

論文

DOI:10.5139/JKSAS.2010.38.6.564

VOR/DME 시스템 기반의 자동 조종 시스템 시뮬레이터 구현

이동규*, 이상철**, 오화석**

Implementation of the Aircraft Autopilot System Simulator
based on VOR/DME System

Dongkyu Lee*, Sangchul Lee** and Hwa-Suk Oh**

ABSTRACT

VOR/DME is the short range radio navigation system for much of the world. The navigation with VOR/DME is used for a long time because of its reliability. It can be used for almost all civil aircraft. To simulate the small aircraft's autopilot system based on VOR/DME system, we developed a simulator by using SIMULINK. The output panel of the simulator was developed according to the cockpit instrument of an actual aircraft. To verify the performance of the simulator several scenarios were planned. And we showed that the simulator performed well.

초 록

VOR/DME는 전 세계에서 많이 사용되고 있는 단거리 무선 항법 시스템이다. VOR/DME는 신뢰도가 높은 만큼 오랫동안 사용되었고, 거의 모든 민간 항공기에 사용되고 있다. VOR/DME 시스템을 기반으로 한 소형 항공기 자동 조종 시스템을 시뮬레이션하기 위하여 SIMULINK를 활용하여 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터의 출력창은 실제 항공기 조종석의 계기와 유사한 형상으로 제작하였다. 시뮬레이터 검증을 위하여 몇 가지 시나리오를 구성하고 시뮬레이터가 정상적으로 작동함을 확인하였다.

Key Words : Autopilot(자동 조종), DME(거리 측정 장치), SIMULINK(시뮬링크), Simulator(시뮬레이터), VOR(극초단파 전방향 무선 표지)

1. 서 론

VOR(VHF Omni-Directional Range)은 전방향 무선표지시설로서 항공기에 방위각 정보를 제공하는 역할을 한다. 1949년 ICAO에서 단거리용 국제표준 항행지원시스템으로 채택되었고, 1951년 미국에서 최초로 VOR 항로 운행이 시작되었다. 이후 ICAO는 1960년대에 TACAN(TACTical

Air Navigation)에서 기지국과 항공기 사이의 거리 정보 제공 기능을 독립시킨 DME (Distance Measuring Equipment)를 표준 항행지원시스템으로 채택하였다. 이 두 가지 항행지원시설을 병설한 VOR/DME 시설은 단거리 항행항법에 사용되며, 항법기술이 정밀해지고 있는 최근에도 소형 항공기에서 대형 여객기에까지 보편적으로 활용되고 있다[1,2].

계기를 통해 조종사는 특정 VOR/DME 기지국과 항공기 사이의 방위와 거리 정보를 알 수 있으며, 이 정보들은 항로를 따라 목적지까지 항공기를 운항하는데 중요한 자료로 사용된다. 뿐만 아니라 VOR/DME 시스템을 활용하여 항공

† 2009년 11월 10일 접수 ~ 2010년 5월 4일 심사완료

* 정회원, 한국항공대학교 대학원 항공우주 및 기계공학과

** 정회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과

교신저자, E-mail : slee@kau.ac.kr

경기도 고양시 덕양구 화전동 200-1

기를 원하는 목표까지 자동으로 찾아갈 수 있는 자동 조종 시스템(autopilot system)을 구현할 수 있다.

본 논문에서는 소형 항공기가 다수의 VOR/DME 기지국들을 경유하여 목표한 위치로 비행하는 것을 확인할 수 있는 시뮬레이터를 구현하였다. 이를 위하여 소형항공기와 VOR/DME 시스템을 모델링 하였고, 자동 조종을 수행할 수 있는 자동 조종 시스템을 구현하였다. 또한 실제 항공 계기와 유사한 형태로 출력 창을 구성하였다. 이 출력 창을 통하여 항공기가 자동 조종을 수행하여 목표 위치를 찾아가는 경로를 확인할 수 있다.

II. 시뮬레이터 구성

본 논문의 시뮬레이터는 SIMULINK[3]를 사용하여 구현하였다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이, 시뮬레이터의 전체 구성은 크게 입력부를 포함한 계기화면, 항공기와 항공기 주변 대기 환경을 모델링한 Aircraft Model Blockset과 VOR/DME를 모델링한 VOR/DME Blockset, 자동 조종 시스템인 Autopilot Blockset으로 구성된다.

시뮬레이션을 위한 항공기 모델은 FDC 프로그램에서 사용한 De Havilland의 DHC-2 'Beaver'를 사용하였다. Beaver 항공기의 제원과 제한적인 조건에서의 트림값, 공력 계수 등은 이 프로그램에서 제공하는 것을 기본으로 하였다. 그러나 FDC 프로그램은 시뮬레이션 결과를 모든 연산이 끝난 후 보여주는 방식이기 때문에 항공기의 움직임을 컴퓨터가 연산하는 동안 확인할 수 없다. 항공기가 이동하는 경로를 확인할 수 있도록 하기 위하여 관련 항목에 대한 재구성 및 추가 coding을 수행하였다.

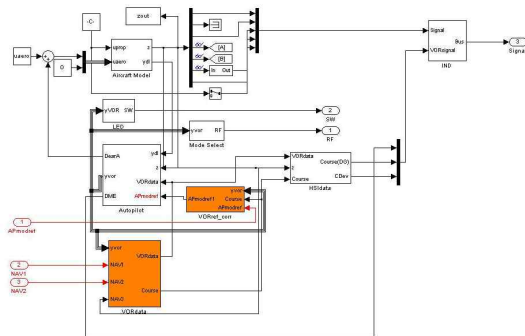


Fig. 1. 시뮬레이터 전체 구성도

2.1 Autopilot Blockset

Autopilot Blockset의 내부에는 VOR/DME 시스템을 모델링한 VOR/DME Blockset이 있으며, 여기서 출력되는 데이터와 항공기 자세 정보를 받아 항공기 종방향 제어를 수행하는 Symmetric Blockset과 횡방향 제어를 수행하는 Asymmetric Blockset으로 구성되어 있다[4,5].

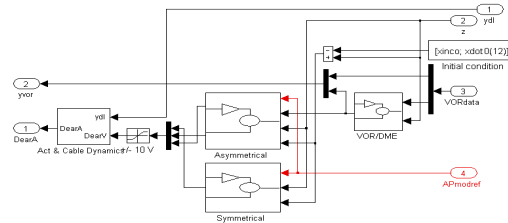
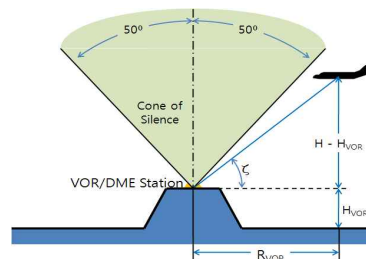


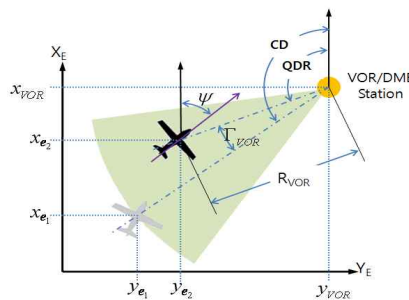
Fig. 2. Autopilot Blockset

2.2 VOR/DME Blockset

VOR/DME는 전파를 이용하는 항법 시스템이지만, 프로그램 상에서는 전파의 활용이 불가능하므로 좌표 상에 각각의 지점을 데이터화 하였다. 기지국을 중심으로 전파의 도달 거리는 일정하며, Cone of Silence 내에서는 기수를 유지하도록 하였다. VOR/DME 기지국을 향하는 기체에 대해 유도 항법에 필요한 정보를 계산하는 방법은 Fig. 3을 참조하였다.



(a) Cone of Silence 모델링



(b) Geometry of VOR/DME

Fig. 3. VOR/DME 기지국 모델링

CD(Course Datum)는 항공기가 VOR/DME 전파범위에 진입하는 순간(Fig. 3 하단의 회색 항공기) 기지국과 항공기 사이에 이루는 각이다. QDR은 항공기가 VOR/DME 전파범위 내에서 비행하는 동안 항공기와 기지국 사이에 이루는 각을 나타낸다.

$$A_i = \tan^{-1} \left(\frac{y_{e_i} - y_{VOR}}{x_{e_i} - x_{VOR}} \right) \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

여기서 하첨자 e 는 항공기의 좌표, 하첨자 VOR 은 VOR/DME 기지국의 좌표, A_1 은 CD, A_2 는 QDR을 의미한다.

$$\Gamma_{VOR} = CD - QDR \quad (2)$$

수식 (2)는 Γ_{VOR} 계산식이며, Γ_{VOR} 이 0이 된다는 것은 항공기가 VOR/DME 전파범위에 진입하는 순간 설정된 기지국으로 향할 수 있는 경로를 따라 이동함을 의미한다. 결국 Autopilot Blockset은 Γ_{VOR} 이 0이 될 수 있도록 항공기의 비행 방향을 변화시키는 역할을 수행하게 된다.

$$R_{VOR} = \sqrt{(x_e - x_{VOR})^2 + (y_e - y_{VOR})^2} \quad (3)$$

DME가 제공하게 되는 항공기와 기지국 사이의 거리는 R_{VOR} 로 표시하였으며, 수식 (3)을 통하여 계산된다.

$$\zeta \equiv \tan^{-1} \left(\frac{H - H_{VOR}}{R_{VOR}} \right) \quad (4)$$

VOR 기지국을 중심으로 지면과 항공기가 이루는 각을 ζ 로 정의한다. 본 시뮬레이터에서는 Cone of Silence의 크기를 그림 3과 같이 50°로 설정했으므로, ζ 크기가 40° 이상이 되면 VOR의 Cone of silence 범위에 진입하게 됨을 의미한다.

Range-flag는 항공기가 특정 VOR/DME 전파 범위에 들어왔는지 여부를 나타낸다. 항공기가 VOR/DME 전파범위 밖에 있을 때를 True로, 전파범위 내에 있을 때는 False로 지시한다. Range-flag가 True에서 False로 변하는 시점이 VOR/DME 전파가 수신 되는 순간이므로 이때의 항공기와 VOR지점간의 각도를 계산하여 CD 값을 얻을 수 있게 하였다.

고도 및 지형에 따라 차이가 있지만 실제 VOR의 경우 고도 6000ft에서의 최대 전파 도달 거리가 반경 약 177km에 달하게 된다. 본 시뮬레이터에서는 시뮬레이션 시간을 줄이기 위하여 VOR/DME 기지국의 전파 도달 거리를 1/20으로 축소하였다.

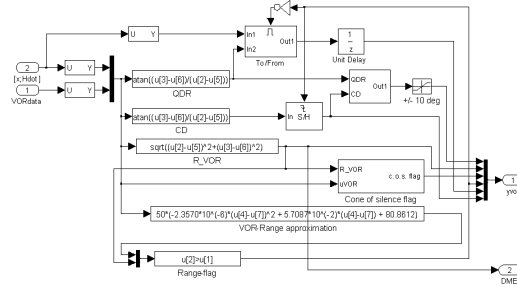


Fig. 4. VOR/DME Blockset

2.3 VOR Data Blockset

실제 항공기에서 VOR 주파수의 변경은 Change Point에서 조종사의 수동 조작에 의해 이루어진다. 본 프로그램에서는 시뮬레이션 전에 경유하고자 하는 VOR을 미리 입력하고 적절한 시기에 자동으로 기지국 변경을 한다. 이러한 역할은 VOR Data Blockset을 통하여 이루어지며, Fig. 5와 같다.

기지국의 변경은 다음 두 가지 조건중 하나를 만족시킬 때 이루어진다. 첫째는 항공기가 기지국 전파 범위의 중심선을 지나갈 때이다. 이 순간은 Cone of Silence 내에서 To 지시가 From 지시로 바뀌는 것을 통하여 알아낼 수 있다. 둘째는 항공기가 이미 한 기지국의 전파 범위 내에서 비행하고 있는 동안 다음 기지국의 전파 범위에 진입하게 되는 것이다. 이 경우에는 현재 받고 있는 전파를 송신하는 기지국을 지나지 않았더라도 새로운 전파를 송신하는 기지국으로 비행하도록 했다. 목적지까지의 비행 중 두 개의 신호가 겹칠 때 최종 목적지에 보다 근접하게 비행하도록 설계하였다.

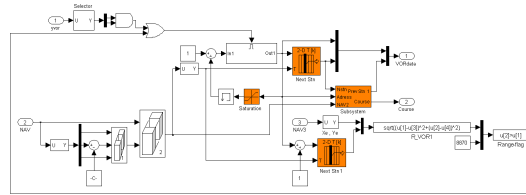


Fig. 5. VOR Data Blockset

2.4 VOR Reference Correct Blockset

항공기가 자동으로 비행하는 동안 다음과 같은 상황들을 만나게 된다.

- ① 최초의 VOR/DME 전파 범위에 진입하기 전 Heading Hold 모드로 진행하던 항공기가 VOR/DME 기지국의 레이더 범위 내로 진입

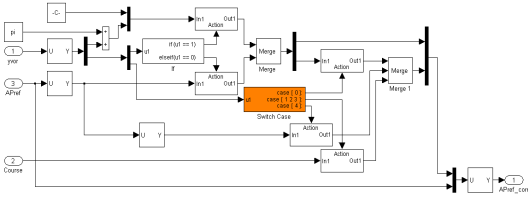


Fig. 6. VOR Reference Correct Blockset

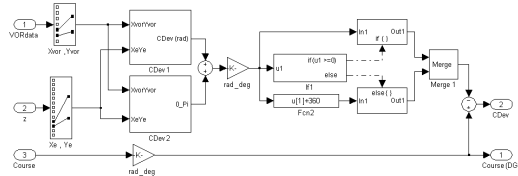


Fig. 7. HSI Blockset

- ② 항공기가 Cone of Silence 내에서 진행
 - ③ 항공기가 기존의 VOR/DME 기지국을 통과하여 다음 VOR/DME 기지국으로 진행
 - ④ 사용자가 설정한 모든 VOR/DME 기지국을 비행하여 최종 기지국을 통과한 후
- 각각의 상황에서 항공기가 원활한 자동 조종을 수행할 수 있도록 하기 위해서는 비행 상황에 따른 자동 조종 시의 기준 경로를 조정해야 한다. 이러한 역할을 Fig. 6의 VOR Reference Correct Blockset이 수행한다.

2.5 좌표 및 Course값

VOR/DME 기지국 수에 제한은 없지만 일반적으로 4~5개를 경유하며, 입·출력 창에 있는 NAV 입력 창에 실제 VOR/DME의 호출 부호를 입력하는 것으로 자동 조종경로를 설정한다.

항공기는 처음 지정된 Heading 값을 따라 비행을 하게 되고 VOR 지점 간 이동을 하게 될 때는 두 지점의 각도를 바탕으로 항로를 계획하게 된다. 이때 항공기를 유도하도록 지시하는 각도가 바로 Course이며 수식 (5)와 같이 계산할 수 있다.

$$Course = \tan^{-1} \left(\frac{y_{VOR_N} - y_{VOR_P}}{x_{VOR_N} - x_{VOR_P}} \right) \quad (5)$$

여기서 하첨자 N과 P는 각각 가고자 하는 지점과 지나온 지점을 뜻한다.

VOR data에는 VOR 기지국의 통과 순서, 가고자하는 지점과 지나쳐온 지점의 VOR좌표 값 (x, y, z)을 포함한다. 또한, VOR 지점간의 경로 각이라 할 수 있는 Course 값을 출력하게 된다. 이 데이터는 VOR/DME Blockset에 입력되어 연산을 수행한다.

2.6 HSI Blockset

Fig. 7은 HSI Blockset의 블록다이어그램이다. 항공기 비행 상태를 확인하기 위해서는 입력된 항로와 항공기간의 편차를 알 수 있어야 한다. HSI(Horizontal Situation Indicator)를 통해 입력된

항로와 항공기의 위치, 진행 방향, 거리 등을 파악할 수 있다. HSI blockset에서는 가상 HSI 출력에 필요한 데이터를 구성하는 역할을 한다.

HSI계기는 항공기 진행 방향, 목표 방향, 그리고 DME 및 CD를 지시할 수 있다. 각각의 값들은 VOR 및 Autopilot Blockset에서 계산된 값을 활용하였다. VOR좌표를 원점으로 생각 했을 때 현재 항공기의 진행 방위각을 지시하도록 프로그램을 구성하였다. 항공기 진행 방위각과 설정된 Course각과의 차이가 CD이며, 값의 차이를 계기와 연계하여 항공기의 코스 이탈 정도를 확인할 수 있게 하였다.

2.7 입·출력 화면 구성

계기를 통해서 프로그램의 구동 및 항공기 비행 상황을 파악할 수 있다. 출력 패널에 표현된 계기들로는 Airspeed Indicator, Artificial Horizon, Altimeter, Turn Coordinator, Heading Indicator, Climb- rate Indicator 그리고 VOR/DME 항법에 관련한 정보를 출력하는 HSI가 있다[6]. 입력 패널은 경유하고자 하는 VOR/DME 기지국을 입력하는 부분과 자동 조종 모드 스위치로 구성되었다.

HSI 하단의 숫자는 순차적으로 지나치게 될 VOR/DME 기지국의 번호이며, 삼각형 표시는 To/From 지시이다. 기지국과 CoS범위 접근 여부 역시 붉은색과 녹색으로 구분하여 범위 내 있을 경우 녹색으로 변경되어 상태를 알리게 된다.

III. 시뮬레이션 결과

3.1 단일 기지국을 향한 자동비행

항공기의 출발 위치를 (0, 0)으로 정하고 기수는 정남 방향을 향한 상태에서 비행을 시작하도록 설정하였다. 기지국은 (10000, 10000)에 위치시켰다. 시뮬레이터가 구동되면 항공기는 045 방향으로 진행하도록 하였다. 전체 시뮬레이션이 수행되는 동안 항공기는 고도 6000ft를 유지하도록 하였다.

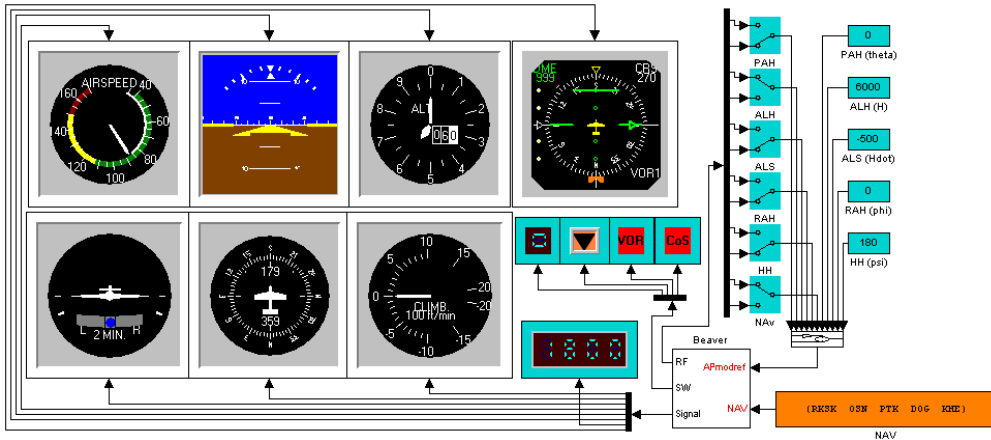


Fig. 8. 시뮬레이터 입·출력 화면 구성

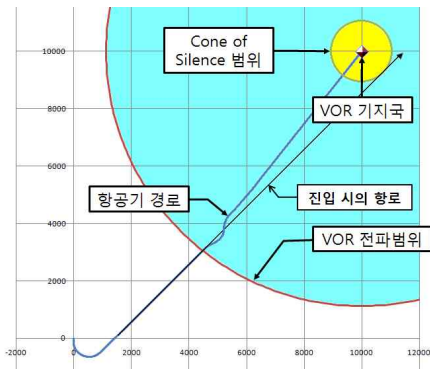


Fig. 9. 단일 기지국을 향한 자동비행 결과

Fig. 9는 시뮬레이션 결과이다. 정남 방향을 향하고 있던 항공기는 시뮬레이션이 수행됨과 동시에 045 방향으로 선회한 후 직진비행 함으로써 VOR/DME 전파 범위 밖에서 HH 모드가 정상적으로 이루어짐을 확인할 수 있다. VOR/DME 전파 범위에 들어서면 항공기가 기지국으로 진행하기 위하여 진행 방향을 조정한다. 이후 항공기는 기지국 방향으로 진행하고, CoS에서도 항공기 진행에 문제가 없는 것을 확인할 수 있다.

3.2 다수의 기지국을 경유하는 자동비행

시뮬레이션을 위하여 VOR 기지국의 위치는 항공안전본부의 항공지도를 바탕으로 구성하였으며[7], 실제거리를 1/5로 축소한 규모로 구성하였다. VOR 기지국 간 거리의 축소 비율과 VOR/DME 전파 범위의 축소비율을 다르게 함으로써 한 기지국이 다른 기지국의 전파범위 내에 들어가지 않도록 하였다. 최남단에 위치한 제

표 1. 시나리오 구성

	출발	경유1	경유2	경유3	도착
CASE 1	수색 (RKSK)	오산 (OSN)	군산 (KUZ)	광주 (KWA)	제주 (CJU)
CASE 2	수색 (RKSK)	원주 (HGS)	포항 (KPO)	김해 (KHE)	사천 (SAC)

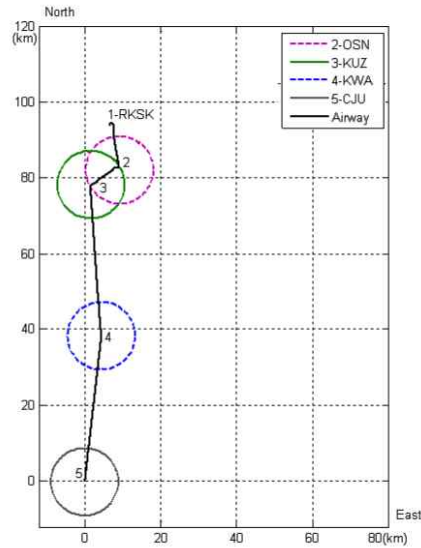


Fig. 10. CASE 1에 대한 시뮬레이션 결과

주 기지국(CJU VORTAC)을 원점으로 잡고 좌표계를 구성하였다.

시뮬레이션은 표 1과 같이 2개의 시나리오를 구성하여 수행하였다. 두 경우 모두 수색 비행장에서 출발하며, 그 이후부터 4개의 VOR 기지국을 경유하여 각각의 기지국으로 자동 비행하게

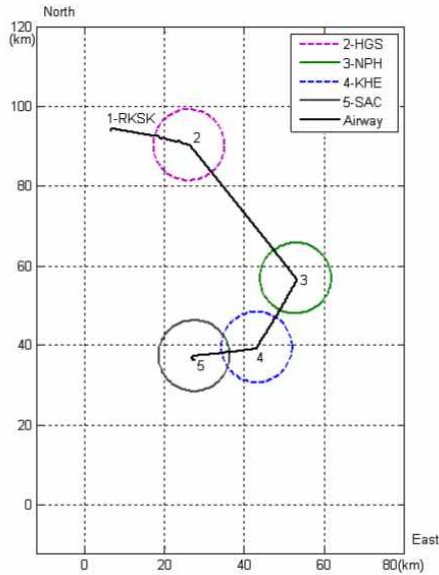


Fig. 11. CASE 2에 대한 시뮬레이션 결과

된다. 시뮬레이션을 수행하는 동안 항공기의 고도는 6000 ft를 유지하도록 하였다.

Fig. 10은 Case 1에 대한 시뮬레이션 결과이며, Fig. 11은 Case 2에 대한 시뮬레이션 결과이다. 결과그래프에서의 원은 각 기지국의 전파 도달 범위를 의미한다. 전파 범위가 겹치는 경우에도 자동 비행이 잘 수행되는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 항행지원시스템으로 널리 사용되고 있는 VOR/DME 시스템을 SIMULINK로 구현하였다. VOR/DME 시스템을 기반으로 항공기 자동 조종을 수행하는 시뮬레이터를 구현하였

다. 실제 항공기에서 사용되고 있는 비행 관련 항공 계기들과, VOR/DME 시스템과 직접적인 연관성을 가지는 HSI를 구현하여 시뮬레이션이 수행되는 동안 각종 비행 관련 정보를 실제 항공기와 동일하게 확인할 수 있도록 하였다. 설정된 시나리오에 대하여 시뮬레이터를 구동시킨 결과 자동 조종이 원활하게 수행되는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 국토해양부/항공안전본부 지원으로 수행되는 항공안전기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) 윤승중, 한경근, "항공 보안 시설과 이용", 한국항공대학교, 1999.
- 2) Len Buckwalter, "Avionics Training : Systems, Installation and Troubleshooting", Avionics Communication Inc., 2nd Ed., 2005, pp. 57~66.
- 3) <http://www.mathworks.com/>
- 4) Marc Rauw, "FDC-1.2, A SIMULINK Toolbox for Flight Dynamics and Control Analysis draft", Ver. 7, May 2005.
- 5) 이동규, 채동한, 이상철, 오화석, "SIMULINK를 이용한 소형 항공기용 자동비행시스템 시뮬레이터 구현" 한국항공운항학회, Vol. 16, No. 3, 2008, pp. 7~14.
- 6) <http://www.globalmajic.com/>
- 7) ICAO, "Enroute Chart", Dec. 2008.