

평행사변형 기구를 이용한 평면 병렬형 병진운동 기구 개발 Development of two types of novel planar translational parallel manipulators by using parallelogram mechanism

김준우¹, *김한성²

J. W. Kim¹, *H. S. Kim (hkim@kyungnam.ac.kr)²

¹ 경남대학교 기계공학과 대학원, ² 경남대학교 기계자동화공학부

Key words : translational parallel manipulator, parallelogram mechanism, prescribed workspace, velocity transmission capability

1. 서론

전자, 포장, 식품, 제약 산업 등에서 많이 요구되는 위치 배치, 조립 및 경가공 작업들은 주로 3 또는 4 자유도 직교 구조나 SCARA 구조의 직렬형 로봇에 의존되고 있는 실정이다. 그러나 이러한 직렬형 로봇은 이동부의 관성이 상대적으로 크고 자체중량에 비하여 작업하중은 상당히 작은 편이다. 따라서, 이러한 직렬형 로봇을 고속 또는 비교적 큰 작업하중이 요구되는 작업에 적용하는 데는 어려움이 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 병렬형 기구에 대한 연구가 진행되고 있다. 병렬형 기구는 구조적으로 고속, 고하중, 고정밀도 작업이 가능하다는 장점을 갖는다. 이중, 3 자유도 병렬형 병진운동 기구 개발에 대한 관심이 높아지고 있다.⁽¹⁾ 그러나 Z 축 방향으로 요구되는 작동범위가 상대적으로 작은 작업의 경우, 3 자유도 공간 병렬형 병진운동 기구 대신 2 자유도 평면 병렬형 병진운동 기구에 소형의 1 자유도 기구를 직렬로 연결한 혼합형 구조(hybrid structure)를 사용하는 경우가 보다 경제적이다.

본 논문에서는 평행사변형 기구를 사용한 새로운 두 가지 구조의 평면 병렬형 병진운동 기구를 제안하고 이의 설계방법을 제시하고자 한다. 첫 번째 기구는 2-PaP 구조를 갖고 비교적 저렴한 회전 구동기를 사용하여 평행사변형 기구를 구동한다. 이 기구는 입력과 출력이 비연성화되어 제어가 간단하고 고속작업에 적합한 구조를 갖는다. 두 번째 기구는 2-PPa 구조를 갖고 2-PaP와 기구학적 전이(kinematic inversion) 관계를 갖는다. 이 기구는 두 개의 선형 구동기를 수직으로 배치하여 기존에 평행으로 배치한 2-PPa 기구⁽²⁾에 비하여 높은 속도전달 능력과 상대적으로 작은 횡방향 하중이 작용된다는 장점을 갖는다.

2. 기구학적 구조 및 설계방법

본 논문에서 제시하는 두 가지 구조의 기구는 모두 평면 병진운동만이 가능한 2 자유도 과구속(over-constrained) 기구이다. 특히, 2-PaP는 입출력이 비연성화된 기구이다. Fig. 1과 Fig. 2는 각각 2-PaP 기구 및 2-PPa 기구의 기구학적 구조를 나타낸다. 본 논문에서는 각 기구가 원점에 대하여 대칭적인 성능을 갖도록 중심이 원점인 정사각형을 규정된 작업영역으로 정의하고 이를 만족하도록 θ_i 를 제외한 설계 변수들을 결정한다. 2-PaP 기구와 2-PPa 기구의 자코비안 행렬은 각각 식 (1)과 식 (2)와 같다.

$$\dot{p} = J\dot{\theta}, \quad J = l_a \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 \\ 0 & \cos\theta_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$J\dot{p} = \dot{d}, \quad J = \begin{bmatrix} 1 & \tan\theta_1 \\ \tan\theta_2 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

기구의 속도 전달능력(velocity transmission capability)을 나타내는 전역설계지수는 다음과 정의하였다.⁽³⁾

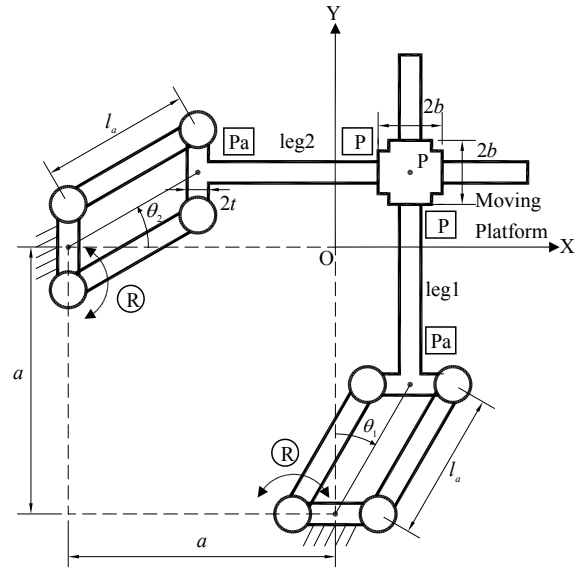


Fig. 1 2-PaP TPM with rotary actuation.

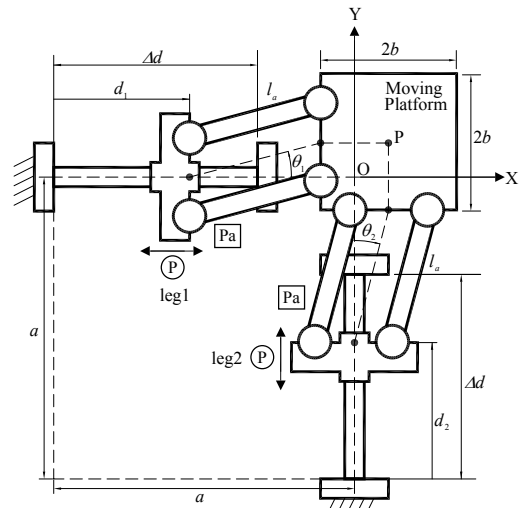


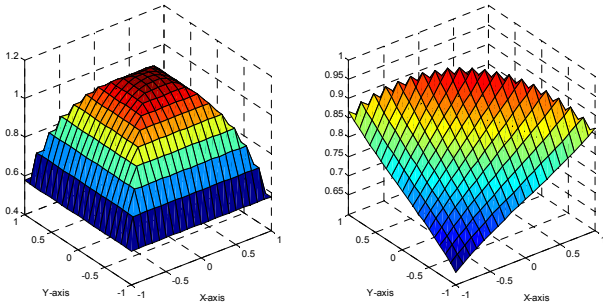
Fig. 2 2-PPa TPM with linear actuation.

$$GDI \equiv \frac{LDI_{\min}}{LDI_{\max}} \quad (3)$$

여기서, 지역설계지수인 $LDI \equiv \alpha_{\min}$ 이고, α_{\min} 은 JJ^T 의 최소 고유치의 제곱근 값이 되고, 2-PPa 기구의 경우 α_{\min} 은 $(JJ^T)^{-1}$ 의 최소 고유치의 제곱근 값이 된다. 각 기구에 대하여 설계 지수는 다음과 같이 구할 수 있다. 또한 지역설계지수의 경향은 Fig. 3에 나타내었다. 전역설계지수의 사용하여 평행사변형기구의 회전링크의 각도 범위(θ_i)를 결정할 수 있다.

Table 1 Design indices of 2-PaP and 2-PPa.

	2-PaP	2-PPa
LDI _{max}	l_a (at $\theta_1 = \theta_2 = 0$)	1 (at $\theta_1 = \theta_2 = 0$)
LDI _{min}	$l_a \cos \theta_L$ (at 4 corners)	$1/(1 + \tan \theta_L)$ (at $\theta_1 = \theta_2 = \pm \theta_L$)
GDI	$\cos \theta_L$	$1/(1 + \tan \theta_L)$



(a) 2-PaP ($\theta_L = 60^\circ$) (b) 2-PPa ($\theta_L = 30^\circ$)

Fig. 3 Mesh plots of LDIs.

3. 시작품 설계

본 연구에서는 전역설계지수와 설계 고려사항을 적용하여 2-PaP 기구와 2-PPa 기구의 시작품을 설계하였고, 이의 설계 변수값은 Table 2 와 같다. Fig. 4 와 Fig. 5 는 각각 2-PaP 기구 및 2-PPa 기구의 시작품 사진을 나타낸다. 제어 실험을 통하여 두 기구의 시작품에 대한 작동성을 확인하였다. 2-PaP 기구는 고속운동이 요구되는 평면 위치작업에 활용될 수 있고, 2-PPa 기구는 높은 속도뿐만 아니라 고정성 및 고정밀도가 요구되는 작업에 주로 활용될 수 있다.

Table 2 Design parameters of 2-PaP and 2-PPa.

Performance	2-PaP	2-PPa
θ_L (GDI)	60° (0.5)	30° (0.634)
Workspace (2w)	173.2 mm	260.0 mm
Stroke (Δd)	173.2 mm	300.0 mm
Total size (a)	265.0 mm	482.0 mm
Additional parameters	$l_a = 100.0$ mm $b = 20.0$ mm $t = 55.0$ mm	$l_a = 260.0$ mm $b = 92.0$ mm
Rated velocity	2731.8 mm/s	1000.0 mm/s
Rated force	10.9 N	408.4 N

4. 결론

본 연구에서는 평행사변형 기구를 이용하여 2-PaP 와 2-PPa 구조의 평면 병렬형 병진운동 기구를 고안하고 설계 방법을 제안하였다. 이 기구들의 기구학적 해석을 수행하였고 규정된 작업영역을 만족하도록 각 설계변수들을 결정할 수 있는 방법을 제시하였다. 속도 전달능력을 고려하여 평행사변형 기구의 회전링크의 각도를 제한하는 설계지수를 제안하였다. 설계결과를 바탕으로 두 가지 구조 기구의 시작품을 개발하고 이의 작동성을 확인하였다. 향후, 이 기구들의 고속제어 및 정밀도 향상에 대한 연구를 수행하고자 한다.

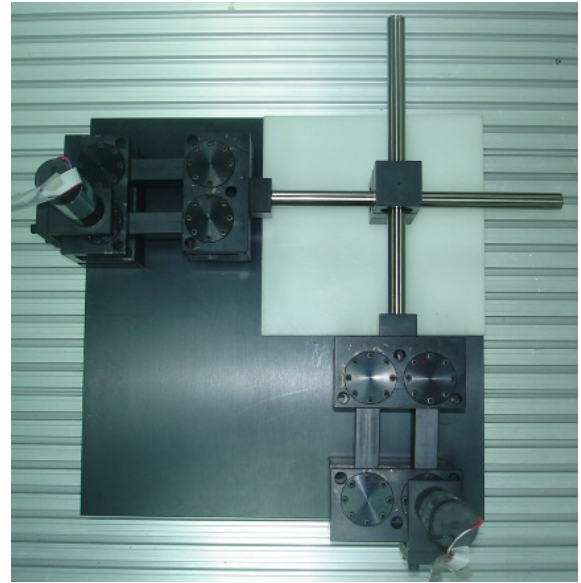


Fig. 4 Prototype 2-PaP TPM with rotary actuation.



Fig. 5 Prototype 2-PPa TPM with linear actuation.

참고문헌

- Kim, H. S., and Tsai, L. W., "Design Optimization of a Cartesian Parallel Manipulator," *Journal of Mechanical Design*, Vol. 125, No. 1, pp. 43~51, 2003.
- Liu, X. J., Wang, Q. M., and Wang, J., "Kinematics, Dynamics and Dimensional Synthesis of a Novel 2-DOF Translational Manipulator," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol. 41, pp. 205-224, 2004.
- 김한성, 최용제, "스튜어트 플랫폼의 순방향/역방향 힘 전달 해석," 한국정밀공학회지, 제 16 권, 제 5 호, pp. 200-208, 1999.