

## RS 기법을 이용한 토양수분과 토양 색에 관련된 토양의 분광반사

### Spectral Reflectance of Soils Related to the Interaction of Soil Moisture and Soil Color Using Remote Sensing Technology

박 중 화\*

Park, Jong Hwa

#### Abstract

Recent advances in remote sensing techniques provide the potential for monitoring soil color as well as soil moisture conditions at the spatial and temporal scales required for detailed local modeling efforts. Soil moisture as well as soil color is a key feature used in the identification and classification of soils. Soil spectral reflectance has a direct relationship with soil color, as well as to other parameters such as soil moisture, soil texture, and organic matter. We evaluate the influence of seven soil properties, soil color and soil moisture, on soil spectral reflectance. This paper presents the results obtained from the ground-truth spectral reflectance measurements in the 300-1100 nm wavelength range for various land surfaces.

The results suggest that the reflectance properties of soils are related to soil color, soil texture, and soil moisture. Increasing soil moisture content generally decreases soil reflectance which leads to parallel curves of soil reflectance spectra across the entire shortwave spectrum. We discuss the relationships between the soil reflectance and the Munsell Soil Color Charts which contain standard color chips with colors specified by designations for hue, value, and chroma.

*Keywords : Remote sensing(RS), Spectral reflectance, Soil color, Soil moisture, Soil line, Munsell color charts*

#### I. 서 론

지구 표면은 74%의 물과 26%의 풍화된 토양으로 구성되어 있으며 그 종류도 매우 다양하다. 토양은 다양한 토양 색과 수분조건으로 분포하고 생물의 서식지로서의 역할과 인간에게는 풍부한 수확물을 제공하고 있으며 각각의 토양은 고유의 분광반사 특성을 가진다. 육지의 자원과 생태계를 보존

\* 충북대학교 농과대학 농공학과  
\* Tel.: +82-43-261-2577  
fax: +82-43-271-5922  
E-mail address: jhpak7@cbucc.chungbuk.ac.kr

하고 관리하기 위해서는 토양에 관한 정확한 정보 파악이 매우 중요하다. 현실적인 필요성으로는 Remote Sensing(원격탐사, 이후 RS) 기법을 이용하여 토양의 분광반사특성 자료를 사전에 취득해 둔다면 토양의 식별, 토양목록 작성 및 토양지도 작성 등에 유용하게 활용할 수 있을 것이다.<sup>9),10)</sup>

자원관리 측면에 있어서도 중점이 수확유지에서 생태계유지로 바뀜으로써 복잡한 생태계기능의 공간적, 시간적 분석이 필요하게 되었으며 GIS와 RS는 이와 같은 분석에 도움을 주는 도구로 이용되고 있다. 지구 온난화와 사막화의 진행, 홍수 등에 의한 토사의 이동 등은 토양의 황폐화와 깊은 관련을 갖는 것으로 작물과 환경 및 인류건강에 미치는 영향이 매우 커 자원관리와 환경문제를 해결하기 위해서도 토양에 관한 다양한 검토와 조사가 필요하다.<sup>1),3),5)</sup> 그 중 토양을 판별하고 파악할 수 있는 요소로 토양수분량, 토양 색 등이 있다. 따라서 토양의 특성을 파악하고 자연함수비 조건에서의 토양 정보를 추출하고자 토양 판별에 이용되는 Munsell 색 도표<sup>6),7)</sup>와 토양의 분광반사특성에서 나타나는 토양선(Soil line)을 이용하여 검토하였다.

따라서 본 연구는 토양의 종류에 따른 토양수분량의 변화와 토양 색이 분광반사특성에 미치는 영향을 검토하고 그 특징을 추출하여 제시하고자 한다.

## II. 재료특성 및 측정방법

### 1. 재료의 특성

시료 토양은 충북지방을 중심으로 분포하는 토양 중 토양특성이 서로 다른 7개 지점의 토양을 채취하였다. 각각의 시료에 대해 자연함수비와 입도분석 결과를 삼각분류법으로 토성을 분류하여 제시하면 Table 1과 같다.

### 2. 측정방법

토양의 분광반사특성은 Spectro-radiometer (LI-1800, 측정파장역 : 300 nm ~ 1,100 nm, 측정 간격 : 2 nm)에 Telescope/Microscope을 연결하여 자연함수비 조건과 토양의 수분함량을 임의적으로 조정한 토양에 대하여 실외의 기상조건이 맑은 날 오전 11시부터 오후 2시까지 측정하였다.<sup>8)</sup>

분광반사특성에 이용되는 반사율은 태양에너지가 지표의 표준 백색판에 반사되어 센서에 입사되는 입사전자파 에너지  $I_i(\lambda)$ 을 100으로 하고, 시료에 입사하여 반사되는 에너지  $I_r(\lambda)$ 을 측정하여 그 비를 반사율  $R(\lambda)$ 로 하였다. 이 관계를 식으로 나타내면 식(1)과 같다.

Table 1 Soil classification and grain size distribution of seven station soils

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

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

여기서,  $I_s(\lambda)$ : 시료의 반사 전자파에너지,  $I_t(\lambda)$ : 표준 백색판의 반사 전자파에너지.

토양의 분광반사율은 먼저 우리나라에 가장 많이 분포하는 화강암 풍화토를 비롯한 7개 지점 시료에 대해 자연함수비 조건을 측정하고 검토하였다. 다음으로 토양 수분은 계절변화와 기후에 따라 수시로 변화하므로 이점을 고려하여 7개 토양을 자연건조 시킨 다음 토양함수비를 6~7단계로 조절하여 함수비변화에 따른 분광반사율을 측정 조사하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 자연함수비 조건 토양의 분광반사특성

7개 지점 토양을 자연함수비 조건에서 측정하여 파장(wavelength, nm)과 반사율(reflectance, %) 관계로 나타내면 Fig. 1과 같다. 토양의 분광반사율은 대부분 가시광선파장부터 근적외선 파장까지 파장이 길수록 분광반사율도 증가한다. 그 중에서도 Soil-1의 모래는 긴 파장일수록 반사율도 일정 비율로 증가하여 근적외 파장대에서 가장 높은 37%를 나타냈다. Soil-2~5의 롬계와 화강암 풍

화토는 가시광대에서 비교적 반사율이 낮으나 근적외 파장대로 갈수록 높아져 17~27%의 범위에 있다. Soil-6, 7의 갯벌 토양은 다른 토양에 비해 매우 낮은 10% 이하의 반사율을 보인다. 이와 같이 자연함수비 조건 토양의 분광반사곡선은 토양의 종류, 구성성분과 조직의 차이에 따라 각기 서로 다른 곡선을 형성한다. 토양 색에 의한 차이는 밝은 색 토양의 경우 반사율이 높으며 갯벌 토양과 같이 어두운 색의 토양은 전반적으로 낮은 분광반사율을 나타낸다.

#### 2. 토양수분량에 따른 토양의 분광반사특성

토양의 분광반사에 영향을 미치는 인자들 중에는 수분 함유량, 토양 색, 토양의 질감, 표면의 거칠기, 산화철의 유무 및 유기질 함유량 등이 있으며 토양을 구분하는 유용한 정보원이라 할 수 있다.<sup>2),3)</sup> 특히, 계절변화에 따른 토양 수분함유량의 변화는 작물의 성장과 활성에 큰 영향을 미치므로 토양수분량에 관해 검토하였다.

각 토양의 함수비 변화에 따른 분광반사율은 각각 Fig. 2~8과 같다. 토양수분이 증가하면 토양의 분광반사특성에 물의 분광반사특성이 반영되어 일정 비율로 서로 혼합된 분광반사특성을 나타낸다. 즉 토양수분량이 증가하면 반사율곡선은 일정비율 낮아진 형태로 거의 같은 분광스펙트럼 패턴을 유지한다. 그러나 토양에 따라(Soil-2,3,4,5,6,7) 토양수분량의 정도 차이는 있으나 근적외선파장의 경우 반사율이 낮아졌다가 다시 높아지는 함수비 범위가 존재하는데 본 연구에서는 30% 전후로 나타났다. 이 현상은 토양과 물이 서로 특이하게 작용하는 친이영역으로 토양표면의 성질과 구성광물에 따른 특징(특히 유기물 함유량이나 산화철의 유무, 금속이온의 함유조건<sup>10)</sup>)이라 할 수 있을 것이다.

토양수분량은 Fig. 9와 같이 자연건조상태(dry)에서 포화상태(wet)까지 일정 분광반사율 폭을 갖는 밴드형태로 변화하며 토양수분량에 따라 토양

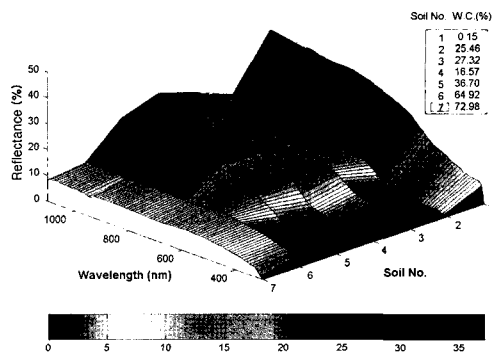


Fig. 1 Soil reflectance spectra for seven soils in the field

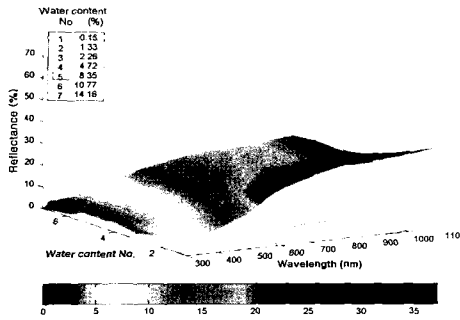


Fig. 2 Soil reflectance spectra for Soil-1 at varying moisture contents

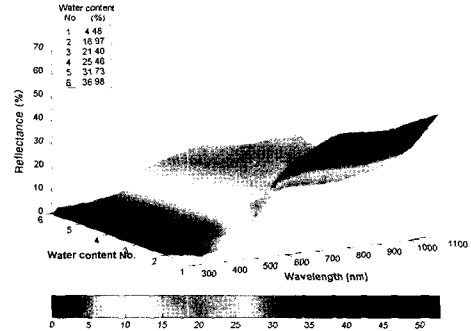


Fig. 3 Soil reflectance spectra for Soil-2 at varying moisture contents

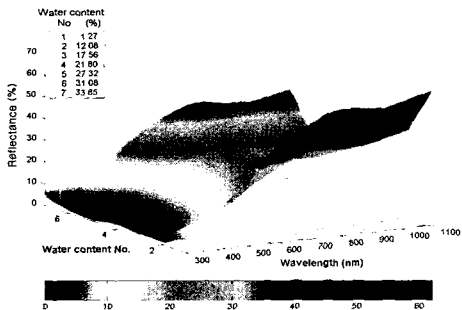


Fig. 4 Soil reflectance spectra for Soil-3 at varying moisture contents

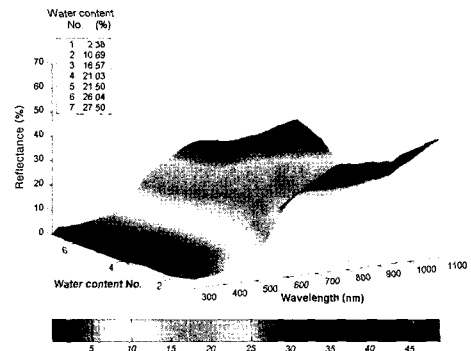


Fig. 5 Soil reflectance spectra for Soil-4 at varying moisture contents

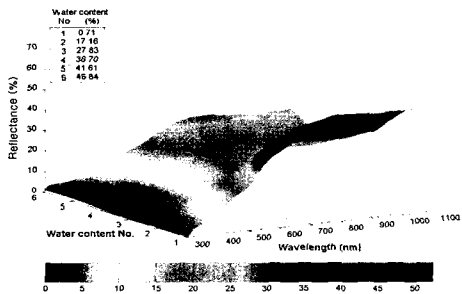


Fig. 6 Soil reflectance spectra for Soil-5 at varying moisture contents

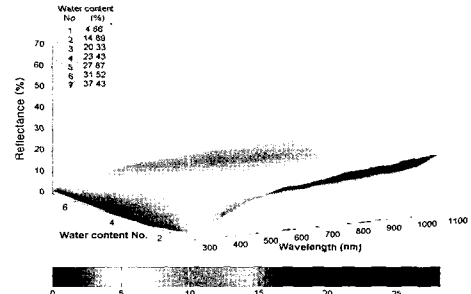


Fig. 7 Soil reflectance spectra for Soil-6 at varying moisture contents

색도 변하게 된다. 토양수분량의 증가에 따라 점진적으로 분광반사율이 낮아지고 흡수되는 특징은 건조한 토양보다 포화한 토양이 시각적으로 어둡게 보이는 현상을 나타낸다. 토양수분량 변화에 따른

특징은 일정 파장대에서 수분 흡수대를 형성하며 반사율은 낮아지고 각 토양마다 흡수대는 다르다. Table 1에 제시한 7개 토양에 대해 검토한 결과 가시광대(340 nm) 분광반사율의 변화 폭은 Soil-5

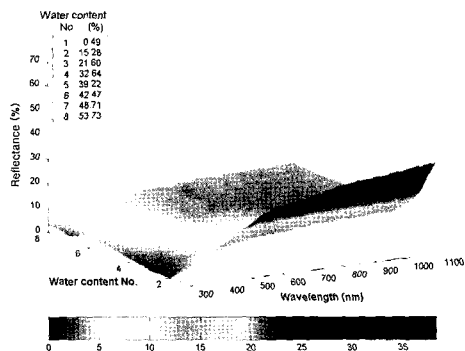


Fig. 8 Soil reflectance spectra for Soil-7 at varying moisture contents

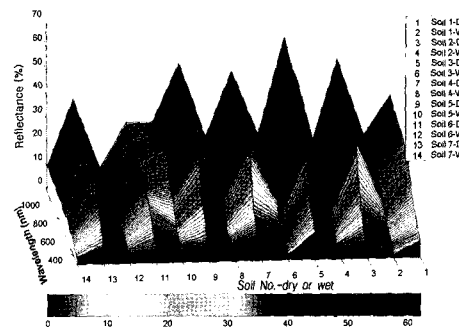


Fig. 9 Soil reflectance spectra for seven soils in the field

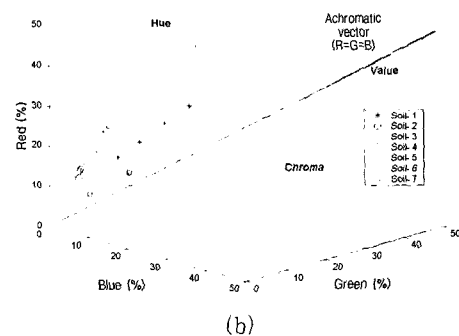
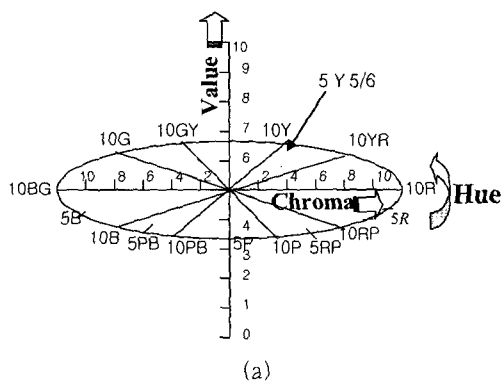


Fig. 10 Illustration of a) Munsell which is measured in terms of hue, value, and chroma and b) RGB color systems which is measured in terms of red, blue, and green components

의 실트질톱이 0.9%로 가장 적으며 Soil-3의 사양토가 11.6%로 높게 나타났다. 변화 폭이 적은 토양부터 정리할 경우 가시광대(340 nm)에서는 사양토<실트질톱<톱<실트질 점토톱<모래의 순으로 나타났다. 근적외 파장(1100 nm)에서는 모래(16.4%)와 실트질 점토톱(19.3%)의 분광반사율 변화 폭이 좁으나 사양토의 경우 40.1%로 매우 높다. 폭의 변화를 크기 순으로 보면 모래<실트질 점토톱<실트질톱<톱<사양토 순으로 나타났다. 따라서 토양수분량 변화에 따른 분광반사특성은 근적외 파장영역에서 경작하는 토양의 분광반사율 변화 폭이 큰 반면, 물과 자주 접촉하며 침수와 노출을 반복

하는 모래나 실트질 점토톱의 경우는 다른 토양에 비해 변화 폭이 적은 것으로 나타났다.

### 3. 토양 색에 따른 분광반사특성

일반적으로 토양 색에 따른 토양의 분류는 토양의 색을 Fig. 10 a)의 Munsell 색 도표<sup>6),7)</sup>를 이용하여 분류하고 있다. RS 정보를 활용하여 토양의 물리적, 수리학적 특성을 결정할 때에는 반사율을 이용하여 토양 색의 판별이 가능할 것이다.<sup>4)</sup>

RGB계의 색 구성요소는 토양 색의 판별에 이용되는 Munsell계와 유사한 특징을 갖는다. 따라서

분광반사로 측정된 RGB계의 색 구성요소는 Munsell계(표기: hue, value, chroma)의 토양 색으로 변환이 가능할 것이다. 이 관계를 나타내면 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} \beta &= (\alpha_4 B) - (\alpha_3 R) - (\alpha_2 G) \\ \gamma &= (\alpha_1 G) - (\alpha_1 R) \end{aligned} \dots\dots\dots (2)$$

$$\alpha_1 = \frac{\sqrt{2}}{2}, \alpha_2 = \frac{\sqrt{3}}{3}, \alpha_3 = \frac{\sqrt{6}}{6}, \alpha_4 = \frac{\sqrt{6}}{3}$$

여기서, R: 빨강(Red) 파장, G: 녹색(Green) 파장, B: 파랑(Blue) 파장.

RGB 3가지 색의 조합으로 표현되는 색상과 채도와 명도는 Munsell계와 같은 방법으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{색상(hue)} = \tan^{-1}\left(\frac{\gamma}{\beta}\right) \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{채도(saturation, chroma)} = \sqrt{\beta^2 + \gamma^2} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{명도(value)} = a_2 \cdot (R + G + B) \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{만약, } \beta=0, \text{ 색상} = \text{중립축, 즉 } R=G=B \dots\dots\dots (6)$$

일반적으로 토양의 색을 Munsell계 색 도표를 이용하여 찾아낸 값을 RGB계로 변환할 경우는 다음과 같은 변환방정식을 이용하면 변환이 가능하다.

$$\begin{aligned} \text{Red} &= ((\alpha_2 V) - (\alpha_1 S \cdot \sin H) - (\alpha_3 S \cdot \cos H)) \\ \text{Green} &= ((\alpha_2 V) + (\alpha_1 S \cdot \sin H) - (\alpha_3 S \cdot \cos H)) \\ \text{Blue} &= ((\alpha_2 V) + (\alpha_4 S \cdot \cos H)) \end{aligned} \dots\dots\dots (7)$$

여기서, V: 명도(Value), S: 채도(Saturation, Chroma), H: 색상(Hue).

Fig. 10 b)는 분광반사측정에서 취득한 값을 이용하여 얻어진 결과를 정리한 것이다. 색상(hue)은 토양수분량에 따라 수분이 증가할수록 높은 값을 나타내며, 명도(value)는 토양의 밝고 어두운 정도를 나타내는 밝기 값으로 실토롬<롬<실토롬<모래<사양토 순으로 나타났다. 일반적으로 명

도가 높은 토양일수록 낮은 토양에 비해 분광반사율은 높게 나타났다. 채도(saturation, chroma)는 색의 강도를 나타내는 값으로 실토롬<롬<실토롬<모래<사양토<실토롬<롬 순 이었다. 토양 색에 따른 분광반사특성은 토양수분량의 변화에 따른 분광반사특성과 매우 흡사한 변화를 보였다. 이와 같이 토양이 갖는 토양 색 값을 디지털카메라 등을 이용하여 취득한다면 Munsell 색 도표와 상호 변환하여 쉽게 토양을 판별할 수가 있다.

#### 4. 토양정보 모형

분광반사곡선에서 변화가 일정하고 독특한 특성을 갖는 가시광선파장대의 빨강(650 nm, 이후  $R_{650}$ )과 근적외파장대(850 nm, 이후  $NIR_{850nm}$ )를 선택하여 토양의 반사율을 비교하면 식 (8)과 같이 일정한 비의 선형관계식이 된다.<sup>8)</sup>

$$NIR_{850nm} = a R_{650nm} + b \dots\dots\dots (8)$$

여기서,  $NIR_{850nm}$ : 근적외파장(NIR) 850 nm의 반사율,  $R_{650nm}$ : 가시광선파장(R) 650 nm의 반사율, a, b: 실험결과 얻어지는 상수.

두 파장대가 형성하는 직선은 토양이 가지고 있는 기본특성을 나타내는 기준선으로 일반적으로 "Soil Line(토양선)"으로 정의되고 있다.<sup>1)</sup> 동일한 토양의 경우 토양수분량 변화에 따라 토양선을 따라 이동하게 되며 매우 상관성이 높은 직선식으로 표현된다. 실험결과 얻어진 각 토양의 계수 값은 Table 2와 같다.

토양정보 추출을 위한 모형으로 토양수분량과 토양 색에 따른 분광반사특성을 검토하여 모형으로 제시하면 Fig. 11과 같다. 토양의 분광반사율은 토양수분량이 줄어들거나 토양 색이 밝은 토양일수록 가시광선과 근적외파장 영역에서 높아진다.

토양수분량에 따라 약간의 차이는 있으나 각 토양이 갖는 정보를 토양선에 나타내면 Fig. 12와 같

Table 2 Parameters of the soil line at seven soils

Sample	Classification	a	b	R <sup>2</sup>
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

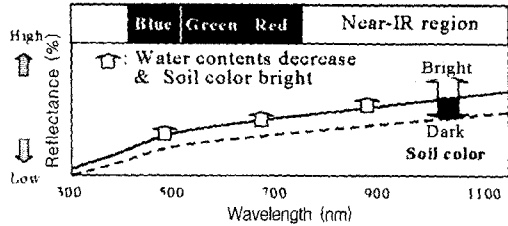


Fig. 11 Schematic representation of soil reflectance spectra for soil color and moisture content

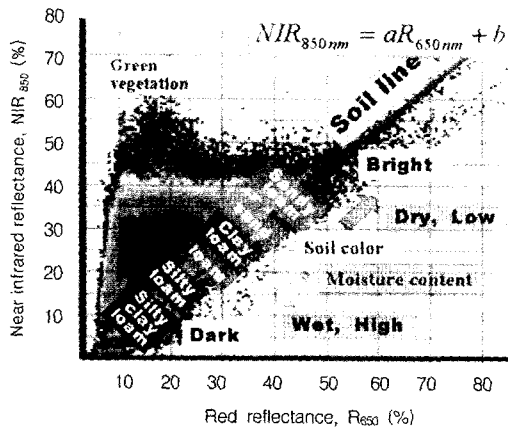


Fig. 12 Illustration of soil line that contributes to the observed soil reflectance

다. 자연함수비 조건에서 토양을 분류하였을 경우 토양선을 따라 실트질 점토롬<실트질롬<롬<점토롬<모래<사양토의 순으로 나타났다. 이 경우 토양의 수분조건에 따라 순서는 약간씩 바뀔 수 있으나 일반 토양의 분포형태는 그림과 같다. 이는 전술한 명도(value) 값의 순서와 거의 같은 것으로 나타났다. 따라서 토양선은 토양수분량과 토양 색이 갖는

특징을 잘 표현해 주는 것으로 확인되었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 RS 기법을 이용하여 취득한 토양의 분광반사특성에 대해 수분함유량과 토양 색의 변화에 따른 영향을 검토하고 해석하는데 목적을 두었다. 연구에서 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 토양의 분광반사특성은 토양의 종류에 따라 고유 분광반사곡선을 가지며, 가시광선과 근적외 파장 범위의 분광반사율곡선은 장파장일수록 토양 반사율도 높게 나타났다. 또한, 토양의 반사특성에는 토양조성성분과 토양수분량 및 토양 색의 영향이 큰 것으로 확인되었다.

2. 토양의 함수비변화에 따른 반사율은 토양수분량의 증가와 함께 감소하나 토양고유의 분광반사율곡선은 그대로 유지하며 평행 이동하는 변화 특징을 보였다.

3. 토양 색에 따른 분광반사특성 중 색상(hue)은 토양수분량이 많을수록 높은 색상 값을 나타내며, 명도(value)는 실트질 점토롬<롬<실트질롬<모래<사양토 순으로 나타났다. 명도가 높은 토양일수록 분광반사율은 높았다. 채도(saturation, chroma)는 실트질 점토롬<모래<사양토<실트질롬<롬 순으로 나타났다.

4. 토양정보추출을 위해 가시파장 영역의 650 nm와 근적외 파장영역인 850 nm를 각각 횡축과 종축으로 하여 그래프로 도시한 결과 Soil line(토양선)이 형성되었고 매우 높은 상관성을 보였다. 토양을 분류하면 토양선을 따라 실트질 점토롬<실트질롬<롬<점토롬<모래<사양토의 순으로 나타났으며 명도(value) 값의 순서와 거의 같았다.

따라서 본 연구결과의 활용은 디지털 카메라 등에서 취득한 색 정보를 Munsell 색 도표와 상호 변환하여 쉽게 토양을 구분하는데 활용할 수 있을 것이다.

## References

1. Asrar, G. (ed.). 1989. Theory and Applications of Optical Remote Sensing. John Wiley and Sons. New York. 734.
2. 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: 1659-1663.
3. Engman, E. T. 1991. Applications of micro-wave remote sensing of soil moisture for water resources and agriculture. *Remote Sensing of Environment* 25: 213-226.
4. 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.
5. Muller, E. and Decamps H. 2000. Modeling soil moisture-reflectance, *Remote Sensing of Environment* 76: 173.
6. Munsell Color Company, 1975. Munsell Soil Color Charts, Macbeth Division of Kollmorgen, Baltimore, MD.
7. Munsell, A. H., 1988. Munsell- A Color Notation, 15th ed. Macbeth Division of Kollmorgen, Baltimore, MD.
8. Park J. H., Lee, S. H., Shin, Y. H. and Jeun, T. K., 2002, Estimation of coverage ratio from spectral reflectance in soybean, *KCID Journal*, 9(1) : 29-37. (in Korean)
9. Piech, K. R. and Walker, J. E. 1984. Interpretation of soils. *Photogrammetric Engineering* 40: 87-94.
10. Stoner, E. R. and Baumgardner, M. F. 1981. Characteristic variations in reflectance of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 45: 1161-1165.