

# BADA를 활용한 단순 항공기 궤적 생성 모델

박 배 선 · 이 학 태

인하대학교 항공우주공학과

## Simple Model for Aircraft Trajectory Generation Using BADA

Bae-Seon Park · Hak-Tae Lee

Department of Aerospace Engineering, Inha University

### Abstract

This paper describes a simple model for aircraft trajectory generation. Instead using full dynamics model, this model is based on 'Base of Aircraft Data(BADA)' and considers waypoint constraints suitable for fast-time simulations. The simulation has been performed using waypoints extracted from real aircraft trajectory data. Generated trajectory shows good agreement with the record trajectory.

### I. 서 론

항공 교통 및 운항 관리의 중요성이 높아지면서, 관련 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 특히 다양한 항공 교통 시뮬레이션 검증이 수행되고 있다. 시나리오에 포함된 항공기의 수는 보통 수십~수백여 대이며, 검증 속도가 빠른 배속 시뮬레이션(Fast-Time Simulation)을 통한 검증이 보편화되었다. NASA를 비롯한 여러 연구 기관에서는 독자적인 항공기 궤적 생성 모델을 이용한 배속 시뮬레이션 연구가 수행된 바 있다. 또한, 항공기의 하강 시 중량을 예측하는 기법[1]과, EUROCONTROL에서 제공하는 BADA를 활용한 5-DOF 운동 모델의 정확도 향상 기법[2] 등 궤적 생성의 정확도 향상을 위한 연구들 역시 수행되었다.

본 논문은 주어진 경로점을 추종하는 비교적 단순한 항공기 궤적 생성 모델에 대하여 설명한다.

### II. 궤적 생성 모델

#### 1. 항공기 경로점

항공기들은 각 항공기 별로 지정된 경로가 있으며, 경로에 포함된 모든 경로점(Waypoint)을 지나야 한다. 일반적인

항공기 경로점 명령은 그림 1과 같이 위도와 경도, 고도 및 속도(True Airspeed, TAS)로 이루어져 있으며, 각 경로점은 일정한 반경의 영역을 가지고 있다. 본 연구에서는 표 1, 2과 같이 두 가지 유형의 경로점을 구성하였다. 모든 경로점은 기본적으로 해당 항공기 모델과 경로점 유형 정보를 가지고 있다. Type A는 경로점의 모든 정보를 포함하고 있으며, Type B는 일부 정보가 누락된 경우를 가정하여 위도, 경도와 순항 고도(Hcr), 순항 속도(Vcr)만을 포함하고 있다.

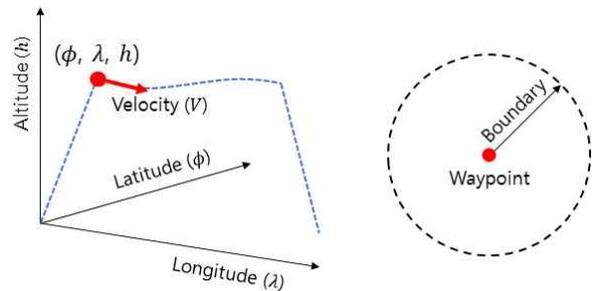


그림 1. 일반적인 항공기 경로점 명령 및 영역

표 1. 경로점 Type A의 예시

Model	B738			
Type	A			
ID	LAT [deg]	LON [deg]	TAS [knot]	ALT [ft]
W0	34.8585	136.8053	160	10
W1	34.9172	136.7842	160	3100
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

표 2. 경로점 Type B의 예시

Model	B738	
Type	B	
Hcr [ft]	36000	
Vcr [knot]	300	
ID	LAT [deg]	LON [deg]
W0	34.8585	136.8053
W1	34.9639	136.7632
⋮	⋮	⋮

각 경로점 반경(Waypoint boundary)은 항공기의 최대 선회 반경과 동일하게 적용하였다. 항공기의 선회 반경(Turn radius)  $R$ 은 그림 2와 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다. 식 (1)에서  $\phi$ 는 항공기 뱅크 각(Bank angle),  $V$ 는 항공기 속도를 의미한다. 이 때,  $V$ 는 경로점 유형에 따라 속도를 다르게 적용한다. Type A는 각 경로점에서의 속도 명령을 적용하고, Type B는 항공기 모델의 최대 순항 속도를 적용하여 회전 반경을 모두 동일하게 계산하였다.

$$R = \frac{V^2}{g \tan \phi} \quad (1)$$

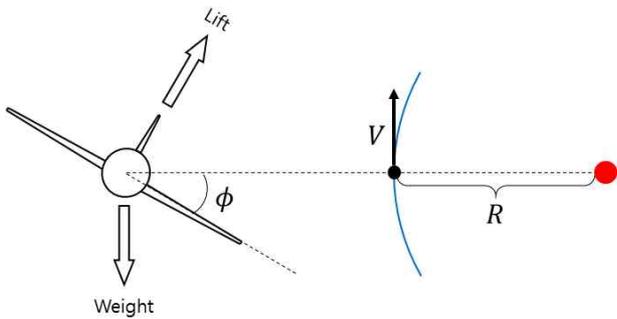


그림 2. 항공기 선회 운동

## 2. 궤적 생성 모델

항공기 운동은 세로 방향과 가로 방향으로 나누어 구성할 수 있다. EUROCONTROL에서 제공하는 BADA 매뉴얼 [3]을 참고하여 항공기 궤적 생성 모델을 구성하였다.

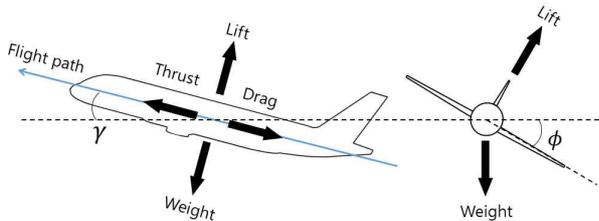


그림 3. 항공기의 세로 및 가로 운동

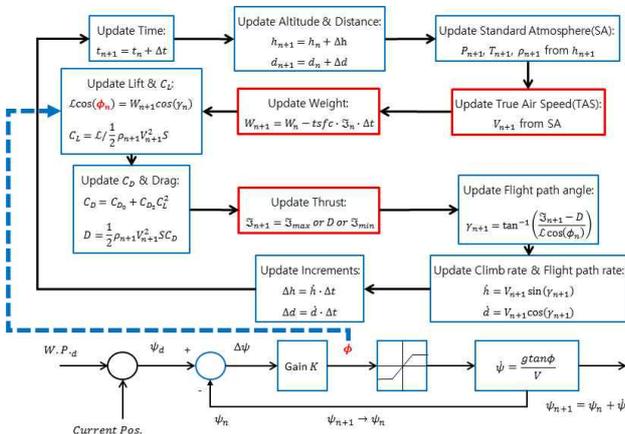


그림 4. 항공기의 세로 및 가로 궤적 생성 모델

그림 4의 모델에서, 경로점 A와 B는 항공기 속도를 업데이트하는 과정은 각각 다르다. 경로점 A는 모든 경로점이 각 경로점에 해당하는 속도 명령을 가지고 있다. 따라서 항공기 속도 변화가 선형적이라 가정하여 속도를 업데이트할 수 있다. 그러나 경로점 B는 주어진 속도가 순항 속도 뿐이므로, BADA에 입력된 이륙 속도로부터 시간에 따른 속도를 계산해야 한다. 이때, 항공기의 속도는 ‘Constant CAS (Calibrated Air Speed)-Mach’ 모델을 적용하여 계산할 수 있다[3]. 그림 5, 6은 경로점 유형에 따른 속도 변화를, 그림 7은 CAS-TAS-Mach의 관계를 나타낸 것이다.

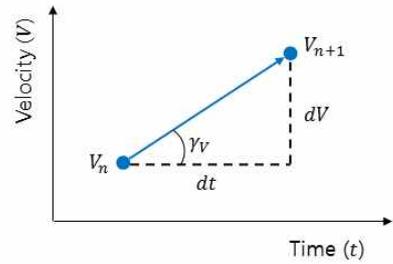


그림 5. 경로점 A의 속도 변화

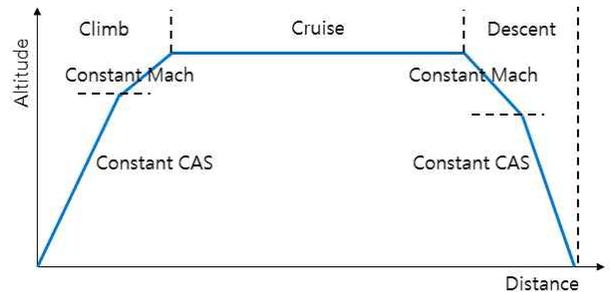


그림 6. 경로점 B의 속도 변화 (Constant CAS-Mach)

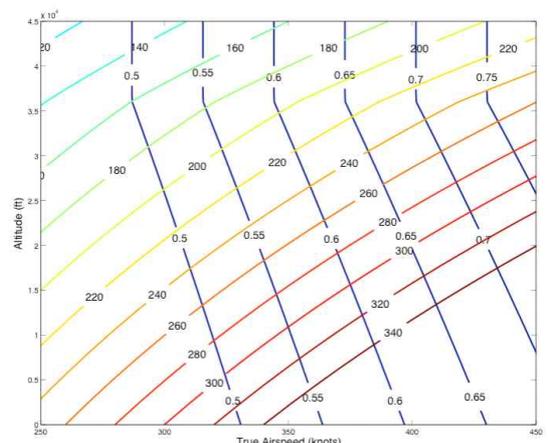


그림 7. CAS-Mach-TAS 관계

또한, 항공기의 세로 운동과 가로 운동은 서로 연결되어 있으므로, 식 (2)와 같이 양력( $L$ )과 비행 경로각( $\gamma$ )을 계산할 때 항공기의 뱅크 각( $\phi$ )을 고려해야 한다. 최대 뱅크 각은  $\pm 25^\circ$ 로 제한하였다.

$$L\cos\phi = W\cos\gamma$$

$$T = D + W\sin\gamma$$

$$\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{T-D}{L\cos\phi}\right) \quad (2)$$

항공기가 해당 경로점 반경에 도달하기 전에 먼저 고도에 도달하는 경우, 그림 6과 같이 반경에 도달할 때까지 순항하도록 하였다.

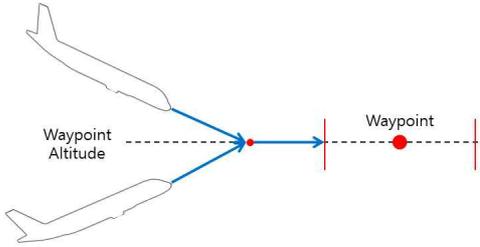


그림 6. 항공기 상승 및 하강 중 순항 조건

### III. 궤적 생성 수행

앞서 구성한 궤적 생성 모델을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 경로점은 2016년 8월 24일 샌프란시스코 국제공항(KSFO)에서 출발하여 인천 국제공항(RKSI)에 도착한 대한항공 'KAL214'편의 비행경로를 기반으로 구성하였다 [4]. 항공기 모델은 'B747-8'이며, 구성한 경로점 A, B는 표 3, 4와 같다. 경로점 B의 순항 속도는 경로점 A의 순항 속도 평균을 대략 계산하여 적용하였다.

표 3. B748-KSFO2RKSI-A

Model	B748_			
Type	A			
ID	LAT [deg]	LON [deg]	TAS [knot]	ALT [ft]
W0	37.6231	-122.386	184	0
W1	37.6665	-122.484	196	3000
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

표 4. B748-KSFO2RKSI-B

Model	B748_	
Type	B	
Hcr [ft]	36000	
Vcr [knot]	500	
ID	LAT [deg]	LON [deg]
W0	37.6231	-122.386
W1	37.6665	-122.484
⋮	⋮	⋮

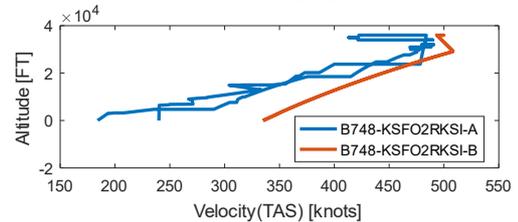
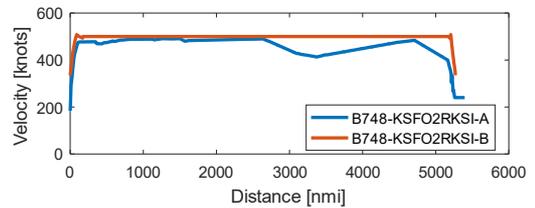
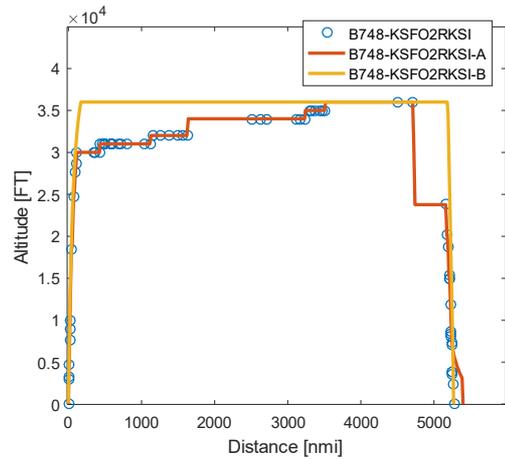
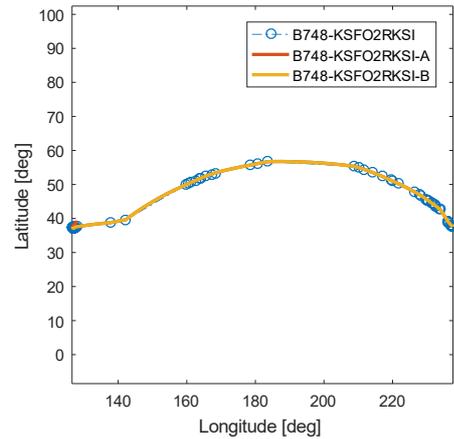
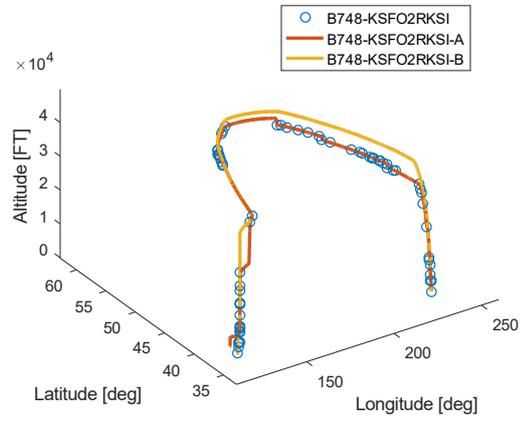


그림 8. 생성된 궤적 및 속도 변화

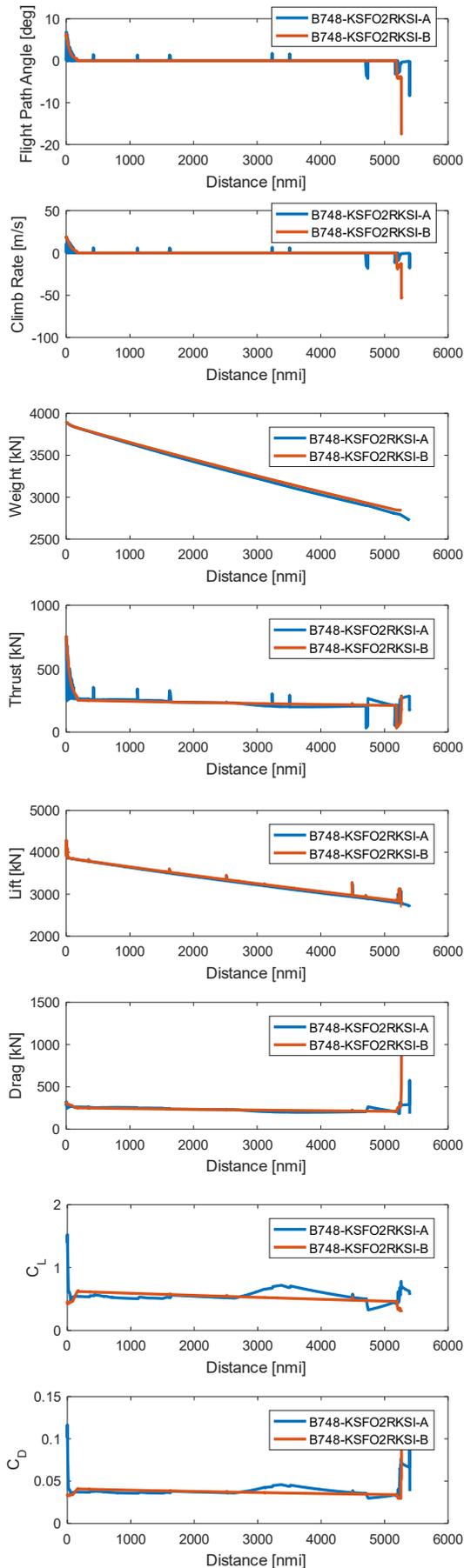


그림 9. 항공기 주요 파라미터 변화

그림 8은 시뮬레이션 결과 생성된 항공기 궤적을 나타낸 것이다. 가로 방향 및 세로 방향 경로점을 대부분 추종하는 것을 확인할 수 있다. 경로점 B는 Constant CAS-Mach 연산으로 인해 세로 방향 궤적과 속도 변화가 그림 6, 7과 같은 개형으로 생성되었다. 그림 9는 항공기의 주요 파라미터 변화를 그래프로 나타낸 것으로, 이를 통해 항공기 궤적이 정상적으로 생성되었음을 확인하였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 주어진 경로점을 추종하는 항공기 궤적 생성 모델을 설명하였다. 표준 대기 모델 및 BADA에 기반하였으며, 속도의 선형적 변화와 Constant CAS-Mach 모델을 적용하였다. 또한 항공기의 가로 운동과 세로 운동이뱅크 각으로 연동되어 있음을 고려한 단순 궤적 생성 모델을 구성하였다. 실제 항적 데이터를 바탕으로 경로점을 생성하여 시뮬레이션을 수행하였고, 그 결과 본 연구에서 구성한 궤적 생성 모델이 주어진 경로점을 거의 추종하는 것을 확인하였다.

#### 후 기

본 연구는 국토교통부의 ‘무인항공기 안전운항기술 개발 및 통합 시범운용(과제번호: 15ATRP-C108186-01)’에 의해 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] H. Lee and G. B. Chatterji, “Closed-Form Takeoff Weight Estimation Model for Air Transportation Simulation,” 10th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference, 2010, Fort Worth, Texas.
- [2] J. Kang, H. Oh, K. Choi and H. Lee, “Improving the Accuracy of Air Traffic Simulation Using a 5-DOF Aircraft Dynamic Model with BADA,” the Society of Instrument and Control Engineers (SICE) Annual Conference 2016, September 2016, Tsukuba, Japan.
- [3] EUROCONTROL, “User Manual for the Base of Aircraft Data (BADA) Revision 3.9,” No. 11/03/08-08, April 2011.
- [4] FlightAware Website, “<http://www.flightaware.com>”