

## 분광반사율에 의한 콩잎의 식생피복률 추정

### Estimation of Coverage Ratio from Spectral Reflectance in Soy Bean

박 종 화\*, 이 상 혁\*\*  
Park, Jong-Hwa, Lee, Sang-Hyuk  
신 용 희\*\*, 전 택 기\*\*\*  
Shin, Yong-Hee, Jeun, Taek-Ki

#### Abstract

Rapid environmental changes result in not only damage to agricultural produce but also the poor growth and death of plants. Remote Sensing (RS) is one of effective methods for collecting, analyzing information and predicting the change of agricultural environments. The investigation was based on the field and laboratory spectra of natural soil and air-dried samples from soil profiles, an experiment for grain size distribution and on a wetting process of the soil samples. For collecting RS base data, used spectro-radiometer that measures reflection characteristics between 300~1,100mm was used and measured the reflection of soy bean.

The relationships were evaluated for both a general soil line and for the individual lines of five soil types, under air-dried condition as well as different coverage ratio, through the determination of the line parameters. As coverage of ratio soy bean increases, features of soil reflectance decrease and those of plant reflectance become more and more apparent. In proportion to coverage ratio, near-infrared reflectance increased and visible reflectance decreased.

#### I. 서론

도시화와 산업화의 급속한 발전은 이상기온과 지구온난화 현상의 원인이 되고 있으며, 물 사용 증가를 가속화하여 전 세계적으로 물 부족 문제를 야기하고 있다. 최근에 자주 발생하고 있는 가뭄과 홍수는 작물의 생육과 밀접한 관계를 갖는 것으로 일상생활에는 고온과 건조 등으로 나타나 동물에게는 물론 농작물에도 많은 피해를 입히고 있다. 특히, 고온과 건조 등은 녹색식물의 고사와 작물의 기력을 저하시켜 작물의 고사원인이 되기도 한다. 고사원인으로

는 열과 물 등에 의한 스트레스 작용으로 생장되나 그 메커니즘이 밝혀지지 않아 해결해야 할 과제로 남아있다 (Derek, 2001). 이와 함께 국지성 강우와 봄철의 한해는 농경지의 건조, 사막화를 진행시켜 농업생산환경의 변화를 가속화하고 있다. 이러한 환경변화가 농업생태계에 미치는 영향을 평가하고 이에 대한 대책 마련을 위해서는 토양과 작물의 식생정보를 취득하여 활용하는 방법이 매우 유용하리라 생각된다. 또한, 최근 들어 빈번하게 발생하는 산불은 산림생태계 변화는 물론 그곳에 서식하고 있는 동식물과 주변환경에 미치는 영향이 커 농림자

\* 충북대학교 농과대학(jhpark@cbucc.chungbuk.ac.kr)

\*\* 충북대학교 대학원

\*\*\* 농업기반공사 농어촌연구원

키워드 : 분광반사율, Remote Sensing (RS), 식생피복률, 식생정보, 정규화식생지수

원과 생태계 관리에 적합한 방법모색이 요구되고 있다. 이러한 현실을 감안하여 생태계관리에 활용할 수 있는 방법중의 하나가 Remote Sensing (이후, RS) 기법일 것이다 (Galvao et al., 1998). 또한 앞으로의 환경변동에 따른 식생변화의 예측과 영향을 조사하기 위해서는 식물들의 광합성작용에 의한 수분의 이동과 소비를 보다 정확하게 추정하고 작물에 적합한 수분공급체계의 마련 등이 이루어져야 될 것이다. 이를 위해서는 각 작물에 관한 정확하고 비교 가능한 현장 식생 등의 모니터링 자료취득이 필요할 것이다.

이와 같은 점에 기초하여 본 논문에서는 RS 기법을 이용 식생정보 추출에 관한 적절한 모니터링 방법을 찾아내기 위하여 우리나라의 보편적 농작물인 콩을 대상으로 콩잎의 분광반사 특성을 측정하고 그 검토결과와 식생의 피복 정도에 따른 식생정보 추정방법을 제시하는데 그 목적을 두었다.

## II. 실험개요 및 방법

### 1. 분광반사측정

지구상에 존재하는 모든 물체는 그 종류 및 상태에 따라 고유의 전자파 반사특성을 가지며, 그 물체로부터 반사되어 나오는 전자파 에너지를 측정함으로써 작물의 특징을 찾아낼 수 있을 것이다. 이러한 전자파 중 RS에 이용되고 있는 파장은 자외선 일부 (300~400 nm)와 가시광선 (400~700 nm), 적외선 일부 (700~1,400 nm) 및 마이크로파 (1 mm~1 m) 등이다. 이 때 지구상의 센서에 입사되는 분광반사에너지는 측정일시, 측정시간대, 측정높이 등에 따라 서로 다르므로 여기서 발생하는 오차를 최소화하기 위해 다음의 반사율 개념을 사용하여 에너지의 양이 아닌 비로 정리하였다.

본 실험에서는 Fig. 1, Photo 1과 같이

Spectro-radiometer에 Telescope를 연결하여 측정과장 범위를 300~1,100 nm, 측정간격을 10 nm로 하여 분광반사 에너지를 측정하였다. 이 때 반사율 계산은 표준 백색반사판에 입사되는 입사전자파를 100으로 하고 시료에 입사하여 반사되는 에너지를 측정하여 그 비로 계산하였다. 분광반사율  $R(\lambda)$ 을 식으로 나타내면 식(1)과 같다.

$$R(\lambda) = I_a(\lambda) / I_r(\lambda) \quad (1)$$

즉, 표준 백색판의 반사 전자파에너지  $I_a(\lambda)$ 에 대한 시료의 반사 전자파에너지  $I_r(\lambda)$ 의 비

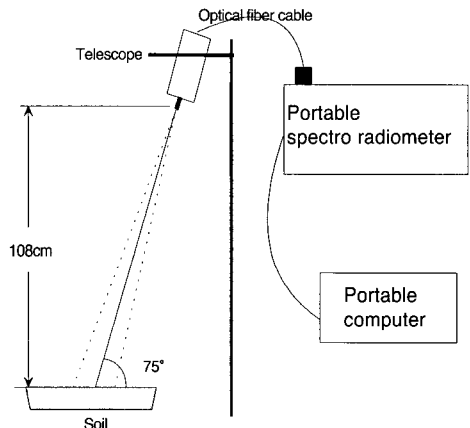


Fig. 1. Schematic drawing of apparatus used to measure spectral reflectance

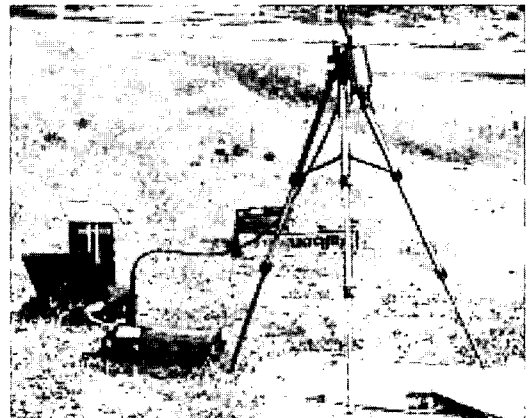


Photo 1. Field measurements of spectral reflectance

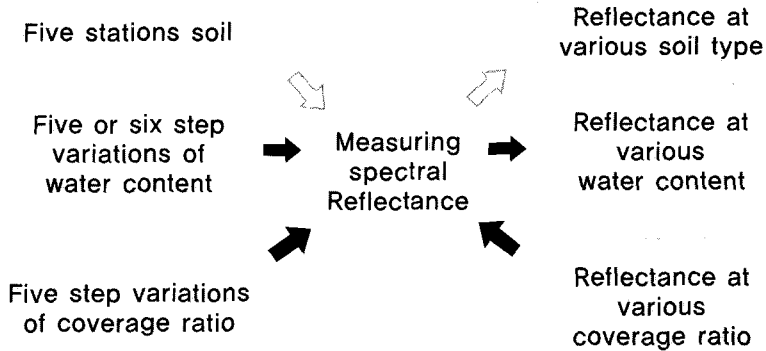


Fig. 2. Simplified schematic of spectral reflectance measurements

Shape of covering	Coverage ratio(%)
	0
	25
	50
	75
	100

Fig. 3. Vegetation coverage ratio in bean leaf

본 연구에서 실시한 분광반사 측정과정을 도식화하면 Fig. 2와 같다.

## 2. 재료의 특성

토양의 분광반사특성은 Table 1에 제시한 토양을 채집하여 자연함수비조건에서 측정하였다. 토양의 분광반사 특성은 Fig. 5~9의 경우 식생피복률이 0%인 경우와 같다. 사용 토양의 토양함수비와 토양특성, 입도분석결과를 간단하게 정리하면 Table 1과 같다.

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

Sampling Soil	Classification	Sampling site	Water content (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
Type 1	Sand	Miho river	0.15	100	0	0
Type 2	Loam	Ochang A	16.57	52.83	38.11	14.72
Type 3	Sandy loam	Cheongju	27.32	67.31	30.17	2.52
Type 4	Loam	Ochang B	25.46	36.33	40.57	23.10
Type 5	Silty clay loam	Mehyang	64.92	6.97	66.24	26.79

를 측정할 분광반사율은 토양과 콩잎을 이용한 식생정보 추정에 같은 방법으로 측정하였다. 측정은 구름이 없는 맑은 날을 택하여 오전 10:30부터 오후 2:30까지 측정하였으며 측정 횟수는 3회 측정하여 평균값을 사용하였다.

작물의 분광반사 측정은 식물의 분광반사 특성의 기초데이터 수집을 위하여 우리나라의 보편적 작물인 콩잎을 이용하였다. 자연조건에서의 식생피복률은 계절변화와 작물의 성장조건, 지형조건에 따라 변하므로, 콩잎을 토양시료

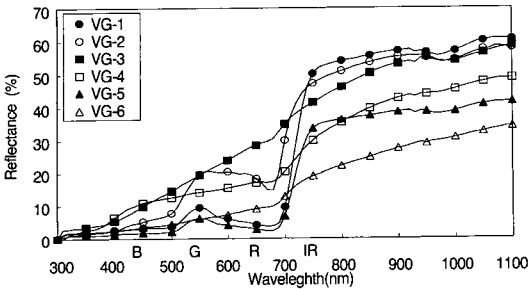


Fig. 4. Variations of reflectance spectra from six selected plots of paddy field and river side (Vegetation)

위에 일정비율로 피복한 다음 식생의 분광반사율을 측정하였다. 피복형태는 Fig. 3과 같이 0~100%까지 5단계로 변화시켜 분광반사 스펙트럼을 조사하였다.

### Ⅲ. 실험결과 및 고찰

#### 1. 자연상태 식물의 분광반사 특성

먼저 자연상태 식물들의 분광반사 특성을 알아보기 위해 기초 조사를 실시하였다. Fig. 4는 충북 청원군 강외면 오송리 둘다리못 주변 식물에 대한 분광반사를 측정하여 나타낸 것이다.

VG-1은 초장 10 cm의 썩에 관한 반사율을, VG-2는 논에 있는 추수직전의 벼를, VG-3은 수확하여 말리고 있는 벼 낱알에 관한 반사율을 나타낸 것이다. VG-4는 배수로 주변에 자생하는 억새풀을, VG-5는 논둑에 있는 토끼풀의 분광반사 특성을 나타낸 것이다. VG-6은 하천제방 가까이에 자생하는 초록과 갈색을 나타내는 풀로 갈색이 약간 더 많은 초장 15 cm의 풀에 관한 반사특성을 나타낸 것이다.

VG-3의 벼 낱알과 같이 건조한 부분이 많은 경우 반사율은 가시광과장대에서도 높게 나타나며 파장증가와 함께 반사율이 일정하게 증가하는 경향을 보인다. 또한, VG-4와 같은 억새풀도 가시광대에서 다른 식물에 비해 높은 반

사특성을 나타낸다. 식물의 분광반사 특성이 낮은 활엽수에서 침엽수로 변할수록 식물이 갖는 고유의 반사특성보다 잎 사이로 반영되는 주변환경 즉, 토양의 성질이나 물과 같은 주변인자의 분광반사 특성의 영향이 커지게 된다. 특히, VG-6은 초장 15 cm의 가는 잎으로 구성되어 있기 때문에 풀 밑 모래의 반사특성이 크게 작용하여 다른 식물의 분광반사 특성과 크게 다르게 나타난다.

여기에서 알 수 있듯이 자연에 존재하는 식물의 분광반사 특성은 대체적으로 가시광대에서 반사율이 낮고 가시광대와 근적외선대의 경계에서 피복이 형성되고 급격히 반전되어 근적외선대와 중간 적외선대에서 높은 반사율을 나타낸다 (Carlson et al., 1990.). 이것은 식물의 잎이 가지고 있는 색소가 가시광대에서 선택적으로 흡수되기 때문에 반사가 줄고 근적외선대에서는 잎을 구성하는 요소 즉, 연조직 등에 의해 강하게 반사되어 분광반사율이 증가하는 것으로 해석된다.

#### 2. 식생피복률 변화에 따른 분광반사 특성

작물이 재배되는 논밭 등에서 취득한 RS 데이터는 토양과 작물에 관한 분광반사 특성이 혼재하기 때문에 목적에 따라 불필요한 정보를 제거하고 필요한 정보를 추출하는 과정이 필요하다 (Richardson et al., 1997; Walter-shea et al., 1990). 특히, 경작지에는 다양한 피복조건이 존재하기 때문에 이에 대한 정보를 알아둘 필요가 있으며 이들 피복조건 변화에 따른 작물의 성장과정의 평가와 수확량의 예측, 병충해의 영향을 파악하여 대비할 필요가 있을 것이다. 그 기초조사로, 우리 나라의 논, 밭, 하천에 많이 분포하고 있는 토양을 이용하여 식생 피복조건 변화에 따른 분광반사특성을 조사하였다.

Fig. 5~9는 Table 1에 제시한 각 토양에 대해 식생피복률을 0%에서 100%까지 변화시

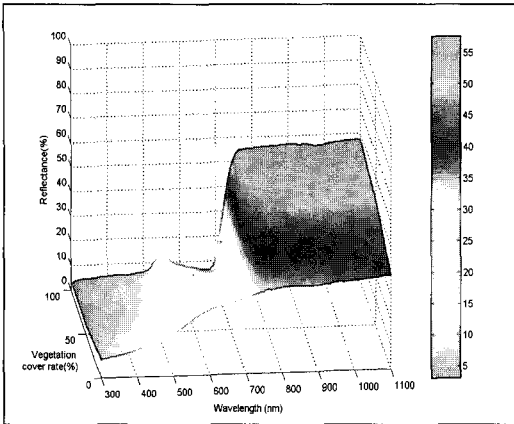


Fig. 5. Reflectance of Type 1 for different coverage ratio

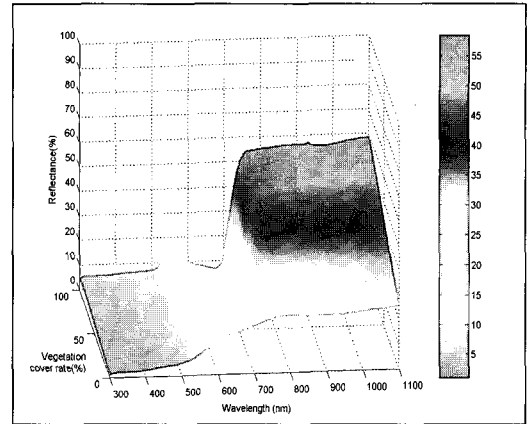


Fig. 6. Reflectance of Type 2 for different coverage ratio

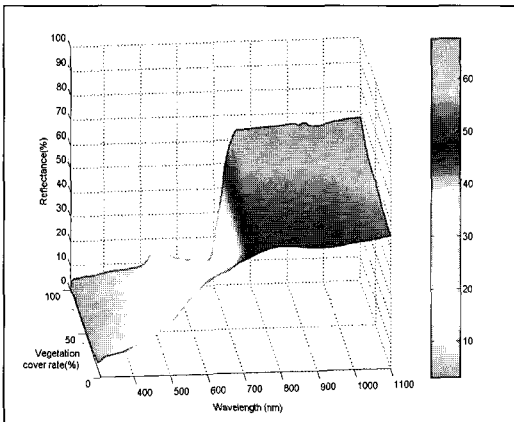


Fig. 7. Reflectance of Type 3 for different coverage ratio

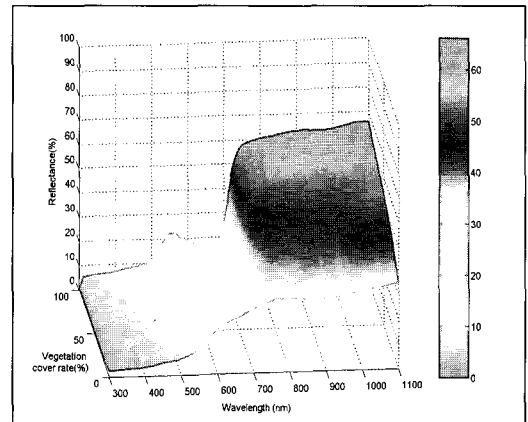


Fig. 8. Reflectance spectra of Type 4 for different coverage ratio

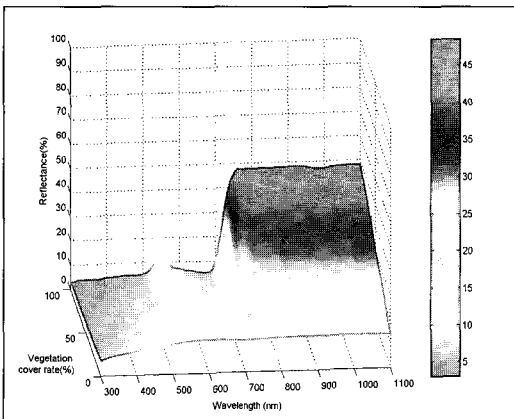


Fig. 9. Reflectance of Type 5 for different coverage ratio

켰을 때의 분광반사곡선을 나타낸 것이다. 그림과 같이 모든 토양조건에서 식생피복률이 0%에서 100%까지 증가함에 따라 분광반사곡선은 토양의 분광반사에서 피복에 따른 식생 조건의 분광반사특성으로 변화하게 된다. 전반적으로 식생피복률이 증가할수록 가시광선 파장대에서는 녹색 잎의 작용에 의해 분광반사가 낮아지고, 근적외선 파장대에서는 식물 근조직의 영향으로 분광반사율이 높아진다.

그림과 같이 동일한 식생조건에도 토양에 따라 서로 다른 변화 패턴을 보인다. 이는 식생의 피복정도에 따른 식생 아래 토양의 노출비에

의해 일정 비율로 토양과 식물이 갖는 분광반사곡선 형태가 혼합되어 가는 것을 의미한다. 그 특성을 정리하면 다음과 같이 3가지 유형으로 분류할 수 있다.

Fig. 5 모래 (Type 1)와 Fig. 7 사양토 (Type 3)의 경우 soil line (Fukhara, 1979)을 기준으로 식생피복률의 증가에 따라 가시광의 낮은 파장대에서는 분광반사율은 낮아지며 녹색 (G)과 빨강 (R)파장대에서 분광반사율 변화 폭은 증가한다. 이후 가시광대와 근적외 (IR) 파장대의 경계를 나타내는 720 nm 지점을 한지로 반사율은 반전하여 근적외 (IR) 파장대에서는 피복률이 높을수록 반사율은 높아진다. 이때 Type 1의 경우 근적외 (IR) 파장대에서 식생피복률의 증가에 따른 반사율의 변화 폭이 다른 토양에 비해 매우 적다. 이는 모래 (Type 1)가 본래 가지고 있는 근적외 (IR) 파장대의 반사율이 다른 토양에 비해 상대적으로 높기 때문에 식생피복률에 따른 근적외 (IR) 파장대에서의 반사특성이 상대적으로 작은 차이를 보이는 것으로 해석된다.

Fig. 6과 8의 경우 식생피복률 변화에 따른 분광반사율이 반전되는 피봇이 2개소 (녹색 (G)파장대와 720 nm 지점) 존재한다. 식생피복률의 증가에 따라 녹색 (G)파장대 전과 720 nm 지점 이후는 분광반사율이 높아지며 녹색 (G)파장대와 720 nm 지점 사이에서는 식생피복률이 낮을수록 높은 분광반사특성을 보였다.

Fig. 9의 경우 식생피복률 변화에 따른 분광반사율이 집중되는 지점이 1개소 반전되는 피봇이 1개소 (720 nm 지점) 존재한다. 식생피복률의 증가에 따라 720 nm 지점의 피봇을 전후하여 변화하는데 피봇전은 분광반사율이 낮아지며 720 nm 지점 이후는 분광반사율이 높아진다. 이 때 720 nm 지점 이전은 반사율

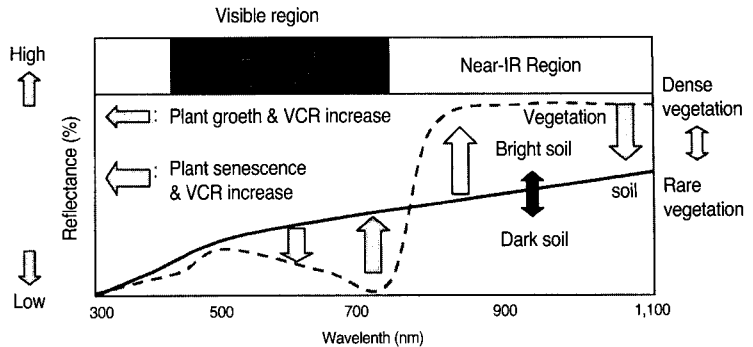


Fig. 10. Schematic representation of the changes in plant canopy reflectance

변화비가 적으며 이후는 매우 크다. 이는 Type 5의 토양이 나타내는 soil line이 매우 낮은 형태의 분광반사곡선을 형성하는 것에 기인한 것으로 해석된다. 이와 같이 식물의 분광반사 특성은 토양의 분광반사 특성을 기준으로 가시광파장대에서 낮은 분광반사 특성을 보이거나 근적외파장대에서는 식물의 근조직의 영향으로 높은 반사특성을 나타낸다. 또한, 토양 식생피복률의 변화에 따른 반사특성은 가시광선과 근적외선의 경계 파장대에서 급격하게 변화하는 피봇을 형성하며 반사율은 급격히 반전된다. 이는 식물이 구성하는 색 (가시광파장대)과 섬유질 근조직 (근적외파장대)의 반사특성의 영향으로 해석된다.

이와 같은 결과를 이용하여 토양과 식물간에 형성하는 반사율변화특성을 도형화하면 Fig. 10과 같이 나타낼 수 있을 것이다. 그림과 같이 토양의 밝기정도에 따른 반사율변화특성은 밝은 토양일수록 근적외파장대에서 식생피복률의 변화비는 작아지며 어두운 토양일수록 변화비가 커지는 특징을 나타낸다. 또한 식생피복률이 높을수록 soil line에서 멀어지는 특징을 보였다.

### 3. 토양과 작물의 식생정보 추출 모형

지표면에 다양한 피복형태로 분포하는 작물

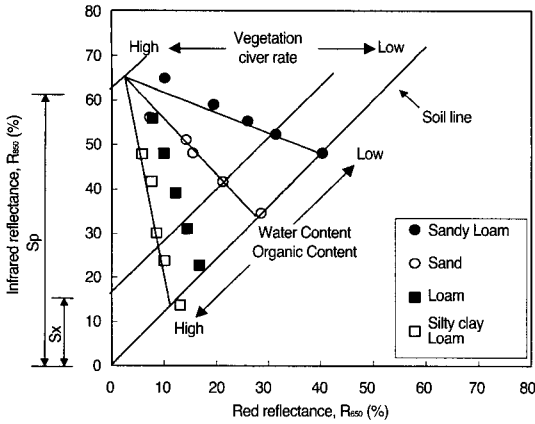


Fig. 11. Relationship between  $R_{650}$  and  $R_{850}$  at various types

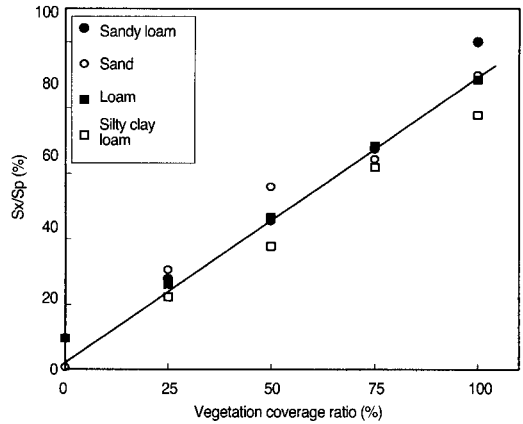


Fig. 12. Relationship between  $S_x/S_p$  and coverage ratio

들의 식생정보를 정확하게 파악하기 위해서는 피복율에 따른 특성 파악이 무엇보다 중요하다. 따라서, RS 기법에 의한 토양의 분광반사 특성 즉, soil line을 이용하여 식생피복율의 변화에 따른 식생정보 추출 방법을 모색하였다.

본 연구에서 취득한 자료에 기초하여 정리하면 토양상태가 같을 경우 식생 0%를 의미하는 soil line에서 식생 100%로 점진적으로 변화할 경우 Fig. 11과 같이 한 점 P에 수렴해 간다. 토양과 식물에 따라 정도의 차이는 있으나 토양과 식생정보의 표현방법은 거의 같으므로 이 성질을 이용하여 식생에 관한 정보추출방법으로 사용하였다. 이 방법은 모든 토양의 식생 피복률이 달라질 경우 soil line에 대해 일정비율로 변화해 가는 성질을 이용하는 것이다. 즉, 토양 위 작물의 피복상태에 따라 soil line과 평행한 선이 나타나므로, 평행 이동하여 나타난 soil line을 연장하여 y축과 만나는 좌표를 이용한다. 그림과 같이  $S_p$ 를 soil line의 y절편에서 수렴점 P로 평행하게 이동하여 만드는 y절편까지의 거리,  $S_x$ 를 soil line의 y절편에서 식생지수 x%점이 soil line과 평행 이동하여 만드는 y절편까지의 거리로 한다. 이 두 직선의 비  $\frac{S_p}{S_x}$ 를 구하여 이 값과 식생피복률과의 관계를 나타내면 Fig.12와 같다. 각 토양에 따

라 양자간에 약간의 차이는 있으나 서로 높은 상관관계를 나타낸다.

soil line식을 이용하여 식생피복률  $VC_x$ 에 대해 정식화해 보면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$VC_x = \frac{(NIR_x - a R_x) - c}{(NIR_p - a R_p) - b} \quad (2)$$

여기서,  $VC_x$ 는 식생피복률,  $NIR_x$ ,  $R_x$ 는 각각 식생 피복률 x%에서 파장 850 nm와 650 nm의 반사율,  $NIR_p$ ,  $R_p$ 은 각각 식생피복률 100%에서 파장 850 nm와 650 nm의 반사율을 a, b, c는 실험결과 얻어지는 상수이다.

식 (2)를 이용하면 역으로  $R_{650}$ ,  $NIR_{850}$  좌표에서 좌표점 ( $R_x$ ,  $NIR_x$ )에 대응하는 식생피복률  $VC_x$ 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 정보를 추출할 수 있을 것이다. 즉, 여기서 사용되고 있는  $R_{650}$ ,  $NIR_{850}$ 은 지구관측위성의 밴드들과 밀접한 관계를 갖고 이용되고 있어 위성자료를 이용한 RS 데이터 해석에 매우 중요하다. 특히, LANDSAT TM데이터를 이용할 경우 650 nm의 반사율 (R)은 Band 3(파장

Table 2. NDVI at vegetation coverage ratio

Classification	coverage ratio (%)	NDVI	Classification	coverage ratio (%)	NDVI
Type 1 (sand)	0	0.096	Type 4 (loam)	0	0.152
	25	0.324		25	0.366
	50	0.513		50	0.525
	75	0.564		75	0.656
	100	0.772		100	0.757
Type 2 (loam)	0	0.133	Type 5 (silty clay loam)	0	0.025
	25	0.310		25	0.407
	50	0.404		50	0.560
	75	0.498		75	0.693
	100	0.616		100	0.786
Type 3 (sandy loam)	0	0.094			
	25	0.250			
	50	0.419			
	75	0.494			
	100	0.730			

630–690 nm)에, 850 nm의 반사율 (NIR)은 Band 4 (파장 760–900 nm)의 파장대에 해당하므로 식생피복을 추정에 적용이 가능할 것이다(Price et al., 1992; Suits, 1972).

식물은 계절의 변화와 기후조건에 따른 건조 정도에 따라 식물의 색과 반사특성에 큰 차이를 보인다. 식물이 가지고 있는 활성을 파악하는 것은 식물의 생육정도과 작물의 생산량 예측 및 자연의 환경변화 예측 등에 널리 이용될 수 있을 것이다. RS를 이용하여 식물의 활성 정도를 알아보기 위한 지표로 Rouse 등 (1974)이 제안한 정규화 식생지수 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)가 널리 이용되고 있다.

$$NDVI = \frac{NIR_{850} - R_{650}}{NIR_{850} + R_{650}} \quad (3)$$

NDVI는 다음과 같이 식생에서  $0 \leq NDVI \leq 1$ 의 값을 가지며, 토양에서  $0 \leq NDVI \leq 1$ 을,

물에서  $-1 \leq NDVI \leq 1$ 의 범위 값을 갖는다.

본 실험에서 얻어진 결과를 각 토양에 관해 식생피복율을 변화시켰을 경우의 NDVI에 관해 정리해 보면 Table 2와 같다.

#### IV. 결론

RS 기법을 이용하여 식생에 관한 분광반사 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 식물의 분광반사 특성은 가시광 파장대에서 낮은 반사특성을 보이거나 근적외 파장대에서 매우 높은 반사특성을 나타낸다. 이는 식물이 구성하는 색(가시광 파장대)과 섬유질의 근조직(근적외 파장대)의 반사특성이 크게 영향을 미치는 결과로 해석된다.
2. 토양위 식생피복율의 변화에 따른 반사특성은 가시광선과 근적외선의 경계파장대에서 피복을 형성하며 급격히 변화하는 특징을 보인다. 피복 전후의 변화 패턴에



서 토양조건에 따라 3가지 유형으로 분류되는 것을 확인할 수 있다.

3. 토양의 정보추출과 식생피복률의 영향을 알아본 결과 가시파장대의 650 nm (Red) 와 근적외파장대 (NIR)의 850 nm의 두 파장대간에는 매우 높은 상관관계를 나타내며, 식생피복율의 변화에 따라 일정한 비율로 변화하는 특징을 보인다.
4. 토양과 식생피복률에 따른 식생정보 추출 방법을 파악하기 위하여 서로 다른 토양에 식생이 피복되어 있을 경우 토양과 식생정도 판별에 이용 가능한 식생피복률 추정식을 제시하였다.

#### 참고문헌

1. Carlson, T. N., Perry, E. M., and Schmugge, T. J., 1990, Remote estimation of soil moisture availability and fractional vegetation cover for agricultural fields, *Agric. For. Meteorol.* 52, pp. 45-69.
2. Derek R. Peddle, 2001, Reflectance processing of remote sensing, *Computers & Geoscience*, Vol.27 No.2, pp. 203-213.
3. Fukuhara M., 1979, Machine Processing of remotely sensed data symp., LARS, Purdue Univ., pp. 242-251.
4. Galvao L. S. and I. Vitorello, 1998, Variability of laboratory measured soil lines of soils from Southeastern Brazil, *Remote Sens. Environ.*, Vol. 63, pp. 166-181.
5. Price, J. C., 1992, Estimating vegetation amount from visible and near infrared reflectance, *Remote Sens. Environ.*, 41, pp. 28-34.
6. Richardson, A. J., and Wiegand, C. L., 1997, Distinguishing vegetation from soil background information, *Photogramm. Remote Sens.*, 43, pp. 1541-1552.
7. Rouse, J. W., Hans, R. H., Schell, J. A., Peering, P. W., & Harlar, J. C., 1974, Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation, Type III, Final Report, NASA/GSF, Greenbelt, MP, p. 371.
8. Suits, G. H., 1972, The Calculation of the reflectance of a vegetation canopy, *Remote sens. Environ.* 2, pp.117-125.
9. Walter-shea, E. A., and Biehl, L. L., 1990, Measuring vegetation spectral properties, *Remote Sens. Rew.* 5(1), pp. 179-205.