

## 원격측정용 PCM 데이터 저장장치 개발

### Development of PCM Data Recorder for Telemetry System

고 광 렬\*                      이 상 범\*                      이 현 규\*\*                      김 환 우\*\*\*  
 Kwang-Ryul Koh              Sang-Bum Lee              Hyun-Kyu Lee              Whan-Woo Kim

#### Abstract

This paper describes the development of pulse code modulation(PCM) data recorder with design, implementation and environmental test. PCM serial data that diverged from telemetry encoder output is used as the input and is reformed to parallel signal through FPGA processing. Controllers construct the packet by the sector and record it into non-volatile memory. Compact flash(CF) memory for data storage media, USB interface for data downloading, and a software for operating status diagnosis and file format conversion are used.

Keywords : Telemetry(원격측정), PCM(펄스부호변조), Recorder(저장장치), CF(Compact Flash) Memory, 환경시험, QAR (Quick Access Recorder)

#### 1. 서론

원격측정(Telemetry)이란 원거리에 위치한 대상으로 부터 무선통신을 이용해 정보를 획득하는 것으로 원격측정 대상의 내부에 여러 센서 및 전자장비들의 정보를 다중화 및 변조 후 송신하고 지상국에서 수신 및 처리하는 과정으로 이루어지며 지속적으로 양질의 실시간 데이터를 획득하기 위하여 노력하고 있다<sup>[1]</sup>.

시험 비행체 성능검증을 위한 비행시험 중에 각 계통 담당 엔지니어들은 실시간으로 완전한 원격측정 데이터를 획득하려는 바람이 있으나 모든 시험에서 양

질의 데이터를 획득할 수는 없다. 예를 들어 저고도 고속 비행을 수행하여 항공기의 구조안정성을 판단하는 비행시험(Speed Soak)과 같이 안전을 고려하여 육지로부터 먼 거리에서 수행해야 할 경우 원격측정 링크의 가시선(LOS : Line Of Sight)이 확보되지 않아 수신 자료가 불량하다. 이를 보완하기 위하여 매년 여러 장소의 수신시스템을 운용(Space Diversity)하는 것은 비현실적이기 때문에 원격측정 데이터 확보에 문제가 있을 것으로 예상되었다. 이에 따라 탑재비행시험 중에 원격측정데이터를 비행체 내에 저장하는 장치가 필요하게 되었다.

최근 국내 차량에 블랙박스를 장착하여 사고 발생 시 원인규명과 위법행위 및 사고 예방에 큰 기여를 하고 있다. 본래 블랙박스는 항공기에 적용된 저장장치(Recorder)인 CVR(Cockpit Voice Recorder) 또는 FDR(Flight Data Recorder)를 의미하며 각각 조종실의 음성 기록과 항공기의 비행 데이터 기록을 담당한다. 이 두

† 2011년 4월 7일 접수~2011년 6월 10일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

\*\* 단암시스템즈(Danam Systems)

\*\*\* 충남대학교(Chungnam National University)

책임저자 : 고광렬(kwang@add.re.kr)

장비는 항공기의 중량 및 형식에 따라 이미 법정 의무화되어 관계 법령에 기록되어야 할 파라미터 종류가 명시되어있다. 이 장치들은 고온과 고충격, 고진동에도 견딜 수 있도록 설계되며, 항공사고시나 정비를 목적으로 하는 경우를 제외하고는 함부로 건드릴 수 없다.

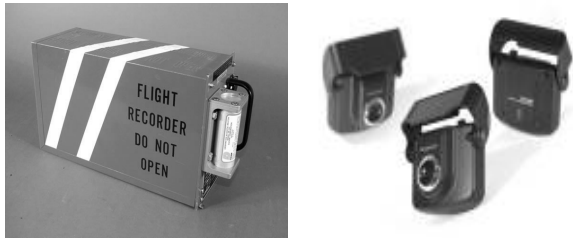


Fig. 1. FDR(항공)과 차량용 블랙박스

CQAR(Card Quick Access Recorder)의 경우 사용자가 쉽게 데이터에 접근이 가능하고, 수천가지의 데이터를 저장함으로써 항공기 운항 품질 및 결함관리, 성능개선, 정비 등에 사용되어지고 있다.

현재 군에서 추진 중인 유/무인 항공기 개발에 있어 많은 부분이 국외 도입장비로 구성되고 있다. 국외 저장장치는 제품화가 되어있어 다양한 기능 중 일부 만을 사용하게 되고 기능 추가나 기구물 수정이 어려우며 데이터 복원을 위해서 지상 장비가 별도로 필요한 경우가 대부분이다. 본 논문에서 제안하는 PCM 데이터 저장장치는 송신기 입력으로 전송되는 PCM 스트림을 분기하여 입력신호로 사용하고, CF(Compact Flash) 메모리에 데이터를 저장하며 USB 인터페이스를 사용하여 분석 가능한 파일 형태로 다운로드할 수 있어 원격측정장치와 더불어 사용하기에 최적화로 구현할 수 있다.

## 2. 본 론

### 가. 시스템 개요

PCM 데이터 저장장치는 각 부분의 기능에 따라 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. PCM 데이터를 병렬 데이터로 변환해 주는 데이터 변환부, 변환된 데이터를 비휘발성 저장 매체에 저장하는 데이터 저장부, 마지막으로 데이터를 USB(Universal Serial Bus) 통신을 통해 복원하는 데이터 복원부로 구성되며 블록 다이어그램은 Fig. 2와 같다.

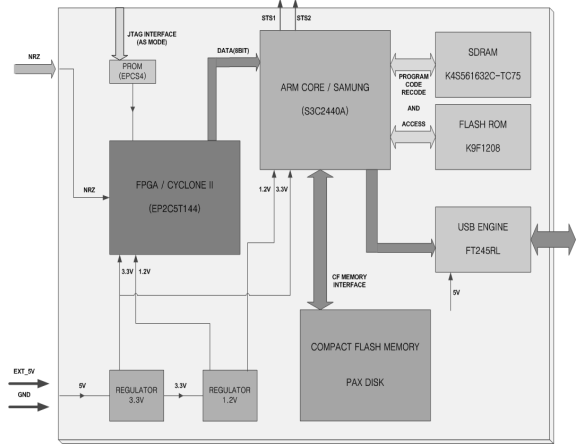


Fig. 2. PCM data recorder block diagram

이 각 기능들은 각각 FPGA(Field-Programmable Gate Array)와 FIFO(First In First Out), Micro-controller와 CF memory, micro-controller와 USB interface IC의 하드웨어에서 담당한다.

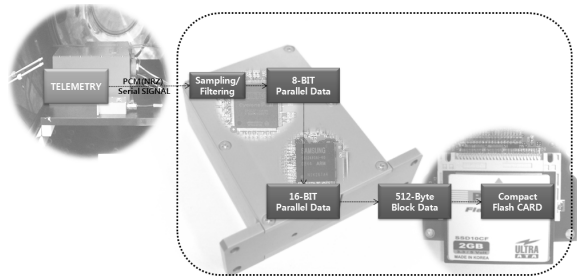


Fig. 3. Telemetry와 PCM data recorder 연동

원격측정장치에서 수집된 데이터가 PCM recorder에 저장되는 과정은 Fig. 3과 같다. 원격측정장치의 PCM 시리얼 신호가 8bit데이터로 변환되어 저장장치로 입력되고 다시 16bit로 변환되어 CF memory에 저장 가능한 최소 단위인 512byte(sector)로 저장된다.

최종적으로 완성된 저장장치는 Fig. 4와 같다. 전체하우징은 직사각형 형태이며 실제 기체에 장착을 하기위한 날개가 양쪽에 붙어있다. 외부와 연결되는 커넥터는 원격측정장치로부터 전원공급과 데이터를 수신하기위한 D-SUB 9-pin 커넥터와 복원용 USB type-B 커넥터가 있다.

또한 내진동성과 내충격성을 향상하기 위하여 CF memory에 별도의 덮개를 장착하였다.

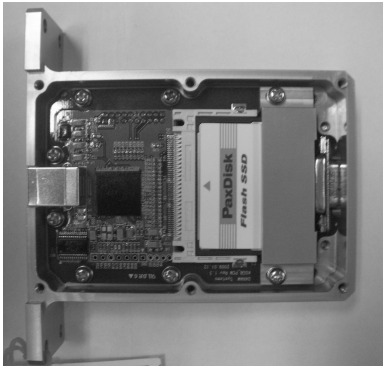


Fig. 4. PCM data recorder

나. BIT(Built In Test)

PCM 데이터 저장장치는 초기 부팅 후 자체 테스트 과정을 거치게 되는데 이를 BIT 또는 POST(Power On Self Test)라고 한다. 여기서 테스트 대상은 micro-controller와 직접 연결된 주변 장치로 CF memory, USB IC, FPGA내의 FIFO 메모리, SDRAM, Nand flash가 대상이 된다.

Table 1. BIT 항목

점검 대상	점검 내용
CF 메모리	섹터(512Byte) Write/Read Test Header 정보 확인 CF ID code 확인
USB I/F	수신 Buffer Empty 확인
FIFO I/F (FPGA동작)	FIFO memory에 data가 쌓여 있는지 확인
Booting 상태 SDRAM Nand Flash	Nand Flash 데이터가 SDRAM에 loading되었는지 확인

Table 1에서와 같이 장치의 기능동작에 치명적인 영향을 미치는 주변 하드웨어의 동작 상태를 점검하고, 오류 발생 시 Status 신호를 통해서 외부에 그 상태를 알려주게 된다.

다. CF Memory Access

CF Memory는 표준 CF 규격을 따르고 있으며 Access 속도 향상을 위해서 SLC(Single Level Cell) 형태의 Nand Flash를 사용한 제품을 사용하였으며, 읽기/쓰기 속도는 각각 20MB/Sec, 16MB/sec를 낼 수 있다. CF memory에 접근하는 과정은 Fig. 5와 같다.



Fig. 5. CF memory 초기화 순서

내부에 자체 controller를 가진 CF memory는 전원이 인가됨과 동시에 자체 초기화 과정을 거치게 되는데 이때 카드 내부의 register들이 초기화 상태가 된다. 초기화가 완료되면 아래 표와 같이 고유의 디바이스 정보(Identify Device)를 읽어오게 되는데 이를 CIS(Card Information Structure)라고 한다. CF Card 표준에는 CIS의 내용에 의하여 특정 카드의 형태와 카드가 제공하는 기능을 알아낼 수 있는 방법을 제공하고 있다<sup>[2]</sup>. 이 CIS 정보에는 모델명, serial number, cylinder header의 수, firmware revision 등 card의 parameter 정보들을 저장하고 있다. 이 후 set feature 명령을 통해서 데이터 버스의 크기를 설정한다. PCM 데이터 저장장치는 16bit Bus PIO mode 1을 사용하였다. 이 과정을 마치게 되면 CF memory card에 read/write를 수행할 준비가 완료된다.

Table 2. Identify Device Information<sup>[3]</sup>

Word Address	Default Value	Total Bytes	Data Field Type Information
0	848Ah	2	General configuration-signature for the Compact Flash Storage Card
1	XXXXh	2	Default number of cylinders
2	0000h	2	Reserved
3	00XXh	2	Default number of heads
4	0000h	2	Obsolete
5	0000h	2	Obsolete
6	XXXXh	2	Default number of sectors per track
7-8	XXXXh	4	Number of sectors per card (Word 7 = MSW, Word 8 = LSW)
9	XXXXh	2	Obsolete
10-19	aaaa	20	Serial number in ASCII (Right Justified)
20	0000h	2	Obsolete
21	0000h	2	Obsolete
22	0004h	2	Number of ECC bytes passed on Read/Write Long Commands
23-26	aaaa	8	Firmware revision in ASCII. Big Endian Byte Order in Word
27-46	aaaa	40	Model number in ASCII (Left Justified) Big Endian Byte Order in Word
47	XXXXh	2	Maximum number of sectors on Read/Write Multiple command
48	0000h	2	Reserved
49	XX00h	2	Capabilities

라. 데이터 저장 정보(Header)

데이터를 저장하고 이 데이터를 다시 복원하기 위해서는 비휘발성 메모리인 CF memory내부에 데이터 저장 상태정보를 기록할 필요가 있다. 이때 기록하는 정보는 실제 데이터가 시작되는 영역의 주소, 현재 저장되어있는 데이터의 마지막 주소, 데이터 저장이 중지된 지점(전원공급 중단으로 데이터의 연속성이 없는 지점) 정보 등이 기록되어야 한다.

이러한 정보가 존재하지 않을 경우 데이터의 저장 위치를 파악하기 힘들고, 실제 저장데이터의 크기를 알기 위해서 전체 데이터를 모두 읽은 뒤 분석해야하는 어려움이 발생하며, 전원공급 중단 후 재공급 시 데이터를 저장하는 위치가 모호하게 되어, 일부 외산 저장장치의 경우 기존에 저장되었던 데이터가 손실되는 큰 문제가 발생하기도 한다.

반면 이러한 저장 정보를 함께 사용하게 될 경우 매번 데이터를 저장할 때 마다 저장정보를 한 번 더 써줘야 하기 때문에 고속의 데이터를 저장할 경우 데이터 기록 속도에 영향을 끼칠 수 있다.

Sector number	Address DATA	Address DATA	Address DATA	Address DATA	Address DATA	Address DATA	Address DATA	Address DATA
	0	1	2	3	4	5	6	7
	Ⓐ		Ⓑ		Ⓒ		Ⓓ	
	8	9	10	11	12	13	14	15
	Ⓐ							
	16	17	18	19	20	21	22	23
	24	25	26	27	28	29	30	31
SECTOR# 0 (Header)	32	33	34	35	36	37	38	39
	Ⓔ		ⓐ		File size 2		File size 3	
	40	41	42	43	44	45	46	47
	File size 4		File size 5		File size 6		File size 7	
	:	:	:	:	:	:	:	:
	240	241	242	243	244	245	246	247
							File size 107	
	248	249	250	251	252	253	254	255
	File size 108		File size 109					ⓑ

Fig. 6. 데이터 저장상태 정보

데이터 기록 시 저장장치의 동작 상태(Status)를 monitoring할 필요가 있다. 이는 기본적으로 저장장치의 정상 동작 상태를 사용자가 확인하기 위함이다. 또한 이 상태정보를 원격측정장치로 전송하여 다시 PCM신호 채널에 포함되기 때문에 PCM 데이터 저장장치의 상태 정보 또한 저장장치에 저장되게 된다.

마. PCM 데이터 변환

원격측정장치에서 출력되는 PCM 신호는 16배의 속도로 over sampling과정을 거치게 되는데, noise의 경우가 over sampling된 데이터의 평균값을 이용하여 값을 결정하여 filtering을 하게 된다. 아래 그림은 임의로 noise를 발생하여 filter의 성능을 확인한 시뮬레이션으로 실제 Noise가 제거된 데이터가 나오음을 알 수 있다.

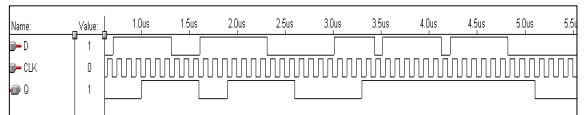


Fig. 7. Noise filtering simulation

Filtering 된 데이터는 FPGA의 shift register 로직을 통해서 8bit 병렬데이터로 변환된 뒤 FPGA내부에 존재하는 FIFO memory에 저장되게 된다.

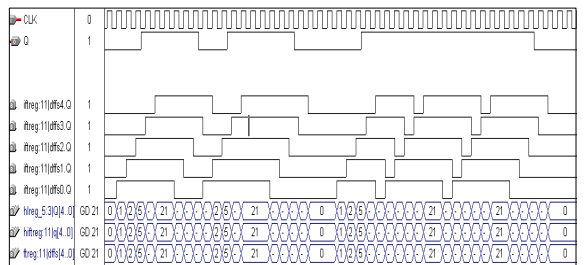


Fig. 8. Shift register simulation.

이와 함께 FIFO의 저장 상태를 나타내 주는 empty flag와 full flag 신호를 생성하여 Micro-controller에서 데이터를 읽어가는 타이밍을 생성해 주게 된다.

바. 병렬데이터 처리

FIFO memory에 임시로 버퍼링된 데이터는 flag 신호에 따라 controller에서 읽어 들여 SDRAM에 저장하게 된다. CF memory는 8bit와 16bit 데이터버스를 모두 지원한다. 데이터 버스에 대한 설정은 set configuration 명령을 통해 가능하며, PCM 데이터 저장장치에서는 고속데이터 전송을 위하여 16bit 데이터버스를 사용하고 있다. FIFO로부터 읽어 들이는 데이터는 8bit 데이터이므로 CF memory에 데이터를 쓰기 위해서는 16bit로 데이터를 변환할 필요가 있다.

또한 CF memory가 NAND flash memory에 기반하고 있기 때문에 sector단위로 메모리 접근이 가능하다. 이

sector의 크기는 identify device 명령으로 CF memory로부터 읽어올 수 있다. 여기에서는 512Byte가 하나의 sector를 구성하고 있다. 따라서 16bit의 데이터는 512 Byte가 될 때까지 SDRAM에 임시로 저장되게 되고, 한 개의 sector크기가 되면 비로소 CF memory에 기록되게 된다.

사. 데이터 저장

데이터는 최소크기 512Byte 크기로 저장되게 되고 데이터 영역으로 지정된 어드레스로부터 순차적으로 증가하면서 기록된다. 전체 2GByte 크기의 메모리 카드에서 header 및 spare 영역을 제외한 약 1.9GByte의 영역이 데이터 저장영역이며 1/2이상 데이터기록과 데이터 저장 용량을 초과하였을 경우 status 신호를 통해 확인할 수 있도록 설계하였다. 데이터의 연속성은 header 정보 중 file size의 개수와 그 크기를 통해서 확인할 수 있다.

Table 3. CF Memory 영역분할

LBA address(hex)	내용	크기(Byte)
0x00000000	Header	512Byte
0x00000001 ~ 0x00000010	Spare	512*14 (7kByte)
0x00000010 ~ 0x003D3F20	DATA 저장영역	약 1.9GByte

아. 상태 Monitoring

PCM 데이터 저장장치에서는 TTL Level의 신호 STS1과 STS2 두 개의 신호로써 상태를 나타낸다. 일반적인 디지털 비트 신호로 나타낼 경우 2<sup>2</sup> 즉 4가지의 상태밖에 나타낼 수 없지만, 여기에 주기성을 가지는 신호를 추가하게 되면 다양한 상태를 표현할 수 있게 된다.

STS1	약3s	10s	1s	1s	1s	1s	1s	1s	1s
STS2									
	Boot/BIT	Standby Mode	Writing Mode						

Fig. 9. Status 신호 파형

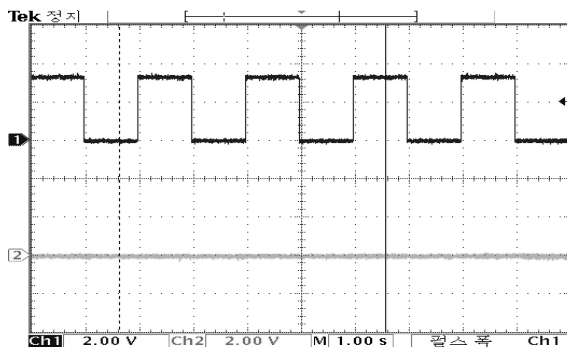


Fig. 10. Status 오실로스코프 측정파형

자. 시험 데이터 복원

PCM 데이터 저장장치에 장착된 CF card로부터 데이터를 PC 또는 노트북으로 전송하여 위한 인터페이스 방식은 Ethernet, USB, IEEE1394 등이 일반적으로 사용되고 일부 해외 모델의 경우 별도장치를 구성하여 다양한 인터페이스를 지원하기도 하나 개발된 장치에서는 소형화를 위하여 USB 방식만을 채택하였고 FIFO 양방향데이터 전송이 가능한 칩셋(FT245RL)을 이용하여 Fig. 11과 같이 적용하였다.

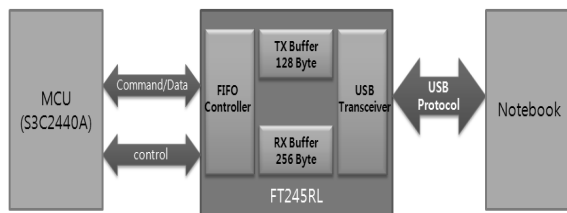


Fig. 11. USB 통신 개념도

데이터 전송 및 복원은 Fig. 12와 같이 USB 케이블을 저장장치와 점검용 컴퓨터를 연결하고 데이터 복원 소프트웨어를 사용한다. 이때 컴퓨터에서 공급되는 USB 전원만으로 저장장치가 동작 가능하므로 별도의 전원장치는 필요 없다.

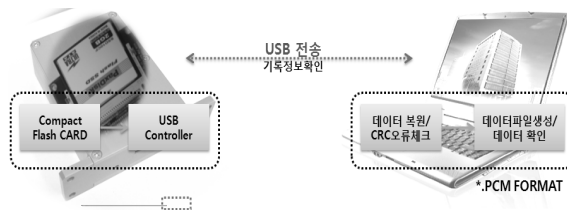


Fig. 12. 데이터 복원 개념

Fig. 13의 복원 소프트웨어는 포트설정, header정보 전송, 데이터전송, 데이터 삭제 등의 기능을 수행하며 전송된 데이터는 데이터 분석 소프트웨어에서 사용하는 파일형태로 자동 변환되어 저장되도록 설계하였다.

저장과파일은 분석 소프트웨어를 통해 세부적인 분석이 가능하며 사용자에게 따라 MATLAB과 같은 범용 분석소프트웨어를 사용하여 데이터를 가공할 수도 있다.

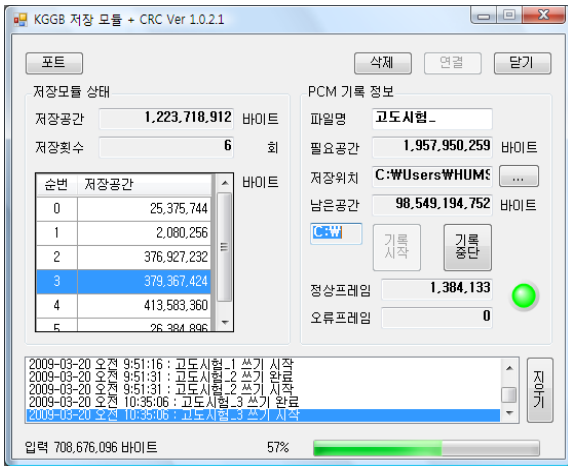


Fig. 13. 데이터 복원 소프트웨어

차. 데이터 오류 Check

USB 통신 시 데이터 전송오류를 방지하기 위하여 16bit CRC(Cyclic Redundancy Check) code를 사용하였다. CRC는 Ethernet이나 토큰링 프로토콜에 주로 사용되며 이 코드는 알고리즘에 따라 데이터에 CRC-16-IBM 표준에 지정된 polynomial을 연산하여 생성되며, 계산 성능을 향상시키기 위해 널리 알려진 lookup table방식을 사용하였다<sup>[4]</sup>.

USB에서 요구하는 송신부와 수신부, 케이블 등의 하드웨어 스펙은 데이터 에러의 원인이 되는 대부분의 잡음을 제거할 수 있으며, 안정적인 데이터 전송 프로토콜은 데이터의 신뢰성을 높이는 장점을 가지고 있다<sup>[5]</sup>.

Table 3. USB DATA packet

Header	Data	CRC	EOP
0xEB90 (2Byte)	DATA (512Byte)	16bit CRC 2Byte	0x2A (2Byte)

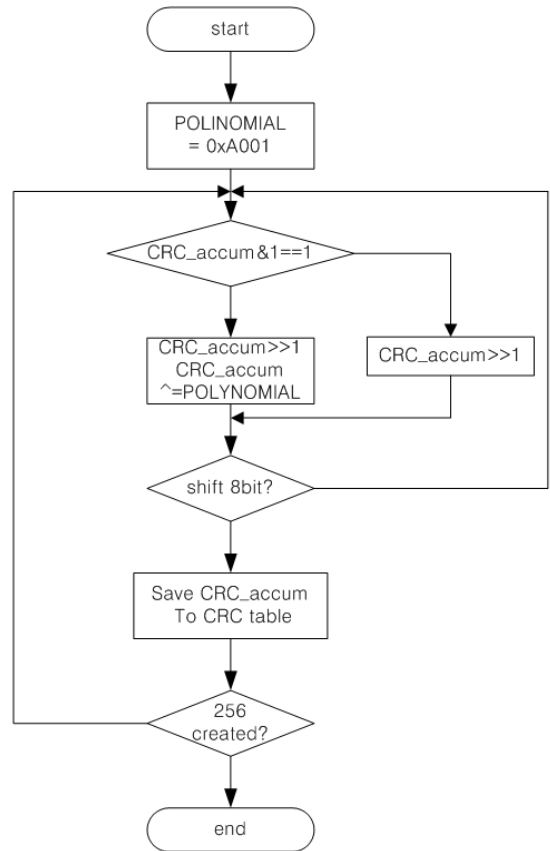


Fig. 14. CRC 생성 flow chart

3. 환경시험

PCM 데이터 저장장치는 개발 초기부터 항공용 규격인 DO-160<sup>[6]</sup>와 군용 규격인 MIL-STD-810F<sup>[7]</sup>을 만족하도록 설계 개발되었다. 다만 시험기간과 비용의 제한이 있어 MIL-STD-810F규격에 따라 저온·고온 저장시험, 저온·고온 운용시험, 고도, 습도, 진동, 충격 시험을 실시하였으며 상세한 시험 내용은 아래 표와 같다.

환경시험 시 실제 원격측정장치와 연동하여 실제 데이터를 저장하는 시험을 수행하였다. 각각의 시험 환경에서 데이터 저장을 수행하고, 시험 후 데이터를 복원하여 저장장치의 상태신호와 뷰어 프로그램의 에러체크 기능을 이용하여 환경시험을 수행한 결과 데이터의 손실이나 깨짐 현상 없이 정상적으로 동작하였다.

Table 4. 환경시험 조건 1/2

저온저장시험	
적용 규격	MIL-STD-810F <sup>[7]</sup> Method 502.4 PROCEDURE I Storage
온 도	상온~-54℃, 온도변화율 ±1℃/분 이상
주 기	1주기(24시간)
점 검	저온저장 전 기능점검, 저온저장 후 기능점검
고온저장시험	
적용 규격	MIL-STD-810F Method 501.4 PROCEDURE I Storage
온 도	상온~+71℃, 온도변화율 ±1℃/분 이상
주 기	3주기(6시간 × 3주기 = 18시간)
점 검	고온저장 전 기능점검, 고온저장 후 기능점검
저온운용시험	
적용 규격	MIL-STD-810F Method 500.4 PROCEDURE II
온 도	-54℃~+15℃, 온도변화율 ±5℃/분 이상
주 기	3주기(100분 × 1주기 + 30(전원 OFF) + 100분 × 1주기 + 30(전원 OFF) + 100분 × 1주기 = 6시간)
점 검	저온운용 전 점검, 저온저장 중 점검, 저온운용 후 점검
고온운용시험	
적용 규격	MIL-STD-810F Method 501.4 PROCEDURE I Storage
온 도	상온~+71℃, 온도변화율 ±1℃/분 이상
주 기	3주기(6시간 × 3주기 = 18시간)
점 검	고온저장 전 기능점검, 고온저장 후 기능점검
고도시험	
적용 규격	MIL-STD-810F Method 500.4 PROCEDURE II
고 도	40,000ft 이하(140torr)
주 기	3주기(100분 × 1주기 + 30(전원 OFF) + 100분 × 1주기 + 30(전원 OFF) + 100분 × 1주기 = 6시간)
점 검	고도시험 전 점검, 고도시험 중 점검, 고도시험 후 점검

Table 5. 환경시험 조건 2/2

습도시험	
적용 규격	MIL-STD-810F Method 520.2
온 도	+20℃~+60℃, 온도변화율 ±1℃/분 이상
습 도	상대 습도 95±4%, 온도변화 구간 85% 이상
주 기	3주기(48시간 × 3주기 = 6일)
점 검	습도시험 전 점검, 습도시험 중 점검, 습도시험 후 점검
진동시험	
적용 규격	MIL-STD-810F Method 514.5
진동 방향	X, Y, Z 축
진동 크기	8.23Grms
진동 시간	축 당 15분
점 검	진동시험 전 점검, 진동시험 중 점검, 진동시험 후 점검
충격시험	
적용 규격	MIL-STD-810F Method 516.5(20G)
충격 방향	±X, ±Y, ±Z 축
충격 회수	축 당 3회
점 검	충격시험 전 점검, 충격시험 후 점검
초기고장배제시험	
적용 규격	MIL-STD-781D <sup>[8]</sup> TASK 401 Environmental Stress Screening
온 도	-20℃~+50℃, 3주기, 고온/저온 각 2시간, 14분 온도변화 시간
진 동	고온/저온 각 10분간 무작위 진동, 20~2000Hz, 0.015G <sup>2</sup> /Hz
점 검	시험 전, 중, 후 동작 점검

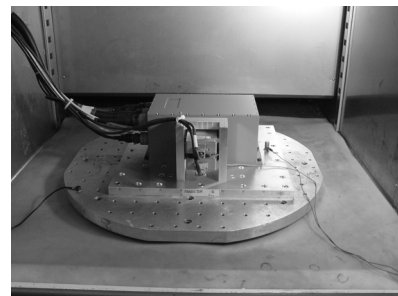


Fig. 15. Telemetry와 PCM data recorder의 연동시험

#### 4. 결론

원격측정장치의 실시간 전송신호를 분기하여 데이터를 저장할 수 있는 저장장치를 개발하였다<sup>[9]</sup>. 입력 형태는 PCM 신호로 한정하였고 필수기능만을 구현하여 소형으로 제작할 수 있었으며 2Gbytes 용량의 CF 메모리를 사용하였다. 데이터의 복원을 위해 표준 규격의 USB cable을 연결하여 전원 공급 및 데이터전송을 하며 복원 소프트웨어를 사용한다.

개발된 저장장치는 2009년 10월 이후 2010년 12월 현재까지 70여회의 비행시험 동안 정상적으로 시험데이터를 획득함으로 장치성능 및 효용성을 확인하였으며, 외국사 제품과의 비교내용은 Table 6과 같다.

Table 6. 외국사 제품에 대한 비교

PCM data recorder	모델명	uQAR	MDR-87
DANAM systems	제작사	L3	TEAC
300g	무게	170g	7.7kg
110*100*30	크기	43*56*36	243*134*330
CF(2G)	저장매체	CF(2G)	CF(64G)
PCM (500kbps)	입력 데이터	Arinc429 (hi/low)	1553, ACMI, PCM, RS-170(Video)
MIL-STD -810F	환경시험 규격	DO-160E	-
USB	복원 인터페이스	USB	USB (메모리 모듈 별도)

외국의 경우 소형화 제품은 특정 입력신호만 획득 가능하도록 제작되어 있고 데이터의 저장 시간이나 메모리 용량을 따로 규정하고 있지 않다<sup>[10]</sup>. 메모리 용량은 장치의 적용 환경에 따라 결정되며 최근 디지털 저장 매체시장이 급격히 발달함에 따라 대용량 메모리들

이 많이 출시되었기 때문에 대용량데이터 저장을 요구할 경우에도 구현이 가능하다.

이와 같은 데이터 기록 장치는 군사용뿐만 아니라 다양한 방면에서 사용되어질 수 있기 때문에 저장장치의 국내 표준화가 중요하고 PCM신호뿐만 아니라 1553B 통신이나 RS232/RS422 등의 범용 시리얼 통신 및 ARINC429/717과 같은 항공규격 통신 등 다양한 interface로의 확장이 필요하다. 데이터 복원을 위한 방법을 다양화하여 사용자의 상황에 맞춰 선택적으로 사용할 수 있도록 향상될 필요가 있으며 사용자의 데이터 분석환경에 맞도록 데이터 저장 포맷을 변경하는 기능도 추후 구현되어야 할 것이다.

#### References

- [1] 이성필, “Self-Slaving을 이용한 원격측정 신호추적 기법 연구”, 한국군사과학기술학회지, Vol. 11, No. 3, pp. 50~57, 2008년
- [2] 이광철, CF(CompactFlash) 메모리카드를 이용한 부트 시스템 구현에 관한 연구, 아주대학교 산업대학원, p. 11, 2003.
- [3] CFA, CF+ and CompactFlash Specification Revision 2.0, p. 88, 2003.
- [4] Henry S. Warren, Jr. Hacker's Delight, Addison-Wesley Professional, Chapter 11, 2004.
- [5] Jan Axelson, USB완전정복, 에이콘, p. 6, 2006.
- [6] RTCA, DO-160 Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment, 1997.
- [7] DOD, MIL-STD-810F Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, pp. 500.4~520.2, 2000.
- [8] DOD, MIL-STD-781D Engineering Development, Qualification, and Production, pp. 401-1, 1986.
- [9] 고광렬, 이환석, 윤정국, “PCM 저장모듈 개발보고서”, 국방과학연구소, ADDR-509-100711, 2010.
- [10] ARINC, Quick Access Recorder for Aids System (QAR) ARINC Characteristic 591, p. 5, 1972.