

## 다분광 영상을 이용한 논 잡초 검출 알고리즘 개발

서상룡 김영태 유수남 최영수

### Development of an Algorithm to Detect Weeds in Paddy Field Using Multi-spectral Digital Image

S. R. Suh Y. T. Kim S. N. Yoo Y. S. Choi

#### Abstract

Application of herbicide for rice cropping is inevitable but notorious for its side effect of environmental pollution. Precision farming will be one of important tools for the least input and sustainable farming and could be achieved by implementation of the variable rating technology. If a device to detect weeds in rice field is available, herbicide could be applied only to the places where it is needed by the manner of the variable rating technology.

The study was carried out to develop an algorithm of image processing to detect weeds in rice field using a machine vision system of multi-spectral digital images. A series of multi-spectral rice field picture of 560, 680 and 800 nm of center wavelengths were acquired from the 27th day to the 39th day after transplanting in the ineffective tillering stage of a rice growing period.

A discrimination model to distinguish pixels of weeds from those of rice plant and weed image was developed. The model was proved as having accuracies of 83.6% and 58.9% for identifying the rice plant and the weed, respectively.

The model was used in the algorithm to differentiate weed images from mingled images of rice plant and weed in a frame of rice field picture. The developed algorithm was tested with the acquired rice field pictures and resulted that 82.7%, 11.9% and 5.4% of weeds in the pictures were noted as the correctly detected, the undetected and the misclassified as rice, respectively, and 81.9% and 18.0% of rice plants in the pictures were marked as the correctly detected and the misclassified as weed, respectively.

**Keywords :** paddy field, weed detection, machine vision, algorithm to detect weed

## 1. 서론

현대 농업에서 농민들은 다양한 농자재의 개발에 따라 대폭적인 노동력 절감과 저비용 농업 경영 및 영농 규모 확대가 가능하게 되었다. 특히 잡초와 병해충으로부터 작물을 보호함으로써 안정적인 농작업을 수행할 수 있게 되었으며, 농작업 중 방제작업은 손쉽게 수행할 수 있게 되었으나, 농약을 필요량보다 적게 살포할 경우 잡초와 병해충을 충분히 방제

할 수 없고, 과다 살포할 경우는 비용과 환경오염을 증가시키는 문제점이 있다. 현재의 벼농사에서 행해지고 있는 제초는 논에 제초제를 전면 살포하는 방식으로서 이는 잡초가 논 전체 지역에 넓게 분포한다는 가정아래 수행되어 지고 있다. 그러나 논 잡초는 종종 국부적으로 분포하는 경우도 많아 이들 잡초를 정확하게 검출하고 검출된 잡초에 대해서만 제초제를 살포하게 되면 제초제 사용의 효율성을 극대화 할 수 있다. 제초제를 필요한 장소에만 살포하기 위해서는 먼저 잡초의

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D Promotion Center (ARPC). The article was submitted for publication in November 2005, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in December 2005. The authors are S. R. Suh, Y. T. Kim, Y. N. Yoo, Y. S. Choi, KSAM member, Chonnam National University. The corresponding author is S. R. Suh, KSAM member, Professor, Department of Biosystems & Agricultural Engineering Chonnam National University, Gwangju, 500-757, Korea; Tel : +82-62-530-2152; Fax : +82-62-530-2159; E-mail : <srsuh@jnu.ac.kr>

식생 위치를 찾아야 한다. 그간 잡초를 검출할 수 있는 센서를 개발하기 위한 연구는 국내외적으로 많이 이루어 졌다. 제초제의 투입량을 줄이기 위한 방법으로 Biller(1998)는 적색대와 근적외선대 파장의 분광반사 특성을 이용한 광전자 센서를 사용하여 일정간격으로 심어진 작물 사이에서 자라는 녹색식물은 잡초라는 전제하에 토양으로부터 잡초를 분리 인식하는 센서를 제작하여 실험하였는데, 그 결과 제초제 살포량을 관행의 전면적 살포와 비교할 때 30~70% 감소시킬 수 있었다. Wang 등(2000)은 밀 경작지에서 diode array형 분광계를 사용하여 분광 스펙트럼에 의한 잡초 검출을 시도하였다. 연구 결과 밀, 토양, 잡초의 분류는 각각 74%, 100%, 70%의 정확도 수준에서 가능하였으나, 잡초 밀도가 낮은 경우 잡초를 토양으로 오판하는 정도가 50% 이상이었음을 보고하였다. Yang 등(2002)은 정밀농업을 위해 초목 위치를 검출하고 정밀농업에 적용할 수 있는 잡초 검출을 위한 영상처리 알고리즘과 mapping system 개발을 위한 연구를 수행하였다. 연구결과 제초제 비용과 환경오염을 줄이기 위해서는 특정지역에만 제초제를 살포할 수 있는 지도 작성과 잡초검출이 중요한 요소임을 보고하였다.

본 연구는 논에서 선택적 제초를 목표로 하는 잡초 검출센서를 개발하기 위하여 분광형 기계시각을 구성하고 이로부터 획득한 논 영상에서 잡초만을 검출하는 영상처리 알고리즘을 개발한 다음 이의 잡초검출 성능을 분석하는 목적으로 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 실험장지의 방법

논 영상을 수집하기 위한 분광형 기계시각은 Suh 등(2002)이 논 잡초 검출에 유용한 것으로 구한 3종의 광파장대(560, 680, 800 nm)를 기계시각에 적용하기 위하여, 대역폭이 10 nm 이고 중심파장이 각각 560 nm, 680 nm, 800 nm인 광학필터(Corion, USA)를 각각 자동 조리개 렌즈(Avenir, Japan)에 장착하고, 이를 3대의 흑백 CCD 카메라(BCE-3411A, Unimo, Korea)에 부착하는 방법으로 구성하였다. 이 3대의 카메라는 서로 인접하여 고정된 다음 영상의 획득은 Matrox사(Canada)의 frame grabber(model Meteor MC-II)에 연결하여 수행하였다.

논 영상은 이러한 기계시각 장치를 사용하여 논바닥으로부터 약 2 m 높이에서 논의 표면 영상을 촬영하는 방법으로 획득하였다. 벼 재배 시 벼와 함께 획득한 잡초의 영상은 벼 파종시기에 맞춰 재배용 분에 파종하여 재배한 잡초를 벼 이앙

후 15일 경에 논에 이식한 것과 논에서 자생하는 잡초로서 그 종류는 자귀풀, 물달개비, 여뀌바늘, 피, 한련초, 미국 외풀, 방동사니, 마디꽃 등 8종이었다. 논 표면 영상은 벼 재배시기 중 중간 낙수하는 무효분얼기인 벼 이앙 후 27일 경부터 39일 까지(12일간) 3일 간격으로 획득(각 촬영일 잡초별 5반복의 화면을 획득)하였으며 실험기간동안 획득한 논 영상 수는 125종(각 영상을 3종의 화면으로 획득하였으므로 총 화면수는 375화면)이었다. 이상의 논 영상 화면은 광주광역시 소재 전남대학교 실험농장에서 획득하였다.

### 나. 잡초 검출 알고리즘 개발

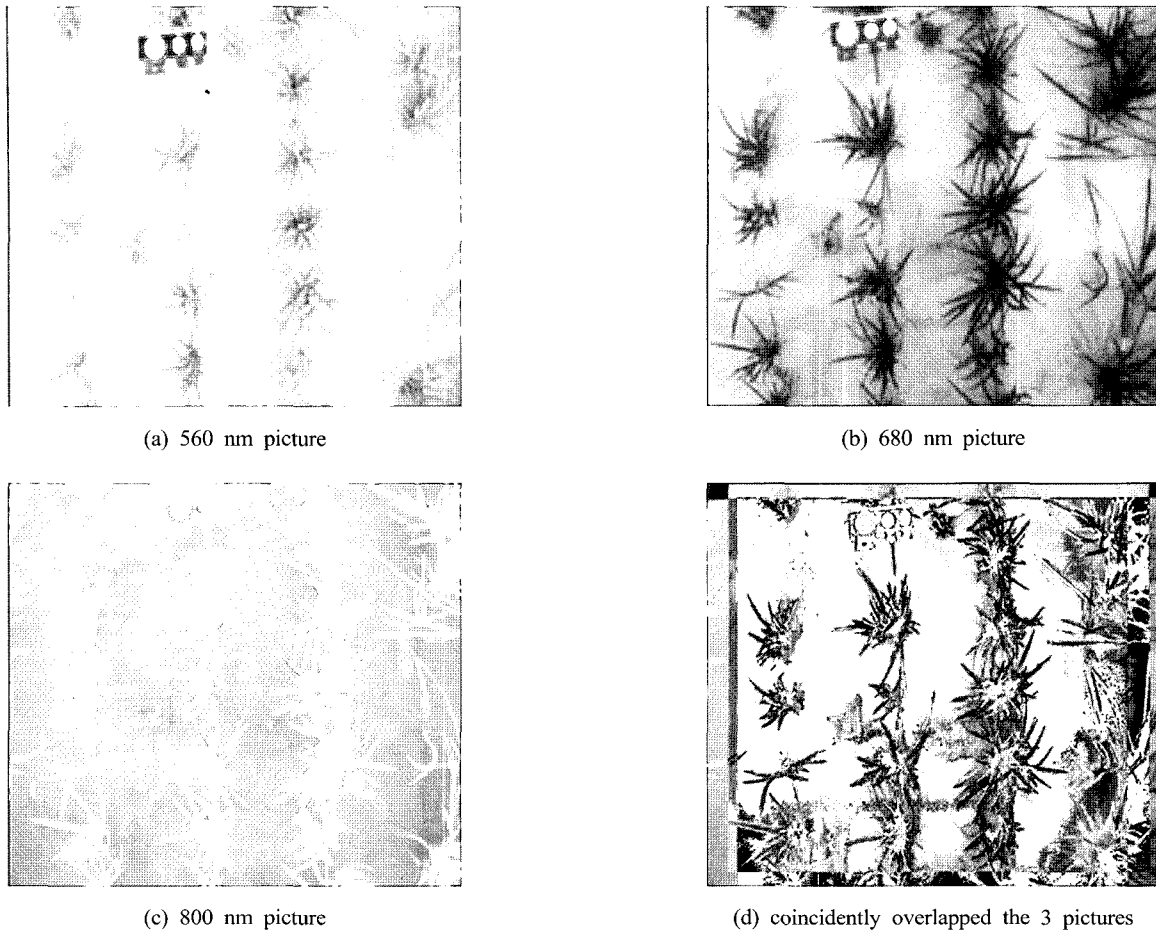
잡초 검출 알고리즘은 Visual C++(Ver. 6.0, Microsoft. Co., U.S.A.)을 사용하여 구현하였다.

개발한 영상처리 알고리즘은 크게 두 부분으로 구성하였다. 그 첫째는 인접하여 고정된 3대의 카메라로 논 영상을 획득할 때 나타나는 영상 내에서의 위치적 차이를 보정하기 위한 것이다. 이 보정은 3중화면 중 560 nm 화면을 기준으로 나머지 2종의 화면을 수직 또는 수평 이동하여 3중화면내 물체의 위치를 동일하게 일치시키는 방법으로 하였으며 그 결과는 그림 1과 같다.

영상처리 알고리즘의 둘째 부분은 3중 화면으로부터 잡초의 위치를 포착하기 위한 것으로서 다음과 같은 7단계로 구성하였다. 그 제1단계는 화면내의 미세한 비정상 영상(잡상)을 제거하기 위한 것이다. 일반적인 기계시각으로 촬영한 화면에는 잡상이 화면에 전반적으로 불규칙하게 분포하는데 이러한 잡음을 제거하기 위하여 본 연구에서는 3×3 mask의 median filter를 사용하였다.

제2단계 영상처리는, 화면내의 식물체(벼와 잡초) 영상을 배경(논바닥)으로부터 분리하도록 한 것이다. 이를 위하여 임계값 처리(thresholding)기법을 적용하였는데 그 결과 식물체 영상을 배경으로부터 용이하게 분리할 수 있었다. 이러한 임계값 처리는 3종의 화면 중 식물체 영상과 배경 영상을 분리하는데 효과적인 800 nm 화면을 사용하였다. 800 nm 화면의 임계값 처리에 적절한 임계값을 구하기 위하여 본 연구에서는 다양한 태양 강도 하에서 획득한 화면을 대상으로 영상처리용 패키지 프로그램인 Inspector(Ver. 2.2, Matrox Co., Canada)를 사용하여 적합한 임계 화소 값을 조사한 결과, 화소 값 190±3 범위의 단일 임계 화소 값으로 획득한 영상의 임계값 처리를 효과적으로 수행할 수 있음을 알게 되었고, 그에 따라 화소 값 191을 선택하여 임계값 처리를 하였다.

임계값 처리한 화면은 2치화면(binary image)으로서 이 화면에서 식물체와 배경은 확실하게 분리할 수 있었으나, 분리



**Fig. 1** Pictures taken using filters of 560 nm, 680 nm and 800 nm of center wavelength on 33 days after transplant and a picture of coincidentally repositioned and overlapped the 3 pictures taken using the-3 filters.

한 식물체 영상에서 잡초만의 영상을 구별하기 위해서는 먼저 벼와 잡초의 영상을 포기별로 분리하는 작업이 필요하였다. 이는 2차화면 내 식물체영상 중 벼와 잡초의 영상이 따로 분리되어 있는 경우도 있으나 많은 경우 서로 연결된 영상으로도 나타나기 때문이다. 이들을 포기별로 분리하기 위해서 본 연구에서는 먼저 벼와 잡초의 중심영역을 찾도록 하였다. 영상처리의 여러 가지 기법 중 영상축소(morphology-erosion) 기법은 화면의 영상을 형태적으로 축소시켜 영상의 중심을 찾아낼 뿐만 아니라 작은 크기 영상들을 제거할 수도 있고 또한 이를 여러 번 적용할 경우 서로 연결된 2개 이상의 영상을 분리하는 목적으로도 사용하는 알고리즘이다.

본 연구에서는 제3단계 영상처리로서 영상 축소 마스크를 적용하여 세선화 기법에 의해 벼와 잡초 영상을 포기별로 분리하도록 하였다. 영상축소 처리는 3회 수행하였으며, 처리한 화면 내에서 벼와 잡초 영상을 포기별로 구분하기 위하여 적용한 원칙은 8방향으로 연결(8-connected)된 식물체 영상은 모두 한 포기 식물체 영상이고, 8방향으로 연결되지 않은 영상은 모두 별개의 포기로 구분하는 것이다. 이러한 방법으로

구분한 모든 식물체 영상은 그 크기로서 본 연구에서 찾는 한 포기의 성숙한 벼나 잡초로 판단하였는데 이는 특정 화소수(본 연구에서는 10개를 적용) 이상인 영상은 한 포기를 형성하는 식물체 영역으로 판단하였고, 화소수가 특정 화소수 이하인 영상은 크기가 매우 작은 식물체 영상으로서 본 연구 목적으로 볼 때 무의미한 영상으로 간주하여 무시하였다.

잡초 위치 포착을 위한 제4단계의 영상처리는 위와 같이 포기별로 찾은 벼와 잡초 영상에서 잡초만의 영상을 구분하는 것이다. 본 연구에서는 이를 위하여 먼저 벼 재식 영역을 찾은 다음 그 영역 내에 분포하는 식물체 영상은 벼의 영상으로 판단하도록 하였다. 화면 내에서 벼 재식 영역을 구분하기 위하여 본 연구에서는 그림 2와 같이 영상을 축소 처리한 2차화면에서 모든 세로줄을 검사하여 각 줄에서 식물체의 화소(백색화소) 비율을 구하고 그 비율이 5% 이상인 화소 줄을 기록한 다음, 가로방향 화소 줄을 검색하여 기록한 백색 화소 줄이 연속해서 30개 이상인 영역은 식물체 영역으로 하고 남은 영역은 배경영역으로 구분하도록 하였다. 그림 2는 이러한 방법으로 찾은 벼 재식 영역을 세로 줄로 표시한 하나의 예이다.

잡초 위치 포착을 위한 다음 작업(제5단계)은 제3단계 영상 처리 단계에서 영상 축소 처리 결과 식물체 영상은 포기별로 구분하였으나 한포기의 벼나 잡초 영상이 분리되는 경향이 있어 이러한 잡초와 벼를 연결하는 방법으로 본 연구에서는 범람-채우기(flood-fill) 알고리즘을 적용하여 가능한 영상과 영상을 연결하도록 하였다. 이는 어느 임의의 한 화소에서 8방향으로 연결된 점들을 찾아 연결된 점들의 공간을 채워 영상 확장에 의해 분리된 수개의 영상을 하나의 영상으로 변형하게 하는 알고리즘이다. 그림 3은 몇 개로 분리되었던 인접한 벼와 잡초 영상을 연결한 후 식물체 포기별로 구분한 결과이다.

잡초 위치 포착을 위한 다음 단계(제6단계)는 그림 3과 같이 구한 각 포기의 벼와 잡초 영상 중 벼 조건 영역(벼 재식 영역 사이)에 존재하는 식물체 영상에서 잡초 영상만을 구분하는 것이다. 본 연구에서 이를 위하여 획득한 3종의 화면(중심파장이 560, 680, 800 nm)에서 별도로 식물체 영상의 모든 화소에 대하여 그 화소 값을 구하고 이의 특성을 분석(판별분석)하여 잡초 영상만을 구분하도록 하였다. 이러한 판별분석을 위해 사용한 화소 수는 벼 영상의 경우 17,847개, 잡초 영

상의 경우 5,169개, 배경의 경우 13,458개(총 36,474 화소)로서 이를 기초로 판별 모형을 구한 다음 그를 사용하여 식물체 영상의 모든 화소를 벼와 잡초 화소로 구분하고 그 결과로부터 다수를 차지하는 화소의 종류를 찾아 그 영상을 벼와 잡초 영상으로 구분하도록 하였다.

본 연구에서는 이상의 화소 자료로서 판별식을 구한 다음 그 판별 성능을 분석(판별식 성능 분석)하였으며 판별식 성능 분석에 사용한 화소 자료는 판별 모형 개발에서 사용하지 않은 별도 화면의 화소 자료로서 벼 영상 화소 53,505개, 잡초 영상 화소 15,480개 그리고 배경의 화소 10,395개(총 79,380 화소)였다.

이상의 논 잡초 검출방법에 의해 식물체 영상을 벼와 잡초로 구분한 결과의 한 예는 그림 4와 같다. 그림에서 굵은 원으로 표시한 3개의 식물체 영상은 화면 내에 실제로 존재하는 4개의 잡초 중 잡초로서 정확히 인식한 것이고, 삼각형으로 표시한 1개의 잡초는 화면 내 4개의 잡초 중 잡초로 인식하지 못한 것이며, 굵은 선의 사각형으로 표시한 6개의 식물체 영상은 벼를 잡초로 오인식한 것이다. 마지막으로 위에서 설명한 잡초 검출 알고리즘의 성능을 조사하기 위하여 본 연구에서는 획득한 총 125개의 논 영상을 대상으로 하여 각 영상에서 벼와 잡초를 검출하였으며 그 결과를 분석(개발 소프트웨어 성능실험)하였다.

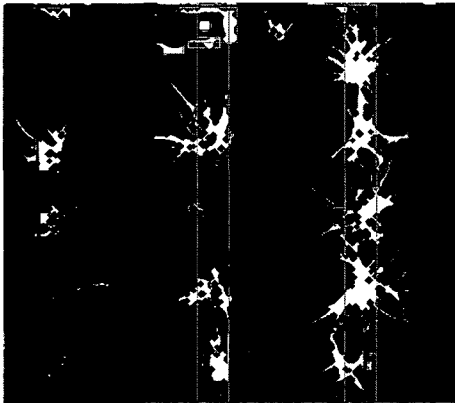


Fig. 2 A picture that sectionalized areas of rice planted and inter-row of rice plants.

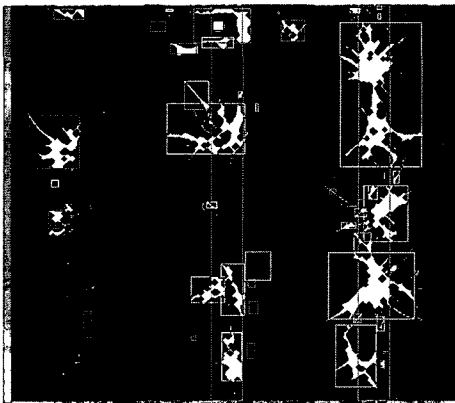


Fig. 3 A picture that show regions of each plant.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 판별식의 성능 분석

논 잡초를 검출하기 위하여 본 연구에서 개발한 영상처리 알고리즘은 배경 화면으로부터 분리한 모든 포기의 식물체

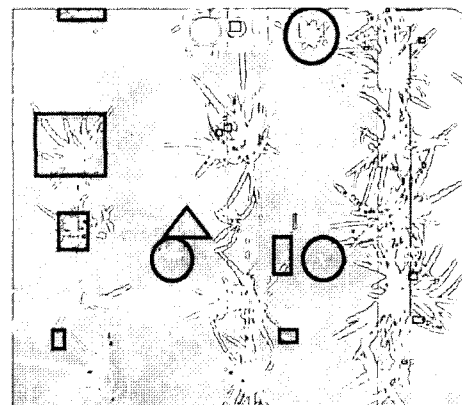


Fig. 4 Final results of the image processing to detect weeds in paddy field-thick circles stands for weeds correctly detected, triangle shows weed which cannot be located and thick rectangles for rice plants which are misrecognized as weeds.

**Table 1** Accuracy (%) of the developed discriminant equations to discriminate pixels of rice, weed and background

Classified Target Pixel	Rice	Weed	Background
Rice	83.6	14.7	1.7
Weed	26.8	58.9	14.3
Background	0.0	0.0	100.0

영상을 판별분석에 의해 벼와 잡초로 구분하는 내용을 포함하고 있다. 벼와 잡초를 구분하는 판별모형의 성능은 판별의 정확도로 판단하였으며 그 결과는 표 1과 같다. 표와 같이 판별분석으로 구한 판별식의 판별 정확도는 벼 83.6%, 잡초 58.9%, 배경 100%로 나타났다. 즉 배경화소는 모두 배경화소로 정확하게 판별하였고, 식물체 화소 중 벼 영상의 화소를 배경 화소로 오판하는 비율은 1.7%로서 거의 무시할 수 있는 수준이었으나, 잡초 영상 화소로 오판하는 비율은 14.7%로 나타났다. 반면 잡초영상 화소의 26.8%는 벼 영상 화소로 오판하였고, 14.3%는 배경 화소로 오판하므로써 본 연구에서 수립한 판별식은 비교적 많은 수의 화소 자료로서 수립한 판별식이지만 잡초 영상의 경우 그 정확도는 만족할 만한 수준은 아닌 것으로 나타났다.

**나. 개발 소프트웨어 성능 실험**

논 잡초 검출 목적으로 개발한 소프트웨어의 잡초 검출 성능은 화면당 벼와 잡초의 실제 포기수와 소프트웨어 실행으로 포착한 벼와 잡초의 포기수를 조사하여 벼와 잡초 검출율(correct classified ratio : 화면상의 실제 벼와 잡초수에 대한 개발 소프트웨어가 포착한 벼와 잡초수의 비율)과 벼와 잡초를 오판한 영상 수의 비율(벼를 잡초로 오판 또는 잡초를 벼로 오판)로서 그 성능을 조사하였으며 그 결과는 표 2와 같다. 표와 같이 개발 소프트웨어의 벼와 잡초 검출율은 벼 이앙 후 재식일자가 경과함에 따라 감소하는 추세로서 이는 벼가 성장함에 따라 벼와 벼 또는 벼와 잡초가 서로 겹쳐 성장하였고

그에 따라 그 영상도 겹치게 되어 나타난 결과이며 그 평균 검출율은 각각 81.9%와 82.7%로 나타났다. 실험결과 중 벼와 잡초의 평균 오판율(벼를 잡초로 또는 잡초를 벼로 오판한 비율 : misclassified ratio)은 각각 18%와 5.4%로서 잡초의 경우 그 비율은 상당히 낮은 편이나, 벼와 잡초의 미검출율(undetected ratio)은 각각 0.1%와 11.9%로서 잡초의 경우 비교적 높은 결과를 나타냈다. 이러한 잡초의 미검출율은 벼 재식일자가 경과함에 따라 증가하는 추세였는데 이는 벼가 성장함에 따라 잡초도 성장하였으나 상당부분 잡초가 벼 잎과 그 그늘에 가려진 결과이며 이러한 잡초는 식물의 상호억제 작용(allelopathy)에 의해 잡초의 성장율이 벼의 성장율에 비해 상대적으로 낮아 나타난 현상으로 판단되었다.

본 연구에서 개발한 잡초 검출 장치를 제조제 살포기에 부착하여 실제 포장에서 사용할 경우 그의 사용 가능성을 파악하기 위하여 화면당 영상 분석 시간을 조사한 결과 평균 0.39~0.48 초로 나타났다. 기계시각으로 획득한 논 영상에 있어 화면당 논의 실제 크기는 기계 주행방향 길이가 약 80 cm이고 폭은 약 100 cm로서 화면당 영상 분석시간을 기초로 하여 제조제 살포기의 이론 주행속도를 구하면 6.0~7.4 km/hr이고 이론 작업능률은 60~73 a/hr로 나타났다. 이러한 제조제 살포기의 이론 주행속도는 4조형 승용 이앙기의 대표적 주행속도인 4 km/hr보다 높은 속도로서 본 연구에서 개발한 잡초 검출 장치를 부착한 제조제 살포기를 실제 논 제조 작업에 사용할 경우 별다른 문제가 없을 것으로 판단되었다.

**4. 요약 및 결론**

본 연구는 분광형 기계시각을 이용하여 논에서 획득한 화면에서 배경으로부터 식물체를 분리하고 식물체 중 벼와 잡초를 구별하여 잡초만을 검출하기 위한 연구로서, 영상 처리를 이용하여 논 잡초를 검출하는 목적의 소프트웨어를 개발하기 위하여 수행하였다. 이를 위하여 실험기간 중 획득한 화

**Table 2** Performance of the development algorithm to detect weeds in paddy field, where DAT : days after transplant, CCR = correct classified ratio, MCR = mis-classified ratio, UDR = undected ratio

DAT	Rice			Weed		
	CCR	MCR	UDR	CCR	MCR	UDR
27	86.3	13.0	0.7	98.0	0.1	0.1
30	88.6	11.4	0.0	88.6	3.4	8.0
33	86.7	13.3	0.0	92.6	3.7	3.7
36	76.0	24.0	0.0	50.6	13.0	36.4
39	66.7	33.3	0.0	74.1	8.6	17.3
Mean	81.9	18.0	0.1	82.7	5.4	11.9

면의 화소를 분석하여 벼와 잡초를 판별하는 모형을 개발하고 그 판별의 정확도를 조사하였으며, 이를 기초로 하여 논 잡초 검출 소프트웨어를 개발하고 이를 실험기간동안 획득한 화면에 적용하여 개발한 잡초 검출 소프트웨어의 잡초 검출 성능을 분석하는 과정으로 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 3중 분광 화면의 화소값을 이용하여 논 화면에서 논바닥 (배경)과 벼와 잡초의 화소를 구분하는 판별모형의 성능을 조사한 결과, 배경의 판별 정확도는 100%였으나 벼와 잡초의 경우는 각각 83.6%와 58.9% 수준으로서 잡초의 경우 수립한 판별모형의 판별 정확도는 비교적 낮은 수준으로 나타났다.
- (2) 개발한 논 잡초 검출 소프트웨어의 잡초 검출 성능은 82.7%, 미검출율은 11.9%로 나타났으며 잡초를 벼로 오판한 경우는 잡초 영상의 5.4%였고, 벼를 벼로 정확히 검출한 경우는 81.9% 이고 잡초로 오판한 경우는 18.0%로 나타났다.
- (3) 개발한 논 잡초 검출 장치를 실제 논에서 사용할 경우, 적용 가능한 작업기의 주행속도는 6.0~7.4 km/hr이고 이론 작업능률은 60~73 a/hr로 분석되었다.

참고 문헌

1. Biller, R. H. 1998. Reduced input of herbicides by use of optoelectronic sensors. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 71(4):357-362.
2. 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.
3. Elfaki, M. S., N. Zhang. and D.E. Peterson. 1997 a. Field factors affecting weed detection. *ASAE Paper 973098*.
4. Elfaki, M. S., N. Zhang. and D. E. Peterson. 1997 b. Weed detection using color machine vision. *Trans. of the ASAE*. 43(6):1969-1978.
5. Felton, W. L. and K. R. McCloy. 1992. Spot spraying. *Agricultural Engineering*. 73(6):9-12.
6. Feyaerts, F. and L. van Gool. 2001. Multi-spectral vision system for weed detection. *Pattern Recognition Letters*. 22:667-674.
7. Noguchi, N., Et al. 1998. Vision intelligence for precision farming using fuzzy logic optimized genetic algorithm and artificial neural network. *ASAE Paper 98-3034*.
8. Steward, B. L., L. F. Tian. and L. Tang. 1999. Detection of outdoor lighting variability for machine vision-based precision agriculture. *ASAE Paper 99-7030*.
9. Suh. K. H., S. R. Suh. and J. H. Sung. 2002. A fundamental study on detection of weeds in paddy field using spectrophotometric analysis. *Agric. and Biosystems Engineering, KSAM*. 27(2):133-142.
10. Wang N. and Naiqian Zhang. 2000. Testing of a spectral-based weed sensor. *ASAE Paper 003127*.
11. Yang C.C. and Shiv O. Prasher. 2002. A vegetation localization algorithm for precision farming. *Biosystem Engineering*. 81(2):137-146.