

기계시각장치에 의한 토마토 작물의 병해엽 검출

이종환

Machine Vision Based Detection of Disease Damaged Leave of Tomato Plants in a Greenhouse

J. W. Lee

Abstract

Machine vision system was used for analyzing leaf color disorders of tomato plants in a greenhouse. From the day when a few leave of tomato plants had started to wither, a series of images were captured by 4 times during 14 days. Among several color image spaces, *Saturation* frame in *HSI* color space was adequate to eliminate a background and *Hue* frame was good to detect infected disease area and tomato fruits. The processed image ($G\sqcup b^*$ image) by OR operation between *G* frame in *RGB* color space and b^* frame in La^*b^* color space was useful for image segmentation of a plant canopy area. This study calculated a ratio of the infected area to the plant canopy and manually analyzed leaf color disorders through an image segmentation for *Hue* frame of a tomato plant image. For automatically analyzing plant leave disease, this study selected twenty-seven color patches on the calibration bars as the corresponding to leaf color disorders. These selected color patches could represent 97% of the infected area analyzed by the manual method. Using only ten color patches among twenty-seven ones could represent over 85% of the infected area. This paper showed a proposed machine vision system may be effective for evaluating various leaf color disorders of plants growing in a greenhouse.

Keywords : Machine vision, Image segmentation, Leaf color disorder, Color patch, Tomato plant

1. 서론

온실 내에서 생육하고 있는 작물의 영상을 획득하고 생육 상태를 분석하는데 있어서 가변적이고 불균일한 조명조건과 현장의 각종 시설물은 많은 어려움을 준다. 특히, 군락상태의 작물을 대상으로 할 때 카메라 및 기계시각장치를 이동하거나 현장 설치에 따른 가변성을 고려하여야 하므로 작물영상을 이용한 생육상태 계측을 위한 소프트웨어는 적응성이 높고 재현성이 우수하여야 한다.

영상처리장치를 이용하여 작물의 색채와 형상을 분석함으로써 이상생육 상태를 파악할 수 있다(Hetzroni와 Miles, 1992; Shimizu와 Yamazaki, 1996; 류, 1994; 류, 2002). 그러나 토

마토 작물과 같이 부피가 크고 구조가 복잡한 작물을 대상으로 할 경우에는 기계시각장치의 측도설정(calibration procedure)이 어렵고 생육상태 계측 알고리즘이 작물과 재배환경에 부합되어야 하는데, 계측 대상이 되는 작물의 생장 특성이 표준화되어 있지 않고 생육상태 분석을 위한 기준 상태 또는 표준 조건 등이 거의 없거나 애매하기 때문에 애로점이 많다. Lee(2007, 2008)는 온실의 가변적인 조명조건에서도 상추의 엽색(leaf color)과 건강성을 분석할 수 있었으며 재현성이 높았다고 보고하였다. 한편 인터넷이나 통신망을 통하여 온실 내 작물의 생육상태를 감시하고 분석할 수 있는 시스템을 개발하기 위해서는(류, 2002; Lee 2007), 복잡한 영상처리과정이나 전문적인 영상분석기술을 사용하지 않는 것이 바람직하며 온

The article was submitted for publication on 2008-09-17, reviewed on 2008-10-15, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2008-11-05. The author is Jong Whan Lee, Professor, KSAM member, Dept. of Mechanical Engineering, Hankyong National University. Corresponding author: J. W. Lee, Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Hankyong National University, Anseong, 456-749, Korea; Fax: +82-31-672-5110; E-mail: <jwlee@hknu.ac.kr>.

실 환경과 사용자의 편의를 충분히 고려하는 것이 중요하다.

작물에 발생하는 각종 병충해를 감지하거나 이미 발생한 피해정도를 파악하는 것은 전문가가 직접 현장에 방문하여 육안에 의해 경험적으로 수행되고 있다. 이를 대신하여 작물 생육상태 모니터링 시스템을 개발하고자 한다면, 생육 중에 있는 작물에 대한 시계열 영상을 획득할 수 있어야 하고 재현성이 우수한 작물영상 분석이 요구된다. 특히 정확한 영상분석을 위해 수행하기 위해서는 영상 영역화(image segmentation) 단계에서의 세심한 영상처리가 관건이다.

이 연구는 온실 내에서 성장 중인 균락상태의 토마토 작물을 대상으로 병해(잎마름병)를 정확하게 분석하기 위한 영상 처리 알고리즘을 제시하고 색지가 부착된 측도봉을 이용하여 병해의 피해정도를 분석할 수 있는 기계시각장치를 개발하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

경기도 안성지역에 위치한 유리온실에서 압면 재배방식으

로 성장하고 있는 수확기 초기단계의 과일 토마토 작물을 대상으로 작물영상을 획득하던 중 의도하지 않았으나 일부 작물의 잎에서 이상상태가 보였다. 따라서 기계시각장치를 이용하여 토마토 작물에 발생한 병해의 피해정도를 분석하고자, 2주를 선정하고 토마토 작물에 대해 병해의 징후를 보인 날부터 14일 동안 4회에 걸쳐 작물영상을 획득하였다. 병해엽(일종의 잎마름병)은 밝은 회색 또는 황색에 가까운 색깔을 띠었으며 주로 잎의 가장자리에 발생하였는데, 하절기의 고온다습한 기상조건, 온실의 환기 불량, 각종 영양분의 결핍 등에 기인하는 것으로 사료되었다.

나. 기계시각장치

시계열 작물영상획득을 위해 Lee(2007)가 구축한 작물 생육상태 모니터링 장치를 이용하였으며 기준색지가 부착된 측도봉(설치상태는 그림 1, 2 및 4에 나타남.)을 이용한 측도설정 방법을 따랐다. 표 1은 측색계(Colorimeter, CR-100, Minolta, Japan)를 이용하여 측정된 100개의 기준색지에 대한 *L*, *a* 및 *b* 값을 나타낸다.

온실 내에서 카메라를 이동하면서 토마토 작물을 촬영하였

Table 1 Lab values of color patches on the calibration bars (Underlined: refer to Table 2)

No.	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	No.	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	No.	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	No.	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
#1	53.2	54.9	-16.5	#26	68.4	65.3	1.5	#51	86.3	<u>2.7</u>	<u>33.1</u>	#76	44.8	-27.2	9.1
#2	48.4	72.4	-12.3	#27	77.2	46.4	28.1	#52	86.7	-6.5	62.2	#77	50.4	-15.8	9.3
#3	45.4	71.7	-5.4	#28	89.7	22.4	56.3	#53	45.0	52.0	23.6	#78	53.8	-28.3	6.8
#4	<u>47.1</u>	<u>73.9</u>	<u>7.6</u>	#29	<u>76.8</u>	<u>-49.7</u>	<u>46.0</u>	#54	<u>50.6</u>	<u>47.0</u>	<u>31.9</u>	#79	45.0	-24.6	4.5
#5	47.6	69.8	17.0	#30	68.6	7.7	40.6	#55	<u>51.2</u>	<u>39.9</u>	<u>32.9</u>	#80	51.8	13.8	-30.3
#6	50.4	67.3	31.4	#31	68.5	0.5	25.8	#56	47.7	<u>53.0</u>	<u>19.0</u>	#81	49.0	11.3	-30.7
#7	56.9	63.3	49.6	#32	78.2	-0.3	-1.8	#57	49.6	26.1	29.5	#82	46.5	13.1	-30.8
#8	66.4	44.5	64.6	#33	45.1	60.3	-21.3	#58	45.4	23.5	28.5	#83	35.7	9.2	-18.5
#9	84.0	3.3	81.3	#34	48.8	71.0	0.5	#59	52.9	23.0	26.6	#84	48.4	24.4	-34.3
#10	90.7	-11.7	81.2	#35	46.4	71.3	7.6	#60	52.9	28.4	26.6	#85	47.8	21.6	-28.5
#11	90.6	-10.9	77.6	#36	59.5	57.3	47.8	#61	50.9	16.0	27.5	#86	45.1	17.1	-18.6
#12	91.3	-12.1	76.7	#37	67.5	40.0	64.3	#62	45.6	20.5	22.8	#87	38.1	14.3	-17.0
#13	91.8	-13.4	69.7	#38	<u>85.3</u>	<u>-5.5</u>	<u>87.4</u>	#63	75.6	-25.4	51.1	#88	35.5	11.6	-12.0
#14	64.8	-44.5	22.1	#39	61.5	-52.6	24.3	#64	69.8	-24.0	53.4	#89	37.5	9.8	-10.1
#15	62.0	-21.7	-25.9	#40	55.5	-20.8	-41.8	#65	70.1	-24.4	34.1	#90	34.3	23.6	-8.6
#16	63.5	-16.3	-34.2	#41	54.8	-14.7	-47.8	#66	65.7	-28.4	34.1	#91	32.1	23.8	-5.9
#17	61.6	-13.0	-37.6	#42	37.7	11.0	-47.7	#67	61.9	-24.6	20.7	#92	26.7	19.0	-7.6
#18	50.9	-6.5	-30.0	#43	67.9	-48.1	50.1	#68	61.0	-28.6	25.9	#93	76.6	-1.3	6.5
#19	50.5	4.0	-36.8	#44	55.2	-55.1	7.7	#69	53.6	-24.0	31.9	#94	65.1	-0.4	3.9
#20	40.4	29.9	-0.1	#45	38.8	-24.6	-7.6	#70	48.0	-20.5	22.3	#95	50.2	-0.5	3.3
#21	38.6	32.1	-29.6	#46	44.7	30.0	31.2	#71	<u>63.8</u>	<u>-26.0</u>	<u>17.7</u>	#96	39.9	-0.2	2.6
#22	26.9	1.0	1.4	#47	40.9	26.4	19.4	#72	<u>53.6</u>	<u>-21.6</u>	<u>13.4</u>	#97	35.8	0.2	2.3
#23	39.0	1.2	3.7	#48	30.1	5.5	6.4	#73	59.3	-28.4	16.0	#98	56.9	61.8	49.6
#24	<u>92.0</u>	<u>1.3</u>	<u>3.0</u>	#49	45.8	71.6	-14.9	#74	51.2	-23.3	17.6	#99	85.2	1.4	38.9
#25	67.1	67.2	-13.4	#50	61.1	-57.1	-1.0	#75	48.0	-21.0	12.5	#100	91.8	0.5	2.8

기 때문에 작물영상에 대한 기하학적 측도치인 화소당 실제 면적은 각 작물의 촬영일자과 위치에 따라 달랐으며 $1.063 \pm 0.1652 \text{ cm}^2/\text{pixel}$ 의 분포를 보였다.

다. 토마토 작물의 영상분석

1) 영상 영역화

이 연구에서는 온실 내에 설치한 기계시각장치를 이용하여 자연광 상태에서 획득한 시계열 토마토 작물영상으로부터, 작물의 투영면적(plant canopy area)을 계산하고, 작물영역에 포함된 토마토 과일 및 병해영역을 검출하였다. 이를 위해 전역적 문턱값(global threshold level)을 설정하여 영상 영역화를 수행하였는데, 미리 설정된 문턱값을 이용하여 이치화(binization)한 결과를 화면에 출력한 후, 사용자로 하여금 문턱값을 변경하도록 하는 방법(interactive method)으로 작물영상의 이치화를 수행하였다. 이와 같이 출력영상의 각종 성능을 육안으로 평가하는 것은 주관적 요소가 개입되기 쉬움에도 불구하고 영상처리분야에서 가장 많이 이용되는 방법이다.

그런데 색채영상을 표현하는 색채영상좌표계(image color space)는 3개 프레임(frame)으로 구성되는데, 이들 중 영상 영역화에 적합한 프레임(들)을 결정하는 과정이 선행된다. 이 연구에서는 각종 색채영상좌표계(RGB, HSI, La^*b^* 및 YIQ)를 대상으로 육안에 의해 원하는 물체(작물, 과일 및 병해)를 영상 영역화하는데 적합한 프레임과 문턱값을 결정하였다. 이 때 광 조건의 변화와 주위 물체의 간섭에 민감하지 않으면서 대상 물체를 명확하게 검출할 수 있는가를 기준으로 판단하였다.

2) 작물영역 및 병해의 분석

이 연구에서는 작물 병해가 진행됨에 따른 작물 투영면적과 병해 감염면적의 변화를 분석하기 위해, 실제 면적(cm^2)을 사용하지 않고 이들이 차지하는 영상 분석영역의 면적에 대한 비율(Area ratio, %)을 계산하였다. 면적비는 영상 분석영역의 설정 크기에 민감하지만 기하학적 측도설정이 불필요하다는 장점이 있다. 즉, 작물영역에 해당하는 총 화소수(pixel)와 기하학적 측도치인 화소당 면적(cm^2/pixel)을 곱하여 작물의 실제 투영면적(cm^2)을 구하게 되는데, 시계열 작물영상을 획득할 때 작물과 카메라 사이의 공간적 위치 및 카메라 조각의 변화, 기계시각장치의 왜곡 등으로 인하여 화소당 면적을 엄밀하게 산출하는 것이 어렵다. 또한 2차원 영상에 의한 3차원 작물의 분석, 작물의 구조변화 및 이웃하는 작물의 영향 등을 반영하여 실제 면적을 구하는 것은 매우 어려운 작업이다.

한편 병해의 경우, 기하학적 측도설정을 엄밀하게 수행하는 것이 어렵더라도, 이 연구에서는 영상처리에 의한 병해 분석에 관한 기초자료를 제공하기 위해 병해의 면적비뿐만 아니라 실제 병해면적을 산출하였는데, 이를 위한 기하학적 측도설정은 측도봉을 사용한 측도설정방법(Lee, 2007)에 의거하여 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 토마토 작물의 영상 영역화

이 연구에서는 온실에서 생육 중인 토마토 작물의 영상분석을 위한 전처리과정으로서 배경영역을 제거하고 과일을 검출하기 위해 여러 가지 알고리즘을 적용하여 영상 영역화를 수행하였다.

그 결과, La^*b^* 색채좌표계 중 b^* 프레임을 이치화하여 배경부분을 제거할 수 있었고, b^* 프레임과 RGB 색채좌표계 중 G 프레임 사이에 OR 연산을 수행한 후($G \cup b^*$ 영상) 이치화함으로써 토마토 과일을 검출할 수 있었다. 그러나 이 방법은 RGB 작물영상을 La^*b^* 색채좌표계로의 변환하여야 하고 $G \cup b^*$ 영상을 다루어야 하는 번거로움이 있었다.

아울러, 그림 1이 보여주듯이, HSI 영상좌표계 중 S 프레임은 배경 제거에, H 프레임은 토마토 과일의 영역화에 유용하였다. H 프레임은 또한 병해엽 검출에도 적합하였으므로, 이 연구에서는 La^*b^* 색채좌표계로의 변환과 $G \cup b^*$ 영상을 얻

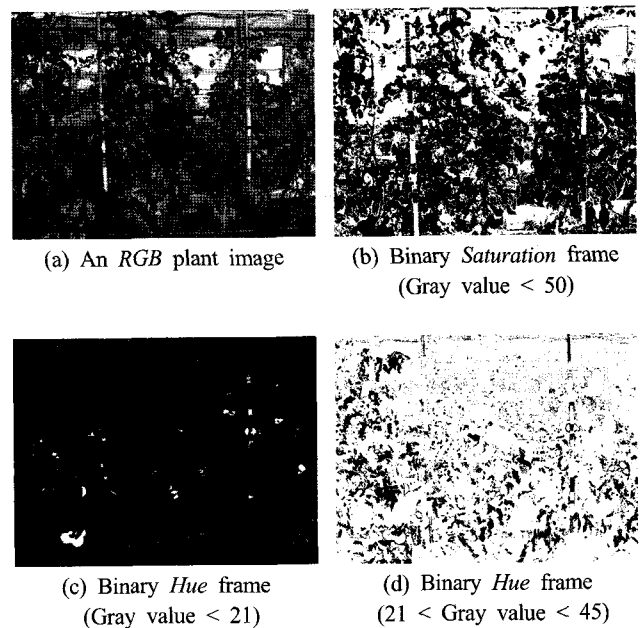


Fig. 1 A tomato plant image (a) and the processed images for extracting plant canopy (b), fruits (c) and disease damaged leaf (d) in a greenhouse under natural light conditions.

기 위한 영상처리를 거치지 않도록 HSI 영상좌표계를 이용하여 영상 영역화를 수행하였다.

한편, 색채가 잎과 유사한 미숙과 토마토는 적숙과 토마토에 비해 명확한 검출이 어려웠다. 따라서 잎에 가려져 있거나 착색도가 낮은 토마토 과일을 검출하는 방법에 대한 추가 연구가 요구되었다.

나. 토마토 작물의 병해 검출

온실 내에 설치한 기계시각장치를 이용하여 획득한 토마토 작물영상으로부터 병해가 발생한 감염 영역을 추출할 수 있는 알고리즘을 개발함으로써, 작물영상으로부터 각종 병해의

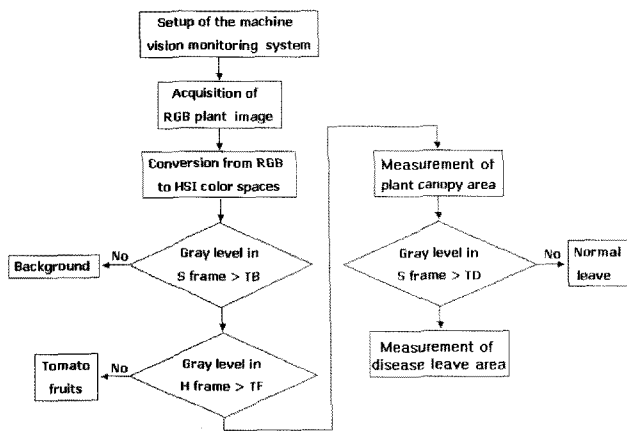


Fig. 2 Flow chart for disease leaf analysis algorithm.
 (TB : Threshold value for extracting background
 TF : Threshold value for extracting tomato fruits
 TD : Threshold value for extracting disease damaged leave)

피해정도를 분석하기 위한 기술을 확보할 수 있다.

그림 1(a)는 수확기 중기단계에 있는 토마토 작물의 예를 보여주는데, 일부 잎들이 병해에 감염되었다. 그림 1(b)는 RGB 작물영상을 HSI 색채좌표계로 변환한 후 H 프레임에 대해 이치화를 수행한 결과인데, 착색된 토마토 과일을 추출하는데 적합하였다. 한편, 그림 1(c)는 잎마름병에 감염된 잎부분만을 추출한 예인데, 토마토 색채영상 중 H 프레임에 대해 톤값을 이용하여 병해부분만을 추출할 수 있음을 보여준다.

그림 2는 토마토 과일(적숙과)과 병해영역을 추출하기 위한 알고리즘의 흐름도를 나타낸다. 이 알고리즘에 의해 토마토 작물영상을 영역화하고 토마토 과일과 병해영역을 화면에 출력한 후 육안에 의해 RGB 작물영상과 비교 판단한 결과, 만족할 수 있는 성능을 보였다.

다. 토마토 작물의 병해 분석

1) 영상 영역화를 통한 병해 분석

기계시각장치를 이용하여 토마토 작물에 발생한 병해(잎마름병)의 피해정도를 분석하고자, 온실 내에서 생육 중인 토마토 작물에 대해 발병일 직후부터 병해가 뚜렷해지는 14일 동안 4회에 걸쳐 획득한 작물영상을 분석하였다.

그림 3(a)는 토마토 작물의 RGB 영상, 그림 3(b)는 작물영역만을 검출한 영상, 그리고 그림 3(c)는 병해영역만을 검출한 영상(image of infected tomato leave)을 일자 순으로 나타낸 것이다. 자연광의 영향에도 불구하고(그림 3(b)에서 영상

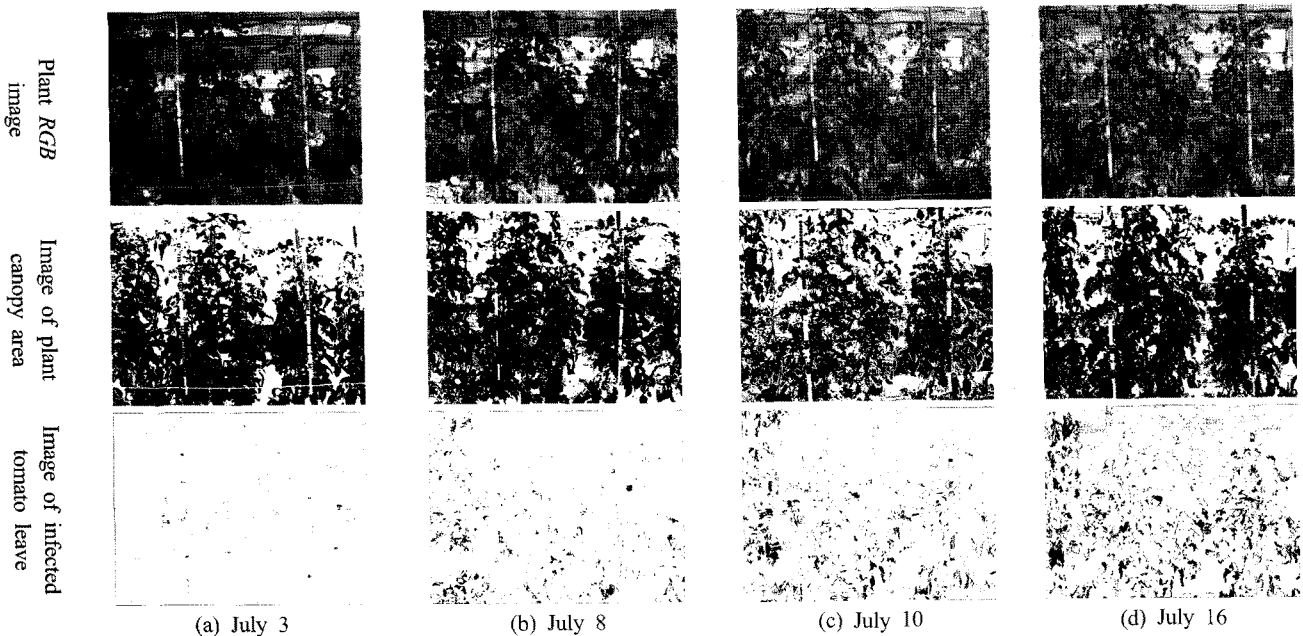


Fig. 3 A series of images for plant RGB images, the projected area and the infected area during disease propagation of tomato plants.

분석영역의 하단 참조) 병해의 검출이 잘 수행되었다.

7월 3일에는 잎의 가장자리에 보이는 약간의 병해로 인해 그림 3(a)의 병해영상에서 병해 화소들이 보였다. 일자가 경과할수록 병해도 증가하였는데 병해영상에서 병해영역도 명확하게 증가함을 알 수 있다. 한편, 그림 3에서 측도봉에 의해 가려진 2주의 토마토 작물에 대한 작물영역과 병해영역이 차지하는 면적비를 재배일자별로 분석한 결과 그림 4와 같았다. 작물영역에 비해 병해의 면적비는 뚜렷한 증가세를 보였다. 병해 감염을 분석하기 위해 병해 면적비를 이용하는 것은 육안에 의해 추정하는 것에 비해 과학적으로 정량화할 수 있는 장점이 있는 것으로 사료되었다.

그림 5는 실제 병해면적의 감염 추세를 비교하여 나타낸 것으로, 기하학적 측도설정이 불필요한 면적비에 의한 감염의 추세 분석이 가능함을 보여준다. 한편 총 병해면적이 15 cm²일 때부터 조사되었지만, 이 보다 작은 면적이더라도 기계시각에 의해 병해 검출이 가능할 것으로 판단되었다.

2) 측도봉을 이용한 병해 분석

병해를 검출하고 피해정도를 분석하기 위해서는 영상 영역화에 적합한 영상좌표계와 문턱값을 설정하는 것이 중요하다. 그러나 조명 조건과 온실 내 환경의 영향 때문에 영상분석에 적합한 작물영상을 얻기가 어렵고 그로부터 육안에 의해 병해영상을 분석하는 것은 많은 시간과 경험이 요구되고 오류의 가능성도 있다. 이 연구에서는 병해영역을 효과적으로 검

출하기 위해 색지를 이용하는 방법을 제시하였다. 즉, 사전에 병해에 유의한 색지를 탐색한 후, 각각에 대한 병해영상의 화소들의 할당비율을 조사함으로써 감염 정도를 분석하였다. 이 방법은 영상 영역화의 과정이 불필요하며 자동적인 병해 검출이 가능하다.

이를 위해 문턱값을 이용한 영상 영역화 방법으로 병해 화소를 검출한 후 이들 화소들이 측도봉에 부착된 100개의 색지에 할당되는 빈도수를 조사하였다. 그리고 할당비율이 높은 색지부터 하나씩 추가하면서 누적 할당 빈도수가 총 병해 영역의 97% 이상이 될 때까지의 색지를 조사하였는데, 그림 6에서와 같이 27개의 기준색지가 선발되었다.

27개 기준색지를 이용하여 병해 비율을 확인한 결과, 표 2

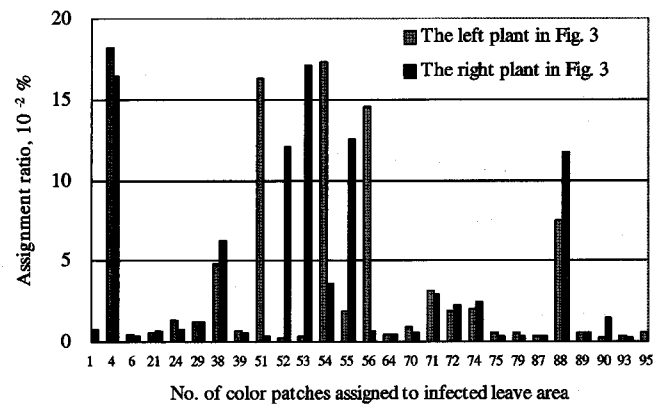
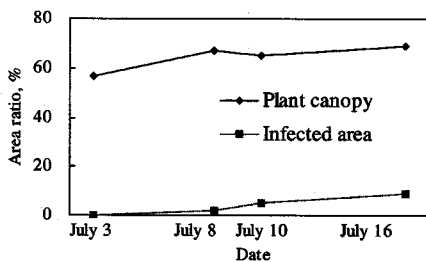
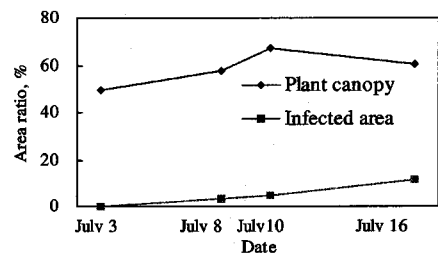


Fig. 6 Assignment histogram of the color patches belonging to the infected leaf of tomato plants.

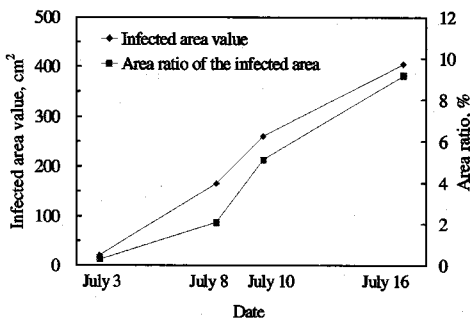


(a) For the left plant image

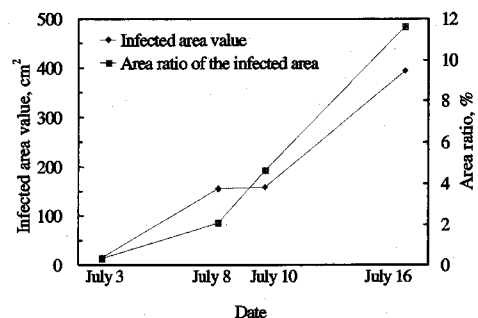


(b) For the right plant image

Fig. 4 Area ratios of the infected leaf to the plant canopy for the plant images in Fig. 3.



(a) For the left plant image



(b) For the right plant image

Fig. 5 Comparison of area ratios and the infected area value of disease damaged leaf for the plant images in Fig. 3.

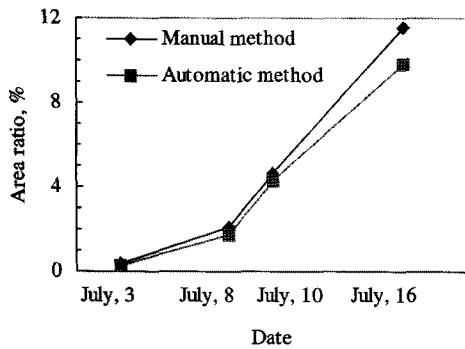
Table 2 Comparison of using image segmentation (Manual method) and using color patches (Automatic method) for detecting disease area of tomato plants (Unit: %)

Plant	Date	Manual method	27 color patches		10 color patches	
			Area ratio	Error	Area ratio	Error
A	July 3	0.29	0.28	-0.05	0.25	-0.15
	July 8	2.07	1.98	-0.04	1.76	-0.15
	July 10	5.13	5.11	0.00	4.81	-0.06
	July 16	9.17	8.97	-0.02	7.95	-0.13
B	July 3	0.33	0.32	-0.03	0.29	-0.13
	July 8	2.07	2.02	-0.03	1.76	-0.15
	July 10	4.62	4.49	-0.03	4.30	-0.07
	July 16	11.59	11.30	-0.02	9.85	-0.15

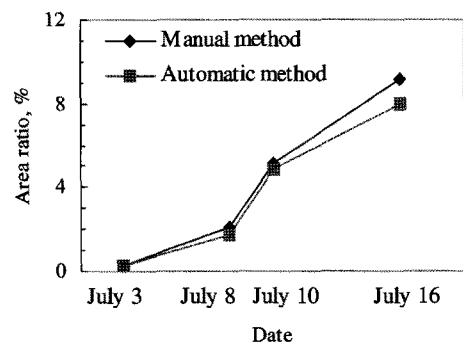
Numbers in Table 1 of color patches used for automatic method were as follows:

10 color patches: #4, #24, #29, #38, #51, #54, #55, #56, #71, #72

27 color patches: #4, #24, #29, #38, #51, #54, #55, #56, #71, #72
 #1, #6, #21, #39, #40, #64, #66, #70, #74, #75,
 #87, #88, #89, #90, #93, #95



(a) For the left plant image



(b) For the right plant image

Fig. 7 Comparison of the manual method and the automatic method for calculating the infection ratio during disease propagation for the plant images in Fig. 3.

에서 보는 바와 같이 문턱값에 의한 영상 영역화 방법으로 계산된 병해영역을 기준으로 차이가 3% 미만이었다. 그런데 병해영역을 판정하는데 사용될 수 있는 표준색(Standard color chart)이 없고 영상분석에 오류가 포함될 수 있으므로, 보다 확실한 기준색지로서 10개의 색지(#4, #24, #29, #38, #51, #54, #55, #56, #71 및 #72)로 한정하였다.

10개의 기준색지를 이용하여 토마토 작물의 병해정도를 분석한 결과 15%이하의 오차를 보였다. 그림 7은 병해영역이 작물영역에서 차지하는 비율을 나타내는데, 영상 영역화를 수행한 후 병해영역을 검출하고 이를 육안으로 확인하는 방법(Manual method)과 병해 검출에 유효한 10개의 기준색지를 이용하는 방법(Automatic method)을 비교하면 경과일자에 따른 병해가 매우 유사한 추세를 보여주었고, 육안에 의한 방법보다 기준색지를 이용한 영상분석의 결과치가 12.5±3.72% (<15%) 만큼 차이가 있었다. 이 때 경과일자는 분석 오차에 유의한 영향을 미치지 않았다.

결론적으로 기계시각장치를 이용하여 토마토 작물의 병해엽에 대한 병해영역을 검출하기 위한 기준색지를 선별할 수 있었고, 그들에 대한 할당비율을 이용하여 병해의 감염정도를 파악할 수 있었다. 선별된 색지와 작물 병해와의 물리적 관계가 명확하지 않음에도 불구하고 지금까지의 연구 결과와 경험에 비추어 볼 때, 각종 병해에 의한 이상생육을 진단하는데 이 연구에서 제시한 측도봉을 이용하는 것이 가능할 것으로 사료되었다.

4. 요약 및 결론

이 연구에서는 온실 내에서 생장 중인 토마토 작물을 대상으로 병해를 분석하기 위한 영상처리 알고리즘을 제시하고 기준색지가 부착된 측도봉을 이용하여 병해엽(잎마름병)의 감염 정도를 분석할 수 있는 기계시각장치를 개발하고자 하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) HSI 영상좌표계 중 S 프레임은 배경의 제거에, H 프레임은 토마토 과일과 병해염의 검출에 적합하였다. 이를 이용하여 토마토 작물영상으로부터 병해를 검출하기 위한 영상처리 알고리즘을 개발하였다. 한편, 토마토 작물영상의 영상 영역화를 위해 RGB 영상좌표계 중 G 프레임과 La^*b^* 영상좌표계 중 b^* 프레임 사이에 OR 연산으로 얻은 영상($G \cup b^*$ 영상)도 유용하였다.
- (2) 토마토 작물에 대한 시계열 영상을 대상으로 병해 화소에 해당하는 측도봉 기준색지에 대한 할당 히스토그램을 분석함으로써 병해 검출에 유용한 27개의 기준색지를 선별할 수 있었으며 기계시각장치를 이용하여 작물의 병해를 진단하거나 피해정도를 분석하는데 유용할 것으로 사료되었다.
- (3) 실용성을 고려하여 토마토 작물의 병해 분석에 가장 유용한 10개의 기준색지를 사용한다면 육안으로 검출한 병해 면적의 85%이상을 검출하는 것이 가능하였다. 따라서 이 연구에서 제시한 기준색지를 이용한 영상분석 방법을 보완하여 활용한다면 다양한 원인에 의한 이상 생육을 진단하는 것도 가능할 것으로 사료되었다. 한편, 2차원 영상을 이용한 작물구조의 분석, 병해 분석을 위한 표준색지의 선발에 관한 연구가 요구되었다.

참 고 문 헌

1. Hetzroni, A. and G. E. Miles. 1992. Machine vision monitoring of plant health. ASAE paper No. 92-3574.
2. Kim, G. Y. K. H. Ryu and S. P. Chun. 1999. Identification of crop growth stage by image processing for greenhouse automation. J. of the KSAM 24(1):25-30.
3. Lee, J. W. 2007. Determination of leaf color and health state of lettuce using machine vision. Journal of Biosystems Engineering 32(4):311-317.
4. Lee, J. W. 2008. Machine vision monitoring system of lettuce growth in a state-of-the-art greenhouse. Modern Physics Letters B. 22(11):953-958.
5. Shimizu, H. and M. Yamazaki. 1996. Generalized system for plant growth analysis using infrared led, Proc. Int. Sym. Plant Production in closed Ecosystems, Acta Hort. pp.440, 446-451.
6. 류관희. 1994. 작물의 생장 정보 계측 및 생육 제어에 관한 연구. 한국과학재단 연구결과 보고서.
7. 류관희. 2002. 작물 생육상태 모니터링 및 제어전략 정보제공 시스템 개발. 농림기술개발과제 결과보고서.