

분광분석법을 이용한 벼 엽록소 함량 및 번무량 센서 설계

Sensor Design for Chlorophyll Contents and Luxuriance of Rice Using Spectrum Analysis

성 제 훈^{1*}, 정 선 옥¹, 이 동 현¹, 서 상 룡²
농업기계화연구소¹, 전남대학교²

Sung, J.H.^{1*}, Chung S.O.¹, Lee D.H.¹, Suh S.R.²

National Agricultural Mechanization Research Institute¹,

Chonnam National University²

jhsung@namri.go.kr

서 론

근래 들어 농업생산기술분야에서 변량적 포장 작물관리를 의미하는 정밀농업이라는 단어가 자주 등장한다. 정밀농업은 80년대 초반 미국에서 시작된 농법으로 정밀농업 (precision farming or precision agriculture), 처방농업 (prescription farming), 국부 특성에 맞는 작물관리 (site-specific farming/management), 변량형 농업 (variable rate agriculture) 등의 다양한 명칭으로 불리운다.³⁾ 정밀농업의 중심과제는 포장내의 변이(變異, variation), 즉, 토양의 이·화학 특성과 작물의 생육·수량에 나타나는 포장내의 불균형을 어떻게 평가하고 이를 기준으로 하여 어떻게 포장·작물관리를 수행하는가 하는 점이다.

지금까지는 포장내 작물 생육상태와 환경이 균일하다고 생각하고 농약과 비료를 같은 양으로 살포했지만, 정밀농업에서는 포장 내 각 위치별 속성정보를 이용하여 필요한 위치와 시기에 필요한 농작업을 수행함으로써 결과적으로 농자재의 저투입을 통한 비용의 절감과 농자재의 과다사용으로 인한 환경부하를 줄이고자 한다. 이러한 장치중의 하나가 벼의 생육정보를 실시간으로 분석하여 필요한 부분에만 시비하는 생육센싱시비장치이다. 시비의 기준이 되는 포장정보에는 여러 가지가 있지만 가장 큰 비중을 차지하는 정보중 하나가 벼의 건강상태를 나타내는 엽록소와 번무량이다.

엽록소 함량을 포장에서 실시간으로 측정하는 방법 중 가장 많이 활용되는 방법중의 하나가 분광분석법이다. 이 방법은 전자기복사선(electromagnetic radiation)이 고유의 파장에 따라 물질이 대응되는 형태가 다른 점을 이용한 것이다. 즉, 엽록소 함량에 민감한 파장대에서의 흡수, 반사, 형광 등을 측정하여 비파괴적인 방법으로 포장에서 실시간으로 생육정보 측정이 가능하다.

본 연구에서 구성하고자 하는 장치는 벼 재배 포장의 생육정보를 실시간으로 측정하기 위해 ① 가시영역~근적외선 영역에서 작물의 태양 반사광을 측정하고, ② 측정값을 엽록소 함량, 번무량 등의 생육정보로 바꾸어, ③ 이를 근거로 최적시비량을 결정할 수 있는 포장 생육정보 측정센서이다. 이러한 기술은 비료살포작업의 기계화, 특히 생육상태별로 최적의 처방을 내려야 하는 정밀농업의 핵심기술로 이용될 수 있을 것이다.

이와 같은 연구 중 본고에서는 분광분석법을 이용하여 생육센싱 시비장치를 만들기 위한 기초 연구로서 ① 포장내 엽록소 함량의 변이를 보이고, ② 이러한 엽록소 함량의

변이를 실시간으로 측정할 수 있는 분광분석 장치에 대해 보고하고자 한다.

재료 및 방법

포장내 엽록소 함량의 변이

벼 재배 포장 내 위치별 엽록소 함량의 변이가 어느정도 인지를 알아보기 위해 30×100m²의 포장에서 엽록소 측정기(Minolta, SPAD-502, Japan)를 이용하여 2×2m²구간별로 엽록소를 측정하였다. 측정은 성 등이 추천한 방법⁹⁾에 의해 2×2m²구간에서 30위치를 측정하여 평균값을 해당구간의 엽록소값으로 하였다. 측정위치는 생육정보 측정시스템에서 관찰하는 위치와 동일하게 앞 상단 1/3지점을 측정하였다. SPAD의 출력값은 엽록소 함량이 아니므로 실제 엽록소 함량을 알기 위해 성 등에 의해 보고된 변환 수식을 이용하였다.⁹⁾

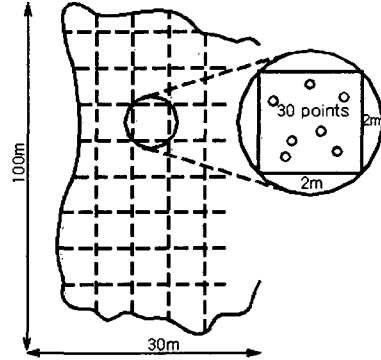
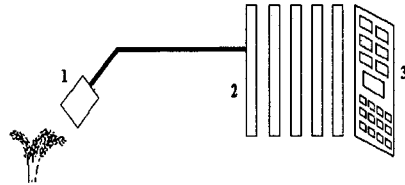


Fig. 1. Sampling points in unit mesh

센서 개요

본 연구에서 구성한 포장 생육정보를 실시간으로 측정하는 센서의 구성은 그림 2와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 집광부, 수광부, 표시부, 표시부로 구성되 있다.



1. 집광부 2. 수광부 3. display

Fig. 2. Schematic diagram of growth information measuring sensor

엽록소량 및 번무량 추정

엽록소량을 추정하기 위해서는 엽록소 측정기(SPAD-502)를 이용하여 분광센서의 측정 범위(0.5m²)에서 60위치를 측정 후 평균값을 적용하였다. 번무량은 경수×초장² ⁶⁾을 이용하였다.

결과 및 고찰

포장내 엽록소 함량의 변이

포장내 엽록소 함량의 변이를 보이기 위해 30×100m²의 포장에서 2×2m²간격으로 SPAD를 이용하여 엽록소를 측정하였다. 전술한 바와 같이 SPAD측정값은 실제 엽록소 함량이 아니므로 성 등에 의해 보고된 아래 수식을 이용하여 실제 엽록소 함량으로 바꾸어 표시한 결과는 그림 3과 같다.

$$\text{Total chlorophyll content} = 18.893 \times \text{Value of SPAD} - 337.24 \quad (R^2=0.834)^{9)}$$

그림에서 보는 바와 같이 30×100m²의 포장내 위치별 엽록소 함량은 268~400gm⁻² 범위에 있었으며 평균이 348gm⁻²로 좌·우·중간부분으로 구별이 가능함을 알 수 있다. 엽록소 함량이 포장내 위치별로 차이가 나는 원인에는 여러 가지가 있을 수 있으나 가장 큰 원인은 토양유기물, 병충해 등을 들 수 있을 것이다. 추후 토양유기물 지도와 병충해지

도, 수확량 지도 등을 overlap 시켜 포장내 생육정보와 환경 변이간의 상관관계를 보고할 예정이다.

센서 설계

센서의 구체적인 형상은 그림 4와 같다. 작물의 태양반사광은 끝 부분에 집광렌즈를 장착한 광섬유를 이용하여 수집하였다. 태양광의 에너지 강도분포에 따라 작물의 반사광이 변하는 것을 방지하기 위해 비교용 표준 반사판(SRS-50-020, labsphere Inc., 50% 반사)을 장착하여 측정된 작물의 반사광과 비교하였다. 광섬유는 가시광선부터 근적외선 영역에서 투과율이 좋은 NIR enhanced glass 광섬유를 사용하였는데, 지상 약 80cm 높이에서 0.5m²의 측정범위를 갖는다.

수집된 반사광은 밴드패스 필터를 통과하고 필터 끝에 수광다이오드를 장착하여 반사광을 전압값으로 변환하였다. 필터는 문헌 등을 참고로 가시광선부터 근적외선 영역에서 10개의 파장대를 선정하였는데, 밴드폭은 다양한 밴드폭의 필터를 이용하여 분광정도에 따른 출력이 가장 안정적인 값을 선택하였다. 수광다이오드는 가시광선용(Si 포토다이오드)과 근적외선용(PbS)을 별도로 사용하여 측정의 정밀도를 높일 수 있도록 하였다.

변환된 전압값은 증폭기와 온도보상회로, 노이즈 제거회로를 통과한 후 입력된 특정 수식에 의하여 엽록소 함량, 번무량 등의 생육정보로 변환되고 이 값이 LCD에 표시된다. 동시에 작물의 건강도도 0~9사이의 수로 표시된다. 여기에 사용된 수식은 컴퓨터를 통해 수시로 입력받을 수 있으며 기록된 측정값은 컴퓨터로 다운 받을 수 있다. 이 장치는 실시간으로 포장 정보만 측정하는 것이 아니고 측정위치에 관한 정보도 기록하기 위해 GPS 수신기를 장착하여 생육정보와 함께 측정위치를 기록하도록 구성하였다.

분광센서에 의한 엽록소량 및 번무량 추정

엽록소량이나 번무량을 추정하는 증회귀식을 작성하기에 앞서 포장에서의 분광반사정보를 토양표면, 수체, 엽표면 등으로 구별할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요하다. 棟方 研 등의 결과에 의하면, 벼를 재배하고 있는 실제 포장에서 질소 시비량을 4단계로 구분하여 처리 한 후 분광센서에 의해 엽록소량 및 번무량을 추정한 결과 실제 엽록소함량은 0.83, 번무량은 0.91의 상관관계가 있는 것으로 나타났다.⁶⁾

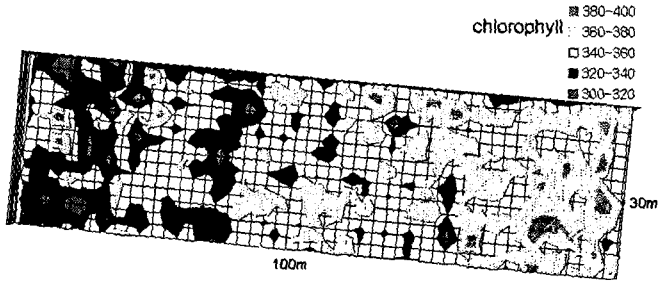
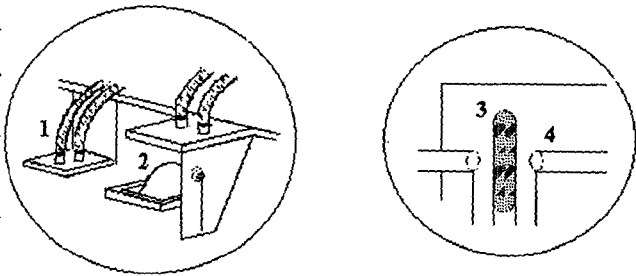


Fig. 3. Map of the chlorophyll contents calculated from the value of SPAD within 30×100m² field with 2m grid spacings.



1. 집광광섬유 2. 비교용 반사판 3. 필터 4. 수광다이오드

Fig. 4. Schematic diagram of glass fiber, filter and diode

고찰

육안으로 관찰할 때는 동일한 생육상태로 보이는 포장도 실제 엽록소 함량을 측정해 보면 위치별로 차이가 있다. 엽록소 뿐만 아니라 대부분의 생육정보가 포장내 위치별로 차이가 있다. 이러한 생육정보의 차이를 분광분석법을 이용하여 측정하면 실시간 비파괴적인 방법으로 현장에서 분석할 수 있고 분석된 결과에 따라 해당 위치에 적합한 처방을 내려줄 수 있다. 따라서 본 연구에서 구성하고자 하는 장치는 농자재의 저투입을 통한 비용의 절감과 시비나 농약살포로 인한 환경충격을 최소화 할 수 있는 정밀농업의 핵심기술로 이용될 수 있을 것이다.

결론

벼 재배 포장 내 위치별 엽록소 함량의 변이를 보기 위해 $30 \times 100\text{m}^2$ 의 포장에서 $2 \times 2\text{m}^2$ 로 구간을 나누어 엽록소 함량을 측정한 결과 위치별로 차이가 있음을 확인하였다.

엽록소 함량이나 번무량과 같은 포장 생육정보를 실시간으로 측정할 수 있는 분광분석에 의한 포장 생육정보 측정시스템은 포장내 위치별 생육정보를 실시간·비파괴적인 방법으로 측정하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 성제훈, 류육성, 서상룡, 정갑채. 1999. 오이의 질소결핍 장애 진단을 위한 생체정보 수집. 한국농업기계학회 1999하계학술대회 4(2):171-176.
2. 성제훈, 정선옥, 홍석영, 이동현. 1999. 정밀농업을 위한 작물 생육정보 획득시스템 개발. 한국농업기계학회 1999하계학술대회 4(2):165-170.
3. 장영창, 정선옥. 정밀농업의 연구동향과 전망. 한국농업기계학회지 23(3):305-314.
4. 조규채. 1998. 근적외선 분광분석법(Near Infra Red Spectroscopy)의 농업분야 적용. 한국농업기계학회지 23(2):195-205.
5. 日本型フレッツヨンフアミソク考察える. 1998. 심포지엄자료집. 日本農業機械學會.
6. 棟方 研 etc. 1999. 施肥自動化のための分光センサホ-開発. BRAIN テクノニュース 74:14-21.
7. Anatoly A. Gitelson et al. 1996. Detection of red edge(680-750nm) position and chlorophyll content by reflectance measurements near 700nm. J. Plant Physiol. 148:501-508.
8. Naoshi Kondo, 1996. Capability of Near Infrared Vision Sensor. 日本農業機械學會紙 58(6):129-141.
9. Sung, J.H., Chung, S.O., and S.Y. Hong. 1999. Site-Specific Rice Crop Fertilizing Based on Chlorophyll Content - Describing Chlorophyll Content variation. 99 International conference on agricultural engineering. China Agricultural University(In press)
10. Sudduth, Kenneth A. 1989. Near infrared reflectance soil organic matter sensor. Ph.D. thesis of Univ. of Illinois at Urbana-Champaign.