

영상처리에 의한 결주 및 불량모 인식기술 개발

Development of Recognition Technique for Plug-Seedling Using Image Processing

손재룡*	강창호*	한길수*	정성림*	권기영*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
J.R. Son	C.H. Kang	K.S. Han	S.R. Jung	K.Y. Kwon

1. 서론

육묘생산의 고품질화 및 안정생산을 위해서는 트레이 모를 검사하여 결주 및 불량모를 판별하여 제거하고, 우량모를 보식해 주는 공정육묘생산 관리시스템의 자동화가 요구된다. 현재 이러한 작업들은 인력에 의존하고 있으나 로봇에 의해 자동화함으로써 품질이 우수한 육묘생산이 기대된다.

결주 및 불량모를 자동으로 찾아내는 방법으로는 광전센서를 이용하여 모의 유무를 인식하는 방법이 있으나, 이것은 트레이 각 셀마다 센서를 부착하여 잎의 존재 유무를 판단해야 하기 때문에 많은 센서가 필요하고 기계적이 메카니즘이 복잡해지며, 또한 광전센서는 엽면적의 크기를 측정하는데 어려움이 있기 때문에 생육부진에 의한 불량모를 판단하기 위해서는 부적절한 방법이다. 따라서 영상처리시스템에 의한 잎, 트레이, 상토 등의 색상정보들을 이용하면 보다 빠르고 정확하게 결주와 불량모를 찾아낼 수 있다.

김철수(1999)등은 영상처리시스템을 이용하여 105공 플러그모의 중앙부 65셀에 대하여 HSI 칼라특성을 이용하여 결주인식 시험을 실시하였으며, 김기대(1995)등은 영상처리에 의한 결주 및 불량모 인식과 4축 직교좌표형 머니플레이터 및 핸드에 의해 우량모를 보식하는 로봇을 개발하였다.

Manzo(1998)등은 RGB 칼라 특성을 이용하여 토마토, 양배추, 브로콜리를 분류하고, 발아율을 측정할 수 있는 영상처리시스템을 개발하였다.

Lee(1990)는 트레이에 파종된 잎담배를 인식하기 위하여 670nm와 800nm의 파장대를 갖는 광학필터를 카메라 앞에 부착하여 입력된 두 영상의 차($I_{670nm} - I_{800nm}$)를 이용하면 잎 추출에 용이하다고 보고하였다.

본 연구는 플러그모의 결주 및 불량모를 인식하여 제거하고 우량모를 보식하는 로봇의 한 부분으로써 영상처리시스템에 의해 잎, 트레이, 상토를 각각 분리하는데 적당한 색 좌표계를 선정하고 결주와 불량모를 인식 할 수 있는 시각장치를 개발하기 위하여 수행하였다. 연구의 주요내용은 다음과 같다.

- 1) 카메라, 조명장치, 이송벨트 등으로 구성된 영상처리시스템을 구축하고,

2) 색채색차계, Munsell Color Chart, Image Analysis Tool 등을 이용하여 잎, 트레이, 상토에 대한 칼라특성을 분석하여 영상분할에 적당한 색 좌표계를 선정한다.

3) 플러그모의 영상처리에 의해 결주 및 불량모인식 알고리즘을 개발하여 성능평가를 하는데 연구의 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

가. 영상처리시스템 구성

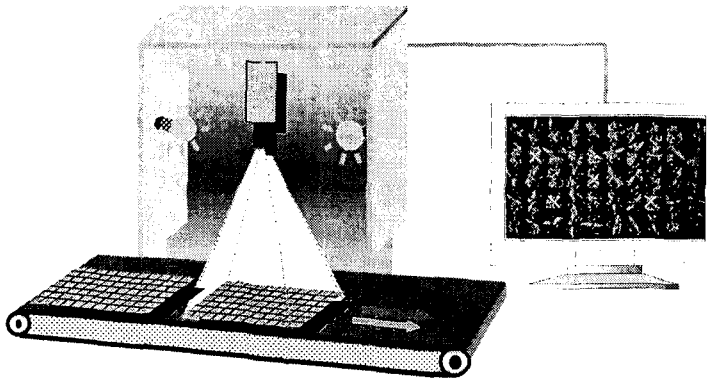


Fig. 1. Schematic diagram of the image processing system

결주 및 불량모를 인식하기 위하여 그림 1과 같이 영상처리시스템을 구성하였다. CCD 카메라는 트레이에 심어진 어린 모 전체를 한번에 캡처하여 미세한 부분까지 특징값을 추출할 수 있도록 Progressive Scan 방식의 RGB 카메라(JAI CV-M70)를 사용하였고 영상처리 보드는 Matrox사의 Meteor-II/MC를 이용하였다. 조명장치는 36W/3과장 등으로 흰색 아크릴판을 통과한 산란된 빛이 육묘트레이 전체를 균일한 조도로 비추도록 등간격으로 배치하였다. 이송벨트는 흑색 무광처리된 고무벨트를 사용하였고 220VAC로 구동되며 속도조절이 가능하도록 하였다. 트레이가 이송되어 카메라의 중심에 도달했을 때 영상처리를 할 수 있도록 투과형 광 센서를 부착하여 트레이 유무를 감지하여 모터를 ON/OFF 시켰다.

나. 공시작물

육묘장에서 생산되는 보식시기에 있는 고추는 파종후 3주가 경과한 모를 대상으로 하였고, 토마토는 파종후 1주일 경과한 모를 대상으로 하였다.

다. 적정 색 좌표계 선정

표 1은 색채색차계(Minolta, Colorimeter CR-200)를 이용하여 플러그모의 잎, 트레이, 상토에 대하여 CIE $L^*a^*b^*$ Color와 Hue Angle의 분포를 측정하였으며, 또한 잎, 트레이,

상토에서 측정된 각각의 Hue Angle 값에 대하여 동일한 값으로 표현되는 Munsell Color 값을 얻었다.

Table 1. Distribution of the color for the Leaves, Tray and Soil

Item	Hue angle(°)	Munsell color	L*a*b* color	
			a*	b*
Leaves	128.8~130.2	GY	-15.67~-8.81	11.28~21.64
Tray	254.0~258.3	PB	-0.48 ~ 1.72	-0.48~1.32
Soil	70.3 ~ 79.1	Y~YR	0.06~5.60	4.36~10.52

적정 색좌표 선정을 위하여 영상처리시스템의 CCD 카메라에 입력된 RGB 영상을 HSI, L*a*b*, YIQ 칼라모델로 변환시켜 잎, 트레이, 상토를 분리하는데 최적의 색 좌표계를 선정하였으며, 적정 색좌표 선정을 위한 영상 분석은 CCD 카메라에 입력도된 영상을 Bmp 포맷의 그림화일로 변환한 후 Image Pro 4.1을 이용하였다.

라. 영상처리알고리즘

플러그모의 영상분할 인자로는 잎, 트레이, 상토로써 조명장치에 구성된 램프의 종류, 아크릴 판의 색상 및 카메라의 종류 등에 따라 입력된 영상의 색상이 달라질 수 있기 때문에 하나의 색 좌표계로는 각 인자들을 분할하기 힘든 경우가 있다. 따라서 여기서는 잎, 트레이, 상토 각 인자별로 영상분할에 가장 적당한 색 좌표계로 변환한 후 결주 및 불방모를 인식하였다.

잎의 경우는 트레이와 상토의 색 성분과 겹치는 부분이 적기 때문에 분할하는데 용이하지만, 트레이의 경우는 상토의 색 성분과 유사한 부분이 많아서 영상처리에 의해 분할하면 트레이의 셀 윤곽이 끊어지는 경우가 많이 발생하기도하고, 또 잎이 셀을 덮고 있기 때문에 잎에 의해 가려진 부분은 윤곽선이 끊어져 이를 보정하는 알고리즘이 필요하다.

2차화 된 트레이 각 셀의 윤곽선 보정 알고리즘은 x축 방향으로 한 라인씩 스캔해 가면서 255의 값을 가진 픽셀의 총 갯수를 센다. 라인 수를 증가하면서 스캔해 갈 때 셀 부분의 윤곽선이 일부 끊어져 있어도 셀이 시작되는 부분은 255의 값을 가진 픽셀수가 갑자기 증가하게 되고 끝나는 지점에서는 갑자기 개수가 감소하게 되기 때문에 크게 증가하는 부분의 위치와 감소하는 부분의 위치의 중간 지점에서 셀의 경계선을 긋는다. 이와 같은 작업을 640 라인을 반복해서 수행하면 x축 방향의 윤곽선 보정이 끝나게 되고, y축 방향으로도 같은 방법으로 480라인을 반복 수행하여 트레이 전체의 윤곽선을 보정한다.

또한 카메라에 입력된 플러그 모 영상은 대부분 이웃셀에 걸쳐진 잎이 많기 때문에 실제로는 결주가 발생한 셀이라도 이웃 셀의 잎이 걸쳐지면 정상모로 잘못 판단할 수 있기 때문에 이러한 경우에 있어서 원래위치를 판별해주는 작업이 필요하다. 따라서 여기서는 토마토와 고추 어린모의 형상을 이용하는 방법을 채택하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 색채색차계에 의한 칼라특성

색채색차계(Minolta, CR-200)를 이용하여 보식할 시기에 있는 고추와 토마토의 잎, 트레이 및 상토를 대상으로 색 분포도를 측정된 결과를 그림 2에 나타냈다. 잎, 트레이, 상토의 $L^*a^*b^*$ 색상은 추출하고자 하는 대상에 따라 a 및 b 프레임을 이용하면 분리가 가능하지만, 이것은 색채색차계로 대상 부분을 측정할 때 외부의 광이 차단된 CIE 표준 광원을 사용하기 때문이다. 그러나 실제 영상처리시스템에서는 조명조건이 여기서 측정된 조건과는 다르기 때문에 조명에 대한 영향이 미친다. 따라서 $L^*a^*b^*$ 색 좌표에 의해 영상분할을 하고자 할 때는 조명조건을 CIE에서 제정한 광조건과 유사하게 함으로써 완전한 분리가 가능할 것으로 판단된다.

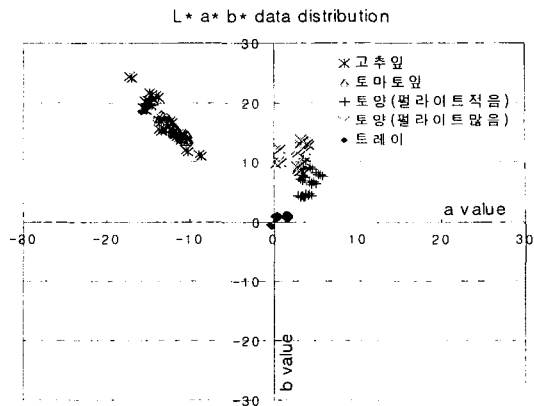


Fig. 2. Distribution of color feature

나. 색 좌표계 변환에 의한 적정 영상분할

그림 3은 파종후 3주가 경과된 고추를 영상처리시스템의 CCD 카메라로 획득한 것이다. 잎, 트레이, 상토의 영역 분할을 위한 적정 색 좌표계 선정시험을 실시하였다.

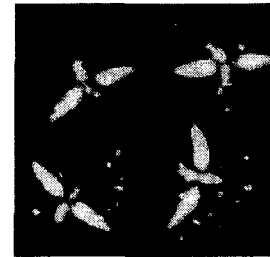


Fig. 3. Picture of the test image

(1) RGB 색 좌표계

입력영상에서 R, G 각 프레임을 추출하여 적정 영상분할을 위한 히스토그램을 분석하였다.

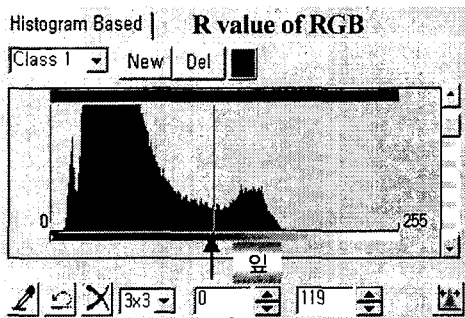


Fig. 4. Histogram of R of RGB

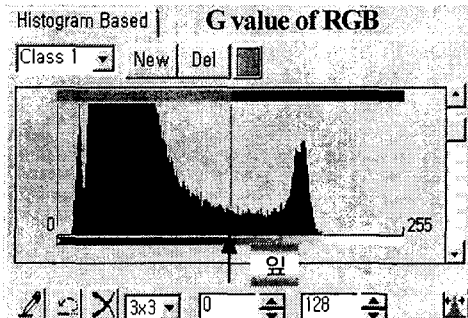


Fig. 5. Histogram of G of RGB

그림 4와 5는 R, G 각 프레임에 대하여 히스토그램 분포를 나타낸 것이다. 앞에 포함된 RGB 성분은 Green 성분이 많기 때문에 R 프레임에서 추출한 영상보다 G 프레임에서

추출된 영상에서 잎의 분리가 용이하였다. 또한 색채색차계에 의한 색상분포에서 알 수 있듯이 플러그 모에 포함된 Blue 성분은 거의 없기 때문에 B 프레임에 대한 히스토그램 분석은 하지 않았다.

(2) HSI 색 좌표계

그림 6은 HSI 색 좌표계로 변환한 후 H 프레임에서 추출된 히스토그램 분포이다. 잎에 해당하는 gray 값의 분포는 뚜렷하게 구분되지 않지만, 트레이만을 추출하기 위한 gray 값은 잎 및 상토와 거의 중복이 되지 않기 때문에 트레이 추출에 적합하였다.

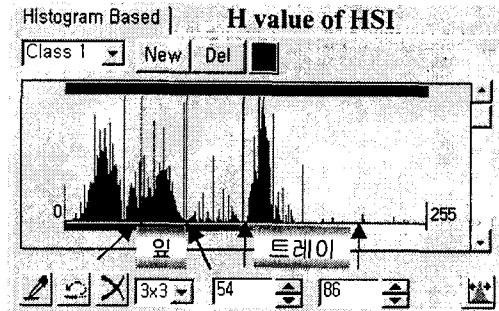


Fig. 6. Histogram of H of HSI

(3) $L^*a^*b^*$ 색 좌표계

그림 7 및 8은 $L^*a^*b^*$ 색 좌표계로 변환한 후 a 프레임과 b 프레임 각각에 대한 히스토그램 분석 결과이다. a 프레임에서는 잎 추출이 가능하였고, b 프레임에서는 트레이 추출이 가능하였다.

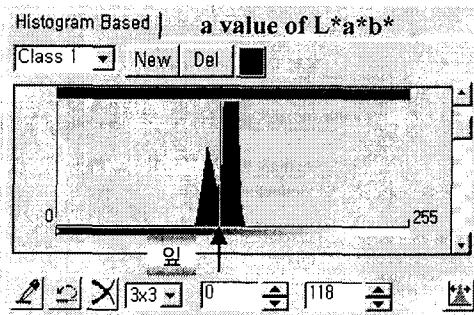


Fig. 7. Histogram of the a of $L^*a^*b^*$

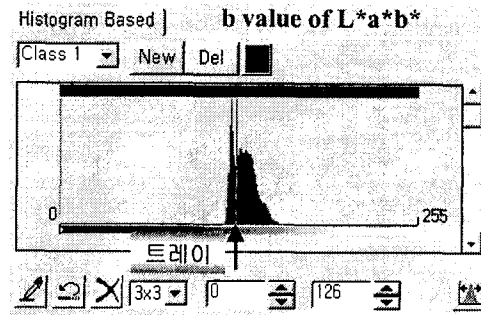


Fig. 8. Histogram of the b of $L^*a^*b^*$

(4) YIQ 색 좌표계

그림 9는 입력된 RGB 영상에서 YIQ 색 좌표계로 변환한 후 Q 프레임을 이용하여 영상분할을 위한 히스토그램 분석 결과로써 잎의 영역만 추출하는데 용이한 색 좌표계를 알 수 있다. 또한 $L^*a^*b^*$ 색 좌표계에 비해 잎의 영역과 나머지 영역과의 차이가 더욱 뚜렷하게 구분되는 것을 알 수 있다.

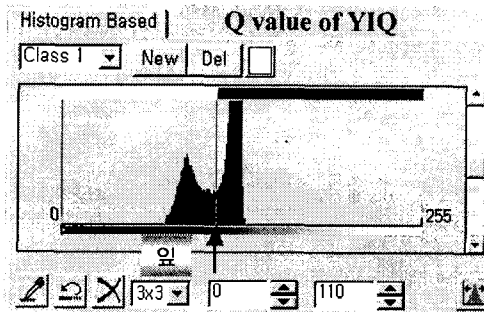


Fig. 9. Histogram of the Q of YIQ

다. 결주 및 불량모 인식

잎을 추출하기 위한 적당한 색 좌표계로는 $L^*a^*b^*$ 색 좌표계의 a 프레임을 이용하는 방법과 YIQ 색 좌표계의 Q 프레임을 이용하는 방법 모두 가능하지만, 여기서는 잎의 영역을 분리하는데 용이한 YIQ 색 좌표계를 이용하였다. 그림 10은 영상처리시스템의 입력영상을 YIQ 색 좌표계로 변환한 후 Q값의 문턱값 처리를 통하여 잎의 영상만 분리한 결과를 나타낸 것이다.

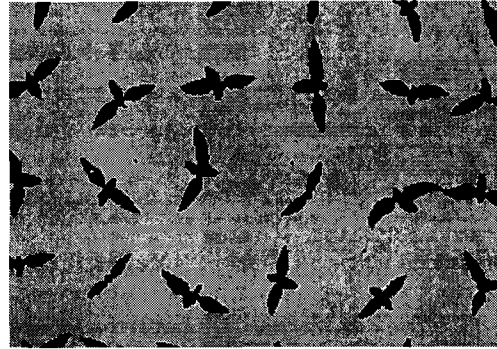


Fig. 10. Finding of leaves by Q of YIQ

트레이 추출은 HSI 색좌표계의 H 프레임과 $L^*a^*b^*$ 색 좌표계의 b 프레임을 이용하면 가능하다. 그림 11은 변환된 HSI 색 좌표계에서 H 값의 문턱값처리를 통하여 2치화한 결과이다. 셀 경계선에 잎이 걸쳐진 부분은 윤곽선이 끊어지게 되고 트레이와 상토의 색 성분이 중복된 부분에서는 윤곽선이 끊어지기도 하고 잡음이 발생하기도 한다.

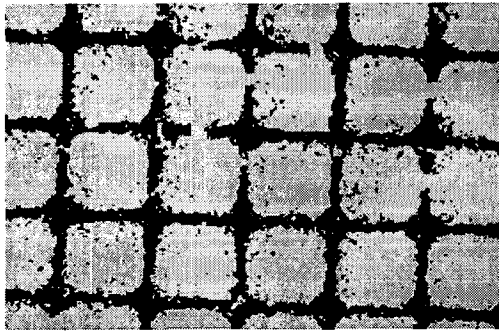


Fig. 11. Finding of Tray by H of HSI

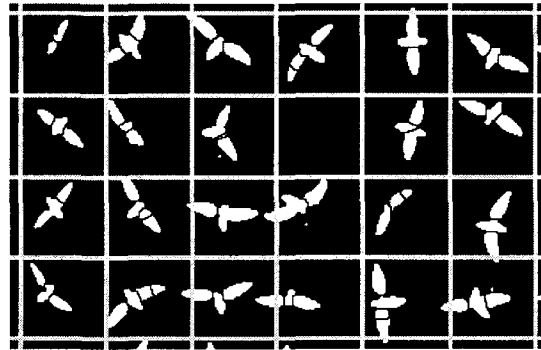


Fig. 12. Connection of cell border

그림 12는 H 프레임에서 영상처리알고리즘을 통하여 끊어진 윤곽선을 보정하여 cell을 다시 긋고 잎을 추출한 Q 프레임과 합성한 결과를 나타낸 것이다.

결주가 발생한 셀에 이웃 잎의 일부가 넘어오면 셀 안에 255의 값을 가지게 되어 잎이 존재하는 것으로 잘못 판단할 수 있다. 이러한 경우에 오인식을 막기 위하여 원래위치를 판별해주는 작업이 필요하다. 여기서는 토마토와 고추 어린모의 형상을 이용하는 방법으로써 2치화된 잎의 도심과 외접사각형 중심의 위치를 이용하였다.

표 2는 400셀을 대상으로 결주 모 인식 시험을 실시한 결과로써 실제로는 23셀이 결주가 발생하였으나 영상처리시스템에서는 26셀이 결주가 난 것으로 잘못 판단하였으며, 결주가 발생한 셀 중에서 1 개의 셀은 정상모로 잘못 판단하였다.

Table 2. Result of the test to detect missing plants

Measure Actual	Image processing system	
	Bad plants(cell)	Good plants(cell)
Missing(cell)	26	1

불량모의 기준은 상대적으로 발육이 부진한 상태의 모로 정하였고, 이 기준은 트레이 전체의 각 셀에 존재하는 평균 엽면적에 대한 상대 엽면적의 비율이 50% 이하가 되면 불량 모로 판단하였다.

그림 13은 CCD 카메라에 입력된 플러그 모에 대해 결주 및 불량모를 인식한 결과를 나타낸 것이다. 결주모는 “×”로 표시하였고, 불량모는 “○”로 표시하였다.

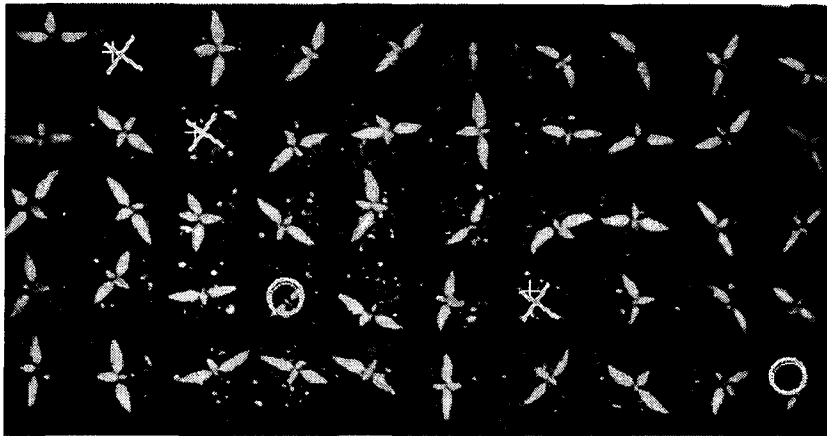


Fig. 13. Result of recognition missing and bad plants

4. 요약 및 결론

고품질의 육묘생산 자동화를 위해서는 결주모와 생육부진에 의한 불량모를 찾아 불량모를 보식해 주는 종합적인 육묘관리 시스템이 요구된다. 결주 및 불량모를 찾기 위한 영상처리시스템과 결주모 제거 및 불량모 보식을 위한 핸드와 머니플레이터로 구성된 로봇시스템은 육묘관리의 자동화에 크게 기여할 것이다.

CCD 카메라에 입력된 플러그 모의 영상분할 인자로는 잎, 트레이, 상토로써 로봇시스템의 시각장치로 이용하기 위해서는 각각에 대한 칼라특성을 분석하여 가장 잘 분리해 낼 수 있는 적정 색좌표를 선정하는 것이 필수적이다.

트레이에 심어진 모는 자신의 셀 경계선을 벗어나 이웃 셀에 걸쳐지는 경우가 많기 때문에 결주모 인식을 위한 원래위치 판단 알고리즘이 필요하고, 또한 트레이와 상토의 색 성분은 비슷한 값을 가지는 경우가 많아서 트레이만 추출하고자 할 때는 노이즈가 많이 발생하

거나 셀 윤곽선이 끊어질 수 있으므로 이를 보정해 주는 알고리즘이 개발되어야 한다.

불량모 인식은 평균 엽면적에 대한 상대 엽면적의 비율을 이용하여 상대적으로 발육이 부진한 모를 불량모로 판단하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 색채색차계(Minolta, CR-200)을 이용하여 잎, 트레이, 상토에 대한 칼라특성 분포를 측정된 결과 $L^*a^*b^*$ 색 좌표계 중에서 a 프레임에 의한 잎의 분리가 가능하였고, b 프레임을 이용하면 트레이의 분리가 가능함을 알 수 있었다.

2) 영상처리시스템에 입력된 영상을 이용하여 적정 영상분할이 가능한 색 좌표계를 선정하였다. 잎을 추출하기 위해서는 RGB 색 좌표계의 G 프레임, $L^*a^*b^*$ 색 좌표의 a 프레임 및 YIQ 색좌표계의 Q 프레임에서 모두 잎 추출이 가능하였으나, Q값을 이용하는 것이 가장 양호한 것으로 나타났다. 트레이 추출은 $L^*a^*b^*$ 색 좌표의 b 프레임과 HSI 색 좌표계의 H 프레임을 이용하는 것이 가장 양호하였다.

3) 결주가 발생한 셀에 이웃 셀의 잎이 걸처지면 정상모로 잘못 판단하기 때문에 이를 보정해 주는 알고리즘을 개발하였다. 모의 형상을 토대로 도심과 외접사각형 중심의 위치를 이용하여 이웃 셀 경계선으로 걸처진 잎의 원래위치를 판단하였다.

4) 생육 부진에 의한 불량모는 전체 플러그 모의 평균 엽면적에 대한 상대 엽면적의 비율을 이용하여 인식하였다.

참고문헌

1. Kim, C. S., M. S. Kim and K. D. Kim 1999. Image Processing Algorithm for Robotic Plug-Seedling Transplanter. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 24(1) : 51~88(In Korean)
2. Kim, K. D., O. Shigehisa and K. Takayuki 1995. Development of an Automatic Robot System for a Vegetable Factory. Proceedings of ARBIP95, Kobe : 157~163
3. Lee, D. W. 1990. A Robotic and Vision System for Locating and Transferring Container Grown Tobacco Seedling. Graduate Faculty of North Carolina State Univ. Ph. Doctor
4. Manzo, U., S. Kazuhiro and M. Shingo 1993. Machine Vision Classification of Seeds Using Color Feature. ASAE Meeting Paper (98-3044)