

酸性雨에 대한 山林生態系の 敏感度 및 自淨機能(I)^{1*}

— 降雨의 酸性化도와 植生 活力度(TVI)를 中心으로 —

李壽煜² · 張寬淳³

Sensitivity and Self-purification Function of Forest Ecosystem to Acid Precipitation (I)^{1*}

— Acidification of Precipitation and Transformed Vegetation Index (TVI) —

Soo Wook Lee² and Kwan Soon Chang³

要 約

본 연구는 山林生態系の 酸性雨에 대한 敏感性과 自淨能力을 分析 評價하므로서 도시내 또는 인접 지역에 존재하는 森林을 生態學的으로 健康하게 管理할 수 있는 기초 자료를 제공하기 위하여 수행되었다. 이를 위하여 공단지역 1개소, 상업지역 4개소, 주택지역 4개소와 외곽지역 5개소에서 강우를 조사, 측정하였고, 강우조사 장소에 인접해 있는 7개 산림지역을 선정하여 토양조사를 실시하였다. 또한 Landsat TM 데이터를 이용한 변환식생지수(TVI)로 산림 지역별 식생활력도를 분석하였다. 대전지역은 여러가지 大氣 汚染物質에 의해 심각하게 오염되어 있었고, 강우내 이온농도의 평균은 SO_4^{2-} 20.16mg/l, NO_3^- 3.65mg/l, Cl^- 3.09mg/l로 나타났다. 汚染物質 總降下量은 음이온의 경우 SO_4^{2-} 가 1.09mg/m²/month, NO_3^- 는 0.23mg/m²/month, Cl^- 가 0.20mg/m²/month이었다. 양이온의 경우는 Ca^{2+} 이 0.14mg/m²/month, NH_4^+ 은 0.10mg/m²/month 이었고 Na^+ , K^+ 와 Mg^{2+} 는 각각 0.08, 0.07 및 0.08mg/m²/month이었다. 대전지역에서 가장 오염이 심한 지역은 공단지역으로 강우내 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 의 농도가 각각 43.08, 3.88, 3.64ppm이었으며, 山林土壤 평균 pH는 4.16-4.94로 强酸性이었다. 식생활력도(TVI)는 당산 3.11, 계족산 4.00, 보문산 4.13, 갑하산 4.18, 봉산 3.34, 직장산 4.13, 성치산 4.20으로 공단지역에 인접되어 있는 당산지역에서 식생활력도가 가장 낮게 나타났다.

ABSTRACT

This study has been conducted to give some ideas for reasonable ecological management of Taejon city and its adjacent forest ecosystem against the effect of acid rain. Rain monitoring points to analyse its components represented 1 point in industrial area, 4 points in commercial area, 4 points in residential area, and 5 points in suburban area and forest survey was done in 7 forest sites adjacent to rain monitoring points. Transformed vegetation index (TVI) based on Landsat TM data was analysed for forest area. Taejon area was seriously contaminated by air pollutants and average concentration of anions in precipitation were 20.16mg/l for SO_4^{2-} , 3.65mg/l for NO_3^- , and 3.09mg/l for Cl^- . Anion in precipitation were 1.09mg/m²/month for SO_4^{2-} , 0.23mg/

¹ 接受 1994年 5月 11日 Received on May 11, 1994.

² 충남대학교 농과대학 College of Agriculture, Chungnam National University, Taejon Korea.

* 이 논문은 1992年度 教育部支援 韓國學術振興財團의 自由公募課題 學術研究助成費에 의하여 研究되었음.

m²/month for NO₃⁻, and 0.20mg/m²/month for Cl⁻. Cation in precipitation were 0.14mg/m²/month for Ca²⁺, 0.10mg/m²/month for NH₄⁺, 0.08mg/m²/month for Na⁺, 0.07mg/m²/month for K⁺, and 0.08mg/m²/month for Mg²⁺. The region with the highest concentration of SO₄²⁻, NO₃⁻, and Cl⁻ in rain was industrial area. SO₄²⁻, NO₃⁻, and Cl⁻ concentrations in industrial area were 43.08, 3.88, and 3.64ppm, respectively. Forest soil showed strongly acidic ranging pH4.16-4.94. Transformed vegetation index (TVI) were 3.11 in Dangsán, 4.00 in Kyechoksan, 4.13 in Bomunsán, 4.18 in Kabhasán, 3.34 in Bongsán, 4.13 in Sikchangsán, and 4.20 in Seongchisan. Dangsán forest located near in industrial area showed the lowest TVI.

Key words : Acid precipitation, Forest Ecosystem, Sensitivity, Soil acidity, Vegetation index, Transformed vegetation index.

緒 論

현대사회는 고도의 기술 및 산업사회를 지향하면서 도시는 확대되고 구조적, 기능적으로 복잡한 都市生態系를 형성하게 되었다. 都市生態系는 구성요소에 따라 인공적 부분과 자연적 부분으로 나누어 분석해 볼 수 있는데, 특히 인공적 부분은 인간의 욕구충족과 생활편익을 추구하는 지역으로 그에 따라 파생되는 각종 오염물질로 인하여 현대 문명의 역기능이 생산되고 있다. 이에 반해서 자연적 부분은 각종 오염의 영향을 정화시키는 緩衝帶로서 기능을 하는데 도시 인근 또는 도심 속의 綠地帶가 그 대표적 실례가 된다. 緩衝帶로서의 自然生態系는 본래 스스로 자정능력을 갖는 循環生態系이다. 그러나 이러한 생태계내로 산성물질이 유입, 퇴적되면 緩衝帶는 질적 또는 양적으로 循環系가 자연 및 교란되어 결국에는 非循環生態系로 변화되어 피해현상이 나타나게 된다.

酸性雨에 의한 삼림피해 현상은 유럽, 미국, 캐나다에 이어 아시아에서도 발생되고 있는데, 특히 최근 중국의 최대 공업지역인 重慶지방에서 pH 4.09-4.27의 强酸性雨が 내려 인접지역의 Masson pine (*Pinus massoniana* Lamb)林的 생장량이 약 50.3%로 감소되었음이 보고되었다 (Zong wel feng, 1991). 한편 이러한 오염물질이 국내로 장거리 이동되어 pH 4.2의 强酸性雨를 내리고 있음이 여러 조사 연구에 의해서 보고된 바 있다(李와 張, 1987). 또한 국내에서도 대도시화, 산업시설 및 교통량의 증가로 酸性雨原因物質들(NOx, SOx 등)의 방출량이 증가하여 强酸性雨が 나타나는 지역이 확대되어 가고 있는

실정이다. 국내에서 酸性雨의 영향에 대하여 수행된 연구는 주로 조사 대상지역이 기존의 공업단지 및 서울 등 대도시 지역인데 산성우에 의한 산림피해의 심각성을 노출시키고 있으며 미래에 화석연료가 대체되기까지 그 영향은 지속될 것으로 전망하고 회장, 심화되어가는 山林枯死 및 山林衰退에 대한 대책마련이 무엇보다 시급함을 지적하고 있다. 그러나 산성우 피해에 적극적으로 대응하는 방안을 모색하는 연구는 거의 없는 실정이다. 대기 오염물질에 의한 山林土壤 酸性雨와 樹木生育 減退現象은 대도시와 대단위 공업지역을 중심으로 지속적으로 발생하고 있으며 특히 수도권에서 일어나는 피해 현상은 주목할 만하다. 그러므로 대전지역에서도 대단위 아파트단지 조성으로 산림지역이 계속 잠식당하고 있고 인구와 차량의 증가로 대기 오염물질의 배출량이 증가하고 있어 멀지 않아 수도권 정도의 산성우 피해 현상들이 발생될 수 있음은 쉽게 예견할 수 있다. 따라서 산성우에 대한 산림생태계의 완충기능을 유지시키기 위해서는 생태계의 특성과 自淨能力을 조사, 분석하여 생태계를 生態學的으로 건강하게 관리해야 한다. 이를 위한 선결 과제는 酸性雨에 대한 山林生態系의 敏感度(Sensitivity)를 파악하는 것이다.

산림식생은 복잡한 식생구조로 광범위하게 분포하기 때문에 동시에 전체적 조사가 용이하지 않고 조사에 많은 노력과 시간이 소요될 뿐만 아니라 식생의 연속적 변화를 파악하기 어렵다. 따라서 광범위한 생태계 관리에 필요한 식생의 정보, 즉 산림식생의 변화 등을 알아보기 위한 정보는 人工衛星에 탑재된 Sensor를 이용하여 지표의 대상물에서 반사되는 電磁波를 수집하는 위성 자료를 통해서 물체와 실제로 접촉하지 않고 원

거리에서 광범위한 지역을 대상으로 필요한 정보를 동시에 주기적으로 얻을수 있다. Landsat의 Multispectrum은 여러 채널을 통하여 지상의 물체를 감지하여 각 波長帶에서 다차원의 反射特性을 나타내는데 이 영상을 변환 또는 합성하여 대상지역의 定性的 分析이나, 필요한 지형지물의 특징 추출에 유용하게 활용된다(Lillesand and Kiefer, 1987; Morton and Tritus, 1983; 金等, 1987; 朴等, 1992).

본 연구의 목적은 山林生態系를 대상으로 산성우에 대한 敏感度를 평가함으로써 산림을 生態學的으로 관리하고 緩衝能을 극대화 시킬수 있는 기초자료를 제공하고자 하는데 있으며 대기오염의 정도와 그 영향을 파악하기 위해서 강우성분, 산림토양 및 Landsat TM의 위성자료를 이용한 식생활력도를 중심으로 조사, 분석하였다.

材料 및 方法

1. 研究對象 地域 選定

본 연구를 위한 대상지역인 대전은 개발계획으로 도심내 또는 외곽의 山林地域이 계속적으로 잠식당하고 있으며 새롭게 개발된 지역은 대단위 주택 밀집단지로 조성되고 있다. 따라서 인구 및 차량증가로 인한 大氣 汚染物質 배출량이 급증하고 있어 인근 山林生態系에 대한 영향이 짐증하므로 이에 대한 대책이 시급히 요구되는 시점이라 하겠다.

2. 遠隔 映像資料의 前處理

본 연구를 위해 사용된 원격조사 자료는 1991년 10월 15일 관측된 Landsat TM 영상을 이용하였다. 위성자료의 전처리는 자료수집 과정에서 생기는 자료의 毀損, 歪曲 등을 보정하는 처리과정을 의미한다. 보정에는 시스템 보정과 地上基準點(Ground Control Point; GCP)을 선정하여 영상을 基本圖의 위치로 변환시키는 변환식을 도출하여 영상을 보정하는 GCP 보정방법이 사용되었다(安等, 1985; 楊, 1986). 위성자료를 地形資料, 土壤資料 등과 같이 병합하여 처리하는 경우는 GCP 보정방법을 사용하여 지도 좌표계와 일치하도록 변환시켜야 하는데(楊等; 1986), 본 연구에서의 GCP 보정은 672행×480열의 스크린에 512칼라를 동시에 표현할 수 있는 KMIPS와

1/25,000 地形圖를 이용하여 지상 물체중 주변의 다른 물체와 구분이 뚜렷한 6개의 GCP를 선정한 후 1차변환식을 도출하였다(安等, 1985; 楊, 1986). 變換誤差를 모두 1 화소(pixel) 이내가 되도록하여 오차의 범위는 1.38-0.57 화소로 평균오차 0.88 화소의 정확도를 얻었다. 자료의 재배열 방법은 Bilinear Interpolation 방법으로 시행하였다.

3. 對象地域의 切出

연구대상 지역의 切出은 1/25,000 地形圖에서 대전지역의 다각형 경계선을 X-Y digitizer를 이용 입력하여 Vector file를 생성한 후 래스터 변환하여 연구대상 지역 切出을 위한 Mask file로 이용하였다. 지역의 切出은 다각형 영역의 내부 화소의 값을 1로 외부의 화소의 값은 0으로 하여 연구대상 지역을 절출하였다.

4. 降雨 調査

(1) 降雨採集 場所

大田 시내 降雨 조사를 위한 강우 채집장소는 大田 전지역이 포함되도록 시내 중심부(시청)로부터 원형으로 일정 간격씩 파상으로 구획하고 도심근접도 즉 중심으로 부터 직선거리 등에 따

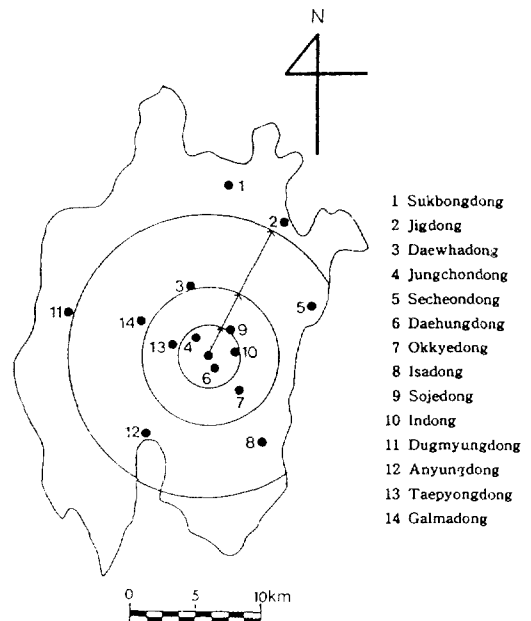


Fig. 1. Location of rain monitoring points in Taegyeon.

타 工業團地 地域 1개소, 商業地域 4개소, 住宅地域 4개소, 外廓地域 5개소 등 14개 지역을 선정하였다. 강우채집 장소의 구획지점과 지역구분은 工業地域(대화동: 5km), 商業地域(중촌동: 1.5km, 대흥동: 1km, 소재동: 2.5km, 인동: 2.0km), 住宅地域(석봉동: 13km, 옥계동: 3.5km, 태평동: 3.0km, 갈마동: 5.5km)과 外廓地域(직동: 11.5km, 새천동: 9km, 이사동: 7km, 안영동: 7km, 덕명동: 11.5km)으로 하였으며, 각 강우채집 장소의 위치는 그림 1과 같다.

(2) 降雨標本 採集 및 時期

1992년 7월부터 1993년 6월까지 매 강우시마다 降雨標本을 채집하여 降雨成分 분석용으로 사용하였다. 降雨試料 채수기구는 1000ml Polychlorinated vinyl vessel과 직경 25cm의 Plastic funnel을 사용하였고 바람으로부터 보호하기 위해 보호대를 장치했으며 외부로부터 이물질 유입을 막기 위해 바닥으로부터 1m 지점에 설치하였다. 試料採水 방법은 Bulk 강우를 이용하였으며 試料收去는 강우가 종료된 후 24시간 이내에 降雨標本을 수거하여 pH는 즉시 測定(pH/Ion meter DP-880: 環境汚染 公害試驗法)하고, 강우 성분 분석용 시료는 밀봉 후 4℃로 냉장보관 하였다.

(3) 降雨 成分 分析

매 강우시 채집한 降雨標本을 음이온으로 SO₄²⁻, NO₃⁻와 Cl⁻은 Ion chromatography로, 양이온으로 Mg²⁺, Ca²⁺, Na⁺와 K⁺는 Atomic absorption spectrophotometer, NH₄⁺는 Indolphenol法으로 분석하였다.

5. 土壤試料 採取 및 分析

大田 도심지역에서 발생하는 각종 汚染物質이 인접 山林에 미치는 영향 정도를 비교, 분석하기 위해서 도심지역을 둘러싸고 있거나, 도심내에 위치하고 있으며 강우채집 장소와 근접지역인 鷄足山, 食藏山, 寶文山, 鳳山, 堂山, 城峙山, 甲下山을 대상으로 地形, 排水狀態, 浸蝕狀態, 上層林相, 下層植生, 地被植生 등을 調査, 區分하여 同質의인 요소들로 구성된 대표적인 입지를 調査區로 선정하였다.

분석용 土壤試料는 調査區내에서 전체를 대표할 수 있는 지점에서 산정 부근을 선정하여 길이 1.0-1.2m의 試坑을 파고 土壤斷面調査를 실시한

후 土壤生成學的 層位별로 分析用 試料를 採取하여 實驗室로 운반하였다. 실험실로 운반된 試料를 自然乾燥시켜 40 mesh sieve로 친 후 土壤層位別로 土性(Pipette법), 土壤 pH, 有機物含量(Tyurin법), 全窒素含量(Kjeldahl법), 양이온치환용량(Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, H⁺: 1N-초산 ammonium법), 有效珪酸(비색법), 有效黃(비색법), 활성알루미늄(비색법)을 측정, 분석하였다(土壤化學分析法).

6. 植生活力度 分析

본 연구에서는 식생활력도를 구하기 위해서 變換植生指數(Transformed vegetation index: TVI)를 이용하였는데 이는 Band ratio의 한 방법으로 두 Band에서 같은 위치에 있는 값을 구하여 새로운 Band를 만드는 방법으로 多象映像에서 초목의 反射率을 구하는 Band조합법이다(楊等, 1986). 그 식은 아래와 같다.

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

연구대상 지역의 切出 및 映像分析은 마이크로 컴퓨터를 이용하여 地理情報 分析 및 영상처리를 할 수 있는 소프트웨어로 단위격자 방식을 기본으로 하는 IDRISI(Eastman, 1990)를 사용하였다.

結果 및 考察

1. 降雨成分

大田지역에서 92년 7월부터 93년 6월까지 조사된 강우 pH는 표 1에서와 같다. 월별 강우 pH 변화는 봄철에서 겨울철로 감에 따라 강우 pH가 낮아져 계절적 특징을 반영하고 있다. 겨울철 동안에 강우중 약 84%가 酸性雨이었으며, pH 수준별로 보면 pH 5.60-5.01이 28%, pH 5.00-4.51은 28%, pH 4.50-4.01은 17% 이었고, pH 4.00 이하의 强酸性雨도 11%나 되었다. 본 조사 기간 동안 강우의 전체 평균 pH는 5.48이었다.

강우내 수용성 이온들의 계절별 비교 평가는 강수량이 중요한 인자가 되므로 이를 고려해(본 연구에서는 빗물만 채집) 강우내 수용성 이온들의 평균 농도를 계산하였다.

그 결과는 표 1에서 보는 바와 같이 강우내 이온들의 양은 기온이 높은 계절보다 낮은 계절에

Table 1. Average cation and anion concentration in rain. (unit : mg/l)

Month	Rain (mm)	pH	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺
'92 7	187.7	5.72	1.10	0.36	2.77	0.27	0.21	0.72	0.86	1.19
8	232.1	5.65	1.42	1.58	4.64	0.26	0.20	0.62	1.14	0.30
9	163.6	5.30	1.87	1.48	7.21	0.37	0.51	0.36	0.69	0.38
10	34.2	5.57	3.97	2.11	28.87	1.75	1.80	1.03	0.20	1.69
11	47.4	5.21	4.03	2.68	27.30	0.75	3.42	2.69	0.19	1.41
12	49.2	4.94	2.95	2.78	26.68	1.60	2.98	3.71	1.57	1.96
'93 1	7.5	4.97	7.98	9.44	49.42	0.96	3.76	1.80	1.75	4.99
2	82.9	5.25	3.65	6.39	23.21	1.40	2.58	2.62	1.55	2.07
3	40.1	5.25	2.88	6.54	29.77	3.44	3.61	1.88	0.78	2.77
4	64.8	6.31	4.00	5.11	29.40	0.37	4.26	0.73	0.55	2.97
5	154.8	5.34	1.10	1.92	6.05	1.89	2.60	1.39	0.60	0.97
6	62.2	5.94	2.12	3.39	6.63	0.13	0.96	1.11	2.91	1.28
Average	93.5	5.48	3.09	3.65	20.16	1.10	2.24	1.56	1.56	1.83

많이 함유되어 있다. 겨울철과 여름철을 비교하면 SO₄²⁻는 32.10mg/l : 4.68mg/l로 약 7배, NO₃와 Cl은 각각 6.20mg/l : 1.78mg/l, 4.68mg/l : 1.55mg/l로 각각 약 3배, 양이온 총량도 2.35mg/l : 0.81mg/l로 겨울철이 약 3배 높았다. 각 이온들의 평균 농도는 SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻가 각각 20.16, 3.65, 3.09mg/l 이었고, Ca²⁺, NH₄⁺, Na⁺, Mg²⁺, K⁺가 각각 2.24, 1.83, 1.56, 1.10, 1.56mg/l이었다. 강우내에 가장 많이 함유되어 있는 성분은 특히 겨울철에 SO₄²⁻로 이온 난방 등으로 인한 화석연료의 연소에서 배출된 SO₂가 대기중에서 산화되어 SO₄²⁻를 생성했기 때문인 것으로 생각되며 또한 강우중 Ca²⁺, Na⁺, K⁺은 각종 생산활동, 취사, 난방 등으로 인한 석탄재 분진에서 비롯될 가능성이 높고 대기중 미세 토양입자 먼지의 주성분은 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, Na₂O, CaO, K₂O 등인데 (金 等, 1990) 조사기간중 대전지역에서 대단위 아파트 단지, 엑스포 공사 등이 활발하게 진행되어 대기 부유분진중 이들 공사장에서 비산된 토양먼지의 영향도 있을 것으로 추측된다.

降雨량은 오염물질의 강하에 대한 양적 개념에서 중요한 요인이 되며, 오염물질을 생태계로 투입시키는 주요 매체이다. 대전지역에서 인근 山林地域에 내리는 오염물질 강하량은 그림 2 및 3과 같고, 각 성분들의 강하량을 보면 SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻의 총 강하량은 93년 2월(2.75mg/m²)과 4월(2.50mg/m²)에 많았고, 92년 8월(1.78mg/m²), 9월(1.73mg/m²), 11월(1.61mg/m²), 12

월(1.60mg/m²)과 93년 3월(1.57mg/m²) 및 5월(1.40mg/m²)은 거의 비슷한 수준으로 오염물질이 강하되어 대체적으로 강우에 의해서 생태계로 투입되는 대기 오염물질량은 강우량이 적은 시기보다 많은 시기에 많은 것으로 나타났다. 강하량이 많은 경우 대기중에 존재하는 오염물질은 강우의 Wash-out 작용에 의해서 정화되나 생태계로 투입되는 오염물질의 양은 증가되어 생태계내에서 土壤酸化 및 養料溶脫 등으로 수목에 미치는 영향은 클 것으로 판단된다.

오염물질의 강하량이 가장 많은 성분은 역시 SO₄²⁻로 1.09mg/m²/month이었고 NO₃⁻가 0.23mg/m²/month, Cl⁻는 0.20mg/m²/month 이었

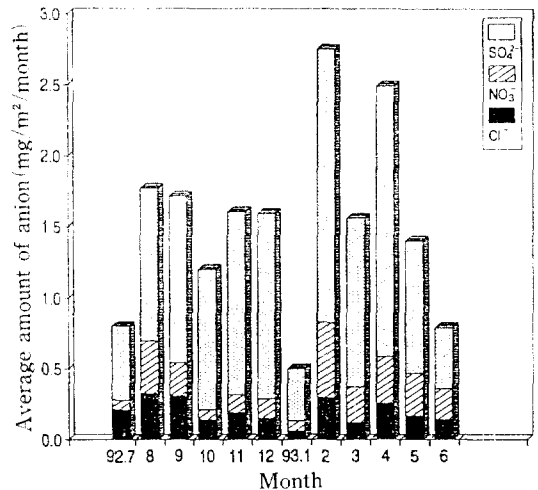


Fig. 2. Average amount of anion input in forest ecosystem.

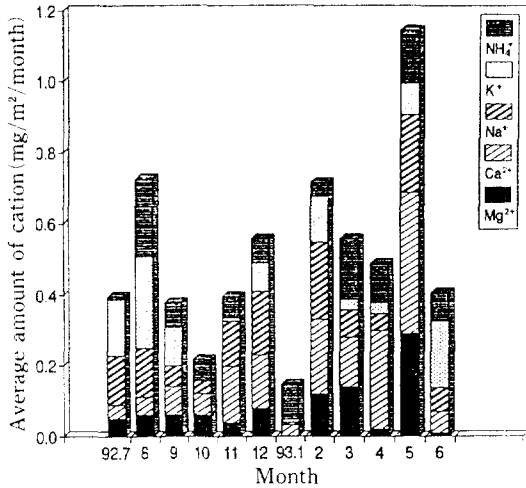


Fig. 3. Average amount of cation input in forest ecosystem.

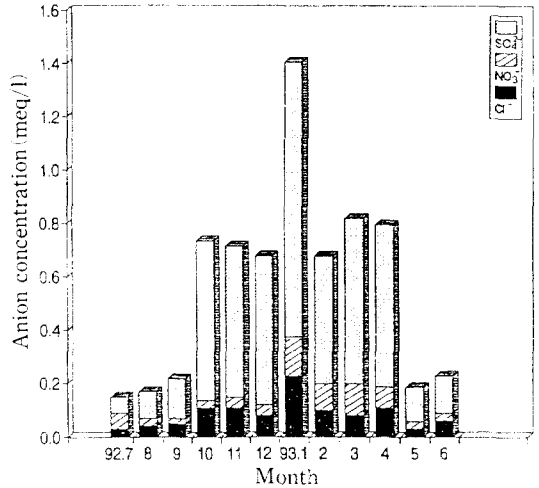


Fig. 4. Equivalent concentration of anion in rain.

다. 양이온으로는 Ca^{2+} 은 $0.14mg/m^2/month$, NH_4^+ 는 $0.10mg/m^2/month$ 이었으며, Na^+ , K^+ 와 Mg^{2+} 는 각각 0.11 , 0.10 및 $0.08mg/m^2/month$ 이었다.

강우내 수용성 이온들의 構成比率이 가장 높은 성분은 음이온으로는 SO_4^{2-} , 양이온으로는 Ca^{2+} 와 NH_4^+ 이었다. SO_4^{2-}/NO_3^- 는 1-20으로 다양하게 나타났고, 총음이온/총양이온은 0.45-2.07 범위 이었다(그림 4 및 5). 강우의 pH는 강우의 구성 성분에 의해서 크게 좌우되는데 강우 속에 포함되어 있는 强酸性 음이온인 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 이온들이 pH를 강하시키는 주요인으로 작용하는 한편 토양입자 또는 석탄재 분진 중에 포함되어 있는 알칼리 이온인 Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ 와 자연상태에서 미생물의 분해 작용으로 생성되는 NH_4^+ 등이 이들을 중화시켜 주며 이들 이온들과

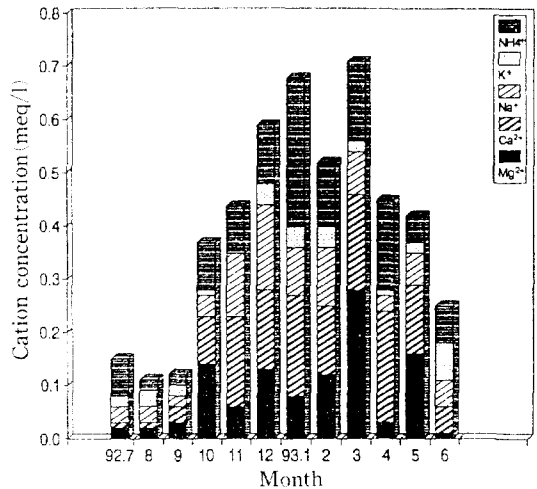


Fig. 5. Equivalent concentration of cation in rain.

Table 2. Correlation matrix between rain components.

	pH	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+
pH	1.00								
Cl^-	.06	1.00							
NO_3^-	.05	.46**	1.00						
SO_4^{2-}	.03	.60**	.80**	1.00					
Mg^{2+}	-.27	.22	.00	.12	1.00				
Ca^{2+}	.01	.40**	.35**	.46**	.60**	1.00			
Na^+	-.36**	.17	.36**	.42**	.44**	.10	1.00		
K^+	.32*	.10	.34*	.19	.07	.09	.34**	1.00	
NH_4^+	-.24	.31*	.63**	.51**	.16	.23	.24	.12	1.00

** : significant at 1% level

* : significant at 5% level

의 평형에 의해 강우 pH는 결정된다. 도시에서 주 오염물질은 고정오염원과 이동오염원에서 배출되는 黃酸化물과 窒素酸化물 등으로서 강우성분중 이들 물질의 상호관계를 파악하는 일은 오염 물질의 형태 및 새로운 오염원 형성에 따른 주 오염물질을 규명하는데 중요한 자료가 된다. 강우중 水溶性 이온들의 相關關係 분석은 표 2에서와 같이 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 의 관계는 고도의 상관관을 보였고(그림 6, 7, 8) 또한 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 들과 Ca^{2+} , NH_4^+ 이 고도의 상관관을 나타내었다.

대도시내에서 발생되는 1차 대기 오염물질은 HNO_3 , H_2SO_4 로 이는 NH_3 와 염류 입자들과 결합하여 2차 오염물질 형태로 변화된다. 생성된 HNO_3 는 個體로서는 Gas상태로 존재하지만 NH_3 가 있으면 기온, 相對濕度 등에 따라 NH_4NO_3 형태의 고체입자 또는 액적으로 존재한다. 黃酸은 증기압이 낮게 되면 그 자체된 상태의 mist로 존재하고 NH_3 , $NaCl$, 염류 등의 입자가 있으면 반응하여 미세입자의 黃酸鹽 에어졸로 되어 대기중에 부유한다. 이러한 입자상태의 오염물질들은 강우에 씻겨 내려와 지표면에 떨어지게 된다. 대전지역에서 강우내 수용성 이온들의 相關分析 결과 수용성 이온의 결합 형태는 HNO_3 , H_2SO_4 의 화합물 외에 $CaSO_4$, $Ca(NO_3)_2$, $(NH_4)SO_4$, NH_4NO_3 , Na_2SO_4 , $NaCl$ 등이 차지하는 비율도 큼을 알 수 있었다.

강우채집 장소를 오염물질 방출원으로서 工團地域, 商業地域, 住宅地域과 外廓地域으로 구분

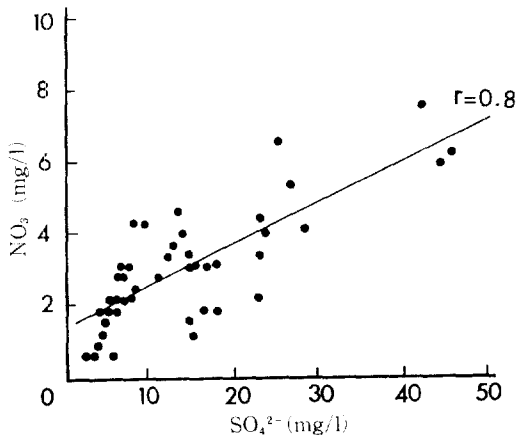


Fig. 6. Correlation between SO_4^{2-} and NO_3^- concentration in rain.

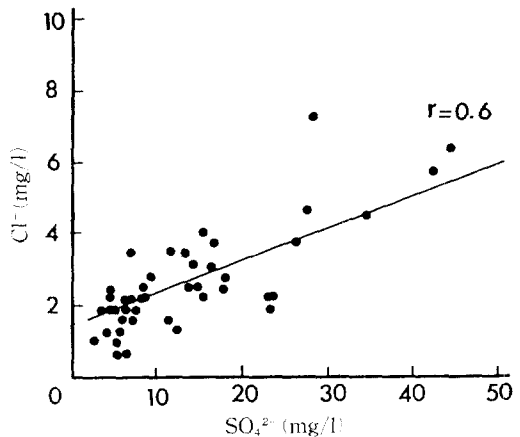


Fig. 7. Correlation between SO_4^{2-} and Cl^- concentration in rain.

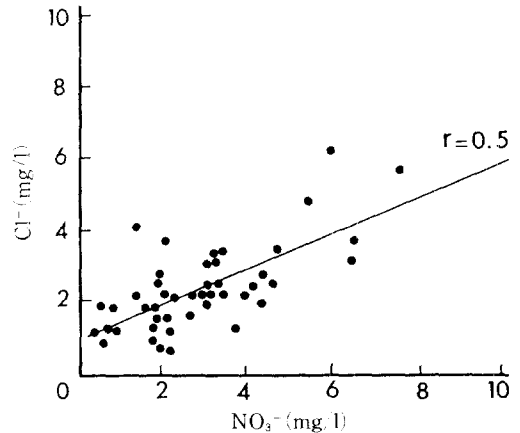


Fig. 8. Correlation between NO_3^- and Cl^- concentration in rain.

하여 강우내 이온 농도를 비교해 보면 대전지역에서 工團地域이 농도가 가장 높음을 알 수 있다(그림 9). 工團地域의 평균 SO_4^{2-} 의 농도는 43.10 ppm이었고, 商業地域과 住宅地域의 평균 SO_4^{2-} 농도는 각각 22.47ppm과 16.72ppm이었으며 外廓地域의 평균 SO_4^{2-} 농도는 11.2ppm이었다. 또한 평균 NO_3^- 의 농도를 보면 工團地域 3.88 ppm, 상업지역 4.08ppm, 住宅地域 3.01ppm, 外廓地域 2.53ppm으로 나타나 공단지역, 상업지역 및 주택지역순으로 오염도가 높음을 알 수 있다.

시내 중심으로부터 외곽으로 距離가 멀어짐에 따라 강우내 이온 농도의 변화는 그림 10과 같이 감소됨을 나타내고 있다. 구분된 거리에 따라

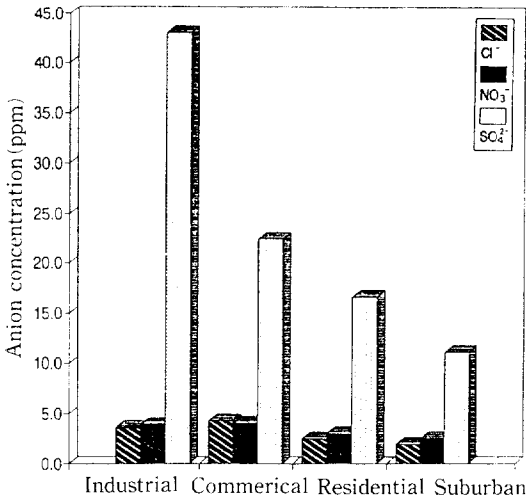


Fig. 9. Average anion concentration of four regions.

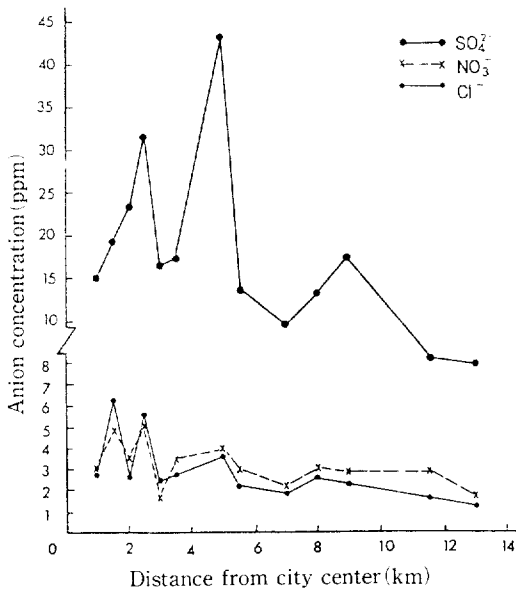


Fig. 10. Anion concentration in rain with the increasing distance from city center.

SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻의 이온 농도를 비교해 보면 2.5km에서는 각각 22.47, 4.08, 4.31ppm이었고, 5km에서는 22.77, 3.04, 2.80ppm이었으며, 10 km에서는 13.33, 2.65, 2.25ppm이었고, 10km 이상에서는 11.56, 2.34, 1.45ppm이었다. 汚染物質放出源과 시내 중심으로부터의距離에 따른 강우내 이온 변화를 종합해 보면 역시 공업단지 지역과 시내 중심지역이 심각하게 오염되어 있고

외곽으로 갈수록 낮아져 지역적으로 大氣汚染度가 차이가 있음을 알 수 있었다. 따라서 도시내 또는 도시인근 山林生態系는 대기 오염물질에 의해서 직·간접적으로 영향을 받고 있으리라 생각된다. 시내중심에서 약 5km내의 산림지역은 오염원이 집중되어 있어 그 오염원들에 의해 심각하게 영향을 받고 있으리라 생각되며, 5km-10 km 내의 산림지역 역시 이들 지역에 있는 오염원들과 함께 심각한 영향권에 들어 있고, 10km 이상은 오염원은 없으나 시내의 다양한 오염원들로부터 영향을 받고 있음을 짐작케 한다.

陸上生態系중 산성우에 의한 피해 정도가 크고 광범위하게 나타나는 것은 산림생태계이다. 외국의 여러 나라에서 酸性雨에 의한 산림 피해는 이미 심각한 사회문제로 되었으며 국내에서도 서울과 대단위 工業團地에서 酸性雨에 의한 山林土壤酸性化와 樹木生育 減退現象이 오래전 부터 발생하였고(金 等, 1985; 張과 李, 1987; 李와 閔, 1988; 李와 閔, 1989; 閔과 李, 1989; 金, 1991), 强酸性雨 출현 빈도가 높아지고 있을 뿐만 아니라 지역적으로 점차 擴大되어 가는 추세에 있다. 특히 서울에서의 大氣汚染에 의한 土壤酸性化는 주목할 만하다(李와 閔, 1988; 金, 1991). 그럼에도 불구하고 이에 대한 뚜렷한 대책을 강구하지 못하고 있는 실정이다. 현재 대도시화로 추진되고 있는 지역에서도 앞으로 오늘날 수도권이 갖고 있는 이러한 현상들이 발생할 수 있음은 쉽게 예측할 수 있다. 大田直轄市の 大田環境改善 綜合計劃(1993)에 따르면 대기 오염도 단기환경기준 초과 횟수를 1990년 자동측정망 자료를 분석한 결과 아황산의 경우 우리나라의 단기환경 기준(0.15ppm)을 초과하는 경우는 없었지만 미국의 단기환경 기준(0.14ppm)은 1회, 일본의 단기환경기준(0.04ppm)을 초과하는 횟수는 123회나 되고 WHO 기준(0.056)에 대해서도 63회나 초과함을 기술하고 있다. 또한 아황산가스, NO₂, 총 부유분진 농도 역시 겨울철에 농도가 나타나고 있어 정부의 강력한 低硫黃 정책이나 연료전환 정책 등의 추진에도 불구하고 도시내 다양한 오염원 증가로 대기 오염물질의 감소 추세는 보이지 않을 뿐더러 현재 인구나 교통량이 급증하고 있어 앞으로 질소산화물과 같은 대기 오염물질의 배출량은 증가될 것이며 이로인한 降雨 酸度 증가와 酸性 降雨率의 증가가 심화될 것

으로 생각된다.

2. 土壤의 理化學의 特性

대기 오염물질이 土壤環境으로 沈着되는 과정은 Gas상태의 대기 오염물질이 식물체의 표면에 부착된 후 우수에 의해 洗脫되어 토양에 도달하거나 또는 Gas상태의 대기 오염물질이 雨滴의 핵으로 흡수되어 낙하하거나 우적이 지상에 낙하하는 도중에 Gas상 물질을 흡수 용해해서 토양 환경으로 침착된다. 토양에 집적된 대기 오염물질은 초기에는 N과 S를 식물양료로서 공급해서 긍정적 영향을 끼치기도 하지만 중국에는 토양 pH를 저하시키고 식물상장에 필수요소인 영양염류를 용탈시키는 土壤 酸性化를 촉진시킨다 (Abrahamsen 等, 1977; Freiesleben and Rasmussen, 1986; Matzner 等, 1986; Skeffington and Brown, 1986). 한편 토양 pH의 저하에 의해서 식물에 유해한 알루미늄 등의 중금속 이온들이 용탈되어 식물의 근계에 부정적 영향을 끼치게 된다(Hutchinson, 1986; Reuss and Johnson, 1986).

大田지역의 산림토양 분석 결과는 표 3과 같다. 지역별 평균 토양 pH는 堂山, 鷄足山, 寶文山, 甲下山, 鳳山, 食藏山, 城峙山이 각각 pH 4.16, 4.68, 4.54, 4.76, 4.49, 4.57, 4.94로 堂山이 가장 낮았고, 城峙山이 가장 높게 나타났으나 전체적으로 강한 酸性을 보이고 있다. 鹽基飽和度는 堂山, 鷄足山, 寶文山, 甲下山, 鳳山, 食藏山, 城峙山이 각각 10.8%, 40.9%, 23.6%, 11.4%, 15.8%, 14.1%, 26.1%로 평균 20.4% 정도로 낮은 상태이고, 가장 낮은 지역은 堂山으로 10.8%로 나타났다.

大田지역에서 조사된 土壤 pH는 李와 閔(1988)이 국내 主 汚染地域인 서울과 工業團地의 汚染源 특성에 따라 보고한 서울(4.43), 여천지역(4.52), 울산지역(4.71)과 유사한 값을 나타내어 강우 분석에서 고찰한 것과 같이 대전지역이 대도시화에 따른 人口增加, 車輛增加, 炊事, 겨울철의 煖房 등으로 심각하게 오염되어 있음이 확인된다. 아울러 토양 pH가 조사된 강우중 겨울의 강우 pH와 비슷하여 대전지역 인접 삼림이 酸性雨에 의해서 직접적으로 영향을 받고 있는 것으로 사료된다. 李와 閔(1988)은 서울, 여천지역, 울산지역의 모든 지역에서 토양중 鹽基飽和

Table 3. Physical and chemical properties of forest soils in Taejon area.

Investigated region	Soil Profile	Soil Depth (cm)	Soil Texture	pH (1:5)	Organic matter (%)	N (%)	S (PPM)	CEC (me/100g)	Base Saturation (%)	Exchangeable cations (me/100g)					
										Mg	Ca	K	Na	Al (PPM)	Si (PPM)
Sikchangan	A1	0-15	LS	4.36	3.65	0.28	0.52	7.84	12.6	0.34	0.58	0.05	0.02	108.12	9.0
	B	15-45	LS	4.61	2.53	0.28	0.52	6.10	9.8	0.21	0.33	0.04	0.02	90.07	9.0
	C	45-	L	4.73	1.84	0.04	0.65	3.30	20.0	0.21	0.40	0.03	0.02	97.29	8.0
Seongchisan	A1	0-20	LS	5.17	3.92	0.31	0.26	5.24	32.8	0.67	0.98	0.06	0.01	57.58	10.0
	B	20-50	LS	4.82	2.66	0.16	0.38	5.13	22.8	0.38	0.70	0.07	0.02	86.42	8.3
	C	50-	L	4.82	1.22	0.07	0.53	5.12	22.7	0.50	0.63	0.02	0.01	85.85	9.0
Dangsan	A1	0-20	SL	4.01	4.97	0.48	0.49	7.85	13.1	0.25	0.70	0.05	0.03	169.49	14.8
	B	20-45	SL	4.14	3.00	0.28	0.70	7.89	10.8	0.25	0.55	0.03	0.02	241.49	11.3
	C	45-	SL	4.33	1.32	0.03	0.67	7.21	8.5	0.17	0.40	0.02	0.02	169.49	8.3
Kabhasan	A1	0-35	LS	4.73	8.44	0.90	0.43	6.10	13.4	0.29	0.45	0.04	0.04	227.26	46.3
	B	35-60	LS	4.75	2.11	0.49	0.53	4.92	10.6	0.17	0.30	0.02	0.04	165.88	32.0
	C	60-	LS	4.79	3.97	0.17	0.52	4.16	10.3	0.13	0.25	0.02	0.03	151.44	30.0
Homusan	A1	0-25	SL	4.47	4.11	0.21	0.46	6.03	22.1	0.34	0.91	0.04	0.04	122.06	17.0
	C	25-60	SL	4.64	2.78	0.16	0.47	5.26	25.1	0.38	0.86	0.05	0.03	90.07	15.5
	A1	0-25	SCL	4.31	4.36	0.33	0.38	6.78	14.3	0.31	0.58	0.05	0.03	81.05	21.7
Bongsan	B	25-50	SCL	4.54	3.78	0.36	0.36	5.50	14.2	0.23	0.47	0.05	0.03	144.23	12.4
	C	50	SiL	4.61	2.01	0.15	0.42	4.73	18.8	0.23	0.58	0.05	0.03	118.95	34.6
	A1	0-30	LS	4.61	2.08	0.07	0.12	5.91	33.3	1.17	0.05	0.02	0.01	56.17	11.0
Kyechoksan	B	30-60	LS	4.61	1.39	0.03	0.43	6.71	34.9	1.04	1.23	0.06	0.01	86.46	11.3
	C	60	SL	4.76	4.11	0.21	0.03	5.83	54.4	1.86	1.25	0.04	0.02	48.95	12.1

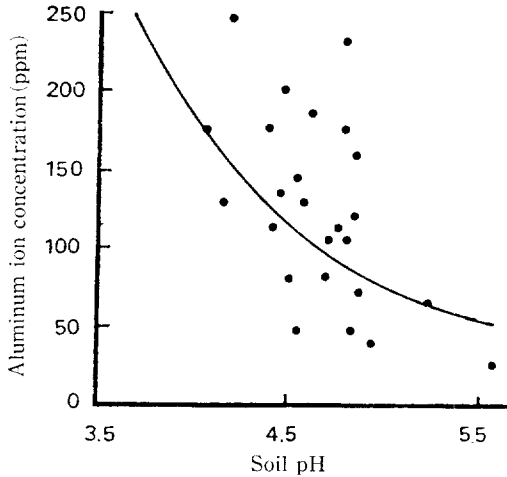


Fig. 11. Correlation between of pH and Al^{3+} in forest soils.

도가 20% 미만으로 酸性雨에 의해 土壤 緩衝能力이 거의 상실되었음을 보고하였는데, 대전지역의 산림토양중 鹽基飽和度 값도 이들 지역과 유사하여 酸性雨에 대한 緩衝能이 부족한 것으로 추정된다. 또한 토양중 염기포화도가 낮은 지역은 活性 알루미늄 농도가 높게 나타났으며, 전체 토양층 별 活性 알루미늄 농도와 토양 pH 관계를 보면(그림 11) pH 4.01-5.17에서 pH가 낮음에 따라 活性 알루미늄 농도는 유의적으로 증가했음을 알 수 있었다. 토양중 활성알루미늄의 농도는 공명단지에 인접되어 토양 pH가 가장 낮은 堂山이 193ppm으로 가장 높았으며, 평균 농도는 120ppm이었다. 酸性雨에 의해 酸性化가 계속 진행되면 粘土鑛物의 결정단위를 구성하고 있는 알루미늄이온이 치환되는데 pH가 5.0 이상이면 加水酸化되어 콜로이드상의 $Al(OH)_2^+$ 형태로 점토광물을 둘러싸고 있거나 결정형인 $Al(OH)_3$ 형태로 존재하다가 pH가 5.0 이하일 경우 Al^{3+} 으로 된다. 용출된 Al^{3+} 은 뿌리의 呼吸을 저해하고, 뿌리의 細胞分裂을 抑制하여 根端成長이 저지되고 측근이 나와 산호모양(coralloid)의 不定根을 유도한다. 또한 대기 오염물질은 植物體에 흡수되어 體內的 磷酸의 機能을 抑制하여 植物의 生理活性를 저해하며(金, 1992), 토양중의 磷酸과 결합해서 식물이 磷酸을 이용할 수 없는 $Al(OH)_2$, H_2PO_4 형태로 되어 버린다. 그외에도 Ni, Cu, Mo, Mn 등의 중금속도 용출되어 유기물의 분해를 방해하게 된다. 土壤에서 Ca^{2+} , Mg^{2+} 등의

溶脫에 의한 Al^{3+} 의 증가는 유럽, 북미 및 중국의 山林衰退 徵候가 일어난 山林土壤에서 이미 밝혀졌다(Hutchinson, 1986; Reuss and Johnson, 1986; Ma, 1990). 대전지역 인근 산림토양은 현재 도시내 다양한 오염원이 증가하는 추세에 있어 앞으로 대기 오염물질로 인한 強酸性雨의 영향으로 산림토양 酸性化가 계속적으로 심화될 것으로 생각된다.

3. 植生 活力度

Sensor에 의해 감지되는 植物의 分光 特性은 주로 식물의 잎으로 부터 얻는다. 식물에 있어서 빛의 반사와 투과의 특성은 엽육조직의 울타리 조직층과 해면 조직층 모두에 존재하는 공간에서의 可視光線의 반사를 기초로 설명된다. 왕성한게 성장하는 녹색식물은 近赤外線(0.7-1.1 μ m) 입사량의 40-50%를 반사하고 식물체내의 엽록소는 可視光線의 80-90%를 흡수한다. 활력이 저하되었거나 고사한 식물체는 可視光線의 20-30%를 반사하며 왕성한 식물보다 반사량이 많고 반면에 近赤外線의 반사량은 왕성한 식물체에 비해서 적다(Morth and Tritus, 1983). 식생의 상태에 따라서 赤外線 과장대에서 나타나는 변화는 매우 크다. 광범위한 지역을 대상으로한 식생의 상태에 대한 정보는 SPOT, Landsat TM의 多衆分光 자료 등의 위성자료를 활용한 植生指數(Vegetation index)로 부터 얻을 수 있다. 모든

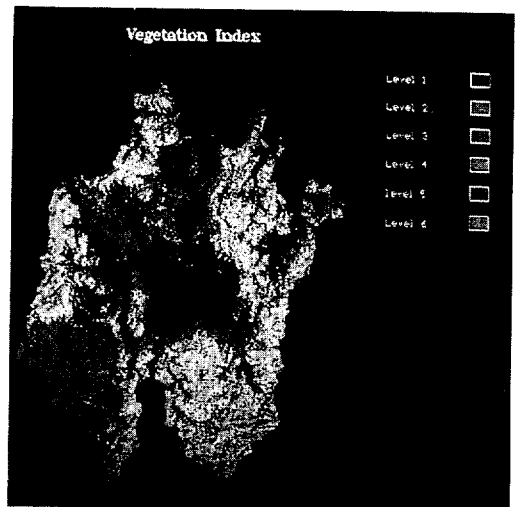


Fig. 12. Vegetation index of forest area in Taejeon.

Table 4. Transformed vegetation index of forest sites in Taejon.

Site	Transformed Vegetation Index												
	Level 1		Level 2		Level 3		Level 4		Level 5		Level 6		Average
	Pixels	%	Pixels	%	Pixels	%	Pixels	%	Pixels	%	Pixels	%	
Dangsan	8	0.6	176	12.6	870	64.2	338	24.2	3	0.2	-	-	3.11
Kyechoksan	-	-	70	0.5	2940	19.5	8948	59.4	3078	20.4	26	0.2	4.00
Bomunsan	105	0.3	2149	5.4	3792	10.1	19158	50.8	11771	31.2	702	1.9	4.13
Kabhasan	1	0.1	195	0.8	3107	12.6	13904	56.2	7236	29.2	319	1.2	4.18
Bongsan	172	2.4	1352	19.0	1629	22.9	3827	53.7	142	2.0	-	-	3.34
Sikchangsansan	-	-	72	0.5	2090	14.8	7929	56.2	3896	27.6	111	0.8	4.13
Seongchisan	-	-	4	0.1	211	9.6	1340	60.7	636	28.8	16	0.7	4.20

植生指數는 植物의 活力度, 綠被率에 따른 可視光線 및 近赤外線 波長대 輻射의 反사率 차이를 이용한다. 植生指數를 구하는 방법에는 變換植生指數, 葉面の指數, 定規植生指數, 綠色植生指數 등이 이용되고 있다(Lantenschlager and Perry, 1981; Crist and Cicone, 1984; Perry and Lantenschlager, 1984; Gardner and Blad, 1986; Curran and Williamson, 1987).

본 연구에서 식생활력도는 Landsat TM 자료를 이용 變換植生指數(Transformed vegetation index: TVI)를 계산하였으며 大田지역에서 도시내 또는 인접 산림지역의 植生活力度를 구하기 위해서 91년도 토지이용 분류에서 산림지역만 추출하여 위성자료를 이용 變換植生指數를 계산하였다. Landsat TM은 고도 705km에 위치하고 7개의 채널(0.45-12.5 μ m)로 세분화되어 여러 파장대에서 지상물체의 특성을 기록하며 위성자료는 수치(0-255)로 기록되어 있어 각 분광대에서 반사강도를 나타낸다. 계산된 TVI값은 0-255로 변환시켰으며 변환값은 1-142이었고 TVI 계급분류는 빈도분포 평균을 기준으로 하여 1-6의 계급으로 분류하였다. 계급 1은 식생의 活力度가 가장 불량한 것이며 계급 6으로 갈수록 식생의 活力度는 증가하여 계급 6은 분류중 가장 왕성한 植生活力度를 나타낸다. 대전지역에서 산림지역의 植生活力度를 분석한 영상은 그림 12와 같으며 결과는 표 4로 나타났다.

산림지역의 植生活力度 정도를 비교해 보면 표 4에서와 같이 堂山이 3.11, 鷄足山이 4.00, 寶文山이 4.13, 甲下山이 4.18, 鳳山이 3.34, 食藏山이 4.13, 城峙山이 4.20로 나타났다. 각 지역에서 植生活力度를 계급비율로 보면 堂山에서 2, 3, 4계급의 비율은 각각 12.6%, 64.2%, 24.2%로 나타났으며, 鳳山에서는 2, 3, 4계급이 차지

하는 비율은 각각 19%, 22.9%, 53.7%이었고, 鷄足山은 3, 4, 5계급의 비율이 19.5%, 59.4%, 20.4%이었으며, 寶文山은 3, 4, 5계급의 비율이 10.1%, 50.8%, 31.2%이었고, 食藏山은 3, 4, 5계급의 비율이 14.8%, 56.2%, 27.6%이었으며, 甲下山의 3, 4, 5계급의 비율이 12.6%, 56.2%, 29.2%이었고, 城峙山 경우는 3, 4, 5계급이 차지하는 비율은 9.6%, 60.7%, 28.8%이었다. 지역별로 식생활력도를 비교해 보면 堂山과 鳳山은 다른 지역 보다 2계급의 비율이 월등히 높게 나타나 낮은 植生活力度를 보였다. 반면 산림지역이 시내 중심에서 외곽으로 위치함에 따라 식생활력도는 4 또는 5의 계급의 비율이 높아지는 경향을 나타냈다.

植生活力度를 분석한 결과 工業團地 주변에 위치해 있는 堂山이 植生活力度가 가장 낮았고 시내 중심지역에 위치해 있는 鳳山 역시 다른 지역 보다 植生活力度가 낮게 나타났다. 또한 시내 외곽에 위치해 있는 산림지역은 시내근접 지역보다 植生活力度가 높게 나타났다. 대전지역에서 강우내 수용성 이온과 산림토양 분석 결과 공업단지 지역과 시내 중심지역이 심각하게 오염되어 있어 도시내 또는 인접산림이 도시내 각종 오염원로부터 발생하는 대기오염물질에 의해서 심각하게 영향을 받고 있는 것으로 사료된다.

結 論

본 연구는 山林生態系의 酸性雨에 대한 自淨能力과 敏感性을 分析 評價하므로써 도시내 또는 인접지역에 존재하는 森林을 生態學的으로 건강하게 管理할 수 있도록 하기 위한 기초 자료를 제공하기 위해 수행되었으며 지역별 강우의 성분 및 산림토양 분석과 Landsat TM를 이용한 식생

활력도를 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 大田지역에서 조사된 강우내 평균 이온 농도는 SO_4^{2-} 20.16mg/l, NO_3^- 3.65mg/l, Cl^- 3.09mg/l이었다. 汚染物質 總降下量은 음이온의 경우 SO_4^{2-} 가 1.09mg/m²/month, NO_3^- 는 0.23mg/m²/month, Cl^- 가 0.20mg/m²/month이었다. 양이온의 경우는 Ca^{2+} 이 0.14mg/m²/month, NH_4^+ 은 0.10mg/m²/month 이었고 Na^+ , K^+ 와 Mg^{2+} 는 각각 0.08mg/m²/month, 0.07mg/m²/month와 0.08mg/m²/month이었다.
2. 大田지역은 大氣 汚染物質에 의해 심각하게 오염되어 있었고 오염도는 겨울철에 심하여 여름철과 비교해서 SO_4^{2-} 는 32.16mg/l : 4.68mg/l로 약 7배, NO_3^- 와 Cl^- 은 각각 6.20mg/l : 1.78mg/l, 4.86mg/l : 1.55mg/l로 각 3배 높았다. 총양이온 농도도 2.35mg/l : 0.81mg/l로 겨울철에 약 3배가 높은 것으로 분석되었다.
3. 大田지역의 山林土壤 평균 pH는 4.16-4.94로 強酸性이었으며 토양중 鹽基飽和度는 평균 20.4%로 酸性雨에 대한 土壤 緩衝能力은 빈약한 것으로 나타났으며 토양 산성화는 공단 지역 인근에 위치해 있는 당산 산림에서 가장 심하였다.
4. 工團地域은 강우중 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 의 농도가 각각 43.08ppm, 3.88ppm, 3.64ppm으로 大田지역에서 오염이 가장 심한 것으로 나타났으며, 시내중심에서 외곽으로 거리가 멀어짐에 따라 강우내 水溶性 이온의 양은 감소하였고 변화 양상은 오염원에 따라 뚜렷한 경향을 보였다.
5. 植生活力度(TVI)는 당산 3.11, 계족산 4.00, 보문산 4.13, 감하산 4.18, 봉산 3.34, 석장산 4.13, 석상산 4.20로 공단지역과 시내중심 지역에 위치해 있는 당산과 봉산이 다른 지역보다 식생활력도가 낮게 나타났다.
2. 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 p.256.
3. 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 : 181-186.
4. Eastman, J.R. 1990. IDRISI : A Grid-Based Geographic Analysis System. Ver. 3.20. p.363.
5. Freiesleben, N.E.V. and L. Rasmussen. 1986. Effects of acid rain on ion leaching in a Danish forest soil. Water, Air and Soil Pollution 31 : 965-968.
6. 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 : 183-193.
7. Hutchinson, T.C. 1986. Responses of five species of conifer seedling to aluminum stress. Water, Air, and Soil Pollution 31 : 283-294.
8. 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. 77-82.
9. Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 1987. Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley & Sons, New York. p.140.
10. Ma, G. 1990. Nutritional disturbances and declining armand pine in Southwestern China. Water, Air, and Soil Pollution 54 : 91-96.
11. Matzner, E., D. Murach, and H. Fortann. 1986. Soil acidity and its relationship to root growth in declining forest stand in germany. Water, Air, and Soil Pollution 31 : 273-282.
12. Morton, R.T. and S.J. Tritus. 1983. Natural color and color-infrared planning for the identification of forest-stand density, height, and species composition. Can. J. For. Res. 13 : 1063-1067.
13. Perry, C.R. and L.F. Lautenschlager. 1984. Functional Equivalence of Spectral Vegetation Indices, Remote Sensing of Environment. 14 : 169-182

引用 文 獻

1. Abrahamsen, G., R. Horntvedt, and B. Tveite. 1977. Impacts of acid precipitation on coniferous forest ecosystems. Water, Air, and Soil Pollution 8(1) : 57-73.

14. Reuss, J.O. and D.W. Johnson. 1986. Acid deposition and the acidification of soils and water. Springer-Verlag. p.119.
15. Skeffington, R.A. and K.A. Brown. 1986. The effect of five years acid treatment on leaching, soil chemistry and weathering of a Humo-Ferric Podzol. Water, Air and Soil Pollution 31 : 891-900.
16. Zong Wei Feng. 1991. Effects of acid rain on Masson Pine forest in hongqing, China. In Proceedings of International Symposium. Impacts of salinization and acidification on Terrestrial Ecosystem and its rehabilitaton. 171-176.
17. 金甲德. 1987. 林業에 있어서 遠隔探查術의 應用方法에 關한 研究. 韓國林學會誌 76(1) : 41-50.
18. 金明姬. 1992. 大氣汚染物質에 의한 造景樹木의 被害反應 및 防禦機能. 博士學位論文. 忠南大學校 大學院. p.121.
19. 金俊鎬. 1991. 環境汚染에 의한 山林의 衰退徵候. 都市·山林·環境 심포지움. 3-25.
20. 金泰旭·李景宰·朴仁協. 1985. 大氣汚染이 곰솔림의 物質生産에 미치는 影響. 韓國林學會誌 71 : 33-39
21. 김양균 외. 1990. 大氣汚染物質의 長距離 移動과 산성비 降下에 關한 研究. 科學技術處 研究報告. p.335
22. 閔一植. 1989. 大氣汚染 및 酸性雨が 森林生態系의 養料動態 및 土壤緩衝能에 미치는 影響. 博士學位論文. 忠南大學校 大學院. p. 93.
23. 박경윤 외 8명. 1992. 위성전파 신호 처리 기술 연구 I. 전파연구소. p.142.
24. 安哲浩·尹定燮·安基元. 1985. 都市 및 地域研究를 위한 人工衛星 Data의 分析 및 活用方案에 關한 研究. 한국측지학회 3(1) : 1-13.
25. 양영규외 5명. 1986. 國土情報 管理를 위한 遠隔探查 應用技術 開發 I. 韓國科學技術院 附設 시스템공학센터. 科學技術處 研究報告書. p.201.
26. 李壽煜·閔一植. 1988. 大氣汚染과 酸性雨が 山林生態系에 미치는 影響-森林生態系의 土壤養料分布 및 循環. 科學技術處 報告書. 71-127.
27. 李壽煜·閔一植. 1989. 大氣汚染 및 酸性雨が 森林生態系의 土壤酸度 및 養料分布에 미치는 影響. 韓國林學會誌 78-1 : 11-25
28. 李壽煜·張寬淳. 1987. 韓國內 酸性雨의 長距離 汚染源에 關한 研究. 忠南大學校 환경 연구보고. 5(1) : 1-14.
29. 張寬淳·李壽煜. 1987. 都市에서 發生되는 大氣汚染物質이 森林生態系에 미치는 局所의 影響. 忠南大學校 環境報告書 5(2) : 73-82.
30. 大田直轄市. 1993. 大田環境改善 綜合計劃. 3-78.