

# 정밀농업을 위한 작물 생육정보 획득시스템 개발

## Development of Crop Growth Information Acquisition System for Precision Farming

성제훈*	정선옥*	홍석영**	이동현*
정희원	정희원		정희원
J.H.Sung	S.O.Chung	S.Y.Hong	D.H.Lee

### 1. 서론

정밀농업의 기본개념은, 작물 생육상태를 포함한 포장정보가 위치마다 다르므로 포장정보에 따라 위치별로 적합한 농자재 투입과 생육관리를 통하여 수확량은 극대화하면서도 불필요한 농자재의 투입을 최소화해서 농자재 낭비와 환경오염을 줄이는 것이다. 이러한 정밀농업을 위해서는 무엇보다도 다양한 위치별 포장정보를 정확하고 빠르게 수집하는 기술이 선행되어야 한다. 포장정보는 일반적으로 비교적 장기간에 걸쳐 변화가 일어나는 정보와 단기간에 변화가 일어나는 정보 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 장기간에 걸쳐 변화가 일어나는 정보는 포장의 크기 및 형태, 진입로, 수로, 토성, 토양 유기물 함량 등이고, 단기간에 변화가 일어나는 정보는 병충해, 성장중인 작물의 건강상태 등을 예로 들 수 있다. 이러한 정보 중 단기간에 변화가 일어나는 정보는 빠른 시간 내에 적절한 처리를 해 주어야만 수확량 및 수확된 곡물의 질에 미치는 나쁜 영향을 최소화할 수 있으며, 실시간으로 분석이 되어야만 작업기를 이용한 정밀한 포장관리가 가능하다.

포장 작물의 영양상태·건강상태를 파악하기 위해서 현재 사용되는 방법은 현장에서 시각적으로 판단하거나 엽록소계를 이용한 엽록소량 등을 통해 유추하고 있다. 그러나 이러한 방법은 정보를 보관하거나 공유할 수 없으며, 일 한 장 한 장에 대해 엽록소량을 측정하므로 측정 시간이 많이 필요하다. 또한 포장 전체의 작물 측정이 불가능하기 때문에 일부 자료만을 이용하여 포장 전체의 대표치로 활용하고 있다. 그러나 실제로는 포장 전체가 균일한 생육상태가 아니므로 위치별 국부 특성에 맞는 작물생육관리(site-specific crop management)를 위해서는 포장 내 위치별로 병충해나 작물의 건강상태를 측정하는 것이 필수적이다.

대다수의 작물 생육장해가 가시광선 영역에서보다는 적외선 영역에서 잘 나타나며 초기에 진단이 가능한 것으로 알려져 있다(성제훈, 1998; Anatoly A. Gitelson et al., 1996; Naoshi Kondo, 1996; Kenneth A., Sudduth. 1989). 즉 병해로 인해 잎의 세포조직이 변

\* 농촌진흥청 농업기계화연구소

\*\* 농촌진흥청 농업과학기술원

화하면 근적외선의 반사가 저하하게 되며 이 현상은 가시영역보다 근적외선영역에서 크게 영향받는다. 이러한 광반사 특성을 이용한 포장내 위치별 생육상태를 알아내는 시도는 이미 수년 전부터 일부 선진국에서 이루어져 왔다. 이러한 연구는 주로 인공위성 영상을 이용하거나 항공기에서 촬영한 영상을 이용하였는데, 이러한 영상은 촬영고도가 높기 때문에 지역별 포장정보를 획득하는데는 유용하나, 촬영 범위와 해상도 면에서 포장 내 위치별 작물 생육정보를 얻기가 힘들다. 뿐만아니라 영상을 촬영하는 장치가 연구의 질을 크게 좌우하며, 영상을 얻는 비용이 많이 들기 때문에 재배 현장에서 실시간으로 위치별 생육상황을 파악하는데 이러한 연구 결과를 이용하는 것은 실용적이지 못하다.

따라서 본 연구에서는 재배현장에서 용이하게 이용할 수 있도록 국내에서 사용되는 일반적인 작업기의 높이에서 위치별 포장정보를 실시간으로 획득하는 장치를 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 본 논문에서는 포장정보를 실시간으로 획득하기 위한 시스템 구성을 위주로 보고하고, 추후 시스템을 구성하고 있는 영상취득 장치별 특징, 적외선 필름을 이용한 포장정보 획득, 포장내 엽록소 함량 변이 측정, 앞, 주, 군락 내 포장정보 변이 측정, 근적외선 CCD 카메라를 이용한 작물생육상태 획득 등을 보고하고자 한다.

## 2. 시스템의 개요

본 연구에서 구성한 작물 생육정보 획득시스템의 구성은 그림 1과 같다.

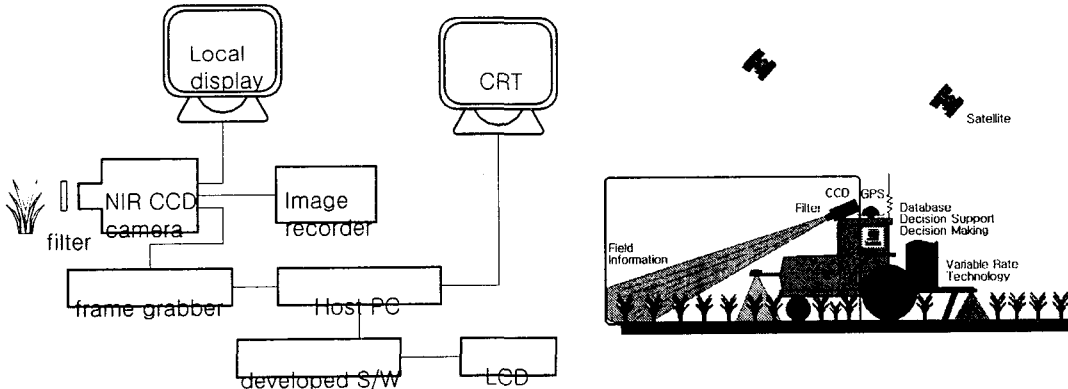


Fig. 1. Schematic diagram of field information acquisition system

본 연구에서 사용한 근적외선 CCD 카메라(Kodak Megaplus Model 1.4i, USA)는 400~1300nm 까지의 파장대에 반응할 수 있는 CCD 촬상소자를 내장하고 있으며, 앞부분에 F 마운트(60mm, AF Micro Nikkor, Nikon, Japan)형태의 렌즈를 장착하였다. 렌즈의 앞에는 필요한 파장대의 광만을 입력받기 위해 12종류의 narrow band pass filter를 장착하였다. 카메라를 통해 얻어진 신호는 아날로그 형태로 저장함과 동시에 영상처리 보드(Coreco, Canada)를 통해 컴퓨터(80586, 128RAM, Windows 98)로 입력하였으며, 본 연구에서 개발한 프로그

램으로 입력된 영상으로부터 작물 생육정보를 수집·분석할 수 있도록 구성하였다. 생육정보는 110×32m의 벼논에서 획득하였으며, 벼 품종은 일품이고, 파종 후 32일만에 이앙하였고 뿌리가 안정적으로 활착한 이앙 후 30일부터 영상을 획득하였다.

### 3. 실험 내용

#### 가. 영상취득 장치 종류별 특징 구명

포장정보를 얻기 위한 장치로 사용하는 카메라는 크게 동화상과 정지화상을 얻는 카메라로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 영상취득 장치 및 종류별 특징을 구명하기 위해 비디오카메라와 일반 정사진 카메라를 이용하여 일반적인 작업기의 높이 수준에서부터 항공사진 수준의 고공에서까지 포장정보를 획득하였다.

작업기 높이 수준에서의 포장정보를 획득하기 위해 국내에서 사용중인 주요 농작업기계를 조사하여 촬영높이와 각도를 각각 1.5~3m, 10~45° 까지 조절하며 공시재료를 대상으로 촬영하였다. 촬영은 일반 카메라(Canon, EOS-5)를 사용하였으며, 필름은 positive, negative, 적외선 필름(칼라, 흑백)을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 필름과 필터의 사양은 표 1과 같다.

Table 1. Specifications of film and filter.

film (company)	CAT NO.	exposures	ISO/DIN	filter (company)
negative (Kodak)	402 0566	GA 135-27	100/21	P/L(Tokina), SL(Kenko), UV(Topaz)
positive (Kodak)	897 3869	EB 135-24	100/21	
infrared (Kodak)	169 2086	HIE 135-36		Wratten No 12 (Tokina)
	144 8406	EIR 135-36		

고공에서 영상취득 장치별로 포장정보를 얻기 위해서 경기도 이천지역에서 열기구를 이용하여 지상 800m에서 촬영하였다. 고공에서의 기구 이동경로는 GPS 수신기를 이용하여 5분단위로 기록하였다. 촬영장비는 비디오카메라와 정사진 카메라의 2가지를 사용하였다. 정사진 카메라와 필름은 작업기 높이 수준에서 사용한 카메라와 동일한 카메라를 사용하였고, 비디오카메라를 통해 얻어진 포장정보는 아날로그와 디지털 2가지 형태로 저장하였다. 일반적으로 카메라 축과 연직축이 만드는 각이 5 grad(1grad=0.9°) 이하면 연직사진으로 취급하므로(김갑덕, 1993), 본 연구에서는 카메라 축과 연직축이 만드는 각이 5° 이내가 되도록 비디오카메라를 기구에 장착하였다. 정사진 카메라는 연직축과 0~45° 이내의 각도에서 자유롭게 조작하며 촬영하였다.

필터는 렌즈의 앞이나 뒤 또는 중간에 끼워서 필름면에 닿는 빛의 질을 바꾸거나 양을 조절하여 의도하는 영상을 얻기 위해 사용하는 부속품인데, 본 연구에서는 작업기 높이 수준에서는 적색과 노란색의 2가지 필터를 사용하였으며, 빛의 산란이 많은 고공에서는 Sky light, P/L, Wratten No. 12 필터를 사용하였다.

#### 나. 칼라 적외선 필름을 이용한 작물생육정보 획득

적외선 필름의 3층 감광층 중 2층은 가시부에 감도를 가지므로 엽록소의 흡수가 저하하게 되면 red band(0.6-0.7 $\mu$ m)의 반사가 증대한다. 이에 의해 색상이 yellow가 된다. 병해 또는 함유수분의 불균형 때문에 성장이 정지되거나 잎의 밀도가 적게되는 등 식생의 물리적 상태에 변화가 생기면, 배면의 모양이 보이는 양에 변화가 와서 시계내 식생전체의 분광 특성에 변화가 온다. 따라서 적외선 필름에서는 화상의 색조가 변화한다(김갑덕, 1993).

따라서 농가에서 쉽게 구할 수 있는 일반 카메라에 적외선 필름을 장착하고, 이를 이용하여 농작물을 촬영하면 인간의 시각보다 조기에 포장 정보의 한 종류인 생육장해를 진단할 수 있을 것으로 예측할 수 있다. 적외선 필름은 일반 필름과 달리 가시광선부터 근적외선 영역까지 감광할 수 있으나, 적외선 필름을 일반 카메라에 장착하여 사용하면 감광영역의 차이로 인해 노출과다 현상이 나타나게 된다. 따라서 본 연구에서는 카메라의 조리개와 shutter 속도를 전후로 트래킹하여 일반 필름과 다른 적외선만의 세팅 상태를 먼저 구명하였다.

칼라 적외선 필름을 이용하여 작업기 높이 수준에서 포장 정보를 수집하기 위해 촬영 높이와 각도를 각각 1.5~3m, 10~45° 까지 조절하며 공시재료를 대상으로 촬영하였다.

#### 다. 포장 내 엽록소 변이 측정

정밀농업의 기본 개념이 포장 정보가 매 위치마다 다르다는 데서 출발하므로 본 연구에서는 국내에 정밀농법을 정착시키기 위한 첫 단계로서, 포장내 생육정보의 변이를 증명하고자 한다.

실험은 chlorophyll meter(SPAD-502, Minolta, Japan)를 이용하여 벼논(110×32m<sup>2</sup>)에서 실시하였으며 1×1m<sup>2</sup> 크기로 메쉬를 설정하여 총 3520위치의 엽록소를 이용하여 엽록소 지도(chlorophyll map)를 작성하였다. 엽록소 지도는 벼 수확량 지도와 over lap시켜 엽록소량의 변이와 수확량 변이간의 상관관계를 구명하였다.

##### 1) 엽록소 측정기에 의한 엽록소량 측정

현재 포장에서 주로 사용하는 소형 엽록소 측정기는 SPAD-502이다. SPAD-502는 광학농도차측정방식(일반적으로 엽록소는 400~500nm와 600~700nm에서 흡수 피크가 있고 700nm이상의 적외선 영역에서는 광을 거의 흡수하지 않는다. 따라서 SPAD-502는 흡수피크인 650nm영역과 흡수가 거의 이루어지지 않는 적외선 영역의 940nm 2개 파장의 광학농

도비를 측정하여 SPAD값을 구한다.)을 이용해 농작물 엽내 엽록소 함량을 SPAD(Soil and Plant Analyzer Development)라는 객관적 수치로 표시해 준다. 그러나 이 수치는 엽록소 함량의 정량적인 수치가 아니므로 SPAD값과 국내에서 재배되고 있는 벼 품종 별 실제 엽록소 함량과의 상관관계를 구명하여야 차후 SPAD값을 이용하여 엽내 엽록소 함량의 추정이 가능하다.

공시재료는 벼 3품종이며 각 품종에 대해 생육단계별로 3회 실험을 실시하였다. 매 측정시마다 품종별로 10주를 대상으로 1주당 1엽을 측정했는데, 측정 방법은 엽맥 좌우에서 10 위치를 엽록소 측정기로 측정하고, 동일위치를 Ø6으로 절단하여 시료를 획득하였다. 획득된 시료는 80%의 아세톤 용액에 담귀 1주일간 암실에서 보관 후, spectro photometer를 이용하여 흡광도를 측정하였다. 흡광도는 663, 645nm에서 측정하여 다음 식을 이용해 엽록소 a와 b의 함량을 구한 뒤 단위 면적당 엽록소 a+b의 함량을 구하였다.

$$\text{Chl a} = 0.0127A_{663} - 0.00269A_{645}$$

$$\text{Chl b} = 0.0229A_{645} - 0.00468A_{663}$$

## 2) 잎, 주, 군락 내 작물 생육정보 변이 측정

작물에 생육장애가 있으면 그에 대한 작물체의 반응은 잎에 나타나게 되며, 그 반응의 정도는 잎, 주, 군락 간 위치에 따라 다를 것으로 예상된다. 따라서 본 연구는 잎, 주, 군락 내 생육장애 반응 차이를 분석하여 추후 군락의 광반사 특성을 이용하여 포장정보를 수집하는 장치의 기초자료로 활용코자 수행하였다.

잎 내 변이 측정은 벼 한 잎을 대상으로 30 위치, 주 내 변이는 벼 한 주를 대상으로 100 위치, 군락내 변이는  $1 \times 1\text{m}^2$ 를 대상으로 100 위치에서 SPAD-502를 이용하여 엽록소를 측정하고 칼라 적외선 필름과 NIR CCD 카메라를 이용하여 영상을 입력하였다.

## 3) 근적외선 CCD 카메라를 이용한 작물 생육정보 획득

CCD 카메라는 근적외선 부분까지 반응하는 촬상소자를 내장한 NIR CCD 카메라를 이용하였고, 필요한 광만을 입력받기 위해 카메라의 렌즈 앞에 12종류의 narrow band pass filter를 장착하였다. 측정 높이는 국내 작업기의 전방 높이를 고려하여 1.5~3m까지 0.5m 간격으로 조절하였으며, 촬영각도는 20~60° 까지 10° 간격으로 측정하였다.

작물 생육정보의 분석을 위해 각 필터 파장대별 반사율, 반사율의 역수, 두 개 파장의 반사 비 등을 이용하여 15개 지수를 구성하였다.

## 4. 고찰

정밀농업은 포장에서 가변적으로 작물 생산도구와 비료, 농약 등의 농자재를 투입하는 경영 시스템이다. 투입량은 최적 생산을 위한 포장내 각 위치 요구도에 따라 결정된다. 이러한 포장내 각 위치의 요구를 신속·정확하게 분석하는 기술은 정밀농업 접근을 위한 필수적

기술이다. 본 연구는 정밀농업을 위한 작물 생육정보 수집장치 개발을 목표로 다양한 방법으로 생육정보를 수집·분석하는 방법에 대해 연구하고자 한다.

## 5. 참고문헌

- 성제훈. 1998. 오이 생육장애의 비파괴 진단법 개발. 전남대학교 박사학위 청구논문.
- 정밀농업과 기계기술 개발전략. 1999. 국제세미나자료집. 농업기계화연구소, 농업과학기술원
- 조규채. 1998. 근적외선 분광분석법(Near Infra Red Spectroscopy)의 농업분야 적용. 한국농업기계학회지 23(2):195-205.
- 친환경농업과 기계화방향. 1999. 국제심포지엄자료집. 한국농업기계학회.
- 홍석영. 1999. 원격탐사 자료를 이용한 벼 생육정보 분석 및 재배면적 추정. 경북대학교 박사학위 청구논문.
- 김갑덕, 1993. 사진판독과 원격탐사, 서울대학교출판부. pp. 2, 45.
- 大角雅晴, 中村喜彰. 1993. 畫像處理による水稻の葉色測定に関する研究 I. 日本農業機械學會紙 55(5):75-81.
- 大角雅晴, 中村喜彰, 山崎 稔. 1996. 畫像處理による水稻の葉色測定に関する研究 III. 日本農業機械學會紙 58(5):65-70.
- 橋口公一 et al. 1998. 畫像處理による土の變位のオンライン計測に関する研究 III. 日本農業機械學會紙 60(6):11-18.
- 日本型フレツツヨンフアミソク考察える. 1998. 심포지엄자료집. 日本農業機械學會.
- 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.
- 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.
- Naoshi Kondo, 1996. Capability of Near Infrared Vision Sensor. 日本農業機械學會紙 58(6):129-141.
- Kenneth A., Sudduth. 1989. Near infrared reflectance soil organic matter sensor. Ph.D. thesis of Univ. of Illinois at Urbana-Champaign.