

식물조직배양 자동화를 위한 로봇개발 - 엔드이펙터 및 시스템의 성능시험 -

정석현¹ · 노대현^{2*}

특허청 특허심판원, ²특허청 화학생명공학심사본부

Development of a Robot for Automation of a Callus Inoculation

Suk-Hyun Chung¹ and Daehyun No^{1*}

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

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

Abstract. This study was conducted to develop an automation system of inoculation processing of a lily callus. The results are summarized as followings: The end-effector was manufactured as suction and machine type. And these end-effectors can separate the callus from the mediums and divide the separated callus and then inoculate the divided callus to new mediums. Using the machine type end-effector, the results of the experiment showed the success rate in the division process was 100% while the separation and inoculation process was 92%. To develop the automation controller of inoculation process, the system was developed to control an external device and the manipulator. The data communication program between a robot and a personal computer was also developed using CAsyncsocket and Ethernet Interface.

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 저감을 위해서는 배양공정의 생력화를 위한 기계화기술이 필요하나 국내에서는 아직 관련 기계화기술에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 반면, 국외에서는 배양공정을 로봇화하여 배양묘 생산비용을 절감하려는 연구가 수행되었다. Okamoto 등

(1989, 1990)은 산업용 매니플레이터를 이용하여 담배 캘러스를 대상으로 조직의 분할이식을 행하는 집중로봇 시스템을 개발하였으며, 輪竹(1991)는 카네이션 유식물체의 경절을 레이저빔으로 검출하여 그 절간을 가위로 절단하여 핀셋 모양의 그리퍼로 집어 새로운 배지에 삽입하는 유식물 번식용 로봇을 개발한 바 있다. 이와 같은 연구는 배양기내에서 증식된 소식물체를 인식·절단·치상하는 등 다단계로 이루어지는 집중공정을 로봇화한 것으로 수작업의 조작미숙에 따른 절단의 불균일성, 품질저하, 잡균오염의 위험성 등 문제점을 해결할 수 있을 것이다. 따라서 식물조직배양 집중공정의 자동화기술은 배양공정의 생력화를 위하여 중요한 하나의 분야라고 생각된다.

본 연구는 이러한 관점에서 나리 캘러스를 대상으로 집중공정의 자동화를 위한 시스템을 개발하고자 수행되었다. 본 보에서는 집중용 엔드이펙터를 비롯하여 이들 장치로 구성된 시스템의 자동화 제어장치 등을 개발하고 시스템의 성능시험을 실시한 내용을 게재한다.

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

재료 및 방법

1. 매니플레이터

매니플레이터는 끝단에 엔드이펙터가 장착되어 엔드이펙터를 작업대상의 위치까지 유도하는 역할을 하며, 매니플레이터에 내장된 제어기는 엔드이펙터의 회전, 절단, 흡인 및 치상의 동작을 제어하게 된다.

대부분의 경우 식물조직배양을 위한 캘러지 분리 및 치상 작업은 크린벤치에서 행하여지며, 따라서 기존의 작업공간에서 사용할 수 있는 시스템의 개발이 요구된다. 이러한 조건은 만족하기 위하여 사람의 작업동작과 유사한 형태로 작업을 할 수 있는 매니플레이터가 요구되었다. 이를 위하여 사람의 작업동작을 분석한 결과 작업대 내에서의 파지, 및 수평, 수직 이동 및 회전 동작이 필요하며, 이와는 별개로 작업툴의 교체도 필요하였다. 이러한 동작을 만족하는 최소 사양으로 6 자유도의 로봇이 제안되었으며, 6 자유도 로봇은 스칼라와 수직다관절형 로봇의 장점을 살린 하이브리드형의 로봇을 선택하였다. 하이브리드형 로봇은 좁은 공간에서는 수직다관절형 로봇과 같이 동작을 하면서도 회전에 의하여 주위 공간을 넓게 사용할 수 있는 특징이 있기 때문이다.

매니플레이터의 동작은 절단, 분리 및 치상의 3가지 동작으로 크게 구분되면, 각각에 하나의 모터 및 기구가 설치되는 것으로 가정하여 각각 500g의 하중을 가지며, 가속도에 의한 영향을 고려하여 각각 최대 1kg으로 계산하여 최대 3kg의 가반중량을 견딜 수 있는 것으로 선택하였으며, 직경 10mm의 캘러스를 2등분

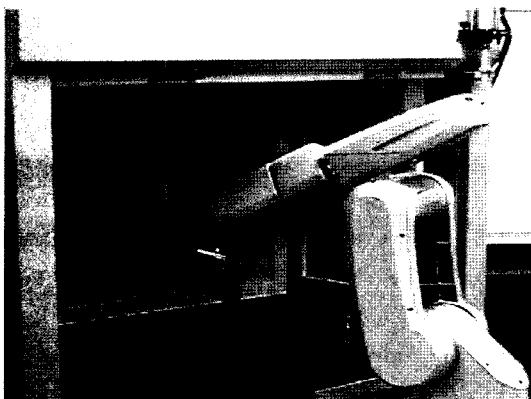


Fig. 1. A Function of a robot-hand.

또는 4등분 하기 위해서는 최소한 0.1mm 이하의 정밀도를 가지는 것이 필요하며, 엔드이펙터 끝단은 최종 관절로부터 100mm 거리에 있고, 엔드이펙터가 결합되는 위치는 관절의 회전 장치로부터 40mm 이격되어 있어, 로봇의 최종축의 반복 위치 정밀도는 0.04mm 이하인 것이 필요하며, 1800mm인 클린벤치의 크기 및 내부 조작조건을 고려하여 최대회전반경은 843mm의 매니플레이터를 선정하게 되었다.

2. 접종용 엔드이펙터

접종용 엔드이펙터는 매니플레이터에 부착하여 Fig. 2와 같이 배지와 캘러스의 분리, 캘러스의 분할, 절단된 캘러스를 파지하여 새로운 배지로 치상하는 기능이 필요하다. 이를 위하여 크게 흡인식과 기계식으로 설계 제작하였는데 흡인식은 분리 및 치상의 겸용, 기계식은 분리 · 분할 · 치상용으로 각각 구분하였다.

흡인식은 공압을 이용하는 것으로 구조가 간단하며, 제어 및 컨트롤러를 분리하여 설치하고 엔드이펙터에는 흡입기만을 설치하여 가벼운 엔드이펙터를 만들 수 있는 반면, 기계식은 공압식 모터 및 액추에이터 등을 모두 엔드이펙터에 설치해야함으로써 상대적으로 무게가 더 나간다. 그러나, 제어적인 측면에서 공압의 강도만을 이용하는 흡인식은 흡인범위를 초과하는 경우에 있어서나, 압력이 부족할 경우 오동작의 우려가 있으나, 기계식 엔드이펙터는 공압을 이용한 액추에이터를 사용함으로써 기계적으로 절단하거나 파지함으로써 정확한 동작이 가능한 장점이 있다.

캘러스 접종용 엔드이펙터를 개발하기 위해서는 캘러스 및 배지의 물성에 대한 정보가 필요하다. 즉, 자동화시스템에서 영상처리장치는 카메라가 대상물의 상

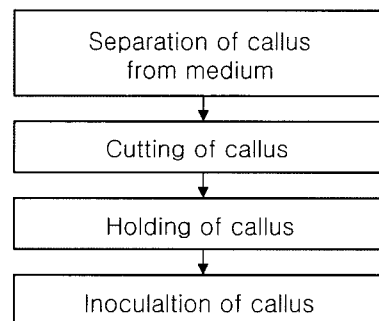


Fig. 2. A function of a robot-hand.

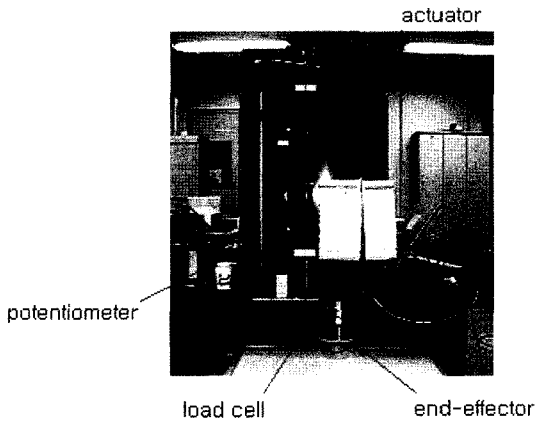


Fig. 3. Measurement device of reaction force of end-effector to medium.

방에 존재하므로 평면 2차원의 정보는 인식할 수 있으나 수직방향의 거리계산이 어렵다. 따라서 캘러스와 배지의 수직위치를 정확하게 파악하기 위하여 Fig. 3과 같이 로드셀과 포텐서미터로 조합된 배지의 접촉반력 측정장치를 구성하여 엔드이펙터가 배지에 닿을 때의 반력을 측정하였다. 그리고 절단된 캘러스를 흐트러짐이 없이 파지하여 새로운 배지로 운반하여 치상하기 위해서는 적정 진공압으로 파지할 필요가 있어 Fig. 4와 같이 배지 및 캘러스의 흡인력 측정장치를 제작하여 이에 요구되는 흡인력을 측정하였다. 측정장치는 진공펌프, 에어펌프, 인디게이터 및 컴퓨터와 통신이 가능한 레귤레이터 등으로 구성하였으며 흡입력은 0.1Pa

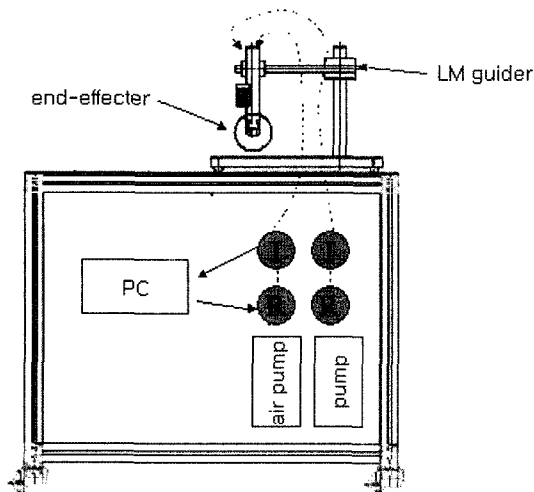


Fig. 4. Measurement device of sucking force.

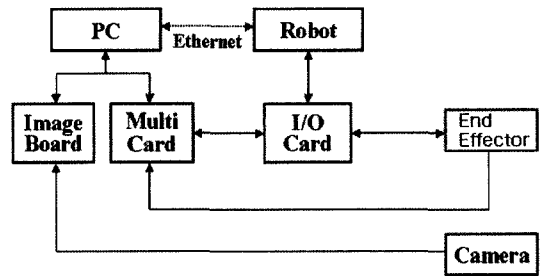


Fig. 5. Control device of system.

단위로 조정되도록 하였다.

3. 시스템 제어장치

시스템 제어장치는 개발된 영상처리장치, 엔드이펙터 및 매니플레이터 등을 유기적으로 구동시키기 위한 것으로 Fig. 5는 구성도를 나타낸다. 카메라 영상을 처리하는 영상처리보드와 엔드이펙터의 구동용 제어보드 등으로 구성된 PC 내장형 제어기, 매니플레이터의 구동용 I/O 보드로 구성하였으며, 또한 PC와 로봇은 ethernet에 의해 제어되도록 하였다.

결과 및 고찰

1. 나리 캘러스 접종용 엔드이펙터개발

(1) 배지의 접촉반력

엔드이펙터에 의한 캘러스의 분리, 분할, 파지 등을 위해서는 수직방향의 거리계산이 필요하다. 엔드이펙터가 배지에 접촉할 때 접촉반력에 의하여 수직방향의 거리를 계산하고자 접촉반력 측정장치를 이용하여 배지접촉시의 반력을 측정하였다. Fig. 6은 엔드이펙터가 배지 및 용기에 접촉시의 반력으로 배지에 접촉했을때 접촉반력이 320gf 정도로 나타났으며, 이 값을 이용하

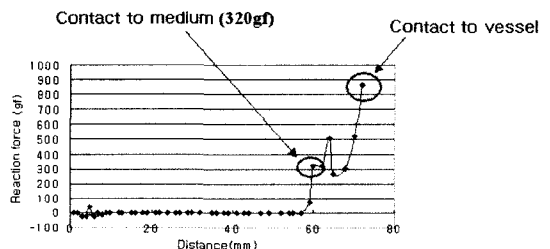


Fig. 6. Reaction force of the end-effector.

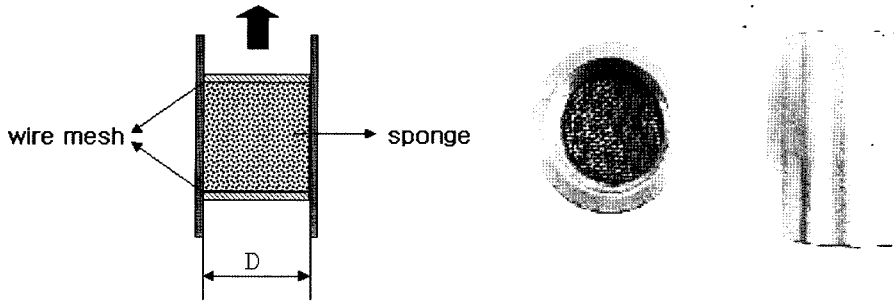


Fig. 7. End-effector of suction type.

여 배지와와의 접촉이 없을때와 배지와와의 접촉이 있을때를 구분함으로써, 엔드이펙터의 배지접촉여부를 감지할 수 있을 것으로 판단되었다. 이는 기존의 로봇 시스템과는 달리 배지의 위치 인식을 위하여 비접촉 방식의 고가의 초음파 및 레이저 센서를 사용하지 않고서도 배지위에 치상되어 있는 캘러스의 3차원 위치를 파악할 수 있는 것으로 판단되었다.

(2) 흡인식 엔드이펙터

배지로부터 캘러스를 분리 및 절단된 캘러스를 운반하여 치상하는 흡인식 엔드이펙터를 Fig. 7과 같이 설계제작하였다. SUS재질의 분리 및 치상용 모두 상하에 메시간격 0.5mm의 철망과 철망간에는 스펀지를 설치하여 흡인시 캘러스가 흐트러져 빨려들어가는 것을 방지할 수 있도록 하였다. 엔드이펙터의 크기(D)는 캘러스 분리용 20mm, 캘러스의 운반 및 치상용은 10mm로 하였다.

설계제작된 흡인식 엔드이펙터의 성능조사를 위하여 흡인력 측정장치에 의하여 시험한 결과 Fig. 8과 같이 배지로부터 캘러스를 분리할때 8.2kPa 정도에서 깨끗

하게 분리되었다. 캘러스의 분리 정도는 흡인식 엔드이펙터를 분리하고자하는 캘러스 위에 1mm 위에 설치하고 압력을 가하여 캘러스가 배지와 분리되어 엔드이펙터에 흡인력에 의하여 부착된 상태를 깨끗하게 분리된 상태로 정의하였다. 그 이하의 압력에서는 캘러스가 배지와 분리되지 않거나 일부만 분리되어 일부는 배지에 붙어있는 상태였다.

그리고 분할된 캘러스를 새로운 배지에 치상할때 배출압은 12kPa 정도에서 치상이 되는 것으로 나타났다. 캘러스의 크기가 일정하지 않고 배지의 반발력도 차이가 있어 흡인 압력 이상의 압력 중 10개의 캘러스를

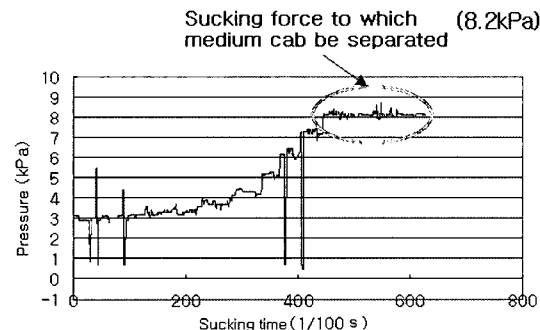


Fig. 8. Sucking force when separating from medium.

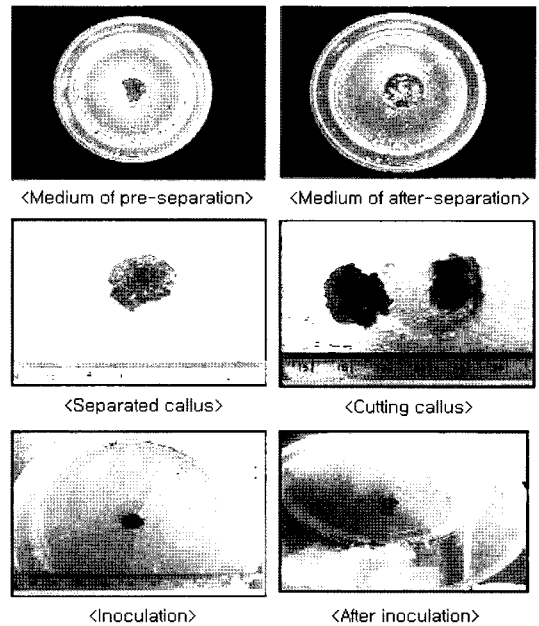


Fig. 9. Result of inoculation processing using the suction type end-effector.

치상하여 거꾸로 뒤집어 놓았을때 1시간 이상 떨어지지 않는 압력으로 실험하였으며, 그 결과 12kPa일때 가장 좋은 결과를 나타냈다.

이러한 기초시험을 기초로 캘러스를 배양한 10개의 배양용기를 대상으로 성능 시험한 결과, 배지로부터 캘러스의 분리와 분할 후 치상공정에서 5개까지는 분리와 치상 작업 모두 Fig. 9와 같이 100% 성공하였고 치상 후에 용기를 거꾸로 뒤집어 놓아도 캘러스가 떨어지지 않았다. 그러나 계속하여 분리 및 치상 작업을 할 경우 엔드이펙터의 흡인구에 한천 등의 이물질이 끼여 제대로 흡착이 되지 않는 경우가 발생하였으며, 특히 8개째 작업시부터 거의 흡인을 할 수 없게 되었다. 따라서 1 cycle의 작업공정이 끝나면 엔드이펙터의 흡인구를 청소하는 공정을 삽입하여 실험을 수행한 결과, 30 cycle 까지 작업이 원활하게 수행되었다.

(3) 기계식 엔드이펙터

기계식 엔드이펙터는 배지로부터 캘러스의 분리, 분할 및 치상용을 각각 설계제작하여 하나의 프레임에 부착하여 각각의 작업시기에 프레임의 회전으로 톨 채 인정이 되도록 구성하였다. 우선, 배지로부터 캘러스의 분리를 위한 엔드이펙터는 Fig. 10과 같이 가이드에 고정

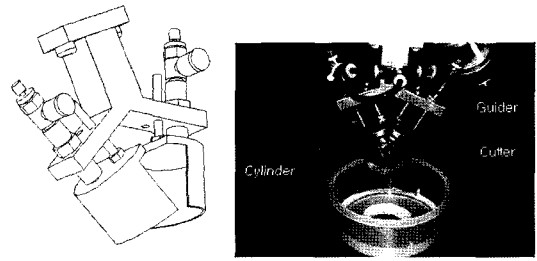


Fig. 10. End-effector of a mechanical type for separation.

공압실린더에 의하여 상하구동하는 좌우 2개 칼날을 구성하였다. 칼날은 직경 40mm의 반원통이며 칼날에 40° 테이퍼각을 주어 양날의 끝부분이 하강시에 서로 모이도록 하여 그 내부에 캘러스가 위치하여 배지로부터 캘러스를 분리하며, Fig. 10의 사진(우측)에서와 같이 분리가 정확하게 수행되는 것으로 나타났다.

Fig. 11은 제작한 분할용 엔드이펙터이다. 분할용 엔드이펙터는 크랭크 레벨에 의해 개폐가 이루어지며, 4 주식 공압실린더에 칼날을 부착하여 각각 외측으로 이동하면서 캘러스의 형상에 따라 2분할 또는 4분할하는 구조이다. 즉, 장변형 캘러스는 2분할, 원형 캘러스는 4분할한다. 엔드이펙터의 개폐행정은 20mm이며, 반복

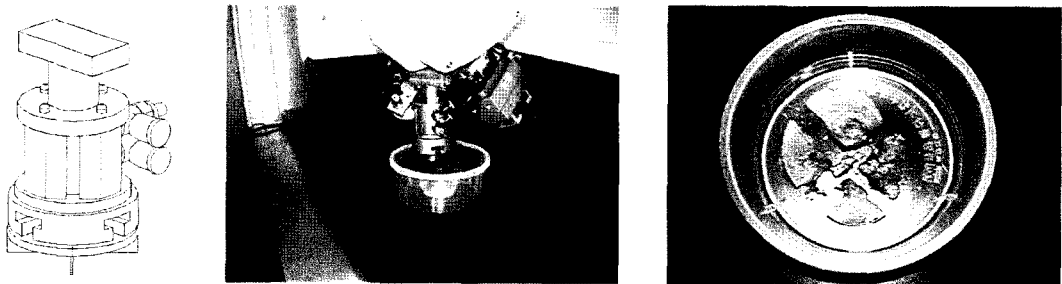


Fig. 11. End-effector of a mechanical type for cutting.

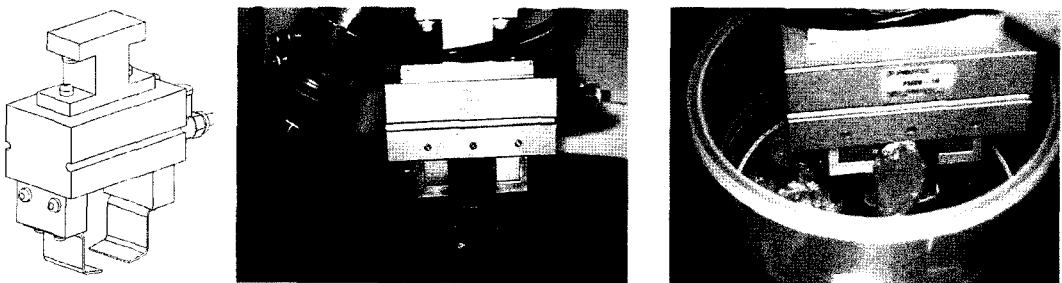


Fig. 12. End-effector of a mechanical type for inoculation.

행정 의 위치정밀도는 $\pm 0.03\text{mm}$ 이하이다. 분할성능은 그림과 같이 정확하게 분할되는 것으로 나타났다.

분할한 켈러스를 파지하여 새로운 배지로 이동하여 치상하는 엔드이펙터는 Fig. 12와 같다. 치상용 엔드이펙터의 그리퍼는 링크레벨에 의한 평행개폐방식이며, 개폐행정 20mm, 반복행정 위치정도는 $\pm 0.05\text{mm}$ 이하였다. 구동은 2개의 실린더 요크에 의하여 동기되므로 안정되게 파지하여 새배지로 옮겨 치상이 가능한 것으로 나타났다.

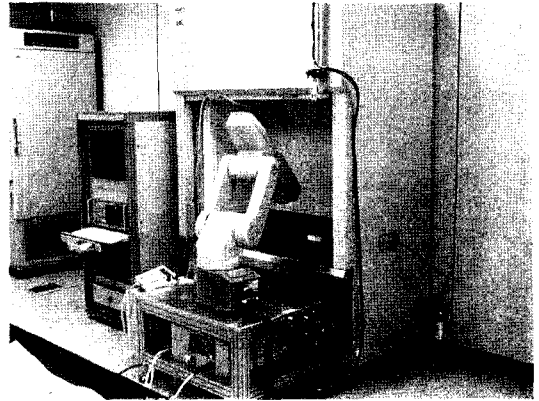


Fig. 13. Automation system of inoculation processing.

2. 나리 켈러스 접종용 자동화시스템

(1) 구성

나리 켈러스 접종공정 자동화 시스템은 앞서 개발된 영상처리장치, 기계식 엔드이펙터 및 매니플레이터, 무균작업대 등으로 Fig. 13과 같은 구조로 제작하였다. 여기서 무균작업대는 수직기류형의 크기(가로×세로×높이)가 $1,320 \times 700 \times 1,800\text{mm}$ 인 것을 공시하였다. 그리고 이들 시스템의 자동제어장치는 구성 장치들의 유기적인 구동을 위하여 Fig. 14와 같은 흐름도로 개발하였다. 흐름도에서 로봇과 컴퓨터 사이의 데이터 통신은 Visual C++를 이용하였으며, 모듈은 CAsyncsocket module, Ethernet interface를 사용하여 개발하였다.

접종공정 자동화시스템의 작업은 흐름도에서와 같이 영상처리장치에서 켈러스 영상을 획득하여 영상처리한 후, 영상처리결과(켈러스의 방향, 위치 및 크기)와 로봇의 현 위치에 관한 정보를 서버로부터 넘겨받아 매니플레이터의 이동경로를 생성한다. 생성된 이동경로를 로봇 서버에 전송하여 켈러스의 접종작업을 시작하고 접종작업이 완료되면 작업완료 신호를 서버에서 클라이언트로 넘겨주어 한 사이클이 종료되게 된다.

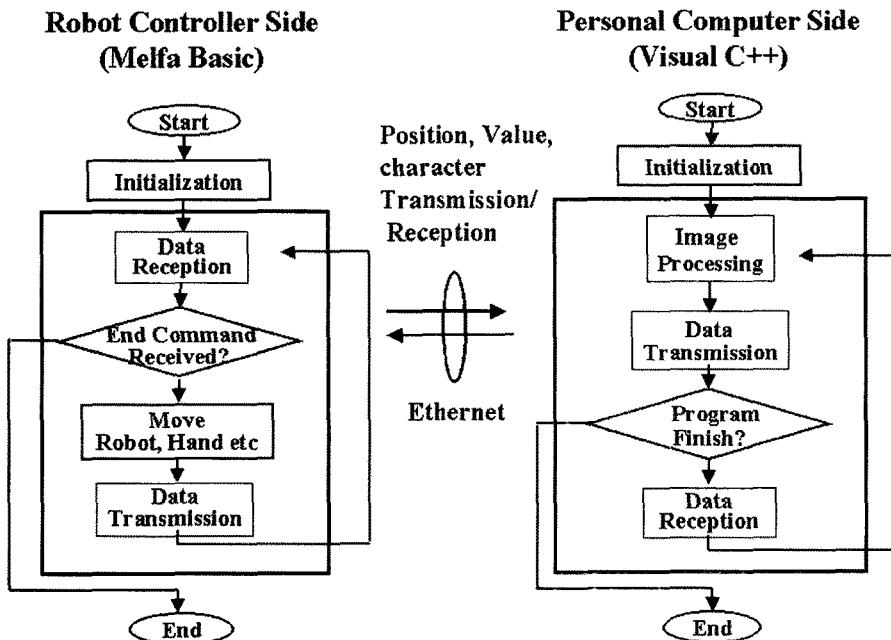


Fig. 14. Flowchart of the data communication.

(2) 시스템의 성능

접종용 자동화시스템의 작업성능은 배양용기에 배양된 나리 캘러스의 위치와 형상 등을 인식하고 배지에서 캘러스의 분리→분할→운반을 위한 파지 및 치상 등의 1사이클을 수행하는데 소요시간 및 작업정도 등을 조사하였다. 우선, 캘러스를 분리, 분할 그리고 분할된 캘러스를 파지하여 새로운 배양용기로 이동하여 치상하는 3종의 엔드이펙터에 대한 예비조사에서 배지에서 캘러스의 분리없이 분할한 다음 파지 및 치상용 엔드이펙터로 배지에서 캘러스의 분리가 가능한 것으로 나타났다. 따라서 성능시험에서 캘러스의 핸들링은 분할용 엔드이펙터로 캘러스를 분할한 다음 치상용 엔드이펙터로 분할된 캘러스를 배지에서 분리시켜 치상하도록 하였다.

따라서 시스템의 성능시험은 배양용기에 배양된 나리 캘러스의 위치와 형상 등을 인식하고 캘러스의 분할→운반을 위한 파지 및 치상 등의 1사이클을 수행하는데 소요되는 시간 및 작업정도 등을 조사하였다. 공시한 배양용기는 나리 캘러스를 배양한 20개의 배양용기였으며 Fig. 15와 같이 배양된 캘러스를 4등분하여 각각 4개의 배양용기에 치상하였다.

작업성능은 분할 및 분리+치상의 각각의 공정에서 작업성공률과 작업시간으로 평가하였다. 전항에서 기술

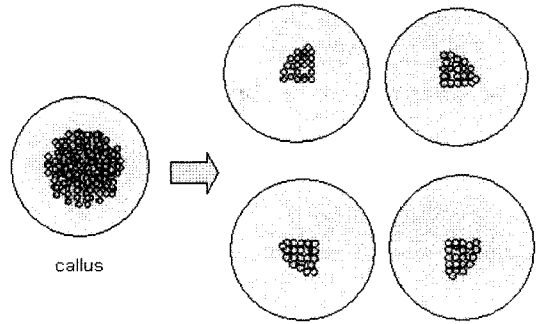


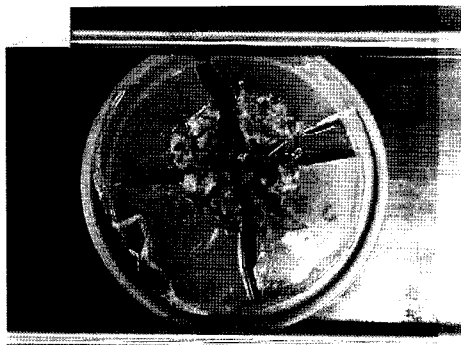
Fig 15. Division form of callus.

한바와 같이 로봇시스템의 영상처리부의 인식 성공률은 93%이며, 본 작업성능 실험에서는 영상처리에서 인식에 성공한 것만을 대상으로 20개의 배양용기를 이용하여 실험을 수행하였다.

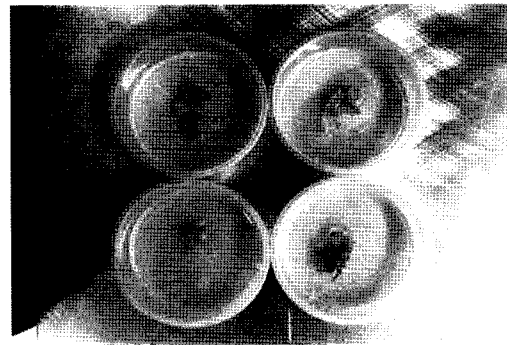
Table 1은 접종용 자동화시스템의 작업성능을 조사한 것이다. 배양된 나리 캘러스를 4등분하여 4개의 새로운 배양용기로 치상하므로 공시 원배양용기는 20개, 치상용 배양용기는 80개가 된다. 하나의 원배양용기에 있는 캘러스의 위치 및 형상 등의 인식에서 4등분으로 분할, 분할된 4개의 캘러스를 각각의 치상용 배양용기로 파지운반 및 치상하는데 소요되는 작업시간은 98.7 초였다. 그리고 접종작업정도는 캘러스의 위치 및 형상

Table 1. Performance of inoculation processing.

Working time (sec/vessel)	Process in each stages of work				
	Cutting/Division	Grip	Transportation	Inoculation	Total
98.7	78/80 (97%)	78/78 (100%)	74/78 (95%)	74/74 (100%)	74/80 (92%)



<cutting state of callus>



<inoculated state of callus>

Fig 16. Cutting and inoculated state of callus.

등의 인식의 경우 100%, 분할성능은 총 80개에서 2개의 캘러스가 좌우로 분할되면서 으스러지는 현상이 발생하여 97%였다. 그리고 으스러지지 않은 캘러스는 모두 파지가 가능하였으며 치상을 위하여 새로운 배양용기로 이송하는 과정에서 4개의 캘러스는 엔드이펙터에서 미끄러지는 현상이 발생하여 95%의 성능을 보였고 이송된 74개의 캘러스는 모두 정확하게 치상이 가능하였다. 따라서 분할하여 치상할 총 80개의 캘러스 가운데 74개가 정확하게 작업되는 것으로 나타나 전체적으로 92%의 성공률이 있음을 알 수 있다. Fig. 16은 배양한 원배양용기의 캘러스를 분할한 상태와 분할된 캘러스를 새로운 배양용기에 치상한 상태를 보이는 사진이다.

적 요

본 연구는 식물체 캘러스의 접종공정을 자동화하기 위한 로봇개발을 위하여 수행되었으며, 본 보에서는 로봇의 주요구성부인 엔드이펙터 및 전체 로봇시스템의 성능에 대한 연구결과를 소개하였다. 이에 본 보에서 소개한 연구결과를 요약하면, 캘러스 접종을 위하여 흡인식 엔드이펙터와 기계식 엔드이펙터를 제작하였으며, 흡인식은 분리 및 치상의 겸용, 기계식은 분리·분할·치상용으로 각각 분리하여 제작하였으며, 흡인식 엔드이펙터의 성능시험 결과, 평균 8.2kPa의 흡인압에서 캘러스가 깨끗이 분리되었으며 분리된 캘러스를 새배지로 치상·고정하는데 소요되는 적정 배출압은 12kPa

로 나타났다. 또한 기계식 엔드이펙터를 이용한 접종과정 자동화 시스템의 성능시험으로서 분할, 파지, 이송 및 치상 작업 성능을 시험한 결과 분할에서는 97%, 분할된 캘러스는 모두 정확하게 파지되었으나, 치상하기 위하여 새로운 배양용기로 이송하는 과정에서는 일부 미끄러지는 현상이 발생하여 95%의 성능을 보였고 이송된 캘러스는 모두 정확하게 치상이 가능하였다. 따라서 분할하여 치상할 총 80개의 캘러스 가운데 74개가 정확하게 작업되는 것으로 나타나 전체 성공율은 92%였다.

또한 식물 조직 배양 자동화 공정에 사용되는 로봇에 있어서 엔드 이펙터를 장착하게 되는 매니플레이터로서는 6자유도의 매니플레이터를 선정하였다.

주제어 : 로봇, 매니플레이터, 영상처리, 치상, 캘러스

인 용 문 헌

1. 강창호 외. 2002. 식물조직 배양공정의 기계화를 위한 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.