

태양광 반사율을 이용한 벼 군락의 엽면적지수 추정

이정택* · 이춘우** · 주문갑*** · 홍석영*

Estimation of Rice Canopy Leaf Area Index(LAI) by Spectral Reflectance of Solar Radiation in Paddy Field

Jeong Taek Lee*, Chun Woo Lee**, Moon Kap Joo*** and Suk Young Hong*

ABSTRACT : To estimate the leaf area index(LAI) of rice plant by non-destructive method, spectral reflectance from rice plant canopy was measured by using the spectroradiometer (LI-1800, LICOR Inc.) with one week interval during the rice growing season at Suwon paddy field in 1993. LAI of two medium late maturing varieties, Daechungbyeo and Ilpumbyeo, and one early maturing variety, Jinbubyeo, were observed and compared with those estimated by vegetation index.

The reflectance(R) of visible wavelength remained less than 0.1 over entire growing season, but that of near infrared wavelength remained from 0.1 to 0.5 with the significant positive correlation with LAI. Vegetation index determined by the reflectance of visible against near infrared wavelength showed high correlation with LAI of rice canopy. Vegetation index derived from wide band ratio, NIR(720~1,100nm) / Blue(400~500nm), showed the highest correlation coefficient with LAI. Vegetation index derived from narrow band(10nm interval) ratio, R910 / R460, from transplanting to heading stage corresponded well to measured values ($Y=0.16799X-0.79776$; $R^2=0.94^{**}$). But another vegetation index, NIR(720~1,100nm) / Red (600~700nm), showed higher correlation with LAI than NIR / Blue did from heading stage to maturity.

Key words : Rice, Spectral reflectance, Leaf area index, Vegetation index.

농업생태계에서 작물의 생산은 작물군락의 태양광을 이용하는 능력과 기온, 수분조건 등 외부 환경에 따라 크게 달라진다. 따라서 작물의 생산량은 궁극적으로 태양 복사에너지의 변형, 축적이라고 볼 수 있다. 작물군락내에서 태양에너지의 투과, 반사, 흡수 등의 변화는 작물의 군락구조에 크게 지배되며 그 중에서 생육기간중 광합성 기관인 잎이 지면을 피복하는 속도와 양의 변화는 생

육시기별로 물질생산의 변화 양상과 태양에너지 이용 및 전환율을 결정하게 된다.

엽면적지수의 측정을 일반적으로 식물체의 엽신을 채취하여 엽면적계를 사용하여 단위·면적당 존재하는 잎의 면적을 측정하여 산출하고 있으나, 최근에는 군락구조계 등 기계를 사용하여 비파괴적인 측정과 수학적 모형으로 추정하고 있다^{9,10)}. 그리고 분광특성을 이용하여 직접 작물체와 접

농업과학기술원 논문투고 승인번호 : 96-1-4-020

* 농업과학기술원(National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon 441-707, Korea)

** 흥농종묘(Hungnong Seed Co., Cheonan 333-802, Korea)

*** 단국대학교(Coll. of Agri., Dankook Univ., Cheonan 330-714, Korea)

〈'96. 11. 5 接受〉

하지 않고 작물체의 생육정보를 유출해 내는 등⁷⁾ 원격탐사기법으로 식생상태를 모니터링할 수 있는 기초적인 연구도 활발하게 이루어지고 있다.

Pearson 등⁵⁾은 작물의 초장과 엽록소함량, 엽면적 등 작물군락의 밀도에 관계되는 요인이 가시광영역(visible)과 근적외광영역(near infrared) 파장들의 반사특성과 밀접한 관련이 있다고 보고 이들 반사율을 이용하여 다양한 조합을 만들어 이를 식생지수(vegetation index)라 하였다.

식생지수는 학자들마다 여러 가지 반사파장을 응용하여 식생군락의 밀도와 상관성이 높은 것을 밝히는 연구가 이루어지고 있는데, 이들 조합의 형태는 대체로 각 파장들의 비율로 나타내는 RVI (ratio vegetation index) 등이다^{2,4,6)}. 여러 가지 식생지수를 사용하여 Wiegand 등¹¹⁾은 수수, Gardner 등³⁾은 옥수수, Shibayama 등⁸⁾은 벼, Yamamoto 등¹²⁾은 콩에서 엽면적지수와 상관을 구하였다.

본 연구는 벼 군락에서 태양광의 반사특성을 이용하여 엽면적지수에 따른 반사스펙트럼의 변화와 이미 발표된 식생지수와 엽면적지수와의 관계를 검토하고, 엽면적지수를 더욱더 정확하게 추정할 수 있는 파장대를 구하여 원격탐사 및 식생정보 수집 응용연구를 위한 기초자료로 활용코자 하는 바이다.

재료 및 방법

본 시험은 경기도 수원시 서둔동에 위치한 기상청 수원기상대 구내 포장(37° 16'N, 126° 59'E 39m Alt.)에서 조생종 진부벼와 중만생종 대청벼, 일품벼 3품종을 공시하여 1993년 4월 30일에 파종, 5월 20일에 이앙하였다.

재식거리는 3품종 모두 30×15cm로 하였고, 시비량은 N-P₂O₅-K₂O를 11-7-8(kg/10a)로 하였으며, 기비는 질소 50%, 인산 100%, 칼리 70%를 사용하였으며, 1회 추비는 이앙후 2주후에 질소 20%, 2회 추비는 유수형성기에 질소 30%, 칼리 30%를 사용하여 실시하였다.

태양광의 파장별 관측에 이용된 관측기기는

330~1,100nm까지 측정이 가능한 spectroradiometer(LI-1800 미국 LICOR社)를 이용하였다. LI-1800을 이용한 측정은 이앙후 2주부터 황숙기까지 7~10일 간격으로 쾌청한 날을 택하여 태양의 고도의 변화가 비교적 적은 오전 11~12시 사이에 수행하였다. 측정방법은 군락의 생육상태가 고른 곳을 임의로 선정하여 최상위엽에서 50cm 상단부에서 센서(sensor)를 상향으로 하여 태양광의 입사량을 측정하고 같은 위치에서 센서를 하향으로 하여 반사량을 3반복으로 측정하였다. 측정시 파장간격은 330~1,100nm까지 10nm 간격으로 측정하였다.

엽면적 측정은 실험포장에서 태양광의 반사량을 측정하고 동일시기에 품종별로 3주씩 취하여 잎과 줄기를 각각 분리한 후 엽면적측정기(LI-3000, LICOR社)로 측정하고, 품종별로 엽면적지수를 구하였다. 엽면적지수의 추정은 태양광의 반사율을 각 파장별로 조합한 식생지수(vegetation index)와 실측 엽면적지수의 관계를 상관분석하여 가장 상관성이 높은 파장반사율 비율(식생지수)을 구하여 추정식을 만들어 실시하였다. TM, MSS 채널은 미국의 인공위성 Landsat에 부착된 센서로 파장범위는 표 1과 같다.

Table 1. Wavelength of satellite ; Landsat (USA)

Sensor	Spectral Channel	Resolution	Wavelength(nm)
MSS	4	80×80m	500~ 600
	5		600~ 700
	6		700~ 800
	7		800~1,100
TM	1	30×30m	450~ 520
	2		520~ 600
	3		630~ 690
	4		760~ 900
	5		1,550~1,750
	6		10,400~12,500
	7		2,080-2,350

MSS : Multispectral scanner
TM : Thematic mapper

결과 및 고찰

생육시기별 3품종의 엽면적지수(LAI)는 그림 1과 같고 진부벼는 출수기까지는 대청벼나 일품벼보다 높았으며, 출수기에 6.93으로 최고에 달한 후 급격히 감소하였다. 대청벼와 일품벼는 전반적으로 비슷한 LAI의 변화를 나타냈으며, 출수 1주일 전에 LAI가 6.99, 6.29로 가장 높았고, 진부벼보다 LAI의 증감 정도가 완만하였다.

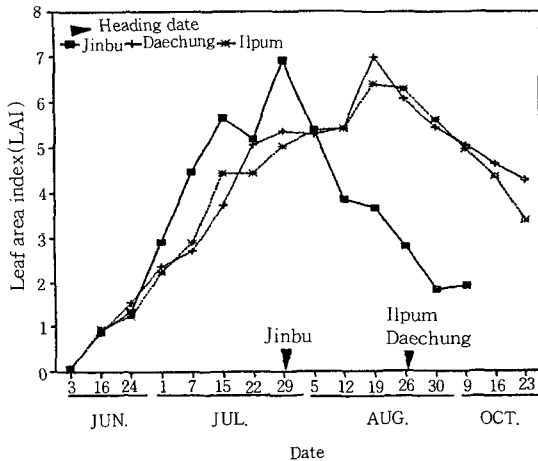


Fig. 1. Changes in LAI for three rice varieties.

출수전 LAI에 따른 파장별 반사율은 그림 2와 같이 가시광 파장대(400~700nm)에서는 대청벼, 일품벼, 진부벼는 LAI가 각각 0.87, 0.96, 0.89일 때 가장 높은 반사율을 나타냈고, LAI가 6.9, 6.4, 6.9일 때 가장 낮은 반사율을 나타내어 LAI가 증가할수록 반사율은 감소하였다.

가시광 파장대를 청색, 녹색, 적색 파장으로 세분하여 각각의 반사율을 보면 400~500nm의 청색 파장대와 600~700nm의 적색 파장대에서는 반사율이 낮고, 녹색 파장대인 500~600nm에서는 증가후 감소하는 경향이였다. 이 결과는 Jung⁴⁾, Yamamoto 등¹²⁾의 벼 및 콩군락에서 반사특성의 실험결과와 유사하였다.

근적외광 파장대(720~1,100nm)에서는 가시

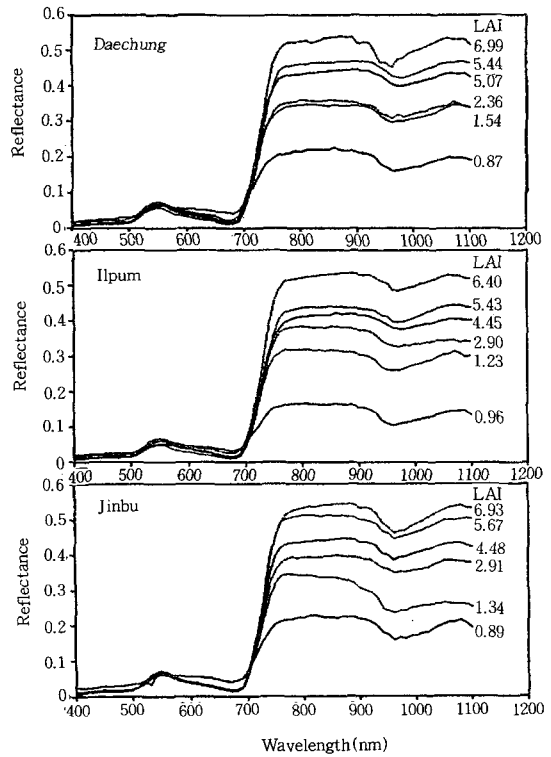


Fig. 2. Reflectance profile on LAI changes in three rice varieties.

광 파장대와 반대로 3품종 모두 LAI가 낮은 생육초기에는 반사율이 0.2 정도로 낮았으나, LAI가 증가하면서 반사율도 증가하는 경향이였다. 근적외광 파장대에서 반사율이 가장 높은 파장대는 910nm 전후와 1,070nm였고, 960nm 전후에서는 주위의 파장들보다 낮았다. 품종별로 대청벼는 진부벼나 일품벼보다 엽면적지수 1~2로 증가할 시기에 반사율의 증가폭이 적었으며, 가시광 파장대와 근적외광 파장대의 경계라고 할 수 있는 700~730nm에서는 다른 파장대와 비교하여 생육시기별 반사율의 증가폭이 매우 작았다. 반사특성의 이러한 결과는 출수기이전까지 LAI가 증가할수록 가시광 파장대의 반사율은 낮아지고 근적외광 파장대의 반사율은 높아진다는 Yamamoto 등¹²⁾의 실험결과와 일치하였다. 출수전까지 태양광의 반사특성을 이용하여 400~1,100nm까지 각각의 파장들의 반사율을 50nm 혹은 100nm 간격으로 나누어 LAI와의 관계를 상관 분석한 결과는 표 2와 같다.

Table 2. Relationships between LAI and spectral reflectance ratio measured from transplanting to heading stage for three rice varieties

Reflectance ratio	Correlation Coef.			Std. Error of Coef.			
	Daechung	Ilpum	Jinbu	Daechung	Ilpum	Jinbu	
A	R500 /R400	0.577	0.363	0.674	1.260	1.780	0.480
	R600 /R400	0.737**	0.577	0.708	0.360	0.610	0.180
	R700 /R400	0.758**	0.635*	0.721	0.210	0.320	0.110
	R500 /R450	0.665*	0.572	0.280	4.750	7.850	7.400
	R600 /R450	0.858**	0.783**	0.805*	0.760	1.040	1.330
	R700 /R450	0.872**	0.834**	0.857**	0.400	0.480	0.570
	R600 /R500	0.562	0.557	0.447	1.980	2.250	1.560
	R700 /R500	0.394	0.467	0.658	1.210	1.330	2.100
	R600 /R550	0.562	0.421	0.532	0.360	0.410	0.230
	R700 /R550	0.394	0.563	0.721	0.470	0.540	0.320
	R700 /R600	0.394	0.436	0.462	0.440	0.560	0.700
	R700 /R650	0.665*	0.810**	0.752	0.920	0.630	0.950
	B	R800 /R750	0.804**	0.844**	0.825**	17.360	10.200
R900 /R750		0.809**	0.934**	0.723	10.460	3.900	9.760
R1000 /R750		0.892**	0.899**	0.898**	4.380	2.810	3.760
R1100 /R750		0.804**	0.900**	0.852*	6.550	3.210	3.890
R900 /R800		0.532	0.909**	0.535	27.830	10.140	20.710
R1000 /R800		0.835**	0.813**	0.880**	7.630	5.250	5.770
R1100 /R800		0.709**	0.800**	0.815*	11.990	6.730	5.840
R1000 /R900		0.759**	0.712**	0.918**	10.820	8.480	6.470
R1100 /R900		0.575	0.589	0.901**	17.990	12.830	6.140
R1100 /R1000		0.644*	0.528	0.830**	19.340	14.690	24.170
C		R400 /R750	0.756**	0.757**	0.793*	17.450	13.280
	R500 /R750	0.790**	0.769**	0.745	11.880	10.330	13.240
	R600 /R750	0.775**	0.755**	0.758*	7.560	6.720	8.910
	R650 /R750	0.748**	0.742**	0.736	8.020	7.110	9.790
	R400 /R850	0.768**	0.766**	0.802*	18.950	13.770	15.650
	R500 /R850	0.806**	0.777**	0.761*	12.640	10.610	13.890
	R600 /R850	0.797**	0.769**	0.780*	7.920	6.760	9.150
	R650 /R850	0.764**	0.750**	0.750	8.650	7.360	10.320
	R400 /R950	0.742**	0.736**	0.819*	14.950	9.440	11.370
	R500 /R950	0.775**	0.739**	0.792*	10.070	7.210	9.650
	R600 /R950	0.763**	0.737**	0.821*	6.180	4.430	6.000
R650 /R950	0.736**	0.785**	0.780*	6.770	4.970	7.250	
D	R800 /R400	0.892**	0.836**	0.802*	0.013	0.020	0.010
	R850 /R400	0.899**	0.840**	0.806*	0.012	0.019	0.010
	R900 /R400	0.909**	0.849**	0.814*	0.012	0.019	0.010
	R950 /R400	0.965**	0.868**	0.827*	0.013	0.018	0.011
	R1000 /R400	0.910**	0.847**	0.820**	0.012	0.019	0.011
	R910 /R460	0.960**	0.979**	0.962**	0.017	0.011	0.022
	R800 /R500	0.932**	0.973**	0.919**	0.031	0.018	0.041
	R850 /R500	0.940**	0.975*	0.924**	0.028	0.017	0.039
	R900 /R500	0.939**	0.978**	0.932**	0.029	0.016	0.037
	R950 /R500	0.936**	0.976**	0.942**	0.031	0.017	0.035
	R1000 /R500	0.942**	0.976**	0.945**	0.029	0.017	0.034
	R800 /R550	0.901**	0.900**	0.891**	0.214	0.177	0.270
	R850 /R550	0.916**	0.908**	0.897**	0.193	0.165	0.259
	R900 /R550	0.913**	0.916**	0.909**	0.195	0.154	0.240
	R950 /R550	0.907**	0.918**	0.916**	0.208	0.145	0.210
	R1000 /R550	0.924**	0.919**	0.929**	0.178	0.148	0.206
	R800 /R600	0.896**	0.898**	0.897**	0.099	0.083	0.117
	R850 /R600	0.907**	0.904**	0.903**	0.091	0.079	0.113
	R900 /R600	0.904**	0.912**	0.924**	0.926	0.075	0.105
	R950 /R600	0.902**	0.918**	0.927**	0.100	0.073	0.096
	R1000 /R600	0.864**	0.902**	0.970**	3.540	2.548	2.347
	R800 /R650	0.904**	0.938**	0.917**	0.043	0.031	0.050
	R850 /R650	0.912**	0.941**	0.920**	0.041	0.029	0.048
R900 /R650	0.909**	0.947**	0.927**	0.041	0.028	0.046	
R950 /R650	0.911**	0.948**	0.937**	0.045	0.028	0.043	
R1000 /R650	0.915**	0.949**	0.940**	0.041	0.028	0.043	

*. ** : Significant at P=.05, .01 respectively

A : Combination of visible wavelength, B : Combination of near infrared wavelength, C : Combination of visible and near infrared wavelength, D : Combination of near infrared and visible wavelength

가시광 파장대의 각각의 파장들의 비율(A)과 LAI와의 상관관계가 가장 높은 것은 청색 파장대인 R400nm와 R450nm로 나눈 비율로 R700/R450이 대청벼, 일품벼, 진부벼 각각의 상관계수가 $r=0.87^{**}$, 0.83^{**} , 0.857^{**} 이었으며, R500/R450에서는 $r=0.66^*$, 0.57 , 0.28 로 유의성이 없는 것으로 나타났다. 500nm와 550nm의 녹색 파장을 분모로 한 비율은 3품종 모두 유의성이 없었으며, 적색 파장인 600nm와 650nm로 조합중 R700/R600비율보다 R700/R650의 비율이 상관관계가 높았다.

근적외광 파장들간의 조합(B)에서는 대체로 높은 상관관을 보였으나 회귀계수의 표준오차가 컸으며 그중 R1000/R750이 대청벼, 일품벼, 진부벼 각각 $R=0.892^{**}$, 0.899^{**} , 0.898^{**} 이었고, R1100/R1000이 표준오차가 가장 컸으며 상관계수도 낮았다. 가시광 파장의 반사율을 근적외광 파장의 반사율로 나눈 조합(C)에서는 상관계수는 높았으나 회귀계수의 표준오차가 컸으며 그중 R400/R850의 표준오차가 가장 컸다. 근적외광 파장의 반사율을 가시광 파장의 반사율로 나눈 조

합(D)에서는 400nm 및 500nm의 청색파장으로 나눈 조합이 전반적으로 높은 상관관을 보였으나 500nm로 근적외광 파장(720~1,100nm)의 반사율을 각각 나눈 조합이 회귀계수의 오차가 커서 상관관계가 떨어지는 것으로 나타났다. 녹색파장인 550nm를 분모로 한 조합은 상관관은 높았으나 청색파장이나 적색파장보다 표준오차가 큰 것으로 나타났다. 또한 적색파장의 600nm와 650nm를 분모로 한 것은 녹색파장 550nm보다 상관관이 높았으나 청색파장보다는 표준오차가 컸으며, 특히 R1000/R600이 표준오차 3.54, 2.54, 2.34로 D조합중 가장 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과로 A, B, C, D로 구분된 각 파장들의 비율 조합중 근적외광 파장대의 반사율을 가시광 파장대의 반사율을 분모로 나눈 D조합이 LAI와 상관관이 높았고, 가시광 파장대(400~700nm) 중에서도 청색파장(400~500nm)의 반사율로 나눈 비율이 LAI와 상관관이 더욱 높다는 것을 알 수 있었다.

출수 이전에 기존의 몇 가지 식생지수와 LAI와의 상관관계는 표 3과 같다. 근적외광 반사율과 청색파장대 반사율의 비율이 LAI나 건물중과 상

Table 3. Relationships between LAI and vegetation index from transplanting to heading stage

Reflectance ratio	Correlation Coef.			Std. Error of Coef.		
	Daechung	Ilpum	Jinbu	Daechung	Ilpum	Jinbu
NIR / Blue	0.935**	0.977**	0.978**	0.02	0.01	0.01
NIR / Green	0.914**	0.911**	0.916*	0.13	0.11	0.16
NIR / Red	0.908**	0.936**	0.920**	0.05	0.04	0.07
R850 / R650	0.912**	0.942**	0.920**	0.04	0.03	0.05
R800 / R550	0.902**	0.900**	0.891**	0.21	0.18	0.27
R910 / R460	0.960**	0.979**	0.962**	0.02	0.01	0.02
R950 - R550	0.899**	0.932**	0.974**	3.30	2.57	2.03
R1050 - R550	0.898**	0.931**	0.979**	2.94	2.14	1.80
ND7	0.768**	0.757**	0.788**	11.30	9.41	12.66
NVI	0.760**	0.758**	0.750**	10.10	8.75	12.06
MSS7 / 4	0.917**	0.918**	0.920**	0.02	0.02	0.02
MSS7 / 5	0.909**	0.933**	0.921**	0.04	0.03	0.05
TM4 / 1	0.941**	0.965**	0.931**	0.02	0.01	0.02
TM4 / 3	0.977**	0.892**	0.915**	0.02	0.02	0.02

*. ** : Significant at $P = .05, .01$ respectively

ND7 : $(MSS7 - MSS5) / (MSS7 + MSS5)$; NVI : $(TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$

Blue : 400~500nm, Green : 500~600nm, Red : 600~700nm, NIR : 720~1,100nm

관관계가 높은 결과는 R850/R650의 조합이 LAI와의 상관관계가 매우 높았다고 한 Yamamoto 등¹²⁾의 결과 및 Daughtry 등¹⁾, Shibyama 등⁸⁾이 NIR/Red의 조합이 LAI 및 건물과의 상관성이 가장 높았다고 한 결과와는 파장대별로 약간의 차이는 있었다. 그러나 반사율이 큰 근적외광 파장대를 반사율이 낮은 가시광 파장대로 나눈 비율이 상관성이 높다는 결과는 유사하였다.

근적외광 파장대의 반사율을 청색, 녹색, 적색 파장대의 반사율로 나눈 식생지수와 LAI의 상관성은 녹색파장대에서 $r=0.91^{**} \sim 0.92^{**}$ 였고 청색, 적색파장대는 $r=0.91^{**} \sim 0.94^{**}$ 으로 녹색파장대보다 높았으며, 적색파장대보다는 청색파장대의 상관성이 더 높았다. LAI 및 건물생산량과의 상관성이 가장 높았던 R910/R460비율과 Shibayama 등⁷⁾의 R800/R550 비율 및 Yamamoto 등¹²⁾의 R850/R650의 비율을 비교한 결과, LAI와의 상관성이 R910/R460의 청색파장으로 나눈 비율이 가장 높았으며, R850/R650의 분모가 적색파장인 비율이 그 다음으로 높았다. 또한 NIR/Blue와 R910/R460 중 R910/R460이 더 높은 상관성을 보였다.

Landsat의 TM과 MSS를 이용한 조합은 Yang 등¹³⁾이 TM4/TM3의 조합이 건물량과의 상관성이 높다고 하였고, Gardner 등³⁾은 MSS7/MSS5의 조합이 LAI와의 상관성이 높다고 하였다. 이들 기존의 보고된 각각의 비율들(vegetation indices)을 비교한 결과 역시 표 3에서 적색파장을 포함하는 TM3과 MSS5를 분모로 한 것보다 청색 파장대인 TM1과 MSS4를 분모로 한 비율이 LAI와 높은 상관성을 보였으며 회귀계수의 표준오차도 작았다.

Landsat의 TM band를 이용한 식생지수는 TM4/TM1의 식생지수가 20일 때 LAI가 1 정도 되었으며, 식생지수가 55일 때 LAI가 6.5정도 나타난 것으로 식생지수가 1 증가함에 따라 LAI가 0.13정도 증가하여 R910/R460의 식생지수에 비하여 식생지수 증가에 따른 엽면적 증가율이 낮았으며 결정계수도 낮았다.

식생지수와 실측 LAI와의 관계는 그림 3과 같으며, R910/R460의 식생지수는 반사파장인 10

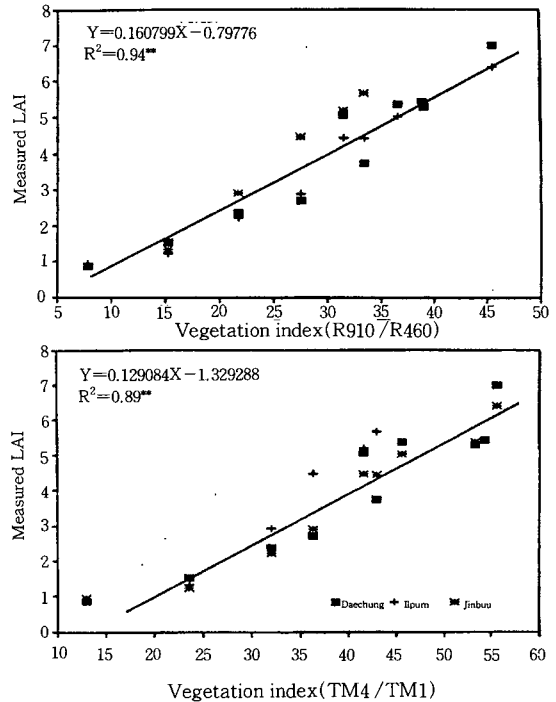


Fig. 3. Relationships between vegetation index(R910/R460), (TM4/TM1) and LAI in rice canopy.

정도일 때 LAI는 1 정도로 되었고, 식생지수가 45정도일 때 LAI가 6.5정도 높아진 것으로 식생지수가 1 증가함에 따라 LAI는 0.16정도 높아지는 경향이었다.

식생지수로 추정된 LAI와 실측 LAI와의 관계는 그림 4와 같으며, 추정치와 실측치를 1:1 선상에 놓고 보면 R910/R460 식생지수는 LAI가 4 이하일 때 약간 과대추정되었고, 그 이상에서는 실측치와 추정치가 비슷하였다. 식생지수 TM4/TM1으로 추정된 LAI는 4를 전후해서는 추정치와 실측치가 잘 일치하는 경향이었으나, LAI 4이하에서는 과대 추정되었고, 4이상에서는 과소 추정되었으며, LAI 5를 전후해서는 분산이 매우 컸다. 실측치와 추정치간의 결정계수는 R910/R460이 $R^2=0.94^{**}$ 로 TM4/TM1의 $R^2=0.83^{**}$ 에 비해 높았다.

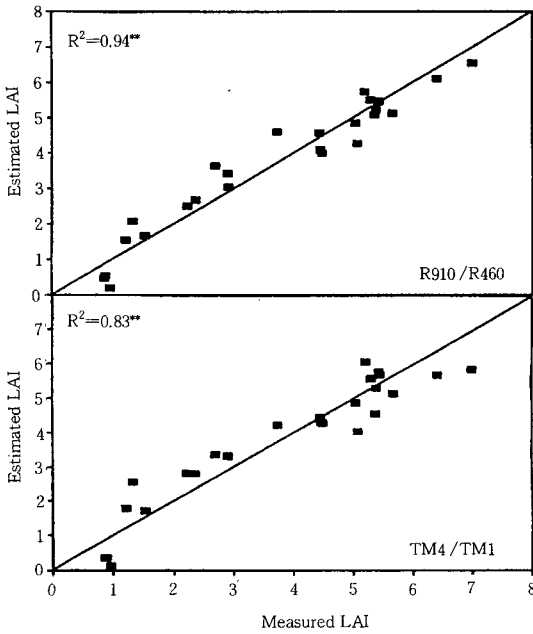


Fig. 4. Relationships between LAI estimated by vegetation index and LAI measured from rice canopy.

출수기이후에 식생지수와 LAI와의 상관관계

는 표 4와 같은데, R910/R460이나 R850/R650의 파장간의 조합처럼 근적외광 파장대의 반사율을 가시광 파장대의 청색이나 적색파장의 반사율로 나눈 것에서는 R850/R650과 같이 적색파장을 분모로 한 비율이 청색광보다 상관성이 더 높았다. TM band에서도 적색파장(TM3)의 반사율로 나눈 비율이 다른 파장의 반사율보다 높은 상관성을 나타냈고, 회귀계수의 표준오차 역시 작은 것으로 나타났다.

근적외광 파장의 반사율을 가시광 파장의 반사율로 나눈 비율이 출수전이나 출수후에도 LAI 추정시 오차를 작게 하지만, 가시광 파장중에서도 출수기 이후에는 출수전의 청색파장의 반사율을 분모로 하여 나눈 것과는 달리 적색파장의 반사율이 LAI 추정에 좋은 것으로 판단된다.

적 요

태양복사 스펙트럼을 이용하여 벼 군락의 엽면적지수를 비파괴적인 방법으로 추정하고자 1993년 경기도 수원기상대 포장에서 조생종 진부벼와 중만생종 대청벼, 일품벼를 공시하여 벼 군락의

Table 4. Relationships between LAI and vegetation index from heading to maturing stage.

Reflectance ratio	Correlation Coef.			Std. Error of Coef.		
	Daechung	Ilpum	Jinbu	Daechung	Ilpum	Jinbu
NIR / Blue	0.525	0.680*	0.995**	0.06	0.07	0.01
NIR / Green	0.752**	0.806**	0.960**	0.21	0.22	0.04
NIR / Red	0.939**	0.910**	0.988**	0.04	0.07	0.03
R850 / R650	0.957**	0.923**	0.982**	0.02	0.04	0.03
R800 / R550	0.939**	0.857**	0.793*	0.13	0.24	0.07
R910 / R460	0.740**	0.738**	0.987**	0.05	0.07	0.02
R950 - R550	0.463	0.050	0.887**	3.98	13.19	8.11
R1050 - R550	0.492	0.177	0.864**	3.40	11.76	7.22
ND7	0.734*	0.950**	0.921**	10.20	11.52	17.86
NVI	0.974**	0.963**	0.898**	5.14	8.52	17.12
MSS7 / 4	0.692*	0.791**	0.997**	0.02	0.03	0.01
MSS7 / 5	0.912**	0.897**	0.992**	0.07	0.07	0.01
TM4 / 1	0.827**	0.800**	0.997**	0.03	0.04	0.01
TM4 / 3	0.968**	0.920**	0.988**	0.01	0.02	0.01

*. **: Significant at P = .05, .01 respectively

ND7 : (MSS7 - MSS5) / (MSS7 + MSS5), NVI : (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)

Blue : 400~500nm, Green : 500~600nm, Red : 600~700nm, NIR : 720~1,100nm

태양광 반사특성과 엽면적지수의 시기별 변화를 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 출수이전의 생육기간동안에 태양광의 파장별 반사율은 가시광 파장대에서는 0.1이하로 낮았고, 근적외광 파장대에서는 0.1~0.5 이상이었다. 가시광 파장대에서는 LAI가 증가할수록 반사율이 감소하였고, 근적외광 파장대는 LAI가 증가할수록 반사율도 증가하였다.
2. 출수전에 근적외광 파장대(720~1,100nm)의 반사율을 가시광 파장대(400~700nm)의 반사율로 나눈 비율이 LAI와 높은 상관관을 보였으며, 가시광 파장대중에서는 녹색, 적색파장보다 청색파장(400~500nm)의 반사율로 나눈 비율이 높은 상관관을 보였다.
3. 근적외광 파장의 반사율을 청색파장의 반사율로 나눈 비율중에서 특히 R910/R460 비율이 LAI와 가장 높은 정의 상관관을 보였다.
4. 출수이전의 R910/R460과 LAI의 회귀식을 이용한 추정식 $Y=0.160799X-0.79776$ 는 실측치와의 상관관계가 매우 높았다.
5. 출수이후엔 근적외광 파장(720~1,100nm)의 반사율을 적색파장(600~700nm)의 반사율로 나눈 비율이 청색이나 녹색파장의 반사율로 나눈 것보다 LAI와의 상관관이 높았다.

LITERATURE CITED

1. Daughtry C.S, M.E Bauer, D.W Crecelius and M.M Hixson. 1980. Effects of management practices on reflectance of spring wheat canopies. *Agronomy. J.* Vol. 72(6): 1055-1060.
2. Deering D.W, J.W Rouse, R.H Haas and J.A Schell. 1975. Measuring "forage production" of grazing units from LANDSAT MSS Data. Tenth Int. Symp. Remote Sensing of Environment. Univ. of Michigan. 1169-1178.
3. Gardner B.R and B.L Blad. 1986. Evaluation of spectral reflectance models to estimate corn leaf area while minimizing of soil back ground effects. *Remote Sensing of Environ.* 20:183-193.
4. Jung Won-Kyo. 1993. Identifying the ground vegetation by statistical analysis of remotely sensed data. Thesis. Kyunghee University.
5. Pearson R.L, L.D Miller and C.J Tucker. 1976. Handheld spectral radiation to estimate gramineous biomass. *Appl. Optics.* 15:416-418.
6. Rouse Jr. J.W, R.H Hass, J.A. Schell and D.W Deering. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symp. 1:309-317.
7. Shibayama M and K Munakata. 1986. A spectroradiometer for field(III). A comparison of some vegetation indices for predicting luxuriant paddy rice biomass. *Japan. J. Crop Sci.* 55:47-52.
8. _____ and _____. 1986. A spectroradiometer for field use(IV). Radiometric estimation for chlorophyll index of rice canopy. *Japan. J. Crop Sci.* 55:433-438.
9. Wells J.M. 1990. Some indirect method of estimating canopy structure. *Remote Sensing Reviews* 5(1):31-34.
10. _____ and J.M Norman. 1991. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. *Agronomy Journal* 83:818-825.
11. Wiegand C.L, A.J Richardson and E.T Kanemasu. 1979. Leaf area index estimates for wheat from LANDSAT and their implications for evapotranspiration and crop modeling. *Agronomy J.* Vol. 71(2):336-342.
12. Yamamoto H, H Honjo and Y Wakiyama. 1990. Evaluation of leaf area index and biomass of soybean canopies using spectral reflectivity. *J. Agr. Met.* 46(1):19-22.

13. Yang Young-Kyu, 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. 1 163-187.