

# 분광특성 분석에 의한 논 잡초 검출법 개발

## Development of technique to detect weeds in paddy field using spectrophotometric analysis

서규현\*      서상룡\*      성제훈\*\*

정희원      정희원      정희원

K. H. Suh      S. R. Suh      J. H. Sung

### 1. 서론

현재의 농업은 무분별하고 과도한 농자재의 투입으로 인한 경작지 지력 감소, 비료성분의 지속적인 토양 내 축적, 병해충 및 잡초의 내성 증가로 인해 계속적으로 더욱 많은 농자재의 추가 투입이 불가피한 상황이다. 이러한 점을 고려하여 본 연구는 우리 나라 농업에서 생산면적과 생산량, 그리고 농가소득에서 차지하는 비율이 가장 높은 벼농사에 있어 우선 잡초방제 작업을 대상으로 제초제를 필요한 곳에 필요한 양 만큼만을 선택적으로 살포하기 위해 우선적으로 요구되는 잡초검출 센서를 개발하기 위한 연구를 수행하였다.

이를 위하여 수도작에서 높은 우점도를 나타내는 잡초들을 대상으로 광학적 특성을 이용한 기계시각으로 벼와 토양으로부터 잡초를 구분하는 장치를 개발하는 기초연구로서 광학적 특성 분석을 토대로 각 토양 상태에 따라 효과적으로 식물체(벼, 잡초)와 토양을 구분할 수 있는 파장과 벼와 잡초를 구분할 수 있는 파장을 선정하고, 선정한 파장을 이용하여 판별분석 방법에 의해 토양과 식물체, 벼와 잡초를 효과적으로 구분할 수 있는 판별함수를 작성한 후, 작성된 판별함수가 대상체를 어느 정도로 구분할 수 있는가를 확인하며, 판별분석을 이용하여 컬러 CCD 카메라의 분류가능성을 확인하고자 하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 실험재료

본 연구에서는 벼의 일반적 재배방식과 각 대상 잡초의 특성에 대한 관찰을 통해 잡초검출 센서의 개발 방향을 설정하였다. 관행의 벼 재배 방식은 수도작의 경우 보통 이앙 후 10일 (10 days after transplant: DAT 10) 정도면 잡초 잎이 잘 보이진 않지만 발생하기 시작한다. 이에 따라 일반 수도재배 농가에서는 통상 DAT 15 - 20일 경에 잡초 발생 억제를 위해 입제 형태의 토양처리를 실시한다. 또한 DAT 25일이 경과하여 잡초의 발생이 현저하게 증가하면 액제 형태의 경엽처리를 실시한다. 한편 DAT 30일 경이 되면 벼의 활착을 도와 자생능력을 증대시키고, 경엽처리 효과를 높이기 위하여 논물을 완전히 빼고 채우기를 수차례 반복하는 경화(hardening)를 실시한다. 본 연구에서는 이 시기를 수도작 환경에서 잡초를 선택적으로 방제하기 위한 적기로 설정하였으며, 그 시기의 벼와 잡초의 분광반사 특성을 조사하였다.

본 연구에서 벼와 잡초 등 식물체를 대상으로 분광반사율을 측정하는데 있어서 측정영역은 잎을 대상으로 하였다. 그 이유는 그림 1에서 보는 바와 같이 수직에서 내려다본 영상에서

\* 전남대학교 생물산업공학과

\*\* 농촌진흥청 농업기계화연구소



Fig. 1. Overlooking view of weed and rice

적용성 등을 고려하여 토양의 함수율을 달리하여 측정하였다. 따라서 토양은 건답을 전제로 한 마른 토양(dry soil), 물을 뺀 상태의 배수 토양(wet soil)으로 구분하여 분광반사율을 측정하였다. 측정한 각 토양별 평균 함수율은 마른 토양이 0%, 배수 토양이 77% 정도이다.

#### 나. 실험기기

벼와 잡초, 토양 등의 대상체에 대해 분광반사율을 측정하기 위하여 근적외선 분광분석기(model 6500, Foss-NIRSystem Co.)를 사용하였다. 본 연구에서는 수집한 분광반사율 자료 중 본 연구 결과를 비교적 저가의 카메라나 분광분석장치를 사용할 수 있도록 가시광선과 근적외선 영역인 400 - 900 nm의 파장영역을 측정대상으로 하였다. 이와 같이 측정대상 파장영역을 결정한 이유는 위와 같은 영역의 광은 녹색식물의 광합성에 의한 광흡수가 높으므로 벼와 잡초를 비롯한 식물체의 특성이 많이 반영되는 점을 고려하면, 토양과 벼와 잡초의 광반사 특성에 의한 구분을 목적으로 하는 본 연구에서는 중요한 파장 영역이라고 할 수 있다. 또한 차후 잡초검출 장치를 구성하는데 있어 컬러 CCD 카메라에 의한 영상을 이용한다면 가시광 및 근적외선 영역의 파장이 분석대상으로서 타당하다는 판단으로 측정영역을 결정하였다.

#### 다. 주요 파장의 선택

본 연구에서는 400 - 900 nm 파장 영역의 251개 변수(파장) 중 각 대상체를 효과적으로 구분할 수 있는 변수를 추출하기 위하여 단계적 변수선택법을 이용하였으며, 사용한 분석도구는 SAS 6.12이다. 한편 토양과 식물체, 식물체인 벼와 잡초를 구분하는데 있어 사용할 파장의 가짓수를 최대 3가지로 하였다. 이는 차후 본 실험 결과를 기초로 하여 기계시각 장치를 구성할 때 그 가짓수가 적을수록 유리할 것은 명백한데, 적어도 3종의 파장은 필요할 것으로 판단하였기 때문이다.

#### 라. 판별함수의 작성 및 검증

본 연구에서는 앞서 제시한 변수선택법에 의해 선택된 파장에서의 각 대상체의 분광반사율을 입력데이터로 하여 판별분석을 실시하였다. 판별분석에 의해 각 관측치들을 집단화하여 각 집단을 효과적으로 구분할 수 있는 선형판별함수를 구하였다. 또한 판별함수는 교차검증법(cross-validation)을 통해 타당성을 검증하였다.

벼와 잡초를 비롯한 식물체 영상면적의 대부분은 잎이 차지하는 것으로 판단되었기 때문이다.

벼와 잡초의 분광반사율을 측정하는데 사용한 시료로서 벼는 2001년 6월 15일 이양한 동진벼를 대상으로 하였으며, 잡초는 피, 물달개비, 한련초, 여뀌바늘, 발뚝외풀, 가막사리 등 6종의 잡초였다. 이들 잡초들은 최근에 우리나라 수도작에 많이 발생하는 잡초들 중 높은 우점도를 보이는 잡초이다. 또한 본 연구에서는 식물체를 토양으로부터 구분하기 위하여 토양의 분광반사율을 측정하였는데, 통상적인 수도작의 배수 상태 뿐만 아니라 건답재배에 대한

### 마. 컬러 기계시각을 고려한 분류 실험

본 연구에서는 차후 개발할 잡초검출 센서시스템에서 컬러 CCD 카메라를 사용할 가능성이 농후하므로, 그 사용 효과를 시험하기 위하여 RGB 파장영역의 중심 파장에 의한 대상체 구분가능성을 파악하였다. 일반적으로 컬러 CCD 카메라는 적색(r), 녹색(g), 청색(b)에 대해 각기 민감한 광 반응을 보인다. 따라서 본 연구에서는 컬러 CCD 카메라가 민감하게 반응하는 red, green, blue의 중심 파장을 결정한 후, 선택된 파장의 분광반사율을 이용하여 토양과 식물체, 벼와 잡초를 분류한 결과를 통해 분류 가능성을 시험하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 잡초 검출에 유용한 광파장 결정

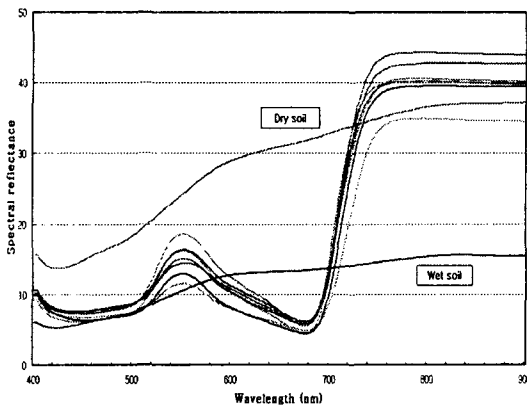


Fig. 2. Spectral reflectance of soil and plants

그리고 이러한 토양의 파장 400 - 900 nm 범위의 반사율은 상당부분 대역에 있어 그림 2와 같이 구분대상 식물체인 벼나 잡초와 뚜렷이 큰 차이를 보이고 있어서 벼와 잡초를 비롯한 식물체와 토양을 구분하는 것은 어렵지 않을 것으로 판단되었다.

#### 2) 토양과 식물체 구분을 위한 파장 선택

마른 토양의 경우 단계적 변수선택을 수행한 결과 2회의 실험시기에서 두드러지게 선택된 파장은 498 nm, 542 - 560 nm, 674 - 684 nm 이다. 선택된 3가지의 파장들은 모두 식물체의 광반사율과 현격한 차이를 보이고 있기 때문에 이들 파장 모두가 주요파장으로 사용될 수 있지만 보다 효율적인 잡초검출 장치의 제작을 위해서 파장수를 최소화하도록 하였으므로, 식물체와 가장 큰 차이의 반사율을 나타내는 674 - 680 nm를 주요 파장대역으로 선택하였고, 이 파장 대역의 중심으로서 680 nm를 마른 토양에 대한 주요파장으로 결정하였다. 배수 토양의 주요 파장은 554 - 556 nm, 610 - 612 nm, 802 nm 등의 4가지로 축약할 수 있는데, 식물체와 가장 큰 차이를 나타내는 파장은 위의 3가지 파장 중 802 nm이므로 810 nm를 배수 토양의 주요 파장으로 선택하였다.

#### 3) 벼와 잡초 구분을 위한 파장 선택

벼와 잡초를 구분하는데 효과적인 파장을 선택하기 위해 단계적 변수선택을 수행한 결과 574 - 584 nm, 676 - 678 nm, 806 - 814 nm의 주요 파장대역으로 선택하였으며, 이 주요 파장

#### 1) 벼와 잡초와 토양의 분광반사도 비교

본 연구에서 측정한 생육시기별 벼와 잡초의 파장 400 - 900 nm 범위의 광반사율 스펙트럼의 공통적인 특징은 그림 2와 같이 가시광선 영역인 파장 400 - 700 nm의 녹색영역에서 반사율은 대체로 7% 내외이나 파장 550 nm 근처에서는 광반사율이 10 - 15% 정도로 약간 높게 나타나고 있으며, 700 - 750 nm 영역에서는 광반사율이 40% 내외 수준으로 급상승한 다음 750nm 이상에서는 40%로서 대체로 일정한 수준이었다.

토양의 파장 400 - 900 nm 범위의 광반사율은 함수율이 높을 수록 감소함을 알 수 있다.

대역을 각각 대표하는 3종의 파장인 580 nm, 680 nm, 810 nm를 최종적인 주요파장으로 결정하였다. 한편 벼와 잡초를 구분하는데 있어 선택된 3종의 주요 파장이 모두 사용될 필요는 없으며 가능한 그 파장 종류는 적을 수록 바람직하다. 따라서 3종의 파장 중 1개 단일의 파장, 2개 파장조합, 3개의 모든 파장을 사용하는 각각의 경우에 대하여 판별분석을 통해 가장 우수한 분류능력을 보이는 파장 혹은 파장조합을 선택하고자 하였다. 이 최종 선택시 판단의 기준인 분류능력은 판별분석시 얻을 수 있는 오분류율(error count estimation)로부터 판단하였다. 그 결과 580 nm와 680 nm를 사용한 경우가 3종 파장을 모두 사용한 경우와 비슷한 수준의 오분류율을 보이므로 벼와 잡초의 구분에는 580 nm와 680 nm 파장을 최종적으로 선택하였다.

Table 1. Error count estimation(%) of various combinations of the selected wavelengths to discriminate weed leaves from rice field scene by the discriminant analysis

Wavelength (nm)	580	680	810	580,680	580,810	680,810	580,680,810
DAT 32	37.1	27.9	56.3	5.8	35.0	29.6	5.8
DAT 38	41.4	22.8	45.3	10.3	41.1	18.3	9.7

#### 나. 각 대상체의 판별 결과

##### 1) 토양과 식물체의 판별 결과

마른 토양의 경우는 680 nm, 배수 토양에 대해서는 810 nm의 광반사율을 이용하여 판별분석을 실행하였다. 판별분석을 실행하는데 있어서 구해지는 판별함수는 차후 분류 알고리즘을 구성하는데 있어 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단되며, 마른 토양에 대한 판별함수 예로 들면 다음과 같다.

$$L_{Plants} = -10.41 + 4.15 \cdot X_{680} \quad L_{Soil} = -420.72 + 26.35 \cdot X_{810}$$

판별함수를 교차검증한 결과 모든 경우 토양과 식물체는 완전히 구분되는 것으로 나타났다. 따라서 마른 토양과 배수 토양에서 주요 파장으로 결정된 680 nm와 배수 토양에서 결정된 810 nm는 차후 잡초검출 장치를 구성하여 토양으로부터 식물체를 구분하는데 매우 유용하게 사용될 것으로 판단되었다.

##### 2) 벼와 잡초의 판별 결과

벼와 잡초를 구분하기 위한 주요 파장인 580 nm와 680 nm를 이용한 판별분석을 통해 벼와 잡초를 구분을 시도하였으며 교차검증한 결과는 표 2와 같다. 벼의 경우 60개의 관측치 중 하나가 잡초로 오분류되어 분류정확도는 98.3%로 나타났다. 잡초의 경우는 300개의 관측치 중 51개의 관측치가 벼로 오분류되어 분류정확도는 83%로 나타나, 본 연구에서 벼와 잡초를 구분하기 위해 구한 주요 파장과 판별함수의 기능은 우수한 것으로 판단되었다.

Table 2. Classification result by discriminant function for rice and weeds

From \ To	Rice	Weeds
Rice	98.3% (59)	1.7% (1)
Weeds	17% (51)	83% (249)

#### 다. 컬러 기계시각을 고려한 판별 결과

RGB 각 화면을 얻는 필터의 중심파장은 컬러 카메라에 따라 약간씩 차이가 있는데, 이를 조사한 결과 대체로 R화면의 중심파장은 630 nm, G화면은 530 nm, B화면은 450 nm인 것으로 나타났다. 본 연구에서는 이 3 종의 파장을 이용한 잡초 검출의 가능성을 앞에서 시도한 방법과 동일하게 실행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

##### 1) 토양과 식물체 판별 결과

토양과 식물체를 구분하기 위한 파장은 RGB 화면 중 R화면에 해당하는 630 nm를 사용하였다. 판별분석으로 토양과 식물체를 구분한 결과를 마른 토양, 배수 토양별로 나타낸 것은 각각 표 3, 4와 같다. 마른 토양의 경우는 토양과 식물체를 완전히 구분하는 것으로 나타났으며, 배수 토양의 분류결과에서 식물체는 96%, 토양은 100%로 구분이 가능하였다.

Table 3. Classification result by discriminant function for dry soil

From \ To	Plants		Soil	
	Plants	100% (360)	0% (0)	
Soil	0% (0)	100% (30)		

Table 4. Classification result by discriminant function for wet soil

From \ To	Plants		Soil	
	Plants	96.1% (346)	3.9% (14)	
Soil	0% (0)	100% (30)		

##### 2) 벼와 잡초 판별 결과

3 종의 RGB 중심파장으로부터 가장 효과적인 파장조합을 조사한 결과 530, 630 nm의 2개 파장과 450, 530, 630 nm 3개 파장의 경우가 가장 나은 것으로 나타났으며, 그에 따른 분류 결과는 표 5, 6과 같다. 표 5는 R화면과 G화면을 이용할 경우를 가정한 것으로 파장 530 nm와 630 nm의 반사율을 이용하여 벼와 잡초를 구분한 결과, 벼는 모두 정확히 구분하였지만 잡초는 79%만이 잡초로 인식하고 21%는 벼로 오분류한 결과를 보였다. 반면 표 6은 RGB 3종 화면의 정보를 모두 이용한 경우를 가정한 것으로 파장 450, 530, 630 nm의 반사율을 이용하여 벼와 잡초를 구분한 결과 벼는 95%가 벼로 구분되었고 5%는 잡초로 오분류되었으며, 잡초는 85%를 잡초로 인식하고 15%는 벼로 오분류한 결과를 보였다.

위의 두 경우 분류 결과가 크게 차이가 나지 않는 것으로 판단되며, 이상의 실험은 컬러 카메라를 직접 이용한 실험이 아니고 일종의 간접 실험이므로 위의 두 경우의 분류 성능은 실제의 실험을 통하여 판단하는 것이 필요한 것으로 판단되었다. 다만 본 간접 실험을 통하여 컬러 카메라를 이용한 잡초 검출을 보다 용이하게 할 수 있을 것임을 확인할 수 있었다.

Table 5. Classification result by discriminant function for rice and weeds using 530 and 630 nm

From \ To	Rice	Weeds
	Rice	100% (60)
Weeds	21% (63)	79% (237)

Table 6. Classification result by discriminant function for rice and weeds using 450, 530 and 630 nm

From \ To	Rice	Weeds
	Rice	95% (57)
Weeds	15% (45)	85% (255)

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 수도작에서 토양과 식물체의 분광반사특성과 영상처리를 이용한 기계시각 잡초검출 센서를 개발하기 위한 기초연구로서 분류하고자 하는 대상체들의 분광반사율을 조사하여 주요한 파장을 선정하고 선정된 파장을 이용한 판별분석을 통해 각 대상체에 대한 분류 정확도를 중심으로 잡초검출 가능성을 조사하기 위하여 수행하였으며, 실험으로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 토양과 식물체를 구분하는데 효과적인 파장은 마른 토양의 경우 680 nm, 배수 토양에 있어서는 810 nm로 선정하였고, 토양을 배제한 후 벼와 잡초를 구분하기에 효과적인 파장은 580, 680 nm로 선정하였다.

2. 토양과 식물체를 구분하기 위한 판별분석 결과 2가지 토양상태 모두 식물체와 완전히 구분 가능한 것으로 나타났다. 벼와 잡초를 구분하기 위한 실험에서, 벼는 98%의 분류정확도로 구분이 가능하였고, 잡초는 83%의 분류정확도로 구분이 되는 것으로 나타났다. 따라서 차후 분광학적 원리를 이용한 센서를 제작할 때 본 연구에서 선택한 주요 파장과 판별함수를 이용하여 장치를 구성하고 알고리즘을 제작한다면 벼, 잡초, 토양을 효과적으로 구분이 가능할 것으로 판단되었다.

3. 컬러 CCD 카메라를 사용하는 경우에 있어 식물체와 토양을 구분하기 위해 3종의 파장 중 630 nm 파장만의 이용을 고려하여 그 분류성능을 분석한 결과, 식물체와 토양은 소수의 관측치를 제외하고 완전히 구분이 가능했고, 벼와 잡초를 구분한 결과에서는 비교적 높은 분류능력을 가진 것으로 나타나 차후 컬러 CCD 카메라를 이용하여 장치를 구성하는데 좋은 기초가 될 것으로 판단된다.

#### 5. 참고문헌

1. 구자욱. 1999. 雜草生態學. 향문사.
2. Biller, R. H. 1998. Reduced input of herbicides by use of optoelectronic sensors. Journal of Agricultural Engineering Research. 71(4):357-362.
3. Cho, S. I., D. S. Lee and J. Y. Jeong. 2000. Weed detection by machine vision and artificial neural network. Proceedings of ICAME 2000. 2: 270-278.
4. Steward, B. and L. F. Tian. 1998. Real-time machine vision weed sensing. ASAE paper. 98-3033.
5. Wang, N., et al. 1999. Design of optical weed sensor using plant spectral characteristics. ASAE paper. 98-3059.