

소형단발비행기 상승성능 확인을 위한 비행시험방안 연구

김필수*

Study on climb performance flight test techniques for small airplane

PhilSoo Kim*

ABSTRACT

On this study, climb performance related airworthiness requirements for small airplane on KAS Part 23 and flight test techniques for climb performance (Sawtooth climb) are introduced. Also, applicable procedures, test conditions and required test parameters of sawtooth climb flight test techniques are reviewed.

Key Words: Climb Performance, Sawtooth Climb, Small Airplane, Flight Test Techniques, Flight Test

1. 서 론

일반적으로 민간항공기의 비행시험은 해당 항공기에 적용되는 항공기 감항기술기준(Airworthiness Standards)에서 요구하는 각종 비행시험 요건에 대한 적합성을 보이는 것으로 이루어지며 이러한 비행시험은 크게 구조분야, 비행성능 분야, 동력장치, 항공전자장비, 세부계통, 동정압 보정을 위한 비행시험 등으로 구분하여 수행 된다.

비행기의 성능확인을 위한 비행시험은 일반적으로 항공기의 각 형상에 대한 상승, 하강 성능, 이륙성능, 착륙성능, 복행성능 등이 있다.

본 연구에서는 민간 소형비행기 감항기술기준(KAS Part 23)에서 제시하고 있는 소형비행기 상승성능 관련한 요건과 이에 따른 대표적인 민간소형비행기 상승성능 확인을 위한 비행시험 방법 및 절차 등에 대하여 고찰해 보도록 한다.

2. 소형비행기 상승성능 요건

2.1 소형비행기 상승성능

일반적으로 비행기의 “상승성능”은 고도에 의해 현저한 영향을 받는데, 이는 고도 증가에 따라 공기 밀도가 감소하여 비행기 엔진의 출력이 저하되는 것이 주요 요인으로 알려져 있다.

이에 따라 비행기 상승률 또한 고도가 높아지면

† 2013년 7월 2일 접수 ~ 2013년 9월 24일 심사완료

* 정회원, 한국항공우주연구원

연락처, E-mail: pskim@kari.re.kr

감소하고 특정고도에 이르면 더 이상 상승하지 못하게 되는데, 이때 상승률이 “0” 이 되는 고도를 절대상승한계(Absolute ceiling)라 하고 상승률이 100 ft/min이 되는 고도를 실용상승한계(Service ceiling)로 정의하고 항공기 성능 부분에 이용하고 있다.

2.2 소형비행기 상승성능 관련 조항

우리나라 소형비행기 감항기술기준인 KAS Part 23에서 요구하고 있는 상승성능 관련 조항은 대표적으로 다음과 같다.

- KAS 23.63 상승 일반요건
- KAS 23.65 모든 엔진 작동상태 상승비행
- KAS 23.66 한 엔진 부작동상태 이륙상승
- KAS 23.67 한 엔진 부작동상태 상승비행
- KAS 23.69 항로 상승 및 하강
- KAS 23.77 복행

이러한 우리나라 소형비행기 감항기술기준의 상승성능 관련 조항에서 우리나라에서 형식증명 수행 중인 소형단발비행기에 적용되는 요건은 KAS 23.63, KAS 23.65, KAS 23.69, KAS 23.77 조항에 제시되어 있는 요건이다.

또한, 부가적으로 KAS 23.1587 “성능정보” 조항에서 소형비행기 상승성능 관련 비행시험 결과를 바탕으로 상승성능을 항공기 운용자에게 비행교범(AFM) 등에 수록하여 제공하도록 요구하고 있다.

3. 소형비행기 상승성능 비행시험

3.1 상승성능 비행시험의 목적

비행기 상승 시험은 소형비행기 기술기준에서 요구되는 최소 상승 성능을 입증하고 비행교범(AFM)에 수록될 상승성능 데이터를 제시하기 위함으로써 소형비행기 상승성능 관련 조항의 요건에 따른 이륙형상, 착륙형상에서의 비행기 상승

시험은 최소 해면고도에서 10,000 ft(3,048 m) 고도까지 수행하고 순항형상에서의 비행기 상승 성능 시험을 수행한 데이터를 표준화 과정을 통해 비행교범(AFM)에 수록한다.

3.2 소형비행기 상승비행 요건

KAS 23.65 “모든 엔진 작동상태에서의 상승비행” 조항에서는 비행기 이륙형상을 유지한 비행경로, 즉 이륙 후 초기상승 단계에서 KAS 23.65 (a),(b)항에 따라 요구되는 상승구배를 충족하도록 요구하고 있다. 비행기 순항형상에서의 상승성능에 대한 적합성 입증은 KAS 23.69 “항로 상승 및 하강” 조항에 따른다.

KAS 23.65 (a)항은 보통(N), 실용(U) 및 곡예(A)급 비행기이며 최대 중량이 6,000 lbs(2,720 kg) 이하인 왕복엔진 비행기가 다음의 조건에서 육상기의 경우 해수면 기준으로 최소 8.3%의 정상상승구배를, 수상기 및 수륙 양용기의 경우 적어도 6.7%의 정상상승구배를 보여야 함을 요구하고 있다.

- 각 엔진 최대 연속출력 이하
- 착륙장치는 접은 상태
- 날개 플랩은 이륙위치(들)
- 단발 비행기의 경우 상승 속도가 $1.1 V_{MC}$ 및 $1.2 V_{SI}$ 중 큰 값 이상
- 단발 비행기의 경우 $1.2 V_{SI}$ 이상

KAS 23.65 (b)항에서는 보통(N), 실용(U) 및 곡예(A)급이고 최대 중량이 6,000 lbs(2,720 kg)를 초과하는 왕복엔진 비행기와 터빈엔진 비행기의 경우, 다음의 조건에서 이륙 후 적어도 4%의 정상상승구배를 가져야 함을 요구하고 있다.

- 각 엔진의 이륙 출력
- 착륙장치 전개 상태
- 7초 이내에 착륙 장치를 접을 수 있는 경우, 착륙장치를 접은 상태에서 수행 가능
- 날개의 플랩은 이륙 위치(들)

- KAS 23.65 (a)(4)항에 기술된 상승 속도

KAS 23.69 (a)항에서는 모든 엔진 작동 조건에서의 항로 상승성능을 다음의 조건에서 확인하도록 요구하고 있다.

- 각 엔진 최대 연속출력 이하
- 착륙장치는 접은 상태
- 날개 플랩은 접은 상태
- 상승속도는 $1.3 V_{S1}$ 이상

상승성능 시험 관련하여 상승속도는 KAS 23.1047 “왕복엔진 장착 비행기에 대한 냉각시험절차” 조항에 대한 요건을 만족하는 상승속도를 적용하여야 한다. 비행기 냉각에 대한 요건을 만족하기 위하여 다양한 상승속도를 적용하는 경우, 신청자는 각각의 상승속도에 대응하는 상승률도 제시하여야 한다.

3.3 상승성능 비행시험 방법

소형비행기의 상승성능 확인을 위한 비행시험 방법은 가장 대표적이고 일반적으로 사용되는 “Sawtooth climb” 방법이 있다.

이밖에도 연속상승(Continuous Climb) 비행시험 방법도 많이 사용되는 방법으로서 연속상승 시험방법은 엔진의 변경 등의 비행기 개조로 인해 기존의 비행기 상승 성능 대비 새로운 상승성능을 검증해야 하는 경우에 적용될 수 있다. 이때, 비행기 상승률 데이터를 측정하기 위한 데이터 포인트는 표준대기조건으로 보정하여 적용해야 한다.

본 연구에서는 소형비행기의 상승성능 확인을 위해 가장 일반적으로 사용되는 Sawtooth climb 비행시험 방법에 대하여 고찰해 보도록 한다.

3.4 Sawtooth climb 비행시험 방법

Sawtooth climb은 일정한 출력에서 일정한 비

행기 속도 (IAS 기준)와 특정 비행기 형상으로 연속적인 상승을 통해 비행선도 전구간 내의 비행기 상승성능을 결정하는 방법이다.

이 방식으로 비행기 상승성능을 결정하기 위해서는 최소 3회의 Sawtooth climb을 수행하여야 하며 이때 적용되는 시험고도는 다음과 같은 조건을 고려하여 결정되어야 한다.

- 가능한 해면고도에 근접한 고도
- 100 fpm 상승률이 유지되는 최대고도에 근접한 고도
- 엔진의 출력특성을 고려한 중간 고도 (예: 임계고도)

3.4.1 상승방법

Sawtooth climb 시험방식은 관측된 비행기 상승성능을 즉각적으로 관측할 수 있고 시험결과를 경제적으로 얻을 수 있는 장점이 있다.

Sawtooth climb 시험은 비행기 고도계를 29.92 inHg로 맞추고 최대연속출력 상태의 목표속도로 기준이 되는 고도밴드에서 일련의 상승기동을 수행하는 것으로 진행된다. 시험데이터 기록은 시험 시작 전 안정된 속도 및 출력에서 시작하며 이때, 비행기 무게를 감안하기 위하여 각각의 기동수행 전 시작시간을 기록한다.

안정된 상승기동은 최소 3분 또는 3,000 ft 동안 일정한 속도에서 이루어져야 하고 바람방향의 90° 방향에서 수행되어야 한다. 또한 다음 번 상승기동은 바람영향을 최소화하기 위해 반대방향에서 수행한다.

목표속도에서 고도변화에 따른 상승률을 검증하는 것이 본 상승시험의 주목적 중의 하나이므로 계획된 정확한 시간간격으로 정확한 고도변화를 관측하는 것이 중요하다. 이때 시간간격은 30초 이하로 설정하는 것이 권고되며 30초 이상

의 시간간격을 적용하고자 하는 경우에는 비행기 속도, 외기온도, RPM, 기타 엔진 출력관련 파라미터의 기록이 필요하다.

시험이 진행됨에 따라 측정된 데이터에 대한 “고도 대 시간” 그래프를 작성하고 각 비행기 속도별 비행기 상승률에 대한 그래프 또한 작성해야 한다.

3.4.2 대기상태

일반적으로 대기중의 난기류는 비행기의 상승률을 저하시키는 요인으로 알려져 있으며 따라서 이는 비행기의 최소 상승률 요건의 만족과 최고 상승률 속도의 산정에 부정적인 영향을 미치기 때문에 정확한 시험결과를 얻기 위하여 Sawtooth climb 방식을 적용한 상승 시험은 외기 온도의 역전현상이 없는 부드러운 대기상태 (Smooth air)에서 수행되어야 한다.

3.4.3 시험 속도

Sawtooth climb 방식의 시험에 있어 속도는 최고 상승률 속도까지로 적용하며 최고상승속도는 대체적으로 Power-off 실속 속도의 140% 정도에서 결정되어 진다. 최저 상승 속도는 비행기 실속속도 부근에서 비행기에 버켓팅이나 비행기 조종하기 위한 비정상적인 조종간 움직임이 필요하지 않은 속도로 결정되어야 한다.

Fig. 1에 제시된 관측 데이터 샘플에서는 속도를 10 kts 간격으로 하고 있으나 저속구간에서는 간격이 더 작아야 하고 고속구간에서는 간격이 더 넓어져도 무방하다. 권고되는 속도 간격은 최저속도에서 5 kts 최고속도에서 15 kts이며 중간 속도간격은 이러한 속도간격 범위 내에서 결정한다.

추가적으로, 그림 Fig. 2에 제시된 “상승률 대 속도 데이터”에 대한 그래프 작성에 있어

중간 고도에서의 속도 범위는 일반적으로 최대 수평비행 속도 및 V_S (또는 V_{MIN})로 설정하는 것이 유용하다.

3.4.4 시험 데이터 보정 및 플롯(Data Plotting)

Sawtooth climb 시험 데이터는 Fig. 1에 제시된 시험 데이터 샘플과 같이 시험 고도 대비 시간의 그래프 형태로 제시되어야 한다.

각 시험 포인트에 대한 데이터를 그래프로 플롯한 이후 중간 고도선을 긋고 중간고도와 만나는 지점에서의 각각의 Sawtooth climb 곡선에 대한 접선을 긋는다. 접선에 대한 구배로서 각 중간고도에서의 측정된 상승률이 결정된다.

측정된 시험데이터는 표준대기조건, 최대중량, 차트제동마력 기준으로 보정한다. 또한 V_Y (Best rate of climb speed)와 V_X (Best angle of climb speed)를 정의하기 위한 Fig. 2 그래프 작성을 위해 최대 수평비행속도(V_H) 데이터도 위와 같은 기준으로 보정한다.

보정된 데이터는 Fig. 2의 “상승률 대 속도 데이터” 그래프와 같이 각각의 밀도고도 기준으로 플롯 할 수 있다. Fig. 2와 같이 데이터를 플롯하는데 있어 일반적으로 실속 속도 포인트는 “0”의 상승률을 가지는 데이터 지점과 일치하지는 않으나 곡선의 왼쪽 부분을 작도하는데 있어 유용하게 사용되는 기준이 될 수 있다.

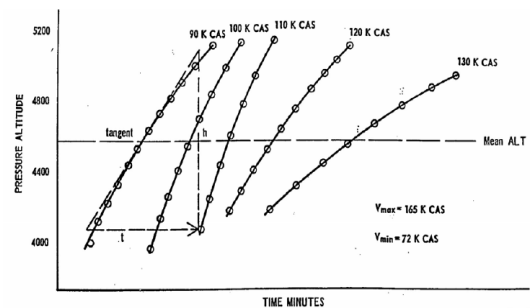


Fig. 1 관측 데이터 샘플

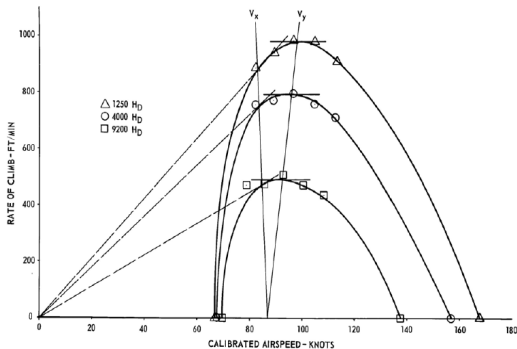


Fig. 2 상승률 vs 속도 데이터 샘플

3.4.5 속도와 상승률

Fig. 2와 같이 “상승률 대 속도 데이터” 그래프를 통해 비행기의 V_Y 와 V_X 속도를 정의할 수 있다.

V_Y 속도는 각 곡선의 최고 상승률 지점을 직선으로 연결한 선이며 V_X 속도는 그래프의 “0” 지점에서 각 곡선의 접점을 직선으로 연결한 선으로 정의된다. 여기서 주의해야 할 점은 V_Y , V_X 두 직선은 상승률이 “0” 인 지점에서 수렴하여야 한다.

Fig. 1에서 얻어진 정보로부터 비행기의 상승 성능을 한층 유용한 형태로 그리는 것이 가능하다. Fig. 2에서처럼 V_Y (최대상승속도)에서 상승률을 읽고 고도에 대해서 그림으로써 해면고도에서부터 절대상승고도까지의 상승률을 결정할 수 있다.

3.4.5 기타 고려사항

상승 성능 시험에 있어 카울플랩(Cowl flaps) 위치 및 혼합기의 위치는 반드시 비행기 냉각 시험 시 적용되었던 위치를 적용하여 상승성능 시험을 수행하여야 한다.

비행기 중량 및 무게중심(c.g.) 관련하여 일

반적으로 상승성능에 악영향을 미치는 상태는 전방 무게중심에 최대중량이며 이에 따라 비행기 상승 성능 시험에 있어 시험에 적용된 비행기 시험 중량, 무게중심, 엔진 출력 등은 반드시 기록되어야 한다.

3.5 비행시험 계측장비 및 데이터 확장

상승 성능 시험에는 속도계, 고도계(Sensitive 타입), 총대기온도계(TAT indicator)가 공통적으로 요구되어지며 왕복엔진 비행기의 경우 일반적으로 흡기 공기 온도 게이지, 엔진타코미터, 매니폴드 압력 게이지, 실린더 헤드 온도 지시기가 요구되어 진다.

또한, 터빈엔진의 경우에는 토크미터, EGT, N1, N2, 프로펠러 RPM 등의 추력/출력 관련 지시기와 연료흐름지시기가 등이 요구되어 진다.

시험에 사용되는 모든 계기는 보정되어야 하고 계기에 대한 보정 기록은 시험기록에 제시되어야 한다. 이외에도 데이터 기록을 위한 장비와 스톱워치 등의 시간 기록을 위한 장비가 시험을 수행하기 위해 요구되어 진다.

상승성능 시험 데이터의 확장 관련하여 KAS 23.1587 “성능정보” 조항에서는 상승 성능 데이터를 ISA부터 ISA+30°C 온도범위에서 해면고도부터 10,000 ft(3,048 m)까지 제시하도록 요구하고 있다.

데이터 확장은 데이터 보정을 수행한 방식을 동일하게 적용하게 되며 이에 대한 지침은 미연방항공청(FAA)의 FAA AC 23-8C “FLIGHT TEST GUIDE FOR CERTIFICATION OF PART 23 AIRPLANES”의 Appendix 2에 제시된 방법을 따라 수행하며 일반적으로 데이터 확장은 고도기준으로 3,000 ft 이상 수행하지 않아야 한다.

4. 결 론

민간항공기 개발에서 비행시험은 가장 주요한 단계 중에 하나로 간주되고 있으며 본 연구에서는 이러한 비행시험 중 소형비행기 상승성능 확인을 위해 적용되어지는 비행시험 요건을 소개하고 가장 일반적으로 적용되는 비행시험기법인 Sawtooth climb을 중심으로 비행시험 방법, 비행시험 절차, 요구되는 시험 파라미터, 기타 고려사항 등을 제시하였다.

실제로 현재 진행 중에 있는 우리나라 소형비행기 개발 및 인증에 있어 소형비행기 상승성능은 Sawtooth climb 기법을 적용하여 비행시험을 수행하였다.

참 고 문 헌

- [1] 국토해양부. KAS Part 23 "감항분류가 보통(N), 실용(U), 곡기(A), 커뮤터(C)류인 비행기에 대한 기술기준", 국해부 고시 2010-286, 2010
- [2] FAA. CFR 14 Part 23 "Airworthiness Standards : Normal, Utility, Acrobatic, And Commuter Category Airplanes", Amtd No.23-59, FAA, 2008
- [3] FAA. AC23-8B "FLIGHT TEST GUIDE FOR CERTIFICATION OF PART 23 AIRPLANES", FAA, 2003
- [4] NTPS. FAA Flight Test Certification and Standardization Course materials, NTPS, 2009