

영상처리를 이용한 작물의 모종시기 결정

민병로 · 김 응 · 김동우 · 이대원*
성균관대학교 바이오메카트로닉스학과

Determination of Transferring Period of Several Plants using Image Processing

Min, Byeong-Ro, Kim, Woong, Kim, Dong-Woo, and Lee, Dae-Weon*

Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan National University, Suwon 440-746, Korea

Abstract. This study carried out to develop the vision system which automatically finds out a optimum transferring period of plants (*Perilla*, *Platycodon grandiflours* and *Lactuca sativa*) by using image processing. This system measured a height, long diameter and short diameter of the three plants with 20 replications. Following results were obtained on each plant. Compared with real data to be measured by hand with the vernier calipers, height, long diameter and short diameter of *Perilla* showed 0.5 mm average error rate with 1.7%, 4.7 mm average error rate with 3.9% and 5.5 mm average error rate with 6.9% respectively. Those of *Platycodon grandiflours* showed 2.4 mm with 8.1%, 3.4 mm with 7.2% and 4.0 mm with 10.4% respectively. Those of *Lactuca sativa* showed 4.0 mm with 9.1%, 3.4 mm with 7.2% and 3.6 mm with 9.4% respectively. The system could be used to transfer accurately the plant seedling, if the system were improved enough to reduce error rate for the optimum transferring period of a plant in the greenhouse.

Key words : image processing, optimum transferring period, error rate

*Corresponding author

서 언

생활수준이 향상됨에 따라 원예 생산물의 소비가 증가되는 동시에 좋은 품질의 상품을 소비자가 요구하고 있다. 따라서 다양한 소비자 계층의 요구를 충족시키기 위해서는 객관적으로 인정할 수 있는 기준에 의한 상품의 등급화가 이루어져야 한다. 현재 농가에서의 작물의 모종시기 결정은 작물의 외형적 특성을 육안에 의해 행해지고 있다. 그러나 육안에 의한 판별은 결과 및 오차에 있어 신뢰도가 떨어지므로 영상시스템을 이용한 자동화가 요구된다.

영상처리를 이용한 연구는 플러그묘의 결주 및 불량묘를 인식하여 제거하고 우량묘를 보식하기 위해 영상처리 시스템에 좌표계를 선정한 후 결주와 불량묘를 인식하고(Son 등, 2001), 대상체의 색체를 이용하였다(Noh 등, 1991). 작물의 상태에 대한 연구는 묘목의 형태학적 성질(Seo와 Miles, 1989) 및 식물체의 형상을

분석하였다(Lee 등, 1996; Morio and Yoshio, 1999, 2000). Kim과 Ruy(1998)는 성장도 측정을 위해 상추를 표본으로 하여 영상처리 기법으로 비파괴적으로 얻은 작물의 외관적인 특징과 파괴적인 방법으로 측정된 뒤 얻은 작물의 중량과의 관계를 얻었다. 대상체 인식을 위한 알고리즘에 대한 연구는 오류역전파 및 연상 메모리를 이용하였다(Min 등, 2003a, 2003b; Seo 등, 2003; Lee 등, 2003).

본 연구의 구체적인 목적은 모종 시기 판별을 위한 영상처리시스템을 개발하기 위해 작물의 장변, 단변 및 길이의 특징점을 추출할 수 있는 알고리즘 개발하고 오차 분석 및 현장 적용 가능성을 판단하는데 있다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에는 들깨, 상추, 도라지 세 가지 작물을 사

영상처리를 이용한 작물의 모종시기 결정



Fig. 1. *Perilla*.

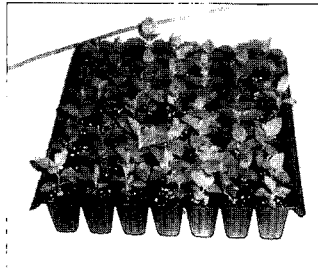


Fig. 2. *Platycodon grandiflorums*.

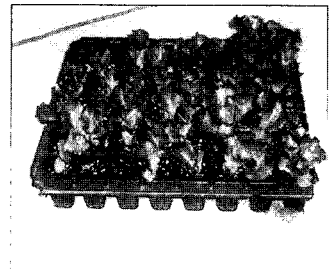


Fig. 3. *Lactuca sativa*.

용하였다. 선정 이유는 들깨는 높이, 상추와 도라지는 잎의 장변, 단변의 성장 정도가 모종 시기에 영향을 주기 때문이다. 들깨는 6월 16일에 씨를 뿌린 후 30 일 간의 성장시기를 거친 것을 대상으로 하였다. 도라지는 5월 20일에 상추는 6월 29일에 씨를 뿌린 후 4 주간의 성장시기를 거친 것을 7월 24일 구입하였다. Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3은 들깨, 도라지, 상추를 나타낸 것이다. 실험 대상의 개수는 한 품종 당 20개씩 총 60개로 하였다.

2. 영상처리시스템

영상처리 시스템은 작물을 촬영하는 영상 입력부와 모터를 구동시키는 구동 시스템으로 구성하였다. 영상 입력부는 대상 작물의 영상을 얻기 위한 장치로 영상

획득을 위한 두 대의 카메라와 이를 제어하기 위한 한 대의 컴퓨터로 구성하였다.

Fig. 4는 영상처리 프로그램을 나타낸 것이다. 좌측 상단은 모터에 의해서 통제되고 있는 작물을 촬영한 것이다. 일정 각도로 작물이 회전한 후 정지하게 되면 두 대의 카메라가 이를 촬영하여 우측에 있는 두 개의 창에 나타내게 된다. 좌측 하단에 위치한 창에는 얻어진 영상에 관한 각종 정보와 시리얼 통신의 연결 상태가 표시된다.

카메라는 2차원 길이만을 고려하여 작물의 정 중앙 위쪽에 지상으로부터 990 mm 높이와 정면으로부터 725 mm에 각각 설치하였다. 그림자에 의한 영상처리의 오차를 최소화하기 위해 작물 양쪽에 두 개의 조명을 설치하였다.

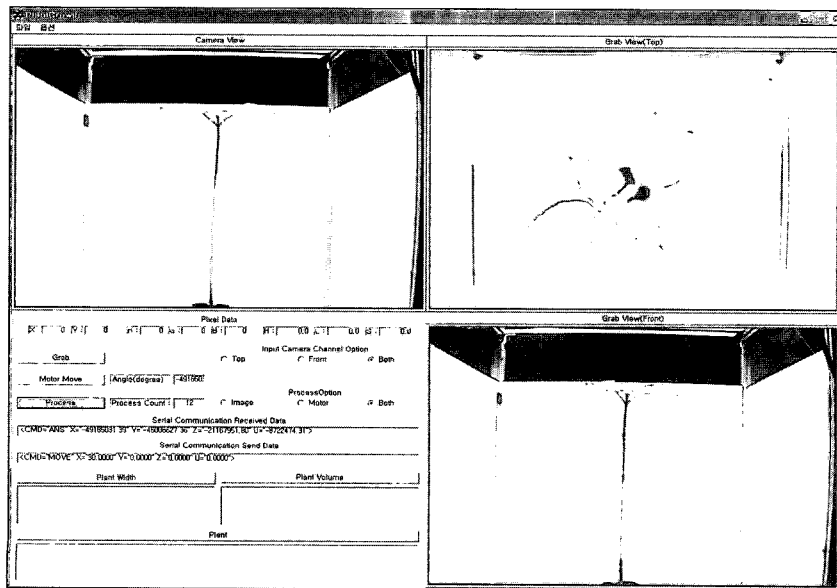


Fig. 4. Main program for detection of object.

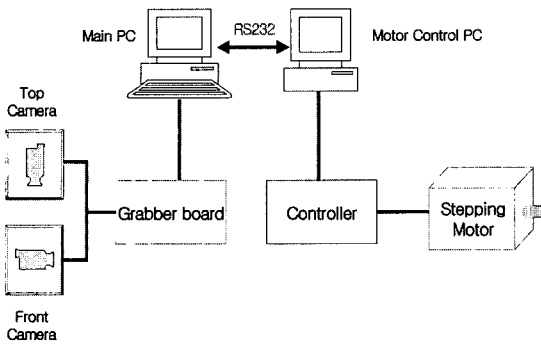


Fig. 5. Image processing system.

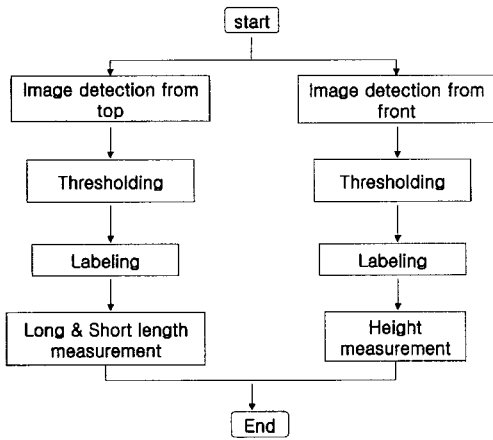


Fig. 6. Flowchart of image processing.

구동 시스템은 스텝핑 모터와 모터 제어프로그램으로 이루어졌으며, 구동 PC는 영상입력 컴퓨터와 RS232 시리얼 통신 포트를 통하여 메인 PC와 연결하였다. 정확한 측정을 위해 모터를 30도씩 12번 360°를 회전 시켜 주는 구동 시스템을 구축하였다. Fig. 5는 시스템의 구성을 나타낸 것이며, Fig. 6은 영상처리 과정의 흐름도를 나타낸 것이다.

3. 실험방법

작물의 장변, 단변 및 높이 측정을 위한 영상처리의 알고리즘은 두 대의 카메라를 이용하여 전처리부와 작물의 장단변 및 높이 측정부로 구성하였다. 작물의 장변, 단변 및 높이를 측정하기 위하여 앞쪽과 위쪽에 설치된 2대의 컬러 CCD 카메라를 설치하였다. 카메라를 통하여 입력된 값은 전처리를 이용하여 영상을 획득하였다.

본 연구에서는 대상체의 인식정보를 추출하기 위해 작물의 RGB값을 조사해 문턱값(Thresholding)을 사용하였고, 들깨의 경우 $100 < T < 190$, 상추의 경우 $80 < T < 150$, 도라지의 경우 $80 < T < 160$ 으로 설정하였다. 이치화의 과정을 거친 영상에서 잡음을 제거하기 위해서 라벨링을 하여 순수한 대상체를 획득하였다. Fig. 7, Fig. 8은 들깨의 영상처리 과정을 나타낸 것

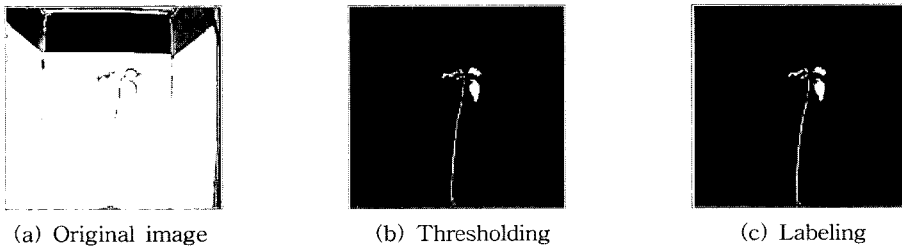


Fig. 7. Detection of plant height by image processing.

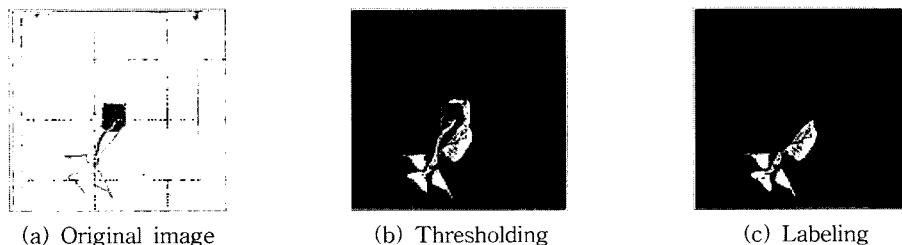


Fig. 8. Detection of long and short lengths by image processing.

이다. (a)는 두 대의 카메라를 통해 얻어진 영상, (b)는 문턱값을 이용한 대상체와 배경 분리 과정, (c)는 앞의 두 과정을 통해서 얻어진 영상을 이용하여 높이, 장변, 단변을 구하는 과정을 나타낸 것이다.

장변, 단변의 측정은 대상체의 중심점을 기준으로 x, y축을 설정 하면 대상체는 4개의 사분면에 속하게 된다. 각 사분면에서 x, y축 최대 좌표는 곧 대상체 앞의 모서리가 된다. 다음 단계로 1 사분면과 3 사분면, 2 사분면과 4 사분면 사이의 좌표 사이의 거리를 계산한 후 거리를 비교하여 긴 것을 장변으로, 짧은 것을 단변으로 인식하도록 하였다. 높이는 y축을 기준으로 가장 높은 점과 낮은 점의 거리를 측정하도록 하였다.

프로그램은 GUI(Graphic User Interface) 기반의 Microsoft사의 Visual C++ 6.0을 사용하였다. 영상처리 프로그램은 두 대의 카메라로부터 획득한 영상을 디지털 신호로 변환, 프로그램 처리를 거쳐 Window에 640×480 Pixel 크기의 창에서 동시에 출력 및 제어하게 된다. 모터구동 프로그램은 영상처리부가 보낸 신호

를 모터 구동PC가 수신한 후 모터를 회전시켜 모터를 제어하도록 하였다. 측정된 영상은 모종종이를 이용한 보정을 하였다. 들깨, 도라지, 상추 세 식물의 높이가 각각 다르기 때문에 각 종마다 높이의 평균을 낸 후 그 위치에 모종종이를 위치시키고 위쪽에 설치된 카메라로 촬영을 하였다. 외형적인 성장 상태를 보고 모종 시기를 판단하기 때문에 높이, 앞의 장변, 단변을 변수로 측정하였다. 품종 한 개당 촬영 횟수는 모터의 회전 각도를 30°씩 총 12회로 24개의 이미지를 획득하여 측정하고 각각의 평균값을 구하였다. 그리고 버니어캘리퍼스를 이용한 실측값과 비교하여 오차를 계산하였다.

결과 및 고찰

1. 카메라보정

카메라 보정은 좌표 값을 정확하게 구현하기 위해 실제좌표 값의 영상 값을 말하는 것이다. 들깨의 경우 상부에 위치한 카메라로부터 실험을 실시한 결과

Table 1. Results of *Perilla*.

(unit : mm)

No.	Height			Long length			Short length		
	Measure	Computed	Error	Measure	Computed	Error	Measure	Computed	Error
1	287	287.2	0.2	120	114.1	5.9	95	99.3	4.3
2	318	325.9	7.9	110	110.6	0.6	72	77.3	5.3
3	231	237.0	6.0	123	115.9	7.1	65	59.8	5.2
4	328	331.0	3.0	146	150.7	4.7	97	104.1	7.1
5	274	267.8	6.2	150	157.7	7.7	96	100.7	4.7
6	310	310.2	0.2	134	134.8	0.8	117	125.6	8.6
7	277	274.9	2.1	120	115.9	4.1	78	80.1	2.1
8	328	333.4	5.4	162	158.3	3.7	140	136.9	3.1
9	240	235.2	4.8	122	120.1	1.9	82	76.5	5.5
10	312	320.0	8.0	153	158.5	5.5	103	112.2	9.2
11	180	173.3	6.7	90	81.9	8.1	40	35.6	4.4
12	286	280.9	5.1	98	99.7	1.7	75	76.8	1.8
13	278	271.2	6.8	92	92.7	0.7	54	51.8	2.2
14	281	284.2	3.2	64	67.4	3.4	58	64.8	6.8
15	320	324.2	4.2	133	142.1	9.1	111	118.9	7.9
16	303	297.4	5.6	111	105.6	5.4	84	92.6	8.9
17	398	388.1	9.9	120	128.6	8.6	110	115.6	5.6
18	292	294.7	2.7	144	153.0	9.0	44	53.4	9.4
19	278	275.9	2.1	114	114.1	0.1	10	15.2	5.2
20	299	288.2	10.8	118	123.5	5.5	73	76.3	3.3
Average	291.0	290.13	4.74	121.2	122.3	4.64	80.2	83.7	5.65

$Y_{400} = 0.79 \times \text{Pixel}(\text{mm})$ 식을 구하였다. 실험 결과 Pixel당 0.79 mm (63 Pixel = 50 mm)가 나왔다. 400은 y축 상의 거리로 들개의 실측 평균 높이가 290 mm 였기 때문에 카메라와의 거리를 이와 같이 설정하였다. 상추와 도라지의 경우는 상부에 위치한 카메라로부터 실험을 실시한 결과 $Y_{660} = 0.69 \times \text{Pixel}(\text{mm})$ 식을 구하였다. 실험 결과 Pixel당 0.69 mm (72 Pixel = 50 mm)가 나왔다. 660은 y축 상의 거리를 나타내는 것이다. 상추와 도라지의 경우 실측 평균 높이가 44.1 mm와 30.25 mm로 큰 차이가 없었다. 정면에 설치된 카메라로부터 실험을 실시한 결과 $X_{725} = 0.79 \times \text{Pixel}(\text{mm})$ 식을 구하였다. 실험 결과 Pixel당 0.79 mm (63 Pixel = 50 mm)가 나왔다. 725는 x축 상의 거리를 나타내는 것이다.

2. 들개의 장변, 단변, 높이 측정값 및 오차분석

Table 1은 들개의 영상처리 오차의 최대, 최소 값을 나타낸 것이다. 모종은 평균 실측높이 291.0 mm, 평균 측정높이는 290.0 mm, 오차는 0.2 ~ 10.8 mm의 범위에서

서 발생하였다. 평균오차는 5.0 mm로 평균 실측높이의 1.7%였다. 장변의 경우 평균 실측길이는 121.2 mm, 평균 측정길이는 122.3 mm, 오차는 0.1 ~ 9.1 mm의 범위에서 발생하였으며, 평균오차는 4.7 mm로 평균 실측길이의 3.9%였다. 또한 단변의 경우 평균 실측길이는 80.2 mm, 평균 측정길이는 83.7 mm, 오차는 1.8 ~ 9.4 mm의 범위에서 발생하였으며, 평균오차는 5.5 mm로 평균 실측길이의 6.9%였다.

2. 도라지의 장변, 단변, 높이 측정값 및 오차분석

Table 2는 도라지의 영상 처리 오차의 최대, 최소값을 나타낸 것이다. 모종 단계에서의 도라지의 경우 평균 실측높이는 29.8 mm, 평균 측정높이는 28.1 mm, 오차는 0.0 ~ 5.2 mm의 범위에서 발생하였으며, 평균오차는 2.4 mm로 평균 실측높이의 8.1%였다. 장변의 경우 평균 실측길이 47.5 mm, 평균 측정길이 46.0 mm, 오차는 0.3 ~ 8.5 mm의 범위에서 발생하였으며, 평균오차는 3.4 mm로 전체 길이의 7.2%였다. 또한 단변의 경우 평균 실측길이 38.3 mm, 평균 측정길이 36.2 mm,

Table 2. Results of *Platycodon grandiflorum*.

(unit : mm)

No.	Height			Long length			Short length		
	Measure	Computed	Error	Measure	Computed	Error	Measure	Computed	Error
1	33	32.3	0.7	41	40.7	0.3	39	36.4	2.6
2	33	28.8	4.2	55	56.8	1.8	48	52.5	4.5
3	27	25.2	1.8	49	45.8	3.2	32	25.6	6.4
4	24	19.2	4.8	51	47.8	3.2	43	42.0	1.0
5	42	41.2	0.8	57	52.9	4.1	42	37.7	4.3
6	20	17.9	2.1	47	51.3	4.3	35	28.8	6.2
7	27	31.8	4.8	55	46.5	8.5	51	54.3	3.3
8	42	40.4	1.6	55	51.0	4.0	35	31.3	3.7
9	17	15.3	1.7	36	32.5	3.5	22	23.4	1.4
10	23	23.0	0.0	47	49.7	2.7	41	36.9	4.1
11	23	22.1	0.9	39	36.6	2.4	37	34.2	2.8
12	22	21.0	1.0	40	34.2	5.8	34	37.8	3.8
13	22	18.5	3.5	37	34.2	2.8	23	19.2	3.8
14	34	31.1	2.9	40	37.4	2.6	27	26.5	0.5
15	42	38.6	3.4	46	45.0	1.0	43	38.4	4.6
16	47	49.5	2.5	60	62.4	2.4	50	44.9	5.1
17	29	26.4	2.6	51	54.8	3.8	44	49.6	5.6
18	25	22.3	2.7	48	45.8	2.2	44	38.7	5.3
19	38	36.6	1.4	51	54.4	3.4	39	36.4	2.6
20	25	19.8	5.2	45	39.3	5.7	37	29.5	7.5
Average	29.8	28.1	2.28	47.5	46.0	3.26	38.3	36.2	3.77

영상처리를 이용한 작물의 모종시기 결정

오차는 0.5 ~ 7.5 mm의 범위에서 발생하였으며 평균오차는 4.0 mm로 전체 길이의 10.4%였다.

3. 상추의 장변, 단변, 높이 측정값 및 오차분석

Table 3은 상추의 영상 처리 오차의 최대, 최소값을 나타낸 것이다. 모종 단계에서의 상추의 경우 평균 실측높이는 44.1 mm, 평균 측정높이는 43.2 mm였다. 오차는 0.2 ~ 12.1 mm의 범위에서 발생하였으며, 평균오차는 4.0 mm로 평균 실측길이의 9.1%였다. 장변의 경우 평균 실측길이 51.2 mm, 평균 측정길이 48.0 mm,

오차는 0.2 ~ 8.5 mm의 범위에서 발생하였으며 평균오차는 4.4 mm로 전체 길이의 8.6%였다. 또한 단변의 경우 평균 실측길이 38.1 mm, 평균 측정길이 35.8 mm, 오차는 1.2 ~ 8.3 mm의 범위에서 발생하였으며 평균오차는 3.6 mm로 전체 길이의 9.4%였다.

4. 오차 종합분석

들깨 도라지 상추의 높이, 장변 및 단변에 대한 각각의 평균길이와 평균오차를 구하면 Table 4와 같다.

들깨의 경우는 평균오차의 범위가 4.7 ~ 5.5 mm 정

Table 3. Results of *Lactuca sativa*.

(unit : mm)

No.	Height			Long side			Short side		
	Measure	Computed	Error	Measure	Computed	Error	Measure	Computed	Error
1	56	59.4	3.4	53	51.1	1.9	46	43.5	2.5
2	46	52.3	6.3	81	74.6	6.4	62	58.4	3.6
3	51	49.1	1.9	62	68.2	6.2	50	47.2	2.8
4	55	50.4	4.6	46	39.1	6.9	42	33.7	8.3
5	64	59.5	4.5	74	65.5	8.5	55	60.4	5.4
6	40	39.4	0.6	35	33.7	1.3	30	28.8	1.2
7	38	34.8	3.2	50	45.9	4.1	35	32.8	2.2
8	38	36.9	1.1	37	37.2	0.2	27	24.3	2.7
9	52	51.8	0.2	37	33.1	3.9	28	23.3	4.7
10	35	33.2	1.8	45	44.5	0.5	31	24.6	6.4
11	42	48.2	6.2	59	56.1	2.9	46	43.5	2.5
12	37	33.0	4.0	46	39.8	6.2	24	22.8	1.2
13	40	45.4	5.4	50	44.4	5.6	43	41.8	1.2
14	46	43.6	2.4	55	48.9	6.1	47	41.4	5.6
15	30	24.7	5.3	41	35.3	5.7	36	42.0	6.0
16	38	44.5	6.5	44	40.4	3.6	35	29.0	6.0
17	41	44.1	3.1	41	34.3	6.7	37	34.2	2.8
18	47	44.3	2.7	74	80.1	6.1	34	30.2	3.8
19	39	34.3	4.7	46	40.5	5.5	26	24.7	1.3
20	47	34.9	12.1	47	47.3	0.3	27	29.6	2.6
Average	44.1	43.2	3.57	51.2	48.0	4.65	38.63	36.14	3.69

Table 4. Analysis of overall errors.

Crops	Height			Long length			Short length		
	Average length (mm)	Average error (mm)	Ratio of error (%)	Average length (mm)	Average error (mm)	Ratio of error (%)	Average length (mm)	Average error (mm)	Ratio of error (%)
<i>Perilla</i>	291.0	5.0	1.7	121.2	4.7	3.9	80.2	5.5	6.9
<i>Platycodon grandiflours</i>	29.8	2.4	8.1	47.5	3.4	7.2	38.3	4.0	10.4
<i>Lactuca sativa</i>	44.1	4.0	9.1	51.2	4.4	8.6	38.1	3.6	9.4
Average	-	-	6.3	-	-	6.6	-	-	8.9

도의 아주 경미한 수준이었고 오차율 또한 들깨의 길이 및 장 단변의 크기가 도라지 상추에 비해 큰 편이기 때문에 1.7~6.9%의 낮은 오차율을 보였다. 도라지와 상추는 3~4 mm의 평균오차를 보였고, 오차율도 7.2~10.4% 범위로 나타났다. 오차의 원인으로는 작물을 실측할 때의 측정오차와 획득한 영상에서의 픽셀값을 mm로 환산하는 과정에서 렌즈 왜곡 및 3차원 공간의 거리를 2차원에서의 거리로 측정하는데 발생한 오차로 판단된다.

도라지나 상추에 비해 상대적으로 길이가 길었던 들깨의 평균오차가 상추 도라지의 평균오차와 비슷한 수준이기 때문에 크기가 큰 작물일수록 작은 오차율을 가지므로 더 정확한 측정이 가능할 것으로 판단된다.

세 작물의 높이, 장변 및 단변의 평균오차는 2.4~5.5 mm 정도로 영상처리를 이용한 측정이 사람의 시각을 이용한 작물의 성장상태 판별보다 더 정확하다고 판단된다.

적 요

본 연구는 영상 처리를 이용하여 채소의 모종 시기를 자동으로 파악할 수 있는 시스템을 개발하기 위한 것이다. 즉 작물의 높이, 장변 및 단변을 영상처리를 이용해 자동으로 측정하고자 하는 시스템을 개발하고자 한 것이다. 각 작물 당 20개씩의 실험체를 두어 반복 측정한 결과, 들깨의 경우 높이는 평균 오차 5.0 mm로 평균 실측 길이 대비 1.7% 오차율, 장변은 평균 오차 4.7 mm, 오차율 3.9%, 단변은 평균 오차 5.5 mm, 오차율 6.9%로 나타났다. 도라지의 경우 높이는 평균 오차 2.4 mm, 오차율 8.1%, 장변은 평균 오차 3.4 mm, 오차율 7.2%, 단변은 평균 오차 4.0 mm, 오차율 10.4%로 나타났다. 상추의 높이는 평균 오차 4.0 mm, 오차율 9.1%, 장변은 평균 오차 3.4 mm, 오차율 7.2%, 단변은 평균 오차 3.6 mm, 오차율 9.4%로 나타났다. 따라서 현장 환경에 맞게 좀 더 개선된다면 사람의 시각을 이용한 작물의 성장상태 판별보다 더 정확하다고 판단된다.

주제어 : 영상처리, 모종시기, 오차율

인 용 문 헌

1. Kim, G.Y. and K.H. Ryu. 1998. Crop growth measurements by image processing in greenhouse. Journal of the KSAM 23(3):285-290 (in Korean).
2. Lee, C.W., B.R. Min, W. Kim, D.W. Kim, K.W. Seo, and D.W. Lee. 2003. Development of image processing algorithm for detection abnormal part in esophagus's endoscopic image. Proceedings of the of the KSAM 9(1):455-459 (in Korean).
3. Lee, J.H., S.H. Noh, and K.H. Ryu. 1996. Analysis of plants shape by image processing. Journal of the KSAM 21(3):315-324 (in Korean).
4. Min, B.R., W. Kim, D.W. Kim, K.W. Seo, C.W. Lee, and D.W. Lee. 2003a. Analysis of the back propagation for cucumber image processing. Proceedings of the of the KSAM 8(1):400-401 (in Korean).
5. Min, B.R., W. Kim, D.W. Kim, K.W. Seo, C.W. Lee, D.W. Lee, and C.S. Kim. 2003b. Analysis of the back propagation and associative memory for image system. Proceeding of Bio-Environment Control 12(1): 181-190 (in Korean).
6. Morio, Yoshinari and Yoshio Ikeda. 1999. Quality evaluation of cut roses by stem's curvature(Part 1) Stem extracting method. Journal of the JSAM 61(6): 57-64 (in Japanese).
7. Morio, Yoshinari and Yoshio Ikeda. 1999. Quality evaluation of cut roses by stem's curvature(Part 2) Reconstruction of 3-D stem shape. Journal of the JSAM 62(3):103-110 (in Japanese).
8. Noh, S.H., K.H. Ryu, and S.M. Kim. 1991. Classification of apple coloration using image processing system. Journal of the KSAM 16(3):272-280 (in Korean).
9. Seo, K.W., B.R. Min, W. Kim, D.W. Kim, C.W. Lee, and D.W. Lee. The dynamic stereo vision system for recognizing a position in the 3-D coordinates. Proceedings of the of the KSAM 8(1):478-483 (in Korean).
10. Seo, S.Y. and G.E. Miles. 1989. Measurement of morphological properties of tree seedlings using machine vision and image processing. Journal of the KSAM 14(3):188-195 (in Korean).
11. Son, J.R., C.H. Kang, K.S. Han, S.R. Jung, and K.Y. Kwon. 2001. Recognition of missing and bad seedlings via color image processing. Journal of the KSAM 26(3):253-262 (in Korean).