

GIS 및 원격탐사기법을 이용한 북한산 국립공원 주변부의 추이대 탐지

박 중 화*·명 수 정*·박 영 임*

Detection of the ecotone of the Mt. Pukhansan National Park with GIS and remote sensing technologies

Chong-hwa Park·Soo-jeong Myung·Young-im Park

요 약

본 연구의 목적은 북한산 국립공원 경계선 일대의 추이대를 탐지하는 기법을 개발하여 추이대의 폭을 조사하고, 추이대의 폭과 환경요인과의 관계를 규명하는 것이다. 이를 위해서 1985, 1987, 1993년 5월 중순에 수신된 TM영상을 이용하여 계산한 정규식생지수(NDVI)를 도출하고, 버퍼링작업에 의하여 경계선으로 부터의 거리별 NDVI를 산출하여 추이대를 조사하는 방법을 제시하였다. 연구 결과 본 연구대상지의 추이대의 식생은 생물계절(phenology), 인접지역의 토지이용의 영향을 받는 것이 확인되었으며, 1993년에는 1985년에 비해서 추이대의 폭이 약 2배로 증대되어 탐방객의 과도한 이용 등으로 인하여 식생 피해지역의 범위가 확대되고 있는 것으로 판명되었다.

ABSTRACT : The purposes of this paper are to find ways to detect ecotone between two ecosystems, measure the width and size of ecotone around the Mt. Pukhansan National Park, and investigate environmental impacts, if any, on the forest ecosystem of the park by human activities. Normalized Difference Vegetation Index(NDVI) derived from TM data and the analytical capabilities of GIS are used to investigate characteristics of the ecotone, or the impact zone, of the park.

Major findings of the study can be summarized as follows : First, it was found that ecotone of the park could be identified from NDVI-distance curves derived by a series of buffering operations. Second, NDVIs of all three years of the national park are about 14 percent higher than surrounding areas. Third, width of ecotone were found to be closely related to phenology, adjacent land use, environmental degradation, etc. Third, ecotone of the study area was nearly

*서울대학교 환경대학원(Grad. School of Environmental Studies, Seoul National U., 56 Sinlim-dong, Kwanak-gu, Seoul 151-742, Korea, Tel. (02)880-5664)

doubled during 1985–1993 period, which might be caused by heavy trampling of visitors. Thus it can be concluded that further studies are needed to find exact causes of the deterioration of plant communities of the ecotone of the park.

서 론

경관생태학은 경관의 수평적 구성 상태와 공간적 이질성이 생태계에 미치는 영향을 강조한다. 경관생태학 분야의 근본개념은 면상요소(patch), 주연부(edge) 및 선형요소(corridor)이고, 생태적 유형의 동적특성이다(Haines–Young 1993). 전통적으로 생태학 분야의 연구는 비교적 동질적인 경관 단위 내에서의 과정 혹은 복합적 경관의 집단적 특성에 집중되었다. 오늘날에는 생물 혹은 무생물 요소들이 이질적인 경관의 면상요소 혹은 선형요소 간을 이동하며, 경관 단위 간의 경계부는 동적 공간체계에서 중요한 제어기능을 가짐을 인식하게 되었다. 경관의 경계부는 이와 같이 집중적인 생물–무생물의 상호작용을 갖기 때문에 인접생태계의 사소한 변화도 예민하게 감지할 수 있는 지표가 된다(Forman 1986).

두개 이상의 군집이 만나서 결합되는 부분을 추이대 혹은 주연부라 한다. 추이대의 폭과 형상은 다양한 자연환경 특성은 물론 인간의 토지이용의 종류 혹은 관리방법의 영향을 받는다(Smith 1980). 예를 들면 국립공원 경계부에서의 인간활동은 공원자원의 보전에 중대한 부작용을 끼칠 수가 있다.

생태학 분야에서는 야외조사방법으로 환경구배에 따른 식생군집과 야생동물종의 점

진적인 변화를 조사하여 소위 주연종을 근거로 추이대를 조사하고 있다(Clements 1905, Leopold 1949). 그러나 이 방법은 조사결과를 종의 다양도 혹은 보호대상종의 분포의 측면에서 요약하며, 현존식생도는 주로 우점식생을 기준으로 비교적 소축척의 기본도 상에 표현하기 때문에 추이대 내부의 환경특성의 변이에 따른 생물군집의 특성을 표현하는 데는 부적합하다(Smith 1980). 원격탐사의 여과(filtering) 기법을 이용한 주연부 탐사(edge detection)는 단층 등의 지질구조의 조사에 흔히 이용된다(Lillesand 1994, Mather 1987). 그러나 지도상에는 선으로서 경계부의 위치를 표현할 뿐이어서 주연부의 특성을 조사할 수 있는 새로운 조사방법이 필요하다(Johnston and Bonde 1989).

본 연구의 목적은 두 생태계 간의 주연부를 탐사하는 방법을 개발하고, 북한산국립공원 경계부의 주연부의 폭과 크기를 관측하고, 공원 인접부의 인간활동에 의한 공원생태계의 피해여부를 밀집주거지역과 자연녹지지역으로 구분하여 조사하는 것이다. 본 국립공원 경계부에는 밀집시가지, 유원지, 도로, 농경지, 조림지 등에 인접되어 있기 때문에 외부로부터 다양한 형태의 영향을 받고 있다. 국립공원 경계선으로부터의 거리에 따른 TM영상에서 도출한 정규식생지수의 점진적인 변화를 GIS의 버퍼링 기법을 활용하여 분석하고, NDVI–거리 곡선식

을 이용하여 추이대의 특성을 분석한다.

연구방법 및 재료

연구 대상지

본 연구는 북한산 국립공원과 그 인접지역을 대상으로 실시한다. 북한산(837m) 국립공원의 동, 남 방향은 밀집주거지역과 인접되고, 구기동, 평창동, 정릉동, 수유동, 우이동, 도봉동 등에서 연결되는 다수의 등산로를 이용하여 연간 3백만명 이상의 탐방객이 방문하고 있다. 본 공원의 북측에는 의정부-고양을 연결하는 39번 국도, 서편에는 구파발-송추를 연결하는 지방 도로가 인접해 있다. 이들 도로변에는 소규모 취락이 분포하고, 송추, 효자리 및 장흥 유원지 및 도로변에는 상당 규모의 상업시설이 입지하고 있다. 그러나 국립공원 및 개발제한구역으로 지정되어 개발행위가 제한되고, 도로변의 농경지 및 산림식생이 분포하여 양호한 식생이 보존되고 있다.

북한산 국립공원은 북한산과 도봉산을 포함하며, 정상부는 대규모 화강암 노두로 구성되어 있다. 국립공원 경계부로 부터의 거리별 평균표고를 계산하여 만든 공원의 표고예측 방정식은 아래와 같다.

$$ELEVATION=106.73+0.1505 \times DISTANCE$$

즉 공원경계부의 평균표고는 106.73m이며, 공원 경계선 내부의 평균경사도는 15.05% 이다. 일반적으로 경사가 완만한 저지대는 급경사, 고지대보다 토심이 깊고, 토양이 비옥하고, 토양수분이 풍부하고, 기온이 따뜻하여 식생생육에 양호한 자연환경을 구비

하고 있다. 따라서 과도한 탐방객의 밀집 혹은 공원 외부에서 발생된 대기오염물질등에 의하여 본 공원경계부의 자연식생이 피해를 받기 이전에는 공원 내부에 비해서 식생이 현저히 양호했던 것으로 추정된다.

본 국립공원은 1983년 4월 2일에 지정되었으며, 공원구역의 11.3% 및 84.7%는 자연보존지구 및 자연환경지구로 지정되어 인간의 점용 및 자원이용이 규제되고 있다. 취락지구와 집단 시설지구는 각 1.2%와 2.8%를 점유하고 있으며, 주로 공원경계선에 인접한 지역에 분포하고 있다. 국립공원이 지정되기 이전에 건립된 주거 및 상업건물은 일부 존재하지만 신규건설은 엄격히 규제되고 있다. 본 공원의 남, 동편 인접지역에는 국립공원이 지정된 후에도 대규모 아파트 단지 혹은 고급 빌라 등이 건설되고 있다(양병이 등 1991). 본 공원 인접지역에서의 농경 및 조림지 관리행위도 국립공원 생태계에 영향을 미칠 수 밖에 없다. 따라서 본 국립공원 경계부에는 뚜렷한 추이대가 형성되고 있다.

본 연구는 1985년 5월 14일, 1987년 5월 20일, 1993년 5월 20일에 수신된 TM 영상(path 116-row 34)을 이용하였다. 매년 5월 중하순은 청명일수가 많아서 위성영상 수신에 적합하며, 중부지방의 초본 및 낙엽활엽수가 왕성한 생장을 하기 때문에 위성영상을 이용한 식생지수를 이용한 시계열적 분석에 유리하다.

위성영상 자료 분석

위성영상탐사 자료를 이용한 식생지수는 생체량, 생산성, 엽면적, 녹피율 등을 예측할

수 있다. 모든 식생지수는 식물의 활력도 및 녹피율에 따른 가시광선 및 근적외선 파장대 광선의 반사량의 차이를 이용한다. 왕성한 녹색식물은 근적외선(0.7-1.1 μ m) 입사량의 40-50%를 반사하고, 식물체내의 엽록소는 가시광선의 80-90%를 흡수한다(Jensen 1986). 활력이 저하되었거나 고사한 식물체는 가시광선의 20-30%를 반사하여 왕성한 식물보다 반사량이 많고, 반면에 근적외선의 반사량은 왕성한 식물에 비해서 적다. 건조한 토양의 가시광선 반사량은 일반적으로 왕성한 식물보다는 많지만 쇠약한 식물 보다는 적으며, 반면에 근적외선의 반사량은 식물에 비해서 적다. 식생지수는 여러 종류가 개발되어 이용되고 있다(Lillesand 1994).

영상분석 및 GIS 분석은 IDRISI (Eastman 1992)를 이용하였다. 본 연구는 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index)를 활용하며, 화일의 크기와 작업소요시간의 축소에 가장 유리한 바이트(byte) 화일을 이용할 수 있도록 하기 위해서 아래의 NDVI공식에서 보는 바와 같이 8비트 스케일로 출력한다. 위성영상은 25 \times 25m 해상력으로 영상등록하여 720 \times 480p로 출력하였다.

$$NDVI = 128 \times \left(\frac{(TM4 - TM3)}{(TM4 + TM3)} + 1 \right)$$

추이대 분석

본 국립공원의 경계선을 기준으로 50m 간격의 버퍼링(buffering) 작업을 시행하여 거리별 평균 NDVI를 계산하였다. 이 작업은 공원경계선 내부는 600m, 외부는 300m 거

리 까지 시행하였다. Figure 2에서 보는 바와 같이 X축에 공원경계선으로 부터의 거리, Y축에 평균 NDVI를 작도하여 형성된 산포도(scattergram)는 시그모이드(sigmoid) 곡선의 형태를 갖고 있다. 즉 공원내부로 갈수록 NDVI는 급격히 증가하다가 최고치에 완만하게 근접하고 있다. 이 그림에서 공원경계선의 거리는 0이며, 공원경계선으로 부터 외부 방향으로의 거리는 음수로 표시하였다.

상기 평균NDVI-거리 곡선은 생태학 연구에서 자주 이용되는 개체군 증가곡선을 활용하여 설명할 수 있다. 즉 개체군의 크기는 초기에는 등비급수로 증가하지만 밀도의 증가에 따른 질병 및 포식자의 증가 등의 환경압력으로 인하여 증가율이 점진적으로 감소되어 해당 환경의 수용능력(carrying capacity)에 근접함을 다음의 방정식과 같이 표현할 수 있다(Krebs 1982).

$$N_t = K / (1 + e^{R-t})$$

여기서

N_t = 시점 t에서의 개체군의 크기

K = 환경수용능력

t = 경과시간

본 국립공원 경계선으로 부터의 직선거리별 평균 NDVI를 계산하여 만들어지는 NDVI-거리 산포도는 아래와 같이 개체군 증가공식을 변형하여 국립공원 외부로 부터의 인위적 간섭에 의한 자연식생의 피해 권역 및 피해 정도를 계량화 함으로써 본 연구 대상지역의 추이대의 특성을 분석하는데 유용하게 사용될 수 있다.

$$NDVI = K / (1 + e^{R-r \cdot dist})$$

여기서

NDVI = 정규식생지수

K = NDVI 최고치

DIST = 국립공원 경계부로 부터의 직선 거리

시간의 경과에 따른 개체군의 증가를 표현하는 로지스틱 곡선식은 S자형이 된다. 그러나 초기 및 최고치간의 차이가 크지 않은 관측자료를 이용하여 작성된 NDVI-거리 산포도는 초반부가 급격히 증가하여 S곡선의 특성을 표현하지 못하는 경향이 있다. 이 문제는 NDVI의 최저치도 설정하여 경계선으로 부터의 거리별 NDVI 증가치를 예측하도록 다음과 같이 곡선식을 변형시킴으로써 극복할 수 있다.

$$NDVI = MIN + (K - MIN) / (1 + e^{R-r \cdot dist})$$

여기서

NDVI = 정규식생지수

K = NDVI 최고치

MIN = NDVI 최저치

DIST = 국립공원 경계부로 부터의 직선 거리

본 연구지역에서의 추이대의 폭은 국립공원 경계선에서 부터 NDVI가 최고수준에 근접하는 구간 까지로 정의할 수 있다. 추이대의 폭을 판정하는 기준은 다음의 세가지를 활용할 수 있다. 첫째, 가장 엄격한 기준은 공원경계선에서 NDVI가 최고수준에 도달하는 거리로 정의하는 것이다. 둘째, 수도권 일대는 비교적 높은 대기오염 물질의 농도

로 인한 피해를 받으며, 본 공원의 식생은 탐방객의 답압피해를 받는 것을 감안하여 NDVI 최고 수준의 95% 혹은 99% 수준을 기준으로 설정할 수 있다. 이것은 생태계의 추이대와 내부의 판정기준으로서 통계적 유의수준의 검정시 보편적으로 사용되는 기준을 적용하려는 것이다. 셋째, 종-면적 곡선에서 표본조사구역의 적정크기를 결정하는 방식을 이용할 수도 있다. 생태계 조사시 표본조사구역의 크기는 조사면적을 일정 수준, 예를 들면 10%, 증가시킴에 따라서 추가로 발견되는 생물종수가 그 수준과 동일한 면적으로 정의되고 있다(Mueller-Dombois 1974).

상기 판정기준중 첫째 기준을 본 연구 대상지에 적용하면 추이대의 폭이 최대 1,825m로 되고, 공원면적의 82.73%가 추이대로 판정되어 일반적인 추이대의 비율을 현저히 초과하는 단점을 갖는 것이 확인되었다. 세번째 기준은 5% 혹은 10%라는 작의적인 증가율을 적용하는 약점을 회피하기 위해서 평균경사도 보다 급경사구간을 추이대로 판정하기도 한다(Park et al. 1995). 이 경우에는 NDVI조사 폭이 넓을수록 곡선식의 평균경사도가 완만해지고, 따라서 추이대의 폭이 넓은 것으로 판정되는 단점이 있다.

결과 및 고찰

본 연구대상지의 위성영상을 이용하여 전술한 방법에 의하여 계산한 NDVI는 Figure 1과 같다. 이것은 북한산 국립공원의 남서쪽 방향 상공에서 투시한 DEM상에 표시한

것이며, 공원경계선은 청색으로 표현되고, 식생지수는 검정, 자주, 적색, 황색, 연두색, 초록색의 순으로 높아진다. 북한산국립공원의 남, 동편은 밀집시가지가 분포하며 적색 및 청색계열로 표현되고, 공원의 서, 북편에는 양호한 녹지가 분포하고 있다. 북한산은

주변에 비해서 표고가 현저히 높고, 화강암이 지표면에 노출된 급경사이지만, 식생은 공원주변의 밀집 시가지는 물론 공원 서편의 구파발-송추 간의 지방도로변 평지보다 잘 보전되어 있음을 알 수 있다.

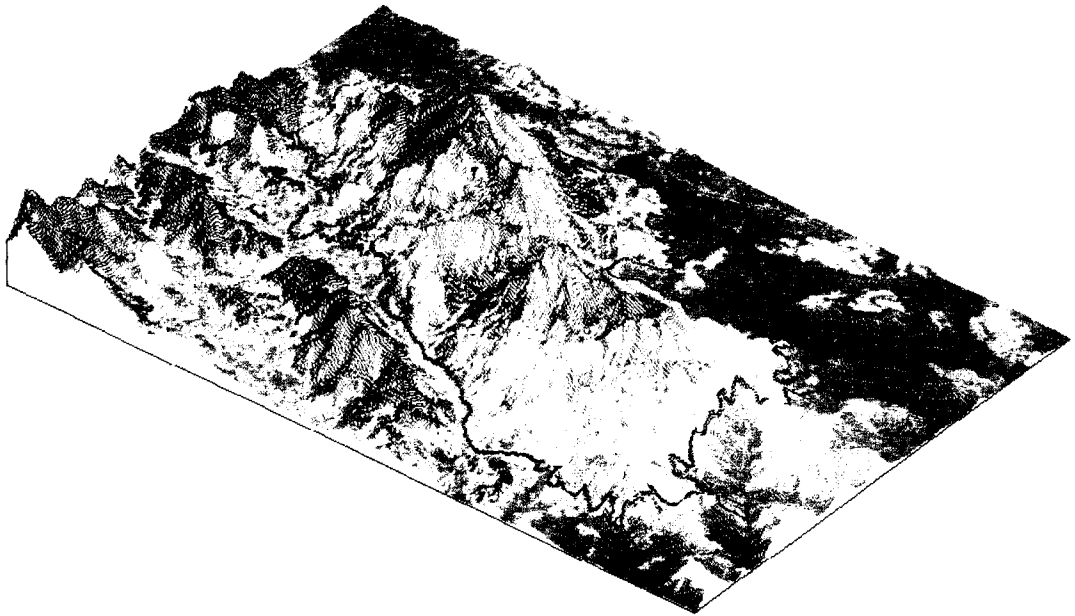


Fig. 1 NDVI of the Mt. Pukhansan National Park Derived from TM Data Acquired on May 20, 1993.

1985년 5월 14일에 수신된 TM영상을 이용하여 산출된 NDVI를 이용하여 공원경계선으로 부터 50m 간격으로 버퍼링 작업을 시행하여 작성된 평균 NDVI-거리 산포도를 이용하여 만들어진 로지스틱 함수는 Figure 2와 같다. 이 그림의 x축은 공원경계선으로 부터의 거리를 나타내며, 공원경계선 외부는 음수로 표현된다. 또 국립공원 내부의 최고 NDVI는 187이며, 인접지역의 최

저 NDVI는 156임을 보여주고 있다. 이 직선식의 최고 NDVI 및 최저 NDVI의 차이의 95% 및 99%가 되는 지점과 공원경계선까지의 거리가 추이대의 폭이 된다. 1987년 및 1993년 TM 영상을 이용한 NDVI 및 추이대도 동일한 방식으로 계산하였다.

본 연구결과는 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, Table 1에서 보는 바와 같이 공원 내부(126,923 격자)의 식생은 공원의외부(218,

677 격자)에 비해서 식생지수가 현저히 높은 것으로 판명되었다. 또한 본 공원 내부의 NDVI(A)와 주변지역의 NDVI(B) 비율은 1985년의 1.1379에서 1993년에는 1.1565로 증가되었다. 이것은 본 공원 내부의 식생은 외부에 비해서 NDVI가 14%정도 양호함을 뜻하며, 외부의 식생이 시간의 경과에 따라서 급격히 훼손되는 반면에 내부의 식생은 잘 보존되기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 본 연구 대상지의 NDVI의 절대치는 1985년이 가장 높았고, 1987년이 가장 불량하였다.

이와 같은 NDVI의 차이는 자연적 요인과 인위적 요인으로 구분하여 설명할 수 있을 것이다. 생물계절(phenology)의 영향을 배제하기 위하여 1985년 5월 14일, 1987년 및 1993년 5월 20일에 수신된 TM영상을 선정하여 이용하였으며, 각 NDVI와 해당 연도의 TM영상 수신시기까지의 강수량 및 월평균기온으로 부터 산출한 온량지수 간의 상관관계는 확인할 수 없었다. 따라서 년도별 NDVI 차이는 식생활력도에 영향을 미치는 여타 자연적 요인 혹은 대기오염 등의 환경 조건의 악화 등과 관련된 것으로 판단된다.

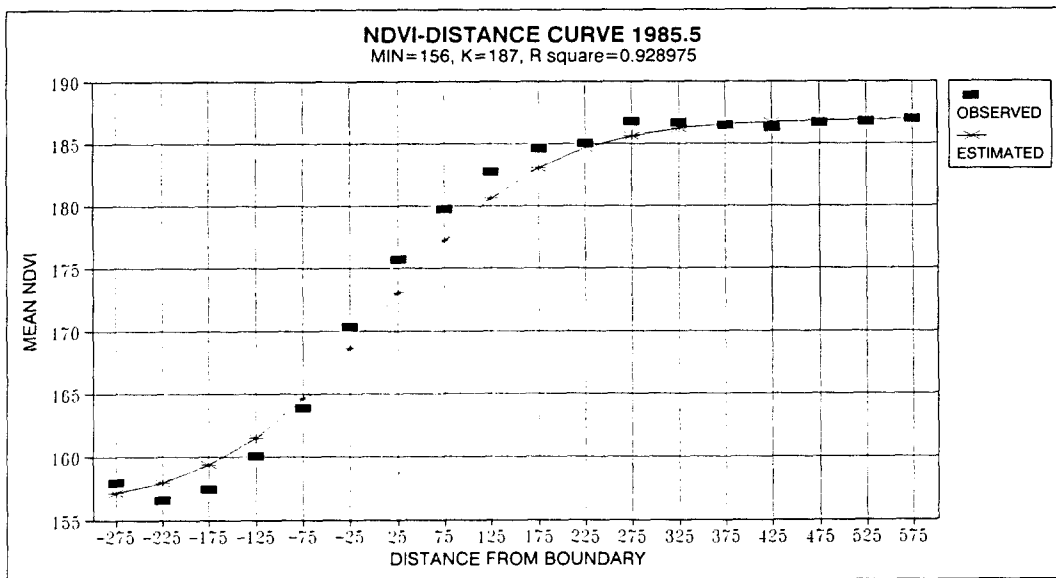


Fig. 2 NDVI-Distance Curve of the Mt. Pukhansan National Park Derived from TM Data Acquired on May 14, 1985.

Table 1. Summary Statistics of the NDVI of the Study Area

TM Data	All Scenes	National Park(A)	Surrounding Area(B)	Ratio(A/B)
05-14-1985	173.2769	187.6720	164.9261	1.1379
05-20-1987	164.2091	178.5040	155.9051	1.1450
05-20-1993	167.8615	183.5722	158.7358	1.1565

둘째, 3개 TM영상을 이용하여 산출된 평균 NDVI-거리 곡선식은 아래와 같다.

$$NDVI_{1985} = 156 + 31 / (1 + e^{0.090093 - 0.01152 * DIST})$$

$$(R^2 = 0.9290)$$

$$NDVI_{1987} = 150 + 26 / (1 + e^{0.806718 - 0.00969 * DIST})$$

$$(R^2 = 0.9613)$$

$$NDVI_{1993} = 151 + 30 / (1 + e^{0.508608 - 0.01007 * DIST})$$

$$(R^2 = 0.9662)$$

여기서

$NDVI_{YEAR}$ = 해당년도 영상으로 산출된 NDVI

DIST = 공원경계선으로 부터의 직선거리

이들 세 TM영상을 이용하여 산출된 NDVI를 이용하여 작성된 NDVI-거리 곡선식은 모두 상관계수가 0.92를 초과하고 있다. 세 곡선식중 NDVI최고치가 가장 높은 년도는 1985년이며, 최고치와 최저치 간의 차이, 즉 공원 내외부 간의 식생지수의 차이가 가장 큰 영상은 1993년이다. 이것은 1993년에도 공원식생은 전반적으로 잘 보전되고 있음을 의미한다. 1987년의 영상의 NDVI 최고치, 최저치 및 내외부 간의 차이 모두가 가장 낮은 것으로 판명되었지만 당 년도의 생물계절이 예년에 비해서 늦었기 때문인지 환경요인 때문인지는 분명치 않다.

세째, 전술한 바와 같은 TM영상을 이용하여 산출된 NDVI 최고치의 95%, 99% 및 100% 기준을 적용하여 계산된 본 연구대상지의 추이대 분석 결과는 Table 2와 같다. 추이대의 폭과 크기는 환경조건의 변화 및 식생의 생물계절(phenology)의 차이 때문인

것으로 추론할 수 있다. 95% 판정기준을 적용하면 1985년, 1987년, 1993년의 NDVI를 이용하여 산출된 추이대의 폭은 220.72m, 387.52m, 456.23m이다. 99%와 100% 판정기준을 적용하면 그 폭이 더욱 넓어짐을 알 수 있다. 추이대의 면적은 95% 판정기준을 적용할 경우에는 본 공원면적의 14.43-27.69%를 점유하며, 99% 판정기준을 적용하면 21.71-38.44%, 100% 판정기준을 적용하면 52.18-82.73%를 점유한다. 이것은 북한산 국립공원 대부분의 구역이 탐방객의 답압피해를 받는 사실(이경재 등 1987)과 일치되는 것이지만, 주연부는 생태계의 극히 일부라는 일반인의 고정관념과는 맞지 않는 것이다.

본 연구대상지의 추이대 분석에서 가장 특이한 것은 그 폭이 점점 넓어지는 것이다. 즉 1993년의 추이대 폭은 1985년에 비해서 1.86배(100% 기준) 내지 2.06배(95% 기준)로 증가되었다. 이와 같이 본 연구대상지 추이대의 폭이 현저히 넓어지는 것은 과도한 탐방객의 답압피해, 공원외부로 부터의 대기오염물질의 유입 등으로 인한 피해권역이 넓어짐을 의미한다. 추이대의 확장은 주변종의 서식지는 넓어지는 반면에 내부종의 서식공간을 축소시키는 부작용을 수반한다.

넷째, 북한산 국립공원 인접지역의 토지 이용 용도가 추이대의 식생에 상이한 영향을 미칠 가능성을 감안하여 밀집 시가지 경계부와 자연녹지 경계부로 구분하여 버퍼링 작업을 시행하였다. 전술한 바와 같이 본 연구 대상지의 남, 동편은 서울 시가지와 인접하고, 서, 북편은 의정부, 고양시, 남양주군의 자연녹지와 인접하고 있다. 본 국립공원

Table 2. Ecotones of the Mt. Pukhansan National Park identified by TM NDVI

TM Data \ Ecotone	95% Criteria			99% Criteria			100% Criteria		
	Width (m)	Size (cells)	Percent (%)	Width (m)	Size (cells)	Percent (%)	Width (m)	Size (cells)	Percent (%)
05-14-1985	220.72	18,314	14.43	341.49	27,560	21.71	981.16	66,225	52.18
05-20-1987	387.52	27,322	21.53	557.94	41,701	32.86	1,442.44	88,767	69.94
05-20-1993	456.23	35,142	27.69	674.31	48,790	38.44	1,825.09	105,009	82.73

경계선중 시가지에 인접한 추이대의 경계로부터의 직선거리 및 평균 NDVI간에는 다음과 같은 회귀식이 도출되었다.

$$NDVI_{1985} = 147 + 41 / (1 + e^{0.012006 - 0.01449 * DIST})$$

$$(R^2 = 0.9939)$$

$$NDVI_{1987} = 142 + 31 / (1 + e^{-0.1024 - 0.01514 * DIST})$$

$$(R^2 = 0.9591)$$

$$NDVI_{1993} = 139 + 37 / (1 + e^{-0.029612 * 0.01259 * DIST})$$

$$(R^2 = 0.9965)$$

본 연구대상지중 자연녹지 경계부의 거리별 평균 NDVI는 다음의 회귀식이 도출

되었다.

$$NDVI_{1985} = 165 + 22 / (1 + e^{0.475907 - 0.01657 * DIST})$$

$$(R^2 = 0.8962)$$

$$NDVI_{1987} = 157 + 18 / (1 + e^{0.581089 - 0.01294 * DIST})$$

$$(R^2 = 0.9338)$$

$$NDVI_{1993} = 163 + 21 / (1 + e^{0.601186 - 0.01691 * DIST})$$

$$(R^2 = 0.9385)$$

본 연구 대상지 경계부의 토지이용 용도에 따른 추이대의 폭은 다음의 Table 3과 같다.

Table 3. Width of Ecotones Adjacent to Residential Areas and Open Spaces(Unit=m)

TM Data \ Ecotone	Adjacent to Residential Areas			Adjacent to Open Spaces		
	95%	99%	100%	95%	99%	100%
05-14-1985	204.02	317.93	940.54	206.43	306.05	813.00
05-20-1987	187.66	296.65	873.92	272.50	400.07	1,033.81
05-20-1993	236.23	367.34	1,075.83	209.65	307.25	801.18

국립공원 인접지역의 용도별 평균 NDVI 분석결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 고밀 주거지역에 인접된 경계선의 평균 NDVI는 139-147의 범위인 반면에 자연녹지 인접지역의 평균 NDVI는 157-165로서 식생의 현저한 차이가 관찰되었다.

이것은 자연녹지를 철저히 파괴하고 고밀도 주거지역을 개발하는 우리나라의 택지개발 관행이 초래하는 당연한 귀결이다. 둘째, 국립공원 내부와 자연녹지 경계부의 NDVI 차이는 18-22인 반면에 주거지역과의 NDVI 차이는 31-41로서 그 차이가 50% 정도 크

다. 이와 같이 거리별 NDVI곡선이 급경사를 이루는 것은 국립공원 내부의 식생은 일정 수준의 NDVI를 유지하지만 주거지역은 녹지지역에 비해서 NDVI가 현저히 낮기 때문이다. 이 관계는 Figure 3에서 보는 바와 같이 NDVI-거리 곡선에서 추이대의 식생

지수는 인접지역의 용도차이에 따라서 현저한 차이가 있지만 공원 내부로 갈수록 그 차이가 급격히 감소하는 것에서 알 수 있다. 그러나 추이대의 폭은 인접지역의 토지 이용과의 상관관계를 찾을 수 없었다.

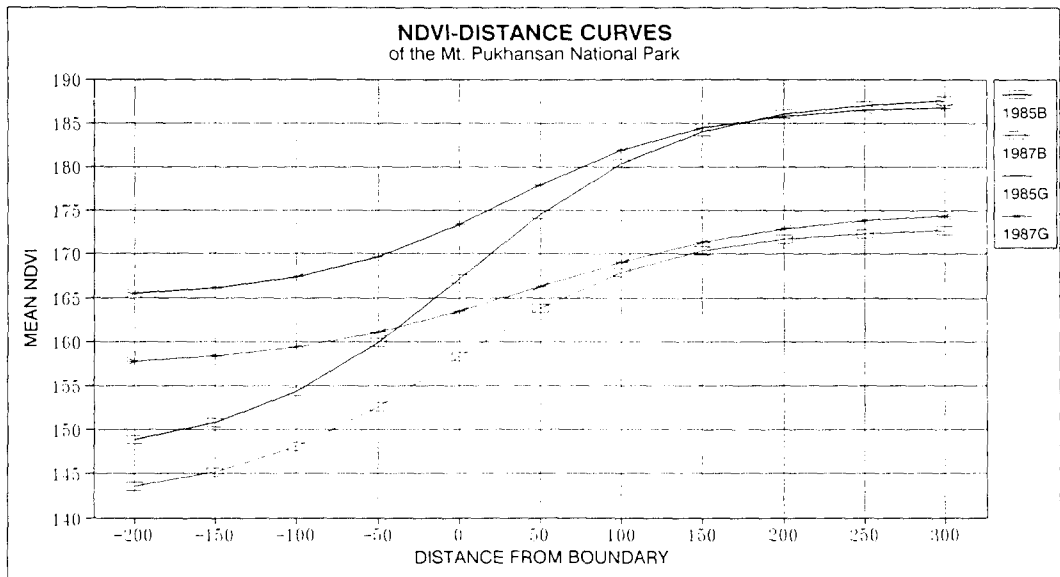


Fig 3 NDVI-Distance Curves for Different Adjacent Land Uses of the Mt. Pukhansan National Park Area(1985 and 1993)

결론

북한산 국립공원과 인접부와의 추이대 식생은 공원 외부에서의 인간활동의 영향 혹은 탐방객의 높은 이용밀도로 인하여 식생 군집의 종조성은 물론 활력도에도 영향을 미친다. 공원경계부 외부에서의 개발행위로 인한 식생의 훼손은 추이대 식생의 완충기능, 보호기능도 감소시키게 될 것이다. 본 연구는 보존지역 경계부의 추이대의 시계열

적 변화를 지속적으로 감시할 필요성에 입각한 것이며, 그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 국립공원 경계부와 같이 현저히 상이한 생태계가 인접하는 지역을 대상으로 원격탐사와 GIS분석능력을 활용한 추이대 탐사기법을 개발하였다. 즉 국립공원경계로부터의 거리별 버퍼링에 의해서 산출한 평균 NDVI 산포도를 생태학에서 자주 이용되는 개체군 증가곡선식을 변형시켜 인간활동

에 의하여 NDVI가 저하된 영역을 추이대로 규정하였다. 본 연구에서는 추이대의 판정 기준은 국립공원 경계선으로 부터 최고 NDVI의 95%, 99% 및 100%에 도달하는 지점까지의 거리로 정의하였으며, 추후에 여타지역에 적용하여 최선의 기준을 선정하도록 하여야 할 것이다.

둘째, 국립공원 내부의 식생은 외부의 식생에 비해서 NDVI가 현저히 높았고, 공원 인접구역의 토지이용에 따른 추이대 식생의 차이를 발견할 수 있었다. 즉 세 영상 모두 공원내부의 NDVI는 외부에 비해서 14% 정도 높았다. 본 공원의 밀집개발지 인접 경계부는 자연녹지 인접경계부에 비해서 추이대의 NDVI가 현저히 낮은 것으로 판명되었지만 추이대의 폭과의 명백한 상관관계는 존재하지 않는다.

셋째, 1985년, 1987년, 1993년 5월 중순에 수신된 TM영상을 이용한 NDVI를 이용하여 본 연구대상지의 추이대를 조사한 결과 영상에 따라서 추이대의 폭과 점유비율이 상이함이 발견되었다. 즉 추이대의 폭은 95% 판정기준을 적용하면 220.72-456.23m, 99% 판정기준을 적용하면 341.49-674.31m, 100% 판정기준을 적용하면 981.16-1,825.09m이었다. 그러나 어느 판정기준을 적용하더라도 추이대의 폭이 약 2배로 넓어진 것이 발견되었다. 이것은 탐방객의 과도한 이용 혹은 대기오염 피해 등으로 초래된 것으로 추측할 수 있지만 지속적 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시하는 추이대 분석방법은 보존녹지에 의한 도시환경개선효과를 측정하는 데에도 이용될 수 있다. 이와 같은 연

구에서 경계선 외부방향의 추이대가 넓을수록 도시환경 개선의 공간적 범위가 넓은 것으로 판정할 수 있다. 이 방법은 또한 국립공원 혹은 여타 생태계 보호지역에서의 내부종 서식공간의 넓이를 산정하는 데도 이용될 수 있다. 즉 인접지역의 환경악화로 인하여 추이대가 넓어지는 것은 내부종의 서식가능공간의 축소를 의미한다. 우리나라와 같이 고밀도 토지이용으로 인하여 서식지 단편화가 극심한 지역에서는 먹이사슬의 상위단계에 있는 고차 소비자 혹은 양호한 수질을 필요로 하는 열목어 등의 보존지역은 추이대에 의해서 인간의 자원이용행위의 영향이 차단되는 넓은 서식공간을 필요로 한다.

참 고 문 헌

- 박종화, 명수정, 박영임(1995), "원격탐사기법을 이용한 북한산 국립공원 전이지대의 폭 분석", 한국생태학회 춘계학술발표회, 1995. 4. 28, 서울여자대학교.
- 양병이, 김정옥, 박종화(1991) "서울의 녹지보전실태와 영향요인에 관한 연구", 「환경논총」 29, pp.37-81.
- 이경재, 김준선, 우종서(1987). "북한산국립공원의 토양 및 식생에 대한 이용 영향 및 심리적 수용력의 연구", 「응용생태연구」 1-1, pp.35-47.
- Clements, F.E.(1905). *Research Method in Ecology*. Lincoln:Nebraska U. Pub.
- Eastman, J.R.(1992). *Idrisi, Ver 4.0: Technical Reference*, Worchester, MA:Clark U.
- Eastman, J.R.(1992). *Idrisi, Ver 4.1: Update*

- Manual*, Worcester, MA:Clark U.
- Forman, Richard T.T. and Michael Godron (1986). *Landscape Ecology*, New York: John Wiley.
- Haines-Young, Roy, et al.(1993). *Landscape Ecology and GIS*, London:Taylor and Francis.
- Jensen, John R.(1986). “Biophysical Remote Sensing”, *Annals*, Assoc. of American Geographers, Vol.73, pp.111–132.
- Johnston, Carol A. and John Bonde(1989). “Quantitative Analysis of Ecotones Using a Geographic Information System”, *Photo. Eng. and Remote Sensing* 55–11:1643–1647.
- Krebs, Charles J.(1982). *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*, 3rd ed. New York: Harper & Row.
- Leopold, Aldo(1949). *A Sand County Almanac*, London:Oxford U. P.
- Lillesand, M. and W. Kiefer(1994). *Remote Sensing and Image Interpretation*, 3rd ed. New York: John Wiley.
- Mather, Paul M.(1987). *Computer Processing of Remotely Sensed Images: An Introduction*. Chichester:John Wiley.
- Mueller-Dombois, D and Ellenberg. H. (1974). *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. New York:John Wiley.
- Park, Chonghwa(1992). “A Change detection with Green Vegetation Index derived from Landsat TM Data”, *Jour. of the Korean Society of Remote Sensing* 8–1, pp.27–43.
- Smith, Robert Leo(1980). *Ecology and Field Biology*, 3rd ed. New York:Harper & Row.