

## 기계시각과 DGPS를 이용한 실시간 정밀방제 시스템 개발

# Development of Real-time Precision Spraying System Using Machine Vision and DGPS

조성인      정재연      김유용      남기찬      이중용  
정회원      정회원  
S. I. Cho   J. Y. Yeong   Y. Y. Kim   K. C. Nam   J. Y. Rhee

### ABSTRACT

Several researches for site-specific weed control have tried to increase accuracy of weed detection with machine vision technique. However, there is a problem which needs substantial time to perform site-specific spraying. Therefore, new technology for real-time precision spraying system is needed. This research was executed to develop the new technology to estimate weed density and size in real time, and to conduct a real-time site-specific spraying. It would effectively reduce herbicide amounts applied for a crop field. The real-time precision spraying system consisted of a Differential Global Positioning System (DGPS) with an error of 2 cm, a machine vision system, a geomagnetic sensor for correction of view point of CCD camera and an automatic sprayer with separately controlled nozzle. The weed density was calculated with comparison between position information and a pre-designed electronic map. The position information was obtained in real time using the DGPS and the machine vision. The electronic map contained a position database of crops automatically constructed when seeding. The developed system was tested on an experimental field of Seoul National University. Success rate of the spraying was about 61%.

**Keywords :** Site-specific spraying, Real-time, DGPS, Machine vision, Electronic map.

### 1. 서      론

증가하는 세계 인구와 더불어 식량 문제가 가장 큰 외교문제의 하나로 대두되고 있다. 이러한 이유로 국가적 차원에서 농업 생산성의 증대를 위해 노력해 왔으며, 이 과정에서 화학비료와 농약 사용량의 증가는 불가피하였다. 하지만 이러한 농약 사용량의 증가는 경영비 증가에 따른 단위 면적당

농업생산성을 저하시키며, 국민의 식생활 향상에 따른 농산물 품질향상에 대한 기대에 반할 뿐 아니라 국민보건 증진 측면에도 악영향을 미치게 된다. 또한 토양 및 수질오염의 원인이 되기도 한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 국부적인 환경변이를 고려한 정밀농업의 개념이 대두되었다.

국외적으로는 이 목적을 달성하기 위해 점 살포

---

This study was supported by Technology Development Program for Agriculture and Forestry, Ministry of Agriculture and Forestry, Republic of Korea and the article was submitted for publication in March 2002; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in April 2002. The authors : S. I. Cho, J. Y. Jeong, Y. Y. Kim, K. C. Nam, J. Y. Rhee, Seoul National University. The corresponding author is S.I.Cho, Associate Professor, Dept. Agricultural Engineering, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea : voice +82-331-290-2393; e-mail : <sicho@snu.ac.kr>.

또는 지능방제를 가능하게 하는 기계시각의 응용에 대한 연구를 진행하고 있다. 이러한 예로 Franz 등(1991)은 잎의 분광특성을 이용하여 어린 잡초를 구별하였으며, Tian 등(1998)은 인공 조명이 아닌 노광에서의 작물 구분을 위해 EASA (environmentally adaptive segmentation algorithm)을 개발하였다. 또한 Woebbecke 등(1995)은 어린 잡초의 검출을 위한 shape feature를 제시하였다. 이러한 연구의 초점은 영상처리를 이용한 잡초 검출의 정확도를 높이는 것이었다. 따라서, 잡초검출의 정확도는 향상되었으나, 영상처리에 소모되는 시간이 길어 실시간 방제시스템으로 통합하는데 문제가 발생하였다. 최근에 이르러 이러한 문제점을 고려하여 실시간 적용을 위한 정밀 방제 시스템에 관한 연구도 진행되고 있다. 이러한 일례로 Tang 등(1999)은 실시간 잡초의 선택적 방제를 위해 Gabor wavelet과 신경회로망을 사용한 잡초검출 알고리즘 개발하였으며, Tian 등(1999)은 정밀 방제기를 개발하였다.

한편 국내에서도 정밀방제의 필요성을 인식하고 이에 관한 연구가 진행되고 있다. 일 예로 이(2000)는 CCD카메라를 통해 획득한 영상을 이용한 잡초검출 기계시각 시스템에 대한 연구를 수행하여, 잡초검출을 위한 가장 유의한 형상인자로 aspect, elongation, PTB(perimeter to broadness)를 제시하였으며, 신경회로망을 적용하여 노지영상에서 93%의 정확도로 무와 잡초를 인식하였으나, 25×30 cm<sup>2</sup> 면적의 잡초 검출을 위한 영상 처리 시간은 3초가 소요되므로 실시간 적용을 위한 시스템의 개발이 필요하다고 하는 등 실시간 정밀방제 시스템에 관한 연구의 필요성이 제시되고 있다.

이러한 이유로, 본 연구는 기계시각과 DGPS 및 지자기센서를 이용하여 작물의 위치정보를 이용하여 실시간 적용 가능한 잡초검출 및 방제 시스템을 개발하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 영상처리부의 구성

실제 노지에서 이미지를 획득하기 위해 영상처리시스템을 구축하였다. 영상입력장치로는 RGB CCD 칼라 카메라(JVC, TK-1070 U)를 사용하였다.

자연광에서의 다양한 광량 조건을 일정한 범위 내에서 유지하기 위해 Auto Iris 렌즈(COSMICAR/PENTAX, 8mm F1.4)를 사용하였다. 영상을 입력받아 처리하는 프레임그래버는 Matrox사의 Genesis-LC를 사용하였다. 또한 고르지 못한 노지에서 작업조건을 감안하여 발생할 수 있는 시스템의 불안정성을 감소시키기 위해 산업용 PC를 사용하였으며 CPU는 Pentium II-400을 사용하였다.

### 나. 위치정보 획득 알고리즘의 구성

본 연구에서는 2 cm 이내의 정밀도를 가진 DGPS (NOVATEL, Propak II RT-2)와 기지국의 레퍼런스 신호를 받아들이기 위한 무선 모듈인 GLB사의 SNRDS 모듈을 사용하였으며, 기지국은 농촌진흥청 농업기계화연구소를 사용하였다.

절대좌표인 GPS와 상대좌표인 기계시각을 통해 영상의 절대 좌표를 획득할 경우 작업기의 현재 자세에 대한 각도 보정이 필요하였다. 따라서 지구의 자극에 대한 절대적인 방위 값을 나타내는 지자기 센서(KVH, C-100)를 사용하였다.

개발되는 시스템은 DGPS와 지자기 센서로부터 각각의 신호를 받아들이고, 최종적으로 분무장치에 신호를 전달하기 위하여 시리얼 포트를 사용하였다.

구성된 영상장치와 좌표정보 획득 센서를 이용하여 잡초의 위치정보 검출 알고리즘을 구성하였으며, 구성알고리즘은 다음과 같으며, 그림 1에 도식도를 나타내었다.

- ① DGPS로부터 절대좌표(x, y)를 획득한다.
- ② 기계시각을 이용하여 절대좌표의 위치에서 영상을 획득한다.
- ③ 렌즈의 왜곡에 의한 오차의 감소와 알고리즘의 고속화를 위해 640×480의 해상도에서 상하좌우 각각 일정부분을 제거하는 windowing 기법을 사용한다.
- ④ 녹색 정보를 추출하기 위해 RGB 형식의 영상을 L\*a\*b\*형식의 영상으로 변환하여 a채널에 대해 이치화를 수행한다.
- ⑤ Auto iris 렌즈의 사용에도 불구하고, 발생할 수 있는 빛의 산란 등에 의한 노이즈의 감소를 위해 메디안 필터를 적용한다.
- ⑥ 레이블링(labeling) 과정을 통해 각 blob에 대

해 영상에서의 녹색정보의 면적 및 위치를 계산한다.

⑦ 기존에 구성된 데이터베이스로부터 DGPS의 위치에 해당하는 영상 면적의 작물 위치지도를 불러온다.

⑧ 지자기센서로부터 보정각도( $\theta$ )를 획득한다.

⑨ 다음의 식(1)을 이용하여 구한 작물의 회전된 영상좌표와 ⑥의 레이블링을 통해 계산된 위치를 비교하여 일정한 오차 범위 이내이면 작물이 고 오차범위를 벗어나면 잡초로 인식한다.

$$\begin{pmatrix} X_{rot} \\ Y_{rot} \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} X_{crop} - X_{GPS} \\ Y_{crop} - Y_{GPS} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$A = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

$X_{rot}, Y_{rot}$  : 작물의 회전된 가상영상 좌표

$X_{GPS}, Y_{GPS}$  : 영상을 획득하는 GPS 좌표

$X_{crop}, Y_{crop}$  : 데이터베이스 작물의 실좌표

다. 변량 제어 분무 시스템의 구성

변량 제어 분무 시스템은 제초액통으로부터 제초액을 공급하기 위한 다이어프램형 펌프, 펌프로

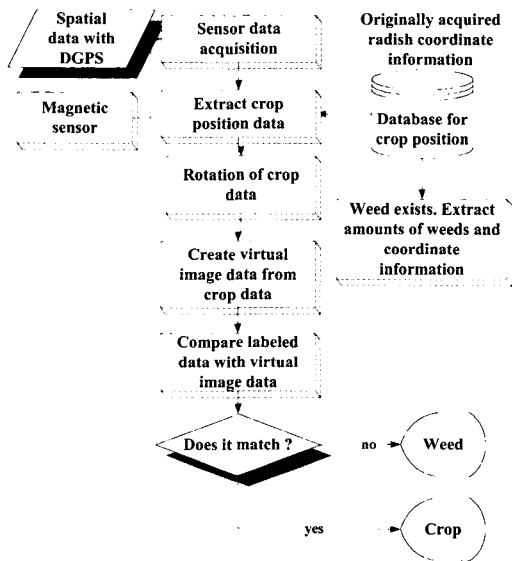


Fig. 1 Algorithm for processing of spatial information.

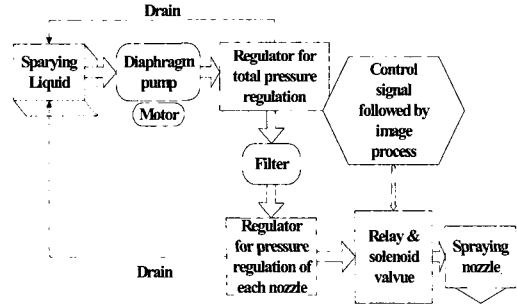


Fig. 2 Schematic of the variable rate spraying system.

부터의 출력을 시스템의 최대 사용 압력으로 일정하게 유지시키는 여수관이 장착된 1차 압력 레귤레이터, 노즐의 빈번한 ON/OFF시에 발생하는 시스템의 불안정성을 줄이기 위한 다이어프램식 레귤레이터, 분무를 위한 노즐, 노즐의 각각을 열고 닫는 솔레노이드 밸브 그리고 솔레노이드 밸브를 제어하는 컨트롤러로 구성되어있으며, 구성도는 그림 2와 같다.

라. 노즐 개폐간격 선정

노즐의 분무량을 조절하는데는 크게 두 가지 방법이 있다. 하나는 유량제어밸브를 부착하는 방식이며 다른 하나는 분무시간을 조절하는 방식이다. 분무 ON/OFF 개폐간격을 선정하기 위해 계속시스템은 노즐제어기, 압력센서, IO 보드 그리고 노트북으로 구성되었다. 노즐의 ON/OFF를 제어하는 PIC 컨트롤러에 호스트 컴퓨터와 RS-232C 통신이 가능하도록 프로그램을 작성하였고, host 컴퓨터에서 노즐 ON시간을 ms단위로 제어할 수 있도록 Visual C++ 6.0을 이용하여 프로그램을 작성하여 노즐의 개폐 지속시간에 따른 분무량, 노즐의 동작 중 또 다른 노즐의 구동에 따른 압력변동 그리고 노즐의 응답성능에 대한 기초 성능평가를 수행하였다.

마. 이동작업차량

영상처리부, 위치신호 획득용 DGPS 시스템 및 지자기 센서 그리고 변량분무시스템으로 구성된 통합시스템을 구축하기 위해 다음과 같은 조건을

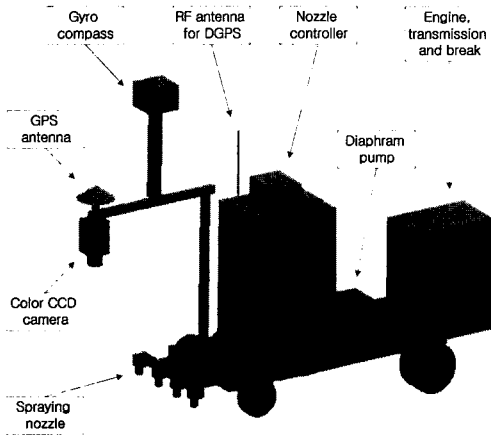


Fig. 3 Schematics of the precision spraying system.

만족하는 이동작업차량 시스템을 설계 제작하였고, 그 시스템의 도식도를 그림 3에 나타내었다.

① 차폭은 한 두둑에 대한 두 줄 식부와 2개의 고랑을 고려하여 100 cm로 하였다.

② 카메라는 차량 진행방향으로 150 cm의 영상을 얻기 위해 200 cm 높이에 설치하였고, 차량바퀴가 영상에 잡히는 것을 막기 위해 전면으로 130 cm 돌출 시켰다.

③ DGPS 안테나는 회전변환시 오차를 최소화하기 위해 카메라 중심점 위에 설치하였다.

④ 자이로센서는 자계에 매우 민감한 장치이다. 따라서 자계에 영향을 미치는 물체인 철, 자석류, 전선 및 교류전원발생 장치로부터 30 cm 이상 떨어져야만 한다. 본 연구에 사용하는 차량은 솔레노이드 및 각종 전원장치 등 자계에 영향을 미치는 요인이 많아 자기장의 왜곡에 따른 데이터의 오차를 최대한 줄이기 위하여 센서에 알루미늄 케이싱을 하였으며 모든 자기장에 영향을 미치는 물체로부터 격리하기 위하여 최상부에서 50 cm 거리를 두었다.

⑤ 개발된 방제 시스템의 성능평가를 이동을 위해 5 마력의 엔진을 부착하였다.

#### 바. 약제 살포 성능 평가

통합된 정밀방제 시스템을 이용하여 실제 포장에서 영상과 위치정보 획득을 통한 방제 요구부위

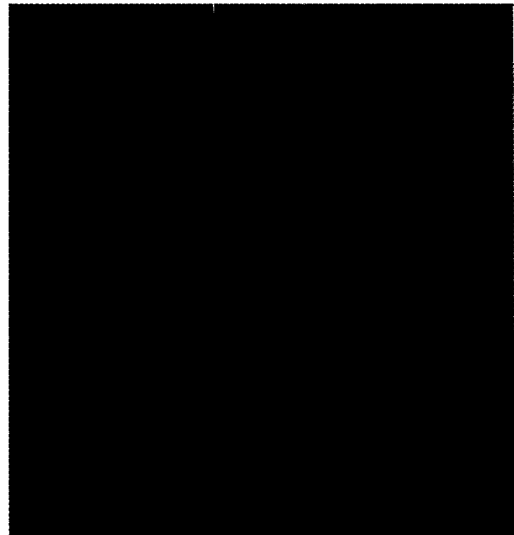


Fig. 4 Sample image.

검출 및 실제 약제 살포 성능을 평가하기 위하여 아래의 그림과 같이 종이로 샘플을 제작하였다. 그림 4와 같이 가로 10 cm, 세로 10 cm의 녹색 종이를 무로 가정하고 DGPS로 좌표를 측정하여 database에 입력하였으며 보다 작은 녹색 종이를 잡초로 가정하여 실제 노지의 조건과 비슷한 형태로 배치하여 전자지도(electronic map)를 만들었다.

실제 포장에서 성능 실험을 위해 서울대학교 농업생명과학대학의 실험농장 내에 무를 심고 DGPS 시스템을 이용하여 작물의 위치정보를 획득하고 데이터베이스에 저장하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 작물의 좌표 검출 성능 평가

구성된 잡초 위치 정보획득 시스템이 영상으로부터 위치정보를 정확히 추출할 수 있는지를 평가하기 위해 그림 5와 같이 기초실험을 수행하였다. 비교적 편평한 위치에 차량 및 대상체를 배치시키고 대상체의 좌표를 측정하였다.

영상에서 획득한 좌표, 실제 측정된 대상체의 회전변환을 통하여 획득한 좌표, 그리고, 두 좌표 사이의 오차를 표 1에 나타내었다. 측정오차의 평균은 13 pixel이었다. 3 pixel당 1 cm의 해상도이므로



Fig. 5 Fundamental test for crop position detection.

로, 잡초 검출 및 방제 시기에 무의 2~3엽기 이후의 크기를 고려할 때, 평균 오차가 5 cm 이내이므로 시스템으로의 적용이 가능하였다. 몇몇 지점에서는 오차가 10 cm 가까이 되는 곳도 있었는데, 이는 대상체 위치 추출시 GPS좌표 측정에서 오차 및 차체의 기울어짐으로 인한 것으로 판단되었다.

나. 노즐 개폐간격 설정

표 2는 ON 지속 시간의 변화에 따른 유량의 평균과 표준편차를 나타낸다. 0.1초로 했을 때에 표준편차가 1%이었고 보다 긴 지속시간에 대해서는 1%보다 작은 오차를 보였다. 이는 0.1초대의 짧은 ON 시간에 대해 솔레노이드 밸브 자체의 관성에 의한 오차로 판단되었다. 추후 보다 빠른 반응속도의 솔레노이드 밸브를 사용할 경우 정밀한 분무량의 제어가 가능할 것이다.

그림 6은 노즐이 동작하고 있는 도중 다른 노즐을 구동하였을 때 압력변화가 나타나지 않았음을 보여주는 것이다. 이는 각각의 노즐에 대해 레귤레이터를 부착하여 시스템을 안정화시킨 결과이다

Table 1 Measured errors of coordinate transform

(unit : pixel)

Image coordinates acquired from camera		Image coordinates tranformed from DGPS		Error	
x	y	x	y	x	y
-164	205	-173	204	-9	-2
-73	207	-65	201	8	-6
18	207	13	198	-5	-9
114	208	121	213	7	5
207	205	211	213	4	8
-167	117	-162	119	5	1
-77	117	-82	123	-5	5
17	117	19	121	2	4
112	115	103	134	-9	19
209	113	197	129	-12	16
-171	27	-186	46	-15	19
-79	26	-78	36	1	10
16	24	19	28	4	4
112	22	108	25	-3	3
207	19	224	44	17	25
-174	-66	-162	-45	12	20
-82	-69	-75	-43	7	26
17	-70	17	-42	1	28
110	-73	111	-76	1	-3
204	-74	198	-63	-6	11
-174	-157	-187	-152	-13	4
-83	-161	-93	-150	-10	11
12	-164	15	-140	3	23
108	-164	116	-155	8	9
-62	182	-54	193	7	12

Table 2. Mass of fluid according to solenoid ON time

ON time (s)	Mean (g)	St dev (g)
0.1	6.784	0.06867
1	24.957	0.1037
3	63.305	0.2787

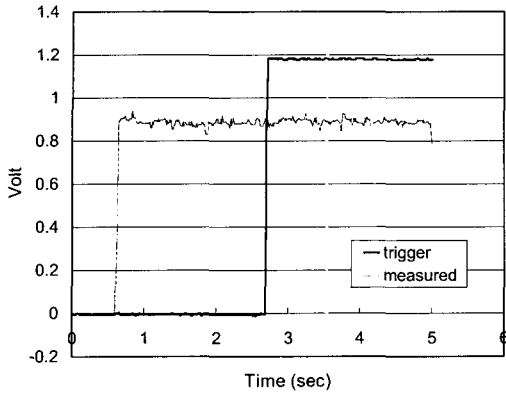


Fig. 6 Stability test of nozzle.

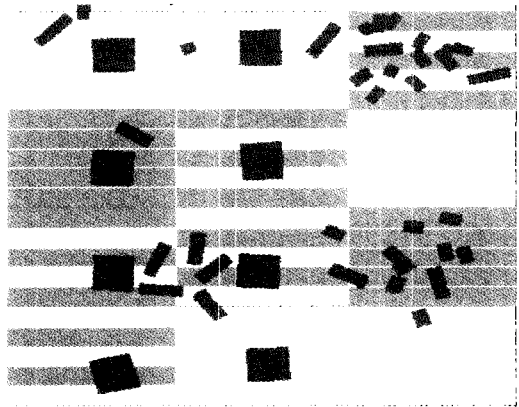


Fig. 8 Image for inspection.

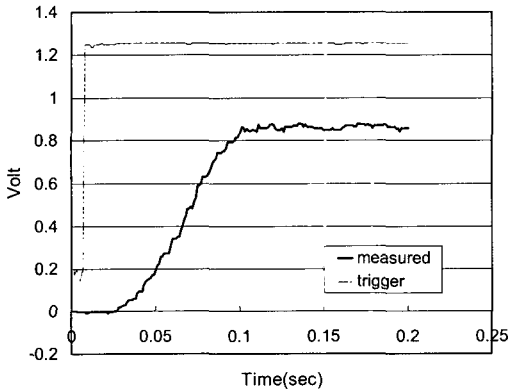


Fig. 7 Test for the reaction time of the controlled nozzle.

그림 7은 호스트 PC에서 출력하는 신호에 대해 노즐이 얼마나 빨리 반응하는지를 나타내는 그래프이다. 반응 속도 측정 결과 입력에 대해 출력이 안정화하는데 0.1초가 소요되었다.

위의 세 가지 실험결과를 토대로 분무 개폐간격을 0.2초로 설정하였다.

#### 다. 약제 살포 성능 평가

방제기의 최저속도를 고려하여 0.3 m/s로 이동하면서 영상획득 후 방제된 결과를 database에 저장하여 그림 8과 같이 전자지도위에 도시하였다.

총 5회에 걸쳐 색지의 배치를 바꾸어가면서 실험을 하였으며 각 실험 결과를 표 3에 나타내었

Table 3. Result of the experiment

(unit : number of grid)

Test runs	1	2	3	4	5
Unsprayed area for crop	5	6	5	2	2
Sprayed area for crop	5	2	3	6	6
Unsprayed area for weed	15	0	5	12	12
Sprayed area for weed	27	0	11	22	19

다. 살포성능을 평가하기 위하여 격자 내의 작물과 잡초에 대해 살포된 면적과 살포되지 않은 면적의 상대적 결과치를 비교하였다.

실험 결과 작물에 대한 농약 사용은 감소하였으나 잡초에 대한 살포 역시 감소하여 효율이 감소하였다. 잡초에 대해 뿌린 비율

$$\left\{ \frac{\text{sprayed area for weed}}{(\text{unsprayed} + \text{sprayed}) \text{ area for weed}} \right\} \text{은 } \frac{79}{123} 100(\%)$$

= 64%로 기존의 방식(100%)에 대해 효율이 낮게 나타났다. 이는 살포 부위의 오차에 의한 것으로 판단된다. 특히 녹색식물이 전혀 없는 부분에도 살포가 된 부분이 나타났는데, 이는 예비실험과 달리 차량의 이동중 살포됨으로 인해 진동으로 인한 위치정보의 오차로 인해 영상처리 및 살포부위에서 누적오차가 발생한데서 기인한 것으로 판단된다.

개발된 통합시스템으로 실제 노지에서 방제요구 부위를 검출하는 모습을 그림 9와 10에, 실제 방제를 수행하는 모습을 그림 11에 나타내었다. 영

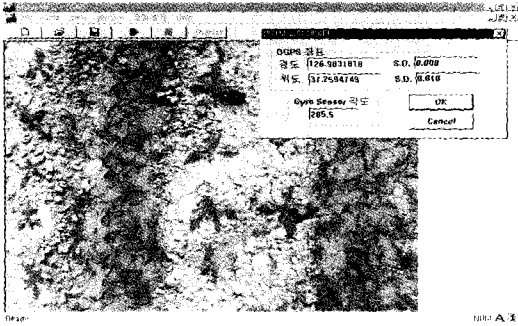


Fig. 9 Original image in field.



Fig. 12 Photograph for inspection.

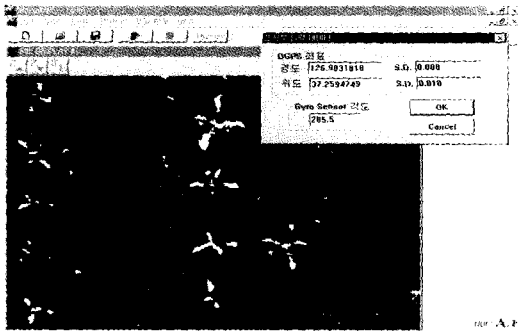


Fig. 10 Image after image processing.



Fig. 11 Appearance of spraying nozzles.

상을 통하여 검정하기 위해 보색의 식용색소와 잉크 등을 첨가하여 길이 15 m에 대해 방제 성능평가를 수행하였다. 그러나 의도와는 달리 액제가 토양에 스며들어 컴퓨터 영상처리에 의하여 거의 판독할 수 없었다. 또한 실시간 방제를 연속적으로 수행하기 위해서는 많은 데이터를 연산해야 한다. 따라서 실시간으로 방제 결과를 database에 저장하기 어려웠다. 따라서 그림 12와 같이 사진에 의해 육안으로 판독하였으며, 판독 결과 방제 성공률은 61%이었다. 따라서, 개발된 시스템의 성능 개선을 통하여 정밀농업에 적용 가능할 것으로 판

단되었다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 DGPS의 절대위치와 칼라 CCD 카메라의 상대위치 및 지자기센서의 각도보정을 이용하여 잡초의 위치 검출을 위한 영상처리 시스템을 개발하였다.

방제 요구부위에 실제 정밀한 살포를 위해 각각의 노즐에 레귤레이터를 장착하여 개별 노즐별로 ON/OFF에 의한 변량 살포가 가능하도록 한 분무시스템을 개발하였다.

또한 정밀방제용 이동식 차량을 제작하고 위의 두 시스템을 통합하여 정밀 방제시스템을 개발하였다.

개발한 시스템은 영상 획득 → DGPS 좌표 획득 → 자이로 컴퍼스 데이터 획득 → 데이터베이스로부터 작물의 위치정보 획득 → 영상처리를 이용한 방제요구부위 검출 → 노즐별 개별 방제 작업이 순서적으로 반복해서 진행되었다. 완성된 시스템의 성능 및 안정성을 평가하였다. 실험 결과 작물에 대한 농약 사용은 감소하였으나 잡초에 대한 살포 역시 감소하여 효율이 감소하였다. 잡초에 대해 뿌린 비율은 64%로 기존의 방식(100%)에 대해 효율이 낮게 나타났다. 개발된 시스템의 효율을 보다 높이기 위해서는 작물 식부시 식부위치를 저장할 수 있는 시스템의 통합이 필요하며 방제시 적량을 정확한 지점에 살포하기 위해 노즐의 변량 살포에 관한 추가 연구가 필요하다고 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 이대성. 2000. 신경회로망을 이용한 잡초검출 기계시각 시스템 개발. 석사학위논문. 서울대학교.
2. Tian, L., J. F. Reid and J. W. Hummel. 1999. Development of a precision sprayer for site-specific weed management. Transactions of the ASAE. 42(4):893-900.
3. Tang, L., L. F. Tian, B. L. Steward and J. F. Reid. 1999. Texture-based weed classification using Gabor wavelets and neural network for real-time selective herbicide application. ASAE Paper No. 991151 (UILU No. 99-7035).
4. Franz, E., M. R. Gebhardt and K. B. Unklesbay. 1991. The use of local spectral properties of leaves as an aid for identifying weed seedlings in digital images. Transactions of the ASAE. 34(2): 682-687.
5. Tian, L. and D. C. Slaughter. 1998. Environmentally adaptive segmentation algorithm for outdoor image segmentation. Computers and Electronics in Agriculture. 21:153-168.
6. Woebbecke, D. M., G. E. Meyer, K. Von Bargaen and D. A. Mortensen. 1995. Shape features for identifying young weeds using image analysis. Transactions of the ASAE. 38(1):271-281.