

## 技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 41(1), 70-78(2013)

DOI:<http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2013.41.1.70>

## GBAS 지상시스템 설치후보지 선정을 위한

## 김포국제공항의 GPS 신호환경 분석

정명숙\*, 최철희, 고완진, 고유리, 배중원, 전향식, 김동민

## Analysis of GPS Signal Environment for GBAS siting in Gimpo International Airport

Myeong-Sook Jeong\*, Chul Hee Choi, Wan-Jin Ko, Youri Ko, Joongwon Bae, Hyang-Sig Jun and Dong-Min Kim

CNS/ATM Team, Korea Aerospace Research Institute

## ABSTRACT

Before GBAS ground systems is installed at the airport, the site survey is needed to determine the suitability of proposed GBAS candidate sites depending on the siting requirements. Therefore, analysis of GPS signal reception environment, one of the site survey steps, is required. In this paper, the number of visible satellites, GPS signal strength, multipath error, radio frequency interference and predicted availability were analyzed using the GPS data of Gimpo International Airport measured by PortaSAT equipments and the analysis results were represented.

## 초 록

GBAS 지상시스템을 공항 내 설치하기 위해서는 장비 설치시 요구되는 각종 요구조건을 최대한 충족시키는 최적의 후보지 선정이 필요하다. 이를 위해 공항 내 GBAS 지상시스템 설치후보지에 대한 GPS 위성신호 수신환경 분석이 필요하다. 본 논문에서는 김포공항 내 GBAS 지상시스템 설치후보지에서 미국 Honeywell사의 PortaSAT 장비를 이용하여 수집한 GPS 데이터에 대해 가시위성수, GPS 신호세기, 다중경로오차, 신호간섭, GBAS 시스템 가용성 등을 분석하고 그 결과를 제시하였다.

**Key Words** : Ground Based Augmentation System(위성항법지역보강시스템), Map & Paper Assessment(지도 및 문헌조사), On-Site Assessment(실측 방문조사), System Availability(시스템 가용성)

## 1. 서 론

전 세계적으로 급증하는 항공교통량을 처리하기 위해 기존 계기착륙시스템(ILS, Instrument

Landing System)을 이용한 항공기 착륙서비스는 이착륙 효율성 및 경제적 측면에서 많은 한계가 있다. 이에 따라 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)는 지

† Received: August 7, 2012 Accepted: December 3, 2012

\* Corresponding author, E-mail : msjeong@kari.re.kr

<http://journal.ksas.or.kr/>

pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871

상기반 항행장비(VOR, ILS, NDB 등)를 위성항법 기반으로 대체해 나가는 전략을 추진하고 있으며, 이 과정에서 위성항법지역보강시스템(GBAS, Ground Based Augmentation System)이 개발되었다[1].

GBAS는 공항근처 20NM 반경 이내에 위치한 항공기에 활주로 착륙을 유도하는 정밀접근서비스와 정밀위치정보서비스를 제공하는 시스템이다. 1990년대 중반부터 미국과 유럽을 중심으로 본격적인 개발이 추진되었으며, 2009년 9월 미국 Honeywell사의 GBAS 지상시스템인 SLS-4000 모델이 미연방항공청(FAA, Federal Aviation Administration)에 의해 최초로 CAT-I(Category I)급 제품인증을 받게 됨에 따라 전 세계적으로 GBAS 적용성 연구가 활발히 이루어지고 있다[2].

우리나라에서도 세계적인 추세에 맞추어 국내 GBAS CAT-I 인증체계 구축을 위해 2010년 9월부터 미국 Honeywell사와 협력을 통해 GBAS 운용기술 개발 연구를 진행해오고 있다[3]. 국내 GBAS 시범공항은 김포, 김해, 무안, 인천, 제주의 5개 공항을 대상으로 한 적합성 조사를 통해 최종적으로 김포국제공항(이하 김포공항)이 선정되었으며, 현재 김포공항 내에 GBAS 지상시스템을 설치하기 위한 최적의 위치를 선정(Siting)하는 과정 중에 있다.

GBAS 지상시스템은 크게 3~4개의 기준국 수신기(Reference Receiver)와 VDB(VHF Data Broadcast) 안테나 그리고 쉘터(Shelter)로 구성된다. 기준국 수신기는 GPS 위성정보를 수집하고, 수집된 정보는 쉘터 내 데이터처리장치를 통해 GPS 보정정보 및 정밀접근정보를 생성한다. 그리고 생성된 보정정보는 VDB 안테나를 통해 항공기로 전송된다. GBAS 지상시스템을 시범공항에 설치하기 위해서는 먼저 장비설치 시 요구되는 각종 요구조건을 최대한 충족시키는 공항 내 최적의 위치를 선정하는 과정이 필요한데, 이러한 과정의 일환으로 공항 내 GPS 위성신호 수신환경 분석을 수행하게 된다.

본 논문에서는 국내 GBAS 시범공항 내의 GBAS 지상시스템 설치후보지에 대한 GPS 위성신호 수신환경 분석 결과를 제시하였다. 분석을 위한 GPS 위성데이터 수집을 위해 Honeywell에서 특별히 고안된 휴대용대지평가장비인 PortaSAT(Portable Site Assessment Tool) 장비를 공항 내 각 후보지에 설치한 후 1~3일간의 데이터를 수집하였다. 그리고 수집된 GPS 데이터에 대해 각 후보지별로 가시위성 수, GPS 신호세기,

다중경로오차, GPS 신호간섭(RFI, Radio Frequency Interference) 및 가용성(Availability) 분석을 수행하고 그 결과를 정리하였다. 분석 결과는 향후 VDB 안테나 및 쉘터 대지조사 결과와 함께 시범공항 내 GBAS 지상시스템 설치 최종후보지 선정에 활용될 것이다.

## II. 본 론

### 2.1 GBAS 대지조사

#### 2.1.1 GBAS 지상시스템 설치 절차

일반적으로 GBAS 시스템을 시범공항에 설치하고, 최종 인증을 받기 위해서는 Fig 1의 절차를 따른다[4]. GBAS 지상시스템 설치를 위해서는 가장 먼저, 시범공항 내 GBAS 지상시스템을 설치하기 위한 위치 선정이 필요한데, 이는 지도 및 문헌조사(Map & Paper Assessment)와 실측 방문조사(On-Site Assessment)를 통해 결정된다. 지도 및 문헌조사에서는 공항배치도(Airport Layout Plan), 공항장애물회피차트(Airport Obstacle Clearance Chart), 활주로접근차트, 향후 5~10년간 공항개발계획 등의 여러 문헌 자료를 이용하여 GBAS 지상시스템 설치를 위한 공항 내 3~4개의 설치후보지를 선정하는 일을 수행하고, 실측 방문조사에서는 지도 및 문헌조사를 통해 선정된 설치후보지에 대해 실제 현장 방문을

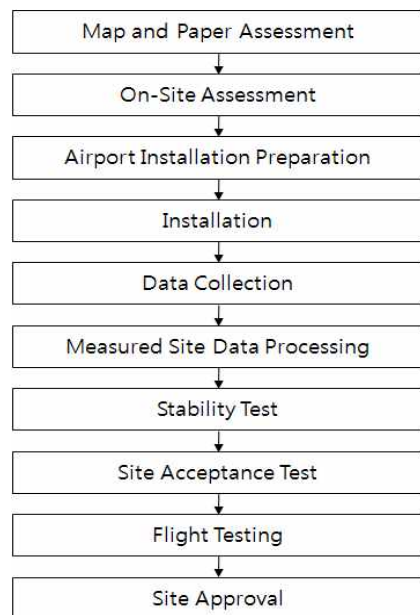


Fig. 1. Overall GBAS Installation Process[4]

통해 기준국 수신기 및 VDB 안테나, 쉘터 설치를 위한 적합성 자료 수집 및 실제 GPS 데이터를 수집하고 이들 자료에 대한 분석을 통해 최종적인 GBAS 지상시스템 설치 위치를 선정한다.

GBAS 지상시스템은 지도 및 문헌조사와 실측 방문조사를 통해 최종 선정된 위치에 설치된 후, 시스템 안정성시험(Stability Test), 대지수락시험(Site Acceptance Test), 비행시험(Flight Test)을 통해 최종적인 시스템 인증을 획득하게 된다.

**2.1.2 김포공항 설치후보지**

국내 GBAS 시범공항으로 선정된 김포공항의 경우, 지도 및 문헌조사 결과를 토대로 Honeywell 및 한국공항공사와 협의를 통해 2곳의 GBAS 지상시스템 설치후보지(Site A, Site B)를 선정하였으며, 이는 Fig. 2와 같다.

두 후보지의 면적이 넓은 관계로 PortaSAT 장비는 Site A, Site B에 대해 각각 GPA, GPC와 GPB, GPD에 4곳에 설치되었으며, GPA와 GPD

에서는 1일의 연속된 GPS 데이터를 수집하였고, GPB와 GPC에서는 3일의 연속된 GPS 데이터를 수집하였다. GPS 수신환경 분석을 위해서는 최소 24시간 이상의 연속된 GPS 데이터가 요구되며[4], 김포공항의 상세한 GPS 데이터 취득기간은 Table 1과 같다.

**2.1.3 PortaSAT 장비**

PortaSAT은 미국 Honeywell사에서 GBAS 지상시스템 설치후보지 평가를 위해 특별히 고안한 GPS 데이터 수집 장비로, 공항 내 GBAS 지상시스템 설치후보지에 설치되어 후보지 주변의 GPS 위성신호 수신환경 분석에 필요한 GPS 데이터를 수집한다. PortaSAT 장비는 Fig. 3과 같이 설치되고, 그 구성은 다음과 같다[3].

- NovAtel DL-V3 - GPS Receiver(L1,L2)
- CMC(Code Minus Carrier) Receiver
- BAE Antenna
- Low Noise GPS L1/L2 Amplifier
- Data Collection Computer
- Networking Hardware

NovAtel DL-V3 수신기는 L1/L2 이중주파수 수신기로 GPS L1, L2 반송파(Carrier) 정보를 수집하며 이는 데이터 분석 시 전리층 지연오차 추정에 사용된다. CMC 수신기는 GBAS 기준국 수신기에 사용하는 GPS L1 단일주파수 수신기로, 수집된 L1의 의사거리(Pseudorange)정보와 반송파정보를 이용하여 CMC를 계산하는데 이용된다. 또한 상용 GPS 수신기가 많이 사용하는



Fig. 2. Candidate Site of Gimpo Airport

Table 1. Test Site and Duration

설치 후보지	시험 장소	시험일자 (한국시간)	취득 기간
Site A	GPA	11.12.08 14:20 ~ 11.12.09 16:16	1일
	GPC	11.12.20 12:30 ~ 11.12.23 13:50	3일
Site B	GPB	11.12.13 15:50 ~ 11.12.16 16:30	3일
	GPD	11.12.27 14:45 ~ 11.12.28 14:50	1일



Fig. 3. PortaSAT Equipments

Dipole 방식의 GPS 안테나 대신 PortaSAT 장비는 BAE System에서 GBAS 시스템을 위해 특수 제작한 높이 약 2m의 BAE 안테나를 사용한다. BAE 안테나는 Dipole 방식의 안테나에 비해 다중경로오차를 감소시키는 장점을 갖는다[5].

한편, PortaSAT 장비는 BAE 안테나에서 수신된 신호를, GPS 신호분배기(Amplifier)를 사용하여 CMC 수신기와 DL-V3 수신기에 각각 공급하고, 두 수신기는 모두 1Hz로 GPS 데이터를 저장한다.

## 2.2 CMC 계산 공식

CMC는 GPS L1 신호의 의사거리정보와 반송파 정보의 차분을 통해 얻어지는 값으로, GPS L1 신호에 포함된 다중경로오차, 수신기 Tracking 오차, 수신기 Noise 오차의 합으로 표현된다. CMC에 포함되는 다중경로오차와 수신기 Tracking 및 Noise 오차는 GPS 수신기가 설치된 장소의 주변 환경에 따라 크게 변하는 값으로, GPS 수신기 설치 장소 주변의 다중경로 및 노이즈 환경 분석을 위해 CMC 분석이 많이 이용된다.

CMC 계산 공식은 간략하게 다음과 같다. 식(1)과 식(2)는 각각 GPS L1 신호의 의사거리 정보와 반송파 정보의 전개식이다.

$$P_i^j = \rho_i^j + c(dt_i - dt^j) + Rel_i^j + T_i^j + I_i^j + Kf_i^j + M_{P,i}^j + MEAS_{P,i}^j + \epsilon_{P,i}^j \quad (1)$$

$$L_i^j = \rho_i^j + c(dt_i - dt^j) + Rel_i^j + T_i^j - I_i^j + Kf_i^j + \lambda \cdot B_i^j + \omega_L + m_{L,i}^j + MEAS_{L,i}^j + \epsilon_{L,i}^j \quad (2)$$

식(1)과 식(2)의 아래첨자  $i$ 는 GPS 위성,  $P$ 는 의사거리, 윗 첨자  $j$ 는 수신기,  $L$ 은 반송파를 의미한다. 또한 식(1)의  $\rho$ 는 위성과 수신기 간의 기하학적 거리,  $c$ 는 광속,  $dt_i$ 는 위성에서 관측된 신호 송신 시간,  $dt^j$  수신기에서 어떤 위성신호를 관측할 때 관측된 수신 시간,  $Rel$ 은 GPS 위성 시간의 상대론적 효과 보정치,  $T$ 는 대류층 지연량,  $I$ 는 전리층 지연량,  $Kf$ 는 하드웨어 바이어스,  $M_p$ 은 의사거리 다중경로오차,  $MEAS_p$ 는 의사거리 수신기 Tracking 오차,  $\epsilon_p$ 는 의사거리 수신기 Noise 오차를 의미한다. 식(2)의  $\lambda \cdot B$ 는 모호정수(ambiguity)항으로  $\lambda$ 는 위상수를 의미하고,  $\omega$ 는 cycle slip,  $m_L$ 은 반송파 다중경로오차,  $MEAS_L$ 는 반송파 수신기 Tracking

오차,  $\epsilon_L$ 는 반송파 수신기 Noise 오차를 의미한다.

식(1)에서 식(2)를 빼면 의사거리와 반송파의 공통오차 요소가 제거되면서 식(3)이 남게 된다. 식(3)에서  $m_{L,i}^j$ ,  $MEAS_{L,i}^j$ ,  $\epsilon_{L,i}^j$ 는 그 값이 매우 미소함으로 소거하고, Cycle Slip은 발생하지 않은 것으로 가정하여, 식(3)은 다시 식(4)와 같이 정리할 수 있다.

$$P_i^j - L_i^j = 2\alpha_f I_i^j + M_{P,i}^j + MEAS_{P,i}^j + \epsilon_{P,i}^j - \lambda \cdot B_i^j - \omega_L - m_{L,i}^j - MEAS_L^j - \epsilon_{L,i}^j \quad (3)$$

$$P_i^j - L_i^j = 2\alpha_f I_i^j + M_{P,i}^j + MEAS_{P,i}^j + \epsilon_{P,i}^j - \lambda \cdot B_i^j \quad (4)$$

식(4)의 반송파 ambiguity 항은 식(5)와 같이 수신기와 여러 위성간 조합을 통해  $(P_i^j - L_i^j)$ 값의 평균을 얻고 이를 식(5)와 같이 적용하여 제거할 수 있으며, 또한 식(6)을 얻을 수 있다[6].

$$(P_i^j - L_i^j)_{adj} = P_i^j - L_i^j - mean(P_i^j - L_i^j) \quad (5)$$

$$(P_i^j - L_i^j)_{adj} = 2\alpha_f I_i^j + M_{P,i}^j + MEAS_{P,i}^j + \epsilon_{P,i}^j \quad (6)$$

식(3)의 전리층 지연오차  $\alpha_f I_i^j$ 는 PortaSAT의 NovAtel DL-V3 수신기에서 수신된 GPS L1/L2 이중주파수 정보를 이용하여 추정하고, 추정된 전리층 지연오차를 식(6)에 대입하면 식(7)과 같이 최종적으로 코드관련 다중경로오차( $M_{P,i}^j$ ), 수신기 Tracking 오차( $MEAS_{P,i}^j$ ), 수신기 Noise 오차( $\epsilon_{P,i}^j$ )를 포함한 CMC값을 얻을 수 있다[6,7].

$$CMC = P_i^j - L_i^j - 2\alpha_f I_i^j = M_{P,i}^j + MEAS_{P,i}^j + \epsilon_{P,i}^j \quad (7)$$

한편, Unsmoothed CMC의 경우 외부 Noise에 민감하게 반응하기 때문에 전반적인 CMC 변화량을 분석하기에 어려움이 있으므로, FAA에서는 Smoothed CMC를 이용하여 GPS 수신기 주변 환경에 대한 분석을 수행하고 있다[8,9]. 따라서 본 논문에서도 Smoothed CMC 결과를 이용하여 김포공항의 사이트 후보지 주변의 다중경로 및 노이즈 환경에 대해 분석을 수행하였다.

## 2.3 김포공항 GPS 데이터 분석결과

### 2.3.1 가시위성 수 분석

Figure 4는 2011년 12월 14일 1일 동안 Site B의 GPB에서 관측된 GPS 가시위성 수 변화를 나타

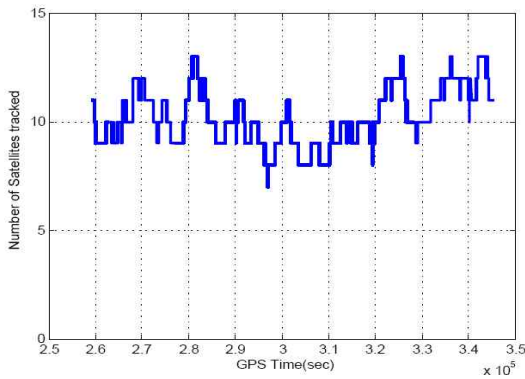


Fig. 4. Number of Visible SV's(2011.12.14, GPB)

낸 그래프이다. 가시위성 수는 최소 7개에서 최대 13개까지 관측되었으며, 평균 9~11개로 상당히 양호함을 확인하였다. 이러한 결과는 GPA, GPC, GPD에서도 동일하게 나타났으며, 결과적으로 Site A와 Site B에서 관측된 GPS 가시위성 수는 크게 차이가 나지 않음을 확인하였다.

2.3.2 CN0 분석

CN0는 GPS 위성의 반송파 대 잡음 비율로, 일반적으로 그 값이 클수록 GPS 신호 품질이 우수함을 의미한다. PortaSAT의 BAE 안테나의 경우 수신되는 GPS L1 신호의 CN0 정상범위는 35~50dB이며, CN0가 35dB 미만으로 측정되는 경우 GPS 위성 신호세기에 이상이 있는 것으로 간주한다.

Figure 5는 2011년 12월 8일 오후 5시부터 12월 9일 오후 5시까지 1일 동안 Site A의 GPA 장소에서 수신된 GPS 신호의 위성별 CN0 값 변화를 시간에 따라 나타낸 그래프이다. 이때 위성고도각의 mask angle은 3도로 설정하였다. Fig. 5의 CN0 값은 평균적으로 35~47dB로 나타났으며, 이는 상당히 양호한 수준이다. GPB, GPC, GPD에서 수신된 GPS 신호 또한 동일한 수준의 CN0값 변화를 보였다.

Figure 6과 Fig. 7은 NovAtel사 DL-V3 수신기 모델을 이용하여 동일 날짜 및 동일 시간에 수집한 GPS 데이터의 CN0 변화를 나타낸 그래프이다. 다만, Fig. 6은 Dipole 방식(NovAtel GPS-702-GG)의 안테나를 사용하여 제주공항에 설치된 DL-V3 수신기에서 수집된 GPS 데이터의 CN0값 변화를 위성고도각 변화에 따라 나타낸 그래프이고, Fig. 7은 김포공항에서 BAE 안테나를 이용한 PortaSAT 장비의 DL-V3 수신기가 수집한 GPS 데이터의 CN0값 변화를 나타낸 것이다. 제주공항의 DL-V3 수신기의 경우 GPS 데

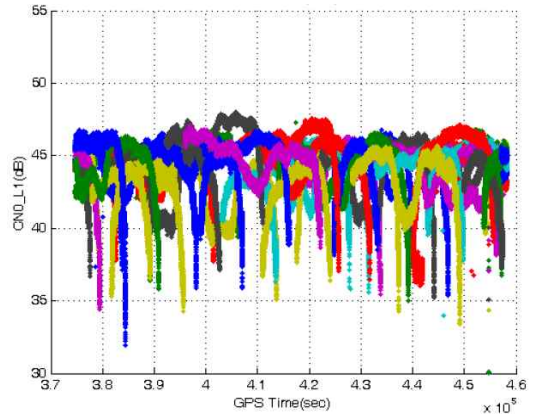


Fig. 5. CN0 vs Time(2011.12.8~9, GPA)

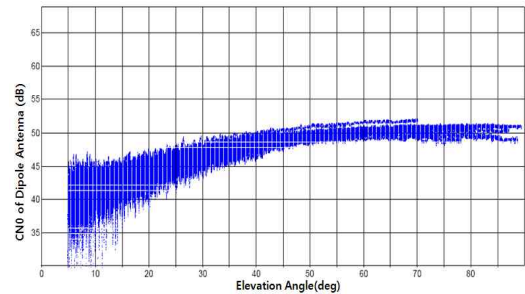


Fig. 6. CN0 Variation of Dipole Antenna (2011.12.8~9, Jeju)

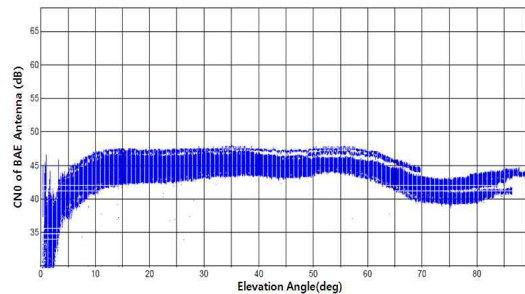


Fig. 7. CN0 Variation of BAE Antenna (2011.12.8~9, GPA)

이터 수집시 위성의 mask angle을 5도로 설정하여 위성고도각 5도 이하의 위성에 대해서는 CN0 값이 존재하지 않는다.

일반적으로 Dipole 방식의 GPS 안테나의 CN0 변화 경향은 Fig. 6과 같이 위성 고도각이 증가함에 따라 포물선을 그리며 증가하여, 60도 이상의 위성 고고도에서 약 50dB의 CN0값을 얻게 된다. 위성 고도각 20도 이하에서 CN0값은 30~45dB까지 상당히 넓게 분포하고 있으며, 42~47dB의 CN0값을 얻기 위해서는 위성 고도각이



최소 25도 이상이어야 한다. 즉 Dipole 방식의 GPS 안테나를 이용하면 위성 고고도에서는 좋은 품질의 GPS 신호를 수신할 수 있지만, 20도 이하의 위성 저고도에서는 노이즈 및 다중경로오차로 인해 좋은 품질의 GPS 신호를 수신하기가 어렵다. 반면에, PortaSAT에 사용된 BAE 안테나는 기존 Dipole 방식의 GPS 안테나가 갖는 저고도 위성의 GPS 신호품질 저하를 개선하도록 안테나 형태를 막대 모양으로 설계하였으며, 여러 안테나 설계 요소들 또한 변경하여 제작하였다.

Figure 7의 CN0값 분포를 보면, 10도 이하의 위성 저고도에서 CN0값이 상당히 빠른 속도로 안정화되어 위성 고도각 60도가 될 때까지 42~47dB의 일정한 CN0값을 갖는다. 위성 고도각 60도 이상의 고고도에서는 이전보다 약 5dB 가량 CN0값이 감소하지만 38dB 이상의 값을 유지한다. BAE 안테나의 이러한 특성은 위성 저고도에서 안정화되고 높은 CN0 값을 제공하기 위해 안테나 개발 시 안테나 설계 요소를 적절히 조정 (tuning)함에 따른 결과이다.

결론적으로, BAE 안테나를 이용할 경우 기존 Dipole 방식의 안테나보다 위성 저고도에서 수신되는 신호의 품질을 향상시킬 뿐만 아니라, 40dB 이상의 높은 CN0 값을 얻기까지 소요되는 시간을 약 2~4배까지 단축시킬 수 있다.

### 2.3.3 CMC 분석

본 논문에서는 GPS L1 신호의 Smoothed CMC 계산을 통해 각 후보지 주변의 다중경로오차 환경을 평가하였다. Smoothed CMC의 경우 그 값을 평가함에 있어 절대적인 Threshold 기준이 정해져 있지 않다. 다만, 외국의 GBAS 시험공항 CMC 분석결과를 기준으로 Smoothed CMC의 평균적인 값의 변화 범위는  $\pm 0.3m$  보다 작아야 한다. CMC 평가는 정량적인 Threshold 기준이 없으므로 각 후보지별 상대평가를 통해 평가된다. 즉 Smoothed CMC의 값이 낮을수록 해당 후보지의 다중경로오차 환경이 더 우수한 것으로 평가한다.

Figure 8과 Fig. 9는 2011년 12월 21일 1일 동안 김포공항 Site A의 GPC 장소에서 CMC 수신기로 수집한 GPS L1의 CMC 값을 시간 및 위성 고도각 변화에 따라 표시한 그래프이다. Smoothed CMC값은 평균적으로  $\pm 0.2m$  범위 내에 분포하고 있으며, 10도 이하의 저고도각 및 60도 이상의 고도각에서 그 값이 커지는 것을 볼 수 있다. 이는 앞의 Fig. 7에서 위성 저고도 및

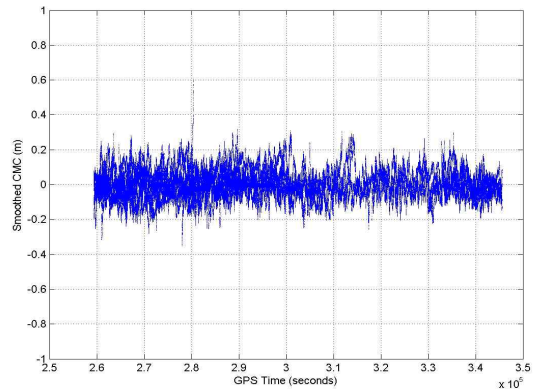


Fig. 8. Smoothed CMC vs Time (2011.12.21, GPC)

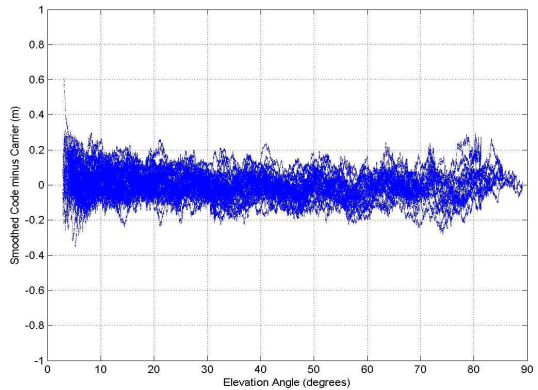


Fig. 9. Smoothed CMC vs Elevation (2011.12.21, GPC)

고고도에서 CN0값 저하됨에 따라 GPS 신호에 포함된 노이즈 성분이 증가하기 때문인 것으로 추정된다. GPA, GPB, GPD에서의 CMC 값도 GPC와 마찬가지로 평균적으로 약  $\pm 0.2m$  범위 내에 분포하고 있었으며, 위성고도각 변화에 따른 값의 변화 또한 비슷한 경향을 보였다. 보통 CMC값이  $\pm 0.3m$  범위를 벗어나게 되면, Site 주변의 다중경로오차 환경이 좋지 않은 것으로 판단하는데, 김포공항의 Site A와 Site B의 CMC 값은 모두  $\pm 0.2m$  범위 내에 존재함으로 김포공항의 GBAS 지상시스템 설치후보지 주변의 Multipath 환경은 상당히 양호함을 알 수 있다. 또한 김포공항의 CMC 값 변화는 GBAS 지상시스템이 설치 및 시험 운용되고 있는 미국의 Newark 및 Houston 공항의 CMC 결과와도 매우 유사하다[10].

### 2.3.4 GPS 신호간섭 분석

본 논문에서는 GPS 위성신호에 대한 신호간섭을 분석하기 위해 GPS L1 신호의 CN0 정보를

이용하여 Jammer Power를 계산하였다. Jammer Power는 Jamming to Signal Ratio(J/S)와 같은 값으로 전파간섭 신호의 전력(Power) 대 GPS L1 신호의 전력 비율로 단위는 데시벨(dB)이다. GBAS Siting에 있어 Jammer Power의 Threshold는 2.94dB이며, Jammer Power가 2.94dB를 초과할 경우 신호간섭이 발생한 것으로 간주한다. 3dB는 GPS 안테나를 통해 수신된 GPS L1 신호의 Power 대비 외부 간섭신호의 Power가 약 2배가량 크음을 의미한다. Jammer Power가 커질수록 GPS 위성신호의 CN0 값은 작아지게 되며, 일반적으로 GPS C/A(Course/Acquisition) 코드는 Jammer Power에 대해 약 30dB, P 코드는 약 40dB까지 견딜 수 있다. GBAS 기준국 수신기의 경우 GPS L1 신호만을 수신하므로, Jammer Power가 30dB를 초과할 경우 GPS 위성신호 수신이 끊어지게 된다. 외부 신호간섭으로 인한 GPS 위성신호 끊김 현상이 발생할 경우 GBAS 시스템의 가용성 저하에 영향을 미칠 수 있으므로, 지상시스템 위치 선정에 있어 후보지 주변의 GPS 신호간섭에 대한 분석은 매우 중요하다.

Figure 10과 Fig. 11은 Site A의 GPA 장소에서 측정된 Jammer Power를 시간에 따라 도시한 그래프이다. GPS Time 454618~454620초(한국시간, 15시 16분 58초 ~ 15시 17분 00초) 약 2초 동안 신호간섭이 발생하였으며, 이때 측정된 Jammer Power는 약 58dB이다. 이는 앞서 소개한 C/A 코드가 견딜 수 있는 Jammer Power의 Threshold 30dB를 훨씬 초과하는 값으로, Fig. 11과 같이 신호간섭 발생시점에서의 위성신호가 끊어지며 CN0가 일시적으로 0dB로 떨어지는 현상을 보였다. 이러한 현상은 Site A의 GPC와 Site B의 GPB에서도 관측되었는데, GPB의 경우 신호간섭 발생 지속시간은 3초였으며 관측된 Jammer Power는 약 63dB로 매우 컸고, GPA와 마찬가지로 신호간섭 발생시 GPS 위성신호가 끊어지는 것을 확인할 수 있었다. GPC의 경우 약 20초간 GPS 신호간섭이 있었으며, GPA와 GPB에 비해 상대적으로 낮은 8dB 가량의 Jammer Power가 관측되었다. 이는 C/A 코드가 견딜 수 있는 Jammer Power Threshold인 30dB 이하의 값으로, 신호간섭 발생 시 Fig. 12와 같이 위성신호가 끊어지진 않았으며, 다만 CN0 값이 약 5~9dB 가량 감소하였다.

결과적으로, 김포공항의 GBAS 지상시스템 설치후 후보지 Site A와 Site B 모두에서 신호간섭이 비 주기적이고 또한 간헐적으로 관측됨을 알 수 있다. 비록 발생지속시간은 짧다하더라도 잦은 신호간섭 발생

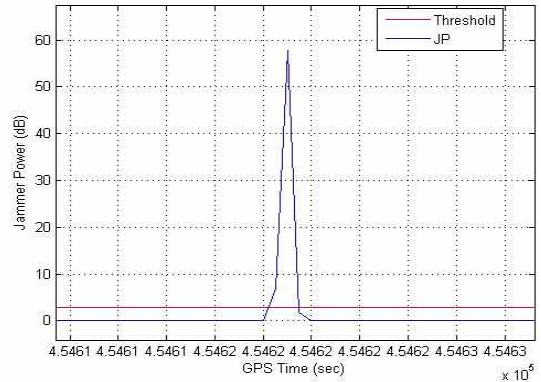


Fig. 10. Jammer Power vs Time (2011.12.08~09, GPA)

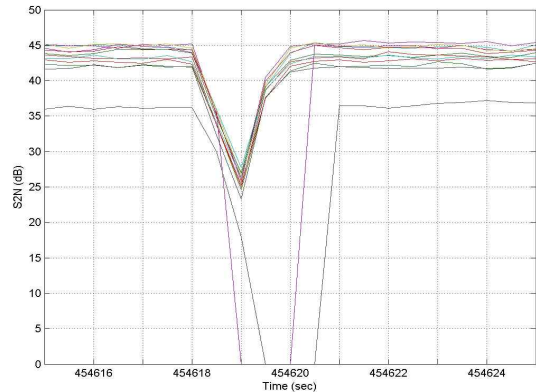


Fig. 11. CN0 vs Time(2011.12.08~09, GPA)

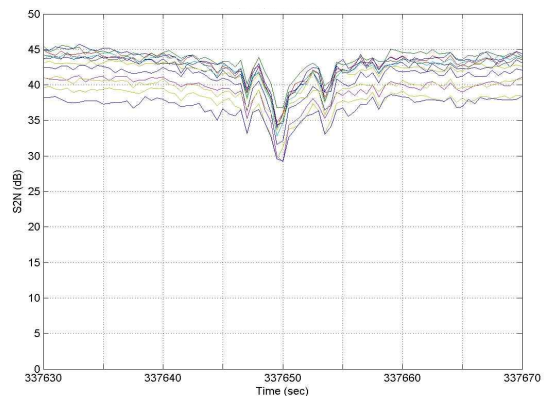


Fig. 12. CN0 vs Time(2011.12.21, GPC)

은 GBAS 지상시스템의 가용성에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있으므로, 지상시스템 설치에 앞서 김포공항 내 RF(Radio Frequency) 환경 분석을 통해 잦은 신호간섭 발생 원인 규명 및 보완책 마련이 필요함을 확인하였다. 한편, 김포공항과 동일한 Honeywell SLS-4000 모델을 설치한 미국 Newark

공항의 경우, 인근도로에 개인용 휴대 재머(PPD, Personal Privacy Device)를 탑재한 차량들로 인해 김포공항과 유사한 GPS 신호간섭 현상이 발생하였다. 이를 해결하기 위해 SLS-4000을 개발한 Honeywell사는 GBAS 기준국 수신기의 위치변경 및 마스터 높이를 조정하였으며, 또한 PPD 영향 완화하도록 쉘터 내 데이터처리장치에 탑재되는 소프트웨어를 수정 및 업그레이드 함으로써 문제를 해결하였으며 2012년 9월 28일 운용승인(Operational Approval)을 획득하였다.

### 2.3.5 가용성 분석

김포공항에 SLS-4000 모델 설치 시 예상되는 시스템의 가용성을 미리 평가하기 위해, US Coast Guard에서 제공하는 Real Almanac 데이터를 이용하여 수직보호수준(VPL: Vertical Protection Level) 및 Predicted Availability를 계산하였다. 이때 VPL 계산은 Honeywell의 Measured Site Data(MSD) Process에 규정된 가정들을 기초로 계산하였다[11]. 즉, Airborne Accuracy Designator는 AAD-B, Ground Accuracy Designator는 GAD-C, Airframe Multipath Designator는 A, Mean Ionosphere Height는 350 km, Nominal  $\sigma_{vig}$  inflation은 6.4 mm/km, LGF로부터 거리는 6 km, 항공기 속도는 70 m/s, Tropo. Refractivity Uncertainty는 10, Tropo. Scale Height는 16800 m로 설정하여 VPL을 계산하였다.

Figure 13은 2011년 5월 19일 Real Almanac 데이터를 이용하여 김포공항에서 예상되는 Weighted VPL과 Nominal VPL을 나타낸 그래프이다. Nominal VPL은 위성제거 없이 모든 가시위성을 이용하여 계산된 VPL 값을 의미하고, Weighted VPL

은 가끔씩 발생하는 GPS 위성 고장으로 인해 몇몇 GPS 위성을 사용할 수 없게 되는 상황까지 고려하여 계산한 VPL 값이다. Weighted VPL 계산 시 위성 고장은 랜덤으로 1개 또는 2개의 GPS 위성을 사용할 수 없는 것으로 가정하는데, 이때 1개 위성을 사용할 수 없는 시간은 전체 시간의 4%, 2개 위성을 사용할 수 없는 시간은 전체 시간의 1%로 적용하였다. 가용성 평가 시 수직경보한계(VAL: Vertical Alert Limit)는 Cat-I 급에 해당되는 10m를 적용하였는데, Fig. 13을 보면 Weighted VPL과 Nominal VPL 값이 거의 동일하며 그 크기 또한 약 2~8m 내의 값을 가지며 10m VPL를 넘지 않는 것을 확인할 수 있다. 결과적으로, 시뮬레이션을 통해 김포공항에서 예측되는 GBAS 시스템 가용성은 CAT-I을 충분히 만족시킬 수 있음을 확인하였다.

## III. 결 론

본 논문에서는 김포공항의 지도 및 문헌조사 결과를 토대로 GBAS 지상시스템 설치후보지로 선정된 Site A와 Site B에서 수집한 GPS 데이터에 대해 가시위성 수, GPS 신호세기, 다중경로오차, GPS 신호간섭, 예측되는 GBAS 시스템 가용성 등을 분석하고 그 결과를 제시하였다. 분석결과 Site A와 Site B의 가시위성 수, GPS 신호세기, 다중경로오차 등은 특별한 차이 없이 비슷하며 그 값 또한 상당히 양호한 수준임을 확인하였다. 또한 김포공항에서 예측되는 GBAS 시스템 가용성을 분석한 결과, CAT-I을 충분히 만족할 수 있을 것으로 예상된다. 다만, Site A와 Site B 모두에서 GPS 위성신호에 대한 신호간섭이 간헐적으로 발생하였는데, 이는 시스템 가용성에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있으므로 향후 RF환경 분석을 통한 신호간섭 원인 규명 및 보완책 마련이 필요함을 확인하였다. 결과적으로, 김포공항의 GBAS 지상시스템 설치후보지 두 곳은 GPS 위성신호 수신환경 측면에서는 큰 차이가 없다는 결론을 얻었으며, 이는 VDB 안테나 및 쉘터 대지조사 결과와 함께 김포공항 내 GBAS 지상시스템 설치 최종후보지 선정에 활용될 것이다.

## 후 기

본 논문은 국토해양부에서 지원한 “위성항법 지역보강시스템 운용기술 개발”과제의 일환으로 수행된 연구결과의 일부이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

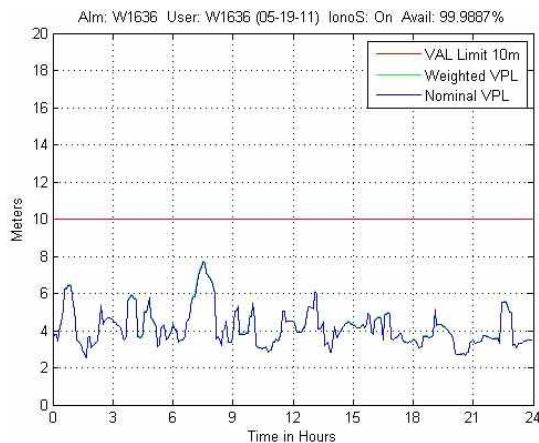


Fig. 13. Predicted VPL of Gimpo Airport



## References

- 1) Jun, H. S., Kim, D. M. and Yeom, C. H., 2010, "Study on the Environment Building for GBAS Approval System Technology Development", Korean Society for Aeronautical Science and Space Sciences Fall Conference, pp. 1554~1557.
- 2) Bae, J., Jun, H. S., Kim, D. M. and Yeom, C. H., 2011, "Overview of Worldwide GBAS R&D and Implementation", Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, Vol. 9, No. 2, pp. 187~195.
- 3) Jeong, M. S., Choi, C. H., Ko, W. J., Ko, Y., Bae, J., Jun, H. S. and Kim, D. M., 2012, "Analysis for GPS Signal Reception Environment of Gimpo Airport", Korean Society for Aeronautical Science and Space Sciences Spring Conference, pp. 572~577.
- 4) Honeywell, "GBAS Siting Plan", Version C, 2009.
- 5) A. R. Lopez, "GPS Ground Station Antenna for Local Area Augmentation System, LAAS", ION Proc. Of the 2000 National Technical meeting, pp. 738~742, 2000.
- 6) EUROCONTROL, "PEGASUS: Technical Notes on CMC", PEG-TN-CMC, 2008.
- 7) Timothy A. Murphy, William M. Harris, Scott L. Pelton and Ngoc H. Bui, "Volume III - Multipath Flight Test Program & Results", D6-83447-3, 2005.
- 8) John Warburton, "LAAS Test Prototype Data Collection and Processing", 7th International GBAS Working Group, 2007.
- 9) John Warburton, "Technical Activities GBAS Integrity/HMI Update", 7th International GBAS Working Group, 2007.
- 10) Carmen Tedeschi, "GBAS/LAAS Cat-I Siting Order Background, and Application to Newark Liberty International Airport", 10th International GBAS Working Group, 2010.
- 11) Honeywell, "Measured Site Data Process", Revision A, 2009.