

식물조직배양 자동화를 위한 영상처리장치 개발

정석현¹ · 노대현^{2*} · 송재관³

¹특허청 특허심판원, ²특허청 화학생명공학심사본부, ³구미1대학 원예산업과

Development of an Imaging Processing System for Automation of a Callus Inoculation

Suk-Hyun Chung¹, Daehyun No^{2*}, and Jae-Kwan Song³

¹Intellectual Property Tribunal, KIPO. Gov. Complex-Daejeon Bldg.4, Korea

²Chemistry and Biotechnology Examinations Bureau, KIPO. Gov. Complex-Daejeon Bldg.4, Korea

³Dept. of Horticulture Industry, Kumi College, Korea

Abstract. This study was conducted to develop an imaging processing system of inoculation processing of a lily callus. The image processing system was composed of a camera, a image processing board, and etc. And the illuminance always decided by setting up 55W/3 wavelength lamp respectively on all aspects and the side was maintained by the lighting part. The image characteristic was examined according to each frame of RGB, therefore the culture vessel was able to be separated with B frame. The required time was 2.2 seconds in one cycle from the image acquisition to obtaining the result. The recognition rate of the container was 100%, and the result of image processing showed that the recognition success rate of lily callus was 93%.

Key words : robot, image processing, manipulator, inoculation, callus

서 론

바이오테크놀로지(BT, biotechnology)는 21세기의 첨단과학기술로서 생명공학, 생물공학, 생물이용기술 등으로 불리우고 있으며(日農機學會, 2000), 이 중 실용화되고 있는 기술의 하나가 식물조직 배양기술이다(백, 1993). 우리나라에서도 나리, 호접란 등 화훼류의 우량묘 대량증식에 조직배양기술이 이용되고 있다. 그러나 배양공정의 대부분은 인력에 의존하고 있어 배양묘 생산에 소요되는 비용의 약 60%가 노동비용에서 발생되고 있다(정, 1995).

따라서 배양묘의 생산비 절감을 위해서는 배양공정의 생력화를 위한 자동화 기계기술이 필요하나 국내에서는 아직 관련 기계화기술에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 반면, 국외에서는 배양공정을 로봇화하여

배양묘 생산비용을 절감하려는 연구가 수행되고 있다. Okamoto 등(1989, 1990)은 산업용 매니플레이터를 이용하여 담배 캘러스를 대상으로 조직의 분할·이식을 행하는 접종로봇 시스템을 개발하였으며, 輪竹(1991)는 카네이션 유식물체의 경절을 레이저빔으로 검출하여 그 절간을 가위로 절단하여 핀셋 모양의 그리퍼로 집어 새로운 배지에 삽아하는 유식물 번식용 로봇을 개발한 바 있다. 이와 같은 연구는 배양기내에서 증식된 소식물체를 인식·절단·치상하는 등 다단계로 이루어지는 접종공정을 로봇화한 것으로 수작업의 조작미숙에 따른 절단의 불균일성, 품질저하, 잡균오염의 위험성 등 문제점을 해결할 수 있을 것이다. 따라서 식물조직배양 접종공정의 자동화기술은 배양공정의 생력화를 위한 주요 기술분야라고 생각한다.

본 연구는 이러한 관점에서 나리 캘러스를 대상으로 접종공정의 자동화를 위한 시스템을 개발하고자 수행되었다. 캘러스의 형상과 크기를 인식할 수 있는 영상

*Corresponding author: bestndh@kipo.go.kr
Received March 18, 2009; Revised April 22, 2009;
Accepted June 9, 2009

처리장치, 접종용 엔드이펙터 및 매니플레이터, 이들 장치로 구성된 시스템의 자동화 제어장치 등을 개발하고 시스템의 성능시험을 실시하였으며, 이에 본 연구의 결과를 ① 영상처리장치와 ② 접종용 엔드이펙터 및 시스템의 성능시험으로 나누어 게재하되, 본 보에서는 영상처리장치에 대해서 게재한다.

재료 및 방법

1. 시스템의 구성

캘러스의 주요접종공정을 대략적으로 구분하면 캘러스의 형상과 위치인식, 절단 및 분리, 분리된 캘러스를 새로운 배지로 운반하여 치상하는 과정이다. 이러한 작업은 무균 작업대 외부에 위치한 사람에 의해 이루어지므로, 각 작업 공정 사이에는 오염 방지를 위해 버너로 각종 기구를 소독하게 된다. 그러나 본 연구에서 로봇은 무균 작업대내에서 무균상태로 존재하고 있는 것을 전제로 하며 또한 로봇 작업공정의 단순화를 위하여 버너 점화장치 등은 생략하였다. 자동화시스템은 Fig. 1과 같이 영상처리장치, 엔드이펙터 및 매니플레이터, 시스템의 자동제어장치 등으로 구성하는 식물조직배양 접종공정 자동화 시스템을 구상하였다. 무균조작이 가능한 무균 작업대내의 배양용기에 있는 캘러스를 영상처리장치로 인식하면 엔드이펙터와 매니플레이터에 의하여 절단 및 분리한 다음 절단된 캘러스를 새로운 배지로 운반하여 치상하며, 이들 작업은 자동제어장치에 의하여 제어된다. 이 중 엔드이펙터 및 시스템의 제어장치에 대해서는 별도의 논문에서 논하기로 한다.

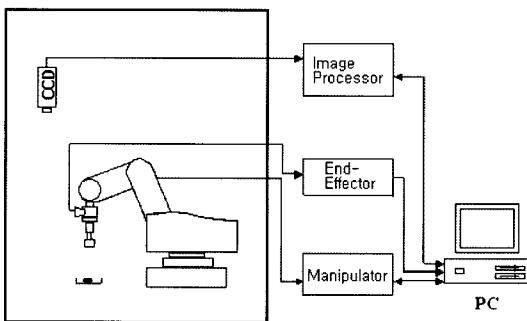


Fig. 1. Automation System of an inoculation processing of a lily callus.

2. 영상처리장치

(1) 장치의 구성

자동화시스템에서 영상처리장치는 엔드이펙터와 매니플레이터가 캘러스를 절단 및 분리, 분리된 캘러스를 운반하여 치상하는데 요구되는 눈의 역할을 가지며, 이를 위하여 영상처리부와 조명부로 구성하였다. 영상처리부는 디지털 컬러 CCD카메라(Basler Co. A113CC), 프레임 그래버(Matrox Graphics Inc. Meteor-II/Digital), PC(PentiumIII)로 구성하였으며 이는 약 12frame/s의 속도로 1300pixel×1030pixel(가로×세로) 크기의 영상을 획득할 수 있다.

조명부는 무균 작업대에서 이루어지는 캘러스의 영상획득시 균일한 조도를 맞추기 위한 것으로 무균 작업대내에 램프를 전면과 양측면에 각각 설치하고 흰색 아크릴판을 설치하여 산란된 빛이 무균 작업대 내부 조도가 균일하도록 하였다. 그리고 무균 작업대 내의 작업대는 흑색 무광택 도장하여 램프에서 나온 빛이 난반사 되지 않도록 하였다.

(2) 영상처리 알고리즘

영상처리 알고리즘은 획득된 영상을 2치화(Binarization)한 다음 노이즈를 제거하고 RGB의 각 프레임에서 영역별 화소분석 및 히스토그램 분석을 통하여 캘러스의 위치 및 형상 정보를 얻도록 개발하였다. 그리고 인식한 캘러스의 형상이 일정 이상의 원형도를 갖을 경우에는 도심을 기준으로 수직 및 수평선 방향으로 분할하고 캘러스의 형상이 장변형이면 위치하고 있는 방향을 인식하여 단변 방향으로 분할하도록 하였다.

결과 및 고찰

1. 영상처리장치

(1) 장치의 구조

영상처리부와 조명부로 구성된 영상처리장치는 Fig. 2와 같다. 영상처리부는 무균 작업대내에서 설치한 CCD 카메라에서 획득한 영상을 PC를 통하여 인식하며, 조명부는 무균 작업대 내에 55W/3파장 램프를 전면과 양측면에 각각 설치하고 흰색 아크릴 판으로 막아 산란된 빛이 무균 작업대내의 흑색 무광택 도장한 작업대를 균일한 조도로 비추도록 하였다.

(2) 영상처리 알고리즘

캘러스 인식을 위해 배양용기 영상을 획득하여 각

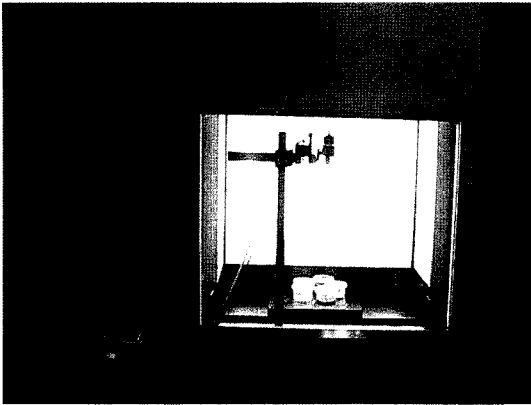


Fig. 2. Image processing system.

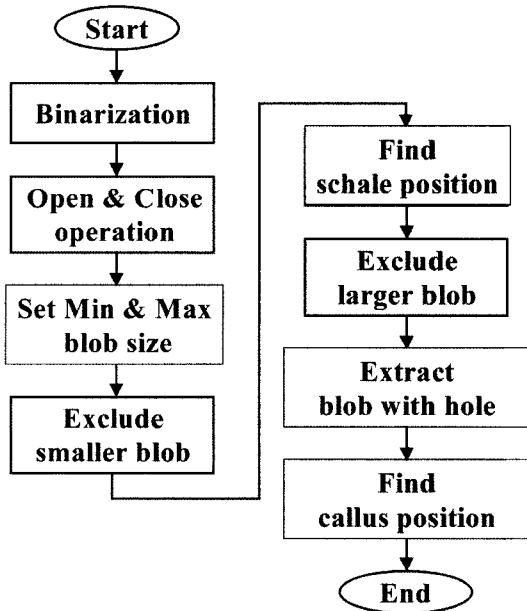
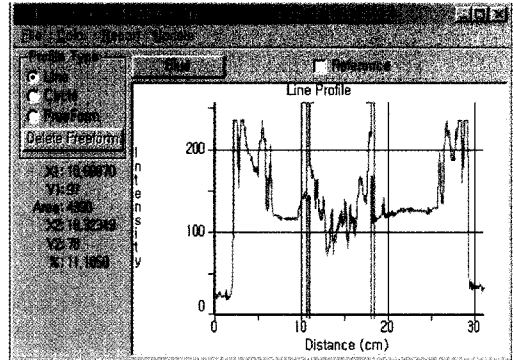


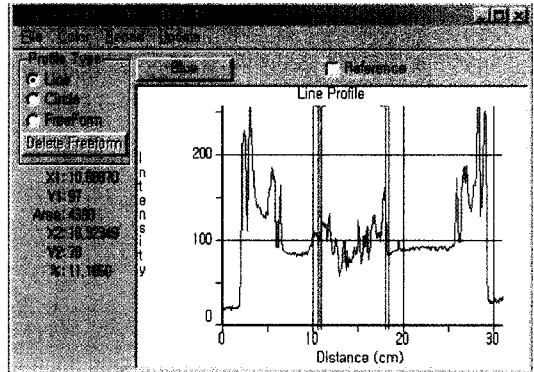
Fig. 3. Flowchart of the image processing.

프레임에서의 RGB 영역별 화소분석 및 히스토그램 분석을 통하여 배지와 용기로부터 나리 캘러스를 추출할 수 있도록 하였다. Fig. 3은 캘러스 추출을 위한 알고리즘을 나타내고 있는데, 먼저 입력된 영상을 2차 화하고 노이즈 제거와 작은 홀들을 메우기 위해 제거(Opening)연산과 채움(Closing)연산을 수행한다. 그 다음으로 캘러스 크기보다 작은 값을 기준으로 최소크기를 설정하고 용기크기에서 최소크기를 뺀 값을 기준으로 최대크기를 설정한다. 그리고 최소크기보다 작은 덩

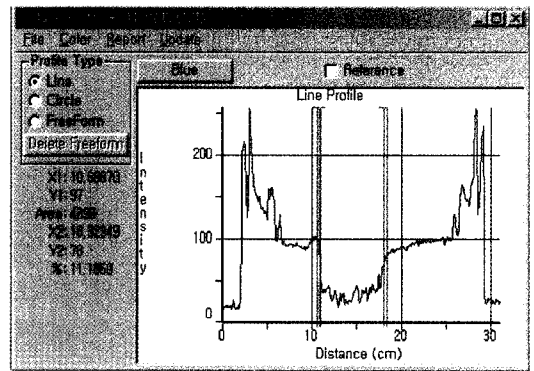
어리(blob)는 제거하고 배양용기를 찾아내고, 설정된 최대크기보다 큰 덩어리를 제거하면 캘러스가 있는 용기만 남게되며, 홀(hole)을 가진 덩어리를 추출하여 반전하면 캘러스를 찾아낼 수 있다. 이렇게 하여 인식된 캘러스 형상으로부터 일정크기 이상의 캘러스가 일정 이상의 원형도를 갖고 있을 때 도심을 기준으로 수직



<G Frame>



<R Frame>



<B Frame>

Fig. 4. Image characteristic according to each frame of R, G, and B.

및 수평선 방향으로 4분할하고, 장변형의 경우는 위치하고 있는 방향을 인식하여 단변 방향으로 분할하도록 알고리즘을 구성하였다.

(3) 영상처리성능

PE용기에서 배양된 나리 캘러스의 추출을 위해서는 용기와 캘러스의 영상을 각각 구분해야 한다. 이를 위하여 프레임별 화소 특성을 조사한 결과, Fig. 4에 나타난 바와 같이 G 및 R 프레임에서는 용기와 캘러스 부분을 명확히 분리할 수 있는 문턱 값이 존재하지 않았다. 반면, B 프레임에서는 용기와 캘러스 부분을 명확히 분리할 수 있는 문턱 값이 존재하였다. 즉, 캘러스가 위치한 부위가 배양용기보다 화소 값이 낮아 문턱 값보다 낮으면 용기와 캘러스의 분리가 가능함을 알 수 있다. 따라서 원영상에서 B 프레임을 추출하여 문턱 값을 70으로 2치화한 결과 Fig. 5와 같이 캘러스가 용기와 명확히 분리됨을 알 수 있다.

한편, 추출한 캘러스를 절단하기 위한 분할위치는 캘러스의 형상이 원형인 경우 도심을 기준으로 분할하고 장변형이면 길이방향의 수직으로 분할되도록 위치를 결정하는 알고리즘을 개발하였다. 그리고 장변형 캘러스의 경우 위치하고 있는 방향을 인식하여 0~180° 범위내의 결과 값으로 엔드이펙터의 방향을 결정하도록 구성하였다. Fig. 6은 개발된 알고리즘에 의하여 원형 및 장변형 캘러스의 분할위치를 결정한 결과이다.

Fig. 7은 개발한 영상처리 프로그램의 화면구성으로 영상처리 알고리즘에 의하여 용기와 캘러스를 구분하여 캘러스만의 추출 및 형상 별 분할위치를 찾은 결과이다. 캘러스의 추출 및 분할 알고리즘의 인식 정확도는 용기 인식의 경우 30개를 시험한 결과 모두 정확히 인식되어 인식율이 100%였으며, 캘러스 인식 및 분할성능은 30개의 배양용기를 대상으로 실험하였으며, 이 중 28개의 배양용기에 담겨진 캘러스를 인식하여

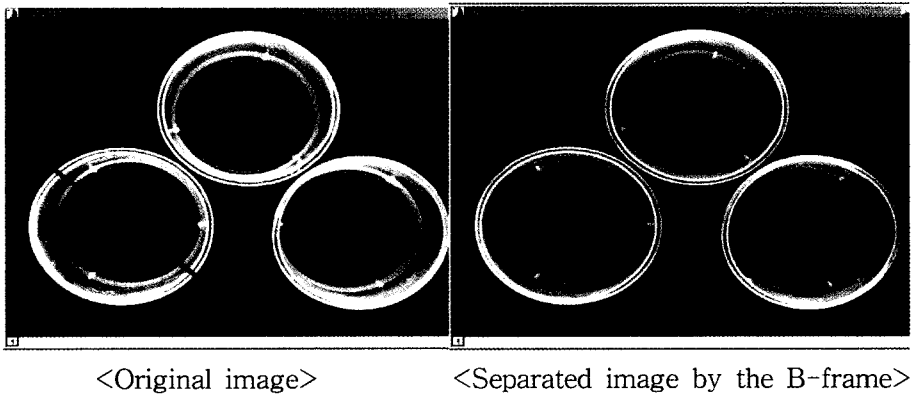


Fig. 5. Original image and separated image by the B-frame.

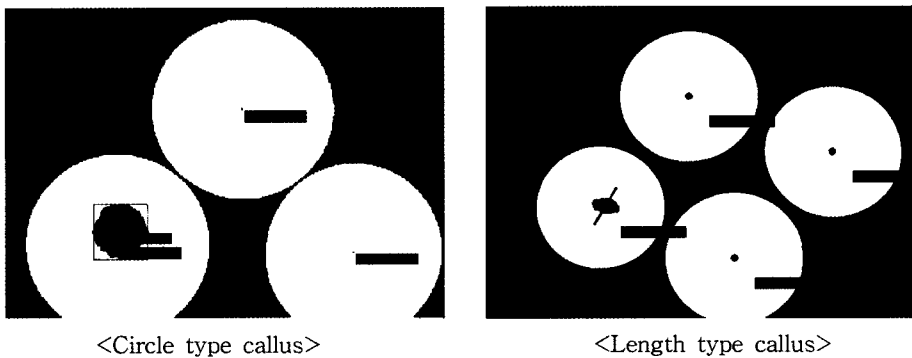


Fig. 6. Separation position of callus.

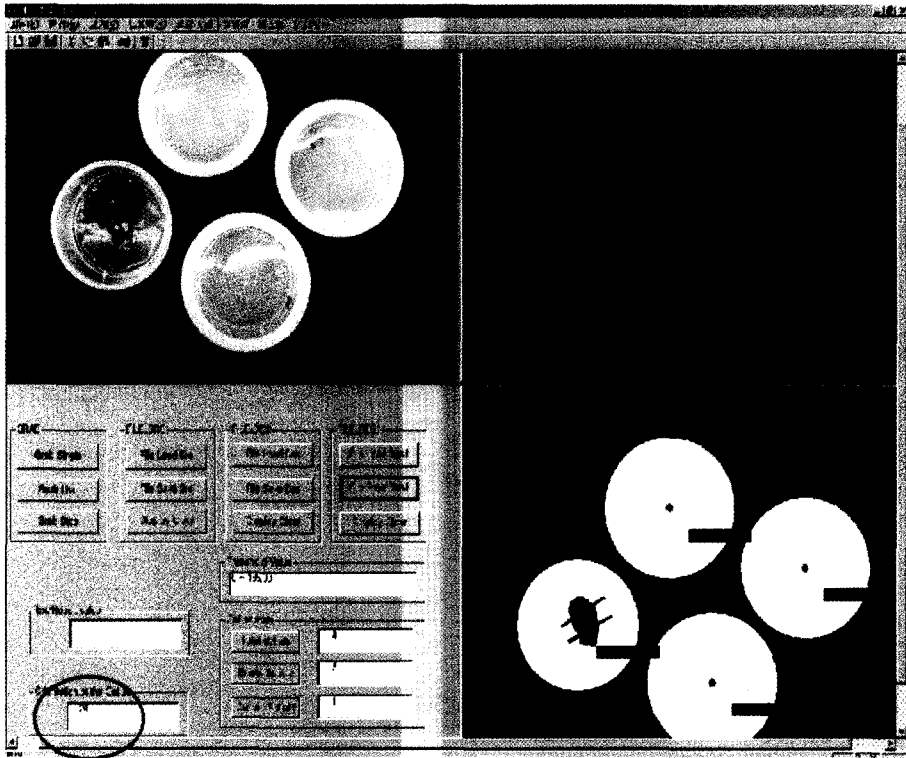


Fig. 7. Program of an image processing.

분할에 성공하여 93%의 작업성공률을 나타내었다. 여기서 30개 중 2개의 캘러스를 인식하고 분할위치를 찾는데 실패한 이유는 캘러스 중심에 배지의 유리화 등으로 인하여 배지의 일부가 하얀색으로 변한 것이 포함되어 있어 이미 분리된 캘러스로 인식하였기 때문으로 판단되었다. 이는 팽창연산을 통하여 보완이 가능할 것으로 사료된다.

그리고 카메라로 영상을 취득하여 2치화 및 캘러스의 분할위치를 결정하는 과정의 1 cycle에 소요되는 시간은 모니터에 디스플레이를 위한 시간이 1.50초, 영상처리에 소요되는 시간이 0.70초 등으로 총 2.20초였다. 여기서 영상처리과정의 소요시간은 영상취득에 0.10초, 2치화에 0.15초, 용기 인식 및 도심 찾기 0.30초, 캘러스 추출 및 분할위치 결정 0.15초 등이었다.

적 요

본 연구는 식물체 캘러스의 접종공정의 자동화기술 개발하기 위하여 캘러스를 인식하는 영상처리 시스템

과 캘러스를 새로운 배지로 접종하는 접종용 엔드이펙터, 매니플레이터 및 자동화 제어장치를 개발하고 그 성능을 평가하기 위하여 수행되었으며, 본 보에서는 영상처리 시스템 및 매니플레이터에 대한 연구결과를 소개한다. 캘러스의 인식을 위하여 영상처리부와 조명부로 구성된 영상처리 장치를 개발하였다. 영상처리부는 CCD 카메라와 PC로 구성하였으며, 조명부는 55W/3 파장 램프를 전면과 측면에 각각 설치하여 항상 일정한 조도가 유지되도록 하였으며, R, G, B 각 프레임별 화소특성을 검토한 결과, 캘러스와 배양용기는 B 프레임에서 분리가 가능하였다. 또한 캘러스 분할을 위한 알고리즘의 개발결과 캘러스가 원형인 경우는 도심을 기준으로 절단하고 장변형인 경우는 길이방향의 수직으로 절단하도록 하였으며, 장변형의 경우 위치하고 있는 방향을 인식하여 0~180° 범위내의 결과 값을 로봇측에 전송하여 엔드이펙터의 방향을 결정하도록 하였다.

영상취득부터 캘러스의 분할위치 결정까지 1사이클에 소요되는 시간은 디스플레이 1.5초, 영상처리 0.7초

등으로 총 2.2초였으며, 개발된 인식 알고리즘의 정확도는 용기인식의 경우 전체 30개중에서 30개가 정확히 인식되어 성공률이 100%였으며, 캘러스 인식 및 분할의 경우 30개중에서 28개가 정확히 인식되어 성공률은 93%가 되었다.

주제어 : 로봇, 매니플레이터, 영상처리, 치상, 캘러스

한 실태분석. 한국농업기계학회 동계학술대회 7(1): 401-406.

2. 高橋滋. 1993. 바이오리악타利用における環境調節とその果. 植物組織培養における環境調節とその果シンポジウム 8-13.
3. 長岡正昭. 1991. 바이오나サリシステムと聯技術開の現況と展望. SHITA REPORT No.1:50-55.
4. Toyoki Kozai. 1995. Automation and Environmental Control in Plant Tissue Culture 87-123.

인 용 문 헌

1. 강창호 외. 2002. 식물조직 배양공정의 기계화를 위