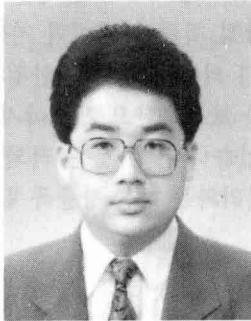


항공기 시뮬레이터의 비준과 평가 (2)



尹錫駿 / 大韓航空 항공기술연구원
항공 공학박사



비행시뮬레이터의 비준과 평가를 성공적으로 수행하기 위해서는 진취적인 계획과 상당한 협력이 요구되며, 이 과정들은 복잡하며 오랜기간을 소요합니다. 의도된 성능은 명백하게 규정이 되어야 하며, 타당한 시험요구조건으로 강요되어야 합니다. 많은 노력이 항공기의 비행시험프로그램에서 적절한 기준데이터를 획득하도록 경주되어야 합니다

비행시험 상관방법

시뮬레이터의 비행충실도에 대한 비준을 위해서는 조종사의 평과 비행 시험데이터와의 비교치들을 시뮬레이터의 구성요소와 적절하게 연관시킬수 있어야 하는데, 모의조타반력장치와 수학적 모델에서의 공력 계수들이 이에 관련되는 주 구성요소들입니다.

이러한 연관을 규명할수 있어야 시뮬레이터 분석가는 주어진 충실도 문제의 진원을 정확하게 파악할수 있으며 적절한 보완조치가 가능합니다.

이 능력이 없이는 시뮬레이터 분석가의 보완이 시뮬레이터의 다른 부분에서, 예기치 않게 또다른 문제를 야기할 가능성이 높습니다.

경험 많은 조종사가 실제 항공기의 시험에 적용되는 임무하에서 동일한 비행기술과 성능 시험기술을 사용해 시뮬레이터를 비행함으로써 비준절차가 시작되는데, 통상 조종사의 견해가 주요 문제점들을 교정하는 지침이 됩니다.

시뮬레이터의 각 동기 제공원으로부터의 영향들을 분리하는 것이 중요하므로, 요동과 시계 동기들에 대한 세부 평가가 시작되기 이전에 별도로 비행동력학이 먼저 평가되고 보완되어야 합니다. 조종사의 의견은 항공기와 시뮬레이터의 비행시험데이터로 구체화되며 충실도의 결함이 정량적인 형태로 표현됩니다.

전통적인 비행시험은 단지 하나의 안정미계수나 여러 미계수들의 복합에 대한 표현을 측정할 뿐이며, 그 수치를 직접 산출해 내는 것은 아니라는 사실을 상기할 필요가 있습니다.

하지만, 비행시험데이터의 비교치들이 적당한 순서를 밟아 분석된다면, 수학적 모델에서의 수많은 안정미계수들에 대한 효과들을 분리하는 것이 가능합니다.

• 전통적 분석방법

세로축 매개변수들을 산출하기 위해 적용된 분석순서는 각각의 주요 시뮬레이터 매개변수로부터의 영향을 분리시켜 가능한한 독립적으로 평가되고 조정되도록 배려되었습니다.

또한, 이 순서를 따르면 다수의 미계수들의 구성으로 표현된 비행시험 매개변수들은 그 미계수들 중 어느 하나를 제외한 나머지의 조절이 완료되기 이전에는 검사되지 않습니다.

이 밖에도 단주기 감쇄, 플러그이드(Phugoid) 주파수와 감쇄, 활주평형 등과 같이 평가되어야 하는 다른 비행시험결과들이 존재하지만, 이것들은 미계수들의 복합적인 표현으로서 용이하게 분리될 수 없습니다.

따라서, 이러한 시험들은 주요 매개변수들의 조율이 이루어진 이후에 하나의 확인수단으로 이용되는 편이 좋습니다.

가로축 조종효과와 안정성문제도 세로축과 동일한 방식으로 접근되며, 세로축 분석에서 중량과 균형에 관한 검사가 이미 가로축과 방향축을 포함함을 가정합니다.

여기에 서술된 개념은 각 미계수와 매개변수의 특정 값을 계산하기 위해 사용되지는 않습니다.

오히려 항공기와 시뮬레이터에 동일한 시험들을 사용해 이러한 매개 변수들을 조절함으로써 조종입력에 대한 시뮬레이터의 출력과

반응을 일치시키는데 이용됩니다.

시뮬레이터의 매개변수들이 원하는 수치로 맞추어질 때까지 조절되도록 지정된 절차를 따라 시험이 되풀이되기 때문에 이 기술은 반복적이라 할 수 있습니다.

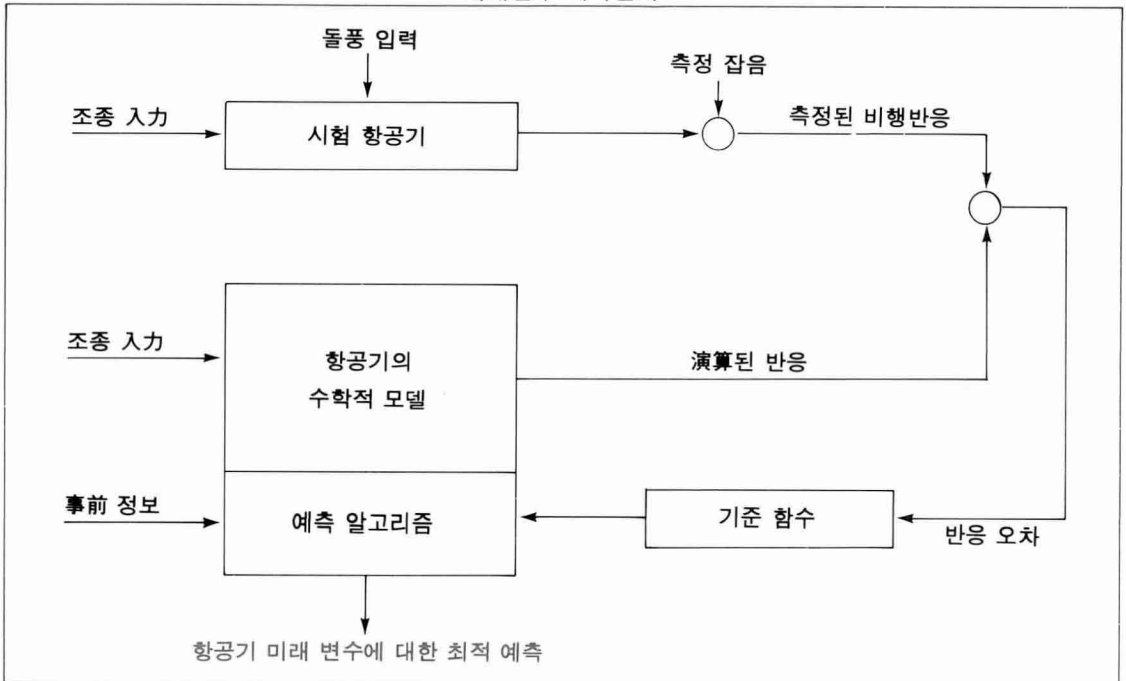
이 기술을 사용해 데이터의 합일에 성공한 사례가 TA-4J기와 그의 훈련용시뮬레이터인 2F90 장치의 착륙시 세로축 정안정성에 관한 것입니다.

2F90 장치의 세로축 조타력과 조종간 위치 변환치가 보완 이전에는 실제 항공기에서 보다 덜 알다는 사실에 주의해야 합니다.

조종사의 정신이 다른 임무로 분산될 때마다 부주의로 인해 시뮬레이터가 평행 대기속도 이상으로 가속되었기 때문에 이러한 결함은 비전형적인 조종사의 작업량을 유도하였습니다.

게다가 잘못된 양각/대기속도의 관계는 착륙과 실속연습동안 비전형적인 동기를 유발하였습니다. 이러한 결함들은 엘리베이터의 효과를 나타내는 CMDE가 조종간 위치변환율이 일치될 때까지 조정되었습니다.

매개변수 예측절차



평형속도 이상에서 나타난 조타력 변환율이 실제의 항공기에서 보다 더 가파르기는 하였지만, 평가조종사들은 문제시 하지 않았습니다.

양각/대기속도의 관계는 CLAOA를 조절함으로써 향상되었습니다.

이 경우에는 시험조건들이 조종사 업무에 주는 영향에 따라 데이터의 일치 여부가 만족스러운지 결정되었습니다. 형식적인 인수시험에서는 규격공차에 대한 요구조건이 또한 검토되어야 합니다.

• 매개변수 확인방법

공력 안정미계수의 수치값을 비행시험데이터로부터 직접 결정할 수 있는 고급 분석수단들이 개발되어 왔는데, 그 중 하나가 강력한 수치 알고리즘으로 구성된 매개변수확인(PID) 프로그램입니다.

전형적인 알고리즘은 최대가능성에측방식을 사용해 비행시험데이터로부터 안정미계수들을 추출하며, 이 알고리즘으로 측정잡음과 공정잡음을 동시에 잡아낼 수 있습니다.

측정장비가 적절하게 장착된 항공기에 조종 입력이 주어지는데, 이에 따른 항공기의 반응은 측정 및 공정잡음에 의해 오염이 됩니다.

한편, 운동방정식과 항공기 계수 추정치들로 구성된 항공기의 수학적 모델에도 동일한 입력이 주어집니다.

모델의 반응과 오염된 항공기 반응이 비교되어 반응오차가 산출되며, 오차를 제곱한 값과 같은 기준함수가 형성되어 이 기준함수가 최대가능성에측등의 최적화 알고리즘에 의해 최소화 됩니다.

이후에 모델의 매개변수들이 반복적인 방식으로 조절되어 항공기 매개변수들에 대한 가장 근접한 추정치가 구해집니다. 또한, 이 알고리즘으로 측정 및 공정 오차들에 대한 통계가 모두 작성됩니다.

PID와 같은 계통확인방법들은 항공전자, 추진등의 항공 계통들과 생물학, 통계경제학등의 비항공 계통들에서도 문제의 확인을 위해 적용됩니다.

PID는 권위있는 비행시험기관들이 공통적으로 사용하고 있는데, 미국 해군 항공시험센터, 미국 공군 비행시험센터, NASA, 콜만사(Kohlman Systems Research, Inc.)등이 해당됩니다.

미국 공군 시험센터와 NASA는 PID를 사용해 비행시험 프로그램에서 비행선도의 가장자리 부분에 대한 시뮬레이터의 유효성을 판정합니다.

특히, 콜만사는 훈련용 시뮬레이터에 사용하기 위한 데이터 베이스를 대항해서 개발해 주며 풍동과 PID에 의해서 유도된 계수들은 매우 현저하게 차이가 날 수 있습니다.

PID시험결과들은 계수값들과 동적반응에 대한 비교치를 생성함으로써 시뮬레이터의 비준에 나타날 수 있는 오관 가능성을 현격히 감소시키게 됩니다.

PID 비행시험이 관심이 되는 모든 비행조건과 항공기 형상에서 이루어 진다면, PID 기술은 고정익기의 공력계수에 대한 총괄적인 데이터 베이스를 구축할 수 있습니다.

반면에 회전익기의 경우는 비행운동이 매우 복잡하고 비선형적이어서 PID로는 모든 비행 영역에 대한 적용이 불가능합니다.

PID기술의 적용은 주의깊은 계획과 노련한 분석을 필요로 하는 복잡한 절차입니다. 개략적으로 절차의 주요 단계를 살펴보면 다음과 같습니다.

—비행시험장비의 설치 : 구하고자 하는 매개변수들은 고급 시험장비로 측정되어야 합니다.

—비행시험의 계획 : PID용 시험기동비행은 스텝(Steps), 더블릿(Doublets), 사이누소이드(Sinusoid)형태의 조종입력들을 활용해 특별한 항공기의 운동형태를 발생시키도록 계획됩니다. 비행조건은 비행선도를 효율적으로, 또한 빠짐없이 나타내도록 선택되어야 합니다.

—데이터의 분석 및 조정 : 이 과정은 일관성 있는 측정을 위해 예측범주를 벗어난 측정치의 제거, 미처 측정치 못한 값들의 생성, 측정치들의 조화등을 포함합니다.

—모델구조의 결정 : 이 단계는 대단히 중요합니다.

완전하게 모델을 결정하는 변수들의 최소 조합보다 부족한 변수들로 설정된 모델을 사용할 경우는 PID로 확인된 매개변수들이 상당한 오차를 내포하게 됩니다.

최소조합보다 약간 더 많은 변수들로 묘사된 모델로는 거의 영향력 없는 매개변수들도 확인될 것입니다.

지나치게 많은 변수들로 모델이 결정되었다면 막대한 컴퓨터 연산시간이 소모되면서도 유용한 매개변수의 집합을 결코 확인할 수 없을지도 모릅니다.

—실제 매개변수의 확인 : 이 단계에서 실제의 계통확인 알고리즘이 적용됩니다. 다양한 수학기술이 채용될 수 있지만, 그 결정과 시행은 전문가에게 맡겨야 합니다. 가장 널리 사용되는 알고리즘인 최대가능성기술은 칼만 필터(Kalman Filter)를 사용해 공력 및 측정 오차를 예측합니다.

—모델의 비준 : 비행시험에서 기록된 조종사의 입력이 확인된 모델을 시험하는데 사용되며, 그 결과가 항공기의 시험데이터와 비교됩니다.

공학적 판단과 경험이 모델과 그 결과가 유효한가를 판단하는 기준이 됩니다.

매개변수확인 방법들은 매우 강력한 수단이기는 하지만, 모든 시뮬레이터 데이터 문제의

만병통치약은 아닙니다. 앞에 언급된 방법의 복잡성과 난이도는 경험이 부족한 사람은 용이하게 이 기술을 사용할 수 없게 만듭니다.

훈련용 시뮬레이터의 개발에서 되풀이 되어 발생하는 문제는 훈련장치의 수학적 모델구조가 PID에 근거를 한 모델과 일치될 수 없다는 점입니다.

이 문제는 훈련장치의 모델을 결정하는 기술자와 PID를 사용해 비행시험데이터를 분석하는 전문가가 상호 협조함으로써 해결될 수 있습니다.

또 하나의 문제는 몇몇 효과들은 PID 분석용으로 사용될 수 있을 만큼 충분히 분리될 수 없다는 것입니다.

플랩이 조각난 상황(고장에 대비한 훈련)하에서 각각의 조종면 효과나 복잡한 fly-by-wire 조종계통은 풍동데이터나 분석방법에 의해 추정되어야 합니다.

앞서 언급된 바와 같이, 회전익기의 특성은 너무 복잡하고 비선형적이어서 PID를 폭 넓게 적용하지 못합니다.

끝으로, 주의할 것은 PID 방법이 시뮬레이터의 비준에 필요한 비행시험데이터를 대체하는 것이 아니라 단지 보완한다는 사실입니다.

그러므로, 계수들은 데이터베이스를 어떠한 방식으로 구축하느냐에 관계없이 전래의 비행시험결과들은 비행충실도에 대한 비준을 위해 필수적으로 요구됩니다.

• 상관방법의 요약

수학적 공력모델을 비행시험데이터와 조종사의 의견과 연관시키기 위해서는 사용가능한 모든 방법을 복합적으로 동원해야 하며 전래의 방법들을 이해해야만 전반적인 방향을 설정할 수 있습니다.

매개변수확인 방법들은 안정미계수와 동적 시험 기준데이터를 데이터베이스화 하기 위한 강력한 수단이 됩니다.

반복해서 시험결과를 유출하기 위해 자동화된 시험운전장치가 on-line이건 off-line이건 간에 적용되어야 합니다.

독일의 Tornado MRCA



모델의 결함이나 기준데이터의 부정확성을 검사해도 데이터의 불일치 문제가 해결될수 없다면, 공차요구조건들이 임무요구조건들의 항목별로 검토되어야 합니다.

조종사의 마무리

전형적인 시뮬레이터 개발과정에서 마지막 단계는 조종사의 평가가 주(主)가 됩니다. 시뮬레이터를 구매해 운용할 기관에서 나온 조종사가 최종승인 이전에 결함을 확인하기 위한 실습을 시뮬레이터의 모든 사용 용도 내에서 실시합니다.

조종사 평가과정은 매우 중요하며, 그 성공적인 운영여부가 시뮬레이터의 운명을 결정합니다.

경험있는 조종사들은 통상 항공기와 시뮬레이터의 거동들 사이의 상이점을 찾아 낼수는 있지만, 그 원인은 파악하지 못합니다.

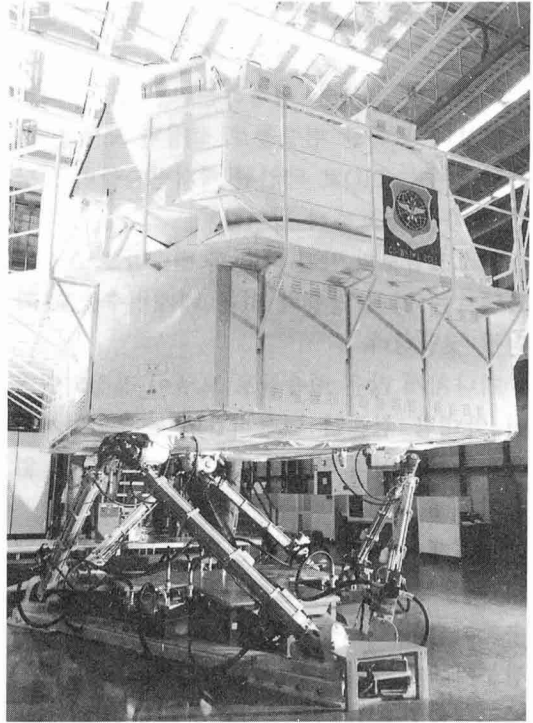
공학용 시험조종사들은 이러한 상이점들의 몇몇을 식별할수 있는 훈련을 받기도 합니다. 하지만, 대부분의 충실도 문제들은 시뮬레이터 전문기술자들의 분석으로만 해결됩니다.

스위치 조작에 따른 항법계통 진열의 변환과 같은 단순한 경우에 대해서는 시뮬레이터의 결함을 확인하는데 아무런 문제가 없습니다.

비행특성과 같은 복잡한 현상의 경우는 조종사의 불만에 대한 진정한 근원을 발견하기가 용이하지 않으며, 보다 주의 깊은 분석이 요구됩니다.

예를 들어, 조종사가 가로축 조종간 입력에 따른 시뮬레이터의 반응이 너무 민감하다고 주장했다면, 그는 단지 문제를 제기했을 뿐이며, 이 의견만으로 즉각적인 원인파악은 불가능합니다.

시뮬레이션 기술자는 조종사의 뱅크각 조종과 관련된 모든 시뮬레이터의 기능들을 분석해야만 합니다. 가로축 모의조타반력장치와 수학적 공력모델의 2부분은 앞서 언급된 상관방법들로 해석될수 있습니다.



美 공군의 WST 시뮬레이터

자동화된 시험운전장치가 이용가능하다면, 시뮬레이터 기술자는 시험조종사와 동일한 방법으로 시뮬레이터를 운전해서 반복해 시험결과를 유출해 낼수 있으며, 이 데이터들을 분석하고 유효성을 판정합니다.

그밖에도 운동방정식의 적분 알고리즘과 적분 스텝으로 야기되는 phase lags, 조종석내의 계기와 창박시계 그리고 요동장치로 전달되는 조종사 입력에 대한 반응의 전달지연등이 고려되어야 합니다.

이러한 문제들은 시뮬레이터의 통합과정에서 가능한한 조기에 조직적인 기술시험 프로그램이 시작되어야만 발견될수 있습니다.

비행역학 모델은 UH-60A의 비행시험데이터와 상당히 잘 일치하고 있지만, 조종사들은 여전히 시뮬레이터이 임무를 제대로 묘사하지 못한다고 생각하였습니다. 요동장치의 역학과 영상장치의 특성(지연, 시계, 화면 구성물)에 대한 기술적 측정은 공력모델의 충실도가 아닌, 요동과 영상으로부터의 불충실한 동기들이 주원인이었음을 발견하였습니다.

각종 장치로부터의 복합적인 동기로 이루어진 임무의 시험이나 데이터의 부족문제 등을 평가하기 위해 주관적인 조종사의 평가가 늘 요구됩니다.

조종사가 실제 항공기의 비행을 마친 직후라면 그 평가가 만족스러울지 모르지만, 30분만 경과해도 조종사는 이미 시뮬레이터에 익숙해져 항공기와 시뮬레이터의 비행특성 차이를 정확히 감지할수 없게 됩니다. 즉, 이 시점 이후에는 단지 적절한 비행시험기술을 사용하는 정량적 시험만이 의미를 가질 뿐입니다.

짧은 조종사의 기억력을 수용하며, 문제시되는 비행 특성영역에 대한 주관적인 평가가 효과적으로 수행되기 위해서는 정량적인 공학적 시험이 수반되어야 합니다.

또한 평가조종사는 그의 기억을 새롭게 하기 위해 자주 실제의 항공기를 비행해야 합니다.

시뮬레이터 기술자가 조종사의 의견을 받아들여 이를 반영한 수정보완 작업을 실시할 경우, 이전에 성립된 기술적인 데이터의 조화를 무효화 시키지 않도록 주의해야 하며, 시뮬레이터의 수정작업이 시작되기 전에 모든 비행특성이 평가되어야 합니다.

수학적 공력모델이 충분히 왜란에 강하다면, 시뮬레이터의 비행역학은 비행시험데이터의 변환에 크게 좌우되지 않습니다.

모든 이용가능한 데이터가 일치함에도 불구하고 조종사의 중요한 불평들을 만족시킬수 없음은 비행모델의 시험이 불완전하거나 다른 중요한 동기들이 적절하게 모의재현되지 않았기 때문입니다. 이러한 상황들을 해결하기 위해서는 경량 프로그램 운영과 충실한 공학적 판단이 요구됩니다.

맺 는 말

비행시뮬레이터의 비준과 평가를 성공적으로 수행하기 위해서는 진취적인 계획과 상당한 협력이 요구되며, 이 과정들은 복잡하며 오랜 기간을 소요합니다.

의도된 성능은 명백하게 규정이 되어야 하며, 타당한 시험요구조건으로 강요되어야 합니다. 많은 노력이 항공기의 비행시험프로그램에서 적절한 기준데이터를 획득하도록 경주되어야 합니다.

시뮬레이터의 비준과정은 내장된 자동충실도시험과 매개변수확인기술과 같은 자동화된 수단들을 사용함으로써 신속하게 처리될수 있습니다.

이 과정에서 충실한 공학적 판단을 이용해 조종사의 의견을 분석하고 필요한 조치를 취함으로써 조종사의 평가와 공학적 데이터를 조화시킬수 있습니다.

적합한 시험기준데이터를 갖춘 잘 조직된 공학적 비준 프로그램이라면, 주어진 임무에서 조종사와 시뮬레이터로 구성된 패쇄회로 특성에 관련된 조종사의 불만요인을 치유할수 있어야 합니다. *

참 고 자 료

- ▲ W. G. Schwickhard · S. J. Schueler · W. C. Schinstock, 「Why Simulators Don't Fly like the Airplane...Data」, Proceedings of the 13th IITSC, 1991년
- ▲ W. J. Bezdek and R. T. Galloway, 「Digital Test Pilot concept」, AIAA Technical Paper 82-0259
- ▲ Anon., 「Airplane Simulator and Visual System Evaluation」, FAA Advisory Circular 120-40A, 1986년 7월
- ▲ S. W. Ferguson · W. F. Clement · R. H. Hoh, and W. B. Cleveland, 「Assesment of Simulation Fidelity Using Measurements of Piloting Technique in Flight - Part II」 Presented at 41st Annual AHS Forum, 1985년
- ▲ D. L. Kohlman, 「A Comparison of Flight Test and Predictive Results From A Series of Simulator Data Generation Programs」, AIAA Technical Paper 88-2131.
- ▲ 윤석준, 「비행훈련용 시뮬레이터 기술개발에 관한 연구(1차년도 중간보고서)」, 상공부, 1992년 7월
- ▲ 홍용식, 「다목적 소형 항공기 개발 연구(3차년)」, 과학기술처, 1991년 7월