고되

었다(이 등, 1990; 김, 1992; 이 등, 1993). 또한 여천 중화학공업단지도 울산공업단지와 유사한 상황으로, 수목 피해가 심각하게 발생하였다(김 등, 1985; 김, 1992).

최근 정부가 서해안개발계획에 따라 개발을 추진하면서 군산, 대산에 대규모공단이 건설되어 주변지역의 삼림피해 현상이 나타나고 있는 것으로 파악되고 있다. 또한, 서해안 지역은 1990년대 들어 중국 동쪽 대규모 공단으로부터 발생한 대기오염물질의 영향이 편서풍에 기인하여 미칠 것으로 예측되어 주목이 되는 지역이다.

대산지역은 충남도청의 북서방향으로 140km떨어진 서산군의 최북단에 위치하고 있다. 대산공단은 삼성종합화학, 현대석유화학, 현대정유 등 대규모 공장이 1988년부터 입주하였고 이와 관련된 소규모 공장이 들어서 있다. 현대정유는 1989년, 삼성종합화학과 현대석유화학은 1991년부터 본격적으로 공단이 가동되기 시작한 신흥공단지역이다(대산공단공해방지협의회, 1994). 공단주변의 삼림은 곰솔과 소나무가 주를 이루고 있으며 공단과 인접한 삼림지역에서는 소나무와 곰솔의 고사목이 일부 출현하고 침엽의 황화 및 낙엽현상이 나타나는 등 오염물질에 의한 피해가 관찰되고 있다.

전라북도 군산의 미성평야 부근 임해매립지에 조성된 군산공단은 유리, 사료제조공장 및 제철소가 입지해 있는 곳으로 최근 환경오염에 의한 민원발생이 제기되고 있고 오염물질이 삼림생태계에도 영향을 끼치고 있는 것으로 생각되는 곳이다.

이에 본 연구는 이들 두 공단지역 주변의 삼림식물군집의 피해 유형과파악 및 시간의 흐름에 따른 피해상태의 모니터링을 위한 기초자료축적을 목적으로 하였다.

조사지 설정 및 방법

1. 조사지 설정

(1) 대산공단

본 연구는 공장가동 초기에 있는 대산공단 주변삼림의 군집구조 분석을 통해 앞으로 삼림의 식생구조가 어떻게 변

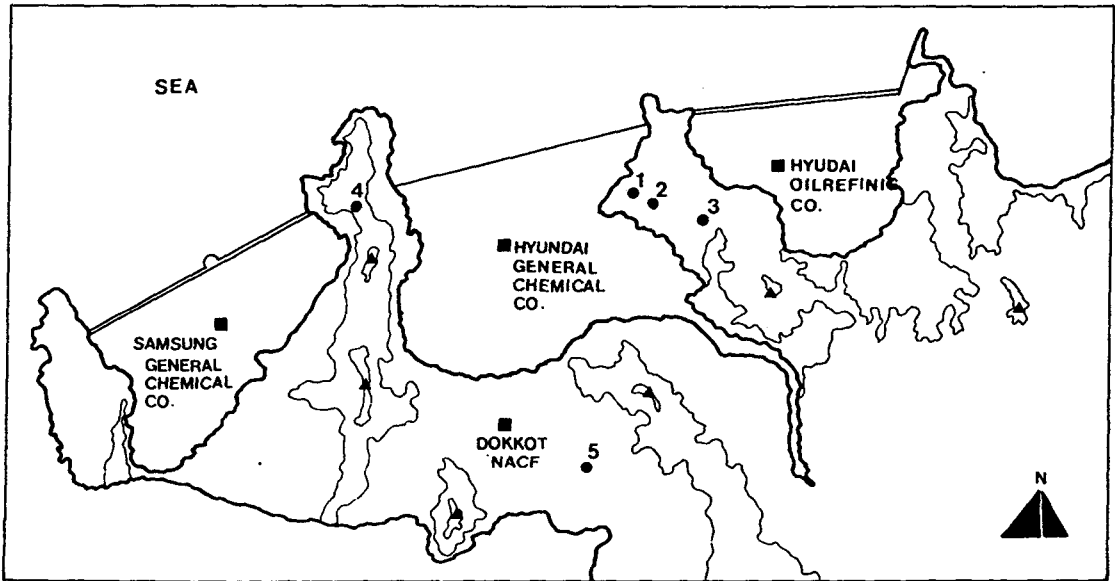


Figure 1. Location of survey sites in Daesan Industrial Complex

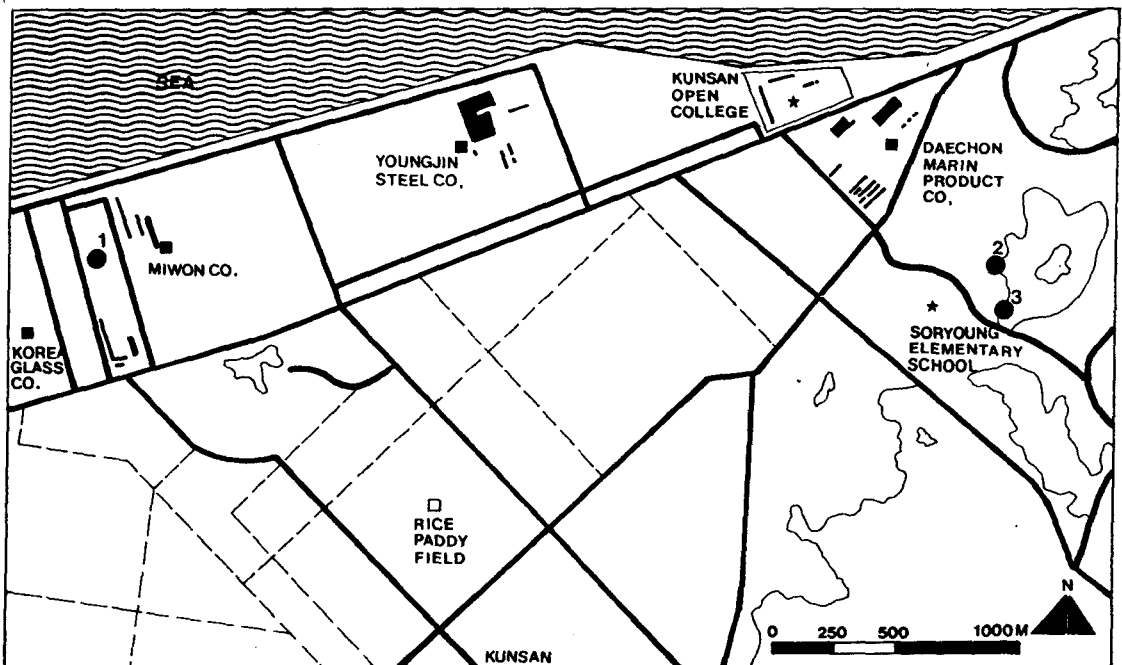


Figure 2. Location of survey sites in Kunsan Industrial Complex

화하는가를 파악하고자 조사지를 설정하였다. 조사지는 현대정유공장과 인접한 삼림지역에 2개소(조사지 1, 2), 간대벌에 1개소(조사지 3), 삼성석유화학 인접 삼림에 1개

소(조사지 4), 독곶농협 인접 삼림에 1개소(조사지 4)를 설치하였고(Figure 1), 1개조사지당 10×10m 방형구 5개씩의 고정조사구를 설치하였다. 본 조사는 1994년 6월

에 실시하였다.

(2) 군산공단

본 연구는 한국유리, 서울미원, 두산유리공장에 의해 둘러싸여 있는 삼림지역(조사지 1)과 소룡동 일대 삼림지역의 조사지(2, 3)에 대하여(Figure 2) 식물군집구조분석을 실시하였다. 각 조사지에는 10×10m 방형구 5개씩을 설정하였으며 계속적인 식물군집구조 동태를 파악하고자 고정조사구를 설치하였다. 본 조사는 1994년 6월에 실시하였다.

2. 환경요인조사

본 조사지에 대한 환경요인으로는 일반적 개황과 토양성질을 조사 분석하였다. 일반적인 개황은 조사구별로 해발고도, 방위, 경사도, 수목의 평균수고, 평균흉고직경 및 울폐도, 조사구에 출현하는 목본종수를 측정 조사하였다. 토양분석을 위해 각 조사구 별로 1kg정도의 시료를 채취, 실험실로 운반하여 토양산도, 수분함량, 유기물함량을 농업기술연구소(1988)의 방법으로 측정하였다.

3. 식물군집구조분석

식생조사는 조사구내에서 흉고직경(DBH) 2cm이상의 목본식물을 대상으로 층위별로 수종명, DBH를 측정하였으며(박, 1985), 층위는 교목층, 아교목층, 관목층으로 구

분하였다. 측정된 자료는 Curtis & McIntosh(1951), Pielou(1977)의 방법에 따라 상대우점치(importance value : I.V.)를 구하였고 Hurlbert의 P.I.E(Cox, 1976), Simpson(Krebs, 1985)과 Shannon(Pielou, 1975)의 종다양도를 구하였고, 아울러 최대종다양도, 균재도, 우점도를(Pielou, 1975) 구하였다. 또한 Whittaker(1956)의 수식을 이용하여 유사도지수를 계산하였다. 이상의 모든 분석은 서울시립대학교 환경생태연구실에서 개발한 PDAP(Plant Data Analysis Package)와 SPSS/C⁺를 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 조사지 개황

(1) 대산공단

Table 1은 각 조사지의 일반적 개황을 나타낸 것이다. 각 조사지는 해발 49~59m에 위치하였고 교목층수목은 수고 8~16m이었으며, 평균흉고직경은 10~40cm였고, 울폐도는 70~80%이었다. 아교목층수목은 수고 6~8m, 평균흉고직경 4~10cm, 울폐도 30~50%로서 각 조사지는 비슷한 수준이었다. 관목층은 조사지 1~2는 수고가 1m미만, 조사지 2~5는 1~2m이었으며, 울폐도는 30~60%이었고 조사지 1, 2, 5는 풀깎기작업으로 인해 관목층식생이 많이 제거된 상태이었다. 조사구당(100m²)의 출현종수는 조사지 1은 18종, 조사지 2는 13종, 조사

Table 1. General description of permanent survey site in Daesan Industrial Complex

Site Number	1	2	3	4	5
Number of plots	5	5	5	5	5
Altitude(m)	39	40	58	59	58
Aspect	N35W	S20W	N50W	S45W	S80W
Slope(°)	3	3	3	2	2
Height of tree layer(m)	10~14	12~16	8~12	8~15	10~15
Mean DBH of tree layer(cm)	15~35	15~35	10~30	10~40	10~35
Cover of tree layer(%)	80	80	70	70	75
Height of subtree layer(m)	6~8	6~8	6~8	6~8	6~8
Mean DBH of subtree layer(cm)	5~10	5~10	4~8	4~8	4~8
Cover of subtree layer(%)	30	30	50	40	30
Height of shrub layer(m)	<1	<1	1~2	1~2	1~2
Cover of shrub layer(%)	40	60	30	50	30
Number of woody species(per 100m ²)	6~11	4~8	5~9	5~8	5~11
Age of dominant species(year)	26~55	27~63	25~33	14~36	25~40
Mean soil pH	4.88	5.00	5.12	4.86	4.67
Mean soil moisture(%)	6.09	5.97	3.90	4.95	4.26
Mean soil organic matter(%)	2.64	2.50	2.45	2.96	2.71

지 3은 12종, 조사지 4는 13종, 조사지 5는 14종이었다. 각 조사지의 우점수종의 수령은 조사지 1이 26~55년생, 조사지 2가 27~63년생, 조사지 3이 25~33년생, 조사지 4가 14~36년생이었고 조사지 5는 25~40년생이 주를 이루었다. 토양환경조건은 군산, 온산공단 등 다른 공단보다 토양 산도가 낮은 pH 4.67~5.12이었고 토양수분 함량 3.90~6.09%, 유기물함량은 2.45~2.96%이었다.

(2) 군산공단

Table 2는 각 조사지의 일반적 개황을 나타낸 것이다. 조사지 1은 해발 53m로서 원래 섬이었으나 임해매립으로 인해 육지화된 곳으로 교목층수목의 수고는 13~17m, 평균흉고직경은 20~40cm에 이르는 대경목이 주를 이루었고 아교목층수목은 수고 5~10m, 평균흉고직경 10~15cm이었다. 조사지 2는 해발 63m에 위치하며 교목층수목은 수고 8~11m, 평균흉고직경은 5~15cm이었고, 아교목층수목은 수고 4~6m, 평균흉고직경 3~6cm이었다. 조사지 3은 해발 86m에 위치하며 교목층수목은 수고 8~11m, 평균흉고직경은 10~20cm이었고, 아교목층수목은 수고 8~11m, 평균흉고직경 10~20cm이었다. 각 조사지의 수관울폐도는 교목층의 경우 조사지 1이 60%, 조사지 2~3은 80%이었고 아교목층은 조사지 1~3이 모두 40%이었으며 관목층은 조사지 1이 20%, 조사지 2가 60%, 조사지 3은 50%이었다. 100㎡당의 출현종수는 조사지 1이 14종, 조사지 2가 23종, 조사지 3이 25종으로서 조사지 1이 조사지 2, 3에 비하여 출현종수가 적었다. 각 조사지의 토양 PH, 수분함량, 유기물함량은 대체로 비슷한 수

준이었는데 전조사지에서 토양 pH는 4.32~4.76로서 강산성의 토양이었다.

2. 식물군집구조

(1) 대산공단

① 상대우점치 및 유사도지수

Table 3은 각 조사지의 출현수종에 대한 수관층위별의 상대우점치(I.V.)를 산출한 것이다. 조사지 1은 교목층에서 소나무 1종만이 출현하였고, 아교목층은 소나무의 상대우점치가 75.96%로서 우점종이었으며 떡갈나무(I.V.: 16.58%)를 비롯한 참나무류와 팔배나무(I.V.: 0.86%), 굴피나무(I.V.: 0.86%)가 출현하였다. 관목층은 진달래의 상대우점치가 59.39%로서 우점종이었고 떡갈나무(I.V.: 22.61%)와 굴참나무(I.V.: 7.43%)의 우점치가 높았다.

조사지 2의 교목층 및 아교목층에서는 소나무만이 출현하였고 관목층은 진달래(I.V.: 63.39%)가 우점종이었으며 이외에 떡갈나무(I.V.: 25.30%)의 우점치가 높았고, 소나무가 관목층에서 상대우점치가 3.61%를 나타내어 소나무의 차대형성이 이루어지고 있는 군집이었다.

조사지 3에서 교목층은 곰솔의 상대우점치가 86.85%로서 우점종이었다. 그리고 소나무(I.V.: 12.1%)의 우점치도 높았으며 떡갈나무(I.V.: 0.99%)도 일부 출현하였다. 아교목층은 진달래의 상대우점치가 54.81%로서 우점종이었고 관목층에서는 곰솔의 상대우점치가 11.32%로서 치수 및 유묘의 출현개체수가 많았다. 또한 떡갈나무

Table 2. General description of permant survey site in Kunsan Industrial Complex

Site Number	1	2	3
Number of plot	5	5	5
Altitude(m)	53	63	86
Aspect	N50W	S75W	S15W
Slope(°)	1~2	1~2	5
Height of tree layer(m)	13~17	8~11	8~11
Mean DBH of tree layer(cm)	20~40	5~15	10~20
Cover of tree layer(%)	60	90	80
Height of subtree layer(m)	5~10	4~6	4~6
Mean DBH of subtree layer(cm)	10~15	3~6	3~6
Cover of subtree layer(%)	40	40	40
Height of shrub layer(m)	1~2	1~2	1~2
Cover of shrub layer(%)	20	60	50
Number of woody species(per 100㎡)	7~11	11~16	10~20
Soil pH	4.54	4.43	4.54
Soil moisture(%)	6.82	4.80	4.34
Soil organic matter(%)	3.20	2.90	2.56

(I.V.: 21.93%)와 졸참나무(I.V.: 7.58%)의 상대우점치도 높은 편이었다.

조사지 4의 교목층은 소나무와 곰솔의 상대우점치가 각각 57.97, 39.25%로서 우점종이었고 졸참나무(I.V.: 2.79%)도 출현하였다. 아교목층은 다른 조사구들과 달리 떡갈나무의 상대우점치가 40.99%로서 우점종이었고 그밖에 소나무(I.V.: 33.67%), 곰솔(I.V.: 18.52%)의 상대우점치도 높았다. 관목층에서도 떡갈나무(I.V.: 29.42%)의 상대우점치가 가장 높았고, 진달래(I.V.: 21.47%), 졸참나무(I.V.: 15.06%), 갈참나무(I.V.: 13.24%)도 주요수종이었다.

조사지 5의 교목층은 곰솔의 상대우점치가 80.43%로서 우점종이었고, 소나무의 상대우점치가 18.61%로서 부

수종이었으며 리기다소나무도 일부 출현하였다. 아교목층은 소나무(I.V.: 56.62%)가 우점종이었으며 그리고 곰솔의 상대우점치(I.V.: 27.28%)도 높았고 참나무류 중에는 갈참나무(I.V.: 7.97%)의 우점치가 높았다. 관목층은 조사지 1~3과 같이 진달래(I.V.: 61.19%)가 우점종이었고 떡갈나무(I.V.: 28.88%)의 상대우점치도 높게 나타났다.

Table 4는 층위별로 각수종을 대상으로 조사지간의 유사도지수를 구한 것이다. 유사도지수는 조사구간의 종구성을 알기 위한 방법으로 조사구간에 값이 20%미만이면 서로 이질적인 집단이고, 80%이상이면 서로 동질적인 집단으로 판단하게 된다(Cox, 1972). 조사지 1과 3, 2와 3에서만 각각 26.1, 22.9%의 낮은 유사도를 보였고 나머지

Table 3. Importance values of all woody plant species by the stratum of survey site in Daesan Industrial Complex

Site Number	1				2			
	C	U	S	M	C	U	S	M
<i>Pinus densiflora</i>	100.00	75.95	.	75.32	100.00	100.00	3.61	83.94
<i>Platycarpa strobilacea</i>	.	0.86	1.70	0.57	.	.	.	.
<i>Quercus acutissima</i>	.	.	0.38	0.06	.	.	0.40	0.07
<i>Q. dentata</i>	.	16.58	22.61	9.30	.	.	25.30	4.22
<i>Q. aliena</i>	.	1.31	.	0.44	.	.	.	.
<i>Q. mongolica</i>	.	3.56	0.50	1.27	.	.	1.41	0.24
<i>Q. serrata</i>	.	0.88	7.43	1.53	.	.	0.36	0.06
<i>Cocculus trilobus</i>	.	.	0.10	0.02	.	.	1.19	0.20
<i>Sorbus alnifolia</i>	.	0.86	0.14	0.31	.	.	.	.
<i>Prunus sargentii</i>	.	.	2.26	0.38	.	.	0.26	0.04
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	.	.	1.94	0.32	.	.	0.76	0.13
<i>Robinia pseudoacacia</i>	.	.	0.86	0.14	.	.	.	.
<i>Rhus trichocarpa</i>	0.96	0.16
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	.	.	59.39	9.90	.	.	63.39	10.57
<i>Rh. yedoense</i> var. <i>poukhanense</i>	.	.	0.39	0.07	.	.	.	.
<i>Rh. schlippenbachii</i>	.	.	1.31	0.22	.	.	.	.
<i>Diospyrus lotus</i>	0.51	0.09
<i>Symplocos chinensis</i> for <i>pilosa</i>	.	.	0.29	0.05	.	.	.	.
<i>Forsythia koreana</i>	0.44	0.07
<i>Smilax china</i>	.	.	0.28	0.05	.	.	1.17	0.20
<i>S. sieboldii</i>	.	.	0.42	0.07	.	.	.	.

* C : Canopy Importance Value, U : Understory Importance Value, S : Shrub Importance Value, M : Mean Importance Value

(Table 3. Continued)

Site Number	3				4			
	C	U	S	M	C	U	S	M
<i>Pinus thunbergiana</i>	86.85	84.81	11.32	73.58	39.25	18.52	0.24	25.84
<i>P. densiflora</i>	12.16	8.87	.	8.04	57.97	33.67	.	40.21
<i>Juniperus rigida</i>	.	.	1.00	0.17	.	.	.	.
<i>Platycarpa strobilacea</i>	.	.	1.65	0.28	.	.	.	.
<i>Quercus dentata</i>	0.99	3.86	21.93	5.44	.	40.99	29.42	18.57
<i>Q. mongolica</i>	.	0.98	.	0.33	.	.	13.24	2.21
<i>Q. serrata</i>	.	0.67	7.58	1.49	2.79	1.73	15.06	4.48
<i>Sorbus alnifolia</i>	.	0.83	0.34	0.33	.	.	.	.
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	.	.	0.14	0.02	.	.	3.78	0.63
<i>Pueraria thunbergiana</i>	3.21	4.79	1.87
<i>Robinia pseudoacacia</i>	1.89	5.16	1.49
<i>Amorpha fruticosa</i>	.	.	0.32	0.05	.	.	2.39	0.40
<i>Rhus japonica</i>	1.32	0.22
<i>Rh. mucronulatum</i>	.	.	54.81	9.14	.	.	21.47	3.58
<i>Smilax china</i>	.	.	0.91	0.15	.	.	0.26	0.04
<i>S. sieboldii</i>	2.87	0.48

(Table 3. Continued)

Site Number	5			
	C	U	S	M
<i>Pinus rigida</i>	0.97	1.74	.	1.07
<i>P. thunbergiana</i>	18.61	27.28	.	18.40
<i>P. densiflora</i>	80.43	56.62	0.67	59.20
<i>Alnus hirsuta</i>	.	4.64	0.50	1.63
<i>Quercus acutissima</i>	.	1.75	1.07	0.76
<i>Q. variabilis</i>	.	7.97	0.35	2.72
<i>Q. dentata</i>	.	.	28.88	4.81
<i>Prunus sargentii</i>	.	.	1.20	0.04
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	.	.	5.47	0.91
<i>Pueraria thunbergiana</i>	.	.	0.63	0.11
<i>Robinia pseudoacacia</i>	.	.	0.11	0.02
<i>Elaeagnus umbellata</i>	.	.	0.11	0.02
<i>Rh. mucronulatum</i>	.	.	61.19	10.20
<i>Smilax china</i>	.	.	0.83	0.14

조사지간에는 높은 유사도를 나타내었다. 또한 관목층만을 대상으로 하여 구한 조사지간의 유사도지수는(Table 5) 조사지 4와 다른 조사지들간에서 49.56~55.49%로서 60%이하의 유사도이었지만 나머지 조사지들간에는 높은 유사성을 보였다. 삼림의 피해를 받고 있는 우리나라 공단 지역에서는 조사지간에 삼림피해정도가 다를 때 관목층의 유사도지수가 낮게 나타나는데(이 등, 1993), 본 대산공단지역의 조사지들 간에는 관목층의 유사도지수 차이가 뚜렷하지 않아 삼림피해의 정도차이는 파악할 수 없다고 판단되었다.

② 종다양도, 출현개체수 및 흉고단면적

Table 6은 각 조사지별 종다양도(H')를 계산한 것이다. 조사지 4를 제외하고는 H'는 0.4859~0.5170으로 비슷한 수준이었고 Simpson's D., P.I.E.도 같은 경향이었는데 조사지 4는 H'가 0.9202로서 다른 조사지 보다 월등히 높았다. 그러나, 본 조사결과 나타난 종다양도 값은 같은 면적의 울산공단 경피해지 소나무나 곰솔삼림의 0.8417(김, 1992)에 비하여 매우 낮은 값이었는데, 본 조사지에서의 풀깎기작업으로 인한 종구성의 교란 때문으로 판단된다. 최대종다양도는 조사지 1이 1.2553으로서

가장 높았고 다른 조사지들은 비슷한 수준이었다.

Table 7은 각 조사지별의 수관층위별 출현개체수와 흉

Table 4. Similarity index between survey site in Daesan Industrial Complex area

Site Number	1	2	3	4
2	50.04			
3	26.10	22.87		
4	56.46	48.48	45.83	
5	74.38	73.98	41.55	67.80

Table 5. Similarity index between survey site including shrub layer in Daesan Industrial Complex

Site Number	1	2	3	4
2	84.64			
3	86.38	78.15		
4	55.49	49.56	51.94	
5	84.80	89.24	77.71	55.13

Table 6. Various diversity indices of survey site in Daesan Industrial Complex

Site No.	H'	Simpson's D.	P.I.E.	J'	D	H' max
1	0.5035	2.0229	0.5056	0.4011	0.5689	1.2553
2	0.5170	2.2525	0.5561	0.4510	0.5190	1.1461
3	0.4859	2.1760	0.5404	0.4503	0.5497	1.0792
4	0.9202	5.9956	0.8332	0.8260	0.1740	1.1139
5	0.5155	2.2316	0.5520	0.4383	0.5617	1.1761

* P.I.E. = the Probability of Interspecific Encounter

* Shannon's diversity Index uses logarithms to base 10

Table 7. Individual number and basal area and coverage of survey site in Daesan Industrial Complex

Site No.	Number of Individuals				Basal Area(m ² /500m ²)		Coverage(m ² /500m ²)
	Canopy	Understory	Shrub	Total	Canopy	Understory	Shrub
1	75	65	2,712	2,852	1.4624	0.1700	531.88
2	63	88	2,052	2,203	1.3542	0.1635	138.77
3	77	125	2,088	2,290	0.8004	0.1880	201.13
4	49	33	892	974	1.2821	0.1771	253.58
5	90	39	2,472	2,601	1.8252	0.1000	268.91

고단면적 그리고 수관투영면적을 계산한 것이다. 교목층의 출현개체수는 49~90주이었고 아교목층은 33~125주, 관목층은 892~2,712주이였으며, 관목층에서의 개체수 차이가 심하였다. 흉고단면적은 교목층은 0.8004~1.8252m²/500m², 아교목층은 0.1000~0.1880m²/500m²이었고 관목층의 수관투영면적은 138.77~531.88cm²/500m²이었다.

우리나라 공단지역에서의 삼림피해유형은 피해를 받기 시작한 후 시간에 따라 교목층을 구성하는 우점수종의 도태가 뚜렷이 나타나는 것이 일반적이다. 따라서, 향후 대산공단지역 삼림의 피해파악의 기초자료로 이용하기 위하여 본 조사대상지에 고정구를 설치하고 1994년 6월 현재 우점종인 곰솔과 교목층 및 아교목층의 출현개체수와 흉고직경급별 빈도분포를 나타낸 것은 각각 Table 8, 9이다.

③ 우점수종의 생물분서

각 조사지의 우점수종에 대하여 수고 1.2m높이에서 추출된 목편을 대상으로 1980년대 이후 5년마다의 평균생장율을 구한 것은 Figure 3이다. 분석 시료목수는 조사지

1은 소나무 6개체, 조사지 2는 소나무 7개체, 조사지 3은 곰솔 5개체, 조사지 4는 소나무 5개체와 곰솔 1개체, 조사지 5는 소나무 5개체와 곰솔 1개체이었다..

조사지 4의 소나무는 1980년 이후 5년마다 생장율이 계속 감소하는 것을 제외하고 다른 조사지에서는 1984~1989년에는 생장율이 증가하였다가 1989년 이후는 감소하는 경향을 보이고 있었다. 이것은 대산공단이 1990년 이후 본격적으로 공장이 가동된 것을 고려해 볼 때 공장가동이 주변 삼림 식생의 생장율에 영향을 미쳤다고 생각되나 공장가동 기간이 짧으므로 지속적인 연구관찰이 필요로 할 것이다.

(2) 군산공단

① 상대우점치 및 유사도지수

Table 10은 각 조사지에서 출현하는 모든 목본식물을 대상으로 수관층위별 상대우점치를 나타낸 것이다. 조사지 1은 교목층에서 곰솔이 우점종(I.V. : 96.24%)이었고 소나무가 일부 출현하였다. 아교목층도 곰솔(I.V. : 68.53%)이 우점종이었고, 팽나무(I.V. : 9.88%), 소테나무(I.V.

Table 8. Number of individuals of dominance species of survey site in Daesan Industrial Complex

	1		2		3		4		5	
	C	U	C	U	C	U	C	U	C	U
<i>Pinus thunbergiana</i>	0	0	0	0	67	108	16	6	15	9
<i>P. densiflora</i>	75	51	63	88	9	10	31	9	74	23
Sub-Total	75	51	63	88	76	118	47	15	89	32
Total	126		154		194		62		121	

* C:Canopy, U:Understory

Table 9. DBH class distribution of dominante species of survey site Daesan Industrial Complex.

Site	Species	Seedling and sapling	DBH class(cm)							
			D≤2	2<D ≤7	7<D ≤12	12<D ≤17	17<D ≤22	22<D ≤27	27<D ≤32	32<D ≤37
1	<i>Pinus densiflora</i>	0	5	37	36	28	15	3	1	1
2	<i>P. densiflora</i>	96	33	46	26	27	11	6	1	1
3	<i>P. thunbergiana</i>	148	33	70	53	15	3	1	0	0
	<i>P. densiflora</i>	0	1	8	6	4	0	0	0	0
4	<i>P. thunbergiana</i>	4	2	1	2	7	4	3	1	2
	<i>P. densiflora</i>	0	0	0	15	16	6	2	1	0
5	<i>P. thunbergiana</i>	0	0	5	6	8	3	1	1	0
	<i>P. densiflora</i>	24	4	14	29	27	20	2	1	0

Table 10. Importance values of all woody plant species by the stratum of survey site in Kunsan Industrial Complex

Site Number Stratum	1				2				3			
	C	U	S	M	C	U	S	M	C	U	S	M
<i>Pinus thunbergiana</i>	96.24	68.53	.	70.96	52.58	29.79	0.17	36.25	5.84	.	.	2.92
<i>P. densiflora</i>	3.76	3.34	.	2.99	46.33	44.82	.	38.11	89.39	72.92	.	69.00
<i>Juniperus rigida</i>	0.55	.	0.18	.	.	0.89	0.15
<i>Platycarya strobilacea</i>	0.39	0.07
<i>Castanea crenata</i>	6.27	5.50	3.01	.	4.71	.	1.57
<i>Quercus acutissima</i>	1.32	3.72	1.06	1.37	4.71	7.25	3.46
<i>Q. variabilis</i>	1.09	1.45	0.98	1.19	3.40	.	.	1.70
<i>Q. aliena</i>	1.83	0.31	.	.	0.38	0.06
<i>Q. serrata</i>	0.79	6.87	1.41	.	2.51	16.28	3.55
<i>Celtis sinensis</i>	.	9.88	7.95	4.62	.	.	0.89	0.15	.	.	.	.
<i>Morus bombysis</i>	.	1.95	0.34	0.71	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cocculus trilobus</i>	.	.	47.23	7.87	.	.	0.34	0.06	.	.	0.97	0.16
<i>Spiraea prunifolia</i> for. <i>simpliciflora</i>	.	.	0.60	0.10	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sorbus alnifolia</i>	2.87	3.86	1.60	.	.	.	.
<i>Rubus crataegifolius</i>	0.52	0.09	.	.	.	.
<i>R. parvifolius</i>	.	.	10.11	1.69	.	.	.	.	.	.	1.78	0.30
<i>Rosa multiflora</i>	0.30	0.05
<i>Prunus sargentii</i>	0.85	0.14	.	2.35	1.88	1.10
<i>Albizzia julibrissin</i>	0.38	0.06
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	0.36	0.06
<i>L. cyrtobotrya</i>	3.35	0.56	.	.	6.97	1.16
<i>Pueraria thunbergiana</i>	.	.	0.59	0.10	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Macckia amurensis</i>	0.32	0.05	.	.	.	.
<i>Indigofera kirilowi</i>	5.04	0.84	.	.	0.63	0.11
<i>Robinia pseudoacacia</i>	.	.	0.26	0.04	.	3.61	15.29	3.75	.	.	0.20	0.03
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	0.12	0.02
<i>Picrasma quassioides</i>	.	5.15	1.08	1.90	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Celastrus orbiculatus</i>	.	3.42	11.15	3.00	.	.	.	.	.	.	0.45	0.08
<i>Ampelopsis brevipedunculata</i> var. <i>heterophylla</i>	.	.	18.01	3.00	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	0.17	0.03	.	.	.	.
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	24.96	4.16	.	.	15.19	2.53
<i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>poukhanense</i>	5.25	0.88	.	.	11.73	1.96
<i>Symplocos chinensis</i> var. <i>pubescens</i>	.	3.29	1.31	1.32	.	.	2.49	0.42	.	9.41	15.18	5.66
<i>Styrax japonica</i>	3.68	7.33	2.45	.	3.41	1.41	1.37
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	.	4.45	0.29	1.53	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Smilax sieboldii</i>	17.26	2.88
<i>Smilax china</i>	6.96	1.16	.	.	.	.

C : Canopy Importance Value, U : Understory Importance Value,
S : Shrub Importance Value, M : Mean Importance Value

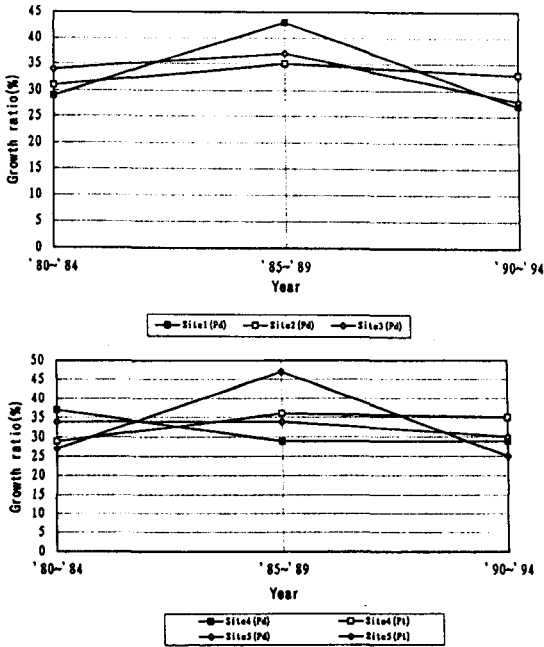


Figure 3. Mean growth ratio of tree ring of dominant species during five years since 1980 in Daesan Industrial Complex (Pd: *Pinus densiflora*, Pt: *Pinus thunbergiana*)

: 5.15%)도 우점치가 높았다. 관목층은 맹대이덩굴(I.V. : 47.23%)이 우점종이었으며 개머루(I.V. : 18.01%), 노박덩굴(I.V. : 11.15%) 등 덩굴성 식물의 상대우점치도 높았다. 조사지 2와 3은 조사지 1과 종구성의 차이가 심하여, 조사지 2는 교목층에서는 곰솔과 소나무의 상대우점치가 각각 52.58, 46.33%로서 우점종이었고 굴참나무도 출현하였다. 아교목층도 역시 소나무와 곰솔의 상대우점치가 각각 44.82, 29.79%로서 우점종이었고 밤나무, 상수리나무, 갈참나무, 졸참나무 등 참나무류가 출현하고 있는 것이 조사지 1과 큰 차이가 있었다. 관목층의 경우 진달래의 상대우점치가 24.96%로 가장 컸고, 아까시나무(I.V. : 15.29%), 때죽나무(I.V. : 7.33%), 청가시덩굴(I.V. : 6.96%), 졸참나무(I.V. : 6.87%) 등이 주요 우점종이었으며 조사지 1과 다르게 덩굴성 식물의 상대우점치가 크지 않았다. 조사지 3도 조사지 2와 유사한 경향을 보였는데, 교목층은 소나무(I.V. : 89.39%)가 우점종이었고, 상수리나무와 굴참나무가 일부 출현하였으며 아교목층은 소나무의 상대우점치가 72.92%로서 우점종이었고 검노린재(I.V. : 9.41%), 밤나무(I.V. : 4.71%), 상수리나무(I.V. : 4.71%), 졸참나무(I.V. : 2.51%), 산벚

나무(I.V. : 2.35%), 때죽나무(I.V. : 3.41%) 등이 출현하였다. 관목층은 청미래덩굴(I.V. : 17.26%)의 상대우점치가 가장 컸으며 청미래덩굴과 함께 졸참나무(I.V. : 16.28%), 진달래(I.V. : 15.19%), 검노린재(I.V. : 15.18%), 산철쭉(I.V. : 11.73%) 등이 비슷한 세력을 차지하고 있었다. 이상을 볼 때 본 조사대상지는 대기오염의 영향으로 삼림파괴가 심한 울산공단에서의 경우와 유사한 경향을 띠고 있음을 볼 수 있다. 군산공단의 조사지 1은 울산공단에서의 심피해지에서 볼 수 있는 식생구조를, 조사지 2, 3은 울산공단의 피해가 없는 삼림군집구조와 유사하였다(이 등, 1990; 이 등, 1993). 즉, 조사지 1은 관목층에서 덩굴성 식물의 상대우점치가 높고 교목층 및 아교목층의 우점수종인 곰솔의 고사목도 출현이 두드러지게 나타나고 있는 상태이다. 반면, 조사지 2와 3은 아교목층과 관목층에서 참나무류와 진달래, 산철쭉 등의 출현율이 높은 중부지방의 소나무림에서 참나무류의 천이가 진행되는 식생구조와 비슷한 경향이였다.

Table 11은 교목 상·하층, 관목층의 출현수종을 포함하여 각 조사지간의 유사도지수를 구한 것으로 교목상층의 우점종의 차이에 따라 유사도지수에 영향을 미쳐, 조사지

Table 11. Similarity index between survey site in Kunsan Industrial Complex

Site Number	1	2
2	40.99	
3	7.98	55.78

Table 12. Similarity index between survey site including understory and shrub layer in Kunsan Industrial Complex

Site Number	1	2
2	25.64	
3	6.35	57.00

Table 13. Dissimilarity index between survey site of shrub layer in Kunsan Industrial Complex

Site Number	1	2
2	96.13	
3	94.78	49.70

1(곰솔 우점종)과 2(곰솔과 소나무 우점종), 소나무가 우점종인 2와 3은 비교적 높은 유사도를 나타낸 반면 조사지 1(곰솔우점종)과 3(소나무 우점종)은 유사도가 낮았다.

Table 12는 아교목층과 관목층 출현수종에 대한 유사도지수를 나타낸 것으로서 조사지 1과 조사지 2, 3과의 유사도가 매우 낮은 상태에서 아교목층, 관목층에서의 종구성의 이질성을 알 수 있었다. 관목층만을 대상으로 상이도 지수를 나타낸 Table 13에서 조사지간의 종구성의 이질성을 명확히 나타내고 있는데 조사지 1은 조사지 2와 96.13%, 조사지 3과는 94.78%의 상이도를 보이고 있으나 조사지 2와 3은 49.70%의 상이도로서 비교적 종구성이 동질적임을 알 수 있다.

②종다양도, 출현개체수 및 흉고단면적

Table 14는 각 조사지의 종다양도지수를 구한 것이다. H'은 500㎡당 조사지 1이 0.8115, 조사지 2는 1.0983, 조사지 3은 1.0919로서 조사지 2가 가장 높은 값을 나타내었다. 이것은 오염원으로부터 멀어질수록 대기오염물질에 의한 식물군집구조에 미치는 영향이 감소하며 종다양도는 차츰 증가하는 것으로 보고되고 있는 울산공단 지역의 경우(김, 1992)와 유사한 경향을 보이고 있다. Simpson의 다양도와 P.I.E.는 조사지 1에서 조사지 3으로 갈수록 증가하였으며, 최대종다양도도 같은 경향이였다.

Table 15는 각 조사지의 수관층위별 출현개체수와 흉

고단면적을 계산한 것이다. 출현개체수는 교목층과 관목층에서 조사지별로 큰 차이를 보였는데 교목층은 조사지 1(62개체) → 조사지 3(117개체) → 조사지 2(141개체)순이었고, 아교목층은 조사지 3(25개체) → 조사지 1(38개체) → 조사지 2(95개체)순이었으며, 관목층은 조사지 1에서 896개체, 조사지 3에서 1,780개체, 조사지 2에서 2,188개체로서 조사지 1은 조사지 2와 3에 비하여 출현개체수가 매우 적었다. 이것은 조사지 1이 공단으로 둘러싸인 지역에 위치하므로 교목층 수목이 대기오염으로 피해를 받아 개체수가 감소한 것으로 보인다. 흉고단면적은 조사지 2와 3의 경우 개체수의 차이에 따라 흉고단면적도 동일하게 차이를 보였으나 출현개체수가 가장 적었던 조사지 1 교목층의 흉고단면적이 1.8864㎡/500㎡로서 월등히 높은 값을 보였다.

이것은 Table 16의 조사지별 우점수종의 흉고직경급별 분포에서 알 수 있듯이 조사지 1에서 흉고직경 17cm 이상의 대경목의 출현이 많았기 때문이었다.

그러나, 조사지 1은 교목층 및 아교목층에서 고사목이 상당수 출현하고 있어 다른 조사지의 출현개체수(Table 17)보다 매우 적게 나타났다. 울산공단에서는 대기오염에 의한 삼림피해가 특히, 교목층의 우점수종의 고사로 나타나 해가 갈수록 개체수 감소현상이 두드러졌던 것을 감안해 볼 때(김, 1992) 군산공단에서의 교목층 우점수종의 개체수 변화에 대한 지속적인 관찰이 요구된다.

Table 14. Values of various diversity indices of survey site(per 500㎡) in Kunsan Industrial Complex

Site No.	H'	Simpson's.D.	P.I.E.	J'	D	H'max
1	0.8115	4.3104	0.7680	0.6595	0.3405	1.2304
2	1.0983	7.6871	0.8699	0.7957	0.2043	1.3802
3	1.0919	9.9963	0.9000	0.7717	0.2283	1.4150

* P.I.E.=the Probability of Interspecific Encounter

* Shannon's diversity index uses logarithms to base 10

Table 15. Number of individuals, no. of species, basal area and coverage of survey site in Kusan Industrial Complex

Site No.	Number of Individuals			Basal Area (㎡/500㎡)		Coverage (㎡/500㎡)	Number of Species (per 500㎡)
	Canopy	Understory	Shrub	Canopy	Understory	Shrub	
1	62	38	896	1.8864	0.1245	130.82	17
2	141	95	2,188	1.3615	0.1790	430.11	25
3	117	25	1,780	1.0798	0.0446	345.60	26

Table 16. DBH class distribution of dominant species of survey site(per 500m²) in Kusan Industrial Complex

Site No.	Species Name	Seedling and Sapling	DBH class(cm)							
			D≤2	2<D≤7	7<D≤12	12<D≤17	17<D≤22	22<D≤27	27<D≤32	32<D
1	<i>Pinus thunbergiana</i>	.	1	10	11	23	13	16	3	1
	<i>P. densiflora</i>	.	.	1	4	.	.	.	.	.
2	<i>P. densiflora</i>	.	.	49	50	11	.	.	.	.
	<i>P. thunbergiana</i>	4	1	28	42	19	4	.	.	.
3	<i>P. densiflora</i>	.	.	41	53	23	3	.	.	.
	<i>P. thrnbergiana</i>	.	.	.	5	.	1	.	.	.

Table 17. Individual number of dominant species of canopy and understory layer of survey site in Kusan Industrial Complex

Site No.	1		2		3	
	Canopy	Understory	Canopy	Understory	Canopy	Understory
<i>Pinus thunbergiana</i>	58	20	68	26	6	0
<i>P. densiflora</i>	4	1	72	38	107	14
Sub-Total	62	21	140	64	113	14
Total	83		204		127	

③우점수종의 성장률 분석

Figure 4는 각 조사지별 우점수종인 곰솔과 소나무를 대상으로 해서 수목연륜의 5년간(1980년 이후)의 평균성장률을 계산한 것으로서 목편은 수고 1.2m높이의 수간에서 채취하였다. 조사지 1에서는 곰솔 5개체, 조사지 2에서

는 소나무 5개체, 조사지 3에서는 소나무 6개체에서 목편을 채취·분석 하였다.

조사지 1에서 연륜의 평균성장율은 1980~1984년에 49.6%, 1985~1989년 30.0%, 1990~1994년은 20.4%로서 매시기별 약 10.0%정도의 성장감소를 보이고 있었으나, 조사지 2는 1980~1984년 32.9%, 1985~1989년 32.3%로서 약간의 성장감소를 보였으나 1990~1994년에는 34.9%로서 성장률이 오히려 증가하였다. 조사지 3은 1980~1989년 36.4%, 1985~1989년 33.1%, 1990~1994년 30.5%로서 매시기별 성장률은 감소하고 있으나 조사지 1에서와 같이 큰 폭의 성장률 감소는 아니어서 조사지 1만이 대기오염에 의한 영향을 심하게 받고 있었다.

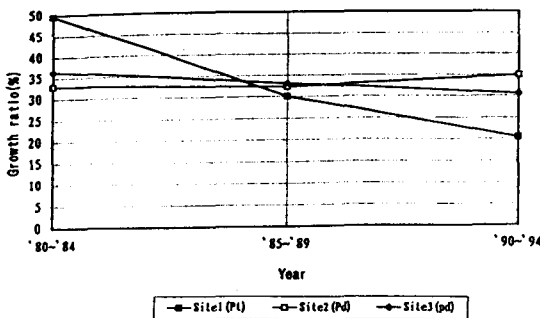


Figure 4. Mean growth ratio of tree ring of dominant species during the five years since 1980 in Kusan Industrial Complex (Pt: *Pinus thunbergiana*, Pd: *Pinus densiflora*)

결론

대산공단지역 삼림 식생구조는 상대우점치 분석에 의하면 울산 및 군산공단의 무피해지 삼림과 유사한 식생구조

를 보이고 있는 것으로 나타나, 아직까지는 공단에서 배출된 오염물질에 의한 삼림피해는 심각하지 않은 것으로 판단된다.

군산공단은 상대우점치분석, 종다양도, 개체수 및 흉고 단면적, 수목의 성장량 분석을 토대로 볼 때 오염원의 영향권에 따라 삼림식생구조가 차이가 있음을 알 수 있었는데, 조사지 1과 같이 주요오염원에 인접한 삼림식생구조는 울산공단의 심피해지에서와 유사한 경향을 보이고 있었다. 또한 조사지 2, 3과 같이 주요오염원과 비교적 멀리 떨어져 있는 곳에서는 아직까지 삼림쇠퇴가 일어나지 않는 것으로 파악되었다. 향후 지속적인 삼림식생구조의 동태파악과 아울러 피해삼림의 복원방향성 제시가 요구된다.

인용문헌

- 김선희 (1992) 울산공단지역의 식물군집구조분석과 환경림조성기법에 관한 연구. 서울시립대학교 대학원 석사학위 논문, 74쪽.
- 김준선 (1992) 대기오염물질이 여천공단주변 해송의 양묘동태와 군락구조에 미치는 영향. 서울대학교대학원 박사학위 논문, 55쪽.
- 김태욱 (1976) 대기오염이 조경수목의 생육에 미치는 영향. 한국임학회지 29:20-53.
- 김태욱, 이경재, 김준선 (1985) 여천공업단지의 대기오염이 곰솔에 미치는 영향. 대기보전학회지 1(1): 25-32.
- 농업기술연구소 (1988) 토양화학분석법. - 토양식물체 토양미생물 -. 농촌진흥청. 84쪽.
- 대산공단공해방지협의회 (1994) 대산 3사 주변 환경영향조사연구. 대산공단공해방지협의회. 462쪽.
- 박인협 (1985) 백운산지역 천연림생태계의 삼림구조 및 물질생산에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 48쪽.
- 이경재, 김갑태, 이용범 (1993) 산성우 및 대기오염물질이 삼림에 미치는 피해의 조기 판단에 관한 연구. 한국과학기술재단. 205쪽.
- 이경재, 배정오, 고강석, 우중서 (1990) 울산공단지역에서의 대기오염이 삼림에 미치는 영향. 한국대기보전학회지 6(1):103-110.
- 임경빈, 김태욱, 권기원, 이경재 (1979a) 환경오염이 도시수목의 생육에 미치는 영향(I). 서울대 연습림 보고 15:80-102.
- 임경빈, 김태욱, 권기원, 이경재 (1979b) 환경오염이 도시수목의 생육에 미치는 영향(II). 서울대 연습림 보고 15:103-124.
- Cox, G. W. (1976) Laboratory manual of general ecology. Wm. C. Brown Co. 232pp.
- Curtis, J. T. and R. R. McIntosh. (1951) An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. Ecology 32:476-496.
- Krebs, C. J. (1985) Ecology(3rd Edition). Harper International Edition. 800pp.
- Pielou, E. C. (1975) Mathematical ecology. John Wiley & Sons, New York. 385pp.
- Smith, W. H. (1980) Air pollution a 20th century allogenic influence on forest ecosystems. In proceeding of symposium on Effects of air pollution on Mediterranean and Temperate forest ecosystems USDA Forest service. NO. PSW-43. pp. 79-87.
- Whittaker, R. H. (1956) Vegetation of the Great Smoky Mountains. Ecol. Monogra, 26:1-8