

토양 및 식생정보의 추정과 해석이 가능한 화상해석 소프트웨어의 개발

박종화

(충북대학교 농과대학 농공학과)

Development of Image Interpretation Software which can Estimate and Analyse of Soil-Vegetation Information

Park, Jong-Hwa

Dept. of Agric. Eng. Coll. of Agric., Chungbuk Univ

적 요

복잡한 지형과 광역지역에 관한 데이터를 현지조사 등에 의해 직접 수집하는 것은 매우 많은 노력과 시간을 필요로 한다. 또한, 자연조건의 변화와 시간변동으로 인한 상황을 신속하고 정확하게 파악하는 것은 쉽지 않다. 이러한 문제해결을 위해서는 광역적 조사와 측정의 동시성이 요구되며 이에 부응하여 큰 위력을 발휘하고 있는 것이 리모트센싱이다. 본 연구에서는 이와 같은 리모트센싱기법을 이용하여 유역내의 중요한 환경정보인 토양과 식생피복율이 토양반사율에 미치는 영향 및 식생 피복율과 활성과의 관계를 실험적으로 검토, 고찰하였다. 또한, 작물의 재배관리의 효율화와 비료, 농약 등 화학자재의 적정 이용을 위해서는 작물의 생육상태를 실시간 또는 광역적인 계측을 통하여 진단과 연결시킬 필요가 있다. 따라서, 신속하고 비파괴적인 생육에 관한 모니터링 방법으로 휴대형 분광센서에 의한 반사스펙트럼 계측을 실시하였다. 이 자료는 인공위성 자료와 비교 분석함으로써 작물의 바이오매스, 질소흡수율 등 생육상태를 원격적으로 추정할 수 있을 것이다.

또한 토양 및 식생에 관한 정보의 추정과 해석이 가능한 화상해석소프트웨어를 개발하여 누구나 쉽게 윈도우상에서 이용할 수 있도록 화상해석 프로그램에 의해 구해진 NDVI화상자료를 제공하였다. 이를 통해 작물과 토양의 이용형태변화 등의 추정이 가능할 것이다.

I. 서 론

지구환경을 생각할 때, 국지적으로 발생하고 있는 기상이변현상과 인접국가들의 공업화와 사막화의 진전은 우리의 대기와 물 환경을 중심으로 하는 자연과 농촌환경에 직·간접적으로 영향을 미치고 있다. 이러한 환경변화는 농작물에 직접적으로 피해를 주

는 것은 물론 농작물과 수목의 쇠퇴와 고사 등의 문제도 일으키고 있다. 작물의 고사원인은 물·열 스트레스 등에 의한 복합환경 스트레스 등의 영향이 큰 것으로 생각되므로 토양-수분-식생-온도상호간에 관련되는 메카니즘을 밝히는 것은 매우 중요하다.

농업환경의 변화는 농경지의 건조화와 사막화를 가속시켜 토지생산성 저하의 원인이 되기도 한다. 따라서, 이러한 현상이 예상되는 지역에 대한 토양과

식생조사 등을 통해 체계적인 토양과 식생관리가 가능하도록 하여 유효농지의 황폐화를 막고 생산성을 향상시킬 필요성이 있다.

복잡한 지형과 광역지역에 관한 데이터를 현지조사 등에 의해 직접 수집하는 것은 매우 많은 노력과 시간을 필요로 한다. 또한, 자연조건의 변화와 시간변동으로 인한 상황을 신속하고 정확하게 파악하는 것은 쉽지 않다. 이러한 문제해결을 위해서는 광역적 조사와 측정의 동시성이 요구되며 이에 부응하여 큰 위력을 발휘하고 있는 것이 리모트센싱이다.

작물의 재배관리의 효율화와 비료, 농약 등 화학자재의 적정이용을 위해서는 작물의 생육상태를 실시간 또는 광역적인 계측을 통하여 진단과 연결시킬 필요가 있다. 따라서, 신속하고 비파괴적인 생육에 관한 모니터링 방법으로 휴대형 분광센서에 의한 반사스펙트럼 계측을 실시하였다. 이 자료는 인공위성 자료와 비교 분석함으로써 작물의 바이오매스, 질소흡수율 등 생육상태를 원격적으로 추정할 수 있을 것이다.

또한, 토양 및 식생에 관한 정보의 추정과 해석이 가능한 화상해석소프트웨어를 개발하여 누구나 쉽게 윈도우상에서 이용할 수 있도록 화상해석 프로그램에 의해 구해진 NDVI화상자료를 제공하였다. 이를 통해 작물과 토양의 이용형태변화 등의 추정이 가능할 것이다.

본 연구에서는 이와 같은 리모트센싱기법을 이용하여 유역내의 중요한 환경정보인 토양과 식생피복율이 토양반사율에 미치는 영향 및 식생피복율과의 관계를 실험적으로 검토, 고찰하고 화상해석 프로그램을 개발하여 얻어진 결과를 제시하였다.

II. 실험개요 및 방법

1. 분광반사특성

농업에 관계되는 식물, 토양, 물 등 모든 물체는 그 종류에 따라 고유의 전자파 반사특성을 가지고 있다. 농업생태계를 구성하고 있는 토양과 물과 식생에 관한 반사특성은 일반적으로 Fig. 1과 같이 파장대별로

서로 다른 특성을 나타내며 이용범위도 다양하다. 이와 같이 분광반사곡선은 물체의 종류에 따라 에너지를 흡수하고 반사하는 파장대가 서로 달라 각 물체가 가지고 있는 고유정보를 추출하여 작물의 생육량 파악과 수확량의 예측 등에 이용할 수 있을 것이다. 이들 전자파 가운데 주로 RS에 이용되고 있는 파장은 자외선 일부(0.3~0.4 μm)와 가시광선(0.4~0.7 μm), 적외선 일부(0.7~14 μm) 및 마이크로파(약 1mm~1m)이다(Slater, 1980).

2. 조사지구 및 공시토양의 특성

가. 조사지구

토양의 분광반사특성은 토성에 따라 다를 것으로 생각되어 Fig. 2와 같이 충북지방을 중심으로 토양특성이 서로 다른 7개 지점을 선택하여 조사하였다.

이들 토양은 크게 세 가지로 구분할 수 있다.

- ▶ 충북 청원군에 위치하고 있는 미호천변의 모래.
- ▶ 산지주변의 롬과 사질흙.
- ▶ 연안 갯벌의 실트질 점토흙으로 대별되어진다.

각 시료는 각 시험지구 표면 5cm의 표토를 채취하여 자연함수비 상태에서의 물리적 성질을 조사하고, 자연함수비 상태일 때의 분광반사특성을 측정하였다.

나. 공시토양의 특성

토양의 분광반사특성에 관한 조사는 Fig. 2와 같이

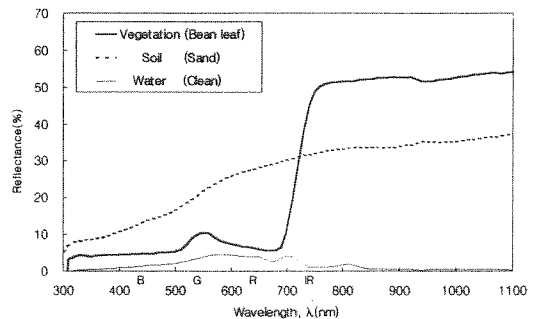


Fig. 1 Typical reflectance spectra of soil, vegetation, and water

충북 5개소, 경기도 2개소로 도합 7개소에서 채취한 토양을 사용하였다. 각각의 시료에 대해 자연함수비와 입도분석한 결과와 토성을 나타내면 Table 1과 같다.

3. 측정방법

가. 분광반사스펙트럼의 측정방법

Albedo라고도 일컬어지는 분광반사스펙트럼 측정에 의한 반사율은 다음과 같이 조사하였다. 먼저 반사율이 99%를 나타내는 표준백색판에 관한 반사전자파에너지를 측정한다. 다음으로 여러 조건에 관한 시료의 반사전자파에너지를 측정하여 각 파장의 비를 식(1)에 의하여 구한다.

$$R(\lambda) = \frac{I_a(\lambda)}{I_r(\lambda)} \quad (1)$$

여기서, $I_a(\lambda)$: 시료의 반사 전자파에너지

$I_r(\lambda)$: 표준 백색판의 반사 전자파에너지

시료는 40cm×40cm크기의 사각형 트레이에 5cm두께로 토양표면을 고르게 하여 사용하였다. 분광반사특성의 측정은 Fig. 3과 같이 30cm×30cm크기의 표준 백색반사판을 이용하여 먼저 자연광 아래에서 반사판을 3회 측정하고 다음으로 각각의 시료를 3회 측정하여 평균한 값을 이용하였다.

분광반사스펙트럼의 측정은 Spectro-radiometer(LI-1800, 측정파장역 : 300nm~1100nm, 측정 간격 : 10nm)에 Telescope을 연결하여 시료의 약 1m위에 설치하여 FOV 15° 각도에서 측정하였다.

반사율의 계산은 반사판에 입사되는 입사전자파량을 100으로 하고 시료에 입사하여 반사되는 양을 측정하여 그 비를 식(1)과 같이 계산하여 반사율로 하였다.

Sampling site	Classification	Legend
Miho river	Sand	●
Ochang A	Loam	■
Cheongju	Sandy loam	◆
Ochang B	Loam	□
Mehang	Silty clay loam	△
Sunchang	Silty clay loam	▲
Boeun	Silty loam	○

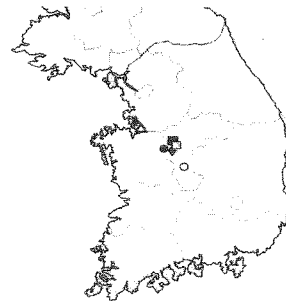


Fig. 2. Map of study sites showing soil sampling stations

Table 1 Soil types and grain size distribution of 7 station soils

Soil type	Classification	Sampling site	Water content (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
Type1	Sand	Miho river	0.15	100	0	0
Type2	Loam	Ochang A	25.46	36.33	40.57	23.10
Type3	Sandy loam	Cheongju	27.32	67.31	30.17	2.52
Type4	Loam	Ochang B	16.57	52.83	38.11	14.72
Type5	Silty clay loam	Mehang	64.92	6.97	66.24	26.79
Type6	Silty clay loam	Sunchang	72.98	1.57	64.84	33.59
Type7	Silty loam	Boeun	38.11	29.81	65.19	5.00

나. 토양에 관한 반사율측정

토양 위에 작물이 전혀 없는 조건을 생각하여 순수하게 토양으로만 구성되었을 때의 분광반사스펙트럼을 다음과 같은 두 가지 방법으로 측정하였다.

첫째, 토양수분량의 변화에 따른 토양의 분광반사특성을 알아보기 위하여, 우리 나라에 가장 많이 분포하고 있는 화강암 풍화토를 비롯하여 7개 지점의 시료에 대하여 자연함수비 상태의 반사율을 측정하였다.

둘째, 계절과 기후변화에 따라 토양의 함수비가 수시로 변화하므로 이에 대한 검토가 필요하다. 따라서, 토양의 수분량 변화에 따른 반사특성을 알아보기 위하여 시료를 자연건조시킨 다음 함수비를 5~6 단계로 조정하여 이에 대한 반사율을 측정하였다.






분광반사스펙트럼의 측정은 맑은 날씨(완전 확산조명조건)에서 오전 11시~ 오후 3시경에 실시하였다.

다. 식생피복율에 따른 반사율측정

자연조건에서의 식생피복율은 계절의 변화와 작물의 성장조건, 지형조건에 따라 순수하게 토양만으로 구성된 조건으로부터 전부 식물로 덮여있는 조건까지 다양하게 분포한다. 따라서, 본 연구에서도 이와 같은 조건들에 관한 분광반사스펙트럼의 변화특성을 알아보기 위하여 콩잎을 이용하여 토양시료 위에 일정비율로 피복시킨 후 반사율측정을 실시하였다. 피

복형태는 Table 2와 같이 0~100%까지 5단계로 변화시켜 피복율의 변화에 따른 분광반사스펙트럼을 조사하였다.

Table 2. Vegetation cover rates using bean leaf

Shape of covering	Vegetation cover rate(%)
	0
	25
	50
	75
	100

III. 실험결과 및 고찰

1. 표준백색판 측정치의 보정

분광반사특성조사에서 표준백색판 측정값을 정량적으로 추정할 수 있는 방법을 찾아 적용한다면 측정시간과 오차를 줄일 수 있을 것이다. 따라서, 추정에 필요한 관계식을 얻기 위해서는 태양고도의 연간

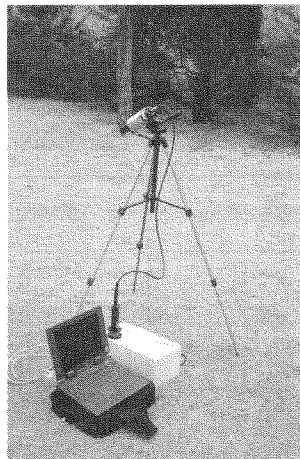
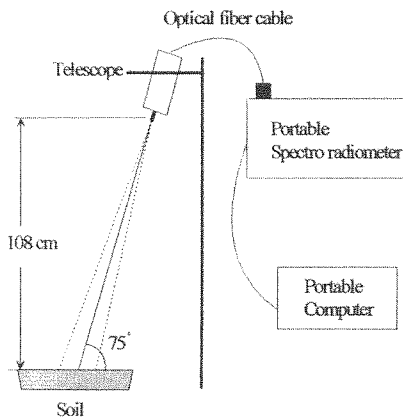


Fig. 3 Schematic of apparatus used to measure spectral reflectance

변화(예 Fig. 4)와 하루의 변화(예 Fig. 5)를 고려할 필요가 있을 것이다. 따라서, 태양고도의 연간변화는 크게 하지와 동지를 기준으로 두 기간으로 나누어 해석할 수 있을 것이다.

또한, 하루(1일)동안의 분광반사스펙트럼도 시간의 경과와 함께 태양으로부터의 입사각이 변화하여 서로 다르게 나타날 것이다. Fig. 5는 파장과 시간별 표준백색판 값을 11월 20일 하루 동안 30분 간격으로 측정하여 최대 표준백색판 값에 대한 각각의 표준백색판 값의 비를 도시한 것이다. 그 결과 반사율의 비는 시간의 경과와 함께 일정한 비율로 변화하였다. 이의 변화관계를 알아보기 위하여 x축을 오전 10시부터 오후 4시까지 변화되는 시간경과로 하고 y축을 최대분광반사 스펙트럼 값의 비율로 하여, 가시광선대의 650nm(R)과 근적외선대의 850nm(IR)의 비율을 서로 구분하여 나타내면 Fig. 6과 같다.

다음 식과 같이 하루동안의 태양방사에너지를 비연산을 통해 보정해 주면 각 시간별 반사율도 보정이 가능할 것이다.

$$I_{E(650nm)} = I_{DE(650)} \times (ax^2 + bx + c)$$

$$I_{E(850nm)} = I_{DE(850)} \times (dx^2 + ex + f) \quad (2)$$

여기서, $I_{E(650nm)}$: 파장 650nm에서 시간변화에 따른 반사율 추정치
 $I_{E(850nm)}$: 파장 850nm에서 시간변화에 따른 반사율 추정치

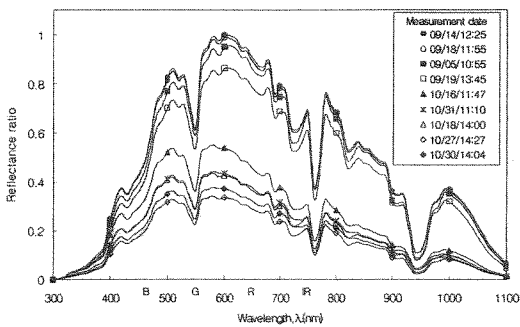


Fig. 4 Reflectance ratio of white board with measurement date

$I_{DE(650)}$: 파장 650nm에서 일변화에 따른 반사율 추정치

$I_{DE(850)}$: 파장 850nm에서 일변화에 따른 반사율 추정치

x : 시간

따라서, 연간 일수의 변동에 따른 보정과 함께 시간경과에 대한 보정용 산정식을 구해 둘 필요가 있다. 여기서 나타나는 보정식은 연간 일변화에 따른 보정에서 기술한 것과 같이 높은 상관성을 갖는 2차식으로 나타내어진다.

2. 자연상태 식물의 반사특성

충북 청원군 강외면 오송리 돌다리못 주변에서 자

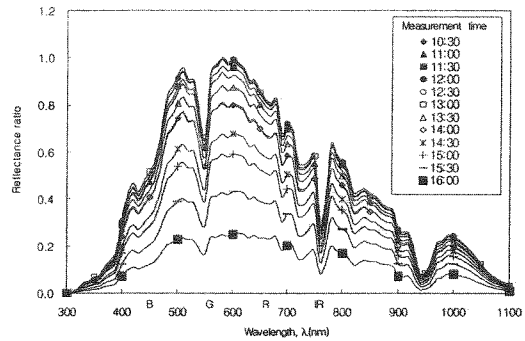


Fig. 5 Reflectance ratio of a white board with measurement time

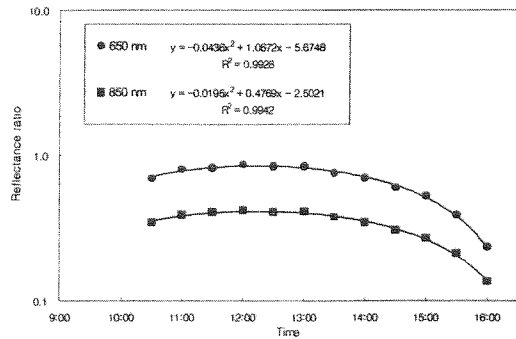


Fig. 6 Plot of reflectance ratio versus measurement time

연상태로 있는 식물들에 대한 반사특성을 측정하여 나타내면 Fig. 7과 같이 나타난다.

여기서, VG-1은 초장 10cm의 쑥에 관한 반사율을, VG-2는 들녘의 추수직전의 벼, VG-3은 수확하여 건조하고 있는 벼 낱알의 반사율을 나타낸 것이다. VG-4는 배수로 주변에 자생하는 억새풀을, VG-5는 논둑 토끼풀의 분광반사특성을, VG-6은 하천제방근방에서 자생하는 초록과 약간 많은 갈색 풀로 초장 15cm인 풀에 관한 반사특성을 나타낸 것이다.

자연에 존재하는 식물에 관한 반사특성은 대체적으로 가시광대에서 반사율이 낮고 근적외와 중간적외선대에서 높다. 이것은 식물의 잎이 가지고 있는 색소가 가시광대를 선택적으로 흡수하기 때문에 반사가 줄고 근적외선대에서는 잎을 구성하는 요소 즉, 연한 조직 등에 의해 강하게 반사함으로써 반사가 증가하는 것으로 해석된다. 또한, 식물이 활엽수에서 침엽수로 갈수록 반사특성은 식물이 갖는 고유의 반사특성보다는 잎 사이로 반영되는 주변환경 즉, 토양의 성질이나 물과 같은 주변환경인자의 반사특성의 영향을 받게 된다.

이와 같이 식물은 일정한 반사패턴을 가지고 있으나 작물의 성장과 계절에 따른 색소변화, 함수비변화 등으로 인해 가시광대의 반사율은 크게 변화하는 특징을 나타낸다. 이것은 작물이 놓인 상황 즉 한해 등으로 인해 작물이 받을 수 있는 물 스트레스 등의 영향을 파악할 수 있는 중요한 정보를 포함하는 것으로 생각된다.

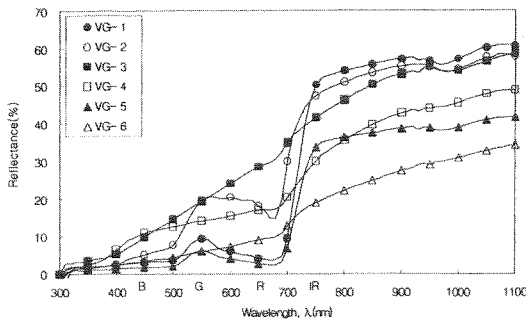


Fig. 7 Variation of reflectance spectra from six selected plots of paddy field and river side (Vegetation)

3. 자연함수비 조건에서 토양의 분광반사특성

토양은 식량생산을 지탱해주는 기반으로 다양한 환경보전기능을 가지고 있다. 이와 같은 토양자원의 이용과 관리를 위해 RS기법은 토양도 작성, 토양수분상태의 판정, 토지생산력의 추정, 토양침식 등 토양의 황폐 모니터링조사에 이용할 수 있을 것이다. 또한, 토양에 관한 RS데이터는 식생 등의 데이터를 판독하는데 작물사이사이의 반사특성으로 나타나 식물 판단의 노이즈로 작용하게 되므로 토양의 분광반사특성 파악은 매우 중요하다. 이와 같이 위성데이터로부터 토양정보를 얻어내기 위해서는 토양특유의 분광특성을 추출해 낼 필요가 있다.

본 연구의 시험지구 6개소에서 채취해온 토양에 대해 자연함수비 조건에서 측정한 결과를 파장 (wavelength, nm)과 반사율(reflectance, %)로 나타내면 Fig. 8과 같다.

그림과 같이 각 토양의 분광반사율곡선은 전반적으로 식물이 나타내는 반사율곡선보다 단조로운 형태로 가시광대부터 근적외대까지 파장의 증가와 함께 분광반사율도 증가하는 특징을 나타낸다.

토양의 분광반사율은 각각의 토양에 따라 서로 다르다. 이것은 토양이 갖는 모재의 토성과 구성광물 조건의 차이를 들 수 있으며, 토양의 함수량, 토양의 유기물량, 철분량 등의 영향에 따라 서로 복합적으로 작용하여 고유의 분광스펙트럼을 나타내는 것으로 생각된다. 이 중 산화철양을 다량 포함하는 토양은

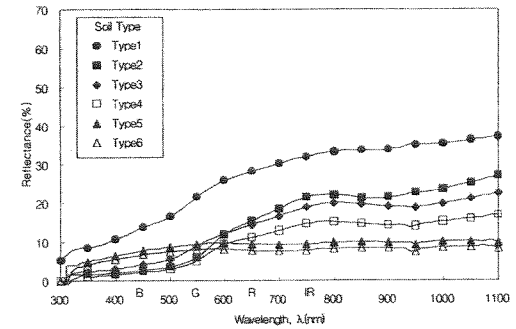


Fig. 8 Reflectance spectra of typical soils in the field

500nm이하의 파랑(B)과 녹색(G)파장에서 반사율이 낮은 것으로 되어 있으므로 Type 2,3,4의 황토와 화강암 풍화토가 이에 해당된다 할 수 있겠다.

이와 같은 관계는 LANDSAT 데이터에서 녹색(G)과 빨강(R)의 비를 구하여 산화철분량의 정보를 추출해 내는데 이용되고 있다. 또한, 자연함수비의 조건이 바뀌어 토양이 습한 조건이 되면 이에 따라 모든 파장에서 반사율도 낮아지게 된다. 이와 같은 분광반사특성의 파악을 위하여 본 연구에서는 가시광대에서 550nm(R)의 파장을 선택하고 근적외대에서 850nm(IR)의 파장을 선택하여 해석에 이용하였다.

4. 함수비 변화에 따른 토양의 분광반사특성

Fig. 9~11은 토양의 함수비변화에 따른 분광반사율의 변화의 일부를 그래프로 나타낸 것이다. 이 때 각 토양의 함수비 조절은 각 시험지구에서 채취해 온 토양을 자연건조시킨 뒤 측정하기 전에 수분공급을 통하여 일정 함수비로 조정된 후 측정하였다.

그림과 같이 모든 토양에 있어 공통적으로 토양수분량이 증가함에 따라 반사율은 낮아지는 경향을 보였다. 이는 물의 분광반사특성과 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다. 즉, 물의 분광반사특성은 가시광대에서 낮은 반사특성을 보이나 근적외선대부터는 거의 반사하지 않는 특징을 갖는다. 따라서, 토양에 수분이 증가하면 토양의 분광반사특성에 물의 분광반사특성이 영향을 주어 양자가 혼합된 형태의 분광반

사특성을 나타낸다. 전체적으로는 함수비변화에 따라 함수비가 증가하면 그래프형태는 반사율이 일정량 저하된 형태로 거의 같은 스펙트럼패턴을 유지한다.

이와 같이 적은 양의 자료를 통해 토양을 정확히 구분 짓고 판별하기는 어렵지만 크게 분류하면 다음과 같이 세 종류로 구분되어 진다.

첫째는 Type 1과 같은 모래의 반사특성으로 함수비변화에 관계없이 파장의 증가와 함께 반사율도 점진적으로 증가하는 형(예 Fig. 9).

둘째는 Type 5, 6과 같이 갯벌 토양인 매항리와 선창포구의 실트질점토톱은 함수비변화에도 전파장대의 반사율이 낮은 형. 유기물함량이 많은 토양이 갖는 분광반사곡선의 변화특성과 유사(예 Fig. 3.7).

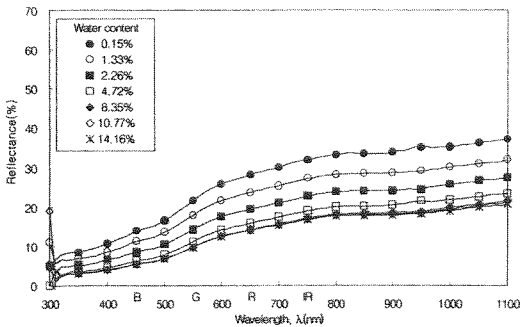


Fig. 9 Reflectance spectra of Type 1 for different moisture contents

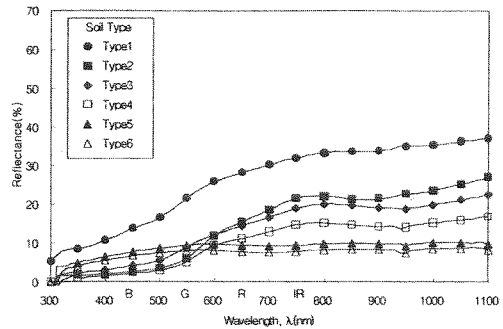


Fig. 10 Reflectance spectra of Type 5 for different moisture contents

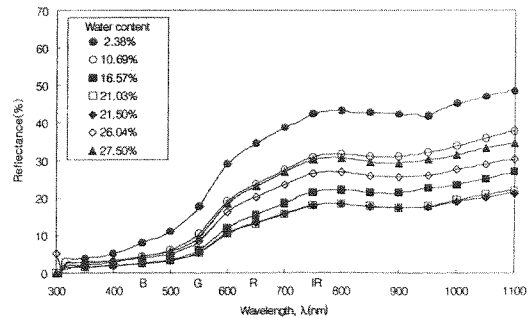


Fig. 11 Reflectance spectra of Type 2 for different moisture contents

세제는 Type 2,3,4,7과 같은 립과 사질림, 실트림으로 550nm이하의 파장대에서는 매우 낮은 반사율을 나타내며, 파장의 증가와 함께 약간씩 증가를 나타내는 형. 특히, 550nm를 전후하여 800nm까지는 반사율이 급격히 증가하는 경향이 있으며, 이후 일정구간 일정한 반사율을 나타내다 950nm부터 다시 상승하는 경향을 보이는 형(예 Fig. 11).

이와 같이 분류하였을 경우 Condit의 분류법과 매우 유사한 형태로 분류되었다.

5. 토양정보추출 모형

지표면에 존재하는 토양의 수분상태는 매우 다양하다. 동일한 토양이 수분량에 따라 어떠한 특성을 나타내는지 알아보기 위해 토양의 분광반사곡선에서 변화가 일정하고 독특한 성질을 나타내는 특징 있는 두 파장대를 선택하여 그 특성을 조사하였다. 분광반사곡선에서 가시광선파장대 빨강(R)의 650nm와 근적외파장대(IR) 850nm를 선택하여 토양정보추출을 위한 기준파장대로 설정하였다.

Fig. 3,9는 R의 650nm와 IR 850nm를 각각 x축과 y축으로 하여 도시한 일부의 예를 표시한 것이다. R과 IR 파장에 의한 토양의 반사율을 비교해 보면 식 (3)과 같이 서로 일정한 비를 가진 선형관계가 나타난다.

$$IR_{850nm} = a R_{650nm} + b \quad (3)$$

여기서, IR_{850nm} : 근적외파장대(IR)850nm의 반사율
 R_{650nm} : 가시광선파장(R)650nm의 반사율
a, b : 실험결과 얻어지는 상수

두 파장대가 형성하는 직선은 식생이 0%로 토양의 가지고 있는 기본특성을 나타내는 기준선이라 할 수 있으며 일반적으로 『Soil Line』으로 정의되어진다. 『Soil Line』에서 각 좌표축을 중심으로 원점에 가까울수록 토양수분량이 많은 것을 나타내며 원점에서 멀어질수록 수분량이 적은 것을 나타낸다. Soil line은 토양정보를 추출해낼 수 있는 토양의 중요한 분광반사특성이라 할 수 있다. 본 연구에서 조사한

각 토양에 관한 Soil line을 정리하면 매우 상관성이 높은 회귀직선식으로 표현되어진다. 본 실험결과 얻어진 각 토양의 상수를 정리하면 Table 3과 같은 관계를 나타냈다.

Table 3과 같이 나타난 값들에 대해 토양정보 추출을 위하여 정리한 결과 본 연구에서 조사한 지역의

Table 3. Parameters of the soil line at various types

Soil type	Classification	a	b	R2
Type1	Sand	1.09	2.69	1.00
Type2,4	Loam	1.14	2.87	0.99
Type3	Sandy loam	1.10	4.56	0.99
Type5,6	Silty clay loam	1.17	0.33	0.99
Type7	Silty loam	1.11	5.37	0.99

Note : Coefficient of determination (R2) is significant at 0.01 level.

토양은 크게 3그룹으로 분류할 수 있었다. 토양정보 추출 모형을 개발하기 위하여 Soil line의 변화패턴이 같은 토양을 모아 3가지로 분류하고 이들에 관한 『Soil Line』의 일례를 나타내면 Fig. 12와 같다.

이 분류는 적은 양의 토양자료를 이용한 분류이지

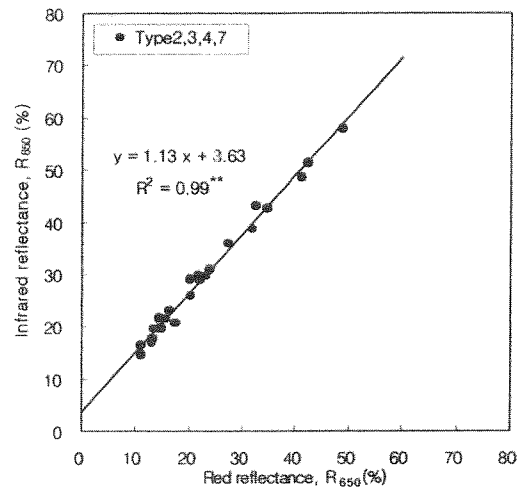


Fig. 12 Soil line for a loam, a sandy loam, and a silty loam soil (Type2,3,4,7)

만 함수비변화에 따라 3가지로 분류되었던 특징을 잘 대변해주는 것이라 할 수 있다. 3가지 분류를 직선기울기와 한계점을 근적외 IR의 좌표로 정의하여 정리해 보면 다음과 같다.

첫째는 Type 1과 같은 모래의 Soil line이다.

$$\text{직선기울기 } \frac{IR}{R} < 1.1, \text{ 한계점 : 중}$$

둘째는 Type 5, 6과 같은 갯벌토양인 실트질점토류의 Soil line이다.

$$\text{직선기울기 } \frac{IR}{R} \approx 1.17, \text{ 한계점 : 상}$$

세째는 Type 2,3,4,7과 같은 롬, 사질롬, 실트질롬의 Soil line이다.

$$\text{직선기울기 } < 1.1 \frac{IR}{R} < 1.14, \text{ 한계점 : 하}$$

이와 같이 분류하였을 경우 직선기울기는 롬, 사질롬, 실트질롬>실트질점토류>모래의 순으로 나타나며, 근적외 IR의 좌표로 나타낸 한계점은 실트질점토류>모래>롬, 사질롬, 실트질롬으로 나타났다.

6. 식생피복을 변화에 따른 분광반사특성

작물이 재배되고 있는 논밭 등의 경작지에서 취한 RS데이터에는 토양과 작물에 관한 분광반사특성이 섞여 있기 때문에 목적에 따라 한쪽의 불필요한 정보를 제거하여 토양이나 작물만의 정보를 추출해내는 과정이 필요하다. 특히, 경작지에는 다양한 형태의 피복조건이 존재하기 때문에 이들 피복조건의 변화에 대한 반사특성을 파악해둘 필요가 있을 것이다.

Fig. 13~15는 각 토양에 관해 Table 2에 제시한 실험조건으로 식생피복을 0%에서 100%로 변화시켰을 때의 분광반사곡선을 나타낸 것이다.

그림과 같이 식생피복이 0%에서 100%로 증가함에 따라 분광반사곡선은 전술한 토양의 분광반사특성곡선 형태에서 가시광선 파장대에서는 녹색 잎이

가지고 있는 분광반사곡선이 크게 작용하여 반사율이 낮아지고, 근적외선 파장대에서는 식물의 근조직이 가지는 높은 반사특성으로 반사율이 높아지는 경향을 나타낸다.

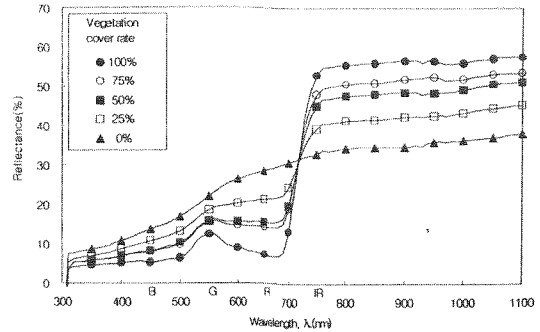


Fig. 13 Reflectance spectra of Type 1 for different vegetation cover rate

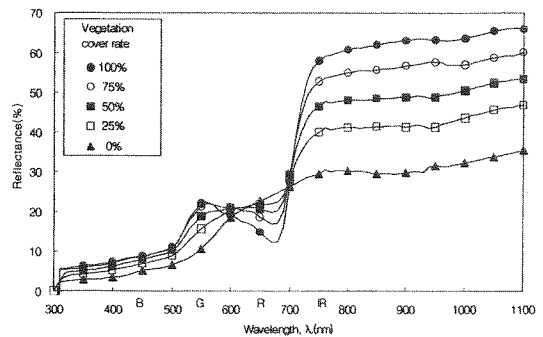


Fig. 14 Reflectance spectra of Type 2 for different vegetation cover rate

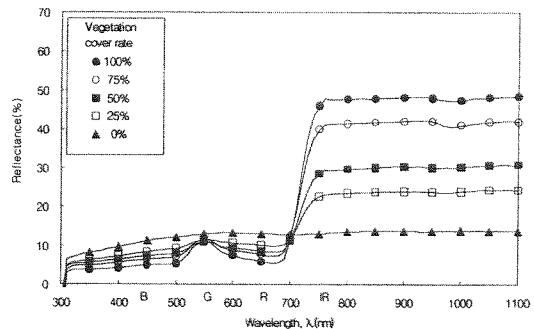


Fig. 15 Reflectance spectra of Type 5 for different vegetation cover rate

이와 같이 본 연구에서 조사한 지역에 관한 토양과 식생피복율과의 관계에서 나타나는 분광반사곡선에서도 크게 3가지 분광반사곡선형태로 분류되는 특징을 보였다.

7. 토양과 작물의 정보추출 모형

지표면에 다양한 피복형태로 분포하고 있는 작물 정보를 정확히 알고 파악하기 위해서는 피복율의 상황에 따라 어떠한 특성을 갖는가에 관한 작물의 정보추출 모형을 생각할 필요가 있다. RS를 이용하여 취득한 낮은 피복율 데이터에서 피복의 영향을 제거한 형태로의 토양치 추정을 위해서는 Soil line을 이용하여 그 관계를 파악할 수 있었다. 같은 방법으로 Soil line을 이용하여 식생정보를 얻을 수 있다고 생각하여 각 식생피복율에 대한 반사곡선에서 가시광선 파장대의 빨강(R)650nm와 근적외선 파장대(IR)850nm를 이용하여 Soil line형태로 나타냈다.

Fig. 16은 4가지 토양에 대해 식생피복율을 변화시켰을 경우 빨강(R)650nm와 근적외선(IR)850nm의 파장이 어떠한 경향을 나타내는지 알아보기 위해 Soil line과 함께 나타냈다.

그림과 같이 식생피복율의 변화는 Soil line과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 식생피복율이 높아질수록

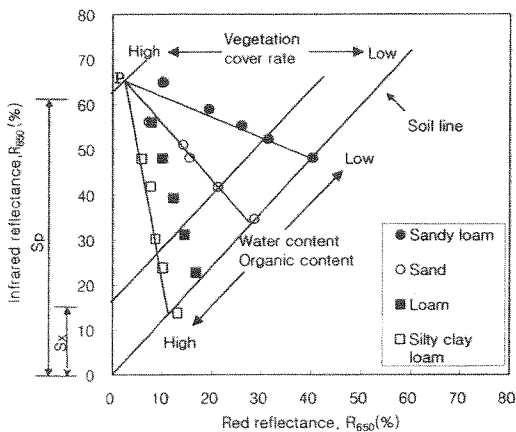


Fig. 16 Relationship between R650 and IR850 at various types

각 토양 Soil line의 직선회귀식의 상수 b값, 즉 y절편 값이 일정한 비율로 상승하는 것이 확인되었다. 이와 같이 Soil line은 토양과 식생에 관한 중요한 분광반사특성을 나타내주는 것으로 토양과 식생정보의 추출과 생육량 추정에 사용될 수 있을 것이다. 즉, 피복이 없는 경우 농경지에 대한 분광반사특성은 각각의 토양 고유의 Soil line(실선)선상에 위치한다. 같은 토양일 경우 식생 0%를 의미하는 Soil Line에서 피복율의 변화에 따라 일정 비율로 상승하여 피복율 100%일 경우 한 점 P에 수렴하게 된다. 또한, 서로 다른 토양에 대해 피복율을 변화하였을 경우 각 토양이 형성하는 Soil line은 작물의 피복율이 낮은 상태에서 조금씩 증가할 경우 토양의 영향을 크게 받지만 Soil line은 일정 점을 향하여 일정비율만큼 평행 이동하게 될 것이다. 작물의 피복율이 높아져 100%가 되면 Soil Line의 이동은 어떤 한 점 P에 수렴해 간다.

따라서, Soil line을 바탕으로 토양정보에서 식생의 피복율을 알 수 있는 변환식을 얻을 수 있을 것이다. 즉, 토양과 식생에 관한 둘 중 한 자료의 추정이 가능하다는 것이다.

8. 토양지수와 식생지수의 추출

물수지에 있어서 강우의 차단, 증발산, 지하침투 및 표면유출 등의 각 요소는 식물의 유무 및 식물의 활성 등과 밀접한 관계를 갖는다. 지표면에 공존하는 다양한 피복형태에 관한 정보를 정확하게 알고 파악하는 것은 물수지 해석과 토양과 식생에 관한 정보를 정확히 추출해 낼 수 있는 것으로 매우 중요하고 필요하다. 따라서, 토양과 식물이 공존하는 조건에 대해 RS기법을 이용하여 정확하게 해석하기 위해서는 식생피복율의 변화에 따른 식물과 토양의 분포상황을 잘 대변해줄 수 있는 방법을 찾을 필요성이 있다. 이 방법의 하나로 Soil line이 나타내는 변화특성을 이용하여 식생지수 또는 토양지수를 찾아낼 수 있을 것이다.

토양상태가 같을 경우 식생0%를 의미하는 Soil Line에서 식생100%가 될 경우 한 점 P에 수렴하는 성질을 이용하여 식생에 관한 정보추출방법으로 사

용하였다. 이 방법은 모든 토양의 식생피복율이 달라질 경우 Soil line과 평행하게 일정비를 변화하는 성질을 이용하는 것이다. 즉, 토양 위에 작물의 피복상태에 따라 Soil line과 평행한 선이 나타나므로, 평행 이동하여 나타난 Soil line을 연장하여 y축과 만나는 좌표를 이용한다. Fig. 16과 같이 S_p 를 Soil line의 y절편에서 수렴점 P가 Soil line과 평행하게 이동하여 만드는 y절편 값까지의 거리로 하고, S_x 를 Soil line의 y절편 값에서 식생지수 $x\%$ 점이 Soil line과 평행 이동하여 만드는 y절편 값까지의 거리로 한다. 이 두 직선의 비 $\frac{S_x}{S_p}$ 를 구하여 이 값과 식생피복율과의 관계를 나타내면 Fig. 17과 같이 나타난다. 양자간에는 약간의 차이는 있으나 서로 높은 상관관계를 나타낸다.

이와 같은 관계를 Soil line식을 이용하여 식생피복율 VC_x 에 대해 정식화해보면 다음과 같다.

$$VC_x = \frac{(IR_x - aR_x) - c}{(IR_p - aR_p) - b} \quad (4)$$

여기서, VC_x : 식생피복율

IR_x, R_x : 식생피복율 $x\%$ 에서 파장 850nm와 650nm의 반사율

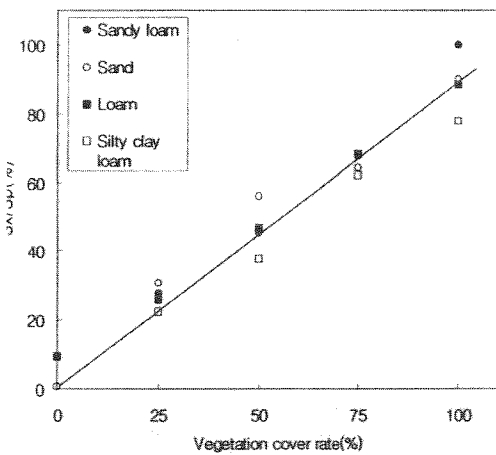


Fig. 17 Relationship between S_x/S_p and vegetation cover rate

IR_p, R_p : 식생 피복율 100%에서 파장 850nm와 650nm의 반사율

a, b, c : 실험결과 얻어지는 상수

식 (4)를 이용하여 역으로 R_{650}, IR_{650} 좌표에서 좌표점(R_x, IR_x)에 대응하는 식생피복율 VC_x 의 추정이 가능할 것이다. 여기서 알 수 있듯이 Soil line의 회귀식에 따라 토양과 식생 피복율의 차이에 따른 계수가 나타나므로 Soil line의 계수를 이용하면 토양과 식생에 관한 정보 추출이 가능하다.

여기서 사용되고 있는 R_{650}, IR_{650} 은 지구관측위성의 밴드들과 밀접한 관계를 갖고 이용되고 있어 위성자료를 이용한 RS데이터해석에 매우 중요하다. 특히, LANDSAT TM데이터를 이용할 경우 650nm의 반사율(R)은 Band 3(파장 630-690nm)에, 850nm의 반사율(IR)은 Band 4(파장 760-900nm)의 파장대에 해당한다. 따라서, 식생피복율의 추정에는 Band 3과 Band 4를 이용하여 해석할 수 있을 것이다.

9. 토양 및 식생에 관한 화상해석수법의 개발

얻어진 토양정보와 식생자료를 이용하여 피복율을 추정하기 위한 화상해석수법을 개발하였다. 이는 농업생태학분야에서 이용이 가능하도록 화상해석에 의해 여러 가지 식생정보의 추정과 해석을 목적으로 다음과 같은 해석기능을 갖는 소프트웨어를 개발하였다.

- 염수 카운터 및 염면적 계측
- 염주위 길이와 원형도 계측
- 임의 Box 면적내의 RGB 휘도 평균 및 분산산출
- 색에 의한 픽셀 검색
- 판별분석에 의한 교사부착 화상분류 및 분류그룹별 픽셀수 계산
- 다양한 자동 2치화 처리(수동 · 통계적 · 분류 · 색)
- 두 점간 거리 및 각도계측
- 왜곡수차의 보정
- 어안렌즈에 의한 전천공화상으로부터 염면적지수(LAI), 임관피복률, 각도별 투과도의 산출

토양 및 식생에 관한 정보의 추정과 해석이 가능한 화상해석소프트웨어를 개발하여 누구나 쉽게 윈도우상에서 이용할 수 있는 프로그램(정규화 식생지수, NDVI)을 만들어 다음의 관계식들을 이용하여 분석하였다.

RS를 이용하여 식물의 활성정도를 알아보기 위한 지표로 Rouse등(1974)이 제안한 정규화 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 등이 널리 이용되고 있다.

$$NDVI = \frac{IR_{850} - R_{850}}{IR_{850} + R_{850}} \quad (5)$$

- 식생 : $0 < NDVI \leq 1$
- 토양 : $0 < NDVI \leq 1$
- 물 : $-1 \leq NDVI \leq 1$

본 연구에서 구한 NDVI는 Table 4와 같이 다음의 범위 값을 갖는다.

또한, 식생지수 가운데 Pearson과 Miller(1972)에 의해 650nm의 반사율(R)과 850nm의 반사율(IR)의 대비로 나타내어지는 RVI(Ratio Vegetation Index)가 제안되어 이용되고 있다. 이 식은 Biomass지수로 널리 사용되고 있다.

$$RVI = \frac{IR_{850}}{R_{650}} \quad (6)$$

녹색식물은 750-1,200nm범위의 근적외 파장대에서 높은 반사를 나타낸다. 그 중 변화특성이 서로 다른 근적외 파장대의 850nm와 1,100nm의 반사율을 사용하여 그 관계식을 식생지수 VI로 나타내면 식 (7)과 같다.

$$VI = \frac{IR_{1,100} - IR_{850}}{IR_{1,100}} \quad (7)$$

여기서, VI : 식생지수

$IR_{1,100}$: 파장 1,100nm의 반사율

IR_{850} : 파장 850nm의 반사율

본 연구에서 실험한 자료에 관한 VI를 정리하면 Table 4와 같다. VI는 피복율이 높아질수록 대부분의 토양에서는 그 값이 낮아지는 특징을 나타낸다.

본 연구에서 개발한 소프트웨어를 이용 추정한 AVHRR의 NDVI값을 각 계절별로 대표적인 것만 예시해 보면 Fig. 18과 같다.

현재 지구관측위성자료의 해석에 많이 이용되고 있는 식물의 식생지수(Campbell, 1987 ; Asra, 1989 ; Price, 1992)와 대비해 볼 수 있는 기초자료로 본 연구에서 얻어진 실험결과에 대해 위의 식생지수, Biomass지수, 토양지수 등을 계산한 값을 Table 4와 같이 나타냈다. 이들 자료는 지구관측위성 데이터를 보다 합리적이고 효율적으로 해석할 때 참고자료로 이용할 수 있는 기초자료가 될 것이다.

V. 결 론

본 연구에서 얻어진 결과를 정리해 보면 다음과

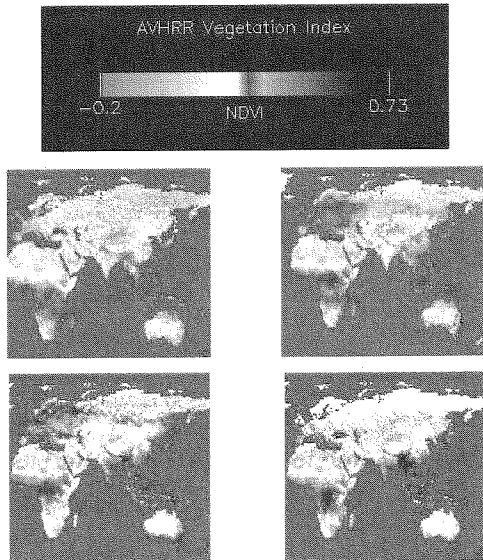


Fig. 18 AVHRR Vegetation Index for Year 1993.

같다.

1. 측정일수와 측정시간에 따라 달라지는 분광방사 에너지 값을 고려할 수 있는 방법으로 표준백색판 측정값을 이용하여 보정할 수 있는 방법을 제시하였다. 이 보정 관계식은 표준백색판의 측정횟수와 시간 단축으로 일관성 있는 측정을 가능하게 할 것이다.

2. 자연상태의 토양과 물, 식물의 분광반사특성을 조사한 결과 물체의 종류 및 환경조건이 다를 경우 분광반사곡선의 형태가 서로 다르게 나타나는 것이

확인되었다. 특히, 물은 가시광대의 낮은 파장에서만 반사하고 근적외선부터는 전부 흡수되는 성질을 나타냈다.

3. 토양의 분광반사특성은 토양의 종류에 따라 토양 고유의 분광반사곡선을 가지며, 파장의 증가와 함께 거의 모든 토양의 반사율이 일정한 비율로 증가하는 특징을 나타냈다. 또한, 토양조성성분의 영향은 서로 다른 파장대에서 에너지의 흡수와 반사특성으로 반영되어 나타나는 것으로 파악되었다.

Table 4. Various index at vegetation cover rate

Classification	Vegetation cover rate(%)	NDVI	RVI	VI	SI
Type1 (Sand)	0	0.095532	1.211245	0.092967	-1.2112
	25	0.323985	1.958513	0.082524	0.9601
	50	0.512907	3.105989	0.059116	1.0317
	75	0.563814	3.585200	0.047719	1.1437
	100	0.771730	7.761553	0.023928	1.0050
Type2 (Loam)	0	0.132636	1.305836	0.164212	-
	25	0.310179	1.899302	0.112503	-
	50	0.403957	2.355460	0.092277	-
	75	0.498324	2.986639	0.072112	-
	100	0.615917	4.207211	0.060267	-
Type3 (Sandy loam)	0	0.094452	1.208608	0.062360	-1.2086
	25	0.249944	1.666466	0.058750	0.1299
	50	0.418982	2.442233	0.053471	0.3382
	75	0.494009	2.952641	0.045025	0.7022
	100	0.730494	6.420982	0.040109	0.7892
Type4 (Loam)	0	0.152251	1.359189	0.109382	-1.2086
	25	0.365579	2.152483	0.089832	0.1299
	50	0.525204	3.212337	0.079625	0.3382
	75	0.656419	4.821047	0.059479	0.7022
	100	0.756539	7.214853	0.042063	0.7892
Type5 (Silty clay loam)	0	0.025159	1.051617	0.006173	-1.0516
	25	0.407023	2.372810	0.019966	3.3411
	50	0.559779	3.543169	0.022231	3.6230
	75	0.693044	5.515587	0.002977	5.1257
	100	0.785981	8.344972	0.011414	4.6742

4. 토양의 함수비변화에 따른 반사율은 함수량 증가와 함께 전 파장에서 일정한 비율로 감소하지만, 토양고유의 분광반사곡선형태는 그대로 유지하며 변화하는 특징을 보였다.

5. 식물의 분광반사특성은 가시광선 파장대에서는 낮은 반사율을 보이거나 근적외 파장대에서는 매우 높은 반사율을 나타낸다. 이는 식물의 색(가시광 파장대)과 근조적(근적외 파장대)의 반사특성이 크게 영향을 미치고 있음이 확인되었다.

6. 토양정보추출을 위하여 가시파장(650nm)과 근적외파장(850nm)의 두 파장의 반사율을 이용한 결과 두 파장간에는 식(3)과 같이 매우 높은 상관성을 보였다. 이 관계는 토양이 고유하게 갖는 Soil line으로 본 연구에서 사용한 토양은 크게 3가지형태로 분류되었다.

7. Soil line은 식생 0%를 의미하며 식생피복율이 높아짐에 따라 Soil line이 좌상으로 평행이동하며, 식생피복율 100%에서는 한 점(P)에 수렴하는 특징을 나타냈다. 이 특징을 이용 토양과 식생정보 추출방법으로 서로 다른 토양에 식생이 피복되어 있을 경우 토양과 식생정도 판별에 이용 가능한 식생피복율(VC)을 제시하였다.

8. 위성자료와 비교할 수 있는 토양과 식생정도에 따른 식생지수 및 토양지수, Biomass지수 등의 값을 산출하여 제시하였다. 토양과 식생정보의 추정과 해석이 가능한 화상해석소프트웨어를 개발하여 누구나 쉽게 이용할 수 있는 AVHRR의 NDVI값을 제공하였다.

참고 문헌

- Asra G.(1989), Theory and Applications of Optical Remote Sensing, John Wiley & Sons, pp.119-129
- Baret, F. and Guyot, G.(1991), Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment, Remote Sensing of Environment, 35: pp.161-173
- Baumgardner, M.F.(1985), Advanced Agronomy, 38: pp.1-14
- Derek R. Peddle와 3인(2001), Reflectance processing of remote sensing, Computers & Geosciences, 27(2): pp.203-213
- Bowers, S.A. and Hanks, R.J.(1965), Reflection of radiant energy from soil, Soil Science, 100, pp.130-138
- Campbell, j.B.(1987), Introduction to Remote Sensing, The Guilford Press, pp.384-395
- Cihlar, J., Humg, L. and Qinghan, X (1996), Land cover classification with AVHRR multi-channel composites in Northern environment, Remote Sens, Environ., 58, pp.36-51
- Coleman, T.L. and Montgomery, O.L (1987), Soil moisture, organic matter and iron content effect on the spectral characteristics of selected vertisols and affisols in Alabama. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53, pp.1659-1663
- Condit, H.R.(1972), Applied Optic, 11, pp.74-86
- DeFries, R.S. and Townshend, J.R.(1994), NDVI-derived land cover classification at global scale, Int. J. Remote Sens., 15(17), pp.3567-3586
- Epiphnio, J.C.N. and Vitorello, I.(1984), Inter-relationship between view angles(acimuth) and surface moisture and roughness conditions in field-measured radiometer reflectance of an oxisol. In CR Ile Colloque International Signatures Spectrales d' Objets en Tldtection. Bordeaux(France), 12-16 Sept. 1983. INRA Publishers. Les Colloques de l' INRA, 23, pp.185-192
- Friedl, M.A. and Broadly, C.E.(1997), Decision tree classification of land cover from remotely sensed data, Remote Sens. Environ., 61, pp.399-409

13. Hoffer, R.M.(1978), Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data, in Remote Sensing: The Quantitative Approach, Swain, P.H. and Davis, S.M. (Eds), McGraw-Hill Book Company, pp.227-289.
14. Howard, J.A.(1991), Remote sensing of Forest Resources Theory and Application, Chapman & Hall, p.420
15. Japan Association of Remote Sensing(1996), Remote Sensing Notes, JARS.
16. Konecny, G.(1987), The Development and State of the Art of Remote Sensing. ITC Jour. 1987(2), pp.153-156
17. Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W.(1994), Remote sensing and image interpretation, pp.466-501
18. Lloyd, D.(1990), A phenological classification of terrestrial vegetation cover using short wave vegetation index imagery, Int. J. Remote Sens.,11, pp.2269-2270
19. Nicodemus, F.E. etc.(1977), Geometrical Considerations and Nomenclature for Reflectance, U.S. Department of Commerce/National Bureau of Standards Washington, D.C., pp.1-12
20. Pearson, R.L. and L.D. Miller(1972), Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass Prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado, in Proc. of the 8th International Symposium on Remote Sensing of Environment, ERIM, Ann Arbor, MI, pp.1357-1381.
21. Piech, K.R. and Walker, J.E.(1984), Interpretation of soils, Photogrammetric Engineering, 40, pp.87-94
22. Pinty, B. and Verstrate, M.(1992), GEMI: a non linear index to monitor global vegetation from satellites, Vegetatio, 101, pp.15-20
23. Price, J.C.(1992), Estimating Vegetation Amount from Visible and Near Infrared Reflectances, Remote Sensing Environ, 41, pp.29-34
24. Richardson, A.J. and Wiegand, C.L.(1977), Distinguishing vegetation from soil background information, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43(2), pp.1541-1552
25. Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W.(1973), "Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS," __Third ERTS Symposium, NASA SP-351__, vol. 1, pp.309-317
26. Rouse, J.W., Haas, R.H., Shell, J.A., Deering, D.W. and Harlan, J.C.(1974), Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Final Report, Type III, NASA/GSFC, Greenbelt, MD, p.371
27. Slater, P.N.(1980), Remote Sensing-Optics and Optical Systems, Addison-Wesley Publishing Company, U.S.A., pp.228-229
28. Ulaby, F.T. Moore, R.K., Fung, A.K.(1981), Microwave remote sensing, Addison-Wesley Publishing Co.
29. Warwick, G.(1985), International satellite directory. Flight International, 1, pp.29-55.
30. 秋山侃, 福原道一, 齊藤元也, 深山(1996), 農業リモートセンシング-環境と資源の定量的解析, 養賢堂
31. 岩切敏(1997), わが國における氣と降水量の長期變動の實態, 農業氣象53(1), pp.41-45
32. 氣象廳(1999), 地球溫暖化監視レポート1999
33. 福原道一・齊藤元也(1986), リモートセンシング技術應用-土木調査-, 農業土木學會誌, 54, pp.59-64
34. 日本リモートセンシング研究會編(1995), 圖解リモートセンシング, 社團法人 日本測量協會, pp.260-262