

# 마이크로포지셔닝 병렬평행기구의 개발 및 실험

## Development and Experiment of a Micropositioning Parallel Manipulator

차 영 업\*, 윤 권 하  
(Young-Youp Cha and Kwon-Ha Yoon)

**Abstract:** This paper describes the design, simulation, development, and experiment of a six degree-of-freedom micropositioning parallel manipulator. A movable stage was supported with six links, each of which extends with a dc-servo micropositioning actuator. In case of parallel manipulator, while the solution of the inverse kinematics is easily found by the vectors of the links which are composed of the joint coordinates in base and platform, but forward kinematic is not easily solved because of the nonlinearity and complexity of the parallel manipulator's kinematic output equation with the multi-solutions. The movable range of the prototype was  $\pm 25\text{mm}$  in the x- and y-directions and  $\pm 12.5\text{mm}$  in the z-direction. The minimum incremental motion of the prototype was  $1\mu\text{m}$  in the x- and y-directions and  $0.5\mu\text{m}$  in the z-direction. The repeatability of the prototype was  $\pm 2\mu\text{m}$  in the x- and y-directions and  $\pm 1\mu\text{m}$  in the z-direction. The motion performance was also evaluated by not only the computer simulation of CAD model but also the experiment using a capacitive sensor system.

**Keywords:** micropositioning, parallel manipulator

### I. 서론

병렬 매니플레이터의 예로 1965년 Stewart에 의해 제안된 스투어트 플랫폼(stewart platform)[1]은 상판(platform)과 하판(base) 그리고 6개의 구동 액츄에이터(actuator)를 이용하여 6 자유도(degree of freedom)를 가지고 있으며 지금까지 연구가 계속되고 있다. 스투어트 플랫폼의 기구학적인 형상은 각 링크를 구성하는 조인트의 배치순서와 상하부판에 고정시킨 조인트의 배치형태에 따라 3-3형, 6-3형, 6-6형, 4-4형, MSP형(Modified Stewart Platform)과 Merlet형 등이 있다[2].

스튜어트 플랫폼에 대한 연구는 정 역기구학, 속도 가속도 기구학, 특이점과 작업영역 해석, 동역학과 제어, 그리고 설계 및 개발문제로 나뉜다[3]. 여기서 역기구학 해석과정은 상판의 위치와 회전이 주어진 상태에서 링크의 변위를 구하는 것이고, 정기구학 해석은 링크의 길이가 주어질 때 상판의 위치와 회전을 구하는 것이다. 역기구학 해석과정은 간단하고 닫힌해(closed-form solution) 형태로 주어지는 반면, 정기구학 해석과정은 6개의 링크의 상호간섭으로 인한 고차비선형 방정식을 포함하여 매우 복잡한 수식을 갖게 되므로, 일반적으로 그 유도과정이 복잡하고 닫힌해를 갖지 않으므로 보다 빠른 시간 내에 정기구학 해를 구할 수 있는 실용적인 해석법을 찾기 위한 연구가 이루어졌다[4,5].

기존의 많은 연구들에서 병렬 매니플레이터의 정기구학 해를 수치해석적으로 계산하였다[6]. 그 중 가장 많이 사용되었던 수치해석법은 Newton-Raphson법이다. 정기구학의 해석과정에서 유도된 고차 비선형 방정식은 수치적으로 해석되므로 비수렴 영역이 존재하면 해의 수렴성을 보장하기 어렵고, 계산부하가 크므로 병렬기구의 제어에 큰 부담을

주고 있다. 또한 정기구학의 수치해석방법은 수치적 정밀도, 초기조건과 연산속도에 매우 민감하고 해의 선정에 대한 부담을 발생시킨다.

이런 이유들 때문에 정기구학 해를 보다 빠르고 안정적으로 구하기 위한 방법이 활발히 연구되고 있다. 병렬 매니플레이터의 수치해석적인 정기구학 해석의 어려움과 문제점들을 해결하기 위하여 최근 정기구학 해를 보다 빠른 시간내에 계산하기 위한 연구들이 이루어지고 있다. 수치해석 방법의 계산부하를 줄이기 위하여, Han[7]은 하나의 추가센서를 사용하여 3-6형태의 스투어트 플랫폼의 병렬기구를 닫힌해로 구하였고, Ku[8]는 해석해 형태로 유도된 단일 변수를 가지는 16차의 고차방정식의 계산부하의 문제점을 지적하고 Taylor 급수를 사용한 3개의 각도 변수를 가진 근사화된 수치해석법을 제안하였다.

본 연구에서는 국내에서 마이크로 포지셔닝용 병렬평행기구의 설계 및 제작에 대한 연구가 미미하므로[9,10], 이를 위하여 수십 mm의 작업영역에서  $\mu\text{m}$  분해능을 가지는 마이크로 포지셔닝용 병렬평행기구를 설계 제작하고 기구학해석을 통하여 x-, y-, z-축 운동을 시뮬레이션하고 구동과 분해능에 대한 실험을 하였다. 이를 위하여 기구학 해석과 PTC사의 Pro-ENGINEER 프로그램을 이용하여 모델링과 시뮬레이션을 하고, 사용자 인터페이스를 위한 제어판넬을 구성하고, 커패시턴스 센서 시스템을 이용하여 성능을 측정하였다.

### II. 기구학 해석과 제어

역 기구학 문제란 플랫폼의 형상이 주어졌을 때 스투어트 플랫폼의 각 액츄에이터의 길이를 구하는 문제로서 단 순히 벡터관계식을 이용하여 그 해를 얻을 수 있다. 한편 각 액츄에이터의 길이를 주고 플랫폼의 형상을 알고자 하는 순 기구학의 해는 고차 비선형다항식으로 구성되기 때문에 본 연구에서는 반복적 수치해석법인 Newton-Raphson법을 적용하여 그 해를 얻는다. 병렬평행기구인 스투어트

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2008. 12. 5., 채택확정: 2009. 1. 30.

차영업: 원광대학교 공과대학 기계자동차공학부(ggypcha@wku.ac.kr)

윤권하: 원광대학교 의과대학 영상의학과의(khy1646@wku.ac.kr)

※ 본 논문은 2008년도 원광대학교의 교비지원에 의하여 연구됨.

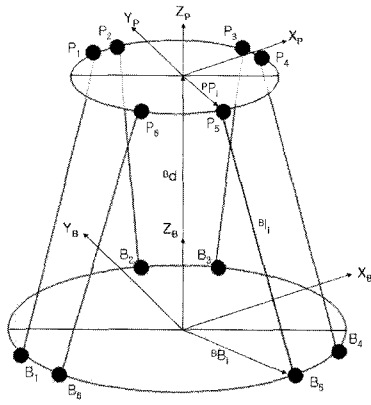


그림 1. 스튜어트 플랫폼의 좌표계.

Fig. 1. Coordinate system of Stewart platform.

플랫폼의 좌표계가 그림 1에 나와 있다. 스튜어트 플랫폼의 상판과 하판의 중심  $P_0$ 와  $B_0$ 는 각각 플랫폼과 베이스 좌표계의 중심과 일치한다. 또한 상판과 하판에서의 조인트 좌표  $P_1, P_3, P_5$  ( $P_2, P_4, P_6$ ) 그리고  $B_1, B_3, B_5$  ( $B_2, B_4, B_6$ )는 각 액츄에이터의 대칭적인 분포를 위해 그들 사이각은 각각  $120^\circ$ 이다.

스튜어트 플랫폼의 운동은 베이스에 고정된 기준좌표계  $B_{xyz}$ 를 베이스 좌표계(base coordinate system)라 하고, 플랫폼에 고정된 물체고정좌표계  $P_{xyz}$ 를 플랫폼 좌표계(platform coordinate system)라 한다. 각 벡터는 직각좌표계를 따라 3개의 요소로 구성되어진다.  $B_{xyz}$  좌표계에 대한 베이스에 있는  $i$ 번째 조인트  $B_i$ 점의 위치벡터  ${}^B B_i$ , 플랫폼에 있는  $i$ 번째 조인트  $P_i$ 점의 위치벡터  ${}^B P_i$ , 그리고  $P_{xyz}$  좌표계에 대한 플랫폼에 있는  $i$ 번째 조인트  $P_i$ 점의 위치벡터  ${}^P P_i$ 는 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} {}^B B_i &= [{}^B B_{ix} \quad {}^B B_{iy} \quad {}^B B_{iz}]^T \quad i = 1, 2, \dots, 6 \\ {}^B P_i &= [{}^B P_{ix} \quad {}^B P_{iy} \quad {}^B P_{iz}]^T \quad i = 1, 2, \dots, 6 \\ {}^P P_i &= [{}^P P_{ix} \quad {}^P P_{iy} \quad {}^P P_{iz}]^T \quad i = 1, 2, \dots, 6 \end{aligned} \quad (1)$$

베이스 좌표계에서 플랫폼 좌표계의 원점까지의 위치벡터를  ${}^B d = [x \quad y \quad z]^T$ 라 하고, 어느 순간에  $i$ 번째 액츄에이터가 있는  $i$ 번째 링크벡터를  ${}^B l_i = [l_{ix} \quad l_{iy} \quad l_{iz}]^T$ 라 하면, 베이스 그리고 플랫폼에 부착된 조인트 위치와의 벡터관계식은 다음과 같이 정리된다.

$${}^B l_i = {}^P P_i + {}^B d - {}^B B_i \quad (2)$$

스튜어트 플랫폼은 기준좌표계인 베이스좌표계에 대한 플랫폼의 형상을 3개의 위치변위와 3개의 각변위로 나타낼 수 있다. 위치변위는 베이스좌표계에서 서로 수직인 각 축으로 이동된 거리  $x, y, z$ 로 나타낼 수 있고, 각변위는  $x, y, z$  각 축으로 회전하는 Roll( $\gamma$ ), Pitch( $\beta$ ), Yaw( $\alpha$ )의 z-y-x 오일러 각도로 나타낼 수 있다. 즉, 베이스좌표계에 대한 플랫폼 좌표계의 회전변환 행렬  ${}^B R$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} {}^B R &= Rot(z, \alpha) Rot(y, \beta) Rot(x, \gamma) \\ &= \begin{bmatrix} c\alpha c\beta - s\alpha c\gamma + c\alpha s\beta s\gamma & s\alpha s\gamma + c\alpha s\beta c\gamma \\ s\alpha c\beta & c\alpha c\gamma + s\alpha s\beta s\gamma - c\alpha s\gamma + s\alpha s\beta c\gamma \\ -s\beta & c\beta s\gamma & c\beta c\gamma \end{bmatrix} \quad (3) \\ &= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

역 기구학 해석문제는 플랫폼의 위치와 방향으로부터 병렬평행기구학의 각 액츄에이터 길이를 결정하는 문제이다. 식 (2)에서  ${}^P P_i$ 를 베이스좌표계로 나타내야 하므로 식 (3)의 회전변환 행렬을 적용하여 다음과 같이 정리할 수 있다.

$${}^B \bar{P}_i = {}^B R \cdot {}^P P_i \quad (4)$$

따라서 식 (2)를 다시 쓰면 다음과 같다.

$${}^B \bar{l}_i = {}^B \bar{P}_i + {}^B d - {}^B B_i \quad (5)$$

여기서  ${}^B B_i$ 과  ${}^P P_i$ 는 스튜어트 플랫폼을 제작할 때 결정되는 값이고,  ${}^B R$ 과  ${}^B d$ 은 역 기구학에서는 주어지는 값이므로, 역 기구학해는 식 (5)에서 액츄에이터 길이  $l_i = \sqrt{l_{ix}^2 + l_{iy}^2 + l_{iz}^2}$ 로서 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} \bar{l}_i^2 &= (\bar{P}_{ix}^2 + \bar{P}_{iy}^2 + \bar{P}_{iz}^2) + (\bar{B}_{ix}^2 + \bar{B}_{iy}^2 + \bar{B}_{iz}^2) \\ &\quad + (x^2 + y^2 + z^2) \\ &\quad + 2(x - \bar{B}_{ix})(\bar{P}_{ix}r_{11} + \bar{P}_{iy}r_{12} + \bar{P}_{iz}r_{13}) \\ &\quad + 2(y - \bar{B}_{iy})(\bar{P}_{ix}r_{21} + \bar{P}_{iy}r_{22} + \bar{P}_{iz}r_{23}) \\ &\quad + 2(z - \bar{B}_{iz})(\bar{P}_{ix}r_{31} + \bar{P}_{iy}r_{32} + \bar{P}_{iz}r_{33}) \\ &\quad - 2(x\bar{B}_{ix} + y\bar{B}_{iy} + z\bar{B}_{iz}) \end{aligned} \quad (6)$$

순 기구학은 6개 액츄에이터의 길이가 주어졌을 때 플랫폼의 형상 즉 위치벡터  $[x, y, z]$ 와 방향  $[\alpha, \beta, \gamma]$ 를 결정하는 문제이다. 앞에서 보았듯이 역 기구학 해석은 비교적 간단하고 쉽지만, 순 기구학은 복잡한 비선형 연립방정식의 해로 나타나게 된다. 이러한 방정식의 닫힌해(closed form solution)를 구하는 것은 불가능하여 수치해석법, 추가적인 센서를 이용하는 방법, 확장 칼만 필터를 이용한 추정기 설계에 의해 해를 구하는 방법 등이 있다. 본 논문에서는 반복적 수치해석 방법인 Newton-Raphson 법을 사용한다. 우선 Newton-Raphson 법을 적용하기 위하여 목적함수를 다음과 같이 정의한다.

$$f(\bar{\Phi}) = \bar{O} \quad (7)$$

여기에서

$$\begin{aligned} \bar{\Phi} &= [x \quad y \quad z \quad \alpha \quad \beta \quad \gamma]^T \\ f(\bar{\Phi}) &= [f_1(\bar{\Phi}) \quad f_2(\bar{\Phi}) \quad f_3(\bar{\Phi}) \quad f_4(\bar{\Phi}) \quad f_5(\bar{\Phi}) \quad f_6(\bar{\Phi})] \end{aligned} \quad (8)$$

이며, 반복계산식은 다음과 같다.

$$\bar{\Phi}_{n+1} = \bar{\Phi}_n - \left[ \frac{\partial f(\bar{\Phi}_n)}{\partial \bar{\Phi}_n} \right]^{-1} \cdot f(\bar{\Phi}_n) \quad (9)$$

순 기구학에서는 액츄에이터의 길이, 즉  $l_i$  값을 알고 있기 때문에 목적함수는 다음과 같다.

$$f_i(\bar{\phi}) = \bar{l}_i^T T_i \bar{l}_i - |\bar{l}_i|_{i,0}^2 \quad (10)$$

여기서  $\bar{l}_i$ 는 주어진 길이이며  $|\bar{l}_i|_{i,0}$ 는  $i$ 번째 액츄에이터 링크의 실제길이이다.

초기조건이 주어지면 식 (9)와 같이 표현되는 Newton-Raphson 법으로 계산된 링크길이와 추정된 링크길이의 차이가 줄어들 때까지 반복적으로 갱신하여 플랫폼의 위치벡터와 방향, 즉 6자유도 성분을 구한다. 스튜어트 플랫폼의 제어를 위해 PID (Proportional Integral Derivative) 제어를 알고리즘을 사용하였다. PID 제어 알고리즘은 다음과 같은 식으로 표현이 된다.

$$U(t)_{PID} = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (11)$$

### III. MANUFACTURING OF STEWART PLATFORM

그림 2는 실제 제작을 하기 전에 스튜어트 플랫폼의 모델링과 시뮬레이션을 위하여 PTC사의 Pro-ENGINEER 프로 그래를 이용하여 스튜어트 플랫폼을 모델링 한 것이다. 상판과 하판 그리고 액츄에이터로 사용하는 선형모터를 모델링하고, 각 모터 이동값을 계산하여 실제처럼 움직이는 모습과 그때 각각의 형상좌표와 액츄에이터 길이에 대한 결과 값을 얻을 수 있었다. II 장에서 유도한 순기구학과 역기구학 해를 모델과 제작된 스튜어트 플랫폼에 적용하기 위하여 Visual C++로 코딩하고, 각각의 입력 값을 받아 순기구학과 역기구학 해를 계산하였다.

모델링과 시뮬레이션을 통하여 부품간의 간섭확인과 이동성을 확인한 후에 실제로 제작된 스튜어트 플랫폼 사진이 그림 3에서 보여 진다. 또한 제작된 스튜어트 플랫폼의 제어를 위하여 Visual C++를 이용한 사용자 인터페이스를 위한 제어 패넌을 그림 4와 같이 만들고 마우스와 키보드로 위치와 자세를 명령할 수 있고 제어 상황도 실시간으로 확인이 가능하도록 하였다. 제작된 스튜어트 플랫폼은 상판의 조인트부 직경이 151.9mm, 하판의 조인트부 직경이 247.8mm, 액츄에이터가 있는 링크의 길이는 289.9mm 이다. 사용된 액츄에이터는 PI사의 M-230 DC-Mike 모터 6개이다.

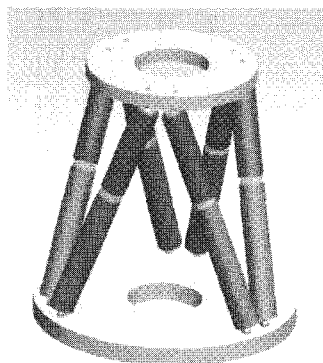


그림 2. 스튜어트 플랫폼의 모델링.  
Fig. 2. Modeling of Stewart platform.

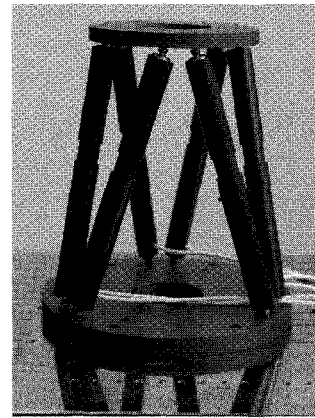


그림 3. 제작된 스튜어트 플랫폼.  
Fig. 3. Photograph of the developed Stewart platform.

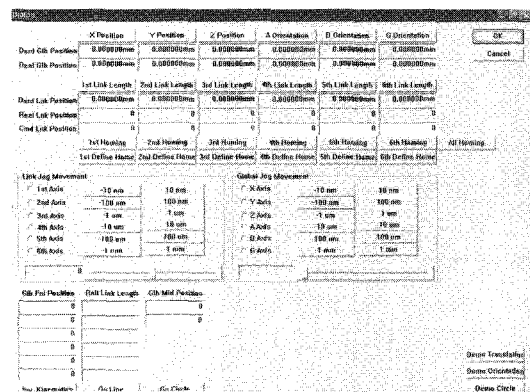


그림 4. Visual C++에 의한 제어 판넌.  
Fig. 4. Control panel by using Visual C++.

이 모터의 이동 길이는 25mm, 설계 분해능은 4.6mm, 최소 이동눈금은 50nm, 단방향 반복분해능은 0.1 $\mu$ m이다. 각 모터의 컨트롤러로는 PI사의 C-862 Mercury DC-Servo를 6개 사용하였다. 실제 각 링크의 길이와 상판과 하판의 조인트 위치는 기구학 교정을 통하여 보정되었다.

### IV. EXPERIMENTAL RESULTS

제작된 스튜어트 플랫폼의 x-, y-, z-축 방향 실험은 크게

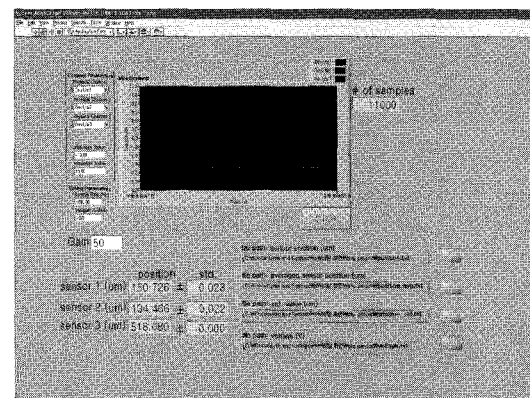


그림 5. NI 소프트웨어를 사용한 데이터 획득 판넌.  
Fig. 5. Data acquisition panel by using NI software.

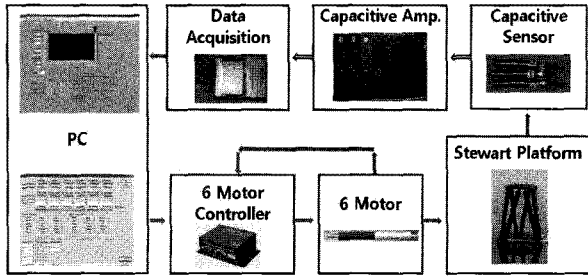


그림 6. 실험 구성도.  
Fig. 6. The schematic diagram of the experimental setup.

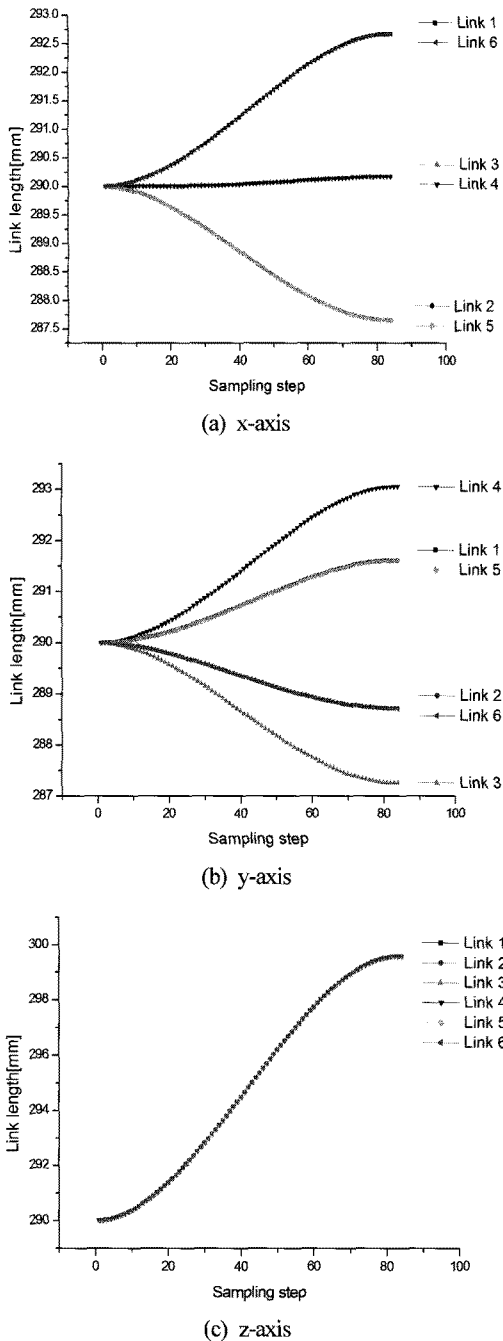


그림 7. 각 축의 선형운동에 따른 링크길이.  
Fig. 7. Link length according to each axis linear motion.

두 가지로 수행하였다. 첫 번째는 작업영역 내에서 이동 실험으로서 0.5mm 이상의 운동은 각 링크에 부착된 선형모터의 엔코더 피드백 값을 이용하였다. 두 번째는 각 방향의 분해능에 관한 실험으로서 캐퍼시턴스 센서를 사용하였다. 분해능 실험에 사용된 캐퍼시턴스 프로브는 MTI Instrument사의 ASP-20 CTR이다. 측정범위는 최대 508 $\mu$ m이고 분해능은 20nm이다. 캐퍼시턴스 앰프리파이어는 같은 회사의 AS-1563-PA를 사용하였다. 데이터 획득장치로는 National Instruments사의 USB-9215A를 사용하였으며, 그림 5와 같이 데이터 획득을 위한 패널을 구성하였다.

스튜어트 플랫폼의 단방향, 양방향 분해능과 구동범위 실험을 위하여 그림 6과 같이 시스템을 구성하여 실험을 수행하였다. 먼저 실험용 컴퓨터의 Visual C++로 만든 제어 창에서 기준좌표계에 대한 플랫폼의 위치와 자세가 주어지면 역기구학에 의하여 6개 링크의 목표길이가 얻어지고, 이 값이 6개의 모터 컨트롤러를 통하여 6개의 선형모터(DC서보모터+볼 나사)로 주어진다. 개별적인 링크의 이동은 캐퍼시턴스 프로브로 측정되고 캐퍼시턴스 앰프리파이어와 데이터 획득장치를 거쳐서 실험용 컴퓨터 내의 데이터 획득

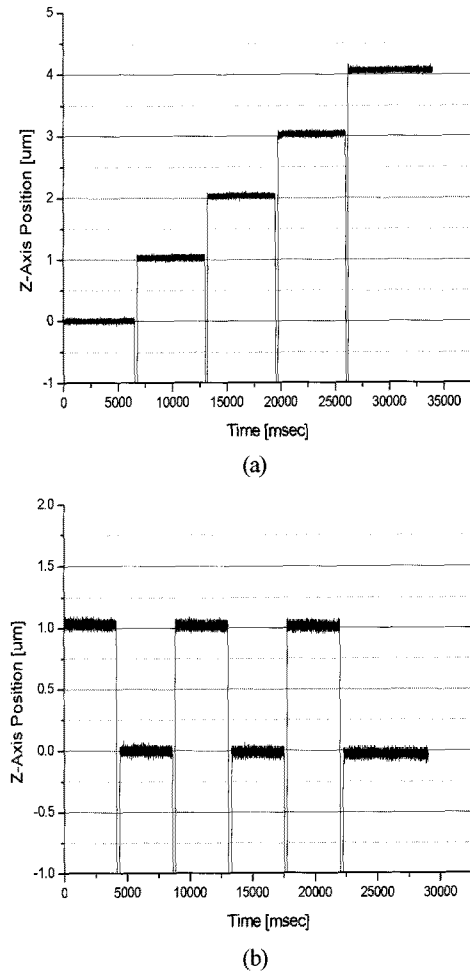


그림 8. z-축의 (a) 한 방향 분해능과 (b) 반복 분해능에 대한 실험결과.  
Fig. 8. Experimental results of (a) Uni-directional resolution and (b) repeatability at z-axis.

판넬에서 읽혀진다. 구성된 시스템 내에서 스텐더트 플랫폼의 분해능은 사용되는 액츄에이터의 분해능과 사용된 근접 센서의 노이즈 크기에 의해 제한된다.

먼저 앞에서 거론한 실험장치에서 각 링크의 이동 추이를 액츄에이터에 장착된 엔코더를 이용하여 실험하였다. 그림 7(a)에서는 x-축으로 10mm 이동하도록 한 것이다. 링크 1, 6은 같은 값으로 길이가 증가하였고, 링크 3, 4는 같은 값으로 변화하지만 길이 변화에는 거의 차이가 없었다. 또한 링크 2, 5는 같은 값으로 감소하였다. 그림 7(b)는 y-축으로 10mm 이동하도록 한 것이다. 링크 4는 길이의 변화량이 가장 많이 증가되었고, 링크 1, 5는 같은 값으로 증가하였으며, 링크 2, 6은 같은 값으로 감소하였다. 링크 3은 가장 많이 감소하였다. 그림 7(c)는 z-축으로 10mm 이동하도록 한 것이다. 모든 링크의 값이 같이 증가하는 것을 알 수 있다.

두 번째 실험은 캐퍼시턴스 센서를 이용하여 각 방향의 분해능과 이동에 관한 실험이다. z-축방향의 단방향 분해능 실험결과가 그림 8(a)에 나와 있다. z-축의 반복 분해능 실험결과가 그림 8(b)에 나와 있다. 결과적으로 본 연구에서 설계제작된 스텐더트 플랫폼은 액츄에이터의 이동거리가  $\pm 12.5\text{mm}$ 인 선형모터를 사용 하였으며, 이에 따른 x-, y-축 방향의 이동거리는  $\pm 25\text{mm}$ 이고, z-축 방향의 이동거리는  $\pm 12.5\text{mm}$ 이다. 또한 x-, y-축 방향의 최소분해능은  $1\mu\text{m}$ , 반복분해능은  $\pm 2\mu\text{m}$ 이다, 또한 z-축 방향의 최소분해능은  $0.5\mu\text{m}$ , 반복분해능은  $\pm 1\mu\text{m}$  였다.

## V. 결론

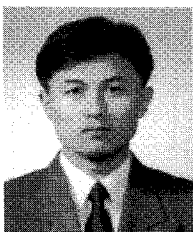
본 연구에서는 국내에서 연구가 미미한 마이크로 포지셔닝용 병렬평행기구를 설계 제작하고 x-, y-, z-축 운동을 시뮬레이션하고 실험을 하였다. 이를 위하여, AutoCAD를 이용하여 기구부를 설계하였고, PTC사의 Pro-ENGINEER 프로그램을 이용하여 모델링 및 시뮬레이션을 하였다. 본 연구에서 설계 제작된 스텐더트 플랫폼은 액츄에이터의 이동거리가  $\pm 12.5\text{mm}$ 인 선형모터를 사용하였다. 단방향과 양방향 반복분해능 실험을 위하여 캐퍼시턴스 센서를 사용하였고, 이에 따른 x-, y-축 방향의 이동거리는  $\pm 25\text{mm}$ 이고 z-축 방향의 이동거리는  $\pm 12.5\text{mm}$ 이다. 또한 x-, y-축 방향의 최소분해능은  $1\mu\text{m}$ 이고 z-축 방향의 최소분해능은  $0.5\mu\text{m}$ 이다.

## 참고문헌

- [1] D. Stewart, "A platform with six degree of freedom,"

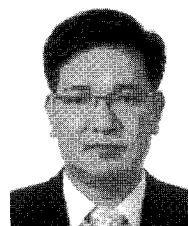
*Proc. of the Institute of Mechanical Engineers(Part I)*, vol. 180, no. 15, pp. 371-386, 1966.

- [2] B. M. Stonge and C. M. Gosselin, "Singularity analysis and representation of the general gough-stewart platform," *The International Journal of Robotics Research*, vol. 19, no. 3, pp. 271-288, 2000.
- [3] B. Dasgupta and T. S. Mruthyunjaya, "The stewart platform manipulator: A review," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 35, pp. 15-40, 2000.
- [4] J. P. Merlet, "Direct kinematics and assembly modes of parallel manipulators," *International Journal of Robotics Research*, vol. 11, no. 2, pp. 150-162, 1992.
- [5] E. M. Dafaoui, Y. Amirat, J. Pontnau, and C. Francois, "Analysis and design of a six-DOF parallel manipulator, modeling, singular configurations, and workspace," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 14, no. 1, pp. 78-91, 1998.
- [6] K. Liu, J. Fitzgerald, and F. L. Lewis, "Kinematic analysis of a stewart platform manipulator," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 40, no. 2, pp. 282-293, 1993.
- [7] K. Han, W. Chung, and Y. Youm, "New resolution scheme of the forward kinematics of parallel manipulators using extra sensors," *Transactions of the ASME*, vol. 118, pp. 214-219, 1996.
- [8] D. M. Ku, "Direct displacement analysis of a Stewart platform mechanism," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 4, pp. 453-465, 1999.
- [9] D. H. Kim, J. J. Kwon, S. S. Kim, H. B. Choi, and S. H. Park, "Development of a parallel robot for testing a mobile surveillance robot stabilization system," *Proceedings of The Korean Society of Mechanical Engineers 2008 Autumn Annual Meeting*, pp. 735-738, 2008.
- [10] Y. Y. Cha and S. M. Jeong, "A study on the orientation of a high-precision stewart platform," *Proceedings of The Korean Society of Mechanical Engineers 2008 Autumn Annual Meeting*, pp. 1944-1946, 2008.



### 차 영 엽

1984년 부산대 기계공학과 졸업. 1987년 한국과학기술원 생산공학석사. 1995년 한국과학기술원 정밀공학과 박사. 1995년~현재 원광대학교 기계자동차공학부 교수. 관심분야는 로봇과 영상처리.



### 윤 권 하

1992년 원광대학교 의과대학 졸업. 1998년 원광대학교 대학원 의학석사. 2002년 원광대학교 대학원 의학박사. 1998년~현재 원광대학교 의과대학 교수. 관심분야는 분자영상.