

차세대 위성항법체계 갈릴레오 센서스테이션 유치 후보지 전파  
수신환경 조사: I. KVN 탐라전파천문대 인근 부지에 대한  
2006년 한국천문연구원 조사 결과

조중현<sup>1†</sup>, 제도흥<sup>2</sup>, 조성기<sup>1</sup>, 최병규<sup>1</sup>, 백정호<sup>1</sup>, 이대규<sup>1</sup>, 정현수<sup>2</sup>, 임형철<sup>1</sup>, 조정호<sup>1</sup>,  
이우경<sup>1</sup>, 정성욱<sup>1</sup>, 박종욱<sup>1</sup>, 최남미<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원 우주측지연구부

<sup>2</sup>한국천문연구원 전파천문연구부

<sup>3</sup>한국항공우주연구원 정책개발팀

RF ENVIRONMENT TEST ON A PROPOSED SITE FOR THE SENSOR  
STATION OF THE NEXT GENERATION SATELLITE NAVIGATION  
SYSTEM, GALILEO: I. THE RESULT OF THE TEST ON THE  
VICINITY OF KVN TAMLA SITE IN THE YEAR OF 2006 BY KASI

Jung Hyun Jo<sup>1†</sup>, Do-Hyeong Je<sup>2</sup>, Sungki Cho<sup>1</sup>, Byung Kyu Choi<sup>1</sup>, Jeongho Baek<sup>1</sup>,  
Daekyu Lee<sup>1</sup>, Hyunsoo Chung<sup>2</sup>, Hyung-Chul Lim<sup>1</sup>, Jung-Ho Cho<sup>1</sup>,  
Woo-Kyoung Lee<sup>1</sup>, Sung-Wook Jung<sup>1</sup>, Jong-Uk Park<sup>1</sup>, and Nammi Choe<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Space Geodesy Division, Korea Astronomy & Space Science Institute(KASI), Daejeon 305-348, Korea

<sup>2</sup>Radio Astronomy Division, Korea Astronomy & Space Science Institute(KASI), Daejeon 305-348, Korea

<sup>3</sup>Policy Development Team, Korea Aerospace Research Institute(KARI), Daejeon 305-600, Korea

E-mail: jhjo39@kasi.re.kr

(Received January 10, 2008; Accepted February 14, 2008)

요 약

2007년에 Giove-A 실험위성의 항법메시지 송신 시험이 성공적으로 끝나짐으로써, 차세대 위성 항법시스템인 갈릴레오 계획이 초기케도 검증단계를 앞두고 있다. 한국천문연구원의 우주측지 연구부와 전파천문연구부는 제주 탐라대학교 내 유치 후보지에 대한 갈릴레오 센서 스테이션 전파 수신환경 공동조사를 2006년 8월 3일부터 5일까지 실시했다. 전개강도 스펙트럼은 전 대역(800~2000MHz)과 내 대역(E5, E6, L1 밴드)에 대해서 24시간 주파수 영역 관측을 했다. 이 단계에서 관측된 강한 내 대역 간섭 신호에 대해서 시간영역 분석을 했다.

ABSTRACT

As the next generation of global satellite navigation system, the Galileo project is about to witness an initial orbit validation stage as the successful test of navigation message transmission from Giove-A in 2007. The Space Geodesy division and the Radio Astronomy division of the Korea Astronomy & Space Science Institute had collaborated on the field survey for the Galileo Sensor Station (GSS) RF environment of the proposed site near Jeju Tamla University from August 3rd to August 5th, 2006. The power spectrums were measured in full-band (800 ~ 2000 MHz) and in-band (E5, E6 and L1 band) in frequency domain for 24 hours respectively. Finally, we performed

<sup>†</sup>corresponding author

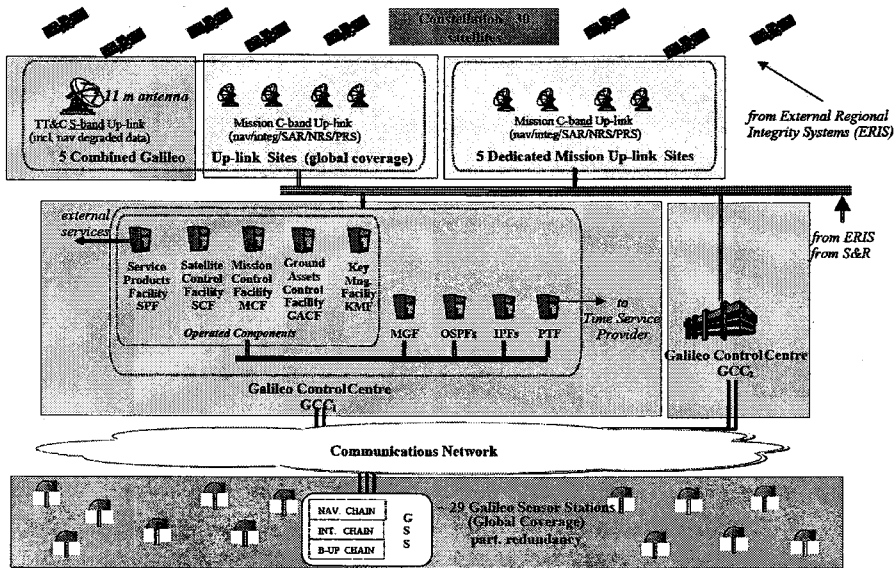


그림 1. 갈릴레오 지상부분 시스템 상세 구성도(Cheli 2007).

a time domain analysis to characterize strong in-band interference source based on the result of the previous step.

*Keywords:* Galileo satellite navigation system, Galileo sensor station, RF environment, RFI

## 1. 서 론

미국 국방부의 주도로 개발되어 체계화된 전 지구 위성항법 체계인 GPS가 완전운용능력을 갖춘 지 15년째에 접어 들고 있다. 재정적인 이유로 운용상태가 좋지 않았던 러시아의 GLONASS도 재건을 서두르고 있고, 유럽연합이 주도 하는 차세대 위성항법체계인 갈릴레오(Galileo) 시스템은 실험 위성 Giove-A의 실험운용을 필두로 체계 구성을 시작하고 있다. 과학기술부에서 2007년도에 제정한 ‘제 1차 우주개발진흥기본계획’에서 밝혔듯이, 위성항법 시스템 개발에 있어서 후발 주자인 대한민국도 단순히 사용만 하는 수혜자의 입장에서 적극적으로 위성항법체계 개발에 참여하여 국제사회에 기여할 것을 국내외적으로 요구 받고 있다. 특히 유럽연합에서 개발 중인 갈릴레오 시스템에 대해 우리 정부의 지분 참여 및 국내 학계의 연구 참여가 요청되었으며, 2005년도에 과학기술부에 의해 제정된 ‘국가 위성항법시스템 종합발전 기본계획’을 토대로 이에 대한 사전 조사 및 연구가 진행되었다.

갈릴레오의 주요 부분 중 갈릴레오 시스템의 감시, 조정 및 운영을 담당하는 것은 그림 1에 나타난 지상부분(ground segment)이다. 지상부분에서 전지구적으로 갈릴레오 항법위성으로부터 항시 신호를 수신하여 위성의 상태를 감시하고 이를 지상관제국(GCC)으로 송신하는 갈릴레오 센서스테이션(GSS)은 지상부분의 가장 기본적인 구성요소이다. 위성의 상태나 신호의 무결성 등은 이 GSS에

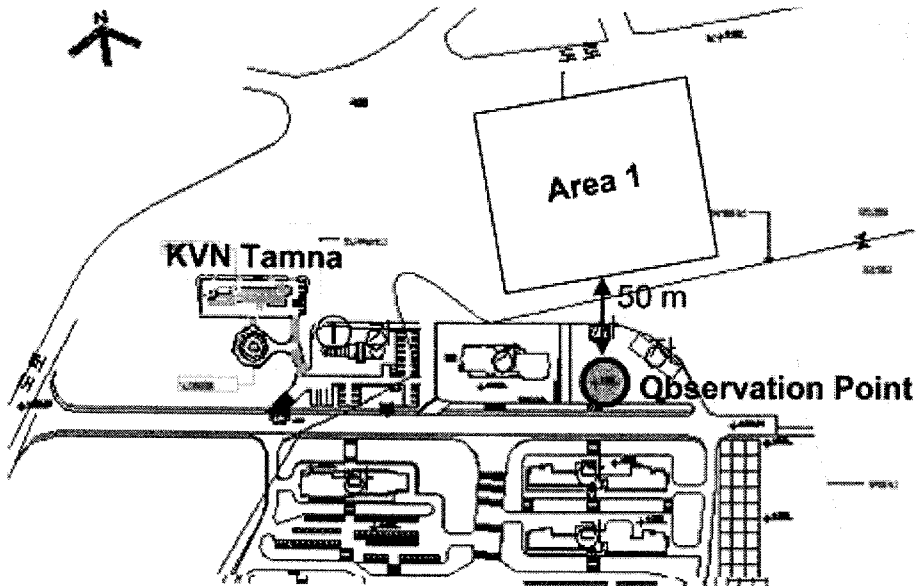


그림 2. 제주 탐라 대학교 내 GSS유치 후보지(Areal) 및 전파 간섭 측정 위치.

서 수신된 갈릴레오 항법 신호를 바탕으로 판단한다. GSS는 3개의 항법 안테나와 수신기를 비롯한 기준주파수 및 시각 정보용 원자 시계, 자료 처리 장치, 기상 관측 장비, 감시 및 제어 시스템, 통신 장비, 무전전 전원 장비 등으로 구성된다. 갈릴레오 시스템의 초기궤도 검증단계(in-orbit validation phase)에서는 20개의 GSS를 설치할 것이며, 완전운용능력(full operational capability) 단계에서는 그 수가 40개에 달할 것이다. 한국천문연구원은 위성항법의 선진 기술 개발에 주도적으로 참여하고자 갈릴레오 시스템의 지상 신호 감시 시설인 GSS 유치에 참가하였으며, 2006년 말에 유럽항공우주국으로부터 우선협상대상자에 선정되었다(박종욱 2006).

한국천문연구원은 GSS 유치 예정부지의 다각적 조사의 일환으로, 지난 2006년 8월 3일부터 5일까지 제주 탐라대학 내에 있는 한국천문연구원 KVN(Korean VLBI Network) 부지 근처에서 전파 환경을 측정하였다(Cho et al. 2006). GSS는 갈릴레오 위성에서 송신한 미약한 항법위성 신호를 상시 수신하고 감시해야 하는 바, 항법위성 신호에 간섭을 줄 수 있는 모든 물리적 장애물이나 전파간섭원을 찾는 현지 조사가 필요하다. 전파 환경 측정에 앞서 유치 예정 부지의 소유권 파악, 갈릴레오 위성에 대한 시야각 조사 및 부지 주변의 행정적 상황과 지형적인 특성에 대한 조사가 이루어졌다(조정호 2006). 전파 환경 측정의 전 과정에서 European Space Agency(ESA)가 제시한 측정 절차와 측정 장비를 사용하였으며, 요구된 형식의 결과물을 도출했다(제도홍 2006a, Cho et al. 2006).

## 2. 부지 환경 및 측정 장비

한국천문연구원의 GSS 예정부지는 위성 사진 자료 및 지상 지형 자료를 이용해 전국토를 조사한 후, 그 지정학적 위치가 아시아 오세아니아 지역 전체 또는 동아시아 지역만을 고려했을 때 매우

표 1. 전파 측정 장비.

측정 장비	제조사	제품 모델	측정 가능 대역폭
Spectrum analyzer	Agilent	E4440A	3Hz ~ 26.5GHz
안테나	ARA Tech. Inc.	CMA-118A	1Hz ~ 18GHz

표 2. 전 대역 누적 최대치 측정을 위한 spectrum analyzer 설정치(Cho et al. 2006).

측정 설정 요소	설정치
Frequency SPAN	800MHz - 2000MHz
RBW	100kHz
VBW	3kHz
Number of Points	8192(maximum value of spectrum analyzer)
Input Attenuation	0dB
View Mode	max hold
Sweep Mode	연속
자료 간격	5분
측정 시간	24시간
자료 수	288
시작 시간	2006-08-04 19:05:06
종료 시간	2006-08-05 19:09:33

전략적 위치인 제주도를 대상으로 했다. 특히 제주도 남부 지역은 인구 저밀도 지역으로 향후 지역 개발이 활발하지 않을 것으로 예상하였고 특히, 한국 천문연구원의 KVN 관측소가 있는 탐라대학교가 제주도 서귀포 인근에 있으며 전천에 대한 시야가 양호하여 제 일 후보지로 선택하였다. 그 외의 예상 후보지에 대해서도 여러 정부 기관에 협조를 요청하였으나 긍정적인 결과를 얻지 못해 최종적으로 한국천문연구원에서는 탐라대학교 KVN 부지 인근의 유희부지를 GSS 유치 후보 부지로 선정하였다. 이 부지는 제주도 중산간의 완만한 지형에 위치하며, 위성 신호 수신에 중요한 남쪽에 장애물을 갖지 않는다. GSS 유치 후보지의 정확한 위치는 그림 2와 같다.

전파 간섭 측정을 위해 사용된 장비의 필수 제원은 ESA에 의해 상세히 제시했으며(Giraud 2005), 한국천문연구원은 이에 따라 표 1과 같은 주요 장비를 사용했다. 표 1의 첫째 줄의 spectrum analyzer는 Giraud(2005)의 대응 주파수 대역폭, 분석 해상도, 비디오밴드 해상도 및 기저잡음 세기를 모두 만족시켰고, 안테나도 Giraud(2005)가 추천한 제품은 아니지만, ESA가 요구한 대응주파수를 만족했다.

### 3. 전파 측정 절차

측정 절차는 ESA에 의해 엄격하게 정의(Giraud 2005)됐으며, 이 연구의 현장 측정은 이 절차를 정확하게 따랐다. 전 대역 누적 최대치 측정(full band max hold acquisition)과 L1, E5, E6 세 대역에 대한 대역내 누적 최대치 측정(in-band max hold acquisition)은 측정 절차가 다르다. 공통적인 순서는 보정, 대역폭 설정, 해상도 대역폭 설정, 누적 시간 설정 등이 있다.

전 대역 누적 최대치 측정은 800MHz에서 2000MHz의 주파수 대역을 24시간 관측하는 것으로서, 그 측정절차는 1) 전 대역폭 설정, 2) 대역폭 해상도 설정, 3) 누적 최대치 관측 시작으로 구성된

표 3. 특정 대역 누적 최대치 측정 설정치(Cho et al. 2006).

측정 설정 요소	설정치
Frequency SPAN	E5 - > E6 - > L1
RBW	10kHz
VBW	300Hz
Number of Points	8192(Maximum Value of Spectrum Analyzer)
Input Attenuation	0 dB
View Mode	max hold
Sweep Mode	연속
자료 간격	5분
측정 시간	24시간
자료 수	288
시작 시간	2006-08-03 13:23:04
종료 시간	2006-08-04 13:37:26

다. 이때의 측정장비 설정은 표 2와 같다. 주어진 잡음 레벨을 맞추기 위해 이 표에서는 VBW(video bandwidth)가 RBW(resolution bandwidth)에 비해 매우 작게 설정되었다. 이로 인해 짧은 지속시간을 갖는 펄스 신호들은 최대값보다 훨씬 작은 값으로 측정할 수 있다.

대역 내 누적 최대치 측정 절차는 갈릴레오 위성 신호 E5, E6, L1의 대역을 관측하는 것으로서, 그 자세한 측정절차(Giraud 2005)는 다음과 같다.

- 1) E5 대역폭 설정(1145.5MHz - 1237.8MHz)
- 2) 대역폭 해상도 설정(10kHz)
- 3) 5분간 누적 최대치 관측
- 4) E6 대역폭 설정(1237.8MHz - 1299.3MHz)
- 5) 대역폭 해상도 설정(10kHz)
- 6) 5분간 누적 최대치 관측
- 7) L1 대역폭 설정(1555MHz - 1596MHz)
- 8) 대역폭 해상도 설정(10kHz)
- 9) 5분간 누적 최대치 관측
- 10) 위 과정 24시간 반복

내 대역 측정 설정은 표 3과 같다.

#### 4. 주파수 영역 측정 결과

##### 4.1 전 대역 누적 최대치 측정 결과

그림 3과 그림 4는 2006년 8월 4일과 5일에 걸쳐 24시간 측정된 전 대역 주파수의 수신 전계강도의 누적치와 이에 따른 24시간 내에서의 간섭확률(24시간 동안 관측된 주파수 별 총 관측 수에서 -100dBm 이상 간섭 신호가 관측된 수의 비율)을 나타낸 것이다. 그림 3의 900MHz 근처의 강한 신호를 표시한 전파간섭원은 탐라대학교 강의동에 설치된 휴대용전화 중계탑에서 송출된 것으로 추정된다. 그림 3과 4의 24시간 전 대역 전계강도 누적 결과에 따르면 L1 대역에서는 간섭 신호가 거의

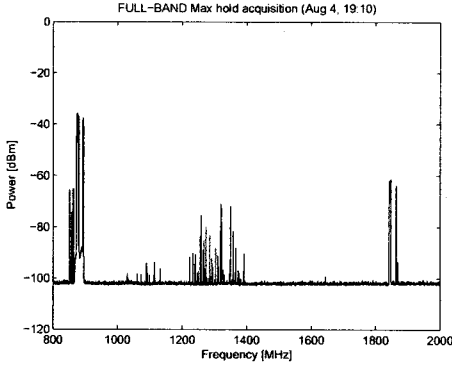


그림 3. 800MHz - 2000MHz 전 대역 최대 누적치 측정결과(RBW=100kHz, VBW=3kHz, input attenuation=0dB, max hold 5분).

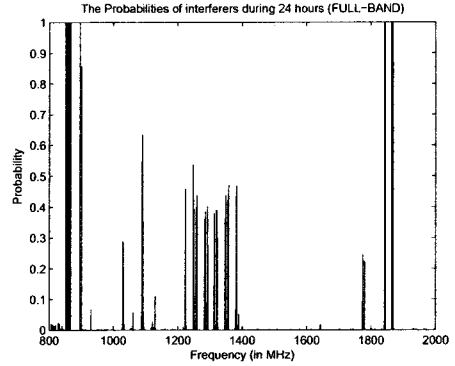


그림 4. 24시간 관측 후 전 대역 주파수 별 전파 간섭 확률(RBW=100kHz, VBW=3kHz, input attenuation=0dB, max hold 5분).

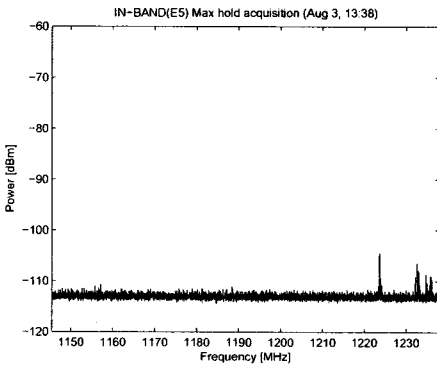


그림 5. 갈릴레오 E5 대역 최대 누적치 측정결과 (RBW = 10kHz, VBW = 300Hz, input attenuation = 0dB, max hold 5분).

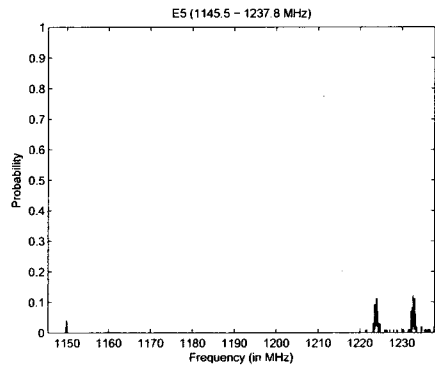


그림 6. 24시간 관측 후 E5 대역 주파수 별 전파 간섭 확률 (RBW = 10kHz, VBW = 300Hz, input attenuation = 0dB, max hold 5분).

없지만, E5 대역에서는 두 곳의 주파수, 특히 E6 대역에서는 전 대역에 걸쳐 간섭 신호가 나타났다.

## 4.2 대역 내 누적 최대치 측정 결과

3장의 측정 절차와 표 3의 측정 설정치에 의거하여 2006년 8월 3일부터 4일까지 24시간에 걸쳐 갈릴레오 위성 신호 대역인 E5, E6, L1 대역에 대해서 5분씩 순차적으로 대역내 전계강도 수신 측정을 실행하였다. 4.2.1절부터 4.2.3절까지는 세 개 대역에 대한 수신 측정 결과를 제시했다.

### 4.2.1 갈릴레오 E5 대역 측정 결과

그림 5에서와 같이 갈릴레오 위성 신호 E5 대역에서는 1225 MHz와 1235 MHz에서 두 개의 간섭 신호 외에는 조용함을 알 수 있다. 그림 6의 간섭 확률 그래프에서도 이 두 개의 간섭 신호가 단속적(pulse-like)이지만 계속 존재했음을 알 수 있다.

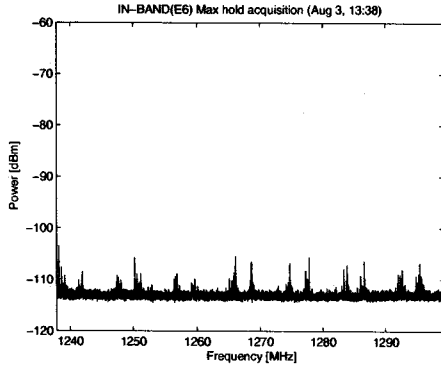


그림 7. 갈릴레오 E6 대역 최대 누적치 측정결과 (RBW = 10kHz, VBW = 300Hz, input attenuation = 0dB, max hold 5분).

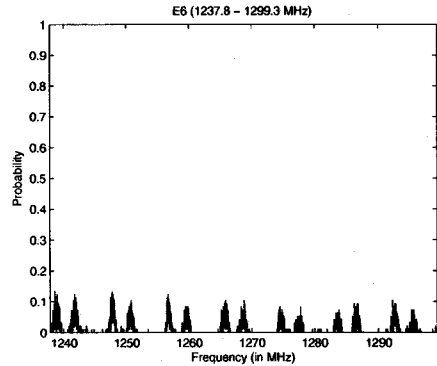


그림 8. 24시간 관측 후 E6 대역 주파수 별 전파 간섭 확률(RBW = 10kHz, VBW = 300Hz, input attenuation = 0dB, max hold 5분).

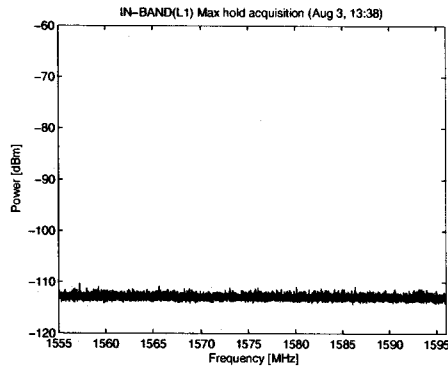


그림 9. 갈릴레오 L1 대역 최대 누적치 측정결과 (RBW = 10kHz, VBW = 300Hz, input attenuation = 0dB, max hold 5분).

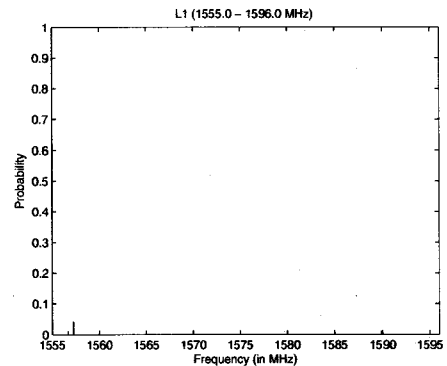


그림 10. 24시간 관측 후 L1 대역 주파수 별 전파 간섭 확률(RBW = 10kHz, VBW = 300Hz, input attenuation = 0dB, max hold 5분).

#### 4.2.2 갈릴레오 E6 대역 측정 결과

갈릴레오 E6 대역의 전파간섭 측정 결과, 그림 7에서 보는 바와 같이 기저잡음에서 약 -100dBm 이하의 신호가 수신되었고, 그림 8에 의하면 단속적이지만 이 간섭 신호가 E5 대역과 마찬가지로 계속 존재함을 알 수 있다. E5와 E6가 연속한 대역이고, 그림 4, 6, 8을 검토하면 이 간섭신호가 double tone sweeping을 하는 전파 간섭원에서 송신된 것으로 추정된다.

#### 4.2.3 갈릴레오 L1 밴드 측정 결과

그림 9와 10에서 보는 바와 같이, 갈릴레오 L1 대역에서는 측정에 사용된 spectrum analyzer 측정 한계 내에서 기저잡음 외에는 간섭신호가 수신되지 않음을 알 수 있다.

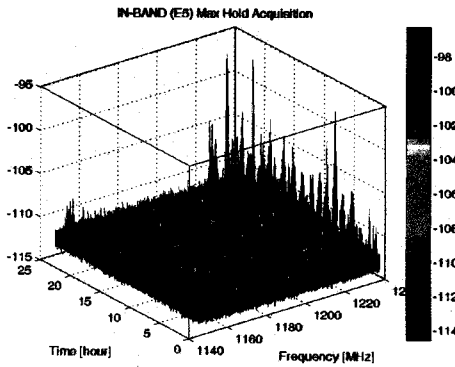


그림 11. 갈릴레오 신호 E5 대역 24시간 시간영역 관측 결과.

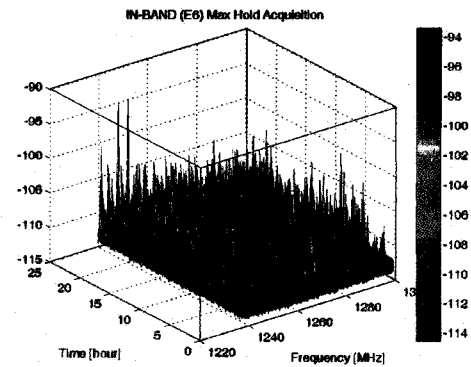


그림 12. 갈릴레오 신호 E6 대역 24시간 시간영역 관측 결과.

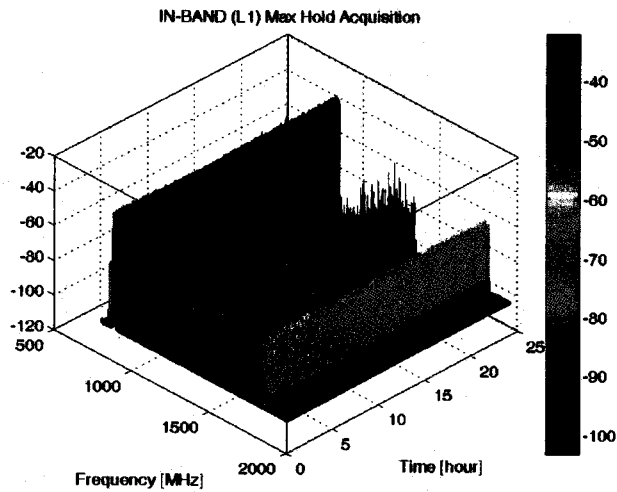


그림 13. 갈릴레오 전 대역(800MHz - 2000MHz) 24시간 시간영역 관측 결과.

### 5. 시간영역 측정결과

그림 3에서 그림 10까지 결과는 실제 24시간 주파수 영역의 간섭 전파 수신 관측을 누적한 것이다. 수신 간섭 신호의 시간 별 변화를 보기 위해서 주파수 영역 관측을 시간영역으로 나타내어 그림 11, 12, 13을 작성했다. 갈릴레오 L1 대역은 그림 9와 10에서 보는 바와 같이 간섭신호가 없으므로 관측 결과를 그림으로 제시하지 않았다. 그림 13에서는 800MHz부터 2000MHz까지 전 대역 간섭신호 수신 관측 결과를 시간영역으로 표시하였다. 그림 11, 12, 13을 분석하면 관측 초반에 약 2시간 가량 E5와 E6 대역의 주파수 영역 분석에서 나타난 간섭신호가 잡히지 않는 것을 알 수 있다. 동 시간대에 전 대역 주파수 영역 측정에서 다른 간섭은 상시 존재하였다.



그림 11, 12, 13에서 보는 바와 같이 E5, E6, L1 대역에서의 측정 전력이  $-90\text{dBm}$  이하로 측정되었지만, 제도홍(2006b)에 의하면 zero span mode에서의 측정에서는  $-40\text{dBm}$  정도의 큰 전력이 측정되었다. 따라서 ESA의 요구 조건 대신 zero span mode 측정의 펄스 폭, 전력 등의 측정장비 설정을 도입해야만 실제 간섭 신호의 크기를 볼 수 있다. 참고로 ESA에서 원래 요구했던 측정은 VBW와 RBW를 비슷한 값으로 설정하여, 적분시간 간섭 신호의 펄스폭보다 작거나 비슷하게 함으로써 간섭 신호 검출을 용이하게 하려했던 것으로 추측된다. 이번 측정에서는 Noise Floor 규격을 맞추기 위해 일부러 VBW를 줄였다. VBW를 RBW와 비슷한 정도로 놓고 기저 잡음 대(noise floor)를 맞추기 위해서는 LNA(low noise amplifier)와 filter를 spectrum analyzer 앞에 두어야 했으나, ESA 요구 사항이 아니므로 제외하였다.

## 6. 결론

GSS 유치 예정인 제주 탐라대학교 내 KVN 인근 부지에서 ESA측이 제시한 관측 조건(Giraud 2005)으로 간섭 전파 수신 측정과 분석을 하였다(조중현 등 2007). 측정 자료 분석 결과 GSS 유치 예정 부지의 간섭전파 환경 조건이 GSS 요구 조건(Giraud 2006)에서 벗어나지 않는 것으로 판단되었다. 그러나 ESA 요구 조건을 고려치 않고 분석한 결과는 상당한 간섭전파원이 있음이 확인되었다(제도홍 2006b). 그리고 GSS유치 예정부지로의 측정 장비의 접근이 어려워 가장 근접한 위치에서 전파 측정이 이루어졌기 때문에 실제 예정 부지에서의 측정 결과는 이 논문의 자료와 다를 수가 있다. 이 두 가지 사항에 따른 관측결과와 영향은 추후에 실사 시에 정확히 평가될 것이다.

**감사의 글:** GSS 유치 예정 부지의 전파 환경 측정은 중앙 전파관리소 제주 분소의 차량 및 무지향성 안테나 제공 등 적극적인 협조 없이는 이루질 수 없었음을 밝히며, 이 자리를 빌어 감사의 말씀을 드립니다. 또한 부지 내 활동을 허락해 주신 제주 탐라대학교 관계자 분들께도 감사의 뜻을 전합니다.

## 참고 문헌

- 박종욱 2006, 개인서신
- 제도홍 2006a, 개인서신
- 제도홍 2006b, 한국천문연구원 내부 기술 문서 (Tamna RFI Measurement Report)
- 조정호 2006, 개인서신
- 조중현, 제도홍, 최병규, 백정호, 이대규, 조성기, 조정호, 박종욱 2007, 제 14차 GNSS Workshop 프 로시딩
- Cheli, S. 2007, Galileo & Security, ESA NATO Defence College Senior Members Course, presentation material
- Cho, S., Jo, J. H., & Lim, H.-C. 2006, GSS Tender to ESA by Korea Astronomy and Space Science Institute
- Giraud, J. 2005, Alcatel Alenia Space Technical Document (Definition of RF environment survey procedure), GAL-TN-AAS-F-V2M-I-0005

Giraud, J. 2006, Alcatel Alenia Space Technical Document (GSS Site Interface Requirement Document), GAL-DCN-AAS-FGMS-122