

BADA를 이용한 차세대 항공관제시뮬레이터의 항공기 모델 신뢰성 검증 방안 연구

The research to verify reliability of an aircraft model for the Next Generation System
simulator by using BADA

박주성^{1*}, 오혜주¹, 최기영¹, 이학태¹
인하대학교¹

초 록

항공관제 시뮬레이터 개발을 위해, 자세제어가 가능한 항공기 운동모형을 검증하는 것이 필요하다. 시뮬레이터의 정확성과 효율성 사이의 균형을 위해 5 자유도 운동모형을 선택하였다. 문헌조사를 바탕으로 필요한 운동 매개변수와 운용 과정을 BADA로부터 추출하여 운동모형을 보완하였다. 향상된 운동모형의 시뮬레이션 결과와 상용 비행 정보제공 서비스인, Flightaware에서 제공하는 실제 비행궤적 정보를 비교하여 검증하였다. 이 후, 세부적인 검증 과정을 제시하고, 항공기 모델 인증을 위한 전용도구 개발계획을 논의하였다.

ABSTRACT

To develop air traffic control simulator, it is necessary to verify dynamic aircraft model with attitude control. A five degree-of-freedom dynamic model is chosen due to its balance between accuracy and efficiency. Based on the literature review, necessary performance parameters and operational procedures are extracted from BADA to supplement the dynamic model. The BADA enhanced dynamic model is verified by simulating an actual flight trajectory provided by a commercial flight information service, Flightaware. Detailed verification procedure is presented, and a plan to develop a dedicated tool for aircraft model validation is discussed.

Key Words : Aircraft Traffic Control(항공관제), BADA(Base of Aircraft Data), Verification(검증), Next Generation System(차세대 항행시스템), Five degree-of-freedom dynamic model(5 자유도 운동모형)

1. 서 론

최근 국토교통부의 2014년 7월 발표에 따라, 항공운송시장에서 항공 여객 부분 11.1%, 항공 화물 부분 7.4%의 전년 동월대비 증가는 항공교통량의 상승세를 의미하며, 항공관제의 중요성으로 귀결된다.

항공관제를 효과적으로 하기 위해서는 시뮬레이터의 효율적 활용이 절대적이다. 새로운 관제 기법을 고안하여 시험 및 분석하고, 수정한 기존 사안에 대하여 변경된 운용을 확인하여 변수에 대처해야 한다. 이러한 관제시뮬레이터 구현에 있어서 필수적인 항목은 적용된 항공기 운동모형의 충실도(Fidelity)이다. 현재 관제 시뮬레이터에 사용하는 대부분의 운동모형은 저충실도 모델인 3 자유도 또는 4 자유도 모델로써 연산속도와 통신데이

터의 양을 고려하였다.⁽¹⁾ 그러나 차세대 항행 시스템에 적용하기 위해서는 자세정보의 표현이 가능한 모델인 5 자유도 이상의 모델이 필수적이다.

따라서 본 논문은 차세대 항행시스템이 고려된 항공관제시뮬레이터의 항공기 모델을 자세표현이 가능한 5 자유도로 정하고, 모델의 정확성을 보완하기 위해 BADA를 활용한다. BADA는 실제 항공기 제원 및 운동특성을 포함하는 정보로써 EUROCONTROL에서 제작사 및 항공사로부터 수집한 것이다. 먼저 BADA를 활용한 기 시행된 연구들을 바탕으로 BADA 가운데 운동모형 보충을 위한 운동 매개변수 및 운용정보를 추출해 낸다. 상용 비행 정보제공 서비스인, Flightaware로부터 항공기 궤적정보를 참고하여 비행시뮬레이션 결과와 비교한다. 마지막으로 세부적인 검증 과정을 제시하고, 항공기 운동모형 인증을 위한 도구 개발 계획을 기술한다.

2. 본 론

2.1 BADA 활용 항공기 모델 연구현황

기 수행된 BADA 를 이용한 항공기 모델의 신뢰성 향상은 크게 다섯 가지 연구로 요약 할 수 있다.

- 항공기 모델 특성 반영

BADA 에서 제공하는 항공기 제원(Specification), MTOW(Maximum Take Off Weight), 공력계수, 최대 추력, 연료소모 등을 적용하고 항공기 운용 정보를 테이블화하여 사용한다.⁽²⁾

- 항공기 궤적정보 예측

수식(1)과 같이 BADA 에서 사용하는 에너지모델을 이용하여 상승률을 계산할 수 있다.

$$(Thr - D)V_{TAS} = mg_0 \frac{dh}{dt} + mV_{TAS} \frac{dV_{TAS}}{dt} \quad (1)$$

Thr : 항공기속도벡터와 평행한 추력[N]

D : 공력 항력[N]

h : 고도[m]

m : 항공기 질량[kg]

V_{TAS} : 진속도[m/s]

g_0 : 중력가속도[9.80665 m/s²]

에너지 모델을 변형하면, 수식(2)와 같이 상승률이 계산되고 수식(3)과 같이 ESP(Energy Share Factor), $f\{M\}$ 이 도출된다.

$$\frac{dh}{dt} = \left[\frac{(Thr - D)V_{TAS}}{mg_0} \right] f\{M\} \quad (2)$$

$$f\{M\} = \left[1 + \frac{V_{TAS}}{g_0} \times \frac{dV_{TAS}}{dh} \right]^{-1} \quad (3)$$

ESP 는 BADA 에서 일반적으로 제시된 값이 있다. 가속상황에서 상승 또는 하강일 때 0.3 이고 감속상황에서는 1.7 이다. 따라서 속도가 정해지면 항공기 궤적정보를 낼 수 있다.⁽³⁾⁽⁴⁾

- 항공기 운용정보수치 제한

BADA 의 항공기 운용정보에서 Flight envelope, Engine Thrust, Fuel flow 등을 활용하여, 세부 운용정보 수치의 제한을 둔다. 항법시스템 시뮬레이션 프로그램을 개발 시, 모델과 연동하는 센서장비의 값의 비정상적 값을 구분하는 기준이 된다.⁽⁵⁾⁽⁶⁾

- 항공기 모델 운동 검증

항공기 운용정보와 개발한 모델운동의 유사성을

확인한다. 미리 정한 거리를 가는데 걸리는 시뮬레이션 순항 시간과 BADA 정보로부터 얻을 수 있는 진속도(TAS, True Airspeed)로써 구한 시간을 비교할 수 있다. 또, 정한 고도에 대해 예상되는 상승 또는 하강 시간을 BADA 의 ROCD (Rate of Climb or Descent)을 이용하여 구하고 구성한 시뮬레이터의 모델운동을 통해 나온 시간을 비교하여 모델의 타당성을 검증한다.⁽⁷⁾

- 관제 시뮬레이터 5 자유도 항공기 모델 선택
대부분 관제 시뮬레이터에 사용 중인 항공기 모델은 BADA 의 에너지모델을 사용한 3 자유도 모델로, Renteux 가 제시한 항공기 모델 가운데 Class B 에 속한다.⁽⁸⁾

Table 1. Renteux Class Classification

클래스	내용
A	6 자유도 모델, 완전한 항공기 운동 모델로서 병진 및 회전운동을 3 축에서 모두 표현
B	3 자유도 모델, 질점 모델로서 병진 운동만을 표현
C	수치적 모델, 실제 힘-추력, 양력, 항력-이 고려되지 않고, 결과적인 가속도와 속도만 표현
D	고정된 모델로서 수직, 수평 속도가 고도와 항공기 기동의 함수로, 테이블화된 데이터로부터 추출되어 표현

차세대 항행을 위한 항공관제는 관제시스템뿐만 아니라 TCASⅡ(Traffic Collision Avoidance System, 충돌감시장비)와 연동 되어야 한다. 위험 범위 내 항공기 접근 시 위치를 파악하여 관제명령을 수행하는데, 항공기 자세에 따라 감지 범위가 달라질 수 있다.⁽⁹⁾ 따라서 클래스 A 의 자세표현이 가능하고, 시뮬레이터운용 속도와 통신 데이터 양을 고려한 5 자유도 운동모델을 선택한다. 이 모델은 동체 축 y 방향 병진 운동이 제외되어 옆미끄럼각(β)을 0 으로 가정한다.⁽¹⁰⁾

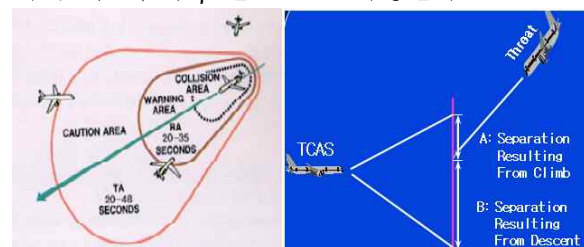


Fig. 1. TCASⅡ

2.2 BADA 이용 항공기 모델 신뢰성 향상방안 제시

앞선 연구를 바탕으로 5 자유도 항공기 모델의 신뢰성을 검증하기 위한 BADA 정보를 추출하고, 실제 운용계획 및 정보를 비교하는 도구에 관하여 논의하였다.

2.2.1 검증 활용 BADA 정보

BADA 에서 제공하는 파일 구성은 OPF, APF, PTF, PTD 이다. 검증에서 사용가능한 항목과 본 논문에서 적용할 항목은 Table 2 와 같다.

Table 2. BADA 검증 및 적용항목

과일	용도	검증항목
1	OPF	Operation, Limitation, Specification *Mass(ref., min., max.), Flight envelope(VMO, MMO, *Max. Alt, Hmax), Aerodynamics(*Surf., Clbo, Configuration characteristics), Engine Thrust,*Fuel consumption
2	APF	Limitation *Mach(climb, cruise, descent, approach), CAS(climb, cruise, descent, approach)
3	PTF	Limitation *TAS, Fuel flow, ROCD
4	PTD	Comparison Atmospheric data, Velocity, Mach, Aerodynamic forces, *Fuel flow, *ROCD, ESF

(*적용항목)

- OPF(Operations Performance Files)
항공기 기본 정보인 질량과 날개면적 등을 입력하고, 모델을 작성할 때 필요한 Aerodynamic factor 를 사용한다. Engine Thrust 와 Flight envelope 은 운동 Limitation 으로 두고, Fuel consumption 은 항공기 운용 factor 로 사용한다.
- APF(Airline Procedures Files)
항공기 무게 분류에 따라, Mach 와 속도를 항공기 운동 상태정보의 제한으로 둔다.
- PTF(Performance Table Files)
항공기 고도를 체크하여 해당 고도 내 정보를 제한으로 둔다. 항공기 상승 및 하강 속도, Fuel flow 를 제한수치로 둔다.
- PTD(Performance Table Data)
항공기의 특정한 기동정보와 비교하여 BADA 반영률을 판단한다. 예를 들어, 상승기동 중 특정 고도 사이의 ROC(Rate of Climb)에 대하여 시뮬레이션으로 구한 값과 BADA 의 값을 비교할 수 있다.



Fig. 3. Flightaware

2.2.2 Flightaware

관제시플래이더의 항공기 모델 검증에 필요한 비교 대상으로 신뢰성이 높은 실제 궤적 및 항공기 정보가 필요하다. Flightaware 는 2005 년부터 미국 내 민간 및 공공 항공교통분야에서 비행추적서비스를 제공해왔다. 독점적 비행시간 알고리즘과 신뢰성이 높은 웹 기반 인터페이스의 결합으로부터 나오는 항공기 정보는 매달 200 만명에 제공될 정도로 신뢰도가 높다.⁽¹¹⁾ 항공기 모델 검증을 위해 고도를 포함한 궤적, 상승 및 하강 속도, 속력을 매트릭스화한 후 시뮬레이션 한 결과를 비교하여 모델이 얼마나 실제 항공기 특성을 잘 반영했는지 알 수 있다.

2.3 항공기 모델 검증

2.3.1 검증도구 구성

검증도구 구성은 Fig. 4 와 같다. 항공기명을 입력하면 BADA 를 참고하여, 향상된 5 자유도 운동모델을 생성한다. 그리고 실제 운항 항공기 궤적정보 및 상태 정보를 Flightaware 로부터 읽어와 시뮬레이션 결과와 비교하여 적합한 항공기 운동모델을 검증한다.

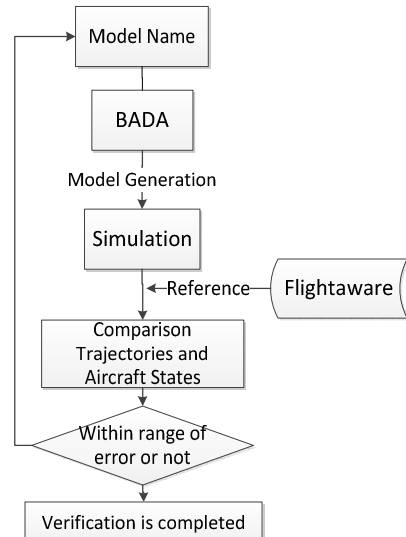


Fig. 4. Verification tool diagram

한편, Table 2의 검증항목 중 적용항목을 운동모델에 반영한 시뮬레이션 궤적과 및 실제 비행궤적을 비교하였다. 검증대상은 Airbus 380-800 5자유도 모델이고, 인천(ICN)-존 F.케네디(KJFK)항로 중 상승구간 30분이며, 경로점은 인천국제공항 AIP (Aeronautical Information Publication)를 참고했다.

2.3.2 검증결과

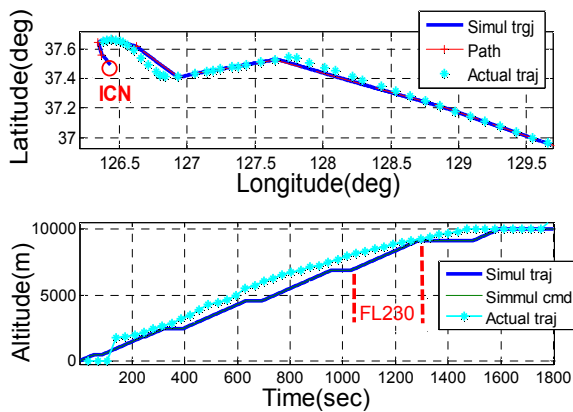


Fig. 5. Trajectories from Simulation and Flightware
 Fig. 5와 같이 LLA(Longitude, Latitude, Altitude)를 비교할 때 가지적으로 궤적이 유사하다. 그러나, FL230(약 7000m)구간에서 ROC는 1680fpm(feet per min.)으로 BADA의 PTD로부터 얻은 1574fpm에 비해 약 6.3%의 큰 오차를 보인다. 이는 대상 모델이 경로점을 만족하기 위한 상승비행에서, 고도에 따른 최대 추력 변화를 BADA로부터 적용하지 못했기 때문이다.

3. 결론

본 논문에서는 차세대 항행을 고려한 항공관제 시뮬레이터에 적용될 항공기 모델을 5자유도 모델로 결정하였다. 그리고 기 수행한 BADA 관련 연구를 분석하여 모델에 적용하기 위한 정보를 BADA로부터 추출하였다. 이후 항공기 모델을 시뮬레이션 한 결과를 실제 항공기 운용정보와 비교하는 과정을 추가하여, 관제시뮬레이터용 항공기 모델 검증도구 구성방안을 제시했으며 BADA 일부를 적용하여 테스트 모델을 검증했다.

본문에서 제시한 도구를 구성함으로써 기존의 항공기 모델검증과정이 효율적으로 수행되며 작성한 모델과 실제 정보와의 오차계산을 통해 신뢰성을 판단할 수 있다. 향후에는 검증결과를 분석하고 BADA 적용항목을 늘려 적용 모델을 수정할

것이다. 또, 신뢰성 판단 기준에 대한 연구를 수행하여 검증결과에 대한 활용도를 높일 것이다.

후 기

본 연구는 국토교통부 항공기술연구사업의 연구비지원(과제번호 13ATRP-C071525-01-000000)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) George W. Flathers III, 2011, An Airspace Simulator for Separation Management Research, p. 100.
- (2) Oh, E. M., Eun, Y. J. and Jeon, D. K., 2014, "Development of 4-D Trajectory Modeling using BADA", Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Science Vol.20 No.2.
- (3) Sophie Gillet, Angela Nuic, Vincent Mouillet, 2010, "Enhancement in Realism of ATC Simulation by improving Aircraft Behaviour Module", Digital Avionics Systems Conference, pp.2.D.4-5- 2.D.4-6.
- (4) Eduardo Gallo, Javier Lopez-Leones, Miguel A. Vilaplana and Francisco A. Navarro, 2007, "Trajectory computation Infrastructure based on BADA Aircraft Performance Model", Digital Avionics Systems Conference, IEEE/AIAA 26th, pp.1.C.4-1-1.C.4-3.
- (5) Ali Hilal Ali, 2011, "Utilizing BADA as an on-board navigation decision support system in commercial aircrafts", Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE, pp.21-25
- (6) Ali. Hilal Ali, 2010, "Feasibility Demonstration of Diagnostic Decision Tree for Validating Aircraft Navigation System Accuracy", Journal of Aircraft Vol.47, No.6, pp.2096-2102.
- (7) George W. Flathers III, 2011, An Airspace Simulator for Separation Management Research, pp.69-70
- (8) Karen M. Feigh, 2003, An Airspace Simulator for Air Traffic Management Research, pp.19-20
- (9) Song, G. H., 2007, The Way of Next Generation System, Ministry of Land and infrastructure and transport, pp.13-15
- (10) Oh, H. J., Cho, S. O., Choi, K. Y. and Park, H. D., 2013, "Development of Aircraft and Radar Simulation for Air Traffic Control Training System", Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Science Vol.41.
- (11) <http://ko.flightaware.com/>