

연구논문

GRABS 이용한 그림자 영역에서의 정규식생지수의 오차보정* : 청주시를 대상으로

반영운** · 나상일*** · 이태호**

충북대학교 도시공학과**, 충북대학교 지역건설공학과***

(2010년 5월 6일 접수, 2010년 6월 2일 승인)

Calibration of NDVI Error at Shadow Areas with GRABS* : Focused on Cheong City

Ban, YongUn** · Na, SangIl*** · Lee, TaeHo**

Dept. of Urban Engineering, Chungbuk National University**

Dept. of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University***

(Manuscript received 6 May 2010; accepted 2 June 2010)

Abstract

This study has intended to analyze the nature of the errors that occur as a result of shadows during the process of NDVI calculation using high-resolution satellite images of Cheongju City, in order to calibrate such errors, and to verify the results. This study has calibrated the shadow errors by utilizing the relationship between the Greenness above Bare Soil (GRABS) calculated through Tasseled-Cap transformation and the original NDVI. To verify the accuracy of the results, this study has compared the shadow area extracted by the difference between before and after calibration of NDVI, with the original shadow area.

The NDVI value converged on the value of -1.0, representing water, because shadow areas could not accept the reflection value from each band. However, after performing Tasseled-Cap transformation, the NDVI of shadow areas that had converged on -1.0 prior to calibration had increased to a level similar to the NDVI of neighboring areas. In addition, the average NDVI in general had increased from -0.08 to -0.01. Finally, the shadow area drawn out was almost matched to the original one, meaning that the NDVI calibration method employed turned out to be highly accurate in extracting shadow areas.

Keywords : NDVI, Tasseled-Cap Transformation, GRABS, Regression Analysis

* This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2008.

Corresponding Author: Na, SangIl, Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University, 410 Sungbong-ro, Heungduk-gu, Cheongju 361-763, Korea Tel: +82-43-261-2572 Fax: 82-43-271-5922 E-mail: sangil917@nate.com

I. 서론

인공위성은 과거 수 십년 전부터 현재까지 지구 상에서 발생하는 다양한 변화와 여건을 주기적으로 감시함으로써 광범위한 지역에 대한 정보를 제공해 주고 있다. 인공위성 관련기술의 발달은 고해상도 영상정보를 제공함으로써 대상지역에 대하여 보다 세부적으로 자연지형과 인공구조물을 구분할 수 있도록 하였다.

1m×1m이거나 이보다 높은 해상도를 가진 센서는 지표상에 위치한 대상체를 보다 세분하게 구분함으로써 위성영상의 활용기술을 확대시켰다(Jordi Inglada, 2007). 고해상도 이미지를 이용하여 물체를 구분하는 기술의 발달은 도시차원에서 보다 미세한 부분까지도 파악하고 이를 정보화할 수 있는 계기를 마련해 주었다. 위성에 장착된 센서는 지표상에 있는 다양한 객체로부터 반사되어 나오는 분광특성 값을 저장매체에 기록하며 그러한 값들은 지표상의 다양한 객체들이 가진 특성을 반영한다.

이러한 분광정보를 활용하여 지표면에서 발생하는 다양한 현상을 파악할 수 있다. 이러한 것들 가운데 정규화식생지수(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)는 지표상의 식생분포를 파악하는데 널리 이용되고 있다(Huete, 1989).

위성에 장착된 센서는 대기 중의 구름, 스모그, 에어로졸 및 지표면상의 물리적인 상태 등으로 인하여 객체에 대한 정보전달과 기록과정에서 불가피하게 오차가 발생 될 수 있다. 따라서 이러한 오류를 효율적으로 제거하기 위한 방법들이 다양하게 개발되고 있다.

NDVI 역시 이러한 오류를 포함할 수 있기 때문에 도심에 분포된 식생의 규모와 양을 보다 정확하게 파악하기 위해서는 도심지역 내에서 쉽게 발생할 수 있는 그림자 영역에 대한 NDVI 값의 오류보정이 요구된다.

이에 본 연구는 토양녹색지수(GRABS: Greenness Above Bare Soil)를 이용하여 도시공간의 그림자 영역에서 발생하는 NDVI 오류를 보정하는 것을 목적으로 하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 선행연구

인공위성을 이용한 자료취득 과정에서 발생하는 오류에 대한 보정 연구는 과거로부터 다양하게 수행되어 왔다. 특히 본 연구와 연관성 있는 NDVI와 관련해서 여러 보정방안에 관한 대안이 과거부터 제시되어 왔으며, 이러한 오류로 인한 한계를 극복하려는 노력이 시도되었다.

이러한 보정지표로 대표적인 것은 수직식생지수(PVI: Perpendicular Vegetation Index, Richardson *et al.* 1977), 토양보정식생지수(SAVI: Soil-Adjusted Vegetation Index, Huete 1988), 대기보정식생지수(ARVI: Atmospherically Resistant Vegetation Index, Kaufman and Tanre 1992) 등과 같은 것들이 있다. 이러한 시도들은 본질적인 보정을 시도한 것으로서 하나 또는 그 이상의 오류를 보정하고자 하였다. 1990년대 중반까지는 이후로 새로운 알고리즘이 소개되었으며, 다양한 기능과 특성을 가진 센서의 개발로 이러한 오류들을 보정해 나가기 시작했다.

이러한 방법들의 한계점은 위성영상 자료를 시각적으로 파악하고 이를 메뉴얼방식으로 보정해 나가는 방식을 취함으로써 많은 시간과 노력이 요구된다는 점이다. 또한 영상자료의 DN(Digital Number)값이 불가변성의 단일 값으로 구성되어 있기 때문에 이를 적용하고 활용하는데 많은 제약 요인을 포함하게 된다. 그러나 아직까지 여러 요인들이 NDVI를 산정하는데 있어 오류를 발생시키고 있다. 그럼에도 불구하고 식생의 양적분포를 지역적 범위에서 파악하고 이를 활용하는 것에 대한 수요가 줄어들고 있지는 않다.

본 연구에서 이용한 TCM¹⁾(Tasseled Cap Model) 모델을 이용한 관련 연구로는 Su-ming *et al.*(2004)의 연구가 있으며, 그의 연구에서는 TCM과 NDMI (NDMI: Normalized Difference Moisture Index)의 연관성을 분석함으로써 산과

1) 개발자의 이름을 따서 Kauth-Thomas 변환이라고도 함.

숲 지역을 포함하는 위성사진에서 나타나는 장애요인을 제거하고자 하였다. 2004년 Cheikh Mbow는 분광DN 값들로 산불의 진행사항에 대한 분석이 가능한가를 파악하였으며, Rovert S는 2003년에 1999, 2000, 2001년도에 촬영된 Landsat ETM+ 이미지를 이용하여 EWDI(Enhanced Wetness Difference Index)와 TCM과의 비교를 통해 Prince Geoge 숲의 화재로 인한 피해 상황과 원인을 밝혀냈다. 이처럼 TCM은 식생 지수(VI: Vegetation Index)와의 밀접한 관계로 인해 다양한 연구에서 활용되고 있으며 자연적 현상을 파악하는 도구로써 이용되고 있다.



그림 1. 연구대상지(청주시 소재 아파트 단지)

2. 이론적 고찰

1) 위성영상자료

본 연구에서는 NDVI산정 및 오류보정을 위해 2006년 5월 31일에 퀵버드(QuickBird)위성이 촬영한 청주시 고해상도 영상자료를 이용하였다. 퀵버드 위성은 2001년 10월 18일에 최초로 발사되었으며 지속적으로 고해상도²⁾ 위성영상 자료를 제공하고 있다. 퀵버드에 장착된 센서를 통해 3개의 가시광선Band(0.45-0.52 μ m, 0.52-0.60 μ m, and 0.63-0.69 μ m)과 하나의 근적외선Band(0.76-0.90 μ m) 영역대의 정보를 수집할 수 있다. 또한 전정색의 경우 0.61m \times 0.61m의 해상도를 가지며 다중분광의 경우에는 2.44m \times 2.44m의 해상도를 가진다. 본 연구에서는 주간에 그림자의 형태가 비교적 넓게 나타나는 아파트단지 구역을 포함하고 있는 구역의 일부 영상을 별도로 추출하여 활용하였다.

2) 데이터 처리 알고리즘

본 연구에서는 청주시 퀵버드 위성영상 가운데 그림자 영역을 추출하여 영상에 포함된 DN값을 이용하여 NDVI, TCM, GRABS값들을 산출하였다. 그림 1은 그림자가 흔히 발생하는 아파트 지역을 보여주고 있다.

(1) NDVI

퀵버드 영상은 4개의 Band로 구성되어 있으며

이 가운데 Band3번과 Band4번의 DN값을 이용하여 NDVI를 산출한다. 퀵버드 영상을 이용한 NDVI 산출식은 아래의 식과 같다.

$$NDVI_{QuickBird} = (Band4 - Band3) / (Band4 + Band3)$$

위 식에서 Band 3번은 가시광선에서의 적색영역을 의미하며, Band4는 근적외선 영역을 나타낸다. NDVI값은 -1에서 1까지의 값을 가지며 각 물체의 반사특성에 의해 다른 값을 나타내게 된다.

(2) TCM(Tasseled Cap Model)

Kauth 와 Thomas(1976)는 4개의 Band로 구성된 Landsat MSS 자료공간을 직교 변환하여 새로운 4차원의 피쳐공간을 생성하였으며, 이를 Tasseled cap 변환 또는 Kauth-Thomas 변환이라고 불렀다. 4차원의 피쳐공간은 4개의 축으로 구성되어 있으며, 각각의 지수가 나타내는 바를 그 축의 이름으로 사용하였다. 네 개의 축은 토양명도(B), 녹색식생지수(G), 황색성분(Y), 무성분(N)으로 구성되어 있다.

$$B = 0.332_{MSS1} + 0.603_{MSS2} + 0.675_{MSS3} + 0.262_{MSS4}$$

$$G = 0.0283_{MSS1} - 0.660_{MSS2} + 0.557_{MSS3} + 0.388_{MSS4}$$

$$Y = -0.899_{MSS1} + 0.428_{MSS2} + 0.076_{MSS3} - 0.041_{MSS4}$$

$$N = -0.166_{MSS1} + 0.131_{MSS2} - 0.452_{MSS3} + 0.882_{MSS4}$$

Crist와 Cicone(1984)은 그의 연구에서 세 번째 성분이 수분상태를 포함한 토양의 특성과 관련되었

다는 사실을 규명하기 위해 7개의 Band로 구성된 TM영상의 중적외선 Band를 이용하여 토양에 대한 중요한 정보를 추출하였다(Price *et al.*, 2002). 이 변환을 활용할 경우, 도시지역은 토양명도 영상에서 쉽게 구분할 수 있으며, 생물량이 클수록 녹색식생 영상에서 더 밝은 화소 값을 보인다. 토양습도 영상에서는 습지 환경에서의 수분상태와 관련된 미세한 정보를 알 수 있으며, 수분함량이 많을수록 밝게 나타난다.

Crist(1984)와 Crist and Kauth(1986)은 네 번째 tasseled cap 변수는 연무와 관련이 있다는 것을 밝혀냈다. 본 연구에서는 콰버드영상의 4개의 Band값을 이용하여 기존 이미지를 변환하였다. 이는 기존의 Landsat TM 자료의 7개의 Band를 가지고 변형한 것을 응용한 것으로 Tasseled-Cap 변형을 통해 토양명도(SBI: Soil-Brightness Index), 녹색식생(GVI: Green Vegetation Index), 토양습도(NWI: None-Such Wetness) 산출하였으며 그 식은 아래와 같다.

$$SBI = 0.326B1 + 0.509B2 + 0.560B3 + 0.567B4$$

$$GVI = -0.311B1 - 0.356B2 - 0.325B3 + 0.819B4$$

$$NWI = -0.612B1 - 0.312B2 + 0.722B3 - 0.081B4$$

(3) GRABS 산정식

Hay *et al.* (1979)은 토양녹색지수(GRABS: Greenness Above Bare Soil)라는 식생지수를 제안하였다. 이 지수는 태양광과 연무 보정된 Landsat MSS 영상에 적용된 Kauth-Thoms 변환의 녹색 식생지수(G)과 토양명도지수(B)를 사용하여 계산되며 토양명도 지수가 GRABS값에 미치는 영향이 GVI의 10% 이하이기 때문에 Kauth-Thomas 녹색지수 값과 유사하다. GRABS의 산정식은 아래와 같다. 본 연구에서는 GVI와 SBI를 이용하여 GRABS 값을 산정하였다.

$$GRABS = GVI - 0.09178 \times SBI + 5.58959$$

(4) 회귀분석 절차

본 연구에서는 그림자 지역에서 발생하는 오류를 보정을 위한 단계로써 GRABS와 NDVI의 상관관계

에 따른 회귀식을 이용하였다. GRABS 지수 값은 Tasseled-Cap 변형을 통해 얻어진 이미지의 GVI와 NWI값을 이용하여 산정한다. 각각의 지수의 산정과 이를 통한 보정절차는 아래의 그림 2와 같다.

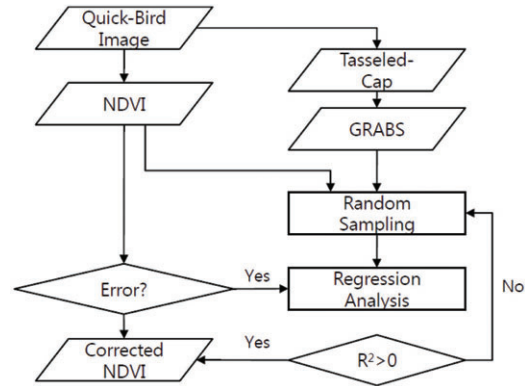


그림 2. 회귀식을 이용한 오류보정 흐름도

III. 분석 및 결과

1. NDVI 오차발생

전체영상에서 일부 그림자영역을 포함하는 지역을 추출한 영상을 이용하여 NDVI값을 산정하였다. NDVI값은 대상지의 특성에 따라 달라지며 Park *et al.*(2006)의 연구에서는 서로 다른 표면상의 물질에 따라 서로 다른 분광적 특성이 나타나는 것을 확인하고 물질에 따른 NDVI값을 아래의 표 1과 같이 분류하였다.

본 연구의 대상지역에서 발생하는 그림자 영역의 경우에는 아파트 내부 혹은 외부지역으로 실제적으로 아스팔트나 시멘트로 포장되어 있다. 따라서 NDVI값은 도시지역의 값을 반영해야 하나 그림 3과 같이 그림자로 인하여 태양빛이 흡수되어 본래의 분광특성을 나타내지 못해 NDVI가 -1에 수렴되

표 1. 토지이용별 NDVI값의 범위

토 지 이용	NDVI값 범위
Forest	0.5~0.6
Barren	0.38~0.49
Urban	-0.09~-0.08
Water	-0.1~-0.35

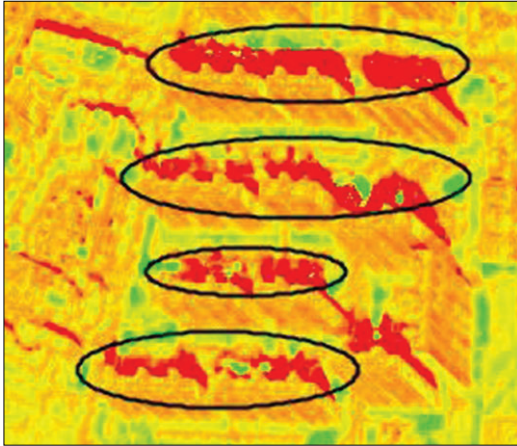


그림 3. 그림자 영역에서의 NDVI값의 분포 특성

는 오류가 발생하였다.

2. TCM을 이용한 변환

TCM은 분광자료를 이미지의 물리적 특성에 따라 몇 개의 Band로 압축하는데 있어 유용한 기술이다(Christ and Cicone, 1984). 본 연구에서는 아파트 지역의 그림자 영역이 포함된 영상이미지를 Tasseled Cap 변형 모델을 이용하여 변환하였다. 변형된 이미지의 Brightness, Greenness, Wetness 값을 빨강(Red), 초록(Greenness), 파랑(Blue)로 표현하면 그림 4와 같다.

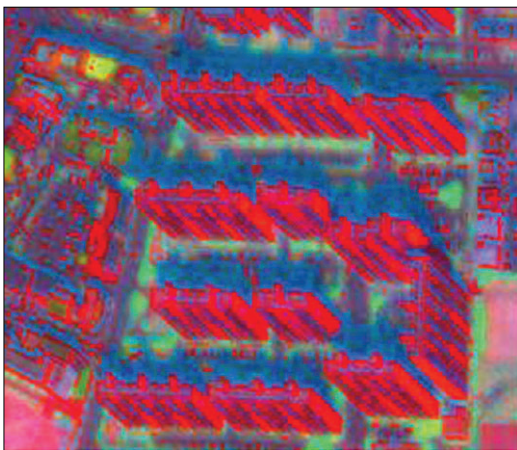


그림 4. TCM을 이용하여 변환된 영상

아래의 그림 5는 변형된 이미지 값을 이용하여 X축은 Brightness 값을, Y축은 Greenness 값을 이용하여 산포도로 표현한 것이다. 대상지의 상황과 분포된 자료 값을 분석해 본 결과 식생이 분포하고 있는 지역의 경우, 콘크리트 영역보다 Greenness 값은 높게 나타나고, Brightness 값은 낮게 나타나는 것으로 조사되었다.

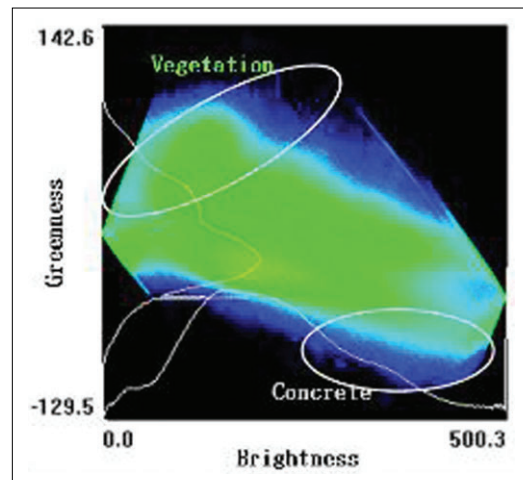


그림 5. 대상지의 Greenness and Brightness 값을 이용한 산포도

3. GRABS 값의 산정

GRABS 값의 산정은 Tasseled Cap 변형 모델에 의해 산정된 Greenness 와 Brightness 값을 이용한다. 여기서 Brightness 값이 미치는 영향은 단지 10%이내 이므로 사실상 GRABS 값은 Greenness 값에 크게 영향을 받는 것으로 간주할 수 있다. 그림 6은 GRABS와 GVI값의 상관관계를 나타낸 다이어그램으로서 두 지수 값은 매우 밀접한 양의 상관관계를 나타내고 있다.

그림 7은 대상영역의 GRABS 값의 공간적 분포를 나타낸 것이다. 콘크리트와 아스팔트 구성된 영역에서는 붉은 색을 나타내고 있으며, 식생이 분포되어 있는 영역의 경우, 녹색을 띄고 있는 것을 확인할 수 있다. 특히 아파트 건물에 의한 그림자 영역의 경우, 주변의 콘크리트 및 아스팔트 영역과 비슷한 색깔을 나타내고 있음을 알 수 있다.

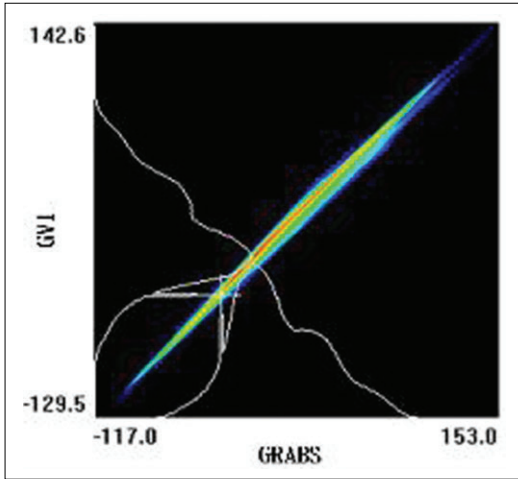


그림 6. 대상지역의 GIV and GRABS 값의 상관관계 다이어그램

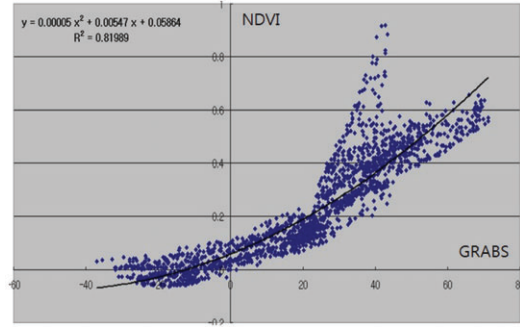


그림 8. NDVI와 GRABS 값의 산포도

표 2. 보정 전 후의 NDVI 값

	Non-corrected NDVI	Corrected NDVI
MIN.	-1.0	-0.09
MAX.	0.51	0.49
MEAN	-0.08	-0.01
S.D.	0.24	0.15

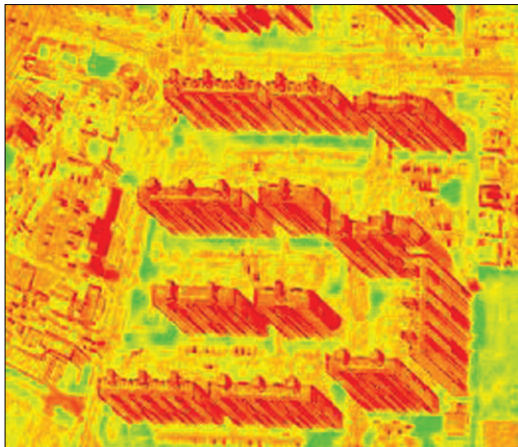


그림 7. GRABS 값의 분포 현황

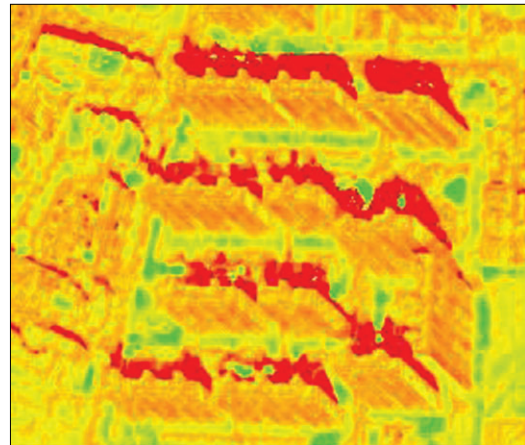


그림 9. 보정 전 NDVI값의 분포특성

4. GRABS 이용한 NDVI 보정

그림 8은 NDVI값과 GRABS값의 분포를 나타내고 있다. 그림자 영역에서 NDVI 값의 보정을 위해 회귀식($y_{NDVI} = f(GRABS)$)을 산출하였다. 두 변수간의 상관계수는 0.81989이며 산출된 회귀식으로 GRABS를 NDVI로 변환함으로써 오류를 포함하고 있는 그림자 영역의 NDVI를 보정하였다.

$$Y = 0.0005X^2 + 0.00547X + 0.5864$$

회귀식을 이용하여 그림자 영역의 NDVI값을 분석한 결과 기존에 -1.0에 가깝게 수렴하던 값이 -0.08~-0.1의 값에 분포하는 것을 확인할 수 있었

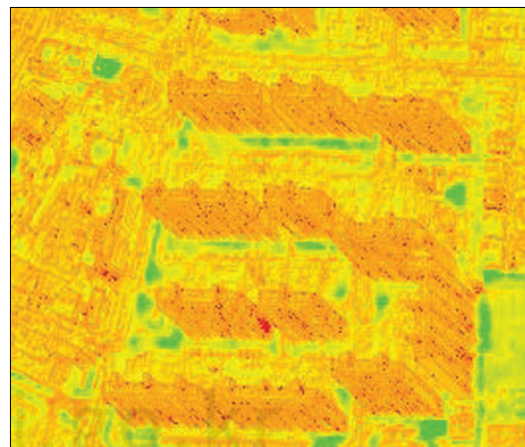


그림 10. 보정 후 NDVI값의 분포특성

다. 보정 후 NDVI 최소값은 -1.0에서 -0.09로, 최대값은 0.51에서 0.49로, 평균값은 -0.08에서 -0.01로 변경된 것으로 나타났다. 비교적 평균값과 최대값의 변화는 적었으며, 최소값의 변화가 그림자 영역의 보정으로 크게 변한 것을 알 수 있다. 표 2에서는 보정 전과 보정 후의 NDVI 값을 보여주고 있다.

그림 9는 보정전의 NDVI 값을 분포를 보여주고 있으며, 그림 10은 보정 후의 NDVI 값을 나타내고 있다. 보정 전에서는 그림자 영역이 적색으로 나타난 걸 확인할 수 있으며, 보정 후에는 기존 주변 지역과 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

또한 이러한 회귀식에 의한 보정이 그림자 영역 이외의 주변지역 NDVI 값의 변화에 얼마만큼의 영향을 미치는가를 확인하기 위해 무감독분류를 실시한 결과 83.2%가 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결론

원격탐사 기술의 발달은 지구상에서 발생하는 다양한 현상에 대한 공간적 정보를 제공하는데 있어 그 범위를 확대시켜 왔다. 그러나 측정도구의 기술적 한계와 측정도구와 실측대상 사이에서 발생하는 다양한 환경적 요인은 측정오차를 발생시키게 된다. 이러한 오차를 줄임으로써 보다 사실적인 정보를 통한 의사결정이 가능하게 된다.

쿼버드 위성으로부터 제공된 영상은 발달된 측정 기술로 인해 보다 높은 공간해상도 가지며, 이로 인해 도시공간에서의 세밀한 부분까지 육안 판독이 가능하게 되었다. 또한 센서에 기록된 분광특성 값들을 이용한 다양한 알고리즘은 여러 가지 주제에 따른 공간정보를 쉽게 인지하도록 도와준다.

NDVI의 경우, 식생의 분포를 쉽게 파악할 수 있도록 해주는 지수로서 오랫동안 이용되어 왔다. 그러나 도시공간에서의 식생을 파악하기 위해 NDVI 값을 산출한 결과 그림자 영역의 부분에서 현실과 다른 값을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 특히 도시공간에서 빌딩이나 아파트단지에서 발생하는 그

림자 영역이 매우 넓은 것을 감안할 때 이를 보정하기 위한 방안이 필요하다. 본 연구에서는 Tasseled Cap 모델과 GRABS를 이용하여 쿼버드 영상에서 발생하는 도시지역의 그림자 영역을 보정하는데 있어 얼마만큼의 정확성을 가지고 있으며, 이를 활용할 수 있는가를 분석하였다.

연구결과 도시공간에서 빈번하게 발생하는 그림자 영역의 NDVI 값은 수공간에서 갖는 -1과 같은 값에 수렴하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 실제 그림자 영역이 콘크리트 및 아스팔트 영역임을 감안할 때 NDVI의 오류가 있는 것으로 판단된다.

Tasseled Cap 변형을 거쳐 연산한 GRABS값과 NDVI값을 비교하여 본 결과 서로 높은 상관성을 가지고 있으며, 그림자 영역에서는 상호간에 차이가 있음을 알 수 있었다. 이에 1차적으로 GRABS 값을 이용한 그림자 영역의 보정이 가능할 것으로 판단하였으며, NDVI와 GRABS와의 회귀식을 산출하였다. 산출된 회귀식을 이용하여 그림자 영역과 주변 지역전체를 보정한 결과 그림자 영역을 제외한 부분에서도 높은 확률로 일치하고 있음을 알 수 있었다.

도시에서의 녹지의 역할과 그 기능이 강조되고 있음을 감안할 때 도시계획 및 설계를 함에 있어 녹지에 대한 질적 양적 평가가 더욱 강조될 수 있으며, 이를 파악하기 위한 도구로써 원격탐사 자료는 매우 유용하다.

이를 감안할 때 고해상도를 이용하여 도시공간의 녹지를 파악할 경우, 빈번하게 발생할 수 있는 그림자 영역에서의 오류를 기존 알고리즘을 이용하여 쉽게 보정할 수 있는 방법을 본 연구에서 제시함으로써 NDVI의 활용성과 정확성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

김창오, 심재설, 황종선, 이재학, 김수정, 김정우, 2005, 원격탐사자료와 이터도기지 해양관측자료를 이용한 상호 보정, 대한원격탐사

- 학회지, 21(2), 113-113.
- 김원주, 남기덕, 박종화, 1999, Land Cover Classification Based on the Phenology of Korea Using NOAA-AVHRR, 대한원격탐사학회 Proceedings of International Symposium on Remote Sensing 1999(1999.11) pp.439-442.
- 박종화, 김진수, 나상일, 2006, Landsat 영상을 이용한 여름철 청주지역의 토지피복과 지표면온도와의 관계분석, 한국농공학회, 48(5), 39-48.
- 손홍규, 윤공현, 이동천, 2003, 컬러항공사진에서 그림자효과 보정에 관한 연구, 한국GIS학회 2003년 춘계학술대회 논문집.
- 이규성, 1997, 인공위성 레이더 영상자료에 있어서 지형효과 저감을 위한 방사보정, 대한원격탐사학회, 13(1), 57-73.
- Cheikh Mbow, Kalifa Goïta and Goze B. Bénié, 2003, Spectral indices and fire behavior simulation for fire risk assessment in savanna ecosystems, Remote Sensing of Environment, 86(4), 30 August 2003, 433-443.
- Coops, N. C., Johnson, M., Wulder, M. A., and White, J. C., 2006, Assessment of QuickBird high spatial resolution imagery to detect red attack damage due to mountain pine beetle infestation, Remote Sensing of Environment, 103(1), 67-80.
- Crist, E. P. and R. J. Kauth, 1986, The Tasseled Cap De-ustofed. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 50, 343-352
- James H. Horne, 2003, A tasseled cap transformation for IKONOS images, ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings.
- Jensen, J. R., 2000, Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource perspective, Prentice Hall.
- Jordi Inglada, 2007, Automatic recognition of man-made objects in high resolution optical remote sensing images.
- Kauth, R. J. and G. S. Thomas, 1976, The Tasseled Cap - A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by Landsat, Proceedings, Machine Processing of Remotely Sensed Data, West Kafayette, IN: Laboratory for the Applications of Remote Sensing, 41-51.
- Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A., and Deering D. W., 1974, Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS, Proceedings, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt : NASA SP-351, 310-317.
- Rouse, J. W., Haas Jr., R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W., 1974. Monitoring Vegetation system in the Great Plains with ERTS. In:NASA SP-351, 3rd ERTS-1 Symposium, Washington, DC, pp. 09-317.
- Robert S. Skakuna, Michael A. Wulderb, and Steven E. Franklina, 2002, Sensitivity of the thematic mapper enhanced wetness difference index to detect mountain pine beetle red-attack damage, Remote Sensing of Environment, 80(3), June 2002, 460-472.
- Suming Jin and Steven A. Sader, 2004, Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances, Remote Sensing of

- Environment, 91(1), 15 May 2004, 1-13.
- Wu, J., Wang, D., Rosen, C. J., and Bauer, M. E., 2007a, Comparison of petiole nitrate concentrations, SPADchlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies. Field Crops Research, 101(1), 96-103.
- Wu, J., Wang, D., and Bauer, M. E., 2007b, Assessing broadband vegetation indices and QuickBird data in estimating leaf area index of corn and potato canopies. Field Crops Research, 102(1), 33-42.

최종원고채택 10. 06. 15