

## M20J 시뮬레이터 개발을 위한 시스템 통합

홍승범\*, 김용환\*\*, 정식항\*\*\*, 백중환\*\*\*\*,  
황수찬\*\*\*\*\*, 황명신\*\*\*\*\*, 김철영\*\*\*\*\*

### System Integration for M20J Simulator Development

S. P. Hong , Y. H. Kim , S. H. Chung, J. H. Baek ,  
S. C. Hwang , M. S. Hwang , C. Y. Kim

#### 목 차

- I. 서 론
- II. 비행 운동 시뮬레이션
- III. 인터페이스 카드 설계
- IV. 항법전자장치 소프트웨어 구현
- V. 시스템 통합 및 구현
- VI. 결 론

#### Abstract

This paper proposes a system integration method for M20J flight simulator development. The simulator consists of three modules. The first module is for flight dynamics simulation, and the second module is for avionic systems and flight instruments, and the last module is for interface card which connects PC and input devices using rotary encoders and switches. Two computers are equipped in the simulator for instructor and trainee. An instructor can give a mission to a trainee, and control the flight simulation options through RS-232C serial port. Also, the instructor can monitor the training results of the trainee.

\* 한국항공대학교 항공통신정보공학과 대학원

\*\* 한국항공대학교 컴퓨터공학과 대학원

\*\*\* 한국항공대학교 항공기계공학과 대학원

\*\*\*\* 한국항공대학교 항공통신정보공학과 교수

\*\*\*\*\* 한국항공대학교 컴퓨터공학과 교수

\*\*\*\*\* 한국항공대학교 항공기계공학과 교수

\*\*\*\*\* 한국항공대학교 항공운항학과 교수

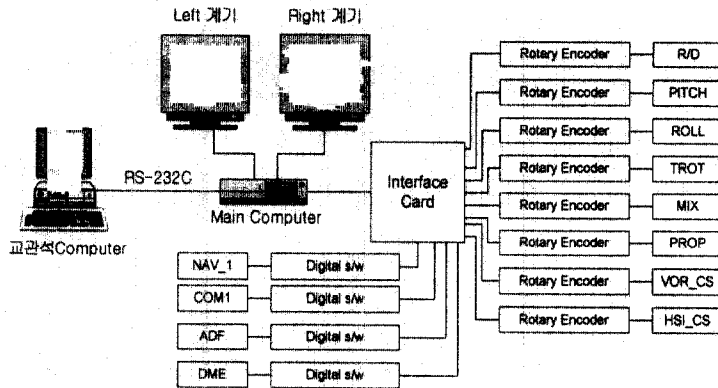
## I. 서론

비행기 시뮬레이터는 실제 비행을 모의한 장치로 최근 선진국을 위시하여 비행기를 운용하는 모든 나라에서 시뮬레이터를 이용한 비행 훈련을 실시하여 보다 안전한 비행 교육을 실시하고 있다<sup>[1][2]</sup>. 본 논문은 한국항공 대학에서 보유하고 있는 M20J 훈련기를 대상으로 한 계기 비행 훈련용 시뮬레이터 개발을 위한 시스템 통합에 관한 논문이다. 본 논문에서는 시뮬레이터에서 사용되는 입·출력 장치, 항법전자장치 및 인터페이스 카드 제작에 관한 부분을 다룬다.

M20J 시뮬레이터는 크게 세 부분으로 비행 운동 시뮬레이션과 항법전자장치 및 각종 계기등을 출력하는 메인 컴퓨터 부분, 조종 장치의 입력을 받는 인터페이스 카드 부분, 비행 훈련을 관리하고 환경을 설정하는 교관석 부분으로 설계 제작하였다. 특히, 교관석의 통제를 받기 위해서 RS-232C를 이용하여 양방향 통신이 가능하도록 하였다. 또한, 비행기에 장착된 모든 항법전자장치 및 각종 계기를 실제 M20J 비행기와 똑같이 작동하도록 소프트웨어와 하드웨어로 구현하여 계기 비행 훈련이 가능하도록 설계하였다.

그림 1은 M20J의 전체 구성도를 나타낸 것으로, 메인 컴퓨터는 두 개의 모니터를 이용하여 M20J 계기를 표시하였다. 그리고 훈련생들의 조종 입력치를 입력받기 위해 rotary encoder를 이용하였고, 인터페이스 카드는 8255를 이용하여 각 입력 값을 컴퓨터에 전달토록 설계하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 비행 운동 시뮬레이션 부분, 3장에서는 인터페이스 카드 설계 부분에 대해 기술하고, 4장에서는 항법전자장치 구현에 대해 설명한다. 5장에서는 전체 부분을 통합하고 구현한 결과를 분석하고, 마지막 장에서 결론을 내린다.



[그림 1] M20J 시뮬레이터의 구성도

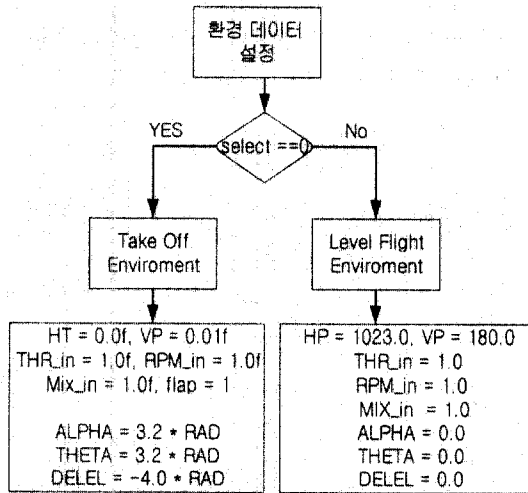
## II. 비행 운동 시뮬레이션

M20J 시뮬레이터의 엔진 모델링은 6자유도 비행 운동 모델링과 엔진 모델링으로 구성된다. 비행기는 조종대와 엔진 등에 대한 입력을 시작으로 지상에서 이륙하여 상승, 순항, 선회, 하강, 착륙 등의 운동을 한다. 이와 같은 운동은 입력에 따른 운동 방정식으로 나타낼 수 있다.

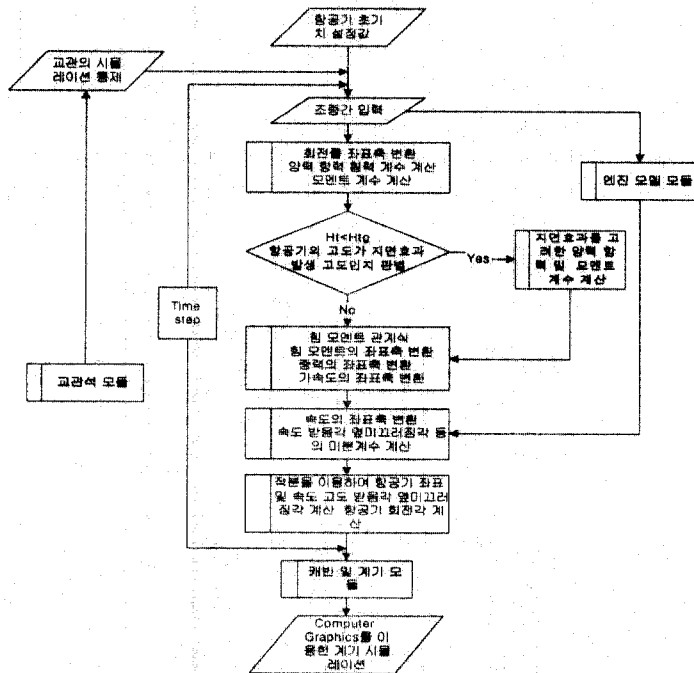
먼저 비행 운동 모델링은 항공기의 운동방정식을 임의의 직교 좌표계에 대해 표현할 수 있고, 임의의 적합한 좌표계를 선택함에 따라 방정식의 단순화 및 항공기에 작용하는 힘과 모멘트에 대한 물리적 의미를 부여할 수 있게 된다. 그리고, 비행 중 항공기에 작용하는 힘과 모멘트를 계산하기 위해서는 여러 변수들의 값을 파악해야 하며, 정확한 공력 계수 값들을 설정하게 된다. 이와 같은 공력 계수 값과 좌표계를 이용하여 환경 데이터를 설정하여 6자유도 비행운동을 모델링하게 된다<sup>[2]</sup>.

그림 2와 그림 3은 비행 운동 시뮬레이션의 동작을 위한 비행 환경 변수 설정과 비행 운동 시뮬레이션 흐름도를 나타낸 것이다. 비행 환경 변수들로는 이·착륙 환경과 비행 환경일 때를 나누어 방향키, 도운 날개, 승강기, 스로틀(throttle), 혼합비(mixture), 추진력의 등의 값을 설정하게 된다. 그리고 비행 운동 시뮬레이션에

서는 비행 환경 변수 값을 입력으로 비행 운동 모델링과 엔진 모델링에 의해 비행기의 자세 및 위치 등을 출력하게 된다. 또한, 계기에 필요한 고도, 비행기의 속도 및 자세 등이 항법전자장치의 입력 값이 된다.



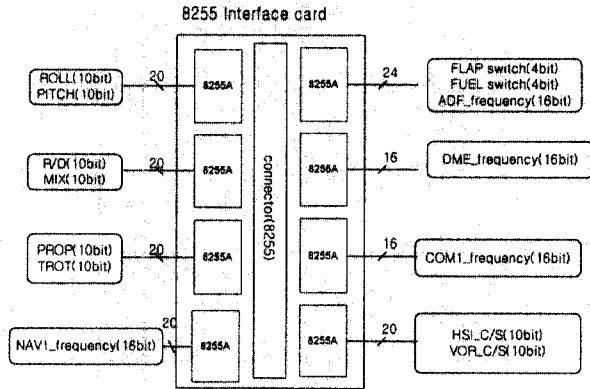
[그림 2] 환경 변수 설정



[그림 3] M20J 시뮬레이터 흐름도

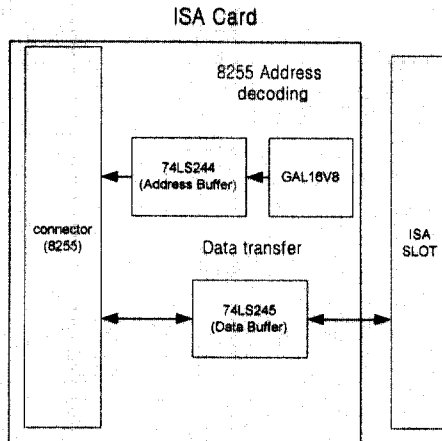
### III. 인터페이스 카드 설계

M20J 비행 시뮬레이터는 인터페이스를 통해 조종입력장치인 방향키, 페달, 조종륜, 스톱, 혼합비, 그리고 프로펠러 등의 값을 입력받고, 또한 항법전자장치의 입력 장치인 HSI와 VOR의 경로 선택(Course Selector), 통신 채널국(COM), VOR국(NAV\_1), DME국, 그리고 ADF국 등의 주파수를 입력받는다. 이와 같은 입력장치들은 훈련자의 조종을 통해서 입력을 받고, 각 입력 형태에 따라 로터리 엔코더와 counter 회로가 존재하게 된다. 이러한 입력 값들이 실시간적으로 PC로 입력되기 위해 인터페이스 카드를 그림 4와 같이 제작하였다.

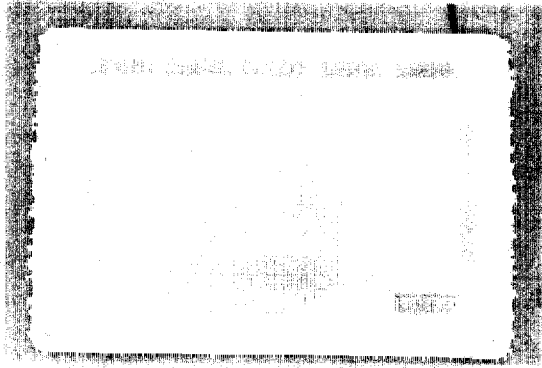


[그림 4] 8255 인터페이스 카드의 구성도

각 입력 값은 8255A 칩을 통해 입력되는데, 각 8255A 칩의 port를 지정해 주는 신호는 ISA board의 GAL로부터 8255 connector를 통해서 받아들인다. 이렇게 선택되어진 각 8255A 칩의 port들은 각 port에 연결된 rotary encoder, switch, counter와 같은 입력들을 순차적으로 받아들인다. 각각의 입력된 값은 8255 interface card의 connector에 의해 그림 5와 같이 ISA 카드로 보내지게 된다. ISA 카드에서는 단방향 버퍼와 양방향 버퍼를 이용하여 각 8255A의 address decoding과 data transfer를 하게 된다. Address decoding은 단방향 버퍼를 사용하고, data transfer는 양방향 버퍼를 이용하게 된다. 양방향 버퍼를 사용하여 실제 data는 ISA slot을 통해 PC로 data를 전달하게 된다. 그림 5는 ISA 카드의 구성도를, 그림 6은 실제 제작된 에 나타낸다.



[그림 5] ISA 카드의 구성도



[그림 6] 인터페이스 카드

#### IV. 항법전자장치 소프트웨어 구현

항법전자장치는 비행 운동 시뮬레이션에서 출력되는 비행기의 위치, 속도, 그리고 기수 방향과 공향의 항법 장치국 등을 이용하여 사거리, 방위각(bearing), 그리고 편위각(deviation angle)등을 구하게 된다. 따라서, 본 장에서는 거리와 방위각 및 편위각 계산 방법을 설명하고, 항법전자장치인 VOR, HSI, RMI, DME 등의 계기에 대한 개요와 I/O 입출력 파라메타에 관해 기술한다.

##### 4.1 사거리와 방위각 계산

기존에 사용되어 오던 구 삼각공식은 지구가 타원이라는 것을 이용하여 지구 중심에서 비행기의 현재 좌표와 스테이션의 좌표간에 거리와 방향을 구하였다<sup>[3][4][5]</sup>. 하지만, 이와 같은 방식의 문제점은 실제 지구의 형태는 구가 아닌 타원이기 때문에 한국의 영역은 북반구의 위쪽에 있으므로 위도와 경도를 미터(meter)단위로 변화하였을 때 정확하게 일치하지 않게 된다. 그러므로, 직각 좌표계를 사용하기 위해서는 경·위도를 일정한 비율로 바꾸어서 사용할 수 있다. 따라서, 표1에 기술된 위도와 경도의 분당 거리를 이용하여 거리를 구하였다.

[표 1] 경·위도 좌표와 직교좌표의 변환 테이블

지역	위도 1'당	지역	경도 1'당
N30°	1848m	E120°	1608m
N40°	1851m	E130°	1423m

표1에서 기술된 값들은 경위도 좌표에 따라 1분당 거리를 환산하기 위해 표준 미터 단위로 변환한 것으로 경위도 범위 사이에 위치하는 값들은 선형 보간법(linear interpolation)을 사용하여 구할 수 있다. 이는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

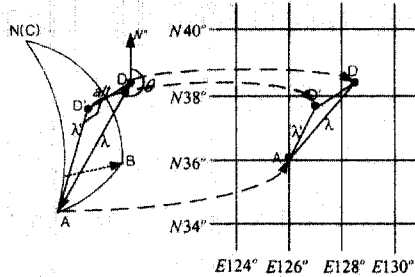
$$\begin{aligned}
 x_m &= 1608 + \frac{(E-120) \times (1423-1608)}{10} \\
 y_m &= 1848 + \frac{(N-30) \times (1851-1848)}{10}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

식(2)는  $x_m$ 과  $y_m$  값을 이용하여 비행기의 이동 변화량을 각의 변화량으로 변환하게 된다. 여기서,  $X, Y$ 는 각각 경도 방향과 위도 방향의 비행기 이동 거리이다.  $\theta'$ 는 위도의 각(degree)변화량을 나타내고,  $\alpha'$ 는 경도의 각(degree)변화량을 나타낸다.

$$\begin{aligned} \alpha' &= (X/x_m)/60 \\ \theta' &= (Y/y_m)/60 \end{aligned} \tag{2}$$

식(2)에서 얻은 결과 값을 도·분·초 단위로 바꾸어서 비행기의 현재 좌표에 따른 비행기의 이동 변화량을 계산하게 된다.

그림 7은 구 형태를 평면으로 근사화한 것으로, A는 도착지 공항의 항법 장치국(STN)이고, D는 비행기의 현 좌표(PSN)이다. 또한, D'은 직각좌표에 투영(projective)된 지점이다.



[그림 7] 구 좌표계를 직각 좌표계로의 사상

평면에서 두 점(A, D)간의 거리를 구해보면, 각 점들은 경·위도 좌표로 표기되어 있으므로 경도와 위도를 따로 나누어서 연산하게 된다. 따라서 경도를 degree값으로 변환한 후 NM(nautical mile)으로 변환하여 두 경도 사이의 거리를 계산하게 된다. 여기서, A점의 경위도가  $E(a_1^0 b_1^0 c_1^0) N(a_2^0 b_2^0 c_2^0)$ 이고 D점의 경위도가  $E(x_1^0 y_1^0 z_1^0) N(x_2^0 y_2^0 z_2^0)$  라면, 이때 두 점간의 거리는 식 (3), (4), 그리고 (5)에 의해서 얻어진다.

$$\begin{aligned} Deg(A_E) &= a_1 + b_1/60 + c_1/3600 \\ Deg(D_E) &= x_1 + y_1/60 + z_1/3600 \\ Deg(A_N) &= a_2 + b_2/60 + c_2/3600 \\ Deg(D_N) &= x_2 + y_2/60 + z_2/3600 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} dist'_E &= |Deg(A_E) - Deg(D_E)| \\ dist'_N &= |Deg(A_N) - Deg(D_N)| \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} l_E &= dist'_E \times 60 \times x_m / 1852 \\ l_N &= dist'_N \times 60 \times y_m / 1852 \end{aligned} \tag{5}$$

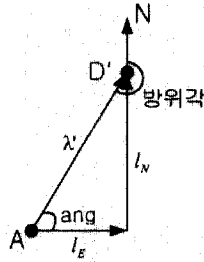
식 (3), (4), (5)는 각각의 경위도 좌표에 대한 각도 차를 거리로 환산한 다음 NM로 변환하는 단계이다. 여기서, 두 좌표점 사이의 거리  $l'$ 를 구해 보면 식(6)과 같다.

$$l' = \sqrt{l_N^2 + l_E^2} \tag{6}$$

식 (6)에서 나온 결과값을 식 (7)에 대입하여 두 지점 간의 거리  $l$ 를 구하게 된다.

$$l = \sqrt{l'^2 + alt^2} \tag{7}$$

방위각을 구하는 방법은 그림 8과 같이 A에서의 방위각을 구하면 된다.



[그림 8] 방위각 계산

$$ang = \tan^{-1}(l_N/l_E) \tag{8}$$

여기서,  $l_N$ 과  $l_E$ 는  $l'$ 을 수직, 수평으로 투영하였을 때 나타나는 값이고,  $l'$ 가 어떤 사사분면에 위치하는지를 파악하여 진북(N)에서의 방위각을 계산하게 된다. 이때 얻어진 방위각은 진북(truth north)과 자북(magnetic north) 사이의 편차로 우리나라의 경우 7° 만큼을 보정하게 된다.

#### 4.2 항법전자장치 구현

##### ① VOR

VOR 시스템은 항공기의 전파항법(radio navigation)을 위한 장비로서 108.00 - 117.975MHz대의 전파를 사용하여 VOR 국으로부터의 방위(bearing)를 측정한다<sup>[6]</sup>. 또한 VOR 계기에 있는 OBS(Omni Bearing Selector) 또는 HSI 계기의 CS(Course Selector)를 세팅함으로써 세팅된 방위로 “부터”(From) 혹은 “으로”(To)의 편위각(deviation) 및 To/From 표시가 자동적으로 나타난다.

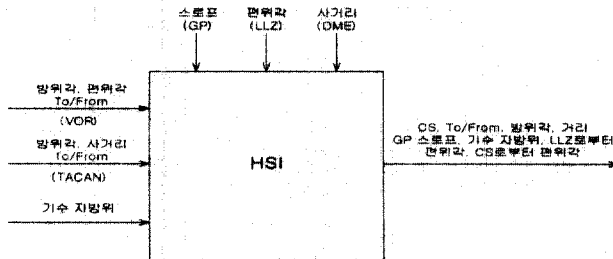


[그림 9] VOR 입출력도

##### ② HSI

HSI는 VOR, TACAN, ILS(LLZ, GP), DME의 장비로부터 나오는 방위각, 편위각, To/From, 거리, 글라이드 슬로프, 기수 자방위 등의 정보가 디스플레이 되는 계기이다. 또한, HSI 계기에는 CS(course selector)가 있어 조종사가 희망하는 코스를 선택할 수 있다<sup>[6]</sup>.

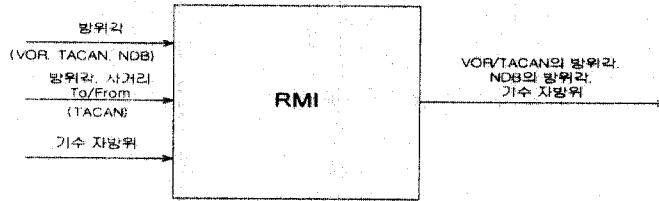
VOR 장비로부터는 VOR국으로의 방위각, CS와의 편위각, To/From, VOR국까지의 거리 정보가 입력되고, TACAN 으로부터는 방위각, 사거리, To/From 정보가, LLZ로부터는 LLZ와의 편위각이, GP로부터는 글라이드 슬로프가, DME 로부터는 사거리가 각각 입력된다.



[그림 10] HSI 입출력도

③ RMI

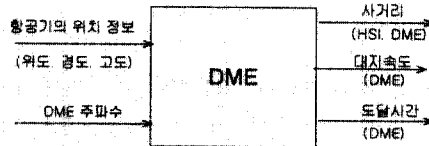
RMI는 VOR, TACAN, NDB로부터 출력되는 방위각과 기수 자방위가 표시되는 계기이다<sup>[6]</sup>. 본 시뮬레이터에서는 RMI 계기는 TANCAN이나 VOR 계기의 방위각만 나타나게 하였다. 실제 훈련용에서 NDB를 사용하고 있지 않기 때문에 두 개의 바늘 중 하나만 작동하도록 하였다.



[그림 11] RMI 입출력도

④ DME

DME는 비행기의 현재 위치로부터 선국된 DME국까지의 사거리(slant range), 대지 속도(ground speed: GS) 및 도달 시간을 제공한다. DME에 입력되는 정보는 비행기의 현재 위치(위도, 경도, 고도)와 선택된 DME 국의 주파수이다. 출력되는 사거리 정보는 DME 장치의 패널과 HSI계기에 나타나고, 지상 속도와 도달 시간은 DME 장치의 패널에 표시된다. 사거리의 단위는 NM이고, 대지 속도와 도달 시간은 각각 NM/h 와 minute 이다.



[그림 12] DME 입출력도

V. 시스템 통합 및 구현

M20J 시뮬레이터의 구동을 위하여 펜티엄-166, 메모리 16M의 환경에서 구동하였다. 본 시뮬레이터의 구성은 교관석과 훈련석으로 구성하였으며, 두 컴퓨터 사이의 통신을 위해서 RS-232C를 이용하였다. RS-232C를 통하여 교관석에서는 임무별 비행기의 현재 위치, 속도, 고도, 기수 방향의 값을 비행 시작 전에 설정하며, 비행 중에는 풍향의 값만 변경하게 된다. 따라서, 전달되는 데이터의 크기는 대략 10Byte 이하이다. 그리고, 훈련석에서 교관석으로는 비행기의 현재 위치, 고도, 속도, 기수 방향을 전송하게 된다. 또한, 교관석에서는 훈련자의 훈련 상황을 모니터를 통해 감시할 수 있도록 설계하였다.

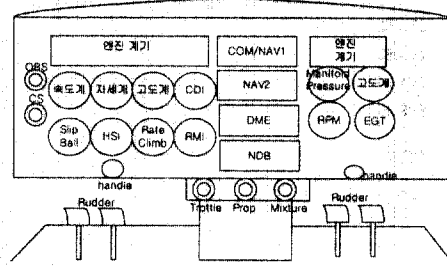
5.1 훈련석

그림 13은 실제 M20J 시뮬레이터의 외형 모습을 나타내고, 그림 14는 시뮬레이터 내부의 각종 계기 배치 모습을 나타낸 것이다.



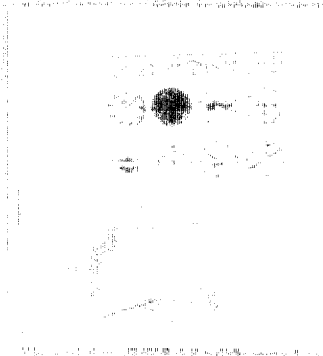


[그림 13] 무너 시뮬레이터의 외형

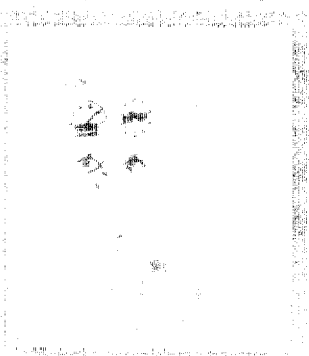


[그림 14] 훈련석내 계기 배치도

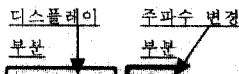
그림 15와 16은 주 조종석과 부 조종석 내부의 실제 모습을 나타내었다. 전체 구성은 조종입력장치인 패널 (panel), 조종륜, rudder, throttle, 프로펠러, 혼합기, OBS, CS와 주파수 및 항법 장치인 COM, VOR, ADF, NDB등으로 구성된다. 또한, 그림 17, 18, 19는 각각 COM/NAV, Rudder 및 Throttle, Prop, Mixture 장치들의 실제 모습을 나타내었다.



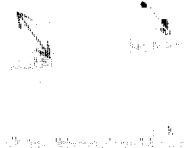
[그림 15] 주 조종석



[그림 16] 부 조종석



[그림 17] COM/NAV 장치



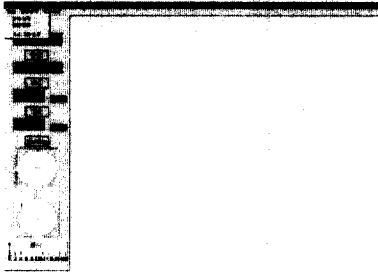
[그림 18] Rudder



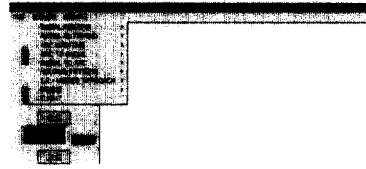
[그림 19] Throttle, Prop, Mixture 장치

5.2 교관석

교관석은 훈련자가 계기 비행을 위한 여러 가지 비행 임무 및 환경 설정과 비행 작동법 등을 지도할 수 있도록 제작하였다. 비행 임무로는 초급에서 고급 비행 기술까지 다양한 임무를 선택하도록 설계되었다. 임무의 종류는 radial inbound, radial outbound, arc maintain, arc to radial, radial to arc, holding pattern, ils+missed approach, SID 출항, flight 등이다. 그림 20은 교관석의 초기 화면을, 그림 21은 임무 선택 메뉴 화면을 각각 나타내었다.

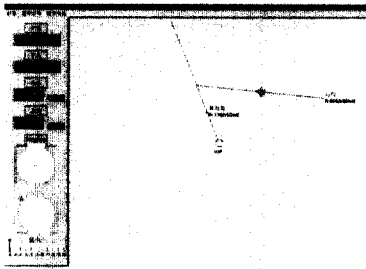


[그림 20] 교관석 초기 화면

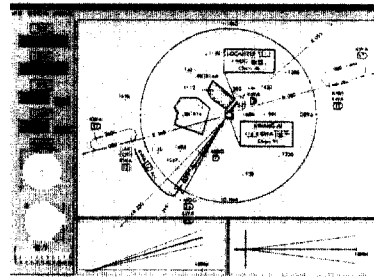


[그림 21] 임무 선택 메뉴 화면

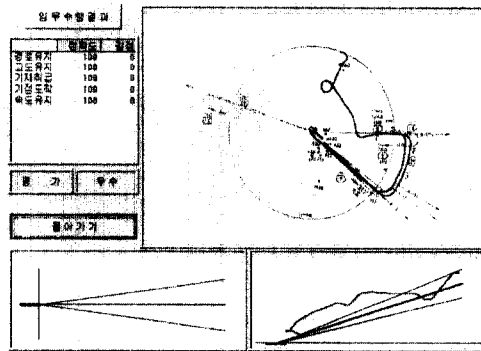
그림 20에서 좌측 창은 훈련자의 현재 위치, 속도, 고도, 비행 기수 방향을 나타내는 부분이고, 하단은 바람의 세기와 방향을 설정하도록 설계하였다. 그림 21에서 선택한 임무에 따라 오른쪽 창에 훈련자의 비행경로가 디스플레이 된다. 임무 선택에 따른 간단한 예를 그림 22와 그림 23에 나타내었다. 그림 24는 비행 결과의 화면을 나타낸 것으로 비행 항적과 glide path, glide slope등의 결과가 하단에 나타나게 된다.



[그림 22] Radial inbound



[그림 23] ILS + Missed Approach



[그림 24] 비행 결과 화면

## VI. 결론

본 논문에서는 계기 비행 훈련을 목적으로 하는 M20J 시뮬레이터를 제작하였다. 시스템은 크게 세 가지부분으로 나누어서 제작하였는데 비행 운동과 엔진 부분, 항법전자장치 부분, 그리고 비행 조종 입력 장치 부분이다. 조종석에서의 조종입력은 로터리 엔코더를 이용하여 인터페이스 카드를 거쳐 메인 컴퓨터로 입력되어 조종석의 계기로 표시되며, 비행 시작 전에 교관석에서 각종 비행 환경을 설정 한 후 비행을 시작할 수 있도록

록 제작되었다.

이와 같이 제작된 시뮬레이터는 계기 비행 훈련용으로는 적합하지만, 실제 비행 감각에는 문제점을 가지고 있다. 그러나 PC를 기반으로 하여 제작된 저렴한 가격의 훈련용 시뮬레이터로서 향후에 3차원 창밖 시계 화면을 추가할 경우 상당한 교육적인 효과를 갖으리라 예상된다.

## ■ 참고 문헌

- [1] 백중환, 황수찬, 김칠영, 황명신, "비행기 시뮬레이터용 항공 전기/ 전자 모의실험 소프트웨어 개발(최종 보고서)," 1994.
- [2] 황명신, 백중환, 황수찬, 김칠영, "계기비행 훈련용 Mooney 시뮬레이터 개발," 한국항공대학교 항공산업 기술연구소, 1998.
- [3] 백중환, "항법 지리 데이터베이스를 이용한 비행 시뮬레이터용 항공전자 장치 소프트웨어 개발," 한국항공학회, 1997.
- [4] D. H. Maling, *Coordinate Reference Systems on the Sphere and Spheroid*.
- [5] D. C. Muehrcke, and J. O. Muehrcke, *MAPUSE : Reading, Analysis, Interpretation*.
- [6] 윤승중, "항공보안시설", 한국항공대학교 출판부, 1993.

## ■ 약 어

ADF	Automatic Direction Finding Receiver
CS	Course Selector
DME	Distance Measuring Equipment
GP	Glide Path
HSI	Horizontal Situation Indicator
ILS	Instrument Landing System
LLZ	Localizer
NDB	Non-Directional Beacon
OBS	Omni-Bearing Selector
RMI	Radio Magnetic Indicator
SID	Standard Instrument Departures
TACAN	Tactical Air Navigation
VOR	Very High Frequency Omni Range