

무인기 고장진단을 위한 비행시험에 관한 연구

The Study on the Flight Test for Fault Detection and Identification of Uninhabited Aerial Vehicle

박옥제*, 김응태, 성기정(한국항공우주연구원)

1. 서 론

항공기 시스템의 성능 향상은 시스템 복잡성으로 이어지며, 고장의 가능성도 증가하게 된다. 시스템 결함이 발생할 경우, 결함을 즉시 발견하고, 조종사가 적절한 조치를 취하면, 위험으로부터 벗어날 수 있게 된다. 1970년대 여객기 사고가 2건이 보고 되었는데, 한 경우는 slot이 고장난지 모르고 조종사가 비행을 지속하다 실속으로 추락하였으며, 또 다른 경우는 승강기 하나가 이륙도중 고착되었으나, 조종사의 인지로 인해 적절한 조치를 취함으로써 큰 사고를 면할 수 있었다. 고장진단의 중요성을 알 수 있다.

고장진단은 고장 검출(Detection)과 고장 분리(Isolation), 그리고, 고장식별(Identification)로 순차적으로 구분된다. 고장의 발생여부를 판단하는 과정을 고장검출이라고 하고, 고장의 종류, 위치, 발생시간 등의 정보를 추출하는 과정을 고장 분리라고 한다. 고장식별은 고장 정도 및 고장 형태와 특성을 추정하는 과정을 의미한다. 고장 검출과 고장 분리는 항공기 안전에 매우 중요하고 필수적인 반면 고장 식별은 고장 허용제어를 하는 경우를 제외하고는 중요도가 떨어진다. 따라서 고장 진단은 일반적으로 고장 검출 및 분리(FDI : Failure Detection Isolation) 문제로 국한되는 경우가 많으며, FDI로 줄여서 언급되기도 한다.

유인항공기는 조종사의 적절한 판단으로 고장의 인지가 그에 따른 조치가 가능하나, 무인항공기는 그렇지 못하므로 다소 복잡하고 까다롭다. 무인기에 적용할 수 있는 고장 검출 및 분리 방법은 하드웨어적 방법(Hardware

Method)과 해석적 방법(Analytic Method)이 있다. 본 연구는 비용과 공간상의 인해 하드웨어적 방법 대신 해석적 방법을 고려하였으며, 실시간 미계수 추정방법(Real-Time Parameter Estimation Method)을 고려한 비행시험을 수행하였다. 또한 정상상태와 고장을 가정한 상태의 비행시험을 각각 수행하였으며, 자료 분석을 통하여 두루미-II에 알맞은 조종입력을 선정하였다.

2. 조종입력 프로그래밍

미계수 추정을 위한 조종입력은 소형비행기의 경우에는 수동입력이 인가되며, 고성능 항공기 경우는 수동이나 자동입력이 인가된다. 무인비행기의 경우에도 동일하지만, 자동입력의 경우는 비행체의 자동비행시스템이 구성이 되어야하며, 또한 시간과 비용, 노력이 많이 필요하다. 수동입력의 경우는 비행자세가 안정화되지 못한 상태에서의 조종입력인가나 조종입력의 크기가 일정하지 못하는 등 다양한 조종입력 오차를 포함하게 된다.

근래에 개발된 RC용 송신기는 많은 기능들이 내재되어 있으며, 다양한 프로그램기능이 포함되어 있고, 동시에 통제 가능한 조종면도 9개나 최며, 최신 모델의 경우는 14개까지 확장이 가능하다. 현재 두루미-II에는 도움날개, 방향타, 승강타, 추력, 플랩, 노즈기어 조향장치 등 총 6가지만 사용하며, 2개의 여유 채널이 생기게 된다. 2가지에 프로그래밍을 통하여 정상상태와 고장가 정상상태로 완벽한 전환 비행이 가능하다.

우선 조종면 고착상태로 가정할 조종면을 Y-Connector에서 분리하여 별도의 여유채널에

연결한다. 본 연구에서는 우측 승강타로 가정하였으며, 정상상태의 경우는 좌측 승강타에 우선하여 우측 승강타를 Mixing하면, 두 조종면은 항상 같이 움직이게 된다. 별도의 스위치에 Mixing 기능을 On-Off가 가능하도록 설정하면 고장상태와 정상상태가 간단히 전환된다.

조종입력은 마지막 여유채널에 최대-중간-최소값에 맞추어 승강타 변위가 위-중간-아래로 각각 +/-5도와 0도가 되도록 Mixing을 설정하면, 간단한 스위치 조작으로 정확한 조종입력을 인가할 수 있게 되며, 조종입력 인가자는 시간에 유의하면 된다.

3. 미계수 추정을 위한 조종입력설계

일반적으로 미계수 추정을 위한 조종입력은 매우 다양하다. 대표적으로 Pulse Input, Doublet Input, 2-1-1 Multistep Input, 3-2-1-1 Multistep Input, Mehra Input, DUT Input 등이 있으나, Mehra Input과 DUT Input은 자동 조종에 의한 입력만이 가능하다. 나머지는 조종사의 숙련도에 따라서 가능하다. 조종입력의 크기는 비행자료분석 후 결정하였다.

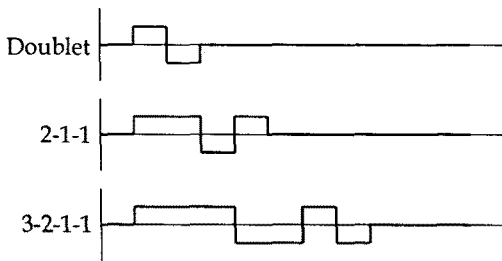


그림 1. 조종입력의 종류

비행자료 분석한 결과, 비행자세를 알 수 있는 적절한 고도는 200m내의였으며, 승강타 입력이 길어지면 비행기 고도를 많이 잃게 되어 안전한 비행을 유지하기 어렵게 되었으며, 따라서 적절한 조종입력은 1초 간격으로 입력되는 더블렛이다. 추가 비행시험에서는 조종입력간격을 1초보다 작도록 주어진다면, 2-1-1이나 3-2-1-1 Multistep Input도 가능하다.

4. 비행 시뮬레이션

비행 시뮬레이션 모델은 DATCOM 방법에 의해 계산된 결과와 원형모델의 풍동시험 데이터와 비교분석을 통해 공력계수를 보완 및 검증하였으며, 각 조종면 작동기와 엔진 Dynamics 및 비선형 추력 모델링을 고려하였다.

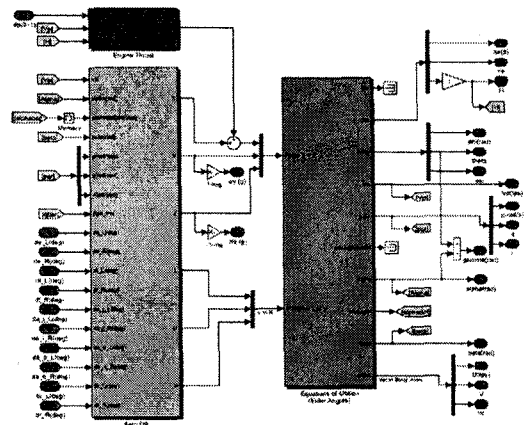
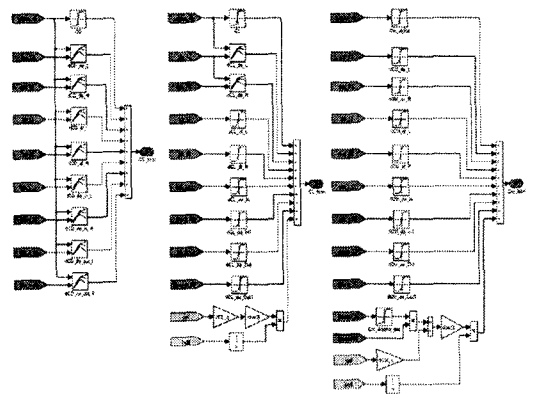


그림 2. Simulink를 사용한 두루미-II 비선형 시뮬레이션

완성된 시뮬레이션 모델은 HILS 비교시험과 위험한 조건에서의 비행시험 전에 비행시험 적합성 점검에 사용될 수 있다. 그림 3은 고장이 없는 정상상태에서의 3-2-1-1 Multistep Input에 따른 시뮬레이션 결과와 주파수 변환기법을 사용한 실시간 미계수 추정 결과를 이용한 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

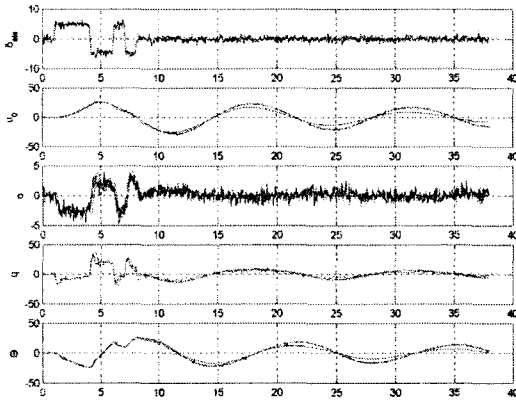


그림 3. 3-2-1-1 Multistep Input에 의한 시뮬레이션 결과

5. 비행시험 자료 분석 및 비행시험 계획

그림 4는 정상상태에서 승강타 더블렛 입력 후 두루미-II의 비행 거동을 도시하였으며, 그림5는 우측 승강타가 트립상태 보다 다운트립으로 4도정도 고착되어진 고장으로 가정된 후 좌측 승강타의 더블렛 조종입력 후 무인기의 거동을 도시하였다. 비행기가 수평자세를 유지하지 못하고 기수가 내려가고 선회하면서 서서히 떨어지는 거동을 보여주고 있다.

1차 비행시험 비행자료 분석에 따라서 발견된 문제점 수정 후 지속적인 비행시험이 있을 예정이며, 정상상태와 고장가정 상태의 비행시험을 수행 예정이며, 예정된 시험의 종류는 표 1과 같다. 미계수 추정을 위해서는 다양한 조건에서 반복적인 비행을 통해 많은 양의 자료가 확보되어야 해석자료의 신뢰성을 높일 수 있다.

표 1. 비행시험 종류

정상상태 비행시험	
세로운동	elevator : -10, -5, 0, 5, 10
가로-방향운동	rudder : -10, -5, 0, 5, 10
고장가정상태 비행시험	
세로운동	elevator(left) : -10, -5, 0, 5, 10
가로-방향운동	rudder(left) : -10, -5, 0, 5, 10

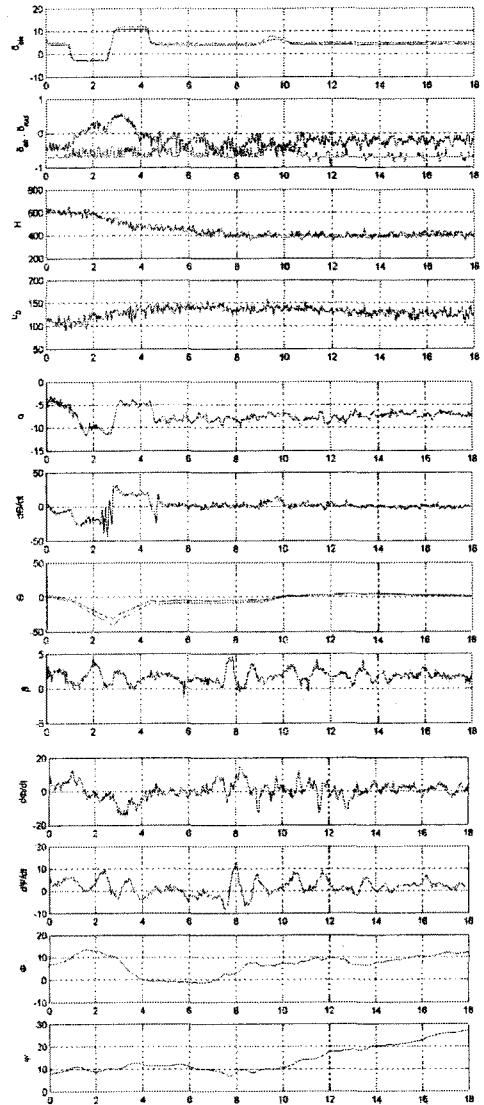


그림 4. 정상상태의 비행자료

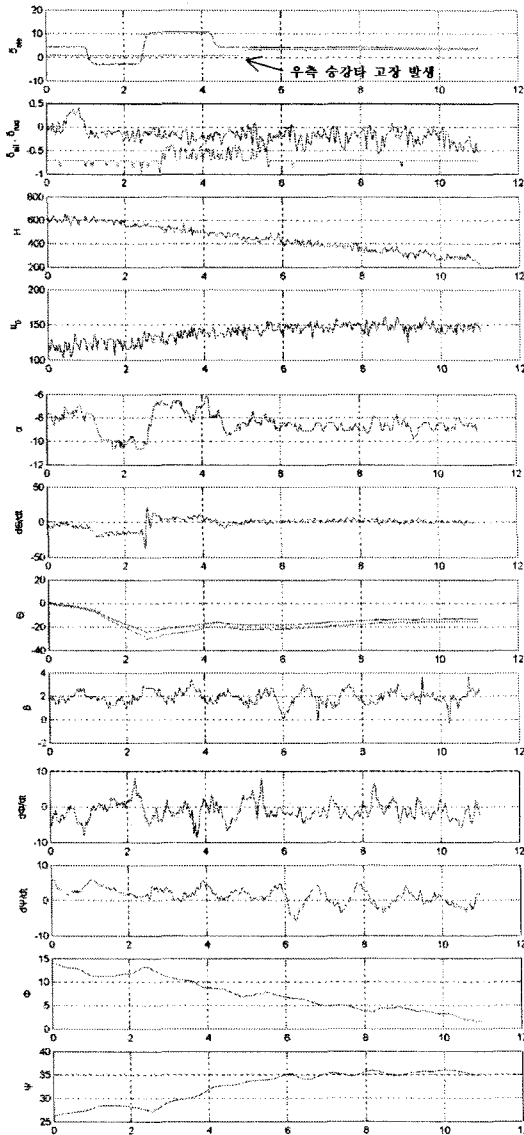


그림 5. 우측 승강타 고장 상태 가정 비행자료

6. 결론

무선 조종장치의 Mixing Program을 통하여 정상상태와 고장가정 상태의 전환이 비행 중 안전하고 완벽하게 이루어짐을 확인하였으며, 조종입력 또한, 자동입력이 아닌 수동입력으로도 양질의 조종입력이 확보됨을 확인하였다. 비행자료 분석 결과 약간의 조종입력의 주기의 변경이 필요하며, 앞으로 예정된 비행시험에서는 양질의 비행자료확보가 가능하다. 또한, 시뮬레이션 결과와 실제 비행자료와 비교분석이

필요하다.

참고문헌

1. 구삼욱, "15kg급 장기체공형 무인항공기의 개념설계 연구", 한국항공우주연구원 기술보고서, KARI-UD-TM-1999-009, 1999. 9.
2. 구삼욱, 김종욱, 이정진, 남궁호용, 장성호, 오재석, 염찬홍, "15kg급 장기체공 무인항공기 시제1호기의 동안정성 해석 및 실험 비교 분석", 한국항공우주연구원 기술보고서, KARI-UA-TM-2000-010, 2000. 6.
3. 김유단, "고장진단 및 다중화 기술개발", 산업자원부, SUDP-P1-G4, 2005. 3.
4. Morelli, E.A. "In-Flight System Identification," AIAA paper 98-4261, Atmospheric Flight Mechanics Conference, Boston, MA, August 1998.
5. Morelli, E.A. "Real-Time Parameter Estimation in the Frequency Domain", AIAA paper 99-4043
6. FUTABA PCM1024 "Instruction & Operation Manual".