

벼 엽록소 측정장치 개발

Development of Chlorophyll Measuring System

성제훈* 정선옥* 박우풍* 정인규* 김상철* 서상룡** 이충근*
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원 정회원 정회원

J. H. Sung S. O. Chung W. P. Park I. G. Jung S. C. Kim S. R. Suh C. K. Lee

1. 서 론

시비작업은 농업작업중에서도 매우 복잡하고 까다로운 작업에 속한다. 엽색, 무성정도를 육안으로 보면서 과거의 경험, 논과 포장별 이력, 품종, 기상조건 등을 고려하여 시비시기, 시비량을 적기에 판단·결정하지 않으면 안된다. 게다가 비료주기에서는 포장내 생육을 고려하여 위치에 따라 필요한 만큼 적정량을 살포해야 한다. 넓은 포장안에서는 위치별로 생육차이가 있으므로 이러한 생육변이에 따라 시비량을 가감해야 하는 매우 복잡한 조작을 포함하고 있다.

최근, 포장구획이 커짐에 따라 인력에 의한 시비가 곤란해지고 있고, 세계적으로는 지하수 오염을 비롯한 환경보전이 문제시되어, 이른바 Precision Farming(정밀농업)이 주목을 받고 있다. 이것은 「변량형 관리(Variable Management)」라고도 불리우며, 작물의 생육량에 따라 최적의 시비량을 살포함으로써 투입 농자재의 낭비를 줄이고 환경충격을 최소화 하는 것을 목적으로 하고 있다. 이러한 농법을 위해서는 시비의 기계화·자동화가 필수적이다.

시비의 자동화에는 사람의 눈 역할을 하는 센서개발이 핵심이다. 시비효율을 높이기 위해서는 주행중인 농작업기(시비기) 위에서 비파괴·비접촉식으로 포장의 생육상태를 측정해야 한다. 이러한 실시간 비파괴·비접촉식측정을 위해서는 광을 이용하는 것이 효율적이다.

포장환경 아래에서 작물체는 태양광을 반사, 흡수, 투과하는데, 그 강도는 작물의 성분이나 생육상황에 따라서 변화하는 것으로 알려지고 있다. 이러한 원리를 응용하여 야외에서 엽록소를 실시간으로 측정할 수 있는 분광시스템을 개발하였다.

* 농업기계화연구소 생물생산기계과

** 전남대학교 생물산업공학과

2. 재료 및 방법

가. 벼 엽록소 측정센서 개발

(1) 필터 선택

분광시스템을 이용하여 엽록소 측정시스템을 개발하기 위해서는 대역통과 필터(narrow band pass filter)를 사용하여야 한다. 일반적으로 엽록소에 민감한 파장대는 680nm 대역으로 알려져 있으나 실제 포장에서 엽록소를 측정하기 위해서는 꼭 이파장대 뿐만이 아닌 다른 파장대를 필요로 하는 경우가 많다. 이 이유는 수체를 제거하거나 외란광의 영향을 배제하기 위해서이다.

본 연구에서는 선행연구 결과를 토대로 아래와 같이 17종의 대역통과 필터(450(\pm 10), 550(\pm 10), 560(\pm 10), 650(\pm 25), 650(\pm 40), 660(\pm 11), 680(\pm 11), 700(\pm 12), 850(\pm 25), 850(\pm 40), 950(\pm 11), 1280(\pm 12), 1400(\pm 13.6), 1460(\pm 14.3), 1480(\pm 14.5), 1540(\pm 15.1), 1660(\pm 15.6)nm)를 선정하고 이 필터에 대해 벼 엽록소량별 분광반사도를 측정하였다.

(2) 센서의 구조

본 센서는 노지에서 인공광을 조사하지 않고 태양광을 바로 사용하게 되므로 외란광의 영향을 최소화 시킬수 있는 구조를 갖추어야 하며, 지약 약 1m의 높이에서 벼의 균락을 측정 가능해야 한다. 또한 특정 파장대역의 빛만을 통과시킬 수 있도록 필터를 사용하여 시스템을 구성하고 가시광부터 근적외선 영역까지의 전대역의 빛을 대상으로 할 수 있어야 한다.

따라서 본 연구에서는 광센서+필터+필터 홀더+렌즈 구성된 시스템을 개발하였고, 수광소자로 가시광용 Si 포토다이오드와 근적외선용 PbS를 사용하였다.

(3) 주 성분 분석 및 다중회귀식 작성

17개의 대역통과필터를 통과한 분광반사를 광센서로 측정하여 각 필터별로 실제의 엽록소 함량과 비교하였다. SYSTAT(ver 8.0)을 이용하여 주성분 분석을 수행하였다. 선택된 필터를 이용하여 엽록소량을 유추할 수 있는 다중회귀식을 작성하였다.

나. 벼 엽록소 측정시스템 제작 및 성능시험

(1) 시험장치 제작

선행연구의 결과를 분석하여 선발한 17개의 필터를 사용하여 엽록소 함량별 분광반사를 측정하기 위해 벼 균락 1m 위에서 약 0.2m²의 영역을 측정할 수 있는 시험장치를 제작하였다.

(2) 벼 엽록소와 분광반사를 상관관계 분석 P/G 개발

본 장치는 GPS수신기를 장착하고 포장내에서 실시간으로 벼의 엽록소를 측정하여 각 필터별 분광반사도를 저장할 수 있도록 Visual C++을 이용하여 분석 프로그램을 개발하였다.

(3) 검증 시험

본 시스템의 성능을 검증하기 위해 48개 자료를 이용하여 벼 엽록소 함량을 SPAD 값으로 변환하는 시스템의 성능을 시험하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 벼 엽록소 측정센서 개발

(1) 주 성분 분석 및 다중회귀식 작성

벼의 엽록소량을 나타내는 SPAD값과 17개 필터를 통과한 광강도간의 상관을 보기 위해 주성분 분석을 실시한 결과, 550(±10), 560(±10), 650(±25), 650(±40), 660(±11), 680(±11), 700(±12)nm의 8개 필터가 선택되었다. 필터는 대역통과 폭을 갖게 되므로 필터의 특징을 고려하여 560(±10), 650(±25), 700(±12), 850(±40)의 4개 필터를 선정하였다.

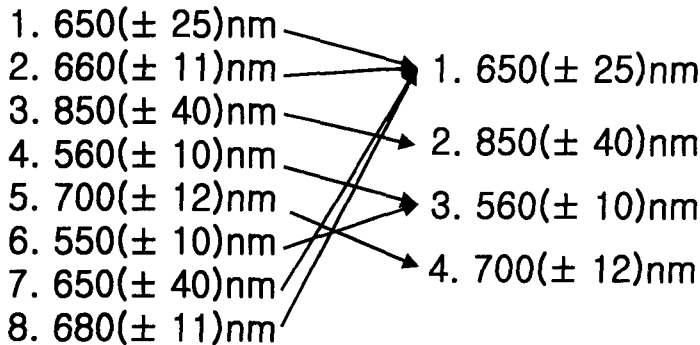


그림 1. 주성분분석으로 선정된 파장대

이상의 4개 파장대를 통과시키는 필터를 이용하여 엽록소량을 나타내는 SPAD값과의 다중 회귀식을 작성한 결과는 다음 식과 같다.

$$SPAD = 0.629 \times 560 + 0.906 \times 650 + 2.878 \times 700 - 0.568 \times 850 + 0.238 \times Ref. + 20.953$$

나. 벼 엽록소 측정시스템 제작 및 성능시험

앞에서 설명한 바와 같이 본 장치는 노지에서 실시간으로 자연광의 광반사를 측정해야 한다. 따라서 그림 2, 3과 같은 시스템을 제작하였다.

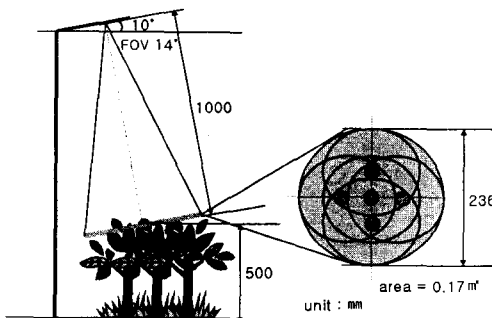


그림 2. 엽록소 측정시스템 개략도

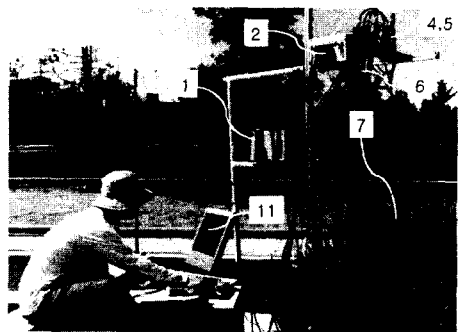


그림 3. 엽록소 측정시스템 시험광경

다. 벼 엽록소와 분광반사율 상관관계 분석 P/G 개발

벼 품종별, 이삭 유무별로 포장내에서 위치별로 벼의 엽록소 함량과 각 필터별 광강도를 저장할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

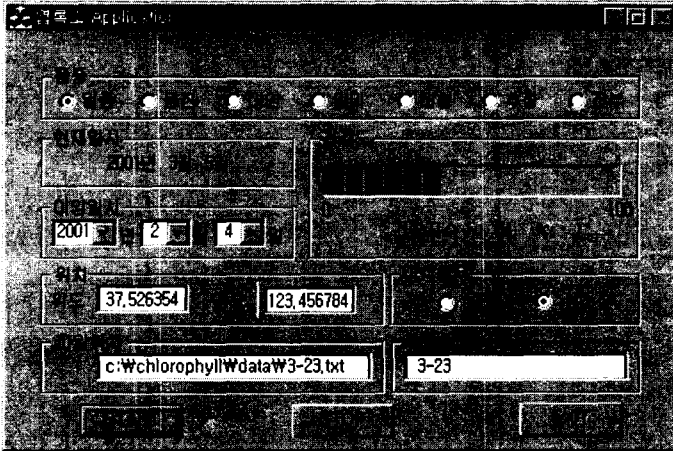


그림 4. 엽록소 측정프로그램 화면

다. 검증

46가지 엽록소를 본 연구에서 개발한 시스템을 검증한 결과 벼의 엽록소에 근거하여 시비 기준을 5단계로 나눌 경우 구분 정밀도는 58.7%였으며, 엽록소 함량 별 5 ± 1 단계로 구분하는 정확도는 93.5%였다. 엽록소 함량별 3단계로 구분할 경우의 정밀도는 63.0%였으며, 엽록소 함량 별 3 ± 1 단계 구분 가능성성은 100.0%였다.

그림 5는 실제 엽록소 함량과 본 시스템을 이용하여 예측한 엽록소 함량간의 관계를 나타낸다.

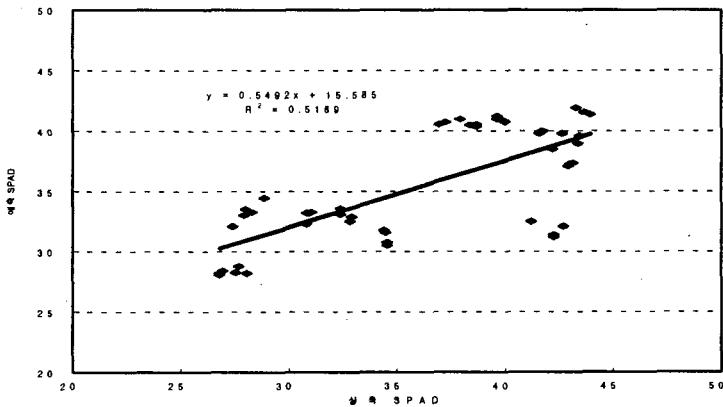


그림 5. 실제 엽록소 함량과 본 시스템의 예측값

4. 요약 및 결론

정밀농업 변량 시비기의 기초자료로 활용할 벼의 엽록소 함량을 실시간으로 그룹핑할 수 있는 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 노지에서 인공광의 조사없이 자연광을 이용하면서도 외란광의 강도에 의해 엽록소함량 측정값이 영향을 받지 않는 구조로 구성돼 있고, 필터를 사용하여 시스템이 간단하다.

시험결과 시비기준을 5단계로 나눌 경우 구분정밀도는 58.7%였으며, 엽록소 함량 별 5±1 단계로 구분하는 정확도는 93.5%였다. 엽록소 함량별 3단계로 구분할 경우의 정밀도는 63.0%였으며, 엽록소 함량 별 3±1단계 구분 가능성성은 100.0%였다.

5. 참고문헌

1. 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.
2. Anatoly A. Gitelson et al. 1996. Signature analysis of leaf reflectance spectra:Algorithm development for remote sensing of chlorophyll. J. Plant Physiol. 148:494-500.
3. Anatoly A. Gitelson et al. 1998. Leaf Chlorophyll Fluorescence corrected for re-absorption by means of absorption and reflectance measurements. J. Plant Physiol. 152:283-296.
4. Farm mechanization for environment -friendly agriculture. 1999. The Korean society for agricultural machinery.
5. Hong S. Y. 1999. Analysis on rice growth information and estimation of paddy field area by using remotely sensed data. Ph.D thesis Kyungpook National University.
6. Nilsson, Hans-Eric. 1995. Remote sensing and image analysis in plant pathology. Canadian Journal of plant pathology. 17:154-166.
7. Sung J. H. 1998. Development diagnosis of stresses of cucumber using nondestructive sensors. Ph.D. thesis Chonnam national univ.
8. Sung J. H. et al. 1999. Development of crop growth information acquisition system for precision farming. Proceeding of the Korean society for agricultural machinery. pp. 165-170.
9. 大角雅晴, et al. 1993. 1995. 1996. 映像處理による水稻の葉色測定に関する研究(第1報) - 葉身の葉綠素量と映像處理結果との相關關係. (第2報) ニューラルネットワークを應用した水田映像の認識. (第3報) -水稻群落の葉色の測定. 日本農業機械學會誌 55(5):75-81. 57(4):45-52. 58(5):65-7