

원격탐사(RS) 기법을 이용한
충북지역 5개 토양과 갯벌토양의 식생피복특성

박 종 화¹⁾

¹⁾충북대학교 농과대학 농공학과

Vegetation Cover Characteristics for Five Soils at Chungbuk
Prefecture and Tideland Soil Using Remote Sensing Technology

Park, Jong-Hwa¹⁾

¹⁾Department of Agricultural Engineering, Chungbuk Nat'l Univ.

ABSTRACT

In support of remote sensing applications for monitoring processes of the Earth system, research was conducted to analyze the basic spectral response related to background soil and vegetation cover characteristics in the visible and reflective infrared wavelengths. Surface samples of seven stations were examined. Five soils were from land-field and two soils from tideland areas. The vegetation cover experiment was conducted on seven soil samples with known natural moisture content (%) by weight. To study the effect of vegetation cover, spectral measurements were taken on five or six vegetation cover treatments of the seven soils with 3 replications in air dry conditions. For collecting RS base data, used spectro-radiometer that measures reflection characteristics between 300~1,100nm was used and measured the reflection of vegetation from bean leaves.

The relationships were evaluated for both a general soil line and for the individual lines of five soils, under air-dried condition as well as different vegetation cover ratio, through the determination of the line parameters. As vegetation cover ratio in bean leaves increases, features of soil reflectance decrease and those of plant reflectance become more and more apparent. In proportion to vegetation cover rate, near-infrared reflectance increased and visible reflectance decreased. Analysis results are compared to commonly used vegetation indices(RVI and NDVI).

Key Words : *Remote sensing, Vegetation cover, Vegetation information, NDVI, Vegetation index.*

I. 서 론

사계절이 뚜렷한 우리나라 토양 피복형태의 특징은 계절변화에 따라 피복형태가 다양하게 변화한다는 점이며 특히 밭작물 재배지역의 경우 식생피복 형태는 매우 빨리 변화하며 그 주기도 짧다. 또한, 토양의 피복형태도 인구증가에 따른 택지개발과 레저의 다양화와 생활패턴 변화의 영향을 받아 다양하게 변화한다. 이러한 환경변화가 농업생태계에 미치는 영향을 평가하고 이에 대한 대책마련을 위해서는 토양과 작물의 식생정보를 취득하여 활용하는 방법이 유용할 것이다. 또한, 농어촌의 환경정비와 환경복원기술의 적절한 적용과 농촌자원의 관리를 위해서도 농어촌 유역의 토양과 식생정보를 취득하여 활용할 수 있는 방법을 마련한다면 농업자원과 생태계 관리에 적합한 기술개발이 가능할 것이다.

천연자원의 관리는 환경을 파괴하지 않고 지속적으로 이용할 수 있어야 된다는 원칙에 따라야 한다는 합의가 관리자와 일반인들 간에 형성되고 있다. 자원관리 방법은 생태학적으로 적절하고 경제적으로 가능하며 사회적 정치적으로도 수용 가능한 것이라야 할 것이다. 따라서 지역자원의 효율적인 관리를 위해서는 지역 및 지구규모의 환경변화에 따른 생물학적 다양성과 생태계를 관리할 수 있는 가능성을 발견하고 평가하는데 그 지식을 응용할 필요성이 있다.

작물이 재배되는 논밭 등에서 취득한 원격탐사(이후, RS)데이터는 토양과 작물에 관한 분광반사특성이 혼재하기 때문에 목적에 따라 불필요한 정보를 제거하고 필요한 정보를 추출하는 과정이 필요하다(Richardson et al., 1997; Waltershea et al., 1990). 특히, 경작지에는 다양한 피복조건이 존재하기 때문에 피복변화에 따른 토양과 식생정보를 알아둘 필요가 있으며 이들 피복조건의 변화에 따른 작물의 성장과정의 평가와 수확량의 예측, 병충해의 영향 파악에 대비해 가야 될 것이다.

따라서 앞으로의 환경변동에 따른 식생변화의 예측과 영향을 조사하기 위해서는 다양한 토양

조건에 따른 작물의 정확하고 비교 가능한 현장 식생 등의 모니터링 자료취득과 정보파악이 필요하다.

본 논문에서는 RS기법을 이용하여 서로 다른 7개의 토양조건에서 식생 피복율이 변화할 때의 식생정보를 파악하는데 목적을 두었다. 또한 식생정보 추출에 관한 적절한 모니터링방법을 찾기 위하여 진보(박중화, 2003)에 제시한 토양에 대해 우리나라의 보편적인 밭작물인 콩잎을 이용하여 분광반사특성을 조사하여 식생의 피복정도에 따른 식생정보 추정방법을 제시하고자 한다.

II. 실험방법 및 재료특성

1. 실험방법

실험방법은 Spectro-radiometer (LI-1800, 측정파장범위 : 300nm~1,100nm, 측정간격 : 10nm)에 Telescope/Microscope을 연결하여 분광반사에너지를 측정하였다. 측정은 기후의 영향을 최소화하기 위해 구름이 없는 맑은 날을 선정하여 태양고도의 영향을 최소화할 수 있도록 오전 11시부터 오후 2시까지 실시하였다.

토양과 식생조건의 반사율은 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$R(\lambda) = \frac{I_s(\lambda)}{I_t(\lambda)} \quad (1)$$

여기서, $I_t(\lambda)$ 는 태양에너지가 지표에 도달하여 표준 백색판에 반사되어 센서에 입사되는 전자파에너지이며, $I_s(\lambda)$ 는 시료의 반사 전자파에너지이다.

본 연구에서 조사한 내용을 그림으로 나타내면 Figure 1과 같다.

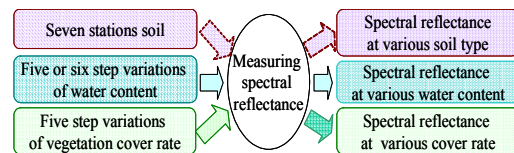


Figure 1. Simplified schematic of spectral reflectance measurements.

2. 재료의 특성

각각의 토양 시료에 대한 자연함수비와 입도분석 결과는 Table 1과 같다. 토양의 분광반사특성은 식생피복율이 0%인 경우로 Table 1에 제시한 자연함수비조건에서 측정하였다(박중화, 2003).

Figure 2는 토양이 자연 건조상태(Dry)에서 함수비를 변화시켜 토양이 포화될 때(Wet)까지 토양수분을 조절하여 측정한 분광반사율을 나타낸 것이다.

작물의 식생피복변화에 따른 분광반사측정은 발작물 중 콩잎을 피복작물로 선정하여 조사하였다. 자연조건의 식생피복 상태는 계절변화와 작물의 성장조건, 지형조건에 따라 달라지므로 모든 조건을 만족하는 재현은 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 피복조건의 변화에 따른 경향을 파악하기 위하여 콩잎을 토양시료 위에 0, 25, 50, 75, 100%로 피복한 다음 분광반사 스펙트

Table 1. Soil types and grain size distribution of seven station soils.

Soil sample	Soil Classification	Water content(%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
Soil 1	Sand	0.15	100	0	0
Soil 2	Loam	16.57	52.83	38.11	14.72
Soil 3	Sandy loam	27.32	67.31	30.17	2.52
Soil 4	Loam	25.46	36.33	40.57	23.10
Soil 5	Silty loam	38.11	29.81	65.19	5.00
Soil 6	Silty clay loam	64.92	6.97	66.24	26.79
Soil 7	Silty clay loam	72.98	1.57	64.84	33.59

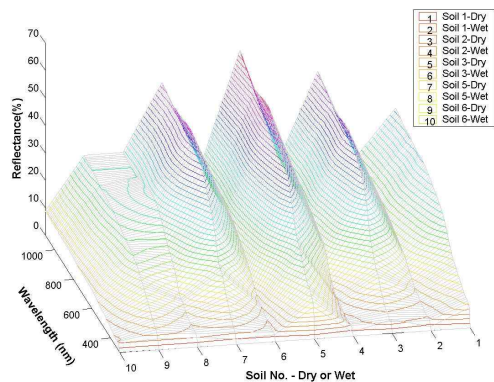


Figure 2. Soil reflectance spectra for five soils under dry and wet conditions.

럼을 조사하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 토양 수분함량과 명도에 따른 분광반사특성

토양의 분광반사율에 영향을 미치는 요소 중 토양의 수분함량과 토양의 명도(밝기)가 있다 (Muller, 2000; Piech, 1984). 특히, 토양의 수분함량은 작물의 성장에 많은 영향을 주는 요소로 토양종류에 따라 Figure 2와 같이 자연 건조 상태(Dry)와 포화 상태(Wet)에서 일정 분광반사율의 폭을 가지며 변화한다. Table 1에 제시한 7개 토양에 대해 토성이 서로 다른 5개 토양을 검토한 결과 가시광대(340nm) 분광반사율의 변화 폭은 Soil 5의 실트질로미가 0.9%로 가장 적으며 Soil 3의 사양토가 11.6%로 크게 나타났다. 변화 폭이 적은 토양부터 정리할 경우 가시광대(340 nm)에서는 사양토<실트질로미<로미<실트질 점토로미<모래의 순으로 나타났다. 근적외 파장(1100nm)에서는 모래(16.4%)와 실트질 점토로미(19.3%)의 분광반사율 변화 폭이 좁으나 사양토의 경우 40.1%로 매우 높다. 폭의 변화를 크기 순으로 보면 모래<실트질 점토로미<실트질로미<로미<사양토 순으로 나타났다. 따라서 토양 수분함량의 변화에 따른 분광반사특성은 근적외 파장영역에서 경작토양의 분광반사율의 변화 폭이 크고, 물과 자주 접촉하며 침수와 노출을 반복하는 모래와 실트질 점토로미의 경우는 다른 토양에 비해 분광반사율 변화 폭이 적은 것으로 나타났다.

토양의 명도에 따른 분광반사특성은 토양수분함량의 변화와 매우 흡사한 변화를 보였다. 그 변화를 토양별로 정리하면 실트질 점토로미<모래<실트질로미~로미<사양토 순으로 나타났다. 일반적으로 명도가 밝은 토양일수록 어두운 토양에 비해 분광반사율은 높게 나타났다.

2. 식생피복 변화에 따른 분광반사특성

Table 1에 제시한 5개의 토양에 대해 식생피복율을 0%에서 100%까지 변화시켜 파장(wavelength, nm)과 반사율(reflectance, %)의 관계로 나타내면 Figure 3~7과 같다.

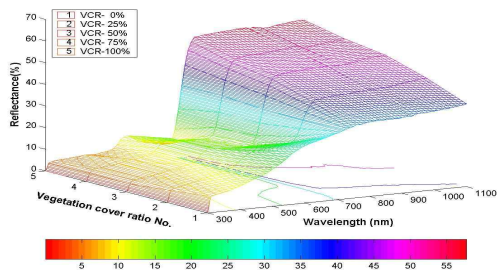


Figure 3. Spectral response characteristics for Soil 1 of different vegetation cover.

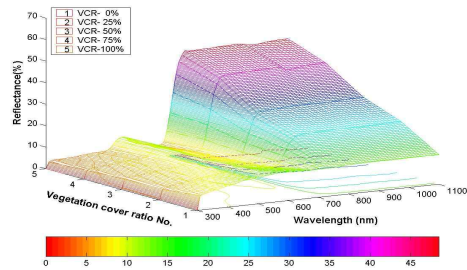


Figure 7. Spectral response characteristics for Soil 7 of different vegetation cover.

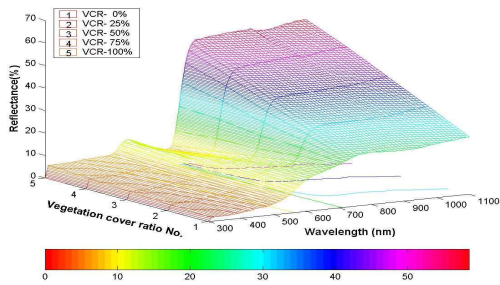


Figure 4. Spectral response characteristics for Soil 2 of different vegetation cover.

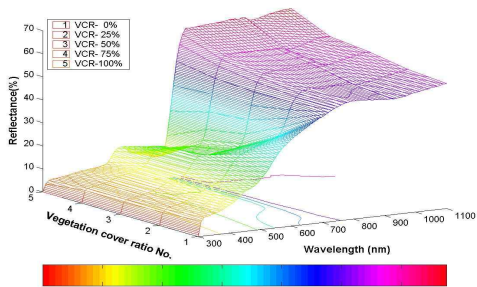


Figure 5. Spectral response characteristics for Soil 3 of different vegetation cover.

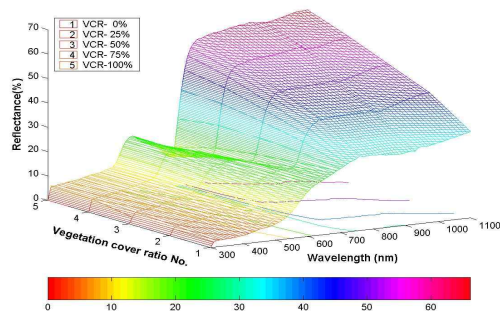


Figure 6. Spectral response characteristics for Soil 5 of different vegetation cover.

모든 토양조건에서 식생피복율이 0%에서 100%까지 증가함에 따라 분광반사율 곡선은 토양의 분광반사에서 식생조건에 따른 분광반사특성으로 변화한다. 동일한 식생피복 조건이다 할지라도 분광반사율 변화는 토양조건에 따라 서로 다르게 나타난다. 이는 식생의 피복정도에 따라 식생 아래 토양의 노출비가 변화하여 토양과 식생피복율에 의해 토양과 식물이 갖는 분광반사특성이 서로 다른 반사율 비율로 혼합되는 것을 의미한다. 전반적으로 식생피복율이 증가할수록 가시광선 파장대에서는 녹색 잎의 작용에 의해 분광반사율이 낮아지고, 근적외선 파장대에서는 식물 근조직의 영향으로 분광반사율이 높아진다. 이 때 가시광대와 근적외 파장대의 700 nm 전후를 피벗점(pivot point)으로 반사율 변화가 역전되는 특징을 보인다.

Figure 3~7에 나타난 토양조건에 따른 분광반사특성 변화를 정리하면 아래와 같이 3가지 유형으로 분류되어진다.

하나, Figure 3 모래(Soil 1)와 Figure 5 사양토(Soil 3)의 경우로 Soil line을 기준으로 식생피복율의 증가에 따라 가시광대의 분광반사율은 낮아지며 녹색(Green)과 빨강(Red)파장에서 분광반사율의 변화 폭은 커진다. 이후 가시광대와 근적외(IR) 파장대의 경계를 나타내는 700nm 지점을 피벗점(pivot point)으로 하여 반사율이 반전되어 근적외(IR)파장대에서 피복율이 높을수록 반사율은 높아진다. 이때 모래(Soil 1)와 사양토(Soil 3)의 경우 근적외(IR) 파장대에서 식생피복율의 증가에 따른 반사율의 변화 폭이 다른 토양에 비해 매우 적다. 이는 모래(Soil 1)

와 사양토(Soil 3)가 본래 가지고 있는 근적외 (IR) 파장대의 반사율이 각각 38.2%와 58.4%로 다른 토양에 비해 상대적으로 높기 때문에 식생피복율에 따른 근적외(NIR) 파장대에서의 반사특성이 상대적으로 작은 것으로 해석된다.

하나, Figure 4 릜(Soil 2)과 Figure 6 실트림(Soil 5)의 경우로 식생피복율 변화에 따른 분광반사율이 반전하는 피벗점이 2개(녹색(Green) 파장대와 720nm지점) 존재한다. 식생피복율의 증가에 따라 녹색(Green)파장대의 피벗점(pivot point)과 720nm지점 피벗점 이후는 분광반사율

이 높아지며 녹색(Green)파장대와 720nm지점 사이에서는 식생피복율이 낮을수록 높은 분광 반사특성을 나타낸다.

하나, Figure 7의 실트질 점토류(Soil 6) 경우 처럼 식생피복율 변화에 따른 분광반사율의 변환점인 피벗점 1개소가 700nm지점에 존재하며 피벗점을 전후하여 가시광파장대에서는 일정한 분광반사특성을 나타내며 근적외선 영역에서는 피복율의 증가에 따라 일정 비율로 분광반사율도 증가한다. 피벗점 이전은 식생피복율의 증가에 따른 반사율 변화비가 적으며 이후는 매우 크다. 이는 실트질 점토류(Soil 6)이 갖는 근적외선 파장영역의 반사율이 13.8%로 매우 낮은 것에 기인한 것으로 해석된다.

이와 같이 식물의 분광반사특성은 토양의 분광반사특성을 기준으로 가시광파장대에서 낮은 분광반사특성을 보이거나 근적외파장대에서는 식물의 근조직의 영향으로 높은 반사특성을 나타낸다. 또한, 식생피복 변화에 따른 반사특성은 가시광선과 근적외선의 경계 파장대인 적색경계(red edge)에서 피벗점(약 700nm지점)을 형성하며 반사율이 급상승한다. 이는 식물이 구성하는 색(가시광파장대)과 섬유질(근적외 파장대)의 반사특성이 서로 다른 파장에서 반응하는 결과로 해석된다.

각 파장대별 분광반사특성을 조사하기 위하여 가시광대에서는 녹색(Green)과 빨강(Red)파장영역에서 각각 550nm와 650nm점을 선정하고 근적외선 파장대에서는 850nm점을 택하여 Figure 8~10같이 나타내어 토양별 분광반사특성을 검토하였다. Figure 8은 녹색(Green 550nm) 파장영역의 분광반사특성을 보여주고 있는 그림으로 토양별로 파장대별 분광반사율 변화가 서로 다르게 나타난다. 특히 사양토의 경우 피복이 없는 토양조건에서는 30%의 높은 반사특성을 보이거나 식생피복율이 증가할수록 반사율은 점점 낮아지는 경향을 나타낸다. 모래도 변화정도는 조금 적으나 같은 경향을 나타냈다. 이것은 토양속의 모래성분의 영향이 분광반사특성에 미치는 영향으로 사료된다. 이와 반대로 실트류의 경우는 식생피복율이 증가할수록 반사율은 점점 높아지는

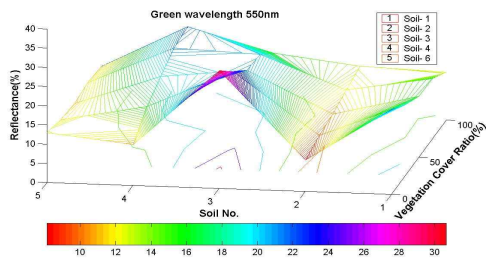


Figure 8. Visible(Green 550nm) reflectance are shown for 5 soils of different vegetation cover.

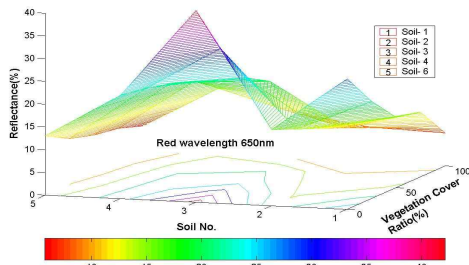


Figure 9. Visible(Red 650nm) reflectance are shown for 5 soils of different vegetation cover.

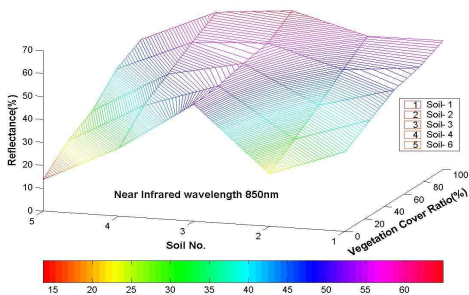


Figure 10. Near Infrared(NIR 850nm) reflectance are shown for 5 soils of different vegetation cover.

특성을 보였다. Figure 9는 적색(Red 650nm) 파장 영역의 분광반사특성을 나타낸 그림이다. 적색의 경우 5가지 토양 모두 정도의 차이는 있으나 식생피복율이 증가할수록 반사율은 점점 낮아진다. 이 중 사양토의 변화정도가 가장 크며 롬과 실트질 점토류의 경우 적다. Figure 10의 근적외선 파장대(850nm)에서는 적색(Red 650nm) 파장 영역의 분광반사특성과 반대로 식생피복율이 증가할수록 반사율은 점점 높아지는 경향을 나타낸다.

위에서 얻어진 결과를 이용하여 토양의 명도와 식생피복에 따른 분광반사율 변화특성을 도형화하면 Figure 11과 같이 나타낼 수 있을 것이다. 그림과 같이 토양의 밝기에 따른 반사율 변화특성은 밝은 토양일수록 분광반사율이 높게 나타나며 어두운 토양일수록 분광반사율이 낮게 나타나 식생피복을 할 경우 그 변화비는 어두운 토양일수록 변화비가 더 커지는 특징을 보인다. 또한 식생피복에 따른 영향은 식생피복율이 높아질수록 분광반사특성이 높아지는 특징을 나타낸다.

따라서 분광반사특성을 잘 대표해주며 경향이 두드러지게 나타나는 적색(Red 650nm) 파장과 근적외선 파장(850nm)을 선정하여 식생피복에 따른 영향을 검토하였다.

3. 식생지수(Vegetation Indices, VI)

지표면에 다양한 피복형태로 분포하는 작물들의 식생정보를 정확하게 파악하기 위해서는 피복을 변화에 따른 분광반사특성 파악이 중요

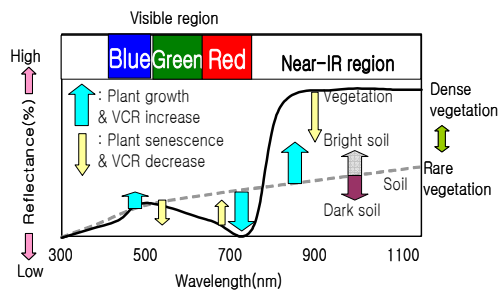


Figure 11. Schematic idealized reflectance spectra are shown for increasing vegetation cover and bright and dark soil reflectance.

하다. 토양과 식생피복에 따른 분광반사특성에 관해 토양선(Soil line)을 이용하여 5개 토양에 대해 나타내면 Figure 12와 같다. 여기서 토양선은 다음 식으로 나타내어진다(Asrar (ed.), 1989).

$$NIR_{850nm} = a R_{650nm} + b \quad (2)$$

여기서, NIR_{850nm} 는 근적외파장(NIR_{850nm})의 반사율, R_{650nm} 은 가시광선파장(Red 650nm)의 반사율이며, a, b 는 실험결과 얻어지는 상수이다. 같은 토양일 경우 식생 0%를 의미하는 토양선(Soil Line)에 직각방향으로 근적외 파장(NIR_{850nm})쪽으로 식생피복율이 증가함에 따라 식생은 100%로 점진적으로 변화하며 일정 점에 수렴하게 된다. 이는 모든 토양에서 식생피복율이 달라질 경우 토양선(Soil line)에 대해 일정비율로 변화해가는 것을 의미한다.

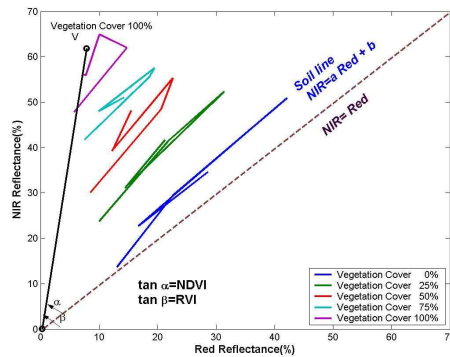


Figure 12. Relationships between near-infrared and red reflectance for the 5 soil samples, resulting in soil line and isolines.

식생지수는 크게 3가지 방법으로 해석되어 지고 있다. ①Ratio-based ②Distance-based ③ Angular-based. 본 연구에서는 ①의 파장대 비에 기초한 식생지수로 RVI(Ratio Vegetation Index)와 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)를 이용하여 해석하였다(Jordan, 1969; Rouse et al., 1974).

Figure 12에서 얻어진 결과를 이용하여 각 토양에 관해 식생피복율을 변화시켜 식(3)을 이용하여 RVI(Ratio Vegetation Index)를 구하고 그 결과를 Figure 13에 나타냈다.

$$RVI = \frac{NIR_{850nm}}{R_{650nm}} \quad (3)$$

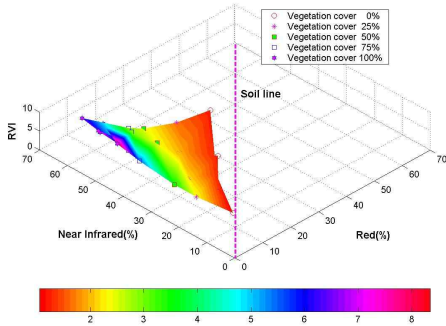


Figure 13. Vegetation index(RVI) response as a function of near-infrared and red reflectance for different soil backgrounds.

위와 같이 분류하였을 경우 자연함수비 조건에서 식생피복 변화에 따른 분광반사율의 크기는 토양선을 따라 실트질 점토립<롬<, 실트질 롬<모래<사양토의 순으로 나타났다.

식물은 계절변화와 기후에 따라 색과 반사특성에 큰 차이를 보인다. RS를 이용하여 식물의 활성정도를 알아보기 위해 사용되고 있는 지표로 Rouse 등(1974)이 제안해 널리 이용되고 있는 정규화 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)를 식 (4)과 같이 구하고 그 결과를 Figure 14에 나타냈다.

$$NDVI = \frac{NIR_{850} - R_{650}}{NIR_{850} + R_{650}} \quad (4)$$

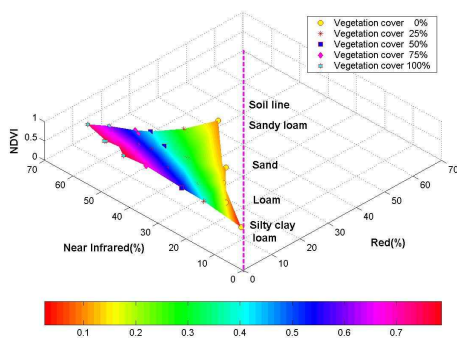


Figure 14. Vegetation index(NDVI) response as a function of near-infrared and red reflectance for different soil backgrounds.

여기서, NDVI는 식생조건에서 $0 < NDVI \leq 1$ 의 값을 가지며, 토양에서 $0 \leq NDVI \leq 1$ 을, 물에서 $-1 \leq NDVI \leq 1$ 의 범위 값을 갖는다.

Figure 14와 같이 모든 토양에서 피복변화에 따라 나타난 값은 $0 < NDVI \leq 1$ 의 범위에 있어 토양과 식생조건을 만족하고 있다. 분광반사율의 크기는 RVI에서와 같이 토양선을 따라 실트질 점토립<롬<실트질롬<모래<사양토의 순으로 나타났다. RVI와 NDVI 두 식생지수는 유사한 분포를 나타내므로 식생분포 변화에 따른 토양의 특징추출이 가능할 것이다. 따라서 두 지수의 관계를 Figure 12에 제시한 각도로 표현하면 식 (5)의 관계가 성립한다.

$$NDVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1} = \tan(\beta - 45^\circ) \quad (5)$$

4. 식생정보추출 모형

토양과 식생에 관련된 정보추출을 위한 모형으로 식생피복을 변화가 분광반사특성에 미치는 영향을 검토하여 모형화하면 Figure 11과 같다. 식생의 분광반사율은 식생피복율이 높아질수록 근적외과장 영역의 반사율이 전체적으로 높아진다. 분광반사 스펙트럼의 곡선변화가 일정하고 독특한 특징을 갖는 가시광선과장 빨강(R_{650nm})과 근적외선과장(NIR_{850nm})을 선택하여 종합적으로 정리하면 Figure 15와 같다. 여기서 Table 1에 제시한 각 토양에 대해 식생 피복조

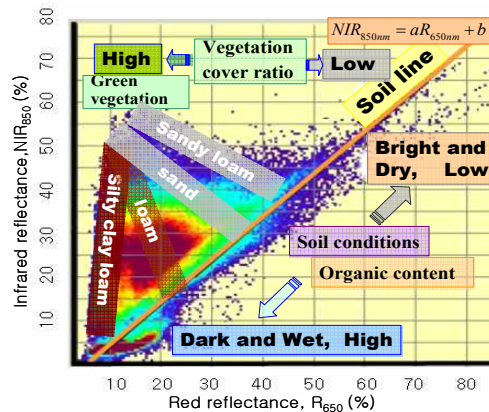


Figure 15. Illustration of soil line that contributes to the observed soil reflectance spectra.

건 변화를 나타내면 실트질 점토롬<롬<모래<사양토의 관계가 있는 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 논문은 RS기법을 이용하여 7개의 토양조건과 5종류의 식생피복 변화에 따른 분광반사특성을 조사하고 토양과 식생에 관한 정보를 추출하는데 목적을 두었다. 연구에서 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 식물의 분광반사특성은 가시광과장대에서 낮고 근적외과장대에서 매우 높은 분광반사특성을 나타낸다. 이는 식물이 구성하는 색(가시광과장대)과 섬유질의 근조직(근적외과장대)의 반사특성이 영향을 미치는 결과로 해석된다.

2. 토양의 수분함량과 명도에 의한 영향은 토양 수분함량이 낮고 토양이 밝을수록 높은 반사율을 나타낸다. 토양수분량 변화에 따른 건조(Dry)와 습윤(Wet)상태의 토양조건은 토양에 따라 각기 다른 고유한 분광반사율 띠(band)를 형성하였다.

3. 토양 위 식생피복율의 변화에 따른 반사특성은 가시광선과 근적외선의 경계 과장대(700nm부근)에서 피봇점(pivot point)을 형성하며 반사율이 역전되는 특징을 보인다. 피봇점 전후의 변화패턴에서 토양조건에 따라 3가지 유형으로 분류되었다.

4. 자연함수비 조건의 토양과 식생피복율 변화에 따른 RVI와 NDVI의 두 식생지수를 검토한 결과 분광반사율의 크기는 토양선을 따라 실트질 점토롬<롬<, 실트질롬<모래<사양토 순으로 나타났다.

5. 토양과 식생에 관한 정보를 가시광과장대(Red 650nm)와 근적외선과장(NIR 850nm)의 두 과장을 이용하여 토양과 식생피복율의 변화에 따른 특성을 도형화하여 제시하였다.

인 용 문 헌

- 박중화. 2003. 원격탐사(RS)기법을 이용한 충북 지역 5개 토양과 갯벌토양의 분광반사특성. 환경복원녹화 6(1) : 34-40.
- Asrar, G(ed.). 1989. Theory and Applications of Optical Remote sensing. John Wiley and Sons. New York. 734.
- Coleman, T. L., and O. L. Montgomery. 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 : 1659-1663.
- Jordan, C. F. 1969. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor, Ecology 50 : 663-666.
- Muller, E., and H. Decamps. 2000. Modeling soil moisture-reflectance, Remote Sensing of Environment 76 : 173.
- Piech, K. R. and J. E. Walker. 1984. Interpretation of soils. Photogrammetric Engineering 40 : 87-94.
- Richardson, A. J. and C. L. Wiegand. 1997. Distinguishing vegetation from soil background information, photogramm. Remote Sens., 43, pp.1541-1552.
- Rouse, J. W., R. H. Hans., J. A. Schell., P. W. Peering and J. C. Harlar. 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation, Type III, Final Report, NASA/GSF, Greenbelt, MP, p.371.
- Walter-shea, E. A. and L. L. Biehl. 1990, Measuring vegetation spectral properties, Remote Sens. Rew. 5(1), pp. 179-205.

接受 2003年 3月 26日