PC 기반 회전익기/전장품 HILS 환경 개발

최형식*, 박무혁**, 남기욱***, 안이기****

Development of PC based Realtime HILS System for Rotorcraft

Hyoung-Sik Choi*, Mu-Hyuk Park**, Gi-Wook Nam***, Iee-ki Ahn****

Abstract

Realtime Simulation and HILS are essential tools for modern aircraft control system design and development. But developing the HILS has been a big and complex task to meet the realtime simulation requirement. So these days there have been efforts to minimize these task. New advanced concept and design tools are being developed.

In this paper, these new advanced concept and design tools were used to develop the realtime simulation and HILS environment for rotorcraft. The H/W and S/W requirement and system configuration for the developing system will be described on the paper.

초 록

실시간 시뮬레이션 및 HILS(Hardware In the Loop Simulation)는 항공기 설계 및 개발에 있어서 개발기간의 단축과 비용절감 측면에서 필수적이며 컴퓨팅 기술의 발달로 그 중요성이 더욱 부각되고 있다. 복잡한 운동모델과 실시간 시뮬레이션에 대한 요구사항을 충족시키기 위하여 분산처리에 의한 시뮬레이션이 요구되며 실시간 컴퓨터 환경 내에서 시뮬레이션 소프트웨어를 개발해야 하므로 개발 및 디버그, 유지보수가 매우 어렵다. 특히 실시간, 무 교착상태의 고성능 분산코드를 작성하는 경우는 더욱 그러하다.

본 연구에서 구축하는 회전익기 HILS 환경은 이러한 어려움을 상당부분 처리함으로써 사용자가 직접 코드를 손대지 않고 HILS 및 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 상용화된 부품과 개발된 최신 툴을 이용하여 구성하였다.

Matlab/Simulink 환경에서 개발된 회전익기 비행시뮬레이션 소프트웨어를 기준으로 하여 HILS 환경 및 MILS(Man In the Loop) 환경이 추가되어 조종사의 직접 입력에 대한 반응을 실제 하드웨어에 피드백 하는 MILS-HILS 통합 환경을 구축하였다. 개발기간의 단축 및 유지보수의 편의를 위하여 RT-Lab을 사용하여 실시간 코드를 생성하고 타겟컴퓨터에 다운로드 하는 방식으로 실시간 시뮬레이션이 가능하다.

키워드 : 실시간(realtime), 회전익기(rotorcraft), 시뮬레이션(simulation), HILS, RT-Lab

* 항공전자그룹/chs@kari.re.kr
** 항법제어그룹/mhpark@kari.re.kr
*** 항공전자그룹/gwnam@kari.re.kr
**** 항공사업단/ikahn@kari.re.kr

1. 서 론

실시간 시뮬레이션 및 HILS(Hardware In the Loop Simulation)는 항공기 설계 및 개발에 있어서 개발기간의 단축과 비용절감 면에서 필수적이며 컴퓨팅 기술의 발달로 그 중요성이 더욱 부각되고 있다. 복잡한 운동모델과 실시간 시뮬레이션에 대한 요구사항을 충족시키기 위하여 분산처리에 의한 시뮬레이션이 요구되며 실시간 컴퓨터 환경 내에서 시뮬레이션 소프트웨어를 개발해야 하므로 개발 및 디버그, 유지보수가 매우 어렵다. 특히 실시간, 무 교착상태의 고성능 분산코드를 작성하는 경우는 더욱 그러하다.

본 연구에서 구축하는 회전익기 HILS 환경은 이러한 어려움을 상당부분 처리함으로써 사용자가 직접 코드를 손대지 않고 HILS 및 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 상용화된 부품과 개발된 최신 툴을 이용하여 구성하였다.

Matlab/Simulink 환경에서 개발된 회전익기 비행시뮬레이션 소프트웨어를 기준으로 하여 HILS 환경 및 MILS(Man In the Loop) 환경이 추가되어 조종사의 직접 입력에 대한 반응을 실제 하드웨어에 피드백하는 MILS-HILS 통합 환경을 구축하였다. 개발기간의 단축 및 유지보수의 편의를 위하여 RT-Lab을 사용하여 실시간 코드를 생성하고 타겟컴퓨터에 다운로드 하는방식으로 실시간 시뮬레이션이 가능하다.

컴퓨터 기술의 발전과 함께 시뮬레이터는 점차 간소화되어 가는 경향을 보이고 있다. FFS(Full flight simulator)에 사용되는 엄격한 운동모사 프로그램은 그대로 유지하면서 영상과 조종력 재현장치와 같은 주변장치의 간소화가 이루어지고 있는 것이다. FFS에서 사용되는 운동모사 프로그램은 발전된 컴퓨터기술을 통하여 과거 workstation에서만 가능하던 것과는 달리 일반 개인 PC에서도 충분히 시뮬레이션이 가능하다. 또한, 간소한 시뮬레이터는 여러 가지 시험적인 훈련평가를 실시하여 다시 FFS 시뮬레이터에 반영하는 상호보완적인 방향으로 각기 발전하고 있는 추세이다.

회전익 HILS 시스템의 특징은 하나의 시뮬레이션 모델을 기본으로 HILS(Hardware In the Loop Simulation)와 MILS(Man In the Loop Simulation)를 연결하여 조종사의 직접입력에 대한 항공기 반응을 회전익 항공기의 HILS 테스트에 연결하여 사용하는 것이다. MILS 기능을 이용하여 항공안전 또는 휴먼팩터에 대한 연구를 수행할 수 있으며 그에 해당하는 (즉 항공안전을 위한 비행안정성 증강장치 또는 항법충돌회피 장치와 같은) 하드웨어의 연동 시험까지 동시에 치를 수 있는 시스템을 개발하였다. 그리고 여러 가지 연구 개발에 활용할 것을 감안하여 시스템의 수정 및 변경에 대해 최대한 유연성을 가지도록 설계하였다.

2. 회전익기 HILS 시스템

2.1 회전익기 HILS 시스템 개요

회전익기 HILS 시스템의 구성은 크게 HILS와 MILS로 구분이 된다. HILS 분야에서는 분산객체형 실시간 HILS 환경개발과 회전익 항공기 비행운동 모델링 및 실시간 시뮬레이션 소프트웨어 개발이 수행되었으며, MILS 분야에서는 조종력 재현장치 및 비행 영상장치의 개발이 수행되었다. 전체 시스템의 구성은 그림 1과 같다.

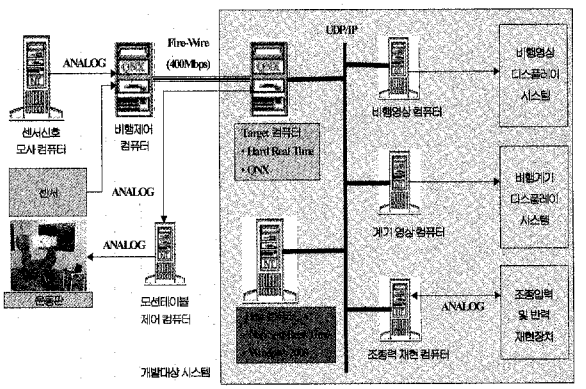


그림 1. 전체 시스템 구성

시스템은 크게 헬기운동모사, 영상 및 계기, 조종력 재현으로 나눌 수 있다. 그림 1에서 볼 때 헬기운동을 모사하기 위한 시뮬레이션 개발 컴퓨터(host)와 실시간시뮬레이션 컴퓨터(QNX) 컴퓨터가 있으며, 비행영상을 위한 3개의 컴퓨터, 계기시현을 위한 컴퓨터, 조종력재현 컴퓨터로서 모두 PC로 구성된다. 또한 시스템을 구성하는 하드웨어로는 운동판 시스템, 비행제어기 및 운동모델 개발용 Host 컴퓨터, 운동모사용 Target 컴퓨터(비행모사 컴퓨터), 비행제어기용 Target 컴퓨터(비행제어 컴퓨터), 조종실 및 조종력 재현 시스템, 영상/음향 시스템 등으로 구성된다.

Target 컴퓨터는 각종 센서 및 컴퓨터들과 인터페이스 한다. 컴퓨터들과의 통신을 위하여 TCP/IP 및 IEEE 1394(FireWire) 인터페이스를 포함하여야 한다. IEEE 1394 인터페이스는 400 Mbps 이상의 통신속도로 Target node간의 실시간 통신을 구현함으로써 시뮬레이션을 보장한다. 헬기운동모사와 같이 많은 계산을 요구하는 경우 필요에 따라 운동모사 알고리듬을 몇 개의 모듈로 나누어 분산처리 하기 위하여 FireWire 인터페이스를 이용하여 운동모사용 Target을 여러 개로 확장할 수 있다. 또한, TCP/ IP 인터페이스를 통하여 Host 컴퓨터와 통신할 수 있도록 한다.

RT-Lab QNX 시스템에서 Target으로 사용할 수 있는 컴퓨터는 대부분의 x86계열의 프로세서를 포함하며, Compact PCI, VME 단일보드 컴퓨터 및 PC 104 등이 있다. 또한 입출력 보드로는 ISA, PCI 보드 등을 지원함으로 Target 하드웨어의 선정 시 2개의 ISA, 6개의 PCI 인터페이스를 포함하였다.

비행제어기 및 운동모델 개발용 Host 컴퓨터와 Target은 Ethernet을 이용하여 데이터를 주고받음으로써 실시간 모니터링이 가능하도록 하였으며, Host에서 개발/생성된 C 코드 역시 Ethernet을 통하여 Target으로 다운로드 된다. 또한 영상시스템 및 조종력 재현 시스템과의 인터페이스 수단으로 사용된다.

운동판 시스템은 비행운동모사 컴퓨터로부터 아날로그 신호를 통하여 자세정보를 실시간으로 전달 받으며, 이를 실제 운동으로 구현한다. 운동판에는 비행체에 탑재되는 센서를 탑재하며, 데이터는 비행제어컴퓨터로부터 아날로그 신호를 받아 인터페이스 동작한다.

목표사양으로 정의한 사양을 구현하기 위해서 현재 이와 같은 개념으로 개발된 사용 가능한 상용 툴을 조사한 결과, dSPACE와 RT-Lab이라는 개발환경을 찾을 수 있었다. 모두 Matlab/Simulink 모델을 이용하여 실시간 C코드를 생성하고 실시간 모니터링 기능을 제공한다.

dSpace는 자체적으로 개발한 실시간 커널을 이용하여 실시간성을 구현하며, RT-Lab은 상용 실시간 운영체제인 QNX를 이용한다.

dSPACE와 RT-Lab을 비교한 결과, 기능 및 성능 상에서 유사하다고 판단되었으나, dSPACE가 자체적으로 개발한 입출력 보드 및 툴을 사용하는 반면에 RT-Lab은 National Instrument 등 여러 종류의 상용 입출력 보드와 소프트웨어 툴을 지원함으로 시스템의 확장성 및 유지보수성에서 많은 장점이 있었다. 이는 앞에서 정의한 목표사양에서 요구하는 바이므로 RT-Lab을 개발환경으로 선택하였다.

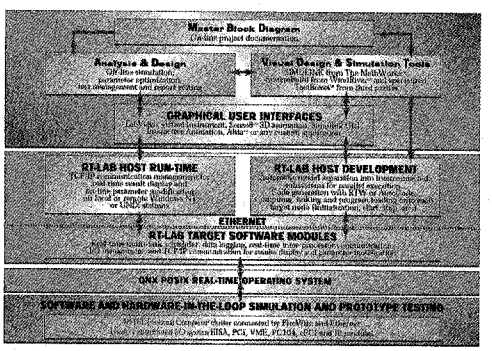


그림 2. RT-Lab 실시간 시뮬레이션 개발환경

2.2 헬리콥터 비행시뮬레이션 S/W

회전익기 시뮬레이션에 있어서 가장 중요한 부분은 로터의 운동특성이므로 이것의 정밀한 모

델링이 가장 큰 관심사항이며 이것에 대한 연구를 수행하였다. 현재 활용하고 있는 헬리콥터 비행시뮬레이션 프로그램으로는 Xcell-60, AH-1S, UH-60 등이다. 모델의 충실도는 각각 순서대로 level 1, level 2, level 3 에 해당하는 것으로 회전익기의 특성을 좌우하는 여러 가지의 로터 모델을 보유하고 있다.[2]

시뮬레이션 모델은 상용 공학소프트웨어인 Matlab/Simulink로 구성하였다. Simulink는 시뮬레이션에 가장 널리 사용되는 툴로서 강력한 GUI 환경을 제공한다. Simulink는 공학에 관계된 거의 대부분의 기능을 모듈로 제공하고 있으며 이들을 연결하는 것만으로도 시뮬레이션 모델을 쉽게 구성할 수 있다. 또한 사용자는 S-function을 사용하여 직접 사용자에 맞는 모듈을 제작할 수 있다. 작성한 Simulink 시뮬레이션 모델은 자동으로 c-코드로 변환이 가능하기 때문에 프로그램의 작성에 걸리는 시간이 단축되고 모델의 수정과 적용이 용이하다. 그림 3은 구성된 헬리콥터 시뮬레이션 모델을 나타낸다. [5]

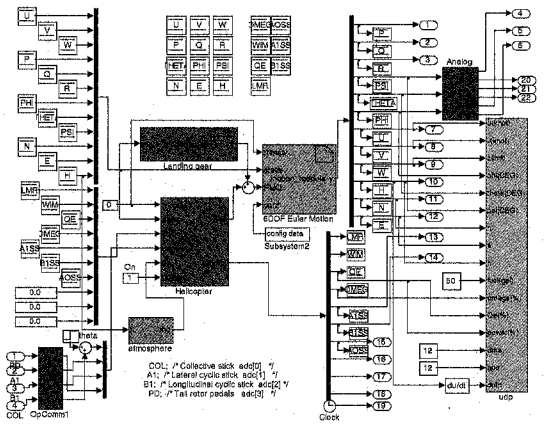


그림 3. SM_Master (비행시뮬레이션S/W)

그림 3은 SM_master로서 target 컴퓨터에 실시간코드로 변환되어 다운로드 되어지는 모듈이다. SM_Master 에 대한 설명은 3 장에 기술되어 있다. 모듈의 구성을 살펴보면 헬리콥터의 운동을 모사하는 모듈과 조종입력을 받는 모듈 출력을 모션테이블로 DAC 인터페이스 카드를 통하여 전송하는 모듈 자세와 위치정보를 영상컴퓨터로 전송하는 모듈, 여러 가지 계기 데이터를 계기 컴퓨터에 UDP를 사용하여 전송하는 모듈이 있다. 그림 3의 OpComm블록은 RT-Lab에서 제공하는 블록으로 실시간 데이터 처리를 담당하는 역할을 하며 SM_master와 같은 서브모듈의 입력부에 부착하게 된다.

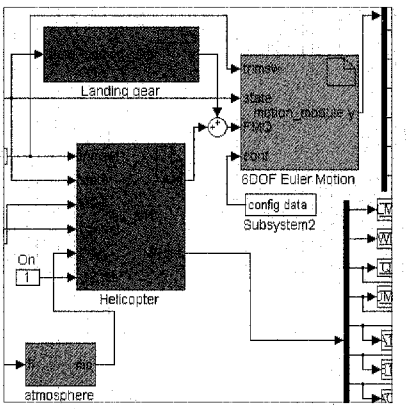


그림 4. Dynamics Modules

헬리콥터 다이나믹스 모듈은 그림 4와 같다. 개발의 편의성과 유지보수의 편의를 위하여 현재 4개의 모듈로 구성되어 있다. 헬리콥터 각 요소에서 발생하는 힘과 모멘트를 계산하는 Helicopter 모듈, 지면반력에 의해 발생하는 착륙장치의 힘과 모멘트를 계산하는 Landing Gear 모듈, 고도에 따라 대기밀도 및 온도를 계산하는 atmosphere 모듈, 그리고 헬리콥터 및 착륙장치에서 발생하는 힘과 모멘트를 받아 강체의 운동을 표현하는 6DOF Euler Motion 모듈로 구성된다. 대기 모듈은 Simulink에서 제공되는 것을 이용하고 나머지 유저가 정의하는 기타 모듈은 모두 C언어로 작성된 S-function으로 작성되었다. C S-function으로 작성하여야만 실시간 코드를 생성하고 다운로드가 가능하다. 이러한 구성을 취함으로써 필요시 적절한 모듈을 대체하는 것으로 쉽게 다른 헬리콥터 시뮬레이션이 가능하게 된다.

2.3 영상시스템

VTree를 사용하여 제작된 영상 DB는 그림 5와 같다. 실시간 시뮬레이션 컴퓨터(Target Computer)로부터 UDP 통신을 통하여 매 0.025초마다 위치와 자세 정보가 3개의 영상컴퓨터에 전달되어 그때의 영상 시현이 이루어진다.

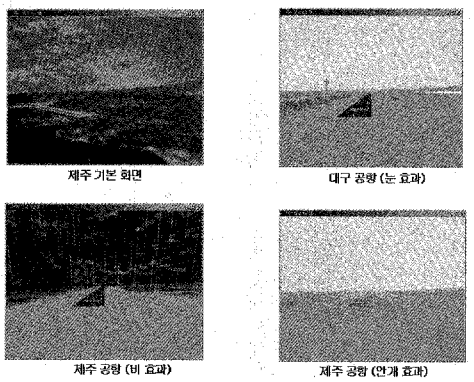


그림 5. 영상DB 화면

그림 6과 같은 영상제어판을 사용하여 안개효과 눈, 비 오전 저녁효과, 시점변환 등을 조정 할 수 있다.

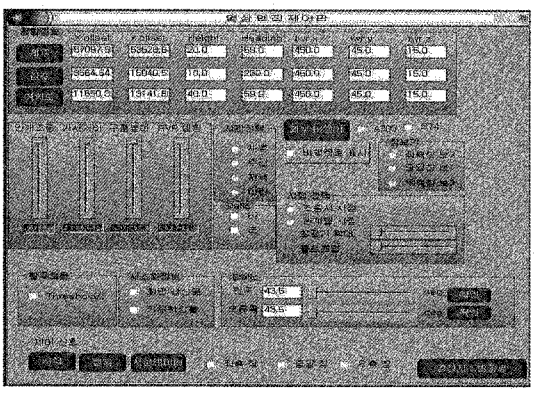


그림 6. 영상제어판

영상 DB를 실시간으로 조종사에게 시현하기 위한 영상장치는 그림 7과 같다. 3채널 평면 후면투사 방식으로 암실에 위치한 게인 1의 스크린에 영상을 투사하게 되어 있고 수평 FOV 120도, 수직 FOV 30도의 시각폭을 가진다.

영상의 시현방법으로 여러 가지 비용 대 효과면으로 사양들을 비교하였으며 그 결과는 그림 9와 같은 간단한 구성을 취하였다. 스크린에 투사하는 빔 프로젝터는 DLP 방식의 일반 빔프로젝터를 사용하였다. 단점으로는 엣지블렌딩이 자체적으로 불가하다는 것인데 엣지블렌딩은 2개 이상의 프로젝터를 스크린에 겹쳐 투사할 때 부드럽게 이어질 수 있도록 하는 기능이나 다음과 같은 구성에서는 그러한 기능이 필요하지 않으므로 저렴한 일반 빔프로젝터를 사용하여 구성할 수 있다.

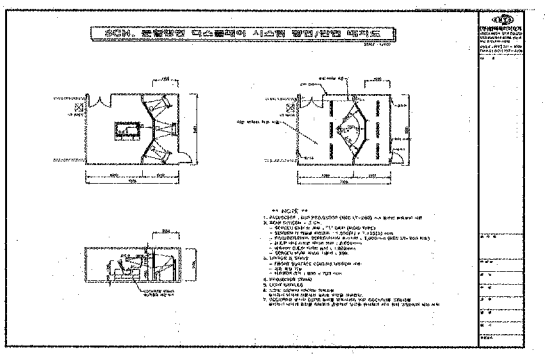


그림 7. 평면 3채널 후면 투사 스크린

2.4 모의조종석

MILS를 위한 시뮬레이터 모의조종석은 그림 8과 같다. 계기는 범용으로 사용할 수 있도록 그래픽으로 제작되며 LCD 모니터에 그려지고, 그 위에 패널을 덮어 사실감을 높일 수 있도록 하였다. 그 계기는 그림 9와 같다.

계기의 그와 같은 구성은 휴먼팩터 연구 시 계기판의 적절한 배치 연구에 사용할 수 있으며 소프트웨어적으로 처리된 계기는 사실감은 떨어지지만 계기 배치의 편리함과 아날로그계기로 계기판을 꾸밀 때 발생하는 여러 가지 배선과 같은

번거로운 작업을 쉽게 해결할 수 있기 때문에 계기 배치가 아주 유동적이다.

계기의 구성은 여러 헬리콥터의 계기판을 분석하여 공통으로 사용되는 계기들과 비행에 가장 많이 사용되는 계기들로 구성을 하였다. 가장 우측의 TCAS-GPS 계기는 현재 사용하지 않으나 추후 TCAS나 기타 항법관련 연구에 사용할 예정이다.

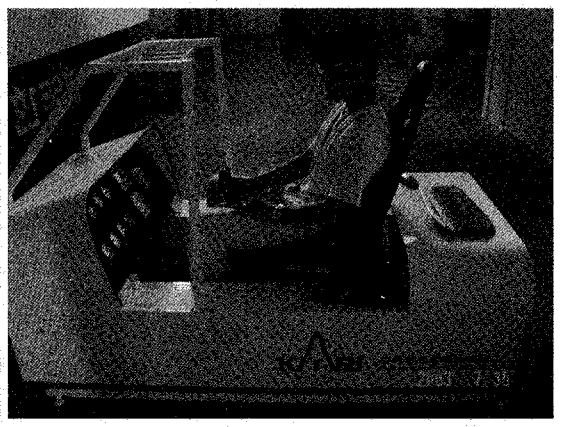


그림 8. 계기 및 모의 조종석

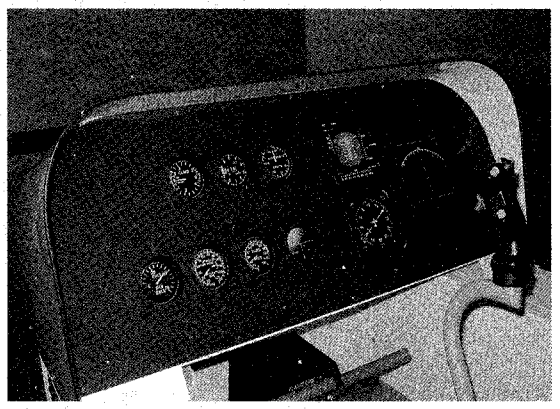


그림 9. 그래픽 계기

암실 내에서 모의조종석 및 스크린을 통합한 MILS 환경은 그림 10과 같다.

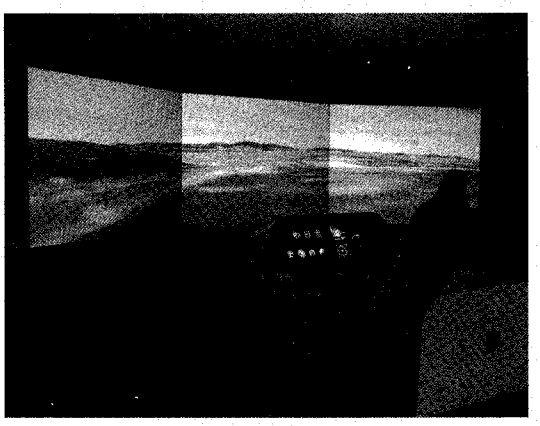


그림 10. 회전익기 MILS환경

2.5 HILS를 위한 운동판제어 [6]

운동판 시스템은 그림 11과 같은 ACUTROL ACT 2000 모델로서 ACUTRONIC사의 제품이다. RT-Lab에서 제공되는 DAC simulink모듈을 헬리콥터 출력에 부착하여 모션테이블에 아날로그 신호로 항공기 자세정보를 제공한다. 그러면 모션테이블은 그 값에 따라 항공기의 자세를 모사하게 되고 부착된 센서는 그 때의 자세정보를 읽어들이게 된다.

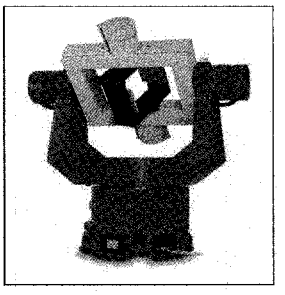


그림 11. 3축 운동판

센서데이터는 Labview로 구성한 다음 그림 12와 같은 창에 출력되어 센서 데이터와 비행시뮬레이션 출력과 비교가 가능하며 데이터의 저장 및 재생이 가능하도록 하여 시뮬레이션 분석에 용이하도록 구성되어 있다.

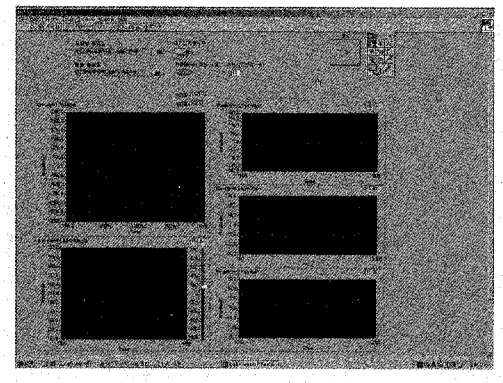


그림 12. 데이터 출력제어판

3. 실시간 시뮬레이션

3.1 실시간 코드 생성

작성된 Simulink 시뮬레이션 모델은 c-코드로 변환되고 주전산 컴퓨터에 다운로드 되어 실시간 시뮬레이션 가능하다.

주전산 컴퓨터는 실시간 운영체제인 QNX를 탑재하여 엄격한 실시간성을 제공해준다. 제작된 Simulink 모델과 QNX컴퓨터 사이에 RT-Lab이라는 상용 소프트웨어가 있어 비실시간 컴퓨터인 host 컴퓨터에서 구성한 Simulink 모델을 c-코드로 변환하고 QNX컴퓨터로 다운로드하여 실시간 프로그램의 제어를 돕는다.

실시간 시뮬레이션을 구성하는 방법으로는 Simulink상에서 제작된 시뮬레이션 코드를 RT-Lab으로 변환하여 실시간 HILS를 구성하는 방법과 비 실시간 시뮬레이션을 수행하기 위하여 제작한 C, C++ 형태의 코드에 실시간 스케쥴러, I/O Driver, 통신소켓등을 추가하여 실시간 시뮬레이션 프로그램을 제작하는 2가지의 방법을 들 수 있다. 여기서 RT-Lab이란 OPAL-RT사의 제품으로 Matlab/Simulink상에서 제작된 모델을 실시간 시뮬레이션을 위한 C언어로 자동 변환하여 QNX로 전송하고, 실시간 HILS를 구현하는데 필요한 실시간 스케쥴러, 통신소켓, I/O Driver를 첨가한 후 Simulink와 연동이 가능한 실시간 HILS환경을 자동으로 생성하여 주는 소프트웨어이다. 즉 모델의 제작 및 HILS를 모델링 하는 단계에서 RT-Lab의 형식에 맞추어 제작하고, 이를 비 실시간 환경인 Matlab/Simulink상에서 테스트를 수행한다. 그리고 실제적인 실시간 HILS를 수행할 때에는 RT-Lab을 이용하여 시뮬레이션 환경을 생성한다. 그림 12는 RT-Lab을 이용하여 실시간 시뮬레이션 코드를 생성하는 절차를 보여준다.

실시간 코드는 먼저 simulink에서 시뮬레이션 프로그램을 작성한 다음 master 와 console을 분리하고 각각 명칭을 SM_* ,SC_* 로 지정하여 서브모듈을 생성하여야 한다. SM_master 서브모듈은 target 컴퓨터에 실시간 코드로 변환되어 다운로드 되어질 모듈을 포함하여야 하고, GUI와 같은 휴먼 인터페이스와 관련된 모듈은 SC_console 서브 모듈에 포함시킨다.

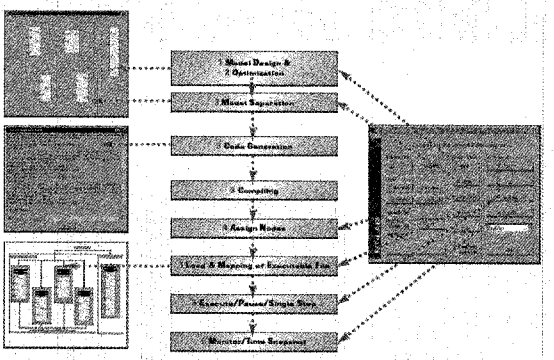


그림 12. RT-Lab 이용 실시간 시뮬레이션 코드 생성 절차

그림 13은 SC_console의 실행 창을 나타낸다. Simulink에서 제공되는 가상 계기들을 부착하여 비행정보를 쉽게 알아볼 수 있도록 하였다. 조종입력은 역시 Simulink에서 제공되는 조이스틱모듈을 부착하여 간편하게 시뮬레이션이 가능하다.

scope는 비행시뮬레이션 결과를 기록하여 그래프로 출력할 수 있다.

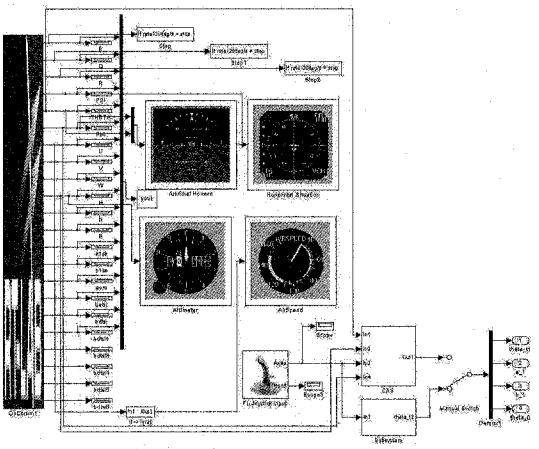


그림 13. SC_Console 모듈

3.2 비행데이터 비교검증

헬리콥터 시뮬레이션 프로그램의 충실도를 확인하기 위하여 참고문헌[3]의 비행데이터와 비교하였다. 비행데이터와 비교하여 엄밀한 결과를 얻기 위해서는 비행데이터를 획득할 당시의 헬리콥터 상태를 시뮬레이션에 그대로 적용하여야 한다. 그 당시의 헬리콥터 무게, 조종 장치, 자동비행장치 작동여부, 정확한 형상 데이터 등 이러한 모든 것들을 적용한 다음 시뮬레이션 결과와 비교하였을 때 그 결과의 타당성을 확인할 수 있게 된다. 그러한 비행데이터를 확보하기는 매우 어렵기 때문에 본 논문에서는 문헌에 공개된 데이터를 사용하였다. [3] 시뮬레이션에 사용된 대상 항공기는 AH-1S이고 비행데이터는 AH-1G 헬리콥터에 대한 데이터이다.

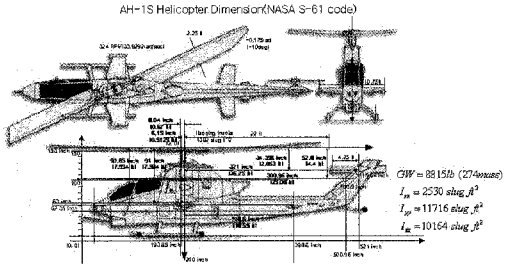


그림 14. AH-1S 헬리콥터

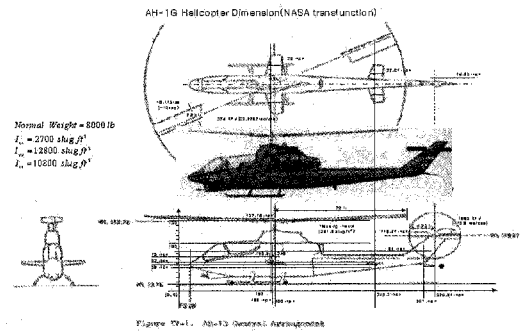
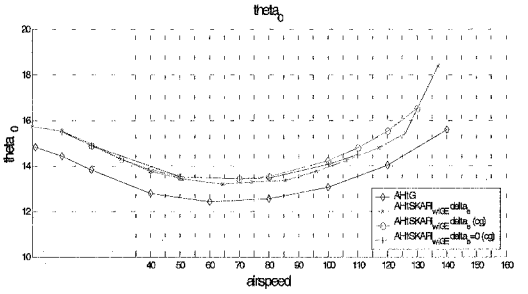
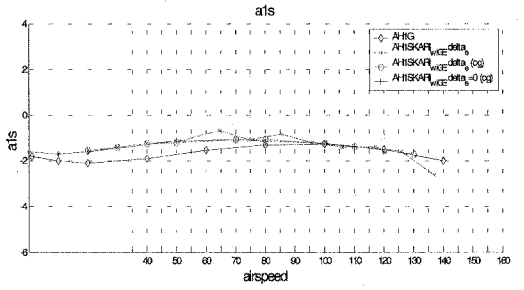
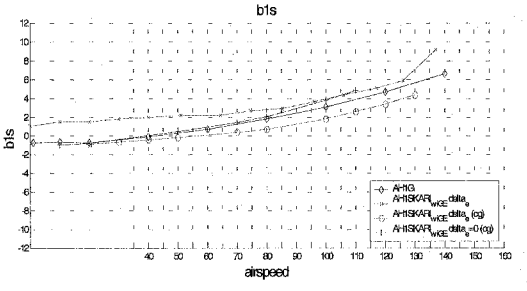


그림 15. AH-1G 헬리콥터







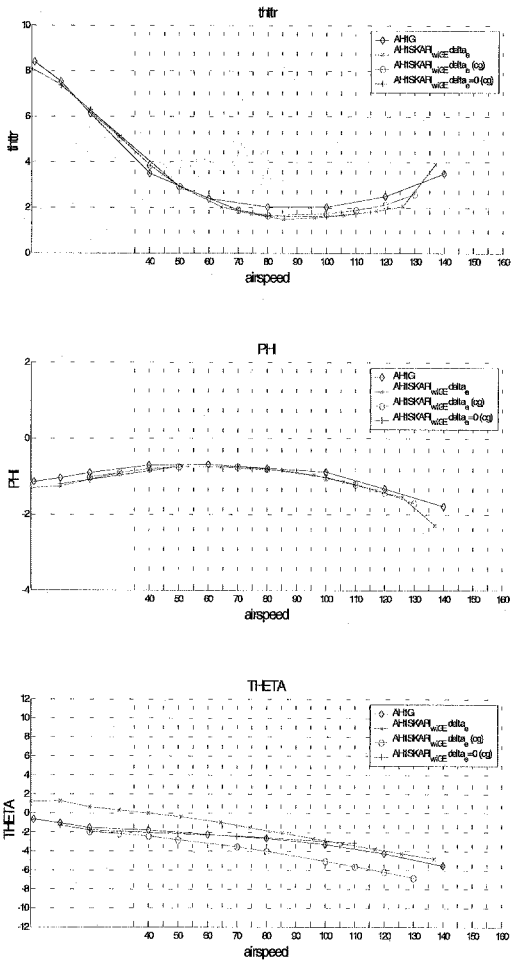


그림 16. 비행데이터와의 비교

두 기종은 형상이 거의 같기 때문에 비교가 가능하다고 판단되며 그 결과는 그림 16과 같다. 형상이 유사한 이유로 트림값을 비교해 보았을 때 잘 일치하는 특성을 보임을 확인 할 수 있다.

그림 16의 그래프에서 AH1G는 비행데이터, AH1S KARI$_{wiGE}$delta$_e$는 ground effect 가 있는 조건에서 조종입력에 대하여 엘리베이터가 연동되는 경우, AH1S KARI$_{wiGE}$delta$_e$(cg)는 앞의 조건과 같으나 비행데이터와 유사한 특성을 보이도록 항공기무게중심을 약간 조정하여 개선한 경우, AH1S KARI$_{wiGE}$delta$_e$=0(cg)는 개선한 경우에서 조종입력에 대한 엘리베이터 연동이 없이 수평안정판이 고정된 경우를 나타낸다.

그림 16에서 비행데이터와 가장 잘 일치하는 조건은 3번째의 AH1S KARI$_{winGE}$delta$_e$=0 (cg)임을 알 수 있고, 따라서 비행데이터는 ground effect 내에서 엘리베이터가 연동되지 않은 상태에서 측정된 것임을 유추할 수 있다.

4. 결 론

회전익항공기의 비행시뮬레이션 프로그램을 기준으로 하여 실시간시뮬레이션 환경을 구축하고 HILS를 위한 하드웨어 인터페이스 장치, MILS를 위한 모의 조종석 및 영상장치를 구축하였다. 비행시뮬레이션을 포함하는 호스트는 실시간 컴퓨터인 QNX상에서 구동이 되며 프로그램은 Matlab/Simulink로 개발한뒤 다운로드 하는 방식으로 간편하게 실시간 시뮬레이션을 실행할 수 있다.

본 연구를 통하여, 학계 또는 산업계에서 요구되는 실시간 시뮬레이션 시스템을 PC기반에서 충족시킬 수 있는 방안을 제시하였다. 본 시스템은 적은 비용과 시간의 투자로 HILS 시험을 수행할 수 있도록 하며, 간단한 Human Interface 장치를 통하여, MILS도 가능하도록 설계되었다. 향후, 사용목적에 맞는 요구조건 및 필요자원을 지속적으로 통합구축함으로써 개발효과를 극대화 할 예정이다.

참 고 문 헌

1. Marco Papini, M.A.Sc., Aeronautics and Paul Baracos, Ph.D. P.Eng., "Realtime Simulation, Control and HIL with COTS Computing Clusters"
2. Gareth D. Padfield, "Helicopter Flight Dynamics: The Theory and Application of Flying Qualities and Simulation Modeling" Education series, AIAA, pp90.

3. Robert K. Heffley, Wayne F. Jewell, "A Compilation and Analysis of Helicopter Handling Qualities Data", NASA CR 3144, 1978. pp143-150.
4. 최형식, 박무혁, 남기욱, "AH-1, S-61 비행 시뮬레이션 프로그램" KARI-NC-TM-2003-007, Dec. 2003.
5. 최형식, 박무혁, 남기욱, "회전익기 HILS환경 구축을 위한 헬리콥터 모델링 기법연구" ,KARI-NC-TM-2002-011, Dec. 2002.
6. 박무혁, 최형식, 남기욱, "ACUTROL ACT 200 3축 운동판 시스템 운용 프로그램 개발", KARI-NC-TM-2002-007, Dec. 2002.
7. 박무혁, 남기욱, 최형식, "RT-Lab을 이용한 헬기HILS용 실시간 시뮬레이션 시스템 개발", KARI-NC-TM-2002-005, Dec. 2002.
8. 윤석준, "시뮬레이션과 시뮬레이터", 선학사, 2003년 3월.