

가상 환경 및 6축 모션 시뮬레이터를 이용한 무인차량 영상 안정화 장치 시험[§]

김선우* · 기선옥** · 김성수**†

* 충남대학교 기계설계 메카트로닉스공학과, ** 충남대학교 메카트로닉스 공학과

Test of Vision Stabilizer for Unmanned Vehicle Using Virtual Environment and 6 Axis Motion Simulator

Sunwoo Kim*, Sun-ock Ki** and Sung-Soo Kim**†

* Dept. of Mechanical Design Mechatronics Engineering, Chungnam Nat'l Univ.,

** Dept. of Mechatronics Engineering, Chungnam Nat'l Univ.

(Received July 6, 2014 ; Revised December 1, 2014 ; Accepted December 2, 2014)

Key Words: Vision Stabilizer(영상 안정화 장치), Virtual Environment(가상 환경), 6 Axis Motion Simulator(6축 모션 시뮬레이터), Unmanned Vehicle(무인 차량)

초록: 본 논문에서는 가상현실 및 모션 시뮬레이터를 이용하여 무인차량용 영상 안정화 장치의 실내 시험환경을 구축하였다. 실제 주행 환경은 군용 탱크 시험을 위한 애버딘 시험장 범프 주행로의 가상 환경으로 대체하였다. 또한 무인 차량 모션은 모션 시뮬레이터를 이용하여 구현하였다. 가상 주행 환경은 모션 시뮬레이터 위에 설치된 영상안정화 장치의 앞에 구현하였다. 영상 안정화 장치의 카메라의 영상 및 카메라에 부착된 IMU 센서 데이터를 통해 안정화 성능을 확인하였다.

Abstract: In this study, an indoor test environment was developed for studying the vision stabilizer of an unmanned vehicle, using a virtual environment and a 6-axis motion simulator. The real driving environment was replaced by a virtual environment based on the Aberdeen Proving Ground bump test course for military tank testing. The vehicle motion was reproduced by a 6-axis motion simulator. Virtual reality driving courses were displayed in front of the vision stabilizer, which was located on the top of the motion simulator. The performance of the stabilizer was investigated by checking the image of the camera, and the pitch and roll angles of the stabilizer captured by the IMU sensor of the camera.

1. 서론

무인 차량 시스템은 국방, 서비스 등 다양한 분야에서 사람이 하기 어렵거나 더 효과적으로 해야 하는 임무를 수행할 수 있도록 개발되고 있다. 이러한 무인 차량은 임무수행을 위해 영상 장치를 이용하여 원격으로 조종된다. 하지만 무인 차량을 조종할 때 발생하는 외란은 영상을 흔들리게 하여

효율적인 운용을 방해한다. 따라서 영상 안정화 장치를 적용하여 안정화된 영상을 획득할 수 있도록 하고 있다. 특히 영상 안정화 장치의 설계 개발에 있어서 실제 시험을 통한 안정화 성능검증과 원격 조종성 확인이 필수적이다. 하지만 실제 시험을 위해서는 무인 차량, 주행하기 위한 주행 환경, 인력 등이 필요하며 이에 따른 비용과 시간이 많이 드는 문제가 있다. 이러한 어려움을 해결하기 위해 실제 시험을 대체할 방법이 필요하다.

실제 시험을 완벽하게 대체 할 수는 없지만, 가장 효과적인 대체 수단으로 그동안 차량 분야에서는 다양한 시뮬레이터가 개발이 되어왔다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ 또한 조종자의 운용 조작 능력 향상을 위한 군용 전

§ 이 논문은 2014년도 대한기계학회 IT 융합부문 춘계학술대회(2014. 4. 24.-25., 서울대) 발표논문임

† Corresponding Author, sookim@cnu.ac.kr

© 2015 The Korean Society of Mechanical Engineers

차 시뮬레이터와 같은 훈련용 시뮬레이터⁽⁴⁾ 등도 개발되었다. 영상 기반의 무인차량의 주행에 따른 안정화 성능 시험이나 원격조종 시험을 위해서도, 이러한 시뮬레이터를 적용할 수 있다면, 시간과 비용 절감에 효과가 있을 것으로 판단된다. Fig. 1은 영상 안정화 장치가 탑재된 무인차량 시스템을 가상현실 환경과 모션 시뮬레이터 그리고 실시간 차량 동역학 모델로 구성된 시뮬레이션 시스템으로 대체하기 위한 개념을 나타내고 있다.

본 논문에서는 험지 주행용 무인차량의 영상기반 원격조종 모사 및 영상안정화 장치 시험을 위하여, 가상 현실 시스템과 모션 시뮬레이터를 활용한 실내 시험 환경을 제안하였다. 이를 위해 무인 차량 원격조종에 사용될 수 있는 무인 차량용 영상 안정화 장치를 개발하고, 실제 주행 환경을 대신할 수 있도록 가상 환경 및 6축 모션 시뮬레이터를 이용하여 실내 차량 주행 시험 환경을 구축하였다. 구축된 환경에서 개발된 영상 안정화 장치의 성능시험을 수행하여 제안된 시스템의 효용성을 확인하였다.

2. 무인 차량용 안정화 장치

2.1 험지 주행 무인 차량용 영상 안정화 장치 구성

일반적인 항공용 영상 안정화 장치⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾는 팬(Pan), 틸트(Tilt) 2축 만을 이용하지만 개발된 영상 안정화 장치는 차량이나 선박에서 발생하는 롤(Roll) 외란 또한 보상하여 보다 안정된 영상 획득이 가능하도록 팬, 틸트, 롤 모듈로 구성되어 있다. 각 모듈은 AC 서보 모터와 모터 드라이버, 감속기, 타이밍 풀리, 타이밍 벨트 등으로 구성되어 있다. 모터 시스템들은 안정화 알고리즘을 통해 계산된 요구 각도를 움직일 수 있도록 모션 컨트롤러를 이용하여 제어가 되고 있다. 롤 모듈에는 전방의 영상 정보를 획득할 수 있는 디지털 카메라와 카메라의 자세 정보를 획득하여 카메라

의 안정화 정도를 확인할 수 있도록 IMU 센서를 장착하였다. Table 1은 개발된 안정화 장치의 구성품 사양을 나타내고 있으며, Table 2는 개발된 영상장치의 운동 요구도를 나타내고 있다.

영상 안정화 장치는 팬, 틸트, 롤 모듈의 무게 중심을 회전축 상에 있도록 하여 구동 토크를 최소화하고 보다 쉬운 역기구학 해석을 위해서, 팬, 틸트, 롤의 3개의 회전축이 한 점에서 만나도록 CAD 프로그램을 이용하여 설계를 하였다. Fig. 2는 개발된 영상 안정화 장치의 CAD 모델과 실제 제작물을 보여주고 있다.

Table 1 Part specification of vision stabilizer

Item	Classification	EA	Spec.
Vision Stabilizer	Digital Camera	1	The Image Source Dfx 21BF04-Z2
	Actuator	3	OEMAX Servo Motor (CSMT-A5B 50W x 2, CSMT-05B200W)
	Module	3	Steel
Controller	PC	1	Intel P-4.1G
	S/W	1	NI LabWindows CVI 2013
	Motion Controller	1	NI PCI-7356
	Servo driver	3	OEMAX servo driver (Kinetix 3 50W, 200W)
Sensor	IMU	1	MySen-M

Table 2 Motion specification of vision stabilizer

	Pan	Tilt	Roll
Motion Range	$\pm 180^\circ$	$-20^\circ \sim +30^\circ$	$\pm 10^\circ$
Angular Velocity	$60^\circ /s$	$60^\circ /s$	$15^\circ /s$
Angular Acceleration	$60^\circ /s^2$	$60^\circ /s^2$	$150^\circ /s^2$
Gear ratio	38:1	71:1	9:1

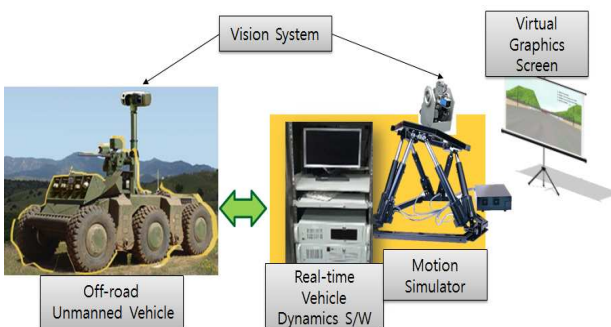


Fig. 1 Concept of indoor test environment

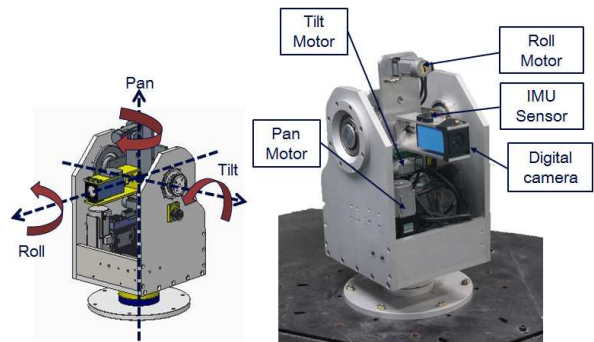


Fig. 2 Vision stabilizer

2.2 영상 안정화 알고리즘

Fig. 3 은 영상 안정화 시스템의 블록선도를 나타내고 있다. 영상 안정화 시스템이 설치되어 있는 모션 시뮬레이터 상판 하단에 설치된 AHRS(Altitude and Heading Reference System) 센서로부터 차량 모션에 대한 데이터를 통신을 통해 전달 받는다. 영상 안정화 알고리즘은 전달 받은 무인 차량의 롤(Roll), 피치(Pitch), 요(Yaw) 모션 데이터와 영상 처리 시스템으로부터 계산된 카메라 목표지향 벡터를 이용하여 안정화를 위한 영상 안정화 시스템의 팬, 틸트, 롤 요구 각도를 계산한다. 계산된 요구 각도는 모션 제어기(motion controller)에서 PID 제어를 통해 모터에 알맞은 신호로 변환되어 각 축의 모터 드라이버로 전달된다. 모터 드라이버에서는 이 신호에 알맞은 토크 지령을 모터에 전달하여 영상안정화 시스템에 설치된 카메라가 목표지향 방향을 계속 바라 볼 수 있도록 한다. 이를 통해 차량 외란에도 안정화된 영상을 획득할 수 있도록 동작하게 된다.

블록 선도의 영상 안정화 알고리즘은 선행연구에서 개발된 알고리즘(8,9)을 적용하였다. 카메라의 목표 지향 벡터와 차량의 자세에 대한 외란 정보

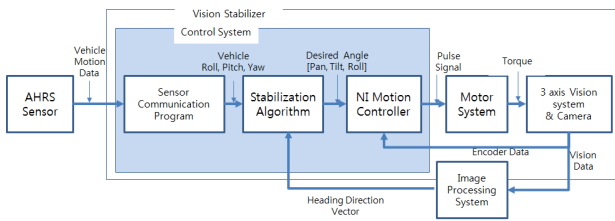


Fig. 3 Block diagram of vision stabilizer

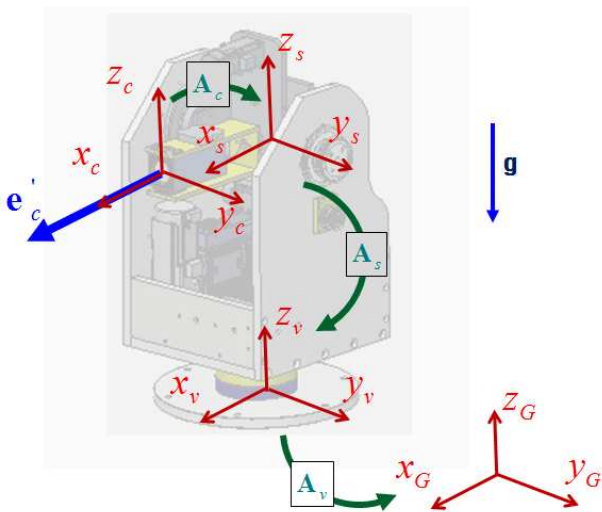


Fig. 4 Camera heading direction vector and reference frames for the vision-stabilization algorithm

가 입력되면, 이를 이용하여 카메라가 목표 지향 방향을 계속 주시할 수 있도록 하는 안정화 장치의 팬, 틸트, 롤 축의 회전 각도를 계산하는 알고리즘이다.

이 알고리즘의 자세한 유도과정은 참고문헌(8,9)에 나와 있으므로, 본 논문에서는 알고리즘의 유도에 사용된 기본 개념만을 설명한다. Fig. 4는 영상 안정화 장치의 자세에 대한 좌표축과 좌표 변환 행렬을 나타낸 것이다.

차량의 롤(ϕ_{roll}), 피치(ϕ_{pitch}), 요(ϕ_{yaw}) 각도 함수인 \mathbf{A}_v 는 무인차량 기준 좌표계로부터 전역 기준 좌표계의 좌표 변환 행렬을 나타낸다. 영상 안정화 장치의 팬각(θ_{pan}), 틸트각(θ_{tilt})의 함수인 \mathbf{A}_s 는 영상 안정화 장치 기준 좌표계로부터 차량 기준 좌표계의 좌표변환 행렬을 나타낸다. 또한 영상 장치의 롤각(θ_{roll})의 함수인 \mathbf{A}_c 는 카메라 기준 좌표계로부터 영상 안정화 장치 기준 좌표계의 좌표 변환 행렬을 나타낸다. 안정적인 영상을 획득하기 위해서는 카메라 기준 좌표계의 y_c 축의 단위 벡터 j_c 와 중력 벡터 g 가 항상 수직되게 하여 항상 카메라가 수평을 유지하게 하는 조건과 카메라 기준 좌표계의 x_c 축의 단위 벡터 i_c 와 카메라의 목표 지향 벡터 e_c 가 평행하게 하여, 항상 목표 방향을 주시하게 하는 조건을 동시에 만족해야 한다. 이러한 두 가지 조건을 위의 좌표변환행렬을 이용하여 관계식을 유도하면, 식 (1), (2)와 같이 안정화 장치의 틸트각과 팬각을 구할 수 있다.

$$\theta_{tilt} = \sin^{-1}(-k_z) \tag{1}$$

$$\theta_{pan} = \tan^{-1}\left(\frac{k_y}{k_x}\right) \tag{2}$$

여기서 k_x, k_y, k_z 는 다음과 같은 $\mathbf{k} = \mathbf{A}_v^T \mathbf{e}_c$ 벡터의 요소이며, 여기서 \mathbf{A}_v^T 는 다음 식 (3)과 같이 무인 차량의 롤, 피치, 요 각도로 표현되는 좌표 변환 행렬이며,

$$\mathbf{A}_v^T = \begin{bmatrix} \cos \phi_{roll} \sin \phi_{yaw} & \sin \phi_{roll} \sin \phi_{yaw} & \cos \phi_{pitch} \cos \phi_{yaw} \\ \cos \phi_{pitch} \cos \phi_{yaw} & + \sin \phi_{roll} \sin \phi_{pitch} \cos \phi_{yaw} & - \cos \phi_{roll} \sin \phi_{pitch} \cos \phi_{yaw} \\ -\cos \phi_{pitch} \sin \phi_{yaw} & - \sin \phi_{roll} \sin \phi_{pitch} \sin \phi_{yaw} & + \cos \phi_{roll} \sin \phi_{pitch} \sin \phi_{yaw} \\ \sin \phi_{pitch} & - \sin \phi_{roll} \cos \phi_{pitch} & \cos \phi_{roll} \cos \phi_{pitch} \end{bmatrix} \tag{3}$$

e_c 는 카메라 기준 좌표계의 원점으로부터 목표물까지의 전역 위치 벡터로 카메라 뷰 파인더 센터로부터 목표 영상의 오차의 함수로 나타낼 수 있다.⁽⁹⁾

또한 식 (1), 식 (2)와 같이 팬, 틸트각이 구해지면, 영상안정화 장치의 롤 각은 식 (4) 같이 팬, 틸트각과 차량의 롤, 피치, 요의 함수로 구할 수 있다.

$$\theta_{Roll} = \tan^{-1} \left(\frac{p_x \sin \theta_{pan} - p_y \cos \theta_{pan}}{p_x \cos \theta_{pan} \sin \theta_{tilt} + p_y \sin \theta_{pan} \sin \theta_{tilt} + p_z \cos \theta_{tilt}} \right) \quad (4)$$

여기서 p_x, p_y, p_z 는 A_v^T 의 3 번째 열(column) 정의 되는 벡터의 요소이다.

3. 안정화 시험을 위한 실내 환경

본 연구에서는 개발된 안정화 장치의 성능을 시험하기 위하여 가상 환경과 6축 모션 시뮬레이터, 그리고 실시간 차량 동역학 모델을 이용하여 실내 시험 환경을 구현하였다. Fig. 5 는 구현된 실내 시험 환경을 나타낸다. 좌측 사진은 드라이버 콘솔과 돔 스크린을 이용하여 조종자가 원격 조종을 하는 화면이며, 이를 통해서 영상안정화 장치로부터 전송된 영상을 실시간으로 확인하며 조종 할 수 있다. 우측 사진은 Fig. 1 의 개념과 같이 무인 차량의 주행환경을 모사할 수 있는 모션 시뮬레이터, 그 위에 설치된 영상 안정화 장치와 그 전방에 가상현실 스크린이 설치된 시뮬레이션 환경을 나타낸다.



Fig. 5 Developed indoor test environment

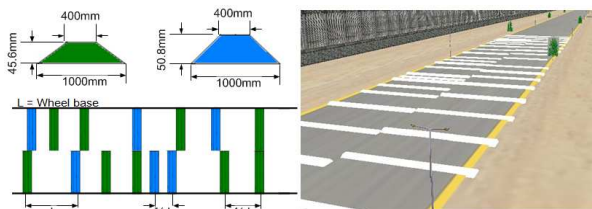


Fig. 6 Virtual environment

가상 주행 환경은 Open GL 을 이용하여 구성하였다. 직진 주행로, Slalom 주행로, 범프 주행로 등을 구현하여 다양한 주행 조건을 시험할 수 있도록 하였다. 그 중 범프 주행로는 군용 전차 시험코스인 Aberdeen Proving Ground(APG) 범프 주행로를 참고하여 Fig. 6 와 같이 구현하였다. 이 APG 범프 주행로는 그림과 같은 2 종류의 범프가 비대칭 적으로 간격을 두고 배치되어 롤, 피치, 허브의 차량 모션 모두 발생할 수 있도록 구성된 주행로이다.

6 축 모션 시뮬레이터는 Stewart platform 형태의 시뮬레이터로⁽¹⁰⁾ 차량의 허브, 피치, 롤 모션을 구현할 수 있다. Table 3 는 모션 시뮬레이터의 운동 요구도를 나타내며, Table 4 는 구성품 사양을 나타낸다. 상판 하단에는 AHRS 센서를 설치하여 모션 시뮬레이터 상판의 자세 정보를 획득할 수 있도록 하였다. 모션 시뮬레이터는 항공용으로 최대 3Hz 로 작동될 수 있으므로, 본 시스템은 실제 차량의 범프 주행로에서의 고속주행에는 적합하지 않다. 10 ~ 50Hz 정도의 차량 모션은 별도의 가진 시스템을 모션 시뮬레이터 상부에 장착해야 한다.

실시간 차량 동역학 모델은 다물체 동역학기반으로 차량의 현가장치, 조향장치, 안티롤 바 등이 모델링 되어 실제와 유사한 차량 거동을 획득할

Table 3 Motion specification of 6 axis motion simulator

	Roll	Pitch	Heave
Motion Range	± 20°	± 20°	± 0.23m
Angular Velocity	± 20° /s	20° /s	± 0.3m/s
Angular Acceleration	200° /s ²	200° /s ²	0.5g

Table 4 Part specification of 6 axis motion simulator

Item	Classification	EA	Spec.
Motion Simulator	Actuator	6	OEMAX Servo Motor (RSMH-15BR1ABK3)
	Upper Plate	1	Steel
	Upper Joint bracket	3	Steel
	Lower joint bracket	3	Steel
Controller	PC	1	Intel P-4.1G
	Motion Controller	1	MMC-BQPVB2PNA
	Motion IO card	2	MMC-MI10
S/W	Servo driver	6	OEMAX servo driver (SD3-15BX2)
	OS	1	Windows XP
S/W	Development environment	1	Visual C++ MFC
	Sensor	AHRS	1

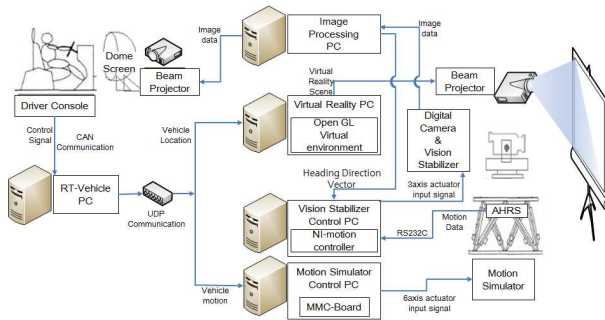


Fig. 7 Data flow diagram of the test system

수 있다. 실시간 해석을 위하여 차량의 현가 시스템과 차체 시스템을 분할하여 독립적으로 해석하는 부분시스템 합성방법⁽¹¹⁾이 사용되었다. 여기서 사용된 차량 모델은 SUV(Sport Utility Vehicle)로 조향 장치 모듈과 엔진 모듈을 통하여, 드라이버 콘솔의 차량 조향 및 페달 각 등 조작 데이터를 실시간으로 전송받아 차량의 위치와 자세를 계산한다.

Fig. 5의 왼쪽 그림의 드라이버 콘솔은 핸들, 엑셀과 브레이크 페달, 변속기와 콘솔 전방에 돔 스크린으로 구성되어 있어 실제 운전 환경과 유사하게 구성되어 있다. 조향감 재현 장치로 조향 반력을 느낄 수 있으며, 돔 스크린을 통하여 보다 몰입감을 느낄 수 있도록 구성되었다.

Fig. 7은 실내 환경의 데이터 흐름도를 나타낸 것이다. 각 시스템들은 UDP 통신을 이용하여 연결되어 하나의 시스템과 같이 동작하도록 하였다. 원격 조종자가 드라이버 콘솔에서 영상 안정화 장치 전방의 스크린을 촬영한 화면을 돔 스크린을 통해 확인하고 조종을 하면 조종정보가 실시간 차량 동역학 모델로 전달된다. 전달된 정보를 이용하여 실시간 차량 동역학 모델은 매 스텝마다 차량 모션 및 위치 정보를 계산한다. 계산된 차량 모션은 6축 모션 시뮬레이터로 전달되어 차량의 롤, 피치, 히브 모션을 재현하며, 차량 위치 정보는 가상현실로 전달되어 차량 모델이 현재 위치에서 보이는 전방 환경을 가상 주행 환경 스크린에 나타낸다. 6축 모션 시뮬레이터 위에 설치된 영상 안정화 장치는 전방의 스크린에 투영된 가상 주행 환경을 촬영하여 운전자 콘솔의 돔 스크린에 영사한다. 이때 영상 안정화 장치는 6축 모션 시뮬레이터의 외란을 보상하여 안정화 된 영상을 촬영하게 된다. 촬영된 영상을 통해 카메라의 지향 방향을 확인하고 조정할 수 있다. 위 과정이 한 스텝 동안 일어나게 되고 이 과정이 반복되어 실외에서 테스트하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다.

4. 영상 안정화 장치 시험

구현한 실내 시험 환경의 효용성을 확인 하기 위하여, 개발된 무인 차량 영상 안정화 장치의 성능 시험을 수행하였다.

첫번째 시험은 외란으로 사인(Sine)파를 인가한 시험이고 두번째 시험은 무인차량의 범프 주행로 주행시험을 수행하였다. 영상 안정화 장치의 디지털 카메라 상단에 부착된 IMU 센서를 통해 디지털 카메라의 자세를 확인하고, 6축 모션 시뮬레이터 상판의 하단에 부착된 AHRS 센서를 통해 재현된 차량 모션을 확인하였다. AHRS 센서를 통한 차량 모션은 안정화 제어를 하지 않았을 때의 카메라 모션과 동일하다. 따라서 이 두가지 모션 데이터를 비교하여 영상 안정화 장치의 성능을 확인하였다.

첫번째 시험에서는 모션 시뮬레이터에 롤과 피치 모션에 진폭 3°, 0.2Hz의 사인(Sine)파를 인가하여 영상 안정화 장치의 성능을 확인하였다. Fig. 8은 영상안정화장치의 피치각과 시뮬레이터 상판의 피치각을 비교하고 있다. 모션 시뮬레이터는 진폭 3°로 움직이고 있지만 카메라는 그 값보다 작게 약 -0.1249° ~ 0.2749°의 범위를 유지하면서 전방을 주시하고 있음을 확인할 수 있다.

상대적인 안정화 정도를 확인 하기 위하여, 모션 시뮬레이터 상판 피치 각의 운동범위 대한 카메라의 피치 각의 운동범위의 비율을 계산하면 약 6.6%임을 알 수 있다.

Fig. 9는 사인(sine)파 시험 결과 중 롤 각의 결과이다. 모션 시뮬레이터는 진폭 3°으로 움직이고 있지만 카메라는 약 -0.5067° ~ 0.2936°의 범위로 지면과 수평을 유지하려 하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 상판 피치각에 대한 카메라의 상대적인 안정화 정도는 약 13.3%이다.

두번째 실험은 차량 모델이 APG 범프 주행로를 2km/h의 속도로 주행할 때, 영상 안정화 장치의 성능을 확인하였다.

Fig. 10는 카메라의 피치 각 데이터와 모션 시뮬레이터 상판의 피치 각 데이터를 비교한 결과이다. 상판의 모션은 약 -1.5765° ~ 1.0053° 정도 발생하나 카메라의 모션은 -0.0531° ~ 0.1123° 정도만 발생하는 것을 확인할 수 있다. 모션 시뮬레이터 상판 피치 각에 대한 카메라의 피치각의 상대적인 안정화 정도는 약 6.4%이다.

Fig. 11은 카메라의 롤 각 데이터와 모션 시뮬레이터 상판의 롤 각 데이터를 비교한 결과이다.

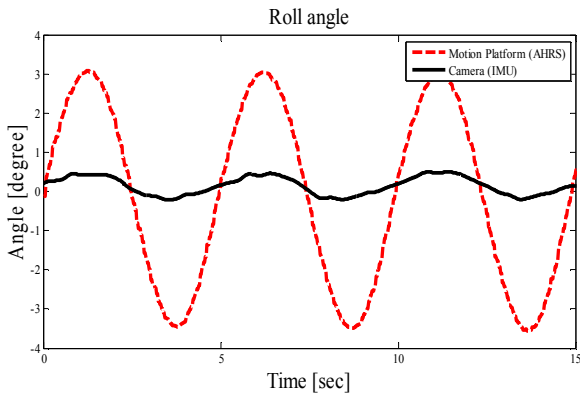


Fig. 8 Test results of pitch angles

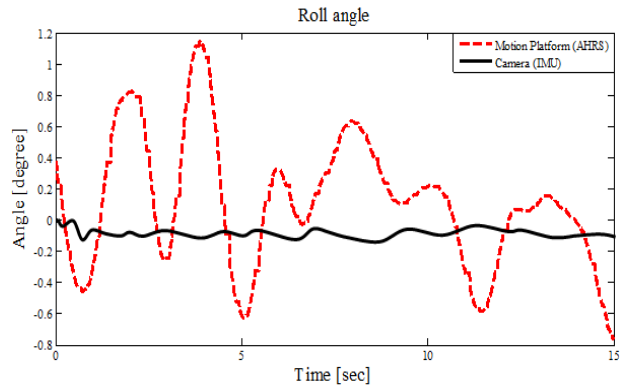


Fig. 10 Test results of pitch angles

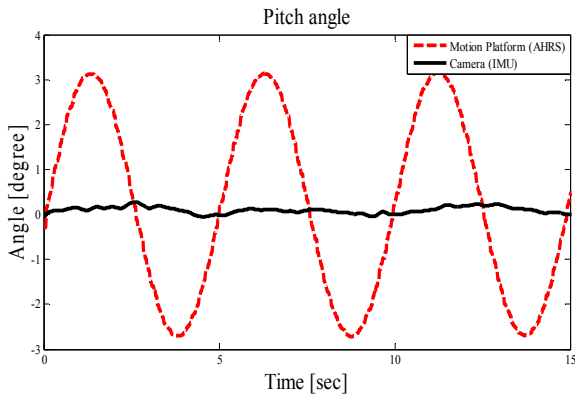


Fig. 9 Test results of roll angles

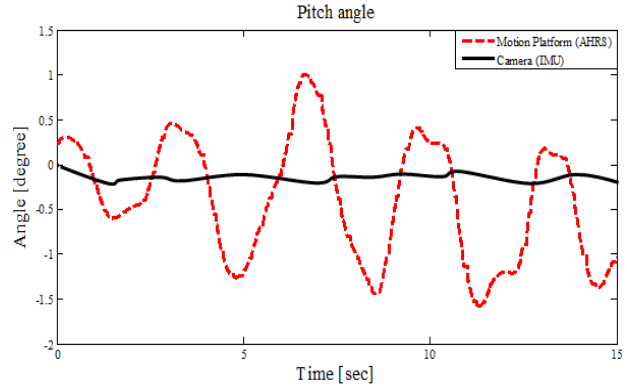


Fig. 11 Test results of roll angles

상판 모션은 약 $-0.5905^{\circ} \sim 1.1009^{\circ}$ 정도 발생하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 카메라의 모션은 약 $-0.1827^{\circ} \sim 0.0024^{\circ}$ 정도만 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한 카메라의 롤 각의 상대적인 안정화 정도는 모션 시뮬레이터 상판 피치 각에 대해 약 10.9% 이다.

롤 모션의 상대적인 안정화 정도는 두 가지 실험에 대해서 각각 13.3%, 10.9% 인 반면에 피치 모션의 상대적인 안정화 정도는 6.6%와 6.4%로 나타나고 있는 것은 안정화 알고리즘에서 롤 각의 계산은 AHRS 센서에서 획득된 차량 자세의 값을 이용하여 계산된 편, 틸트 각과 동시에 차량 자세의 함수이므로 요구 롤 각의 계산에 오차가 더 있을 수 있다고 여겨진다.

위 실험의 결과를 확인하면 카메라의 피치 모션은 차량 모션에 비해 약 6.6% 이내로 움직이고, 롤 모션은 13.3% 이내로 움직이는 것을 확인할 수 있다. 이는 안정화 알고리즘에 의해 차량 모션을 보상하여 카메라가 차량의 외란에 의해 흔들리지 않고 전방의 영상을 안정적으로 촬영하고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 다양한 주행 환경에서 무인 차량의 영상 안정화 장치 성능을 확인할 수 있는 실내 시험 시스템을 구축하였다. 모션 시뮬레이터와 실시간 차량 동역학 모델을 이용하여 험지 주행 무인 차량을 모사하고 다양한 주행 환경을 가상현실 환경으로 재현하였다. 영상안정화 장치를 통한 가상환경의 영상을 원격조종자에 전송하여, 원격조종자가 안정화 정도를 실제로 영상을 통해서 확인할 수 있도록 드라이버 콘솔과 돔 스크린을 포함하여 시스템을 구성하였다. 그리고 이 시스템들을 UDP 통신, CAN 통신 등으로 연결하여 무인 차량 영상 안정화 장치의 성능 시험이 가능하도록 구축하였다.

구축된 실내 시험 시스템의 효용성을 확인 하기 위하여, 먼저 영상 안정화 장치에 사인과 외란을 적용하여 시험을 하였고, 또한 무인차량의 범프 주행로 주행 시험을 수행하였다. 주행 시험 결과 차량 모션에 비해 카메라의 롤 모션(회전 흔들림)은 13.3% 이하, 피치 모션(상하 흔들림)은 6.6%

이하로 안정화 됨을 확인하였다. 이를 통해 구축된 환경에서 영상 안정화 장치의 성능을 평가가능성을 검증하였고, 구축된 시스템의 효용성을 확인하였다.

추후 원격조종자의 영상을 통한 원격 조종능력 향상을 위해서, 다양한 주행 조건 내에서의 영상 안정화 성능 평가가 필요하며, 개발된 실내 시험 환경을 통하여 원격조종자의 주관적인 요소인 영상을 통한 원격조종 가능성에 대한 연구도 가능하다고 생각된다.

참고문헌

(References)

- (1) NADS-1 Simulator, http://www.nads-sc.uiowa.edu/sim_nads1.php.
- (2) Yu, S.B., Lee, S.Y., 2006, "Development of KATECH Advanced Automotive Simulator (KAAS) System – Overall System Design and Motion Performance," *Proceeding of KASE*, pp. 1555~1561.
- (3) Kim, J.M., Noh, K.S., 2005, "A Development and Application of Driving Simulator for Road Safety Analysis," *Proceeding of the Korea Society For Simulation*, pp. 138~143.
- (4) T-72 Complex Tank Simulator, <http://www.vrm.sk/product/ground-army/t-72-complex-tank-simulator.html>
- (5) Fitts, J.M., 1973, "Aided Tracking as Applied to High Accuracy Pointing System," *IEEE trans. On Aerospace and Electronics systems*, Vol.AES-9, No.3, pp. 350~368.
- (6) Rue, A.K., 1974, "Precision Stabilization Systems," *IEEE trans. On Aerospace and Electronics systems*, Vol.AES-10, No.1, pp. 34~42.
- (7) Bigley, W.J., Rizzo, V. J., 1987, "Wideband Linear Quadratic Control of a Gyro-Stabilized Electro-Optical Sight System," *IEEE Control Systems Magazine*, pp. 20~24.
- (8) Lee, D.Y., Seo, B.C., Kim, S.-S., Park, S.H., 2012, "Verification of Camera-Image Based Target Tracking Algorithm for Mobile Surveillance Robot Using Virtual Simulation," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol.36, No.11, pp. 1463~1471.
- (9) Seo, B.C., Kim, S.-S., Lee, D.Y., 2014, "Target-Tracking System for Mobile Surveillance Robot Using CAMShift Image Processing Technique," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, vol. 38, No.2, pp. 129-136.
- (10) Kim, S.-S., Oskar, W., Kwon, J.J., Kim, D.H., Diana, W., 2009, "Development of a Motion Simulator for testing a Mobile Surveillance Robot," *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 23, No. 4, pp. 1065~1070.
- (11) Kim, S.-S., 2002, "A Subsystem Synthesis Method for Efficient Vehicle Multibody Dynamics," *Multibody System Dynamics*, Vol. 7, pp. 189~207.