

## 무인비행선 HILS 시스템 개발

김성필\*, 안이기\*\*, 김응태\*\*\*

### Development of HILS System for Unmanned Airship

Seong-pil Kim\*, Iee-Ki Ahn\*\*, Eung-Tai Kim\*\*\*

#### Abstract

In this paper, a HILS(Hardware-In-the-Loop-Simulation) System designed for an unmanned airship, which is under development by KARI, is introduced. A HILS system is essential to validate flight control systems on the ground. The HILS system consists of several systems: a virtual ADT(airborne data terminal) system, a virtual payload system, a virtual airship system, and a status display system. Also, a 3-axis motion table and an inertial navigation sensor are included. The reliability of the flight control computer has been validated by HILS tests.

#### 초 록

본 논문에서는 무인비행선 비행제어시스템의 HILS (Hardware-In-the-Loop-Simulation) 시스템 개발 결과를 소개한다. HILS 시스템은 비행선 제어를 위해 설계된 비행제어컴퓨터의 지상시험을 위해 개발되었다. HILS 시스템을 구성하기 위해 각각 별도의 컴퓨터에서 작동하는 통신장비 모사 시스템, 탑재장치 모사 시스템, 비행선 운동 모사 시스템, 그리고 운동 가시화 시스템을 개발하였고, 이와 함께 3축 운동 시험대와 관성항법장치(Inertial Navigation Unit)도 포함하였다. 개발된 HILS 시스템을 이용한 단계적인 시험을 통해 비행제어컴퓨터의 기능과 성능을 검증하였다.

키워드 : 무인비행선(Unmanned Airship), HILS, 비행제어시스템(flight control system)

#### 1. 서 론

비행선 HILS 시스템은 비행선 비행제어컴퓨터의 지상시험을 위해 개발되었다. HILS 시스템의 주목적은 비행제어컴퓨터와 주변 장치 사이에 통신이 정상적으로 이루어지는지와 자동제어 알고리즘의 성능을 지상에서 검증하는데 있다. 즉

규정된 프로토콜(ICD-100, ICD-200)에 따라 비행제어 컴퓨터와 주변 장치 사이에 자료와 제어 명령이 원활하게 전달되는지의 여부를 점검하고, 가상의 비행환경에서 자동제어 알고리즘에 의한 비행성능을 점검하는 것이 HILS 시스템의 목적이다.[1]

HILS 시스템을 구성하기 위해 각각 별도의 컴

\* 항법제어그룹/spkim@kari.re.kr

\*\* 항법제어그룹/ikahn@kari.re.kr

\*\*\* 항법제어그룹/eungkim@kari.re.kr

퓨터에서 작동하는 통신장비 모사 시스템, 탑재 장치 모사 시스템, 비행선 운동 모사 시스템, 그리고 운동 가시화 시스템을 개발하였고, 이들과 함께 3축 모션 테이블과 관성항법장치를 추가하여 HILS 시스템을 구성하였다. 통신장비 모사 시스템은 지상관제국에서 보내온 통신 신호를 처리하는 탑재 통신장비를 모사하는 기능을 수행하는데, 주로 지상관제국과 비행선 사이의 통신을 규정한 통신 프로토콜(ICD-100)을 만들어 내는 역할을 한다. 탑재장치 모사 시스템은 항법센서, 추진장치, 전기장치, 영상장비, 조종면작동기 등의 탑재장치를 가상으로 구현하는 기능을 수행한다. 탑재장치 모사 시스템의 항법센서와 조종면작동기 모사 기능은 비행제어컴퓨터의 데이터 처리 기능을 검증하기 위한 용도로 개발되었고, HILS 시스템 구성 시에는 3축 모션 테이블에 장착된 관성항법장치와 6개의 실제 서보 모터가 사용된다. 비행선 운동 모사 시스템은 항법센서, 조종면작동기 등의 자료를 받아 비행선의 운동을 6자유도 운동방정식에 따라 수치 시뮬레이션하여 비행선의 위치와 자세를 운동 가시화 시스템으로 전송하는 역할을 한다. 운동 가시화 시스템에서는 비행선 운동 모사 시스템으로부터 전달 받은

비행선의 위치와 자세를 3D 그래픽으로 화면에 보여준다. 그리고 전기/여압장치 모사 시스템은 비행선에 장착된 각종 여압 밸브와 압력센서, 온도센서 그리고 전압센서 등의 출력 값을 모사하여 비행제어 컴퓨터가 성공적으로 전기/여압 장치의 제어를 수행하는지를 점검해볼 수 있도록 한다. HILS 시스템의 전체 구성을 그림 1에 보았다.

## 2. 통신장비 모사 시스템

통신장비 모사 시스템은 지상국에서 전송되는 원격 명령을 가상으로 생성하여 비행제어컴퓨터에 전달하고, 비행제어컴퓨터가 지상으로 전송하는 데이터를 수신/해석하여 화면에 표시해주는 역할을 한다. 비행제어컴퓨터와는 RS-422 비동기 직렬통신 한 채널로 연결되어 있고 64바이트의 데이터 패킷을 20 Hz의 속도로 송·수신하도록 되어 있다. 주고받는 데이터 패킷은 『비행선 플랫폼/지상장비 인터페이스 통제서(ICD-100)』에 규정된 통신규약(protocol)에 따른다.[2] ICD-100은 크게 일반 데이터 영역, 저속 데이터 영역 그

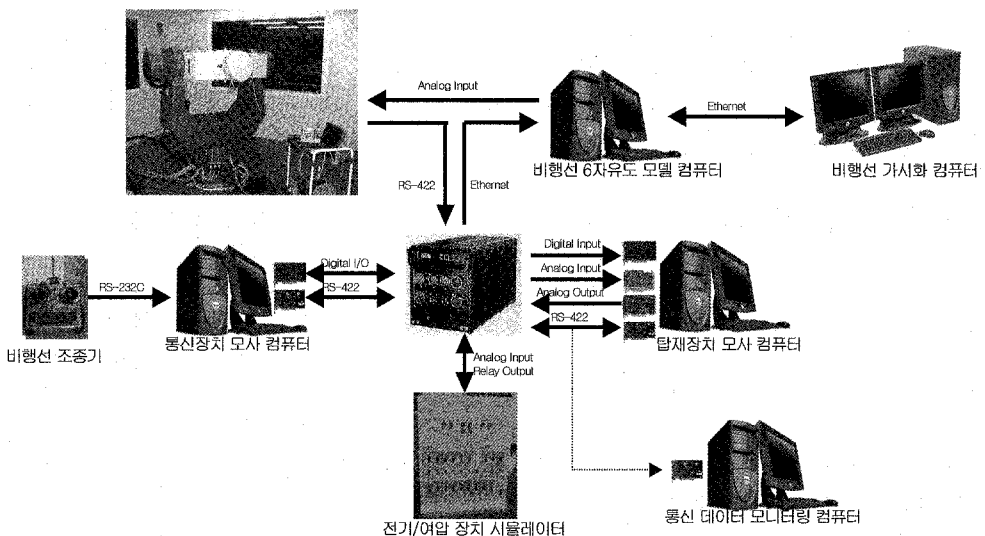


그림 1. 비행선 HILS 시스템 전체 구성도

리고 메시지 데이터 영역으로 구분되어 있다. 통신장비 모사 시스템에서 주기적인 데이터 전송은 윈도우즈의 멀티미디어 타이머를 이용하여 구현하였고 패킷 수신은 윈도우에서 제공하는 메시지 기반(message driven) 방식을 이용하였다.

## 2.1 주요 기능

- 지상관제국 모사
  - 지상에서 전송되는 원격 명령을 가상으로 생성
  - 비행선 및 각 탑재장치의 상태 표시
- 데이터 통신
  - ICD-100에 따라 구성된 데이터를 비행제어 컴퓨터로 전송
  - 비행제어 컴퓨터로부터 전달받은 데이터를 해석하여 화면에 표시

## 2.2 프로그램 구성

통신장비 모사 프로그램은 조종명령 설정 페이지, 상태정보 해석·도시 페이지, 송수신 데이터 모니터링 페이지 그리고 디지털 출력 페이지로 구성되어 있다. ICD-100에서 규정된 일반 데이터 영역, 저속 데이터 영역 그리고 메시지 데이터 영역에 따라 조종명령 설정 페이지는 3개의 세부 페이지로, 상태정보 해석 및 도시 페이지 4개의 세부 페이지로 구성하였다.

통신장비 모사 시스템은 비행제어컴퓨터로부터 전송 받은 64 바이트의 데이터 패킷을 데이터 영역별로 4개의 상태정보 해석 및 도시 페이지에서 해석된 값을 보여주며, 패킷 감시 페이지에서는 송수신되는 데이터 패킷을 직접 검사하기 위해 4개의 저속 데이터 영역을 구분하여 바이트별로 데이터를 표시한다.

## 2.3 프로그램 동작 구조

통신장비 모사 프로그램의 화면 인터페이스는 프로퍼티 시트(property sheet)에서 파생된 클레

스를 기준으로 원격명령 생성과 수신된 패킷 데이터의 값을 보여주기 위한 다수의 프로퍼티 페이지 파생 클래스로 구성되어 있다. 프로퍼티 파생 클래스는 ICD-100의 변경 시에 쉽게 수정이 가능하도록 ICD-100에서 정의된 업링크(uplink), 다운링크(downlink) 영역으로 구분되어 있고 이는 다시 데이터 종류별로 일반 데이터 영역, 저속 데이터 영역, 메시지 데이터 영역으로 나누어 구현하였다. 주기적인 동작을 위한 멀티미디어 타이머 클래스와 데이터 패킷 송수신을 위한 직렬통신 클래스는 프로퍼티 시트 파생 클래스에서 클래스 객체로 선언되어 있다. 한편, 통신장비 모사 시스템은 지상에서 원격 명령을 생성하는 사용자 입력과 데이터 패킷을 주기적으로 비행제어 컴퓨터에 전송하는 멀티미디어 타이머 그리고 비행제어컴퓨터로부터 데이터 패킷을 수신할 때 발생하는 이벤트에 의해 동작하도록 설계되어 있다. 통신장비 모사 프로그램의 활동 다이어그램(activity diagram)은 그림 2에 보였다.[4]

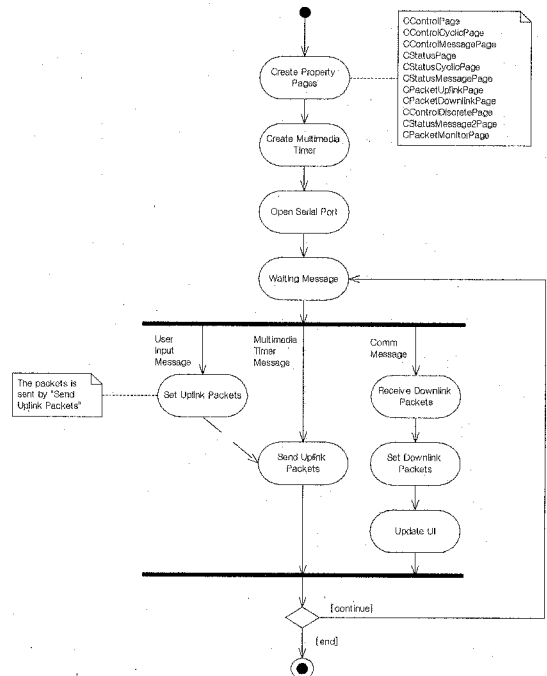


그림 2. 통신장비 모사 프로그램 활동 다이어그램

소스코드의 유지 보수와 관리를 효율적으로 하기 위해 사용자 인터페이스 부분과 데이터 처리 부분으로 나누어 설계하였으며, 데이터 처리 부분은 다시 패킷 생성 및 해석 부분 그리고 패킷 통신 부분으로 구성하였다. 패킷 생성 및 해석 부분은 사용자 인터페이스를 통해 변경된 전송 패킷 정보를 전역 변수에 저장하고 이렇게 저장된 데이터는 사용자 인터페이스 갱신을 위해 패킷 해석 부분에서 이용된다. 패킷 통신 부분은 전역 변수로 저장된 패킷을 주기적으로 전송하고, RS-422 통신 포트를 통해 패킷을 수신하여 헤더정보와 CRC 검사를 거친 뒤, 타당한 패킷을 전역변수에 저장한 후 데이터 해석 함수를 호출하는 역할을 수행한다.

### 3. 탑재장치 모사 시스템

탑재장치 모사 시스템은 비행선에 탑재된 항법센서, 추진장치, 전기장치, 영상장비, 조종면작동기 등의 신호 처리와 각각의 장비가 비행제어컴퓨터에서 전달받은 신호를 처리하는 과정을 화면에 보여 주는 기능을 수행한다. 탑재되는 각 시스템은 탑재장비 인터페이스 통제서(ICD-200)에 따라 비행제어컴퓨터의 제어명령을 해석하여 동작하고 비행제어컴퓨터에 관련 상태를 전송한다.[3]

탑재장치 모사 시스템은 영상장비, 추진장치 그리고 6개의 조종면작동기를 모사한다. 영상장비는 비행제어컴퓨터와 9,600 bps의 속도로 RS-422 채널을 통해 데이터 통신을 수행하며, 추진장치와 조종면작동기는 비행제어컴퓨터와 직접 통신하지 않고 스위칭모듈을 통해 데이터를 주고받는다. 추진장치는 스위칭 모듈과 RS-422 비동기통신으로, 조종면작동기는 RS-485 통신으로 연결되어 있으며 각각의 통신속도는 38,400 bps이다.

영상장비 모사 기능은 비행제어컴퓨터와 인터페이스 시험 및 동작 알고리즘 검증을 위해 개발되었고, 추진장치와 조종면작동기 모사 기능은 비행제어컴퓨터에 탑재될 스위칭 모듈과의 인터

페이스 기능을 검증하기 위해 개발되었다. 영상장비 모사 프로그램은 비행조종컴퓨터의 제어명령에 따라 상태 값을 변경하고 자체적인 동작 주기에 따라 상태정보 관련 데이터를 비행제어컴퓨터에 전송한다.

추진장치는 비행제어컴퓨터의 제어명령을 스위칭 모듈을 통해 받으며, 자체 동작 주기에 따라 상태정보 관련 데이터를 스위칭 모듈로 전송한다. 조종면작동기는 스위칭 모듈로부터 1바이트의 회전각 명령을 받아 서보 모터를 구동하고, 현재의 회전각을 1바이트 패킷으로 전송한다.

### 3.1 주요기능

- 항법센서 모사
  - 가상 비행선 컴퓨터에서 받은 자세 정보로 항법센서의 출력을 모사
- 추진장치 모사
  - 추진장치의 제어 신호를 가상 비행선 컴퓨터로 전송
  - 추진장치의 상태 신호를 비행제어 컴퓨터로 전송
- 영상장비 모사
  - 영상장비 상태와 영상장비 제어 신호를 표시
  - 영상장비 상태 신호를 비행제어컴퓨터로 전송
- 조종면작동기 모사
  - 비행제어컴퓨터로부터 입력되는 조종면작동기 제어 신호를 표시
  - 조종면작동기 상태신호를 비행제어컴퓨터로 전송

## 4. 비행선 운동 모사 시스템

비행선 운동 모사 시스템은 실시간으로 6자유

도 비선형 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 이더넷의 UDP(User Datagram Protocol) 통신규약을 통해 탑재장치 모사 시스템과 운동 가시화 시스템으로 전송하고, 조종 명령과 시뮬레이션 결과를 실시간으로 화면에 보여주는 기능을 한다.

윈도우즈 환경에서는 여러 개의 프로세스가 동시에 동작하면서 복잡한 인터럽트를 처리하고 있기 때문에 시각 동기를 정확히 맞추는 것이 거의 불가능하다. 따라서 비행선 운동 모사 시스템에서는 실시간 데이터 처리를 위해 네트워크 패킷의 전송 시간과 비행선 운동 방정식 적분 시간 그리고 화면 갱신 시간을 측정하여 시스템의 동작 주기를 설정하였다.

비행선 운동 모사 시스템의 사용자 인터페이스는 윈도우즈의 표준 컨트롤인 프로퍼티 시트 형태로 설계하였고, 시뮬레이션 환경 설정을 위해 대기 외란과 추진장치 및 조종면 작동기에 대한 모델링을 시뮬레이션에 포함할 수 있는 사용자 인터페이스를 제공한다.[5] 그리고 조이스틱을 통해 수동으로 조종 입력을 줄 수 있고, 비행상태 정보를 실시간으로 확인할 수 있어 조종사의 수동조종 훈련용으로 활용할 수 있도록 하였다. 비행선 운동 모사 시스템의 사용자 인터페이스를 그림 4에 보였다.

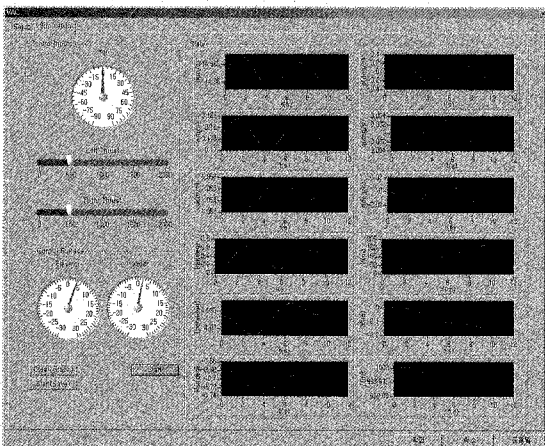


그림 4. 비행선 운동 모사 시스템 실행 화면

#### 4.1. 주요기능

- 외란 및 추진장치와 조종면 작동기의 모델링 설정
- 실시간 시뮬레이션 및 상태정보 도시
- 조이스틱을 통한 수동 조종입력

### 5. 운동 가시화 시스템

운동 가시화 시스템은 비행선 운동 모사 시스템으로부터 비행선의 현재 위치와 오일러(Euler) 자세각을 UDP 프로토콜을 통해 전송 받아 비행선의 운동을 3차원 그래픽으로 보여준다. 비행선 운동 가시화 시스템은 동기화된 3개의 컴퓨터로 구성되어 있으며, 3개의 모니터를 조합하여 조종사의 시점과 관제탑의 시점에서 비행선의 운동을 살펴볼 수 있도록 설계되었다. 3차원 영상은 3D 그래픽 라이브러리인 OpenGL을 이용하여 개발되었으며 비행선은 3D 모델 객체로, 지상은 국내 공항 텍스처(texture)를 이용하여 표현하였다. 실시간 렌더링을 위해 UDP 프로토콜로 전송되는 비행선 자세 정보 데이터를 작업자 쓰레드(worker thread)에서 처리하도록 설계하였다. 운동 가시화 시스템의 실행화면을 그림 5에 보였다.

#### 5.1. 주요기능

- 3차원 영상 기능
  - 비행선 형상: 텍스처 매핑된 3D 객체 모델
  - 지상 표현: 국내 공항 텍스처 매핑
- 항법정보 표시
  - 위치(위도, 경도, 고도 or UTM)
  - 자세(피치각, 롤각, 요각, 피치각속도, 롤각속도, 요각속도)
- 뷰포인트(Viewpoint)
  - 지상관제국 위치, 비행선 조종사, 비행선 추종 등을 지정

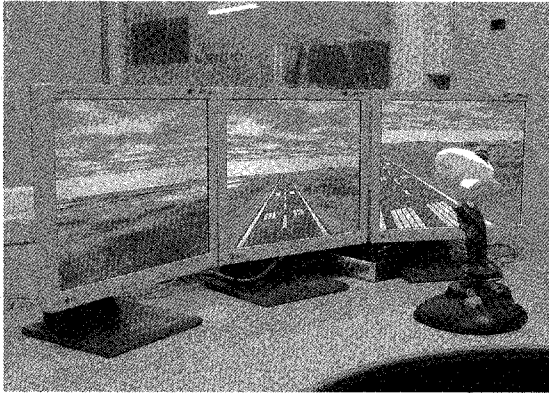


그림 5. 운동 가시화 시스템 실행 화면

## 6. 전기/여압장치 모사 시스템

전기/여압장치 모사 시스템은 비행선에 탑재되는 각종 센서와 공기량/헬륨량의 압력을 조절하는 팬, 밸브 그리고 전기장치와 관련된 전등, 모터, 인버터 등의 작동을 모사하고 상태를 표시해주는 기능을 수행한다. 전기/여압장치 모사 시스템을 그림 6에 보였다. 그림에서 보듯이 각 전기장치의 동작은 소형모터와 LED를 통해 확인할 수 있고, 각종 전기/여압 센서의 입력은 사용자가 0~10 V 사이의 전압을 임의로 선택하여 모사할 수 있도록 설계되어 있다. 이러한 전기/여압장치 모사 시스템은 비행제어컴퓨터의 아날로그/디지털 입출력 포트와 연계하여 비행제어컴퓨터의 소프트웨어 개발을 지원하기 위한 장치로 활용하였다.

### 6.1. 주요기능

- 센서의 측정값 조종 기능
  - 압력센서, 전압 센서, 온도 센서
- 공기/헬륨량 팬 작동 모사
- 여압밸브 작동 여부 표시
- 전등/틸트모터/인버터 작동 여부 표시

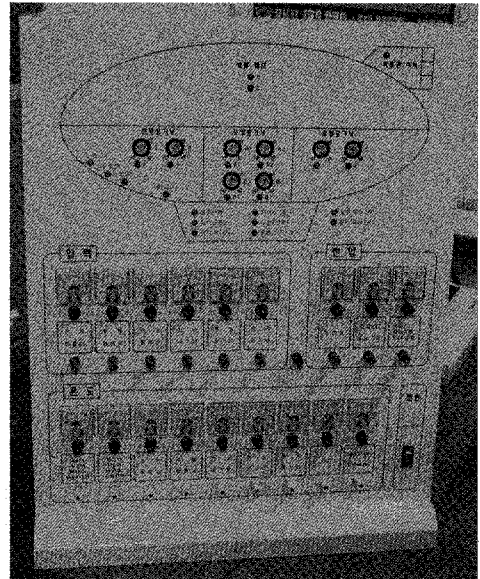


그림 6. 전기/여압장치 모사 시스템

## 7. 연동시험

개발된 각 모사 시스템과 비행제어컴퓨터를 연동한 HILS 시험은 단계적으로 수행되었다. 첫 번째 단계에서는 통신장비 모사 시스템과 비행제어컴퓨터와의 인터페이스 시험을 수행하여, 통신규약(ICD-100)에 규정된 업링크와 다운링크 정보를 정상적으로 주고받는지 확인하는 시험을 수행하였다. 이러한 시험은 비행제어 소프트웨어 개발 기간 동안 지속적으로 수행하여 비행제어 소프트웨어의 검증과 개발이 동시에 진행되도록 하였다. 두 번째 단계에서는 통신장비 모사 시스템과 비행제어컴퓨터 그리고 추가로 영상장비 모사 시스템을 연결하여 통신 시험과 기능 시험을 수행하였다. 이를 위해 통신장비 모사 시스템에서 영상장비 제어 명령을 설정하여 비행제어컴퓨터로 전송한 후, 다시 상태 정보를 수신하여 수신된 데이터 값을 비교하였다.

세 번째 단계에서는 통신장비 모사 시스템, 비행제어컴퓨터, 스위칭 모듈 모사 시스템 그리고 탑재장치 모사 시스템을 연결하여 연동 시험을

수행하였다. 통신장비 모사 시스템에서 추진장치와 조종면작동기 제어 명령을 설정하여 비행제어 컴퓨터로 전송한 후 스위칭 모듈 모사 시스템을 거쳐 각 시스템에 정상적으로 패킷이 전달되는지를 확인하고, 탑재장치 모사 시스템의 상태 값이 통신장비 모사 시스템에 정확히 보고 되는지를 점검하였다.

네 번째 단계에서는 모든 모사 시스템을 연결하여 통신장비 모사 시스템에서 영상장치, 추진장치, 조종면 작동기 제어 명령을 설정하여 각 탑재 시스템으로 명령이 정확히 전달되고 각 탑재 시스템의 상태가 다시 통신장비 모사 시스템에서 확인되는지를 점검하였다. 이러한 과정을 거쳐 비행제어컴퓨터의 통신 데이터 처리 부분과 비행관리 부분이 정상적으로 구현되었음을 확인하였다.

최종단계에서는 비행제어 소프트웨어의 검증을 마친 후에 운동 모사 시스템과 운동 가상화 시스템, 그리고 관성항법장치를 연결하여 자동제어 알고리즘의 성능을 검증하였다. 이러한 과정을 거쳐 비행관리 소프트웨어의 기능과 비행제어 소프트웨어의 유도제어 알고리즘의 성능을 검증할 수 있었다.

## 8. 결 론

50m급 중고도 축소형 무인비행선은 성층권에 서 장기체공하며, 방송/통신 중계, 지상 관측 및 감시, 대기 및 산업자원 측정 등의 임무 수행이 가능한지를 타진해보기 위한 기술검증용 시제기이다. 본 보고서에서는 이러한 무인비행선의 비행제어시스템 개발을 지원하고 검증하기 위한 HILS 시스템 개발 결과를 소개하였다. HILS 시스템을 구성하기 위해 각각 별도의 컴퓨터에서 수행되는 통신장비 모사 시스템, 탑재장치 모사 시스템, 비행선 운동 모사 시스템, 그리고 운동 가상화 시스템을 개발하였고, 이러한 시스템과 함께 3축 모션 테이블과 관성항법장치를 연동하여 HILS 시스템을 구성하였다. 개발된 HILS 시스템을 이용한 단계적인 시험을 통하여 비행제어

컴퓨터의 비행관리 기능과 자동제어 기능의 구현을 검증하고 성능을 평가하였다.

## 참 고 문 헌

1. 박범진, 김성필, 주광혁, "무인비행선 HILS 시험을 위한 모사 소프트웨어 개발," 한국군사과학기술학회 종합학술대회 논문집, 2003, pp. 154-157.
2. 한국항공우주연구원 비행선그룹, 비행선-ICD-100 플랫폼/지상장비 인터페이스 통제서 Ver. 2.0, 한국항공우주연구원, 2003.
3. 한국항공우주연구원 비행선그룹, 비행선-ICD-200 탑재장치 인터페이스 통제서 Ver. 1.0, 한국항공우주연구원, 2003.
4. Martin Fowler, UML Distilled, 2/e, Addison Wesley Longman, Inc., 2000.
5. B. L. Stevens and F. L. Lewis, Aircraft Control and Simulation, John Wiley & Sons, Inc., 1992.