

바이오칩 제작을 위한 DNA 시료 조작

정밀 로봇 시스템 개발 (IV)

- Linear Scale을 이용한 Sub Micron 정밀제어 -

Development of Precise Robot System Operating DNA Sample for Manufacturing Bio chips (IV)

- The Precise Control of Sub-Micron using Linear Scale -

엄기남*	이영규*	이현동**	임용표***	김찬수**	김기대*
정회원	정회원	정회원		정회원	정회원
K .N. Eom	Y. K. Lee	H. D. Lee	Y. P. Lim	C. S. Kim	K. D. Kim

1. 서 론

바이오칩(Biochip)은 생체 분자를 칩 상에 배열하여 원하는 생물학적인 정보를 얻어내거나 생물/화학적인 공정 및 반응을 조그만 칩 상에서 수행 가능케 하는 도구로 정의할 수 있다. 즉, 반도체칩이 실리콘 기판 위에 미세한 전자회로를 집적한 것처럼 바이오칩은 유리나 플라스틱 기판에 수많은 바이오 물질을 집적시킨 것이다.

바이오칩은 크게 3분류로 나눌 수 있다. 첫째는 마이크로어레이(Microarray)로 유리 같은 고체 표면에 DNA, Protein과 같은 biomolecule이 고정, 미세 배열되어 있는 것으로 현재 시장에서 주를 이루고 있다. 둘째는 Microfluidics칩으로 microchannel 안에 생물/화학적 샘플이나 reagent가 이동하여 공정이나 반응 그리고 분석을 가능케 하는 일종의 장치 개념의 칩이다. 셋째는 위의 개념에 포함이 안 되거나 개념이 혼합된 그러한 기타 바이오칩으로 나눌 수 있다.

바이오칩 제작의 작업을 수행하기 위해서는 3 자유도 이상을 가진 로봇 시스템이 필요하다. 3차원 공간상의 임의의 위치를 자유자재로 이동할 수 있으며, 원하는 위치에 정확하게 도달해야 한다. 이는 유전체 연구를 위한 로봇 시스템의 정확한 정밀 위치제어가 필수요소이며 부정확한 위치제어의 경우 작업을 할 수 없기 때문이다.

현재 국내에서 사용되고 있는 DNA 칩을 제작하기 위한 마이크로어레이어는 대부분 외국에서 개발한 고가의 장비를 이용하고 있는 실정이다. 이는 바이오산업 및 연구에서의 경쟁력을 저하시키는 원인이다.

본 연구는 한국과학재단 특정기초사업의 연구과제의 일부분으로 수행되었음.

* 충남대학교 농생대 생물자원공학부 생물산업기계전공

** 충남대학교 농생대 식물자원학부 원예학전공

*** 충남대학교 농업과학연구소

따라서, 본 연구에서는 유전체 연구 및 바이오산업에 필수적이며 최근 이용률이 빠르게 증가하고 있으며 핵심 기술을 자체 개발하여 DNA 칩 제작 등의 작업을 수행할 수 있는 정밀 로봇 시스템을 개발하는데 본 연구의 목적이 있으며, 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 1) 0.1 μ m 분해능의 리니어 스케일(linear scale)을 로봇 시스템에 부착하도록 설계, 제작하고,
- 2) 리니어 스케일을 이용하여 성능실험을 실시하여,
- 3) 측정된 값을 이용하여 정밀제어 프로그램의 개발 방향을 제시한다.

2. 재료 및 방법

가. 하드웨어 설계

1) 로봇 본체

본 연구에서는 DNA를 고밀도로 점착시키기 위하여 3축 자유도의 직교 좌표형 로봇을 이용하였다. 구동에 사용된 모터 시스템은 모터, 모터 구동을 위한 드라이버, 모터 드라이버에 신호를 가하는 모터 인터페이스 보드 및 기타 시스템의 제어를 위한 컨트롤러 등으로 구성 되어있다. 아래의 테이블 1에서 4까지는 본 로봇 시스템에 사용된 모터, 모터 드라이버, 모터 인터페이스 보드, 리니어 스케일의 사양을 보여주고 있다.

Table 1. The specifications of the motors used

Item	Specifications		
	X axis	Y axis	Z axis
Manufacturer	Panasonic		
Model	MSMA022A1A	MSMA042A1E	MSMA022A1A
Power rate (kW)	0.2	0.4	0.2

Table 2. The specifications of the motor drivers used

Item	Specifications		
	X axis	Y axis	Z axis
Manufacturer	Panasonic		
Model	MSDA023A1A	MSDA043A1A	MSDA022A1A
Motorpower rate (kW)	0.2	0.4	0.2
Control mode	Position control		

Table 3. The specifications of the motor interface board used

Item	Specifications	
Manufacturer	Contec	
Model	SMC-2P(PCI)	
controller	Number of axes (EA)	2
	Output pulse signals	CW, CCW

Table 4. The specifications of linear scale used

Item	Specifications
Manufacturer	RENISHAW
Model	RGH24Y
Type	Non-contact open optical system
Resolution (μm)	0.1
Maximum speed (m/s)	5
Power supply (V)	$5 \pm 5\%$

로봇 시스템 각 축의 구동은 Panasonic社의 MSMA 시리즈 AC 서보 모터를 사용하였으며, X축과 Z축은 200W, Y축은 400W 모터를 사용하였다. 모터 구동을 위한 모터 드라이버는 모터와 같은 Panasonic社의 MSDA 시리즈 AC 서보모터 드라이버를 사용하였다. 모터 구동용 모터 인터페이스 보드는 Contec社의 SMC-2P(PCI) 제품을 사용하여 3축 제어를 실시하였다. X, Y, Z축에는 제한 스위치를 장착하여 축의 원점 및 한계를 설정할 수 있도록 하였다. 제한 스위치는 오토닉스社의 PR08-2DN 근접 스위치를 사용하였으며, 검출 거리는 2mm, NPN Normal Open 형이다.

또한 시스템의 정밀제어를 위해 분해능 $0.1\mu\text{m}$ 의 리니어 스케일인 RGH24Y 을 이용하여 시스템을 제어하였다. 실험에 사용된 로봇 시스템은 위의 그림 1와 같다. 그림 2에는 로봇 시스템의 제어 구성도를 나타내었다.

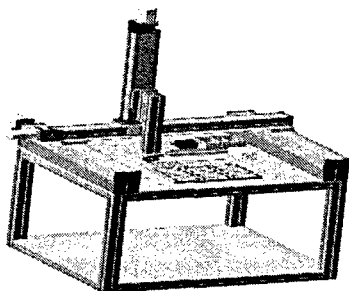


Fig. 1. The robot system developed

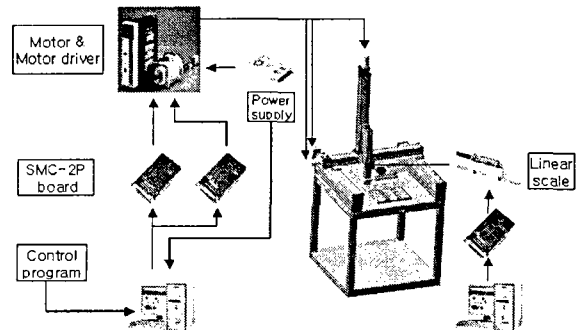


Fig. 2. The schematic diagram of the robot control system

2) 그 밖의 시스템

본 연구에서는 웰 플레이트와 슬라이드를 고정할 수 있도록 칩 및 웰 플레이트 고정부를 제작하였다. 384 웰 플레이트 2개와 슬라이드 12개를 고정할 수 있도록 아크릴판을 가공하여 로봇 본체에 부착하였다. 칩 및 웰 플레이트 고정부는 웰 플레이트를 가로로 2개 배열하고 4×3으로 12개의 슬라이드를 배열할 수 있도록 하였다.

또한, DNA 칩을 제작할 때 핀에 묻혀 한번 사용된 DNA는 다른 DNA를 묻히기 위해서 핀으로부터 제거되어야 한다. 이를 위해 핀에 증류수를 분사하며 진동 브러쉬로 DNA를 세척하는 장치를 장착하였고, 핀 세척 후 남아 있는 증류수를 제거하기 위하여 콤프레서에 의한 압축공기를 일정시간 핀에 분사하여 DNA를 씻고 핀에 묻은 증류수를 제거할 수 있도록 하였다.

나. 소프트웨어 설계

본 연구에 사용된 DNA 시료 조작 정밀 로봇 시스템은 MS사의 윈도우용 Visual Basic 6.0 프로그램 언어를 사용하여 개발하였다.

먼저 시스템을 초기화 하여 원점을 잡은 후 세척 및 건조장치로 이동하여 핀을 세척, 건조하는 작업을 수행한다. 그 다음 DNA가 담겨 있는 384 웰 플레이트로 이동하여 DNA를 묻힌 후 유전자 기능을 밝히기 위해 슬라이드에 DNA를 점착 시키는 기능을 수행한다. 그리고 시스템의 전반적인 운동 및 구동 체크를 할 수 있는 기계동작시험 기능이 있다.

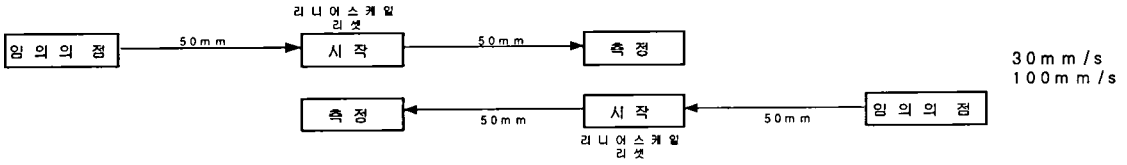
슬라이드에 점착하는 DNA 스팟의 간격, 개수, DNA 칩의 개수 등을 정할 수 있도록 하였으며, 원하는 개수의 칩을 제작하는데 소요되는 시간을 추정할 수 있도록 설계하였다.

기계동작시험 기능에는 X, Y, Z 방향으로 일정 속도, 일정 간격으로 시스템이 움직일 수 있도록 하였으며 각 장치들의 작동상태를 파악할 수 있게 하였고 시스템의 위치를 알 수 있게 하였다.

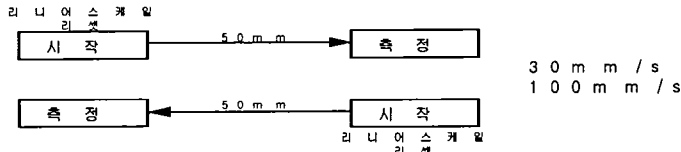
다. 성능실험

1) Linear Scale을 이용한 정밀 위치제어

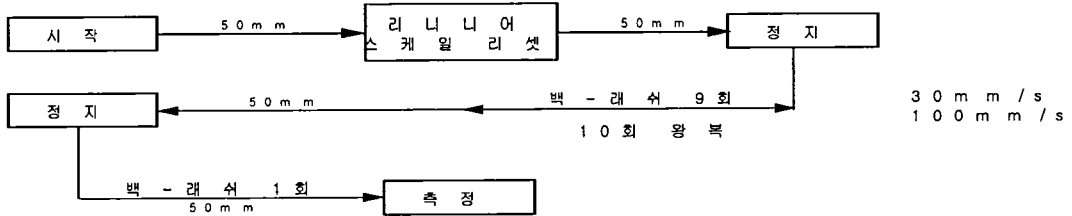
본 실험에서는 액추에이터의 이동거리를 모터의 엔코더에서 취득한 데이터와 리니어 스케일에서 취득한 데이터를 비교하여 오차를 측정하였다. 첫 번째 실험은 액추에이터를 한 방향으로 일정거리만큼 이동시킨 후 정지하여 리니어 스케일의 원점을 잡은 다음 다시 동일한 방향으로 일정 거리만큼 이동 시켰을 때 발생하는 오차를 측정하였고 그림 3-a에 실험방법을 나타내었다. 두 번째 실험은 액추에이터를 한 방향으로 일정거리만큼 이동시킨 후 정지하여 리니어 스케일의 원점을 잡은 다음 반대 방향으로 같은 거리만큼 이동 시켰을 때 발생하는 오차를 측정하였고 그림 3-b에 실험방법을 나타내었다. 마지막으로 액추에이터의 기준점을 잡은 후 일정거리를 10회 왕복운동 시킨 후 처음 시작점에 도달하였을 때의 오차를 측정하였으며 백-래쉬의 오차를 줄이기 위해서 그림 3-c와 같이 실험하였다.



(a) The method of the performance test according to system moving



(b) The method of the performance test according to back-lash



(c) The method of the performance test according to repeatability test

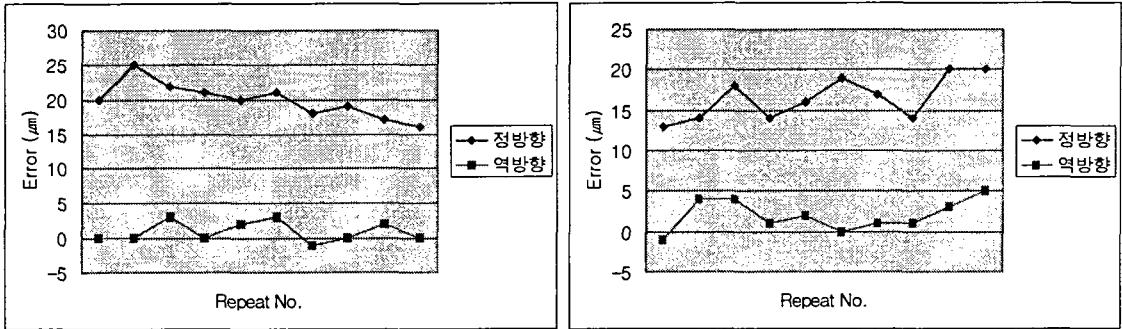
Fig. 3. The method of the performance test according to machine test

3. 결과 및 고찰

가) 액추에이터를 동일방향으로 이동시켰을 경우 모터속도에서 발생하는 오차는 적었으며 액추에이터의 구동 방향에서 정방향일 때 평균 $20.0\mu\text{m}$ 의 오차가 발생하였고, 표준편차는 2.47이다. 역방향일 때에는 평균 $0.9\mu\text{m}$ 의 오차가 발생하였고, 표준편차는 1.37로 나타났다. 그림 4에 결과를 나타내었다.

나) 액추에이터의 구동 방향이 바뀔 때 백-래쉬에 의한 오차가 크게 발생하는 것으로 나타났다. 액추에이터를 30mm/s 의 속도로 구동할 때 백-래쉬에 의한 오차는 정방향일 때 평균 $-16.1\mu\text{m}$, 표준편차는 0.94로 나타났다. 역방향일 때에는 평균 $-16.8\mu\text{m}$, 표준편차는 0.98로 나타났다. 100mm/s 의 속도로 구동할 때 백-래쉬에 의한 오차는 정방향일 때 평균 $-14.2\mu\text{m}$ 가 발생하였고 표준 편차는 1.16이다. 역방향일 때에는 평균 $-15.0\mu\text{m}$, 표준편차는 1.67로 나타났다. 그림 5에 결과를 나타내었다.

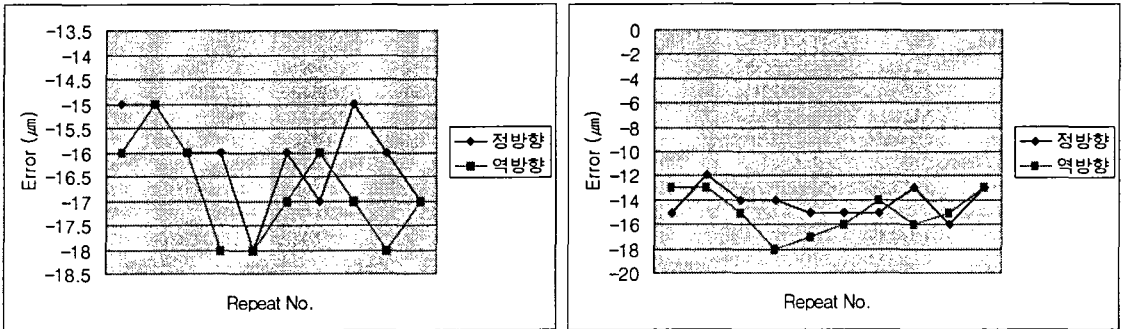
다) 액추에이터의 기준점을 잡은 후 50mm를 10회 왕복운동 시킨 후 처음 시작점에 도달하였을 때의 오차를 측정된 결과 모터의 속도에 따른 오차는 적었으며 정방향일 때 평균 $1.85\mu\text{m}$ 의 오차와 1.42의 표준 편차를 보였고 역방향일 때 $1.50\mu\text{m}$ 의 평균오차와 1.02의 표준 편차를 보였다. 그림 6에 결과를 나타내었다.



(a) speed 30mm/s

(b) speed 100mm/s

Fig. 4. The result of the performance test according to system moving



(a) speed 30mm/s

(b) speed 100mm/s

Fig. 5. The result of the performance test according to back-lash

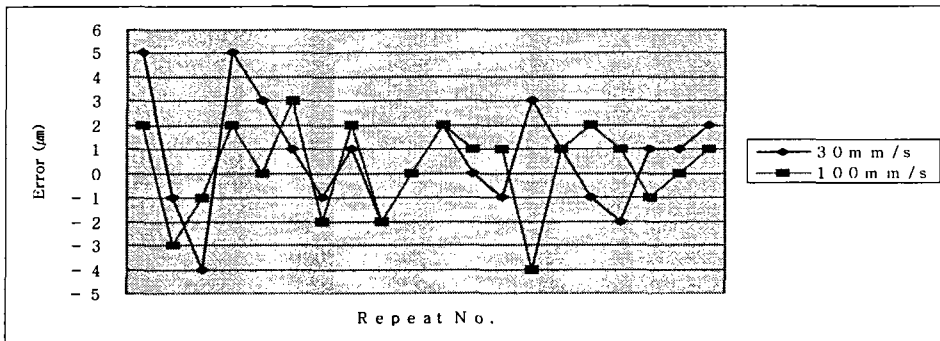


Fig. 6. The result of the performance test according to repeatability test

라) 백-래쉬에 의한 오차 값이 가장 큰 점을 고려할 때 10000펄스당 1회전하도록 설계되어 있는 제어프로그램을 수정하여 백-래쉬 크기에 해당하는 펄스 값을 더 주어 백-래쉬에 의한 오차 값을 줄이는 실험을 한 결과 정방향일 때 $0.6\mu\text{m}$ 의 평균오차가 발생하였고 역방향일 때에는 평균 $-0.9\mu\text{m}$ 의 평균오차가 발생하였다.

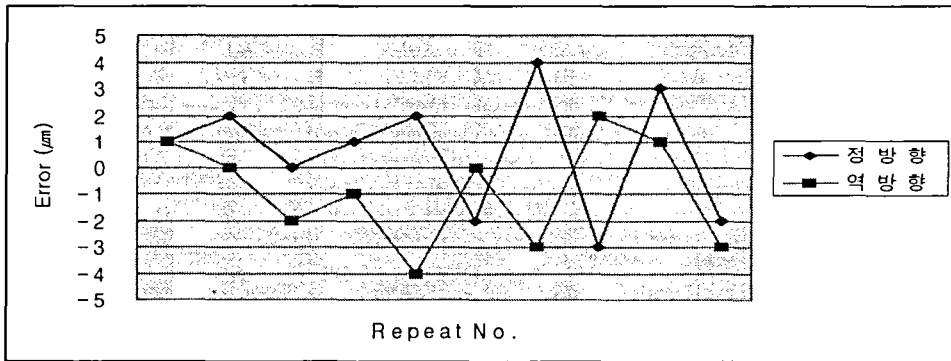


Fig. 7. The result of the performance test according to back-lash adjustment

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 DNA 칩 제작 등의 작업을 수행할 수 있는 정밀 로봇 시스템을 개발하는데 목적을 두었으며, 구체적인 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서는 $0.1\mu\text{m}$ 의 분해능을 가지는 리니어 스케일로 시스템의 오차 측정실험을 실시하였다.
- 2) 액추에이터를 동일 방향으로 이동시킬 때 정방향일 경우 평균 $20.0\mu\text{m}$ 의 오차가 발생하였고, 역방향일 때에는 평균 $0.9\mu\text{m}$ 의 오차가 발생하였다.
- 3) 액추에이터의 구동 방향이 바뀔 때 백-래쉬에 의한 오차가 크게 발생하는 것으로 나타났다. 액추에이터를 30mm/s 의 속도로 구동할 때 백-래쉬에 의한 오차는 정방향일 때 평균 $-16.1\mu\text{m}$, 역방향일 때에는 평균 $-16.8\mu\text{m}$ 의 오차가 나타났다. 100mm/s 의 속도로 구동할 때 백-래쉬에 의한 오차는 정방향일 때 평균 $-14.2\mu\text{m}$ 가 발생하였고 역방향일 때에는 평균 $-15.0\mu\text{m}$ 의 오차가 발생하였다.
- 4) 액추에이터의 기준점을 잡은 후 50mm 를 10회 왕복운동 시킨 후 처음 시작점에 도달하였을 때의 오차를 측정한 결과는 속도와는 무관한 결과를 얻을 수 있었고 정방향일 때 평균 $1.85\mu\text{m}$, 역방향일 때 평균 $1.5\mu\text{m}$ 의 오차가 발생하였다.
- 5) 본 시스템에서 모터가 액추에이터를 구동할 때 진행 방향을 바꾸게 되면 백-래쉬에 의한

오차가 가장 크게 나타난다. 10000펄스당 1회전하도록 설계되어 있는 제어프로그램을 수정하여 백-래쉬 크기에 해당하는 펄스 값을 더 주어 백-래쉬에 의한 오차 값을 줄이는 실험을 한 결과 추가되는 펄스만큼 정방향일 때 $0.6\mu\text{m}$ 의 평균오차가 발생하였고 역방향일 때 $-0.9\mu\text{m}$ 의 평균오차가 발행하였다.

이상의 결과를 종합해 보면, 바이오칩 제작을 위한 DNA 시료 조작 정밀 로봇 시스템에서 시스템 구동 시 발생하는 오차를 제어 프로그램에서 보상하여 시스템을 작동하게 된다면 보다 정밀한 로봇 시스템을 제작할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 이현동, 김기대, 나건영, 임용표. 2003. DNA 칩 제작을 위한 로봇 시스템 개발. 한국농업기계학회지 Vol.28(5) : 429-438
2. 이현동, 김기대, 나건영, 이영규. 2003. 콜로니 픽킹 로봇 시스템 개발(II) -로봇 시스템의 성능실험-. 한국농업기계학회지 Vol.28(5) : 449-456
3. Yoon, S. H., J. G. Choi and S. Y. Lee. 2000. Development of DNA chip microarray. J. Microbiology and Biotechnology. Vol.10(1) : 21-26