

## 技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 41(4), 305-313(2013)

DOI:<http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2013.41.4.305>

## 항공관제 훈련용 항공기 및 레이더 시뮬레이션 시스템 구축

오혜주, 조상욱, 최기영\*

## Development of Aircraft and Radar Simulation for Air Traffic Control Training System

Hye-Ju Oh, Sang-Ook Cho and Keeyoung Choi\*

Department of Aerospace Engineering, Inha University.

## ABSTRACT

This paper presents a simulation system for air traffic control (ATC) training. The structure of the ATC is analyzed to define simulation components to be developed. Requirements that must be satisfied by a training simulator are also identified. The results were reflected in the design of the simulator. The training simulator is composed of three modules same as in real life : air traffic controller, aircraft, radar. Each developed module performs the strict unit tests and combine test based on the scalability, ease, real-time, the operating range of the algorithm derived from the requirements. The simulation system can be connected to an actual ATC, and used to validate the ATC system. At peak load, 1200 aircraft and 30 radars can be operated simultaneously.

## 초 록

본 논문에서는 항공관제사의 훈련을 위한 시뮬레이터를 개발하였다. 이를 위해 항공관제 시스템의 구성을 분석하여 훈련용 시뮬레이터가 만족해야 할 요구조건을 도출하였으며, 그 결과는 시뮬레이터 설계에 반영되었다. 훈련용 시뮬레이터는 조종사 인터페이스, 항공기, 레이더의 세 가지 모듈로 구성되어 있으며, 각 모듈들은 요구사항에서 도출된 알고리즘의 확장성, 편의성, 실시간성, 운용범위 등을 기준으로 엄격한 단위시험과 통합시험을 수행하였다. 최종적으로 개발된 시뮬레이터는 관제사가 항공기 관제를 위해 운용하는 관제시스템과 연동이 가능하며, 관제사의 요구에 따라 항공기 500대와 레이더 30대를 운용할 수 있으며, 확장성을 위해 최대 1200대 항공기를 운용할 수 있도록 설계되었다.

**Key Words** : Air Traffic Control(항공관제), Modeling and Simulation(모델링 및 시뮬레이션)

## 1. 서 론

항공 운송 수요가 증가함에 따라 수많은 항공기를 어떻게 관리할 것인가에 대한 효율적 항공

관제에 대한 관심이 높아지고 있다. 국내의 우수한 IT 기술을 바탕으로 관제시스템을 이루는 개별 모듈들에 대해서는 기술개발이 충분히 진행되었으나, 이를 통합할 수준까지는 이르지 못했다.

† Received: January 14, 2013 Accepted: March 31, 2013

\* Corresponding author, E-mail : kchoi@inha.ac.kr

<http://journal.ksas.or.kr/>

pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871

그러므로 국내에서 운용되는 거의 모든 관제 시스템 및 훈련체계들은 해외 업체에 의존하고 있다<sup>(1)</sup>.

따라서 국내기술을 이용하여 노후된 관제 시스템 및 훈련체계를 대체하려는 연구가 진행되고 있다<sup>(2)(3)</sup>. 특히 외국에서 도입되어 현재 운용중인 훈련체계는 실제 운용중인 항공기 및 레이더의 특성을 반영하지 못할 뿐만 아니라 차세대 항공 감시 운용체계인 ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast, ADS)<sup>(4)</sup> 등의 최신 관제기술들을 적용할 수 없어 항공 관제사의 훈련에 높은 교육효과를 기대할 수 없는 실정이다.

본 연구에서는 최신의 관제기술과 국내의 관제환경 그리고 추후 확장성을 고려하여 관제훈련용 시뮬레이터를 개발하였다. 개발된 훈련 시뮬레이터는 최신의 항공규약 및 항로정보를 적용하였으며<sup>(10)</sup>, 국내에 있는 각 공항 및 레이더 기지들의 특성을 반영하였다. 또한 계속해서 증가중인 항공 운송량을 고려하여 최대 1200대의 항공기와 30대의 레이더를 실시간으로 운용할 수 있도록 관제훈련 시뮬레이터를 설계하였다.

본 논문에서는 시스템 구성을 분석하여 훈련용 시뮬레이터가 만족해야 할 요구조건을 도출하였으며, 이를 기반으로 시뮬레이터를 설계하였다. 설계된 개별 구성 요소에 대해 설명하고, 앞서 도출한 요구조건을 기준으로 검증 결과를 제시하였다.

## II. 본 론

### 2.1 항공관제 시스템

#### 2.1.1 시스템 기술현황 분석

항공관제 시스템의 기술개발의 필요성이 증가함에 따라 국내외의 많은 연구소와 교육기관, 기업체에서 활발한 연구가 진행되고 있다.

그러나 그 중 항공관제 기술과 관련되어 국내 연구 개발 사례로는 항공관제 시뮬레이션이 유일하며, 현재 국내에서 운용 중인 항공관제시스템은 전량 해외에서 직도입하였다. 국내 항공관제 시뮬레이터 개발 사례는 순수 훈련용 시뮬레이터이거나, 특정 목적용 연구 시뮬레이션이었으며, 실제 운용 목적의 항공관제시스템과의 상호 운용성 및 연관성은 없다<sup>(6)</sup>.

미국의 ADACEL에서 제작된 항공관제 시뮬레이터는 수학적 모델링을 통하여 항공기와 레이더를 구현하였고, 시나리오 생성과 항공기의 움직임 등 다양한 부분을 자동화 하였다. 또한 관제

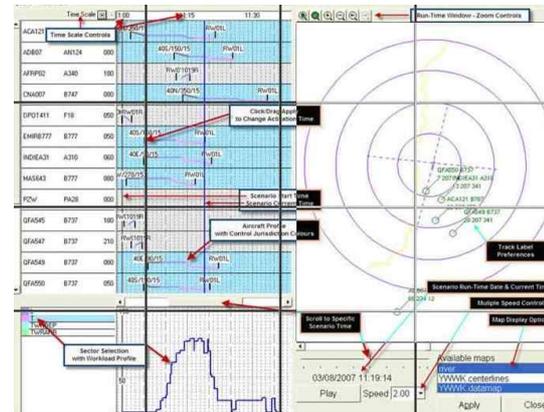


Fig. 1. ADACEL's ATC Display

장비와 연동이 가능하며, 민항기뿐만 아니라 군용기의 조종사 훈련을 위한 시뮬레이션 환경까지 구성되어 있다<sup>(6)</sup>. Fig. 1은 ADACEL사의 항공관제 시나리오 제작 화면이다. 좌측은 시나리오 제작이고, 우측은 레이더 화면이다.

슬로바키아의 ALES에서 제작된 항공관제 시뮬레이터 역시 항공기와 레이더를 모델링 하였고, 이를 통하여 실제 운용중인 관제 시스템과 연동하였다<sup>(7)</sup>.

#### 2.1.2 시스템 구성

항공관제 시스템은 항공관제용 통합정보처리 시스템의 일부로서 사용자 요구조건에 의해 현재 구축 중인 한국형 관제시스템의 다른 장비들과 함께 운영될 수 있어야 한다<sup>(8)</sup>. Fig. 2는 이를 반영한 항공관제 시스템의 구성도이다. 가운데 점선으로 표시한 블록이 훈련용 시뮬레이터이며, 이외의 모듈들은 구축 중인 관제시스템의 다른 장비들이다. 항공관제 구성도에서 볼 수 있듯이 항공관제사는 실제 관제상황과 동일하게 관제 UI(User Interface)를 통해 현재의 비행 상황을 확인하고, 음성을 통해 조종사에게 지시를 전달한다. 조종사는 관제사의 지시에 따르기 위해 조종사 UI를 조작함으로써 시뮬레이터 내부의 항공기를 조종한다. 이때 1명의 시뮬레이터 조종사는 일반적으로 최대 30대의 항공기를 조종하며, 이를 원활하게 운용하기 위해 각 항공기들은 Autopilot 및 Guidance 기능을 수행하는 제어기를 포함하고 있다. 또한 조종사 UI는 항공기 제어기능 외에 현재 시뮬레이터에서 운용중인 모든 항공기의 비행 상태를 조종사에게 보여주는 기능도 수행한다.

가상의 항공기들은 내부의 제어기 및 동역학 연산을 수행하여 조종사 UI로부터 받은 명령을 추종하며, 그 결과를 조종사 UI와 레이더에게 전송한다.



레이더 모델은 관제 시스템 뿐 아니라 차세대 관제장비와도 연동이 되어야 한다. 따라서 실제 레이더의 운용 방식과 유사한 가상의 레이더 탐지 알고리즘을 구현해야 하며, 관제 시스템과의 통신 규약에 맞춰 전송해야 한다.

• 편의성

관제훈련 상황에서는 한 명의 조종사가 다수의 항공기를 조종해야 한다. 따라서 항공기 모델은 자동비행이 가능해야하며 최신 관제규약 및 항로정보를 반영할 수 있어야 한다.

2.2 항공관제 훈련용 시스템

2.2.1 시스템 설계

항공관제 훈련용 시스템은 앞서 기술한 항공관제 시스템 구성과 요구조건을 만족하도록 설계되었다. 관제훈련 시뮬레이터의 각 모듈은 요구된 모델 충실도를 반영하여 알고리즘을 구성하였다. 알고리즘의 복잡성은 연산량과 관련되며, 이는 앞서 운용 범위의 요구조건을 고려해야 한다. 따라서 모든 모듈을 독립적인 프로그램으로 구현해야 하며 통신을 통해 인터페이스가 구현되어야 한다. 독립적인 프로그램 구현은 각 모듈의 알고리즘 변환을 용이하게 하며, 향후 알고리즘 연산량과 운용 범위 증가 요구 시 필요에 따라 추가 PC 증설을 가능하게 한다. 추가 PC 증설은 각 모듈의 연산량에 의해 좌우되므로, 모델의 충실도와 연산 주기가 중요하다. 가장 많은 연산을 차지하는 항공기 모델은 요구조건에 의해 선택된 알고리즘의 반응 주파수 특성을 분석한 결과 최소 5Hz의 연산주기가 요구된다. 따라서 안정적인 시뮬레이션을 위해 연산주기를 10Hz로 설정하였다. 그리고 항공기 모델에서 10Hz의 주기로 연산된 항공기 정보를 전송한다. 이때, 통신 허브가 10Hz의 통신량을 허용하는지 확인하기 위해 Table 2의 환경에서 1초 동안 허브에서 수용할 수 있는 항공기의 수를 산출하였다.

1초에 한 대의 항공기를 전송하는 Packet 양

$$: 1,200bit \times 10Hz = 12,000bit$$

허브에서 1초에 수용할 수 있는 항공기 수

$$: \frac{500 \times 10^6}{12,000} = 41,666대$$

위의 수치적인 결과에 의해 항공기 1200대를 수용할 수 있다고 판단한다.

통신 라인은 최대 통신양에 의한 하드웨어 한계를 고려하여 Asterix와 SIMBus 두 개의 라인으로 구성한다. SIMBus는 항공관제 훈련용 시스템

Table 2. Communication Environment Set

항목	사양
Packet Size	150byte (1,200bit)
Hub	1Gbps (외부 환경에 의한 요인 및 다른 통신을 고려하여 안정적으로 50%만 항공기 통신에 사용될 수 있다고 가정)
Period	10Hz

내부 통신을 위한 라인으로 UDP 통신을 한다. 앞서 산출한 항공기 정보 전송 허브가 SIMBus에 해당한다. Asterix는 실제 항공관제 시스템과 차세대 관제장비와의 연동을 위한 통신 라인이다<sup>9)</sup>. 따라서 레이더 모듈에서 전송되는 정보는 Asterix라인에 해당한다. 레이더 모듈의 경우 뒤의 2.2.4 레이더 모듈에서 기술한 테이블 형식에 의해 빠른 주기에 1200대 항공기를 한꺼번에 전송해야 할 경우가 발생할 수 있다. 그러나 요구조건에 의해 실시간을 유지할 수 있는 만큼만 전송하면 되므로 이는 통신 허브 수용량에 고려되지 않는다.

모든 데이터는 Broadcast 방식을 사용하여 전송한다. 따라서 필요할 경우 두 라인을 사용하여 필요한 데이터를 사용할 수 있다.

앞서 기술한 실시간성 요구조건에 따라 훈련사는 일정 시간마다 훈련용 시뮬레이터 내의 모든 모듈이 시간 동기화를 할 수 있도록 공용 시간을 SIMBus에 전송한다. 공용 시간을 전송 받은 모듈은 연산량과 PC의 특성, 외부 환경 요인에 의하여 타이머들을 모두 동일한 시점에 동기화 하게 된다. Fig. 3은 앞서 기술한 사항을 적용한 항공관제 훈련용 시뮬레이션의 구성도이다.

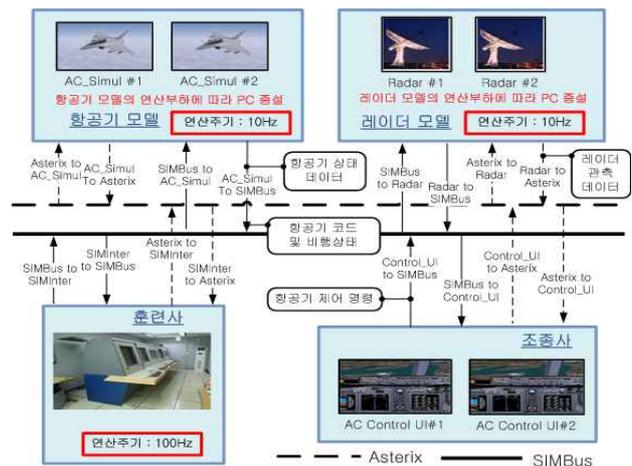


Fig. 3. ATC Training Design Drawing

### 2.2.2 조종사 인터페이스 모듈

항공관제 훈련용 시뮬레이션 시스템에서 조종사 인터페이스 모듈의 역할은 크게 항공기 상태 정보 표시와 제어로 나눌 수 있다.

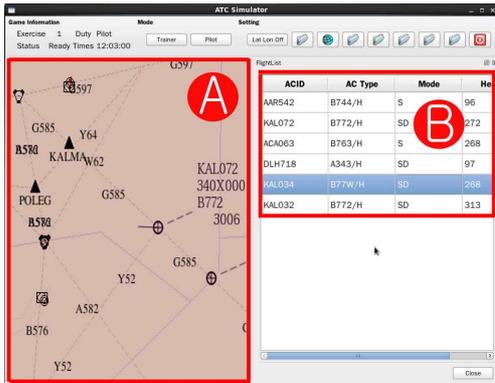


Fig. 4. Pilot Interface UI

Table 3. ATC Command

Mode	설명
DME	한 점으로부터 일정 방위각으로 일정 거리만큼 떨어진 지점에서의 경로
VOR	한 점의 일정 방위각 방향으로 직선을 그었을 때, 들어가거나 나갈 때 만나는 지점에서의 경로
Departure	활주로 정보를 통해 항공기가 이륙하는 경로
ILS	활주로 정보를 통해 항공기가 착륙하는 경로
Parallel	정해진 경로에서 일정 거리만큼 떨어져 평행하게 이동하는 경로
Autopilot	고도, 속도, 방위각의 명령을 따라 진행하는 경로

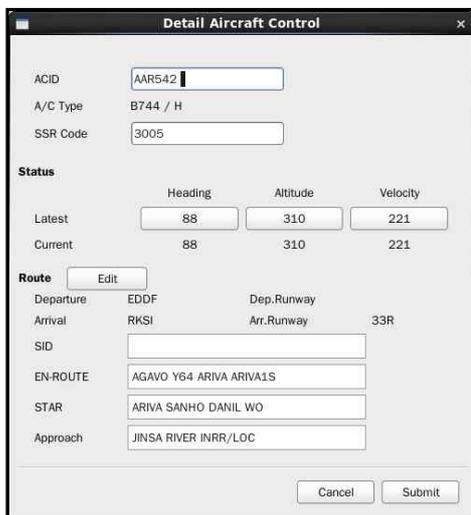


Fig. 5. Control Command UI

- 항공기 상태 정보 표시  
항공기 상태 정보를 UI에 표시하여 조종사가 UI를 통해 항공기 상태를 파악할 수 있도록 한다. Fig. 4의 A는 관제화면과 동일한 화면의 지도UI로 항공기 call sign과 상태정보를 볼 수 있다. B는 운항중인 항공기 목록이다.

- 항공기 제어  
앞서 기술한 편의성 요구조건에 의해 조종사는 항공기에게 UI를 사용하여 조종 명령을 전송한다. 항공기 상태 정보 UI에서 항공기를 선택하면 관제사들이 주로 사용하는 명령 모드 목록이 생성된다. Table 3은 명령 목록에 대한 설명이다. Fig. 5는 명령 모드 중 하나를 선택하였을 때 생성되는 명령 전송 UI의 일부이다.

Autopilot 명령을 제외한 나머지 명령들은 항공기 내부의 유도 알고리즘 제어기에서 수행할 수 있도록 경로로 변환되어 전송된다. 또한, 최신 관제 규약 및 항로정보를 반영하기 위해 AIP(Aeronautical Information Publication)<sup>(10)</sup>문서를 기초로 데이터베이스를 구축하였다. 따라서 관제 규약 및 항로정보 변경 시 이전 시뮬레이터는 이를 매번 직접 입력하여 적용하였는데, 본 연구에서 개발된 시뮬레이터는 데이터베이스 변경만으로 적용이 가능하다.

### 2.2.3 항공기 모듈

항공기 모듈은 훈련 시작 시 훈련사로부터 항공기 정보와 훈련 시나리오를 입력받게 되고, 훈련 상황 중 조종사로부터 변경된 조종 명령을 전송받는다. 항공기 모듈은 해당 항공기 동특성을 반영하여 입력받은 명령을 수행하며, ADS-B 기능을 위해 주기적으로 Asterix 라인으로 항공기 정보를 전송한다.

- 항공기 동특성 모사  
훈련 시뮬레이터의 모델 충실도 요구조건에 의하면 항공기 자세를 표현할 수 있어야 하므로 단순 질점 이동으로는 동특성을 모사할 수 없다. 따라서 단순화된 저 충실도 운동 모델 중 5자유도 운동 모델을 사용하여 연산 부하를 최소화 하였다<sup>(11)</sup>. 5자유도 운동 모델은 받음각( $\alpha$ ), 롤각( $\mu$ ), 방위각( $\chi$ ), 속도( $V$ ), 비행 경로각( $\gamma$ ) 으로 상태를 나타내며, 운동 방정식은 수식 1 ~ 수식 5와 같이 구성된다. 여기서  $\zeta_\alpha$ 는 받음각에 대한 감쇠비이고,  $\omega_{n_\alpha}$ 는 받음각에 대한 고유진동수,  $\tau_\phi$ 는 롤에 대한 시정수이다.  $L$ 은 양력,  $T$ 는 추력,  $D$ 는 항력이다.

$$\ddot{\alpha} + 2\zeta_{\alpha}\omega_{n_{\alpha}}\dot{\alpha} + \omega_{n_{\alpha}}^2\alpha = \omega_{n_{\alpha}}^2\alpha_{cmd}, \quad |\alpha| \leq \alpha_{max} \quad (1)$$

$$\dot{\mu} = \frac{(\mu_{cmd} - \mu)}{\tau_{\phi}} \quad (2)$$

$$\dot{\chi} = \frac{(L + T\sin\alpha)\sin\mu}{mV\cos\gamma} \quad (3)$$

$$\dot{V} = \frac{T\cos\alpha - D}{m} - g\sin\gamma \quad (4)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{(L + T\sin\alpha)\cos\mu}{mV} - \frac{g}{V}\cos\gamma \quad (5)$$

• 조종 명령 수행

항공기 모델은 조종명령을 입력 받아 Autopilot 및 Guidance 알고리즘을 사용하여 명령을 수행한다.

- Autopilot 모드 : 현재 고도, 속도, 방위각 등의 상태정보로부터 명령으로 들어온 고도, 속도, 방위각의 차이를 계산하여 명령을 추종한다.

- Guidance 모드 : 현재 상태에서부터 다음 진행해야 할 Waypoint와의 차이를 계산하여 고도, 속도, 방위각의 명령을 추종한다.

2.2.4 레이더 모듈

레이더 모듈은 훈련 시작 시 훈련사로부터 레이더 위치, 회전 속도, 장착각도 등의 초기 설정 정보를 입력받게 되고, 훈련이 시작되면 항공기 모듈로부터 항공기 정보를 입력받는다.

레이더는 자신의 위치를 기준으로 하여, 항공기의 거리 및 방향을 계산한다. 이를 위해 수식 6에서 위도, 경도, 고도 정보를 지구중심 상대좌표계인 ECEF 좌표계로 변환한다. 위첨자 e는 ECEF 좌표계에서의 값을 의미하며, 아래첨자 R 과 AC는 각각 레이더와 항공기를 의미한다.

$$\mathbf{p}_R^e = \begin{bmatrix} (R+h_R)\cos\phi_R\cos l_R \\ (R+h_R)\cos\phi_R\sin l_R \\ (R+h_R)\sin\phi_R \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{p}_{AC}^e = \begin{bmatrix} (R+h_{AC})\cos\phi_{AC}\cos l_{AC} \\ (R+h_{AC})\cos\phi_{AC}\sin l_{AC} \\ (R+h_{AC})\sin\phi_{AC} \end{bmatrix} \quad (7)$$

R: 지구반경,  $\phi$ : 위도, l: 경도, h: 고도

따라서 레이더에서 보는 항공기의 상대좌표는 수식 8과 같다.

$$\begin{bmatrix} N \\ E \\ D \end{bmatrix} = C_{n/e}\Delta\mathbf{p}^e = C_{n/e}(\mathbf{p}_{AC}^e - \mathbf{p}_R^e) \quad (8)$$

여기서  $C_{n/e}$ 는 ECEF좌표계에서 레이더를 기준으로 한 NED frame으로의 변환행렬로 수식 9와 같다.

$$C_{n/e} = \begin{bmatrix} -\sin\phi\cos l & -\sin\phi\sin l & \cos\phi \\ -\sin l & \cos l & 0 \\ -\cos\phi\cos l & -\cos\phi\sin l & -\sin\phi \end{bmatrix}_R \quad (9)$$

레이더에서 바라보는 거리, 방위각, 고도각은 수식 10과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{N^2 + E^2 + D^2} \\ azimuth &= \tan^{-1}\left(\frac{E}{N}\right) \\ elevation &= \sin^{-1}\left(\frac{-D}{R}\right) \end{aligned} \quad (10)$$

레이더는 요구조건에 의해 관제 데이터 모듈과 연동해야 한다. 따라서 예측한 항공기 정보와 섹터 메시지를 정확한 시점에 전송 한다<sup>(7)</sup>. 또한 관제 시스템과 통신 규약을 동일하게 하여 Asterix 라인을 통해 전송한다. 전송 시점이 정확히 지켜지지 못할 경우 관제장비에서 오차가 발생한다.

레이더 모듈은 실시간 전송을 하여야 하므로 데이터 처리의 효율을 고려하여 인덱스와 테이블을 사용한다. 훈련을 시작하기 전에 레이더 모듈 타이머 주기와 레이더의 회전 속도를 고려하여 테이블을 생성한다. 항공기 정보 수신 시 레이더로부터 항공기가 탐지되는 예측시간과 방위각을 구해 해당 테이블에 방위각 순서대로 정렬하여 항공기 인덱스를 넣는다. Table 4는 이에 대한 예시이다. 테이블이 0.5도씩 나뉘어 구성될 경우, 8번 항공기(AC\_8)은 방위각이 0.3° 이므로 1번 테이블에 포함되고, 66번 항공기(AC\_66)은 방위각이 359.95° 이므로 720번 테이블에 포함된다. 처리 및 전송모듈은 주기마다 예측 방위각을 구하지 않고 해당 테이블에 있는 인덱스를 찾아 바로 전송한다. 전송해야하는 데이터양이 많을 경

Table 4. Result of Mode Converter

테이블	각도 (0.5도씩)	항공기 인덱스(방위각)
1	0° ~ 0.5°	AC_8(0.3°), AC_1(0.45°)
2	0.5° ~ 1.0°	AC_57(0.85°)
3	1.0° ~ 1.5°	AC_9(1.35°), AC_4(1.4°)
⋮	⋮	⋮
720	359.5° ~ 360°	AC_66(359.95°)

우 항공기 정보의 전송 정확도 보다 섹터 메시지의 전송 정확도가 더 우선시 된다. 또한 항공기가 한쪽 방향으로 군집되어 있을 경우 전송양이 많아 계속해서 전송이 지연될 수 있다. 따라서 많은 항공기 정보를 전송해야 할 경우 실제 레이더 운용방식과 동일하게 지연되기 전까지 저장된 방위각 순서대로 전송하고 나머지 항공기는 전송하지 않는다. 이는 레이더로부터 전송받은 데이터를 처리하는 개발 중인 항공관제 시스템 장비의 요구조건이다.

## 2.3 검증

### 2.3.1 단위 시험

조종사 인터페이스 모듈과 항공기 모듈, 레이더 모듈에 대하여 단위 시험을 하였다. 이를 통해 항공관제 훈련 시뮬레이터 요구조건의 모델 충실도와 편의성을 검증할 수 있다.

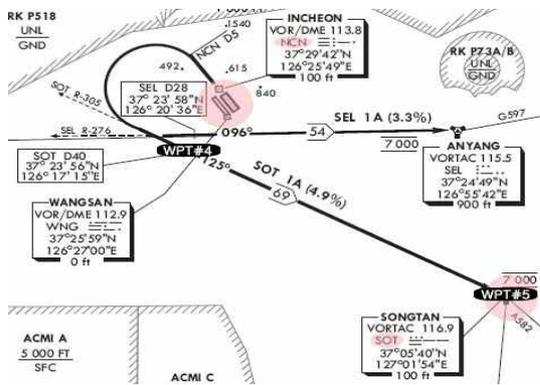


Fig. 6. RCSI AIP

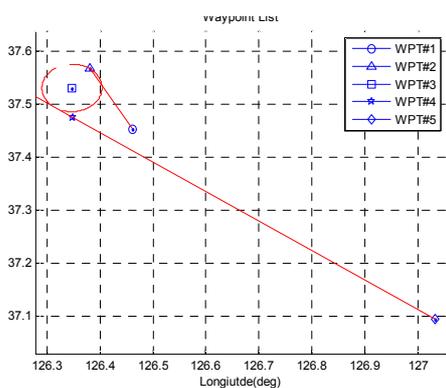


Fig. 7. Result of Mode Converter (AIP)

Table 5. Result of Mode Converter

	목표치	결과	오차
거리(m)	18,520	18,512.166	7.834
각도(deg)	305	305.034	0.034

- 조종사 인터페이스 모듈

Figure 6는 인천공항 관제 AIP 일부이다. NCN 지점에서 출발하여 굽은 선을 따라 최종 SOT 지점으로 가는 경로를 나타낸다. Fig. 7은 Fig. 6의 AIP 경로를 모두 Waypoint 목록으로 연산한 결과이다. Table 5는 AIP 경로와 연산된 경로의 최대 오차이며 이 구간은 경로점 4번과 경로점 5번 사이이다. 본 과제의 요구사항에서 경로점 비행시 위치 오차 범위에 대한 언급은 없었지만 착륙 단계에서 활주로 위에 있어야 한다는 요구사항이 존재하였다. 따라서 일반적인 활주로의 너비가 20~30m 임을 고려하면 단위시험에서의 위치오차 7m는 앞의 요구사항을 충족한다.

- 항공기 모듈

Figure 8은 조종사 인터페이스 모듈로부터 받은 명령을 시뮬레이션 한 결과이다. +로 표시된 선은 초기위치와 경로점 위치를 나타내며, 실선은 항공기의 이동 경로를 나타낸다. 고도와 속도 제어는 항공관제의 목적에 맞춰 명령을 과도하게 주지 않기 위해 셰이핑 필터를 사용하여 명령 제한을 두었다. Fig. 9의 상위 좌측 그래프는 속도를 나타내며 우측은 속도 명령에 대한 오차이다. 하위 좌측은 고도를 나타내며 우측은 고도 명령에 대한 오차이다. Fig. 10은 예측되는 경로점과 항공기 이동 경로의 오차이다. 1번 경로점에서 2번 경로점으로 접근하면서 오차가 줄어들고, 3번 경로점을 중심으로 일정 반경을 가지고 회전을 하면서 오차가 줄어든다. 3번 경로점을 만족하고 4번 경로점을 지나 5번 경로점으로 근접하면서 오차가 줄어든다. 앞서 언급한 활주로의 너비를 고려하여 오차 범위 내에서 경로 추정을 하고 있음을 확인할 수 있다.

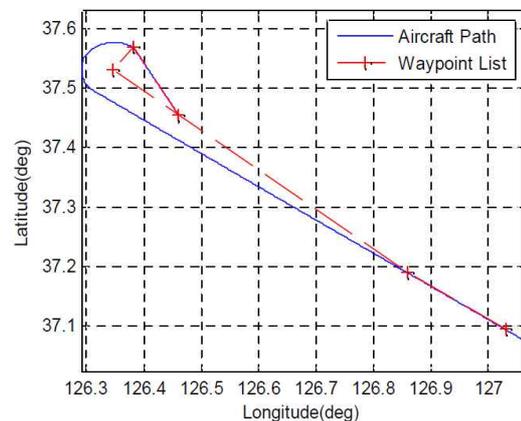


Fig. 8. Result of Aircraft Model Simulation (Position)

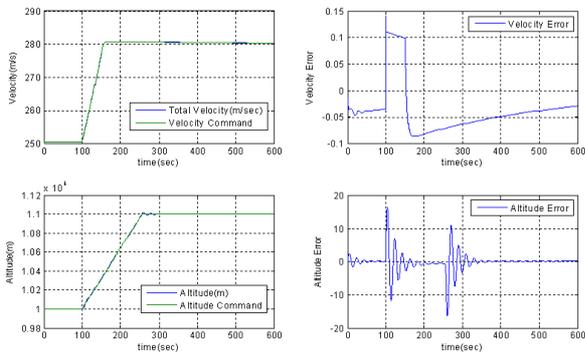


Fig. 9. Result of Aircraft Model Simulation (Velocity, Altitude)

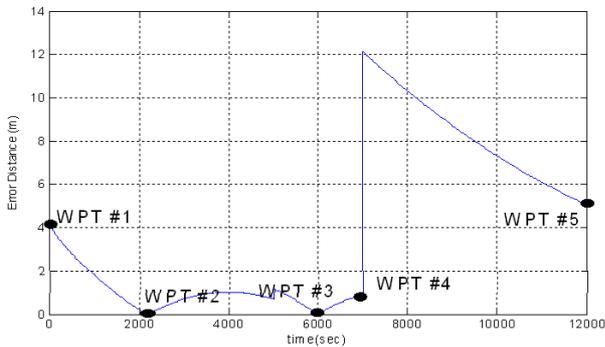


Fig. 10. Result of Aircraft Model Simulation (Distance Error)

• 레이더 모듈

항공기 모듈에서 시뮬레이션 한 항공기를 레이더 3대가 추적하는 시뮬레이션을 하였으며 Fig. 11의 왼쪽 상위 그래프는 레이더 3대의 고정 위치로부터 항공기가 이동하는 경로를 표현하였다. 상위 우측 그래프 레이더 #1번에서, 하위 좌측 그래프는 레이더 #2번, 하위 우측 그래프는 레이더 #3번을 예측한 결과이다. Fig. 12은 각 레이더의 예측된 결과와 실제 항공기의 위치와의 거리 차이를 구해본 결과이다. 공항 접근용 레이더의 경우 60NM의 탐지거리를 가지며, 거리탐지 오차는 탐지거리의  $\pm 3\%$ 이내이어야 한다<sup>(13)</sup>. Radar로부터 항공기의 위치가 최대 90NM의 거리에서도 최대 오차가 900m 이내이므로 수용 가능한 오차범위 내에서 각 레이더로부터 항공기의 상대 위치와 방위각이 일치함을 확인할 수 있다.

2.3.2 통합 시험

단위 시험을 통해 검증된 조종사 인터페이스 모듈, 항공기 모듈, 레이더 모듈과 실제 레이더 장비를 연동하여 통합 시험을 하였다. 이를 통해 항공관제 훈련 시뮬레이터 요구조건의 운용범위와 실시간성, 통신 인터페이스를 확인할 수 있다.

운용범위 및 실시간성 요구조건에 의해 항공기 1200대와 레이더 30대 운용이 가능한 설계가

되어있으나, 실제 운용이 항공기 최대 500대 이므로 통합 시험은 항공기 600대와 레이더 30대 운용 시험을 하였다. Fig. 13은 항공기 600대와 레이더 30대 운용에 대한 연산 및 전송 시간이다. 항공기 모델은 0.1sec 이내, 레이더 모델은 0.01sec 이내로 수행함을 확인하였다.

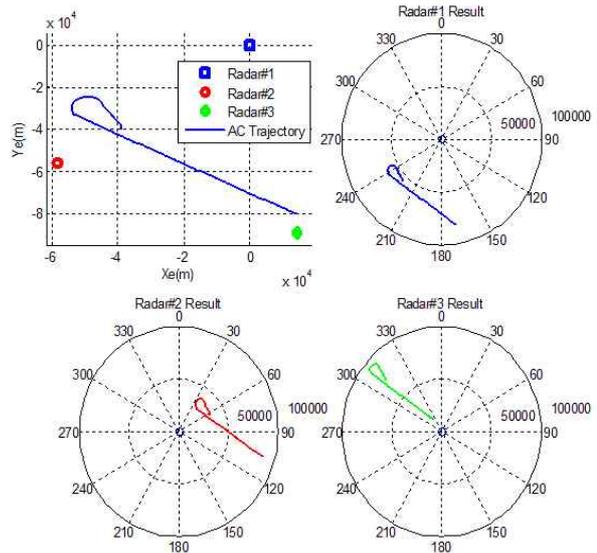


Fig. 11. Result of Radar Model Simulation

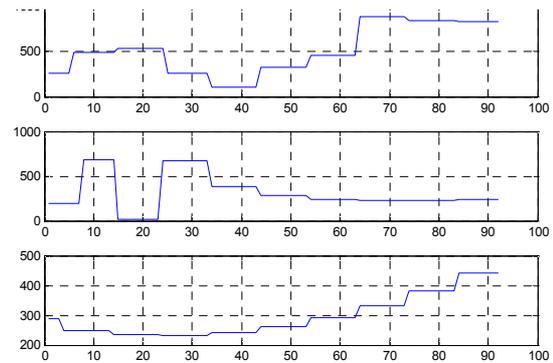


Fig. 12. Result of Radar Model Simulation (Distance Error)

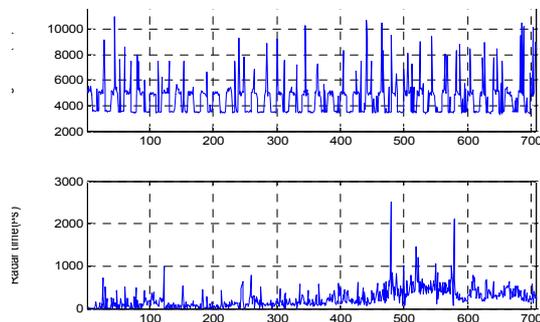


Fig. 13. Test Result of Operating Range and Real-Time

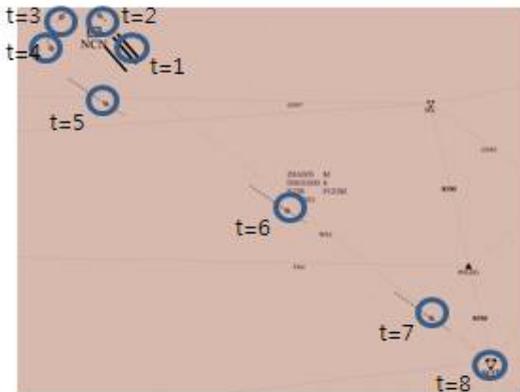


Fig. 14. Combine Test Screen

Figure 14는 Fig. 6의 AIP 문서를 참고하여 조종사가 전송한 명령을 조종사 인터페이스 모듈, 항공기 모듈, 레이더 모듈을 통해 최종적으로 레이더 장비에서 연산되어진 관제 화면이다. 항공기 모델에서 출력하는 항공기 경로와 관제 화면에서의 항공기 경로가 일치하며 진행된다. 이를 통해, 레이더 모듈과 레이더 장비와의 인터페이스가 시간지연과 연산 오차 없이 진행됨을 확인하였다.

### III. 결 론

본 논문에서는 항공관제 훈련용 시뮬레이션 구성과 이에 따른 요구조건을 정의하였다. 그리고 이 요구조건을 만족하기 위한 항공관제 훈련용 시스템을 설계하고, 설계된 조종사 인터페이스 모듈과 항공기 모듈, 레이더 모듈의 역할과 알고리즘에 대해 기술하였다. 이후 이를 구현하여 단위검증을 통해 신뢰성을 확인할 수 있었다.

시뮬레이터 시스템은 알고리즘 변환이 용이하도록 개발되었다. 모든 시스템의 구조는 독립적으로 되어 있어 각 알고리즘의 입출력 인터페이스만 맞춰주면 어떤 알고리즘으로도 대체 가능하다. 이를 활용하여 새로운 알고리즘을 개발하였을 경우 그에 대한 검증 용도로도 사용될 수 있다. 특히 레이더 모듈은 실제 레이더 장비들과 연동할 수 있도록 구조를 설계해 놓았기 때문에 정확한 검증이 될 수 있다는 것이 큰 장점이다.

현재까지 모든 시뮬레이션 시스템 구성 프로그램은 한 대의 서버 컴퓨터에서 운용 되었다. 하지만 요구조건에 따라 향후 PC를 증설하여 운용 해보고, 최대 패킷 내에서 항공기와 레이더의 확장 가능 양을 연구할 예정이다.

### 후 기

본 논문은 국토해양부 항공선진화사업의 연구비 지원(과제번호 #07 항공-항행-03)에 의해 수행되었습니다.

### References

- 1) Lee, C. H., Jung, J. H., Jeong, D. S., Park, H. D. and Choi, S. B., 2008, "System Architecture for Korean Air Traffic Control System," *The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 31, No. 1, pp. 1199~1200.
- 2) Gi-Wook Nam, Sanghyuk Lee, Inkyu Kim, Chan Hong Yum, 2000, "Development of Air Traffic Simulation Model for an Integrated Hardware-in-the-Loop Simulation System of UAV", *The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 2000. 11, pp.52~56.
- 3) Sugjoon Yoon, 1999, "A Study in the simulation of the air traffic control system", *The journal of aerospace industry*, Vol 51, pp.69~89.
- 4) <http://www.freeflightsystems.com/>
- 5) Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, 2007, A Study report for Air traffic control system developmet planning.
- 6) <http://www.adacel.com>
- 7) <http://www.ales.sk>
- 8) BNSoft, inc, 2012, *Detail Design Document of Software Maintenance System for ATC*.
- 9) <http://www.eurocontrol.int/services/asterix>
- 10) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Aviation Policy Division, 2009, *AIP(Aeronautical Information Publication)*.
- 11) Jang, S. A., 2012, "Study of Intelligent Pilot Model Based on Basic Fighter Maneuvering for Air Combat Simulation," Ph. D. Dissertation, In-ha University.
- 12) <http://www1.metacraft.com/VRC/>
- 13) Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2012, *The Installation and technical standards for Navigational safety wireless*.