

운항데이터 분석을 통한 추력 모델 개발

남홍수^{1*}, 박배선¹, 이학태¹
 인하대학교¹

Analyzing Flight Data to Develop Thrust Models

Hong-Su Nam^{1*}, Bae-Seon Park¹, Hak-Tae Lee¹

Key Words : BADA(Base of Aircraft Data), Thrust Model(추력 모델), Trajectory Generation(궤적 생성)

서론

세계적으로 항공 수요가 지속적으로 증가해오면서, 대한민국의 항공교통 또한 꾸준히 증가하고 있다. 지속적인 항공 수요는 항공 산업의 성장을 나타내지만, 그만큼 항공 안전 관련 이슈들 또한 증가하고 있다. 수많은 항공 안전 이슈를 효율적으로 해결하기 위해선 그에 상응하는 대량의 항공 관련 데이터가 요구된다. 최근 수많은 항공기와 관련 기관, 시설, 장비 등으로부터 데이터를 획득할 수 있으며, 이러한 빅데이터 환경을 항공 안전 분야에 접목해 관련 이슈 해결을 기대할 수 있다⁽¹⁾. 본 논문에서는 BADA기반 4자유도 궤적 생성 모델을 기반으로 ADS-B 데이터를 통해 실제 운항에 사용된 기체의 상승/하강 시의 추력을 확인하였다.

본론

BADA 기반 4자유도 궤적 생성 모델

6자유도 운동 모델은 항공기 자세각이 모두 계산되나, 4자유도 운동 모델에 비해 식이 복잡하기 때문에 방대한 양의 항공기 데이터를 분석하기에 많은 시간이 요구된다⁽²⁾. 따라서, 본 연구에서는 Roll angle과 Bank angle은 동일하다고 가정하며, Pitch angle과 Flight path angle 또한 동일하다고 가정한 4자유도 운동 모델을 사용하였다.

Table 1. Configuration altitude threshold

| | Maximum altitude threshold |
|--------------------|----------------------------|
| Take-off (TO) | 400 ft |
| Initial climb (IC) | 2,000 ft |
| Cruise (CR) | - |
| Approach (AP) | 8,000 ft |
| Landing (LD) | 3,000 ft |

BADA(base of aircraft data) 모델은 Table 1과 같이 고도제한에 따라 비행상태를 5가지로 분류하여 기종마다 비행상태 및 고도에 따른 항력 계수, 탑재된 엔진 종류에 따른 fuel flow, 추력 모델 등을 제공한다.

식(1)~(3)은 제트엔진의 상승 시 최대 추력계산 모

델이고, 여기서 $C_{Tc,n}$ 은 BADA의 OPF파일로부터 제공되는 상수이다. 식(1)에서 압력고도 H_P 와 진대기속도 V_{TAS} 가 국제표준대기 상태에서의 추력 $(\mathcal{T}_{max climb})_{ISA}$ 에 반영된다. 최종적으로 식(2)와 같은 온도보정 식을 반영하여 식(3)과 같이 상승 시 최대 추력을 계산하였다.

$$(\mathcal{T}_{max climb})_{ISA} = C_{Tc,1} \left(1 - \frac{H_P}{C_{Tc,2}} + C_{Tc,3} H_P^2 \right) \quad (1)$$

$$\Delta T_{eff} = \Delta T - C_{Tc,4} \quad (2)$$

$$\mathcal{T}_{max climb} = (\mathcal{T}_{max climb})_{ISA} \times (1 - C_{Tc,5} \Delta T_{eff}) \quad (3)$$

제트엔진의 하강 시 추력은 식(4)와 같이 비행상태와 고도에 따라 정해진 계수 C_{Tdes} 를 상승 시 최대 추력에 반영하여 사용하였다.

$$\mathcal{T}_{des} = C_{Tdes} \times \mathcal{T}_{max climb} \quad (4)$$

Fig. 1은 세로방향 및 가로방향 궤적 생성 모델으로, ADS-B데이터로부터 받은 경로점과 속도데이터를 통하여 궤적을 생성하는 과정을 보여준다. 세로 방향 모델과 가로 방향 모델은 bank angle에 의해 서로 커플링되어 있으며, bank angle은 목표 방향과 현재 진행 방향의 차이인 방위각 오차 값이 PD제어기에 입력되어 계산된 bank angle 변화율로부터 도출하였다.

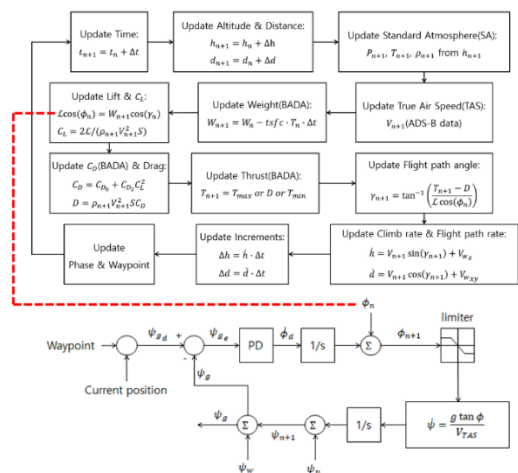
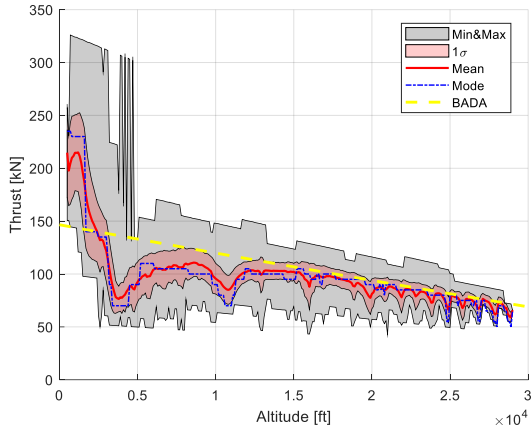


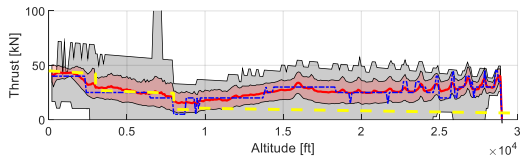
Fig. 1. Aircraft trajectory generation model

ADS-B데이터를 통한 추력 모델

BADA의 추력으로부터 경로점까지의 항적을 계산하고, 항공기가 경로점 범위에 들어오지 못한 경우 추력의 크기를 다시 설정하였다. 항공기가 경로점 범위보다 낮은 고도에 위치한 경우 추력이 부족한 것으로 간주하여 추력을 일정량 증가시키고, 높은 고도에 위치한 경우 추력이 과하게 설정된 것으로 간주해 추력을 감소시키는 방식으로 추력을 조절하였다.

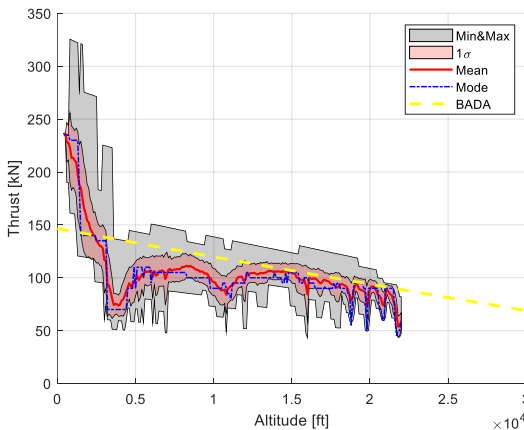


(a) Climb thrust

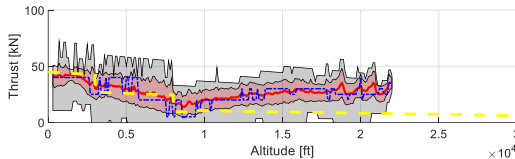


(b) Descent thrust

Fig. 2. B738 RKSS-RKPC thrust model



(a) Climb thrust



(b) Descent thrust

Fig. 3. B738 RPK-RKPC thrust model

본 연구에서는 추력 추정을 통해 계산된 추력 데이터를 기반으로, B738기체의 운항 고도에 따른 추력 분포를 파악하였다. Fig. 2와 3은 각각 2019년 3월 1일부터 7일까지의 김포-제주 구간을 운항한 331편과 김해-제주 구간 68편에 대해 상승/하강 구간의 추력 분포를 고도 100ft 단위로 나타낸 것이다. 회색영역은 추정된 데이터에서 나타난 최대 추력과 최소 추력을 의미하고, 빨간색 영역은 고도 별 추력 분포를 정규분포화 하여 표준편차가 1σ (신뢰도 68.26%)인 구간을 의미한다. 또한, 파란색 선은 기준 고도별로 가장 많이 사용한 추력을 나타낸 것이고, 빨간색 선은 고도 별 평균 추력을 의미한다.

김포-제주, 김해-제주 두 구간 모두 상승 시 5000ft 이하에서는 BADA에서 제시한 추력에 비해 큰 값이 나오는 경향이 있으나 5000ft 이상에서는 BADA의 추력과 본 연구에서 제시한 추력 모델이 유사한 경향을 보인다.

결론

본 논문에서는 BADA 기반 4자유도 궤적 생성 모델에 ADS-B 데이터를 경로점으로 사용하여 김포-제주, 김해-제주구간 B738기종의 고도 별 추력을 확인하였다. 본 연구를 통해 운항 노선, 비행 구간, 기종에 따른 추력 성능 파악이 가능할 것으로 보이며, 이를 기반으로 BADA 모델 자체를 개선할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 바람데이터와 기온이 포함된 KLAPS 데이터를 결합할 경우 더 정확한 추력을 확인할 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 국토교통부의 '데이터 기반 항공교통관리 기술개발' (과제번호: RS-2021-KA163373) 연구의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계 부처에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Park, B. S., and Lee, H.T., "Master Data Set for Aviation Safety Analysis", Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology 2023, 2023.
- 2) Park, B. S., and Lee, H.T., "Simple Model for Aircraft Trajectory Generation using BADA", 2016 The Korean Navigation Institute Conference, 2016.