

Implementation of a 6DOF Motion Chair for Flight Simulation using FPGA

Myeong-Chul Park*, Cha-Hun Park*

*Professor, Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University, Gumi, Korea

[Abstract]

In this paper, we propose a motion chair for flight simulators that can be precisely controlled using an FPGA. Existing motion chairs are unsuitable for a flight simulator environment, where natural position changes occur due to a sense of disconnection arising from simple mechanical motor operations. This paper, presents a motion chair suitable for flight simulation through BLDC motor control through the FPGA module. In addition, the operating load was improved by controlling the drive shaft and control device of the motion chair as a single driver. As a result of comparing the control signal and feedback data to evaluate the performance of the implemented system, it was confirmed that the change was stable without error in the target position, and the high-speed camera showed a natural flowing state change suitable for flight simulation. In the future, we plan to develop it into an integrated flight motion platform linked to virtual reality hardware.

▶ **Key words:** Flight Simulation, Motion Chair, FPGA, BLDC Motor, PWM Control

[요 약]

본 논문에서는 FPGA를 이용하여 정밀제어가 가능한 비행 시뮬레이터용 모션 체어를 제안한다. 기존 모션 체어는 단순 기계식 모터 동작에서 발생하는 단절감으로 인하여 자연스러운 위치 변화가 발생하는 비행 시뮬레이터 환경에서는 적합성이 낮은 문제점을 가진다. 본 논문에서는 FPGA 모듈을 통한 BLDC 모터 제어를 통하여 비행 시뮬레이션에 적합한 모션 체어를 제시한다. 또한, 모션 체어의 구동축과 조종 장치를 단일 드라이브로 제어하여 동작 부하를 개선하였다. 구현된 시스템의 성능평가를 위하여 제어 신호와 피드백 데이터를 비교한 결과, 목표 위치까지의 오차 없이 안정적으로 변화하는 것을 확인하였고 고속 카메라를 통하여 비행 시뮬레이션에 적합한 자연스러운 유영적인 상태 변화를 보였다. 향후, 가상현실 하드웨어와 연동한 통합 비행 모션 플랫폼으로 발전시키고자 한다.

▶ **주제어:** 비행 시뮬레이터, 모션 체어, FPGA, BLDC 모터, PWM 제어

-
- First Author: Myeong-Chul Park, Corresponding Author: Cha-Hun Park
 - *Myeong-Chul Park (africa@ikw.ac.kr), Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University
 - *Cha-Hun Park (chpark@ikw.ac.kr), Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University
 - Received: 2024. 11. 04, Revised: 2024. 11. 19, Accepted: 2024. 11. 24.

I. Introduction

비행 시뮬레이터는 실제 비행 시에 발생할 수 있는 위험을 방지하고 실감형 콘텐츠 기반의 항공기 비행을 위해 널리 사용되고 있다[1]. 특히, 민간 항공사, 군사 훈련, 항공 학교 비행 교육, 실감형 콘텐츠 시현 등에서 활용되고 있으며, 실제 비행에 대한 의존도를 줄이고 위험성을 최소화하는 효율적 훈련 수단으로 활용되고 있다[2]. 이러한 실감형 콘텐츠 기반의 시뮬레이터는 안전기준 및 인증 체계 강화를 위한 활동이 전개되고 있다. 유럽 항공안전청은 유·무인 항공기의 훈련 설비에 대한 위험성 및 신뢰성, 안전성 검증에 필요한 안전기준과 인증 방법을 수립하고 있다[3]. 2023년 기준 전 세계 비행 시뮬레이터 시장 규모는 48억 9천만 달러로 평가되고 있으며, 2024년 54억 8천만 달러에서 2032년에는 78억 3천만 달러로 연평균 성장률(CAGR, compound annual growth rate) 4.55% 성장을 예상한다[4]. 주요 시장 추세는 혼합현실, 가상현실 및 증강현실의 통합 환경 구축으로 향상된 몰입감과 사실감을 통한 정확한 조종 시각과 동적 피드백을 가능하게 하여 대화형 훈련 체계를 구축할 수 있다. 국내 비행 시뮬레이터 시장은 규모가 작고 기체 제작 및 시뮬레이터 개발이 전문가 교육용에 한정되어 있고 하드웨어와 소프트웨어를 통합한 시뮬레이터 시장은 전혀 없는 실정이다.

이에 본 연구에서는 기존 연구 결과물인 VR 연동 조이스틱을 기반으로 연동 가능한 모션 체어를 구현하여 통합형 시뮬레이터를 구현한다. 기존 비행 시뮬레이션에 사용되는 모션 체어는 고가이며 실감형 모션 기능이 구현되지 않는 문제점을 가진다. 본 연구에서는 저가의 모션 체어 및 기능 개선을 통하여 경제적인 통합 비행 시뮬레이션 시스템을 제안하고자 한다. 제안하는 모션 체어는 BLDC 모터를 사용하고 FPGA S/W를 적용하여 정밀제어가 가능하도록 하였다. 이는 기계식 ON/OFF 모터 동작에서 발생하는 동작 분절적 느낌을 해소하고 보다 자연스러운 모션을 위해 설계되었으며, 거리변화 측정을 통하여 기존 동작 방식과 비교하여 우수성을 검증하였다. 또한, 이전 연구에서 구현한 비접촉식 조이스틱을 연동하여 무선으로 시뮬레이션이 가능하도록 설계하였다. 이 조이스틱은 홀 센서를 조이스틱의 X, Y 회전축에 장착하고 각 축의 영구자석의 회전각 정보를 2차원 벡터로 하는 방법을 사용한다. 이 구조는 측정 신호의 정확도를 향상시키고 복잡한 신호처리 및 보상과정이 필요 없어 실시간 데이터를 생성할 수 있다. 논문의 구성은 2장에서 비행 시뮬레이터에 관한 기존 연구에 대해 살펴보고 3장에서 제안하는 모션 체어의 구체적인

설계에 관해 기술한다. 4장에서 모션 체어 구현 및 요소별 성능측정의 결과에 관해 설명하고 5장에서 결론에 관해 기술한다.

II. Background

1. Related works on Motion Platform

모션 플랫폼은 시뮬레이션의 동적인 변화에 대한 사용자 체감을 증강하기 위한 용도로 널리 이용되고 있으며, 모션 동작의 구조적 연구가 주류를 이루고 있다. 또한, 대부분의 모션 플랫폼은 다양한 분야에 활용될 수 있도록 범용적 기능 중심으로 개발되는 경향을 보인다.

E. Thoendel은 모션 플랫폼에 대한 모델링과 시뮬레이션의 역학 및 위치 정확도에 필요한 수학적 모델을 제시하고 있다[5]. Liyi Yin은 Fig. 1과 같이 실시간 솔루션 사용할 수 있는 단순화된 동적 모델을 위하여 KANE 메소드를 이용한 다중 강체 동적 모델을 구축하고 운동 분해 방법으로 모델을 분할하고 단순화시키는 전략을 제안하였다[6].

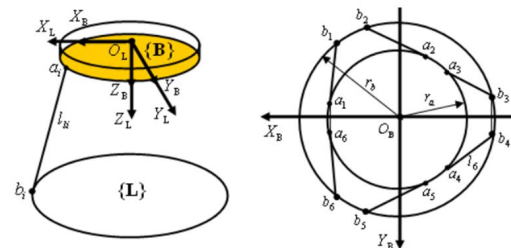


Fig. 1. Definition of Cartesian coordinate system of docking motion simulator[6]

Tong Y는 모션 플랫폼의 충실도를 향상시킬 수 있는 모션 워시아웃 알고리즘을 개발하고 구현하여 조종사 훈련을 위한 항공기의 선형 및 가속도에 응답하는 도구를 제안하였다[7]. Li Bin은 6축 플랫폼의 구성과 구조를 소개하고 플랫폼의 주요 구성 요소에 대한 응력 분석 및 설계와 제어 알고리즘을 소개하였다[8]. Duyun T는 Gough-Stewart 플랫폼을 기반으로 한 자동차 운전 시뮬레이터의 모델과 실제 프로토타입을 제시하고 기하학적 매개변수를 통한 PSO 알고리즘을 제안하였고 실제 지형의 3D 모델이 통합된 자동차 운전 시뮬레이터의 프로토타입을 제시하였다[9]. Pena Matheus는 상용 비행 시뮬레이션 도구인 X-Plane에서 특정 힘과 각속도를 취합하여 비행 시뮬레이터를 위한 모션 베이스의 모션 큐잉 알고리즘을 구현하였다[10]. K. Bimbrow는 모션 플랫폼의 갑작

스러운 움직임을 줄이기 위한 동적 속도 제어 방법과 연속적인 위치 사이의 거리를 줄여 작동의 부드러움을 유지하기 위한 가변 이동 제어 방법을 제시하였다[11]. Wei는 Fig. 2와 같이 조종사의 훈련 몰입도를 높이기 위하여 모션 제어에 촉각적 감각을 제공하였다. 이 제어는 시트 팬, 백 패드, 시트 높이 조정 등을 포함하고 설계된 구조물의 변위, 속도 및 가속도는 SimWise4D 소프트웨어를 사용하여 분석하여 구조물의 성능 사양을 검증하였다[12].

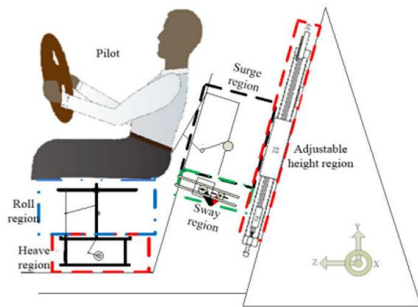


Fig. 2. The schematic diagram of the designed motion chair[12]

Park는 아두이노 기반에 자이로 센서를 이용한 6축 모션 플랫폼의 프로토타입을 제안하고 구글 어스와 연동한 시뮬레이터를 제안하였다[13]. 또한, Park는 후속 연구로 비행 시뮬레이션에 사용 가능한 WiFi 통신방식의 조이스틱을 통하여 보다 자유로운 공간 활용성 증진을 위한 조정 장치를 소개하였다[1]. 하지만, 기존 연구에서 소개한 모션 플랫폼은 범용성을 지향하고 동작 방식이 모터 구동 방식으로 동작의 변화가 단절적으로 이루어지는 경향을 보인다. 이는 자동차와 같이 지면에 접촉하여 동작하는 이동체의 경우에는 문제없지만, 비행 시뮬레이션에서는 상승과 하강 시에 ON/OFF 동작의 반복으로 분절되는 느낌을 가지게 된다. 본 논문에서는 이를 개선하여 비행 시뮬레이션에 적합한 경제적인 모션 제어를 제안한다.

III. Design

1. Design of Motion Platform

제안하는 모션 플랫폼의 전체적인 구조는 Fig. 3과 같다. 기존의 6축 데이터에 의한 전통적인 액추에이터의 이동 방식은 급격한 기동으로 비행 현실감이 떨어지는 것으로 판단된다. 따라서 유압 방식과 유사한 각축의 현재 위치값을 피드백 받아서 위치 보정을 실시간 제어 방식으로 변경하였다. 따라서 현재 위치를 검출하기 위한 4축 기울

기 센서의 값을 메인 컴퓨터에서 모니터링 할 수 있어야 한다. 이를 위해 9축 지자계, 가속도, 기울기 센선 원칩 센서를 사용한다. FPGA 보드에서는 RS232 통신으로부터 전달되는 각축의 증가 감소 신호를 8bit로 받아들이 지속적으로 입력되면 PWM의 속도를 증가시켜서 제어한다.

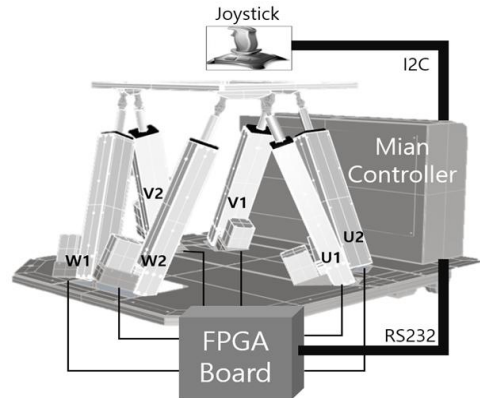


Fig. 3. Structural diagram of the proposed motion platform

메인 컨트롤러로부터 전송되는 데이터는 RS232 통신방식으로 8bit 크기로 각 축에 대한 정보가 FPGA 모듈로 전송된다. 전송되는 비트는 Fig. 4와 같으며, 첫 4bit는 각 축을 식별하는 정보이고 나머지 4bit는 0부터 15 사이의 펄스 폭에 대한 값으로 6축에 대한 6번의 스트링이 전송된다. Fig. 4는 U1 축에 15의 펄스 값이 전송되는 것을 의미한다.

Axis ID				Pulse value			
0	0	0	1	1	1	1	1
0001:U1, 0010:U2, 0011:V1, 0100:V2, 0101:W1, 0110:W2							

Fig. 4. Data format transmitted from the main computer to the FPGA module

RS232 통신으로부터 수신된 각축에 대한 데이터는 PWM 증감에 대한 값으로 적용된다. 따라서 각축의 위치는 Fig. 5의 개선된 방식과 같은 형태의 궤적으로 이동한다.

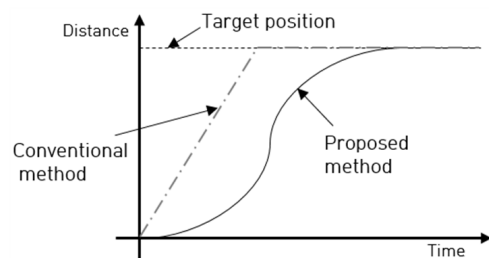


Fig. 5. Improved distance trajectory changes

기존 PWM 방식은 이동 속도가 일정하며 신속한 위치 이동이 목적이었다면 개선된 방식은 초기에는 서서히 이동하다가 급격한 가속 후 서서히 감속하는 유압 실린더의 특성과 유사한 이동 형태를 보이게 된다. 이러한 동작은 지속적인 자세의 상태(3축에 대한 기울기)를 모니터링 하면서 위치값은 보정하기 때문에 가능하다. 메인 컴퓨터에서 각 축의 위치 데이터는 현재 값과 비교해서 증감하는 값을 FPGA 모듈에 보내게 된다. Fig. 6은 이에 대한 Verilog로 작성된 블록도의 일부분이고 Fig. 7은 이를 사용하여 작성한 전체 시스템의 레지스터 전달 논리(RTL)를 레벨로 표시한 것이다.

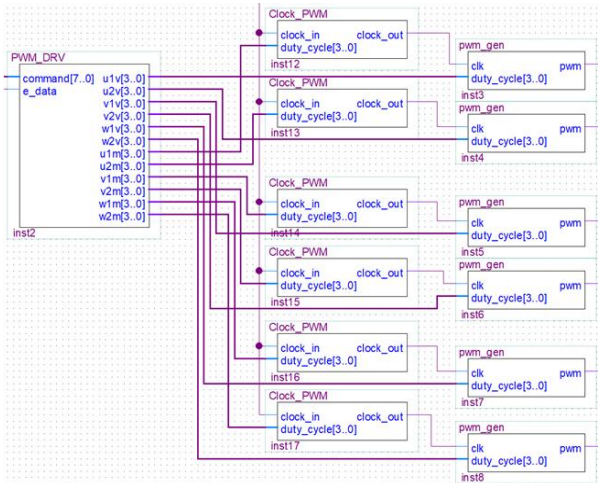


Fig. 6. Part of a block diagram made in Verilog of an FPGA

시스템의 동작은 Fig. 8의 순서도와 같이 전원을 인가하게 되면 현 상태를 유지하고 있다가 외부 입력 스위치(준비)가 가동되면 기계 원점으로 복귀한 후 좌석을 중앙에 위치하도록 이동하게 된다. 이때 속도는 기계와 안전이 허용하는 최소의 속도 약 50m/s로 이동하게 된다. 중앙에 위치할 때 모든 축이 중앙에 위치할 수 있는 충분한 시간과 확인을 I/O 센서를 통해 확인하며 동작한다. 이후 RS232 통신방식으로 각축의 위치에 대한 정보를 수신하게 된다. 수신된 데이터의 헤더 부분에 축에 대한 정보가 포함되어 있다. 통신 속도는 11520 bps로 동작한다.

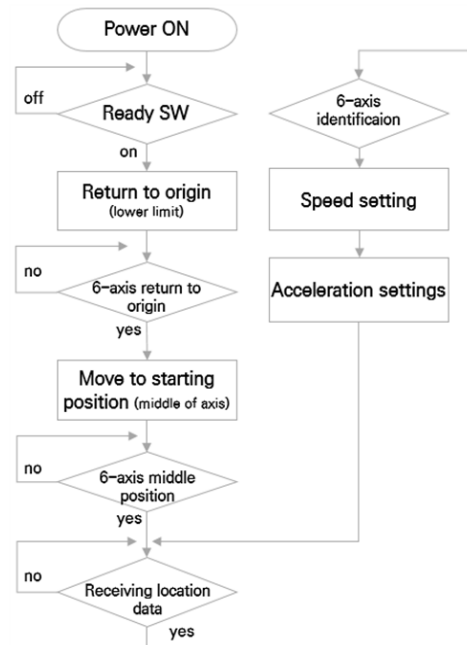


Fig. 8. Flow chart for system operation

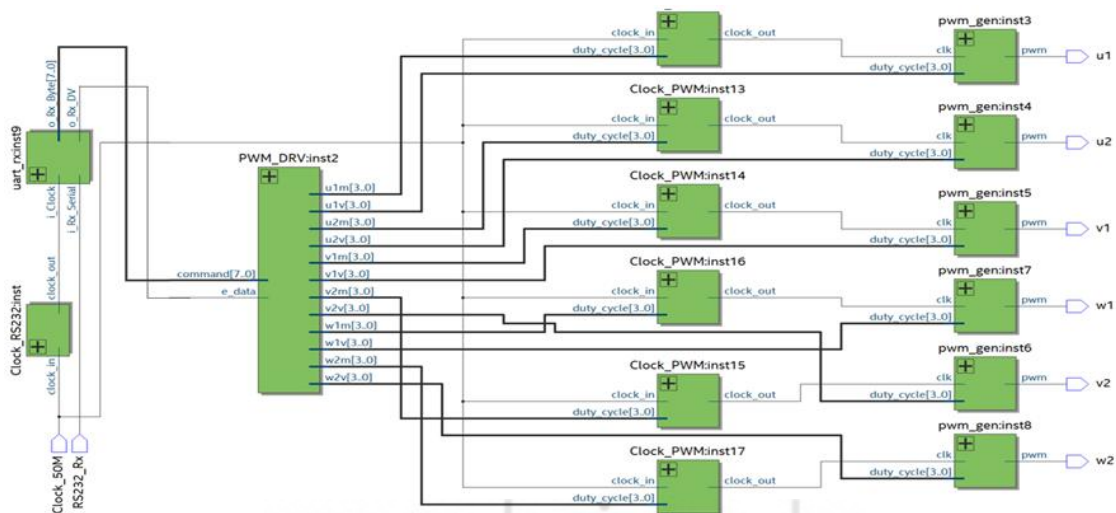


Fig. 7. Register transfer logic (RTL) built using Verilog (HDL)

IV. Implementation

1. Implementation of Motion Platform

Fig. 9는 제안하는 모션 제어의 구동축 구조를 보인 것이다. 초기 세팅되는 높이는 906mm이고 최대 높이는 1,120mm이다.

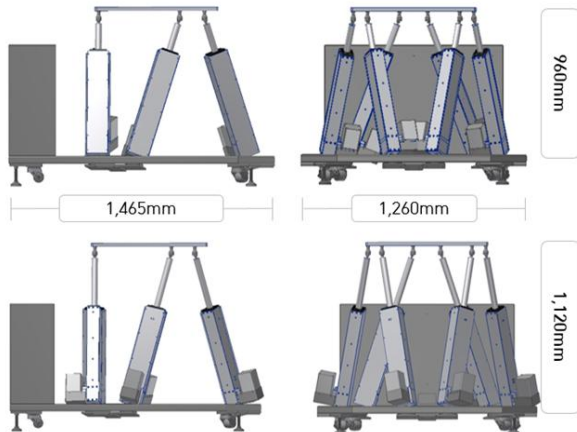


Fig. 9. Drive shaft structure of motion chair

구현하고자 하는 모션 제어의 주요 구성은 Table 1과 같으며, BLDC 모터 사용한 6축 구동으로 정밀한 움직임이 가능하다. 이는 동적 시 사고를 방지하고 사용자의 몰입도를 높이기 위해 BLDC PWM 방식을 통하여 정밀하게 모터 제어할 수 있다.

Table 1. Main Specifications of Motion Chair

Element	Specifications
Size	212 * 125 * 50
Controller input/output	DC12~48V($\pm 10\%$), In 20A
Motor	BLDC(24V*12.5A, 300W)
Signal type	Input : PULL-UP Output : OPEN-COLLECTOR
Speed range	50~5000RPM
Speed fluctuation rate	$\pm 1\%$ less
Comm.	RS485 1ch, TTL RS232 1ch, Baudrate : 19,200bps(1 stop bit, no parity)

일반 DC 모터는 동력용 및 서보 모터로서 널리 사용되지만 기계적 스위칭이 발생하는 브러시와 정류자의 접촉으로 수명이 짧고 유지보수 빈도 및 전자기적 잡음으로 기기에 장애를 발생하는 문제를 가진다. 이를 보완하기 위하여 BLDC 모터를 사용하여 기계적인 스위칭 동작을 반도체를 이용한 전자적인 스위칭으로 대체한다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 모션 제어의 구동축과 제어를 위한 조

종 장치가 단일 서보 모터 드라이브로 통합 제어되어 차량의 조향장치와 같이 동작하여 높은 부하를 제어할 수 있어 응용 분야가 매우 많을 것으로 판단된다. 모션 제어의 전원부는 Fig. 10과 같이 6개의 축별로 분리하여 안정적인 전원 공급이 가능하도록 구현하였다.



Fig. 10. Separate power supply for each axis

스위치 동작에 의한 전원 공급장치인 SMPS(Switching Mode Power Supply)는 AC 전원을 DC 전원으로 변환하고 필요한 전압과 전류를 생성하여 모터 드라이브 및 다른 전자 장치에 제공한다. 모터 드라이브는 전원을 받아 모터를 구동하는 역할을 하고 전원을 받아 모터의 속도, 회전 방향, 토크 등을 제어하며, 모터를 원하는 방향과 속도로 구동하도록 하여 모터와 컨트롤러 사이의 중간 장치로서 작용한다. 사용된 BLDC 타입의 모터 MD400 제품으로 단일 전원에 의해 동작하고 Hall 센서를 사용하여 정밀한 속도 및 위치 제어가 가능한 장점을 가진다. 또한, 7단계까지의 다단계 속도입력이 가능하고 모터의 움직임이 없고 일정 이상의 출력이 감지되면 알람이 발생하여 안전성을 기할 수 있다. 최종적으로 구현된 모션 제어는 Fig. 11과 같다.



Fig. 11. Finally implemented motion chair

2. Performance measurement

구현한 전동 액추에이터 기반의 모션 플랫폼이 목표 위치에 도달하는 과정을 분석하기 위해 제어 신호와 피드백

데이터를 비교하였다. Fig. 12는 시간에 따른 제어 신호 (파란색 점선)와 피드백 신호(빨간색 실선)의 변화를 나타낸 것이다. X축은 시간(sec)을, Y축은 위치(mm)를 나타내며, 각 신호의 변화를 시각적으로 비교할 수 있다. 제어 신호는 시간이 지남에 따라 목표 위치인 50mm에 점진적으로 수렴하는 모습을 보인다.

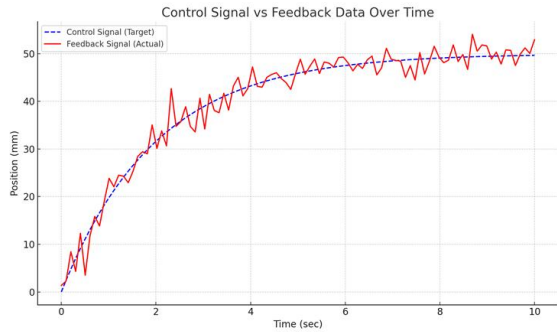


Fig. 12. Changes in control signals over time through comparison of control signals and feedback data

이는 시스템이 액추에이터를 통해 원하는 위치로 점진가가워짐을 의미한다. 제어 신호는 이상적인 목표 위치를 나타내며, 시간이 지날수록 목표값에 도달한다. 피드백 신호는 제어 신호와 유사한 패턴을 보이나, 실제 시스템에서 발생하는 오차로 인해 약간의 차이가 존재한다. 피드백 신호는 제어 신호에 비해 다소 불규칙한 변동을 보이며, 이는 물리적 제약, 모터의 동작 특성, 또는 센서 노이즈 등에 기인할 수 있다. 그래프에서 확인할 수 있듯이, 초기 시간대(0~2초)에는 제어 신호와 피드백 신호 간의 차이가 비교적 크게 나타난다. 이에 대한 오차 분석을 살펴보면, 목표 위치인 50mm에 도달하기 전까지 피드백 신호는 제어 신호

와 약 1~2mm의 차이를 보인다. 이는 제어 알고리즘이 환경적 요인에 대해 적응하는 과정에서 발생한 오차로 해석할 수 있다. 그러나 시스템이 안정화되는 시점에서는 오차가 거의 사라져, 제어 신호와 피드백 신호 간의 차이가 최소화됨을 확인할 수 있다. 따라서, 전동 액추에이터 기반의 모션 플랫폼이 제어 신호에 따라 정확하게 동작하며, 실제 피드백 데이터 또한 목표 위치에 근접함을 확인할 수 있다. 제어 시스템은 초기의 큰 오차를 빠르게 줄이며, 일정 시간이 지나간 후에는 목표 위치에 정확하게 도달하는 성능을 보였다. 이를 통해 본 시스템이 실시간 피드백을 바탕으로 높은 제어 정확성을 유지할 수 있음을 증명하였다.

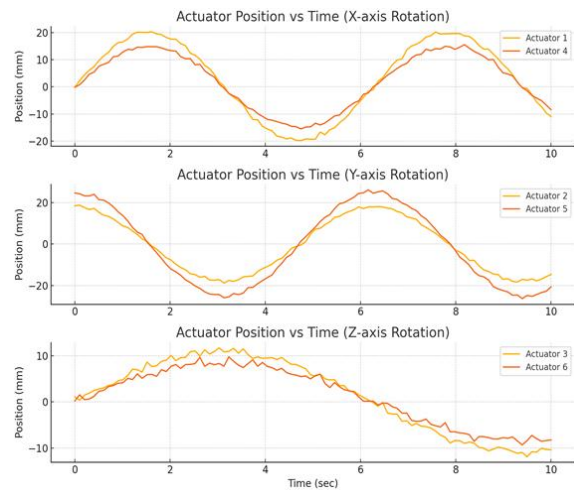


Fig. 13. Actuator position changes on each axis (X, Y, Z)

Fig. 13은 각 축(X, Y, Z)의 자세 변화에 따라 모션 플랫폼의 각 액추에이터가 위치를 어떻게 조정하는지를 시각적으로 표현한 것이다. 각 그래프는 시간이 지남에 따라

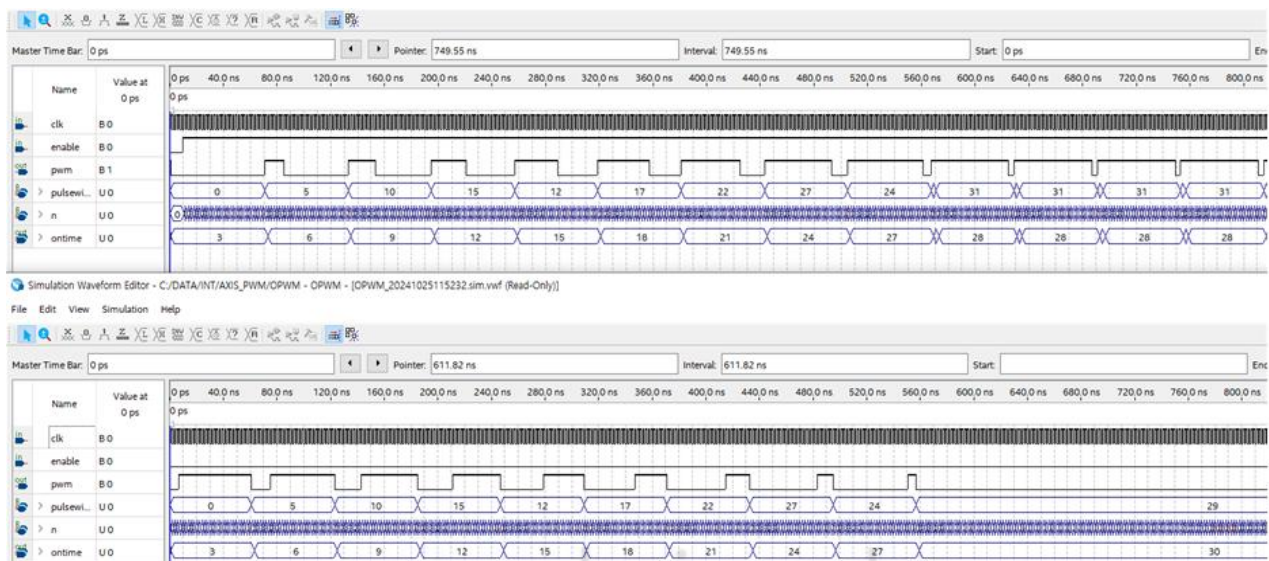


Fig. 14. Result waveform of FPGA simulation

액추에이터의 위치 변화(단위: mm)를 보여준다. 자이로 센서 데이터에서 얻은 각도 변화는 모션 플랫폼의 움직임을 제어하고, 이로 인해 액추에이터가 다양한 위치로 이동하게 된다.

Fig. 13의 (a)는 X축의 각도 변화에 따른 액추에이터 1과 액추에이터 4의 위치 변화를 보인 것이다. 움직임의 패턴은 X축의 각도가 변화함에 따라 액추에이터들이 그 각도에 맞춰 조정되고 있다. X축의 회전은 일반적으로 플랫폼의 좌우 기울기를 조정하므로, 액추에이터 1과 4가 서로 다른 방식으로 작동하여 기울기를 제어하게 된다. 위치 변화는 X축 각도 변화(예: 10°까지 증가)가 있을 때, 액추에이터는 $\pm 20\text{mm}$ 정도의 위치 변화를 겪는다. 액추에이터는 각도의 증가와 감소에 따라 동기화된 패턴을 보인다.

Fig. 13의 (b)는 Y축의 각도 변화에 따른 액추에이터 2와 액추에이터 5의 위치 변화를 나타낸 것이다. Y축의 회전은 플랫폼의 전후 기울기를 제어하므로, 이 그래프에서는 Y축 각도에 대응하는 액추에이터들의 위치 변화가 나타난다. 이때 액추에이터 2와 5는 플랫폼의 기울기에 따라 상호 보완적으로 움직인다. Y축에서 각도 변화가 일어날 때, 액추에이터는 최대 18mm에서 25mm 정도의 위치 변화를 보인다. 이는 다른 축과 다소 다른 위치 변화량을 반영한 것이다.

Fig. 13의 (c)는 Z축의 각도 변화에 따른 액추에이터 3과 액추에이터 6의 위치 변화를 보여준다. Z축은 회전(롤링) 운동을 담당하므로, 이 축에서의 각도 변화는 플랫폼의 회전을 의미한다. Z축에서의 변화는 회전의 정도에 따라 액추에이터 3과 6의 위치를 미세하게 조정하게 된다. Z축에서의 위치 변화는 상대적으로 적으며, 최대 $\pm 10\text{mm}$ 의 변화가 나타난다. 이는 Z축 회전이 다른 축에 비해 더 작은 위치 이동을 필요로 하기 때문이다.

Fig. 14는 FPGA 시뮬레이션 결과 파형을 보인 것으로 상승 및 하강 시 PWM 출력이 나갈 수 있도록 verilogHDL로 프로그래밍 후 시뮬레이션한 결과 파형이다. Fig. 1의 상단은 Enable 신호가 High가 입력되면 설정해둔 최저 펄스 폭(5 Clocks)을 시작으로 목표치(31 Clocks)까지 점진적으로 펄스 폭이 증가하는가를 검증한 결과이다. 넓은 구간에 대한 동작은 파형이 너무 촘촘하여 변화를 인식하기 어려움으로 좁은 구간에 대해 시험하였다. 펄스 폭의 변화율은 Sin 값에 비례하며 가감속이 S커브 기울기로 변화하고 Sin 값은 내부 메모리의 참조 테이블(Lockup Table)에서 가져온다. Fig. 14의 하단은 하강 Enable 신호가 Low가 되면 펄스 폭이 줄어드는 형태로 상승과 같은 방식으로 동작한다. 시험을 위한 사용 도

구는 Altera Quartus II 18.1을 사용하였으며, 하드웨어는 Terasic상 DE10-Nano FPGA Dev. kit를 사용하였다.

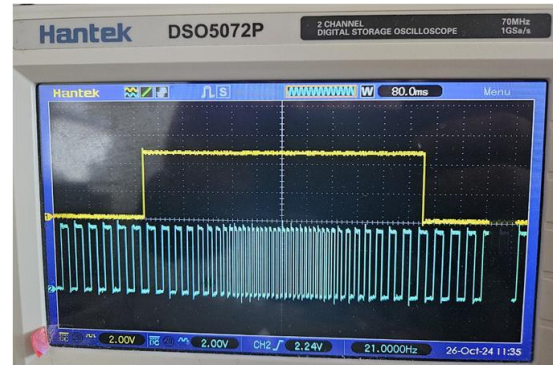


Fig. 15. Operating Characteristics of a Single Actuator in an FPGA Kit

Fig. 15는 FPGA Kit에서 단일 액추에이터의 동작 특성을 알아보기 위한 결과화면으로 상단 펄스는 액추에이터에 전원을 인가(On/Off)하여 작동시키는 기존 방식으로 신호가 High인 상태에서 단순 동작을 하게 되는 것을 확인할 수 있고 반면에 하단의 펄스는 동일한 액추에이터에 전원 인가 방법을 PWM 신호로 인가하여 전압 레벨을 가변하면서 동작시키도록 하기 위한 출력 부분을 측정된 화면이다.

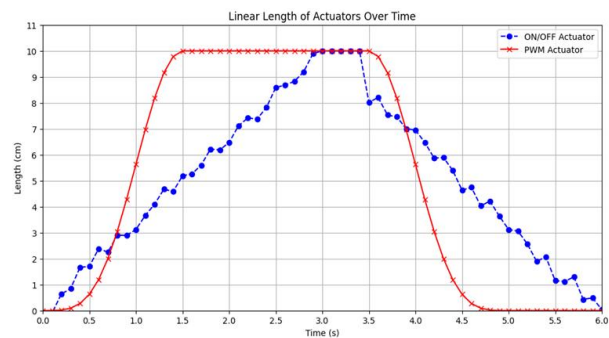


Fig. 16. Measures the length of the actuator moved in unit time

Fig. 16은 Fig. 15의 출력으로 구동시키면서 고속 카메라로 촬영하여 단위 시간에 이동한 액추에이터의 길이를 측정한 것으로 목표 이동 거리는 10cm 왕복하는 동작이다. 기존의 단순 On/Off 동작에 비해 PWM 신호를 통한 제어 시 비행 시뮬레이션에 적합하도록 변화의 추이가 매우 부드럽게 전이되는 것을 확인할 수 있다. 이는 비행에 따른 모션 제어의 자세 변화가 계단식 끊김 현상없이 자연스러운 유연적으로 상태가 변화할 수 있음을 보인다.

V. Conclusions

본 논문은 비행 시뮬레이터에 적합한 모션 제어를 구현하기 위하여 FPGA를 이용하여 정밀한 위치, 속도 및 토크 제어가 가능한 모션 제어를 제안하였다. 기존 모션 제어의 문제점인 분절된 동작을 해소할 수 있도록 PWM 제어 신호를 통하여 원활한 위치 이동이 가능하도록 하였고 단일 드라이브로 구동축과 조종 장치를 제어하여 동작의 부하도 개선하였다. 이는 제어 신호와 피드백 신호의 상호 비교, 동작에 따르는 고속 카메라 촬영을 통한 특성 파악으로 확인하였다. 향후, 가상현실 하드웨어나 상용 비행 시뮬레이터와 연동할 수 있는 인터페이스 환경을 구축하여 통합 비행 모션 플랫폼으로 발전시키고자 한다.

REFERENCES

- [1] M-C Park, S-H Lee, C-H Park, "Implementation of Joystick for Flight Simulator using WiFi Communication," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 28 No. 8, pp. 111-118, August 2023. DOI : 10.9708/jksci.2023.28.08.111
- [2] M. -H. Chae, S. -O. Park, S. -H. Choi and C. -T. Choi, "Commercial Fixed-Wing Drone Redirection System using GNSS Deception," in IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems(Early Access), pp. 1-15. April 2023. DOI : 10.1109/TAES.2023.3264193
- [3] European Aviation Safety Agency, "CS-E : Certification Specification for Engine, Amendment 3", Hoofddrop, Netherlands ,Dec. 2010.
- [4] Flight Simulator Market, <https://www.fortunebusinessinsights.com/ko/flight-simulator-market-102592>
- [5] E. Thoendel, "A 6 DOF Motion Platform with Permanent Magnet Linear Motors." Transactions on Electrical Engineering, Vol. 3, No. 4, 2014.
- [6] Yin, L., Yang, C., Gao, C., Cong, D., & Han, J., "A strategy to simplify of the dynamic model of 6-DOF motion simulator," Proceedings of the 2015 4th International Conference on Sensors, Measurement and Intelligent Materials, pp. 665-672, January 2016. DOI : 10.2991/ICSMIM-15.2016.124
- [7] Tong Y, Zhou H, Wu Z, Li Q, Lu B., "Model Predictive Control Based Washout Algorithm Design for Flight Simulator Upset Prevention and Recovery Training." Aerospace 2023, Vol. 10(10):886, Oct. 2023. DOI : 10.3390/aerospace10100886
- [8] Li, Bin & Guo, Song & Mao, Xuyao & Cai, Biaohua & Wang, Bo. (2019). Design and simulation analysis of 6-DOF electric platform. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 563(5):052059, Aug. 2019. DOI : 10.1088/1757-899X/563/5/052059.
- [9] Duyun T, Duyun I, Kabalyants P, Rybak L., "Optimization of a 6-DOF Platform for Simulators Based on an Analysis of Structural and Force Parameters," Machines, Vol. 11(8):814, Aug. 2023. DOI : 10.3390/machines11080814
- [10] Pena, Matheus & Mauricio, Mauricio Becerra-Vargas, "Motion Cueing Implementation for a Low Cost 6 DOF Flight Simulator," Congresso Brasileiro de Automática, Voi. 3(1), Oct. 2022. DOI : 10.20906/CBA2022/3501
- [11] K. Bimbraw, I. Mehta, V. Venkatesan, U. Joshi, G. S. Sabherwal and S. K. Saha, "Performance improvements of a 6-DOF motion platform," 2016 International Conference on Robotics and Automation for Humanitarian Applications (RAHA), pp. 1-5, May 2017. DOI : 10.1109/RAHA.2016.7931899
- [12] M. -Y. Wei, Y. -L. Yeh, S. -W. Chen, H. -M. Wu and J. -W. Liu, "Design, Analysis, and Implementation of a Four-DoF Chair Motion Mechanism," in IEEE Access, Vol. 9, pp. 124986-124999, Sep. 2021. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3109974
- [13] Park, M.-C., & Choi, D.-K., "Implementation of Flight Simulator using 6DOF Motion Platform," Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 3, No. 8, pp. 17-23, Aug. 2018. DOI : 10.9708/JKSCI.2018.23.08.017

Authors



Myeong-Chul Park received a B.S. degree in Computer Science from Korea National Open University in 1999, and the M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science from GyeongSang National University in 2002 and

2007, respectively. He is currently a Professor in the Department of Avionics Engineering, KyungWoon University. He is interested in Visualization, Simulation, Education of Software, Healthcare, and DTx(Digital Therapeutics).



Cha-Hun Park received a B.S degree in electronic engineering from Yeungnam University in 1988, and the M.S. and Ph. D. degrees in electronics engineering from Yeungnam University in 1990 and 2001,

respectively. He is currently a Professor in Department of Avionics Engineering, Kyungwoon University. He is interested in Embedded System, SoC and Telemetry System.