

## 유전체 연구용 그리딩 로봇 시스템의 개발

### Development of Gridding Robot System for Genome Research

추창환	서동현	김찬수	박지영	임용표	김기대
정회원	정회원	정회원			정회원
C. H. Choo	D. H. Seo	C. S. Kim	J. Y. Park	Y. P. Lim	K. D. Kim

#### SUMMARY

A robot system for clone replication and gridding, which is a preliminary state of the genome research, was developed and evaluated its performance. This gridding robot system consisted of 1) a gridding head that replicated the clone, 2) a manipulator, as a part of body of robot, which transferred the gridding head along x-, y-, z-axis, 3) a well plate arranging board, 4) a sterilization unit, and 5) a control unit. Performance of the system was evaluated with 1) repeatability of the robot system, 2) clone replication efficiency, 3) time requirement of the replication, and 4) sterilization efficiency. The repeatability error of the robot system showed 0.219 mm and 0.094 mm in the direction of x- and y-axis, respectively. The success rate of the clone replication with the gridding head was 100% on the membrane filter. The time required for the replication was four minutes and fifty-five seconds from the four 96 well plates to a 384 well plate meanwhile the required time with well experienced hand labor was three minutes thirty-five seconds. The gridding operation of clone could not be done by hand labor and the required time with robot system for the gridding on the membrane filter with the control program 5×5: 1 copy and 384 gridding pins was twenty minutes and twenty-five seconds. The efficiency of the sterilization was considered to be satisfactory since no growth of fungi was found around the area of replication in the membrane filter.

**Keywords** : Genome, Clone, Robot, Replication, Gridding.

#### 1. 서 론

유전체 연구(genome project)란 유전자들을 포함하고 있는 염색체의 유전자 지도작성 및 유전자 배열을 결정하고, 궁극적으로는 유전자의 기능을 밝히는 연구이다. 이러한 유전체 연구는 생명공학 관련 기술에 기본적이고 필수적인 정보를 제공하며, 생명공학 산업을 위한 정보자원 및 유전자원의 확보를 가능하게 하는 첨단 연구분야이다. 따

라서 현재 선진국들에서 주요 동식물에 대한 유전체 연구가 집중적으로 활발하게 이루어지고 있다.

유전체 연구의 궁극적 목적이 유전자 기능의 확인(functional genomics)과 이를 이용한 작물의 개선 및 유용물질의 대량생산에 있기 때문에, 이를 위해 선진국들은 대부분 연구 공정에 자동화기기를 도입하여 신속하고 정확하게 유전체의 유용물질들을 대량 확보 및 생산해 내고 있어, 자동화기기는 유전체 연구를 가속화시키는 원동력으로 작용하고

This article was submitted for publication in June 2001; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in July 2001. The authors are Chang Hwan Choo and Dong Hyun Seo, Graduate Research Assistant, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Chungnam National University, Taejeon, Korea, Chan Soo Kim, Joongang Co. Ltd., Taejeon, Korea, Ji Young Park, Graduate Research Assitant, Yong Pyo Lim, Professor, Dept. of Horticulture Science, Chungnam National University, Taejeon, Korea, and Ki Dai Kim, Professor, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Chungnam National University, Taejeon, Korea. The corresponding author is K. D. Kim, Professor, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Chungnam National University, Taejeon, 305-764, Korea. Fax: +82-42-821-6716. E-mail: <kdkim@hanbat.chungnam.ac.kr>.

있다. 특히, 유전체 연구의 기본 단계인 프라스미드(plasmid)를 함유한 대장균 클론(clone)의 복제(replication)는 소독과정을 거쳐 웰 플레이트(well plate)에 들어있는 클론을 배양액만 있는 다른 웰 플레이트에 옮기는 것으로 로봇 시스템이 아닌 수작업시 많은 시간과 노동력이 소요되고, 수많은 유전자를 고밀도 멤브레인 필터(high density membrane filter)에 그리딩(griding)하는 것은 수작업으로 불가능하여 로봇 시스템의 도입은 절대적으로 필요하게 된다. 우리 나라에서의 클론의 복제 및 그리딩 작업은 외국의 값비싼 기계를 수입하여 수행하고 있으며, 이러한 기계의 국내 생산 및 기술 개발은 미비한 상황이다(2001).

따라서 유전체 연구의 기본 단계인 클론의 복제 및 그리딩 작업에 적용할 수 있는 그리딩 로봇 시스템을 개발하고자 하였으며, 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 1) 클론을 배양하는 멤브레인 필터에 대량 그리딩 작업을 할 수 있는 그리딩 헤드 장치를 설계, 제작하고, 그리딩 헤드 장치를 장착할 로봇 시스템을 설계, 제작한다.
- 2) 제작된 로봇 시스템을 전체적으로 제어할 수 있는 제어용 프로그램을 개발한다.
- 3) 그리딩 로봇 시스템의 성능을 실험하여 평가한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 공시 재료

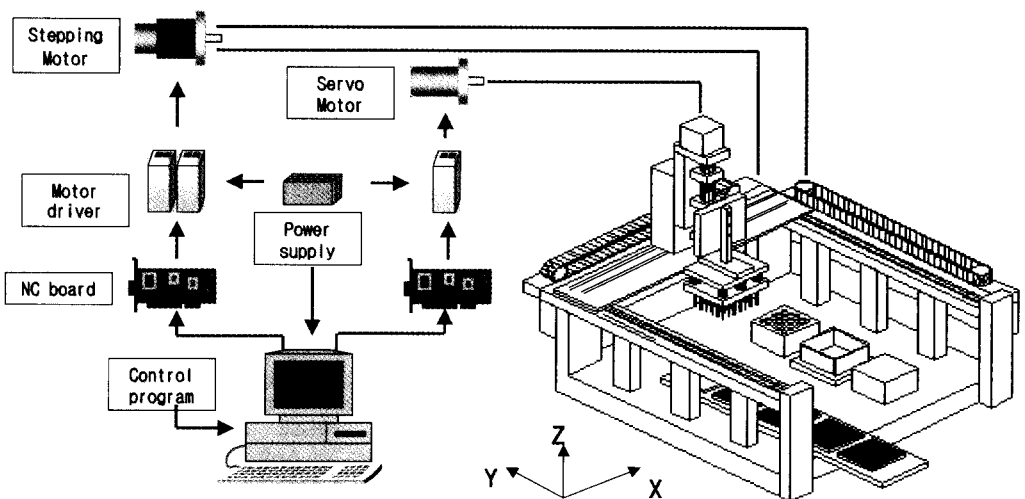


Fig. 1 Schematic diagram of the robot system.

본 연구에 사용된 클론은 배추의 계통 연구용으로 콜로니 픽킹(colony picking)후 배양액이 있는 웰 플레이트에 넣어  $-70^{\circ}\text{C}$ 에서 냉동 보관된 BAC (Bacterial Artificial Chromosome) 클론(clone)을 상온에서 녹여 공시재료로 사용하였다.

### 나. 그리딩 로봇 시스템의 구성

웰 플레이트에 들어있는 클론을 배양액만 있는 웰 플레이트에 복제하거나 클론을 배양하는 멤브레인 필터에 그리딩하는 로봇 시스템은 클론을 그리딩하기 위한 로봇의 그리딩 헤드, 그리딩 헤드를 X, Y, Z축으로 이동시키는 몸체부인 직교좌표형 매니플레이터, 96 또는 384 웰 플레이트와 멤브레인 필터를 배열하는 배열판, 서로 다른 클론을 복제하거나 클론을 배양하는 멤브레인 필터에 그리딩할 때 그리딩 헤드를 소독하기 위한 장치들과 이들을 제어하는 제어 시스템 등으로 구성하였다. 그리딩 헤드를 소독하는 장치는 초음파 세척기, 알코올 용기, 가열기로 구성하였다. 그림 1은 그리딩 로봇 시스템의 구성도를 나타낸 것이고, 표 1은 각 장치들의 사양을 나타낸 것이다.

본 연구에 사용된 제어 시스템은 X, Y축 구동용 스텝핑 모터 2개, 그리딩 헤드가 장착된 Z축 구동용 서보 모터 1개, 이 모터들을 제어하기 위한 3개의 모터 드라이버, 모터 드라이버를 제어하는 2축제어용 모터 인터페이스 보드 2개, 모터 인터페이스 보드에 명령을 지시하는 제어 프로그램, 프로그램 실행용 컴퓨터로 구성되었다. 그림 2는

Table 1 Specifications of each equipment

Item	Maker	Model
Stepping motor	SANYO DENKI	103-7501-70H2
Servo motor	PANASONIC	MSM021A1A
Sonicator	明成社	SW1500
Ceramic heater	NORIDAKE	SPP8160
NC board	CONTEC	STP-2M(PC)

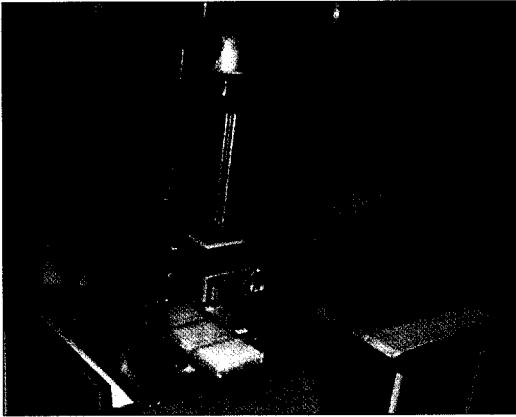


Fig. 2 Picture of the robot system.

개발된 그리딩 로봇 시스템을 나타낸 것이다.

### 다. 그리딩 헤드

상하운동을 수행하는 로봇 시스템의 Z축에 장착된 그리딩 헤드는 그리딩 헤드를 고정하기 위한 지지대, 그리딩 핀의 이탈 방지 역할을 하며 지지대가 장착되어 있는 상부판, 그리딩 핀의 가이드 역할을 하는 안내부, 클론의 그리딩 작업을 수행하는 그리딩 핀으로 구성되었다. 그림 3은 그리딩 헤드의 전체적인 구성을 나타낸 것이다. 그리딩 헤드에 사용된 그리딩 핀의 개수는 사용되는 웰플레이트에 따라 96개 또는 384개가 되며, 그리딩 핀이 접촉하는 배양액이 들어있는 웰 플레이트나 배양액 위에 놓여진 멤브레인 필터의 표면이 평평하지 않기 때문에 그리딩 핀은 안내부를 따라 상하 수직운동을 할 수 있도록 설계 되었다. 또한 핀 끝의 지름은 0.7mm로 하여 멤브레인 필터에 손상을 주지 않으면서 적당한 양의 클론을 묻히고, 그리딩 작업시 그리딩된 점들이 서로 영향 받지 않는 간격을 유지할 수 있도록 하였다.

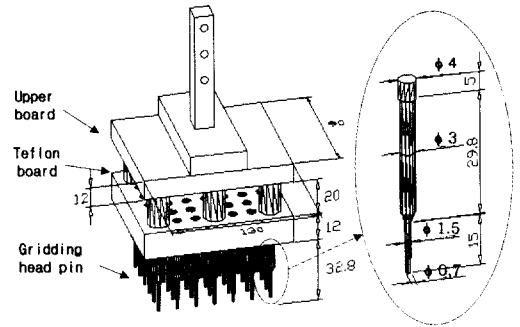


Fig. 3 Structure of the gridding head.

라. 제어 프로그램

본 연구의 제어 프로그램은 Microsoft社의 Basic V7.1 언어로 개발하였다. 개발된 프로그램은 본 연구에 사용된 X, Y, Z축의 모터를 제어함으로써 전체적인 로봇 시스템이 동작할 수 있도록 하였다.

제어 프로그램의 기본적인 알고리즘은 처음에 시스템 초기화가 이루어진 다음, 원하는 메뉴(복제 또는 그리딩)를 선택하면 미리 정해진 기본 데이터(위치, 속도 등)가 입력되며, 클론의 복제나 그리딩이 시작되기 전에 서로 다른 클론에 의해 감염되지 않도록 그리딩 핀을 소독하고, 그리딩 핀으로 웰플레이트 안에 들어 있는 클론을 배양액만 들어 있는 웰 플레이트로 복제하거나 클론을 배양하기 위한 멤브레인 필터에 그리딩하는 것이다. 소독 과정에서는 그리딩 핀을 살균과 세척을 동시에 수행하는 초음파 세척기에 5초간 담고, 핀을 알코올 용기에 담고 좌우로 3번씩 움직이고, 완벽한 소독을 위하여 가열기에서 핀을 2초간 가열한다. 그리고, 웰 플레이트 안에 있는 클론은 생명체이므로 가열된 핀을 10초간 식힌 후, 클론을 묻힐 첫 번째 웰 플레이트로 그리딩 헤드가 이동한다.

프로그램의 메인 메뉴는 복제(replication), 그리딩(gridding), 로봇 보정(robot calibration), 종료(end)

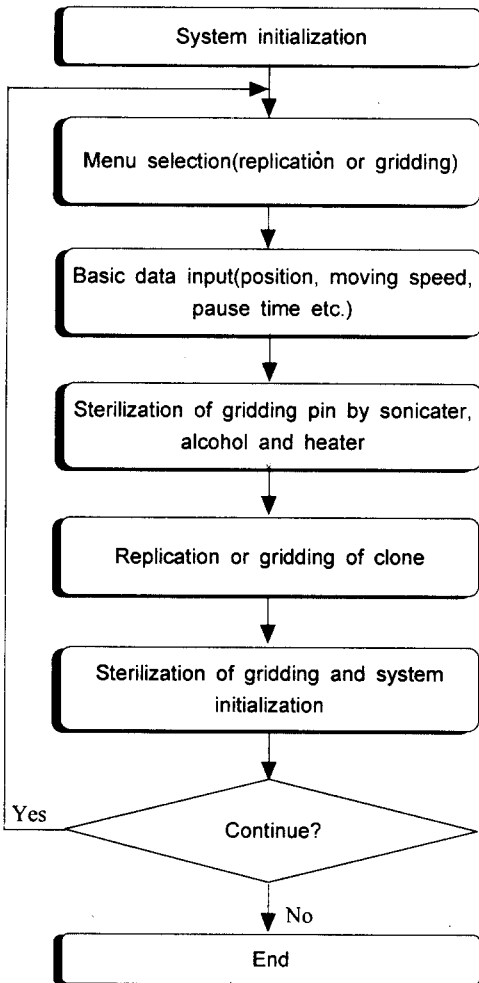


Fig. 4 Flow chart of the control program.

의 4부분으로 구성되어 있다. 복제는 96 웰 플레이트에 들어있는 클론을 배양액만 있는 384 웰 플레이트에 옮기거나 384 웰 플레이트에 들어있는 클론을 배양액만 있는 384 웰 플레이트로 옮기는 작업이다. 그리딩은 384 웰 플레이트에 들어있는 클론을 그리딩 헤드의 핀으로 묻혀서 클론을 배양하는 멤브레인 필터에 그리딩하는 작업이고, 로봇 보정은 클론을 복제하거나 클론을 그리딩하기 전에 로봇 시스템이 정해진 위치로 작동하는지를 확인하는 작업이다. 그림 5는 주요 메뉴들의 구성을 나타낸 것이다.

클론 복제의 서브 메뉴에는 H96과 H384가 있으며, H96은 그리딩 핀이 96개인 그리딩 헤드 제어용 메뉴이고, H384는 그리딩 핀이 384개인 그리딩

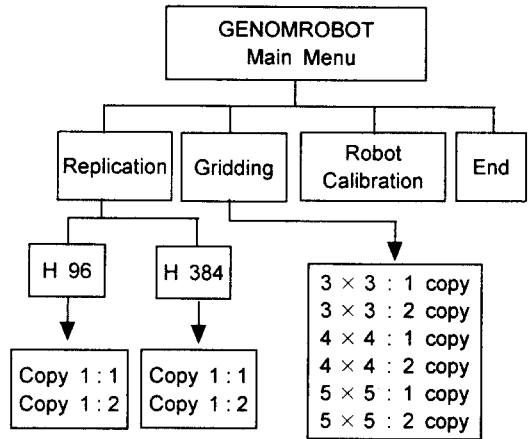


Fig. 5 Schematic diagram of the main menu.

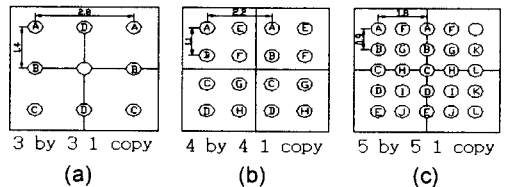


Fig. 6 Array of clone gridded on well plate by one gridding pin.

헤드 제어용 메뉴이다.

그림 5에서 H96의 copy 1:1의 경우는 클론이 들어있는 96 웰 플레이트 4개에서 배양액만 있는 384 웰 플레이트 1개에 복제하는 작업이고, H 384의 copy 1:1은 384 웰 플레이트에서 배양액만 있는 384 웰 플레이트 1개로 복제하는 것이다. 3×3 : 1 copy의 경우는 384개의 핀이 있는 그리딩 헤드를 이용하여 클론이 들어있는 384 웰 플레이트 4개에서 동일 클론을 각각 두 번씩 그리딩 핀에 묻혀서 멤브레인 필터 1개에 그리딩하는 작업으로서 1개의 그리딩 핀이 클론을 그리딩한 결과는 그림 6의 (a)와 같다.

그림 6의 (a), (b), (c)는 각각 웰 플레이트에 찍힌 3072(384×2×4), 6144(384×2×8), 9216(384×2×12)개의 점들 중의 일부분으로 하나의 그리딩 핀에 의해 그리딩 된 배열이다. 원 안의 알파벳은 그리딩 순서를 나타낸다.

그림 7은 소독장치(①, ②, ③) 및 멤브레인 필터(M), 웰플레이트(A, B, C, D)의 배치도를 나타낸 것이고, 그림 8은 제어 프로그램 중 3×3 : 1 copy의 흐름도를 나타낸 것이다.

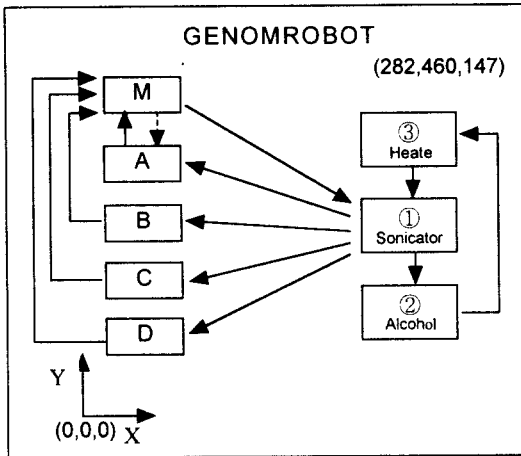


Fig. 7 Schematic diagram of clone gridding for 3×3 : 1 copy of H384.

마. 성능 실험

(1) 로봇 시스템의 반복정밀도 실험

로봇 시스템의 반복 정밀도 실험을 하기 전에 반복정밀도 허용 오차의 범위를 설정하였다. 384 웰 플레이트의 각 웰의 크기가 3.5 mm×3.5 mm 이고, 그리딩 핀의 끝에서 상부로 15 mm까지는 직경이 1.5 mm이므로 그리딩 핀이 웰의 중심에 있을 때, 그리딩 핀의 외부와 웰 벽과의 최소 거리는 1 mm 이하가 된다. 그러므로 웰의 중심에서 그리딩 핀의 중심이 벗어난 허용 오차를 최소 거리의 70%로 하여 반복 정밀도 허용 오차의 범위를 0.7 mm로 설정하였다.

반복정밀도 측정 실험은 메뉴의 3×3:1 copy 프로그램을 변형하여 사용하였고, 접사렌즈가 부착되어 있는 수동 카메라(Model: CANON, A-1)를 사용하여 반복 정밀도를 측정하였다. 배열판 위의 웰 플레이트 자리에 해상도가 1 mm인 눈금자 2개를 X, Y축 방향으로 각각 고정시켜 놓고 위치가 고정된 카메라로 그리딩 핀과 눈금자를 동시에 촬영하여 그리딩 핀의 동작 후 위치 변화를 측정하였다. 그림 7에서 그리딩 헤드가 D에 위치하였을 때, 처음 사진을 찍고, 시스템의 초기화 없이 3×3 : 1 copy 과정을 10회 반복한 후, 첫 번째 사진과 11회째의 사진을 비교 분석하여 오차를 산출하였다. 반복 정밀도 실험을 10회 반복한 이유는 몇 번의 반복으로는 오차가 너무 작아 오차를 측정할 수 없었고, 이동거리와 이동횟수가 가장 큰 메뉴인 5×5:2 copy로 그리딩 하는 작업보다 이동거리나 이동횟수를 크게 하기 위해서였다. 그림 7의

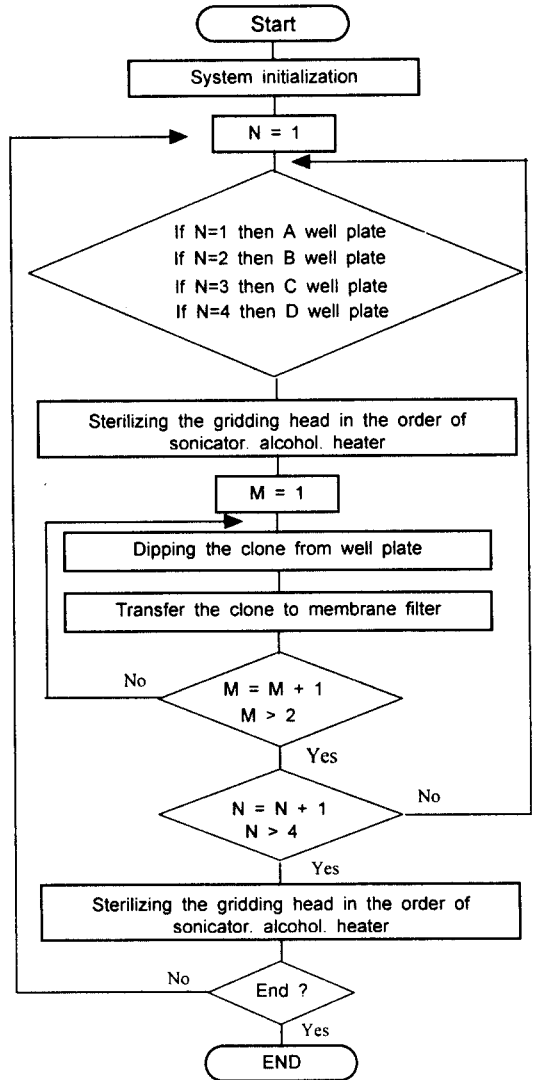


Fig. 8 Flow chart of the control program for 3×3 : 1 copy

화살표는 그리딩 헤드의 이동 경로를 나타낸 것이고, 표 2는 그리딩 헤드가 1회 반복하였을 때, 각 축으로 이동한 거리와 이동한 횟수를 나타낸 것이다.

그리딩 헤드가 장착된 Z축에 사용한 서보 모터에는 피드백(feedback) 제어를 할 수 있는 엔코더(encoder)가 내장되어 있기 때문에, Z축의 오차는 거의 없는 것으로 사료되어 Z축의 반복 정밀도 실험은 제외하였다. 그림 9는 반복 정밀도 실험 장치를 나타낸 것이다.

**Table 2** Traveling distance and the number of travel of the gridding head on each axis

X-axis	Traveling distance (mm)	20690.0
	No. of travel	520
Y-axis	Traveling distance (mm)	43202.0
	No. of travel	430
Z-axis	Traveling distance (mm)	19120.0
	No. of travel	760

**(2) 로봇 시스템의 생물학적 성능 실험**

배열판 위에 클론이 들어 있는 384 웰 플레이트 4개를 순서대로 놓고 클론을 배양하는 멤브레인 필터 1개에 제어 프로그램의 5×5 : copy 1 메뉴를 이용하여 클론을 복제하였다. 최초 예비 실험시 그리딩 헤드의 핀을 침 형태로 하여 클론을 복제하였을 때, 침 끝이 너무 작아 클론 복제가 원활히 이루어지지 않아 그리딩 핀의 끝을 직경 0.7 mm로 변경하였다. 수정, 보완된 그리딩 핀을 이용하여 클론을 배양하는 멤브레인 필터에 복제한 후 클론의 배양 여부로 로봇 시스템의 생물학적 성능을 평가하였다.

**(3) 소독 시스템의 성능 실험**

배열판 위에 클론이 들어 있는 웰 플레이트 2개, 멸균수만 들어 있는 웰 플레이트 2개, 클론을 배양하는 멤브레인 필터 1개를 놓고 멤브레인 필터 1개에 제어 프로그램의 3×3 : copy 1 메뉴를 이용하여 그리딩한 후 멸균수가 찍힌 자리에 균의 성장 여부로 소독 시스템의 성능을 평가하였다.

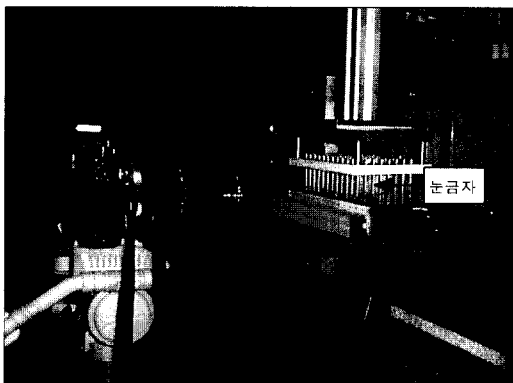
**(4) 로봇 시스템의 기계적인 성능 실험**

로봇 시스템의 기계적인 성능 실험은 배열판 위에 클론이 들어있는 96 웰 플레이트 4개를 순서대로 놓고 배양액만 들어있는 384 웰 플레이트 1개에 제어 프로그램인 H96의 1 : 1 copy 메뉴를 이용하여 인력과 로봇 시스템의 클론 복제하는 시간을 비교, 측정하였다. 그리고 인력으로 불가능한 클론의 그리딩은 로봇 시스템을 이용하여 걸린 시간을 측정하였다.

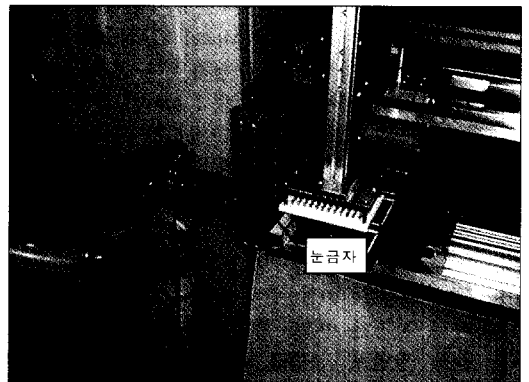
**3. 결과 및 고찰**

**가. 로봇 시스템의 반복정밀도 실험 결과**

X축과 Y축에 대한 로봇 시스템의 반복 정밀도 실험 결과는 표 3에서와 같으며, X, Y축을 각각 20,690 mm, 43,202 mm의 길이만큼 이동하였을 때, X축의 이동 거리가 Y축의 이동 거리보다 짧지만 X축의 오차가 Y축보다 크게 나타났는데, 이는 X축의 이동 횟수가 520번, Y축의 이동 횟수가 430번으로 X축의 이동 횟수가 Y축의 이동 횟수보다 많았기 때문이라 사료된다. 또한, X축의 오차는 0.219mm로 반복 정밀도 설계 기준인 허용 오차 0.7 mm보다 현저히 작으므로 이는 기계의 작동에 영향을 미치지 않을 것으로 사료되었다. 그림 10은 X축에 대한 로봇 시스템의 반복 정밀도 실험 결과를 나타낸 것이다. 측정된 오차가 너무 작아 육안으로 측정할 수 없어서 그리딩 핀과 눈금자를 촬영한 사진을 혼괄의 확대 기능을 이용하여 눈금자의 1 mm에 해당하는 2개의 선을 그었다. a를 기준으로 b를 이동시켰을 때, a부터 b까지



(a) X-axis



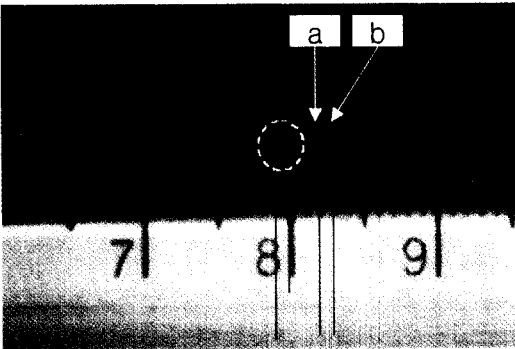
(b) Y-axis

**Fig. 9** Picture of repeatability test of x- and y-axis movement of the robot system.

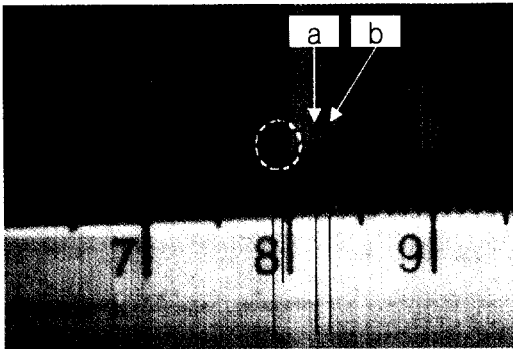
Table 3 The results of repeatability test of the robot system

	X-axis	Y-axis
Initial trial (mm)	0.781	0.500
Last trial (mm)	0.562	0.594
Repeatability error (mm)	0.219	0.094

\* Repeatability error  
= Initial trial - Last trial



(a) Initial position of gridding pin on X-axis



(b) Last position of gridding pin on X-axis

Fig. 10 Picture of gridding pins position for the repeatability test of the robot system.

는 32단계(step)이었으며, 1단계는 0.03125 mm였다. Y축도 X축과 같은 방법으로 반복 정밀도의 오차를 계산하였다.

#### 나. 로봇 시스템의 생물학적 성능 실험 결과

로봇 시스템의 생물학적 성능 실험은 클론을

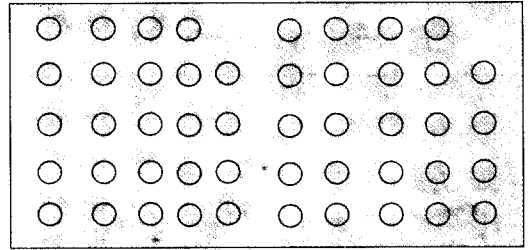


Fig. 11 Result of cultured clone on membrane filter.

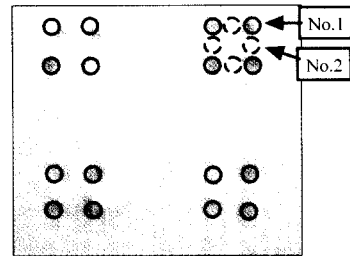


Fig. 12 Result of the performance test of sterilization system.

그리딩하는 프로그램을 이용하였으며, 그리딩 헤드로 배양판 위에 클론이 들어 있는 384 웰 플레이트 4개를 차례로 클론을 배양하는 멤브레인 필터 1개에 복제하여 배양하였다. 그림 11은 그리딩 헤드로 클론을 복제한 실험 결과의 한 예로 멤브레인 필터에서 배양된 콜로니를 나타낸 것이다. 그리딩 핀 끝의 직경을 0.7 mm로 하였을 경우, 클론을 배양하는 멤브레인 필터에 손상을 주지 않아 클론을 복제하는데 적당하다고 사료되었다.

#### 다. 소독 시스템의 성능 실험 결과

소독 시스템으로 클론을 복제 또는 그리딩하는 그리딩 핀을 소독하여 멤브레인 필터에 클론을 복제하여 배양하였다. 그림 12은 소독 시스템의 성능을 실험한 결과를 나타낸 것으로, 그리딩 핀으로 클론을 복제한 것은 그림 13에서 표시된 1번이고, 멸균수를 복제한 것은 2번이다. 멤브레인 필터에서 멸균수를 복제한 2번이 오염되지 않아 소독 시스템은 그리딩 헤드를 소독하는데 적당하다고 사료되었다.

**Table 4 Comparison table of working time between robot and manual**

Item		Working time ( ' " )	
		Robot	Manual
Replication		4' 55"	3' 35"
Gridding	3×3 1 copy	7' 13"	Impossible
	3×3 2 copy	10' 13"	
	4×4 1 copy	13' 50"	
	4×4 2 copy	20' 24"	
	5×5 1 copy	20' 25"	
	5×5 2 copy	30' 58"	

**라. 로봇 시스템의 기계적인 성능 실험 결과**

로봇 시스템의 기계적 성능 실험 결과는 표 4와 같다. 클론을 96 웰 플레이트 4개에서 384 웰 플레이트 1개로 복제하는데 걸린 시간은 숙련된 인력으로 했을 때 3분 35초가 소요되었고, 로봇 시스템으로 했을 때 4분 55초가 소요되었다. 로봇 시스템에서 그리딩 헤드를 초음파 세척기, 알코올 용기, 가열기의 순서로 1회 소독하는데 소요되는 시간은 35초이었고, 클론의 복제시 그리딩 헤드의 소독은 5회이므로 소독하는데 소요되는 시간은 2분 55초였다. 이와 같이 그리딩 헤드의 소독에 소요되는 시간과 그리딩 헤드의 이동속도의 제한 때문에 인력으로 했을 때보다 로봇 시스템에 의해 소요되는 시간이 긴 것으로 사료되었다. 그러나, 인력에 의한 작업은 소요시간이 적게 걸리지만 지속적인 복제 작업을 할 수 없다. 또한, 클론의 그리딩 작업은 인력으로는 할 수 없으며, 로봇 시스템을 이용하여 384개의 그리딩 핀으로 멤브레인 필터에 제어 프로그램 5×5 : 1 copy로 클론을 그리딩하는데 걸린 시간은 20분 25초이었다.

**4. 요약 및 결론**

본 연구에서는 국내 기술개발을 통해 유전체 연구의 기본 단계인 클론의 복제 및 그리딩을 로봇 시스템을 이용하여 신속, 정밀하게 이루어질 수 있도록 하는데 목적을 두고, 클론의 복제 및 그리딩에 적용할 수 있는 그리딩 로봇 시스템을 개발하였으며, 결론은 다음과 같다.

1) 본 시스템은 96 또는 384 웰 플레이트에 들어 있는 클론을 배양액만 들어있는 웰 플레이트에 복제하거나 클론을 배양하는 멤브레인 필터에 그리딩하는 그리딩 헤드, 그리딩 헤드를 X, Y, Z축으로 이동시키는 몸체부인 매니플레이터, 웰 플레이트 배열판, 소독 장치, 제어 시스템 등으로 구성하였다.

2) 로봇 시스템의 X축과 Y축의 반복 정밀도를 실험한 결과, X축으로는 0.219mm, Y축으로 0.094mm의 오차가 나타났다. X축과 Y축의 오차는 정밀도 설계기준인 0.7mm보다 매우 작으므로 로봇 시스템은 클론의 복제와 그리딩에 적합하다고 사료되었다.

3) 그리딩 핀의 개수가 384개인 그리딩 헤드로 클론을 배양하는 멤브레인 필터에 5×5 1 copy로 복제하였을 때, 클론의 배양 성공률은 100%로 나타났다. 멤브레인 필터에 멸균수를 그리딩한 자리에 균의 생장이 없어서 그리딩 핀의 소독 장치는 양호한 것으로 사료되었다.

**참 고 문 헌**

1. 이대원, 김채웅. 1998. 시설재배용 무인 작업기를 위한 X-Y테이블형 이동 시스템 개발. 한국농업기계학회지 23(2):157-166.
2. 이현동, 김기대, 김찬수. 1998. 조직배양체 이식 로봇 시스템의 개발(I) - 소프트 그리퍼 -. 한국농업기계학회지 23(5):491-498.
3. Dae-Weon Lee. 1990. A Robotic and Vision System for Location and Transferring container grown tobacco seedling. Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy. Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC.
4. Groover, M. P., M. Weiss, R. N. Nagel and N. G. Odrey. 1986. Industrial robotics ; technology, programming and applications. McGraw-Hill Book Company. : 20-47.
5. Kim, K. D. and Takayuki Kojima. 1996. Development of an automatic robot system for a vegetable factory. Journal of KYUSHU Branch of the Japanese society for agricultural machinery 45:22-25.
6. Zhang, H-B. and C. Wu. 2001. BAC as tools for genome sequencing. Plant Physiol. Biochem. 39: 195-209.