

군 통신위성 X대역 중계기 개념모델의 기계 설계 및 제작

우형제 · 윤종철
현대전자 위성사업단

MECHANICAL DESIGN OF MILITARY COMMUNICATION SATELLITE X-BAND PCM

Hyung Je Woo and Jong Chul Yoon

Satellite Business Division, Hyundai Electronics Industries Co., Ltd.

San 136-1, Ami-ri, Bubal-eub, Ichon-si, Kyoungki-do

e-mail: hjwoo@hei.co.kr, roy.yoon@hei.co.kr

(Received October 14, 1998; Accepted November 25, 1998)

요 약

군 통신위성 탑재체의 개념모델(Payload Concept Model; PCM) 연구는 실제 위성의 설계 및 제작 이전에 탑재체를 지상에서 상용부품으로 구성하고 실제 위성과 가까운 통신전파 조건에서 시험하여 그 특성과 성능을 미리 파악하고자 하는 것이다. 본 논문에서는 이러한 통신 탑재체 개념 모델을 구현하기 위한 기계구조물의 설계와 제작 과정을 기술하고 있다. 제작된 개념모델의 설계 조건의 만족여부를 검증하기 위하여 기본 RF특성 시험을 실시하였으며 시스템이 양호한 통신 품질을 제공함과 정상적으로 작동됨이 확인되었다.

ABSTRACT

Before an actual military communications satellite is designed and constructed, a feasibility study should take place. The basic functions of such system can be observed and demonstrated in an X-Band payload simulator. For this purpose a Payload Concept Model (PCM) for X-Band payload subsystem has been developed to simulate the workings of an actual military communications payload. This paper explains and illustrates the mechanical design, manufacture, and integration of this PCM. Basic RF tests also have been performed in order to verify the design requirement of the system. The results demonstrate successful development of the PCM and operation without RF losses.

1. 서 론

통신 탑재체 개념모델(Payload Concept Model; 이하PCM)의 전체 시스템은 크게 능동채널과 수동채널로 구성된 PCM본체와 전용 계측시스템, 지상 단말기 등으로 구분할 수 있다. 이중 지상단말기와 PCM의 능동소자 중 하나인 능동처리기(Active Processor)를 제외한 나머지 부분을 현대전자(주)가 제작하여 국방과학연구소에 납품하였다. 개념모델의 구성부품 및 Test Bed는 미국 뉴저지주 소재의 Microwave Test & Solution Co.와 공동개발 되었다.

PCM 기계구조의 제작은 실제 비행모델(Flight Model)이 아닌 지상 시험용 모델이므로 자체적인 설계와 제작으로 완성되었다. 이 PCM의 기계적인 기술은 위성 중계기가 적절한 통신주파수 대역에서 정확히 동작할 수 있도록 외형의 구성을 제공하고 각 부품간의 구별이 용이한 구조를 제공하는 것들이 요구된다. 이러한 설계 요구조건(Design Requirement)들은 각 통신용 부품들의 기능과 전체 시스템의 운용조건 등을 이해하며 구체적으로 설계에 반영되어진다. 이러한 상호관계는 위성통신주파수(Radio Frequency; 이하RF)의 특성(Gordon & Morgan 1993)과 기계설계 기술의 접목을 통한 하드웨어적 구성기술 즉, RF의 기계적 구현 기술이 위성 중계기의 개발에 있어서 매우 중요함을 주지시키고 있다.

2. 설계과정

2.1 개념연구

군 통신위성용 PCM은 위성 통신중계기(Transponder)와 상향링크 및 하향링크로 구성되며, 제어 소프트웨어를 포함하는 전용 계측시스템(Test-Bed Measurement System; 이하TBMS)과 모의 지상 송수신 장치와 연동되어 위성 통신용 테스트 베드를 구축한다. 상향 및 하향링크는 실제 궤도상의 인공위성과 지상간 송수신시 발생하는 잡음 및 간섭 신호의 영향, 강우 영향 등을 시험하며 통신중계기는 능동/수동 중계 처리의 통신 품질 차이를 시험하기 위하여 능동 및 수동의 2개 채널로 구성한다. 테스트 베드는 송수신 시험이외에 모의 시험망을 구성하여 각종 시험을 수행한다. PCM의 주요 기능은 다음과 같다(현대전자산업(주) 1998).

<주요기능>

- (1) 상/하향 링크의 자유 공간 손실 및 안테나 특성을 모사할 수 있는 신호 감쇄 기능
- (2) 주요 측정점(Test Point)에 측정 장비 연동을 위한 인터페이스 제공
- (3) 상향 링크 주파수 대역내의 신호 수신
- (4) 수신된 신호의 저잡음 증폭 및 상/하향 링크 주파수 변환
- (5) 2개 채널 신호의 채널별 처리
- (6) 하향 링크 주파수 대역 내의 신호 송신 (7) 테스트 베드 구축 시 주 제어 소프트웨어에 의해 제어가 가능토록 구성
- (8) 스위치의 절환기능

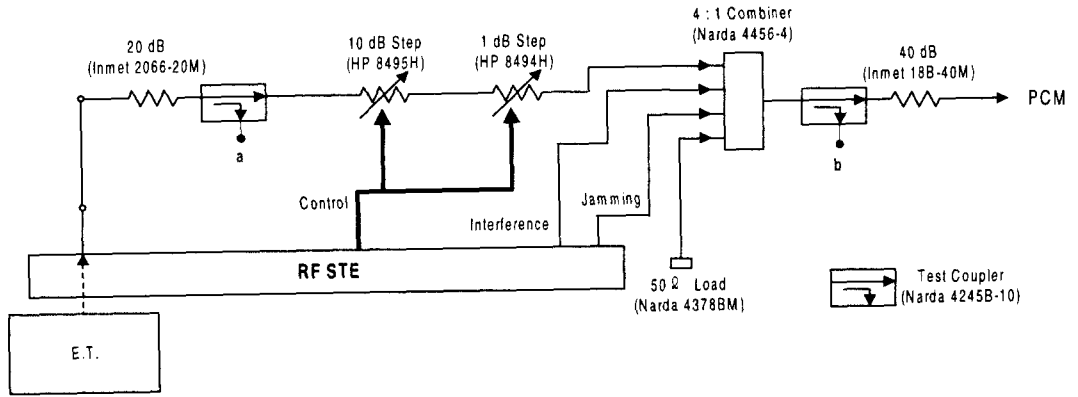


그림 1. 상향 링크 개념도.

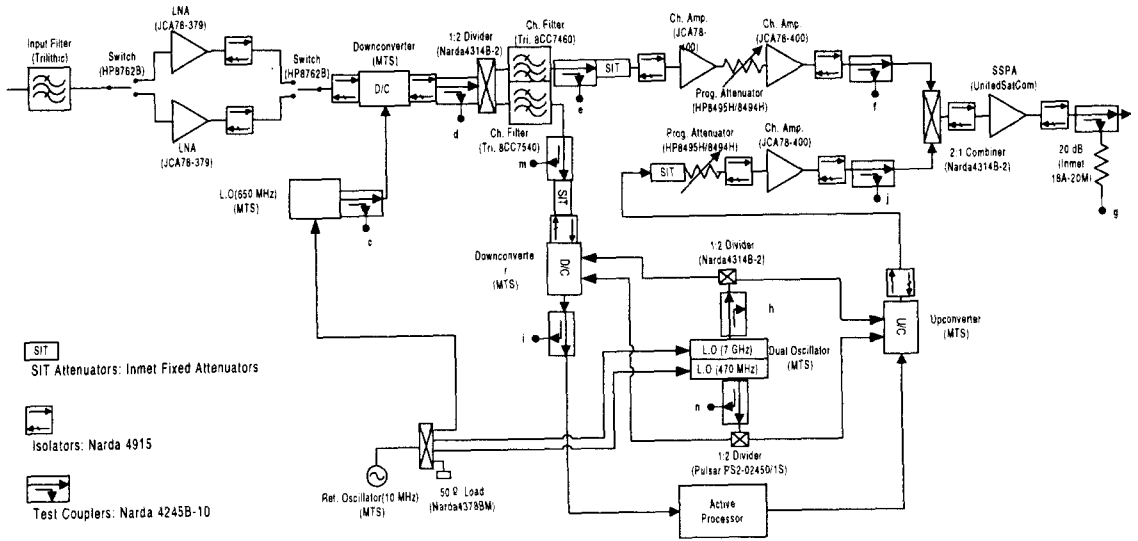


그림 2. 중계기부 개념도.

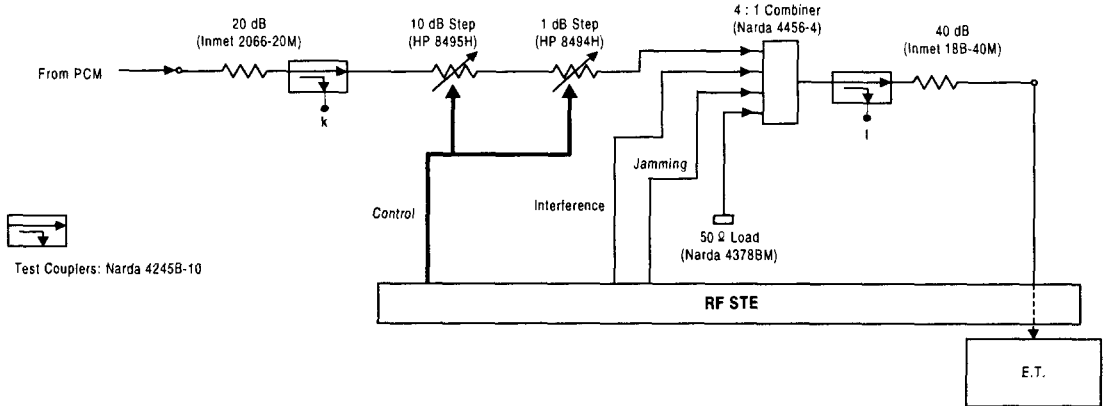


그림 3. 하향 링크 개념도.

- (9) 채널 증폭기의 이득값 조정
- (10) 모의 상/하향 링크 감쇄 레벨의 조정
- (11) 주요 구성품의 절체 기능

위와 같은 기능들의 수행을 위해 상용 부품들을 사용하여 그림 1, 2, 3과 같이 개념구성을 하였다. 통신용 부품은 총 26종류 71개로 구성되었으며 각 부품간의 연결은 동축 케이블(Coaxial Cable) 및 케이블 어댑터(Adapter)를 사용하였다.

전체PCM의 주요기능을 수용하기 위하여 구성된 각 부품들의 기능(홍완표 1994)을 그림에 나타난 흐름을 따라 서술하면 다음과 같다(현대전자산업(주) 1998).

(1) 최초 상향 링크부 입력단에 0.2~20W의 신호가 입력되면 2개의 고정 감쇄기와 2개의 가변 감쇄기를 이용하여 신호 감쇄 기능을 구현하였다. 2개의 가변 감쇄기는 1dB씩 감쇄하는 11dB 가변 감쇄기와 10dB씩 감쇄하는 70dB 가변 감쇄기이다. 고정 감쇄기는 20dB 고정감쇄기와 40dB 고정 감쇄기이다. 네 개의 감쇄기에 의하여 상향 링크를 모사할 수 있으며 하향 링크도 같은 구성 부품으로서 구축하였다. 또한, 재밍(Jamming) 신호와 간섭 신호를 받아들일 수 있는 전력 조합기(Power Combiner)가 상/하향 링크에 설치되어 외부 입력 신호에 의한 효과를 시험해 볼 수 있도록 하였다.

(2) 총 14개의 측정점을 설정하였고 14개의 측정점에 10dB 테스트 커플러(Test Coupler)를 설치하여 측정 장비와 연동할 수 있도록 하였다. 측정점들을 선택할 수 있는 기능은 전용 계측시스템에서 구현되었다.

(3) 중계기부 최초 입력 부분에 설치된 입력 필터는 상향 링크 주파수 대역(7.9~8.4GHz) 외의 주

파수에서 신호가 유입됨으로써 파생되는 각종 불요파를 제거하는 기능을 한다. 입력 필터의 통과 대역은 8.09~8.21GHz로서 2개의 채널 대역만이 통과하도록 하였다.

(4) 수신된 신호가 입력필터를 거친 후에 저잡음 증폭기에서 38dB만큼 증폭이 되도록 하였다. 이 때, 저잡음 증폭기의 잡음 지수가 시스템의 잡음 온도(Noise Temperature)에 가장 큰 영향을 끼쳐서 시스템 G/T를 결정하는데 중요한 역할을 한다. 채택한 저잡음 증폭기는 1.2dB의 우수한 잡음 지수 특성을 지닌다.

(5) 2개의 저잡음 증폭기(LNA)가 2개의 스위치(Single Pole Double Throw; SPDT)에 의하여 선택 가능하도록 구현하였다. 만약 사용하고 있는 저잡음 증폭기가 오동작을 일으킬 때 외부 제어에 의해 절체할 수 있도록 하여 개념 모델 시험장치의 신뢰성을 높였다. SPDT 스위치는 전용 계측시스템에 의하여 제어 가능하도록 하였다.

(6) 상/하향 주파수 변환을 위해 X-대역 주파수 변환기가 채택되었다. 650MHz만큼 주파수를 하향시키는 장치로서 불요파가 작게 발생하도록 제작된 제품이다. 한편 주파수 변환기는 외장형의 국부 진동기(Local Oscillator)를 채택하였으며 보다 안정된 주파수 안정도 성능을 가질 수 있도록 외부의 기준 진동기(Reference Clock)에서 10MHz의 신호를 받을 수 있도록 제작되었다. 이렇게 함으로써 능동 처리기의 모뎀이 보다 안정적으로 동작할 수 있도록 하였다.

(7) 능동 처리기를 거치는 능동 채널과 거치지 않는 수동 채널에 대해 물리적으로 따로 신호 처리가 가능하도록 하기 위하여, 두개의 채널 필터와 전력 분배기(Power Divider)를 사용하여 입력 멀티플렉서(Input Multiplexer)를 구현하였다. 채널 필터는 수동 채널과 능동 채널의 분리도를 향상시킨다. 능동 처리기를 거친 능동 채널 신호와 수동 채널은 전력 결합기(Power Combiner)에 의하여 구현된 출력 멀티플렉서(Output Multiplexer)에서 합해진 후에 고전력 증폭기에서 증폭이 되어 최종적으로 증계기부에서 출력되도록 구현하였다.

(8) 2개의 채널 증폭기는 가변 감쇄기와 함께 구성되어 있다. 가변 감쇄기의 감쇄도를 주 제어 소프트웨어에서 제어함으로써 채널 증폭기에 의한 이득값(Gain)이 조정되는 효과를 얻을 수 있도록 구현하였다.

(9) 하향 링크 주파수 대역내의 신호가 증계기부에서 출력될 때는 고전력으로 증폭하는 것이 필요하다. 또한 출력 신호에 고조파나 불요파가 적어야 할 것이다. 따라서 TWTA보다 선형적인 신호 증폭이 가능한 SSPA를 채용하여 고조파(Harmonics)나 불요파(Spurious Signal)가 대단히 작은 신호가 하향 링크부로 출력되도록 구현하였다.

2.2 설계도 작성

PCM의 기계설계 시 고려사항으로는 사용 환경조건, 부품간 연결성, RF Flow 추적 용이성, 조립성, RF 입,출력단의 위치 보정, RF 케이블 규격의 최적화, 운송중의 안정성 등이 있다. PCM은 각종 환경시험이 요구되지않는 모델이므로 일반적인 실험실 조건을 외부환경 조건으로 제작기준을 설정한다

각 RF 부품간의 연결은 반강성 동축 케이블(Semi rigid coaxial cable)의 사용을 원칙으로 하나 RF 손실(Loss)을 줄이는 가장 이상적인 방법은 부품간의 직접연결로 케이블을 사용하지 않는 것이므로 가능한 부품은 연결단자(Connector)의 Male, Female간 호환으로 직접연결이 가능하도록 한다. 또한 71개의 RF 부품들이 연결되는 구조를 이루므로 최초 입력으로부터 최종 출력까지 흐름을 식별하기 용이하도록 부품을 배치한다. 각종 Bracket, 케이블 및 부품들의 조립 시 Interface 관련사항 및 조립 공구의 적용공간 확보 등을 고려하여 부품을 배치한다. RF 손실의 최소화를 위해서는 RF 케이블의 굽힘영역을 가급적 줄여 직선으로 연결하는 것이 요구되고, 각 부품별로 입.출력단의 높이차가 존재하므로 이를 보정하기 위해 별도의 Bracket을 설계한다. RF 케이블은 설계 규격상 끝 단으로부터 일정거리동안 굽히지 않는 것이 원칙이며 이는 케이블과 Connector간의 연결부위에 집중되는 과도한 하중에 의한 손상을 방지하기 위함이다. 또 굽힘 최소반경도 케이블 규격상에 명시되므로 이를 고려하여 연결 및 조립성을 검토하고 부품을 배치한다.

기초평판의 재질(Kalpajian 1991)은 부피에 비해 무게가 가볍고 적절한 강도와 강성 및 가공성을 구비한 알루미늄 60계열 합금을 사용한다. 참고로 열 처리한 Al 6061의 경우 인장강도 276Mpa, 극한강도 310Mpa, 경도지수(Brinell Hardness)가 30 HB로서 기타 재질과 비교하여 가장 요구조건에 적합한 재질이다. 초기 설계에 의한 기초평판의 크기는 지속적인 최적화를 통하여 최소화시켜 나가며, RF 부품이 장착되는 부분은 전기적 접지(grounding)를 고려하여 Masking 후 표면처리를 한다. SSPA 등 능동소자들은 출력에 따라 열 발산(heat dissipation)을 고려하여야 하므로 별도의 Heat sink 등 냉각방법을 고려한다. 실제 위성은 복사(radiation) 및 열적인 환경 등을 고려하여 특수 Black Paint Coating을 하는 것이 원칙이나 본 PCM은 지상 환경에서 작동하므로 적용하지 않기로 한다.

각 부품마다 개발시점이 다르므로 Active Processor, Up-Down Converter, Local Oscillator, Filters 등과 같은 개발부품의 경우는 입.출력단의 위치와 장착구멍 등 주요 데이터 값을 근거로 최종 설계를 확정하였다. 추후 설계변경에 따른 재가공을 줄이도록 하기위한 세부방안으로 보조평판을 9구획으로 나누고 각 구획 내에서 부품치수 등 설계변경 시 발생하는 문제점을 해결하도록 하였다. 후 가공 시 기초평판을 재가공하는 것보다 작은 단위의 보조평판을 분리하여 가공하면 운반과 취급이 용이하며 설계 변경에 따른 가공 공정을 감소시킬 수 있기 때문이다. 설계변경에 따라 완성된 PCM의 형상은 그림 4와 같다.

2.3 구조물 세부상세 설계

기본 설계도가 확정되고 설계방향이 최종 결정되면 각 구조를 세분화하여 상세 설계를 진행한다. 구조물은 기초평판, 보조평판, 부품 지지물, RF 동축 케이블, 전체 구조 지지물로 분류한다.

2.3.1 기초평판

기초평판은 PCM의 전체외관을 형성하고 각 부품들을 고정하고 지지하는 역할을 한다. 재질은 알루미늄 합금(Al6061T6)을 적용하였고 치수는 기초 설계에 따라 1400x1200mm, 두께는 7mm로 결정하였다. 두께는 평판의 자중과 부품무게 및 부품의 갯수와 부피, 나사의 최대 박힘 깊이 등을 고려

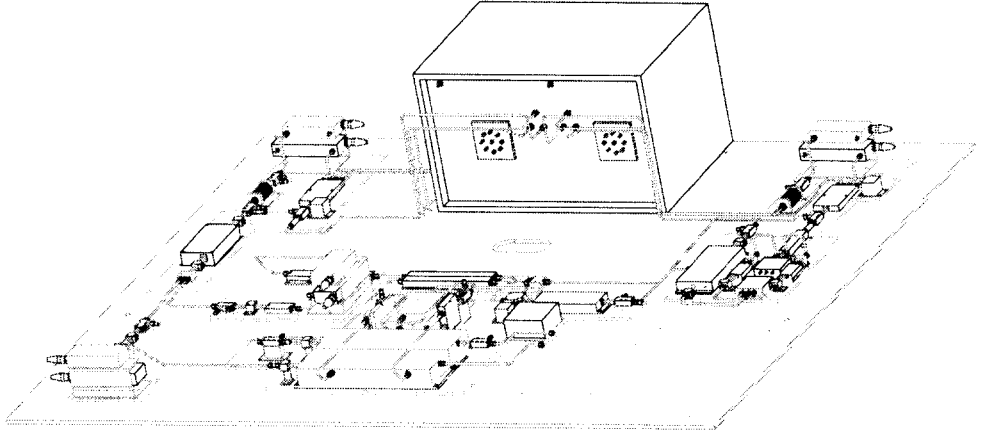


그림 4. PCM의 입체도.

하여 충분한 두께를 갖도록 정하였다.

PCM의 각 구조가 기초평판을 중심으로 상호 연결되어 있으므로 각 구조간의 연결부 가공에 주안점을 두고 설계한다. 상부표면에 직접 장착되는 부품은 보조평판과 RF-STE, Active Processor, RF 케이블, 하니스(Harness) 등이다. 보조평판과의 연결은 기초평판에 나사 홈을 가공하고 M3-Hex 나사로 체결하였다. RF-STE는 19인치 랙(lack)에 장착되는 박스형태의 장비로 RF 입출력의 공급과 모든 Test Point가 연결되며 상대적으로 부피가 크고 무거우므로 장착용 지지대를 갖도록 하였다. 또한 Test Bed와의 연동시험용 케이블이 연결되어야 하므로 기초평판의 중앙에 직경 55mm, 길이 110mm의 Slot Hole을 두어 케이블 연결을 용이하게 하였다. 하니스는 별도의 전원 공급장치로부터 출발하여 각 능동부품소자에 연결되므로 좌우측에 각각 1개의 구멍을 통하여 테이블 하부에 위치한 전원 공급장치와 연결될 수 있도록 하였다. 상부 표면은 절연과 표면손상 방지 등을 목적으로 무광 흑색으로 도장하고 열처리하기로 하였다. 보조평판이 장착되는 부분은 전기적 접지와 능동소자의 방출열을 전도(Conduction)시킬 수 있도록 도색 시 Masking한다.

2.3.2 보조평판

9개 구획으로 나누어진 보조평판의 재질은 기초평판과 같은 알루미늄 합금으로 하였다. 기초평판과 각 부품 및 지지물연결나사의 구멍은 작업성을 고려하여 3mm자리파기를 하였다.

최대 506 × 200mm 크기의 보조평판은 기본두께 5mm와 각 부품의 높이 보정에 따라 다양한 지지부 높이를 갖도록 설계되었다. 부품 높이 보정용 지지부는 부품의 입,출력단 연결 시 부품간의 거리를 최소화하고 수직과 수평으로 최대한 같은 높이를 유지하도록 하여 케이블 길이 및 굽힘 등으로 인한 전기적 전파 손실을 최소화하도록 설계하였다. 표면은 기초평판과 마찬가지로 흑색도장 후 열

처리를 원칙으로 하며 능동소자 장착부위와 바닥면은 도색하지 않는다.

2.3.3 부품 지지물(Bracket)

40dB 40W Fixed Attenuator와 Isolator, Input Filter, Channel Filter, Termination 등은 아래에서 위로 바닥면에 고정시키게 되어 있으므로 별도의 작은 평판에 부품을 바닥으로부터 고정할 수 있도록 나사 관통용 구멍을 뚫고 접시머리나사의 머리 윗면이 바닥면과 평행하게 안착될 수 있도록 자리파기를 하였다. 이 중 Isolator는 접촉면적이 작고 수직위치가 높으므로 평판형이 아닌 'ㄷ'자형 구조의 지지물을 사용하였다. Active Channel의 Up & Down Converter와 연결되는 Dual Band Local Oscillator 뒷단의 Test Coupler와 Power Divider의 경우는 케이블 연결의 단순화를 위하여 'ㄷ'자형 지지물의 측면에 수직으로 고정시키도록 하였다. Active Channel의 Channel Filter 후단 Test Coupler의 경우 접촉면적에 비해 수직위치가 높게 설정되어 있으므로 높이차를 보정하는 지지물을 설계한다. 사각 블럭과 보조평판 장착에 필요한 작은 평판이 조합된 구조이며 윗면에는 부품 장착용 나사구멍을 내고 보조평판에 장착하기 위하여 하부 평판부에 관통구멍을 뚫는다. 부품 지지물은 총 11종류 22개를 설계하였다.

2.3.4 RF 동축 케이블

부품간의 연결은 직접연결이 가장 이상적이지만 부품의 형상과 Connector 종류에 따른 상호 연계성을 고려하여 각종 케이블이나 Adapter를 사용하여 연결한다. 부품간 연결 시 입,출력단이 같은 종류의 Connector인 경우는 케이블이나 케이블Adapter(Rizzi 1998)를 사용하여야 한다. Adapter는 23.9mm의 길이를 제공하며 총 29개소에 사용하였다. RF 케이블은 부품간의 연결을 위해 Semi Rigid Type으로 총 38개를 설계하였고 Test Coupler와 RF-STE간의 연결은 Flexible 케이블로 설정하였다. Semi-Rigid Type의 케이블은 장시간이 지난 후에도 형상의 변형이 적고 조립 후 별도의 지지대가 필요없는 깨끗한 외관을 제공한다. 부품의 입,출력단 Connector는 주파수대역을 고려하여 SMA Type으로 결정되었다. 또한 케이블의 입,출력단 연결 Connector(Rizzi 1998)는 그 연결상태와 설계조건, 부품간의 기계적 간섭상태 등을 고려하여 Male, Female, Right Angle 등의 형태를 설정하였다. 케이블의 재질은 가공 후 적절한 강성을 유지하는 Stainless Steel을 기본으로 적용하고 가공오차나 치수변경 등이 예상되는 부분에는 직접 굽힘 등의 수작업 수정이 용이한 알루미늄을 적용하였다. 케이블의 직경은 주파수 대역과 Connector의 종류, 전체 길이 등을 고려하여 141mil (3.58mm)로 결정하였다. 채택한 Semi Rigid 케이블은 최소 굽힘반경 6mm, 최소 굽힘각도 45°, 최소길이 25mm의 설계기준을 따랐다. PVC외피로 싸여있는 Test Point용 Flexible 케이블은 최소 굽힘반경을 15mm로 하여 Connector 종류와 경로를 설정하고 이에 따른 길이를 설계에 적용하였다.

2.3.5 조립체 상호 연결부

PCM은 부품간의 상호 연결을 통해 전체 구조물 조립체를 구성하게 된다. 각 부품들은 주로 고정나사를 통해 다른 구성품과 연결 조립되며, 통신(RF) 부품간의 연결은 케이블 또는 Adapter의

Connector로 이루어진다. 능동소자들은 발생하는 열을 처리하기위한 별도의 장치 또는 방법을 설계에 고려한다.

2.3.5.1 하드웨어 키트

부품과 보조평판, 부품 지지물 등은 기초평판에 나사를 이용하여 장착하며 기초평판은 다시 테이블과 나사로 연결된다. 전원 공급장치 또한 나사로 테이블 하단의 좌우측 선반에 장착된다. 부품 장착용 구멍은 관통형(Through hole)과 구멍 내에 암나사가 나있는 두 종류로 구분할 수 있다. 위성이나 항공용 부품은 표준규격을 인치계 나사로 규정하고 있으므로 대부분의 통신부품은 인치계 나사(UNC)로 설계되어있다. 그러나 국내 대부분의 상용제품이 미터계 나사로 규격화 되어있고 또한 입수가 용이하므로 관통구멍의 경우 구멍 직경에 상응 하는 적절한 규격의 미터나사를 사용하였고, 내부에 자체 암나사가 나있는 부품의 경우는 인치계 나사를 그대로 적용하였다.

나사의 길이는 각 부품 장착부의 두께와 박힘 깊이를 고려하여 설계하였다. 나사의 최소 박힘 깊이는 연강, 주강, 청동의 경우는 직경과 동일하게, 주철의 경우는 직경의1.3배, 경합금은 1.8배로 하는 것이 적당하며 참고로 위성체의 Insert깊이는 5배 나사산 방법(5 Thread Method)을 사용한다. 표 1은 PCM 각 부품의 장착형태와 선정된 나사의 사양을 나타낸다.

2.3.5.2 열적 연계성(Thermal Interface)

능동소자는 입력된 전력이 부품자체의 효율에 의해 출력되고 남은 만큼의 에너지가 열로 전환되어 방출된다. 이때 부품의 효율이 크게 떨어지는 부품 또는 고전력이 요구되는 부품의 경우는 열의 방출량이 커져 시간이 경과함에 따라 부품자체의 기능에 영향을 미치거나 인접한 부품 혹은 시스템 전체의 오동작 등의 영향을 미칠 수 있다. 대표적인 방출열의 처리방법은 냉각 핀이 달린 별도의 열 방출기(Heat sink)를 부착하거나 Fan을 장착하여 강제 냉각하는 방법 등이 있다. 실제 위성에서는 열 파이프(Heat pipe)를 패널 내부에 장착하고 파이프 내부에 저장된 냉매를 순환시켜 냉각하는 방법을 택하고 있다. 이때 방출 또는 외부열의 처리가 요구되는 특정 부품은 Thermal Filler를 접촉면에 바른 후 장착하여 접촉면의 거칠기에 의한 접촉면적 감소를 방지하여 열 전도성을 향상시킨다.

PCM의 대표적인 능동소자는 SSPA, LNA, Channel Amp. 등인데 이들 중 특히 SSPA는 63W의 입력에 비해 출력은 5W에 불과한 저효율의 소자이므로 별도의 방출열의 처리 방법이 요구된다. PCM 기초평판의 크기가 크며 바닥면의 두께가 열 전도하기에 충분히 두꺼우므로 SSPA와 Channel Amp.의 장착면에 Thermal Filler를 발라 방출열의 처리가 가능하도록 하였다. 평판 및 지지물의 가공물 표면 처리 시 능동소자의 장착부분은 도색하지 않도록 하였다.

표 1. PCM 부품의 장착방법 및 나사 사양.

No	Equipment	EQ. Mount. Hole ϕ	EQ. EA	Type	Screw Length(mm)	EA
1	RF STE	4.6	1	M 4	11	2
					19	2
2	F.A. 20db 20W	4-40 UNC	2	4-40 UNC	5	8
3	Test Coupler	2.64	14	M 2	8	28
4	P.A. Kit	6	4	M 5	5	8
5	4:1 Combiner-Link	3.5	2	M 3	14	4
6	Input Filter	2-56 UNC	1	2-56 UNC	5	4
7	Switch	2.8	2	M 2	18	4
8	LNA Kit	3.08	2	M 3	8	8
9	Isolator	2-56 UNC	12	2-56 UNC	5	4
					6	16
					8	4
10	650MHz D/C	3.8	1	M 3	5	4
11	650MHz L.O.	3.8	1	M 3	5	4
12	1:2 Divider -7 GHz	2.64	3	M 2	14	6
13	Channel Filter	2-56 UNC	2	2-56 UNC	5	8
14	CH-Amp	2.54	3	M 2	12	12
15	7G/470MHz D/C	3.77	1	M 3	8	4
16	Active Processor	3	1	M 3	5	8
17	470M/7GHz U/C	3.77	1	M 3	8	4
18	Reference Oscillator	3.8	1	M 3	5	4
19	1:4 Divider - RO	3.4	1	M 3	22	3
20	7G/470MHz L.O	4.17	1	M 3	5	4
21	1:2 Divider - 470 MHz	3.03	1	M 3	16	2
23	SSPA	3.4	1	M 3	29	4
24	Terminator	6-40 UNC	3	6-40 UNC	5	6
25	Test Coupler Bracket	2.2	1	M 2	5	4
26	Isolator Bracket	2.2	12	M 2	5	24
27	Terminator Bracket	2.2	2	M 2	5	8
28	CH-AMP Bracket	2.2	1	M 2	8	4

3. 제작 및 조립

위성부품(글로벌스타) 가공 경험이 있는 업체를 선정하여 PCM의 제작이 진행되었다. 구조물은 확정된 설계에 따라 기초평판의 형상 및 구멍, 보조평판의 형상 및 기초평판 연결용 구멍, 부품지지물의 형상 등을 가공한다. PCM상의 모든 통신부품 연결 케이블을 형상 및 치수에 따라 제작한다. 가공물은 설계상의 치수와 가공 후의 치수가 불일치할 수 있으므로 재가공 과정을 통해 정확한 설계치수에 도달하도록 한다. 특히 동축 케이블은 가공 후 재질 자체의 탄성력 등으로 인한 치수변경 가능성이 있으므로 수회의 재가공을 실시한다. 부품의 최종 입고가 완료되면 모든 부품을 가 조립하여 부품의 실제위치를 확정한다. 확정된 위치에 따라 부품이 장착되는 보조평판과 부품지지대의 장착구멍 및 도장 등을 포함한 제반 후가공을 실시한다. 이러한 후가공이 완료되면 최종 테스트를 실시하기 위하여 모든 구조물과 부품을 조립한다. 그림 5는 제작 완성된 PCM이며, 그림 6은 RF 특성 시험을 위하여 Test Bed에 연결된 PCM을 보여주고 있다. PCM의 조립절차는 다음과 같다.

- (1) 테이블 상에 기초평판 장착
- (2) 기초평판 위에 보조평판 장착

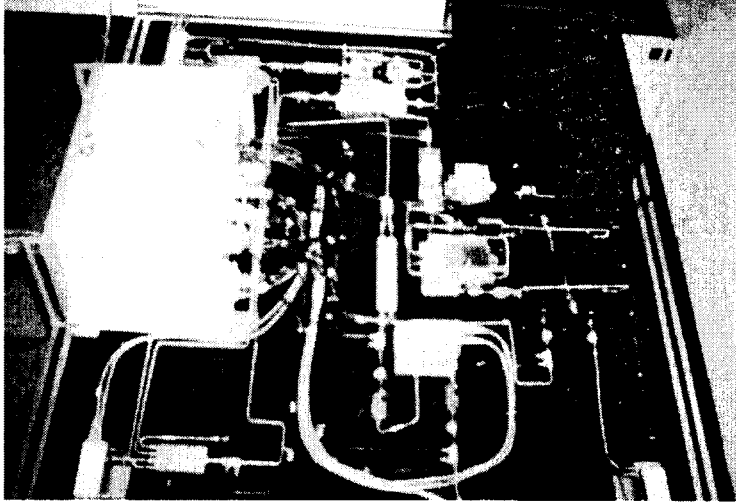


그림 5. 제작 완성된 PCM.

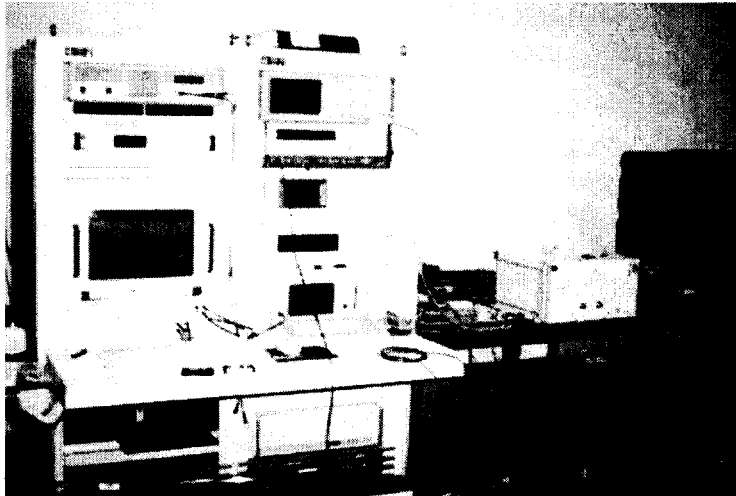


그림 6. Test Bed와 PCM의 Set-Up 상태.

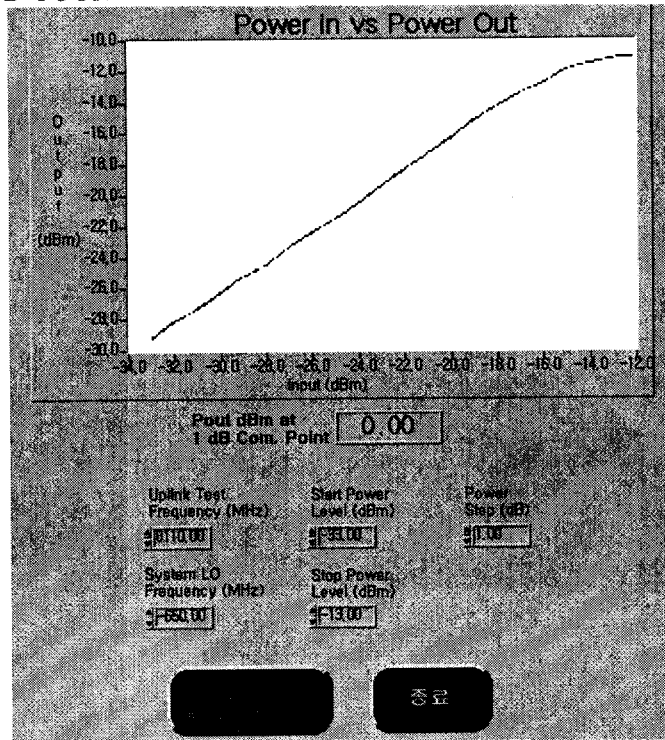


그림 7. 입력 대 출력 신호 상태도.

- (3) 부품 지지대와 부품의 조립
- (4) RF Flow에 따라 순차적으로 부품장착 하며 반강성 동축 케이블 및 어댑터의 연결과정을 반복
- (5) Flexible 케이블 조립 및 장착
- (6) 하니스 연결 및 장착
- (7) Test Bed와 연동 케이블 연결

4. 시험 및 평가

완성된 PCM은 통신주파수 특성 시험을 실시하여 정상적인 가동의 구현 여부를 평가한다. 가동 외부조건은 상온의 실험실 조건이며 운송 시 부품단위로 분해하여 납품하고 조립과 특성시험을 재수행하므로 운송조건 등의 외부조건을 고려한 별도의 환경시험은 수행하지 않는다. PCM 기계적 구조 설계의 목적은 우수한 통신주파수 구현을 위한 각 부품의 이상적 연결상태와 적절한 작업성을 제공하는 것으로 각 부품의 다양한 형상과 그에 따른 연결부위의 최적화가 설계의 중점 사항이다. 특히 LNA전단은 RF 손실을 최소화하는 설계조건(Design Requirement)이 수반되었고 이에 따라 각 부

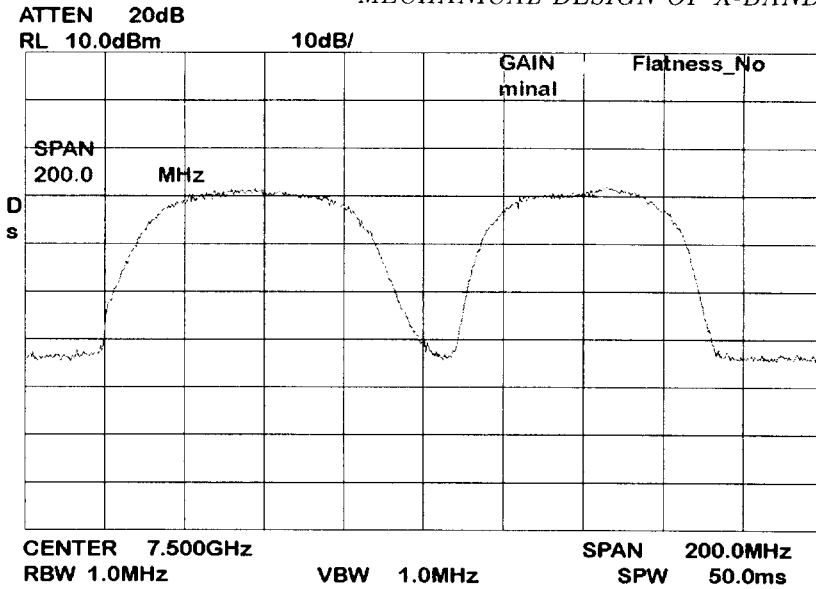


그림 8. 이득 편평도(Gain Flatness).

품의 연결길이와 굽힘횟수를 최소화하였다. 이러한 설계조건의 만족여부는 RF특성시험으로 판단할 수 있는데 시험결과는 그림 7, 8, 9, 10과 같다.

그림 7의 입력 대 출력 신호 상태도는 최초 입력된 신호와 SSPA 후단에서 출력된 신호를 비교한 것으로 입력된 신호가 증폭되어 출력된 값이 선형적(Linearity)으로 변화함을 보인다. 그림 8에서와 같이 이득 편평도 값은 2~3dBm(Peak to Peak)으로 시스템이 안정된 상태를 보이며 수동채널과 능동채널이 구별되어 있음을 나타낸다. 입력 대 출력 신호 상태도와 이득 편평도 값은 PCM의 기계구조가 RF 손실 없이 잘 설계되어 양호한 통신품질을 제공함을 보여준다. 또한 시스템의 작동상태를 확인하기 위해 Spectrum Analyzer를 이용하여 출력단의 신호처리 상태를 확인하였다. PCM 최종 출력단의 신호(그림 9)와 하향링크 출력단의 신호(그림 10) 파형은 거의 일치하며 이는 시스템이 정상 작동함을 보여주고 있다. PCM 최종 출력단(SSPA 후단)의 출력레벨은 -30dBm이며 하향링크 출력단에서의 레벨은 -67dBm이다. 하향링크에서 출력된 신호는 RF-STE에서의 손실-20dBm을 포함하여 -87dBm의 신호를 지상단말기에 송신한다.

PCM 기계 설계는 부품의 이상적 배치와 연결을 통한 양호한 RF특성 제공이 주된 목적이며 이상의 시험에서 전체 PCM의 설계가 잘 수행되었음을 검증되었다.

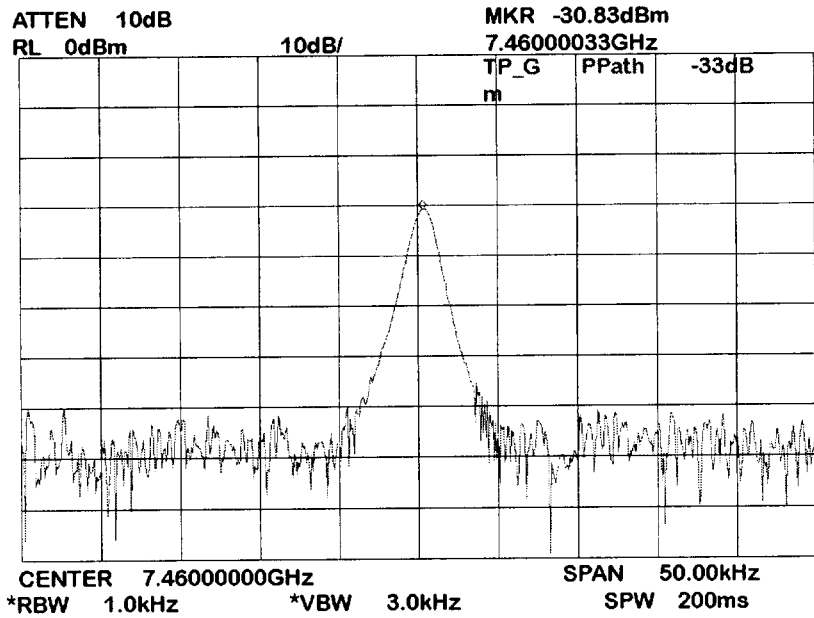


그림 9. PCM 출력단(SSPA 후단)의 신호처리 상태도.

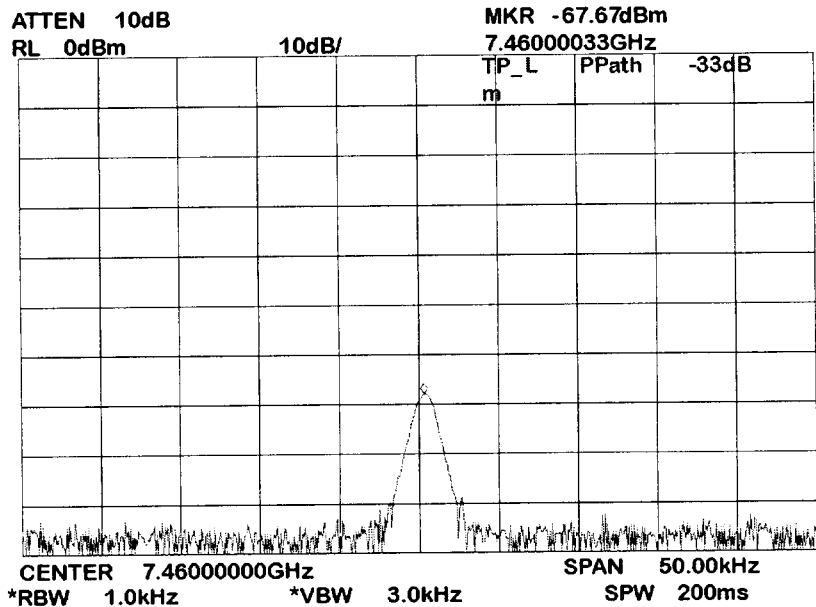


그림 10. 하향링크 출력단의 신호처리 상태도.

5. 결론

실제 위성의 전파 설계와 운용을 지상에서 모의 시험함으로써 통신 전파 설계의 타당성을 검증하고 이를 실제 군사 통신위성 중계기의 설계 및 제작에 반영하고자 개념모델(PCM)의 설계, 제작 및 시험을 실시하였다. 제작된 PCM은 시험 결과 수동과 능동 2개 채널이 모두 성공적으로 작동되었으며 우수한 통신품질을 제공하는 것으로 나타났다.

PCM 전체 시스템의 기계설계와 일부 부품의 개발이 동시에 진행됨으로써 설계 초기에 어려움을 겪었으며 부품의 치수는 부품내부의 전기적 설계에 따라 확정되므로 정확한 데이터는 최종 설계와 제작이 완료되는 시점이었다. 향후 유사한 개발업무 진행 시 모든 부품의 개발완료 후 정확한 기계자료를 갖고 설계에 착수하도록 하는 일정 수립이 요구된다. 이 군사 위성 개념설계를 수행함으로써 성공적인 RF 성능을 구현하였으며 위성 중계기 설계 및 제작 분야에서 기술과 경험을 축적하였고 향후 21세기에 상당량의 수요가 예측되는 위성사업에 효과적으로 이용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 현대전자산업(주) 1998, 위성 중계기 시험 장치 사용자 설명서(위성사업단: 이천), pp.5-12
 홍완표 1994, 인공위성과 위성통신(Ohm사: 서울), p.131
 Gordon, G. D. & Morgan, W. L. 1993, Principles of Communications Satellites(John Wiley & Sons: New York), p.100
 Kalpakjian, S. 1991, Manufacturing processes of engineering materials(Addison-Wesley: Reading, Massachusetts), p.143
 Rizzi, P. A. 1988, Microwave Engineering: Passive Circuits(Prentice-Hall: Englewood Cliffs), p.255