

우리별3호 영상데이터 송수신 시스템 - 초기운용 성능 실험

신동석* · 최옥현* · 김탁곤**

한국과학기술원 인공위성연구센터 원격탐사연구실 시스템개발팀*, 한국과학기술원 전기 및 전자공학과**

Image Data Transmission and Receiving System of KITSAT-3-Performance of initial operation

Dong-Seok Shin*, Wook-hyun Choi*, and Tag-Gon Kim**

System Development Team, Remote Sensing Research Division, SaTReC, KAIST*

Dept. of Electrical and Electronic Engineering, KAIST**

Abstract : KITSAT-3, the third satellite of KITSAT series which has been developed for the last four and half years with purely Korean design and implementation technology, was launched successfully at last. All subsystems were tested and validated during the initial operation of the satellite. During the initial operation phase, the Earth imaging camera on board KITSAT-3 acquired several tens of scenes all over the world and transmitted the image data to ground station. The quality of images and the reliability of data transmission-reception system were tested qualitatively and quantitatively, respectively. In this paper, we summarize the camera, data handling, on-board memory, and image data transmission system of KITSAT-3 as well as the image receiving and archiving system in ground station. The error rate of image data transmission and reception was tested during the initial operation phase. The average data transmission error rate satisfied the initial requirement of less than 1%. The error rate will be reduced through the continuous work of test and stabilization of the ground system hardware.

Key Words : KITSAT-3 image data, data transmission-reception, frame sync lost

요 약 : 독자기술에 의한 소형위성 개발이라는 목표아래 지난 4년 반에 걸쳐서 개발된 우리별 3호가 성공적으로 발사되었다. 초기운용 기간동안 위성의 각 서브시스템에 대한 시험이 있었으며 모든 서브시스템이 설계된 바와 같이 정상적으로 동작함을 검증할 수 있었다. 이 기간동안 우리별 3호에 탑재된 카메라가 수십회 지구를 촬영하여 그 데이터를 지상으로 송신하고 수신된 영상데이터를 분석하여 카메라 및 송수신 시스템의 성능을 분석할 수 있었다. 본 논문에서는 우리별 3호의 다대역 지구관측 센서 영상의 촬영, 데이터 송신, 수신 및 저장시스템을 소개하고, 위성 초기운용 시 시험했던 영상데이터 송수신 시스템의 성능을 기술한다. 수신시스템은 개발 시 주어졌던 1% 미만의 전송 에러를 만족하였으며 앞으로 지속적인 시스템 시험 및 안정화를 통해서 이러한 수신시스템의 에러율은 최소화 될 것이다.

1. 서론

우리별 3호는 1999년 5월 26일 한국시각으로 오후 3시 22분 인도의 PSLV(Polar Satellite Launch Vehicle) 발사체에 탑재되어 발사 후 17분 46초 후에 예정된 730km 고도의 원형 태양동기궤도에 성공적으로 진입되었다. 한국과학기술원 인공위성연구센터는 우리별 1,2호의 성공적 개발 및 운용에 의해 습득한 위성개발 기술을 바탕으로 지난 95년 초반부터 약 4년 6개월간에 걸쳐 독자적인 소형 위성 우리별 3호의 개발을 진행해 왔다. 우리별 3호는 우리별 1, 2호와는 다른 여러 가지 기술들이 - 예를 들어 독자개발된 위성제어 주 컴퓨터 운영체제, 별 감지기를 사용한 정밀 3축 자세제어, 전개 방식의 태양전지판, 정밀 지구관측 카메라, 고속 데이터 전송 시스템, 데이터 저장용 반도체 메모리 탑재 등 - 시도된 100kg급 소형 위성이며 연구개발 및 발사비용으로 총 80억원이 투자되었다(Choi *et al.*, 1997). 수천억의 개발비용이 소요되며 1톤 이상의 무게를 가지는 일반 지구관측 위성과 비교해 볼 때 우리별 3호는 최저의 비용으로 위성 개발에 필요한 핵심기술의 개발, 습득 및 시험검증과 지구관측 영상데이터 획득이라는 성과를 올릴 수 있었다. 최근에 일어난 상용 고해상도 지구관측 위성들의 잇달은 실패에 비추어 볼 때, 우리별 3호의 성공적인 발사는 국내 독자위성개발의 미래에 더욱 중요한 비전을 제시해 주었다고 할 수 있다.

발사 후 약 20여일동안 우리별 3호의 초기 운용이 진행되었다. 이 기간 동안 위성의 많은 서브시스템들의 시험과 결과 분석이 수행되었고 대부분의 서브시스템들이 디자인 요구사항을 만족시키는 성능을 보여주었다. 이 기간 중에 우리별 3호에 탑재된 지구관측용 카메라(MEIS : Multi-spectral Earth Imaging System)를 이용하여 총 16회 지표면 촬영을 시도하였고, 지상으로 송신된 영상데이터를 수신, 저장, 전처리하여 영상의 질적 측면을 분석하였다. 우리별 3호는 본래 실용목적의 원격탐사를 위해 개발된 위성이 아니라 할지라도

영상의 질적 측면만을 비교할 때는 SPOT, Landsat, IRS, JERS 등의 다대역 영상들과 유사한 수준의 영상을 얻을 수 있었다(SaTReC, 1999).

본 논문에는 이러한 영상의 질적 수준을 논하지 않는다. 영상에 대한 평가는 차후 우리별 3호의 영상이 사용자에게 분배되어 각 사용자가 여러 가지 활용측면에서 이를 분석하여 수행하여야 하기 때문이다. 본 논문에서는 우리별 3호 카메라 및 On-board 데이터 처리 시스템, 영상데이터 송수신 시스템에 대하여 소개하고, 초기운용 시 수행되었던 영상데이터 송수신 시험 결과를 기술한다¹⁾. 즉, 우리별 3호가 촬영하여 송신하는 데이터를 지상의 수신저장 시스템이 얼마나 정확히 복구할 수 있는가를 중심으로 기술한다.

2. 영상 촬영 및 데이터 송신

MEIS는 SPOT, IRS, JERS 등에 탑재되어 있는 다대역 센서와 유사한 3개의 파장대역 영상을 제공하며(Green : 520~620 μ m, Red : 620~690 μ m, Near-IR : 730~900 μ m), 3456개의 선형 CCD 소자를 사용하여 pushbroom 형태의 촬영으로 영상데이터를 획득한다. 730km의 평균 고도에서 13.8m의 지상 해상도와 48km의 촬영 폭을 제공한다. 한 줄의 CCD를 읽는 주기는 지상에서 원경명령으로 제어 가능하며 이 주기에 따라 CCD의 민감도와 진행방향의 공간 해상도가 결정된다. 또한 각 채널의 gain을 8단계로 조절할 수 있으므로 태양각에 따른 최적의 dynamic range를 얻을 수 있다. MEIS영상 한 scene은 3456pixels \times 2048lines 화소로 구성된다. 또한 다른 고해상도 위성영상의 경우 path/row로 구별되는 Grid Reference system을 기준으로 scene이 나뉘어지는 반면에 MEIS영상 scene의 구분은 촬영당시 결정되므로 특정한 지상 격자인 path/row에 해당되지 않는다. Figure 1은

1) 실제 본 논문에서 사용된 실험데이터는 초기운용결과 및 본 논문의 심사/재수정 과정을 거치는 동안 추가된 실험데이터를 포함한다.



Fig. 1. KITSAT-3 sample image (Las Vegas McCarran airport). Scene acquisition time : 11 June 1999, 20:02:10.077 (GMT).

시험운용 중에 촬영된 MEIS 영상 한 scene의 일부를 확대하여 보여 준다.

MEIS에 의해 촬영된 영상데이터는 데이터 처리 모듈인 CFP(Camera Flight Processor)에 의해 downlink data format으로 변환된다. CFP는 촬영 시간 동안 우리별 3호 주 컴퓨터인 OBC (On-Board Computer)와 자세제어 시스템인 ADCS (Attitude Determination and Control System)으로부터 촬영시각, 궤도정보, 자세정보 등을 받아서 영상데이터와 결합시킨다. CFP는 형식화 된 데이터를 우리별 3호의 메모리에 저장한다. 촬영된 데이터를 실시간으로 지상으로 송신하지 않는 이유는 데이터 송신 속도가 획득 데이터 처리속도를 따라오지 못하기 때문이다. 간단한 예로 우리별 3호가 7km/sec의 속도로 주행한다고 할 때 13.8m의 지상 간격을 샘플링한다면 1초에 $7000/13.8=500$ 줄의 데이터를 획득하게 되고, 각 줄당 3456 화소, 3채널, 각 화소당 1바이트의 데이터라고 하면 실시간 데이터 처리속도는 $500 \times 3456 \times 3 = 5.2\text{MBytes/sec} = 41.6\text{Mbits/sec}$ 가 된다. 하지만 우리별 3호의 영상데이터 전송속도는 3.2Mbits/sec로

서 실시간 데이터 획득속도에 못미치기 때문에 영상촬영 및 실시간 송수신을 수행할 수가 없다. 이러한 낮은 송신 속도는 Link budget과 관계가 있다. 데이터의 전송속도가 높을수록 높은 증폭의 지상 안테나 시스템이 필요하다. 우리별 3호는 위성 뿐 아니라 지상시스템의 구축비용을 최소화 하도록 초기 설계되었기 때문에 3.2Mbits/sec의 전송 속도는 약 3-4m 직경의 안테나로도 영상데이터를 수신할 수 있도록 설계된 것이다. 따라서 우리별 3호는 영상 촬영 시 실시간으로 전체 영상데이터를 송신하는 것이 아니고 가로, 세로 1/4로 subsampled된 한 채널의 영상데이터만을 송신한다. 이는 촬영 시 영상데이터의 대략적인 상태(촬영지역, 운량 등)를 지상에서 분석하기에 충분한 정보이며, 이 데이터를 바탕으로 촬영된 영상이 사용가치가 있다고 판단되면 다음번 위성 패스 시 전체 영상데이터를 송수신한다 (Shin et al., 1998).

Figure 2는 촬영된 영상의 처리, 저장 및 송신 시스템의 구성을 보여 준다. 앞 절에서 설명한 바와 같이 MEIS에서 촬영된 데이터는 CFP에서 전송형식으로 변환되어 메모리에 저장된다. 독립적

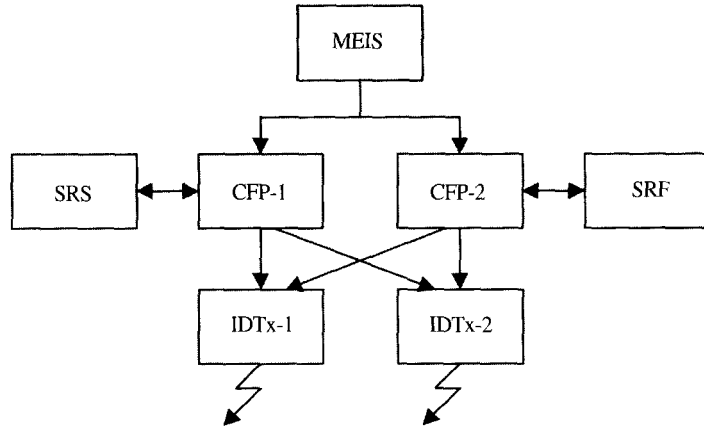


Fig. 2. Payload data handling and transmission system context.

으로 설계, 개발된 두 개의 CFP 중 하나를 사용하도록 되어 있어서 두 배의 시스템 신뢰성을 얻을 수 있다. 각 CFP는 저장장치에 연결되어 있는데 CFP-1은 SRS(Solid-state Recorder with SRAM), CFP-2는 SRF(Solid-state Recorder with Flash memory)를 사용한다. 이는 우주환경(극한 온도 및 방사선 노출)에서 SRAM과 Flash memory가 얼마나 신뢰성 있게 동작하는가를 시험하기 위함이다. 이러한 설계만 보더라도 우리별 3호는 실용목적의 관측위성이 아닌 기술시험 목적의 실험위성임을 잘 알 수 있다. Flash memory와는 달리 SRAM은 지속적으로 전력이 공급되어야만 데이터를 보존할 수 있으므로 CFP-1을 사용할 때에는 촬영 후 데이터 전송까지 계속 전력을 CFP-1에 공급하여야 한다.

영상데이터의 송신이 이루어질 때는 형식화 되어 SRS 또는 SRF에 저장되어 있는 영상데이터가 CFP에 의해 다시 복구되어 영상데이터 송신 시스템인 IDTx(Image Data Transmitter)로 전송된다. 역시 두 개의 IDTx가 탑재되어 있으며 각 IDTx는 각 CFP와 연결될 수 있다. 결국 우리별 3호는 fully dual redundant cross-switch system을 사용하여 영상데이터를 처리 및 송신할 수 있다. IDTx는 CFP에서 전송된 데이터를 32Mbits/sec의 직렬 비트스트림으로 변환시키고 scrambling과정을 거쳐

X-band 주파수 신호로 QPSK(Quaternary Phase Shift Keying)변조, 송신한다.

3. 영상 데이터의 수신 및 저장

우리별 3호의 지상국은 크게 관제 지상국과 영상데이터 수신처리 지상국으로 나뉘어 진다 (Figure 3). 관제 지상국에서는 위성의 모든 운용 및 상태정검을 관장한다. 영상 촬영 및 데이터 송수신을 위해서는 먼저 수신처리 지상국으로부터 관제 지상국으로 촬영요청 및 데이터 송신 요청이 수행된다. 요청된 촬영 및 데이터 송신 계획은 관제 지상국으로부터 위성으로 프로그램되고 그 계획이 수신처리 지상국으로 전달된다. 송신되는 영상 데이터는 수신처리 지상국에서 수신, 저장, 처리 및 분배가 이루어 진다.

MEIS 영상 데이터의 수신 및 저장 시스템은 Figure 4에서 보여 준다. 수신저장 시스템은 두 대의 Windows95-based PC와 주변장치들로 구성되어 있다. 역시 dual-redundancy로 구성되어 있어서 한 PC의 고장 시 다른 PC를 사용하여 데이터를 수신, 저장할 수 있다. 정상적인 운용에서는 하나의 PC가 수신 및 저장을 담당하고 다른 PC에서는 사용자의 영상 요청 시 수행되어야 하는 영상 전

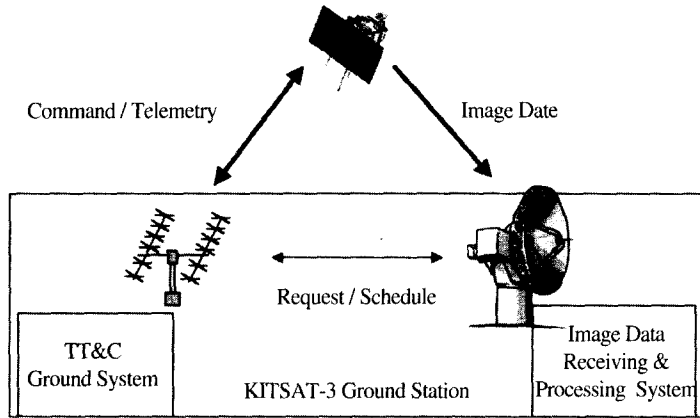


Fig. 3. KITSAT-3 ground systems.

처리 및 카탈로그 검색이 수행된다. Figure 4에서 보는 바와 같이 송신된 X-band 신호는 안테나에서 증폭, 수신된다. X-band 신호는 주파수 변환기에서 중간주파수로 변환되고 이는 Receiver에 의해서 복조되어 결국 두 개의 데이터 비트스트림(I, Q)과 비트동기화된 클럭 신호가 PC로 입력된다.

각 PC에는 이러한 외부 데이터를 PC의 메모리로 전송하기 위하여 개발된 PCRx카드(PC Receiving Card)가 16-bit ISA 슬롯에 부착되어 있다. PCRx 카드는 입력되는 직렬 데이터의 descrambling 및 병렬변환을 수행하여 내부 FIFO에

저장하고 이 데이터를 16비트 DMA(Direct Memory Access)방식으로 PC의 메모리로 전송한다 (Kim et al., 1996). 수신 PC는 메모리에 입력된 데이터를 하드디스크에 실시간 저장하는 동시에 각 frame의 동기부호를 검출, 영상데이터 추출, subsampling을 수행하여 실시간으로 동영상 디스플레이를 수행한다. 이렇게 저장된 데이터는 수신 종료 후 각 scene별로 나뉘어지는 transcription과정을 거쳐서 CD-ROM에 영구저장되며 카탈로그 생성 및 데이터베이스화, 전처리 등의 작업이 수행된다.

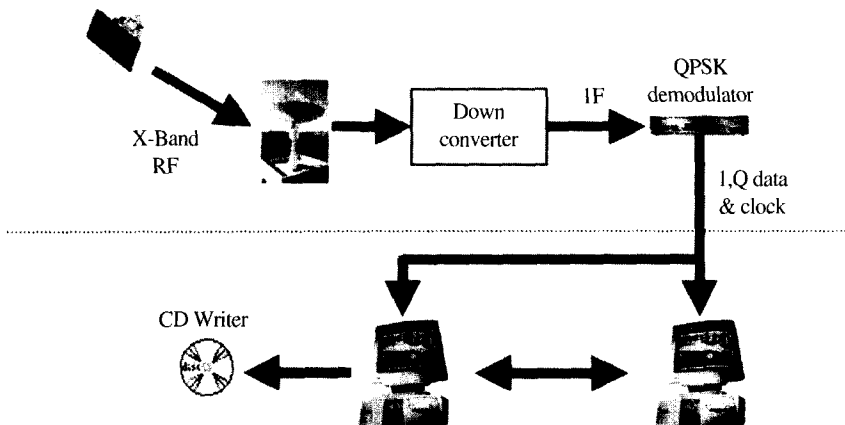


Fig. 4. MEIS image data receiving and archiving system configuration.

4. 데이터 전송 에러

영상데이터의 에러는 여러 가지 원인으로부터 유도될 수 있다. 우선 가장 기본적인 원인으로서는 SRS 또는 SRF의 특정 블록이 오작동을 하는 경우가 있을 수 있다. 앞서 설명할 바와 같이 SRS, SRF의 메모리 소자는 우주환경에서 그 성능이 증명된 메모리 소자가 아니고 그 성능을 시험해 보기 위해 탑재된 소자이기 때문에 얼마든지 오작동을 하는 부분이 발생할 수 있다. 이러한 에러는 메모리의 주기적인 시험을 통해서 검출할 수 있으며 메모리의 특정 블록이 깨졌음이 검출되면 그 이후로는 그 블록을 사용하지 않도록 위성을 제어할 수 있다. 하지만 제어할 수 있는 블록의 크기가 세밀하게 정의되어 있지 않기 때문에 블록 내의 미세한 메모리 오작동은 피할 수 없다.

송수신 시의 데이터 에러는 여러 가지 원인이 복합적으로 작용한다. IDTx의 변조 시 발생하는 에러, 대기 전파 시 발생하는 에러, 수신기 복조기의 에러, PCRx 카드 내부의 하드웨어 동작 에러 등이 그 원인이 될 수 있다. 발생하는 에러의 원인이 정확히 무엇인지를 정량적으로 분석하는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 여기서는 데이터 전송 시 발생하는 에러의 구체적인 원인보다는 에러의 유형별로 기술하도록 한다.

- Single bit error : 전송되는 데이터의 한 비트씩 간헐적으로 깨지는 경우를 말한다. 이 경우 에러가 일어난 화소만이 영향을 받는다.
- Bit slip : 복조 및 비트동기화 모듈이 한 비트를 놓칠 경우 일어나는 현상이다. 이 경우 에러가 일어난 화소 이후에 오는 모든 화소 값들은 비트가 밀리기 때문에 모두 영향을 받는다.
- Frame sync lost : 전송되는 각 frame은 동기화 부호를 가지고 있는데 이를 검출하지 못할 경우 한 frame을 모두 잃어버리게 된다.

Single bit error는 검출하는 것이 거의 불가능하며 bit slip의 경우 역시 영상의 각 줄을 직접 눈으로 보기 전에는 알기 힘들다. Frame sync lost의

경우는 입력되는 데이터 frame number의 연속성을 검사하여 어느 frame을 놓쳤는지를 정량적으로 검출할 수 있다. 따라서 본 논문에서 정량적으로 실험, 분석한 에러는 frame sync lost의 경우에 해당된다.

한 frame은 3496bytes로 구성되어 있으며 frame 동기화 부호, 보조정보, 영상데이터로 구성되어 있다(강경인, 1997).

Frame-sync-word (4 bytes) / Auxiliary data (12 bytes) / Image data (3480 bytes)

여기서 frame 동기화 부호를 검출하지 못 할 경우 그 frame의 데이터를 모두 잃어버리게 된다. Frame에서의 영상데이터는 3개의 채널 데이터가 BIP (Band Interleaved by Pixel) 형식으로 구성되어 있으며 3개의 frame이 영상 한 줄에 해당된다. 즉 한 frame을 놓칠 경우 한 채널의 영상 한 줄을 놓치는 것이 아니라 세 채널의 영상 한 줄을 놓치는 결과를 얻게 된다.

Line n : frame 3n (RGNRGN...), frame 3n+1 (RGNRGN...), frame 3n+2 (RGNRGN...)

Line n+1 : frame 3n+3 (RGNRGN...), frame 3n+4 (RGNRGN...), frame 3n+5 (RGNRGN...) ...

영상 scene을 생성하는 transcription과정에서 잃어버린 frame이 검출되면 그 frame에 해당되는 영상화소의 위, 아래 화소값들을 평균하여 대입하게 된다. 이 경우 영상의 공간해상도가 떨어지는 효과가 발생하지만 현재로서는 잃어버린 화소값을 복구하는 가장 쉽고 효과적인 방법이다. 또한 잃어버린 frame의 수가 매우 작을 경우 전체 영상 해상도 및 영상활용 측면에서는 크게 영향이 없을 것이라고 판단된다. 실제로 수신저장 시스템의 개발 및 시험 요구사항에서는 잃어버리는 frame의 수를 전체 frame 수의 1% 미만으로 설정하였다. 한 scene이 3456pixels×2048lines×3bands로 정의되어 있으므로 한 scene당 총 수신 frame 수는 2048×3=6144 개이다. 따라서 요구사항은 잃어버리는 frame의 수가 한 scene당 60개 미만이어야 한다는 것이다.

5. 영상 데이터 수신 실험 결과

영상데이터의 수신성능 시험을 위해서 우리별 3호의 초기운용 시 수신저장되었던 영상데이터의 잃어버린 frame 수를 검출하였다. 실험 조건을 같게 하기 위해서 송신기는 IDTx-1 만을, 두 대의 수신 PC 중 하나 만을 사용하여 수신저장된 데이터 만을 추출하였다. 상식적으로 수신성능은 수신신호의 크기에 좌우되며 이는 데이터 송신 시 위성의 고도각과 밀접하게 연관되어 있다. 따라서 우선 수신저장된 데이터의 각 scene별 놓친 frame의 수를 검출하고 그 scene에 해당되는 데이터 송신 시의 평균 고도각을 궤도결정 프로그램인 STK4.0을 사용하여 구하였다. 실험에 사용된 영상데이터는 11일에 걸쳐 수신저장된 데이터로서 총 42 scene에 해당된다. Figure 5는 송수신 시의 위성 고도각과 frame 에러의 관계를 보여 준다.

Figure 5에서 보는 바와 같이 위성의 고도각이 20도 이하일 경우 거의 1% 이상(60 frame 이상)의 에러가 발생되었다. 고도각 20도 이상일 경우 평균 48 frame의 에러를 보여주고 있다. 이는 평균 1% 이하를 뜻하지만 60 frame 이상의 에러 또한 종종 발생하기 때문에 개발 요구사항을 완벽히 만족시켰다고는 할 수 없다. 하지만 이 실험은 초기

운용 시에 수행되었고, Figure 2, 4에서 보는바와 같이 송수신 시스템이 모두 dual system으로 구성되어 있기 때문에 IDTx1/IDTx2, 수신PC1/2, PCRx1, 2등을 여러 가지 다른 조합으로 사용하여 최적의 성능을 보여주는 조합을 선택한다면 30 frame 이하의 평균 에러와 60 frame 이하의 최대 에러를 얻을 수 있을 것이라고 기대하고 있다.

또한 CFP는 같은 frame을 최대 5번까지 반복해서 보낼 수 있도록 구현되어 있다. 예를 들어 같은 frame을 두 번씩 반복해서 보내기만 해도 수신 시 잃어버리는 frame의 수는 5 frame이하로 떨어지게 되어 거의 완벽한 송수신 성능을 얻을 수 있다. 하지만 이 경우 전송시간이 두배로 길어지기 때문에 실제 위성의 운용 계획이 매우 비효율적이게 된다. 한 패스동안에 수신할 수 있는 데이터를 두 패스에 나누어서 수신해야하는 번거러움을 초래하기 때문이다.

6. 결론

본 논문에서는 우리별 3호의 영상 촬영 및 송수신 시스템을 소개하고 초기운용시 실험되었던 영상데이터의 송수신 성능을 기술하였다. 초기운

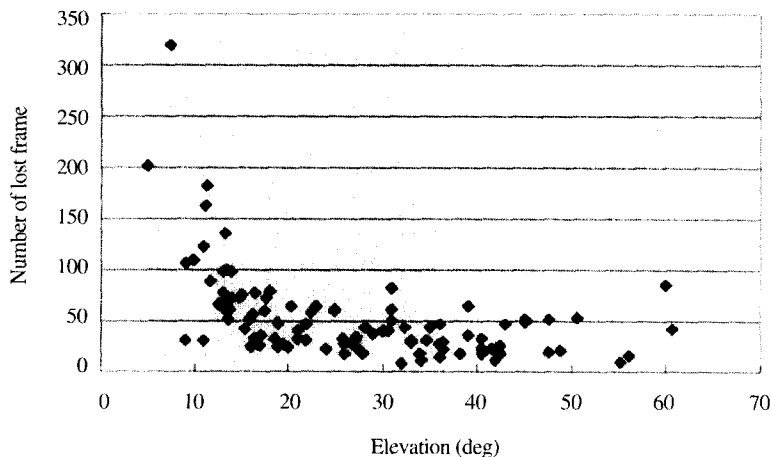


Fig. 5. Data reception performance over the elevation of KITSAT-3.

용시 사용되었던 송수신 시스템의 환경에서 전송되는 데이터의 평균 수신 에러가 1% 미만인 성능을 얻을 수 있었다. 하지만 위성의 고도각이 20도 미만일 경우 수신에러는 크게 증가되므로 우리별3호 영상데이터는 고도각 20도 이상에서 수신될 수 있도록 관제국에 요청하였다. 시스템의 하드웨어를 보다 안정화 시키고 정상운용 시 최적의 시스템 조합을 사용하면 이러한 수신에러를 더욱 줄일 수 있을 것이라고 판단된다. 앞으로 이러한 실험 및 수신시스템 성능개선 작업은 우리별 3호의 정상운용 기간동안 지속적으로 이루어질 것이다.

참고문헌

- 강경인, 1997. 우리별 3호 Image Downlink Format, 내부메모 K3-IS-INM-725, 인공위성연구센터
- Choi, S.D, B.J Kim and E.E. Kim, Dec 1997. An introduction of KITSAT-3 program and the activities at the SaTReC in Korea, Proc. of COSPAR Colloquium on Scientific Microsatellite, Taiwan
- Kim, T., I. Lee, and S.D. Choi, July 1996. A Low Cost direct Archiving and Preprocessing System for KITSAT-3 Image Data, Proc. of the 18th ISPRS Congress, Commission I, Vienna, Austria, pp. 84-89
- SaTReC, 1999. 우리별 3호 발사 후 초기 운용 결과, 인공위성연구센터 homepage <http://satrec.kaist.ac.kr/SaTReC.html>
- Shin, D., Y.R. Lee, K.I. Kang and D.K. Sung, Nov. 1998. A low cost ground system for KITSAT-3, Proc. of Euro-Asian Space Week, ESA, Singapore, pp.363-366