

KSLV-I 상단조립체의 전자파시험에서 GPS 수신기 시스템의 성능분석

문지현*, 권병문**, 신용설***, 최형돈****

Performance Analysis of the GPS Receiver System under Electromagnetic Test of the KSLV-I Upper-stage

Ji-Hyeon Moon*, Byung-Moon Kwon**, Yong-Sul Shin***, Hyung-Don Choi****

Abstract

This paper introduces test configuration and operation method for the GPS receiver system under electromagnetic test of KSLV-I upper-stage as a system qualification level and describes performance analysis of the test results. The GPS receiver system has clearly passed the electromagnetic test specifications of component level which is based on MIL-STD-461E through several design changes. Under electromagnetic test as a system qualification level, the GPS receiver system normally operates in spite of electromagnetic interferences with other systems. Performance of the GPS receiver system is also, not degraded on the condition of electromagnetic field incidence and electrostatic discharge. The KSLV-I GPS receiver system, as a result, is verified on the electromagnetic condition of the KSLV-I upper-stage.

초 록

본 논문에서는 KSLV-I 상단조립체에 대하여 수행된 시스템 인증수준의 전자파시험에서 GPS 수신기 시스템을 위한 시험 구성 및 운용 방법을 소개하고 성능분석 결과를 기술한다. GPS 수신기 시스템은 이미 단품 수준에서 수차례의 설계 변경을 통하여 MIL-STD-461E 기준으로 규정된 KSLV-I 상단 전자장비 시험 규격을 만족함을 확인하였다. 시스템 인증수준으로 수행된 전자파시험에서 GPS 수신기 시스템은 다른 탑재물들과의 전자파적 간섭에도 정상적으로 동작하였으며 전계필드 입사 및 정전기 방전의 조건에서도 성능저하가 발생하지 않아 KSLV-I 상단 전자파환경 조건에서의 동작성이 검증되었다.

키워드 : Global positioning system(위성항법시스템), GPS receiver(위성항법수신기), GPS antenna(위성항법안테나), KSLV-I, environment test(환경시험), electromagnetic test(전자파시험)

접수일(2007년 12월 14일), 수정일(1차 : 2008년 6월 5일, 2차 : 2008년 6월 17일, 게재확정일 : 2008년 7월 1일)

* 제어팀/mjhdust@kari.re.kr

** 제어팀/bmkwon@kari.re.kr

*** 제어팀/newys99@kari.re.kr

**** 제어팀/hdchoi@kari.re.kr

1. 서 론

국내 최초로 개발되는 위성발사체인 KSLV (Korea Space Launch Vehicle)-I은 100kg급 소형 인공위성인 과학위성 2호를 300km의 고도로 운송하는 임무를 가진다. KSLV-I에 탑재되는 탑재물 및 서브시스템은 지상에서 일반적으로 사용되는 상용 제품들과는 다르게 극심한 진동 및 충격 환경에 노출되며 고온, 고속/고가속/고저크, 진공 등의 특수한 운용 조건을 가지므로 이에 따른 환경시험 조건 및 운용 조건이 상용 제품과는 차별화되어야 한다. 국내에서 개발되는 KSLV-I 상단의 환경시험은 단품 및 시스템수준에서 인증 및 수락레벨에 따라 표 1과 같이 수행된다 [1]. KSLV-I 상단 탑재물들은 지상시험 단계에서 이와 같은 다양한 환경시험 및 동작/성능시험을 충분히 수행하여 발사체가 가지는 특수한 환경에서의 동작성을 반드시 검증하여야 한다.

본 논문에서는 KSLV-I 상단조립체 엔지니어링 모델(USEM, Upper-stage Engineering Model) 및 인증모델(USQM, Upper-stage Qualification Model)에 대하여 시스템 인증수준으로 수행된 전자파시험에 대하여 다루고 있다. 전자파시험이란 전자장비에 의해 발생하는 전자파로 인한 시스템의 오동작을 방지하기 위하여 전자장비 자체적으로 발생하는 전자파의 한계치를 규정하고, 규정된 크기의 전자파가 입사되는 조건에서의 시스템의 동작성을 보장하기 위한 시험으로, 다양한 전자장비들로 구성되어 임무를 성공적으로 수행해야 하는 KSLV-I 상단조립체와 같은 복잡한 시스템에서는 단품 수준 뿐 아니라 시스템수준에서도 수행되어야 한다. 시스템수준의 전자파시험에서는 단품수준의 전자파시험을 통과한 전자장비들이 전체적인 시스템으로 구성되어 상호간섭이 발생하는 환경에서 전체 시스템의 동작을 살펴보는 것이 주된 목적이며 KSLV-I 상단조립체에 대하여 두 번 수행되었다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 개발된 KSLV-I GPS 수신기 시스템에 대하여 간략히 소개하고, 3절에서는 KSLV-I 상단탑재물의 단품 및

시스템수준으로 수행된 전자파시험을 설명한다. 4절에서는 KSLV-I 시스템수준의 전자파시험을 위한 GPS 수신기 시스템의 운용 및 시험 구성에 대하여 다루고, 5절에서는 시스템수준의 전자파 시험에서 GPS 수신기 시스템의 동작 결과를 기술한다. 마지막으로 6절에서 결론을 맺는다.

2. KSLV-I GPS 수신기 시스템

KSLV-I 발사체의 비행안전용 센서로 활용될 GPS 수신기 시스템은 그림 1과 같이 GPS 수신기 1조와 GPS 안테나 3조로 구성된다. KSLV-I에 탑재되는 GPS 수신기는 발사대기 상태에서 비행 종료 시까지 총 임무 구간에서 GPS 위성의 충분한 가시성을 확보하기 위하여 GPS 안테나 3개로 부터 위성신호를 수신하도록 설계되었으며, 이에

표 1. KSLV-I 상단 환경시험

		단품		시스템	
		인증	수락	인증	수락
충격	파이로	○	-	○	-
	반정현파	○	-	-	-
진동	음향	-	-	○	○
	랜덤	○	○	-	-
	정현파	○	-	○	-
온도	열주기	-	-	○	○
	고온	○	○	-	-
	저온	○	○	-	-
전자파		○	-	○	-

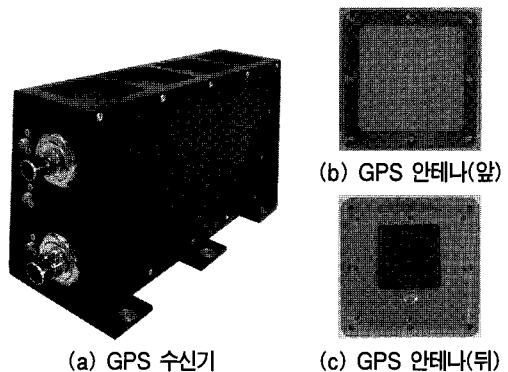


그림 1. KSLV-I GPS 수신기 시스템

따라 각 안테나로부터 수신된 위성 신호를 독립적으로 처리할 수 있도록 고주파수신단 및 Correlator부가 각각 3개씩으로 구성되어 있다 [2]. KSLV-I GPS 수신기는 L1(1575.42MHz) 주파수, C/A 코드를 수신하여 항법을 수행하며, GPS 안테나는 L1 단일 주파수 수신용 안테나로 상세 규격은 표 2와 같다. KSLV-I GPS 수신기 및 안테나는 KSLV-I 발사체가 가지는 극심한 환경 및 고속/고가속/고저크와 같은 높은 동특성에서도 정상적으로 동작하도록 설계되었으며, 단품 수준에서 다양한 환경시험 및 동특성 성능시험을 수행하여 동작성을 검증하였다 [2, 3]. GPS 수신기

는 KSLV-I 상단 Kick Motor 지지부 패널에 설치되며, 3개의 GPS 안테나는 1/2단 분리조인트의 85°, 220°, 265°에 각각 설치된다.

3. KSLV-I 상단의 전자파시험

전자파시험이란 전자장비에 의해 발생하는 전자파 간섭으로 인한 시스템의 오동작을 방지하기 위하여 전자장비 자체적으로 발생하는 전자파의 한계치를 규정하고, 규정된 크기의 전자파가 입사되는 조건에서도 성능저하 없이 정상적으로 동작함을 검증하여 전자파의 상호간섭 조건에서도 시스템의 오동작이 발생하지 않도록 하기 위한 시험이다. 일반적으로 전자장비에 대하여 수행되는 전자파시험은 피시험체가 발생시키는 전자파의 양을 검사하는 방사시험(Emission Test)과 다른 전자장비가 발생시키는 전자파에 의한 피시험체의 영향성을 검사하는 내성시험(Susceptibility Test)으로 구분되며, 노이즈 전달 경로에 따라 전도시험(Conduction Test) 및 복사시험(Radiation Test)로 나뉜다.

표 2. KSLV-I GPS 수신기 시스템의 규격

< GPS 수신기 >		
전기적 규격		
주파수/코드	1.575GHz(L1), C/A	
입력전원	+28VDC, 0.35A (Typical)	
소모전력	11watt (Max.)	
인터페이스	RS-422, MIL-STD-1553B	
출력주기	10Hz	
물리적 규격		
크기	110mm×250mm×150mm	
중량	3.5 ± 0.1kg	
커넥터	안테나	SMA Female 3EA
	전원	D38999 Series IV, 1EA, 5pin
	데이터	D38999 Series IV, 1EA, 22pin
동특성 규격		
속도	12km/sec	
가속도	15g	
저크	35g/sec	
< GPS 안테나 >		
물리적 규격		
크기	100mm×100mm×25mm	
중량	270 ± 5g	
타입	능동형 패치	
커넥터	SMA (Female)	
전기적 규격		
주파수	1.575GHz	
VSWR	2.0 이하	
LNA	+5VDC, 30mA Max.	
Supply Voltage	(수신기로부터 공급)	
LNA Gain	25.0 ± 1.0dB	
Noise Figure	1.0dB Max.	

표 3. KSLV-I 상단의 전자파시험

< 단품수준 시험 >		
CE	102	전원선의 전도방사량 측정
	106	안테나 단자의 전도방사량 측정
RE	102	피시험체 및 접속케이블의 복사방사량 측정
CS	101	전원케이블의 전도내성 시험
	114	접속케이블의 전도내성 시험
	115	
	116	
RS	103	피시험체 및 접속케이블의 복사내성 시험
< 시스템수준 시험 >		
SC		전체 시스템 동작 시 상호 간섭 시험
RE		피시험체 및 접속케이블의 복사방사량 측정
RS		피시험체 및 접속케이블의 복사내성 시험
ESD		정전기 내성시험

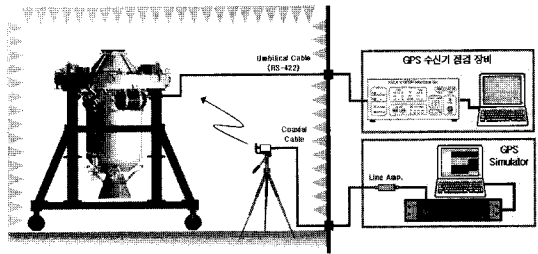
*CE: Conducted Emissions *RE: Radiated Emissions
 *CS: Conducted Susceptibility *RS: Radiated Susceptibility
 *SC: Self Compatibility *ESD: Electrostatic Discharge

KSLV-I 상단탑재물에 대한 전자파시험 규격은 상용 장비에 적용되는 규격보다 더욱 엄격한 미국 군사규격인 MIL-STD-461E 중에서 위성발사체를 포함한 우주비행체에 대한 요구규격을 기준으로 작성되었다. KSLV-I 상단탑재물에 대한 전자파시험은 표 3과 같이 CE102, RE102, CS101/114/115/116 및 RS103 등의 항목이 있으며, 안테나가 포함된 탑재물에 대하여 CE106 시험이 추가로 수행된다 [4]. GPS 수신기 시스템의 단품수준 전자파시험에서는 CE106을 포함한 모든 시험이 수행되었다. GPS 수신기는 단품수준에서 수차례의 전자파시험을 통하여 접지구조 변경, 전원/데이터 커넥터 분리, 전원단 노이즈 입출력 차단을 위한 소자 및 필터 추가, 데이터라인 절연 소자 추가 등 다양한 설계 변경을 수행하여 시험 규격을 모두 통과하였다 [2, 5]. KSLV-I 상단조립체에 대한 시스템수준의 전자파시험은 MIL-STD-464 규격에 따라 SC, RE, RS, ESD 시험이 수행된다 [6, 7]. SC 시험은 KSLV-I 상단을 구성하는 탑재물 및 서브시스템을 조립한 후 전원을 인가하여 상단조립체가 정상 동작하고 있는 상태에서 구성품들 상호간 전자파적 영향에 의한 동작성을 살펴보는 시험이며, RE 시험은 조립된 전체 시스템에서 발생하는 복사 방사량을 측정하여 규정치를 초과하지 않음을 검증하는 시험이다. 또한 RS 시험은 규정된 전계필드가 시스템에 입사되는 조건에서 시스템의 내성을 검사하는 시험이며, ESD 시험은 시스템이 정해진 규격의 정전기에 대한 내성이 있는지 확인하는 시험이다.

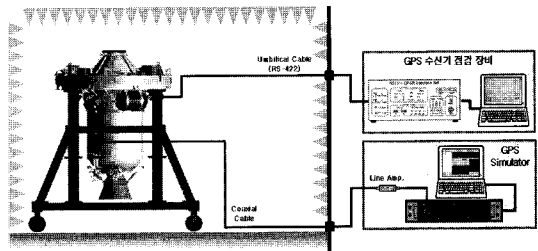
KSLV-I 상단을 구성하는 탑재물들은 단품수준에서 전자파시험을 반드시 통과해야 하며, 시스템으로 조립된 이후에 시스템수준의 전자파시험을 수행하여 시험 규격의 만족 여부를 확인해야 한다.

4. 시험 구성 및 운용

KSLV-I 상단조립체의 전자파시험에서 GPS 수신기 시스템은 전자파시험의 종류에 따라 그림 2

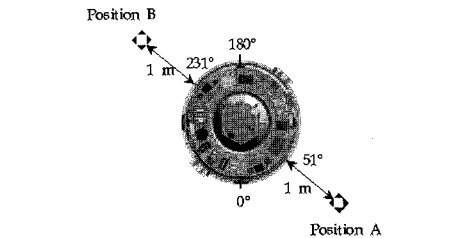


(a) SC 시험 구성

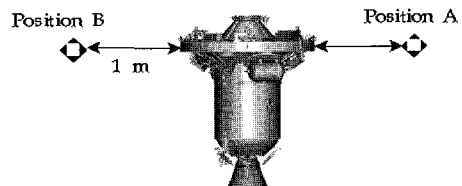


(b) RE, RS, ESD 시험 구성

그림 2. 시험 구성



(a) Topview



(b) Sideview

그림 3. 전계필드 측정 및 입사위치

와 같이 운용되었다. SC 시험에서는 그림 2의 (a)와 같이 신호리퍼터를 GPS 안테나 1번 앞에 일정 간격을 두고 설치하여 GPS 안테나에 RF

신호를 자유공간을 통하여 공급하였으며, GPS 안테나 2번 및 3번에는 따로 신호를 공급하지 않았다. 그 외의 시험에서는 그림 2의 (b)와 같이 GPS 안테나 1번과 연결된 내부 하니스를 분리하고 GPS 수신기의 안테나 단자 1번에 동축케이블을 직접 연결하여 챔버 외부에 설치된 GPS 시뮬레이터로부터 GPS 위성신호를 직접 공급하였으며, GPS 안테나 모두와 GPS 수신기의 안테나 단자 2번 및 3번은 중단 처리하였다.

KSLV-I 상단조립체의 전자파시험을 수행하는 동안 챔버 외부에 설치된 GPS 시뮬레이터는 정적 시나리오로 운용하였으며, 생성된 위성신호의 세기는 실제 Live 위성신호를 수신할 때의 최대 신호대잡음비보다 조금 낮게 설정하였다.

RE 및 RS 시험에서는 직경이 2.0m인 KSLV-I 상단조립체에 대한 보다 세밀한 시험을 위하여 그림 3과 같이 서로 반대 방향인 두 위치를 선정하여 방사 및 수신 안테나를 위치시키고 동일한 시험을 반복 수행하였다.

5. 시험 결과

KSLV-I 상단조립체인 USEM 및 USQM에 대하여 수행된 전자파시험에서 GPS 수신기 시스템은 전자파 환경에 의한 성능저하나 오동작은 발생하지 않았다. 그러나 USEM 시험에서 GPS 수신기 프로그램 버그로 인한 MIL-STD-1553B 통신 중단 및 리셋 등의 현상이 나타났으나, 전자파시험 환경으로 인한 오동작이 아님을 확인하였다 [8]. USEM 시험 종료 후 GPS 수신기의 프로그램을 수정하고 장기시험을 수행하여 통신 중단 및 리셋과 같은 오동작이 발생하지 않음을 검증하였으며, 차후 수행된 USQM의 전자파시험을 통하여 GPS 수신기 시스템의 전자파적 동작성을 재검증하였다.

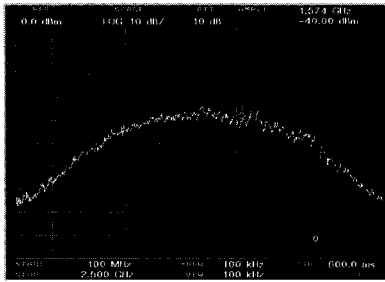
본문에서 제시된 시험 결과는 SC/RE/RS/ESD 시험의 순서로 기술되며, SC/RS/ESD 시험에서 GPS 수신기의 동작은 최대신호대잡음비 및 항법 오차를 계산하여 분석하였다. SC/RS/ESD 시험의 결과 그래프는 USQM에 대한 결과이다.

5.1 SC 시험

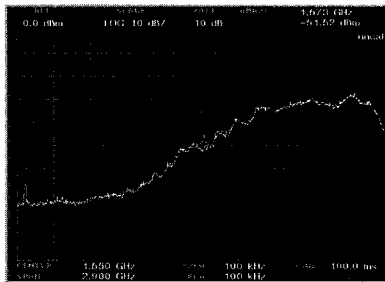
KSLV-I 상단탑재부의 모든 탑재물들에 전원을 인가한 후 탑재물 상호간 전자파적 영향성을 검사하기 위한 SC 시험에서는 발 사대기 상태 및 비행 중의 시퀀스를 모사하여 INGU(Inertial Navigation Guidance Unit) 동작 후 EMDP(Electric Motor Driven Pump) 및 FTS(Flight Termination System) 등에 명령을 인가하면서 시험을 수행하였다. 수신감도가 낮아 강한 RF 신호에 매우 민감하게 동작하는 GPS 수신기 시스템은 L1 주파수 대역의 교란 신호가 유입되면 오 동작하기 쉽기 때문에 GPS 수신기 시스템 관점에서 SC 시험은 매우 중요하다. 특히 조립된 KSLV-I 상단에는 출력이 수십 와트에 달하는 S 밴드 송신기, C밴드 송신기 등이 함께 탑재되기 때문에 그 영향을 반드시 확인해야 한다.

KSLV-I 상단탑재부의 모든 탑재물들에 전원이 인가되었을 때 GPS 수신기 시스템은 그림 5와 같이 정상적으로 동작하였다.

USEM의 전자파시험에서 1단 Telemetry 신호 모사 시험 중에 GPS 수신기의 신호대잡음비가 떨어지면서 위성신호를 추적하지 못하는 특이한 현상이 발생하였다. 이는 모사신호를 발생시키기 위해 사용되는 Power Amp. 장비에서 발생한 1.5GHz 대역의 스퓨리어스가 GPS 수신기와 연결된 GPS 안테나로 수신되어 GPS 위성신호를 교란시켰기 때문인 것으로 판단된다. 단품 수준의 전자파시험(RS103)에서도 유사한 문제가 발생하였으며, 이 때 발생된 인밴드 잡음수준은 그림 4처럼 약 -50dBm ~ -40dBm로 GPS 수신기 시스템의 수신감도인 -130dBm보다 80dB ~ 90dB 정도가 높은 수준으로 이러한 환경에서 GPS 수신기 시스템이 정상적으로 동작하는 것은 불가능하다. KSLV-I 발사체의 실제 운용 환경에서는 GPS 수신기 시스템의 사용주파수의 인밴드 잡음이 발생하지 않으며, 위와 같은 현상은 시험에 사용되는 추가장비의 특성으로 나타난 잡음으로 인한 것이기 때문에 이를 방지하기 위하여 USQM의 전자파시험에서는 1단 Telemetry 신호모사 시험은 배제하고 진행하였다.



(a) 1GHz ~ 2GHz Power Amp. On



(b) 2GHz ~ 4GHz Power Amp. On

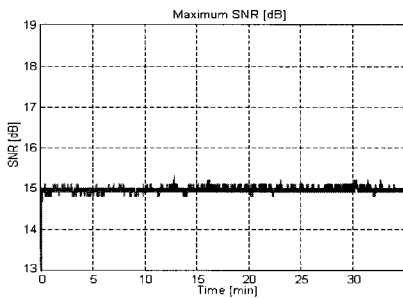
그림 4. 단품시험에서 Power Amp.로 인한 인밴드 잡음레벨

SC 시험에서 GPS 수신기 시스템은 함께 탑재된 송신기들의 영향에 의해 오동작하지 않고 그림 5와 같이 정상적으로 동작하였다.

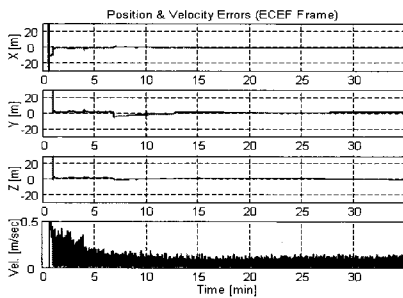
5.2 RE 시험

RE 시험은 KSLV-I 상단조립체의 모든 탑재물들에 전원을 인가한 후 상단조립체에서 방사되는 전계필드를 측정하여 규정된 값을 초과하지 않음을 검증하기 위한 시험이다. 규정된 한계치는 거의 전 대역에 대하여 100dB μ V/m이나, S밴드 및 C밴드 송신기의 주파수 대역인 2.26GHz ~ 2.29GHz 대역 및 5.56GHz ~ 5.6GHz 대역에 대해서는 각각 150dB μ V/m 및 166dB μ V/m로 규정된다 [6, 7].

USQM에 대하여 수행된 RE 시험에서 GPS 수신기가 설치된 위치와 근접한 그림 3의 Position B에서 측정된 전계필드는 수직편파 및 수평편파에 따라 각각 그림 6의 (a) 및 (b)와 같다. 그림에서와 같이 전체 주파수 구간에서 규정된 한계치를 초과하지 않고 있으며 전체 구간에서 20dB 이상의 마진을 가지고 있는 것을 볼 수 있다. Position A에서도 유사하게 측정되었으며 USEM에 대하여 측정된 RE 측정치보다 잡음 특성이 향상되었다.

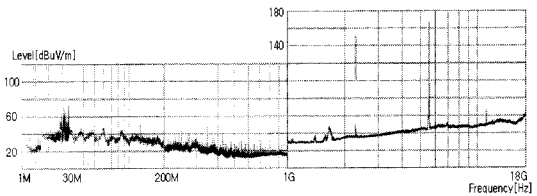


(a) 최대신호대잡음비

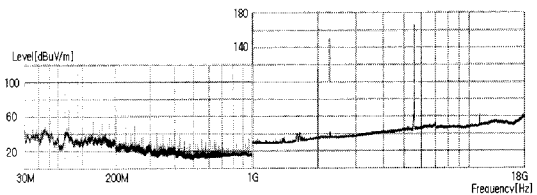


(b) 항법오차

그림 5. SC 시험에서 GPS 수신기의 동작



(a) Position B, 수직 편파



(b) Position B, 수평 편파

그림 6. RE 측정 결과

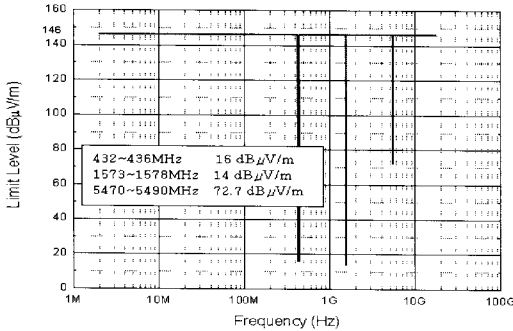


그림 7. RS 한계치

5.3 RS 시험

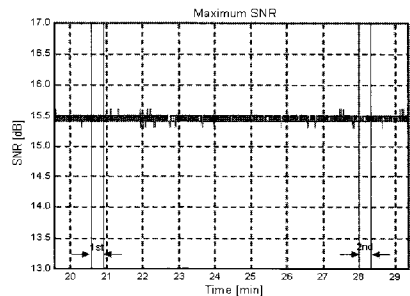
KSLV-I 상단조립체의 탑재물들이 규정된 전계 필드가 입사되는 조건에서 내성을 가지고 있는지 검증하기 위해 수행되는 RS 시험에서는 그림 7 과 같이 규정된 전계필드를 그림 3의 위치에서 입사시킨다. 대부분의 대역에서 규정치는 146dBμV/m이나 KSLV-I 상단에 설치된 수신 안테나들의 사용 주파수 대역인 432MHz ~ 426MHz, 1573MHz ~ 1578MHz, 5470MHz ~ 5490MHz 대역에 대해서는 각각 16dBμV/m, 14dBμV/m 및 72.7dBμV/m로 규정된다 [6, 7]. 시험 주파수 범위는 2MHz ~ 18GHz이며, 전계필드가 1kHz, 50%의 Duty Cycle로 펄스 변조되어 상단탑재부에 입사되며, 상단 탑재물에서 실제로 사용되는 주파수를 고려하여 샘플 주파수를 선정하였다. USEM에 대한 RS 시험에서는 방사 신호의 편파 및 입사 위치에 상관없이 동일한 주파수를 사용하는 방식으로 50개의 샘플 주파수를 사용하였으나, USQM 시험에서는 입사되는 전계필드의 편파와 방사 안테나의 위치에 따라 주파수를 약간 다르게 설정하여 USEM 시험에서보다 다양한 주파수에 대하여 전계필드의 영향을 확인할 수 있도록 하였다.

본 논문의 끝에 제시되어 있는 그림 8 및 그림 9는 USQM의 RS 시험에서 GPS 수신기가 장착된 위치와 근접한 Position B에서 전계필드가 입사되었을 때 GPS 수신기에서 계산된 최대신호 대잡음비 및 항법오차 분석 결과이다. 최대신호

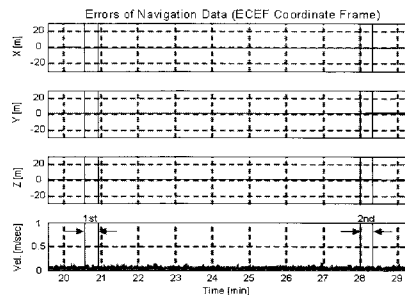
대잡음비는 약 15.5dB의 수준에서 큰 흔들림 없이 안정적으로 나타나고 있으며, 항법오차 역시 전체 구간에 대하여 30m 이내의 위치오차 및 0.5m/sec 이하의 속도오차로 정상적으로 계산되고 있음을 볼 수 있다. 그러므로 GPS 수신기는 입사된 전계필드에 의하여 성능변화가 발생하지 않고 정상적으로 동작하고 있음을 알 수 있다.

그림 9의 항법오차 그래프에서 구간에 따라 오차가 커지는 부분이 발생하는 것을 볼 수 있으나, 이는 양각이 0°에 가까운 위성 신호가 항법 계산에 사용되어 항법 정확도를 떨어뜨렸기 때문에 발생한 현상이다. 양각이 0°에 가까운 위성 신호는 이온층 및 대류층을 통과하는 시간이 길어져 이로 인한 추가적인 오차가 발생하게 된다. 이러한 현상은 GPS 수신기 내부에서 사용 위성의 마스크각을 0° 이상으로 설정하여 해결할 수 있는 문제이나 KSLV-I GPS 수신기는 전 임무 구간에 대하여 충분한 가시위성을 확보할 수 있도록 마스크각을 0°로 설정하고 운용하고 있다.

5.4 ESD 시험



(a) 최대신호대잡음비



(b) 항법오차

그림 10. ESD 시험에서 GPS 수신기의 동작

ESD 시험은 10kV 이상의 정전기가 KSLV-I 상단조립체에 1kHz의 주기로 20초 동안 방전되는 조건에서 탑재물들이 정상적으로 동작함을 검증하기 위한 시험으로 단품수준에서는 수행되지 않고 시스템수준에서만 수행된다. ESD 시험에서는 KSLV-I 상단조립체에 접지를 연결하고, 정해진 두 지점에 정해진 규격의 정전기를 가하게 된다 [6, 7].

USQM의 ESD 시험에서 GPS 수신기의 최대 신호대잡음비 및 항법오차는 그림 10에 주어져 있다. 1차 및 2차 ESD 방전 구간에서 GPS 수신기는 성능 변화가 발생하지 않고, ESD 방전이 수행되지 않을 때의 상태와 동일하게 동작하고 있는 것을 볼 수 있다.

6. 결론 및 향후계획

본 논문에서는 KSLV-I 상단조립체인 USEM 및 USQM에 대하여 수행된 시스템 인증수준의 전자파시험에서 GPS 수신기 시스템의 동작 및 성능을 살펴보았다. 이미 단품수준에서 수차례의 설계 변경을 통하여 정해진 규격을 모두 통과한 KSLV-I GPS 수신기 시스템은 KSLV-I 상단조립체의 전자파시험에서도 전자파 환경으로 인한 문제없이 정상적으로 동작하였다. 먼저 수행된 USEM의 전자파시험에서 GPS 수신기의 프로그램 버그로 인하여 오동작이 발생하였으나 업데이트된 프로그램이 적용된 GPS 수신기를 탑재한 USQM의 전자파시험에서 GPS 수신기는 모든 항목에 대하여 만족스러운 성능을 나타내었다.

현재 한국항공우주연구원에서는 KSLV-I 상단조립체인 USEM과 USQM의 연계 및 환경시험을 완료하고 비행모델에 대한 조립 및 시험을 수행하고 있다.

참고 문헌

1. 전영두, "KSLV-I 상단부 콤포넌트 환경시험 조건(SP51400PA00000-0001)", 한국항공우주연구원 내부자료, 2004.
2. 최형돈 외, 위성발사체 탑재시스템 정밀도 및 신뢰도 향상 기술 연구(I ~ V), 한국항공우주연구원 보고서, 2003 ~ 2007.
3. B.M.Kwon, J.H.Moon, H.D.Choi, G.R.Cho, "Comparative Performance Analyses of GPS Receivers under High-Dynamic Conditions", 2008 IFAC World Congress, Jul. 2008.
4. 지기만, "KSLV-I 단위 전자장비 전자파환경 시험 규격(안)(SP61300PA00000-0001)", 한국항공우주연구원 내부자료, 2005.
5. 권병문, 문지현, 최형돈, "위성발사체용 GPS 수신기 시스템의 전자파시험, Part I, II", 한국항공우주학회지 제35권 제4호, pp. 329-346, 2007.
6. 지기만, "KSLV-I 2단 조립체(EM) EMC 시험 절차서(PC61300PA00000-0001)", 한국항공우주연구원 내부자료, 2006.
7. 지기만, "KSLV-I 2단 조립체(QM) EMC 시험 절차서(PC61300PA00000-0003)", 한국항공우주연구원 내부자료, 2007.
8. 권병문, 문지현, 최형돈, 지기만, 이수진, "KSLV-I 상단 엔지니어링 모델 전자파시험에서 GPS 수신기 시스템의 성능분석", 제8회 우주발사체기술 심포지움, 2007.

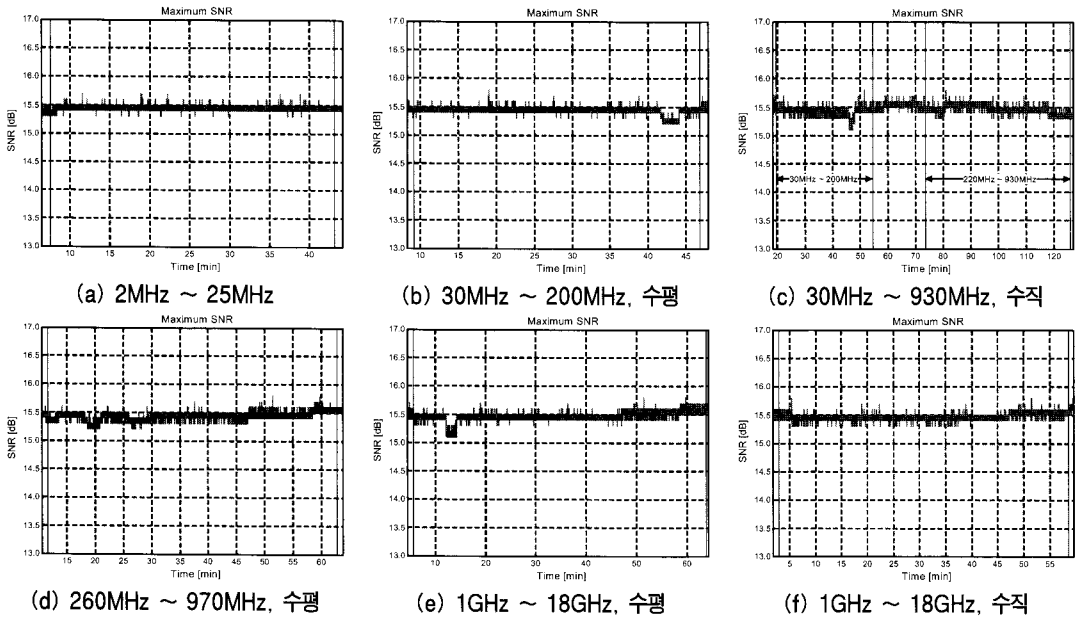


그림 8. RS 시험에서 최대신호대잡음비 (Position B)

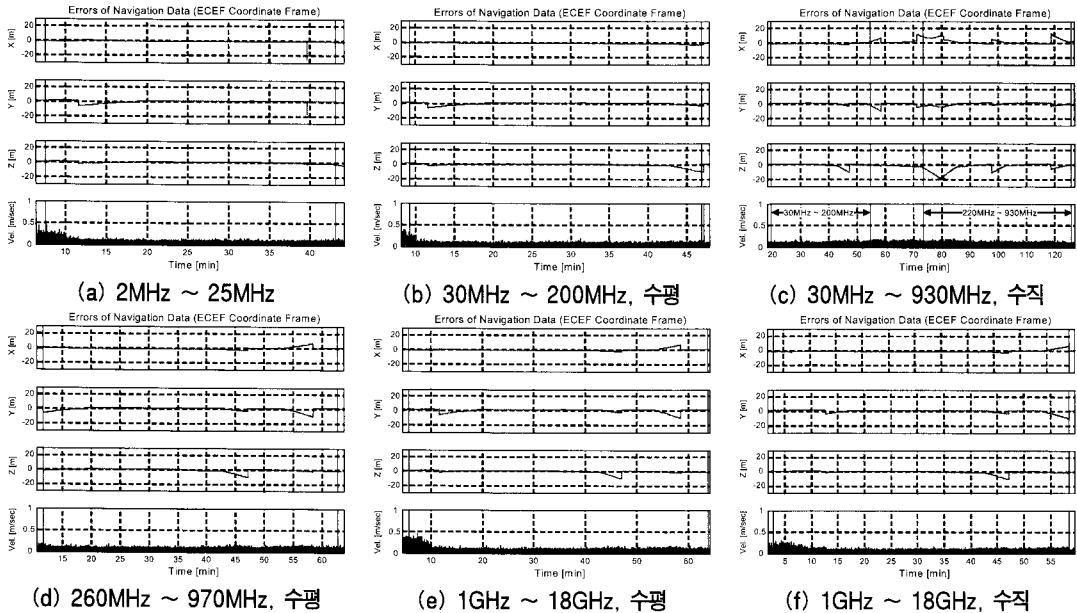


그림 9. RS 시험에서 항법오차 (Position B)