技術論文

T-50 플러터/진동소음 비행시험 데이터베이스 시스템 개발

곽동일*, 백승길*, 박금당*, 김영익*

Development of Database System for T-50 Flutter/Vibroacoustic Flight Test Data

Dong-Il Kwak*, Seung-Kil Paek*, Keum-Dang Park* and Young-Ik Kim*

ABSTRACT

The flutter/vibroacoustic characteristics can be acquired by conducting flight tests with various conditions for a long period of test. Accordingly it is indispensable to build a specially designed database system to efficiently accumulate the enormous data obtained from flight tests. Hence, T-50 Flight Test Database System(FTDS) based on MS-Access is developed to handle the flutter/vibroacoustic environment data obtained from flight tests. The developed system is structured with the items related to aircraft flight test, the tables composed of the relevant items and a relational database logically connecting the tables. The T-50 FTDS is implemented with data searching GUI(Graphic User Interface) programed with Visual Basic and Structured Query Language to make intuitive searches over the stored data. The developed system has been used for accumulating the flutter/vibroacoustic data and verifying vibroacoustic Specifications.

초 록

항공기의 플러터 및 진동소음 특성은 장기간에 걸친 다양한 비행시험을 통해서만 획득 가능하며, 생성된 방대한 양의 데이터를 효율적으로 축적하기 위해서는 특별히 설계된 데이터베이스 시스템이 필요하다. 이에 따라 MS-Access를 기반으로 하여 T-50 고등훈련기 비행시험 시 측정된 플러터/진동소음 환경 데이터를 처리하는 데이터베이스 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 항공기 비행시험과 관련된 자료 항목, 관련 항목으로 구성된 테이블, 그리고 작성된 테이블들을 논리적으로 연결한 관계형 데이터베이스로 구성되며, 비쥬얼 베이직과 구조적 질의어를 이용한 데이터 검색 GUI(Graphic User Interface)를 구현하여 직관적인 검색이 가능하도록 되어 있다. 개발된 시스템을 이용하여 플러터/진동소음 데이터의 축적 및 요구도 검증에 효과적으로 활용하였다.

Key Words : Flight Test(비행시험), Relational Database(관계형 데이터베이스), Flutter(플러터), Vibroacoustic Specification(진동소음 환경규격)

Ⅰ. 서 론

T-50 고등 훈련기는 국내 최초로 개발된 초음속 항공기로서 현재 초도비행 이후 총 4대의 항공기를 비행시험에 운용중이며 항공기의 내, 외

† 2005년 10월 6일 접수 ~ 2005년 12월 12일 심사완료
* 정회원, 한국항공우주산업(주) T-50 해석팀
연락저자, E-mail : kaikdi@koreaaero.co.kr
경남 사천시 사남면 유천리 802번지

부에 가속도계 및 마이크로폰 등의 센서를 장착하고 획득한 신호를 분석하여 플러터 안정성, 진동소음 환경 그리고 기총발사에 의한 진동환경 등을 규명하고 있다. 또한 다양한 비행 조건에서 획득한 신호를 분석한 후, 플러터 모드특성 및 진동소음 환경 데이터를 축적해 오고 있으며(그림 1 참조), 이를 이용하여 T-50의 플러터 안정성 및 진동소음 환경 규격을 검증/개선하고 있다.

이와 같은 3년 이상의 오랜 비행시험기간 동안에 걸친 비행시험 데이터 축적은 국내 최초라고 할 수 있다. 특히 진동소음 환경은 분석적 방법으로는 미리 예측하기 어렵기 때문에 시험을 통해 축적된 데이터는 새로운 항공기를 개발하는데 매우 중요한 기반이 된다.

진동소음 환경 데이터는 대개 넓은 주파수 영역의 스펙트럼 데이터이고 다양한 기동조건에 대해서 획득되기 때문에 엑셀과 같은 스프레드시트 프로그램으로는 처리하기 힘든 대량의 데이터이다. 대량의 데이터의 축적 및 분석가공을 위해서는 적절한 데이터베이스의 설계가 긴요하다[1, 2, 3]. 본 논문에서는 T-50 플러터 모드특성 및 진동소음환경 데이터의 축적과 효율적인 처리를 위해서 개발된 T-50 플러터/진동소음 비행시험 데이터베이스인 T-50 FTDS(Flight Test Database System)를 소개함으로써 향후 전개될 항공/우주 프로그램에서 기초 자료로 활용되고자 한다.

T-50 FTDS의 구축에 사용된 데이터베이스 프로그램은 MS-Access이다. MS-Access는 T-50 중량 데이터베이스를 구축하는데도 적용된 바 있다[4]. T-50 FTDS는 그림 2처럼 플러터/진동소음 비행시험 데이터를 실행 프로그램을 통해 데이터베이스에 입력하고 검색한다. T-50 FTDS는 자료저장용 테이블들로 구성되어 있으며, 테이블들은 논리적이고 규칙적인 관계를 가지도록 설계하였다.

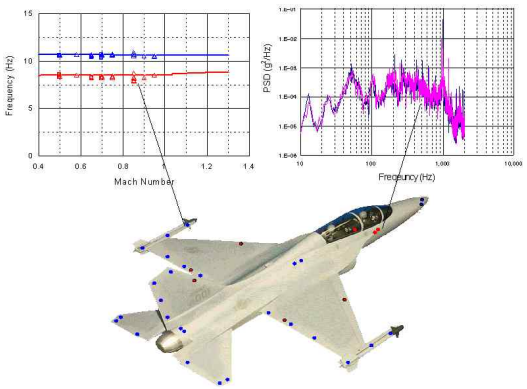

그림 1. T-50 FTDS 입력 데이터의 예

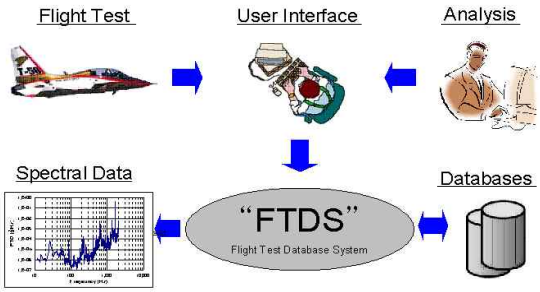

그림 2. T-50 FTDS 구성도

다[2]. 실행 프로그램은 화면 표시용 폼, 자동화 매크로 그리고 코드(VBA/SQL) 등으로 구성되어 있으며, 데이터베이스를 연결하여 비행시험 데이터를 입력하고 검색할 수 있다.

II. 개발 목표

2.1 데이터 무결성 및 보안

T-50 플러터/진동소음 비행시험 데이터의 중복입력을 최소화하고, 내정된 사용자에게만 권한을 부여하여 데이터베이스 작업을 하게 함으로써, 데이터의 무결성 및 보안 유지와 같은, 기존의 파일방식 처리체계에서 수행 불가능한 작업을 일관성 있게 추진할 수 있어야 한다.

2.2 데이터 접근의 용이성

실시간 내에 데이터 접근이 가능하고, 데이터베이스의 계속적인 변화 속에서도 정확성을 유지할 수 있으며, 다중 사용자 시스템으로 사용자들이 실시간으로 데이터베이스를 공유하여 동시에 입력/검색 작업을 수행할 수 있어야 한다. 실행 프로그램을 이용하여 사용자의 데이터 접근이 용이하며 원하는 데이터를 신속하게 처리 및 검색이 가능해야 한다.

2.3 데이터 확장 및 변경의 용이성

데이터를 구성하는 테이블의 요소를 다른 테이블이 참조할 때 고유번호를 이용하도록 함으로써, 향후에도 사용자 요구 및 데이터 환경변화에 따른 테이블의 확장 및 변경이 용이하게 이루어져야 한다.

2.4 신속한 데이터 검색

T-50 플러터/진동소음 비행시험 데이터는 다양하고도 방대한 양을 가지고 있다. 그러므로 비쥬얼베이직(VBA) 코드 및 구조적 질의어(SQL)

를 이용하여 신속하고 선택적인 검색을 수행하여 정확한 예측 수행을 지원할 수 있도록 한다.

III. 데이터베이스

3.1 데이터베이스 구성

T-50 FTDS의 데이터베이스는 비행시험 정보, 측정센서 정보 그리고 비행시험 분석결과로 크게 3개부로 구성되며, 데이터베이스에 입력되는 데이터는 그림 3처럼 연관된 데이터와 상호 유기적인 관계를 이루며 저장된다[3].

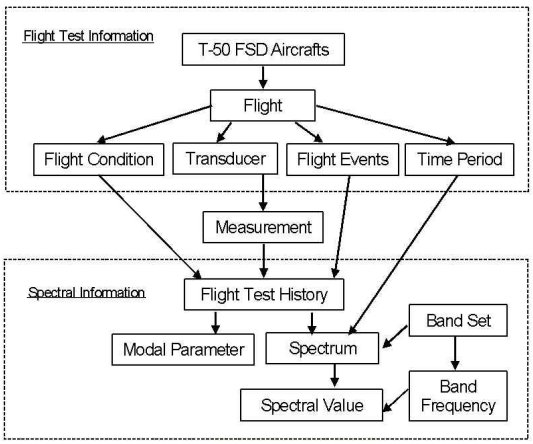

그림 3. T-50 비행시험 데이터 구성도

3.1.1 비행시험정보

비행시험정보는 비행시험에 사용된 항공기와 비행순서가 입력된 비행차수 테이블, 항공기의 비행 상태를 측정하기 위해 장착된 센서로부터 획득한 데이터가 입력된 비행상태 테이블, 기동명 및 기동 시간 등이 입력된 비행시험조건 및 비행 기동(Maneuver) 테이블 그리고 가진 조종면, 가진 주파수 및 가진 시간 등이 입력된 강제가진조건 테이블 등으로 구성되어 있다. 비행시험정보를 구성하는 이러한 테이블들은 항공기와 비행순서를 기준으로 논리적이고 규칙적인 관계구조를 이룬다.

3.1.2 측정센서 정보

측정센서 정보는 항공기에 장착된 센서의 종류, 이름, 장착위치, Sampling Rate 그리고 변경이력 등이 입력된 가속도계 및 마이크로폰 등의 진동소음 센서테이블 그리고 항공기의 연료량, 마하수, 고도, AOA, AOS, 동압, 자세각 및 조종면각 등 비행 상태를 측정할 수 있는 비행상태 센서테이블로 구성된다. 이러한 센서정보는 비행시험정보 및 분석결과와 관계되어 내부 코드를 통해 검색 및 수정 등이 가능하다.

3.1.3 비행시험 분석결과

비행시험 분석결과는 다양한 비행조건에서 분석된 플러터 모드특성별 주파수/감쇠계수가 입력되는 플러터 모드특성 테이블, 주파수 영역으로 변환된 플러터/진동소음 데이터가 입력되는 스펙트럼 테이블 그리고 스펙트럼의 측정 단위 및 주파수 등과 관련 정보의 고유번호가 입력된 스펙트럼 정보테이블로 구성된다.

3.2 데이터베이스 구조

아래에서 데이터베이스를 구성하는 각 테이블에 대한 설명 및 연관 테이블과의 연결 관계도(일대다, 다대다 관계)를 제시하였다. 전체 테이블의 연관관계는 아래에 제시한 각 테이블의 연관 관계를 재구성하면 얻을 수 있다.

3.2.1 스펙트럼 데이터(Spectral Data)

특정 조건에서 획득된 신호를 분석하여 주파수 영역으로 변환된 스펙트럼 데이터는 그림 4의 관계 구조를 가진다.

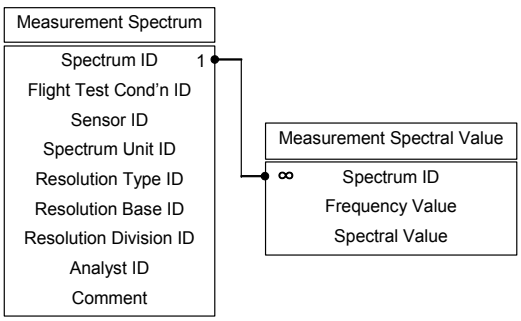

그림 4. 스펙트럼 데이터 관계도

여기에는 스펙트럼 번호, 비행조건, 측정센서 그리고 스펙트럼 단위(g^2/Hz, psi^2/Hz 또는 dB^2/Hz), 주파수 간격(선형 또는 로그), 분석자 이름, 데이터 종류 등 하나의 스펙트럼을 생성하기 위한 제반자료가 입력되며, 각 스펙트럼을 구성하는 주파수 및 해당 주파수에서의 스펙트럼 값은 별도의 테이블로 구성되며 스펙트럼 고유번호를 통해 연결된다.

3.2.2 비행시험조건

비행시험조건 테이블은 스펙트럼 데이터 테이블과 그림 5의 관계 구조를 이룬다.

여기에는 비행 소티(Sortie) 정보, 비행 기동

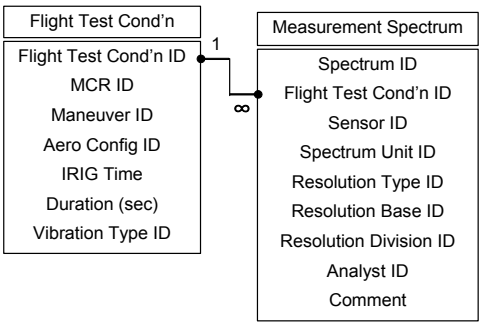

그림 5. 비행시험조건 관계도

(Maneuver) 종류, 비행 모드, 진동소음 종류 등의 고유번호와 함께 기동 시각 및 기동 유지 시간 등의 정보가 입력된다.

3.2.3 플러터 모드특성

플러터 모드특성 테이블은 강제가진조건 테이블과 그림 6의 관계 구조를 이룬다.

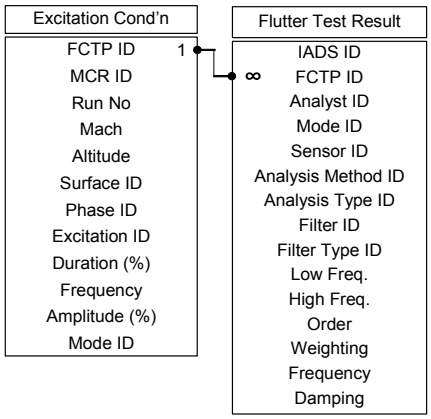

그림 6. 플러터 모드특성 관계도

여기에는 조종면을 강제가진하여 획득된 신호를 Logarithmic Decrement Method 또는 플러터 모드해석 프로그램[5,6]을 이용하여 분석한 주파수/감쇠계수가 입력되며, 각 분석결과의 제반 정보가 되는 가진 조건, 가진 모드, 분석방법, 분석자 등의 고유번호 그리고 필터 종류/대역 등의 필터관련 정보 등이 함께 입력된다.

3.2.4 강제가진조건

강제가진조건 테이블은 가진 조종면, 가진 위상, 가진 종류, 가진 모드 등 별도의 테이블과 그림 7과 같은 관계 구조를 이룬다.

여기에는 고도, 속도, 가진 번호, 가진 주파수, 가진 진폭 등의 데이터가 입력된다. 한편 진동모

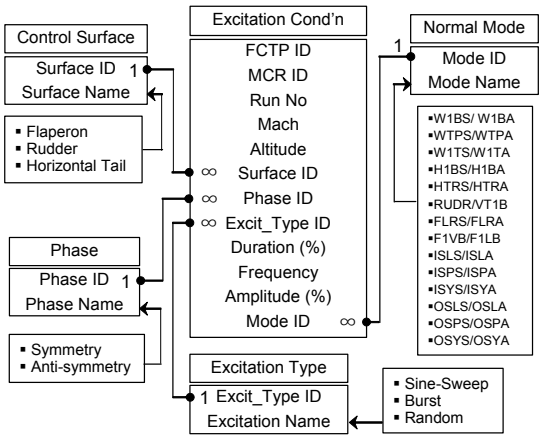

그림 7. 강제가진조건 관계도

드는 여러 가지 T-50 모드형상에 따라 고유의 명칭을 부여하여 입력한다.

3.2.5 비행 소티(Sortie)

비행 소티(Sortie) 테이블은 그림 8처럼 강제가진조건 및 비행시험조건 테이블과 연결되어 플러터 모드해석 및 스펙트럼 데이터가 연결된다. 여기에는 비행시험에 사용된 항공기 및 이착륙 활주로, 비행 일자, 시험 목적, 탑재 무장 형상, OFP(Operational Flight Program) 버전 등의 고유번호가 입력된다.

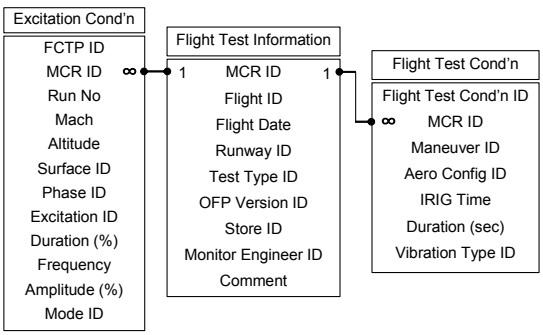

그림 8. 비행 소티(sortie) 관계도

3.2.6 비행차수 및 무장형상

비행차수 및 무장형상 테이블은 비행 소티(Sortie) 테이블과 그림 9와 같은 관계 구조를 이룬다. 비행차수는 항공기와 비행순서에 따라 고유번호를 가지며, 무장형상은 T-50에 탑재 가능한 여러 가지 무장에 따라 고유의 명칭을 부여하여 입력한다.

3.2.7 장착 센서(Sensor)

장착 센서 테이블은 T-50 항공기의 내, 외부에

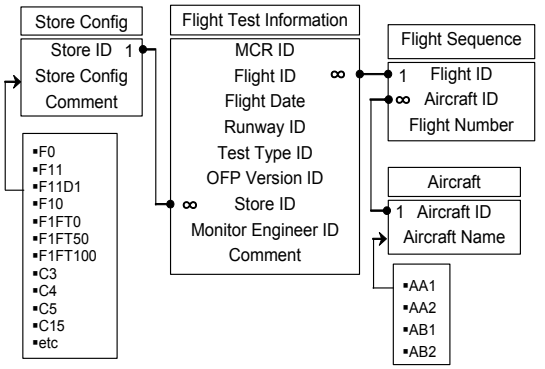

그림 9. 비행차수 및 무장형상 관계도

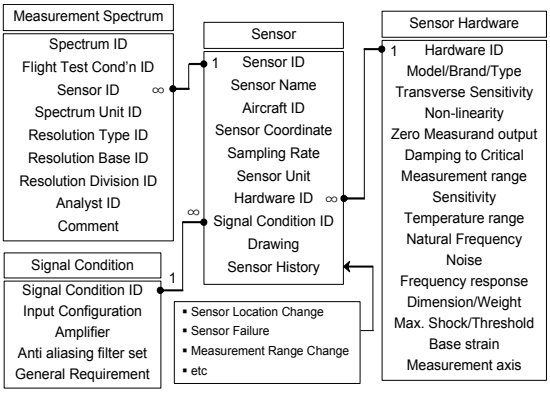

그림 10. 장착 센서(Sensor) 관계도

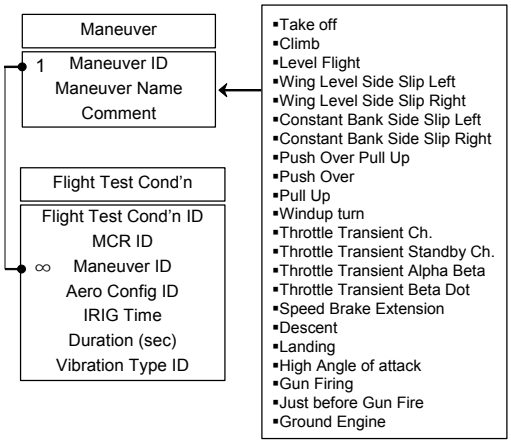

그림 11. 비행 기동(Maneuver) 관계도

장착된 센서의 이름, 설치된 위치, 종류, 측정단위 등으로 구성되며, 센서 신호 조건 및 센서 장비 테이블 등과 그림 10의 관계 구조를 이룬다. 또한 초도비행 이후 현재까지 발생한 센서의 고장, 위치 변경, 그리고 측정 범위 변경 등의 이력을 자세히 기록하여 측정에서 발생 가능한 오류를 방지하였다.

3.2.8 비행 기동(Maneuver)

비행 기동(Maneuver) 테이블은 비행시험조건과 그림 11의 관계 구조를 이룬다. 그리고 비행 기동(Maneuver)은 MIL-A-8870C[7] 등을 참고로 하여 진동소음 환경에 영향을 미칠 수 있는 모든 기동을 포괄한다.

3.2.9 비행 상태(Status)

비행 상태(Status) 데이터는 항공기의 연료량, 마하수, 고도, 정압, 동압, AOA, AOS, 자세각 및 조종면각 등이 있으며, 이는 T-50 항공기에 장착된 약 50여개의 다양한 센서를 통해 획득 가능하다. 비행 상태 데이터를 비행시험조건 테이블에 넣지 않고 그림 12와 같이 별도의 테이블로 구성하는 것이 전형적인 데이터베이스 구성방식이다.

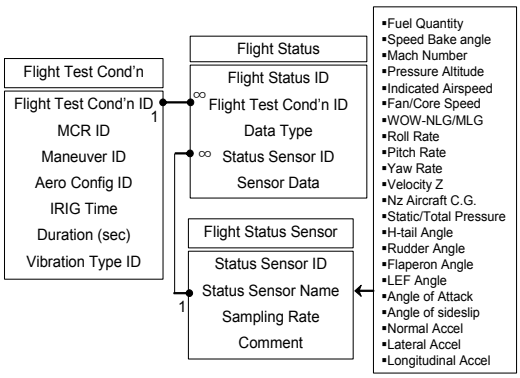

그림 12. 비행 상태(Status) 관계도

Ⅳ. 실행프로그램

4.1 플러터 데이터 검색

플러터 데이터는 비행 소티(Sortie), 고도, 속도, 분석방법, 무장형상 및 고유모드 등의 조합을 포괄한 다양한 조건으로 검색된다. 또한 해석모델을 통한 예측치를 비교함으로써 플러터 모드특성에 대한 예측/분석 지원이 가능하다.

그림 13은 입력되어 있는 각 플러터 모드특성을 검색할 수 있는 창이다. 이 창을 통해 주요 모드들의 비행시험 결과와 해석 결과를 비교함으로써 플러터 모드 특성에 대한 예측/분석 지원이 가능하다.

먼저 상단 좌측의 비행시험 조건을 살펴보면, 비행시험 조건 - 비행호기, 비행차수, 고도 그리고 마하수 등을 선택할 수 있다. 또한 비행 시험

그림 13. 플러터 모드특성 검색

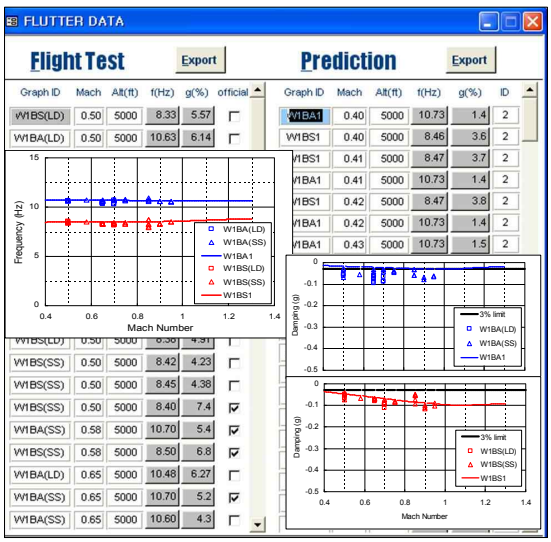

그림 14. 플러터 모드특성 검색 결과

데이터의 신호 분석 방법을 사용자가 선택하여 해석결과와 비교할 수 있다. 특히, 많은 감쇠계수들 중 대표 감쇠계수(Official Damping)를 선택하여 해석결과와의 경향을 쉽게 비교할 수 있도록 하였다.

상단 우측은 지상진동시험을 통해 보정된 해석결과에 대해 각각의 조건을 사용자가 선택할 수 있도록 하였다. 사용자가 선택할 수 있는 조건으로는 해석 모델, 액츄에이터 고장 여부, 가진력, 동체와 날개의 연료 상태, 고도 그리고 마하수 등이다. 지상진동시험의 결과는 가진력과 액츄에이터의 고장 여부 등에 대해 항공기 동특성

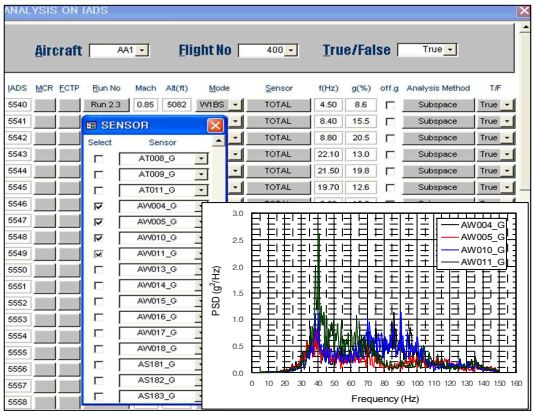

그림 15. 플러터 스펙트럼 검색 결과

이 다르게 나타나므로 비행시험 조건과 유사한 해석 모델을 선택하여 비교해야 한다.

비행시험 조건과 해석 모델의 선정이 끝나면 하단 우측에서 비행 무장 형상과 플러터 특성 상상호 비교하고 싶은 진동 모드를 2개까지 선택하도록 구성 되어 있다.

그림 14는 플러터 모드들의 검색 결과를 보여주는 화면이다. 특정 고도의 마하수에 대한 주파수와 감쇠계수들이 테이블과 그래프 형태로 나타난다. 또한 검색된 데이터는 다양한 형태의 파일로 출력될 수 있다.

그림 15는 비행시험 데이터 중 특정 구간의 스펙트럼 검색 결과를 보여주는 창이다. 시간 응답을 주파수 영역의 플러터 스펙트럼(g^2/Hz)으로 변환하여 입력해 놓으면 그림 15와 같이 비행 소티(Sortie)별 스펙트럼을 쉽게 그래프화 할 수 있다. 이 화면에서도 한번의 클릭만으로 관련된 다양한 비행시험 및 가진 조건을 검색할 수 있으며 특정 모드의 특정 가속도계를 선택하여 그 때의 스펙트럼을 그래프 또는 다양한 파일 형태로 출력할 수 있다.

4.2 진동소음 환경 데이터 검색

진동소음 환경 데이터는 비행 소티(Sortie) 정보, 비행시험조건, 비행상태 및 센서 조합을 포괄한 다양한 검색 조건에 맞추어 원하는 결과를 얻을 수 있다(그림 16 참조).

그림 16은 입력되어 있는 진동소음 환경 데이터를 검색할 수 있는 창이다. 먼저 상단 좌측을 보면 비행호기, 비행차수, 무장형상, 기동조건, 진동/소음종류 등을 사용자가 선택할 수 있다. 이때 상단 우측의 고도, 마하수, AOA, AOS 그리고 동압 등의 비행환경을 선택하여 사용자가 원

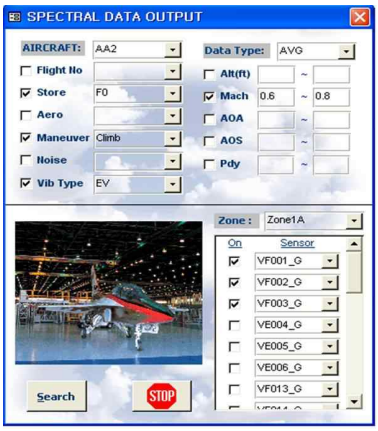

그림 16. 진동소음 환경 데이터 검색

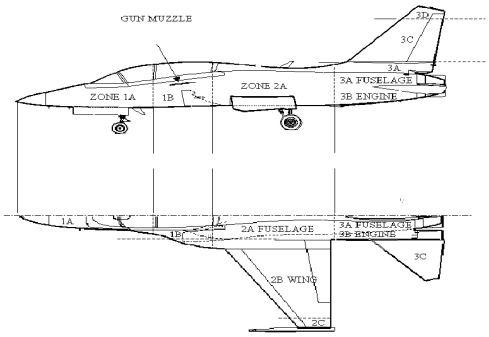

그림 17. T-50 진동특성별 구역(Zone)

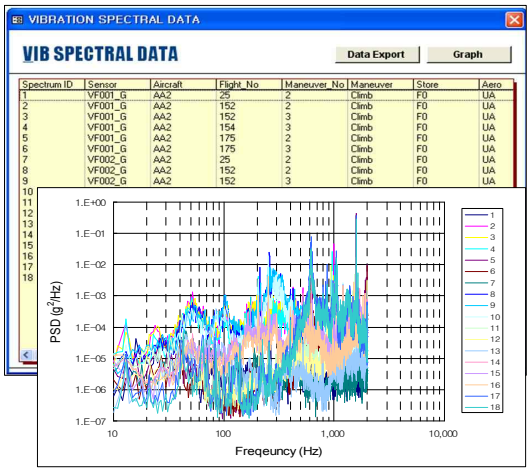

그림 18. 진동소음 환경 데이터 검색 결과

하는 데이터를 검색할 수 있다. 그리고 하단 우측에서 항공기의 진동환경별 센서를 선택할 수 있다.

일반적으로 항공기의 진동환경은 동일한 진동레벨을 갖는 소수의 구역(Zone)으로 나누어서 설정하게 된다. 본 시스템에서도 약 10여개로 나누어진 T-50 항공기의 진동구역에 맞추어 센서들을 그룹화 함으로써 항공기의 구역별 진동소음 특성을 검색할 수 있도록 하였다(그림 17 참조).

그림 18은 비행시험 데이터 중 특정 구간의 스펙트럼 검색 결과를 보여주는 창이다. 시간 응답을 주파수 영역의 진동/소음 스펙트럼(g^2/Hz, dB^2/Hz)으로 변환하여 입력해 놓으면 그림 18과 같이 쉽게 그래프화 할 수 있고 다양한 파일 형태로 출력할 수 있다. 출력 데이터는 MATLAB이나 엑셀 등을 이용하여 후처리를 하고, 조종사의 인체 진동 영향성을 평가하거나[8], T-50 진동소음 환경규격을 수립하는데 사용되었다.

V. 결 론

T-50 FTDS(Flight Test Database System)를 이용하여 다양한 기동조건에 대한 플러터 모드특성 및 진동소음 환경 데이터를 축적함으로써, T-50 플러터 안정성 및 진동소음 환경규격을 검증/개선할 수 있었다.

본 논문에서는 T-50 FTDS를 소개함으로써, 항공기 플러터 특성 및 진동소음 환경 데이터의 축적을 위해 필요한 데이터베이스의 구성 및 구조를 제시하였다. 특히 비행시험 데이터 축적에 필수적인 자료 항목, 관련된 자료 항목으로 구성된 테이블, 테이블 사이를 논리적으로 연결한 관계형 구조를 제시함으로써, 향후 새로운 항공기 또는 우주비행체 개발시험에서 있어 데이터 축적을 위한 데이터베이스 설계에 중요한 기초 자료가 될 것이다.

참고문헌

1) 곽동일, 백승길, 문성욱, 김영익, “T-50 진동소음 비행시험 데이터베이스 시스템 개발”, 국방과학연구소, 제13차 유도무기 학술대회, 2005. 10.

2) Van Dike, M., "Relational Vibroacoustic Database for VISPERS", The 2001 Spacecraft and Launch Vehicle Dynamic Environments Workshop, El Segundo, CA, The Aerospace Corporation, June 28, 2001.

3) Boeck, M., Wong, B., and Wong, B., "Relational Database Design for the Vibroacoustic Intelligent System for Predicting Environments, Risk and Specification (VISPERS)

Software Suite", The 2004 Spacecraft and Launch Vehicle Dynamic Environments Workshop, El Segundo, CA, The Aerospace Corporation, June 22, 2004.

4) 강민성, 정진오, 손환익, 김진석, “엑세스를 이용한 상세중량 데이터베이스 개발”, 국방과학연구소, 2004 항공우주 무기체계 발전세미나.

5) 백승길, 강상남, 한지훈, “부분공간 시스템 식별기법을 이용한 플러터 비행시험 데이터 분석”, 한국항공우주학회 2004 추계학술대회 논문집, pp. 425 - 428.

6) 백승길, 박금당, 강상남, 이상욱, “T-50 초음속 항공기의 플러터/ASE 비행시험”, 한국항공우주학회 추계학술대회 논문집, 2003, pp. 908 - 911.

7) MIL-A-8870C, Airplane Strength and Rigidity Vibration, Flutter, and Divergence, Mar. 25, 1993.

8) 문성욱, 조대현, 김영익, “T-50/A-50 조종사의 인체 진동 영향성 평가”, 한국소음진동공학회 2004 추계학술대회 논문집, pp. 546 - 549.