

식물조직배양 접종공정 자동화 시스템 개발(I)

- 켈러스 인식을 위한 영상처리 시스템 -

Development of a Robot System for Plant Tissue Handling(I)

- Image Processing System for Recognizing a Callus -

권기영* 손재룡* 강창호* 정석현*

정희원 정희원 정희원 정희원

G. Y. Kwon J. R. Son C. H. Kang S. H. Chung

1. 서론

바이오테크놀로지(BT, biotechnology)는 21세기의 첨단과학기술로서 생명공학, 생물공학, 생물이용기술 등으로 불리우고 있으며(日農機學會, 2000), 이 중 실용화되고 있는 기술중의 하나가 식물조직의 배양기술이다(백, 1993). 현재 우리나라에서는 나리, 호접란 등의 우량묘 대량증식을 위하여 조직배양기술을 이용하고 있으나 배양공정의 대부분이 인력에 의존하고 있고 배양묘 생산에 소요되는 비용의 약 60% 정도가 노동비용에서 발생되고 있다(정, 1995). 따라서 배양묘 생산의 여러과정 중에서 수작업에 의한 작업부분을 로봇화하여 배양묘 생산비용을 절감하려는 연구개발이 활발히 수행되고 있으며, 이중 주목을 받고 있는 것은 배양기에서 증식된 소식물체의 적출, 절단, 이식과 같은 추후의 증식과정이다. 이 공정은 노동집약적일 뿐만 아니라 공정의 수작업에 따른 절단의 불균일성, 품질저하, 조작의 미숙련성, 잡균오염의 위험성 등의 문제점이 로봇화로 해결 가능하기 때문이다.

Okamoto등(1989, 1990)은 산업용 머니플레이터를 이용하여 담배 켈러스를 접종대상으로 조직의 분할·이식을 행하는 접종로봇 시스템을 개발하였으며, 輪竹宏昭(1991)는 카네이션 유식물체의 경질을 레이저빔으로 검출하여 그 절간을 가위로 절단하여 핀셋 모양의 그리퍼로 집어 새로운 배지에 삽아하는 유식물 번식용 로봇을 개발한 바 있다.

식물조직 배양공정의 기계화를 위한 작업실태분석에서 배양체의 접종작업은 모든 배양실이 인력에 의존하였으며 작업능률은 호접란의 경우 배양병에 25분을 접종하는데 시간당 6병 정도로 배양상태, 배양용기의 종류, 작업자의 숙련도 등에 따라 차이가 있으며 배양체의 접종작업은 생력화가 필요한 공정이라고 보고한 바 있다(강, 2002).

식물조직체 접종공정의 자동화기술 개발을 위해서는 접종할 조직체를 자동으로 검출할 수 있는 인식장치, 조직체를 절단·분리 및 파지할 수 있는 소프트 핸드, 그리고 조직체를 이송할 수 있는 머니플레이터 시스템 등의 개발이 필요하다. 본 연구는 그 중 첫 번째로서 식물 조직체를 인식하는 영상처리 시스템을 개발하고 그 성능을 평가하는데 목적이 있다.

* 농촌진흥청 농업기계화연구소

2. 재료 및 방법

가. 접종공정 자동화 시스템의 구성

식물조직배양 접종공정 자동화 시스템의 구성은 그림 1과 같이 머니플레이터 시스템, 영상처리 시스템, 컴퓨터 제어 시스템으로 되어 있다. 이들은 식물조직의 형상인식 및 위치검출을 위한 영상입력장치, 켈러스 절단과 분리를 위한 핸드, 핸드를 조직의 위치까지 유도하는 머니플레이터, 로봇 드라이브 유닛, 각 장치를 통합제어하며 계산처리하는 컴퓨터 등이다. 이들 중 머니플레이터 및 영상입력용 카메라는 클린벤치 내에 설치하고 외부의 컴퓨터에 의하여 제어된다.

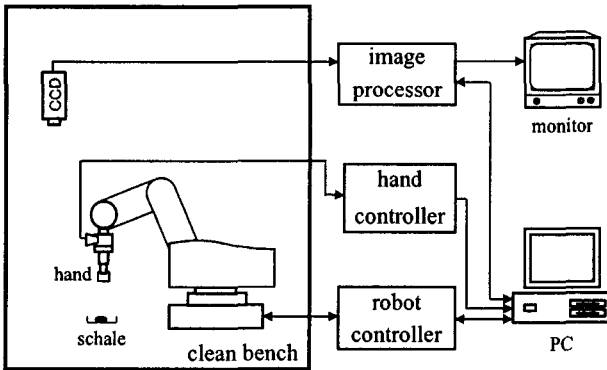


Fig. 1 Schematic diagram of a robot system for plant tissue handling

미분화 세포의 덩어리인 켈러스는 아주 연약하고 사람의 손끝으로 집어 올리는데도 숙련을 요하는 물성으로 로봇에 의한 접종공정의 세부적인 단계는 사례의 위치확인 및 뚜껑열기, 켈러스의 형상 및 위치확인, 메스소독, 켈러스의 절단 및 분리, 분리된 켈러스의 인식, 핀셋소독, 새로운 배지로 운반 및 치상, 그리고 사례의 뚜껑덮기 등의 공정으로 세분되어 순차적으로 이루어진다.

나. 공시재료

식물조직배양 접종공정 자동화 시스템 개발에 사용된 공시 식물조직체는 Oriental hybrid 'Casablanca'로 국내에서 가장 많이 재배되고 있는 나리품종중 하나이다. 본 연구에서는 나리 켈러스를 PE용기 안의 MS 한천배지에 접종시켜 사용하였다.

다. 영상처리장치 구성

식물체의 형상 및 위치 검출을 위해 영상처리장치와 조명장치를 구성하였다. 영상처리장치는 디지털 컬러 CCD카메라(Basler Co. A113CC), 프레임 그래버(Matrox Graphics Inc. Meteor-II/Digital), PC(PentiumIII, 1G)로 구성하여 초당 11.75 프레임 율의 1300pixel×1030pixel(가로×세로) 크기의 고해상도를 가진 영상을 획득할 수 있으며, 소스코드를 작성하기 위해 Visual C++ 6.0과 MIL Library 6.1을 이용하였고, 이미지 분석을 위해서는 Image Pro 4.5 프로그램을 사용하였다.

조명장치는 1320×700×1800(가로×세로×높이) 크기를 가진 클린벤치 내에 55W/3파장 램프를 전면과 양측면에 각각 2개씩의 설치하고 흰색 아크릴 판으로 막아 산란된 빛이 클린

벤치 내부를 균일한 조도로 비추도록 하였으며, 클린벤치 내 작업대는 흑색 무광택 열처리 도장을 하여 램프에서 나온 빛이 난반사 되지 않도록 하였다.

그림2는 클린벤치 내에 설치된 영상처리장치를 나타내고 있다.

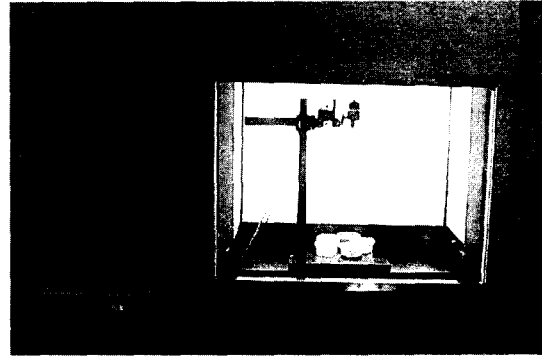


Fig. 2 Image processing system equipped in a clean bench

라. 영상처리 알고리즘

식물조직배양 접종 자동화 공정 중 용기의 뚜껑열기 공정시 용기를 인식하기 위하여 먼저 뚜껑이 닫힌 상태의 배양용기

영상을 카메라로 획득하여 히스토그램 분석을 통하여 이치화 하여 검은색 배경으로부터 반투명 PE용기를 분리하도록 하였다. 그 후 식물조직체 인식을 위해 뚜껑이 제거된 상태의 배양용기 영상을 획득하여 R, G, B 각 프레임에서의 영역별 화소분석 및 히스토그램 분석을 통하여 배지와 용기로부터 나리 켈러스를 추출할 수 있도록 하였다. 그림 3은 켈러스 추출을 위한 알고리즘의 흐름도를 나타내고 있는데 먼저 입력된 영상을 문턱값으로 이치화하고 잡음제거와 작은 홀들을 메우기 위해 제거(Opening)연산과 채움(Closing)연산을 한다. 다음에는 켈러스 크기보다 작은 값을 기준으로 최소크기를 설정하고 용기크기에서 켈러스를 뺀

값을 기준으로 최대크기를 설정한다. 최소크기보다 작은 블롭(blob)은 제거하고 배양용기를 찾아낸다. 그리고 설정된 최대크기보다 큰 블롭을 제거하면 켈러스가 있는 용기만 남게되며 홀(hole)을 가진 블롭을 추출하여 반전하면 켈러스를 찾아낼 수 있다. 켈러스의 접종작업은 관형적으로 직경 5mm 정도의 크기로 잘라내어 새로운 배지로 옮기는데, 자동화 공정에서는 접종용 핸드를 사용하여 켈러스를 절단하기 때문에 일정크기 이상의 켈러스가 일정이상의 원형도를 갖고 있을 때 무게중심을 기준으로 수직 수평선 방향으로 4분할하고, 일정크기 이하의 경우는 무게중심에서 단변방향으로 2분할하도록 하였다.

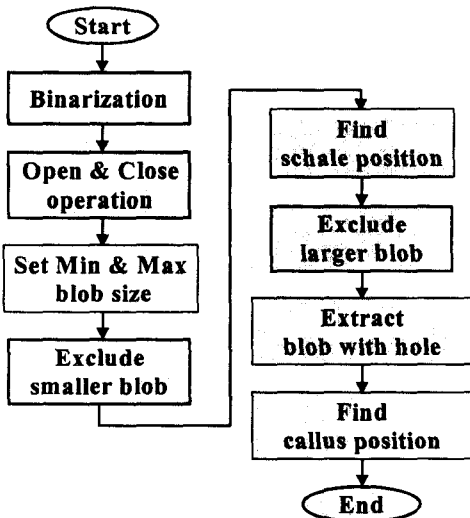


Fig. 3 Flowchart of extracting a lily callus

3. 결과 및 고찰

가. RGB 색좌표계에 의한 히스토그램 분석

(1) 용기인식

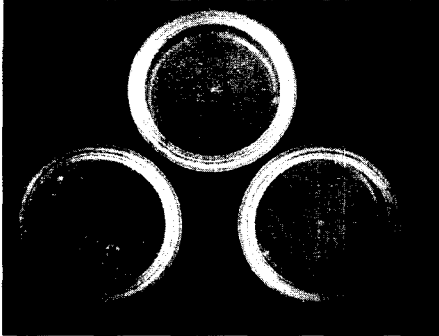


Fig. 4 Picture of lidded petri dishes

집종공정에서 배양용기의 뚜껑을 열기 위해 용기의 형상과 위치를 파악해야 하는데 그림 4와 같이 PE 배양용기를 영상처리장치의 카메라로 획득하고 그 영상을 히스토그램 분석하였다. 그림 5는 R, G, B 각 프레임에 대해서 히스토그램 분포를 나타낸 것이다. 배경색인 검은색과 PE용기는 문턱 값(threshold value) 70~80 범위에서 쉽게 분리가 가능하였으며 문턱값 73으로 이치화한 결과영상을 그림 6에 나타내고 있다.

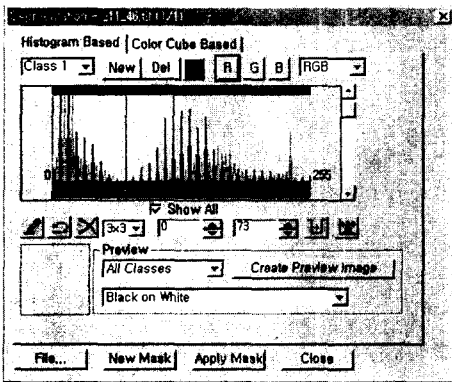


Fig. 5 Histogram of RGB of lidded petri dishes

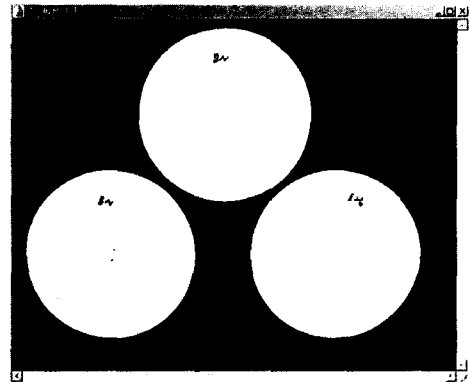


Fig. 6 Result of binarization by threshold value 73

(2) 나리 켈러스 인식

그림 7은 용기의 뚜껑이 제거된 상태를 카메라로 획득한 영상이다. 사진에 나타나 있는 세 개의 용기 중 좌측 아래 용기의 가운데 위치하고 있는 것이 나리 켈러스이다. 주위배경과 용기 및 켈러스의 영역별 화소분석을 위하여 파란 색 선분이 각각의 영역을 가로지르고 있으며 켈러스 부분은 그 선분에 수직이 되게 양쪽에 표시하였다. 그림 8은 그림 7 영상에 놓여있는 선분의 영역별 화소 값을 G 프레임에 대해서 나타내고 있는데 용기와 켈러스 부분을 명확히 분리할 수 있는 문턱 값이 존재하지 않음을 알 수 있다.

그림 9는 R 프레임에서의 영역별 화소의 값을 나타내고 있으며 G 프레임과 마찬가지로 용기와 켈러스 부분을 명확히 분리할 수 있는 문턱 값이 존재하지 않는다. 그림 10은 B프레

임에서 영역별 화소 값을 나타내고 있는데 켈러스가 위치한 부위가 배양용기보다 화소 값이 낮아 문턱 값이 70정도이면 배양용기와 켈러스의 분리가 가능함을 알 수 있다. 따라서 원 영상에서 B 프레임을 추출하여 문턱 값 70으로 이치화 하였으며 그 결과 그림 11과 같이 켈러스가 배양용기와 명확히 분리됨을 알 수 있다.

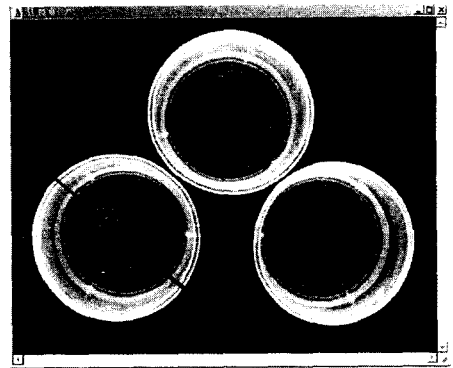


Fig. 7 Test image with petri dishes and callus

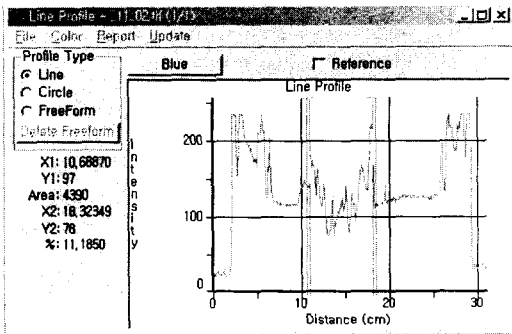


Fig. 8 Line profile of G in the test image

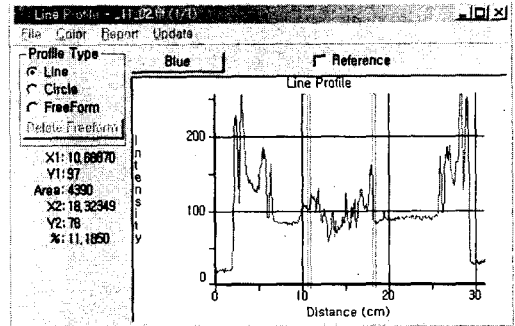


Fig. 9 Line profile of R in the test image

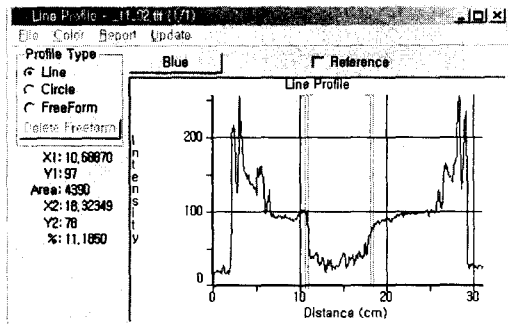


Fig. 10 Line profile of B in the test image

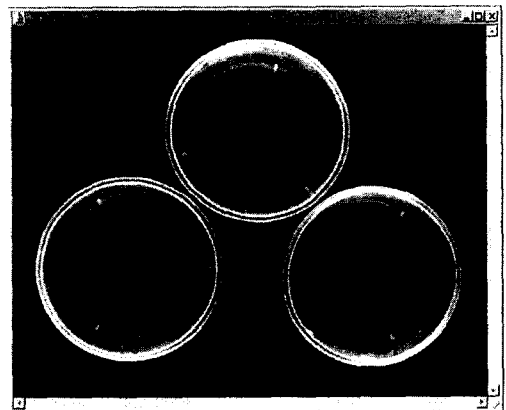


Fig. 11 Callus extraction in B frame by threshold value 70

나. 영상처리 프로그램

위 히스토그램 분석결과와 그림 3의 캘러스 추출 알고리즘을 바탕으로 그림 12와 같이 배양용기 및 캘러스를 인식하는 윈도우즈 프로그램을 개발하였다. 그 구성은 전체화면을 4분할하여 좌측상단은 원영상을, 우측상단은 B 프레임 추출 영상을, 좌측하단은 메뉴 및 문턱값을 표시하고 우측하단은 영상조작의 결과를 나타내게 하였다. 결과영상에서 보듯이 배양용기는 각각의 무게중심 위치를 표시하였으며 직경 20mm 정도의 캘러스는 무게중심을 기준으로 4분할하였다.

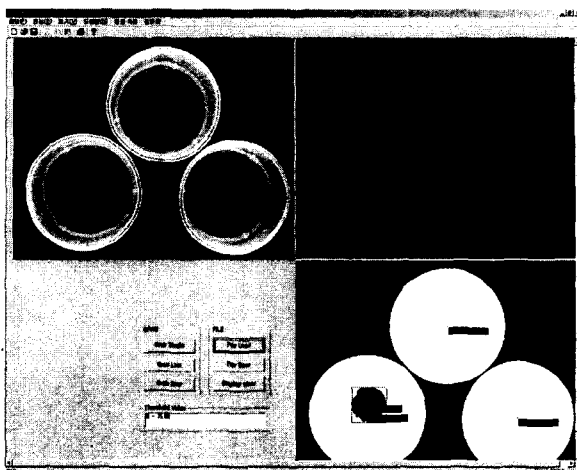


Fig. 12. Result of recognizing callus and petri dishes

4. 요약 및 결론

본 연구는 식물조직체 접종공정의 자동화기술 개발 중 캘러스를 인식하는 영상처리 시스템을 개발하고 그 성능을 평가하기 위한 것이며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 접종 자동화 공정 중 뚜껑열기 공정시의 배양용기 인식을 위하여 원영상의 히스토그램을 분석하였으며, 그 결과 R, G, B 각 프레임에 대해서 문턱 값(threshold value) 70~80 범위에서 배경색인 검은색과 PE용기가 쉽게 분리가 가능함을 알 수 있었다.

나. 캘러스와 배양용기를 분리하기 위하여 원영상의 화소분석을 하였으며 그 결과 B 프레임에서 문턱 값 70정도로 캘러스의 분리가 가능함을 알 수 있었으며, 화소분석 결과와 인식 알고리즘을 바탕으로 배양용기 및 캘러스를 추출하는 윈도우즈 프로그램을 개발하였다.

5. 참고문헌

1. T. Okamoto, O. Kitani. 1989. Studies on Robotics for Biotechnological Operations on Callus Handling Robot(Part 1). Journal of the Japanese Society for Agricultural Machinery 51(5):37-45. (In Japanese)
2. T. Okamoto, O. Kitani. 1990. Studies on Robotics for Biotechnological Operations(Part 2) - Intelligent Robot for Transplanting Calluses in Subculture -. Journal of the Japanese Society for Agricultural Machinery 52(5):79-85. (In Japanese)
3. 강창호외. 2002. 식물조직배양공정의 기계화를 위한 작업실태분석. 한국농업기계학회 동계학술대회 논문집 7(1):401-406.
4. 백기엽. 1993. 조직배양에 의한 원예작물 대량번식. 생물화공 7(2).
5. 정재동외. 1995. 최신생물공학. 경북대학교 출판부. pp201-232.
6. 日農機學會. 1996. 바이오テクノロジー. 生物生産機械ハンドブック.
7. 輪竹宏昭. 1991. 苗増殖用ロボット. 植物細胞工學 3(1):73-77.