

과학 로켓 탑재용 PCM 부호기 설계

(A Design of Onboard PCM Encoder for Sounding Rocket)

李 洙 辰 · 李 在 得 · 趙 光 來

(Soo Jin Lee · Jae Deuk Lee · Gwang Rae Cho)

요 약

로켓이 비행중 취득하는 각종 정보를 PCM/FM 방식으로 지상국으로 전송하기 위해서는 센서의 출력값을 원하는 범위의 값으로 맞추어주는 신호조정기, Analog 신호를 Digital Code로 변환 시켜주는 PCM 부호기 및 PCM 부호기 출력을 변조시키는 송신기 등이 필요하다.

본 논문에서는 과학관측 로켓에 탑재할 PCM 부호기를 설계 제작하였고 실제 비행 시험을 통하여 만족할 만한 결과를 얻었다.

I. 개 요

1945년 미국 JPL의 Wac-Corporal 로켓이 대기층 탐사를 목적으로 발사된 이후[1] 선진국은 물론 인도, 브라질등 여러개발 도상국에서도 과학로켓을 이용한 대기층 탐사 및 microgravity 실험을 수행하고 있다. 국내에서는 1987년 천문우주(연)에서 과학로켓 개발을 위한 탐색 연구를 시작하여 1990년 1월 1일 부로 항공우주(연)으로 업무가 이관되어 공력특성해석, 기체구조 해석 및 제작, 전자 탑재부의 설계·제작등의 과정을 거쳐 1993년 6월 및 9월에 발사 시험을 수행하였다.

일반적으로 탑재용 원격측정시스템(On-board Telemetry System)의 설계·제작은 원하는 종합성능 즉, 사용주파수, 통신방식, 데이터 취득 포맷 및 Timing등을 고려하여 적합한 시스템을 구성한다.[2]

원격측정 시스템에서 사용하는 통신방식은 FM

(Frequency Modulation), PDM (Pulse-Duration Modulation), PCM (Pulse-Code Modulation), PAM (Pulse-Amplitude Modulation)등이 사용되어지고 있으나 본 연구에서는 다른 통신방식에 비해 RF링크시 통신 효율이 좋고, 잡음에 강하며, 아날로그 신호와 디지털 신호를 동시에 취급할 수 있고, 채널수 및 Sampling Rate의 조절이 용이한 PCM/FM방식을 채택하였다.[2, 3, 4]

탐사용 로켓(Sounding Rocket)에 탑재되는 PCM/FM방식 원격측정시스템의 구성은 로켓이 비행중 가지게되는 제반 특성 즉, 비행중인 로켓 몸체의 온도분포, 응력분포, 가속도, 압력, 진동, 로켓의 자세, Ranging신호 등에 관한 정보와 고공탐사에서 획득되는 오존층 분포, 이온층 밀도, 우주에서 오는 X-선 등의 관측 데이터[2]를 원하는 신호범위로 값을 조절해주는 신호조정기(Signal Conditioning Amplifier), 입력되는 아날로그 신호를 이에 대응하는 디지털 값으로 바꾼후 결정된 포맷과

* 한국항공우주연구소
* Korea Aerospace Research Institute

일치하도록 변환시켜주는 PCM부호기(PCM Encoder), PCM 부호기의 출력을 원하는 통신주파수로 변조시켜주는 송신기(XMTR), 송신기 출력을 다수의 안테나에 같은 양으로 분할 공급해주는 Power Divider 및 안테나 등으로 이루어진다.

이와 같은 과학로켓 탐재용 서브시스템들은 순수한 과학탐구 용도와 군사적 용도로 사용될 수 있는 이중적 특성을 갖는 기술이기 때문에 선진 우주 개발국에서는 MTCR(Missile Technology Control Regime)등을 통하여 관련기술의 이전을 극력 기피함과 동시에 후발국의 자체기술 개발을 지연 또는 방해하는 경향이 점점 심화되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 Korea Sounding Rocket Program (KSRP)의 탐재장비 국내개발의 일환으로 탐재용 원격측정시스템에서 널리 채용되고 있는 PCM/FM를 통신방식의 핵심구성요소인 PCM 부호기를 설계·제작하여 지상환경 시험을 거친후 실제 비행시험을 통하여 그 성능을 입증하였다.

II. 부호기 설계

탐재용 부호기는 탐재될 시스템특성에 따라 부피 및 무게에 대한 제한조건을 갖게되며 온도, 진동, 충격등의 극한 환경에서 동작되어야 하기 때문에 이와 같은 제약조건들을 고려하여 탐재용 부호기를 설계하여야 한다.

PCM 부호기를 설계하기 위해서는 입력신호의 Sampling Rate (Major Frame Rate), 사용할 센서수에 따른 채널할당 및 PCM 포맷이 결정되어야 한다.

PCM 포맷은 로켓의 임무에 따라 결정되어진다. 즉, 원격측정 데이터가 차지하는 비중이 매우 큰 경우는 매 Minor Frame마다 Frame Sync.와 Sub-Frame Identification을 포함시켜 각 채널이 갖는 원격측정값의 인식을 용이하도록 하고 원격측정 데이터가 로켓비행궤도나 Impact Zone에 비하여 상대적으로 비중이 낮은 경우는 전체 Major Frame에 1~2개의 Frame Sync. 만을 포함시키기도 한다.

본 논문에서는 원격측정데이터가 갖는 비중이 매우 큰 경우이므로 [그림 1]과 같은 PCM 포맷을 갖도록 부호기를 설계하였다.

40개의 아날로그 입력을 [그림 1]과 일치하도록 배치시키기 위해서는 2단계의 Multiplexing과정을 거치는데 첫째단은 Major Frame Counter에 의해 Timming이 결정되는 5개의 8 to 1 Mux로 구성하고 두번째단은 Word Counter에 의해 Timming이 결정되는 1개의 8 to 1 Mux로 구성하였다.

두번째단의 출력은 A/D 변환기에 의해 10Bit의 디지털 값으로 변환되고 변환된 값은 10Bit Shift Register에 의해 Serial Bit Stream으로 변환된 후 8 to 1 디지털 Mux에서 Minor Frame과 일치되도록 Word를 배열시킨다. 이때 A/D변환기의 변환시간 및 Shift Register의 Load 및 Shift 시간에 의해 1/2Bit 지연이 생기게 되는데 이를 보상하기 위해 디지털 8 to 1 Mux의 선택시간을 1/2Bit 지연시켜야 한다.

디지털 Mux의 출력은 NRZ-L Code이므로 Bit Clock과의 조합에 의해 BI Φ L Code로 변환시킨후 송신기에 입력시킨다.

2.1 Sampling Rate

로켓에 탑재되는 응력, 압력, 온도센서들의 신호파수는 25Hz 정도이고, 전송된 신호로부터 원신호를 충실히 복원하기 위해서는 Sampling Rate를 신호 주파수의 8~10배수로 사용하는데 본 연구에서는 보다더 충실히 원신호를 복원할 수 있도록 Sampling Rate를 신호주파수의 10배인 250 Major Frame/sec로 정하였다.

2.2 PCM Format 결정

앞서 언급한 바와 같이 40개의 아날로그 채널을 가지면서 매 Minor Frame마다 FS(Frame Sync.) 및 SFID (Subframe Identification)를 포함하는 PCM 부호기를 설계할때 전체 채널수는 64채널이고 데이터를 갖는 채널은 40개의 아날로그 채널과 1개

FS	SFID	WD0	WD1	WD2	WD3	WD4	WD5	WD6	WD7
1101110000	0...000	A1	A9	A17	A25	A33	D1		
-	001	A2	A10	A18	A26	A34	D1		
-	010	A3	A11	A19	A27	A35	D1		
-	011	A4	A12	A20	A28	A36	D1		
-	100	A5	A13	A21	A29	A37	D1		
-	101	A6	A14	A22	A30	A38	D1		
-	110	A7	A15	A23	A31	A39	D1		
-	111	A8	A16	A24	A32	A40	D1		

[그림 1] PCM 부호기 포맷

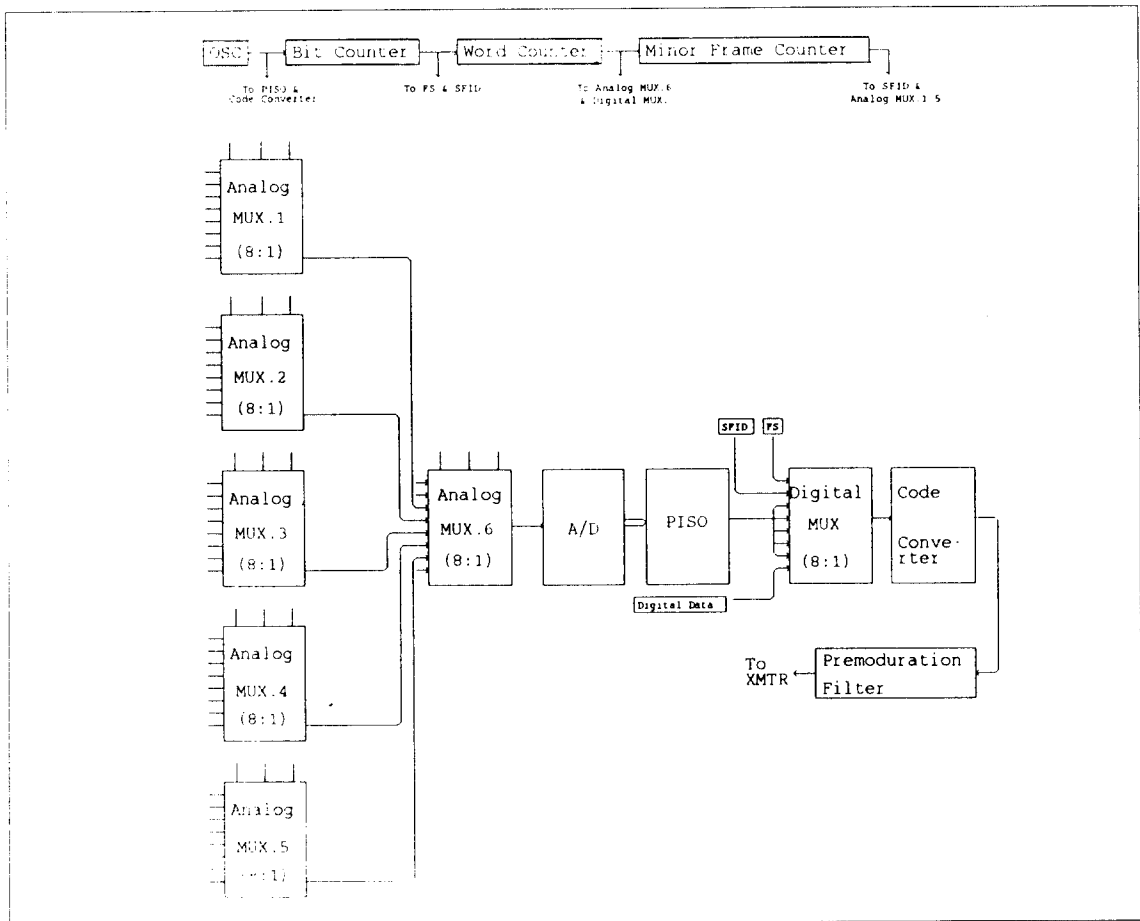
[Fig. 1] Format of PCM Encoder

의 디지털 채널로 구성되며, Major Frame은 8개의 Minor Frame으로 구성되고, Minor Frame은 8개의 Word로 구성되고, 각 Word는 10Bit로 구성될때 Bit Rate는

$$BR = \text{Sampling Rate} \times \frac{\text{Bit}}{\text{Word}} \times \frac{\text{Word}}{\text{MinorFrame}} \times \frac{\text{MinorFrame}}{\text{MajorFrame}}$$

으로 주어진다. 그러므로 위에서 정의한 각 값을 대입하면

$$BR = 250 \times 10 \times 8 \times 8 = 160\text{Kbps이다.}$$



[그림 2] 부호기의 구성도

[Fig. 2] Block Diagram of Encoder

그리고 FS는 프레임 동기 신호로서 IRIG Standard 에서 추천하는 10Bit Backer Code (1101110000)를 채용하였다.[5]

2.3 회로설계

[그림 1]과 같은 포맷을 만족하는 부호기를 실현 하기 위하여 앞서 언급한 무게, 부피, 진동, 충격, 온도등을 고려하여 부호기를 설계한 결과는 [그림 2] 및 [그림 4]와 같다.

2.3.1 Counter 부

앞에서 계산된 Bit Rat 160 Kbps에 대응되는 160KHz를 Bit CLK의 기본 주파수로 하고 10Bit가 하나의 Word가 되도록 하기위한 10진 Bit Counter, 입력측 두번째단 아날로그 Mux와 디지털 Mux의 채널 선택신호를 만들기 위한 8진 Word Counter, 입력측 첫번째단 아날로그 Mux의 채널선택신호와 SFID를 만들기 위한 8진 Frame Counter 등의 기능을 갖도록 Counter 부를 설계하였다.

2.3.2 Analog Multiplexer 부

입력 채널들을 순차적으로 선택하여 A/D변환기에 입력시키기 위해서 Frame Counter 출력과 Word Counter 출력을 이용하여 매 Word마다 1채널씩 변환하도록 한다.

2.3.3 A/D Converter 및 PISO부

A/D Converter는 매 Word 마다 한번씩만 Con-

version하고, 새로운 Word가 시작될때 PISO(Parallel In Serial Out)는 10Bit를 Serial Bit Stream으로 출력하도록 한다. 이와 같은 기능을 갖도록 하기 위해 A/D Converter는 Bit Counter가 10번째 Bit를 Count할때 Conversion을 시작하고 Bit Counter Reset과 동기되어 PISO에 A/D 변환된 10Bit Parallel 데이터가 입력되도록 한다.

이때 A/D Converter의 Start Conversion과 PISO의 Parallel Load와의 Timing

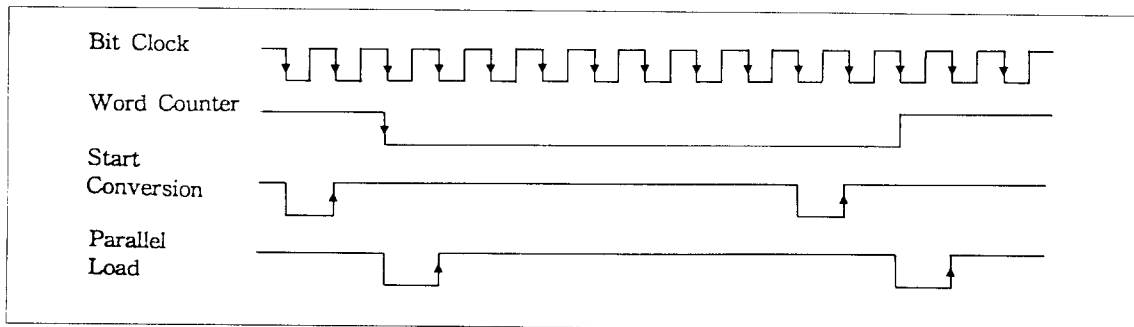
2.3.4 Digital Mux 및 Code Converter

8 to 1 디지털 Mux의 1번째 데이터 핀에 FS, 2번째 데이터 핀에 SFID, 3~7번째 데이터 핀은 공통으로 묶어서 디지털로 변환된 아날로그 데이터, 그리고 8번째 핀에 디지털 데이터를 연결시키면 PCM 포맷상의 Minor Frame을 구성할 수 있다.

PISO는 Bit CLK의 Falling Edge에서 Shift 시키는 특성을 갖기 때문에 PCM Encoder의 출력은 NRZ-1 형태의 Code가 된다.[2]

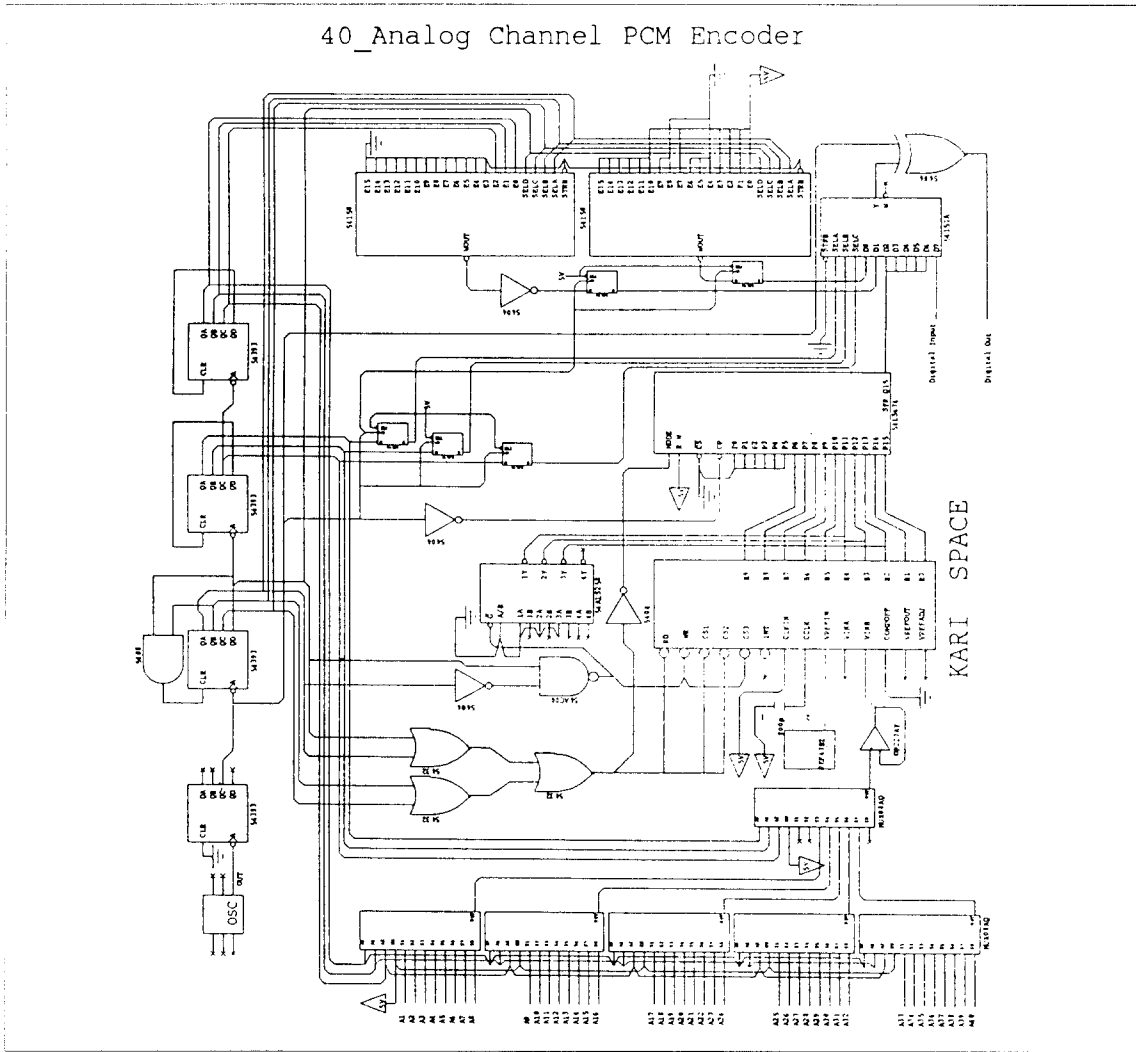
그런데 본 연구에서는 Ranging 신호와 같은 다른 목적의 신호를 직접적으로 Encoder 출력 신호화 혼합하여 전송하기 위해 NRZ-L Code를 BIΦ-L 형태의 Code로 변환해 주는 Code Converter를 설계하였다.

BIΦ-L Code는 NRZ-L Code와 Inverted Bit CLK을 EX-OR 시킴으로써 얻을 수 있다.



[그림 3] Timing 선도

[Fig. 3] Timing Diagram



[그림 4] 설계된 PCM 부호기 회로도

[Fig. 4] Schematic of PCM Encoder Circuit Designed

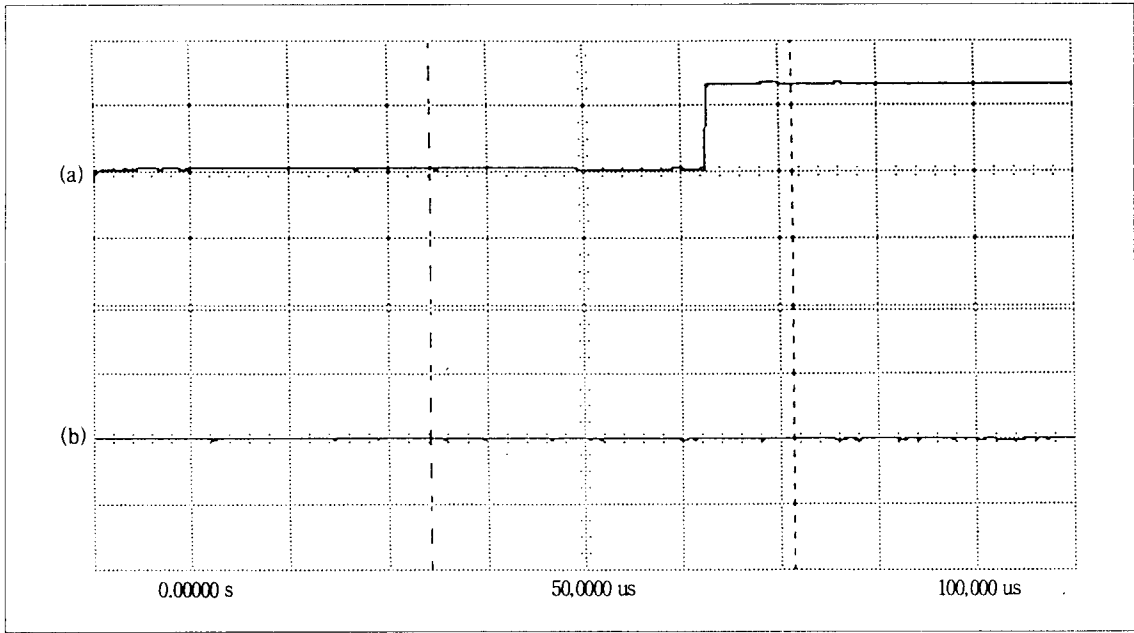
III. 실험 및 결과

설계된 Encoder의 실험은 PMI의 Mux08AQ, ADC910AT, REF43BZ와 TI의 SN54 디지털 Mux, Counter, Shift Register 등이 사용되어 P-CAD로 제작된 18cm x 12cm 크기를 갖는 2장의 PCB 기판상에 이루어졌다. 사용된 소자의 특성상 제작된 Encoder의 입력범위는 0~5V값을 갖는다. 그리고 20Hz~2KHz 범위에서 10.4Gpeak(5.19Grms) 크기

의 진동시험을 8분간 2회에 걸쳐 시험하였고 10.351G/7.953msec, 27.542G/7.770msec, 39.7G/8.2msec의 충격시험을 시행하였다. 한편, 온도에 관한 시험은 Encoder가 탑재되는 과학로켓 탐재부 전체가 열차폐가 되기 때문에 생략하였다.

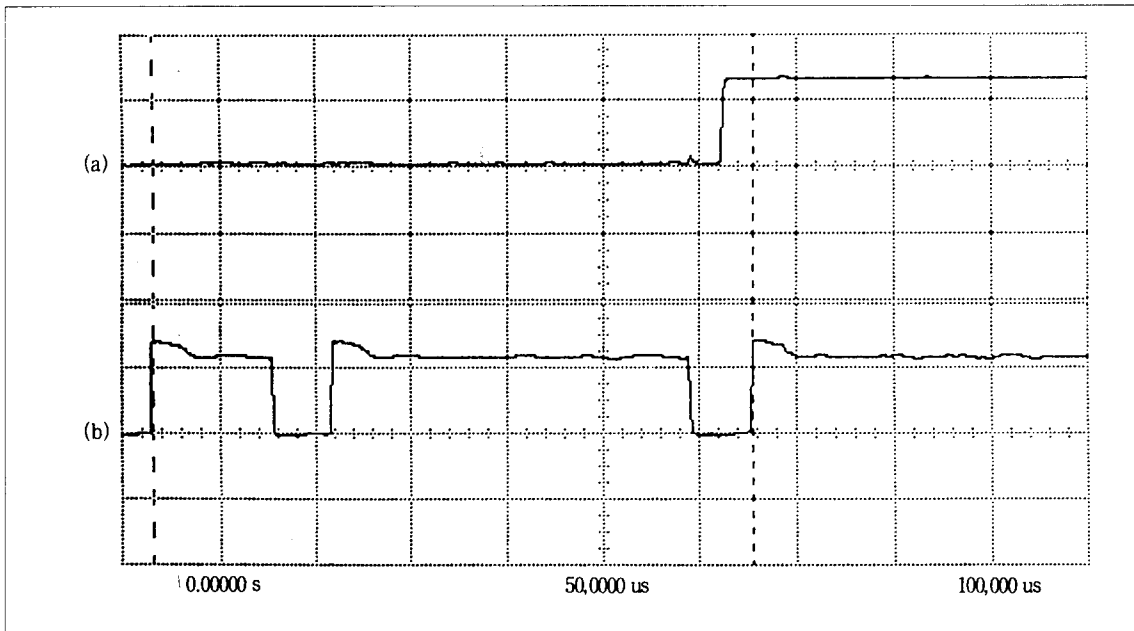
이상과 같은 Encoder의 제작 및 환경시험과정을 거쳐 Encoder의 특성시험을 수행하여 만족한 결과를 얻었으며 그 내용은 다음과 같다.

[그림 5, 6, 7]의 (a)는 Word Counter의 출력이며



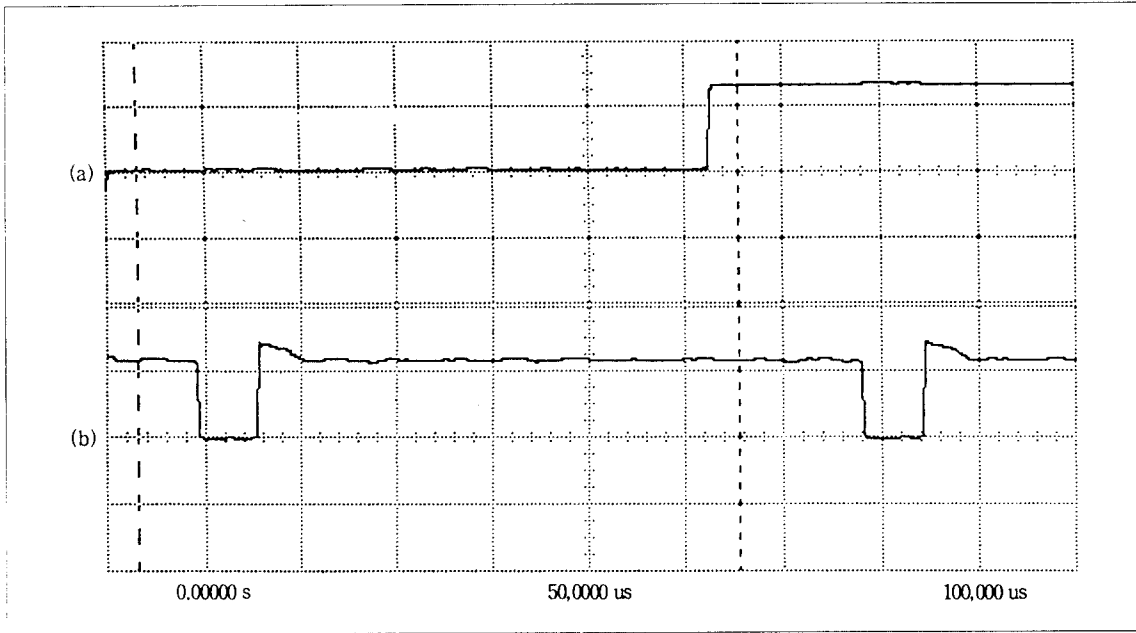
[그림 5] OV 입력

[Fig. 5] OV Input



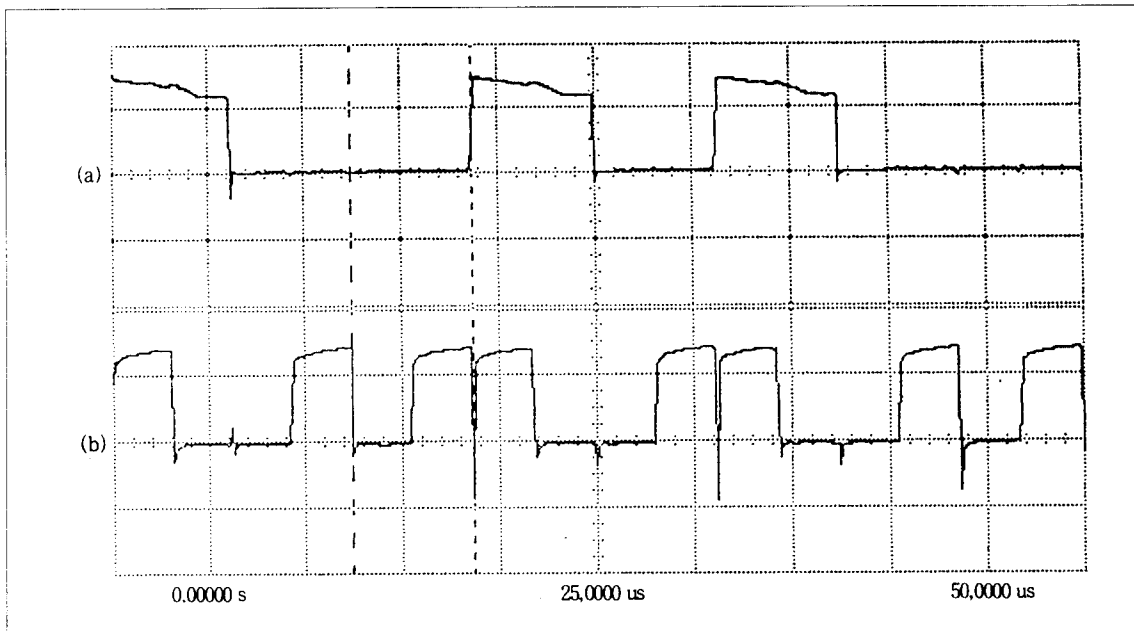
[그림 6] 2.5V 입력

[Fig. 6] 2.5V Input



[그림 7] 5V 입력

[Fig. 7] 5.0V Input



[그림 8] NRZ-L과 BI Φ-L의 관계

[Fig. 8] Correlation between NRZ-L and BI Φ-L

(b)는 Encoder 출력값을 오실로스코프를 이용하여 얻은 데이터이다. [그림 5]의 (b)를 보면 모든 Bit가 “Low”를 유지하고 있음을 알 수 있다. 그런데 [그림 6] (b)의 출력은 MBS만 “Low”이고 나머지 모든 Bit가 “High”가 되어야 하나 3번째 Bit가 “Low”이며 [그림 7] (b)의 출력은 모든 Bit가 “High”가 되어야 하나 2번째 Bit가 “Low”이다. 이러한 현상이 나타내는 값은 Encoder 전체입력범위 (0~5V)의 약 0.7%에 해당하는 값으로써 시스템 계측오차로 판단된다.

3.2 Code Converter부

NRZ-L과 Inverted Bit CLK를 EX-OR한 출력은 [그림 8]과 같으며 (a) NRZ-L, (b) BI Φ -L을 나타낸다. 여기에서 NRZ-L과 BI Φ -L의 관계는 BI Φ -L은 매 1/2 NRZ-L Bit 마다 변하는데 처음 1/2 NRZ-L Bit 동안은 NRZ-L과 같은 값을 가지나 다음 1/2 NRZ-L Bit 동안은 NRZ-L이 “High”이면 “Low” 상태를 갖고 “Low”이면 “High” 상태를 갖는다.

III. 결 론

본 논문에서는 과학로켓트 탑재용 PCM Encoder를 설계제작하였고 1993년 6월 4일과 9월 1일 발사

된 과학 1, 2호의 비행시험을 통하여 만족할 만한 결과를 얻었다. 개발된 PCM Encoder는 64채널용량을 갖고며 매 Minor Frame 당 FS 및 SFID를 갖고 있기 때문에 채널값 인식이 매우 우수함을 알 수 있었다. 또한, 10Bit /Word 및 160Kbps의 특성을 갖게 함으로써 전체 입력 0~5V 범위에 대해서 4.88mV의 해상도를 유지하면서 4msec 마다 각각의 센서출력값을 Encoding 할 수 있기 때문에 정확한 원격측정임무를 수행할 수 있었다.

본 PCM Encoder는 향후 예정된 과학 3, 4호 비행시험에서도 계속해서 사용될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Homer E. NeWell, *Sounding Rockets*, Mc Graw-Hill, pp.28~44, 1959.
- [2] Ellite L. Gruengerg, *Handbook of Telemetry and Remote Control*, McGraw-Hill, 1967.
- [3] Frank F. E, Owen B. Sc., M.I.E.E., *PCM and Digital Transmission System*, McGraw-Hill, N. Y., 1982.
- [4] Leon W. Couch II, *Digital and Analog Communication System*, Macmillan Publishing Company, N.Y., 1990.
- [5] IRIG STANDARD 106-86, *Telemetry Standard*, Secretariat RCC, New Mexico, 1986. 4.