

KOMPSAT-2 영상 및 고해상도 항공영상을 이용한 도심지역 식생분류

Vegetation Classification using KOMPSAT-2 Imagery and High-resolution airborne imagery in Urban Area

박정기* · 고신영** · 조기성***

Park, Jeong Gi · Go, Shin Young · Cho, Gi Sung

요 旨

최근 탄소 흡수원으로 산림자원의 체계적인 관리의 중요성이 높아지고 있다. 특히 도심지역에서의 산림자원은 탄소 흡수원 뿐만 아니라 도시자연의 환경개선 기능은 물론 사회적 정서적 측면에서도 중요한 역할을 한다. 따라서 본 연구에서는 고해상도 항공영상과 KOMPSAT-2 위성영상의 이용하여 도심지역내 산림 영역의 수종 분류를 수행하기 위하여 고해상도의 항공영상과 위성영상의 NIR밴드의 영상재배열을 수행하였으며 NDVI 등 9개의 다양한 식생지수를 분산분석을 통해 임상단위로 수종을 구분하였다. 또한 산림청에서 제공하는 임상도를 이용하여 본 연구에서 구분된 수종과 비교 분석을 수행하였다. 이와 같은 식생분류 결과를 바탕으로 도심지역 내 식생관리를 위한 기초자료를 구축하고자 하였다.

핵심용어 : 도심지역, 항공영상, KOMPSAT-2, 식생분류, 분산분석

Abstract

Recently, It is increasing that importance of systematic management by carbon sinks in forest resources. Especially, in terms of social, Forest resources in urban areas are important role as well as carbon sinks, and improvement of the natural environment of the city. In this study, through ANOVA analysis that a total of nine different vegetation index from rearranged NIR band of images to Forest tree species classified in urban areas using high-resolution aerial images and satellite images of KOMPSAT-2. And various vegetation indices such as NDVI are divided a species by forest units through statistical analysis. Also, separated species are compared to forest type map by the Forest Service. As a result, it is built as basis for vegetation management in urban areas.

Keywords : Urban Areas, Airborne Imagery, KOMPSAT-2, Vegetation Classification, ANOVA Analysis

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

현재 전 세계적으로 지속적인 성장위주의 경제개발 정책에 의한 수도권 인구집중은 도시화를 가속화 시켰을 뿐만 아니라 자연생태계를 훼손하는 등 심각한 환경문제를 야기 시키고 있다. 또한 도시화가 진행되는 과정에서 발생하는 토지이용변화에 따른 녹지감소는 생

물의 서식처 파괴와 쾌적성 악화 등 많은 부정적인 영향을 끼치면서 무분별한 개발에 대한 우려의 목소리가 높아지고 있는 실정이다. 특히 이러한 환경문제 중에서 온실가스 발생량이 상대적으로 많은 도심지역에서의 온실가스 감축방안으로 녹지공간의 중요성이 대두되고 있으며(Kim, 2011) 이러한 도심에 허파 역할을 할 녹지공간이 부족하면 삭막한 회색도시경관도 문제지만 기후조절 기능 미흡으로 도시환경오염을 불러올 수 있

2013년 8월 7일 접수, 2013년 10월 12일 수정, 2013년 11월 22일 채택

* 정회원 · 전북대학교 토목공학과 박사과정(Member, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National University, road001@chol.com)

** 정회원 · 전북대학교 토목공학과 박사과정(Member, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National University, gosinqq@jbnu.ac.kr)

*** 교신저자 · 전북대학교 토목공학과 교수, 공업기술연구센터(Corresponding author, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National University, gscho@jbnu.ac.kr)

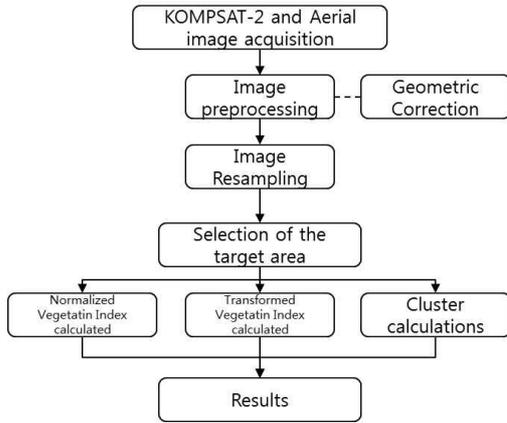


Figure 1. The Flowchart of the study

다. 이처럼 기후변화시대를 맞아 도심 산림지역은 이산화탄소, 태양 복사열을 흡수하고 간접적 온실가스 발생량 저감과 토양, 잎의 증발산 등을 통한 열섬현상을 완화시키는 핵심적 역할을 한다. 또한 2013년부터 기존 임상도 및 생태 자연도의 조사 주기가 10년에서 5년 주기로 기간이 단축되어 연간 조사해야할 도엽량이 크게 증가하기 때문에 이에 대비한 효율적인 조사 방안 수립이 시급한 실정이다.

이러한 도심내 산림자원 조사를 위한 연구는 국내외 활발히 진행되고 있다. 특히 국내에서는 도심 수목의 탄소저장량 추정을 위한 KOMPSAT-2 영상을 분할영상분류방법을 이용하여 단일 식생이 아닌 산림 내 여러 수종을 임상단위로 분류하고 탄소저장량을 추정하는 연구(Kim, 2009)가 있었으며, 소규모의 도시수목의 탄소저장량 추정과 그 효과증진 방안을 제시하는 연구(Park, 2009)가 진행되었다. 또한 KOMPSAT-2 영상을 이용하여 도시 지역의 소규모 개체목 추출을 위한 연구(Kim, 2011)도 진행되었다.

앞선 선행 연구를 바탕으로 본 연구에서는 KOMPSAT-2 위성영상과 고해상도 항공영상을 영상 재배열을 통한 다양한 분광값과 항공영상의 높은 공간 해상도를 이용하여 데이터를 통합적으로 사용하고 이를 정규식생지수 및 변형지수를 계산하고자 한다. 계산된 각각의 지수와 영상의 DN값은 식생분류의 기준이 되는데 이들 각각의 지수는 ANOVA(ANalysis of VAriance:ANOVA) 통계 분석을 통해 분류항목의 고유지수로서 신뢰성을 확인하고 이를 바탕으로 식생분류를 실시 하고자 한다.

1.2 KOMPSAT-2

본 연구에 사용된 KOMPSAT-2 위성의 센서는 Table 1과 같은 특성으로 2006년 7월 28일 러시아 플레세크

Table 1. KOMPSAT-2 Specifications

Sensor	MSC(Multi-spectral Camera)	
Imaging mode	Panchromatic	Multispectral
Spatial Resolution	1m	4m
Swatch Width	15km	15km
Spectral Resolution	Panchromatic-0.5 ~ 0.71 μ m	
	Multispectral	
	band 1 : 0.45 ~ 0.52 μ m	
	band 2 : 0.52 ~ 0.60 μ m	
	band 3 : 0.63 ~ 0.69 μ m	
		band 4 : 0.769 ~ 0.9 μ m

트 발사장에서 성공적으로 발사되었으며, 지상해상도 (Ground Sample Distance; GSD) 1m급 다중분광대 위성카메라(Multi Spectral Camera; MSC)를 탑재한 세계 7번째 위성이다. KOMPSAT-2 위성은 고해상도 광학 카메라를 탑재하여 농업, 식생, 환경, 해양감시 등 광범한 목적을 해결하기 위해 제작되었다. 현재 KOMPSAT-2 위성은 국토관리, 자연재해 감시, 각종 자원 이용 실태 조사, 지리정보의 활용을 위해서 지구를 하루 14바퀴 반씩 돌며 세계 곳곳을 촬영하고 있으며, 약 685km의 고도에서 운용되고 있다.

1.3 고해상도 항공영상

본 연구에서 사용한 항공영상은 VEXEL사에서 개발된 UltraCam 카메라로 4개의 흑백 영상을 촬영할 수 있는 카메라와 4개의 다중분광 영상 카메라로 구성되어 있다. UltraCam ZKP코는 8개의 독립적 카메라로 구성되어 있으며 각각의 코는 1개의 Master 코에 4개의 프레임 CCD, 첫 번째 slave 코와 세 번째 slave 코에 각각 2개의 프레임, 세 번째 slave 코에 1개의 프레임, 나머지 4개의 코에 다중분광 카메라로 구성되어 있다. RGB와 근적외선(NIR) 영역의 영상을 획득 할 수 있는 다중분광 카메라는 일반 항공필름카메라와 같은 영역을 촬영하도록 설계되었지만 공간 해상도는 동일하거나 더 높다. 초당 1프레임 이상의 영상이 획득 가능한 UltraCam 카메라는 짧은 시간에 촬영이 가능하므로 기존의 중중복/횡중복도 60/20%에서 80/60%로 촬영이 가능하다. 중복도가 높아짐에 따라 불일치하는 공액점을 줄임으로서 영상의 정확도가 높아지게 된다 (Woo, 2009).

2. 이론적 배경

2.1 영상 전처리

본 연구에서는 0.5m급 공간해상도를 가진 항공영상

과 다중분광 영상인 KOMPSAT-2영상을 이용하여 각각의 장점들을 취합하여 고해상도의 다중분광 영상을 생성하기 위해 항공영상의 기준점자료를 이용하여 KOMPSAT-2 영상의 NIR밴드를 최근린 보간기법을 이용하여 재배열하고 이를 항공영상의 R, G, B 밴드와 함께 사용하였다.

2.2 식생지수

2.2.1 NDVI

NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)는 식생이 가장 적은 지역은 -1, 식생이 가장 활발히 분포한 지역에서는 1의 값을 갖도록 정규화한 식생지수이다. NDVI는 가시광선과 근적외선의 두 영상으로부터 차이를 구하여 식생의 반사 특성을 강조하고 이를 두 영상의 합으로 나누어 일반화한 것으로, 일반적으로 식생에 의한 파장별 반사율은 태양광선의 입사각과 위성의 촬영 각도에 의해 변하고 대기 상태에 따라서도 관측되는 값이 다르므로 일반화에 의해서 이들의 영향을 어느 정도 감소시킬 수 있다. 녹색식물인 경우에는 가시광선 영역의 반사율이 근적외선 영역보다 적으며, 따라서 NDVI값이 양수가 된다. 식생이 존재하는 대부분의 영역은 식생이 갖는 수분 상태를 고려하지 않는다면 보통 0.1~0.6 사이의 값을 갖는 것이 일반적이다 (Park, 2000).

본 연구의 대상지역이 도심지역을 포함하는 영역이므로 식생이 아닌 부분을 제외시키는 부분은 영상의 촬영조건에 따라 DN값들이 다르기 때문에 이미 진행되어왔던 유사 다른 연구에서와 같이 NDVI값에 임계치를 주는 방식으로 진행하였으며 그 결과 NDVI값이 0.4 이상인 부분을 식생으로 보고 그 이하 값은 식생에서 제외 시켰다.

2.2.2 Tasseled Cap

계절의 순환에 따른 식생의 반사 특성을 설명하기 위해 도입된 개념으로 공간상에서 모든 밴드 상의 영상자료들을 플로팅한 후 토양 밝기지수(Soil Brightness Index : SBI), 녹색식생지수(Green Vegetation Index : GVI), 황색 성분지수(Yellow stuff Vegetation Index : YVI), 습윤도(Water Band Index : WBI)의 네 축으로 변환하는 방법이다(Bae, 2003).

따라서 본 연구에서는 대상지역의 식생분류를 위한 통계 변수로서 TC 변환지수를 사용하였으며 분류하고자 하는 수준의 각 지수별 평균과 분산을 통한 상관관계를 파악하고자 한다. 또한 본 연구에서 사용된 변환식은 Table 2와 같으며 IKONOS 영상에 대한 변환계

Table 2. Type of Tasseled Cap Function

Function	Formula
SBI	$0.326 \times R + 0.509 \times G + 0.560 \times B + 0.567 \times NIR$
GVI	$-0.311 \times R - 0.356 \times G - 0.325 \times B + 0.819 \times NIR$
YVI	$-0.612 \times R - 0.312 \times G + 0.722 \times B + -0.081 \times NIR$
WBI	$-0.650 \times R + 0.719 \times G - 0.243 \times B - 0.031 \times NIR$

수를 적용한 것으로 IKONOS 영상의 밴드별 파장대가 비슷한 KOMPSAT-2 영상에 TC 변환계수를 그대로 적용한 선행연구와 같이 본 연구에서도 밴드별 파장대가 비슷한 IKONOS 변환계수를 사용하였다(Park 2002).

2.3 K-Means Clustering

n개 개체가 p차원 다변량 개체라고 했을 때 각 개체는 초기에 설정된 K개 군집 중 어느 한 군집에 할당된다고 가정했을 때 i번째 개체의 j번째 변수를 $X(i,j)$ 로 표시하고, c번째 군집에 속한 n_c 개 개체들의 j번째 변수에 대한 평균을 $\bar{X}(c,j)$ 로 표시했을 때 i번째 개체와 c번째 군집사이의 유클리드 거리는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$D(i,j) = \left(\sum [X(i,j) - \bar{X}(c,j)]^2 \right)^{1/2} \quad (1)$$

또한 각 개체를 c군집에 재할당 할 때 오차제곱합 E는 다음과 같다.

$$E = \sum_{i=1}^n [D(i,c(i))]^2 \quad (2)$$

위 식에서 $c(i)$ 의 의미는 i개체를 포함하고 있는 군집을 나타낸 것이고, $D(i,c(i))$ 는 i번째 개체와 그 개체를 포함하고 있는 군집사이의 유클리드 거리를 표시한다. 따라서 각 개체를 어느 한 군집으로부터 다른 군집으로 움직일 때 오차제곱합 E를 계산하여 더 이상 움직일 개체가 없을 때 까지 계산을 반복하게 된다(Seo, 2000).

2.4 ANOVA 분석

ANOVA(ANalysis of VAriance)분산분석은 평균값을 기초로 하여 여러 집단을 비교하고, 이들 집단간에 차이점이 있는지 가설 검증을 통해서 상관관계를 파악하는 통계분석기법이다(Hwang, 2003).

두 표본에 의한 모평균의 차이를 알아보는 실험이

나 관찰에서와 마찬가지로 세 개 이상의 실험의 조건이나 방법이 주어졌을 때 이들의 모평균에 차이가 있는지를 실험결과를 이용하여 판단하려고 하는 경우가 많이 있다(Kim, 1997).

여러 가지 처리 하에서 얻은 표본들을 분석하는 방법으로는 이들의 표본평균을 비교하는 것인데 앞의 이 표본 t 검정에서와 같이 이들 표본평균의 차가 우연(확률분포에 따른)에 의한 것인지 또는 실제의 모평균의 차에 기인한 것인지를 판단하여야 할 것이다. 즉 표본평균의 차이는 항상 있을 수 있으나 이를 분산이라는 척도로 재어보았을 때 의미 있는 차이로 받아들일 수가 있는가를 결정하는 것이다(Yang, 2000).

3. 적용 및 고찰

3.1 대상지 선정

본 연구의 대상지역은 Fig. 2와 같이 충청남도 천안시 부근으로(좌상단 331436.43, 4076651.79; 우하단 332435.93, 4075652.29; UTM WGS-84) 수목 군락을 이루고 있는 봉서산 일대와 도심지역 가로수 등의 식생이 포함될 수 있는 지역으로 선정하였다. 대상지역의 면적은 약 1km²이며, KOMPSAT-2 영상은 2011년 7월 20일, UltraCam으로 촬영된 GSD 0.5m급 항공영상은 2011년 9월에 촬영된 영상을 사용하였다.

3.2 자료 분석

3.2.1 영상 전처리

Fig. 3과 같이 영상전처리는 공간해상도 0.5m급 항공영상 RGB영상에 KOMPSAT-2 위성영상의 NIR 밴드를 사용하기 위해 4M급 위성영상을 0.5m 픽셀 크기로 재배열하여 사용하였다. 재배열된 영상은 공간해상도

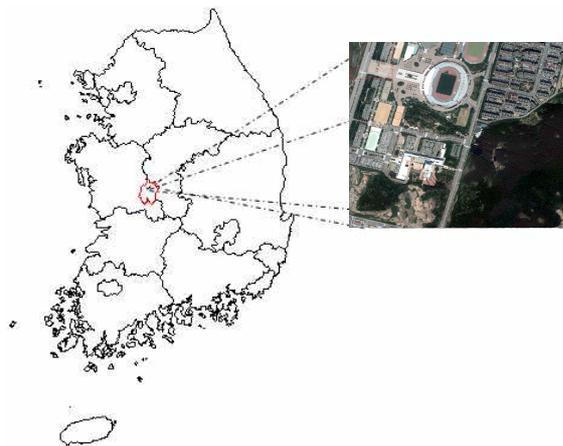


Figure 2. The study area

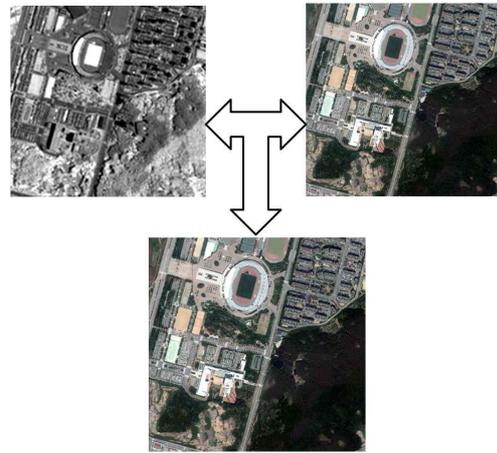


Figure 3. Image Resampling

0.5m의 R, G, B, NIR 밴드로 이루어진 영상으로 이를 이용하여 대상지역의 정규식생지수 및 TC 변환지수를 계산하였다.

3.2.2 분류항목 설정

지상 참조를 위한 픽셀 수나 원격탐사 분류지도에서 개개의 항목의 정확도를 평가하기 위한 픽셀의 실제 수를 결정하기는 어렵다. 일부 분석가는 요구되는 샘플 크기를 계산하기 위하여 이항분포나 이항분포의 근사치에 근거한 수식을 사용한다. 이러한 방법은 전체적인 분류 정확도를 계산하는데 필요한 샘플 크기를 계산하기 위해 통계적으로 조사된다. 이러한 식은 허용 오차와 올바르게 분류된 샘플의 비율에 근거한다. 토지이용 분류지도의 정확도를 평가하기 위해 사용되는 샘플 크기 N 은 식 (3)과 같은 이항 확률이론의 공식으로부터 결정되어야 한다고 제시하였다(Ruiliang Pu, 2011).

$$N = \frac{Z^2(p)(q)}{E^2} \tag{3}$$

- p : 기대정확도 백분율
- q : $100 - p$
- E : 허용오차
- Z : 2

이를 바탕으로 85%의 기대 정확도와 10%의 허용오차가 된다면 한 표본의 크기는 최소 51이므로 각 분류항목 당 51개의 픽셀을 선택해 주었다. 선택되어진 훈련 데이터를 가지고 최대우도법을 통한 분류를 하기 전에 선택되어진 각 분류 항목별 상관관계를 알아보기 위하여 독립변수(분류 항목)와 종속변수(R, G, B, NIR, NDVI, GBI, SVI, YVI, WBI)간의 관계를 알아보기 위하여 가설을 설정하였다.

귀무가설(H0) : 분류 항목 간 종속변수 차이는 없다.
대립가설(H1) : 적어도 하나는 다르다.

3.2.3 수중 군집분석

군집분석은 상용 프로그램인 SPSS를 이용하여 k-means를 통한 군집분석을 적용 하였으며 9개의 변수(R,G,B,NIR,NDVI,SBI,GBI,YVI,WBI)를 사용하였다. k-means의 조건중 하나인 군집의 개수는 산림청에서 제공되는 항공영상도를 기준으로 4개의 식생군집

(PR: 리기다 소나무림, PH: 활엽수림, M: 침활혼효림, CL: 침엽수림)을 적용하였다.

Table 4는 분산분석표로서 상용소프트웨어인 SPSS를 이용하여 처리하였으며 독립변수별 종속변수의 분산분석 결과 군집별 유의확률(P-Value)의 값이 유의 수준 0.05를 넘지 않는 결과로 나타났다. 이는 군집간의 값을 확률이 없다는 것을 말할 수 있으며 바꿔 말하면 같은 군집에 속해있는 수종의 지수값들이 서로 유의하다는 것을 확인하였다.

Table 3. The Class Mean and Variance

Class		R	G	B	NIR	SBI	GVI	YVI	WBI	NDVI
PR	Mean	48.28	86.11	70.51	417.65	335.87	273.46	-39.33	0.44	0.79
	Variance	22.30	28.30	25.76	41.26	38.27	40.29	16.62	17.32	0.08
M	Mean	176.93	251.07	207.02	608.75	646.56	286.87	-86.46	-3.66	0.55
	Variance	44.64	39.04	40.36	71.07	69.06	66.82	22.30	21.55	0.09
PH	Mean	148.08	226.74	189.09	437.21	517.47	169.84	-60.25	7.26	0.49
	Variance	23.83	28.93	26.94	43.94	41.54	38.47	22.05	19.19	0.06
CL	Mean	95.44	155.52	123.59	509.26	468.23	291.86	-58.94	3.96	0.68
	Variance	22.48	25.54	23.09	42.58	39.02	37.40	15.70	18.33	0.06
Total	Mean	91.67	148.48	121.75	463.55	436.48	258.70	-52.07	3.21	0.67
	Variance	50.02	62.95	55.14	90.74	95.62	88.13	22.22	18.37	0.15

Table 4. Group-specific ANOVA table

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	P-Value
R	Between Groups	8498.052	2	4249.026	99.082	.000
	Within Groups	6432.588	150	42.884		
	Total	14930.641	152			
G	Between Groups	934.523	2	467.261	6.371	.002
	Within Groups	11001.020	150	73.340		
	Total	11935.542	152			
B	Between Groups	6667.229	2	3333.614	76.788	.000
	Within Groups	6512.000	150	43.413		
	Total	13179.229	152			
NIR	Between Groups	25411.922	2	12705.961	50.927	.000
	Within Groups	37424.314	150	249.495		
	Total	62836.235	152			
SBI	Between Groups	2.496	2	1.248	162.942	.000
	Within Groups	1.149	150	.008		
	Total	3.644	152			
GVI	Between Groups	2820.765	2	1410.382	7.751	.001
	Within Groups	27294.879	150	181.966		
	Total	30115.644	152			
YVI	Between Groups	35428.964	2	17714.482	84.788	.000
	Within Groups	31338.978	150	208.927		
	Total	66767.943	152			
WBI	Between Groups	454.957	2	227.478	16.382	.000
	Within Groups	2082.932	150	13.886		
	Total	2537.889	152			
NDVI	Between Groups	2796.713	2	1398.357	319.395	.000
	Within Groups	656.721	150	4.378		
	Total	3453.434	152			

3.2.4 식생분류 및 정확도 분석

촬영시기가 일치하지 않은 두 영상이 식생분류결과에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 군집분석을 통해 얻어진 통계적인 결과를 훈련데이터로 이용하여 식생분류를 실시하였다. 분류 항목의 정확도 분석을 위한 훈련데이터의 픽셀 결정을 위해 본 연구에서는 공간해상도가 높은 항공영상을 기준으로 분류 수준의 훈련데이터 픽셀의 개수를 결정하였다. 대상지역의 분류 결과는 산림청에서 2010년에 제작되어 제공되는 5m×5m 항공임상도를 비교 참조데이터를 이용하여 오차행렬을 통한 정확도 분석을 실시하였다.

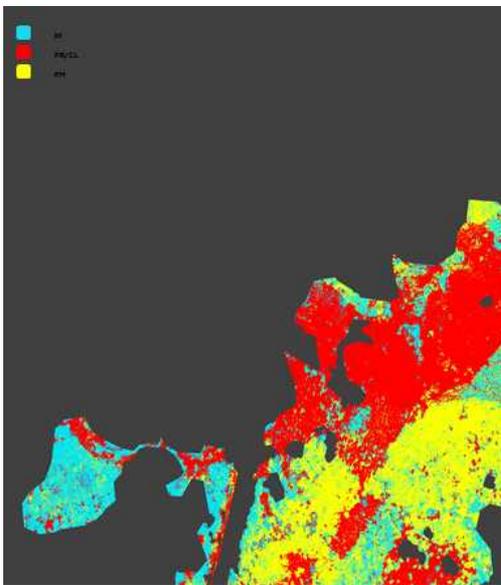


Figure 4. Classification through cluster analysis.

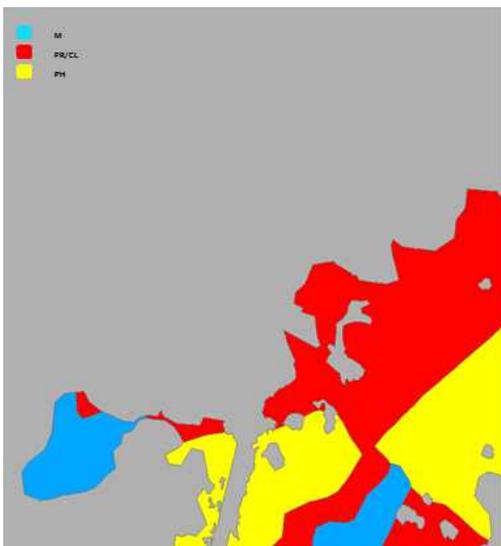


Figure 5. Map of forest type

Table 5. Classification Accuracy

Class	PR	M	PH	CL	Total	producers's accuracy
PR	16421	981	512	314	18228	90.1
M	114	130066	10111	1442	141733	91.8
PH	3222	10151	37794	2271	53438	70.7
CL	44	11	354	28994	29404	98.6
Total	19801	141209	48771	33021	242803	
user's accuracy	82.9	92.1	77.5	87.8		

오차행렬을 통한 정확도 분석 결과는 Table 5와 같으며 제작자 정확도의 측정치를 통해 누락오차를 확인한 결과 활엽수림이 다른 3가지 분류항목에 비해 정확도가 낮게 나타남을 확인하였고 사용자 정확도 역시 활엽수림에 대한 측정값이 낮게 나타남을 알 수 있었다. 전체 정확도는 87.8%를 얻었으며 우연에 일치 값을 빼고 누락오차와 허용오차들을 고려한 Kappa 계수는 0.795와 같은 결과를 얻었다. 이는 Kappa 통계값에 대한 분류 정도를 봤을 때 “매우 양호”에 해당하는 수치로 분류된 결과가 우연에 의한 일치보다 실제 일치에 의한 값이라고 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 천안시 도심지를 대상으로 고해상도 항공영상과 KOMPSAT-2 위성영상을 이용하여 영상재배열을 통해 얻어진 DN값으로 다양한 식생지수를 계산하여 ANOVA 분산분석 기법을 적용하여 도심지역내 식생을 분류한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

먼저 식생분류를 위해 영상에서 취득된 R,G,B,NIR 와 TC 변환지수를 이용하여 4개의 식생군집에 적합한 각각의 지수들의 평균과 분산 통계치를 산출하고 식생분류를 위한 고유 지표값들을 도출하였으며 식생분류를 위해 사용된 고유 분광값과 식생지수의 유의성을 확인하기 위한 분산분석 결과 각 지수별 유의확률 결과 분류기준이 되는 9개의 지수 모두 유의수준 0.05를 넘지 않아 식생군집에 속해있는 수준의 변수값들이 서로 유의하다는 것을 확인함으로써 식생 고유의 지수를 이용한 분류기준을 도출 할 수 있었다.

또한 분류 정확도분석을 위해 대상지역의 항공임상도와 비교분석한 결과 전체정확도 87.8%와 Kappa 계수 0.795의 결과를 얻어 분류정도가 양호함을 확인 할 수 있었다.

References

1. Bae, Jun Hee, 2003, Use of satellite data for forest type classification in warm, Honam University.
2. Hwang, Soo Min, 2003, A study on ANOVA using a cDNA microarray analysis of experimental data and homoscedasticity assumption, Ewha Womans University.
3. Kim, Cheon, 1997, A study on spectral reflectance characteristics of the timber and forestry grouping , Kookmin University.
4. Kim, Ki Tae, 2011, Estimation of carbon absorption of urban area using high resolution satellite images, Gyeongsang National University.
5. Kim, So Ra, Lee, Woo Kyun, Kwak, Han Bin, Choi, Sung Ho, 2009, Estimating carbon sequestration in forest using KOMPSAT-2 imagery, Journal of Korean Forest Society, Vol. 99, No. 3, pp. 324-330.
6. Kim, Woon Soo, Jeon, Han Na, Jeong, Nam Sook, 2011, A study on monitoring performance management for meeting GHG emission reduction target in Seoul, Seoul Development Institute, pp. 1-205.
7. Park, Eun Joo, 2002, A study on drought susceptibility using Landsat ETM+ imagery, Kyung hee University.
8. Park, Eun Jin, Jwa, Sung Hee, 2009, Quantification of CO₂ Uptake by urban trees and greenspace management for C sequestration, Gyeonggi Research Institute, Vol. 2009, No. 11, pp. 1-1.
9. Park, Ok Jun, 2000, A study on distribution and change of NDVI with land-cover in city of sungnam, Journal of GIS Association of Korea, Vol. 8, No. 2, pp. 275-288.
10. Ruiliang Pu., Shawn Landry., 2011, A comparative analysis of high spatial resolution IKONOS and WorldView-2 imagery for mapping urban tree species, Elsevier, Vol. 124, pp. 516-533.
11. Seo, Moon Hyo, 2000, A study for cluster analysis algorithm by trimmed k-means method, Dongguk University.
12. Woo, Hee Sook, 2009, Quality assessment of mosaic image of airborne digital frame camera image, Inha University.
13. Yang, Y.H., Buckley, M.J, 2000, Comparison of methods for image analysis on cDNA microarray data, Technical report 584, Department of Statistics, University of California, Berkely.