

# 접목묘 통도조직의 3차원 가시화<sup>1</sup>

## Three Dimensional Visualization for vessel structure of grafted seedlings

김용현\*      김철수  
정회원      정회원  
Y.H. Kim    C.S. Kim

### 1. 서론

접목묘를 생산하는 농가 또는 육묘공장에서는 과채류의 종류 또는 재배농가의 접목 기술 수준에 따라 호접, 삼접, 활접, 편접 등의 다양한 접목 방법을 사용하고 있다(渡部와 板木, 1990). 그런데 접목 방법에 따라 접목 또는 활착 관리에 소요되는 노력과 자동화 가능성, 활착 단계에서의 물리적 환경, 활착 성공률, 활착에 소요되는 일수 등이 다르게 된다.

접목묘의 생산은 육묘, 접목 조작 및 활착 순화의 3단계를 거치게 된다. 육묘 단계에서는 접목에 최적인 묘를 준비하고, 접목조작 단계에서는 효율적인 결합과 묘에 스트레스가 주어 지지 않도록 단시간 내에 처리하여야 한다. 또한 성묘로의 마무리를 위한 활착 순화 단계에서는 접목묘의 접수와 대목이 접합부를 형성하고, 통도조직이 결합되려면 상호의 캘루스(callus) 증식 및 분화되기 위한 생리 반응이 필요하다(Oda, 1995). 그러므로 접목묘의 생 효율을 향상시키거나 식물의 생리 활성을 유지하려면 활착 과정에서 최적환경을 탐색한 후 조성하는 것이 바람직하다. 접목묘의 활착을 촉진시키기 위한 최적환경 조건을 확립하려면 접목 후 묘의 상태에 대한 생체정보를 수집하고, 생체정보에 기초하여 환경제어를 실시하는 것이 유효할 것으로 판단된다.

3차원 가시화는 2차원 영상을 입체적으로 표현할 수 있는 기술로서, 컴퓨터 그래픽스 분야를 중심으로 가시화를 위한 다양한 기법(Senger, 1999)들이 개발되고 있다. 최근에는 자공명영상(Magnetic resonance image) 또는 컴퓨터 단층촬영(Computer tomography)에 의해서 득된 인체 특정 부위의 2차원 영상 자료를 이용하여 3차원 가시화를 이를 뿐만 아니라 종합적인 생체정보를 추출하기 위한 시도가 의학 분야에 적용되고 있다(Traina 등, 1997).

한편 원예분야에서 3차원 가시화를 시도한 사례는 보고되지 않는 가운데 현미경 또는 CCD camera를 이용하여 2차원 영상 정보를 획득하거나 영상 정보를 해석하는 수준에 머물러 있다. 그런데 2차원 영상 정보만으로서 원예 작물의 생육 반응을 가시적으로 이해하는 데는 한계가 있다. 본 연구에서 관심을 갖는 접목묘 통도조직의 결합 과정에 대한 가시적

---

<sup>1</sup> 본 연구는 1997년도 농림부 농림기술관리센터의 첨단기술개발과제로 수행되었음.

\* 전북대학교 생물자원시스템공학부(농업과학기술연구소)

이해 또는 생리적 해석을 시도하려면, 접수와 대목의 결합 부위에 대한 3차원 가시화가 요구된다. 이 경우 통도조직 단면에 대한 2차원 영상이 획득되어야 한다. 통도조직에 대한 2차원 영상 정보는 접목묘의 생체정보를 추출할 때 유용한 자료로서 활용되며, 3차원 가시화를 위한 기본적인 자료가 될 것이다.

접목 방법 또는 접목묘의 활착 환경에 따른 접수와 대목의 결합 과정을 해석하고자 시도된 본 연구의 구체적인 목적은 결합 단면의 2차원 영상정보를 이용하여 접목묘 통도조직의 3차원 가시화를 이루는 데 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 접목묘 통도조직의 2차원 화상 계측 시스템의 구성과 측정

접목묘의 접합부에 대한 영상을 획득할 때 조명에 의한 색상의 왜곡을 최소화하고자 CCD camera 좌우에 3파장 형광등을 1개씩 설치하였다. 시료대는 조명램프로부터 수직방향으로 60cm 아래에 위치시켰으며, 주변으로부터의 빛을 차단한 상태에서 입력 영상을 얻었다. 영상의 입력을 위한 센서로서 해상도가 768(수평)x493(수직) 화소인 RGB CCD camera(XC-711, Sony)와 Zoom lens를 사용하였다.

그림 1과 같이 CCD camera의 RGB 칼라영상 출력은 주 컴퓨터 내에 장착된 영상처리장치로 입력되어 영상처리를 위하여 프레임버퍼(frame buffer)에 저장된다. 주컴퓨터로서 IBM AT486 DX2를 이용하였으며, 영상처리장치로는 RGB 값으로부터 HSI 값으로의 실시간 변환이 가능한 칼라 영상처리장치(DT2781)를 이용하였다. 프레임버퍼에 저장된 영상은 모니터에

실시간으로 재현되는 데, 이를 위하여 칼리모니터(KX-14CP1 Trinitron, Sony)를 사용하였다. 영상입력 및 영상처리를 위한 프로그램은 C 언어를 사용하여 개발하였다. Zoom lens가 부착된 CCD camera와 영상처리 시스템을 사용하여 제작된 시편으로부터 접합부 단면의 2차원 화상을 입력하였다.

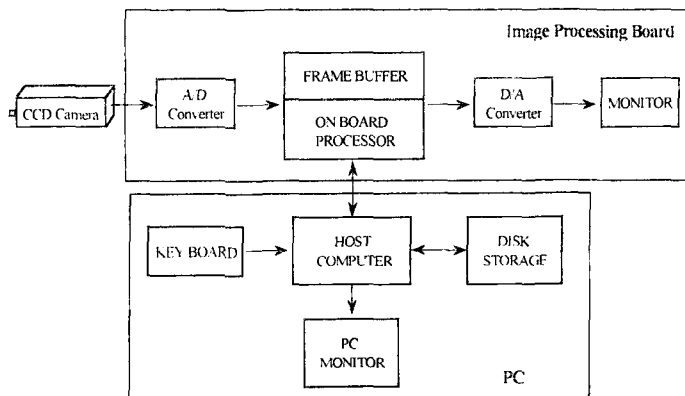


Fig. 1. Schematic diagram of image processing system for grafted seedlings.

### 나. 접목묘 통도조직의 3차원 시각화 작업

접목묘의 3차원 시각화 작업은 크게 영상입력, 영상처리, 시각화 등 크게 3단계로 구분된다. 영상입력 단계는 접목묘를 slicing하여 각 단면의 영상을 얻는 과정이다.

영상 처리과정은 배경으로부터 대상 물체를 분할하고, 대상물체 내부에서 도관부분의

contrast를 enhancing하는 과정으로서 영상을 3번째 단계의 시각화 과정에 제공하게 된다. 본 연구를 위해서 영상처리과정은 Matlab 5.0을 이용하여 구현하였는데, 이 과정을 설명하면 다음과 같다. 첫째, 배경으로부터 대상물체를 분할하기 위하여 입력영상을 RGB(Red, Green, Blue) format 에서 HSV(Hue, Saturation, Value) format으로 변환하여 saturation 값에 따라 문턱값을 처리하였다. 이 때 사용된 문턱값은  $38 < S$  이다. 둘째, 도관부분의 contrast를 강조하기 위해서 Hue 영상 또는 Green영상을 근거로 하여 문턱값 처리를 하였으며, 문턱값은 각각의 영상에 따라 다르게 설정하였다. 여기에서 문턱값이 각각 다를 수 밖에 없는 것은 입력영상의 색상정보가 균일하게 나타나 있지 않았기에, 하나의 값으로 설정할 경우 좋은 결과를 얻을 수가 없었기 때문이다. 따라서 각각의 영상을 별도로 처리한 후 결과를 비교하면서, Trial-Error Base로 문턱값을 결정하였다. 셋째, 최종의 시각화 과정은 각 slice별로 gray level 영상만을 받아들이므로 둘째 단계의 contrast가 강조된 영상 중에서 적색 성분을 추출하여 3차원 시각화에 활용하게 된다. 세 번째의 시각화 과정에서 vtk2.0(Visualization toolkit 2.0, Kitware, Inc.)을 활용하였다.

Visualization toolkit 2.0을 사용하여 접목부위의 2차원 입력 영상에 대한 3차원 시각화 과정의 작업 내용을 개략적으로 설명하면 다음과 같다.

#### 1) Read the Segmented Volume Data

대목과 접수 결합 부위에 대한 25 slices 개의 2차원 영상, 즉 256X256 pgm 파일을 읽어든 후 segmented volume의 중심 좌표를 (0, 0)으로 설정한다. 다음으로 2차원 영상 입력에 사용된 횡단면의 직경과 길이의 실제 크기를 고려하되, 3차원 시각화 단계에서 결합부위에 대한 실물 느낌을 갖도록 voxel 즉 volume element의 크기를 0.2x0.2x5.0로서 가정하였다.

#### 2) Remove Islands

서로 떨어져 있는 작은 voxel 그룹들을 제거하기 위한 과정으로서, 4개 미만의 voxel 그룹을 제거하였다.

#### 3) Select a Tissue

줄기 부분과 도관 부분을 나누어 처리하고자 gray level 값의 범위에 따라 분리하여 선택하였다. 줄기 부분의 gray level은 1에서 254까지 설정하였다. 한편, 2단계 영상처리 과정의 contrast를 강조하고자 도관 부분의 gray level을 255로 설정하였다.

#### 4) Resampe and smooth the Volume Data

추후에 생성될 triangles의 수를 줄이고자 volume data를 resampling하여 분해능을 낮추었다. 다음으로 계단 형상으로 되어 있는 거친 volume data의 형상을 Gaussian kernel을 이용하여 smoothing한다. 이 때 Gaussian kernel의 표준편차는 X, Y, Z 방향 모두 (1.5, 1.5, 1.5)로 설정하였다.

#### 5) Generate Triangles

Marching cubes algorithm을 이용하여 Volume의 surface를 형성하는 작은 삼각형들을 생성하였다. Marching cubes algorithm은 아래와 같이 특허권이 있는 algorithm이다. THIS CLASS

IS PATENTED UNDER UNITED STATES PATENT NUMBER 4,710,876. "System and Method for the Display of Surface Structures Contained Within The Interior Region of a Solid body".

6) Reduce the Number of Triangles

윗 단계에서 생성된 삼각형 중에서 rendering에 불필요한 것들을 찾아서 제거하는 과정이다.

7) Smooth the Triangle Vertices

서로 이웃하고 있는 삼각형들의 꼭지점들의 위치를 약간씩 이동시킴으로써 꼭지점 부근이 부드럽게 형성되도록 Laplacian mesh smoothing을 수행하는 과정이다.

8) Generate Normals

Rendering과정에서 smooth shading을 얻을 수 있도록 각 꼭지점에 속해 있는 삼각형의 normal을 계산한다.

9) Generate Triangle Strips

많은 수의 삼각형을 각각 취급하는 것보다 strip형태로 표현하는 것이 메모리와 계산 과정의 절감 측면에서 훨씬 경제적이다. 그러므로 이 과정에서 삼각형을 strip 형태로 변환하였다.

10) Volume Data Mapping

Volume data의 3차원 좌표를 카메라의 위치 등을 고려하여 view plane의 2차원 좌표계로 변환하는 과정이다.

11) Volume Rendering

조직의 색상, 조명의 특성, 조직의 투명도 등을 고려하여 시각화하는 과정이다. 도관의 색상은 pink로서 opacity는 1로 설정하였으며, 줄기부분의 색상은 lime green이며 opacity는 0.2로 설정하였다. 이 과정에서 opacity 1은 불투명, 0는 완전한 투명 상태를 의미한다.

다. 공시묘와 시편의 준비

1) 접목묘

본 실험에 사용된 접목묘는 수박(감로, 홍농종묘)과 박(FR King, 홍농종묘)을 편엽삽접한 것으로서, 접목 후 김(1999)이 개발한 접목묘의 활착실 내에서 기온, 상대습도, 광합성유효광량자속 및 기류속도가 각각 27℃, 95%, 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 0.1 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 제어되는 가운데 활착되었다. 접목 후 초기 24시간은 암조건을 유지하였으며, 24시간이 경과한 이후부터 명기와 암기를 각각 12시간씩으로 조절하였다. 통도조직의 3차원 가시화를 위해서 접목 후 15일이 경과한 접목묘를 공시묘로서 사용하였다.

2) 시편 제작

접목묘 통도조직의 결합 상태를 구명하고자 적용된 방법은 다음과 같다. 우선 접합부의 내부구조, 즉 도관의 형성상태를 명확하게 관찰하기 위해서 접목묘의 근부를 깨끗하게 세척한 후 농도 1%의 Eosin 용액에 5분간 담가두어 접목묘의 도관을 염색하였다. 다음으로 파라핀을 사용하여 접합부의 일정 범위를 고정된 후 microtome 을 이용하되 배측의 횡단면에서

0.5~1.0mm 간격으로 slicing하여 시편을 제작하였다.

### 3. 결과 및 고찰

가. 접목묘 통도조직의 2차원 영상 특성

염색이 이루어진 대목과 접수의 결합 부위를 파라핀으로 고정한 후 microtome을 이용하여 1mm 간격으로 slicing한 25개의 file들을 대상으로 위치를 바로잡고 첫째 단계의 처리를 거친 영상이 그림 2에 실려 있다. 다음으로 영상처리의 2단계, 즉 그림 3과 같이 contrast를 강조한 파일을 다시 Channel별로 분할하면, R, G, B 영상이 나오는데, 그중 R 영상을 3단계 시각화 과정의 입력영상으로 사용하였다.

그림 3(a)는 대목의 2차원 영상으로서 중앙부에 동공(洞孔)이 있으며 동공 주위로 8개의 도관이 형성되어 있음을 나타내준다. 본 연구에서 접목방법으로 대목에 구멍을 내고 나서 접수의 배축을 비스듬하게 절단한 후 접수를 대목에 삽입한 편엽삽접을 시도한 바 대목과 접수의 통도조직이 배축 둘레의 한 부분에서부터 결합됨을 그림 3(b)에서 확인할 수 있다. 그림 3(c)는 배축 둘레의 한 부분에서부터 결합되기 시작한 통도조직의 결합 범위가 점차 주변으로 이동함을 나타낸 것이며, 그림 3(d)는 접수의 도관을 나타낸 것으로서 통도조직이 완전하게 결합되어 접수가 갖는 6개의 도관을 통하여 염색이 접수에 도달하였음을 나타내고 있다.

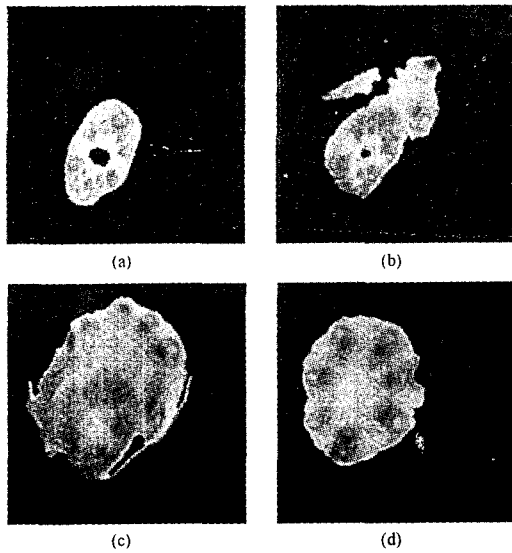


Fig. 2. Two dimensional images for vessel structure of grafted seedlings.

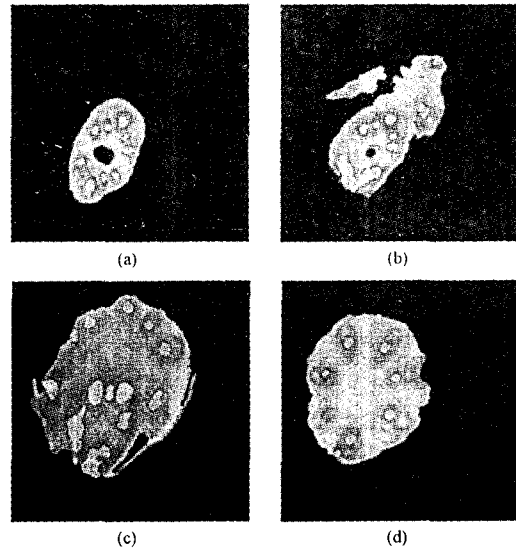


Fig. 3. Contrast images for vessel structure of grafted seedlings.

#### 나. 통도조직의 3차원 시각화 특성

3단계 시각화과정에는 1번 부터 25번 까지의 영상이 stack처럼 쌓여서 3차원 volume data를 구성하게 된다. 3차원 데이터는 매우 많은 메모리를 차지하게 때문에 각각의 영상을 256x256 평면해상도로 줄여서 입력하였다. Visualization toolkit 2.0을 활용하여 접목료 통도조직의 3차원 가시화를 시도한 바, 가시화 결과를 나타내는 window 화면에서 마우스를 이용하면 Zooming과 Rotation을 손쉽게 제어할 수 있다. 즉 window 화면의 하반부를 마우스의 오른쪽 버튼으로 click하면 Zoom out이 되며, 반대로 Zoom in을 하려면 화면의 상반부를 click하면 된다. 한편, 가시화 결과를 회전을 시키고자 할 때 마우스의 왼쪽 버튼을 이용하여 window내부의 어느 곳이든 클릭하고 있으면 그 방향으로 회전이 이루어진다. 이렇게 하면 360° 어느 방향이든지 자유롭게 회전시켜가면서 통도조직의 결합 상태를 확인할 수 있으며, 적당한 화면이 나타났을 때 화면 capture 프로그램을 이용하여 Image를 생성할 수 있다. 256x256x25 size의 3차원 데이터를 이용한 시각화 결과가 그림 4에 실려 있다.

그림 4(a)는 통도조직 결합상태의 가시화 화면을 오른쪽을 회전시켜가면서 획득한 하나의 화면이다. 화면에서 녹색으로 표시된 부분이 대목과 접수가 결합된 배측이고, 수직으로 배열된 굵기나 가는 관들이 도관에 해당된다. 화면에서 좌측에 놓인 대목과 접수의 도관 2~3개가 서로 결합되어 있으나, 중앙부에 위치한 대목과 접수의 도관들은 서로 1개씩 거의 직선을 이루며 결합되어 있는 것으로 나타났다. 우측에 위치한 대목의 도관들은 접수의 도관들

과 연결되지 않았는 데, 이것은 대목에 남아 있던 하나의 자엽을 도관의 염색 단계에서 제거하였기 때문이다. 이로 말미암아 편엽삽접의 경우 접목 초기에 대목의 자엽이 위치한 반대쪽의 도관으로부터 결합이 이루어지며, 시간이 경과할수록 나머지 도관들이 결합하는 것으로 확인되었다. 그림 4(b)는 가시화 화면을 왼쪽으로 회전시켜가면서 획득한 것으로서, 그림 4(a)를 반대쪽에서 바라본 결과에 해당한다. 그림 4(c)는 그림 4(a)를 윗쪽으로 회전시켰을 때 나타난 화면의 일부로서, 대목의 7~8개 도관이 분명히 나타나 있다. 그림 4(d)는 그림 4(a)를 아랫쪽으로 회전시켜가면서 획득한 화면으로서, 접수의 도관이 배측 둘레에 분명히 위치하고 있음을 보여주고 있다.

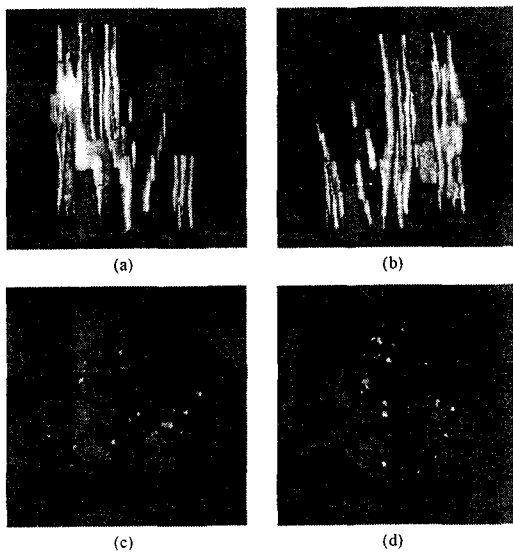


Fig. 4. Three dimensional visualization for vessel structure of grafted seedlings.

#### 4. 요약 및 결론

접목 방법 또는 접목묘의 활착 환경에 따른 접수와 대목의 결합 과정을 해석하고자 결합 부위의 2차원 영상정보를 이용하여 접목묘 통도조직의 3차원 가시화를 시도하였다. 그 결과로서 접수와 대목의 결합 과정에 대한 가시적 해석이 가능해졌다. 본 연구에서는 접목 방법으로 편엽삽접을 시도하였으나, 과채류의 종류에 따라 다양한 접목방법이 사용되고 있다. 본 연구에서 시도된 3차원 가시화 기법을 적용하면 접목 방법에 따른 통도조직 결합 상태의 가시적 이해는 물론 접목 과정에 대한 생체정보 추출이 가능할 것이다. 또한 환경 스트레스에 따른 원예 작물의 생육 반응을 가시적으로 이해하는 데 3차원 가시화 기법이 유용하게 활용될 것으로 전망된다.

#### 5. 참고문헌

1. 김용현. 1999. 인공광을 이용한 접목묘 활착촉진실의 시작품 설계. 한국농업기계학회 1999년 하계 하골대회 논문집 4(2):112-117.
2. M. Oda, 1995. New grafting methods for fruit-bearing vegetables in Japan. JARQ 29:187-194.
3. Senger, S. 1999. Visualizing and segmenting large volumetric data sets. IEEE Computer Graphics and Applications 19:32-37.
4. Traina, A.J., A.H.M. Prado, and J.M. Bueno. 1997. 3D reconstruction of magnetic resonance imaging using largely spaced slices. 10th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems pp.114-119.
5. 渡部一郎, 板木利隆. 1990. 電氣利用による野菜の育苗と栽培. 社團法人 農業電化協會 pp.116-137.