

발작물의 엽면적지수(LAI)에 대한 이론 및 측정기술

Theories and Measurement Techniques for LAI of Crops

박종화 · *이상혁 · 신용희 · 박민서(충북대)

Park, Jong-Hwa · *Lee, Sang-Hyuk · Shin, Yong-Hee · Park, Min-Seo

Abstract

Many methods are available to measure leaf area index(LAI) directly and are variations of either Leaf area index(LAI) and leaf angle distribution are widely used indices of canopy structure that are difficult to measure directly. Direct measurements of canopy structure are tedious and labor intensive in small canopies and nearly impossible in large forest canopies. This study introduced fundamental theories in LAI measurements and applied that for several crops.

I. 서론

RS를 농업에 적용하여 물·토양·식생정보를 추정하는 연구는 미국, 일본, EU국가를 중심으로 지표면의 피복상태, 작물의 성장 모니터링, 산림자원의 관리 및 산불방재에의 활용, 토양수분량의 파악, 수질 모니터링, 강우, 지표수, 적설분포, 지표면의 증발산량, 수자원관리 등에 관해 실시되고 있다.

한편, 육지의 광역적인 식생분포량을 정량적으로 파악하고 관리하는 것은 환경보전 및 수자원함양을 이루어 가는데 필요한 요소이다. 지금까지 식생분포량의 정량적인 추정법은 체계적으로 확립되어 있다고 하기는 어려운 실정에 있다. 특히, 수관구조는 식물의 생육과 발달에 중요한 역할을 하는 것으로 수관구조를 파악함으로써 식물과 그 주변환경과의 상호작용을 알 수 있을 것이다. 일반적으로 수관구조에 영향을 미치는 인자로는 위치, 방위, 면적 및 식물의 형상 등이 있으며 수관구조 파악을 위해서는 엽면적지수, 균엽밀도, 잎 각도분포 등을 측정해야하나, 직접 이러한 값을 파악하는 것은 매우 힘들다. 수관구조와 식생분포량의 파악에는 인공위성자료가 이용되고 있으며 선진외국의 경우 환경관측위성을 통한 자원관리가 보편화되고 있다. 우리 나라의 경우도 앞으로 다목적 실용위성인 KOMPSAT에서 취득한 데이터가 시험과 검증과정을 거치면 자료구입이 보다 쉬워지고 이용도 다양화되리라 생각된다. 따라서 이에 대비하여 작물별, 계절별, 시간의 경과에 따른 실제측정자료를 효율적으로 취득하여 응용할 수 있는 방법마련을 통하여 분석의 정확도를 높여나갈 필요성이 있을 것이다. 본 연구에서는 식생분포량과 밀접한 관계를 갖고 있는 수관(canopy)구조에 관해 조사할 수 있는 방법으로 엽면적지수(LAI)측정 방법에 대해 LI-COR사의 LAI-2000을 이용하여 그 적용이론을 알아보고, 그 기초자료를 수집하여 보고하고자 한다.

II. 수관구조의 개념 및 측정이론

1. 수관구조의 개념

어떤 특정 점의 LAI는 식생수관을 통과하는 동안 형성되는 그림자 값으로 표현된다. 수관구조와 빛의 방사전달과정 및 LAI의 개념도를 도시화하면 Fig. 1과 같다. 즉 LAI값은 태양에너지가 수관을 통과하는 동안 식물의 잎 등으로 가려지는 부분을 제외한 광이 LAI-2000의 빛을 받아들이는 어안렌즈를 통해 입사되어 5개의 실리콘 검파기에 의해 5단계로 받아들여지게 된다.

Fig. 2와 같은 구조로 만들어진 LAI-2000는 내부에서 Fig. 3과 같이 5~74° 범위의 5개 실리콘 검파기에 의해 식생정보를 취득하게 된다. 식생이 갖는 엽면적지수(LAI)는 군엽지수의 개념을 띄며 식생 위쪽의 전자파에너지 측정치와 아래쪽의 측정치를 비교함으로써 얻어진다.

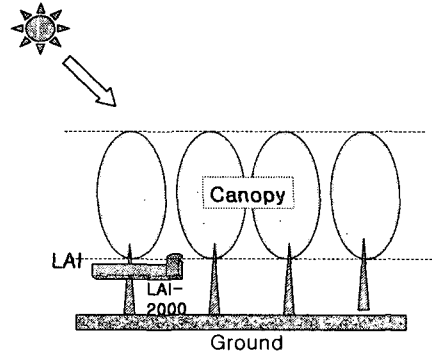


Fig. 1 Schematic diagram of vegetation canopy

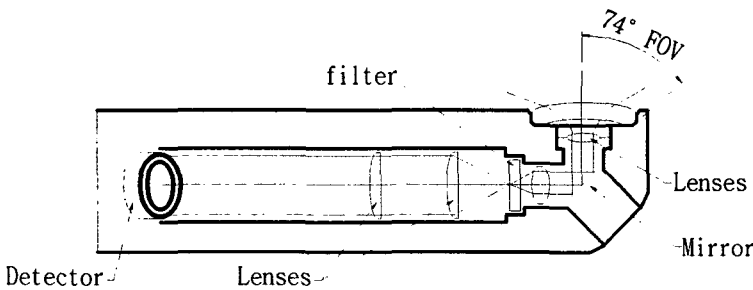


Fig. 2 Schematic of LAI-2000

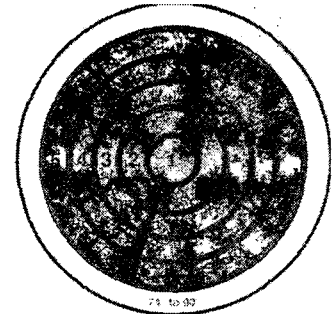


Fig. 3 Five detector rings response over a different range of zenith angles.

2. 측정이론

식생의 수관 사이를 통과한 빛에너지는 군엽에 의해 차단되며 차단확률은 수관높이, 군엽밀도에 비례하고 군엽이 형성하고 있는 잎의 방향과 밀접한 관계가 있다. 만약 수관에 의해 형성된 식생군락이 광선이 통과하는 범위에 임의적으로 분포하고 전체 수관들의 넓이에 비해 적다면, 5~74° 범위의 5개 각도의 천정각 θ 만큼 기울어진 부분에서 확산 차단되지 않는 양을 나타내는 gap fraction $T(\theta)$ 가 될 것이다. Beer-Lambert법칙에 따르면

$$T(\theta) = e^{-G(\theta)\mu S(\theta)} \quad (1)$$

여기서, $G(\theta)$; 일정 방향(θ)에 투영된 군엽부분, μ ; 군엽밀도(m^2 군엽/ m^3 수관), $S(\theta)$; 5개의 각도의 수관을 통과한 길이이다.

식(1)을 다시 정리하면 식(2)와 같이 될 것이다.

$$-\ln T(\theta) = G(\theta) \mu S(\theta) \quad (2)$$

식(2)를 수관의 균엽이 형성된 범위를 일정 방향으로 투영된 균엽 양으로 표현하면 다음과 같은 접촉수(m^{-1})로 나타낼 수 있다.

$$G(\theta) \mu = -\frac{\ln(T(\theta))}{S(\theta)} \quad (3)$$

Miller(1967)의 균엽밀도 μ 에 관한 해석법을 적용하면

$$\mu = 2 \int_0^{\pi/2} \frac{-\ln(T(\theta))}{S(\theta)} \sin \theta d\theta = 2 \int_0^{\pi/2} G(\theta) \mu \sin \theta d\theta \quad (4)$$

여기서, 균질인 수관에서 균엽밀도는 수관높이 z 와 관계하여 엽면적지수 L 로 나타낼 수 있을 것이다.

또한 통과길이 S 는 θ 와 수관높이 z 와의 관계에서 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$L = \mu z, \quad S(\theta) = \frac{z}{\cos \theta} \quad (5)$$

식(4)를 식(5)에 대입하여 다시 쓰면 다음 식이 된다.

$$L = 2 \int_0^{\pi/2} -\ln(T(\theta)) \cos \theta \sin \theta d\theta \quad (6)$$

식(6)과 같이 식생수관을 통과하여 만들어지는 엽면적지수(LAI)가 얻어진다.

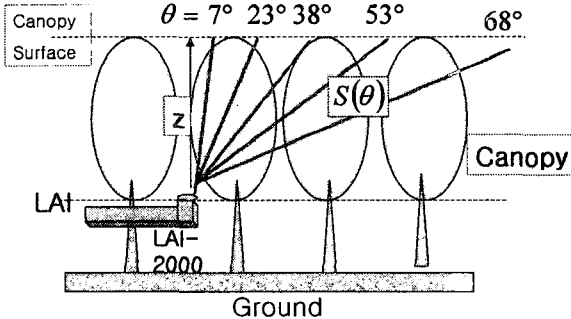


Fig. 4 Schematic diagrams of LAI measurement



Fig. 5 Measurement of LAI with LAI-2000

III. 재료 및 실험

엽면적지수(LAI)측정은 LI-COR 사의 LAI-2000을 사용하여 Fig. 5와 같이 직사광선에 의한 영향을 최소화하기 위하여 일몰 직후인 오후 6시에서 7시 30분 사이에 실시하였다. 측정장소는 충북 청주시 충북대학교 근교의 밭을 선정하여 일정시기별로 실시하였다. 측정날짜는 8월 20일과 9월 10일 이며, 측정작물은 콩, 파, 토란, 깨, 고추이다.

IV. 결과 및 고찰

본 연구에서는 밭작물의 활력과 식생정보를 추출하기 위한 방법으로 많이 사용되고 있

는 LAI측정에 관한 이론적 검토와 이에 대한 현장 적용성에 대해 검토해 보았다. 밭에서 실시되는 LAI측정에서는 $\sin \theta d\theta$ 는 Fig.5 와 같이 5~74° 범위의 5개 각도로 고정되므로 각 범위의 가중치 $w(\theta)$ 로 대치할 수 있을 것이다.

$$LAI = -2 \sum_{i=1}^5 \ln(T(\theta_i)) \cos \theta_i w(\theta_i) \quad (7)$$

여기서, i 는 각 각도별 검파기 번호를 나타낸다.

이와 같이 얻어진 식(7)를 이용하여 콩, 파, 토란, 깨, 고추 등에 적용하여 측정된 결과를 예시하면 Table 1과 같다.

표에서와 같이 밭작물에 적용하여 측정된 LAI값은 MTA의 범위가 허용범위에 들어가는 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 앞으로 각 작물별 식생분포량을 보다 정확하게 파악하기 위해서는 현장데이터의 축적은 물론 인공위성 데이터를 이용한 방법과의 접목을 통해 그 효율성을 높여가야 될 것이다.

Table. 1. LAI-2000 estimates of LAI and mean foliage inclination angle(MTA) for six vegetation

Crops	Date	Time	LAI	SEL	DIFN	MTA	SEM	SMP
Bean-a	20-Aug	19:02:09	1.18	0.06	0.381	47	1	6
Bean-b	20-Aug	19:04:20	0.80	0.08	0.525	60	5	6
Welsh Onion	20-Aug	19:05:44	1.65	0.07	0.280	62	4	6
Taro	20-Aug	19:08:44	3.29	0.09	0.056	42	4	6
Sesame	20-Aug	19:10:26	1.01	0.08	0.471	64	2	6
Pepper	20-Aug	19:13:00	1.99	0.09	0.188	50	7	6
Bean-a	10-Sep	18:24:18	2.86	0.20	0.105	48	2	6
Bean-b	10-Sep	18:28:36	2.53	0.25	0.139	53	3	6

(SEL; standard error of the LAI determinations, DIFN; fraction of the sky visible beneath the canopy, MTA; Mean Tip Angle, SEM; standard error of the MTA, SMP; the number of pairs of above and below observations used to calculate these results)

V. 결론

본 연구에서는 밭작물의 식생분포량을 간접적인 방법으로 엽면적지수 측정이 가능한 LAI-2000에 관한 이론적인 배경을 검토하고 그 적용성을 검토하였다. 이론적으로는 앞으로의 밭작물의 엽면적측정에 화상처리 기법을 적용할 수 있는 기초를 마련하였다. 그러나, LAI측정법에 대한 이론적 검토를 통해 작물의 성장조건과 서식조건에 대한 검토를 실시하였으나 측정샘플이 적어 일정한 관계는 도출하지 못하였다.

V. 인용문헌

1. J.M. Welles, J.M. Norman. 1991. Instrument for Indirect Measurement of Canopy Architecture. *Agronomy Journal* 83. pp. 818-825.
2. Jing M. Chen, Josef Cihlar. 1996. Retrieving Leaf Area Index of Boreal Conifer Forests Using Landsat TM Images. *Remote Sens Environ* 55. pp. 153-162.