

GIS를 이용한 산림생태계의 산성우에 대한 민감도 분석

장 관순* · 이 수욱*

The sensitivity analysis of forest ecosystem to effect of acid precipitation by geographic information system

Kwan-Soon Chang · Soo-Wook Lee

요 약

본 연구는 도시계획 과정에서 산림을 생태학적으로 건강하게 관리할 수 있는 기초자료를 제공하기 위하여 대전을 대상으로 GIS를 이용하여 산림생태계의 환경조절 능력과 산성우에 대한 민감성을 분석하였다. 이를 위하여 공단지역 1개소, 상업지역 4개소, 주택지역 4개소, 시외곽지역 5개소에서 강우를 조사, 측정하였고 Landsat TM 위성데이터를 이용한 변환식생지수를 구하여 산림 식생활력도를 분석하였다. 또한 1/50,000의 식생도와 토양도에서 영상변화를 통하여 식생의 분포를 파악하고, 토성, 토심, 경사도, 토양산도 및 모재를 근거로 해서 임지생산성을 분석하였다. 대전에서 가장 오염이 심한 지역은 공단지역으로 이 지역에 인접하고 있는 산림지역은 전체중 약 62.7%가 산성우에 가장 민감한 지역으로 나타났다. 대전에서 산성우에 대한 산림생태계의 민감성은 가장 민감한 지역이 6.6%, 다소 민감한 지역은 55.5%, 민감한 지역은 32.2%, 민감도가 낮은 지역은 5.1%로 대전 전체지역중 60% 이상이 산성우에 대한 민감성이 높은 것으로 나타났다. 높은 민감성을 보이고 있는 지역은 주로 북동향에서 남동향에 분포하고 있는 산림지역이었으며 이들 지역은 새로운 오염원이 등장할 경우 피해가 발생하리라 생각된다.

ABSTRACT: The purpose of this study was to give some ideas for the reasonable ecological management of Taejon city and its adjacent forests related to urban plans. For those, the environmental buffer capacity and the sensitivity of forest ecosystem to the effect of acid precipitation were analyzed using IDRISI system of GIS. Rain monitoring points to analyse the acid precipitation were selected 1 point in industrial area, 4 points in commercial area, 4 points in residential area, and 5 points in suburban. Transformed vegetation index(TVI) based on Landsat TM data was analyzed in forest land. Forest type was given, forest soil productivity was

* 충남대학교 농과대학 산림자원학과 (Department of forest resources, Chungnam National University, 220 Kung-Dong Yusung-ku, Taejon 305-764, Korea).

analyzed, which were based on soil texture, soil depth, slope, soil acidity, and parent rock through imagery conversion from vegetation and soil map, respectively. The region with the highest concentration of SO_4^{2-} , NO_3^- , and Cl^- in rain was industrial area. The region occupied 62.7% in forest land located near industrial area showed the highest sensitivity to acid precipitation in Taejon. In forest ecosystem, the rate of high sensitivity, moderate sensitivity, sensitivity, and low sensitivity were 6.6%, 55.6%, 12.2%, and 5.1%, respectively. Forest ecosystem with sensitivity to acid precipitation was located northeast and southeast in Taejon city center. It is considered that forest ecosystem in northeast and southeast will receive much more stress with the increase of acid precipitation precursors.

서론

국내 산성우의 영향은 곳에 따라 심각한 수준에 이르러 산림에서 피해가 가시적으로 관찰되고 있다. 산림지역에 유입되는 산성물질은 주로 국내 공단지역(Point source)과 대도시(Nonpoint source)와 같은 오염원을 중심으로 방출되는 오염물질로써 정부의 저유황이나 연료전환 등의 강력한 정책에도 불구하고 다양한 오염원 증가로 오염물질 배출량은 오히려 증가하고 있다. 그로 인하여 서울 및 인근 지역과 부산, 대전과 같은 대도시 뿐만이 아니고 울산, 여천공업단지에서 이미 pH 4.0 정도의 강산성우가 내리는 것은 드문 일이 아니며 강원도 오지의 산림지역에서도 산성우가 내리고 있음이 보고되었다(오 등, 1988). 이러한 지역의 피해는 오염원을 중심으로 더욱 멀리 확대되어 가면서 토양 산성화와 수목의 생장량이 위축되고 있다(이 등, 1988). 이와 더불어 국외의 오염물질이 장거리 이동하여 국내 산림지역에 유입되고 있다. 산성우의 영향은 대기의 이동과 함께 국경을 초월하여 광범위

하게 영향을 미치고 있는데 최근 중국은 급속한 공업화와 함께 저질 화석연료 사용으로 대기 중 CO_2 방출량의 증가 속도가 세계 1위에 이르고 있고 중국 화남지방의 중경과 귀양지방에서는 pH 4.0-4.2의 강산성우가 내리는 지역이 남한 면적보다 넓은 것으로 보고된 바 있다. 또한 SO_2 의 총배출량은 50-100Mton으로 이중 10-20% 이상이 편서풍으로 동진하여 한반도를 포함한 일본지역에 침전되는 것으로 평가되고 있으며 국내에서 중경과 귀양을 중심으로 하는 공업단지로부터 배출되는 오염물질들이 장거리 이동되어 pH 4.0 정도의 강산성우가 내리고 있음도 보고되었다(이와 장, 1987). 국내의 산림은 국내의 다양한 오염원 증가와 함께 중국 등에서 발생하는 오염물질이 장거리 이동되어 상당량이 국내로 유입되고 있어 산성우에 더 이상 안전지대가 아님이 확인되고 있다. 따라서 국내의 산성우의 영향이 더욱 지속, 심화될 경우 국내의 산림생태계는 그 충격을 완충, 중화시킬 능력이 매우 낮아 급성적 피해가 대 면적으로 나타날 위험이 상당히 높다. 앞으로 화석연료가 대체되기까지는 상당한 기간동안 대기오염과 산성

우에 의한 영향이 지속될 것으로 가정할 때 실증적으로 예상되는 산림고사(Waldsterben) 및 산림쇠퇴(Forest decline)에 대한 대책 마련이 무엇보다도 시급한 시점이다. 현재 국내에서는 대기오염과 산성우에 대한 피해조사, 지표식물, 실험실 실험에 의한 피해 형태분석, 피해반응 및 방어기능 등에 관한 연구가 보고 되었으나 피해에 적극적으로 대응하는 방안을 모색하는 연구는 아직 미약한 실정이다. 따라서 산림생태계 구성요소들을 분석하여 건강하게 유지 관리하고 산성우에 대한 완충능을 극대화시킬 수 있는 방안이 우선적으로 연구되어야 할 것이다. 완충능을 유지시키기 위해서는 산림을 생태학적으로 관리해야 할 필요가 절실히 요구되며 이를 위한 선결 과제는 대기 오염물질에 대한 산림생태계의 민감도(Sensitivity)를 파악하는 것이다. 대기오염물질에 대한 산림생태계의 민감도 평가는 생태계의 특성과 함께 광대한 산림생태계에 영향을 미치는 요소들을 상호 관련해서 종합적으로 이루어져야 하기 때문에 지리정보체계(Geographic information system)의 응용은 생태계 관리에 효과적으로 활용된다. 이러한 특성 때문에 산림계획, 환경감시, 환경 영향평가, 병충해 피해, 야생 조수관리 등 다양한 분야에서 GIS를 이용하고 있다(Butterfield et al, 1987; 안 등, 1988; 이, 1989; 박, 1992).

본 연구는 산림생태계의 산성우에 대한 자정능력과 민감도를 평가함으로써 산림을 생태학적으로 관리할 수 있는 기초자료를 제공하고자 수행되었다. 이를 위해서 대전지역을 대상으로 강우성분, 식생층과 토양층의 완충능, 임지생산성, 인공위성 데이터를 이용하여 식생활력도를 분석하고 그 결과를 GIS를 이용

하여 산성우에 대한 산림생태계의 민감도를 분석하였다.

강우 오염도 분석

대전의 강우 오염도를 측정하기 위해서 지역을 공단, 상업, 주택, 시외곽지역으로 구분하고 모두 14개 지점의 강우 채집장소를 선정한 후 1991년 12월부터 1993년 6월까지 매 강우시 마다 강우 표본을 수집, 분석하였다. 수집된 강우표본을 pH(pH/Ion meter DP-880: 환경오염 공해시험법)는 즉시 측정하고 음이온으로는 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- (Ion chromatography) 양이온으로는 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ (Atomic absorption spectrophotometer), NH_4^+ (Indolphenol method)을 분석하였다.

본 조사 기간동안 강우의 평균 pH는 5.29이었으며 강우 pH는 봄에서 겨울철로 감에 따라 H ion이 증가하여 겨울철에 내리는 강우중 약 80%가 산성우로 조사되었다. 강우중 수용성 이온들의 월별 변화는 Fig 1과 2에서 보는 것과 같이 강산성을 나타내는 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 Cl^- 이온들의 농도가 기온이 높은 시기보다 낮은 시기에 아주 높게 나타났으며 그 농도는 여름시기보다 겨울시기에 SO_4^{2-} 는 약 4배, NO_3^- 과 Cl^- 은 각각 약 2배 높았다. 또한 양이온 총량도 겨울시기에 약 2.5배 높았다. 이러한 현상은 기온이 낮아짐에 따라 난방과 함께 각종 생산활동, 취사 등으로 인한 화석 연료의 사용이 증가하기 때문이다. 강우 채집장소를 공단, 상업, 주택, 시외곽지역으로 구분하여 강우중 이온들의 농도를 보면 Table 1에서 보는 것과 같이 공단지역이 SO_4^{2-} 은 37.1mg/l, NO_3^- 은 5.1 mg/l로 대전

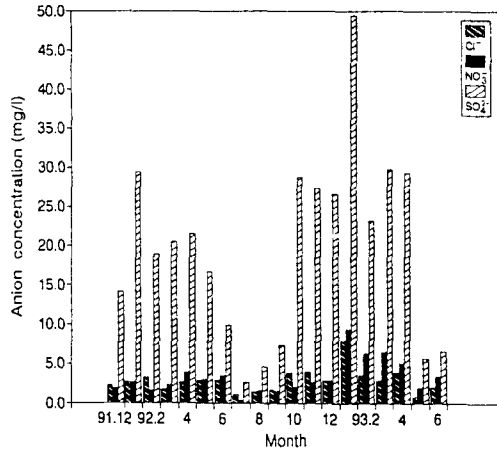


Fig. 1 Monthly variation of average anion concentration in rain in Taejon from december '91 to June '93

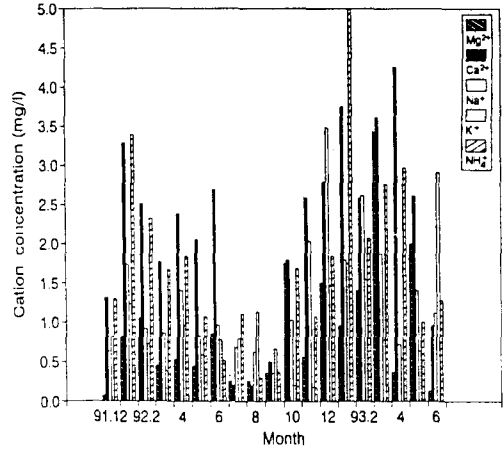


Fig. 2 Monthly variation of average cation concentration in rain in Taejon from december '91 to June '93

Table 1. Average anion concentration and regional differences of rain in monitoring sites, Taejon.

Monitoring sites	Distance (Km)	Anion Concentration (mg/l)			Category	Anion Concentration (mg/l)		
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Dukmyungdong	11.50	1.90	2.78	7.94	Suburban	2.39	3.00	11.89
Jigdong	11.50	2.27	3.22	11.41				
Secheondong	9.00	2.31	3.33	14.36				
anyungdong	7.00	3.07	3.34	13.48				
Isadong	7.00	2.41	2.42	12.25				
Daewhadong	5.00	3.85	5.03	37.07	Industrial	3.85	5.03	37.07
Sukbodong	13.00	2.58	3.15	9.66	Residential	2.57	3.04	15.00
Galmadong	5.50	2.15	2.62	14.90				
Okkyedong	3.50	2.60	3.15	16.00				
Taepyongdong	3.00	2.93	3.22	19.05				
Sojedong	2.50	4.32	4.02	32.00	Commercial	3.13	3.35	24.00
Indong	2.00	2.56	3.20	25.00				
Jungchondong	1.50	3.20	3.20	21.50				
Daehungdong	1.00	2.45	3.00	17.13				

에서 오염정도가 가장 극심하였고, 또한 상업 및 주택지역들도 상당히 오염되어 있음도 알 수 있었다. 그리고 오염정도가 심한 이들 지역은 시내 중심부(5km이내)에 대부분 위치하고 있으며 시외곽 지역(10Km 이상)과는 지역적으로 다소 유의적 차이가 있었다.

식생활력도 (Vegetation index)

식물의 분광 특성은 주로 식물의 잎으로부터 얻는다. 식물이 있어서 빛의 반사와 투과 특성은 메조필의 울타리조직층과 해면조직층 모두에 존재하는 공간에서의 가시광선의 반사를 기초로 설명된다. 왕성하게 성장하는 녹색식물은 근적외선(0.7-1.1 μ m) 입사량의 40-50%를 반사하고 식물체내의 엽록소는 가시광선의 80-90%를 흡수한다. 활력이 저하되었거나 고사한 식물체는 가시광선의 20-30%를 반사하며 왕성한 식물보다 반사량이 많고 반면에 근적외선의 반사량은 왕성한 식물체에 비해서 적다. 모든 식생지수(Vegetation Index)는 식물의 활력도, 녹피율에 따른 가시광선 및 근적외선 파장대 광선의 반사량 차이를 이용한다. 식생지수를 구하는 방법에는 변환식생지수, 엽면적지수, 정규식생지수, 녹색식생지수 등이 있으며(Lantenschlager and Perry, 1981; Crist and Cicons, 1984; Gardner and Blabd, 1986; Curran and Williamson, 1987), 이는 농작물 등의 생산량 예측과 환경변화에 따른 식생변화를 분석하는 자료로 이용된다. 본 연구에서는 1991년 10월 15일 Landsat-5 TM 위성자료를 이용하여 아래 식과 같이 변환식

생지수(TVI: Transformed Vegetation Index)를 구하였다(양, 1986).

$$TVI = \frac{(TM\ ch4 - TM\ ch3)}{(TM\ ch4 + TM\ ch3) + 0.5}^{1/2} \times 100$$

상기 식과 같이 계산된 TVI는 0-255로 변환시켜 1-142 값을 얻었다. 이들 값을 빈도분포를 기준으로 1-6의 계급으로 분류(Cassification)하고 민감도 작성을 위하여 Table 2와 같이 처리(Treatment)가 이루어 졌다. 계급 1은 식생의 활력도가 가장 불량한 것이며 계급 6은 분류중 가장 왕성한 식생활력도를 나타낸다.

Table 2. Classification and Treatment of Transformed vegetation index

TVI value	Classification	Treatment
1-24	Level 1	6
25-48	Level 2	5
49-72	Level 3	4
73-96	Level 4	3
97-121	Level 5	2
122-142	Level 6	1

임지생산성 (Forest soil productivity)

토지 적성등급은 토양 조사 결과를 토성, 유효토심, 경사, 침식정도, 토양배수, 지형적 특징 등을 근거로 구분한 것으로 토양조건에 따른 합리적인 토지이용, 지력증진을 위한 토지개량 및 토양보존 등에 필요한 기초자료로 활용되며, 토지의 잠재적 생산력, 토지이용 추천, 식물재배 제한요인, 토양관리 사항을 포함하고 있다. 임지생산성은 농촌진흥청 식물환경 연구소에서 작도한 1/50,000 개략도 양도 상에서 58개 토양군을 수치화하여 입력

한 후 토성, 경사도, 토성, 배수상태, 산성도, 모래를 근거로 해서 5급지로 분류하였다. 각 급지에서 1 급지에서 4 급지까지는 생산활동이 가능하고 5 급지는 이용 불가능한 토지에 해당된다. 1 급지에서 4 급지로 감에 따라 생산력이 저하되는 의미를 내포하고 있으나, 각 등급의 차이가 생산력의 우열을 절대적으로 의미하는 것은 아니다. 예를 들어 2 급지가 여러가지 생산활동을 하면서 일정한 생산성을 유지하거나 생산성 향상을 위해서는 동일 조건으로 경영되는 1 급지 보다도 더 집중적인 관리가 요구된다는 의미를 지닌다. 산림은 구성요소들이 상호 작용하여 외부로부터 가해지는 압력을 완충시키는 기능을 발휘하는데 생산성이 낮은 임지는 임지생산성이 높은 임지보다 대기오염물질 등의 환경 영향(Stress)에 대한 완충능이 부족하다는 의미도 내포하고 있다. 민감도 작성을 위해서 임지생산성 분석결과는 계급 5를 계급 4에 포함시키고 계급 1에서부터 각각 1-4로 처리되었다.

식생층과 토양층의 완충능

산림생태계는 식생층과 토양층 사이의 끊임없이 지속되는 역동적 물질순환 과정을 통해서 외부로부터 공급되거나 내생적으로 생성되는 각종 독성물질들의 균형을 조절하므로써 그 충격을 완충시키는 정화기능을 행사한다. 따라서 산성우의 영향도 수직적으로 구성되어 있는 식생층과 토양층의 완충능에 따라서 다르게 나타난다. 토양의 경우 양이온치환용량이 높을수록 산성퇴적물을 중화, 치환시키는 완충능이 우수하게 나타난다. SiO₂의 함량이 65% 이상인 산성암이 모암인 토양에서는 양이온치환용량이 적어 완충능이 빈약하여 퇴적암류보다 산성물질에 대한 민감도가 높게 나타난다(이와 민, 1989). 우리나라 산림토양의

경우 전체 토양중 약 70%가 산성암인 화강암 및 화강편마암으로 되어 있고 토심이 매우 얇아 산림생태계의 완충능력은 비교적 낮은 것으로 보고되어 있다(이와 민, 1989). 식생의 경우 구성식생이 침엽수인 경우 산림생태계는 산성우에 대해 매우 취약한 것으로 파악되어 있다(Skeffington, 1981). Table 3는 삼림 구성식생을 분석하기 위해서 1989년 환경청에서 작도한 1/50,000의 현존식생도 상에서 각각 임상을 수치화하여 입력후 얻은 결과이다. 산성우에 대한 민감도 분석을 위해서 각각 임상을 침엽수, 활엽수 단순림과 혼효림으로 분류하고 산성우에 민감한 침엽수림을 2로 활엽수림과 혼효림은 각각 1로 처리되었다.

Table 3. Analysis and treatment of forest type.

Forest Type	Treatment
Quercus serrata	1
Quercus variabilis	1
Quercus variabilis-Pinus densiflora	1
Quercus acutissima	1
Pinus densiflora	2
Pinus densiflora-Quercus serrata	1
Pinus densiflora-Quercus variabilis	1
Larix leptolepis	2
Pinus rigida	2
Pinus densiflora-Quercus acutissima	1
Quercus acutissima-Pinus densiflora	1

산성우에 대한 민감도 분석

민감도 분석을 위해서 조사, 분석된 각 항목들이 다음과 같이 정리되었다.

1) 대기오염의 지역적 차이를 강우중 수용성 이온의 농도를 기준으로해서 그 변화 패턴에 따라 거리가 구분되었다. 구분은 시내 중심으

GIS를 이용한 산림생태계의 산성우에 대한 민감도 분석

로 부터 5km이내, 10km이내, 10km이상으로 하고 각각 순서대로 3, 2, 1로 처리되었다.

2) 식생활력도는 1-6계급으로 분류되고 활력도가 가장 낮은 계급으로 부터 가장 높은 계급을 각각 6에서부터 1로 처리되었다.

3) 임지생산성은 1-5로 분류되고 사용 불가능 지역인 5급지를 4급지에 포함시켰으며 생산성이 가장 낮은 급지로 부터 생산성이 가장 높은 급지를 4에서부터 1로 처리되었다.

4) 식생층과 토양층의 원층능은 임상을 침엽수림, 침활혼효림, 활엽수로 분류하고 침활혼효림과 활엽수림을 1로 침엽수림을 2로 처리되었다.

5) 주풍방향은 대전기상청의 기상자료를 근거로 대기 오염물질이 풍향을 따라 산림지역으로 확산되는 범위를 추정하여 중복정도에 따라 3, 2, 1로 처리되었다. 대전지역의 산림이 도심권을 둘러싸고 있기 때문에 도시내 다양한 오염원으로 부터 발생하는 대기오염물질이 풍향에 따라 산림지역으로 확산될 가능성은 도시 미기후의 패턴에 따라 다르나 주풍과 거의 일치하고 있어 오염원을 도시 전체 지역으로 보고 주풍이 추정되었다.

분류, 처리된 강우성분, 식생활력도, 식생층과 토양층의 원층능, 임지생산성, 주풍방향을 가중치로 식생활력도는 2를 부여하고 나머지 항목은 1를 부여하여 최종적인 민감도가 분석되었다(Fig 3). 영상을 중첩해 분석한 결과 최소값은 7 최대값이 24이었는데 이를 Level 1(7-11):Low sensitive, Level 2(12-15):Sensitive, Level 3(16-19):Moderate sensitive, Level 4(20-24):High sensitive의 4수준으로 분류하였다. Fig 4는 민감도 분석결과 이다.

대전지역에서 산성우에 가장 민감한 지역의 면적은 19.51km²로 전체 면적중 6.6%, 다소 민감한 지역은 165.23km²로 55.5%, 민감

Classification Treatment Weight

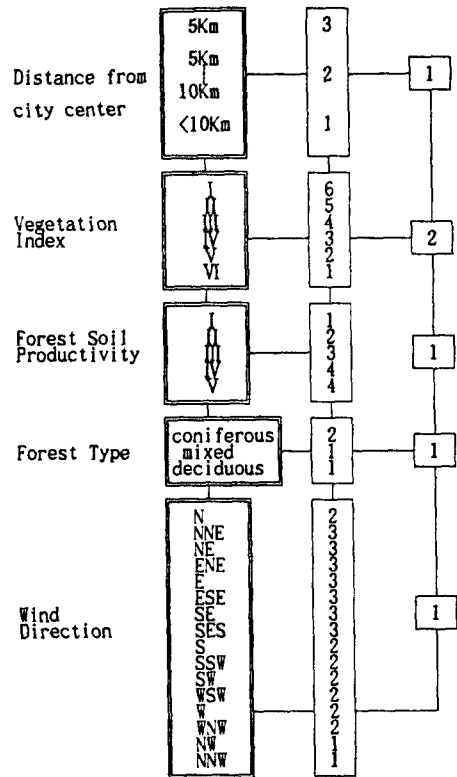


Fig 3. Schematic diagram of sensitivity analysis on acid precipitation in forest ecosystem.

Table 4. Sensitivity level of forest ecosystem to acid precipitation.

Level	Km ²	percent
Level 1	15.31	5.1
Level 2	97.61	32.8
Level 3	165.23	55.5
Level 4	19.51	6.6

한 지역은 97.61km²로 32.8%, 민감도가 낮은 지역은 15.3km²로 5.1%로 이를 전체 지역으로 환산해 볼 때 60% 이상이 산성우에 대한

민감도가 높은 것으로 분석되었다(Table 4).

각 산림지역별(Table 5)로는 공업단지에 근접되어 있는 산림지역(당산과 계족산)에서 level 4가 62.7%과 20%로 민감도가 가장 높았고, 시내에 근접되어 있는 산림지역(봉산과 보문산)은 15%와 8.2%로 외곽지역에 위치해 있는 산림지역(식장산, 갑하산, 성상산)보다 비교적 높은 것으로 나타났다. 대전지역에서 공업단지는 강우 오염도가 가장 심하였는데 이 지역에 인접되어 있는 산림들이 대기오염 물질에 극심한 영향을 받고 있어 가장 취약 지점이 확인되었다. 또한 그외 지역들도 전체적으로 Level 3가 60%이상을 차지하고 있어 산성우에 대한 취약성을 보이고 있다. 한편 산성우에 대해서 높은 민감도를 나타내고 있는 산림지역이 북동향에서 남동향으로 위치해 있다는 점이 주목된다. 이는 대전지역에서 대

기오염이 가속화되면 북동향에서 남동향에 위치해 있는 산림은 가속적으로 가시적 피해가 발생할 가능성이 있음을 시사해 준다.

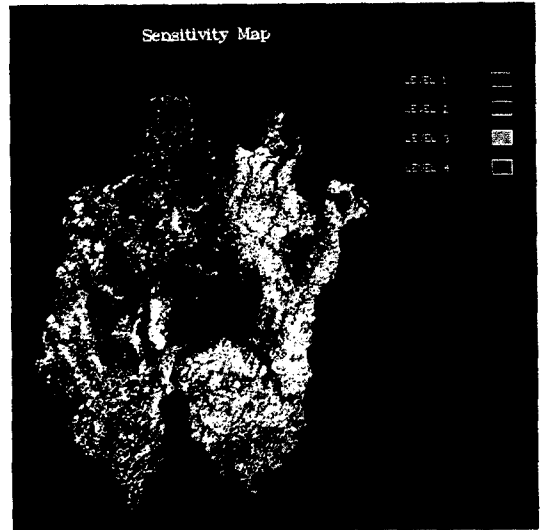


Fig. 4 Sensitivity map of forest ecosystem to acid precipitation in Taejon.

Table 5. Sensitivity level of forest sites. (%)

Sites	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
ID (1)	-	5.5	31.8	62.7
(2)	0.1>	4.2	74.8	20.9
UB (1)	3.4	29.6	58.9	8.2
(2)	0.4	9.0	75.5	15.0
SB (1)	0.4	21.3	71.6	6.7
(2)	7.3	58.5	34.0	0.2
(3)	4.5	30.4	65.0	0.2

ID: Industrial adjacent forest, (1):Dangsan (2):Kyechoksan

UB: Urban adjacent forest, (1):Bomun-san (2):Bongsan

SB :Suburban adjacent forest, (1):Sik-changsan (2):Kabhasan (3):Seong-sangsan

결론

쾌적한 환경조건을 위해서는 생태계를 보존해야 하고 생태계를 보존하기 위해서는 생태계의 기능을 훼손시키지 않을 뿐만 아니라 생태계의 양적, 질적인 다양성과 안정성을 유지해야 한다. 이를 위해서 도시개발을 추진함에 있어서는 훼손되기 쉬운 자연자환경을 생태학적으로 관리한다는 면이 고려되어야 한다. 본 연구에서 대전지역의 경우 산림지역은 산성우에 대한 완충능이 빈약하여 전체지역중 약 60%이상이 대기오염물질 및 산성우에 대한 산림생태계의 민감도가 높은 것으로 분석되었다. 현재 상태로 대기오염 및 산성우의

영향이 지속되면 민감도가 높은 지역의 경우에서 수목에 가시적인 피해가 발생될 것으로 예상된다. 따라서 도시계획을 수립함에 있어서 자연환경의 유한성과 공익적 가치를 인식하여 자연보존을 강화하고, 개발기능이 자연환경을 압력하는 비순환적 생산이 형성되지 않도록 개발지역은 각종 대기오염물질을 정화하는 자연생태계를 중심으로 선정되어야 할 것이다. 또한 자연생태계의 보호를 위해서는 환경변화에 따른 생태계의 민감도를 작성하고 지속적으로 그 변화를 분석해야 할 것으로 본다. 본 연구의 결과는 이를 위한 기초자료로 활용도가 기대된다.

참 고 문 헌

- 농촌진흥청, 1988, 토양해설도 농업기술 연구소 대전기상대, 1991-1993, 기상일보.
- 박종화, 1992, Landsat 녹색지수를 이용한 서울시 도시녹지 변화 조사. 한국원격탐사학회 8(10), pp. 27-43.
- 안철호, 연상호, 박병욱, 양경락, 1988, Landsat TM DATA를 이용한 슬럼프피해지역 추출에 관한 연구, 한국측지학회 6(2), pp. 42-52.
- 양영규, 1986, 국토정보 관리를 위한 원격탐사 응용개발 1, 한국과학기술원 시스템공학센터, 한국과학기술처 연구보고서.
- 오정환, 이영걸, 채문식, 1988, 대기오염과 산성우가 산림생태계에 미치는 영향-산림지역 대기오염의 경시적 변화, 한국과학기술처 연구보고서.
- 이규성, 1991, 지리정보시스템(GIS) 이용과 산림 병충해 관리:소나무좀벌레의 모형적예. 한국임학회지 78(2), pp. 168-176.
- 이수욱, 1987, 산성우의 생체영향과 대응방안, "환경요인과 생체영향의 대응방향" 세계 환경의 날 세미나.
- 이수욱, 장관순, 1987, 한국내 산성우의 장거리 오염원에 관한 연구, 충남대학교 환경문제 연구보고서 5(1), pp. 1-14.
- 이흥균, 홍성각, 박찬우, 1988, 대기오염과 산성우가 산림생태계에 미치는 영향-수목의 생육감퇴에 미치는 영향, 한국과학기술처 연구보고서.
- 환경청, 1988, 현존 식생도.
- Butterfield B.R., D.L.Davis, and J.W. Unsworth, 1987, Stratified Landsat classification of north-central Idaho and adjacent Montana. 263-266, in Proceeding-Land classifications based onvegetation:Applications for Resource management. USDA For. Serv.Gen. Tech Rep. INT-257.
- Crist, E.P. and R.C. Cicone., 1984, A Physically-based Transformation of Thematic Mapper Data-The Tasseled Cap, I.E.E.E. Trans. Geoscience and Remote Sensing 22, p. 256.
- Curran, P.J. and H.D. Williamson, 1987, LAI Estimation using Measurements of Red, Near Infrared, and Middle Infrared Radiance. Photogram. Eng. and Remote Sensing 53, pp.181-186.
- Eastman, J.R, 1990, IDRISI: A Grid-Based Geographic analysis System. Gardner,

- B.R. and B.L. Blad. 1986. Evaluation of Spectral Reflectance Models to Estimate Corn Leaf Area while Minimizing the Influence of Soil Background Effects, *Remote Sensing of Environment* 20, pp. 183-193.
- Hopkins, P.F., A.L. Maclean, and T.M. Lillesand. 1988. Assessment of Thematic Mapper imagery for forest application under Lake States conditions. *Photogramm. Eng. and Remote Sensing* 54(1), pp. 61-68.
- Khorram, S. and E.E. Katibah. 1984. Vegetation/Land cover mapping of the middle fork of the Feather River Watershed using Landsat digital data. *Forest Science* 30(1), pp. 248-258.
- Lantenschlager, L.F. and C.R. Perry, 1981. Comparison of Vegetation Indices based on Satellite-Acquired Spectral Data, *Proceedings of the Survey Research Methods Section of the American Statistical Association*, pp. 77-81.
- Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer., 1987. *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons.
- Skeffington R.A., 1981. Soil properties under three species of tree in southern England in relation to acid deposition in throughfall. -B. Ulrich and J. Pankrath (eds) 1983, *Effects of accumulation of air pollution in forest ecosystem*, pp. 219-231.