모바일 경계로봇의 안정화 시스템 테스트를 위한 병렬로봇의 개발

김도현† · 권정주* · 김성수** · 최희병** · 박성호***

Development of a Parallel Robot for Testing a Mobile Surveillance Robot Stabilization System

Do Hyun Kim, Jeong Joo Kwon, Sung-Soo Kim, Hee-Byoung Choi and Sung Ho Park

Key Words : Mobile Surveillance Robot(모바일 경계 로봇), Parallel Robot(병렬로봇)

Abstract

A 6 D.O.F Stewart platform type parallel robot has been developed as a simulator to test the surveillance robot stabilization control. Since the surveillance robot is installed on the unmanned ground vehicle (UGV), it is required to have a stabilization control system to compensate the disturbance from the UGV. PID control scheme has been applied to the parallel robot to generate controlled motion following the input motion.

1. 서 론

경계로봇은 사람을 대신하여 24 시간 일정한 범위를 반복적으로 감시하며 경계지역에 있는 물체를 식별, 추적 및 위협사격 또는 살상을 할 수 있는 시스템으로 정의 된다. 이러한 임무를 수행하기 위해서 경계로봇은 기관총, 레이저 리시버, 열화상기, CCD 카메라 등으로 구성된다. 현재 이와 같은 시스템의 고정식 경계로봇이 연구되어 실제 시스템으로 도입이 시도되고 있다.

고정식 경계로봇은 일정 지역을 반복적으로 감시하면서 경계를 하고 있다 하여도 고정식이라는 특성 상 경계임무 수행에 있어서 경계 사각지대가 발생할 수 있다. 이러한 고정식 경계로봇의 경계 사각지대 보완 및 경계 시스템 강화를 위해 경계로봇의 이동이 가능하도록 UGV(Unmanned Ground Vehicle)에 고정식 경계로봇을 장착한 이동식 경계로봇의 개발이 이루어지고 있다.

† 회원, 충남대학교 메카트로닉스공학과 대학원
E-mail : nautkim@cnu.ac.kr
TEL : (042)821-7780 FAX : (042)823-4919
* 충남대학교 메카트로닉스공학과 대학원
** 회원, 충남대학교 메카트로닉스공학과
*** ㈜도담시스템스

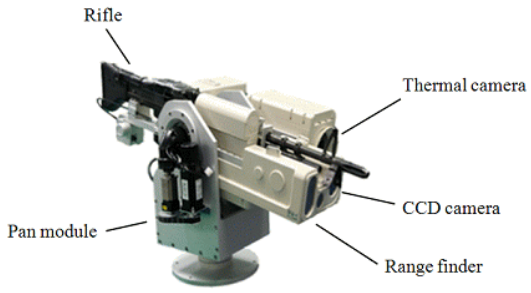

Fig. 1 Surveillance Robot

이동식 경계로봇은 고정식 경계로봇과 달리 험한 비포장 도로 또는 산악 및 사막지역에서 작동되어야 하기 때문에 경계로봇의 위치추적, 경고사격 등을 원활히 수행하기 위해 영상 및 열상 카메라로 구성된 비전 시스템과 사격 시스템의 차량 동요에 대한 강인한 트래킹 및 안정화 제어가 필요하다. 이러한 이동식 경계로봇의 안정화 시스템의 개발 및 검증을 위해서는 실차 장착 실험이 필요하다. 하지만 실차 장착 실험을 통한 검증은 많은 전문 인력과 비용, 시간이 요구되고 실험과정에서 많은 위험 요소들이 존재하게 된다. 따라서 차량의 모션을 재현할 수 있는 병렬로봇은 이동식

경계로봇의 안정화 시스템의 실차 장착 실험을 대신할 수 있는 아주 유용한 수단이 된다. 모션 시뮬레이터를 이용하여 실내 환경에서 실험을 함으로써 실차 실험에서 발생할 수 있는 위험 요소를 줄일 수 있으며, 반복 실험이 가능해 짐으로써 경계로봇의 안정화 시스템 개발 및 검증에 소요되는 비용과 시간을 감소시킬 수 있다.

본 논문에서는 병렬로봇을 설계 및 제작하고, 제작된 병렬로봇이 모바일 경계로봇의 안정화 시스템을 평가할 수 있도록 차량모션 재현하는 것에 그 목적이 있다.

2. 병렬로봇의 설계

2.1 병렬로봇의 3D CAD 설계

본 연구에서 설계된 병렬로봇은 볼스크류를 이용한 엑츄에이터로 구성된 6 축 병렬로봇으로 6 자유도의 모션을 재현할 수 있도록 설계하였다.

병렬로봇은 크게 상판과 하판, 구동 엑츄에이터로 구성되어 있다.

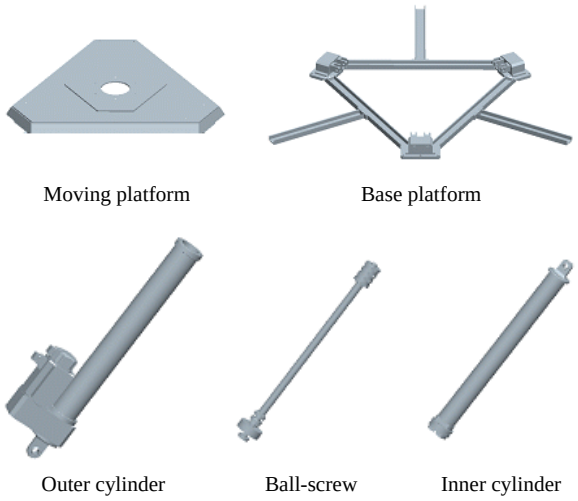

Fig. 2 3D CAD model of parallel Robot

구동 엑츄에이터는 외부 실린더와 내부 실린더, 볼-스크류로 이루어져 있으며, 모터와 엑츄에이터를 병렬로 연결하여 타이밍 벨트를 통해 회전이 전달되도록 설계하였다. 모터와 엑츄에이터의 병렬식 연결 구조는 엑츄에이터의 길이가 짧아짐으로써 병렬로봇의 전체 높이를 낮출 수 있고, 모터의 수리 및 추후 보수 관리에 유리하다는 장점이 있다.

병렬로봇의 하판은 구조적 안정성을 위하여 1m 길이의 ㄷ자 빔이 T 자 형태로 연결되도록 설계하였다.

2.2 병렬로봇의 역기구학 계산

병렬로봇이 UGV 의 모션을 재현하기 위해서는 주어진 병렬로봇 상판의 모션에 대한 각 엑츄에이터의 길이를 찾아내기 위한 역기구학 계산이 필요하다. 병렬로봇 엑츄에이터의 길이는 Fig. 3 에서 보는 것과 같은 벡터 관계에 의해 계산될 수 있다.

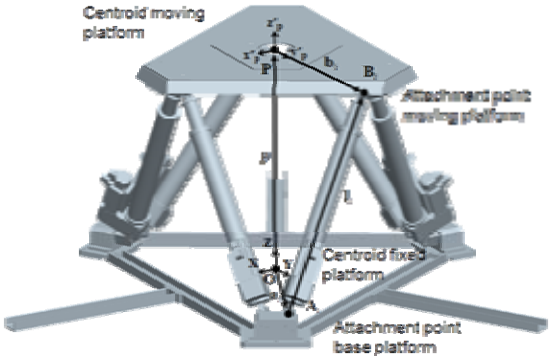

Fig. 3 Vector relationships for actuator

$\mathbf{a}_i$ 와 $\mathbf{b}_i'$ 벡터는 이미 알고 있는 길이가 일정한 벡터이며, 입력되는 모션에 의해 $\mathbf{p}$ 벡터가 결정된다.

회전운동에 의한 상판의 좌표계 x'_p-y'_p-z'_p에서 원점의 좌표계 X-Y-Z로의 변환행렬을 $\mathbf{T}$ 라고 할 때, 다음과 같은 식들에 의해 엑츄에이터의 길이가 구해지게 된다.

$$\mathbf{l}_i = \mathbf{p} + \mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i \quad (1)$$

$$\mathbf{b}_i = \mathbf{T}\,\mathbf{b}_i' \quad (2)$$

$$\mathbf{l}_i = \mathbf{p} + \mathbf{T}\,\mathbf{b}_i' - \mathbf{a}_i \quad (3)$$

$$|\mathbf{l}_i| = \sqrt{\mathbf{l}_i^T \mathbf{l}_i} \quad (4)$$

3. 병렬로봇 제작 및 실험

3.1 병렬로봇 제작

병렬로봇의 3D CAD 설계를 바탕으로 실제 하드웨어를 제작하였다. 제작된 병렬로봇의 상판과 하판이 Fig. 4 에 나타나 있다.

상판과 하판이 엑츄에이터와 연결되는 조인트 부분은 그림과 같이 핀을 이용하여 2 개의 회전조

인트가 사용되도록 제작하였다.

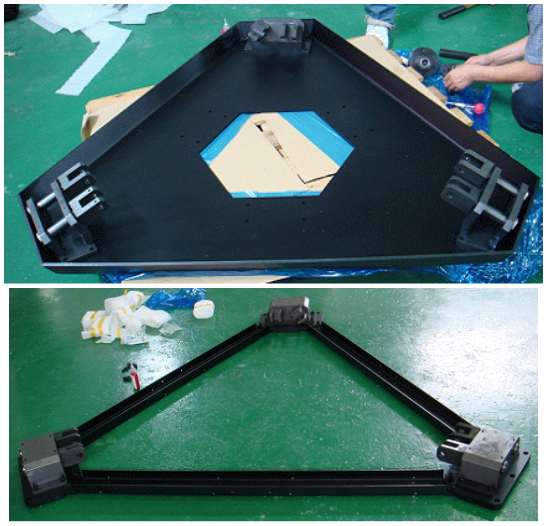

Fig. 4 Top and base platform of actual parallel robot

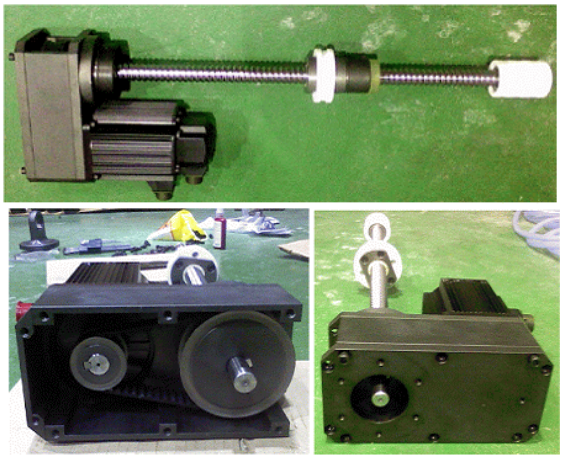

Fig. 5 Ball-screw type actuator

Fig. 5 는 엑츄에이터의 제작과정을 나타낸 그림이다. 그림과 같이 볼-스크류를 이용하여 제작하였으며, 볼-스크류의 피치간격은 1cm 이다.

모터와 엑츄에이터는 병렬식 연결구조로 제작하여 타이밍 벨트로 동력을 전달하도록 하였다.

제작 및 조립이 완성된 병렬로봇이 Fig. 6 에 나타나 있다.

3.2 병렬로봇 제작 및 구성

UGV 모션을 재현하기 위한 병렬로봇 시스템의 구성은 크게 병렬로봇 하드웨어와 제어 컴퓨터, 모터 드라이버로 구성되어 있다.

Fig. 6 Actual system of parallel robot

Table. 1 은 병렬로봇 시스템의 주요 구성품과 그 사양을 나타내고 있다.

Table 1 Put table title put table title

항 목	구 분	수량	사양
Parallel Robot	Actuator	6	Servo Motor (RSMH-15BR1ABK3)
	Upper plate	1	Steel
	Upper joint bracket	3	Steel
	Lower joint bracket	3	Steel
Control Cabinet	PC	1	P-4, 1G 이상
	Motion IO card	2	MMC-MI10
	Servo Drive	6	CSD3-15BX2
Cables		6	
S/W	OS	1	Windows XP
	개발환경	1	Visual C++

앞서 설명한 설계를 바탕으로 병렬로봇의 하드웨어를 제작하였으며, 모터와 모터 드라이버, MMC 보드, PC 로 컨트롤 캐비닛을 구성하였다.

3.3 병렬로봇 실험

병렬로봇의 구동을 위한 프로그램은 Windows 기반의 Visual C++을 이용하여 개발이 되었으며, 병렬로봇의 제어를 위해 PID(Proportional, Integral, Derivative) 제어를 사용하였다. PID 제어는 다음과 같은 식으로 표현이 된다.

$$U_{(t)_{PID}} = K_P e(t) + K_I \int e(t)dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \qquad (5)$$

병렬로봇의 구동 및 제어 성능을 확인하기 위하여 병렬로봇의 상판이 사인형태의 히브모션을 재현하기 위한 입력을 주고 실제 재현되는 모션을 확인해보았다. 입력된 모션은 50mm 진폭에 0.7Hz 의 주기를 갖는 사인 히브 모션이다. Fig. 5 는 입력 모션에 대한 엑츄에이터의 요구 모션과 실제 병렬로봇이 모션을 재현할 때의 엑츄에이터 구동 모션을 비교한 그래프이다. 약 3mm 의 진폭 오차와 0.17 초의 시간 지연이 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

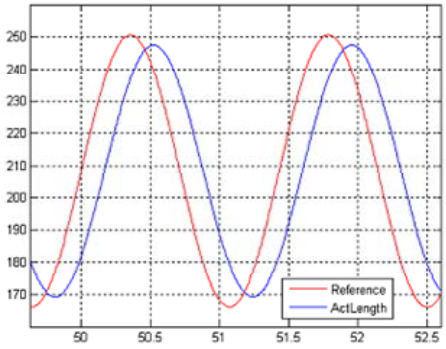

Fig. 7 Actuator length of heave motion test

추후 좀더 정밀한 제어를 위해 Feed-forward 제어를 적용하고, UGV 모션 재현 실험을 수행할 계획이다.

4. 결 론

본 연구에서는 모바일 경계로봇의 안정화 시스템 테스트를 위한 병렬로봇의 개발을 수행하였다. 병렬로봇의 3D CAD 설계를 수행하고, 역기구학 계산을 통해 병렬로봇이 주어진 모션을 재현할 수 있도록 하였다. 또한 병렬로봇이 재현할 UGV 의 모션을 생성하기 위해 UGV 의 가상주행 시뮬레이션을 수행하였다. 3D CAD 설계를 바탕으로 실제 하드웨어를 제작하였으며, PID 제어를 이용하여 제작된 병렬로봇의 구동 테스트를 하였다.

추후 연구로는 병렬로봇의 좀더 정밀한 제어를 위해 Feed-forward 제어를 적용하고, 가상 주행시뮬레이션을 통해 생성된 UGV 의 모션을 재현하는 실험이 필요하다.

후 기

본 연구는 산학공동기술개발 컨소시엄사업(산학 2007-08-07)의 지원으로 (주)도담시스템스와 함께 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분들에게 감사 드립니다.

참고문헌

(1) Ki Sang Hwang, Kyu Jin Park, Do-Hyun Kim, Sung-Soo Kim, Sung Ho Park, 2007, "Simulation based Design of Mobile Surveillance Robot," *Proceedings of The Korean Society of Mechanical Engineers 2007 Spring Annual Meeting*, pp. 1179-1184.

(2) US Army, 1983, *US Army Test and Evaluation Command Test Operation Procedure(Gun Stabilization System)*, Report No. TOP 3-2-602, US Army Aberdeen Proving Ground.

(3) Schmidt, S.F. and Bjorn, C., 1970, *Motion Drive Signals for Piloted Flight Simulators*, Analytical Mechanics Associated, Technical Report Contract NAS2-4869.

(4) Hyun-il Kim, Sung-Soo Kim, Mooncheol Won, Gil-sang Ryu, 2005, "Simulation based Design of 3-Axes Marine Satellite Antenna," *Proceedings of The Korean Society of Mechanical Engineers 2005 fall conference*, pp. 1337~1344.

(5) D.Stewart, 1965, "A Platform with Six Degrees of Freedom," *Proc. Of the Institution of Mechanical Engineers*, Vol. 180, No. 5, pp. 371-386.

(6) K. Liu, 1993, "Kinematic Analysis of a Stewart platform Manipulator," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 40, No. 2, pp. 282-293.

(7) E.J. Haug., 1989, *Computer-aided kinematic and dynamics of mechanical system*, Ally and Bacon, pp. 2-45.

(8) Jean-Pierre Merlet, 2000, *Parallel Robots*, Kluwer Academic Publishers, pp. 65-89.

(9) Marc E.Herniter, 2005, *Programming in MATLAB*, Brooks.

(10) MSC.software Inc., 2005, ADAMS 2005 manual.