논문 2009-46TC-2-8

로켓 탑재를 위한 영상 송수신장치 개발

(Development of Video Transmission System for Rocket)

조 동 식*, 나 성 웅*

(Dong-Sik Cho and Sung-Woong Rha)

요 약

본 논문에서는 로켓에 탑재하여 영상 자료와 비행 자료를 송수신할 수 있는 영상 송수신장치에 대하여 기술하였다. 영상 송수신장치는 GPS 위치 데이터와 원격측정 데이터를 영상 신호에 합성하여 그 영상 신호를 MPEG 방식으로 압축하고 오류 정정 코드를 추가한 후 QPSK 방식으로 변조시켜 전송한다. 영상 송신장치는 지상시험과 환경시험, 전자파 간섭 시험 및 2회의 항공기 탑재 시험과 5회의 로켓 탑재 시험을 거쳐 그 성능을 입증하였다.

Abstract

A highly reliable Video Transmission System (VTS) was developed in order to obtain both video and digital data simultaneously in the real time flight test situation of a flying vehicle. The VTS integrates GPS data, digital telemetry data and video signals into a compact digital data package which is compressed and processed by an MPEG-2 Encoder and a modulator respectively. The modulator is composed of a specially devised Forward Error Correction processor and base band QPSK modulator. The designed VTS was verified and proved for its required functioning and performance through separate flight tests using an airplane and Rockets.

Keywords: Video Transmission(영상 전송), Error Correction (오류정정), MPEG, GPS, Telemetry(원격측정)

Ⅰ. 서 론

항공기나 로켓의 초기 개발 기간에는 일반적으로 여러 종류의 센서를 장착하여 비행시험을 수행하며 이들 센서에서 출력되는 데이터는 원격측정장치를 통하여 무선으로 전송된다. 이때 사용되는 측정 센서는 스트레인 게이지, 가속도계, 관성항법장치, 변위 게이지 등이 사용되고 있다. 영상 송수신 장치는 로켓의 분리와 낙하산 전개등 기존의 센서로 측정이 곤란하거나 센서 장착이 불가능한 경우에 로켓의 거동을 영상 데이터를 이용하여 측정하기 위하여 개발되었다. 지금까지 개발된 로켓 탑재용 영상송신장치는 아날로그 영상을 전송하는 방법을 사용하였다. 그 이유는 영상 송신 장치를 탑재하기 위한 공간이 협소하기 때문에 아날로그 영상을 전송하면 그 구성이 간단하여 영상 송신 장치의 부피를 작게 제작할 수 있기 때문이다. 그러나 아날로그 영상을 전송하여 10회 이상의 비행시험을 수행한 결과 송수신 거리가 증가하거나 비행체의 고도가 낮아짐에 따라 반사파등의 영향으로 화질이 저하되는 문제점이 발생하여 이를 해결하고자 소형의 디지털 영상 송수신 장치에 대한 개발이 필요하게 되었다. 디지털 영상은 아날로그 영상 보다 복잡하고 장비의 부피도 증가하지만 송수신 거리에 따른 화질 저하가 거의 발생하지 않는다. 그 이유는 아날로그 전송 방식에서는 송수신 거리가 증가함에 따라 저주파 성분인 휘도 신호는 비교적 수신 상태가 양호한 반면 고주파 성분인 색차 신호는 수신 상태가 저하되기 때문에 수신기에서 색차 신호를 복조하지 못할 경우 흑백 화면을 출력하게 되어 영상의 화질을

* 정회원, 국방과학연구소
(Agency for Defense Development)
** 정회원, 충남대학교 전기정보통신공학부
(Chungnam National University)
접수일자: 2008년7월3일, 수정완료일: 2009년2월17일

저하시키게 된다. 그러나 디지털 영상은 휘도 신호와 색차 신호가 모두 디지털 신호로 전송되기 때문에 영상 신호의 화질이 송수신 거리에 둔감하게 되고 또한 디지털 데이터에 대한 오류정정부호를 추가하기 때문에 잡음이나 반사파에 의한 영향을 최소화할 수 있다.

Ⅱ. 영상 송신 장치 설계

<표 1>에 영상 송신 장치의 기본적인 성능을 기술하였다. 개발된 영상 송신 장치에는 총 8개의 소형 카메라를 연결할 수 있으며 4개의 카메라는 로켓의 전방을 관측하고 나머지 4개의 카메라는 후방을 관측할 수 있도록 설계되었다.

전,후방의 4개 카메라 출력 신호는 QUAD 보드에서 1개의 화면으로 합성된다. 압축 방식은 MPEG 방식으로 29.97 프레임/초 로 전송되는 아날로그 영상 신호를 압축하여 전송되는 데이터량을 감소시킨다. 또한 Data Encoder를 사용하여 비행체에 탑재된 GPS 안테나를 통하여 수신된 위치 정보와 소형 원격측정장치(Telemetry)에서 송신되는 데이터를 수신하여 영상신호에 합성한다.

영상 신호를 디지털 방식으로 전송하기 위해서 사용된 오류 정정 기법은 리드-솔로몬 (Reed-Solomon), 인터리버 (Interleaver), 길쌈(Convolutional) 부호화 기법이다. 리드-솔로몬 부호화와 인터리버 부호화 기법은 바이트 단위의 오류 정정을 수행하는 반면 길쌈 부호화 기법은 비트 단위의 오류 정정을 수행한다. 변조 방식은 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)방식을 사용하였다. 또한 영상 송신 장치의 동작 상태를 파악하고

표 1. 영상 송신장치의 성능
Table 1. Performance of video transmission system.

구 분	기본 성능
영상 획득부	카메라 8개 (전방 4개, 후방 4개)
압축 방식	MPEG (29.97 프레임/초)
오류정정	리드-솔로몬, 인터리버, 길쌈부호
변조 방식	QPSK
GPS 데이터	위도, 경도, 고도, 속도, 위성수
원격측정 항목	스트레인 게이지 : 6채널, 아날로그 신호 : 2채널, 압력센서 : 2채널, 가속도계 : 5채널

각 보드별 고장이 발생하는 경우 수리 시간을 단축시키기 위하여 영상 송신 장치의 자체 점검 기능을 추가하였다. GPS 출력 신호는 위치 데이터, 속도 데이터와 추적하고 있는 위성수이며 RS-232 직렬 통신 방식으로 전송되며 각 데이터의 갱신 속도는 10Hz이다. 소형 원격측정장치에서 측정할 수 있는 센서 종류는 스트레인 게이지, 아날로그 신호, 압력 센서, 가속도계 출력 신호이며 측정 가능한 센서 항목 및 개수는 <표 1>에 정리하였다. 측정된 센서 데이터의 샘플링 주기는 최소 80Hz이며 PCM 신호로 변경되어 직렬 통신 방식으로 전송된다. 프레임 카운터 신호는 송수신 상태가 불량한 경우 프레임을 손실 여부를 확인하기 위하여 화면에 삽입하였다. 이는 비행 시험후 영상 분석시 각 프레임에 대한 신뢰성을 증가시키는데 유용하다. 소형 원격측정장치의 기능은 비행체에 설치된 센서 데이터를 영상 신호와 합성하여 전송한다. 재생시 데이터 출력 기능은 비행 시험에서 저장된 비디오 테이프를 재생할 때 영상과 같이 저장된 데이터도 동시에 출력되어 서로 동기가 일치하도록 하였다. 영상 송신 장치의 구성은 <그림 1>과 같다. QUAD 보드는 4개의 카메라로부터 영상 신호를 입력받아 이를 1개의 화면으로 구성하는 역할을 수행한다. QUAD를 사용하는 이유는 4개의 카메라에서 출력되는 영상 신호를 무선으로 전송하는 경우 일반적으로 전송 주파수의 대역이 증가되고 내부 구성이 복잡해지기 때문이다. 데이터 엔코더는 <그림 1>에서 보는 바와 같이 영상 신호와 데이터를 합성하는 기능을 수행한다.

영상 신호와 데이터의 합성은 2가지 방법이 있으며 첫 번째는 영상 신호나 동기 신호 등에 데이터를 숨기는 방법이 있고 두 번째 방법은 영상 신호의 일부분에 데이터를 삽입하는 방법이 있다. 첫 번째 방법은 화면에 영향을 주지 않지만 송수신 대역이 제한될 경우 합성할 수 있는 데이터 량에 제한이 있으며 두 번째 방법

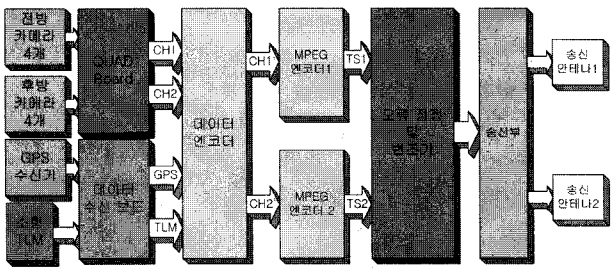

그림 1. 영상 송신 장치 구성
Fig. 1. Configuration of video transmission system.

은 화면에 영향을 주지만 데이터 량에 제한을 주지 않는다. 데이터 엔코더는 525 주사선으로 구성된 영상 신호중 7번째 주사선과 15번째 주사선 사이에 데이터를 삽입하여 합성하게 된다. 따라서 수신된 화면의 상단부에 525 주사선중 8개 주사선 크기의 작은 밴드 모양이 보이게 되지만 전체 화질에 영향을 주지는 않는다. 데이터 엔코더의 출력 신호는 전방 영상과 GPS 데이터의 합성 영상 신호, 후방 영상과 원격계측 데이터의 합성 영상 신호이다. MPEG 엔코더는 아날로그 영상을 디지털 신호로 변환하여 압축하는 기능을 수행하며 압축률은 영상 신호의 복잡도와 출력 비트수 제어에 따라 다르지만 화면의 크기가 640×480이고 4:2:0 샘플링을 사용하며 출력되는 비트량이 5Mbps 일 때 약 1/44 정도이다. MPEG 엔코더에서 수행하는 압축 기법은 이산 코사인 변환, 양자화, 가변 길이 부호화, 움직임 예측 및 보상 이다. <그림 2>의 왼쪽 2개의 보드는 영상 압축을 위해 사용된 보드이며 Fujitsu 사에서 제작한 MPEG Encoder 소자를 사용하여 제작하였다. 이 보드는 카메라에서 출력되는 아날로그 영상 신호을 입력받아서 압축을 수행한 후 MPEG에서 규정한 전송 스트림인 Transport Stream을 출력한다.[1~2]

<그림 2>의 오른쪽 보드는 모듈레이터 보드로서 그 내부 구성을 <그림 3>에 표시하였다. 모듈레이터는 오류 정정 및 QPSK 변조를 수행하는 모듈로서 Xilinx 사의 FPGA를 사용한다. 이 보드는 MPEG 엔코더에서 출력되는 Transport Stream을 수신하여 오류정정 및 변조를 수행한다.

모듈레이터 내부에서 수행하는 기능은 난수화, 리드-솔로몬 부호화, 인터리빙, 길쌈 부호화, 기저 대역 QPSK 변조로 구성된다.[3~4] 영상 신호처럼 인접하는 화소, 주사선, 프레임간에 상관 관계가 높은 신호에서는 같은 데이터가 연속될 확률이 높기 때문에 전송 주파수 대역내 스펙트럼의 에너지가 한쪽으로 집중된다. 특정 주파수에 에너지가 집중되면 전송 데이터에 장해가 발생할 우려가 있으며 0 또는 1이 연속되는 경우가 발생하기 쉽다. 따라서 0 또는 1이 연속되는 경우에도 클럭 재생이 쉽고 에너지가 특정 주파수 영역에 집중되지 않도록 하기 위하여 디지털 데이터의 에너지를 전체 대역에 일정한 부호로 전송할 필요가 있다. 이 기능을 난수(PRBS, Pseudo Random Binary Sequence) 발생기가 수행하며 사용되는 다항식은 $1+x^{14}+x^{15}$이다. 난수화된 데이터에 대하여 적용되는 첫 번째 오류 정정 기법은 리드-솔로몬 부호화이다. 리드-솔로몬 부호화는 188 바이트의 데이터에 16 바이트의 검사 바이트를 추가하여 204 바이트를 만들어 전송하면 수신부에서 188 바이트 중에서 오류인 바이트를 정정하는 방식이다. 리드-솔로몬(Reed-Solomon) 부호화에 의한 오류정정은 최대 8바이트이며 그 이상의 오류가 발생하면 수신부에서 복구가 불가능하며 전체 스트림은 폐기된다. 리드-솔로몬 부호화를 위한 생성 다항식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} g(x) = {} & x^{16}+\alpha^{120}x^{15}+\alpha^{104}x^{14}+\alpha^{107}x^{13} \\ & +\alpha^{109}x^{12}+\alpha^{102}x^{11}+\alpha^{161}x^{10} \\ & +\alpha^{76}x^{9}+\alpha^{3}x^{8}+\alpha^{91}x^{7}+\alpha^{191}x^{6} \\ & +\alpha^{147}x^{5}+\alpha^{169}x^{4}+\alpha^{182}x^{3} \\ & +\alpha^{192}x^{2}+\alpha^{225}x^{1}+\alpha^{120} \end{aligned} \quad (1)$$

리드-솔로몬 부호화는 최대 8 바이트까지 오류정정이 가능하지만 8 바이트 이상의 오류에 대해서는 정정이 불가능하기 때문에 디지털 데이터의 전송에 큰 약점으로 작용하게 된다. 본 연구에서는 인터리버(Interleaver) 방식을 사용하여 리드-솔로몬 부호화에

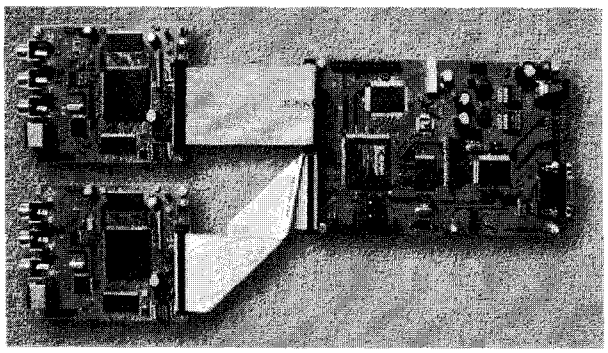

그림 2. MPEG 엔코더 및 모듈레이터
Fig. 2. MPEG encoder and modulator.

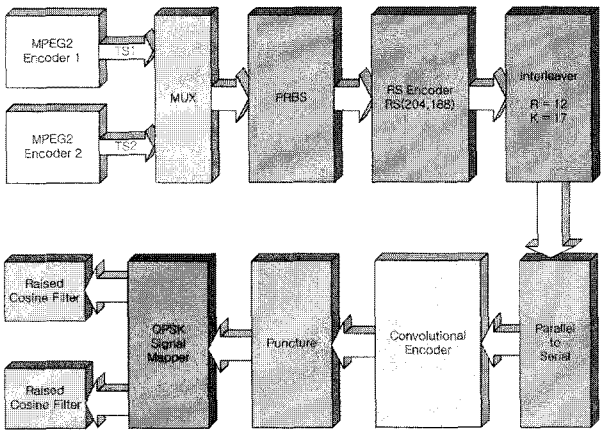

그림 3. 모듈레이터 구성
Fig. 3. Configuration of modulator.

의한 오류정정 능력을 초과하는 8바이트 이상의 긴 주기 잡음(Burst Noise)이 어떤 부분에 발생하더라도 전송 데이터를 보호하도록 하였다. 즉 데이터 스트림의 순서를 바꾸어 전송하여 전송 신호를 잡음의 간섭에 둔감하도록 데이터를 분산시켰다. 사용된 인터리버는 크기 I = 12, J = 17인 컨벌루셔널 인터리버를 사용하였다. 리드-솔로몬 부호화와 함께 사용되는 길쌈(Convolutional) 부호화는 시간의 영향을 고려하는 부호화로서 시간에 따른 신호의 경과를 추적하여 오류 정보를 제거하게 되며 이는 마치 눈밭에 찍힌 발자국을 따라 가는 것과 유사하다. 길쌈 부호기의 부호화율은 1/2이고 구속장(Constraint Length)은 7로 설정하였다. 이러한 전송 부호가 무선 전송되면 수신측에서 이를 다시 복호하여야 하는데 리드-솔로몬 부호의 복호에는 비터비 복호 방식이 사용된다. 유사한 오류 정정 기법으로 터보 코딩 방식이 있으나 이 방식은 내부 인터리버의 크기에 따라 그 성능이 좌우되기 때문에 인터리버의 크기를 증가시키면 영상의 전송부와 수신부 사이의 시간 지연이 증가하게 된다. 이는 실시간 영상 전송 관점에서 바람직하지 않는 부분이므로 시간 지연이 크지 않는 길쌈 부호화를 사용하였다. 길쌈 부호화기는 2개의 스트림을 출력하며 이 스트림이 QPSK의 I와 Q의 입력이 되며 I/Q = {0,0}은 벡터 {1,1}로 매핑되고, I/Q = {0,1}은 벡터 {1,-1}, I/Q = {1,0}은 벡터 {-1,1}, I/Q = {1,1}은 벡터 {-1,-1}로 매핑된다. 매핑된 신호는 Raised Cosine FIR 필터를 통과하여 불필요한 대역을제거한 후 무선 전송된다.

III. 영상 수신 장치 설계

영상 수신 장치의 구성은 <그림 4>와 같다. 수신 안테나의 특성은 최소 20km 이상의 송수신 거리를 확보하기 위하여 지향성 안테나를 사용하여야 한다. 지향성 안테나는 비행체에서 전송되는 전파의 세기 또는 위상을 측정하여 추적하는 방식이 있고 GPS를 이용하여 추적하는 방식이 있다. 본 연구에서는 비행체에서 전송되는 전파를 자동 추적하는 추적 안테나를 제작하여 사용하였다. 추적 안테나는 위상비교 모노펄스 방식을 사용하여 전파의 전송 방향을 검출한 후, 구동 모터를 제어하여 안테나 방향이 비행체를 지향하도록 하는 기능을 수행한다. 또한 추적 안테나는 이동 및 설치가 간편하도록 소형으로 제작되었다. 수신부에서는 대역통과 필터와 증폭회로, 기저 대역으로 주파수를 감소시키는 Down Converter로 구성된다.

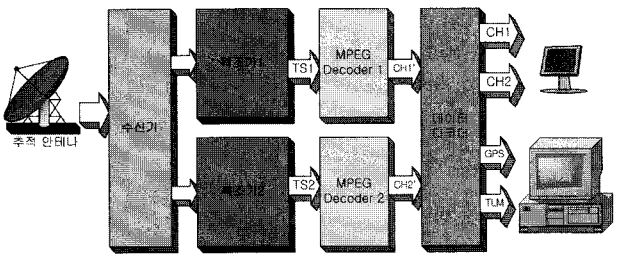

그림 4. 영상 수신 장치 구성
Fig. 4. Configuration of video receiver system.

복조기는 영상 송신 장치의 변조 보드에서 수행한 변조된 신호를 복호하는 과정을 수행하며 Xilinx 사의 FPGA를 사용하였다. 즉 QPSK 복조, 비터비 복호, 인터리빙 복호, 리드-솔로몬 복호등을 수행하며 영상 송신 장치에서 추가된 오류 정정 부호를 검사하여 오류가 발생하면 이를 수정하는 기능을 수행한다. MPEG Decoder는 영상 송신 장치에서 압축한 영상신호를 복호하는 과정을 수행한다. 복호된 영상신호에서 GPS와 Telemetry 데이터를 추출하기 위해서 데이터 디코더를 사용하며 이것의 출력 신호는 영상신호와 RS-232신호이다. 출력된 영상신호는 모니터로 출력되고 GPS와 Telemetry 신호는 컴퓨터에 저장된다. 영상 수신 장치는 총 3조로 구성되며 비행 시험시 서로 다른 장소에 설치하여 영상 신호를 수신하도록 하였다.

IV. 지상 시험 및 비행 시험 결과

영상 송신 장치는 기존의 센서로 측정할 수 없는 로켓의 1단 부스터 분리 거동과 낙하산 전개 과정을 영상자료를 이용하여 측정하기 위하여 개발되었다. <그림

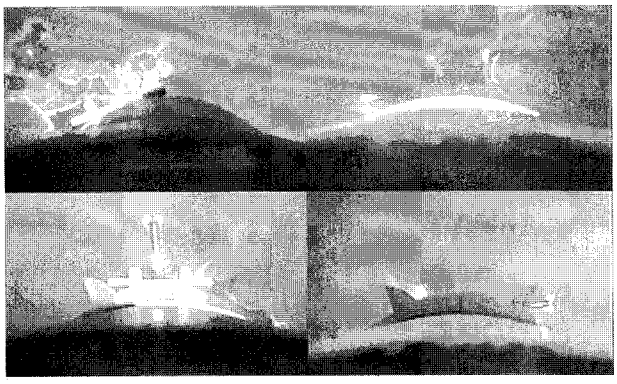

그림 5. 1단 부스터 분리 장면
Fig. 5. Picture of 1st booster cutoff.

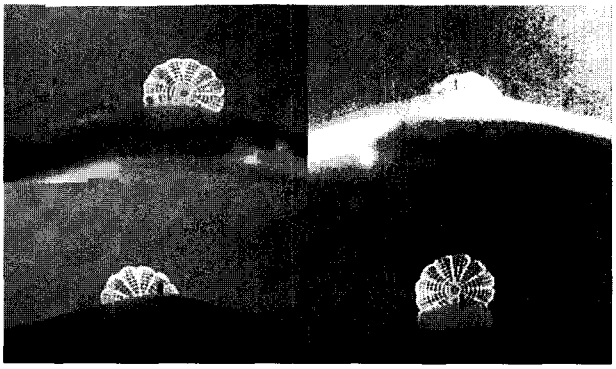

그림 6. 낙하산 전개 장면
Fig. 6. Picture of parachute release.

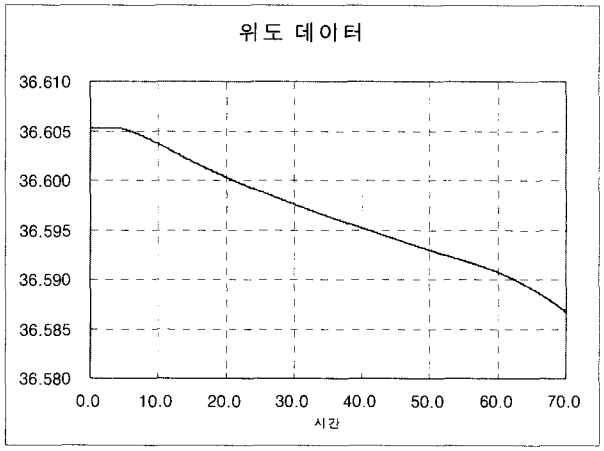

그림 7. GPS 위도 데이터
Fig. 7. GPS latitude data.

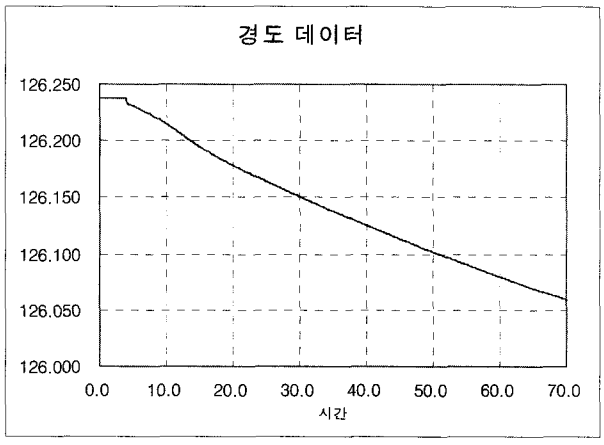

그림 8. GPS 경도 데이터
Fig. 8. GPS longitude data.

5>는 후방을 향하는 4개 카메라의 사진이며 비행 시험 중 1단 부스터 분리 과정을 보여주고 있으며 <그림 6>은 1단 부스터 분리 후 낙하산 전개 과정을 보여주고 있다. <그림 7>과 <그림 8>은 비행중의 GPS 데이터이며 <그림 9>는 원격측정장치의 출력 데이터 중에서

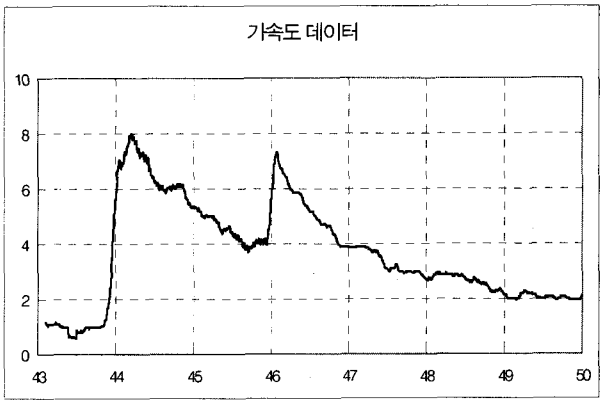

그림 9. 원격측정장치의 가속도 데이터
Fig. 9. Accelerometer data from telemetry system.

표 2. MIL-STD-810F 환경시험 항목
Table 2. MIL-STD-810F environmental test item.

시험 항목	세부 시험 내용
고온	50℃, 12시간
저온	-20℃, 12시간
온도충격	-45℃, 30분
진동	7Hz~2000Hz, 사인파 진동, 2g, 3축
충격	15msec, 삼각파, 20g, 3축

표 3. MIL-STD-461E 전자파 간섭 시험 내용
Table 3. MIL-STD-461E EMI test item.

시험 항목	세부 시험 내용
CE102	전도방사, 10kHz~10MHz
RE102	복사방사, 10kHz~18GHz
CS101	전도내성, 120Hz~150kHz
RS101	방사내성, 30Hz~100kHz
RS103	방사내성, 2MHz~18GHz

가속도 데이터에 대하여 표시한 것이다. 이들 그림에서 보는 바와 같이 음속의 1.5배로 비행하는 로켓에 대하여 영상 및 데이터가 정확히 송수신되고 있음을 알 수 있다.

또한 <표 2>와 <표 3>과 같이 환경시험과 전자파 간섭시험을 수행하였으며 제시한 요구조건을 만족하였다.[5~6]

V. 결 론

영상 송신 장치는 영상 압축과 오류 정정 기법, QPSK 전송 방식을 이용하여 음속의 1.5배 이상으로 비행하는 로켓에 대하여 기존의 센서로 측정할 수 없는

로켓의 1단 부스터 분리 거동과 낙하산 전개 과정을 지상으로 전송하기 위하여 개발되었다. 개발된 영상 송신 장치는 2회의 항공기 탑재 시험과 5회의 로켓 탑재 시험을 통하여 그 성능을 입증하였다. 영상 송신 장치는 소형 원격측정장치를 추가할 수 있으므로 소량의 센서 데이터를 원격 측정할 필요가 있는 경우 추가의 원격측정장치를 장착하지 않아도 영상 송신 장치를 사용하여 센서 데이터를 측정할 수 있으므로 비행시험에 소요되는 비용을 절감할 수 있다. 또한 로켓이나 무인 항공기, 유인 항공기에서 발생하는 현상을 시각적으로 해석하는데 사용할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] ISO 13818-1 Information Technology - Generic Coding of Moving Pictures and associated audio information : Systems

[2] ISO 13818-2 Information Technology - Generic Coding of Moving Pictures and associated audio information : Video

[3] ETSI EN 300 42 421 V1.1.2 Digital Video Broadcasting (DVB) : Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite service(DVB-S), 08 1997

[4] Todd K. Moon, "Error Correction Coding ", John Wiley & Sons, 2005

[5] MIL-STD-810F, "Environmental engineering considerations and laboratory tests"

[6] MIL-STD-461E, "Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment"

저 자 소 개

조 동 식(정회원)

1990년 단국대학교 전기공학과 학사 졸업.

1992년 단국대학교 전기공학과 석사 졸업.

1993년~국방과학연구소 선임연구원.

<주관심분야 : 통신, 신호처리, 영상 처리>

나 성 웅(정회원)

1976년 서울대학교 전기공학과 학사 졸업.

1978년 한국과학기술원 전기및 전자공학과 석사 졸업.

1992년 한국과학기술원 전기및 전자공학과 박사 졸업.

1980년~현재 충남대학교 전기정보통신공학부 교수

<주관심분야 : 통신, 디지털 신호처리, 영상처리>