

원격탐사(RS)기법을 이용한 밭작물의 엽면적지수(LAI) 산정법

○박종화* · 신용희** · 박민서***

1. 서론

작물의 초장과 엽록소 함량, 엽면적(Leaf Area) 등 작물군락의 밀도에 관계되는 요인이 가시광선영역과 근적외선영역 파장들의 반사량과 밀접한 관련이 있는 점에 착안하여 이들 파장들의 다양한 조합으로 식생지수(vegetation index, VI)가 개발되었다. 또한, 작물 잎의 피복정도는 작물의 생육시기별 물질생산량 결정에 중요한 영향을 미치는 요소로 식물이 차지하는 엽면적을 정확하게 파악하는 것은 작물의 생육상태 파악과 식물의 광합성작용 및 이산화탄소 흡수능력 등의 파악에 매우 중요하다¹⁾²⁾.

특히 1997년 교토에서 채택된 기후변화협약에 따라 온실가스를 상품으로 거래할 수 있게 하였다. 이 점에서 작물의 이산화탄소 흡수 능력을 평가하고 관리할 수 있는 환경기술개발의 노력을 적극적으로 벌여 대처해 가야 될 것이다.

본 논문에서는 이와 같은 환경기술과 밀접한 관련을 갖고 있는 원격탐사기술을 농업분야에 적용하기 위하여 휴대용 분광복사계(Spectro radiometer)를 이용하여 생육단계별 밭작물에 대한 분광반사율 특성을 알아보고 밭작물별 식생지수와 생육단계별 식생지수를 조사하였다. 또한 식생 canopy 분석장치를 이용해 얻은 엽면적지수(Leaf Area Index : LAI)값을 밭작물의 식생지수와 비교하여 상호관계를 검토하여 그 결과를 보고하고자 한다.

2. 실험방법 및 엽면적지수 이론

1) 실험방법

실험 대상지는 밭에서 작물의 생육단계에 따른 분광반사특성과 LAI값을 알아보기 위해 충북 청주시 흥덕구 석곡동에 위치한 20×43m의 밭 포장을 선정하여 조사하였다. 밭작물로는 콩과 담배, 수박, 파, 토란, 무, 고추, 참외를 선정하였다. 밭작물의 분광반사측정은 휴대용 분광복사계(Li-1800, Li-Cor Inc.; 측정파역: 300-1100nm, 측정간격: 2nm)를 이용하여 구름이 없는 날 오전 11시부터 오후 2시 사이에 실시하였다. 밭작물에 대한 엽면적지수(LAI)는 식생수관 분석장치(LAI-2000, Li-Cor Inc.)를 이용하여 그림 1과 같이 비파괴적인 방법으로 측정하였다. 식생이 없는 조건에서의 측정을 위하여 수관 위에서 1회 측정하고 식생에 따른 엽면적지수의 측정은 수관 아래까지 투과해 들어오는 전자파에너지를 3회 측정하여 식생 위와 아래의 전자파에너지를 비교하여 엽면적지수(LAI)값을 구하였다. 측정은 2회 반복 실시하여 얻은 평균 LAI값을 사용하였다.

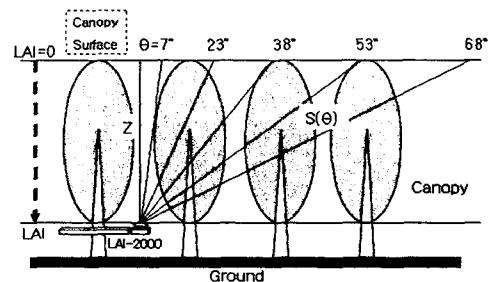


그림 1 LAI측정 개념도

- * 충북대학교 농공학과 교수
- ** 한국수자원공사 수자원연구소 인턴연구원
- *** 충북대학교 농공학과 석사과정

2) 엽면적지수의 이론

식생군락이 광선이 통과하는 범위에 분포하면 식생수관분석장치의 실리콘 검파기 7-68°범위에서 천정각이 θ 만큼 기울어진 부분에서 빛이 식물에 의해 차단되지 않는 양은 gap fraction $T(\theta)$ 가 된다. Beer-Lambert 법칙에 따르면

$$T(\theta) = \frac{\text{below}(\theta)}{\text{above}(\theta)} = \exp((-G(\theta)\mu S(\theta)) \quad (1)$$

여기서, $T(\theta)$ 는 수관을 통과한 태양에너지의 통과율, $G(\theta)$ 는 일정 방향(θ)에 투영된 균엽부분 ($G(\theta) = \frac{1}{\sin \theta} \frac{d\theta}{d\theta}$), μ 는 균엽밀도(m^2 균엽/ m^2 수관), $S(\theta)$ 는 5개 각도의 검파기를 통과한 길이이다.

Miller(1967)의 균엽밀도 μ 에 관한 해석법을 적용하면³⁾

$$\mu = 2 \int_{\pi/2}^0 \frac{-\ln(T(\theta))}{S(\theta)} \sin \theta d\theta \quad (2)$$

균질인 수관의 균엽밀도는 수관높이 z 에 따라 변화하는 LAI로 나타낼 수 있으므로 식(3)과 같이 표현되며, 일정 각도 통과길이 S 는 θ 와 수관높이 z 와의 관계에서 다음 식(4)으로 나타낼 수 있다.

$$LAI = \frac{\text{Total leaf area}}{\text{Projected ground area}} = \mu z \quad (3)$$

$$S(\theta) = \frac{z}{\cos \theta} \quad (4)$$

식(2)와 식(4)를 식(3)에 대입하면 엽면적지수(LAI)는 다음 식으로 나타내어진다.

$$LAI = -2 \int \ln(T(\theta)) \cos \theta \sin \theta d\theta \quad (5)$$

$T(\theta)$ 가 5개의 실리콘 검파기에서 측정되므로 LAI는 식(6)을 이용하여 구할 수 있을 것이다.

$$LAI = 2 \sum_{i=1}^5 \frac{\ln(T(\theta_i))}{S(\theta_i)} W_i \quad (6)$$

여기서, θ_i 는 각 검파기 링의 중심각도이며, W_i 는 가중치 ($W_i = \sin \theta_i$)를, $S(\theta_i)$ 는 통과길이 ($S(\theta_i) = \frac{1}{\cos \theta_i}$)이다.

3. 실험결과 및 고찰

1) 생육단계에 따른 발작물의 분광반사특성

일정 시기의 발작물의 식생정보의 차이를 파악하기 위하여 분광반사특성을 조사하였다. 그림 2는 2002년 6월 26일에 측정된 7가지 발작물의 분광반사특성을 나타낸 그래프이다. 가시광선파장영역인 400~700nm의 반사율을 보면 담배를 제외한 발작물 대부분의 반사율은 10%미만으로 벼에 비해 낮다. 담배의 반사율이 높은 이유는 담배 잎 색깔이 녹색에서 노랗게 변해 가는 시기이기 때문이다. 근적외선파장대에서는 같은 녹색식물이라 할지라도 파와 같이 속이 비고 근조직이 무른 식물의 반사율이 낮은 반면 토란과 같이 잎 조직이 단단하고 잎 표면이 매끄러운 식물의 반사율은 상당히 높다.

그림 3은 콩의 성장단계별 분광반사특성을 나타낸 것으로 가시광선영역인 적색과 녹색파장의 반사율을 비교하면 콩의 반사율(5~15%)이 벼의 반사율(5~10%)보다 높다. 생육단계에 따른 특성을 정리해 보면 5월 20일은 정지한지 10일된 어린 콩의 반사율로 밭고랑에 썩은 비닐과 흙과 콩의 분광특성이 섞여 특히 가시광선영역의 반사율이 다른 시기에 비해 높다. 8월 20일은 콩이 여무는 기간으로 콩 잎과 줄기가 누렇게 변하여 적색파장대인 550~650nm부근에서 반사율이 높은 특징을 나타낸다. 근적외선파장대의 반사율은 6월 7일에 가장 높은 50%대의 반사율을 보이나 이후는 점점 낮아진다. 이는 콩이 각지를 형성하며 에너지를 흡수하는 시기이기 때문에 반사율이 낮아지는 것으로 해석된다.

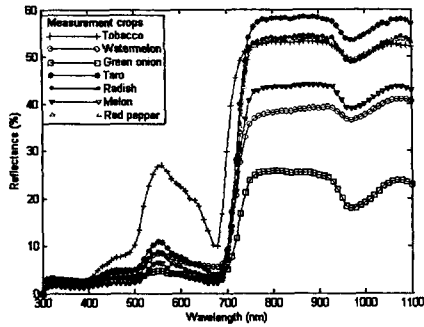


그림 2 발작물의 분광반사율곡선

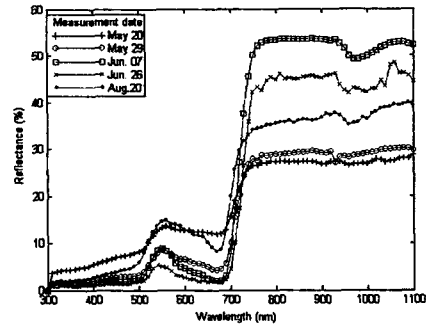


그림 3 콩의 생육단계별 분광반사특성

2) 발작물의 식생지수와 LAI의 관계

일정 지역의 영상이 취득되었을 경우 동일한 시점에서의 작물간의 식생지수 차이를 알아보기 위해 2002년 6월 26일에 측정된 7가지 발작물에 대한 분광반사특성에서 얻어진 5가지 식생지수와 식(6)에 의해 계산된 엽면적지수(LAI)와의 관계를 정리하여 표로 나타내면 표 1과 같다. 각 발작물에 대한 LAI와 작물별 NDVI와의 상관관계를 도시하면 그림 4와 같으며 관계식은 $NDVI = a LAI^2 + b LAI + c$ 의 형태로 높은 상관성을 나타냈다. 그림 5는 각 발작물에 대한 LAI와 작물별 RVI와의 상관관계를 나타낸 그래프로 관계식은 $RVI = a LAI + b$ 의 형태로 매우 높은 상관성을 보이고 있다. 두 식에서 a, b, c 는 실험결과 얻어진 계수이다. 이와 같이 식생지수와 발작물의 LAI는 서로 정의 비례관계가 있는 것으로 파악되었다.

표 1 2002년 6월 26일에 측정된 7가지 발작물에 대한 분광반사특성에서 얻어진 5가지 식생지수

Vegetation	LAI	NDVI	RVI	SAVI	ARVI	MSAVI2
Tobacco	1.02	0.55	3.42	0.82	0.77	1.21
Watermelon	1.18	0.74	6.65	1.10	0.82	1.35
Green onion	1.3	0.76	7.36	1.12	0.79	1.36
Taro	1.68	0.83	11.00	1.24	0.85	1.41
Radish	1.97	0.88	15.60	1.31	0.89	1.44
Melon	2.3	0.90	18.86	1.33	0.91	1.45
Red pepper	2.94	0.91	20.76	1.35	0.92	1.45

표 2 발작물 중 콩의 생육단계별 5가지 식생지수

Time(days)	NDVI	RVI	ARVI	SAVI	MSAVI2
May 20	0.38	2.22	0.59	0.56	1.04
May 27	0.47	2.76	0.68	0.69	1.13
May 29	0.71	5.86	0.82	1.05	1.33
June 07	0.91	20.71	0.93	1.35	1.45
Aug. 20	0.56	3.54	0.81	0.83	1.21

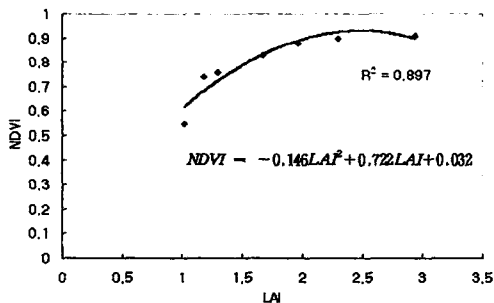


그림 4 2002년 6월 26일에 측정된 7가지 발작물에 대한 NDVI와 엽면적지수(LAI)와의 관계

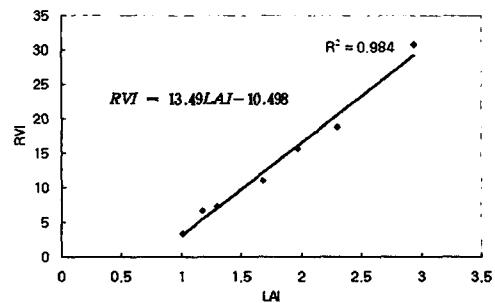


그림 5 2002년 6월 26일에 측정된 7가지 발작물에 대한 RVI와 엽면적지수(LAI)와의 관계

밭작물의 생육단계별 식생의 변화특성을 파악하기 위해 콩에 대한 분광특성을 조사하여 5가지 식생지수를 구하고 생육단계별로 나타내면 표 2와 같다. 콩에 있어서 각 식생지수들 사이에는 약간의 차이가 있으나 전체적인 경향은 비슷한 변화패턴을 보인다. 7월의 기상조건이 좋지 않아 측정된 데이터가 없는 관계로 식생지수의 최고점은 명확하지 않으나 6월 26일까지는 콩이 성장하면서 필요로 하는 태양에너지를 흡수하면서 활발한 광합성작용을 함으로써 식생지수도 점점 증가하고 있다. 이 점을 기점으로 콩의 잎과 줄기의 성장보다는 콩짜기가 여물어가면서 잎의 노화가 진행되면서 각 식생지수는 낮아지는 것으로 해석된다. 이 관계를 전술한 콩의 생육단계에 따른 밭작물의 분광반사특성 결과와 비교하면 식생조건의 생육단계에 따른 변화 특성을 잘 표현해준 것이라 할 수 있다.

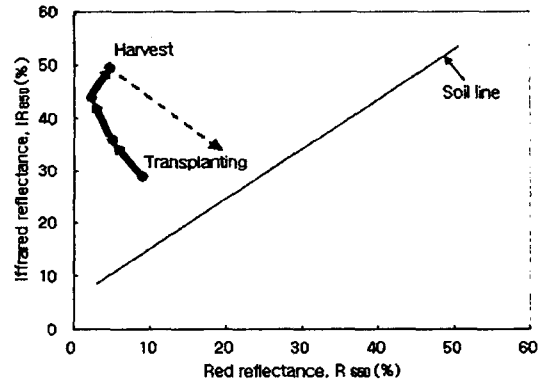


그림 6 밭작물의 성장에 따른 이력곡선

밭작물의 분광반사특성에서 콩의 성장에 따른 이력곡선을 나타내면 그림 6과 같다. 밭작물의 특징은 밭의 수분 증발을 억제하기 위해 멀칭한 비닐의 영향이 나타나 이력곡선에 있어서도 토양과 밭작물의 영향이 아닌 비닐의 분광반사특성이 반영된다는 점과 밭작물은 어느 정도 성장하면 수확하여 노화과정까지는 이르지 않는다는 점이 특징이다. 밭작물의 성장에 따른 이력곡선은 일반적으로 역U자형 루프로 나타내어진다.

4. 결론

RS기법을 이용하여 밭작물의 생육단계별 분광반사특성과 엽면적지수(LAI)를 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 녹색식물일 때 수확하는 밭작물(파, 토란, 수박, 참외, 무 등)의 분광반사특성은 400~700nm의 반사율이 10% 미만으로 나타나며 작물이 성장할수록 Chlorophyll의 증가로 반사율이 점점 낮아진다. 근적외과장대에서는 같은 녹색식물이더라도 파와 같이 속이 비고 근조직이 단단하지 않은 식물의 반사율이 낮은 반면 토란과 같이 잎의 조직이 단단하고 잎 표면이 매끄러운 식물의 반사율이 높게 나타나는 점이 확인되었다.
- 2) 밭작물에 대한 생육단계별 분광반사특성 자료를 이미 개발되어있는 식생지수 계산식을 이용하여 본 결과 각 식생지수는 밭작물의 생육단계별 생육상태를 잘 표현해 주었으며 식생지수와 밭작물의 LAI와의 관계는 정의 비례관계로 나타났다.
- 3) 밭작물의 분광반사특성에 의한 작물의 성장과정을 이력곡선으로 나타낸 결과 역U자형 이력곡선을 형성하였다.

참고문헌

- 1) 박중화 · 이상혁 · 신용희 · 전택기, 2002, 분광반사율에 의한 콩잎의 식생피복률 추정, 한국관개배수, 9(1), pp.29-37.
- 2) 신용희, 2003, Remote Sensing기법을 이용한 작물의 생육단계별 식생반사특성, 충북대학교 대학원 석사논문
- 3) Welles, J. M. and Norman, J. M., 1991. Instrument for Indirect Measurement of Canopy Architecture. Agronomy Journal, 83(5), pp. 818-825.