

## 상용 기성품에 기반한 스마트무인기 탑재자료저장장치

장성호\*, 김영민\*\*

### COTS Based Air Data Recording System for SmartUAV

Sung-Ho Chang\*, Young-Min Kim\*\*

#### Abstract

Air Data Recording System (ADRS) is the flight data recorder for the SmartUAV development. ADRS of the low cost designed for the SmartUAV has been developed and tested through the ground test. ADRS is the reconstructing data acquisition system and can be programmed automation controller. This paper focuses on the design aspects of the hardware and software. The hardware aspects of the ADRS include details about the hardware configurations for the interfaces with the Digital Flight Control Computer(DFCC) and sensors, components modifications. The software section describes the ADRS Operating System(OS) and data flow for archived files. Finally, ADRS-based results of the SmartUAV that include the Iron-bird test, system interface test and ground test are presented.

#### 초 록

ADRS는 프로그램 가능한 자동화 컨트롤러로써 스마트무인기를 위해 설계된 저비용의 재구성 가능한 비행시험 데이터 수집 시스템이다. 본 논문에서는 하드웨어와 소프트웨어 설계내용을 기술하였다. ADRS와 DFCC 인터페이스, ADRS와 센서 인터페이스에 대한 하드웨어 구성과 수정사항을 기술하였으며 ADRS 운용 소프트웨어와 데이터 저장에 대한 절차가 설명되었다. 마지막으로 스마트무인기의 지상시험과정을 통한 ADRS의 검증과정 및 결과가 제시되었다.

키워드 : 무인항공기시스템(unmanned aircraft system, UAS), 데이터 수집 시스템(data acquisition system, UAS), 상용 기성품(Commercial off-the-shelf, COTS), 비행시험(flight test), 랩뷰 (LabView), CompactRIO

#### 1. 서 론

무인항공기시스템(UAS, Unmanned Aircraft System, 이하 '무인기')은 임무수행을 위한 비행

접수일(2010년 1월 5일), 수정일(1차 : 2010년 4월 19일, 2차 : 2010년 6월 15일, 게재 확정일 : 2010년 10월 1일)

\* 무인체계팀/shchang@kari.re.kr \*\* (주)에스엠인스트루먼트 /ymkim@smins.co.kr

체와 조종명령 및 임무상태를 관찰하기 위한 지상의 관제장비로 크게 구성된다. 비행체에는 기체, 동력장치 및 항공전자장비 등이 탑재되며 비행조종컴퓨터, 위성관성항법장치, 통신장비, 조종면 작동기 및 임무장비 등이 항공전자장비를 구성한다. 무인기는 비행체와 관제장비가 실시간으로 무선통신을 하기 때문에 지상에서 내부조종사(Internal Pilot)가 비행에 필요한 정보를 확인할 수 있으며 개발과정을 위한 정보도 일부 제공된다. 그러나 무인기 시험 중 개발을 위해 필요한 데이터가 많아지면 지상과 기상간의 통신 용량만으로는 한계가 있기 때문에 별도로 데이터를 기록하는 장비가 요구된다.

지상시험 단계의 무인기에서는 설치공간의 큰 제약 없이 데이터를 외부에서 저장하고 확인할 수 있으나 비행시험 단계에서는 비행체의 탑재공간 및 무게가 제한되므로 측정 장비의 저장용량과 크기에 최적화가 필요하다. 또한 비행체에서 요구하는 환경조건에 부합하면서 데이터 획득을 위해 사용자 접근이 용이해야 한다.

스마트무인기는 틸트로터 형태의 비행체로 개발 진행 단계이기 때문에 설계에 반영된 결과 이외에도 예측하지 못한 현상이 발생할 수 있으므로 지상시험 및 비행운용 중 시험조건에 따라 요구되는 센서가 변경될 수 있다. 이러한 요구에 따라 스마트무인기 탑재자료저장장치(Air Data Recording System, 이하 'ADRS')는 DFCC 및 로터드라이브와 인터페이스 되어 데이터를 저장할 수 있도록 개발되었다. ADRS는 개발비의 절약과 지상시험 및 비행시험 중 변경될 수 있는 요구조건에 유연하게 활용하기 위해 상용으로 판매되는 제품을 하드웨어로 선택하고 운용 소프트웨어를 개발하는 방법을 선택하여 최적화하였으며 비행체의 지상시험과정을 통해 성능검증과 개선이 이루어졌다.

## 2. 시스템 구성

### 2.1 장비 선정

ADRS 개발을 위해 하드웨어는 제작보다는 이

미 판매되고 있는 장비를 구입하고 필요한 부분을 개선하였다. 하이 레벨 소프트웨어는 하드웨어에 적합한 제품을 구입하였으나 실제 운용 소프트웨어의 구현은 사용자가 요구하는 기능에 맞도록 개발하여야 하므로 소프트웨어 개발에 중심을 두어 개념설계를 하였다. ADRS 하드웨어로 먼저 선택된 장비는 ACRA Control Ltd.사의 KAM-500이었으나 기본설계과정 중 National Instrument사(이하 'NI')의 CompackRIO(이하 'cRIO')로 변경하였다.

KAM-500은 군용항공기와 여객기 등의 개발시 비행시험에 적용된 검증된 장비로 성능과 환경조건이 우수하다. 그러나 스마트무인기에 ADRS를 탑재하기 위한 상세설계단계에서 고가이면서 납품기간이 긴 KAM-500 장비로는 부족한 예산과 일정을 맞추는 것이 어려웠기 때문에 새로운 장비를 모색하게 되었다. 대안 장비는 스마트무인기의 이산신호변환기로 사용 중인 cRIO이다. cRIO는 산업용으로 개발된 임베디드 장비로써 KAM-500보다 성능이나 환경조건 및 물리적 사양에서 불리하지만 스마트무인기에서 요구되는 성능을 만족시키며 개발일정과 비용 면에서 적합한 장비이다(표 1).

표 1. 장비 비교

	KAM-500	cRIO
크기 (mm)	80×280×98.5(W×L×H)	88.1×274×88.1(W×L×H)
탑재총중량	3.4kg	6.1kg
공급전압	18 to 40VDC	9 to 35VDC
저장용량	4GB	2or8GB(내부/외부)
통신방식	RS422	RS232
압력고도	22km	2km
온도	-40℃ ~ 85℃	-40℃ ~ 70℃
습도	0~95%RH	10~90%RH
전자기	MIL-STD-461E	산업규격(CE 등)
상대적비용	1	0.3
인도기간	6개월	2주
외형		

두 장비 모두 센서 인터페이스용 모듈별로 장비에 장/탈착 하는 것이 가능하다. 이는 스마트무인기 지상시험 및 비행시험에서 불필요한 센서가 제거될 때 모듈도 함께 탈착하여 중량을 줄일 수 있고 새로이 추가되는 센서가 있을 경우 필요한 모듈만을 교체하여 하드웨어 비용과 수정을 위한 기간을 줄일 수 있다. 스마트무인기 탑재를 위한 ADRS의 물리적 조건을 KAM-500은 1대의 장비로 인터페이스 가능하지만 cRIO는 모듈 자체의 하드웨어적 집적도가 낮아 2대가 요구된다. 그러나 스마트무인기 1대에 소요되는 비용은 하드웨어와 소프트웨어를 포함하여 cRIO가 KAM-500의 1/3 수준이고 인도기간도 절대적으로 짧다. ADRS는 총 3세트가 제작되기 때문에 전체비용의 차이는 더욱 커진다. 또한 기술적인 문제 발생시 cRIO는 NI사의 국내 엔지니어를 통해 기술 지원을 신속히 받을 수 있으므로 외국 엔지니어 지원 요구시 발생할 수 있는 체류비 및 문제해결 시간 등의 간접비용 절감에서 유리하다.

## 2.2 ADRS 하드웨어 구성

ADRS는 스마트무인기 비행체에서 측정해야 할 신호의 종류에 따라 구성이 변경되므로 저장해야 할 신호의 종류 및 센서에 대한 인터페이스를 확정한 후 소프트웨어적으로 수정이 가능한 DFCC와의 시리얼 통신 인터페이스 내용은 개발을 진행하면서 지상시험 결과를 바탕으로 수정 반영하였다. ADRS에서 요구되는 주요 기능은 비행체진동(12CH), 온도(15CH), 로터스트레인(16CH), 로터위치(2CH), 로터회전속도(2CH)와 DFCC로 부터의 데이터 수신, ADRS BIT 정보를 DFCC로 전송 및 5시간 동안의 실시간 데이터 저장과 시험 후 데이터의 복원이다.

### 2.2.1 하드웨어 인터페이스

스마트무인기 ADRS는 그림 1과 같이 로터-드라이브 센서 및 DFCC 출력 값을 저장하도록 구성되며 DFCC 출력 데이터는 DFCC와 인터페이스 된 위성관성항법장치, 속도/고도계, 엔진 및

연료장치, 로터/조종면 작동기 및 비행제어를 위한 조종명령 값들이다.

ADRS 개발에 사용한 하드웨어 장비 cRIO는 프로그램 가능한 자동화 컨트롤러로써 저비용의 재구성 가능한 컨트롤 및 수집 시스템이다<sup>[1]</sup>. ADRS는 저속주기(ADRS\_1)의 데이터와 고속주기(ADRS\_2)의 데이터를 분리하여 구성하였다(그림 2 상단). 장비를 2대로 분리하여 구성함으로써 비행시험에서 불필요한 센서와 하드웨어 제거시 ADRS\_1와 ADRS\_2 중 해당 장비를 함께 제거할 수 있고 소프트웨어와 모듈을 변경하여 요구되는 시험조건에 적합하도록 새로운 구성이 가능하다. 예로 진동측정과 스트레인측정이 불필요한 비행시험에서는 고속주기(ADRS\_2)의 장비를 탈거하여 중량과 전력 소모를 줄일 수 있으며 온도측정 모듈을 교체 장착한 후 지상고온시험을 위해 실시간 측정에 활용가능하다.

ADRS\_1은 50Hz로 업데이트 되는 DFCC와 RS422로 인터페이스되며 로터-드라이브에 장착된 15채널의 온도센서 신호를 2Hz로 저장한다. ADRS\_2는 2kHz로 업데이트되며 로터의 스트레인 신호와 기체진동 및 엔코더를 통한 로터의 위치 및 회전수의 고속 출력값을 저장한다.

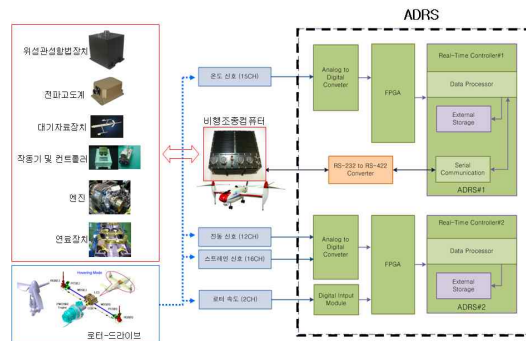


그림 1. ADRS 인터페이스

### 2.2.2 하드웨어 수정사항

DFCC는 RS422 데이터 통신을 갖는다. 이 때문에 ADRS\_1이 보유한 1채널의 RS232와 인터페이스되기 위해서는 'RS422↔RS232' 변환 장치가

필요하다. 새로운 변환장비를 설계 제작하는 방안이 고려되었으나 비용 및 개발 기간 단축을 위해 적용 가능한 상용 기성품을 찾아 지상시험을 수행하면서 변환장치의 신뢰성을 확인하였다. ADRS가 장착된 스마트무인기 항전베이 공간에는 다수의 배선이 위치하기 때문에 ADRS 외부에 변환장치를 부착하는 것은 물리적인 손상의 원인이 될 수 있으므로 변환장치를 재구성한 후 모듈화하여 그림 2 좌측 하단과 같이 샤시에 포함되도록 수정하였다.

ADRS에 저장되는 스마트무인기 비행시험 데이터는 착륙 후 외부장치(노트북 또는 PC)에서 변환을 해야 확인이 가능하기 때문에 외장형 메모리의 하드웨어적 파손으로 인한 데이터의 다운로드 실패 방지를 위해 내부메모리와 함께 2중으로 실시간 저장되도록 하였다. ADRS에 장착된 외장형 메모리는 시중에서 쉽게 구할 수 있는 USB 메모리를 이용하기 때문에 비행 중 진동으로 인해 장비로부터 이탈되어 저장이 되지 않거나 이탈된 USB 메모리가 내부 기계장치로 유입될 경우 비행 중 심각한 문제를 야기할 수 있다. 이를 방지하기 위해 ADRS에 있는 소프트웨어 다운로드용 이더넷 포트와 USB 포트가 인접한 것에 착안하여 그림 2 우측 하단과 같이 이더넷 커넥터를 USB 메모리와 붙이는 간단한 아이디어로 잠금장치를 구현하였다.



그림 2. ADRS 구성도

### 2.3 운용 소프트웨어 개발

ADRS는 아날로그 I/O 신호 처리를 위한 Field Programmable Gate Array(FPGA) 소프트웨어, 데이터 신호처리, 저장 및 DFCC와의 통신기능을 위한 Real-Time 소프트웨어, 저장된 바이너리(binary) 데이터를 아스키(ASCII) 형태로 변환할 수 있도록 PC에서 구동되는 호스트(host) 소프트웨어로 구성하였다. ADRS 운용 소프트웨어는 그림 3과 같이 LabView Project 파일로 구성된다<sup>[2]</sup>. 그림 3의 'ADRS1(192.168.1.200)'으로 표시된 장비명 아래 Chassis(cRIO-9104)에 해당하는 하드웨어 및 소프트웨어가 FPGA 블록에 위치한다. cRIO 샤시 내부에 내장된 FPGA 칩(chip)으로 PC에서 컴파일 된 소프트웨어를 다운로드하여 ADRS에 전원이 인가된 이후부터 자동으로 작동하도록 하였다. Chassis(cRIO-9104) 아래에는 ADRS1\_RT\_code.vi(리얼타임 소프트웨어)가 있다. Real-Time 컨트롤러에 다운로드 된 소프트웨어는 전원이 입력되면 자동으로 실행되고 FPGA로부터 획득된 센서의 측정값과 DFCC로부터 전송된 데이터를 실시간으로 ADRS\_1에 저장하면서 1초 간격으로 ADRS의 정상작동 여부를 DFCC로 전달한다.

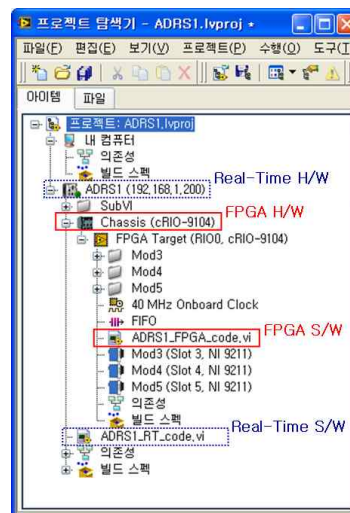


그림 3. ADRS S/W 구성

ADRS\_1의 운용 소프트웨어 흐름도를 그림 4에 나타내었다. ADRS로 전송된 데이터는 외부와 내부 메모리에 2중으로 저장되며 서로 다른 주기로 전송되는 센서 측정값은 별도의 파일로 저장된다. 내부 메모리의 용량이 부족한 경우 가장 먼저 저장된 날짜의 파일은 지워지면서 최신의 데이터 파일이 생성된다.

ADRS에는 최대 5시간 동안의 스마트무인기 비행정보가 기록되어야 하므로 바이너리 형식으로 저장하여 PC 전송시간 절약과 저장 메모리 크기를 줄일 수 있도록 하였다. 바이너리 형식의 파일이 저장되기 때문에 비행시험 종료 후에는 저장된 파일을 분석이 가능하도록 아스키 파일로 전환하는 변환 소프트웨어를 개발하였다. 데이터 변환 소프트웨어는 DFCC 저장데이터와 각 센서 저장데이터를 모두 처리할 수 있으며 변환하고자 하는 항목 선택과 추출시간 설정 기능을 넣어 변환시간 절약 및 분석하고자 하는 데이터만 사용할 수 있도록 구성하였다(그림 5 우측 하단). 그림 5 좌측 하단은 변환된 데이터를 분석용 소프트웨어를 통해 확인한 결과이다.

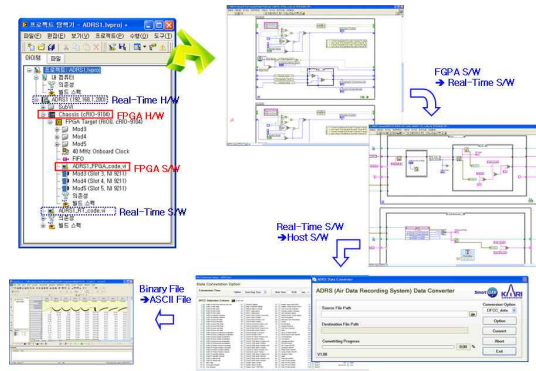


그림 5. 운용 소프트웨어 데이터 처리 과정

### 3. 시험 및 검증

ADRS의 검증 시험은 ADRS 자체의 벤치 테스트를 거쳐 아이언버드 시험, 작동기 성능시험, 지상통합시험 및 전자기 시험의 스마트무인기 지상시험과정을 통해 함께 확인하였으며 이 과정에서 다른 장비의 개발과 성능 시험에도 활용되었다. 또한 지상시험에서 확인이 요구되는 별도의 데이터가 필요한 경우 ADRS 모듈을 교체하고 소프트웨어를 수정하여 시험에 활용하였다.

#### 3.1 아이언버드 시험

아이언버드(Ironbird)는 스마트무인기 로터드라이브와 엔진을 시험하기 위한 장치로 DFCC 및 엔진구동을 위한 시험장비만을 이용하여 구성된다(그림 6). 아이언버드 시험과정에서 ADRS는 DFCC와 드라이브시스템의 온도 측정만이 필요하기 때문에 ADRS\_1만을 사용하였고 전기적 연결 및 데이터 정확도에 대한 수정이 이루어졌다.

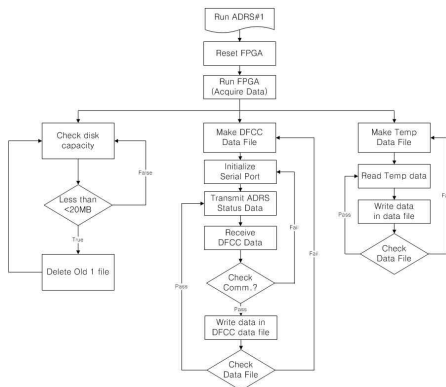


그림 4. 소프트웨어 흐름도



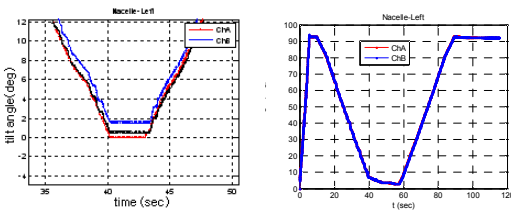
그림 6. 아이언버드 시험

## 2.2 작동기 시험

작동기의 신뢰성을 확보하기 위한 시험기록을 위해 별도의 저장장치를 구성하지 않고 비행시험 중 ADRS에 저장되도록 규정된 항목별 데이터를 활용하였다. 작동기 시험에서는 작동기에 명령을 주는 값과 실제 작동한 결과를 비교, 분석하여 작동기 컨트롤러의 정상 작동 확인 및 명령시간 지연 등의 문제 사항의 수정이 이루어졌다. 그림 7은 스마트무인기를 회전익 형상에서 고정익 형상으로 전환시키는 나셀 틸트 작동기의 시험과정이다. 그림 8(a)는 ADRS에 저장된 작동기 명령 및 상태 데이터 중 오차가 발생한 구간의 확대 결과이며 나셀 작동기가 명령에 대해 약 2°의 차이를 나타낸다. 시험 결과를 바탕으로 작동기 컨트롤러의 소프트웨어를 수정한 후에 그림 8(b)와 같이 0.2°내의 일치된 결과가 측정되었다. 시험결과를 통해 ADRS는 해당 장비가 저장에 요구되는 요건을 만족하는 것이 검증되었다.



그림 7. 나셀 틸트 작동기 시험



(a) 수정 전 (구간 확대)

(b) 수정 후

그림 8. 나셀 틸트 작동기 시험 결과

## 3.3 지상통합시험

스마트무인기 지상통합시험은 비행시험 형상 조건과 동일하게 비행체 내부에 탑재장비를 장착하며 비행체는 지상에 묶어둔 상태로 엔진을 작동시킨다. 지상통합시험에서 ADRS에 저장된 데이터는 각 장비들의 상태와 오류를 점검하고 시험 진행을 위한 자료로 활용되었다. 또한 데이터를 통한 장비의 오류검증 과정에서 ADRS가 정상적으로 데이터들을 저장하였는지를 검증하였다. 그림 9는 ADRS를 통해 저장된 엔진데이터의 일부이다. 측정된 엔진오일압력이 엔진매뉴얼에서 제시하는 영역에서 유지됨을 확인할 수 있으며 엔진과 관련 장비가 정상적으로 작동함과 ADRS 저장데이터의 신뢰성이 확인된다. 그림 10은 ADRS에 저장되는 데이터 중 GPS/INS로부터 출력된 데이터이다. 점선으로 표시된 부분은 센서의 출력 값에서 발생하는 앨리어싱(Aliasing) 현상으로 실제 운용환경에서 발생하는 장비 오류 및 개선사항을 파악하고 수정하는데 적용되었다.

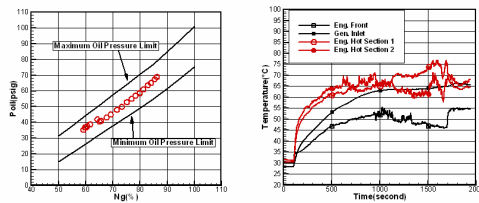


그림 9. 엔진시험 데이터

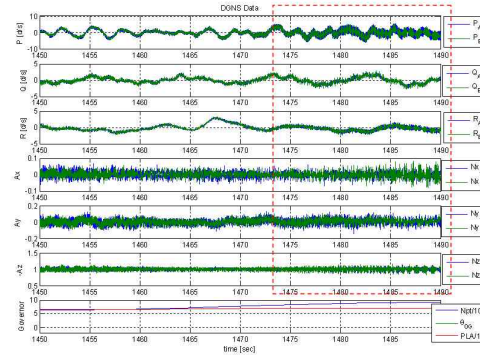


그림 10. GPS/INS 데이터

그림 11는 전파고도계와 GPS/INS의 출력 데이터를 중 고도값의 비교이다. ADRS에 저장되는 데이터들이 시간을 기준으로 정렬된 상태로 저장되며 데이터 변환과정 후 비교에 용이하도록 정렬된 상태로 추출이 가능하다.

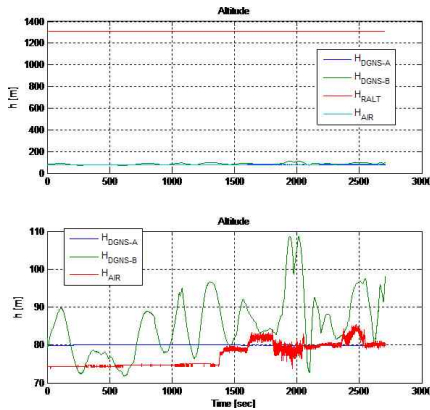


그림 11. 전파고도계 데이터

그림 12는 엔진 제어를 위한 제어기의 반응을 확인하기 위한 것으로 엔진 거버너가 시험과정 중 명령에 대한 rpm 반응이 정확히 저장되고 있음을 확인할 수 있다.

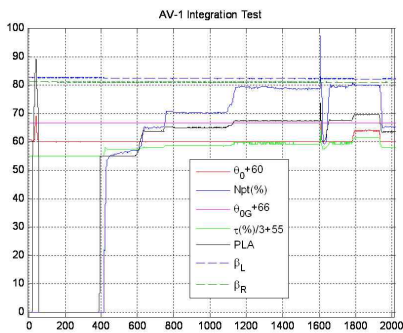


그림 12. 엔진 거버너 제어

스마트무인기 지상시험 진행 중 고온환경에서의 비행체 내부 온도 변화를 측정하고 모니터링하는 것이 요구되었다. 그러나 추가의 데이터 측

정장비를 이용할 경우 비행체 내부에 전기적/물리적 인터페이스를 위해 새로이 해결해야할 문제가 생긴다. 이 때문에 ADRS가 비행체에 장착된 상태에서 모듈과 소프트웨어만을 수정하여 시험에 활용하였다. 온도센서는 그림 13의 위치에 16개의 써머커플을 설치하고 추가 모듈을 4개 활용하여 실시간으로 모니터링하면서 데이터를 저장하였다. 저장된 결과를 바탕으로 엔진 정지 후 비행체 엔진 코어 상부온도가 급격히 올라가는 것을 방지하기 위해 별도의 외부 냉각장치가 지상시험 절차에 반영되었다(그림 14).



그림 13. 비행체 온도측정 위치

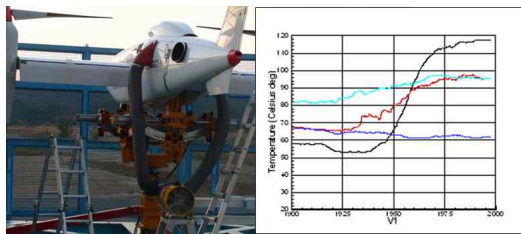


그림 14. 고온부 공기 배출 및 온도 측정 결과(엔진부)

ADRS는 스마트무인기 탑재항전장비 중 비필수장비로 분류되어 환경조건에 있어 규제를 받지 않기 때문에 상용 기성품을 이용하였으나 스마트무인기 개발과정의 시험에서는 데이터 저장이 필수적이기 때문에 비행체의 전자기시험에 ADRS를 포함하여 수행하였다(그림 15). 전자기시험은 스마트무인기 비행체의 RS103 복사내성 시험으로 주파수범위 2MHz~18GHz, 인가전계(수평/수직) 200V/m에서 수행되었으며 전자기 시험동안 ADRS의 정상작동이 확인되었다<sup>[3]</sup>.

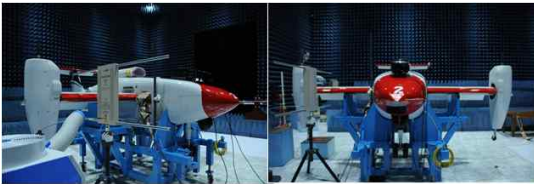


그림 15. 비행체 RS103 복사내성 시험

#### 4. 결 론

스마트무인기의 지상시험 및 비행시험 데이터 획득을 위해 탑재자료저장장치(ADRS)를 개발하였다. 상용 기성품을 이용하여 요구되는 성능에 만족하면서 개발비 절약 및 일정 단축이 가능하였다. 또한 스마트무인기 시험에서 요구되는 기능이 변경될 경우에도 적용 가능하도록 수정이 유연하도록 구성하였다. 스마트무인기에 최적화하여 개발된 ADRS는 비행체 인터페이스 시험, 지상통합시험 및 전자기 시험 등을 통해 성능을 검증하였다.

향후 스마트무인기는 4자유도 시험, 안전줄 호버 시험 및 비행시험 단계를 거치면서 스마트무인기 시스템 개발을 위한 자료가 축적될 것이며, 비행 제어로직개선과 시스템 향상을 위한 저장데이터들이 ADRS를 통해 개발자에게 제공될 것이다.



그림 16. 향후 시험 계획

#### 후 기

본 연구는 지식경제부 지원으로 수행하는 21세기 프론티어 연구사업(스마트무인기기술개발)의 일환으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. National Instrument, <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/203500>
2. National Instrument Corporation, CompactRIO and LabVIEW Development Fundamentals, Course Manual, 2008
3. 이현철 외, SUAV 2차 전자기시험 결과보고서, 스마트무인기기술개발사업단, 2009, SU DC-TS-A1-08-010-R0