

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

박종화¹⁾ · 신용희²⁾ · 이상혁²⁾

¹⁾충북대학교 농과대학 농공학과 · ²⁾충북대학교 대학원

Spectral Reflectance Characteristics for Five Soils at Chungbuk
Prefecture and Tideland Soil Using Remote Sensing Technology

Park, Jong-Hwa¹⁾ · Shin, Yong-Hee²⁾ and Lee, Sang-Hyuk²⁾

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

²⁾Graduate school, Chungbuk Nat'l Univ.

ABSTRACT

The deterioration of agricultural environment, which is characterized by dryness and desertification of land, is one of the main reasons which explain the recent decrease of land productivity. To solve these environmental problems, it is very important to make clear the mechanism between soil, water, vegetation and temperature.

The main objective of this study is to provide a soil surface information, which represent a soil reflectance spectrum, by remote sensing technology.

The soil reflectance of the soil was measured using a spectro-radiometer in the wavelength range from 300nm to 1100nm.

The results suggest that the reflectance properties of soils are related to their mineral composition and soil moisture. Increasing soil moisture resulted in an decrease in the rate of reflectance which leads to parallel curves of soil reflectance spectra.

Key words : soil reflectance spectra, spectral characteristics, soil moisture, remote sensing, wavelength.

I. 서 론

모든 물질은 물질 특유의 전자파를 방사, 흡수, 투과 및 반사하며 이 전자파에 대한 물질 고유의 파장 특성을 분광특성(스펙트럼 특성 :

spectral characteristics)이라 한다. 지구관측위성의 광학센서는 태양으로부터 주사되는 전자파 에너지가 지표면의 토양과 식생, 물 입자 등에 의해 흡수·산란·투과 및 반사되는 에너지를 감지한다. 센서에 의해 감지된 전자파에너지는

지표면 물질조성의 이질성에 의해 각각 서로 다른 분광특성을 나타낸다(Asrar, 1989; Campbell,1987). 센서입사 전자파에너지에 가장 크게 영향을 미치는 지표면과 물체에 관한 반사율을 정확하게 파악해 두는 것은 농업환경에 대한 정보파악과 예측에 무엇보다 중요하다.

지구상의 수많은 토양은 각각 고유의 분광반사 특성을 가지며 이러한 토양의 분광반사특성 자료들을 사전에 취득해 둔다면 원격탐사(이후, RS)에 접목시켜 보다 쉽게 토양분포를 알 수 있을 것이다(Stoner,1981; 秋山侃,1996). 또한 지구의 온난화와 이상기온 등에 의해 발생하는 범지구적 사막화현상의 진행이나 봄철에 자주 발생하는 황사의 예상 등을 현장 조사를 통하지 않고 간접적으로 알아볼 수 있을 것이다. 특히 황사의 발생횟수는 날로 증가추세에 있으며 그 기간도 길어지고 있다. 이러한 요소가 농업생산환경에 미치는 영향은 보고되고 있지는 않으나 매우 클 것이다. 이러한 요인으로 인해 작물과 토양, 환경과 인류건강에 미치는 영향은 매우 크며, 그 원인중의 하나로 중국대륙의 물 부족 문제와 가뭄, 사막화로 이어지는 토양의 황폐화 등과 깊은 관련을 갖는 것으로 자원관리와 환경문제관점에서 이와 관련된 문제의 검토와 해결책 모색이 필요하다(박종화,1996; Coleman,1987).

한편, 도시화와 산업화에 따른 농업환경의 변화는 농업생산기반에 많은 영향을 주고 있다. 이러한 환경변화가 농업생태계에 미치는 영향을 평가하고 이에 대한 대책마련을 위해서는 다양하게 분포되어있는 토양에 관한 정보를 수집하여 분석할 수 있는 기법마련이 필요하다(Muller,2000; 福原,1986).

본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 농업의 생산·관리활동에 이를 적용할 수 있도록 RS 기법을 이용하여 토양에 관한 기초자료를 수집하고 그 정보추출방법을 제시하고자 한다.

II. 실험계획 및 방법

1. 분광반사측정 및 측정방법

토양의 반사율 계산은 태양에너지가 지표에

도달하여 센서에 입사되는 입사전자파를 100으로 하고 시료에 입사하여 반사되는 양을 측정하여 그 비를 반사율R(λ)로 하였다. 이 관계를 식으로 나타내면 식(1)과 같다.

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

여기서, $I_s(\lambda)$ 는 시료의 반사 전자파에너지이며 $I_t(\lambda)$ 는 표준 백색판의 반사 전자파에너지이다.

본 연구에서는 7가지 샘플토양에 대해 Spectroradiometer (LI-1800, 측정파장범위 : 300nm ~ 1,100 nm, 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.

토양 위에 작물이 전혀 없는 조건 즉, 순수하게 토양으로만 구성되었을 때의 분광반사율은 다음의 두 가지 방법으로 측정하였다. ① 충북지방에 많이 분포하고 있는 화강풍화토를 비롯한 5개 지점 토양에 대해 자연함수비 상태의 분광반사율을 측정. ② 토양수분량의 변화는 토양을 자연 건조한 다음 함수비를 6~7단계로 조절하여 분광반사율을 측정.

2. 재료 및 공시토양의 특성

토양의 분광반사특성은 토성에 따라 다를 것으로 생각되어 Figure 1과 같이 충북지방을 중심으로 토양특성이 서로 다른 7개 지점의 토양

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

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

Soil Sample	Sampling site	Classification	Legend
Soil 1	Miho river	Sand	●
Soil 2	Ochang A	Loam	■
Soil 3	Cheongju	Sandy loam	◆
Soil 4	Ochang B	Loam	□
Soil 5	Boeun	Silty loam	○
Soil 6	Meheang	Silty clay loam	△
Soil 7	Sonchang	Silty clay loam	▲

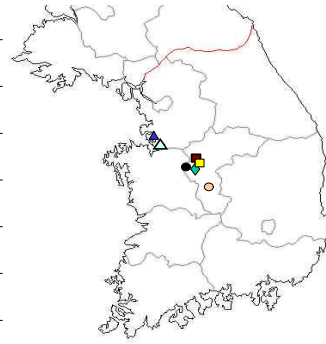


Figure 1. Map of study sites showing the soil sampling stations

을 채취하여 조사하였다. 내륙토양으로는 충북 지역의 강과 들 그리고 산에서 채취한 시료를, 연안지역의 토양으로는 서해안의 매항리와 선창포구에서 채취한 갯벌토양을 시험시료로 하였다. 각각의 시료에 대한 자연함수비와 입도 분석 결과를 나타내면 Table 1과 같다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 자연함수비 조건 토양의 분광반사특성

7개 지점 토양에 대해 자연함수비 조건에서 측정된 결과를 파장(wavelength, nm)과 반사율(reflectance, %)의 관계로 나타내면 Figure 2와 같다. 모든 토양의 분광반사율은 가시광대에서

근적외 파장영역까지 파장이 길어질수록 분광 반사율이 높아지는 특징을 보인다. 그 중에서도 Soil 1의 모래는 파장이 길어짐에 따라 반사율도 일정하게 높아져 근적외 파장(1100nm)에서 37%를 나타냈다. Soil 2~5의 립과 화강암 풍화토는 가시광대에서 비교적 반사율이 낮으나 근적외파장대로 갈수록 높아져 17~27%의 범위에 분포한다. Soil 6,7의 갯벌 토양은 다른 토양에 비해 매우 낮은 10%이하의 반사율을 나타냈다. 또한 각 반사율곡선의 변곡점에 해당하는 파장은 500nm 전후의 Green과 Blue의 경계파장으로 나타났다. 이 변곡점을 기준으로 500nm 전의 기울기패턴은 모든 토양에서 일정하나 이후는 토양에 따라 다른 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 Table 1에 제시한 각 토양 구성 성분의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

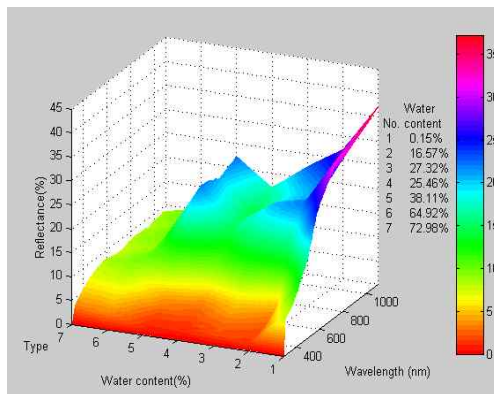


Figure 2. Soil reflectance spectra for seven soils in the field

2. 함수비 변화에 따른 토양의 분광반사특성

토양의 분광반사율에 영향을 미치는 인자들 중에는 수분 함유량, 토양의 질감, 표면의 거칠기, 산화철의 유무 및 유기질 함유량 등이 있으며 이러한 요소들은 토양에 따라 각기 다른 특성을 보이며 토양을 구분하는 유용한 정보원이라 할 수 있다(Engman, 1991; Muller, 2000; Piech, 1984). 특히, 계절에 따른 토양의 수분함유량 변화가 작물의 식생에 큰 영향을 미칠 것으로 생각되어 이에 관해 검토하였다.

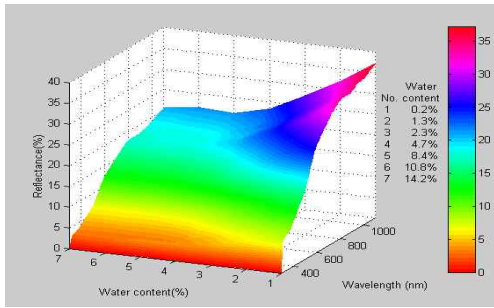


Figure 3. Soil reflectance spectra for Soil 1 at varying moisture contents

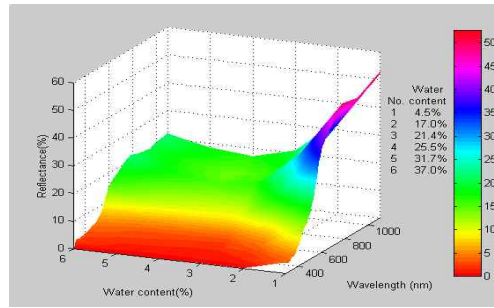


Figure 4. Soil reflectance spectra for Soil 2 at varying moisture contents

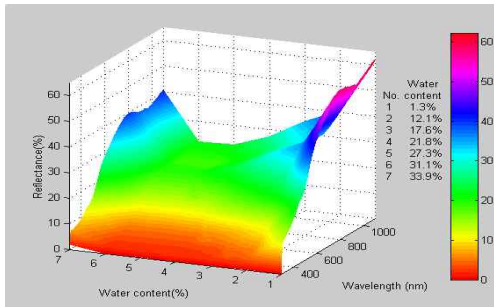


Figure 5. Soil reflectance spectra for Soil 3 at varying moisture contents

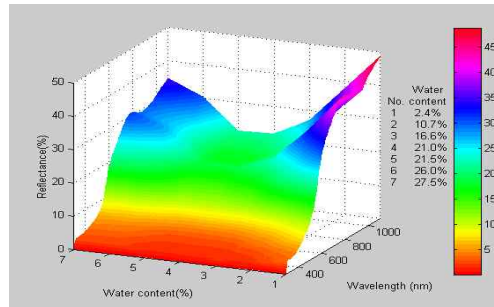


Figure 6. Soil reflectance spectra for Soil 4 at varying moisture contents

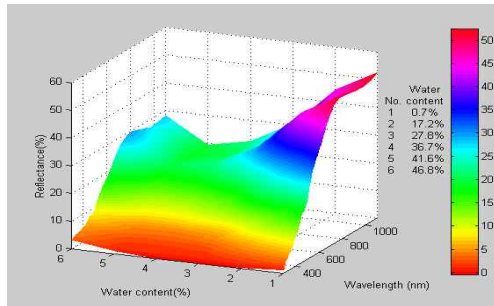


Figure 7. Soil reflectance spectra for Soil 5 at varying moisture contents

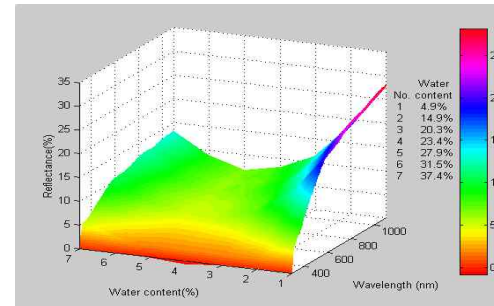


Figure 8. Soil reflectance spectra for Soil 6 at varying moisture contents

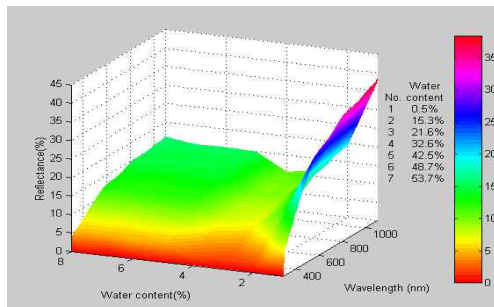


Figure 9. Soil reflectance spectra for Soil 7 at varying moisture contents

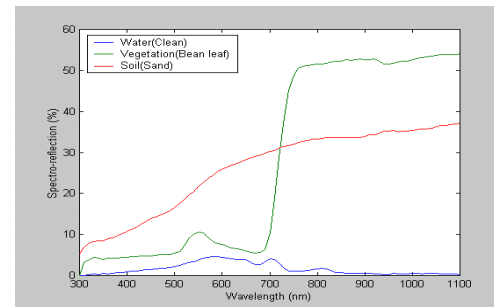


Figure 10. Spectral reflection characteristics of water, vegetation, soil

Figure 3~9는 토양의 함수비 변화에 따른 분광반사율의 변화를 그래프로 나타낸 것으로 모든 토양에서 토양함수비가 높아짐에 따라 반사율은 일정하게 낮아진다. 토양의 수분은 Figure 10과 같이 자연상태 물의 분광반사특성과 밀접한 관계를 가지며 일반적으로 가시광대 파장에서 식생과 토양보다 낮은 분광반사율을 보이거나 근적외 파장에서는 거의 반사되지 않고 흡수된다. 따라서 토양함수비가 증가하면 토양의 분광반사특성에 물이 갖는 분광반사특성이 영향을 미쳐 서로 혼합된 형태의 분광반사율을 나타낸다. 한편, 토양에 따라 함수비가 높아지면 그래프형태는 반사율이 일정량 낮아진 형태로 거의 같은 분광스펙트럼 패턴을 유지한다. 그러나, 토양에 따라(Soil 2,3,4,5,6,7) 함수비의 정도 차이는 약간 있으나 반사율이 낮아지다가 다시 높아지는 함수비 범위가 존재하며 7개의 토양에서는 함수비 30% 전후로 나타났다. 이는 측정 당시의 토양 표면상태에 따른 영향으로 사료된다. 즉, 낮은 함수비일 경우 적은 물에 의해 입자가 결합되므로 토양표면은 약간 거친 상태가 되어 흡입자 사이에서 반사되어 서로 간섭하므로 결과적으로 전체적인 토양의 분광반사율이 낮아진다. 그러나, 30% 전후의 함수비가 되면 토입자의 결합이 물로 연결되므로 공극이 적게 되어 빛의 산란과 간섭이 줄어들어 일정 함수비 증가분까지 반사율이 증가한다. 이와 같이 함수비가 30% 전후일 때 나타나는 현상은 토양과 물의 반사특성이 서로 특이하게 작용하는 한계점으로 토양표면의 성질에 따른 특징을 잘 표현해 주는 것이라 할 수 있다. 이와 같이 적은 양의 자료를 통해 토양을 정확히 구분 짓고 판별하기는 어렵지만 본 연구에서 취득하여 조사한 토양을 분광반사특성에 의해 크게 분류하면 다음과 같이 세 종류로 구분할 수 있다.

- 하나는 Soil 1과 같은 모래의 반사특성은 함수비변화에 관계없이 파장이 높아질수록 반사율도 점진적으로 증가하는 형태.

- 하나는 Soil 2,3,4,5와 같은 톱과 사질톱, 실트톱의 반사특성으로 550nm이하 파장대에서 매우 낮은 반사율을 보이거나, 파장이 높아지면서

반사율이 약간씩 증가하는 형태.

- 하나는 Soil 6, 7과 같은 실트질 점토톱의 갯벌 토양으로 전파장대의 반사율이 낮은 형태이다. 특히, 유기물함량이 많은 토양이 갖는 분광반사곡선의 변화특성과 유사한 분광반사곡선 패턴을 나타낸다.

3. 토양정보추출 모형

토양에 대한 정보추출을 위한 모형으로 본 논문에서는 함수비 변화가 분광반사특성에 미치는 영향을 검토하여 모형화하여 제시하면 Figure 11과 같다. 토양의 분광반사율은 함수비가 많아질수록 가시광선과 근적외파장 영역의 반사율이 전체적으로 낮아진다.

동일한 토양에 대해 수분량 변화에 따른 특징을 알아보기 위해 분광반사곡선에서 변화가 일정하고 독특한 특징을 갖는 가시광 파장대의 빨강(650nm, 이후 R_{650nm})과 근적외파장대(850nm, 이후 NIR_{850nm})를 선택하여 분석하였다. R과 NIR 파장에 의한 토양의 반사율을 비교하면 식 (2)과 같이 일정한 비를 갖는 선형관계식이 나타난다.

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

여기서, NIR_{850nm} 는 근적외파장(NIR)850nm의 반사율, R_{650nm} 은 가시광선파장(R)650nm의 반사율이며, a, b는 실험결과 얻어지는 상수이다.

두 파장대가 형성하는 직선은 토양이 갖고 있는 기본특성을 나타내는 기준선으로 일반적으로 "Soil Line(토양선)"으로 정의되고 있다(Asrar (ed.), 1989). Soil line은 토양정보를 추출해낼 수 있는 토양의 중요한 분광반사특성이다. 본 연구에서 조사한 각 토양에 관한 Soil line을 정리한 결과 매우 상관성이 높은 직선회귀식으로 표현되었으며 실험 결과 얻어진 각 토양의 상수는 Table 2와 같다.

Table 2. Parameters of the soil line at seven soils

Sample	Classification	a	b	R ²
Soil 1	Sand	1.09	2.69	1.00
Soil 2,4	Loam	1.14	2.87	0.99
Soil 3	Sandy loam	1.10	4.56	0.99
Soil 5	Silty loam	1.11	5.37	0.99
Soil 6,7	Silty clay loam	1.17	0.33	0.99

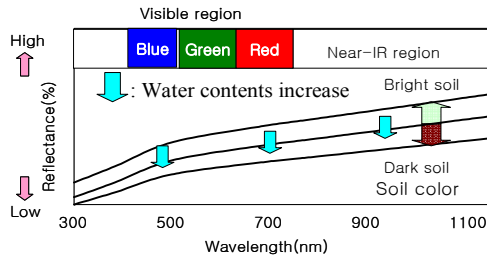


Figure 11. Pattern of soil reflectance spectra for increasing water content

Table 2를 이용하여 토양정보를 추출하기 위하여 조사지역 토양을 정리한 결과 크게 3그룹으로 분류되었다. 이 분류는 적은 양의 토양자료를 이용한 분류이지만 분광반사곡선 패턴에 따라 3가지로 분류되었던 특징을 잘 대변해주는 것이라 할 수 있다. 각 그룹에 대해 직선기울기와 근적외파장의 NIR 좌표로 정의되는 한계점으로 정리해 보면 다음과 같다.

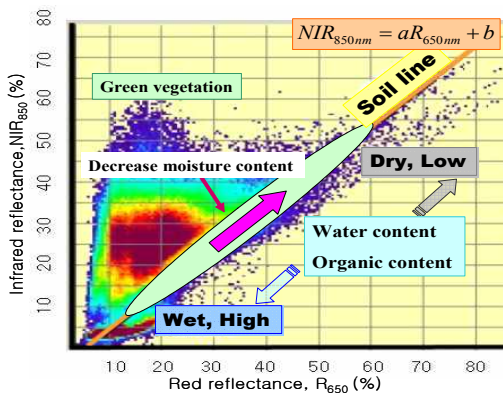


Figure 12. Illustration of soil line that contributes to the observed soil reflectance spectra

- Soil 1과 같은 모래

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

- Soil 2,3,4,5와 같은 롬, 사질롬, 실트질롬

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

- Soil 6,7과 같은 실트질점토롬(갯벌토양)

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

위와 같이 분류하였을 경우 직선기울기는 실트질 점토롬>롬, 사질롬, 실트질롬>모래의 순이 되며, 근적외 NIR의 좌표로 나타낸 한계점은 실트질 점토롬>모래>롬, 사질롬, 실트질롬 순으로 나타났다.

본 연구에서 얻어진 토양과 물에 관한 정보를 종합적으로 정리하여 나타내면 Figure 12와 같이 도시화될 수 있다.

IV. 결 론

본 논문은 RS기법을 이용하여 토양의 분광반사특성에 관한 기초자료를 수집하고 이를 해석하는데 목적을 두었다. 연구에서 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 토양의 분광반사특성은 토양의 종류에 따라 토양 고유의 분광반사곡선을 가지며, 가시광선과 근적외파장 범위에서의 분광반사곡선은 파장이 길어짐에 따라 거의 모든 토양의 반사율도 증가한다. 또한, 토양조성성분의 영향이 서로 다른 파장대에서 에너지의 흡수와 반사특성으로 반영되어 나타나는 것을 확인하였다.

2. 토양의 함수비변화에 따른 반사율은 함수량의 증가와 함께 감소하나 토양고유의 분광반사곡선을 그대로 유지하며 평행 이동하는 변화 특징을 나타낸다.

3. 토양정보추출을 위해 가시파장 영역의 650nm와 근적외 파장영역인 850nm를 각각 횡축과 종축으로 하여 그래프로 도시한 결과 Soil line이 형성되었고 서로 매우 높은 상관성을 보였다. 본 연구에서 사용한 토양은 분광반사곡선 패턴과 Soil line에서 크게 3가지형태로 분류되었다.

인 용 문 헌

- 박종화. 1996. 수문해석을 위한 광역유역내의 토양 및 식생정보 추출방법에 관한 연구 - 주로 위성 리모트센싱을 이용하여. 한국농공학회지 38(2) : 123-132.
- Asrar, G. (ed.). 1989. Theory and Applications of Optical Remote sensing. John Wiley and Sons. New York. 734.
- Campbell, j. B. 1987. Introduction to Remote Sensing. The Guilford Press. 384-395.
- 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.
- Engman, E. T. 1991. Applications of microwave remote sensing of soil moisture for water resources and agriculture. Remote Sensing of Environment 25 : 213-226.
- Mattikalli, N. M. 1997. Soil color modeling for the visible and near-infrared bands of Landsat sensors using laboratory spectral measurements. Remote Sensing of Environment 59 : 14-28.
- 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.
- Stoner, E. R., and M. F. Baumgardner. 1981. Characteristic variations in reflectance of soils. Soil Science Society of America Journal, 45 : 1161-1165.
- 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.
- 福原道一・齊藤元也, 1986. 리모트센싱 기술應用-土木調査-, 農業土木學會誌, 54 : 59-64.

接受 2002年 7月 20日