

서울의 도시 지역 변화 탐지를 위한 식생지수의 활용*

정재준* · 이수현**

*성신여자대학교 지리학과 부교수 · ** (주) 재능교육 연구원

Study of the Extraction of Urbanized Area in Seoul Using NDVI and NDBI

Jae-joon Jeong* · Soo-hyun Lee**

*Associate Professor, Dept. of Geography, Sungshin Women's University · **Researcher, JEI Corporation

요약

현위성영상을 이용하여 도시 지역을 추출하는 방법으로 가장 널리 사용되는 방법은 영상 분류이다. 영상 분류는 도시 지역을 추출하는 자동화된 방법으로 단시간에 도시 지역을 추출할 수 있지만 그 정확도는 상황에 따라 큰 차이를 보일 뿐만 아니라 시계열적인 변화를 추출하기에는 상당히 번거로운 작업 절차가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 식생지수 결합에 의한 도시 지역 추출 방법을 제안하고자 한다. 본 연구에서는 정규식생지수와 정규시화지화지수를 결합한 방법을 이용하여 도시 지역을 추출하였다.

1988년과 2000년 서울지역 위성영상에 영상 분류 방법과 지수결합방법을 사용한 결과, 식생지수결합법에 의해 도시로 추출된 지역이 감독분류기법에 의해서도 도시 지역으로 추출된 확률이 각각 98.1%(1988년), 99.3%(2000년)인 것으로 나타나, 식생지수결합법을 사용해 도시 지역을 추출할 수 있는 가능성을 알 수 있었다. 또한 두 방법을 사용한 각 시기의 도시 지역영상과 환경부 토지피복대분류(1999년) 결과를 비교분석한 결과, 1988년의 분류 결과 도시 과대추정 가능성을 확인하였다. 이러한 결과를 토대로 분류를 통한 도시 지역 추출 방법에 비해 식생지수결합법을 이용한 도시 지역 추출이 절차상 수월한 점으로 미루어볼 때, 도시 지역 추출에 있어서 식생지수결합법의 효율성을 입증할 수 있었다.

주요어: 도시화, 영상 분류, 식생 지수, 변화 탐지

Abstract

Urban growth management is essential for sustainable urban growth. To manage urban growth, monitoring physical urban built-up area is a task of great significance. Although image classifications using satellite imagery are among the conventional methods for detecting urbanized area, they requires very tedious and hard work, especially if time-series remote sensing data have to be processed. In this paper, we propose an effective urbanized area detecting method based on normalized difference vegetation index (NDVI) and normalized difference built-up index (NDBI). To verify the proposed method, we extract urbanized area using two methods; one is conventional supervised classification method and the other is proposed method. Experiments shows that two methods are consistent with 98.1% in 1998, 99.3% in 2000, namely the consistency of two methods is very high. Because the proposed method requires no more process without band operations, it can reduce time and effort. Compared with the supervised classification method, the proposed combination method of vegetation indices can serve as quick and efficient alternatives for mapping urbanized area.

Key Words: Urbanization, Image classification, Vegetation index, Change detection

*이 논문은 2006년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-332-B00586)

I. 서론

도시화는 전세계적인 현상으로 인구와 관련해서는 도시 인구 및 인구밀도의 증가를 의미하고, 사회경제적으로는 도시성(urbanism)을 획득하거나, 산업 및 토지이용의 도시적 성격으로 변화하는 것을 의미하며, 물리적으로는 도시 지역¹⁾의 확대를 의미한다. 도시 지역의 확대란 흔히 토지 이용이 도시적인 용도로 바뀌는 것을 말하며 우리나라의 경우 경제발전과 함께 1960년대 이후 수도권을 중심으로 도시 지역의 확대가 두드러졌다.

하지만 실제로 도시적 토지 이용이 이루어지는 도시 지역을 추출함에 있어서는 행정구역 등은 적절한 기준이 될 수 없으며 실제 항공사진이나 위성영상 등을 이용하여 도시적인 토지이용을 직접 추출하는 방식을 사용하고 있다(김진광·황철수, 2005). 현재 까지 위성영상을 이용하여 도시 지역을 추출하는 방법으로 가장 널리 사용되는 방법은 영상 분류이다. 영상 분류는 자동화된 방법으로 도시 지역을 추출하는 방법으로 단시간에 도시 지역을 추출할 수 있지만 그 정확도는 상황에 따라 큰 차이를 보일 뿐만 아니라 시계열적인 변화를 추출하기에는 상당히 번거로운 작업절차가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 식생지수 결합에 의한 도시 지역 추출 방법을 제안하고자 한다.

본 연구와 관련된 기존의 연구 동향을 살펴보면 토지이용현황을 파악하기 위한 토지피복에 관해서는 원격탐사

와 GIS기법을 활용한 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 산출에 관한 연구(박중화 등, 1996; 성효현·박옥준, 2000; 황의진 등, 2005)와 통계적 패턴 인식 기법에 기초한 다중분광 원격탐사 영상의 토지이용 및 토지피복 분류에 관한 연구(박성미 등, 2001; 사공호상·임정호, 2003; 황의진 등, 2006)들이 이루어져 왔다. 그러나 도시 지역 자체의 분포와 성장을 모니터링 하는 방법의 하나인 NDBI(Normalized Difference Built-up Index)를 활용한 연구(Zhen et al, 2006; 이수현·정재준, 2007; Zhang et al, 2009; 이우성 등, 2010; 정재준·이수현, 2010)는 미흡한 실정으로, 본 연구에서는 토지피복 분류에 가장 일반적으로 사용되는 방법인 감독분류기법과 NDVI와 NDBI의 결합으로 산출되는 식생지수결합법을 이용하여 도시 지역을 추출하고, 그 결과의 비교를 통해 식생지수결합법의 사용가능성을 파악하는데 그 목적이 있다.

이를 위해서 본 연구에서는 1988년과 2000년 위성영상을 이용하여 영상 분류 방법과 식생지수 결합 방법에 의해 도시 지역을 추출하고 양자의 정확도를 비교하였다. 또한 기준데이터로 1990년대 말 환경부(egis.me.go.kr)의 위성영상 토지피복도(대분류)를 기준으로 도시 지역 추출 결과에 대한 시계열적인 정확도를 검증하였다(그림 1 참조).

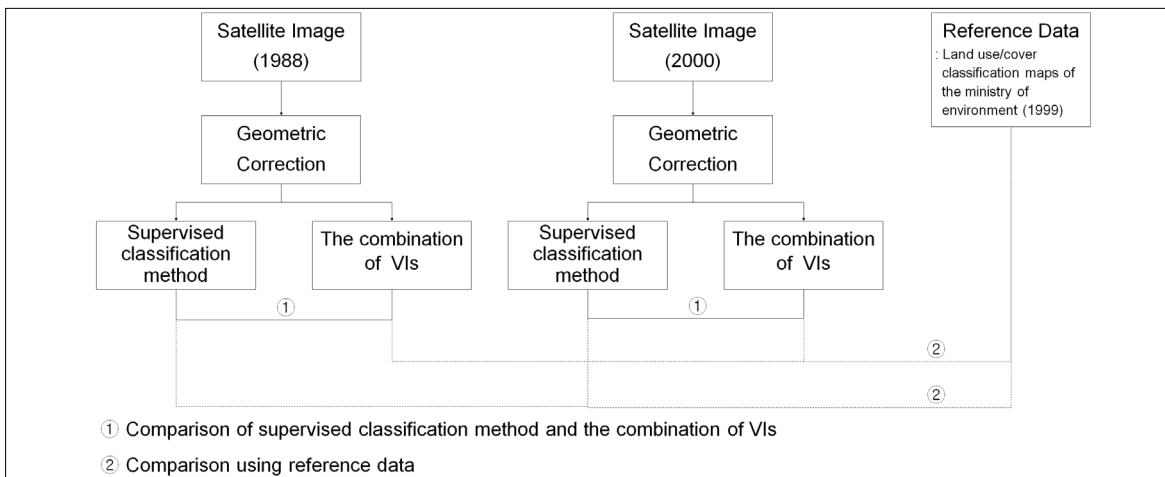


그림 1. 연구 흐름도

II. 연구 과정 및 방법

1. 연구 대상지와 데이터

본 연구를 위한 공간적 범위는 서울시로 한정하였다. 서울시는 1973년 현재와 비슷한 면적으로 확대되었으며 (605.33km²), 1988년 기존 17개 구에 송파구, 중랑구, 노원구, 서초구, 양천구가 신설되면서 22개 구를 갖추게 되었고, 1995년 강북, 금천, 광진구가 신설되어 총 25개 구로 구성되어있다.

분석을 위한 위성영상은 서울의 행정구역이 현재와 거의 흡사한 1988년 위성영상과 2000년 위성영상을 선택하였다. 각 위성영상은 지도를 이용하여 기하보정을 실시하였으며 기하 보정시 평균제곱근 오차는 0.5 픽셀이하였다. 기하 보정 과정에서 재배열(resampling) 방법은 최근린(nearest neighbor) 방법을 사용하여 원 영상의 화소값(digital value)을 유지하도록 하였다.

2. 영상 분류를 통한 도시 지역 추출

영상 분류 방법을 이용하여 도시 지역을 추출하기 위해서 감독분류(supervised classification) 방법 중 최대 우도법을 사용하였다. 감독분류는 훈련지역을 선정한 후 훈련 지역 내의 화소에 대한 영상의 다변량 통계 변수들을 산출한 후 대상지역 내의 화소를 산출된 통계 변수를 비교하여 가장 근접한 클래스로 분류하는 방법이다 이 중 최대 우도법은 훈련 지역의 화소값이 다변량 정규분포를 이룬다는 가정 하에 평균과 표준편차를 이용하여 화소가 각각의 클래스로 분류될 확률을 계산하고 계산된 확률 중 가장 높은 확률의 클래스로 화소를 분류하는 기법이다 (Richards, 1994).

본 연구에서는 영상을 도시, 나지, 산림, 농경지, 수계의 5가지로 분류하였다(그림 2). 분류 결과는 식생지수 결합 방법과의 비교를 위해 도시와 비도시로 나누어 재분류 하였다(그림 3). 이 때 영상 분류에서 도시와 나지는

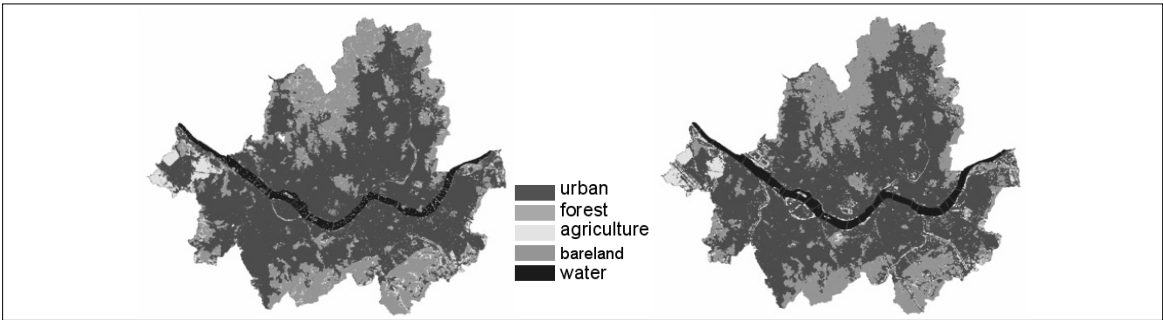


그림 2. 영상 분류 결과(1988년(좌)와 2000년(우))

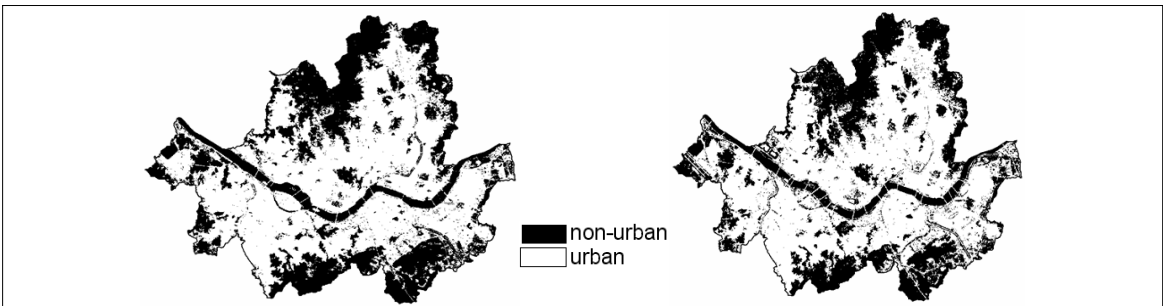


그림 3. 영상 분류 결과에 대한 재분류(1988년(좌)와 2000년(우))

도시로 재분류 하였고, 산림, 농경지, 수계는 비도시로 구분하였다(나지는 학교 운동장 등이 대표적인 사례임).

3. 식생지수 결합법을 이용한 도시 지역 추출

식생지수란 원격탐사 영상의 특정 밴드에서의 화소값의 차이를 이용하여 식생의 활력도를 조사하는데 이용되는 방법으로(Jensen, J. R., 2005) 식생의 종류와 상태 및 시간적 변화의 모니터링을 위해서 사용되고 있다. 이 중 가장 널리 알려진 방법인 NDVI는 근적외선 밴드와 적색 밴드의 화소값을 이용하여 식생의 활력도를 조사하는 방법으로 Landsat TM 위성영상에 적용할 경우 식 (1)과 같이 정의되며 NDVI의 값이 1에 가까울 수록 식생의 활력도가 높다.

$$NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3} \quad (1)$$

식생지수 결합을 통해 도시 지역을 추출하기 위해서는 NDVI 외에 NDBI를 이용하였다. NDBI는 본래 적외선 지수 II(Infrared Index II) (Hardisky et al, 1983)와 같은 것으로 근적외선 밴드에서의 화소값 차이를 이용한 방법으로 습지 연구에 있어 NDVI보다 식물의 생물량이나 수분 스트레스 변화에 더 민감한 것으로 알려져 있다. 도시나 근교 문제들에 관해 연구하는 전문가들은 도시 지역의 분포와 성장을 모니터링 하는 것에 관심이 많다. Zha et al.(2003) 등은 NDBI와 NDVI의 결합에 기초한 방법으로 Landsat TM 영상에 적용할 경우 식 (2), 식 (3)과 같은 방법으로 도시 지역 추출을 제안하고 있으며 이 방법을 사용한 도시 지역 추출은 92.6%의 정확도를 보인다고 보고되었다.

$$NDBI = \frac{Band5 - Band4}{Band5 + Band4} \quad (2)$$

$$Urban = NDBI - NDVI \quad (3)$$

Zha et al.(2003)의 식을 바탕으로 식(1)의 양의 값은 255로, 0과 음의 값에 대해서는 0으로, 식(2)의 양의 값은 255로 0과 음의 값에 대해서는 0으로 재분류하여 표 1과 같이 도시 지역 추출을 위한 방법을 마련하였다. 표 1에서 볼 수 있듯이 NDVI는 식생의 활력도를 잘 나타내지만 수계와 도시(나지)가 모두 0 또는 음의 값을 갖는데 반해, NDBI는 도시와 나지에서는 양의 값을 가지게 되며 수계에서 0 또는 음의 값을 가지게 되어 도시 지역을 잘 구분해 낼 수 있는 것이다.

실제로 위성영상 분류과정에서 사용된 훈련지역의 밴드별 통계량을 조사한 결과 표 2, 그림 4와 같았다. Landsat TM 밴드4는 육지와 수계의 구분 및 토양과 농작물 구분 등에 유용한 밴드이다. 밴드5는 식물내 존재하는 수분의 팽창이나 양에 민감한 밴드로 가뭄피해분석 식물 활력도 조사 등에 이용된다. 표 2와 그림 4에서 알 수 있듯이 밴드3과 밴드4의 화소값 분포를 살펴보면 밴드3에 비해 밴드4가 높은 값을 가지는 경우는 농경지와 산림이고 도시, 나지, 수계는 그 반대이다. 즉, 광합성 여부에 따라 적색밴드(밴드3)과 근적외선밴드(밴드4)에서의 값의 차이가 크다. 광합성을 하는 농경지와 산림은 밴드4에서의 값이 밴드3에 비해 크게 증가하고 있으나 도시, 나지, 수계 등 광합성과 연관이 없는 지역은 밴드4의 값이 낮아진다.

밴드4와 밴드5의 화소값을 살펴보면 수계의 경우 적외선 밴드에서 방사값이 매우 낮으므로 밴드4와 밴드5에서의 값이 모두 낮은 상태가 유지 된다. 하지만 도시와 나지는 밴드4에서만 값이 낮을 뿐 밴드5에서의 값은 다시 높아지는 특성을 가지고 있다. 따라서 NDVI를 이용해 전체 영상 중 도시, 나지, 수계를 분리하고 다시 NDBI를 이용해 도시(나지)와 수계를 분리하면 도시지역을 추출할 수 있다. 이 방법을 이용하여 1988년과 2000년 위성 영상에

표 1. 지역별 DNVI와 DNBI 값의 분포

	도시	나지	수계	산림	농경지
NDVI	0	0	0	255	255
NDBI	255	255	0	255 / 0	255 / 0
NDBI-NDVI	255	255	0	0 / -255	0 / -255

표 2. 2000년 영상의 훈련지역에서의 밴드별 통계량

구분 \ TM 밴드		TM 밴드					
		1	2	3	4	5	7
urban	min	79	53	49	24	39	32
	max	122	110	139	75	170	135
	mean	96.2	78.0	81.4	47.3	79.5	68.8
forest	min	57	38	26	44	41	19
	max	72	60	57	90	89	54
	mean	61.7	44.7	33.5	66.4	66.2	32.4
agriculture	min	69	57	40	56	60	31
	max	88	84	90	140	122	67
	mean	73.7	68.4	50.4	113.2	90.4	45.7
bareland	min	88	72	72	33	45	30
	max	94	78	81	40	70	51
	mean	92.0	75.4	77.7	37.9	63.8	43.9
water	min	71	50	32	10	9	7
	max	92	80	79	20	15	14
	mean	80.4	61.5	49.1	13.7	11.2	10.2

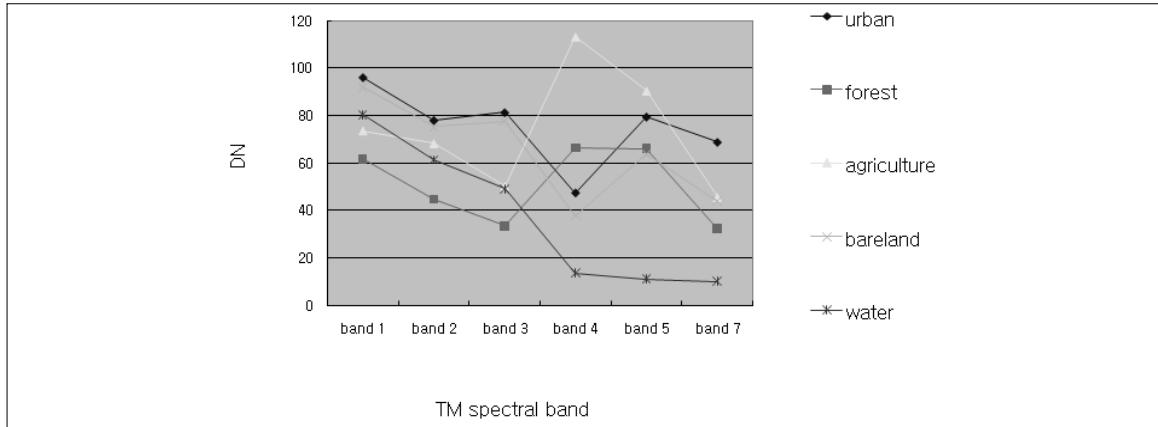


그림 4. 2000년 영상의 훈련지역에 대한 밴드별 평균값의 분포

대해 도시 지역을 추출한 결과는 그림 5와 같다.

III. 방법 간 결과 비교

1. 시각적 비교

위의 두 방법에 의한 도시 지역 추출 결과를 시각적으

로 비교하였다. 그림 6은 같은 지역에 대해 1988년과 2000년 영상에 각각 식생지수 결합 방법과 감독분류기법을 사용한 결과와 원영상을 나타내고 있다. 그림 6의 1988영상과 2000년 영상에서 알 수 있듯이 식생지수 결합 방법은 영상 분류 방법에 비해 도시 지역이 적게 추출된다(그림 6의 동그라미로 표시된 부분 비교). 특히 1988년 영상에서 그 차이는 매우 분명하게 드러남을 알 수 있

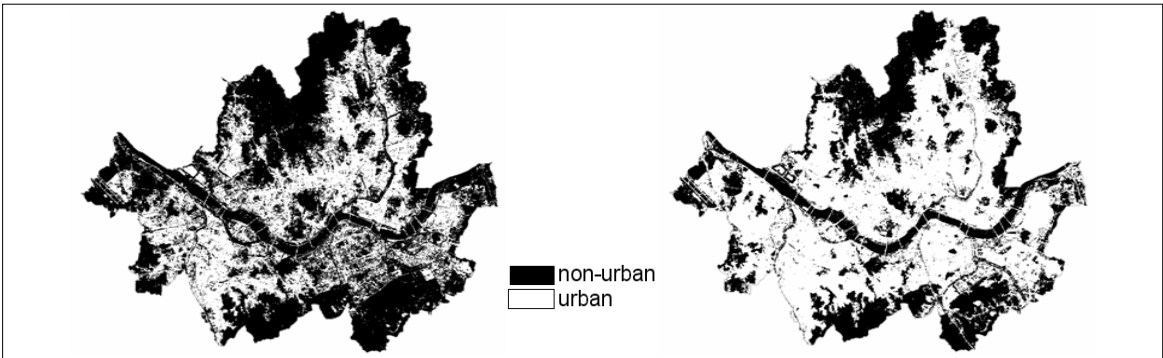


그림 5. 식생지수 결합 방법을 이용한 도시 지역 추출(1988년(좌)와 2000년(우))

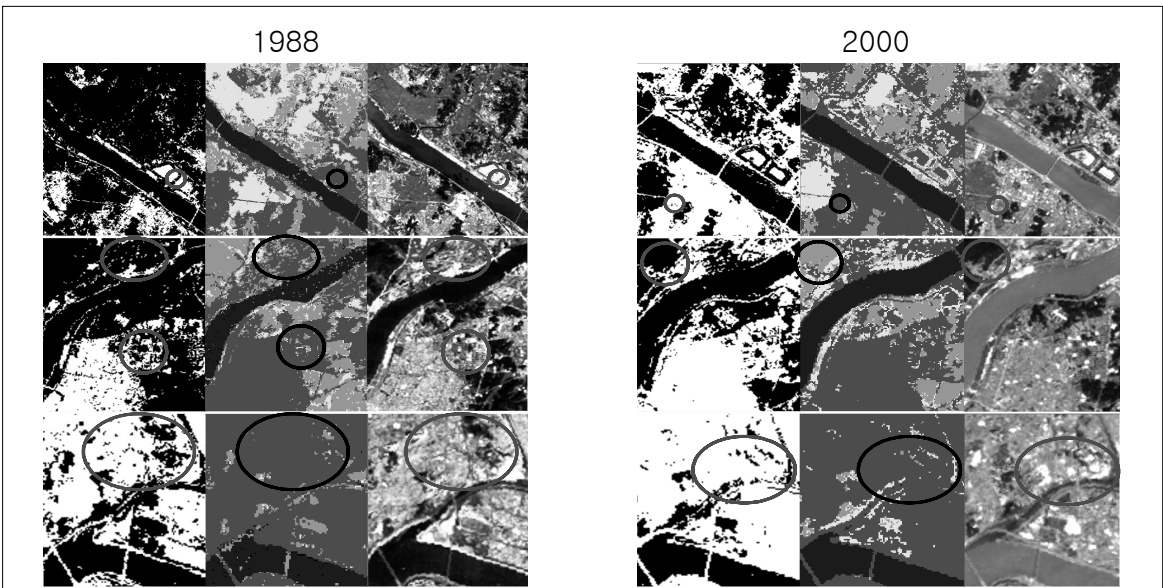


그림 6. 1988년(좌)과 2000년(우) 영상의 방법 간 결과 영상 비교(왼쪽부터 식생지수 결합방법, 감독분류기법, 원영상)

다. 물론 영상 분류 과정에서 훈련지역의 선정 및 분류자(classifier)의 선택에 따라 영상 분류 결과가 달라지기 때문에 본 실험 결과처럼 반드시 식생지수 결합 방법 보다 영상 분류 방법을 사용하였을 경우 도시 지역이 많이 추출된다고 단정할 수는 없지만 한 가지 주지할 사실이 있다. 그것은 바로 영상 분류와 식생지수 결합 방법의 용이성이다. 즉 영상 분류 방법은 훈련지역의 선정 및 분류자의 선택에 따라 결과가 달라지는 반면 식생 지수 결합 방법을 그렇지 않다는 점이다. 이로 인해 식생 지수 결합

방법은 도시 지역의 추출을 보다 빠르고 효율적으로 실시할 수 있는 장점이 있다.

다른 비교 방법으로 방법별로 1988년과 2000년 결과 영상을 비교하였다. 그 결과 두 방법 모두 도시 지역이 확장되고 있음을 알 수 있었다(그림 7). 이는 이런 방법에 의해 도시 지역을 시계열적으로 추출할 수 있는 가능성을 제시하고 있다. 1988년에는 도시로 구분되었으나 2000년에는 도시가 아닌 것으로 구분되는 것은 논리적으로 오류일 수도 있기 때문에 별도의 시계열적인 처리가 필요할

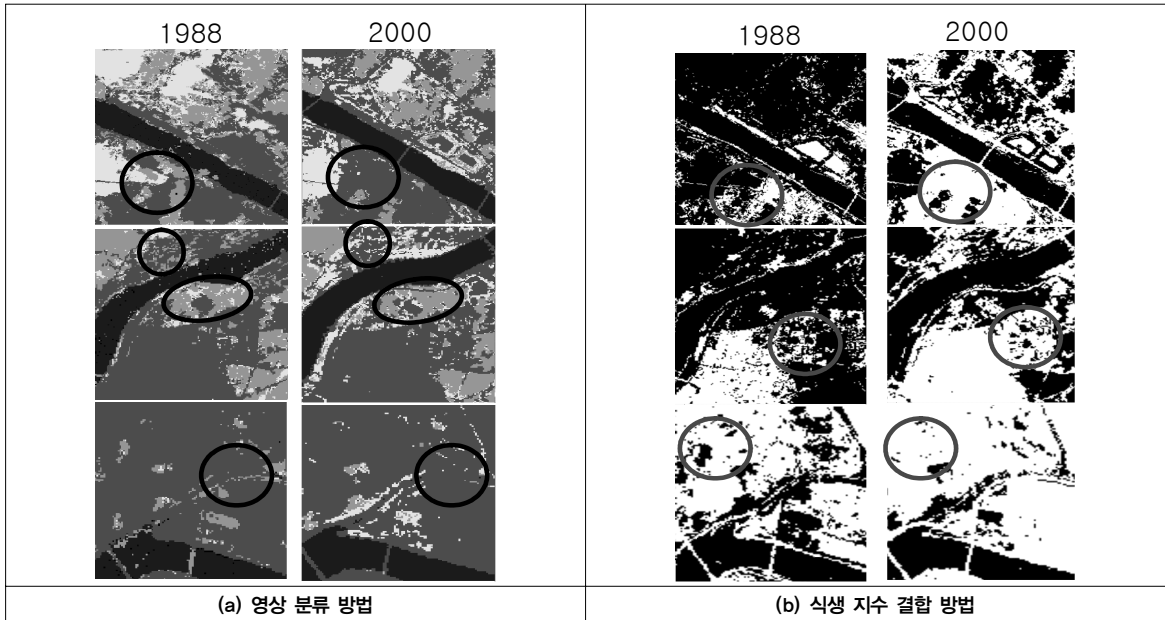


그림 7. 도시 지역 추출 방법별 시계열적 도시 지역의 변화 비교

것이다. 이런 논리적인 오류는 영상 분류 방법이 식생지수 결합 방법이 비해 훨씬 많이 발생했다.

시각적인 분석을 종합할 때, 두 방법 모두 시계열적인 도시 지역의 추출을 위해 사용될 수 있음을 알 수 있었고, 식생지수 결합에 의한 방법이 영상 분류에 의한 방법 보다 도시 지역이 적게 추출됨을 알 수 있었다.

2. 통계적인 비교

보다 정량적인 분석을 위하여 도시 지역과 비도시 지역으로 추출된 셀의 비교분석을 실시하였다. 1988년의 경우 연구 대상지역에 대해 식생지수결합법과 감독분류의 방법을 사용하여 추출한 도시와 비도시 지역의 전체 일치도는 76.7%로 나타났다. 이 중 식생지수결합법에서 도시로 추출된 지역이 감독분류에서 도시로 추출된 확률은 98.3%로 매우 높게 나타난 반면, 감독분류에서 도시로 추출된 지역이 식생지수결합법에서도 도시로 추출된 확률은 63.1%로 앞의 결과보다 낮게 나타났다(표 3). 이는 분류에 의한 방법이 식생 지수 결합 방법에 비해 도시 지역으로 분류된 셀이 훨씬 많음을 의미한다.

2000년 영상의 분석결과도 같은 패턴으로 나타났는데, 전체 셀 중 도시 지역과 비도시 지역의 전체 일치도는 96.5%의 매우 높은 전체 일치도를 나타냈다(표 4). 그리고 식생지수결합법에서 도시 지역으로 추출된 지역이 감독분류 결과와 일치할 확률은 99.3%, 감독분류에서 도시로 추출된 지역이 식생지수결합법에서도 도시로 추출된 확률은 95.1%로 두 경우 모두 높게 나타났다. 이는 2000년 영상의 경우 두 방법으로 추출한 도시 지역이 크게 다르지 않음을 의미한다.

본 연구에서 영상 분류 방법의 경우 1988년과 2000년 영상에서 같은 훈련지역과 동일한 분류자를 사용하였다. 하지만 최대 우도법과 같은 분류자는 훈련지역의 다변량 통계량을 사용하여 분류를 하기 때문에 영상 취득 당시의 대기상태 등에 의해 화소값의 분포가 달라질 경우 영상 분류에 이용되는 다변량 통계량이 변하고 이에 의해 분류 결과가 상이하게 나올 수 있다. 따라서 시계열적인 도시 지역 추출을 위해서 영상 분류 방법을 사용하는 것은 예를 들면 도시 지역이었던 셀이 비도시 지역으로 변하는 논리적인 모순이 발생할 수 있다. 이에 반해 식생지수 결합 방법은 훈련지역의 화소 밝기값에 의존하지 않고 밴드

표 3. 식생지수결합법과 감독분류기법을 활용한 분류 결과의 비교(1988년)

지수결합	분류	도시	비도시	계	일치도
	도시		261,487	4,582	266,069
비도시		152,596	255,763	408,359	62.6%
계		414,083	260,345	674,428	
일치도		63.1%	95.0%		76.7%

표 4. 식생지수결합법과 감독분류기법을 활용한 분류 결과의 비교(2000년)

지수결합	분류	도시	비도시	계	일치도
	도시		404,259	2,853	407,112
비도시		20,636	246,680	267,316	92.3%
계		1,253,124.1	770,318	674,428	
일치도		95.1%	98.9%		96.5%

표 5. 영상 분류 방법의 시기별 도시와 비도시 결과

2000년	1988년	도시	비도시	계
	도시		383,357	41,538
비도시		30,726	218,807	249,533
계		414,083	260,345	674,428

표 6. 식생지수 결합법의 시기별 도시와 비도시 결과

2000년	1988년	도시	비도시	계
	도시		257,643	149,469
비도시		8,426	258,890	267,316
계		1,094,235	929,049	2,023,284

3, 4, 5(Landsat TM 영상의 경우)의 상대적인 밝기값의 크기만으로 도시 지역을 추출할 수 있기 때문에 도시 지역 추출 결과가 영상 분류에 비해 일관적인 경향이 있다.

표 5와 표 6은 이를 정량적으로 나타내고 있다. 먼저, 양 기간에 비도시에서 도시로 변환 셀을 살펴보면 표 5에서는 변화지역이 전체의 6.2%(41,538/674,428)으로 나타나 도시 지역의 확대가 미미했음을 나타내고 있는 반면 표 6에서는 변화 지역이 전체의 22.2%(149,469/674,428)를 차지하고 있어 도시 지역의 확대가 분류 방법 보다 식생지수 결합 방법에서 두드러지게 나타나고 있다. 또한

도시가 비도시로 변하는 것을 시계열적으로 일어날 수 없는 오류라 가정할 경우(실제 이런 경우도 드물게 있기는 하지만) 식생 지수 결합 방법 보다 영상 분류 방법에서 이런 오류가 훨씬 더 많이 발생하였다(표 5, 표 6).

3. 기준 데이터를 이용한 정확도 평가

두 방법으로 도시 지역을 추출한 결과를 비교하기 위해서는 기준 데이터가 필요하다. 사전적인 의미로 본 연구에서의 기준 데이터는 실제 토지피복 상태를 조사한 것을

의미한다. 하지만 과거의 경우 기준 데이터를 취득하기가 용이하지 않을 뿐 아니라 본 연구가 식생 지수 결합 방법을 이용한 도시 지역 추출의 적용 가능성을 탐색하는 것이기 때문에, 본 연구에서는 환경부(egis.me.go.kr)의 토지피복도를 기준 데이터로 활용하였다. 환경부의 토지피복도는 1990년대 말을 기준으로 Landsat TM 위성영상에 대한 분류를 기본으로 하여 영상 편집 등을 통하여 토지피복도를 작성한 것이다.

본 연구는 1988년과 2000년 영상을 대상으로 하여 도시 지역을 추출하는 것이기 때문에 환경부의 토지피복도는 각 방법별로 시계열적인 추세가 적절하게 반영되었는지를 판가름할 수 있는 기준이 된다. 그림 8과 그림 9는 도시 지역을 추출한 결과와 환경부의 토지피복도를 이용해 추출한 도시 지역 영상을 나타낸 것이다. 그림 8에서는 시각적으로도 1988년 영상에 대한 감독 분류에 의해

도시 지역이 과대하게 추출되었음을 알 수 있다. 즉, 1988년 도시 지역이 1999년 도시 지역에 비해 훨씬 많음을 알 수 있다. 하지만 그림 9에서는 이러한 현상이 나타나지 않는다.

이를 정량적으로 분석하기 위해 1988년과 2000년 영상에 대해 각각 감독 분류 방법과 식생 지수 결합방법을 사용한 4가지 결과와 1999년 환경부 토지피복도를 비교하였다(표 7 - 표 10). 이 중 표 7에 의하면 1988년 감독 분류에서 비도시인 지역이 1999년 토지 피복도에서 도시로 변한 지역은 33,029셀로 전체의 4.9%에 지나지 않아 1988년에 도시 지역이 과대 추정 되었음을 알 수 있다. 반면 표 9에서는 1988년 식생 지수 결합 방법에서 비도시인 지역이 1999년 토지 피복도에서 도시로 변한 지역이 130,627셀로 전체의 19.4%이다. 표 8과 표 10은 모두 시기가 1년 밖에 차이가 나지 않고, 전술한 바와 같이 감독

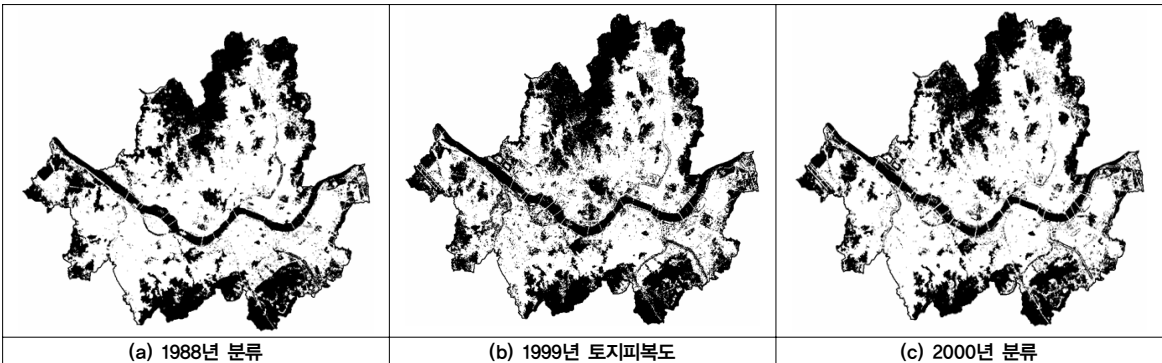


그림 8. 분류 결과와 환경부 토지피복도

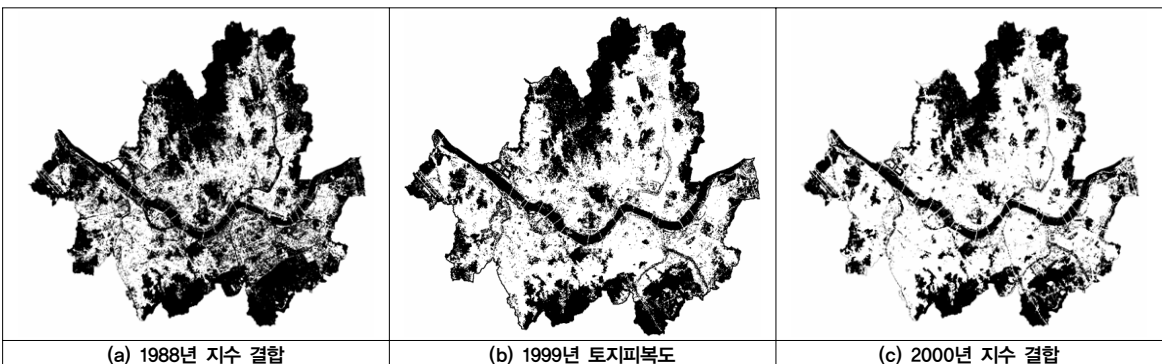


그림 9. 식생 지수 결합 방법 결과와 환경부 토지피복도

표 7. 1988년 감독 분류 방법과 1999년 환경부 토지피복도 비교

감독분류 88 \ 환경부 99	도시	비도시	계
도시	340,826	73,257	414,083
비도시	33,029	227,316	260,345
계	373,855	300,573	674,428

표 8. 2000년 감독 분류 방법과 1999년 환경부 토지피복도 비교

감독분류 00 \ 환경부 99	도시	비도시	계
도시	355,128	69,767	424,895
비도시	18,727	230,806	249,533
계	373,855	300,573	674,428

표 9. 1988년 지수 결합 방법과 1999년 환경부 토지피복도 비교

지수결합 88 \ 환경부 99	도시	비도시	계
도시	243,238	22,831	266,069
비도시	130,617	277,742	408,359
계	373,855	300,573	674,428

표 10. 2000년 지수 결합 방법과 1999년 환경부 토지피복도 비교

지수결합 00 \ 환경부 99	도시	비도시	계
도시	348,581	58,531	407,112
비도시	25,274	242,042	267,316
계	373,855	300,573	674,428

표 11. 각 시기의 방법별 도시 셀 수

시기 \ 방법	감독 분류	지수 결합
1988(실험 1)	414,083	266,533
1999(환경부)	373,855	
2000(실험 2)	424,895	407,112

분류 결과와 식생 지수 결합 방법에서 결과의 차이가 크지 않아 일반적인 정확도 평가방법을 사용할 때, 전체 정확도는 각각 86.9%(355,128 + 230,806 / 674,428)와 87.6% (348,581 + 242,042 / 674,428)로 비슷하였다. 이를 종합한 결과 1988년 감독분류 결과가 도시 지역을

과대 추출하였음을 알 수 있다. 다시 말해서 본 연구에서 식생 지수 결합 방법은 영상의 취득 시기의 기상 상태와는 무관하게 도시 지역을 적절하게 추출하였음을 알 수 있었다. 정확도 평가 결과를 요약하여 시기별 도시 셀 수를 나타내면 표 11과 같다. 표 11은 감독 분류 방법의 도시

지역 추출에 있어서 문제점을 잘 나타내고 있다.

IV. 결론

도시화에 따른 도시 공간의 외연적 확대는 사회경제적으로 많은 문제를 발생시키고 있다. 환경적으로도 건전한 지속가능한 도시 발전을 위해서는 도시 지역의 확산을 체계적으로 모니터링하고 이를 관리하는 것이 반드시 필요하다. 도시 지역의 확대는 항공 사진이나 위성 영상 등을 이용해 추출할 수 있는데 도시 지역의 시계열적인 확대 추세를 파악하는 것은 위성영상을 대상으로 자동화된 기법을 이용하는 것이 적절한 방법이다.

본 연구에서는 서울시를 대상으로 1988년과 2000년의 Landsat TM 영상을 이용하여 토지피복분류에 일반적으로 사용되는 감독분류기법과 도시 지역추출에 사용되는 식생지수결합법을 사용하여 서울시의 도시 지역을 추출하고 이를 비교분석하여 도시 지역 추출에 있어서 식생지수결합법의 사용이 적합함을 제시하였다. 두 시기의 영상 분석 결과 식생 지수 결합 방법을 사용한 도시 지역 추출 지역은 감독 분류에서도 도시 지역으로 나타날 확률이 매우 높아 도시 지역 추출에서 식생 지수 결합 방법의 사용이 적합함을 알 수 있었다. 또한 환경부의 토지피복도와의 비교를 통해서도 식생 지수 결합 방법의 사용 가능성을 제시하였다.

감독분류기법은 영상의 품질에 그 결과가 많이 좌우되게 되는데, 본 연구의 1988년 분류 결과의 경우 그 정확도가 높다고 볼 수 없다. 분류정확도가 높다면 분류결과를 신뢰할 수 있지만 분류정확도가 높지 않다면 분류의 결과도 신뢰할 수 없고(정재준, 2005), 감독분류기법을 이용한 도시 지역 추출은 클래스, 훈련지역, 분류 방법의 선택에 따라 그 결과가 상이하고 제약사항을 많이 가진다. 반면 식생지수결합법을 이용한 도시 지역 추출은 위성 영상의 화소값에 의존하여 감독분류기법의 적용과정에서 나타난 문제점에 제약 받지 않고 추론이 가능한 장점을 가지고 있다. 따라서 분류를 통한 도시 지역 추출 방법에 비해 식생지수결합법을 이용한 도시 지역 추출이 절차상 수월한 점을 감안하면 도시 지역 추출에 있어서 감독분류기법보다 식생지수결합법의 사용이 효율적일 것이다.

다만, 현재 이진 분류 방식의 식생지수결합법을 이용한 도시 지역 추출은 적용 방식이 간단하기는 하지만 도시로 구분될 확률에 대한 고려는 포함되지 않았다. 영상 분류에 대한 최근 연구 동향에서 알 수 있듯 결정론적 분류보다는 확률론적 분류의 효용성이 대두되는 현실을 고려할 때, 식생지수결합법에 대해서도 이진 분류 방식이 아니라 NDVI와 NDBI값을 직접적으로 이용한 확률론적인 도시 추출 방법에 대한 추가 연구가 필요할 것이다.

註

- 1) 우리나라에서 법률적 개념의 도시 지역은 도시계획법의 적용을 받는 지역을 지칭한다. 본 논문에서의 도시 지역은 법률적 의미의 도시 지역이 아닌, 인공구조물에 의해 토지피복(land cover)이 형성된 도시화지역(urbanized area)을 의미한다.

참고문헌

- 김진광·황철수, 2005, “항공사진을 이용한 정사사진지도 제작”, 한국지도학회지 5(1), 31-40.
- 박성미·임정호·사공호상, 2001, “다량의 Landsat 위성 영상 처리를 통한 광역 토지피복분류”, 대한원격탐사학회지 17(3), 189-197.
- 박종화·서동조·서창완, 1996, “TM영상추출 NDVI를 이용한 수도권 그린벨트의 평가”, 대한원격탐사학회지 12(3), 245-256.
- 사공호상·임정호, 2003, “IKONOS 영상의 토지피복분류 방법에 관한 실증 연구”, 한국지리정보학회지 6(3), 107-116.
- 성효현·박옥준, 2000, “토지피복 변화에 따른 식생지수(NDVI)분포 및 변화에 관한 연구:성남시를 중심으로”, 한국GIS학회지 8(2), 275-288.
- 이수현, 정재준, 2007, “NDVI와 NDBI를 이용한 도시 지역 추출에 관한 연구”, 2007 GIS 공동추진기술대회 논문집, 156-161.
- 이우성·정성관·박경훈·김경태, 2010, “친환경적인 공간 계획을 위한 도시의 열환경 분석”, 한국지리정보학회지 13(1), 142-154.

- 정재준, 2010, “국토 모니터링을 위한 지표설정과 방법론 개발에 관한 연구”, 한국지도학회지 10(1), 65-74.
- 정재준, 2005, “사후확률 결합에 의한 분류정확도 향상에 관한 연구”, 한국GIS학회지 12(1), 111-125.
- 정재준, 이수현, 2010, “국토 모니터링을 위한 지표설정과 방법론 개발에 관한 연구”, 한국지도학회지 10(1), 65-74.
- 황의진·신계중·최석근·이재기, 2005, “위성영상과 GIS를 이용한 도심의 식생지수 분석”, 한국GIS학회 2005년 GIS/RS 공동 춘계학술대회자료집, 249-253.
- 황의진·이재현·최석근, 2006, “위성영상을 이용한 토지피복분류 분석”, 건설기술연구소 논문집, 25(1), 131-141.
- 환경부 환경지리정보 <http://egis.me.go.kr/>
- Chen, X., Zhao, H., Li, P., Yin, Z., 2006, Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes, *Remote Sensing of Environment* 104(2), 133-146.
- Hardisky, M. A., Klemas, V., and Smart, R. M., 1983, The Influence of Soil Salinity, Growth Form, and Leaf Moisture on the Spectral Radiance of *Spartina alterniflora* Canopied, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 49(1), 77-83.
- Jensen, J. R., 2005, *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*(3rd), Prentice Hall, 316-322.
- Richards, J. A., 1994, *Remote Sensing Digital Image Processing*(2nd), Springer-Nerlag, 180-195.
- Zha, Y., Gao, J., and Ni, S., 2003, Use of Normalized Difference Built-up Index in Automatically Urban Area from TM Imagery, *International Journal of Remote Sensing* 24(3), 583-594.
- Zhang, Y., Odeh, I., Han, C., 2009, Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a sub-pixel image analysis, *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information* 11(4), 256-264.
- 투 고 일 : 10월 26일
심사완료일 : 11월 19일
투고확정일 : 11월 25일