

영상처리에 의한 식물체의 형상분석*

Analysis of Plants Shape by Image Processing

이종환* 노상하* 류관희*

정희원 정희원 정희원

J. W. Lee S. H. Noh K. H. Ryu

ABSTRACT

This study was one of a series of studies on application of machine vision and image processing to extract the geometrical features of plants and to analyze plant growth. Several algorithms were developed to measure morphological properties of plants and describing the growth development of in-situ lettuce(Lactuca sativa L.). Canopy, centroid, leaf density and fractal dimension of plant were measured from a top viewed binary image. It was capable of identifying plants by a thinning top viewed image. Overlapping the thinning side viewed image with a side viewed binary image of plant was very effective to auto-detect meaningful nodes associated with canopy components such as stem, branch, petiole and leaf. And, plant height, stem diameter, number and angle of branches, and internode length and so on were analyzed by using meaningful nodes extracted from overlapped side viewed images.

Canopy, leaf density and fractal dimension showed high relation with fresh weight or growth pattern of in-situ lettuces. It was concluded that machine vision system and image processing techniques are very useful in extracting geometrical features and monitoring plant growth, although interactive methods, for some applications, were required.

주요 용어(Key Words) : 영상분석(Image Processing), 식물체 성장패턴(Plant Growth Pattern), 형상특징(Morphological property), 케노피 구조(Canopy Structure)

1. 서론

일반적으로 영상처리기술은 비접촉, 비파괴 측정을 통하여 식물체의 성장상태를 신속하고 종합적으로 분석할수 있는 기술로 인정되고 있으나, 많은 제약이 수반된다. 특히, 복잡한 3차원 구조를 가지거나 균락을 이루고 있는 작물을 대상으로 하는 경우에는 적절한 영상분석이 매우 어렵다. 또한, 주변의 광조건이 불규칙한 경우에는 효율적인 영상획득이 어렵고 복잡한 영상보정 등의 과정이 요구된다.

비교적 최근에 영상처리를 이용하여 식물체의

형상 등을 측정, 분석하기 위한 연구가 많이 수행되고 있다.

daSilva 등(1985)은 작물의 성장모델을 개발하기 위해서는 엽면적 뿐만 아니라 다양한 기하학적 특징을 이용하여야 한다고 지적하고, 3방향에서 촬영한 슬라이드 사진을 디지털화하여 얻은 영상데이터를 이용하여 식물체의 3차원 형상 분석을 위한 기초연구를 수행하였다. Guyer 등(1986)은 생육초기에 있는 각종 유묘를 대상으로 잎의 둘레길이, 둘레길이²/투영면적, 투영면적/두께² 및 중심 모멘트(central moment)를 시계열적으로 측정, 분석하였다. Meyer 등(19

+ 이 연구는 한국과학재단(1992-1994)의 지원하에 이루어진 "작물의 성장 정보 계측 및 제어에 관한 연구"의 일환으로 수행된 것임.

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

87)은 콩을 대상으로 2대의 카메라를 이용하여 전체영상을 획득하고, 엽면적, 줄기직경, 가지의 각도 등을 분석하였는데, 영상처리장치가 식물체 형상 분석에 유용한 수단이라고 보고하였다. Masaaki 등(1988)은 4가지 품종의 벼에 대한 영상을 이용하여 잎의 분포, 체형윤곽(plant profile), 잎의 각도 등을 조사한 결과, 생장에 따른 구조변화를 명확하게 분석할수 있었다고 보고하였다. 近藤 直(1990)은 식물체의 2치영상으로부터 복잡도, 프랙탈 차원(fractal dimension), 모멘트 특징 등을 분석하였으며, 잎의 배열규칙, 투영구조를 이용하여 3차원 구조를 표현하였다.

또한, 식물체의 형상을 분석함으로써 유묘 및 묘목의 등급을 결정하기 위한 연구가 활발히 수행되었다. Cardenas-Weber 등(1988)은 딸기묘를 대상으로 뿌리를 포함한 식물체 전체에 대한 각종 형상인자를 분석하였으며, 인력에 의한 등급선별 결과와 83% 정도가 일치하였다고 보고하였다. 서 등(1989)은 영상처리장치를 이용함으로써 묘목의 다양한 형태학적 특성을 정확하게 분석할수 있었으며 묘목의 등급선별에 유효하였다고 하였다. Franz 등(1991)은 토양영상으로부터 유묘영상을 용이하게 분할하고자 흑백 카메라에 광학필터를 부착하였으며, 6가지 형상의 잎을 가지는 유묘를 자동선별하였다. Kaizu 등(1996)은 투영면적, 푸리에 계수(Fourier coefficients) 및 잎의 길이를 측정함으로써 난초의 등급선별이 가능하였다고 보고하였다.

Hetzroni 등(1992)은 상추를 대상으로 영상처리장치를 이용하여 투영면적, 색채 등의 변화를 분석하고, 이를 바탕으로 최대우도 분류법(maximum likelihood classification), 신경 회로망(neural network) 및 전문가 시스템(expert system) 기법을 이용하여 영양분(철, 아연, 질소) 함량에 따른 생장상태를 분석하였다.

영상처리기술을 이용하여 식물체의 생장상태를 계측하고 평가하기 위한 연구의 일환으로, 이 연구에서는 2대의 카메라를 이용하여 식물체의 지상부에 대한 영상을 획득하여 각종 형상인자 및 구조를 분석하기 위한 컴퓨터 알고리즘을 개

발하고, 식물체의 생장정도를 기술하는데 유효한 형상인자를 구명하고자 하였다.

2. 실험장치 및 재료

가. 실험장치

실험장치는 영상처리장치, 주컴퓨터, 조명장치 및 시료고정판으로 구성하였다. 이 연구에서 사용한 영상처리용 프레임그래버(frame grabber : Matrox사의 MVP-AT)는 흑백카메라(RS-170)와 색채카메라(NTSC 및 RGB)의 영상신호를 실시간으로 처리할 수 있으며, 영상크기가 각각 512×480인 R, G, B 및 오버레이(overlay) 프레임(각각 8비트임)으로 구성된다. 식물체의 구조분석을 위해 RGB 색채카메라(Pulnix, TMC-74) 및 NTSC 색채카메라(Panasonic WV-CL

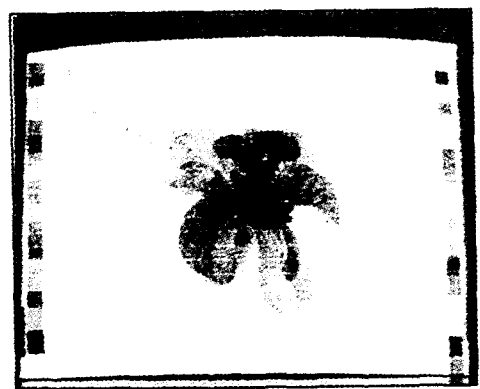
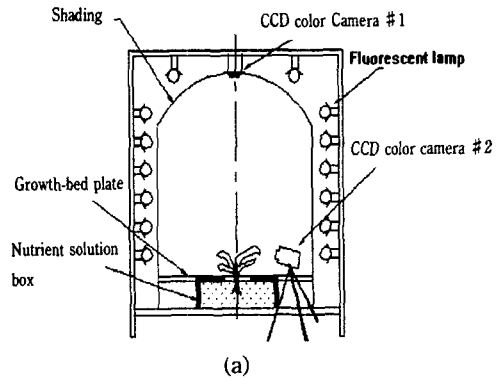


Fig. 1. Schematic view of imaging system(a), and top viewed sample image(b).

Table 1. Geometrical features to be analyzed for various plants

Item	Features	Samples (Number)	Remark
Analysis of shape and structure	plant height, stem diameter, number and angle of branches, meaningful positions(petiole,node, etc.), internode length, etc.	red pepper (2) lilac (2)	side viewed images
	thinning image, projected area, leaf density, fractal dimension, etc.	in-situ lettuce red pepper	top viewed images
Variation of shape index by growth	relations between shape index and fresh weight	in-situ lettuce (25)	40 days(18 plants) and 50 days(7 plants) after seeding
		in-situ lettuce (44)	50~69 days after seeding

110)를 이용하여 각각 상방향 및 측방향 영상을 획득하였다(〈그림 1〉 참조). 영상출력을 위해 14인치 RGB 고해상도 색채영상모니터(Electrohome, ECM 1311U)를 사용하였으며, 주 컴퓨터는 IBM PC/AT 호환기종(CPU 80486, 66MHz)이었다.

조명장치는 조립용 철재를 사용하여 제작(900x900x1,000)하였고, 광원은 형광등(10W×8개; 상방향 2개, 좌우측방향 6개)을 사용하였으며 흰색 아크릴판(t=5mm)을 터널형태로 설치하여 산란광을 유도하였다. 시료고정판은 육묘장치에서 생육중인 시료를 신속하게 고정시킨 후 영상을 획득하기 위해 제작되었다.

나. 연구방법 및 공시재료

식물체의 구조와 관련되는 측정항목은 종류, 생육단계 및 측정방향 등에 따라 달라질 수 있다. 이 연구에서는 영상처리에 의해 식물체의 구조 및 생장에 따른 형상인자를 분석하기 위해, 생육 초기의 고추, 형태가 단순한 라일락 및 육묘장치에서 생육중인 청치마 상추(Lactuca sativa L.)를 시료로 사용하였으며, 연구항목별로 분석항목 및 공시재료를 정리하면 〈표 1〉과 같다.

3. 식물체의 영상분할 및 구조 분석 알고리즘

3차원 구조를 갖는 물체는 보는 방향에 따라 구조가 달라지므로 이를 적절히 표현하는 방법이 요구된다. 이 연구에서는 식물체의 3차원 투영구조를 분석하기 위한 기초단계로서, 상방향(top view)과 측방향(side view)에서 얻은 영상을 이용하여 식물체의 구조분석을 수행하였다. 즉, 상방향 및 측방향에서 식물체 영상을 획득하여 영상분할한 후 세선화 영상을 얻거나 각종 식물체의 기하학적 특징량을 분석하였다. 상방향 영상으로부터 투영 엽면적(canopy) 및 중심위치, 엽밀도(leaf density), 프랙탈 차원(fractal dimension) 등을, 측방향 영상으로부터 초장 및 줄기직경 측정, 의미점(meaningful position) 추출, 가지의 갯수 및 방향 등을 측정하기 위한 컴퓨터 알고리즘을 개발하였다.

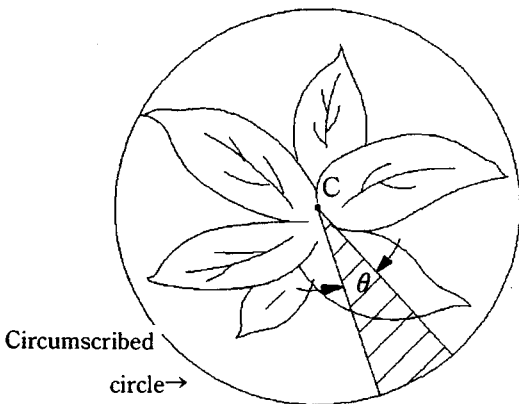
가. 투영 엽면적 및 중심위치

식물체의 투영 엽면적은 성장정도와 밀접한 관련이 있는데, 이 연구에서는 상방향 영상을 영상분할한 후 식물체에 해당하는 총화소수를 식

물체의 투영 엽면적으로 하였다. 한편, 상방향에서 본 식물체의 위치는 식물체에 해당하는 화소들의 도심(centroid)을 조사하여 결정하였다.

나. 엽밀도

작물이 성장함에 따라서 잎의 크기 및 분포 등이 변화된다. 따라서, 작물의 엽밀도를 조사함으로써 작물의 성장정도를 정량화할 수 있다. 이 연구에서는 상방향 영상으로부터 구한 식물체를 포함하는 외접원을 원주방향으로 10°간격으로 등분하여 얻은 36개의 부채꼴 영역에 대해, 엽면적을 부채꼴 면적으로 나눈 값을 그 부채꼴 영역에 대한 엽밀도로 정의하였다. <그림 2>는 원주방향 엽밀도의 개념을 설명하고 있다.



C : Centroid $\theta=10^\circ$
 S=hatched area
 A=leaf area in S
 leaf density=A/S

Fig. 2. Computing leaf density.

또한, 36개의 부채꼴 영역에 대한 엽밀도의 변화를 나타내기 위해 다음과 같이 엽밀도 변이계수(CVDL)를 정의하였다.

$$CVDL = \sqrt{\frac{N}{N-1} \left[\frac{N \sum A_i^2}{(\sum A_i)^2} - 1 \right]}$$

where, CVDL : Coefficient of variance for leaf density

A_i : i^{th} leaf density

N : Number of fan-shaped sections allocated in plant image

다. 프랙탈 차원

프랙탈 차원은 직선(line)은 1, 평면(surface)은 2의 값을 가지는 인자로서, 다음의 직선식에서 기울기(F)에 해당한다.

$$\ln N = F \ln(1/L) + \ln K$$

where, F : Fractal dimension of plants

L : Window size

N : Number of windows having edge pixels

K : Constant of line equation

상방향의 식물체 영상을 L×L의 크기영역으로 세분하고, 각 영역중에서 물체의 윤곽화소가 존재하는 영역의 갯수를 조사한다. 이 연구에서는 L값을 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14로 변경함으로써, N과의 직선회귀식의 기울기, 즉 프랙탈 차원을 구하였다.

라. 의미점 추출

식물체의 의미점에는 분기점, 잎신에서 잎병이 시작되는 위치점 및 가지와 잎이 만나는 위치점 등이 있다. 식물체의 의미점들을 자동추출하는 컴퓨터 알고리즘을 개발하기 위해서는 식물체의 세선화 영상을 대상으로 처리화소가 고립점, 끝점, 연속점 및 분기점인지를 구분하는 것이 기본적으로 필요하다. 이 연구에서는 다음과 같은 방법으로 이들 의미점을 구분하였다.

① 처리화소 P를 중심으로 8근방의 화소들을, 3시 방향에 있는 화소를 시작으로 시계반대방향으로 P0, P1, ..., P7의 화소치("0" 또는 "1")를 순서대로 저장한다. 저장된 데이터(이를 value

라고 하자)는 1바이트이며 최하위 비트는 P7의 화소치, 최상위 비트는 P0의 화소치를 가르킨다. 한편, 의미점의 종류를 결정하는데 이용하고자 임의의 변수(variable) TP를 0으로 초기화한다.

② value의 최하위 비트가 "1"이면 value와 0x01을 OR 비트연산을 수행한 후 $TP=TP+1$ 한다.

③ value의 각 비트를 좌측방향으로 1비트씩 이동(shift)한다.

④ ②~③의 과정을 8회 연속하여 처리화소에 대한 최종 TP값을 얻는다.

⑤ TP값에 따라 각 처리화소는 다음과 같이 구분한다. 즉, 0이면 고립점, 2이면 끝점, 4이면 연속점, 6이면 3분기점, 8이면 4분기점이 된다.

세선화 영상에서 세선(thinning lines)에 해당하는 모든 화소에 대해, 처리화소가 끝점인지, 분기점인지 등을 구분한 후, 다음과 같은 방법으로 잎신에서 잎병이 시작되는 위치점이나 가지와 잎이 만나는 위치점 등을 자동추출하였다.

① 세선화 영상에서 모든 끝점을 조사하여 저장한다. 실제에 있어서 이들 끝점은 잎신의 끝점에 해당하였다.

② 각 끝점에서부터 세선을 탐색하면서 주어진 화소수(이 연구에서는 30~50화소로 함) 만큼 세선을 없앤다. 이는 잎신의 끝점이 잎신에서 잎병이 시작되는 위치점이나 가지와 잎이 만나는 위치점으로 오인되었기 때문이다.

③ 모든 세선에 대해 탐색을 계속하면서, 각 세선화소를 중심으로 주어진 크기의 사각형 영역(이 연구에서는 $6 \times 6 \sim 8 \times 8$ 로 하였음) 내에 있는 물체의 면적비를 이치영상으로부터 조사한다. 이 때, 면적비가 주어진 범위(이 연구에서는 45~55%로 하였음) 내에 있을 때, 이를 의미점으로 본다.

마. 초장, 줄기직경, 가지의 갯수 및 방향 측정

식물체와 카메라의 위치관계가 주어지면 측방향 영상으로부터 초장 및 줄기직경 등을 용이하

게 측정할수 있다. 지면과 식물체가 접하는 곳("근저부", Bottom of main stem)에 대한 영상 좌표를 찾은 후, 근저부로부터 거리가 가장 먼 의미점 좌표("최상의미점", the highest meaningful position)와 가장 가까운 분기점 좌표("최하의미점", the lowest meaningful position)를 조사한다. 그리고 이치영상과 세선화 영상을 대상으로, 근저부에서 최하의미점까지의 세선을 따라 추적하면서 좌우방향으로 물체에서 배경으로 전이되는 두개의 좌표를 구하면, 이들 좌표간의 화소거리는 각각의 추적위치에서의 줄기직경이 된다.

이 연구에서는 지면으로부터 가장 위쪽에 있는 분기점(고추, 라일락) 또는 가장 위쪽에 있는 끝점(상추)까지의 거리를 초장으로, 근저부에서 최하의미점까지의 세선을 추적하면서 구한 줄기직경중 최대값을 대상 식물체의 줄기직경으로 하였다. 단, 상추의 경우 줄기직경은 의미가 없다.

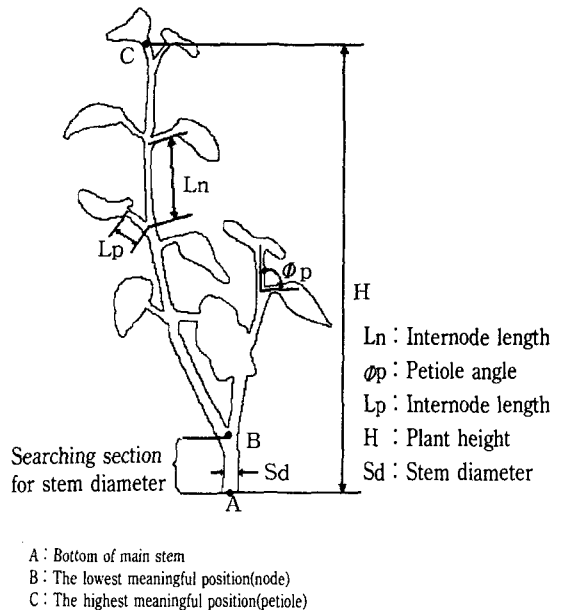


Fig. 3. Canopy Structure and meaningful positions of plant from a side view image.

추출된 의미점 중에서 3분기점 이상이고 각

분기방향으로의 세선이 짧은 거리동안(이 연구에서는 16 화소수로 하였음) 직선형태를 갖는다 면 이를 가지에 해당한 것으로 보고 각 분기간의 각도를 계산하였다.

바. 생장에 따른 형상인자 분석

식물체가 생장함에 따라 투영 엽면적, 생체중, 엽색 및 구조 등이 변하게 된다. 이 연구에서는 생장정도에 따른 형상인자를 분석하기 위해, 생육장치내에서 생육일수가 40일 및 50일이 된 상추와 또다른 기간에 생육되어 생육일수가 50~69일된 상추를 대상으로 무작위 선정하여 각종 형상인자를 측정하였다. 그리고, 생장정도를 나타내는 지표로써 생체중량을 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

가. 측도설정

시료고정판에 표시된, 위치를 알고 있는 3개의 표식점에 대한 영상좌표를 마우스를 이용하여 조사함으로써, 수평방향과 수직방향의 화소당 실제길이를 계산할수 있었다.

측도설정은 카메라와 물체간의 거리 및 방향에 따라서 이루어져야 한다. 이 연구에서는 상방향 영상을 얻기 위한 RGB 색채카메라와 측방향 영상을 얻기위한 NTSC 색채카메라에 대해 각각 측도설정을 수행하였으며 그 결과는 <표 2>에서와 같다.

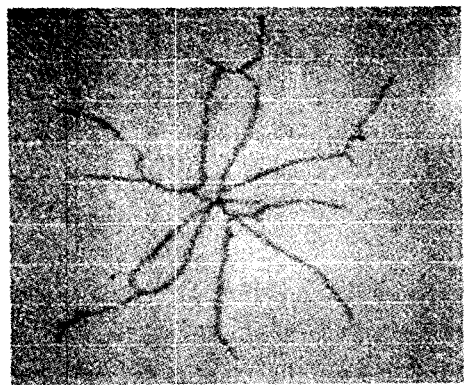
Table 2. Real dimension of pixels for two cameras

Item	RGB color camera	NTSC color camera
Horizontal length/pixel [mm]	0.78	0.34
Vertical length/pixel [mm]	0.63	0.29
Aspect ratio	1.234	1.237
Remark	Top view	Side view

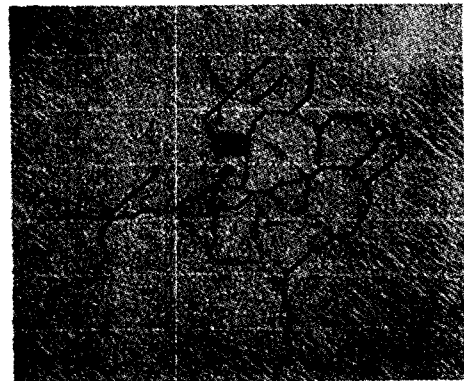
나. 영상처리에 의한 식물체의 구조분석

1) 세선화 영상

식물체의 골격형상을 파악하기 위해 영상 세선화를 수행하였다. <그림 4>는 상방향으로부터 획득한 고추 및 상추영상에 대한 세선화 영상으로써, 고추는 8방향으로 뻗은 모양을, 상추는 원형다발모양을 나타내고 있다. 영상 세선화(image thinning)는 식물체 인식 및 특징점 추출에 매우 유효할 것으로 사료된다.



(a) Red pepper

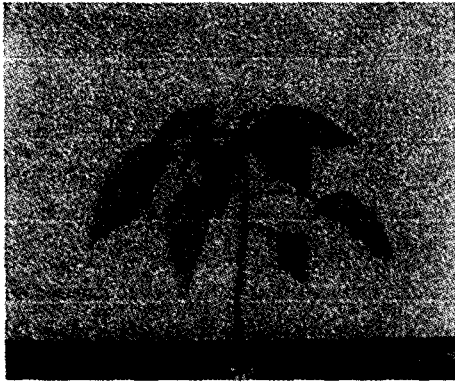


(b) Lettuce

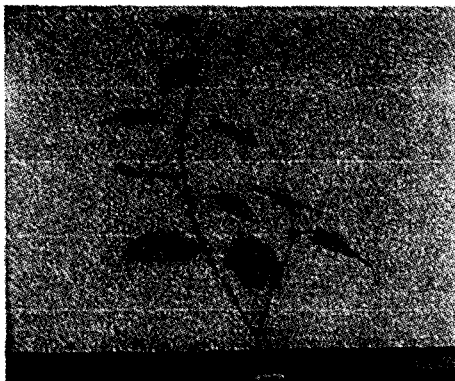
Fig. 4. Examples of the thinning image of top view plants.

2) 의미점 추출

<그림 5>에 나타난 바와같이 구조가 간단한



(a) Red pepper



(b) Lilac.

Fig. 5 Meaningful positions in canopy structure of plant automatically detected.

식물체에 대한 의미점은 비교적 정확하게 자동 추출할 수 있었다. 그러나, 잎과 가지들이 겹치게 될 경우에는, 일차적으로 의미점을 자동추출하도록 한 후, 사용자가 용이한 방법으로 수정, 보완할 수 있도록 하는 방법을 강구하여야 할 것이다. 또한, 식물체 구조를 분석하기 위해서는 여러 방향에서 획득한 영상들을 이용하여 잎이나 가지의 배열규칙, 3차원 투영구조 등을 분석하기 위한 영상처리기법에 대한 연구가 필요하다[近藤直, 1990].

한편, 의미점 자동추출의 결과와 실제 의미점이 불일치하거나 사용자 개입이 요구되는 경우가 있다고 하더라도, 육안에 의한 방법보다 신속하게 식물체 형상분석을 위해서는 세선화 영상과 이치영상을 결합한 영상을 이용하는 것이 유용하다고 판단된다.

3) 초장, 줄기직경, 가지의 갯수 및 방향

<표 3>은 고추와 라일락을 대상으로 영상처리장치를 이용하여 초장, 줄기직경, 가지의 갯수 및 방향 등을 자동으로 측정할 수 있는 예를 나타낸다. 비교적 정확하게 초장 및 줄기직경을 측정하였다. 기하학적 특징량을 보다 정확하게 측정하기 위해서 스테레오 영상(Stereo images) 등으로 3차원 좌표계를 구성하여 측정하는 방법[Meyer 등, 1986]을 적용할 수 있을 것이다.

Table 3. Geometrical features measured automatically from side viewed images

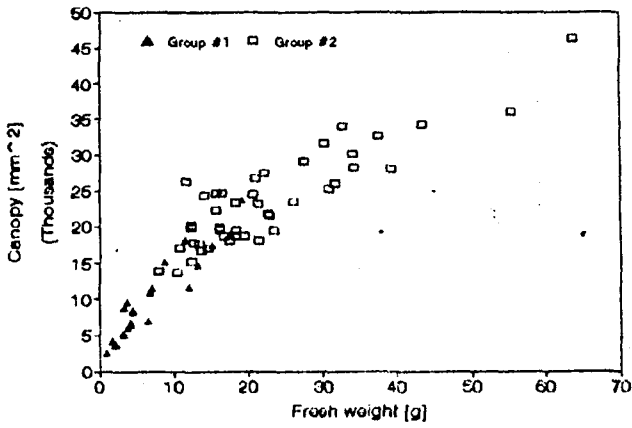
Images	Plant height(cm)		Stem dia.(mm)		Number of branches (correct/miss/error)*	Error range for angle of branches**
	Actual	Measured	Actual	Measured		
Red pepper	16.3	16.9	3.3	3.9	15/8/2	-2° ~ +11°
Lilac	25.6	25.2	5.3	5.3	10/1/1	-5° ~ +10°

*) correct : detected correctly,

miss : detected as not branch which is branch,

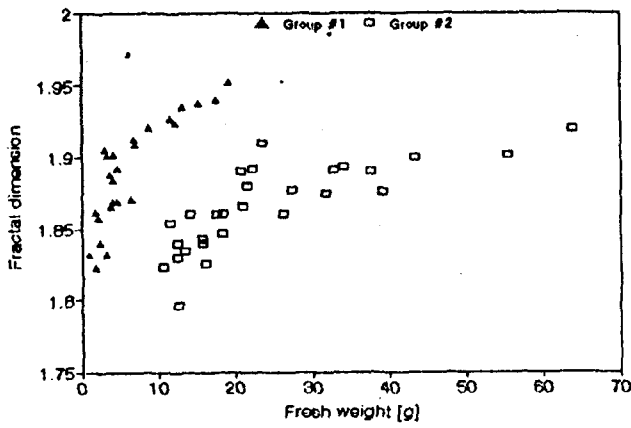
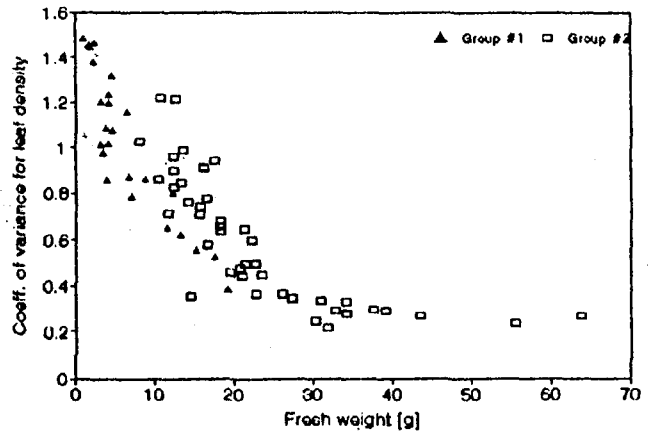
error : detected as branch which is not branch

**) only for branches detected correctly



(a) Projected area

(b) Coefficient of variation for leaf density



(c) Fractal dimension

Fig. 6. Variations of shape index of in-situ lettuce by fresh weight.

다. 성장에 따른 형상인자 분석

투영 엽면적, 엽밀도 및 프랙탈 차원 등은 식물체의 상방향 구조를 나타내는 중요한 형상인자이다. <그림 6>은 상추의 생체중에 따른 이들 형상인자의 변화추이를 나타낸다. 생육초기에 투영 엽면적은 크게 증가하다가 잎들이 여러겹으로 무성해지면 부피는 증가하지만 투영 엽면적의 증가세는 약간 둔화됨을 알 수 있다. 이러한 경향은 엽밀도의 경우에도 명확히 나타난다. 즉, 원주방향으로 잎이 있는 부분과 없는 부분이 여러번 반복적으로 나타나다가 생육이 진행되어 다발형태가 되면 모든 각도에서 엽밀도의 차이가 거의 없어지므로, 엽밀도 변이계수(엽밀도의 표준편차/평균/엽밀도)는 0에 가까워진다. 한편, 상추의 프랙탈 차원은 생육초기에 매우 큰 증가세를 보이다가 어느정도 생육일수가 경과하면 일정해지는 경향을 보이고 있다. 따라서, 원주방향 엽밀도 및 프랙탈 차원은 특히 생육초기단계에 있는 식물체의 투영 형상과 밀접한 관계가 있으며, 생육의 건전한 정도를 기술하는데 이들 형상인자가 유용할 것으로 사료된다.

5. 요약 및 결론

비접촉, 비파괴적인 방법으로 식물체의 성장 상태를 측정하고 분석하기 위한 컴퓨터 시각 시스템의 개발에 관한 연구가 널리 수행되고 있다. 이 연구는 2대의 카메라(Pulnix TMC-74 및 Panasonic WV-CL110)와, 영상처리장치(Matrox MVP-AT), 영상출력장치(Electrohome, ECM 1311U), 시료고정대 및 컴퓨터(CPU 80486, 66 MHz)로 실험장치를 구성하고 식물체의 생육상태에 따른 특징량을 계측 및 평가하기 위한 기초자료를 제공하기 위해 수행되었다. 즉, 상추 및 고추 등을 대상으로 형상 및 구조를 분석하기 위한 컴퓨터 알고리즘을 개발하였으며, 육묘장치에서 성장중에 있는 청치마 상추(Lactuca sativa L.)를 대상으로 성장정도를 기술하기 위한 형상인자를 구명하였다. 그 결과를 요약하면 다

음과 같다.

1) 상방향 영상에 대한 세션화는 식물체를 구분하는데, 세션화 영상과 이치영상이 결합된 측방향 영상은 식물체의 체형분석에 필요한 각종 의미점을 자동추출하는데 있어서 매우 유용하였다.

2) 상방향에서 얻은 식물체 영상으로부터 투영 엽면적, 위치, 엽밀도, 프랙탈 차원을, 측방향 영상으로부터 초장, 줄기직경, 가지의 갯수 및 방향, 의미점 등을 자동적으로 측정하고 분석하기 위한 알고리즘을 개발하였다.

3) 구조가 단순한 식물체(고추와 라일락)를 대상으로 초장, 줄기직경, 가지의 갯수 및 방향, 분기점 등을 자동분석한 결과 측정오차는 작았다. 보다 정확한 기하학적 특징량 계측과 식물체의 구조 분석을 위해서는, 각종 분기점 및 의미점을 검출하기 위한 사용자 개입 방법과 3차원 영상좌표계를 이용한 구조분석 알고리즘의 개발이 요구되었다.

4) 상추의 투영 엽면적, 원주방향 엽밀도, 프랙탈 차원은 생체중 또는 성장패턴과 밀접한 관련이 있는 형상인자였다.

5) 식물체의 각종 형상인자를 영상처리장치를 이용하여 분석함으로써 성장에 따른 형상 및 구조변화를 정량화하는 것이 가능하다고 판단되었다.

참고 문헌

1. 서상룡, G.E. Miles. 1989. 컴퓨터 화상처리에 의한 묘목의 형태학적 성질 측정. 한국 농업 기계학회지. 14(3):181-188.
2. Cardena-Weber, M.C., F.F. Lee, D.E. Guyer and G.E. Miles. 1988. Plant features measurements with machine vision and image processing. ASAE paper No. 88-1541.
3. daSilva, F., D.L. Thomas, A. Shimohammadi and W.A. Cromer. 1985. Devof a plant growth evaluation techniques through computer based image processing. ASAE paper No. 85-

- 3547.
4. Franz, E., M.R. Gebhardt and K.B. Unklesbay. 1990. The use of local spectral properties of leaves as an aid for identifying weed seeding in digital images. ASAE paper No. 90-7044.
 5. Guyer, D.E. and G.E. Miles. 1986. Machine vision and image processing for plant identification. Trans. of the ASAE. 29:1500-1507.
 6. Hetzroni, A. and G.E. Miles. 1992. Machine vision monitoring of plant health. ASAE paper No. 92-3574, St. Joseph, MI 49085.
 7. Masaaki, O. and H. Kokichi. 1988. An application of computer image analysis for characterization of plant type in rice cultivars. Japanese Journal of Breed., 38:449-458.
 8. Meyer, G.E. and D.A. Davision. 1987. An electronic image plant growth measurement system. Trans. of the ASAE, 30(1):242-248.
 9. Shimazu, H. and S. Oshita. 1993. Noncontact 3D analysis of plant using computer vision system. Jour. of the JSAM., 55(2):93-100.
 10. 近藤 直, . 1990. 農業機械學分野におけファイトテクノロジーのころみ. 농업기 계학회, pp33~39, pp86~92.
 11. 海津 裕, 岡本嗣男, 木谷 收, 鳥居 徹. 1996. ラン幼苗のマシンビジョンによる等級選別 について. 농업기 계학회지. 58(2):49~55.