

## 플러그 묘 이식용 로봇의 영상 처리 알고리즘†

# Image Processing Algorithm for Robotic Plug-Seedling Transplanter

김 철 수*	김 만 수**	김 기 대**
정회원	정회원	정회원
C. S. Kim	M. S. Kim	K. D. Kim

### ABSTRACT

A color image processing algorithm was developed to assist the robotic plug-seedling transplanter. The algorithm was designed to identify and locate empty cells in the seedling tray. The image of pepper seedling tray was segmented into regions of plant, frame and soil using thresholding technique which utilized HSI or RGB color characteristics of each region. The detection algorithm was able to successfully identify empty cells and locate their two-dimensional location. The overall success rate of the algorithm was about 88%.

#### 주요용어(Key Words):

### 1. 서 론

품질이 우수하고 균일한 플러그 묘를 생산하기 위해서는 트레이를 검사하여 결주나 발육이 부진한 불량 묘를 제거하고 좋은 품질의 묘를 재이식하는 보식 작업이 필요하다. 또한 병해 발생 묘를 조기에 발견하여 주위의 건강한 묘로부터 격리하는 것도 매우 중요한 육묘 관리 작업 중의 하나이다.

현재 인간의 손에 의해 행해지고 있는 이러한 작업들을 대신할 플러그 묘 관리 로봇은 결주, 불량 묘 및 병해 발생 묘를 감지할 수 있는 시스템을 갖추어야 한다. 묘의 인식을 위해서는 실시간화가 유리한

광전 센서를 이용하는 방법도 있으나 영상 처리시스템의 처리속도가 크게 개선되고 적용 범위가 넓어 인공 시각 장치의 활용이 점점 증가하고 있다.

Beam(1991) 등은 인공 시각 장치를 활용하여 로봇 이식 장치의 작동을 검사한 후 결주의 발생 위치를 평면상에서 검출하였다.

Hirvonen과 Hamalainen(1992)은 여러 가지 토양 상태에서도 결주를 정확히 판별하기 위하여 특수 고안된 조명 조건을 이용하였다.

McClure(1991)는 토양으로부터 식물의 묘를 구분하기 위해서는 670nm와 800nm 부근의 반사 특성을 비교 검토함으로써 성공률을 높일 수 있다고 보고하

† 이 논문은 1996年度 教育部 據點研究所 支援事業에 의하여 研究되었음.

\* 전북대학교 농과대학 농업기계공학과

\*\* 충남대학교 농과대학 농업기계공학과

였다.

Tai (1994) 등은 대량으로 자동 이식된 플러그 묘 트레이에서 결주 및 불량 묘를 판별하고 이의 3차원 공간상에서의 위치를 결정하여 로봇 이식기를 조종하기 위한 기초 자료를 얻기 위하여 인공 시각 장치를 활용하였다. 이들은 3차원 위치를 계산하기 위하여 780nm 부근의 레이저 광선을 이용하였다. 또한 트레이 상에서 인접한 플러그 묘들간의 간섭이 없는 경우에는 결주의 판별이 용이하다고 보고하였다.

류관희(1994) 등은 작물의 병해 진단과 재배 관리의 자동화에 필요한 식물체의 성장 상태 계측을 위하여 영상 처리 기술을 활용하였다. 토양과 식물체의 영상 분할은 850nm 밴드 패스 필터를 장착한 흑백 영상 처리 장치를 이용할 경우 용이하였으며, 색채 영상 처리 장치를 이용할 경우 RGB 영상 보다는 HSI 또는 Lab 색채 좌표로 변환된 색채 영상에서 영상 분할이 용이하였다.

Sakaue(1994)는 파종에서부터 육묘 관리 작업까지를 자동화한 묘 생산 로봇을 개발하는 연구를 수행하였다. 결주와 불량 묘의 검출을 위해서 광전 센서를 사용하였으며, 불량 묘의 제거를 위하여 진공 흡입기를 사용하였다.

본 연구는 플러그 묘 생산 과정에서 매우 중요한 육묘 관리 작업의 자동화를 위한 로봇을 개발하려는 연구의 일환으로, 로봇의 인공 시각으로 활용하기 위한 영상 처리 시스템을 구성하고 토양과 식물체를 분할하여 결주 및 불량 묘를 판별할 수 있는 알고리즘을 개발하기 위하여 수행되었으며, 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

1) 프레임 그래버(Frame Grabber) DT2871을 중심으로 한 영상 분석 시스템을 구성하여 식물체, 육묘 상자, 배지 토양의 RGB 및 HSI 칼라 특성을 측정 분석하여 영상 분할을 위한 기초 자료로 활용한다.

2) Minolta CR-200 색채 색차계를 이용하여 식물체, 육묘 상자, 배지 토양의 칼라 특성을 측정하여 입력 영상의 보정과 영상 분할을 위한 알고리즘 개발에 활용한다.

3) 플러그 묘 입력 영상을 처리하여 결주 및 불량 묘의 발생을 판별하기 위한 알고리즘을 개발한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 시료 및 영상 입력

본 연구는 고추 플러그 묘를 생산 시판하고 있는 종묘 회사로부터 파종 후 4주 정도가 경과한 105공 트레이를 구하여 이를 대상으로 하여 수행되었다. 플러그 묘 트레이의 영상 입력 과정에서 조명에 의한 색채 왜곡을 최소화 하기 위하여, 자연광에 가까운 파장 특성을 가지고 있는 할로젠 램프(75W)를 직경 50cm 원주 위에 등 간격으로 8개를 배치한 조명 장치를 설치하였다. 조명 램프로부터 수직 방향으로 60cm 아래에 위치한 플러그 묘 트레이에서의 조도는 2,400Lux 정도였으며, 주변 광원으로부터의 빛을 차광 막에 의하여 차단한 상태에서 플러그 묘의 입력 영상을 얻었다.

영상 입력 센서로서 해상도가 768(수평) × 493(수직) 화소(Pixel)인 Sony XC-711 RGB CCD 카메라를 사용하였으며, 입력된 영상이 칼라 색상만을 쉼 수 있도록 가시광선 영역에서의 적외선 작용을 방지하도록 CCD 카메라에 근적외선 차단 필터를 장착하였다.

CCD 카메라로부터의 RGB 칼라 영상 출력은 주 컴퓨터내에 장착된 영상처리 보드로 입력되어 영상 처리를 위하여 프레임 버퍼에 저장된다. 주 컴퓨터로는 IBM AT486 DX2를 이용하였으며, 영상처리 보드로는 RGB 값으로부터 HSI 값으로의 실시간 변환이 가능한 DT2871 칼라 프레임 그래버를 이용하였다. 프레임 버퍼에 저장된 입력 영상은 영상 모니터에 실시간으로 출력되는데 이를 위하여 Sony KX-14CP1 Trinitron 칼라 모니터를 사용하였다. 영상 입력 및 영상 처리를 위한 프로그램은 C 언어를 사용하여 개발하였으며 Microsoft C compiler 6.0과 Aurora 서브루틴 라이브러리가 활용되었다.

### 나. 입력 영상의 칼라 특성

프레임 버퍼에 입력된 플러그 묘의 색채 영상은 512(수평) × 480(수직) 2차원 행렬로 각 화소 마다

칼라 특성을 RGB 또는 HSI와 같은 3개의 성분 값으로 표현하는 벡터 합수로 생각할 수 있으며 대표적인 입력 영상을 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 플러그 묘의 영상은 크게 식물체, 육묘 상자, 배지 토양 등 세 부분으로 이루어져 있다. 트레이 내에서 결주 또는 불량 묘를 판별하여 발생 위치를 결정하기 위해서는 먼저 색채 영상을 각 부분 별로 분할해야 하며, 영상의 효율적인 분할을 위해서는 입력 영상의 칼라 특성을 측정 분석하는 일이 필수적이다.

본 연구에서는 플러그 묘의 칼라 특성을 파악하기 위하여 Minolta CR-200 색채색차계를 이용하여 L\*(Lightness), C\*(Chroma), h(Hue angle) 등 삼 자극치를 측정하였으며, CCD 카메라를 통하여 입력된 영상으로부터 R(Red), G(Green), B(Blue) 값과 DT2871 영상 처리 보드내에서 RGB-HSI 변환에 의하여 H(색조, Hue), S(포화, Saturation), I(강도, Intensity) 값을 각각 측정하였다.

또한 양호한 영상 분할을 위해 보다 유리하게 활용될 수 있는 성분 값을 결정하기 위하여 각각의 칼라 특성 값들을 비교 분석하였다.

#### 다. 영상 분할 알고리즘

입력 영상으로부터 식물체, 육묘 상자, 배지 등과 같은 영역을 분할하기 위하여 일반적으로 많이 활용되고 있는 경계값 처리방법을 채택하였다. 먼저 각 영역별로 세가지 칼라 성분의 평균값과 표준 편차를

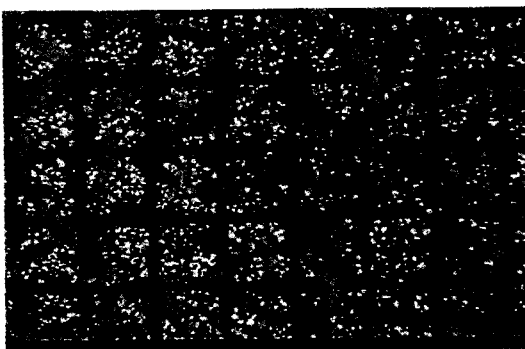


Fig. 1 Typical image of pepper plug seedling.

계산하여 상하 문턱 값을 설정한 후 문턱 값 범위 내에 해당하는 영역만을 추출하였다. 본 연구에서는 경계값 처리를 위한 상하 문턱 값으로 각 칼라 성분의 '평균값  $\pm 3 \times$  표준편차'로 설정하였으며, RGB 칼라 특성과 HSI 칼라 특성을 각각 이용하여 영상을 분할한 결과를 비교 검토하였다.

식물체, 육묘 상자 등 영역별로 분할된 영상에는 칼라 특성이 매우 불균일한 배지 토양의 영향으로 인하여 많은 잔영이 포함되게 되며 이는 계속되는 영상 처리 과정에서 장애가 된다. 따라서  $3 \times 3$  행렬 형상 필터를 이용한 Erosion 필터링을 수행하여 잔영을 제거한 영상을 결주 및 불량 묘 판별을 위해 이용하였다.

#### 라. 셀 중심 위치 결정 및 결주의 판별

결주 여부를 판별하기 위해서는 먼저 육묘 상자 영역만을 추출해 낸 영상에서 각 셀의 위치와 크기를 결정해야 한다. 육묘 상자 셀의 크기와 위치를 결정하는 과정을 요약하면 다음과 같다 (그림 2. 참조).

1) 그림 2의 a와 같이  $\pm 5^\circ$  범위내의 선들을 왼쪽으로부터 이동하면서 각 선 위에 놓인 화소들의 Graylevel 총합이 첫 번째로 최대가 되는 방향을 택

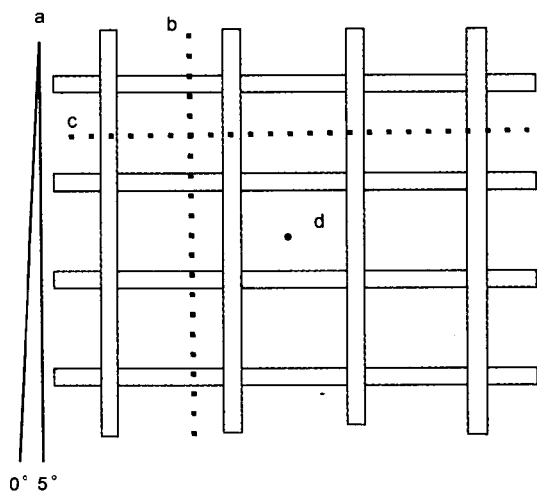


Fig. 2 Determination of size and center location of tray-cell.

해 육묘 상자의 회전각을 결정한다.

2) 그림 2의 b와 같이 육묘 상자의 회전각과 일치하는 방향의 선 하나를 계속 이동시키면서 화소들의 Graylevel 총합이 다음 번으로 최대가 되는 곳을 구해 셀의 수평 방향 크기를 결정한다.

3) 위와 똑같은 방법으로 그림 2의 선 c를 수직 방향으로 이동시키면서 셀의 수직 방향 크기를 결정한다.

4) 위에서 구한 상자의 회전각과 수평 및 수직 크기를 이용하여 각 셀의 중심점을 구하여 표시하면 그림 2의 d와 같다.

육묘 상자의 셀의 크기와 중심 위치를 결정한 후 육묘 상자의 영상과 식물체 영역만을 추출한 영상을 중첩한다. 중첩된 영상을 대상으로 하여 각 셀의 중심 부근에 있는 200 화소를 대상으로 식물체 잎의 존재 여부를 조사한다. 대상화소를 셀 중심으로부터의 거리가 통계적으로 정규 분포하도록 무작위로 선정하였는데 이는 묘의 파종 위치 및 성장 방향이 불규칙적이기 때문이었다.

본 연구에서는 총 200개 화소중 식물체 잎에 해당

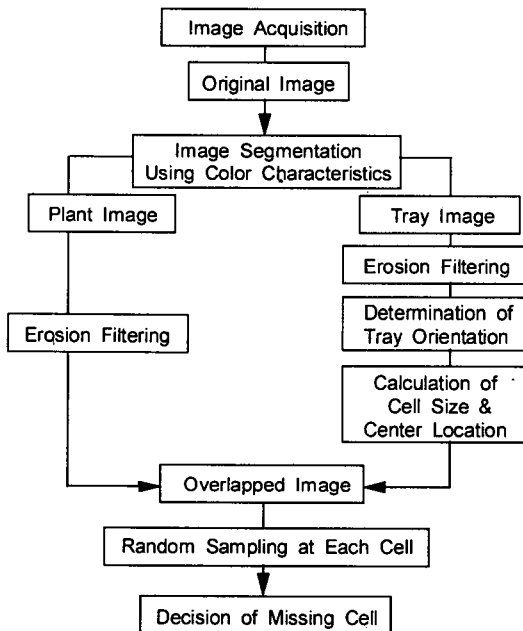


Fig. 3 Flow-chart of image processing system for finding missing cell.

하는 최소치를 갖는 화소가 10개 이하로 존재하는 경우에는 셀에 결주가 발생한 것으로 판단하며, 100개 이상인 경우에는 2그루 이상의 식물체가 있는 것으로 판별하였다. 그림 3은 입력 영상으로부터 결주의 판별에 이르는 과정을 요약하여 나타낸 흐름도이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 칼라 특성의 분석

칼라 특성을 분석하기 위하여 고추를 파종한 후 4주 정도가 경과한 105공 트레이를 대상으로 100 지점을 무작위로 선정하여 칼라 특성을 측정 한 후, 최소값 0, 최대값 255가 되도록 정규화 하였다.

그림 4는 식물체, 육묘 상자, 배지 토양의 칼라 특성을 각 성분별로 중첩하여 나타낸 그래프로서 배지토양은 모든 칼라특성 성분의 분산계수가 매우 크고 식물체와 육묘상자의 칼라 특성과 중첩되어 영상 분할에 장애가 되고 있음을 알 수 있다. 그래프에서 각 영역별 칼라 특성이 중복되는 구간이 없거나 작을수록 원활한 영상 분할에 유리한 성분이 된다. 즉 식물체 영역의 추출을 위해서는 G, L\*, C\*, h, I, H 등의 성분을 이용하는 것이 바람직하며, 육묘 상자 영역의 추출을 위해서는 C\*, S 등의 성분을 이용하는 것이 유리하다는 것을 보여주고 있다.

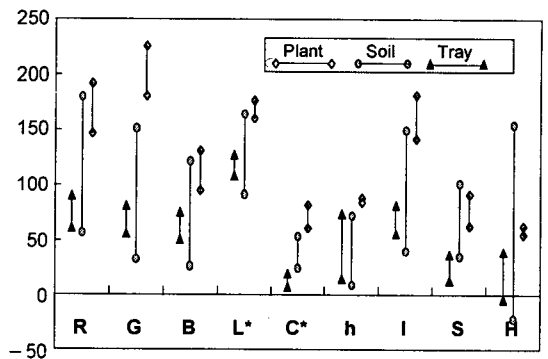


Fig. 4 Comparison of color characteristics of pepper plug-mean & standard deviation.

나. 입력 영상의 분할

입력 영상을 식물체 및 육묘상자 영역으로 분할하기 위하여 플러그 묘 칼라 특성의 분석 결과에 근거한 문턱 값을 설정하였다. 그림 5는 HSI 칼라 특성을 이용하여 그림 2에 나타난 입력 영상으로부터 식물체 영역만을 추출해 낸 결과를 보여주고 있다. 설정된 문턱 값은 H, S, I 각 성분 별로 각각 47~71, 33~121, 101~223 이었으며 이는 '평균값 ± 3 × 표준편차'에 해당하는 값들이며 H, S, I 세 성분 모두 지정된 범위에 속하는 영역만을 추출한 것이다.

그러나 분할된 식물체 영역은 그림 5에 나타난 바처럼 배지 토양 영역 중의 일부인 잔영을 함께 포함하고 있어, 이는 계속 이어지는 영상 처리 과정에 장애가 된다. 따라서 3 × 3 행렬 형상 필터를 이용한 Erosion 필터링을 수행하여 잔영을 제거하였으며 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 잔영이 제거된 식물체 영상은 결구 판별 과정에서 사용되기 위하여 영상처리 보드내에 임시 저장된다.

그림 7은 HSI 칼라 특성을 이용하여 그림 2에 나타난 입력 영상으로부터 육묘 상자 영역만을 추출해 낸 결과를 보여주고 있다. 분할을 위하여 설정된 문턱 값은 H, S, I 각 성분별로 각각 -47~82, 0~61,

31~108 이었다. 여기에서 색상 정보인 H(Hue) 값은 원주를 따라 연속적인 값이기 때문에 최대값인 255로부터 최소값인 0으로 다시 반복되게 된다. 따라서 -47은 256 보다 47만큼 작은 값인 209와 동일한 의미를 갖는다.

그림 7에서 알 수 있는 바와 같이 추출된 육묘 상자의 영상에는 그림 5의 식물체 영상에 비하여 훨씬 더 많은 잔영들이 존재하는 것을 알 수 있다. 이는 육묘 상자의 칼라 특성이 배지 토양의 특성과 상당히 많은 부분에서 중복되었던 것으로부터 예견할 수 있었던 점으로써, 육묘 상자 영역의 분할이 수월하지 않다는 것을 보여준다.

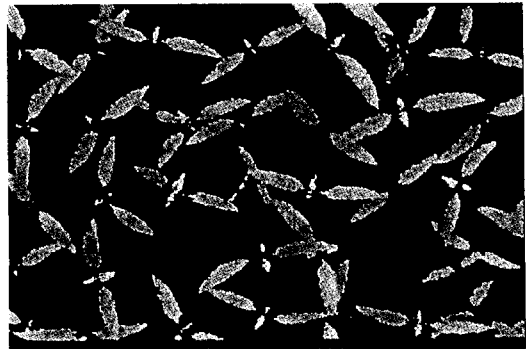


Fig. 6 Plant region after erosion filtering by 3 × 3 morphological filter - HSI.

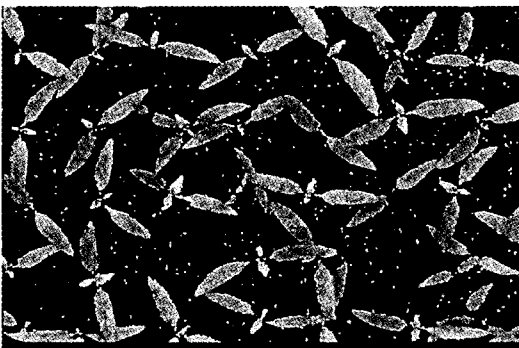


Fig. 5 Plant region segmented based on HSI color characteristics.

Threshold: H ( 47 ~ 71), S (32 ~ 121), I (101 ~ 223)



Fig. 7 Tray frame region segmented based on HSI color characteristics.

Threshold: H ( -47 ~ 82), S (0 ~ 61), I ( 31 ~ 108).

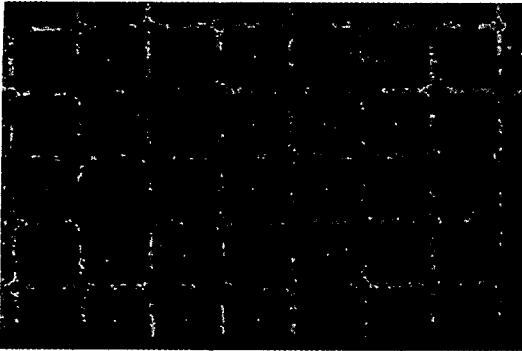


Fig. 8 Center of cell and tray frame region after erosion filtering by 3×3 array filter.

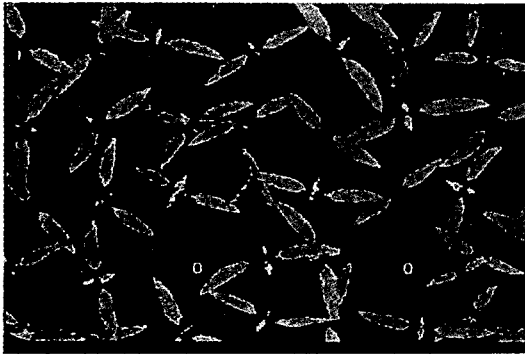


Fig. 9 Finding missing plant using HSI color characteristics.

분할된 육묘 상자의 영상에 3 × 3 형상 필터를 적용하여 잔영을 제거하고, 육묘 상자의 회전각과 셀의 수평 및 수직 크기를 계산한 후, 이를 이용하여 각 셀의 중심점을 구하여 표시한 결과를 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 각 셀 중앙의 하얀 점들이 셀의 중심점을 나타낸다.

#### 다. 결주의 판별

그림 9는 HSI 칼라 특성을 이용하여 분할한 식물체 영상과 육묘 상자 영상을 중첩한 후 각 셀의 중심점을 기준으로 각각 200 지점씩을 무작위로 선정하여 식물체의 유무를 검사한 결과를 보여주고 있다. 각 셀 내에 흰 점들로 표시되어 있는 곳들이 샘플링

Table 1 Result of classification of tray cells by algorithm developed

Experiment \ Fact	Bad	Good	Double
	Bad	7	1
Good		45	2
Double		5	5

지점들이며, 아래 부분의 0으로 표시되어 있는 곳은 결주가 발생한 셀들을 정확하게 나타내고 있다. 결주가 발생한 셀의 위치는 보식을 위한 로봇의 제어부에 전달되어 로봇 핸드의 작업 안내를 위한 정보로 활용된다.

비록 시료의 제약으로 인하여 대량의 시료를 대상으로 한 결주 판별 실험은 수행하지 못하였으나, 본 연구에서는 고추 플러그 묘 105공 트레이의 중앙부 65 셀에 대해 HSI 칼라 특성을 이용하여 결주 판별 실험을 수행하였으며 그 결과를 표 1에 나타내었다. 묘 하나당 판별시간은 약 2초 정도이다. 결주가 발생한 셀 들은 7개 모두 정확하게 인식하였으나, 51개의 양호한 묘를 1개는 결주로 5개는 2그루 이상의 묘가 중복되어 있는 것으로 판별하였다. 이와 같이 중복으로 판별한 경우가 많은 이유는 고추 묘의 잎이 셀의 경계를 넘어 다른 셀에 영향을 미치기 때문이었으며 이 문제의 해결을 위한 연구가 앞으로 계속되어야 할 것이다.

#### 4. 결론 및 요약

육묘 관리용 로봇은 결주, 불량 묘 및 병해 발생 묘를 감지할 수 있는 인공 시각을 갖추어야 한다. 로봇에 인공 시각을 제공하기 위하여 영상 처리 시스템을 활용할 경우에는 입력 영상의 구성 성분별 칼라 특성에 대한 정보가 필수적이다. 본 연구에서 사용된 고추 플러그 묘의 영상은 크게 식물체, 육묘 상자, 배지 토양 등 세 영역으로 이루어져 있었다.

Minolta CR-200 색채 색차계를 이용하여 L\*C\*h

칼라 특성을 각 영역별로 측정 분석 하였으며, CCD 카메라를 통하여 DT2871 영상처리 보드에 입력된 영상으로 부터 RGB 및 HSI 칼라 특성을 측정하여 분석하였다.

RGB 및 HSI 칼라 특성의 분석 결과를 기초로 하여 플러그 묘 입력 영상으로부터 식물체, 육묘 상자, 배지 토양 등의 영역을 분할하기 위하여 경계값 처리방법을 채택하였으며, 상하 문턱 값은 각 칼라 성분의 '평균값  $\pm 3 \times$  표준편차'로 설정하였다.

분할된 육묘 상자 영상에서 상자의 회전각, 셀의 수평수직 크기, 셀의 중심 위치 등을 계산하고, 아울러 결주가 발생한 셀을 인식하여 위치를 결정할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 본 연구에서 얻어진 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 식물체 영역의 칼라 특성을 측정 분석한 결과,  $L^*C^*h$  칼라 특성중 휘도(Luminance) 성분인  $L^*$ , 색상 성분인  $h$ , 그리고 HSI 칼라 특성의 색상 성분인  $H$  값의 분산 계수가 각각 4.8, 2.7, 6.6으로 비교적 작게 나타났으며, 식물체 영역의 추출을 위해서는 이러한 칼라 성분을 활용하는 것이 유리하다.

2) 육묘 상자 영역은 무채색인 흑색에 가깝기 때문에 칼라 특성의 분산 계수들이 비교적 크게 나타났다. 따라서 육묘 상자 영역의 원활한 분할을 위해서는 분산 계수와 아울러 평균값을 동시에 고려하여 유리한 칼라 특성을 선정해야 하는데  $C^*(\text{Chroma})$ ,  $S(\text{Saturation})$  등의 성분을 이용하는 것이 육묘 상자 영역을 추출하는데 더 유리하다.

3) RGB 칼라 특성을 이용하여 분할한 식물체 및 육묘 상자 영상에는 HSI 칼라 특성을 이용하여 분할했을 때에 비하여 관영들이 훨씬 더 많이 포함되기 때문에 HSI 칼라 특성을 활용하는 것이 더 유리하였으며, 입력영상에서 식물체 및 육묘상자 영역을 분리해 내기 위하여 HSI 칼라 특성 분석을 행한 결과, 식물체 영역의 HSI 문턱값은  $H, S, I$  각각 47~71, 31~121, 101~223으로 나타났으며, 육묘상자 영역의 HSI 문턱값은  $H, S, I$  각각 -47~82, 0~61, 31~108로 나타났고, 이에 따라 각 영역을 분리하였다.

4) 입력영상에서 결주를 판별하기 위하여 셀 중

심부근의 200개 화소를 대상으로 식물체 잎의 존재 여부를 조사하였으며, 200개 화소중 식물체 잎에 해당하는 최소치를 갖는 화소가 10개 이하로 존재하는 경우에는 결주로 판단하였고, 10개 이상인 경우에는 2그루 이상의 식물체가 있는 것으로 판별하였다.

5) 105공 플러그 묘의 중앙부 65 셀에 대해 HSI 칼라 특성을 이용하여 결주 실험을 한 결과 결주가 발생한 7개의 셀을 모두 정확하게 인식하였다. 다만 정상적인 셀을 2그루 이상이 중복되어 있는 것과 결주로 판별한 경우가 있었으며, 이의 개선을 위한 연구가 계속되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Beam, S. M., G. E. Miles, G. J. Treece, P. A. Hammer, L. J. Kutz and C. B. Richey. 1991. Robotic Transplanting : Simulation, design, performance tests. ASAE Paper No. 91-7027. St. Joseph, Mich. ASAE.
2. Eddington, D. L., C. W. Suggs, W. F. McClure and T. K. Miller. III. Transplant size sensing using dual-wavelength reflectance. Transactions of the ASAE 34(3):1010-1015.
3. Hirvonen, V. J. and J. J. Hamalainen. 1992. Machine vision in inspection of small plants. In Proc. Of the 4th Int. Conf. On Computers in Agricultural Extension Programs, 268-273. St. Joseph, Mich. ASAE.
4. McClure, W. F. 1991. Making light work : Lighting new frontiers. Making light work : Advances in near infrared spectroscopy, eds. Ian Murray and Ian Cowe, 1-13. New York, VCH Pub.
5. Ryu, K. H. 1994. Development of plant growth control system using growth information. On-line measurement and control of plant growth, KOSEF 91-07-00-12 : 21-101.

6. Sakaue, O. 1994. Basic study for automation system in seedling production and transplanting operation of vegetable (I). Journal of JSAM 56(1):87-93.
7. Sakaue, O. 1994. Basic study for automation system in seedling production and transplanting operation of vegetable (II). Journal of JSAM 56(2):109-117.
8. Sakaue, O. 1994. Basic study for automation system in seedling production and transplanting operation of vegetable (III). Journal of JSAM 56(3):101-107.
9. Tai, Y. W., P. P. Ling and K. C. Ting. 1994. Machine vision assisted robotic seedling transplanting. Transactions of the ASAE 31(2):428-434.