

항공기 시뮬레이터의 비준과 평가(1)



尹錫駿 / 大韓航空 항공기술연구원
항공공학박사

최근 들어 각종 고정익기 및 회전익기의 비행시뮬레이터에 관한 관심이 고조되고 있습니다. 최근 2, 3년 사이에 수준의 차이는 있으나, 시뮬레이터의 개발이 국내 학계와 산업체에서도 시도된 바 있습니다.

비행시뮬레이터가 연구용이 아닌 훈련용일 경우에는 상품성을 갖기 위해 비준 및 평가를 등한시 할수 없습니다.

비준이란 시뮬레이터와 항공기가 성능면에서 근접하느냐를 판단하는 절차이며, 평가란 과연 어느 정도의 충실도로 실상황을 모의재현할수 있는가 그 등급을 판정하는 과정을 의미합니다.

시뮬레이터의 획득시에 직구매를 고려한다 하더라도, 인수자가 반드시 그 비준과 평가 절차를 알아야만 그 구매가 효과적으로 이루어질 수 있습니다.

더욱이, 상품성 있는 각종 훈련용 시뮬레이터를 국내에서 자체 개발하기 위해서는 더욱 그 절차들을 이해하는 것이 중요합니다. 그러면, 훈련용 시뮬레이터의 비준과 평가절차를 개략적으로 살펴보겠습니다.

고급 비행시뮬레이터의 개발에는 능력있는 기술인력과 필요한 데이터를 최대로 활용하는 정련된 공정이 요구됩니다. 시뮬레이터의 개발 노력을 극대화하기 위해서는 어떠한 형태로든 관리통제가 존재해야 합니다.

관리통제에 사용되는 필수적인 도구들을 일부 나열해 보면 성능요구조건의 명확한 정의, 적시의 결함발견을 가능케 하는 일체된 시험 계획, 효율적 결함보완을 위한 명석한 해석기술의 적용등입니다. 이러한 도구들은 평가 및 비준 공정의 필수요소입니다.

다음의 내용들은 비행시험기준데이터를 강조한 미국 해군의 모의비행훈련장치획득과정에 근거를 둡니다. 기준데이터를 강조함으로써 공력설계데이터와 모델링에 내재하는 취약점들을 극복할수 있습니다.

하지만, 새로운 항공기를 개발할 경우에는 현존하는 항공기에 대한 훈련용 시뮬레이터를

비준하는 과정에서 축적된 경험에 비추어 보아, 모델에 대한 신뢰도가 적절한 비행시험데이터를 이용해 성립되기까지는 시뮬레이터의 이용에 상당한 주의가 필요합니다.

시뮬레이터에서 발생하는 통상적인 데이터 문제는 미국 공군이 후원한 한 연구결과에 요약되어 있는데, 강력한 프로그램의 운영에 의해 데이터 부족과 품질의 문제가 미연에 방지되거나 해결되어야 한다고 결론 짓고 있습니다.

이 연구결과는 또한, 시뮬레이터용 데이터의 획득과 품질관리는 항공기 무기체계의 수명주기에 정식으로 통합되어 이루어져야 함을 제안합니다.

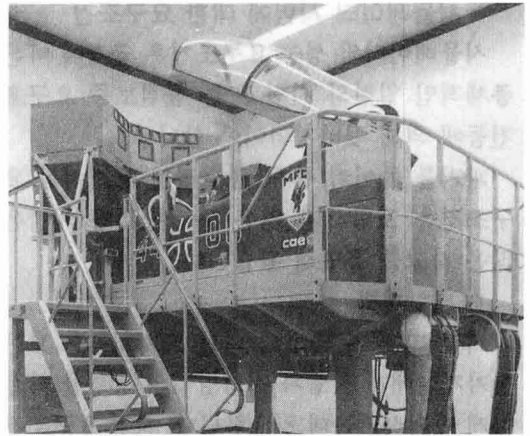
데이터에 대한 기본적인 제한은 기술적인 문제가 아니라 프로그램 운영상의 문제에서 야기됨을 이 연구결과는 말해 줍니다.

시험 요구조건

• 특성 요구조건

작전임무에 대한 훈련 요구조건이 확정된 이후에도 시뮬레이터가 비행훈련에 사용되기 위해서는 성능의 요구조건을 정의하는 상세한 규정이 작성되어야 합니다.

전형적인 군 비행훈련용시뮬레이터의 특성들을 결정하는 기술자들은 성능 요구조건은 특별히 강조하고, 제작에 따른 세부사항에 대한



독일의 Tornado MRCA 시뮬레이터

정의는 극소화 해야 합니다.

주요 성능요구조건들은 다음과 같습니다.

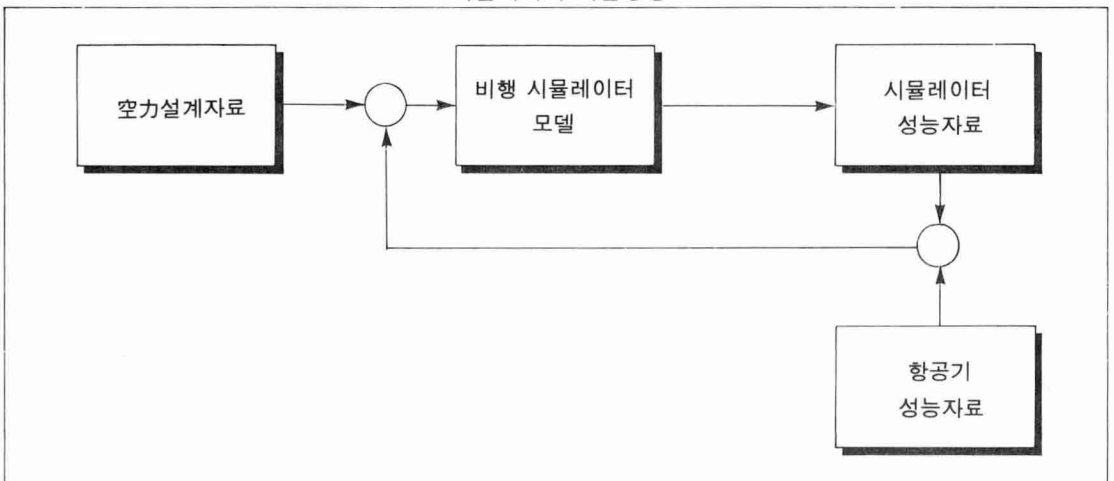
—시스템 정의: 작전임무훈련을 위한 시나리오를 서술한다.

—훈련장치의 성능: 모의재현되는 실제의 현상 즉, 항공기와 항공기 각 시스템 그리고 비행환경등에 관련된다.

—주요부품의 성능: 바람직한 시뮬레이터 하드웨어 부품들을 묘사한다.

시뮬레이터의 하드웨어에 대한 성능요구조건과, 불량한 설계상의 선택을 방지하고 이전의 시뮬레이터 획득에서 익힌 교훈을 보전하기 위한 몇몇 설계제작상의 세부항목들이 있습니다. 이런 규정은 시험 또는 품질보증에 대한 요구조건으로 결론을 맺습니다.

시뮬레이터 비준공정



• 시뮬레이터 시험에 대한 요구조건

시뮬레이터의 성능 요구조건은 규격에 따른 총체적인 일련의 시험 또는 품질보증 요구조건등에 의해 뒷바침되어야 합니다.

과거를 돌이켜 볼때, 총괄적인 규격시험 요구조건을 포함하지 않은 훈련장치의 개발은 많은 사고를 유발해 왔습니다.

* 시험계획

시험 및 평가 공정에 대한 조기계획은 모든 참가자들에게 시험과 시험방법의 방향을 확실하게 이해시키는데 필요합니다. 시험 요구조건이 설정되고 강요가 되지 않는다면, 시뮬레이터 개발기간의 후반부는 모두 순간순간의 위기로 점철될 것입니다.

그로인해 최종 승인시험과정에서 뒤늦게 주요결함이 발견되어 계획에 차질이 발생하며 또한 부적합한 고식적 해결들이 차례로 뒤를 이을 것입니다.

적절한 시험프로그램은 주요 결함의 발견, 교정과 후속개발의 우선순위 결정, 시뮬레이터가 원래의 설계요구조건과 부합함에 대한 일반적 보증등을 위해 필수적으로 요구됩니다.

비행시뮬레이터 시험프로그램의 핵심 요소로는 설계과정에서 적절한 시험장치와 핵심 시험매개변수들의 선정을 위한 시험장비설치를 우선적으로 들수 있습니다.

또한 항공기 기준데이터의 적용을 최대한도로 보장하는 시험방법, 비행특성 뿐이 아니라 시뮬레이터의 주요 하부시스템들 즉, 영상, 요동장치를 나타내는 시험항목 등을 들수 있습니다.

* 예비평가

이해를 돕기 위해 미국 해군의 항공기 획득 과정에서 사용된 소위 해군예비평가(NPE)라 지칭되는 개발시험 개념을 도입하면, NPE는 간략화된 평가절차라 할수 있는데 전체적인 결함을 발견하기 위해 개발주기상 초기단계에 실시됩니다.

이는 개발주기중 수정에 필요한 적절한 시간을 확보하기 위해서입니다.

통상 3일에서 5일간 진행되는 NPE는 전문 지식을 보유한 시험위원과 과제전문가에 의해 수행되므로 형식적이고 엄격한 시험절차서류들을 요구하지 않으며 일반적으로 개발상황에 기초를 둔 단순 시험계획만으로 충분합니다.

NPE는 시험 및 교정을 위한 절차가 아닙니다. 계획된 시험방향을 위협하는 주요 문제점들을 교정하는 경우를 제외하고는, 효율성을 유지하며 초기에 수행된 시험결과를 무효화시키지 않기 위해 각각의 NPE가 독립적으로 수행됩니다. 시험결과에 따라 시뮬레이터 제작업자들은 후속되는 훈련장치 개발과정의 우선순위를 정합니다.

* 자동화된 충실도시험

시뮬레이터상의 비행시험도 기본적으로 항공기의 일반 비행시험과 동일한 시험기술을 사용하며 시험기준으로 실제의 비행시험데이터를 최대한도로 활용합니다.

시뮬레이터시험의 반복성은 자동 충실도시험 운전장치의 사용으로 향상될수 있는데, 컴퓨터가 제어하는 조종간, 페달, 추력입력장치 등이 사용되어 시뮬레이터의 비행 및 엔진 역학을 작동시키고 그 결과를 기록하는 것입니다.

단순한 스텝(step), 시뉴소이드(sinusoid), 또는 사전에 기록된 데이터 등의 과형들이 입력으로 사용되기도 하는데, 정말로 중요한 것은 표준비행시험기술의 자동수행입니다.

이러한 Autopilot 형태의 기능은 일단 수동으로 시행된 결과와 비교를 통해 유효성이 확인된 이후에 활용되어 비행시험조종사들의 잡무를 상당히 절감하고, 조종사들이 어떤 특수한 문제영역에 전념할수 있도록 도와줍니다.

시험결과를 자동적으로 기록하여 합격/불합격 판정을 해 줌으로써 시뮬레이터 기술자들과 보수/재비준 팀들에게 유익하게 사용됩니다.

현대의 군과 FAA와 관련한 훈련용 시뮬레이터에 관한 규정들은 이러한 자동 충실도시험기능을 요구하는데, 효율적이며 합리적인 시험운전 알고리즘의 사용으로 시험시간을 3분의 1 수준까지 현저하게 감소시킬수 있습니다.

관련된 하드웨어와 소프트웨어가 시험수행 시에 모두 포함되는 것이 바람직하며, 이 때 사용되는 알고리즘은 조종실내의 조종장치와 계기들을 실제로 조종해 전체 시스템의 성능을 시험합니다.

다수의 시뮬레이터 개발자들은 소프트웨어의 결함 발견을 위해 off-line 시험조종장치를 이용하기도 합니다. 이러한 off-line 조종장치가 유익하기는 하지만 비준목적에 한해 사용될수 밖에 없는데, 이는 모의조타반력장치와 같은 중요한 하드웨어 부품들이 포함되지 않았기 때문입니다.

자동 전기구동장치 대신에 항공기용 기계식 용수철 카트리지를 사용하는 시뮬레이터에서는 모의조타반력장치를 자동적으로 구동할수 없기 때문에 비준 목적에 한해 사용됩니다.

Off-line 자동 충실도시험장치는 보다 복잡하고 정교한 hardware-in-the-loop 방식이 P-3C, T-45, TH-57 항공기에 대한 미국 해군의 훈련장치에 적용된 바 있습니다.

*** 공차**

요구되는 비행충실도를 정량화하기 위해 통상 일련의 공차들이 비행훈련장치의 규격에 포함됩니다. 공차가 의미를 가지려면 조종위치 및 조종력, 속도 및 가속도 등 직접 측정가능한 시험매개변수들에 적용되어야 합니다.

공력계수 수준에서 공차를 설정하는 것은 무의미하다 할수 있는데, 이는 정확한 수치에 대한 불확실성과 주어진 반응 매개변수내의 다양한 계수들간의 상호작용들 때문입니다.

훈련되는 전술에서 조종사에게 주어지는 임무와 매개변수간의 관계에 따라 각각의 시험 매개변수들에 적용되는 공차는 달라집니다.

현명한 기술자가 규격을 정하는 경우 이러한 가능성을 예측하기는 하지만, 시뮬레이터의 개발도중에는 초기에 설정한 공차를 통상 반복해 사용할 필요가 있습니다.

새로운 항공기에 대한 훈련용 시뮬레이터를 동시병행개발하는 동안에는 개발되는 항공기의 본질과 기준데이터의 품질에 대한 이해가

갈수록 깊어지더라도 초기에 설정한 공차가 반복되어 사용되어야만 합니다.

초기 공차요구조건은 항공기의 운용시와 시험시의 환경과 시뮬레이터 승인시험시의 환경 등에 관한 깊은 지식에 바탕을 두어야 하며, 초기치들을 수정할 경우에는 구매자와 판매자 간의 상호동의에 의해 이루어져야 합니다.

시뮬레이터와 항공기의 데이터들을 비교할 시는 조종사에게 적절하며 대표적인 임무를 부여하는 것이 중요합니다.

예를 들어, 만약 조종사가 날개의 수평을 유지하도록 시뮬레이터내에서 그의 관심이 집중되어야 한다면, 그에게서 항법과 통신절차를 익히는 것을 기대하는 것은 그와 같은 상황이 실제 항공기내에서 존재하지 않는다는 가정이 성립한다면, 무리라 하겠습니다.

시뮬레이터에 대한 공차들은 2가지 방식으로 설정됩니다. 하나는 모의재현되는 모든 비행영역하에서 주요 매개변수들에 관한 공학적 비교치를 결정하는 것이며, 또다른 하나의 시뮬레이터의 특정교육임무에 따른 핵심매개변수들에 관해서만 훈련에 방향을 둔 비교치를 설정하는 것입니다.

첫번째 접근방법은 군용 훈련장치에서 사용되며, 두번째는 상용 비행훈련용 시뮬레이터들에서 이용됩니다.

FAA의 요구조건은 임무에 방향을 맞추었으며 공차들의 폭이 넓습니다. 이러한 접근방법은 주어진 임무가 상대적으로 정의하기가 용이하고 사용자들이 이미 경험있는 조종사들인 훈련시나리오에서 성공적임이 입증되었습니다.

군전술항공기 시뮬레이터에 대한 충실도 규격은 상용인 경우보다 훨씬 더 엄격합니다. 왜냐하면, 비행임무가 매우 복잡하며 사용자중 대부분이 조종기술을 개발할 여지가 많은 초보자들이기 때문입니다.

그러한 훈련용 시뮬레이터가 모든 가상상황하에서 사용되려면, 모의비행되는 전 비행영역에서 양호한 공학적 충실도에 의존할수 밖에 없습니다.

비행시험 비준데이터

고정익기나 회전익기 시뮬레이터들의 비준에 사용되는 일반적인 비행시험 항목들은 다음과 같습니다.

- 중량 및 평형 특성
- 비행조종계통의 기계적 특성
- 비행중 성능특성
- 자동 비행조종계통의 특성
- 추진계통의 특성
- 지상 취급성

개별적인 항공기의 유형에 따라 추가의 시험항목들이 적용되는데 그 예들은 다음과 같습니다.

- 실속과 스핀(고정익기)
- 무동력 회전낙하비행(회전익기)
- 정지비행특성(모든 VSTOL)
- 반 제트비행(제트 양력 VSTOL)
- 엔진작동불능시의 비행특성(다발엔진기)
- 무기발사효과(전술 항공기)

시뮬레이터의 하드웨어와 소프트웨어의 통합이 개시되기 전에 위에 언급된 모든 데이터들을 입수하는 것이 바람직하며, 그렇게함으로써 충실도시험절차를 완전하게 수행하기 위한 잣대가 준비되는 셈입니다.

하지만, 비행시험 프로그램의 특성으로 인해 유용한 비행시험데이터가 통상 부족한 것이 또한 현실입니다.

• 비행시험 프로그램의 본질

신기종의 항공기에 대한 전형적인 비행시험 프로그램은 그 기종에 부여되는 임무수행의 효과성, 비행안전성, 설계된 성능의 보장등을 증명할수 있도록 편집됩니다.

비행시험이란 특수한 시험장비를 장착한 다수의 원형 항공기와, 시험결과를 수집하고 분석하기 위한 상당한 인력을 필요로 하는 절차로서 막대한 자금과 시간을 소요합니다.

비행품질 및 성능에 대한 시험계획은 이용

가능한 항공기, 시험장비의 가격, 장착에 소요되는 시간, 시험 인력등의 제약등에 좌우됩니다.

시험의 확장은 초기 시험에서 발견된 항공기의 결함에 대한 보완을 확인하기 위해 통상 이루어 집니다.

시뮬레이터용과 항공기용 데이터가 동시에 수집되어야만 하는 신기종의 항공기에 대해 시뮬레이터의 비준데이터가 요구될 경우에 다음의 2가지 문제영역이 중요하게 대두됩니다.

첫째, 원형 항공기에 대한 대폭적인 개조는 이전에 생성된 데이터의 상당부분을 무효화할수 있습니다.

둘째, 비행시험의 대부분은 비행선도의 가장 자리에 치중해 수행될 것입니다. 반면에, 훈련용 시뮬레이터는 조종에 따른 시간축에서의 반응 경과데이터에 중점을 두어 비행선도의 가장자리와 중간부분 모두에서 비준 받아야 합니다.

이와 같은 조건하에서 유용한 시뮬레이터 비준데이터를 생성하기 위해서는 잘 계획된 항공기 프로그램의 운영이 요구됩니다.

이러한 계획이 계약이나 다른 업무서류등을 통해 공식적으로 재가되면, 개발시험과 함께 정상운용조건에서의 광범위한 데이터 수집이 비행시험에 포함될수 있습니다.

또한, 막대한 항공기 설계변경이 현존하는 데이터를 무효화할 경우는 후속시험계획이 수립됩니다.

시뮬레이터용 데이터 세트를 수집하기 위한 전용 비행시험 프로그램은 광범위한 데이터 세트를 확보하기 위한 가장 효과적인 방법이며, 항공기와 시뮬레이터가 동시에 병행해 개발되지 않는 경우에 사용됩니다.

프로그램의 계획에는 시험개시전에 항공기에 시험장비를 적절히 장착하기 위한 기간(통상 6개월 정도)과, 시험종료후에 데이터의 그래프를 작성하고 분석하기 위한 기간(통상 6개월)이 포함되어야 합니다.

실제로 비행시험의 수행에 요구되는 시간은 항공기의 유형에 따라 다르지만, 대충 50 내지 75 비행시간 정도입니다.

데이터를 생성하는 사람과 데이터의 사용자 간에는 계속적인 협조가 절대적으로 필요하며, 적절한 데이터가 생성되고 바르게 해석되어 시뮬레이터의 시험에 올바르게 적용되기 위해서는 이러한 협조가 필연적으로 요구됩니다.

1991년의 AIAA 비행시뮬레이션 기술회의에서는 모든 분과가 헬기와 상용 항공기의 시뮬레이터에 대한 비준용 비행시험데이터를 주제로 토론을 벌였을만큼 비행시험데이터를 중요하 하겠습니다.

• 기타의 데이터 생성원

비행시험데이터가 충분치 못할 경우 시뮬레이터 개발자는 다른 데이터 제공원을 이용해야 합니다. 요구되는 데이터의 생성방법에 따라 선호도가 결정되며, 그 순위는 다음과 같습니다.

첫째, 직접 측정된 항공기의 비행시험데이터.

둘째, 일반화된 비행시험데이터. 공개적으로 이용가능한 비행데이터는 통상 성능에 관해서만 언급하며 안정성과 조종성에는 관련하지 않습니다.

셋째, 분석적 방법으로 생성된 예측 데이터.

넷째, 시험대나 사람이 조종하는 비행시뮬레이터와 같은 공학용 시설로부터 도출된 예측 데이터.

항목별로 추출되는 기준데이터의 신뢰도는 아래로 내려 갈수록 감소합니다. 공학연구용 시뮬레이터의 경우 비행선도의 특정 부분을 상세히 연구하기 위해 제작 되었기 때문에, 그 모델의 구조가 훈련용 시뮬레이터의 모델과 현저히 다를수 있습니다.

여기서 주의할 것은 공학연구용 모델도 실제 비행시험데이터를 이용해 유효성이 입증되어야 한다는 사실입니다.

• 시뮬레이터 데이터의 개발계획표

이상적인 기준 비행시험데이터는 최소한 다음의 2가지를 포함해야 합니다.

첫째, 시뮬레이터의 설계동결 이전에 개발자에게 전달되는 총괄적인 데이터 패키지, 둘째, 첫째항목을 보완하는 후속 데이터 패키지들, 왜냐하면 조종사에 의한 시뮬레이터의 시험이

시작된 이후라야 데이터 부족문제가 명확해지기 때문입니다.

이와 같은 이상적인 상황하에서는 시뮬레이터의 설계동결 이전에 전용 비행시험 프로그램이 수행될수 있다는 가정, 시뮬레이터 시험기간중 후반에도 비행시험 예산이 이용가능하다는 가정, 마지막으로 시뮬레이터 개발자는 시뮬레이터의 설계동결 이후에 전달된 기준데이터라 하더라도 기꺼이 수용할 자세가 되어 있다는 가정 즉, 계약상의 요구조건 등이 전제가 됩니다.

후속데이터의 생성과 이용에 관한 규정은 근래 미국 해군의 대부분 시뮬레이터 개발과정에서 이 문제가 공통적으로 대두되었으리만큼 필요 불가결하다 하겠습니다.

불완전하거나 불합리한 비행시험데이터나 미처 발견하지 못한 수학적 모델의 결함이 야기한 예상되지 않은 충실도의 문제를 조종사의 시뮬레이터 시험이 드러낼 경우, 데이터의 부족문제는 더욱 두드러지며, 평가조종사가 실제 항공기의 특성에 능숙해지기 위한 목적으로도 추가의 비행시간이 요구됩니다.

시뮬레이터와 항공기의 동시병행 개발은 점진적인 데이터 획득절차를 필요로 합니다. 이러한 데이터의 추가분은 단지시험결과의 잡다한 단편을 수집한 것이 아니라 시험된 조건들의 이미있는 모음이거나 핵심적 일편을 나타내어야 합니다.

비행시험팀과 시뮬레이터의 개발자는 이러한 공정을 엄격히 준수해 데이터를 생성해야 하며, 초반에 생산되는 기준데이터 패키지는 가능한 한 방대한 비행시험데이터를 포함해야 합니다.

데이터 패키지는 항공기 프로그램 중 주요 개발계획표에 따라 새롭게 갱신될 것인데, 최신데이터의 공급은 형식적인 품의절차에 제한받을 필요없이 적시에 이루어져야 합니다.

또한, 전 비행시험계획중 시뮬레이터의 데이터 부족문제에 대한 지속적인 관심이 기울여져야 합니다. (다음호에 계속)