

Landsat 綠色植生指數를 이용한 서울市 都市綠地 變化 調查

朴鍾和
서울대학교 환경대학원
(1992년 5월 20일 발음 ; 1992년 5월 30일 수리)

A Change Detection of Urban Vegetation of Seoul with Green Vegetation Index Extracted from Landsat Data

Chong-Hwa Park

Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University
(Received May 20, 1992 ; Accepted May 30, 1992)

Abstract

The purpose of this study is to detect and evaluate the change of urban vegetation of Seoul during 1980s. Large areas covered with agricultural crops or forests were converted to residential and commercial areas, roads, schools, sports complexes, etc. There were also widespread concerns on the deterioration of the quality of urban vegetation due to severe air pollution, overcrowding of nature parks, and idling of farm lands by land speculators.

The images used for this study were MSS(Oct. 4, 1979) and TM(Apr. 26, 1990). The Green Vegetation Index of Kauth & Thomas(1976) was used for the analysis. The GVI were resampled with 75×75 m grids and overlaid with the jurisdictional boundaries of 22 districts of Seoul. The results were reclassified to 6 classes, class 6 representing grids with the most vigorous vegetation or the best vegetation improvement in 1980s.

The finding of this study can be summarized as follows :

First, the most vigorous vegetation, in terms of GVI, of the 1979 image can be found at paddy fields located on alluvial soils near Han River. Broad-leaf forests located on hilly terrains have higher GVI than conifers located on the upper-parts of mountains. The average GVI of the northern part and southern part of Han River are 3.56 and 3.74, respectively. The main reason why the southern part has higher GVI is that there are

more prime agricultural lands. Districts of Kangseo, Yangcheon, and Songpa have the highest percentage of grids of GVI class 6, and the percentages are 3.55 %, 3.47 %, and 2.69%, respectively.

Second, the most vigorous vegetation of the 1990 image can be found at the grass lands of the Yongsan golf club and the Sungsu horse racing track. The GVI of farm lands is lower than forest because most agricultural crops are at the early stage of growing season when the TM image was taken. The size of built-up area is much larger than that of 1979. On the other hand, vegetation patches surrounded by developed area become smaller and have stronger contrast to surrounding area. The average GVI of the northern part and southern part of Han River are 3.57 and 3.51, respectively. The main reason why the southern part has lower GVI is that more large-scale urban development projects were carried out in there during 1980s. Districts of Tobong, Nowon, and Seocho have the highest percentage of class 6, and the perecentages are 16.58%, 10.14%, and 8.50% respectively.

Third, the change of urban vegetation in Seoul during 1980s are significant. Grids of GVI change classes 1 and 2, which represent severe vegetation loss, occupy 15.94% of Seoul. Three districts which lost the most vegetation are Yangcheon, Kangseo, and Songpa, where the percentages of GVI class 1 are 13.42%, 13.39%, and 9.06%, respectively. The worst deterioration was mainly caused by residential developments. On the other hand, the vegetation of some part of Seoul improved in this period. Grids of GVI change classes 5 and 6 occupy 9.83% of Seoul. Distircts of Jung, Yongsan, and Kangnam have the highest percentage of grids with GVI change classes 5 and 6, and their percentages are 22.31 %, 19.17 %, and 13.66 %, respectively. The improvement of vegetation occurred in two areas. Forest vegetation is generally improving despite of concerns based on air pollution and heavy use by recreationists. Vegetation in open spaces established in riverside parks, large residential areas, and major public facilities are also improving

I. 序 論

1. 研究의 背景 및 目的

우리나라의 도시녹지는 도시의 성장에 따른 주거, 상업, 공공시설용지 등의 신규 토지수요를 공급시키기 위한 개발로 인하여 그 면적이 급격히 감소되고 있다. 극심한 대기오염 및 행락객의 이용압력은 녹지의 활력도를 저하시키기 때문에 도시녹지의 분포 및 활력도에 관한 정확한 조사방법이 필요하다.

근래에 서울의 都市綠地에 관한 研究가 다수 수행되었지만, 도시성장에 따른 녹지의 정성적·정량적 변화의 정도 및 공간적 분포에 관한 연구는 미진한 실정이다. 도시녹지의 체손상태에 관한 연구(양명이 등 1991)는 주로 녹지의 체손면적 및 용도변화와 관련된 통계자료

중심으로 연구를 수행하여, 녹지분포의 공간적 변화를 설명하는 데는 미흡하다. 대규모 토지 개발사업에 따른 도시녹지의 감소에 관한 연구(박종화 1991a)도 유사한 한계를 갖고 있다. 행락객의 이용압력(이경재 외 1987) 혹은 대기오염에 의한 녹지피해에 관한 연구(김준호 1991) 등은 주로 특정지역 혹은 대상에 관한 국지적인 조사내용을 무리하게 일반화시키고 있다.

도시녹지의 공간적 분포 및 시간경과에 따른 공간적 변화에 관한 연구는 우리나라와 같이 고밀도 국가인 日本에서 다수 수행된 바 있다. 즉, 田畠貞壽(1979)는 일본 도시권에서의 시계열적 도시녹지의 분포 및 질의 변화를 항공사진 및 현장조사방법을 이용하여 연구하였고, 金振仙(1991)은 일본과 우리나라의 고밀도 시가지에서의 緑被地의 分布特性을 비교연구한 바가 있다. 우리나라에서는 朴鍾和(1991b)가 주거단지 내 녹지를 현장조사에 의해서 공간적 분포를 조사한 바가 있고, 서동조(1990)는 안산시의 도시녹지를 원격탐사와 지리정보체계를 이용하여 분석하고 도시녹지체계의 구성계획안을 제시한 바 있다. 그러나 원격탐사를 이용한 서울과 같은 대도시 녹지의 공간적 변화를 연구하지 못했다.

遠隔探査를 이용한 도시녹지조사는 다음의 네 가지 長點을 갖는다. 첫째, 컴퓨터를 이용하여 신속하고 정확하게 수치자료를 분석하여 녹지의 분포 및 활력도에 관한 廣域情報 를 경제적으로 추출할 수 있다. 둘째, 결과물을 映像 혹은 地圖로 출력시켜 관심대상의 공간적 분포를 정확하게 표현할 수 있다. 셋째, Landsat 및 SPOT 등의 위성은 지표면상의 동일지역의 정보를 반복수집하기 때문에 녹지의 時系列的 變化를 연구하기에 적합하다. 넷째, 컴퓨터를 이용한 地理情報體系(GIS)의 入力資料로 이용되어 녹지변화요인의 추출, 토지이용계획 혹은 환경보전계획의 수립에 유용하게 이용될 수 있다.

본研究의 目的은 다음의 세 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 1979년 및 1990년에 수집된 위성영상 자료를 이용하여 서울시 전역의 植生指數를 산출한다. 둘째, 영상출력된 결과물을 이용하여 도시녹지의 정량적·정성적 분포, 활력도 및 대규모 휴손지역을 조사한다. 셋째, 1980년대 서울의 급격한 도시팽창에 따른 도시녹지의 변화정도를 서울시 전역 및 22개 자치구별로 조사한다.

2. 研究의 範圍

본 연구의 內容的 範圍는 위성영상 자료를 이용하여 식생의 분포범위 및 활력도의 척도로 이용되고 있는 綠色植生指數(Green Vegetation Index)를 산출하여 영상출력하고, 서울시 전역 혹은 22개 자치구별 도시녹지의 정량적·정성적 분포상태를 제시하는 것이다. 일정시간 간격으로 취득한 영상자료로부터 추출된 GVI를 비교하면 식생의 생장에 따른 도시녹지의 질 향상, 도시환경의 악화에 따른 녹지의 피해상태 및 도시개발사업의 진행에 따른 도시녹지 분포 범위의 변화 등을 평가할 수 있다.

研究의 空間的 範圍는 서울특별시로 한다. 서울과 같은 거대도시의 녹지를 現場調查方法으

로 수행하려면 많은 인력이 동원되어야 하고, 각 조사자의 능력의 차이 혹은 주관의 개입에 따라서 결과의 정확도가 저하되는 경우가 많다. 이 문제는 MSS 혹은 TM의 영상자료를 이용한 植生指數를 이용함으로써 해소될 수 있다. 서울시는 주거, 상업 및 공공용지의 신규 토지 수요를 공급하기 위한 都市綠地의 轉用事例가 많고, 기존녹지는 야외 휴양활동 공간 혹은 도시경관요소로서 시민의 지대한 관심의 대상이 되고 있다. 최근에는 행락객의 이용압력 및 대기오염, 특히 산성비에 의한 도시녹지의 피해에 관한 관심이 증대되고 있지만 종래의 연구방법으로 도시녹지 전체에 대한 구체적 정보를 수집할 수 없었다.

본 研究의 時間的範圍는 1980년대의 서울시 도시녹지의 변화상태를 분석하는 것으로 한다. 이 기간 중에 서울시 인구는 1,000만명을 돌파하였으며, 신규 주거 및 상업용지를 공급하기 위하여 도시녹지를 대대적으로 개발하였다. 특히 1986년의 아세안 게임 및 1988년의 올림픽 개최에 대비하여 도심 재개발, 도로망 확충, 스포츠 시설 건립 및 한강종합개발사업 등을 추진하였다. 서울은 1980년대에 행정구역 중 일부가 光明市로 편입되고, 자치구의 수는 17개에서 22개로 증가되었지만 분석작업 및 결과물 표현의 편의를 위해서 행정구역 내의 수면의 분포와 행정구역경계는 현재의 상태를 기준으로 한다.

이 기간 중에 활발히 진행된 택지조성 및 도로 등의 도시기반 조성사업의 결과 도시녹지 면적이 크게 감소되었고, 녹지의 질적 변화도 지대했던 것으로 판단되고 있다. 녹지면적의 감소는 서울시의 地目變更에 관한 통계(서울시 1980, 1991)를 통해서도 알 수 있다. 즉 田, 畑, 林野는 각 33.49 km^2 , 34.80 km^2 , 23.18 km^2 감소되었으며, 이들의 감소율은 각 55.0%, 56.4% 및 12.4%였다. 반면에 基地, 道路 및 學校用地는 각 49.36 km^2 , 27.81 km^2 및 8.98 km^2 증가되었으며, 증가율은 각 31.8%, 80.5% 및 110.2%였다. 반면에, 서울시 주변의 산림이 대기오염 혹은 행락객의 과도한 행락객의 이용압력에 의하여 황폐화되고 있다는 주장에도 불구하고 1960년대 이후의 조림 및 산림보호정책에 따라서 林木蓄積이 빠른 속도로 증가하고 있다. 즉, 이 기간 중에 임야 1ha당 임목축적은 연평균 약 5%씩 증가되어 23.8 m^3 에서 40.8 m^3 로 증가되었다(서울시 1980, 1991).

3. 研究의 方法

위성영상의 분석은 IBM PC/386 및 486 호환기종의 마이크로컴퓨터를 이용하여 지리정보 및 위성영상의 분류목적으로 개발된 IDRISI(Eastman 1990)를 이용하여 서울시 전역 및 각 구별 1979년과 1990년의 植生指數를 산출하고, 식생분포 및 활력의 변화상태를 분석한다. 식생의 분포현황 및 시간경과에 따른 변화는 각종 衛星映像을 이용한 다양한 植生指數 중에서 현재까지 가장 정교한 것으로 평가되고 있는 Tasseled Cap 변환에 의하여 산출된 綠色植生指數(Green Vegetation Index)를 이용한다. 이 패키지에 결여된 통계기능은 SPSS/PC를 이용하여 보완한다.

본 연구를 위한 위성영상은 국내의 원격탐사 관련기관에서 구입한 영상 중에서 1980년대의 시작과 종료에 가장 근접한 영상을 선정하였다. 그 결과 1979년 10월 4일에 수신된 MSS(Path 125/Row 34) 및 1990년 4월 26일에 수신된 TM(Path 116/Row 34, Sub-B 및 Sub-D)을 선정하였다. 절취된 영상의 크기는 MSS영상은 800선×900점, TM영상은 1,285선×1,480점이었다.

영상등록작업은 영상좌표와 1/25,000 지도에서 선정된 25개의 지상통제점을 이용하여 最小自乘法에 의하여 座標變換式을 도출하였다. 본 연구에서 사용된 TM 및 MSS영상의 등록오차는 각 17.92m와 30.38m로서 0.38-0.60 픽셀(pixel)의 정확도를 얻었다. 본 연구의 결과물은 $75 \times 75\text{m}$ 의 격자로 변환되기 때문에 이 오차는 문제가 없는 것으로 판단된다. 출력격자의 크기는 VGA 모니터의 출력영상($640\text{점} \times 480\text{선}$)을 최대로 활용하되 면적계산이 용이한 크기를 선정하는 것을 원칙으로 하였으며, 출력영상은 $403\text{선} \times 492\text{점}$ 의 격자로 변환하였다. 자료의 리샘플링(Resampling) 방법은 IDRISI의 bilinear interpolation 방법을 이용하였다.

II. 衛星映像資料를 이용한 植生指數의 算出

1. 植生指數의 選定

모든 植生指數는 식물의 活力度 및 綠被率에 따른 가시광선 및 근적외선 광선의 반사량의 차이를 이용한다. 왕성하게 생장하는 綠色植物은 근적외선($0.7-1.1\mu\text{m}$) 입사량의 40~50%를 반사하고, 식물체 내의 葉綠素는 가시광선의 80~90%를 흡수한다(Jensen 1983). 활력이 저하되었거나 枯死한 植物體는 가시광선의 20~30%를 반사하여 왕성한 식물보다 반사량이 많고, 반면에 근적외선의 반사량은 왕성한 식물에 비해서 적다. 건조한 土壤의 가시광선 반사량은 일반적으로 왕성한 식물보다는 많지만 쇠약한 식물보다는 적으며, 반면에 근적외선의 반사량은 식물에 비해서 적다.

植生指數는 다음의 여러 종류가 개발되었다. 첫째, 가장 간단한 지수는 MSS6을 농경지의 葉面積指數로 이용하는 것이며, 이들간의 상관계수는 0.88로 조사되었다(Tucker 1979). 식물의 葉面積은 수확량과 밀접한 관계가 있기 때문에 이 지수는 농작물 생장단계에서의 농업생산량 예측자료로 이용될 수 있다.

둘째, MSS와 TM 밴드간의 비율도 식물의 생체량 추정에 이용되고 있다. TM의 적색 및 근적외선의 비율(BAND 4/BAND 3)이 높을수록 식물생체량이 많거나 왕성한 생장을 하며, 낮을수록 식생의 스트레스가 심한 상태이다. 이와 같은 比率映像(Ratio image)은 대상지의 경사향의 차이에 따른 광선조건의 변이에도 불구하고 꽝장 혹은 색채에 대한 특성을 전달하는 장점을 갖는다.

셋째, Rouse 등(1973)은 MSS7과 MSS5의 차이와 합의 비율을 아래와 같이 계산하여 만든 正規植生指數(Normalized Difference Index)를 제안하였다.

$$\text{正規植生指數(NDI)} = \frac{\text{MSS7} - \text{MSS5}}{\text{MSS7} + \text{MSS5}}$$

상기 NDI는 음수값을 가지기 때문에 Deering 등(1975)은 아래의 계산식과 같이 NDI에 0.5를 가산하고, 그 根을 계산하는 變換植生指數(Transformed Vegetation Index)를 제안하였다.

$$\text{變換植生指數(TVI)} = \left[\frac{\text{TM4} - \text{TM3}}{\text{TM4} + \text{TM3}} + 0.5 \right]^{1/2} * 100$$

TVI에는 주로 식생의 생체량 측정에 광범위하게 이용되고 있다. 예를 들면, 미국의 NOAA는 AVHRR 자료를 이용하여 전 지구의 TVI 地圖를 주기적으로 작성하고 있다.

넷째, 현재까지 개발된 식생지수 중에서 가장 정교한 것은 Kauth와 Thomas(1976)가 Gram-Schmidt의 連續直交技法(Sequential Orthogonalization Technique)을 이용하여 개발한 Tassled Cap 變換指數이다. 이 지수는 MSS의 4개 밴드를 연속적으로 직교변환시켜 土壤明度指數(Soil Brightness Index), 綠色植生指數(Green Vegetation Index), 黃色植生指數(Yellow Stuff Index) 및 餘他指數(Non-Such Index)라는 새로운 4차원 지수를 산출한다. 일반적으로 SBI와 GVI가 영상정보의 95~98%를 포함하며, GVI는 녹색식물 생체량을 정확히 예측할 수 있는 것으로 검증되었다(Crist and Cicone 1986). 이들 지수는 다음과 같이 계산된다.

$$\text{SBI} = 0.332 * \text{MSS4} + 0.603 * \text{MSS5} + 0.675 * \text{MSS6} + 0.262 * \text{MSS7}$$

$$\text{GVI} = -0.283 * \text{MSS4} - 0.660 * \text{MSS5} + 0.577 * \text{MSS6} + 0.388 * \text{MSS7}$$

$$\text{YVI} = -0.899 * \text{MSS4} + 0.428 * \text{MSS5} + 0.076 * \text{MSS6} - 0.041 * \text{MSS7}$$

$$\text{NSI} = -0.016 * \text{MSS4} + 0.131 * \text{MSS5} - 0.452 * \text{MSS6} + 0.882 * \text{MSS7}$$

최근에는 TM영상을 이용하여 MSS와 유사한 식생정보를 추출하는 방법이 개발되었다. Crist Cicone(1984)은 TM영상의 植生軸과 토양軸은 MSS 영상보다 더 정확하게 직교하며, 土壤水分指數(Soil Moisture Index)를 추가하였다. 이들 지수의 變換係數는 Table 1과 같다.

Table 1. Tasseled Cap Transformation Coefficients of TM Data

	TM BAND					
	1	2	3	4	5	7
SBI	0.33138	0.33121	0.55177	0.42514	0.48087	0.25252
GVI	-0.24717	-0.16263	-0.40639	0.85468	0.05493	-0.11749
SMI	0.13929	0.22490	0.40359	0.25178	-0.70133	-0.45732

Source : Crist and Cicone(1984), "Comparison of the Dimensionality and Features of Simulated Landsat-4 MSS and TM Data," *Remote Sensing of Environment* 14, pp. 235~246.

2. 植生指數의 階級區分

전술한 각 밴드별 변환계수를 이용하여 계산된 GVI는 0~255의 整數로 저장하였다. 그러나 서울시의 GVI 현황 및 연구기간 중의 GVI변화량을 간편하게 통계처리하기 위해서는 이들의 등급을 구분할 필요가 있다. 등급의 구분 방법은 1979년과 1990년의 GVI의 平均과 標準偏差(Standard Deviation)를 이용하여 6등급으로 구분하였다. 즉, 평균을 기준으로 GVI가 2 SD 이상, 1~2 SD, 0~1 SD 낮은 격자는 각각 1, 2, 3등급을 부여하였다. GVI가 높은 격자도 0~1 SD, 1~2 SD, 2 SD 이상을 기준으로 각각 4, 5, 6등급을 부여하였다. 따라서 GVI 1등급은 녹지가 가장 불량한 지역이며, 6등급은 가장 양호한 녹지를 나타내게 된다.

서울에서 1979년에서 1990까지의 GVI의 변화량은 1990년의 GVI에서 1979년의 GVI 빼어서 계산하였기 때문에 녹지가 훼손되면 陰數, 개선되면 陽數값을 갖는다. GVI 변화등급도 전술한 바와 같이 변화량 0을 기준으로 같은 방법으로 6등급으로 구분하였다. 따라서 GVI 변화등급 1은 가장 극심하게 훼손된 지역, 6은 가장 현저하게 개선된 지역을 의미한다.

III. 서울시 綠色植生指數의 算出

1. 서울시의 1979년도 綠色植生指數

가. 概 觀

서울의 1979년의 MSS자료를 이용하여 GVI를 계산한 결과 총 108,653개 격자별 GVI의 최저치는 19, 최대치는 223이었으며, 평균 95.62, 표준편차 30.64이었다. 서울시의 1979년의 녹지현황은 Fig. 1과 같으며, 다음의 다섯 가지 특징을 갖는다.

첫째, 서울시의 시가화 구역은 시외곽에 소재하는 대면적의 산림과 농경지에 위요되어 景觀生態學(Forman and Godron 1986)에서 말하는 攪亂地域(Disturbed Patch)의 특성을 갖고

있다. 江北은 인왕산, 북한산, 도봉산, 수락산, 불암산, 아차산 등의 連峰이 서울을 감싸고 있고, 江南은 대모산, 구룡산, 청계산, 우면산, 판악산이 감싸고 있다. 서울시계에 가까운 한강변의 논도 녹지요소로서 중요한 역할을 하고 있다.

둘째, GVI가 가장 높은 녹지요소는 주로 江南의 외곽에 분포하고 있는 농경지이다. 즉, 탄천변에 소재한 강남구 栗峴洞과 細谷洞 일대, 송파구의 長旨洞, 강동구의 下一洞, 강서구의 果海洞, 空港洞, 麻谷洞 및 五谷洞 일대, 양천구의 木洞 및 新月洞 지역의 논이 GVI가 특히 높다. 江北에는 중랑구의 新內洞 및 마포구 上岩洞 지역에 GVI가 높은 농경지 혹은 초지가 분포하고 있다.

셋째, 산림 중 GVI가 가장 높은 지역은 서울시민에게 인지도가 높지 않은 야산에 주로 분포하고 있다. 서초구 우면산 남사면과 구룡산 남사면 및 청계산 북동사면, 성동구 廣壯洞의 아차산 서사면, 노원구 孔陵洞의 태릉선수촌 뒷산, 은평구 津寬內洞의 구파발 전철역 동편의 야산, 舊把撥洞의 鷹峰(235.7m)에서 남편의 龜山洞 峰山을 연결하는 능선의 동편 산록, 구로구 航洞의 야산(145.7m) 및 宮洞과 부평시 鵲洞의 경계에 위치한 야산(137m) 등에는 GVI가 높은 산림이 분포하고 있다. 도봉산 및 북한산 중복 이상, 성북구 정릉계곡 중복 이상, 종로구의 舊基洞, 平倉洞 북측 능선 등의 북한산 국립공원은 GVI가 높다.

넷째, 주변의 背後綠地와 차단된 殘存綠地 중에서 비교적 넓은 면적을 점유하는 것은 남산, 용산의 미8군용지, 홍릉, 安岩洞의 고려대 뒷산, 성동구 陵洞의 어린이대공원 등이다. 이 외에도 서대문구의 안산 및 봉원사 일대의 산림, 마포구의 老姑山과 臥牛山과 같은 야산, 성동구 성수동의 경마장 및 뚝섬유원지, 銅雀洞 국립묘지, 보라매공원 및 大方洞 육군본부 부지 등의 군사시설도 비교적 양호한 녹지를 유지하고 있다.

다섯째, 서울의 개발지역은 GVI가 대단히 낮으며, 특히 강북의 서울역에서부터 청량리에 이르는 종로, 을지로 및 청계천 축, 영등포 부도심 일대 및 공업지역의 GVI는 가장 낮다. 영동구획정리 사업지구는 개발밀도가 높지 않아 강북보다는 GVI가 높은 편이다. 현재의 강동대로와 둔촌로 교차점 북동 코너의 둔촌동 주택공사 아파트 단지는 당시에 택지조성공사가 진행 중이어서 주변에 비해서 GVI가 낮다.

나. 自治區別 綠地植生指數의 比較

서울시의 1979년의 지역별 녹지의 면적 및 질의 분포를 조사하기 위하여 22개 구별 GVI 현황을 Table 2와 같이 정리하였다. 이 표의 GVI등급은 전술한 방법에 의하여 여섯 등급으로 구분되었으며, 1등급은 GVI가 가장 낮고, 6등급은 가장 높다. 이 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 구별 녹지상태의 척도가 되는 GVI평균에 의하면 서울시에서 녹지상태가 가장 양호한 구는 江西區로서 4.05이며, 가장 낮은 구는 中區의 3.09이다. 서울시의 GVI 평균은 3.54이며, 표준편차는 0.32이다. 그러나 강북과 강남의 GVI 평균은 각 3.56과 3.74로서 강남이 강북

에 비하여 녹지상태가 양호한 편이다.

둘째, GVI 평균이 가장 높은 자치구는 강서구, 노원구, 도봉구, 서초구, 송파구, 강동구, 양천구의 순이다. 緑被率이 가장 높고 植生生長狀態가 가장 풍부한 GVI 6등급인 격자의 비율이 가장 높은 구는 강서구, 양천구, 및 송파구의 순으로서 전체면적의 각 3.55%, 3.47% 및 2.69%를 점하고 있다.

셋째, GVI 평균이 특히 낮은 구는 종구, 영등포구, 동대문구, 용산구, 성동구, 동작구, 서대문구 등 주로 江北에 위치하고 있다. 그러나 현재 식생이 전혀 없거나 거의 없는 지역인 GVI 1의 점유비율이 가장 높은 구는 송파구, 강동구, 강남구의 순으로서 전체 면적의 각 0.25%, 0.19% 및 0.07%를 점유하고 있다. 이것은 당시에 이들 강남지역에 整地工事が 활발히 진행 중이었음을 의미한다.

Table 2. GVI of Districts of Seoul, 1979

Districts	Number of Grids	Percentage of GVI Class(%)						Average
		1	2	3	4	5	6	
Jongro	4,167	0	0	48.45	35.37	16.01	.17	3.68
Jung	1,842	0	.05	91.04	8.79	.11	.0	3.09
Yongsan	3,178	0	.53	77.44	18.16	3.62	.25	3.26
Seongdong	5,347	.04	.45	78.55	16.33	4.21	.43	3.26
Tongdaemun	2,510	0	0	81.04	15.02	3.78	.16	3.23
Jungrang	3,276	0	.03	50.70	29.43	18.35	1.50	3.71
Seongbuk	4,281	0	0	55.13	24.08	20.30	.49	3.66
Tobong	8,123	0	.02	36.08	29.46	33.90	.53	3.99
Nowon	6,290	0	0	25.33	46.23	27.36	1.08	4.04
Unpyong	6,040	0	0	45.68	34.92	16.97	2.43	3.76
Seodaemun	2,919	0	0	60.26	24.02	14.80	.92	3.56
Mapo	3,601	0	.39	71.04	15.83	10.22	2.53	3.43
Yangcheon	3,174	0	0	44.74	26.69	25.11	3.47	3.87
Kangseo	6,818	0	.85	34.09	28.09	33.43	3.55	4.05
Kuro	5,793	0	.03	61.47	21.49	15.57	1.43	3.57
Youngdungpo	3,567	.03	2.33	82.34	10.63	3.42	1.26	3.19
Tongjak	3,227	.03	3.01	70.44	18.59	7.38	.56	3.32
Kwanak	5,129	0	0	45.16	39.64	14.74	.47	3.71
Seocho	8,294	0	.59	31.85	36.97	29.35	1.24	3.99
Kangnam	6,910	.07	1.56	43.46	29.86	22.49	2.56	3.81
Songpa	5,574	.25	1.31	33.42	32.76	29.57	2.69	3.98
Kangdong	4,283	.19	2.36	34.04	30.47	31.15	1.80	3.95

3. 서울시의 1990년도 綠色植生指數

가. 概 觀

서울의 1990년의 TM자료를 전술한 방법에 의하여 GVI를 계산한 결과 총 108,653개 격자별 GVI의 최저치는 13, 최대치는 213이었으며, 평균 67.43, 표준편차 19.75이었다. 서울시의 1990년의 녹지현황은 Fig. 2와 같으며, 다음의 여섯 가지 특징을 갖는다.

첫째, 1979년과 달리 농경지의 GVI가 산림식생보다 낮게 나타났다. 즉, 김포공항 주변의 농경지는 인접한 개화산보다 GVI가 낮고, 탄천변의 농경지도 주변의 구룡산과 대모산보다 낮다. 이와 같은 결과를 초래한 가장 중요한 이유는 모내기 전의 영상을 이용하였기 때문일 것이다. 또한, 1980년대에 강동구 高德洞과 明逸洞, 강남구 水西洞 일대의 농경지는 택지조성으로 인하여 GVI가 낮아졌다. 강동구 下一洞과 같이 농지가 보전된 지역도 벼농사로부터 채소 등의 균교농업으로의 作目轉換, 부동산 가격의 앙등에 따른 유휴농지면적의 증대 등의 이유로 GVI가 감소되었다.

둘째, 일반적으로 산림의 GVI가 농경지보다 양호하다. 특히 양호한 산림은 우면산의 남사면, 남산의 정상 부근 및 북사면, 홍릉, 노원구 동편 市界상의 노원고개 남서향 사면, 도봉산과 북한산 일대의 8부 능선 이하에 분포하고 있다.

셋째, GVI가 가장 높은 곳은 용산 미8군의 골프장 및 성수동 경마장 부지의 초지이다. 이와 같이 초지가 산림보다 GVI가 높은 것은 특히 緑被率이 높고 이를 봄부터 왕성한 생육을 하기 때문이다. 그러나 동작동 국립묘지의 묘역은 외곽의 산림과 GVI가 유사하다. 이것은 들잔디의 開舒期가 양잔디보다 늦으며, 참배로의 포장 및 묘비 등으로 인하여 묘역의 GVI가 일반 초지보다 저하되기 때문인 것으로 판단된다.

넷째, 江北의 거의 전역에는 高密度 市街化區域이 분포하고, 江南區 전역에는 다수의 대형 건물이 대로변에 전설되어 가로수 및 분리대가 조성되었음에도 불구하고 주거단지보다 녹지가 불량한 실정이다. 강남구의 삼릉공원, 청담공원, 도산공원, 학동공원 및 봉은사 사찰림 등은 주변지역의 개발에 따라서 1979년보다 상대적으로 GVI가 향상된 모습을 볼 수 있다.

다섯째, 신개발 주거지역, 도로, 공원, 하수처리장, 고수부지 등의 公共施設物의 GVI는 상당히 향상되었다. 올림픽공원과 잠실 서울종합운동장 일대, 중랑천과 탄천하수처리장 주변의 녹지 등은 주변지역보다 GVI가 상당히 높다. 리샘플링 전의 영상에서는 압구정동 및 잠실 주공 5단지 고층아파트 주거동 간의 녹지를 뚜렷히 식별할 수 있었지만, 저층아파트단지는 인동간격의 협소로 인하여 GVI가 낮은 것을 확인할 수 있었다.

여섯째, 한강 고수부지, 안양천, 중랑천, 탄천, 양재천 등의 하천변의 線型綠地 및 경부고속도로와 한강변의 잠원동, 압구정동, 잠실동 등의 아파트단지와 올림픽대로 사이에 조성된 緩衝綠地는 주변의 시가지에 비해서 GVI가 현저히 높다. 경부고속도로의 신사 IC, 반포 IC, 서

초 IC 및 청담동의 영동대교 남단의 시설녹지 등은 線型綠地의 結節點으로서의 역할을 확인할 수 있다. 이들 선형녹지는 도시 내 잔존녹지를 연결시켜 綠地體系를 구성할 수 있는 유용한 자원이기 때문에 그들의 보전에 주력하여야 할 것이다.

나. 自治區別 綠地植生指數의 比較

서울시의 1990년의 지역별 녹지의 면적 및 질의 분포를 조사하기 위하여 22개 구별 GVI 현황을 정리한 것은 Table 3과 같으며, 그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 서울시에서 GVI가 가장 높은 구는 노원구의 4.10이며, 가장 낮은 구는 영등포구의 2.96이다. 서울시의 GVI 평균은 3.54이며, 표준표차는 0.32이다. 江北과 江南의 GVI 평균은 3.57과 3.51으로서 강남이 강북보다 낮다. 이것은 1980년대 중에 江南에는 대규모 개발사업의 추진에 따라서 넓은 녹지가 훼손되었고 농경지의 GVI가 현저히 낮아졌으며, 반면에 江北에서는 개발사업이 상대적으로 활발하지 않았고, 山林植生이 상당히 양호해졌기 때문에 판단된다.

Table 3. GVI of Districts of Seoul, 1990

Districts	Number of Grids	Percentage of GVI Class(%)						Average
		1	2	3	4	5	6	
Jongro	4,167	0	3.74	38.20	36.60	18.45	3.00	3.79
Jung	1,842	0	10.59	70.63	10.75	4.29	3.75	3.20
Yongsan	3,178	0	6.73	57.21	24.35	7.49	4.22	3.45
Seongdong	5,347	0	10.73	62.93	18.81	5.82	1.70	3.25
Tongdaemun	2,510	0	7.61	76.53	11.00	3.19	1.67	3.15
Jungrang	3,276	0	2.26	47.74	29.82	16.85	3.33	3.71
Seongbuk	4,281	0	3.22	53.14	23.24	16.82	3.57	3.64
Tobong	8,123	0	3.58	40.05	17.36	22.43	16.58	4.08
Nowon	6,290	0	1.83	33.77	26.80	27.46	10.14	4.10
Unpyong	6,040	0	1.41	41.62	38.56	16.52	1.89	3.76
Seodaemun	2,919	0	1.68	52.18	36.14	9.01	.99	3.55
Mapo	3,601	0	4.94	75.06	16.00	2.94	1.06	3.20
Yangcheon	3,174	0	5.26	70.16	18.68	5.51	.38	3.26
Kangseo	6,818	.34	7.69	48.55	33.53	7.99	1.91	3.47
Kuro	5,793	0	13.21	53.62	24.12	8.04	1.02	3.30
Youngdungpo	3,567	.03	2.33	82.34	10.63	3.42	1.26	2.96
Tongjak	3,227	0	5.02	65.88	21.35	6.35	1.39	3.33
Kwanak	5,129	0	2.40	39.19	38.88	17.98	1.56	3.77
Seocho	8,294	0	1.60	33.89	29.72	26.28	8.50	4.06
Kangnam	6,910	0	3.42	45.33	28.96	17.12	5.18	3.75
Songpa	5,574	0	4.36	57.57	28.94	6.73	2.40	3.45
Kangdong	4,283	0	1.87	43.94	35.61	15.99	2.59	3.73

둘째, 평균 GVI가 높은 구는 노원구, 도봉구, 서초구, 종로구, 관악구, 은평구, 강남구의 순으로서 그 범위는 3.75~4.10이다. 녹지상태가 가장 양호한 등급인 GVI 6의 분포비율이 가장 높은 구는 도봉구, 노원구 및 서초구의 순으로서 각 16.58%, 10.14% 및 8.50%의 면적을 점유하고 있다. 이들 구는 양호한 산림의 점유비율이 다른 구에 비해서 상대적으로 높기 때문이다.

셋째, 평균 GVI가 낮은 구는 영등포구, 동대문구, 중구, 마포구, 성동구, 양천구, 구로구의 순으로서 그 범위는 2.96~3.30이다. 녹지가 가장 불량한 등급인 GVI 1 등급에 속하는 격자는 강서구에 23개, 영등포구에 1개가 위치하며, 이들의 점유비율은 각 0.34% 및 0.03%이다. 이와 같이 GVI 1등급인 격자가 1979년에 비해서 현저히 감소된 이유는 대규모 토지개발사업 공사현장이 감소된 때문이다.

4. 서울시 都市綠地의 變化分析(1979~1990)

가. 概 觀

서울시의 1979~1990년 간의 녹지의 변화는 각 GVI를 표준화한 후에, 1990년의 GVI에서 1979년의 GVI를 빼어서 계산하였다. 이 기간 중의 서울의 GVI 변화량의 최저값은 -150, 최고값은 145이었다. GVI가 감소된 것은 해당 격자가 1979년에 비해서 1990년에 녹피율이 저하되었거나 식생의 활력도가 저하된 것을 의미한다. 특히 최저값은 양호한 식생의 활력도가 현저히 저하되거나 대규모 건물의 신축, 광장 혹은 도로의 건설을 의미한다. 반대로 GVI의 증가는 식재지가 조성되었거나 식생의 활력이 현저히 향상되었음을 의미한다.

서울시의 GVI의 變化量을 전술한 바와 같이 GVI 변화량 0 및 표준편차를 이용하여 6등급으로 구분한 결과는 Table 4 및 Fig. 3과 같다. 여기서 1등급은 1979년에 비해서 식생이 현저히 훼손된 지역을 표시하며, 6등급은 1979년에 비해서 현저히 개선된 것을 의미한다.水面은 1990년의 영상에서 구분하여 등급7로 표시하였다. 서울시의 1980년대의 도시팽창에 따른 녹지의 훼손, 식생생장에 따른 도시녹지의 부분적 향상, 1979년과 달리 4월 하순에 취득한 영상의 이용에 따른 계절적 차이 등으로 인하여 상당히 다른 결과를 얻었다. 이 기간 중의 서울시 녹지의 변화는 다음과 같이 요약할 수 있다.



Fig. 1. GVI of Seoul, 1979.



Fig. 2. GVI of Seoul, 1990.

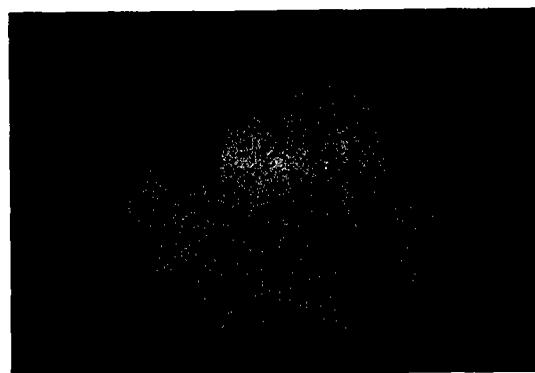


Fig. 3. GVI Change of Seoul, 1979~1990.

Table 4. GVI Change of Seoul During 1979~1990

Class	GVI Increase			GVI Decrease			Water Body	Total
	1	2	3	4	5	6		
Range	>2SD	1-2SD	0-1SD	0-1SD	1-2SD	>2SD		
# Grids	3,626	13,689	28,024	48,463	9,577	1,101	4,173	108,653
Percent	3.34	12.60	25.79	44.60	8.82	1.01	3.84	100.00

첫째, GVI가 감소된 격자는 모두 45,339개로서 전체의 41.73%를 점유하며, GVI가 증가된 격자는 59,141개로서 점유율은 54.43%이다. 점유율이 가장 높은 등급은 전체의 44.6%를 차지하는 4등급이며, 주로 1980년대 이전에 조성된 시가지 내에 존재한다. 그러나 GVI 변화등급 1에 속하는 격자수는 6등급에 속하는 격자수의 3배 이상에 달하여 양호한 도시녹지의 훼손면적이 신규조성되는 우량녹지면적의 3배에 달하고 있다.

둘째, 이 기간 중에 녹지가 극심하게 훼손된 지역, 즉 GVI 변화등급 1 및 2에 속하는 격자는 전체 면적의 각 3.34% 및 12.6%를 점유하고 있다. 즉 GVI 변화등급 1인 격자의 밀집분포지역은 양천구의 木洞 新市街地, 강서구의 金浦空港 擴張地域, 송파구의 可樂洞 농수산물도매시장 및 올림픽 훼미리 아파트 지역, 마포구의 난지도 쓰레기매립장 등이다. 녹지의 대규모 훼손지역은 주로 강남에 분포하고 있다. 강동구의 岩寺洞, 高德洞, 明逸洞, 吉洞, 송파구의 可樂洞, 芳黃洞, 巨餘洞, 서초구와 강남구를 동서로 관통하는 남부순환도로와 양재대로간의 牛眠洞, 良才洞, 浦一洞, 開浦洞, 大峙洞, 水西洞 및 올림픽공원, 양천구 木洞, 高尺洞, 新月洞, 溫水洞, 禿山洞 등의 자연녹지 혹은 생산녹지의 시가화가 광범위하게 진행되었다. 江北은 노원구의 上溪洞, 中溪洞, 下溪洞, 도봉구의 放鶴洞, 倉洞, 樊洞, 중랑구의 新內洞, 서대문구 延禧洞과 弘恩洞, 마포구 上岩洞 난지도의 GVI가 현저히 저하되었다.

셋째, 自然綠地 혹은 公園 内 山林植生의 GVI는 전반적으로 향상되어 대기오염 혹은 행락객의 이용압력의 영향으로 인한 녹지훼손은 아직 광범위하게 발생되지 않은 것으로 판단된다. 즉 구룡산, 대모산 북사면, 청계산 북사면, 불암산 서사면, 수락산 남서사면 등의 외곽에 위치한 산림은 물론 남산의 북사면, 홍릉, 종묘 및 창덕궁 후원, 삼릉공원, 봉은사 등의 도심에 소재한 소규모 잔존녹지의 GVI도 개선되었다. 그러나 성북구 정릉계곡과 북한산 8부 능선의 상부 및 관악산의 중복 이상은 GVI가 감소된 것으로 나타났다.

넷째, 市街化區域 내의 施設綠地의 GVI는 전반적으로 상당히 향상되었다. 특히 GVI가 현저히 증가된 격자는 주로 강동구 천호대교 상류, 잠실선착장 부근 및 잠원동의 漢江市民公園에 분포하고 있다. 이 외에도 반포, 신반포, 압구정동, 잠실 주공5단지, 아시아 선수촌 아파트 등의 대규모 고층아파트단지 등의 GVI도 다소 향상된 것으로 판명되었다.

나. 自治區別 綠色植生指數의 變化(1979~1990)

서울시의 1979~1990 간의 지역별 綠地의 面積 및 活力度의 變化를 조사하기 위하여 22개 구별 GVI 變化量을 Table 5와 같이 정리하였으며, 그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 이 기간 중에 自治區別 GVI의 极度한 低下는 일부 구에서 집중적으로 발생되고 있다. 즉, GVI 變화등급 1등급에 속하는 격자수의 비율은 양천구, 강서구, 송파구 및 마포구의 순으로서, 각각 면적의 13.42%, 13.39%, 9.06% 및 6.53%를 점유하고 있다. 그러나 강북에 위치한 중구, 용산구, 종로구, 성북구, 성동구, 동대문구, 도봉구에는 1등급에 속하는 격자의 수가 1% 미만이어서 개발사업이 활발하지 않았음을 알 수 있다.

둘째, 植生이 현저하게 改善된 지역은 전 자치구에 비교적 균등하게 분포한다. 즉, GVI 變화등급 6등급은 강동구, 중구, 용산구 및 성동구의 순으로 분포하며, 각각 면적의 2.90%, 2.82%, 2.05% 및 1.98%를 점유한다. 특히 중구, 용산구 및 강남구에는 GVI 5 및 6등급의 격자가 각 22.31%, 19.17% 및 13.66%를 점유하여 都市綠地가 빠른 속도로 개선되고 있다.

Table 5. GVI Change of Districts of Seoul During 1979~1990

Districts	Number of Grids	Percentage of GVI Class(%)						Average
		1	2	3	4	5	6	
Jongro	4,167	.36	9.02	28.82	50.61	10.10	1.08	3.64
Jung	1,842	0.0	.22	5.81	71.66	19.49	2.82	4.19
Yongsan	3,178	.16	2.20	15.29	63.18	17.12	2.05	4.01
Seongdong	5,347	.69	4.64	19.92	61.16	11.61	1.98	3.84
Tongdaemun	2,510	.84	5.38	17.57	64.94	10.36	.92	3.81
Jungrang	3,276	1.74	10.32	25.95	52.01	9.37	.61	3.59
Seongbuk	4,281	.51	10.91	27.75	52.00	7.71	1.12	3.59
Tobong	8,123	.91	11.46	33.97	45.37	7.63	.66	3.49
Nowon	6,290	3.02	14.82	35.61	36.93	8.89	.73	3.36
Unpyong	6,040	2.68	11.21	27.45	51.87	6.42	.36	3.49
Seodaemun	2,919	1.58	11.41	24.49	52.93	9.28	.31	3.58
Mapo	3,601	6.53	8.86	17.38	56.87	9.41	.94	3.57
Yangcheon	3,174	13.39	20.16	29.99	33.27	3.06	.13	2.93
Kangseo	6,818	13.42	25.07	25.32	29.79	5.85	.56	2.91
Kuro	5,793	2.85	12.98	24.01	52.81	7.11	.24	3.49
Youngdungpo	3,567	2.05	5.38	14.83	64.90	12.22	.62	3.82
Tongjak	3,227	1.27	6.01	21.85	58.82	11.12	.93	3.75
Kwanak	5,129	1.72	8.13	28.56	54.22	7.25	.12	3.58
Seocho	8,294	1.40	15.63	34.90	35.58	10.79	1.70	3.44
Kangnam	6,910	3.33	15.98	28.44	38.60	12.00	1.66	3.45
Songpa	5,574	9.06	28.56	27.92	24.87	8.16	1.44	2.99
Kangdong	4,283	4.53	21.76	34.09	29.77	6.96	2.90	3.22

IV. 結論

본 연구는 衛星映像資料를 이용하여 1979년과 1990년의 서울의 綠色植生指數(GVI)를 산출하여 緑被率 및 活力度를 평가하였다. 이 작업은 종래의 현지조사 방법에 비해서 경제적으로 신속정확하게 도시녹지의 空間的 分布 및 變化程度를 평가하고, 종래의 標本調査 결과의 일반화에 의한 오류를 극복하는 장점을 갖는다. 본 研究의 結果는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 서울의 1979년의 GVI는 탄천 및 김포공항 주변의 논이 가장 높았고, 표고 250m 이하의 野山의 山林植生이 북한산 혹은 관악산 등의 높은 산에 비해서 양호한 것으로 판정되었다. 江北의 남산, 홍릉, 노고산, 와우산 등의 도심에 근접한 야산은 시가화 구역 내의 殘存綠地로 존재하고, 도봉구 드림랜드 일대는 背後綠地와 단절되어 가고 있다. 江南에는 未開發地가 외곽에 넓게 분포하여 GVI 평균은 3.74로서 강북의 3.56에 비해서 식생이 양호한 편이다.

둘째, 서울의 1990년의 GVI에 의하면 시가화구역의 팽창에 따라서 殘存綠地의 規模가 축소되고, 도심에서 외곽에 위치한 녹지까지의 거리가 확대되었다. 즉, 1980년대에 강서구, 양천구 및 송파구 등지의 외곽에 존재하는 넓은 녹지가 폐손되어 江北과 江南의 GVI 평균이 3.57과 3.51로서 江南이 더 열악한 결과를 얻었다. 골프장 및 경마장 등의 草地와 山林의 GVI가 논에 비해서 높은 것으로 판명되었는데, 이것은 모내기를 하지 않은 4월 하순에 수신된 衛星映像의 사용 이외에 부동산 투기에 따른 遊休農耕地面積의 증가도 영향을 미친 것으로 판단되어 추후의 연구가 필요하다.

셋째, 1979~1990년 중에 綠地狀態가 가장 심각하게 폐손된 지역은 양천구, 강서구, 송파구 및 마포구의 순으로서 주로 대규모 택지의 개발, 공항 및 쓰레기매립장의 확장사업에 기인한다. 綠地가 현저히 惡化된 地域, 즉 GVI 변화등급 1과 2에 속하는 격자수는 전체의 15.94%에 달한다. 반면에 綠地가 현저히 改善된 地域, 즉 GVI 변화등급 5와 6에 속하는 격자수는 전체의 9.83%에 달한다. 山林植生 중에서 현저히 改善된 곳은 대모산, 구룡산, 우면산, 청계산, 불암산, 수락산, 남산 및 홍릉 등이며, 북한산과 관악산의 정상 혹은 능선 부근은 식생 상태가 다소 악화되었다. 따라서, 大氣污染의 악화 혹은 行樂客의 과도한 利用壓力에도 불구하고 서울의 山林植生은 전반적으로 향상되고 있다. 施設綠地 중에서 식생이 현저하게 향상된 곳은 漢江市民公園이며, 경부고속도로 및 올림픽대로 변의 緩衝綠地도 상당히 향상되었다.

参考文献

김준호(1991), “대기오염에 의한 도시림의 쇠퇴증후군,” 『도시·산림·환경 심포지움 보고

- 서』, 한국조경학회 및 산림청, pp. 3~25.
- 박종화(1991a), “토지개발사업의 환경영향평가,”『토지연구』, 3·4월호, pp. 42~54.
- 박종화(1991b), “도시녹지의 현황 및 정비방안,”『도시·산림·환경 심포지움 보고서』, 한국조경학회 및 산림청, pp. 53~74.
- 서동조(1990), 『자리정보시스템을 이용한 도시 오픈스페이스의 분석에 관한 연구』, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 서울시, 『통계연보 : 1980~1991』.
- 양명이, 김정숙, 박종화(1991), “서울의 녹지보전실태와 영향요인에 관한 연구,”『환경논총』29, pp. 37~81.
- 이경재, 김준선, 우종서(1987), “북한산 국립공원의 토양 및 식생에 대한 이용영향 및 심리적 수용력의 연구,”『응용생태연구』1-1, pp. 35~47.
- 이경재(1990), “서울도시림의 현황과 효율적 관리방안,”『서울의 환경보전 세미나 보고서』, 서울시 및 서울대학교 환경대학원, pp. 21~31.
- 金振仙(1991), 『高密度市街地における緑被地の分布特性とその構成に関する研究』, 千葉:千葉大學 博士學位論文.
- 田畠貞壽(1979), 『都市のグリソマトリクシス』, 東京:鹿島出版會.
- Crist, Eric P. and Richard C. Cicone(1984), “Comparison of the Dimensionality and Features of Simulated Landsat-4 MSS and TM Data,” *Remote Sensing of Environment* 14, pp. 235~246.
- Crist, Eric P. and Richard C. Cicone(1984), “The Tasseled Cap De-Mystified,” *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*, Vol. 52, pp. 81~86.
- Deering, D. W. et al.(1975), “Measuring Forage Production of Grazing Units from Landsat MSS Data,” *Proc. 10th Int'l Symp. on Remote Sensing of Environment*, Vol. 2, pp. 1169~1178.
- Eastman, J. Ronald(1990), *IDRISI: A Grid-Based Geographic Analysis System*, Ver. 3.2, Worcester : Clark U.
- Forman, Richard, and Michel Godron, 1986, *Landscape Ecology*, New York : John Wiley.
- Jensen, John R.(1986), “Biophysical Remote Sensing,” *Annals, Assoc. of American Geographers*, Vol. 73, pp. 111~132.
-
- , *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Englewood Cliffs : Prentice-Hall.
- Kauth, R. J. et al.(1979), “Feature Extraction Applied to Agricultural Crops as Seen by Landsat,” *Proceedings, Technical Session, LACIE Symposium*, Houston : NASA, pp. 705~721.
- Lillesand, Thomas M. and Ralph W. Kiefer(1987), *Remote Sensing and Image Interpretation*, 2nd ed., New York : John Wiley.
- Tucker, C. J.(1979), “Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation,” *Remote Sensing of Environment*, 8, pp. 127~150.