

벼의 생육단계별 분광반사 특성

Spectral Reflectance Characteristics of the Rice during the Growing Stages

박종화*, 신용희**, 박민서***
Park, Jong-Hwa, Shin, Yong-Hee, Park, Min-Seo

Abstract

Rapid environmental changes result in not only damage to agricultural produce but also the poor growth and death of plants. Remote Sensing (RS) was one of effective methods for both collecting and analyzing information and predicting the change of agricultural environments. Reflectance measurements of rice in paddy fields were made with a narrow band spectrometer (2nm resolution) in the 300~1,100 nm wavelength ranges.

Rice leaf reflectance of green and red-edge radiation which was decreased by increasing of chlorophyll at 430~450 nm and 650~660 nm, correlated well with tissue chlorophyll concentrations. That, however, is increased by developing muscle fiber tissue at the near infrared wavelength until the booting stage. Then the reflectance was decreased until the maturity stage and then that was increased until harvest. The spectral reflectance according to the rice growing properties were characterized by its hysteresis loop showing a graph of 650 nm versus 850 nm wavelength as "R loop", which can be modified by introducing a "after harvest soil condition" such as "B loop".

I. 서론

급속한 산업의 발달과 공업화의 진행은 대류권내의 이산화탄소 농도를 증가시켜 이상기온과 온난화 현상의 원인이 되기도 하며 국지성 가뭄과 홍수, 엘니뇨나 라니냐와 같은 기상이변을 일으키고 있다. 이러한 기상요인의 변화는 농작물의 성장환경에 커다란 영향을 미치며 생산량 및 품질저하의 원인이 되기도 한다. 따

라서 지구의 환경변화가 농업생태계에 미치는 영향을 평가하고 이에 대한 대책을 마련하여 대비해가야 될 것이다. 이와 관련하여 자원을 보다 효율적으로 관리할 수 있는 방법으로 원격탐사 (Remote Sensing, RS) 기법을 이용한 기술과 활용방법이 유효할 것이다.

작물의 환경에 따른 특징을 파악하기 위하여 식생지수는 학자들마다 여러 반사파장에 따른 작물의 초장과 엽록소 함량, 엽면적 등 식생군

* 충북대학교 농과대학 (jhpak7@cbucc.chungbuk.ac.kr)

** 수자원연구소 인턴연구원

*** 충북대학교 대학원

키워드 : 원격탐사, 분광반사율, 분광복사계, 칼로리필, 이력곡선

락의 밀도와와의 상관을 밝히는데 이용되고 그 구성식을 가시광선 영역과 근적외선 영역의 파장들의 반사량과 밀접한 관련이 있다고 보고 이 반사 파장들의 조합으로 구성하여 제시되고 있다.

Daughtry 등(1980)은 봄밀 군락에서 휴대용 측정장비(Exotech 100 radiometer)를 사용하여 파종기부터 출수기까지 군락밀도가 높은 기간동안 측정한 자료를 이용 NIR/RED의 비율과 LAI 및 건물생산과의 관계를 알아본 결과 높은 상관관계가 있다고 하였다. Yang(1985)은 벼 군락에서 휴대용 장비를 이용한 측정자료를 Landsat 위성의 TM band와 MSS band로 구분하여 여러 가지 변환식을 이용한 식생지수를 구한 결과 TM4(760~900 nm)/TM3(630~690 nm)가 건물생산과의 상관성이 매우 높다고 하였다. Shibayama와 Munakata(1986)는 Milyang-23, LT-18, Sugaippon 등의 벼 군락에서 분광복사계(spectroradiometer)를 이용하여 460~1600nm까지 20nm간격으로 반사율을 측정 한 후 각 파장의 조합을 이용하여 식생지수(VI)를 구하고 건물생산량과의 관계를 분석한 결과 $(IR\ 1,100 - IR\ 1,200)\text{ nm} / (IR\ 1,100 + IR\ 1,200)\text{ nm}$ 과 $IR\ 1,100\text{ nm} / IR\ 1,200\text{ nm}$ 에서 정의 상관관계가 있다고 하였다. Yamamoto 등(1990)은 생육초기부터 황숙기까지 반사율을 50 nm간격으로 측정하여 분석한 결과 $IR850\text{ nm} / R650\text{ nm}$ 의 조합에서 LAI 및 건물생산과의 상관성이 가장 높다고 하였다.

우리나라에서 연구된 것으로는 이정택(1997) 등이 벼 군락의 건물생산량에 대해 태양광의 반사스펙트럼 특성을 이용하여 추정하였으며, 홍석영(1997) 등은 태양복사 스펙트럼을 이용하여 벼 군락의 엽면적지수를 비파괴적인 방법으로 추정하였다. 또한 장세진(2000) 등은 분광복사계의 Cosine receptor를 이용하여 벼 생장시기의 분광반사 특성의 변화를 분석하여 제시하였다.

이상에서 알 수 있듯이 인공위성자료를 효율적으로 활용하기 위해서는 작물의 생육단계별 분광반사 특성과 식생정보를 체계적으로 조사하고 파악해 둘 필요가 있다. 하지만 인공위성을 이용한 특정시기의 작물에 관한 분광반사특성과 식생정보는 제시되고 있으나 생육단계별로 체계적으로 조사하여 제시된 것은 극히 드물다. 특히, 벼의 생육단계별 분광반사 특성에 관한 조사는 기상조건 등의 영향을 많이 받는 관계로 조사의 어려움도 있어 연구가 활발하게 이루어지지 못하고 있다. 앞으로 논에서의 작목변화와 물 공급 여건에 따른 논작물의 적응도 등과 논작물의 생육단계별 분광반사 특성을 정확하게 측정하여 그 특성을 파악해 둔다면 작물의 생태학적 특성과 생육량, 병충해의 유무, 한발에 의한 물 스트레스 정도, 홍수에 의한 침수피해 상황 등을 지구관측위성에서 취득한 지상 자료의 데이터분석을 통해 보다 쉽게 파악할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 원격탐사기술을 농업분야에 적용하기 위한 기초단계로 휴대용 분광복사계를 이용하여 벼의 생육단계별 분광반사특성을 파악하는데 그 목적을 두었다.

II. 실험포 조건 및 분광반사 측정방법

1. 실험포 조건

벼의 생육단계에 따른 분광반사 특성을 파악하기 위해 충북 청주시 흥덕구 개신동 충북대학교내에 위치한 $30 \times 78\text{ m}$ 의 논 포장을 실험대상지로 선정하였다. 논토양은 입도 분석한 결과 삼각분류법의 사양토(Sandy loam)에 해당하였으며, 입도분석 결과와 자연함수비를 정리하여 나타내면 Table 1과 같다.

실험포장의 벼 품종은 중생종 진품이며 2002년 5월 22일에 $13 \times 30\text{ cm}$ 의 평균 재식간격으로 이앙하여 2002년 10월 9일에 수확하였다. 벼의 생육단계는 Fig. 1과 같이 크게

Table 1. Water content and grain-size distribution at paddy field soil

Sample	Classification	Water content (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
Paddy field	Sandy loam	26.30	77.65	15.27	7.08

2종류로 구분되어지며 세분하여 나타내면 이앙기 (5월 22일 전후), 분얼기 (6월 26일 전후), 유수형성기 (7월 10일 전후), 수잉기 (7월 24일 전후), 출수기 (8월 10일 전후), 등숙기 (9월 29일 전후)로 구분된다.

2. 분광반사 측정

분광반사 측정은 휴대용 분광복사계 (Li-1800, Li-Cor Inc; 측정파역: 300~1100 nm, 측정간격: 2 nm)를 이용하여 구름이 없는 날 오전 11시부터 오후 2시 사이에 실시하였다 (박종화 등, 2002). 측정 점은 실험포장 내에서 3 점을 취하여 측정하였으며, 측정방법은 Photo 1과 같이 먼저 벼의 초장 끝에서 약 50 cm 떨어진 위치에 Telescope/Microscope을 고정하여 벼의 측정범위를 정하고 벼에서 반사되는 태양복사에너지를 3회 실시하여 그 평균값을 이용하였다. 표준백색판의 반사에너지는 초장 위에 평평하게 위치시킨 다음 Telescope/Micro-



Photo 1. Paddy field measurements of spectral reflectance

scope 관측범위에 맞춘 후 측정하였다. 벼의 성장에 따라 초장길이가 점점 커지면 측정기기의 위치 또한 초장의 성장 길이만큼 올려 기기와 초장간의 거리는 항상 50 cm를 유지하여 측정하였다.

반사율 $R(\lambda)$ 계산은 식 (1) 과 같이 표준 백색 반사판에 입사되는 입사전자파를 100으로 하고 시료에 입사하여 반사되는 에너지를 측정하여 그 비로 계산하였다.

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

여기서, $I_r(\lambda)$: 표준 백색판의 반사 전자파 에너지, $I_a(\lambda)$: 시료의 반사 전자파에너지이다.

Ⅲ. 실험결과 및 고찰

1. 논 주변 구조물의 분광반사 특성

위성데이터를 이용하여 논에서 성장하는 벼의 분광반사 특성을 파악하기 위해서는 순수한 벼만의 영상을 분석해야 하지만 위성영상해석에 벼 이외의 다른 요소들의 영상 즉, 논 주변의 농로,수로 등이 함께 섞여 오차로 나타난

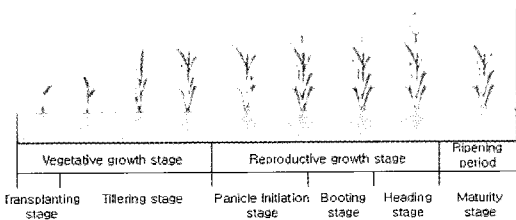
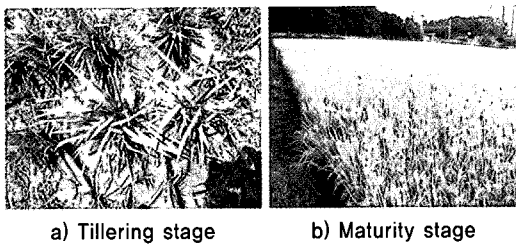


Fig. 1. Schematic figures of study site and growing process of the rice

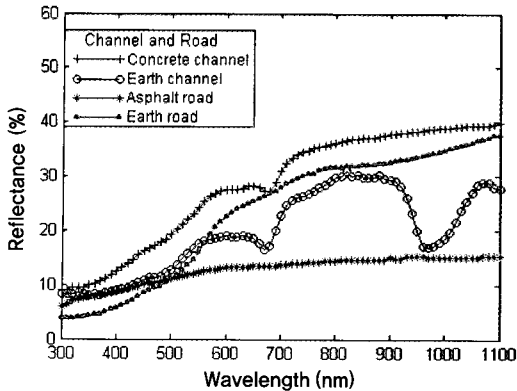


Fig. 2. Spectral reflectance of structures around paddy field

다. 순수한 벼에 대한 분광 특성을 알기 위해서는 논 주변의 구조물에 대한 분광특성을 사전에 측정하여 이미지 프로세싱 과정에서 이 값을 제거하면 될 것이다.

Fig. 2는 2002년 10월 9일에 충북대학교내 농장의 논 주변 구조물 중 콘크리트 수로와 흙수로, 아스팔트 포장된 농로와 비포장 농로에 대한 분광반사특성을 나타낸 것이다. 여기서 콘크리트 수로는 측정당시 약간 젖은 상태로 수로 위에 퇴적물은 없는 조건이다. 콘크리트 수로의 분광반사특성은 단파장대인 가시광선 파장대에서 비교적 높은 10%의 반사율을 보이며 장파장대로 갈수록 반사율도 증가하여 1,100 nm에서는 약 40%의 반사율을 나타냈다. 흙수로의 경우는 파장의 변화와 함께 680 nm와 930 nm 부근 파장대에서 흙수대가 존재하는데 이것은 수로에 흐르고 있는 물 (H₂O)의 전자파 에너지 흡수특성에 의한 것으로 해석된다 (Bukata 등, 1995). 아스팔트포장 도로의 분광반사특성은 가시광선과 근적외선파장대에서 거의 변화가 없는 10% 전후의 낮은 반사율을 나타낸다. 비포장 농로의 경우는 콘크리트수로와 유사한 반사특성을 보이며 900 nm까지 콘크리트수로보다 약 5~6% 정도 낮은 반사율을 나타낸다. 또한 비포장 농로의 경우 모래의 분광반사특성과 유사한 스펙트럼 분포를 나타낸다 (박종화, 2003).

이와 같이 논 주변 구조물의 분광반사 특성은 재료의 구성과 표면조건에 따라 서로 다르게 나타난다. 따라서 이러한 특성을 이용한다면 영상해석을 통해 구조물의 특성 구분이 가능할 것이다.

2. 생육단계에 따른 벼의 분광반사 특성

벼의 성장단계에 따른 분광반사 특성 파악을 위해 생육단계별로 정리하여 나타내면 Fig. 3과 같다. 이앙초기(5월 22일)의 반사율은 토양과 물과 모의 분광반사 특성을 동시에 나타내나 벼가 성장하여 영양생장기인 분얼기(6월 26일)로 들어서면 토양과 물의 영향이 거의 없는 녹색식물의 분광반사 특성으로 변화한다. 모든 녹색식물은 클로로필에 의해 광합성작용을 하며 성장하는데 이 클로로필은 가시광선파장대인 450 nm와 680 nm 두 파장대에서 빛에너지를 흡수하는 특성을 가지고 있다 (Jacquemoud, 1995). Fig. 3에서 6월 26일 (분얼기)부터 8월 20일 (출수기)까지의 반사율 특성을 살펴보면 가시광선영역에서는 450 nm와 680 nm 전후의 두 파장대에서 반사율이 낮아지나 근적외선파장영역에서는 벼의 성장과 함께 반사율이 증가한다. 이는 벼 잎과 줄기의 근섬유조직의 발달에 의한 영향으로 판단된다. 8월 20일 (출수기)

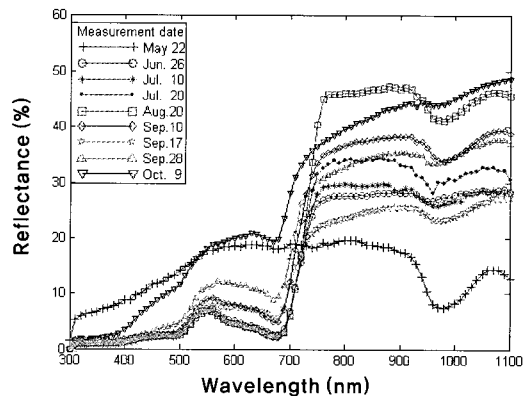


Fig. 3. Spectral reflectance of the rice during the growing stage

부터 10월 9일(등숙기)의 벼 수확시기까지 가시광선영역의 반사율은 450nm와 680nm 전후의 두 파장대의 흡수대가 없어지면서 반사율이 높아지는데 이것은 벼 잎의 클로로필 농도가 낮아지면서 빛에너지의 흡수도 줄어 상대적으로 반사율이 증가하기 때문으로 생각된다. 반면 근적외선 영역에서는 8월 20일을 기점으로 9월 17일까지 반사율이 낮아지는데 이는 벼 알곡을 여물게 하기 위해 필요한 빛에너지를 벼 줄기와 알곡 껍질이 흡수하는 영향 때문으로 생각된다. 이후 추수시기까지 근적외선 영역에서의 반사율은 다시 높아지는데 이는 벼 알곡이 익으면 에너지 흡수가 줄고 반사특성이 커지기 때문일 것이다. 근적외선 파장영역 중 980nm 부근에는 미세한 물(H₂O) 흡수밴드가 있어 성장단계의 벼는 눈에 저류된 물과 벼의 근조직속 수분의 영향으로 반사율이 낮아진다. 이러한 물의 에너지 흡수특성 때문에 근적외선 영역 중 식물의 상태를 감지하기 위한 최적의 파장구간은 740~900nm라 할 수 있다(Turker, 1978).

Fig. 4는 벼의 생육단계별 분광반사율곡선에 대한 1차 도함수 값을 청색의 450nm부터 녹색의 550nm까지의 파장범위에 대해 나타낸 것이다. 그림에서 청색파장대인 450~480nm 부근은 클로로필이 필요한 성장시기로 그 도함수

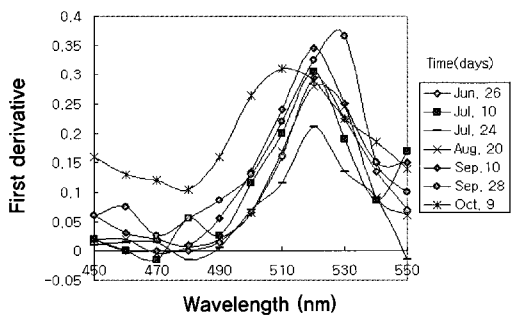


Fig. 4. First derivative of reflectance curve from 450nm to 550nm during the rice growth stage

값이 거의 0에 가까우며, 벼가 익어 가는 시기부터 수확기까지는 높은 도함수 값 즉 반사율 변화가 거의 없이 일정하게 변화한다. 따라서 이 파장대에서 성장기 벼 잎과 줄기속의 물에 의한 빛에너지 흡수가 활발하게 이루어진다는 것을 알 수 있다. 대부분의 생육단계에서 녹색 파장영역인 520nm의 1차 도함수 값의 변화가 크게 나타나는데 이는 작물이 띄는 녹색에 의한 영향과 520nm와 680nm 전후의 물 흡수대 영향에 의한 특징이라 할 수 있다.

벼의 성장에 따른 분광반사 특징을 추출하기 위해 적색경계(red edge)를 나타내는 적색파장영역을 검토하였다. Fig. 5는 적색파장 600~680nm에 대한 벼의 생육기간동안의 반사율 변화를 나타낸 그래프이다. 적색경계(red edge)에서의 반사율 변화특성은 크게 3단계로 나타낼 수 있다. 1단계는 분얼기(6월 26일 전후)와 유수형성기(7월 10일 전후)의 영양생장기로 7월 24일(수잉기)까지 잎의 활성이 증가하여 광합성 작용이 활발해지면서 잎의 수분이 많아지고 클로로필의 흡수가 일어나 반사율은 감소한다. 제2단계는 수잉기(7월 24일)를 기점으로 출수기에 들어 알곡이 여물어가고 잎과 줄기에서 카로티노이드(Carotinoids)가 진행되면서 반사율은 점진적으로 높아진다. 제3단계는 등숙기(9월 29일)에서 수확기(10월 초)로

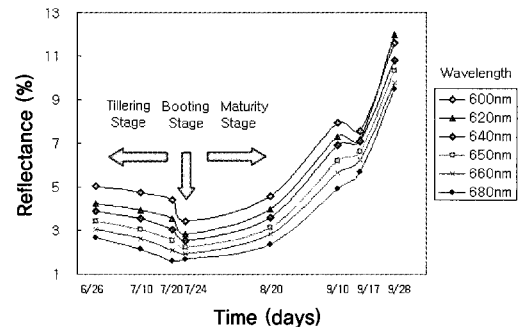


Fig. 5. Reflectance characteristics of the rice growth stage between 600nm and 680nm wavelength

Table 2 Relationship among G550, R670, IR900 and IR970 during the rice growth stage

Date nm	May 22	Jun. 26	Jul. 10	Jul. 20	Aug. 20	Sep. 10	Sep. 17	Sep. 28	Oct. 9
IR900-IR970	9.87	1.08	2.60	3.03	5.50	4.31	2.38	2.00	-0.15
IR970/IR900	0.60	0.92	0.83	0.83	0.78	0.79	0.82	0.89	1.01
G550/R670	0.99	2.74	3.16	4.20	2.80	1.82	1.31	1.25	0.93

논 배수로 인한 수분량이 적어지면서 잎, 줄기 및 알곡에 의한 반사량이 크게 증가하게 된다.

벼가 성장하면서 어느 시기에 가장 많은 물을 필요로 하는지 또는 소비하는지에 대해 분광스펙트럼 중 물을 흡수하는 파장영역의 값을 이용하여 근적외선 파장의 차 (IR900-IR970)와 근적외선 파장의 비 (IR970/IR900), 녹색과 적색의 비 (G550/R670)로 정리하면 Table

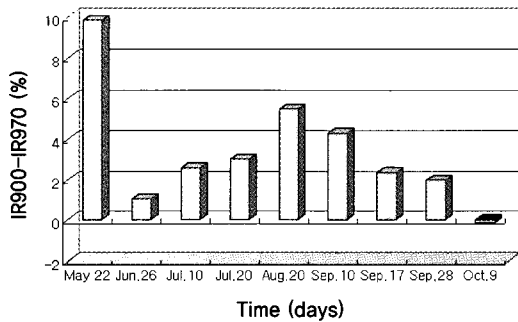


Fig. 6. Absorption rate of the water during the rice growth stage at infrared domain

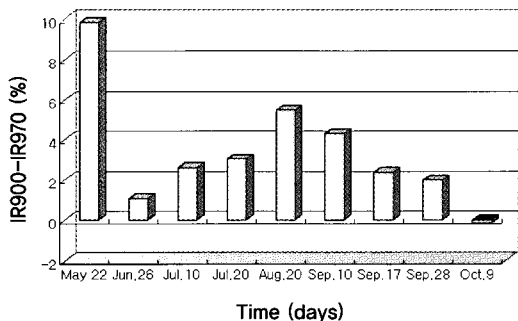


Fig. 7. Relationship of ratio of IR970 and IR900 during the rice growth stage

2와 같다. 또한, 이 관계를 그래프로 나타내면 Fig. 6~8과 같다.

Fig. 6은 벼가 성장하면서 물 (H₂O)를 흡수하지 않는 파장 IR900 nm과 흡수하는 파장 IR970 nm의 두 파장의 반사율 차를 구한 것으로 물(H₂O)의 흡수율 관계를 나타낸 것이다. 물 흡수는 8월 20일(출수기에서 등숙기로의 전환점)을 기점으로 변화한다. Fig. 7은 IR900과 IR970의 두 파장대의 비를 구하여 나타내었다. 두 그림에서 벼는 성장하면서 8월 20일경까지 점진적으로 수분을 필요로 하며 물(H₂O)를 흡수하는 파장영역인 970 nm에 관련된 반사율 차와 비에서도 나타나고 있다. 특징으로는 성장기를 기점으로 반사율 차와 비 값이 상승에서 하강으로 반전되어 작물의 성장에 필요한 수분공급은 줄어들어 완숙기에는 물(H₂O) 흡수가 거의 없어져 감을 알 수 있다. Fig. 6과 7의 5월 22일 (이앙기) 값이 높게 나타난 이유는 벼의 영향이라기보다는 모내기한 논물의 영향이 반영되어 나타난 것으로 생각된다.

광합성 작용이 가장 활발한 성장단계를 찾기

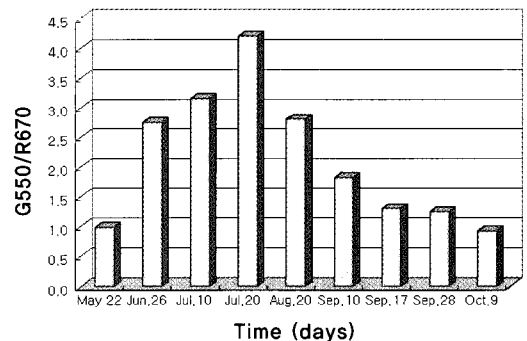


Fig. 8. Relationship of ratio of G550 and R670 during the rice growth stage

위해 클로로필의 흡수에 가장 영향을 받는 두 파장대로 녹색파장 G550 nm와 적색파장 R670 nm를 선정하여 그 비를 구하여 나타내면 Fig. 8과 같다. 그림과 같이 광합성작용은 수잉기(7월 24일)에서 최고치를 나타내며 이전에는 벼의 성장과 함께 점진적으로 높아지고 이후는 점진적으로 작아지는 특징을 보인다. 특히, 수잉기(7월 24일)까지 초기 성장기에는 광합성 작용이 매우 활발하다는 것을 의미하며 일정 초장으로 성장한 후 광합성 작용에 의한 영향이 점진적으로 줄어든다는 것을 알 수 있다.

3. 생육단계에 따른 벼의 화상 특성

벼의 성장에 따른 생육단계별 취득 화상을 RGB 합성인 Color와 Red (이후 R), Green

(이후 G), Blue (이후 B) 화상에 관한 히스토그램으로 정리하여 나타내면 Fig. 9~13과 같다. 화상은 모내기 직전의 논 포장과 이앙 직후의 모에서 추수하기 직전까지 벼의 생육단계별 디지털 영상에 대한 히스토그램이다. Fig. 9는 모내기 전 논에 대한 히스토그램으로 Color와 R, G, B의 네 가지 영상이 거의 같은 형태의 디지털 넘버 (이후, DN)분포를 나타내며, 평균 DN 값에 큰 차이가 없는 것이 특징이다. Fig. 10은 이앙 직후 (이앙기, 5월 22일)의 벼에 대한 히스토그램으로 Fig. 9와 비슷한 분포를 나타내며 어린 벼의 영향이 거의 반영되고 있지 않다. Fig. 11은 분얼기 (6월 26일)에 속하는 벼의 히스토그램으로 광합성작용이 활발한 시기이다. 디지털영상에서 Color는 R과 G영상 DN값의 영향이 크게 반영되고 있음을 알 수 있다. Fig.

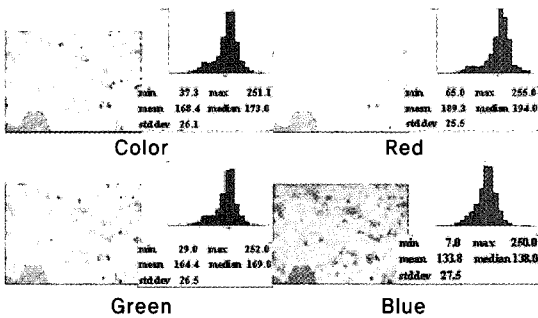


Fig. 9. Histogram for color, red, green, blue images at the paddy (May 21, 2002)

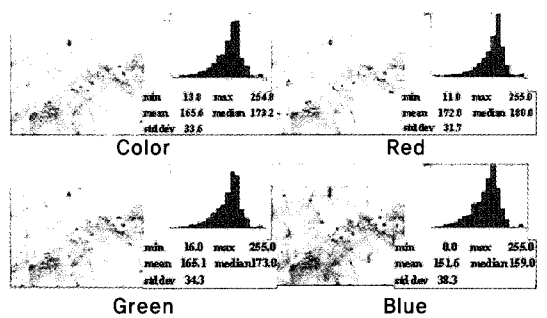


Fig. 10. Histogram for color, red, green, blue images at the paddy (May 22, 2002)

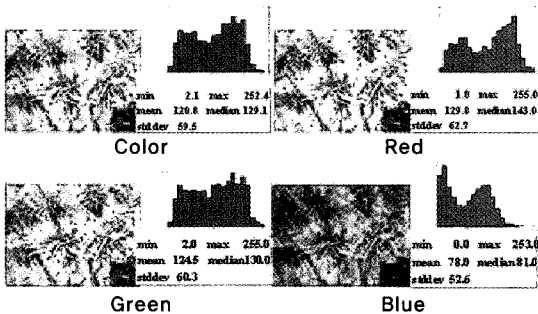


Fig. 11. Histogram for color, red, green, blue images at the paddy (June 26, 2002)

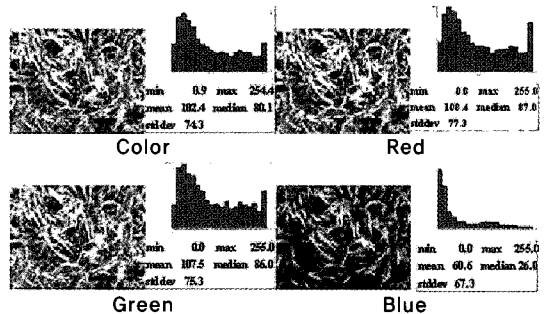


Fig. 12. Histogram for color, red, green, blue images at the paddy (Sep. 7, 2002)

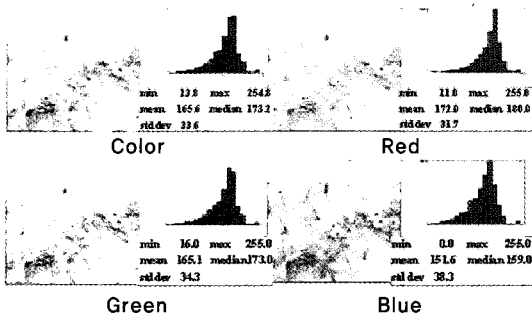


Fig. 13. Histogram for color, red, green, blue images at the paddy (Sep. 28, 2002)

12는 출수기 (8월 7일)에서 등숙기로 변환해 가는 벼에 대한 히스토그램으로 Color는 R과 G 영상의 DN 값이 지배적이지만, B영상의 DN 값이 약간 반영되어 나타남으로써 광합성작용만이 아닌 카로틴 (carotinoids) 작용이 진행되고 있음을 시사해 주는 영상이라 할 수 있다. Fig. 13은 등숙기 (9월 29일)에 접어든 벼에 대한 히스토그램으로 Color영상분포는 R과 G영상의 분포이나 B영상이 전체적으로 많은 영향을 미치고 있다. 이와 같은 관계를 평균 DN 값으로 정리하면 Table 3과 같다.

Table 3. Mean digital number for color, red, green, blue images during the rice growth stage

Date	Mean digital numbe			
	Color(RGB)	Red	Green	Blue
May 21	168	189	164	134
May 22	165	172	161	151
June 26	120	129	124	78
Sep. 7	102	108	107	60
Sep. 28	151	182	151	67

4. 생육단계에 따른 벼의 분광반사 이력 특성

벼가 성장하면서 나타내는 분광반사의 이력 (hysteresis)을 파악하기 위해 가시광선 파장 영역에서 650 nm, 근적외선 파장영역에서 850

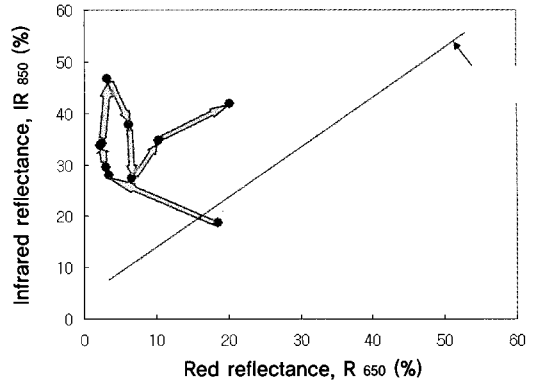


Fig. 14. Hysteresis loop of reflectance of the rice

nm를 선정하여 그 관계를 나타내면 Fig. 14와 같다. 그림과 같이 모로 이양된 벼는 토양선 (soil line)의 아래에 위치하여 논토양과 담수된 물의 영향을 반영하고 있다. 벼가 토양에 활착하여 성장함에 따라 토양의 영향이 줄어들면서 R자형 이력곡선 (hysteresis loop)을 형성한다. 이 때 가시광선영역에서는 녹색식물이 갖는 광합성작용과 잎의 엽록소에 의해 청색과 적색 영역의 광 흡수와 카로틴과 크산토폴에 의한 청색영역의 광 흡수작용 등에 의해 이력이 변화한다. 근적외선 파장영역은 줄기가 반사율에 영향을 주어 모가 벼로 변화하는 단계에서 급상승하게 되며 벼가 여무는 시기부터는 일정 또는 낮아지는 이력곡선을 형성한다. 수확 전까지의 이력곡선은 R자형 곡선을 형성하나, 만약 수확 후 경운을 한다면 이력곡선은 B자형 루프를 형성할 것이다.

IV. 결론

휴대용 분광복사계를 사용하여 벼의 생육단계별 분광반사 특성을 조사한 결과 벼의 성장단계에 따른 생육특성을 간접적으로 확인할 수 있었으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 벼의 생육단계별 분광반사특성은 수잉기(7월 20일) 전까지 광합성에 의한 클로로필의 증가로 430 nm~450 nm와 650 nm~

660 nm파장대의 반사율이 점점 낮아지며, 근적외선 파장대인 700 nm~1100 nm에서는 근섬유조직의 발달로 수잉기까지 반사율이 높아지나 이후 벼 알곡에 의한 에너지 흡수로 등숙기까지 낮아지다가 추수 전에는 다시 높아지는 경향을 나타낸다.

2. 논에서의 광합성 작용이 가장 활발한 벼의 성장단계를 알아보기 위해 클로로필 흡수에 가장 영향을 받는 녹색파장 G550 nm와 적색파장 R670 nm의 두 파장대를 선정하여 그 파장대의 분광반사율 비(G550/R670)를 구한 결과 광합성의 활성도는 이양후 수잉기까지 점점 증가하여 수잉기에 최고 값이 되며 이후는 다시 감소하는 것으로 나타났다.
3. 벼의 분광반사특성에 의한 성장과정을 이력곡선으로 나타낸 결과 벼의 R자형 이력곡선을 형성하였다. 추수후의 토양조건을 반영하면 벼의 이력곡선은 B자형 이력곡선을 형성하는 것이 파악되었다.

본 연구는 벼의 생육단계별 분광반사의 특성에 관해 검토 고찰하였다. 이러한 연구는 벼가 나타내는 분광특성을 이용하여 벼의 생육정도 파악과 물과 질소부족 등이 벼에 미치는 영향(스트레스)을 파악할 수 있고 엽면적지수(LAI)와 같이 연구가 병행되면 벼의 증발산작용 및 양의 파악이 가능할 것이다.

참고문헌

1. 박종화 · 신용희 · 이상혁, 2003, 원격탐사(RS) 기법을 이용한 충북지역 5개 토양과 갯벌토양의 분광반사특성, 환경복원논학, 6(1), pp. 34-40.
2. 박종화 · 이상혁 · 신용희 · 전택기, 2002, 분광 반사율에 의한 콩잎의 식생피복률 추정, 한국관개배수, 9(1), pp. 29-37.
3. 장세진 · 서애숙 · 김판기 · 윤진일, 2000, 스펙트로레디오메터를 이용한 벼 성장시기의 분광반사특성 변화 분석, 한국지리정보학회지, 3(3), pp. 12-19.
4. 이정택 · 이춘우 · 주문갑 · 홍석영, 1997a, 태양광 반사율을 이용한 벼 군락의 엽면적지수 추정, 한국작물학회지, 42(2), pp. 173-181.
5. 홍석영 · 이정택 · 임상규 · 정원교 · 조인상, 1998, 분광반사특성을 이용한 벼의 성장량 추정, 한국원격탐사학회지, 14(1), pp. 83-94.
6. Bukata, R.P., J.H. Jerome, K.Y. Kondratyev and D.V. Pozdnyakov., 1995. Optical Properties and Remote Sensing of Inland and Coastal Waters, New York: CRC Press, p. 362.
7. Daughtry, C.S, M.E. Bauer, D.W. Crecelius, M.M. Hixson., 1980. Effects of management practices on reflectance of spring wheat canopies, Agron. J, 72(6), pp. 1055-1060.
8. Jacquemoud, S. and Baret, F., 1990. PROSPECT: a model of leaf optical properties spectra, Remote Sensing Environ, 34, pp. 75-91.
9. Shibayama M and Munakata K., 1986. A spectroradiometer for field(II). Biomass estimates for paddy rice using 1,100 and 1,100 reflectance, Japan. J. Crop. Sci, 55(1), pp. 28-34.
10. Tucker C.J., 1977. Spectral estimation of grass canopy variables. Remote Sensing Environ, 6, pp. 11-26.
11. Yamamoto H, Honjo H and Wakiyama Y., 1990. Evaluation of leaf area index and biomass of soybean canopies using spectral reflectivity, J. Agr. Met, 46(1), pp. 19-22.
12. Yang Y.K. 1985. Correlation of rice grain yield to radiometric estimates of canopy biomass as a function of growth stage, J. of Korean Society of Remote Sensing, Vol. 1, pp. 163-187.