

유전체 연구를 위한 Well-plate 자동 교환 시스템의 개발

나건영¹ · 김기대² · 이현동³ · 이영규¹ · 김찬수³

Development of Automatic Well-plate Changing Robot System for Genome Project

Na, Gun-Young¹ · Kim, Ki-Dae² · Lee, Hyun-Dong³ · Lee, Young-Gyu¹ · Kim, Chan-Soo³

ABSTRACT

In this study, the automatic system exchanging well-plates was developed as a basic stage of the genome project. The developed system consisted of the plate fixing well-plates, the well-plate cassette, the head to move a well-plate from the well-plate cassette to the plate fixing well-plates before genome work or from the plate to the cassette after the work, the manipulator to move the head on the X, Y and Z axes and the control system. The performance test to exchange well-plates with the robotic system developed was carried out. The time to set an well-plate from the well-plate cassette onto the board fixing well-plates was 55 seconds and the time for 9 ones was 8 minutes and 15 seconds. It took 57 seconds to move a well-plate from the board to the cassette and 8 minutes and 33 seconds for 9 ones.

Keywords : well-plate changing, robot, genome project

본 논문은 한국과학재단 특정기초 사업의 연구과제로 수행되었음.

¹ 충남대학교 대학원 생물자원공학부(Division of Bio Resources Engineering, Graduate School, Chungnam Nat'l Univ., Daejeon 305-764, Korea)

² 충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부(Division of Bio Resources Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam Nat'l Univ., Daejeon 305-764, Korea)

³ 충남대학교 농업과학연구소(Institute of Agricultural Science & Technology, Chungnam Nat'l Univ., Daejeon 305-764, Korea)

교신저자 : 김기대(E-mail : kdkim@cnu.ac.kr, Tel : 042-821-6716)

1. 서 론

전 세계적으로 게놈에 대한 중요성이 부각되면서 선진국을 중심으로 하여 인간 게놈의 연구가 활발히 진행되고 있다. 그에 따라 대량의 유전체 정보가 밝혀지고 있으며, 밝혀진 유전체의 염기 서열을 바탕으로 다양한 생물의 전체 유전자의 기능을 효율적으로 해석하는 게놈 프로젝트(genome project)와 유전체가 가지고 있는 기능을 이용하여 인간에게 유용한 물질을 생산하는 바이오산업(bioindustry)이 각광을 받게 되었다. 게놈 프로젝트란 DNA 상에 존재하는 네 종류의 염기(아데닌, 구아닌, 티민, 시토신)가 어떤 배열로 이루어져 있는가를 밝히는 작업을 말하며 궁극적인 목표는 인간 및 생명체의 DNA 염기 서열의 분석, 유전자의 기능을 분석하여 이를 데이터 베이스화 하는데 있다.

바이오 산업이란 바이오테크놀리지를 기업화한 새로운 산업분야로써 생물 자체 또는 그들이 가지고 있는 고유의 기능을 높이거나 개량하여 자연에는 극히 미량인 존재의 물질을 대량으로 생산하거나 유용한 생물을 만들어 내는 산업을 일컫는다.

이러한 게놈 프로젝트와 바이오 산업에서는 게놈의 연구를 위해서 다량의 게놈이 필요하게 된다. 수작업에 의한 게놈의 다량 생산 작업은 엄청난 인력과 시간의 소비를 가져오게 되며, 이에 따라 인력과 시간의 단축을 위해서 게놈의 다량 생산에 자동화 시스템의 도입이 필요하게 되었다.

생명공학 선진국들은 일찍부터 유전체 및 바이오 산업 관련 공정에 이러한 자동화 시스템을 도입하여 신속, 정확하게 유전체 관련 물질들을 대량 생산하고 있어 유전체 연구 및 바이오 산업에 박차를 가하고 있다. 개발되어 실용화되어 있는

시스템으로는 실험실 수준의 연구용과 대량생산을 위한 산업용이 있으며 콜로니 픽킹, 그리딩, 복제 및 DNA 칩 제작작업을 수행할 수 있는 자동화 시스템 등이 있다.

그러나 우리나라에서는 대부분의 자동화 시스템을 외국에서 비싼 가격에 구입하여 사용하기 때문에 유전체 연구 및 바이오 산업의 경쟁력이 저하되는 원인이 될 수 있다. 하루에도 수백 개의 DNA 정보가 밝혀지고 있는 실정에서 유전체 연구에 있어서 자동화 시스템은 꼭 필요한 것이다.

특히, 이러한 콜로니 픽킹, 그리딩, 복제 및 DNA 칩 제작작업 등과 같은 유전체 작업에는 상당량의 DNA 및 콜로니가 필요한데 이때 이러한 DNA 및 콜로니를 한곳에 모아두는 웰 플레이트가 필요하며 웰 플레이트를 여러 개씩 거치시킬 수 있는 웰 플레이트 거치용 카세트가 필요하게 되었다.

이 카세트는 여러 개의 웰 플레이트를 거치시키고 있다가 순서대로 꺼내어 DNA 및 콜로니를 사용하거나 저장할 수 있는 장치로서, 이 카세트를 이용하면 유전체 연구 관련 자동화 작업을 더욱 빠른 시간에 실시할 수 있는 장점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 유전체 연구용 로봇에서, 웰 플레이트를 웰 플레이트 카세트에서 콜로니 픽킹, 그리딩, 복제 및 DNA 칩 제작작업 등과 같은 유전체 작업이 수행되는 웰 플레이트 고정판에 자동으로 이동시키고 고정판에서 작업이 완료된 웰 플레이트를 다시 웰 플레이트 카세트에 이동 저장시키는 작업을 수행하는 자동 웰 플레이트 교환 시스템을 개발하고자 하였으며 그 구체적인 연구 목적은 다음과 같다.

- (1) 웰 플레이트 카세트에서 웰 플레이트 고정판에 웰 플레이트를 이동시킬 수 있는 웰 플

- 레이트 교환 헤드를 개발하고,
- (2) 웰 플레이트를 여러개 거치시키고 작업시 꺼내어 고정시킬 수 있는 웰 플레이트 카세트 및 웰 플레이트 고정판을 설계·제작하고,
 - (3) 작업 가능한 3축 매니퓰레이터 및 개발된 시스템을 제어하는 소프트웨어를 개발하여,
 - (4) 웰 플레이트 교환 시스템의 웰 플레이트 교환 성능 실험을 실시하고 성능을 제시함으로써,
 - (5) 유전체 관련 자동화 시스템의 효율적인 작업을 위해 웰 플레이트의 자동 교환이 가능한 웰 플레이트 자동 교환 시스템을 개발하는데 본 연구의 목적이 있다.

웰 플레이트 배열판에 자동으로 이동시키고, 웰 플레이트의 덮개를 자동으로 개폐시키는 작업을 수행할 수 있는 시스템이다.



Fig. 1. The picture of the well-plates used.

II. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서 사용된 웰 플레이트로는 96 웰 플레이트와 384 웰 플레이트 두 종류를 사용하였다. 96 웰 플레이트는 12×8 배열의 96개 원통형 웰이 있으며, 각 웰의 크기는 직경이 6.6mm, 깊이가 11.3mm, 웰의 중심간격이 9mm이다. 384 웰 플레이트는 24×16 배열의 384개 웰이 있으며, 각 웰의 크기는 직경 3.5mm, 깊이가 7mm인 웰이며, 웰의 중심간격은 4.5mm이다. Fig. 1은 본 연구에서 사용된 웰 플레이트 사진이며 위의 웰 플레이트가 96웰 플레이트이며 밑의 웰 플레이트가 384웰 플레이트이다.

이 시스템은 웰 플레이트 교환 헤드를 X, Y, Z 축으로 이동시키는 직교좌표형 매니퓰레이터(400×400×300), 웰 플레이트를 집을 수 있는 그리퍼와 웰 플레이트의 덮개를 개폐하는 덮개 개폐장치가 장착되어 있는 웰 플레이트 교환 헤드, DNA가 저장되어 있는 여러 장의 웰 플레이트를 저장할 수 있는 웰 플레이트 카세트, 웰 플레이트를 배열하여 고정하고 덮개를 거칠 수 있는 웰 플레이트 고정판, 그리고 제어 장치 등으로 구성되었다. Fig. 2에 개발된 로봇 시스템을 나타내었다.

2.2 하드웨어 설계

① 로봇 본체

본 연구에서 개발된 로봇 시스템은 유전체 연구의 자동화에 응용되어 사용되는 시스템으로 웰 플레이트 카세트에 거치되어 있는 웰 플레이트를

② 웰 플레이트 교환헤드

웰 플레이트 카세트에서 웰 플레이트 고정판에 웰 플레이트를 위치시키는 작업과 웰 플레이트의

덮개를 개폐하는 작업을 수행하기 위해서 본 연구에서는 웰 플레이트 교환헤드를 개발하였다. 웰 플레이트 교환 헤드는 웰 플레이트를 직접 집는 그리퍼와 웰 플레이트의 덮개를 개폐하는 덮개 개폐장치로 되어있다.



Fig. 2. The picture of automatic well-plate changer.

㉠ 공압 그리퍼

공압은 작동이 간단한 기구이며 압축공기를 이용하므로 작업속도가 매우 빠른 작업 매체이다. 또한 압축공기의 특성상 기기의 완충작용을 할 수 있기 때문에 웰 플레이트 집게 장치에서는 공압용 기기인 공압 그리퍼를 사용하였다. 웰 플레이트 집게장치는 공압 그리퍼를 이용하여 웰 플레이트 카세트에서 웰 플레이트를 집어서 웰 플레이트 고정판에 자동으로 이동시키기 위해서 로봇의 헤드에 장착하였으며 공압 그리퍼의 사용 가능 압력은 6MPa 이하이다.

㉡ 덮개 개폐장치

웰 플레이트 덮개 개폐장치는 웰 플레이트 고정판에 위치되어 있는 웰 플레이트의 덮개를 자동으로 열거나 닫을 수 있는 장치이다. 웰 플레

이트 덮개의 무게는 약 0.018kg이다. 본 장치에서 사용된 진공기기에서는 흡입압력을 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 하였으며, 흡착판의 흡입면적은 $9\pi/4\text{cm}^2$ 이다. 따라서 식(1)에 의해 가공물의 흡입력을 계산하면 0.233kg이 되어 웰 플레이트 덮개를 개폐하기 위하여 덮개를 흡입하는데는 전혀 문제가 없는 것으로 나타났다.

웰 플레이트 덮개 개폐장치는 웰 플레이트의 덮개를 개폐시키기 위해서 진공발생(Vacuum Generator) 공압 스위치, 로타리 액추에이터(베인타입), 5포트 에어 2위치 밸브, 흡착판 등을 이용하여 설계하였다.

진공발생 공압 스위치는 2개의 스위치를 가지고 있다. 첫 번째 스위치는 공압 스위치에서 진공압이 발생하게 된다. 이를 이용하여 진공발생 공압 스위치에 장착되어 있는 흡착판에 가공물을 흡착시켜 들어 올릴 수 있게 되어 있다. 그러나 흡착판의 장시간 사용이나 가공물 표면의 이물질에 의해 흡착판에 물기나 기름기에 의해 오염된다면 스위치를 off시킨다 하더라도 가공물이 오염물질 때문에 잘 떨어지지 않을 수 있게 된다. 때문에 진공발생 공압 스위치에서는 두 번째 스위치를 작동시키면 약간의 공기압을 불어서 흡착판에 장착되어 있는 가공물이 잘 떨어지게 할 수 있도록 되어 있다.

또한, 공압을 이용하여 회전하여 방향을 180도 바꿀 수 있는 로타리 액추에이터를 이용하여 진공발생 공압 스위치에 의해 흡착판에 부착되어 있는 웰 플레이트 덮개를 회전 시켜 웰 플레이트 고정판에 위치 할 수 있도록 하였다. Fig. 3에 웰 플레이트 교환헤드를 나타내었다.

㉢ 웰 플레이트 카세트

Fig. 4의 웰 플레이트 카세트는 웰 플레이트를

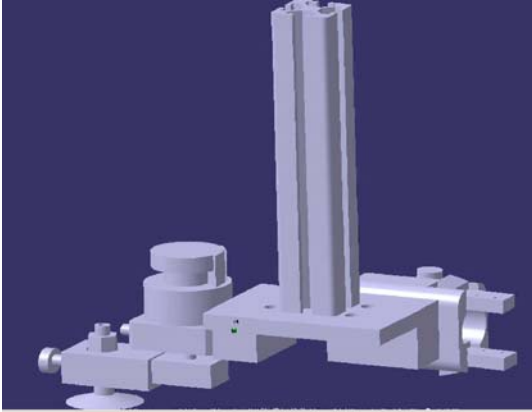


Fig. 3. The schematic diagram of well-plate changing head.

$$F = A(P_0 - P) \text{ -----(1)}$$

where

- F = Material suction force, kgf
- A = Suction area, cm²
- P₀ = Atmospheric pressure, 1.033kgf/cm²
- P = Vacuum ratio, kgf/cm²

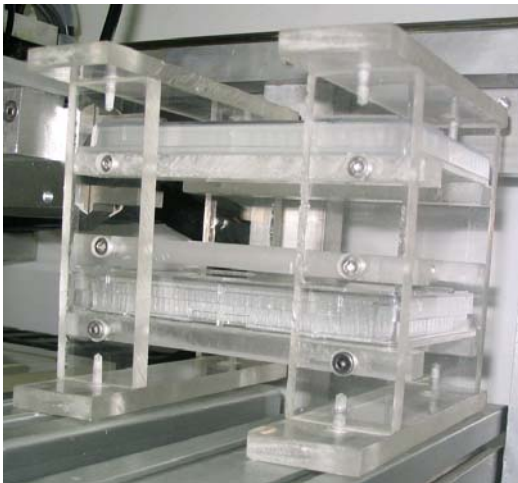


Fig. 4. The well-plate cassette designed.

거치하여 저장할 수 있는 장치이다. 본 장치는 웰 플레이트를 3층으로 저장할 수 있도록 설계하였으며 확장이 가능하도록 설계 제작하였다.

제작된 웰 플레이트 카세트는 가로 140mm 세로 130mm 높이 130mm로 제작하였으며, 웰 플레이트를 3단으로 하였고 웰 플레이트의 높이와 집게장치의 높이를 감안하여 각 층간의 간격을 20mm로 설계 제작하였다.

④ 웰 플레이트 고정판

콜로니 픽킹, 그리딩, 복제 및 DNA 칩 제작 등의 작업을 수행하기 위하여 웰 플레이트를 작업이 이루어지는 곳에 고정하기 위한 웰 플레이트 고정판이 필요하다. 고정판은 웰 플레이트 1개와 웰 플레이트 덮개 1개를 놓을 수 있도록 제작하였으며 재질은 아크릴을 이용하였으며 고정판은 우측에는 웰 플레이트 집게장치를 이용하여 위치할 수 있도록 18mm의 깊이로 홈을 가공하였으며 좌측은 웰 플레이트의 덮개를 위치할 수 있도록 설계, 제작하였다. Fig. 5에 웰 플레이트 고정판의 개략도를 나타내었다.

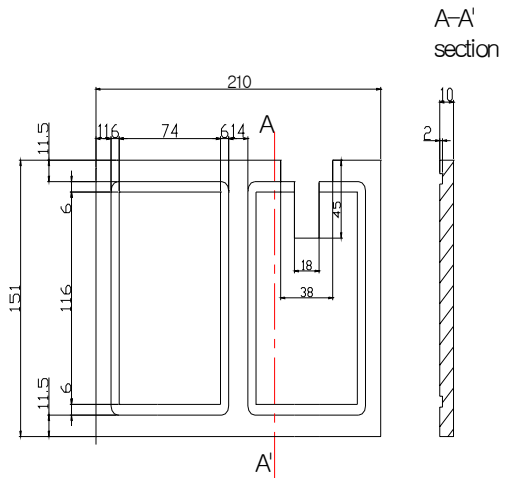


Fig. 5. The plank of well-plate designed.

⑤ 제어장치

본 연구에서 사용한 제어시스템은 웰 플레이트 교환 헤드를 이동 시킬 수 있는 매니플레이터와 웰 플레이트 교환 헤드에 사용된 공압을 제어하는 공압장치로 이루어져 있다.

매니플레이터의 제어 시스템은 X, Y축과 웰 플레이트 교환 헤드가 장착된 Z축을 구동하기 위해서 스텝핑 모터 2개, 서보 모터 1개와 이를 제어하는 3개의 모터 드라이버, 모터 드라이버를 제어하는 2축제어용 모터 인터페이스 보드 2개, 모터 인터페이스 보드에 명령을 지시하는 제어 프로그램, 프로그램을 실행시키는 컴퓨터로 구성하였다.

X, Y, Z축의 이동장치에는 ORG(Origin) 리미트 스위치를 장착하여 원점 설정 및 복귀할 수 있도록 하였으며, SD(Slow Down) 리미트 스위치를 사용하여 로봇 시스템의 원점 복귀시 정지 전에 속도를 줄여주도록 하였다.

로봇 시스템의 리미트 스위치는 포토 센서(Photo sensor)를 사용하였고, X축과 Y축의 원점을 기준으로 이동거리가 최대인 곳에 엔드 리미트 스위치를 설치하여 X, Y축의 최대 이동 거리를 제한하였으며, 웰 플레이트 교환 헤드가 장착된 Z축 리미트 스위치는 축의 선단에 설치하였다. X축과 Y축은 모터의 소요 기동 토크와 소요 동력의 이론상 차이는 있으나 본 장치가 실험장치인 점을 감안할 때, 이를 거의 무시할 수 있어 2축은 모두 동일한 용량 및 규격의 모터를 사용하였고, 이는 로봇 시스템의 동작과 제어상에는 무리가 없을 것이라 사료되었다.

공압장치는 웰 플레이트 교환 헤드에 사용되었는데 웰 플레이트 교환 헤드는 웰 플레이트 집게 장치와 웰 플레이트 덮개 개폐장치로 구성되어 있다. 웰 플레이트 집게 장치는 공압 그리퍼와 3

포트 2위치 밸브를 이용하여 제작하였다. 웰 플레이트 덮개 개폐장치는 진공발생 공압 스위치, 로타리 액추에이터, 5포트 2위치 밸브, 흡착판 등으로 구성되어 있다.

웰 플레이트를 집는 웰 플레이트 집게 장치와 웰 플레이트의 덮개를 여는 웰 플레이트 덮개 개폐장치는 공압장치를 이용하였다.

웰 플레이트 집게장치는 3포트 2위치 밸브를 이용하여 공압 그리퍼를 제어하여서 웰 플레이트를 집을 수 있게 하였다.

웰 플레이트 덮개 개폐장치는 콤프레샤에서 발생하는 공기압이 진공발생 공압 스위치에서 진공압으로 바뀐다. 진공발생 공압 스위치에서 발생한 진공압에 의해 웰 플레이트의 덮개를 집는다. 다시 콤프레샤의 공기압을 이용하여 로타리 액추에이터를 회전시킨다. 덮개 개폐장치의 흡착판에 붙어 있는 웰 플레이트 덮개도 로타리 액추에이터와 같이 회전하여 웰 플레이트 고정판에서 웰 플레이트를 거치할 곳에 위치하게 된다. 진공발생공압 스위치를 다시 작동시키면 진공발생공압 스위치에서 약간의 공기압이 발생하여 웰 플레이트 덮개를 떨어뜨리면 웰 플레이트 덮개가 웰 플레이트 고정판에 위치하게 된다. Fig. 6은 본 시스템의 제어장치 구성도를 나타낸 것이며, Table 1은 본 로봇 시스템에 사용된 부품의 제원을 나타낸 것이다.

2.3 소프트웨어 설계

본 연구에서 개발된 웰 플레이트 교환 프로그램은 MS사의 윈도우용 Visual Basic 6.0 프로그램 언어를 사용하여 개발되었다.

먼저 시스템을 초기화 하여 원점을 잡은 후 웰 플레이트 교환 헤드를 웰 플레이트 카세트에 이동시킨다. 공압 그리퍼를 이용하여 웰 플레이트

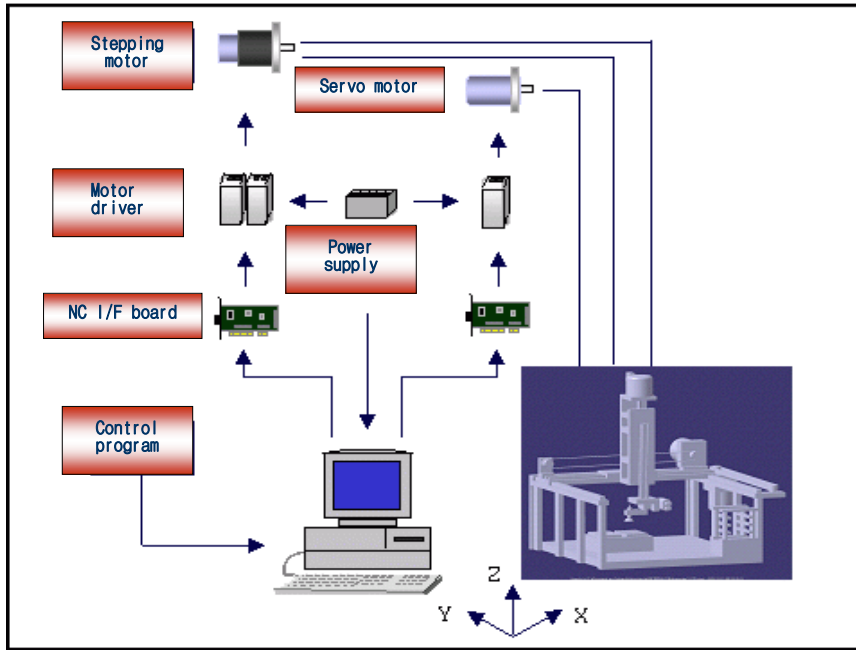


Fig. 6. The schematic diagram of the robot control system.

Table 1. The specification of robot system

Item	specification	model	maker
AC servo motor & motor driver	200W, 100V, 400W, 100V,	MSMO21A1A MSMO41A1E	Panasonic
Motor controller	2 axes controll I/O 8 channels	STP-2M(PC)	Contec
Air gripper	Finger absolute force (N) 179.5 Usual pressure(kPa) 100~600	SV2-P20	Taiyo
VG switch	Specified pressure(mmHg) 0~760	VGL05F-44-DC24S	Pisco
Rotary actuator	Speed area(sec/90°) 0.03~0.3 Usual degree(°) 180	SRBUW20-180S	Smc
PC	CPU 450MHz	Pentium III	-

를 집어 웰 플레이트 고정판으로 이동 시켜 웰 플레이트를 고정시킨다. 웰 플레이트 덮개 개폐 장치를 이용하여 웰 플레이트의 덮개를 연다. 고정판에 고정되어 있는 웰 플레이트의 유전체 작업이 완료되면 웰 플레이트 덮개 개폐장치를 이

용하여 웰 플레이트의 덮개를 닫고, 공압 그리퍼를 이용하여 픽킹 작업이 완료된 웰 플레이트를 웰 플레이트 카세트에 거치한 후 새로운 웰 플레이트를 같은 방법으로 유전체 작업이 완료 될 때까지 실시한다.

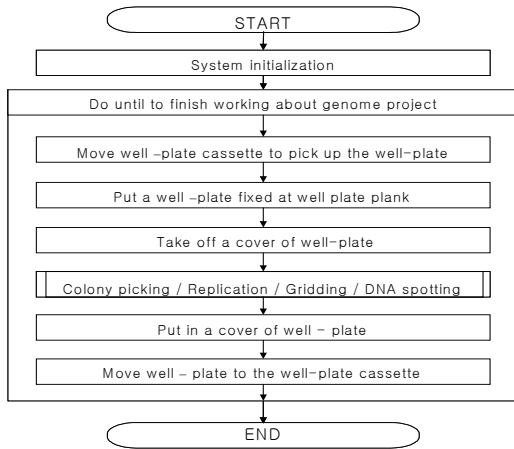


Fig. 7. The flow-chart of system control program.

2.4 시스템의 성능 평가

① 반복 정밀도 허용 오차 범위

웰 플레이트의 크기가 127mm×83mm이고 웰 플레이트 고정판의 홈이 128mm×84mm이다. 웰 플레이트를 웰 플레이트 고정판에 고정시킬 때, 상하 좌우의 공차가 1mm이므로 웰 플레이트가 웰 플레이트 고정판에서 벗어난 허용오차를 최소 거리의 70%로 하여 반복 정밀도 허용 오차의 범위를 0.7mm로 하였다.

② 시스템 반복 정밀도 측정 실험

본 연구에서는 스텝핑 모터를 사용한 X×Y 평면에 대해서 시스템의 위치 정밀도를 검정하기 위하여 시스템의 초기화 없이 X×Y 평면은 300×300mm의 직사각형 공간을 10회, 20회, 30회씩 CW, CCW 방향으로 반복 회전한 후 처음 출발자리로 돌아왔을 때의 처음 위치와의 오차를 측정하는 실험을 실시하였다. 웰 플레이트 교환 헤드가 장착된 Z축의 경우 X, Y축에 비해 상대적으로 1 pulse 당 이동거리 및 피치가 작기 때

문에 반복 정밀도 실험에서 제외하였다. 위치 정밀도 측정을 위한 실험장치로는 1 μm까지 측정할 수 있는 Anritsu社의 KL135A 레이저 변위센서(Laser Displacement Sensor)를 사용하였다.

③ 웰 플레이트 교환 성능

본 연구에서는 웰 플레이트 교환 헤드를 이용하여 웰 플레이트를 웰 플레이트 고정판에 고정시키는 성능을 실험하였다.

웰 플레이트 30개를 웰 플레이트가 웰 플레이트 고정판에 잘 고정되는지를 실험하였으며, 웰 플레이트 덮개 개폐장치를 이용하여 웰 플레이트의 덮개를 개폐시키는 실험을 반복 실험하였다. 따라서 본 고정성능 실험에서는 공압 그리퍼를 이용하여 웰 플레이트 카세트에서 웰 플레이트 30개를 차례로 집어서 웰 플레이트 고정판에 웰 플레이트가 웰 플레이트 카세트와 웰 플레이트 고정판에 잘 고정되는지와 고정판에서 웰 플레이트 덮개가 잘 여닫히는지를 실험하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 시스템의 정확도 측정 실험 결과

로봇 시스템의 위치 정밀도를 측정한 결과는 Table 2와 같다. 결과를 살펴보면 각 측정위치에서의 반복에 의한 편차는 전 구간에서 0.09mm에서 0.13mm로 측정되었으며 이는 설계기준인 0.7mm 보다 매우 적은 값으로 나타났다. 반복횟수에 상관없이 오차가 고르게 나타났으며, 이 오차는 웰 플레이트를 웰 플레이트 고정판에 고정시킬 때의 오차를 기본으로 설정한 설계기준 0.7mm 이하로 나왔으므로 본 로봇 시스템은 목표한 작업을 수행하는데 적절하다고 사료된다.

Table 2. The results of repeatability test

Space	Rotation direct	Repeat No.	Repeatability error (mm)	Space	Rotation direct	Repeat No.	Repeatability error (mm)
X	CW	10	0.11	Y	CW	10	0.12
		20	0.10			20	0.11
		30	0.12			30	0.12
	CCW	10	0.11		CCW	10	0.09
		20	0.09			20	0.13
		30	0.13			30	0.12

3.2 웰 플레이트 교정 성능 실험결과

웰 플레이트 30개를 웰 플레이트 집게를 이용하여 웰 플레이트를 웰 플레이트 고정판에 고정시키는 실험을 한 결과 웰 플레이트가 웰 플레이트 고정판에 오차 범위(0.7mm)내에서 위치하였다. 웰 플레이트 덮개도 웰 플레이트 덮개 개폐장치를 이용하여 실험한 결과 30개 모두 웰 플레이트 고정판에 웰 플레이트 덮개가 오차 범위(0.7mm)내에서 위치하였다.

3.3 시스템의 기계적 성능실험 결과

로봇 시스템의 기계적 성능 실험은 웰 플레이트를 웰 플레이트 카세트에서 웰 플레이트 고정판에 위치시켜 웰 플레이트 덮개 개폐장치를 이용하여 덮개를 개폐시키는 시간을 측정한 결과 웰 플레이트 1개를 고정판에 이동시켜 덮개를 여닫는 시간은 55초가 소요되었으며 웰 플레이트 카세트에 3개의 웰 플레이트를 거치시킨 후 웰 플레이트를 이동시키는 실험을 3EA/카세트(9회) 실시한 결과, 8분 15초가 소요되었다. 이(2003)의 연구를 기준으로 콜로니 픽킹시 걸리는 시간이 2시간 18분인 것을 감안하면 이 시간동안 인력이 유전체 로봇에서 콜로니 픽킹 작업이 완료될 때까지 웰 플레이트를 직접 바꾸지 않아도 되어 인력과 시간의 낭비를 줄일 수 있다.

IV. 요약 및 결론

선진국들은 유전체 연구의 대부분 연구 공정에 자동화기기를 도입하여 신속하고 정확하게 유전체의 유용물질들을 대량 생산해내고 있어 유전체 연구를 가속화시키는 원동력으로 작용하고 있다. 그러나 우리나라에서는 유전체의 연구에 있어서 외국의 값비싼 기계를 수입하여 사용하고 있으며, 유전체 기계의 국내 생산 및 기술개발은 미비한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 유전체 연구의 기초단계로서 웰 플레이트를 자동으로 교체할 수 있는 웰 플레이트 자동 교환 시스템을 개발을 연구 목적으로 하였으며, 연구 결과는 다음과 같다.

1. 본 시스템은 웰 플레이트 카세트에서 웰 플레이트 고정판에 웰 플레이트를 이동시키고, 유전체 작업이 완료된 웰 플레이트를 다시 웰 플레이트 카세트에 이동시키는 작업을 수행하는 웰 플레이트 교환 헤드, 웰 플레이트 교환 장치를 X, Y, Z축으로 이동시키는 매니플레이터, 웰 플레이트 고정판, 웰 플레이트 카세트, 제어 장치 등으로 구성되었다.
2. 웰 플레이트 교환 헤드는 웰 플레이트를 집는 웰 플레이트 집게장치, 웰 플레이트의 덮개를

개폐할 수 있는 웰 플레이트 덮개 개폐장치로 구성되었다.

3. 웰 플레이트 카세트는 96웰 플레이트와 384웰 플레이트 모두를 사용할 수 있도록 제작하였으며 착탈이 가능하고, 확장이 가능하도록 3층 높이로 설계, 제작되었다.
4. 제어 시스템에서 매니플레이터는 PC, 2축 제어용 모터 인터페이스 보드, 모터 드라이버에 전원을 공급하는 파워 썬플라이, 모터를 구동하는 모터 드라이버, X, Y축을 구동하는 스텝핑 모터, Z축을 구동하는 서보 모터 등으로 구성하였고, 공압 시스템은 진공압을 발생시키는 진공발생 공압 스위치, 180° 회전이 가능한 로타리 액추에이터, 로타리 액추에이터를 제어하는 5포트 에어 2위치 밸브, 공압을 발생시키는 콤프레사 등으로 구성되었다. 제어 프로그램은 로봇 시스템을 전체적으로 제어할 수 있도록 개발하였으며, Microsoft社의 Visual Basic 6.0로 작성하였다.
5. 웰 플레이트 크기와 웰 플레이트 고정판의 홈의 크기의 오차를 1mm로 하였으며 X축과 Y축의 정밀도 허용 오차 범위는 고정판을 벗어난 허용오차의 최소 거리의 70%인 0.7mm로 설정하였으며 로봇 시스템의 X축과 Y축의 반복 정밀도를 실험한 결과, X축으로는 0.110 mm, Y축으로 0.115 mm의 오차가 나타나 허용오차보다 작게 측정되었다.
6. 웰 플레이트 교환 시스템을 이용하여 웰 플레이트를 교환하는 실험을 한 결과 웰 플레이트 1개를 고정판에 고정시키는데 걸린 시간은 55초의 시간이 소요되었으며, 9개의 웰 플레이트를 이동시켰을 때는 8분 15초의 시간이 소요되었고, 웰 플레이트 고정판에서 웰 플레이트 카세트에 저장시키는데는 1개일때는 57초, 9개

의 웰 플레이트일 경우에는 8분 33초가 소요되었다.

참고문헌

1. 이현동, 김기대, 김찬수. 1998. 조직배양체 이식로봇 시스템의 개발(I) - 소프트 그리퍼 -. 한국농업기계학회지. Vol.23(5) : 491-498.
2. 이현동, 김기대, 김찬수, 김정필, 정 혁. 1999. 조직배양체 이식로봇 시스템의 개발(II) - 기계시각 시스템. 한국농업기계학회지. Vol.24(1) : 41-50.
3. 이현동, 김기대, 나건영, 임용표. 2003. DNA 칩 제작을 위한 로봇 시스템의 개발. 한국농업기계학회지. Vol.28(5) : 429-438.
4. 이현동, 김기대, 나건영, 임용표. 2003. 콜로니 픽킹 로봇 시스템 개발(I) - 콜로니 위치확인 영상처리 알고리즘 -. 한국농업기계학회지. Vol.28(5) : 439-448.
5. 이현동, 김기대, 나건영, 이영규. 2003. 콜로니 픽킹 로봇 시스템 개발(II) - 로봇 시스템의 성능실험 -. 한국농업기계학회지. Vol.28(5) : 449-456.
6. 추창환, 서동현, 김찬수, 박지영, 임용표, 김기대. 2001. 유전체 연구용 그리딩 로봇 시스템 개발. 한국농업기계학회지. Vol.26(4) : 391-398.