

2종의 엽록소 측정기를 이용한 포장내 벼의 엽록소 함량 분포 측정

Measurement of Variability of Chlorophyll Contents in Paddy Fields Using Two Kinds of Chlorophyll Meter

성제훈 서상룡 박우풍 정인규 김상철 이충근
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원 정회원
J. H. Sung S. R. Suh W. P. Park I. G. Jung S. C. Kim C. K. Lee

ABSTRACT

This study was investigated the possibility of measuring chlorophyll in paddy crops using two kinds of chlorophyll meters (SPAD-502, Field Scout). The results of correlation analysis showed the 0.7758(r^2) relationship between the chlorophyll contents of paddy leaves measured by SPAD and spectro-photometer. It indicates that chlorophyll content in paddy crops could be measured using the SPAD.

Considering the data of the SPAD and Field Scout, there was significant difference between their chlorophyll contents measured by the SPAD and Field Scout. Likewise, such results were consistent with the corrected data using light intensity. According to the results, it can be concluded that it is difficult to describe the rice chlorophyll measured by the Field Scout more accurately than the SPAD when using one standard spectrum and another spectrum for reflectance measuring.

The chlorophyll variance measured at a research institute and a farmer's field revealed that the output of SPAD was more reliable than that of the Field Scout.

Keywords : Canopy, Chlorophyll, Field scout, Precision agriculture, Reflectance, SPAD.

1. 서 론

시비작업은 엽색, 무성정도를 육안으로 보면서 과거의 경험, 포장별 이력, 품종, 기상조건 등을 고려하여 시비적기, 시비량을 판단·결정해야 하기 때문에 농작업 중에서도 매우 복잡하고 까다로운 작업에 속한다. 게다가 넓은 포장에서는 위치별로 생육차이가 있으므로 이러한 생육변이에 따라 시비량을 가감해야 하는 어려움이 추가된다.

정밀농업형 시비를 위해서는 작물의 생육상태를

측정하는 센서 개발이 요구된다. 생육중인 작물의 생육상태를 측정하는 방법에는 여러 가지가 있다. 농촌진흥청 “농작물생육조사에관한규정”에 의하면 출수전에는 m^2 당 주수(m^2 당 입모수), 초장, 주당경수(m^2 당 경수)를 측정하고, 출수후에는 주당(m^2 당) 수수, 수당(m^2 당) 총입수, 수당(m^2 당) 완전입수, 수당(m^2 당) 완전립비율을 측정하도록 규정하고 있다¹⁾. 그러나 이러한 규정은 수작업에 의한 생육조사를 기준으로 작성된 내용이고, 정밀농업을 위해서는 초장, 분얼수, 엽록소, 무성정도 등을 동시에 실시

The article was submitted for publication in October 2002, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in March 2002. The authors are Je Hoon Sung, Research Engineer, National Agricultural Mechanization Research Institute, RDA, Suwon, 441-707, Korea, Woo Pung Park, In Gyu Jung, Sang Cheol Kim and Choung Keun Lee, Research Engineer, National Agricultural Mechanization Research Institute, RDA, Suwon, 441-707, Korea. Sang Ryong Suh, Professor, Dept. of Bio Systems & Agricultural Engineering, Institute of Ag. Sci. and Tech. Chonnam National University, Gwangju, 500-757, Korea. The corresponding author is Je Hoon Sung, Research Engineer, National Agricultural Mechanization Research Institute, RDA, Suwon Korea, 441-707; fax : +82-31-290-1900; e-mail: <jhsung@rda.go.kr>.

간으로 측정해야 한다^{2,3)}.

본 연구에서는 생육중인 작물의 생육상태를 파악하는 요인 중의 하나인 엽록소를 측정하기 위한 엽록소센서 개발 기초연구로서 기존에 나와있는 두 종류의 엽록소 측정기(chlorophyll meter, SPAD-502, Minolta, Japan, 이하 SPAD와 Field scout, CM1000, Spectrum technologies, Inc. USA, 이하 Field Scout)를 이용하여 포장내 엽록소의 변이를 측정하고 노지에서 광반사 측정을 통한 엽록소 센서 개발의 가능성을 알아보고자 한다.

작물군락의 반사율을 측정하므로써 엽록소의 조성을 추정할 수 있고, carotenoid와 엽록소a의 양을 추정함으로써 일반적인 작물의 생육상태를 알 수 있다는 사실은 널리 알려져 있다⁴⁾. 성 등(1999)에 의하면 SPAD를 이용하여 측정한 벼 잎의 잎 간, 잎 내 및 주간 엽록소 함량의 변이는 모두 99% 유의수준에서 유의하게 다르지 않은 것으로 나타났다⁷⁾. 또한 0.3ha의 포장에서 5×5m 단위크기의 면적을 측정하여 포장 전체의 변이를 표현하고자 하는 경우에도 5×5m 단위 면적내에서는 SPAD 값의 차이가 유의하게 다르지 않은 것으로 나타났다^{2,3,6)}. 따라서 SPAD 값을 이용하여 벼의 엽록소 함량을 측정할 수 있기 때문에 SPAD 값을 기준으로 Field Scout의 벼 엽록소 함량 측정 정밀도를 알아보고 이 결과를 이용하여 노지광을 이용한 엽록소 측정장치의 가능성을 고찰하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

가. 시험 포장 및 엽록소 측정

(1) 시험포장

시험포장은 우리나라의 전형적인 수도 포장으로서, 100×30m 직사각형 형태의 농업기계화연구소 포장((37.287678N, 126.956689E), (37.287793N, 126.956999E), (37.288498N, 126.956188E), (37.288544N, 126.956474E))과 100×100 m의 능가포장((37.044641N, 127.195941E), (37.043806N, 127.196190E), (37.043944N, 127.197173E), (37.044786N, 127.196979E))이다.

연구소 시험포장의 관개수는 그림 1과 같이 오른쪽 아래에서 왼쪽 위로 흐른다. 2002년 4월 15일 일품벼를 파종하여 5월 14일 이앙하였으며, 이앙 직전에 2001년말의 토양조사 결과를 이용하여 환경보전형 시비기준에 의해 5×5m 단위로 질소질 비료를 수작업으로 변량시비하였다. 이러한 수작업에 의한 변

량시비를 4년째 수행하고 있다. 7월 29일 이삭거름을 주었으며 그 외 비료는 투입하지 않았다. 생육측정은 7월 30일부터 3일간 실시하였다. 측정을 위한 단위 메쉬는 5×5m로 구분하였다. 이앙기준이 87주/평이므로, 단위 메쉬 내에는 약 660주가 식재돼 있다.

안성 능가포장의 관개수는 그림 2와 같이 오른쪽 아래에서 왼쪽 위로 흐른다. 2002년 4월 12일 추청벼를 파종하여 5월 12일 이앙하였다. 시비관리는 화학비료를 10a당 약 15kg의 질소, 5kg의 인산 그리고 5kg의 카리비료를 살포하였다. 7월 29일 이삭거름을 주었으며 2001년에 우분과 벧짚으로 만든 퇴비를 10a당 3,000kg 살포하였다. 생육측정은 7월 30일부터 3일간 실시하였다. 측정을 위한 단위 메쉬는 5×10m로 구분하였다.

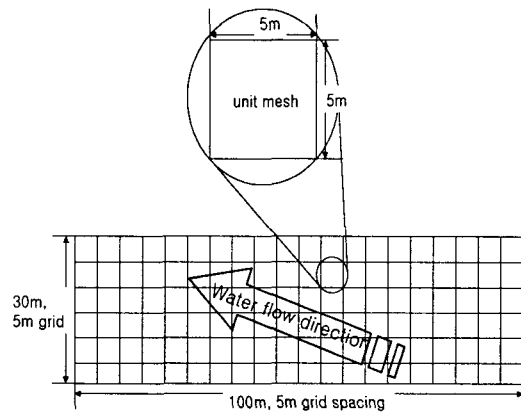


Fig. 1 Sampling points and unit mesh of a test field in NAMRI, Suwon.

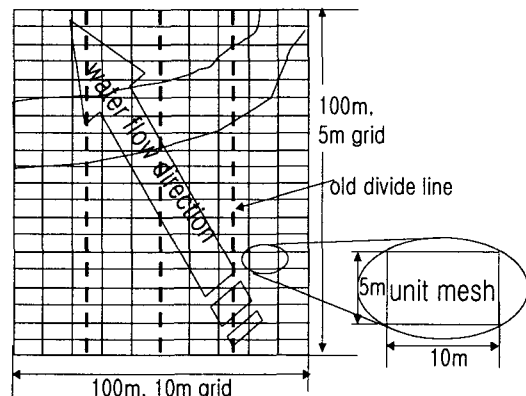


Fig. 2 Sampling points and unit mesh of a farmer's test field in Ansung.

(2) 엽록소 측정

SPAD를 이용한 엽록소 측정은 단위 메쉬 중심부근에서 벼 5주를 대상으로 주당 5위치씩을 측정하여 25위치의 값을 평균하였다. Field Scout를 이용한 엽록소 측정은 단위 메쉬 중심 부근을 대상으로 태양을 등지고 태양광선과 평행하게 1m정도 떨어져서 측정하였다. 능가포장의 경우 벼 출수기와 출수 직후 2회에 걸쳐 Field Scout을 이용하여 엽록소를 측정하였다.

나. 엽록소 측정기

(1) SPAD

SPAD-502는 日本農林水産省 農蠶園藝局 農産科의 “植付前 土壤 等 診断機器 實用化 事業(Soil & Plant Analyzer Development, SPAD)”에 의해 개발된 계측기이다⁸⁾. 이 계측기의 주 측정 대상은 벼이고, 벼의 엽육(葉肉)내 엽록소 함량을 간단하게 측정하여 수도작 추비량 산정시 정확한 시비량과 시비 시기를 판단하는데 도움을 주고자 만들었다. 따라서 이 계측기의 사용설명서에는 수도작 벼의 영양상태를 알 수 있도록 SPAD 값과 실제 엽록소 함량간의 상관관계를 나타내는 그래프와, SPAD 값에 따른 추비량 및 시비 대조표가 포함되어 있다.

계측 원리는 엽록소에 민감한 파장대인 650nm와 둔감한 파장대인 940nm 대역의 빛을 발광다이오드(light emitting diodes)를 이용하여 발생시키고, 이 빛을 2×3mm 창으로 통과하게 한 후 두께가 1.2mm 이내의 벼 잎을 통과한 빛 강도를 실리콘 광다이오드(silicon photodiode)로 측정하고 두 파장대 값의 차이를 이용하여 엽록소 함량을 -9.9부터 99.9사이의 값으로 나타내 준다.

SPAD는 그림 3과 같이 얇은 고무막을 이용하여 암실을 만든 후 650,940nm의 빛을 조사하므로 외란광의 영향을 받지 않는다는 장점이 있다. 그러나, 측정창의 크기가 매우 작아(2×3mm) 잎 내 위치별 변이가 존재하는 단점이 있다. 또 다른 단점은 비파괴 형식이긴 하나 벼 잎에 직접 대고 측정해야 하므로 정밀농업형 센서의 특징인 실시간, 원격탐사형 센서를 만들기는 곤란한 단점이 있다.

(2) Field Scout

Field Scout는 미국 Spectrum Technologies, Inc.사에서 만든 엽록소 측정장치이다. Field Scout는

SPAD와 마찬가지로 두 개 파장대의 광반사도 차이를 이용하여 지수형태의 출력값을 제공하는데, SPAD와 다른 점은 노지광을 이용한다는 점이다. 즉, 식물체의 군락에서 반사하는 자연광을 엽록소에 민감한 파장대인 700nm와 엽록소에 둔감한 파장대인 840nm 대역에서 측정하여 이 값의 차이를 이용하여 0부터 999사이의 값으로 나타내 준다. 인공광을 사용하지 않고, 자연광을 이용하므로 측정당시의 광강도를 0부터 9단계로 나누어 측정값과 동시에 저장하여 추후 보정하는 데 사용할 수 있도록 하고 있다. 본 계측기의 최단 측정거리는 30cm(이 경우 측정 직경은 1.1cm)이며 최대 측정거리는 180cm(측정직경 190cm)이다⁹⁾. 이 계측기의 측정 특징은 그림 4와 같다. Field Scout의 특징은 측정 대상물에 접촉하지 않고 원격으로 측정한다는 점과, 일정면적을 동시에 측정한다는 점이다.

다. SPAD 값과 엽록소 함량간의 관계

앞에서 언급한 바와 같이 SPAD는 당초 벼 용으로 개발된 계측기이고, 계측기 제공시 SPAD 값과 실제 엽록소 함량간의 상관관계를 나타내는 그래프를 제공해 준다. 이 그래프에 의하면 벼 잎 내 엽록소 농도(x)와 SPAD 값(y) 간에는 식 1과 같은 관계를 갖는다⁸⁾.

$$y = 0.079x - 0.154 \quad (r = 0.908, n = 68) \quad (1)$$

그러나, 이 수식은 일본의 벼를 대상으로 한 것이므로, 국내의 품종을 대상으로 별도의 실험을 실시하였다.

SPAD 값과 실제 벼 엽록소 함량간의 상관관계를 구하기 위해 일품벼 49주를 대상으로 실험을 실시하였다. 실험은 먼저 SPAD-502를 이용하여 벼 한 주당 7위치에서 SPAD 값을 측정 후 SPAD로 측정된 해당 위치를 직경이 6mm가 되도록 펀치를 이용하여 도려냈다. 도려진 벼 잎의 엽록소는 80% 아세톤(acetone) 용액에서 7일간 암실 추출하여 663nm와 645nm에서 각각 흡광도(absorbance)를 측정 후 식 2를 이용하여 엽록소 a와 b의 함량을 각각 구한 뒤 엽록소 a+b의 함량을 계산하였다⁴⁾.

$$\begin{aligned} \text{chlorophyll } a &= 0.0127 A_{663} - 0.00269 A_{645} \\ \text{chlorophyll } b &= 0.0229 A_{645} - 0.00468 A_{663} \end{aligned} \quad (2)$$

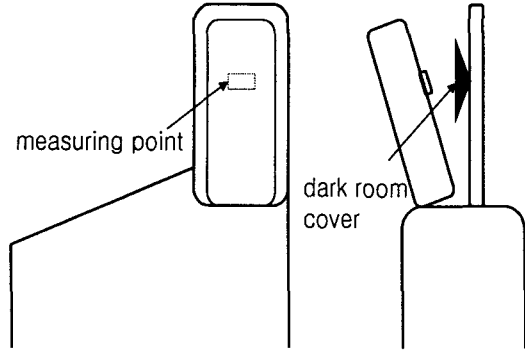


Fig. 3 Appearance and sampling window of SPAD-502.

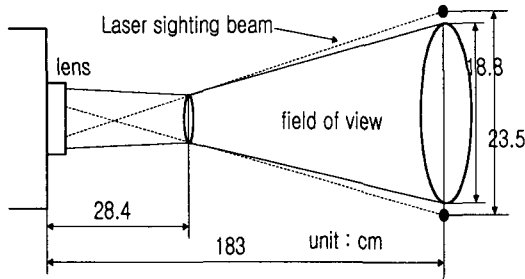


Fig. 4 Appearance and FOV of Field Scout.

라. 분석

측정한 엽록소값을 대상으로 기술통계분석을 실시하고, SPAD와 엽록소 함량, SPAD와 Field Scout 간의 상관관계를 분석하였다. 분석은 통계 분석 전용 소프트웨어인 SAS(ver. 8.01, SAS Institute Inc., NC)를 이용하였다⁵⁾. 두 측정기를 이용한 측정값을 이용하여 시험포장내 엽록소의 변이를 묘사하였다.

3. 결과 및 고찰

가. SPAD 값과 엽록소 함량간의 관계

우리나라 품종의 벼를 대상으로 SPAD 값과 벼 엽록소 함량과의 관계를 알아보기 위한 실험 결과 SPAD와 벼 엽록소 함량간에는 그림 5와 같은 상관관계가 있었다. 일본에서 실험한 결과는 상관계수가 0.908이었으나⁸⁾, 본 연구에서 실험한 결과 0.7758로 일본의 실험결과보다 낮게 나왔다. 그러나 선행연구결과 등^{2,3,4,6,7)}을 감안하여 볼 때 1 ha 크기 수준의 포장을 5×5m 단위의 구획으로 나누어 SPAD를 이용하여 구획당 25주의 엽록소를 측정 한 후 포장 전체의 엽록소 함량 분포를 파악하는 것은 타당한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 벼 잎내 엽록소 함량과 일정한 상관관계를 보인 SPAD 값을 기준으로 노지광을 이용하는 Field Scout의 벼

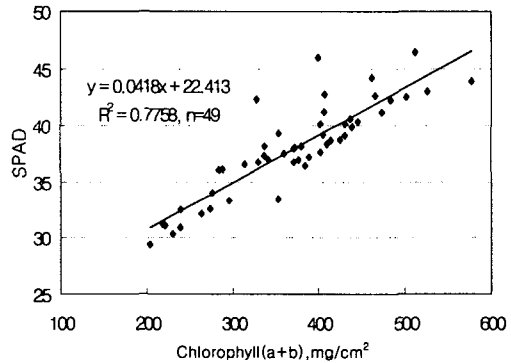


Fig. 5 Correlation between total chlorophyll contents measured by SPAD-502 and calculated absorbance at 663, 645nm using spectro photometer.

Table 1 Descriptive statistics of chlorophyll measured at a test field of NAMRI, Suwon and a farmer's field in Ansung

field	variance	average	std.	CV	min.	max.	kurtosis	skewness
Institute test field(n=120)	SPAD	34.78	1.99	5.72	28.10	40.00	0.92	-0.584
	Field Scout	602.69	40.26	6.68	500.30	700.00	-0.45	-0.131
Farmer's test field(n=200)	SPAD	31.92	3.54	11.10	23.60	38.7	-0.84	-0.338
	1st test	649.32	69.16	10.65	521.0	871.0	0.016	0.527
	2nd test	477.25	68.61	15.34	90.0	641.0	3.047	-0.586

엽록소 함량 측정 정밀도를 알아보고 이 결과를 이용하여 노지광을 이용한 엽록소 측정장치의 가능성을 고찰하는데 본 연구의 목적이 있다.

나. 기술통계

두 개 시험포장에서 2종의 엽록소 측정기를 이용한 엽록소 측정 변이를 알아보기 위해 측정값을 대상으로 기술통계분석을 실시했다. 분석결과 연구소 시험포장의 엽록소 변이가 농가포장의 엽록소 변이에 비해 더 작았는데, 이러한 결과가 변량시비의 결과인지는 별도의 분석이 필요한 것으로 판단된다. 왜도와 첨도는 두 포장 모두 비교적 안정적이었다.

그러나 농가포장에서 출수가 직후에 실시한 2차 시험의 경우 1차 시험때보다 변이가 4.7% 정도 더 컸다. 이는 이미 출수가 된 후라서 벼 잎의 반사뿐만 아니라 출수한 이삭의 반사도 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다. 또한 첨도의 경우도 정규분포보다 뾰족하게 분포하고 있어 특정부분에 측정값이 몰려있음을 알 수 있다. 이러한 경우는 특정 문턱값을 이용하여 엽록소 량을 구간별로 나누기가 곤란하다.

다. SPAD와 Field Scout간의 상관분석

전술한 바와 같이 SPAD 값을 이용하여 벼의 엽록소 함량을 측정할 수 있기 때문에 SPAD 값을 기준으로 Field Scout의 벼 엽록소 함량 측정 정밀도를 알아보기 위해 두 기기간의 상관관계를 분석하였다.

연구소 시험포장과 농가포장에서 SPAD와 Field Scout 간의 상관관계를 분석한 결과는 표 2와 같다. 표에서 보는 바와 같이 SPAD값과 Field Scout 값

간에는 유의한 상관이 없는 것으로 나타났다. 이는 예상과 매우 다른 결과이다. 앞에서 언급한 바와 같이 SPAD는 얇은 고무막을 이용하여 암실을 만든 후 650, 940 nm의 빛을 조사하므로 외란광의 영향을 받지 않는다는 장점이 있는 반면, Field Scout는 노지광을 바로 이용하기 때문에 외란광의 영향을 받는다는 단점이 있다. 본 연구결과 외란광의 영향을 받는 Field Scout를 이용하여 벼 엽록소 함량을 SPAD처럼 정확하게 측정하는 것은 곤란할 것으로 판단된다.

즉, 2개의 파장대를 이용하여 하나의 파장대를 기준으로 다른 한 파장대의 반사도만을 이용하여 벼의 엽록소 함량을 판단하는 것은 정확도가 떨어짐을 알 수 있다. 따라서 자연광을 이용하여 벼 군락의 엽록소 함량을 측정할 때는 기준 파장대를 제외한 최소 2개 이상의 파장대를 이용해야 함을 알 수 있다. 이러한 결과는 성 등(1999)의 결과와 일치한다^{3,7)}.

Field Scout는 외란광의 영향을 최소화하기 위해 측정당시의 광강도를 0부터 9단계로 나누어 저장하는데, 그 광강도를 이용하여 다양한 방법으로 보정 후 SPAD와 비교한 결과도 SPAD값과 Field Scout 값 간에는 유의한 상관이 없는 것으로 나타났다. 연구소 시험포장에서와 농가포장의 1차 시험은 광강도가 모두 1이었으므로 광강도를 보정할 필요가 없고, 농가포장 2차 시험의 경우 Field Scout 값과 광강도를 곱한 경우, Field Scout 값을 광강도로 나눈 경우, Field Scout 값에 광강도를 최대 범위인 10으로 나누어서 곱한 경우로 구분하여 보정하였다. 분석결과 광강도를 보정하여도 SPAD 값과는 유의한 상관이 없었다. 이 결과를 통해서도 노지광을 이용하여 벼 군락의 엽록소 함량을 측정할 때 기준 파장대를 제외한 1개의 파장대만을 이용하여서는

Table 2 Pearson correlation coefficient calculated by correlation analysis of each chlorophyll meter at a test field of NAMRI, Suwon and a farmer's field in Ansung

Variance	Test field of NAMRI(n=120)	Farmer's field in Ansung				
	Field Scout	1st test	2nd test			
			value × light intensity	value/light intensity	value × light intensity/10	value
SPAD	0.379***	0.136*	0.283***	0.029	0.283***	0.216**

*, **, *** : significant at 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels.

Table 3 Selected isotropic models of whole raw data sets

Field	Model	Nugget	Sill	Range	Proportion	r ²
1st Field Scout of farmer's field	LINR	0.644	1.251	88.47	0.485	0.954
2nd Field Scout of farmer's field	LINR	0.871	1.134	93.69	0.232	0.191
SPAD of farmer's field	SPHR	0.196	1.005	11.00	0.805	0.474
SPAD of institute test field	LINR	0.505	1.402	71.02	0.640	0.906
Field Scout of test field NAMRI	LINR	0.787	1.160	71.02	0.322	0.745

SPAD처럼 정밀한 엽록소 함량의 측정이 불가능함을 알 수 있다.

라. 엽록소 변이 묘사

2종의 엽록소 측정기를 이용하여 측정한 값을 대상으로 포장변이를 분석한 결과는 표 3과 같다. semi-variogram을 이용한 공간 독립성 분석 결과를 등방형 모델에 대하여 모델, nugget, sill, range, proportion, 결정계수로 요약하였다. 모델은 결정계수의 값이 가장 높은 모델을 선정하였다. semi-variogram을 이용하여 포장정보의 변이를 해석하는 방법은 아직 정립돼있지 않다. 그러나 일반적으로 1차원분석의 경우 최소 100개 이상의 시료가 필요하며 변이도를 지도화하는 경우 포장 대각선 길이의 80%이하로 하는 것을 추천하고 있다¹⁰⁾. 본 연구에서는 두 포장 모두 active lag distance와 lag interval을 각각 100m와 5m로 설정하였다.

분석결과 대체적으로 등방형 모델이 비등방형 모델에 비해 높은 결정계수값을 나타냈으며, 농가포장의 SPAD 값을 제외하고는 71m 이상의 공간독립성을 나타냈다. 앞에서 언급한 기술통계값과 비교하면, 연구소 시험포장의 경우 측정값이 매우 안정적이었으며, 4년간 수작업에 의해 변량시비의 결과라고 확정할 수는 없으나, 위치별로 엽록소 함량의 차이가 별로 없었다.

그러나, 농가 포장의 경우 기술통계에서도 나타났듯이, 측정값의 변이계수 값이 10% 이상으로 연구소 시험포장에 비해 측정값이 안정적이지 않았다. 1차 시험의 경우는 결정계수가 0.954이나 이삭이 팬 직후에 측정한 2차 시험의 경우는 결정계수가 0.191로 매우 낮음을 알 수 있다. 이는 현재의 모델로 거의 해석할 수 없음을 의미한다. SPAD의 경우도 결정계수가 0.474로 낮고, 공간독립성을 의미하

는 range값도 Field Scout값과 매우 큰 차이를 나타내고 있다.

그림 6, 7은 각각 안성 농가포장에서 Field Scout과 SPAD를 이용하여 출수 직전에 벼 엽록소를 측정된 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이, 대략적인

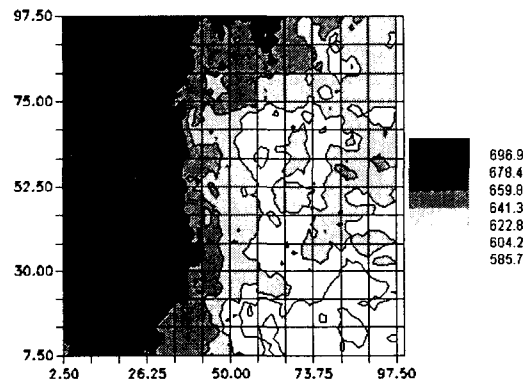


Fig. 6 Map of paddy chlorophyll using Field Scout at a farmer's field in Ansung.

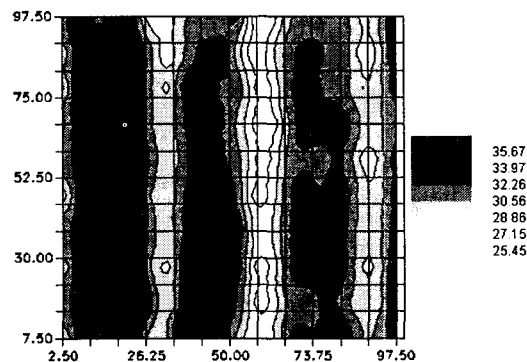


Fig. 7 A map of paddy chlorophyll measured by SPAD-502 at a farmer's field in Ansung.

경향은 비슷하나 SPAD를 이용하여 벼 엽록소 함량을 측정된 결과가 Field Scout를 이용하여 측정된 결과보다 range가 작고(SPAD 11.00, Field Scout 88.47) 포장전체의 엽록소 함량분포를 시각적으로 파악하는데도 용이함을 알 수 있다.

그림 8, 9는 각각 연구소 시험포장에서 Field Scout과 SPAD를 이용하여 출수 직전에 벼 엽록소를 측정된 결과이다. 연구소 시험포장도 안성 농가포장과 마찬가지로 대략적인 경향은 비슷하나 SPAD를 이용하여 벼 엽록소 함량을 측정된 결과가 Field Scout를 이용하여 측정된 결과보다 유추모델의 결정계수가 더 높고(SPAD 0.906, Field Scout 0.745) 포장전체의 엽록소 함량분포를 시각적으로 파악하는데 용이함을 알 수 있다.

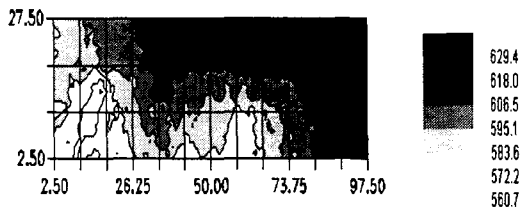


Fig. 8 A map of paddy chlorophyll measured by Field Scout at a test field of NAMRI, Suwon.

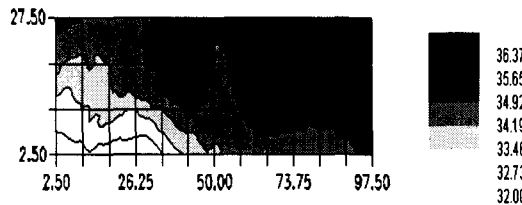


Fig. 9 A map of paddy chlorophyll measured by SPAD-502 at a test field of NAMRI, Suwon.

4. 결 론

생육중인 작물의 생육상태를 파악하는 요인중의 하나인 엽록소를 측정하기 위한 엽록소센서 개발 기초연구로서 기존에 나와있는 2종의 엽록소 측정장치(SPAD-502, Field Scout)를 이용하여 포장내 벼의 엽록소 함량 분포를 측정하고 이를 통해 노지광을 이용한 엽록소 센서 개발의 가능성을 고찰했다.

연구결과 SPAD값과 벼 잎 내 엽록소 함량간에는

0.7758의 상관관계가 있어 SPAD값을 이용하여 벼 군락의 엽록소 함량을 측정할 수 있음을 알 수 있었다. SPAD와 Field Scout를 이용하여 측정된 엽록소 값을 상관분석한 결과 SPAD값과 Field Scout 값 간에는 유의한 상관이 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Field Scout 측정당시 광강도를 보정하여도 마찬가지였다. 따라서, 자연광을 이용하여 벼 군락의 엽록소 함량을 측정할 때는 기준 포장대와 다른 1개의 포장대만을 이용하여 포장 전체의 엽록소 함량 분포를 측정하기는 곤란함을 알 수 있었다. 이 결과를 통해 노지광을 이용하여 벼 군락의 엽록소 함량을 측정할 때는 기준 포장대를 제외한 최소 2개 이상의 포장대를 이용해야 할 것으로 사료된다.

Field Scout과 SPAD를 이용하여 출수 직전에 벼 엽록소를 측정된 결과 연구소 시험포장과 안성 농가포장 모두에서 대략적인 경향은 비슷했고 SPAD를 이용하여 벼 엽록소 함량을 측정된 결과가 Field Scout를 이용하여 측정된 결과보다 뚜렷한 변이를 나타냈다.

참 고 문 헌

1. 농작물생육조사에 관한 규정. 2000. 농촌진흥청 훈령 제569호.
2. 성제훈, 정선옥, 박우풍, 정인규, 김상철, 서상룡, 이충근. 2002. 벼 엽록소 측정장치 개발. 한국농업기계학회 2002하계학술발표대회. 충남대학교.
3. 성제훈, 정선옥, 이동현, 서상룡. 1999. 분광분석법을 이용한 벼 엽록소 함량 및 번무량 센서 설계. 한국생물환경조절학회 학술발표회. 서울대학교.
4. 홍석영. 1999. 원격탐사 자료를 이용한 벼 생육 정보 분석 및 재배면적 추정. 경북대학교 대학원 박사학위 청구논문.
5. 황현식, 김공순, 김진, 이승희, 박정수. 2001. SAS와 통계 분석.
6. Chung, S. O., J. H. Sung, K. A. Sudduth, S. T. Drummond and B. K. Hyun. 2000. Spatial variability of yield, chlorophyll content and soil properties in a Korea rice paddy field. Proc. 5th Int. Conf. on Precision Agriculture. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
7. Sung J. H., S. O. Chung and S. Y. Hong. 1999. Site-Specific Fertilizing Rice Crop Based on

- Chlorophyll Content-Describing Chlorophyll content Variation. The 20th Anniversary of Chinese Society of Agricultural Engineering. Beijing P. R. China. pp. v-104-v-108.
8. User manual(SPAD-502). 1998. Minolta. Japan.
9. User manual(Field Scout, CM1000). 2001. Spectrum Technologies, Inc. USA.
10. Webster, R. and M. A. Oliver. 1990. Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey. New York, Oxford University Press.