

부 록. 3-1

탐재센서 및 계측시스템 검증방안 개발 보고서

탑재센서 및 계측시스템 검증방안 개발

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 항공안전기술원
위탁연구기관 / 엔비노드(주)

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

항공안전기술원 원장 귀하

이 보고서를 "비행시험자료 계측 및 분석기술 연구"과제의 3차 년도 보고서로 제출합니다.

2019. 03. 22.

주관연구기관명 : 항공안전기술원

주관연구책임자 : 한 정 호

" : 박 욱 제

" : 김 승 한

위탁연구기관명 : 엔비노드(주)

위탁연구책임자 : 김 형 섭

연 구 원 : 조 택 선

" : 최 창 용

" : 김 영 수

" : 추 민 성

과제고유번호	15ATRP-C109146-01	해 당 단 계 연 구 기 간	‘18.01.29. ~ ‘19.12.28.	단 계 구 분	3/3
연 구 사 업 명	중 사 업 명	국가 비행종합시험인프라 개발 · 구축			
	세부사업명	국가 비행종합시험인프라 개발 · 구축			
연 구 과 제 명	대 과 제 명	비행시험자료계측 및 분석기술 개발			
	세부과제명	비행시험자료계측 및 분석기술 개발			
연 구 책 임 자	한정호	해당단계 참 여 연구원수	총 : 명 내부 : 명 외부 : 명	해당단계 연 구 비	정부 : 천원 기업 : 천원 계 : 천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 명 내부 : 명 외부 : 명	총연구비	정부 : 천원 기업 : 천원 계 : 천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	항공안전기술원		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 : 엔비노드(주)		연구책임자 : 김형섭		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	138
이 보고서는 비행시험자료계측 및 분석기술연구의 3차년도 연구활동으로 탑재센서 및 계측시스템 검증방안을 조사하였다.					
주요장비의 시험평가 항목, 시험평가 계획 및 시험절차서를 개발하여, 계측시스템의 시험평가 방안과 시험절차를 제시하였으며, 대상 시스템의 범위는 아래와 같다.					
• 탑재센서 • 탑재계측 시스템 : 데이터 수집기, 데이터 저장기, 표준시간 측정장비, 비디오 저장장치, 데이터 송신기 • 지상계측시스템 : IF 데이터레코더 • 비행후 데이터처리시스템					
IF/RF 광대역 및 고속 데이터 저장기술 연구개발을 수행하였다. 최종적으로 광대역 IF 데이터 레코더 시제품을 완성하였으며, 성능에 대한 검증을 완료하였다. 이 장비는 추후, 비행시험계측자료의 정밀분석 용도로 활용될 것이다.					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	비행시험계측장비, 탑재계측시스템, 지상계측시스템, 비행 후 데이터처리시스템, 비행시험센터			
	영 어	Flight Test Instrumentation, Telemetry Airborne System, Telemetry Ground System, Post Data Processing System, Flight Test Center			

요 약 문

I. 제 목

탐재센서 및 계측시스템 검증방안 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

탐재 센서, 탐재계측시스템, 지상계측시스템 및 비행 후 데이터 처리 시스템의 검증과 관련하여 시험항목 도출 및 시험절차서 개발에 필요한 자료를 제공하고 IF/RF 광대역 및 고속 데이터 저장기술을 연구개발하여 최종적으로 광대역 IF 데이터 레코더의 시제품을 완성

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 항공기 탐재 센서 및 탐재계측시스템 검증 방안과 시험절차서 개발
 - 각종 탐재 센서
 - 표준시간 발생기
 - 신호처리기
 - 데이터 저장기
 - 비디오/오디오 신호 저장기
 - 송신기
- 지상계측시스템 검증 방안과 시험절차서 개발
 - IF 데이터레코더
 - 비행후 데이터처리시스템
- IF/RF 광대역 및 고속 데이터 저장기술 연구 개발

IV. 연구개발결과

탐재센서 및 탐재계측시스템과 지상시스템중 IF데이터레코더, 그리고 비행후 데이터처리시스템의 검증 방안을 조사하고 주요 장비의 시험항목과 절차를 개발하여 계측시스템의 시험평가 방안 및 시험 절차를 제시한다.

- 탐재센서 검증방안과 시험절차 확립
- 탐재계측시스템의 검증 방안과 시험절차 확립
- 비행후처리시스템 및 IF데이터레코더의 검증 방안과 시험절차 확립
- IF/RF 광대역 및 고속 데이터 저장기술 연구개발

V. 연구개발 결과의 활용계획

- 탐재센서 점검 및 시험평가에 활용
- 탐재계측시스템 점검 및 시험평가에 활용
 - 신호처리기, 데이터저장기, 송신기 점검 자료로 활용
- IF 데이터레코더/비행후 데이터처리시스템 점검 및 시험평가에 활용
 - IF 데이터레코더, 비행후 데이터처리시스템에 활용
- IF/RF 광대역 및 고속 데이터 저장기술 연구개발
 - 비행시험 데이터 정밀분석에 활용

목 차

1장. 탑재센서 및 계측시스템 검증방안 개요	1
1절. 비행 계측시스템 구성	1
2절. 비행 계측시스템 계측 표준	2
3절. 비행시험 계측 요구도 리스트	3
4절. 계측시스템 시험 내용 및 절차	6
2장. 탑재센서 검증 방안	7
1절. 탑재센서 종류와 시험평가 항목 사례	9
2절. 탑재센서 종류별 시험평가 항목 도출	13
1. 가속도 측정센서	13
2. 온도 측정센서	16
3. 압력 측정센서	18
4. 하중 측정센서	23
5. 유량 측정센서	24
6. 변위 측정센서	30
7. 자이로스코프 센서	33
8. 복합 센서	39
9. 공기데이터 측정센서	44
10. 전기 측정센서	46
11. 소음 측정센서	47
12. 진동 측정센서	48
3절. 탑재센서 시험평가 계획 및 시험절차서	50
3장. 탑재계측시스템 검증 방안	55
1절. 데이터 수집기(신호처리기)	58
1. 데이터 수집기 시험평가 항목	58
2. 데이터 수집기 시험평가 계획 및 시험절차서	60
2절. 데이터 저장장치(Data Recorder)	62
1. 데이터 저장장치 시험평가항목	62
2. 데이터 저장장치 시험평가 계획 및 시험절차서	63
3절. 표준시간 측정장비	65
1. 표준시간 측정장비 시험평가 항목	65
2. 표준시간 측정장비 시험평가 계획 및 시험절차서	67
4절. 비디오 저장장치(Video Recorder)	68
1. 비디오 저장장치 시험평가항목	68

2. 비디오 저장장치 시험평가 계획 및 시험절차서	70
5절. 데이터 송신기	71
1. 데이터 송신기 시험평가 항목	71
2. 데이터 송신기 시험평가 계획 및 시험절차서	73
4장. 지상계측시스템 검증 방안	75
1절. 지상계측시스템 개요	75
2절. IF 데이터레코더	77
1. IF 데이터레코더 시험평가 항목	77
2. IF 데이터레코더 시험평가 계획 및 시험절차서	78
3절. 비행후 데이터처리시스템	79
1. 비행후 데이터처리시스템 개요	79
2. 비행후 데이터처리시스템 시험평가 항목	83
3. 비행후 데이터처리시스템 시험평가 계획 및 시험절차서	84
5장. IF/RF 광대역 및 고속 데이터 저장기술 연구개발	86
1절. 광대역 IF 데이터레코더 개요	86
2절. IF/RF 광대역 및 고속 데이터 저장기술 개발	88
3절. 광대역 IF 데이터레코더 검증 방안	90
1. 광대역 IF 데이터레코더 시제품 개발	90
2. 광대역 IF 데이터레코더 시험평가 항목	93
3. 광대역 IF 데이터레코더 시험절차서 및 검증 결과	94
6장. 결론	107
참고 문헌	134
참고 웹사이트	136

표 차례

표 1.1 T-50 비행시험 계측 파라미터 정의(예)	4
표 1.2 T-50 계측 요구도 리스트(예)	5
표 2.1 비행 계측시스템(탑재계측 장비) WBS	8
표 2.2 항공기 탑재 주요 센서 11종 개요	9
표 2.3 Hwak 100급 항공기의 FBW 센서 사양	10
표 2.4 T-50 장착 주요센서 종류(50 여종 300 여개 센서)	11
표 2.5 Rate Gyro의 요구도 개발(안)	12
표 2.6 Accelerometer의 요구도 개발(안)	12
표 2.7 Air Data Computer 요구도 개발(안)	12
표 2.8 Flow Incidence Angle Sensor 요구도 개발(안)	13
표 2.9 서보 가속도계 시험평가 항목 및 사양 (예)	13
표 2.10 정전용량형 가속도계 시험평가 항목 및 사양 (예)	14
표 2.11 스트레인게이지 가속도계 시험평가 항목 및 사양 (예)	15
표 2.12 업체별 RTD 보유 현황	16
표 2.13 업체별 RTD 시험평가 항목 및 사양 (예)	17
표 2.14 써모커플 시험평가 항목 및 사양 (예)	17
표 2.15 TAT 센서 시험평가 항목 및 성능 예	18
표 2.16 절대압 센서 & 게이지 압력센서 시험평가 항목 및 사양 (예)	19
표 2.17 차압센서 시험평가 항목 및 사양 (예)	20
표 2.18 디지털 기압계 시험평가 항목 및 사양 (예)	21
표 2.19 아날로그 기압계 시험평가 항목 및 사양 (예)	22
표 2.20 스트레인게이지 시험평가 항목 및 사양 (예)	23
표 2.21 스트레인게이지 로드셀(Strain Load Cell) 시험평가 항목 및 사양 (예)	23
표 2.22 피스톤 유량계 시험평가 항목 및 사양 (예)	24
표 2.23 오발 기어 유량계 시험평가 항목 및 사양 (예)	25
표 2.24 터빈 유량계 시험평가 항목 및 사양 (예)	26
표 2.25 오리피스 유량계 시험평가 항목 및 사양 (예)	27
표 2.26 시간차법 초음파 유량계 시험평가 항목 및 사양 (예)	28
표 2.27 도플러 초음파 유량계 시험평가 항목 및 사양 (예)	28
표 2.28 피토판 시험평가 항목 및 사양 (예)	29
표 2.29 LVDT 시험평가 항목 및 사양 (예)	30
표 2.30 선형 포텐서미터 시험평가 항목 및 사양 (예)	31
표 2.31 TX 타입 싱크로 시험평가 항목 및 사양 (예)	32
표 2.32 1축 링 레이저 자이로 시험평가 항목 및 사양 (예)	33

표 2.33 3축 링 레이저 자이로 시험평가 항목 및 사양 (예)	34
표 2.34 1축 광섬유 자이로 시험평가 항목 및 사양 (예)	35
표 2.35 3축 광섬유 자이로 시험평가 항목 및 사양 (예)	36
표 2.36 1축 MEMS 자이로센서 시험평가 항목 및 사양 (예)	36
표 2.37 3축 MEMS 자이로센서 시험평가 항목 및 사양 (예)	38
표 2.38 AHRS의 시험평가 항목 및 사양 (예)	39
표 2.39 링 레이저 자이로 기반의 INS 시험평가 항목 및 사양 (예)	41
표 2.40 광섬유 자이로 기반의 INS 시험평가 항목 및 사양 (예)	42
표 2.41 MEMS 자이로 기반의 INS 시험평가 항목 및 사양 (예)	43
표 2.42 Airdata Boom 시험평가 항목 및 사양 (예)	44
표 2.43 산소 감시기 시험평가 항목 및 사양 (예)	45
표 2.44 변류기 시험평가 항목 및 사양 (예)	46
표 2.45 절연 변압기 시험평가 항목 및 사양 (예)	47
표 2.46 마이크 시험평가 항목 및 사양 (예)	47
표 2.47 압전형 가속도 센서 시험평가 항목 및 사양 (예)	49
표 2.48 센서의 시험 종류	51
표 3.1 비행 계측시스템(탑재계측 장비) WBS	56
표 3.2 탑재 계측장비의 시험 종류	57
표 3.3 유사시스템(T-50)의 비행시험 계측용 탑재장비 종류	57
표 3.4 비행시험 탑재계측시스템의 데이터 수집기(PCM Encoder) 요구도	59
표 3.5 비행시험 탑재계측시스템의 데이터 수집기(PCM Encoder) 해외 기술 동향	59
표 3.6 데이터 수집기 시험평가 항목 (예)	60
표 3.7 데이터 수집기 항목별 시험 내용 (예)	60
표 3.8 T-50 비행시험용 데이터 저장장치 주요사양	62
표 3.9 데이터 저장장치 요구도(안)	63
표 3.10 데이터 저장장치 시험평가 항목 (예)	63
표 3.11 데이터 저장장치 시험평가 항목별 시험내용 (예)	64
표 3.12 시간부호 발생기 주요사양	65
표 3.13 시간부호 발생기 요구도(안)	66
표 3.14 시간부호 발생기 시험평가 항목 (예)	66
표 3.15 시간부호 발생기 시험평가 항목별 시험 내용 (예)	67
표 3.16 T-50 비행시험용 비디오 저장장치 주요사양	69
표 3.17 TEAC-V83 비디오 저장장치 요구도(안)	69
표 3.18 TEAC-V83 비디오 저장장치 시험평가 항목 (예)	69
표 3.19 TEAC-V83 비디오 저장장치 시험평가 항목별 시험내용 (예)	70
표 3.20 T-50 데이터 송신기 및 주요사양 (예)	72
표 3.21 비행시험 탑재계측시스템의 Transmitter 요구도(안)	72
표 3.22 데이터 송신기 시험항목 (예)	73
표 3.23 송신기의 시험평가 항목별 시험내용 (예)	73

표 4.1 IF 데이터레코더 시험평가 항목 (예)	77
표 4.2 IF 데이터레코더 시험평가 항목별 시험 내용 (예)	78
표 4.3 비행후 데이터처리시스템 요구도 (안)	83
표 4.4 비행후 데이터처리시스템 시험평가 항목 (예)	84
표 4.5 비행후 데이터처리시스템 시험평가 항목별 시험 내용 (예)	84
표 5.1 IF/RF 고속 데이터 처리보드에서 처리되는 데이터의 양	89
표 5.2 광대역 IF 데이터레코더 시제품 시험평가 항목 및 규격	93
표 6.1 데이터 수집기 시험평가 항목 및 시험 내용	108
표 6.2 데이터 저장장치 시험평가 항목 및 시험내용 (예)	110
표 6.3 시간부호 발생기 시험평가 항목 및 시험 내용 (예)	111
표 6.4 비디오 저장장치 시험평가 (예)	112
표 6.5 송신기의 시험평가 항목 및 시험 내용 (예)	113
표 6.6 IF 데이터레코더 시험평가 항목 및 시험 내용 (예)	115
표 6.7 비행후 데이터처리시스템 시험평가 항목 및 시험 내용 (예)	116
표 6.8 IF/RF 고속 데이터 처리 보드에서 처리되는 데이터의 양	118
표 6.9 광대역 IF 데이터레코더 시제품 시험평가 항목 및 규격	122

그림 차례

그림 1.1 비행 계측시스템 구성	2
그림 2.1 탑재센서와 탑재계측시스템 구성도	7
그림 2.2 T-50 비행시험 계측 센서 부착도	51
그림 2.3 데이터수집기를 이용한 센서 시험평가 장비 구성 (예)	53
그림 3.1 탑재 계측시스템 구성도	55
그림 3.2 T-50 데이터 수집기 조립 모습(PCM Tray)	59
그림 3.3 데이터 수집기 시험평가 장비 구성 (예)	61
그림 3.4 T-50 비행시험용 데이터 저장장치	62
그림 3.5 데이터 저장장치 시험평가 장비 구성 (예)	64
그림 3.6 T-50의 GPS-705 시간부호 발생기	66
그림 3.7 T-50의 GPS-705 시간부호발생기 시험장비 구성 (예)	67
그림 3.8 TEAC-V83 비행시험용 비디오 저장장치	68
그림 3.9 비디오 저장장치 시험평가 장비 구성 (예)	70
그림 3.10 T-50 데이터 전송방식	71
그림 3.11 T-50 TTS-6335 송신기 시험평가 장비 구성 (예)	74
그림 4.1 일반적인 지상계측시스템 구성 및 신호흐름도	75
그림 4.2 T-50 지상계측시스템 구성도	76
그림 4.3 지상국 시스템 블록도	76
그림 4.4 IF 데이터레코더 시험평가 장비 구성 (예)	78
그림 4.5 비행시험 데이터의 흐름도	80
그림 4.6 비행후 데이터처리시스템 시험평가 장비 구성 (예)	85
그림 5.1 광대역 IF데이터 레코더 위치	87
그림 5.2 광대역 IF 데이터레코더 개념도	87
그림 5.3 IF/RF 고속 데이터 처리 보드의 인터페이스 선정	88
그림 5.4 저장 매체 (SSD)	89
그림 5.5 시스템 및 스토리지 제어부	90
그림 5.6 광대역 IF 데이터레코더 시제품 형상	91
그림 5.7 운용자 GUI의 제어 및 운용 화면	91
그림 5.8 데이터 전시 화면	92
그림 5.9 스펙트럼 전시 화면(펄스 신호)	93
그림 5.10 데이터 파일 크기 및 데이터 개수 측정 결과	103
그림 5.11 원시데이터 전시 화면	104
그림 5.12 제어 및 운용 화면	105
그림 5.13 스펙트럼 / 진폭 그래프	105

그림 6.1 데이터 수집기 시험평가 장비 구성 (예)	109
그림 6.2 데이터 저장장치 시험평가 장비 구성 (예)	110
그림 6.3 시간부호발생기 시험장비 구성 (예)	111
그림 6.4 비디오 저장장치 시험평가 장비 구성 (예)	112
그림 6.5 송신기 시험평가 장비 구성 (예)	114
그림 6.6 IF 데이터레코더 시험평가 장비 구성 (예)	115
그림 6.7 비행후 데이터처리시스템 시험평가 장비 구성 (예)	117
그림 6.8 IF/RF 고속 데이터 처리 보드의 인터페이스 선정	118
그림 6.9 운용자 GUI의 제어 및 운용 화면	120
그림 6.10 데이터 전시 화면	121
그림 6.11 스펙트럼 전시 화면(펄스 신호)	121
그림 6.12 광대역 IF 데이터레코더 시제품	122
그림 6.13 70MHz 신호 측정 결과	123
그림 6.14 데이터 파일 크기 및 데이터 개수 측정 결과	130
그림 6.15 원시데이터 전시 화면	131
그림 6.16 제어 및 운용 화면	132
그림 6.17 스펙트럼 / 진폭 그래프	132

1장. 탑재센서 및 계측시스템 검증방안 개요

1절. 비행 계측시스템 구성

비행 계측시스템은 비행시험을 성공적으로 수행하기 위해서 필요한 데이터를 정확하게 생성시켜서 비행의 성공여부를 판단하는데 사용할 수 있도록 신호의 수집, 처리, 저장, 표시, 전송하는 수단이다.

계측시스템은 항공기에 설치되는 탑재계측시스템과 지상에서 데이터를 처리하는 지상계측시스템으로 구분하며 탑재계측시스템은 다음과 같은 기능을 수행하도록 설계되어야 한다.

- 1) 항공기에 탑재되어 항공기의 기동 조건에 따른 여러 종류의 데이터를 측정하는 계측 센서
- 2) 계측된 신호를 약속된 형태로 변형해주는 신호변환(condition) 장비(주로 ‘신호처리장비’로도 명명함)
- 3) 획득된 센서 자료를 Encoding 하여 저장하는 데이터저장기
- 4) 시험에 필요한 데이터를 지상으로 실시간 전송하는 송신기, 전력분배기, 안테나 등의 전송장비
- 5) 계측시스템의 시간동기를 위한 시간 측정장비(Time Code Generator)
- 6) 비행시험을 위한 보조 장비

지상계측시스템은 항공기로부터 전송된 데이터를 수신하여 비행시험 중인 항공기를 실시간으로 모니터링하고, 비행 후 저장 매체에 저장된 데이터를 정밀 분석할 수 있도록 데이터를 변환하며 다음과 같은 기능을 하도록 설계되어야 한다.

- 1) 전송된 데이터를 수신하는 수신장비(또는 Telemetry 장비)
- 2) 데이터 변환 및 저장 장비
- 3) 실시간 데이터를 시현하는 실시간 데이터 시현 장비(Real Time Monitoring)
- 4) 실시간 데이터 통제장비
- 5) 계측시스템의 시간동기를 위한 시간측정장비(Time Code Generator)
- 6) 비행시험 후 데이터 정밀분석을 위해 저장장비에 기록된 데이터를 처리하는 비행 후 데이터처리(Post Flight Data Processing) 장비

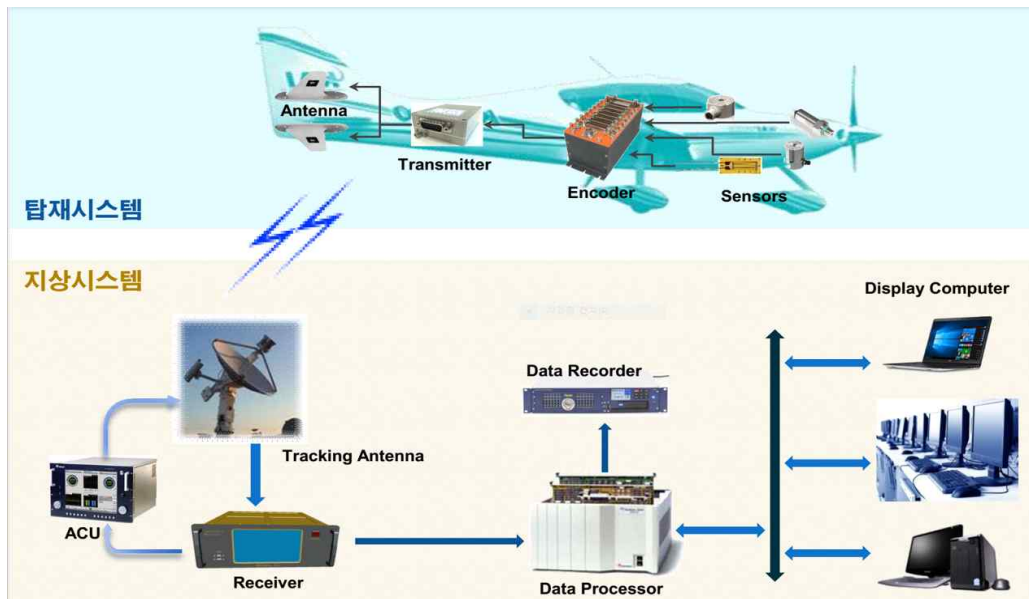


그림 1.1 비행 계측시스템 구성

2절. 비행 계측시스템 계측 표준

항공기 비행시험을 수행하기 위한 계측장비는 크게 항공기에 탑재하여 각종 신호를 직접 획득하는 탑재계측장비와 계측된 신호들을 지상에서 처리하는 지상계측장비로 나뉜다. 비행시험에 사용되는 각종 장비는 여러 지역에서 다양한 용도로 사용되고 있다. 이렇게 여러 지역에서 사용되는 장비들이 어디에서나 호환성을 가질 수 있도록 탑재계측장비와 지상계측장비의 기본 설계는 IRIG (Inter-Range Instrumentation Group) 표준을 따른다. 이 표준(IRIG)은 1950년대 초기부터 미 국방부의 Test Range에서 만들었으며, 일반적으로 2~3년 주기로 계속 개정되고 있다.

2001년 개정된 Telemetry를 위한 IRIG 표준은 IRIG 106-01로 명명되고 이 문서의 내용은 아래 사항을 포함한다.

1. INTRODUCTION, PART 1
2. TRANSMITTER AND RECEIVER SYSTEMS
3. FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING TELEMETRY STANDARDS
4. PULSE CODE MODULATION STANDARDS
5. DIGITIZED AUDIO TELEMETRY STANDARD
6. MAGNETIC TAPE RECORDER AND REPRODUCER STANDARDS
7. MGNETIC TAPE STANDARDS

8. MIL-STD-1553 ACQUISITION FORMATTING STANDARD

9. TELEMETRY ATTRIBUTES TRANSFER STANDARD

또한 2003년에는 Solid State에 대한 내용이 Chapter 10으로 추가되었으며 그 내용은 다음과 같다.

10. SOLID STATE ON-BOARD RECORDER STANDARD

현재 전 세계에서 제작되는 원격계측(Telemetry)장비는 IRIG 106의 표준을 따르고 있기 때문에 시험 항공기가 바뀌고 항공기에 탑재되는 장비의 형상이 변경되어도 각 계측 장비 상호간, 특히 지상계측장비와는 항상 호환성을 가지게 된다.

3절. 비행시험 계측 요구도 리스트

각종 비행시험에서 계측해야 할 각종 데이터를 신호 종류 및 장착위치에 따라 분류하며 적절히 코드화함으로써 코드정보만으로 데이터의 기본적인 특성을 알 수 있다. 이렇게 코드화된 각각의 데이터를 파라미터(Parameter)라고 하며, 이는 향후 데이터 관리를 효율적으로 할 수 있게 한다. 파라미터는 요구도 검토 단계에서 정의된 각종 정보를 담고 있으며, 이를 리스트화(Measurement Requirement List)하여 계측 시험별로 관리한다.

또한 추가적인 계측 요구도를 지속적으로 반영함으로써 전체 계측현황에 대한 최신화를 유지한다. 예를 들어, 'SW001'이란 코드의 경우, 첫째 문자 'S'는 스트레인게이지를 뜻하고, 둘째 'W'는 주익이란 의미이며, '001'은 'SW'로 명칭된 순번이다.

즉, 'SW001'은 주익에 장착된 첫 번째 스트레인게이지란 뜻으로, 코드 이름으로 기본 정보 파악 및 항공기 특정 부위에 어떤 센서가 몇 개 장착되었는지 파악할 수 있다.

표 1.1은 T-50 비행시험에서 사용한 파라미터 코드 분류체계의 예이다. 또한 계측 요구도 리스트를 작성하여 다음과 같은 정보들을 체계적으로 정리한다. 표 1.2는 T-50에서 사용한 계측 요구도 리스트의 예이다.

- ⑤ 요약설명 (Description)
- ⑤ 측정범위 (Measuring Range)
- ⑤ 샘플률 (Sampling Rate)
- ⑤ 정밀도 (Accuracy)
- ⑤ 센서 종류 (Sensor)
- ⑤ 인코딩 장비의 채널 (PCM Channel Assignment)
- ⑤ 장착 및 전기 도면 번호

표 1.1 T-50 비행시험 계측 파라미터 정의(예)

자릿수	표시	내용	비고
첫째	영문	Signal Type	Table 1 참고
둘째	영문	Drawing Letter	Table 2 참고
셋째~다섯째	숫자	일련번호	
T-50 계측 파라미터 구성 : 5자리(영문 2자리 + 숫자 3자리) Example or Code assignment SW003 : S-Strain W-Wings 003-Third measurement in SW sequence			
Table 1		Table 2	
Character	Description	Character	Description
A	Acceleration	B	Fuselage
D	Displacement or Position	D	Electrical and Electronic wiring installation
F	Fluid Flow, RPM or Frequency	E	Electrical and Electronic wiring Equipment
G	Gyrpsopic (Rate, Attitude)	F	Crew Station
H	Special Instrumentation Channels	H	Hydraulics
L	Over run for Strains	L	Landing Gear
M	Miscellaneous signal	M	Mechanical Design (Secenary Control & Mech)
N	Acoustic Noise	P	Propulsion, Fuel System weapons
P	Pressure	S	Armament and Special weapons
Q	Quatity	T	Tail wing
S	Strain	W	Wings
T	Temperature	Y	Environment control system
U	Over run for Temperature		
V	Vibration		
E	Event (Discrete)		
B	Digital word or words		

표 1.2 T-50 계측 요구도 리스트(예)

ID	Sou	Code	Description	Measuring Range			SR	Accuracy	Sensor	PCM Card	Re	SI	Ch	Inst Dwg	Wiring Dwg
				Low	High	Unit									
1	I	AB001	normal accel, near A/C cg	-10	10	g	100	+/-0.005g	SIH2701-1	MATD-104	1	1	2	851E5401-101	5012_3
2	I	AB002	Lateral accel, near A/C cg	-3	3	g	100	+/-0.002g	SIH2701-1	MATD-104	1	1	3	851E5401-101	5012_3
3	I	AB003	longitudinal accel, near A/C cg	-3	3	g	100	+/-0.002g	SIH2701-1	MATD-104	1	1	4	851E5401-101	5012_3
4	I	AB004	Vert, accel, FWD fusel age	-10	10	g	480	+/-5%	SIH2702-001	MSCD-604E-1	4	5	1	851E1312-101	5014_12
5	I	AB005	later, accel, FWD fusel age	-10	10	g	480	+/-5%	SIH2702-001	MSCD-604E-1	4	5	2	851E1312-101	5014_12
6	I	AF001	normal accel, at front seat	-10	10	g	100	+/-0.005g	SIH2701-1	MATD-104	1	2	2	851F0305-101	5012_3
7	I	AF002	lateral accel, at front seat	-3	3	g	100	+/-0.002g	SIH2701-1	MATD-104	1	2	3	851F0305-101	5012_3
8	I	AF003	longitudinal accel, at front seat	-3	3	g	100	+/-0.002g	SIH2701-1	MATD-104	1	2	4	851F0305-101	5012_3
9	I	AS191	Nz, Inboard Pylon FWD	-50	50	g	100	+/-5%	SIH2702-001	MSCD-604E-1	3	23	1	851S0416-401	5012_4
10	I	AS192	Nz, Inboard Pylon AFT	-50	50	g	500	+/-5%	SIH2702-001	MSCD-604E-1	3	23	2	851S0416-401	5012_5
11	I	AS193	Nz, Outboard Pylon FWD	-50	50	g	501	+/-5%	SIH2702-001	MSCD-604E-1	3	24	3	851S0416-411	5012_6
12	I	AS194	Nz, Outboard Pylon AFT	-50	50	g	502	+/-5%	SIH2702-001	MSCD-604E-1	3	24	4	851S0416-411	5012_7
13	M	BC003	1553 B C-MUX	N/A	N/A	N/A	503	N/A	N/A	N/A			1	6	1
14	I	DB005	angle position, LH speed brake	0	60	deg	N/A	+/-0.5deg	SIH2601-001	MSRD-102	5	12	1	851B6302-101	5014_5
15	I	DB006	angle position, RH speed brake	0	60	deg	25	+/-0.5deg	SIH2601-001	MSRD-102	5	12	2	851B6302-102	5014_5
16	I	DB007	Angle, L/H Flaperon	-30	30	deg	25	+/-0.5deg	SIH2601-001	MSRD-102	5	13	1	851B5411-101	5014_5
17	I	DB008	Angle, R/H Flaperon	-30	30	deg	480	+/-0.5deg	SIH2601-001	MSRD-102	5	13	2	851B5411-102	5014_5

4절. 계측시스템 시험 내용 및 절차

계측 시스템은 비행시험의 성공여부를 정량적으로 판단할 수 있는 기준이 되므로 장비의 선택, 실험실에서 동작확인, 장착, 장착 후 동작확인 및 데이터 전송 정확도 등을 단계적으로 검증해야 한다. 또한 비행 계측시스템은 항공기 탑재시스템과, 지상 시스템으로 크게 나누어지므로 시스템 검증을 WBS(work breakdown structure)를 기준으로 다음과 같이 단계적으로 구분하여 수행하는 것이 타당하다.

- 1) 탑재센서 및 시스템 시험실 점검
 - 가) 탑재 센서 전기적 성능 검증
 - 나) 탑재 장비 전기적 성능 검증
 - 다) 탑재시스템 전기적 성능 종합 점검
- 2) 탑재센서 및 시스템 비행기 장착 후 점검
 - 가) 탑재 센서 전기 및 환경시험
 - 나) 탑재 장비 전기 및 환경시험
 - 다) 탑재시스템 전기 및 환경 종합 시험
- 3) 지상 시스템 시험실 점검
 - 가) 지상국 설치 장비 전기적 성능 검증
 - 나) 지상 시스템 전기적 성능 종합 점검
- 4) 지상 시스템 설치 후 점검
 - 가) 지상국 설치 안테나 전기 및 환경시험
 - 나) 지상 시스템 전기 및 환경 종합 시험
- 5) 계측 시스템 종합시험
 - 가) 탑재 시스템 데이터 수집 시험
 - 나) 탑재 시스템 데이터 저장 시험
 - 다) 탑재 시스템 데이터 전송 시험
 - 라) 지상국 데이터 수신 시험
 - 마) 지상국 데이터 저장 시험
 - 바) 비행시험 후 데이터 처리 시험

2장. 탑재센서 검증 방안

탑재센서와 탑재계측시스템은 시험 항공기에 설치되어 비행시험 성능을 확인하기 위한 피시험 비행기의 온도, 습도, 진동, 가속도, 유압 등 각종 파라미터를 수집, 분석, 저장, 전송할 수 있어야 한다.

탑재센서 및 계측시스템은 그림 2.1과 같이 센서를 통해서 입력된 각종 데이터를 데이터 수집기(data acquisition system: DAS)에서 디지털 데이터로 변환한 후에 이 데이터를 데이터 기록장치(data recorder)에 저장하거나 또는 텔레메트리 송신기(transmitter)와 안테나를 사용하여 지상으로 전송하는 기능을 수행한다.

항공기의 각종 신호들을 계측하는 센서들은 여러 종류의 신호가 데이터 수집기(data acquisition system: DAS)로 전달되므로 센서신호의 시험은 센서 자체를 시험하거나 DAS와 연동해서 수행할 수 있다.

탑재센서의 종류는 WBS(work breakdown structure)개념을 도입하여 5단계로 분류할 때 표 2.1과 같이 12 종류의 센서로 나눌 수 있다.

본 장에서는 탑재센서 센서 요구도 분석과 센서 성능평가를 위한 시험을 나누어서 기술하며, 탑재센서 요구도는 2차 년도에 제출한 ‘비행시험 계측 시스템 요구도 분석 보고서’와 ‘T-50 항공기 비행시험 계측 자료’, ‘Hawk 100 항공기 적용 센서 사양’ 등을 기준으로 사용하였다.

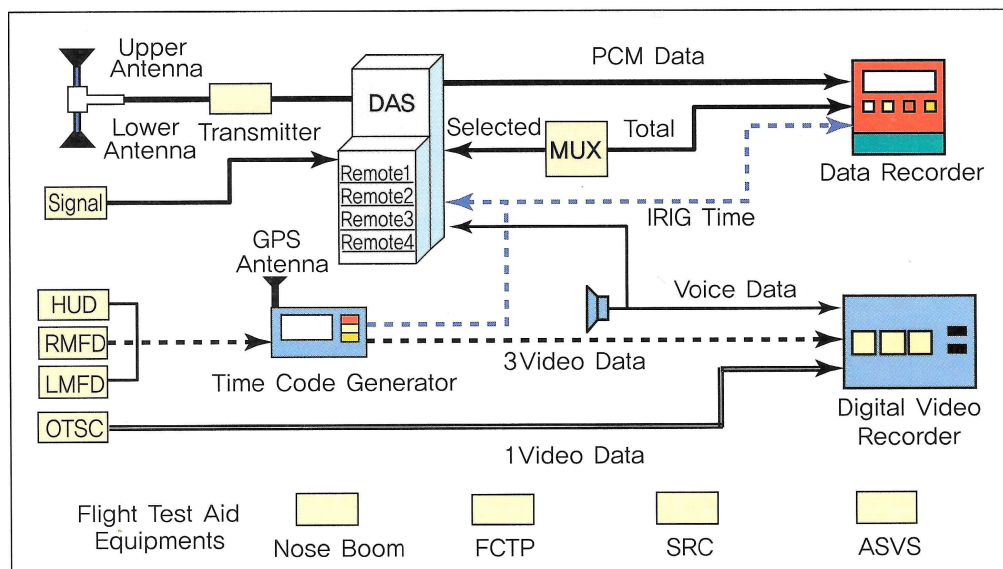


그림 2.1 탑재센서와 탑재계측시스템 구성도

표 2.1 비행 계측시스템(탑재계측 장비) WBS

Level4				WBS	Task Description	Notes
1				1	비행 계측시스템	
	2			1.1	탑재계측 시스템	
		3		1.1.1.	데이터수집기(신호처리기)	Data Acquisition system
			4	1.1.1.1	가속도센서	
			4	1.1.1.2	압력센서	
			4	1.1.1.3	온도센서	
			4	1.1.1.4	스트레인게이지 센서	
			4	1.1.1.5	산소량 측정 센서	
			4	1.1.1.6	소음센서	
			4	1.1.1.7	속도센서	
			4	1.1.1.8	유량센서	
			4	1.1.1.9	전기센서	
			4	1.1.1.10	각도센서	
			4	1.1.1.11	길이센서	
			4	1.1.1.12	진동센서	
		3		1.1.2	데이터 저장기	Data Recorder
			4	1.1.2.1	믹스	MUX
		3		1.1.3	시간 동기기	Time Code Generator
				1.2.3.1	G.P.S. 안테나	
		3		1.1.4.	영상기록기	Digital Video Recoder
		3		1.1.5	송신기(텔레메트리)	Transmitter
			4	1.1.5.1	상부 안테나	
			4	1.1.5.2	하부 안테나	
	2			1.2	지상계측 시스템	

1절. 탑재센서 종류와 시험평가 항목 사례

비행시험에 사용되는 센서는 비행시험의 목적, 항공기 구조 등에 따라서 달라진다. 항공기별 계측 요구도가 제기되면 계측 요구 사항에 대한 타당성 및 적합성을 검증한 후에 항공기별 측정 파라메타 수량을 최적화해야 한다. T-50 항공기의 경우 계측 요구도는 1회당 평균 50여개의 센서 종류가 300여개 장착되어 시험한 것으로 알려져 있다.

항공기 시험의 경우 계측요구도 list에서 요청한 계측 파라메타를 항목별로 분류하면 가속도, 압력, 온도, 하중(또는 strain), 산소, 소음, 속도, 유량, 전류, 각도, 길이, 진동 등 12종이며 strain gauge를 사용한 하중센서가 가장 많이 사용되었다.

탑재 계측시스템에 사용하는 센서 종류는 표 2.2과 같으며, 각 분야별로 사용되는 해외 주요 센서 공급 업체는 표 2.3와 같다. 센서는 표 2.1의 WBS에서 수준(level) 4에 해당되므로 각 업체가 제공한 센서 시험성적서를 기초로 합격여부를 판단하며 필요시 추가적인 시험을 할 수 있다. 일반적으로 센서 등 부품 수준의 검사는 제작사에서 제공하는 시험결과를 확인하거나, 데이터수집기 시험시 센서와 연동하여 확인하는 방법을 사용한다.

표 2.2 항공기 탑재 주요 센서 11종 개요

탑재 센서	개요
가속도센서	가속도는 시간에 대한 속도변환 비율로서 가속도 센서의 질량은 설치하고자 하는 진동 부분에 대한 동적 질량의 1/10을 넘어서는 안 되며, 압전소자 가속도 센서와 플러터 시험용 선행 가속도 센서 등이 있다.
압력센서	압력은 단위면적당 받는 힘($P=F/A$)으로 정의되며, 절대압과 게이지압, 차압이 있다.
온도센서	재료에 따라 RTD와 Thermocouple로 구분되며, 측정방법 및 장착방법에 따라 표면 온도 센서와 프루프 타입의 온도 센서로 구분된다.
Strain gage	하중 측정 시 주로 사용되며, 미세한 기계적인 변형을 전기적 신호로 변환해서 검출한다.
산소량 측정	Oxygen Monitor 등이 있다.
소음센서	Microphone 등이 있다.
속도 센서	속도는 시간에 대한 거리변환 비율로서 다양한 센서가 있다
유량센서	항공기의 유압 및 이차동력계통의 오일 유량 측정을 위해 사용하며, 기체의 유량을 측정하는 경우는 속도계로 사용할 수 있다.
전기	전류량 측정 등이 있다
각도	각도 측정 등이 있다
길이 변위센서	측정하고자 하는 대상의 길이 변위를 측정하기 위한 센서로서, LVDT(Linear Variable Displacement Transducer)는 착륙장치 도어 및 착륙장치 시스템에 사용
진동센서	Accelerometer 등을 이용하여 진동 측정

1. Hawk 100 FBW시스템 센서 요구도

Hwak 100에서 항공기 제어시스템으로 사용하고 있는 FBW(Fly-By Wire)항공제어시스템에서 사용하는 센서는 항공기의 전 비행영역에서 정상동작할 수 있고 미 군사규격을 만족하는 수준으로 선정되었으며, 센서의 요구도 주요내용은 다음과 같다.

표 2.3 Hwak 100급 항공기의 FBW 센서 사양

주요센서	규격항목	요구사항
Rate Gyro	Resolution	0.01deg/s 이하
	Range	36deg/s
	Temp. Range	-60 ~+80°C
	Sustained g	10g 이상
	Service Life	1000 시간 이상
Accelerometer	Resolution	0.002g 이하
	Range	-5g~+10g
	Temp. Range	-60 ~+80°C
	Service Life	1000 시간 이상
Air Data Computer	Resolution	
	- Mach	±0.001 이하
	- Altitude	3 ft 이하
	Range	
	- Mach	1.8
	- Altitude	55,000ft
	Temp. Range	-60 ~+80°C
	Sustained g	10g 이상
	Service Life	1000 시간 이상
Flow Incidence Angle Sensor	Resolution	0.1deg 이하
	Range	-15~50deg
	Temp. Range	-60 ~+80°C
	Altitude Range	55,000ft
	Sustained g	10g 이상
	Service Life	1000 시간 이상

2. T-50 장착 주요센서 종류(50 여종 300 여개 센서)

T-50 항공기에 장착된 주요 센서는 다음 표와 같으며, 여러종류의 센서들이 항공기 날개를 비롯해서 여러 곳에 장착되어 필요한 종류의 데이터를 측정한다.

표 2.4 T-50 장착 주요센서 종류(50 여종 300 여개 센서)

센서 분야	센서 종류	모델명
진동	3축 piezoelectric 가속도계	3000X
	1축 piezoelectric 가속도계	1000AX
온도	표면 RTD	ETG-50-B
	표면 Thermocouple	CO1-K
	RTD	21A-10-S-4-B-12
	Thermocouple union	D3-10-K-50FL
	Thermocouple	20945-4SP
	Thermocouple	EW1106115/XCIB-K-4-4-3
압력	pressure Transducer	HKM-375-25G/50G/100G/500G
	pressure Scanner	TBD
유량	Flowmeter	FTO-10A EXB-LEA-1050
전기	Current Transformer	CT3691/3692/3695
	Isolation Transformer	TW-1-5D26T
소음	Microphone	8510B-2
길이/각변위	LVDT	BY 126Hs/Hv
	Synchro	HGC-11-F-4
	Rate Gyro	MP GFEDQ-100
각속도	Servo	MP G-QJCC-100
	Linear	EGAXT-50
산소	Oxygen Monitor	3270063-G102
하중	Strain gage	WA-303-250AE-350W
기타	SPX-193	SPX-193

3. 계측 센서 요구도와 시험 항목

탐재 계측 센서의 요구도는 앞에서 조사한 내용을 기준으로 센서의 기술 수준, T-50 장비와 Hawk-100급에서 사용한 센서 요구도, 1차 년도에 작성한 센서 요구도 발전 추세를 기준으로 1차 정의하고, 개발 항공기의 시험요구도와 함께 추가적으로 발전시켜야 한다고 판단되며 현재 사용할 수 있는 중요 센서의 요구도는 다음과 같으며 각 센서 요구도 개발(안)의 구분 내용을 시험항목으로 선정하는 것이 타당하다.

다음 표는 Rate Gyro의 요구도 개발안이다.

표 2.5 Rate Gyro의 요구도 개발(안)

구분	내용
Resolution	0.01deg/s 이하
Range	36deg/s
Temp. Range	-60 ~+80oC
Sustained g	10g 이상
Service Life	1000 시간 이상

다음 표는 Accelerometer의 요구도 개발안이다.

표 2.6 Accelerometer의 요구도 개발(안)

구분	내용
Resolution	0.002g 이하
Range	-5g~+10g
Temp. Range	-60 ~+80oC
Service Life	1000 시간 이상

다음 표는 Air Data Computer 요구도 개발안 임.

표 2.7 Air Data Computer 요구도 개발(안)

구분	내용
Resolution	
- Mach	±0.001 이하
- Altitude	3 ft 이하
Range	
- Mach	1.8
- Altitude	55,000ft
Temp. Range	-60 ~+80oC
Sustained g	10g 이상
Service Life	1000 시간 이상

다음 표는 Flow Incidence Angle Sensor 요구도 개발안이다.

표 2.8 Flow Incidence Angle Sensor 요구도 개발(안)

구분	내용
Resolution	
- Mach	±0.001 이하
- Altitude	3 ft 이하
Range	
- Mach	1.8
- Altitude	55,000ft
Temp. Range	-60 ~+80oC
Sustained g	10g 이상
Service Life	1000 시간 이상

2절. 탑재센서 종류별 시험평가 항목 도출

1. 가속도 측정센서

가. 서보 가속도계(Servo Accelerometer)

표 2.9 서보 가속도계 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	항목	Sherborne Sensors	BEI
			
환경 특성	모델명	A260 Series	4311A
	운용 온도	-55°C to +95°C	- 40°C to +93°C
	Survival Temperature Range	- 65 to 105°C	
	저장 온도		-54°C to +93°C
	Constant Acceleration	100g in all 3 axes without damage	
	Shock	100g, 11ms ½ sine	100g, 11 msec
	고도	30,000m (98,400ft)	
	Environmental Sealing	IP65	
사양	Excitation Voltage	16V to 32V dc	± 15vdc ± 10% at 10 ma maximum
	소비 전력	1 W	
	Full Range 출력 (FRO)	± 5 V dc	
	표준 출력	± 1% of FRO	
	출력 임피던스	5000 Ω(nom)	5000 Ω(nom)
	출력 잡음 (DC to 10kHz)	< 0.005 V rms	< 0.0075 vrms
	Non-linearity	± 0.05% of FRO	< 0.05% of full range

	Hysteresis	0.02% of FRO	< 0.02% of full range
	Resolution	0.0005% of FRO	< 0.001% of full range
	Natural 주파수	115 Hz(nom)	5 - 250 Hz at 22°C
	Sensitive Axis-to-Case Misalignment	< ± 0.2 deg	
	Cross-axis Sensitivity	$\pm 0.2\%$ of FRO	< 0.002 g/g of applied acceleration
	Zero Offset	< $\pm 0.1\%$ of FRO	< 0.1% of full range
	Damping Ratio	0.6 ± 0.1	0.7 ± 0.1
	Insulation Resistance	$\geq 20M\Omega$	
	Thermal Zero Shift	$\leq \pm 0.002\%FRO/^{\circ}C(max)$	
	Thermal Sensitivity Shift	$\leq \pm 0.02\%$ Reading/ $^{\circ}C(max)$	
	중량	180g (6.3oz)	34 grams (1.2 oz.)
	Temp. Coeff. of Null (of full range)		< 0.0018% per $^{\circ}C$
	Temp. sensitivity of Scale Factor		< 0.018% per $^{\circ}C$
	Range		± 0.5 g to ± 20 g
	Voltage Output—Nominal		± 7.5 vdc full scale set to 1% at factory
	Output Current		3 ma full range
	Vibration Survival		15 g rms, bandwidth 20 to 2000 Hz

서보 가속도계의 시험 평가 항목을 도출하기 위해서 SherborneSensors, BEI 업체의 제품의 항목별 성능의 예를 제시하였다. 작동온도는 A260이 $-55^{\circ}C$ to $+95^{\circ}C$ 이고, 4311A는 $-40^{\circ}C$ to $+93^{\circ}C$ 이며, A260이 좀 더 낮은 온도에서도 잘 작동한다. 충격에 대해 견디는 능력은 100g에서 11ms 동안 동일하게 견딜 수 있고, 출력 임피던스 또한 5000Ω 으로 같다. A4311A에만 제공하는 스펙은 출력 전압, 출력 전류, 진동에 대한 내성인데, 특히 진동의 경우 15 grms의 크기로 20~2,000Hz까지 견딜 수 있다. T-50에서는 압전소자 3축 가속도 센서는 Vibra-Metrics M3000을 사용하였다.

나. 선형 가속도계

1) 정전용량형 가속도계(Capacitive Accelerometer)

표 2.10 정전용량형 가속도계 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	항목	ASC	SINOCERA
-			
DYNAMIC	Model No.	3511LN	CA-DR-005
	Dynamic Range	25g	
	Sensitivity	160mV/g	200mV/g
	Frequency response	500Hz($\pm 5\%$)	800Hz(-3dB)
	Amplitude non-linearity	<1% FSO	
	Transverse sensitivity	3%	5%
	Shock limit	4000g	4000g
	Recovery time	<1ms	
	Measurement Range		± 5 g
	Non-Linearity		$\leq 0.5\%$

	Temperature Coefficient of Sensitivity		0.5%/°C
ELECTRICAL	Excitation voltage	8-30 Vdc	6-16 Vdc
	Supply current	10mA	5mA
	Zero acceleration output	80mV	
	Zero bias voltage		2.5 ± 0.1V
	Output Impedance	100Ω	100Ω
	Isolation	Case Isolated	
	Spectral noise	25μg/√Hz	100μg/√Hz
	Residual/Broadband noise (±5% frequency range)	90μV	
ENVIRONMENTAL	Thermal sensitivity shift	0.015%/°C	
	Thermal zero shift	2mg/°C	
	Operating temperature range	-40°C to +100°C	-40°C to +85°C
	Storage temperature range	-55°C to +125°C	
	Humidity/Sealing	Epoxy sealed	
PHYSICAL	Sensing element	MEMS Capacitive	
	Case material	Aluminium	Stainless steel
	Mounting	Adhesive / screw holes	4-φ3 hole
	Weight	22 gram	20 gram
Factory Calibration	Range	25g	
	Sensitivity	at 80Hz and 15g	
	Frequency Response	10 to 500Hz	

정전용량형 가속도계는 모두 MEMS 방식을 도입한 MEMS 정전용량형 가속도계의 제품이 주를 이루며, 비교를 위해 ASC의 3511LN 모델과 SINOCERA의 CA-DR-005 모델(이하 CA)을 비교하였다. 필요 시 PIEZOTRONICS의 제품도 고려해볼 수 있다. 감도와 주파수 응답에 있어서 CA가 더 우수하고, 전기적 특성에서도 CA가 저전압, 저 전류이다. 그러나 스펙트럼 잡음은 100ug/√Hz로 3511LN의 25ug/√Hz보다 4배나 크고, 동작 온도에서도 3511LN이 더 높은 온도에서 동작할 수 있다.

T-50에 사용된 정전용량형 타입 가속도 센서는 Microtron Accelero-meter 7290A-100이다.

2) 스트레인게이지형 가속도계 (Strainage Accelerometer)

표 2.11 스트레인게이지형 가속도계 시험평가 항목 및 사양 (예)

구분	항목	CEC Vibration Product Inc.
-	Figure	
INPUT	Acceleration Ranges	±5 g to ±250 g
	Standard Ranges	±5, ±10, ±25, ±50, ±100, ±250
	Static Over Acceleration	100, 100, 100, 200, 250, 500, 500
	Natural Frequency	300, 400, 530, 650, 880, 1250, 2000
	Cross Axis Sensitivity	less than 0.01 g/g
	Rated Electrical Excitation	5 VDC

	Maximum Electrical Excitation	12 VDC or AC RMS without damage
	Input Resistance	350 Ω $\pm$ 15%
OUTPUT	Full Range Output	40 mV +25%/-10%
	Typical Frequency Response	$\pm$ 5%, 0 Hz to 1/3 natural frequency
	Residual Unbalance	Within $\pm$ 5% of full range output at zero acceleration
	Linearity and Hysteresis	do not exceed $\pm$ 0.75% of full range output
	Damping	0.7 $\pm$ 0.1 of critical
	Output Resistance	350 Ω $\pm$ 15%
	Resolution	Infinite
ENVIRON -MENTAL	Compensated Temperature Range	-65°F to 250°F (-54°C to +121°C)
	Operable Temperature Range	70°F to +300°F (-57°C to +149°C)
	Thermal Zero Shift	Within 0.01% full range output/°F over the compensated temperature range.
	Thermal Coefficient of Sensitivity	Within 0.01% full range output/°F over the compensated temperature range.
	Vibration Limit	25 g's peak from 10 to 2000 Hz
	Shock	Three 100 g half sine wave, 11ms
	Altitude	0-15 psia
	Humidity	MIL-E-5272, Procedure 1, Rev.C.
PHYSICAL	Electrical Connection	Two feet of shielded 4-conductor cable
	Insulation Resistance	500 megohms minimum at 45 VDC over compensated temperature range
	Weight	Less than 3.0 ounces, excluding cable
	Finish	Clear anodized

스트레인게이지 가속도계는 CEC Vibration Product Inc의 제품이 존재하며 비교군이 없다.

2. 온도 측정센서

가. RTD 온도센서

표 2.12 업체별 RTD 보유 현황

분류	OMEGA	BOCON	Endress
General Purpose	O		
Industrial	O	O	O
Surface	O	O	O

RTD(resistance Temperature Device)는 일반 목적용과 산업용으로 분류되어 있으며, 표면 부착용으로도 사용될 수 있다. RTD의 비교를 위해서 OMEGA, BOCON 그리고 Endress 업체의 제품을 비교하였다. 일반목적용 RTD를 비교하였으며, 이 외에도 여러 가지 모델의 RTD가 존재한다. 필요하면 Sento Sensor 또한 온도 센서 제품을 보유하고 있으므로 참고할 수 있다.

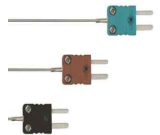
표 2.13 업체별 RTD 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	OMEGA	BOCON	Endress
Figure			
Model No.	PR-21 Series	TM1102	TR10
Housing	Stainless Steel	Stainless steel	Metal Tube
Temperature Range	-50 to 250°C	-50 to 260°C	-50 to 500°C
Mounting Thread	1/4, 3/8 and 1/2 NPT		
Response Time	3.5 Seconds (Less 63% Response in Water)	2sec, in water 0.2 m/sec	depend on configuration
Diameter	6mm	1mm	9mm

측정 온도의 범위는 TR10이 500° C로 가장 높고, 응답 시간은 PR-21의 3.5초보다 TM이 2초로 더 빠르다. 튜브의 지름은 BOCON의 제품이 1mm로 가장 작다. T-50에 사용된 RTD 온도센서는 프로브타입 RTD와 표면 RTD 센서이다.

나. 써모커플

표 2.14 써모커플 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	BOCON	KIMO	New-Flow
Figure			
Model No.	TM2101	FKI	-
Working Temperature : Tc T		-40 °C to +350 °C	-40 °C to +125 °C
Working Temperature : Tc J		-40 °C to +750 °C	-40 °C to +375 °C
Working Temperature : Tc K	-50 °C to +350 °C	-40 °C to +1000 °C	-40 °C to +375 °C
Working Temperature : Tc N		-40 °C to +1000 °C	-40 °C to +375 °C
Working Temperature : Tc S		0 °C to +1100 °C	
Mounting	Stainless steel	Ungrounded grounded hot junction Mineralinsulated Stainlesssteel	Ungrounded Grounded Ungrounded separated
Storage Temperature		-20 °C to +80 °C	
Connector rated up to		135 °C	
Proof			Explosion, Weather

써모커플의 시험평가 항목을 도출하기 위해, BOCON, KIMO, New-flow 업체의 제품을 비교하였다. BOCON의 해당 모델의 경우, K 타입만 제공하며, New-flow는 T, J, K, N 타입을 제공하며 KIMO는 이 4가지 타입에 더하여 S 타입을 제공한다. 온도의 범위는 KIMO의 제품이 1,000° C로 가장 높은 온도를 측정할 수 있으며, New-flow 제품은 방폭형이며 내후성이 있다. T-50에 사용된 Thermocouple 온도센서는 k 타입

써모커플로 넓은 온도 측정 범위를 갖는 센서이다.

다. TAT 센서

표 2.15 TAT 센서 시험평가 항목 및 성능 예

분류	AMETEK	UTC Aerospace Systems
Figure		
Model No.	-	102 Type De-iced
Total Pressure Sensor Range	135.5 to 1354.5 hPa	
Total Pressure Sensor Accuracy	± 0.25 hPa over operating range	
Static Pressure/Altitude Measurement Accuracy	+ 10 ft from -2,000 ft. to Sea Level	
	+ 15 ft from Sea Level to 10,000 ft	
	+ 30 ft from 10,000 ft. to 30,000 ft	
	+70 ft from 30,000 ft to 60,000 ft	
Pressure Sensor Time Response	< 50 millisecond/ft	
Total Air Temperature Accuracy	+ .75°F (+.40°C)	
Total Air Temperature Time Response	t = 6 sec max	
Angle of Attack Range	Range + 30°	
Angle of Attack Accuracy	+0.25°	
Angle of Attack Time Response	50 millisecond	
Power Input Nominal	28 VDC	28 VDC, 115 VAC or 230 VAC
Power Input Normal Operating Range	18 VDC to 32.2 VDC	
Temperature Range Outside Airframe	-67° to 212°F (-55° to 100°C)	-94°F to +662°F (-70°C to +350°C)
Temperature Range Inside Airframe	-67° to 158°F (-55° to 70°C)	
Air Speed	0.1 to 1.0 Mach	to Mach3+
True Air Speed	60 to 599 knots	
Altitude	Up to 60,000 ft	Up to 100,000 ft
Weight	2.0 lb (0.9 kg) max	
Platinum ice point resistance		50Ω to 500Ω
Nickel ice point resistance		1200Ω

TAT 센서의 시험평가 항목을 도출하기 위해 AMETEK와 UTC Aerospace System(이하 UTC)의 제품을 선정하였으며, 필요하면 harcosemco의 제품도 고려해 볼 수 있다. 제품에 대한 데이터 시트는 AMETEK가 좀 더 상세한 정보를 제공하지만, UTC 제품이 더 고성능이다. 측정 온도 범위는 UTC의 경우 영하 70도~350도에 이르지만, AMETEK는 100도에 불과한다. 공기의 속도(Mach 3+)와 고도(100,000 ft)에서도 UTC가 우수한다. 하지만 AMETEK의 제품은 항공기의 밖의 온도 뿐 아니라 안 쪽까지 한 번에 측정이 가능한 형태이며, 더욱 상세한 성능 정보를 제공한다.

3. 압력 측정센서

가. 절대압 & 게이지 압력 센서 (Absolute & Gauge Pressure Sensor)

표 2.16 절대압 센서 & 게이지 압력센서 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	ABB	Omega	Setra
Figure			
Model	261AC 261GC	PX5500	547
Type	Absolute / Gauge	Absolute / Gauge	Absolute / Gauge
Base accuracy	±0.1%	±0.1%	
Span limits	0.3 to 10000 kPa abs 0.3 to 60000 kPa gauge	0 to 689 kPa abs 0 to 100 psi abs 0 to 68947 kPa gauge 0 to 10000 psi gauge	103 kPa to 68947 kPa abs 15 psi to 10000 psi abs 69 kPa to 68947 kPa gauge 10 psi to 10000 psi gauge
Overload limits	90MPa		
Proof Pressure		103 MPa	2xFS
Burst Pressure		137 MPa	>35xFS <= 150 Psi >15xFS <= 1500 Psi >8xFS <=10000Psi
Damping	0 to 60 s		
Warm-up time	< 10s		
Insulation resistance	>100MΩ at 500Vdc	>100MΩ at 45Vdc	
Operating Limits			
Operating Temp. Range	-40 to 85°C (-40 to 185°F)	-40 to 85°C (-40 to 185°F)	-25 to 85°C (-13 to 185°F)
Storage Temp. Range	-50 to 85°C (-58 to 185°F)		-25 to 85°C (-13 to 185°F)
Compensated Temp. Range		-18 to 82°C (0 to 180°F)	-25 to 75°C (13 to 167°F)
Relative humidity	up to 100%		
Vibration resistance	2 g, 1kHz	20 g, 2 kHz	35 g, 2 kHz
Shock resistance	50g, 11ms	100g, 11 ms	Withstands Free Fall to IEC68-2-32 Procedure 1
Natural frequency		5khz for 15psi 50kHz to 5000psi	
Electrical data			
Power supply	11 to 42 VDC	10 to 40 VDC	8 to 40 VDC
Output signal	4 to 20 mA	4 to 20 mA	4 to 20 mA
Zero Balance		4 mA	
Input current		20 max.	
Load Impedence		50Ωmax at 40VDC	

E**lectrostatic Discharge		Protected to 15 kV max	
Measuring Accuracy			
Reaction time	100 ms		
Time constant	200 ms		
Measuring error	±0.1 %		±0.1 %
Dimension	240 x 140 x 190 mm		
Weight	700 g	225 g	305 g

절대압 센서 및 게이지 압력센서의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 ABB, Omega, Setra 업체의 고성능 압력센서를 선택하였다. 절대압 센서와 게이지 압력센서는 업체별로 같은 성능의 압력센서에 대해 절대압과 게이지압의 선택이 가능하도록 설계되어있어서 데이터 시트 상에도 함께 정리되어있다. 절대압 측정 범위의 경우, Setra, ABB, Omega 순으로 68947kPa, 10000kPa, 689 kPa를 나타내며, Omega의 제품은 게이지 압력센서에 대해서는 범위가 넓지만 절대압센서는 범위가 작다. 게이지 압력 측정 범위의 경우는 ABB가 60000kPa을 나타내고, Omega와 Setra는 10000 psi(68947kPa)를 나타낸다. 동작 온도는 ABB의 제품이 가장 좋으며, 진동에 대한 저항성은 Setra의 제품이 30g, 2kHz로 가장 높다. 또한, 충격에 대해서는 Omega의 제품이 100g에서 11ms를 견딜 수 있어서, 이는 ABB의 50g, 11ms의 두 배에 해당한다.

출력에 따라서 유형을 나눌 수 있는데 표의 제품들은 밀리암페어(mA) 전류 타입이고 그 외에도 전압 타입이 있으며 이는 볼트(V) 타입, 밀리 볼트(mV) 타입 두 종류가 있다. T-50은 절대압력센서와 게이지 압력센서를 사용하였다.

나. 차압 센서 (Differential Pressure Sensor)

표 2.17 차압센서 시험평가 항목 및 사양 (예)

구분	ABB	Omega	Sendo sensor
Figure			
Model	266 MST	PXM409	SS309
Base accuracy	0.0004	0.08	
Span limits	0.05 to 10000 kPa	1 to 7000 kPa	20 to 6000 kPa
Warm-up time	< 10s		
Insulation resistance	>100MΩ at 500VDC		
Relative humidity	Up to 100%		
Vibration resistance	2 g, 1 kHz		
Shock resistance	50g, 11ms	50g, 11ms	
Operating temperature	-40 to 85°C	-45 to 115°C	-20 to 100°C
Storage temperature	-50 to 85°C		

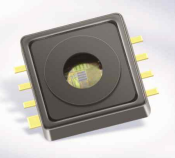
Compensated temperature		-29 to 85°C	-10 to 70°C
Output	4 to 20 mA	4 to 20 mA	4 to 20 mA
Power supply	9 to 32 VDC	9 to 30 VDC	15 to 28 VDC
weight	3.7 kg	200g	200g

차압 센서의 시험평가 항목을 도출하기 위해 ABB, Omega, Senco sensor의 제품을 선정하였으며, 필요 시 GP50, setra 업체의 제품도 고려해볼 수 있다. 압력 측정 범위는 ABB의 제품이 10000kPa로 가장 넓으며, 이 제품은 디스플레이 장치도 함께 장착되어 있다. 동작 온도의 범위에서는 Omega의 제품이 가장 크며, ABB의 데이터 시트가 가장 자세한 정보를 제공하여, warm-up time, vibration resistance, insulation resistance 등의 정보도 알 수 있다. T-50에 사용된 차압센서는 Validyne 사 센서이다.

다. 디지털 기압계(Digital Barometric Pressure Sensor)

디지털 기압계의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 FirstSensor와 Infineon의 제품을 선정하였으며, 필요하면 sparkfun의 제품도 고려해 볼 수 있다. 데이터 시트는 FirstSensor의 제품이 더 상세한 스펙을 제공한다. 하지만 비교하는 제품의 성능은 Infineon의 제품이 좋다. 기압 측정 범위는 Firstsensor의 110kPa에 비해 50kPa이 더 높고, 온도 범위도 40도에서 125도로 더 넓은 범위를 차지한다. 그러나 Firstsensor의 제품은 Infineon에서 제공하지 않는 Lead specification과 Proof & Burst pressure 등의 정보를 제공한다.

표 2.18 디지털 기압계 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Firstsensor	infineon
Figure		
Model No.	HCA-A0611AR	KP253
Barometric Range	600 to 1100 mbar	60 to 165 kPa
Output	0.24 to 4.24 V, I2C or SPI	SPI
Housing	Miniature SMT or SIL	Green 8pin SMD
Supply voltage Vs	4.5 to 5.5 Vdc	3.3 to 5.0 Vdc
Output current (sink)	1 mA	
Output current (source)	1 mA	
Proof pressure	3000 mbara	
Burst pressure	5000 mbara	
Lead specification	-	-
Average preheating temperature gradient	2.5 K/s	
Soak time	ca. 3 min	
Time above 217°C	50 s	
Time above 230°C	40 s	
Time above 250°C	15 s	
Peak temperature	260°C	
Cooling temperature gradient	-3.5K/s	

Temperature ranges (Compensated)	0 to +85°C	
Temperature ranges (Operating)	-25 to +85°C	-40 to 125°C
Temperature ranges (Storage)	-40 to +125°C	
Humiditylimits(non-condensing)	0 to 95% RH	
Accuracy		± 1 kPa
Resolution (A/D)	15bit	12bit
Resolution (D/A)	11bit	12bit
Sensitivity		39 LSB/kPa

라. 아날로그 기압계 (Analog Barometric Pressure Sensor)

표 2.19 아날로그 기압계 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Setra	NRG systems
Figure		
Model No.	270	BP20
Proof Pressure		
Barometric	137 kPa max.	15kPa to 115 kPa
Absolute	0 to 10, 20, 50, 100 psia	
Gauge	0 to 5, 10, 20, 50, 100 psig	
Performance Data		
Accuracy RSS(at constant temp)	±0.05% FS	
Accuracy		±1.5kPa max.
Non-Linearity		
End Point	±0.05% FS	
Best Fit Straight Line	±0.03% FS	
Hysteresis	<0.01% FS (TYP.)	
Resolution	Infinite, limited only by output noise level (0.005% FS)	
Thermal Effects Compensated Range	+30°F to +120°F (-1°C to +49°C)	
Thermal Zero Shift	-	-
Barometric	±0.2% FS / 100°F (±0.18% FS / 50°C)	
Other Ranges	±0.1% FS / 100°F (±0.09% FS / 50°C)	
Thermal Coefficient Sensitivity	±0.1 (±0.09)	
Long Term Stability	< ±0.1% FS/YR	
Warm-Up	< ±0.04% FS shift after 20 minutes at constant temp	
Time Constant	<10 milliseconds to reach 90% final output with step function pressure input	
Turn on time		15 ms
Environmental Data		
Temperature (Operating)	0°F to +175°F (-18°C to +80°C)	10°C to 50°C
Temperature (Storage)	-65°F to +250°F(-54°C to +120°C)	
Vibration	2g from 5Hz to 500Hz	
Acceleration	10g	
shock	50g Operating, 1/2 sine 10ms	
PressureFitting	1/8"-27 NPT Internal	

Electrical Connection	2' Multiconductor Cable	Wire leads, 3 conductor shielded cable
Weight	9 oz (0.25 Kgm)	0.1kg (0.2 pounds)
Electrical Data		
Electrical Circuit	4-Wire (+Exc, -Exc, _Out, -Out)	
Excitation	24 VDC (22-32 VDC)	
	12 VDC (11-15 VDC)	
	Reverse Wiring Protection	
Supply voltage		7 to 35 Vdc
Supply current		15mA max. (8mA typ.)
Output	0 to 5 Vdc	
Isolation	100 ohms min. at 25 Vdc	
Output Impedance	< 5 ohms	
Output Noise	< 200 microvolts RMS(0 Hz to 100 Hz)	
Current Consumption	8 mA (0.2 Watts)	

아날로그 기압계의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 Setra, NRG system의 제품을 선정하였다. 제품의 성능은 Setra가 좋으며, 데이터 시트 정보 또한 더 자세한다. 압력 측정 범위는 137kPa로 NRG의 115kPa에 비해 더 넓다. 작동 온도의 범위 또한 setra는 영하 18도부터 80도까지인데, NRG는 10도에서 50도에 걸쳐 적용된다. Setra는 NRG에는 제공되지 않은 진동, 가속, 충격, 열 영향에 따른 영향 등의 성능 및 환경에 대한 다양한 데이터를 제공한다.

4. 하중 측정 센서

하중 측정을 위해 설치하는 스트레인게이지의 경우, Strainsense와 HBM 두 업체의 제품을 비교하였다. Strainsense의 제품이 온도 특성이 더 좋지만, HBM의 제품은 저항의 크기가 더 다양하고, 저항에 대한 오차가 더 작다. Strainsense에서 strain limit이나 insulation resistance 등 자세한 정보를 제공하고 있다.

표 2.20 스트레인게이지 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Strainsense	HBM
Model No.	TA series	K-LY
Backing Material	Polyimide	Polyimide
Grid Materials	Annealed Constantan Foil	Constantan
Resistance	120Ω, 350Ω	120Ω, 350Ω, 700Ω, 1000Ω
Resistance Tolerance	±3%	±0.35%
GageFactor	2.00~2.20	2
Dispersionof Gage Factor	±1%	±1%
StrainLimit	5%,10%,15%,20%	K-LY
Temperature Range	-30°C~+150°C	Polyimide
Insulation Resistance	10000MΩ	Constantan
Adhesive	A-713,502	120Ω, 350Ω, 700Ω, 1000Ω
Lead Wire Form	C	±0.35%

표 2.21 스트레인게이지 로드셀(Strain Load Cell) 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Forsentek	HBM
Figure		
Model No.	FNG	PW10A
Capacity	3/6/10/15/20/30/40 kg	7.5/15/20/30/50/75/100/150/200 kg
Min. load cell verification interval		0.5/1/2/2.5/5/10/10/20 g
RatedOutput	2.0±10% mV/V	2.0±10% mV/V
Excitation	3~15V	1~12V
Zero Balance	±5% of R.O.	
Nonlinearity	±0.02% of R.O.	±0.0166% of R.O.
Relative reversibility error		±0.0166% of R.O.
Min. dead load output return		±0.0166% of R.O.
Hysteresis	±0.02% of R.O.	
Nonrepeatability	±0.015% of R.O.	
Creep(30min)	±0.03% of R.O.	
SafeOverload	150% of F.S.	150% of F.S.
Ultimate Overload	200% of F.S.	300% of F.S.
Temperature Range (Nominal)		-10°C to +40°C
Temperature Range (Compensated)	-10°C to +40°C	
Temperature Range (Operating)	-20°C to +60°C	-10°C to +50°C
Temperature Range (Storage)		-25°C to +70°C
Temp.ShiftZero	±0.05% of R.O./10°C	
Temp.ShiftSpan	±0.03% of R.O./10°C	
Input Resistance	1130±20Ω	380±15Ω
Output Resistance	1000±10Ω	359±5Ω
Insulation Resistance	>2GΩ(50V)	>1GΩ(100V)
Ingress Protection	IP65	IP67
Material of Element	Aluminum alloy	Steel

스트레인게이지 로드 셀은 다수의 업체에서 보유하고 있는 만큼 여러 가지로 사용되고 있다는 것을 알 수 있다. 시험평가 항목을 도출하기 위해서 Forsentek와 HBM의 제품을 선정하였고, 이 외에도 CEC Vibration Product, GTM 등의 업체에서도 제품을 보유하고 있다. Capacity에 대해 Forsentek는 3~40kg의 범위를 갖지만, HBM은 7.5~200kg의 더 넓은 범위를 포함한다. 입출력 저항은 Forsentek가 약 2배 정도 더다. T-50에서는 ACT(Airload Calibration Test)를 수행하여 하중 수식을 구한 후 실제 비행시 반영하여 데이터를 측정한다.

5. 유량 측정센서

가. 피스톤 유량계(Piston Flowmeter)

표 2.22 피스톤 유량계 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	MAXmachinery	KOBOLD
----	--------------	--------

Figure		
Model No.	P002	DRZ
Flow Range	0.3-120 l/h	6-420 l/h
Accuracy (at 3 cP)	± 0.2% of reading over a 200:1 range	± 0.1% of reading
Maximum Operating Pressure	500 bar (7250 psi)	40 bar
Displacement	1 cc/rev	
Weight	1.9 kg	1kg
Output Signal	5 Vdc square wave	
Output Resolution	1 - 1000 pulses/rev	405 pulses/liter
Power Supply Requirements	5-26 Vdc (30ma)	5-24 Vdc(10mA)
Ambient Operational Range	-40°C to 80°C, Single piece Two piece to 110°C	
Metered Liquid Temp Range	-40°C to 90°C, Standard model	-10°C~+60°C
	-40°C to 155°C Two piece high temperature model	
	-40°C to 225°C, Two piece ultra high temperature model	
Repeatability		± 0.2%
Standard viscosity range		5-100 mm ² /s
Process temperature		max. 80°C
Max. pressure loss		1.5 bar
Recom. Filter fineness		100 um
Protection type		IP65

피스톤 유량계의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 MAXmachinery(이하 MAX)와 KOBOLD의 제품을 선정하였다. 필요하면 PVL 업체의 제품도 고려해 볼 수 있다. MAX의 경우 Flow Range를 제외하고는 나머지 Maximum Operating Pressure와 Output Resolution 그리고 Metered Liquid Temperature Range등의 파라미터에서 모두 우수하다.

나. 오발 기어 유량계(Oval Gear Flowmeter)

표 2.23 오발 기어 유량계 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Sika	ALIA
Figure		
Model No.	V0 series	APF810 series
Accuracy 정확성	±0.5% of reading	±0.5 % of reading
Repeatability 반복성	< 0.05 %	±0.1 % of reading
Temperature range	-10°C~70°C	-10°C~120°C
Housing	Stainless steel	Aluminum Alloy
Oval gears	Stainless steel	Cast Iron

O-ring	FKM	Viton
Allowable Viscosity 점성	0.3~350 mPa	0.3~200 mPa
Max.particle size	25~100 um	
Supply voltage	10~30 Vdc	
Protection Class	IP67	IP65

오발 기어 유량계의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 Sika, ALIA의 제품을 선정하였음. 회사마다 1~3개의 제품을 보유하고 있다. 정확성(Accuracy)은 같으며, 반복성(Repeatability)는 Sika의 제품이 좀 더 좋다. 반복성은 반복되는 측정 시 얻게 되는 정확도를 뜻한다. 온도특성에 대해서는 ALIA의 제품이 120도까지 허용되므로 Sika의 70도에 비해 높다. 측정하는 액체의 허용되는 점성의 수치는 Sika의 제품이 더 좋다. 또한, 출력장치는 Sika는 디지털이고, ALIA의 제품은 아날로그이다.

다. 터빈 유량계(Turbin Flowmeter)

표 2.24 터빈 유량계 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	OMEGA	Sika
Figure		
Model	FTB790 series	VTP15
Flow range		2~40 l/min - with continuous operation max. 20 l/min
Accuracy	±2%, ±1.5%, ±1.0% rdg	±0.4 l/min of range at 2~20 l/min
Extended Low Flow Range Accuracy	±5.0% of reading	
Repeatability	±0.1%	±0.1 l/min
Pressure Rating	1500 psig (103 bar)	Pmax = 300 bar
Temperature Range	-40 to 121°C	
Viscosity	Rated accuracy for fluids with viscosity of water (1 cSt); meters with display can be used for fluids up to 100 cSt with field calibration	
Wetted Components		
Housing	316 SS	
Journal Bearings	Ceramic (96% alumina)	
Shaft	Tungsten carbide	
Rotor and Supports	PVDF	
Retaining Rings	316 SS	
Signal output		From 0.3 l/min
Medium temperature		Max. 150 °C
Output signal		
Pulse rate / K-factor		915 pulses/l
Resolution		1.1 ml/pulse
Signal shape		Square wave signal NPN open collector
Signal current		Max. 10 mA

터빈유량계의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 OMEGA, Sika의 제품을 선정하였다. 필요하면 KOBOLD와 hoffer의 제품도 고려해 볼 수 있다. 터빈유량계의 경우, 업체마다 데이터 시트의 성능 척도가 다른 것이 많다. 따라서, 어떤 제품이 더 뛰어난 성능인지 알기 어려우므로, 필요한 파라미터를 기준으로 제품을 선정하는 것이 좋음. T-50에서는 터어빈 형태의 유량계를 사용하여 유압계통 및 이차 동력 계통의 오일 유량을 측정한다.

라. 오리피스 유량계(Orifice Flowmeter)

표 2.25 오리피스 유량계 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	ABB	Spirax-Sarco
Figure		
Model	1330L	M410
Accuracy		
Calibrated	±0.5% of actual flow	±3% of actual flow
Uncalibrated Orifice Bores	0.020-0.065 ±5% of rate	
	0.113-0.500 ±2% of rate	
	0.612-1.127 ±1.5% of rate	
Pressure Rating		
Threaded	1/2 in. and 1 in. NPT : 3000 psig (21000 kPa) at 300°F (150°C)	
	1-1/2 NPT : 1500 psig (10500 kPa) at 300°F (150°C)	
Flanged	Class 150 ANSI : 275 psig (1900 kPa) MWP at 100°F (38°C)	
	Class 300 ANSI : 720 psig (5000 kPa) MWP at 100°F(38°C)	
Repeatability		±0.3%
Turndown		4:1

오리피스 유량계의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 ABB와 Spirax-Sarco의 제품을 선정하였다. 또한, MECON 업체에서도 제품을 보유하고 있으나, 대체로 ABB 업체를 제외한 다른 업체는 정보의 공개가 미흡하다.

마. 시간차법 초음파 유량계(Ultrasonic Transit Time Flowmeter)

표 2.26 시간차법 초음파 유량계 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Greyline	Siemens
Figure		
Model	PTFM 1.0	SITRANS FUS060
Electronics Enclosure	Portable, ABS	
Accuracy	±1% of reading or 0.1 ft/sec (0.03 m/sec), whichever is greater Repeatability & Linearity: ±0.25%	±0.5% of flow rate
Power Input	Built-in NiMH battery for up to 18 hours continuous operation External charger with 100-240VAC 50/60Hz input	
Output	4-20mA (500 ohm) when powered by AC adapter USB for data log transfer by direct PC connection	
Operating pressure		Max 40 bar (Max. 580 psi)
Operating temperature	-20°C to 60°C (-5°F to 140°F)	-40°C to 85°C (-40°F to 185°F)
Medium temperature		-10°C to 160°C (14°F to 320°F)
Material	Any metal or plastic sonic conducting material	Carbon steel
Approval	AC Charger is CE and UL approved	ATEX
Flow Velocity	±0.07 to 39 ft/sec (±0.02 to 12 m/sec) typical	
Operating Frequency:	1.28 MHz	

시간차법 초음파 유량계의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 Greyline, Siemens의 제품을 선정하였다. 정확도 면에서는 Greyline의 제품이 더 정확하고 작동 온도의 범위에서는 siemens의 제품이 영하 40도에서 영상 85도로 더 넓다. Greyline의 제품이 더 자세한 성능 정보를 제공한다.

바. 도플러 초음파 유량계(Ultrasonic Doppler Flowmeter)

표 2.27 도플러 초음파 유량계 시험평가 항목 및 사양 (예)

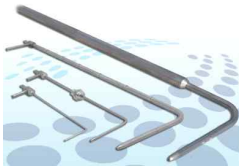
분류	Greyline	Siemens
Figure		
Model	PDFM 5.1	SITRANS FUP1010
Flow Rate Range	± 0.1 to 40 ft/sec (± 0.03 to 12.2 m/sec)	
Power Input	Built-in NiMH battery for up to 18 hours continuous operation External charger with 100-240VAC 50/60Hz input	
Outputs	4-20mA (500 ohm) when AC powered	

	USB for Data Log transfer by direct PC connection	
Electronics Enclosure	Portable, ABS enclosure	IP67
Carry Case	Rated IP67 with protective molded foam insert	
Accuracy	±2% of reading or 0.1 ft/sec (0.03 m/sec).	±0.5 to 2.0% at ≥0.3 m/s (1ft/s)
Approvals	Charger is CE and UL approved	UL, ULc, CE
Measuring range		±12 m/s (±40 ft/s) bidirectional
Repeatability		±0.15% at ≥0.3 m/s (1ft/s)
Communication		VT100 RS232
Ambient temperature	-23°C to 60°C (-10°F to 140°F)	-18°C to 60°C (0°F to 140 °F)
Medium temperature		40 to 230 °C (-40 to 450 °F)

도플러 초음파 유량계의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 Greyline, Siemens의 제품을 선정하였다. 업체마다 서로 다른 성능 척도로 데이터 시트를 구성해 놓았기 때문에 ambient temperature, accuracy 등 단지 몇 가지 척도로만 성능 비교가 가능하며, 이 두 제품은 비슷한 성능을 나타낸다.

사. 피토관(Pitot Tube)

표 2.28 피토관 시험평가 항목 및 사양 (예)

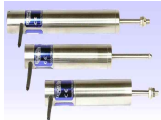
분류	Sensing Precision	Dwyer
Figure		
Model	-	160S series
Complies with Standards	BS ISO 3966 : 2008	EU Directive 2011/65/EU (RoHS II)
Magnification Factor (M)	0.997 ±0.001 (approximated to 1 in most cases)	
Sizes Available	Four diameters 2.3mm, 4.0mm, 8.0mm & 9.5mm in lengths from 200mm to 3m.	
Temperature Range	Ø8.0 & 9.5mm up to 680°C continuously & 800°C intermittently Ø2.3 and 4.0mm up to 550°C	1500°F (815°C) Max.
Materials	Fully Stainless Steel Construction (Silver Brazed Joints on Ø2.3 and 4.0mm only)	Long lasting, welded stainless steel construction
Special functions	Static Pressure Tapping doubles as a Direction Pointer	
	Available with a 90° Bent Head or Fully Straight	
	Sliding Markers Clips (up to 276°C), Glands & Stud Couplings.	
Extras Available	Integral Thermocouple to allow for simultaneous monitoring of duct air temperature and velocity with minimal disturbance	
Maximum Pressure Rating		100 psig (6.89 bar)
Flow coefficient		0.84

피토크의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 Sensing Precision, Dwyer의 제품을 비교하였으며, 필요하면 Telelin, UTC Aerospace System 업체의 제품을 고려해 볼 수 있다. 피토크는 정확한 측정을 할 수 있는 L 타입 관으로 이물질의 유입을 막기 위한 S 타입과 대형 피토크관으로 여러 조각으로 나누어져 있고, 이를 결합하여 사용하는 Jointed 타입으로 구분된다. 표에서 보듯이 데이터 시트 정보는 Sensing Precision에서 자세한 정보를 제공한다. 온도의 경우, Sensing Precision에서는 Ø8.0 & 9.5mm에 대해 연속적으로는 680도, 간헐적으로 800도까지 견딜 수 있다고 하며, Dwyer는 단지 최대 815도까지 견딜 수 있다고 표시되어 있다. 두 제품 모두 스테인레스 재질로 되어 있으며, 이외의 성능에 대해서는 같은 기준을 가지고 있지 않다.

6. 변위 측정센서

가. LVDT

표 2.29 LVDT 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	AMETEK	RDF Group	OMEGA
Figure			
Model	-	ACT series	LD300-300
Travel/Electrical	Full Scale $\rightarrow$ + 0.01 in. to + 6.0 in. maximum		
Travel/Mechanical	Maximum Travel - Unlimited		
Excitation Voltage	5VAC to 36VAC	0.5V to 7Vrms,	1 to 10 Vrms
Excitation Frequency	350Hz to 5000Hz	2k to 10kHz	1 to 10k Hz
Linearity	Typically +0.5 to +0.25%, can be as close as +0.15%		0.25%FS
Output Voltage	up to 20VAC F.S.		
Null Voltage	15mV to 30mV, can be as low as 5mV		
Temperature Effect	<0.07%/°F, can be internally compensated		
Dielectric Strength	500VAC, 60Hz minimum		
Insulation Resistance	100Meg ohms at 500VDC minimum		
Temperature (Compensated) Range			-40 to 212°F (-40 to 100°C)
Temperature (Operating) Range	-65 to 275°F (-54 to 135°C)	-58°F to 257°F (-50 to 125°C)	-40 to 212°F (-40 to 100°C)
Vibration	+10g, 10-2000Hz per Mil-Std-810		
Altitude	0 to 100,000 feet		
Output Load		100k Ohms	
Temperature coefficient (span)		$\pm 0.006\%$ F.S. /°F (typical)	
Frequency Response			2ms
Zero offset			0.5% Full Scale

LVDT(linear Variable Displacement Transducer)의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 AMETEK, RDP Group, Omega의 제품을 선정하였다. LVDT는 출력 타입에 따라서 DC 타입, AC 타입으로 구분되며, 표는 AC 타입의 제품이다. ACETEK는 350Hz to 5,000Hz의 excitation frequency에서 5V AC to 36V AC의 excitation voltage가 가해질 때 동작하며, RDP 는 0.5V to 7V RMS와 2k to 10kHz, OMEGA는 1 to 10V rms와 1 to 10k Hz에서 동작한다. Excitation Frequency는 OMEGA의 제품이 가장 광범위하며 동작 온도의 범위는 AMETEK가 -54 to +135℃로 가장 넓은 범위를 가지고 있다. 제품의 종류는 AMETEK는 하나의 제품만 보유하고 있고, RDF와 OMEGA는 DC 타입을 포함하여 여러 가지 모델을 보유하고 있다. T-50은 LVDT 센서를 적용하고 있다.

나. 선형 포텐서미터(Linear Potentiometer)

표 2.30 선형 포텐서미터 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	TE	Strainsense
Figure		
Model	CLWG	MS-13
Full Stroke Ranges	75 to 750 mm	50mm – 750mm
Output Signal	voltage divider	voltage divider
Linearity	0.04% to 0.1%	± 0.2%
Repeatability	<0.01 mm	
Resolution	essentially infinite	
Life expectancy	50 million cycles	100 million movements
Enclosure Material	aluminum	Anodized aluminium
Sensor	conductive plastic linear potentiometer	Conductive Plastic
Operating speed	200 inches (5M) per second, max.	
Input Resistance	5K to 10K ohms (±20%)	5K or 10K ohms (±20%)
Recommended Input voltage	25-30 V(AC or DC)	42 VDC
Recommended Operating Wiper Current	≤1uA	
Enclosure Design	IP65	IP65
Operating Temperature	-30°C to 100°C	-30°C to +100°C
Vibration	up to 10g to 2000Hz max.	

선형 포텐서미터의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 TE와 Strainsense의 제품을 선택하였다. 필요하면 OMEGA 업체의 제품을 참고할 수 있다. Full strok Range가 같은 두 제품을 선택하였으며, 입력저항과 동작 온도 그리고 Enclosure Design이 모두 같다. 입력 전압은 TE는 AC, DC 모두 가능하며 25~30V를 입력해야 하고, Strainsense는 42 VDC를 입력해야 한다. 대략적인 수명은 Strainsense의 제품이 1억 번 동작까지

가능하며 이는 TE 업체의 제품의 두 배이다. TE, Strainsense, OMEGA 업체 모두 다양한 종류의 제품 보유하고 있어서 필요한 성능에 따라 적합한 제품을 선택할 수 있다.

다. 싱크로(Synchro)

표 2.31 TX 타입 싱크로 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	MOOG	TAKUWA
Figure		
Model	11TX4C-M20708/6	86G-BDS0140
Product Type	Torque Transmitter(TX)	Torque Transmitter(TX)
Frequency	400Hz $\pm 1\%$	60Hz
Primary Voltage	26V $\pm 1\%$	100V
Primary Current	280mA max.	320mA
Primary Power	1W max.	
secondary Voltage		78V
Impedance	3.3 ohms - 4.2 ohms	
Impedance Angle	17° min. - 24° max.	
Primary Winding Resistance		17 ohms
Secondary Winding Resistance		22 ohms
Insulation Resistance		10M ohms
Transformation Ratio	0.7454 $\pm 2\%$	
Phase Shift (Lead)	6° ± 1.5	
Electrical Error	7 minutes max.	
Torque Gradient	0.0080 ounce-inches per degree min.	0.00245Nm/°(25gcm/°)
Radical Play	0.0006 inches max.	
End Play	0.0010 inches ± 0.0010	
Temperature Rise	20°C max.	7°C
Friction Torque	0.07 ounce-inches max.	
Variations of Voltage	1.4W max. (+10% and Freq. -5%)	
Accuracy		$\pm 0.5^\circ$
High Potential Voltage		1000 AC.V 1 min.
Weight		2.3 kg

싱크로의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 MOOG, TAKUWA의 제품을 선정하였다. 주파수의 경우 MOOG은 400Hz이고 TAKUWA의 60Hz이다. 또한, 1차 측 전류 및 전압에 대해서는 MOOG은 26V / 280mA이며 TAKUWA는 100V / 320mA이다. 주파수는 MOOG가 높고, 1차 측 전압 및 전류는 TAKUWA가 높다. 그 이외의 성능에 대해서는 두 업체의 기준이 다르며, 이는 필요한 싱크로의 요구성능에 따라 선택하여 사용할 기회를 제공해 준다.

7. 자이로스코프 센서

가. 링 레이저 자이로, 1축

표 2.32 1축 링 레이저 자이로 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Honeywell	ERICCO
Figure		
Model	GG1320AN	ER111D
Size	Height 1.77" (4.5 cm)	125(L)×111(W)×85(H)mm
	Diameter 3.45" (8.8 cm)	
Weight	1 lb. (454 grams)	≤2 kg
Start-Up Time	1 second (typical)	
Shock (Op & Non-Op)	22 g, half sine, 11 millisecond	30g,11ms
Temperature Range (Operating)	-65°F to +185°F (-54°C to 85°C)	-40°C ~ 70°C
Temperature Range (Non Operating)	-65°F to +200°F (-54°C to 93.3°C)	
Temperature Range (Storage)		-55°C ~ +80°C
Power	15 Vdc, 1.6 Watts nominal	±12V, ±30V, ±5V, DC (≤6W)
	5 Vdc, 0.375 Watts nominal	
Interface	RS-422, 25 pin micro "D"	
	Asynchronous, 1 MHz, 8 Bit	
Bias		≤0.01(°)/h
Bias Stability	0.0035 (°)/h	≤0.010 (°)/h(1σ)
Bias repeatability		≤0.010 (°)/h(1σ)
Bias magnetic field sensitivity		≤0.03 (°)h/Gs
Random walk coefficient		≤0.003 (°)/h
Angular Random Walk (ARW)	0.0035 deg/root-hour	
Magnetic Environment, Operating	0.002°/hr/gauss	
Altitude, Operating	-20,000 ft. to +80,000 ft.	
	(-610 m to +21,336 m)	
Scale Factor (Corrected)	1,164,352 ±18 pulses/rev	0.58° /pulse
Scale Factor (Linearity)	5.0 ppm of full scale	
Scale Factor (3-day Stability)	5.0 ppm rms	
Scale Factor (Repeatability)		≤2ppm(1σ)
Scale Factor (Non-linearity)		≤2ppm(1σ)
Sample Frequency	2,000 Hz (typical use)	
	5,000 Hz (maximum)	
Latency	168 micro-second	
Rate Input	900 deg/ sec (maximum)	
Vibration		5g,10Hz ~ 500Hz
Mechanical interface		4xM5 Bolt
Electrical interface		J30-31ZK aviation plug

1축 링 레이저 자이로의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 Honeywell과 Ericco의 제품을 선정하였으며, 필요하면 FOG photonics의 제품도 고려해 볼 수 있다. 충격에

견디는 정도는 두 제품 모두 11ms 시간 동안을 기준으로 작성하였으며, Ericco는 30g로 Honeywell의 22g에 비해 더 높은 충격을 견딘다. 전력에 대해서는 Honeywell에서 좀 더 자세한 정보를 제공한다. 5 Vdc에 대해서는 0.375W, 15 Vdc일 경우는 1.6W를 소비한다. 이에 비해 Ericco의 제품은 6W 이하의 범위로 소비전력을 나타내었다. Bias Stability는 Honeywell 제품은 0.0035°/h이고, Ericco는 0.01°/h 이하의 값을 갖는다. 1축 링 레이저 자이로는 제품의 수가 많지 않다. Honeywell에서도 하나의 제품이 있으며 Ericco는 두 개의 모델이 있고, FOG photonics도 하나의 제품을 보유하고 있다.

나. 링 레이저 자이로, 3축

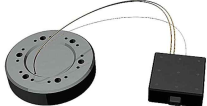
표 2.33 3축 링 레이저 자이로 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Ericco	
	Indicators	
	A	B
Figure		
Model	ER132A	
Dynamic Range Of Angular Velocity Measurement	≤±300°/S	
Bias Constant	≤±0.5°/h	≤±0.5°/h
Bias Stability Index	≤0.015°/h	≤0.020°/h
Bias Repeatability Index	≤0.015°/h	≤0.020°/h
Angular Increments Output Resolution	≤0.58°/LSB	
Run-up Time	<20S	
Ambient Temperature	-40°C~70°C	
Shock	15g/30g	
Volume	203mm×195mm×130mm	
Weight	≤8kg	
Power Supply	±5V,+12V,±45V,-12V1,-12V2,-12V3,-12V4	
Interface	RS422	
Data Update Rate	100Hz	
Baud Rate	115200bps	

3축 링 레이저 자이로는 Ericco 업체에서만 보유하고 있다. 이 제품은 측정정보를 RS422를 통해 데이터 통신을 할 수 있으며, Bias에 대한 stability와 repeatability, Run-up Time등 다양한 성능정보를 제공하고 있다.

다. 광섬유 자이로, 1축

표 2.34 1축 광섬유 자이로 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Ericco	FOG photonics
Figure		
Model	NS-701	OES500 series
Measurement range	-1000(°)/s ~ +1000(°)/s	±500(°)/sec
Bias stability	0.1(°)/h ~ 0.5(°)/h	≤0.0015(100s,1σ)
Bias stability (Full temperature)		0.01(100s,1σ) °/hr
Bias repeatability	0.1(°)/h ~ 0.5(°)/h	0.01 °/hr(1σ)
Scale factor non-linearity (1σ)	≤100ppm	≤10 (Full temperature) ppm,
Scale factor misalignment (1σ)	≤100ppm	
Scale factor repeatability (1σ)	≤100ppm	≤1.5 ppm
Power supply	Single +5V	±5 V
Bandwidth	≥500Hz	>100Hz
Run-up time	5s	
Output format	RS422	RS422 Or OEM
External interface	9 PIN	
Operating temperature	-40°C ~ +60°C	-40°C~+65°C
Storage temperature		-55°C~+85°C
Vibration	6.06 g(RMS), 20Hz ~ 2000Hz	3.2g (20-2000HZ)
Dimension	70×70×29 mm ³	96x96x30 mm ³
Optical Dimension		Φ140mmx30mm
Weight	≤200g	1000±20g
Threshold value	≤0.5 (°)/h	
Random walking coefficient	≤0.02 (°)/h ^{1/2}	
Impact strength	100G, 6ms ~ 8ms	20 g, 11 msec, sawtooth
Power consumption	≤4W	
Random walking	5s	
Noise		0.0005 °/√hr
MTBF		20000 Hours
Baud Rate		Typ 460.8k bps (User selectable 9.6 Kbps to 921.6 Kbps)
Data Rate		Typ 500Hz (User Selectable 1 to 1000 Hz)

1축 광섬유 자이로의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 Ericco, FOG photonics의 제품을 선정하였고, 추가로 필요하면 OPTOLINK, Emcore의 제품을 고려해 볼 수 있다. 측정범위는 Ericco의 제품이 -1000(°)/s에서 +1000(°)/s까지로 FOG photonics의 두 배이다. Bias와 Scale factor에 대한 오차들은 Ericco의 제품이 크며 Bandwidth 또한 크다. 진동과 충격에 대해 견디는 능력은 Ericco의 경우 6.06g(20Hz~2,000Hz)세기의 진동과 100g(6ms~8ms)의 충격에 견딜 수 있고, FOG photonics는 3.2g(20Hz~2,000Hz)과 20g를 나타내므로 Ericco의 제품이 충격과 진동을 더 잘 견디다고 할 수 있다. 1축 광섬유 자이로는 Ericco, FOG photonics, OPTOLINK, Emcore 4개의 업체에서 다양한 모델의 제품을 제공하므로 요구도에 적합한 제품을 선택할 수 있다.

라. 광섬유 자이로, 3축

표 2.35 3축 광섬유 자이로 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Ericco	OPTOLINK
Figure		
Model	NS-603	TRS500
Measurement range	$\pm 1500(^{\circ})/s$	$\pm 300(^{\circ})/s$
Bias stability	$1(^{\circ})/h \sim 3(^{\circ})/h$	
Bias repeatability	$1(^{\circ})/h \sim 3(^{\circ})/h$	
Bias drift at fixed temperature		$\leq 0.6 (^{\circ})/h$
Bias drift at changing temperature from -40°C to +60°C		$\leq 1.0 (^{\circ})/h$
Scale factor non-linearity (1 σ)	$\leq 100ppm$	
Scale factor misalignment (1 σ)	$\leq 100ppm$	
Scale factor repeatability (1 σ)	$\leq 100ppm$	$< 0.1 \%$
Power supply	$\pm 5V$	$5 \pm 0.25V$ (Optional: from 18 to 36V)
Bandwidth	$\geq 100Hz$	$\geq 100Hz$
Run-up time	5s	
Output format	RS422	RS485
External interface	9 PIN	
Operating temperature	-40°C ~ +60°C	
Vibration	6.06g(RMS), 20 ~ Hz2000 Hz	
Dimension	$\Phi 63 \times 92mm^3$	$\varnothing 110 \times 110 \times 92 \text{ mm}$
Weight	$\leq 420g$	1.2 kg
Threshold value	$\leq 1(^{\circ})/h$	
Random walking coefficient	$\leq 0.5(^{\circ})/h^{1/2}$	
Impact strength	100G , 6 ms ~ 8 ms	
Power consumption	$\leq 8W$	$\leq 8W$
Random walking		$< 0.01 (^{\circ})/h$

3축 광섬유 자이로의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 Ericco와 OPTOLINK의 제품을 선정하였다. Ericco의 제품의 측정 범위는 $\pm 1500(^{\circ})/s$ 이고, 이는 OPTOLINK 제품의 5배이다. 또한, 크기 면에서도 Ericco의 제품이 작고 가벼우며, Threshold value, Random walking coefficient, Impact strength등의 추가적인 성능 정보를 제공한다. 두 업체 모두 각각 하나의 제품 모델을 보유하고 있다.

마. MEMS 자이로센서, 1축

표 2.36 1축 MEMS 자이로센서 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Ericco	Analog Device	Silicon Sensing
Figure			
Model	ER-ARS-03	ADIS16133	CRH02-200
Power supply	$5 \pm 0.25 \text{ VDC}$		$5 \pm 0.25 \text{ VDC}$
Current	$\leq 8mA$		

Zero Bias	2.5±0.1VDC (25 °C)		
Zero Bias Stability	≤0.1°/s		
Bias Repeatability		±1°/sec	
In-Run Bias Stability		0.0017°/sec	
Bias Instability			0.12°/hr
Non-linearity	≤0.5%FS	±0.008% of FS	
Resolution	≤0.1°/s		
Output	0 ~ 5V		
Temperature Range	-40 ~ 85°C		-40 ~ 85°C
Dimension	29×29×13.5mm		
Measurement range	±5500°/s max.		
Bandwidth	400Hz max.	335Hz	100 Hz
Impact strength	2000g		
Dynamic Range		±1400 °/sec typ	
Initial Sensitivity		0.05 °/sec/LSB	
Repeatability		±1 % max.	
Sensitivity Temperature Coefficient		±16ppm/°C	
Angular Random Walk		0.75°/√hr	0.017°/√hr
Linear Acceleration Effect on Bias		0.03°/sec/g	
Bias Voltage Sensitivity		0.02°/sec/V	
Output Noise		0.27°/secrms	
Rate Noise Density		0.0122°/sec/√Hzrms	
Sensor Resonant Frequency		14.5 kHz	
Rate Range			±200°/s
Scale Factor at 25°C			10.0mV/°/s
Scale Factor Non-Linearity			±0.02%
Quiescent Noise			0.20°/s rms

1축 MEMS 자이로센서의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 Ericco, Analog Device, Silicon Sensing의 제품을 선정하였다. 또한 추가적으로 SkyMEMS의 제품도 고려해 볼 수 있다. 대부분의 성능 요소가 다른 기준을 통해 데이터시트가 작성되어, 몇가지 항목으로만 비교하도록 한다. 비선형성은 Analog Device가 0.008%이고, Ericco는 0.5% 이내의 범위로 나타나 있어서 Analog Device의 오차가 더 적은 것으로 판단된다. 대역폭은 Ericco, Analog Device, Silicon Sensing 순으로 400Hz, 335Hz, 100Hz를 나타내며 Angular random walk는 Silicon Sensing의 제품이 0.017° /√hr로 Analog Device의 0.75° /√hr에 비해 작은 수치를 보여준다. 1축 MEMS 자이로센서에 대해서는 Ericco, Analog Device, Silicon Sensing, SkyMEMS 모두에서 다양한 모델의 제품을 보유하여 성능에 따라 제품선택의 폭이 크다.

바. MEMS 자이로센서, 3축

표 2.37 3축 MEMS 자이로센서 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Ericco	SkyMEMS			ST
		ω_x	ω_y	ω_z	
Figure					
Model	ER-3ARs-06	MG301D			L3G3IS
Power supply	+4.5 ~ +5.5 VDC	12Vdc			3.3V
Current	30 mA	<40mA			6.4mA
Zero bias	1.5±0.1 VDC				
Non-linearity	≤1%Fs	≤0.1%Fs	≤0.05%Fs	≤0.05%Fs	≤0.1%Fs
Resolution	≤0.1°/s	≤3.0°/s	≤0.05°/s	≤0.05°/s	
Output	0 ~ 5V				
Operating Temperature	-40 ~ 85°C	-45°C ~ +85°C			-40 ~ 85°C
Storage temperature		-65°C ~ +150°C			
Dimension	28×18×14.8mm	62.5×50×49.5			
Measurement range	±400°/s max.	3600°/s	±200°/s	±200°/s	±130°/s
Zero bias value		≤3°/s	≤0.5°/s	≤0.5°/s	
Zero bias stability		≤40/h	≤40/h	≤40/h	
Zero bias repeatability		≤80°/h	≤80°/h	≤80°/h	
Zero bias temp. sensitivity		≤0.05°/s/°C	≤0.05°/s/°C	≤0.05°/s/°C	
Scale factor temp. sensitivity		≤0.05%/°C	≤0.05%/°C	≤0.05%/°C	
Cross-axes influence		≤1%	≤1%	≤1%	
Startup time (ms)		≤200ms			
the time to output stable valid signal after turn-on(s)		≤2s			
Bandwidth		40Hz, -3dB			370 Hz
Reliability MTBF		100000 hours			
Shock resistance		10000g, 0.5ms			
Weight		<150g			
Vibration		20g@20~2000Hz			
Sensitivity					112.5
Sensitivity change vs. temperature					±3%
Rate noise density					0.006 dps/(√Hz)

3축 MEMS 자이로센서의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 Ericco, SkyMEMS, ST의 제품을 선정하였으며, 추가로 InvenSense의 제품을 고려해 볼 수 있다. SkyMEMS의 데이터 시트에서 Zero bias stability, repeatability, operating temperature 등의 자세한 정보를 제공하지만, 나머지 업체에서는 제공되지 않고 있다. 또한, x,y,z 각각의 축에 대해 별도로 정보를 제공한다는 것이 특징이다. 비선형성은 Ericco는 1%로 가장 크고, ST의 제품은 0.1%를 나타낸다. 측정 범위에서는 Ericco의 경우 ±400°/s로 큰 범위를 포함하고 ST의 제품은 ±130°/s로 가장 작은 범위를 포함한다. 또한, SkyMEMS의 제품은 y,z축은 ±200°/s이지만 x축에 대해서는 3,600°/s로 월등히 높은 수치를 보여준다. Ericco와 ST는 모두 많은 수의 모델을 보유하고 있어서 선택의 폭이 넓고, SkyMEMS는 디지털, 아날로그 두 가지 타입의 모델을 각각 한 종류씩 보유하고 있다. 또한, InvenSense는 모션인식용으로 출시된 제품이지만, 성능 수준에 따라

선택의 여지가 있다.

8. 복합 센서

항공기의 자세와 방향 측정을 위한 AHRS는 보통 성능의 자이로스코프로도 충분하므로 주로 MEMS 기반의 제품이 많이 사용된다. 한편, 고성능의 자이로스코프를 필요로 하는 INS는 링 레이저 자이로 또는 광섬유 자이로를 이용하여 구성되지만, 최근 MEMS 자이로센서의 성능이 높아짐에 따라서 MEMS 자이로센서를 탑재한 INS도 출시되고 있다.

가. MEMS 자이로 기반의 AHRS (Attitude Heading Reference System with MEMS)

표 2.38 AHRS의 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	SkyMEMS	MEMSIC	XSENS
Figure			
Model	AHRS500	AHRS500	300-AHRS
Yaw			
Range	$\pm 180^\circ$	$\pm 180^\circ$	
Resolution	0.01°	0.1°	
Accuracy	$< 1^\circ (1\sigma)$	$\pm 2.0 (2\sigma)$	
Calibrated			1.0°
Pitch			
Range	$\pm 90^\circ$	$\pm 90^\circ$	
Resolution	0.01°	$< 0.1^\circ$	
Accuracy	$1^\circ (1\sigma)$	$\pm 1.0 (2\sigma)$	
Calibrated (Static)			0.25°
Calibrated (Dynamic)			1.0°
Roll			
Range	$\pm 180^\circ$	$\pm 180^\circ$	
Resolution	0.01°	$< 0.1^\circ$	
Accuracy	$0.3^\circ (1\sigma)$	$\pm 1.0 (2\sigma)$	
Calibrated (Static)			0.2°
Calibrated (Dynamic)			0.3°
Angular Rate			
Range (Roll, Pitch, Yaw)		$\pm 200^\circ/\text{sec}$	
Bias (Roll, Pitch, Yaw)		$< \pm 0.1^\circ/\text{sec}$	
Resolution		$< 0.15^\circ/\text{sec}$	
Bandwidth		25 Hz	
Gyroscope			
Range	$\pm 150^\circ/\text{s}, \pm 300^\circ/\text{s}$		$\pm 450^\circ/\text{s}$
Zero error	$< 0.5^\circ/\text{s}, < 0.02^\circ/\text{s}$		
Bias stability	$6^\circ/\text{h}$		$10^\circ/\text{h}$
Bias repeatability			$10^\circ/\text{s} (1 \text{ hr})$

Resolution	0.01°/s		
Angle random walk	<0.28°/√hr		
Bandwidth			412 Hz, -3 dB
Noise density			0.01°/s/√Hz
g-sensitivity			0.003°/s/g
Non-orthogonality			0.05 deg
Non-linearity			0.01% FS
Accelerometer			
Range	±12g	±10g	5.08g (50 m/s ²)
Bias stability	<15mg	<15mg	40 μg
Bias repeatability			0.03 m/s ² (1 hr)
Resolution	<1mg	<2mg	
Bandwidth		25Hz	375 Hz, -3 dB
Noise density			80 μg/√Hz
Non-orthogonality			0.05 deg
Non-linearity			0.03% FS
Bandwidth	250 Hz		
Power supply	5~20VDC	12V or 24V	4.5 to 34V or 3V3
Output interface	RS232	RS232	
Output frequency			Up to 2 kHz
Connector	KYF8K5 port	DB15, D-sub 15-pin Male	
Weight	90g	1.6kg	
Dimension	58x58x25mm	118.4x115.1x123.5mm	
Shock resistance with power on	750g @1ms		
Shock resistance with power off	15000g @0.1ms		
Anti-vibration	6g rms		
Protection level	IP67		IP67
Operating Temperature	-40°C~+85°C	-40 °C to 70 °C	-40 °C to 85 °C
Non-Operating Temperature		-55 °C to 85 °C	
Vibration and shock			MIL STD 202 / 2000g

MEMS 자이로를 기반으로 하는 AHRS의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 SkyMEMS, XSENS, MEMSIC의 제품을 선정하였으며, 필요하면 SBG 업체의 제품을 고려해 볼 수 있다. AHRS는 성능의 척도로 Yaw, Pitch, Roll의 회전각 및 회전각속도에 대한 요소를 나타내고, 구성되는 자이로스코프와 가속도계에 대한 정보를 데이터 시트에 포함한다. 업체들은 이들 정보의 모두 또는 일부를 포함하여 성능을 표시하게 된다. XSENS의 자이로스코프는 $\pm 450^\circ/\text{s}$ 로 범위는 SkyMEMS의 제품보다 크지만, 자이로의 Bias stability는 $10^\circ/\text{h}$ 를 나타내고 있어서, SkyMEMS의 $6^\circ/\text{h}$ 보다 안정성은 떨어진다. 가속도계의 범위는 SkyMEMS의 제품이 12g로 가장 크며 가속도계의 Bias stability는 XSENS가 40 μg 로 가장 안정적이다. XSENS는 한 종류의 AHRS를 보유하고 있고 다른 업체는 여러 개의 모델을 보유하고 있다.

나. 링 레이저 자이로 기반의 INS (Inertial Navigation System with RLG)

표 2.39 링 레이저 자이로 기반의 INS 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Kearfott	Ericco
----	----------	--------

Figure		
Model	KN-4075	
Size	343 cubic inches (5620.76 cubic cm)	190 × 190 × 183 mm
Dimensions	7 × 7 × 7 inches (17.8 × 17.8 × 17.8 cm)	
Weight	12 lbs (5.44 kg)	≤ 9 kg
Power	< 36 W, nominal	≤25 W
Temperature,	-54°C to +71°C	-45°C ~ +71°C
Altitude, ft (m)	-1,500 ft to 70,000 ft (-457.2 m to 21,336 m)	
Attitude Rate	400 °/s	
Attitude Acceleration	10000 °/s ²	
Acceleration	30g - 50g	±35 g
Power Input	28 Vdc	28 VDC
Interface	RS-422, RS-232, MIL-STD-1553B	RS422, RS485, MIL-STD-704A
Free Inertial Circular Error Probable	< 0.8 CEP, nm	
P(Y) GPS Aided CEP	< 5 m	
C/A GPS Aided CEP	< 10 m	
DGPS Aided CEP	< 2 m	
Velocity	0.05 m/s, 1-sigma	2 m/s, 1 s
Attitude	< 0.03 deg, 1-sigma	0.04 deg, 1 s
Heading	< 0.05 deg, 1-sigma	0.1 deg, 1 s
Ground Alignment Time	4 minutes	
Position		2 nm/hr, CEP
Angular Rate Accuracy		0.03 deg/h
Acceleration Accuracy		5×10 ⁻⁵ g
Angular Rate		±400 deg/s
Noise		140 dB
Vibration		6 g @ 20~2000 Hz,sine
Shock		30 g @40ms

링 레이저 기반의 INS의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 Kearfott, Ericco의 제품을 선정하였다. 두 제품의 온도 범위나 가속도 측면에서는 비슷한 성능을 나타낸다. 그러나 속도, 고도, 방향을 나타내는 데 있어서의 오차는 Kearfott가 각각 0.05 m/s, <0.03 deg, <0.05 deg로 더 낮다. Kearfott의 제품이 고도나 고도가 올라가는 속도에 대한 추가적인 지표가 있고, Ericco는 소음 정도, 회전속도 및 정확도, 진동과 충격에 대한 내성 정도에 대한 정보를 포함한다. 링 레이저 기반의 INS는 소수의 업체에서 보유하고 있으며, Kearfott, Ericco에서는 각각 하나의 모델을 보유하고 있다.

다. 광섬유 자이로 기반의 INS (Inertial Navigation System with FOG)

표 2.40 광섬유 자이로 기반의 INS 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Novatel	Ericco
----	---------	--------

Figure		
Model	SPAN-IGM-S1-PS	NS-FGI1100
Horizontal Position Accuracy		
Single point L1/L2	1.2m	
SBAS	0.6m	
DGPS	0.4m	
NovAtel CORRECT™ »RT-2®	1 cm + 1 ppm	
Datarates		
GNSS measurement	20Hz	
GNSS position	20Hz	
IMU measurement	125Hz	
INS solution	Up to 125Hz	
Time Accuracy	20ns RMS	
Max Velocity	515 m/s	
Gyroscope Performance		
Bias instability	0.5 deg/h	
Input range	400 deg/sec	$\geq \pm 300^\circ /s$
Angular random walk	0.15 deg/√hr	$\leq 0.005^\circ / \sqrt{Hz}$
Time to Prepare	$\leq 15s$	
Bias Stability		$\leq 0.02^\circ /h(1\sigma)$
Bias repeatability		$\leq 0.02^\circ /h(1\sigma)$
Scale Factor Nonlinearity		$\leq 50ppm$
Scale Factor Repeatability		$\leq 50ppm(1\sigma)$
Accelerometer Performance		
Bias instability	0.05mg	
Range	10g	
Velocity random walk	0.06 m/s/√hr	
Operating Temperature	-40°C to +65°C	-40° C~+60°C
Storage Temperature	-50°C to +80°C	-45° C~+80° C
Dimensions	152×142×51mm	180mm×180mm×160mm
Input voltage	10-30 VDC	23~31Vdc, 27Vdc Nominal
Azimuth alignment accuracy		$\leq 0.1^\circ \text{ sec lat } (1\sigma)$
Horizontal attitude alignment accuracy		$\leq 0.02^\circ (1\sigma)$
Azimuth holding accuracy		0.05° /h
Horizontal attitude holding accuracy		0.03° /h
Positioning accuracy		$\leq 2nm/h$
Horizontal velocity precision		$\leq 2m/s$
Weight	540g	
Power consumption	6W	
Antenna INA Power output		
Output voltage	5VDC $\pm$ 5%	
Maximum current	100 mA	
connectors		
Main port and AUX port	DB-HD15	
Antenna	TNC	
Humidity	MIL-STD-810G 95% Non-condensing	
Vibration(operating)		
Random	MIL-STD-810G (7.7g)	
Sinusoidal	IEC 60068-2-6 (5g)	

Bump	IEC60068-2-27 (25g)	
Shock	MIL-STD-810G (40g)	
Immersion	IEC60529IPX7	

광섬유 자이로 기반의 INS의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 Novatel, Ericco의 제품을 선정하였다. 필요하다면 Optolink의 제품을 고려해 볼 수 있다. 성능을 살펴보면 두 제품의 온도 범위와 입력 전압은 비슷한 값을 나타내고, 자이로스코프의 성능은 입력력의 범위는 Novatel의 제품이 400 deg/sec로 크지만, Angular Random Walk는 Ericco가 $0.005^{\circ} / \sqrt{\text{Hz}}$ 로 더 작다. 성능지표는 많이 있지만 서로 다른 기준으로 작성되어 있다.

라. MEMS 자이로 기반의 INS (Inertial Navigation System with MEMS)

표 2.41 MEMS 자이로 기반의 INS 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Ericco	Systron
Figure		
Model	NS-MGI230	SDN500-CD00
Position		3.9m SEP
Elevation	4 m CEP	
Horizontal Position	2.5 m CEP	
Heading	$\leq 0.3 \text{ deg (1 } \sigma \text{)}$	0.086 deg (1.5 mrad) 1 σ
Horizontal Attitude (Roll And Pitch)	$\leq 0.2 \text{ deg (1 } \sigma \text{)}$	0.057 deg (1 mrad) 1 σ
Speed	$\leq 0.1 \text{ m/s (1 } \sigma \text{)}$	$\leq 0.1 \text{ m/s (1 } \sigma \text{)}$
Voltage	9~36 Vdc	12 to 42 Vdc
Power Consumption	$\leq 4\text{W @}24\text{Vdc}$	$<7.5 \text{ W}$
Electrical Interface	RS422	RS232 / 422, SDLC IMU Output
Operating Temperature	$-40^{\circ} \text{ C} \sim +85^{\circ} \text{ C}$	$-40^{\circ} \text{ C} \sim +71^{\circ} \text{ C}$
Vibration	6 g @ 20~2000 Hz	12 g rms
Shock	30 g, 11 ms, 1/2 Sine	40 g, 30 ms
Weight	$\leq 500 \text{ g}$	$<725 \text{ g}$
Data Update Rate	100 ~ 200Hz	
Storage Temperature	$-55^{\circ} \text{ C} \sim +85^{\circ} \text{ C}$	
Physical Size	86.8×68×87 mm	
Gyroscope		
Range	$\pm 400 \text{ deg/s}$	
Bias Stability	$\leq 10 \text{ deg/h}$	$\leq 2 \text{ deg/h}$
Bias Repeatability	$\leq 10 \text{ deg/h}$	
Angle Random Walk		0.03 deg/ $\sqrt{\text{hr}}$, 1 σ
Angular Rate – Dynamic Range		$\pm 1000 \text{ deg/sec}$
Accelerometer		
Range	$\pm 10\text{g}$	200 ug
Bias Stability	$\leq 0.1\text{mg}$	
Bias Repeatability	$\leq 0.2\text{mg}$	
Acceleration – Dynamic Range		± 50

Random Walk Noise		120 μ g/ $\sqrt$ Hz
GNSS		
GNSS Features	16 Channel GPSL1, BD B1	
Positioning Time	≤ 60 s	
Typical Recapture Time	≤ 10 s	
Altitude(INS/GPS)		60000 ft
Velocity(INS/GPS)		500 m/s
Accelerometer(INS/GPS)		4g
Reliability @ 35°C		50,000 MTBF, ground : 6,000 MTBF , aircargo

MEMS 자이로센서를 기반의 INS의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 Ericco, Systron Donner의 제품을 선정하였으며, 필요하면 SkyMEMS, XSENS, MEMSIC, NOVATEL, SBG 등 여러 업체의 제품을 고려해 볼 수 있다. 그러나 여기서 두 업체만을 비교한 이유는 업체마다 기준으로 세운 성능지표가 다른 항목이 많기 때문이다. Heading, Roll/Pitch에 대한 오차는 Ericco는 0.3 deg, 0.2deg이하의 범위로 나타내고 있고, Systron은 0.086 deg, 0.057 deg의 값으로 나타내고 있다. 전력소비는 Ericco의 제품이 더 낮으며, 온도 범위는 비슷하다. 충격 및 진동에 대한 내성은 Systron의 제품이 더 우수하다. 진동에 대해 12g까지, 충격에 대해서는 40g로 30ms까지 보호할 수 있다. 자이로스코프의 Bias stability는 Systron의 제품이 2 deg/h로 더 안정적이다.

9. 공기데이터 측정센서

가. Airdata Boom

표 2.42 Airdata Boom 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Spaceage control inc		
Figure			
Model	100400	100700	100900
Name	mini air data boom	heated, straight-nose air data boom	heated, 4-vane air data boom with TAT sensor
standard output	total pressure static pressure AOA AOS	total pressure static pressure AOA AOS	total pressure static pressure AOA(2) AOS(2) total air temperature
Size	30 inch(long) x 3 inch(dia.) (762mm x 76mm)	35 inch(long) x 8 inch(dia.) (889mm x 203mm)	57 inch(long) x 16 inch(dia.) (1450mm x 406mm)
Mass	6 oz (142 g)	56 oz (1.59kg)	200 oz (5.44kg)
Nominal Airspeed Max	340+knots	Mach 2.5+	Mach 1.5+
Heated or Ungeated Total / Static Ports	unheated	heated	heated

Airdata Boom의 측정을 위해 Spaceage control Inc의 3가지 모델을 선정하였다. Airdata Boom은 비행시험을 하는 항공기의 규모에 따라 크기와 장착되는 부품의 개수에서 차이가 난다. 표준 출력으로는 total pressure와 static pressure, AOA, AOS, TAT(Total Air Temperature) 등이 있으며 날개의 수에 따라 AOA와 AOS는 두 개 일 수 있다. TAT의 경우는 보통 고속항공기에 장착하는 경우가 많아서 대형 Airdata boom에만 장착이 된다.

나. 산소 감시기 (Oxygen Monitor)

표 2.43 산소 감시기 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	OXIGRAF	AMI
Figure		
Model	O2N2	210BR
Range	2 to 21% Oxygen	selectable, 1%, 5%, 10%, 25%
Resolution	0.10%	
Stability (24 hrs)	±0.5%	
Linearity	±0.2%	
Cross Sensitivity	±0.2%, any gas mixture	
Response Time	1 s @ 350 ml/min flow and electronic filter setting 6	<10 seconds
Multiplexer Cycle Time	16 seconds for four channels	
Latency of Sample	10 to 60 seconds, depending on length of sampling line	
Alarms	Oxygen A, Oxygen B, Low Flow and System Check.	2 fully adjustable oxygen concentration
Digital Output	AR NC-429, RS-232, RS-485	
Output		1-5V or 4-20mA
Ambient Temperature (Operating)	5 to 40 °C (40 to 105 °F)	-4 to 46°C (25 to 115°F) non-heated -29 to 46°C (-20 to 115°F) heated option -40 to 46°C (-40 to 115°F) with optional extreme weather enclosure
Ambient Temperature (Storage)	-20 to 60 °C (-2 to 140 °F)	
Cell Pressure	1.4 to 17.4 psi (120 to 1200 Mb, 100 to 900 mmHg)	
Inlet gas pressure		0.5 to 150 psig
Warm-up for Full Accuracy	10 minutes	
Fuel Tank Altitude	0 to 44000 feet (Cabin altitude. 0 to 15000 feet)	
Humidity	0 to 95%, non-condensing (at 40° C or lower)	
Data logger		15 days @ 1minute intervals, 30 days @ 2 minute intervals
Repeatability		+/- 1% of range or +/- 0.1% of oxygen
Dimensions		13.0"W x 9.5"H x 5.0"D
Weight		16 lbs

산소 감시기의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 OXIGRAF, AMI의 제품을 선정하였으며, 필요하면 PureAire의 제품을 고려할 수 있다. 측정 범위의 경우 AMI는 1%, 5%, 10%, 25% 중 선택하여 측정할 수 있고, OXIGRAF는 2%~21%의 범위로 표시가 되어 있다. 따라서 AMI의 측정범위가 더 넓고, 구체적으로 표현되고 있다. AMI의 동작 온도는 non-heated, heated, with optional extreme weather enclosure 등의 3가지 때에 따라 더 낮은 범위까지 허용이 되며, 이 모두에 대해 OXIGRAF의 동작 온도보다 더 넓다. 그러나 응답 속도에 대해서는 AMI는 10초 미만으로 나와 있지만, OXIGRAF는 1초로 더 빠른 응답시간을 나타낸다. AMI 제품의 특징은 Data logger가 탑재되어 있어서 측정데이터의 보존이 쉽다.

10. 전기 측정센서

가. 변류기 (Current Transformer)

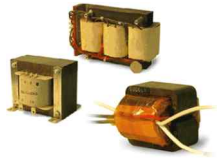
표 2.44 변류기 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Circutor	FANOX	SOCOMEK
Figure			
Model	TA	CT80-ABR	-
Types	750A to 5000A	3200A	5A to 5000A
Frequency	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz
Isolation voltage	3 kV c.a.	3 kV c.a.	3 kV c.a.
Thermal short-circuit current (Ith)	60 In (nominal)	72kA	
Dynamic current (Idyn)	2, 5 Ith	2, 5 Ith	
Highest current in the material	0,72 kV c.a.	0,72 kV c.a.	0,72 kV c.a.
Thermal class	105 °C		120 °C
Safety factor	FS <5	FS <5	
Accuracy limit		150%	

변류기의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 Circutor, FANOX, SOCOMEC 업체의 제품을 선정하였다. 이 세 가지 제품에 대하여, 주파수, 절연 전압, 최대 전류는 각각 50 / 60Hz, 3kV c.a. 0.72 kV c.a.로 모두 같다. 차이점은 제품의 타입이 Circutor는 750A to 5,000A이고 FANOX는 3,200A이며 SOCOMEC은 5A to 5000A로 전류 값에 따라 결정된다.

나. 절연 변압기 (Isolation Transformet)

표 2.45 절연 변압기 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	L/C Magnetics	SNC	ELECTRONETICS
Figure			
Model	19230B	Custom	Custom
Frequency	400Hz	50/60Hz	50/60/400Hz
Primary	48VAC, 120 Amps	100-240 VAC 220-240 VAC 360-480 VAC	110-230 VAC Single Phase 230-580 VAC Three Phase
Secondary		120-240 VAC 2200-1500 VAC 120 VAC-13 A	Up to 40000V
Open core & coil	6.5"H x 7.5"W x 7.5"D		
Weight	45 lbs		
Output Power Rating	5.76 kVA		100kVA

절연 변압기 시험평가 항목을 도출하기 위해서 L/C Magnetics, SNC, Electronetics 세 업체의 제품을 선정하였다. 1차 측 전압의 경우, 48 VAC 전압을 사용하고자 한다면 L/C 사의 제품을 고려하면 된다. 주파수는 L/C는 400Hz로 고정되어 있고, SNC는 50Hz 또는 60Hz로 선정할 수 있으며, Electronetics는 50/60/400Hz 중 선택할 수 있다. SNC와 Electronetics는 주어진 옵션에서 커스텀 방식으로 선택하여 주문할 수 있는 것이 특징이며, Electronetics 사의 경우 2차 측에 40,000V의 고전압을 허용하며, 출력 전력 또한 100kVA로 L/C 사의 5.76 kVA에 비해 상당히 크다.

11. 소음 측정센서

가. 마이크 (Microphone)

표 2.46 마이크 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Brüel & Kjær	PCB
Figure		
Model	4145	377A15
Open Circuit Sensitivity	50 mV/Pa	50 mV/Pa
Open Circuit Sensitivity (+/-2 dB)		-26 dB re 1 V/Pa
Frequency Range (+/-2 dB)	2.6Hz to 18 kHz	5 to 8000 Hz
Resonant Frequency (90° Phase Shift)	11 kHz	8600 Hz
Dynamic Range (3% Distortion Limit)	10 to 146 dB	>150 dB re 20 µPa
Temperature Range (Operating)	-30 to +100 °C	-40 to +120 °C
Static Pressure Coefficient	-0.015 dB/kPa	-0.012 dB/kPa
Humidity Coefficient of Sensitivity	<0.1dB in the absence of	+/-0.001 dB/%RH

(0 to 100%, non-condensing)	condensation	
Capacitance	66 pF	45 pF
Polarization Voltage	200V external	0V
Lower Limiting Frequency		1 to 3 Hz
Inherent Noise		10 dB(A) re 20 µPa
Inherent Noise		<11.5 dB(A) re 20 µPa
Standards Designation (IEC 61094-4)		WS1P
Temperature Coefficient of Sensitivity		+0.01 dB/°C
Influence of Axial Vibration (0.1g (1 m/s ²))		66.5dB re 20 µPa
Housing Material		Stainless Alloy
Venting		Rear
Mounting Thread (Preamplifier)		23.11mm-60 UNS
Mounting Thread (Grid)		23.11mm-60 UNS
Size - Diameter (with grid)	23.77 mm	23.77 mm
Size - Diameter (without grid)	23.77 mm	23.77 mm
Size - Height (with grid)	19 mm	19 mm
Size - Height (without grid)	17 mm	17 mm
Weight		30.6gm

마이크의 시험평가 항목을 도출하기 위해서 Bruel과 PCB의 제품을 선정하였으며, 필요하면 Endevco와 Kulite의 제품을 추가로 고려할 수 있다. 주파수의 범위는 Bruel의 제품이 18kHz까지 허용되어 PCB의 8kHz보다 더 넓은 범위에 있고, Resonant Frequency는 각각 11kHz, 8,600Hz이다. 작동 온도의 범위는 PCB의 범위가 더 넓고 Capacitance는 Bruel이 66pF으로 PCB의 45pF보다 더 크다. 치수는 같으며, 소음 정도나 감도의 온도계수 등을 포함한 몇 가지 추가적인 정보는 PCB에서만 제공한다.

12. 진동 측정 센서

진동 측정용 센서로는 압전방식 가속도계(Piezoelectric accelerometer)를 사용한다. 압전방식 가속도계는 먼저 출력에 따라 두 가지 방식으로 분류한다. 압전 물질에 작용하는 힘으로 압전 물질에서 생성된 정전기력을 사용하는 방식(Charge 타입)과 전압의 변화를 사용하는 방식(CCLD)으로 나누어진다.

사용할 센서가 정해지면 제작회사와 모델명을 확인하고 weight, charge Sensitivity 등 관련 항목의 성적서를 확인하고, 필요시 해당항목을 시험한다. 가속도 센서의 경우 동적 범위가 중요하며 일반 용도의 가속도 센서는 50,000 ~100,000 m/s² 까지 선형적으로 변한다. T-50에서는 진동레벨 측정을 목적으로 압전형 가속도 측정 센서와 필터를 시험할 목적으로 사용되는 서보 가속도 센서, 선형 가속도 센서 등이 있다. 압전소자 가속도 센서는 Vibra-Metrics M3000을 사용하였다.

표 2.47 압전형 가속도 센서 시험평가 항목 및 사양 (예)

분류	Bruel & Kjaer	PCB PIEZOTRONICS	DJB Instruments
----	---------------	------------------	-----------------

Figure			
Model	4321	356A71	AT/04/TB
Weight	55g (1.94oz)	22.7g (0.8oz)	18g (0.63oz)
Charge Sensitivity pC/ms ⁻²	1.0 pC/ms ⁻² ± 2%	1.02 pC/ms ⁻²	0.51 pC/ms ⁻²
Charge Sensitivity pC/g	9.8 pC/g ± 2%	10 pC/g	5 pC/g
Frequency Range (±5% limit)		5 kHz	6 kHz
Frequency Range (±10% limit)	X, Y, Z: 0.1Hz to 12000Hz	7 kHz	
Mounted Resonance Frequency	X, Y, Z: 40 kHz		
Max. Transverse Sensitivity (at 30 Hz, 100 ms ⁻²)	X: 1.0%, Y: 1.2%, Z: 0.4%	5%	
Non-linearity		5%	
Transverse Resonance Frequency	14 kHz	25k Hz	X/Y:20kHz Z:33kHz
Measuring Range (±peak) (kms ⁻²)	5	4.905	
Measuring Range (±peak) (g)	± 500 g pk	± 500 g pk	
Residual Noise Level (mms ⁻²)	2.3 mms ⁻²		
Residual Noise Level (mg)	0.23 mg		
Capacitance	1100pF	690pF	900pF
Min. Leakage Resistance	>20 GΩ		
Insulation Resistance(at 70 °F [21 °C])		>10 ¹² Ohm	
Insulation Resistance(at 490 °F [254 °C])		>10 ⁸ Ohm	
Overload Limit (Shock) (±peak) (g)		5000	
Overload Limit (Shock) (±peak) (ms ⁻²)		49000	
Operating Temperature Range (°C)	-74°C to +250°C	-70°C to +254°C	-50°C to +200°C
Operating Temperature Range (°F)	-101°F to +482°F	-95°F to +490°F	-58°F to +392°F
Temperature Coefficient of Sensitivity	0.1 %/°C		
Temperature Transient Sensitivity (ms ⁻² /°C)	0.4 ms ⁻² /°C		
Temperature Transient Sensitivity (g/°F)	0.02 g/°F		
Base Strain Sensitivity (ms ⁻² /με)	0.2 ms ⁻² /με		
Base Strain Sensitivity (g/με)	0.02 g/με		<0.01 g/u
Magnetic Sensitivity (ms ⁻² /T)	4 ms ⁻² /T		
Magnetic Sensitivity (g/kGs)	0.04 g/kGs		
Max. Non-destructive Shock (kms ⁻²)	10 kms ⁻²		
Max. Non-destructive Shock (g)	1000 g		5000g, 30 us (rise time)
Housing Material	Titanium ASTM Grade 2	Titanium	Titanium
Piezoelectric Sensing Element	PZ 23	Ceramic	
Construction	DeltaShear	Shear	
Sealing	Sealed	Hermetic	Welded
Electrical Connector	3 × 10-32 UNF-2A	10-32 Coaxial Jack	4 pin ¼-28 UNF
Mounting	10-32 UNF × 5 mm threaded hole, M4 screw	Through Hole	Adhesive or Tapped 10/32UNF
Max. Mounting Torque	3.5 Nm (31.0 lbf-in)	1.13 Nm (10 in-lb)	

Min. Mounting Torque	0.5 Nm (4.4 lbf-in)	0.9 Nm (8 in-lb)	
----------------------	---------------------	------------------	--

3절. 탑재센서 시험평가 계획 및 시험절차서

탑재센서의 성능검증은 항공기 설치 전 시험실 성능검증과 항공기에 설치한 후 설치성능 점검으로 구분할 수 있다. 성능점검은 크게 전기적 성능 시험과 환경시험으로 구분하므로 표 2.9와 같이 성능 점검의 종류를 4 종류로 구분할 수 있다. 센서들은 표 2.1 WBS 기준에서 수준 4에 해당되므로 시험실 성능점검은 전기적 성능시험을 중점적으로 실시하며, 설치후 시험은 전기적 성능시험과 필요시 진동 등 일부 환경시험을 실시하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

전기적 성능 시험은 센서 사양(Specification)에서 제시하는 전기적인 값과 성능이 정상적으로 출력되는 것을 상온(일반 실내 온도)에서 확인하는 절차이며, 환경시험은 센서가 동작하는 온도, 습도, 진동, 충격 등의 환경에서 동작하는 것을 확인하기 위한 시험으로 운용환경의 최악조건에서 전기적 시험을 하는 것으로 일반적으로 WBS 수준 4에서는 제조회사에서 제공한 자료로 대치하는 경우가 대부분이다.

표 2.48 센서의 시험 종류

WBS No.	센서 종류	시험실 성능점검		항공기 설치후 성능점검	
		전기적 성능	환경시험	전기적 성능	환경시험
1.1.1.1	가속도센서	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.1.2	압력센서	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.1.3	온도센서	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.1.4	스트레인 게이지 센서	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.1.5	산소량 측정 센서	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.1.6	소음센서	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.1.7	속도센서	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.1.8	유량센서	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.1.9	전기센서	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.1.10	각도센서	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.1.11	길이센서	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.1.12	진동센서	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행

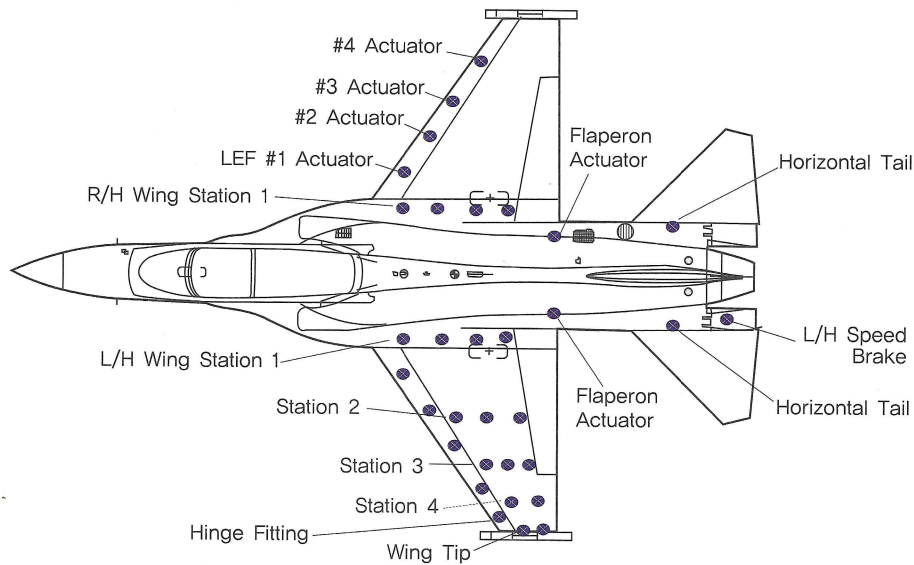


그림 2.2 T-50 비행시험 계측 센서 부착도

센서의 시험절차, 시험절차서와 성적서는 센서의 종류에 따라 요구되는 성능검사가 다

르기 때문에 각 센서마다 검토해야한다. 그러나 WBS 수준 4에서 요구되는 성능검사에 적용할 수 있는 시험절차서와 시험성적서는 센서 제조회사에서 발행하는 자료를 물리적 검사로 1차 확인하는 방법과 데이터 수집기(DAS)와 연동하여 시험하거나, 센서시험 지그(zig)를 사용하여 시험하는 방법이 있다.

1. 데이터 수집기(DAS)를 이용한 센서 시험 절차

가. DAS 시스템 동작 확인 검사

센서 시험에 사용할 DAS 시스템 또는 유사 DAS 시스템의 동작 확인 검사를 다음의 순서로 실시한다

- 1) 피시험장비(MCMDU-2000 급)의 외형과 크기, 입출력 포트 등 물리적 검사를 실시한다.
- 2) 피시험장비에 전원을 공급한다.
- 3) 시험용 컴퓨터를 연결한다.
- 4) 피시험장비와 시험용 컴퓨터를 이더넷 또는 USB 인터페이스를 연결한 후 상호연동을 확인한다.
- 5) 신호발생기를 연결한다.
- 6) 오실로스코프를 연결한다.
- 7) 주파수 카운터를 연결한다.
- 8) 신호발생기에서 40Mbps 신호를 입력한다.
- 9) 주파수 카운터 또는 시험용 컴퓨터에서 데이터 전송속도를 측정한다.
- 10) 데이터수집기에서 NRZ-L/M/S, RNRZ-L, Biphase-L/M/S 등 코딩모드를 선정하여 신호를 출력하고 오실로스코프에서 파형을 확인한다.
- 11) 데이터수집기의 입력포트를 변경하면서 8)~10) 사항을 확인한다.



그림 2.3 데이터수집기를 이용한 센서 시험평가 장비 구성 (예)

나. 센서 신호 검사

- 1) 측정할 센서를 선정한다.
- 2) 센서에 전원공급이 필요하면 전원을 공급한다.
- 3) 센서의 종류에 따라 DAS의 디지털 신호 입력 포트 또는 아날로그 신호 입력 포트에 연결한다.
- 4) 센서 측정 명령이 필요하면 시험용 컴퓨터에서 데이터 수집 명령을 보낸다.
- 5) 센서 신호를 수집하여 시험용 컴퓨터로 전송한다.
- 6) 센서 신호를 필요시 주파수 카운터 또는 오실로스코프로 확인한다.
- 7) 시험용 컴퓨터에서 센서 값을 분석하여 규격을 만족하면 합격이고, 오차 범위를 초과하면 불합격으로 판정한다.
- 8) 전수 검사이면 모든 센서를 검사하고, 샘플 검사이면 샘플 센서만 검사한다.
- 9) 센서의 종류를 바꾸어서 1)~8)을 반복한다.

다. 센서 신호 검사 시 주의 사항

- 1) 측정할 센서를 상온에서 검사한다.
- 2) 센서의 규격 범위에 맞게 센서를 구동한다.
- 3) 센서에 전원공급이 필요하면 전원을 공급하고, 시험이 끝나면 전원을 제거한다.

3장. 탑재계측시스템 검증 방안

탑재계측시스템은 그림 3.1과 같이 각종 데이터를 수집하는 데이터 수집기(data acquisition system)와 수집된 데이터를 저장하는 데이터 저장장치(data recorder), 수집된 데이터를 지상계측시스템으로 전송하는 텔레메트리 송신기(transmitter)와 안테나, GPS 안테나를 통해서 GPS신호를 수신하여 표준시간을 생성하여 시간을 동기화시키는 표준시간 발생기(time code generator), 비디오 신호를 녹화하는 디지털 비디오 저장기(digital video recorder) 등이 있다.

탑재시스템에 포함되는 탑재장치(device) 종류는 WBS를 개념을 도입하여 5단계로 분류할 때 표 3.1과 같이 5개 장비로 나눌 수 있다.

본 장에서는 탑재계측시스템의 장치별 시험항목 도출, 시험계획과 절차서 등을 기술한다. 시험항목 도출은 2차 년도에 작성한 ‘비행시험 계측 시스템 요구도 분석 보고서’와 ‘T-50 항공기 비행시험 계측 자료’, ‘Hawk 100 항공기 적용 사양’ 등을 기준으로 작성하였다.

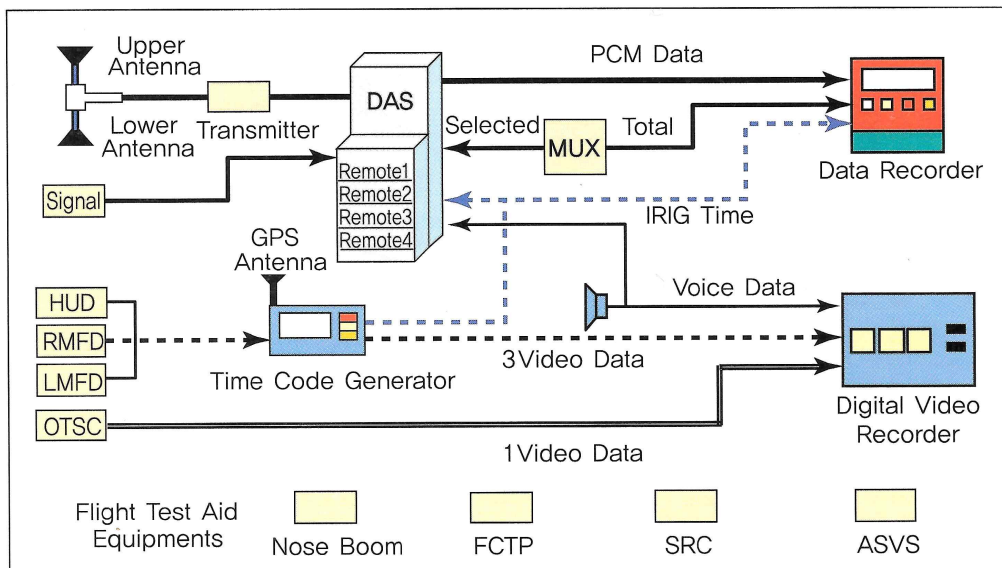


그림 3.1 탑재 계측시스템 구성도

표 3.1 비행 계측시스템(탑재계측 장비) WBS

Level4				WBS	Task Description	Notes
1				1	비행 계측시스템	
	2			1.1	탑재계측시스템	
		3		1.1.1.	데이터 수집기(또는 신호처리기)	Data Acquisition system
			4	1.1.1.1	가속도센서	
			4	1.1.1.2	압력센서	
			4	1.1.1.3	온도센서	
			4	1.1.1.4	스트레인게이지 센서	
			4	1.1.1.5	산소량 측정 센서	
			4	1.1.1.6	소음센서	
			4	1.1.1.7	속도센서	
			4	1.1.1.8	유량센서	
			4	1.1.1.9	전기센서	
			4	1.1.1.10	각도센서	
			4	1.1.1.11	길이센서	
			4	1.1.1.12	진동센서	
		3		1.1.2	데이터 저장장치	Data Recorder
			4	1.1.2.1	믹스	MUX
		3		1.1.3	시간동기기	Time Code Generator
				1.2.3.1	G.P.S. 안테나	
		3		1.1.4.	비디오 저장장치	Digital Video Recoder
		3		1.1.5	송신기(텔레메트리)	Transmitter
			4	1.1.5.1	상부 안테나	
			4	1.1.5.2	하부 안테나	
	2			1.2	지상계측 장비	

비행시험을 위해 사용되는 항공기 탑재계측장비는 각종 센서의 데이터들을 수집하여 처리할 수 있고, 항공전자, 비행제어, 그리고 환경제어계통 등의 통신 데이터를 계측할 수 있어야 한다. 또한 영상신호를 저장하고 조종사의 음성신호를 저장하며, 비행안전에 영향을 주는 데이터는 실시간으로 지상통제실로 전송할 수 있어야 한다.

탑재장비의 성능점검 시험은 시험실 성능점검과 항공기 설치후 성능점검으로 구분할 수 있다. 또한 같은 기능을 수행할 수 있는 자이 모델이 여러 개가 있어서 사용장비가 확정되어야 시험계획 및 절차서 수립이 확실해지지만 본 연구에서는 T-50 항공기,

Hawk-100 등에서 사용한 유사 장비를 참고하여 시험절차를 기술하려고 한다.

표 3.2 탑재 계측장비의 시험 종류

WBS No.	계측장비 종류	시험실 성능점검		항공기 설치후 성능점검	
		전기적 성능	환경시험	전기적 성능	환경시험
1.1.1.	데이터 수집기 (신호처리기)	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.2	데이터 저장장치	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.2.1	먹스	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.3	시간 동기기	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.3.1	G.P.S. 안테나	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.4.	영상 저장장치	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.5	송신기(텔레메트리)	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.5.1	상부 안테나	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행
1.1.5.2	하부 안테나	필수	필요시 수행	필수	필요시 수행

표 3.3 유사시스템(T-50) 의 비행시험 계측용 탑재장비 종류

항목	모델명	업체	주요사항
PCM Encoder	MCMDU-2000	TTC	Bit Rate : Up to 5Mbps
Data Recoder	D20d	Heim	저장속도 : 20Mbps 저장용량 : 40GB
Time Code Generator	GPS-705	True Time	GPS 수신 Time Generator(3Channel) Output time : IRIG-B
Video Recoder	TEAC-V83	TEAC	컬러/흑백 3 Channel 동시저장
Transmitter	TTS-6335	TTC	S-Band (2.200~2.290MHz) FM Type
Power Divider	GTM-10M-2.5G	TTC	10 dB Coupling
Antenna	102002A	Tecom	S-Band

1절. 데이터 수집기(신호처리기)

1. 데이터 수집기 시험평가 항목

데이터수집기(또는 신호처리기)는 여러 종류의 센서 신호를 수집하여 디지털 신호로 변환하여 지상 계측 시스템으로 전송할 자료를 생성하여 송신기로 보내거나 또는 데이터레코더에 저장하며 요구도와 시험항목 작성 시 주요 고려사항은 다음과 같다.

- 1) 센서의 종류에 따라 각각 출력되는 신호의 특성이 상이함으로 신호 특성에 맞는 장비가 선택되어야 한다.
- 2) 센서 종류별 파라미터에 대한 수량을 파악하여 적절한 신호처리기의 채널 수량을 설계하여야 한다. 보통 초기 시스템 설계에서는 전체 파라미터의 25% 수준으로 여유율을 갖도록 설계한다. 이때 준비된 여유 채널은 비행시험 중 고장탐구나 추가시스템의 검증에 위해 사용된다.
- 3) 각 파라미터의 샘플링을 만족시키도록 샘플링의 합으로 얻어진 전체 데이터량을 한 번에 처리할 수 있는 데이터 처리속도를 고려하여야 한다. 데이터 처리 속도를 40Mbps 이상으로 설계할 필요가 있다.
- 4) 항공기 기본 장비와 비행시험을 위한 장비 장착의 공간 확보가 충분하지 못하다. 따라서, 센서를 계측하는 신호처리기가 많아질 경우 각각 장비의 부피가 더해지므로 장비 장착 공간을 고려하여 선정해야 한다.
- 5) 센서가 집중되는 신호처리기 특성상 센서 위치, 전선부피, 전선 방향 등을 적절히 고려하여 신호처리기를 항공기 여러 부분으로 분배하여야 한다.

그림 3.1은 T-50에 사용된 신호처리기(PCM Tray) MCDAU-2000이다. 본 장비의 요구도(안)는 MCDAU-2000을 능가하며, 세계적인 발전 추세를 고려하여 표 3.2와 같이 정하였다. Bit rate는 20Mbps 수준에서 40Mbps로 발전되는 추세이며, Word당 bit 수는 16개, Frame당 Word는 최대 256K로 16개의 선택이 가능한 추세이다. 또한 PCM Coding은 NRZ-L/M/S, RNRZ-L, Biphase-L/M/S이며 Serial channel은 4개의 동기, 4개의 비동기 채널로 발전되고 있다.

데이터수집기의 시험항목은 표 3.4 요구도 분석과 표 3.5 세계적인 발전추세를 고려하여 표 3.6과 같이 선정하였다.



그림 3.2 T-50 데이터 수집기 조립 모습(PCM Tray)

표 3.4 비행시험 탑재계측시스템의 데이터 수집기(PCM Encoder) 요구도

구 분	요 구 도
PCM bit rate	40 Mbps
Bits/word	8 ~ 16
words/frame	최대 256K (16개의 선택)
PCM coding	NRZ-L/M/S, RNRZ-L, Biphase-L/M/S
Control interface	User programmable through Ethernet and USB interface
Serial channel	4 Sync, 4 Async
운용 온도	-40 ~ +85°C
비운용 온도	-54 ~ +125°C

표 3.5 비행시험 탑재계측시스템의 데이터 수집기(PCM Encoder) 해외 기술 동향

항목/업체	L-3 PCM330E	L-3 PCM400	L-3 NetDAS	TTC WSR-120A	Delsis DTS-300MB
PCM bit rate	최대 40 Mbps	최대 40 Mbps	10bps ~ 20 Mbps	최대 20 Mbps	10bps ~ 10 Mbps
Bits/word	8 ~ 16	8 ~ 32	16		6 ~ 16
words/frame	최대 2048	최대 2048	최대 256K (16개의 선택)		
Minor Frame	최대 1024	최대 1024			1024
PCM coding	NRZ-L, Biphase-L, RNRZ-L	NRZ-L, RNRZ-L	NRZ-L/M/S, RNRZ-L, Biphase-L/M/S, MDM-M/S, DM-M/S		NRZ-L/M/S, Biphase-L/M/S
Control interface		User programmable through Ethernet and USB interfaces	Vista TEC compatible with Windows and Linux	RS232, 422/485	
Serial channel	2 Sync, 2 Async	4 Sync, 4 Async			
운용 온도	-40 ~ +85°C	-40 ~ +85°C	-40 ~ +85°C		-40 ~ +85°C
비운용 온도	-54 ~ +125°C	-54 ~ +125°C	-55 ~ +100°C		-54 ~ +125°C
크기		36 W x 61 L x 15 mm H			70 W x 110 L x 30 mm H
비고			programmable signal conditioning and encoding system		

표 3.6 데이터 수집기 시험평가 항목 (예)

구분	시험항목 시험내용(종류, 범위, 규격)
1	육안검사
2	물리적 크기 검사
3	전원검사
4	데이터 전송속도
5	coding 방법 및 종류
6	입력포트/출력포트
7	인터페이스 시험

데이터 수집기 시험평가를 위한 항목으로 데이터 전송속도, 코딩방법 및 종류, 입력/출력 포트, 인터페이스 시험 등을 포함하여 표 3.6의 예와 같이 제시한다.

2. 데이터 수집기 시험평가 계획 및 시험절차서

표 3.7 데이터 수집기 항목별 시험 내용 (예)

순서	시험항목	시험내용(종류, 범위, 규격)	시험용장비
1	육안검사	물품종류, 재질, 파손, 표면 등	
2	물리적 크기 검사	3차원 크기, 무게	
3	전원검사	입력전원, 주파수, 출력크기	
4	데이터 전송속도	최대속도 40Mbps 이상 신호발생기에서 신호 입력 주파수 카운터를 사용하여 전송속도 측정	신호발생기 주파수카운터
5	coding 방법 및 종류	NRZ-L/M/S, RNRZ-L, Biphas-L/M/S 등 신호발생기에서 관련신호 입력 오실로스코프로 출력 확인	신호발생기 오실로스코프
6	입력포트/출력포트	입력 : 입력센서 이상, 출력 : 제어/송신용 입력포트에 센서 신호 입력 출력포트에서 출력 확인	시험용 컴퓨터
7	인터페이스 시험	Ethernet, USB interface, 기타 입력포트에 센서 신호 입력 출력포트에서 출력 확인	시험용 컴퓨터

데이터 수집기 시험평가 계획은 항목별 종류, 범위, 규격 등의 시험내용과 시험용 장비 등을 선정하여 표 3.7의 예와 같이 수립하고 시험을 위한 시험평가 장비를 구성한다. MCMDU-2000과 같은 유형의 데이터 수집기를 시험하기 위해서는 그림 3.3과

같이 피시험장비의 입력단에는 각종센서에서 발신된 신호를 모의할 수 있는 신호 발생기를 연결하고, 출력단에는 시험용 컴퓨터, 주파수 카운터, 오실로스코프를 연결한다. 시험용컴퓨터는 데이터수집기에 제어명령을 보내고 데이터 입력과 출력 명령을 주거나 출력신호를 분석하는 기능을 가져야 한다. 주파수카운터는 데이터 전송속도를 측정하고, 오실로스코프는 코딩방법과 종류를 시험할 때 사용된다.

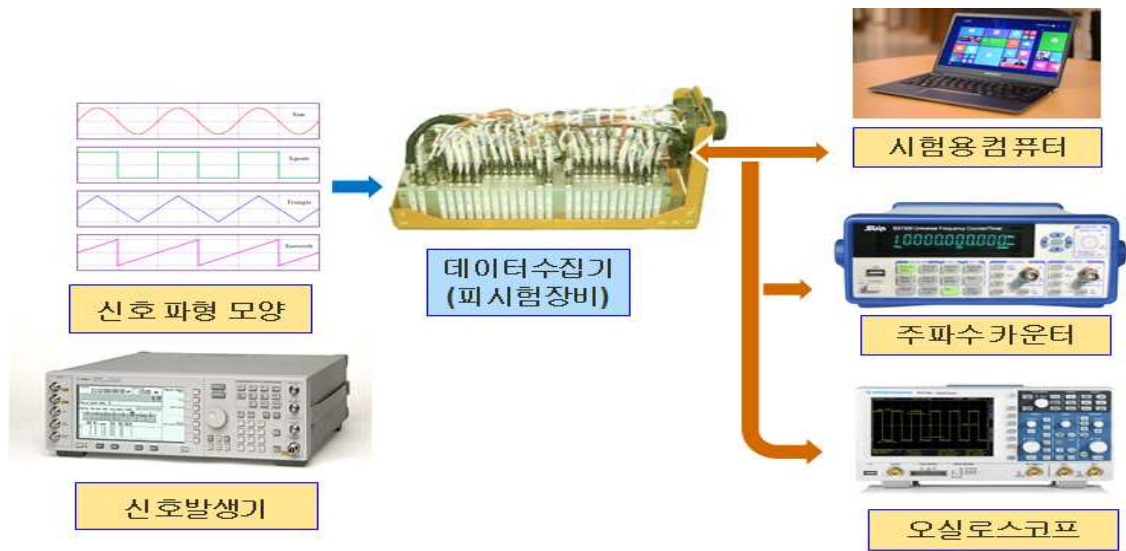


그림 3.3 데이터 수집기 시험평가 장비 구성 (예)

시험평가 절차는 다음과 같으며, 시험절차서는 장비가 선정되면 다음사항을 중심으로 기술하면 된다.

- 1) 피시험장비(MCMDU-2000 급)의 외형과 크기, 입출력 포트 등 물리적 검사를 실시한다.
- 2) 피시험장비에 전원을 공급한다.
- 3) 시험용 컴퓨터를 연결한다
- 4) 피시험장비와 시험용컴퓨터를 이더넷, 또는 USB 인터페이스로 연결한 후 상호 연동을 확인한다.
- 5) 신호발생기를 연결한다.
- 6) 오실로스코프를 연결한다.
- 7) 주파수 카운터를 연결한다.
- 8) 신호발생기에서 40 Mbps 신호를 입력한다.
- 9) 주파수 카운터 또는 시험용 컴퓨터에서 데이터 전송속도를 측정한다.
- 10) 데이터수집기에서 NRZ-L/M/S, RNRZ-L, Biphase-L/M/S 등 코딩모드를 선정하여 신호를 출력하고 오실로스코프에서 파형을 확인한다.
- 11) 데이터수집기의 입력포트를 변경하면서 8)~10) 사항을 확인한다.

2절. 데이터 저장장치(Data Recorder)

1. 데이터 저장장치 시험평가항목

데이터 저장기는 비행시험 중 획득되는 모든 데이터를 저장할 수 있어야 하며, 비행 후 이를 활용하여 정량적인 비행시험 분석을 수행할 수 있어야 한다. 비행시험 데이터를 기록하는 장비는 크게 데이터를 저장하는 데이터 레코더와 영상을 저장하는 비디오 레코더로 나뉜다. 이러한 레코더를 설계함에 있어 다음 사항을 기본적으로 고려하여 비행 시험 목적에 부합하는 성능을 갖추도록 설계하여야 한다.

- ④ 안정적인 비행시험 데이터 저장
- ④ 저장매체의 용량
- ④ IRIG-106B 표준시간 입력
- ④ PCM, 1553-MUX 등 데이터 채널 수
- ④ 항공기 장착성(무게, 크기 등)
- ④ 고속 신호처리 및 저장



그림 3.4 T-50 비행시험용 데이터 저장장치

표 3.8 T-50 비행시험용 데이터 저장장치 주요사양

항목	모델명	주요 사양
Data Recorder	D20d	Multiplex 기능 보유 DLT Drive 사용 저장속도 : 20 Mbps 저장용량 : 40GB

이러한 데이터 저장장치는 저장매체에 따라 여러 가지로 분류할 수 있으며, 대표적으로 비행시험에 사용되는 레코더의 형식은 자기테이프(Magnetic Tape)를 사용하는 테이프 레코더와 메모리를 저장매체로 하는 SSR(Solid State Recorder)로 나뉜다. 메모

리를 저장매체로 사용하는 SSR형의 레코더는 테이프의 구동을 위한 기계장치가 필요없기 때문에 진동과 온도 영향에 대한 특성이 자기테이프 방식의 레코더보다 우수하다.

표 3.9 데이터 저장장치 요구도(안)

구 분	요 구 도
Multiplex 기능	보유
DLT Drive	사용
저장속도	40 Mbps 이상
저장용량	40GB 이상

표 3.10 데이터 저장장치 시험평가 항목 (예)

순서	시험항목
1	육안검사
2	물리적 크기 검사
3	전원검사
4	Multiplex 기능
5	DLT Drive
6	저장속도
7	저장용량

데이터 저장장치 시험평가를 위한 항목으로 Multiple 기능, DLT Drive, 저장속도, 저장용량 등을 포함하여 표 3.10의 예와 같이 제시한다.

2. 데이터 저장장치 시험평가 계획 및 시험절차서

데이터 저장장치 시험평가 계획은 항목별 종류, 범위, 규격 등의 시험내용과 시험용 장비 등을 선정하여 표 3.11의 예와 같이 수립하고 시험을 위한 시험평가 장비를 구성한다.

표 3.11 데이터 저장장치 시험평가 항목별 시험내용 (예)

순서	시험항목	시험내용(종류, 범위, 규격)	시험용장비
1	육안검사	물품종류, 재질, 파손, 표면 등	
2	물리적 크기 검사	3차원 크기, 무게	
3	전원검사	입력전원, 주파수, 출력크기	
4	Multiplex 기능	보유	신호발생기 시험용컴퓨터
5	DLT Drive	사용	
6	저장속도	40 Mbps 이상	시험용 컴퓨터
7	저장용량	40 GB 이상	시험용 컴퓨터

D-20d와 같은 유형의 데이터 저장기를 시험하기 위해서는 그림 3.5와 같이 피시험 장비의 입력단에는 데이터수집기의 역할을 수행할 수 있는 신호 발생기를 연결하고, 출력단에는 시험용 컴퓨터, 주파수 카운터를 연결한다. 시험용 컴퓨터는 데이터 저장장치에 제어명령을 보내고 데이터 입력과 출력 명령을 주거나 출력신호를 분석하는 기능을 가져야 한다. 주파수 카운터는 필요시 데이터 전송속도를 시험할 때 사용된다.



그림 3.5 데이터 저장장치 시험평가 장비 구성 (예)

시험평가 절차는 다음과 같다.

- 1) 피시험장비(D-20d 상위급)의 외형과 크기, 입출력 포트 등 물리적 검사를 실시한다.
- 2) 피시험장비에 전원을 공급한다.
- 3) 시험용 컴퓨터를 연결한다
- 4) 피시험장비와 시험용컴퓨터를 이더넷, 또는 USB 인터페이스로 연결한 후 상호 연동을 확인한다.
- 5) 신호발생기를 연결한다.
- 6) 주파수 카운터를 연결한다.

- 7) 신호발생기에서 40 Mbps 신호를 입력한다.
- 8) 주파수 카운터 또는 시험용 컴퓨터에서 데이터 전송속도를 측정한다.
- 9) 데이터저장용량을 확인한다.

3절. 표준시간 측정장비

1. 표준시간 측정장비 시험평가 항목

항공기에 장착된 탑재계측장비는 정확한 비행시험 데이터 분석을 위해 표준화된 시간을 사용한다. 여기서 표준화된 시간은 위성으로부터 수신된 시간정보를 사용한다. 위성으로부터 수신된 IRIG(Inter-Range Instrumentation Group) 시간을 PCM 신호처리, 데이터 레코더, 비디오 레코더, 무장분리 카메라 등으로 전송하는데, 이때 사용되는 장비가 표준시간 측정장비, 즉 시간부호발생기(Time Code Generation)이다.

시간부호발생기 설계 시 아래 사항을 고려하여야 한다.

- ⑤ 탑재계측장비에서 IRIG 표준시간을 필요로 하는 장비
- ⑤ 장비별 채널 수
- ⑤ 시간 정밀도

T- 50에서는 3개 채널의 영상신호에 시간을 표시할 수 있고, 1 msec의 정밀도를 가진 4개의 부호화된 시간을 출력할 수 있는 장비를 사용하였다. 그림 3.6은 T-50에 사용된 시간부호발생기를 보여준다.

표 3.12 시간부호 발생기 주요사양

항목	모델명	주요 사양
Time Code Generator	GPS-705	GPS 수신 Time Generator(3 Channel) Output time : IRIG-B



그림 3.6 T-50의 GPS-705 시간부호 발생기

표 3.13 시간부호 발생기 요구도(안)

구 분	요 구 도
입력신호	GPS 신호
시간 정밀도	1ms/ 1us
출력신호	IRIG-B 또는 IEEE-1588
운용온도	-40 ~ +85OC
비운용온도	-55 ~ +100OC

표 3.14 시간부호 발생기 시험평가 항목 (예)

순서	시험항목
1	육안검사
2	물리적 크기 검사
3	전원검사
4	입력신호
5	시간 정밀도
6	출력신호
7	인터페이스 시험

시험부호 발생기 시험평가를 위한 항목으로 입력신호, 시간 정밀도, 출력신호, 인터페이스 시험 등을 포함하여 표 3.14의 예와 같이 제시한다.

2. 표준시간 측정장비 시험평가 계획 및 시험절차서

표 3.15 시간부호 발생기 시험평가 항목별 시험 내용 (예)

순서	시험항목	시험내용(종류, 범위, 규격)	시험용장비
1	육안검사	물품종류, 재질, 파손, 표면 등	
2	물리적 크기 검사	3차원 크기, 무게	
3	전원검사	입력전원, 주파수, 출력크기	
4	입력신호	GPS 신호	
5	시간 정밀도	1ms/1us	신호발생기 시험용컴퓨터
6	출력신호	IRIG-B 또는 IEEE-1588	시험용 컴퓨터
7	인터페이스 시험	Ehernet, USB interface, 기타	시험용 컴퓨터

표준시간 측정장비 시험평가 계획은 항목별 종류, 범위, 규격 등의 시험내용과 시험용 장비 등을 선정하여 표 315의 예와 같이 수립하고 시험을 위한 시험평가 장비를 구성한다. T-50과 같은 GPS-705 유형의 표준시간 측정장비를 시험하기 위해서는 그림 3.7과 같이 피시험장비의 입력단에는 GPS 위성신호를 수신할 수 있는 데이터수집기에 서 전송하는 데이터를 모의할 수 있는 신호 발생기를 연결하고, 출력단에는 시험용 컴퓨터, 주파수 카운터를 연결한다. 시험용컴퓨터는 데이터저장기에 제어명령을 보내고 데이터 입력과 출력 명령을 주거나 출력신호를 분석하는 기능을 가져야 한다. 주파수 카운터는 필요시 데이터 전송속도를 시험할 때 사용된다.



그림 3.7 T-50의 GPS-705 시간부호발생기 시험장비 구성 (예)

시험평가 절차는 다음과 같다.

- 1) 피시험장비(GPS-705 상위급)의 외형과 크기, 입출력 포트 등 물리적 검사를 실시한다.

- 2) 피시험장비에 전원을 공급한다.
- 3) 시험용 컴퓨터를 연결한다
- 4) 피시험장비와 시험용컴퓨터를 이더넷, 또는 USB 인터페이스로 연결한 후 상호 연동을 확인한다.
- 5) GPS 안테나 또는 신호발생기를 연결한다.
- 6) 주파수 카운터를 연결한다.
- 7) 시험용 컴퓨터에서 데이터 연동을 확인한다.

4절. 비디오 저장장치(Video Recorder)

1. 비디오 저장장치 시험평가항목

비디오 저장장치는 비행시험 중 획득되는 모든 데이터를 저장할 수 있어야 하며, 비행 후 이를 활용하여 정량적인 비행시험 분석을 수행할 수 있어야 한다. 비행시험 데이터를 기록하는 장비는 크게 데이터를 저장하는 데이터 레코더와 영상을 저장하는 비디오 레코더로 나뉜다. 이러한 레코더를 설계함에 있어 다음 사항을 기본적으로 고려하여 비행 시험 목적에 부합하는 성능을 갖추도록 설계하여야 한다.

- ⑤ 안정적인 비행시험 데이터 저장
- ⑤ 저장매체의 용량
- ⑤ IRIG-106B 표준시간 입력
- ⑤ PCM, 1553-MUX 등 데이터 채널 수
- ⑤ 항공기 장착성(무게, 크기 등)
- ⑤ 고속 신호처리 및 저장



〈TEAC-V83〉

그림 3.8 TEAC-V83 비행시험용 비디오 저장장치

표 3.16 T-50 비행시험용 비디오 저장장치 주요사양

항목	모델명	주요 사양
Video Recorder	TEAC-V83	컬러/흑백 3 Channel 동시저장 음성신호 저장

이러한 비디오 저장장치는 저장매체에 따라 여러 가지로 분류할 수 있으며, 대표적으로 비행시험에 사용되는 레코더의 형식은 자기테이프(Magnetic Tape)를 사용하는 테이프 레코더와 메모리를 저장매체로 하는 SSR(Solid State Recorder)로 나뉜다. 메모리를 저장매체로 사용하는 SSR형의 레코더는 테이프의 구동을 위한 기계장치가 필요없기 때문에 진동과 온도 영향에 대한 특성이 자기테이프 방식의 레코더보다 우수한다.

표 3.17 TEAC-V83 비디오 저장장치 요구도(안)

구 분	요 구 도
Multiplex 기능	보유
DLT Drive	사용
저장속도	40 Mbps 이상
저장용량	40GB 이상

표 3.18 TEAC-V83 비디오 저장장치 시험평가 항목 (예)

순서	시험항목
1	육안검사
2	물리적 크기 검사
3	전원검사
4	Multiplex 기능
5	DLT Drive
6	저장속도
7	저장용량

비디오 저장장치 시험평가를 위한 항목으로 Multiple 기능, DLT Drive, 저장속도, 저장용량 등을 포함하여 표 3.18의 예와 같이 제시한다.

2. 비디오 저장장치 시험평가 계획 및 시험절차서

표 3.19 TEAC-V83 비디오 저장장치 시험평가 항목별 시험내용 (예)

순서	시험항목	시험내용(종류, 범위, 규격)	시험용장비
1	육안검사	물품종류, 재질, 파손, 표면 등	
2	물리적 크기 검사	3차원 크기, 무게	
3	전원검사	입력전원, 주파수, 출력크기	
4	Multiplex 기능	보유	신호발생기 시험용컴퓨터
5	DLT Drive	사용	
6	저장속도	40 Mbps 이상	시험용 컴퓨터
7	저장용량	40 GB 이상	시험용 컴퓨터

비디오 저장장치 시험평가 계획은 항목별 종류, 범위, 규격 등의 시험내용과 시험용 장비 등을 선정하여 표 3.19의 예와 같이 수립하고 시험을 위한 시험평가 장비를 구성한다. TEAC-V83과 같은 유형의 비디오 저장장치를 시험하기 위해서는 그림 3.9과 같이 피시험장비의 입력단에는 데이터수집기에서 전송하는 데이터를 모의할 수 있는 신호 발생기를 연결하고, 출력단에는 시험용 컴퓨터, 주파수 카운터를 연결한다. 시험용 컴퓨터는 데이터저장기에 제어명령을 보내고 데이터 입력과 출력 명령을 주거나 출력신호를 분석하는 기능을 가져야 한다. 주파수 카운터는 필요시 데이터 전송속도를 시험할 때 사용된다.



그림 3.9 비디오 저장장치 시험평가 장비 구성 (예)

시험평가 절차는 다음과 같다.

- 1) 피시험장비(TEAC-V83 상위급)의 외형과 크기, 입출력 포트 등 물리적 검사를 실시한다.
- 2) 피시험장비에 전원을 공급한다.
- 3) 시험용 컴퓨터를 연결한다

- 4) 피시험장비와 시험용컴퓨터를 이더넷, 또는 USB 인터페이스로 연결한 후 상호 연동을 확인한다.
- 5) 신호발생기를 연결한다.
- 6) 주파수 카운터를 연결한다.
- 7) 신호발생기에서 40 Mbps 신호를 입력한다.
- 8) 주파수 카운터 또는 시험용 컴퓨터에서 데이터 전송속도를 측정한다.
- 9) 데이터저장용량을 확인한다.

5절. 데이터 송신기

1. 데이터 송신기 시험평가 항목

데이터 전송을 위한 장비 구성은 송신기(Transmitter), 출력신호 분배기(Power Divider) 및 안테나로 이루어진다. 따라서 사용할 주파수 대역과 통신방식, 통신량 등에 의해서 요구도가 결정된다.

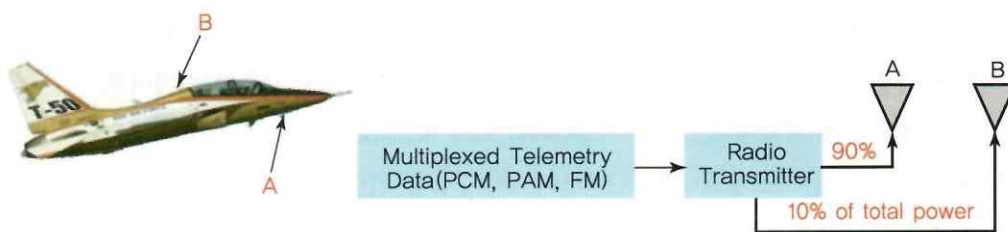


그림 3.10 T-50 데이터 전송방식

T-50은 PCM 신호(NRX-L)를 FM 변조하는 5W 출력의 S-Band용 송신기와 항공기의 상하 각각 1개의 안테나, 그리고 각각의 안테나에 파워를 분배하는 출력신호 분배기로 구성되었다. 출력신호분배기는 그림 3.10과 같이 하부 안테나에 90%, 상부 안테나에 10%의 파워를 분배하여, 항공기가 수평비행 등 바른 자세에서 비행할 때는 항공기 하부에 장착된 안테나의 신호가 지상으로 전송되게 하며, 배면비행 등의 기동에서는 항공기 상부에 장착된 안테나의 신호가 지상으로 전송되게 설계하였다. 표 3.20은 T-50 비행시험에 적용된 데이터 전송장비와 주요 사양을 보여준다.

표 3.20 T-50 데이터 송신기 및 주요사양 (예)

항목	모델명	업체	주요 사양
Transmitter	TTS-6335	TTC	S-Band(2.200~2.290 MHz) FM Type
Power Divider	GTM-10M-2.5G	TTC	10 dB Coupling
Antenna	102002A	Tecom	S-Band

비행시험 탑재계측시스템의 Transmitter 요구도(안)은 다음 표와 같고, 안테나와 파워 디바이더는 송신기와 같은 주파수 대역의 요구도를 갖는다.

표 3.21 비행시험 탑재계측시스템의 Transmitter 요구도(안)

구 분	요 구 도
주파수 대역	S & C
Bandwidth	40 MHz
Modulation Type	PCM/FM, SOQPSK, Multi-h CPM
RF output power	10mW, 1W, 5W, 10W, 20W, 25W 중 선택
Data rate	PCM/FM: 0.18 ~ 30 Mbps, SOQPSK-TG/Multi-h CPM: 0.5~40Mbps
주파수 Tuning increment	0.25/0.5/1.0 Mhz
운용 온도	-40 ~ +85°C
비운용 온도	-55 ~ 100°C
고도	unlimited

비행시험 탑재계측시스템의 Transmitter의 주파수 대역은 미국과 유럽에서는 이미 비행시험용으로 C 밴드를 추가하였으나 국내에서는 S 밴드 또는 C 밴드를 사용하는 것이 적합하다고 판단된다. 대역폭은 40MHz, Modulation 형태와 Data rate는 PCM/FM은 최대 30Mbps, SOQPSK와 Multi-h CPM는 최대 40Mbps가 요구될 것으로 예상된다. RF Output Power는 10mW ~ 25 W 중 선택할 수 있고, 주파수 Tuning increment는 0.25, 0.5, 1.0 MHz를 운용자가 선택할 수 있어야 한다. 운용온도는 -40 ~ +85° C, 비운용 온도는 -55 ~ 100° C가 적합하다고 판단된다.

표 3.22 데이터 송신기 시험항목 (예)

순서	시험항목
1	육안검사
2	물리적 크기 검사
3	전원검사
4	주파수
5	주파수 대역폭
6	변조방식
7	출력/기타

데이터 송신기 시험평가를 위한 항목으로 주파수, 주파수 대역폭, 변조방식, 출력/기타 등을 포함하여 표 3.22의 예와 같이 제시한다.

2. 데이터 송신기 시험평가 계획 및 시험절차서

표 3.23 송신기의 시험평가 항목별 시험내용 (예)

순서	시험항목	시험내용(종류, 범위, 규격)	시험용장비
1	육안검사	물품종류, 재질, 파손, 표면 등	
2	물리적 크기 검사	3차원 크기, 무게	
3	전원검사	입력전원, 주파수, 출력크기	
4	주파수	S & C-Band 입력 : 고주파신호 발생기 출력 : 스펙트럼 분석기	고주파 신호발생기 스펙트럼분석기
5	주파수 대역폭	40 MHz 이상 입력 : 고주파신호 발생기 출력 : 스펙트럼 분석기	고주파 신호발생기 스펙트럼분석기
6	변조방식	PCM/FM, SOQPSK, Multi-h CPM 등 입력 : 고주파신호 발생기 출력 : 수신기	고주파 신호발생기 수신기
7	출력/기타	10mW, 1W, 5W, 10W, 20W, 25W 중 선택 입력 : 고주파신호 발생기 출력 : 스펙트럼 분석기, direction coupler	고주파 신호발생기 스펙트럼분석기

데이터 송신기 시험평가 계획은 항목별 종류, 범위, 규격 등의 시험내용과 시험용 장비 등을 선정하여 표 3.23의 예와 같이 수립하고 시험을 위한 시험평가 장비를 구성한

다. TTS-6335와 같은 유형의 송신기를 시험하기 위해서는 그림 3.11과 같이 피시험 장비의 입력단에는 데이터수집기에서 전송하는 데이터를 모의할 수 있는 신호 발생기를 연결하고, 출력단에는 시험용 컴퓨터, 주파수 카운터를 연결한다. 시험용 컴퓨터는 데이터 저장기에 제어명령을 보내고 데이터 입력과 출력 명령을 주거나 출력신호를 분석하는 기능을 가져야 한다. 주파수 카운터는 필요시 데이터 전송속도를 시험할 때 사용된다.



그림 3.11 T-50 TTS-6335 송신기 시험평가 장비 구성 (예)

시험평가 절차는 다음과 같다.

- 1) 피시험장비(TTS-6335 상위급)의 외형과 크기, 입출력 포트 등 물리적 검사를 실시한다.
- 2) 피시험장비에 전원을 공급한다.
- 3) 시험용 컴퓨터를 연결한다
- 4) 스펙트럼분석기 또는 주파수 카운터를 연결한다.
- 5) 고주파 신호발생기에서 고주파 신호를 입력한다.
- 6) 스펙트럼분석기에서 주파수와 전송속도를 측정한다.

4장. 지상계측시스템 검증 방안

1절. 지상계측시스템 개요

지상 계측시스템은 항공기의 비행시험 중 획득한 계측 데이터를 실시간 처리 및 시현하는 장비로 크게 다음과 같이 4가지로 나눌 수 있다.

- 1) Telemetry 안테나 시스템
- 2) 데이터 처리 시스템
- 3) 데이터 시현시스템
- 4) 원격 중계 시스템

그림 4.1은 일반적인 지상 계측 시스템 및 비행후 처리시스템의 구성과 신호흐름을 표시하고 있으며, 그림 4.2는 T-50 의 지상 계측 시스템 구성이다. 그림 4.3은 소형항공기 시험용 지상계측 시스템 블록도의 일부이다.

본 연구에서는 소형 여객기 시험을 기준으로 작성한 내용을 참고하여 중형항공기 시험에 적용할 수 있는 요구도를 개발하는 것을 목적으로 한다.

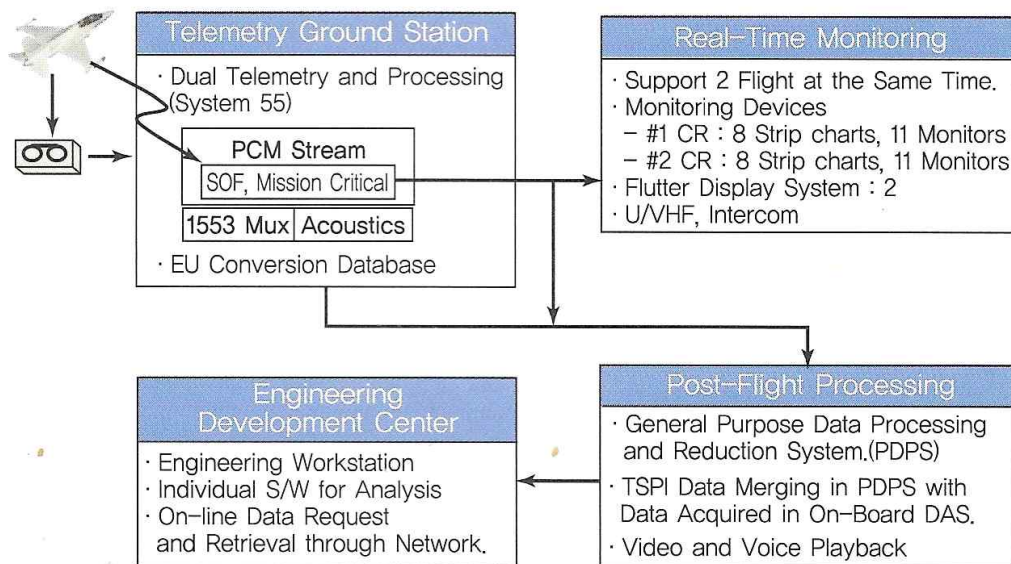


그림 4.1 일반적인 지상계측시스템 구성 및 신호흐름도

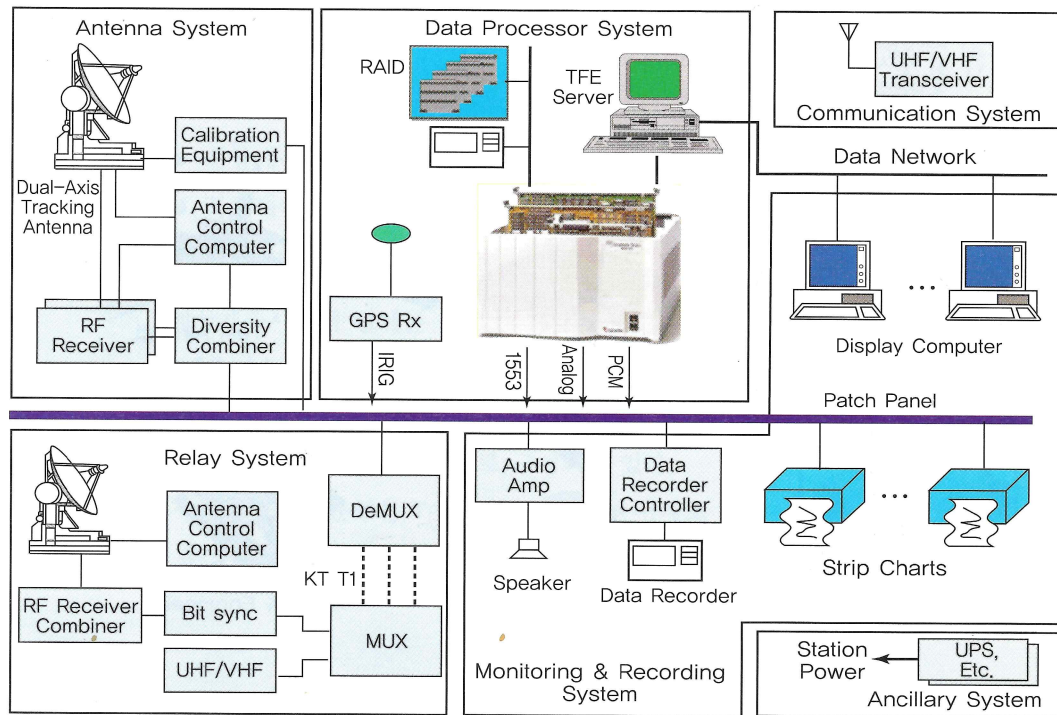


그림 4.2 T-50 지상계측시스템 구성도

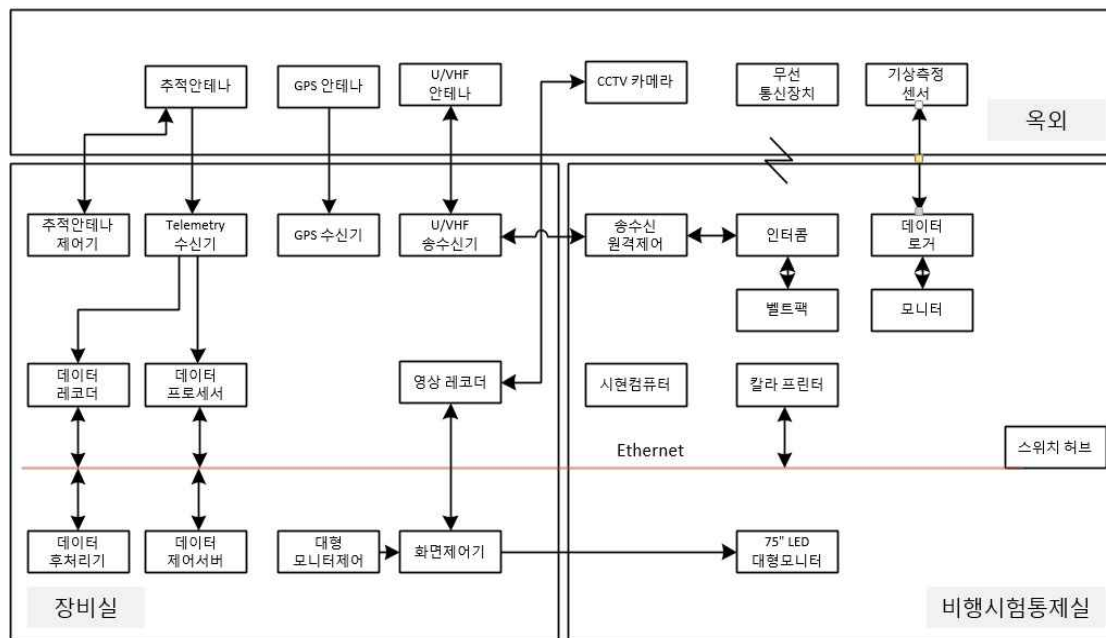


그림 4.3 지상국 시스템 블록도

당 사업의 대부분의 지상계측시스템은 선정이 완료되고 항공안전기술원 주관으로 검증방안이 진행중이기 때문에 당 연구 대상에서는 포함되지 않았다. 따라서, 지상계측시스템중 당 사업에서 선정이 제외된 IF 데이터레코더와 비행후 데이터처리시스템의 검증 방안에 대해서만 연구를 수행하였다.

2절. IF 데이터레코더

1. IF 데이터레코더 시험평가 항목

IF 데이터레코더는 시험 대상 항공기의 송신기로부터 전송된 전자파를 수신기로부터 수집하고 원시 전자파 전체를 있는 그대로 저장하는 장치로 계측정보중 필요한 정보만 뽑아 저장하는 일반 데이터 저장장치와는 차별화 된다. 따라서, IF 데이터레코더에 저장된 모든 정보를 그대로 간직하고 있는 원시 IF데이터는 비행후 데이터처리시스템에서 전파 환경 측정을 포함한 정밀한 분석이 필요한 사항에 대해 용이하게 정보분석을 수행하는데 활용할 수 있다.

IF 신호의 녹음은 IF 신호가 장비에 입력될 때, 운용자 GUI로부터 제어 명령을 수신하여 데이터의 녹음을 수행한다. 요구도는 목표하는 IF 신호의 중심주파수 및 주파수 대역, 녹음 해상도 및 녹음파일 형식에 따라 결정된다.

- ⑤ IF 데이터레코더는 입력되는 IF 신호를 손상없이 저장하고 재생할 수 있어야하며, 이를 다양한 형태로 분석할 수 있어야 한다.
- ⑥ IF 데이터레코더는 다음과 같은 구성품을 포함한다.
 - IF 데이터레코더 - 1 EA
 - 제어 프로그램 - 1 Copy

표 4.1 IF 데이터레코더 시험평가 항목 (예)

순서	시험항목
1	인터페이스
2	주파수 및 대역폭
3	녹음 해상도
4	녹음파일 형식
5	저장용량
6	제어프로그램

IF 데이터레코더 시험평가를 위한 항목으로 인터페이스, 주파수 및 주파수 대역폭, 녹음 해상도, 녹음파일 형식, 저장용량, 제어프로그램 등을 포함하여 표 4.1의 예와 같이 제시한다.

2. IF 데이터레코더 시험평가 계획 및 시험절차서

IF 데이터레코더 시험평가 계획은 항목별 종류, 범위, 규격 등의 시험내용과 시험용 장비 등을 선정하여 표 4.2의 예와 같이 수립하고 시험을 위한 시험평가 장비를 구성한다.

표 4.2 IF 데이터레코더 시험평가 항목별 시험 내용 (예)

시험 항목	시험 내용	시험장비
인터페이스	- 데이터 입력 포트 70MHz IF 입력 1채널, SMA F - 기준클럭 입력 포트 10MHz 1채널, SMA F	신호발생기 스펙트럼분석기
주파수 및 대역폭	- 중심주파수 70MHz - 최대 입력 대역폭 40MHz - 대역폭 선택기능 1/5/10/20/40MHz	
녹음 해상도	16bit	
녹음파일 형식	원시데이터 (RF/IF Binary)	
저장용량	4TB	
제어프로그램	신호의 저장 및 재생/분석	

IF 데이터레코더를 시험하기 위해서는 그림 4.4와 같이 IF 신호를 모의할 수 있는 신호 발생기, IF 신호를 실시간으로 출력할 수 있는 스펙트럼 분석기 등의 계측장비가 필요하다. 신호발생기의 신호는 RF 분배기를 통해 스펙트럼 분석기와 IF 데이터레코더로 입력된다. IF 데이터레코더를 통해 신호의 저장, 재생, 분석이 가능하며, 장비의 출력과 스펙트럼 분석기의 출력을 비교하여 신호가 정상적으로 저장되었는지 확인할 수 있다.

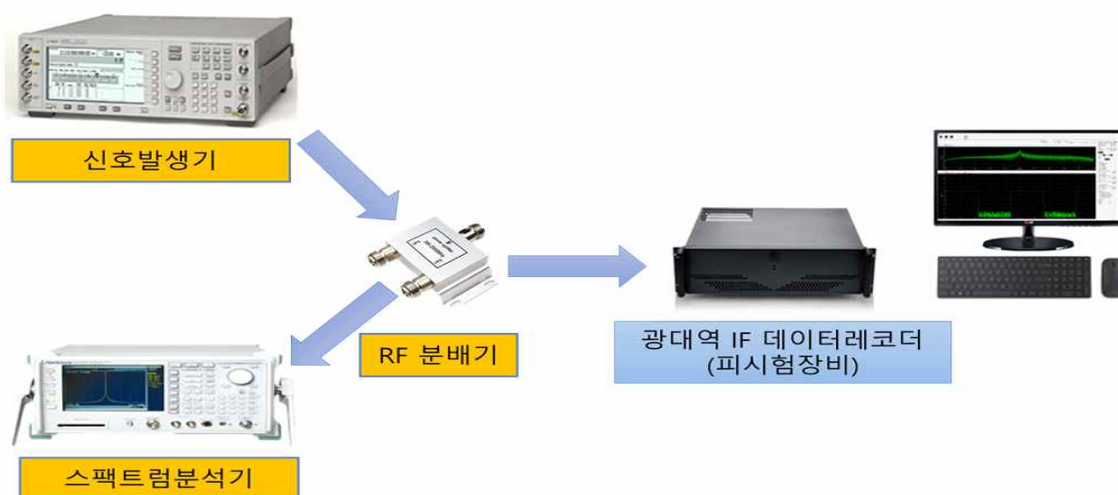


그림 4.4 IF 데이터레코더 시험평가 장비 구성 (예)

시험평가 절차는 다음과 같다.

- 1) 피시험장비의 외형과 크기, 입출력 포트 등 물리적 검사를 실시한다
- 2) 피시험장비에 전원을 공급한다
- 3) 피시험장비에 모니터, 키보드, 마우스를 연결한다
- 4) 신호발생기를 RF 분배기에 연결한다
- 5) 스펙트럼분석기를 RF 분배기에 연결한다.
- 6) RF분배기와 피시험장비를 연결한다.
- 7) 피시험장비의 제어프로그램을 통해 신호를 저장하고 출력한다.
- 8) 3TB 데이터 저장용량을 확인한다.

3절. 비행후 데이터처리시스템

비행후 데이터처리시스템(PDPS, Post-flight Data Processing System)은 탑재계측과 지상계측으로 부터 획득한 비행시험 데이터를 데이터 처리기로부터 제공 받아 이를 가공하여 비행시험 결과를 검토할 수 있도록 데이터 산출물을 생성하는 시스템을 말한다. 그림 5.1은 비행시험 데이터의 흐름을 나타낸 것으로 탑재계측시스템에서 획득된 데이터가 지상계측시스템을 거쳐서 비행후 데이터처리시스템으로 이동하면서 필요한 자료를 생성하는 과정을 보여주고 있다.

1. 비행후 데이터처리시스템 개요

비행후 데이터처리시스템은 처리할 데이터의 양과 시스템 간의 호환성, 운영 및 유지 보수 작업으로 인한 시스템 간섭의 최소화, 시스템 업그레이드, 부품 교환 및 확장성을 고려해야 한다. 또한 시스템의 제어는 GUI를 사용하여 편리하게 운용되도록 구축해야 한다.

일반적으로 비행후 데이터처리시스템은 다음 3개의 서브시스템으로 구성된다.

- 1) 네트워크 파일서버 시스템(NFSS, Network File Server System)
 - 비행시험 Raw 데이터 및 결과물 저장, 웹 서버 기능 수행
- 2) 생성물 처리시스템(PPS, Product Processing System)
 - 데이터처리 소프트웨어를 운영자가 요청하는 데이터 결과물을 처리하는 시스템
- 3) 보조장비(AE, Auxiliary Equipment)
 - 무정전 전원공급장치(UPS), 스위칭 허브, 프린터 등 주변장치

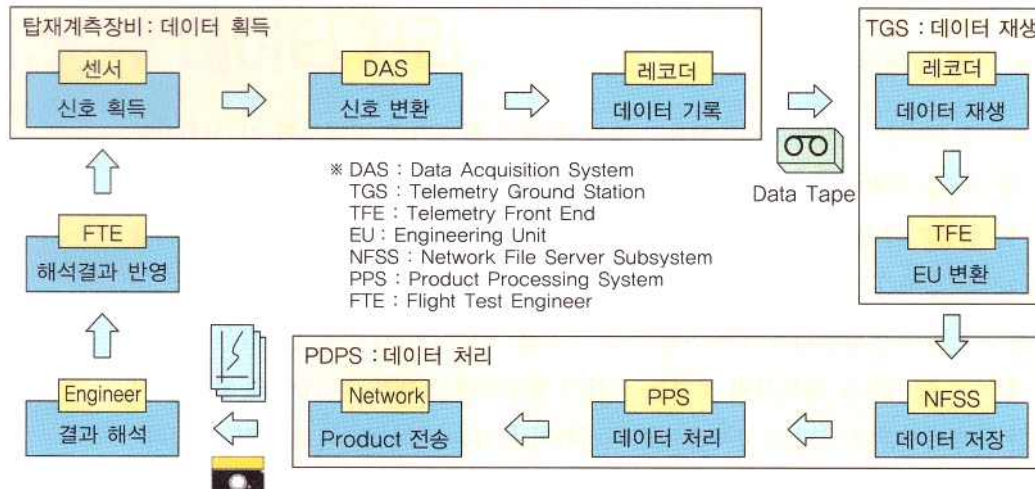


그림 4.5 비행시험 데이터의 흐름도

가. 네트워크 파일서버 시스템

서버는 근거리통신망에서 집약적인 처리기능을 서비스하는 시스템으로 프린터 제어나 파일관리 등 네트워크 전체를 감시 및 제어한다. 또한 메인프레임이나 공중망을 통한 다른 네트워크와의 연결, 소프트웨어 자원(데이터, 프로그램 및 파일) 및 하드웨어 자원(모뎀, 팩스, 프린터 및 기타 장비)을 공유할 수 있도록 보조하는 역할을 한다.

일반적으로 네트워크 파일서버 시스템은 데이터 처리에 있어 가장 중요한 서버로 TGS로부터 다운받은 EU DATA 파일을 저장하며, 저장된 EU DATA를 처리하는 PPS장비와 네트워크 스위칭 허브와 연결되어 데이터를 처리할 수 있도록 구성되었다.

T-50의 경우 1회 비행시험에 대하여 비행 후 생성된 데이터는 실시간 데이터(4~5GB)와 항공기에 저장된 데이터(6~8GB)로 데이터를 저장하고 관리할 수 있도록 네트워크 파일서버 시스템은 아래와 같이 구성 및 운영되었다.

- NFSS는 보안인증을 거친 근거리통신망으로부터 데이터베이스 접근을 허락한다.
- NFSS는 Microsoft Windows NT 서버시스템으로 운영되고 데이터 전송은 10/100 Base-T Ethernet을 사용한다
- NFSS는 Microsoft Windows NT 서버시스템으로 운영되고 데이터 전송은 10/100 Base-T Ethernet을 사용한다.
- NFSS는 정기적인 데이터 복구 및 고장을 대비한 시스템 복구를 위해 백업시스템 장치를 설치 및 운영한다.
- NFSS 시스템 운영시 관리자에 의하여 매회 PDPS 시스템 파일, 응용 소프트웨어

어, 데이터베이스 파일 및 중요한 파일의 백업을 실시한다.

다음 항목들은 T-50에 적용된 NFSS 구성의 최소 필요사양으로, 시스템 성능 향상 필요시 재구성될 수 있다.

- Pentium III 500 MHz Dual CPU
- 1 GHz Main Memory
- 586 GB RAID (Redundant Array of Inexpensive Disk) Storage
- FDD, CD-ROM
- 10/100 BaseT Ethernet Adaptor
- 1280 × 1024 Graphics Board
- 21 inch Monitor
- DLT(Digital Linear Tape) Drive(Ultra Wide SCSI급 전송속도)
- Windows2000 Server(MS-SQL 2000 DataBase)

비행 후 생성되는 대용량 데이터 처리의 빠른 연산과 데이터베이스의 연동을 위하여 Dual CPU와 1GHz 메인메모리로 구성되었다. 그리고 대용량 데이터의 접근속도와 데이터 보존 신뢰를 높이기 위해 하드디스크를 병렬로 연결하여 사용하는 기법인 RAID 방식을 채택하여 사용하고 있다. 또한 NFSS의 저장공간의 제약으로 데이터의 백업 수행을 위하여 고속 대용량의 데이터 저장과 검색 시 특수 압축 알고리즘을 사용한 DLT 장치와 연결하도록 DLT Drive가 장착되어 있다. 이는 컴퓨터와 주변장치들을 연결하는 인터페이스 규격의 일종으로, 주변장치의 연결과 분리가 쉽고 데이터의 전송속도도 매우 빠르다.

나. 생성물 처리 시스템

생성물 처리 시스템(PPS, Product Processing System)은 실질적인 비행 후 생성된 Raw 데이터를 해석 엔지니어들이 데이터를 분석할 수 있도록 EU(Engineering Unit) 데이터로 생성하는 시스템으로 데이터 처리 소프트웨어가 설치되어 있다.

PPS는 프로세싱 워크스테이션, DAT(Digital Audio Tape) 드라이브 및 CD-RAW 등으로 구성된다.

프로세싱 워크스테이션은 Ethernet을 통하여 네트워크 파일서버와 통신 및 데이터를 처리하는 시스템이다.

DAT 드라이브는 프로세싱 워크스테이션 2대에 연결되어 네트워크 파일서버의 DLT

드라이브와 같이 각종 EU File 및 PPS 시스템 파일들을 백업할 수 있도록 구성되어 있다.

CD-RAW가 장착된 프로세싱 워크스테이션은 Ethernet으로 연결되어 있으며, 저용량의 각종 파일들을 CD에 저장하여 엔지니어에게 전달한다.

T-50 비행시험에서는 5대의 클라이언트 시스템을 구축하여 데이터 처리뿐만 아니라 저용량의 백업 시스템 및 네트워크 사용 불능 시 데이터를 전달하기 위한 CD-Writer를 장착하여 사용하였다. 다음 항목들은 T-50에 적용된 PPS 구성의 최소 필요사양이며, 시스템 성능 향상 필요시 업데이트할 수 있게 구성되었다.

- Pentium III 500MHz Dual CPU
- 256 MB Main Memory
- 40 GB HDD
- FDD, CD-ROM
- DAT Drive
- 10/100 BaseT Ethernet Adaptor
- 1280 × 1024 Graphics Board
- 21 inch Monitors
- Windows2000 Professional 이상

DAT는 아날로그 방식인 기존 카세트 녹음기에 비하여 크기는 절반 정도에 불과 하지만 디지털 방식으로 녹음, 재생하며, 녹음할 때 회로 등에서 잡음이 전혀 생기지 않고 완벽하게 음을 기록할 수 있는 장치이다. 소용량의 데이터를 저장하기 위한 DDS(Digital Data Storage; DAT를 사용하기 위한 기록 포맷)를 사용하기 위해 DAT 드라이브를 설치하고 운영하였다. PPS는 실질적인 비행 데이터를 처리하는 시스템으로, 데이터 처리속도를 높이기 위해서 다음과 같은 방법으로 PPS를 확장 및 업그레이드할 수 있다.

- Main Memory 업그레이드
- 시스템 추가

비행시험에서 데이터 처리의 궁극적인 목적은 해석 엔지니어에게 다양한 데이터를 신속하고 정확하게 전달하는 것이다. 이를 위해서는 PPS의 Main Memory 업그레이드로 데이터 처리속도를 높일 수 있으며, PPS 최소사양에 해당하는 클라이언트 시스템을 추

가하여 처리할 데이터를 분산함으로써 데이터 처리속도를 높일 수 있다. T-50에서는 다수의 비행시험과 대용량의 데이터를 처리하기 위해 두 번째 방법인 클라이언트 시스템을 추가하여 총 10대의 PPS로 구성하여 처리하였다.

2. 비행후 데이터처리시스템 시험평가 항목

비행후 데이터처리시스템의 요구도는 시스템의 시험 능력 확장과 기술추세를 종합하여 소형 비행기 시험에서는 현 요구도를 시용하며 차기 중형 여객기 시험에서는 기술 발전 수준과 데이터 처리량을 고려하여 요구도로 발전시키는 것이 타당하다고 판단된다.

표 4.3 비행후 데이터처리시스템 요구도 (안)

구분	현 요구도	차기(중형급 비행기) 요구도
메모리	32 GB	64 GB
저장장치	15 TB Raid	30 TB Raid
Import 형태		Chapter 10, Proprietary
Export 형태	Matlab CSV/Excel/ Proprietary	Matlab CSV/Excel/ Proprietary, Binary, ASCII, 영상, 음성데이터
접속자 수	15명 이상	20명 이상
사용자 개발 툴 제공		제공
영상분석 툴 제공		제공
2D/3D 가상현실 제공		제공
네트워크 제공		제공

표 4.4 비행후 데이터처리시스템 시험평가 항목 (예)

순서	시험항목
1	메모리
2	저장장치
3	Import 형태
4	Export 형태
5	접속자 수
6	사용자 개발 툴
7	영상분석 툴
8	2D/3D 가상현실
9	분석 기능
10	네트워크

비행후 데이터처리시스템 시험평가를 위한 항목으로 메모리, 저장장치, Import 형태, Export 형태, 접속자 수, 사용자 개발 툴, 영상분석 툴, 2D/3D 가상현실, 네트워크 등을 포함하여 표 4.4의 예와 같이 제시한다.

3. 비행후 데이터처리시스템 시험평가 계획 및 시험절차서

표 4.5 비행후 데이터처리시스템 시험평가 항목별 시험 내용 (예)

순서	시험항목	시험내용(종류, 범위, 규격)	시험용장비
1	메모리	64 GB	
2	저장장치	30 TB Raid	
3	Import 형태	Chapter 10, Proprietary	
4	Export 형태	Matlab CSV/Excel/ Proprietary, Binary, ASCII, 영 상, 음성데이터	신호발생기 시험용컴퓨터
5	접속자 수	20명 이상	
6	사용자 개발 툴	제공 기능	시험용 컴퓨터
7	영상분석 툴	제공 기능	시험용 컴퓨터
8	2D/3D 가상현실	제공 기능	시험용 컴퓨터
9	분석 기능	제공 기능	시험용 컴퓨터
10	네트워크	제공 기능	시험용 컴퓨터

비행후 데이터처리시스템 시험평가 계획은 항목별 종류, 범위, 규격 등의 시험내용과 시험용 장비 등을 선정하여 표 4.5의 예와 같이 수립하고 시험을 위한 시험평가 장비를 구성한다. 비행후 데이터처리시스템을 시험하기 위해서는 그림 3.3과 같이 피시험장비의 입력단에는 데이터수집기에서 전송하는 데이터를 모의할 수 있는 신호 발생기를 연결하고, 출력단에는 시험용 컴퓨터, 주파수 카운터를 연결한다. 시험용컴퓨터는 비행후 데이터처리시스템에 제어명령을 보내고 데이터 입력과 출력 명령을 주거나 출력신호를 분석하는 기능을 가져야 한다. 주파수카운터는 필요시 데이터 전송속도를 시험할 때 사용된다.



그림 4.6 비행후 데이터처리시스템 시험평가 장비 구성 (예)

시험평가 절차는 다음과 같다.

- 1) 피시험장비(D-20d 상위급)의 외형과 크기, 입출력 포트 등 물리적 검사를 실시한다.
- 2) 피시험장비에 전원을 공급한다.
- 3) 시험용 컴퓨터를 연결한다
- 4) 피시험장비와 시험용컴퓨터를 이더넷, 또는 USB 인터페이스로 연결한 후 상호 연동을 확인한다.
- 5) 신호발생기를 연결한다.
- 6) 주파수 카운터를 연결한다.
- 7) 신호발생기에서 40 Mbps 신호를 입력한다.
- 8) 주파수 카운터 또는 시험용 컴퓨터에서 데이터 전송속도를 측정한다.
- 9) 데이터 저장용량을 확인한다.

5장. IF/RF 광대역 및 고속 데이터 저장기술 연구개발

1절. 광대역 IF 데이터레코더 개요

비행시험 계측시스템의 지상계측시스템에는 PCM 데이터를 저장하는 데이터레코더가 구축된다. PCM 데이터레코더는 실시간적으로 처리해야할 비행시험의 일부 데이터만을 데이터 프로세서를 통해 처리하고 저장하게 된다. 비행시험 분석에 있어서 긴급하지는 않지만 상세하게 분석할 필요가 있는 데이터가 많이 있다. 이를 저장하여 상세히 분석하기 위해서는 원천데이터(IF/RF)를 그대로 저장할 필요가 있다. 비행시험 시 예기치 않은 사고에 의해 탑재 저장장치에 수록된 상세 비행정보를 잃어버릴 수 있어 사고의 원인에 대한 분석의 어려움이 생길 수 있다. 따라서 실시간으로 전송되는 데이터를 RF 또는 IF의 원천자료 형태로 저장해야 함은 매우 중요하다.

RF 신호는 주파수가 너무 높아 IF 신호로 down하여 저장하고 동시에 AGC 신호를 저장한다. IF 신호를 재생할 때, 기록된 AGC 신호를 참조하여 RF 신호를 재현할 수 있다. 이 재생 신호는 실 시험이 없을 때 시스템 점검이나 교육 또는 연습용으로도 사용할 수 있다. 교육이나 연습을 위해 비행체를 띄운다는 것은 비용적인 측면에서 상당히 비효율적이다. 특히 로켓 같은 경우는 전체 지상 장비의 운용 교육을 위하여 로켓을 쏠 수는 없다. 이와 같이 무선 전송 신호를 얻기 위한 전송 시스템이나 시뮬레이터가 없을 경우, 이미 기록된 신호를 재생하여 시뮬레이션 신호로 사용할 수 있다는 것이 IF/RF 저장의 또 다른 필요성이다. 당과제의 구축 목표는 경비행기에 대한 비행시험 계측시스템의 구축이다. 그러나 향후 국내 항공기 개발 발전추세에 따라 중형 이상의 항공기에 대한 비행시험 계측시스템으로의 진화가 필요하게 될 것이다. 이에 따라 시험데이터 증가에 의한 광대역화 발전 추세가 될 것이며 IF/RF 원시데이터 저장을 위해 광대역(40MHz이상의 대역폭)처리가 가능해야할 것이다.

아래 그림은 비행시험 계측시스템에서의 IF 데이터레코더의 위치를 보여 준다. 비행 시험 데이터는 탑재된 송신기로부터 지상계측시스템으로 송신되고 수신안테나로 수집된 RF 신호는 수신기를 거치며 IF신호로 하향 변환 되어 IF 데이터 레코더에 디지털형태로 저장된다. 저장된 IF 데이터는 비행후 데이터처리시스템 등에 의해 분석 활용된다.

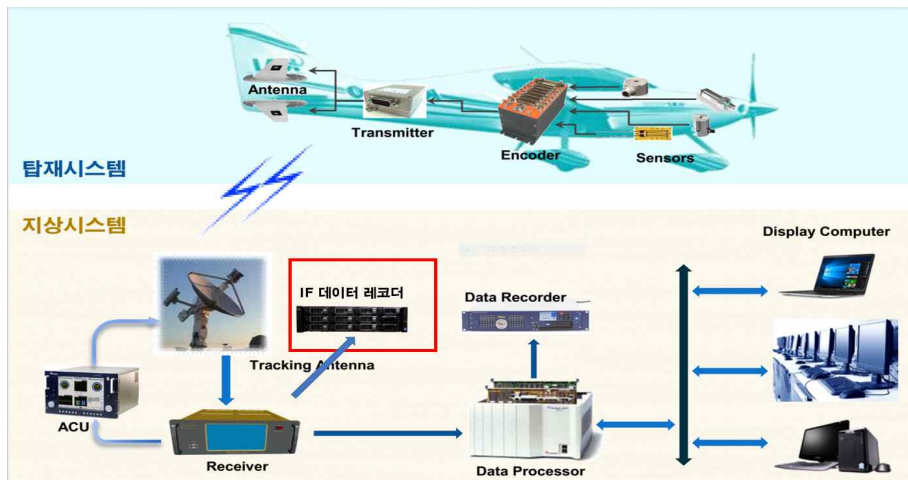


그림 5.1 광대역 IF데이터 레코더 위치

IF 데이터를 수신기로 부터 수집하여 디지털화하고 저장하는 일반적인 개념은 다음 그림과 같다. 수신기로부터 RF신호를 70MHz의 IF신호로 하향 변환하여 전달된 IF신호를 Analog신호 입력모듈을 통해 수집하고 아날로그 신호처리부의 Analog Digital Converter(ADC)를 통해 디지털화 한다. 이를 대용량 디지털 신호처리부(FPGA)를 거쳐 I/Q데이터 등으로 생성하여 데이터 처리부의 스토리지에 저장한다. 저장된 I/Q데이터를 운용자는 필요시 재생하고 분석할 수 있다.

기존 대부분의 IF 데이터레코더는 20MHz의 협대역을 처리하였지만, 비행기 개발의 발전에 따라 비행시험에 필요한 시험항목과 데이터가 대용량화됨에 따라 광대역의 대역폭이 필요하게 됨에 따라 70MHz IF 데이터를 40MHz의 대역폭으로 광대역화 되고 있다. 군사적으로 사용되는 전자파 스펙트럼 분석 분야에서는 40GHz까지의 주파수를 전파하는 레이더들이 발전하게 됨에 따라 160MHz(80MHz 대역폭), 1GHz(500MHz의 대역폭) 등으로 광대역화하고 있는 추세다.

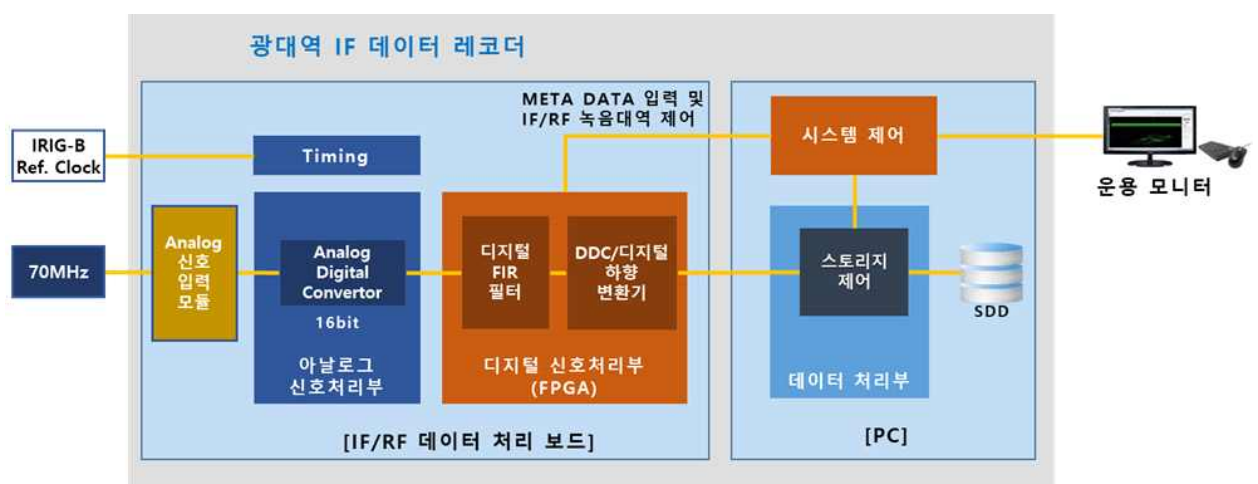


그림 5.2 광대역 IF 데이터레코더 개념도

2절. IF/RF 광대역 및 고속 데이터 저장기술 개발

3차년도에는 2차년도에 제작한 IF/RF 데이터 처리 보드를 제어할 수 있는 시스템 제어부의 개발과 데이터 처리 보드로 부터 송신되는 데이터를 저장매체에 안정적으로 저장하기 위한 인터페이스 선정, 그리고 인터페이스를 통해 전송된 데이터를 고속으로 저장할 수 있는 저장매체의 선정하였다. 또한 이렇게 선정된 데이터 처리부를 제어하기 위한 스토리지 제어부를 개발하였다.

1. 데이터 처리부

가. IF/RF 고속 데이터 처리 보드의 인터페이스 선정

2차년도에는 광대역의 IF 신호를 처리하기 위해서 고성능의 IF/RF 고속 데이터 처리 보드를 제작하였다. 이렇게 제작된 보드를 PC 메인보드와 연결하기 위해 대용량의 데이터를 고속으로 전송할 수 있는 인터페이스의 선정이 필요하다.

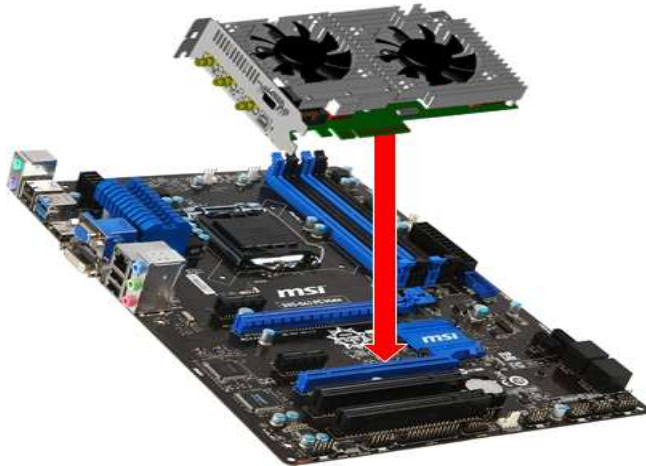


그림 5.3 IF/RF 고속 데이터 처리 보드의 인터페이스 선정

인터페이스를 선정하기 위해서 먼저 보드에서 처리되는 데이터의 양을 산출한다. 데이터는 원시데이터의 형태로 저장되며, CPU의 Clock, Data Width, Decimation에 의해 처리 데이터의 양이 결정된다.

IF/RF 고속 데이터 처리 보드에서 생성되는 원시데이터는 최대 1.589Gb/s (=198.625MB/s)이다. 이러한 대용량의 데이터를 IF/RF 고속 데이터 처리보드로부터 PC로 전송하기 위해 PCI-e 2.0 인터페이스(4.00GB/s 까지 지원)를 선정하였다.

표 5.1 IF/RF 고속 데이터 처리보드에서 처리되는 데이터의 양

Band Width (MHz)	Clock (MHz)	Raw Data	
		Data Width	Data Rate (Gb/s)
40	213.333	32	1.589
20	213.333	32	0.795
10	213.333	32	0.397
5	213.333	32	0.199
1	213.333	32	0.050

나. 저장 매체 선정

IF/RF 고속 데이터 처리 보드의 PCI-e 2.0 인터페이스를 통해 대용량의 데이터가 전송될 수 있지만, 이와 같이 전송되는 데이터가 저장되는 저장매체의 쓰기속도 또한 고려되어야 한다.

일반적인 하드디스크(HDD)의 쓰기속도로는 대용량의 데이터를 안정적으로 저장하기는 불가능하다. 따라서 저장매체는 3D NAND 방식 및 SATA3 인터페이스가 적용된 SSD로 선택하였다.



그림 5.4 저장 매체 (SSD)

2. 시스템 및 스토리지 제어부

시스템 제어부는 IF/RF 고속 데이터 처리 보드에 각종 제어 명령을 송신하여, 녹음 대역폭을 선택하거나, 데이터 처리 보드의 상태를 확인한다. 운용자가 GUI를 통해 대역폭 등에 대해 원하는 값을 설정하여 제어 명령을 송신하면, Driver 명령을 통해 데이터 처리보드에 명령이 전달되고, 데이터 처리보드의 상태정보를 요청시에는 응답으로 정상 작동 유무 등의 ADC 보드 정보를 수신한다.

스토리지 제어부는 IF/RF 고속 데이터 처리 보드를 통해 처리되는 데이터를 저장매체에 원활하게 저장되도록 한다. 제어부의 녹음 시작 명령을 통해 일련의 녹음 과정이 시작되며, 데이터 처리 보드로부터 송신되는 데이터를 파일 형태로 SSD에 안정적으로 저장한다.

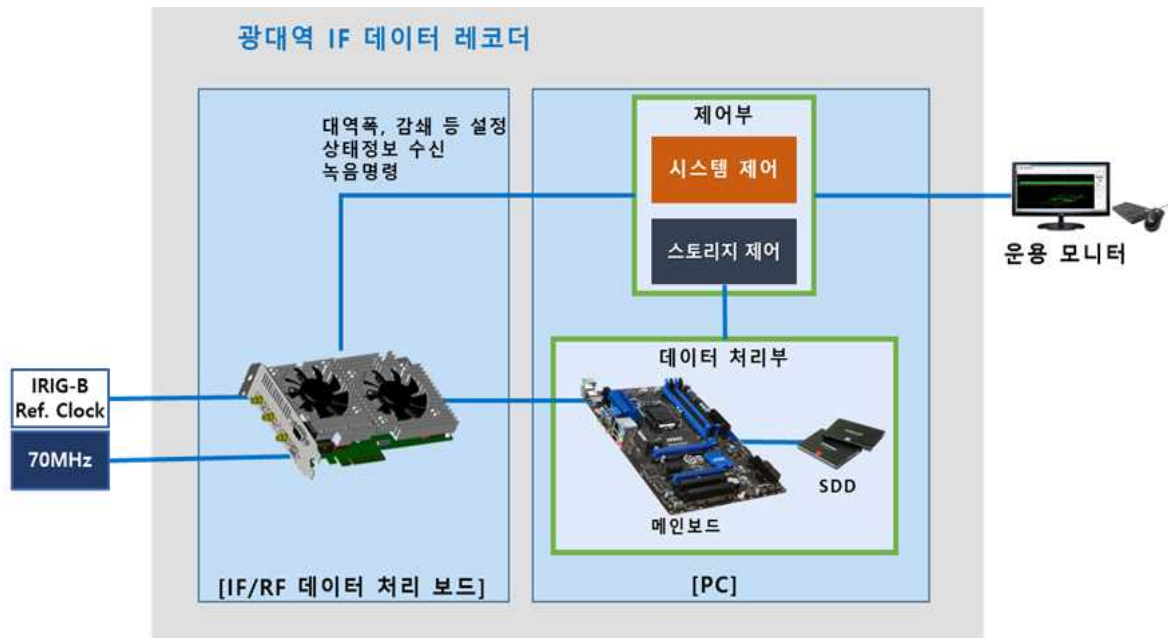


그림 5.5 시스템 및 스토리지 제어부

3절. 광대역 IF 데이터레코더 검증 방안

1. 광대역 IF 데이터레코더 시제품 개발

2차년도에서 수행한 ‘IF/RF저장을 위한 고속데이터 처리기술 연구개발’의 결과물인 고속데이터 처리 IF/RF 신호처리보드와 3차년도 전반부에 걸쳐 수행한 ‘IF/RF 광대역 및 고속 데이터 저장기술 연구개발’의 결과로 개발된 데이터처리보드, 그리고 이를 운용하기 위한 운용자 GUI를 개발하여 하나의 시스템으로 integration하여 광대역 IF데이터 레코더의 시제품을 제작하였다. 2차년도에는 RF신호를 수신하는 아날로그 신호 입력 모듈, 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 아날로그 신호처리부, 디지털 FIR 필터 및 디지털 하향 변환기를 통해 분석할 수 있는 데이터의 형태로 가공하는 디지털 신호처리부를 포함하여 하나의 보드 형태로 된 IF/RF 광대역 데이터 처리 보드를 제작하였다. 3차년도에는 이 보드를 제어할 수 있는 시스템 및 스토리지 제어부를 개발하고, 처리되는 데이터를 저장할 수 있는 데이터 처리부 및 저장매체를 선정하였다. 또한, 운용 및 분석을 위한 운용자 인터페이스를 GUI상에 개발하였다.

이렇게 완성된 광대역 IF 데이터 레코더 시제품의 형상은 아래 그림처럼 서버(19인치 랙타입, 3U)이다. 3차년도 후반부는 시제품을 이용하여 광대역 IF 데이터 레코더의 활용 방안에 대한 연구에 활용한다.



그림 5.6 광대역 IF 데이터레코더 시제품 형상

가. 제어 및 운용

운용자 GUI(Graphic User Interface)의 제어 및 운용 화면에서는 IF/RF 고속 데이터 처리 보드를 제어하여 IF 신호를 저장 조건을 설정하고 신호 저장 기능을 수행한다. GUI를 통해 대역폭과 기준 클럭(외부/내부)을 설정하고, 효율적인 데이터의 저장을 위해 보드의 메모리 처리 단위를 설정할 수 있으며, 녹음 시간 또는 저장할 메모리 블록 개수를 설정한 후에 IF 신호의 저장을 수행할 수 있다.

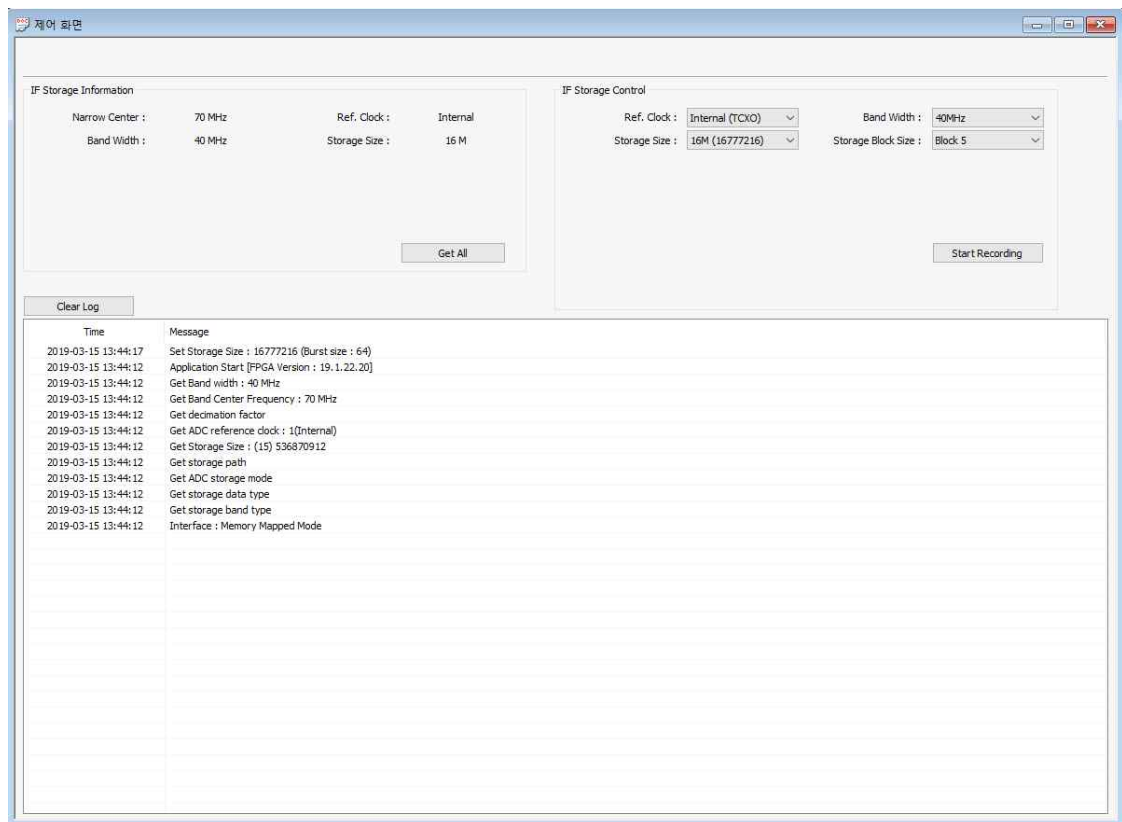


그림 5.7 운용자 GUI의 제어 및 운용 화면

나. 신호 전시

운용자 GUI의 신호전시는 데이터 전시 화면과 스펙트럼 전시 화면으로 구성된다. 이 기능을 통해 녹음 완료된 IF 파일을 재생한다. IF 신호의 재생은 원시데이터 전시와 스펙트럼(Spectrum) 전시가 있다. 원시데이터 전시는 저장된 원시데이터의 값을 그대로 화면으로 출력하는 것이고, 스펙트럼 전시는 주파수 도메인에서의 신호를 전시한 것이다.

1) 원시데이터 전시 화면

IF 파일의 데이터 전시화면은 저장된 원시데이터를 재생하여 표현한다. 원시데이터는 I데이터와 Q데이터로 구성되며, 하나의 화면에서 각각의 데이터를 선택하여 표현할 수 있으며, 아래와 같은 예로 출력할 수 있다.

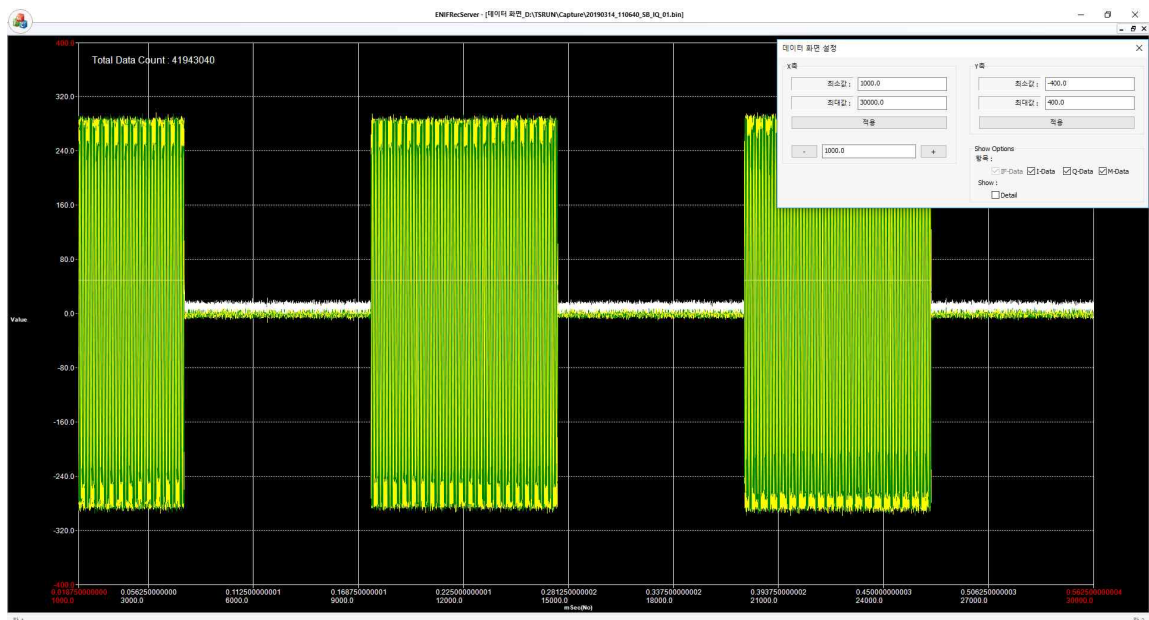


그림 5.8 데이터 전시 화면

2) 스펙트럼 전시 화면

IF 파일의 스펙트럼 전시화면은 시간대별로 녹음된 신호의 흐름을 볼 수 있다. 스펙트럼화면과 진폭 전시화면을 함께 볼 수 있으며, 아래와 같은 예로 출력할 수 있다.

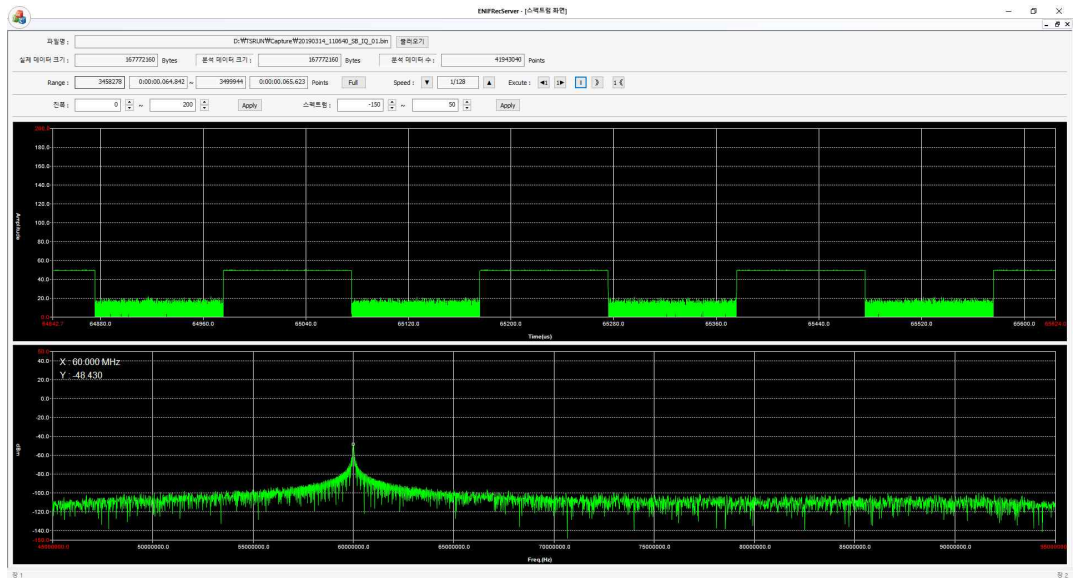


그림 5.9 스펙트럼 전시 화면(펄스 신호)

2. 광대역 IF 데이터레코더 시험평가 항목

표 5.2 광대역 IF 데이터레코더 시제품 시험평가 항목 및 규격

항목	규격
입력 중심 주파수	70MHz
최대 입력 대역폭	40MHz
데이터 입력포트	70MHz IF 입력 1 채널 , SMA F
기준클럭 입력 포트	10MHz 기준 클럭 입력 1 채널 , SMA F
녹음 대역폭 선택	1/5/10/20/40MHz
녹음 해상도	16bit
녹음파일 형식	원시데이터 (RF/IF Binary)
저장용량	4TB
GUI 소프트웨어	저장 - 저장/삭제/재생, 실시간 상태 정보제어 , 제어 및 운용 재생 - 스펙트럼/진폭 그래프
크기	19 인치 랙타입 , 3U , 430mm (W) x 400mm (D) x 132(H)

3. 광대역 IF 데이터레코더 시험절차서 및 검증 결과

가. 입력 중심 주파수 및 최대 입력 대역폭 검증

최대입력 대역폭은 40MHz이고, 이를 검증하기 위해, 50MHz~90MHz의 구간을 10MHz 간격으로 측정한다. 신호발생기를 통해 장비로 신호를 입력하여, 신호를 저장하고, GUI의 스펙트럼 화면 출력을 통해, 입력된 신호가 정상적으로 저장되었음을 검증한다.

㉠ 장비 및 GUI 설정

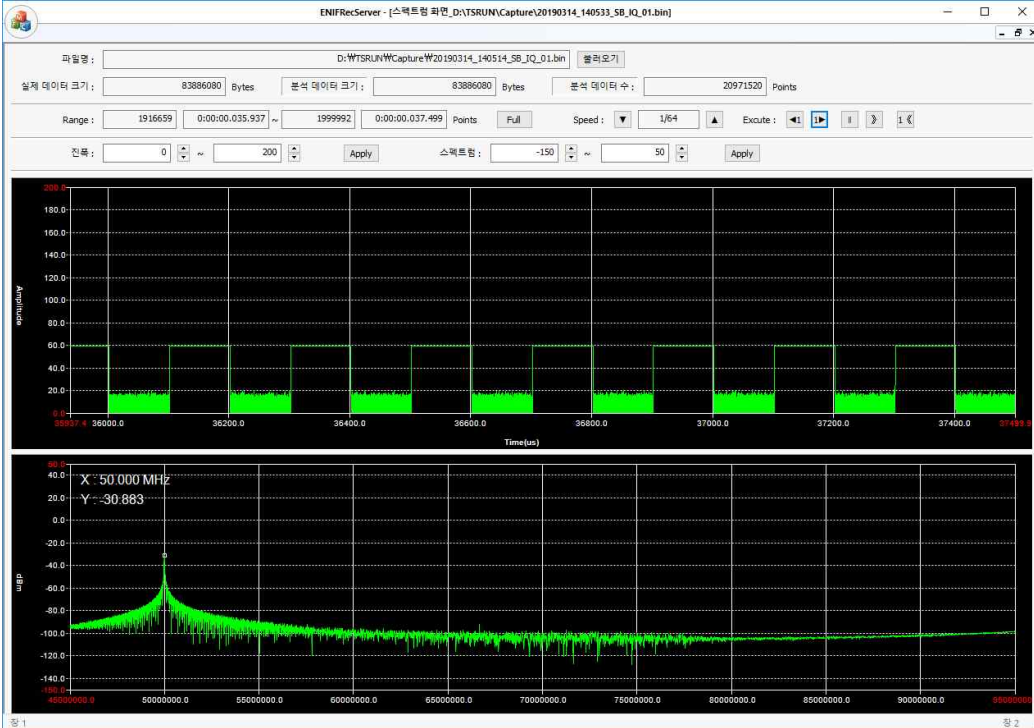
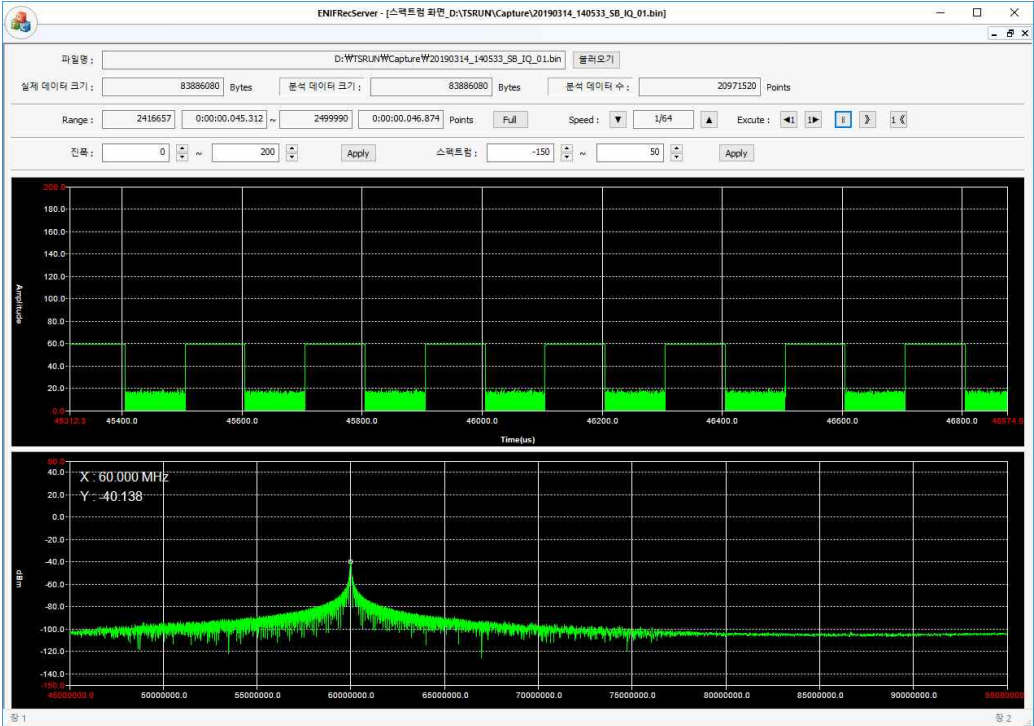
- 신호발생기 : 주파수 50~90MHz, 진폭 -20dBm
- 광대역 IF 데이터 레코더 : 대역폭 40MHz

㉡ 시험 절차

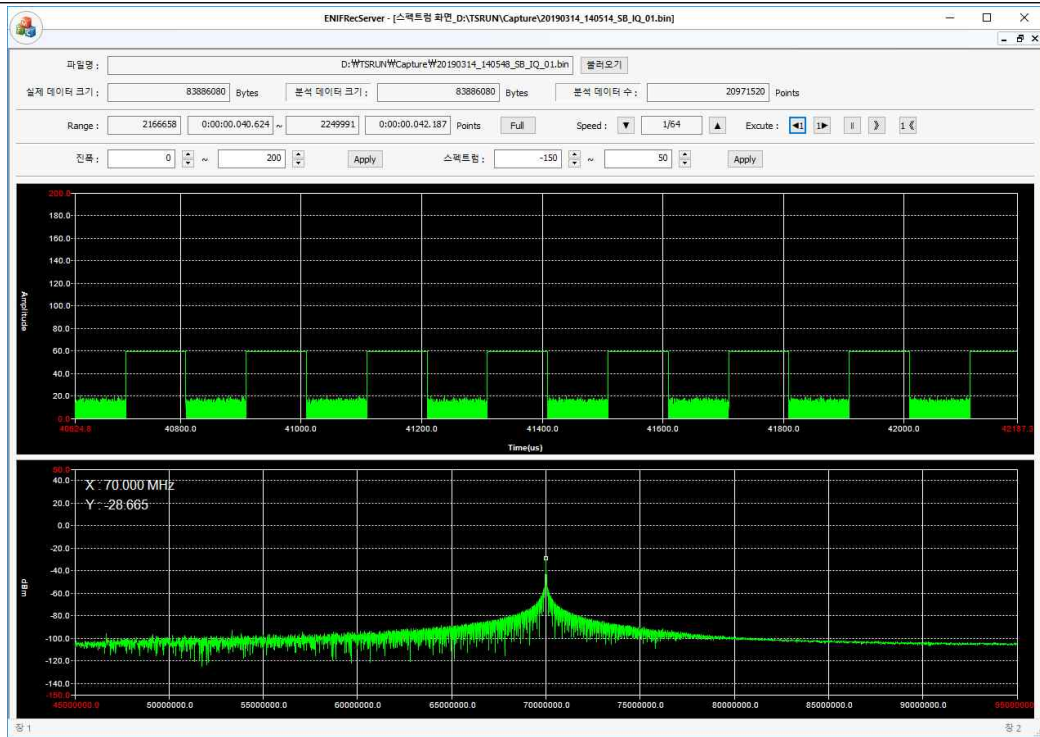
- 신호발생기의 출력과 광대역 IF 데이터 레코더의 입력을 RF 케이블로 연결한다.
- 장비 설정값에 따라 운용자 GUI의 대역폭을 설정한다.
- 대역폭을 설정 후 저장명령으로 해당 IF 신호를 저장한다. 입력신호는 50MHz, 60MHz, 70MHz, 80MHz, 90MHz에 대해 각각 수행한다.
- 신호발생기의 신호와 광대역 IF 데이터 레코더의 스펙트럼 출력을 비교하여, 신호의 저장이 정상적으로 수행되었는지 판단한다.

㉢ 시험 결과

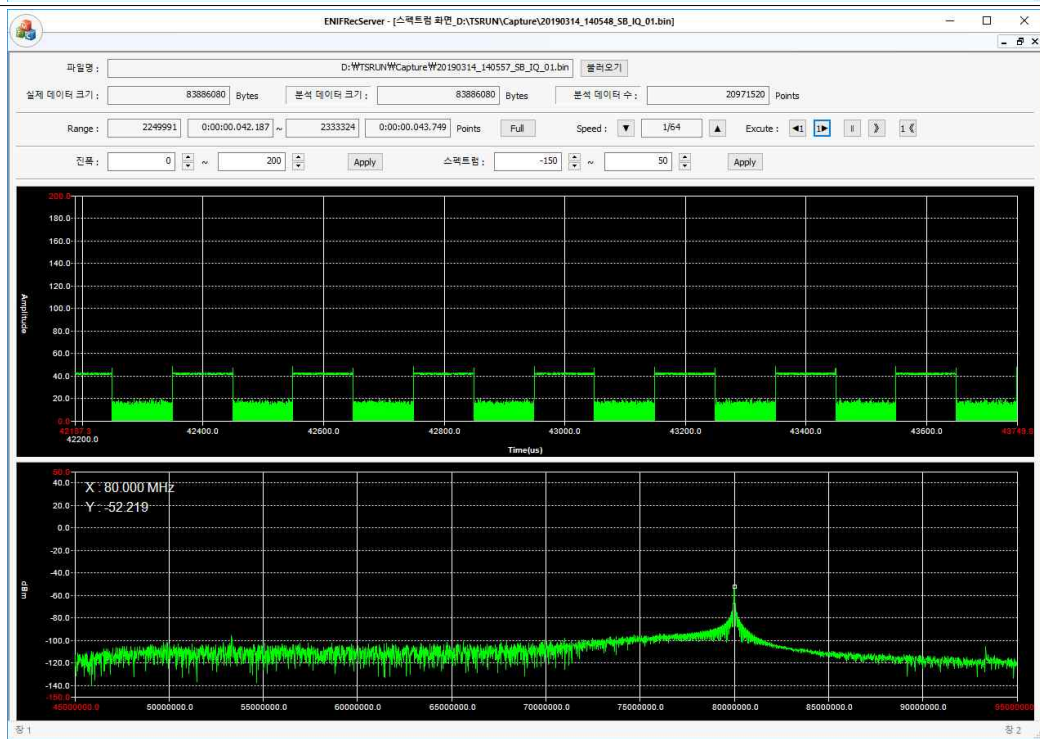
- 50MHz~90MHz 범위에서 신호를 측정하여 정상적으로 출력이 되는 것을 확인하였다. 이를 통해 최대 대역폭 40MHz를 검증하였으며, 해당 대역폭의 중심은 70MHz이므로, 중심주파수가 70MHz인 것을 검증하였다.

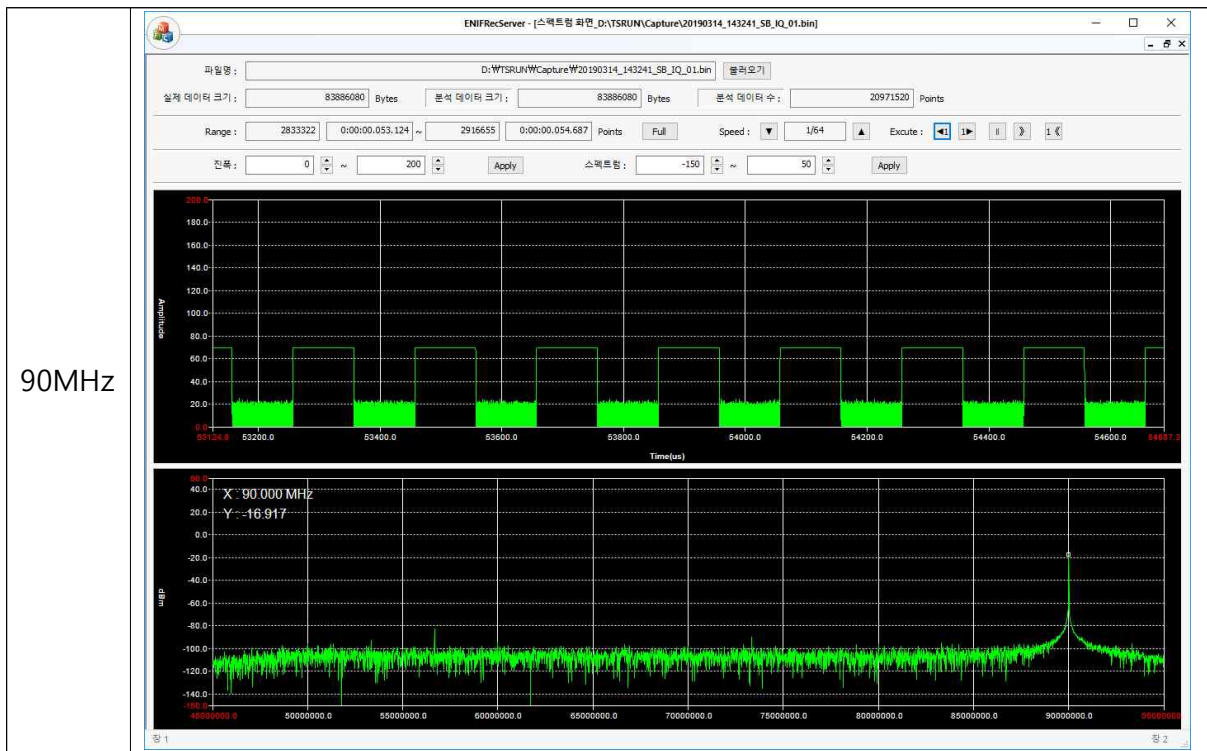
주파수	스펙트럼 전시 결과
50MHz	 ENIFRecServer - [스펙트럼 화면_D:\TSRUN\Capture\W20190314_140533_SB_IQ_01.bin] 파일을: D:\TSRUN\Capture\W20190314_140514_SB_IQ_01.bin 불러오기 실제 데이터 크기: 83886080 Bytes 분석 데이터 크기: 83886080 Bytes 분석 데이터 수: 20971520 Points Range: 1916659 0:00:00.035.937 ~ 1999992 0:00:00.037.499 Points Full Speed: 1/64 Execute: [Buttons] 전북: 0 ~ 200 Apply 스펙트럼: -150 ~ 50 Apply Amplitude vs Time(us) plot showing a periodic signal. dBm vs Frequency plot showing a sharp peak at X: 50.000 MHz, Y: -30.883. 장 1 장 2
60MHz	 ENIFRecServer - [스펙트럼 화면_D:\TSRUN\Capture\W20190314_140533_SB_IQ_01.bin] 파일을: D:\TSRUN\Capture\W20190314_140533_SB_IQ_01.bin 불러오기 실제 데이터 크기: 83886080 Bytes 분석 데이터 크기: 83886080 Bytes 분석 데이터 수: 20971520 Points Range: 2416657 0:00:00.045.312 ~ 2499990 0:00:00.046.874 Points Full Speed: 1/64 Execute: [Buttons] 전북: 0 ~ 200 Apply 스펙트럼: -150 ~ 50 Apply Amplitude vs Time(us) plot showing a periodic signal. dBm vs Frequency plot showing a sharp peak at X: 60.000 MHz, Y: -40.138. 장 1 장 2

70MHz



80MHz





평가

- 최대 녹음대역폭은 50~90MHz의 신호 저장에 가능하므로 대역폭 40MHz를 만족한다.
- 중심주파수는 최대 녹음대역폭의 중간값이 70MHz이므로, 중심주파수 70MHz를 만족한다.

나. 녹음 대역폭 선택 기능 검증

녹음 대역폭 선택 기능의 검증은 선택가능한 녹음 대역폭 각각에 대하여 검증을 수행한다. 각 대역폭에 대한 검증은 최대 대역폭 검증 방식과 동일하게 수행한다. 선택 가능한 대역폭의 종류는 1MHz, 5MHz, 10MHz, 20MHz, 40MHz가 있고 40MHz에 대한 검증은 이미 수행하였으므로 나머지 대역폭에 대해서만 검증을 수행한다.

장비 설정

- 신호발생기 : 각 대역폭 별 최대주파수와 최소주파수, -20dBm
- 광대역 IF 데이터 레코더 : 대역폭 1MHz, 5MHz, 10MHz, 20MHz

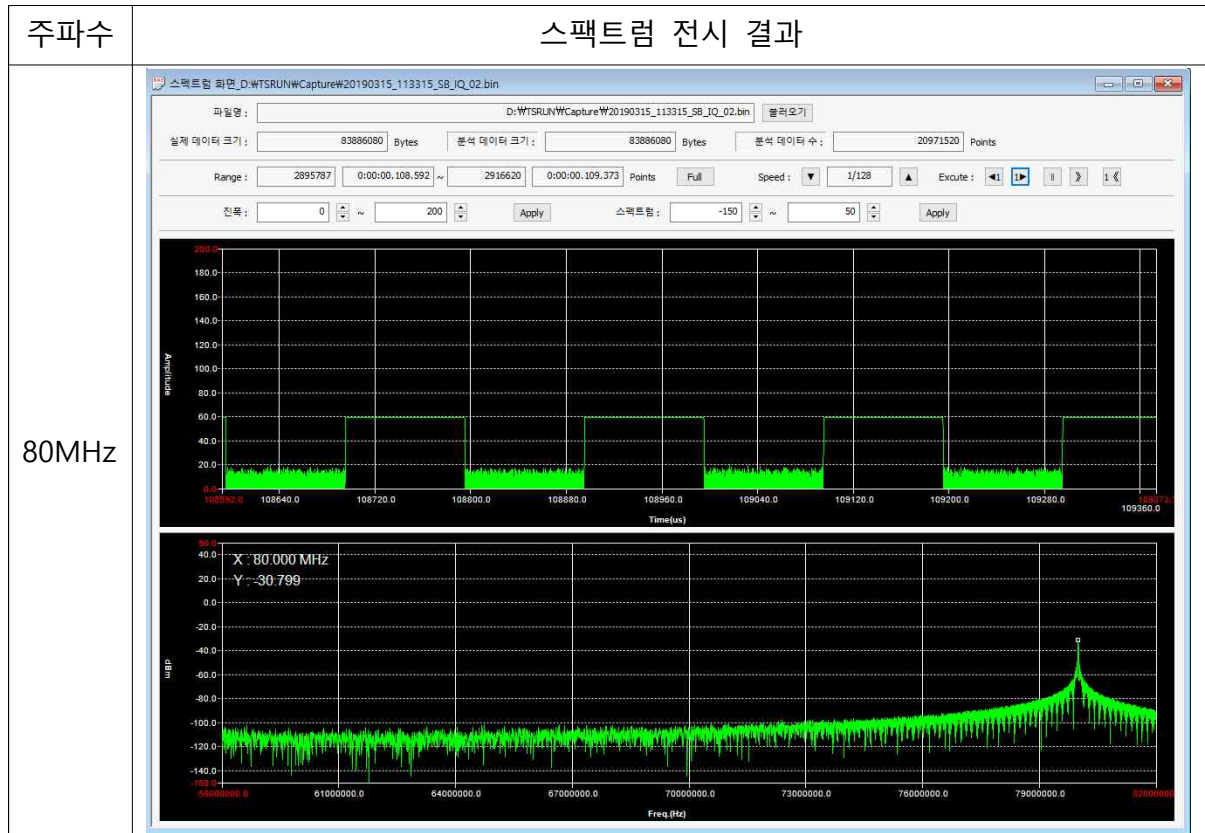
시험 절차

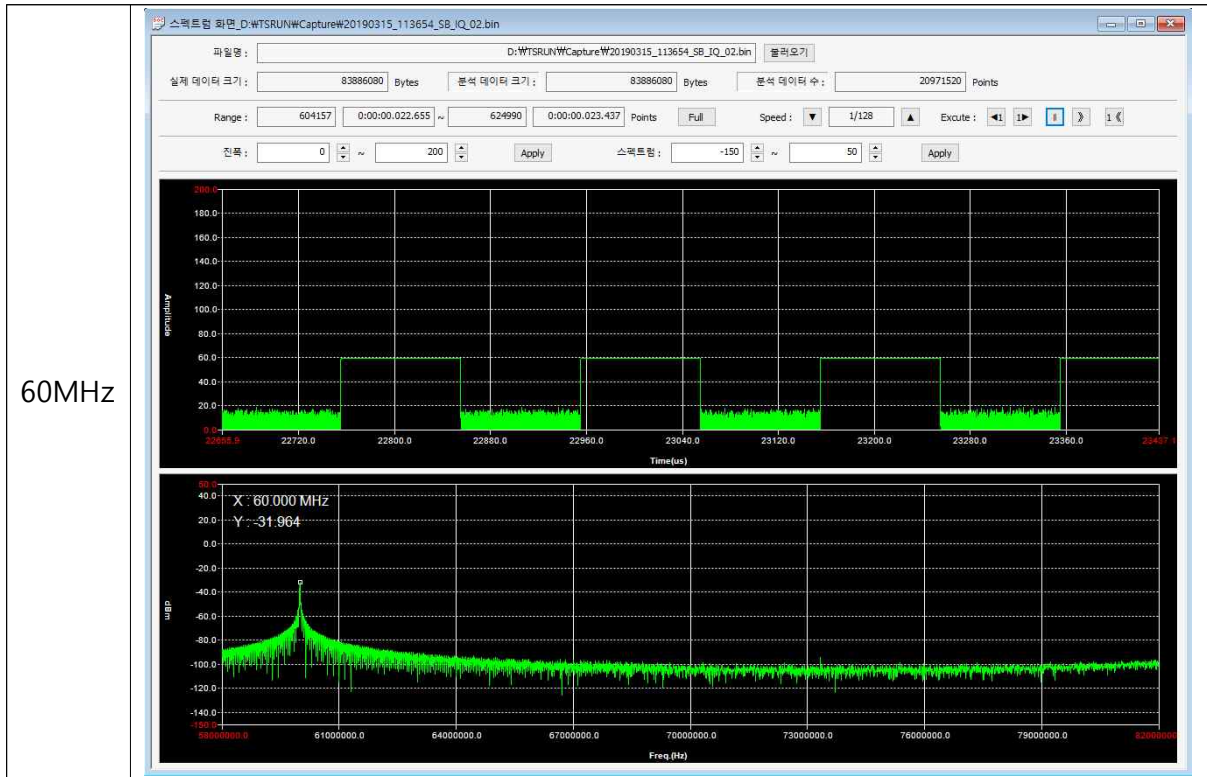
- 신호발생기의 출력과 광대역 IF 데이터 레코더의 입력을 RF 케이블로 연결한다.
- 장비 설정값에 따라 운용자 GUI에서 장비의 대역폭을 설정한다.

- 대역폭을 설정 후 저장명령으로 해당 IF 신호를 저장한다. 입력신호는 각 대역폭의 최소주파수와 최대주파수로 설정한다.
- 신호발생기의 신호와 광대역 IF 데이터 레코더의 스펙트럼 출력을 비교하여, 신호의 저장이 정상적으로 수행되었는지 판단한다.

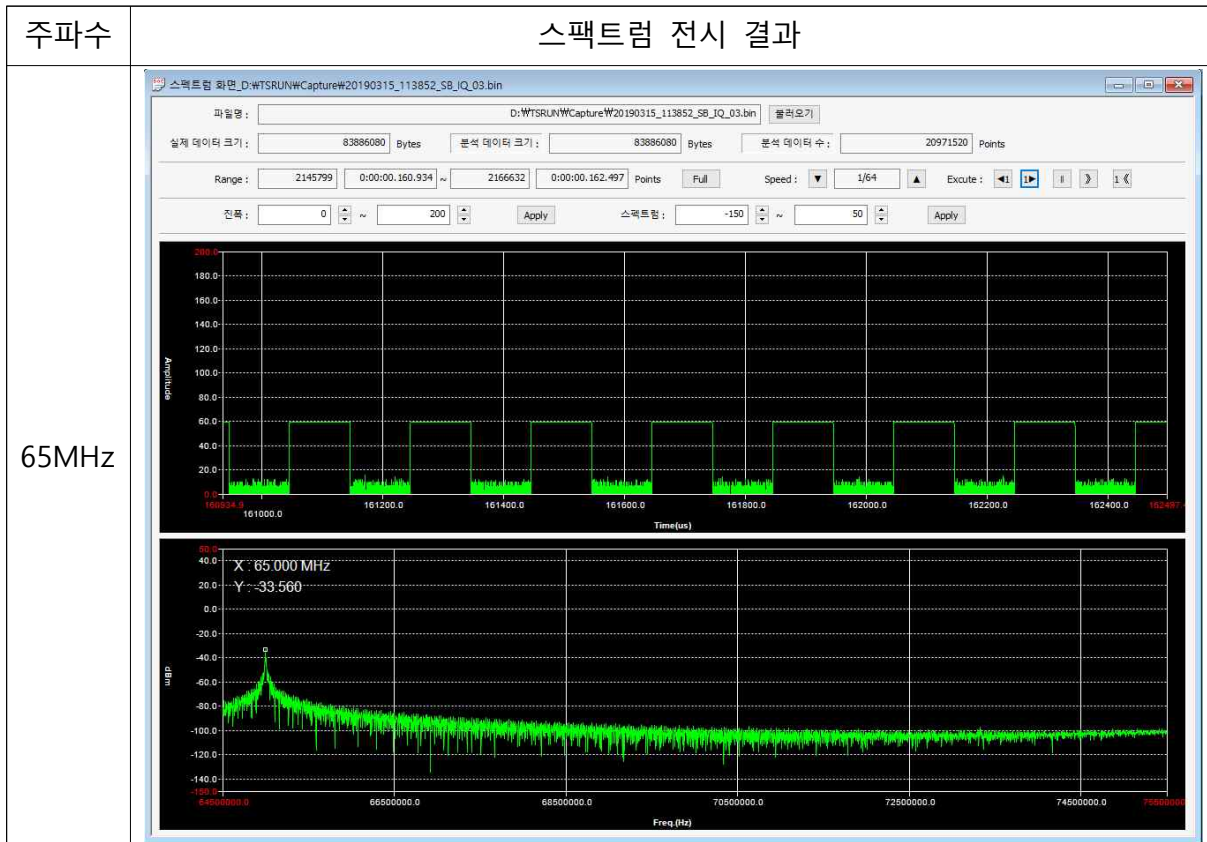
🔍 시험 결과

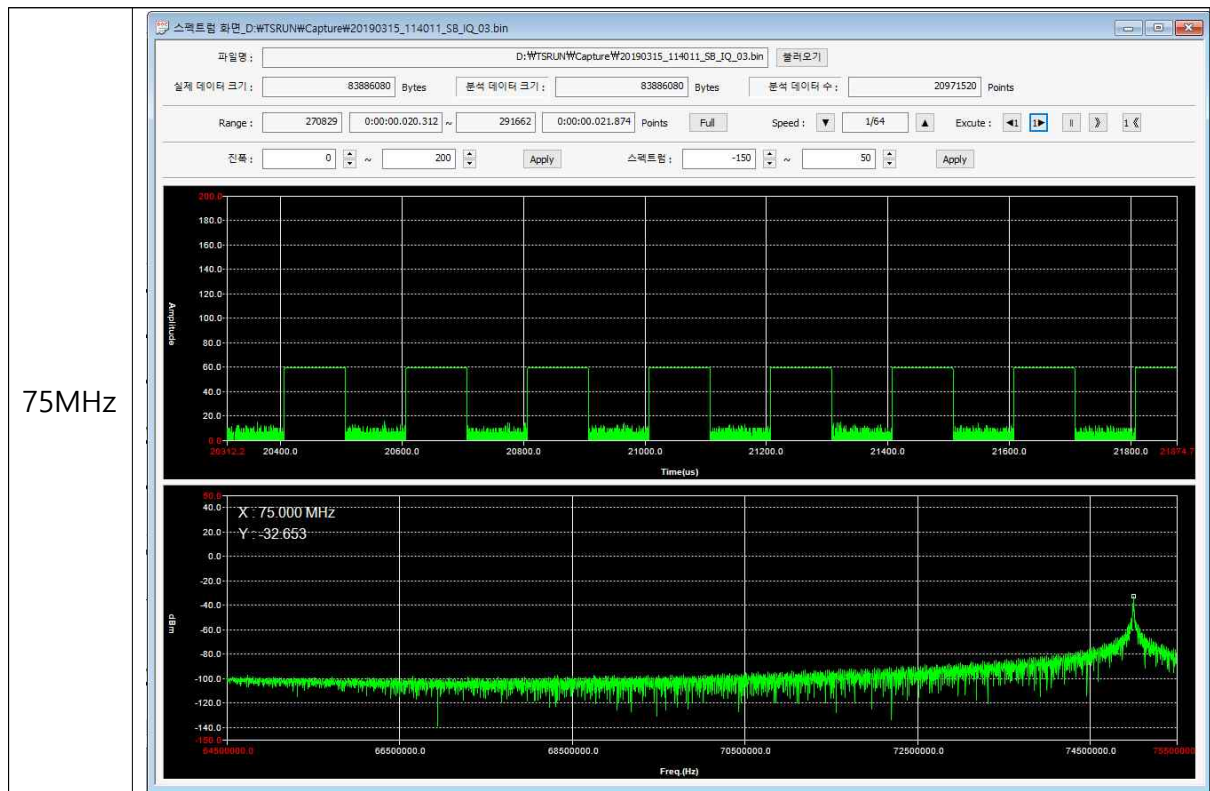
- 대역폭 20MHz



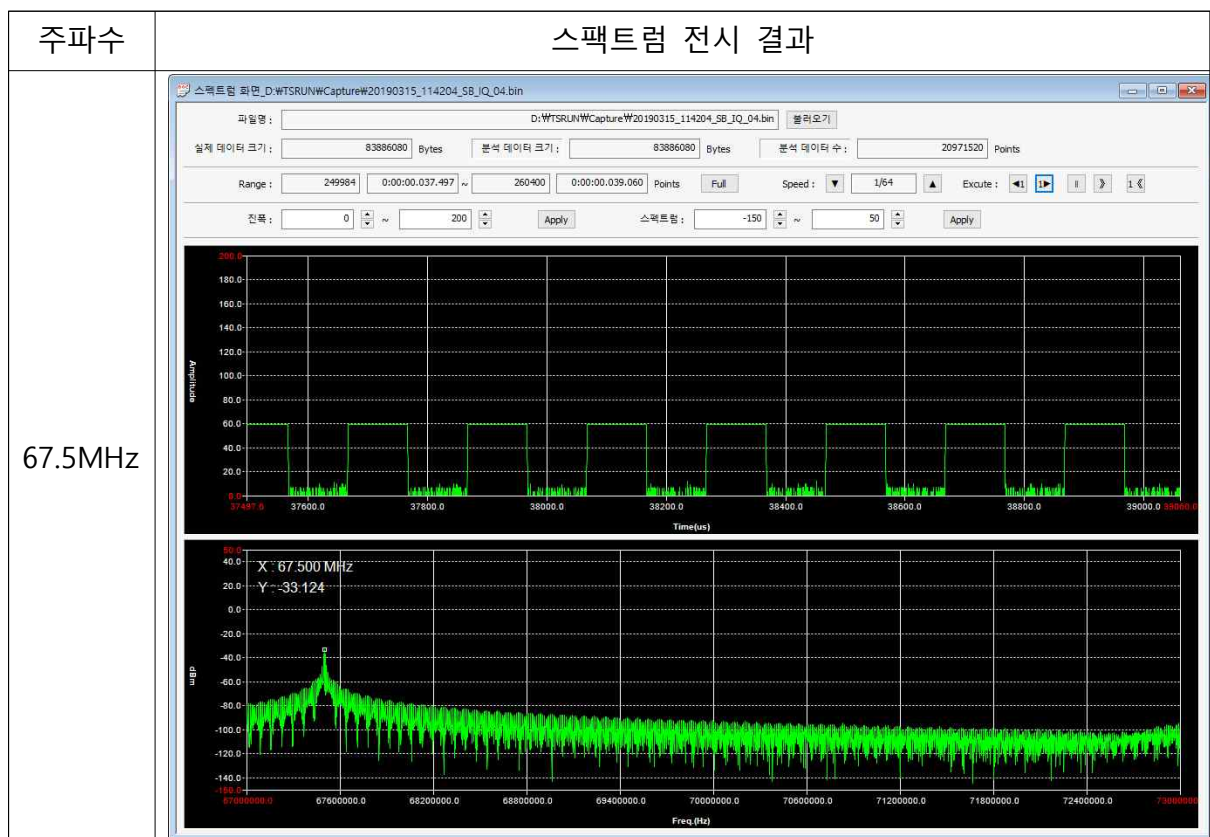


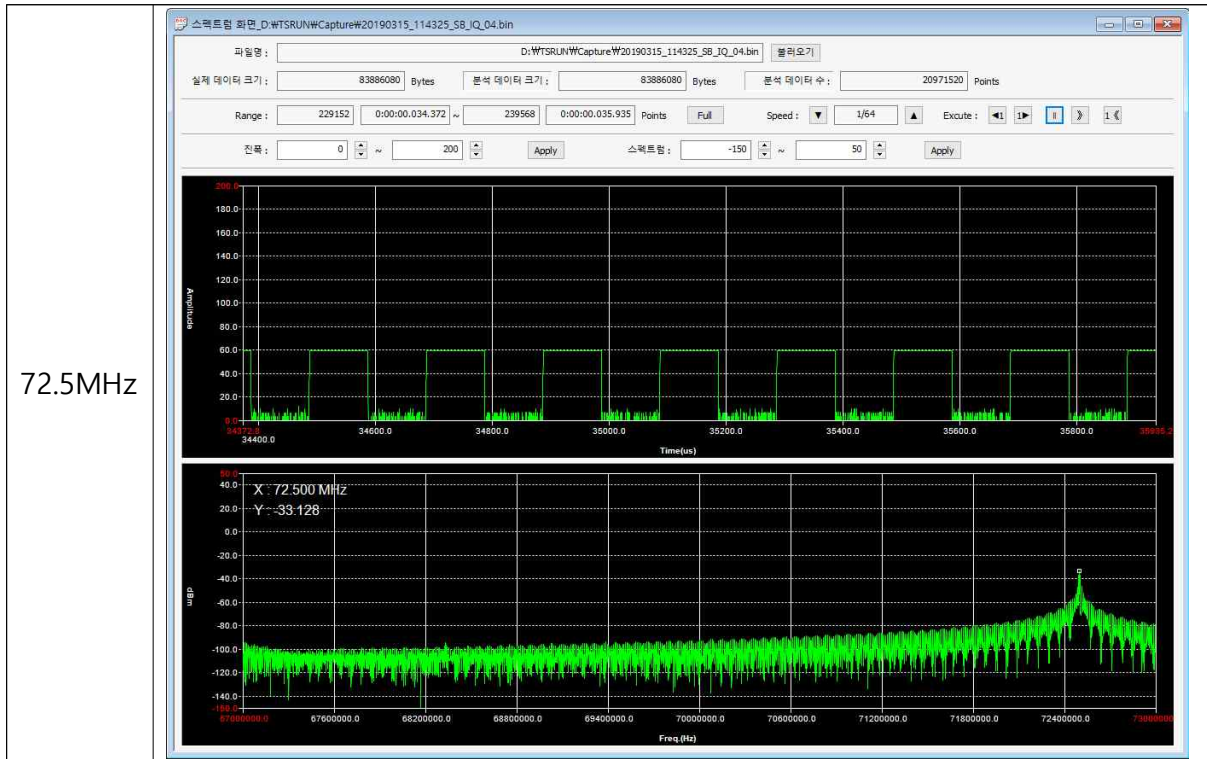
- 대역폭 10MHz



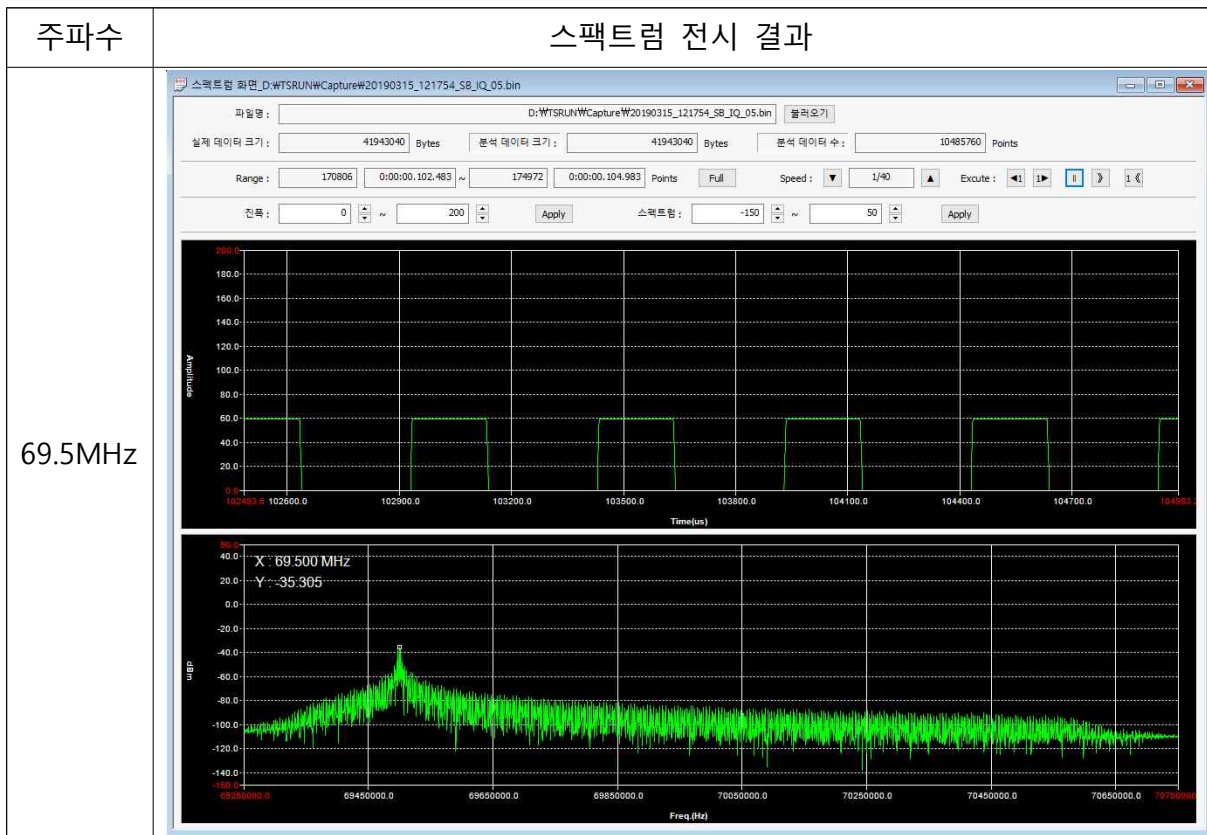


- 대역폭 5MHz

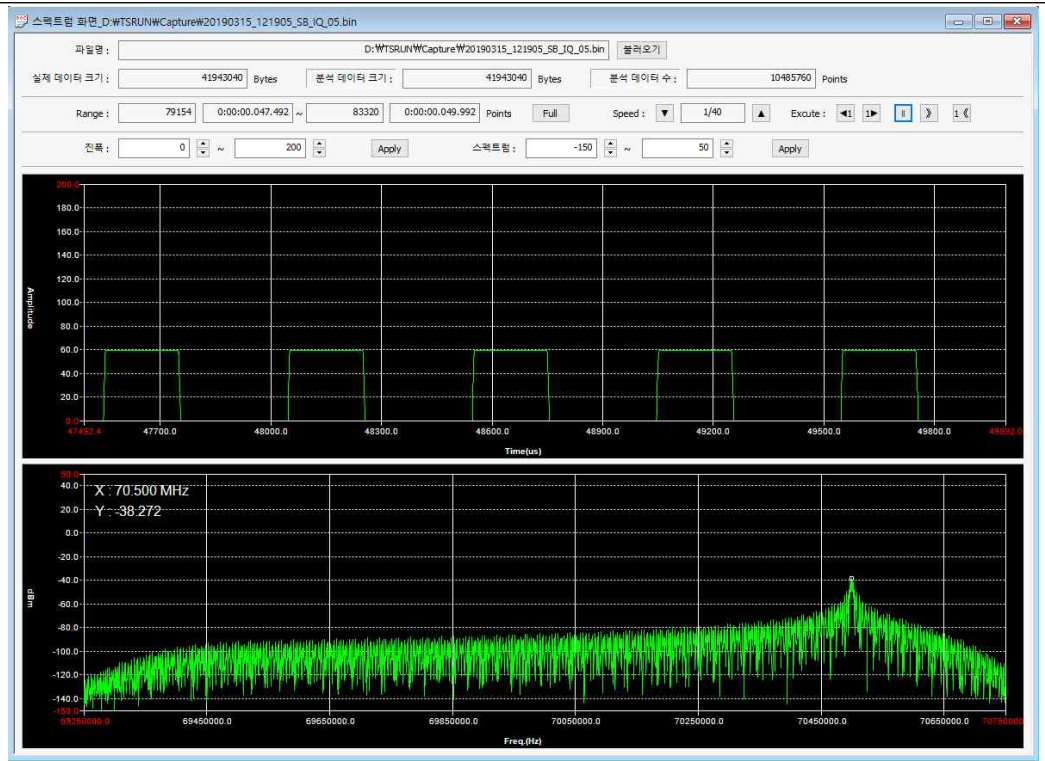




- 대역폭 1MHz



70.5MHz



평가

- 운용자 GUI를 통해 대역폭 1MHz, 5MHz, 10MHz, 20MHz의 선택 기능을 확인하였으며, 각 대역폭별로 신호가 정상적으로 저장된다는 것을 확인하였다.

다. 녹음 해상도 검증

녹음 해상도는 16bit이고 이를 검증하기 위해 데이터 1개당 16bit를 나타낼 수 있다. 데이터 1개의 크기를 알기 위해서는 저장된 데이터 파일의 크기와 데이터 개수를 알아야 한다. 원시데이터 파일의 용량 값을 데이터 개수로 나누면 I 데이터와 Q 데이터 한 쌍의 데이터 용량이 산출되며, 이를 통해 I데이터와 Q데이터 각각의 데이터 크기가 16bit로 계산되면, 녹음 해상도 16bit임이 검증된다.

장비 설정

- 신호발생기 : 주파수 70MHz, 진폭 -20dBm
- 광대역 IF 데이터 레코더 : 대역폭 40MHz

절차

- 신호발생기의 출력과 광대역 IF 데이터 레코더의 입력을 RF 케이블로 연결한다.
- 운용자 GUI에서 대역폭을 40MHz로 선택하여 장비를 설정한다.
- 대역폭과 녹음파일 형식을 설정 후 저장명령으로 해당신호를 저장한다.

- 저장된 파일의 크기를 확인한다.
- 저장된 파일에 포함된 데이터 개수를 확인한다.
- 저장된 파일의 크기와 데이터 개수를 계산하여 IQ데이터 한쌍의 용량을 계산한다.
- 각 데이터의 크기를 계산한다.

📌 결과

- 저장파일의 크기 확인 및 저장된 파일에 포함된 데이터 개수

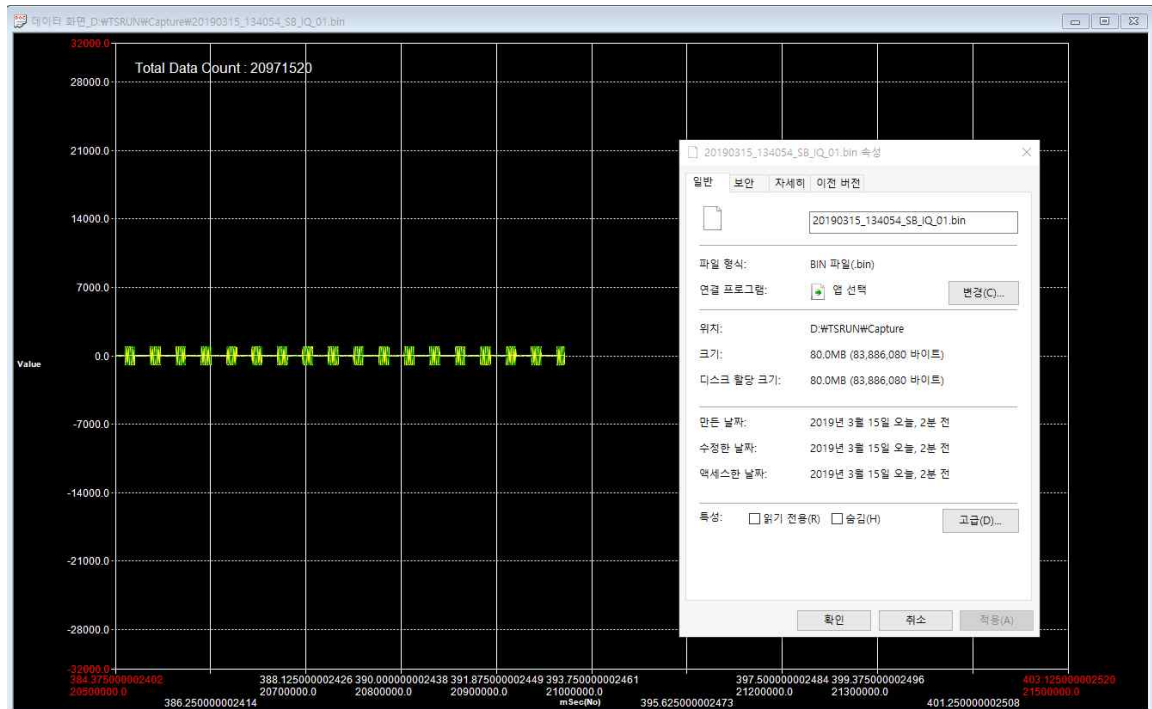


그림 5.10 데이터 파일 크기 및 데이터 개수 측정 결과

- 데이터 1개당 용량 계산
 - 데이터 크기 : 83,886,080 Byte
 - 데이터 개수 : 20971520
 - IQ데이터 한쌍 용량 = 데이터 크기 / 데이터 개수 = 4 Byte
 - 단일 데이터의 크기 : 2 Byte = 16 Bit
- 녹음해상도는 위의 계산 결과와 같이 16Bit임을 검증하였다.

📌 평가

- 데이터 1개당 16bit이므로, 녹음 해상도 16bit를 만족한다.

라. 녹음파일 형식 검증

녹음파일은 원시데이터로 저장되며 전시화면을 통해 이것을 검증한다. 원시데이터 파일의 각 데이터는 IQ데이터의 형태이며, 전시화면을 통해 I데이터와 Q데이터가 정상적으로 녹음이 되었는지 확인한다.

㉠ 장비 설정

- 신호발생기 : 주파수 70MHz, 진폭 -20dBm,
- 광대역 IF 데이터 레코더 : 대역폭 40MHz

㉡ 절차

- 신호발생기의 출력과 광대역 IF 데이터 레코더의 입력을 RF 케이블로 연결한다.
- 운용자 GUI를 통해 대역폭을 40MHz로 설정하여 장비를 설정한다.
- 저장된 원시데이터를 재생하여, I데이터와 Q데이터 각각이 전시화면에 정상적으로 출력되는지 확인한다.

㉢ 결과

- 원시데이터 출력 그래프

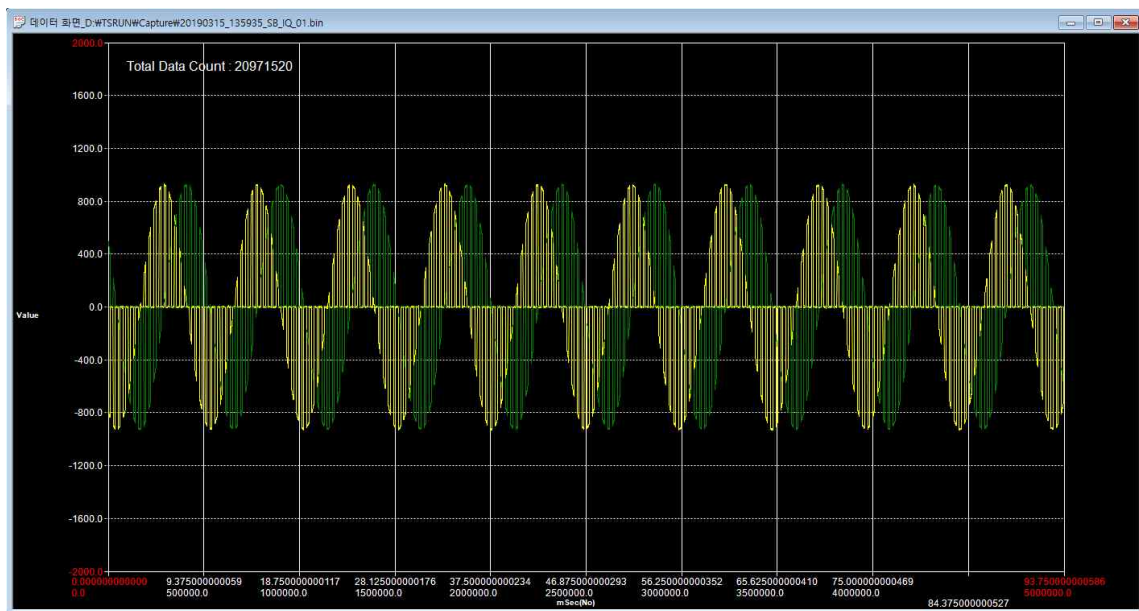


그림 5.11 원시데이터 전시 화면

㉣ 평가

- IQ 데이터의 형태로 저장된 원시데이터를 전시화면을 통해 검증하였다.

마. GUI 소프트웨어 검증

㉠ 실시간 상태 정보 / 제어 및 운용 / 저장

- 운용자 GUI를 통해 IF/RF 고속 데이터 처리보드의 실시간 상태정보를 확인할 수 있으며, 데이터 저장을 위한 대역폭 및 데이터 형식을 설정하는 등 제어 및 운용이 가능하다. 또한 저장명령을 통해 신호를 저장한다.

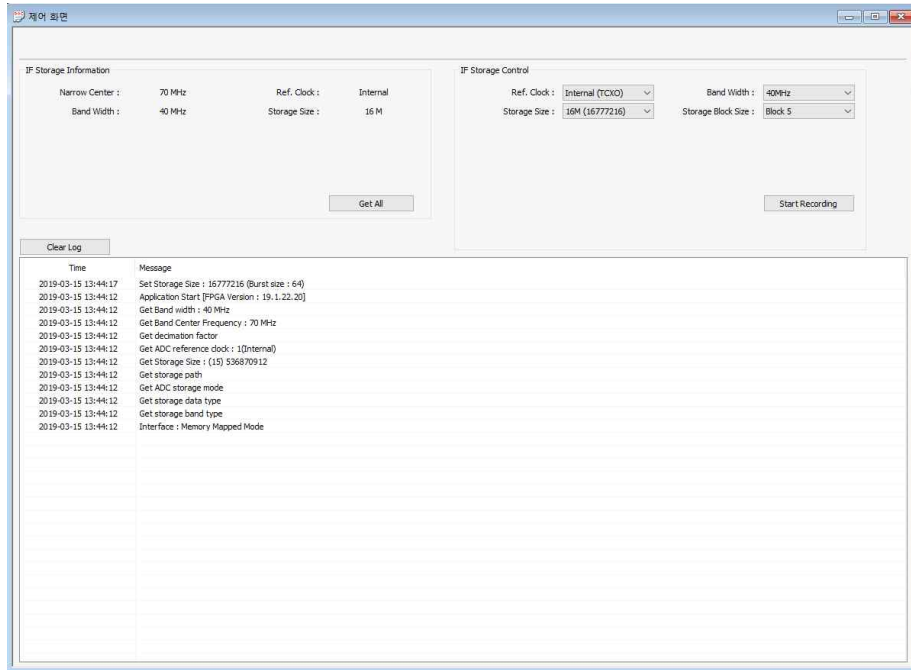


그림 5.12 제어 및 운용 화면

⑤ 재생 : 스펙트럼 그래프 / 진폭 그래프

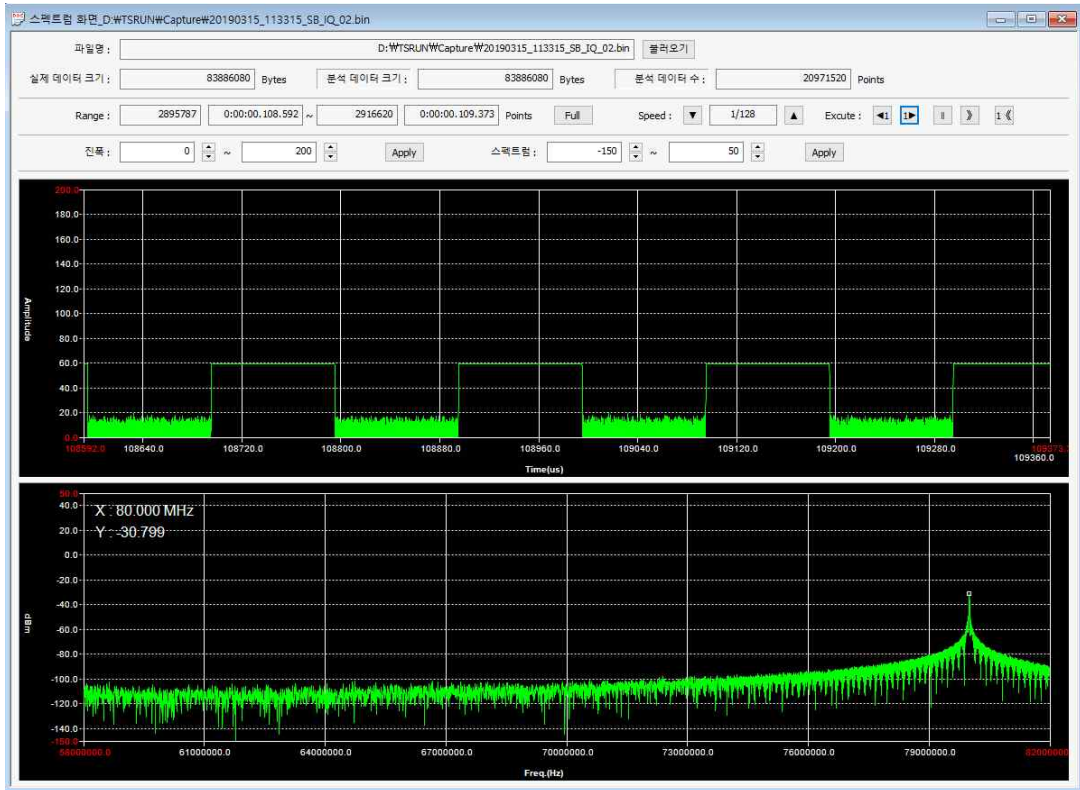


그림 5.13 스펙트럼 / 진폭 그래프

평가

- 운용자 GUI의 제어화면 및 그래프 출력화면을 통해 저장, 실시간 상태 정보제어, 제어 및 운용, 스펙트럼/진폭 그래프 출력 기능 만족함을 확인하였다.

6장. 결론

본 보고서는 비행시험자료계측 및 분석기술연구의 3차년도 연구활동으로 탑재센서 및 계측시스템 검증방안에 대한 연구로서 탑재계측시스템과 지상계측시스템중 IF 데이터레코드와 비행후 데이터처리시스템을 포함한 비행시험 계측시스템의 전반적인 시험항목, 시험계획 및 절차에 대해서 기술하였고, 또한 향후 IF/RF 데이터 활용을 위한 IF/RF 광대역 및 고속 데이터 저장기술 연구개발과 그 결과물로 개발된 광대역 IF 데이터레코드 시제품과 그 검증 방안에 대해서 기술하였다.

계측 시스템은 비행시험의 성공여부를 정량적으로 판단할 수 있는 기준이 되므로 장비의 선택, 실험실에서 동작확인, 장착, 장착 후 동작확인 및 데이터 전송 정확도 등을 단계적으로 검증해야 한다. 또한 비행 계측시스템은 항공기 탑재계측시스템과, 지상계측시스템으로 크게 나누어지므로 시스템 검증을 WBS(work breakdown structure)를 기준으로 다음과 같이 단계적으로 구분하여 수행하는 것으로 정리하였다.

1단계: 탑재센서 및 시스템 시험실 점검

- 탑재 센서 전기적 성능 검증
- 탑재 장비 전기적 성능 검증
- 탑재시스템 전기적 성능 종합 점검

2단계: 탑재센서 및 시스템 비행기 장착 후 점검

- 탑재 센서 전기 및 환경 시험
- 탑재 장비 전기 및 환경 시험
- 탑재시스템 전기 및 환경 종합 시험

3단계: 지상 시스템 시험실 점검

- 지상국 설치 장비 전기적 성능 검증
- 지상 시스템 전기적 성능 종합 점검

4단계: 지상 시스템 설치 후 점검

- 지상국 설치 안테나 전기 및 환경 시험
- 지상 시스템 전기 및 환경 종합 시험

5단계: 계측 시스템 종합시험

- 탑재 시스템 데이터 수집 시험
- 탑재 시스템 데이터 저장 시험
- 탑재 시스템 데이터 전송 시험
- 지상국 데이터 수신 시험
- 지상국 데이터 저장 시험
- 비행시험 후 데이터 처리 시험

탐재센서 검증방안을 위해 가속도센서, 압력센서, 온도센서, 스트레인게이지, 산소량 측정센서, 소음센서, 속도센서, 유량센서, 전류측정센서, 각도측정센서, 길이 변위센서, 진동센서 등 각 종류별 센서에 대한 주요 시험평가 항목을 도출하고 사양에 대해 예를 들어 제시하였다. 탐재센서의 성능검증은 항공기 설치 전 시험실 성능검증과 항공기에 설치한 후 설치성능 점검으로 구분할 수 있다. 성능점검은 크게 전기적 성능 시험과 환경시험으로 구분되고 성능 점검의 종류를 4 종류로 구분할 수 있다. 센서들은 시험실 성능점검은 전기적 성능시험을 중점적으로 실시하며, 설치후 시험은 전기적 성능시험과 필요 시 진동 등 일부 환경시험을 실시하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 센서의 시험절차, 시험절차서와 성적서는 센서의 종류에 따라 요구되는 성능검사가 다르기 때문에 각 센서마다 검토해야한다. 그러나 WBS 단계4에서 요구되는 성능검사에 적용할 수 있는 시험절차서와 시험 성적서는 센서 제조회사에서 발행하는 자료를 물리적 검사로 1차 확인하는 방법과 DAS와 연동하여 시험하거나, 센서시험 지그(zig)를 사용하여 시험하는 방법이 있다.

탐체계측시스템 검증 방안을 위해 데이터 수집기(신호처리기), 데이터저장기, 표준시간 측정장비, 비디오 저장장치, 데이터 송신기 등에 대한 시험평가 항목을 도출하고 이에 대한 시험계획서, 시험절차서를 제시하였다.

표 6.1 데이터 수집기 시험평가 항목 및 시험 내용

순서	시험항목	시험내용(종류, 범위, 규격)	시험용장비
1	육안검사	물품종류, 재질, 파손, 표면 등	
2	물리적 크기 검사	3차원 크기, 무게	
3	전원검사	입력전원, 주파수, 출력크기	
4	데이터 전송속도	최대속도 40Mbps 이상 신호발생기에서 신호 입력 주파수 카운터를 사용하여 전송속도 측정	신호발생기 주파수카운터
5	coding 방법 및 종류	NRZ-L/M/S, RNRZ-L, Biphase-L/M/S 등 신호발생기에서 관련신호 입력 오실로스코프로 출력 확인	신호발생기 오실로스코프
6	입력포트/출력포트	입력 : 입력센서 이상, 출력 : 제어/송신용 입력포트에 센서 신호 입력 출력포트에서 출력 확인	시험용 컴퓨터
7	인터페이스 시험	Ethernet, USB interface, 기타 입력포트에 센서 신호 입력 출력포트에서 출력 확인	시험용 컴퓨터

데이터 수집기의 시험평가 항목으로 육안검사, 물리적 크기 검사, 전원검사, 데이터 전송속도, PCM 코딩방법, 입력포트/출력포트, 채널수, 운용/비운용 온도, 그리고 인터페이스를 제시하였다. 데이터 수집기를 시험하기 위해서는 아래 그림처럼 피시험장비의 입력단에는 각종센서에서 발신된 신호를 모의할 수 있는 신호 발생기를 연결하고, 출력단에는

시험용 컴퓨터, 주파수 카운터, 오실로스코프를 연결한다. 시험용 컴퓨터는 데이터수집기에 제어명령을 보내고 데이터 입력과 출력 명령을 주거나 출력신호를 분석하는 기능을 가져야 한다. 주파수카운터는 데이터 전송속도를 측정하고, 오실로스코프는 코딩방법과 종류를 시험할 때 사용된다.

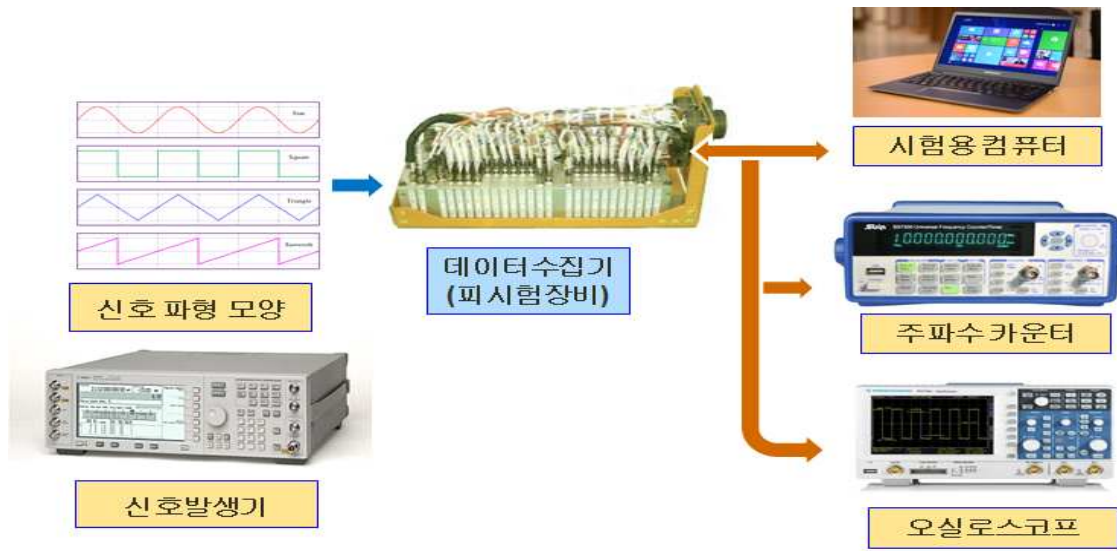


그림 6.1 데이터 수집기 시험평가 장비 구성 (예)

데이터 수집기 시험평가 절차는 다음과 같으며, 시험절차서는 장비가 선정되면 다음사항을 중심으로 기술하면 된다.

- 1) 피시험장비(MCMDU-2000 급)의 외형과 크기, 입출력 포트 등 물리적 검사를 실시한다.
- 2) 피시험장비에 전원을 공급한다.
- 3) 시험용 컴퓨터를 연결한다
- 4) 피시험장비와 시험용컴퓨터를 이더넷, 또는 USB 인터페이스로 연결한 후 상호 연동을 확인한다.
- 5) 신호발생기를 연결한다.
- 6) 오실로스코프를 연결한다.
- 7) 주파수 카운터를 연결한다.
- 8) 신호발생기에서 40 Mbps 신호를 입력한다.
- 9) 주파수 카운터 또는 시험용 컴퓨터에서 데이터 전송속도를 측정한다.
- 10) 데이터수집기에서 NRZ-L/M/S, RNRZ-L, Biphase-L/M/S 등 코딩모드를 선정하여 신호를 출력하고 오실로스코프에서 파형을 확인한다.
- 11) 데이터수집기의 입력포트를 변경하면서 8)~10) 사항을 확인한다.

표 6.2 데이터 저장장치 시험평가 항목 및 시험내용 (예)

순서	시험항목	시험내용(종류, 범위, 규격)	시험용장비
1	육안검사	물품종류, 재질, 파손, 표면 등	
2	물리적 크기 검사	3차원 크기, 무게	
3	전원검사	입력전원, 주파수, 출력크기	
4	Multiplex 기능	보유	신호발생기 시험용컴퓨터
5	DLT Drive	사용	
6	저장속도	40 Mbps 이상	시험용 컴퓨터
7	저장용량	40 GB 이상	시험용 컴퓨터

데이터 저장장치 시험평가 항목으로 물품종류/재질/파손여부/표면상태 등의 육안검사, 크기 및 무게 등의 물리적 크기 검사, 전원검사, 멀티플렉스 기능, DLT Drive 사용여부, 저장속도, 저장용량 등이다. 데이터 저장장치를 시험하기 위해서는 아래 그림과 같이 피시험장비의 입력단에는 데이터수집기에서 전송하는 데이터를 모의할 수 있는 신호 발생기를 연결하고, 출력단에는 시험용 컴퓨터, 주파수 카운터를 연결한다. 시험용 컴퓨터는 데이터저장장치에 제어명령을 보내고 데이터 입력과 출력 명령을 주거나 출력신호를 분석하는 기능을 가져야 한다. 주파수 카운터는 필요시 데이터 전송속도를 시험할 때 사용된다.



그림 6.2 데이터 저장장치 시험평가 장비 구성 (예)

데이터 저장장치의 시험평가 절차는 다음과 같다.

- 1) 피시험장비(D-20d 상위급)의 외형과 크기, 입출력 포트 등 물리적 검사를 실시한다.
- 2) 피시험장비에 전원을 공급한다.
- 3) 시험용 컴퓨터를 연결한다
- 4) 피시험장비와 시험용컴퓨터를 이더넷, 또는 USB 인터페이스로 연결한 후 상호

연동을 확인한다.

- 5) 신호발생기를 연결한다.
- 6) 주파수 카운터를 연결한다.
- 7) 신호발생기에서 40 Mbps 신호를 입력한다.
- 8) 주파수 카운터 또는 시험용 컴퓨터에서 데이터 전송속도를 측정한다.
- 9) 데이터저장용량을 확인한다.

표 6.3 시간부호 발생기 시험평가 항목 및 시험 내용 (예)

순서	시험항목	시험내용(종류, 범위, 규격)	시험용장비
1	육안검사	물품종류, 재질, 파손, 표면 등	
2	물리적 크기 검사	3차원 크기, 무게	
3	전원검사	입력전원, 주파수, 출력크기	
4	입력신호	GPS 신호	
5	시간 정밀도	1ms/1us	신호발생기 시험용컴퓨터
6	출력신호	IRIG-B 또는 IEEE-1588	시험용 컴퓨터
7	인터페이스 시험	Ehternet, USB interface, 기타	시험용 컴퓨터

표준시간 측정장비의 경우 육안 검사, 물리적 크기 검사, 전원검사, 입력신호, 시간정밀도, 출력신호, 인터페이스 시험 등이다. 다음 그림은 시간부호 발생기의 시험 장비 구성 예를 보여준다.



그림 6.3 시간부호발생기 시험장비 구성 (예)

표 6.4 비디오 저장장치 시험평가 (예)

순서	시험항목	시험내용(종류, 범위, 규격)	시험용장비
1	육안검사	물품종류, 재질, 파손, 표면 등	
2	물리적 크기 검사	3차원 크기, 무게	
3	전원검사	입력전원, 주파수, 출력크기	
4	Multiplex 기능	보유	신호발생기 시험용컴퓨터
5	DLT Drive	사용	
6	저장속도	40 Mbps 이상	시험용 컴퓨터
7	저장용량	40 GB 이상	시험용 컴퓨터

비디오 저장장치의 경우 멀티플렉스 기능 여부, DLT Drive 여부, 저장속도, 저장용량 등이다. 표준시간 측정장비를 시험하기 위해서는 아래 그림과 같이 피시험장비의 입력단에는 GPS 위성신호를 수신할 수 있는 데이터수집기에서 전송하는 데이터를 모의할 수 있는 신호 발생기를 연결하고, 출력단에는 시험용 컴퓨터, 주파수 카운터를 연결한다. 시험용컴퓨터는 데이터저장기에 제어명령을 보내고 데이터 입력과 출력 명령을 주거나 출력신호를 분석하는 기능을 가져야 한다. 주파수 카운터는 필요시 데이터 전송속도를 시험할 때 사용된다.



그림 6.4 비디오 저장장치 시험평가 장비 구성 (예)

시험평가 절차는 다음과 같다.

- 1) 피시험장비(GPS-705 상위급)의 외형과 크기, 입출력 포트 등 물리적 검사를 실시한다.
- 2) 피시험장비에 전원을 공급한다.
- 3) 시험용 컴퓨터를 연결한다
- 4) 피시험장비와 시험용컴퓨터를 이더넷, 또는 USB 인터페이스로 연결한 후 상호 연동을 확인한다.

- 5) GPS 안테나 또는 신호발생기를 연결한다.
- 6) 주파수 카운터를 연결한다.
- 7) 시험용 컴퓨터에서 데이터 연동을 확인한다.

표 6.5 송신기의 시험평가 항목 및 시험 내용 (예)

순서	시험항목	시험내용(종류, 범위, 규격)	시험용장비
1	육안검사	물품종류, 재질, 파손, 표면 등	
2	물리적 크기 검사	3차원 크기, 무게	
3	전원검사	입력전원, 주파수, 출력크기	
4	주파수 대역	S & C-Band 입력 : 고주파신호 발생기 출력 : 스펙트럼 분석기	고주파 신호발생기 스펙트럼분석기
5	주파수 대역폭	40 MHz 이상 입력 : 고주파신호 발생기 출력 : 스펙트럼 분석기	고주파 신호발생기 스펙트럼분석기
6	변조방식	PCM/FM, SOQPSK, Multi-h CPM 등 입력 : 고주파신호 발생기 출력 : 수신기	고주파 신호발생기 수신기
7	출력/기타	10mW, 1W, 5W, 10W, 20W, 25W 중 선택 입력 : 고주파신호 발생기 출력 : 스펙트럼 분석기, direction coupler	고주파 신호발생기 스펙트럼분석기

데이터 송신기의 경우는 주파수, 주파수 대역폭, 변조방식, 출력 등이다. 송신기를 시험하기 위해서는 아래 그림과 같이 피시험장비의 입력단에는 데이터수집기에서 전송하는 데이터를 모의할 수 있는 신호 발생기를 연결하고, 출력단에는 시험용 컴퓨터, 주파수 카운터를 연결한다. 시험용 컴퓨터는 데이터저장기에 제어명령을 보내고 데이터 입력과 출력 명령을 주거나 출력신호를 분석하는 기능을 가져야 한다. 주파수 카운터는 필요시 데이터 전송속도를 시험할 때 사용된다.



그림 6.5 송신기 시험평가 장비 구성 (예)

송신기 시험평가 절차는 다음과 같다.

- 1) 피시험장비(TTS-6335 상위급)의 외형과 크기, 입출력 포트 등 물리적 검사를 실시한다.
- 2) 피시험장비에 전원을 공급한다.
- 3) 시험용 컴퓨터를 연결한다
- 4) 스펙트럼분석기 또는 주파수 카운터를 연결한다.
- 5) 고주파 신호발생기에서 고주파 신호를 입력한다.
- 6) 스펙트럼분석기에서 주파수와 전송속도를 측정한다.

지상계측장비중 당 사업에서 설치 계획에 포함되지 않은 IF 데이터레코더와 비행후 데이터처리시스템에 대한 검증 방안은 다음과 같다.

표 6.6 IF 데이터레코더 시험평가 항목 및 시험 내용 (예)

시험 항목	시험 내용	시험장비
인터페이스	- 데이터 입력 포트 70MHz IF 입력 1채널, SMA F - 기준클럭 입력 포트 10MHz 1채널, SMA F	신호발생기 스펙트럼분석기
주파수 및 대역폭	- 중심주파수 70MHz - 최대 입력 대역폭 40MHz - 대역폭 선택기능 1/5/10/20/40MHz	
녹음 해상도	16bit	
녹음파일 형식	원시데이터 (RF/IF Binary)	
저장용량	4TB	
제어프로그램	신호의 저장 및 재생/분석	

IF 데이터레코더 시험평가 항목은 인터페이스, 주파수 및 대역폭, 녹음 해상도, 녹음파일 형식, 저장용량, 제어프로그램 등이며 시험내용의 예는 표와 같다. IF 데이터레코더를 시험하기 위해서는 아래 그림과 같이 IF 신호를 모의할 수 있는 신호 발생기, IF 신호를 실시간으로 출력할 수 있는 스펙트럼 분석기 등의 계측장비가 필요하다. 신호발생기의 신호는 RF 분배기를 통해 스펙트럼 분석기와 IF 데이터레코더로 입력된다. IF 데이터레코더를 통해 신호의 저장, 재생, 분석이 가능하며, 장비의 출력과 스펙트럼 분석기의 출력을 비교하여 신호가 정상적으로 저장되었는지 확인할 수 있다.



그림 6.6 IF 데이터레코더 시험평가 장비 구성 (예)

IF 데이터레코더의 시험평가 절차는 다음과 같다.

- 1) 피시험장비의 외형과 크기, 입출력 포트 등 물리적 검사를 실시한다
- 2) 피시험장비에 전원을 공급한다
- 3) 피시험장비에 모니터, 키보드, 마우스를 연결한다
- 4) 신호발생기를 RF 분배기에 연결한다
- 5) 스펙트럼분석기를 RF 분배기에 연결한다.
- 6) RF분배기와 피시험장비를 연결한다.
- 7) 피시험장비의 제어프로그램을 통해 신호를 저장하고 출력한다.
- 8) 3TB 데이터 저장용량을 확인한다.

표 6.7 비행후 데이터처리시스템 시험평가 항목 및 시험 내용 (예)

구분	시험 내용
메모리	64 GB
저장장치	30 TB Raid
Import 형태	Chapter 10, Proprietary
Export 형태	Matlab CSV/Excel/ Proprietary, Binary, ASCII, 영상, 음성데이터
접속자 수	20명 이상
사용자 개발 툴 제공	제공
영상분석 툴 제공	제공
2D/3D 가상현실 제공	제공
네트워크 제공	제공

비행후 데이터처리시스템의 시험평가 항목은 메모리, 저장장치, 출력형태, 입력형태, 접속가능 수, 사용자 개발 툴, 영상분석 툴, 가상현실 기능, 네트워크 등이며 시험내용은 표와 같다. 비행후 데이터처리시스템을 시험하기 위해서는 아래 그림과 같이 피시험장비의 입력단에는 데이터수집기에서 전송하는 데이터를 모의할 수 있는 신호 발생기를 연결하고, 출력단에는 시험용 컴퓨터, 주파수 카운터를 연결한다. 시험용컴퓨터는 비행후 데이터처리시스템에 제어명령을 보내고 데이터 입력과 출력 명령을 주거나 출력신호를 분석하는 기능을 가져야 한다. 주파수카운터는 필요시 데이터 전송속도를 시험할 때 사용된다.



그림 6.7 비행후 데이터처리시스템 시험평가 장비 구성 (예)

시험평가 절차는 다음과 같다.

- 1) 피시험장비(D-20d 상위급)의 외형과 크기, 입출력 포트 등 물리적 검사를 실시한다.
- 2) 피시험장비에 전원을 공급한다.
- 3) 시험용 컴퓨터를 연결한다
- 4) 피시험장비와 시험용컴퓨터를 이더넷, 또는 USB 인터페이스로 연결한 후 상호 연동을 확인한다.
- 5) 신호발생기를 연결한다.
- 6) 주파수 카운터를 연결한다.
- 7) 신호발생기에서 40 Mbps 신호를 입력한다.
- 8) 주파수 카운터 또는 시험용 컴퓨터에서 데이터 전송속도를 측정한다.
- 9) 데이터저장용량을 확인한다.

IF/Rf 광대역 및 고속 데이터 저장기술 연구개발을 위하여 2차년도에 제작한 IF/Rf 데이터 처리 보드를 제어할 수 있는 시스템 제어부의 개발과 데이터 처리 보드로 부터 송신되는 데이터를 저장매체에 안정적으로 저장하기 위한 인터페이스 선정, 그리고 인터페이스를 통해 전송된 데이터를 고속으로 저장할 수 있는 저장매체의 선정하였다. 또한 이렇게 선정된 데이터 처리부를 제어하기 위한 스토리지 제어부를 개발하였다. 광대역의 IF 신호를 처리하기 위해서 고성능의 IF/Rf 고속 데이터 처리 보드를 제작하였다. 이렇게 제작된 보드를 PC 메인보드와 연결하기 위해 대용량의 데이터를 고속으로 전송할 수 있는 인터페이스의 선정이 필요하다.

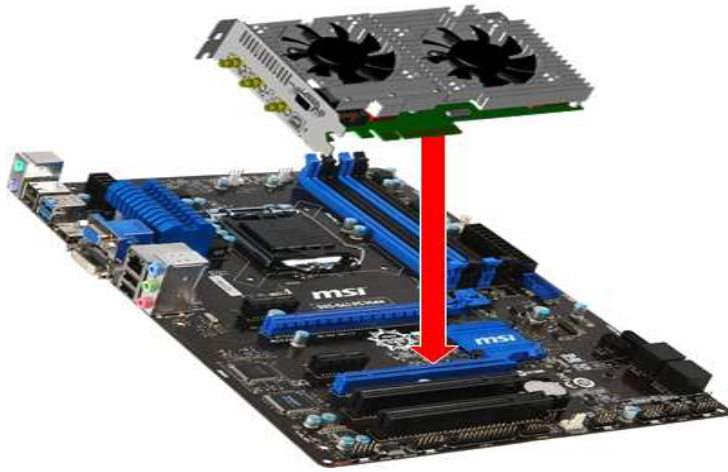


그림 6.8 IF/RF 고속 데이터 처리 보드의 인터페이스 선정

인터페이스를 선정하기 위해서 먼저 보드에서 처리되는 데이터의 양을 산출한다. 데이터는 원시데이터의 형태로 저장되며, CPU의 Clock, Data Width, Decimation에 의해 처리 데이터의 양이 결정된다.

IF/RF 고속 데이터 처리 보드에서 생성되는 원시데이터는 최대 1.589Gb/s (=198.625MB/s)이다. 이러한 대용량의 데이터를 IF/RF 고속 데이터 처리보드로부터 PC로 전송하기 위해 PCI-e 2.0 인터페이스(4.00GB/s 까지 지원)를 선정하였다.

표 6.8 IF/RF 고속 데이터 처리 보드에서 처리되는 데이터의 양

Band Width (MHz)	Clock (MHz)	Raw Data	
		Data Width	Data Rate (Gb/s)
40	213.333	32	1.589
20	213.333	32	0.795
10	213.333	32	0.397
5	213.333	32	0.199
1	213.333	32	0.050

IF/RF 고속 데이터 처리 보드의 PCI-e 2.0 인터페이스를 통해 대용량의 데이터가 전송될 수 있지만, 이와 같이 전송되는 데이터가 저장되는 저장매체의 쓰기속도 또한 고려되어야 한다. 일반적인 하드디스크(HDD)의 쓰기속도로는 대용량의 데이터를 안정적으로 저장하기는 불가능하다. 따라서 저장매체는 3D NAND 방식 및 SATA3 인터페이스가 적용된 SSD로 선택하였다. 시스템 제어부는 IF/RF 고속 데이터 처리 보드에 각종 제어 명령을 송신하여, 녹음 대역폭을 선택하거나, 데이터 처리 보드의 상태를 확인한다. 운용자가 GUI를 통해 대역폭 등에 대해 원하는 값을 설정하여 제어 명령을 송신하면, Driver 명령을 통해 데이터 처리보드에 명령이 전달되고, 데이터 처리보드의 상태 정보를 요청시에는 응답으로 정상작동 유무 등의 ADC 보드 정보를 수신한다. 스토리지 제어부는 IF/RF 고속 데이터 처리 보드를 통해 처리되는 데이터를 저장매체에 원활하게 저장되도록 한다. 제어부의 녹음 시작 명령을 통해 일련의 녹음 과정이 시작되며, 데

이더 처리 보드로부터 송신되는 데이터를 파일 형태로 SSD에 안정적으로 저장한다.

광대역 IF 데이터레코더 시제품을 개발 개발하기 위하여 2차년도에서 수행한 ‘IF/RF 저장을 위한 고속데이터 처리기술 연구개발’의 결과물인 고속데이터 처리 IF/RF 신호처리보드와 3차년도 전반부에 걸쳐 수행한 ‘IF/RF 광대역 및 고속 데이터 저장기술 연구개발’의 결과로 개발된 데이터처리보드, 그리고 이를 운용하기위한 운용자 GUI를 개발하고 이들 결과물을 하나의 시스템으로 integration하여 광대역 IF데이터 레코더의 시제품을 제작하였다. 2차년도에는 RF신호를 수신하는 아날로그 신호 입력 모듈, 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 아날로그 신호처리부, 디지털 FIR 필터 및 디지털 하향 변환기를 통해 분석할 수 있는 데이터의 형태로 가공하는 디지털 신호처리부를 포함하여 하나의 보드 형태로 된 IF/RF 광대역 데이터 처리 보드를 제작하였다. 3차년도에는 이 보드를 제어할 수 있는 시스템 및 스토리지 제어부를 개발하고, 처리되는 데이터를 저장할 수 있는 데이터 처리부 및 저장매체를 선정하였다. 또한, 운용 및 분석을 위한 운용자 인터페이스를 GUI상에 개발하였다. 개발된 시제품 운용자 GUI에 대한 설명은 다음과 같다.

운용자 GUI(Graphic User Interface)의 제어 및 운용 화면에서는 IF/RF 고속 데이터 처리 보드를 제어하여 IF 신호를 저장 조건을 설정하고 신호 저장 기능을 수행한다. GUI를 통해 대역폭과 기준 클럭(외부/내부)을 설정하고, 효율적인 데이터의 저장을 위해 보드의 메모리 처리 단위를 설정할 수 있으며, 녹음 시간 또는 저장할 메모리 블록 개수를 설정한 후에 IF 신호의 저장을 수행할 수 있다.

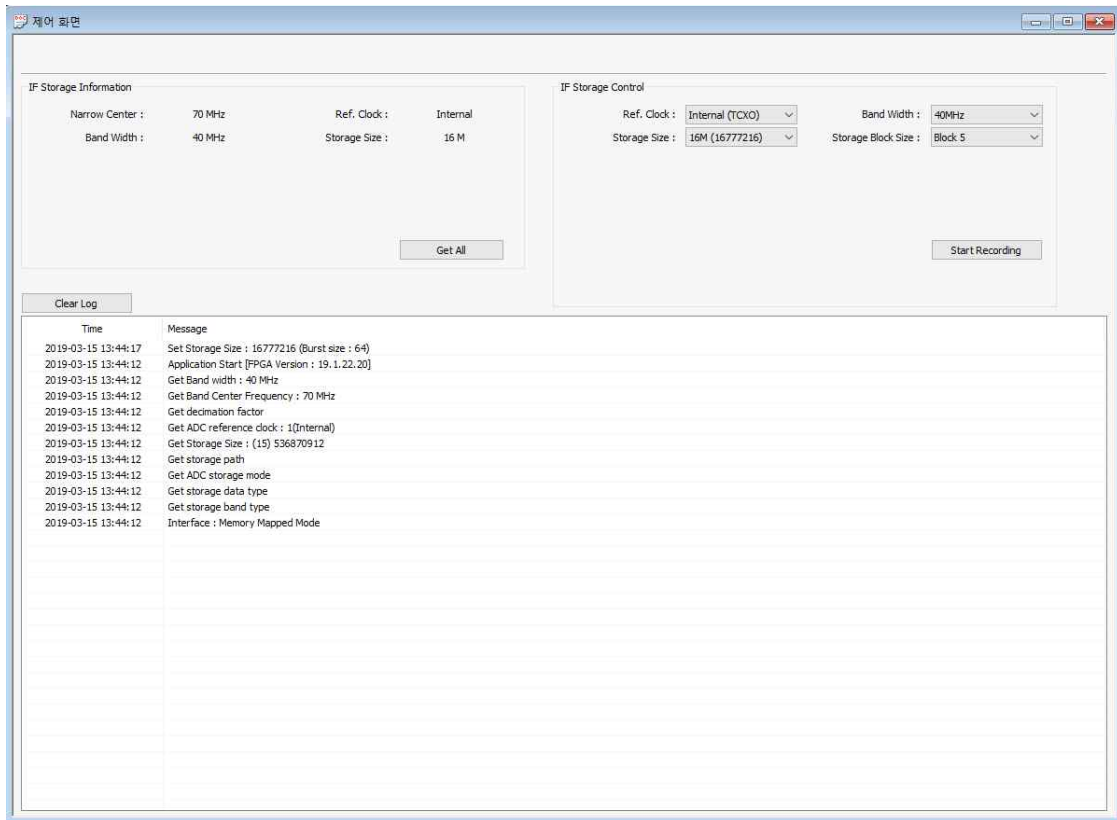


그림 6.9 운용자 GUI의 제어 및 운용 화면

운용자 GUI의 신호전시는 데이터 전시 화면과 스펙트럼 전시 화면으로 구성된다. 이 기능을 통해 녹음 완료된 IF 파일을 재생한다. IF 신호의 재생은 원시데이터 전시와 스펙트럼(Spectrum) 전시가 있다. 원시데이터 전시는 저장된 원시데이터의 값을 그대로 화면으로 출력하는 것이고, 스펙트럼 전시는 주파수 도메인에서의 신호를 전시한 것이다. IF 파일의 데이터 전시화면은 저장된 원시데이터를 재생하여 표현한다. 원시데이터는 I데이터와 Q데이터로 구성되며, 하나의 화면에서 각각의 데이터를 선택하여 표현할 수 있으며, 아래와 같은 예로 출력할 수 있다.

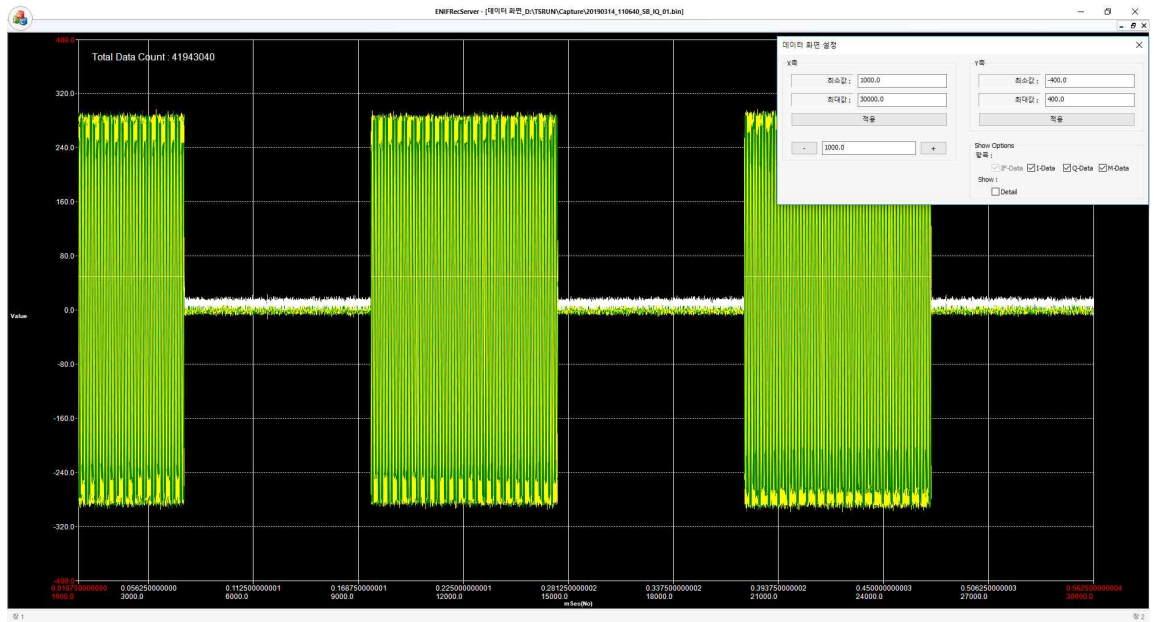


그림 6.10 데이터 전시 화면

IF 파일의 스펙트럼 전시화면은 시간대별로 녹음된 신호의 흐름을 볼 수 있다. 스펙트럼화면과 진폭 전시화면을 함께 볼 수 있으며, 아래와 같은 예로 출력할 수 있다.

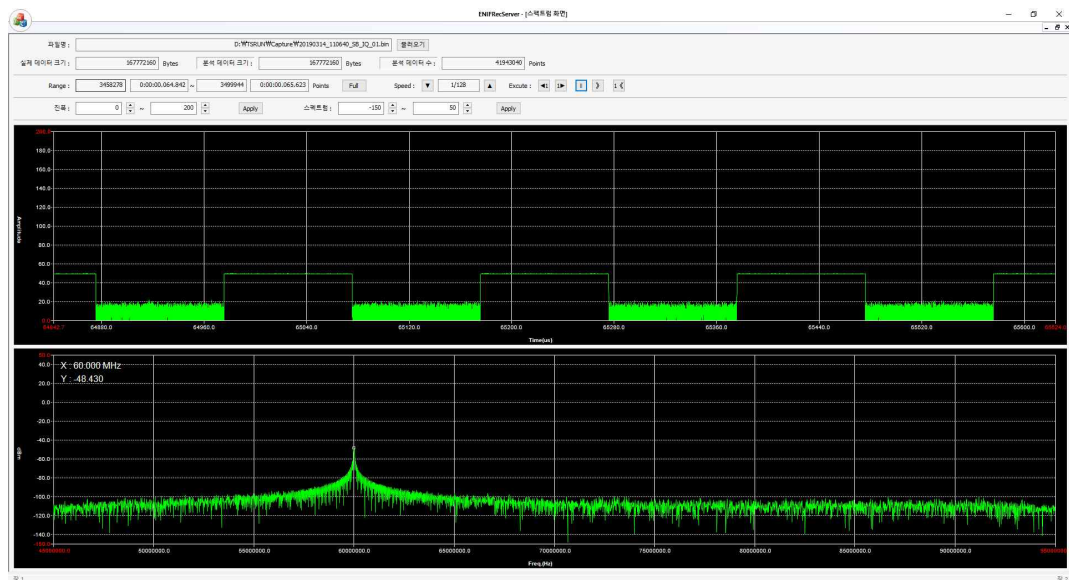


그림 6.11 스펙트럼 전시 화면(펄스 신호)

이렇게 완성된 광대역 IF 데이터 레코더 시제품의 형상은 아래 그림처럼 서버(19인치 랙타입, 3U)이다. 3차년도 후반부는 시제품을 이용하여 광대역 IF 데이터 레코더의 활용 방안에 대한 연구에 활용한다.



그림 6.12 광대역 IF 데이터레코더 시제품

표 6.9 광대역 IF 데이터레코더 시제품 시험평가 항목 및 규격

항목	규격
입력 중심 주파수	70MHz
최대 입력 대역폭	40MHz
데이터 입력포트	70MHz IF 입력 1 채널 , SMA F
기준클럭 입력 포트	10MHz 기준 클럭 입력 1 채널 , SMA F
녹음 대역폭 선택	1/5/10/20/40MHz
녹음 해상도	16bit
녹음파일 형식	원시데이터 (RF/IF Binary)
저장용량	4TB
GUI 소프트웨어	저장 - 저장/삭제/재생, 실시간 상태 정보제어 , 제어 및 운용 재생 - 스펙트럼/진폭 그래프
크기	19 인치 랙타입 , 3U , 430mm (W) x 400mm (D) x 132(H)

광대역 IF 데이터레코더를 검증하기 위한 시험평가 항목은 입력 중심주파수, 최대 입력 대역폭, 데이터 입력포트, 기준클럭 입력포트, 녹음 대역폭 종류, 녹음 해상도, 녹음파일 형식, 저장용량, GUI 운용 기능, 크기 등이며 상세 규격의 예는 상기 표와 같다. 광대역 IF 데이터레코더 검증을 위한 시험평가 계획 및 시험 절차와 그 결과의 예는 다음과 같다.

최대입력 대역폭은 40MHz이고, 이를 검증하기 위해, 50MHz~90MHz의 구간을 10MHz 간격으로 측정한다. 신호발생기를 통해 장비로 신호를 입력하여, 신호를 저장하고, GUI의 스펙트럼 화면 출력을 통해, 입력된 신호가 정상적으로 저장되었음을 검증한다.

◆ 입력 중심 주파수 및 최대 입력 대역폭 검증:

⑤ 장비 및 GUI 설정

- 신호발생기 : 주파수 50~90MHz, 진폭 -20dBm
- 광대역 IF 데이터 레코더 : 대역폭 40MHz

⑤ 시험 절차

- 신호발생기의 출력과 광대역 IF 데이터 레코더의 입력을 RF 케이블로 연결한다.
- 장비 설정값에 따라 운용자 GUI의 대역폭을 설정한다.
- 대역폭을 설정 후 저장명령으로 해당 IF 신호를 저장한다. 입력신호는 50MHz, 60MHz, 70MHz, 80MHz, 90MHz에 대해 각각 수행한다.
- 신호발생기의 신호와 광대역 IF 데이터 레코더의 스펙트럼 출력을 비교하여, 신호의 저장이 정상적으로 수행되었는지 판단한다.

⑤ 시험 결과

- 50MHz~90MHz 범위에서 신호를 측정하여 정상적으로 출력이 되는 것을 확인하였다. 이를 통해 최대 대역폭 40MHz를 검증하였으며, 해당 대역폭의 중심은 70MHz이므로, 중심주파수가 70MHz인 것을 검증하였다.

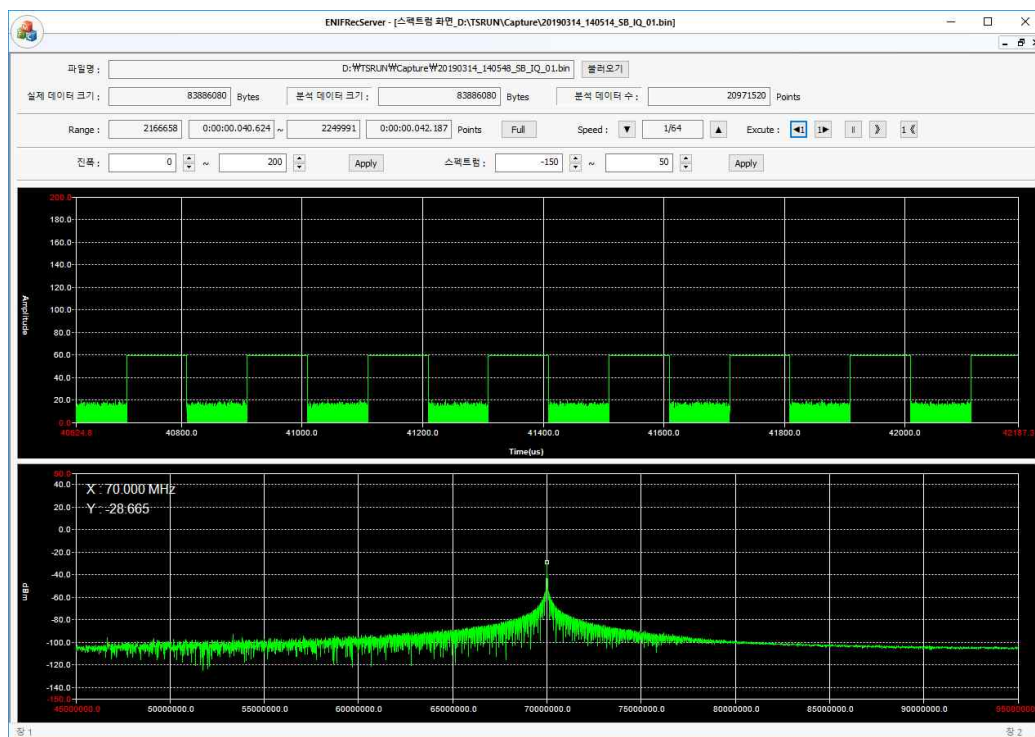


그림 6.13 70MHz 신호 측정 결과

⑤ 평가

- 최대 녹음대역폭은 50~90MHz의 신호 저장이 가능하므로 대역폭 40MHz를 만

족한다.

- 중심주파수는 최대 녹음대역폭의 중간값이 70MHz이므로, 중심주파수 70MHz를 만족한다.

◆ 녹음 대역폭 선택 기능 검증:

녹음 대역폭 선택 기능의 검증은 선택가능한 녹음 대역폭 각각에 대하여 검증을 수행한다. 각 대역폭에 대한 검증은 최대 대역폭 검증 방식과 동일하게 수행한다. 선택 가능한 대역폭의 종류는 1MHz, 5MHz, 10MHz, 20MHz, 40MHz가 있고 40MHz에 대한 검증인 기 수행하였으므로 나머지 대역폭에 대해서만 검증을 수행한다.

⑤ 장비 설정

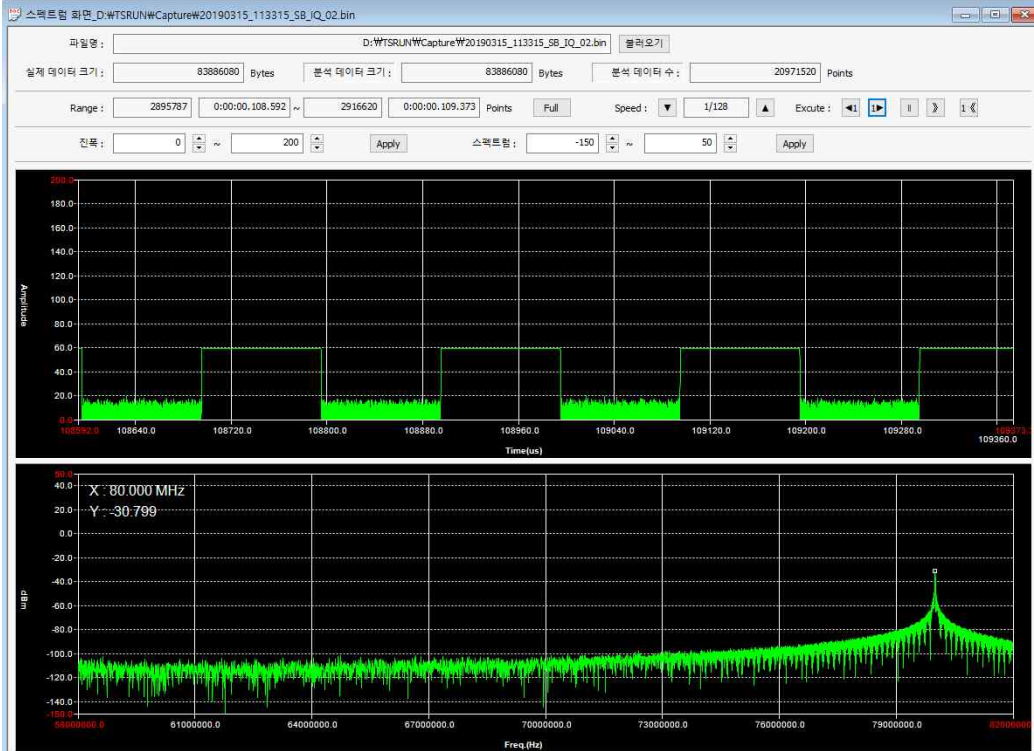
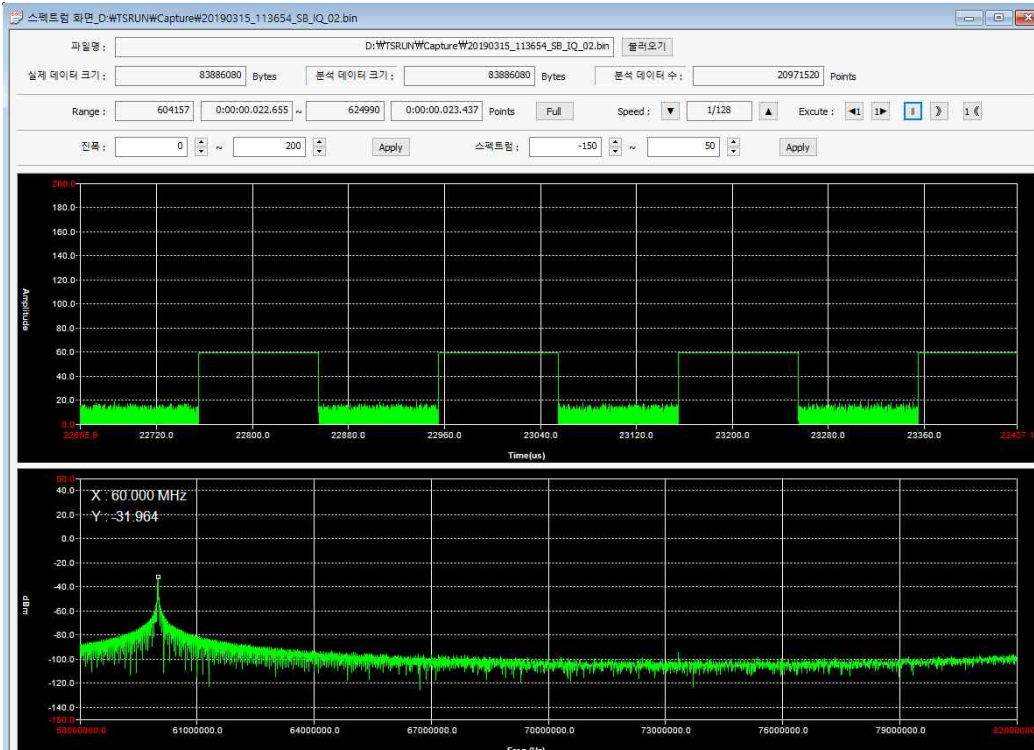
- 신호발생기 : 각 대역폭 별 최대주파수와 최소주파수, -20dBm
- 광대역 IF 데이터 레코더 : 대역폭 1MHz, 5MHz, 10MHz, 20MHz

⑥ 시험 절차

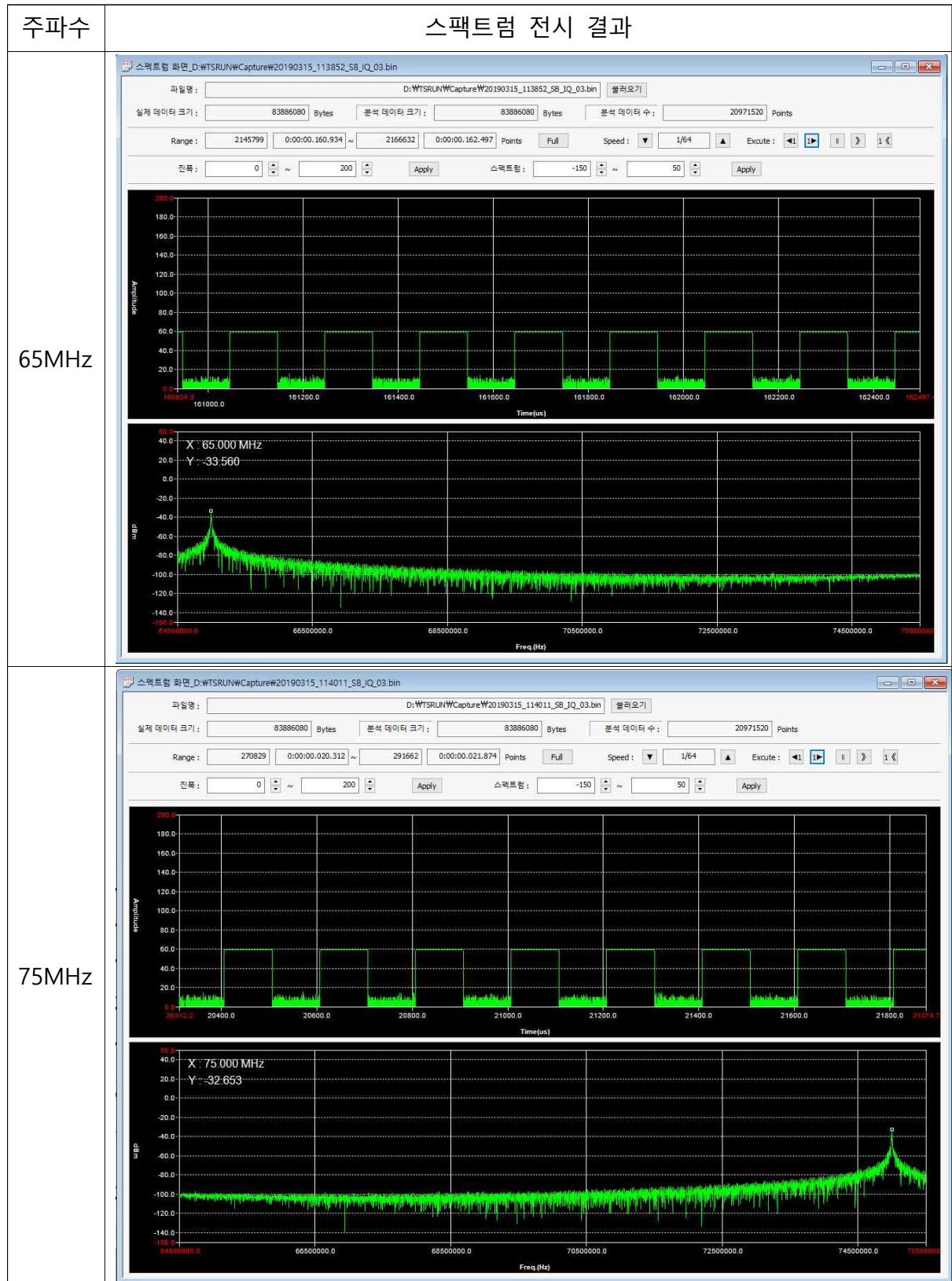
- 신호발생기의 출력과 광대역 IF 데이터 레코더의 입력을 RF 케이블로 연결한다.
- 장비 설정값에 따라 운용자 GUI에서 장비의 대역폭을 설정한다.
- 대역폭을 설정 후 저장명령으로 해당 IF 신호를 저장한다. 입력신호는 각 대역폭의 최소주파수와 최대주파수로 설정한다.
- 신호발생기의 신호와 광대역 IF 데이터 레코더의 스펙트럼 출력을 비교하여, 신호의 저장이 정상적으로 수행되었는지 판단한다.

⑦ 시험 결과

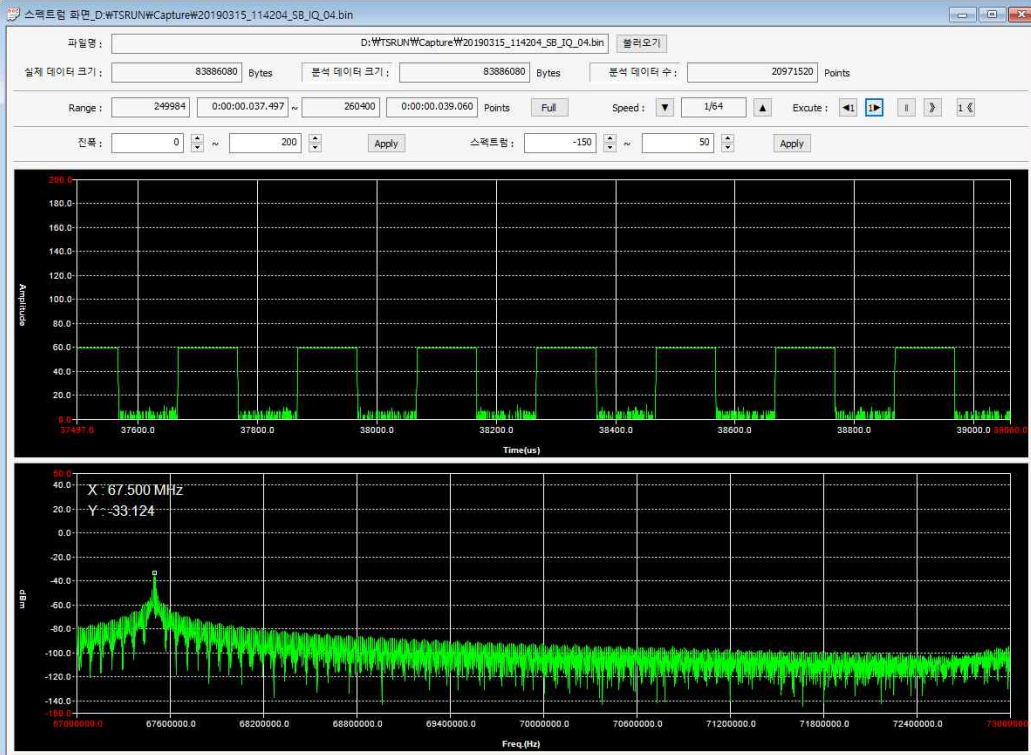
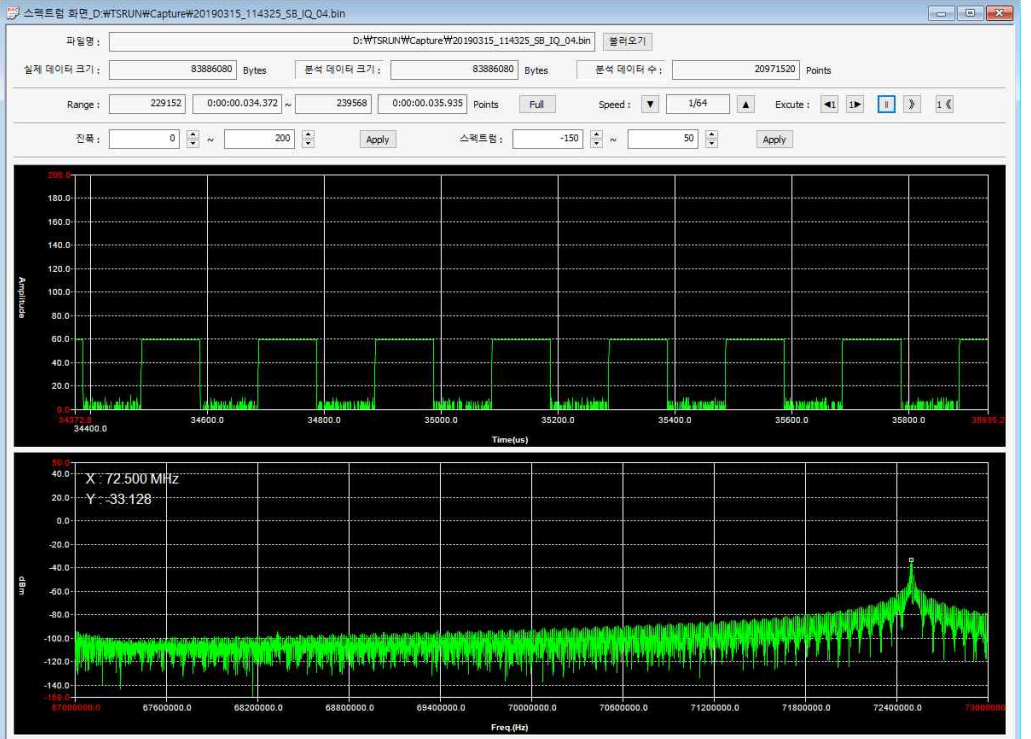
- 대역폭 20MHz

주파수	스펙트럼 전시 결과
80MHz	 스펙트럼 화면: D:\WTSRUN\Capture\W20190315_113315_SB_IQ_02.bin 파일명: D:\WTSRUN\Capture\W20190315_113315_SB_IQ_02.bin 실제 데이터 크기: 83886080 Bytes 분석 데이터 크기: 83886080 Bytes 분석 데이터 수: 20971520 Points Range: 2895787 0:00:00.108.592 ~ 2916620 0:00:00.109.373 Points Full Speed: 1/128 Execute: [Buttons] 진폭: 0 ~ 200 Apply 스펙트럼: -150 ~ 50 Apply Amplitude vs Time (us) plot showing a periodic waveform. dBm vs Freq (Hz) plot showing a peak at X: 80.000 MHz, Y: -30.799.
60MHz	 스펙트럼 화면: D:\WTSRUN\Capture\W20190315_113654_SB_IQ_02.bin 파일명: D:\WTSRUN\Capture\W20190315_113654_SB_IQ_02.bin 실제 데이터 크기: 83886080 Bytes 분석 데이터 크기: 83886080 Bytes 분석 데이터 수: 20971520 Points Range: 604157 0:00:00.022.655 ~ 624990 0:00:00.023.437 Points Full Speed: 1/128 Execute: [Buttons] 진폭: 0 ~ 200 Apply 스펙트럼: -150 ~ 50 Apply Amplitude vs Time (us) plot showing a periodic waveform. dBm vs Freq (Hz) plot showing a peak at X: 60.000 MHz, Y: -31.964.

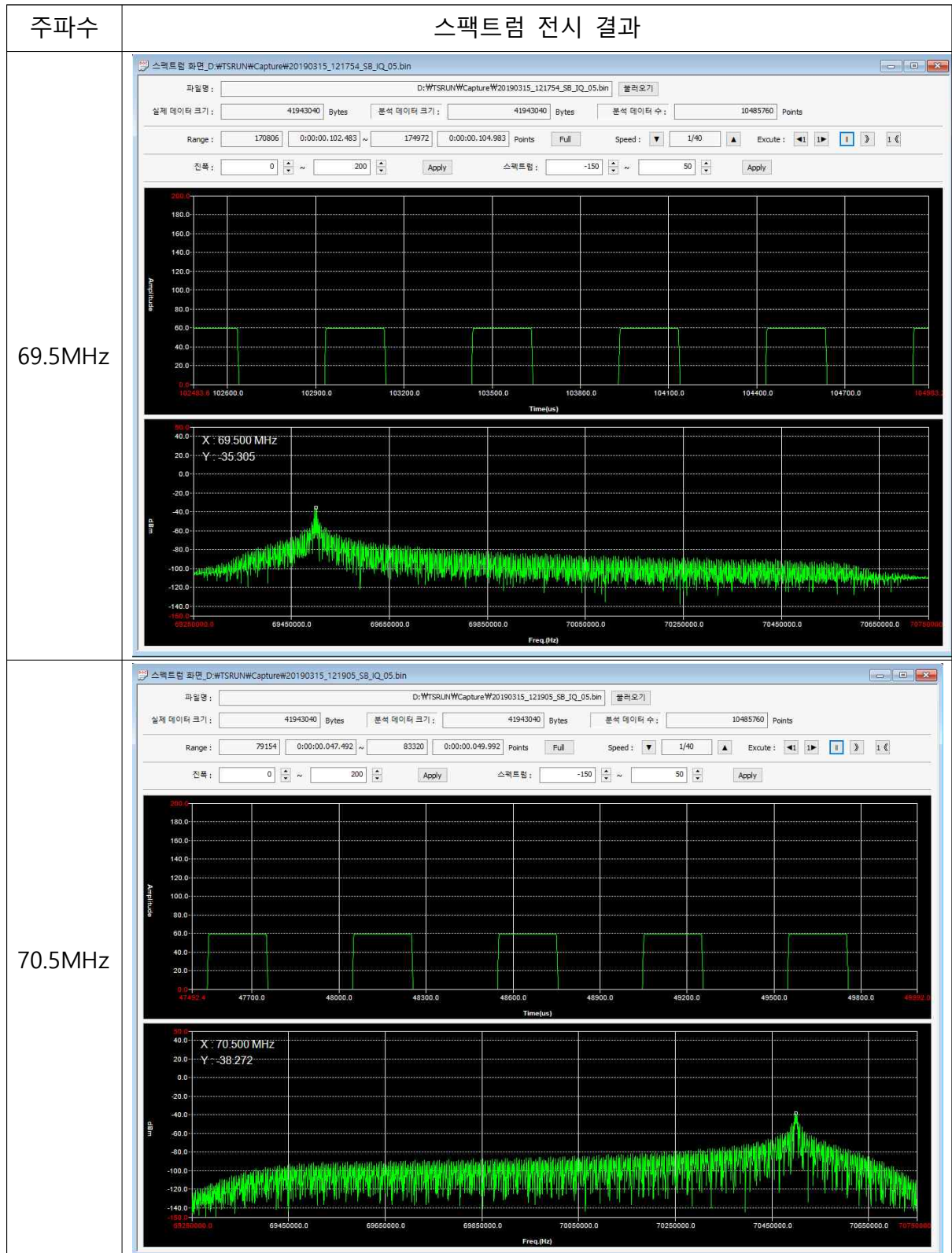
- 대역폭 10MHz



- 대역폭 5MHz

주파수	스펙트럼 전시 결과
67.5MHz	 The screenshot displays the Wireshark interface for a packet capture file named 'D:\WTSRUNW\CaptureW20190315_114204_SB_IQ_04.bin'. The top section shows packet capture statistics: 83886080 Bytes of raw data, 83886080 Bytes of filtered data, and 20971520 Points. The range is set from 249984 to 260400 points. The bottom section shows a spectrum plot with a peak at 67.500 MHz and a Y-axis value of -33.124 dBm.
72.5MHz	 The screenshot displays the Wireshark interface for a packet capture file named 'D:\WTSRUNW\CaptureW20190315_114325_SB_IQ_04.bin'. The top section shows packet capture statistics: 83886080 Bytes of raw data, 83886080 Bytes of filtered data, and 20971520 Points. The range is set from 229152 to 239568 points. The bottom section shows a spectrum plot with a peak at 72.500 MHz and a Y-axis value of -33.128 dBm.

- 대역폭 1MHz



평가

- 운용자 GUI를 통해 대역폭 1MHz, 5MHz, 10MHz, 20MHz의 선택 기능을 확

인하였으며, 각 대역폭별로 신호가 정상적으로 저장이 된다는 것을 확인하였다.

◆ 녹음 해상도 검증:

녹음 해상도는 16bit이고 이를 검증하기 위해 데이터 1개당 16bit를 나타낼을 보인다. 데이터 1개의 크기를 알기 위해서는 저장된 데이터 파일의 크기와 데이터 개수를 알아야 한다. 원시데이터 파일의 용량 값을 데이터 개수로 나누면 I 데이터와 Q 데이터 한 쌍의 데이터 용량이 산출되며, 이를 통해 I데이터와 Q데이터 각각의 데이터 크기가 16bit로 계산되면, 녹음 해상도 16bit임이 검증된다.

㉠ 장비 설정

- 신호발생기 : 주파수 70MHz, 진폭 -20dBm
- 광대역 IF 데이터 레코더 : 대역폭 40MHz

㉡ 절차

- 신호발생기의 출력과 광대역 IF 데이터 레코더의 입력을 RF 케이블로 연결한다.
- 운용자 GUI에서 대역폭을 40MHz로 선택하여 장비를 설정한다.
- 대역폭과 녹음파일 형식을 설정 후 저장명령으로 해당신호를 저장한다.
- 저장된 파일의 크기를 확인한다.
- 저장된 파일에 포함된 데이터 개수를 확인한다.
- 저장된 파일의 크기와 데이터 개수를 계산하여 IQ데이터 한쌍의 용량을 계산한다.
- 각 데이터의 크기를 계산한다.

㉢ 결과

- 저장파일의 크기 확인 및 저장된 파일에 포함된 데이터 개수

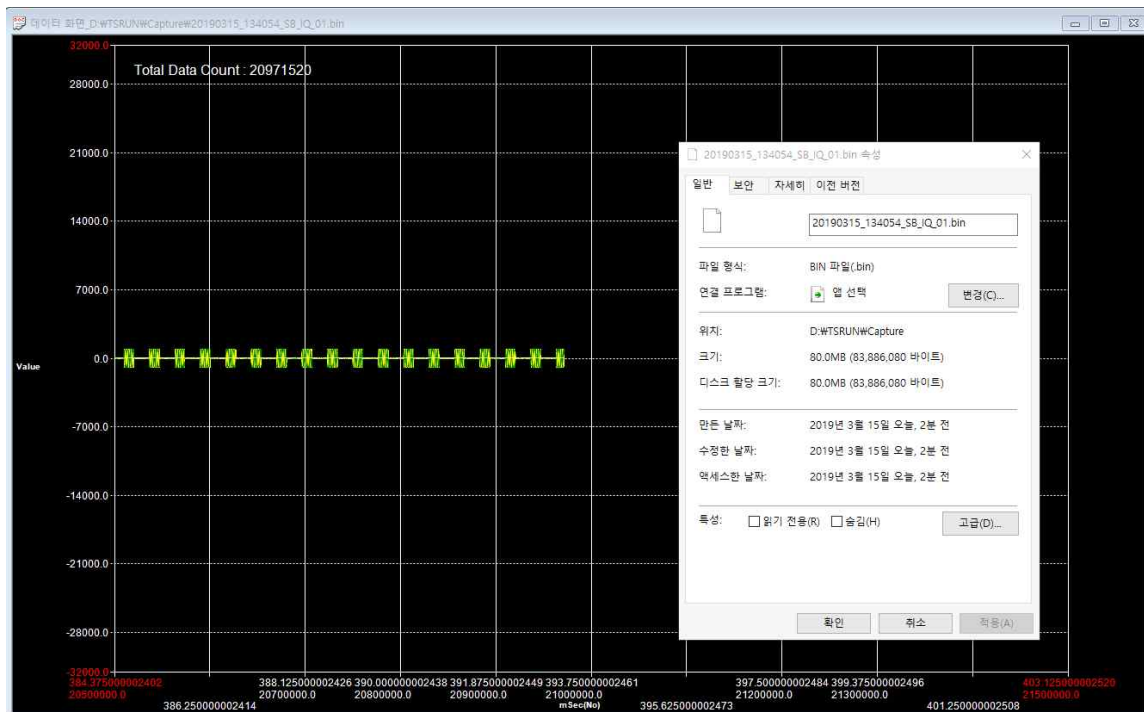


그림 6.14 데이터 파일 크기 및 데이터 개수 측정 결과

- 데이터 1개당 용량 계산
 - 데이터 크기 : 83,886,080 Byte
 - 데이터 개수 : 20971520
 - IQ데이터 한쌍 용량 = 데이터 크기 / 데이터 개수 = 4 Byte
 - 단일 데이터의 크기 : 2 Byte = 16 Bit
- 녹음해상도는 위의 계산 결과와 같이 16Bit임을 검증하였다.

평가

- 데이터 1개당 16bit이므로, 녹음 해상도 16bit를 만족한다.

◆ 녹음파일 형식 검증:

녹음파일은 원시데이터로 저장되며 전시화면을 통해 이것을 검증한다. 원시데이터 파일의 각 데이터는 IQ데이터의 형태이며, 전시화면을 통해 I데이터와 Q데이터가 정상적으로 녹음이 되었는지 확인한다.

장비 설정

- 신호발생기 : 주파수 70MHz, 진폭 -20dBm,
- 광대역 IF 데이터 레코더 : 대역폭 40MHz

절차

- 신호발생기의 출력과 광대역 IF 데이터 레코더의 입력을 RF 케이블로 연결한다.

- 운용자 GUI를 통해 대역폭을 40MHz로 설정하여 장비를 설정한다.
- 저장된 원시데이터를 재생하여, I데이터와 Q데이터 각각이 전시화면에 정상적으로 출력되는지 확인한다.

결과

- 원시데이터 출력 그래프

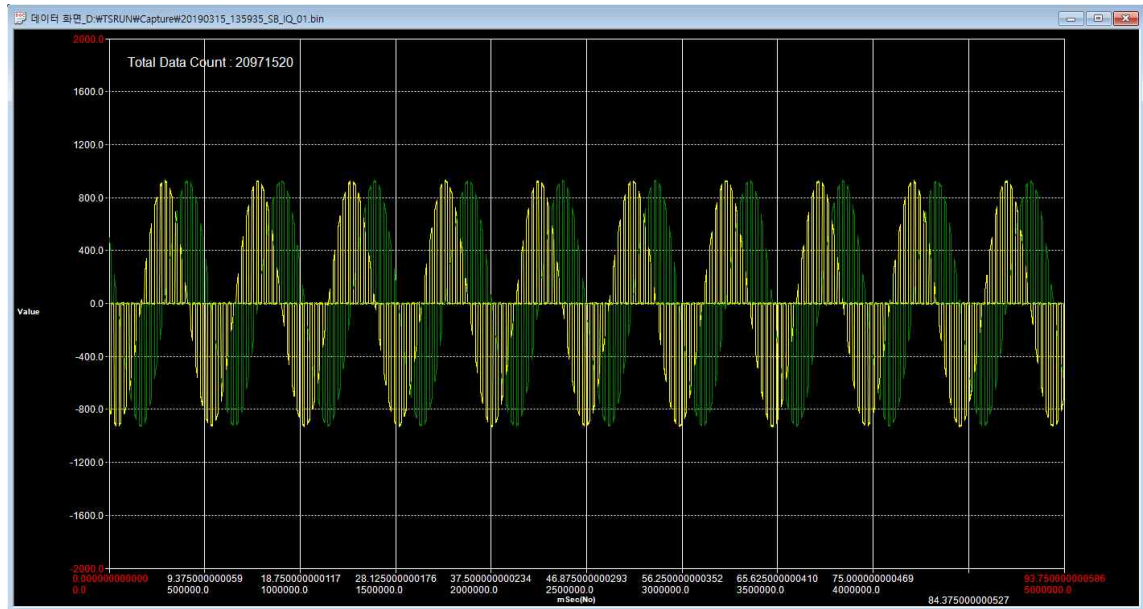


그림 6.15 원시데이터 전시 화면

평가

- IQ 데이터의 형태로 저장된 원시데이터를 전시화면을 통해 검증하였다.

◆ GUI 소프트웨어 검증:

실시간 상태 정보 / 제어 및 운용 / 저장

- 운용자 GUI를 통해 IF/RF 고속 데이터 처리보드의 실시간 상태정보를 확인할 수 있으며, 데이터 저장을 위한 대역폭 및 데이터 형식을 설정하는 등 제어 및 운용이 가능하다. 또한 저장명령을 통해 신호를 저장한다.

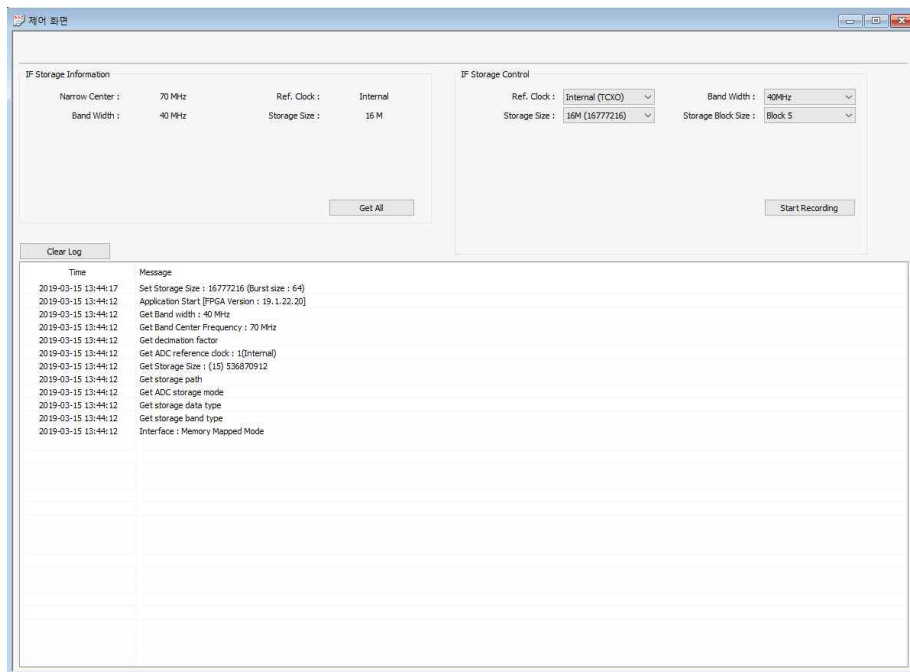


그림 6.16 제어 및 운용 화면

🔄 재생 : 스펙트럼 그래프 / 진폭 그래프

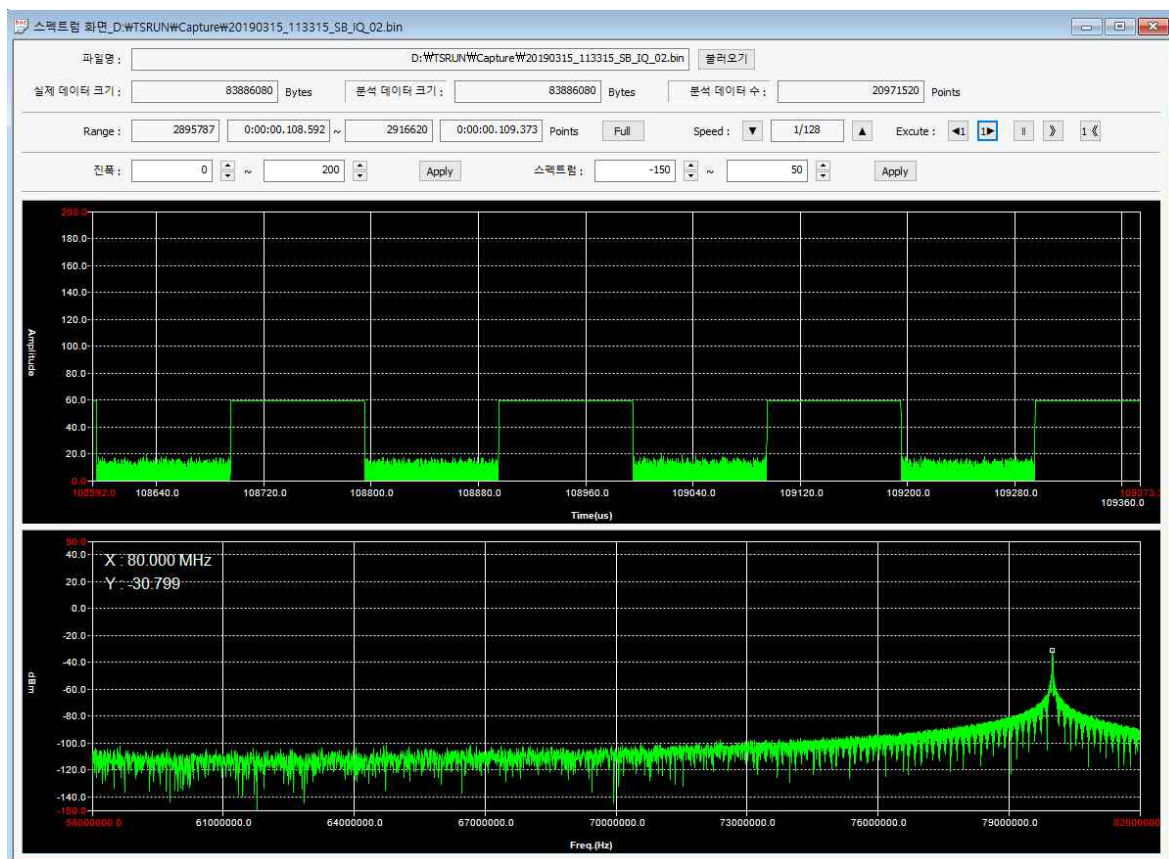


그림 6.17 스펙트럼 / 진폭 그래프

평가

- 운용자 GUI의 제어화면 및 그래프 출력화면을 통해 저장, 실시간 상태 정보제어, 제어 및 운용, 스펙트럼/진폭 그래프 출력 기능 만족함을 확인하였다.

3차년도에 연구된 탑재센서 및 계측시스템 검증방안 보고서는 추후 탑재센서 및 탑재계측시스템 구축 시, 또한 비행시험 계측시스템 Upgrade 시 시험평가 검증에 유용하게 활용될 것으로 기대한다.

참고 문헌

- [1] 강동배, 오중훈, “비행계측시스템의 정밀 시간동기화를 위한 IEEE 1588 적용 연구”, 한국항공우주학회 2016 추계 학술대회 논문집, 2016, 839-841
- [2] 천재만, 김민재, 윤중호, “xCore 프로세서 기반의 정밀 시간동기용 IRIG-B 모듈설계 및 구현”, 2015년 대한전자공학회 하계학술대회 논문집, 2015, 397-398
- [3] 문병진, 한유수, 최용태, 이재용, “나로우주센터 표준시각 동기화장비 성능 개선을 위한IEEE 1588 적용에 관한 연구”, 한국통신학회 2016 동계종합학술발표회 논문집, 2016, 312-313.
- [4] IEEE Std., “1588-2002 IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems., “ IEEE Std 1588-2002, 2002, pp. 1~144.
- [5] Diarmuid Corry, M. Eng., “IEEE1588-A Solution for Synchronization of Networked Data Acquisition System?, “ Proceeding of International Telemetry Conference 2006, 2006, pp. 125-134.
- [6] Thomas Grace, John Roach., “1588-Enhanced Vehicle Network Concept Demonstration, “ Proceeding of International Telemetry Conference 2016, 2016, pp. 135-144.
- [7] IEEE Std., “1588-2008 IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems., “ IEEE Std 1588-2008, 2008, pp. 1~144.
- [8] 한유수, 최용태, 이효근, “나로우주센터 표준시각분배망 소개”, 제5회 시험평가기술 심포지엄, 2007.
- [9] 한유수, 최용태, “나로우주센터 표준시각 동기화장비 기술동향”, 항공우주산업기술동향, 6권 1호, pp. 114 ~ 121, 2008.
- [10] Microsemi, “XLI IEEE 1588 Grandmaster Clock (PTPv2) User Guide”, pp. 125 ~ 130, 2010.
- [11] IEEE. "Timing and Synchronization for Time-Sensitive Application in Bridged Local area Networks", IEEE Std 802.1AS, Mar. 2011.
- [12] 김관수, 이홍희, 김병진, 박종찬, “IEC61850 프로세서 레벨에서의 시간 동기화를 위한 IRIG-B 프로토콜 구현에 관한 연구”, 대한 전기학회 하계학술대회 논문집, 2007.
- [13] RCC, Telecommunication and timing group, "IRIG SERIAL TIME CODE FORMATS", IRIG STANDARD 200-98.
- [14] Albert Berdugo, Teletronics Technology Corporation, "Advanced Distributed Wideband Data Acquisition System"
- [15] ADAS Nexeya Product Division, "Telemetry with Magali", 2013년
- [16] AGARDograph 160 Flight Test Instrumentation Series -Volume I (Issue 2), “Basic Principles of Flight Test Instrumentation Engineering”
- [17] Gerhard Mayer of International Consortium for Telemetry Spectrum (ICTS) and

- Timothy Chalfant of Edwards Air Force Base , “Trend In Aeroflight Test Telemetry “, 2007년
- [18] Gerhard Mayer, Department of Computer Sciences Paris Lodron University Salzburg / Austria, "Trends In Aeronautical Wideband Telemetry Applicable To Science Missions With Aircraft & Balloon", 2009년
- [19] Global Forecast to 2021, "Airborne Telemetry Market by Application"
- [20] L-3 Communications Telemetry West, “Telemetry Tutorial"
- [21] M. A. Perry, “Flight Test Instrumentation", Proceedings of the Third Instrumentation Symposium, 1964년
- [22] RTO AGARDograph 300 Flight Test Techniques Series - Volume 14, "Introduction to Flight Test Engineering", 2005년
- [23] Steve pellarin and Hy Grossman, Teletronics Technology Corporation, "Wireless Sensor System for Airborne Applications"
- [24] Telemetry Group RF Systems Committee, “Telemetry (TM) Systems Radio Frequency (RF) Handbook” , Secretariat Range Commanders Council U.S. Army White Sands Missile Range New Mexico 88002-5110, 2008년
- [25] Timothy Chalfant & Gerhard Mayer, The International Consortium for Telemetry, "Trends in Aeronautical Flight Test Telemetry", International Seminar AeroIndia 2009, Bangalore
- [26] 강경우외 4명, “KUH 비행시험 계측 및 개선 방향 연구” , 한국항공우주학회 2013년도 춘계학술대회, 2013.4, 820-823
- [27] 김보성외 3명, “최신 소프트웨어 기반 지상계측 시스템 설계” , 한국항공우주학회 2016년도 춘계학술대회, 2016.4, 832-835
- [28] 김영외 2명, “스포츠급 경항공기 비행시험 계측 인프라 연구” , 한국항공우주학회 2013년도 춘계학술대회, 2013.4, 820-823
- [29] 김재문, 김영수, 원충연, “국내 발사체 지상지원설비에서의 원격제어 및 계측시스템 연구개발” , 조명·전기설비 제17권 제3호, 2003.6, 36-45
- [30] 박광만외 2명, 전자통신연구원, “센서산업과 주요 유망센서 시장 및 기술동향” , ETRI Creative Opinion 시리즈, 2015년
- [31] 박우현외 4명, “탐재계측 시스템 항공기 적용 사례 연구” , 한국항공우주학회 2013년도 추계학술대회, 2013.11, 1464-1467
- [32] 박우현외 3명, “한국형 전투기 개발을 위한 탐재계측시스템 연구” , 한국항공우주학회·수록지정보 : 한국항공우주학회 학술발표회 논문집, 2014년
- [33] 이희규외 2명, “계측센서공학” , 형설출판사
- [34] 한국 산업자동화시장 전망보고서, “2010~2011 한국 센서 시장 현황 “, 2011년
- [35] 한국전자정보통신산업진흥회, "안테나 산업 경쟁력 조사", 2008년
- [36] 한국항공우주산업(주) 개발본부 비행계획팀, “T-50 항공기 개발 경험으로 쓴 실전 비행 시험 계측” , 청문각
- [37] 임중수, “STM32 프로세서를 이용한 고속 데이터 수집 및 융합 시스템 설계” , 한국융합학회논문지 제7권 제1호, 2016년

참고 웹사이트

- [1] Advanced Range Telemetry (ARTM) Project, www.cteip.osd.mil
- [2] Cutiss-Wright Defense Solution Website", <http://www.cutisswrightds.com>
- [3] WRC-2007, Final Acts, Geneva 22 Oct. to 16 Nov. 2007,
<http://www.itu.int/publ/R-ACT-WRC.8-2007/en>
- [4] 비행시험 기술 표준 (IRIG-106), <http://www.irig106.org>

부 록. 3-2

효율적인 비행시험데이터 분석 및 시스템 유지보수 방안 연구 보고서

효율적인 비행시험데이터 분석 및 시스템 유지 방안 연구

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 항공안전기술원
위탁연구기관 / 엔비노드(주)

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

항공안전기술원 원장 귀하

이 보고서를 "비행시험자료 계측 및 분석기술 연구"과제의 3차 년도 하반기 보고서로 제출합니다.

2019. 12. 26.

주관연구기관명 : 항공안전기술원

주관연구책임자 : 한 정 호

" : 박 옥 제

" : 김 승 한

위탁연구기관명 : 엔비노드(주)

위탁연구책임자 : 김 형 섭

연 구 원 : 조 택 선

" : 최 창 용

" : 추 민 성

" : 김 영 수

" : 이 주 석

과제고유번호	15ATRP-C 109146-01	해 당 단 계 연 구 기 간	‘18.01.29. ~ ‘19.12.28.	단 계 구 분	3/3
연 구 사 업 명	중 사 업 명	국가 비행종합시험인프라 개발 · 구축			
	세부사업명	국가 비행종합시험인프라 개발 · 구축			
연 구 과 제 명	대 과 제 명	비행시험자료계측 및 분석기술 개발			
	세부과제명	비행시험자료계측 및 분석기술 개발			
연 구 책 임 자	한정호	해당단계 참 여 연구원수	총 : 명 내부 : 명 외부 : 명	해당단계 연 구 비	정부 : 천원 기업 : 천원 계 : 천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 명 내부 : 명 외부 : 명	총연구비	정부 : 천원 기업 : 천원 계 : 천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	항공안전기술원		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 : 엔비노드(주)		연구책임자 : 김형섭		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	
본 보고서는 비행시험자료계측 및 분석기술연구의 3차년도 하반기 연구활동으로 “효율적인 비행시험 데이터 분석 및 시스템 유지방안 연구”로서 비행시험 데이터 분석과 이를 위한 소프트웨어 TOOL 연구, 계측시스템의 효율적인 운영방안, 계측시스템 유지 보수 등에 대하여 기술하였다. 2장의 비행시험 데이터 분석과 소프트웨어 TOOL 연구에서는 “탐재센서 및 계측시스템 검증방안 개발”에서 연구한 데이터 처리기에 대한 내용과 L-3 Communication사의 ‘Vista Prospector’와 Magali사의 ‘후처리 S/W’를 조사하였다. 운용자 인터페이스는 Prospector의 경우 웹 브라우저 인터페이스를 제공하고, 입력파일 포맷은 Prospector와 Magali 소프트웨어는 IRIG Chapter 10 표준과 업체 고유 포맷을 제공하고 있다. 3장은 계측시스템의 효율적인 운영방안에 관련된 것으로 계측시스템을 비행시험 전후에 활용방안을 기술하였고, 특히 비행시험 거리가 확장되는 경우에 대비하여 지상에 중계기를 두어서 비행거리를 연장하는 경우에 대해서 기술하였다. 4장은 비행 후 처리를 위한 IF/RF 광대역 데이터레코더의 비행시험 분야에서의 활용 방안, 그리고 타 분야에 적용하여 활용할 수 있는 방안에 대하여 기술하였다. 5장은 계측시스템의 유지보수 및 기술지원체계에 대한 연구로 계측실험실을 구축하여 활용하는 방안을 제시하였다. 국내비행시험관련 자료가 부족하여 보고서 작성이 어려웠으며, 국내에서 개발하여 사용하는 T-50 비행시험에서 사용한 자료가 검증된 자료로 판단되어 일부 활용하였다. 본 보고서는 국내 항공기 비행시험 계측의 데이터분석 및 유지방안에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 예상되며 미래 우주항공시대를 준비하면서 비행시험 계측에 대한 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	비행시험계측장비, 탐재계측시스템, 지상계측시스템, 비행 후 데이터처리시스템, 비행시험센터			
	영 어	Flight Test Instrumentation, Telemetry Airborne System, Telemetry Ground System, Post Data Processing System, Flight Test Center			

요 약 문

I. 제목

효율적인 비행시험 데이터 분석 및 시스템 유지방안 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

항공기 비행시험 데이터 분석 Tool 구축 및 계측 시스템의 운영방안과 유지 보수, 기술지원 체계 구축에 필요한 자료를 제공하고자 한다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 비행시험 데이터 분석을 위한 소프트웨어 TOOL 연구
- 계측시스템의 효율적인 운영방안 연구
- 비행 후 처리를 위한 IF/RF 광대역 데이터레코더 활용 방안 연구
- 계측시스템 유지보수 및 기술지원체계 연구

IV. 연구개발결과

효율적인 비행시험 데이터 분석 방법과 소프트웨어 Tool 개발 및 시스템 유지 보수 및 기술지원체계 방법을 조사하고 방안을 제시한다.

- 비행시험 데이터 분석을 위한 소프트웨어 TOOL 연구
 - 지상계측장비 데이터 처리 시스템
 - 소프트웨어 Tool 개발 방안
- 계측시스템의 운영방안 연구
 - 중계기 설치 방안
- 계측시스템 유지보수 및 기술 지원체계 연구
 - 계측 실험실 운영 방법
- 비행 후 처리를 위한 IF/RF 광대역 데이터레코더 활용 방안 연구
 - 비행시험 분야에서의 활용 방안
 - 타 분야에서의 활용 방안

V. 연구개발결과의 활용계획

비행시험 데이터 분석 및 소프트웨어 Tool 개발과 계측 시스템 유지보수와 기술 지원체계 수립에 활용한다.

SUMMARY

○ Research Title

The Report of Research on the Efficient Data Analysis and Maintenance Plan of the Flight Test Telemetry system

○ Purpose and Need of Research

The purpose of this research is to provide the necessary back data for the construction of flight data analysis tool and supporting system, and the planing of Operation and Maintenance of the Flight Test Telemetry system.

○ Major Contents of Research

- Reseach on Software Tool for the Analysis of Flight Test Data
- Research on the Planning of Efficient Operation and Management of the Flight Test Telemetry system
- Research on the Application Plan of IF/RF Wideband Data Recorder for Post Processing of the flight test data
- Research on the Plan of Maintenance and Supporting system of the Flight Test Telemetry system
- Development of High speed Data Processing Technology for IF/RF Storage

○ Conclusion

In this research, we suggested the plan for the efficient flight test data analysis method and software tools development, system maintenance, and supporting technology system.

- Planning The Efficent Flight test data Analysis Tool
 - for the data processing system for the Ground Flight Test Telemetry system
 - for the development suggestion for the Software Analysis Tool
- Suggestion of the Operation plan of the Flight Test Telemetry system
 - Suggestion of Using the Repeaters for the long distant

operation

- Suggestion of application of the IF/RF Wideband Data Recorder for Post Processing of the flight test data
 - for the field of the Flight test
 - for the other field
- Suggestion of the Maintenance of the Flight Test Telemetry system and Technology of Supporting System
 - suggestion of operation the flight test laboratory.

CONTENTS

Chapter 1. Instruction	1
Chapter 2. Research on the Flight data Analysis S/W Tools	2
Verse 1. Real-time data Processing S/W Tools	2
Verse 2. Post Data Processing S/W Tools	3
Chapter 3. Research on the Efficient operating plan of the Flight test Telemetry system	63
Verse 1. the Efficient operating plan of the Telemetry Airborne System	63
Verse 2. the Efficient operating plan of the Telemetry Ground System	66
Chapter 4. Research on the Application of IF/RF Wideband Data Recorder for Post Processing of the flight test data	71
Verse 1. Overview	71
Verse 2. Verification Suggestion of the IF/RF Wideband Data Recorder Development	73
Verse 3. the trend of IF/RF Data Recorder Technology	82
Verse 4. Suggestion of Application of IF/RF Data Recorder	86
Chapter 5. Research on the Maintenance and Supporting System	89
Verse 1. The purpose and main Activity of the Flight Test Laboratory	89
Verse 2. Composition of the Flight Test Laboratory	92
Chapter 6. Conclusion	94
Reference	100
Reference Site	102

목 차

1장. 서론	1
2장. 비행시험 데이터 분석을 위한 소프트웨어 Tool 연구	2
1절. 실시간 데이터 처리를 위한 분석 소프트웨어 툴	2
1. 실시간 데이터 처리 및 분석 기술	3
2. 실시간 데이터 처리 및 분석 기술 동향	13
3. 실시간 비행시험 데이터 분석 소프트웨어 Tool 기술 분석	15
2절. 비행 후 데이터 처리를 위한 분석 소프트웨어 툴	25
1. 개요	25
2. 비행 후 데이터 처리시스템의 구성	26
3. 비행 후 데이터 운용 소프트웨어	30
4. 시스템 관리 소프트웨어	37
5. 비행 후 데이터 처리 절차	42
6. 비행 후 데이터 분석 소프트웨어 Tool 기술 분석	44
3장. 계측시스템의 효율적인 운영방안 연구	63
1절. 탑재계측 시스템 운영	63
1. 항공기 탑재 전 계측시스템 운영	64
2. 항공기 장착 시 계측시스템 운영	64
3. 항공기 장착 후 계측시스템 운영	65
2절. 지상계측 시스템 운영	66
1. 일반 비행시험 운영	67
2. 비행시험 전 준비	67
3. 실시간 비행시험 지원	68
4. 원격지원 장비	69
4장. 비행 후 처리를 위한 IF/RF 광대역 데이터레코더 활용방안 연구	71
1절. IF/RF 광대역 데이터레코더 개요	71
2절. IF/RF 광대역 데이터레코더 검증 방안	73
1. IF/RF 광대역 데이터레코더 시제품 개발	73
2. IF/RF 광대역 데이터레코더 시험 평가 항목	76
3. IF/RF 광대역 데이터레코더 시험 절차서 및 검증 결과	76
3절. IF/RF 데이터레코더 기술 동향	82

1. 데이터레코더 국내 운용사례	84
2. 데이터레코더 해외 기술 동향	84
3. 데이터레코더 국내 기술 경쟁력 분석	86
4. 데이터레코더 기술개발의 경제적 타당성 분석	86
4절. IF/RF 광대역 데이터레코더 활용 방안	86
1. 비행시험 분야에서의 활용	87
2. 타 분야에서의 활용	88
5장. 계측시스템의 유지 보수 및 기술지원 체계 연구	89
1절. 비행시험 계측실험실의 목적 및 주요 업무	89
1. 계측장비 점검	89
2. 계측통합시스템 점검	91
3. 고장 탐구 수행	92
4. 센서 및 장비 관리	92
2절. 비행시험 계측실험실의 구성	92
1. 시스템통합시험 구역	92
2. LRU 시험 구역	93
3. 계측센서 및 장비 관리 구역	93
6장. 결 론	94
참고 문헌	100
참고 웹사이트	102

표 차례

표 2.1 비행시험 지상계측시스템의 데이터 Processor 기술 동향	15
표 2.2 T-50 DPD 데이터베이스 구성 테이블 리스트	36
표 2.3 자료 분류체계 예	43
표 2.4 비행 후 처리시스템을 제공하는 업체 동향	44
표 2.5 국내 비행시험장에서의 비행후처리시스템 운용 사례	45
표 2.6 대표적인 비행후처리시스템의 기술 요약	45
표 2.7 비행시험에서의 비행후처리시스템의 요구도 현황	46
표 2.8 비행시험에서의 비행후처리시스템의 발전추세	46
표 4.1 IF 광대역 데이터레코더 시제품 시험평가 항목 및 규격	76
표 4.2 비행시험 지상계측시스템의 데이터레코더 제공 업체 동향	84
표 4.3 국내 비행시험장에서의 데이터레코더 운용 사례	84
표 4.4 IF/RF 데이터레코더 해외 기술 동향	85
표 5.1 계측기 및 센서관리 프로그램	90

그림 차례

그림 1.1 중계기를 포함한 지상계측시스템 구성도	1
그림 2.1 실시간 비행이동 경로 표시기 및 실시간 Rolling/Pitching 표시기(예)	3
그림 2.2 실시간 Visualized한 시현(예)	4
그림 2.3 MCR 내부 배치도(Layout)	6
그림 2.4 Display 화면(예)	8
그림 2.5 Strip Chart(예)	9
그림 2.6 Flutter Display System(예)	10
그림 2.7 영상 시현(예)	11
그림 2.8 가상현실 시현 (예)	11
그림 2.9 보고서 시현화면 (예)	13
그림 2.10 L-3사의 표준 display (예)	17
그림 2.11 L-3사의 이벤트 / 알람 처리 화면 (예)	18
그림 2.12 L-3사의 보관 및 재생 화면 (예)	18
그림 2.13 Magali사의 적응형 데이터 처리 아키텍처	22
그림 2.14 Magali사의 데이터 처리 소프트웨어의 데이터 저장장치 적용 (예)	23
그림 2.15 Magli사의 Graphical Editor (예)	24
그림 2.16 Magali사의 Video Module (예)	25
그림 2.17 비행시험 데이터 처리 과정	26
그림 2.18 비행 후 데이터 처리시스템 구성 (예)	27
그림 2.19 데이터베이스 구성(예)	31
그림 2.20 데이터 흐름도 (예)	32
그림 2.21 T-50 DPD Data Flow Chart(예)	37
그림 2.22 T-50 시스템 관리 소프트웨어(예)	37
그림 2.23 T-50 On-Line Request & Response EDRS (예)	38
그림 2.24 EDRS Interface (예)	39
그림 2.25 Data Request Status 플로우 차트	41
그림 2.26 Magali사 비행 후 처리 가시화 소프트웨어 툴 (예)	48
그림 2.27 Magali사 Graphic Editor 화면 (예)	51
그림 2.28 Magali사 Check list 운용 화면 (예)	52
그림 2.29 Magali사 NDA 네트워크 아키텍처	53
그림 2.30 L-3사 Prospector Overview	55
그림 2.31 L-3사 후처리 가시화 (예)	57
그림 2.32 L-3사 PSD Display 화면 (예)	58
그림 2.33 L-3사 Vista 4 화면 (예)	59
그림 2.34 L-3사 Microscope 화면 (예)	60

그림 2.35 L-3사 Microscope 분석 방법 (예)	61
그림 2.36 L-3사 3D Display 톨 화면 (예)	62
그림 3.1 탑재계측시스템 구성도	63
그림 3.2 T-50 비행시험 계측시스템용 센서 부착도	65
그림 3.3. 비행시험용 데이터베이스 생성 플로우차트	67
그림 3.4. 실시간 비행시험 지원 구성도	69
그림 3.5 T-50 이동형 TGS 장비	69
그림 4.1 IF/Rf 광대역 데이터레코더 비행시험 활용 (예)	72
그림 4.2 광대역 IF/Rf 데이터레코더 개념도	72
그림 4.3 IF/Rf 운용자 GUI 제어 화면 (예)	74
그림 4.4 IF/Rf 데이터 전시 화면(Real 데이터)	74
그림 4.5 IQ 데이터 전시	75
그림 4.6 IQ 데이터 진폭 전시	75
그림 4.7 IF/Rf 광대역 데이터레코더 시제품 형상	76
그림 4.8 50MHz 신호 측정 결과	77
그림 4.9 60MHz 신호 측정 결과	78
그림 4.10 70MHz 신호 측정 결과	78
그림 4.11 80MHz 신호 측정 결과	78
그림 4.12 90MHz 신호 측정 결과	79
그림 4.13 데이터 파일 크기 및 데이터 개수 측정 결과	80
그림 4.14 Real 데이터 출력 결과	81
그림 4.15 IQ 데이터 출력 결과	81
그림 4.16 IF/Rf 데이터레코더 제어 화면	82
그림 4.17 스펙트럼 화면	82
그림 4.18 진폭 화면	83
그림 4.19 Zodiac사의 RSR IF 데이터레코더	86
그림 5.1 계측실험실 주요 업무	89
그림 5.2. 계측센서 및 장비 관리함	93

1장. 서론

비행계측시스템은 항공기 탑재시스템과 지상관측시스템으로 구성되어 있다. 비행 시험 중에 탑재계측시스템에서 측정된 데이터는 대부분 지상계측시스템으로 전달되고, 일부 데이터는 항공기 내부의 데이터 저장시스템에 저장되어서 비행 후 지상계측시스템으로 전달된다.

다음 그림은 중계기를 포함하는 지상 계측시스템 구성도이다.

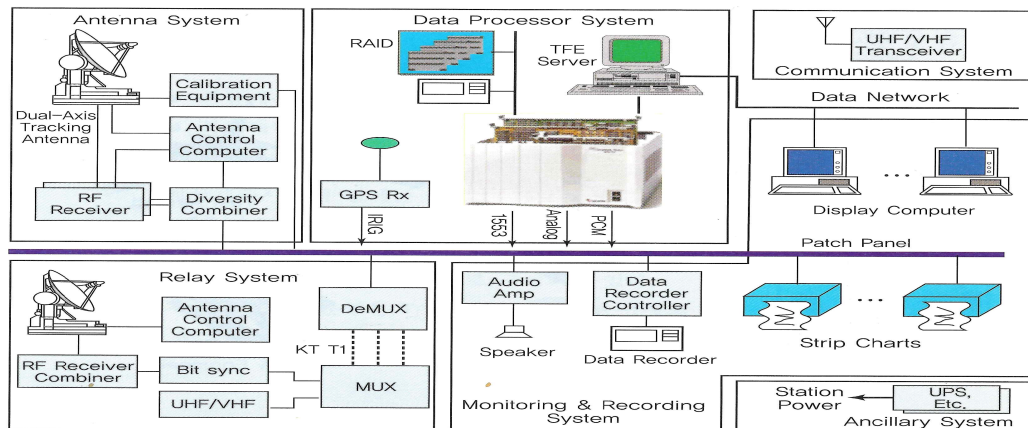


그림 1.1 중계기를 포함한 지상계측시스템 구성도

지상 계측시스템은 전송된 데이터를 실시간 분석하여 전시하지만 또한 비행 후 저장 매체에 저장된 데이터를 정밀 분석하여 항공기 내부 상황을 정밀 분석한다. 비행시험 데이터의 정밀 분석을 위한 소프트웨어 툴에 대한 연구가 필요하며, 비행 시험에 사용된 계측기들을 비행시험 전과 비행시험 후에 효과적으로 운영하는 방안, 계측기의 유지 보수 및 기술지원체계에 대한 연구가 필요하다.

2장의 비행시험 데이터 분석과 소프트웨어 TOOL 연구의 1절에서는 Display 화면, 스트립차트, Flutter Display System, 영상시현, 2D/3D Visualization-가상현실, 재생모드의 Visual Reality, 그리고 Visualized 보고서 등의 실시간 데이터 처리 및 분석기술, 실시간 데이터처리 및 분석 기술의 동향, 그리고 L3사와 Magali사의 실시간 비행시험 데이터 분석 소프트웨어 툴 최첨단 기술 및 국내 기술 경쟁력에 대해 기술하였다. 2절에서는 비행 후 데이터처리시스템 S/W 툴의 개요, 구성, 운영 소프트웨어, 시스템 관리 소프트웨어, 비행 후 데이터 처리 절차, 그리고 비행 후 데이터 분석 소프트웨어 Tool 세계 기술 현황에 대하여 기술하였다.

3장은 계측시스템의 효율적인 운영방안에 관련된 것으로 계측시스템을 비행시험 전후에 활용방안을 기술하였고, 특히 비행시험 거리가 확장되는 경우에 대비하여 지상에 중계기를 두어서 비행거리를 연장하는 경우에 대해서 기술하였다.

4장은 비행 후 처리를 위한 IF/Rf 광대역 데이터레코더의 비행시험 분야에서의 활용 방안, 그리고 타 분야에 적용하여 활용할 수 있는 방안에 대하여 기술하였다.

5장은 계측시스템의 유지보수 및 기술지원체계에 대한 연구로 계측실험실을 구축하여 활용하는 방안을 제시하였다.

2장. 비행시험 데이터 분석을 위한 소프트웨어 Tool 연구

비행시험 데이터는 수신기로부터 실시간으로 출력되는 베이스밴드 신호를 처리하여 항공기 상태 모니터링이 가능한 계측값으로 변환하고 이를 실시간으로 시현하여 주는 실시간 데이터 처리시스템과 탑재계측과 지상계측에서 획득한 데이터를 항공기의 정확한 성능 및 특성 정보로 변환하여 최종적으로 분석 가능한 형태의 결과물로 제공하기 위한 비행 후 데이터 처리시스템으로 구분된다. 각각의 시스템에서 데이터 분석을 위한 소프트웨어 Tool에 대해서 기술한다.

1절. 실시간 데이터 처리를 위한 소프트웨어 툴

항공기에 설치된 데이터 처리 시스템은 각종 센서로부터 입력되는 신호를 처리하여 항공기 상태 모니터링이 가능한 계측 값으로 변환하는 장비로서 각종 입력 신호를 아날로그, 디지털, 오디오, 영상 데이터로 변환하여 지상으로 전송한다.

항공기로부터 전송된 데이터들은 지상의 안테나 시스템을 통하여 수신된 후 Bit Synchronizer를 거쳐 전송되기 전의 데이터 본래 모습으로 복원되고, 데이터 처리 시스템에서 여러 알고리즘을 거쳐 전기적인 값(Vdc, Count)이 물리적인 값(Vdc, psid, psig, ft, 등)으로 변환된다. 이렇게 변환된 값들은 네트워크를 통하여 해석 엔지니어의 상태 확인을 위한 시현 모니터에 시현된다. 또한 일부 데이터들은 DAC(Digital to Analog Converter)를 거쳐서 Strip Chart로 시현되기도 한다.

항공기의 PCM 데이터는 대역폭을 줄이기 위하여 저역필터(LPF, Low Pass Filter)를 거쳐 Round Wave 형태로 전송된다. 이렇게 전송된 신호는 노이즈에 의해 왜곡이 생기므로, 수신기에서는 이 신호의 에러를 최소화하기 위해서 데이터를 재구성하여 동기 정보를 추출하는 Bit Synchronizer를 사용하게 된다.

실시간 데이터처리 시스템의 Decommulator는 Bit Synchronizer에 의해 재구성된 데이터들을 입력받아 Frame Synchronization을 수행하여 프레임 동기 패턴을 확인하게 된다. 프레임 동기 패턴을 기준으로 데이터 워드의 위치를 상대적으로 파악하여 각각의 데이터를 추출한다. 이렇게 추출된 데이터에 16bit의 태그를 붙여서 Mux Bus로 보내게 된다.

SCSI Interface 모듈은 개별 디스크 드라이브, RAID(Redundant Arrays of Inexpensive Disks) 및 자기테이프에 실시간 데이터와 Playback 데이터를 저장할 수 있고, SCSI, SCSI2 Fast 및 SCSI 2 Fast & Wide 장치를 사용할 수 있다.

1. 실시간 데이터 처리 및 분석 기술

수신기로부터 수집된 데이터는 운용자에게 중요하고 급박한 비행시험 결과를 실시간으로 보여주기 위해 데이터 프로세서에서 Bit 동기화 및 Decommulation(분리, 해체) 등의 과정을 거쳐 각종 요소값(파라미터)을 생성하고 이를 실시간 시험 S/W에 의해 여러 가지 형태로 시험해 준다. 다음 그림은 실시간 시험화면이다.

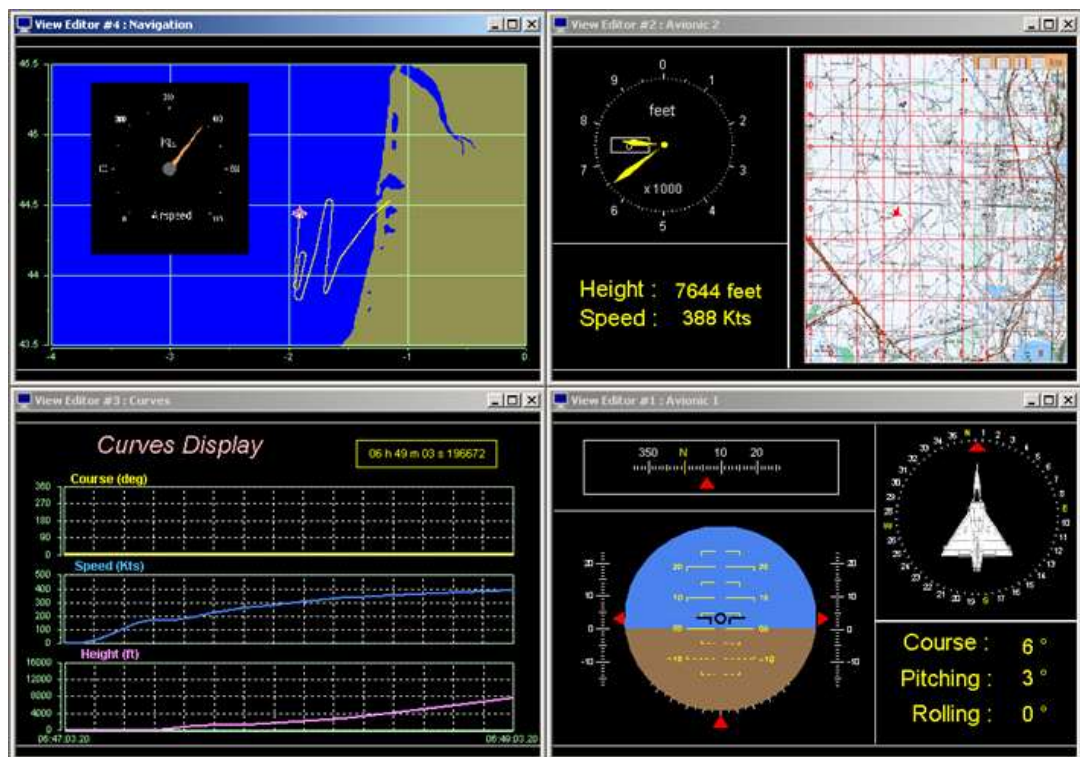


그림 2.1 실시간 비행이동 경로 표시기 및 실시간 Rolling/Pitching 표시기(예)

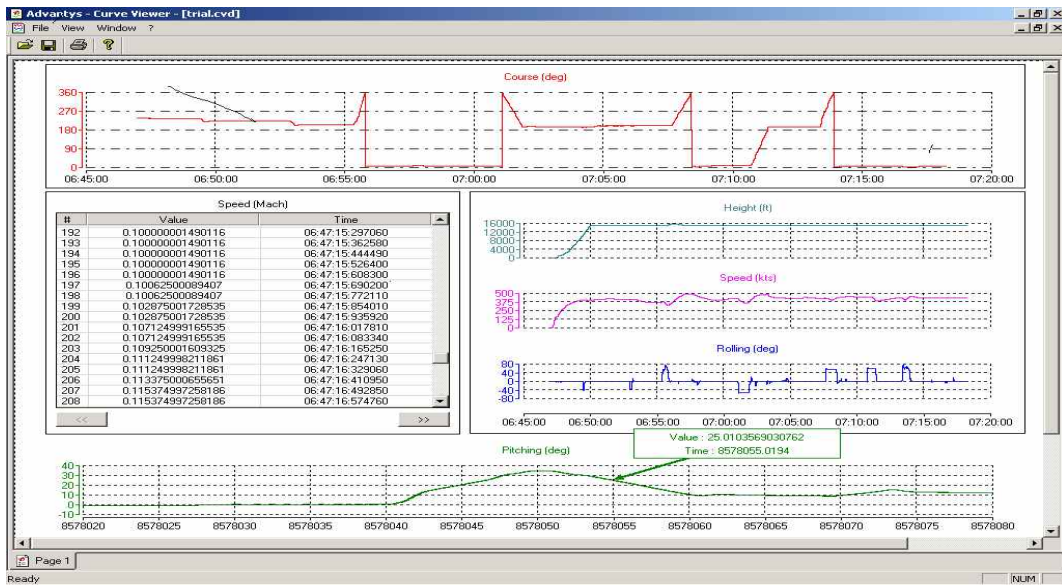


그림 2.2 실시간 Visualized한 시현(예)

실시간 처리를 위해서는 데이터가 비행시험 중에 즉각적인 데이터 평가와 그에 따른 결정을 내리기 위해 실시간으로 변환되고 처리되어야 한다. 즉, 실시간 처리는 다음의 측정데이터가 도착하기 전에 모든 결과를 생산해야 한다.

그러기 위해서는 프로세서를 두 배 이상의 고성능의 결정력이 좋은 시스템이 필요하다. 이러한 데이터 획득과정을 Decommuation(분리, 해체)이라하며 다음의 몇 단계의 과정을 거친다.

- 메시지 추출
- Parameter 추출 : 파라미터 정의의 복잡성을 고려한 일련의 primitive function으로 부터 생성된다. 예를 들면, Word extraction, Bit extraction, Bit masking, Bit, byte inversion, Bit fields merging 이 있다.
- 파라미터 형태: 2' s complement, 1' s complement, Binary , Real (several formats), BCD, ASCII 형태가 그 예이다.
- 엔지니어링 수치로의 변환: 파라미터는 원시값 또는 엔지니어링 수치로 변환되어 사용된다. 예를 들면, Linear, Polynomial, Look-up table (linearization), Calibration data base, Square root, Exponential, Thermocouple 등이 있다.
- Parameter dating: 날짜는 시험 구성 시 셋업되며 Message dating on reception, Embedded dating, 메시지 또는 신호 주파수에 관련된

Dating 등이 있다.

- Parameter quality Quality information: 믿을 수 없는 정보에 대해 표시하는 과정이다.

EU 변환에 부가하여 실시간 프로세서는 다음을 포함하는 기능을 가져야 한다.

- 파라미터 처리: 수학적 또는 기하학적인 공식에 의해 새로운 파라미터를 생성하는 과정이다. 이후 모두 처리하는 Complete mode 또는 빠른 결과를 보기 위한 일부만 처리하는 Quick Look mode를 거치게 된다.
- 경보 : 특정 파라미터 또는 복수의 파라미터의 값이 미리 세팅된 한계점을 초과할 시 경보 모듈이 작동된다. 경보 상태 세팅은 시험 Configuration에서 수행된다. 경보에 따른 여러 action이 발동됨 즉, 메시지 전시, 로그 파일에 기록, 디지털 출력, 네트워크를 통한 메시지 전달 등이 있다. 특정 action은 Real Time Development Toolkit을 활용하여 운용자가 설정할 수 있다.
- Bit 처리: 비행 시험 프레임은 항상 정상 순서로 도달하지 않는다. 이를 측정하기 위해 몇 개의 워드로부터 데이터로 사용되지 않는 bit를 첨가한다.
- 측정된 파라미터: 하나의 의미 있는 요소(예를 들어, 마하 단위의 Air speed) 복수의 측정치(온도, 고도, 속도)로부터 계산되어 결과값을 생성한다.
- Data Compression: 시험 데이터는 대부분 자주 생성되고 대용량이다. 이들은 샘플링 또는 평균화 알고리즘을 사용하여 압축된다.

비행시험이 실시되면 임무통제실(MCR: Mission Control Room)은 비행시험을 총괄하여 관리하는 장소로 비행시험 데이터가 실시간 시현된다. 아래의 그림은 T-50 비행시험을 하는 동안 사용했던 MCR의 Layout이다. 중앙에는 시험 통제관이 위치하며 주위에는 엔지니어가 배치되는 구조로 이루어져 있다.

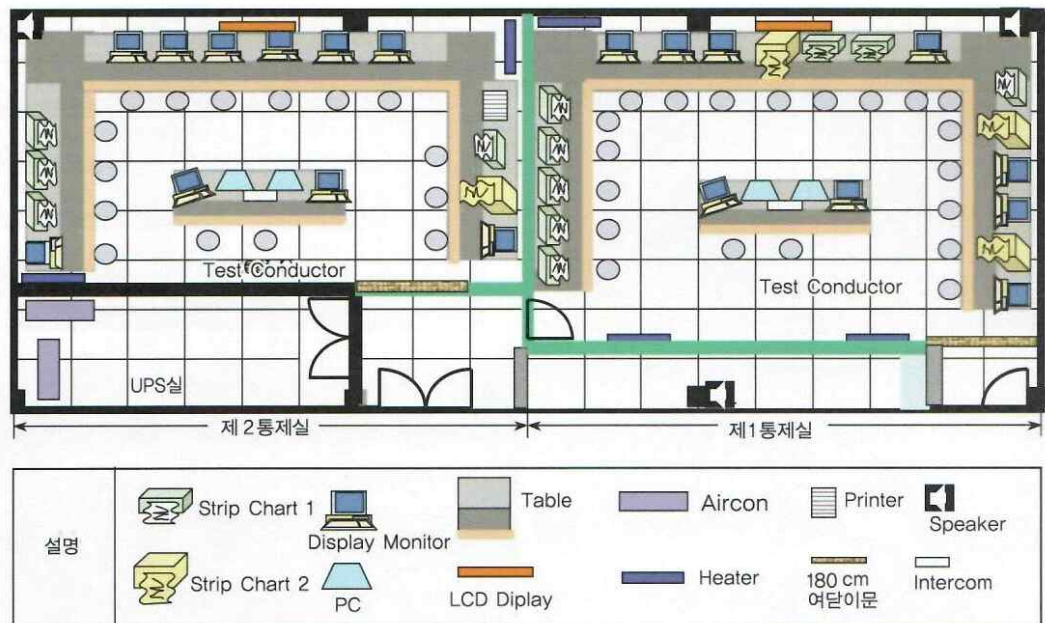


그림 2.3 MCR 내부 배치도(Layout)

대부분의 상용 지상계측시스템은 여러 가지의 Telemetry 응용에 활용되는 다수의 알고리즘 라이브러리를 제공한다. GUI는 실시간 처리를 위한 지상 계측 시스템의 데이터베이스 셋업 등의 운용을 쉽게 한다. 이러한 GUI는 단순히 fill-in-the-blank 시현 기술에서 정교한 drag-and-drop 기술이 적용된다.

C, C++, 그리고 Java와 같은 일반적인 개발 언어를 사용하여 실시간 운용 알고리즘을 사용자가 개발하여 적용할 수 있다.

실시간 시험 영상은 실시간으로 발생하는 숫자, 문자, 영상 측정 자료와 처리된 자료를 시각적으로 표현할 수 있도록 한다.

LAN과 Intranet는 현지의 운용자뿐만 아니라 필요하면 원격에서 자료를 볼 수 있도록 지원한다.

비행시험 계측 데이터는 대용량으로 숫자와 문자로 전시되는 정보를 이해하기에는 한 명의 운용자에게는 너무 어려운 일이다. 따라서 각종 시험 기술 즉, strip chart, bar chart, vertical meter, 원형 게이지, cross plot, 그리고 표형식의 시험, 방향표시 시험, 지도 등의 시험 방법이 적용된다.

이러한 각종 시험 형태는 크기, 컬러, font, grid, 시간 그리고 데이터 형식 면에서 운용자가 쉽게 조절할 수 있어야 한다. 방향 등을 시각적으로 볼 수 있도록 Dynamic한 3-D 모델이 적용된다. 복수의 파라미터가 그룹화되어 계기장치 패널 형태로 시험된다.

운용자가 필요하면 스냅샷을 생성하여 인쇄하거나 보고서를 위해 저장될 수 있어야 한다. 후처리 등을 위해 획득된 비행시험 데이터를 하드 디스크에 저장할 수 있어야 한다. 일반적으로 자료는 수신기와 설치된 지상 시스템에 즉시 저장된다(Bit 동기가 된 바로 다음 단계에 데이터레코더에 PCM 신호를 저장함). 또한, 데이터 처리기에서 처리된 정보도 디스크에 저장하고 카트리지나 하드디스크에 백업 저장해야 한다. 선택된 자료, 처리된 파라미터, 그리고 전체 PCM 원시데이터를 저장할 수 있다.

비행시험의 실시간 시험은 항공기에서 계측된 데이터를 PCM 신호로 변환하여 Telemetry로 데이터를 전송했을 때 지상계측에서 이 값들을 받아 실시간으로 엔지니어들이 원하는 다양한 형태의 데이터로 시험해 주는 것이다. T-50에 적용된 실시간 시험 시스템을 통해 실시간 시험에 대한 이해를 돕고자 한다.

실시간 시험 방법은 일반적으로 아래와 같이 네 가지로 구성되어 있다.

- ⑤ Display 화면
- ⑤ 스트립 Chart
- ⑤ FDS(Flutter Display System)
- ⑤ Video/Audio

가. Display 화면

실시간 Display 화면은 항공기의 기본 정보 및 시험 항공기 성능 해석을 위

한 계측 항목(parameter)의 데이터 시현이 그 목적이다. 비행시험에서는 Display 프로그램을 사용하여 화면을 구성하며, 아래의 그림은 Display 프로그램을 이용하여 구성된 화면의 예이다. 구성된 화면의 각 항목에는 항공기의 계측 항목이 링크되어 있어서 항공기 상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있다.



그림 2.4 Display 화면(예)

나. 스트립 차트(strip Chart)

스트립 차트(strip Chart)는 모니터 화면상에 구현되는 것이 아니라 장비를 이용하여 실시간으로 데이터를 받아서 그래프 형식으로 표시해 주는 장비를 말한다. Strip Chart의 각 채널은 ADP(Analog & Digital Port)에 연결되어 있다. 보통 ADP 하나가 총 32개의 채널을 수용할 수 있게 되어 있으며, 아래의 그림과 같이 한 Strip Chart당 8개의 채널을 사용할 수 있다. Strip Chart는 여러 가지 기능이 있으나 가장 기본적인 기능은 실시간 모니터링 중 엔지니어

가 순간적으로 놓칠 수 있는 중요 데이터를 직접 그래프를 통해 확인할 수 있는 것이다. 항공기의 성능을 평가할 때나 위험한 임무 수행 시 계통 엔지니어는 이 Strip Chart에 기록된 데이터로 비행시험 중인 항공기의 상태를 평가할 수 있다.

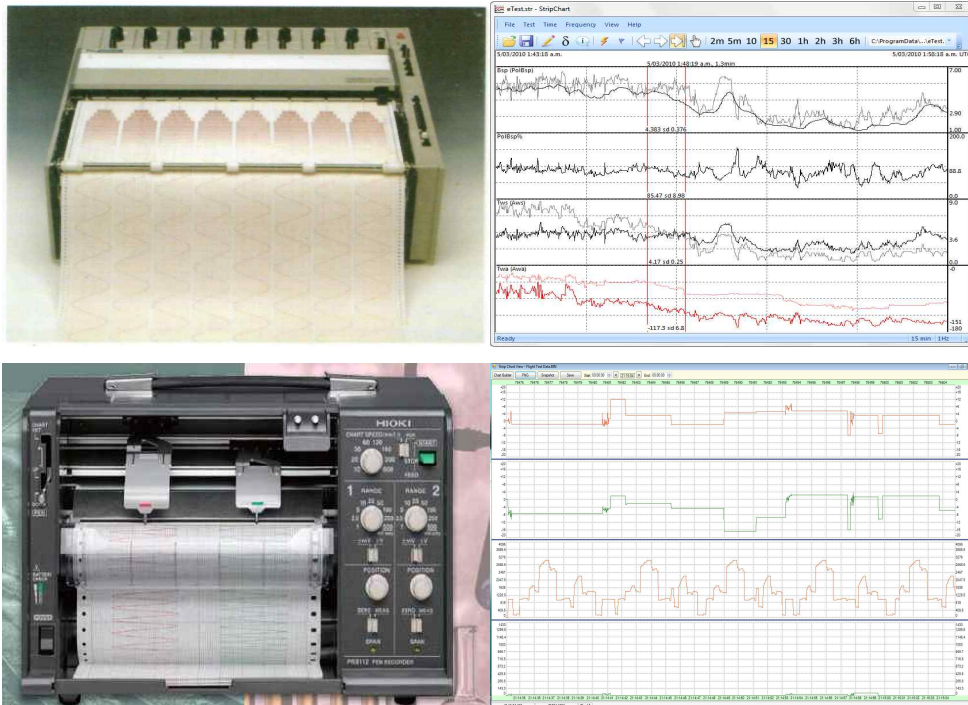


그림 2.5 Strip Chart(예)

다. FDS(Flutter Display System)

플루터(Flutter)란 고속으로 비행하는 항공기의 날개가 공기 흐름에 영향을 받아 심한 진동을 일으키는 현상을 말하며, 이러한 플루터가 발생하게 되면 진동이 급속하게 퍼져 항공기가 위험한 상황에 직면하게 되므로 플루터가 발생하지 않도록 항공기의 고도 및 속도를 제한할 필요성이 있다.

항공기는 플루터 시험과 더불어 하중시험에서도 고도, 속도에 대한 하중 데이터를 측정하고 획득하여 하중해석모델을 결정하기 위해 FDS(플루터 Display System)를 사용한다. 플루터 비행시험에서는 실시간으로 주파수, 감쇄계수 분석이 필요하기 때문에 비행시험에서는 플루터 전용 소프트웨어 프로그램을 사용한다.

다음은 플루터 전용 프로그램인 상호분석표시시스템(IADS: Interactive Analysis and Display System)에 대한 설명이다

🌀 IADS(Interactive Analysis and Display System)

T-50에서는 비행시험 시 FDS(Flutter Display System)에서 IADS(Interactive Analysis and Display System)를 사용하여 구현하였다. 아래의 그림은 IADS로 구성된 화면으로 그림에서 보는 것과 같이 주파수 영역 시현이 가능하다.

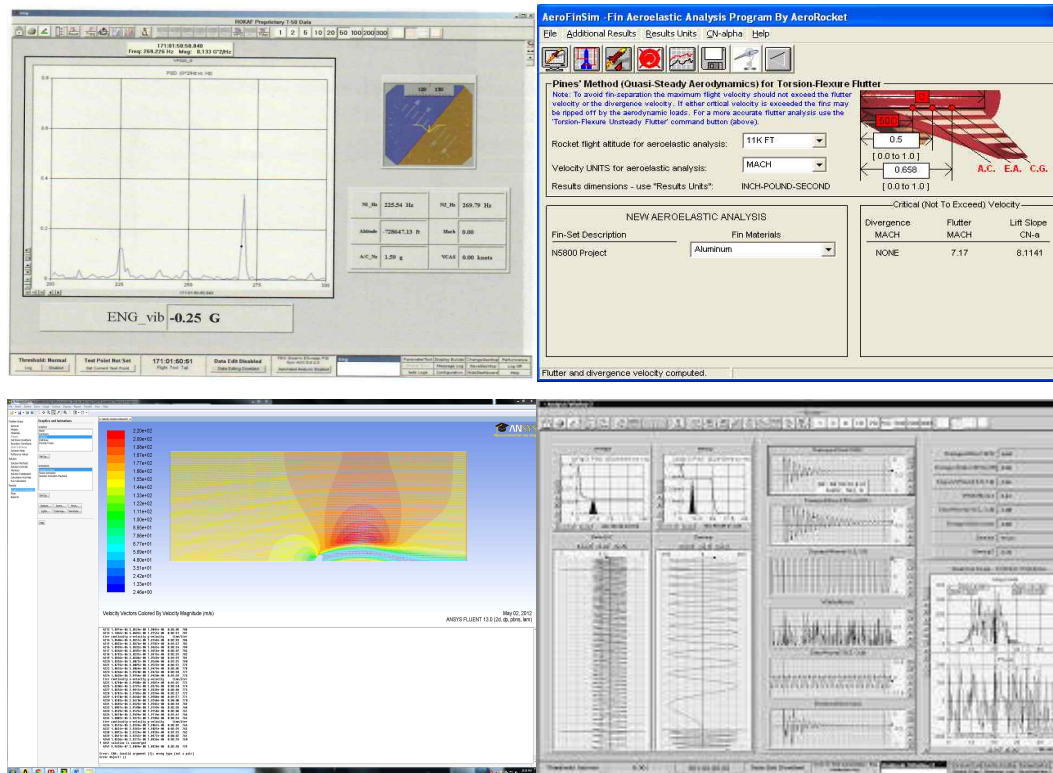


그림 2.6 Flutter Display System(예)

상호분석표시시스템(IADS) 프로그램은 대부분의 실시간 시현화면과 동일하며, 특히 항공기의 동특성 해석과 Flutter/진동시험 해석에 매우 유용하다. 이 프로그램은 F-22, F-15, F-16, C-17, JSF 등의 항공기 개발 프로그램에도 실시간 시현화면과 Post Flight 분석용으로 사용되었으며, 실시간 화면 뿐만 아니라 비행이 끝난 후 30분 이내 비행 데이터를 분석할 수 있도록 만든 Post Flight 분석용으로도 큰 장점을 가지고 있다.

라. 영상 시현

영상신호는 그래픽 시현에 함께 시현될 수 있다. 이러한 영상은 다른 파라미터와 동기되어 시현된다. 영상 시현을 위한 기능으로는 MPEG2, MPEG4 또는 MPEG2000 신호 압축 풀기, 영상 이미지에 시간 또는 파라미터 값의 동시 시현, Deinterlacing, 시현율과 이미지 rotation 제어 등이 있다. 보통 4~6개의 영상을 동시에 시현할 수 있다.



그림 2.7 영상 시현(예)

마. 3D/2D Visualization - 가상현실(Virtual Reality)

가상현실 module은 비행시험을 위한 지상 훈련용으로 비행 Scene을 완벽하게 실현한다. 다른 데이터, 파라미터, 영상, 음성데이터와 동기되어 시현될 수 있다. GPS정보를 기본으로 한 지도정보 시현 모듈도 포함한다. 또한, 3D 모듈은 3D Object를 시현할 수 있다. 측정된 고도, 경도, 위도, 요우(yaw), 피치(pitch), 그리고 롤 등의 파라미터를 적용하여 동영상화 한다.

Interactive 기능으로 운용자에 의한 카메라 위치선정, Zoom in/ zoom out, Frame display, Speed replay 등이 있다.



그림 2.8 가상현실 시현 (예)

바. 재생(Replay) Mode

재생 모드는 실시간 입출력 데이터 대신 녹음 저장된 데이터를 활용한다는 측면에서 실시간 시현과의 차이가 있고 그 이외의 다른 것은 같다. 재생기능으로는 다음과 같은 기능이 있다.

- 엔지니어링 단위로의 Decommutation과 conversion
- 처리된 파라미터
- 경보
- Event 관리
- 영상 시현

재생 mode를 운용하기 위한 접근 기능은 다음과 같다.

- play
- 날짜와 시간 선택
- pause
- speed 조정: fast forward, slow frame

네트워크를 통해 원격에서도 실시간 모드를 수행할 수 있어야 한다. 재생기능은 특히 비행시험 전 전체 시스템의 검증을 위해 매우 유용하다.

사. Visualized 보고서

저장된 데이터를 분석하기 위해 파라미터 획득의 과정을 실시간 시현에서처럼 동일하게 수행하고 데이터 블록, 원시 값을 갖는 파라미터, 엔지니어링 단위로 변환된 데이터를 사용하여 후처리 시현을 수행한다.

이러한 후처리 시현 도구들은 대부분 curve와 도표 형식으로 파라미터를 시현하며 다음과 같다.

- 입력 데이터의 형태와 관계없이 모든 파라미터 형태에 대한 시간 동기화 시현
- 몇 개의 획득 파일에 대해 데이터 동기화 시현
- 그패픽 분석 기능
- 에러 분석을 위한 원시값 복원 능력
- 그패픽 데이터의 외부 출력(Export)
- 인쇄
- 시험 보고서 생성

다음 그림은 시현화면의 예를 보여준다.



그림 2.9 보고서 시현화면 (예)

그래픽 분석 기능의 예는 다음과 같다.

- Point to point cursors
- inter-cursor 기능의 Multi-cursors
- 줌인/줌아웃
- comment 입력
- 파라미터 추가/삭제
- 원시 frame과의 연동
- 동기화 실패 시현
- events 시현

시험보고서가 준비되면 그래픽 시현이 보고서에 Comment와 함께 필요하면 첨부될 수 있다. 이러한 시험 보고서는 인쇄하여 출력할 수 있고 언제든지 재생하여 시현해 볼 수 있으며 필요하면 수정도 가능하다.

2. 실시간 데이터 처리 및 분석 기술 동향

비행시험 지상계측시스템 데이터 처리기의 해외장비는 다양하지만 미국의 Acromatic사의 2900AP, Smatronix사의 5000Series, 그리고 L-3 Telemetry West사의 AVALON-R, 프랑스의 Magali사의 MAG-2000/TGS-R와 Zodiac사의 Advantys 데이터 처리기의 기술 현황은 다음 표와 같다.

Chasis는 Acromatics사는 모두 알루미늄랙에 장착된 12개의 PCI Slot로 구성되고 L-3사의 경우는 PCI Mezzazine Card(PMC_)를 장착할 수 있는 20개의 Slot으로 구성된다. Magali의 경우는 4U크기의 19 “ Industrial computer이고, Zodiac의 경우는 Chassis로 독립적으로 구성되거나 Cortex RTR수신기에 Embedded된 데이터처리를 제공한다.

사용되는 Processor는 Acromatics경우는 Interl Multi-core i7, L3-TW의 경우는 Power PC(FPP) System controller 5(SCM595)이고, Magali의 경우는 Intel Core 2 Duo E7400, 2.8GHz 수준이다.

운용시스템은 Acromatics의 경우는 Window 7 또는 10 64bit이고, Smatronix의 경우는 RTOS, L3-TW의 경우는 Window River Vx Works, Magali의 경우는 Window XP 또는 Window 7이 제공된다.

Bit Rate는 Acromatics가 72 Mbps/채널, L-3TW의 경우는 55Mbps/채널, Magali 20 Mbps/채널, Zodiac의 경우 30 Mbps/PCM, Ethernet 60 Mbps혼합이다.

제공되는 채널 수는 Smatronix의 경우 최대 128채널, L-3TW는 1~8, Magali와 Zodiac의 경우 최대 4채널이 제공된다.

표 2.1 비행시험 지상계측시스템의 데이터 Processor 기술 동향

구분	Acromatics (2900AP)	Smartertronix (5000 Series)	L3-TW (AVALON-R)	Magali (MAG_200/TGS_R)	Zodiac (Advantys)
Chassis	all-aluminum Rack Mount PCI chassis(12 PCI Card Slot)		20 PMC slot, PCI Mezzanine Card(PMC), VME slot	19" Industrial computer, 4U 랙	chassis 또는 embeded into Cortex RTR 수신기
processor	Intel Multi-core i7		power PC(FPP) system controller 5(SCM595)	Intel Core 2 Duo E7400, 2.8GHz (or equivalent)	
OS	Window 7 또는 10 64bit	RTOS	Window River VxWorks	Windows XP 또는 Windows 7	
channel 수	1~8	최대 128	1~8	1 ~ 4	최대 4
Input format	PCM, IRIG 106 chapter 4, packet protocol PCM processing(CCSDS TM01P)	PCM, 1553, Video, 429, Chapter8, Analog, Ethernet, Serial, Link 16	PCM, IRIG time, MIL-STD-1553, ARINC-429, CCSDS, NTDS, Voice, Video, analog, digital, serial stream, 영상	•PCM: IRIG 106 Class II, CE83, CCSDS, •MIL-STD-1553과 ARINC 429 •Chapter 10 또는 Etehernet data acquisition: IENA, iNet, Zodiac Data System RTR, raw temetry packets	IRIG 106, CCSDS, Ch 10, IENA... MIL-STD-1553, ARINC 429 Video, Audio
Bit rate	72 Mbps/채널	60 Mbps/채널	55 Mbps/채널	20 Mbps/채널	30 Mbps/PCM, Ethernet 60Mbps aggregate
Storage	Dual 1TB SATA 선택사항: single 또는 dual Quad 4TB RAID, Removable single and dual 3.5" SSD (선택사항)		SCSI	500 GB SATA, SATA II controller for up to 4 devices	Raw data, Engineering Units data stored in native format
Time Code input	IRIG time code A, B or G	IRIG time code A, B or G	IRIG time code A, B or G	IRIG time code A, B or G	IRIG-B(1us resolution)
network	Dual Ethernet 10/100/1000	Ethernet (1Gbps)	Ethernet	Onboard Dual LAN(Intel), 10/100/1000 Mbps, RJ45	Chapter 10 Ethernet
크기	4U	1U 를 Ethernet hub로 묶어 여러 개 처리	4U, 19" H 랙	19" Industrial computer, 4U 랙440 x 455 x 177mm	4U
SW	Acromatics Telemetry Software Suite(ATSS)	OMEGA NexT	Java-based Vista Enterprise Telemetry SW 또는 Unix-based System 500 Application SW	Magali telemetry software	Magali telemetry software
비고	•Real time •PCM decommutation, processing, recording	real time Bit synchronizer, 수신기와 combiner, recorder 등의 HW를 통합제공	•real time, playback •Data acquisition, processing, storage	•Receiver, Bit and frame Synchronizer, PCM decom, PCM Simulator, Storage, time code reader/generator 등 지상계측시스템 total solution •real time, pdps	•Embedded into the Cortex RTR 또는 Dedicated stand alone station •지상, 항공기 탑재 사용 •on system for recording and processing •real time, playback, off-line

3. 실시간 비행시험 데이터 분석 소프트웨어 툴 기술 분석

비행시험 계측시스템의 실시간 데이터 처리 및 분석을 위한 대표적인 소프트웨어 툴로는 L-3의 Vista와 Magali가 대표적이다. 다음은 각각에 대한 기술 분석 내용을 기술한다.

가. L-3 Communications

1) VISTA 텔레메트리 처리 및 분석 소프트웨어 툴

L-3 Vista 소프트웨어는 Avalon 데이터 프로세서의 세트업 및 구성정보 정의, 운용 등을 관장한다. Vista는 워크스테이션 상에 독립적으로 운용되어

네트워크를 통해 데이터를 획득한다. Vista는 네트워크를 통해 원격으로 운용될 수 있다. Vista-PC-X 또는 Vista-VME-X는 자바와 C++ Object Oriented 언어를 사용하고 표준의 데이터베이스와 실시간 그래픽 응용언어를 사용하며 각각 다음을 포함한다.

- 시스템 관리자: Vista 모듈과 응용기능을 운용할 수 있는 주 운용자 화면을 제공한다.
- 프로젝트 관리자: 각 시험 임무에 따른 데이터베이스를 정의하고 유지하는 버전 관리를 제공한다.
- 데이터베이스 탐색기와 파라미터 뷰어: 저장된 데이터베이스와 파라미터 정보를 볼 수 있는 GUI 운용자 화면을 제공한다.
- 데이터베이스 가져 오기 / 내보내기: 다음의 기능의 GUI 운용자 화면을 제공한다.
 - extensible Markup Language(XML) 파일을 데이터베이스로 외부 입력 또는 외부 출력 기능
 - Telemetry Attribute Transfer Standard(TMATS) 파일의 외부 입력 또는 외부 출력
 - 프로젝트에 버전 번호를 부여하는 기능
- Vistar Processing:
 - PCM, ARINC 429, Network I/O, IRIG Chapter 10 data, Analog I/O, Mil std 1553, IRIG Time and CVSD Voice 등 여러 형태의 입력 데이터 형태를 처리
 - 실시간 또는 재생 중 모든 데이터의 파라미터를 처리
 - 네트워크를 통해 분배해 주는 분배 처리 아키텍처 제공
 - 소프트웨어의 문서화, 엔지니어링 단위로의 변환(EU Conversion), System(예: time stamping & synchronization), 데이터 압축, Logical conversion, Number(예: statistical, log & trig), 디지털 신호처리 등의 표준 알고리즘 제공
- 데이터 탐색기: HFS archive 파일 또는 실시간 데이터를 ASCII 또는 Matlab 파일로 변환한다. ASCII 파일은 CSV 또는 TSV 파일 형태일 수 있음
- Chapter 10 지원: PCM/Time 데이터를 IRIG Chapter 10 형식으로 녹

화 및 재생 할 수 있는 기능 제공.

- 표준 디스플레이: 다음 예와 같은 형태의 시현을 제공
 - 호출표시기: 디스플레이 데이터 수집 CVT 결과
표준, 경고, 중요 색상 범위
 - 데이터 페이지 : 실시간 표 형식 디스플레이
히스토리 버퍼에서 디스플레이 재생 가능
 - Strip Chart, Time Chart: 데이터 기반 또는 시간 기반 차트
디스플레이는 히스토리 데이터 버퍼, 그리드 및 룰러를 사용하여 백업 가능
 - 데이터 테이블 : 시간에 따른 과거 디스플레이 스크롤
 - 다이얼, 바, 차트, 교차 플롯, 극좌표 플롯
- Quick Frame(PCI Systems Only):
원격 측정 프레임 데이터를 스프레드 시트 형식으로 표시
표준, 경고, 중요 색상 범위

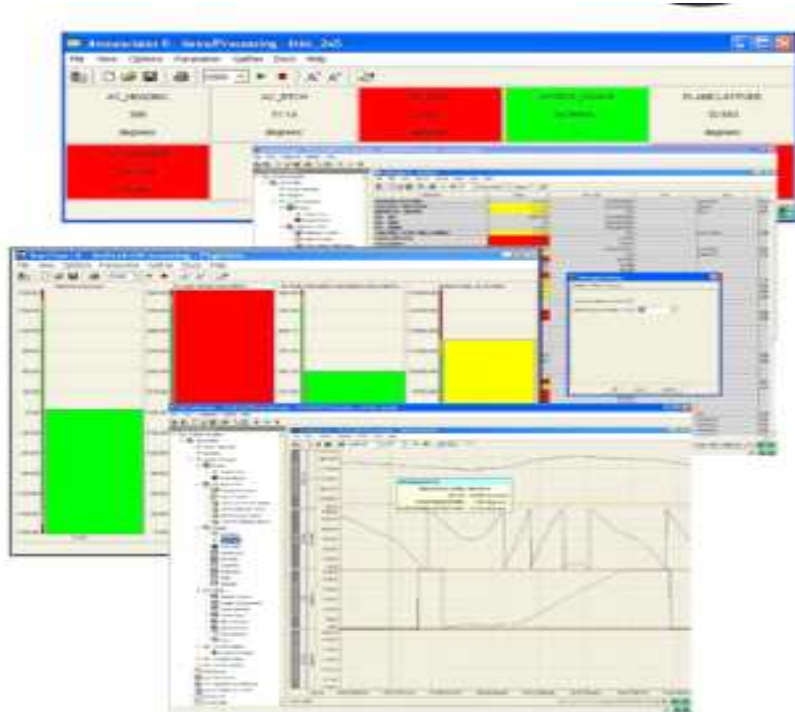


그림 2.10 L-3사의 표준 display (예)

- 이벤트 / 알람 처리
 - 이벤트 / 알람 처리 화면구성은 다음과 같다.

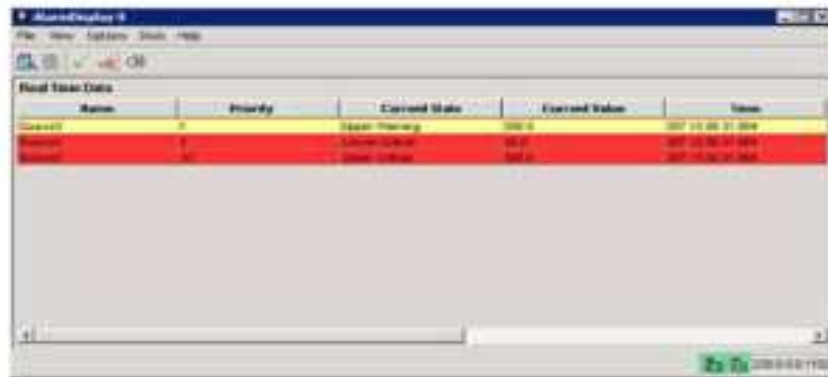


그림 2.11 L-3사의 이벤트 / 알람 처리 화면 (예)

- 보관 및 재생
 - 보관 및 재생 화면 구성은 다음과 같다.

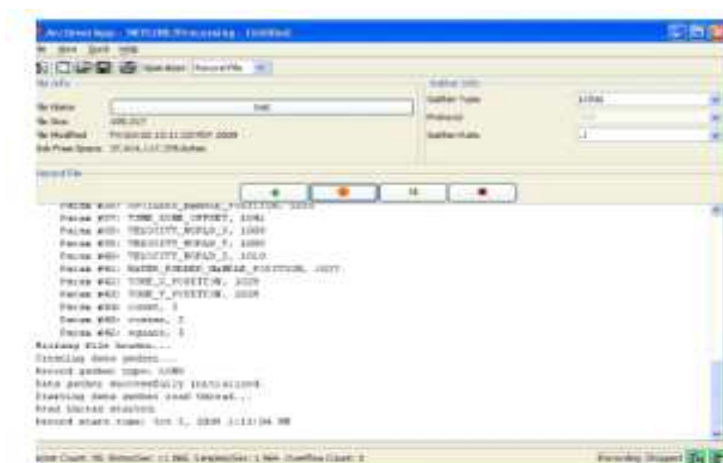


그림 2.12 L-3사의 보관 및 재생 화면 (예)

2) VistaTEC 텔레메트리 장비구성

항공 데이터 수집 및 인코딩, 지상 지원 장비와 지상 계측시스템을 위한 솔루션

- HW 구성, 측정, 프레임 형식 및 실시간 표시를 위한 하부시스템으로 제공
- 측정 서버 시스템 : 측정 채널에 대한 모든 사항을 통합하고 모든 TMATS 측정 정의 속성을 지원

- 항공 데이터 bus의 확장 Import 기능을 포함 : 데이터 bus로부터 필요한 정보를 수집하도록 지원
- 프레임 형식 서브 시스템 : 사용자가 수동 또는 자동으로 Frame을 정의
- CVSD Voice와 JPEG-2000 인코딩 및 디코딩 기능 지원

3) JADE 편집기와 뷰어

L-3사의 JADE는 사용자가 Vista 파라미터를 시현하기 위해 Object를 새로 만들 수 있는 실시간 표준 어플리케이션 스타일 도면 제공한다. JADE의 기능은 다음과 같다.

- Display 편집기와 run time 뷰어를 제공
- 분석을 위한 실시간과 재생 데이터 시현
- WYSIWYG(What You See What You Get) 도면 인터페이스 제공
- 자동 또는 수동 데이터 Scaling
- 재생 메뉴바로 실시간 시현 시 Scroll-back 기능 제공
- 맞춤형 데이터 뷰의 레이아웃 동안 데이터 모니터링 기능 제공
- 뷰의 공유, 저장, 그리고 재사용 기능
- 다양한 그리기 프리미티브 및 그래픽 표시 위젯 제공
- 애니메이션 시현에 파라미터의 Drag/Drop 기능
- 맞춤 데이터 표시 위젯과 외부 데이터 소스 추가 기능
- JADE 데이터 뷰의 모두 또는 일부를 jpg 또는 png 파일로 출력 기능

4) Vista™ 고급 디스플레이 (VISTA-DISP-ADV)

가) 3D 디스플레이

- Vista Current Value Table (CVT) 데이터 수집 알고리즘은 각 속성에 할당 된 현재 매개 변수 값의 스냅 샷을 수집하는 데 사용되고 이 값은 모델 객체의 표시된 자세를 제어하는 데 사용됨
- 대화식으로 사용자 관점 변경 (시점 및 확대 / 축소)

- 3D 디스플레이에는 피치, 롤, 제목이 포함
- 조정 가능한 CVT 업데이트 속도
- 다른 사용자 정의 3D 모델을 가져올 수 있음

나) VISTA 움직이는 지도 표시

- 움직이는 지도 표시 응용 프로그램은 모델 별 제목, 위도 및 경도 특성을 사용하여 지도에서 하나 이상의 모델에 애니메이션을 적용
- 움직이는 지도에는 속성에 할당 된 실시간 데이터 매개 변수에 의해 데이터가 공급되는 고도 속성 값이 표시
- 움직이는 지도 디스플레이는 CVT 데이터 수집 알고리즘을 사용하여 각 모델의 고도, 제목, 위도 및 경도 특성에 현재 할당 된 매개 변수의 현재 스냅 샷을 수집한다. CVT 비율은 조정 가능하며 움직이는 지도 구성은 이후 사용을 위해 Vista 데이터베이스의 오버레이에 저장할 수 있다. 움직이는지도 소프트웨어의 추가 기능은 다음과 같다.:
- 차량 위치 및 트랙 표시
- 대화 형으로 이동 및 확대 / 축소
- GIS 데이터 가져 오기
 - GIS 레이어 사용
 - 지형 (도로, 강 등)
 - 지형도
 - 정치적 경계
 - 레이어 순서를 변경 가능
- 다음과 같은 사용자 도면층 추가:
 - 일반적인 그리기 개체 (선, 텍스트, 다각형)
 - 동심원 - 거리 표시
 - 거리가 있는 다각형
- 거리 도구
 - 해리 마일, 위도 / 경도, 각
 - 다중 포인트

- 원하는지도 투영법 선택
 - Mercator, Orthographic, LLXY (EPSG 4236), Gnomonic

나. Magali 텔레메트리

Magali 소프트웨어는 비행시험 계측의 데이터 처리의 모든 단계 즉, 준비, 데이터 수집 및 생성, 데이터 표시 및 처리, 보고서 생성 등을 관리한다. 모든 데이터 소스 즉, 아날로그 또는 디지털 입 / 출력, 항공 전자 버스, 원격 측정, 이더넷 등)를 처리하고 모든 포맷(표준 또는 특정 프로토콜)을 관리한다.

1) 주요 기능

- 완벽한 시험 관리: 준비, 테스트 제어 및 실행, 결과 관리
- 멀티 테스트: 데이터 수집, 가시화, 분석, 처리, 테스트 보고서
- 실시간, 후 처리 및 재생 기능
- 확장 가능한 제품 : 처리 또는 I / O 모듈의 간편한 삽입
- 네트워크 분산 아키텍처 : 다중 스테이션이 성능 향상
- 개방형: 다른 시스템과의 통신, 데이터 가져오기 / 내보내기 및 구성
- 사용자 정의가 용이 : 그래픽 편집기, 매크로 명령, 소프트웨어 개발 도구
- 많은 옵션 모듈 : 시뮬레이션 (telemetry 1553), 비디오, 3D.
- 개발 환경 및 기술적 제약 조건에 모두 적합한 멀티 플랫폼 (Windows, Linux 및 Real Time OS)

2) 적응형 아키텍처

Magali 다양한 요구 사항에 맞는 다중 독립 레이어 아키텍처를 사용.

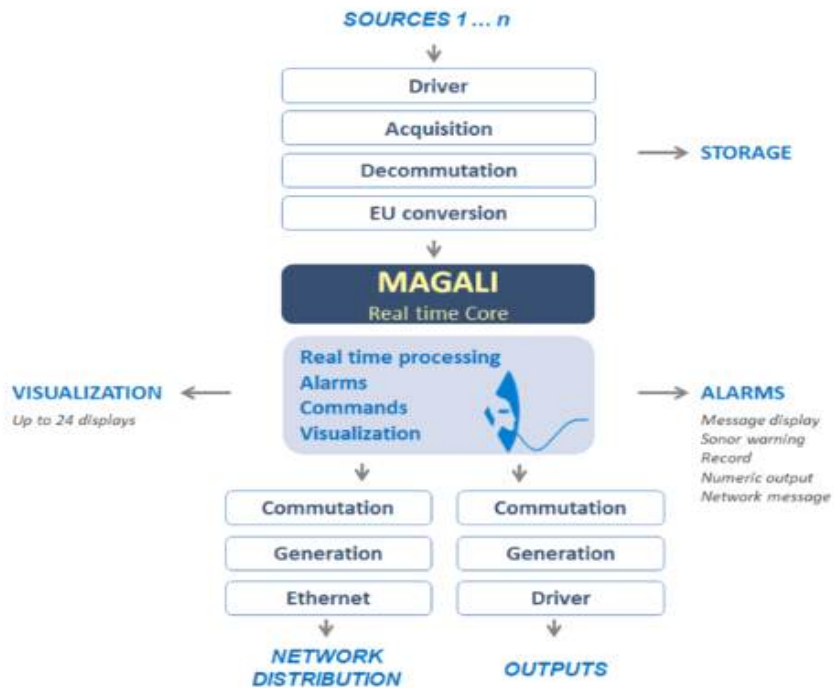


그림 2.13 Magali사의 적응형 데이터 처리 아키텍처

3) 데이터 레코더의 동반자

Magali 레코더, 플래시 메모리, 데이터 파일 등 다양한 미디어에 저장된 데이터를 추출 및 분석한다.

- 형식 : Telemetry(IRIG106, CE83, CCSDS), MIL-STD-1553, ARINC 429, Analog, Serial, Ethernet, Video, Voice, Any source(Chapter 10 장치 또는 파일 레코더, 메모리 카드, 네트워크 스트림)

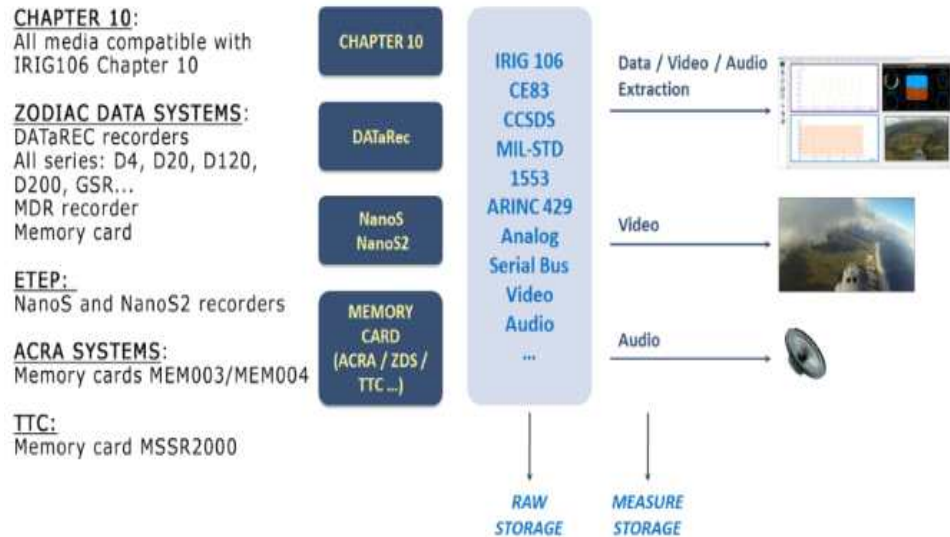


그림 2.14 Magali사의 데이터 처리 소프트웨어의 데이터 저장장치 적용 (예)

4) 네트워크 분산 아키텍처

네트워크 모드에서, 모든 Magali 기능은 성능 향상을 위해 여러 대의 워크스테이션에 분산: 하나는 테스트 관리용이고, 다른 하나는 실시간 비상 정지 및 데이터 처리 및 실시간 감시. 모든 Magli 사용자는 데이터 분석, 데이터보기 내보내기, 가져 오기, 매크로 명령 및 기타 많은 기능과 같은 공동 기능을 공유한다.

5) 소프트웨어 개발 툴킷

고객은 실시간 Decommuation(분리) 루프 또는 분석 기능에서 자체 알고리즘을 추가하거나 로컬 스테이션이나 네트워크의 모든 스테이션에있는 다른 소프트웨어에서 Magali 시스템을 제어 할 수 있다. 각 상황에 따라 전용 소프트웨어 개발 키트 (실시간 처리 용 SDK-RT, 사후 처리용 SDK-PP, 자동화 용 SDK-NDA)를 사용할 수 있다.

6) 그래픽 편집기

Magali 그래픽 편집기를 사용하면 모든 테스트 엔지니어가 실시간 또는 사후 처리 및 데이터보고를 위해 자체 창을 설계 할 수 있다. 개요는 광범위한 그래픽 개체 또는 ActiveX 컨트롤 라이브러리를 사용하여 만든다. 완벽한 객체 세트를 사용가능 : 항공 전자 공학, 스트립 차트, 게이지. Kalliste 소프트웨어

웨어는 고급 보기 또는 개요를 제공한다.

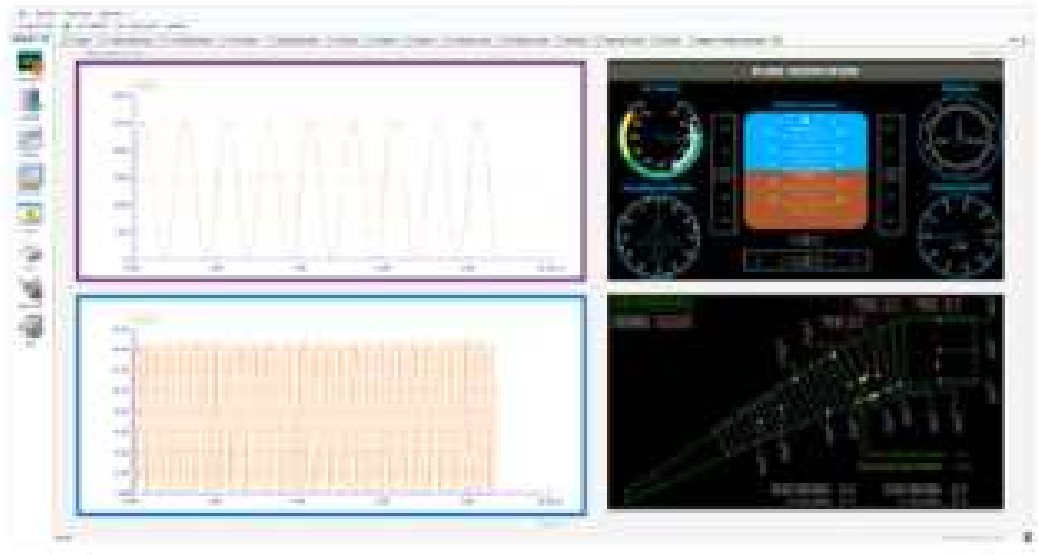


그림 2.15 Magli사의 Graphical Editor (예)

7) 비디오

비디오 모듈은 수집 및 시각화를 위한 비디오 스트림을 완벽하게 관리한다. 비디오는 원격 측정 스트림, 메모리 카드 또는 항공 데이터 레코더에서 추출하거나 이더넷, DV, HDV 또는 HDMI 버스를 사용하여 비디오 소스에서 직접 추출할 수 있다.

프레임은 다른 데이터 소스와 정확하게 동기화된다. 오버레이 및 OSD 기능을 사용할 수 있다. 이 모듈은 널리 사용되는 비디오 형식을 지원한다 : MPEG2, MPEG4, MJPEG, H.264 등.



그림 2.16 Magali사의 Video Module (예)

8) 3D 엔진

지면 또는 공기 모듈의 3D 및 2D 애니메이션 및 시각화를 위한 고급 도구. 애니메이션은 원격 측정 스트림, 직접 수집 또는 재생에서 발행된 실제 데이터를 기반으로 한다. 사용자는 움직임, 풍경, 시점, 3D 또는 2D 모드를 선택할 수 있다. 3D 애니메이션은 다른 수집된 데이터와 완벽하게 동기화된다.

다. 실시간 데이터 시현시스템 국내 기술 경쟁력 분석

비행시험 계측시스템의 실시간 데이터 처리 및 데이터 시현 운용을 위한 소프트웨어는 대부분 미국의 L-3 제품과 프랑스의 Magali 소프트웨어이고 국내 업체의 경쟁력은 미약하다. 국내 비행시험을 위한 데이터 처리와 데이터 시현 소프트웨어 시장 규모가 작고 국내 업체의 해외 시장 진출도 어렵다.

2절. 비행 후 데이터 처리를 위한 소프트웨어 툴

1. 개요

비행시험 데이터 처리는 실시간 처리와 비행 후 처리로 분류할 수 있다. 실시간 처리는 지상계측시스템을 사용하여 개발 항공기의 비행시험 시 실시간으로 데이터를 처리하는 것이며, 비행 후 데이터 처리는 개발 항공기의 비행시험이 끝난 뒤 항공기에 탑재된 데이터 저장매체를 이용하여 지상의 분석실에서 데이터를 처리하는 것이다.

비행 후 데이터 처리는 비행시험계측에서 가장 마지막 단계로, 탑재계측과 지상계측에서 획득한 데이터를 항공기의 정확한 성능 및 특성 정보로 변환하여 최종으로 분석 가능한 형태의 결과물로 제공하는 데 목적이 있다. 다음 그림은 비행시험 데이터 처리 과정의 예를 보여준다.

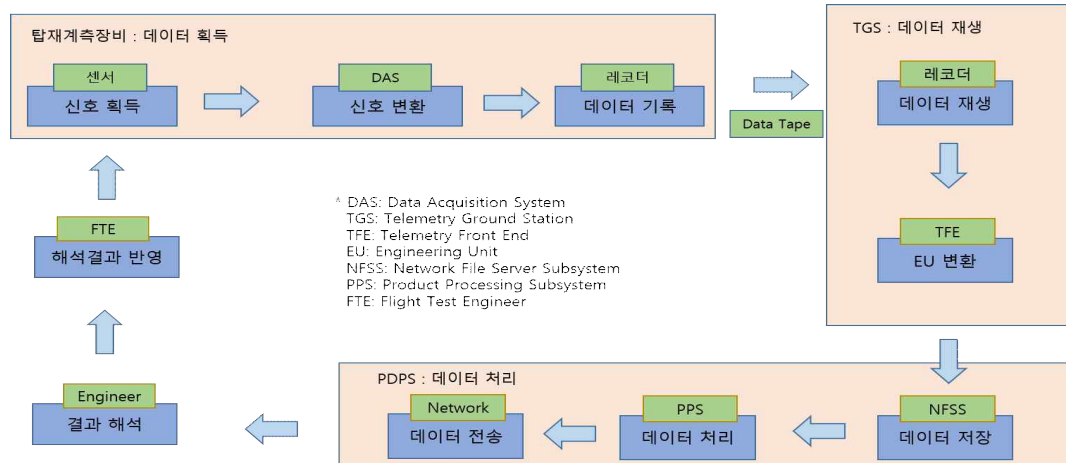


그림 2.17 비행시험 데이터 처리 과정

실시간 처리는 항공기에서 송신한 무선 신호를 처리하기 때문에 공간잡음으로 인해 원하는 데이터를 획득하지 못하는 순간이 발생하지만 비행 후 데이터 처리는 이러한 문제해결뿐만 아니라 실시간으로 처리하지 못하는 데이터까지 제공할 수 있다.

2. 비행후 데이터처리시스템의 구성

비행 후 데이터 처리 시스템은 처리할 데이터의 양과 시스템 간의 호환성, 운영 및 유지보수 작업으로 인한 시스템 간섭의 최소화, 시스템 업그레이드, 부품 교환 및 확장성을 고려해야 한다. 또한 시스템의 제어는 GUI를 사용하여 편리하게 운용되도록 구축해야 한다.

일반적으로 비행후 데이터처리시스템은 다음 3개의 서브시스템으로 구성된다.

- 네트워크 파일 서버 시스템(NFSS, Network File Server System)
 - 비행시험 Raw 데이터 및 결과물 저장, 웹 서버 기능 수행
- 생성물 처리시스템(PPS, Product Processing System)
 - 데이터 처리 소프트웨어를 탑재하고 운영자(Operator)가 요청하는 데이터 결과물을 처리하는 시스템
- 보조장비(AE, Auxiliary Equipment)

- 무정전 전원공급장치(UPS), 스위칭 허브, 프린터 등 주변장치

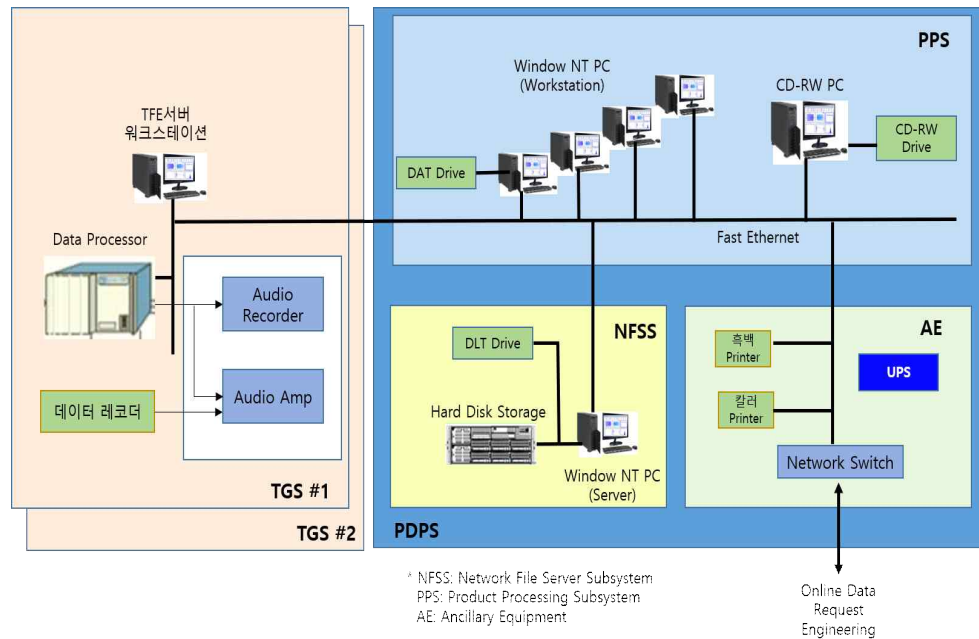


그림 2.18 비행 후 데이터 처리시스템 구성 (예)

가. 네트워크 파일서버 시스템(NFSS)

네트워크 파일서버는 일반적으로 근거리통신망에서 집약적인 처리기능을 서비스하는 시스템으로 프린터 제어나 파일관리 중 네트워크 전체를 감시 및 제어한다. 또한 메인프레임이나 공중망을 통한 다른 네트워크와의 연결, 소프트웨어 자원(데이터, 프로그램 및 파일) 및 하드웨어 자원(모뎀, 팩스, 프린터 및 기타 장비)을 공유할 수 있도록 보조하는 역할을 한다.

네트워크 파일서버 시스템은 데이터 처리에 있어 가장 중요한 서버로 TGS로부터 다운받은 EU DATA 파일을 저장하며, 저장된 EU DATA를 처리하는 PPS 장비와 네트워크 스위칭 허브와 연결되어 데이터를 처리할 수 있도록 구성된다.

T-50의 경위 1회 비행시험에 대하여 비행 후 생성된 데이터는 실시간 데이터(4~5GB)와 항공기에 저장된 데이터(6~8GB)로 데이터를 저장하고 관리할 수 있도록 네트워크 파일서버 시스템은 다음과 같이 구성 및 운영되었다.

- NFSS는 보안인증을 거친 근거리 통신망으로부터 데이터베이스 접근을 허락한다.

- NFSS는 Microsoft Window NT 서버시스템으로 운영되고 데이터 전송은 10/100 Base-T Ethernet을 사용한다.
- NFSS는 1~2주의 비행 데이터를 저장하기 위해 대용량(586 GB) 저장장치(RAID)를 사용한다.
- NFSS는 정기적인 데이터 복구 및 고장을 대비한 시스템 복구를 위해 백업 시스템 장치를 설치 및 운영한다.
- NFSS 시스템 운영 시 관리자에 의하여 매회 비행 후 데이터 처리시스템 파일, 응용 소프트웨어, 데이터베이스 파일 및 중요한 파일의 백업을 실시한다.

T-50에 적용된 NFSS의 사양의 예는 다음과 같다.

- Pentium III 500 MHz Dual CPU
- 1 GHz Main Memory
- 586 GB RAID(Redundant Array of Inexpensive Disk) Storage
- FDD, CD-ROM
- 10/100 BaseT Ethernet Adapter
- 1280 x 1024 Graphics Board
- 21 inch Monitor
- DLT(Digital Linear Tape) Drive(Ultra Wide SCSI급 전송속도)
- Windows 2000 Server(MS-SQL 2000 Database)

T-50의 경우 비행 후 생성되는 대용량 데이터 처리의 빠른 연산과 데이터 베이스의 연동을 위하여 Dual CPU와 1GHz 메인메모리로 구성되었다. 그리고 대용량 데이터의 접근속도와 데이터 보존 신뢰를 높이기 위해 하드디스크를 병렬로 연결하여 사용하는 기법인 RAID방식을 채택하여 사용한다. 또한 NFSS의 저장공간의 제약으로 데이터의 백업 수행을 위하여 고속 대용량의 데이터 저장과 검색 시 특수 압축 알고리즘을 사용한 DLT 장치와 연결하도록 DLT Driver가 장착되어 있다. 이는 컴퓨터와 주변장치들을 연결하는 인터페이스 규격의 일종으로, 주변장치의 연결과 분리가 쉽고 데이터의 전송속도도 매우 빠르다.

나. 생성물 처리시스템

생성물 처리시스템(PPS, Product Processing System)은 실질적인 비행 후 생성된 Raw 데이터를 해석 엔지니어들이 데이터를 분석할 수 있도록 EU(Engineering Unit) 데이터로 생성하는 시스템으로 데이터 처리 소프트웨어가 설치되어 있다. PPS는 프로세싱 워크스테이션, DAT(Digital Audio Tape) 드라이브 및 CD-RW로 구성되어 있다. 프로세싱 워크스테이션은 Ethernet을 통하여 네트워크 파일서버와 통신 및 데이터를 처리하는 시스템이다. DAT 드라이브는 프로세싱 워크스테이션 2대에 연결되어 네트워크 파일서버의 DLT 드라이브와 같이 각종 EU File 및 PPS 시스템 파일들을 백업할 수 있도록 구성되어 있다. CD-RW가 장착된 프로세싱 워크스테이션은 Ethernet으로 연결되어 있으며, 저용량의 각종 파일들을 CD에 저장하여 엔지니어에게 전달한다.

T-50에 적용된 PPS의 사양은 다음의 예와 같다.

- Pentium III 500 MHz Dual CPU
- 256 MB Main Memory
- 40 GB HDD
- FDD, CDE-ROM
- DAT driver
- 10/100 BaseT Ethernet Adaptor
- 1280x1024 Graphics Board
- 21 inch Monitors
- Windows 2000 Professional 이상

DAT는 아날로그 방식인 기존 카세트 녹음기에 비하여 크기는 절반 정도에 불과하지만 디지털 방식으로 녹음, 재생하며, 녹음할 때 회로 등에서 잡음이 전혀 생기지 않고 완벽하게 음을 기록할 수 있는 장치이다. 소용량의 데이터를 저장하기 위한 DDS(Digital Data Storage: DAT를 사용하기 위한 기록 포맷)를 사요하기 위해 DAT 드라이브를 설치하고 운영한다.

비행시험에서 데이터 처리의 궁극적인 목적은 해석 엔지니어에게 다양한 데이터를 신속하고 정확하게 전달하는 것이다. 이를 위해서는 PPS의 Main Memory 업그레이드로 데이터 처리속도를 높일 수 있으며, PPS 최소사양에 해당하는 클라이언트 시스템을 추가하여 처리할 데이터를 분산함으로써 데이터 처리속도를 높일 수 있다. T-50에서는 다수의 비행시험과 대용량의 데이터를 처리하기 위해 클라이언트 시스템을 추가하여 총 10대의 PPS로 구성하여 처리한다.

다. 보조장비

보조장비는 비행 후 데이터 처리시스템 구성장비들을 네트워크로 연결하거나 NFSS를 안정적으로 가동하기 위한 기타 장비로서, NFSS와 PPS를 연결하는 네트워크 스위치, 데이터 생성물의 출력을 위한 프린터가 필요하다. 그리고 정전 시 전원을 공급하는 무정전 전원장치도 필요하다.

3. 비행 후 데이터 처리 운용 소프트웨어

데이터 처리를 위한 운용 프로그램은 시스템 의존도가 높기 때문에 운영시스템이 Windows 계열이나 Unix/Linux 계열이나에 따라 개발 프로그램을 선정하여야 한다. 그런 다음 처리한 데이터의 형식, 데이터의 양, 마지막으로 최종 결과물의 요구에 맞는 알고리즘을 개발하여 구축하고 운용하게 된다.

T-50에 적용된 데이터 처리 운용 프로그램은 사용자의 편의성을 고려하여 Windows 계열의 시스템으로 구성하였고, 지상계측 데이터 처리 시스템에서 생성된 데이터를 Windows 시스템에서 처리하기에 적합한 Visual C++ (6.0)언어를 선정하여 프로그램을 개발하였다.

데이터 처리 운용 프로그램의 주요 기능은 해석 엔지니어가 필요로 하는 데이터를 Raw Data에서 추출하여 요구하는 형태로 가공하여 제공하는 것으로, 이를 Data Reduction이라 한다.

Data Reduction의 단계는 다음과 같이 총 4단계로 구분된다.

- 데이터베이스화 단계: 다양한 조건들을 포함한 파라미터들을 데이터베이스에 입력하는 단계
- Time Slicing 단계: 필요한 구간의 데이터만을 추출하도록 시간을 분할하는 단계
- 파라미터 추출 단계: Time Slicing된 구간의 데이터만을 추출하는 단계
- 출력단계: 해석 엔지니어가 요구하는 형식의 파일로 출력하는 단계

Data Reduction에 의해 생성된 데이터는 해석 엔지니어에게 네트워크망을 통하여 FTP와 HTTP 방식으로 전달된다.

T-50의 Data Reduction에 적용된 운용 프로그램은 다음과 같다.

- 네트워크 파일서버 소프트웨어
- 데이터 처리 소프트웨어

- 시스템 관리 소프트웨어

가. 네트워크 파일 서버 소프트웨어

Database Management System 은 데이터베이스 관리자라고도 불리며, 다수의 컴퓨터 사용자들이 데이터베이스 안에서 데이터를 기록하거나 접근할 수 있도록 해주는 프로그램이다. 통상적으로 약어인 DBMS(Database Management System)를 더 많이 사용한다.

DBMS를 사용하는 목적은 많은 데이터를 일정한 형식으로 나누어 데이터베이스에 저장하기 편리하고 필요한 데이터를 검색하기에 효율적인 환경을 제공하는 것이다.

T-50에 적용된 비행 후 데이터 처리 시스템에서도 이러한 목적으로 네트워크 파일서버에 MS-SQL2000 데이터베이스를 설치하여 사용한다. 이것은 비행후 데이터를 처리하여 제공하는 소프트웨어인 PDRS, EDRS들과 연동되는 것으로, 다음 그림과 같이 구성되어 있다.

이 데이터베이스는 해석 엔지니어가 요청한 항목을 그룹화하여 관리하고, 최종 데이터 생성물을 웹 기반 환경에서 쉽게 다운받을 수 있도록 구축하였다.

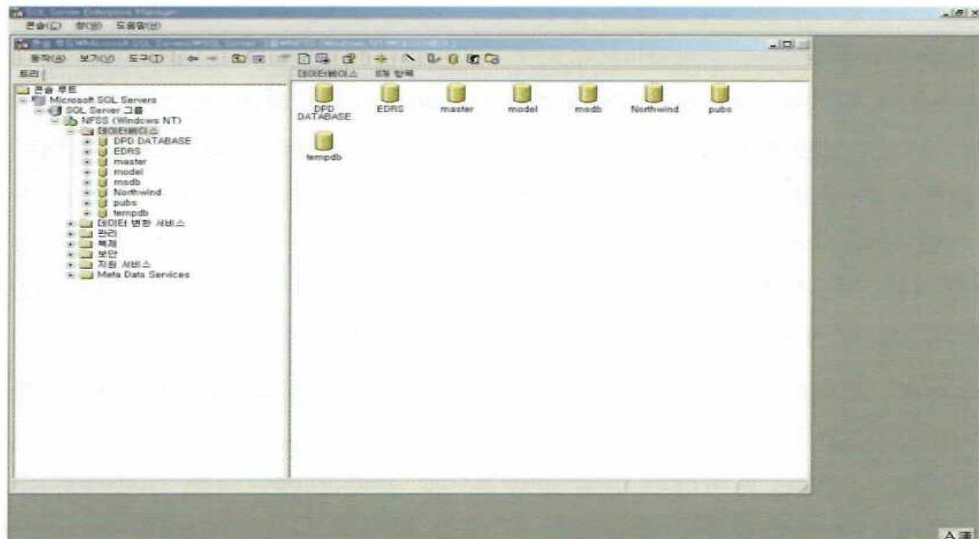


그림 2.19 데이터베이스 구성(예)

다음 그림은 데이터베이스가 구축된 NFSS와 데이터 처리 소프트웨어, 시스템 관리 소프트웨어 간의 데이터 흐름도를 나타낸 것이다. NFSS의 데이터베이스

는 시스템 관리 소프트웨어 및 데이터 처리 소프트웨어와 연결되어 정보를 주고 받거나 완료된 데이터를 저장하기도 한다.

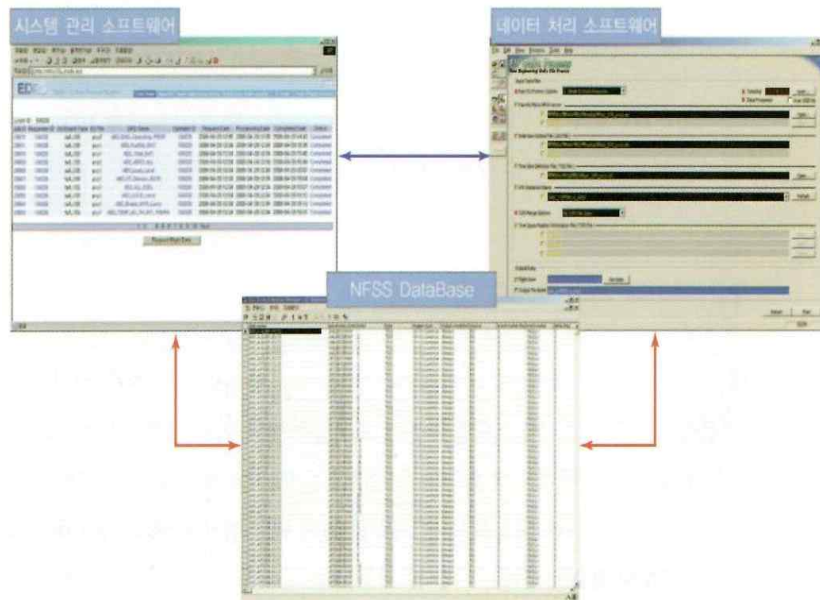


그림 2.20 데이터 흐름도 (예)

파란색으로 표시된 시스템 관리 소프트웨어와 데이터 처리 소프트웨어의 흐름은 데이터 처리 소프트웨어에 데이터 처리가 완료되면 시스템 관리 소프트웨어에 자동으로 등록되고 링크가 되는데, 이는 NFSS의 데이터베이스가 중간자 역할을 하여 마치 시스템 관리 소프트웨어와 데이터 처리 소프트웨어가 직접 연결된 것처럼 보이게 할 뿐이다. 즉, 실질적인 데이터 흐름은 적색으로 표시된 흐름으로 이루어진다.

- 무결성 : 데이터베이스 내의 데이터에 대한 조작 작업 후에도 데이터가 항상 의미적으로 올바른 값을 가져야 한다.
- 일관성 : 저장된 데이터가 항상 물리적으로 올바른 데이터를 가져야 한다.
- 회복성 : 시스템 고장이 발생했을 때 고장 직전의 일관된 데이터 베이스 상태로 복구할 수 있는 능력이 있어야 한다.
- 보안성 : 고의적 혹은 우발적으로 데이터베이스의 데이터를 변경, 손실, 노출시키는 것을 막아야 한다.

- 효율성 : 사용자의 요구에 대해 실시간의 응답, 저장공간의 최소화
- 데이터베이스 확장 : 시스템에 영향을 주지 않으면서 새로운 데이터의 계속적인 추가가 쉬워야 한다.

일반적으로 상기 조건을 고려하여 데이터베이스를 구축하였다. 그림 2.20은 T-50에 적용된 예로 데이터베이스에 구축된 테이블을 나타낸 것이다.

나. 데이터 처리 소프트웨어

데이터 처리 소프트웨어(PDRS, Primary Data Reduction System)는 비행 데이터 처리 부분에서 가장 실질적인 역할을 하는 소프트웨어이다. 이는 지상계측장비로부터 획득된 Raw 데이터 및 데이터 생성자료설명서(DPD: Data Product Description)를 데이터베이스에 구축하고 데이터 축소 및 선별 과정에 의해 해석 엔지니어들이 요구하는 데이터를 추출하여 필요한 형태로 가공 및 제공한다.

T-50에 적용된 데이터 처리 소프트웨어는 비행 후 데이터 처리시스템을 구성하는 PPS 하드웨어상에서 동작하도록 Visual C++와 MS-SQL 2000 데이터베이스가 연동되도록 개발되었다. 다양한 프로그램 언어가 있지만 Visual C++를 선택한 이유는 객체지향 프로그램 기법을 활용하기 위해서이다. 다음은 T-50에 적용된 PDRS의 데이터 처리방식에 대한 개요를 소개한다.

PDRS 소프트웨어를 구성하고 있는 클래스 즉 객체지향언어에서 사용하는 사용자 정의 데이터 형식 및 구조체(Structure)는 약 137개로 개발되었으며, 이를 클래스 및 구조체의 유기적인 상호작용으로 소프트웨어를 가동하게 된다. 또한 클래스는 MFC(Microsoft Foundation Class)의 기본 클래스에서 파생되어 자동으로 생성한 클래스 및 프로그램 작성 시 직접 생성한 클래스를 포함하고 있으며, 각각의 클래스는 Public 혹은 Protected된 구조체를 포함하고 있다.

PDRS 데이터 처리는 다음과 같은 4단계로 구성된다.

- 요구 파라미터 데이터베이스 구축 단계
- 필요 관심구간의 Time Slicing 단계
- 필요 구간에 대한 파라미터를 추출하는 단계
- 필요 형식의 File로 출력하는 단계

TGS Data Processor Raw Data(Binary)의 형식은 Header와 Data 두 부분으로 나누어진다. Data 부분은 IRIG Time이 먼저 나온 후 각 파라미터별 고유번호(Tag Number)와 해당 데이터가 다음 IRIG Time이 나올 때까지 저장된다. 이러한 Raw 데이터 파일의 형식에 맞게 PDRS는 데이터를 추출하게 된다.

데이터 처리 단계 중 먼저 엔지니어의 요구 시간(IRIG Time)을 정의하는 단계(Time Slicing)는 Raw 데이터 파일에서 IRIG Time Tag Number로 검색하여 Time Slicing을 하고, 원하는 시간을 정의해서 저장을 하게 되면 TSL(.stl)파일의 확장자가 생성된다.

다음으로, 정의된 Time Slice 구간을 NFSS 서버에 저장된 Raw 데이터로부터 데이터를 생성하는 단계이다.

최종 EU 데이터를 생성하는 데에는 총 3개의 파일이 필요하다. Raw 데이터 파일과 Index 파일, 그리고 TSL 파일, DPD와 필요 시 TSPI 파일이 추가된다. PDRS를 실행하게 되면 정의한 시간에 대한 파라미터별 데이터를 추출하여 해석 엔지니어들이 요구하는 데이터를 만들어 낼 수 있다.

비행 후 데이터 처리에서의 Index File은 파일 내에 저장된 정보들을 쉽게 찾아 볼 수 있도록 일정한 순서에 따라 특정 정보를 배열하여 놓은 파일이다.

지상계측시스템에 의해 생성된 Raw 데이터 파일의 크기는 수 GByte이므로 이 파일을 검색하기에는 많은 시간이 소요된다. 따라서, 먼저 Index File을 생성하게 되면 Raw 데이터 파일 형식에 따라 각 파라미터별 Tag Number와 IRIG Tag Number 등의 정보들만을 뽑아 쉽게 Raw 데이터 파일에 접근이 가능하다.

Index File의 생성을 위해서는 추가 시간이 소요되나 한번 Index를 생성하면 해당 Raw 데이터 파일에 대해 무제한적으로 재활용이 가능하며, EU 파일의 백업 시 동일한 이름의 Index File을 동시에 저장하며 외부 자료에 의존하지 않고 PDRS를 이용하여 데이터 축약 처리를 수행할 수 있다.

원하는 형식의 파일로 출력하는 단계는 최종 EU 데이터를 쉽게 분석할 수 있도록 기본으로 ‘,’로 분리된 형식으로 만들어 Exel File로 볼 수 있게 구성되었으며, 1553 Mux 및 PCM Data와 같은 특별한 데이터를 출력할 수 있다.

다. 생성자료 설명서(DPD)

생성자료설명서(DPD)는 EU 데이터 파일의 데이터 축약(Data Reduction)을 수행할 때 해석 엔지니어별 항목의 선택/출력조건 지정 및 출력파일의 형식 등을 지정하여 보존한 자료이다. 이 자료들은 NFSS 서버에 설치된 마이크로소프트 MS-SQL2000 데이터베이스에 저장되어 PDRS를 통하여 원하는 데이터들을 처리할 때 사용된다. 즉, DPD의 모든 선택조건은 NFSS상에서 관계형 데이터베이스 자료의 형태로 유지되고 활용되는 것이다.

생성자료 설명서(DPD)의 기능은 원본 EU 데이터 파일과 파라미터 데이터베이스(PDB, Parameter DataBase)파일의 데이터 분류과정을 거쳐 생겨난 IDX 파일에서 항목 이름을 리스트하여 생성자료설명서(DPD) 구축시 선택된 항목을 NFSS 서버에 저장된 MS-SQL2000 데이터베이스에 저장하는 것이다.

생성자료 설명서(DPD)의 주요 기능은 다음과 같다.

- 엔지니어 요청 항목들을 데이터베이스화한다.
- 하나의 생성자료 설명서(DPD) 안에서도 각각의 항목별 엔지니어들이 원하는 데이터 포맷으로 출력할 수 있다.
- MS-SQL2000 데이터베이스와의 인터페이스를 통하여 해석 엔지니어별 생성자료 설명서(DPD) 내의 항목을 검색할 수 있다.

이러한 DPD는 비행 후 데이터 처리 전에 수행되며, 엔지니어의 DPD 요청서를 바탕으로 PDRS에 내장된 DPD 프로그램을 사용해서 데이터베이스에 저장하게 된다. T-50에 적용된 DPD 데이터베이스 및 DPD Data Flow의 기능을 간략히 소개한다.

라. 생성자료 설명서(DPD) 데이터베이스

생성자료 설명서(DPD) 데이터베이스는 PDRS처럼 처리 알고리즘을 거쳐 생성물을 만들어 내는 것이 아니라, NFSS 서버에 내장된 SQL Server(데이터베이스)에 해석 엔지니어가 확인하고자 하는 항목에 대한 리스트 및 형식 자료들을 저장하는데 목적이 있다.

그러므로, 생성자료 설명서(DPD) 프로그램을 수행하기 전에 먼저 NFSS 서버에 내장된 SQL Server에 DPD 데이터베이스를 정의하고 관련된 데이

블을 생성해 놓아야 한다. T-50에 적용된 DPD 데이터 베이스는 총 3개의 테이블로 이루어져 있으며, 각테이블의 이름과 역할은 표 2.14와 같다.

하나의 생성자료 설명서(DPD)를 구성하기 위해서 상기 테이블들이 복합적으로 필요하며, 상기의 각 테이블은 생성자료 설명서(DPD)_Name이 기본 키가 되어 각 테이블 간의 관계성을 갖는다. 다시 말해 DPDLIST 테이블에 존재하지 않는 DPD_Name은 DPDDetail 테이블에 존재할 수 없으며, 중복이 허용되지 않고 단 하나씩만 존재한다. 또한 그 반대의 경우도 마찬가지이다.

표 2.2 T-50 DPD 데이터베이스 구성 테이블 리스트

No	Table Name	Table Role
1	DPDLIST	DPD에 대한 간략정보를 포함한다.
2	DPDDetail	DPD에 대한 상세정보를 포함한다.
3	DPDPARAMETERS	DPD에 포함된 파라미터 설정 사항들을 포함한다.

DPDLIST 테이블과 DPDPARAMETERS 테이블은 1:∞(일대다)의 관계를 갖는다. 즉, 하나의 DPD에 포함될 수 있는 항목의 개수에 제한이 없다는 개념을 내포하고 있다. 예를 들어, 10개의 항목 정보를 포함하는 'A'라는 DPD가 있다고 가정하자. 이 경우 DPDLIST 테이블과 DPDDetail 테이블에는 'A'라는 정보가 저장된 Record가 하나씩 존재하며 1:1 관계가 성립되고, DPDPARAMETERS 테이블에는 10개의 Record가 저장된다.

그림 2.21은 데이터 베이스에 구축된 생성자료 설명서(DPD) 테이블들과 DPD 소프트웨어 간의 관계를 나타낸 것으로, Main Windows 인 DPD Utility 초기화면은 현재 구축된 DPD 리스트를 보여주는 화면이다. 이 화면에서 새로 만들거나 기존의 DPD를 편집할 수 있다. 그리고 Main Window 화면 아래의 Definition Window는 선택한 DPD의 세부 내용을 확인하거나 새로 구축할 DPD의 입력항목을 보여주는 화면으로, 엔지니어가 요구하는 항목 및 데이터 형식에 관해 정의할 수 있다. 그 아래의 Window들은 DPD 내에서 정의할 각 항목에 대한 상세항목을 선택하고 정의하는 화면이다.

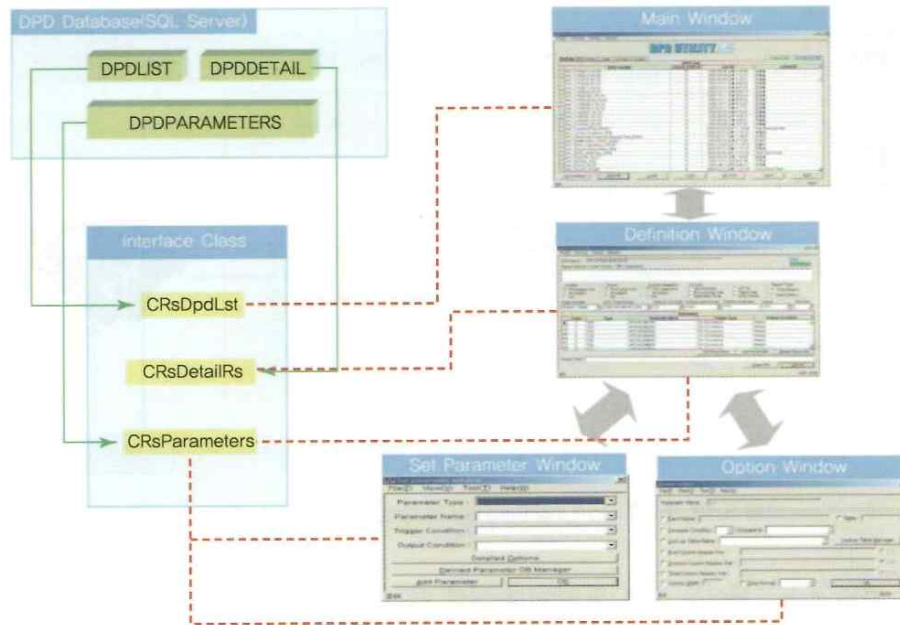


그림 2.21 T-50 DPD Data Flow Chart(예)

4. 시스템 관리 소프트웨어

지상계측시스템의 시스템 관리 소프트웨어(EDRS, Electronic Data Request System)는 해석 엔지니어의 데이터 요구 및 처리된 데이터를 제공할 수 있게 설계된 인트라넷 기반의 웹 데이터베이스 응용 프로그램으로, PDPS의 인트라넷 웹 서버인 NFSS의 호스트 역할을 수행한다.

그림 2.22은 T-50 비행시험에서 사용된 EDRS의 실행 첫 화면을 나타낸다. 시스템 관리 소프트웨어는 비행 후 데이터 처리 시스템(PDPS)의 하위구성요소로 T-50에 적용된 요구를 만족시키는 인트라넷 기반의 데이터베이스 애플리케이션이다.

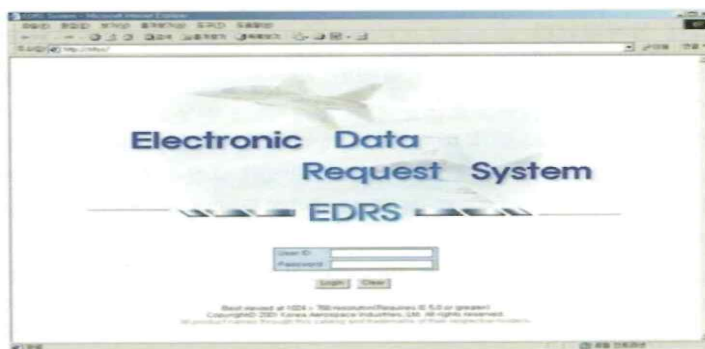


그림 2.22 T-50 시스템 관리 소프트웨어(예)

웹기반으로 구축한 이유는 처리된 많은 데이터를 해석 엔지니어들이 시간적/공간적 제약을 해소하여 쉽게 접속/다운받을 수 있기 때문이다.

그림 2.23는 T-50에서 사용한 상호 응답형 EDRS를 개략적으로 나타낸 그림이다.

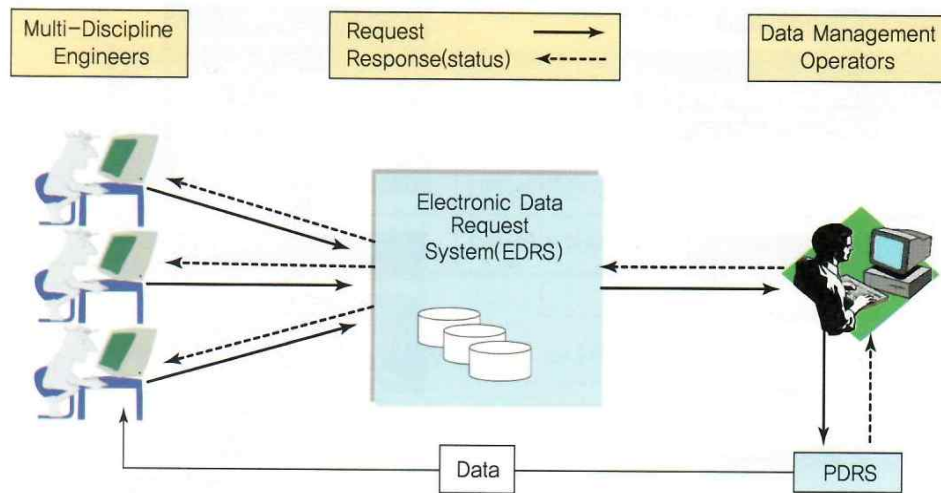


그림 2.23 T-50 On-Line Request & Response EDRS (예)

EDRS는 그림 2.23처럼 엔지니어들의 요구사항을 네트워크상에서 차례로 받아들이며 신속하게 비행한 후 분석을 위한 데이터를 제공할 수 있도록 다음과 같은 기능을 수행할 수 있게 설계되었다.

- 해석 엔지니어는 요청 데이터를 일정한 폼(From)으로 작성하여 EDRS에 등록할 수 있어야 한다.
- 해석엔지니어는 EDRS를 통하여 요청 데이터를 다운받을 수 있어야 한다.
- 데이터 처리 담당자는EDRS를 통하여 엔지니어의 요청을 확인할 수 있어야 한다.
- 데이터 처리 담당자는 EDRS를 통해 엔지니어들에게 현재 요청한 데이터의 상황을 제공해야 한다.
- NFSS 서버에서 운영되는 관계형 데이터베이스에 데이터 요청을 저장한다.
- 데이터베이스에서 데이터 처리건에 대한 이력을 정량화 및 관리 가능하

도록 정보를 제공한다.

위에서 설명한 기능은 크게 데이터 처리 담당자가 운영하는 운용자 모듈(operator Module)과 해석 엔지니어가 데이터 요청 및 데이터를 다운받을 수 있는 엔지니어 모듈(Engineering Module)로 나눌 수 있다. 이를 그림으로 표시하면 그림 2.24와 같이 엔지니어 모드(Engineer Entry)와 운용자 모드(operator Entry)가 연동되어 있는 것을 볼 수 있다

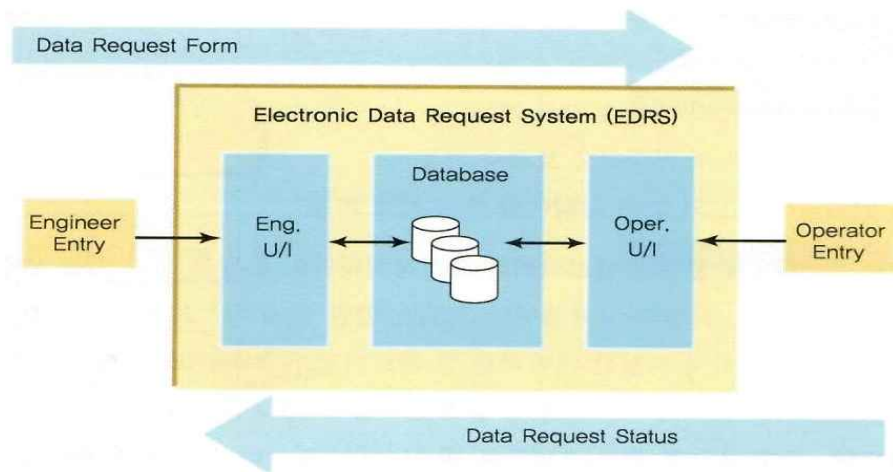


그림 2.24 EDRS Interface (예)

1) 엔지니어 모드

엔지니어 모드는 다음과 같은 기능을 엔지니어에게 제공할 수 있어야 한다.

- EDRS에 로그인 기능
- 엔지니어에 의해 작성된 모든 요구사항 브라우저 기능
- 새로운 요구사항 등록 기능
- 요구사항에 대해 추가 정보를 공급하는 기능
- 해결된 요구사항 확인 기능
- 질의어와 빠른 검색 기능
 - DPD Name, Flight No, Operator Name, Requester Name, Date/Time 등

2) 운용자 모드

운용자 모드는 운용자에게 다음과 같은 기능을 제공할 수 있어야 한다.

- EDRS에 로그인 기능
- 제출된 요구사항들의 목록 브라우저 기능
- 데이터베이스의 내용 보고서 기능
- 데이터베이스의 기준척도 보고서 기능
- 엔지니어 모드와 같은 질의어와 빠른 검색 기능

EDRS는 앞에서 설명한 엔지니어와 운용자만의 특징을 고려하여 기능 위주의 사이트로 운영되며, 특별히 운용자 모드는 일반 엔지니어 모드와 비슷한 구성에 추가적으로 현재까지 요청한 데이터들 중 완료되지 않은 데이터 요청 건수 및 완료된 건수, 거부된 건수에 대한 상황을 쉽게 검색할 수 있도록 구성해야 한다.

EDRS는 상호 응답형 웹 시스템으로 엔지니어 데이터 요청에 의해서 데이터 처리(PDRS), 데이터 제공이 이루어지는 것이 좋다. 그림 2.25은 Data Request Status Flow Chart이다.

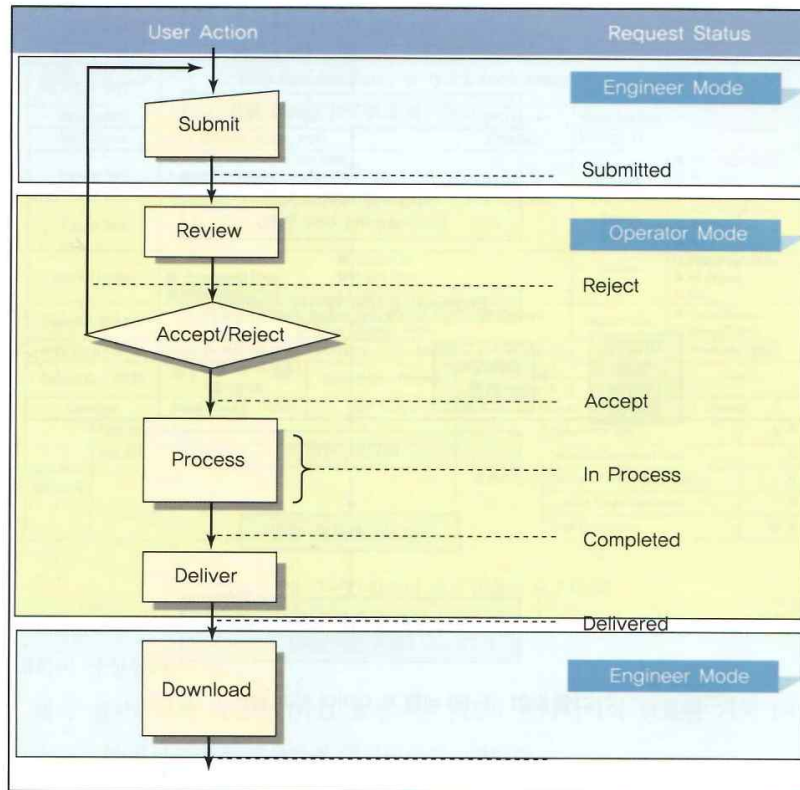


그림 2.25 Data Request Status 플로우 차트

그림 2.25의 Flow Chart를 보면 먼저 엔지니어가 EDRS를 접속하여 데이터 요청 폼을 이용하여 데이터를 요청하게 된다. 데이터 요청 폼에는 데이터 요청에 해당하는 비행호기, 요구 시간(IRIG TIME), Smapling Rate(Hz), DPD 항목을 등록해야 한다.

해당 항목을 빠짐없이 등록하여 신청하게 되면 EDRS는 ‘Submitted’라는 등록 Status가 되며, 데이터 처리 담당자인 운용자는 submitted된 요청건에 대하여 데이터 처리의 진행 여부를 검토하여 통보한다. 검토 결과 ‘Accept’가 되면 EDRS에서 엔지니어가 요청한 Data Status는 ‘Processing’이 되어 현재 처리 중임을 알려주며, 거부되었을 경우에는 Status가 ‘Rejected’가 되어 엔지니어는 재검토하여 요청을 수정하도록 한다.

데이터 처리 담당자는 요청한 데이터를 확인한 후에 처리 가능한 데이터는 데이터 처리 소프트웨어(PDRS)를 사용하여 데이터 처리를 수행한다. 데이터 처리 소프트웨어에서 요청한 데이터가 완료되면 자동적으로 EDRS에 엔지니어가 요청한 Data Status는 ‘Completed’가 된다.

처리 완료된 데이터 요청건은 ‘Completed’라고 Status Column에 표시

되며, 여기에 실제 데이터가 링크되어서 엔지니어는 온라인으로 다운로드할 수 있다.

5. 비행 후 데이터 처리 절차

비행 후 데이터처리 수행 절차는 다음과 같다.

- DPD 작성과 데이터베이스화
- 데이터 획득과 저장
- 데이터 생성물 배포
- 데이터 리포트 분석
- 비행시험 자료 관리

1) DPD 작성과 데이터베이스화

해석 엔지니어는 시험 항공기에 장착된 센서 파라미터의 특성을 파악하여 정확한 데이터 생성물 처리 조건을 DPD에 반영시킨다. 이때 DPD 작성은 데이터 생성 기술어 요구서의 선택사항을 해석 엔지니어가 원하는 형식으로 선택하여 작성한다. 해석 엔지니어가 작성한 DPD 요청서는 PDPS 엔지니어의 검토를 거쳐 DPD Utility 운영 프로그램을 이용하여 데이터베이스화 한다.

2) 데이터 획득과 저장

PDPS 엔지니어는 TFF(Telemetry Front End)로부터 EU 변환된 비행시험 원본 데이터 파일과 TSPI 장비로부터 획득된 TSPI 파일 및 각종 비행 후 생성된 데이터들을 저장한다. 또한, 해석 엔지니어가 제출한 DPD에 의거하여 처리하고자 하는 비행 데이터 파일과 Time Slicing을 한 Time 정보 파일을 생성하고 저장한다.

3) 데이터 처리

데이터 처리는 운영 소프트웨어인 EDRS를 통해 데이터 처리 결과물 요청을 확인한 후 요청 순서에 따라 데이터 처리 워크스테이션에 탑재된 PDRS를 실행하여 데이터 처리를 수행한다.

4) 데이터 생성물 배포

결과물 처리가 완료되면 전산파일 형태로 NFSS 서버에 저장되며, 요청한 해석 엔지니어가 직접 EDRS를 통해 생성 결과물을 다운받는다. 해석 엔지니어는 분석툴을 이용하여 데이터를 분석한다.

5) 데이터 리포트 분석

해석 엔지니어는 비행 후 배포된 데이터 처리 결과물에 대해 분석을 수행하고, 해석 결과에 대해 새로운 요구도 발생 시 비행계획 엔지니어를 통해 통보 및 반영한다.

6) 비행시험 자료 관리

PDPS 엔지니어는 비행 후 데이터 처리뿐만 아니라 데이터 처리와 관련된 모든 자료를 관리해야 한다. 비행시험 자료는 일정한 규칙과 절차에 따라 관리하여야 향후 비행시험이 끝난 후 데이터 요청 시 정확한 데이터를 제공할 수 있다. 자료 분류 체계의 예는 다음 표와 같다.

표 2.3 자료 분류체계 예

구분			Code	비고
On-Board	Data Recording 자료	원본	DO	항공기상의 Data Recorder로부터 획득한 자료
		사본	DB	DB: 원본 Tape의 EU File 및 그 외 Data를 모아 놓은 Tape
			DC	DC: 원본 Tape의 Copy본을 모아 놓은 DLT Tape
	Video Recording 자료	원본	VO	항공기상의 Video Recorder로부터 획득된 자료 (HUD, MFD, DTSC)
영상 획득 자료		원본	PO	지상/공중에서 획득된 영상 자료
		사본	PB	

6. 비행 후 데이터 분석 소프트웨어 Tool 기술 분석

가. 비행 후 데이터 처리 및 분석 기술 동향

비행 후 처리 및 분석툴을 제공하는 업체는 미국의 L-3 Communications사와 Curtiss-Wright사, 그리고 프랑스의 Magali사 제품이 대부분이다. 국내에서는 루맥스사가 Export와 Import 기능을 위주로 일부 후처리 소프트웨어를 제공하고 있다. 다음 표는 비행 후 처리시스템의 업체 동향을 보여준다.

표 2.4 비행 후 처리시스템을 제공하는 업체 동향

구분	국내 업체	해외 업체
H/W		L-3, Zodiac
S/W	루맥스	L-3, Magali
External Data Storage		HP, DELL

국내의 대부분의 비행시험센터에서 운용하고 있는 비행후처리시스템은 미국 L-3사의 Prospector이고 항공우주연구원 비행시험센터에서는 프랑스 Magali S/W를 운용하고 있다. 또한, KAI는 KT-1 터보프롭 훈련기와 Surion 헬기 개발 및 운용을 위해 Curtiss Wright사의 GS works 소프트웨어를 운용하고 있다.

비행후처리시스템 소프트웨어 해외 기술 동향 분석을 위해 Curtiss-Wright사의 GS Works, L-3 Communication사의 Vista Prospector와 Magali 후처리 소프트웨어를 조사하였다. 운용자 인터페이스는 Prospector의 경우 web browser interface를 제공하고, 입력파일 포맷은 Prospector와 Magali 소프트웨어는 IRIG Chapter 10 표준과 업체 고유 포맷을 제공하여 HW 독립적이다. Export 포맷은 CSV와 Matlab, 그리고 Excel 형식을 모두 지원한다. Multi-User 수용은 Prospector의 경우 최대 25까지 가능하다. 대부분 사용자 개발 툴을 제공하고 Magali 소프트웨어의 경우는 직관적 중심의 KALLISE 개발 툴을 제공한다. Magali 소프트웨어의 경우는 3D뿐만 아니라 3D 가상현실도 제공한다. 대부분 실시간과 후처리 소프트웨어로 동시에 활용가능하나 L-3의 경우는 실시간과 후처리 소프트웨어를 구분하여 제공한다.

비행 후 처리시스템의 소프트웨어 Solution을 제공하는 국내 업체는 루맥스에 어로스페이스사로 주로 데이터 입력 저장, 출력을 관리하는 Import, Export 기능에 대한 기술을 확보하고 있고, Visualization, Analysis, 영상 시현, 가상현실 등의 기술은 대부분 L-3사와 Magali사 등 해외 업체가 시장을 선점하고 있다. 전자파 분석 측면에서 군에서 사용하는 전자파 정보분석체계 분야와 데이터베이스 응용 소프트웨어 분야에서는 국내 몇 개 업체에서 국산화 개발 기술을 확보한 상태이나 비행시험 계측시스템의 후처리 소프트웨어 분야는 국내 기술의 경쟁력 현황은 미미한 편이다. 대부분의 외국 비행후 처리 소프트웨어의 가격이 고가로 국산화할 필요가 있지만 국내 비행시험 계측시스템시장의 규모가 크지 못하고 세계적으로도 몇몇 외국 회사가 선점하고 있기 때문에 해외 시장 진출도 원활하지 못할 것으로 보인다. 따라서, 루맥스 에어로 스페이스사처럼 후처리 소프트웨어의 일부분의 기술을 특화해 나갈 필요가 있다.

표 2.5 국내 비행시험장에서의 비행후처리시스템 운용 사례

사천 TGS (통합)	사천 TGS (민항기 시험)	해미 TGS	항공우주연구원 TGS
L-3 Prospector	L-3 Prospector	L-3 Prospector	Magali SW

표 2.6 대표적인 비행후처리시스템의 기술 요약

구분	Curtiss-Wright GS Works 8	L3 Comm Vista Prospector	Magali 후처리 S/W
운영자 인터페이스	Interactive interface	web browser interface	
지원 파일 포맷	•Ethernet Data: IENA packet, ARINC-429, MIL-STD-1553, CAN, TTP only), PCAP files: from network recorder packets •PCM Data from: IRIG-106 •CompactFlash data from: KAM/MEM MPEG-4와 H.264 영상과 Audio, CVSD audio	IRIG Chapter 10, TSPI, L-3 HFS	IRIG Chapter 10, HEIM DATAREC, INSNEC
Export	CSV, Microsoft Excel, Mathworks Matlab	CSV, TSV, Matlab 데이터 형태	ASCII, Binary, MATLAB, Excel, Dynaworks, 사용자가 개발 툴로 생성한 특정 포맷
OS	Windows XP Professional SP3 32bit 또는 Windows 7 32bit	MS Window 2003, MS Window XP	Windows, Linux and Real Time OS
multi-user지원	5 client	5/10/25 Client	지원
사용자 개발 툴 제공	GTS SDK		SDK(Software Development Kit) 직관적 첨단 제공: KALLISE
2D/3D 가상현실 제공		3D Display	MAG3D VIRTUAL REALITY module
영상분석 툴 제공	Video Player, Audio player		MAG_Video : Video Analysis Module
네트워크 툴 제공 (편리한 노드 추가/삭제)	DAS Studio 3		MAG_NDA : Network Distributed Architecture
비고	Realtime & Replay, 후처리	후처리	Realtime & Replay, 후처리

표 2.7 비행시험에서의 비행후처리시스템의 요구도 현황

구분	고흥 TGS (당 사업)	사천 TGS (통합)	사천 TGS (민항기 시험)	해미 TGS
제품		L-3 Prospector v1.0	L-3 Prospector v1.0	L-3 PDPS SW V1.0
서버		R-710	R-710	R-710
프로세서	6 Core 2.4GHz 이상			
메모리	32 GB 이상	16 GB	16 GB	16 GB
저장장치	15TB이상, RAID	15TB이상, RAID	15TB이상, RAID	20TB이상, RAID
Import		Chapter 10, HFS	Chapter 10, HFS	Chapter 10, HFS
데이터 출력 포맷 (Export)	Matlab/CSV/Excel/Proprietary 등	Matlab/CSV/Excel	Matlab/CSV/Excel	Matlab/CSV/Excel

표 2.8 비행시험에서의 비행후처리시스템의 발전추세

구분	현 요구도	발전 추세
메모리	32 GB	32 GB 이상
저장장치	15 TB RAID	20 TB 이상
Import 형태		Chapter 10, Proprietary, Binary, ASCII, 영상, 음성 데이터
Export 형태	Matlab/ CSV/ Excel/ Proprietary	Matlab/CSV/Excel/Proprietary Binary, ASCII, 영상, 음성 데이터
접속자 수	15명 이상	20명 이상
사용자 개발 툴 제공		제공
영상분석 툴 제공		제공
2D/3D 가상현실 제공		제공
네트워크 툴 제공		제공

나. Magali Post Processing mode

Magali사의 Post processing mode (or analysis mode) 비행 후 수집 저장된 데이터에 대해 상세분석을 수행하는 모드로 다수의 시험기능과 처리기능이 있다.

1) Data Processing

Magali사 소프트웨어 툴은 메모리카드, 저장장치, 또는 간단한 외부 파일에 저장된 데이터에 대해 추출하거나 분석을 수행한다. 따라서, 다양한 제조사의 저장장치로부터 데이터를 추출하게되고 이는 분석툴의 주요 역할중의 하나이다.

- Data files
 - ASCII(configurable format)
 - Binary(several format)
- Data recorders
 - IRIG 106 Chapter 10 format
 - HEIM DATAREC
 - INSNEC
 - ACRA
 - TTC
 - Memory CARD

2) Post Processing Visualization

추출된 데이터를 분석하기 위해 가시화 및 처리 툴을 제공한다. 저장 수집된 파일로부터 시험을 위한 여러 파라미터를 생성하고 이러한 일련의 과정은 실시간 데이터로부터 파라미터를 생성하는 방식과 동일하다. Magali사의 소프트웨어 툴은 다음과 같은 데이터 형태를 처리할 수 있도록 기능을 제공한다.

- 데이터 블록
- 원시값의 파라미터: 활용하기 위한 단위로 변환되기 이전의 원시 데이터
- 엔지니어링 단위의 파라미터: 원시 데이터를 변환하여 생성

가시화 툴은 대부분 커브나 차트형태로 파라미터를 시험한다.

- 모든 파라미터에 대해 시간 동기화된 가시화
- 몇 개의 입력 파일에 대해 데이터 동기화된 가시화
- 그래픽 분석기능
- 여러 분석을 위해 원시값으로의 전환할 수 있는 기능

- 그래픽 데이터의 출력
- 인쇄

시험 보고서 제공 등이며 몇가지 시각화 예는 다음 그림과 같다.



그림 2.26 Magali사 비행 후 처리 가시화 소프트웨어 툴 (예)

3) Analysis

Magali 소프트웨어 툴에서 제공되는 그래픽 분석기능은 다음과 같다.

- Point to Point cursors
- inter-cursor 운용을 위한 Multi-cursor 기능
- 줌인/줌아웃
- comment 입력
- 파라미터의 추가/삭제
- 원시 프레임에 접근 기능
- 동기화 상실 및 오동작의 상태 전시
- 이벤트 전시 기능 등

4) Test Report

모든 관련된 정보 즉 Comment, 이벤트 등과 함께 시험결과 보고서에 그래

프를 추가할 수 있는 기능을 제공한다. 생성된 시험결과 보고서는 인쇄할 수 있고 언제든지 재생하여 볼 수 있으며 필요시 편집할 수 있다.

5) Post-Processing

후처리 기능은 수집된 파라미터나 변환된 파라미터에 적용하는 수학적, 통계적 또는 신호처리 과정이다. 입력된 파라미터는 여러 종류의 수집 장치로부터 수집된다. 모든 파라미터는 동일 주파수에서 동일시간대에 수집될 필요는 없다. Inter-Parameter synchronization은 파라미터의 수집시간에 따라 자동적으로 동기화 된다. Magali가 제공하는 표준 소프트웨어 툴 Function은 다음과 같다. 또한, Development Toolkit가 제공되어 사용자는 특정 기능이나 모듈을 생성할 수 있다.

- Search
 - on position, intergral, abscissa, interval, ordinate, Minimum, Maximum, slope 등
- Arithmetic operators
 - Addition/Subtraction, Multiplicatiojn/Division
- Logic operators
 - Negation, And/Or/XOR, Lower, Lower or equal, Greater, Greater or equal, Equality
- Mathematic functions

Absolute value	Hyperbolic Sine
square root	Hyperbolic Cosine
square	Hyperbolic Tangent
Power	Module
Exponential	Phase
Neperian logarithm	Linear Function
Decimal Logarithm	Sign Function
Decimal conversion	Indicator function
Reverse decibel Conversion	Module function
Base 2 logarithm	Interpreted function
Sine	Derivation
Cosine	Laplacien
Tangent	Integral

Arcsine
Arccosine
Arctangent

Surface estimation
Concatenation

- Signal processing

FFT
Power spectrum
Energy spectrum
Real/Imaginary
Module/phase
Real/imaginary inverter
Auto correlation
Inter correlation
module/phase Interspectrum
Real/imaginary Interspectrum
Coherence function
Transfer function
Real/imaginary
Module/Phase

Digital filter
Basic
Finite impulse response
Buttsworth
Tchebichev
Elliptic
Smoothing
Repeated smoothing
Basic frequency function
Envelop
Function time frequency

- Statistic Processing

Average and standard deviation
Statistic report
Linear regrssion
Inter Channel averages
Approximation

Re-sampling
Interpolation
Distribution and density
Statistics on set of parameters
Statistical construction of channel

6) Additonal Tools

가) Graphic Editors

Magali의 Graphic Editor들은 각 프로젝트에 커스터마이징된 새로운 그래픽 template의 생산을 위해 고안되었다. 이들 그림은 실시간/후처리 모두에서 활용할 수 있다. 생성된 그림은 테스트중 실시간 또는 재생모드에서 사용될 수 있다.

후처리 모드에서는 Template는 파라미터를 가시화하기 위해서, 또는 인쇄나 테스트 보고서에 삽입하기 위해 언제든지 선택하여 활용한다.

Graphic Editor는 간단하거나 또는 복잡한 모형을 만들거나 이미 만들어진 것을 적용하는데 있어서 매우 간단하고 직관적인 툴이다. time history frame, YX mark, display unit, bar-graph, view-meter, 그리고 chart 등의 새로운 그림 모형을 사용자 필요에 따라 삽입할 수 있도록 해준다. 비행 동영상 모형들도 만들 수 있다.

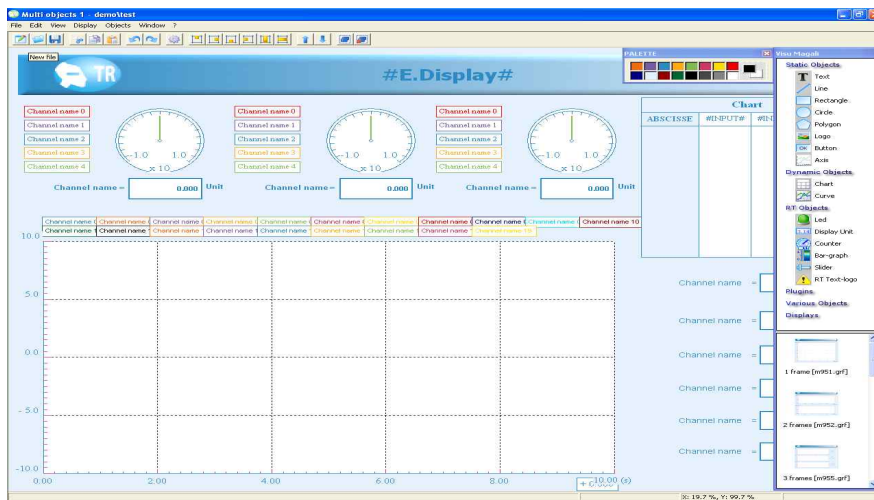


그림 2.27 Magali사 Graphic Editor 화면 (예)

나) Macro-Command

메크로 command 기능은 일련의 Magali사 제품의 기능들을 하나의 기능으로 그룹화하여 차례로 동작시킬 수 있다.

Macro-command는 다음을 포함할 수 있다.

- Acquisition launch
- Generation launch
- Processing functions
- Other macro-commands
- Specific functions: conditional connexion, loop, pause ...

다) Scheduler

Scheduler는 macro-command의 확장이라 할 수 있다. 기능은 미리 지정된 시간에 또는 일정한 시간 간격으로 명령어나 매크로를 수행시킨다. 보통 supervising, 또는 모니터링분야에 활용된다.

라) Checklist

Checklist기능은 역시 매크로 기능의 확장이다. 매크로 수행중 프로세스의 follow-up을 편리하게 할 수 있도록 스크린상에 전시하는 것이다. passing point, forward 또는 backward jump, data input 등의 수동적 validation처럼 Stop point, operator action을 포함할 수 있다. 주로 follow-up, monitoring of a firing sequence, sequential test follow-up with manual intervention 등에 활용된다.

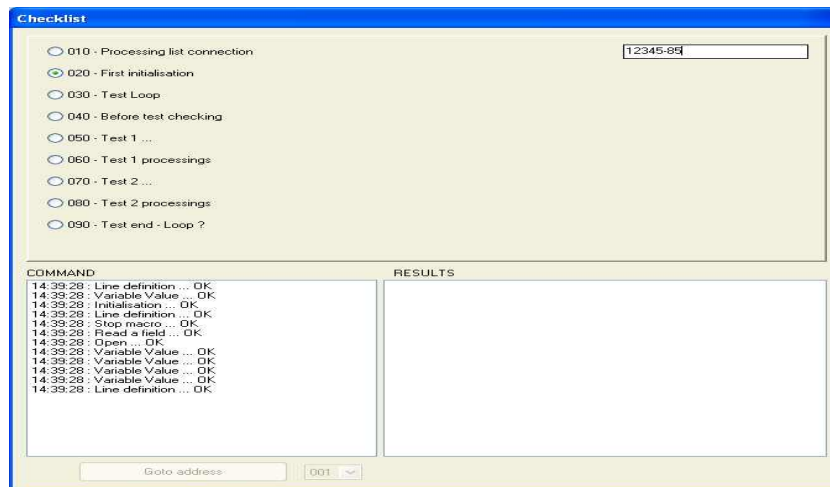


그림 2.28 Magali사 Check list 운용 화면 (예)

마) Data File Importation

Magali 소프트웨어들은 분석하거나 신호처리하기 위해 타 체계에서 데이터를 가져올 수 있도록 지원한다. 처리할 수 있는 형식은 다음과 같다.

- ASII
- Binary
- MATLAB
- EXCEL
- DYNWORKS

그 외 Development Toolkit SDK-PP으로 특정 형식을 개발할 수 있다.

바) Test Configuration Importation

Importing a test configuration은 대량의 사용자 입력과 결과에 대한 어려움을 줄여준다. Test Configuration은 수만 수천의 파라미터를 디지털 버스에서 다뤄야하는 매우 큰 데이터를 다뤄야 하는 경우가 있다. 이런 경우에 사용자의 입력 부담을 덜어 주는 기능이다.

사) Test Configuration Exportation

표준 형식인 TMATS 형식이 정의되어 있어 Test Configuration을 출력하여 타 체계에서 사용할 수 있도록 하는 기능이다.

아) Data File Exportation

파라미터 등의 데이터는 NDA 아키텍처의 형식과 프로토콜을 기반으로 네트워크를 통하여 실시간으로 전송되고 받을 수 있다.

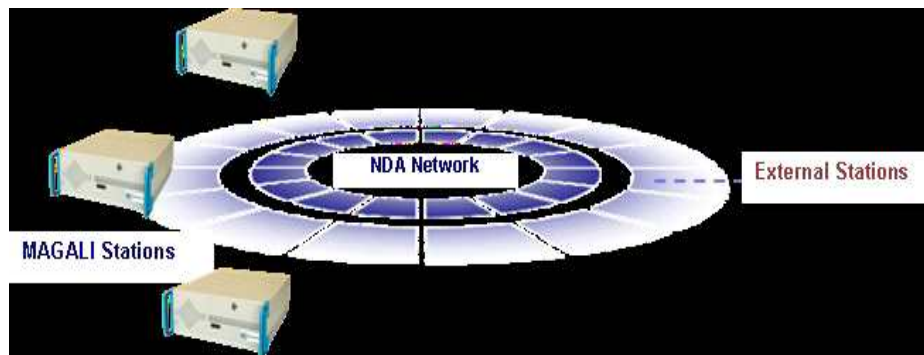


그림 2.29 Magali사 NDA 네트워크 아키텍처

7) Development Toolkit

Magali 소프트웨어는 모듈화된 개방적 소프트웨어이다. 특정한 프로젝트를 위해 새로운 모듈 또는 부가적인 체계를 삽입할 수 있다. SDK Software Development Toolkit은 사용자로 하여금 새로운 기능을 생산해 낼수 있도록 해주는 툴이다.

Realtime SDK, Post Processing SDK, 그리고 Network Communication SDK가 있다.

Post Processing SDK(SDK-PP)는 후처리 모드에서 개발기능을 수행한

다. 몇가지 예를 들면 다음과 같다.

- 파라미터에 수행할 Processing 기능
- 타 형식으로 입력 또는 출력하는 툴
- Test Configuration을 입력 또는 출력하는 툴

이러한 기능들은 사용자가 개발환경에서 개발하여 DLL로 활용한다. 한번 생성된 이러한 기능들은 Magali 메뉴에 수록되어 사용자가 직접 또는 매크로 형태로 사용할 수 있다. 이 Development Toolkit의 가장 큰 장점은 원시 데이터에 직접 접속할 필요없이 Data Stream형식의 데이터를 활용한다는 것이다. Data Stream은 응용 SW와 실제 데이터 사이에 dynamic link를 생성하는 개념이다. 주된 잇점은 사용자는 데이터 소스, 형식, 데이터의 발생 또는 복잡성을 알 필요가 없다는 것이다.

다. L-3 Prospector

L-3사의 Prospector 툴은 사용자로 하여금 중앙 데이터저장 장치에서 빠르고 쉽게 접근하여 가시화 및 후처리 분석을 위한 데이터 출력을 수행할 수 있도록 하는 웹 브라우저 어플리케이션이다.

Prospector는 Multi-user, Multi-threaded, Platform independent software Application으로 다음과 같은 기능을 제공한다.

- Imports and merges data from a variety of sources
- Supports IRIG Chapter 10, TSPI, and L-3 HFS source files
- Time-orders, sorts and processes data during the import process
- Web browser interface for client users
- Extracts data on demand through web page interface
- Exports raw and/or processed data to multiple users

Prospector includes privilege based management capabilities providing the ability to:

- Manage user accounts and roles
- Import/process/delete/export data files
- Export data files in CSV, TSV, & Matlab data types

Prospector는 L-3 T&RF의 HFS data 또는 Chapter 10 data를 처리하여

ustom file type로 제작할 수 있다.

HFS data file은 front end storage array에 생성될 수 있고 Vista™ archiving GUI상에서 Prospector로 전송될 수 있다. 이후 HFS 파일로부터의 데이터는 Prospector로 입력되고 사용자 출력을 위해 사용될 수 있다.

Chapter 10 data file은 Windows Explorer와 같은 표준 파일 관리툴을 사용하여 데이터저장장치로부터 Prospector로 다운로드 된다. 다운로드된 Chapter 10 file은 Prospector에 직접 입력되고 Chapter 10 file의 원시 데이터 또는 Time and Space Positioning Information(TSPI) data에 병합되어 있는 원시데이터로부터 EU 데이터로 생성하기위해 전처리된다.

Prospector는 web client computer에서 저장된 데이터를 사용자가 요구하고 받아볼 수 있는 기능을 제공한다. 데이터를 요구하기 위해 사용자는 필요한 데이터 파일, time slice, 출력하기 위한 파라미터, 그리고 출력 형식(CSV, TSV, MATLAB)을 선택한다. 출력된 data file은 주어진 파일이름으로 client computer 또는 Prospector storage repository location의 폴더에 저장된다.

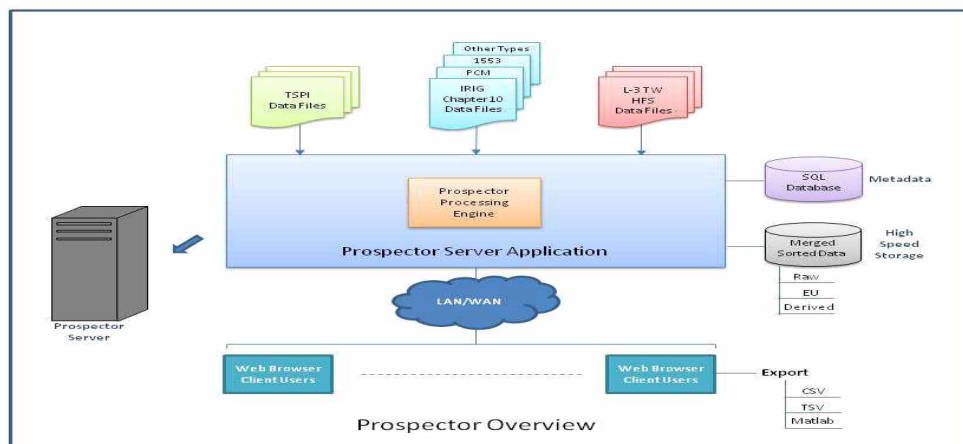


그림 2.30 L-3사 Prospector Overview

1) Features/Benefits

- Includes server
- Web-browser client interface
- Imports Chapter 10 or HFS files
- Allows time sliced exports of archived data

- Select single or multiple parameters for export
- Exports raw or processed data
- Provides ‘snapshot’ view of the data
parameter
- Correlate data parameters with TSPI
information
- Export video data from Chapter 10 files
- Output data re-sequencing
- Enhanced flight data history
- Trigger export on logical conditions
- User controlled sample rate
- User defined time slices (IRIG Time)
- Import/Export parameter overlay
- Ability to save/load batch to user disk drive

2) Specification

- Analog Outputs
 - Operating System Microsoft Windows™ 2003
 - Microsoft Windows XP
 - Web Browser Microsoft Internet Explorer
 - Mozilla Firefox

3) Post-Test Analysis

Visual analysis technique은 윈도우에 가시화하기 위해 전체 테스트 (hours, even daystotaling millions of points)를 위한 모든 instances of measurands 추출한다. 사용자는 줌인/줌아웃 기능으로 반복해서 특정 데이터를 들여다 볼 수 있다. This technique greatly reduces the time required to seek aberrations and review areas of interest (from hours

to milliseconds).

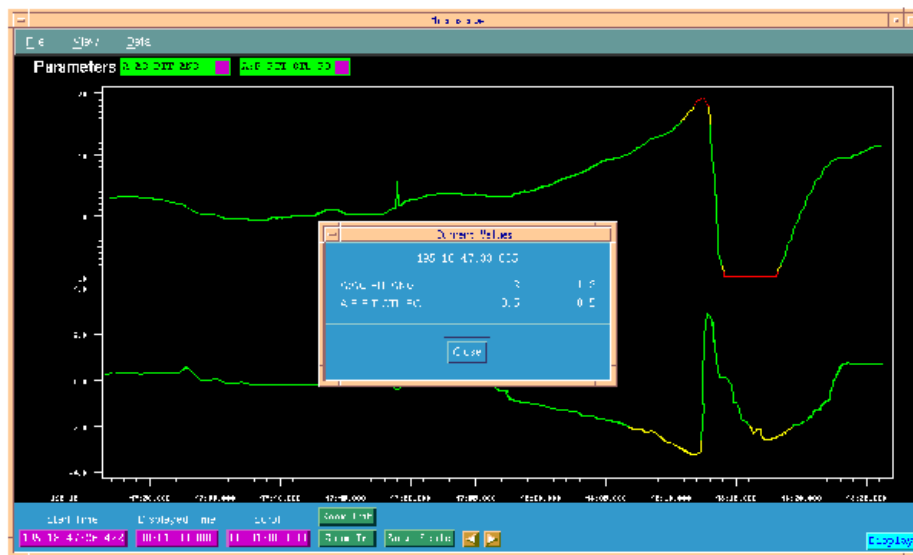


그림 2.31 L-3사 후처리 가시화 (예)

In addition to visual analysis, a host of third-party general-purpose analysis and visualization programs can be utilized to evaluate archived data, extract results, and produce reports. Each has its benefits and followers and is available for both UNIX and PC platforms. Some are essentially high-level analysis languages (MATLAB and PVWave),

while others are GUI-based (Excel, DADiSP). All include a rich set of signal analysis and statistical tools from Fast-Fourier Transforms (FFTs) to t-tests. They may have links to process piped data for near real-time processing as shown in the example below, where MATLAB is used to feed a power spectral density (PSD) graphic from FFT algorithms. Often, scripts are used to create a batch process of reports from an entire test.

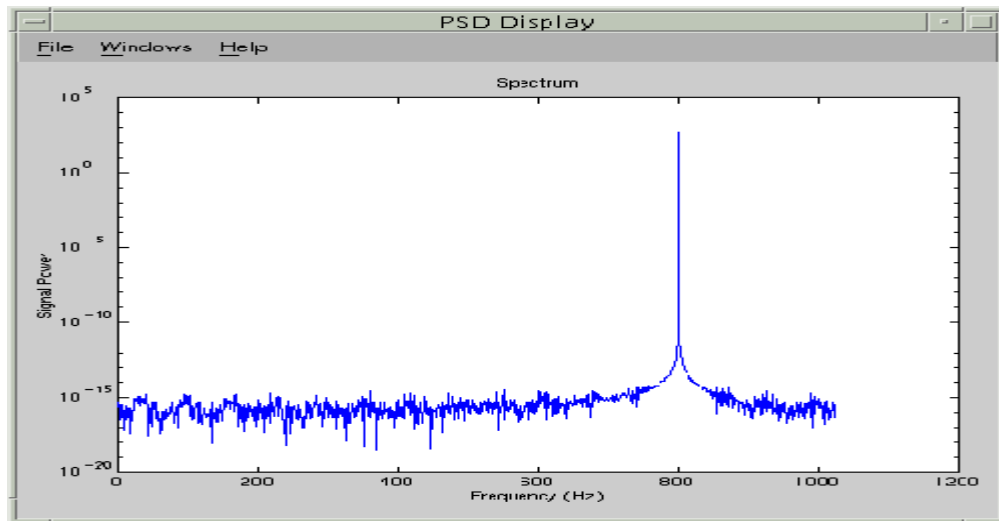


그림 2.32 L-3사 PSD Display 화면 (예)

4) L-3사의 Vista 4 Telemetry Software 툴

Java-based software for operation of telemetry processing equipment

가) Features

- Graphical user interface
- Distributed architecture
- Real-Time / Playback Data Archiving
- Powerful APIs
- Multiple Display Options
- SQL Mission Databases

나) Architecture

- VME or PCI systems
- Windows (XP, 7) or Linux Support
- Vista Modules
 - Vista Base

- API' s
- Algorithm Development
- Enhanced Data Displays
- JADE - Java Display Engine
- Database Conversion
- Data Import/Export
- Alarm/Limit Check

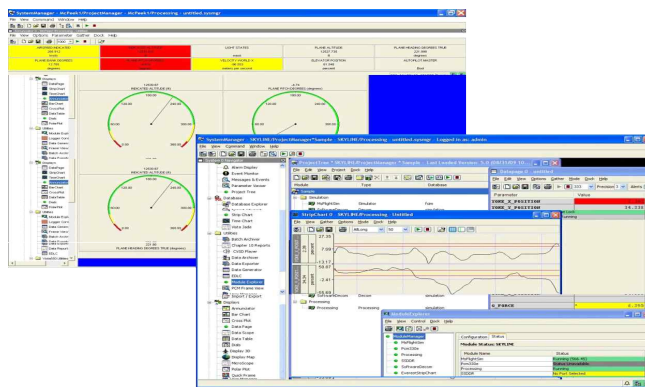


그림 2.33 L-3사 Vista 4 화면 (예)

다) Vista 4 후처리 Advanced Displays

L3사에서 제공하는 후처리용 데이터 가시화 툴인 Vista Advanced Displays (VISTA-DISP-ADV)는 다음과 같이 4종류의 Display Applications을 제공한다.

- Vista Microscope Graphical Analysis tool for archive data file analysis
- Vista 3D displays

□ Microscope(Graphical Analysis Tool) 툴

Microscope는 그래프 가시화와 파라미터 분석을 위해 적합한 강력한 후처리 툴이다. 주요 기능은 다음과 같다.

Microscope features include:

- View very large data sets on any time scale
- Search by time or by parameter value with comparison operators

- Choose symbol/pen color for each parameter
- Track up to 8 parameters
- Zoom in and out (X-axis and/or Y-axis, Rectangular Selection)
- Overlay ruler control for precise point-in-time values
- Measure delta values and times between data points
- View and print tabular data by time and parameter value
- Control display attributes (i.e. graph type, grids, step or line)
- Save and recall graph settings plotting, precision, limits, colors, parameter data format

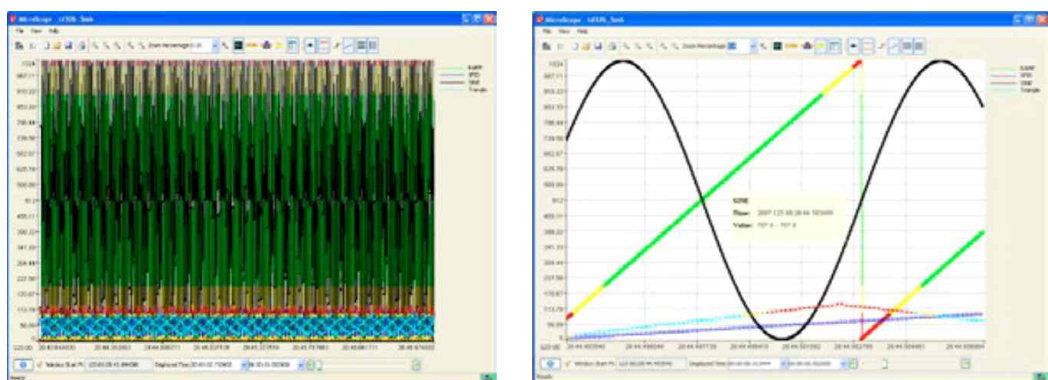


그림 2.34 L-3사 Microscope 화면 (예)

Microscope supports a wide variety of analysis methods including:

- Select a subset of parameters of interest
- Filter data based on time point or value
- Set custom header and footer text
- View and print data in graphical or tabular format
- Print Data Set as step graph
- Export graphs in JPEG & PNG formats

Note: Microscope for MFT PCI systems limited to “Data Gather” archive file format

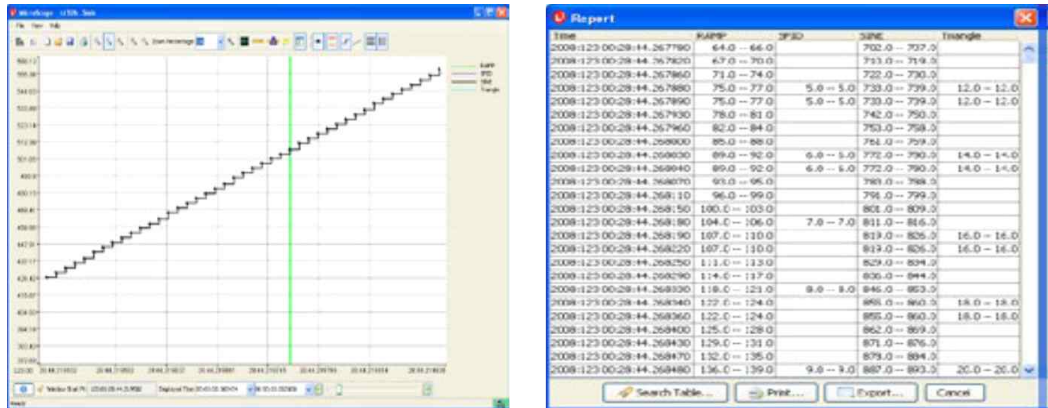


그림 2.35 L-3사 Microscope 분석 방법 (예)

□ 3D Display 툴

3D Application 툴은 pitch, roll, heading, 그리고 고도를 사용하여 3차원 모델을 동영상화 한다. Vista Current Value Table(CVT) 데이터 수집 알고리즘은 각 요소로부터의 파라미터 값의 캡처를 수집한다. 이러한 값들은 모델의 시각화 동작을 제어한다.

추가적인 Vista 3D Application의 기능은 다음과 같다.

- Interactively change user perspective (Point of view and zoom)
- 3D display includes
 - Pitch
 - Roll
 - Heading
- Adjustable CVT update rates
- Different custom 3D models may be imported
- Altitude Perspective
- 3D configurations saved as overlay in Vista project database
- Export graphs in JPEG & PNG formats

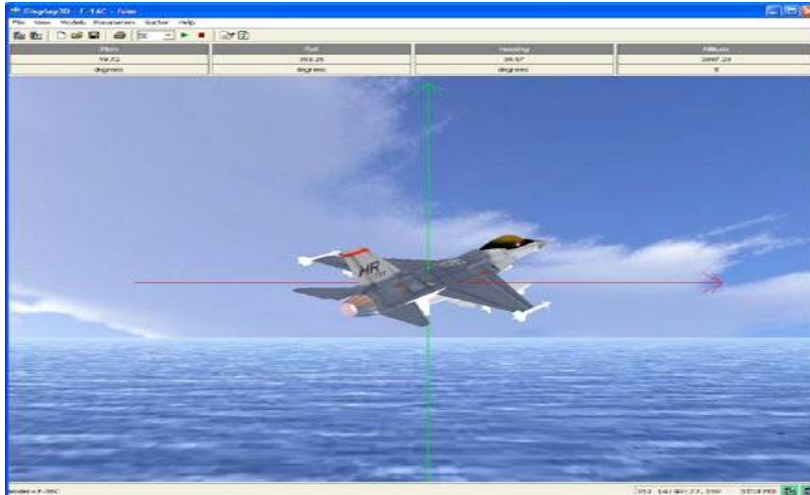


그림 2.36 L-3사 3D Display 틀 화면 (예)

라) Latest Vista 4 Enhancements (Vista 4.5)

- Support MFT800 PCIe Multifunction Telemetry Module
- Enhanced Data Archiving
 - Blu-Ray DVD
 - Standard DVD
 - USB Drive & Memory Stick
- Simulation of IRIG 107 Chapter 8 Mil-Std-1553 PCM Data
- Additional Processing algorithms
 - 19 New Mathematical computation, 2 updated
 - 15 Data Compression
 - 8 Trigger Mode
 - 7 Data Type Conversion
 - 5 Logical
- Add TMATS input support for all IRIG 106-07 Chapter 9 Groups
- Capability to update EU coefficients via CSV Calibration file
- Support CentOS in addition to Red Hat Linux

3장. 계측시스템의 효율적인 운영방안 연구

계측시스템은 지상계측시스템과 탑재계측시스템으로 구성되어 있다. 탑재계측시스템은 비행기에 탑재되어 각종센서 데이터와 각종 측정장비 데이터를 수집하는 역할을 하므로 비행시험이 진행되는 동안 항공기가 이륙하여 데이터를 수집하는 것을 주요 목적으로 한다. 지상 계측시스템은 비행시험 중에 수집된 각종자료를 실시간으로 분석하고 시현하는 기능과 비행시험 후 데이터 저장기에 저장된 자료를 추가적으로 분석하고 데이터베이스화하는 일을 한다.

지상 계측시스템은 시험항공기가 가시선(line of sight) 안에서 운용되는 경우는 지상계측 시스템으로 충분하지만 비행시험 항공기가 가시선 외부로 운행되는 경우 또는 지상계측 시스템을 사용할 수 없는 장소에서 비행시험이 진행될 경우에는 원격지원장비를 사용하여 비행시험 거리를 연장하거나 지상계측시스템이 없는 별도의 장소에서 비행시험을 시행한다.

1절. 탑재계측 시스템 운영

탑재계측시스템은 항공기 내부와 외부에 장착된 각종센서와 장비로부터 신호를 받아서 처리하므로 항공기 장착이 매우 중요하다. 따라서 계측장비 운영은 항공기 장착 전 운영, 항공기 장착 시 운영, 장착 후 운영, 비행시험 시 운영 등으로 나누어 정리한다. 일반적인 탑재계측시스템 구성은 그림 3.1과 같다.

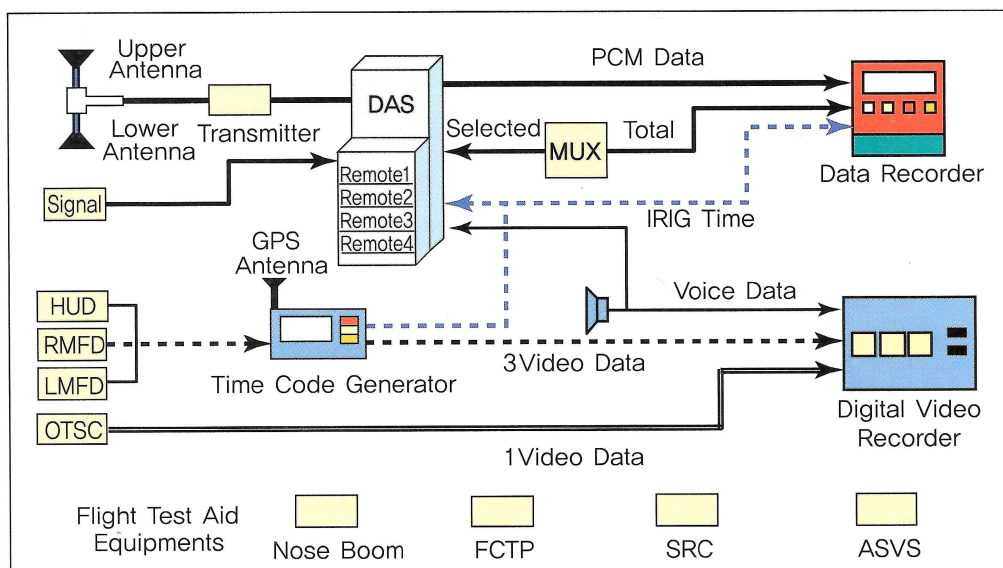


그림 3.1 탑재계측시스템 구성도

1. 항공기 탑재 전 계측시스템 운영

항공기 탑재 전 운용은 탑재 계측시스템을 항공기에 장착하기 이전에 모든 센서와 DAS장비, GPS, 송신기, 데이터저장기 등 탑재계측 시스템 전체 운용 시험을 계측 실험실에서 실시하여 각종 센서와 DAS 연동여부, 계측기 동작, 데이터 연동, 전송 속도, 저장용량 등에 대한 종합운영시험을 실시하고 데이터를 저장해 두어야 한다.

계측기와 센서를 항공기에 장착한 후에 고장 또는 데이터가 불량하게 산출되면 그 원인을 찾아야하는데 이 경우에 항공기 탑재전 시험 데이터가 기준이 된다. 이를 사용하여 고장이나 데이터 불량 원인을 연결 불량, 잡음 증가, 장착불량, 연동불량 등으로 판단할 수 있다.

2. 항공기 장착 시 계측시스템 운영

항공기에 각종센서를 장착하는 경우 센서 장착 위치와 공간은 항공기 설계시에 고려되어야 한다. 그러나 대부분의 경우 탑재시스템을 위한 별도의 공간이 주어지지 않으므로 기본항공기 탑재장비와 구조물에 영향을 주지 않는 범위에서 계측기와 센서들을 설치해야 한다. 탑재 계측시스템은 비행시험이 완료되면 대부분 철수하므로 장비설치 시 주요 고려사항은 다음과 같다.

가. 데이터 획득장비 채널 선정

센서 데이터 종류에 맞게 DAS 와 채널을 선정한 후 연결하는 프러그의 종류와 위치를 지정해야 한다. 이것은 사용하는 센서가 많아서 위치와 핀 배열 등이 바뀌어서는 안된다.

나. 전기배선의 중요성

비행시험을 위한 전기배선은 항공기에서 직접 최적의 배선경로를 결정해야 한다. 이 건은 항공기의 다른 전기배선과 구별되어야하며 전자간섭도 없어야 한다. 비행시험용 전기배선은 경로를 적절하게 배치하고 고정와이어나 크램프 등을 사용하여 기존 장비에 오류나 간섭을 주지 않아야 한다.

다. 설치자재의 중요성

비행시험에 사용하는 전기배선은 오렌지 색으로 처리된 쉘드선을 이용한다. 오렌지색을 사용하는 것은 항공기용 기본 와이어와 구분하기 위해서이다. 특히 설치 센서가 측정하고자 하는 요소 이외의 요소에 의한 영향을 받게해서는 안 된다.

라. 유지보수 용이성

비행시험 전기배선은 기존항공기 와이어와 장비들과 간섭이 없도록 해야하기 때문에 유지보수에 어려움이 있다. 그러나 비행시험 중에도 필요에 따라 계측 센서와 장비 위치를 변경해야할 경우가 발생할 수 있어서 접근성도 고려해야 한다. 또한 계측장비 도면을 잘 유지하고, 센서에는 체결부위에 식별번호를 붙여서 형상을 잘 유지해야 한다. 센서의 식별 위치가 변경되면 수집한 데이터는 무의미해지며 큰 혼란을 가져온다.

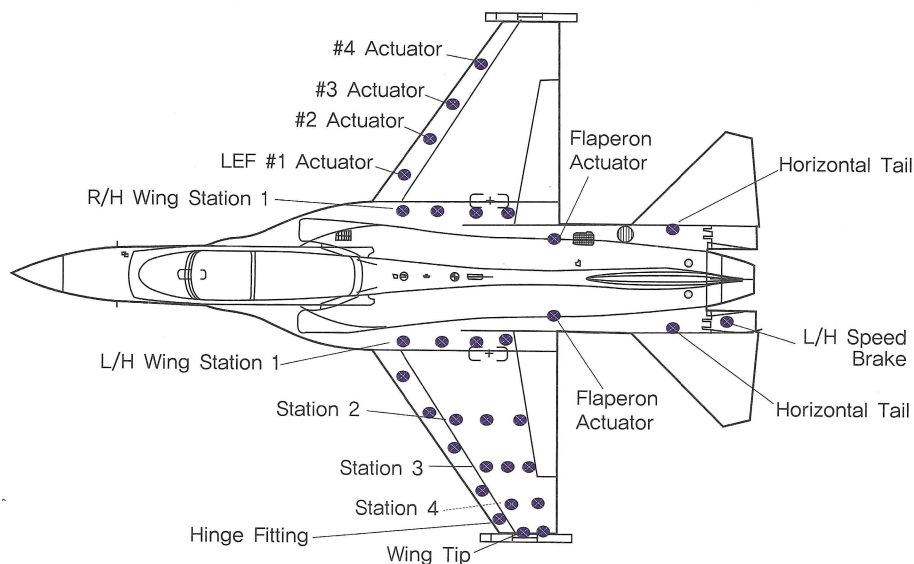


그림 3.2 T-50 비행시험 계측시스템용 센서 부착도

3. 항공기 탑재 후 계측시스템 운영

각종 센서와 계측 장비가 항공기에 장착되면 장비의 동작여부를 확인해야 한다. 장비 설치 후 검사는 육안적인 확인 검사부터 정상적인 데이터가 추출되는 것을 확인하는 것을 말한다. 일반적으로 탑재 계측 시스템 운영 순서는 다음과 같다.

- 가. 센서가 도면에 따라서 설치되고 연결되었는지 확인한다.
- 나. 센서들의 정상적인 동작여부를 확인한다.
- 다. 센서에서 데이터가 발생되었을 때 신호 데이터 수집기(DAS)에 정상적으로 데이터가 수집되는지 확인한다.
- 라. DAS 데이터가 송신기를 통해서 안테나로 전송되는지 확인한다.
- 마. 안테나의 출력 등을 고려하여 지상 계측 시스템에 데이터를 정상적으로 연동할 수 있는 지 확인한다.

- 바. DAS 데이터가 데이터 저장기에 저장되는 지를 확인한다.
- 사. GPS 수신기의 동작여부를 확인한다.

탑재 후 계측장비 시험은 전기적인 연결시험과 각 센서에 따른 정상적인 신호 출력, 장비와 장비의 연동시험을 각종 계측기와 시험지그 등을 사용하여 확인한다.

2절. 지상계측시스템 운영

지상계측시스템 운영은 항공기의 비행시험 수행 시 시험목적에 부합하도록 필요한 데이터를 시험하면서 시험상황을 파악하고, 시험상황을 통제하고, 시험 도중에 발생할 수 있는 비상상황을 인지하여 판단 및 대처하기 위해서 시험항공기의 비행 상황을 실시간으로 시험하고 모니터링을 수행할 수 있도록 지상계측시스템을 운영하는 것을 말한다.

지상계측시스템의 운영을 위해서는 우선적으로 비행시험 진행상황을 인지할 수 있도록 탑재계측시스템에서 보내준 자료를 실시간으로 처리하는 실시간 처리 시스템(Real Time Processing System)에 대한 기술이 선행되어야 한다. 실시간 처리 시스템이란 비행 중인 개발 항공기로부터 여러 형태의 다중채널을 통하여 실시간으로 전송되는 데이터의 저장, 변환, 처리, 시험 및 배포를 위해 시간에 동기화된 신호 처리 시스템을 말한다.

실시간 처리시스템 점검은 하드웨어(Hardware)에 관련된 점검과 소프트웨어(Software)에 관련된 점검 두개로 나눌 수 있다. 하드웨어 점검이란 전원공급 상태 점검, 네트워크 장비 가동상태 점검, TGS 장비 점검 및 통신장비 점검 등을 말한다. 소프트웨어 점검에는 실시간 처리 프로그램 점검, Window FDS(Load & Flutter) 프로그램 점검, 기상장비(AMOS) 점검, 스트립 차트Data 점검, 고주파(RF) 신호와 관련된 안테나제어장치(ACU) 프로그램 점검 및 GPS Data 수신점검 등이 있다.

소프트웨어 점검은 매우 중요하며 주요내용은 비행 전 데이터 점검이다. 이는 실제 비행시험과 동일한 모의(Simulation) 상황을 만들어 모든 소프트웨어가 정상적으로 동작하는지를 점검하는 것이다. 즉, 실제 비행시험을 수행했던 항공기의 텔레메트리(Telemetry) 신호를 저장매체에 저장하여 Playback을 통해서 기본적으로 데이터베이스가 정상적으로 삽입되었고 항공기의 데이터가 현재 진행하는 비행시험 내용에 적합한지를 확인하는 것이다.

국내에서 개발한 T-50 비행시험의 지상계측장비 운영을 참고하여 기술하면 기본적인 항공기 비행성능 점검 및 분석을 위해 데이터 획득을 목적으로 하는 일반 비행시험 운영과 특수목적의 시험항목(외장 분리시험 등)을 지원하기 위한 특

수목적 비행시험 운영이 있으나 민간항공기의 경우는 일반 비행시험 운영만을 실시하면 된다.

1. 일반 비행시험 운영

개발 항공기의 비행시험 중 가장 많은 비행을 필요로 하는 시험항목이 조종 안정성 시험이다. 공역확장 및 조종성에 대한 평가비행이 매우 중요하므로 항공기 형상에 따라 고도, 속도조건이 다양하다. 지상 계측장비 운영 측면에서 볼 때 이런 종류의 비행시험들은 일반적인 비행시험이라고 할 수 있다.

2. 비행시험 전 준비

개발 항공기의 비행시험 수행 전 준비사항에는 비행시험에 적용하는 데이터베이스의 사전 준비가 가장 중요한 사항이며, 데이터베이스 생성은 그림 3.3과 같은 일반적인 절차에 따라 이루어진다.

일반적으로 비행시험용 데이터베이스 생성 시스템은 입력 데이터를 처리 할 수 있는 기본적인 알고리즘을 가지고 있다. 그러나 데이터 처리 시스템이 가지고 있는 Standard 알고리즘만으로 원하는 EU값들을 생성하는 데 부족하므로, 시스템 운영자에 의해 새로운 알고리즘들이 추가로 생성할 수 있도록 되어 있다.

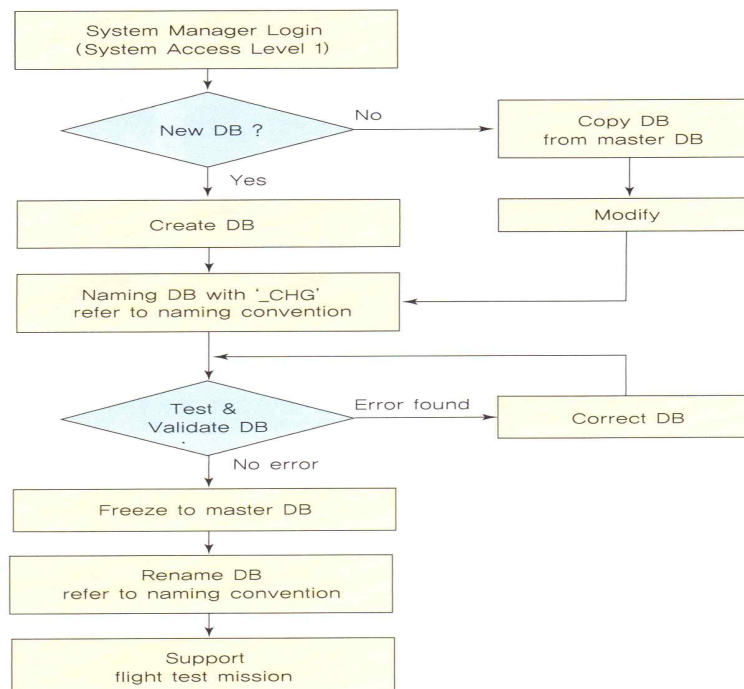


그림 3.3. 비행시험용 데이터베이스 생성 플로우차트

비행시험용 데이터베이스 생성이 완료되면 지상에서 탑재계측 시스템과 지상 계측 시스템의 안테나 추적시험, 텔레메트리 데이터 전송시험, 지상국의 데이터 처리시스템, 시험시스템 운영 등을 실시한다.

3. 실시간 비행시험 지원

실시간 비행시험은 그림 3.4와 같이 항공기가 비행하면서 수집한 데이터를 실시간으로 데이터 링크를 통해 지상계측시스템의 데이터 처리기로 전송한다. 전송된 계측자료는 임무통제실(MCR, Mission Control Room)로 보내서 실시간으로 분석하고 또한 시험 장치로 보내져서 실시간 비행상황을 전시한다. 또한 실시간 데이터 분석과 별도로 수집자료를 데이터베이스화하고 이를 정밀분석하는 업무를 지원한다. 따라서 실시간 비행시험 지원은 실제 항공기 비행시험에서 수집된 데이터를 사용하여 지상통제실에서 비행시험 전 과정을 모니터링하고 엔지니어에 의해 시험 항목별 진행사항을 관리, 감독하는 전반적인 활동을 의미한다.

일반적으로 실시간 비행시험 준비는 다음과 같은 순서로 진행된다.

- 가. Test Card 배포 : 사전에 계획된 비행계획에 따라 비행조건, 형상 및 제반사항 준비
- 나. 데이터 확인 : 엔지니어는 비행시험 전에 이전 비행 중 저장한 Telemetry 데이터를 이용하여 비행시험 데이터 확인
- 다. 시험 지휘관(Test Conductor)과 조종사 간 통신 점검
- 라. 비행시험 데이터 실시간 계측 확인

실시간 비행시험은 시험비행 조종사가 항공기의 계측시스템에 전원을 인가하는 순간부터 시작되며, 지상계측시스템의 안테나는 항공기의 Telemetry Signal을 수신하여 지상통제실 내 모니터로 실시간 비행시험 데이터를 확인할 수 있으며, 항공기 지상점검(기본적으로 엔진 점검, 조종면 점검, 비행제어시스템 및 항공전자장비 점검, 그리고 착륙기어 점검)과 함께 지상계측시스템 점검표를 통해 Software 및 Hardware 이상 유무를 확인한 후 비행시험을 수행한다.

영상데이터 처리는 항공기에 탑재된 디지털 카메라 영상을 데이터 링크를 이용하여 지상으로 송신하여 지상에서 복호기(decoder)를 거쳐서 다음 그림과 같이 실시간 모니터에 시험한다.



그림 3.4. 실시간 비행시험 지원 구성도

4. 원격지원 장비

원격 지원 장비는 비행시험 LOS(Line of Sight) 확보 및 시험 항공기의 타 기지 전개를 지원하는 장비로서, 크게 Relay 장비와 Mobile TGS(Telemetry Ground Station)로 구성할 수 있다.

Relay 장비는 RF(Radio Frequency) 중계 장비로 LOS 확보 불가 지역에 안테나와 전송장비를 설치하여 LOS 확보를 목적으로 운용한다. 본 과제에서는 Relay 장비를 사용하는 것이 적당하며 다음 그림은 이동형 TGS 장비 모양이다.



그림 3.5 T-50 이동형 TGS 장비

Relay 시스템은 1차 신호 수신 후 지상국으로 전송하는 선로 및 데이터 전송 방식과 신호잡음비(SNR, Signal to Noise Ratio)을 고려하여야 한다.

Relay 설계의 신호잡음비는 최소 BER(bit Error Rate)로 설계되어야 한다. T-50의 경우를 참고하면, 안테나 시스템 및 중계 장비의 잡음률을 살펴보면 BER이 10^{-5} 에서 2Mb/s, NRZ-L PCM/FM 방식으로 수신기 대역폭 2 MHz일 경우 SNR이 12 dB 이상 되도록 설계하였다.

기본적인 전체 수신시스템(중계 장비를 사용하지 않을 경우)의 SNR은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SNR = P_r - L_c + G_r - L_p - L_M - L_D - L_F - L_A - G/T = KB$$

여기서,

- P_r = 송신기 출력 (dBm)
- L_c = 송신기와 안테나 사이의 케이블 Loss
- G_r = 송신 안테나의 Gain (dBi)
- L_p = 공간 Pass Loss
- L_M = Multi pass Loss
- L_D = Ducting Loss
- L_F = Flame attenuation Loss
- L_A = Atmospheric Loss
- G/T = 수신시스템의 figure of merit
- KB = Boltzmann's 상수

일반적으로 공간경로 손실은

$$L_p(dB) = 36.6 + 20\log F + 20\log D$$

여기서,

- F = 송신주파수 (MHz)
- D = 송수신 거리 (Mile)

4장. 비행 후 처리를 위한 IF/RF 광대역 데이터레코더 활용 방안 연구

1절. IF/RF 광대역 데이터레코더 개요

비행시험 계측시스템의 지상계측시스템에는 PCM 데이터를 저장하는 데이터레코더가 구축된다. PCM 데이터레코더는 실시간적으로 처리해야 할 비행시험의 일부 데이터만을 데이터 프로세서를 통해 처리하고 저장하게 된다. 비행시험 분석에 있어서 긴급하지는 않지만 상세하게 분석할 필요가 있는 데이터가 많이 있다. 이를 저장하여 상세히 분석하기 위해서는 원천데이터(IF/RF)를 그대로 저장할 필요가 있다. 비행시험 시 예기치 않은 사고에 의해 탑재 저장장치에 수록된 상세 비행정보를 잃어버릴 수 있어 사고의 원인에 대한 분석의 어려움이 생길 수 있다. 따라서 실시간으로 전송되는 데이터를 RF 또는 IF의 원천자료 형태로 저장해야 함은 매우 중요하다.

RF 신호는 주파수가 너무 높아 IF 신호로 down하여 저장하고 동시에 AGC 신호를 저장한다. IF 신호를 재생할 때, 기록된 AGC 신호를 참조하여 RF 신호를 재현할 수 있다. 이 재생 신호는 실 시험이 없을 때 시스템 점검이나 교육 또는 연습용으로도 사용할 수 있다. 교육이나 연습을 위해 비행체를 띄운다는 것은 비용적인 측면에서 상당히 비효율적이다. 특히 로켓 같은 경우는 전체 지상 장비의 운용 교육을 위하여 로켓을 쏠 수는 없다. 이와 같이 무선 전송 신호를 얻기 위한 전송 시스템이나 시뮬레이터가 없을 경우, 이미 기록된 신호를 재생하여 시뮬레이션 신호로 사용할 수 있다는 것이 IF/RF 저장의 또 다른 필요성이다. 당과제의 구축 목표는 경비행기에 대한 비행시험 계측시스템의 구축이다. 그러나 향후 국내 항공기 개발 발전추세에 따라 중형 이상의 항공기에 대한 비행시험 계측시스템으로의 진화가 필요하게 될 것이다. 이에 따라 시험데이터 증가에 의한 광대역화 발전 추세가 될 것이며 IF/RF 원시데이터 저장을 위해 광대역(40MHz이상의 대역폭)처리가 가능해야 할 것이다.

아래 그림은 비행시험 계측시스템에서의 IF 데이터레코더의 위치를 보여 준다. 비행 시험 데이터는 탑재된 송신기로부터 지상계측시스템으로 송신되고 수신안테나로 수집된 RF신호는 수신기를 거치며 IF신호로 하향 변환 되어 IF 데이터 레코더에 디지털형태로 저장된다. 저장된 IF 데이터는 비행후 데이터처리시스템 등에 의해 분석 활용된다.

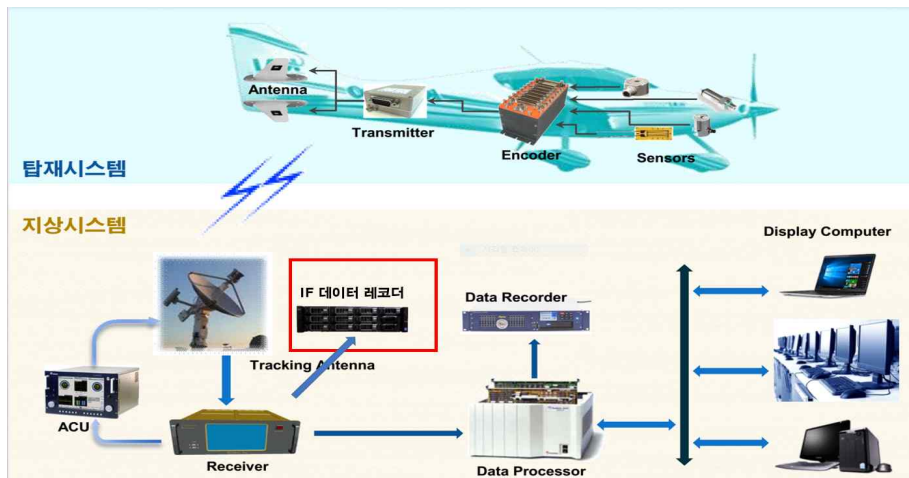


그림 4.1 IF/RF 광대역 데이터레코더 비행시험 활용 (예)

IF 데이터를 수신기로 부터 수집하여 디지털화하고 저장하는 일반적인 개념은 다음 그림과 같다. 수신기로부터 RF신호를 70MHz의 IF신호로 하향 변환하여 전달된 IF신호를 Analog신호 입력모듈을 통해 수집하고 아날로그 신호처리부의 Analog Digital Converter(ADC)를 통해 디지털화 한다. 이를 대용량 디지털 신호처리부(FPGA)를 거쳐 I/Q데이터 등으로 생성하여 데이터 처리부의 스토리지에 저장한다. 저장된 I/Q데이터를 운용자는 필요시 재생하고 분석할 수 있다.

기존 대부분의 IF 데이터레코더는 20MHz의 협대역을 처리하였지만, 비행기 개발의 발전에 따라 비행시험에 필요한 시험항목과 데이터가 대용량화되어 광대역의 대역폭이 필요하게 됨에 따라 70MHz IF 데이터를 40MHz의 대역폭으로 광대역화되고 있다. 군사적으로 사용되는 전자파 스펙트럼 분석 분야에서는 40GHz까지의 주파수를 전파하는 레이더들이 발전하게 됨에 따라 160MHz(80MHz 대역폭), 1GHz(500MHz의 대역폭) 등으로 광대역화하고 있는 추세다.

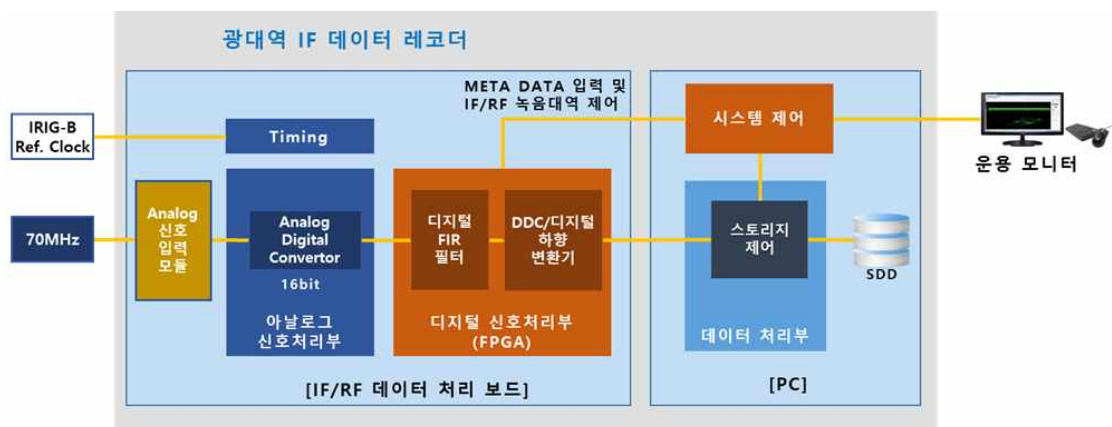


그림 4.2 광대역 IF/RF 데이터레코더 개념도

2절. IF/RF 광대역 데이터레코더 검증 방안

1. IF/RF 광대역 데이터레코더 시제품 개발

2차년도에서 수행한 ‘IF/RF저장을 위한 고속데이터 처리기술 연구개발’의 결과물인 고속데이터 처리 IF/RF 신호처리보드와 3차년도 전반부에 걸쳐 수행한 ‘IF/RF 광대역 및 고속 데이터 저장기술 연구개발’의 결과로 개발된 데이터처리보드, 그리고 이를 운용하기위한 운용자 GUI를 개발하여 하나의 시스템으로 integration하여 광대역 IF데이터 레코더의 시제품을 제작하였다. 2차년도에는 RF신호를 수신하는 아날로그 신호 입력 모듈, 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 아날로그 신호처리부, 디지털 FIR 필터 및 디지털 하향 변환기를 통해 분석할 수 있는 데이터의 형태로 가공하는 디지털 신호처리부를 포함하여 하나의 보드 형태로 된 IF/RF 광대역 데이터 처리 보드를 제작하였다. 3차년도에는 이 보드를 제어할 수 있는 시스템 및 스토리지 제어부를 개발하고, 처리되는 데이터를 저장할 수 있는 데이터 처리부 및 저장매체를 선정하였다. 또한, 운용 및 분석을 위한 운용자 인터페이스를 GUI상에 개발하였다. 개발된 시제품 운용자 GUI에 대한 설명은 다음과 같다.

가. 제어 및 운용

운용자 GUI(Graphic User Interface)의 제어 및 운용 화면에서는 IF/RF 고속 데이터 처리 보드를 제어하거나 상태정보를 확인 할 수 있다. GUI를 통해 데이터 처리 보드의 대역폭이나 데이터 종류 등을 설정할 수 있으며, 녹음 파일 경로 및 녹음 시간을 설정한 후에 IF 신호의 저장을 수행할 수 있다. 또한 ADC 보드의 상태정보를 실시간으로 파악하여, 보드의 이상유무를 확인할 수 있다.

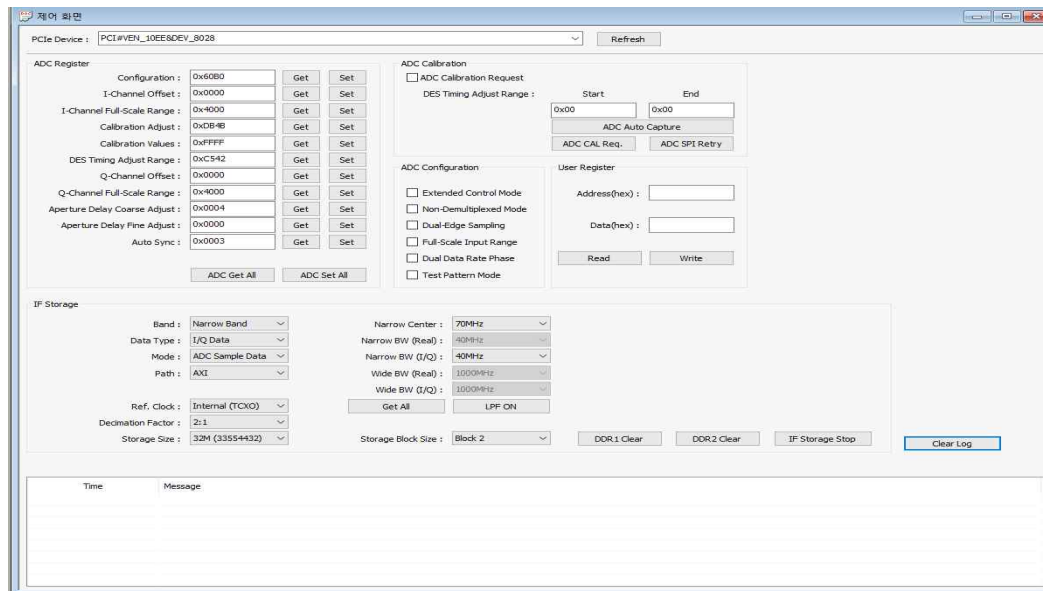


그림 4.3 IF/RF 운용자 GUI 제어 화면 (예)

나. 신호 전시

운용자 GUI의 신호전시는 데이터 전시 화면과 스펙트럼 전시 화면으로 구성된다. 이 기능을 통해 IF 파일을 재생한다. IF 신호의 재생은 진폭(Amplitude) 전시, 스펙트럼(Spectrum) 전시, IQ 데이터 전시 등이 있다. 진폭 전시는 시간에 따른 진폭의 변화를 나타낸 것이고 스펙트럼 전시는 주파수 도메인에서의 신호를 전시한 것이다.

Real 데이터 전시화면은 저장된 원시데이터를 그대로 재생하여 표현하며, 출력화면은 아래의 그림과 같다.

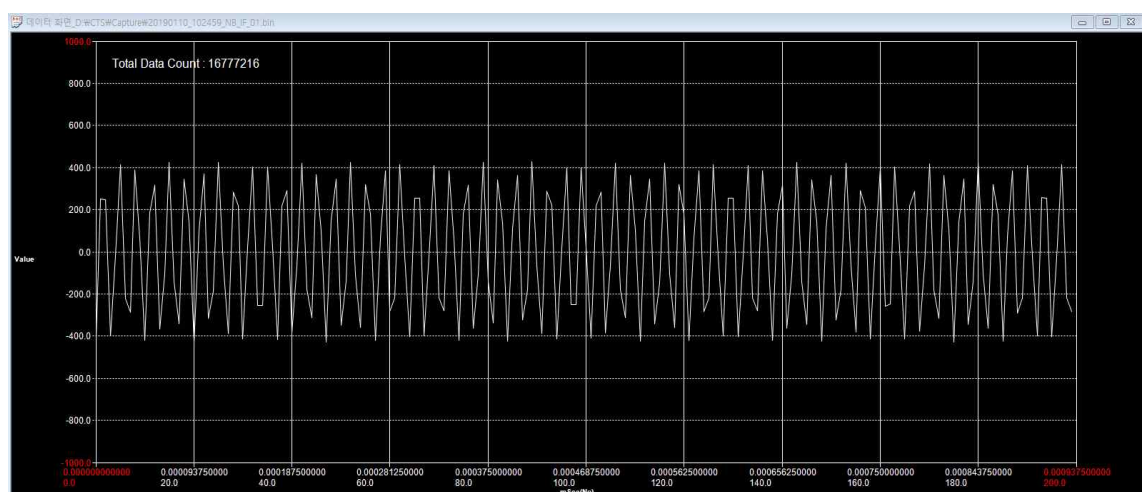


그림 4.4 IF/RF 데이터 전시 화면(Real 데이터)

IQ 데이터 전시화면은 I 데이터와 Q 데이터, 그리고 진폭데이터를 표현한다. 하나의 화면에서 각각의 데이터를 선택하여 표현할 수 있으며, 아래와 같은 예로 출력할 수 있다.

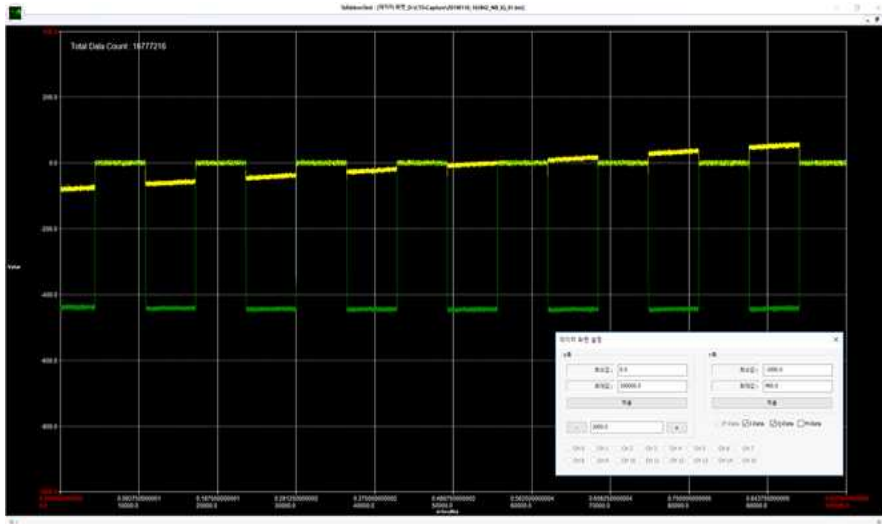


그림 4.5 IQ 데이터 전시

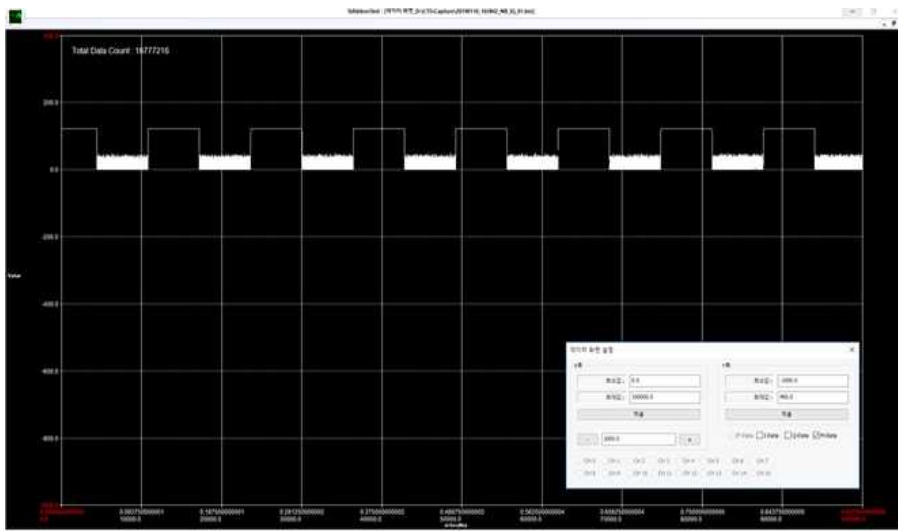


그림 4.6 IQ 데이터 진폭 전시

이렇게 완성된 광대역 IF 데이터 레코더 시제품의 형상은 아래 그림처럼 서버 (19인치 랙타입, 3U)이다.

3차년도 후반부는 시제품을 이용하여 광대역 IF 데이터 레코더의 활용방안에 대한 연구에 활용한다.



그림 4.7 IF/RF 광대역 데이터레코더 시제품 형상

2. IF/RF 광대역 데이터레코더 시험평가 항목

표 4.1 IF 광대역 데이터레코더 시제품 시험평가 항목 및 규격

항목	규격
입력 중심 주파수	70MHz
최대 입력 대역폭	40MHz
데이터 입력포트	70MHz IF 입력 1 채널 , SMA F
기준클럭 입력 포트	10MHz 기준 클럭 입력 1 채널 , SMA F
녹음 대역폭 선택	1/5/10/20/40MHz
녹음 해상도	16bit
녹음파일 형식	원시데이터 (RF/IF Binary)
저장용량	4TB
GUI 소프트웨어	저장 - 저장/삭제/재생, 실시간 상태 정보제어, 제어 및 운용 재생 - 스펙트럼/진폭 그래프
크기	19 인치 랙타입 , 3U , 430mm (W) x 400mm (D) x 132(H)

3. IF/RF 광대역 데이터레코더 시험절차서 및 검증 결과

가. 입력 중심 주파수 및 최대 입력 대역폭 검증

최대입력 대역폭은 40MHz이고, 이를 검증하기 위해, 50MHz~90MHz의 구간을 10MHz 간격으로 측정한다. 신호발생기의 출력을 스펙트럼 분석기에서 확

인하고, 스펙트럼 분석기의 출력과 GUI 상의 출력을 비교하여 대역폭을 검증한다.

㉠ 장비 설정

- 신호발생기 : 주파수 50~90MHz, 진폭 -20dBm
- 스펙트럼 분석기 : 중심주파수 70MHz, SPAN 60MHz
- 광대역 IF 데이터레코더 : 대역폭 40MHz , 녹음파일형식 Real 설정

㉡ 시험절차

- 신호발생기의 출력, 스펙트럼 분석기의 입력, 광대역 IF 데이터레코더의 입력을 RF 케이블로 연결한다.
- 장비 설정값에 따라 장비를 설정한다.
- 대역폭과 녹음파일 형식을 설정 후 저장명령으로 해당신호를 Real데이터로 저장한다. 입력신호는 50MHz, 60MHz, 70MHz, 80MHz, 90MHz에 대해 수행한다.
- 신호발생기의 신호, 스펙트럼 분석기의 출력, 광대역 IF 데이터레코더의 스펙트럼 출력을 비교하여, 신호의 저장이 정상적으로 수행되었는지 판단한다.

㉢ 결과

- 50MHz~90MHz 범위에서 신호를 측정하여 정상적으로 출력이 되는 것을 확인하였다. 이를 통해 최대 대역폭 40MHz를 검증하였으며, 해당 대역폭의 중심은 70MHz이므로, 중심주파수가 70MHz인 것을 검증하였다.
- 50MHz

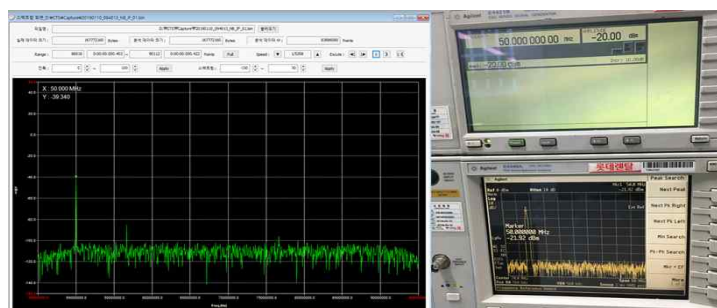


그림 4.8 50MHz 신호 측정 결과

- 60MHz

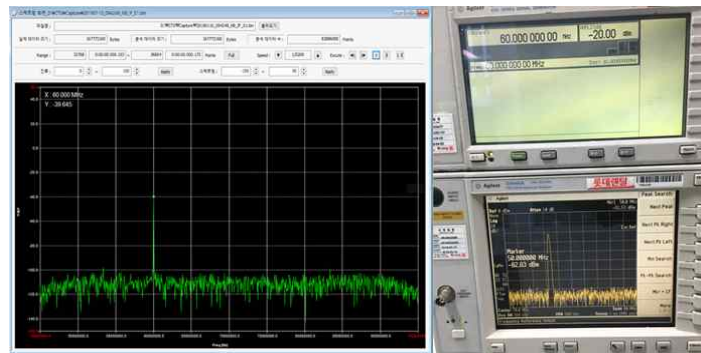


그림 4.9 60MHz 신호 측정 결과

- 70MHz

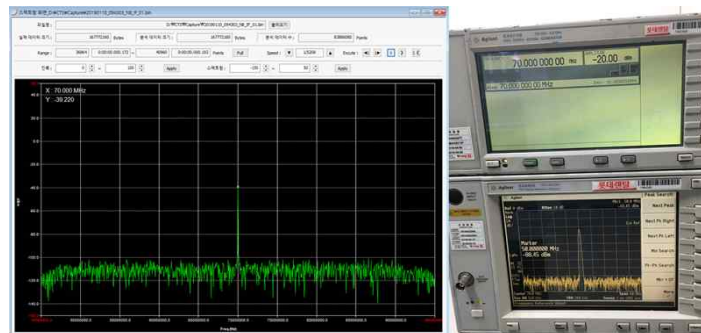


그림 4.10 70MHz 신호 측정 결과

- 80MHz

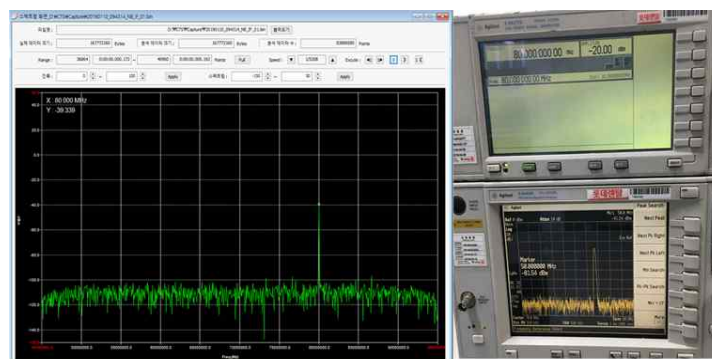


그림 4.11 80MHz 신호 측정 결과

- 90MHz

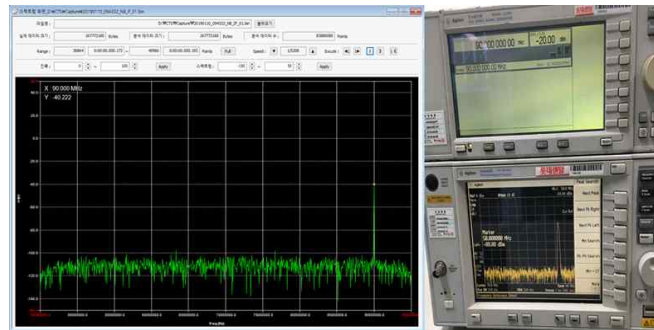


그림 4.12 90MHz 신호 측정 결과

⑤ 평가

- 최대 녹음대역폭은 50~90MHz의 신호 저장이 가능하므로 대역폭 40MHz를 만족한다.
- 중심주파수는 최대 녹음대역폭의 중간값이 70MHz이므로, 중심주파수 70MHz를 만족한다.

나. 녹음 해상도 검증

녹음 해상도는 16bit이고 이를 검증하기 위해 데이터 1개당 16bit를 나타낼을 보인다. 데이터 1개의 크기를 알기 위해서는 저장된 데이터 파일의 크기와 데이터 개수를 알아야 한다. Real 데이터를 기준으로 녹음된 신호의 파일을 데이터 개수로 나눈 값이 16bit로 계산되면, 녹음 해상도 16bit임이 검증된다.

⑤ 장비 설정

- 신호발생기 : 주파수 70MHz, 진폭 -20dBm
- 스펙트럼 분석기 : 중심주파수 70MHz, SPAN 60MHz
- 광대역 IF 데이터레코더 : 대역폭 40MHz , 녹음파일형식 Real 설정

⑤ 절차

- 신호발생기의 출력, 스펙트럼 분석기의 입력, 광대역 IF 데이터레코더의 입력을 RF 케이블로 연결한다.
- 장비 설정값에 따라 장비를 설정한다.
- 대역폭과 녹음파일 형식을 설정 후 저장명령으로 해당신호를 Real 데이터로 저장한다.

- 저장된 파일의 크기를 확인한다.
- 저장된 파일에 포함된 데이터 개수를 확인한다.
- 저장된 파일의 크기와 데이터 개수를 계산하여 데이터 1개의 용량을 계산한다.

㉕ 결과

- 저장파일의 크기 확인 및 저장된 파일에 포함된 데이터 개수

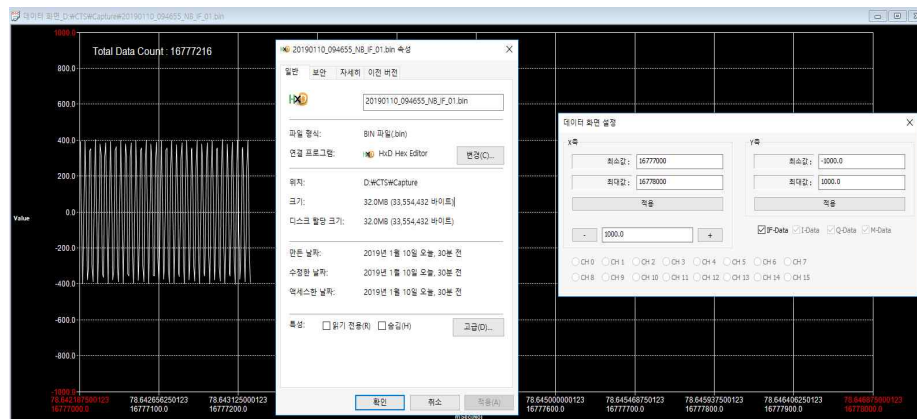


그림 4.13 데이터 파일 크기 및 데이터 개수 측정 결과

- 데이터 1개당 용량 계산
 - 데이터 크기 : 33,554,432 Byte
 - 데이터 개수 : 16777216
 - 데이터 1개당 용량 = 데이터 크기 / 데이터 개수 = 2 Byte
- 녹음 해상도는 위의 계산 결과와 같이 16Bit임을 검증하였다.

㉕ 평가

- 데이터 1개당 16bit이므로, 녹음 해상도 16bit를 만족한다.

다. 녹음파일 형식 검증

녹음파일의 형식은 Real 데이터와 IQ 데이터가 있다. Real 데이터는 1개의 데이터로 구성되며, IQ 데이터는 I 데이터와 Q 데이터가 쌍으로 저장된다. 따라서 진폭 그래프 출력시, Real 데이터가 1개의 그래프로 출력되는 것과 IQ 데이터가 2개의 그래프로 출력되는 것을 확인하여, 녹음파일의 형식이 Real 데이터와 IQ 데이터 두 종류임을 검증한다.

㉕ 장비 설정

- 신호발생기 : 주파수 60MHz, 진폭 -20dBm,

- 스펙트럼 분석기 : 중심주파수 70MHz, SPAN 60MHz
- 광대역 IF 데이터레코더 : 대역폭 40MHz , 녹음파일형식 Real / IQ 설정

⑤ 절차

- 신호발생기의 출력, 스펙트럼 분석기의 입력, 광대역 IF 데이터레코더의 입력을 RF 케이블로 연결한다.
- 장비 설정값에 따라 장비를 설정한다.
- GUI의 저장명령으로 해당신호를 Real 데이터로 저장한다.
- GUI의 저장명령으로 해당신호를 IQ 데이터로 저장한다.
- Real 데이터와 IQ 데이터의 출력 그래프를 각각 출력하여 확인한다.

⑥ 결과

- 데이터 형식은 Real 데이터와 IQ 데이터가 있으며, Real 데이터는 한 개의 그래프로 표현이 되지만, IQ 데이터는 I 데이터와 Q 데이터가 동시에 표현된다. 이에 대해 아래의 그래프를 통해 검증한다.
- Real 데이터 출력 그래프

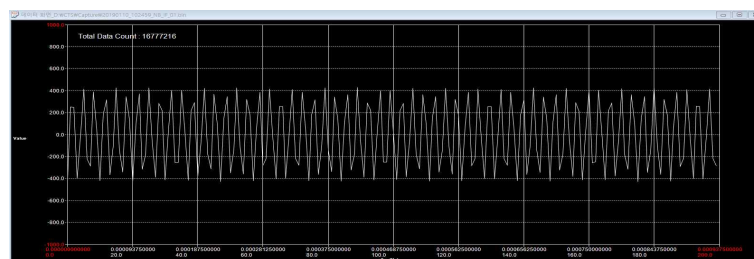


그림 4.14 Real 데이터 출력 결과

- IQ 데이터 출력 그래프

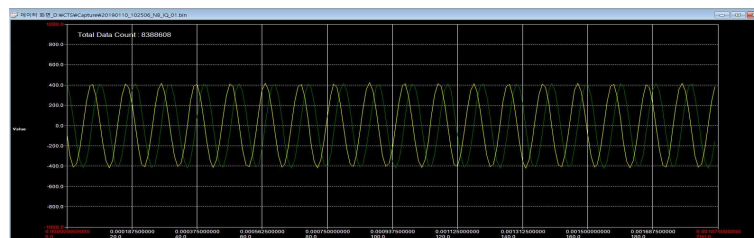


그림 4.15 IQ 데이터 출력 결과

⑦ 평가

- Real 데이터와 IQ 데이터 각각에 대한 그래프를 출력하여 확인한 결과,

녹음파일 형식이 두가지 형태의 원시데이터임을 만족

라. GUI 소프트웨어 검증

⑤ 실시간 상태 정보 / 제어 및 운용 / 저장

- 운용자 GUI를 통해 IF/RF 고속 데이터 처리보드의 실시간 상태정보를 확인할 수 있으며, 데이터 저장을 위한 대역폭 및 데이터 형식을 설정하는 등 제어 및 운용이 가능하다. 또한 저장명령을 통해 신호를 저장한다.



그림 4.16 IF/RF 데이터레코더 제어 화면

⑥ 재생 : 스펙트럼 그래프 / 진폭 그래프

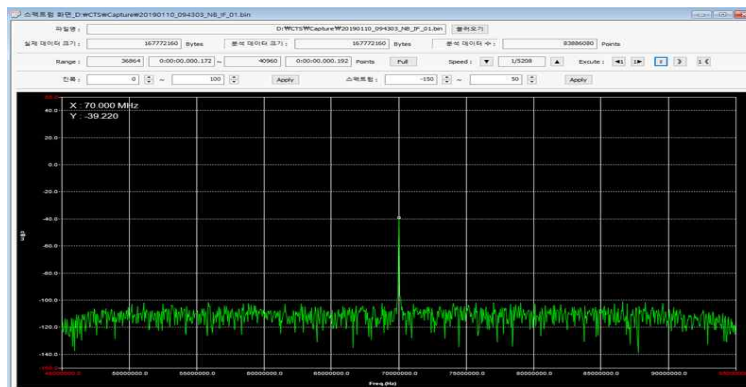


그림 4.17 스펙트럼 화면



그림 4.18 진폭 화면

⑤ 평가

- 운용자 GUI의 제어화면 및 그래프 출력화면을 통해 저장, 실시간 상태 정보제어, 제어 및 운용, 스펙트럼/진폭 그래프 출력 기능 만족함을 확인하였다.

3절. IF/RF 데이터레코더 기술 동향

후처리 등을 위해 획득된 비행시험 데이터를 하드 디스크에 저장할 수 있어야 한다. 일반적으로 자료는 수신 신호에 가까운 지상 계측시스템에 즉시 저장된다. 즉, Bit 동기가 된 바로 다음 단계에 데이터레코더에 PCM 신호를 저장한다. 또한, 데이터 처리기에서 처리된 정보도 디스크에 저장하고 카트리지나 하드디스크에 백업 저장해야 한다. 선택된 자료, 처리된 파라미터, 그리고 전체 PCM 원시 데이터를 저장할 수 있다.

항공기 탑재계측시스템으로부터 전송되는 비행시험데이터의 양은 매우 많아 전체 데이터를 실시간으로 처리하기에는 어려움이 있다. 지상계측시스템 데이터레코더는 일부 선택된 데이터를 PCM 신호로 저장하는 경우와 매우 많은 양의 원시 데이터를 IF 중간주파수 형태로 저장하여 후처리에 정밀분석을 위해 활용하기 위한 경우가 있다. 다음 표는 비행시험에서 사용되는 데이터레코더의 업체 동향 및 운용사례를 보여준다.

1. 데이터레코더 국내 운용 사례

비행시험 계측시스템의 데이터레코더를 제공하는 업체는 대부분 해외업체이고 국내업체는 엔비노드(주)가 있음. 해외업체는 미국의 RT Logic, Telspan, Wideband Systems가 대표적이고, 프랑스의 Zodiac사가 유럽에서는 대표적인 업체이다. 다음 표는 비행시험 계측시스템의 데이터레코더 제공업체를 보여준다.

표 4.2 비행시험 지상계측시스템의 데이터레코더 제공 업체 동향

국내 업체	해외 업체
엔비노드	미국: RT Logic, Telspan, Wideband Systems 프랑스: Zodiac

국내 비행시험장에서 데이터레코더의 운용 사례를 보면 다음 표와 같다. 대부분 프랑스의 Zodiac사 제품을 운용하고 있으며 논산의 무인기 시험장에서는 미국의 Wideband System사 제품을 운용하고 있다.

표 4.3 국내 비행시험장에서의 데이터레코더 운용 사례

KHP TGS	제5시험장 TGS	안흥종합시험장	논산 무인기시험장	항공우주연구원 TGS		
				센터	추적소A	추적소B
Zodiac	Zodiac	Zodiac	Wideband	Zodiac		

2. 데이터레코더 해외 기술 동향

비행시험 지상계측시스템의 데이터레코더 해외 기술 동향을 분석하기 위해 미국의 RT Logic T500RX, Telspan사의 CPAS-5020, Wideband DRS8300X, Zodiac의 Cortex GSR과 RSR의 사양을 비교하였다. 국내의 비행시험센터에서 운용 중인 데이터레코더는 대부분 Zodiac사의 Cortex GSR이고 논산의 무인기시험장에서는 Wideband Systmes사의 DRS8200X이다. 국내 운용중인 데이터레코드는 PCM 인터페이스 모드로만 운용되는 데이터레코드이고 수신되는 전체의 데이터를 원시 그대로 저장하기 위한 Digital IF 데이터레코드는 아직 운용 사례가 미미한 편이다. 다음 표는 비행시험 지상 계측시스템의 데이터레코더 해외 제조 업체의 기술 동향을 보여준다.

표 4.4 IF/RF 데이터레코더 해외 기술 동향

구분		RT Logic T500RX	Telspan CPAS-5020	Wideband DRS8300X	Zodiac Cortex GSR	Zodiac Cortex RSR
Storage / Archiving	Media		1-6 Removable Drives/Disk 또는 Solid State	2 Removable Diskbanks 6 SFF 2.5" Disks/bank		Extractible cartridge
	Size	최대 38TB external storage	HDD 또는 SSD	최대 3.6 TB 342 GB, 864 GB, 1.8TB/disk bank HDD 또는 SSD	2 TB	upto 12 TB HDD 또는 512 GB SSD
	RAID	0, 1, 5, 6, 10			0 또는 5	0 또는 5
	Modes			striped, Mirrored, or Sequential		Storage media removal, file transfer
Monitoring & Control	Remote Control	Ethernet	IRIG 106 Chapter 6 compliant over Ethernet, chapter 10 UDP network streaming data transport	Gigabit Ethernet Network attached PC	Ethernet, RS-232	Ethernet, TCP/IP
	Local Control		Touch screen Control and display	Front Panel 6.5" Touch Screen and/or auxiliary KVM		Local touch screen panel and Remote
	User interface			최대 3 사용자 접속 Interface Board	Window /Linux, Unix	
물리적 요소	Mounting	1U, 2U, 4U, 5U		5.25 x 19" x 23"		Standard 19" rack mount 4U
	무게			18 kg		25 kg
	운용온도			+5 ~ +50°C		+10 ~ +35°C
	비운용 온도			-25 ~ +65°C		
비고		- Record와 재생을 동시에 - Real-time IP transport of data 저장: TMoIP, IF over IP		Data Export and Data Monitoring while Recording		- Recovery of missing bits in reproducing - Reproducing of actual flight test conditions(multipath, plume effect, fading,)

대부분의 데이터레코더는 저장 기술로 RAID를 제공하고 저장 장치의 저장 크기도 최대 38TB로 점차 커지고 있다.

데이터 레코더는 대부분 Ethernet을 통해 원격에서 관리할 수 있으며 Zodiac RSR과 RT Logic 제품은 레코딩과 재생을 동시에 수행할 수 있다. Wideband사의 경우는 데이터를 녹음하면서 동시에 데이터를 Export하고 모니터링할 수 있는 기능을 제공한다. 다음 그림은 Zodiac RSR 데이터레코더의 일례를 보여준다.



그림 4.19 Zodiac사의 RSR IF 데이터레코더

3. 데이터레코더 국내 기술 경쟁력 분석

비행시험 지상계측시스템의 데이터레코더 국내 기술 현황은 엔비노드(주)가 주로 군사용 ELINT 장비로서 0.1 ~ 40GHz까지의 고주파수대의 전자파를 IF로 저장하고 저장된 디지털 IF 데이터를 정밀한 분석을 위해 사용자가 필요한 부분만을 선택하여 재생하거나 주파수와 PRI(Pulse Repletion Interval) 변조 형태, 전파의 특성을 분석하는 고도의 기술을 보유하고 있다. 기존 해외 IF 녹음장치에 의존하던 형태에서 벗어나 최근에는 국내의 광대역 IF 녹음장치로 빠르게 대체되고 있다. 이러한 보유 기술을 기반으로 엔비노드(주)는 비행시험 계측시스템의 데이터레코더에 적용하여 더욱 광대역의 정보 저장이 필요한 비행시험을 위한 차기 모델의 광대역 IF 데이터레코더를 개발 중이다.

4. 데이터레코더 기술개발의 경제적 타당성 분석

국내의 비행시험 계측시스템의 데이터레코더 시장 규모는 적은 편이나 광대역 데이터레코더 개발을 위한 국내의 기술 경쟁력은 이미 확보된 상태이고, 국내의 군용 또는 민간 이동 통신업체의 시장을 포함하고, 동남아나 중동, 아프리카 등을 겨냥한 데이터레코더 시장 확장 가능성을 볼 때 경제적으로 타당성이 있다고 할 수 있다.

4절. IF/RF 광대역 데이터레코더 활용 방안 연구

IF/RF 데이터레코더는 송신된 전자파 데이터를 원시형태로 저장하여 정밀분석을 위한 후처리 등에 활용되며 기존 20MHz 협대역에서 2배가 큰 40MHz 광대역의 대역폭을 갖게 됨으로 써 보다 신속하게 더 많은 정보를 녹음하여 저장하게 된다. 이렇게 개발된 IF/RF 광대역 데이터레코더는 비행시험, 전파 감시, 통화품질, GPS 재밍 감시, 그리고 군용에서는 COMINT, ELINT 등의 전자전 장비에 활용된다.

1. 비행시험 분야에서의 활용 방안

- 종합비행시험인프라 구축에서의 활용

현재 본 사업에 일환으로 구축중인 종합비행시험인프라의 지상계측장비에는 PCM 데이터 저장장치는 포함하고 있지만 IF/RF 데이터레코더는 포함되어 있지 않다. 따라서, 개발된 Proto-type의 광대역 IF/RF 레코더는 향후 상용수준으로 발전시켜 종합비행시험인프라 구축에 활용할 필요가 있다.

PCM 데이터레코더는 주로 실시간적으로 정보를 분석하기 위해 IF 데이터를 PCM으로 실시간적으로 필요한 정보를 변환하여 저장하게 됨으로써 전파환경 등의 비행시험 환경을 포함한 많은 정보를 다 수록하기에는 부족하다. 따라서, 대부분의 비행시험센터에서는 정밀하게 다각도로 비행정보를 분석하기 위해 탑재계측장비로부터 수집되어 전송된 전파를 원래 그대로의 모든 정보를 분석할 필요가 있다. 또한, 비행시험센터의 전파환경을 파악하기 위해 전파 신호 음영 지역 분석 등의 전파 환경분석이 필요하다. 이를 위해 IF/RF 데이터레코더가 활용될 수 있을 것이다.

현 구축중인 지상계측시스템은 탑재계측시스템이 없는 상태에서 구축될 것이며 이에 따라 구축 완료 시험 검증 등에 어려움이 있을 수 있을 것이다. 또한, 지상계측시스템에 대한 교육, 기능 검증 등을 위해 매년 비행기를 띄워 비행시험 정보를 받아서 수행하기에는 비용 측면 등에서 어려움이 많게 될 것이다. 따라서, IF/RF 데이터레코더로 저장된 데이터를 실제 비행시험대신 탑재계측시스템의 시뮬레이터로 활용한다면 많은 도움이 될 것이다.

대부분의 비행시험을 위한 계측장비는 해외제품을 수입하여 사용하고 있는 현황이며 차기 시스템에 대한 국산화 촉진을 위해 대비해야 할 필요가 있다. 이를 위하여 경쟁력이 있는 국내 기술을 가지고 갈 수 있는 분야는 수신기, 데이터레코더, 분석툴 등의 분야에 국산화가 필요하다. 국산화 기술 개발을 위해서 IF/RF 광대역 데이터레코더는 광대역 수신기 및 분석툴 개발 시험 검증 등에 시뮬레이터로 활용될 수 있다.

지금의 종합비행시험인프라는 4인승 경비행기 수준에 적용을 목표로 한 비행시험센터이지만 항공기산업기술의 발달로 점차 30인승, 100인승, 그리고 대형 민간항공기 수준의 종합비행시험센터로 발전될 것이다. 그에 따라 수집되어야 할 정보의 양을 대용량으로 진화하게 될 것이고 이를 IF로 저장하기 위해서는 광대역으로 발전하게 될 것이다. 이에 대한 사전 준비를 위한 연구에 활용할 필요가 있다.

- 미사일 및 인공위성 개발에 활용

미사일이나 인공위성의 비행시험에서는 항공기와는 다르게 회수가 불가능한 경

우가 대부분이다. 따라서 비행시험 중 측정된 모든 정보를 실시간으로 지상에 수집될 필요가 있다. 이를 위해서 IF/RF 데이터레코더가 유용하게 활용되고 있으며, 또한, 미사일이나 인공위성 개발을 위한 시험은 매번 발사해서 시험하기에는 비용 및 시간상 불가능하다. 따라서, 지상에서 시뮬레이터를 이용한 시험 및 검증이 여러번 반복하게 된다. 이때 실제 비행시험 시에 IF/RF 데이터레코더로부터 저장된 실제 데이터는 시뮬레이터에 유용하게 활용될 것이다.

2. 타 분야에의 활용 방안

- 전파환경 및 통화품질 검증에 활용

무선통신 특히, 이동통신분야에서는 경쟁구도에서 우위를 차지하기 위해 통화품질 향상을 위해 많은 노력을 수행하고 있다. 통화품질 향상을 위해 각 지역현장의 전파환경 분석은 매우 중요하다. IF/RF 데이터레코더는 이동통신 현장전파를 원시 그대로 저장하여 후처리 분석 시 정밀하게 분석하는데 활용할 수 있다.

- 불법 전파 및 GPS 재밍 감시에 활용

공항, 이동통신, 방송사 등은 불법 전파의 방해에 의한 피해가 종종 발생하며 특히, 북한과 접근되어 있는 지역에서의 항공기, 이동통신, 방송통신 등은 GPS 방해 전파의 위험에 노출되어 있고 실제로 피해가 발생되고 있다. 이러한 적으로 부터의 GPS 재밍 시도를 실시간으로 감시하여 발생 즉시 항재밍 등의 회피 방안을 작동할 필요가 있다. IF/RF 데이터레코더는 실시간으로 이러한 GPS 재밍 감시할 수 있는데 활용될 수 있고, 특히, 저장된 방해 전파를 정밀 분석하여 발생원에 대한 정보를 분석하여 항재밍 전략에 활용할 수 있다.

- 군 정보감시체계에 활용

적으로 부터의 위협을 사전에 감지하여 대비하는 것은 현대 전자전에서 매우 중요하다. 이러한 전자전의 분야에는 적의 위협 레이더 등의 사전 감지 및 발생원의 위치/제원 등의 정보를 분석하는 ELINT, 적이나 테러 조직 등의 통화 감시를 위한 COMINT 등이 있다. IF/RF 데이터레코더는 이러한 적의 전파를 수집하여 저장하여 정밀분석을 수행하여 적의 위협을 식별하는 데 매우 중요하게 활용되고 있다. 특히, 군에서 사용되는 전파의 대역은 0.1 ~ 40GHz에 이를 정도로 광범위하며 이에 대한 IF/RF 데이터레코더도 중심주파수가 1.8GHz, 저장 대역폭이 1GHz의 광대역으로 발전해 가고 있다. 국내 IF/RF 데이터레코더 개발 수준은 중소기업의 눈부신 노력에 의해 세계 수준에 버금가는 광대역 IF/RF 데이터레코더 제조기술을 보유하고 있으며 이 분야에서 국산화에 성공하고 있다.

5장. 계측시스템의 유지 보수 및 기술지원 체계 연구

비행시험을 체계적으로 수행하기 위해서는 계측시스템의 개발, 관리 및 유지가 매우 중요하다. 비행시험 계측시스템에 대한 시험과 검증을 수행하기 위해서 비행시험 계측실험실(Flight Test Instrumentation Laboratory)을 사용하는 것이 필요하다.

1절. 비행시험 계측실험실의 목적 및 주요 업무

비행시험 계측실험실은 비행시험 탑재계측시스템 설계부터 시스템 운용을 위해 항공기 탑재 전에 통합시스템을 구축하여 검증하고, 비행시험 수행 시 발생한 고장에 대해 정밀분석을 수행하며, 계측장비와 센서의 유지관리를 위해 운영한다.

계측실험실의 주요 업무는 다음과 같다.

- 계측장비 점검
- 계측통합시스템 점검
- 고장탐구 수행
- 센서 및 장비 관리

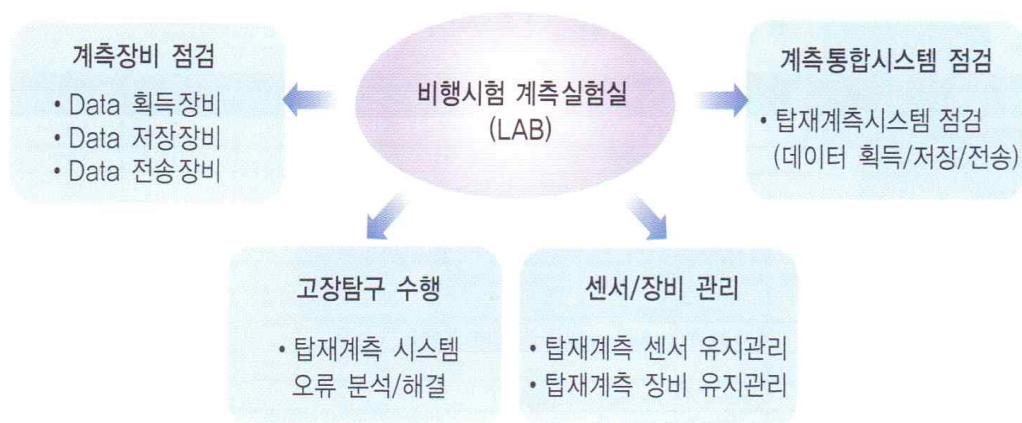


그림 5.1 계측실험실 주요 업무

1. 계측장비 점검

비행시험에 사용되는 계측시스템은 데이터의 정확성과 안정성 확보를 위해 장비 및 센서의 설계 및 선정에서부터 항공기 장착, 그리고 비행시험 수행 중에도 지속적으로 점검되어야 한다.

비행시험을 위해 수행된 계측장비의 점검은 데이터 획득장비, 데이터 저장장비, 데이터 전송장비로 구분하여 점검한다.

가. 데이터 획득장비 점검

데이터 획득장비는 센서 종류별 및 데이터 특성별로 20여 종의 신호처리를 설계하여 사용하였다. 아래의 표는 계측기 및 센서관리 프로그램의 예를 보여준다.

표 5.1 계측기 및 센서관리 프로그램

The screenshot shows the 'Instrumentation Master' software interface. On the left is a sidebar with navigation options: '기본관리' (Basic Management), '신규등록' (New Registration), 'Master', 'History Card', '입출고관리' (Inventory Management), '장착기록관리' (Installation Record Management), and '종합현황' (Overall Status). The main window displays a table of instrument data with the following columns: Type, Maker, Model No, SIH No, Serial, Status, MeasCd, Description, #A/C, and DWH. The table lists 18 pressure transducers, all of the 'Kulite' brand and 'HKM-375-50006' model. The 'SIH No' and 'Serial' numbers are unique for each entry. The 'Status' column shows various codes like 'AB2', '불량' (Defective), 'AA1', and 'AA2'. The 'Description' column consistently lists 'Pressure Transducer'. The '#A/C' and 'DWH' columns contain specific identifiers for each unit.

Type	Maker	Model No	SIH No	Serial	Status	MeasCd	Description	#A/C	DWH
Pressure	Kulite	HKM-375-50006	SIH2200-071	6783-11-363	AB2		Pressure Transducer	A/C#4	
Pressure	Kulite	HKM-375-50006	SIH2200-071	6783-11-362	장착대기		Pressure Transducer	N/A	
Pressure	Kulite	HKM-375-50006	SIH2200-071	6783-11-360	장착대기		Pressure Transducer	N/A	
Pressure	Kulite	HKM-375-50006	SIH2200-071	6783-11-359	장착대기		Pressure Transducer	N/A	
Pressure	Kulite	HKM-375-50006	SIH2200-071	6783-11-357	장착대기		Pressure Transducer	N/A	
Pressure	Kulite	HKM-375-50006	SIH2200-071	6473-3-58	불량	PH009	Pressure Transducer	A/C#2	851H5454-111
Pressure	Kulite	HKM-375-50006	SIH2200-071	6473-3-57	AA1	PH018	Pressure Transducer	A/C#1	851H5412-101
Pressure	Kulite	HKM-375-50006	SIH2200-071	6473-3-56	AA2	PH008	Pressure Transducer	A/C#2	851H5413-101
Pressure	Kulite	HKM-375-50006	SIH2200-071	6473-3-55	AA1	PL013	Pressure Transducer	A/C#1	851L5404-101
Pressure	Kulite	HKM-375-50006	SIH2200-071	6473-3-54	AA1	PL012	Pressure Transducer	A/C#1	851L5404-101
Pressure	Kulite	HKM-375-50006	SIH2200-071	6473-3-53	AA1	PL011	Pressure Transducer	A/C#1	851L5404-101
Pressure	Kulite	HKM-375-50006	SIH2200-071	6473-3-52	AA1	PL010	Pressure Transducer	A/C#1	851L5404-101
Pressure	Kulite	HKM-375-50006	SIH2200-071	6473-3-51	AA2	PH009	Pressure Transducer	A/C#2	851H5454-111
Pressure	Kulite	HKM-375-50006	SIH2200-071	6473-3-50	AA1	PH002	Pressure Transducer	A/C#1	851H5323-101
Pressure	Kulite	HKM-375-50006	SIH2200-071	6473-3-49	AA1	PH012	Pressure Transducer	A/C#1	851H5312-101

나. 데이터 저장장비 점검

데이터 저장장비에 저장되는 데이터는 PCM 데이터, MUX 데이터, 아날로그 데이터 및 영상 데이터 등이 있다. 전체 또는 부분적으로 각각의 데이터를 저장한 후 저장된 데이터를 복원함으로써 데이터 저장장비의 동작 및 성능을 점검한다.

PCM 데이터 점검 방법은 저장된 데이터를 Playback할 때 GSU를 이용하여 저장시와 동일한 데이터 포맷을 구성하여 입력값이 그대로 표시되는지 점검한다.

MUX 데이터 점검 방법은 MUX 시뮬레이터를 이용하여 입력값을 저장하고

저장된 데이터를 Playback하여 MUX 시뮬레이터상에 입력값이 표시되는지 확인한다.

아날로그 데이터 점검은 함수발생기를 이용하여 데이터를 저장하고 Playback 할 때 Oscilloscope를 이용하여 출력 파형과 값을 확인한다.

영상 데이터는 일반적으로 데이터 저장장비와 구분하여 영상저장장비를 별도로 운영하는 것이 편리하나, 최근에는 항공기상의 공간 제약 및 데이터 전송 기술의 발달로 동일 장비에서 데이터와 영상을 함께 저장한다.

다. 데이터 전송장비 점검

비행시험에 적용된 데이터 전송장비는 송신기(Transmitter), 전력분배기(Power Divide), 안테나(Antenna) 등이 있다.

Transmitter의 점검은 주어진 주파수범위에서 Transmitter로부터 출력되는 파형을 Spectrum Analyzer를 이용하여 출력과 주파수 Deviation 등을 측정하는데, 일반적인 경우 Spectrum Analyzer 앞단에 Attenuator를 장착하여 Spectrum Analyzer를 보호한다.

Power Divide의 점검은 Transmitter와 함께 Power Divider를 연결하고 출력단에 표시된 출력의 분배값이 정확히 분배되는지 Power Meter 또는 Spectrum Analyzer를 이용하여 출력값을 측정한다.

Antenna 점검은 외관상의 손상 여부와 Reansmitter를 이용한 VSWR(Voltage Standing Wave Ratio)를 측정한다.

2. 계측 통합시스템 점검

계측통합시스템 점검은 계측장비를 계측실험실에서 항공기와 동일한 계측시스템을 구성하여 각 장비들의 동작상태를 점검하는 것이다. 따라서 항공기 전원과 동일한 전원 및 계측시스템 구성이 필요하다. 계측시스템은 센서, 시간정보 및 음성신호에 의해 측정된 아날로그 및 디지털 데이터가 신호처리기에서 저장 및 전송 가능한 데이터로 구성되어 데이터 기록장비(Data Recorder)에 저장되고, 또한 전송장비(Transmitter)를 통해 전송되도록 구성한다.

계측통합시스템 점검은 센서 데이터가 정해진 데이터 구성도 상에 표시되는지, 그리고 데이터 저장장비에 저장된 데이터와 전송장비에 의해 전송된 데이터가 동일한지를 점검함으로써 전체 시스템에 대한 검증이 이루어질 수 있도록 한다. 추가적으로 위치추적시스템의 점검은 이미 검증된 위치에서 위치추적시스템을 가동하여 획득한 데이터가 기존의 값과 동일한지를 확인하는 것으로 수행

한다.

3. 고장 탐구 수행

비행시험 수행 중에 발생하는 계측시스템의 오류는 비행시험 일정과 비용에 영향을 미치므로, 비행시험 계측실험실에서는 오류의 발생현상 및 원인을 신속하고 명확하게 분석하여 향후 비행시험 일정 및 비용에 영향을 주지 않도록 조치해야 한다.

4. 센서 및 장비 관리

비행시험 계측장비 및 센서의 유지관리는 계측시스템 운용을 위한 필수 요소 중의 하나이다. 비행에서 비롯된 혹독한 환경변화와 수년에 걸친 비행시험에서 계측시스템의 안정성을 확보하기 위해서는 항상 일정량의 여유장비를 확보하고 있어야 한다. 아울러 계측시스템에 사용된 장비 및 센서는 개발시험이 종료될 때까지 수년 동안 지속적으로 운용되어야 하기 때문에 센서 및 장비 각각에 대한 이력관리가 필요하다.

그러므로 센서 및 장비는 각 종류별 수량과 일련번호별 관리가 이루어져야 하고, 현재 항공기상의 운용 상황과 사용 가능한 재고수량을 파악할 수 있어야 한다.

2절. 비행시험 계측실험실의 구성

비행시험을 위한 계측장비 및 센서는 특별한 관리가 필요하므로 비행시험 계측실험실과 같은 전용공간을 확보해야 한다. 비행시험 계측실험실은 시스템통합시험, 라인교체장비(LRU: Line Replace Unit) 시험, 계측센서 및 장비 관리구역으로 각각 구성하고, 실내는 정전기 방지장치와 항온항습의 환경조건이 구비되는 것이 필요하다.

1. 시스템 통합시험 구역

시스템통합시험 구역은 항공기 탑재계측시스템을 구성하는 장비와 점검을 수행하기 위한 측정장비를 배치할 수 있는 충분한 공간과 탑재계측시스템의 실제 운용환경을 고려하여 항공기 전원과 동일한 전원이 필요하다. 일반적으로 전력량은 사용할 장비의 전체 전력에 따라 여유를 가지고 구비하여야 한다. 선진 항공사의 경우는 계측실험실 전원과 별도의 AC/DC Converter, Power Generator(400 Hz Power), Power Controller(Precision Power)가 설치되어 있다.

2. LRU 시험 구역

라인교체장비(LRU: Line Replace Unit) 시험 구역은 탑재계측장비의 특성 및 성능을 점검하는 곳으로, 장비의 입출력 신호를 생성하고 측정하는 계측장비와 전원, 그리고 장비의 점검을 위한 Wire Set로 구성되어 있다. 최근에는 LRU 시험을 위한 초기 설정에서부터 점검결과 출력까지의 전 과정에 대한 자동화시스템이 구성되어 활용되고 있다.

3. 계측센서 및 장비 관리 구역

비행시험에 사용되는 계측장비 및 센서는 정밀계측장비로, 적정온도 및 습도가 일정하게 유지되어야 한다. 이 환경을 유지하기 위해 항온항습기가 필요하며, 일반적으로 실험실 전체의 온도는 72~74° F, 습도는 45%를 표준으로 관리하는 것이 적당하다. 아울러 계측장비 및 센서는 종류별로 수량에 따른 관리가 될 수 있도록 구성하여야 한다. 그림 4.2는 계측센서 및 장비의 관리함 상태를 보여준다.



그림 5.2. 계측센서 및 장비 관리함

6장. 결 론

본 보고서는 비행시험자료계측 및 분석기술연구의 3차년도 하반기 연구활동으로 “효율적인 비행시험 데이터 분석 및 시스템 유지방안 연구”로서 비행시험 데이터 분석과 이를 위한 소프트웨어 TOOL 연구, 계측시스템의 효율적인 운영방안, 비행 후 처리를 위한 IF/RF 광대역 데이터레코더 활용방안 연구, 계측시스템 유지 보수 등에 대하여 기술하였다.

2장의 비행시험 데이터 분석과 소프트웨어 TOOL 연구에서는 실시간 데이터처리시스템과 비행 후 데이터시스템의 소프트웨어 툴에 대하여 기술하였다.

1절에서는 Display 화면, 스트립차트, Flutter Display System, 영상시현, 2D/3D Visualization-가상현실, 재생모드의 Visual Reality, 그리고 Visualized 보고서 등의 실시간 데이터 처리 및 분석기술, 실시간 데이터처리 및 분석 기술의 동향, 그리고 L-3사와 Magali사의 실시간 비행시험 데이터 분석 소프트웨어 툴 최첨단 기술 및 국내 기술 경쟁력에 대해 기술하였다.

2절에서는 비행 후 데이터처리시스템 S/W 툴의 개요, 구성, 운영 소프트웨어, 시스템 관리 소프트웨어, 비행 후 데이터 처리 절차, 그리고 비행 후 데이터 분석 소프트웨어 Tool 세계 기술 현황에 대하여 기술하였다. 일반적으로 비행 후 데이터처리시스템은 비행시험 Raw 데이터 및 결과물을 저장하고 웹 서버 기능을 수행하는 네트워크 파일 서버 시스템(NFCC, Network File Server System), 데이터 처리 소프트웨어를 탑재하고 운영자가 요청하는 데이터 결과물을 처리하는 생성물 처리시스템(PPS, Product Processing System), 그리고 무정전 전원공급장치, 스위칭 허브, 프린터 등의 보조장비(AE, Auxiliary Equipment) 등 3개의 서브시스템으로 구성되어 있다.

비행 후 처리 운용소프트웨어의 주요 기능은 해석 엔지니어가 필요로 하는 데이터를 Raw 데이터에서 추출하여 요구하는 형태로 가공하여 제공하는 것으로 이를 Data Reduction이라하며 데이터베이스화 단계, 필요한 구간의 데이터만을 추출하도록 시간을 분할하는 Time Slicing 단계, Time Slicing된 구간의 데이터만을 추출하는 파라미터 추출 단계, 그리고 해석 엔지니어가 요구하는 형식의 파일로 출력하는 단계 등 총 4개 단계로 구분된다.

시스템 관리 소프트웨어의 시스템 관리 소프트웨어(EDRS, Electronic Data Request System)는 해석 엔지니어의 데이터 요구 및 처리된 데이터를 제공 받을 수 있게 설계된 인트라넷 기반의 웹 데이터베이스 응용 프로그램으로, PDPS의 인트라넷 웹 서버인 NFSS의 호스트 역할을 수행한다. EDRS는 엔지니어들의 요구사항을 네트워크상에서 차례로 받아들이며 신속하게 비행한 후 분석을 위한 데이터를 제공할 수 있도록 다음과 같은 기능을 수행할 수 있게 설계되었다.

- 해석 엔지니어는 요청 데이터를 일정한 폼(From)으로 작성하여 EDRS에 등록할 수 있어야 한다.
- 해석엔지니어는 EDRS를 통하여 요청 데이터를 다운받을 수 있어야 한다.
- 데이터 처리 담당자는EDRS를 통하여 엔지니어의 요청을 확인할 수 있어야 한다.
- 데이터 처리 담당자는 EDRS를 통해 엔지니어들에게 현재 요청한 데이터의 상황을 제공해야 한다.
- NFSS 서버에서 운영되는 관계형 데이터베이스에 데이터 요청을 저장한다.
- 데이터베이스에서 데이터 처리건에 대한 이력을 정량화 및 관리 가능하도록 정보를 제공한다.

비행 후 데이터 처리 절차는 DPD 작성과 데이터베이스화, 데이터 획득과 저장, 데이터 생성물 배포, 데이터 리포트 분석, 그리고 비행시험 자료 관리이다.

3장 계측시스템의 효율적인 운영방안 연구에서는 1절에서 탑재계측시스템 운영에 대해 기술하였다. 탑재계측시스템은 항공기 내부와 외부에 장착된 각종 센서와 장비로부터 신호를 받아서 처리하므로 항공기 장착이 중요하다. 따라서 항공기 장착 전 운영, 항공기 장착 시 운영, 장착 후 운영 등으로 나누어 정리한다. 항공기 탑재 전 운영은 탑재 계측시스템을 항공기에 장착하기 이전에 모든 센서와 DAS장비, GPS, 송신기, 데이터저장기 등 탑재계측 시스템 전체 운용시험을 계측 실험실에서 실시하여 각종 센서와 DAS 연동여부, 계측기 동작, 데이터 연동, 전송 속도, 저장용량 등에 대한 종합운영시험을 실시하고 데이터를 저장해 두어야 한다. 계측기와 센서를 항공기에 장착한 후에 고장 또는 데이터가 불량하게 산출되면 그 원인을 찾아야하는데 이 경우에 항공기 탑재전 시험 데이터가 기준이 된다. 이를 사용하여 고장이나 데이터 불량 원인을 연결 불량, 잡음 증가, 장착불량, 연동불량 등으로 판단할 수 있다. 항공기 장착 시 운영은 센서 장착 위치와 공간은 항공기 설계 시에 고려되어야 한다. 그러나 대부분의 탑재시스템을 위한 별도의 공간이 주어지지 않으므로 기본항공기 탑재장비와 구조물에 영향을 주지 않는 범위에서 계측기와 센서들을 설치해야 한다. 탑재계측시스템은 비행시험이 완료되면 대부분 철수하므로 장비설치 시 주요 고려사항은 데이터 획득장비 채널 선정, 전기배선의 중요성, 설치자재의 중요성, 그리고 유지보수의 용이성 등이다. 항공기 탑재의 운영은 장비의 동작여부를 확인해야 한다, 장착 후 운영은

장비 설치 후 검사는 육안적인 확인 검사부터 정상적인 데이터가 추출되는 것을 확인하는 것을 말한다. 탑재 후 계측 장비 시험은 전기적인 연결시험과 각 센서에 따른 정상적인 신호 출력, 장비와 장비의 연동시험을 각종 계측기와 시험지그 등을 사용하여 확인한다.

2절 지상시스템 운영 방안에 대하여 기술하였다. 지상계측 시스템 운영은 항공기의 비행시험 수행 시 시험목적에 부합하도록 필요한 데이터를 시현하면서 시험 상황을 파악하고, 시험상황을 통제하고, 시험 도중에 발생할 수 있는 비상상황을 인지하여 판단 및 대처하기 위해서 시험항공기의 비행 상황을 실시간으로 시현하고 모니터링을 수행할 수 있도록 지상계측 시스템을 운영하는 것을 말한다. 지상계측시스템의 운영을 위해서는 우선적으로 비행시험 진행상황을 인지할 수 있도록 탑재계측시스템에서 보내준 자료를 실시간으로 처리하는 실시간 처리시스템(Real Time Processing System)에 대한 기술이 선행되어야 한다. 실시간 처리시스템이란 비행 중인 개발 항공기로부터 여러 형태의 다중채널을 통하여 실시간으로 전송되는 데이터의 저장, 변환, 처리, 시현 및 배포를 위해 시간에 동기화된 신호 처리시스템을 말한다.

실시간 처리 시스템 점검은 하드웨어(Hardware)에 관련된 점검과 소프트웨어(Software)에 관련된 점검 두개로 나눌 수 있다. 하드웨어 점검이란 전원공급 상태 점검, 네트워크 장비 가동상태 점검, TGS 장비 점검 및 통신장비 점검 등을 말한다. 소프트웨어 점검에는 실시간 처리 프로그램 점검, Window FDS(Load & Flutter) 프로그램 점검, 기상장비(AMOS) 점검, 스트립 차트Data 점검, 고주파(RF) 신호와 관련된 안테나제어장치(ACU) 프로그램 점검 및 GPS Data 수신점검 등이 있다.

소프트웨어 점검은 매우 중요하며 주요내용은 비행 전 데이터 점검이다. 이는 실제 비행시험과 동일한 모의(Simulation) 상황을 만들어 모든 소프트웨어가 정상적으로 동작하는지를 점검하는 것이다. 즉, 실제 비행시험을 수행했던 항공기의 텔레메트리(Telemetry) 신호를 저장매체에 저장하여 Playback을 통해서 기본적으로 데이터베이스가 정상적으로 삽입되었고 항공기의 데이터가 현재 진행하는 비행시험 내용에 적합한지를 확인하는 것이다.

원격지 지원 장비는 비행시험 LOS(Line of Sight) 확보 및 시험 항공기의 타기지 전개를 지원하는 장비로서, 크게 Relay 장비와 Mobile TGS(Telemetry Ground Station)로 구성할 수 있다. 원격지원 장비로 특히 비행시험 거리가 확장되는 경우에 대비하여 지상에 중계기를 활용하여 비행거리를 연장하는 경우에 대해서 기술하였다.

4장은 비행 후 처리를 위한 IF/RF 광대역 데이터레코더를 활용하는 방안을 제시하였다. 1절에서는 광대역 IF/RF 데이터레코더의 개요에 대하여 기술하였고, 2절 광대역 IF/RF 데이터레코더 검증 방안으로 광대역 IF/RF 데이터레코더 시제

품 개발, 시험평가 항목, 시험절차서, 그리고 검증결과에 대하여 기술하였다. 3절 IF/RF 데이터레코더 기술 동향에서는 운용사례 분석, 해외 기술 동향, 국내 기술 경쟁력 분석 및 기술 개발의 경제적 타당성 분석을 기술하였다. 4절 광대역 IF/RF 데이터레코더 활용 방안에서는 비행시험분야에서의 활용 방안, 그리고 타 분야에서의 활용 방안에 대하여 기술하였다.

비행시험 계측시스템의 지상계측시스템에는 PCM 데이터를 저장하는 데이터레코더가 구축된다. PCM 데이터레코더는 실시간적으로 처리해야 할 비행시험의 일부 데이터만을 데이터 프로세서를 통해 처리하고 저장하게 된다. 비행시험 분석에 있어서 긴급하지는 않지만 상세하게 분석할 필요가 있는 데이터가 많이 있다. 이를 저장하여 상세히 분석하기 위해서는 원천데이터(IF/RF)를 그대로 저장할 필요가 있다. 비행시험 시 예기치 않은 사고에 의해 탑재 저장장치에 수록된 상세 비행정보를 잃어버릴 수 있어 사고의 원인에 대한 분석의 어려움이 생길 수 있다. 따라서 실시간으로 전송되는 데이터를 RF 또는 IF의 원천자료 형태로 저장해야 함은 매우 중요하다. 과제의 구축 목표는 경비행기에 대한 비행시험 계측시스템의 구축이다. 그러나 향후 국내 항공기 개발 발전추세에 따라 중형 이상의 항공기에 대한 비행시험 계측시스템으로의 진화가 필요하게 될 것이다. 이에 따라 시험데이터 증가에 의한 광대역화 발전 추세가 될 것이며 IF/RF 원시데이터 저장을 위해 광대역(40MHz이상의 대역폭)처리가 가능해야 할 것이다.

현재 종합비행시험인프라 구축 본 사업에 일환으로 구축 중인 종합비행시험인프라의 지상계측장비에는 PCM 데이터레코더는 포함하고 있지만 IF/RF 데이터레코더는 포함되어 있지 않다. 따라서, 개발된 Proto-type의 광대역 IF/RF 저장장치는 향후 상용수준으로 발전시켜 종합비행시험인프라 구축에 활용 할 필요가 있다. PCM 데이터레코더는 주로 실시간적으로 정보를 분석하기 위해 IF 데이터를 PCM으로 실시간적으로 필요한 정보를 변환하여 저장하게 됨으로써 전파환경 등의 비행시험 환경을 포함한 많은 정보를 다 수록하기에는 부족하다. 따라서, 대부분의 비행시험센터에서는 정밀하게 다각도로 비행정보를 분석하기 위해 탑재 계측장비로부터 수집되어 전송된 전파를 원래 그대로의 모든 정보를 분석할 필요가 있다. 또한, 비행시험센터의 전파환경을 파악하기 위해 전파 신호 음영지역 분석 등의 전파 환경분석이 필요하다. 이를 위해 IF/RF 데이터레코더가 활용될 수 있을 것이다. 현 구축중인 지상계측시스템은 탑재계측시스템이 없는 상태에서 구축될 것이며 이에따라 구축 완료 시험 검증 등에 어려움이 있을 수 있을 것이다. 또한, 지상계측시스템에 대한 교육, 기능 검증 등을 위해 매번 비행기를 띄워 비행시험 정보를 받아서 수행하기에는 비용 측면 등에서 어려움이 많게 될 것이다. 따라서, IF/RF 데이터레코더로 저장된 데이터를 실제 비행시험 대신 탑재 계측시스템의 시뮬레이터로 활용한다면 많은 도움이 될 것이다. 대부분의 비행시험을 위한 계측장비는 해외제품을 수입하여 사용하고 있는 현황이며 차기 시스템에 대한 국산화 추진을 위해 대비해야 할 필요가 있다. 이를 위하여 경쟁력이 있

는 국내 기술을 가지고 갈 수 있는 분야는 수신기, 데이터레코더, 분석툴 등의 분야이며 국산화가 필요하다. 국산화 기술 개발을 위해서 IF/RF 광대역 데이터레코더는 광대역 수신기 및 분석툴 개발 시험 검증 등에 시뮬레이터로 활용될 수 있다. 지금의 종합비행시험인프라는 4인승 경비행기 수준에 적용을 목표로 한 비행시험센터이지만 항공기산업기술의 발달로 점차 30인승, 100인승, 그리고 대형 민간항공기 수준의 종합비행시험센터로 발전될 것이다. 그에 따라 수집되어야 할 정보의 양을 대용량으로 진화하게 될 것이고 이를 IF로 저장하기 위해서는 광대역으로 발전하게 될 것이다. 이에 대한 사전 준비를 위한 연구에 활용 할 필요가 있다.

타 분야에서의 IF/RF 광대역 데이터레코더의 활용 가능성을 보면 미사일이나 인공위성의 비행시험에서는 항공기와는 다르게 회수가 불가능한 경우가 대부분이다. 따라서, 비행시험 중 측정된 모든 정보를 실시간으로 지상에 수집될 필요가 있다. 이를 위해서 IF/RF 데이터레코더가 유용하게 활용되고 있으며, 또한, 미사일이나 인공위성 개발을 위한 시험은 매번 발사해서 시험하기에는 비용 및 시간상 불가능하다. 따라서, 지상에서 시뮬레이터를 이용한 시험 및 검증이 여러번 반복하게 된다. 이때 실제 비행시험 시에 IF/RF 데이터레코더로부터 저장된 실제 데이터는 시뮬레이터에 유용하게 활용될 것이다. 무선통신 특히, 이동통신분야에서는 경쟁구도에서 우위를 차지하기 위해 통화품질 향상을 위해 많은 노력을 수행하고 있다. 통화품질 향상을 위해 각 지역 현장의 전파환경 분석은 매우 중요하다. IF/RF 데이터레코더는 이동통신 현장 전파를 원시 그대로 저장하여 후처리 분석 시 정밀하게 분석하는데 활용 할 수 있다. 적으로 부터의 위협을 사전에 감지하여 대비하는 것은 현대 전자전에서 매우 중요하다. 이러한 전자전의 분야에는 적의 위협 레이더 등의 사전 감지 및 발생원의 위치/제원 등의 정보를 분석하는 ELINT, 적이나 테러 조직 등의 통화감시를 위한 COMINT 등이 있다. IF/RF 데이터레코더는 이러한 적의 전파를 수집하여 저장하여 정밀분석을 수행하여 적의 위협을 식별하는 데 매우 중요하게 활용되고 있다. 특히, 군에서 사용되는 전파의 대역은 0.1 ~ 40GHz에 이를 정도로 광범위하며 이에 대한 IF/RF 데이터레코더도 중심주파수가 1.8GHz, 저장 대역폭이 1GHz의 광대역으로 발전해 가고 있다. 국내 IF/RF 데이터레코더 개발 수준은 중소기업의 눈부신 노력에 의해 세계 수준에 버금가는 광대역 IF/RF 데이터레코드 제조기술을 보유하고 있으며 이 분야에서 국산화에 성공하고 있다.

5장은 계측시스템의 유지보수 및 기술지원체계에 대한 연구로 계측실험실을 구축하여 활용하는 방안을 제시하였다. 국내 비행시험관련 자료가 부족하여 보고서 작성이 어려웠으며, 국내에서 개발하여 사용하는 T-50 비행시험에서 사용한 자료가 검증된 자료로 판단되어 일부 활용하였다. 1절 비행시험 계측 실험실의 목적 및 주요 업무에 대하여 계측장비 점검, 계측 통합시스템 점검, 고장 탐구 수

행, 그리고 센서 및 장비관리에 대하여 기술하였고, 2절 비행시험 계측실험실의 구성으로 시스템 통합시험 구역, LRU시험 구역, 그리고 계측센서 및 장비관리 구역에 대하여 기술하였다.

본 보고서는 국내 항공기 비행시험 계측의 데이터분석 및 유지방안에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 예상되며 미래 우주항공시대를 준비하면서 비행시험 계측에 대한 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] L-3 Communications Telemetry West, "Telemetry Tutorial"
- [2] IEEE Std., "1588-2002 IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems.," IEEE Std 1588-2002, 2002, pp. 1~144.
- [3] AGARDograph 160 Flight Test Instrumentation Series -Volume I (Issue 2), "Basic Principles of Flight Test Instrumentation Engineering"
- [4] Gerhard Mayer of International Consortium for Telemetry Spectrum (ICTS) and Timothy Chalfant of Edwards Air Force Base , "Trend In Aeroflight Test Telemetry", 2007년
- [5] Gerhard Mayer, Department of Computer Sciences Paris Lodron University Salzburg / Austria, "Trends In Aeronautical Wideband Telemetry Applicable To Science Missions With Aircraft & Balloon", 2009년
- [6] Global Forecast to 2021, "Airborne Telemetry Market by Application"
- [7] M. A. Perry, "Flight Test Instrumentation", Proceedings of the Third Instrumentation Symposium, 1964년
- [8] RTO AGARDograph 300 Flight Test Techniques Series - Volume 14, "Introduction to Flight Test Engineering", 2005년
- [9] Steve pellarin and Hy Grossman, Teletronics Technology Corporation, "Wireless Sensor System for Airborne Applications"
- [10] Telemetry Group RF Systems Committee, "Telemetry (TM) Systems Radio Frequency (RF) Handbook", Secretariat Range Commanders Council U.S. Army White Sands Missile Range New Mexico 88002-5110, 2008년
- [11] Timothy Chalfant & Gerhard Mayer, The International Consortium for Telemetry, "Trends in Aeronautical Flight Test Telemetry", International Seminar AeroIndia 2009, Bangalore
- [12] 강경우외 4명, "KUH 비행시험 계측 및 개선 방향 연구", 한국항공우주학회 2013년도 춘계학술대회, 2013.4, 820-823
- [13] 김보성의 3명, "최신 소프트웨어 기반 지상계측 시스템 설계", 한국항공우주학회 2016년도 춘계학술대회, 2016.4, 832-835
- [14] 김영외 2명, "스포츠급 경항공기 비행시험 계측 인프라 연구", 한국항공우주학회 2013년도 춘계학술대회, 2013.4, 820-823
- [15] 김재문, 김영수, 원충연, "국내 발사체 지상지원설비에서의 원격제어 및 계측시스템 연구 개발", 조명·전기설비 제17권 제3호, 2003.6, 36-45
- [16] 박광만의 2명, 전자통신연구원, "센서산업과 주요 유망센서 시장 및 기술동향", ETRI Creative Opinion 시리즈, 2015년
- [17] 박우현외 4명, "탐재계측 시스템 항공기 적용 사례 연구", 한국항공우주학회 2013년도 추계학술대회, 2013.11, 1464-1467
- [18] 박우현외 3명, "한국형 전투기 개발을 위한 탐재계측시스템 연구", 한국항공우주학회 ·

수록지정보 : 한국항공우주학회 학술발표회 논문집, 2014년

- [19] 이희규외 2명, “계측센서공학”, 형설출판사
- [20] 한국 산업자동화시장 전망보고서, “2010~2011 한국 센서 시장 현황“, 2011년
- [21] 한국전자정보통신산업진흥회, "안테나 산업 경쟁력 조사", 2008년
- [22] 한국항공우주산업(주) 개발본부 비행계획팀, “T-50 항공기 개발 경험으로 쓴 실전 비행 시험 계측”, 청문각
- [23] 항공안전기술센터, 비행시험 계측시스템 기술동향조사 보고서(위탁연구보고서), 2017.3
- [24] 항공안전기술센터, 비행시험 계측시스템 요구도 개발(위탁연구보고서), 2018.1
- [25] 항공안전기술센터, 탑재센서 및 계측시스템 검증방안 개발(위탁연구보고서), 2019.1

〈 참고 웹사이트 〉

- [1] Advanced Range Telemetry (ARTM) Project, www.cteip.osd.mil
- [2] Cutiss-Wright Defense Solution Website", <http://www.cutisswrightds.com>
- [3] WRC-2007, Final Acts, Geneva 22 Oct. to 16 Nov. 2007,
<http://www.itu.int/publ/R-ACT-WRC.8-2007/en>
- [4] 비행시험 기술 표준(IRIG-106), <http://www.irig106.org>