

## CIFER를 이용한 스마트무인기 40%축소기 종운동모델 변수추정

이혜원\*, 최형식\*\*, 김응태\*\*\*

### Parameter Identification Of Smart UAV 40% scale Using CIFER

hye-won Yi\* , Hyoung-Sik Choi\*\*, Eung-Tai Kim\*\*\*

#### Abstract

Flight-test is necessary at the identification of dynamic model of flight vehicle . A commonly faced problem is that once the flight-test instrumentation system is difficult to reschedule in the vehicle at the end of the test. This paper identified the parameter of dynamic model of vehicle using measurement data of non-flight test. The identification algorithm is based on frequency response identification method (CIFER) dealing with a longitudinal motion of Smart UAV 40% scale.

#### 초 록

항공기의 변수 추정을 위해서는 비행시험을 통해 얻어진 데이터를 이용해야한다. 비행 시험의 문제점으로 비행중에는 데이터를 재조정하기가 힘들다. 이러한 점을 감안하여 본 논문에서는 변수추정을 위한 비행시험을 대신해서 선회 비행 데이터를 사용하여 주파수 영역에서 변수를 추정하는 상용화된 변수추정프로그램(CIFER)으로 스마트 무인기 40% 축소기의 동적 파라미터를 추정하였다.

키워드 : 사이퍼 (CIFER), 변수추정 (Identification), 틸트로터 (Tilt-Rotor) 시스템 식별(System Estimation)

#### 1. 서 론

항공기의 파라미터 추정은 항공기 시스템 설계에 있어서 시스템 설계와 제어 시스템 설계에 따른 시뮬레이터 구축을 위한 목적으로 사용할 수 있다.[1]

항공기 설계에서 수시로 변화하는 항공기의 동적특성 파악을 위해서 시뮬레이터를 사용하여 비용 절감, 비행시험의 안정성 등을 들어 중요하게 사용되고 있다. 이러한 시뮬레이터는 실제 비행을 대신 하기 때문에 조종사의 실시간 입력에 대해 실제와 같은 응답상태를 가져야 한다. 정확

접수일(2007년12월14일), 수정일(1차 : 2008년 10월 23일, 2차 : 2008년 10월 27일, 게재 확정일 : 2008년 11월 1일)

\* 첨단비행제어팀/yihwon@kari.re.kr

\*\* 첨단비행제어팀/chs@kari.re.kr

\*\*\* 첨단비행제어팀/eungkim@kari.re.kr

한 응답상태를 얻기 위한 중요 요소로 공력계수 및 안정/조종 미계수 등의 비행역학 변수가 된다. 이러한 변수들을 결정하는 방법으로 수치적 시뮬레이션을 이용하거나 풍동시험, 비행시험을 통한 변수 추정 등이 있다.

비행시험을 통해서 변수를 추정하게 되는 경우, 실제 항공기의 조종입력 상태를 이용하게 되므로 조종/안정 미계수를 추정하는 경우에 정확한 결과를 얻을 수 있다. 변수를 추정하는 기술에는 비행시험에서 저장된 데이터를 이용하여 추정알고리즘으로 변수를 예측하는 후처리 방법(Off-line Parameter Estimation) 과 비행시험에서 실시간으로 파라미터를 추정 할 수 있는 기술인 실시간 처리 방법(Real-time Parameter Estimation) 으로 구분 할 수 있다.[3]

후처리 방법의 경우, 추정 알고리즘의 반복적인 계산으로 변수예측을 하기 때문에 오랜 작업시간이 소요되는 단점이 있지만, 실시간 파라미터 추정기술에 비해 변수추정 연구에 많이 사용되며 상용화된 프로그램들도 많이 나와 있다. 상용화 프로그램으로는 DLR에서 개발한 ESTIMA 와 FITLAB, NASA에서 개발 된 CIFER (Comprehensive Identification From Frequency Responses)가 대표적이다.

본 연구에서는 항공우주연구원에서 개발 하고 있는 스마트 무인기의 40% 축소기의 동적 파라미터를 CIFER의 주파수 영역에서 변수를 추정하는 기능을 이용하여 변수추정을 위한 비행시험 데이터를 사용하지 않고 비행 시에 저장되었던 데이터에서 추출하여 변수추정이 가능성을 확인하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 변수추정 프로그램 (CIFER)

CIFER는 변수 추정 프로그램과 그 밖에 데이터베이스에 연결해주는 여러 프로그램을 포함한

통합 프로그램이며 주파수 영역에서 사용되는 변수추정을 위한 프로그램이다.

이 프로그램은 항공기 개발단계에서 사용하기 위한 툴로 개발되어 NASA에서 개발하는 무인항공기 및 회전익, 고정익 항공기에서 변수 추정을 위해 사용 되고 있다.[3]

그림 1 과 같이 CIFER는 크게 6가지의 주요 분석 프로그램으로 구성되어 있다. 항공기의 조종/안정 및 동적 미계수를 추정하기 위해서는 항공기에 정상상태 비행에서 조금 벗어난 응답을 얻기 위한 조종입력을 주어 변수를 추정하게 되는데, 변수 추정을 위한 조종입력으로는 Siglet, Doublet, Frequency Sweep등 다양한 방법의 조

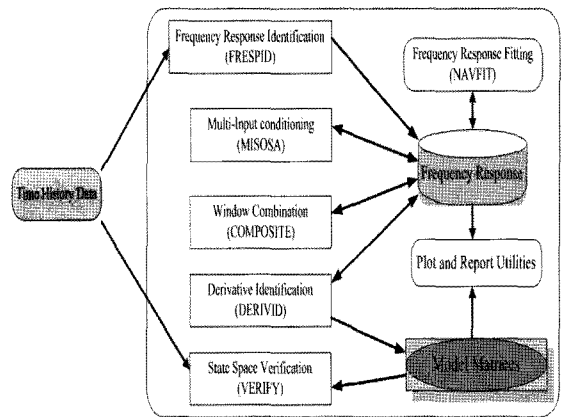


그림 1. Top-Level CIFER Product Organization [2]

종 입력 방법이 있다. CIFER에서는 Frequency Sweep입력을 주로 사용하여, 주파수 영역에서 변수를 추정하는 과정에서 다양한 주파수 영역에서 비행특성을 알 수 있도록 하였다. 이러한 입력을 이용하여 비행시험 데이터를 얻게 되면 저주파 대역부터 고주파 대역까지 항공기의 응답상태를 알 수 있으며 저장된 데이터를 CIFER에 적용하여 변수를 추정하게 된다.

그림 2에서는 비행시험부터 추정 프로그램을 통해 얻어진 결과를 응용하게 되는 전체 단계를 나타내었다. 항공기에 Frequency sweep 입력을

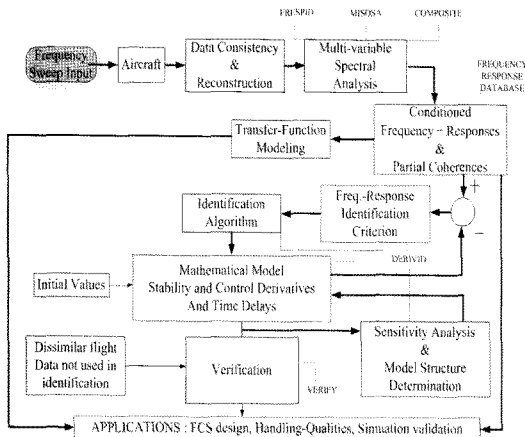


그림 2. CIFER 변수추정 프로그램 구성[2]

인가하여 얻어지는 출력 데이터를 저장하게 되면, 저장된 데이터는 비행역학을 통해서 조종입력에 대한 응답상태의 타당성을 판단하게 되며, 응답상태의 타당성이 부분별로 맞지 않을 경우, 그림3~4와 같이 Deterministic Measurement Errors 와 Random Measurement Errors에 대한 보정을 하게 된다.

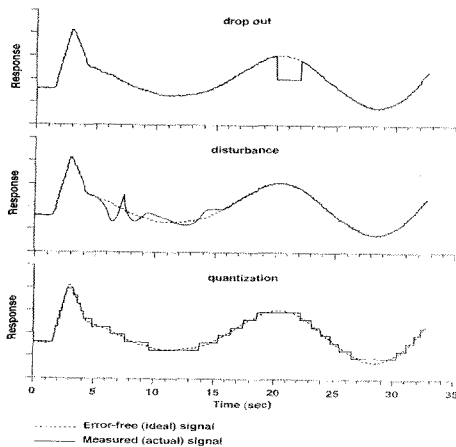


그림 3. Deterministic measurement errors[2]

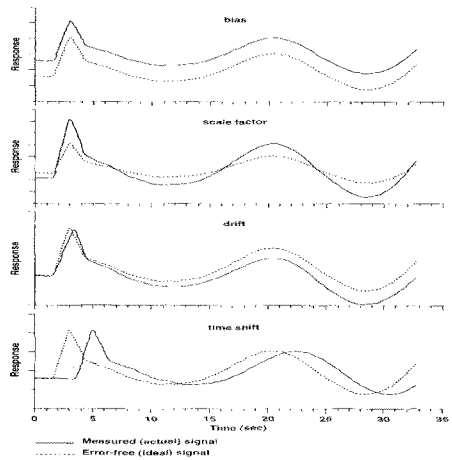


그림 4. Random measurement errors[2]

데이터 보정부분에서는 따로 프로그램을 상용화 시켜 CIFER와 분리하였기 때문에 본 연구에서는 MATLAB을 이용하여 데이터 보정을 위한 프로그래밍 하여 데이터를 처리 하였다. 데이터 보정 후에 CIFER의 주요 분석 프로그램을 사용하게 된다. 프로그램 실행 시 불러들이는 데이터 파일의 양식은 그림 5에 나타내었다.

COLLAS2P080	COLLAS0P080	COLSTXP1080	EKS2G_080	HEAD1801D80	LACCAP1
0.5794747	59.38762	57.47087	0.02007741	28.28151	0.0062
0.5916601	59.68052	57.53711	0.02202033	28.48517	0.0824
0.5758191	59.60486	57.44076	0.02007741	28.4437	0.1526
0.5733321	59.29475	57.44078	0.01347145	28.23712	0.0936
0.5687265	59.20861	57.42874	0.01347145	28.04979	0.0145
0.5680709	59.2603	57.42269	0.01424862	28.15345	0.1009

그림 5. CIFER 이용을 위한 데이터 파일 양식

그림 2에서 상단의 "Multi-variable Spectral Analysis" 단계에서 CIFER의 주요 기능을 사용하여 분석하게 된다. 첫 번째 기능으로 FRESPID (Frequency Response Estimation)가 있다. 하나의 입력에 대한 응답상태 데이터를 주파수 영역에 따라 각각 FFT (Fast Fourier Transform) 알고리즘을 이용하여 분석하는 추정하는 방법이다.

그림 6 에서는 FRESPID의 프로그램 흐름의 구성도를 보여주고 있다.

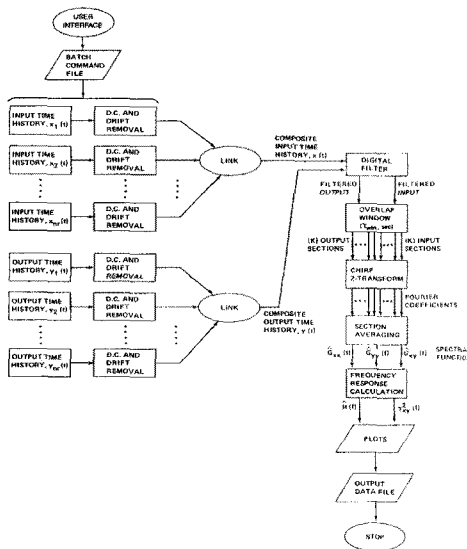


그림 6. FRESPID 플로우 차트[3]

MISOSA (Multi-variable Frequency Response)의 경우는 다중입력의 경우를 고려하여 첫 번째 입력에 대한 두 번째 입력의 영향을 제거하여 분석하는 기능을 갖고 있다. 그 예로 고정익 항공기의 횡방향 운동 모델에서 변수를 추정할 경우에 일러론과 러더의 조종입력에 대한 상호연동성을 제거한다.

조종사의 입력에 대해 시간에 따라 항공기의 변화하는 응답상태를 저장한 데이터를 주파수 영역에 맞게 사용하기 위해 FRESPID & MISOSA 프로그램에서는 Overlapped Windowing 방법[6]을 이용하여 구간을 나누고 Chirp Z-Algorithm[7]을 이용하여 주파수영역으로 바꾸어 준다.

COMPOSIT (Optimal Window Combination)은 FRESPID 또는 MISOSA에서 주파수 구간에 따라 추정하였던 결과를 통합하여 전체 주파수 영역에서 나타낼 수 있게 해주는 과정이다.

변수추정에는 대상 항공기의 수학적 모델의 구조 (Parametric Model)를 알고 있는 경우에서 추정하는 방법과 모델의 구조를 모르는 경우

(Non-Parametric Model)에서 추정하는 방법으로 나눌 수 있다. CIFER에서는 이 두 가지의 경우의 기능을 갖고 있다.

NAVFIT (Transfer Function Identification)는 전달함수를 이용하여 입력에 대한 출력 결과를 추정하는 방법으로, 모델의 구조를 모르는 경우에 주로 주파수 영역의 특성을 파악하여 변수를 추정하는데 사용된다. 이러한 방법은 데이터의 HQ (Handling-Qualities) 분석과 제어 시스템설계에 사용할 수 있으며, 시뮬레이션 모델을 검증할 때 활용된다.

또한 모델의 구조를 알고 있는 경우의 추정 방법은 비행 시험 데이터와 함께 추정될 변수들의 초기값이 중요하게 사용된다. DERIVID (State Space Identification)는 모델구조를 정확하게 알고 있다고 가정하였을 때 상태 공간 방정식을 이용하여 모델의 출력 값과 측정된 값을 같아지게 하면서 변수를 추정해내는 방법이다.

VERIFY (Time Domain Verification) 경우, DERIVID 추정된 모델과 측정데이터를 비교하여 주파수 영역에서 시스템을 추정하였던 데이터를 다시 시간 영역으로 변환하여 결과를 출력해 준다.

### 2.3 스마트 무인기 40% 축소기 모델 변수 추정

변수 추정을 위해서는 항공기에 특정 조종입력을 가해서 얻어지는 대상 항공기의 응답상태를 이용하여 CIFER에 적용시키게 된다. 특정 조종입력의 방법으로는 더블릿, 3-2-1-1, 주파수 형태 (Frequency-Sweep) 입력 등이 있다. 2.2절의 설명과 같이 CIFER는 주로 주파수 영역에서 분석하는 프로그램이므로 주파수 형태의 입력과 출력을 사용하는 것이 좀 더 정확한 결과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 비행시험 결과를 의도적인 방법으로 주파수 형태의 조종입력을 인가하지 않고

평소 비행시험 데이터에서 주파수 입력과 유사한 입력형태를 보이는 구간을 선정해서 CIFER를 이용한 변수를 추정하였다.

스마트 무인기와 같은 회전익기는 속도와 틸팅 각도에 따라 수학적 모델의 상태변수들이 변하기 때문에 각각의 조건에 따른 비행시험을 하게되며, 본 연구에서는 비행속도 80km/sec, 틸팅 각도 70도 조건의 비행 상태에서 종 방향에 대한 응답상태를 이용하여 모델의 변수를 추정하였다.

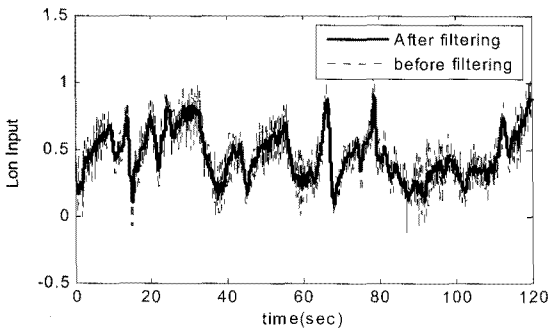


그림 7. 종방향 조종 입력 구간 데이터 보정

비행시험의 조종입력 상태는 그림 7에 나타내었다. 실제의 비행시험에 대한 입력 값의 측정 데이터의 경우 극심한 측정 잡음을 제거하는 데이터 보정을 하여 CIFER에 사용하도록 하였다. CIFER에서도 노이즈를 제거하는 기능을 사용하지만, 잡음의 정도에 따라 CIFER 필터링을 사용하면 잡음이 쉽게 제거 되지 않거나 심한 경우 위상차가 생기기 때문에 정확한 변수추정을 위해 데이터 보정 프로그램을 작성하여 잡음제거를 하였다. 그림 8~10 에서는 CIFER 필터링 기능 통해서 출력된 입력과 상태 데이터의 결과이다.

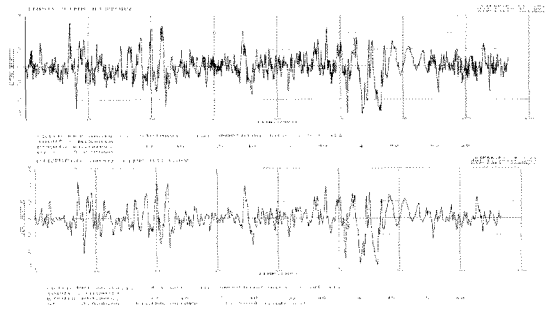


그림 8. CIFER 필터링 기능(종방향 입력)

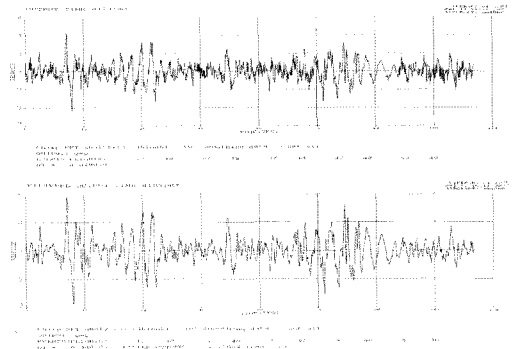


그림 9. CIFER 필터링 기능(Pitch Rate)

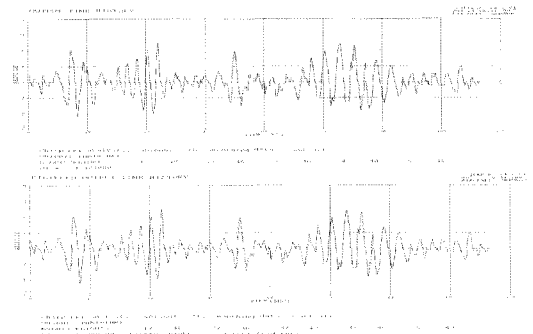


그림 10. CIFER 필터링 기능(Pitch Angle)

그림 7의 종 방향에 대한 조종입력과 응답상태를 CIFER에 적용시킨 결과 FRESPID 기능을 통해서 주파수 영역의 분석 결과를 얻었으며 각 상태에 따른 결과에서 입력에 대한 Pitch Rate의 Spectrum 결과는 그림 11에서 나타내었다.

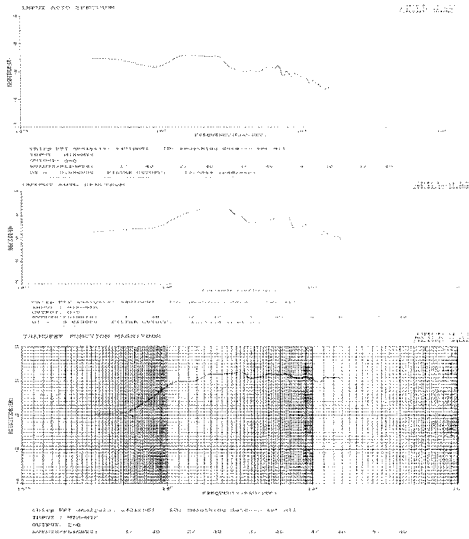


그림 84. Pitch Rate의 Spectrum 결과

스마트 무인기의 동적 파라미터를 추정하기 위해서 DERIVD기능을 사용하여 상태변수를 추정하게 된다. 그 결과 주파수 영역에서의 추정 결과는 그림 12~13에서 나타낸다. 위상크기와 위상차가 측정된 데이터와 상태변수를 추정한 결과와 일치하는 것을 알 수 있다.

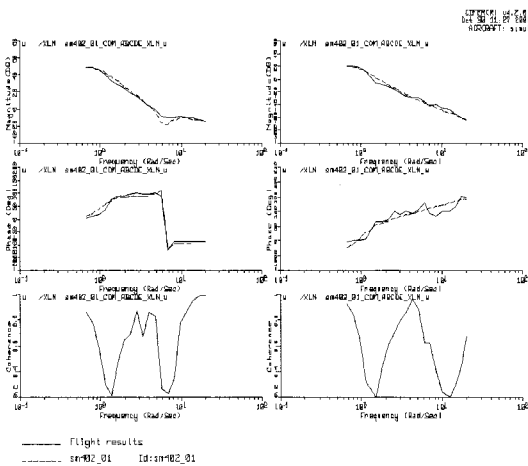


그림 12. 각 방향 성분 속도 (u, w) 결과

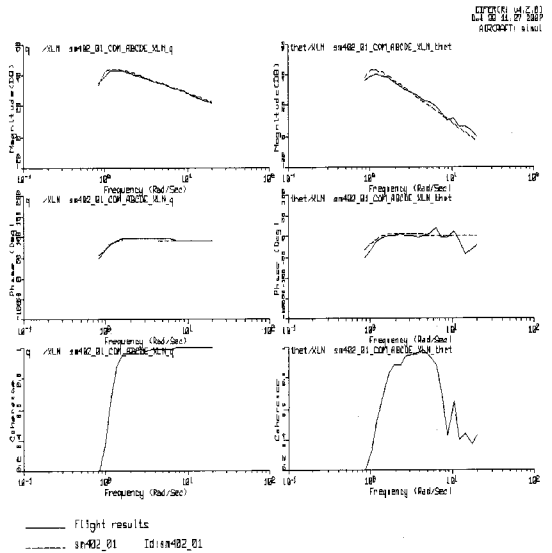


그림 13. Pitch rate와 Pitch Angle에 관한 결과

대상 항공기의 최적화된 모델의 변수들은 표 1과 같다.

표 1. 추정 결과

	VALUE	CR BOUND	INSENS-%
Xu	-47.82	19.35	0.1978
Xw	135.1	48.20	0.2455
Xq	-2.115	1.743	0.3410
Zu	2.622	4.415	2.841
Zw	-6.492	12.27	4.001
Zq	0.6372	0.4038	0.9138
THETA	0.6886	0.3564	2.043
Mu	1.728E+03	568.0	0.2087
Mw	-4.938E+03	1.388E+03	0.2565
Mq	49.10	61.26	0.5526
XLN	45.30	71.16	0.6752
ZLN	-25.73	15.42	0.9712
MLN	-428.9	2.567E+03	2.694
u /XLN	76.26409		
w /XLN	5.134851		
q /XLN	16.47508		
thet/XLN	44.22461		
The average cost function is: 35.5247			

표1에서 추정된 결과를 모델구조로 구성하면 아래와 같다.

$$A = \begin{matrix} -.47818E+02 & 0.13512E+03 & -.21151E+01 & -.61590E+00 \\ 0.26217E+01 & -.64924E+01 & 0.63721E+00 & 0.68863E+00 \\ 0.17276E+04 & -.49377E+04 & 0.49095E+02 & 0.00000E+00 \\ 0.00000E+00 & 0.00000E+00 & 0.10000E+01 & 0.00000E+00 \end{matrix}$$

$$B = \begin{matrix} 0.45298E+02 \\ -.25726E+02 \\ -.42891E+03 \\ 0.00000E+00 \end{matrix}$$

MATLAB을 이용하여 추정후 결과 모델의 적합성을 확인하기 위하여 프로그램을 그림13과 같이 구성하였다.

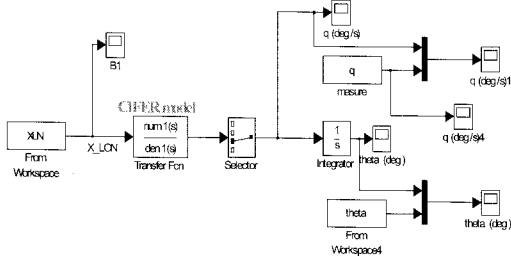


그림 13. Matlab으로 나타낸 시뮬레이션 검증

그림 14 에서는 검증을 통한 시뮬레이션 결과를 나타내며 그 결과 낮은 주파수 영역에서 적합한 것을 알 수 있다.

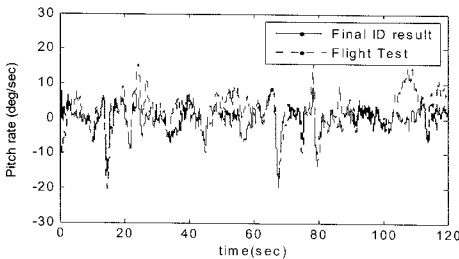


그림 14. 추정 결과 비교

## 4. 결 론

본 연구에서는 항우연에서 개발 하고 있는 스마트 무인기의 40% 축소기의 동적 파라미터 변수를 상용화 프로그램인 CIFER를 이용하여 추정하였다. 주파수 영역에서 변수 추정을 하는 기능을 이용하여 기존의 비행시험 데이터 중에서 주파수 응답을 갖는 구간을 추출해서 변수추정이 가능한지 알아보았다. 응답상태 출력 데이터에 유사한 수렴성 보여주며 정확한 Frequency Sweep 입력에 대한 항공기 응답상태가 있다면 좀 더 정확한 결과를 얻을 수 있음을 보여주었다. 향후 스마트 무인기의 횡방향 운동에 대해서 선회 비행시험 응답상태에서 적정 데이터를 추출하여 상태 변수를 추정 할 계획이다.

## 참 고 문 헌

1. Soderstrom,T., and Stoica, P., "System Identification",Prentice-Hall International, Upper Saddle River, NJ, 1989
2. NASA, "CIFER Background and Application" CIFER manual.
3. Mark B.Tischler, Robert K.Pemple Senior Technical Writer "Aircraft and Rotorcraft System Identification-Engineering Methods with Flight-Test Examples"
4. Tischler,M.B.,"Frequency-Response Identification of XV-15 Tilt-Rotor Aircraft Dynamics", NASA TM89428,Ph.D. Dissertation,Stanford Univ.,CA,May 1987
5. Bendat, J. S., and Piersol, A.G., "Random Data: Analysis and Measurement Procedures,2nd ed., Wiley, New York,1986
6. Bendat, J. S., and Piersol, A.G., Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis, Wiley, New York,1993
7. Flightlskjfs.....

\* 한국항공우주연구원  
연락처, E-mail : yihwon@kari.re.kr